

[德]贝特霍尔德·考夫曼 著
[德]沃尔夫冈·费斯特
徐智勇 译

德国被动房 设计和施工指南



中国建筑工业出版社

德国被动房设计和施工指南

[德] 贝特霍尔德·考夫曼 [德] 沃尔夫冈·费斯特 著
徐智勇 译

中国建筑工业出版社

德文版出版说明

出 版 单 位： 北莱茵威斯特法伦州农村与城市发展和建设研究所 (ILS NRW)
受北莱茵威斯特法伦州城市建设、住房、文化和体育部 (MSWKS) 委托

编 写 单 位： 贝特霍尔德·考夫曼博士
沃尔夫冈·费斯特博士
赖讷·普夫鲁格博士
马尔库斯·约翰
马蒂亚斯·纳戈尔
达姆施塔特市被动房研究所
安德烈·伯恩特根-凯泽

项 目 指 导 单 位： 北莱茵威斯特法伦州农村与城市发展和建设研究所 ILS NRW

项 目 参 与 单 位： 安德烈·伯恩特根-凯泽, ILS NRW
雅内特·罗伊尔, ILS NRW
赖讷·杨森, MSWKS NRW
斯万·克尔斯滕, 北威州建筑师协会
马丁·克利马, 亚琛工程师协会
哈特姆特·穆夏尔博士, MSWKS NRW
杨·舒施勒, 北莱茵威斯特法伦建筑师协会

经 销 单 位： 北莱茵威斯特法伦州农村与城市发展和建设研究所 (ILS NRW)
Theaterplatz 14, 52062 亚琛
Tel. 0241/455-01, Fax 0241/455-221
E-Mail: poststelle@ils. nrw. de
Internet: <http://www.ils.nrw.de>

德 文 版 网 址： 被动房研究所 PHI
http://www.passiv.de/downloads/05_F12_passivhaeuser_erfolgreich_bauen.PDF

© ILS 亚琛 2004

版 面 设 计： typline, 亚琛

印 刷： print production, 亚琛

本指南以最严谨的态度和直到印刷时的最佳知识编撰。然而对可能存在的内容瑕疵或印刷错误不予担保。对于内容的准确性也不承担责任。指南中可能涉及的特殊材料性能，也请关注制造厂的使用说明。

致谢

作者对于在指南编写过程中出版单位代表和项目参与单位给予的建设性批评和友好合作表示衷心感谢。

Broschüre “Passivhäuser erfolgreich planen und bauen”

Vorwort der Autoren für die Übertragung in die Chinesische Sprache (2015)

Die vorliegende Broschüre wurde ursprünglich in Deutschland mit Mitteln des Bundeslandes Nordrheinwestfalen (NRW) im Auftrag des “Instituts für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes NRW” (ILS NRW) als Herausgeber erstellt. Diese Übersetzung ins Chinesische geschieht mit freundlicher Genehmigung der Autoren und der Herausgeber. Die deutsche Originalausgabe ist online unter der unten genannten Adresse verfügbar

[http://www.passiv.de/downloads/05_F12_passivhaeuser_erfolgreich_bauen.PDF]

Die Autoren und die Herausgeber verbinden mit dieser Übertragung in die Chinesische Sprache den Wunsch, dass das Wissen um die Gestaltung hochwertiger und Energieeffizienter Gebäude auch in China eine weite Verbreitung und viele Nachahmer finden möge.

Der Bau- und Wohnungssektor zählt zu den größten Verbrauchern von Energie in Europa ebenso wie in China. Als Lösung für eine deutlich erhöhte Effizienz wurde vor 25 Jahren das Passivhaus-Konzept entwickelt. Seit dem Bau eines ersten Prototyps in der deutschen Stadt Darmstadt hat sich der Standard in vielen Ländern etabliert. Nicht ohne Grund: Denn im Vergleich zu herkömmlichen Gebäuden werden in einem Passivhaus ein Großteil der Heizenergie im Winter und Kühlergie im Sommer eingespart.

Der Passivhaus-Standard ist damit ein sicherer Weg, um bei dem Betrieb von Gebäuden Kosten zu sparen und zugleich wertvolle Ressourcen zu schonen. Für die Bewohner liegt der größte Vorteil aber in dem Komfort, der durch die Prinzipien des Standards gewährleistet wird – in einem Passivhaus herrschen bei optimaler Qualität der Raumluft durchgehend angenehme Temperaturen – im Winter wie auch im Sommer.

Passivhäuser sind eine Weiterentwicklung von Niedrigenergiehäusern. Sie sind in ihrer Bauweise so optimiert, dass der Heiz- und der Kühlergiebedarf sehr klein sind. Erreicht wird dies durch eine gute Wärmedämmung, energetisch hochwertige Fenster – die im Sommer konsequent verschattet werden, das Vermeiden von Wärmebrücken in der Konstruktion, eine luftdichte Gebäudehülle und eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung.

In heißen und feuchten Klimaregionen kommen dazu noch eine in der Leistung angepasste aktive Kühlung und eine Feuchterückgewinnung, welche die Kühlung und Entfeuchtung der Außenluft unterstützt. Siehe dazu auch die über diesen Leitfaden hinaus gehenden Ausführungen in [Passipedia]

Wichtig sind vor allem eine gute Planung und eine sorgfältige Ausführung der Details

und eine konsequente Qualitätssicherung. Ganz bewusst lässt das Konzept dabei Aspekte wie Baustil, Form oder Materialwahl offen. Die Praxis hat gezeigt, dass der Passivhaus-Standard auch hervorragende Architektur ermöglicht. Bei einer Zertifizierung als Qualitätsgeprüftes Passivhaus kommt es aber allein auf die erreichte Energieeffizienz an. Durch die Qualität von Gebäudehülle und Haustechnik sind die Wärmeverluste im Passivhaus so weit verringert, dass nur noch eine sehr kleine Heizung benötigt wird. Und in warmen Jahreszeiten funktioniert das Prinzip umgekehrt; dann bleibt der Energiebedarf für die Kühlung minimal.

Seit den ersten Anfängen der Passivhaus-Entwicklung in Deutschland vor 25 Jahren sind weltweit inzwischen viele tausend Passivhäuser gebaut worden- und es werden immer mehr. Auch in China stehen bereits einige hervorragende Beispiele für Gebäude dieser Art. Mit der zunehmenden Verbreitung des Standards steigt auch der Bedarf an entsprechendem Fachwissen bei allen beteiligten Akteuren, bei Architekten und Planern ebenso wie bei Handwerkern.

Der vorliegende Leitfaden soll dieses Wissen vermitteln. In übersichtlich gegliederten Kapiteln gibt er zu den einzelnen Phasen des Bauablaufs Empfehlungen und Entscheidungshilfen und weist zugleich auf Fehlerquellen und deren Vermeidung hin.

Die im Leitfaden beschriebenen Mittel zur Qualitätskontrolle haben sich nicht nur für Neubauten im Passivhaus-Standard bewährt, sondern auch bei energetischen Sanierungen mit Passivhaus-Komponenten. Mit den vom Passivhaus Institut zusammengestellten Ausführungen werden viele Fragen beantwortet, die bei der Planung und beim Bau eines Passivhauses immer wieder auftauchen. Ziel ist es, auf diese Weise die Akzeptanz der Passivhaus-Bauweise insgesamt zu erhöhen. Darüber hinaus soll der Leitfaden Initiatoren, Planer und Nutzer auf den großen Stellenwert des Themas aufmerksam machen und zur Nachahmung anregen.

Wichtiger Hinweis für China: dieses Werk beschreibt die Eigenschaften eines Gebäudes gemäß Passivhaus-Standard im kühl-gemäßigten Klima von Mittel-Europa. China hat insgesamt mindestens sechs verschiedene Klimazonen, unter anderem auch die südlichen feucht-warmen Regionen mit hohem Kühl-und Entfeuchtungsbedarf. Daher kann der Inhalt dieses Leitfadens nur bedingt Aussagen machen für PH-Gebäude im südlichen China, in denen selbstverständlich eine geringe aktive Kühlung und Entfeuchtung der Zuluft gemacht werden muss. Auch dort können jedoch Passivhäuser gebaut werden, es gibt inzwischen mehrere Beispiele. Weitere Informationen hierzu findet man unter www.passipedia.org.

Für die Autoren:

Prof. Dr. Wolfgang Feist und Dr. Berthold Kaufmann,
Passivhaus Institut, Darmstadt im Jahre 2015

[Fachbuch 12 ILS NRW]

http://www.passiv.de/downloads/05_F12_passivhaeuser_erfolgreich_bauen.PDF

[Passipedia]

http://www.passipedia.org/basics/passive_houses_in_different_climates

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 为什么要保证被动房的质量?	1
1.2 被动房——有利于经济和生态的建设理念	2
1.3 被动房的设计基础	4
1.4 一体化设计	5
第 2 章 基本情况调查、预设计和方案设计	9
2.1 建设任务描述	9
2.2 城市建设规划和建筑物朝向	10
2.3 标准层设计	14
2.4 要不要地下室?	14
2.5 保温、热桥和气密性	15
2.6 能量平衡计算和单位供暖热需求（被动房设计计算软件 PHPP）	17
2.7 夏季遮阳	19
2.8 供暖负荷指标和新风加热	22
2.9 新风系统	23
2.10 被动房的其他暖通技术	27
第 3 章 详细设计	32
3.1 保温	32
3.2 无热桥结构设计	37
3.3 气密性构造	42
3.4 窗户	52
3.5 楼宇门	60
3.6 新风系统	64
3.7 被动房其他楼宇技术	70
第 4 章 招标和授标	72
第 5 章 施工和验收	75
5.1 保温	75
5.2 无热桥	78
5.3 气密性	79
5.4 窗户	83
5.5 新风系统	84
5.6 被动房的其他暖通技术	91
5.7 由谁提供质量保证和其他信息?	92

第6章 日常使用	93
6.1 给用户的详细说明（见附录A、B）	94
第7章 写给物业管理和业主的使用手册	95
7.1 保温和防止热桥	95
7.2 气密性	96
7.3 窗户	96
7.4 新风系统和其他被动房暖通设备	97
第8章 被动房小结汇总	101
第9章 定义、符号和公式符号	105
附录A 多层被动式居住建筑用户手册	107
A.1 引言	107
A.2 被动房——舒适、节能、环保、未来有保障	107
A.3 被动房——完全普通的居住建筑	109
A.4 一间房子是怎样成为被动房的？	110
A.5 保温	110
A.6 被动利用太阳能	112
A.7 带热回收的室内新风系统	113
A.8 辅助供暖	113
A.9 在被动房里居住	114
A.10 节电小窍门	120
附录B 被动房标准、被动式节能改造EnerPHit标准和被动房研究所节能建筑标准	122
B.1 引言	122
B.2 标准	123
B.3 建筑认证的技术条例	131
参考文献	138

第1章 绪论

1.1 为什么要保证被动房的质量？

1991年首次在达姆施塔特市卡拉尼西斯泰因的示范项目上实现了被动房的概念^[1]。这栋示范建筑实际使用效果非常好，以至于在此基础上形成了被动房设计标准，并于1998年开始被引入市场^{[2]~[10]}。特别是在欧盟的低造价被动房项目框架内（CEPHEUS Projects）数百个经测试和科学认证的住宅项目表明，以低造价建设可复制的高质量被动房是完全可能的^{[11]~[13]}。此外，调查被动房住户体会的社会科学研究询问了一些联排别墅和多层居住建筑的居民。研究报告得出了非常积极的评价^{[14]~[17]}。所以，在德国被动房住宅单元的迅速发展就在情理之中了。到2003年初已经建成了3000个住宅单元，见图1-1。在邻国特别是奥地利和瑞士也有相同的发展势头。

北莱茵威斯特法伦州（以下简称“北威州”）从1999年开始在“合理利用能源和利用取之不尽的能源推广项目”中，对被动房建筑方式给予了资助^{[18], [19]}。从资助项目开始以来，一共资助了400个项目近900个住宅单元。到2004年1月已有约50%的项目竣工。政府对建筑物传热外围护结构给予补贴。位于亚琛的北威州农村与城市发展和建设研究所对这些项目进行了跟踪，认为被动房建造过程中的质量保证非常重要，这成为编写出版这本《指南》的契机。

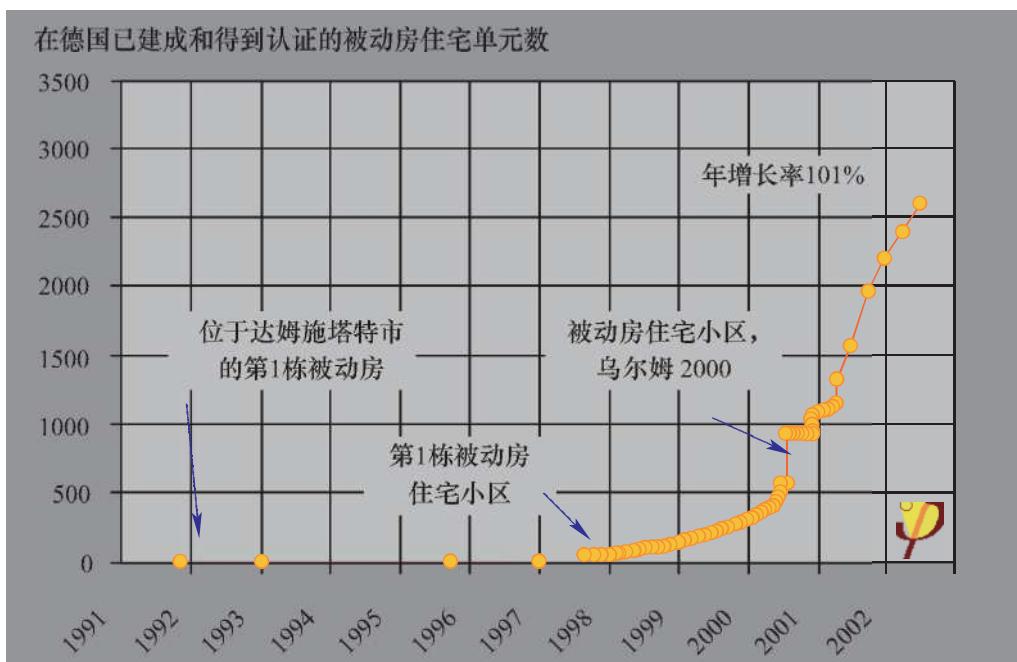


图1-1：1991年以来建成的被动房数目。在德语国家（奥地利和瑞士）有相同的发展势头。到1998年底建成120个住宅单元。1998年以后的数据来自德国复兴信贷银行提供的资料^[20]。目前，被动房的年增长率接近100%
图片来源：达姆施塔特被动房研究所（PHI）

1. 创新的设计理念

被动房方案开创了全新的设计理念。例如，提高保温标准自然而然地就把目光引向热桥效应，必须尽量减少，最好完全避免。从提高热舒适度的角度对窗户提出了更高的质量

要求。带热回收的有组织室内新风系统必然要求气密性的外围护结构。

为今后建设越来越多的高能效建筑和进一步发展被动房建设标准，对各方面人才的培养至关重要。没有扎实的知识，就不可能进行被动房的专业设计，自然也就不可能高质量地建造被动房。这些要求不仅适用于独栋别墅，同样适用于大型的多层居住建筑、办公建筑、学校等。没有扎实专业功底的设计师和建筑师，也几乎不可能获得建筑业、金融部门、政策部门和政府管理部门决策者的认可。

2. 创新的方案更需要质量监督

对建筑业的所有领域及其设计几乎都有数不清的标准、规范和各项规定，而被动房方案是一项决定性创新，它明显超出了现行标准。比如供暖负荷，在被动房上它可以降低到 10W/m^2 。谁都知道，在这么小的供暖负荷下，在保温外围护结构新风余热回收方面的任何一点失误，住户都会明显感觉到。打个比方，在保温差的建筑物上，这么一点错误很容易被强大的供暖系统带过去了，住户如果发现，也最多是在交暖气费的时候。

所以，质量保证就意味着“只能”一以贯之地严格执行这些新鲜又古老的设计理念。在工地上也必须保证严格执行设计要求。只有当质量保证被理解为根本性的、不可或缺的、一体化建设过程的组成部分并认真加以贯彻落实，才能够无缺陷地设计和建设技术要求和整体配合要求很高的被动房。贯彻被动房标准要求尽可能统一的质量标准和与之适应的质量监督。建筑师、工程师、委托方和投资方必须能够信任和依靠这样的质量标准。委托方和住户当然会期待，他的房子是按照可靠的基本原则建造的，并且能够长期保值。

3. 质量保证指南

本书对被动房的质量保证做了详细阐述，并举例说明，以回答经常提出的一些问题，推广被动房的经验，提高对被动式建筑的认知度。为此，根据建设程序，对建设过程的不同内容做了说明：从项目前期调查、设计到建设过程的监督和用户交接。所以，应该使项目发起人、设计师和用户理解质量保证的不可或缺和紧迫性。

本书可以作为参考资料，也可以在建设过程参照执行。本书的章节安排基本上参照建筑师和工程师定额指标（HOAI）给出的常规建设流程。1.4节的“一体化设计”也基本上按此顺序编排。

1.2 被动房——有利于经济和生态的建设理念

如何在一个新建项目上同时实现高舒适度、良好的空气质量、运行经济性和可承受的投资费用呢？长期以来，建设界一直认为经济性、生态、低能耗和建筑物的可再生能源供应是不可协调甚至是相互矛盾的目标，在这些目标之间至少应该寻找一种折中的办法。然而，已经建成的许多被动房项目却证明，只要最大程度地降低建筑物的能耗，那么经济性、生态和可再生能源供应就能够非常好地互相协调。

从根本上改善能源利用效率是关键。改善能源利用效率，对于中欧地区的居住建筑便

意味着要实现非常好的保温、气密性、高效新风系统、制热能效比（COP）非常高的暖通技术和节能家电。

高效技术不仅可以减少建筑物的能耗，而且可以提高舒适度，改善对建筑物的保护。一般来说，建筑物价值的提升远远超过投资增量成本。提升的价值、减少的维修费用、延长的使用寿命、健康舒适的居住条件——这些是被动房的附加效应，仅此便已经证明改善能源利用效率是完全值得的。

可再生能源供应近在咫尺

此外，被动房比按照现行建筑节能法规建设的新建建筑节能 4 倍。从而为可再生能源利用开启了全新的窗口：典型被动房每年消耗的供暖和热水能源大约为 5000kWh。这相当于 500L 燃料油、500m³ 天然气或者 2.5m³ 木粒。上述能源是指终端能耗，包括了建筑物内的所有分配管线损失，并适用于居住面积为 120m² 的一家四口的被动房^[24]。

这些热能可以由小型分散式高效装置提供，如紧凑式空气源热泵或生物质能装置，参见 2.10 节。上述两种系统可以和太阳能装置联合运行。非常重要的是：上述能耗非常小，以至于这么少量的能量完全可以考虑由可再生能源来提供，比如风电或生物质能，而且可以用于较多的居住单元。也就是说，只有在能耗极低的被动房上才真正可以推广利用可再生能源。

在高能效技术应用中经济性和生态效应的协调不是偶然的，它取决于所采用的技术：

改善保温不仅仅意味着减少能耗，同时意味着在冬季实现高的室内表面温度，在夏季实现低的表面温度。由此可以提高舒适度（辐射型小气候^[25]），减少内表面结露的可能性。改善保温意味着增加使用保温材料，也就是“包裹的空气”。它们是非常轻的建材——从本性上既便宜又耗材不多。

根据被动房的经验，避免热桥是一项最经济的节能措施。而其所达到的保护建筑改善舒适度的效果是显而易见的。在居室常见的温度和湿度下，无热桥设计的被动房不再会有内表面结露现象。

良好的气密性也可以减少建筑物损伤的概率。对 10 年前建成的被动房进行长期测试证明，认真设计施工的外围护结构可以长期保持良好的气密性。在初始阶段，提高气密性被看作是建筑技术上很繁琐的措施，实践证明已建成的被动房，气密性 n_{50} ^① 达到 0.3/h 也是完全可以复制的。

窗户作为重要的建筑构件，其质量近年来得到了决定性的改善。高质量的窗户是实现被动房的先决条件。为了将整窗的 U 值控制在 0.85W/(m² · K) 以下，需要对窗户进行专业安装：现在也不是问题了，就是要求严格设计，认真安装。高效节能窗对改善舒适度起到关键作用，因为做好了可以将房间侧玻璃的表面温度保持在 17°C 以上^[25]。这样，用什么方式向房间输入热量就不重要了：也就是说，在房间的什么位置以及如何输入还需要的少量热量就无关紧要了。在被动房上输入热量的时间也不那么苛刻了，停暖几个小时几乎察觉不到。

在保温和气密性的所有措施中，为住户提供新鲜空气是不容忽视的。通过调节新风系统，可以按照需求，在理想位置可靠地提供无花粉的新鲜空气。在这里空气的清洁度和送风的舒适度是最重要的。现在市场上已经有带热回收的高效新风系统，可以把舒适的新风

① 50Pa 差压下的换气次数。

供应和改善能效良好地结合起来。

在上述所有技术措施上，被动房达到了顶尖的发展水平。通过良好的保温、气密性、保温窗户和高效热回收新风系统的完美结合，才使得在中欧气候条件下建成的房屋只需要微不足道的剩余供暖能耗，并将供暖与新风系统实现功能上的结合。两者实现协同效应，更重要的是显著提高居住舒适度和改善建筑质量。

被动房可以是独栋别墅、联排别墅，也可以是多层居住建筑、养老院、办公楼、学校、体育馆、幼儿园和生产性厂房，用途没有限制。本书对于被动房设计和建设提出的质量保证说明，同样适用于有良好保温和气密性要求的其他建筑结构。本书阐述的措施和说明也适用于既有建筑节能改造。

小结：被动房的一般质量要求^[26]

- 要求所有参与者在建设一栋被动房时了解它的特殊要求。当有疑问时，请向负责项目的设计师咨询，避免犯下昂贵的错误。例如，在将高级窗户装到适合于被动房的墙上时，必须认真防止热桥效应并保证连接处的气密性。选择错误的材料或者没有按照设计规定施工，在一定情况下可能会由于某个构件而导致前功尽弃。
- 良好的保温和紧凑的外围护结构。所有外围护构件必须做全面完好的保温。实现良好的保温也包括例如无热桥结构设计，对于边角、节点和穿透口应给予特别仔细的设计安排。同时，外围护结构要有良好的气密性，在压力测试下换气次数 $n_{50} \leq 0.6/h$ 。
- 暖窗是一种集热器。窗户质量包括窗框原则上应符合被动房标准 $[U_{\text{安装完的窗户}} \leq 0.85 W/(m^2 \cdot K)]$ 。
- 带热回收的舒适新风系统。带热回收的舒适新风系统首先有利于实现良好的空气质量，其次是有利节能。在被动房上，乏气的热量至少有 75% 通过热交换器输送给新风。新风系统不可以有噪声污染，而且应该长期保持清洁卫生。目前在被动房上可以实现最高分贝在 25dB (A) 的上限值。
即使在被动房上，也还有少量热需求——因为它不是零能耗建筑。对送入的新风加以补热就绰绰有余了。这样，新风系统就同时成为供暖热分配系统了。
- 高效热水制备。由于供暖只消耗极少的能量，热水制备就成为最主要的耗能户了。利用太阳能集热器可以最多满足热水制备能量需求的 60%。
- 节电型家用电器。使用节电型家用电器如冰箱、电炉、洗衣机等可以显著降低剩余的电耗。
- 所有组件的用户友好性。采用的所有系统应该简单易用，以便用户能够正确操作，真正实现节能目的。
- 质量保证和认证。遵守被动房标准的前提是精准设计和精心施工。多级质量保证体系始于利用被动房前期设计工具进行方案设计，利用被动房设计软件 (PHPP) 进行施工图设计，并包括建设阶段有经验专业人员的质量监督。

1.3 被动房的设计基础

建筑物能量平衡计算（参见 2.6 节）是被动房的方案选择和确定最主要设计原则的

基础：

减少能量损失——最佳被动利用太阳辐射得热

在中欧温和的气候条件下，最重要的措施是减少建筑物的散热损失。因为中欧地区的冬季，低温时间较长，天空总是阴沉沉的，太阳辐射得热量很少。

减少散热损失，可以使太阳辐射得热和内部得热在较大程度上弥补散热损失，而这在现行节能标准的建筑上是无法实现的。保温不好的既有建筑，在阳光灿烂的冬日下午房间里可能是暖融融的，可是一旦夜幕降临热量因缺少保温而很快散失，就必须开暖气。而被动房就不同了：保温在这里可以帮助蓄热。在阳光灿烂的冬日白天过去后，房间里可以保持一整天的暖和。要是有一天停暖了，室内温度一天也只降低 1℃。

根据已建成的众多被动房的供暖热平衡测试结果，得出了下列经验值作为被动房外围护结构的质量标准：不透明围护结构的 U 值一般应小于 $0.15\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，力求做到 $0.1\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 左右。必须尽可能避免结构热桥。对于被动房的门窗原则上要求 U 值小于或等于 $0.8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

要达到室内健康的换气次数，采用开窗通风的方式会造成很大的通风散热损失，所以在被动房上采用可控制的热回收新风系统，从而显著降低了通风散热损失。被动房在供暖季不再需要开窗通风，因为有控制的新风系统可以连续供应舒适的新鲜空气。尽管如此，每个房间都有窗户可以开启，这对于夏季通风是特别重要的^{[27],[28]}。

建筑物外围护结构良好的气密性是被动房方案的又一重要前提条件。缝隙渗风会显著增加通风散热损失。所以，将被动房的气密性限制为 $n_{50} \leqslant 0.6/\text{h}$ ，因为只有这样才能将通风散热损失控制到极小的程度。经验表明，气密性可以做到 $0.3/\text{h}$ 并完全可以长期保持，是值得推荐的优化设计目标值。

1.4 一体化设计

按照建筑定额标准 HOAI^{[21],[22],[23]} 的设计程序，虽然包括了建设项目的所有主要内容，但很难将施工企业的实践知识融入设计过程中，因为施工企业参与设计有时会与招投标过程引起冲突。

但是，被动房建设的复杂任务却要求将所有参与建设方的知识融会贯通。也就是说，一体化设计要求暖通和建筑物物理专业设计人员，像结构工程师一样早期参与新建建筑的设计。这种做法其实已经在邻国（如瑞士等^[37]）和许多低能耗建筑科研项目中成功实施了。

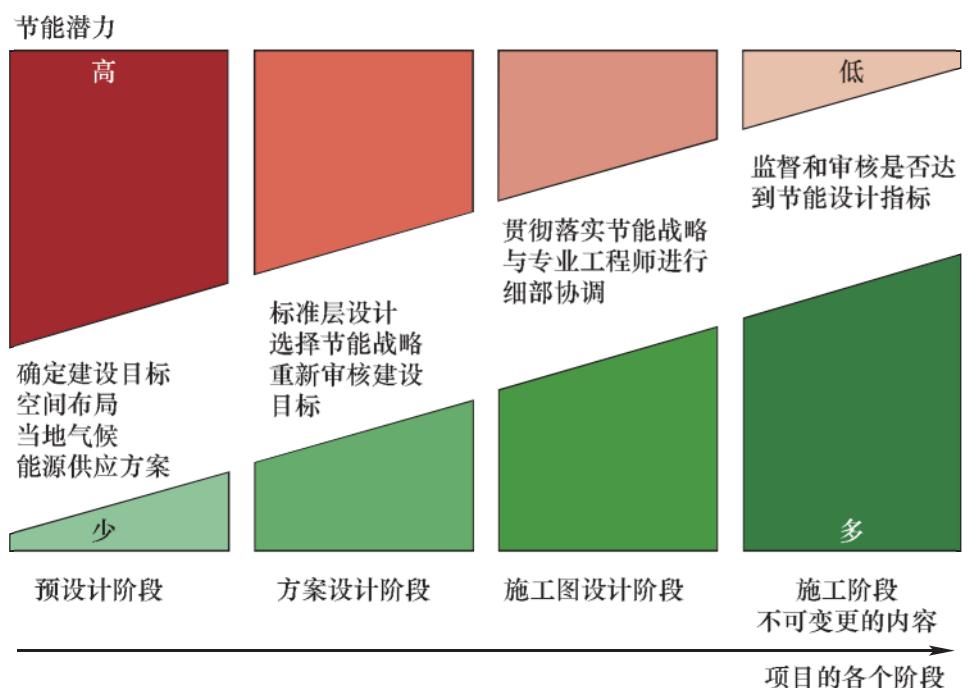
尽管本书中提出的质量保证内容仍需要按照传统的设计和施工程序加以实施，但一定要把一体化设计思想牢记在心，见图 1-2。现把建设过程的各个阶段归纳如下：

- (1) 基础资料调查+预设计；
- (2) 方案设计+报批设计；
- (3) 施工图设计；
- (4) 准备招投标资料+参与招投标；
- (5) 项目监督；
- (6) 项目咨询+文档管理。

当然，在预设计时作出的设计思考会贯彻到后期阶段，如报批设计。另一方面，在项目后期如施工阶段（项目监督）中出现的许多问题，其根源往往在不完善的预设计或方案设计。对于这类问题，我们会力争在文章的相应部分加以引述，对于一些特别重要的内容，甚至还会反复强调。

图 1-2：一体化设计便于了解项目的全过程：不同设计阶段的决策所存在的节能潜力，随着建设进度会越来越小

图片来源：Humm^[40]



1. 一体化设计对于所有项目参与方都是值得的

一体化设计初看起来可能会增加设计费用，因为增加的设计内容当然是需要付报酬的。但建设费用不一定会增加。相反，协调设计可以为投资方节约造价和以后的运行和能源费用。对于所有参与方的效果是显而易见的。

2. 举例：热桥

另一个例子是无热桥设计：这里首先需要一个目标（无热桥！），然后是建筑构造方案和细部节点方案。这些方案必须严格执行。最后是审核所有细部节点的热桥效应。

3. 举例：气密性外围护结构

必须在气密性方案中对气密性外围护结构给予规定。方案中规定的细部节点处理要求（必要时和施工企业协商）必须贯穿于整个建设过程。施工监理应该严格检查细部节点处理质量。很显然：质量保证的费用是必不可少的（比如建筑物气密性测试），只有这样才能及早发现隐藏的缺陷！

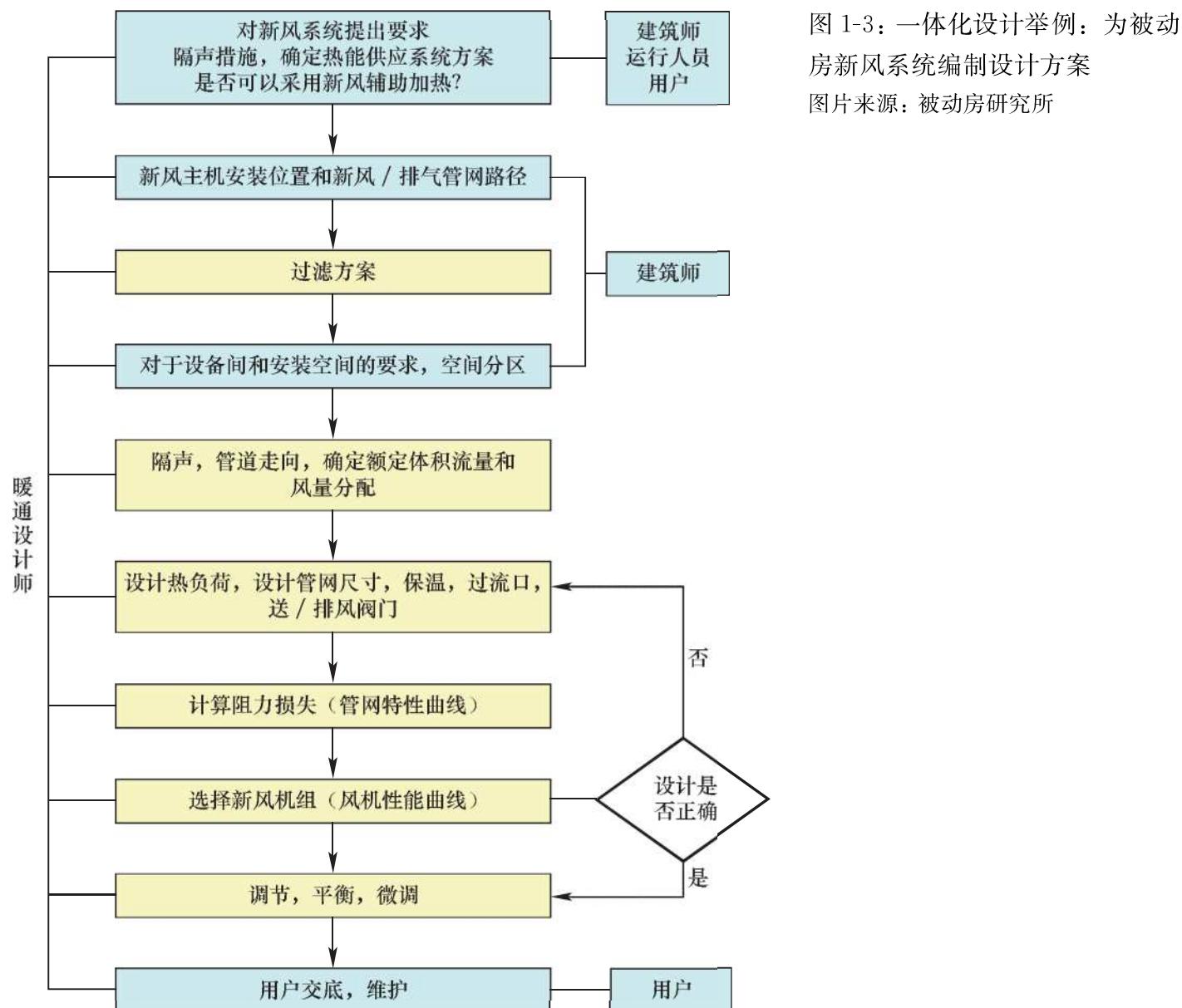
4. 举例：暖通技术

迄今为止，设计工作还是按部就班进行的，也就是说建筑师提供方案，以此作为报批设计的依据，它和暖通设计没有关系。只有到后期详细设计阶段，建筑师才会请暖通设计师介入，让他们把暖通结合到现有的标准层设计中。这种做法对于开窗通风的常规建筑是足够的。但是一体化设计不仅可以节约费用，而且可以减少热分配系统的散热损失（热水和供暖）。在被动房上，暖通就特别重要了。通过采用简单、紧凑和高能效系统，存在节

约费用的良机。一体化设计的原则应该从方案设计直至施工图设计贯穿于整个设计过程。对于设计的不同阶段，本书将给予详细介绍。这里仅以新风系统设计为例，大致介绍一下建筑师和专业设计师以及不同工种施工企业之间的交接点，见图 1-3。

在正式设计工作开始前，必须和建筑师、委托方，必要时还要和未来的用户一起商量确定新风系统隔声方面的要求。与此同时，也将确定供暖系统方案，并对是否利用地热作出决定。

在后面的设计步骤中，比如方案设计需要暖通设计师和建筑师一起完成。在标准层设计和空间布局中犯的错误或者协调不充分，最终将导致风道走向不合理或者过长。



5. 信息组织、运行管理和监督

在（大型）工业企业，当然也在施工现场，长期以来存在信息管理或者准确地说企业组织方面的问题。编制施工进度计划是施工现场组织的第一步。这个计划必须及时更新。那么如何让其他作业单位比如施工单位及时反馈信息呢？这是一个常见的问题，在书中不予详述。在被动房项目建设过程中，上述问题越来越重要，因为被动房施工的任务比常规建筑要复杂。

认真贯彻落实含有主要细部节点处理要求、同时又与现行建筑标准有差别的设计，需要无缝的工程监理：如果有人能够作为项目经理代表始终在现场，那么他就可以监督各施工单位的协调合作，必要时进行干预和改组^[39]。对于小型建筑，费用可能无法承受。此时就必须从一开始让项目参与各方明白，项目的施工质量是和参与各方掌握的信息密切相关的。

小结：组织、监理

- 在授标前后向参与施工企业交底。
- 任务委托：谁、何时做什么？
- 问题通报：不能继续施工，因为……
- 完工确认：谁何时完成了什么工作？
- 进度报告和概况：项目的当前状况如何？

第2章 基本情况调查、预设计和方案设计

预设计阶段的决策具有很高的节能潜力，而且对于经济性和投融资有很大影响。同时，在预设计阶段不会做出太多的规定：仍有很大的可以利用的自由度^[40]，见图1-2。简化标准层布置或者对功能区进行清晰的布局可以从根本上降低造价，并为暖通工程师在后来布置节能新风系统和其他供应管线提供很大方便^[37]，参见2.9节、3.6节和5.5节。所以应该尽早邀请所有建设单位一起寻求满足被动房特殊要求的解决方案。下面将介绍应该特别注意的事项，并将基本情况调查、预设计和方案设计一起加以阐述。

2.1 建设任务描述

1. 目标定义

开始设计时，受委托方必须和建设方一起确定设计的基本条件。明确描述建设任务的目标对委托方和受委托方都有帮助。这里需要及早认识可能存在的目标冲突和实施过程中可能出现的困难，和建设方一起阐明对建设项目的愿望和要求。尤其是带着明确的建设被动房的愿望来找建筑师的建设方，他一定事先查阅过许多相关资料。尽管如此，或者恰恰正因为此，建筑师需要识别存在的误解，甚至对于技术和建筑学方面的细节给予详细讲解。

2. 设计任务书、要求汇总书

书面列出建设任务的类型和范围即使对于常规建筑也是值得推荐的。对于被动房，必须用书面描述的方式定义建筑构件和其他组件的质量要求。常规建筑的建设方迄今是很少动这方面脑筋的。当然，这对于建筑师也是一项挑战。

3. 费用

根据委托方的要求和愿望作出初步费用估算。应该尽早认识目标冲突。相对于常规建筑，被动房的增量成本在5%~15%左右。这主要因为采用了高级的建筑构件，如外墙和屋面保温、被动房窗户以及热回收新风系统。

采用这类高级组件的决策会给住户带来直接的附加感受。设计师的任务是向建设方指出在其他方面节约成本的可能性。比如，经常争论激烈的一个例子是传统的地下室，许多人理所当然地希望拥有地下室，而地下室恰恰在建设费用中占了很大的比重，见2.4节。

- 书面描述建设任务：
 - 这是委托方/建设方的任务；
 - 他应该听取设计师的建议；
 - 任务书明确了建设方的愿望、想法和偏好。
- 工作任务书必须随着项目进展加以补充：
 - 建设方的愿望是不是改变了？
 - 是否发现建设方的要求是无法实现的？
- 工作任务书作为以后建立建筑物档案的依据。
- 在大型项目上，工作任务书是必须的合同依据，小房子建设者也应该要求提供工作任务书。
- 施工进度计划即使对于小项目也是有帮助的，特别是当有几个企业合作施工时。
- 从工程造价角度，确定建设方的偏好也是值得推荐的^[37]：什么对我特别重要，哪些可以放弃。
- 作出材料选择的决定。
- 相对于“标准建筑”，被动房仍有 5%~15% 增量成本。这主要是因为采用了高级组件如
 - 外墙和屋面保温；
 - 被动房窗户；
 - 热回收新风系统。
- 提高建筑质量会给住户带来可以直接感受的效果。

2.2 城市建设规划和建筑物朝向

地方政府对于建筑物的构造规定（城市建设规划等）一般是有约束力的。但是，政府代表对于新的思想往往是开放的。如果地方政府对于节能建筑有财政补助，那么他们本身就会从这方面优化建设规定，有时甚至给予破格准许。

预设计对于将要建设的建筑在方案上规定了一些重要条件。在这个阶段必须考虑最重要的方面和影响因素，一方面是建筑物的环境，它主要影响太阳能得热，即被动或主动利用太阳能的潜力；另一方面是建筑物的紧凑性，它主要影响建筑物的表面积，进而影响保温外围护结构的造价。

1. 周边建筑、建设场地和朝向

新建建筑的环境将从根本上决定获得太阳照射的可能，也就是说决定建筑物被动获得太阳能来调节室内温度的程度。如果建筑朝向不好，以后被动房能够获得的太阳能就少，这意味着需要增加保温厚度加以弥补。在太阳能得热不太好的情况下，也能建设被动房，但是增加的保温厚度最终会导致增量成本的增加。

所以要检查是否有周边建筑、树木和地形的遮挡。如果主立面能够朝南（ $\pm 25^\circ$ ）并

且冬季不会有太多遮挡是最好的。如果城市规划规定建筑物只能东西朝向，那么和主管当局的代表做一次深入讨论是值得的。

在北莱茵威斯特法伦州 50 个太阳能住宅区的设计指南中^[19]，汇总了选址时应该注意的主要边界条件。其他相关说明也可参见文献 [41]。

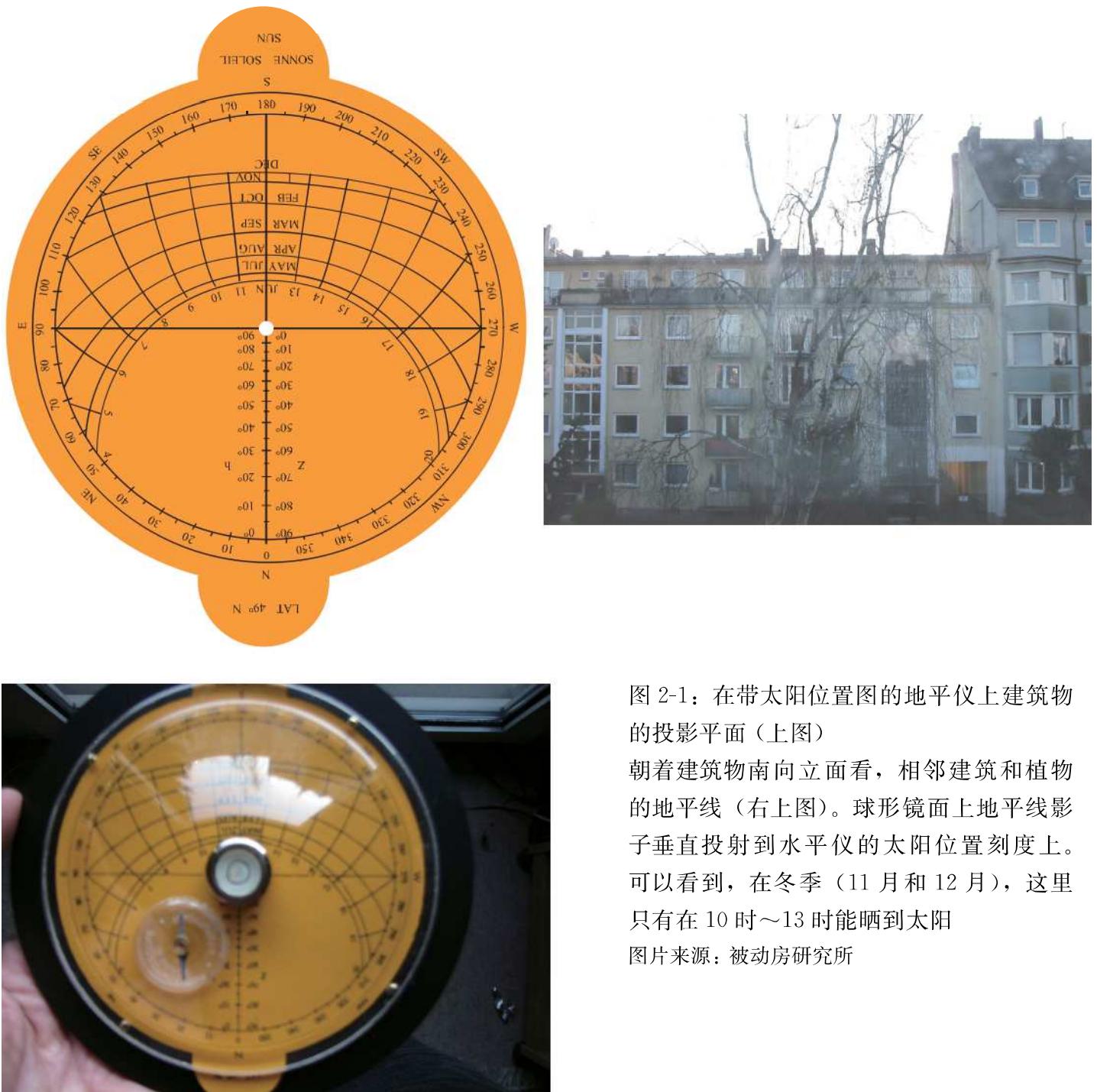


图 2-1：在带太阳位置图的地平仪上建筑物的投影平面（上图）

朝着建筑物南向立面看，相邻建筑和植物的地平线（右上图）。球形镜面上地平线影子垂直投射到水平仪的太阳位置刻度上。可以看到，在冬季（11月和12月），这里只有在10时～13时能晒到太阳

图片来源：被动房研究所

2. 水平仪

水平仪作为一种非常简单而实用的手持式仪器，可以确定水平遮阳或在该位置太阳的照射情况^{[43][44]}。

它主要由透明的半球体组成，球体下面是能够反映在一定纬度下不同季节太阳位置的曲线图，见图 2-1。在垂直方向从上看半球体上水平线投影，就能够知道在某个季节该位置的日晒时间长度。

3. 建筑物的紧凑性

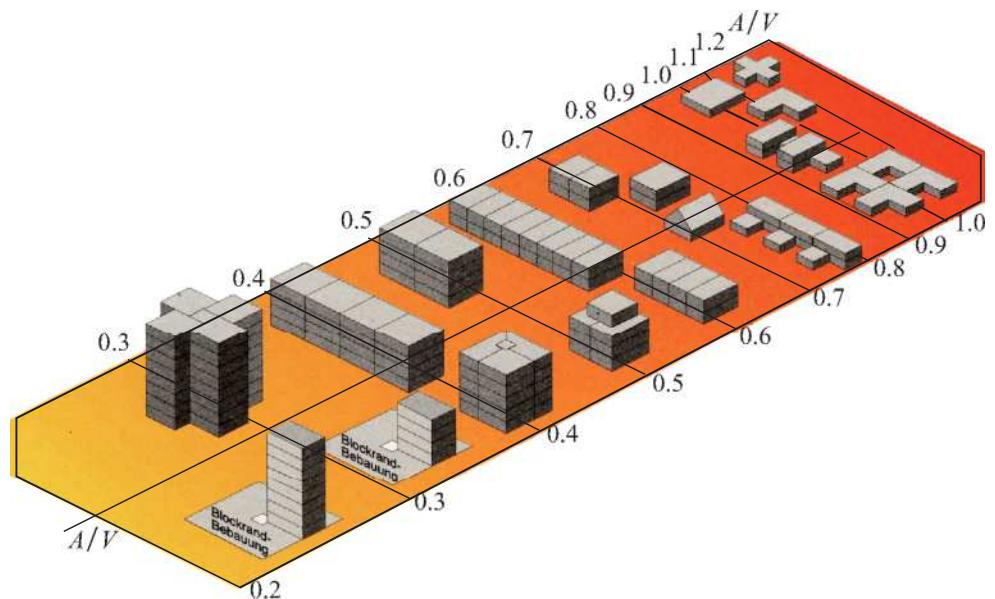
一栋建筑的构造（楼层数、屋顶形状、老虎窗、飘窗、装饰线条等）也经常会受到城市规划或地方建筑构造法的约束。

对于能效高、造价低的被动房，建筑物的紧凑性原则具有决定意义。在外立面构造复杂的建筑虽然也可以实现被动房的方案，但是建造起来会非常复杂，造价会非常高。

除了建筑物的紧凑性，建筑物的体量，即体形系数 A/V 也是关键因素。独栋小型住宅的体形系数非常不利，见图 2-2。由于大量的外表面积需要保温，造价就会比较高。联排别墅墙挨墙，在相同居住面积条件下，外围护结构的表面积小很多。大型多层居住建筑的体型系数则更佳 ($< 0.3\text{m}^{-1}$)。所以从节能角度考虑，挨着邻居盖房子是比较有意义的。

图 2-2：不同建筑物形状的体形系数。争取体形系数 $A/V < 0.7$ ，也就是争取盖联排别墅^[41]

图片来源：[42]。



4. 单侧坡屋面是否可用于被动房？

平屋面、坡屋面或单侧坡屋面常常是激烈讨论的话题。屋面形状对于被动房建筑的功能无关紧要。

但是，与平屋面相比，单侧坡屋面在有效利用室内空间（可利用的居住面积和建筑物外表面积之比非常有利）和坡屋面的优点之间达成了良好的折中。另外，它还可以在不增加造价的情况下增加南向冬季得热面积；屋脊移到了房子的南向边界，从而可以在同样建筑高度下减少对后面邻居建筑的冬季遮阳，并实现了更好的空间利用，见图 2-5。

从高效保温角度考虑，屋面窗户迄今仍是一种妥协做法，因为窗户必须做在导水层内，参见图 3-38~图 3-41。在接近水平位置的大的屋顶窗户下面的房间夏季温度会很高。

出于上述原因，以前许多被动房选择了主立面向南的单侧坡屋面做法。当然，最终应该让建设方、设计师和审批机构决定选择何种屋面形式。



图 2-3: 还没有邻居的联排别墅。可以看到体形系数非常不利
亚琛太阳能住宅小区 Maintz 家的房子
建筑师: 亚琛市 Gerhardt Weiss 设计事务所
图片来源: 亚琛北威州建筑研究所



图 2-4: 在传统建筑上也可以实现大面积的南向窗户。二楼的老虎窗为实现被动房标准做了优化
门兴格拉德巴赫 Meyer-Gehlen 家的房子
建筑师: 科隆市 M. Brausem 设计事务所
图片来源: 亚琛北威州建筑研究所

5. 宅基地裁量和建筑密度

为了防止几排房子互相遮挡, 必须要保证最小的建筑间距(间距面积)。由于宅基地是建造房子中最大的投资, 所以最好选择狭长的宅基地, 也就是宽度 $\leqslant 6\text{m}$, 并且盖成联排别墅。建筑物的最大深度受到房间采光要求的限制, 一般最大为 $12\sim 16\text{m}$ 。应该注意, 有的建筑法规在计算间隔面积时只计算墙面面积, 这样对于本该对日照有利的坡屋面和单侧坡屋面起到不利影响, 见图 2-5。关于建筑密度的其他讨论可参见文献 [41]。

特别是在小型建筑上, 多层居住建筑每增加一层可以节约很多面积, 进而提高建筑物的紧凑性。但是从五层开始改善效果就很小了, 而且会明显增加造价, 例如需要配备电梯^[41]。

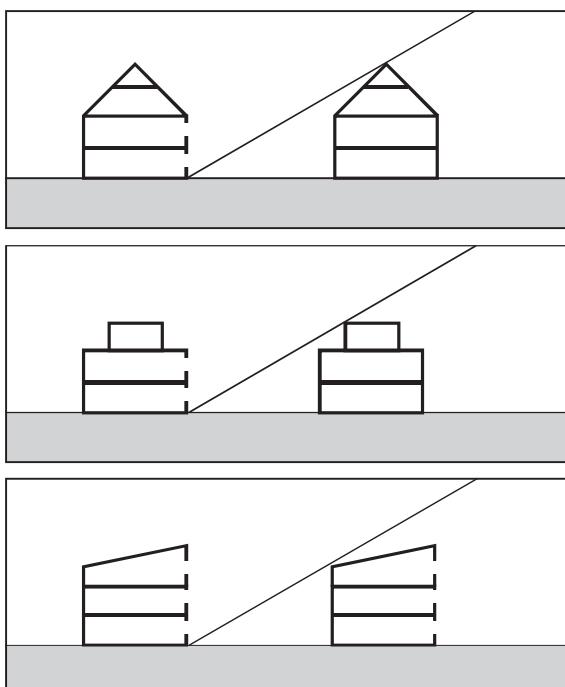


图 2-5: 在相同太阳位置下, 坡屋面和单侧坡屋面可以缩小与邻居房子的间距。所以坡屋面和单侧坡屋面是最佳利用日照的建筑方式^[41]

2.3 标准层设计

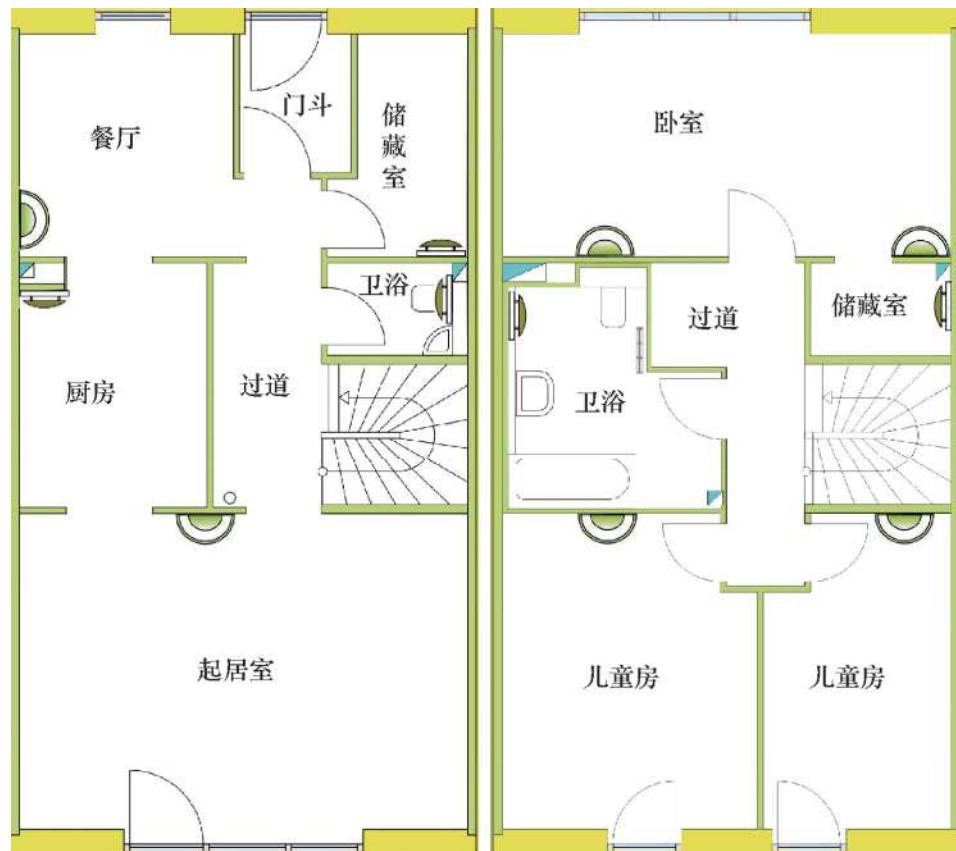
清晰的标准层设计在许多方面便于建筑物的设计和施工。从节能角度考虑，有一点特别重要：那就是供应管线，不管是热水、污水或者进出风管的距离一定要短。这就是说，有水房间如卫浴和厨房最好互相靠近，或者上下层布置，见图 2-6。这样，排水管线也可以合理布置节约成本。

图 2-6：汉诺威市科隆贝格的联排别墅。清晰的标准层设计，热水管道从管道井进入厨房（底层）和浴室（二楼）

利用很短的管线收集厨房和卫
浴室的乏气，通过管道井送到
楼顶层的设备间。通过安装在
管道井附近的远程喷嘴将新风
送入起居室、卧室和儿童间。
过道作为过流区

暖通设计：普丰施塔特 InPlan
设计事务所

建筑师：达姆施塔特市 Rasch+
Partner 设计事务所



起居室和功能间的位置应该有利于清晰的风道布置，就是说起居室和卧室获得新风，从厨房和卫浴室抽走乏气。过道作为过流区。为了提高新风机组的电能效率（流动阻力损失），新风和乏气的输送管道应尽可能地短。在图 2-6 的平面图上，所有管道集合在一个管道井内。新风口采用远程喷嘴，这样就不需要在卧室和起居室布置很长的风道。这样做在室内布置上也有好处。有关新风系统的更多细节参见 2.9 节。

2.4 要不要地下室？

被动房当然也可以设计地下室。不过，迄今为止许多被动房项目放弃了地下室，而是在宅基地的其他位置设计了不供暖的地面杂物间，以节约造价。要不要地下室，关键在于造价和当地的习惯。如果要设置地下室，就需要注意下面一些问题。

首先必须决定地下室要不要供暖，或者说是不是可以放在供暖围护结构的外边。

如果地下室位于供暖围护结构范围内，就要像其他供暖房间一样处理：也就是底板外侧或内侧要保温，见图 3-17～图 3-22。与土壤接触的墙体要做勒脚保温处理，见图 2-9 和图 3-2。在气密性围护结构内的地下室房间必须布置新风系统。杂物间的换气次数可以减少

到 0.3 h^{-1} 。

从其他居室去地下室的门用普通门就可以了。但是通向外部的门要像户门一样满足被动房气密性和保温的要求，见 3.5 节。

如果地下室不供暖，也就是它位于供暖围护结构的外面，那么地下室顶板要做保温，可以在顶板上面地坪下面做保温，也可以在顶板下面做保温。对于现浇墙体要注意对上升墙体做断热处理（无热桥结构设计，见 3.2 节）。也就是说每堵墙的水平保温层上要放置一排加气混凝土或类似材料的隔热块，见图 3-19 的内墙保温做法。

从供暖居室到不供暖地下室的门必须是气密性好的保温门，地下室楼梯间隔墙要按被动房标准做保温。这种做法很复杂所以造价很高。所以我们建议只从外部进入地下室。这样可以用便宜的门，保温墙体和顶板的构造也会简单很多。

如果在保温墙体外侧有一个轻质玻璃楼梯间或挡风门，那么去地下室的通道也可以布置在冷的楼梯间内。此时，住户不用完全从户外进入地下室，而居室和地下室又有了明晰的分隔，见图 2-7。



图 2-7：楼梯间作为非供暖建筑装在供暖围护结构的外侧。可以从楼梯间通过简单的门进入不供暖地下室
位于达姆施塔特市的第 1 栋被动房

建筑师：斯图加特市的 Bott、Ridder 和 Westermeyer 设计事务所

图片来源：被动房研究所

2.5 保温、热桥和气密性

除了上面提到的紧凑性、朝向和无遮挡的根本性决策外，所有建筑构件简洁的几何造型对于以后的详细设计、施工和造价都是非常重要的。图 2-8 和图 3-2 汇总了气密性和无热桥结构设计的基本原则。细部节点处理和其他说明参见第 3 章。

在预设计和方案设计阶段应该决定，采用何种墙体和屋面构造。迄今为止，德国通常采用 4 种墙体构造方式：

- (1) 木框结构，中间填充保温材料；
- (2) 实心墙，外面粘贴外墙外保温系统 (WDVS)；

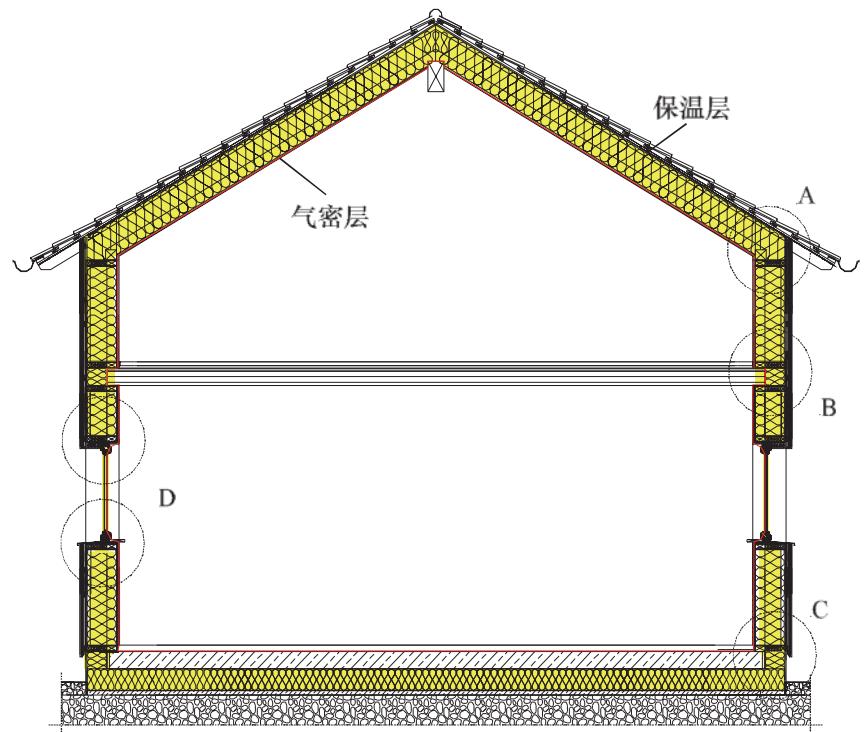
图 2-8：节能建筑设计原则图示^[63]

完整的保温层（黄色），合理的保温厚度，所有边角位置的细部节点处理做到尽可能没有热桥

完整的气密层（红色），在所有细部节点位置有清晰的连通

图上的细部节点 A（檐口）、B（楼板节点）、C（墙角）和 D（窗户节点）将在 3.2 节做详细介绍

图片来源：被动房研究所



(3) 带保温的预制墙体单元，如由轻质混凝土预制；

(4) 混凝土加保温砖预制件或者由聚苯砌块内浇混凝土构成保温层，中间浇筑混凝土作为承重结构。

近来在德国北部，人们愿意采用背通风自承重砖墙与木框墙结合的构造形式，见图 3-5。保温层移到了木框内。这样可以做任意厚度的墙体，对于被动房非常合适。

图 2-9：勒脚部位的保温

位于门兴格拉德巴赫的 Meyer-Gehlen 家的房子

建筑师：科隆市 M. Brausem 设计事务所

图片来源：亚琛北威州建筑研究所



双层砌体的墙体构造对于被动房要求的保温厚度原则上是可能的，如果外侧墙体用不锈钢锚固件固定的话。这种体系可能需要申请认证。

屋面采用木结构的情况很普遍。一般采用工字梁，以便内部可以填充很厚的保温层（约 40cm 厚、导热系数 WLG 040 的保温材料）。保温层在上面的混凝土屋面结构在平屋顶或单侧坡屋顶上应用也很普遍。

选择何种墙体和屋面结构对于被动房不太重要。这里主要取决于地区流行和建筑结构上的考虑。所有流行的建筑方式都适合盖被动房，只要在设计时考虑加厚保温层就可以了。

然而，建筑体系的选择对于墙体和屋面的气密性构造有很大影响。在轻木结构建筑上（木质纤维板或接头处粘贴薄膜）实现气密性外围护结构的方案与实心建筑构件（内侧抹灰层构成气密层）是不一样的。两种做法都有优缺点。在预设计和方案设计阶段应该原则上规定气密性外围护结构的方案。

第3章概要阐述了各类墙体和屋面结构以及气密性、无热桥结构设计的要点。在细部设计范围内汇总了各类做法的基本考虑。



图 2-10：在该被动房上，连廊和楼梯间支撑在独立的混凝土支架上。支架全部位于外墙外保温系统的外面（白色部分），只有为数不多的墙体锚固点。这样就避免了热桥。最上一层采用轻木结构。弗莱堡市沃邦小区的被动房。

建筑师：弗莱堡市 Meinhard Hansen 设计事务所
图片来源：被动房研究所

小结：设计要点热桥和气密性

- 优先选择几何结构简单的外围护结构。
- 确定气密层的方案和位置（一般在内侧）。
- 选择墙体和屋面结构。
- 有时候可以将在冷区不太重要的建筑部分如楼梯间和地下室或储藏间（图 2-10）布置在传热围护结构的外围。
- 防止外挑结构造成结构性热桥。
- 在几何构造简单清晰的结构构件上，要比在复杂结构上更容易实现节点处的气密性。

2.6 能量平衡计算和单位供暖热需求（被动房设计计算软件 PHPP）

如上所述，计算建筑物的能量平衡是被动房设计的最重要辅助手段。新建建筑的能量平衡计算从初步方案设计开始就贯穿于整个设计过程，并逐步细化。

在预设计阶段，具有被动房典型性能的建筑构件被组态到一栋建筑的计算模型上。由此得到粗略的供暖能源需求估算值，见图 2-11 得热的“供暖”部分。

被动房的供暖能源需求不得大于 $15\text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。所以，了解这个粗略的能量平衡计算结果很重要，借此可以判断选择的方案是否可行。

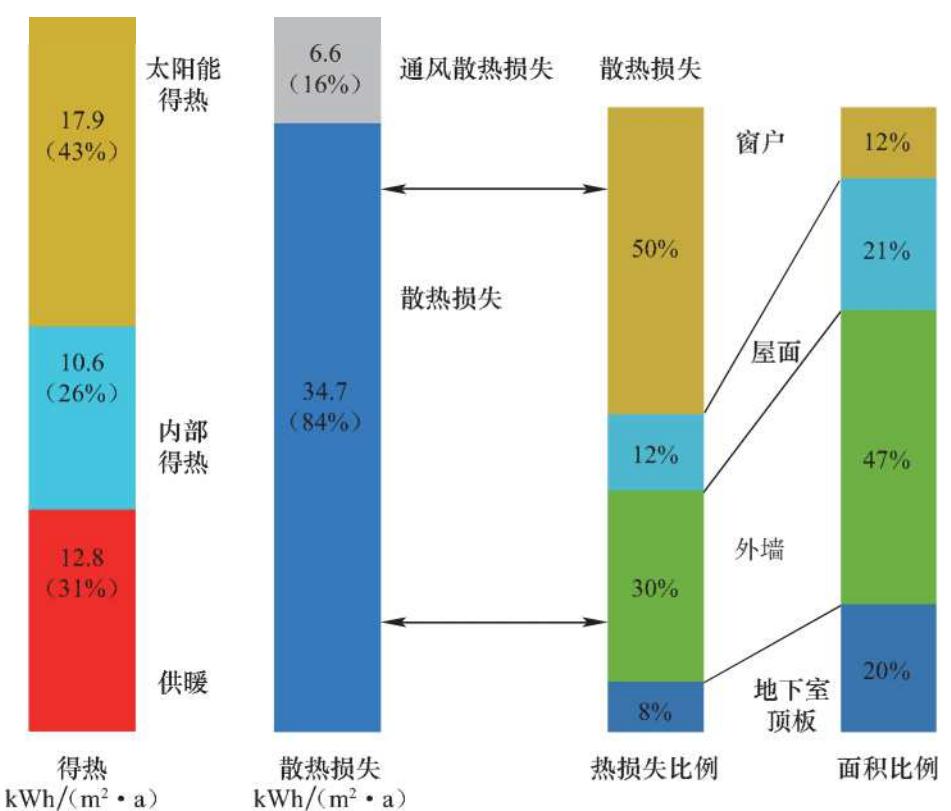
针对预设计的设计草图（墙体和屋面加厚的保温层应按比例正确表述），开始第一步

能量平衡计算：这样可以估算出必要的造价。

被动房设计计算软件（PHPP，以欧盟标准 EN 832 为依据^{[45][47]}）为设计师提供了一个非常有用的工具，它可以从设计初期直到设计最后阶段全程跟踪新建被动房的能量平衡和使用功能。新建建筑的所有与能源相关的信息均汇总于此。

图 2-11：按照欧盟标准 EN 832 计算得出的一栋样板被动房的年供暖能量平衡。传热损失和通风散热损失造成的能力损失与太阳能得热、内部得热和剩余的补充供暖热需求构成能量平衡。图的右侧为各构件的传热损失（总计 = 100%）比例，以及它们占整个外围护结构面积的比例^{[45],[47],[63]}

图片来源：被动房研究所



能量平衡计算参照外围护结构的外轮廓面积，即建筑构件的外部尺寸。需要分别计算每个建筑构件的传热系数 U 值。对于窗户，需要窗框的 U 值 (U_f) 和玻璃的 U 值 (U_g)，玻璃四边的热桥系数 (Ψ_g) 和安装热桥系数 Ψ 值，以便计算出整窗的热损失和 U 值 ($U_{w,\text{安装状态}}$)。在计算透过透明围护结构进入室内的太阳能得热时，需要玻璃的 g 值和窗洞口朝向。

图 2-11 举例说明了典型被动房的能量平衡主要计算结果。左图是传热损失和通风散热损失与透过窗户的被动式太阳能得热、内部得热和辅助供暖之间的平衡。所谓的“自由热” (Q_F) 是太阳能得热 (Q_S) 和内部得热 (Q_I) 之和。为了计算出能量平衡中确实可以获得的热能 (Q_G)，需要按照欧盟标准 EN 832 计算自由热的利用率。可利用的得热和热损失之间的差值就是被动房的剩余供暖热需求 ($Q_H = Q_V - Q_G$)，它需要由一个小型热源来提供。

内部得热 Q_I 随居民活动而变化。它们是居民散发的热量和电气设备使用时散发的热量。对于居住建筑，有意识地仅取了 $2.1\text{W}/\text{m}^2$ 。而德国建筑节能法规 EnEV 和德国标准 DIN 4108 则取 $5\text{W}/\text{m}^2$ 。这显然是太高了，在被动房上很容易导致设计错误^{[49],[51],[52],[53]}。

如果在上述样板被动房上内部得热 Q_I 取 $5\text{W}/\text{m}^2$ ，那么计算得出的供暖热需求只有 $5\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。而在建成的样板被动房上实际测量的供暖能耗要高很多。

图 2-11 右侧分别列出了各建筑构件的传热损失份额。热桥系数在以后的热平衡中单独计算。在该图中先分摊给相关构件。

在热平衡计算中很快会发现，只有遵守建筑构件不同热工指标的上限值，才能使被动

房的供暖热需求 (Q_H) 小于 $15\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 这个极限值，也可参见第 3 章。

应严格审核窗墙比

从图 2-11 可以看到另一个效应：即不同建筑构件的面积权重与热损失的关系。不透明建筑结构墙、屋面和地下室顶板或地板的 U 值在被动房上为 $0.1\sim0.15\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。安装好的窗户 [$U_{W,\text{安装状态}} \leq 0.85\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] 或门 [$U_{D,\text{安装状态}} \leq 0.8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] 尽管保温性能也很好，但热损失仍然比墙、屋面和地板高许多。在上述例子中，12% 的窗户面积份额却造成了被动房 50% 的能量损失。而另一方面，也只有依靠窗户才能有效被动利用太阳能得热。

每栋建筑位置和朝向不同，通过窗户的太阳能得热和热损失比例是不同的。所以，预设计阶段在 PHPP 中对建筑模型的各项面积参数进行验算是值得的，这样可以了解不同方案的影响和效果。应该深入研究下列问题：

- (1) 希望南窗面积大还是小？费用有多高？
- (2) 其他朝向的窗户面积应该或者希望有多少？
- (3) 各窗户面积的遮阳对能量平衡有什么影响？

窗户大小问题特别应该和建设单位商量，对此必须尽早作出理性决策。先不说上面的问题和被动房必须考虑的夏季遮阳，窗户面积基本上与能否达到被动房标准无关，但是它会影响建筑的外观设计，而且对造价的影响也不小。

2.7 夏季遮阳

不同朝向窗户面积大小的问题在估算夏季室内小气候时起到重要作用。被动房有厚厚的保温层，使得夏季室内阴凉温度很宜人，比保温不太好的建筑舒服多了。模拟结果得到了实际建成的被动房的证实。如果严格遵守和落实下面的要求，那么不管采用何种建筑形式，被动房内夏季超过 25°C 的概率不超过年小时数的 10%^[27]。超过 30°C 的温度峰值极少出现。对于夏季隔热应该注意如下事项：

如不采取特别的遮阳措施，南向主立面窗墙比不应超过 25%~30%。南窗上面的挑檐或最大深度为 1.25m 的阳台板对冬季供暖能源需求几乎没有影响，但可显著降低夏季温度峰值。如果有这类结构遮阳，如果南窗面积不是很大，就可以不采用活动遮阳措施。

如果由于城市规划建设的规定被动房不能南向布置，那么西侧或东侧的窗户面积必须限制到法定的最小面积，即满足房间自然采光的最低要求（房间地平面积的 10%，按照州法规要求^[31]）。挑檐对东西侧窗户没有明显的遮阳作用。如果东西向采用更大的窗户面积，那么活动外遮阳措施是唯一有效的解决办法。

外卷帘或其他遮阳措施对夏季遮阳最合适，这样后面的玻璃不会被加热。内遮阳或夹层遮阳可以不受气候影响。如果卷帘布置在第一层玻璃的后面，那么遮阳效果几乎和外遮阳一样。组合窗户或双腔窗户有结构上的优点，就是百叶可以布置在两窗中间，既防风又防止气候影响。木质遮阳构件如推拉或外开式百叶窗寿命长，有建筑美感。

图 2-12: 前置钢结构窄阳台对南立面起到遮阳效果

代特莫尔德 Hinsenhofen 家的房子

建筑师: 代特莫尔德市 H. W. Hinsenhofen 设计事务所

图片来源: 亚琛北威州建筑研究所



对房间进行夜间横向通风降温效果非常好。当室外温度低于室内温度时, 让窗户内倒, 房间表面可以得到通风冷却。白天窗户重新关上, 保温良好的建筑物就可以保持阴凉^{[27], [28]}。

这种通风方式在办公建筑上用得越来越多, 这样可以放弃采用高耗能的常规空调系统。如果有楼宇控制系统 (GLT), 系统会根据温度和气候条件 (下雨, 刮大风) 在夜间自动开启窗户通风冷却。

图 2-13: 南立面采用外百叶遮阳

维登布吕克 Höcker 家的房子

建筑师: 贝伦市 Mense Naturhaus 设计事务所

图片来源: 亚琛北威州建筑研究所



一栋建筑物的蓄热质量诚然会起作用, 但是和上述措施相比就逊色多了。但是一定要避免采用超轻建筑结构。在内表面增加一层石膏板就能有效提高热容量, 缓解白天的温度波动。水泥地坪、木板墙面和木地板具有很高的蓄热能力, 适合用作室内表面材料。植物纤维或木质纤维保温材料比其他保温材料具有更高的蓄热能力。

可以利用建筑物动态模拟确定被动房的设计方案对夏季室内气候的影响。当然这种模拟更适合大型办公大楼 (内部热负荷很高!) 和学校。而大多数项目采用简化计算就可以了, 比如利用 PHPP 的夏季计算表^[45]。其他信息可以参照文献 [27] 和 [28]。参考文献 [46] 介绍了一种简化计算方法 (SommLuft), 利用这种方法可以估算夏季开窗产生的室内换气次数。



图 2-14：利用挑檐和遮阳篷对南立面遮阳，又不挡光
维登布吕克 Brandenburg 家的房子
建筑师：哈姆市 mensch&haus AG 设计事务所
图片来源：亚琛北威州建筑研究所



图 2-15：哈根的大学生公寓
建筑师：多特蒙德市 M. Kuhn, D. Buhlke, C. Kuboth 设计事务所
图片来源：亚琛北威州建筑研究所

上述被动式夏季遮阳措施完全够用了，不再需要主动式制冷。当然，住户的配合非常重要。在公共建筑上可能需要楼宇控制技术。如果白天外遮阳不放下来或者晚上不开窗通风，那么就像所有其他建筑一样室内温度很快会升高到不舒服的程度。因此需要教会用户正确配合，也可参见第 6 章。

小结：夏季遮阳

- 主立面尽量朝南——夏天南侧太阳很高，对室内的能量贡献较小。
- 设计固定遮阳，如阳台或挑檐，深度为 1~1.25m。当然这种措施对于接近南向的窗户才有效。

- 不要选择太大的窗户：占外立面面积的 25%~30%。
- 如果窗户面积很大，就要考虑外遮阳。在西侧或东侧可以采用活动外遮阳（卷帘、百叶等）。
- 西侧或东侧立面容易超温，窗户面积选择不要超过室内采光需要的最小规定面积（房间地面面积的 10%，按照州法规规定），否则就必须采用活动遮阳措施。
- 为所有房间夏季通风创造条件，最好是几层楼同时通风（利用空气升力！）。如果只有单侧通风口，则通风截面要足够大（可以利用 SommLuft 软件进行模拟计算^[46]）。
- 如果机械新风系统在夏季也保持运行，就应该注意换热器走旁路运行。否则会对空气进行不必要的加热。许多设备有旁路阀，在夏天只要调一下就行了。有些设备不用换热器而是采用夏季插件。最好是采用电动旁路，只要切换一下就行了。

2.8 供暖负荷指标和新风加热

除了建筑物的单位面积供暖热需求 [上限值 $15\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]，所谓的供暖负荷对被动房的功能起决定作用。在有新风的房间几乎可以完全放弃散热器，如果将供暖负荷控制在 $10\text{W}/\text{m}^2$ （居住面积）的话。这完全是可能的，因为在被动房上剩余的供暖热需求非常小。

根据数字模拟和许多经过长期测试的被动房上的经验，一栋设计正确的被动房供暖负荷最大为 $10\text{W}/\text{m}^2$ ^[64]。

在严冬需要的剩余热量不一定通过常规暖气片提供，而是通过已经存在的新风系统提供。新风系统上有一个新风加热盘管，布置在换热器后面的新风侧，用于补充加热新风。

按照每户的典型体积流量 $120\text{m}^3/\text{h}$ (120m^2 居住面积，4 个人) 和新风最高温度约 50°C (换热器出口设计温度) 计算，进入居室的供暖容量约为 $10\text{W}/\text{m}^2$ 。不应该设计更高的进风温度，否则特别在冬天进来的新风会太干燥。

按照常规，卫生间温度一般可以调节到 24°C 。此时上述设计的进风加热就不够了。所以需要采用电加热辐射供暖设备，如红外灯，既经济又节能，因为这种热源的运行时间一般都很短；另一种办法是让没做保温的热风管道通过浴室。这样，管道表面会把一部分热量散发给浴室。如果在浴室安装热水散热器，那么进出水管道要尽量短。这里应该特别注意前面提到的居室布局优化。

设计注意事项：被动房新风和供暖负荷设计

为了防止误解，必须强调：居室的热回收新风系统和新风辅助供暖不是循环风加热，更不是空调。而是把人体自身需要的外部空气在换热器出口加热到理想的温度。这里经常采用“新风加热或新风供暖”这种做法^[64]。

新风辅助加热的容量在被动房上最大限制为 $10\text{W}/\text{m}^2$ 。一旦供暖负荷设计错误，比如保温厚度不够，以后是无法补救的。

夏季遮阳如果设计错误（见 2.7）同样是很难补救的。保温和隔热可以并且必须在被动房上通过被动措施加以实现。所以，精心设计特别重要。

特殊情况下的供暖负荷

如果房子或居室特别大，住的人又很少，而且经常不在家，也就是说人均居住面积大于 40m^2 时，就需要对居室的每个房间计算供暖负荷。此时，内部得热要小于通常采用的 $2.1\text{W}/\text{m}^2$ 。因此，如果没有辅助热源，房间的有些部位可能得不到充分的调温。

如果有些房间的窗户面积特别大，可能也需要辅助热源，才能避免出现不舒适的现象。

在木结构建筑上也会出现这种现象。这类建筑出于隔声要求，墙体保温会比实心墙做得厚，南侧房间在被动式太阳能得热下温度会很高，而北侧房间得不到这部分太阳能热量，因为热量不会很快透过墙体进入室内。这里可能需要按照房间的热负荷设计每个房间的新风体积流量。当然也可以在有些部位安装小的暖气片，这样造价还会低一些。

如果由于建筑结构原因如建筑结构要求，在合理造价范围无法完全避免热桥，此时可以在其他部位增加保温厚度予以弥补。但是，在热损失高的房间就必须增加热负荷，并可能需要安装暖气片。

2.9 新风系统

预设计和方案设计阶段将为功能良好的新风系统奠定基础，因为在此阶段将确定空间分隔和新风系统接入部位。只有限制暖通设备的增量成本，被动房才有经济上的吸引力。而控制暖通增量成本，只有从一开始就把新风系统纳入建筑设计方案才有可能。所以下面将着重介绍在预设计和方案设计阶段必须注意的质量控制要点。后面的所有细部设计都建立在这个基本决策之上。在后面的详细设计阶段进行调整和修正几乎不可能，或者会产生很高的费用。

1. 有组织的新风气流

从起居室和卧室（送风区）到潮湿的功能间（回风区）去的有组织的连续新风气流对于人体健康是非常重要的（见图 2-16）。送风区的所有房间必须接入新风管网。在所有回风区的房间必须有一个回风管网接入口。楼梯间、过道和敞开式厨房的餐厅作为过流区。它们有气流通过，从送风区流向回风区，所以这里不需要有独立的风口。它们通过空气流动间接得到送风和回风。这样做风量小、利用率高，能保证所有房间都得到充分通风。对于按每人 30m^2 计算的正常居住的住宅，换气次数达到 0.4h^{-1} 就够了。

设计说明：被动房的热负荷

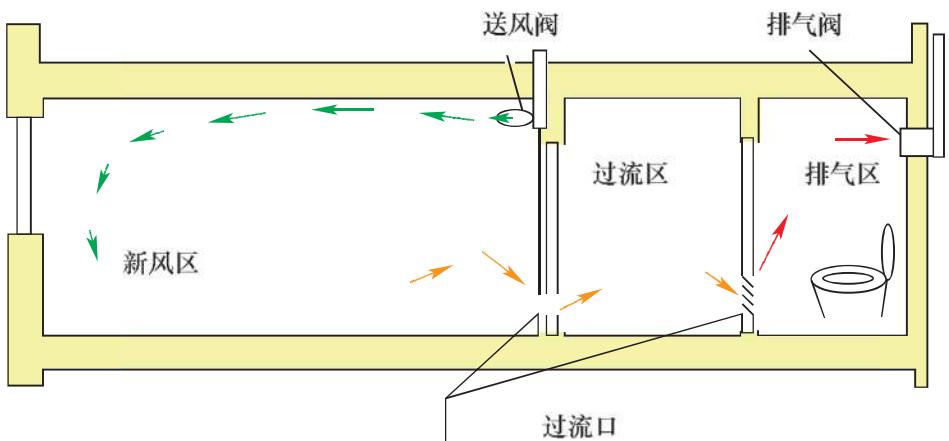
上述例子表明：供暖负荷（ $10\text{W}/\text{m}^2$ ）是一个可以感受的值，它将决定住户的舒适程度。而可选择舒适度的温度最终有可能成为被投诉的住宅性能（保证值），因为它将决定住宅的使用功能。所以必须特别注意，让住宅的所有部位都达到保温要求，或者在例外情况下通过辅助措施保证每个房间能够有足够的温度，因为弄不好居民会投诉。

而供暖热需求 [$15\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$] 只是一个设计值，它是建筑物建设的一个目标值。在住宅实际使用中影响不大。实际供暖能耗取决于用户行为^[25]。统计的能耗是变化的，与设计的供暖热需求关系不大^{[11], [12]}。

2. 功能分区

在预设计阶段，建筑师的任务是要和暖通工程师合作进行功能分区，也就是确定送风区、回风区和过流区（图 2-16）。

图 2-16：新风设计的功能分区
图：必须明确送风区、回风区和过流区，必要时应该调整平面设计



如 1.4 节所述，可能需要调整平面布局，以利于功能分区和实现简洁、紧凑的管网布置。这项措施不仅有利于新风系统的布置，而且也可以简化上下水和供暖系统的管网布置。

从图 2-17 和图 2-18 可以看到，平面布局和新风机的位置对管网的影响。按照图 2-17 的平面布置，卫生间和厨房对角布置，排风管道会特别长。图 2-18 上这两个功能间相互靠近，而新风机布置在西北角很不利的位置，也增加了管网长度。此外，在本例中选用了盘式风嘴，相对于远程风嘴，其气流组织较差。这样风道必须一直拉到外墙位置，才能保证房间得到充分的过风。采用这种方案时，为了实现较好的气流分布，就需要超复杂的管网。

相比之下，图 2-19 的平面布局是一个很好的例子。它优化了平面布局，优化了进风和排风管网，使它们可以完全布置在过道和浴室的吊顶里面。厨房和浴室紧靠垂直的管道

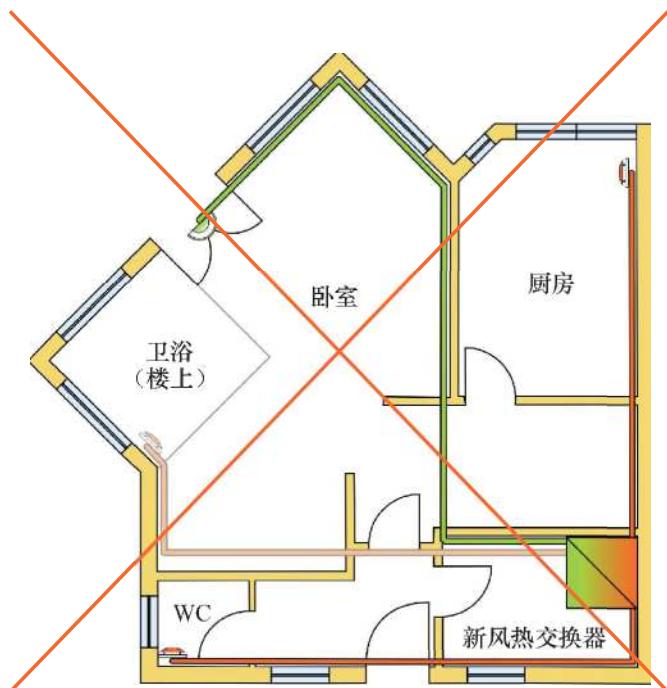


图 2-17：不利的平面布局。两个排风室离得太远，增加了管道长度

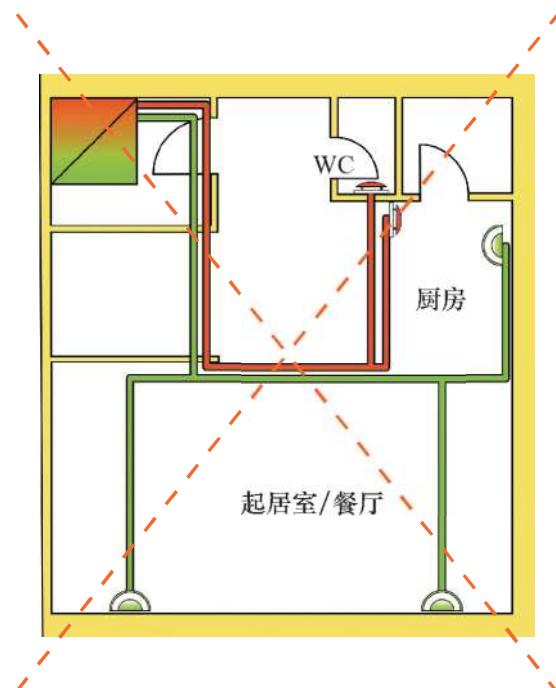


图 2-18：平面布局做了优化，但是相对于排风室风机位置很不合理。而且也没有设计远程风嘴，使得风道超长（超贵），也可参见图 2-6

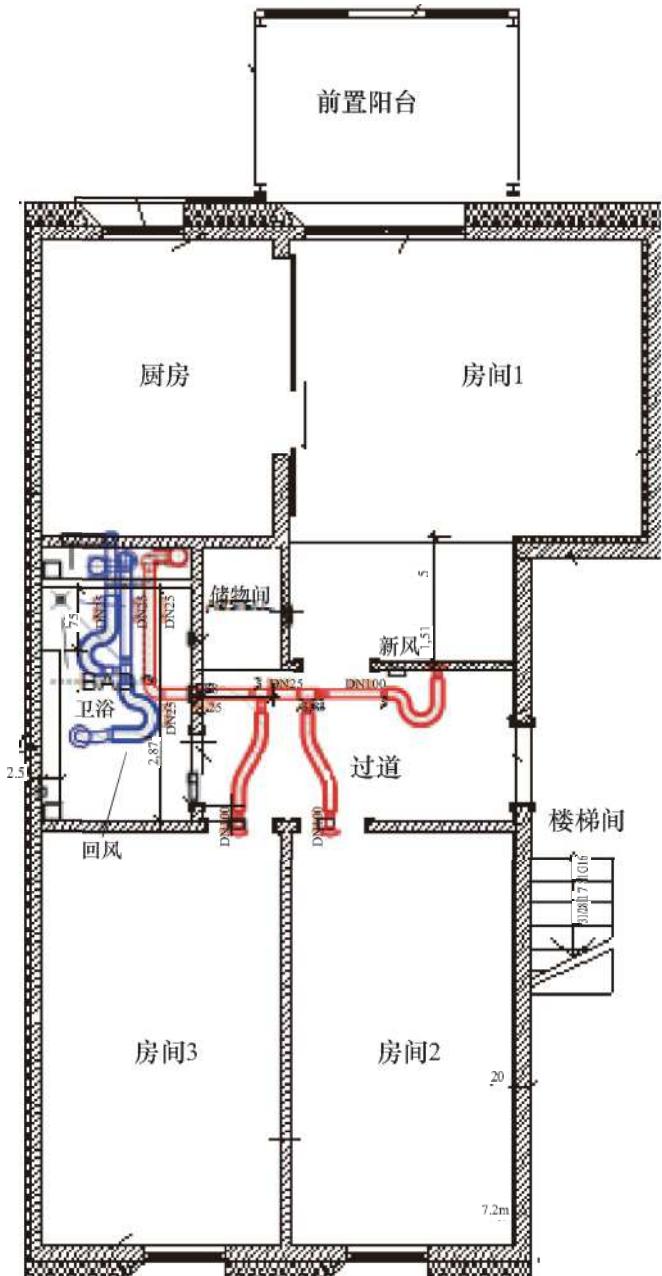


图 2-19：很好的范例。在多层居住建筑上送风和排风管网布置很紧凑。风机、管道和消音器全部布置在浴室和过道的吊顶里面。8户共用的热回收新风机组布置在房顶上

建筑师：卡塞尔市 Hegger、Hegger 和 Schleiff 设计事务所

暖通设计：魏玛市 innovaTec Energiesysteme GmbH

图片来源：被动房研究所

井，以最短距离接入系统。风道只有几米长的伸缩管，1个90°弯头和2个T接头。其余风道作为挠性消声器。这个平面布局之所以在被动房上可行，是因为浴室可以通过排风管道排气。浴室成为没有窗户的暗卫，在建筑物理学上也是没有问题的，因为连续进风和排风可以带走湿气，保证良好的空气质量。也可参见图2-6的平面布置。

在预设计和方案设计阶段就画出接近于真实尺寸的新风管道是有好处的。也就是说暖通工程师至少应该估算出必要的管道尺寸。只有这样才不至于忘记为管道和管道井留出足够的空间。在以后的设计阶段，这种错误几乎是无法更正的。在此阶段（如果是多住户或多层居住建筑）也必须决定采用何种新风系统（中央还是分户），因为设备间的空间需求和位置取决于系统选择。

在确定风道走向时，尽管需要和其他专业协调，但是在新风系统设计中的一个基本原则是新风管道优先于水、电和煤气等管线，因为新风管道的尺寸要大得多^{[2]~[9]}。

3. 把新风机组（机房）布置在传热围护结构的附近

在利用地热时，机房应该尽量布置在底层，因为这样可以尽量减少室内空气向新风管

道的传热。如未设计地热，则机房可以布置在屋顶，这样进出风管较短，而且新风吸风口离地面较高（空气比较干净）。

设计原则：中央新风机组（热交换器）应尽量靠近传热围护结构。至于设备位于传热围护结构内部还是外部，比如在地下室，则无关紧要。重要的是通过热区域的冷管道或者通过冷区域的热管道距离一定要短，并且要做好保温。

4. 吸风口和排风口

吸风口和排风口的位置一定要选好，以便保证正常工作，并且不会违背特定的使用要求。典型的争议是味道和噪声对邻居产生了干扰。所以，在多层居住建筑上吸风和排风管道也要安装消声器。

出于卫生原因，新风吸风口距离地面要有足够的高度（3m），并有挡雨、挡飞雪和防结冰措施，比如图 3-49 和图 5-18 的顶棚。排风口要有防止人为破坏的保护措施。在吸风口附近不允许有堆肥场和停车场等设施。

在冬季，排出的湿气几乎始终处于饱和状态。所以排风口的布置应能防止排气直接吹刷建筑构件，否则存在湿气损害的危险。

小结：预设计和方案设计阶段——新风系统

- 对新风机组类型（集中还是分户）做出决策。
- 对新风吸入口的位置（建筑物的哪一侧）和形式（有没有地道风）做出决策。
- 确定新风机组安装位置（设备间）。新风主机尽可能靠近传热围护结构（在里面还是外面无所谓）。热区域的冷管道或冷区域的热管道要尽量短并做好保温。
- 平面布局和功能分区要和新风设计师协商：每个房间要么进新风，要么排风，要么作为过流区（不能遗漏任何一个房间）。
- 在设计图上标明新风管道的原始尺寸。
- 功能间尽可能连在一起，管道短而简洁，少用异形件（减少阻力损失）。
- 在设计图上标明管道井的原始尺寸。
- 尽量缩短管道距离。
- 注意噪声防治要求！

特别注意外部吸风口和排风口的位置

- 外部吸风口尽量高于地面 3m。
- 吸风口不要布置在空气污染严重的地方。
- 防止外人破坏。
- 防雨防飞雪。
- 防止吸风口和排风口短路（窜味）。
- 排风不可以吹刷建筑构件，否则冬季有结露的危险。

2.10 被动房的其他暖通技术

被动房方案的基本思路，在于通过巧妙的暖通技术方案和良好的建筑外围护结构热工质量，实现节约费用的目的。为了使这种方案在实施中确实起到节约效果，就必须在质量保证框架内、在方案设计阶段就从这方面对设计进行审核。如 1.4 节以新风系统为例介绍的那样，通过建筑师和暖通工程师的早期合作可以实现紧凑和造价低的暖通方案。此外，采用工业预制和出厂预装配的技术组件，即所谓的供暖、新风和热水供应紧凑型机组，可以方便设计、帮助节约空间和减少安装错误。

首先应该明确建筑物的规划用途，确定对热水供应和补充供暖的相关要求。与既有建筑不同，被动房的热能供应首先瞄准热水供应需求，因为热水制备的热容量和供暖负荷处于同一数量级（典型四口之家的热水制备容量为 1.5kW）。

1. 被动房的能量供应方案

在选择能量生产设备时，不仅要考虑一次能源，也要考虑经济性和供应技术的可靠性。在制定能源供应方案时，应对各种方案进行比较，做出科学决策。特别在设计大型多层居住建筑和整个住宅小区时，尤为重要。

被动房的供暖能源需求很低，有许多供应方案可以选择。除了传统的燃气或燃油锅炉外（现在可以买到小型冷凝锅炉），烧木粒的锅炉（可以再生的原材料）在被动房上用得越来越多，因为用量确实非常少，其供应不再有问题。上面提到的用于新风、供暖和热水制备的紧凑型热泵机组是另一个选择可能。文献 [24] 从一次能源、CO₂ 排放和造价的角度对各种技术进行了综合评价。所有技术都可以和太阳能结合使用。下面给予简要描述。

小容量木粒锅炉或木块锅炉可以和太阳能设备形成最佳组合（太阳能集热器大约人均 1m²）。从 3~10 月底，也就是过渡季和夏天，木材锅炉可以完全停用，因为此时太阳能设备完全可以保证热水供应。木粒锅炉可以实现自动化运行。2kg 木粒的高位发热量（5kW·h/kg 或 650kg/m³ 堆密度）相当于 1L 燃料油或 1m³ 天然气。若年能耗为 5000kWh（居住面积为 120m² 的四口之家的终端能耗，包括供暖、生活热水和管道输送过程中的热损失），则木粒消耗为每年 2.5m³。必须准备相应尺寸的料库^[24]。

采用布置在居室的壁炉时需要注意，释放给房间的热量不要太高，否则会出现超温。市场上可以买到带热水功能的壁炉，它可以满足最多 80% 的热水制备能量需求，从而可以减少超温的危险。但是必须请设计师对具体细节进行审核^{[55], [56]}。壁炉的烟囱必须进行良好保温，见图 2-20。另外它需要有挡板，停用时可以关闭。

如果这种炉子布置在气密性良好的围护结构内，就一定要注意通风安全！这种壁炉的独立送风系统还没有经过审核批准。所以燃烧装置法规规定，新风系统允许在居室产生最大为 4Pa 的负压。当送风机停用时，新风系统自动关闭，发出报警^{[31], [55]}。尽管如此仍然存在有毒气体从开着的炉门进入居室的危险。

在被动房新风系统正常运行条件下，可能会由于偶然失衡（风压影响）而出现最大为 ±5Pa 的压差（正压）。然而故意让新风系统失衡运行（正压）是没有意义的，因为这样会增加建筑损伤的危险（建筑构件缝隙内的湿气凝结）。

图 2-20：对居室内的壁炉用防火材料做保温
Dittrich 家的房子，太阳能住宅小区
女建筑师：厄尔德市 Johanna Tippkemper 设计事务所
图片来源：Dittrich-Beckum



从以上情况可以理解，为什么对在被动房内布置固体燃料锅炉会有这么多不同意见。绝对不可忽视安全要求^[24]。原则上应该采用气密性的壁炉，燃烧空气管道和排烟管道也必须保证气密性。预计不久就会有新的研发成果^[56]。

将热回收新风系统、新风辅助加热和热水制备组合在一起，并用空气源热泵制热的紧凑热泵型机组（图 2-21）非常节约空间，可以布置在居室内。热泵直接用电驱动，这样就不需要另外的管线。但是它不是直接用电来加热，而是由热泵从乏气（5°C）中提取一部分剩余热量，并将其提升到约 55°C 温度水平。所以，即使在冬季仍能达到较好的工作系数

图 2-21：紧凑型热泵机组：
布置在窄小房间里的集热
水制备、供暖和热回收新
风系统于一体的紧凑式
机组



($COP \geq 3$), 即一次能源利用率相当于燃气冷凝锅炉的水平。

原则上, 被动房也应该拒绝采用直接电供暖。在极少有特殊原因的案例中, 如果能源消耗无足轻重(新风系统防冻加热, 3.6节; 浴室的小型电暖器或者热水制备高峰时段采用的电子调节直热式热水器)也是可以接受的。

太阳能装置和电动热泵紧凑型系统相结合可以进一步优化能源结构: 夏季不需要新风时, 热泵几乎可以完全停用, 此时主要由太阳能装置供应热水。也就是说这段时间可以由太阳能替代电能。

2. 小区热网

从市场上能购买到的燃用木材(木片、木块等)的常规热能发生器对于独栋被动房来说容量太大了。而微型热电联供装置(燃用沼气或天然气)迄今为止也买不到小机组。但是它们对于联排别墅、多层居住建筑、小型住宅区等还是很有意义的。需要注意小区热网分配管线的散热损失有时会很大。所以建议把一次能源利用率特别高的微型热电联供装置作为热源。

在汉诺威的Kronsberg小区^[12]测出供暖和热水制备平均能耗为 $35\text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (终端能源包括管网损失)。

除了微型热电联供装置, 燃气冷凝锅炉也是一种价格便宜的热源, 如果一台设备只供应为数不多的几户家庭的话。对于由4~6排被动式联排别墅组成的一个组团, 可以利用中等容量的设备结合缓冲水箱来供应热水。即使采用这种方式, 利用太阳能仍然是有意义的。

3. 中央还是分散式热水供应?

如果建设项目是一栋多住户建筑或者多层居住建筑, 那么就要考虑是采用中央热水供应还是分散式热水供应。在CEPHEUS项目范围内^[13]的实测数据表明, 即使是中央热水供应系统也必须精心设计。把分配损失控制在要求的范围内。正如详细设计和施工章节所述, 质量保证在这里恰恰起到了特殊的监督作用。只要保证设计和施工质量, 两种形式的能效是有一比的。

4. 平面布局和管道布置

在预设计和方案设计阶段, 平面布局已经基本确定。如2.9节所述, 特别重要的是功能间的位置, 因为所有管道都从这里出发。合理布局不仅节约空间, 而且节省投资和运行费用。如果在预设计阶段就已经注意采用尽可能短的管道距离, 则循环和分配损失会很小。虽然相对于新风管道来说它们的截面比较小, 更改设计不太费事, 但是在日常设计工作中它们往往容易被忽视。

如果在地板保温层内水平敷设热水和热分配管, 则从能效上是比较有利的。当然维修会是个问题。管子破裂会造成严重的损害, 因为至少需要部分打开房间一侧的隔气层才能让保温层干透。

在多层居住建筑上, 尽早优化管道井及其检修口位置非常重要。它们应该主要照顾新风管道的要求, 但也要顾及方便检修。常见的设计错误是把重要的暖通设备安装在浴室洗

澡盆的后面或者其他很难够着的地方。维修和读表就非常困难。

图 2-22：在被动式多层居住建筑过道吊顶内安装热分配管道和新风管道。中央热水供应系统管道比分散式系统长很多。需要在能源方案中考虑相应的分配损失^{[24][32]}

图片来源：被动房研究所



如前所述，简化暖通技术是节约费用的重要机会。如果完全放弃静态散热器，则不仅省去了全部分配管线，而且空间利用也少受限制，并获得宝贵的家具放置空间。这种考虑可以在预设计和方案设计阶段就灌输进去。但是，不仅纯粹的新风辅助加热可以起到节约的效果。即使继续使用散热器也照样可以起到节约的效果。在被动房上，从哪个位置输入热量已无关紧要。不再需要窗户附近的辐射平衡面积（散热器）。散热器可以摆放在房间的任何位置，比如门的上面。这种位置上的自由选择可以最大程度减少管道长度。由于供暖容量很小，散热器面积也很小。出于舒适的原因，经常会在被动房内放一个小的浴室暖气片，参见 2.8 节。

5. 疏水管道的通风

在屋面上的污水立管通风口有双重影响：一方面由于管道内空气的对流会冷却污水管道，造成热损失，并且需要穿透最上一层保温和气密性楼板；而另一方面需要有足够的通风，因为如果通风不足，水封会被抽空而冒臭气。

但是污水管的通风并不一定要通过屋顶来实现。利用管道通风器，即一个只在负压时开启并通风的阀门，就可以避免上述问题。这种管道通风器可以安装在顶层的污水管端部。

德国标准 DIN EN 12056^{[33],[34],[35]}明确规定必须进行污水管道的通风。据此，在特定的安装情况下可以使用管道通风器：

“通风阀门可以替代用于消除管道负压的循环管道或直接通风管道。在独户或双户建筑上，如果在主通风系统中至少有一根立管一直伸出屋面排风的话，就可以在立管上使用通风阀。在风压阻塞区和升降装置通风区不允许使用通风阀”。只允许使用经过德国建筑技术研究所（DIBt）准许的通风阀。结合 prEN 12380^[36] 的规定，德国建筑技术研究所给出了管道通风阀的如下安装可能：

- (1) 独户或双户建筑;
- (2) 每家的污水管接在一根总管上并且不超过 3 层楼的联排别墅;
- (3) 在间接的辅助通风装置上，替代全部循环通风口。

前提条件是，从母管出发至少有一根管子穿过屋顶通风。如果不允许安装管道通风器，则需要对管道保温，并对屋顶穿透处做好气密处理。

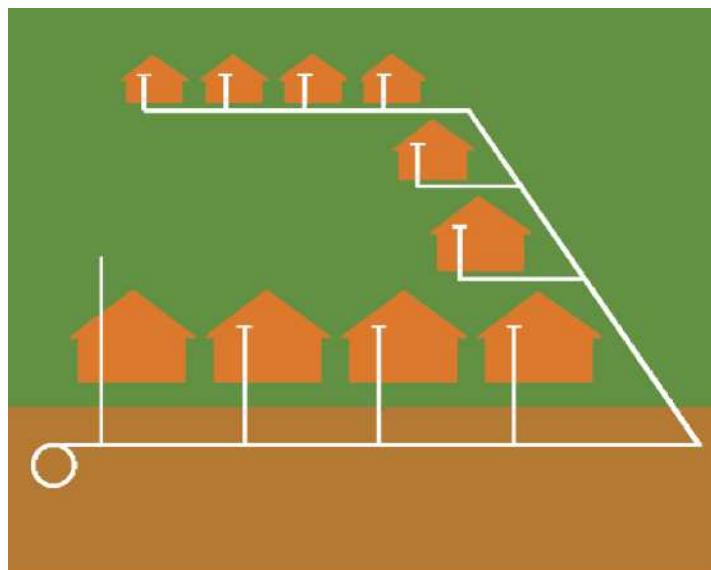


图 2-23：不是每栋房子都需要穿过屋顶通风。准许的管道通风器可以避免污水管道造成的热损失

小结：其他暖通技术

- 按照一次能源、经济性和供应技术要点选择热能供应方式。
- 使用方案和楼宇系统要协调。
- 也要从分配损失的角度权衡供暖和热水是采用中央供应还是分散供应。
- 尽量把设备间布置在中央位置。
- 热力分配管廊尽量简洁。
- 检查是否完全可以通过新风辅助加热满足供暖需求？注意供暖负荷准则。
- 检查是否可以将热能制备和新风机组组合在一起。
- 尽量减少卫生设备和污水管道的热损失。
- 从热损失的角度审核卫生设备和疏水管道的通风方式，如有可能采用屋顶下面的管道通风器。

第3章 详细设计

在此设计阶段要对新建建筑作出根本性的决策：朝向、标准层布置、墙体和屋面构造。此时的任务是，把前面介绍的“减少热损失和优化被动利用太阳能”的设计原则转变为施工图和细部设计或加工图加以实施。

3.1 保温

1. 实心墙体的保温系统

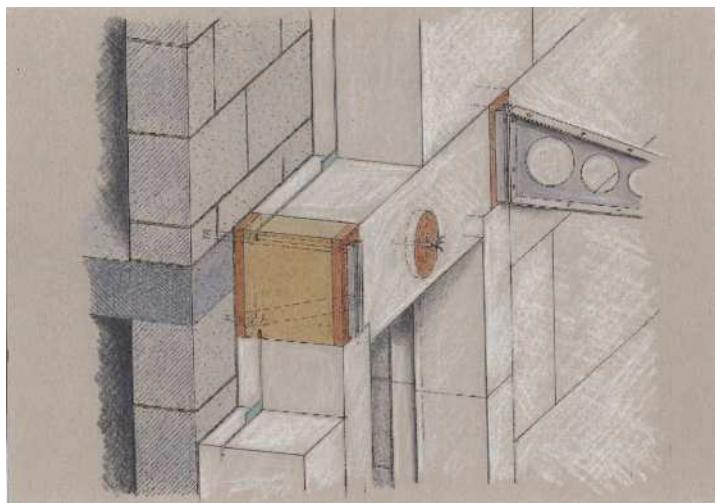
实心墙体结构，一般采用钙砂砖、混凝土砖、黏土砖或混凝土砌筑实心墙体作为承重结构。在完成土建，最好在安装完窗户后（3.4节），在外墙表面安装保温层。保温材料可以是聚苯板、岩棉板或者新开发的木质纤维板。软木和矿物发泡板同样可以使用。在保温层外面覆盖网格布，网格布表面是抹面层。保温层和抹面层一起构成所谓的外墙外保温系统（WDVS），参见图3-3。

和使用的所有建筑材料一样，外墙外保温系统需要“建筑监管部门的一般许可”，该许可涉及材料性能（导热系数、防火性能和隔声性能）、保温层厚度和保温层在砌筑墙体上的固定方式（粘或者锚）。目前，几乎所有供应商都获得了厚度足够用于被动房的外墙外保温系统许可。

图3-1：外墙外保温系统中使用的热断桥锚固件。

在这类锚固件上可以固定灯具、雨棚等

图片来源：[57]



如果有一种希望采用的建筑结构，但还没有获得建筑监管部门颁发的一般许可，那就要和制造商一起争取获得准许，而一般来说这是非常值得的。出于造价原因，应该尽量采用单层保温。双层保温不仅会增加造价，而且会增加施工缺陷的可能性（保温空缺、粘结错误等），也可参见5.1节。

在外立面上固定灯具、栏杆、装饰线条等构件时，必须在外保温系统里预埋热断桥、有承载力的锚固件^[57]。尽可能避免采用穿过整个保温层的简单的钢支架和锚固件，参见

3.2 节。窗户安装方式也应该尽可能减少热桥效应（3.4 节）。图 3-2 给出了典型的外墙外保温构造和最重要的细部节点。

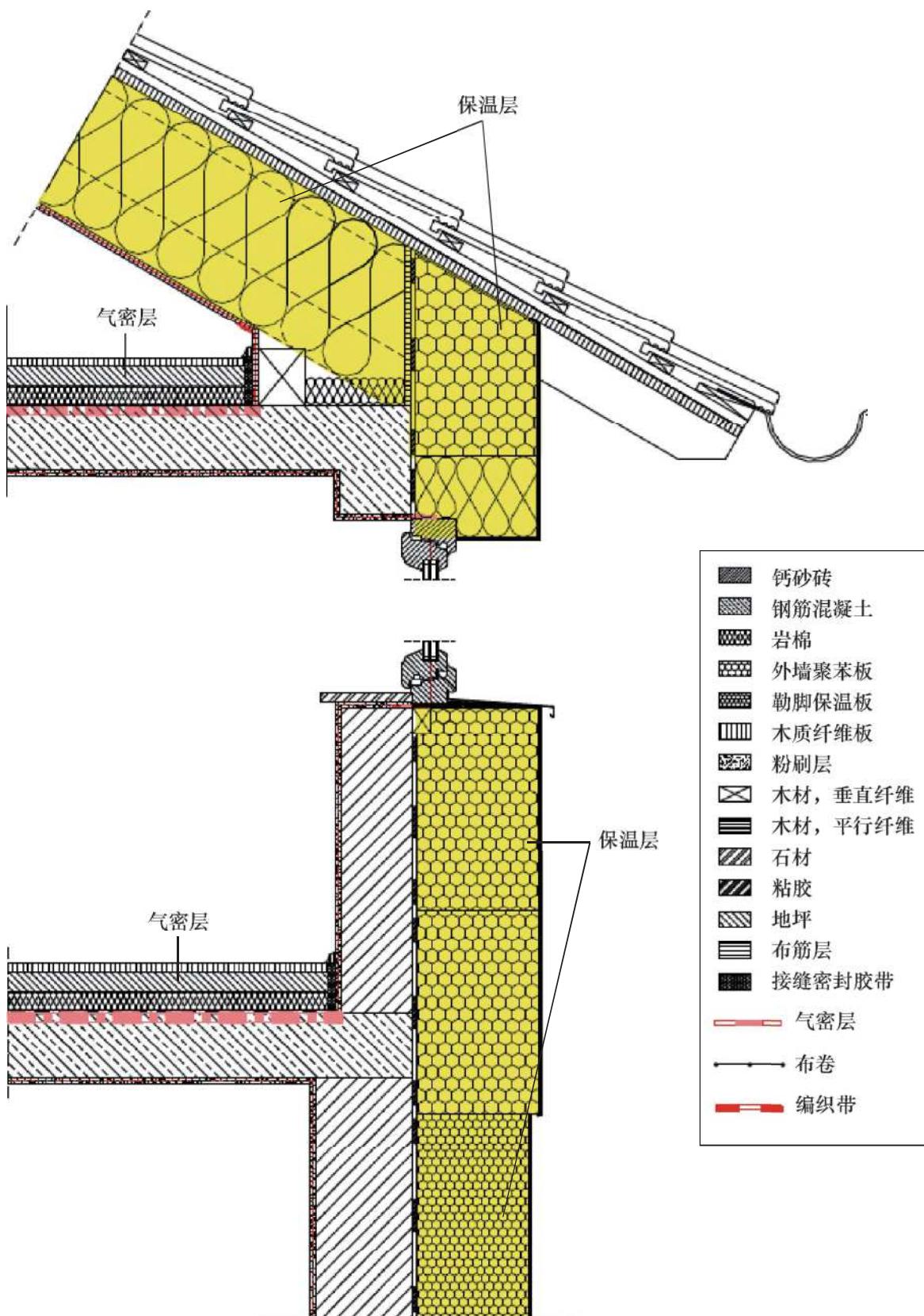


图 3-2：檐口、窗户上下安装节点和供暖地下室外墙外保温实心墙体与楼板的连接。除窗户区域外，保温层（黄色）是连通的，没有明显热桥。红色部分表示气密层

图片来源：被动房研究所

2. 采用轻质砌体和辅助保温的实心墙体

绝大部分情况下，不用钙砂砖、混凝土或黏土砖，而是采用轻质混凝土、加气混凝土

或者空心砖。这类材料导热系数比较低。而它们的抗压强度对于绝大多数用途是足够的。这样，在相同传热系数下，外墙外保温厚度可以小一些，见图 3-3。

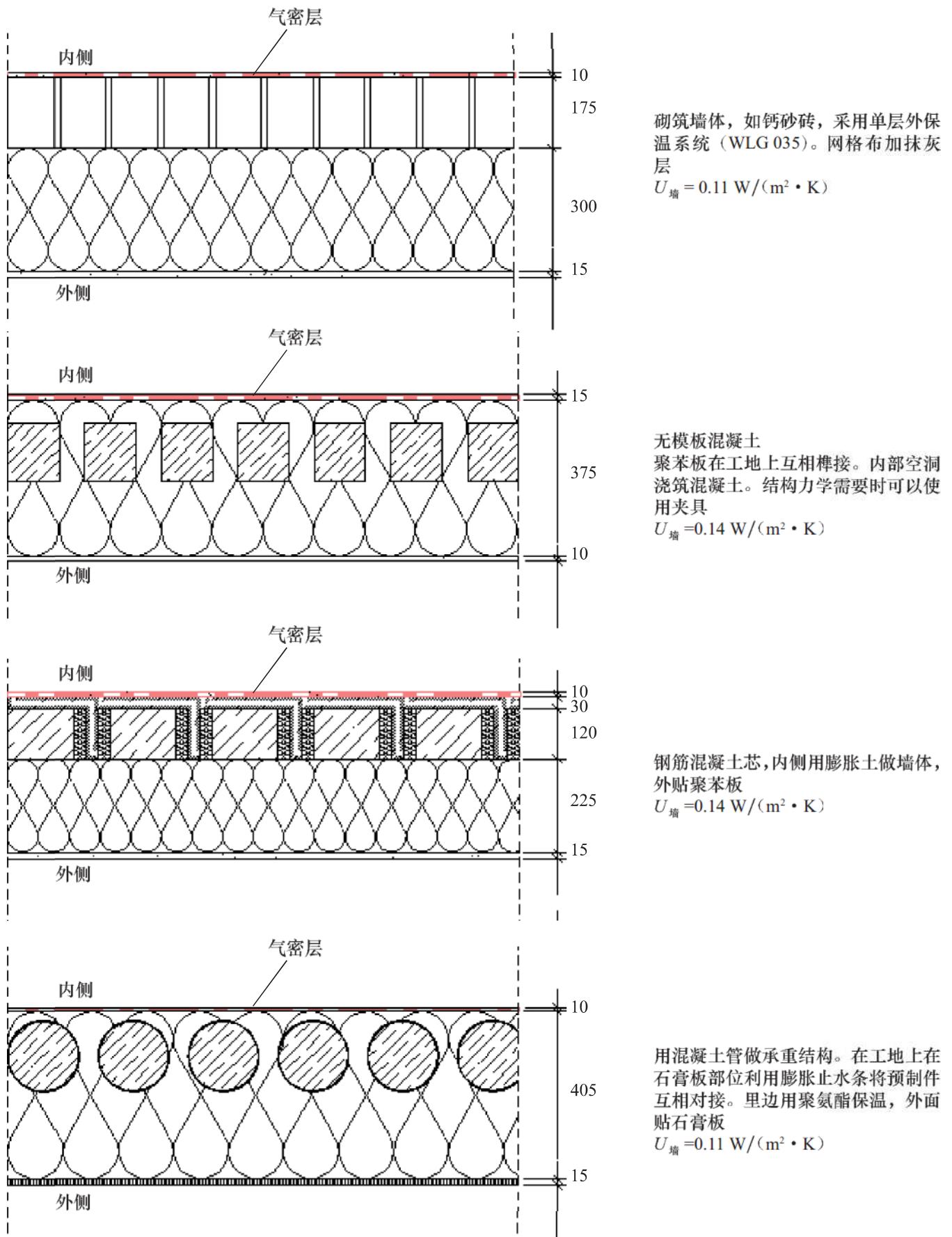


图 3-3：得到许可的不同实心墙体构筑方式。气密层用红线标示。其他构造和相关信息也可从被动房研究所获取^[26]

图片来源：被动房研究所

3. 由保温一体化大型预制构件组成的实心墙体

在车间已粘贴好外保温的钢筋混凝土或轻质混凝土墙板预制构件在市场上用得越来越多。它们的优点是制造厂对无热桥结构有最重要影响的细部节点做过检查^[26]。这样，建筑师就可以直接采纳绝大部分细部节点并且信赖其无热桥结构。

4. 混凝土衬砌砖，聚苯板砌块内浇混凝土

近来，市场上有多种无模板墙体构造（所谓的混凝土加保温砖）。这种体系的细部节点和预制墙体一样需要精心设计，以便建筑师可以直接采纳。这里也需要检查相关解决方案的细部节点是否可以实现无热桥，即是否适用于被动房^{[8],[26]}。制造商必须能够出示所有细部节点的热桥计算结果。以后在修改细部节点或者在工地上进行更改是不可能的，因为它们大多是预制型材，见图 3-3。

5. 双层砌筑结构

在双层砌筑墙体上安装被动房要求的保温厚度原则上是可以的。外层墙体必须用不锈钢锚固。必要时也必须对具体方案进行检验/准许。

6. 轻木结构

轻木结构作为墙体有一些结构上的优点：在承重支柱之间的空腔内可以放置保温材料。为了达到被动房要求的保温厚度，可以在承重层外再敷设一层保温材料（见图 3-4）或者通过选择采用专用支柱的墙体结构来实现。

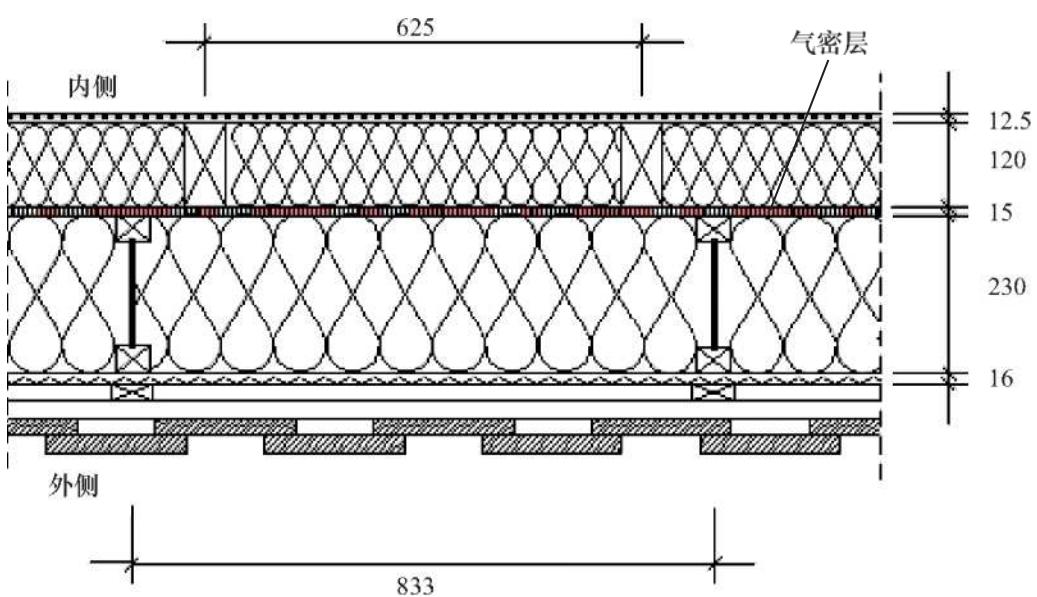
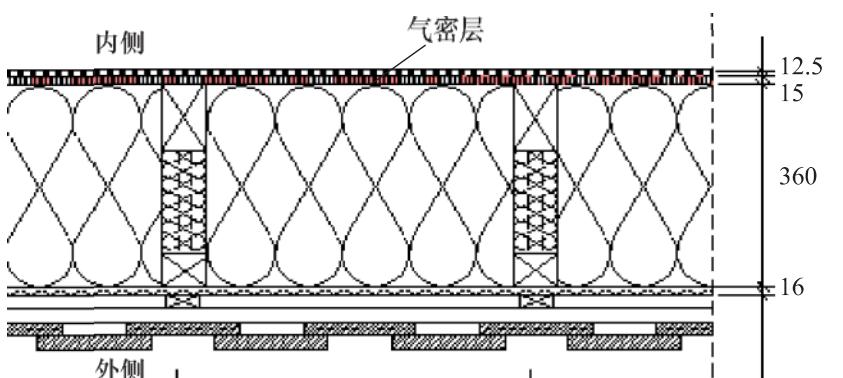
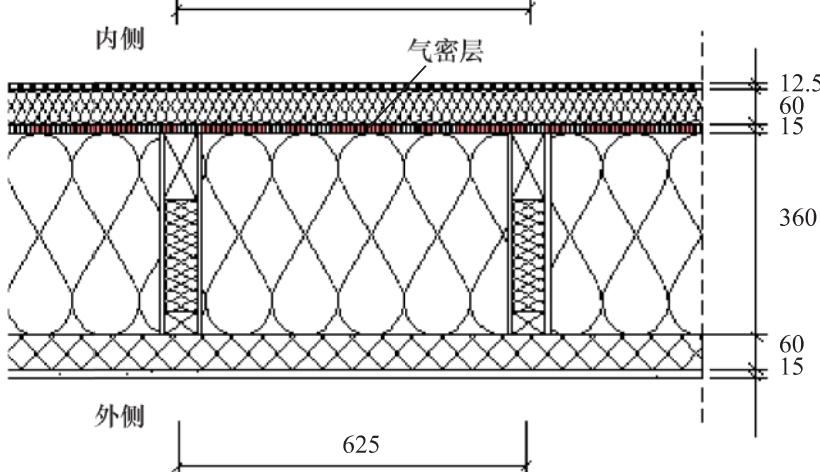


图 3-4：双层轻木结构墙体构造。承重结构为 $6\text{cm} \times 12\text{cm}$ 的立柱，前面挂保温层。保温层由工字梁托住。中间的盖板构成气密层。外挂保温层的间距 (83.3cm) 随主承重墙而异，以便减少腹板处的热桥效应， $U=0.12\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
体系供应商：Kölner Holzhaus
建筑师：Robert Laur^{[58],[63]}

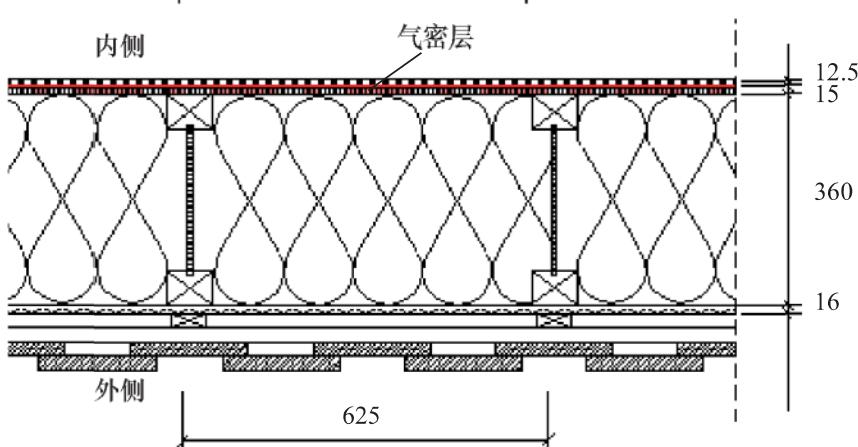
图 3-5 列举了采用厚保温层的常见墙体结构。它们的核心构造是相同的：内盖板作为气密层，保温层厚度为 360mm；外盖板采用透气性木质板。外立面可以是背通风立面或者经许可的在木质纤维素板上粘贴的外保温系统^{[59],[60],[61],[62]}。内侧还可以增加一层石膏板。此外还可以增加一层设备安装层 ($\geq 6\text{cm}$)。它可以进一步增加墙体的保温效果并可以由建设方自行制作。



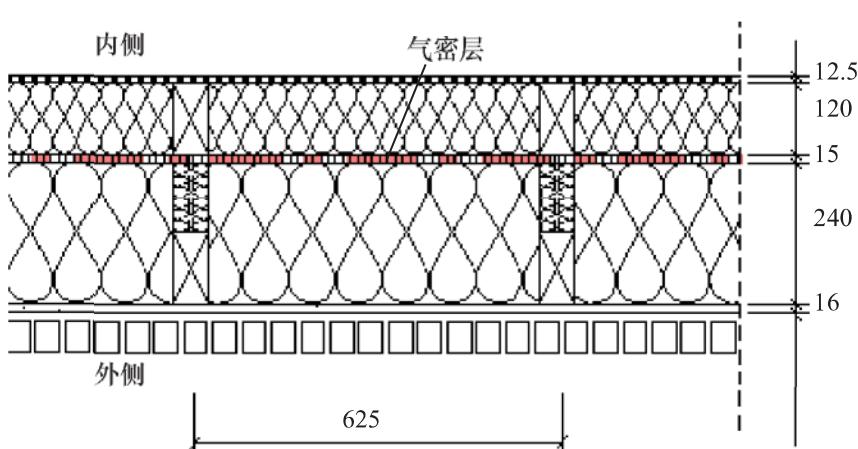
在木锚栓和两个梁之间填充木质纤维保温材料的承重墙。外盖板采用透气性木质板，背通风外立面由实木型材构造。内侧盖板用木质板和石膏板形成气密层
 $U_{\text{墙}} = 0.12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



箱式承重墙，外面贴抹灰板 / 抹灰层，内侧盖板采用木质板构成气密层，内侧还可以加一层石膏板作为设备安装层 $U_{\text{墙}} = 0.09 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，内侧有设备安装层，外侧有抹灰板



工字梁加木质腹板，外面盖板采用透气性木质板，采用实木型材构成背通风外立面。内盖板采用木质板和石膏板构成气密层
 $U_{\text{墙}} = 0.12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



木支柱承重系统，外面贴砖
 $U_{\text{墙}} = 0.12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

图 3-5：各种常见的木框墙体结构^{[26], [63]}。为了尽量减少承重木材比例，不再使用实木型材，而是采用内外支撑形成传力整体。外盖板采用透气性木质板。内盖板采用木质板构成气密层（红色部分），并同时作为隔气层，见 3.3 节。墙表面不再需要粘贴薄膜。板缝拼接处用合适的胶条、薄膜或工程纸条粘贴。可以构成不同的外立面和内侧盖板



图 3-6：预制的木框架墙体结构
维登布吕克 Höcker 家的房子
建筑师：贝伦市 Mense Naturhaus 设计事务所
图片来源：Höcker

3.2 无热桥结构设计

建筑外围护结构不仅由可以视作平面的、可无限伸展的墙体和屋面组成。还有许多边角、接头和穿透口。在所有这些位置，实际热损失都可能高于标准热损失： $Q_{\text{实际}} \geq Q_{\text{标准}} = \sum_i U_i * A_i * \Delta\vartheta$ 。在这些位置增加的热损失部分被称为热桥效应^[7]。

根据后面阐述的基本原则进行认真设计，可以在很大程度上避免热桥效应，或者说至少可以大幅度减少热桥。如果某个细部节点处的热桥效应为零或者甚至是负值，这就是我们所说的“无热桥结构设计”。

将建筑构件的热桥系数 U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] 乘以该构件的面积 A [m^2] 和温差 $\Delta\vartheta$ [K]，就可得出该面积的标准热损失。 $\Delta\vartheta = \vartheta_i - \vartheta_a$ 表示室内 ϑ_i 和室外 ϑ_a 温差。接着就可以对外围护结构的所有建筑构件面积求和： $Q_{\text{标准}} = \sum_i U_i * A_i * \Delta\vartheta$ [W]。

对所有建筑构件按外部尺寸计算，大大简化了计算过程。设计师可以用卷尺沿着供暖围护结构量一圈。除了计算简单，取外部尺寸也留出了一定的余地：因为整栋建筑围护结构的外表面积一定大于内表面积，由此计算得出的标准热损失就一定大于实际热损失，从而使计算结果比较可靠^[7]。

当然，这个标准热损失只是一个近似值，因为实际热损失 $Q_{\text{实际}}$ 是三维热流的积分值。这个积分值随着建筑围护结构的不平整几何尺寸在空间上是变化的^[50]。对于结构热桥，如外挑阳台板（线性热桥）或穿透保温层的金属支架（点状热桥），其产生的误差很容易看出来，因为这里增加了热损失。



图 3-7：混凝土底板与上面墙体的结合部。为了进行热断桥，墙体可以砌在一排加气混凝土块或导热系数较小的类似材料上 [$\lambda \leq 0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]，也可参见图 3-19
科隆市 Breuer-Bachmann 家的房子
建筑师：亚琛市 Gerhardt Weiss 设计事务所
图片来源：Breuer-Bachmann

将线性热桥系数 Ψ [W/(m · K)] 乘以热桥长度 s [m] 和温差 $\Delta\vartheta$ [K] 得出线性热桥的附加热损失。点状热桥则可以乘以一个系数 χ [W/K]。然后按照公式计算出通过建筑外围护结构的总热流 $Q_{\text{实际}} = Q_{\text{标准}} + (\sum_j \Psi_j s_j + \sum_k \chi_k) \Delta\vartheta$ 。

利用被动房设计计算软件 PHPP，在热平衡计算中可以考虑热桥效应，计算工作量很小。当已知各部分损失系数时，比如条状基础或某个结构上不可避免的穿透口造成的热损失时，就可以将它们和热桥长度一起输入系统。增加的热损失就会加到其他建筑构件的热损失上。

图 3-8：窗户连接处的热桥可以沿洞口在窗框上覆盖完整的保温加以有效控制：窗户安装在砌筑墙体外侧，然后被包裹在保温层内，也可参见图 3-36
Maintz 家的房子，亚琛太阳能小区

建筑师：亚琛市 Gerhardt Weiss 设计事务所

图片来源：Maintz



当不同方向的建筑构件互相对接，并且其外部尺寸与内部尺寸不同时会产生几何热桥，例如墙角、檐口连接处、屋脊等部位。图 3-11～图 3-25 给出了最重要的细部节点。如果对所有外围护结构表面的建筑构件都采用外部尺寸，则没有附加结构干扰的建筑构件的几何热桥一般为负值。也就是说，按建筑构件外部尺寸近似计算得出的相应温度下的热损失 $\sum U_i * A_i * \Delta\vartheta$ 将大于实际损失。外围护结构的内凹部分（如阴角）则例外。但其几何热桥正值总是被外凸区域的热桥负值所抵消^[7]。

如果几何连接处有附加的结构穿透影响，则这部分节点可能需要进行二维计算。这种结构方案必须认真审视，它不仅会很贵，而且热工性能很差，在被动房上不推荐使用。解决这种冲突的方案已经在常规构造部分做了介绍（图 3-3 和图 3-5）。墙体构造分为承载层和外置保温层两种形式。

被动房应尽可能避免热桥，或至少应将其限制到可以忽略的程度。基本原则是“无热桥结构设计”。衡量标准是必须保证热桥系数 $\Psi_a \leq 0.01 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。如果通过选择有利的结构细部节点使每个热桥系数最多达到该上限值，那么这些附加热桥之和原则上是负值，或小到可以忽略不计。如果收集了能够达到上述热桥标准的细部节点，并且只使用这类细部节点，那么只进行常规热损失计算就可以了。此时，对传热系数 $U(\Delta U_{WB})$ 的追加值可以取 0。建筑节能法规 EnEV^{[48], [49]} 也采用这种方式：如果在常规传热系数中包括了热桥，则热桥追加值可以取 0，即 $\Delta U_{WB} = 0$ 。下面我们将给出一些主要细部节点的具体结构建议，按照这些建议可以设计无热桥被动房。

建议：无热桥结构设计

事实表明，只要认真构造细部节点，则按照外部尺寸计算的常规热损失已经包含了全部热桥损失。如果是这样，那么从定义上说，它就是整体上的“无热桥构造”。此时可以省去精确的（复杂的）热桥计算。

举例：按照外部尺寸计算的无窗户的方块形建筑体的标准热损失 $Q_{\text{标准}}$ 始终大于实际热损失，因为方块体边角处的几何热桥是负值 Ψ ，只要它们不受到禁用的结构穿透干扰的话，见图 3-11。

图 2-8 和图 3-2 给出了无热桥结构的设计原则：一种木工铅笔原则。选择一张建筑外围护结构的比例尺寸图（平面、剖面图），取一支绘图笔，其宽度相当于传热阻 $R=6\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ 。当保温材料的导热系数为 $\lambda=0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 时，相当于 24cm 厚的保温层。如果拿着这支笔沿着建筑物外围护结构在保温材料内（图 2-8 和图 3-2 的黄色部分）能够以全额宽度走通的话，就可以肯定如此测试的细部节点符合无热桥准则，参见图 3-24 和图 3-25 的楼板节点示例。

“宽铅笔原则”综合了下列设计原则^[50]：

- (1) 避免原则：只要可能就不要中断保温的围护结构；
- (2) 穿透原则：如果穿透不可避免，则在保温层内穿透材料的热阻应该尽可能高。比如受力支架采用玻璃纤维加强的塑料，而不是钢材；
- (3) 节点原则：建筑构件连接处的保温层必须无空缺地全面积搭接，比如窗户节点（参见 3.4 节）；
- (4) 几何原则：边角应尽可能选择钝角。

已经在常规 U 值计算中考虑的建筑元素，如一定间隔的木支架（图 3-5）、外墙外保温系统中的锚栓或者结构力学要求的预制构件的混凝土截面积（图 3-3）都不算保温中断；相反，从里向外穿透墙体的高导热性能材料，即使很薄，如铝箔也是对无热桥构造原则的伤害。只要利用“宽铅笔原则”遇到的显然不能满足条件的接头或穿透口，都要认真审核。对于这类细部节点最好采用二维数字热桥计算方法。不合理的细部结构会造成严重的热桥：

- (1) 保温层中断；
- (2) 保温层错位；
- (3) 高导热材料的穿透（如金属材料）；
- (4) 外挑构件；
- (5) 高导热材料从外向里穿透保温层。

在被动房上应尽量避免这类结构薄弱环节。在详细设计时也应该特别关注这类细部节点，以保证现场正确施工。在招标文件中，应该精确描述设计要求，即对于无热桥和气密性的要求（第 4 章）。



图 3-9：利用高强度再生聚氨酯 [$\lambda=0.075\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] 制作窗户和栏杆（防护栏杆）的安装预埋件

汉堡市泰勒曼街

建筑师：汉堡市 Dittert 和 Reumschüssel 设计事务所

图片来源：被动房研究所

这里还要反复强调：使用的保温系统必须经过检验和认证。如果外保温体系或预制结构体系供应商能够证明他们的细部节点已通过第三方热桥检验，则建筑师和建设方可以得到两项好处：首先，所有重要细部节点的热桥已减到最小；另一方面剩下的或者无法避免的热桥的热桥系数（ ψ ）是已知的，这样可以在不增加设计工作量的情况下在能量平衡中计算进去^[26]，也可参见 2.6 节和 3.4 节对于无热桥窗户节点的说明。

外挑阳台板和重型挑檐，它们的承载结构会穿透保温层，从热工角度这种结构已经落后。阳台和连廊原则上可以独立支撑立在外立面的前面，只需要用很细的热断桥锚固件固定到建筑物上，参见图 2-10 和图 3-10 的示例。在这些被动房上，楼梯间和连廊支撑在混凝土底座上，立于外保温系统的前面，只有在几个部位与建筑物固定。

图 3-10：自由立在外立面前面的连廊，可有效避免热桥

弗莱堡市沃邦小区的被动房

建筑师：弗莱堡市 id-architektur, (Common & Gies Architekten, Freiburg) 设计事务所

图片来源：被动房研究所



对于轻型挑檐、栏杆、灯具和其他外挑的立面元件，有玻璃纤维组合材料和抗压保温材料制作的专用锚栓和预埋件，它们允许穿透外墙外保温体系的保温层，但不会形成明显的热桥（图 3-1）。木结构建筑有结构上的优点，因为保温层都要用盖板封闭，在它上面可以固定轻质构件，而不必穿透保温层。重型栏杆、挑檐和遮棚必须固定在有足够承载力的墙体支架上，在通常的锚固间隔下热桥影响不会很大。

图 3-9 给出了在与居室同高度的窗户前面安装防护栏杆的预埋件例子。用再生聚氨酯材料 [$\lambda=0.075\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] 制作的预埋件装在了外保温体系的里面。预埋件用螺栓固定在墙上。在该预埋件上安装防护栏杆，这样就不会穿透保温层，也可参见图 3-1。在许多

情况下，也可以采用胶合板、块做预埋件。

上升墙体勒脚位置的热桥处理是一项特殊挑战。相应的细部处理方案参见图 3-17~图 3-23。

楼板与墙体的结合部（图 3-24）是没有问题的，只要在该部位有足够厚的保温板 [24cm, $\lambda=0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] 将结合部盖住。非承重内墙与外墙或屋面的结合同样如此。其他细部节点处理可参阅大量的参考资料，如 [84], [85]。

1. 将内尺寸改为外尺寸

在许多出版物和数据表如文献 [65]，迄今为止都采用针对内尺寸的热桥系数 Ψ ，它们无法和本书中的数据进行比较。但是，如果你有相应的尺寸，就可以进行换算^[7]：

$$\Psi_a = \Psi_i - U_1(s_{1a} - s_{1i}) - U_2(s_{2a} - s_{2i})$$

上式中，下标 1 和 2 表示两个相对接的建筑构件， $s_{1a,2a}$ 以及 $s_{1i,2i}$ 表示建筑构件的内、外尺寸，也可参见图 3-11。近来，热桥系数大多参照外尺寸^[67]。

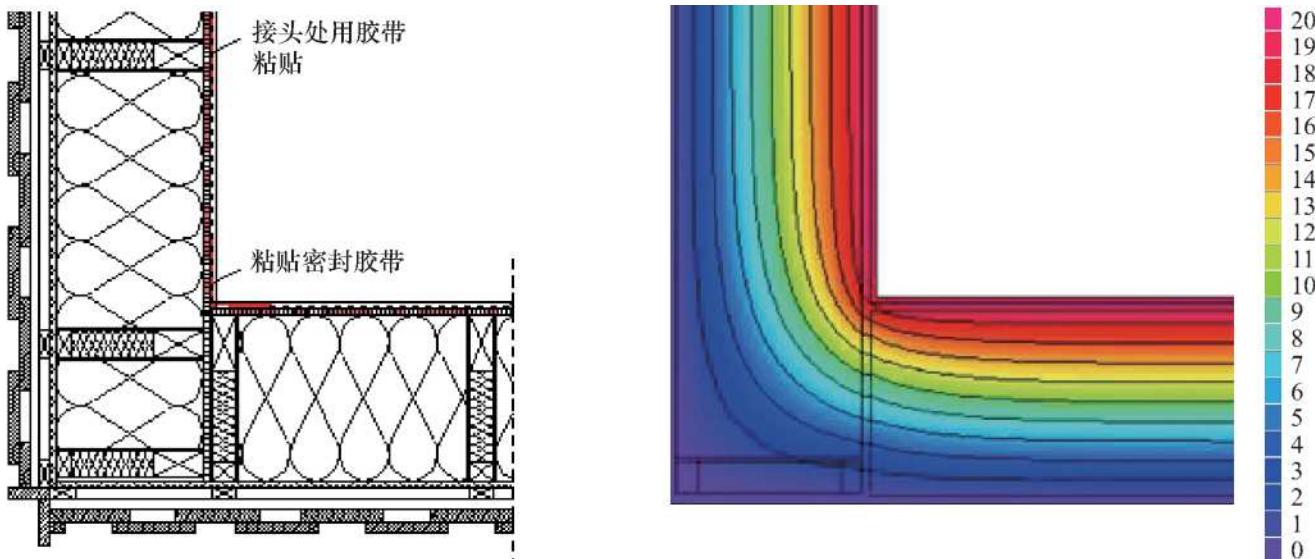


图 3-11：轻型木结构建筑的外墙边角^[63]。除了在传热系数计算中已经考虑的均匀分隔的支柱外，这里只增加了一根加强边角刚度的支柱。所以它基本上是一种几何热桥，热桥系数为负值： $\Psi_a = -0.064\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_{\text{墙}} = 0.12\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

在利用 PHPP 计算勒脚时也应该采用外尺寸，即从保温底板或地下室顶板的下沿开始计算外墙高度。所以，此处细部节点的热桥系数 Ψ_a 和所有外边角一样很小，可以忽略不计。建筑节能法规从底板的上沿开始计算。所以，由此得出的热桥系数 Ψ 必须加以考虑，即进行计算，从而增加了工作量。

2. 注意所参照的建筑构件

注意：采用传热系数差的建筑构件时，热桥系数 Ψ 有时候会显得很低！关键不是热桥系数 Ψ 本身，而是两者造成的总传热损失。所以，利用高的标准传热系数 U 去换取低的热桥系数 Ψ 是没有意义的。

热桥损失系数原则上只适用于需要计算的建筑构件体系。所以，除了需要给出热桥系数 Ψ 外，同时至少也应该给出相关结构的全部尺寸和所有互相对接构件的传热系数，参见文献 [26]。特别需要注意：对于被动房窗户节点的热桥系数 Ψ 会得出超乎实际的很低的值，如果此节点按照传热系数很高的〔如 $U_{墙} = 0.5 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 〕（对被动房是不适合的）墙体计算的话。这意味着：从标准建筑构件的数据表查出的热桥系数不允许直接用于被动房。

3.3 气密性构造

1. 气密性外围护结构的设计原则

设计和建造气密性建筑外围护结构的另一个重要原则是尽早确定气密层的位置。只允许有一个包裹整栋建筑的围护结构气密层。两个不太密封的围护结构加起来还是不太密封。气密性外围护结构必须能用一支铅笔在剖面图上完整走通，而没有需要让开的地方，见图 3-26。在设计时一定要考虑到以后的施工。尽量避免穿透墙体，否则就必须精细设计，精细招投标并监督施工质量。气密层一般位于外墙内侧，它同时可以作为隔气层，而且至少在施工阶段必须能够容易够着，以便不费太大功夫就可以进行修补。图 3-11～图 3-24列出了采用外墙外保温系统的轻型木结构和实心墙体的细部节点示例。

对于气密层同样适用：管线穿透总是一个薄弱环节并且可能成为缺陷的源头。所以在设计阶段必须限制这种穿透口的数量。线缆应尽可能绑在一起。应尽量避免在外墙上安装插座。在不可避免的地方，在轻型木结构建筑上应该使用气密性插座盒。在实心墙体上必须采用埋入式插座盒时，应将其完全埋在石膏泥中，因为抹灰一旦有中断就会出现泄漏，见图 5-12。

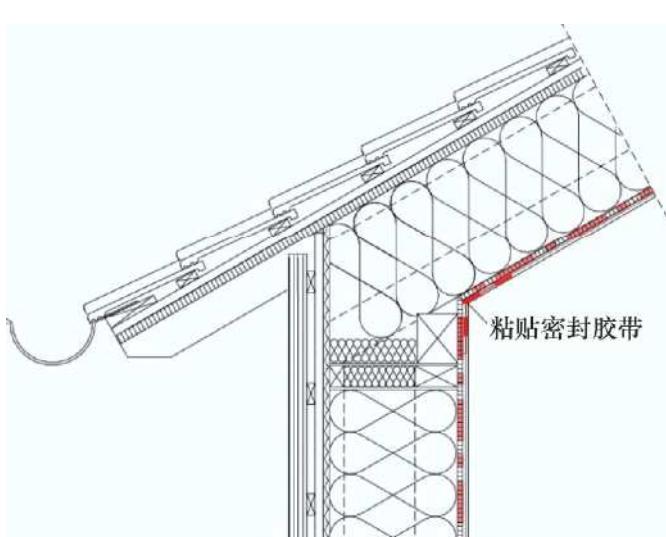


图 3-12：檐口的细部节点，轻型木结构墙和屋面^[63]

$$U_{墙} = U_{屋面} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \Psi_a = -0.026 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

图片来源：被动房研究所

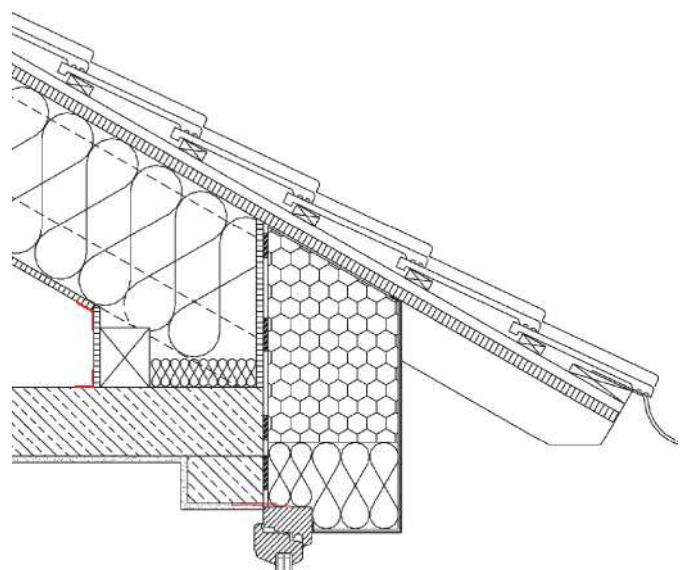


图 3-13：檐口和外墙外保温系统的节点

$$U_{墙} = U_{屋面} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \Psi_a = -0.03 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

在图 3-2 中汇总了更多的实心墙体节点
图片来源：被动房研究所

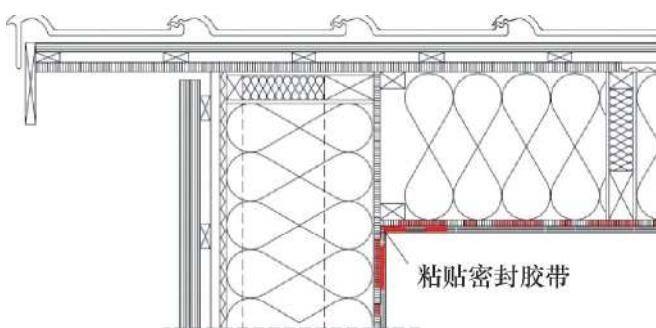


图 3-14：屋脊的细部节点，轻型木结构墙体和屋面^[63]

$$U_{墙} = U_{屋面} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \Psi_a = -0.055 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

图片来源：被动房研究所

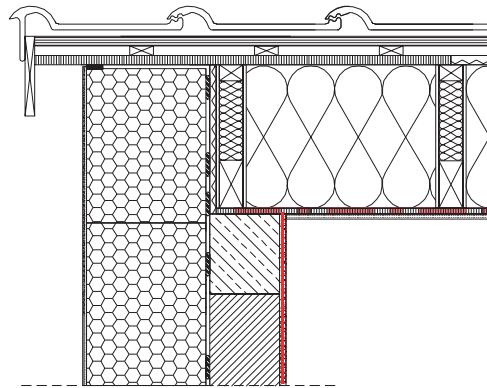


图 3-15：屋脊的细部节点，实心墙体和轻型木结构的连接。这里没有墙头，而是直接伸进屋面保温。

$$U_{墙} = U_{屋面} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \Psi_a = -0.03 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

图片来源：被动房研究所

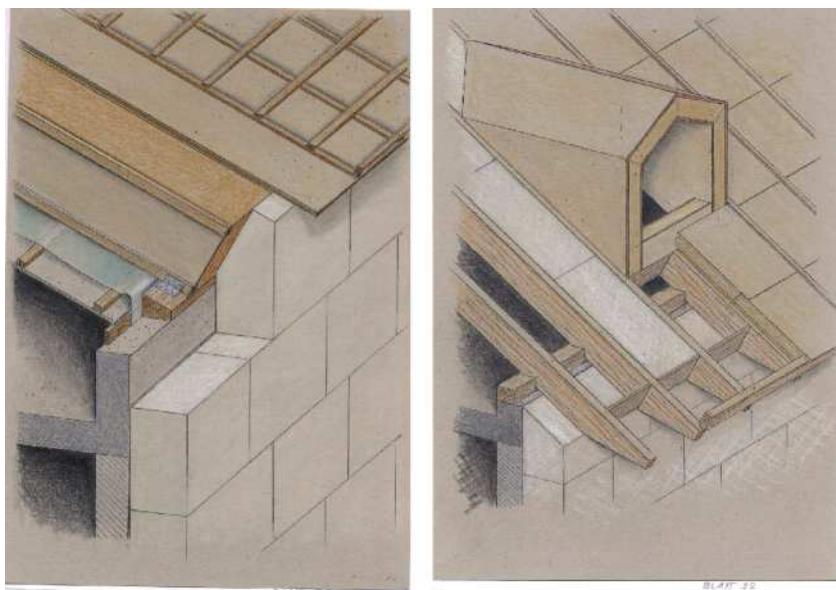


图 3-16：檐口细部节点的处理建议，摘自 [57]。左图：单层轻型木结构屋面与外墙外保温连接。右图：双层屋面结构，椽条之间填充预制保温型材

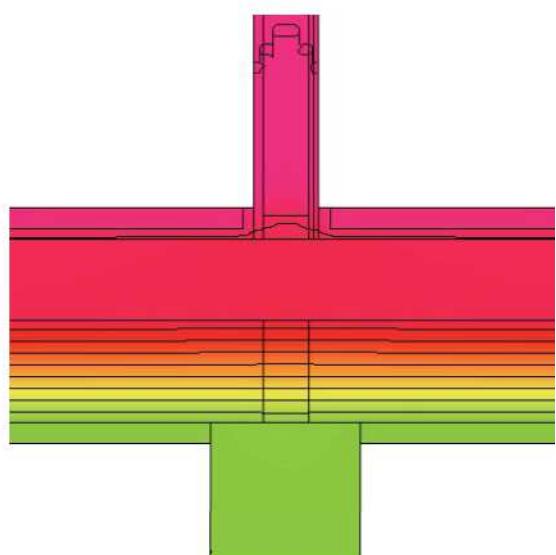
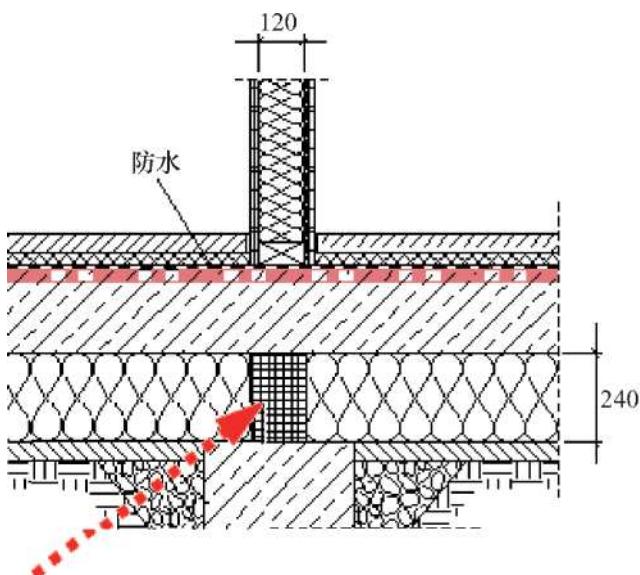


图 3-17：支撑在底板上面的内墙，保温在底板下面^[63]。利用加气混凝土块对条形基础进行隔热处理。从等温线图可以看到，温度分布曲线在建筑物理学上完好无缺

$$U_{底板} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \Psi_a = +0.022 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

图片来源：被动房研究所

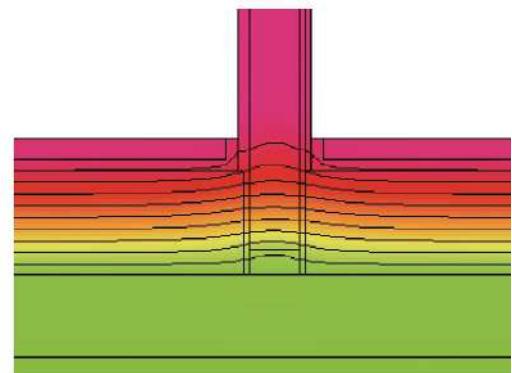
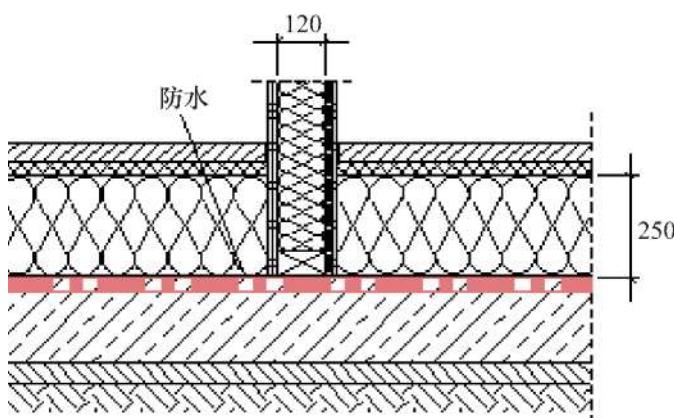


图 3-18：支撑在底板上面的轻型木结构内墙，保温在底板下面。木质材料实现了良好的隔热效果。 $U_{\text{底板}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\Psi_a = +0.015 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

如果此处用轻钢结构内墙，则热桥系数会大许多，所以不能用于冷底板上

图片来源：被动房研究所

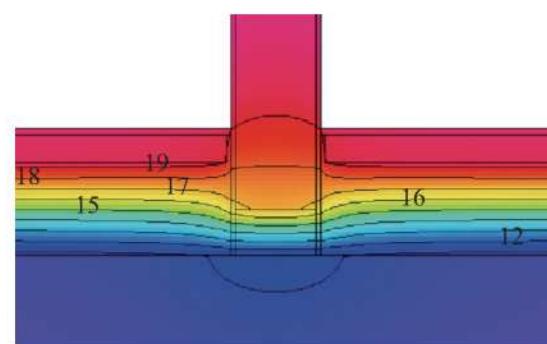
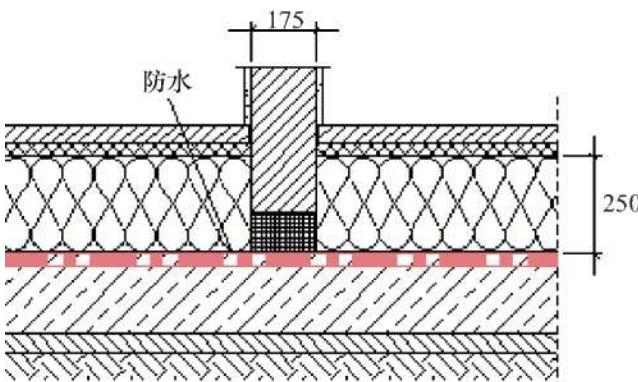


图 3-19：支撑在底板上面的实心内墙，保温在底板下面。为了隔热此处必须采用加气混凝土块^[63]。 $U_{\text{底板}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\Psi_a = +0.14 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。两块加气混凝土块上下垒砌，可以使热桥系数降到 $\Psi_a = +0.104 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

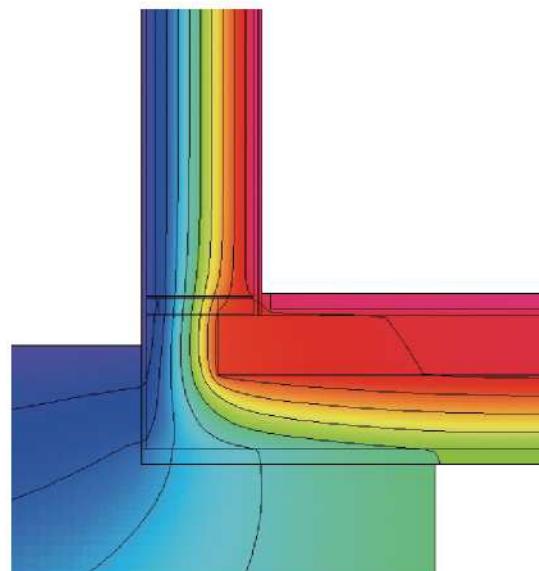
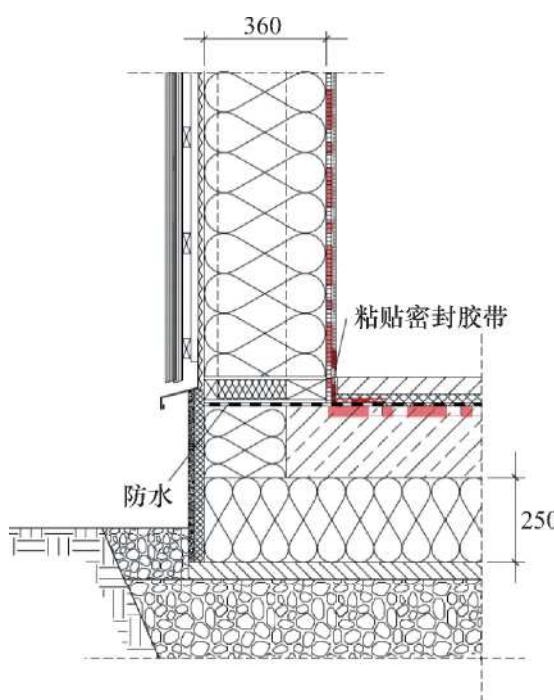


图 3-20：支撑在底板上的轻型木结构外墙的根部，底板保温层位于外侧^[63]。 $U_{\text{底板}} = U_{\text{墙}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\Psi_a = -0.031 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

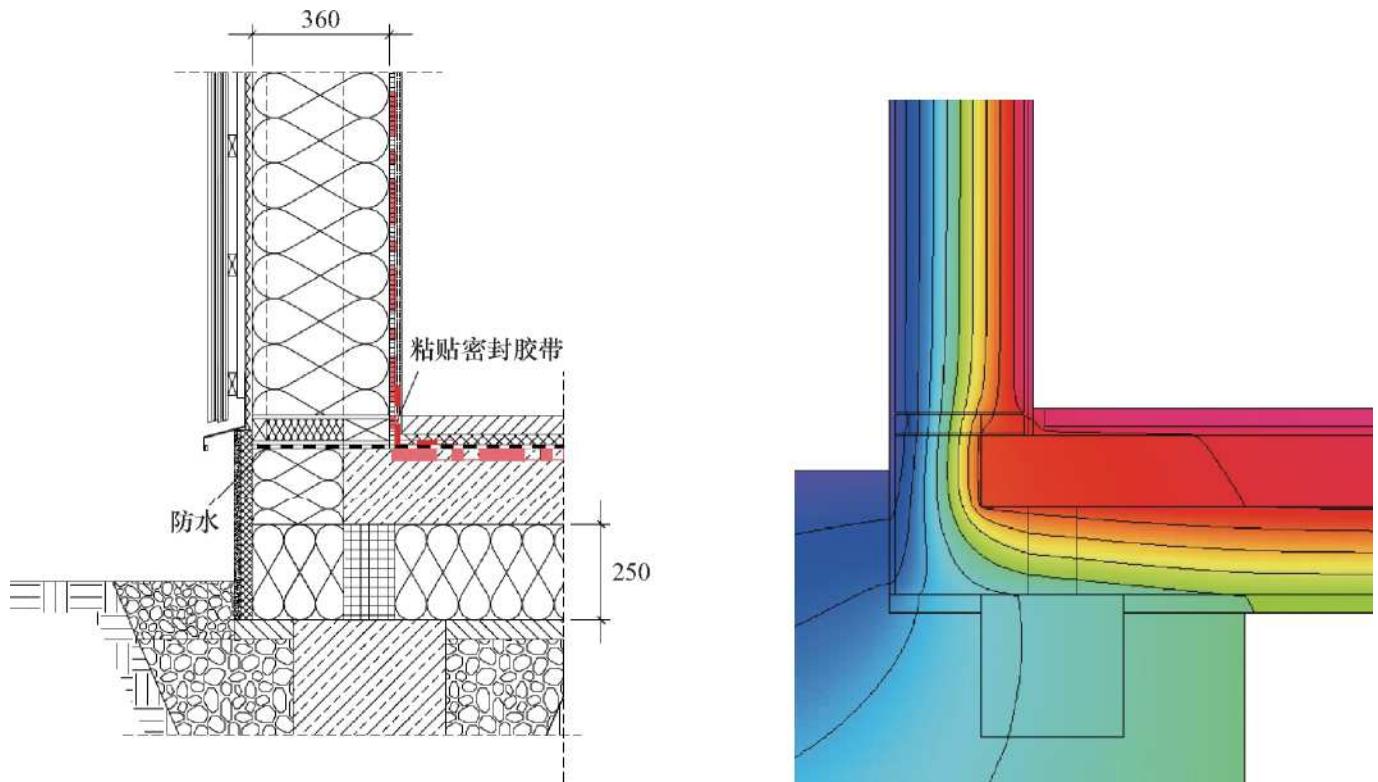


图 3-21：支撑在条形基础底板上面的轻型木结构内墙的根部，利用加气混凝土进行隔热处理^[63]
 $U_{\text{底板}} = U_{\text{墙}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\Psi_a = -0.019 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

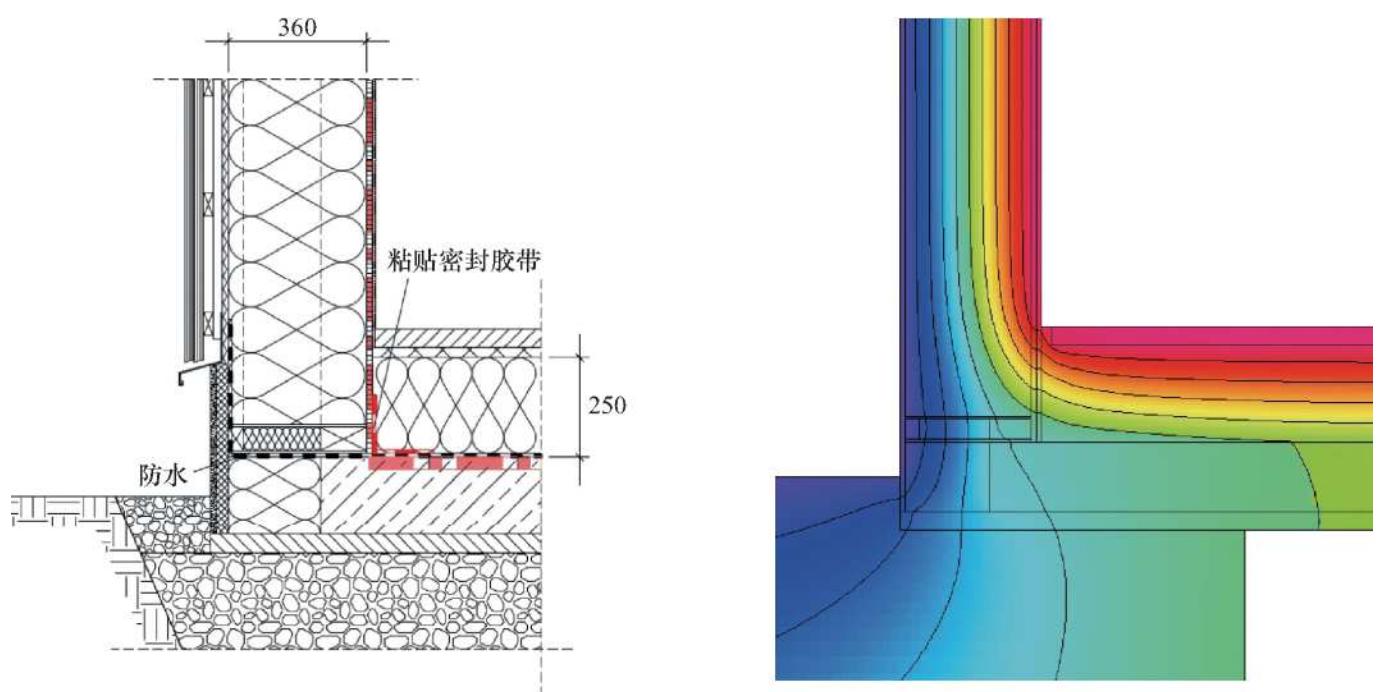


图 3-22：支撑在底板上的轻型木结构外墙的根部，底板保温在内侧^[63]， $U_{\text{底板}} = U_{\text{墙}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 $\Psi_a = -0.056 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

如果不埋入式或空墙插座盒，也可以采用明线。不同的电缆敷设在线槽里，这样可以在任何希望的位置安装插座，见图 5-12。

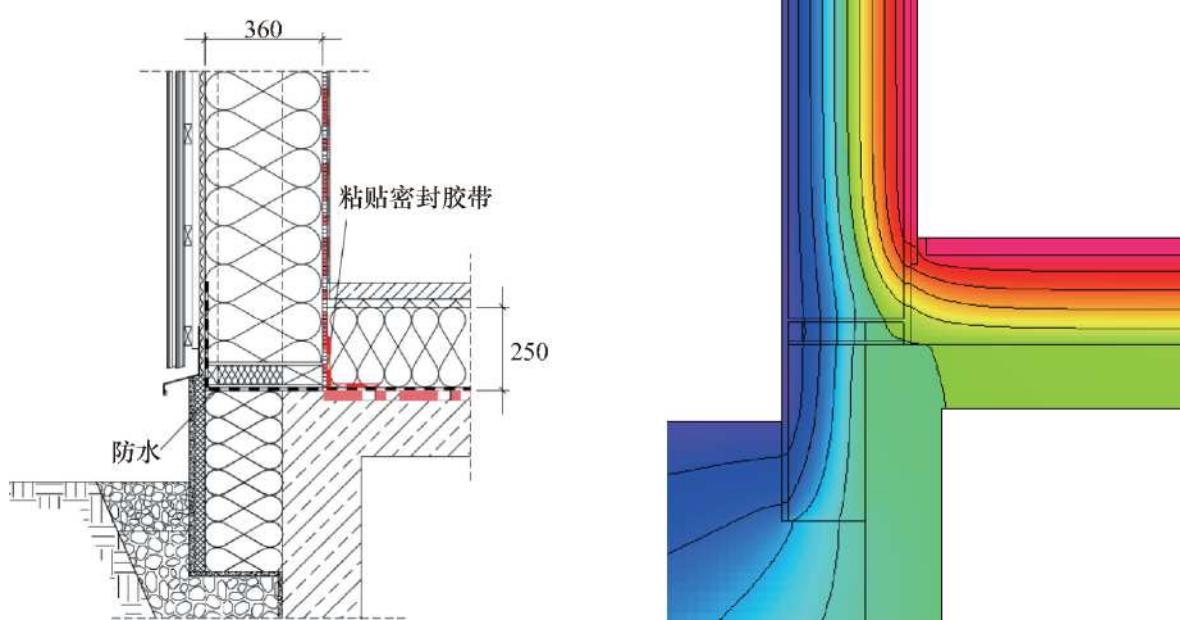


图 3-23：支撑在地下室顶板上的轻型木结构外墙的根部，保温层在地下室顶板的上部。外墙上的保温层向下延伸，像围裙一样可以显著减少热桥效应^[63]。 $U_{底板} = U_{墙} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\Psi_a = -0.054 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

2. 轻型木结构

在轻型木结构建筑上，一般由内侧的木质材料板构成气密层。按照这样的原则：内侧气密，外侧保温但透气，这种构造在建筑物理上完好无缺。但是这并没有解脱无论从面上还是从节点处对湿气输送进行细致检查的责任。

板与板的对接处必须保证永久密封。必须用专用胶带或与表面贴合良好的橡胶密封带覆盖接缝。必须注意密封材料有足够的回弹力，见图 3-28。

门窗接缝同样利用胶带或薄膜覆盖，覆盖层像围裙一样沿着窗框走一圈，并与墙体有力粘合，见图 3-26。

插座必须作为气密性空墙插座盒施工，这种插座盒现在市场已经有供应。接线盒上只按照需要开孔，孔的大小能让电缆尽可能把孔堵住，见图 5-12。

3. 实心墙体

实心墙体的气密层原则上也位于房间侧。抹灰层就作为气密层。不同建筑构件的连接必须保证永久气密性。不同温度性能的建筑构件会因胀差错位，容易引起裂缝。所以轻型木结构的屋面与抹灰实心墙体连接处必须用胶带或软管密封连接，让两种建筑构件的相对运动有很好的过渡，见图 3-29。比如薄膜可以粘在盖板上，并用抹灰将其压到墙面上。

窗户的气密性节点（3.4 节）同样可以用硅胶检修缝（宽度和深度 $< 5\text{mm}$ ）来制作。出厂时已经与窗户固定粘贴的薄膜围裙可以显著减轻现场安装的工作量。薄膜围裙的另一边被埋在抹灰层内。此时一定要在现场给工人交代清楚薄膜围裙的用处。在工地上已经发生过这样的事情，工人由于不知道薄膜围裙的作用而把它割得干干净净，因为工人以为它们是包装材料。

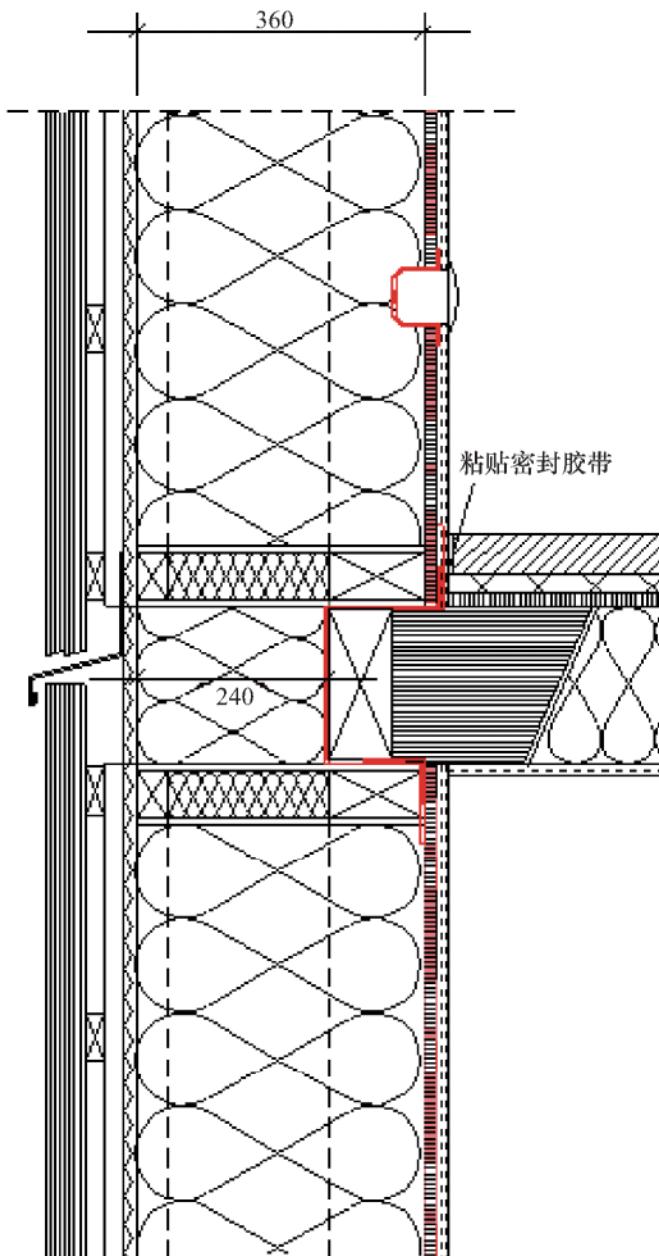


图 3-24：楼板与轻型木结构墙体的细部节点。碰接处用 24cm 厚的保温层覆盖。由此可以将热桥系数降到可以忽略的水平。 $U_{墙} = 0.12\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $\Psi_a = +0.009\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

墙体部分的气密层由内部的盖板构成。墙上的插座应采用气密性空墙盒，见图 5-12。在楼板区域采用宽薄膜带，盖住下部墙体单元。在放好阳台底板后，薄膜被压向内侧，以后在地坪部位与上部墙体单元的盖板粘结^[63]

图片来源：被动房研究所

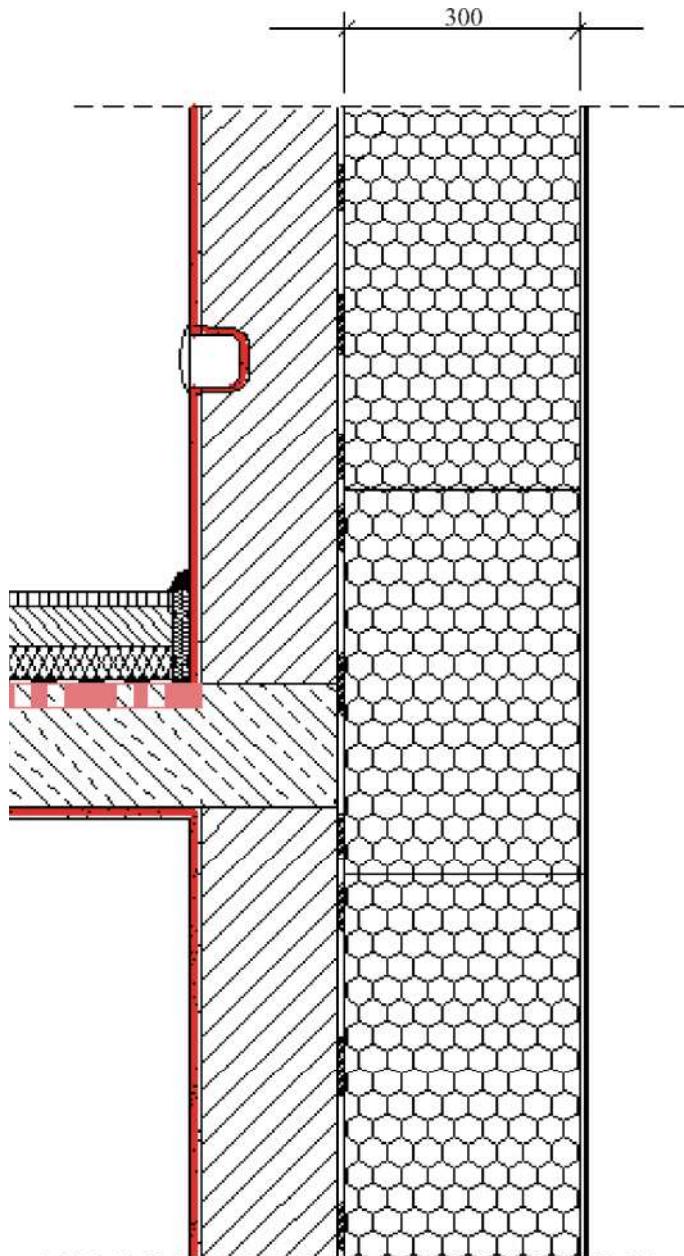


图 3-25：混凝土楼板与外保温的实心墙体的细部节点。这里的热桥效应可以完全忽略不计 ($\Psi_a=0$)，因为保温层没有变薄

上下两个房间内的气密层由抹灰层构成。所以，对于实心墙体始终要注意，抹灰层应该一直做到混凝土楼板上，然后再做地坪和隔声层。外墙上的插座应该用抹灰完全封住，见 3.3 节和图 5-12

图片来源：被动房研究所

地板与墙体节点的抹灰应该一直做到混凝土楼板，然后再做地坪。未抹灰的砌体一般是不密封的，完全可能出现几米长的气流通道（例如通过缝隙等）。所以在采用墙面安装的整体厨房和卫浴室时要特别注意。也就是在安装厨卫和贴瓷砖前，应该对砌体做完整的抹灰处理，以封闭砌体上的缝隙。如果不这样处理，在完成安装后一般是无法再修补这种透气通道的，因为无法找到漏气点了。

图 3-26：内侧的气密性窗户节点，窗框上延伸出来的薄膜在与墙体盖板上的薄膜粘贴前的状态。现场打的发泡胶只用于填充结构缝，与气密性没有任何关系

鲁皮希特鲁特 Hannes 家的房子

建筑师：Hoppe 和 Schmidt，温德克-赫斯特

图片来源：Hannes



图 3-27：已经粘贴好气密性薄膜的窗户

Hinsenhofen 家的房子，代特莫尔德

建筑师：H. W. Hinsenhofen，代特莫尔德

图片来源：Hinsenhofen



图 3-28：刨花板接缝处和用于在空腔内灌装保温絮的孔洞（灰色）上的气密性胶条（黄色）

Trier 家的房子，科隆

建筑师：Sabine Gabriel，代特莫尔德

图片来源：Trier 家



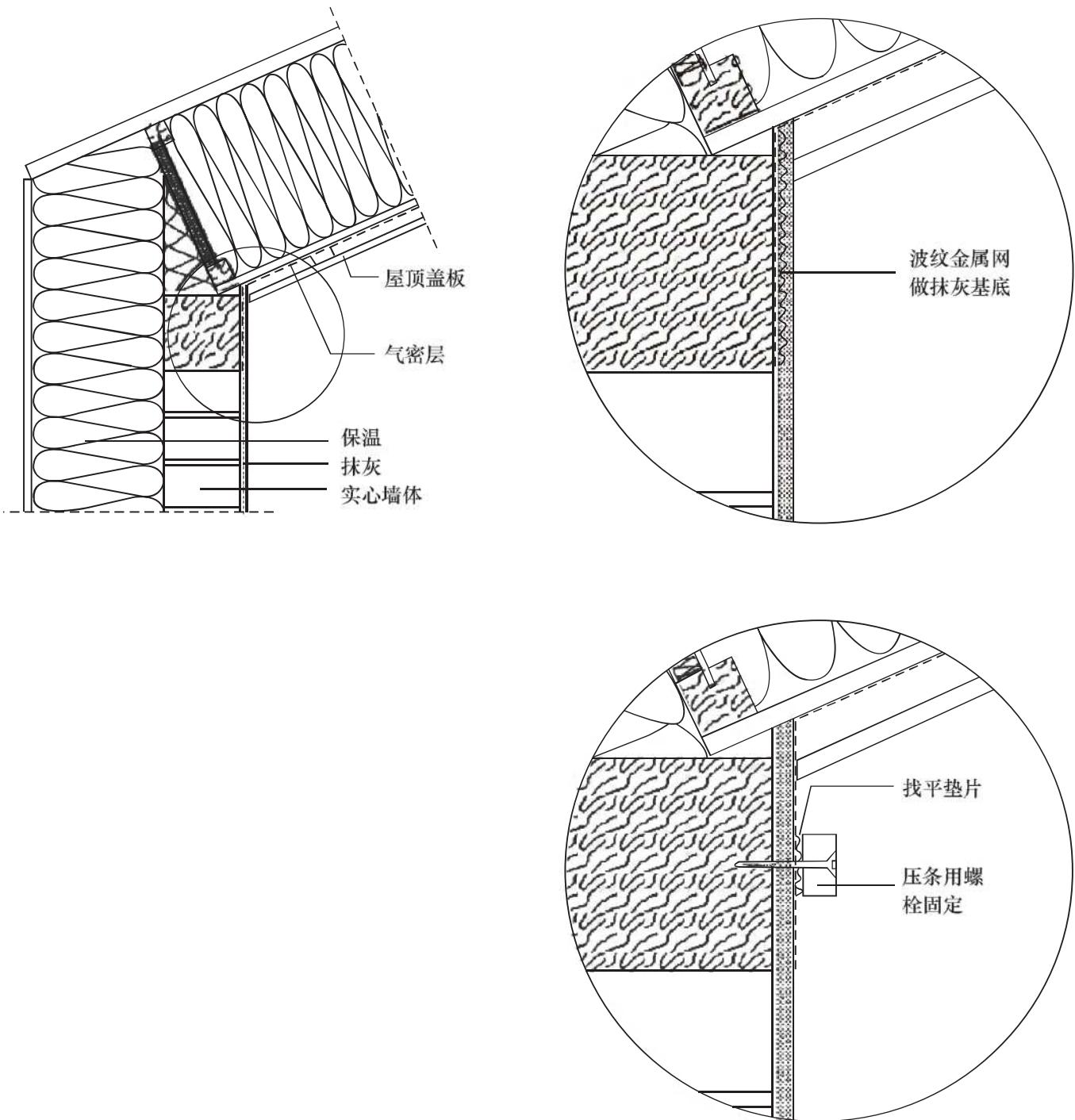


图 3-29：抹灰实心墙与轻木结构屋面气密性节点的不同处理方法。薄膜胶带可以粘贴到屋面盖板上。在墙上可以抹在抹灰层里或者和型材有力结合^[71]

图片来源：被动房研究所

外墙内的插座必须埋在石膏泥里，因为气密性抹灰层的任何中断都有潜在的漏气可能，见图 3-25 和图 5-12。

对于缝隙一般应注意：应该使用永久弹性的填缝剂并保持可视状态（检修缝），宽度不得超过 5 mm。此外，填充材料在缝隙内只能粘住两侧：墙角抹灰刮缝或抹灰收口型材。

4. 现浇混凝土立柱

在这里，内抹灰层同样作为气密封层，其要求和实心墙体相同，见图 3-3，也可参见文献 [8]。

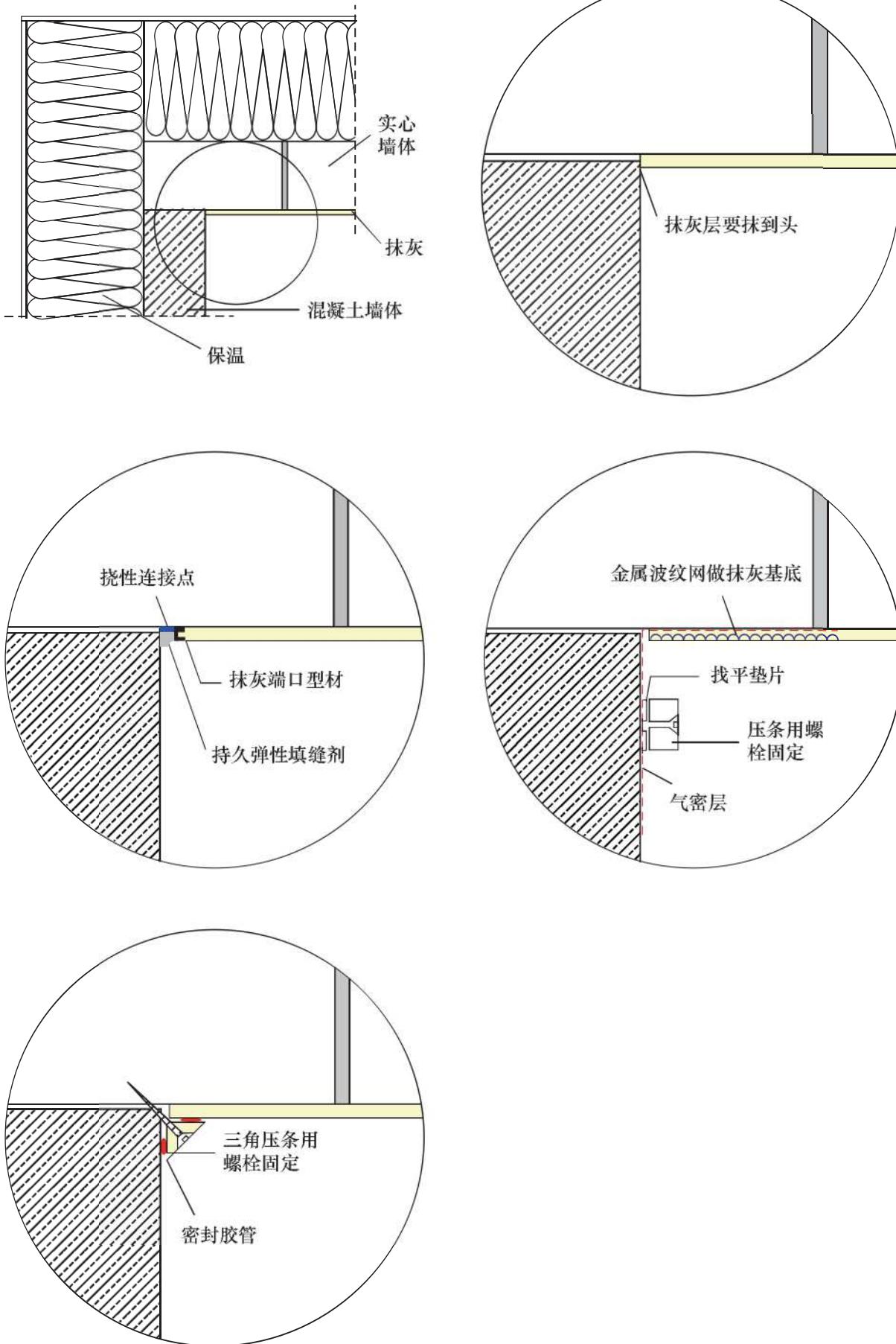


图 3-30：抹灰实心墙与混凝土墙气密性节点的各种处理方法。这里主要应注意：不同建筑构件之间的连接不能被撕裂，并随着时间形成不密封缝隙^[71]。软管密封必须有足够的回弹力。一般应注意：永久弹性填缝剂必须保持可视（维修缝），宽度不得超过 5mm。此外，填充材料只可以和两侧连接：墙角抹灰刮缝或抹灰收口型材

图片来源：被动房研究所

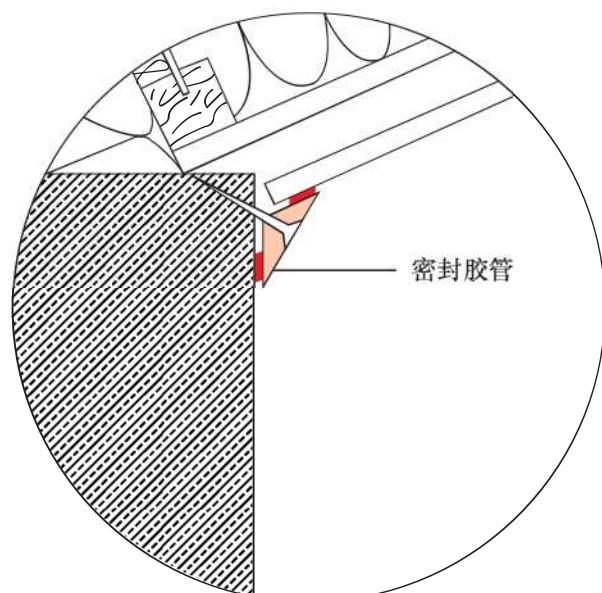
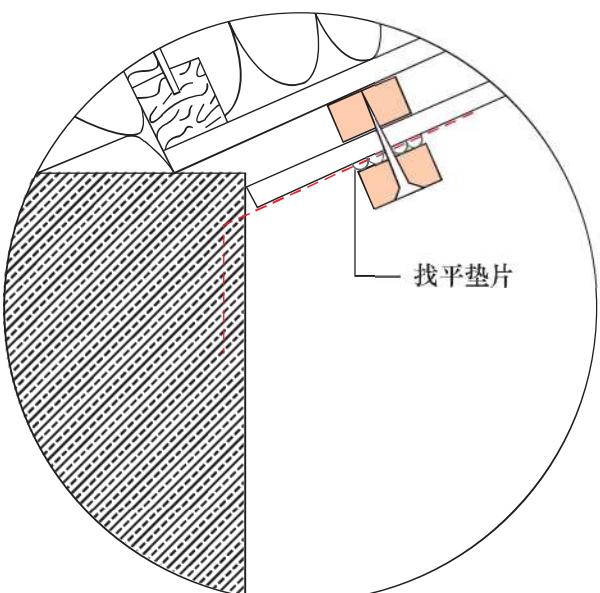
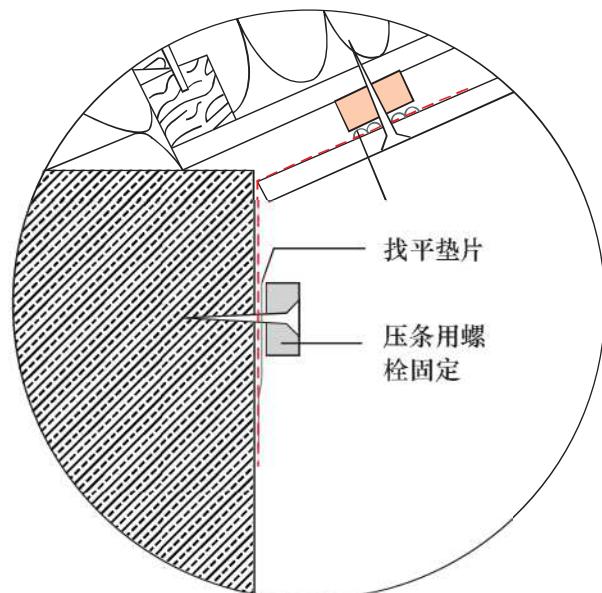
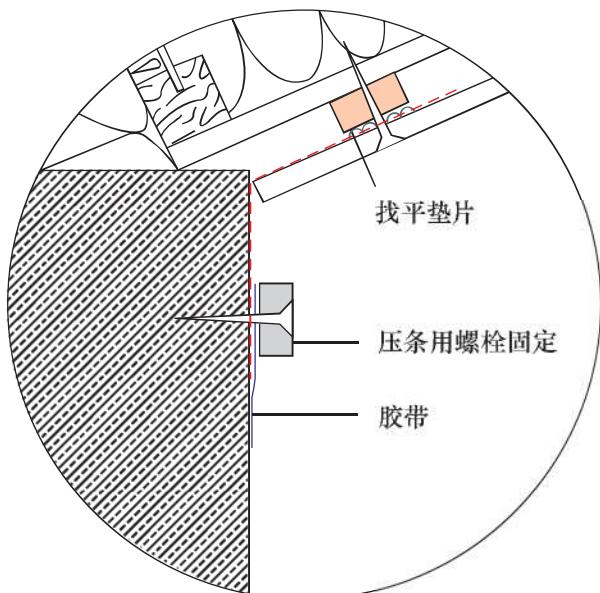
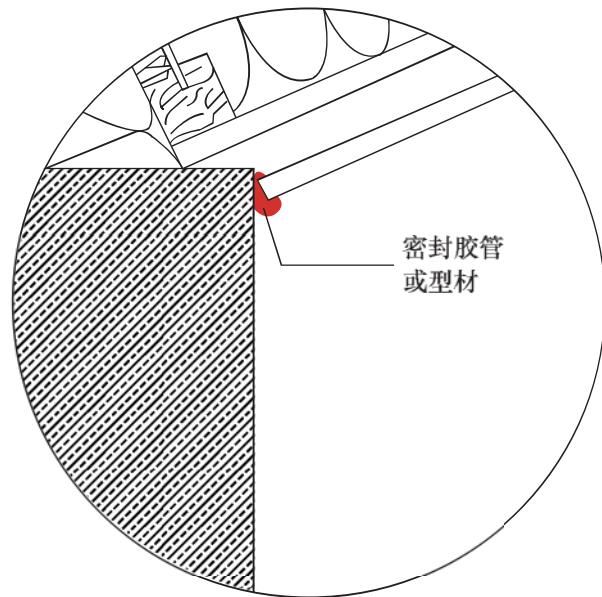
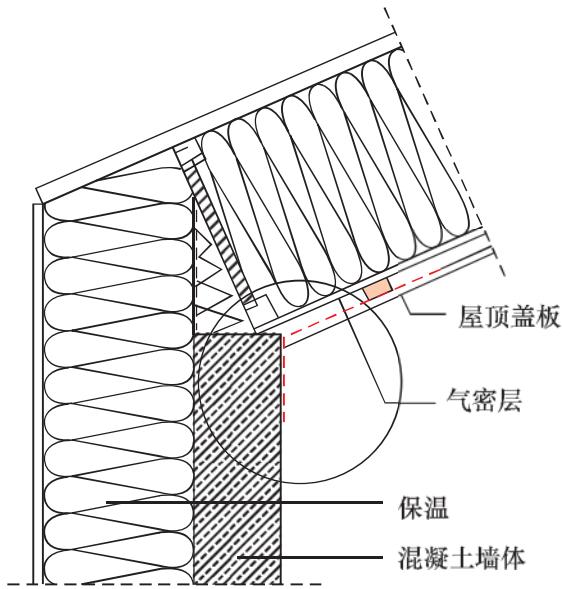


图 3-31：混凝土墙和轻木结构屋面的气密性节点的各种处理方法。薄膜胶带或软管密封必须有足够的回弹力，并与两个构件有力结合，其他说明也可参见文献 [71]

图片来源：被动房研究所

小结：气密性外围护结构

适合和不适合用于建筑物气密性外围护结构的材料。当然，这里应该认真执行供货商的使用说明。

适合：用于常规建筑构件的气密性材料	不适合：不密封材料
砌筑墙体内侧的抹灰层 薄膜 有网格布的油毛毡 硬质木质材料板，如密度板、三合板 正确浇筑的混凝土	砌筑墙体（灰砂浆填缝！） 刨花板和软木纤维板 孔眼薄膜 聚苯板 企口板
气密性节点	非永久气密性节点
用丁基橡胶带粘贴的薄膜，另加压紧板条 正确施工的膨胀密封条，另加压紧板条 用调配良好的混凝土灌注的穿透口和勾了填缝剂的缝隙 气密性丙基酸胶带 压紧的密封条	包装胶带、绉布带等 太干的混凝土（很难涂抹密封） 太湿的混凝土（收缩缝） 粘贴到未做预处理的实心构件上 PU-安装发泡胶 用硅胶填缝

3.4 窗户

为了满足被动房对于窗户热舒适度的要求，当窗户附近没有散热器时，就必须使用三层保温玻璃和隔热窗框。

被动房设计师不一定必须了解任何一种新产品。但是他应该了解玻璃和窗框的基本性能，才能审核厂家提供给他的产品。由于被动房上的窗户和其他建筑构件相比还比较贵，居民在日常使用中也把窗户作为特别“贵重”的建筑构件对待，所以预防可能存在的缺陷就特别重要。

1. 细化 PHPP 中的能量平衡计算

最迟在详细设计时必须在 PHPP 中录入完整的窗户正确数据，因为此时窗户面积已经确定，安装细部节点已经或将要绘制，不同的产品现在也必须进行相互比较（窗框传热系数 U_f 和热桥系数 Ψ ，玻璃传热系数 U_g 和 g 值，窗户安装后的热桥系数 Ψ ）。下文将对玻璃和保温窗框的基本性能和质量标准给予详细介绍，为设计师提供重要的决策依据。

2. 保温玻璃

根据充填气体的品种、玻璃间距和涂层品种，三层保温玻璃的传热系数目前可以做到 $U_g = 0.5 \sim 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。这是未受任何干扰的玻璃的传热系数，即近似于在玻璃中间位置能达到的传热系数！玻璃边缘间隔条的热损失要大得多，后面将和窗框一起做详细介绍。三层保温玻璃的太阳得热系数 g 与涂层有关，在 40% ~ 60% 之间。在中欧气候条件

下，三层玻璃的能量平衡结果始终比双层玻璃的有利：这一点同样适用于南向窗户。

被动房对玻璃的能源准则为，不允许为了窗户的传热系数，而把 g 值降得太低。对此适用以下公式：

$$g \cdot 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \geq U_g$$

利用产品认证数据（ \dot{U} -标记）很容易检验上述条件。如果满足条件，那么使用这种玻璃在整个严冬可以获得净太阳能得热，只要窗户不被遮挡或不是朝向不好的话。所以这里仍然要求：请审核录入 PHPP 的数据。

高级保温玻璃由三层玻璃组成，一般有两层玻璃镀膜。这种选择性“低辐射率”或“low-e”镀层就像一面镜子，只反射热辐射，即红外光谱，所以热量就很难辐射出去。当这种低辐射玻璃被加热时，在镀层一侧的热量不容易“散失”。为了减少相对两块玻璃的热辐射，每个间隔有一个镀膜就够了，一般在第 2 和第 5 个玻璃面上镀膜（从外往里数），见图 3-32。

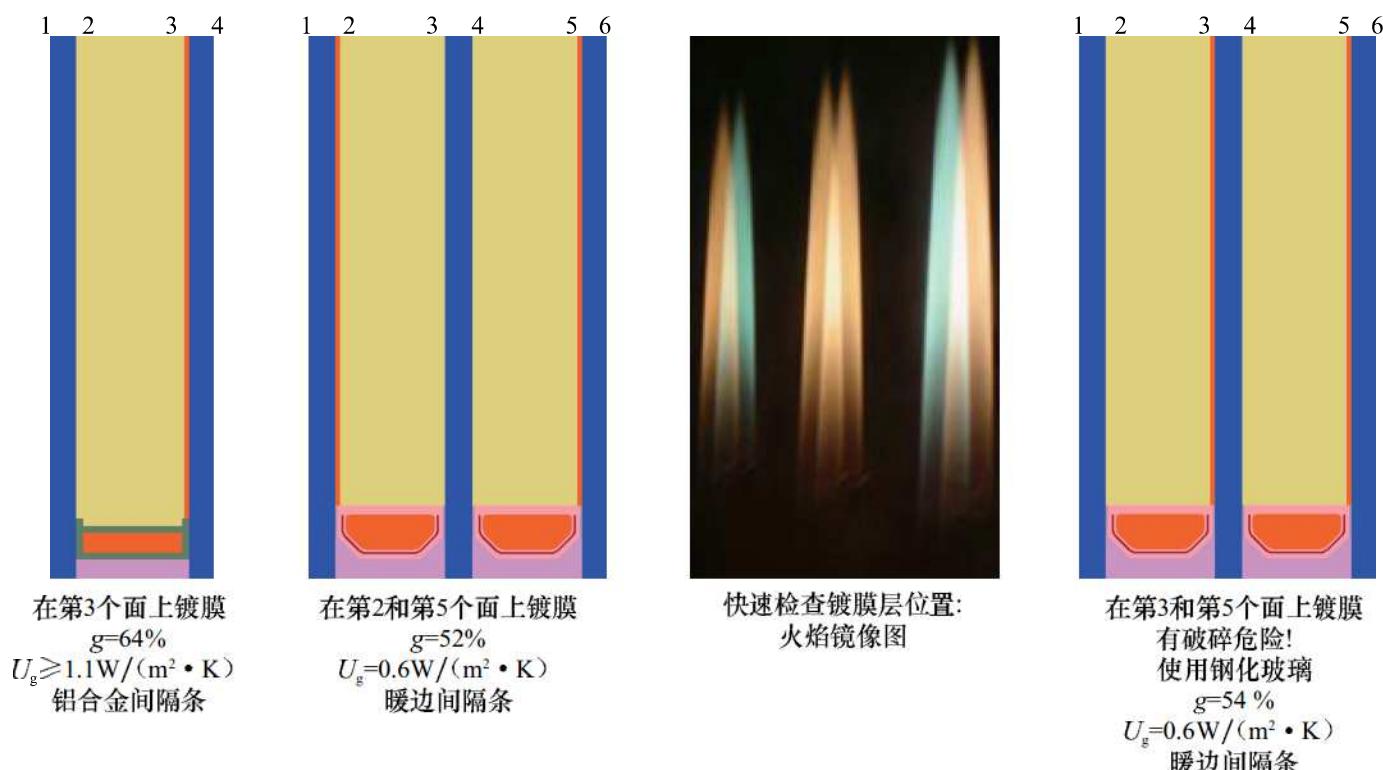


图 3-32：保温玻璃的镀膜顺序和间隔条。采用铝合金间隔条的双玻保温窗不适合用于被动房。三玻保温窗的“low-e”镀膜一般在第 2 和第 5 个面上。在第 3 和第 5 个面上镀膜虽然可以得到更好的 g 值，但是在太阳入射和阴影投射下，会增加中间一层玻璃的破碎危险。为此必须使用钢化玻璃。利用简单的测试方法可以确定镀层的位置：火焰投射到镀膜层的镜像颜色和没有镀膜的不一样。不同产品颜色可能不同。

给出的玻璃传热系数 U_g 是指玻璃中间的数值。玻璃边缘间隔条的热损失必须单独计算（玻璃热桥系数 Ψ_g ）。

图片来源：被动房研究所

玻璃外侧或内侧镀膜只能略微改善玻璃的传热系数 U_g 。前面介绍的金属镀膜不耐磨（软镀层），热解镀膜耐磨（硬镀膜），所以也适用于玻璃外侧镀膜。在外侧玻璃外表面镀膜，可以在明朗的冬夜避免在玻璃外侧形成露水或结冰。这个问题一直困扰着人们，特别是对于屋顶上的窗户，所幸现在市场上已经可以买到贴在窗玻璃外表面的热解镀膜。

“选择性反射”是说，可见光可以很好地透过这些涂层。所以眼睛看上去玻璃是透明的。可见光范围的透明度 (τ_{vis}) 和太阳得热系数 (g 值) 受到涂层影响会有所降低，即需要在良好的保温和太阳得热之间找到一个折中。

所谓的“太阳镜”它故意降低 g 值，所以对被动房不是一种好的解决方案。独立遮阳措施（挑出檐口或卷帘等，见 2.7 节）对于夏季遮阳效果更好，在冬季屋子需要太阳时可以把它们打开。

注意：改变涂层顺序有玻璃破碎的危险

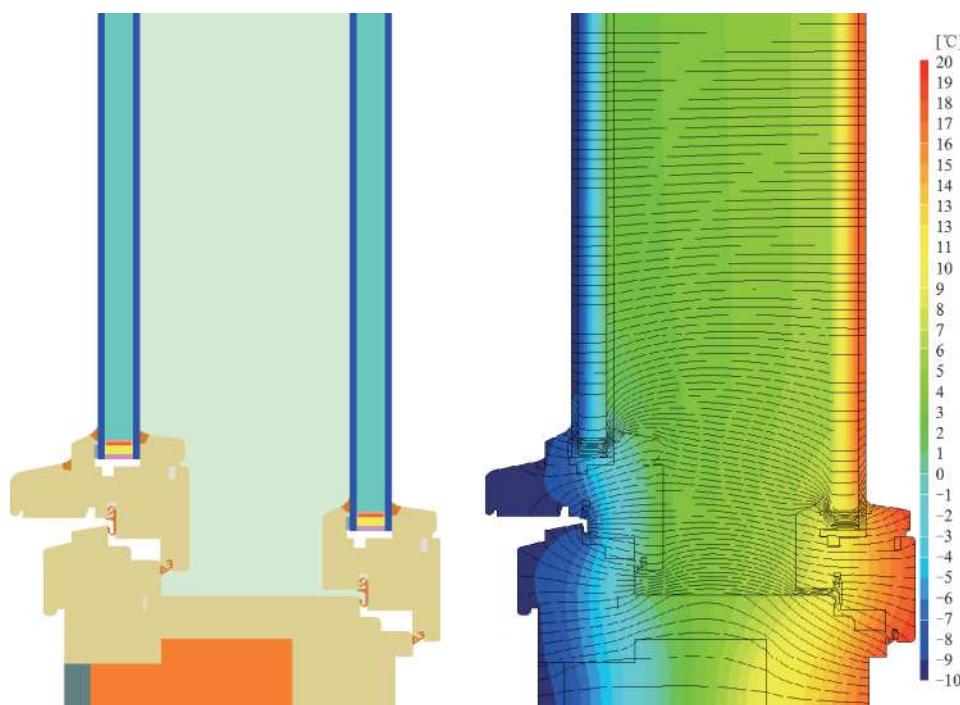
为了优化 g 值，理想的做法是在第 3 和第 5 个面上镀膜，而不是在第 2 和第 5 个面上，见图 3-32。然而，假如在三层玻璃的中间一层的某个表面镀膜，在夏季高热辐射条件下会被不均匀地加热，以致破碎。所以，只有在使用钢化玻璃时才推荐在第 3 个面上镀膜。而这种做法由于造价原因只有在特殊情况下才能实现。

图 3-33：由两腔常规双层玻璃窗组成的双腔窗，它们均采用暖边间隔条^[26]

U_g （全部玻璃）= $0.62 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，窗框 $U_f = 0.65 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，整窗 $U_w = 0.68 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

全部玻璃的 g 值：0.47。在两窗之间大的空间可以安装遮阳装置起到很好的防风保护作用

图片来源：被动房研究所



在此，还要介绍一下检查这类玻璃的简单方法。从烛光反射图像的颜色可以分辨涂层。6 个面的镜像图中，低辐射镀膜的颜色与无镀膜表面的 4 个镜像颜色不同。用这种快速检查方法可以很容易地分辨哪个玻璃表面有镀膜，镀膜是否在正确的位置，或者说究竟有没有镀膜。但是要注意，颜色中性的镀膜在镜像图中色差比图 3-32 的要小。

高级双玻保温窗的构造与三玻保温窗相似，但只有 4 个面中的 1 个面有涂层（从外数第 3 个面）。目前能买到的最好的双玻保温窗的传热系数可以达到 $U_g = 0.9 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；只有充填氩气才可以得到更好的性能。可惜氩气很稀少所以很贵。

对于中欧气候条件，被动房玻璃的传热系数应该为 $U_g \leq 0.8 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。用几个双层玻璃的组合（2+2 或 2+1）完全可以达到该指标，经常采用的有双腔窗或组合窗，见图 3-33。所以，原则上是可以满足能源准则的。当然需要检验任何一种玻璃和镀膜组合的能源准则，因为第 4 层玻璃经常会显著降低 g 值。近来，市场上已经可以买到适合用于被动房的双腔窗和组合窗^[26]。这种组合的窗户隔声效果很好。在多风的沿海地区，两腔窗户之间安装遮阳装置是这种组合的又一大优点。

3. 有保温的窗框

除了玻璃的热损失外，无保温窗框的热损失很大。常规窗框 [$U_f=1.5\sim2W/(m^2 \cdot K)$] 的传热系数是典型三玻保温窗 [$U_g=0.7W/(m^2 \cdot K)$] 的两倍多。所以，高级玻璃必须搭配良好保温的窗框，因为窗框比例占到 30%~40%，在典型窗户尺寸中是比较高的。

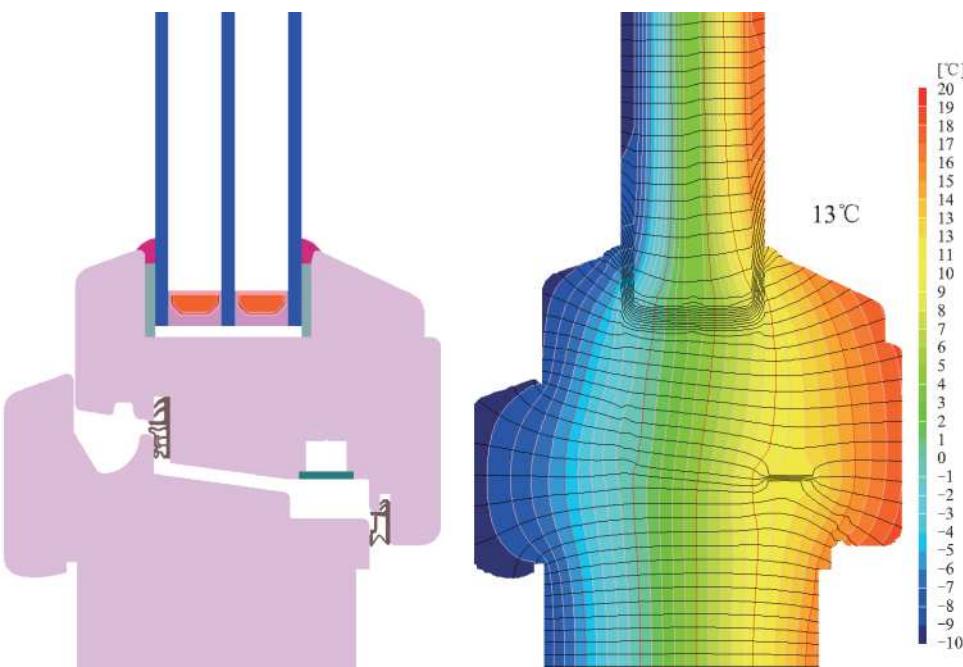


图 3-34：有保温的窗框：增加窗框厚度 (120mm)，增加玻璃在框内的深度，采用暖边间隔条。文献 [26] 记载了许多构造可能。本图例以一种虚构的匀质材料作为基本条件 $\lambda=0.085W/(m \cdot K)$ ，窗框传热系数 $U_f=0.75W/(m^2 \cdot K)$ ，玻璃热桥系数 $\Psi_g=0.028W/(m \cdot K)$ ，玻璃在框内的深度 27mm，窗户传热系数 $U_w=0.78W/(m^2 \cdot K)$ 窗户内表面最低温度 13°C，相当于 $f_{Rsi}=0.77$

图片来源：被动房研究所

窗框和玻璃的面积比通常取决于窗洞口的土建尺寸，与保温覆盖窗框多少没有关系。典型的外框宽度在 120mm（两侧和上框）~140mm（胸墙处）。经过优化的有保温的窗框和标准窗框都是这个尺寸，厚度为 68mm (IV 68)。当平均窗户尺寸为 $1.23m \times 1.48m$ 时，窗框比例为 34%，阳台门 ($1.1m \times 2.2m$) 的窗框比例为 31%，小窗的窗框比例可能会超过 40%。

优化窗框热工性能的最重要措施在文献 [72] 和 [73] 中做了介绍。最近发展见文献 [74]，生产商名录见文献 [26]。首先是加大窗框的安装深度，以便能够安装保温层。68mm 窗框厚度对于被动房来说太小了，即使对于今天可用的热工性能优化的导热系数很低的材料也显得太小。增加玻璃在窗框的安装深度并采用暖边间隔条也可以为减少热损失作很大贡献，目前在被动房上已经被视为窗户的“常规技术”，见图 3-34。

目前，市场上可以获得许多品种的保温良好的窗框：厚度为 110mm 的木-高强度聚氨酯-聚氨酯-高强度聚氨酯-木的三明治框；另一种类似构造是木-软木-木-软木-木结构^[26]。

一些加工窗框的生产商，在木框外用软木、聚氨酯、聚苯材料或其他保温材料包覆保温护罩，它们不是粘在木框上，而是用螺栓固定或插接方式安装，便于回收利用。在很多情况下还采用铝包木的结构。由聚氨酯发泡做成的保温罩现在也用在既有建筑现代化改造上。塑料窗框型材要有更大的腔室以便填充保温材料。型材框内塞保温条的方式用得很普遍，由保温板裁剪成合适的尺寸。型材腔内做聚氨酯发泡保温时，一定要求供货商提供这种材料的原始密度，因为它们对导热系数影响很大。双腔窗或组合窗即使采用全木结构也同样能够满足保温要求，这是因为它们有很大的安装深度。塑料型材无论如何必须在腔室内填充保温材料^[26]。

按照以下原则评价保温窗框：无论采用什么材料，必须注意保温层应尽可能无中断并且“直线”盖住窗框。一小块一小块拼接的保温材料效果很小。看一下窗框的等温线图 3-34，就会明白，保温层应尽量“短”，也就是沿着型材走直线，因为每个拐弯都会加大从内向外热交换的有效面积。

除了上述良好保温窗框的热工性能，窗框四周的气密性构造当然也非常重要。目前通常采用三道密封，防雨和功能安全对于窗户的寿命也非常重要。其实，上述性能在常规窗户上也是必须检测的。所以根据经验，对供货商和加工厂商提出上述要求是不会有争议的。

4. 暖边间隔条，增加玻璃在框内的安装深度

标准窗框的玻璃安装深度只有 15mm。此外，在标准保温窗上使用的铝合金间隔条会形成很大的热桥。

去除玻璃边框热桥有两种办法。第一种是加大玻璃在框内的安装深度。根据最近的研究，做到 25~30mm 是没有问题的；除此以外，还可以使用由薄壁不锈钢板（壁厚 $\leqslant 0.2\text{mm}$ ）或塑料做成的热断桥间隔条（暖边）^[74]。在窗框型材几何尺寸不变的情况下，窗户的热损失最多可以减少 8%。另一个好处是，由于减少了热桥效应，玻璃边上几乎不会再结露。

5. 窗户的舒适度准则

安装完以后整窗的传热系数要求小于 $0.85\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。这个要求主要出于对建筑物热舒适性和能量平衡的考虑^[25]。如果放弃使用散热器，那么窗户内表面平均温度即使在设计条件下也要高于 17°C 。否则，在地面可能形成冷气层，呆在窗户边上会很不舒服。

为了防止霉菌生长，在通常室内空气湿度下，窗户内表面的任何位置包括玻璃边缘温度至少应在 13°C 以上。采用上述暖边间隔条或加大玻璃在框内的安装深度就可以毫无困难地实现以上目标。

6. 窗户的安装热桥

在窗户装到墙上时，经常会产生不可避免的热桥。按照为被动房优化的细部节点处理办法，在胸墙区域典型的热桥系数 $\Psi_{\text{安装状态}} = 0.03\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，因为此处有窗台板和窗框疏水口，几乎无法覆盖保温板。两侧和上部窗框可以用保温板覆盖（图 3-36），所以它们的热桥系数是负值。这里的热桥系数对应于外墙传热系数 $U_{\text{wand}} \leqslant 0.15\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，所以可以满足安装状态窗户传热系数限值 $U_{\text{w,安装状态}} \leqslant 0.85\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的要求。

然而许多常规安装节点会产生很大的热桥效应^[66]。如果像图 3-38 或图 3-40 那样将窗户放在向外远离墙体中心线的位置，并且固定在通长的木条上或者在有外保温的实心墙体的砌筑构造上，那么由于不利的安装条件造成的热桥损失很大，以致尽管采用了热工性能优化的窗户 $U_w \leqslant 0.8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，安装状态的传热系数会明显变差。

一般而言，窗户应该尽可能位于保温层内。也就是说，在安装了保温的墙体内，窗户大约位于窗洞口的中间位置。对于住户而言，除了墙体相应增厚外，和常规房子没有区别，见图 3-39 和图 3-41。

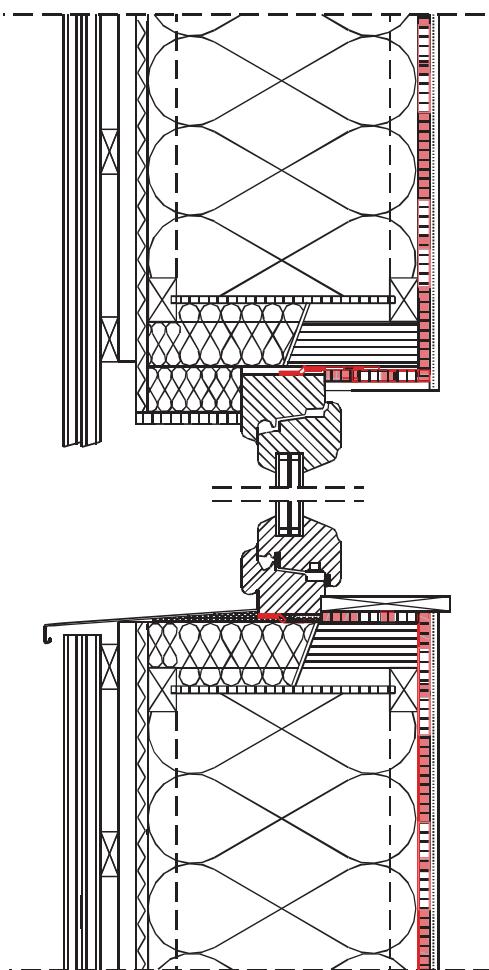


图 3-35：经过优化的安装状态：装在轻木结构墙体上的窗户。窗户在墙的中间位置。两侧和上部窗框可以尽量用保温板盖住。应该注意衬钢的热桥效应

安装状态窗户的热桥系数 $\Psi_{\text{安装状态}} \leq 0.014 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

安装状态窗户的传热系数 $U_{w,\text{安装状态}} = 0.82 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

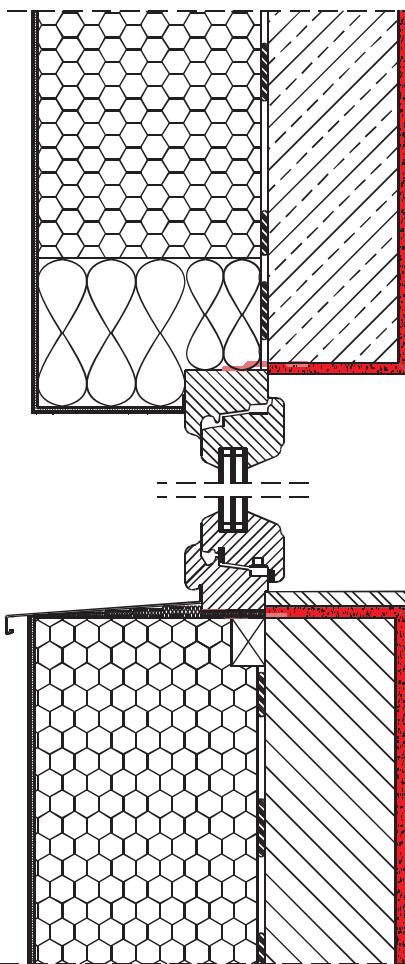


图 3-36：经过优化的安装状态：在有外墙外保温的实心墙体上，窗户固定在木质或再生聚氨酯材料制作的支架上。窗户装在墙体外侧，并用足够厚的保温板覆盖，也可参见图 3-41 和图 3-57。两侧和上部窗框被保温板覆盖。现在有些供货商也提供两侧斜边的锥形保温板，见图 3-43

安装状态窗户的热桥系数 $\Psi_{\text{安装状态}} \leq 0.03 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

安装状态窗户的传热系数 $U_{w,\text{安装状态}} = 0.80 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



图 3-37：在木纤维板构成的外墙外保温系统中，窗户与两侧洞口和胸墙处的节点

Hannes 家的房子，鲁皮希特鲁特

建筑师：Hoppe 和 Schmidt，温德克-赫斯特

图片来源：Hannes

对于有外保温系统的实心墙体，必须在安装外保温前，把窗户固定到墙体前面。图 3-36 上使用安装支座固定。支座可以用木块或再生聚氨酯制作，它们的导热系数相对较小。从图 3-9 可以看到这样一种安装支座。也可以用不锈钢角钢固定，见图 3-57，如果角钢排列不太密的话。应该避免采用整根安装轨道，否则会造成非常高的热损失，以至于在保温窗框上花的功夫被抵消掉。

在轻木结构墙体上窗户可以居中安装。这种结构上，整个墙体全是保温层，见图 3-39。当然此处应该注意，不能让在洞口安装的窗户造成太大的热桥，如图 3-38 所示。

在按被动房标准进行窗户认证时^[26]，除了必须检验窗户性能外，也必须审核制造厂提供的针对不同墙体结构的细部节点。所以，建筑师在使用经过认证的窗户时可以采用这类细部节点，而不需要自己再去做热桥试验。

图 3-38：错误：在轻木结构墙体内错误安装的窗户会造成很高的热桥损失。墙体传热系数 $U_{\text{墙}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，窗户传热系数 $U_w = 0.80 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，安装热桥系数 $\Psi_{\text{安装状态}} = +0.06 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，安装状态窗户的传热系数 $U_{w,\text{安装状态}} = 0.93 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

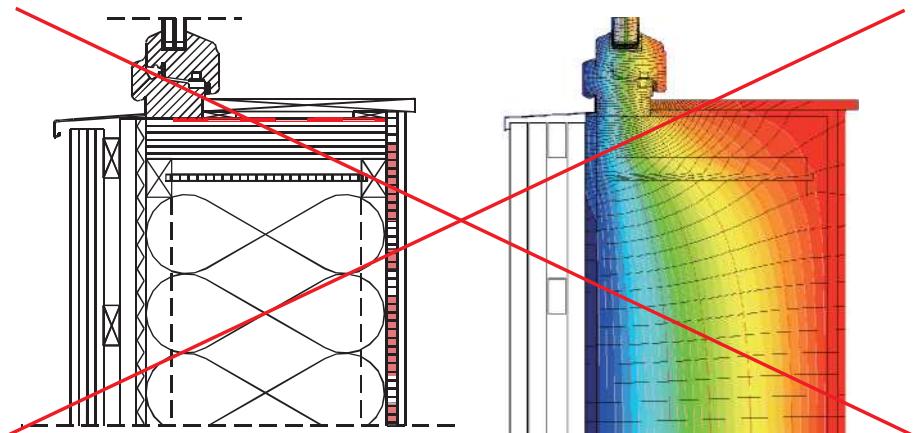


图 3-39：经过优化的安装状态：窗户位于保温层的中间位置，边角木板只是呈点状分布于窗框下面（考虑到结构稳定）。轻木结构墙体传热系数 $U_{\text{墙}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，窗户传热系数 $U_w = 0.80 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，安装热桥系数 $\Psi_{\text{安装状态}} \leq 0.014 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，安装状态窗户的传热系数 $U_{w,\text{安装状态}} = 0.82 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所

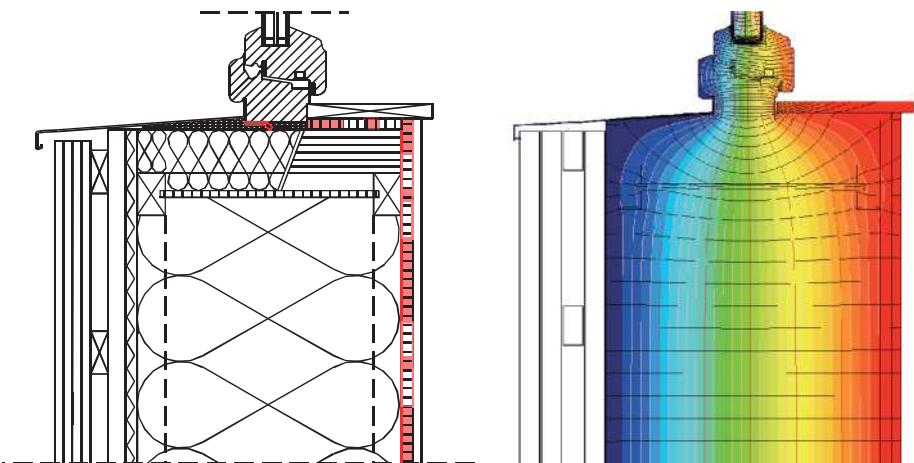
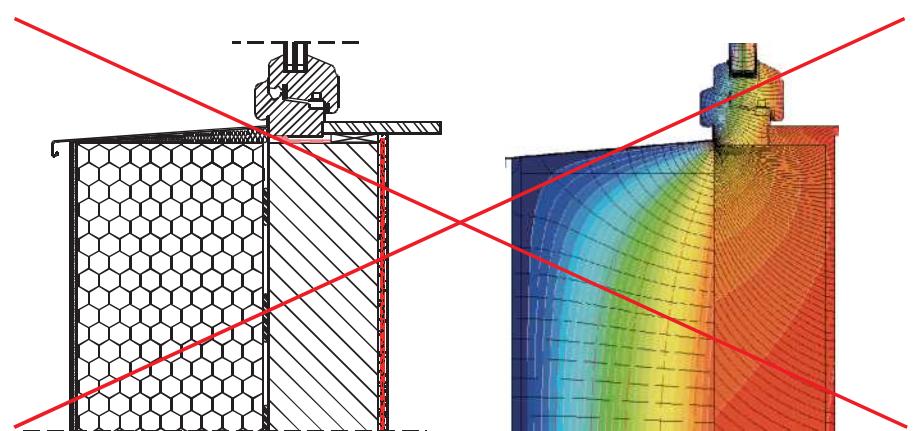


图 3-40：错误：窗户落在砌筑墙体上。窗和墙的保温层中断了，接合处的热损失非常大。墙体传热系数 $U_{\text{墙}} = 0.12 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，窗户传热系数 $U_w = 0.80 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，安装热桥系数 $\Psi_{\text{安装状态}} = +0.14 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，安装状态窗户传热系数 $U_{w,\text{安装状态}} = 0.95 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

图片来源：被动房研究所



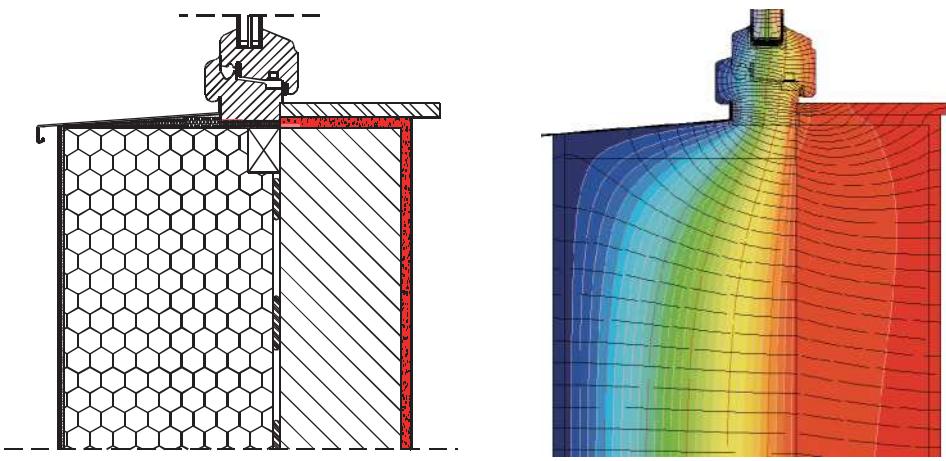


图 3-41: 相同的窗户从外向里伸入到保温层里，并固定在支座上。两个建筑构件的保温层闭合没有中断，也可参见图 3-36 和图 3-57
 墙体传热系数 $U_{墙} = 0.12W/(m^2 \cdot K)$ ，窗户传热系数 $U_w = 0.80W/(m^2 \cdot K)$ ，安装热桥系数 $\Psi_{安装状态} \leq +0.03W/(m \cdot K)$ ，安装状态窗户传热系数 $U_{w,安装状态} = 0.80W/(m^2 \cdot K)$

图片来源：被动房研究所

7. 窗洞口

由于被动房采用了较厚的保温层，窗洞口比普通建筑深。但是居民一般没有感觉。然而，如果将保温板做成斜口可以扩大视野，洞口对太阳的遮挡也减少。洞口保温层做成直角还是斜角对保温效果没有太大影响。现在有一家外保温供应商可以提供用岩棉（防火）制作的洞口保温型材，见图 3-43。南向窗户挡火梁处保温不做斜口可以起到夏季遮阳效果。利用 PHPP 可以进行细部优化，见 2.7 节。

8. 卷帘

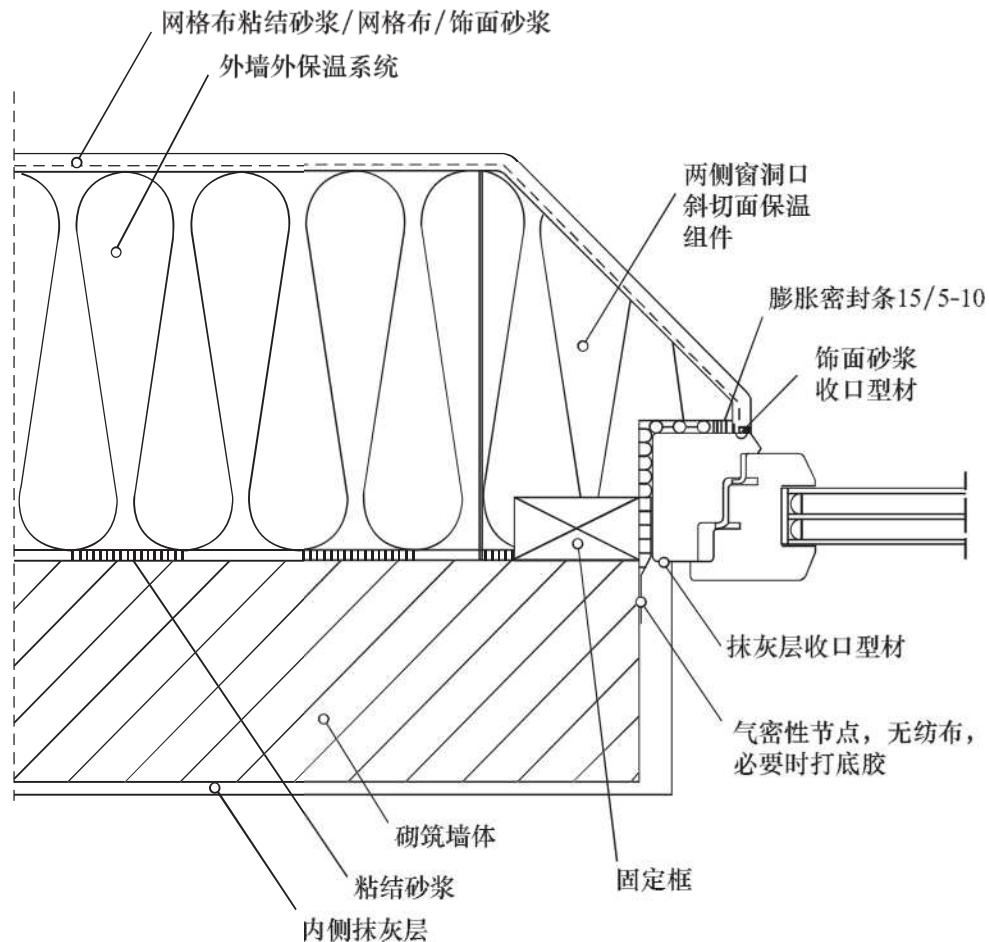
被动房原则上也可以使用卷帘。但是安装卷帘会增加热桥。如有可能，将卷帘安装在墙的前面，后面应有至少 6cm 厚的保温层，以防在卷帘盒内表面结露。应尽量采用气密性电动或摇杆操作系统。最近，市场上也可以买到气密性很好的皮带操作系统^[69]。如图 3-42 所示是一种轻型卷帘遮阳装置。



图 3-42：窗框用保温覆盖的洞口，卷帘作为遮阳装置，
 弗莱堡沃邦小区的被动房
 建筑师：id-architektur, (Common & Gies Architekten),
 费莱堡

图 3-43：有一家供应商推出了外保温斜口型材作为窗洞口的保温构件。窗框覆盖保温层的作用基本保持不变，而洞口侧边的视线遮挡显著减少

图片来源：ebök，图宾根



小结：适用于被动房的窗户

- 检查玻璃的能源准则：

$$g \cdot 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \geq U_g;$$

不允许以牺牲窗户传热系数为代价而将 g 值降得太低。

- 适用于被动房窗户的准则：

对于标准尺寸窗户 $1.23\text{m} \times 1.48\text{m}$ ，窗户的传热系数 $U_w \leq 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

- 使用有保温的窗框：必须掌握窗框传热系数 U_f 和玻璃热桥系数 Ψ_g 。
- 增加玻璃在窗框内的安装深度： $25 \sim 30\text{mm}$ 。
- 采用暖边间隔条，铝合金间隔条不适用！
- 在设计工况下，内侧玻璃边缘部分最低温度 $> 13^\circ\text{C}$ ，否则有结露霉变危险。
- 使用环形密封条，至少两道密封，内侧密封特别重要，因为它可以防止窗框结合处结露。
- 尽量减小窗户的安装热桥 $U_{w,\text{安装状态}} \leq 0.85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，尽早明确细部节点。
- 在用户手册中包含窗户的维护和检修说明。

3.5 楼宇门

1. 楼宇门的设计原则

和建筑物的其他开口一样，楼宇门也经常是传热围护结构的薄弱环节。所以必须特别

认真设计。原则上，在保温和气密性方面应该对楼宇门提出和被动房窗户一样的要求^{[72],[73],[74],[75]}。此外，楼宇门还必须满足一些特殊的要求。这些附加要求经常是特殊的挑战：

- (1) 在各种气候条件下均保持良好的形状稳定性；
- (2) 在持久载荷下的站立稳定性；
- (3) 最低门槛；
- (4) 操作简单；
- (5) 符合造型要求；
- (6) 防盗；
- (7) 防火。

2. 形状稳定性

窗户在关闭状态可以通过五金件将其与密封条压紧锁定，而楼宇门只有锁舌一个固定点，所以被动房的楼宇门必须具有特别高的持久形状稳定性。根据 RAL-GZ 996^[77]，变形量最多允许 4.5mm。这个极限值适用于实验室的气候测试条件。由于目前采用的密封型材最大变形量为 4mm，所以 RAL 限值在实际应用中是不够的。根据实践经验，门扇的变形量不允许超过 2~3mm，只有这样才能保证门扇四边能够贴紧密封条。

尽管如此，门扇的变形量仍然可能超出限值，完全密封是很难做到的。有些供应商规定楼宇门应该始终处于锁定状态，并在门扇上下增加了锁点，增加与门框密封条的压紧力，以防变形和投诉。但是，这种要求往往很难落实，因为锁的这种使用方式不合常规。

有些建筑师根据被动房的居住经验，在门的里侧增加了锁闭旋钮，方便住户操作。住户很愿意用这种简单的旋钮锁门，旋钮是装在门上的，用起来很方便^[78]。

形状稳定性要求也对结构设计提出了要求，同时也要求对门扇进行加固处理。尽管如此，门在安装状态的传热系数不得超过 $0.80\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。普通门的结构不能满足要求。所以被动房楼宇门的构造要比普通门厚许多或者必须采用新的安装方式^[26]。

有些供应商提供一种自动锁闭器，一旦门扇落入锁点，它会用电动方式自动将门向着门框密封条压紧。是否信赖这种功能，由用户自己决定。鉴于在气候实验中对门的形状稳定性要求，不是一定要在门锁闭后才可以实现气密性，而是在门关闭落入舌簧后就应该达到气密性。上述旋钮锁闭方式是一种较好的折中办法。

总之，在选择被动房楼宇门时，不要相信乐观的承诺。使用廉价的楼宇门构造可能会使被动房在热工性能上败北。笔者在此建议给予高度关注并认真设计^[26]。

3. 防盗

目前，没有任何技术规程对楼宇门规定特定的防盗标准。通常根据现行技术规定实现抵御破门的难度等级，见 DIN V 18101^[79]。为了提高防盗等级，可能要求加强门边构造和在门扇内增加防盗构件，这类构件一般采用金属材料，因而可能会提高传热系数，必须予以重视。

4. 最低门槛

最低门槛（最高 15mm）在无障碍建筑设计中已经几乎成为理所当然的标准^{[80],[81]}。可是，相比于其他三个侧面，这里与门槛之间只有一道密封。这个位置容易有脏物（泥沙、尘土），有机械损伤（脚垫摩擦，地面物件的碰撞），潮湿，清洁卫生时经常够不着那里，存在缩短寿命和影响功能的危险，进而存在不密封的危险，是被动房的一个特殊问题。在公共建筑上通常不允许有门槛。这里可以采用下沉式密封舌条把漏风控制到可以接受的程度。

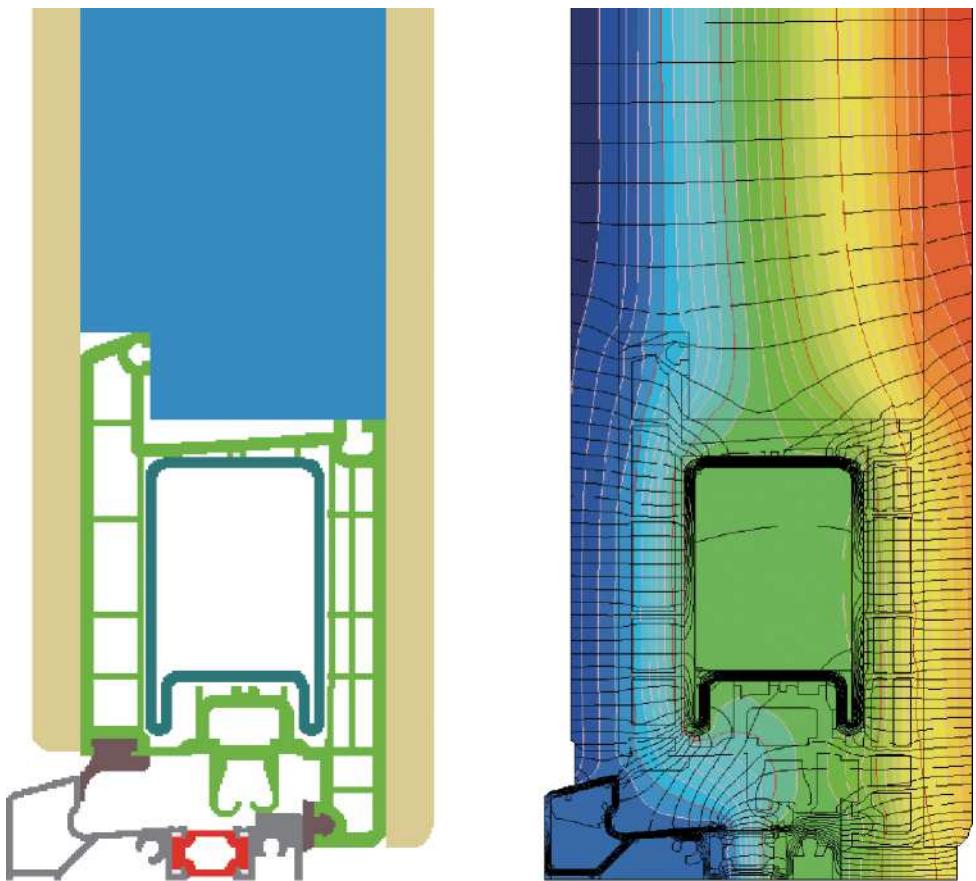
5. 楼宇门的细部构造

只有通过设计图 3-44 所示的门槛挡口才能满足永久密封的要求。所以这种门槛必须采用特别耐踩踏、形状稳定和热断桥的门槛型材^[26]。

根据经验，密封刷或随门开闭上下运动的密封构件（所谓的防风密封）、磁性密封等不能满足被动房要求！

图 3-44：热断桥门槛挡口和带密封舌条的楼宇门。在楼宇门门槛部位提高气密性非常重要
其他解决办法参见 [26]

图片来源：被动房研究所



6. 门斗

为了保护楼宇门，可能需要采用非供暖门斗。如果经常出现对楼宇门的风压，就特别推荐使用门斗。门斗的外门可以采用廉价的普通楼宇门，符合被动房要求的保温楼宇门作为内门位于保温围护结构内。但是这里要注意一个原则：一定要设计连通的气密层，即一般以内门为气密层。用前后两道中等气密性的门是不够的，见图 3-45。



图 3-45：门斗为户外和居室建立了过渡区。必须注意由户门构成保温和气密层，门斗的外门可以比较简单

Höcker 家的房子，赖达 维登布吕克

建筑师：Mense Naturhaus，贝伦

图片来源：北威州建筑研究所，亚琛

7. 居室去冷地下室的通道

应该注意，从供暖居室去不供暖地下室的门原则上应该具有和楼宇门相同的质量。对于地下室门气密性和保温的这种要求必然导致相对昂贵的结构设计。所以，如果把去地下室的通道安排在建筑物的外面可能更经济并有意义。也可以把去地下室的通道安排在热外围护结构前的（冷）门斗或楼梯间，见 2.4 节的说明。

8. 猫洞挡板

经常有人强调，气密性方案对于养猫家庭是荒唐透顶的，因为这些家庭的门必须经常开着，好让家庭宠物出去遛弯大小便。即使采用猫洞挡板，供暖能耗也会无法控制地升高，因为采用的挡板太简单了。主要问题是这种挡板的气密性不够。

现在有了一些较好的解决办法。市场上可以买到自动的或者由宠物控制的出入口，不仅可以装在楼宇门上也可以装在房间去楼梯间的过道上，即使这种门还不是全密封的。图 3-46给出的高级猫洞挡板采用热断桥复合边框，安装在三层保温玻璃内。它有电池驱动的磁性锁，猫脖子上挂一个电子钥匙可以自动开锁。这种挡板在宠物商店可以买到。

图 3-46：带电磁锁的高级猫洞挡板。挡板采用热断桥复合边框，安装在三层保温玻璃内^[76]



在弗莱堡被动房小区里实现了一种更简单的办法（图 2-10）。将一个带毛刷密封和磁性开门阻尼器的普通猫洞挡板装在一个传热系数为 $0.8W/(m^2 \cdot K)$ 的不透明板里，然后装在窗户下面的墙上，而不是玻璃里面。这种门有足够的气密性，做风门测试时只有轻微泄漏

(n_{50} 下的换气次数增加了 $+0.04\text{h}^{-1}$ ^[76])。房间一侧安装了第2块手动气密性保温挡板。这第2块挡板可以在冬季最寒冷天气下(设计条件)完全关闭,因为这种天气猫也很少外出。这种解决方案造价很低,因为它装在木板里而不是玻璃里。经过一个冬天还没有发现有结露问题。

小结: 楼宇门

- 保温要求与窗户相同: 安装状态楼宇门的传热系数必须 $U_{D,\text{安装状态}} \leq 0.80\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。
- 门槛处的安装热桥是关键, 在设计工况下最低温度几乎都低于 6°C 。
- 气密性非常重要: 四边有密封条, 侧面和上面有两道密封, 门槛处至少有一道密封。
- 耐踩踏、形状稳定的门槛挡口, 高度 $H \leq 15\text{mm}$ 。
- 门扇必须形状稳定, 在各种气候影响下不允许变形, 必须经过气候试验^[26]。
- 内侧旋钮锁门器。
- 在使用说明书中加入楼宇门的维护和检修说明。
- 必要时设计猫洞挡板。
- 必要时设计不供暖门斗或楼梯间。

3.6 新风系统

在审查被动房新风系统的详细设计时, 质量保证的首要任务是及时发现可能会影响居住舒适度的设计错误^[25]。

这里首先是隔声。只有采用功能良好和听不到噪声的新风系统才能被住户广泛接受。应努力将噪声控制在 25dB(A) 以下, 即不超出标准^{[29],[30]}规定的极限值。重要的是, 设计师如果忘了设计消声器或者尺寸设计不够, 那么由于体积问题以后几乎无法补救或者补救的代价非常高。

通过高效换热器将室外新风加热到始终高于 16°C , 以尽量减少冷风现象。对此有怀疑时应该予以审核。特别要注意不能直接吹到人员活动区域。也就是说, 新风口不能位于 $15\sim200\text{cm}$ 的高度上。天花板位置的风口只允许采用远程喷嘴或旋流喷嘴形式, 见图 3-51。采用这种喷嘴可以避免长的风管和减少阻力损失, 也可参见 2.9 节的说明。

除了这些保证用户舒适度的主要任务外, 在详细设计中也要注意能效, 详述如下。

1. 中央新风系统

应选择热效率高、风机功率消耗低的中央新风机组。在被动房上, 目前主要采用高效对流换热器和电子整流式直流风机。

除了对中央新风机组的这些要求外, 还有其他的考核准则, 例如防噪声和防冻。被动房研究所对被动房新风机组提出的准则附在本章最后的“被动房新风系统设计准则”里。

检验新风机组的热效率不能采用德国建筑技术研究所规定的实验室测量数据。这类实验室测试数据不是在被动房实际运行条件下, 根据平衡后的进出气流体积流量测量的。在被动房产品认证范围内, 应该按照上述准则, 在接近实际运行工况下测试。如果没有按此

准则获得的测试数据，则按德国建筑技术研究所方法获得的测量值必须乘以 12% 后再录入 PHPP 进行计算^[26]。

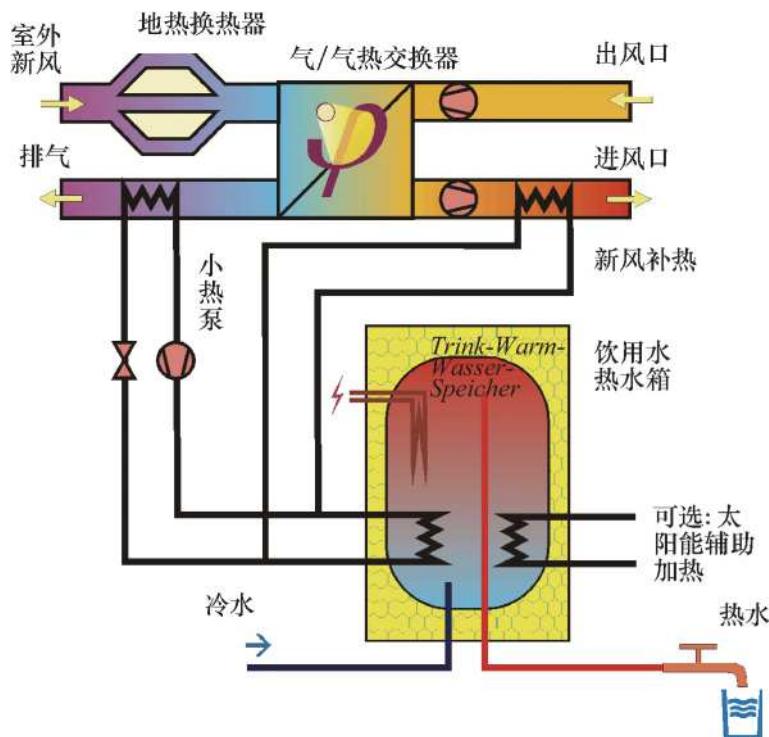


图 3-47：以热泵紧凑式机组为例，热回收新风机组示意图。小型热泵用于制备热水和新风辅助加热。当然根据能源方案也可以采用其他热源，见 2.10 节

图片来源：被动房研究所



图 3-48：必须定期更换新风机组的过滤器

图片来源：亚琛北威州建筑研究所

2. 过滤器

过滤器的主要任务是保持新风管网的清洁，因为清扫管网尽管技术上是可行的，但费

用很高。按 DIN EN 779 确定过滤效率^[94]。详细设计阶段的质量保证主要是审核新风过滤器的安装位置以及它们的过滤等级。应该尽可能采用防冻的 F7 过滤器, F8 更好。过滤器前面的管道布置应便于检查和清洁。由于过滤器需要定期检查和更换, 必须审核它们是否容易接近。这项原则同样适用于乏气过滤器, 它们至少应该达到 G4 级。

过滤面积应该尽可能大, 以减少大约一年运行时间内的阻力损失。某些出厂时已经安装好的过滤器往往太小。所以建议采用过滤面积尽可能大的独立过滤器。在选择室外新风入口过滤器的尺寸时, 应该注意本地空气的粉尘浓度。粉尘浓度高, 过滤器使用寿命就短。

3. 室外新风入口和乏气出口

在室外新风入口和乏气出口位置选择上常见的错误是两者没有足够的分隔距离。所以, 详细设计质量保证的任务就是及时提醒注意, 因为后期改动的工作量非常大。尤其在多层居住建筑上应该特别留意, 因为邻居的一点点串味就会被认为是非常大的干扰。乏气出口应尽量和新风入口分开。在 CEPHEUS-Kuchl 项目上这一点做得特别好, 见图 3-49^[13]。它们分别把乏气出口装在了户门上部。住户通过外置楼梯间上楼, 乏气排气管段伸到楼梯间外侧, 从而基本上排除了两个居住单元之间串味的可能, 而户外新风入口也得到了防雨保护。

在采购进出风口的百叶挡板和金属丝网时应该要求选择尽可能大的百叶间距或网孔, 以防阻力损失太大和格栅上冻。如果像图 3-49 那样新风入口得到遮蔽, 就可以防止格栅上冻。晴朗的冬夜特别容易发生这种情况。

图 3-49: 在奥地利 CEPHEUS-Kuchl 项目上的户外新风入口和乏气出口。在防火技术要求方面, 需要与主管部门协商确定户外新风入口与相邻窗户的距离

图片来源: 被动房研究所



4. 管网和防噪声

在新风管网和中央新风机组之间一定要设置消声器。如果在户外新风入口或乏气出口

附近有交通道路（如林荫小道），那么也应在乏气管道上安装消声器。为了保护邻居免受新风机组噪声干扰，建议始终考虑在乏气管道上安装消声器。

根据居室之间的防噪声要求，也必须限制管道传声。这里可以使用聚四氟乙烯消声器。进风房间（卧室和起居室）的设备声压不得超过 25dB (A)。经验表明，DIN 4109^[29] 允许的新风机组噪声极限值仍然被认为是有干扰的。

在新风管道走向的详细设计中，应该特别注意检查是否实现了尽可能简单的管道走向。因为户外新风过滤器以及可能存在的地道所增加的阻力损失会作用到户外和室内送风管段上。



图 3-50：扁风道可以安装在地坪构造层内或吊顶内以节约空间。但是要注意，管网不能太长，以减少阻力损失。见图 2-17 和图 2-18 的说明

图片来源：北威州建筑研究所，亚琛

和新风管网一样，在主机和乏气管道之间也必须安装消声器。对功能间（厨卫）的噪声防护一般比对新风房间（卧室和起居室）的低一些，所以聚四氟乙烯消声器可以设计得小一些，但排气和过渡区的噪声不得超过 30dB (A)。

5. 送风口、排风口和过渡区风口

在选择、布置和设计进出风阀门时应给予特别关注，以防止产生穿堂风效应、短路和噪声。在质量保证范围内，应该在这方面对施工图进行详细审查。

原则上按射流组织形式区分阀门种类。气流直接进入房间的称为自由射流。如果挡板导向使风沿着墙面走的，称为半射流或墙面射流。前者在远程喷嘴上出现，后者在盘式阀门上出现。在新近建设的许多被动房项目上，远程喷嘴使用效果很好，因为这种喷嘴只要很短的进风管道。自由射流部分承担了风道的功能。

根据具体要求，过渡口有不同的施工方式。最简单的做法是加大门扇下方的间隙。从噪声角度门缝最高允许 1.5cm。但应注意业主可能会有很高的防噪声要求。增加门缝的做法容易存在被滑动的地毯挡住的危险。另外门缝也会透光。

更好的办法是在上门框和挡梁之间留一个有遮挡的缝。最新产品是在门扇内组合一个过渡槽，见图 3-53。浴室门上一般采用通风百叶。但应注意避免在脚部区域出现吹风现象。

图 3-51：远程喷嘴（左）可以安装在门上面的墙上，而不会与门上的过渡风口发生短路。也有安装在天花板上的阀门（右）

图片来源：被动房研究所



图 3-52：消声器和新风系统的其他部件



应该用盖子保护以防止脏物进入消声器。只要工地上还有扬尘，安装好的管段也应该采取防护措施

图片来源：被动房研究所



6. 地热换热器

地热换热器不是被动房必备的建筑构件。但它对防止板式换热器霜冻很有帮助。在质量保证中应该检验地热换热器的尺寸是否可以在设计工况下将新风热交换器的进风温度至少提高到 -4°C ，以便确实起到防冻作用。

采用紧凑式热泵机组时，推荐采用地道风或者地热换热器。地道尺寸设计最好保证地道出口风温至少达到 $+4^{\circ}\text{C}$ 。这样热泵全年都有足够的乏气温度，以达到较好的能效比($\text{COP}>3$)。

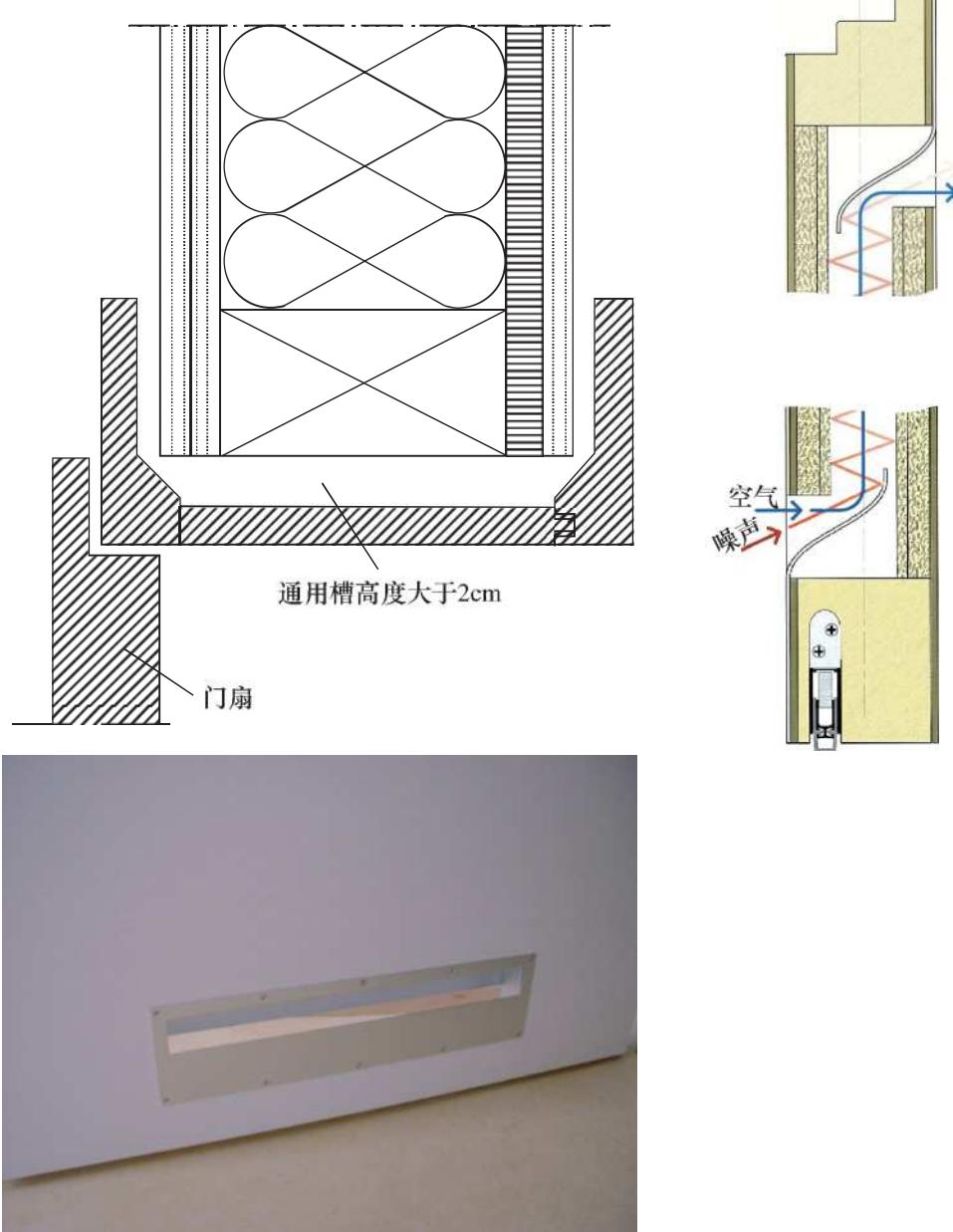


图 3-53：在门上面的挡梁部位安装过渡风口或者直接在门扇上组合过渡风口。用这种办法可以增加隔声效果。如果对隔声没有特殊要求，则可以在门扇上简单开一个口或者在门扇下方留大约 1cm 的缝。过渡口的阻力损失不得超过 1Pa

图片来源：供应商或被动房研究所

地道内壁应该光滑，减少摩擦和阻力损失。另外还要考虑管道易清洗。地道也不要采用 90°弯头，45°弯头和分叉管易于清洗，而且阻力小很多。地道应有均匀的坡度，使早春和夏季在管壁上形成的凝结水能顺畅流出。凝结水疏水井应便于清洗，也可参见 5.5 节说明和图 5-21、图 5-22。

7. 防冻加热盘管

如未设计地道风，则应在新风热交换器入口处设置防冻加热盘管。其任务是将吸入的新风温度始终保持在 -4°C 以上，以保证始终有居室湿空气通过的换热器冷端不会被冻住。

在被动房上不允许像其他低能耗建筑上经常做的那样，在有上冻危险时停用新风机组。这样做一方面会影响室内空气质量，另一方面恰好在最冷的时节失去了新风加热的功能。如果建筑物是通过新风加热的，那么关掉新风机组后整栋建筑就失去了全部供暖功率。所以应该从根本上杜绝间断性运行方式。

必须正确调节好防冻加热盘管的温度性能：在换热器没有上冻危险时预热新风是毫无意义的。所以应该把预热启动阈值精确调节在 -4°C 。如果认真执行了，那么在中欧气候条件下防冻盘管的能耗非常低，因为它们一年中没有几天工作。

所以选择价格低、免维护的电加热盘管比较合适。水力防冻盘管需要采用水和乙醇混合液作为热媒，并需要独立的循环系统。在多住户系统上使用比较经济合理。

设计师必须注意的另一个安全回路是排风机故障停机：当排风机故障停机时，就几乎没有热的空气从房间流向热交换器。这样从外面吸入的冷风极有可能将防冻盘管和辅助加热系统严重冷却，以至于爆裂。为此加热盘管应有低温紧急停用保护，它可激发设备报警并同时切断新风机电源。

小结：被动房新风系统设计准则

- 被动房舒适度准则：在室外空气温度为 -10°C 的条件下，进入房间的新风温度最低必须为 16.5°C 。

原因：被动房在外围护结构内没有散热器。为防止出现不舒适的冷风层和灌风效应，必须限制进风温度^[25]。

- 热回收效率：在质量流量平衡的系统上，在室外温度为 $-15^{\circ}\text{C} \sim +10^{\circ}\text{C}$ 范围内以及干态乏气温度为 21°C 时，干空气的热回收效率应大于等于75%。

- 用电能效准则：在被动房规定的运行工况（设计质量流量）下，新风系统输送单位体积空气流量的电耗不超过 $0.45\text{W}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。这相当于设计体积流量为 120m^3 时，电功率最高只有 54W 。

- 气密性：新风系统向内和向外泄漏流量不允许超过额定排气流量的3%。

- 平衡调节和系统调节性能：

在户外进风或排气侧调节流量平衡；

空气体积流量可分三档调节： $55\% / 80\% / 100\%$ ；

开关处于“关”的状态下待机损失最大为 1W 。

- 防噪声：

当量空间吸声面积为 4m^2 时，设备间声压 $<35\text{dB(A)}$ ；

居室声压 $<25\text{dB(A)}$ ；

功能间（厨卫）声压 $<30\text{dB(A)}$ 。

- 室内空气清洁度：注意设计足够尺寸的过滤器；

新风过滤器：过滤等级F7；

乏气过滤器：过滤等级至少G4。

- 防冻：必须采用防冻预热盘管（可以考虑采用电加热）或者地道风预热。新风系统必须在 -15°C 时也能正常运行。停用风机（哪怕是间断性的）是不允许的。

- 防冻系统：热交换器和辅助加热器必须采取防冻措施：紧急停机和报警。

- 安全系统：出于安全原因，在被动房居室内使用利用室内空气工作的炉子是很有问题的。对于利用室内空气工作且带有烟囱的炉子或烧木粒炉子，必须注意相关安全技术要求（新风机组和炉子的协调控制）。

3.7 被动房其他楼宇技术

在方案设计阶段对热能供应的方式和要求做出基本决策后，详细设计和施工图设计阶

段的质量保证主要应关注尽量减少热能制备、分配和循环系统的损失以及辅助电源需求。这里应该检查招标文件中对管道保温（不能像图 3-54 那样）以及泵的选型。对施工图设计应再一次检查热围护结构内“传热管道”走向的基本原则。这同样适用于热水管道、可能存在的循环管道和水箱以及热能发生器。

另外在检查管道走向时，应保证输热管道距离尽可能短、尽可能避免循环。根据经验，支管内水的体积应小于 0.5L，这相当于 5m 长的 $16 \times 2.2\text{mm}$ VPE 管。如果管径再小一点（如 12mm 铜管），则支管最多可以做到 8m 长。但应注意，管网内有足够的静压，以便最上一层住户的龙头还能出水。

保温围护结构内分配管网的热损失尽管对于被动房不重要，因为它们有 90% 多可用于空间加热。但是尽管如此仍应尽量控制这部分热损失，因为它们不仅仅在供暖季损失，而且全年都在损失。所以即使在热围护结构内，热水管道的保温厚度仍应该是公称直径的 2 倍 ($2 \times DN$)，即这些管道的单位长度传热系数不得超过 $0.13\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。对于经常改变温度运行的管道，应尽量选用热容较小的材料（塑料）。保温围护结构外部的热分配管应尽可能短，最好完全避免。

在选择热水箱时同样应注意减少热损失。所以应该按需设计尺寸尽可能小的水箱，并像太阳能热水箱的做法一样，实现温度分层，并做好保温。特别重要的是一定要认真做好连接管道的气密性保温。所有接头朝下的水箱（即穿过水箱冷区）有节能优点。

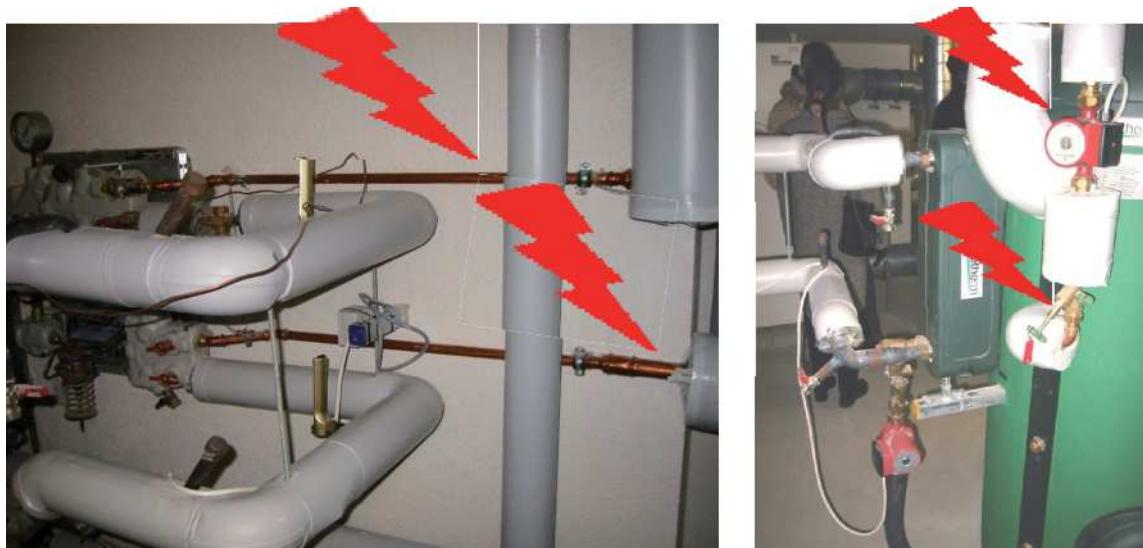


图 3-54：未保温的水箱接头和管道会造成不必要的热损失

图片来源：被动房研究所

小结：暖通详细设计

- 检查热能发生器招标文件中的设计参数要求是否正确。
- 检查所选择热水箱的热损失。
- 避免在保温外围护结构外面布置热水分配管。
- 管道、接头和阀门保温是否充分？
- 检查泵的选型和尺寸（辅助电源需求）。
- 检查循环控制方案和备用水箱补水控制方案。
- 尽量减少卫浴和污水管的热损失，只要可能就采用屋顶下部的臭气管压力平衡阀，见 2.10 节。

第 4 章 招标和授标

被动房对建筑外围护结构和暖通技术提出了很高要求。每个建筑构件的质量非常重要，在相应专业的招标文件中也应该明确它们的性能要求。被动房不应该是高级建筑构件的简单堆砌。各专业的合作对项目整体的成功起决定性作用。应该向招标过程的所有参与者说明这一点。应该激励受委托企业为质量保证采取特殊的措施，例如员工培训、气密性检测等，并在授标时给予相应的报酬。

被动房招标过程原则上和普通建筑相同：工作量要求写得越精确，以后实施过程中问题就越少，承包方估算的费用就越准确。对被动房的技术性能要求汇总在文框内。其他相关信息可以查阅文献 [10] 和 [26] 以及第 8 章的被动房小结。

小结：被动房一般质量要求，可以写在招标文件的前言里^[26]

要求所有建设参与者了解被动房建设中的特殊要求。有疑问时请咨询主管设计师，而不要犯（昂贵的）错误。例如，在将高级窗户装入适合于被动房的墙体里时要注意避免热桥效应和气密性细部节点。错误地选择材料或者偏离设计要求，在一定情况下可能毁掉在建筑构件上的大部分努力。

卓越的保温和紧凑的建筑外围护结构。外围护结构的所有建筑构件必须做到全面良好的保温。良好的保温措施包括无热桥结构设计，必须高度关注边角、接头和穿透口设计。外围护结构必须具有良好的气密性，在压力测试时换气次数应满足 $n_{50} \leq 0.6 \text{ l/h}$ 的指标。

保温窗作为热能收集者。在正常情况下，窗户包括窗框的质量应符合被动房标准 $[U_{W,\text{安装状态}} \leq 0.85 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}]$ 。

舒适性热回收新风系统。舒适性热回收新风系统首先要保证良好的居室空气质量，并服务于节能目标。在被动房上应通过换热器将乏气中至少 75% 的热量送给新风。新风系统不允许产生噪声干扰，必须永久清洁卫生。对于被动房，25dB (A) 的噪声上限值是完全能够实现的。

在被动房上也必须满足剩余的热量需求，因为它不是零能耗建筑。但是通过对本来就必须分配的新风进行辅助加热就够了。这样新风就同时承担了热能分配的功能。

高效热水制备。由于供暖只需要很少的热量，热水制备成了最大的耗能户。利用太阳能集热器可以满足热水制备最多 65% 的能量需求。

节能家电。高效节能家电如冰箱、电炉、洗衣机等可以显著降低剩余的电耗。

所有设备构件的用户友好性。所有系统必须简单易于操作，便于用户正确使用，真正起到节能效果。

质量保证和认证。遵守被动房标准，以精确设计、认真施工为前提。多级质量保证始于利用被动房与设计工具进行方案设计，使用被动房设计计算软件 (PHPP) 进行详细设计，并包括了在建设过程中有经验专业人员的质量保证。

工作任务书

- 招标文件应编写得尽可能详细。
- 规定建设时间计划，约定验收日期。
- 在招标文件中必须详细写明对被动房性能的要求（不能存在误解的可能），以便实施企业能够做好充分准备。

新产品，责任

- 审查对供应产品符合标书性能要求的申明：Ü-标识，CE-标识等。
- 使用新产品，即与“现行技术”有偏差的产品时，必须得到建设方签字确认，例如：
 - 比标准规定的换气次数低；
 - 放弃产品结构许可，应该争取获得产品结构许可；
 - 隔声要求；
 - 窗户的舒适度标准 $U_{w,\text{安装状态}} \leq 0.85 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

保温，无热桥

- 迄今为止，还不能理所当然地期望所有建设参与者都会主动提高保温标准，并对热桥影响有充分认识，所以需要给予特别提示。
- 随招标文件一起提供尽可能详细的设计文件并附相应说明，以便参与者对工作量有一个概念。
- 但要注意“新手”因心里没底而加价。
- 在隔板内吹入保温材料可能会产生沉降，形成空洞。近来供应商了解了这种沉降现象，应该要求供应商提供保温材料沉降性能的可靠说明。施工企业应该知道他们的材料允许多大的连续空腔，而不致沉降引起明显收缩。

气密性构造

- 应尽量避免在气密性围护结构上开穿透口。不可避免的地方应做仔细设计，精确招标和监督施工。
- 在招标文件中应透明描述气密性围护结构的方案。这样相关企业可以提出自己的改进意见并将更好的解决方案付诸实施。

窗户和楼宇门，玻璃

必须精确阐述特殊要求，并要求提供产品的热工性能数据：

- 保温窗框 (U_f)；
- 暖边间隔条，不能用铝合金 (Ψ_g)；
- 玻璃必须满足 $g \cdot 1.6 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq U_g$ 的条件；
- 窗户必须安装气密、少热桥等，见上文。

新风

- 新风换气次数必须分三级可调。
- 可以约定比标准规定小的额定换气次数。
- 使用内壁光滑的新风管道。
- 注意选用电能效率高的系统。
- 采用塑料管时应注意采用抗静电涂层。
- 在招标文件中也应写进新风维护合同（比如 5 年保修），以便事先知道相关的维修费用。是否真的签合同，可以以后再做决定。

其他暖通技术

- 连接热水龙头的水管应尽可能短。
- 所有热水管道的保温厚度应两倍于直径。
- 尽可能不采用热水循环，如果用则支管长度应尽可能短。

估价

- 招标文件越详细，以后的问题越少……
- 提防新手因“害怕而加价”。
- 提防明显“低价”竞标者。

第5章 施工和验收

在被动房的施工过程中，应该比普通建筑更加关注设计要求的正确落实。对于许多施工企业来说，被动房是一件新事物。在施工阶段应特别注意：必须认真准备建设工序，因为对于某些工种，施工顺序起决定性作用。例如在实心墙体内侧，抹灰层作为气密层必须一直连续做到楼板上。而这只有在做地坪前才有可能。

为此建议与各工种约定固定的验收日期。例如，当带有保温的轻木结构上门窗已安装完毕、而气密层仍暴露在外时（安装内侧盖板前），就可以安排气密性测试。这样在需要时还可以比较容易地对气密性外围护结构进行修补。许多木工作坊在报价时已包含了上述内容，因为出于质量保证考虑，这样做对他们也是有利的（与后道工序划清界限）。

5.1 保温

应将外墙外保温系统干净均匀地粘贴在平整的基墙上。应绝对防止在保温层内出现4mm以上的缝隙，因为在这种空腔里会形成气流通道，造成显著的对流热损失。连续空腔还会形成环流，严重情况下会使保温大面积失效，见图 5-1^[10]。

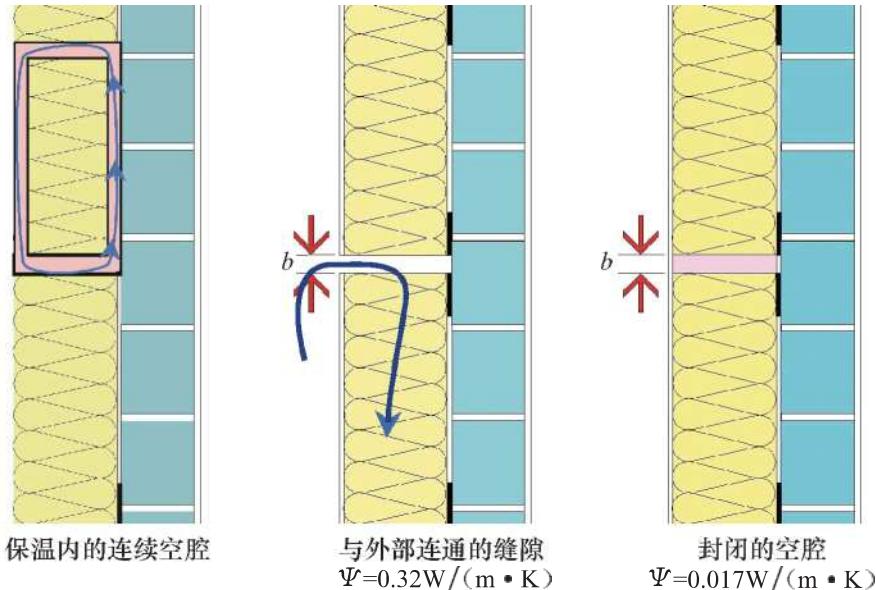


图 5-1：保温层内的空腔会显著增加加热损失。在连续空腔内的环流甚至会使保温层完全失效^[10]

一旦发现保温层内有较大空腔，应立即封堵。可以用保温板填缝，也可以用发泡胶封堵。在这种情况下，气密性不是主要的，更重要的是必须用保温材料封堵空腔。

现场发泡剂不能用于修补大部分位于内侧气密层中的缝隙，因为这种材料一般都会收缩，不能保证持久气密性。参见 3.3 节的小结。

保温系统的防风性能也属于这种问题领域。保温层的外表面——外墙外保温系统的外侧抹灰层或轻木结构的外侧盖板必须整体上做到风不会进入保温层，见图 5-1。否则保温性能会明显变差。但是这与一般位于内侧的气密层要求不能混淆。参见 3.3 节和 5.3 节。

图 5-2：保温板接缝太大（左）；补救措施（右）：用保温材料填补空洞^[10]

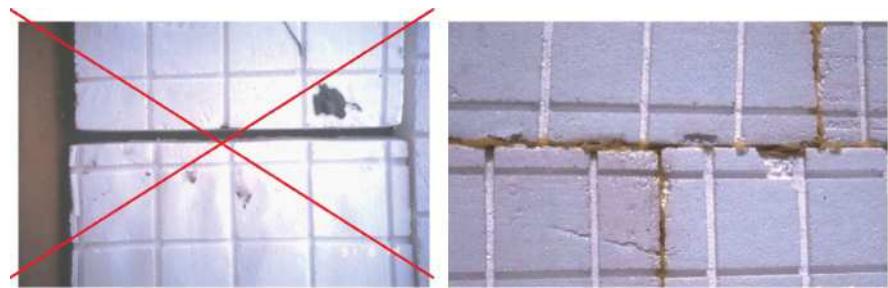


图 5-3：目前市场上也可以采购到符合被动房要求（厚达 30cm）的外墙外保温系统，并且能够单层敷设。重要的是每块保温板都要良好粘贴。有些供应商可以提供企口板（右图）
图片来源：亚琛北威州建筑研究所和被动房研究所



采用吹入式保温材料时，应该抽检内部空间是否填满。同样应该抽样检查吹入材料的沉降情况。应该向供应商索取经过起审查的材料沉降性能证明。施工企业必须知道使用这种材料时允许的最大连续空腔，以免发生显著的沉降收缩。

收到的保温材料应该和设计的保温材料做比对。特别是导热系数等级经常会出差错，因为人们比较喜欢使用“库房中”具有标准性能的材料，而不是新订的导热系数更好的材料^[86]。应该特别关注带有 Ü 标识的建筑材料申报单。

图 5-4：在外墙外保温系统中的窗户细部节点。窗户安装在砌筑墙体外侧，利用角钢或木条固定，参见图 3-41。必要时将窗台板固定在木条上，保证踩踏安全。胸墙处保温一直做到窗台板下部，两侧洞口窗框用保温板覆盖。本图示例中保温板盖住木框一直靠到铝质型材（铝包木）上。伍珀塔尔市 Bosmann 家的房子

女建筑师：伍珀塔尔市 Andrea Hoppe, Hoppe 和 Schäfer 设计事务所

图片来源：Bosmann



除了保温空腔，也应防止水或者水泥和砂浆对材料保温性能的影响。所以必须注意在施工期间对保温材料做好充分遮挡。特别是玻璃棉吸水性很强，湿的玻璃棉没有保温性能，而且风干非常麻烦。

保温地板是啮齿目动物最喜爱的生活场所，应采取防护措施。

窗户和户门与外墙外保温系统的节点要求特别高。窗户两侧和上部的窗框应尽可能多地用保温材料覆盖，例如可以采用抹灰收口型材，见图 5-4。胸墙部分保温必须一直做到窗台板下面。门联窗的窗台板下面最好用木条支撑，保证踩踏安全，见图 5-5。

在多层居住建筑上有数个防火隔离区段，在贴近隔离区段处必须用岩棉制作外保温系统。窗户上部同样必须用岩棉制作挡火梁，见图 5-6。



图 5-5：在门联窗下面的踩踏安全木条。达姆施塔特的住宅建筑项目

建筑师：达姆施塔特市 Faktor10 设计事务所

图片来源：被动房研究所



图 5-6：用聚苯板制作的外墙外保温系统。在防火隔离区段的边界处（多层居住建筑）和窗户上部用岩棉制作防火隔离带。达姆施塔特的住宅建筑项目

建筑师：达姆施塔特市 Faktor10 设计事务所

图片来源：被动房研究所

小结：保温系统的施工和验收

- 应注意保温层的连续性，不得有空洞或空腔，尽量采用企口板，注意良好粘贴。
- 由于工作疏忽产生的空腔（隐蔽缺陷！）必须堵塞或打泡沫胶封堵。
- 防火：用聚苯板制作外墙外保温系统时，在窗户上部必须使用不可燃岩棉条制作防火隔离带。
- 采用吹入式保温材料时应抽样检查腔室内是否填满保温材料。
- 选择招标文件规定的正确的导热系数，检查是否有 Ü 标识并检查货单。
- 施工期间注意对保温材料的防护，避免受到水、水泥、混凝土或砂浆的沾污。
- 注意采取啮齿动物防护措施。
- 注意外围护结构的防风性能。

5.2 无热桥

无热桥建筑主要是设计师的任务^[10]。如果设计方案在无热桥构造方面考虑不充分甚至存在错误，那么再有经验的师傅也无法在工地上作出修正。尽管如此，仍有许多应当在施工期间避免的缺陷病灶。

窗户节点是一种特殊热桥，必须在设计时给予关注，将其减少到最小程度，见3.4节。在施工中必须特别注意按照设计要求正确安装细部节点。特别在轻木结构建筑上，工匠们喜欢即兴发挥，最后造成多用了许多结构力学上根本没有必要的木材，并对窗户节点的热桥效应产生不利影响，见图3-35。对于采用外墙外保温的实心墙体应该注意，必须按设计要求将窗户向外推到保温层内，见图3-36。

对于卷帘同样应该注意：增加的热桥一般是可以接受的。但是一定要检验是否能完全防止结露。必须在现场具体检查节点处理。

当然，所有其他细部节点也都必须检查它们的正确施工。轻木结构建筑生产厂家在加工墙体和屋面组件时已做过质量检查，在施工现场用盖板封闭相关组件前进行检查效果更好。

图5-7：保温做得非常好的建筑物的红外成像。

浅绿色的点是将阳台固定到墙上的不锈钢锚固件

图的右侧是邻居未做保温的墙面，作为对比

纽伦堡的建筑节能改造项目，Jean-Paul-广场

建筑师：纽伦堡市 Burkhard Schulze Darup 设计事务所

图片来源：被动房研究所

不锈钢锚固件

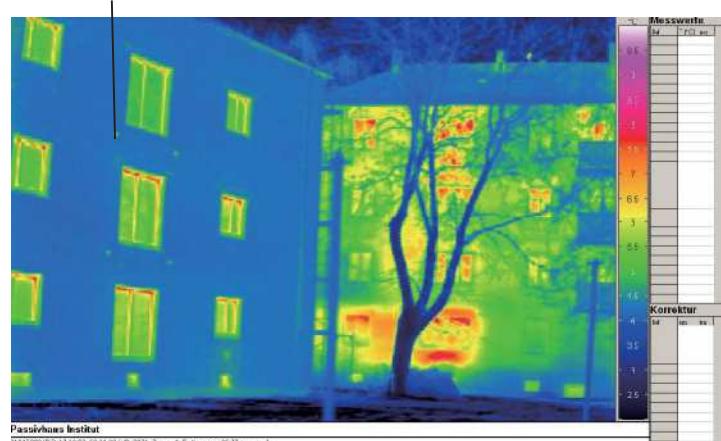
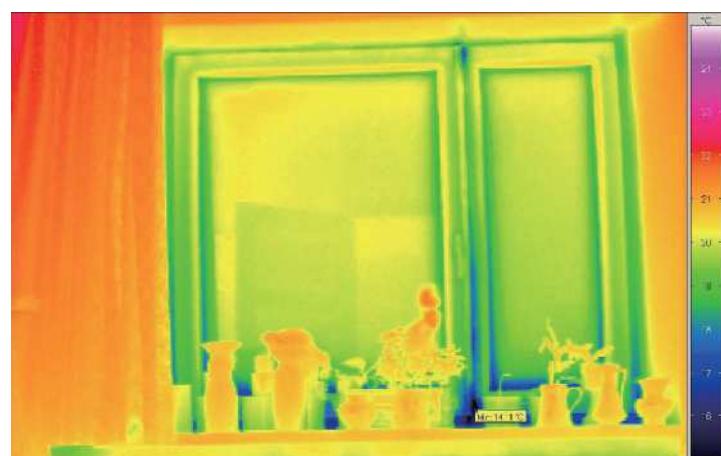


图5-8：从室内拍摄的窗户红外成像。所有温度均位于绿色区域，即没有任何部位温度低于14°C。室外温度为-5°C

纽伦堡的建筑节能改造项目，Jean-Paul-广场

建筑师：纽伦堡市 Burkhard Schulze Darup 设计事务所

图片来源：被动房研究所



红外成像显示了建筑构件表面的温度场^[70]。室外温度较低时，容易发现建筑外围护结构的热工薄弱部位。所以红外成像技术特别适用于查找建筑构件的热桥。从图5-7可以

看到一些（设计时已经考虑到的）热桥，它们是由于后来将阳台安装到墙体时不锈钢锚固件造成的。

小结：无热桥施工

- 检查窗户节点是否与设计一致：
 - 窗户必须位于保温层内；
 - 木质部分应限制到结构力学要求的最小尺寸。
- 注意卷帘的附加热桥效应。
- 楼板与外墙连接处必须有足够的保温覆盖。
- 注意检查墙脚与底板的热桥效应。
- 灯具等安装采用热断桥锚固件（支架）。
- 验收时采用红外成像法可帮助发现薄弱环节。
- 室内红外成像可以在气密性测试时一起使用（负压热成像）。

5.3 气密性

严格的气密性构造同样也是设计师的主要任务^[10]。如果像图 5-9 那样，施工人员再努力也无法制作满意的气密性构造。这里横梁、新风管道和污水管道纵横交错，也没有明确的气密层位置标识。



图 5-9：这种节点处理是几乎无法挽救的。这里横梁、新风管道和污水管道纵横交错，无法识别气密层位置

图片来源：德特穆特低能耗研究所^[86]

此外也应同样检查设计要求是否得到正确落实。应特别注意检查细部节点是否与设计要求相一致！

气密层最主要的缺陷是建筑构件气密性节点处理不正确（图 3-29～图 3-31）。轻木结构盖板接缝必须用密封胶带完全盖住，然后再做内装修。吹入保温材料的开口同样应做好

封堵。

实心墙体的抹灰必须一直做到混凝土楼板，然后再做地坪（图 3-25）。因为未抹灰的砌筑墙体一般是不密封的。这同样适用于墙前将安装设备的砌筑墙体，见图 5-12。一旦安装完设备后，后面墙体的泄漏是很难查找的，修补起来也非常困难。

图 5-10：做得好：有明确的气密层，新风管道走向明确，穿透口粘贴得干净利落

Bosmann 家的房子，建筑师：伍珀塔尔市 Andrea Hoppe, Hoppe 和 Schäfer 设计事务所

图片来源：Bosmann



外墙上的插座要么用石膏完全填埋（实心墙体），要么采用气密性空墙插座盒（图 5-12），插座盒上只开必要数量和尺寸的孔。最好完全避免在外墙上安装插座。采用明线和明插座就没有这方面的问题，而且以后还可以随时打开线盒增加电缆。

风门试验

采用“风门”压力测试鉴定一栋建筑或一户居室的气密性。风机安装在一个洞口如门或窗内。所有其他开口如进出口风道均应封堵。用一台风机在一户居室内先后建立 50Pa 的微正压和微负压，并同时测量在该压差下风机抽吸的空气体积流量。实测体积流量除以居室的净体积 (m^3)，得出 50Pa 压差下该居室的换气次数。被动房气密性的极限值为 $n_{50} = 0.6 h^{-1}$ 。标准^[89]规定了压力测试方法和计算模量。建筑气密性专业协会 (FLIB) 对此给出了更多的说明^{[90], [92], [93]}。

50Pa 压差下的这个换气次数不能和额定换气次数 (h^{-1}) 搞混了。后者是新风系统正常工作情况下应该维持的换气次数，见 2.9 节。

风门试验在建筑物内建立负压的时，吸入的空气会迅速冷却周围的建筑构件，如果此

时进行红外成像，即所谓的负压红外成像，就可以很快查找到门窗密封舌条的漏气位置和建筑构件内的缝隙，见图 5-13。

压力测试是被动房质量保证的核心手段。许多公司把它作为一项服务一同报价，因为这样可以避免以后非常麻烦的封堵修复工作。从“气密性”外围护结构的性能保证角度考虑，也建议采用这种方法。这样也可以与后道工序有明确的界定。

尽管如此，在建筑物竣工验收时仍应由独立专家进行补充压力测试，以便保证在室内装修过程中气密层没有受到损伤，见图 5-11。

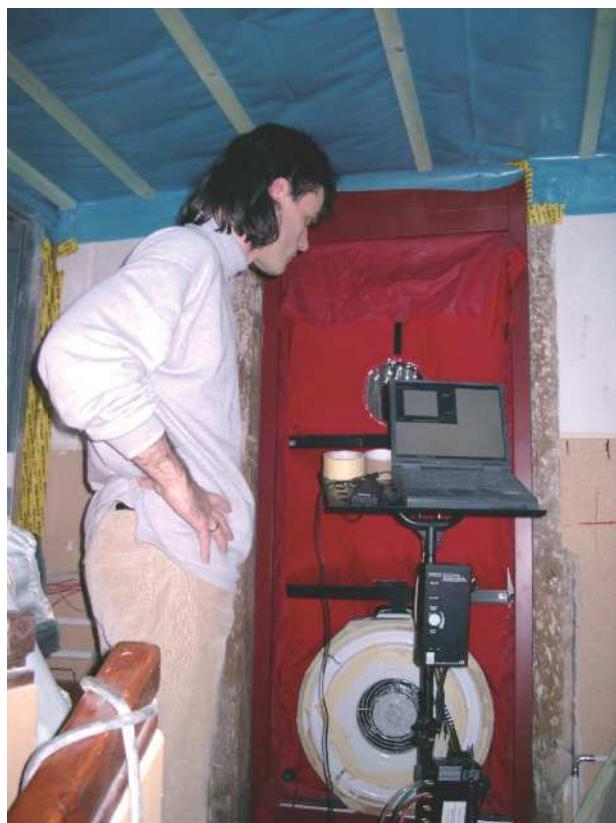


图 5-11：风门压力测试

图片来源：被动房研究所

小结：气密性

- 这里施工工序设计非常重要。例如：一定要在做地坪前做好墙体的全面抹灰。
- 最好在安装时进行目测检查，否则做抽样检查。
- 在盖住气密层（内装修）前做风门压力测试。
- 在压力测试过程中应同时检查、定位和修补发现的泄漏点。在负压下可以利用风速计测量泄漏点（缝隙等）的风速。这样大致可以估计泄漏点的尺寸。
- 更好的做法：在负压下从室内进行红外成像：“负压红外成像”。
- 检查卫浴室内将要安装墙前设备的墙体部位是否已经完全抹灰，所有穿透口是否进行仔细封堵。
- 外墙内的插座盒是否确实达到气密性要求。

轻木结构采用气密性插座盒，实心墙体内安装的埋入式插座盒应进行气密性填埋，见图 5-12：插座漏风。

- 参与各工种：抹灰工和（或）木结构安装工、窗户安装工，必要时也包括电工和水暖工，在压力测试时均应到场，以便能够及时修补缺陷。
- 必须向后续工种交代他们的行为可能带来的后果——即做完压力测试后还可能在气密层内打孔时，存在泄漏的危险

图 5-12：如果建设参与者知道问题所在，气密层内潜在的泄漏是可以避免的：采用气密性插座盒，气密性墙前设备或者采用完全填埋的埋入式插座盒

图片来源：被动房研究所，图宾根市 ebök



明装插座
和线盒



未做气密性封堵
的埋入式插座盒冒出的
“台风”



墙前设备安装后泄漏点无法定位



将线缆绑在一起穿过墙体并
进行封堵

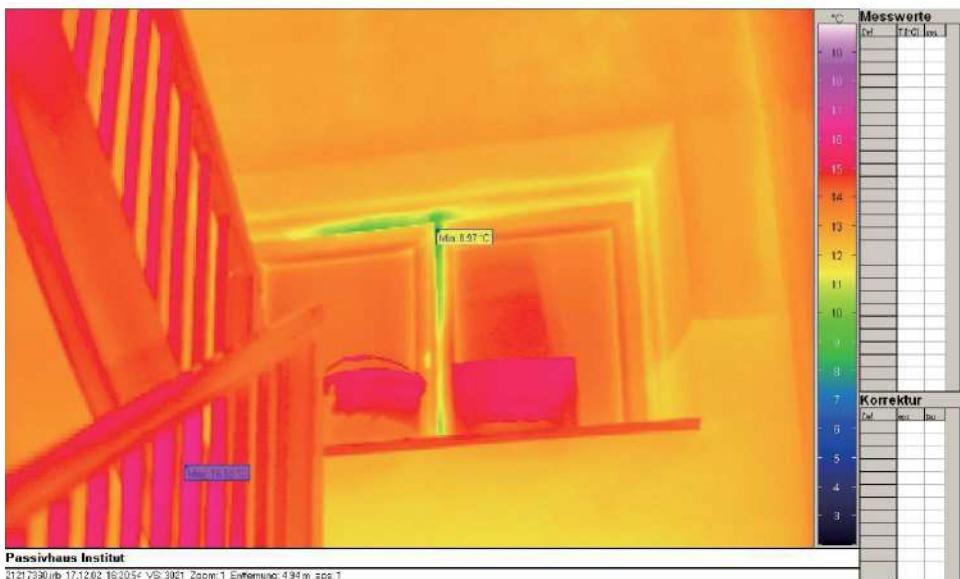


气密性空墙插座盒，只开必要数量和尺寸的孔



图 5-13：一扇户门和窗户的负压红外成像。可以清晰地看到泄漏点

图片来源：被动房研究所



5.4 窗户

窗户也一样，必须在开始室内装修前（轻木结构）检查气密性节点。在实心墙体结构上必须检查内侧抹灰是否和窗框形成气密性节点。

此外，对于窗户必须详细检查设计或订购的产品是否与供应的产品相一致。这里包括保温窗框（窗框传热系数 U_f ）、间隔条（热桥系数 Ψ_g ）和玻璃（传热系数 U_g ）。特别重要的是检查实际供应的暖边间隔条的材料。缺少被动房窗户经验的设计师和企业合作时，经常在采购玻璃时对间隔条没有给予足够的关注。

如果后来才发现没有采用暖边间隔条而是普通的铝合金间隔条，这时候质保金的赔付金额会很高，一些小的门窗厂可能因此而倒闭。一旦出现这种情况，客户会和供应商谈判做减价处理^[87]。但这种赔偿事宜最好不要发生。

当然，也应该检查窗户的使用性能和五金件的正确安装。必要时调节门窗的五金件，保证密封条能够压实。

- 抹灰前检查气密性节点。
- 安装完以后正确调整五金件，以便门窗密封条能够气密闭合。
- 检查订购的和实际供应的产品是否一致：
 - 窗框的尺寸和材料（传热系数 U_f ）；
 - 检查供货单和检验标识；
 - 间隔条必须是热断桥的（热桥系数 Ψ_g ），不得使用铝合金间隔条!!!
 - 玻璃传热系数（ U_g ）。
- 利用红外成像检查缺陷，也称为负压红外成像。

5.5 新风系统

在安装整套新风系统时，应从质量保证角度做好所有组件的防尘保护（也可参见施工现场管理法规 VOB）。这里包括风道、主机和过滤器。直到投运前所有开口都应盖住，见图 3-52。只有确认楼部没有建筑垃圾以后才可以投运。必要时清洗过滤器或更换新的过滤器。

若不注意上述清洁检查，除了存在卫生问题，也可能造成腐蚀，因为一些腐蚀性介质会腐蚀缠绕卷边管的镀锌层，见图 5-14。

图 5-14：锈斑。腐蚀性介质如砂浆和水泥会侵蚀缠绕卷边管的镀锌层造成腐蚀，并很快毁坏组件

图片来源：被动房研究所



1. 新风主机

新风主机安装中的质量保证任务是检查主机外罩是否与基础有足够的隔声间隙，凝结水槽是否有足够的坡度，能够让凝结水顺畅流出。在大型设备上这些事情非常重要。凝结水槽一定要通过水封接入下水道。

为防止固体传声，管网连接必须进行隔声处理，例如可以采用帆布接头或橡胶圈接头。此外应检查冷管段的保温（图 5-10）与主机的连接情况，因为潮湿的空气会通过缝隙

在管子表面结露，浸湿保温材料。

在质量保证范围内应检查最重要的主机功能（防冻、夏季旁路等）。应保证能够方便地接近所有需要维修、清洁和更换的组件，如过滤器、凝结水槽、换热器等。

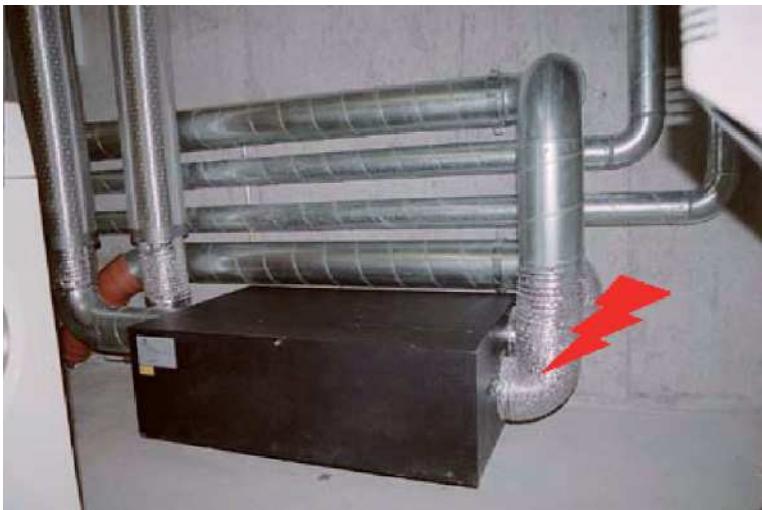


图 5-15：不推荐：管道通过伸缩管连接（噪声、压降、污染）。最好采用帆布或橡胶圈
图片来源：被动房研究所

2. 过滤器

一般可由住户自行更换过滤器，见第 6 章。所以在质量保证范围内应该检查，是否方便更换过滤器，是否存在装反的危险（新风/乏气过滤器，过滤器安装方向）。否则应该有相应的文字说明和标识。重要的一点是过滤器应该在机壳内坐实密封。图 5-16 展示了一个装在过滤器壳内的质量很好的 F7 过滤器，过滤器用调节螺栓压紧。

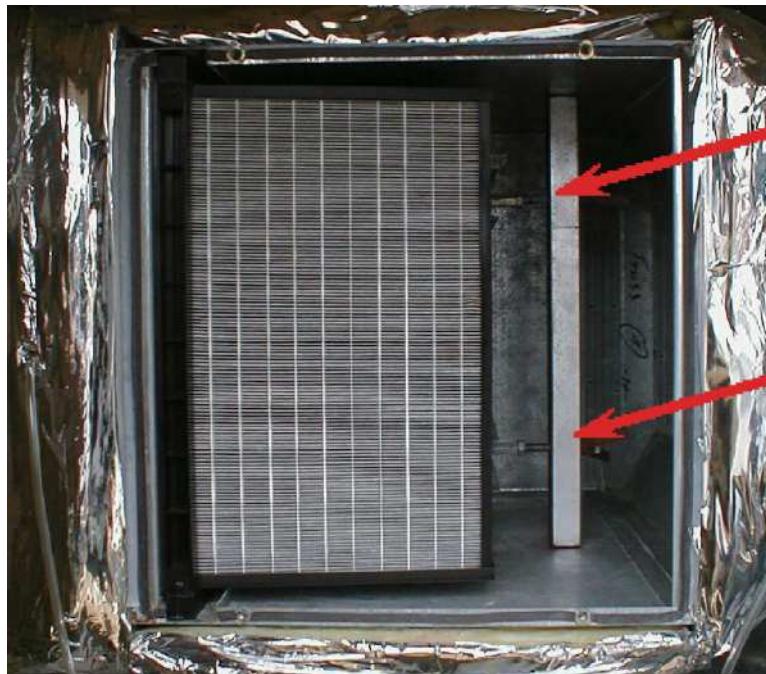


图 5-16：装在过滤器壳内的新风过滤器，用调节螺栓压紧（箭头所示）
图片来源：被动房研究所

3. 新风进风口和乏气出风口

借助设计图纸往往还不能最终检查新风进风口或乏气出风口的布置是否正确。所以质量保证的任务是现场检查实际安装情况。图 5-18 展示了非常适合安排新风进风口的位置，它距离地面有足够的高度（出于卫生原因），并且有阳台挑出部分挡雨和挡飞雪，并防止

结冰。此外，新风入口的位置也应能够防止人为破坏。当然，在其附近不应有堆肥场、停车场等污染源。

应在现场检查乏气出风口是否会将潮湿的空气直接吹到建筑构件上。由于排出的乏气始终处于饱和状态，直接吹到建筑构件必然会造成湿气损伤，参见 2.9 节。

图 5-17：这样不可以！新风吸风口贴近地面会不必要地吸入许多粉尘

此外还应注意防火：风道与窗户必须保持最小安全距离

图片来源：被动房研究所



4. 新风和送风管网

对于送风管网的气密性一般不会提出过高的要求，因为这些管网正压运行，不存在通过泄漏点吸入空气的可能。当送风管网负压运行（例如在多层居住建筑上将风机装在每户居室时），并在一个管道井内布置送风和排气管时，可能会出现串味。为此应采用在圈缝接头内嵌入密封绳的特制缠绕管。此外应该检查负压新风管道和正压排气管道上所有 T 接头和安装组件的密封性。为了防止串味，在 200Pa 输送压力下，乏气管道的密封性应好于（欧洲空调设备制造商委员会）EUROVENT III 级，送风管的密封性应好于 EUROVENT IV 级^[88]。

图 5-18：新风吸风口距离地面 2.5m。哈维克斯贝克市

Müller-Perkuhn 家的房子

建筑师：哈维克斯贝克市 Uwe Müller-Perkuhn 设计事务所

图片来源：亚琛北威州建筑研究所



当带有密封舌的 T 接头与缠绕卷边管一起使用时，供应商会给出符合 EUROVENT Ⅲ 级的证明。对此无论如何也要建议，在 T 接头的舌形密封区和所有过渡区的管接头用新风胶带密封。这样做对于减少噪声干扰也是特别有意义的，因为被动房居室外围护结构非常密闭，背景噪声很小。当某种原因使必要的风量平衡受到干扰时，管道缝隙漏风会产生烦人的噪声。

为了保证安装质量，建议在招标文件的工作任务书中增加新风总管查漏的要求。根据查漏试验结果可以进一步提高管网施工质量和进出口管道使用材料的质量。只要认真施工，一般都明显低于规定的限值。

为了减少泄漏（例如对于送风管道），可以使用热熔连接的聚丙烯管（PPs），但应特别注意这类材料的着火性能（尽管有楼板屏蔽）。

5. 乏气管网

乏气管网适用与新风和乏气管网相同的原则。这里还要注意它们应便于维修和清洁。所以，乏气管网也要力求尽可能的紧凑。

6. 送风口、回风口和过流口

在质量保证范围内，在投产后应检查进风口的正确安装、调节，必要时测试进风口的噪声。所有进风组件应有标识防止装反，调试数据（气流间隙宽度和盖住孔排的数量）应记录在案。只有这样才能防止以后换错风口组件，并轻松地根据档案记录恢复原来的调节状态。

在质量保证范围内，应抽样检查上述调节或者逐项测量体积流量。有不同的测量仪器，可以像漏斗一样盖住出风口或回风阀，测量体积流量。

为了保证测量精度，这里应优先选用带伺服风机的测量仪器，而不是热线风速仪或叶轮风速计这种被动式仪器。带伺服风机的测量仪器可以直接在风口处测量体积流量，而不会受到附加阻力损失的影响（见图 5-19）。根据风口形状可以选择不同的漏斗套头。



图 5-19：在起居室门上面的送风口上测量新风体积流量

图片来源：被动房研究所

过流口应该保证在房门关闭状态下送风和回风区之间的空气流动。过流口的压力损失不得超过 1Pa，否则存在回风区增加空气（强迫）内渗或送风区空气外渗的危险。可以用

热线风速仪测量风速，检查过流口的压降（毛估），风速应该小于 1m/s。

7. 新风系统平衡调节

整个新风系统必须进行平衡调节，使每个送风口和回风口的体积流量在总和上平衡。过量的送风或回风是没有意义的，因为由此会造成外围护结构缝隙的内渗或外渗，增加热损失，而且这种损失一般是无法控制的。过量送风会使空气由内向外流过建筑构件，存在湿气损伤的危险。

经验表明，只有借助带伺服风机的流量计才可以比较精确地实现平衡调节，见图 5-19。热线风速仪或叶轮风速计的测量精度不够。

如果不在所有送风口和回风口测量流量，也可以利用两个十字风速计测量风机输送的总流量。这种静压十字风速计必须安装在新风机的冷端，其中一个位于新风管道，另一个位于排风管道，见图 5-20。这样就可以直接比较两个体积流量，通过调节两台风机的静压，直到送风和排风实现平衡。

图 5-20：静压十字风速计，装在 DN100 的管子内。测量的压差可以直接换算为管内风速或通过管子的体积流量

图片来源：被动房研究所



静压十字风速计最好固定安装在系统内并留在那里，这样可以随时检查平衡，必要时进行补调。调节数据应该记录归档。新出来的一些仪器。可以借助风机性能曲线自动调节送风和排风体积流量。

8. 地热换热器

地热换热器一般采用负压运行（风机装在主机里）。为防止从土壤吸入空气（可能出现氡气污染）或进水和其他污染物，在填土前应该仔细检查地埋管的密封性。同样应该检查是否有均匀落差。特别是采用非刚性材料时容易形成囊弯影响疏水。

地埋管通过双水封向污水管疏水，这样既不会串味也不会回流，见图 5-23。也可以采用带水位计的疏水泵，将产生的凝结水送到比它高的污水管道。敷设地埋管时应朝着检修井方向建立均匀落差，便于凝结水流，见图 5-22。一定要防止出现积水的囊弯。



图 5-21：房子周围的地理管，应注意管子密封性，落差均匀，没有囊弯

图片来源：亚琛北威州建筑研究所



图 5-22：地理管检修井俯视图

图片来源：亚琛北威州建筑研究所

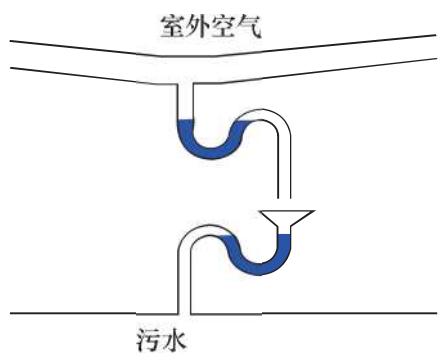


图 5-23：为了防止串味和回流，应通过双虹吸管向污水管疏水。疏水口最好布置在检修井里。必要时向虹吸管补水。也可以采用带水位计的疏水泵

图片来源：图宾根市 ebök

小结：新风系统

检查新风主机

- 注意新风管道连接的噪声隔离，防止固体传声。
- 注意主机安装时的噪声隔离。
- 注意外围设备的正确连接（操作单元，防冻等）。
- 通过水封向污水管疏水的正确连接。
- 检查是否便于检修（过滤器、凝结水槽、换热器）。

检查过滤器

- 检查所有过滤器是否正确安装密封入座，泄漏会污染管网。
- 如果有的话，检查前置过滤器（厨房内的不锈钢过滤毡，卫浴室的粗颗粒过滤毡）。

检查新风吸风口/排风口

- 新风吸风口尽可能高于地面 3m。
- 选择合适的位置：不要靠近局地空气污染的位置。
- 防止人为破坏的保护。
- 防雨和防飞雪保护。
- 防止新风吸入口和排风口短路（串味！）。
- 排风口不允许吹到建筑上，冬天会结露结冰。
- 约定固定的验收日期。

检查新风管网

- 仔细检查负压运行管段的密封性。
- 检查外围护结构内冷管道的防渗保温（“防结露保温”）。

检查排风管网

- 仔细检查负压运行管段的密封性。
- 不要将抽油烟机接到排风管上（使用循环风油烟机）。

检查送风口、回风口和过流口

- 送风阀门可以采用远程喷嘴的形式：装在楼板下方约 15cm 高度，尽量装在门的上方，见图 3-51。
- 当采用盘式送风阀门时，应与过流口相对安装，以防短路。
- 送风温度绝对不可低于 16℃，以免出现不舒适的冷风现象。
- 不允许直接吹入人员逗留区，参见 3.6 节。
- 检查设计的体积流量。
- 卫浴室的回风阀最好装在上方（便于水蒸气排出），检查是否存在抽风现象。
- 检查过流口的压降（最大 1Pa），可以用测量流速的方法来检查（<1m/s）。

检查地埋管的施工

- 检查地埋管的密封性（压力试验）。
- 检查管道的落差（凝结水疏水！）。
- 保证疏水正常（排出凝结水）。
- 检查是否易于检修（清洁）。
- 地埋管入口的第一个（前沿）过滤器质量要高，至少 F7。

5.6 被动房的其他暖通技术

对许多被动房项目的后期跟踪测量，发现运行一年以后，分配热损失远远高于设计指标^[13]。原因往往是热水管道没有做好保温。保温没有做好并不一定是工人的活没有做好，相反他们的活做得很精细，见图 5-24。从热工角度看，热损失大多出现在三通、紧固件和阀门区域，没有做好连续保温的部位或出现热桥的部位占热损失的主要份额。固定卡圈应该在保温外面，而不是直接卡在管子上。对于厚壁管道需要较大固定力时，可以先在管子上垫一层隔热毡，再上紧固件。直到现在通常做法仍然是在三通和阀门部位保温没有做通。近来市场上已经可以买到几乎适用于各类三通和阀门的定型保温卡件，见图 5-25。

和新风系统一样，质量保证在暖通系统上的任务是检查控制和调节系统，并与设计值进行比较。



图 5-24：未保温阀门产生很大的热损失，这是没有必要和令人生气的

图片来源：被动房研究所



图 5-25：利用合体的保温罩对阀门进行保温，不影响操作和检修

图片来源：被动房研究所



- 检查管道保温施工质量。
- 检查紧固件、三通和阀门处的保温。
- 检查控制和调节系统的调试（参数、额定值、开闭时间）是否与设计值相一致。

5.7 由谁提供质量保证和其他信息？

如合同约定，任务承担方对其产品的正确功能和性能负责，原则上适用于所有工种。建设方和建筑师可以聘请第三方对报价或实际供应产品的质量进行确认，特别是当他们第一次接触像被动房这样复杂的项目时。由专业设计师提供咨询是保证质量成功的第一步。这一点在 1.4 节“一体化设计”中已有详细阐述。

按照法律规定，承重结构的设计必须委托专家进行，对此业界都有共识，因为建设的楼宇必须稳固。对于被动房的保温和整个建筑物理以及暖通设计至少也应该给予同等的重视。因为在被动房上只有认真做好保温并采用高效新风系统才能实现热舒适，也就是房子里哪儿都是舒适的温度环境，也只有这样才能使供暖负荷小于 10W/m^2 。

如果热能发生器的供暖功率就如本书阐述的那样按照这么小的数值设计，那么保温和新风热回收的任何缺陷极有可能影响居民的居住舒适度，这些缺陷只能通过增加供暖来“烧掉”，而居民只有在交供暖费时才会发现。

被动房的质量保证和建设标准的研发是紧密相连的。针对这个课题，各类大小会议提供了一个实时讨论平台。其他相关信息也可向被动房研究所咨询^[26]，还可以从被动房研究所网站上调出已建成被动房的即时更新清单，其中还有参与项目的建筑师和专业设计师。这样想建被动房的人可以找到这些地区有经验的专家。

此外，一些专业杂志^[58]也会及时报道被动房建设项目的相关信息。

近来，许多专业行会在红外成像^[99]和气密性测试^[100]方面提供专业服务，而且他们提供的信息都是比较中立的。通过咨询这些协会，也可以获取专业服务工程师的办公室地址。

作为本书德文原版的出版方，位于亚琛的北威州建筑技术研究所和州城市建设、住房、文化和体育部（MSWKS）同样可以提供帮助^[19]。此外，北威州建筑师协会^[101]也是重要的咨询对象。

第 6 章 日常使用

在被动房内居住——注意事项一览表

你应该定期做的工作

- 从 11 月到 3 月底, (根据天气情况) 窗户保持关闭状态, 运行新风系统 (旁路调到冬季运行位置);
- 夏季完全和平时一样开窗通风。可以把新风机调到“夏季通风运行模式”进行卫浴室排风。天气太热时启动夏季旁路;
- 更换过滤器: 每 3 个月检查 1 次新风机组上的 2 个过滤器;
厨房过滤器每 6 个月检查 1 次;
- 每月抽检 1 次暖通和太阳能装置;
- 为防止夏季过热: 利用夜间通风和遮阳装置, 尽量使用节能家电。

其他检查工作

- 每 2 年清洗 1 次新风系统的热交换器。
- 调节窗户, 检查密封条, 给五金件加油。

应该注意的事项

- 冬天家里较长时间没人时不要关掉暖气, 而是把自动温控阀调到 18°C (不要再低), 新风调到基本通风一档。
- 供暖季窗户仅在需要时开启 (新风系统故障停机、家庭聚会等)。用完后尽快关闭入户门和阳台门并重新关严!
- 不要在房间窗户前面放置浅色反光物品 (最小距离 20cm), 否则会因局部高温引起玻璃碎裂。
- 打膨胀螺栓、钉子、螺丝等损坏气密性外围护结构后, 应利用填缝剂将外墙抹灰层中的孔洞填补好!
- 始终保持送风口、过流口和回风口畅通, 不要随意改变调节!
- 最好不要用排风式干衣机, 否则会有大量水分进入居室, 容易发生结露霉变! 如果一定要用, 就用冷凝式干衣器。也可以不用干衣机风干衣物, 见下文。
- 初次上冻前排空花园水管。
- 寒冷季节白天尽量不要遮挡窗户 (会影响太阳能得热)。

- 供暖季避免开窗通风。
- 室内温度适可而止（防止过度供暖）。
- 浴室暖气一般保持关闭状态，或者不要用它长时间加热。
- 尽量使用不用电加热的干衣箱或者把衣物挂过道或浴室的晾衣架上，这样潮气容易被排走。
- 使用节能家电和节能灯，电气设备不用时完全关掉，不要让其处于待机状态。
- 在有控制通风的房间里干衣效果特别好：把晾衣架放在排风室内（浴室或储物间），或者家里没人时放在送风房间里。由于有连续空气交换，衣物的湿气会很快排出，一天时间衣物就干了。

6.1 给用户的详细说明（见附录 A、B）

小结：住户说明

保温和气密性层：

- 在外围护结构的内侧抹灰层或盖板上不要留孔洞，即使看不见也不行！

窗户：

- 不要把浅色或发光物品直接放在窗户跟前。
- 让太阳晒进屋里，不要用厚窗帘。
- 从 11 月到 3 月让窗户保持关闭状态！
- 冬天通过带热回收功能的新风系统通风，所以窗户也不要放在内倒位置！
- 在夏季，夜间和早上通过窗户通风，白天关窗和放下遮阳，可以保持房间阴凉。

新风系统：

- 如果有地埋管，夏季新风系统（旁路运行，没有热回收！）可以向房间送入地道凉风。
- 不要盖住或者调节送风口！
- 如果你没有外出度假，把新风系统调在“正常运行”一档。
- 家里无人时，调到“基本送风”一档。
- 新风系统：比开窗换气更好更舒适。

第7章 写给物业管理和业主的使用手册

给一栋建筑物写使用说明书好像很少见。使用说明书一般为技术设备编写，介绍它们的功能和操作维护。对于独栋住宅的居民和多层居住建筑的物业管理部门，这样的技术说明应该是维护和修理的重要参考材料。尤其是多层居住建筑有许多公共暖通设备，需要定期维护保养。

被动房采用了特别先进的建筑标准，不仅对于住户，而且对于物业管理人员都是一件新事物。这类建筑物的使用其实一点都不复杂，不过和平时有点不一样而已。比如，带热回收的新风系统和通过送风辅助加热需要住户逐步适应，要求物业管理人员有一些相应的知识。

为了传授这种知识，被动房研究所编写了两本手册^[97]。一本是《多层居住建筑用户手册》，它主要是写给住户看的；另一本是《物业管理手册》。

住户手册回答一些一般性的问题（比如什么叫被动房等等），并且向住户介绍在日常生活中经常遇到的一些注意事项。

《物业管理手册》的主要任务是介绍暖通系统的相关技术、每个建筑构件和设备如窗户和保温的特点。此外，也要向物业部门说明住户行为的影响，以便他们能够尽快教会居民，并且在住户入住前将使用手册交给他们。

编写这样的使用手册对于普通住宅也是值得推荐的。住户手册内容包括：舒适的室内环境、健康卫生的室内空气、防止建筑损伤，住户了解多了就可以显著节省供暖费用。“给普通住宅的建议”在有些地方是和被动房完全不同的。下面将简要介绍对被动房建筑构件维护保养方面最重要的知识。有###标示的地方说明需要根据建筑物的实际情况加以调整和补充说明。

7.1 保温和防止热桥

1. ###外墙外保温系统（实心墙体）：

被动房外墙外保温系统的构造和普通建筑完全一样，只是保温板要厚许多。被动房保温板厚30~35cm，而普通建筑保温板厚度一般只有12cm。保温由###-保温材料组成，粘贴到###-砌筑墙体上。所以以后从外面向墙体上固定东西是比较麻烦的。如果一定要在外墙上固定东西，就一定要注意尽量减少热桥。灯具和轻型栏杆等必须固定到专用支座上（图3-1），或者用专门保温锚栓固定到墙上，以防止产生热桥。这类热断桥锚固件也完全可以在以后装到保温系统内，不过安装时要特别注意仔细恢复和封闭保温系统的防护砂浆（防水）。为了将来的维修，最好在安装外保温系统时预埋专用的脚手架锚固件，并永久留在保温系统内。但是必须能够识别到这些脚手架锚固件。###必要时可加以标识，告诉此处有锚固件。任何一种对气候保护层的损伤都有渗水的危险，并可能使抹灰层

冻胀。####这里应该补充供应商对于抹灰层修复和新做抹灰层的相关说明。

2. ####轻木结构：

轻木结构的建筑形式有很多。这里需要说明可能需要的维修工作和后续固定问题，也可参见图 3-2~图 3-5 的例子。

7.2 气密性

被动房非常低的供暖热需求和新风系统的功能保障，是以外围护结构良好的气密性为重要前提的。只有通过精细设计、认真施工和压力测试才能实现良好的气密性（####这里给出风门试验的测试结果，便于在以后复查时进行比对####）。为了能够长期保持气密性，住户和物业都应该注意，不要损坏气密层。外墙内表面的抹灰层（实心墙体）或者轻木结构内表面的盖板构成了气密层。盖板接头处张贴密封胶条或####薄膜。屋頂部位一般采用薄膜####。窗框通过相应的薄膜####或专用胶条形成气密性连接。

必须借助住户手册向住户说明，外墙上如果钉了钉子或膨胀螺栓，在取掉以后一定要用腻子填补好（####对于实心墙）。更换租户时应特别注意，必要时进行修补。住在顶层的住户应该注意，####不要损坏顶棚上的薄膜。建议把保护外围护结构和保持气密性写进租赁合同。对于产权房和独户住宅，给予明确说明就够了。

住户一般都愿意在其他位置安装灯具，而不是装在给他们留的安装口。建议在顶层住户入住时给他们安装专用吊钩和螺栓，以预防损坏气密层薄膜。

窗框内的舌形密封条，尤其是内侧的密封条对于气密性十分重要。####此处可插入制造商的维修说明。对于多层居住建筑建议和供应商签署维修合同，因为五金件每年需要上油，必要时更换密封条以保证气密性。

每个居住单元装有进出风管。应防止多住户住宅通过楼梯间互相串气。所以户门应尽可能有良好的气密性，需要经常检查。

7.3 窗户

被动房窗户采用了热损失非常小的高级三层玻璃，所以有时候外面的玻璃表面会结雾。这不是窗户缺陷，太阳出来就没有了。

窗框也是保温性能非常好的建筑构件。在机械操作和维修方面，被动房窗户和普通窗户没有差别。五金件的调节特别是角部铰链和连杆的调节，以及部件更换和开启扇的装卸应该由专业人员完成。

应定期检查与安全相关的五金件是否松动，并检查磨损情况。应根据要求检查和上紧固定螺栓，必要时更换。此外，至少每年进行一次如下维修工作：

- (1) 给所有活动部件和所有磨损部位上油（####参见供应商的维修保养手册）。
- (2) 必须使用与材料相符的清洁剂和保养剂，不应侵害五金件的防腐层。（####参见供应商的维修保养手册）。

建议委托生产、供应和安装的企业承担保养工作，因为他们掌握相应的设计知识，有

建设项目的详细结构资料，并且一般也有磨损件的备品。

7.4 新风系统和其他被动房暖通设备

被动房的暖通系统很简单，从任何角度看维护需求都很小。使用阶段的检查工作量也很小。带热回收的新风主机只有很少的部件组成，维护工作量也很小。除了住户自己可以完成的定期更换过滤器外，就是需要定期检查和必要时清洗水封。独户住宅或联排别墅本来就不需要签订维护合同。但是要注意，根据建设法规，只有签订了维修合同，质保期才有效。对于大型设备和租赁住宅，由专业人员进行定期检查和更换过滤器无论如何是合适的，这样才能保证过滤器确实定期进行更换。对于其他暖通设备（卫浴设备包括下水道和供电系统）使用常规维修间隔，本书不做赘述。

为了及时发现使用阶段暖通设备可能出现的缺陷，建议对多年的消耗数据（表计读数）和当时的设计需求值进行比较。

多层居住建筑有中央新风系统也有分散新风系统。采用中央新风系统时，由一套新风机组和相应的送回风管网向多个居住单元供应新风。热交换器和送排风机集中布置在一个机房内。这种方式的好处是由维修人员集中负责最主要的保养工作（更换过滤器、风机维修等），不会干扰住户。没有必要也不希望住户干预。

采用分散式新风系统时，每个居住单元有一套新风机组。这种方式的好处是，住户可以独立调节。但是建议把新风机组安排在居室以外的杂物间里（尽量只允许维修人员进入），以便在家里没人时也能进行维修。当然住户也可以自己更换过滤器。从卫生和安全角度，不推荐这种做法。

一旦选择了分户新风机，就要求每户安装止回挡板。对于止回挡板有专门的密闭性要求（DIN 18017，第3部分^{[95],[96]}），以防止串味。这种挡板不应该由于管道连接不流畅而产生材料应力，以至外壳和挡板机械被卡死。最简单的做法是在一侧用一短节铝合金伸缩管过渡一下。应把检查止回挡板的功能和密封写进维修清单里。在投入使用和第1个供暖季开始前进行这类检查。以后可延长维修间隔（每隔2~3年检查1次）。

租赁住宅对于新风系统在功能可靠和操作简单方面有更高的要求。住户比较欢迎分户可调的系统。半中央新风系统将中央新风系统（高的热回收率、费用低、集中维护）和分户新风系统的优点结合到了一起，住户更容易接受。

1. 半中央新风系统

半中央新风系统是分户和中央新风系统的组合。共性的功能组如热回收系统或新风过滤可以集中布置，为多个居住单元服务。而风量调节或辅助加热等分散在每个住户家里，满足住户的个性需求。

这种系统的关键是风量平衡，它不应受到运行条件的影响。只有在送排风量之间实现最佳可能的平衡（平衡送风），才能最大程度地减少通过外围护结构的渗风热损失。

半中央新风系统可以有两种风量平衡方案：第1种方案是在居室内安装成对的半中央体积流量调节器。采用十字静压管测量风量；第2种方案是每个居住单元安装分散式风机，分户调节风量。

2. 对于维修的影响

采用体积流量测量和体积流量调节器方案比分散式风机的方案容易出问题。而且体积流量测量会增加阻力损失，在小流量运行时可调性非常有限。采用恒定流量调节的分散式风机方案最简单。

采用体积流量调节时，风道测量和风量调节的运行和投资费用会很高：

在回风管道上安装的十字静压测量管需要每1~2年检查和维护1次。十字管传压孔的堵塞会直接影响调节性能，增加维修费用。用于设定体积流量调节器的动态测量点位于回风管道内，因此也容易受到污染。而采用静态调节平衡的体积流量调节器虽然维护工作量会小一些，但它比动态法还要贵50%。

暖通工程师应该提供新风系统的详细说明、新风系统管网图以及需要维修部件的数据表。

应该根据设备类型，为新风主机或分散系统的新风机组提供维修说明。同时还应该为每个居住单元内的设备提供维护说明，例如排风阀前面粗过滤器的更换等（见下文）。

3. 辅助供暖

被动房的供暖需求非常小，可以放弃采用传统的散热器。外墙和窗户的表面温度接近室内空气温度。所以就不需要在窗户下面安装散热器来实现舒适度。剩余的供暖热需求完全可以通过送风来传递。为此需要在送风管道上安装加热盘管。根据具体工程，可以在浴室增加1台浴室散热器。也可以在供暖负荷较高的区域设置散热器。

4. 水力平衡

系统投运时，需要对用热设备和供暖管网做水力平衡。这里涉及送风管道内的加热盘管以及浴室散热器和可能存在的其他散热器。只有经过水力平衡才能保证有效调节理想的用热设备额定温度。不认真进行水力平衡，距离远的用热设备体积流量太小，而接近供暖循环泵的用热设备无法调节，只能在“开”和“关”之间来回摇摆，以至往往需要调高供暖循环泵转速，甚至换上1台功率更大的设备来解决问题。这样做也许能消除不足之处，但这不仅增加了投资，而且更致命的是连续增加运行费用，在系统整个寿命周期内累计的费用会非常高^[4]。

上述关系原则上适用于任何一种水力供暖系统，不是被动房才有的。相反，由于被动房上用热设备很少，所以水力平衡非常简单。

此处可以详细介绍每个居住单元内与设备类型相关的供暖设备调节和维护方法。

5. 控制和调节设备

供暖和新风系统的调节设备一般都是定制的，需要给予详细说明。必须在操作和维修层面对各种功能给予解释，并提供全套的调节设备技术资料。这些资料应分为操作和维修两个部分。

下面介绍只有维修人员可以操作的户内调节设备的设定方法：

- (1) 至少在 3 个运行档上对 2 台风机进行微调，调节应同时进行（保证风量平衡）；
- (2) 为增加排风量而需要的延迟运行时间（卫浴室和厨房运行模式）和花粉过滤功能；
- (3) 住户选择功能的状态显示；
- (4) 报警（如烟雾报警、防冻调节失灵报警）；
- (5) 夏季/冬季运行模式。

6. 更换居住单元内的过滤器

必须向住户和多住户居住建筑的物业交代过滤器的型号、安装位置、订货渠道和维修周期。对于独栋住宅一般由住户自己更换过滤器。这里只要给予说明就可以了，告诉他们在过滤器上省钱是不值得的，否则设备功能可能受到损害或者空气质量会变差。

如果每个居室的回风阀内装了过滤器，也需要定期安排更换。多家产权住户联合采购可以得到一个好价格。物业也可以半年一次把 1 套过滤毡（一般为 2 个，卫生间和厨房各 1 个）塞到信箱里。应向新迁入住户介绍过滤毡的更换方法，并向残疾人和行动不便人员的陪护人员交代过滤器的更换方法。

如果采用分户新风系统（分散式新风系统），那么每个房间的回风口内都有一个过滤器。它的任务主要是防止新风机组受到污染。

最好提供一份过滤器更换时间表，写明更换周期和日期，这样对住户是一种很好的帮助，同时也起到督促住户更换过滤器的作用。

这里最好给出原始过滤器或备用过滤器的制造厂证明。产权住户合作社联合采购可以节约很多费用。

7. 排气过滤器

排气过滤器随着时间推移会积聚一些室内粉尘和颗粒，并慢慢地把过滤器堵住，所以必须及时更换。新的过滤器一定要压紧，才能让所有乏气通过过滤器，阻止脏物旁通过过滤器。更换滤芯后应重新把过滤器盒仔细复位、关严。

此处必须列出不同过滤器的更换周期。

8. 新风过滤器

在新风吸风箱里装有高级过滤器。它的任务主要是保护整个新风系统防止受到污染，以保证即使在多年以后进入室内的新风仍然是清洁卫生的。新风过滤器同样会随着时间积聚一些粉尘颗粒，慢慢堵塞过滤器，所以也必须及时更换。此处应该交代新风吸风箱在建筑物内的位置。同时应该提供更换过滤器的详细说明。新的过滤器必须正确套住新风盒，四边要密封，保证新风通过过滤器进入系统。过滤器箱内不得进入雨水。最好把过滤器更换周期列在表上，便于查阅。

9. 热分配管网的维护工作

被动房内热分配管网的维护工作和普通设备没有区别，主要包括排气和检查运行压力。

- 检查暖通设备的辅助电源需求。
- 将多年能耗数据和设计值进行比较，可以及时发现可能存在的缺陷。

抽查下列功能：

- 检查新风口隔栅和通道是否畅通，清除隔栅上可能存在的树叶等脏物；
- 检查过滤器表面是否有污染；
- 检查热交换器疏水口（排风接头）是否坐实和密封；
- 检查管网、输水槽和水封是否通畅，必要时给予清洗。

用抽查方式检查（必要时写入维修合同）：

- 检测新风系统的风量平衡；
- 检查风机和调节系统的功能；
- 测量过滤器压力损失，与初始值（新的状态）进行比较；
- 将测量值和过滤器状态记录归档，为安排采购和更换提供决策依据，过滤器最大阻力损失大致控制在 50Pa；
- 检查供热系统上升立管排气口，必要时进行排空；
- 只要污水立管上装有机械式管道排气阀，就应检查是否有异味逸出；
- 检查新风系统内旁路的挡板位置（用于热交换器夏季旁路运行），反向测试密闭功能；
- 必要时检查新风调节器的温度显示是否清晰。

第8章 被动房小结汇总

在“低造价被动房”工作组的工作范围内，同样也讨论了“被动房建设过程中的质量保证”这一话题^[10]，并编写了小结。现将这份小结略作加工和汇总附在本书的后面。黑体字部分是在质量保证中需要特别关注的。这份清单在被动房研究所的网站上也可以下载^[26]。

1. 城市建设框架条件和现场条件

- 是否有公共交通接驳？
- 主立面是否可以朝南（ $\pm 30^\circ$ ）？
- 是否在被动利用太阳能时（窗户）没有遮挡？
- 南向绿植是否可以实现无遮挡？
- 是否可以实现紧凑型建筑形式？联排建筑最好。

2. 预设计

- 建筑本体要紧凑，利用与相邻建筑搭接的可能性。
- 优化南向玻璃面积，缩小东西向和北向玻璃面积。
- 无遮挡（冬季没有或很少受到胸墙、外凸结构、阳台、挑檐、分隔墙等的遮挡）。
- 简洁的立面造型（尽量不用结构线条、凹凸等立面构造）。
- 标准层布局：设备区集中布置（如卫浴在厨房上面或旁边），必要时考虑新风管道位置。
- 必须与可能存在的地下室实现气密性无热桥隔断。
- 利用 PHPP 对被动房进行初步设计计算。

3. 报批设计

- 外围护结构保温厚度。
- 避免热桥方案。
- 暖通设备的空间需求。
- 标准层布局：注意管道要短（热水、冷水和污水），新风管道要短。冷风管道尽量布置在传热外围护结构外面，热风管道布置在传热外围护结构里面。

4. 建筑本体施工图

- 选择保温性能好的标准结构 $U \leq 0.15 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 最好做到 $U = 0.1 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。
- 无热桥细部节点。

计算热桥系数或严格做到无热桥设计。

- 设计气密性细部节点。
- 窗户优化 (玻璃品种、超级窗框、玻璃比例、遮阳)

超级窗户, 采用三层保温玻璃 $U_g \leq 0.8 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 和保温窗框。安装状态窗户的总传热系数 (包括热桥系数) $U_{w,\text{安装状态}} \leq 0.85 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。必须了解窗框传热系数 U_f 和玻璃热桥系数 Ψ_g 。

- 利用被动房设计计算软件 (PHPP) 计算供暖需求。

5. 新风系统施工图

管网和主机:

- 热交换器应尽量靠近传热外围护结构, 至于在外围护结构内 (如顶层的设备间) 还是外 (不供暖地下室) 则无所谓。供暖区域的冷管道或者不供暖区域的热管道应尽量短, 并做好保温。
- 辅助供暖盘管布置在供暖围护结构内。
- 采用短的管道, 内壁光滑, 设计流速 $\leq 3 \text{m/s}$ 。
- 设计测量和流量平衡装置, 考虑消声和防火。
- 出风口: 防止短路, 考虑入射深度和平衡调节可能性。
- 回风口不要布置在散热器 (如果有的话) 上方。
- 过流口的尺寸按阻力损失 $D_p \leq 1 \text{Pa}$ 设计。
- 必要时对主机和辅助供暖盘管进行补充保温。
- 热回收率 $\geq 75\%$, 气密性 (循环风 $< 3\%$), 电效率 $< 0.4 \text{Wh/m}^3$ 。
- 注意隔声, 对外壳做好保温。
- 住户应该可以分级调节新风量: “弱”、“正常”、“强”, 必要时在厨房和卫浴室增设调节开关。
- 为热交换器设计夏季旁路。

地热交换器:

- 不是一定需要, 但是建议作为防冻措施与热泵紧凑型机组一起使用。
- 注意地埋管的气密性。
- 冷管道部分与建筑物保持足够的距离。

其他:

- 抽油烟机: 注意选择体积流量小、捕集率高的设备。
- 使用循环风抽油烟机。
- 必须有油烟过滤器。

6. 其他暖通设备的施工图

- 卫浴、热水：管道要短，做好保温，布置在围护结构内。
- 卫浴、冷水：管道要短，正常保温，防止表面结露。
- 对热水和供暖阀门做保温。
- 选择节水龙头，洗衣机和洗碗机接热水管。
- 污水：管道要短（只有1根下水管）。
- 选择屋顶板下面的管道平衡器（优先选择）或者对压力平衡管做保温。
- 卫浴和电路：尽量不要穿过气密性外围护结构，不可避免之处做好封堵。
- 使用节能家电（最好将盘点结果录入 PHPP）。
- 监督整个暖通设备的施工质量。

7. 建筑本体的施工和项目管理

- 无热桥：约定现场质量检查时间。
- 保温工作：注意保温层不可中断，避免出现空腔。
- 气密性：只要能够着，就应认真检查细部节点处理。
- 气密性：安排在施工期间进行风门试验！
 - 何时？气密层一旦全部完工，但还没有被覆盖时安排压力测试；
 - 如何进行？利用风门进行压力测试，同时进行红外成像，发现问题及时修补。

8. 新风系统的施工和项目管理

- 系统安装必须保证气密性。
- 管道安装：干净利落，认真做好密封。
- 新风主机：保证易于更换过滤器和检查消声设备。
- 检查管网保温。
- 调节正常运行状态的新风气流：
 - 测量送/回风气流，调节风量平衡；
 - 检查各个房间的送/回风分配是否平衡；
 - 检查主机电功率测量数据。

9. 其他暖通设备的施工和项目管理

- 检查系统安装的气密性。
- 检查管道保温。
- 对整个暖通设备的安装进行质量监督。

10. 证书

- 为了保证设计质量，可以为每栋建筑向被动房研究所^[26]申请“被动房证书”。在受理过程中将审查上报的性能，并借助 PHPP 进行详细的能量平衡计算。

第9章 定义、符号和公式符号

PHPP

被动房设计计算软件，按照 EN832 进行供暖热平衡计算，采用为被动房定制的边界条件

U -值 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

建筑构件单位面积传热系数，考虑了例如窗户或木结构建筑上常见的热桥贡献。旧的符号： k -值。通过面积为 A 的标准热流 $Q_{\text{reg}} = \sum U * A * \Delta \vartheta$ 。对所有外围护结构采用外轮廓尺寸，参见 3.2 节

λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

材料的导热系数

U_w

按 DIN 10077（窗户）定义的窗户 U 值，按文献 [75] 计算门的 U 值

U_D

玻璃中间位置的 U 值，此处未考虑玻璃边缘的热桥影响

U_f

窗框的 U 值，按 DIN 10077^[75] 计算

Ψ_a [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

线性热桥损失系数，针对建筑构件外部尺寸。本书中的热桥系数均针对外部尺寸，参见 3.2 节

Ψ_i [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

针对建筑构件内部尺寸的线性热桥损失系数，本书未采用。

Ψ_g [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

窗户边缘的线性热桥损失系数

Ψ_E [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

窗户安装到墙里时产生的线性热桥损失系数

χ [W/K]

点状热桥损失系数，例如穿透保温层的金属件

g [%]

太阳得热系数是指在相同条件下，太阳辐射能量透过玻璃进入室内的热量（既包括直接透过的部分，也包括吸收后放出的热量）与通过相同尺寸但无玻璃的开口进入室内的太阳能热量的比率，也称为 g 值

压力测试

利用风门进行的压力测试，以检验建筑物外围护结构的气密性

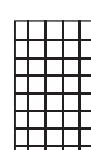
n_{50} -值 [h^{-1}]

在压力测试过程中，在 50Pa 差压下的空气体积流量与建筑物净体积之比，是评价建筑物气密性的一个尺度

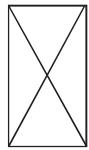
图形说明



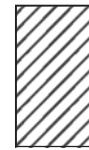
有纤维方向的木材



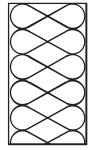
抗压高保温性实心建材，如加气混凝土



横断木材



地坪（自流坪）



保温材料



普通钢筋混凝土



木质木材



普通无筋混凝土



石膏板



透气性木质材料



抹灰层



抹灰基底板



浮筑地坪隔声材料



沙砾



气密层，不是薄膜



盖板



薄膜



土壤



发泡混凝土



砌体

在很多情况下可以利用密度板、砌筑结构的抹灰或混凝土板实现气密层。在这种情况下不需要再用薄膜作气密封。在图纸上，气密层用浅红虚线表示，板缝粘贴等措施用深红虚线表示，其他薄膜（隔气层）则用黑虚线表示。

附录 A 多层被动式居住建筑用户手册

A. 1 引言

按照被动房标准建设的多层居住建筑目前尽管还属于个例，但是随着示范项目的成功建设，预计未来具有和独栋别墅或联排别墅一样每年翻番的增长势头。实践表明，不仅拥有住房产权的居民，而且出租房的住户都非常认可这种新的标准。住户们开始有些怀疑，但是使用一段时间后，对于被动房的居住舒适度和居住质量给予高度赞赏。

对于多层居住建筑预计也会有很高的接受程度。然而，提前对未来的住户给予一些告知是非常必要的。多层居住建筑的物业管理部门应该负责把最重要的信息转交给住户。有一本用户手册就简单多了，不仅简要介绍了被动房这种新的建筑标准的概念，而且也介绍了在被动房内居住的注意事项。

和独栋别墅的住户不同，多层居住建筑里的居民只能对自己的居住单元有影响。而公共设备（如中央新风系统）的运行和维修属于物业公司的职责范围，所以没有在本手册中描述（另有物业公司手册）。对此，暖通工程师必须编写相应的设计资料和维护规定，交给物业公司。物业公司应该对被动房标准有基本了解。在一定程度上，本手册对于物业公司也是有用的。

被动房用户手册应该跟技术设备手册一样，最好是用户根本不用打开看就会使用。所以，对于没有耐心的读者，我们把最重要的信息写在一页A4纸上（题目为：在被动房内居住一目了然）。当然，这一页纸的内容也要具体针对该建筑物内使用的暖通系统，并且还要按照楼内居住群体的文化素质采用适当的表述语言。当然如果图文并茂效果更好（比如供暖季只有在特殊情况下才开窗）。

A. 2 被动房——舒适、节能、环保、未来有保障

被动房是在冬季或夏季不需要独立的主动供暖或空调系统的情况下，具有高的居住舒适度的建筑，它是一栋纯“被动式”供暖和制冷的房子。在这种房子里，主要采用被动式技术实现舒适的居住空间，实现良好的保温，通过超级玻璃被动式利用太阳能，从乏气中高效回收热量，并且用被动方式预热新鲜空气。

究竟什么是被动房

这种被动房在冬季寒冷的欧洲能管用吗？经常有人问，如果一周都是冰冷的天气，哪来的热量可以使房间保持舒适呢？其实，被动房是这样工作的：

1. 被动房的基本思想：把热量留住

一间房子只有在外流失热量时才会冷却下来，流失多少就冷却多少。在被动房里流失的那点热量，通过太阳能得热和屋里始终存在的人体和设备发热量就能够补偿了。太阳通过窗户把热量送到屋里。室内居住人员和电气设备使用时也会提供一部分热量。所以即使在特别寒冷的日子里需要的补充热量非常少，根本就不需要独立的供暖系统。在我们的纬度上是否可行，我们先做了详细的计算机模拟，后来在已经建成的被动房使用中都证明我们的想法是完全可行的。

像一只暖和的羽绒睡袋……

即使在特别冷的时候，岩壁上的登山队员也能在特别保暖的睡袋里过夜：只要保暖的皮毛足够厚，人体自己能够补充足够的热量。被动房就是采用了同样的原理：房间里有足够的热量，就看你如何去留住它。

2. 实践是试金石：已经建成的被动房

第 1 栋被动房是 1991 年在德国黑森州的资助下在达姆施塔特市克拉尼西斯太茵区建成的。

从 1991 年 10 月开始里面住了 4 户人家。房子里需要补充的热量非常小，应该完全可以放弃独立的供暖系统。一套居住面积为 156m^2 的住房 1 年只需要 160L 燃料油或者 160m^3 天然气。按照 20 世纪 90 年代的能源价格，即按每升燃料油 50 分尼（折合人民币 1.75 元）计算：一年的供暖费用只要 80 马克（折合人民币 286 元）。这等于普通房子里一个月的供暖费用。

从 1995 年开始又建设了更多的被动房。被动房研究所进行了认真的评估：每个项目都达到了要求的质量，实际使用效果和设计完全相同。

(1) 舒适

把热量留住——住着当然就舒服啦！

凡是热量流失的地方温度就低，比如单层玻璃的玻璃表面会很冷，甚至还会结冰花！

相反，凡是热量流失少的地方温度就高，比如被动房超级玻璃窗的玻璃表面，温度不会低于 17°C ，这里不会再有嗖嗖冷风，即使坐在窗户跟前也是其暖融融。

提高室内所有表面的温度有许多积极效果：

- 1) 没有让人不舒服的嗖嗖冷风（温差造成的空气对流）；

- 2) 即使在外墙和窗户跟前也有舒适的小气候;
- 3) 表面不再会结露: 建筑构件不再“流汗了”。

(2) 节能

被动房——意味着极低的供暖能源需求。

被动房并不一定是零能耗建筑, 它跟以前一样还需要少量的热能。如果要放弃独立的供暖系统, 那么每平方米的能耗小于 1.5L 燃料油或者 1.5m^3 天然气 [约合 $15\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$]。它比通常的老建筑要节能 10 倍, 即能耗是老建筑的 $1/10$ 。当然每年的供暖能源费用也相应减少了!

供暖费用低

(3) 环保

供暖能源需求极低——不仅意味着供暖费用减少, 资源消耗和向大气排放的有害物质和温室气体也相应减少。比如可以成吨地减少温室气体 CO_2 排放, 当然其他有害气体排放如 SO_2 和 NO_x 也急剧减少。

减少温室效应的有效手段:
 CO_2 排放减少了

(4) 被动房是实现可持续经济的卓越范例

被动房消耗能源载体如此之少, 利用现有的能源储备就足以长期保证供应, 而不需要对自然循环体系增加额外的负担。所以, 现在被动房已经提供了未来的环保标准。被动房中排放的有害物质非常少, 能够自然降解, 可以持久地防止对环境的伤害。

不再害怕能源危机

(5) 保障未来

- 1) 不管能源价格涨多高;
- 2) 不管未来的能源供应形势如何;
- 3) 不管外部气候如何变化。

在被动房中居住是安全的。即使有一天能源变得非常昂贵, 被动房的那点超低能耗还是付得起的。即使再次发生能源供应危机, 若没有能源, 在被动房里居住还是比较舒适的。我相信, 在这里, 你一定会为能拥有每年运行费用超低的房子而高兴。

A.3 被动房——完全普通的居住建筑

从外面看, 被动房和普通居住建筑几乎没有差别。对于住在里面的人, 差别也不大, 但仍然存在不同之处。

第一批被动房住户在入住两年后说: 最让我们惊讶的是, 在被动房里居住一切都很正常!

其实, 被动房之所以能比常规居住建筑节约大量供暖能源, 是因为有许多你看不见的建筑和楼宇技术细节做了贡献。被动房采用的设备和部件, 是在低能耗建筑上已经使用的成熟产品认真做进一步开发而成的。

被动房的质量肉眼看不出

原则上，这些节能建筑产品是“被动式”产生作用的。比如，用户不需要主动地或者通过自动控制系统去操作。但是有些部件也是“主动的”——比如新风系统、热水制备系统和辅助供暖。这主要是说，用户是可以对这些设备的功能施加影响的。所以，对于这些设备，我们将在本手册里给予详细的介绍。

被动房采用的设备功能简单，不懂技术的人也容易理解和使用。现在请你用一点时间来找找这里对你最重要的东西。

A. 4 一间房子是怎样成为被动房的？

其实非常简单，就是两条原则：

- (1) 减少损失；
- (2) 最佳被动利用太阳能。

在我们所处的纬度上，最关键的是要减少能源损失。如果不对保温进行特殊改进，被动房就不可能实现！遗憾的是，以前人们常常把“热损失最小化”和“得热最大化”这两种方案看成是对立的。实际上，它们在被动房里实现了最佳的互补！如果不最大程度地减少热损失，那么对于被动式利用太阳能的乐趣是长不了的。在过渡季节，太阳能得热量会超过热损失量。然而，在一栋这么好的房子里，4~5月和9~10月本来就不需要供暖。采用中等水平保温的房子，在太阳好的白天，在拥有大窗户的南房里确实是暖融融的，可是到了傍晚那股舒适劲就没了，因为热量很快就跑掉了。只有尽可能减少热量损失，才能在12月和1月日照不强的时候使屋子保持暖和，但被动房就能做到这点。

A. 5 保温

被动房有非常好的保温，它像一张厚厚的毛皮把整个房子包裹起来。保温可以节能，所以供暖费用非常低，对环境污染也非常小。

良好的保温是被动房的必要条件，主要有两个原因：

(1) 首先，如果热损失非常小，就可以放弃常规的供暖系统。这时候只要一点点辅助热就够了，比如新风带来的一点热量。

(2) 其次，良好的保温可以提高外墙内表面和窗户的温度，即使在特别冷的冬天，也只比室内空气温度低一点点。只有在这样的条件下，才可以不用在外墙边上安装暖气片了。

良好的保温还有更多的效果：

(1) 由于墙壁和窗户表面都是暖和的，室内温度很均匀，墙壁再也没有“冷飕飕”的感觉了。

(2) 即使坐在外墙边上或者屋顶下面，也不会再有“抽风”了。沙发、甚至床也可以放在墙边，整个屋子得到充分利用，不用再考虑留出什

么安全距离了。

(3) 暖和的墙壁不再“流汗”了，在保温不好的低温表面出现的结露损伤，在被动房上成了过去时，它对建筑物起到了保护作用。在被动房里，衣柜和其他家具可以直接靠墙摆放，背后不会潮湿霉变。

1. 好事“太多了”?

经常有人担心，低能耗建筑甚至被动房的保温是不是有点过分了。从建成的许多具有特别好保温的建筑项目上，我们知道：

…却没有
缺点

- (1) 即使像被动房那样特别厚的保温层，它们发挥了完全的作用；
- (2) 厚的保温层可以改善舒适度，提高建筑物的质量；
- (3) 没有出现因无知而担心的现象。

当然，厚一点的保温层是要多一些费用，但是不很多。因为保温材料很便宜，它们主要是空气。把增加的费用和得到的好处比一比，先不说少得“吓人”的暖气费，当所有表面都暖和的时候，在屋里待着会是一种什么样的感觉啊！

保温的墙壁和其他墙壁一样呼吸，不多也不少，这里说的是让湿气往外跑的可能性。采用通常的保温材料做的保温不会阻碍这个功能，因为保温材料对于蒸汽扩散是相对开放的（泡沫玻璃除外）。事实上，通过墙壁散发湿气的作用是微乎其微的，房间里的湿气大部分是通过空气交换被带到室外的（94%～99%）。即使完全不透气，暖和的墙壁也不会“出汗”，这也是良好保温的又一个优点。

这么厚的
保温墙壁
是不是不
能再“呼
吸了”？

(1) 常规的保温材料根本不是致密的——至少不会比抹灰和砖墙更致密。墙体的传热不是由空气流动造成的，而是在分子热运动过程中向外传导的。

保温会
不会把屋
子搞得太密
封了，我
们会不会
没有足够
的空气啊？

(2) 普通的墙体已经很致密了，不可能通过墙体实现空气交换来满足室内健康空气的需求。大家本来就是一直用室内通风来更换空气的：早先是通过窗缝门缝透风很不舒服，后来用开窗的方式换气，以后就要通过新风系统来控制空气交换——就像被动房现在已经做的那样。

保温让墙
体不能蓄
热了，蓄
热不是比
保温更重
要吗？

(1) 正确安装的保温可以提高蓄热功能：就像放在被子（保温层）下面的暖水袋（蓄热）热的时间要长，是不是？

(2) 蓄热的作用经常被高估了。近来建成的大量低能耗建筑的经验证明了建筑物理应早就明白的事实：保温对于能耗、舒适度（即使在夏季）的意义比蓄热大得多。在自然界也可以看到：天冷了，鸟儿的羽毛就丰满了（保温啊！）。

2. 保温和密封

保温材料不一定是气密性的：有时候空气还特别容易通过，比如岩棉、纤维团和松散的保温材料。

密闭的建
筑方式是
有意义的

除了阻止热传导外，出于以下重要原因，外部构件必须是永久气密性的：

(1) 穿透性的接缝很容易引起结露造成建筑伤害。

(2) 不希望出现的空气交换量不断波动，流动方向也不断变换：在特定的流动条件下，起居室和卧室可能会一点都得不到外部空气。

(3) 流动方向往往非常不利：在热升力的作用下，底楼会向里渗风。

(4) 一年四季缝隙通风的曲线同样很不利：寒冷季节升力越大，进风量就越大，换气次数增加。

所以，被动房除了要进行良好的保温外，还要精心设计、精心施工，使全部的外部构件形成完整的气密层：无论是砌体还是混凝土构件，内墙要通过全面抹灰粉刷保证气密性。

木结构建筑原则上要在建筑构件内装修层的背后，将一层薄膜仔细地贴在外部构件的接缝上。

气密层没有缺点：被动房有新风系统保证新鲜空气的供应。建筑结构内的湿度平衡没有问题：因为跟以前一样，所使用的建筑构件不是致密性的，少量的水蒸气从内向外渗透对于建筑结构是无害的。

A. 6 被动利用太阳能

太阳晒到
屋里来！

被动房的窗户象太阳能集热器一样工作：被动获得太阳能是补偿热损失的最重要贡献。

每年12月、1月和2月的严冬将决定辅助供暖需求量——好的被动房除这几个月外不需要辅助供暖。非常遗憾的是，在中欧冬季这几个核心月份里，太阳能的贡献量非常小。而被动房是依靠它的呀！这几个月不仅日照少，还特别冷。

所以被动房要用市场上能买得到的最好的窗户：

(1) 热损失小：只能使用高级三层保温玻璃 [U -值小于 $0,8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]；

(2) 窗户四周的热损失也必须很小：要用专门为被动房研发生产的高保温窗框；

(3) 应该让太阳晒进窗户里来：这首先要注意房屋的朝向（南向在冬天是最理想的），还要防止遮挡！外立面上外挑的构件（无论是阳台、挑檐或者屏风墙）都会挡住太阳。免费的太阳能供暖少了，暖气费就得多缴。

冬天；让

太阳晒到

屋里来！

夏季遮阳，

晚上通风

人们很少了解，但同样非常重要的是，南向窗户在夏天也是最佳的。在夏天，南向窗户的热负荷比较小。室内小气候仍然可以保持得很舒服。东西向大玻璃窗户是很不好的。

被动房上使用的高级窗户还有更多可以提高居住舒适度的“附加效果”：

(1) 即使在最冷的冬夜，这种超级窗户的玻璃表面温度也不会低于 17°C ，所以在窗户边上也很舒服。这是之所以能够建造被动房的关键因素之一。自从有了这种超级保温窗户，才使得可以放弃以前必须在窗户下面安装的暖气片。

- (2) 在正常的居住条件下，这种窗户的内表面不再会结露。
- (3) 白天太阳出来以后，窗户内表面的温度会高于室内空气温度：窗户可用于太阳能供暖！给你们的客人看看：太阳能是摸得着的。

小提示：在晴朗而寒冷的夜晚，高级窗户的外表面和汽车挡风玻璃一样会结露。它们像草地上的晨露一样会很快消失地无影无踪，所以是没有问题的。

被动房：
窗户外表
面结露不
是问题

A. 7 带热回收的室内新风系统

人需要好空气。所以被动房配备了室内新风系统。这种系统的首要任务是源源不断地为居室提供足够的新鲜空气：你可以在房间出风口上感觉到习习空气正在进入房间，并且能够闻到空气的新鲜！这里进来的完全是外部的空气，用过以后的污浊空气从卫浴室抽走排到室外去了。所以，所有居室、儿童房间和卧室一直有新风供应，也不需要为此而开窗了。

室内新风
系统：不
用开窗就
有新鲜空
气

在送入新风的同时，乏气从空气最不好的地方被抽出去，如浴室、卫生间和厨房。通过设计合理的空气流动方向，使得那些有味道的气体和水蒸气不能进入起居室和卧室，而脏空气则很快通过排气阀门被抽走。空气很快又新鲜了，关着窗也很舒服。

晚上即使关着窗，也一直可以呼吸新鲜空气！这就是新风系统的责任。

由外面的风和气候变化促成的缝隙透风是很偶然的事：如果外面特别冷而又没有刮大风，那么即使是一间四处透风的房子室内空气更新也是很少的。而刮大风的时候又会灌进太多的风。现在我们用一台小风机送风，不管天气如何，可以供应你所需要的新风量，而且是在不开窗的情况下。

先把整个
房子搞的
非常严密，
然后又让
新风系统
通风，这
有意义吗？

跟以前一样，被动房的每一间居室都有可以开启的窗户，也可以是一种可以关闭的通风孔。原则上是不需要为了通风而开窗的。当然，夏天早晚可以开窗把外面的凉风放进来；也可以在春暖花开时节开窗听听鸟儿鸣唱。要注意的是：开窗让空气进来或出去就不可能有效回收热量。

那么在被
动房里还
可以开窗
吗？

当然机械新风系统是要用电的，用电就要花钱。但是，被动房的新风系统非常省电，好的设备节省的暖气费比消耗的电费多得多。

那么风机
不是也要
耗能的么？

被动房新风系统在新鲜空气吸风口有一套高级过滤器，它可以使新风管道和热交换器保持清洁。

A. 8 辅助供暖

被动房不是零能耗建筑，在严冬季节为了保持室内舒适度还需要一点

任何天气
下都暖和
辅助采暖

#

辅助供暖
一直开着，
冬假回来时屋
子也是暖融融的

#

点辅助热量。所以家里还需要有一套辅助供暖系统，但是它也只能提供一小点热量。

你可以利用温控阀调节你需要的室内温度，剩下的就由辅助加热系统自动为你服务了。

大部分热能是通过新风系统进入你的房间的。

通过送风来分配热量有利于节约费用，但不是在所有被动房上都是适用的。也可以在任意一个位置（比如在门的上方）安装一组暖气片，既省地又省钱。这里的文字要根据实际使用的辅助供暖系统加以调整。# # # #

新鲜空气在被动房里反正是要分配的，那么这一小点热量也就让它一起分配吧。

下面的做法是最好的：

(1) 只有在秋季或冬季屋里显得热别冷的时候才启用辅助供暖。被动房通常冷得很慢，因为有好的保温和热回收。

(2) 在严冬季节辅助供暖最好一直开着，即使出去休冬假也别关掉。尽管在没有热量输入时房子冷得很慢，但是肯定会冷下来的。重新让房子热起来需要很长时间，因为辅助供暖不是为它而设计的。被动房消耗的能量非常少，所以让辅助供暖一直开着让屋子至少保持一个基本温度几乎花不了多少钱。

(3) 到了阳春三月屋里真正暖和起来的时候，太阳透过窗户把能量送进房间，这个时候就可以全部关掉辅助供暖。从 3~11 月，你在被动房里“没有暖气”也可以过日子了。

A.9 在被动房里居住

不要损坏
保温和气
密层

A.9.1 保温

保温构件自己在工作，不需要住户做任何事情，除非它们受到破坏性干涉而失去了正常功能。下面几点对保温功能非常重要：

(1) 让保温在建筑物上保持完整的厚度：无论在边角处、窗户连接处、屋顶连接处，还是与地面保温的连接处。

(2) 用于保护建筑构件的内部密封层：

请在这里详细说明建筑物上采取的气密性措施，比如：屋顶下面在内装修后面铺的聚乙烯薄膜，在外墙上的内侧抹灰层，不可以被长期损坏。# # #

不要在外
部构件的
室内装设
层上留下
孔洞，即
使看不见
也 不 允
许！

A. 9.2 窗户

被动房上有两种窗户：一种是固定扇；另一种是开启扇（以及外门）。每个房间至少应该有一扇窗户是可以平开内倒的。所有窗户都采用了最新研发的高级玻璃（“三层保温玻璃”）。在关闭状态下它们的能量损失，只有常规中空双玻窗的 1/4。窗框也得到了良好的保温。所以，窗户为改善被动房的保温性能做出了巨大贡献。

注意：被动房上采用的专用玻璃特别怕高温。所以家里放的东西必须至少离开玻璃 20cm（否则在强力的太阳照射下，最里边一层玻璃的热量散发不走，会造成超温）。同样，在房间里窗户跟前也不要放置浅颜色的反光物品。

窗户特别是南向窗户是利用太阳能的最重要建筑构件。透过窗户晒进来的太阳光被房间表面吸收变成“热”。这对于被动房来说是非常可观的供暖得热。

有效利用太阳能的前提条件是，在寒冷的季节阳光能够不受阻碍地照到室内来，所以下面的做法非常重要：

(1) 在寒冷季节白天不要关闭遮阳装置（百叶窗、卷帘、百叶、窗帘）。

(2) 如果有窗纱，最好选择大孔浅色薄窗纱；在寒冷季节的白天不拉窗帘可以最大程度地获得太阳能。

(3) 窗户跟前不要放置浅色物品，它们会把许多光线通过玻璃反射出去。

相反，在高温季节要有意识地减少太阳照耀，最好是在外面就挡住太阳光。这可以采用：#### 这里需要根据建筑物上实际采用的遮阳技术加以说明 ####

不要在窗
户跟前放
置浅色反
光物品

让太阳晒
进来尽量
不用厚窗
帘

(1) 关闭遮阳百叶和卷帘（如果有的话，部分或完全关闭）。

(2) 放下室外遮阳帘。

(3) 打开遮阳棚（如果有的话）。

(4) 在窗外放置遮阳物品。

####

内遮阳虽然也可以向外反射一些阳光，减少太阳得热，但是存在玻璃爆裂的危险（超温），因而不应该使用。

作为住户，你开关窗户的行为对供暖能耗影响最大。每个房间至少有一扇可以开启的窗户。在夏天或在需要时（新风系统故障停机，或者室内搞派对空气特别差的时候）可以开窗通风。但是，在寒冷季节（11月初到3月底），当新风系统功能正常情况下是不需要开窗的！在被动房里开窗

11月到3
月应该让
窗 户 关
着！

(即使是内倒)会显著增加能耗。所以，在寒冷季节，原则上应该避免开窗。在寒冷季节应该尽快将门窗重新关上。关窗和关门时一定要注意吃住窗框和门框，否则密封条会不起作用。

1. 让窗户内倒行吗？

冬季：新鲜空气来自新风系统，窗户不用内倒！

在供暖季让被动房里的窗户长期保持内倒状态绝对没有好处-新风系统送入的新鲜空气足够用了么。内倒着的窗户有以下缺点：

(1) 进入屋内的外部空气总量太大：冬季室内空气太干燥，这对于鼻黏膜是不好的，还会产生静电，并影响室内植物生长。

(2) 开启或内倒的窗户会干扰新风系统正常工作：会使有的房间得不到足够的新风供应。

(3) 如果被动房的辅助供暖是和新风系统联动的，那么在窗户内倒情况下，辅助供暖将不能正常工作。

(4) 而且通常地说：一扇长期内倒的窗户造成的热损失可能比一栋被动房的正常热损失大好几倍。这样，在窗户长期内倒或开启的情况下，辅助供暖也许不再能够平衡过高的热损失。正确使用被动房是在冬季将窗户关闭，整个系统是照此设计的。

(5) 研究表明，只要在被动房的一个（几乎不供暖）区域让一扇窗户处于长期内倒的状态，会使全年的供暖能耗比正常设计值高 4 倍以上。这样，被动房的目标就达不到了。由于附加能耗是在其他相邻房间产生的，开窗的房间即使不供暖也只能略微减少一点能耗而已。

2. 高温季节开窗通风

夏天清晨开窗通风

与寒冷冬季不同，高温季节通过开窗或内倒进行充分通风是降低室内温度最有效的办法。建议在夜间和清晨增加通风量。即使在夏季，室内温度也会显著降低下来。夜间开大窗户让凉空气进来，可以使楼板、内墙、隔墙和家具的温度降低。由于被动房具有良好的保温性能，建筑构件可以在白天保持住积蓄的冷。当白天室外空气特别热的时候把窗关上，把新风系统调到夏季运行状态，维持必要的新风量，这种方式最为合理。

百叶窗/卷帘/百叶 # # #

假如建筑物安装了百叶窗、卷帘或百叶，下面的文字要做相应调整。# # # #

关上百叶窗后，透过窗户的热损失可以进一步减少。所以，寒冷季节的夜晚建议把百叶窗关起来。

冬天夜晚关上百叶窗也可以提高舒适度，例如室外温度 -10°C、室内温度 20°C 时，夜里窗户玻璃的表面温度至少在 17.3°C（而此时普通的中空双玻只有 9°C）。把百叶窗关上，表面温度会进一步升高。

在太阳照射和宇宙光的作用下，窗玻璃白天温度升高，甚至高于室内空气温度。所以在寒冷季节白天关上百叶窗是不好的，应该让太阳能尽可

把滑动式百叶窗关起来：夏天的高温就不是问题了

能毫无遮挡地进到屋里来。

夏天则相反，透过窗户进来的太阳能是最大的热负荷。为了在夏天保持室内较低的温度和舒适度，白天最好关上百叶窗或活动百叶。

3. 新风系统

在多层居住建筑里，可能每户有一套新风系统，或者是几户人家合用一套新风系统。新鲜的外部空气不经处理、不加混合直接送入每家每户。这是房间的主要新风供应方式，所以出风口一定不能堵住或关闭！必须让它们一直开着让新风吹进屋里。

这里最好放一张出风口图片，并标明它们的位置。# # #

(1) 新风是最重要的粮食！请注意让新风系统始终保证足够的新风供应量

用过的乏气从厨房和卫浴间抽走。回风口被有意识地安排在这里，是因为这些地方的空气最混浊。回风口也要保持畅通，才能让乏气顺畅排出！

这里最好放一张回风口图片，并标明它们的位置。# # #

为了让空气在门关着的时候也能从卧室到达卫浴间，在门扇上安装了空气通道。这些通道同样不可以关闭！

过流口有四种形式：地板和门之间的缝隙（缝隙至少1.5cm）、在门扇上做格栅（透气格栅）、门框上开透气缝（遮挡视线的错缝）或者在墙上安装过流口（管子或风道）。无论采用哪种方式，它们的开口都不可以有意或无意地被封堵。底下留门缝的方式有被地毯堵住的危险。# # #

只有当乏气能够被新风置换并从房间排出时，新风系统才能正常工作。与普通房子不同，乏气的热量没有损失，高效的热回收系统可以回收利用绝大部分热量。

正常运行时，可以获得最佳的空气质量很高的节能效果。在寒冷季节把新风系统调在标准运行状态是最有利的。

用新风系统供应新鲜空气有以下好处：

1) 冬天的室外冷风通过被动房的高效换热器被加热到接近室内温度，然后还可以根据需要进行辅助加热。所以进入房间的新风是暖和的，没有室外冷风进来，自然就舒适了。在相同风量条件下，能量损失只有直接送冷风的一个零头。

2) 有源源不断的新鲜空气供应：基本不再依靠风力和室外温度变化来通风，也没有嗖嗖冷风和室外静风时通风不足的问题，即使在晚上也有充足的新风供应。

3) 哪里需要哪里就有新风。

4) 在最污浊的位置将乏气抽走，这样异味就不会再传遍整个住房了。

#

出风口不可以粘住或者堵死！

#

#

如果你不出休假：就把新风系统调在标准运行状态

新风系统：比开窗通风更舒适，效果更好

**不要粘住
或遮挡排
风口**

**不允许把
抽油烟机
接在回风
口上！**

#

**窗户保持
关闭状态**

**除非哪天
空气特别
差了才开
窗！**

5) 对花粉过敏的住户也可以在夏天开启新风系统。新鲜空气经过过滤，房间里就没有花粉了。止回挡板可以防止和邻居串味。被动房气密性非常好，所以花粉过滤器能够正常发挥作用。

(2) 对新风系统有以下注意事项

厨房排气运行

- 1) 在标准运行模式下，基本通风也会将厨房的乏气抽走。只要炉子没有开，基本通风对于厨房也就足够了。
- 2) 当连续使用炉子做饭时，建议打开厨房内相应的开关，提高新风系统的体积流量。
- 3) 经过一段延时运行，通风量又会回到原先设定的运行状态。

出于防火原因，也为了保证多层居住建筑新风系统的正常工作，禁止把抽油烟机接入新风排气系统。墙上开口直接外排在被动房上是绝对不合适的。所以这里只允许使用抽油烟机循环风运行，通过抽油烟机内的过滤器把油腻过滤掉，然后由被动房的新风系统再把有味道的乏气排走。

(3) 新风系统控制方式

这里建议详细介绍用户侧新风系统操作方法，最好用示意图介绍键盘功能。# # #

一般情况下，新风系统处于“标准运行”模式和“冬季或夏季运行”模式，不需要再做其他中央控制。但是，中央控制可以调节其他运行模式。

选择风机转速：

- 1) “休假”或“弱风”：基本通风，所有家庭人员较长时间外出和没有特殊的室内空气污染时（比如地上新打蜡，刷墙等等）。
- 2) “标准”：家里平常的人数在正常生活时有足够的新风量（昼夜）。
- 3) “强通风”：空气需求量提高时（比如做饭、有客人、晨起通风、洗淋浴或盆浴时的通风）。

4. 11月到3月的辅助通风

新风系统的设计可以保证在正常情况下不需要开窗辅助通风（即使在所谓的晨起通风时也不需要开窗），所以在11月到3月期间应该尽可能关闭窗户。

在室内空气特别脏的情况下，可以按以下方式临时开窗通风：

- (1) 房间里有大型聚会（比如庆祝活动）时，比新风系统设计人数多1倍以上时。
- (2) 烟民在家和走了以后，如果烟民在排气室里抽烟问题就不大。
- (3) 室内有强力污染空气的活动（比如刷涂料）。
- (4) 在任何情况下都要注意，在短时间开窗通风后（最多15min）应

及时重新关严窗户。

5. 夏季通风

在“夏天”（这里指大约从3月到9月中旬的暖和季节），新风系统会自动调到“夏季运行”模式。在“夏季运行”模式下，根据需要窗户可以大开。在高温季节晚上调到内倒位置还可以起到夜间降温的作用。

在夏天个别住户（花粉过敏者）想要利用新风系统时，只有当严密的止回挡板能防止从邻居家抽风时才可以。如果有这种条件，请在这里加以说明。####

如果你困于花粉过敏，则可以在夏天关窗，开启新风系统把没有花粉的新鲜空气送进房间。

过敏者可以敞开呼吸了：夏天的空气里没有花粉啦！

6. 更换过滤器

在厨房和卫浴室回风口的前面安装空气过滤器。#### 这里请说明过滤器更换周期。对于多层居住建筑最好直接由物业更换，或者通过物业购买后发给用户。这里请说明如何正确放置过滤器，这样可以有效保护排气管道免受污染。####

厨房里安装的排油烟机只允许循环风运行，把油腻和部分味道留在过滤器内（要定期更换，请仔细阅读产品说明书）。新风系统负责将剩下的味道排出去。

不要忘记：更换过滤器

A. 9.3 严冬的热：辅助供暖

被动房不是零能耗建筑：所以当住户需要时可以为住房提供适度的热能。

辅助供暖方式很多，有的只通过送风加热，有的采用散热器。这里请在用户层面加以说明。####

你可以在温度控制器上设定你要的温度（一般装在过道上）。设定的温度是额定温度，在规定时间里不得低于这个温度（但事实上可能会比设定温度高，比如当太阳晒到屋里时）。

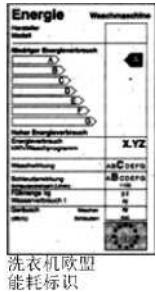
温度控制器：调节最低温度

房间不用的时候请主动把额定温度调回去（比如调到17°C）。根本不用担心房间会透凉（除非你开窗或放在内倒位置）。

多层居住建筑存在户间传热问题。根据热负荷设计，可能会出现有的人家热功率不够，而由邻居家给他“加热”的情况，特别是如果这家人长期没有在最小供暖工况下运行的话（比如休冬假期间房子冷透了）。为了防止出现这样的问题，建议通过规定最低温度来杜绝完全关掉暖气。####

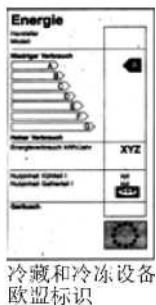
####

A. 10 节电小窍门



好建议不
花钱

和欧盟标
识比一下



##

洗衣机最
好接温水

洗碗机也
最好接热
水
高能效制
冷设备节
电是合算
的

被动房以其极低的供暖热需求本来为减少 CO₂ 排放和减少环境污染做出了贡献。但是，作为被动房住户，您还不能满足于此：节约用电不仅对您的钱包有利，也为我们的环境做了贡献。节能家电不比高能耗的家电贵，所以肯定是经济的。

1. 你们家里的电老虎在哪里？

检查测算一下你的家用电器的电耗。你也可以请公用事业公司免费诊断电耗，或者向公用事业公司借测电仪自己检查老电器。

在购买新家电时，电耗和水耗应该是重要的选择指标。根据贴在所有新电器（冰箱、洗衣机、洗碗机和干衣机）上的欧盟标识就可以确认了。欧盟标识只用一个字母 A~G 表示。A 表示特别节能，G 表示特别耗能，B~F 则介于两者之间。当然只能比较同类型的产品，比如 B 的冷冻柜肯定比同样尺寸的 D 的冷藏柜耗电。

洗衣机有三项欧盟标识 A~G：能耗标识、洗净率标识和甩干率标识。如果衣服要在干衣机里干燥，甩干率就非常重要，因为这样可以减少干衣机的电耗。如果洗衣机接上热水，那还要节能，因为进来的温水不需要用电加热了。许多洗衣机只有一个冷水龙头，此时可以在冷水软管前面装一个混水器，将热水和冷水自动调节到合适的温度。在安装前应该检查进水软管、电磁阀、开关程序和洗衣机的其他部件是否适合这种混水器。有些洗衣机接了热水洗衣时间会缩短并且洗衣效果变差。#### 另外，如果用热水洗衣，还应在洗衣机位置安装热水接头。####

对干衣机，欧盟标识区分排气干衣机和冷凝干衣机。#### 出于技术原因（新风系统平衡调节，排气管道的凝结水），排气干衣机不允许接入新风系统。而不需加热的专用干衣柜可以毫无问题地接入新风系统。这里要对选择的解决方案做详细介绍。####

对于洗衣干衣一体机（即洗衣机加干衣机），欧盟标识的能效考虑了干衣和洗衣的总能耗 A~G，同时也有洗衣效果等级 A~G。应给予水耗特殊关注，仅在干衣时，5kg 衣物就要消耗 18~80L 的冷却水！

洗碗机有三项标识 A~G：能效、洗净率和干燥率。水耗用 L 表示。如果洗碗机有热水接头，就不用电加热进来的冷水，这样就特别节能。

在摆放制冷设备时要注意，不要靠近炉子、洗碗机、暖气，也不要晒到太阳，否则会增加电耗。同时也要给散热表面留出足够的空隙。大部分机器的散热器在背后，也有在侧面的，所以在它们的上面和下面要留出足够的空间。

应该尽量控制运行，尽量少开冰箱门，食物在冷却后再放进冰箱，湿热的室内空气或水蒸气进去少了，需要排出去的热量也就少了，就省电了。

低能耗研究所提供了特别节能家用电器 99 清单，可以帮助选择节能家电，也可以从互联网上查找相关信息（能源用户联合会网站 <http://www.oneworldweb.de/bde>）

2. 从哪儿可以得到 20% 的投资回报率？不是你的银行！而是使用节能灯！

把 60W 白炽灯换成亮度相同的带电子整流器的 11W 节能灯，在每天至少点灯 2h 的情况下，投资回报率就高于 20%，而储蓄本上的利息只有 4%。你花 27 欧元，在整个使用寿命期却可以节省 50 多欧元，还可以减少 250kg 温室气体 CO₂ 的排放。

节能灯让你眼前一亮！

附录 B 被动房标准、被动式节能改造 EnerPHit 标准和被动房研究所节能建筑标准

说明：

此中文版本是“被动房标准、被动式节能改造 EnerPHit 标准和被动房研究所节能建筑标准”德语官方版本的翻译版，仅旨在于使官方版本内容易于理解。其德语官方版本详见：http://passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_gebaeude_de.pdf，由被动房研究所 [Passive House Institute, PHI] 于 2015 年 4 月 15 日颁布。

被动房研究所 [PHI, www.passiv.de] 是本标准（被动房标准、被动式节能改造 EnerPHit 标准以及被动房研究所节能建筑标准）的版权所有者。

B. 1 引言

B. 1. 1 标准分类

本文件包括了被动房研究所 (PHI) 定义的全部建筑节能标准。在 B. 2 节“标准”的前 3 节对 3 个标准规定了具体准则。除此之外，无论选择何种建筑节能标准，都必须满足 B. 2. 4 “所有标准的通用最低要求”。利用被动房规划设计软件包 (PHPP)，按照 B. 2. 5 “PHPP 计算边界条件”，提出对于遵守准则的证明。

如果一栋建筑需要由被动房研究所或者经过被动房研究所授予资质的认证师进行认证，应按 B. 3 节“建筑认证技术条例”进行审核。B. 3. 2 列出了须提交的材料。

B. 1. 2 本版标准的新增内容

迄今为止，对于被动式住宅建筑、被动式非住宅建筑和被动式节能改造的标准有 3 个不同的文件。现在把它们归纳在一起，并增加了新定义的被动房研究所节能建筑标准。现在，对于住宅建筑和非住宅建筑不再分别提出要求。

此外，标准还扩充了以下内容：

(1) 增加了被动房研究所最新开发的可再生一次能源 (PER) 评价方法。根据 PER 的需求量和可再生能源产量，在被动房或被动式节能改造标准中可以达到 Classic、Plus 和 Premium3 个等级中的 1 个。对于 PER 需求的要求，替代了原来对于非可再生一次能源需求 (PE) 的要求。但是，在过渡阶段原来的 PE 方法仍可使用一段时间（仅针对 Classic 级别的被动房和被动房研究所节能建筑）。

(2) 采用被动房适用组件对既有建筑进行被动式节能改造的标准在全世界通用。该标准要求是根据 7 大气候带划分而提出来的。

(3) 同样，被动式非住宅建筑标准也全球通用。

此外，对标准进行了全面修订和新的分类，使其更加清晰易懂。取消了原来所谓的

“软标准”体制外文件。对其中的要求提出了更精确的定义并纳入正式标准范围。

B. 1.3 生效日期

本标准随同第 9 版被动房规划设计软件包 (PHPP) 的发行而同时生效。德文版 PHPP-9 已于 2015 年 4 月 17 日发行。由于其他语言的 PHPP-9 将在间隔一段时间后逐步发行，所以对于这些语言版本的用户，新的建筑标准也将在晚些时间生效。

B. 2 标准

B. 2.1 被动房标准

被动房以超低能耗的同时提供极高的舒适性而著称。特别对于新建建筑，被动房标准提供了卓越的经济性。根据可再生一次能源 (PER) 需求和产量，被动房可以分为 3 个等级：普通级 (Classic)、优级 (Plus) 和特级 (Premium)，被动房标准见表 B-1。

被动房标准

表 B-1

			标准 ^①	替代标准 ^②	
供暖					
供暖需求	kW · h/(m ² · a)	≤	15	—	—
热负荷 ^③	W/m ²	≤	—	—	10
制冷					
制冷+除湿需求	kW · h/(m ² · a)	≤	15+除湿需求 ^④	可变极限值 ^⑤	
冷负荷 ^⑥	W/m ²	≤	—	10	
气密性					
压力测试-换气次数 n_{50}	1/h	≤	0.6		
可再生一次能源 (PER)^⑦			普通级	优级	特级
PER 需求 ^⑧	kW · h/(m ² · a)	≤	60	45	30
可再生能源产量 (相对于建筑占地面积) ^⑨	kW · h/(m ² · a)	≥	—	60	120
				相对标准给出值有 ±15 kWh/(m ² · a) 的偏差	
				通过调整产量来平衡上一栏中的偏差	

① 标准或替代标准适用于全世界所有气候区。所有极限值的参照面积为现行 PHPP 手册中的能源有效面积 (EBF) (例外：可再生能源产量针对建筑占地面积；气密性针对净空间体积)。

② 对于供暖、制冷和可再生一次能源 (PER) 栏目，相应满足上下 2 个标准值或者 2 个替代标准值。

③ PHPP 计算以静态热负荷为主，不考虑温度下降后的加热负荷。

④ 可变的除湿需求极限值，取决于气候数据，所需的换气次数和室内湿负荷 (在 PHPP 中计算所得)。

⑤ 可变的制冷和除湿需求极限值，取决于气候数据，所需的换气次数以及室内热湿负荷 (在 PHPP 中计算所得)。

⑥ PHPP 计算以静态冷负荷为主。当内部热源高于 2.1W/m² 时，极限值增加实际内部热源和 2.1W/m² 的差值。

⑦ 对于 PER 需求和可再生能源产量的要求是 2015 年新引入的。在过渡期，对于“被动房 Classic”可替代其这里的两项要求仍可延用原来对于非可再生一次能源 (PE) $Q_p \leq 120 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的要求认证。在 PHPP “证明”表里可以选择所需的证明方法。对于 PE 证明，采用的是 PHPP 中的一次能源系数组 1 的数据 (在 PER 表中选择)，如果被动房研究所没有准许使用其他的国家层面的数值的话。

⑧ 包含了供暖、制冷、除湿、热水、照明、设备辅助用电和电气设备用能。极限值适用于住宅建筑以及典型的教育和办公建筑。如果由于建筑用途出现非常高的用电需求，则可以在与被动房研究所沟通后提高用电指标，但必须出示所有大型用电设备高效用电的证明。但是在建筑物启用前已经存在的属于用户产权的用电设备除外，如果证明这些用电设备以改善用电效率为目的的更新改造在生命周期内是不经济的话。

⑨ 与建筑在空间上没有联系的可再生能源生产设备也允许计入 (生物质能利用、垃圾焚烧热电厂和地热除外)。只允许计入建筑产权人或 (长期) 用户 (一手) 所有的新装设备 (即建筑物开工建设前尚未投产的设备)。

B. 2.2 被动式节能改造标准 EnerPhit

由于存在各种难度，在老建筑上往往无法以适当的造价实现被动房标准。对于这种建筑，可以进行翻新从而实现被动式节能改造标准，在所有相关建筑部分采用被动房适用组件进行改造，尽可能改善舒适性、减少建筑结构损害、提高经济性和节约能源需求。

通过遵守建筑构件方法的标准（表 B-2），或者通过遵循能源需求标准（表 B-3），实现被动式节能改造标准。这里只需要 2 种标准中的 1 种得以满足即可。通过选择 PHPP 软件包中的气候资料，可以自动生成适用于建筑所在地的气候区。

表 B-2 给出的标准原则上相当于被认证为被动房适用组件时所用的标准^①。这些准则必须至少作为整栋建筑的平均值^②得到遵守。建筑部分区域允许超标，如果通过在其他区域采用更好的保温能够重新得到补偿的话。

除了表 B-2 或表 B-3 的标准，在任何情况下都必须遵守表 B-4 的通用标准。根据对可再生一次能源的需求和产量（PER），可以达到被动式节能改造 Classic、Plus 或 Premium 的等级。

采用建筑构件方法定义的被动式节能改造标准

表 B-2

PHPP 划分的 气候区	建筑物不透明围护结构 ^①				窗户（包括户门）					新风机组	
	与土壤连接		与室外空气连接		整窗 ^④			玻璃	太阳负荷 ^⑤		
	保温	外保 温 ^②	内保 温 ^②	外墙 涂料 ^③	最大传热系数 (U_{DW} , 安装状态)			太阳能总透射 比 (g 值)，只在 主动采暖时考虑	制冷时期 最大单位太 阳负荷		
	最大传热系数 (U 值)		冷色调		[W/(m ² · K)]		[W/(m ² · K)]		[kW · h/ (m ² · a)]		
	[W/(m ² · K)]		—		  		—		%		
极地	根据项目各自 对应的供暖和 制冷度日数在 PHPP 中计算 确定	0.09	0.25	—	0.45	0.50	0.60	$U_g - g * 0.7 \leq 0$	100	80%	—
寒冷		0.12	0.30	—	0.65	0.70	0.80	$U_g - g * 1.0 \leq 0$		80%	—
寒温		0.15	0.35	—	0.85	1.00	1.10	$U_g - g * 1.6 \leq 0$		75%	—
温和		0.30	0.50	—	1.05	1.10	1.20	$U_g - g * 2.8 \leq 0$		75%	—
温热		0.50	0.75	—	1.25	1.30	1.40	—		—	—
炎热		0.50	0.75	是	1.25	1.30	1.40	—		—	60% (潮湿 气候)

① 被动房组件认证标准以及所有已被认证的组件数据表可以从被动房研究所的网页（www.passiv.de）上查阅。

② 说明：在计算保温建筑构件的平均值时，适用传热系数的面积加权平均值，而不是保温材料厚度平均值。如果它们属于建筑构建的标准构造，才需要在计算平均值时考虑热桥。采用多台新风机组时，取新风体积流量加权平均值。

PHPP 划分的 气候区	建筑物不透明围护结构 ^①				窗户（包括户门）					新风机组	
	与土壤连接		与室外空气连接		整窗 ^④			玻璃	太阳负荷 ^⑤		
	保温	外保 温	内保 温 ^②	外墙 涂料 ^③	最大传热系数 (U_{DW} , 安装状态)			太阳能总透射 比 (g 值), 只在 主动采暖时考虑	制冷时期 最大单位太 阳负荷	最小 热回收 效率 ^⑥	最小湿 度回收 系数 ^⑦
		最大传热系数 (U 值)		冷色调							
	[W/(m ² · K)]			—	[W/(m ² · K)]			—	[kW · h/ (m ² · a)]	%	
非常炎热	根据项目各自对应的供暖和制冷度日数在 PHPP 中计算确定	0.25	0.45	是	1.05	1.10	1.20	—	—	—	60% (潮湿气候)

① 不透明围护结构

如果既有建筑构件的热阻系数 R 值出于改善翻新建筑构件的传热系数 U 值应该被考虑, 那么必须根据技术条例予以证明。此时, 可以从合适的表格中近似可靠地选取建筑材料的导热系数。如果对既有建筑的构造分辨不清楚, 则可以根据建筑年代从合适的建筑构件目录手册选择相应的标准值 (比如被动房研究所 2012 年公布的“被动式节能改造 EnerPHit 设计手册”), 只要它们与现有建筑构件足够可比的话。

被动房上追求的无热桥原则在既有建筑改造中并不是一直都能以合理的造价来实现。但是在保证经济性的条件下, 应该尽可能防止或者减少热桥影响。在建筑物标准结构上存在的热桥必须在计算传热系数时一同考虑进去。

② 内保温

之所以对内保温提出了较低的要求 (与外保温相比), 是因为内保温会减少可用面积。对此, 这里的内保温原则上针对的只是被内保温的外墙 (如果涉及的话), 而不是屋顶、地下室楼板和底板。

③ 外墙涂料颜色

冷色调: 对太阳红外光谱有吸收系数非常小的颜色。其标准用太阳反射指数 (SRI) 定义。PHPP 根据国际标准 ASTM E 1980-11 从吸收率和发射率计算太阳反射指数。

平屋面 (倾角 $\leq 10^\circ$): SRI ≥ 90

坡屋面和墙 ($10^\circ < \text{倾角} < 120^\circ$): SRI ≥ 50

必须采用至少经过 3 年风吹雨打气候试验的表面所对应的产品测量值。如果只有初始状态的测量值, 则应根据 PHPP “面积” 表中相应的辅助计算公式对吸收率进行换算。而发射率可以简单予以保留。

对于下列情况不一定必须遵守本条标准: 绿植表面; 由背通风太阳能集热器或光伏电板遮盖的表面 (包括光伏板之间必需的间隔表面); 建筑构件穿透口和与其连接的设备; 上人 (屋面) 和露台或行走通道; 大范围被遮蔽或者背阳的表面。

也可以采取其他措施 (例如在建筑构件标准基础上再增加保温厚度) 来替代使用冷色表面, , 如果与冷色调相比整体上不会增加制冷需求的话。

④ 整窗

表格中的图样展现了安装完窗户的不同倾角。从中选取和实际窗户倾斜度最相近的倾斜度所对应的标准。而不是在这几条标准之间做插值。因为玻璃的 U 值由于物理过程会随着倾角改变, 然而对于窗户本身必须使用和实际倾斜度相对应的玻璃传热系数值 U_g 。

对于小窗户, 在框长与窗户面积平均比 $3\text{m}/\text{m}^2$ 之上滑动提高表中给出的极限值。PHPP 表单 “证明” 中会自动按下列公式计算和给出应该选取的极限值:

极限值追加量 [W/(m² · K)]: $(L/A-3)/20$, L: 窗框长度, A: 窗户面积。

⑤ 太阳负荷

极限值仅适用于主动制冷的建筑。这里是指扣除如遮阳等所有衰减系数后, 透过每平方米玻璃面积进入建筑物内的太阳辐射量, 必须作为同一朝向所有窗户的平均值予以遵守。超过极限值时, 必须采取减少太阳负荷的适当措施, 直到遵守极限值。可以采取的措施有活动遮阳、遮阳挑檐和遮阳型玻璃 (后者仅适用于纯制冷气候地区)。

⑥ 新风机组, 最小热回收效率

整个新风系统必须遵守热回收率标准, 本条标准涵盖比被动房适用组件认证标准更广的内容, 也就是说它也包括了冷区的热风管道或者热区的冷风管道。

⑦ 最小湿回收系数

从除湿所需干燥度小时数 $\geq 15\text{kKh}$ ① 开始 (相对于露点温度 17°C) 为 “潮湿气候”。PHPP 会自动计算。

① 制冷小时数, 第 1 个 k 小写, 为千, 第 2 个 K 大写, 为冷。正常写法应该为 kKh , Kh 为千小时, 1 天为 0.024 千小时。但习惯写法为 kKh 。

PHPP 定义的气候区	采暖		制冷	
	最大单位采暖需求		最大单位制冷+除湿需求	
	[kW · h/(m² · a)]		[kW · h/(m² · a)]	
极地	35	按被动房标准要求		
寒冷	30			
寒温	25			
温和	20			
温热	15			
炎热	—			
非常炎热	—			

被动式节能改造通用标准 (不管采用何种方法, 始终有效)

表 B-4

			标准 ^①		替代标准 ^②	
气密性						
压力测试-换气次数 n_{50}	[1/h]	≤	1.0			
可再生一次能源 (PER) ^③			普通级	优级	特级	
PER 需求 ^④	[kW · h/(m² · a)]	≤	$60 + (Q_H - Q_{H,PH}) + f_{0,PER,H} + (Q_C - Q_{C,PH}) \cdot 1/2$	$45 + (Q_H - Q_{H,PH}) + Q_C - Q_{C,PH} \cdot 1/2$	$30 + (Q_H - Q_{H,PH}) + (Q_C - Q_{C,PH}) \cdot 1/2$	±15kW · h (m² · a), 与标准偏差
可再生能源产量 ^⑤ (按建占地 面积计算)	[kW · h/(m² · a)]	≥	—	60	120	通过改变产量来平衡 上述偏差

① 标准和替代标准适用于全世界的所有气候区。所有极限值的参照面积是用能面积 (EBF)，按照最新的 PHPP 手册计算 (例外：可再生能源产量参照建筑占地面积，气密性参照净空间体积)。

② 可再生一次能源 (PER) 必须同时满足上下两个标准值或者两个替代标准值。

③ 2015 年新引入了对于 PER 需求和产量的要求。过渡期可以继续以是否满足非可再生一次能源 (PE) 的要求来证明是否达到了“被动式节能改造 Classic”的标准：

$$Q_P \leq 120 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + (Q_H - 15 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})) \cdot 1.2 + Q_C - Q_{C,\text{被动房要求}}$$

当 “ $Q_H - 15 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ” 或 “ $Q_C - Q_{C,\text{被动房要求}}$ ” < 0 时，那么就以 0 代入。

PHPP 表单“证明”中可以选择证明方法。对于非可再生一次能源 PE 的证明，使用的是 PHPP 中的一次能源系数组 1 的数据 (在 PER 表单中选择)，如果被动房研究所没有准许采用其他的国家数据的话。

④ 包括了供暖、制冷、除湿、热水、照明、设备辅助用电和电气设备的用能。极限值适用于住宅建筑以及教育和办公建筑。对于偏离上述用途的建筑因具体用途造成非常高的电能需求时，可以在征得被动房研究所同意后超出相关极限值。对此必须出示高效用电的标识证明。

既有的用电设备如果证明更新改造提高用电能效的费用在生命周期内是不经济的话，可以作为例外来处理。

Q_H : 供暖需求； $Q_{H,PH}$: 被动房-供暖需求标准； $f_{0,PER,H}$: 建筑物供暖设备 PER 系数的加权平均值； Q_C : 制冷需求 (包括除湿)； $Q_{C,PH}$: 被动房-制冷需求标准；当 “ $(Q_H - Q_{H,PH})$ ” 或 “ $(Q_C - Q_{C,PH})$ ” < 0 时，那么以 0 代入。

⑤ 可以计入与建筑物没有空间联系的可再生能源生产设备 (生物质利用、垃圾焚烧热电厂和地热除外)。只允许计入建筑物业主或 (长期) 用户所有 (一手) 的新设备 (即在建筑物开工建设前尚未投产的设备)。

被动式节能改造 EnerPHit 特殊条例

当存在下列一个或多个强制性原因时，表 B-2 中外围护结构建筑构件的传热系数极限值可以超出必要的份额：

- (1) 文物管理部门有要求；
- (2) 超常规边界条件或附加要求导致要求的措施不再具有经济性；
- (3) 法律要求；
- (4) 按要求的质量进行保温时，建筑物或相邻外立面的使用功能会受到不可承受的限制；
- (5) 由于专门的附加要求（如防火），无法在市场上购买到能同时满足被动式节能改造 EnerPHit 标准的产品；
- (6) 由于窗户安装层和内保温外墙的保温层错位产生高热桥热损失系数 (P_{si} 值) 条件所致，窗户传热系数 (U 值) 被提高了；
- (7) 在采用内保温时只有用薄的保温板才能可靠保证结构不受到损伤；
- (8) 其他强制性建造实际原因。

当由于上述某种原因使保温厚度受到限制，因而需要动用特殊条例时，那么仍然可能留有的保温厚度必须采用导热系数 $\lambda \leq 0.025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的高效保温材料，只要它是经济的，并且（在内保温时）可以无瑕疵施工。此时，还必须检查是否对底板和地下室顶板增加一圈保温围裙。只要是经济的，就必须实施。

B. 2.3 被动房研究所节能建筑标准

被动房研究所的节能建筑标准适用于由于某种原因不能完全满足被动房标准的建筑。

被动房研究所-节能建筑标准

表 B-5

			标准 ^①	替代标准 ^②
供暖				
供暖需求	$\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	\leq	30	
制冷				
制冷+除湿需求	$\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	\leq	被动房要求 ^③ +15	
气密性				
压力测试-换气次数 n_{50}	1/h	\leq	1.0	
可再生一次能源 (PER)^④				
PER 需求 ^⑤	$\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	\leq	75	允许超出标准给出值至 $+15 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的范围
可再生能源产量（相对于建筑占地面积） ^⑥	$\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	\geq	—	对上述超出量通过额外能源产量进行补偿

① 标准和替代标准适用于全世界所有气候区。所有极限值的参照面积按照现行 PHPP 手册计算所得的能源有效面积 (EBF)（例外：可再生能源产量针对建筑占地面积；气密性针对净空间体积）。

② 对可再生一次能源 (PER) 项目，必须满足各自对应的上下 2 个标准值或者 2 个替代标准值。

③ 从 2 个可替代的被动房制冷需求标准中取最大值作为基础。针对各个建筑所适用的标准会在 PHPP 中自动计算出来并且在表单“证明”中显示出来。

④ 对于 PER 需求和可再生能源产量的要求是 2015 年新引入的。在过渡期，替代满足可再生一次能源“被动房研究所-节能建筑”标准这里 2 个要求的证明，可以继续延用之前非可再生一次能源 (PE) 需求要求 $Q_p \leq 120 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的标准满足的证明。在 PHPP “证明”表里可以选择证明方法。对于 PE 证明，采用 PHPP 中的一次能源系数组 1 的数据（在 PER 表中选择），如果被动房研究所没有准许使用其他的国家层面的数据的话。

⑤ 包含了供暖、制冷、除湿、热水、照明、设备辅助用电和电气设备用能。极限值适用于住宅建筑以及典型的教育和办公建筑。如果由于特殊建筑物用途出现非常高的用电需求，则可以在与被动房研究所沟通后提高用电指标，对此必须出示高效用电的标识证明。但是在建筑物入住前已经存在的属于用户产权的用电设备除外，如果这些用电设备以改善用电效率为目的的更新改造被证明在生命周期内是不经济的话。

⑥ 与建筑物在空间上没有联系的可再生能源生产设备也允许给予考虑（生物质能利用、垃圾焚烧热电厂和地热除外）。只允许计量建筑物产权人或（长期）用户（一手）所有的新装设备（即建筑物开工建设前尚未投产的设备）。

B. 2. 4 所有标准的通用最低要求

被动房和被动式节能改造除了高效节能，还以最佳热舒适性、高的用户满意度和无结构损害而著称。为了保证这些优越性，除了必须遵守 B. 2. 1~B. 2. 3 节的标准，还必须满足以下最低要求。除了为保证热舒适性而要求的最小 U 值（表 B-6，右栏）外，这些要求也适用于节能建筑。

1. 超温概率

室温高于 25°C 的年小时数百分比：

- (1) 无主动制冷：≤10%；
- (2) 有主动制冷：制冷系统容量必须足够。

2. 高湿度概率

室内空气绝对湿度大于 12g/kg 的年小时数百分比：

- (1) 无主动制冷：≤20%；
- (2) 有主动制冷：≤10%。

3. 最低保温要求

无论采用何种节能标准，包括在动用被动式节能改造特殊条例时，都必须始终满足表 B-6 给出的最低保温要求。它适用于每个建筑构件（如墙体结构、窗户和细部节点）。不允许对多个不同的建筑构件求平均值来提供满足要求的证明。

B. 2. 1~B. 2. 3 节非常高的要求事实上已经涵盖了最低保温要求。所以，下面的最低要求仅对例外情况有效。

表 B-6

PHPP 给出的气候区	卫生 ^①	舒适性 ^②			
	最低温度系数	最大传热系数			
	$f_{Rsi} = 0.25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	U 值			
		$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			
					
极地	0.80	0.45	0.50	0.50	0.35
寒冷	0.75	0.65	0.70	0.80	0.50
寒温	0.70	0.85	1.00	1.10	0.65
温和	0.60	1.10	1.15	1.25	0.86
温热	0.55	—	1.30	1.40	—
炎热	—	—	1.30	1.40	—
非常炎热	—	—	1.10	1.20	—

① 卫生

除了表 B-6 对建筑构件内表面温度的要求外 ($f_{Rsi} = 0.25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$)，所有标准断面和细部节点都必须达到设计和施工要求，保证在按规定使用过程中建筑构件内部不会过度受潮。

② 舒适性

这里的极限值并不适用于小于 1 m^2 的非逗留区域的边界表面或者独立立面。如果能够通过供暖表面补偿内表面的低温或者由于其他原因对热舒适性没有担忧时，门窗允许超过极限值。

与土壤接触的建筑构件，对于 U 值的要求可以除以削弱因子 f_T （从 PHPP 表格“土壤”选取“削弱因子—地基”）。

对于倾斜的建筑构件适用相关的要求值，（按照表 B-6 的“建筑构件倾斜度”示意图）选取最接近建筑构件实际倾斜度的数值。并不是用 2 个要求之间的插值。如果能够提供达到 DIN EN ISO 7730 的舒适性条件证明，则同样被视为达到了舒适性要求。表 B-6 的舒适性要求（右侧 4 栏）对节能建筑不适用。

4. 用户满意度

对于下列为了确保用户满意度的要求在有充分理由的情况下是可以有例外的，只要不损害用户满意度的话：

- (1) 所有有人逗留的房间必须有可以开启的窗户。
- (2) 用户必须能够操作照明和临时遮阳设备。用户控制应优先于可能存在的自动控制。
- (3) 室内温度在主动供暖以及制冷时必须至少每个单元户是通过用户可调的。
- (4) 必须有足够的供暖或空调系统设计容量，保证在设计工况下也能达到供暖或制冷额定温度。

(5) 新风系统

1) 可调节

必须能够根据实际需求调节新风体积流量。在住宅建筑上，每个居住单元的风量必须是用户可调的（建议实现三档可调：标准风量/标准风量+30%/标准风量-30%）。

2) 所有房间完全通风

建筑热工围护结构内的所有房间必须通过一台新风机组直接或间接（通过过流方式）被足够充分的风量通风。这个要求同样适用于不常呆人的房间，只要这些房间的机械通风所需成本并不高。

3) 室内空气相对湿度太低

如果 PHPP 计算得出一个月或数个月的空气相对湿度小于 30%，就必须采取有效措施（如湿回收，加湿，自调式需求控制和/或分区控制，强化型定向通风，或者监督实际相对湿度，必要时采取后补措施）。

4) 声级

新风系统在标准体积流量下不允许给逗留区带来噪声干扰。声级标准值：

- ① $\leqslant 25\text{dB(A)}$ ：住宅建筑里的送风区或者非住宅建筑里的卧室和休息室；
- ② $\leqslant 30\text{dB(A)}$ ：非住宅建筑的房间（除了卧室和休息室）以及住宅建筑回风区。

5) 吹风感

新风系统不可引起不舒适的吹风感。

B. 2.5 PHPP 的计算边界条件

在利用被动房规划设计软件（PHPP）提出遵守准则的证明时，必须遵守以下边界条件：

1. 建筑分区

在计算特征值时必须将围合的建筑围护结构作为一个整体来计算，比如由多个热工上有联系的单元组成的联排别墅、多住户建筑或者写字楼。可以利用一个整体计算提供证明。如果所有分区具有相同的额定温度，则可以从多个分区的 PHPP 计算结果按照能源有效面积（EBF）取加权平均值。不允许对热工分隔的建筑物进行合并处理。与其他建筑物连接的建筑（例如城市里的建筑），就必须至少包括一堵外墙、一个屋面和一个地板或地下室顶板，以便能够对这栋建筑进行独立认证。

2. 计算方法

供暖能源需求采用按月计算方法。

3. 内部热源

PHPP 对不同用途给出了一系列标准值。只要被动房研究所未给出其他（如国家层面的）数值，就应该使用这些数值。如果能够证明，实际使用与作为标准值基础的用途有明显差别并且必须有明显差别，才允许使用利用 PHPP 单独计算得出的内部热源。

4. 内部湿源

年全部小时平均值（包括使用时间以外的时间）：

- (1) 住宅建筑：100g/(人·h)。
- (2) 非住宅建筑没有人散发湿气以外的重要湿源（如写字楼，教育楼等）：10g/(人·h)。
- (3) 非住宅建筑有人散发湿气以外的重要湿源：依据用途可靠估算。

5. 人口密度

(1) 住宅建筑：PHPP 标准人口密度；如果人口密度明显超出标准人口密度，则建议取高值；

(2) 非住宅建筑：根据具体项目计算人口密度和使用时间并与用途协调。

6. 室内房间设计条件

(1) 供暖：住宅建筑：20°C（晚上不降温）；非居住建筑：适用 EN 12831 规定的标准室内温度。如用途不明确或有不同要求时，根据具体项目计算室内温度。对于间歇性运行方式（夜间降温）在出示证明情况下允许降低设计温度。

(2) 制冷和除湿：在室内绝对空气湿度 12g/kg 下为 25°C。

7. 气象数据

采用被动房研究所公布的气象数据（7 位数代码）。选择的气象数据必须对建筑物所在地的气候有代表性。如果对于建筑物所在地没有公布的气候数据，则可以请求被动房认证师提供新的气象数据。

8. 平均新风体积流量

(1) 住宅建筑：每户每人 $20\sim30\text{m}^3/\text{h}$ ，但是换气次数最小为 0.3h^{-1} （按照能源有效面积乘以 2.5m 层高计算）。

(2) 非住宅建筑：根据具体项目，依据每人新风需求 $15\sim30\text{m}^3/\text{h}$ 计算平均新风体积流量（在运动场所等类似用途中并且当有效的劳动法约束条例要求时，可以提高新风体积流量）。此时需要考虑新风机组的不同运行时间和运行档次。在停用新风机组时，应该考虑停机前后吹扫的运行时间。

(3) 在住宅建筑和非住宅建筑上采用的新风质量流量必须符合实际调节数值。

9. 生活热水需求

- (1) 住宅建筑：每天每人 25L 60°C 的生活热水，如果被动房研究所没有提供其他国家层面的数据的话。
- (2) 非住宅建筑：按具体项目计算每人每天对 60°C 生活热水的需求量。

10. 用电需求平衡计算的边界

在能量平衡计算中应考虑热工建筑外围护结构内的全部电气设备。热工围护结构外或者位于建筑物场地上的用电设备一般不予考虑。但下列设备即使不在热工围护结构内也应予以考虑：

- (1) 为热工围护结构内的建筑物生产和分配供暖、生活热水、制冷以及新风供应用的电能
- (2) 外置式电梯和滚梯，只要它们是为克服建筑物产生的高差和通达建筑物服务的。
- (3) 计算和通信设施（服务器包括不间断电源、电话交换机等）包括为其服务的空调，只要这些系统是为楼内用户服务的。
- (4) 家用电器如洗衣机、干衣机、冰箱和冷藏柜，只要它们是建筑物使用者自用的。
- (5) 利用外部光源对室内进行有针对性的照明。

B. 3 建筑认证的技术条例

B. 3. 1 审核方法

被动房和被动式节能改造的建筑物是在极低能源需求条件下，实现全年舒适室内环境条件的建筑。它们对方案选择、设计和施工有很高的要求。

可以根据 B. 2 节所述的针对不同能源标准的准则进行质量审查，对建筑物进行认证。如果经过审查的建筑物符合 B. 3. 2 节要求的证明条件，并遵守了 B. 2 节的标准，就可以颁发图 B-1 所示的对应证书。

被动式节能改造 EnerPHit 认证仅针对由于既有建筑特点或材料使得翻新成被动房标准（新建建筑）不经济或者建造不切实际的建筑。纯新建建筑原则上不能获得 EnerPHit 认证。如果在被动式节能改造翻新中超过 25% 的不透明外墙是内保温的，那么使用“被动式节能改造+i”（带有“+i”指数）的标识①。

对于建筑物认证总是优先采用最新的标准和技术条例（在 www.passiv.de 上查新），其次是 PHPP 手册和 PHPP 计算程序中介绍的计算方法。保留按照技术进步调整标准和技术条例的权利。可以向选择的认证师申请认证。必须向认证师提供 B. 3. 2 节所述的全套申请材料。认证过程中至少需要审查一次项目材料。根据采用的方法也可以约定更多的审查内容。

说明：最好在设计阶段就审查相关材料，以便进行修正或者在施工中落实改进建议。如果还没有建设被动房或者 EnerPHit 改造的经验，则建议至少事先安排一次咨询约谈，

① 对温暖、热和特别热的气候地区不适用。

图 B-1 证书

- (a) 被动房证书；(b) 被动式节能改造 EnerPHit 证书；(c) 被动式节能改造⁺ⁱ证书（用于主要采用内保温的建筑）；
(d) 被动房研究所节能建筑证书



必要时伴随项目提供咨询。

审查结束后，委托方获得审查结果，有时候包括纠正计算和改进建议。现场施工监督并不是认证的内容。但是，当项目负责人没有被动房建设经验或 EnerPHit 改造经验时，认证机构进行附加的施工质量检查就显得特别重要。

颁发的证书只是确定了按照 B.2 节中定义的相应技术标准进行审核的材料的准确性。审查并没有涉及对施工的监督，也没有涉及对用户行为的监督。主管专业设计师承担对设计的质量保证，项目经理承担对施工质量的保证。可能会出现个别情况，即一栋建筑虽然完全满足标准要求，但在其他方面存在严重限制建筑物的使用功能、安全性或者用户满意度的重大缺陷。只要认证师发现这种缺陷，他就要考虑扣留证书，直到证明已在足够充分的程度上消除了缺陷为止。

“经过认证的被动房”、“EnerPHit”和“PHI-节能建筑”的勋章只允许在与经过认证的建筑物有明确联系的场合使用。证书适用于证书副页中写明的施工和建筑物用途。如果以后进行大范围改造或改变建筑物用途，则建筑物的能耗可能发生变化。在这种情况下证书失效。

被动房研究所有权使用提交的认证材料进行匿名科学分析和统计。

B.3.2 需要提供的认证材料

建议选用经过被动房研究所认证的组件^①，因为这些组件已经拥有经过可靠审查的所有必要参数，一般不需要进一步审查，可以直接用于建筑物认证。对于未经被动房研究所认证的组件，申请单位必须提供相关参数的证明。

^① 已被认证的组件数据表可以从 www.passiv.de 查找。

1. 被动房规划设计软件包 (PHPP)

必须利用最新版的 PHPP 计算证明是否遵守了被动房相关准则。但是不需要将正在进行的认证改编到在认证过程中发行的新版本中。PHPP 以 Excel 文件形式提交，至少包括以下计算内容：

	表单名称
(1) 项目数据, 结果汇总	证明
(2) 气象数据选择	气候
(3) 标准建筑部件传热系数 U 计算	U 值
(4) 面积汇总, 包括太阳辐照平衡数据, 热桥	面积
(5) 计算对地传热削弱因子, 如果用到的话	土壤
(6) 建筑构件数据库	组件
(7) 窗户传热系数 U_w 的确定	窗户
(8) 遮阳系数的确定	遮阳
(9) 新风量、热回收效率、压力测试结果输入	通风
(10) 采用多台新风机组时新风系统的设计 (如果用到的话)	附加通风
(11) 供暖需求计算①, 按照 EN 13790 的按月计算方法 (如果有供暖的话)	供暖
(12) 建筑物热负荷计算 (如果有供暖)	热负荷
(13) 夏季新风的确定	夏季通风
(14) 夏季室内环境评估①	夏季
(15) 空调制冷能源需求 (如果有主动制冷的话)	制冷
(16) 全热制冷能源 (如果有主动制冷的话)	制冷设备
(17) 建筑冷负荷计算① (如果有主动制冷的话)	冷负荷
(18) 供暖分配损失; 热水需求和分配损失	热水+分配
(19) 太阳能热水制备 (如果有太阳能集热器的话)	太阳能热水
(20) 光伏发电 (如果有光伏发电装置的话)	光伏发电
(21) 计算公共和家庭用电需求 (只针对住宅建筑)	电
(22) 使用特点 (只针对非住宅建筑)	非住宅建筑用途
(23) 用电需求 (只针对非住宅建筑)	非住宅建筑用电
(24) 设备辅助用电需求	辅助用电
(25) 内部热源 (只针对住宅建筑)	内部热源
(26) 内部热源 (只针对非住宅建筑)	非住宅建筑内部热源
(27) 可再生一次能源和一次能源	可再生一次能源
(28) 热能发生器年利用率证明	紧凑型, 热泵, 地源热泵, 锅炉或集中供热

2. 建筑设计资料

- (1) 建筑物平面布置图和朝向, 以及相关遮阳因素的位置和高度 (相邻建筑, 高大树

① PHPP 的热负荷、夏季工况和冷负荷计算公式是为均匀使用住宅建筑开发的。对于通风和供暖间断性运行, 并且室内负荷波动剧烈的建筑可能需要进行深入研究和采用其他方法。

木，地坪高差）；建设地块和周边环境照片。遮阳情况的描述必须有据可循。

（2）施工图（平、立、剖），含所有计算面积时相关的可追寻尺寸（房间尺寸，围护结构面积，窗户尺寸）。

（3）能够复核的能源有效面积计算书。

（4）围护结构面的位置图，可以根据制图在 PHPP 里进行简单并且明确的表面标识归类。如果 DesignPH 文档能满足这一功能，那么也可以提交这类文档。

3. 建筑详图和连接节点详图

（1）热桥（如果有的话）位置图为了在 PHPP 里能对输入值之进行明确归类，建筑热工围护结构所有连接节点的细部大样，如外墙和室内隔墙与地下室楼板或者地板交汇处，外墙与屋面和楼板的节点、屋脊、屋面与垂直山墙的节点，阳台固定系统等。细部节点大样必须标明尺寸、材料数据和导热系数。标明气密层位置，说明节点部位的施工措施。

（2）按照 EN ISO 10211 提出 PHPP 计算需要的热桥系数证明，也可以提供汇编好的细部可比的热桥文件（如经过认证的被动房/被动式改造-建筑体系，被动房研究所的出版物，热桥图谱）。

（3）生产商、材料型号和技术数据单，特别是导热系数非常低的保温材料 ($\lambda_K < 0.032 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)，也可以提供国家标准或建筑管理部门准入证书中给出的导热系数。

（4）建筑物外表面辐射性能证明（仅针对热带和极炎热气候地区）：对于屋面产品，给出根据 ANSI/CRRC-1（或类似方法）计算的吸收率、反射率和发射率测量值。对于墙体产品，由于缺少数据，目前暂时没有对特征值来源的要求。所有数据均必须是经过至少 3 年耐候试验得出的数据（或者在 PHPP 里通过初始值进行换算）。

（5）防潮证明（仅在有怀疑时需要）。

4. 窗和门

（1）门窗位置图，为了在 PHPP 里能对输入值进行明确归类。

（2）窗框和门框数据：制造厂、型号、框的传热系数 U_f ，安装热桥系数 $\Psi_{\text{安装}}$ ，玻璃边缘热桥系数 $\Psi_{\text{玻璃边缘}}$ ，在外墙上的安装图，必须按 EN ISO 10077-2 出示计算证明。

（3）玻璃数据：制造厂、型号、结构，按 EN673 计算的玻璃传热系数 U_g （计算数据，精度为小数点后两位），按 EN 410 计算得出的 g 值，玻璃间隔条型号。

5. 新风系统

（1）新风系统图，包括新风机组的描述和设计参数，体积流量（如必填表单：“通风—设计”），噪声防治措施，过滤器，送风和回风阀，过流口，室外空气吸入口，排风口，管道尺寸和保温，土壤热交换器（如果有的话），控制系统等。

（2）土壤热交换器数据（如果有的话）：长度，敷设深度和方式，土质条件，管道材质和尺寸，换热系数证明（如利用 PH-Luft^① 计算）。采用卤水-土壤热交换器时的数据：调节方式，冬季/夏季极限温度，热交换系数证明。

^① PH-Luft：被动房通风系统的辅助计算程序。可从 www.passiv.de 免费下载。

(3) 按照被动房研究所的方法（见 www.passive.de）出示新风系统的热回收效率和电耗证明。在制冷工况下，风机散热会降低热回收效率，因为它增加了热负荷。但是为了方便起见，对于在制冷工况下提出热回收效率证明时，目前依然采用被动房研究所的现行方法。应同时计算无热回收的排风系统（如化学柜、蒸煮器等）。应考虑不同的运行级别和运行时间。

(4) 新风系统设备部件如加热盘管、防冻组件等的制造厂、型号和技术参数以及电耗证明。

(5) 调试报告。调试报告至少必须包括以下内容：项目名称，建筑物地址，检测人员姓名和联系方式，调试时间，通风系统制造厂和机组型号，校准后的标准运行新风量，新风和排风质量流量和体积流量调节平衡度（不平衡度最大不超过 10%）。对所有送、回风口调节状态的记录报告。如果在个别非住宅建筑上无法对每个风口进行调节，则至少必须在新风主机（新风和排风）上和主管道上测量体积流量。建议：使用通风必填表，可从 www.passiv.de 网站下载。

6. 供暖/制冷（如有的话）、生活热水和排水

(1) 供暖/制冷（如有的话）、生活热水和排水暖通设计图；图示热能发生器、蓄热装置、供暖分配系统（管道、加热盘管、散热器、泵、控制）、生活热水分配（循环、支管、泵、控制）、排水管道压力平衡口，包括它们的尺寸、保温水平、制冷和除湿装置图示和设计参数。

(2) 简要介绍设计的暖通供给系统，必要时提供系统示意图。

(3) 供暖和热水制备热能发生器、蓄热装置、泵、建筑物制冷系统（如有的话）、升压泵、虹吸泵等设备的制造厂、型号、技术参数和电耗证明。

(4) 对于没有主动制冷的建筑物：必须出示夏季舒适性证明。用于确定夏季超温的 PHPP 方法首先仅计算出整栋建筑物的平均值，个别区域仍有可能超温。对此有疑虑时，应进行深入研究（例如采用动态模拟方法）。

7. 电气设备和照明

(1) 家庭电气设备系统图（只有当住宅建筑有高效用电设计方案时提供，否则采用 PHPP 给出的统一标准值）：照明（必要时也提供自然光利用方案或模拟结果）、电梯、厨房设备、计算机应用、电话装置、其他专用电气设备（如窑炉）的图示和设计参数。

(2) 主要用电设备，如电梯、照明、安全设施等的制造厂、型号、技术参数和电耗证明。

8. 可再生能源

(1) 安装在建筑物上面或侧面的太阳能集热装置：太阳能集热器和蓄热装置的数据表，可以从中选取计算需要的参数。如果没有采用 PHPP 方法估算太阳能装置的贡献率，则应补充提供太阳能装置每个月获得热量的证明（例如模拟报告）。

(2) 安装在建筑物上面或侧面的光伏发电装置：光伏发电组件和逆变器的数据表，可以从中选取计算需要的参数。

(3) 与建筑物没有空间联系的可再生能源系统：必须出示有效的产权证明，并出示关于预计的系统年发电量证明（模拟），必要时提供整个系统的产权份额证明。

9. 气密性外围护结构

按照 EN 13829 检测气密性。与标准不同，这里要求各进行一个系列的正压和负压测量。仅对供暖围护结构做压力测试。不属于供暖围护结构的地下室、裙楼、阳光房等不做压力测试。建议在气密层还能够着，即还能进行修补的工程节点安排气密性检测。压力测试报告中还必须给出空间体积计算书。

应该安排独立于委托方或建设方的机构或人员进行压力测试。只有明确个人在检测报告上签字，并对检测数据的正确性承担个人责任时，委托方自己进行的压力测试才能得到认可。

仅针对被动式节能改造：当气密性测试结果在 $0.6 \sim 1.0 \text{ h}^{-1}$ 时，必须在压力测试过程中全面查漏，消除可能造成建筑物结构损伤或影响热舒适性的泄漏点。必须按照第 10 条提供书面记录并由负责人签字确认。

10. 漏风检测和密封确认书（仅适用于被动式节能改造）

（只要当压力测试结果在 $0.6 \text{ h}^{-1} < n_{50} \leq 1.0 \text{ h}^{-1}$ 时才需要）

(1) 范本

在此我证明，在负压测试过程❶中已进行查漏。对气密性围护结构内所有房间进行了检查。所有潜在的漏风薄弱点都被检查过，也包括较难达到的区域（如层高很高的区域）。对发现的在总泄漏体积流量中占较大份额或对舒适性有较大影响的泄漏进行密封。

(2) 提供数据

- 1) 签字人姓名、地址、签字人所在公司；
- 2) 日期和签名；
- 3) 建筑项目名称和地址；
- 4) 压力测试：日期和检测人姓名。

11. 照片

提供可以反映建设过程的有代表性的照片。但不需要提供所有措施的连续照相资料。

12. 特殊条例（仅针对被动式节能改造）

必要时提供采用特殊条例的证明，如经济性计算结果（见第 13 条），提供文物保护管理部门的证明、相关法律/法规摘录、相关设计资料摘录。

当特征值超出标准要求时，必须依据特殊条例，出示合适的证据和负责人签字，明确证明满足适用特殊条例的前提条件。由于特殊条例运用范围非常大，使得供暖或制冷需求没有得到显著减少，认证师应酌情只出具关于达标参数的证明，而不颁发被动式节能改造证书。

❶ 在个别情况，也可以在正压条件下查漏，尤其是当气密层位于建筑物外侧时。可以在压力测试过程中查漏。也可以利用简单的风机或建筑物通风系统建立压差。

13. 经济性计算（仅适用于被动式节能改造）

有时候需要用来证明动用特殊条例的理由（见第 12 条）。

采用 PHPP 表单，通过与不改善能效的改造进行比较，来计算经济性。如果不能提出国家层面的边界条件证明的话，采用 PHPP 给出的统一边界条件。

选项：可以和认证师商量，依据相关成本，在扣除固定成本后，利用动态评估方法（如资本现值法）计算建筑构件全生命周期的经济性。详细说明请参阅“2005 年既有建筑保温措施的经济性”，可从 www.passiv.de 下载。

14. 通用最低要求证明（见 B. 2. 4 节）

（1）防潮

如果认证师担心由于建筑物理原因存在受潮损害的危险，那么必须按照公认技术规则提出防潮证明来消除这种顾虑。

采用内保温的建筑构件，必须对详细的细节设计进行证明，通过该设计使用其对应的一种施工方法，能可靠并长期防止室内空气在保温层背面流通。

采用内保温时，还必须证明采用的建筑部品湿特性适合用于相应的环境条件。存在疑虑时，必须采用公认的方法，通过相应鉴定（承担法律责任的鉴定）来证明，这些部品在防潮技术角度是适用的。一般采用湿热模拟方法。

对于被动房质量保证要求的细部节点处理，原则上不要求必须提供温度系数 f_{Rsi} 证明或者将这些数据录入 PHPP。但是，存在疑虑时，认证师可以要求提供证明。

（2）热舒适性

当超过表 B-6 “在最低保温要求中给出的最大传热系数”时，则可以按照 DIN EN 7730 提供舒适性条件证明（对节能建筑不适用）。

（3）用户满意度

如果需动用 B. 2. 4 节第 4 条的特殊条例，就要求提供有效的证据证明满足前提条件。

15. 项目经理声明

必须通过项目经理声明，确认按照审核的项目设计文件进行施工。必须列出有偏差的施工内容，如果采用有偏差的产品，也必须提供相应证明。

根据情况，可能需要对建筑物内采用的组件提供补充检测报告或数据表。如果要使用比标准 PHPP 计算方法更有利的假设条件，则必须提供更详细的证据作为佐证。

参考文献

- [1] Feist, W., Passivhaus Darmstadt Kranichstein, Planung, Bau, Ergebnisse, Fachinformation PHI-1997/4, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997.
- [2] Feist, W. (Hrsg.), Lüftung im Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 4, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997.
- [3] Feist, W. (Hrsg.), Haustechnik im Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 6, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997.
- [4] Feist, W. (Hrsg.), Stromsparen im Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 7, Darmstadt, 1997.
- [5] Feist, W. (Hrsg.), Materialwahl, Ökologie und Raumlufthygiene, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 8, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997.
- [6] Feist, W. (Hrsg.), Messtechnik und Messergebnisse, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 10, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997.
- [7] Feist, W. (Hrsg.), Wärmebrückenfreies Konstruieren, Passivhaus Institut, Darmstadt, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 16, 2. Auflage 2001.
- [8] Schnieders, J., Wärmebrückenfreies Konstruieren mit dem Beton-Schalungsstein, in [7], S. 59.
- [9] Feist, W. (Hrsg.), Dimensionierung von Lüftungsanlagen, Arbeitskreis kosten-günstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 17, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999.
- [10] Feist, W. (Hrsg.), Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern, Passivhaus Institut, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 18, Darmstadt, 1999.
- [11] Feist, W., Peper, S., Oesen, M., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 18, Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Hannover 2001.
- [12] Peper, S., Feist, W., Kah, O., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 19, Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Meßtechnische Untersuchung und Auswertung, Hannover 2001.
- [13] Schnieders, J., Feist W., Pfluger R., Kah O.: CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22, Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Fachinformation 2001/9, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001.
- [14] Hübner, H., Hermelink, A., Sozialer Mietwohnungsbau gemäß Passivhausstandard, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 345, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003.
- [15] Hallmann, S., Lohmann, G., Mack, B., Wohnzufriedenheit und Wohnerfahrungen in der Siedlung Wiesbaden-Lummerlund, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 337, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003.
- [16] Danner, M., Institut für Umweltkommunikation, Universität Lüneburg, Nutzererfahrungen in der Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 337, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003.
- [17] Gräppi, M., Künzli, S., Meyer, R., Betschart, W., Zweifel, G., Hochschule für Technik + Architektur, Luzern, Schweiz, Wohnerfahrungen im Passivhaus, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 329, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003.
- [18] REN-Breitenförderung des Landes NRW. (Rationale Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen. Die aktuelle Förderkriterien sind im Internet abrufbar: Geschäftsstelle der Landesinitiative

- [19] Wortmann, R., Scheerer, M., Wember, K., Grauthoff, M., Lonsing, R., Mook, V., Planungsleitfaden: 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen, Hrsg. Murschall, H., MSWKS, Gries, A., Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, 3. Auflage, Düsseldorf, Nov. 2002, weitere Informationen:
internet: www.50-solarsiedlungen.de.
- [20] Zahl der bewilligten Förderanträge der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Frankfurt. Die Förderung wird in Form eines zinsverbilligten Darlehens gewährt. Die aktuellen Förderkriterien sind im Internet abrufbar (www.kfw.de).
- [21] Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB), Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (HOAI), Textausgabe mit Einführung von U. Werner TH Aachen und W. Pastor, Oberlandesgericht Köln, Deutscher Taschenbuch Verlag, 21. Auflage, München, 2002.
- [22] HOAI, Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure), Ausgabe: 1991-03-04, Beuth Verlag.
- [23] Die HOAI in der Praxis, Mit vielen Mustern prüffähiger Honorarabrechnungen, Ausgabe: 2002, veröffentlicht in: BGBI I (1991), einschließlich aller technisch relevanten Änderungen.
- [24] Feist, W. (Hrsg.), Passivhaus-Versorgungstechnik, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 20, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000.
- [25] DIN EN ISO 7730, Ausgabe: 1995-09, Gemäßiges Umgebungsklima-Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit (ISO 7730: 1994); Deutsche Fassung EN ISO 7730: 1995, Beuth Verlag.
- [26] Passivhaus Institut, Rheinstrasse 44/46, 64283 Darmstadt. email: mail@passiv.de internet: www.passiv.de Eine Liste von realisierten Passivhausprojekten und Herstellern von Komponenten wird ständig aktualisiert. Die Liste enthält auch die wichtigsten technischen Daten von Passivhaus geeigneten Produkten, z. B. Fensterrahmen, Bausystemen oder Lüftungsanlagen mit WRG.
- [27] Feist, W. (Hrsg.), Passivhaus Sommerfall, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 15, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2. Auflage 2001.
- [28] Feist, W. (Hrsg.), Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 22, Sommerlicher Wärmeschutz, Passivhaus Institut, Darmstadt 2003.
- [29] (Norm-Entwurf) DIN 4109-10, Ausgabe: 2000-06, Schallschutz im Hochbau-Teil 10: Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz von Wohnungen, Beuth Verlag.
- [30] (Norm-Entwurf) DIN 4109 Beiblatt 1/A1, Ausgabe: 2001-01 Schallschutz im Hochbau-Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren; Änderung A1, Beuth Verlag.
- [31] Gesetzliche Regelungen der Landesbauordnungen sind zu beachten, siehe zum Beispiel: Schlöbcke, W., Landesbauordnung Nordrhein-Westfalen. -Düsseldorf, Werner Verlag, 2002 oder: Imig, K., Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) vom 8. August 1995 (GBI. S. 617), geändert durch Gesetze vom 15. Dezember 1997 (GBI. S. 521) und vom 19. Dezember 2000 (GBI. S. 760). Mit Allgemeiner Ausführungsverordnung, Verfahrensverordnung, Feuerungsverordnung, Garagenverordnung und weiteren ergänzenden Vorschriften. 24. Aufl.. -Stuttgart ; Berlin ; Köln : Kohlhammer, 2001.
- [32] Pfluger, R., Feist, W., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 16, Kostengünstiger Passivhaus-Geschoß-

wohnungsbau in Kassel Marbachshöhe, Endbericht, Fachinformation PHI-2001/3, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001.

- [33] DIN EN 12056-1, Ausgabe: 2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden- Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 12056-1: 2000, Beuth Verlag.
- [34] DIN EN 12056-2, Ausgabe: 2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden- Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Planung und Berechnung; Deutsche Fassung EN 12056-2: 2000, Beuth Verlag.
- [35] DIN EN 12056-5, Ausgabe: 2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden- Teil 5: Installation und Prüfung, Anleitung für Betrieb, Wartung und Gebrauch; Deutsche Fassung EN 12056-5: 2000, Beuth Verlag.
- [36] DIN EN 12380, Ausgabe: 2003-03, Belüftungsventile für Entwässerungssysteme-Anforderungen, Prüfverfahren und Konformitätsbewertung; Deutsche Fassung EN 12380: 2002, Beuth Verlag.
- [37] Preisig, H. R., Dubach, W., Kasser, U., Viridén, K., Der ökologische Bauauftrag, WIRD Verlag CRB, Zürich, 1999.
- [38] Preisig, H. R., Dubach, W., Kasser, U., Viridén, K., Der ökologische Bauauftrag, Verlag Callwey, 2001 (deutsche Ausgabe von [37]).
- [39] Viridén, Karl, Projektbericht Zürich Mutschellenstraße.
- [40] Othmar Humm, Hrsg., NiedrigEnergie und Passivhäuser, Konzepte, Planung, Konstruktion, Beispiele, Ökobuchverlag, Staufen bei Freiburg, 1. Auflage 1998.
- [41] Valentin, R., Technische Universität München, Beitrag in: Stadtplanerische Instrumente zur Umsetzung von Passivhäusern, Feist, W. (Hrsg.) Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 19, Darmstadt, 2000.
- [42] Goretzki, P., Maass, I., Solarfibel-Städtebauliche Maßnahmen: Solare und energetische Wirkungszusammenhänge und Anforderungen, Hrsg: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Eigenverlag 1998.
- [43] Tonne, F., Besser Bauen, Beschreibung des Horizontoskops und seiner Anwendung in der Architektur, Stuttgart 1954, wird vermutlich neu aufgelegt.
- [44] Neufert, E., Bauentwurfslehre, Stichwort: Tageslicht, S. 161, 35. Auflage, Friedr. Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden 1998.
- [45] Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) mit Handbuch, Darmstadt, Ausgabe 2002/update Frühjahr 2003.
- [46] Schnieders, J., Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels, Beitrag in [28] Seite 33. Das zugehörige Programm 'SommLuft' steht unter www.passiv.de zum download bereit.
- [47] Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden. Deutsche Fassung DIN EN 832: 1998-12, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 1998.
- [48] Hauser, G., Otto, F., Ringeler, M., Stiegel, H., Holzbau und die EnEV, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 2, DGFH, München, Dezember 2000.
- [49] Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Energieeinsparverordnung-EnEV, verkündet am 21. Nov. 2001 im Bundesgesetzblatt Nr. 59. In Kraft getreten am 1. Februar 2002.

- [50] Feist, W. Thermische Gebäudesimulation, kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, 1. Auflage, Verlag C. F. Müller, Heidelberg 1994.
- [51] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Vornorm DIN V 4108 Teil 6-10, Berechnung des Jahresheizwärme und des Jahresheizenergiebedarfs, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 2001.
- [52] Feist, W., PHPP und Vornorm DIN-V-4108-6: 2001, Bewertung mit Ergebnissen aus dem CE-PHEUS Projekt, Energie Effizientes Bauen, Heft 4/2001 und 5/2001.
- [53] Stellungnahme zurVornorm DIN V 4108 Teil 6: 2001 aus Sicht der Passivhausentwicklung, CEPHEUS Projektinformation Nr. 39, Passivhausinstitut, Darmstadt, 2001.
- [54] Schulze Darup,B., Passivhäuser, Fallbeispiele, Hrsg: Kalksandstein-Information GmbH+Co KG Hannover, Verlag Bau+Technik, GmbH, Düsseldorf, 2000.
- [55] Keh, K., Pellet-Primärofen-Technik im Passivhaus, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 369, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003.
- [56] Haas, A.,Dorer, V., Aspekte der Wärme und Luftverteilung im Passivhaus, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 97, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003.
- [57] Fingerling, K. -H., Feist, W., Otte, J., Pfluger, R.' Konstruktionshandbuch für Passivhäuser', Teil 1 des Forschungsberichts zum Projekt:'Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise' gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000.
- [58] Borsch-Laaks, R., Ein Passivhaus der besonderen Art, die neue quadriga 6/2000, Verlag Kastner, Wolnzach
- [59] Müller,A., Sessing, J., Schwaner, K. Wiegand, T., Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, DG-FH, München, Dezember 2001.
- [60] Schulze, H., Baulicher Holzschutz, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 5, Folge 2, DG FH, München, September 1997.
- [61] Cheret,P., Grohe, G., Müller, A., Schwaner, K., Winter, S., Zeitter, H., Holzbausysteme, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 1, Folge 4, DG FH, München, Dezember 2000.
- [62] Colling, F., Lernen aus Schäden im Holzbau, Ursachen, Vermeidung, Beispiele, DG FH, München, 2000. Teil A. Ursachen und Vermeidung. Teil B. Typische Beispiele.
- [63] Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M., Das Passivhaus-Energie-Effizientes-Bauen, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 3, Folge 10, DG FH, München, Oktober 2002.
- [64] Kaufmann,B., Feist W., Die Frischluftheizung hat sich bewährt. Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Seite 129, Basel 2002.
- [65] Hauser, Gerd, Stiegel, Horst, Wärmebrückenatlas für den Holzbau, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin 1992.
- [66] Hauser,G.; Stiegel, H., Wärmebrücken, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 6, DG FH, München, Oktober 1997, Nachdruck August 2000.
- [67] Hauser,G, Otto, F., Ringeler, M., Stiegel, H., Holzbau und die EnEV, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 2, DG FH, München, Dezember 2000.

- [68] Hauser, G. ; Stiegel, H. und Haupt, W. : Wärmebrückenkatalog auf CD-ROM. Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Baunatal 1998.
- [69] Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München, FIW, Prüfbericht D1. 2-4/01, München 2001.
- [70] Heidt, F. , Ausführungskontrolle durch thermografische Untersuchungen, in [10] Seite 93.
- [71] Peper, S. , Feist, W. , Sariri, V, Luftdichte Projektierung von Passivhäusern, Eine Planungshilfe, CEPHEUS Projektinformation Nr. 7, Fachinformation PHI-1999/6, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999.
- [72] Feist, W. , (Hrsg.) Fenster für das Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 14, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1998.
- [73] Schnieders, J. , Passivhausfenster, 4. Passivhaustagung, Kassel, März 2000.
- [74] Kaufmann, B. , Schnieders, J. , Pfluger, R. , Passivhaus-Fenster. Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Seite 289, Basel 2002.
- [75] Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, DIN EN ISO 10077-Teil 1: 2000. Teilweise Ersatz für DIN V 4108-4: 1998-10, Deutsches Institut für Normung e. V. , Berlin 1998. Enthält insbesondere einen Algorithmus zur Berechnung des Rahmen U-Wertes $U_f \Psi$ und der Wärmebrücke am Glasrand Ψ_g .
- [76] Mitteilung von Andreas Bühring, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg.
- [77] RAL-GZ 996, Ausgabe: 1987-07, Haustüren, Gütesicherung, Formstabilität von Türen.
- [78] Mitteilung von Manfred Brausem, Architekt, Köln.
- [79] DIN 18101, Ausgabe: 1985-01, Türen; Türen für den Wohnungsbau; Türblattgrößen, Bandsitz und Schloßsitz; Gegenseitige Abhängigkeit der Maße, Beuth Verlag.
- [80] Marx, L. , Liedl, P. , Barrierefreies Bauen im staatlichen Hochbau, Dokumentation ausgewählter Beispiele, Hrsg. : Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (LB), Aachen, 2001.
- [81] DIN 18024-2, Ausgabe: 1996-11, Barrierefreies Bauen-Teil 2: Öffentlich zugängige Gebäude und Arbeitsstätten, Planungsgrundlagen.
- [82] DIN EN ISO 9999, Ausgabe: 2003-04, Technische Hilfen für behinderte Menschen-Klassifikation und Terminologie (ISO 9999: 2002); Deutsche Fassung EN ISO 9999: 2002.
- [83] DIN 32977-1, Ausgabe: 1992-07, Behinderungsgerechtes Gestalten; Begriffe und allgemeine Leitsätze.
- [84] Borsch-Laaks, Robert, Holzbauwände für das Passivhaus, ein wärmetechnischer Systemvergleich, die neue quadriga 5/2001, Verlag Kastner, Wolnzach.
- [85] Horn, Gerrit, Vergleich energieeffizienter Holzbausysteme: Wärmebrücken, Luftdichtheitskonzepte, Kosten. Tagungsband zur 3. Passivhaustagung 1999, Bregenz und Darmstadt 1999.
- [86] Michael, K. , Qualitätskontrolle bei der Bauausführung von Passivhäusern, Beitrag in [10].
- [87] Trykowski, M. Tollkühn, K. , Integration von Öffnungsanteilen in die Gebäudehülle, Tagungsband zur 7. Internationalen Passivhaustagung, Seite 549, Hamburg / Darmstadt 2003.
- [88] J. Otte, innovaTec, Kassel, Besonderheiten bei der Ausführungsplanung einer Lüftungsanlage im Geschosswohnungsbau (Kassel-Marbachshöhe), Beitrag in [9], Seite 91.
- [89] Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Differenzdruckverfahren, DIN 13829, Deutsches Institut für Normung e. V. , Berlin 2001.
- [90] Luftdichtheit von Wohngebäuden–Messung, Bewertung, Ausführungsdetails, Herausgegeben von der RWE, Essen, verfaßt von J. Zeller, ebök, Tübingen, zu beziehen über Fachverband Luftdich-

theit im Bauwesen e. V., Kassel, ([www. flib. de](http://www.flib.de)).

- [91] Hauser, G. und Maas A.: Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmenschichten. Aachener Bausachverständigentage 1991. Bauverlag Wiesbaden 1991, S. 88-95; DBZ 40 (1992), H. 1, S. 97-100.
- [92] Luftdichte Projektierung von Passivhäusern, CEPHEUS Projektinformation Nr. 7, 4. Auflage, Darmstadt, 2002.
- [93] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. DIN V 4108 Teil 7, Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 2001.
- [94] DIN EN 779, Ausgabe: 2003-05, Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik-Bestimmung der Filterleistung; Deutsche Fassung EN 779: 2002 DIN EN 779, Beuth Verlag.
- [95] DIN 18017-1, Ausgabe: 1987-02, Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster; Einzelschachtanlagen ohne Ventilatoren, Beuth Verlag.
- [96] DIN 18017-3, Ausgabe: 1990-08 Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster, mit Ventilatoren, Beuth Verlag.
- [97] Pfluger, R., Feist, W., Ludwig, S., Otte, J., Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau in Passivhausstandard, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000.
 - Teil A: Nutzerhandbuch,
 - Teil B: Handbuch für die Gebäudeverwaltung,
 - Teil C: Wohnen im Passivhaus - auf einen BlickDie drei Teile sind unter [www. passiv. de](http://www.passiv.de) als Text-Dateien erhältlich, sodass sie von jedermann für weitere Projekte verwendet bzw. angepasst werden können. Das Nutzerhandbuch wurde erstellt als Teil des Abschlussberichts zum Projekt: 'Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise', gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung.
- [98] Peper, S., Pfluger, R., Feist, W., Nutzerhandbuch für die Passivhaus-Siedlung 'Lummerlund' in Hannover Kronsberg, im Auftrag der Stadtwerke Hannover, im Rahmen des Forschungsprojektes CEPHEUS, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000.
- [99] Verband für angewandte Thermografie e. V.
Auf Gehm 12, D 72336 Ballingen 1
email: [info@vath. de](mailto:info@vath.de), internet: [www. vath. de](http://www.vath.de).
- [100] Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V.
Ludwig-Erhard-Str. 10, 34131 Kassel
email: [info@plib. de](mailto:info@plib.de), internet: [wwwplib. de](http://wwwplib.de).
- [101] Architektenkammer Nordrhein-Westfalen,
Zollhof 1, 40221 Düsseldorf
email: [info@aknw. de](mailto:info@aknw.de), internet: [www. aknw. de](http://www.aknw.de).