

PASSIVHAUS

无源房屋

——能量效益最佳建筑

北京无源建筑规划设计院

刘令湘 编译



中国建筑工业出版社

无 源 房 屋

——能量效益最佳建筑

北京无源建筑规划设计院

刘令湘 编译

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

无源房屋——能量效益最佳建筑/刘令湘编译. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2010

ISBN 978-7-112-11881-6

I. 无… II. 刘… III. 住宅—建筑设计 IV. TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 039004 号

无源房屋现定义为: 每年最大供暖热负荷为每平方米 15 千瓦小时。

目前, 建设无源房屋的热潮正在欧洲特别是中欧兴起, 美国亦已建立相应研发机构。德国无源房屋技术研究已近 20 年, 技术日臻成熟, 已建造无源房屋住宅、公共建筑等约 8000 余幢; 相比而言, 我国这方面的研究刚刚起步。

基于德国十几年建无源房屋的经验, 这本编译著作提供无源房屋功能信息, 以及相关的满足要求的建筑构件, 建房技术的详细处理办法以及保证质量的重要措施。一些建筑设计项目和经验更把这一题目实践化和具体化。无论是建筑师、设计师还是无源房屋的施工者, 都可以从中得到相应的资讯及实际的经验。

无源房屋的相关书籍已被翻译成 7 种外语。希望本书能为世界耗能大国之一的节能减排作出一点贡献。

本书可供规划、建筑、设备、管理、施工及学校相关管理人员等参考。

* * *

责任编辑: 于莉 田启铭

责任设计: 姜小莲

责任校对: 兰曼利 赵颖

无 源 房 屋
——能量效益最佳建筑
北京无源建筑规划设计院
刘令湘 编译

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京画中画印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7 $\frac{3}{4}$ 字数: 195 千字

2010 年 7 月第一版 2010 年 7 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-11881-6
(19138)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

编 译 者 序

每一种不可再生能源的使用都会对环境造成巨大的破坏。大气层里与日俱增的二氧化碳聚集以及渐趋紧张的化石能源供应都要求世界范围内大幅度地降低能源消耗。二氧化碳聚集并非改善燃烧质量所能解决,而是取决于化石能源中碳—氢成分的不同复杂关系。森林的死亡,全球变暖引发的气候变迁,可防护能导致癌症之紫外线的天然屏障——臭氧层遭到破坏,成了我们将承受环境灾难的前兆。在德国,仅仅建筑采暖一项就占了大约全部原始能量消耗的 1/3。居家的总能源消耗,3/4 用于房间采暖。在中国,据 2006 年统计,建筑能耗已占总能耗的 30%~35%,二氧化碳排放所占比例也略同。建筑节能成为节能减排潜力之最。

建筑节能总是围绕表征分子运动的“热”。对此,地球有用之不竭而且免费的能量——太阳。太阳能无论转换成化石能源或是电能效率都很低,“无序”变“有序”总是如此。化石能源的优点在于方便储存;而储存恰恰是易于测量和控制的电能之软肋。建筑节能特别是采暖节能的捷径是无源地高效地直接利用太阳能。当然前提是建筑外围护结构热损失最小。然而,直接利用太阳能必须面对两大难题:太阳能的能量密度低;而且供应高度不稳定。因之,人们应当非常积极主动地想方设法迎接这个挑战。因为无源房屋能量利用效率最高,毋庸置疑,它对减少能源消耗及缓和全球变暖问题起着重大作用。

在德国,无源房屋是建筑节能的可靠标准。欧盟已通过决议,欧盟各国建无源房屋均可得到财政补贴。相对于我国采用不少节能技术但节能效果尚不令人满意的现状,德国无源房屋标准的推广执行非常值得借鉴。感谢德国 EDLE 公司 CEO 江丽女士,慧眼识珠——关于这一能量利用效率最高房屋的推荐,这正是编译者介绍德国 PASSIVHAUS 的初衷。

本书将 PASSIVHAUS 译作“无源房屋”而非让人容易误解的“被动房屋”。PASSIV(英语 PASSIVE)在物理和电气工程常被译作“无源”。技术上当有相对立组别时用如:“被动声纳”,“主动声纳”尚可。建筑从来就是人类的“主动”行为,此处无源房屋的本质是能量利用效率如此之高可使通常暖气被废弃;是人们主动性的实践,用“被动”显然不妥。词典上,“被动”有不主动,不积极,勉强甚至忍气吞声等意思。

编译者特别感谢 Judith Schuck 女士《Passivhäuser——Bewährte Konzepte und Konstruktionen》一书(由 K. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 出版社出版)授予 Copyright,尤其是图 2-1 至图 2-25,使读者能对建造无源房屋最重要的隔热耳目一新。编译者还要在此感谢 Adolf-W. Sommer 先生《Passivhäuser——Planung-Konstruktion-Details-

Beispiel》一书(由 Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG Köln 出版社出版)授予其(Fig. 2. 58-2. 61, Fig. 3. 1-3. 3, and Fig. 4. 9)Copy-right。Prof. Dr. W. Feist 寄送其著作《Gestaltungs grundlagen Passivhäuser》提供很多信息和有益的帮助, 这里表示衷心感谢。除此之外, 本书引用一些照片(均附有出处及作者)以飨读者, 一并对作者致以诚挚谢意。

刘令湘 北京无源建筑规划设计院
二〇〇九年八月于北京
[www. edle. com. cn](http://www.edle.com.cn)

目 录

引言	1
1 无源房屋基础	3
1.1 什么是无源房屋	3
1.2 无源房屋结构基本原则	6
1.2.1 建筑体形系数(A/V 关系)	6
1.2.2 建筑物的朝向	6
1.2.3 建筑外围护结构的保温	6
1.3 无源房屋技术基本原则	8
1.3.1 无源房屋的通风	8
1.3.2 无源房屋通风后加热源	9
1.3.3 舒适度	10
1.4 无源房屋标准规范的小结	11
1.5 无源建筑设计	11
1.5.1 无源建筑设计的地理因素	11
1.5.2 无源建筑设计的物理因素	12
1.6 无源房屋部件在既有建筑改造中的应用	14
2 无源房屋建筑围护结构及细节	16
2.1 无源房屋墙体和屋顶建筑结构	16
2.1.1 带有隔热复合系统的实体墙	16
2.1.2 带有后通风幕墙式立面的实体墙	18
2.1.3 无后通风带有支撑结构件上灰浆立面的实体墙	20
2.1.4 带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体	21
2.1.5 带有热分隔木质系统支撑器的木制轻型墙体	23
2.1.6 集约绿化的平屋顶	24
2.1.7 带有椽间、椽上和椽下绝热层的坡屋顶	26
2.1.8 带有木质腹板支撑架的坡屋顶	27
2.1.9 带有热隔绝木质系统支撑器的坡屋顶	29
2.1.10 带有安置在实体屋顶元件上木质腹板支撑架的坡屋顶	30
2.2 细节与连接	32
2.2.1 带有隔热复合系统的实体墙-窗户的连接(垂直)	32

2.2.2	带有隔热复合系统的实体墙-窗户的连接(水平)	33
2.2.3	带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体-窗户的连接(垂直)	34
2.2.4	带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体-窗户的连接(水平)	35
2.2.5	带有隔热复合系统的实体墙-坡屋顶/屋檐的连接	36
2.2.6	带有隔热复合系统的实体墙-坡屋顶/山墙的连接	37
2.2.7	带有隔热复合系统的实体墙-供暖地下室/地板上绝热	38
2.2.8	带有隔热复合系统的实体墙-供暖地下室/地板下绝热	40
2.2.9	带有隔热复合系统的实体墙-未供暖地下室/地下室顶盖下绝热	41
2.2.10	带有隔热复合系统的实体墙-未供暖地下室/地下室顶盖上绝热	42
2.2.11	带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体-坡屋顶/屋檐的连接	43
2.2.12	带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体-坡屋顶/山墙的连接	45
2.2.13	带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体-外墙到楼层间 盖板的连接(木制)	46
2.2.14	带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体-外墙到实体楼层间 盖板的连接	47
2.2.15	带有木质腹板支撑架的木制轻型墙体-基础/地板以上 外墙之连接	48
2.3	保温隔热材料	50
2.3.1	保温隔热材料特性综述	50
2.3.2	常用保温隔热材料种类及特性	51
2.3.2.1	膨胀聚苯乙烯(EPS)	51
2.3.2.2	挤塑聚苯乙烯(XPS)	51
2.3.2.3	聚氨酯硬质泡沫(PU, PUR)	52
2.3.2.4	矿物棉、岩棉和玻璃棉	52
2.3.2.5	木纤维、木质软纤维板	53
2.3.2.6	木棉-轻体建材板(刨花板)	53
2.3.2.7	软木	53
2.3.2.8	纤维素、纤维素絮片和纤维素板	54
2.3.2.9	泡沫玻璃、发泡玻璃	54
2.3.2.10	玻化微珠、膨胀玻化微珠、玻化微珠-隔热板	55
2.3.2.11	羊毛、羊毛垫	55
2.3.2.12	棉、棉垫、棉毡	55
2.3.2.13	亚麻	56
2.3.2.14	大麻	56
2.3.2.15	椰茧、椰茧丝	56
2.3.2.16	毛细管隔热板、钙硅酸盐板	57
2.3.2.17	云母页岩	57
2.3.2.18	真空隔离镶板(VIP)、真空隔热板	58
2.3.2.19	小结	58

3	无源房屋的窗户	59
---	---------	----

3.1	基本出发点	59
3.2	窗玻璃	60
3.3	装窗玻璃	61
3.4	窗框结构	62
3.5	窗户的连接	62
3.6	卷帘百叶窗和遮阳	63
3.6.1	卷帘式百叶窗	63
3.6.2	遮阳	64
3.7	无源房屋窗户的小结	64
4	热桥	65
4.1	热桥的分类	65
4.2	减少热桥的规则	65
4.3	典型热桥举例	66
4.4	无热桥结构	67
4.5	无源房屋无热桥设计要点和执行提示	67
5	密封	69
5.1	建筑物密封	69
5.2	密封评价标准	69
5.3	构件的连接和过渡	70
5.3.1	抹灰	70
5.3.2	粘贴	70
5.3.3	扩散渗透开放	71
5.4	典型的结构问题举例	71
5.5	无源房屋密封设计要点和执行提示	72
6	建造技术	73
6.1	关于无源房屋建造技术	73
6.1.1	对无源房屋建造技术的基本要求	73
6.1.2	影响供热负荷的相关因素	73
6.1.3	无源房屋建造技术要点	74
6.2	无源房屋通风和排气	74
6.2.1	对无源房屋通风和排气的基本要求	74
6.2.2	空气交换	74
6.2.3	系统安排	74
6.2.4	系统运行高效的要领	75
6.3	地热换热器	76

6.3.1	地热换热器类型	76
6.3.2	地热换热器铺设要点	77
6.3.2.1	新鲜空气直接预热管道	77
6.3.2.2	新鲜空气间接预热管道	77
6.3.3	没有地热换热器的空气预热	78
6.4	带有高效热交换器的通风设施	79
6.4.1	高效热回收通风设施	79
6.4.2	对高效热回收通风设施的附加要求	79
6.4.3	管线铺设	79
6.4.4	通风设施设计要点	80
6.5	剩余房间供暖和热水制备	80
6.6	热量产生技术	82
6.6.1	热泵	82
6.6.2	热泵的热源	84
6.6.2.1	地热探针	84
6.6.2.2	土壤集热器	84
6.6.2.3	地下水	84
6.6.2.4	能量柱桩	85
6.6.2.5	空气	85
6.6.3	热水制备和房间供暖中太阳能的利用	85
6.6.4	后加热的能量承载者和热量的产生	86
6.7	无源房屋通风供暖成套设备	86
6.7.1	通风供暖成套设备概述	86
6.7.2	通风供暖成套设备举例	87
6.8	独家无源住宅热量供给特别方案	89
6.9	基本方案变种	89
6.9.1	无源房屋建房技术方案一	90
6.9.2	无源房屋建房技术方案二	90
6.9.3	无源房屋建房技术方案三	91
6.9.4	无源房屋建房技术方案四	91
6.9.5	无源房屋建房技术经验	92
6.10	展望	92
7	质量保证	94
7.1	建筑外围护结构	95
7.2	建房技术	97
7.3	质量控制测试	99
7.3.1	风机-门-测试	99
7.3.1.1	风机-门-测试实验简介	99

7.3.1.2	缝隙的定位	100
7.3.1.3	由缝隙引发的热损失和对建筑物的伤害	101
7.3.2	热像测量	102
7.4	能量证明	103
8	无源房屋建筑举例	105
8.1	获环保大奖的住宅	105
8.2	欧洲最大无源房屋居民区之一	107
8.3	八层高无源房屋居民楼	108
8.4	教育寄宿学校	109
8.5	办公室无源房屋	109
8.6	工业用无源房屋	110
8.7	由老建筑改造成的管理和展览用建筑	111
9	关于无源房屋的书籍	113

引 言

在世界范围内进一步减少二氧化碳排放量和节省能源是将来，亦是现在，我们必须面对的一项中心任务。建造无源房屋，这种相对如今一般房屋可平均节约 90% 能量的建筑，能使我们为这一任务作出更大贡献。

众所周知，能源的短缺和环境之重负，源于世界范围内日益增长的能源消耗。占世界人口 16% 的发达国家能源消费超过世界的一半，换言之，发达国家每人平均能源消耗是发展中国家每人平均能源消耗的四倍。由于人口日益增长和经济不断发展，世界能源消耗还将持续走高。现今，87% 的世界能源消耗来自化石能源（石油 40%，煤 24%，天然气 23%）。每一种燃烧都会给环境带来负担。与二氧化硫相反，灰尘和一氧化碳不能将气候气体——二氧化碳经过过滤或催化剂加以吸收。唯一能减少环境辐射的方法是节省化石燃料。据悉，今后几十年里，日益增加的二氧化碳集结会对全球气候造成灾难性后果：臭氧层被破坏，沙漠扩大，海平面升高而导致海水泛滥，气候带迁移。在各个领域减少能源消耗已经刻不容缓。能源方针的目标应当是寻求一个安全的，能支付得起的而且环境友好的能源供应。为此，应使我们环境的负担通过能源节约和具有能源意识的处置而得以减轻。

在我们的纬度（北京或德国），很大一部分能量用于房间供暖和热水制备。据统计，德国大致 30% 的能量消耗和二氧化碳排放皆源于私人住宅的房间供暖和热水制备。这给与建房相关的所有人提出一个不可回避的要求：建房应消耗更少的资源，更多地为环境减压并且依然保持房间舒适。

无源房屋现定义为：每年最大供暖热负荷为 $15(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ 。这一定义今后可能在不同标准中有所变动，但尽可能减少能量消耗的要求将写入德国每一建筑标准，进入每一房地产投资决定。无论新建还是旧房改造，节约能源将列为头条大事。无源房屋的巨大增长趋势是肯定的。

如今，无源房屋标准对几乎所有类型建筑（独家住宅、多层住宅楼、行政管理建筑、幼儿园、体育馆等）均得以实现，并没有与特定建筑造型或建筑语汇捆绑在一起。所有必须的建筑和技术部件，在市场上都有供应。到目前为止，预估的能量节省已经被建成的无源房屋和无源居民区所达到。已经迁住的无源房屋被证实在实际条件下可靠而且舒适。

对于既有建筑，也可以在更新改造过程中加入无源房屋的部件。不管人们是追求节能还是想减少采暖花费负担，亦或力图改善住宅舒适度和居家健康，这一点毋庸置疑：舒适的建筑总是一个低能耗建筑。

建筑节能日益得到重视。在德国《1995 年新建建筑物热量保护条例》公布前，建筑物年平均供暖热负荷为 $160 \sim 300(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ ，相当于 $16 \sim 30\text{L}$ 油。低能耗房屋的年平均供暖热负荷为 $30 \sim 70(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ ，耗油约 $3 \sim 7\text{L}$ 。而无源房屋年平均供暖热负荷为不大于 $15(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ ，仅耗约不多于 1.5L 油。相对通常房屋，按照无源房屋标准的新建筑其供暖热负荷仅为 5%~10%。同样，采用无源房屋元件进行旧房改造也对节能减排作

出重大贡献。这类房屋也提供了巨大经济扩展的机会，以期保护化石能源和减少二氧化碳排放。

基于德国建无源房屋的经验，本书综合提供无源房屋功能信息、相关满足要求建筑构件和建房技术的详细处理办法以及保证质量的重要措施。建筑设计项目和经验更把这一题目实践化和具体化。无论是建筑师，设计师还是无源房屋的施工总监，都可以从中得到广博的资讯及实际的经验。本书的目的是给读者展现这种节省能源、排放低碳和居住舒适的建筑并支持他们的实践。

1 无源房屋基础

1.1 什么是无源房屋

“无源房屋”给建筑设计和建筑结构提出这样一个概念和方案——在经济合理的前提下，使建筑物能同时达到最高的能量效益和最高的生活质量。

无源房屋是这样一种建筑——无论冬天还是夏日不用有源的供暖和空调系统仍可拥有舒适的室内小气候。这种房子的供暖和制冷都是“无源”的。

通过使热量传导过程的热损失和通风系统中的热损失最小化；构造最佳建筑物围护结构；再加上引入对无源房屋适合的废气热量回收装置，可以废弃掉通常的供暖系统，余下的热损失几乎全部通过无源能量所赢而平衡。作为无源房屋概念的组成部分，采用通风设施不仅给建筑物提供足够的新鲜空气，还可以给建筑物输入所必需的供暖功率。所以，无源房屋亦是这样一种建筑——在确保空气质量要求的前提下，其热力学舒适度能仅仅依靠对新鲜空气流的后加热或后制冷得以实现。

无源房屋在德国还是一个可持续发展的建筑标准——年均供暖能耗低于 $15(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ ，并且只有天气在特别寒冷的情况下才使用很少的辅助供暖设施（通常仅消耗极少可再生能源）就能提供让使用者舒适和健康的室内小气候。热力学的舒适不仅意味着室内温度，其他与目标量相关的因素无源房屋均应满足：

1. 室内温度： $18\sim 24^{\circ}\text{C}$ ；
2. 围合房间诸面的表面温度不低于室内温度 3°C ；
3. 空气湿度：相对湿度 $40\%\sim 60\%$ ；
4. 空气速度：平均室内空气流速低于 0.15m/s 。

再有，无源房屋借助朝南大玻璃使房间很明亮；通过闭合的窗户抑制噪声干扰；夏日由于高度绝热防止了室内过热；提高了无源房屋的室内舒适度。

建造无源房屋有两大要点：①好的外围护结构保温——形体系数小；良好热绝缘材料（墙、屋顶、地板、特别是窗户）；密封；无热桥。②带高效热量回收（大于 80% ）的通风系统；可能的话，利用地热资源。

图 1-1 简约地描绘了无源房屋断面图：外围护结构具有良好热绝缘材料，密封，无热桥和通风热能回收。

人生有很大部分时光在封闭的室内度过，因此，健康舒适的决定性因素是室内空气的质量。无源房屋的通风不仅不浪费能源，亦能确保通风卫生。通过高效空气过滤器，进入室内的新鲜空气质量极佳，对过敏体质者更具意义。相对湿度 $40\%\sim 60\%$ 最为清爽舒适。由于建筑构件部分在外面的露水沾湿可借助此构件在室内的部分有较高表面温度得以避免，通过霉菌侵袭造成的污染以及对建筑构件的损害也可以被排除。

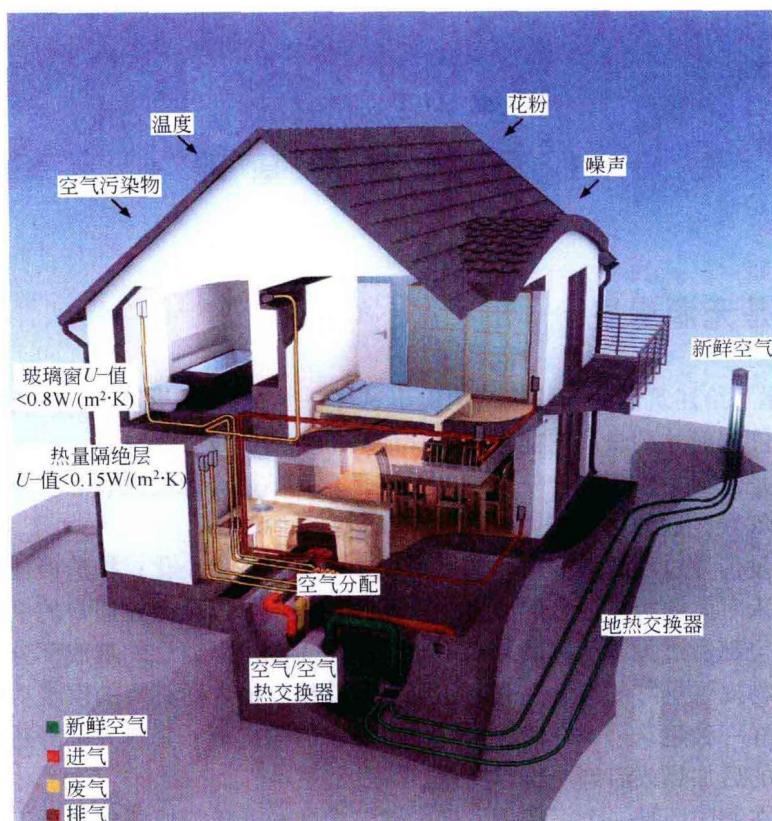


图 1-1 无源房屋断面简图

(照片来源: www.comfosystems.de)

与一般房屋相比,无源房屋投资花费略高(主要花在改善窗户、通风和绝热),在德国大部分可由政府津贴补偿。至于无源房屋的运行,在今天燃料价格条件下,相对于一般房屋优越性得以彰显。随着政府补贴力度的加大,这一经济优势更为突出。

通过无源房屋建筑部件的市场化竞争、相关公司经验的累积,建筑成本还有很大降低的趋势与空间。

高质量的设计和施工,还有高寿命的建材保证了无源房屋在再销售市场上的高附加值。过去一些年的经验表明:无源房屋作为地产,不仅为租户所接纳,而且让用户喜欢——舒适和安逸。基本上可以说,无源房屋并没有对使用者的行为提出特别的要求。当然,使用者应遵循一些正确且简单的基本原理并能对在使用手册上介绍的无源房屋运行机制有所了解。比如,普通房屋的通风系统用在无源房屋,对使用者在能源消费方面必须有所限制。任何时候开窗当然是可以的,但冬天定期较长时间开窗通风应予禁止,因为定时通风引入新鲜空气使开窗完全没有必要。

在中欧地区,一个标准供暖系统是由散热器、管路和一个中央燃油或燃气锅炉组成的中央式热水供暖。既有建筑的典型最大供暖功率约 $100\text{W}/\text{m}^2$ 。这就意味着:若要替代暖气,需要每平方米点亮一盏“ 100W 的白炽灯”。一语道破无源房屋的核心思想即是:热损失被剧烈地减到如此之小——单独的供暖根本不再需要(图 1-2)。图中显示:尚需的“剩余供暖”可以轻而易举地通过进气后加热来供应。当所需最大供暖功率小于 $10\text{W}/\text{m}^2$,

一间 20m^2 的客厅只需两盏上述“白炽灯”足矣。在此情况下，热量将通过通风系统的进气后加热存储器送入。图 1-2 明确指出它为什么和怎么样运作。如果进气后加热作为唯一的热源就已足够，我们称这座建筑为无源房屋：它无需有源供暖系统也不需要空调装置。

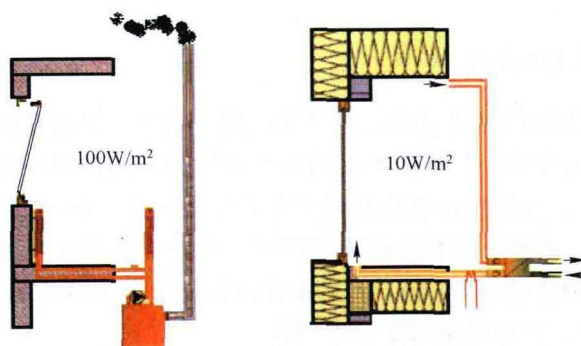


图 1-2 既有建筑(左)和无源房屋(右)供暖功率比较

无源房屋的供暖热负荷是如此之小以至一个单独的供暖成为多余：这一很小的剩余供暖热负荷可以通过既有的通风系统导入。下面给出“无源房屋条件——全年供暖热负荷低于耗能 $15(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ ”的导出：

由于卫生的原因，一个可控的住宅通风要求：

- 1) 符合卫生条件的进气： $V \approx 1\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ；
- 2) 临界温度：后加热处， $\theta < 50^\circ\text{C}$ ， $\Delta\theta = 30\text{K}$ （如在特别寒冷天气的情况下，从 $-10 \sim 20^\circ\text{C}$ ）

考虑空气比热容： $C = 0.33(\text{W} \cdot \text{h})/(\text{K} \cdot \text{m}^3)$ ，则最大供暖功率：

$$P_{\text{供暖}} = V \cdot C \cdot \Delta\theta = 1\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2) \cdot 0.33(\text{W} \cdot \text{h})/(\text{K} \cdot \text{m}^3) \cdot 30\text{K} = 10\text{W}/\text{m}^2$$

为了确保每年十二月和一月严冬时节室内房间保暖（以 62d 即 1488h 计），最大可靠供暖热量需求量为 $15(\text{kW} \cdot \text{h})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

一个受控住宅通风对于保持良好室内空气质量不可或缺。应当避免直接换气操作。空气更新系统的进气同样可以用作输入稍许热量（在盛夏也能输入凉爽）。上面估算表明，从德国国家标准 DIN 1946 规定每人需要 $30\text{m}^3/\text{h}$ 新鲜空气出发，按照每人 30m^2 居住面积来算，每平方米居住面积进气应至少 $1\text{m}^3/\text{h}$ 。在后加热存储器处的最高温度必须限制在 50°C 以下，以避免灰尘干馏。简单地按空气热容量为 $0.33(\text{W} \cdot \text{h})/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ 计，则有最大供暖负荷为 $10\text{W}/\text{m}^2$ ，此功率能轻而易举地从进气输入。这一结果通常适用于所有住宅建筑，与气候无关。然而，要将热损失和自由热之间的收支决算限制到非常小的花费在不同天候却大相径庭。

降低供暖热负荷也可通过在屋内应用更多电器如家电、照明和其他技术上的“消耗”来达到。然而这并非我们所追求的。在无源房屋，非再生能源的消耗和环境负担应尽可能地小；同时在夏天亦能达致舒适的室内小气候。总体能量消耗包括供暖热负荷，热水制备和家电用能量——所有不可再生能源消耗总量应尽可能保持在低水平。因之，无源房屋指的是这样一种建筑物：其消耗总能量标称值，对一般住宅而言，不超过 $120(\text{kW} \cdot \text{h})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。这一总体原始能量标称值意味着无源房屋所有居家能量当值功率（供暖、热水、照明、烹饪、

电视等)需求很小,仅相当于如今一般居家用电器和照明用电能耗。

1.2 无源房屋结构基本原则

1.2.1 建筑体形系数(A/V 关系)

在供暖期,每一建筑物都通过其外壳向外散热。这种传导热损失直接和其外围护结构面积成正比。热交换面积越小,外围护结构所包围单位空间体积供暖热负荷越小(A/V 关系——建筑体形系数)。无源房屋在选择建筑形式方面则是以减少散热表面积为目标:球、立方体显然最符合这一要求。花费合理地实现这一整体建筑理念,可有如下考虑:单一家庭住宅和排屋相比能量消耗多 50%;分层房屋和办公用房屋因为有更大空间纵深,从合理之 A/V 关系来判断,这些建筑形式会更划算。

1.2.2 建筑物的朝向

另一个重要措施是建筑物朝南座向,得以装朝南玻璃大窗无源地吸收太阳能。当然这首先是冬天所需,但不能有任何阴影遮挡。太阳高度角在冬天更低,因此,太阳辐射穿过玻璃几近垂直,对能量穿透更有益。夏天,在我们的纬度,太阳起始射入朝南前立面迟,然后升起很高,又提早离开。这样一来,宁可朝南玻璃面积在夏日的阳光通量少(因之较小的过热问题),而不要向东和向西的大玻璃。朝南装窗玻璃不仅减小隆冬供暖热负荷,还可在白天借自然光使房间明亮,减少部分人工照明以节省电能。

一些城市建筑并不总是允许最佳朝南座向。然而采用市场上可提供的非常好的无源房屋部件(窗户、隔热材料等),在并非最佳周边条件下,稍微多一点花费依然可以实现无源房屋标准。



图 1-3 超乎寻常的保温层

(照片来源: www.bmvbs.de)

1.2.3 建筑外围护结构的保温

基于中欧地区气候,在所有因素中减少热损失是决定性的。没有超乎寻常的保温层,无源房屋则无从谈起!然而,“损失最小化”和“摄入最大化”这对过去经常作为对立的

目标应当完整地在无源房屋中最佳纳入！如果热量损失没有被大大地降低，我们从摄入太阳能得到的喜悦将只是短暂的，只是在过渡季节(春秋季节)房子不需暖气。平均看来，在一个有足够太阳光辐射的白天一个有大窗户的朝南房间可以暖和，但一到傍晚这一功能则失效。因为这房间的热能迅速地散失了；只有具备很好的保温层，无源摄入太阳能的应用才能恰如其分地发挥功效。只有当热损失减小到：太阳能辐射在十二月和一月也足以使房间保暖，才有可能达到无源房屋标准。

传导热损失指的是外表建筑构件的导热损失。传热系数或称 U 值 [单位： $W/(m^2 \cdot K)$] 是一至关重要的特征量，即当一平方米建筑部件毗邻两边空气温度相差 $1K$ 时，有多少热量通过它。最佳建筑围护结构中重要的组成部分同时也是一个出类拔萃的外围护结构保温层，墙、屋顶和地板应具小的传热系数： $U < 0.15 W/(m^2 \cdot K)$ ，最好 $U < 0.10 W/(m^2 \cdot K)$ 。为此，外围护结构上最小绝热厚度应为 $25cm$ 。严格地实施隔热是非常重要的。

由实体建材和隔热层组成的双层结构有很多优点：

借助一个在无源房屋标准中通常采用的最小绝热层厚度 $30cm$ 之热隔绝复合系统，可以达到很好的隔热效果。潜在的热桥如水泥支撑、顶盖板、露台等应尽量避免，因为这些建筑部件遮掩甚至部分抵消了隔热层的作用。

一个位于良好外围护结构保温层之内的承载壳体不但得到对承受热张力的保护，而且可用作为热存储体。因此，实体墙要求有好的密封性，这可通过湿灰浆(内部抹灰)实现。

轻型木建筑方式具有天生好的热保护特性但强度稍逊。它容易元件化和工业预加工，因此，节省成本且原始能源投入很少。缺点是缺乏隔声和热存储能力以及没有足够的密封性能。这可通过带抹灰的内部建筑部件、多层次构建和在设计及建造密封平面时的特别仔细处理来弥补。

建无源房屋要求在现场减少由热桥导致的附加热量损失以期降低热负荷及供暖的负担。热桥是在建筑部件的局部面积上周期地通过一个未经干预而发生的热量溢出，特别是在部件相连接、相交汇、相渗透处，边缘和角落，热量损失陡增。它超过这一面积乘上传热系数产生的值，即所谓热桥效应。

避免热桥不仅对降低热损失非常重要，也能防止潮湿隐患和由此引发的霉菌问题。热桥可区分为几何热桥(比如角落——外表面积大于内表面积)和结构热桥，也就是说，非常规运行产生的热桥(如绝热材料的破损、渗透、凸起，突出的阳台板，窗户连接处)。随着隔热水平的提高，热桥的影响日趋彰显。它使建筑的保温变得不划算，甚至无效。

在无源房屋，几何热桥也难以避免，但从热量收支表上看，几何热桥影响不大。然而，在建造无源房屋时应尽量避免热桥或使之影响最小。热桥的计算基础是热桥损失系数——建筑构件直线型热桥每米每度(Kelvin)附加传输热功率(W)。如果热桥损失系数小于 $0.01 W/(m \cdot K)$ ，则这一热损失可忽略不计；如超过，应放在热量收支表上考虑。

无源房屋建筑外围护结构必须尽可能密封。密封平面应在围护结构保温层的室内一侧。为使无源房屋达到所要求的空气交换率 $n_{50} \leq 0.6 h^{-1}$ ，需拿出一系列建筑结构方面的详细解决办法，从设计阶段密封概念被提出开始，直到后面各阶段进一步考虑。重要的是现场质量核验：有计划地、详细地实现密封壳体必要的监察和控制。一个有效检查密封壳体泄漏的方法是风机-门-测量，由此产生建筑内外压力差。在这压力($50Pa$)下，可检查壳体密封与否及何处有空气泄漏。第一次试验在建设期，于密封平面上进行。经过改进，第