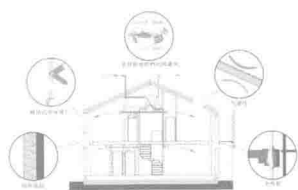


建学丛书之十一

# 被动式建筑 节能建筑 智慧城市

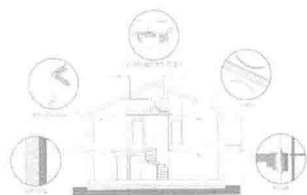
冯康曾 田山明 李鹤 编



中国建筑工业出版社

# 被动式建筑 节能建筑 智慧城市

冯康曾 田山明 李鹤 编



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

被动式建筑·节能建筑·智慧城市 / 冯康曾等编. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2017.1  
(建学丛书之十一)  
ISBN 978-7-112-20315-4

I. ①被… II. ①冯… III. ①建筑设计 IV. ①TU2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第323410号

本书主要包括:什么是被动式建筑,河北新华幕墙公司被动式超低能耗办公楼项目总结,河北涿州新华幕墙公司被动式办公楼,被动房的新风系统,被动式住宅建筑新风系统,图说被动房常用建筑配件,被动式建筑精细化施工监造101问,涿州被动式建筑检测系统,从认证标准解读被动式建筑,浅谈被动式建筑与BIM技术的结合运用,三亚长岛旅业酒店三星运营标识介绍,绿色城市与智慧城市,城市固废与绿色建筑,生态城镇和绿色资源管理,结构工程师在被动房建设中的作用,浅谈屋顶绿化在低能耗建筑中的应用,建学第一期被动式设计培训简介及体会。

本书适用于建筑行业的所有从业人员,以及相关行业的从业人员。

责任编辑:王跃 杨虹

责任校对:李欣慰 姜小莲

建学丛书之十一

## 被动式建筑·节能建筑·智慧城市

冯康曾 田山明 李鹤 编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京画中画印刷有限公司印刷

\*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:13<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 字数:403千字

2017年1月第一版 2017年1月第一次印刷

定价:58.00元

ISBN 978-7-112-20315-4

(29753)

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)

《建学》者，“建（build）”+“学（learn）”也。“建”就是建造，包括设计；要建得好，就得“学”：学习国内外先进经验，更重要的是在总结自己设计中学习。《建学丛书》就是这种学习的成果，达到超十，出到十一，本身就是一个成就。

现在世界上技术和人文科学突飞猛进。大至宇宙，小至量子，要探索的秘密真多，要运用的学问无尽。学习—实践—总结—再实践，是一个无穷尽的过程，永不休止。

就建筑而言，要学的课题也层出不穷：绿色建筑、节能、工业化、新材料、以及新方法：电脑技术的应用等。当前来说：被动房、工业化、BIM、全过程设计……是一些主要的课题，反映在《建学丛书》第十一之中。

就建筑节能而言，我国从20世纪80年代开始起步，现在已迈入新的阶段，特别表现在对被动房的设计建造中。

说起被动房设计，我总是要怀念我的好友，被动房概念创始人之一瑞典隆德大学的博·亚当森（Bo Adamson）教授。在我们建筑节能起步的艰难岁月中，他多次不远千里而来，给我们做各种报告，提各种建议。当我们去瑞典取经时，他总是热情接待，包括欢迎我们去他家里参观他的节能设计。

正是亚当森与德国的沃尔夫冈·菲斯特（Wolfgang Feist）教授在1988年的一次谈话中首次提出了被动房（passive house）的概念，在有关部门的支持下，发展很快，据统计，到2010年，欧洲（较集中在德国和奥地利）已有25000栋被动房通过了正式的检验和验收，采暖能耗一般可降低90%以上。

值得纪念的是，也在1986年前后，有过一个计划：由亚当森和我主持，组织有关专家编写一本中英双语的建筑节能设计手册。他对这个计划十分积极，甚至已开始构思其提纲。现在回想，他当时可能有将被动房的构思纳入这个提纲中的念头。可惜，由于某种原因，这个计划未能实现。中国古话有“机不可失，时不再来”，在我们实施“建—学”的过程中，不要忘记这句古话。

我们建学的同仁们，在奥地利专家的合作下，在21世纪初开始在国内进行被动房试点，达到北方寒冷地区冬季采暖能耗为 $8.5\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ 的水平。经过试点和学习，有19位设计师通过了德国达姆斯塔特被动式建筑研究所被动房设计师的考试，充分表现了“建”和“学”的精神。这种精神，也体现在其他一些技术领域。

我祝贺《建学丛书之十一》的刊印出版，期望在不断出现的新的版本中，能看到更多更好的新成就和新经验。



1986年与亚当森教授摄于斯多克霍姆

# 目录

- 001 1 什么是被动式建筑◎盛学文
- 047 2 河北新华幕墙公司被动式超低能耗建筑项目总结◎田山明
- 076 3 河北涿州新华幕墙公司被动式办公楼◎大卫·米库莱柯
- 092 4 被动屋的新风系统◎郭占庚
- 106 5 被动式住宅建筑新风系统◎李鹤
- 113 6 图说被动房常用建筑配件◎朱晓丽
- 119 7 被动式建筑精细化施工监造 101 问◎田山明
- 141 8 涿州被动式建筑监测系统◎大卫·米库莱柯等
- 149 9 从认证标准解读被动式建筑◎盛学文

161 10 浅谈被动式建筑与 BIM 技术的结合运用◎陈璐

167 11 三亚长岛旅业酒店三星运营标识介绍◎王龙等

176 12 绿色城市 ( Green City ) 与智慧城市 ( Smart City ) ◎张洁

182 13 城市固废与绿色建筑◎谭佩斯

189 14 生态城镇和绿色资源管理◎谭佩斯

195 15 结构工程师在被动房建设中的作用◎朱晓丽

200 16 浅谈屋顶绿化在低能耗建筑的应用◎王灵

205 17 建学第一期“国际被动式建筑设计师培训班”简介及体会◎朱晓丽

209 本书编写人员

210 后记

# 什么是被动式建筑

盛学文

**摘要：**第一章概要的介绍了被动式建筑的基本特征及被动式建筑的工作方式。第二章详细论述了与被动式建筑相关的建筑物理知识，包括保温与传热、热容量及热舒适性。

**关键词：**被动式建筑；建筑物理；保温与传热；热容量；热舒适性

## 第一篇 基础

### 第一章 什么是被动式建筑

被动式建筑是众多节能建筑的一个分支，被动式建筑标准要求在高效利用能源的同时为住户提供经济且满足舒适性标准的生态建筑。

德国被动房研究所（PHI）通过二十余年的实践证明被动式建筑是经济可行的节能建筑。

从某种意义上说，被动式建筑仅仅是一种低能耗建筑的建设实践。典型的被动式建筑通常具有下述特征：

- 极低的供暖热能耗：供暖热能耗相当于传统建筑物的 1/10、现有节能建筑的约 1/4。
- 被动式能源的利用：充分利用建筑物内部的能源，包括住户的体温、进入建筑物的阳光等，被动式能源的利用间接地提高了室内的热舒适性。
- 适宜的外保温标准：高标准的保温门窗和建筑外保温为保持室温避免散热不良提供基本保障。

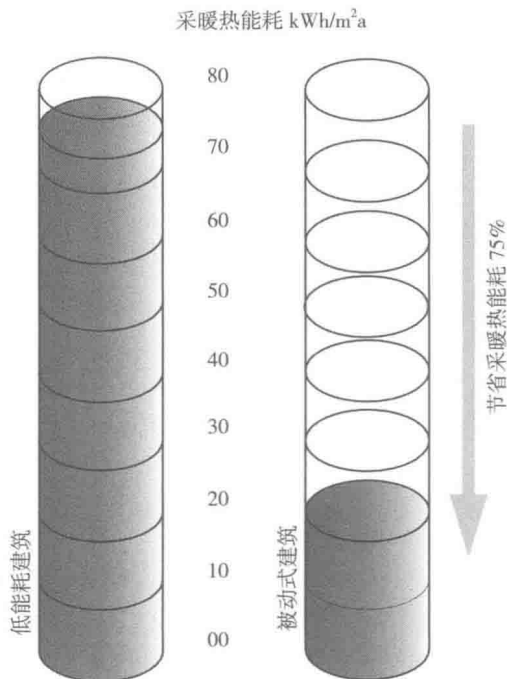


图1 被动式建筑与低能耗建筑的采暖能耗对比

- 通风与通风热回收：配有高效热回收装置的通风系统工作稳定且不会产生紊流，同时可将回风中的余热进行有效的回收、利用。
- 节能途径与舒适性：通过建筑构件和优质的通风系统实现节能的目的，舒适性标准高于常规建筑。

## 第一节 被动式建筑的基本特征

### 1 高标准的舒适性

被动式建筑标准提供了一个以合理成本在四季为住户提供舒适室内环境的解决方案，并获得了住户的认可。

### 2 优异的质量

被动式建筑建立于高标准保温层和气密层的基础之上，可以说没有高标准的设计、建造质量就没有被动房。

作为被动房的基本原则之一，无热桥设计与施工是消除建筑物保温层“弱点”基本手段，可以避免室内冷角的出现和过大热损失。

精心设计、施工的气密层具有多重作用：首先，可以阻止潮气侵入保温层，在确保保温效果的同时避免了因潮气侵入所造成的围护结构内部结露、霉变损害。其次，高标准的气密性极大地降低了无组织通风所引起的热量损失，阻止了空气穿过围护结构时带入室内的污染物。

### 3 生态友好型的象征

与常规建筑相比，被动式建筑通过少量的建设增量成本实现了极低的运营能耗。从根据气象条件选择经济且必须的保温层厚度使得原生态能源消耗量在被动式建筑的整个生命周期内被降至一个极低的水平。被动式建筑在节省能源资源的同时大大降低了对环境的破坏，也因此满足了可持续性发展的需求。

### 4 经济承受力

被动式建筑不仅实现了整个生命周期的低成本，与执行现行节能标准的普通建筑相比，其初期投入的增量成本也处于一个可接受水平：由保温层加厚、门窗保温规格提高以及新风系统的高效热回收机能取代昂贵的供暖、供冷系统后的增量成本是极其有限的、可被接受的。

### 5 测试结果与适用范围

作为欧洲被动式建筑有效成本研究计划的组成部分，对 114 栋被动式公寓的实测结果表明，相对于传统建筑，被动式建筑节能 90%。

早期的被动式建筑标准仅适用于中欧气候带，自被动式建筑被引入中国，中国各气候区内大量的试验性建筑的建设实践为被动式建筑的发展提供了宝贵经验和数据 PHI 已制定出新的认证标准，河北省也率先出台了第一部适用于我国寒冷地区的被动式建筑设计标准。

## 第二节 被动式建筑是如何工作的

被动式建筑是一个世界级的节能建筑标准，是通过建立室内与外界环境的隔绝状态以避免能量损失的一种节能建筑。

随着世界上城镇化进程的不断推进，城市中建筑物密度不断增加，仅仅依靠自然通风已无法满足建筑物的室内通风需求。为满足建筑物室内舒适度需求，为住户提供足够清新、卫生的空气，机械式通风系统逐渐成为建筑物建设与旧建筑物改造的关键。

随着机械式通风系统的普遍应用，被动式建筑的初始概念逐渐形成——能否借助新风系统解决

建筑物的供暖、供冷问题？在通风系统一物两用可以节省设备投资的同时可大幅度减少空气的再循环降低室内噪声和空气紊流。

被动式建筑正是基于这一初始概念发展而来——为实现新风供暖、供冷的目标，供暖、供冷负荷必须控制在  $10\text{W}/\text{m}^2$  以内。

### 1 被动式建筑定义

被动式建筑不仅仅是一个建筑物能耗标准，它同时整合了最高水平的室内舒适度需求。被动式建筑的确切定义为：

被动式建筑是满足 ISO7730 热舒适标准的建筑，它通过满足室内空气质量的新鲜空气提供室内供暖、供冷需求，且没有附加的空气再利用。

这是一个纯功能性定义，不附加任何数值指标，且适用于任何气候区。可以看出，被动式建筑是一个基本概念而非随意的标准，可以由任何人根据其原则进行解释。下述内容对理解被动式建筑的概念有所帮助：

除位于“幸运气候带”内的建筑物，所有气密性建筑需要高效通风系统保证室内的空气质量，被动式建筑的通风系统可与供暖（供冷）功能兼用，且无需增加额外的管道、技术性接口和辅助风扇等设备、无超出保证空气质量需求的新风。

超低能耗自动隐含在其中：毕竟为保证空气质量的新风供暖能力极为有限，无附加采暖设备仅仅依靠新风采暖只可能在热损失极低的建筑物内实现。

为保证室内空气质量的人均新风量需求为  $30\text{m}^3/\text{h}$ ，为避免产生尘埃及异味，新风温度需控制在  $50^\circ\text{C}$  以下。空气在  $20^\circ\text{C}$ 、正常气压下（室内舒适温度，ISO7730）的比热容为  $0.33\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ，此时有：

$$30\text{m}^3/\text{hr}/\text{pers} \times 0.33\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \times (50\text{K}-20\text{K}) = 300\text{W}/\text{pers}$$

即满足室内空气质量的新风供暖能力为  $300\text{W}/\text{pers}$ ，按常规居住建筑中人均居住面积  $30\text{m}^2$  计，仅依靠新风进行供暖时的最大热负荷为  $10\text{W}/\text{m}^2$ ——与气候无关，该数值指年间热量需要最大的时段，被动式建筑的保温级别和能耗水平取决于气候条件，极端气候条件区需要比温和气候区更高的保温级别和较高的能耗。

供暖负荷特定值不等同于供暖能耗，由于具体的供暖能耗更容易统计监测取得，为简化被动式建筑的认证工作，认证标准中给出了  $15\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  的年度供暖能耗指标。申请认证时允许在供暖负荷指标（ $10\text{W}/\text{m}^2$ ）和年度供暖能耗指标 [ $15\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ] 之间进行选择。

事实上， $15\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  的难度供暖能耗仅仅是一个基准值，在中欧气候区与  $10\text{W}/\text{m}^2$  的供暖负荷基本相当。但在斯德哥尔摩， $10\text{W}/\text{m}^2$  的供暖负荷相当于的年度热能耗约为  $20\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，而在罗马则远小于  $10\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

被动式建筑的实际意义在于，在任何气候区，能量消耗的服务对象永远是全人类——为当地居民提供舒适的生活空间。被动式建筑是一个功能性标准，不同的气候环境下需要依靠建筑师的自由发挥建立不同的解决方案，建筑风格和建造方法完全取决于气候。那些建设在“幸运气候区”的建筑永远是被动式建筑。

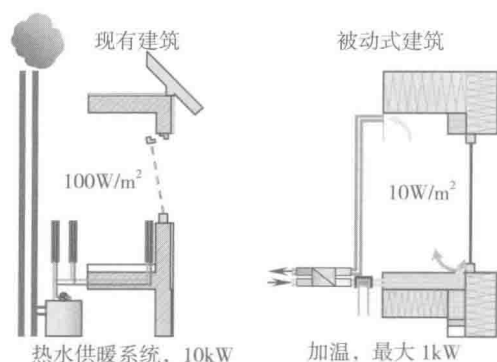


图2 通风系统提供保证室内空气质量的新风

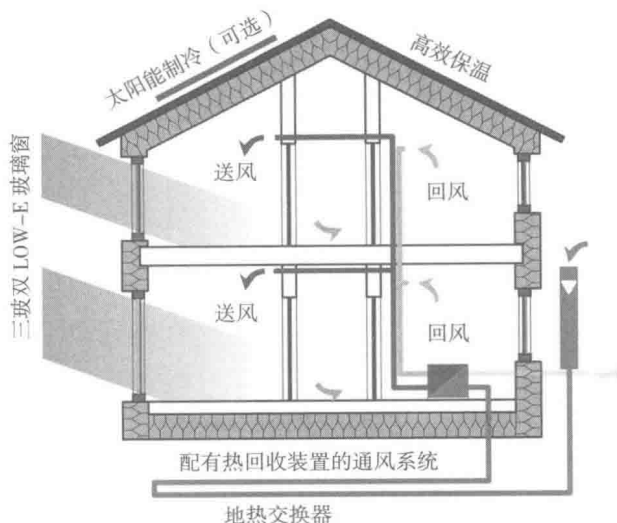


图3 被动式建筑基本工作机理

## 2 基本目标

作为被动式建筑,应在满足舒适性标准 ISO7730《热舒适环境——PMV 和 PPD 的测定及条件》对热舒适性的要求并保持室内空气的清新的基础上,采取必要的措施满足被动式建筑认证标准中各项指标。与现行的节能建筑不同的是,被动式建筑更为强调实际监测结果和住户体验,符合认证标准的监测结果和良好的住户体验是被动式建筑取得并保持认证的关键。

作为基本条件,被动式建筑应满足下述舒适性指标:

- 除特定业态的特殊需求外,室内气温保持在  $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$  之间;

- 夏季过热概率  $h_{0 \leq 25^{\circ}\text{C}} \leq 10\%$ ;

- 室内空气  $\text{CO}_2$  含量基本保持在优良水平 ( $\leq 800\text{ppm}$ )。

与此同时,被动式建筑尚需满足各项认证标准中规定的指标:

- 供暖、供冷负荷低于  $10\text{W}/\text{m}^2$ ,或按照供暖、供冷能耗计,年耗能不超过  $15\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。
- 建筑物总能耗按原生态能源消费计算,控制在  $120\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  以内。
- 对建筑外围护结构的气密性测试结果应满足  $n_{50} \leq 0.6\text{h}^{-1}$ 。

## 3 基本措施

原则上,被动式建筑可以采取任何形式的保温、节能措施,大量的建设实践证明,通过保温、气密性和通风热回收等三个方面的措施可以将建筑物的能耗控制在一个极低水平,满足被动式建筑认证的要求。

### 3.1 良好的保温

保温是避免传热损失的关键,被动式建筑通过高效保温层、高效保温门窗形成连续的建筑物保温外维护,阻断室内因外热传导所形成的热传导。

热桥效应随着保温层厚度增加而增强,被动式建筑中的热桥损失增大至与保温层整体热损失相当的量级,因此在被动式建筑的保温设计中无热桥设计起着决定性作用。

### 3.2 非同寻常的气密性标准

良好的气密性是被动式建筑中减少无组织通风和避免热对流损失的必要措施,在被动式建筑中,要求建筑物外维护结构具有良好的气密性,气密性测试应满足  $n_{50} \leq 0.6\text{h}^{-1}$  (正压、负压),对于大体量建筑还需考虑  $q_{50}$  指标。

### 3.3 通风热回收

建筑物中,因通风换气引起的热损失是巨大的,缺少高效的通风热回收,被动式建筑  $10\text{W}/\text{m}^2$  的供暖、供冷目标将无从谈起。在被动式建筑中,通风热回收效率通常不得低于 75%。

作为一名被动式建筑设计师,应正确理解并掌握被动式建筑的工作原理和相关的建筑物理知识。



## 第二章 建筑物理基础

### 第一节 保温与传热

#### 1 材料的导热系数

材料通过热传导对热能的传输能力是通过导热系数进行度量的。

导热系数是指单位厚度的特定材料，两侧表面温差为 1K 时单位时间内单位面积通过热传导传递的热量。

导热系数用希腊字母  $\lambda$  表示，其单位为  $W/(m \cdot K)$ 。

##### 1.1 固体材料的导热系数

导热系数只与特定的材料有关，不同的材料具有不同的传热系数。通常，同一的材质的传热系数与材料的密度有关，随着材料密度的增加，导热系数会有所增加。同时，传热系数且具有方向性，各向异性材料在不同方向具有不同的导热系数。

##### 1.2 非密闭空气夹层的等价导热系数

非密闭的空气夹层对热能的传输通常包含对流传热和辐射传热两种传输方式。

$$\lambda_{Air} = (h_a + h_r)^{-1} \quad \text{公式 1}$$

其中， $h_a$  为对流传热，其量纲为  $W/(m^2 \cdot K)$ 。

对流传热与空气层厚度、气流流动方向及对外开口面积相关。通常情况下，根据气流方向，分别采用公式 2~ 公式 4 进行计算：

$$h_a^{\text{向上}} = \text{Max}(1.95, 0.025/t) \quad \text{公式 2}$$

$$h_a^{\text{水平}} = \text{Max}(1.25, 0.025/t) \quad \text{公式 3}$$

$$h_a^{\text{向下}} = \text{Max}(0.12t^{-0.44}, 0.025/t) \quad \text{公式 4}$$

对于通风性较差的空气夹层（对于竖向气流，空气夹层与外界大气间开口面积介于  $500 \sim 1500 \text{mm}^2/\text{m}$ 、水平气流空气夹层与外界大气间开口面积介于  $500 \sim 1500 \text{mm}^2/\text{m}$ ）时，对流传热值应对上述计算值加倍选取。

$h_r$  为辐射传热，空气夹层辐射传热热阻取决于夹层两侧材料的表面辐射率  $\varepsilon_\lambda$ ，表面辐射率的量纲为  $\text{m}^2 \cdot K/W$ 。

$$h_r = 5.1 / (\varepsilon_{\lambda 1}^{-1} + \varepsilon_{\lambda 2}^{-1} - 1) \quad \text{公式 5}$$

常规建筑材料的表面辐射率为  $0.90 \text{m}^2 \cdot K/W$ ，金属材料表面辐射率约为  $0.15 \text{m}^2 \cdot K/W$ 。

#### 2 构件的热阻和传热系数

建筑构件对热能传输能力的度量指标是传热系数，传热系数除与构件的构成密切相关外还取决于构件所处的环境。建筑构件的传热系数的定义和计算方法在 ISO6946 中有明确的规定，在中国，传热系数用  $K$  表示，在欧洲，传热系数用  $U$  表示。由于  $K$  值和  $U$  值对测试环境要求各异，同一构件的  $K$  值和  $U$  是不同的，且难以进行简单的换算、比较。

##### 2.1 导热热阻

导热热阻是热能在物体内部以热传导方式传递时所遇到的阻力，由均一材质材料构成的物体与该材料的在传热方向的厚度  $t$  成正比，与材料在该方向的导热系数  $\lambda$  成反比。导热热阻通常由罗马字母  $R$  表示，量纲为  $\text{m}^2 \cdot K/W$ ：

$$R = t/\lambda \quad \text{公式 6}$$

##### 2.2 $U$ 值

建筑构件的  $U$  值可根据下式进行计算：

$$U = (R_{si} + \sum R_i + R_{se})^{-1} \quad \text{公式 7}$$

其中，

$R_{si}$ 、 $R_{se}$  为构件内外表面的表面换热阻，与构件表面所处的环境有关；

$R_i$  为组成该构件的第  $i$  层材料的导热热阻。

对于组合型构件如带加强肋组合墙板等构件，首先应分别计算加强肋位置及保温填充位置的导热热阻并按其所占面积比例加权平均确定其导热热阻的上限值  $R'_T$ 。

其次，通过面积占比加权平均计算加强肋—保温填充的平均导热系数，利用平均导热系数确定其导热热阻的下限值  $R''_T$ 。

构件的  $U$  值则根据导热热阻上下限的算数平均值  $R_T$  确定。即

$$U=1/R_T=1/Ave ( R'_T, R''_T ) \tag{公式 8}$$

$$U'_T=\Sigma \alpha^j \cdot ( R_{si}+\Sigma \bar{R}_i+R_{se} )^{-1} \tag{公式 9}$$

$$R'_T=1/U'_T \tag{公式 10}$$

$$R''_T=R_{si}+\Sigma \bar{R}_i+R_{se} \tag{公式 11}$$

$$\bar{R}_i=1/\Sigma ( \alpha^j \cdot \lambda_i^j ) \tag{公式 12}$$

表 1 给出了 PHPP 中所定义的各类建筑围护构件的表面换热阻取值规则，当采用 PHPP V9 ( 2015 ) 计算构件的  $U$  值时可通过构件、环境状态选项确定构件表面换热热阻。

| 建筑构件的表面换热阻取值                      |         |                 |                 | 表 1   |
|-----------------------------------|---------|-----------------|-----------------|-------|
|                                   |         | 屋面 <sup>①</sup> | 外墙 <sup>①</sup> | 楼（地）面 |
| $R_{si}$ ( $m^2 \cdot K / W$ )    |         | 0.100           | 0.130           | 0.170 |
| $R_{se}$<br>( $m^2 \cdot K / W$ ) | 与室外大气接触 | 0.040           |                 |       |
|                                   | 不与大气接触  | 0.000           |                 |       |
|                                   | 与室内空气接触 | 0.100           | 0.130           | 0.170 |

2.3 楔形体构件的  $U$  值

斜面梯度不超过 5% 的楔形体构件的  $U$  值可根据 ISO6946 附录 C 中的规定进行计算。ISO6946 中给出了三种类型楔形体构件的  $U$  值计算方法。

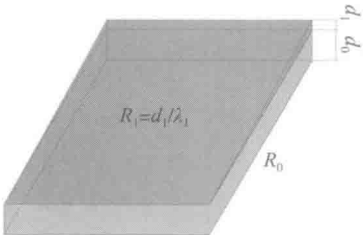


图 4 矩形基底楔形体

图四为矩形基底的楔形截面构件，其  $U$  值可通过下部长方体热阻  $R_0$  及上部纯楔形的最大热阻  $R_1=d_1/\lambda_1$ ，根据公式 13 计算等效热阻。

$$U_1=\frac{1}{R_1}Ln(1+\frac{R_1}{R_0}) \tag{公式 13}$$

① 外墙指斜度不超过 30° 的竖向结构，当屋面坡度 ≥ 60° 时，应按外墙进行计算。

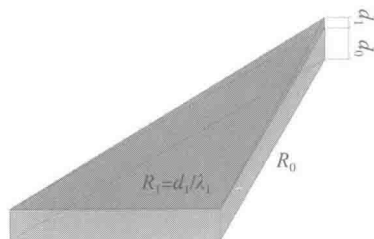


图 5 三角形基底楔形体之一

对于图五所示楔形体构件，纯楔形体部分厚度按图示取值，并根据公式 14 计算等效热阻。

$$U_1 = \frac{2}{R_1} \left[ \left( 1 + \frac{R_0}{R_1} \right) \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - 1 \right] \quad \text{公式 14}$$

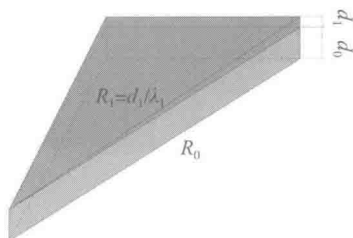


图 6 三角形基底楔形体之二

图 6 所示三角形基底的楔形体等效热阻则应根据公式 15 进行计算，并根据图中示意确定各相关参数取值。

$$U = \frac{2}{R_1} \left[ \left( 1 - \frac{R_0}{R_1} \right) \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \right] \quad \text{公式 15}$$

对与不同区域的组合则可按各区域面积占比加权平均：

$$U = \sum U_i \cdot A_i / A \quad \text{公式 16}$$

## 2.4 U 值计算示例

算例一 匀质外墙墙体的 U 值计算

匀质构件的 U 值可以依据公式 7 通过简单的构件构成列表对构件的 U 值进行计算。

图 7 为一砌体外墙示例，墙体构件的构成及热阻计算在表 2 中给出。

也可利用 PHPP 中 U-Value 工作表通过对构件类型、环境状态及构件构成情况等基本参数的输入进行计算。图八为 PHPP 计算表格。

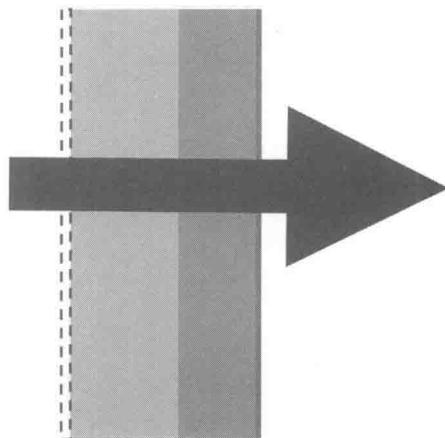


图 7 砌体外墙墙身

墙体热阻计算

表 2

| 序号 | 项目               | 导热系数 $\lambda$<br>W / ( m · K ) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_i$<br>m <sup>2</sup> · K / W |
|----|------------------|---------------------------------|-------------|------------------------------------|
| 1  | 内表面表面换热 $R_{si}$ |                                 |             | 0.130                              |
| 2  | 保温               | 0.035                           | 0.300       | 8.571                              |
| 3  | 砌体               | 0.570                           | 0.215       | 0.377                              |

续表

| 序号                            | 项目               | 导热系数 $\lambda$<br>W/(m·K) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_i$<br>m <sup>2</sup> ·K/W |
|-------------------------------|------------------|---------------------------|-------------|---------------------------------|
| 4                             | 抹灰               | 0.250                     | 0.015       | 0.060                           |
| 5                             | 外表面表面换热 $R_{se}$ |                           |             | 0.040                           |
| 合计 $R_T$                      |                  |                           |             | 9.178                           |
| $U$ 值 [W/(m <sup>2</sup> ·K)] |                  |                           |             | 0.107                           |

|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Assembly no.                                       | Building assembly description |                           |                             |                           | Interior insulation? |
| 01ud                                               | 外墙 U 值计算示例                    |                           |                             |                           |                      |
| Heat transmission resistance [m <sup>2</sup> ·K/W] |                               |                           |                             |                           |                      |
| Orientation of building element                    | 2-Wall                        | interior R <sub>si</sub>  | 0.13                        |                           |                      |
| Adjacent to                                        | 1-Outdoor air                 | exterior R <sub>se</sub>  | 0.04                        |                           |                      |
| Area section 1                                     | λ [W/(m·K)]                   | Area section 2 (optional) | λ [W/(m·K)]                 | Area section 3 (optional) | λ [W/(m·K)]          |
| 保温                                                 | 0.035                         |                           |                             |                           |                      |
| 砌体                                                 | 0.570                         |                           |                             |                           |                      |
| 抹灰                                                 | 0.250                         |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
|                                                    |                               |                           |                             |                           |                      |
| Percentage of sec. 1                               |                               | Percentage of sec. 2      |                             | Percentage of sec. 3      |                      |
| 100%                                               |                               |                           |                             |                           |                      |
| Total                                              |                               |                           |                             |                           |                      |
| 53.0 cm                                            |                               |                           |                             |                           |                      |
| U-value supplement                                 |                               |                           | U-value:                    |                           |                      |
|                                                    |                               |                           | 0.109 W/(m <sup>2</sup> ·K) |                           |                      |

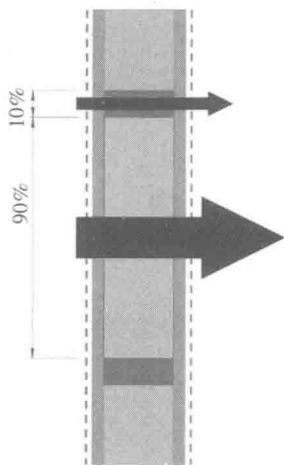
图 8 使用 PHPP 墙身  $U$  值计算算例一

图9 木结构外墙墙身

算例二 带加劲肋的木结构外墙墙体的  $U$  值计算

非匀质构件的  $U$  值计算基本计算顺序如下:

- 计算各种不同断面构成部分的占比情况。
- 对不同的断面构成部分分别按匀质构件的  $U$  值计算方法通过列表方式计算相应的  $U$  值（表 3、表 4）。
- 根据公式 9 计算面积加权组合值  $R'_T$  并根据公式 10 确定导热热阻上限值  $R'_T$ （表 5）。
- 根据面积占比情况计算各非均质层的等效传热系数  $\lambda''$ （表 6）。
- 使用等效传热系数  $\lambda''$  计算导热热阻下限值  $R''_T$ （表 7）。
- 根据公式 8 确定计算  $U$  值。

### 墙体保温填充部位热阻计算

表 3

| 序号 | 项目               | 导热系数 $\lambda$<br>W/(m·K) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_i$<br>m <sup>2</sup> ·K/W |
|----|------------------|---------------------------|-------------|---------------------------------|
| 1  | 内表面表面换热 $R_{si}$ |                           |             | 0.130                           |
| 2  | OSB 板            | 0.130                     | 0.050       | 0.385                           |

续表

| 序号                             | 项目               | 导热系数 $\lambda$<br>W/ ( m · K ) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_i$<br>$m^2 \cdot K / W$ |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 3                              | 保温               | 0.044                          | 0.300       | 6.818                         |
| 4                              | 石膏板              | 0.250                          | 0.030       | 0.120                         |
| 5                              | 外表面表面换热 $R_{se}$ |                                |             | 0.040                         |
| 合计 $R_T$                       |                  |                                |             | 7.493                         |
| $U$ 值 ( W/m <sup>2</sup> · K ) |                  |                                |             | 0.1335                        |

墙体加劲肋部位热阻计算 表 4

| 序号                             | 项目               | 导热系数 $\lambda$<br>W/( m · K ) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_i$<br>$m^2 \cdot K / W$ |
|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 1                              | 内表面表面换热 $R_{si}$ |                               |             | 0.130                         |
| 2                              | OSB 板            | 0.130                         | 0.050       | 0.385                         |
| 3                              | 加劲肋              | 0.180                         | 0.300       | 1.667                         |
| 4                              | 石膏板              | 0.250                         | 0.030       | 0.120                         |
| 5                              | 外表面表面换热 $R_{se}$ |                               |             | 0.040                         |
| 合计                             |                  |                               |             | 2.342                         |
| $U$ 值 ( W/m <sup>2</sup> · K ) |                  |                               |             | 0.4270                        |

导热热阻上限值计算 表 5

| 序号     | 截面类型   | $U$ 值<br>W/(m·K) | 面积占比 $\alpha$ | $\alpha \cdot U$<br>W/(m <sup>2</sup> ·K) |
|--------|--------|------------------|---------------|-------------------------------------------|
| 1      | 保温填充部位 | 0.1335           | 90%           | 0.1201                                    |
| 2      | 加劲肋部位  | 0.4270           | 10%           | 0.0427                                    |
| 合计     |        |                  |               | 0.1628                                    |
| $R'_T$ |        |                  |               | 6.142                                     |

等效传热系数计算 表 6

| 序号 | 材料   | 导热系数 $\lambda$<br>W/(m·K) | 面积占比 $\alpha$ | $\alpha \cdot \lambda$<br>W/(m·K) |
|----|------|---------------------------|---------------|-----------------------------------|
| 1  | 保温填充 | 0.044                     | 90%           | 0.0396                            |
| 2  | 加劲肋  | 0.180                     | 10%           | 0.0180                            |
| 合计 |      |                           |               | 0.0576                            |

使用等效传热系数的墙体热阻计算 表 7

| 序号         | 项目               | 导热系数 $\lambda$<br>W/( m · K ) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_i$<br>m <sup>2</sup> · K/W |
|------------|------------------|-------------------------------|-------------|----------------------------------|
| 1          | 内表面表面换热 $R_{si}$ |                               |             | 0.130                            |
| 2          | OSB 板            | 0.130                         | 0.050       | 0.385                            |
| 3          | 保温               | 0.058                         | 0.300       | 5.172                            |
|            | 加劲肋              |                               |             |                                  |
| 4          | 石膏板              | 0.250                         | 0.030       | 0.120                            |
| 5          | 外表面表面换热 $R_{se}$ |                               |             | 0.040                            |
| 合计 $R''_T$ |                  |                               |             | 5.847                            |

即  $U=1/Ave\ (6.142,5.847)=0.1668W/(m^2\cdot K)$   
使用 PHPP 的 U-Value 工作表进行  $U$  值计算较为简便，具体计算表格详图 10。

Assembly no.  
01ud

Building assembly description  
外墙U值计算示例

Interior insulation?

Heat transmission resistance [m²·K/W]

Orientation of building element  
2-Wall

Adjacent to  
1-Outdoor air

interior R<sub>si</sub>  
0.13

exterior R<sub>se</sub>  
0.04

| Area section 1 | λ [W/(m·K)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(m·K)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(m·K)] | Thickness [mm] |
|----------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|----------------|
| OSB板           | 0.130       |                           |             |                           |             | 50             |
| 保温             | 0.044       | 加劲肋                       | 0.180       |                           |             | 300            |
| 石膏板            | 0.250       |                           |             |                           |             | 30             |
|                |             |                           |             |                           |             |                |
|                |             |                           |             |                           |             |                |
|                |             |                           |             |                           |             |                |
|                |             |                           |             |                           |             |                |
|                |             |                           |             |                           |             |                |
|                |             |                           |             |                           |             |                |
|                |             |                           |             |                           |             |                |
|                |             |                           |             |                           |             |                |

Percentage of sec. 1  
90%

Percentage of sec. 2  
10.0%

Percentage of sec. 3

Total  
38.0 cm

U-value supplement

U-value: 0.166 W/(m²·K)

图 10 使用 PHPP 墙身  $U$  值计算算例二

算例三 屋面的  $U$  值计算

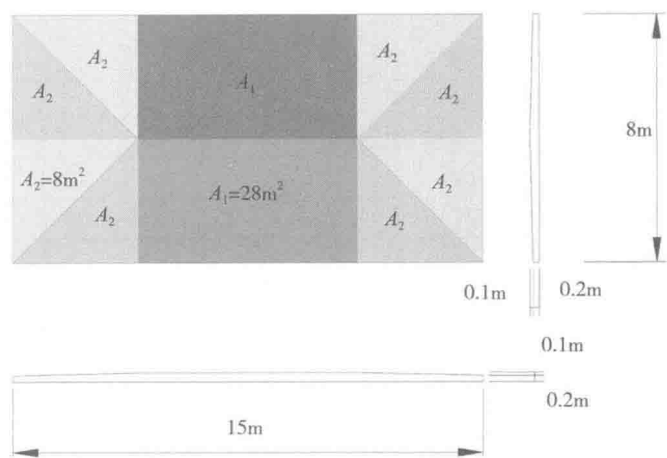


图 11 保温材料找坡屋面的  $U$  值

首先，按常规计算基础保温层的  $U$  值  $U_0$  及  $R$  值  $R_0$ ：

| 屋面基础保温层热阻计算                    |                  |                                |             | 表 8                           |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 序号                             | 项目               | 导热系数 $\lambda$<br>W/ ( m · K ) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_i$<br>$m^2 \cdot K / W$ |
| 1                              | 内表面表面换热 $R_{si}$ |                                |             | 0.100                         |
| 2                              | 保温               | 0.045                          | 0.200       | 4.444                         |
| 3                              | 外表面表面换热 $R_{se}$ |                                |             | 0.040                         |
| $R_0$                          |                  |                                |             | 4.584                         |
| $U_0$ [ W/ ( $m^2 \cdot K$ ) ] |                  |                                |             | 0.2181                        |

续表

| 序号                            | 项目 | 导热系数 $\lambda$<br>W/(m·K) | 厚度 $t$<br>m | 热阻 $R_1$<br>m <sup>2</sup> ·K/W |
|-------------------------------|----|---------------------------|-------------|---------------------------------|
| 4                             | 保温 | 0.045                     | 0.100       | 2.222                           |
| $R_1$                         |    |                           |             | 2.222                           |
| $U_1$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] |    |                           |             | 0.4500                          |

对于区域  $A_1$ , 根据公式 13 有:

$$U_{A1} = 0.4500 \times \ln(1 + 2.222/4.584) = 0.1779 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

对于区域  $A_2$ , 则根据公式 14 进行计算:

$$U_{A2} = 2 \times 0.4500 \times [ (1 + 4.584/2.222) \times \ln(1 + 2.222/4.584) - 1 ]$$

$$= 0.1895 \text{ W / ( m}^2 \cdot \text{K )}$$

根据公式 16 有:

$$U = [(2 \times 28 \text{ m}^2) \times 0.1779 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) + (8 \times 8 \text{ m}^2) \times 0.1895 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]/120 \text{ m}^2 \\ = 0.1841 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

使用 PHPP 的 U-Value 工作表中的小工具可以一次性确定各区域的  $U$  值, 根据面积加权平均则需通过手工演算。

**Wedge shaped assembly layer (with an inclination of max. 5%)**

(Calculation according to EN 6946 Annex C)

|                                                    |                               |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| Building assembly description                      |                               |
| 01kf                                               |                               |
| Heat transmission resistance [m <sup>2</sup> ·K/W] |                               |
| Orientation of building element                    | 1-Roof                        |
| Adjacent to                                        | 1-Outdoor                     |
|                                                    | interior R <sub>si</sub> 0.10 |
|                                                    | exterior R <sub>se</sub> 0.04 |

**A parallel building assembly layers**

| Area section 1       | Area section 2 (optional) | Area section 3 (optional) | Total width                   |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| $\lambda$ [W/(m·K)]  | $\lambda$ [W/(m·K)]       | $\lambda$ [W/(m·K)]       | Thickness l <sub>i</sub> [mm] |
| 0.045                |                           |                           | 200                           |
|                      |                           |                           |                               |
|                      |                           |                           |                               |
|                      |                           |                           |                               |
|                      |                           |                           |                               |
|                      |                           |                           |                               |
|                      |                           |                           |                               |
|                      |                           |                           |                               |
|                      |                           |                           |                               |
| Percentage of sec. 1 | Percentage of sec. 2      | Percentage of sec. 3      | Total                         |
| 100%                 |                           |                           | 20.0 cm                       |

U<sub>s</sub> 0.218 W/(m<sup>2</sup>·K)  
 R<sub>s</sub> 4.584 (m<sup>2</sup>·K)/W

**B wedge-shaped building assembly**

| Area section 1       | Area section 2 (optional) | Area section 3 (optional)     | Thickness l <sub>i</sub> [mm] |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $\lambda$ [W/(m·K)]  | $\lambda$ [W/(m·K)]       | $\lambda$ [W/(m·K)]           | 100                           |
| 0.045                |                           |                               |                               |
|                      |                           |                               |                               |
|                      |                           |                               |                               |
|                      |                           |                               |                               |
|                      |                           |                               |                               |
|                      |                           |                               |                               |
|                      |                           |                               |                               |
|                      |                           |                               |                               |
| Percentage of sec. 2 | Percentage of sec. 3      | Thickness l <sub>i</sub> [cm] |                               |
|                      |                           | 10.0 cm                       |                               |

U<sub>t</sub> 0.450 W/(m<sup>2</sup>·K)  
 R<sub>t</sub> 2.222 (m<sup>2</sup>·K)/W  
 U-value rectangular area: 0.178 W/(m<sup>2</sup>·K)  
 U-value of triangular area with the thickest point at the apex: 0.190 W/(m<sup>2</sup>·K)  
 U-value of triangular area with the thickest point at the apex: 0.166 W/(m<sup>2</sup>·K)

图 12 使用 PHPP 进行楔形构件的  $U$  值计算