



中华人民共和国国家标准

GB/T 20311—2006/ISO 6946:1996

建筑构件和建筑单元 热阻和传热 系数 计算方法

Building components and building elements—Thermal resistance and thermal
transmittance—Calculation method

(ISO 6946:1996, IDT)

2006-07-19 发布

2006-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

GB/T 20311—2006/ISO 6946:1996

目 次

前言 ·	· I
ISO 前言 ·	· II
引言 ·	· III
1 范围 ·	· 1
2 规范性引用文件 ·	· 1
3 术语、定义、符号和单位 ·	· 1
4 原理 ·	· 2
5 热阻 ·	· 2
6 总热阻 ·	· 5
7 传热系数 ·	· 7
附录 A(规范性附录) 表面换热阻 ·	· 8
附录 B(规范性附录) 不通风空间的热阻 ·	· 10
附录 C(规范性附录) 带楔形层的构件的热阻计算 ·	· 12
附录 D(规范性附录) 传热系数的修正 ·	· 15
附录 E(资料性附录) 关于空气隙修正的范例 ·	· 17
参考文献 ·	· 20

前 言

本标准等同采用 ISO 6946:1996(E)及 ISO 6946:1996/Amd. 1:2003(E)。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 为规范性附录,附录 E 为资料性附录。

请注意本标准的某些内容有可能涉及专利,本标准的发布机构不应承担识别这些专利的责任。

本标准由中国建筑材料工业协会提出。

本标准由全国绝热材料标准化技术委员会(SAC/TC 191)归口。

本标准负责起草单位:南京玻璃纤维研究设计院。

本标准主要起草人:王佳庆、陈尚、王玉梅、王熙艳。

本标准委托国家玻璃纤维产品质量监督检验中心负责解释。

本标准为首次发布。

GB/T 20311—2006/ISO 6946:1996

ISO 前言

国际标准化组织(ISO)是由各国标准化团体(ISO 成员团体)组成的世界性的联合会。制定国际标准的工作通常由 ISO 技术委员会完成,各成员团体若对某技术委员会确定的项目感兴趣,均有权参加该委员会的工作。ISO 保持联系的各国际组织(官方或非官方的)也可参加有关工作。在电工技术标准化方面,ISO 与国际电工委员会(IEC)保持密切合作关系。

由技术委员会通过的国际标准草案提交各成员团体表决,需取得至少 75% 参加表决的成员团体的同意,才能作为国际标准正式发布。

国际标准 ISO 6946 是按照 ISO 与 CEN 间的技术合作协议(维也纳协议),由欧洲标准化委员会(CEN)与 ISO/TC 163/SC 2 共同制定。

第一个版替代 ISO 6946-1:1986。ISO 6946-2:1986 已于 1995 年被撤消。

附录 A、B、C 和 D 是本国际标准的完整组成部分。附录 E 仅作为资料。

引 言

本标准适用于热流穿过建筑单元的传热系数的计算。

对于大多数用途,热流可以按下列温度进行计算:

- 内部:干球有效温度;
- 外部:空气温度。

建筑构件和建筑单元 热阻和传热系数 计算方法

1 范围

本标准给出了建筑构件和建筑单元的热阻和传热系数的计算方法,但不包括门、窗和其他有玻璃的部件,以及将热传递至地面的构件和设计用于空气渗透的构件。

本计算方法以所包含的材料和制品的适当的设计导热系数或设计热阻为计算基础。

标准适用于由热均质层(包括空气层)构成的建筑构件和单元。

本标准也给出了用于非热均质层构件的近似计算方法,但不适用于有金属热桥的绝热层。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

ISO 7345:1987 绝热材料 物理量和定义

ISO 10456 绝热材料 建筑材料和产品 申报值和设计值的确定

3 术语、定义、符号和单位

3.1 术语和定义

ISO 7345:1987 确定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

建筑单元 building element

建筑物的主要组成部分,如墙、地板或屋顶。

3.1.2

建筑构件 building component

建筑单元或建筑单元的一部分。

注:在本标准中,“构件”可以用来指单元和构件。

3.1.3

设计热值 design thermal value

设计导热系数或设计热阻。

注:对于一个给定产品,在不同的应用场合或不同的环境条件下,可能有不同的设计值。

3.1.4

设计导热系数 design thermal conductivity

在特定的室外条件和室内条件下建筑材料或产品的导热系数的值,它可以被看作是这些材料或产品被组装成建筑构件时的典型的性能。

3.1.5

设计热阻 design thermal resistance

在特定的室外条件和室内条件下建筑产品的热阻值,它可以被看作是这些产品被组装成建筑构件时的典型的性能。

3.1.6

热均质层 thermally homogeneous layer

厚度不变的、具有均匀的或可视为均匀的热性质的层。

3.2 符号和单位(见表1)

表1 符号和单位

符 号	物 理 量	单 位
A	面积	m^2
R	设计热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
R_{e}	空间层热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
R_{se}	外表面换热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
R_{si}	内表面换热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
R_{T}	总热阻(环境到环境)	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
R'_{T}	总热阻上限值	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
R''_{T}	总热阻下限值	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
R_{a}	非采暖空间热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
U	传热系数	$\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
d	厚度	m
h	换热系数	$\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
λ	设计导热系数	$\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$

4 原理

计算方法的原理为:

- 获得构件每个热均质层部分的热阻;
- 将每个单独的热阻合并获得构件的总热阻,其中包括(在适当的地方)表面换热阻。

单独部分热阻值的获得按照5.1的规定进行。

在5.2中给出了适用于大多数情况下的表面换热阻值。附录A给出了低辐射率表面、特定的外部风速以及非平整表面的表面换热阻计算的详细步骤。

本标准中可以将空气层视作热均质体。在5.3中规定了具有高辐射率表面的大的空气层的热阻值。附录B规定了其他空气层热阻值的计算方法。

各层热阻值按下列规定进行合并:

- 对于由热均质层组成的构件,按6.1的规定获得总热阻,按7的规定获得传热系数。
- 对于含有一个或多个非热均质层的构件,按6.2的规定获得总热阻,按7的规定获得传热系数。
- 对于含有一个楔形层的构件,按附录C的规定获得传热系数(和/或)总热阻。

考虑到绝热材料中的空气隙、穿过绝热层的机械锚固件和倒置屋面上的降水等对传热系数的影响,按附录D的规定在适用时对传热系数进行修正。

传热系数是运用了与构件相连的两边的环境来计算的,例如室内环境和室外环境、内部隔离物两边的室内环境、室内环境和一个非采暖空间。5.4中给出了将非采暖空间看作是热阻时的简化的计算步骤。

5 热阻

5.1 热均质层的热阻

给出设计导热系数或设计热阻就相当于给出了设计热值。如果给出了导热系数,则热均质层的热

阻值 R 按下式计算:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

d ——构件中材料层的厚度;

λ ——材料的设计导热系数,可按 ISO 10456:1999 的规定进行计算或从列表中获得。

注:这里的厚度 d 不同于公称厚度(例如:当一个可压缩产品安装在压缩工况下时的 d 比公称厚度要小)。必要时,
 d 也应考虑厚度公差(例如公差为负数时)。

热阻值在计算过程中应保留到小数点后第 3 位。

5.2 表面换热阻

对于缺乏特定的界面环境信息的平整表面,热阻值按表 2 的规定取值。其中“水平”列中的值适用于热流方向与水平方向成 $\pm 30^\circ$ 的情况。对于非平整表面和有特定界面条件的情况参照附录 A 的规定。

表 2 表面换热阻

单位为 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

表面换热阻	热流方向		
	向上	水平	向下
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

注:表中为设计值。申报构件的传热系数和其他要求的数值与热流方向无关的情况,建议使用水平热流方向的数值。

5.3 空气层热阻

下列各子条款中给出的值适用于以下空气层:

——受垂直于热流方向的、两个有效平行的表面为边界的空气层,其表面辐射率不小于 0.8;

——热流方向上的厚度小于其他方向两个尺寸的 10%,但不得大于 0.3 m;

注:构件中如包含了厚度大于 0.3 m 的空气层不应计算单独的传热系数,而应通过热平衡来计算热流(见 ISO 13789:1999)。

——与内部环境没有气体交换的空气层。

如果以上情况都不适用,则依照附录 B。

5.3.1 不通风的空气层

不通风的空气层是指其中没有让空气流过的直接通道。表 3 中给出了设计热阻值。其中“水平”列中的值适用于热流方向与水平方向成 $\pm 30^\circ$ 的情况。

表 3 不通风的空气层热阻:高辐射表面

单位为 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

空气层厚度/ mm	热流方向		
	向上	水平	向下
0	0.00	0.00	0.00
5	0.11	0.11	0.11
7	0.13	0.13	0.13
10	0.15	0.15	0.15
15	0.16	0.17	0.17
25	0.16	0.18	0.19
50	0.16	0.18	0.21

表 3(续)

单位为 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

空气层厚度/ mm	热流方向		
	向上	水平	向下
100	0.16	0.18	0.22
300	0.16	0.18	0.23

注：中间值可通过线性内插法获得。

空气层与室外环境间没有绝热层,但有一些与室外环境相连的小开口也应被视为不通风的空气层,只要这些小开口的布置不容许空气流通过该空气层,且不超过:

- $500 \text{ mm}^2/\text{m}$,相对于垂直空气层的长度;
- $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$,相对于水平空气层的面积。¹⁾

注：空心砖墙外表面垂直设立的排水口(泄水孔)不应当作通风口。

5.3.2 微弱通风的空气层

微弱通风的空气层是指容许有限的空气流由室外环境从开口通过的空气层,通道应不超过以下范围:

- 大于 $500 \text{ mm}^2/\text{m}$,但小于等于 $1\,500 \text{ mm}^2/\text{m}$,相对于垂直空气层的长度;
- 大于 $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$,但小于等于 $1\,500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$,相对于水平空气层的面积。¹⁾

通风微弱的空气层设计热阻值是表 3 中相应值的 $1/2$,如果空气层与室外环境之间的热阻大于 $0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,则按 $0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 计算。

5.3.3 通风的空气层

通风的空气层是指在空气层与外界环境之间有超过以下范围的通道:

- 大于 $1\,500 \text{ mm}^2/\text{m}$,相对于垂直空气层的长度;
- 大于 $1\,500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$,相对于水平空气层的面积。¹⁾

包含了通风空气层的建筑构件,其热阻值计算时应忽略空气层热阻以及空气层与室外环境之间的其他所有的层的热阻值,也包括一个相当于静止空气的外表面换热阻(等于构件的内表面换热阻)。

5.4 非采暖空间热阻

当非采暖空间的外围护没有绝热时,则可将这个非采暖空间视为一个热阻,那么下列简化的步骤可适用。

注：当需要一个更准确的结果时,从建筑物通过非采暖空间到室外环境的热传导的计算步骤应按 ISO 13789:1999 中的规定进行。对于架空地板下的狭小空间槽参照 ISO 13370:1998。

5.4.1 屋顶空间

对于由平整的绝热天花板和坡屋面构成的屋顶结构,此屋顶空间可以被视为是一个热均质层,其热阻见表 4。

表 4 屋顶空间的热阻

屋 顶 特 征		$R_a/$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
1	没有毡、屋面板或其他类似物体的瓦屋顶	0.06
2	在瓦下带有毡、屋面板或类似物体的板状或瓦屋顶	0.2
3	同 2.但在屋顶底面有铝箔或其他低辐射率的表面	0.3
4	带屋面板和毡的屋顶	0.3

注：表中的热阻值包括了通风空间热阻和屋顶结构(坡屋面)热阻,不包括外表面换热阻(R_{se})。

1) 对于垂直空气层,这个范围被表示为每米长度的通道面积,对于水平空气层,这个范围被表示为每平方米面积的通道面积。

5.4.2 其他空间

当一个小的非采暖空间依附在建筑物时,在计算室内、外环境之间的传热系数时,可将非采暖空间连同它的外部结构构件视为一个附加的热均质层,其热阻值 R_u 按(2)式计算:

$$R_u = 0.09 + 0.4 \times \frac{A_i}{A_u} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

A_i ——室内环境与非采暖空间之间的所有构件的总面积;

A_u ——非采暖空间与室外环境之间所有构件的总面积。

但 R_u 应不大于 $0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 。

注1: 小非采暖空间的例子包括车库、储藏室和温室。

注2: 如果室内环境与非采暖空间之间有一个以上的构件,在计算每个构件的传热系数时都应包括 R_u 。

6 总热阻

如果总热阻作为最终结果表示时,应修约至小数点后第2位。

6.1 由热均质层组成的构件总热阻

与热流方向垂直的热均质层构成的建筑构件,其总热阻 R_T 按式(3)进行计算:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots\dots R_n + R_{se} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

R_{si} ——内表面换热阻;

$R_1, R_2, \dots\dots R_n$ ——每个层的设计热阻值;

R_{se} ——外表面换热阻。

在计算内部建筑构件(隔墙等)热阻或室内环境与非采暖空间之间的构件的热阻时, R_{si} 均适用。

注: 当计算构件两表面之间的热阻时, (3)式中的表面换热阻可忽略不计。

6.2 由热均质层和非热均质层组成的构件总热阻

本条各款给出了计算由热均质层和非热均质层组成的建筑构件的热阻的简化方法,但不适用于有金属热桥的绝热层。

注1: 要获得更精确的计算结果,采用符合 ISO 10211 中的第1部分:一般计算方法,或第2部分:线性热桥计算方法的数值法。

注2: 在6.2中规定的方法不适用于评估结露风险的表面温度的计算。

6.2.1 构件的总热阻

由平行于表面的热均质层和非热均质层组成的构件总热阻 R_T 用热阻上限和热阻下限的算术平均值来表示:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

R'_T ——总热阻上限,按6.2.2计算;

R''_T ——总热阻下限,按6.2.3计算。

计算上下限时,应将构件分割成由若干段和层,如图1所示,用这种方法构件被分成 mj 个部分,他们各自都是均热的。

图中构件[图1(a)]被分割成若干段[图1(b)]和若干层[图1(c)]。

段 $m(m=a, b, c, \dots\dots q)$ 垂直于构件表面,面积分数为 f_m 。

层 $j(j=1, 2, 3, \dots\dots n)$ 平行于构件表面,厚度为 d_j 。

mj 部分的导热系数为 λ_{mj} , 厚度为 d_j , 面积分数为 f_m , 热阻为 R_{mj} 。

面积分数是总面积的一部分, $f_a + f_b + \dots\dots + f_c = 1$ 。

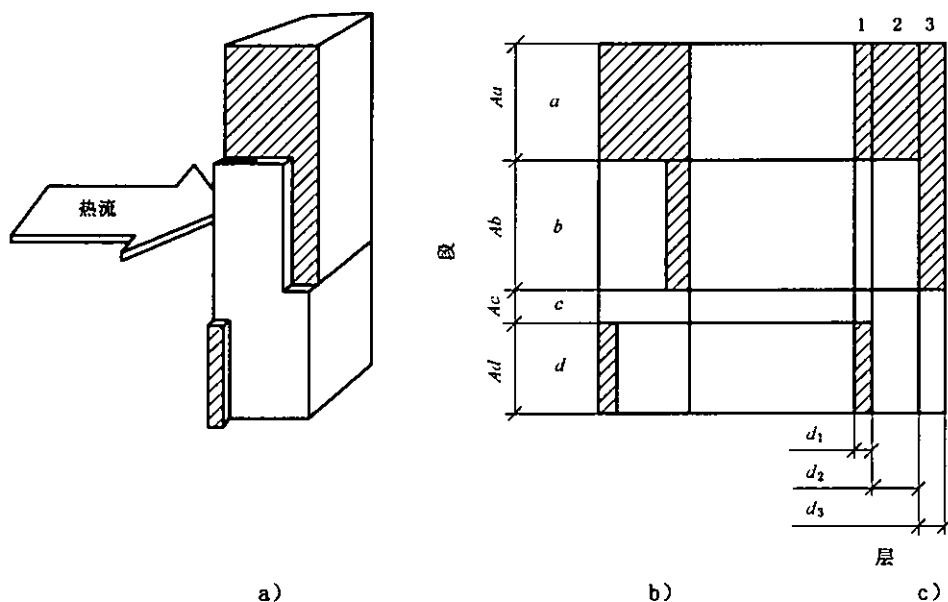


图 1 非热均质构件的段和层

6.2.2 总热阻的上限(R'_T)

总热阻的上限由假定垂直于构件表面的一维热流来确定,按式(5)计算:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \cdots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \quad \text{..... (5)}$$

式中:

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$ ——每段环境到环境的总热阻,按(3)式计算;

f_a, f_b, \dots, f_q ——每段的面积分数。

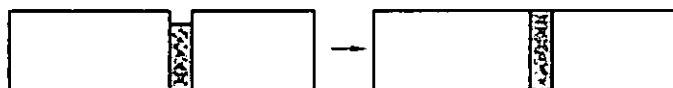
6.2.3 总热阻的下限(R''_T)

总热阻下限值由假定所有平行于构件表面的平面都是等温表面来确定。²⁾

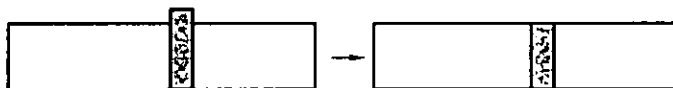
每个非热均质层的等效热阻 R_j 按式(6)进行计算:³⁾

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \cdots + \frac{f_q}{R_{qj}} \quad \text{..... (6)}$$

2) 毗连空气层的非平整表面,可以将较狭窄的段认为被延长而视其为平整表面(但热阻并未改变);



或突出的部分被削去(那么热阻减小);



3) 另一种方法是通过层的等效热阻系数来计算:

$$R_j = d_j / \lambda''_j$$

式中层 j 的等效热阻系数 λ''_j 为:

$$\lambda''_j = \lambda_{aj} f_a + \lambda_{bj} f_b + \cdots + \lambda_{qj} f_q$$

如果一个空气层是非热均质层的一部分,它可以被视为一个具有等效导热系数 $\lambda''_j = d_j / R_{aj}$ 的材料,其中 R_{aj} 是附录 B 中规定的空气层热阻。

式中:

R_j ——层 j 的等效热阻;

$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{qj}$ ——在层 j 中每段的热阻;

f_a, f_b, \dots, f_q ——每段的相对面积比。

下限热阻 R''_T 按(3)式进行计算,即

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad \dots\dots\dots (7)$$

6.2.4 误差估算

当计算的传热系数有准确度要求时,可按以下方法估算最大相对误差。

最大相对误差 e 用百分数表示,按(8)式计算近似值:

$$e = \frac{R'_T - R''_T}{2R_T} \times 100 \quad \dots\dots\dots (8)$$

示例:如果热阻上限和热阻下限的比为 1.5,则最大可能的误差为 20%。

实际误差通常远低于这个最大误差。这个最大误差可以用来评估按 6.2 中规定的步骤所获得的准确度在考虑了以下情况时是否可以被接受:

- 计算的目的;
- 传过构件(其热阻能够通过 6.2 来计算)的热流在传过建筑物总热流中所占的比例。
- 输入数据的准确度。

7 传热系数

传热系数 U 按式(9)计算:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \dots\dots\dots (9)$$

传热系数应按附录 D 的规定进行修正,但如果总修正小于 U 值的 3%,则不必修正。

如果传热系数作为最终结果表示时,应保留两位有效数字,并给出用于计算的相关数据。

附 录 A
(规范性附录)
表 面 换 热 阻

A.1 平整表面

平整表面的表面换热阻 R_s 按(A.1)式计算⁴⁾：

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

h_c ——对流换热系数；

h_r ——辐射换热系数。

其中

$$h_r = \varepsilon \cdot h_{ro} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$h_{ro} = 4 \times \sigma \cdot T_m^3 \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

ε ——表面辐射率；

h_{ro} ——黑体表面辐射系数(见表 A.1)；

σ ——斯蒂芬波兹曼常数, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ；

T_m ——表面和其邻近环境的平均绝对温度。

表 A.1 黑体辐射系数 h_{ro} 的值

温度/℃	$h_{ro}/[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$
-10	4.1
0	4.6
10	5.1
20	5.7
30	6.3

对于内表面 $h_c = h_{ci}$, 这里：

——对于向上热流: $h_{ci} = 5.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

——对于水平热流: $h_{ci} = 2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

——对于向下热流: $h_{ci} = 0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

对于外表面 $h_c = h_{ce}$, 这里：

$$h_{ce} = 4 + 4v \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

v ——邻近表面的风速, 单位为米每秒(m/s)。

表 A.2 中给出了不同风速, 外表面换热阻 R_{se} 的值。

注: 5.2 中所列出的内表面换热阻是根据 $\varepsilon = 0.9$ 和 20°C 时 h_{ro} 的值计算出来的, 5.2 中给出的外表面换热阻是根据 $\varepsilon = 0.9$, 0°C 时 h_{ro} 的值以及 $v = 4 \text{ m/s}$ 计算出来的。

4) 这是表面热传递的一个近似处理。热流的精确计算是建立在室内、外环境温度上的(环境温度中辐射以及空气的温度根据各自的辐射和对流系数进行加权, 并且还要考虑房屋几何形状的影响和空气的温度梯度)。然而, 如果内部辐射和空气的温度没有明显不同, 可以使用内部的干球有效温度(等于空气温度和辐射温度的加权值)。在外表面通常使用外部空气温度, 这是基于假设在多云的天空情况下, 此时外部空气和辐射的温度有效相等。这也忽略了任何阳光短波辐射在外表面上的作用。

GB/T 20311—2006/ISO 6946:1996

表 A.2 不同风速下 R_{se} 的值

风速/(m/s)	$R_{se}/[m^2 \cdot K/W]$
1	0.08
2	0.06
3	0.05
4	0.04
5	0.04
7	0.03
10	0.02

A.2 带有非平整表面的构件

突出于平面的部分,如结构柱,如突出部分由导热系数不大于 $2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料构成,那么在计算总热阻时可忽略不计。如果突出部分由导热系数大于 $2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料组成,且没有绝热,其表面换热阻应根据突出部分的投影面积与实际表面积之比进行修正(见图 A.1):

$$R_{sp} = R_s \times \frac{A_p}{A} \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中:

R_s ——按 A.1 规定的平整表面的换热阻;

A_p ——凸出部分的投影面积;

A ——凸出部分的实际面积。

(A.5)式同时适用于内表面换热阻和外表面换热阻。

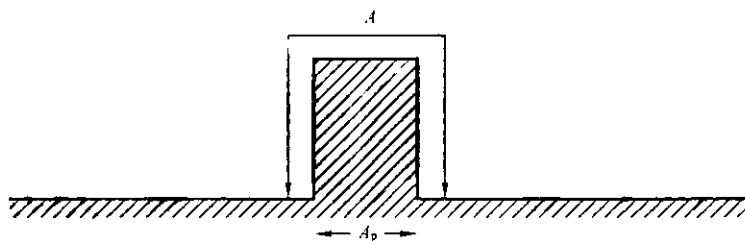


图 A.1 实际面积与投影面积

附 录 B
(规范性附录)
不通风空间的热阻

B.1 概要

本附录适用于除有玻璃的构件外的建筑构件内的空间。对于玻璃和窗框需要更加精确的计算。

这里所说的空间包括空气层(长度和宽度是其热流方向上厚度的 10 倍)和空腔(长度或宽度的尺寸与厚度接近)。如果空气层的厚度是变化的,用其平均值计算热阻。

注:由于穿过空间的辐射和对流传递的热流与形成空间层边界的两个表面的温度差近似成比例,因此可以将空间视为有热阻的介质。

B.2 长度和宽度大于厚度 10 倍的不通风空间

空间的热阻按(B.1)式计算:

$$R_s = \frac{1}{h_s + h_r} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

R_s ——空间层热阻;

h_s ——传导/对流换热系数;

h_r ——辐射换热系数。

h_s 计算如下:

——对于水平热流: h_s 取 $1.25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 和 $0.025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 中的较大者;

——对于向上热流: h_s 取 $1.95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 和 $0.025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 中的较大者;

——对于向下热流: h_s 取 $0.12 d^{-0.44} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 和 $0.025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 中的较大者。

其中 d 是空间层的厚度(热流方向)。

h_r 按(B.2)式计算:

$$h_r = E \cdot h_{ro} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

E ——表面间辐射率;

h_{ro} ——黑体表面辐射系数(见表 A.1)。

其中

$$E = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

ϵ_1, ϵ_2 ——空间层的内表面的半球辐射率。

辐射率的设计值应考虑到随时间失去光泽而产生的任何影响。

注:表 2 中的热阻值是根据 $\epsilon_1 = 0.9, \epsilon_2 = 0.9$ 和 10°C 时的 h_{ro} 值,按(B.1)式计算得出。

B.3 小的或被分割的不通风空间(空腔)

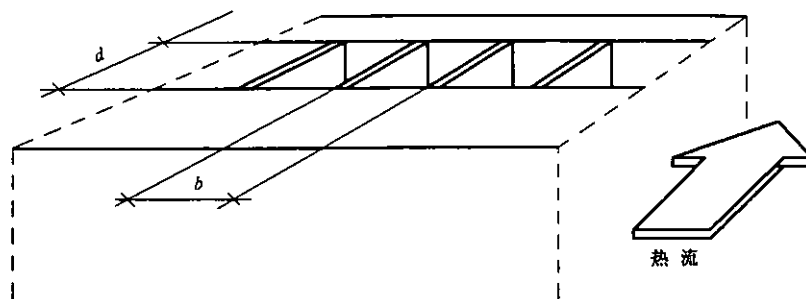


图 B.1 小空间的尺寸

图 B.1 给出了一个宽度小于 10 倍的厚度的小空间示例,其热阻按(B.4)式计算:

$$R_s = \frac{1}{h_s + E \cdot h_{ro}(1 + \sqrt{1 + d^2/b^2} - d/b)/2} \quad \dots\dots\dots(\text{B.4})$$

式中:

R_s ——空间层热阻;

d ——空间的厚度;

b ——空间的宽度;

E 、 h_s 、 h_{ro} 的计算与式 B.2 中的值计算相同。⁵⁾

注:(B.4)式可用于带有任意厚度的空腔建筑构件的热流计算,也可用于带有厚度不大于 50 mm 空腔的建筑构件温度分布的计算。对于带有厚度更厚的空腔的构件,只能给出近似的温度分布。

对于非矩形空腔,可以等效为面积和纵横比相同的矩形空腔来计算热阻。

5) h_s 取决于 d ,与 b 无关。 E 值是用冷面和热面的辐射系数由(B.3)式获得。

附录 C
(规范性附录)
带楔形层的构件的热阻计算

C.1 概述

当构件中有一个楔形层时(例如排水的倾斜层顶绝热层),其总热阻随构件上的面积而变化。
如图 C.1 所示的组合构件。

注:楔形空气层见附录 B。

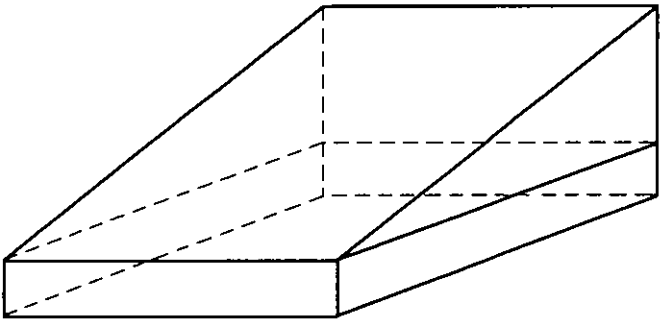


图 C.1 构件组合原理

传热系数是通过相应构件面积上的积分来确定的。
对于如图 C.2 所示的每个带有不同的坡度和/或形状的部分(例如屋顶的),应分别计算。
除了本标准第 3 章规定的符号外,本附录还使用以下符号:

符号	量	单位
λ_1	楔形部分(一端厚度为零)的设计导热系数	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
R_0	剩余部分设计热阻,包括构件两个面的表面换热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
R_1	楔形层的最大热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
d_1	楔形层的最大厚度	m

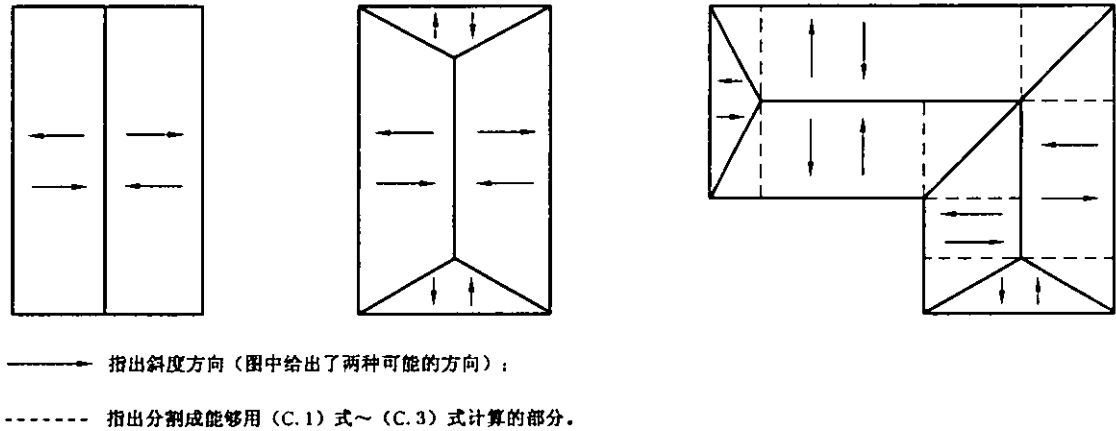


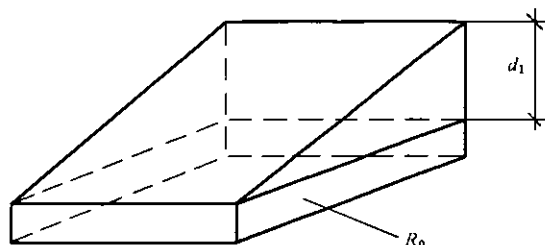
图 C.2 将屋顶分割成单独部分的示例

C.2 对于普通形状的计算

斜度不大于 5% 的普通形状, 传热系数计算应按 (C. 1) 式~(C. 3) 式计算。

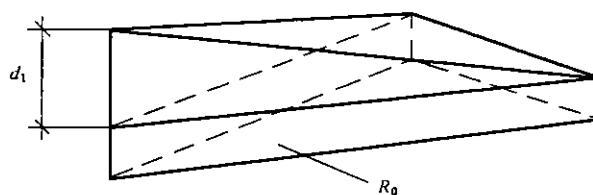
注: 对于更大的斜度, 用数值计算法计算。

C.2.1 矩形面



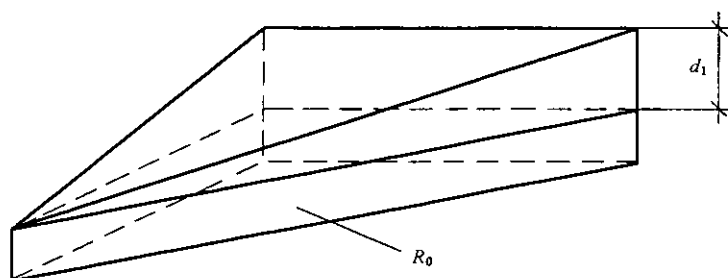
$$U = \frac{\ln(1 + R_1/R_0)}{R_1} \dots\dots\dots (C.1)$$

C.2.2 三角面, 顶尖部最厚



$$U = \frac{2}{R_1} \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (C.2)$$

C.2.3 三角面, 顶尖部最薄



$$U = \frac{2}{R_1} \left[1 - \frac{R_0}{R_1} \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \right] \dots\dots\dots (C.3)$$

C.3 计算步骤

按以下步骤进行计算:

- 1) 计算 R_0 作为去除了楔形层的构件的总热阻, 如果所有的层为热均质层, 用 (C. 3) 式计算, 如果是非热均质层, 按 6.2 的步骤。

2) 必要时将楔形层区域分割成若干单独的部分(如图 C. 2)。

3) 对于每一个楔形层的 R_1 按(C. 4)式计算:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} \dots\dots\dots (C. 4)$$

4) 按 C. 2 中相应的公式,计算每个独立部分的传热系数(U_i)。

5) 按(C. 5)式计算面积 A 整体的传热系数。

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots (C. 5)$$

式中:

U_i ——每个独立部分的传热系数;

A_i ——每个独立部分的面积。

如果要求计算带楔形层构件的总热阻,按(C. 6)式计算:

$$R_T = \frac{1}{U} \dots\dots\dots (C. 6)$$

附录 D

(规范性附录)

传热系数的修正

D.1 概述

由于以下方面的影响,按本标准计算得出的传热系数应进行修正:

- 绝热材料中的空气隙;
- 机械锚固件穿过绝热层;
- 倒置屋面上的降水。⁶⁾

修正后的传热系数 U_c 是通过增加一个修正项 ΔU 来实现的:

$$U_c = U + \Delta U \quad \text{.....(D.1)}$$

其中 ΔU 按(D.2)式计算:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad \text{.....(D.2)}$$

式中:

- ΔU_g ——空气隙的修正值;
- ΔU_f ——机械锚固件的修正值;
- ΔU_r ——倒置屋面的修正值。⁶⁾

D.2 空气间隙的修正

按空气隙的大小和位置,表 D.1 给出了三个等级的修正。

表 D.1 对空气间隙的修正

等级	$\Delta U''$ [W/(m ² ·K)]	空气间隙的描述
0	0.00	绝热材料的安装方式使其热面没有空气循环。没有空气间隙穿过整个绝热层
1	0.01	绝热材料的安装方式使其热面没有空气循环。空气间隙可能穿过绝热层
2	0.04	绝热材料的热面有空气流动。空气间隙可能穿过绝热材料

修正值 ΔU_g 按(D.3)值进行计算:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_i}{R_T} \right)^2 \quad \text{.....(D.3)}$$

式中:

- R_i ——包含空气隙的材料层的热阻,按 5.1 计算;
- R_T ——构件的总热阻,按 6 章计算。

注:附录 E 中给出了空气间隙修正的示例。

D.3 机械锚固件的修正

当绝热层被机械锚固件穿过,修正传热系数按(D.4)式计算:

$$\Delta U_f = \alpha \lambda_i n_f A_f \quad \text{.....(D.4)}$$

6) 倒置屋顶是一个绝热层在防水层上的屋顶。

式中:

α ——系数,见表 D.2;

λ_f ——锚固件的导热系数;

n_f ——每平方米锚固件的个数;

A_f ——一个锚固件的截面面积。

表 D.2 系数 α 的值

锚固件类型	α/m^{-1}
圻工墙间的墙体连接件	6
屋面固定件	5

以下情况不需要修正:

——墙体连接件横穿空腔;

——圻工墙和木龙骨间的墙体连接件;

——当锚固件或其某部分的导热系数小于 $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

当锚固件的两端都接触到金属片时,本步骤不适用。

注: ISO 10211-1 建筑结构中的热桥——热流和表面温度——第一部分:一般计算方法,可以用于计算当锚固件两端都接触到金属片这种情况时的修正。

D.4 对倒置屋面的修正

D.4.1 概述

给出了由于降水流入绝热材料层和防水层之间的倒置屋顶的修正步骤。

本条款所规定的步骤仅适用于聚苯乙烯挤塑绝热材料(XPS)。

D.4.2 符号和单位

符号	量 值	单 位
p	供暖季节降水量的平均值,依据当地相应的数据	mm/d
f	p 中到达防水层的水量的比例	—
x	降水在防水层上流动造成的热损失系数	$(\text{W} \cdot \text{d})/(\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{mm})$
R_i	防水层上 XPS 绝热材料层的热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
R_T	构件的总热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
ΔU_r	由于雨水透过绝热材料的接合处到达防水膜所带来的热损失,屋顶构件传热系数计算的修正值	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

D.4.3 水流入绝热材料层和防水层之间的修正

$$\Delta U_r = p f x \left(\frac{R_i}{R_T} \right)^2 \dots\dots\dots (\text{D.5})$$

ΔU_r 修约至小数点后两位有效数字, ΔU_r 小于 0.01 时可认为是 0。

对于防水层上的单层绝热材料,如果是对接接头,并敞开式覆盖(如沙砾层),那么 $f x = 0.04$ 。

注: 单层对接接头,有敞开式的覆盖, ΔU 最大。

对于透过绝热材料的水量较小的屋顶结构,可以采用较小的 $f x$ 值。例如不同的接头方式(如搭接或插槽式的接头),或不同的类型的屋顶构造。在这些情况下可以采用小于 0.04 的 $f x$ 值,这在独立的测试报告中已得到了证明。

D.4.4 导热系数的修正

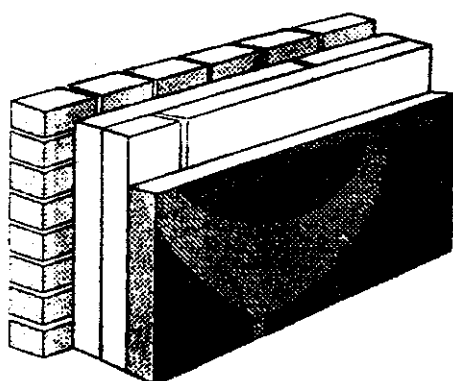
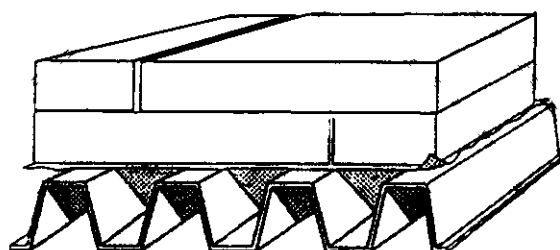
由于通过扩散可能引起含湿量的增加,因此 XPS 绝热材料的导热系数应按 ISO 10456 的规定进行修正。

附 录 E
(资料性附录)
关于空气隙修正的范例

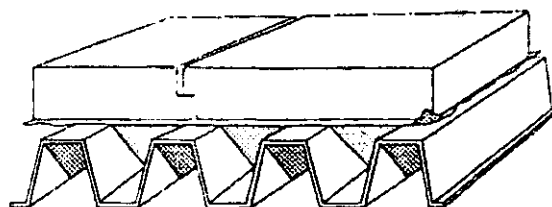
在 a)~h)给出了可能出现的结构,但并不详尽。

修正级别 0

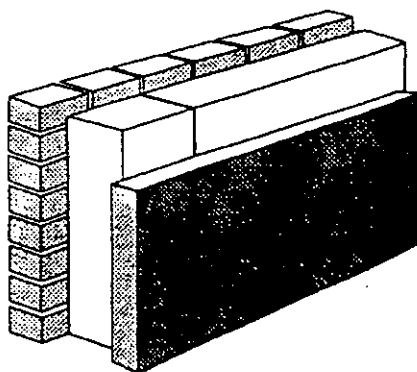
a) 多层连续绝热材料,采用错开排列的接缝。



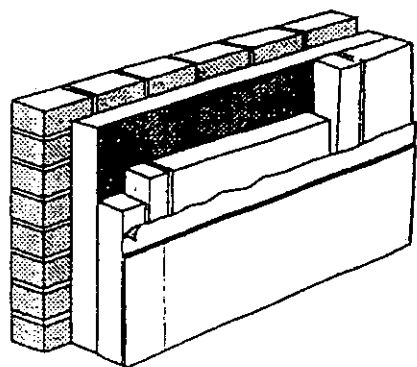
b) 单层连续绝热材料,采用搭接、企口或密封的接缝。



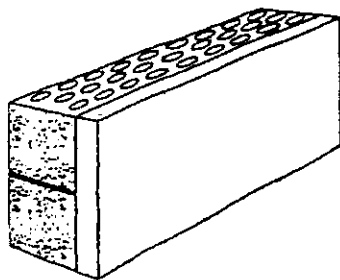
c) 连续绝热材料,采用对接接头,其长度、宽度、垂直度的公差以及体积稳定性不造成超过 5 mm 的空隙。如果长度或宽度的公差以及体积改变的总和小于 5 mm,且矩形板材直角偏离度小于 5 mm,可认为满足要求。



- d) 两层绝热材料,一层在椽子、龙骨、檩条或类似构件之间,另一层作为连续层覆盖第一层。

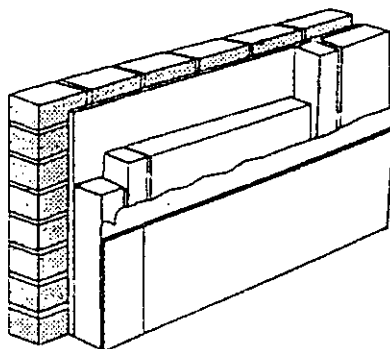


- e) 结构中的单层绝热材料,除去绝热材料层的热阻后,结构层的热阻至少应是总热阻的 50% (即 $R_i \leq 0.5R_T$)。



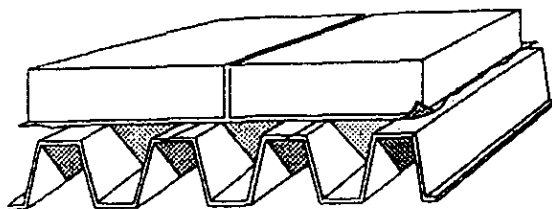
修正级别 1

- f) 绝热材料完全在椽子、龙骨、檩条或类似构件之间。



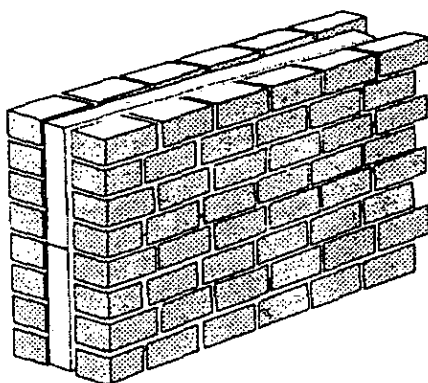
GB/T 20311—2006/ISO 6946:1996

- g) 单层连续的绝热材料,采用对接接头,长度、宽度和垂直度的公差加上体积稳定性造成的空隙超过 5 mm。这种情况是假设长度或宽度的公差与体积变化的总和超过 5 mm,或矩形板材的直角偏离度超过 5 mm。



修正级别 2

- h) 由于顶部或底部没能密封或扣牢,结构中可能存在绝热材料层热面上有空气流动。



参 考 文 献

- [1] ISO 10211 建筑结构中的热桥 热流与表面温度
 - [2] ISO 13370:1998 建筑热性能 经过地面的传热 计算方法
 - [3] ISO 13789:1999 建筑热性能 传热损失系数 计算方法
-