

太阳能房屋

TAIYANGNENGFANGWU

【美】安德森·布鲁克 著



黑龙江科学技术出版社

TU 208

• 能源技术译丛 •

太 阳 能 房 屋

TAIYANGNENG FANGWU

〔美〕 安德森·布鲁克 著

聂 鑫 陈立坚 编译

黑龙江科学技术出版社

一九八五年·哈尔滨

内 容 提 要

这本普及性读物是从太阳能采暖系统和建筑设计两个方面，以许多具体实例阐述了太阳能房屋的集热、贮热、保温等原理及简易太阳房、热水器、采暖和致冷系统设计等，很具实用性。

本书可供具有中等文化程度的工人、技术人员阅读，可供农民建造太阳房时参考。

封 面 设 计：张晓岚

太 阳 能 房 屋

〔美〕安德森·布鲁克 著

聂 鑫 陈立坚 编译

黑龙江科学技术出版社出版

（哈尔滨市南岗区建设街35号）

黑龙江新华印刷厂附属厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/16·印张 6.75·字数 150 千

1985年5月第一版·1985年5月第一次印刷

印数：1—3,400

书号：15217·167

定价：1.40元

编译者的话

随着煤、石油等矿物质燃料和其他能源的日益减少，科学家们重新认识和评价了太阳能这个取之不尽，用之不竭的自然再生能源，特别是进入20世纪五十年代以来，世界上许多国家都制定了庞大的太阳能开发计划，建造了数以千座用太阳能采暖和致冷的房屋，在太阳能收集、贮存、转换和输送等方面取得了飞速的进展。科学家们断言：太阳能能为住宅采暖、家用热水、致冷等系统提供50—75%的能量需要量是完全可以实现的。

本书是一本普及性读物，它取材于美国A·布鲁克所著的《太阳能：建筑设计基础》（《Solar energy: fundamentals in building design》）一书。作者凭借多年的研究实践，从太阳能系统和建筑设计这两个侧面，以大量实例、图表，阐述了太阳房设计基本原理、太阳能热水器、简易太阳房设计、太阳能采暖和致冷系统。

编译中我们从我国的具体情况出发，对原书做了大量删节。本书成稿后请黑龙江省电子局副局长、高级工程师王方同志作了审核。但由于水平所限，本书的取舍仍然不一定妥当，错误之处在所难免，敬请广大读者不吝指正。

目 录

第一章 太阳能房屋的设计基础	
1-1 太阳的角度	1
1-2 日射率和日照值	4
1-3 热传递原理	7
1-4 不透明表面的热通量	12
1-5 玻璃窗的热增	13
1-6 吸收致冷原理	14
1-7 热泵原理	15
第二章 太阳能房屋的设计思想	
2-1 建筑物应能集热	24
2-2 建筑物应能贮热	33
2-3 建筑物应能保温	36
第三章 太阳能房屋的设计之低效技术法	
3-1 集热	40
3-2 贮热	43
3-3 倾斜式和水平式太阳能系统	47
3-4 旧房屋改造的太阳房	49
第四章 太阳能热水器	
4-1 太阳能热水器的设计思想	52
4-2 几种太阳能热水器	53
第五章 间接利用太阳能系统	
5-1 流体的热传递系统	58
5-2 平板集热器	60
5-3 其它类型集热器	85
5-4 太阳能贮热器	91
5-5 辅助热源	98
5-6 太阳能致冷系统	99
附录:	
1 公英制常衡换算表	100
2 摄氏(°C)温度与华氏(°F)温度的换算	100
3 各种材料的热阻 R 值	100
4 各种材料的吸收率和辐射率	101

第一章 太阳能房屋的设计基础

太阳能房屋（或简称为太阳房）设计是一项多学科的综合设计，它所涉及的知识比较广泛：有描述太阳日照性质的地学、有叙述热传递原理的热学、有阐明房屋结构特点和耐热特性的建筑学和材料学等等。为了充分地利用太阳能、设计好太阳房，首先要了解有关太阳的日照性质和热传递原理。下面将简单地介绍一下和太阳房设计相关的一些基础知识。

1-1 太阳的角度

只要你稍加留意，就会觉察到太阳在天空中的位置是随季节变化的。其实，太阳在天空中的位置天天在变、时时在变，它在天空中的位置夏天高于冬天（指北半球）。冬天，太阳从东南方升起；夏天，太阳从东北方升起。这种情况可以用全年太阳在空中的轨迹图表示出来，见图 1—1。曲线上的数字表示一天的某一时间。要想有效地集热和使用遮荫设备，必须测定太阳的位置，知道光线的入射角和日照值。

太阳在天空中的位置可用两个角度测量，即以赤道面为准的纬度角 α 和以南北方向为准的经度角 β 。这两个角度既可以计算出来，也可以查表得出。

如果计算，则有三个变量需要确定：纬度 L 、偏角（或称太阳赤纬） δ 和时角 H 。纬度可在地图册上查得；偏角是标定距离赤道多远的量度，它时时在变，可在图 1—2 中查得；时角是指在本地的太阳时间，它等于 0.25 乘以偏离太阳正午（此时太阳在天空中的位置最高）的时间（分）。太阳时间可在日晷仪上直接读到。

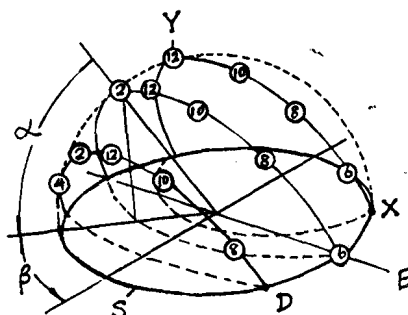


图1—1 太阳在天空中的位置
S—水平面 D—冬至 E—春（分）点
X—夏至 Y—指月份

由于一年中地球在轨道中的运动速度不断变化，每天的天长（从第一天太阳正午到第二天太阳正午的时间）与每天平均天长稍有不同，以及零点时间不是处在标准的时间子午线上，因此把本地标准时间换算成本地太阳时间要作三项修正：

- 1) 如果是夏令时间，就减去 1 小时；若不是夏令时间，则不减。
- 2) 测定该地区的经度与标准时间子午线之差，乘以 4 分/度为修正时间。若该地区在标准子午线东边，应加上修正时间；若在西边，则减去修正时间。

3) 把从图 1—3 上查得的时间差与修正的标准时间相加，即为该地区的太阳时间。

举例来说，试问位于 100°W 某城市十二月一日下午 1 点 30 分的太阳时间是多少？

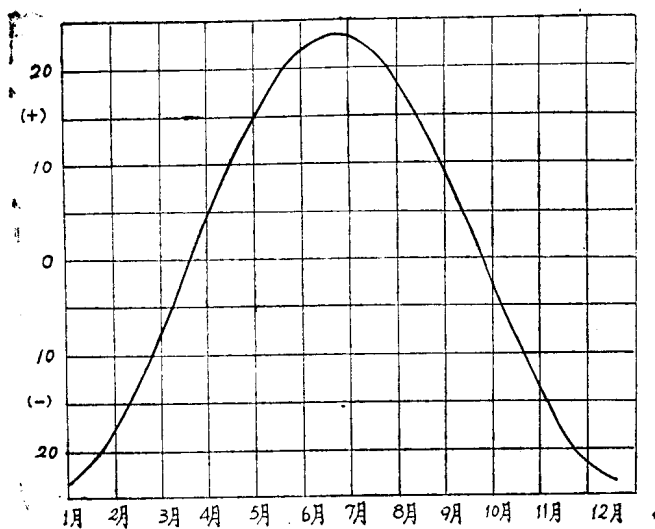


图 1—2 太阳偏角曲线图

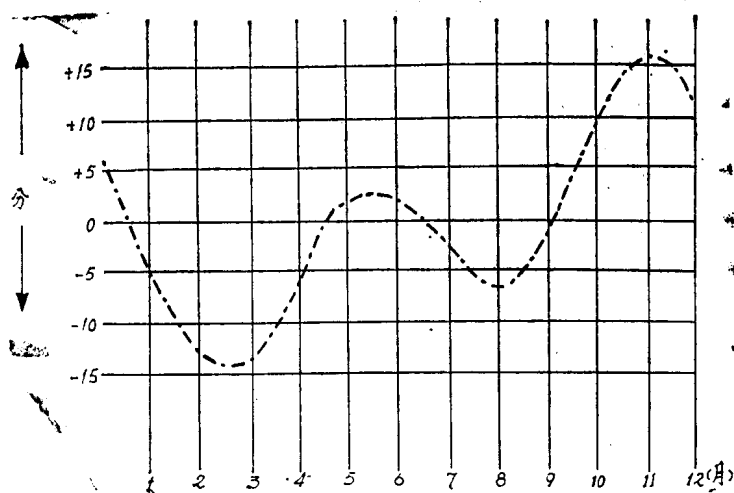


图 1—3 时间差

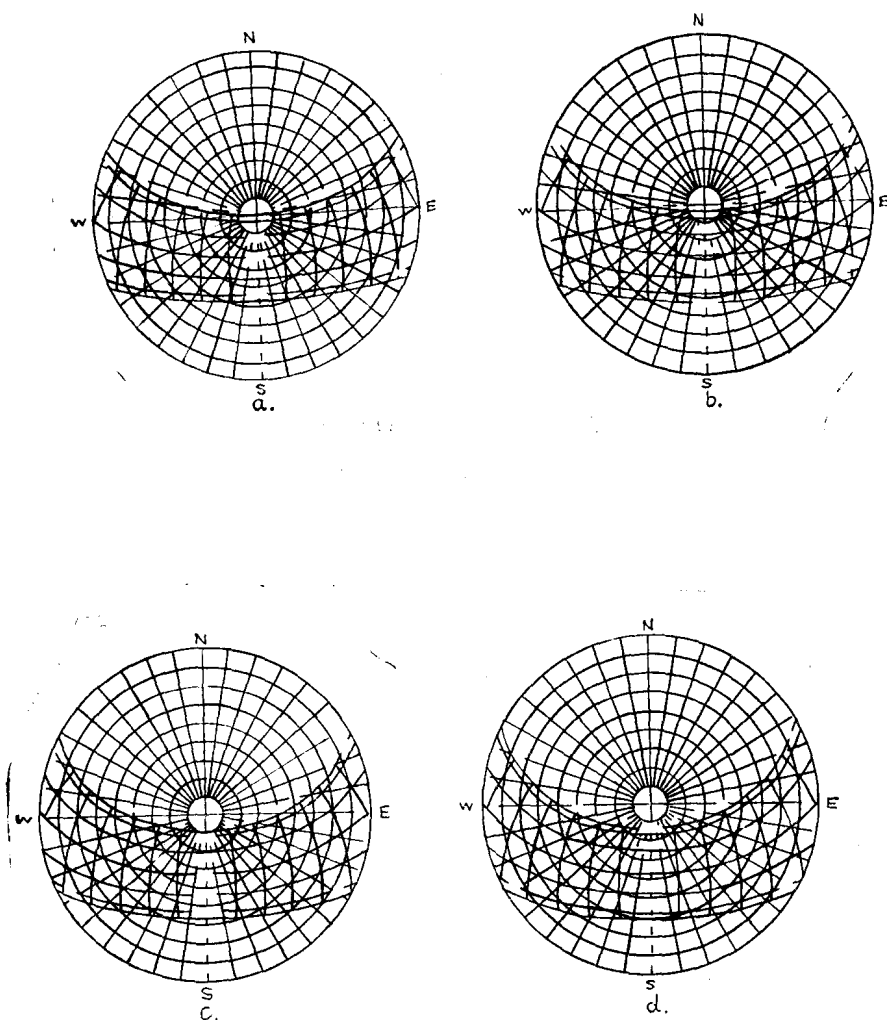
因不是夏令时间，所以第一项不需要修正；因该城市是在 100°W ，与标准子午线 90° 相差 10° 且在西边，所以修正时间为 $10^{\circ} \times 4 \text{ 分/度} = 40 \text{ 分钟}$ ，第二项修正为 $1 \text{ 点 } 30 \text{ 分} - 40 \text{ 分} = 12 \text{ 点 } 50 \text{ 分}$ ；因十二月一日的时差为 11 分钟 ，所以第三项修正为 $12 \text{ 点 } 50 \text{ 分} + 11 \text{ 分} = 1 \text{ 点 } 零 1 \text{ 分}$ ，即本地标准时间与其太阳时间相差 61 分钟 。

这样，就可以用下列公式计算出 α 和 β 角：

$$\alpha = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta$$

$$\beta = \cos \delta \sin H / \cos \alpha$$

图 1—4 给出了北纬 24° 、 28° 、 32° 、 36° 、 40° 及 44° 的太阳轨迹图，每月 21 日任何时间的 α 和 β 角可以在图上查得。



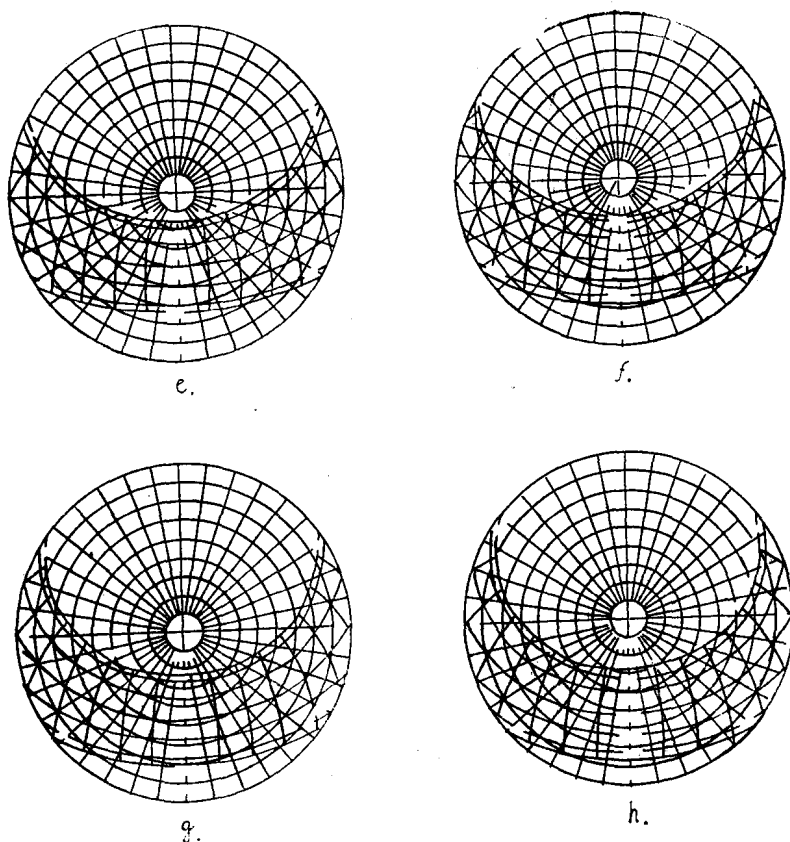


图 1—4 不同纬度的太阳轨迹图

W—E为赤道 N—北 S—南 (径线为经线, 环线为纬线)

a—北纬24°图 b—北纬28°图 c—北纬32°图 d—北纬36°图 e—北纬40°图
f—北纬44°图 g—北纬48°图 h—北纬52°图

1-2 日射率和日照值

对太阳用于采暖的辐射量做定量分析是一项很复杂的工作。因影响辐射量的因素很多,有些因素可以直接测定,有些因素容易变化不易测定,而必须通过长期气象观测资料作统计分析才能获得可用数据。

在测定太阳辐射量时,有一种是以一定时间内向水平面辐射的兰勒数为单位的记录方法,它等于太阳直接辐射量和散射辐射量之和,1兰勒等于1卡/平方厘米 或 3.69 兰勒等于 1Btu/ft²。由于记录太阳辐射量的表面是水平面,所以它对太阳纬度的变化十分敏锐。冬天太阳在空中的位置较低,与水平面的夹角即入射角较小,因此,同样的辐射强度冬天就低于夏天。知道照在水平面上的辐射量,通过三角函数换算就不难求出太阳照射在倾斜表面的辐射量了。

所谓日射率,指的是日照时间百分数或有用光线百分数。换句话说,光线照射在平面上的时间与从日出到日落总时间数之比值的百分数。影响照射在地球表面上的太阳光

线强度（或称辐射强度）和等级的因素是很多的。一月份地球离太阳最近，光线最强，而七月份离太阳最远，光线最弱。但是，从3月到9月，太阳在天空中的位置向北移动；而从9月到3月，太阳偏离正南最大。所以，在北半球的冬天，太阳在空中的位置较低，太阳光线需要经过较长的距离才能穿过大气层，因此水平表面上获得的光线很少，这样就抵销了较强的辐射强度，见图1—5。

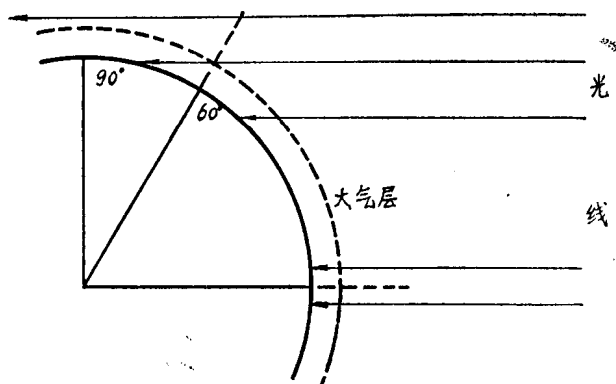


图1—5 太阳光线穿过大气层示意图

其它因素大致上都随季节、日期和地点而变化。冬天，大气层中灰尘、花粉和雾气少，所以冬天比夏天大气清晰度高；冬天雪的反射率要比夏天草的反射率大得多；具体地点也影响清晰度和反射率，如高低纬度之差异、居民区和工业区之差异、林区和海滨区之差异等，这些影响因素都是难以测定的。

影响辐射量的因素最容易变化。最明显的例子是云量，它天天在变、时时在变。在考虑确定云量对长期辐射量影响时，可按气象部门提供的日平均和月平均的云量资料进行。

影响辐射强度的一个相关变量是散射辐射量与直接辐射量之比值。所谓直接辐射，是指太阳光线的直接投影照射，通过入射角的大小可以测定表面能吸收多少辐射量；而散射辐射则是指阳光通过空气分子、尘埃、云彩、臭氧、水蒸气的照射，天空晴朗时变蓝、阴天时变灰就是散射的结果。若测定散射量那是相当困难的，不过它在整个天空中均匀分布，可以从气象部门提供的总日照值中分离出散射值，一般约占10~100%。

表1—1至表1—3分别列出北纬24°、32°、40°地区每月21日、集热器倾角分别等于纬度、纬度±10°、纬度+20°及90°情况下的日照值。从中可以选择最佳集热器表面倾角和最大日照值。下面将举出两个例子说明一下该表的用法。

例一 在北纬32°地区的采暖季节（从10月到4月）里，分别从表1—2中查得倾角对应的日照总值为22°——14469Btu/h、32°——15142Btu/h、42°——15382Btu/h、52°——15172Btu/h、90°——10588Btu/h，比较上列数值，得出42°即纬度+10°为集热表面最佳倾角。

例二 在北纬32°致冷季节（从5月到9月）里，分别从表1—2中查得倾角对应的日照总值为22°——11987；32°——11372；42°——10492；52°——9320；90°——3260；比较上列数值，得出22°即纬度-10°为致冷季节里集热表面最佳倾角。

应当指出,影响集热效率的因素是很多的,单从日照值来看,如例一中 42° 倾角的日照值最大,但它和 32° 或 52° 倾角的日照值仅差 2% 左右。因此,还必须考虑其它因素,如建筑物外型、结构和高度等,综合确定集热表面的倾角。

还应指出,表中的日照值是在一些假定条件下推算出来的。第一,它没有把地面反射考虑在内。如例一中 90° 倾角的日照值大约比 42° 倾角日照值低 30% 左右,但由于地面反射对集热表面的影响,实际上只低 10~20% 左右,而且纬度愈高,地面反射愈强。第二,晴天天数是假定的平均值。实际上,许多地区(如高纬度地区、沙漠地区)的晴天天数高于平均值,因为那里的天气多数是晴朗的,而有些地区(如工业区、风沙大或多雨的地区)就低于假定的平均值。第三,表中数值没有反映阴天情况。

关于某地区、某日的日出和日落时间,可以从图 1—6 查得。方法是先根据日期确

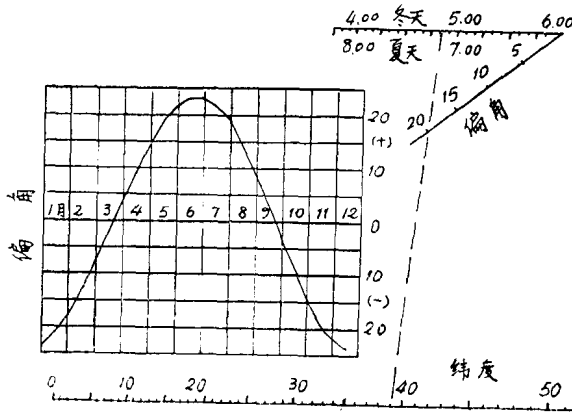


图 1—6 日出和日落时间计算图

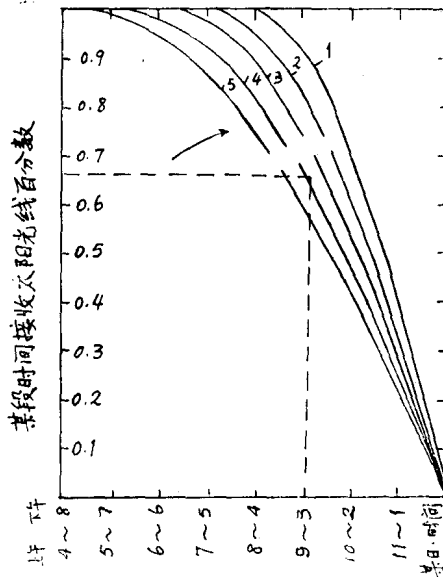


图 1—7 某时间水平表面接收太阳光线百分数曲线图

1—上午 8 点~下午 4 点 2—上午 7 点~下午 5 点 3—上午 6 点~下午 6 点
4—上午 5 点~下午 7 点 5—上午 4 点~下午 8 点

定偏角，再从列线图找出纬度和偏角对应的日出和日落时间。例如，某城市位于北纬 39° ，5月20日和1月20日的偏角都是 20° ，查得5月20日的日落时间是7点，1月20日的日落时间是4点50分。

图1—7表示在某一时间内水平表面接收太阳光线的百分数。只要知道所求地区每天长短，便可求出某时间内水平表面接收太阳光线的百分数。如上面例子，试求某城市5月20日上午9时至下午3时水平表面接收太阳光线的百分数是多少？从图1—6上查得该城市5月20日的日出和日落时间是上午5时至下午7时，在图1—7的横坐标上的9点至3点处作垂线交于5时至下午7时曲线上一点，再由该点作平行线交于纵坐标，该点的坐标值为0.67，即接收太阳光线的百分数为67%。

1-3 热传递原理

要想论证建筑物吸热和散热的本质、设计好太阳能系统，不掌握热传递原理那是不可能论证透彻和设计好的。在了解热的性质时，首先遇到的是如何标定热的量度。通常，有两种标定方法，即数量量度和强度量度。我们所熟悉的温度，指的是强度量度。比如，在谈到温度为 70°F 的游泳池时，我们并没有说明池中有多少热量。直观上看，把游泳池的水温从 70°F 升高到 75°F 需要大量的热量，而把一壶水从 70°F 升高到 75°F 只需要很少的热量。但我们可以说，二者的热强度是相同的，所需热量是不同的，热量的多少取决于被加热物质的数量。因此，热量单位的定义是把一单位质量的参考物质升高到一温度测量单位所需要的热量。通常，把水作为参考物质，在英制单位中，一英制单位热量指的是把一磅(b)水的温度升高华氏一度($^\circ\text{F}$)所需要的热量，缩写为Btu；在国际单位制中，把一克水温度升高摄氏一度($^\circ\text{C}$)所需要的热量定为1卡，缩写为Cal。二者可从换算表中查出，把100磅水温度升高 1°F 和把10磅水温度升高 10°F ，它们所需要的热量是相同的。

还有一种热的量度叫做热容量，即比热。曾有人发现，在温度升高的过程中，并不是所有物质吸收相同的热量。如把100磅水升高 1°F 所需要的热量是100Btu，而把100磅铝升高 1°F 所需要的热量只是22.5Btu。因此，比热的定义是：把一定数量的物质升高一定温度所需热量与同样数量的水升高相同温度所需热量之比。其单位是Btu/b $\cdot^\circ\text{F}$ 或Cal/g $\cdot^\circ\text{C}$ 、KCal/Kg $\cdot^\circ\text{C}$ 。不论哪种单位制，物质的比热值都是相同的。

阐述上面一些基本概念的目的，在于它们和太阳能系统产生的热量及其使用情况有关，换句话说，它们和太阳能系统的工程费用有关。影响工程费用的因素很多，热流速度及室内外温差仅是其中二个主要项目。冬天，热从室内流向室外；夏天，热从室外流向室内，其流动速度和室内外温差成正比，显然是寒冷天气热从房屋里流出的速度快于暖和天气。当然，热从房屋里流出的速度还取决于对这种热流的阻力大小。因此，单用降低室内温度的方法仅能使室内外温差降低很小，对降低热流逸出速度收效甚微。而更多的努力在于增加对热流的阻力，以此来减慢热逸出速度。在叙述热阻的同时，解释一下热由暖物体向冷物体的三种传递方法：传导、对流和辐射。

众所周知，放在炉子上的铁棍经过一段时间就会变热，这是热传给冷铁柄的缘故，这就是传导。由于铁的传导率低于铜且其比热又高于铜，所以铜受热的速度要比铁快，

这就是热传导的理论基础。对流是由流体流动而引起的热传递过程。炉上水壶里的水加热过程和暖风提高室内温度都是靠对流传递的。自然对流是热流体的自行流动方式，当流体被加热时，它会膨胀上升，较重的流体下降顶替它的位置形成环流。还有一种用泵强制循环输送热流体的方式。必须注意，对流和传导是同时发生的。暖和表面的热量被冷流体带走之前，是经过传导过程传递给流体的，同时传导过程也可以把暖流体的热量传给寒冷表面。冷暖表面的温差越大，它们之间的热流速度就越大。流体的比热、导热率和热阻是影响对流传递过程的主要因素。辐射是由电磁波穿过某一空间而引起的热传递过程。地球吸收太阳热，站在火炉前的热感觉都是辐射所致。热辐射主要是长波射线作用，它由暖物体辐射给冷物体，辐射的热量与两物体的温差和距离成比例。

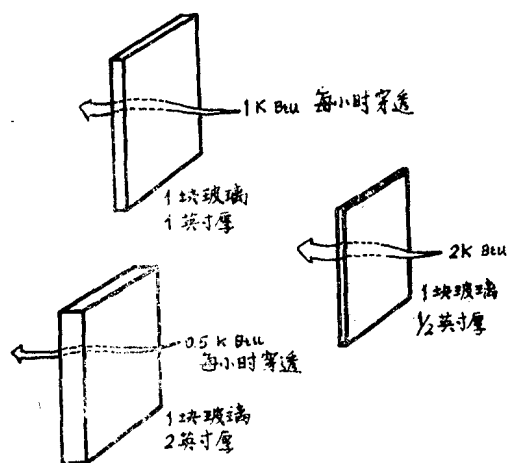


图 1—8 K 和 C 值

a—1[英尺]², 1英寸厚 C=1K Btu/h b—1[英尺]², 1/2英寸厚 C=2 Btu/h
c—1[英尺]², 1/2英寸厚, C=2 Btu/h

热传递的综合系数(U)是表示一个建筑完整断面(如一面墙)的容许热流能力,它等于通过建筑物断面、空间、空气膜的热值总和。U值愈低,绝热值愈高,U值的单位是Btu/h·ft²·°F。为了求出总热损失,可把U值乘以时间(小时)和总表面面积(平方英尺),再乘以表面内外温差。例如,对于U值等于0.12的50平方英尺墙壁,当其内外温度分别为65°F和40°F时,8小时总热损失为:

$$0.12 \times 50 \times 8 \times (65 - 40) = 1200 \text{ Btu}$$

任何建筑物断面(墙壁、屋顶、窗户和地板等)的U值都可以由组成该断面的各部分的导热率计算出来。

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n} = \frac{1}{R_t}$$

式中R:表示建筑物断面对热流的阻力,它等于导热率的倒数, $R = 1/C$ 或

$$R = (1/K) \times \text{厚度}。$$

材料的R值愈高,它的绝热能力愈强。R_t值包括建筑物断面、内外空气膜以及任

1. 传导

在影响热传导速度的因素中,对热损失影响最大的因素是建筑材料的耐阻性,和耐阻性相对应的是传导性。所有建筑材料对热流都有一定的阻力,阻力特别高的材料称为绝热材料。如果标定在冬天有多少热量由建筑物传给室外,或者在夏天从室外吸收多少热量,就要用导热率这个概念。导热率(K)是物质导热能力的量度,它表示两个表面之间温差在1°F时每小时穿过1平方英寸大小1英寸厚的材料的热量,K的单位为Btu/h·C也这样,它表示每小时穿过某一给定厚度材料的热量。用K除以给定材料厚度即是C值,见图1—8。K或C值愈大,绝热值愈高。

何大于 3/4 英寸厚的空间等 R 值。各种材料的 R 值见附录 3。

图 1—9 列举了两种典型墙壁断面的 U 值，可以看出，非绝热墙壁传导热量是绝热墙壁传导热量的三倍。

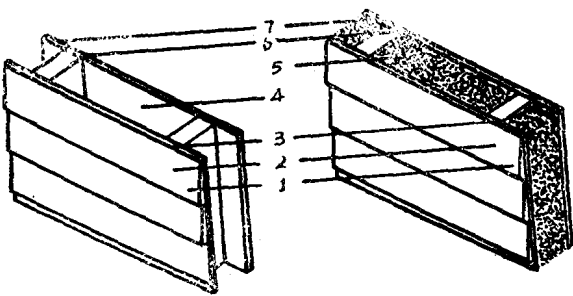


图 1—9 非绝热墙和绝热墙的 U 值比较

墙结构名称	非绝热墙	绝热墙
1 外表面 (风速15米/时)	0.17	0.17
2 木板格子	0.21	0.33
3 1/2英寸绝热贴面	1.33	1.33
4 3/4英寸空气层	0.5	
5 绝热材料		1.01
6 石膏板	0.45	0.45
7 内表面 (贴薄膜)	0.61	0.61
总计(R _t)	4.44	4.43
U	0.23	0.069

在确定出建筑物断面的 U 值之后，就可以计算总热损失了。但是，必须找出外界温度最低值作为设计温度，求得它与正常室温（一般定为 65°F）之差，即可计算出断面每小时的热损失：

$$\text{断面每小时热损失} = \text{断面积} \times \text{温差} \times \text{断面 U 值}$$

为了计算某建筑断面的全年总热损失，还要乘以全年采暖度天数和 24 小时。

$$\text{某断面全年热损失} = \text{断面积} \times 24\text{小时} \times \text{度天数} \times \text{断面 U 值}$$

所谓度天数，是指一天散失多少度的热损失。如某一天室外温度为 64°F，比室内温度 65°F 低 1 度，则采暖负荷就是 1 度天。通常，室内温度以 65°F 为准，也可以选低些（在 60°~65°F 选择），低于这个数值就要采暖。这样，通过全年的天气预报就可以统计出全年所需采暖度天数。

影响全年采暖度天数的因素很多，主要有纬度、地势高低、季候风及大气海洋环流等。表 1—4 列出了美国按纬度给出的全年采暖度天数。

2. 对流

对流热损失不像传导热损失那么容易作定量测定和计算，不过有三种对流热损失是不应忽视的。

第一，对流热损失发生在墙壁内或两层玻璃之间。只要有空气，空气间就有温差，空气就将自然流动。因此，使空气处于静止状态就能增强绝热能力。通常是把窗户密封起

表 1—4

按纬度给出的全年采暖度天数

纬 度	全年采暖度天数
25~32.5	0~2000
32.5~37.5	2000~4000
37.5~41	4000~6000
41~45	6000~8000
45~50	8000~10000
50~55	10000 以上

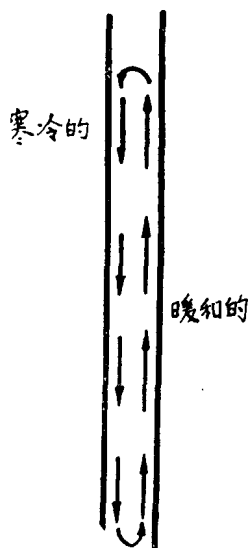


图 1—10 空气层中对流热损失 (箭头的空气对流方向)

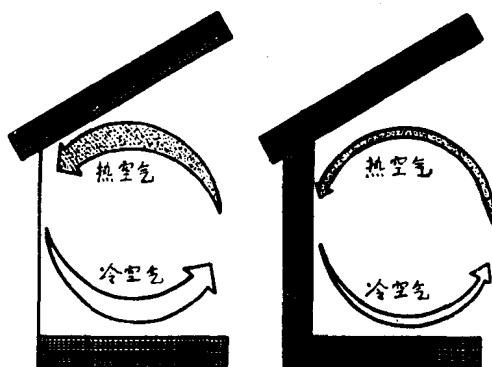


图 1—11 绝热墙与非绝热墙对流损失示意图

1. 暖空气 2. 冷空气 3. 暖表面 4. 冷表面

来,或者在墙壁贴上绝热材料板等,都是有效的方法。应当指出,空气间的宽度必须大于 3\4 英寸,绝热才有效。图 1—10 是热对流损失示意图。

第二,对流热损失发生在建筑物外墙或窗户和间墙之间。一般地说,外墙的室内表面比室内间墙表面温度低,所以如果外墙壁绝热不好也易产生对流,见图 1—11。为了消除窗户台下的冷空气,常常把暖气设备安装在户台下边,这仅是增加室内舒适感的一种好方法,但并不能降低向室外的热损失,这是因为室内外有效温差增大的缘故。

还有一种现象,就是建筑物表面由于其位置不同而绝热值不同的问题。从附录中的材料绝热值中可以看出,水平表面上的空气膜绝热值要比垂直表面的空气膜绝热值大,这是由于空气对流运动沿垂直墙壁向下运动的速度大于水平表面的速度所引起的。同样,当风吹过外界表面时,会使其表面上的空气膜厚度减小。因此,由墙壁损失的热量迅速地传给流动的空气,并被空气带走。图 1—12 表示在不同风速下 U 值的变化情况。用防风屏、防风林等是能够降低这种热损失的。

第三, 对流热损失发生在门、窗、墙缝的空气渗透。这种情况更难作精确的定量计算。下面是通过每扇门窗和门窗框的缝隙长度, 用表 1—5 查得缝隙每小时渗透空气的体积, 估算出渗入室内冷空气被加热到室温所需要的热量。

$$H_{\text{渗透}} = qcdL(t_1 - t_0)$$

式中: q : 每英尺长缝隙每小时渗入室内空气体积

(立方英尺/小时·英尺);

c : 空气比热, 为 0.24;

d : 空气密度(0.75磅/立方英尺);

L : 缝隙计算长度(英尺);

$(t_1 - t_0)$: 室内外温差($^{\circ}\text{F}$)。

对于各种不同类型缝隙来说, 上面公式必须使用总缝隙长度, 它随房间的条件而变。当房间的一面墙与外界相邻时, 应选择整个实测缝隙长度作为计算长度; 当房间有两面墙与外界相邻时, 应选用其中缝隙最长的一面作为缝隙计算长度; 当房间三面或四面墙壁与外界相邻时, 也应选用其中缝隙最长的一面作为缝隙计算长度。温差的确定方法和传导损失的温差确定方法相同。但应指出, 对于最不利的情况, 常常选用室外设计温度和平均风速, 而不是最低温度和最大风速。在计算空气渗透引起的热损失时, 还可以通过采暖度天数代替温差的计算方法进行:

$$H_{\text{季节}} = q \times c \times d \times L \times 24 \times \text{度天数}$$

式中各符号的物理意义同前。

表 1—5 各种缝隙每小时渗透空气的体积

窗 户 类 型	装 配 方 式	风 速 米/小时					
		5	10	15	20	25	30
双层木框窗户	镶在水泥石墙上, 无包铁	3	8	14	20	27	35
	同上, 有包铁	1	2	3	4	5	6
	镶在木框架上	2	6	11	17	23	30
	无风条, 缝隙为 1/16 英寸	7	21	39	59	80	104
	有风条, 缝隙为 1/16 英寸	4	13	24	36	49	63
	无风条, 缝隙为 3/32 英寸	27	69	111	154	199	249
	有风条, 缝隙为 3/32 英寸	6	19	34	51	71	92
双层金属框窗户	无挡风条(封闭)	20	45	70	96	125	154
	无挡风条(不封闭)	20	47	74	104	137	170
	有挡风条(不封闭)	6	19	32	46	60	76

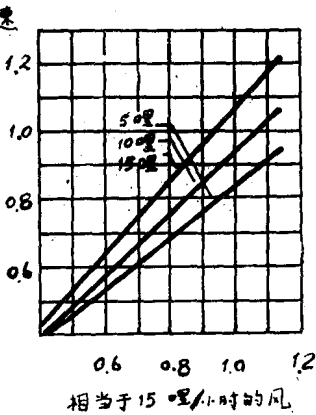


图 1—12 不同风速下 U 值的变化

x —15 英里/时风速下的 U 值 y —不同风速

下的 U 值

3. 辐射

辐射热损失和传导、对流热损失相比是最难计算的，不过它在总损失中占的比例相当小，因此，白天房间里的辐射热损失可以忽略不计。而夜间辐射冷却效应对设计太阳能致冷系统却非常有用。当露点温度很低时，集热器每平方英尺表面、每小时可以把30Btu 以上的热量辐射给寒冷的夜空。表1—6 列举了水平黑色表面的辐射量随室外温度和比湿度变化情况。

表 1—6 水平黑色表面的辐射量

室 外		比 湿 度 (mmHg)										
温 度		1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15
℃	°F	辐 射 量 (卡/平方厘米·分)										
20	68	0.11										
15	59	0.12										
10	50	0.13	0.12									
5	41	0.14	0.13	0.12								
0	32	0.15	0.14	0.13	0.12							
5	41	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11					
10	50	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11				
15	59		0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10		
20	68			0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11		
25	77				0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	
30	86					0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.11

1-4 不透明表面的热通量

在太阳光线照射下，不透明表面（如砖墙、混凝土地面等）的热通量计算公式如下：

$$H = \alpha I_t - \varepsilon \Delta R + h_o(t_o - t_s) \quad (\text{Btu/ft}^2 \cdot \text{h})$$

式中 α ：表面吸收率（%），它表示某种材料吸收光线能力与黑体($\alpha=1$)吸收光线能力之比，见附录4；

I_t ：日照值 ($\text{Btu/ft}^2 \cdot \text{h}$)；

ε ：表面辐射率（%），它表示某种材料的辐射热量能力与黑体($\varepsilon=1$)辐射热量之比，见附录4。

ΔR ：从外界照射在表面上的长波辐射量和室外温度下黑体辐射辐射量之差，($\text{Btu/ft}^2 \cdot \text{h}$)；

h_o ：外表面上辐射和对流的传递系数，($\text{Btu/}^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h}$)；

t_o ：室外空气温度($^\circ\text{F}$)；

t_s ：室外某材料的表面温度($^\circ\text{F}$)。