

沈天行建筑物理 学术论文选集

Selected Works of Prof. Shen Tianxing on Building Physics

沈天行 著
王立雄 等编

沈天行建筑物理学术论文选集

Selected Works of Prof. Shen Tianxing on Building Physics

沈天行 著
王立雄 等编



内 容 简 介

沈天行先生是我国建筑物理学界众多前辈中的杰出代表。沈先生自 1956 年起致力于建筑热工学、建筑光学和建筑声学诸多方面的研究,后专心于建筑天然采光和人工光环境的研究工作。本书收集了部分沈天行先生多年来发表的建筑热工、建筑光学及建筑声学方面的研究成果,论文选集的出版对未来建筑技术学科的发展和进步会起到积极的促进作用。

图书在版编目(CIP)数据

沈天行建筑物理学术论文选集/ 沈天行著;王立雄等编. —天津:天津大学出版社,2013.11

ISBN 978-7-5618-4201-0

I. ①沈… II. ①沈… ②王… III. ①建筑物理学 - 文集 IV. ①TU11-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 288269 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 天津泰宇印务有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm × 260mm

印 张 25

字 数 624 千

版 次 2013 年 12 月第 1 版

印 次 2013 年 12 月第 1 次

定 价 68.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

《沈天行建筑物理学术论文选集》

编写委员会

主 任:	王立雄	天津大学
成 员:	李德富	北京建筑工程学院
	刘 虹	中华人民共和国国家发展和改革委员会
	刘浩江	上海现代建筑设计集团有限公司
	严 卫	得州农工大学(美国)
	袁 磊	深圳大学
	袁景玉	河北工业大学
	孟 涛	华为建筑有限公司

序



沈天行,女,1933年12月生于上海。从事建筑技术科学的研究和教学工作已有五十多年,为我国建筑技术科学专业的建立和发展作出了重大贡献,是我国建筑光学研究的泰斗级人物。

1953年,毕业于天津大学建筑系,此时正赶上我国第一个五年计划,国家急需培养科技领域的教师力量,我被选送到清华大学读研究生。当时苏联专家指出我国建筑物理领域的空白,包括建筑声学、建筑光学及建筑热工三方面,并建议从建筑学的研究生中抽调一名学建筑光学,其他两方面的研究生从工民建中抽调,这样我就被抽调出来学建筑光学。当时苏联专家借给我们每人一本俄文的专业书,我看不懂时想问专家却被专家拒绝了。事情传到了当时任教务长的钱伟长教授那里,钱教授说:“研究生不能没有导师,他不当,我当。”这样我便成了钱伟长教授的研究生。后来,原来从工民建抽调出来的两位研究生又都回到工民建,这样钱教授就要求我一个人把声、光、热全攻读下来,我成为了我国第一个建筑物理研究生。

跟随导师的那段时间,看原文书,写读书报告,写完的读书报告交给导师审阅后,导师把它们送到科学出版社,1955年出版成一本小册子——《天然采光》,书中将苏联天然采光的技术引入并介绍了天然采光的定量计算方法。为了我毕业后能承担建筑物理课的教学,导师钱伟长教授指导我独自按照苏联教学大纲编写了一本《普通及建筑物理》(包括声、光、热)教材,该教材曾被我使用过两届。

在清华读研究生期间,系里曾委派一刚留校的青年教师张永绪和我共同在清华建设建筑物理实验室,并一起于1955年为清华本科生讲授建筑物理课,我主讲建筑光学,张先生主讲建筑声学及建筑热工,我们互相辅导,同时我为北京工业设计院讲授建筑光学课。

1956年,在清华研究生毕业后我回到天津大学任教。此后,以华北工业设计院为首,全市各设计单位的建筑设计人员来学习建筑物理,由我来讲授。不久(约1957年),天津的建筑学会从土木工程学会独立出来成立了建筑物理组,我任组长。天津当时(约1958年)属河北省,河北省的建筑学会也成立了建筑物理组,我任组长。

1958年,我国为迎接1959年的中华人民共和国成立十周年大庆,决定在北京建造人民

大会堂、革命历史博物馆、军事历史博物馆、美术馆、农展馆、北京站、民族文化宫、国家大剧院(未建)等国庆工程,当时中国建筑学会聘请我为国庆工程的顾问,主要负责天然采光方面的工作。

1959年我返回天津大学,同年9月中国土木工程及中国建筑学会聘请我为建筑物理委员会委员;1960年我参与编写《建筑物理》统编教材(试用本)的建筑光学部分;1978年编写了《单层厂房建筑设计》的天然采光;1984年编写了《环境声学及噪声控制》;我于1986年被聘任为教授;1996年建博士点任博士生导师,并编写了《人与物理环境》的光环境部分;1996年9月被建设部评为“全国建筑节能先进工作者”;2004年参与编写了《可再生能源利用与建筑节能》。

20世纪80年代以来,在国家自然科学基金的多次资助下,开发《采用图像处理技术测试光环境的系统》获发明专利。近年来,根据LED的特点开发了多种小功率LED灯,取得了多项专利,并在多处工程上实施,其在节能与防止光污染、保护生态环境方面效果显著。

沈天行

2013年11月

目 录

一、天然采光研究	(1)
太阳辐射强度和建筑日照计算盘的构造原理及应用	(3)
天然采光的未来	(10)
光环境可视化设计技术	(14)
室外建筑遮挡对住宅采光的影响	(15)
天然光照明新技术探讨	(21)
厦门体育馆的天然采光设计	(26)
日照现场检测技术	(33)
将日光引入北向住宅底层的技术	(39)
一种无缝棱镜导光管及其光线传输原理和应用研究	(45)
表面反射膜对无缝棱镜导光管光学特性的影响研究	(50)
光源光束角对棱镜导光管传输效率影响的理论分析及实验研究	(54)
住宅北向进光引起的光热环境变化研究	(58)
多媒体教室的光环境实测调查	(64)
高校多媒体教室的天然光环境问题调查与对策研究	(70)
控光压花玻璃的研究和应用	(76)
柱状棱镜导光管及其光学性能研究	(86)
二、人工光环境研究	(91)
论夜景照明规划	(93)
天津电视塔灯光改造	(97)
关于城市夜景照明技术规范的照明标准值	(103)
室外景观照明的像测处理系统	(108)
光照环境的节能	(112)
介绍几个广场的灯光创意	(117)
城市夜景照明现状剖析	(122)
一种基于投光灯的配光特性图像表示法	(127)
立交桥区照明设计实践	(133)
略谈城市夜景照明设计及光污染	(138)
天向逸散型光污染的现状与控制	(141)
我国照明需求量未来发展趋势分析	(148)
LED 进入普通照明市场的预测及照明节电分析	(153)
眩光持续时间的主观反应的测试	(159)
小功率 LED 路灯	(165)
古建筑夜景照明设计和小功率 LED 在设计中的运用	(170)

小功率 LED 在中国古建筑景观照明中的应用研究	(175)
天津市交通广场照明调查分析及评价研究	(180)
三、计算机辅助光环境研究	(187)
用图像数字化处理进行采光测试	(189)
图像数字化处理在建筑光学上的应用——研究光环境及色环境的新手段	(200)
用图像处理进行采光测试和研究	(207)
光源与物体色显现关系的仿真技术探讨	(216)
室外泛光照明光照效果仿真系统	(222)
灯光可视化设计及测试系统	(230)
探析计算机辅助智能配色方法	(231)
建筑光环境研究的新手段	(235)
三维动画人体运动控制方法综述	(238)
用图像数字化处理技术测试 LED 的光参数	(244)
HDRI 图像在照明辅助计算中的应用	(249)
利用图像数字化处理技术分析室外遮挡对采光的影响值	(252)
虚拟与现实——电视演播室照明设计的计算机模拟	(259)
利用图像数字化处理研究标准全云天空下采光系数	(266)
利用 SM 光环境测试系统进行隧道光环境的测试与研究	(273)
四、建筑热工研究	(279)
红外热像仪在建筑物上的应用	(281)
远红外影像节能诊断仪的研制	(283)
利用红外测试技术进行建筑节能效果评价的研究	(291)
供暖负荷计算中确定太阳能因素的新手段	(295)
谈谈内保温做法	(301)
夏季室外热环境实验研究	(303)
谈谈夏热冬冷地区的保温做法	(308)
太阳辐射下不同地表覆盖物的热反应及对城市热环境的影响	(311)
透明蓄水围护结构技术原理分析	(316)
当代科技影响下的建筑设计方法论之特征	(323)
北方寒冷地区外窗合理利用太阳辐射的研究	(329)
建筑节能的方方面面	(335)
五、色彩环境研究	(339)
建筑色环境黑白自定量摄取的彩色再现	(341)
检测建筑环境色彩的一种计算机方法	(346)
建筑色环境视觉心理的分析专家系统	(349)
室内环境气氛与微机辅助室内色彩设计	(355)
色刺激参数的数字化处理	(363)
城市夜景照明的色彩真实再现及定量方法	(368)
夜景照明环境中色彩的数字化定量	(371)

利用“原色漂移量调整法”校准数字图像色度值	(375)
六、建筑声学研究	(379)
厅堂音质可听化模拟系统研究	(381)
七、建筑物理教学	(387)
谈谈建筑物理课的实验	(389)

一、天然采光研究

太阳辐射强度和建筑日照计算盘的构造原理及应用*

[摘要] 本文介绍的计算盘由三个盘及一根滑尺组成,它能计算全球任何时间、任何地点的太阳高度角及方位角,也能计算任何地点、任何时间水平面及任意倾斜面上的太阳辐射强度,同时能方便地计算出建筑物的间距、阴影及室内的日照区。日照计算盘查算方便、功能多样,能查算得到集热器、集热墙或太阳房在不同季节、不同时间接收到的太阳能,房屋之间阳光不被遮挡的最小间距,夏天遮阳板的尺寸以及外墙面及屋顶上接收到的太阳辐射热。

本计算盘由三个盘及一根滑尺组成。计算盘 I (图 1) 的左部为半圆,它是天空的侧投影,其基线代表地平面,半圆代表在地平面上的天空,基线的中垂线与半圆的交点为天顶。太阳的高度角由一组平行于地平面的纬线表示,其度数在半圆的左侧标出。太阳的方位角由一组通过天顶的经线表示,其度数标在基线下面,0°为正南,向东为正,向西为负。若知道太阳在天空侧投影图上的位置,便可从计算盘 I 上读出太阳的高度角及方位角。

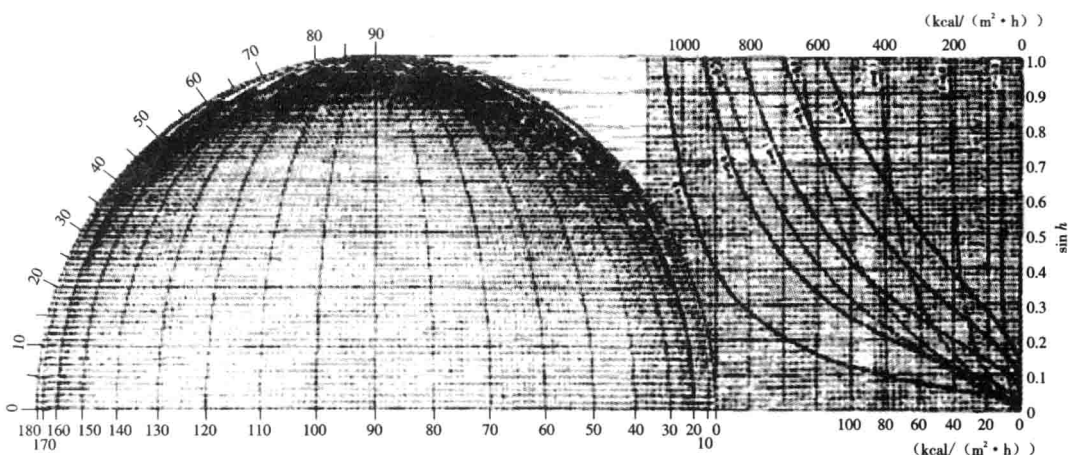


图 1 计算盘 I

假设太阳光与投射平面的夹角为 α , 则太阳在任意平面上的直射辐射强度

$$I_i = I \sin \alpha$$

式中: I ——太阳在其法线面(垂直于太阳光线的平面)上的直射辐射强度,且有

$$I = 1164 P_{\sin h}^{\frac{1}{4}} (\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}))$$

其中: P ——大气透明度;

h ——太阳高度角。

由上式可知,某平面上太阳直射辐射强度取决于太阳在其法线面上的直射辐射强度及太阳光与投射平面的夹角。当投射平面为水平面时, α 等于太阳高度角 h ; 当为其他倾斜面

* 本文于 1982 年 10 月发表于《太阳能学报》第 3 卷第 4 期。

时, α 可由旋转计算盘求出。

将计算盘 I 上太阳高度角的正弦 $\sin h$ 作为纵坐标; 把不同大气透明率下的法线面上的直射辐射强度 I 绘在计算盘 I 的右侧, 用实线表示, 其辐射强度值标在该图的上方。

太阳辐射强度除直射部分外, 还包括天空散射的辐射强度 $I_{H.S}$, 且

$$I_{H.S} = 1.2 \times 10^4 \sin h \frac{1 - P^{\frac{1}{\sin h}}}{1 - 1.4 \ln P} \times (1 - P) \text{ (kcal/(m}^2 \cdot \text{h))}$$

可见, 太阳直射辐射强度和散射辐射强度均是大气透明率 P 与太阳高度角 h 的函数。

计算盘 I 右侧是一组曲线, 太阳高度角的正弦为纵坐标, 不同大气透明率下法线面上的直射辐射强度用实线表示, 其值标在图的上方, 散射辐射强度用虚线表示, 其值标在图的下方。

计算盘 II (图 2) 是一个圆盘, 该盘是天球的侧投影。从计算盘 II 能找出不同季节、不同时刻太阳在天球上的位置。圆盘上的一组平行线为一年中太阳在几个有代表性的位置所对应的日期, 标在圆盘左右两侧, 其中垂线代表天轴, 北端标有 N, 南端标有 S; 穿过平行线的一组曲线为时间线, 实线每格代表 1 h, 虚线每格代表 15 min。这样便能由日期 (赤纬) 和小时 (时角) 从计算盘 II 上找到太阳在天球上的位置。

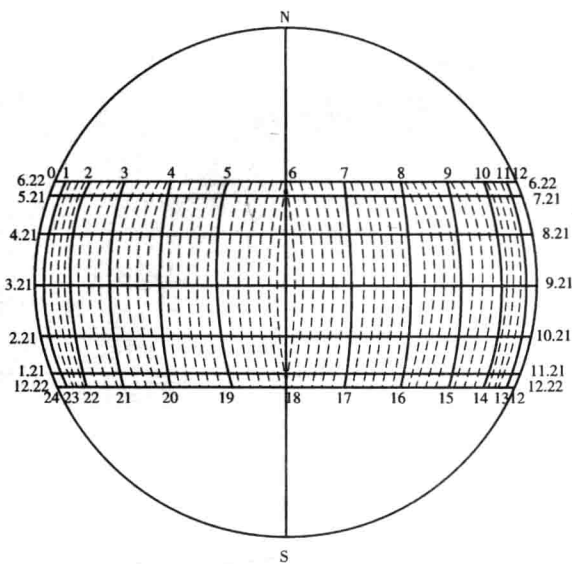


图 2 计算盘 II

由于地球上不同纬度的地平面与地轴的夹角等于纬度, 因此在天球上地平面与天轴的夹角亦为纬度 φ 。旋转计算盘 II, 使天轴与计算盘 I 的夹角等于纬度 φ , 并从计算盘 II 上找到某日某时太阳在天球上的位置, 便可立即从计算盘 I 读出纬度为 φ 处的太阳高度角、方位角、法线面上太阳直射辐射强度 I 及天空散射的辐射强度 $I_{H.S}$ 。

当投射平面为南北向倾斜时, 可旋转计算盘 II, 使天轴与地平面的夹角等于 $\varphi - \theta$, 其中 φ 为该地的纬度, θ 是投射平面的倾角 (向南倾斜为正, 向北倾斜为负), 此时从计算盘 I 上高度角度盘读出的即为 α 角。

当投射平面与正南呈 ψ 角的方向倾斜时, 可先旋转计算盘 II, 使天轴与地平面的夹角

为 φ , 再找出此时此地太阳的高度角 h 和方位角 A , 然后找出高度角为 h 、方位角为 $A - \psi$ 在计算盘 II 上的位置 m (A 及 ψ 都是以正南偏东为正、偏西为负), 再旋转计算盘 II 使天轴与地平面的夹角等于 $\varphi - \theta$, 此时 m 点在高度角度盘上所对应的位置即为太阳光与投射平面的夹角 α 。

此时, 任意面上太阳辐射强度

$$I_i = I \sin \alpha + \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) I_{H.S} + I_r$$

式中: I ——太阳在法线面上的直射辐射强度;

I_i ——太阳在投射平面上的总辐射强度;

α ——太阳光线与所求面的夹角;

$I_{H.S}$ ——天空散射的辐射强度;

θ ——投射平面的倾角;

I_r ——地面反射辐射强度, 且有

$$I_r = (I_d + I_{H.S}) \rho \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

其中: I_d ——地平面上直射的辐射强度;

ρ ——地平面的反射系数。

为便于计算水平面和垂直面上太阳辐射强度以及房屋间距、遮阳板尺寸等, 我们可以将太阳光分成 x 、 y 、 z 三个分量 (图 3)。图中 $abdc$ 平面与地平面垂直, 它的法线与正南的夹角为 ψ (称为朝向角, 偏东为正, 偏西为负)。太阳光投射方向为 $a'd$, 从图 3 可得

$$y = z \cot h \cos(A - \psi) = a'd \cos h \cos(A - \psi) \quad (1)$$

$$x = z \cot h \sin(A - \psi) = a'd \cos h \sin(A - \psi) \quad (2)$$

$$z = a'd \sin h \quad (3)$$

由式(1)至式(3)可知, 若太阳在法线面上的直射辐射强

度 $I = a'd$, 则 z 即为水平面上的太阳辐射强度, y 即为在垂直面 $abdc$ 上的直射辐射强度, x 即为垂直面 $bb'd'd$ 上的直射辐射强度。若 z 为窗高, 则 y 为遮阳板需探出的长度, x 为遮阳板横向探出的宽度 (图 4)。若 z 为建筑物的高度, 则 y 为房屋的间距或在建筑物后方阴影的长度, x 为阴影在建筑物侧向的长度 (图 5)。在计算室内日照区时, 若设 z 为窗户上皮到地面的距离, 则 y 即为日照区边线至墙面的距离 (图 6)。

用计算盘 III 及一支直尺可方便地计算出太阳光的 x 、 y 、 z 分量。计算盘 III (图 7) 是一个半圆盘, 左边的方格是计算辐射强度及建筑日照尺度的, 滑尺垂直于计算盘 I 的基线, 能左右移动。

若使计算盘 III 的 oy 与计算盘 I 的地平线之间夹角为 h , 并在 oy 线上取 oz , 使它等于太阳法线面上的直射辐射强度 I , 平移滑尺至 z 点, 则直尺上的读数便等于 $I \sin h$, 它即为水平面上的直射辐射强度。若 oy 与地平线的夹角为 α , 则滑尺上的读数即为任一倾斜面与太阳投影光成 α 角时的直射辐射强度。

旋转计算盘 III, 使 oy 与计算盘 I 基线的夹角为 h , 并在滑尺上取一长度等于 z 的线段

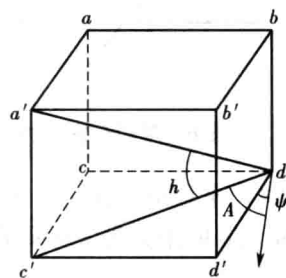


图 3 太阳光的各分量

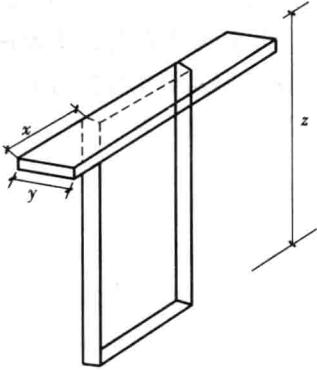


图 4 遮阳板尺寸

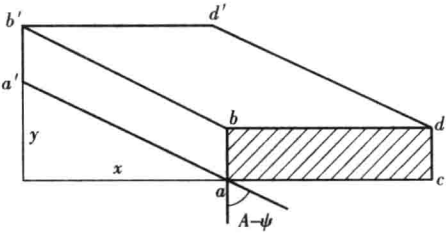


图 5 建筑物阴影长度

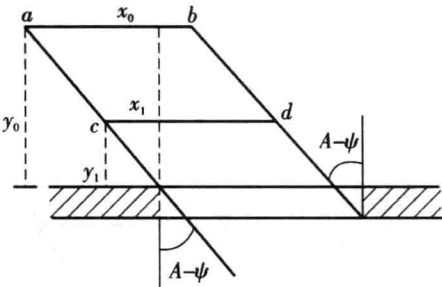


图 6 某时刻室内的日照区

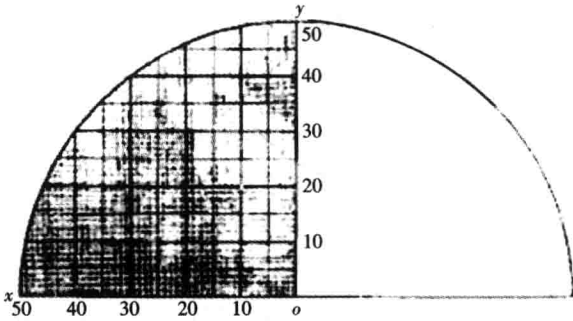


图 7 计算盘 III

(图 8), 平移滑尺使它与 oy 相交, 而滑尺上交点至起点的距离正好等于 z , 则滑尺到计算盘 III 原点 o 的距离为 $z \cot h$, 再旋转计算盘 III, 使 oy 指向 $A - \psi$, 则可得

$$\begin{aligned} oK &= z \cot h \cos(A - \psi) = y \\ HK &= oG = z \cot h \sin(A - \psi) = z \end{aligned}$$

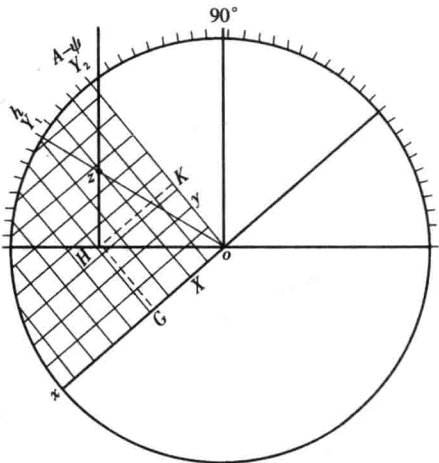


图 8 太阳光分量的计算原理

例 1 求北纬 30°地区,夏至下午 3 时水平面上的辐射强度及南偏西 20°墙面上的太阳辐射强度。设当地当时的大气透明率 $P=0.6$ 。

- 解** (1) 将天轴对准计算盘 I 上 30°的地方。
(2) 在计算盘 II 上找出 6 月 21 日下午 3 时太阳的位置。
(3) 从计算盘 I 上读得太阳的高度角为 50°,方位角 $A = -92^\circ$ 。
(4) 沿高度角 50°的水平线与 $P=0.6$ 的实线相交,由图上方读出该地该时法线面上太阳辐射强度为 $600 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (图 9)。

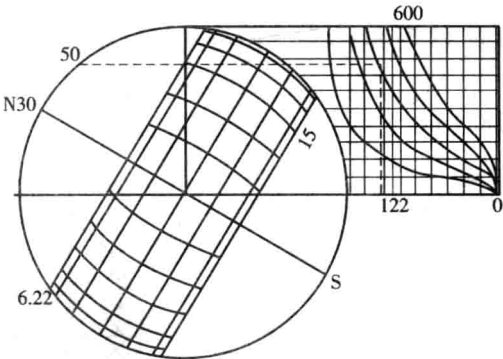


图 9 计算法线面上太阳直射辐射强度及水平面上散射辐射强度

1- $P=0.5$, 2- $P=0.6$
3- $P=0.7$, 4- $P=0.8$

(5) 沿高度角 50°的水平线与 $P=0.6$ 的虚线相交,由图下方读出该地该时天空散射太阳辐射强度为 $122 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (图 9)。

(6) 旋转计算盘 III,使 oy 指向高度角 50°的位置,在 oy 轴上取 600,平移滑尺使它经过 600 这一点,此时 oy 线与直尺相交,其交点在滑尺上的读数为 $460 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,此值即为地平面上的辐射强度 (图 10)。

(7) 再旋转计算盘 III,使 oy 指向角度 $|A - \psi| = |-72^\circ|$,此时直尺垂足与计算盘 III ox 轴的距离为 $I \cos h \cos (A - \psi)$,即为该墙面的辐射强度,从计算盘 III 的 oy 坐标上可读得该值为 $120 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (图 11)。

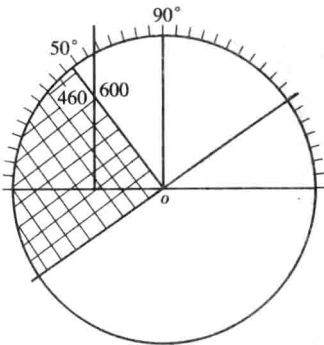


图 10 计算地平面的太阳辐射强度

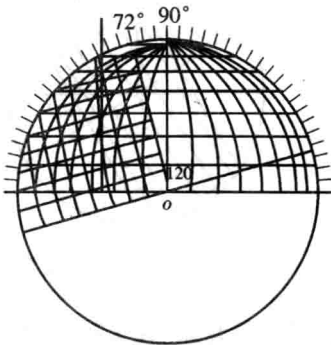


图 11 计算垂直面上的太阳辐射强度

水平面上的总辐射强度为 $460 + 122 = 582 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

由于垂直面所得的散射辐射强度为总散射辐射强度的 $1/2$, 因此垂直面上的总辐射强度

$$120 + 122 \times 1/2 = 181 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

例 2 在北纬 40° 地区, 建筑朝南偏东 20° , 建筑高 10 m , 要求冬至日 12 时及 13 时能照到阳光, 求建筑间距。

解 (1) 利用计算盘 I、II, 算出北纬 40° 地区冬至日 12 时太阳高度角为 26.5° , 方位角为 0° ; 13 时太阳高度角为 25° , 方位角为 -16° 。

(2) 根据建筑物高度及 12 时和 13 时太阳高度角与方位角, 计算出相应的间距为 18.6 m 及 16.5 m (图 12)。

最后取建筑间距为 18.4 m 。

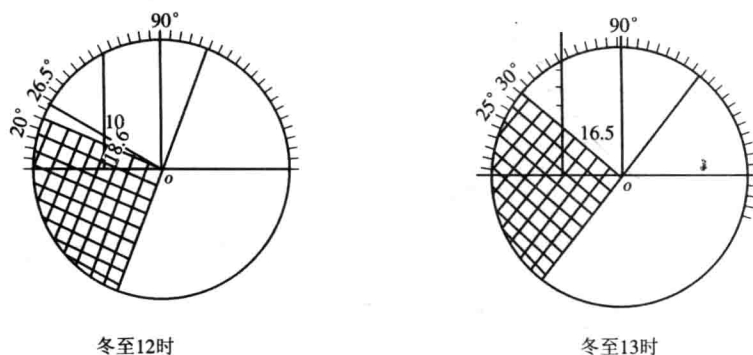


图 12 房屋间距计算

例 3 求北纬 30° , 夏至日下午 3 时, 南偏西 30° 、倾斜 20° 的投射面上太阳直射辐射强度。

解 (1) 根据例 1 得 I 为 $600 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $h = 50^\circ$, $A = -92^\circ$ 。

(2) 计算盘 II 不动, 在上面找出南偏西 30° 的一点 m , 其高度角等于 50° , 方位角等于 $-92^\circ - (-30^\circ) = -62^\circ$ (图 13)。

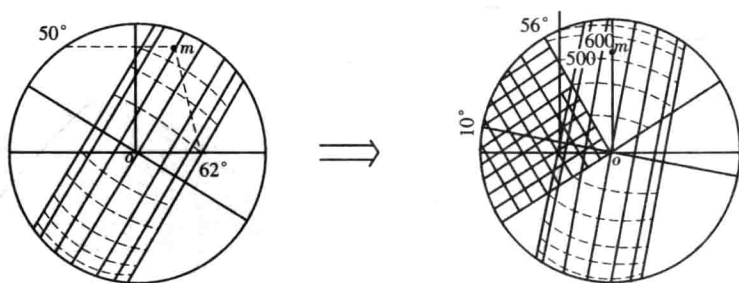


图 13 任意倾斜面上太阳直射辐射强度的计算

(3) 旋转计算盘 III, 使天轴与地平面的夹角等于 $30^\circ - 20^\circ = 10^\circ$, 此时从计算盘 I 上读得 $\alpha = 56^\circ$ (图 13)。

(4) 将计算盘 III 的 oy 轴指向 56° , 并在 oy 轴上找出 600 的位置, 移动滑尺使之与该点相