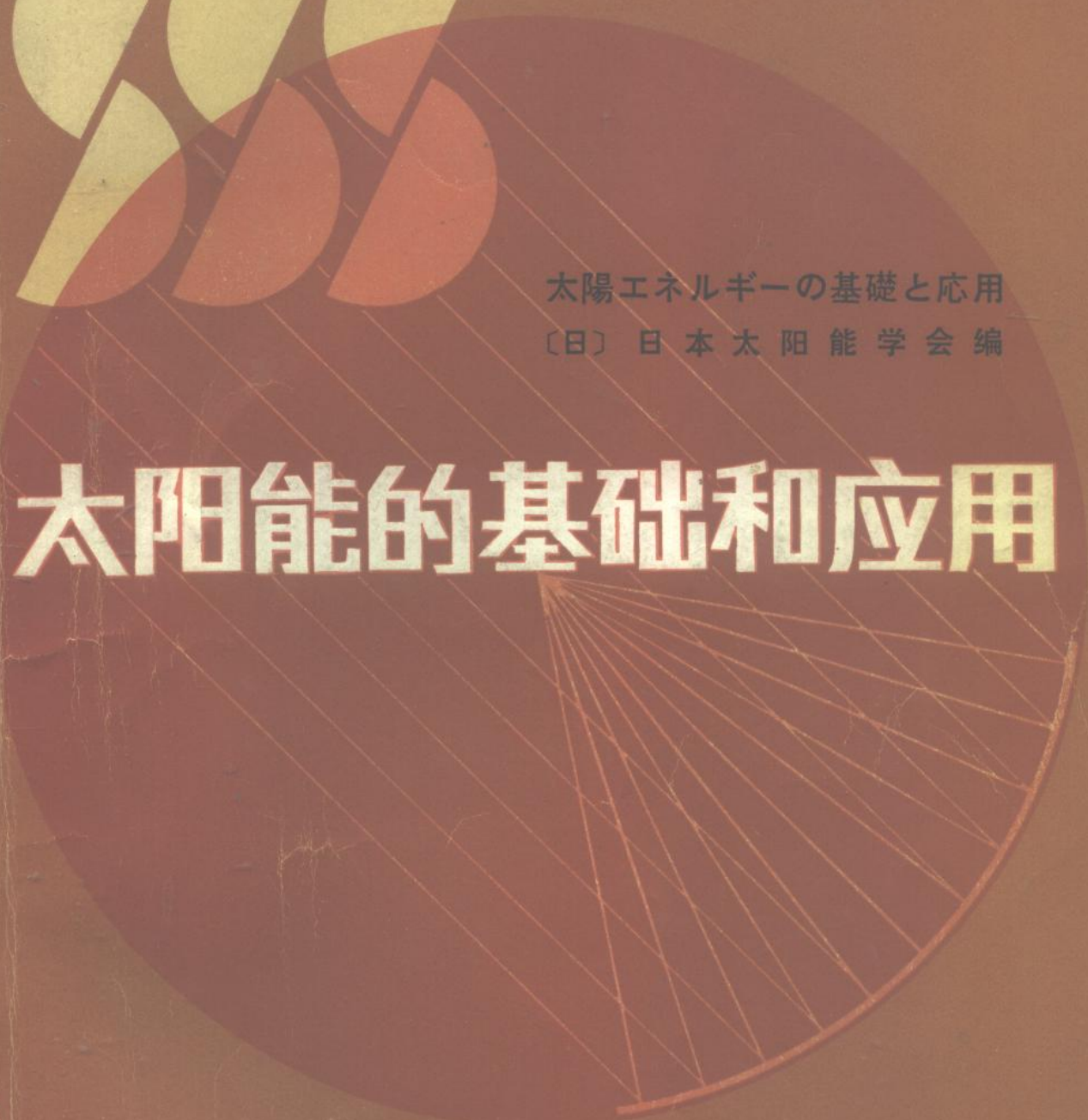




太陽エネルギーの基礎と応用
〔日〕日本太陽能学会編

太阳能的基础和应用



刘鉴民 李安定等译 韩 朔 梁正和校
上海科学技术出版社

72.9
141

太阳能的基础和应用

日本太阳能学会 编

刘鉴民 李安定 等译

韩 朔 梁正和 校

31624/20

上海科学技术出版社

太阳能的基础和应用

日本太阳能学会 编

刘鉴民 李安定 等译

韩 朔 梁正和 校

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14.5 字数 342,000

1982年8月第1版 1982年8月第1次印刷

印数 1—9,200

统一书号: 15119·2192 定价: (科五) 1.50 元

作者一覧表

第1章	村井 潔三	気象研究所	理学博士
	松尾 陽	東京大学助教授	工学博士
第2章	田中 忠良	電子技術総合研究所	工学博士
	作田 宏一	電子技術総合研究所	
第4章	浅野祐一郎	昭和アルミニウム株式会社	工学博士
第5章	中島 康孝	工学院大学教授	工学博士
第6章	谷下 市松	幾徳工業大学学長	工学博士
第7章	木村 健一	早稻田大学教授	工学博士
	田中 俊六	東海大学助教授	工学博士
第3章	石橋 敏宏	矢崎部品株式会社	
第8章			
第9章	堀米 孝	電子技術総合研究所	工学博士
	谷 辰夫	電子技術総合研究所	
第10章	久留 勇	東京芝浦電気株式会社	工学博士
第11章	櫻井 武麿	東北大学名誉教授	理学博士
第12章	押田 勇雄	上智大学教授	理学博士

译者序

人类很早(约三千多年前)就有利用太阳能的历史记载。但是,对太阳能进行大规模开发利用,并引起国际上的普遍重视,不过是近二十多年的事。

太阳能是一种洁净的自然再生能源,取之不尽,用之不竭。而且太阳能是所有国家和个人都能够得以分享的能源。为能经济有效的利用这一能源,人们从科学技术上着手研究太阳能的收集、转换、贮存及输送,已经并正在取得显著进展,这无疑对人类的文明具有重大意义。地球上石油等非再生能源资源,日久终将枯竭,因此,太阳能的利用,其深远意义似乎是很难根据目前的所谓经济效益的观点概括得了的。我们要从人类的未来看待能源新技术的发展。

本书是由日本太阳能学会组织日本从事太阳能研究的十二位专家、学者,分头执笔,撰写自己所从事的专题研究成果,最终汇编而成的。虽出之于不同作者之手,但全书层次合理,内容统一。从某种意义上来说,代表了日本在太阳能开发利用方面的现代水平。因此,我们翻译出来,介绍给从事太阳能研究的同行及关心太阳能利用的各方面人士,相信会有裨益,能对我国太阳能事业的发展,贡献一点微小的力量。

本书介绍了太阳能利用的基础知识和各种装置的理论设计方法。内容简练,条理清楚。书中所列许多公式和图表,可以直接引用,而这些公式和图表,又是从事太阳能研究的广大科技人员所必须熟知的。全书没有冗长的数学推导,阅读起来并不乏味。因此,可作为从事太阳能开发利用工作者的一本较理想的专业参考书。

本书是几位同志合译的,第1章由郭廷玮译,第2、4、5章由李安定译,第3、6、10、12章由刘鉴民译,第7章由林德芳译,第8章由王德录译,第9章由张勇译,第11章由徐任学译。由于译者水平有限,错误之处在所难免,谨请广大读者,多加指正。

译者 1981年12月于北京

序

1973年发生的石油危机,敲响了燃料资源有限的警钟,并预示从现在起,约十年之后将发生第二次石油危机。为此,今天世界各国都在竭尽全力地进行节省能量和开发新能源的研究工作。太阳能被看作是具有代表性的新能源,所以,人们就它的直接利用,积极地从事调查研究和推广普及是不言而喻的。

令人欣慰的是:作为对能源开发工作的一点贡献,本学会于1975年编写了有关太阳能利用的普及启蒙读物《太阳能读本》一书,由オーム出版社出版,受到公众的赞许,博得了很高的评价。

这次,作为《太阳能读本》的姊妹篇,我们编写了《太阳能的基础和应用》,后者较之前者增添了一些专门的内容,仍由オーム出版社出版,以供同行们参考。本书内容包括太阳能利用装置的设计、制造以及实际应用方面大量有用的资料,关于各种装置的理论和设计,均由各自领域的一流专家执笔。

书中第1章,详细地介绍了利用太阳能时首先必须掌握的太阳辐射量,以及它的强度,测量方法和测量结果的数据;倾斜面太阳辐射量的量取方法,标准气象资料等。第2、3章,分别详尽地论述了各种太阳能利用装置的设计所必需的聚光集热器与平板集热器的理论和应用。第4章叙述了各种集热器的材料和它的耐久性。而关于集热器材料的知识,对于任何类型太阳能利用装置都是极其重要的。第5章扼要地叙述了作为太阳能的固有特性,即它在时间分布上的不均所必要的蓄热装置的理论和应用。以上五章的内容,对太阳能利用的任何领域都是共同而必须具备的基础知识。

第6章以后,就各个领域的太阳能利用装置,叙述了它们的理论和设计方法。即:第6章热水器;第7章太阳热采暖;第8章太阳热致冷采暖;第9章太阳热发电;第10章太阳光发电;第11章太阳炉。以上各章皆引用了国内外的应用实例,提供了大量的设计资料。最后,第12章还介绍了太阳能开发方面存在的问题,并特别讨论了太阳能利用的经济性。

统观编写的全书内容,感到本书作为太阳能利用的专著,其内容比预想更为丰富。当能源问题成为当前重要课题提出之际,本书的问世,可说是合乎时宜的。

据悉,日本作为世界经济大国,目前正在采取这样一些措施并作为政府的一项政策加以推行:拨出大量外汇,与美国以及其它国家联合进行新能源的开发研究;就同一问题,对发展中国家起指导作用;在国内,提供补贴来推进太阳房的普及等。因此我们认为,关心太阳能利用和参加这一工作的科技工作者也将日益增多。如果本书成为人们的益友,并能在解决能源问题方面做出哪怕是微小的贡献,编者也将不胜喜悦。

日本太阳能学会会长
工学博士 谷下市松
1978年8月6日

目 录

第1章 太阳能的量和强度	1
1.1 太阳辐射量和测量仪	1
1.2 有关太阳辐射的各种量	10
1.3 太阳辐射量的工程处理	21
第2章 聚光集热器的理论和应用	26
2.1 聚光理论	26
2.2 集热理论	31
2.3 传热理论	33
第3章 平板集热器的理论和应用	44
3.1 概述	44
3.2 分类	44
3.3 结构	47
3.4 集热量和集热效率的计算	52
第4章 集热器的材料和耐久性	65
4.1 概述	65
4.2 集热器应具备的性能和材料	65
4.3 集热器耐久性的提高	80
第5章 蓄热的理论和应用	86
5.1 概述	86
5.2 致冷采暖设备的蓄热	86
第6章 热水器的理论和设计	108
6.1 概述	108
6.2 热水器性能的理论计算	110
6.3 热水器性能的实际测量和年集热量的预测	113
6.4 自然循环式热水器的设计方法	117
6.5 固定式热水器的设计方法	122
第7章 太阳热采暖的理论和设计	124
7.1 概述	124
7.2 太阳热自然采暖与致冷	128
7.3 太阳热采暖系统	133
7.4 太阳热热泵(致冷)采暖系统	143
第8章 太阳热致冷采暖, 供热水系统	149
8.1 概述	149
8.2 太阳热驱动致冷机	150
8.3 太阳热致冷采暖, 供热水系统的设计	160

第 9 章 太阳热发电的理论和设计	169
9.1 太阳热发电的基本系统	169
9.2 各种热发电系统	179
第 10 章 太阳光发电的理论和设计	187
10.1 概述.....	187
10.2 太阳能电池的工作原理.....	187
10.3 太阳能电池的能量转换效率.....	190
10.4 太阳光发电装置.....	195
10.5 太阳能电池的现状和今后的课题.....	198
第 11 章 太阳炉的理论和设计	201
11.1 绪言.....	201
11.2 太阳炉的基础.....	201
11.3 理论聚光比和可达到的温度.....	205
11.4 大型太阳炉的设计和制造.....	208
11.5 用太阳炉进行的高温研究.....	212
11.6 结束语.....	215
第 12 章 太阳能开发上的诸问题	217
12.1 存在问题.....	217
12.2 天空辐射光的利用.....	217
12.3 没有跟踪的聚光.....	218
12.4 第三聚光方法.....	218
12.5 朔观点的引入.....	219
12.6 技术主义观点的引入.....	221
12.7 太阳能利用和价格问题.....	221

太阳能的量和强度

1.1 太阳辐射量和测量仪

利用太阳的辐射作为能源时的基本问题之一,是关于入射的太阳辐射量的绝对值及其变化量,当设计各种装置时这些就成为必需的基本量。一旦把这些资料汇集起来加以利用时,往往会感到适合于需要的资料不足或者测量值的精度有问题。例如,不同波长的太阳辐射量,倾斜面上入射量的绝对值,或者太阳辐射量随气象条件的变化量等都缺乏足够的资料。结果,为了弥补这些资料的不足,迫切需要太阳能工作者亲自动手进行测量。另外,随着太阳能利用技术的进步,需要的太阳辐射资料又多,精度要求又高,这样,很多就需要重新测定。目前,太阳辐射测量仪多数是作为气象测量仪的日射计,本章主要介绍可供实用的日射计的种类、特征和存在的问题。

[1] 太阳辐射量的各组分 太阳射出的辐射在通过地球大气而到达地面时,受到散射和吸收的效应。散射效应有空气分子和大气中浮游的微粒(悬浮微粒)产生的两种,两者的性质大不相同,处理方法也很不一样。前者称为雷利散射,后者称为米氏散射。就吸收效应来说,水蒸气引起的近红外区吸收最为显著,其次是臭氧引起的紫外吸收。此外,还有氧气等分子产生的吸收,不过非常轻微,在讨论到达地面的太阳辐射量时,可予以忽略。

以上所述的是没有云的情况,实际上,对每天的太阳辐射量的影响,最大的是云产生的散射和吸收。云表面产生的反射非常大,在整个天空被厚云覆盖的情况下,到达地表的太阳辐射量有时不到入射量的 10%。而在积云散开时,从云的侧面向地面的反射最强,因此,有时在局部地区测得的太阳辐射量比没有云时还大。可见,云效应的表现方式非常复杂,变化量也很大。实际上大气中通常都有云存在,一片云都没有的天气是特殊情况。因此,就太阳能利用领域中的太阳辐射问题来说,有关云对太阳辐射影响的知识非常重要。

在探讨受上述各种效应的太阳辐射量时,一般都将太阳辐射量分成若干组分。即:入射到大气上层的太阳辐射量 $I_0(\lambda)$; 在大气中不受任何影响而到达地面的直接太阳辐射 $I(\lambda)$; 经受散射后入射到地面的散射太阳辐射 $D(\lambda)$; 由散射引起的向上太阳辐射 $K\uparrow(\lambda)$; 地面反射的向上太阳辐射 $R(\lambda)$; 向上通过大气层再向大气层外逸散的太阳辐射 $K_0\uparrow(\lambda)$; 以及大气中各种物质吸收的太阳辐射 $A(\lambda)$ 。若这些太阳辐射用图表示出来,则成为图 1.1。若用上述各个组分计算入射到地面的太阳辐射时,则有

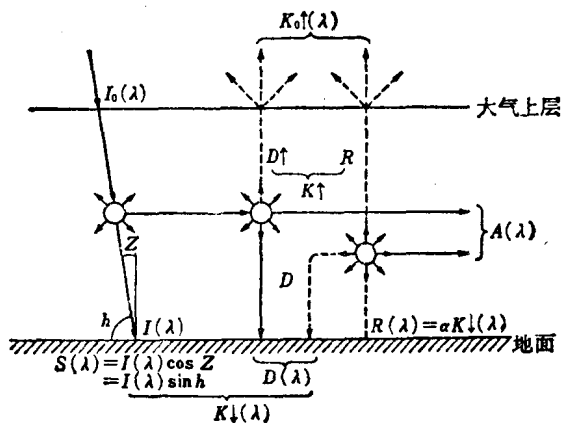


图 1.1 地球大气中的太阳辐射组分

$$I_0(\lambda) - K_0\uparrow(\lambda) = K\downarrow(\lambda)(1-\alpha) + A(\lambda) = [S(\lambda) + D(\lambda)](1-\alpha) + A(\lambda) \quad (1.1)$$

式(1.1)的左边表示大气上层中的净辐射通量,这个量具有地球及其大气热源的作用。当然,在求作为大气运动的原动力的热能时,以红外辐射的形式向大气外逸散的能量是很重要的,不了解这一点,就不能正确地求得有效作用于大气的热量。但在这里我们准备详细叙述红外辐射,而只是按照 WMO (世界气象组织)确定的定义,以一览表的形式介绍一下辐射主要组分。

表 1.1 辐射的各组分

	向 下 辐 射 ($Q\downarrow$)	向下太阳辐射和大气辐射	$Q\downarrow = K\downarrow + L\downarrow$
1	全天太阳辐射($K\downarrow$)	由立体角 2π 的各个方向向下入射到水平面的直接太阳辐射和散射太阳辐射之和	$K\downarrow = S + D$
	直接太阳辐射的垂直分量(S)	太阳表面直接入射到水平面的太阳辐射	$S = I \cos Z = I \sin h_0$ Z : 太阳天顶角 h_0 : 太阳高度角
	直接太阳辐射(I)	由太阳表面直接入射到与入射方向垂直的平面上的太阳辐射	
	散射太阳辐射(D)	除立体角 2π 中太阳表面所占的立体角外,从各个方向入射到水平面的散射太阳辐射	
	向下大气辐射($L\downarrow$) ($A\downarrow$)	大气向下射出的长波辐射	$L\downarrow = A\downarrow$
	向上辐射($Q\uparrow$)	向上的太阳辐射和地面以及大气向上发射的长波辐射之和	$Q\uparrow = K\uparrow + L\uparrow$
2	反射引起的向上太阳辐射($K\uparrow$) (R)	地面反射的太阳辐射和大气向上散射的太阳辐射之和	R 仅为地面反射的分量 $K\uparrow = R + D\uparrow$
	向上地球辐射($L\uparrow$)	地面和大气向上发射的长波辐射	$L\uparrow = A\uparrow + \tau + L_g$
	向上大气辐射($A\uparrow$)	大气向上发射的长波辐射	
	反射大气辐射(τ)	地面反射的长波辐射	
	地面辐射(L_g)	地面发射的长波辐射	
	净辐射量(Q^*)	由向下和向上辐射之差求出的辐射量	$Q^* = Q\downarrow - Q\uparrow = K^* + Q_g^*$
3	净太阳辐射量(K^*)	由向下和向上太阳辐射之差求出的太阳辐射量	$K^* = K\downarrow - K\uparrow$
	净地球辐射量(L^*)	由向下和向上地面辐射之差求出的长波辐射量	$L^* = L\downarrow - L\uparrow$
	太阳常数(I_0)	地球与太阳位于其平均距离时,入射到大气层外与入射方向垂直的平面上的太阳辐射量	$I_0 = 1.94 \text{ 卡} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{分}^{-1}$

以上是作为气象要素的辐射各组分,除了最后一项太阳常数(I_0)外,其它组分都随地球大气的状态而发生显著的变化,并以不同的比例分布着,这种比例无论在空间上或时间上都有所不同,这是大气大循环的原动力,而且也是气候变化的主要原因之一。

[2] 辐射测量 太阳辐射测量按下述方法进行: 先将入射到受光面上的太阳辐射能全

部吸收,然后使之变换成其它形式的能量并进行测量。因此,应该考虑的问题大致分为受光面的吸收率和能量的变换方法两者。就受光面来说,在直接太阳辐射测量和全天太阳辐射测量的情况下,稍有不同,但最重要的一点就是受光面将入射的辐射能全部加以吸收。对此,简单的办法是使用黑色涂料,而能够完全吸收的涂料并非容易得到。目前,用于日射计中质量最好的具有代表性的一种黑色涂料,是称之为 Parsons 光学黑漆的涂料,它是一种吸收率可达 99% 以上,而且不随波长而变化的良好的吸收涂料。但它是一种外国产品,进口麻烦。总之,无法得到可以保证吸收率为 100% 的物质,而且,每个受光面的吸收率到底是百分之几必须进行实测,这是进行辐射绝对测量的最大障碍之一。不久以前,有人做过这样的尝试,他不仅利用涂料而且还用空腔制成了作用接近于完全黑体的装置,并依靠它将入射辐射完全加以吸收,得到了良好的结果。如何用这种方法制造出用于测量绝对辐射量的辐射计,已成为近年来的重大课题。

有关受光面的另一个问题,是在测量对受光面以任意入射角入射的辐射通量时产生的。全天太阳辐射量的测量就是一个例子,按照前面[1]中的定义,全天太阳辐射量可表示为

$$K\downarrow = S + D = I \cos Z + \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} i(\theta, \varphi) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (1.2)$$

来自各个方向的辐射同时入射到受光面上。式中, $i(\theta, \varphi)$ 是来自 (θ, φ) 方向的入射太阳辐射强度。这时,若受光面的吸收率依入射方向不同而异,则测量将产生误差。若设入射强度为 i , 则对受光面有入射角 θ 的辐射通量可用 $i \cos \theta$ 表示。我们称此为辐射测量的余弦定律。但是,就实际的辐射测量仪来说,要得到满足这个定律的受光面是个非常复杂的问题。受光面根据测量方法的不同采取不同形式。普通的日射计在辐射吸收面上放有玻璃罩。在分光测量等特殊情况下,还用扩散板或积分球作为受光面。可见,可考虑有各种不同形式的受光面,但要完全都满足上述余弦定律却是困难的。实际上,入射角大时(若按照直接太阳辐射来考虑,就是太阳高度低的情况),吸收率下降,感度恶化。以上二点作为太阳辐射测量时受光面的问题。对于这些问题,除非预先通过室内实验等加以确定,否则就不能得到精密的测量结果。

下面,我们讨论前面所说的第二个问题:将受光面吸收的能量变换成什么形式的能量来进行检测。主要方法有如下四种:

- (a) 以热量形式进行检测;
- (b) 根据光电效应产生的电量进行检测;
- (c) 利用化学变化的方法,主要是摄影;
- (d) 目测。

对每一种检测方法来说,又都有各自不同的方法。首先,我们将四种检测方法的特性概要地列于表 1.2。由表可知:由于检测方法不同,特性也大不一样。因此,按照目的来选择检测方法是一个重要的问题。可以测量的波长范围也大不相同,我们在这里先介绍一下作为气象要素的辐射波长范围。

首先是太阳辐射的波长范围,一般认为太阳辐射强度的波长分布与约为 6000K 的黑体辐射波长分布基本上一致。这种辐射通过地球大气到达地面时,由于受到前述各种效应的影响而产生衰减。能够到达地面的最短波长约为 0.3 微米(3000 Å),波长小于 0.3 微米的

表 1.2 辐射检测方法的特性

方 法	波 长 范 围	感 度	线 性	波长选择性
热 量 测 量	全 波 段	低	非 常 好	无
光 电 测 量	40 微米以下	高	良 好	高
摄 影 测 量	1.2 微米以下	高	差	高
目 测	0.4~0.75 微米	高	很 差	高

辐射完全为上层空气分子所吸收。在太阳辐射的长波辐射中,当然有红外辐射,波长更长的辐射也是存在的,但其数量非常少,所以不成为问题。即使考虑的范围很大,4微米以上的太阳辐射量也可以忽略不计。就是说,作为到达地面的太阳辐射波长范围,定为0.3~4微米就足够了。另一方面,地球发射的红外辐射大约接近于250 K的黑体辐射,而且大都包含在3微米以上的波长范围内。可见,两者的波长范围以3~4微米为界。因此在区别太阳辐射和地球的红外辐射时,有时分别称之为短波辐射和长波辐射。

第一种方法,即热量测量法,是很早以前就通常采用的方法,银盘直接日射计,Ångström电补偿式日射计或热电偶式全天日射计等,以及作为气象仪器用的日射计大都属于这一类。(关于这些日射计的构造等将在后面介绍)

在利用第二种方法,即利用光电效应时,作为检测器多使用光电倍增管,光电管,光电池等。由表1.2可知,由波长引起的感度差很明显。因此,这种方法不适合于同时测量波长范围宽大的太阳辐射,而在分光光度测量等场合有效。选择适用于所测波长的检测器,可以得到感度极高的测量仪。用第二种方法不能进行绝对测量的,应该用某种方法进行仪器的校准。关于绝对值的校准,将在后面介绍,不过,根据不同波长进行校准,在目前还是一个非常困难的问题。

第三种方法(摄影测光法)最近不大使用。它在测量方面的优点,是可以将野外某一瞬间的状态存贮在照相干板上,再拿回实验室慢慢地进行处理。最近,还制造了一种优质照相干板,而且得到了可将干板黑度读出的精度很高的浓度计。另外,浓度的彩色显示法也相当普及,其对于某种目的是有用的。可见,有必要对摄影辐射测量法重新进行估价。

最后是目测法,人的眼睛可以感到的波长范围是约为0.4~0.75微米的所谓可见光范围,它不能观测约占太阳辐射能二分之一的近红外和紫外辐射。因此,人的眼睛几乎不能作为测量仪使用,但它有一个特点:对于亮度差的检测精度却意想不到的高。在电气测量尚不发达的时代,测光法就是利用这个特点,这对于定性测量是有用的。

现将各种辐射计加以分类,列于表1.3。

表1.3所示的辐射计并不是辐射计的全部,只是较为常用的几种。同时,表1.1,1.2所用术语也有不明确的地方。太阳辐射这个术语,如前所述,只用于短波辐射,而辐射一词用于两种情况:长波长辐射;短波和长波辐射的总和。另外,所谓收支量是对应于净辐射通量的一种说法,不能认为是恰如其分的。在感觉上是将由天空向地面入射的辐射通量作为“收”,而将由地面向天空的辐射通量作为“支”,两者之差的净辐射通量称之为收支量。关于辐射的术语尚未完全统一,所以特别要注意与外文加以对应。

[3] 日射测量仪 为了测量前述辐射的各个组分,要设计出许多类型的日射计和辐射计,最近这方面的进步很大,已经可以得到较高精度的测量计。但是,问题并没有完全解决,

表 1.3 气象辐射测量仪的分类

仪器分类	定 义	所 用 辐 射 计
直接日射计	测量入射到与入射方向成直角的平面上的直接太阳辐射量 I	Ångström 电补偿式日射计 银盘日射计 Linke-Feussner 日射计 流水式日射计
全天日射计	测量由半球的各个方向(立体角 2π)入射到水平面上的太阳辐射量 其中包括全天太阳辐射, 散射太阳辐射, 向上的散射太阳辐射 $K\downarrow, D, K\downarrow$	Eppley 全天日射计 Moll-Gorczynski 全天日射计 Yanishevsky 全天日射计 Robitzsch 全天日射计 (测定 D 时, 采用遮蔽直射成分用的遮蔽环或遮蔽板)
全天辐射计	测量由立体角 2π 方向入射到水平面上的全波长辐射 $Q\downarrow = K\downarrow + L\downarrow$	在原理上, 只要去掉上述全天日射计的玻璃罩等即可, 但最好不要露出受光面。用聚乙烯钟形罩代替玻璃罩
净辐射计	测量表 1.1 中的辐射收支量 $Q^* = Q\downarrow - Q\uparrow$	Schulze 收支计 Fonck 收支计 (若对这些仪器的向下受光面进行辐射屏蔽, 则可作为上述全天辐射计使用)
净日射计	测量太阳辐射收支量 $K^* = K\downarrow - K\uparrow$	只要把上述辐射收支量的受光面的遮光罩换成玻璃等只能透过太阳辐射的物质即可

特别是绝对测量仪器的研制等, 可以说问题最为突出。这里, 我们介绍一下气象部门广泛采用的几种仪器的结构。

(A) 直接日射计

(1) Ångström 电补偿式日射计 这种日射计以绝对测量为目的, 于 1893 年由 K. Ångström 设计制成的。为了说明测量原理, 图 1.2(a) 显示了这种日射计受感部的结构。受感部是由两个锰铜薄片 (20×2 毫米, 厚 0.01 毫米) 的表面经过发黑处理而成的, 它被放在直径约为 20 厘米的圆筒的底部。在每一个薄片的背面接上热电偶, 用检流计 G_1 检测薄片的温差 (如图 1.2(b) 所示)。另一方面, 这两个薄片为电池 E 的电流所加热, 由 G_2 可以求出加热所消耗的电流。在圆筒的上端, 设有两个遮光快门, 打开一个快门, 直接日射就使一个锰铜薄片 (例如薄片 a) 曝光。结果, 薄片 a 温度上升, 电流流入 G_1 。接着, 若使来自电池 E 的电流流入薄片 b , 则由焦耳热引起温升, 结果, G_1 的读数为零, 即 a 片和 b 片的温度相等。这时, 日射供给 a 片的热量与电流供给 b 片的热量相等。若加热电流 i , b 片的电阻 r 已知, 则可求出太阳辐射量。其关系如下。若设电流供给的热量为 Q [卡·秒⁻¹], 根据焦耳定律, 则

$$Q = 0.24 i^2 r \quad (1.3)$$

另一方面, 太阳辐射供给 a 片的热量为 Q , 它可由下式确定。

$$Q = S l d \alpha / 60 \quad (1.4)$$

式中: S 是直接日射量 [卡·厘米⁻²·分⁻¹]; l, d 是薄片的长和宽; α 是 a^* 片表面的吸收率。

若将两式加以合并, 则

* 原文误为 b 。——译者

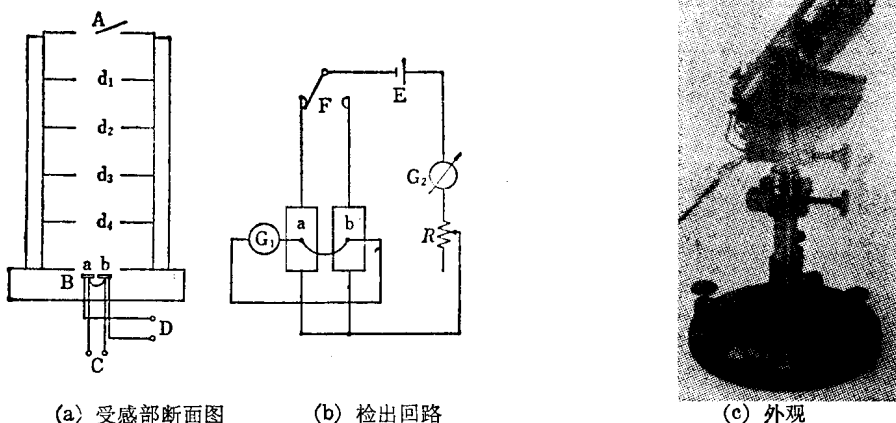


图 1.2 Ångström 电补偿式日射计的断面图, 检出回路和外观

A: 快门; B: 受光面 (a, b 两块并放); C: 热电偶输出端; D: 加热器; d~d₄: 光圈; E: 加热电源; F: 加热器用转换; 开关; G₁G₂: 检流器; R: 可变电阻

$$S = 14.4 i^2 r / l d \alpha = C i^2 \quad (1.5)$$

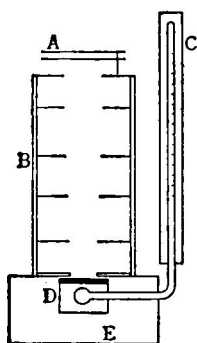
若通过测量得到 i , 则可求出太阳辐射量 S 。式中, $C = 14.4 r / l d \alpha$ 这个量, 作为仪器常数可以预先求出。

可见, 从原理上说用这种仪器可以测量绝对值, 但实际上误差较大。其原因主要是所谓的边缘效应。这种边缘效应在于: 入射到被太阳辐射曝光的薄片上的太阳辐射强度, 由于圆筒内光圈的影响, 在薄片上分布不均, 而边缘部分较弱。另外, 太阳辐射的吸收只在薄片表面很薄的表层进行, 相反电流却流过整个薄片并使之加热。由于加热状态如此地不同, 所以在测量中产生误差, 并且往往将太阳辐射量估算得偏低。消除或者校正这种误差的方法非常复杂, 因而这种仪器不能作为绝对测量的常用仪器使用。但目前世界各地都在用它进行测量, 并公布了测量值, 为使这些测量值能够相互加以比较, 一般认为, 各种日射测量仪都必须通过与世界公认标准的比较观测来确定仪器常数。Ångström 日射计的标准是在精密测量的条件下求出常数 C 的, 现保存在斯德哥尔摩。

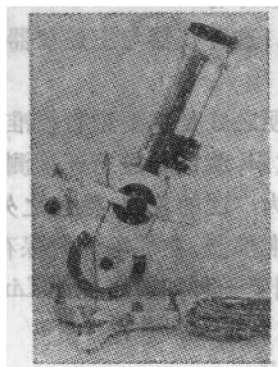
(2) 银盘日射计 这是美国 Smithsonian 研究所的 O. G. Abbot 于 1908 年设计制成的日射计, 其断面图示于图 1.3(a)。顾名思义, 这是太阳辐射的吸收面采用表面经过发黑处理的银制圆盘。银盘置于圆筒的底部, 吸收通过圆筒内光圈的太阳辐射。水银温度计的感温部插入银盘的内部, 用以测量银盘的温度。银盘部分用厚金属片包围起来, 以使热容量充分增大, 并且在测量中不产生温度变化。打开设在圆筒顶端的快门, 使银盘吸收太阳辐射, 测量银盘的温度, 即可求出太阳辐射量。若设金属内壁的温度为 T_0 , 曝光时间 t_1 之后的银盘之温度为 T_1 , 则可由下述关系式求出太阳辐射量。

$$I = C_1 (T_1 - T_0) \quad (1.6)$$

式中的系数含有复杂的内容, 难以用常数的形式求出。因此, 这种仪器不能用于绝对测量, 需要通过与其它标准仪器的比较加以校准。Abbot 等通过银盘日射计与以前研制的流水式日射计的比较, 对银盘日射计做了校准。所谓流水式日射计, 是根据水吸收太阳辐射后产生的温升来求太阳辐射量的, 这就是所谓的热量计, 它能非常精确地测出绝对值。但是这种仪器操作复杂, 不适用于日常测量, 当然, 这种方法也可以采用。银盘日射计的缺点是必须进



(a) 断面图



(b) 外观

图 1.3 银盘日射计的断面图和外观

A: 快门; B: 采光部光圈; C: 水银温度计; D: 温度计感温部; E: 绝热壁

行校准, 而且测量需要较长时间, 但其结构坚固, 测量精度高, 这是很大优点。

(3) 其它类型的直接日射计 上述两种仪器是典型的直接日射计, 除此之外, 还研制了许多类型的仪器。我们先简单介绍其中的几种。

所谓 Linke-Feussner 辐射计, 这是把在它的金属制的厚壁圆筒的底部放置表面涂成黑色的薄片型热电偶 (Mollthermopile)* 作为受感部的日射计。图 1.4 为这种日射计的外观。金属圆筒很厚, 它的热容量足以超过受感部的 10000 倍, 因此可将温度的变化忽略不计。热电偶的冷接点接在这个金属圆筒上。这种仪器不能进行绝对测量, 而且必须进行校准。它的优点是圆筒顶端装有滤光片, 便于根据不同的波长进行测量。最近, 有人还采取措施来防止金属圆筒的温度变化, 并制成了稳定和感度良好的仪器。图 1.5 中的不同波长自记式直接日射计就是一例。

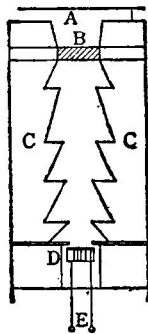
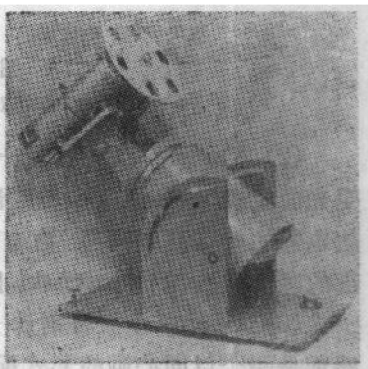


图 1.4 Linke-Feussner 辐射计

A: 快门; B: 滤光片; C: 采光部光圈; D: 受光部; E: 热电偶输出端



(a) 日本制



(b) 外国制

图 1.5 不同波长自记式直接日射计

作为上述日射计的改良型号, 有 Eppley 直接日射计。它的整个结构与上述日射计相同, 只是受感部分分成两个部分, 一部分曝露在太阳辐射中, 另一部分将辐射屏蔽起来。两者分别与热电偶的接点接触, 按照电动势符号相反那样接线。这样, 来自屏蔽部的电流就可以经常消去仪器温度变化所引起的误差, 从而提高测量精度。

* 亦称摩尔热电偶, 用以测量辐射强度。——译者

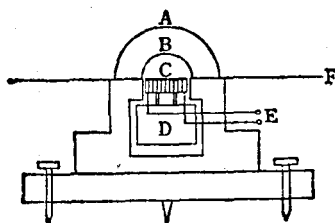
苏联采用的日射计有 Savinov-Yanishevsky 日射计。它与银盘日射计结构相同, 用热电偶测量银盘温度。这种仪器与上述仪器一样, 也不能用于绝对测量, 而且必须用其它标准仪器校准。

这些仪器的不便之处是都要进行校准, 但都有这样的优点: 若将其放在赤道仪中, 用时钟带动, 自动跟踪太阳, 就能够进行连续测量。

以上是应用较为广泛的仪器, 除此之外还有几种, 这里省略了。在我国大都采用银盘日射计作为国内的标准仪器, 在气象厅内保存有 Ångström 日射计和银盘日射计。最近, 为了监视大气污染, 研制了一种如前所述的 Linke-Feussner 型日射计, 在岩手县稜里开始了连续测量。

(B) 全天日射计

(1) Moll-Gorczynski 日射计 它是欧洲广泛采用的仪器, 受感部是所谓的 Moll 型热电偶。这个热电偶采用康铜-锰铜, 每一对都制成为 $10 \times 1 \times 0.005$ 毫米的薄片。有 14 个热接点, 因此受感部的面积为 10×14 毫米, 其上涂以黑色涂料, 为充分满足前面所述的余弦定律, 要减小表面反射。冷接点接在非常大的金属壳上。受感部用双层玻璃钟罩盖上。在与受光部表面相同的平面上安装一个直径为 300 毫米的白色圆板, 以防金属壳上被太阳辐射加热。图 1.6(a) 所示系仪器的断面图。



(a) 断面图



(b) 外观

图 1.6 Moll-Gorczynski 全天日射计

A, B: 玻璃钟罩; C: 受光面; D: 散热片; E: 热电偶输出端; F: 遮光用圆板

(2) Yanishevsky 日射计 这是苏联采用的一种测量仪, 前面的 Gorczynski 日射计的受光面做成黑色, 而这种日射计的受光面由白色表面和黑色表面交替配置而成。康铜-锰铜热电偶的接点分别同黑、白表面的背面接触, 黑色部分为热接点, 白色部分为冷接点。受光部的感度大致与 Gorczynski 日射计相同, 为 $7 \sim 10$ 毫伏 $\cdot$ 卡 $^{-1} \cdot$ 厘米 $^2 \cdot$ 分。

(3) Eppley 全天日射计 这是美国研制的一种测量仪, 它的一个例子示于图 1.7。受感部是两个以同心圆的形式配置的银制圆环, 外环涂以白色涂料(氧化镁), 内环涂以 Parson's 光学黑漆。吸收太阳辐射而造成的黑白两圆环之间的温差用热电偶检测。氧化镁对短波辐射反射很强, 并且与黑色一样吸收长波辐射。因此, 在测量太阳辐射(短波辐射)时, 可以消除干扰的长波辐射的影响。受感部置于玻璃球的中心, 球内密封干燥空气。这既能防止由于气温变化在球内壁产生的露水, 又能防止受光面涂料变质。

以上所介绍的是有代表性的全天日射计, 此外, 还设计有部分结构与上述稍有不同的几种测量仪, 但用热电偶检测这一点是相同的。很早以前就采用的一种测量仪有 Robitzsch 全天日射计, 这是一种用双层金属制成的不用电的简单测量仪, 但其精度很差。

全天日射测量仪中没有绝对测量仪,都必须进行校准。这时,标准测量仪是直接日射计,它仍旧不能进行比较测量。比较测量时,在全天日射计上装以屏蔽板,分别测量全天太阳辐射量和天空散射日射量,然后由两者之差求直接太阳辐射量。象这种间接比较法,有增大误差的趋势。

以上所介绍的是太阳辐射测量,即短波辐射测量的主要仪器,剩下的是作为辐射测量仪器的长波辐射计。这里不一一论述。一般地说,长波辐射测量不如短波辐射测量容易。由于入射能比太阳辐射小得多,容易受周围物质的影响,而且测量方法也复杂,所以迄今还没有能够设立连续的观测网。特别是在测量白天由大气而来的长波辐射时,必须进行全波段测量,再从测量值中减去短波辐射部分。但是,因为受感部的感度在短波波段和长波波段不同,所以产生了非常麻烦的问题。不过,供长波波段测量仪校准用的标准辐射源比较容易制造,因此,与太阳辐射测量相比,这一点是优越的。

[4] 日射计的标准 如上所述,人们也研制了从原理上能够进行绝对测量的日射计,因为其仪器常数难于确定或操作复杂等,所以在日常测量中用这种日射计比较麻烦,实用中一般多通过与标准测量仪的比较来进行校准。作为基准的标准测量仪,在欧洲使用 Ångström 日射计,在美国一直采用以流水式日射计标定的银盘日射计。各种常数经过精心确定的 Ångström 日射计保存在斯德哥尔摩。自 1908 年以来一直用它的感度作为日射标准,而在美国,1913 年以来一直用上述银盘日射计的数值作为 Smithsonian 日射标准。后来,提出了两者之间有些微小差异,这就成了问题。1956 年在达沃斯召开的国际辐射会议上确定了新日射标准,以后便称之为 IPS 1956 (International Pyrheliometric Scale 1956)。从 1957 年 1 月以来,作为世界通用的日射标准一直用到现在。根据这个日射标准,用 Ångström 日射标准得到的测量值应减小 1.5%,用 Smithsonian 标准测量的值应增大 2%。

日射标准,换言之,即确定日射计的标准。但这种标准测量仪器只有斯德哥尔摩和华盛顿 Smithsonian 研究所才有,要确认日射测量值,所有其它测量仪都要用这个标准确定感度常数。现在,为了有组织地进行这一工作,各国都各自备有标准仪器,每隔五年把它带到一个地方进行比较观测,以校正感度常数。比较测量的场所选在瑞士的达沃斯这样一个要地。其原因是该地日射观测历史悠久,更主要的是地势高因而空气极其清新。国内的测量仪通过以这个标准仪为基准进行校准后,那么测量值便可得到公认。目前,这个标准仪保存在气象厅内最近开始工作的辐射中心。作为标准仪,既备有 Ångström 型日射计,也备有银盘日射计。日射计的标准,如上所述是以直接日射计为标准仪,所以要校准全天日射计,只能用间接方法进行,即采用屏蔽板来消除直接日射成分。用这种方法校准的全天日射计也保存在上述辐射中心。

这样,将日射计标准放在较近的地方,它就成了测量的依据,但很难说这种标准就一定完备的。制造一种能够进行绝对测量的可靠仪器,可以认为这是个基本问题。这个问题引起了世界的关注,现已研制成几种日射测量仪。这些测量仪的受感部,为了得到完全近似的黑体,采用了圆锥形的内部涂有黑色涂料的空腔。辐射从圆锥形的底部进入,并为圆锥形的斜面全部吸收。实际制品是由镍线线圈做成的圆锥形,然后用黑色涂料把它凝固起来。美国国家航空和航天管理局(NASA)用这种方法研制的圆锥形空腔的吸收率,在紫外线、可见



图 1.7 Eppley 全天日射计