

a Guide to
**Solar Radiation
Measurement**

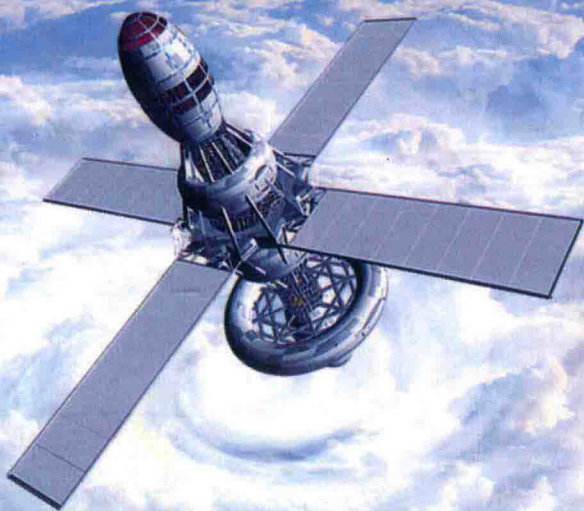
*from sensor
to application*

UV - Visible - Infrared

气象和环境应用中 的太阳辐射测量概述

[德] Reinhold Rösemann (莱因霍尔德·罗斯曼) 著◎

吕 晶 译◎



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

a Guide to
**Solar Radiation
Measurement**

*from sensor
to application*

UV - Visible - Infrared

气象和环境应用中 的太阳辐射测量概述

[德] Reinhold Rösemann (莱因霍尔德·罗斯曼) 著◎

吕晶译◎



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

太阳辐射是影响气候形成的基本因素。因此,天气观测和天气预报对现代文明及技术进步至关重要。不进行持续的测量和收集天气资料,就无法维持海、陆、空运输和商务活动。不连续监测太阳辐射就不可能预测雪崩和黑冰等危险,从而无法维护我们的生命安全。因此,开发专用的传感器来应对气象和环境应用中的太阳辐射测量是非常必要的。

本书从气象和测量的角度,针对太阳辐射测量领域可用的传感器及其应用领域做了通俗、全面的呈现,规避大多数文献存在的公式繁多、细节晦涩难懂、科学理论深奥等问题,大大方便了不同专业人员对这一特殊领域的总体了解。

本书适合从事新能源、太阳辐射测量领域的工程技术人员、企业管理者等相关人士阅读,也可作为高等院校工程热物理、新能源、光学工程、测控技术与仪器、电气工程等相关专业的教学参考用书。

本书简体中文版专有翻译版权由 Gengenbach Messtechnik 授予吕晶,由吕晶授予电子工业出版社。

版权贸易合同登记号 图字 01-2019-0550

图书在版编目(CIP)数据

气象和环境应用中的太阳辐射测量概述 / (德) 莱因霍尔德·罗斯曼著; 吕晶译. —北京: 电子工业出版社, 2019.4

书名原文: a Guide to Solar Radiation Measurement

ISBN 978-7-121-36062-6

I. ①气… II. ①莱… ②吕… III. ①太阳辐射—测量—研究 IV. ①P422.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 035512 号

策划编辑: 刘志红

责任编辑: 刘志红 特约编辑: 黄继敏

印 刷: 天津画中画印刷有限公司

装 订: 天津画中画印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社有限公司

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 880×1 230 1/32 印张: 5.75 字数: 129 千字

版 次: 2019 年 4 月第 1 版

印 次: 2019 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254479, lzhmails@phei.com.cn。

提到莱因霍尔德·罗斯曼先生，我们都知道其在国际传感器行业具有很高的知名度和影响力。在中国传感器行业，也可谓是无人不知、无人不晓。他给人们的印象不仅仅是一位谦虚温谨、和蔼可亲的长者，一位虚怀若谷、品格高尚、乐于助人的老人，更是一个年高德劭、资深望重的传感器专家。他不仅具有深厚的专业背景，同时也有对传感器事业特殊的感悟、执着和情怀。这种情怀不仅体现在他个人的单纯与痴迷，更是体现在其忘我的工作 and 满怀的激情，以及助人为乐的行为之中。同时，这也为他赢得了在传感器领域的感召力。他把传感器企业当作自己的孩子一样，以他热情和慈父般的心肠抚摸、热爱、呵护、培养。特别是对远隔千山万水的中国企业尤为如此，无私地奉献着他的经验与智慧，给予额外的关注和帮助。很多中国企业在他的帮助下走出了国门，奔向欧洲，走向世界；很多企业在他的精心指导和鼓励下，改变了理念，调整了思路，赢得国际市场的关注与认同。

罗斯曼先生帮助企业的故事，早已在业界传为佳话。他从不计较个人得失，忘我工作。不顾旅途遥远奔波和身体劳顿疲惫，放下行囊，很快投入工作之中，他宽大而豪迈的身影，以及谆谆教导和殷切希望给很多业内同行留下了深刻的印象。杭州麦乐克科技有限公司（简称麦乐克）就得到了罗斯曼先生在

产品技术工艺、国际市场交流，以及人才引荐等方面的支撑和特殊的关注与帮助。毋庸置疑，罗斯曼先生在中国传感器产业发展和走向国际的道路上留下了浓墨重彩的一笔。这不仅丰富了他自己的人生，也谱写了行业绚丽的篇章。

罗斯曼先生出生于 1943 年，教授，全球知名电子工程师及通信技术工程师，1968-1995 年任德国 HBM 集团项目工程师，首席执行官，公司总裁，董事会主席。1996-2003 年任 Kipp&Zonen B.V 总经理。2000-2002 年任德国传感与测量技术专业协会（AMA）副主席。2002-2012 年任德国传感与测量技术专业协会主席。2012-2018 年任德国传感与测量技术专业协会名誉主席，是欧洲知名的传感技术专家，编写了多部物联网传感技术著作，并被翻译成多种文字，影响力遍及全球。

我与罗斯曼先生相识于 2008 年的春天，那时麦乐克正开始布局海外市场，时任德国传感与测量技术专业协会主席的他热情邀请麦乐克加入 AMA，有幸使麦乐克成为其第一家中国会员。AMA 主办的 SENSOR + TEST 每年吸引八百余家展商，一万余名专业观众参加，是全球最具影响力的传感器专业展会之一。2010 年，在罗斯曼先生的帮助下，麦乐克在德国成立了欧洲办事处，公司向全球化迈出了坚实的一步。

罗斯曼先生对中国企业和人民非常友好，数次来中国参加会议，走访企业。2013 年，在先生的极力推动下，首届国际物联网传感技术高峰论坛在杭州举办，此后，高峰论坛每年举办一届，至今已成功举办了六届，成为业界具全球影响力的盛会之一，有力地推动了中国物联网传感技术的发展。

罗斯曼先生待人热情，对事业执着追求，对生活热爱有加，他是一个健谈、乐于分享、极具人格魅力的人。每当回想起我去德国时，他一个 70 多岁的老人多次独自开车几千千米来国际机场接我，安排和陪同我访问商业伙伴，并带我参观沿途的德国历史文化、自然风光、民族风情；回想起他不远万里来到中国指导麦乐克传感器发展与战略发展时，我心里总会升起怀念和感动之情。而今，他慈祥的微笑，热情的言语时时会浮现在我的眼前。

本书是一部业内熟知，用于气象领域针对太阳辐射检测技术专业的技术图书，也是对倍受尊敬的罗斯曼先生逝世一周年的特别纪念。

众所周知，太阳辐射检测是一门综合光学、电子、气象等学科的综合技术，涉及专业知识较广，国内尚缺少通俗易懂的供专业人士阅读的相关书籍。2016 年，我受作者罗斯曼先生的委托，将此著作《气象和环境应用中的太阳辐射测量概述》（已出版了德文版、英文版）译成中文，历时二年反复斟酌和修改，今天终于与大家见面了。本书从气象和测量的角度针对太阳辐射测量领域可用的传感器及其应用领域做了通俗和全面的介绍，适合不同专业希望对这一特殊领域有所了解的人员。

罗斯曼先生的著作《气象和环境应用中的太阳辐射测量概述》终于译成中文在电子工业出版社出版，以此纪念我尊敬的师长、亲密的伙伴、永远的朋友；感谢罗斯曼先生为中德传感事业的交流与发展呕心沥血、殚精竭虑，为中德企业和人民友好交流与合作做出的巨大贡献。

同时十分感谢麦乐克团队、三九中央科技委副主任郭源生先生及浙江大学李海峰教授在翻译过程中给予的大力支持！

吕 晶

2019年3月于杭州

第1章 序 / 001

第2章 引言 / 002

第3章 太阳 / 004

第4章 大气层 / 006

第5章 地球 / 009

第6章 太阳辐射 / 012

第7章 气象测量 / 016

第8章 测量原理 / 025

第9章 辐射传感器原理 / 030

第10章 滤光片 / 037

第11章 传感器性能 / 041

第12章 日射强度计 / 047

第13章 太阳热量计 / 056

第14章 地面辐射强度计 / 062

第15章 净辐射传感器 / 066

第16章 反照率计 / 071

第17章 紫外线传感器 / 073

第18章 日照时数传感器 / 086

第19章 光传感器 / 092

第 20 章 光合有效辐射传感器 / 095

第 21 章 传感器的辅助设备 / 097

第 22 章 测量链 / 103

第 23 章 装配、投入运行和维护 / 115

第 24 章 术语表 / 122

第 25 章 专业术语 / 130

读者调查表 / 173

电子工业出版社编著书籍推荐表 / 175

反侵权盗版声明 / 176

第 1 章

序

在工作中涉及气象领域辐射传感器和相关测量方法的人们，经常会面对和该专题相关的大量文献，而这些文献的细节大多晦涩难懂，科学理论深奥。通常情况下，这些文献充斥着公式，有时甚至含有自己动手搭建的传感器的说明书，而实际上这些信息只有科学家或者有竞争力的制造商才会感兴趣。

来自其他专业的人有时只是为了寻找适合他们测量应用的传感器，在查阅这些文献时，很容易感到困惑。另一方面，为了了解其相对重要性，有必要提供尽可能多的关于传感器及其在气象学中应用的信息。这就是本书没有提到公式或构造细节的原因。通读本书，读者将从应用和测量的角度对这一特殊领域有一个总体了解。

更具体的信息，可以在制造商提供的数据手册和操作手册中找到。为了增加对这个专题的了解，建议读者交叉参考相关技术文献。

最后，我要感谢在完成本书的创作中给我支持的所有人。

莱因霍尔德·罗斯曼 (Reinhold Rösemann)

第2章

引 言

“太阳辐射对我们有什么影响？”——这是一个很难回答的问题。

首先，我们必须考虑太阳发出和到达地球的辐射类型。

其次，需要分别看待辐射的直接和间接影响。

直接影响是指对我们的身体有直接影响。当我们躺在阳光下的海滩上时，我们会觉得舒适和温暖，但晒伤有时会带来疼痛，这是我们可以体验的两个截然相反的效果。但是，还有更多的直接效应并不那么明显，它们在一些情况下，可能是有益的，但在其他情况下，可能是有害的。

可见光和一定量的紫外线辐射对我们的健康至关重要。可见光可以激活我们皮肤中的维生素 D，维生素 D 的缺乏会导致佝偻病。对皮肤而言，紫外线辐射是必须的，它可以用于治疗皮肤疾病，如牛皮癣和痤疮。

当辐射超过一定限度时，人体将有严重的过敏反应，最常见的伤害是晒伤。众所周知，过度暴露于紫外线辐射下可能会导致皮肤癌、黑色素瘤或者眼睛出现疾病。

辐射还有很多不那么显而易见的影响。

人类、动物、植物和我们的环境不仅受到辐射的直接影响，而且还受到间接影响。间接影响非常多，首先必须意识到，如果没有太阳辐射，我们想在这个地球上生活是绝对不可能的。间接影响来自我们吃的食物、喝的水和呼吸的空气。

太阳辐射影响天气。“天气”一般定义为大气的短期物理状况。然而，天气由非常复杂且相互影响的现象决定，这些现象长期影响当地的气候，乃至全球的气候。

太阳发出这么大的能量，我们作为人类，几乎无法理解其实际功率的大小。当这些巨大的能量导致空气和水蒸气运动时，就会造成极端的天气条件，如可怕的风暴和洪水，我们可以感受到它的威力。

因此，天气观测和天气预报对现代文明及技术进步至关重要。不进行持续的测量和收集天气资料，就无法维持海、陆、空运输和商务活动。不连续监测太阳辐射就不可能预测雪崩和黑冰等危险，从而保护我们的生命安全。

为了实现这一目标，开发专用的传感器来应对这些复杂的测量是非常有必要的。获取这些测量数据需要不同的方法，本书旨在概述目前市场上可用的传感器及其应用领域。

第3章

太 阳

太阳是太阳系的中心，它为我们这个星球供应能量。太阳发出的能量直接或间接地让地球上的生命得以生存。太阳由 71% 氢气、27% 氦气和 2% 固体物质组成。中心温度约为 1 600 万摄氏度，其核心核反应区的直径几乎占其直径的四分之一，约为 139.2 万 km。太阳的质量大约是地球的 33.2 万倍。

太阳发射的能量是 3.72×10^{20} MW，这相当于其表面辐射功率为每平方米 63 MW。地球和太阳的平均距离约 1.5 亿 km，即 1 天文单位，地球位于日地平均距离处，在大气层外，垂直于太阳辐射束平面上形成的太阳辐照度称为太阳常数（ E_0 ）。1982 年世界气象组织使用的太阳常数为 $1\,367\text{ W/m}^2$ ，美国宇航局在 2008 年的测量值为 $1\,360.8 \pm 0.5\text{ W/m}^2$ 。

每年 1 月 4 日左右，地球到达距离太阳最近的点（近日点，约 1.475 亿 km）。6 个月后，即 7 月 4 日左右，地球到达距离太阳最远的点（远日点，约 1.526 亿 km）。这意味着，由于距离不同，1 月到达地球大气层的直接太阳辐射比 7 月强 6.6%（如图 3-1 所示）。

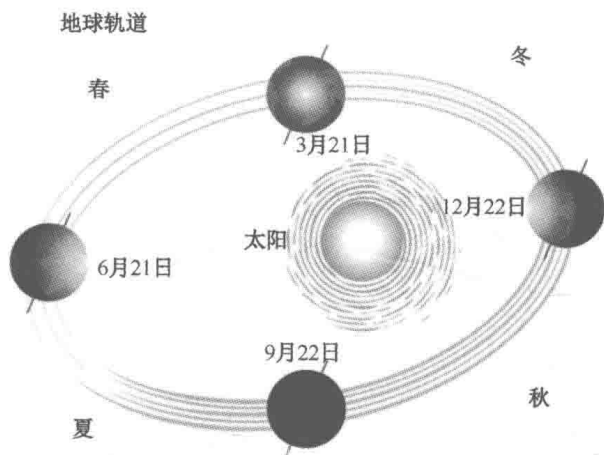


图 3-1 地球围绕太阳的轨道

太阳处于目前这种演化阶段已经约 45 亿年。它仍然有足够的燃料（氢）进行核聚变反应，使其以这种状态再维持 45 亿年。

第4章

大 气 层

地球大气层对到达地面的太阳辐射强度有很大的影响。大气层高度约 70~80km，主要由氮气（约 78%）和氧气（约 21%）组成，大约十几种其他气体和水蒸气一共只占 1%，但它们对气候和环境的影响很大，例如，“温室气体”甲烷和二氧化碳。

地球大气层分为五层，按照图 4-1 所示的具体术语进行分类。

底层被称为对流层，对流层的高度大于 10km，对流层顶部是多云层。对流层顶部是对流层与平流层之间的边界，对流层顶部的高度在 11km 和 16km 之间，这取决于地球上的位置和大气条件。

平流层由于空气湿度非常低，几乎无云。平流层以上是中间层，从地面以上约 50km 的高度开始。中间层的上方是电离层，也被称为热层，高达 640km。电离层以外是散逸层，为大气层的最外边界，高达 9 600km。外逸层外为太空。

大气层总质量的一半位于地面以上 5 到 6km。大气层外的太阳辐射通过大气层时，空气分子、气溶胶颗粒、云中的水

滴和冰晶会引起散射和吸收，使辐射降低。

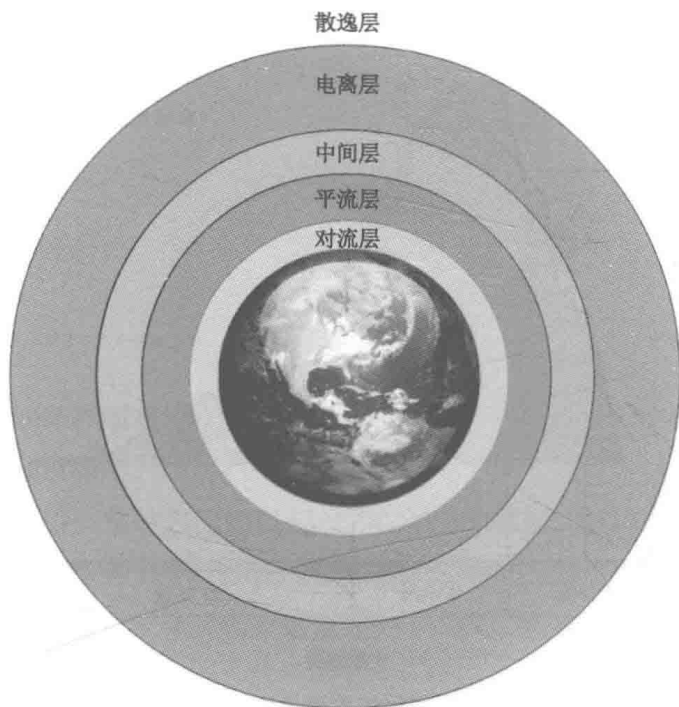


图 4-1 大气层

太阳辐射的散射发生在整个光谱范围内。可能发生的散射方式有以下几种：

- ① 云层中水滴和冰晶引起的散射，相对均匀地分布在整個光谱范围；
- ② 分子散射（瑞利散射），主要分布在短波范围；
- ③ 气溶胶颗粒散射（米氏散射）的波长取决于颗粒尺寸和分布。

大气层的散射和吸收对到达地面的太阳辐射光谱有很大影响。

图 4-2 显示了理想大气条件下, 海平面上太阳辐射的典型光谱。

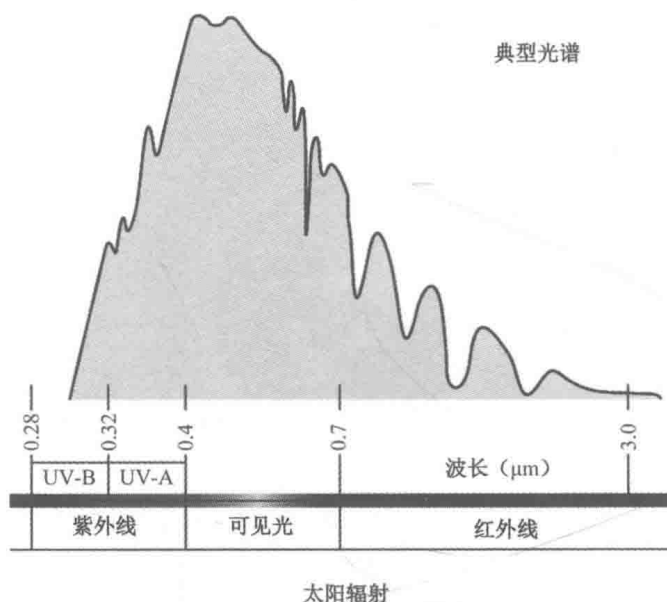


图 4-2 海平面上太阳辐射的典型光谱 (理想大气条件下)

大气中的气压和温度的变化会影响对太阳辐射的吸收, 从而影响海平面及海平面以上不同高度的光谱。