

GUANGFU DIANZHAN SHEJI JISHU



光伏电站设计技术

蒋华庆 贺广零 兰云鹏 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014033494

TM615
59

GUANGFU DIANZHAN SHEJI JISHU

光伏电站设计技术

蒋华庆 贺广零 兰云鹏 编著



北航 C1722055



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TM615

59

内 容 提 要

为便于光伏电站设计工作的交流,根据光伏电站设计工作经验,特编写此书。本书围绕获得更高经济效益的宗旨,对设计技术进行总结,侧重光伏设计部分。

本书共9章,包括光伏发电现状介绍和太阳能资源分析、主要光伏设备性能和特点,光伏设备的选型和布置,光伏电站发电量的计算,光伏方阵场电气设计和结构设计,并介绍了PVsyst软件的使用方法。对高倍聚光光伏、渔光互补和火电厂灰场光伏等领域也做了相应的介绍。

本书可供从事光伏电站设计的技术人员参考,也可供电力设备、建设有关方面技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

光伏电站设计技术/蒋华庆,贺广零,兰云鹏编著. —北京:
中国电力出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-5123-5181-3

I. ①光… II. ①蒋… ②贺… ③兰… III. ①光伏电站-
设计 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第268755号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年3月第一版 2014年3月北京第一次印刷
710毫米×980毫米 16开本 11.25印张 206千字
印数0001—3000册 定价35.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

我国各大设计单位从 2009 年起陆续开展了光伏电站的设计工作。本书的三位作者有幸参与完成了多项光伏电站科技项目以及 70 余项光伏电站工程设计和咨询工作，对光伏电站设计这项融合传统电力设计技术与光伏设计新技术的综合性技术有了些许自己的理解，期望将在设计实践中遇到的问题以及解决的方法写出来，与行业同仁们讨论、分享。

鉴于光伏电站设计技术包括传统电力设计和光伏设计新技术两部分，前者已经非常成熟，本书着重阐述光伏设计新技术部分。

在全书的章节安排上，主要的思路是：首先介绍光伏电站的能量来源——太阳能，然后介绍主要光伏设备的性能和特点，在此基础上介绍光伏设备的选型和布置，并介绍发电量的计算。之后两章分别从电气专业、结构专业的角度对光伏电站的电气设计和结构设计进行介绍。最后一章介绍了 PVsyst 软件的使用方法，供读者参考。

本书的大部分内容是围绕如何获取更高的经济收益这一宗旨进行的。同时，针对目前热门的高倍聚光光伏、渔光互补和火电厂灰场光伏等领域也做了相应的介绍。

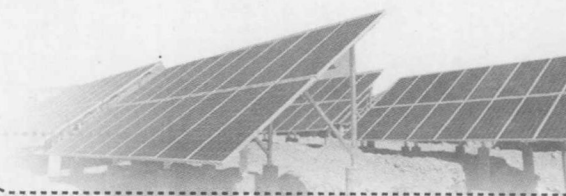
本书第 1 章~第 6 章、第 9 章由蒋华庆编写，第 7 章内容由蒋华庆和兰云鹏共同编写，第 8 章由贺广零编写，全书由蒋华庆统稿。国家气候中心申彦波、中广核太阳能公司曹晓宁、新疆电力设计院吕平洋、云南省电力设计院陈祥、华北电力设计院贾海侠等业内的专家、学者对本书进行了审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

虽然作者已经对本书进行了认真的校核，并请业内专家进行了审阅，但是由于水平所限，书中仍然难免存在错误，敬请读者指正。联系邮箱：jhq1982@gmail. com。

本书在编写过程中，借鉴了大量的资料，引用的资料均列在参考文献中。在此，对这些资料的所有者表示衷心的感谢。另外，虽然已经尽力避免，仍然可能存在某些引用资料未出现在参考文献中，在此，作者表示真挚的歉意，并及时联系我们；以便再版时予以补正。另外，蒋华庆、贺广零等两位编著者借此机会感谢华北电力设计院及院里有关同事的支持和帮助。

编著者

2013年12月

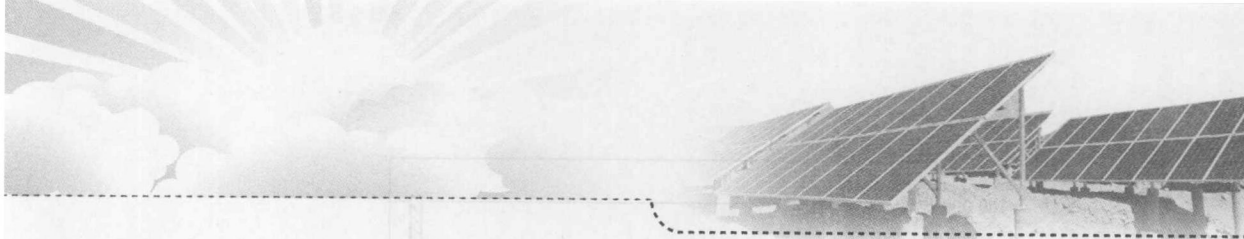


目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 太阳能光伏发电发展状况	1
1.2 光伏电站设计过程	4
第 2 章 太阳能资源分析	8
2.1 太阳辐射及太阳能资源	8
2.2 太阳辐射测量及数据分析.....	14
2.3 太阳辐射相关计算.....	20
第 3 章 主要光伏设备	23
3.1 光伏组件.....	23
3.2 光伏逆变器.....	29
3.3 光伏支架.....	33
第 4 章 光伏设备选型	40
4.1 光伏设备选型主要原则.....	40
4.2 差额净现值法.....	41
4.3 光伏组件选型.....	42
4.4 逆变器选型.....	48
4.5 光伏支架选型.....	49
4.6 跟踪支架控制系统选型.....	50
4.7 汇流箱内主要器件选型.....	54
4.8 直流汇集电缆选型.....	56
第 5 章 光伏设备布置	59
5.1 光伏电站选址.....	59
5.2 光伏方阵常规布置.....	60
5.3 逆变器及汇流箱布置.....	67

5.4 光伏方阵间距优化	70
第6章 光伏电站发电量计算	79
6.1 发电量计算	79
6.2 光伏电站能量转换、传输过程中的损失	80
6.3 光伏组件输出功率衰减	89
6.4 光伏电站系统效率分析	90
第7章 光伏方阵场电气设计	93
7.1 中压汇集电缆经济截面积研究	93
7.2 光伏方阵场交流汇集电压等级选取	95
7.3 单个光伏发电单元容量选取	98
7.4 逆变升压单元自用电	100
7.5 光伏方阵场防雷和接地设计	101
7.6 光伏方阵场监控	103
第8章 光伏方阵结构设计	106
8.1 光伏支架结构设计	106
8.2 光伏支架基础设计	123
8.3 水上光伏电站结构设计	137
8.4 灰场光伏发电系统结构设计	152
第9章 PVsyst 软件的使用	156
9.1 概述	156
9.2 设定项目地点和气象数据	157
9.3 设定方阵类型和参数	158
9.4 设定光伏系统	158
9.5 详细损失设定	159
9.6 设定“远方遮挡”情况	161
9.7 建立“近处遮挡”三维模型	162
9.8 查看仿真结果	163
附录 A 我国气象辐射观测站一览表	164
附录 B 不同纬度可能的日总辐射曝辐量	168
参考文献	169



第1章 绪 论

1.1 太阳能光伏发电发展状况

现代物理学研究认为,太阳光是由不同频率的光子组成的;光子是光线中携带能量的粒子。太阳能光伏发电就是利用光子激发半导体物质中的电子从而产生光生伏特效应(即“光伏效应”),将太阳能直接转换为电能的一种发电方式。目前,太阳能光伏发电技术已经成熟,系统造价已经与风电接近。它具有建设周期短、适应范围广、运营维护量小和清洁环保等优点,因此,在全球范围内已经得到了广泛应用。

1.1.1 世界范围内光伏发电情况

2000~2003年,全球每年新增光伏装机容量200~600MW;到2004年,新增装机容量突破1GW;从2008年开始,年新增装机容量出现爆发性增长,特别是2010~2012年这三年的年新增装机容量分别达到16.8GW、31.3GW和30GW,这主要得益于光伏组件价格的大幅下降。2000~2012年全球累计装机容量及当年新增装机容量见表1-1和图1-1。

表 1-1 2000~2012 年全球累计装机容量及当年新增装机容量

年份	当年年底累计装机容量 (MW)	当年新增装机容量 (MW)
2000	1425	—
2001	1753	328
2002	2220	467
2003	2798	578
2004	3911	1113
2005	5340	1429
2006	6915	1575
2007	9443	2528
2008	15 772	6329
2009	23 210	7438
2010	40 019	16 809
2011	71 271	31 252
2012	101 271	30 000

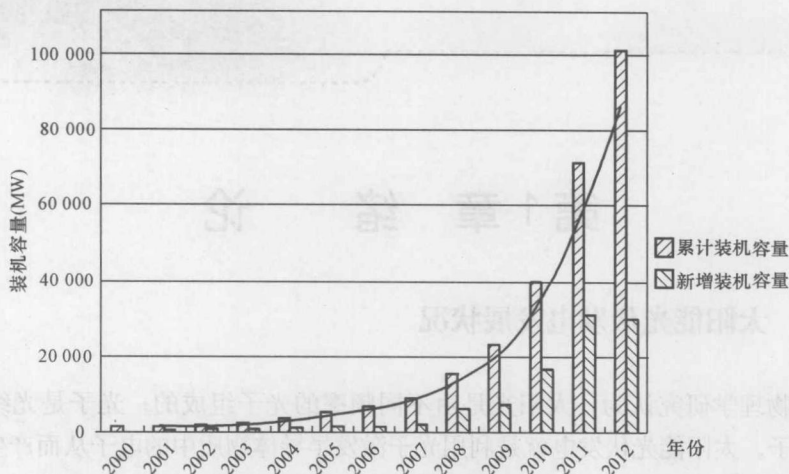


图 1-1 2000~2012 年全球累计装机容量及当年新增装机容量

根据欧洲光伏协会 (EPIA) 的统计, 截止到 2012 年底, 全球光伏累计装机容量的前 6 名分别是德国、意大利、美国、中国、日本和西班牙, 见表 1-2。

表 1-2 全球光伏累计装机容量前 6 名 (截止到 2012 年底)

排 名	国 家	至 2012 年底累计装机容量 (MW)
1	德国	32 278
2	意大利	16 250
3	美国	7583
4	中国	7000
5	日本	6914
6	西班牙	5100

1.1.2 中国光伏发电发展情况

进入 21 世纪以来, 中国太阳能光伏产业发展迅速。特别是 2004 年之后, 在欧洲市场的大力拉动下, 更是飞速发展。到 2007 年, 中国已经成为光伏组件第一大生产国。

2008 年金融危机后, 光伏组件的海外市场受到影响, 为了刺激国内光伏需求, 国家陆续推出了一系列政策和措施, 主要的政策如下。

(1) 2008 年 12 月, 国家第一个光伏并网特许权项目——甘肃敦煌 10MW 光伏电站正式招标。该项目最终中标价 1.09 元/(kW·h)(含税)。

(2) 2009 年 3 月, 财政部推出“光电建筑一体化”补贴政策。规定: 光伏组件作为建材或构件时, 补贴不超过 20 元/W; 与屋顶或墙面结合时, 补贴不超过

15 元/W。

(3) 2009 年 7 月, 光伏“金太阳”政策出台, 补贴范围: 大型光伏电站 (大于 300kW); 补贴比例: 并网光伏电站及配套输配电工程按总投资的 50% 补贴, 上网电价按当地脱硫标杆电价。

(4) 2010 年 7 月, 国家第二批光伏并网特许权项目发标, 共 13 个项目 280MW。最终中标价格从 0.7288 元/(kW·h)(含税)到 0.990 7 元/(kW·h)(含税)不等。

(5) 2011 年 7 月 24 日, 国家发展改革委发布《关于完善太阳能光伏发电上网电价政策的通知》(发改价格[2011]1594 号), 制定了全国统一的太阳能光伏发电标杆上网电价: 2011 年 7 月 1 日以前核准建设、2011 年 12 月 31 日建成投产、尚未核定价格的太阳能光伏发电项目, 上网电价统一核定为 1.15 元/(kW·h); 2011 年 7 月 1 日及以后核准的太阳能光伏发电项目, 以及 2011 年 7 月 1 日之前核准但截至 2011 年 12 月 31 日仍未建成投产的太阳能光伏发电项目, 除西藏仍执行 1.15 元/(kW·h)的上网电价外, 其余省(区、市)上网电价均按 1 元/(kW·h)执行。

(6) 2013 年 7 月 15 日, 国务院发布《关于促进光伏产业健康发展的若干意见》(国发[2013] 24 号), 提出: 要大力开拓分布式光伏发电市场, 有序推进光伏电站建设; 2013~2015 年, 年均新增光伏发电装机容量 1000 万 kW 左右, 到 2015 年总装机容量达到 3500 万 kW 以上。

(7) 2013 年 8 月 30 日, 国家发展改革委出台了《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》(发改价格[2013]1638 号)。通知明确: 根据各地太阳能资源条件和建设成本, 将全国分为三类资源区, 分别执行 0.9、0.95、1 元/(kW·h)的标杆上网电价, 见表 1-3。对分布式光伏发电项目, 实行按照发电量进行电价补贴的政策, 电价补贴标准为 0.42 元/(kW·h)。

表 1-3 发改价格〔2013〕1638 号规定的全国光伏电站标杆上网电价

元/(kW·h), 含税

资源区	光伏电站 标杆上网电价	各资源区所包括的地区
I 类	0.90	宁夏, 青海海西, 甘肃嘉峪关、武威、张掖、酒泉、敦煌、金昌, 新疆哈密、塔城、阿勒泰、克拉玛依, 内蒙古除赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔以外地区
II 类	0.95	北京, 天津, 黑龙江, 吉林, 辽宁, 四川, 云南, 内蒙古赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔, 河北承德、张家口、唐山、秦皇岛, 山西大同、朔州、忻州, 陕西榆林、延安, 青海、甘肃、新疆除 I 类外其他地区
III 类	1.0	除 I 类、II 类资源区以外的其他地区

注 西藏自治区光伏电站标杆电价另行制定。

与上述政策支持相对应的是：在 2009 年之前，中国每年新增的光伏装机容量不过数十兆瓦，2009 年和 2010 年则达到了数百兆瓦。从 2011 年 7 月固定上网电价政策发布之后，中国的年新增光伏装机容量出现了爆发性增长，2011 年、2012 年每年的新增光伏装机容量分别为 2.7GW 和 3.5GW。2006~2012 年中国各年光伏发电累计装机容量和当年新增装机容量分别见表 1-4 和图 1-2。

表 1-4 2006~2012 年中国各年光伏发电累计装机容量和当年新增装机容量 MW

年 份	当年底累计装机容量	当年新增装机容量
2006	80	12
2007	100	20
2008	145	45
2009	373	228
2010	893	520
2011	3500	2607
2012	7000	3500

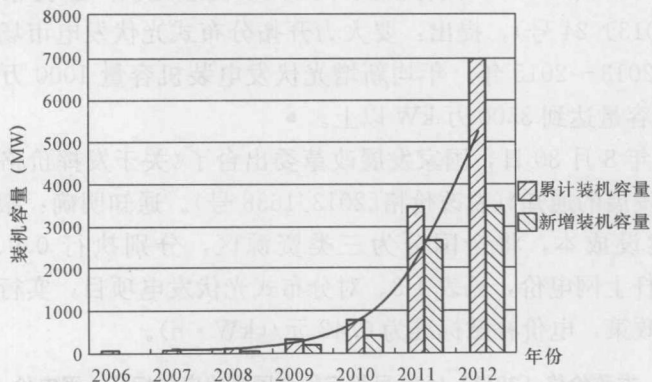


图 1-2 2006~2012 年中国各年光伏发电累计装机容量和当年新增装机容量

1.2 光伏电站设计过程

我国工程项目建设一般分为项目策划与决策、项目准备、项目实施、项目竣工与验收等四个阶段，光伏电站的设计也可按这四个阶段进行划分。

1.2.1 项目策划与决策阶段

该阶段的主要任务是对工程项目投资的必要性、可能性、可行性以及为什么要

投资、何时投资、如何实施等重大问题进行科学论证和多方案比较。

工程项目决策依据的可行性研究报告是该阶段工作的核心。光伏电站可行性研究报告编制的主要依据是 GD 003—2011《光伏发电工程可行性研究报告编制办法》。

根据国家能源局 2013 年 8 月 29 日发布的《光伏电站项目管理暂行办法》（国能新能〔2013〕329 号）、2013 年 11 月 18 日发布的《分布式光伏发电项目管理暂行办法》（国能新能〔2013〕433 号），国家对光伏电站及分布式光伏发电项目均实行备案制管理。

《光伏电站项目管理暂行办法》规定，“省级能源主管部门依据国务院投资项目管理规定对光伏电站项目实行备案管理”，“光伏电站项目接网意见由省级电网企业出具，分散接入低压电网且规模小于 6 兆瓦的光伏电站项目的接网意见由地市级或县级电网企业出具”。各地对光伏电站备案管理一般有相应的细则。如内蒙古自治区规定光伏电站由盟市能源主管部门实行备案管理，备案基本条件包括：（一）甲级资质工程咨询单位编制的备案申请报告；（二）盟市级维稳部门出具的项目社会稳定低风险认定意见。

《分布式光伏发电项目管理暂行办法》明确规定：对于分布式光伏发电项目，“免除发电业务许可、规划选址、土地预审、水土保持、环境影响评价、节能评估及社会风险评估等支持性文件”，“以 35 千伏及以下电压等级接入电网的分布式光伏发电项目，由地级市或县级电网企业按照简化程序办理相关并网手续，并提供并网咨询、电能表安装、并网调试及验收等服务”。

1.2.2 项目准备阶段

项目备案后，就可以进入项目准备阶段。

在条件具备时，项目业主应在初步设计开展之前对光伏组件、逆变器等主设备进行招标。设计方一般应提供相应主设备的技术规范书。

初步设计的编制是本阶段的核心工作，其依据是批准的可行性研究报告。初步设计的任务是确定全站性的设计原则、设计标准、设计方案和重大技术问题。

1.2.3 项目实施阶段

项目实施阶段设计方的主要任务是围绕工程建设的需要，提供如下产品或服务：①提供其他设备的技术规范书供业主招标使用，并参与签订最终的技术协议；②绘制施工图图纸，作为现场施工、安装的主要依据；③提供现场技术服务等。

1.2.4 项目竣工阶段

在项目竣工阶段，设计方的主要任务是编制竣工图。

因为在施工过程中难免对施工图有修改，为了让客户（建设单位或者使用者）能比较清晰地了解管道的实际走向和设备的实际安装情况，国家规定在工程竣工之

后施工单位必须提交竣工图。但在实际操作中,很多情况下是施工单位提供现场的变更单和工程联系单,由设计方进行竣工图纸的编制。

1.2.5 国内光伏电站设计相关标准

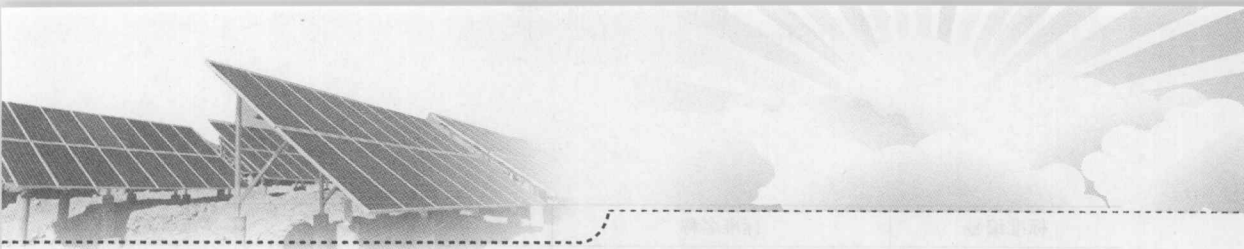
2009年之前,国内的光伏标准主要是翻译的IEC标准。从2010年开始,为了适应国内光伏发电的发展,国内陆续制定、颁布了一大批光伏电站设计标准,这些标准的出台为光伏电站的设计提供了依据。截至2013年9月,国内已经实施的光伏设计相关标准见表1-5。

表 1-5 中国现行光伏电站设计标准一览表

标准编号	标准名称	发布部门	实施日期
GB/T 2297—1989	太阳光伏能源系统术语	信息产业部(电子)	1990-1-1
GB/T 9535—1998	地面用晶硅光伏组件 设计鉴定和定型	国家质量技术监督局	1999-6-1
GB/T 18479—2001	地面用光伏(PV)发电系统概述和导则	国家质量监督检验检疫局	2002-5-1
GB/T 18911—2002	地面用薄膜光伏组件 设计鉴定和定型	国家质量监督检验检疫局	2003-5-1
GB/T 19939—2005	光伏系统并网技术要求	国家质量监督检验检疫局	2006-1-1
GB/T 20046—2006	光伏(PV)系统电网接口特性	国家质量监督检验检疫局	2006-2-1
GB/T 20047.1—2006	光伏(PV)组件安全鉴定 第1部分:结构要求	国家质量监督检验检疫局	2006-2-1
GB/T 20513—2006	光伏系统性能监测 测量、数据交换和分析导则	国家质量监督检验检疫局	2007-2-1
GB/T 16895.32—2008	建筑物电气装置 第7-712部分:特殊装置或场所的要求 太阳能光伏(PV)电源供电系统	国家质量监督检验检疫局	2010-2-1
10J908-5	建筑太阳能光伏系统设计与安装	住房和城乡建设部	2010-3-1
JGJ 203—2010	民用建筑太阳能光伏系统应用技术规范	住房和城乡建设部	2010-8-1
GB 24460—2009	太阳能光伏照明装置总技术规范	国家质量监督检验检疫局	2010-12-1

续表

标准编号	标准名称	发布部门	实施日期
GD 003—2011	光伏发电工程可行性研究报告编制办法	水利水电规划总局	2011-5-1
JGJ/T 264—2012	光伏建筑一体化系统运行与维护规范	住房和城乡建设部	2012-5-1
GB 50794—2012	光伏电站施工规范	住房和城乡建设部	2012-11-1
GB/T 50795—2012	光伏发电工程施工组织设计规范	住房和城乡建设部	2012-11-1
GB/T 50796—2012	光伏发电工程验收规范	住房和城乡建设部	2012-11-1
GB 50797—2012	光伏电站设计规范	住房和城乡建设部	2012-11-1
NB/T 32001—2012	光伏电站环境影响评价技术规范	国家能源局	2012-12-1
GB/T 28866—2012	独立光伏 (PV) 系统的特性参数	国家质量监督检验检疫局	2013-2-15
GB/T 19964—2012	光伏电站接入电力系统技术规范	国家质量监督检验检疫局	2013-6-1
GB/T 29196—2012	独立光伏系统技术规范	国家质量监督检验检疫局	2013-6-1
GB/T 29319—2012	光伏发电系统接入配电网技术规范	国家质量监督检验检疫局	2013-6-1
GB/T 29320—2012	光伏电站太阳跟踪系统技术要求	国家质量监督检验检疫局	2013-6-1
GB/T 29321—2012	光伏电站无功补偿技术规范	国家质量监督检验检疫局	2013-6-1
GB/T 13539.6—2013	低压熔断器 第6部分: 太阳能光伏系统保护用熔断体的补充要求	国家质量监督检验检疫局	2013-7-1
GB/T 50866—2013	光伏电站接入电力系统设计规范	住房和城乡建设部	2013-9-1



第 2 章 太阳能资源分析

光伏电站的设计是围绕如何将太阳能高效转换为电能这一中心来进行的。从能量转换的角度看,太阳能是光伏电站的能量来源,因此太阳能资源分析是光伏电站设备选型、布置和发电量计算的基础。

2.1 太阳辐射及太阳能资源

2.1.1 太阳辐射

太阳光穿过大气层到达地面的过程中,有一部分太阳辐射被空气分子、云和空气中的各种微粒分散成无方向性的、但不改变其单色组成的辐射,称为散射辐射;其余太阳辐射由太阳直接发出而没有被大气散射改变投射方向,称为直接辐射(direct normal irradiance, *DNI*)。水平面从上方 2π 立体角范围内接收到的直接辐射和散射辐射,称为总辐射。

水平面上接收到的直接辐射称为水平面直接辐射。总辐射等于水平面直接辐射与散射辐射之和。

反射辐射是指太阳辐射被表面折回的、而不改变其单色组成的辐射。

太阳辐射具有周期性、随机性和能量密度低等特点。

(1) 周期性。太阳辐射的周期性是由地球自身的自转以及地球围绕太阳公转产生的。

(2) 随机性。地球表面接收到的太阳辐射受云、雾、雨、雪、雾霾和沙尘等因素的影响。这些因素的随机性决定了太阳辐射的随机性。

(3) 能量密度低。根据世界气象组织 1981 年发布的数值,地球大气层外日地平均距离处的直接辐射辐照度为 $(1367 \pm 7) \text{ W/m}^2$, 此值被称为太阳常数。地面接收到的太阳总辐射强度一般会低于太阳常数。

2.1.2 影响地面接收到的太阳辐射的因素

地表水平面接收到的太阳总辐射量受大气质量、当地纬度、大气气象条件和海拔等因素影响。

(1) 大气质量。大气质量为太阳光线穿过地球大气的路径与太阳光线在天顶方向时穿过大气路径之比，用 AM 表示。对于一个理想的均匀大气，可通过式 (2-1) 计算得到

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_{zs}} \quad (2-1)$$

式中： θ_{zs} 为太阳光线与天顶方向的夹角，见图 2-1。

在大气质量 $AM=1$ 时，晴朗天气条件下到达海平面的直接辐照度 E_b 从太阳常数减少到约 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 。对通常的 AM 值， E_b 与 AM 的拟合关系可以用式(2-2)表示，即

$$E_b = B_0 \times 0.7^{AM^{0.678}} \quad (2-2)$$

式中： B_0 为太阳常数。

当太阳辐射进入地球大气后，光谱成分也受到了影响。图 2-2 给出了 AM_0 光谱分布（地球大气层外日地平均距离处接收到的太阳辐射的光谱）和 $AM_{1.5}$ 光谱分布（倾角为 37° 、朝向正南的方阵面上接收到的总辐射的光谱）。若将该 $AM_{1.5}$ 光谱在整个波长范围内对功率密度进行积分，结果约 $970\text{W}/\text{m}^2$ 。将图 2-2 中 $AM_{1.5}$ 光谱分布都乘以系数 $1000/970$ 之后“归一化”的光谱是现阶段划分光伏产品等级的标准；该光谱用于光伏器件的标准测试。

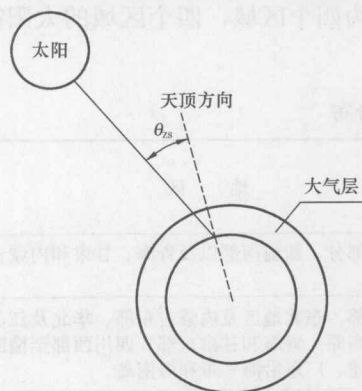


图 2-1 太阳光线与天顶方向的夹角示意

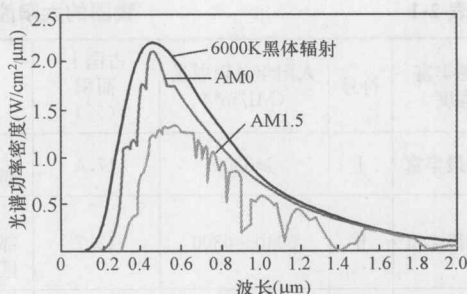


图 2-2 AM_0 和 $AM_{1.5}$ 时的太阳辐射光谱分布

(2) 纬度。地球自转的同时围绕太阳公转，地球的自转轴与其公转的轨道面成 $66^\circ 34'$ 的倾斜。因此，出现一年中太阳对地球的直射点在地球的南回归线与北回归线之间周期变化。对于北半球：在春分和秋分时，太阳直射赤道；在夏至时，太阳直射北回归线；在冬至时，太阳直射南回归线。

根据余弦定律，即：任意平面上的辐照度同该平面法线与入射线之间夹角的余弦成正比，若不考虑其他因素的影响，纬度的绝对值越大，则地表水平面接收到的年总辐射量越低。

(3) 大气气象条件。大气气象条件对地表水平面接收到的总辐射量的影响因子主要有云量、气溶胶、水汽和大气分子等。

云层是太阳光在大气中衰减和产生散射的一个重要原因。积云，或处于低空体积较大的云层，能够非常有效地阻挡太阳光。卷云或稀薄的高处云层对阳光的阻挡就不是那么有效了。在完全阴云时，没有直接辐射，到达地球表面的只有散射辐射。需要注意的是，在某些情况下，地面接收到的总辐照度可能会大于太阳常数，这是由于它不仅直接接收到了太阳的辐射，还接收到了某些云层反射的太阳辐射。

(4) 海拔。海拔对地表接收到的太阳总辐射量的影响首先体现在由于海拔差异引起的云量变化上；若在晴朗无云的条件下，海拔的变化对地表接收到的辐射的影响体现在大气透明度系数上。在晴朗无云天气下，海拔越高，大气透明度系数越大，地表接收到的太阳总辐射越大。

2.1.3 我国的太阳能资源

我国有丰富的太阳能资源，年总辐射量大于 $3780\text{MJ}/\text{m}^2$ 的地区占国土面积的96%以上。中国陆地表面每年接收到的太阳辐射相当于1.7万亿t标准煤。

按年太阳总辐射量空间分布，我国可以划分为四个区域，四个区域的太阳能资源量及其分布见表2-1。

表 2-1 我国的太阳能资源分布

资源丰富程度	符号	太阳年总辐射量 (MJ/m^2)	占国土面积 (%)	地 区
资源最丰富	I	≥ 6300	17.4	西藏大部分、新疆南部以及青海、甘肃和内蒙古的西部
资源很丰富	II	5040~6300	42.7	新疆北部、东北地区及内蒙古东部、华北及江苏北部、黄土高原、青海和甘肃东部、四川西部至横断山区以及福建、广东沿海一带和海南岛
资源丰富	III	3780~5040	36.3	东南丘陵区、汉水流域以及四川、贵州、广西西部等地区
资源一般	IV	< 3780	3.6	川黔区

这里需要说明的是，上述太阳能资源分区是依据水平面上的年总辐射量，这样的太阳能资源分区标准与光伏发电的实际可利用资源之间存在一定差异。比如，北京多年平均水平面年总辐射量为 $4922.5\text{MJ}/\text{m}^2$ （南郊观象台观测数据），属于Ⅲ类“资源丰富”地区；汕头多年平均水平面年总辐射量为 $5083\text{MJ}/\text{m}^2$ （来源于 ME-