

主编◎周延强

光伏

书有千万卷，好书何处揽！一本好书能给你带来知识，一本好书能给你带来智慧，一本好书能给你带来财富，一本好书能改变你的命运，本书作者用工匠精神叙述了太阳能发电的原理、工艺设计、施工运维、互联网电站、政策解读等。

光 伏

主 编◎周延强

副主编◎叶永华 刘 国 甘恒山

谢志军 党 磊

图书在版编目(CIP)数据

光伏/周延强主编. —武汉:湖北科学技术出版社,2016.9

ISBN 978-7-5352-9118-9

I. ①光… II. ①周… III. ①太阳能光伏发电 IV. ①TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 236574 号

责任编辑:高诚毅 邓子林

封面设计:李梦芹

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:027-87679468

地 址:武汉市雄楚大街 268 号

邮编:430070

(湖北出版文化城 B 座 13—14 层)

网 址:<http://www.hbstp.com.cn>

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

邮 编:430072

710×1000

1/16

15.25 印张

240 千字

2016 年 9 月第 1 版

2016 年 9 月第 1 次印刷

定价:97.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

编 委 会

主 编 周延强

副主编 叶永华 刘 国 甘恒山 谢志军

党 磊

编 委 夏建朝 曹清明 李世民 蔡 敏

罗 贞

前 言

太阳能堪称是无限的清洁能源,地球上的万物由于太阳光辐射的作用才能繁衍生息、生机勃勃。其中光能转换为电能是重要的一种转换过程,它可以方便的转换成热能、动力能、化学能等各种形式的新型能源,以满足人类生产生活的需要。通过太阳能直流电池和逆变器变频作用,可将太阳能的光辐射转化为电能的太阳能光伏发电技术,是新能源和可再生能源的技术之一。世界科技发展证明,到 21 世纪末,太阳能光伏发电将发展成为重要的发电方式,将对工业革命、信息革命、能源革命、数字化革命的发展起到巨大的推动作用。

我作为太阳能行业的一名从业者,潜心学习、研究探索太阳能产业多年,已有很多心酸教训和难以忘怀的经历,我曾经走进千家万户进行调研,了解太阳能热水器用户的反映,撰写过近百篇关于太阳能热水器发展的现状和未来的发展方向,也获得过中华人民共和国国家知识产权局颁发的专利证书(专利号:ZL 2011 2 0031342.1)。对湖北省太阳能行业的发展起到了一定的借鉴和指导作用,为我省太阳能产业跨进全国先进行业尽了应尽的义务,近年来特别是光伏产业的迅猛发展,我的工作重心更专注到了光伏发电的领域,对国家政策、光伏发电的原理、技术要求、设计施工、接入并网、发电效益进行了探索和研究,五年来我参加过无数的政府会议、技能培训、产品展销、光伏讲座,调研过光伏电站和分布式户用电站的建设,为行业的发展和政府光伏的政策指导撰写过报告和论文,为推动光伏产业的发展作出了一定的贡献。

任何产业都有它内在的发展规律,光伏产业的发展同样如此。特别是 2013

年以来国务院、国家发改委、能源局、国家财政部、国家税务总局、国家电网相继出台了一系列推动光伏发电的政策和措施,湖北省政府、发改委能源局、财政厅、税务局、物价局、国家电网湖北省总公司同时出台了支持和补贴政策,推动了光伏行业的迅猛发展,据统计全省从事光伏发电的工作人员由过去的几百人发展到了如今近万人的光伏产业大军。新人的进入,一方面给光伏行业的发展增添了新鲜的血液、新生的力量和新的活力,同时新人的知识欠缺、技术贫乏、技能低下又给行业的发展带来了困难和挑战。为此,从2015年开始我就着手筹备《光伏》这本光伏发电知识技能书籍,推荐给广大读者,望能对热爱光伏产业的同仁起到一定的启示作用,共同为光伏产业的发展、共同为实现节能减排的目标、共同为人类实现碧水蓝天的美好生活而奋斗。

目 录

第一章 太阳能	(1)
第一节 太阳能	(1)
第二节 太阳能的来源	(1)
第三节 太阳能辐射	(4)
第四节 太阳能辐射的测试与计算	(5)
第五节 全球太阳能的利用	(10)
第六节 我国太阳能的利用	(15)
第二章 太阳能光伏发电沿革	(17)
第一节 光伏发电史	(17)
第二节 欧美光伏发电	(19)
第三节 我国光伏发展	(20)
第三章 太阳能光伏资源分布	(22)
第一节 全国太阳能光伏资源分布	(22)
第二节 全国重点地区光照资源分布情况	(24)
第三节 湖北省太阳能光伏资源分布	(31)
第四章 太阳能光伏发电政策	(35)
第一节 欧洲国家光伏发电政策	(35)

第二节	光伏政策的重要性	(39)
第三节	我国的光伏政策	(41)
第四节	我国各省的光伏政策	(71)
第五节	湖北省的光伏政策	(91)
第五章	分布式光伏电站设计安装	(98)
第一节	屋顶类型	(98)
第二节	分布式光伏电站设计	(98)
第三节	分布式光伏电站勘测方法	(100)
第四节	分布式电站施工组织方法	(101)
第五节	分布式施工安全	(106)
第六章	地面电站的建设	(108)
第一节	地面光伏电站定义	(108)
第二节	地面光伏电站勘测	(110)
第三节	地面光伏电站设计规范	(111)
第四节	地面光伏电站施工	(114)
第七章	离网式微型光伏电站	(120)
第一节	离网式光伏电站定义	(120)
第二节	离网式光伏电站储能技术	(121)
第三节	离网式微型光伏电站设计	(123)
第四节	离网式微型电站的主件选择	(126)
第五节	离网式微型光伏电站的配置	(130)
第六节	离网式微型光伏电站运营维护	(132)

第八章 电网接入与设计管理	(134)
第一节 电网接入要求	(134)
第二节 电网接入管理	(136)
第三节 电网接入申报	(143)
第四节 电网接入方案	(150)
第五节 光伏发电备案管理	(155)
第九章 组件、逆变器、电缆、附件的选用	(159)
第一节 光伏组件的选用	(159)
第二节 逆变器的选用	(163)
第三节 电缆的选用	(166)
第四节 附件的选用	(168)
第十章 光伏电站维护规范	(171)
第一节 电站维护重要性	(171)
第二节 电站维护要点	(172)
第三节 电站维护相关要求	(176)
第十一章 互联网光伏电站	(181)
第一节 互联网光伏电站的内涵	(181)
第二节 互联网光伏电站平台	(182)
第三节 互联网光伏主件的选用	(183)
第四节 互联网光伏电站的管理	(184)
第五节 互联网光伏电站碳交易平台	(184)
附录 词汇注解	(185)
1. 新能源	(185)

2. 雾霾天气	(186)
3. 碳排放	(190)
4. 工匠	(192)
5. 晶体硅	(193)
6. 单晶硅	(194)
7. 多晶硅	(196)
8. 薄膜电池	(197)
9. 光伏逆变器	(198)
10. 光伏组件	(201)
11. 光伏电缆	(203)
12. 光伏汇流箱	(205)
13. 光伏支架	(208)
14. 光伏发电	(210)
15. 光伏工程	(212)
16. 太阳能飞机	(213)
17. 太阳能热水器	(215)
18. 太阳能汽车	(219)
19. 太阳能路灯	(221)
20. 太阳灶	(225)
21. 太阳能空调	(227)
后记	(230)

第一章 太阳能

第一节 太阳能

太阳能(solar energy),一般是指太阳光的辐射能量,在现代一般用作发电。太阳内部高温核聚变反应所释放的辐射能,其中约 20 亿分之一到达地球大气层,是地球上光和热的源泉,自地球形成生物就主要以太阳提供的热和光生存,而自古人类也懂得以阳光晒干物件,但在化石燃料减少下,才有意把太阳能进一步发展。太阳能的利用有被动式利用(光热转换)和光电转换两种方式。太阳能发电是一种新兴的可再生能源。广义上的太阳能是地球上许多能量的来源,如风能,化学能,水的势能等等。

第二节 太阳能的来源

太阳能是由内部氢原子发生聚变,释放出巨大核能而产生的能,来自太阳的辐射能量。人类所需能量的绝大部分。都直接或间接地来自太阳。植物通过光合作用释放氧气、吸收二氧化碳,并把太阳能转变成化学能在植物体内贮存下来。煤炭、石油、天然气等化石燃料也是由古代埋在地下的动植物经过漫长的地质年代演变形成的且属于一次能源。地球本身蕴藏的能量通常指与地球内部的热能有关的能源和与原子核反应有关的能源。与原子核反应有关的

能源正是核能。原子核的结构发生变化时能释放出大量的能量,称为原子核能,简称核能,俗称原子能。它则来自于地壳中储存的铀、钚等发生裂变反应时的核裂变能资源,以及海洋中贮藏的氘、氚、锂等发生聚变反应时的核聚变能资源。这些物质在发生原子核反应时释放出能量。目前核能最大的用途是发电。此外,还可以用作其他类型的动力源、热源等。

目前,太阳能的利用还不是很普及,利用太阳能发电还存在成本高、转换效率低的问题,但是太阳能电池在为人造卫星提供能源方面得到了应用。太阳能是太阳内部或者表面的黑子连续不断的核聚变反应过程产生的能量。地球轨道上的平均太阳辐射强度为 $1369\text{W}/\text{m}^2$ 。地球赤道的周长为 40000km ,从而可计算出,地球获得的能量可达太阳能 173000TW 。在海平面上的标准峰值强度为 $1\text{kW}/\text{m}^2$,地球表面某一点 24h 的年平均辐射强度为 $0.20\text{kW}/\text{m}^2$,相当于有 102000TW 的能量,人类依赖这些能量维持生存,其中包括所有其他形式的可再生能源(地热能资源除外),虽然太阳能资源总量相当于现在人类所利用的能源的 1 万多倍,但太阳能的能量密度低,而且它因地而异,因时而变,这是开发利用太阳能面临的主要问题。太阳能的这些特点会使它在整个综合能源体系中的作用受到一定的限制。尽管太阳辐射到地球大气层的能量仅为其总辐射能量的 22 亿分之一,但已高达 173000TW ,也就是说太阳每秒钟照射到地球上的能量就相当于 500 万 t 煤,每秒照射到地球的能量则为 49940000000J 。地球上的风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能都是来源于太阳;即使是地球上的化石燃料(如煤、石油、天然气等)从根本上说也是远古以来贮存下来的太阳能,所以广义的太阳能所包括的范围非常大,狭义的太阳能则限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。太阳能既是一次能源,又是可再生能源。它资源丰富,既可免费使用,又无须运输,对环境无任何污染。为人类创造了一种新的生活形态,使社会及人类进入一个节约能源减少污染的时代。建设太空太阳能发电站的设想早在 1968 年就有人提出,但直到最近人类才开始真正将之付诸行动。日本可

谓此项目的先驱者之一,该项目预计耗资 210 亿美金,发电量能达到 10 亿 W,能供 29.4 万个家庭使用。在太空建太阳能发电站,无论气候如何,均可利用太阳能发电,这与在地球上建立太阳能发电站的情况不同。

光伏板组件是一种暴露在阳光下便会产生直流电的发电装置,几乎全部由以半导体物料(例如硅)制成的固体。太阳能光伏电池组成,由于没有活动的部分,故可以长时间操作而不会导致任何损耗。简单的光伏电池可为手表以及计算机提供能源,较复杂的光伏系统可为房屋提供照明以及交通信号灯和监控系统,并入电网供电。光伏板组件可以制成不同形状,而组件又可连接,以产生更多电能。近年,天台及建筑物表面均可使用光伏板组件,甚至被用作窗户、天窗或遮蔽装置的一部分,这些光伏设施通常被称为附设于建筑物的光伏系统。现代的太阳热能科技将阳光聚合,并运用其能量产生热水、蒸汽和电力。除了运用适当的科技来收集太阳能外,建筑物亦可利用太阳的光和热能,方法是在设计时加入合适的装备,例如巨型的向南窗户或使用能吸收及慢慢释放太阳热力的建筑材料。太阳光普照大地,没有地域的限制无论陆地或海洋,无论高山或岛屿,都处处皆有,可直接开发和利用,且无须开采和运输。开发利用太阳能不会污染环境,它是最清洁能源之一,在环境污染越来越严重的今天,这一点是极其宝贵的。

每年到达地球表面上的太阳辐射能约相当于 130 万亿 t 煤,其总量属现今世界上可以开发的最大能源。根据目前太阳产生的核能速率估算,氢的贮量足够维持上百亿年,而地球的生命也约为几十亿年,从这个意义上讲,可以说太阳的能量是用之不竭的。

太阳能的分散性:到达地球表面的太阳辐射的总量尽管很大,但是能流密度很低。平均说来,北回归线附近,夏季在天气较为晴朗的情况下,正午时太阳辐射的辐照度最大,在垂直于太阳光方向 1m^2 面积上接收到的太阳能平均有 1000W 左右;若按全年日夜平均,则只有 200W 左右。而在冬季大致只有一半,阴天一般只有 $1/5$ 左右,这样的能流密度是很低的。因此,在利用太阳能时,想

要得到一定的转换功率,往往需要面积相当大的一套收集和转换设备,造价较高。

太阳能的不稳定性:由于受到昼夜、季节、地理纬度和海拔高度等自然条件的限制以及晴、阴、云、雨等随机因素的影响,所以,到达某一地面的太阳辐照度既是间断的,又是极不稳定的,这给太阳能的大规模应用增加了难度。为了使太阳能成为连续、稳定的能源,从而最终成为能够与常规能源相竞争的替代能源,就必须很好地解决蓄能问题,即把晴朗白天的太阳辐射能尽量贮存起来,以供夜间或阴雨天使用,但目前蓄能也是太阳能利用中较为薄弱的环节之一。

第三节 太阳能辐射

太阳的质量很大,在太阳自身的重力作用下,太阳物质向核心聚集,核心中心的密度和温度很高,使得能够发生原子核反应。这些核反应是太阳的能源,所产生的能量连续不断地向空间辐射,并且控制着太阳的活动。根据各种间接和直接的资料,认为太阳从中心到边缘可分为核反应区、辐射区、对流区和太阳大气。在太阳半径 25%(即 $0.25R$) 的区域内,是太阳的核心,集中了太阳一半以上的质量。此处温度大约 1500 万度(K),压力约为 2500 亿大气压($1\text{atm}=101325\text{Pa}$),密度接近 $158\text{g}/\text{cm}^3$ 。这部分产生的能量占太阳产生的总能量的 99%,并以对流和辐射方式向外辐射。氢聚合时放出伽马射线,这种射线通过较冷区域时,消耗能量,增加波长,变成 X 射线或紫外线及可见光。

在核反应区的外面是辐射区,所属范围从 $0.25\sim 0.8R$,温度下降到 13 万 K,密度下降为 $0.079\text{g}/\text{cm}^3$ 。在太阳核心产生的能量通过这个区域由辐射传输出去。在辐射区的外面是对流区(对流层),所属范围从 $0.8\sim 1.0R$,温度下降为 5000K,密度为 $10\sim 8\text{g}/\text{cm}^3$ 。在对流区内,能量主要靠对流传播。对流区及

其里面的部分是看不见的,它们的性质只能靠同观测相符合的理论计算来确定。大致可以分为光球、色球、日冕等层次,各层次的物理性质有明显区别。太阳大气的最底层称为光球,太阳的全部光能几乎全从这个层次发出。太阳的连续光谱基本上就是光球的光谱,太阳光谱内的吸收线基本上也是在这一层内形成的。光球的厚度约为 500km。色球是太阳大气的中层,是光球向外的延伸,一直可延伸到几千公里的高度。太阳大气的最外层称为日冕,日冕是极端稀薄的气体壳,可以延伸到几个太阳半径之远。严格说来,上述太阳大气的分层仅有形式的意义,实际上各层之间并不存在着明显的界限,它们的温度、密度随着高度是连续地改变的。可见,太阳并不是一个一定温度的黑体,而是许多层不同波长放射、吸收的辐射体。不过,在描述太阳时,通常将太阳看作温度为 6000K、波长为 $0.3\sim 3.0\mu\text{m}$ 的黑色辐射体。

第四节 太阳能辐射的测试与计算

1. 太阳辐射的测试

通常称太阳辐射为短波辐射,地球和大气辐射为长波辐射。观测的物理量主要是辐射能流率,或称辐射通量密度或辐射强度,标准单位瓦/平方米。气象上常测定以下几种辐射量:太阳直接辐射,指来自日盘 0.5° 立体角内与该立体角轴垂直的面的太阳辐射;天空辐射(或称太阳散射辐射),指地平面上收到的来自天穹 2π 立体角向下的大气等的散射和反射太阳辐射;太阳总辐射,指地平面接收的太阳直接辐射和散射辐射之和;反射太阳辐射,指地面反射的太阳总辐射;地球辐射,指由地球(包括大气)放射的辐射;净辐射,指向下和向上(太阳和地球)辐射之差。

测量辐射的仪器。直接日射表:是测定太阳直接辐射的常规仪器。进光筒对感应面的视张角为 10° ,感应面是一块涂黑的锰铜片,它的背面紧贴热电堆正

极,负极接在遮光筒内壁,热电堆的电动势正比于太阳辐射。用于遥测的直接日射表将进光筒安装在“赤道架”上,借助电机和齿轮减速器,带动日射表进光筒准确地自动跟踪太阳。净辐射表:用于测量地表面吸收和支出辐射之差。仪器有上下两片感应面,由绝热材料将其隔开,并分别罩上聚乙烯防风薄膜。向上和向下感应面分别感应地面对辐射的收入和支出,热电堆测量它们的温差,净辐射强度正比于温差电动势。

2. 太阳辐射的计算

根据地球自转和围绕太阳公转的日常以及季节性变化,我们推导了在任意朝向光伏阵列上的太阳辐射计算方法。为了介绍这个方法,需要引入两组描述太阳和地球相对位置的坐标系(图 1-1)。第一组给出太阳相对固定在地球上的坐标系的位置,坐标系的一个轴指向天顶,另一个与之正交的轴指向地平线,即下图中的 i, j 坐标系,称为地平坐标系。另一组坐标系也固定在地球的同一个位置,但是一个轴指向极点,即北天极,另一个与之正交的轴则指向与赤道平行的方向,即下图中的 I, J 坐标系,称为时角坐标系。

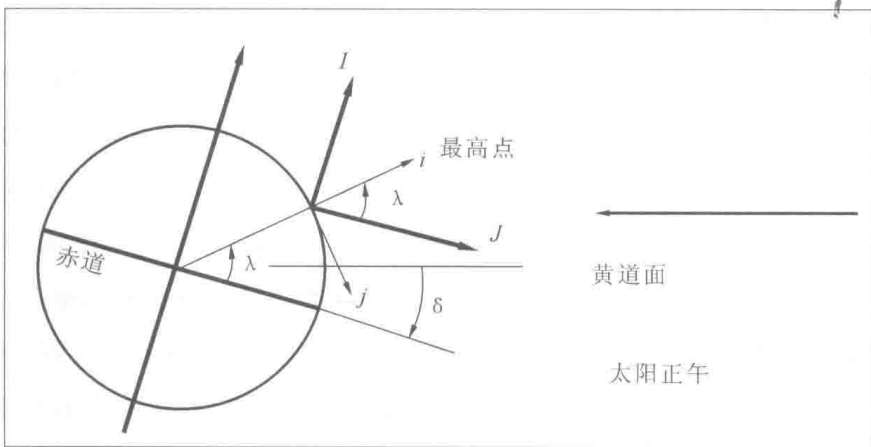


图 1-1 太阳辐射计算图

两个坐标系之间有如下关系：

$$i = (\sin\lambda)I + (\cos\lambda)J$$

$$j = (-\cos\lambda)I + (\sin\lambda)J$$

$$k = K$$

其中 λ 是观测点的纬度。

图 1-2 给出了正午时分的太阳在坐标系中的方位。

其中 Z 为天顶角，而 a_z 为太阳方位角。

从而，指向太阳的单位矢量可以写成：

$$s = (\cos z)i + (\sin z \cos a_z)j - (\sin z \sin a_z)k$$

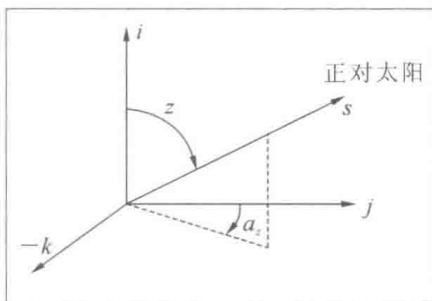


图 1-2 正午时分的太阳在坐标系中的方位图

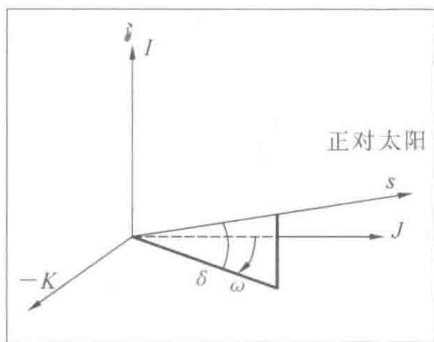


图 1-3 正午太阳单位矢量测试图

第二个坐标系(图 1-3)的一个轴始终指向北天极而另一轴位于赤道面上，方向指向南点。因而，指向正午太阳的单位矢量可以写成：

$$s = (\sin\delta)I + (\cos\delta\cos\omega)J - (\cos\delta\sin\omega)K$$

由于在两组坐标系中的矢量 s 相同，我们可以得到：

$$\cos z = (\sin\delta)(\sin\lambda) + (\cos\delta)(\cos\lambda)\cos\omega$$

$$(\sin z)(\cos a_z) = (\cos\delta)(\cos\omega)\sin\lambda - (\cos\lambda)\sin\delta$$

$$(\sin z)\sin a_z = \cos\delta(\sin\omega)$$

如果一年中的天数确定了，就可以按照库珀公式计算太阳的赤纬角 δ ：

$$\cos z = (\sin\delta)(\sin\lambda) + (\cos\delta)(\cos\lambda)\cos\omega$$

$$(\sin z)(\cos a_z) = (\cos\delta)(\cos\omega)\sin\lambda - (\cos\lambda)\sin\delta$$

$$(\sin z)\sin a_z = \cos\delta(\sin\omega)$$

如果观测者所在的地理纬度 λ 也确定了，那么就可以定义太阳的时角 ω ，它反映了从日出到日落时分太阳的天顶角在一天中的变化。从而，一天中的时间