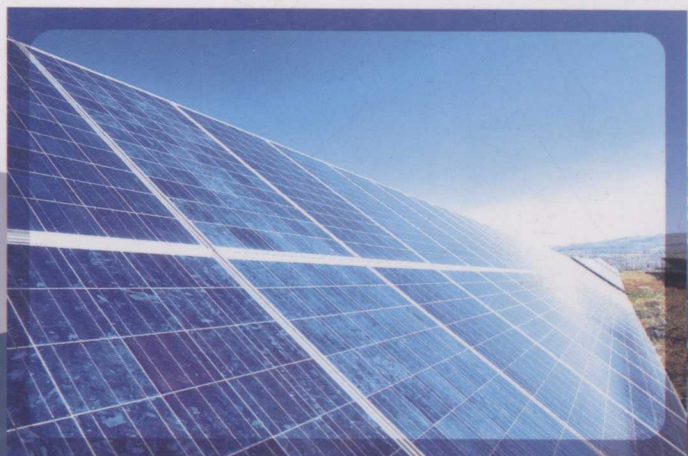


太阳能发电装置 防雷保护

游志远 冯垛生 顾承华 李祥超 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014036009

TM615

61

要 點 容 內

太阳能发电装置 防雷保护

游志远 冯垛生 顾承华 李祥超 编著



TM615

61



北航

C1715619



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

00080010

内 容 提 要

本书分为两篇,第1篇讲述防雷的理论基础和设计,第2篇介绍国内光伏发电装置防雷设计的特点、施工和实例。

由于新能源和绿色建筑技术在我国方兴未艾,且受到国家特别的重视和支持。希望本书能起到抛砖引玉的作用,为我国发展新能源事业起到微薄的贡献。

本书可供电力(电气)、电子、信息、气象(防雷)、建筑设计等专业人士作为参考教材,也可作为建筑设计部门、电网公司、气象(防雷)部门设计、施工时作参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能发电装置防雷保护/游志远等编著. —北京:中国电力出版社,2014.3

ISBN 978-7-5123-5304-6

I. ①太… II. ①游… III. ①太阳能发电-发电设备-防雷设施
IV. ①TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 292441 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>)

北京丰源印刷厂印刷

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

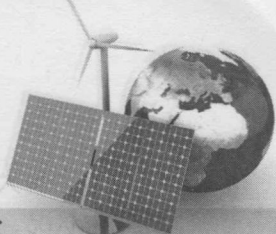
850毫米×1168毫米 32开本 5.5印张 137千字

印数 0001—3000册 定价 16.00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



太阳光是一种能量密度比较小的能源，因此光伏发电装置需要非常大的光照面积。一般在 1km^2 面积上，年间遭受雷击约 2~4 次。随着地球气候变暖的趋势，雷击次数有所增加。此外，光伏设备安装场地的高度对雷击次数亦有影响。光伏模块的框架和光伏阵列的框架，一般均由金属制成，故极易遭受雷击。若用绝缘材料制造光伏阵列框架，或者无框架其影响会小一些，但模块间有电线连接，也会受雷击。光伏发电系统遭雷击，不仅光伏模块直接受影响，还要考虑光伏发电装置中的电气电子装置（例如，逆变器和充电控制装置）也会受损，甚至运行人员也会受到影响。不过，光伏系统虽是在建筑物上设置，但不会使建筑物遭受雷击危险性增加。

为防止雷击，想做到非常完善的保护，实际上是不可能的，因为会使成本非常高。正确做法是在合理的造价下，减少人身事故和火灾危险。且根据不同情况尽量降低设备的受损率，这就是防雷保护的基本原则。光伏发电设备遭受直击雷的机会还是不多见的，一般是在接近建筑物由于感应雷产生损害的情况比较多见。例如，光伏发电系统与交流系统连系时，由于配电系统过电压而造成损坏的情况比较多见。感应雷与直击雷相比，发生的频率比较高，因此，光伏发电防雷重点是防护由于感应雷造成的损害。

全书共分两篇 10 章，主要内容如下。

第 1 篇（1~7 章）雷电的生成、特性、计算模型、光伏发电装置防雷技术特点、等电位接地原理、各种新型避雷器（SPD）的特点和线路、光伏模块感应电压计算、光伏发电防雷设计施工等。第 2 篇（8~10 章）介绍独立光伏系统（小型、千

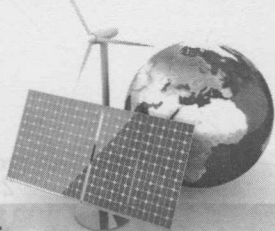
瓦级)和中、大型光伏系统(1~50MW)防雷技术施工简介、地区气象状况、对防雷的影响等。

编写分工如下:扬州市气象局防雷高级工程师游志远负责编写第1篇,广东工业大学自动化学院教授冯焱生负责编写第2篇,全书由游志远高工统稿。

本书在编写过程中,借鉴了国内外已发表的较新文献内容,仅将主要文献目录附后,并向原作者(原单位)致以深切的谢意。

由于编者水平有限,书中错漏难免,敬请读者批评指正。

编 者



前言

第1篇

太阳能光伏发电系统防雷的理论基础和设计技术

第 1 章 雷电的成因、放电特性及计算模型 3

1.1 雷电的成因 3

1.2 雷击闪电的特性 9

1.3 雷电放电的计算模型及雷电流的波形 ... 14

1.4 雷电过电压的抑制措施 17

第 2 章 光伏 (PV) 发电系统防雷技术特点 22

2.1 光伏电池阵列的雷击率 22

2.2 雷电流分类 23

2.3 波形 $10/350\mu\text{s}$ 和 $8/20\mu\text{s}$ 的差别 25

2.4 建筑物受直击雷的年预计雷击次数估计

..... 26

2.5 第一雷击、负性后续雷击、长时间雷击的

区分 29

2.6 雷保护水平的等级 30

2.7 用旋转球体法确定雷击保护范围 31

2.8 避雷针的保护范围 32

2.9 避雷针通过多支引下导线的分流作用 ... 34

2.10	光伏发电系统等电位接地的实施	36
------	----------------------	----

第3章	光伏发电系统等电位接地的原理和实施	39
------------	--------------------------------	-----------

3.1	光伏发电系统接地的作用	39
-----	-------------------	----

3.2	直流母线不经过雷电流的接地方式	39
-----	-----------------------	----

3.3	光伏发电装置外壳接地的防雷效果	41
-----	-----------------------	----

3.4	大型光伏发电系统——多台光伏阵列并联 连接时的接地设计方案一（避雷针、光伏 阵列、逆变器等电位接地）	42
-----	--	----

3.5	大型光伏发电系统——多台光伏阵列并联 连接时的接地设计方案二（光伏阵列与逆 变器接地极分开）	45
-----	--	----

3.6	光伏发电系统直流回路的接地保护	47
-----	-----------------------	----

3.7	光伏发电系统由于接触电压引起的人体 触电事故	51
-----	---------------------------------	----

第4章	光伏发电系统的浪涌保护器的特点及使用接线图	52
------------	------------------------------------	-----------

4.1	光伏发电系统选用 SPD 的特点	52
-----	------------------------	----

4.2	光伏发电系统中适应直击雷电流用的 SPD	59
-----	----------------------------	----

4.3	适应直流电路保护的的新型 SPD	60
-----	------------------------	----

4.4	SPD 的Y形接法	62
-----	-----------------	----

4.5	直流电路保护专用 SPD	62
-----	--------------------	----

4.6	直击雷且能量巨大时的 SPD 保护技术	64
-----	---------------------------	----

4.7	直击雷强电流（10/350 μ s）时的复合型 防雷设计	67
-----	---	----

4.8	根据不同雷电流波形选用 SPD	69
第5章	光伏发电系统遭受雷击时产生的感应电压和电流计算	77
5.1	感应电流的计算	77
5.2	方形导体闭环形成互感的感应电压计算	78
5.3	光伏模块之间通过续流二极管流过的电流计算	81
5.4	避雷针与相邻光伏模块平行布置时感应电压计算	84
5.5	避雷针与相邻光伏模块垂直布置时感应电压的计算	85
5.6	光伏模块带金属外框时感应电压的衰减	85
5.7	光伏模块背面贴铝膜对感应电压的影响	86
第6章	光伏电池模块不同接法时的互感计算	87
6.1	光伏电池模块概述	87
6.2	配线(布线)产生的互感计算	88
6.3	光伏模块串联时的互感	89
6.4	远方雷击的影响	91
第7章	光伏发电系统防雷设计和施工	94
7.1	小型(屋顶型)光伏发电装置对远方雷击保护的施工实装图	94
7.2	小型(屋顶型)光伏发电装置对直击雷保护的施工实装图	96

7.3	地面设置大型光伏发电装置防雷保护方案 和施工布线图	98
7.4	大厦屋顶上设置的中型 (100kW 以下) 光伏发电装置的防雷保护方案和接地网络 布线	101

第2篇

国内光伏发电装置防雷设计和施工实例

第 8 章	独立太阳能光伏发电系统防雷技术	105
8.1	小型建筑物屋顶的光伏发电装置	105
8.2	村落光伏电站的防雷措施	108
第 9 章	大型并网光伏电站防雷技术	116
9.1	陕西省 5~10MW 某光伏发电项目防雷 设计的特点	116
9.2	陕西省靖边县 5MW 大型光伏电站	117
9.3	德州皇明教育基地 2MW 光伏电站防雷 设计特点	121
9.4	青海乌兰 50MW 大型并网光伏电站防雷 设计特点	123
9.5	江苏徐州协鑫 18MW 大型光伏电站安装 避雷针后的“热斑”效应研究	126
9.6	大规模光伏电站防雷设计中雷击感应电压 的计算	130
第 10 章	光伏发电子系统防雷实用技术及施工	135
10.1	等电位连接	135

10.2	接地技术	139
10.3	光伏电站汇流箱的设计和功能	146
10.4	防雷器（防雷模块）的设计和安装 ...	149
10.5	光伏阵列在雷击时感应电容、传导效应 产生过电压的防范	153
10.6	从地区气象情况出发进行光伏电站的 防雷设计	159

参考文献.....	165
-----------	-----

太阳能光伏发电系统防雷的理论 基础和设计技术

雷电的成因、放电特性及计算模型

第1篇

1.1 雷电的成因

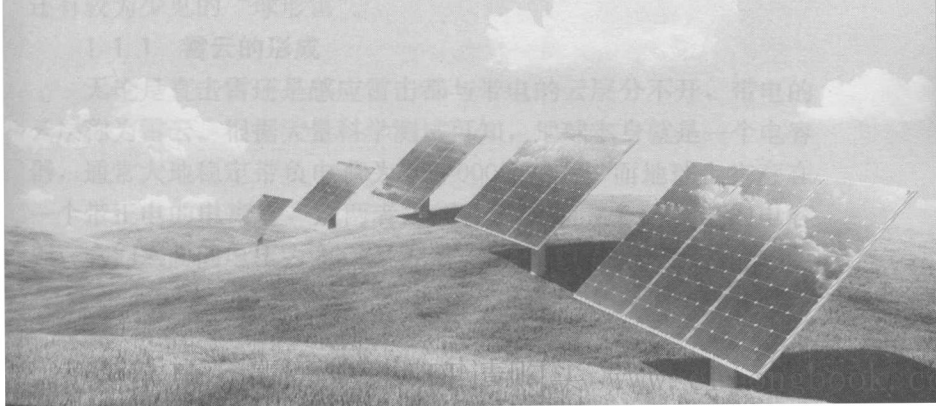
太阳能光伏发电系统防雷的理论 基础和设计技术

的云层之间,或云层与大地之间发生的放电过程,这种迅猛的放电现象,称为雷电。雷电是一种自然放电现象,在短时间内能释放出大量的电荷并产生很强的冲击电压和很高的电弧温度。闪电可分为云闪和地闪,云闪是指不与大地和地上的物体发生接触的闪电,包括云内闪电、云际闪电和云空闪电,主要对在空中的飞行器有危害;地闪是指云内荷电中心与大地和地物之间的放电过程,亦指与大地和地物发生接触的闪电,主要对地上的建筑物、电子电气设备和人、畜危害甚大,是我们防护的主要对象。

通常,雷击主要有以下几种形式:一是雷直接击在建筑物上发生热效应作用和电动力作用,称为直击雷;二是雷云放电时,在附近导体上产生的静电感应和电磁感应,称为感应雷击;此外还有较为少见的“球形雷”。

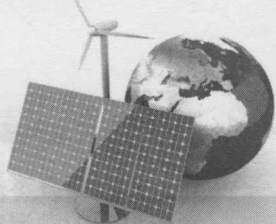
1.1.1 雷云的形成

无论是直击雷还是感应雷击都与带电的云层分不开,带电的云层称为雷云。根据大量科学实验可知,雷云本身就是一个电容器,通常大地稳定带负电,雷云带正电,雷云与大地之间形成一个带正电的电场。



策上篇

太明論光武中系起雷伯聖
基臨味對本



第1章

雷电的成因、放电特性及计算模型



1.1 雷电的成因

通常所谓雷击是指一部分带电的云层与另一部分带异种电荷的云层之间，或者是带电的云层对大地之间迅猛放电的过程，这种迅猛的放电过程产生强烈闪光并伴随巨大的声音。雷电是一种自然放电现象，在短时间内能释放出大量的电荷并产生很强的冲击电压和很高的电弧温度。闪电可分为云闪和地闪，云闪是指不与大地和地上的物体发生接触的闪电，包括云内闪电、云际闪电和云空闪电，主要对在云中的飞行器有危害；地闪是指云内电荷中心与大地和地物之间的放电过程，亦指与大地和地物发生接触的闪电，主要对地上的建筑物、电子电气设备和人、畜危害甚大，是我们防护的主要对象。

通常，雷击主要有以下几种形式：一是雷直接击在建筑物上发生热效应作用和电动力作用，称为直击雷；二是雷云放电时，在附近导体上产生的静电感应和电磁感应，称为感应雷击；此外还有较为少见的“球形雷”。

1.1.1 雷云的形成

无论是直击雷还是感应雷击都与带电的云层分不开，带电的云层称为雷云。根据大量科学测试可知，地球本身就是一个电容器，通常大地稳定带负电荷为 $500\,000\text{C}$ 左右；而地球上空存在一个带正电的电离层，这两者之间便形成了一个已充电的电容器，它们之间的电压为 300kV 左右，并且场强为上正下负。

地面含有水蒸气的空气受到炽热的地面烘烤受热而上升，或者较温暖的潮湿空气与冷空气相遇而被垫高产生向上的气流。含水蒸气的上升气流上升时温度逐渐下降，形成雨滴、冰雹（称为水成物），这些水成物在地球静电场的作用下被极化（图 1-1）。负电荷在上，正电荷在下，它们在重力作用下落下的速度比云滴和冰晶（这两者称为云粒子）要大，因此极化水成物在下落过程中要与云粒子发生碰撞。碰撞的结果是其中一部分云粒子被水成物所捕获，增大了水成物的体积，另一部分未被捕获的被反弹。而反弹的云粒子带走水成物前端的部分正电荷，使水成物带上负电荷。由于水成物下降的速度快，而云粒子下降的速度慢，因此带正、负两种电荷的微粒逐渐分离（称重力分离作用）。如果遇到上升气流，云粒子不断上升，分离的作用更加明显。最后形成带正电的云粒子在云的上部，而带负电的水成物在云的下部，或者带负电的水成物以雨或雹的形式下降到地面。当雷云层一经形成，就会形成雷云空间电场，空间电场的方向和地面与电离层之间的电场方向是一致的，都是上正下负，因而加强了大气的电场强度，使大气中水成物的极化更厉害，在上升气流存在的情况下加剧了重力分离作用，使雷云发展得更快。

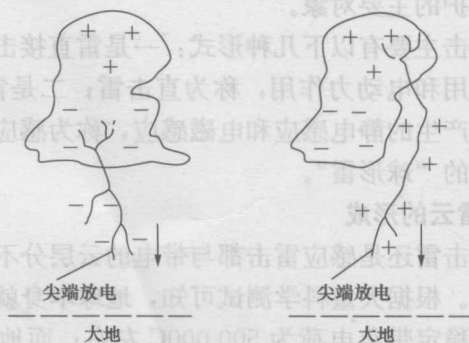


图 1-1 水成物在大气电场中的极化

从以上分析可知，雷云总是上层带正电荷，下层带负电荷。



实际上气流并不单只有上下移动，而比这种运动更为复杂。因此雷云电荷的分布也比前文所述的要复杂得多。

根据大量直接观测结果，典型的雷云中的电荷分布大体如图 1-2 所示。

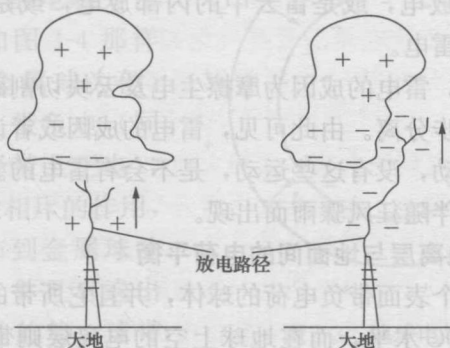


图 1-2 典型的雷雨云中的电荷分布

从测试结果表明，大地被雷击时，多数是负电荷从雷云向大地放电，少数是雷云上的正电荷向大地放电。在一块雷云发生的多次雷击中，最后一次雷击往往是雷云上的正电荷向大地放电。从观测表明，发生正电荷向大地放电的雷击表现得十分猛烈。

以上假说首先是由威尔逊 (Wilson) 提出的，通常把它称为威尔逊假说。另外，有学者对雷云的形成提出了如下假说。

雷电的出现是与气流、风速密切相关的，而且与地球磁场也有一定的联系。雷雨云内部的不停运动和相互摩擦使雷雨云产生大量的正、负电荷的小微粒，即所谓的摩擦生电。这样，庞大的雷雨云就相当于一块带有大量正、负电荷的云块，而这些正、负电荷不断地产生，同时也在不断地复合，当这些云块在水平方向向东或向西迅速移动时 (最大风速可达 40m/s)，它与地球磁场磁力线产生切割，如同导体切割磁力线产生电流一样，云中的正、负电荷将产生定向移动，其移动的方向可按右手定则来判

断。若云块是由西向东移动,而地磁场磁力线则是由地球的南极指向地球的北极,因此大量的正电荷向上移动,负电荷向下移动,这样,云的下部将积聚越来越多的负电,而云的上部积聚大量的正电,当电场强度达到足够高($25\sim 30\text{kV/cm}$)时将引起雷云间的强烈放电,或是雷云中的内部放电,或是雷云对地放电,即所谓的雷电。

综上所述,雷电的成因为摩擦生电及云块切割磁力线,再把不同电荷进一步分离。由此可见,雷电的成因或者说主要能源来自于大气的运动,没有这些运动,是不会有雷电的。这也说明了为什么雷电总伴随狂风骤雨而出现。

1.1.2 电离层与地面间的电荷平衡

地球是一个表面带负电荷的球体,并且它所带的负电荷长期稳定在 $500\,000\text{C}$ 水平,而在地球上空的电离层则带有相等的正电荷,使电离层与地面之间的电压约为 300kV 。因而在电离层与地面之间存在一个电场,晴天时在地面附近的电场强度为 120V/m 。即使在晴天时,大气中总有一些空气分子被电离,在电场的作用下造成放电电流。根据观测和计算的结果表明,全地球中在电场作用下该放电电流强度为 1.8kA 。如果长期如此,电离层与地面之间的电荷将很快放电完毕;事实上,它们之间大致长期保持恒定的电量和电压,这主要由于雷暴的形成和雷击,把正电荷从大地送回到电离层,起到对电离的正电荷充电的作用。根据卫星观测资料及电学观测资料估计,在任何时刻地球表面连续发生着大约 1000 个雷暴,从而使电离层与大地之间的电场保持稳定。用电流强度 (kA) 表征的地球电场示意图如图 1-3 所示。

1.1.3 尖端放电与雷击

通常物体内部的正电荷和负电荷是相等的,所以从整体来看不显示带电现象,当某一物体所具有的正、负电荷不相等时,这个物体就显示带电的特性,当物体内部的正电荷多于负电荷时,



物体带正电，反之带负电。

由于电荷都有异性相吸、同性相斥的特性，所以带电物体中的同性电荷总是受到互相排斥的电场力作用。以一个如图 1-4 那样的带尖峰的金属球为例，假如金属球上带负电（同理也可以解释带上正电），由于电荷同性相斥的作用，电子总是分布到金属球的最外层表面，并且有逸出金属球表面的趋势。球带有尖峰部分的电子受到同性电荷往外排斥力最强，故最容易被排斥离开金属球（图 1-4），这就是通常说的“尖端放电”。此外当带电物体周围的空气越潮湿或带有与带电体相反电荷的离子时，带电体也越容易

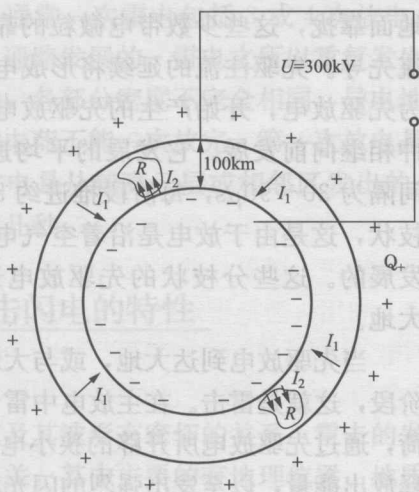


图 1-3 地球电场示意图

放电。

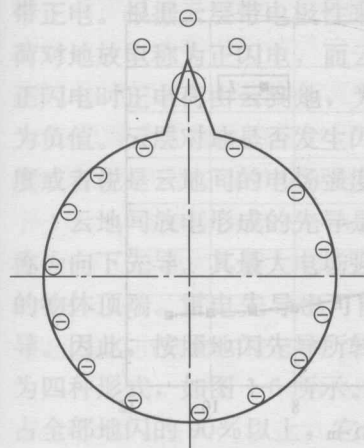


图 1-4 尖端容易放电

当天空中有雷云时，雷云带有大量电荷，由于静电感应作用，雷云下方的地面和地面上的物体都带上了与雷云相反的电荷。雷云与其下方的地面就成为一个已充电的电容器，当雷云与地面间的电压高到一定值时，地面上突出的物体比较明显地放电。同时，天空带电的雷云在电场作用下，少数带电的云粒（或水成物）也向