

新 能 源 发 电 并 网 技 术 丛 书

*Construction and Operation Safety Technology of Power  
Equipment for Photovoltaic Power Plants*

陈小群 等 编

**光伏电站电力设备  
施工及运行安全技术**

非  
外  
借



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

新能源发电并网技术丛书

陈小群等 编

# 光伏电站电力设备 施工及运行安全技术



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书详尽介绍了光伏电站电力设备类型和技术特性、施工安全技术、运行安全技术、标准规范、异常及事故处理以及与光伏电站电力设备施工、运维紧密相关的安全技术相关专业知识和管理要求。全书共分十一章，内容包括光伏电站电力设备概况、发电设备、输电设备、变电设备、配电设备、无功补偿设备、综合自动化系统设备、直流系统设备、调度通信系统设备、防雷接地设备、安全工器具等。希望本书的出版能够促进光伏电站电力设备安装及运行安全技术管理的研究和应用，推动新能源产业安全稳定发展。

本书内容全面，具有先进性和实用性，既可作为光伏电站电力设备施工及运行维护人员培训教材，也可供院校师生和从事光伏发电相关专业工作的安全技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

光伏电站电力设备施工及运行安全技术 / 陈小群等  
编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2018.9  
(新能源发电并网技术丛书)  
ISBN 978-7-5170-7028-3

I. ①光… II. ①陈… III. ①光伏电站—电力设备—  
工程施工—安全技术②光伏电站—运行—安全技术 IV.  
①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第232734号

书 名	新能源发电并网技术丛书 <b>光伏电站电力设备施工及运行安全技术</b> GUANGFU DIANZHAN DIANLI SHEBEI SHIGONG JI YUNXING ANQUAN JISHU
作 者	陈小群 等 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18印张 394千字
版 次	2018年9月第1版 2018年9月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	<b>88.00元</b>

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 丛 书 编 委 会

主 任 丁 杰

副主任 朱凌志 吴福保

委 员 (按姓氏拼音排序)

陈 宁 崔 方 赫卫国 秦筱迪

陶以彬 许晓慧 杨 波 叶季蕾

张军军 周 海 周邺飞

# 本书编委会

主 编 陈小群

副 主 编 (按姓氏笔画排序)

王 瑜	成润奕	刘 兵	刘玉颖	汝会通
汤建军	汤维贵	李 明	肖立佳	张高群
张继平	赵延龙	哈 伟	禹国顺	高秉文
曾学仁				

参编人员 (按姓氏笔画排序)

马轶佳	王 萌	王 森	王志勇	王春生
王清莲	王瑞平	方 亮	叶海桑	冉 佳
付宏伟	包海龙	冯 瑞	邢国斌	毕力格图
朱文龙	乔智博	刘希彬	刘洋洋	刘 晓
许广威	孙志刚	孙海成	闫晶晶	李 晖
李 斌	李 熙	李璞山	杨 乐	杨元林
杨祺金	豆鹏涛	吴国磊	何 艳	辛 峰
沈天宏	张 钦	张 强	张爱玲	张海滨
张绪宝	陆志荣	陆海洋	陈 路	林浩然
明远航	赵 龙	赵铁锤	胡永辉	胡意新
姜 凯	栗 驰	贾少荣	贾晓辉	夏禹春
郭 峰	郭 超	郭康康	黄勇德	曹周生
董卫平	董明知	董鹏辉	韩鹏飞	程大利
雷 豪	蔡 东	蔡 苓	谭 杰	樊 亮



随着全球应对气候变化呼声的日益高涨以及能源短缺、能源供应安全形势的日趋严峻，风能、太阳能、生物质能、海洋能等新能源以其清洁、安全、可再生的特点，在各国能源战略中的地位不断提高。其中风能、太阳能相对而言成本较低、技术较成熟、可靠性较高，近年来发展迅猛，并开始能源供应中发挥重要作用。我国于2006年颁布了《中华人民共和国可再生能源法》，政府部门通过特许权招标，制定风电、光伏分区上网电价，出台光伏电价补贴机制等一系列措施，逐步建立了支持新能源开发利用的补贴和政策体系。至此，我国风电进入快速发展阶段，连续5年实现增长率超100%，并于2012年6月装机容量超过美国，成为世界第一风电大国。截至2014年年底，全国光伏发电装机容量达到2805万kW，成为仅次于德国的世界光伏装机第二大国。

根据国家规划，我国风电装机容量2020年将达到2亿kW。华北、东北、西北等“三北”地区以及江苏、山东沿海地区的风电主要以大规模集中开发为主，装机规模约占全国风电开发规模的70%，将建成9个千万千瓦级风电基地；中部地区则以分散式开发为主。光伏发电装机容量预计2020年将达到1亿kW。与风电开发不同，我国光伏发电呈现“大规模开发，集中远距离输送”与“分散式开发，就地利用”并举的模式，太阳能资源丰富的西北、华北等地区适宜建设大型地面光伏电站，中东部发达地区则以分布式建筑光伏为主，我国新能源在未来一段时间仍将保持快速发展的态势。

然而，在快速发展的同时，我国新能源也遇到了一系列亟待解决的问题，其中新能源的并网问题已经成为社会各界关注的焦点，如新能源并网接入问题、包含大规模新能源的系统安全稳定问题、新能源的消纳问题以及新能源分布式并网带来的配电网技术和管理问题等。

新能源并网技术已经得到了国家、地方、行业、企业以及全社会的广泛关注。自“十一五”以来，国家科技部在新能源并网技术方面设立了多个“973”“863”以及科技支撑计划等重大科技项目，行业中诸多企业也在新能

源并网技术方面开展了大量研究和实践，在新能源并网技术方面取得了丰硕的成果，有力地促进了新能源发电产业的发展。

中国电力科学研究院作为国家电网公司直属科研单位，在新能源并网等方面主持和参与了多项国家“973”“863”以及科技支撑计划和国家电网公司科技项目，开展了大量与生产实践相关的针对性研究，主要涉及新能源并网的建模、仿真、分析、规划等基础理论和方法，新能源并网的实验、检测、评估、验证及装备研制等方面的技术研究和相关标准制定，风电、光伏发电功率预测及资源评估等气象技术研发应用，新能源并网的智能控制和调度运行技术研发应用，分布式电源、微电网以及储能的系统集成及运行控制技术研發应用等。这些研发所形成的科研成果与现场应用，在我国新能源发电产业高速发展中起到了重要的作用。

本次编著的《新能源发电并网技术丛书》内容包括电力系统储能应用技术、风力发电和光伏发电预测技术、新能源发电建模与仿真技术、光伏发电并网试验检测技术、微电网运行与控制、光伏电站电力设备施工及运行安全技术、光伏发电认证及实证技术、新能源发电建模与仿真技术、新能源调度技术与并网管理、分布式电源并网运行控制技术、电力电子技术智能配电网中的应用、新能源功率预测等多个方面。该丛书是中国电力科学研究院等单位在新能源发电并网领域的探索、实践以及在大量现场应用基础上的总结，是我国首套从多个角度系统化阐述大规模及分布式新能源并网技术研究与实践的著作。希望该丛书的出版，能够吸引更多国内外专家、学者以及有志从事新能源行业的专业人士，进一步深化开展新能源并网技术的研究及应用，为促进我国新能源发电产业的技术进步发挥更大的作用！

中国科学院院士、中国电力科学研究院名誉院长





经过多年发展，我国光伏发电经历成立起步、产业化发展、规模化发展等阶段，光伏发电新装机连续5年全球第一，累计装机规模连续3年位居全球第一。光伏发电与风力发电相比，具有安全可靠、无噪声、低污染、无需消耗燃料和架设输电线路即可就地发电供电、建设周期短等优势。但由于光伏电站电力设备施工及运行过程中容易受到自然灾害、周围环境、施工方法等因素的影响，多发生火灾、雷击、触电等安全事故，造成人员伤亡、财产损失等不良影响，越来越引起电力行业的高度关注。因此，为适应光伏发电不断发展的趋势，不断提高电力设备施工安全和运行安全管理水平，研究光伏电站电力设备施工和运行安全技术工作，其意义深远，作用重大。

本书是在总结多年光伏电站施工和运行安全技术管理经验基础上编写而成，其内容包含了光伏电站电力设备概况、发电设备、输电设备、变电设备、配电设备、无功补偿设备、综合自动化系统设备、直流系统设备、调度通信系统、防雷接地设备施工及运行安全技术以及安全工器具安全措施等诸多方面，全书贯穿着以实际应用为主线，由浅入深，系统地介绍了光伏电站电力设备类型特点及施工和运行安全技术要求，有利于读者对电力设备现场施工和运行安全的学习和理解。

在本书的编写过程中，得到中国三峡新能源有限公司和各分公司领导的大力支持，三峡新能源内蒙古分公司禹国顺、李明完成全书的统稿工作，谨在此一并表示衷心感谢。本书编写中查阅了大量的资料和文献，在此对其作者一并表示感谢。

由于编者时间仓促、水平有限，书中难免存在疏漏之处，不妥之处望批评指正。

**作者**

2018年8月



序

前言

第1章 光伏电站	1
1.1 光伏发电	1
1.2 光伏电站的安全管理	3
1.3 光伏电站典型事故案例	6
第2章 发电设备施工及运行安全技术	8
2.1 光伏组件	8
2.2 汇流箱	11
2.3 逆变器	13
2.4 水面光伏电站特有设备	15
2.5 事故及异常处理	18
2.6 标准依据	18
第3章 输电设备施工及运行安全技术	20
3.1 送出线路设备	20
3.2 集电线路设备（高压电缆）	26
3.3 光伏专用电缆	30
3.4 事故及异常处理	32
3.5 标准依据	34
第4章 变电设备施工及运行安全技术	36
4.1 主变压器	36
4.2 箱式变压器	39
4.3 接地变压器及站用变压器	43
4.4 SVG连接变压器	47
4.5 备用变压器	49
4.6 事故及异常处理	53

4.7	标准依据 .....	62
<b>第5章</b>	<b>配电设备施工及运行安全技术 .....</b>	<b>64</b>
5.1	GIS设备 .....	64
5.2	室外开关设备 .....	67
5.3	开关柜 .....	78
5.4	事故及异常处理 .....	83
5.5	标准依据 .....	85
<b>第6章</b>	<b>无功补偿设备施工及运行安全技术 .....</b>	<b>87</b>
6.1	电容器 .....	87
6.2	SVC .....	89
6.3	SVG .....	92
6.4	SVG功率模块 .....	94
6.5	事故及异常处理 .....	97
6.6	标准依据 .....	99
<b>第7章</b>	<b>综合自动化系统设备施工及运行安全技术 .....</b>	<b>101</b>
7.1	继电保护装置 .....	101
7.2	测控装置 .....	104
7.3	自动装置 .....	106
7.4	其他装置 .....	109
7.5	事故及异常处理 .....	110
7.6	标准依据 .....	111
<b>第8章</b>	<b>直流系统设备施工及运行安全技术 .....</b>	<b>113</b>
8.1	站用直流系统 .....	113
8.2	通信直流系统 .....	116
8.3	UPS系统 .....	120
8.4	事故及异常处理 .....	125
8.5	标准依据 .....	127
<b>第9章</b>	<b>调度通信系统设备施工及运行安全技术 .....</b>	<b>128</b>
9.1	网络交换机 .....	128
9.2	路由器 .....	130
9.3	纵向加密认证装置 .....	131
9.4	防火墙 .....	134
9.5	PCM脉冲编码调制设备 .....	136
9.6	SDH光传输设备 .....	138

9.7	调度电话设备	142
9.8	事故及异常处理	143
9.9	标准依据	144
<b>第 10 章</b>	<b>防雷接地设备施工及运行安全技术</b>	<b>146</b>
10.1	接闪器	146
10.2	避雷引下线	149
10.3	接地系统	152
10.4	过电压保护器	153
10.5	水上方阵接地系统	157
10.6	事故及异常处理	159
10.7	标准依据	159
<b>第 11 章</b>	<b>安全工器具安全措施</b>	<b>161</b>
11.1	基本绝缘安全工器具	161
11.2	安全防护工器具	171
11.3	水面光伏的运维船只及运维码头安全措施	175
11.4	标准依据	176
<b>附录</b>		<b>178</b>
附录 1	DL/T 1476—2015《电力安全工器具预防性试验规程》节选	178
附录 2	DL/T 1253—2013《电力电缆线路运行规程》节选	196
附录 3	DL 5027—2015《电力设备典型消防规程》节选	231
<b>参考文献</b>		<b>273</b>

# 第1章 光伏电站

## 1.1 光伏发电

### 1.1.1 概述

太阳能光伏发电是将太阳光辐射能量直接转化为电能的一种发电形式，也称光伏发电。利用太阳能电池有效吸收太阳辐射，并使之转换成电能的直接发电的系统称为光伏发电系统或光伏电站，具有结构简单、发电过程清洁、便于安装等优点。

#### 1. 光伏发电的特点

太阳能光伏发电具有清洁、应用范围广、可靠性高、发电系统易扩容、发电间歇性和波动性等特点。

(1) 清洁、无噪声。光伏发电利用清洁的太阳能资源，发电过程不向外界排放废物，发电系统无机械运动部件。

(2) 应用范围广。光伏发电系统安装形式多样，既可地面安装也可与建筑结合，既可独立运行也可并网运行，应用范围较广。

(3) 可靠性高。即使在地震、冻雪等极端恶劣环境下，只要有太阳光照就可以发电，供电可靠性高，商业化运行的光伏电站设计寿命一般为 25 年。

(4) 发电系统结构简单，可采用模块化结构设计，易于扩容。

(5) 发电间歇性和波动性强。光伏发电易受天气和环境的影响，波动性强，研究利用一些新技术，如储能技术、多能互补发电技术等，可以缓解其波动性和间歇性。

#### 2. 光伏发电系统

由光伏阵列和平衡部件组成。光伏阵列是按照应用领域的电压及电流需求，由若干太阳能电池组件（见光伏组件）经串、并联排列而成，可以满足负载所要求的输出功率。平衡部件包括控制器、蓄电池组、逆变器、交流配电系统、数据采集与监控系统等。控制器是通过检测蓄电池的电压和荷电状态来控制蓄电池充、放电，以防止蓄电池的过充电和过放电。蓄电池是放电后可用充电的方法使其活性物质恢复到初始状态，从而获得再放电能力，即反应是可逆的化学电源，又称二次电池。蓄电池是光伏系统的储能装置，它将光伏阵列从太阳辐射能转换来的直流电转换为化学能贮存起来，以供需要时应用。逆变器是一种由半导体器件组成的电力调整装置（见光伏逆变器），用于将光

伏阵列输出的直流电转换为交流电。交流配电系统是用来接收和分配交流电能的电力设备，主要包括控制电器、保护电器、测量电器以及母线和载流导体等。数据采集及监控系统主要是分时采集并存储逆变器及光伏系统运行状态的各种电气参数和环境参数，以实现光伏发电系统的远程操作控制。

光伏发电系统可以应用于远离公共电网的无电地区和一些特殊处所，为边远偏僻农村、牧区，海岛地区的人们提供基本生活用电，为通信中断站、气象台站、边防哨所等特殊处所提供电源。光伏发电系统可以安装在荒漠戈壁地区，与公共电网连接，将电能转换成符合市电电网要求的交流电，然后输送到公用电网，参与电力调度。光伏发电系统还可以依靠城镇、村落，安装在用电负荷附近，实现电能就地消纳，多余电能输送到公共电网。光伏发电系统可以安装在城市建筑上。有效降低建筑物的电网供电需求，减少输配电损失，无需额外占地和架设输电线路。光伏发电系统还可以和风力发电系统等其他分布式电源系统组成多能互补系统，应用于海岛和偏远无电地区，实现系统自我控制和管理，既可实现独立运行，也可并网运行，增强供电的稳定性和可靠性。此外，光伏发电技术还应用于生活用品和景观装饰上，包括太阳能路灯、太阳能钟表、太阳能玩具等。除地面应用，空间太阳能电站也是人类开发利用太阳能的一种设想。

### 1.1.2 光伏发电发展的形势

我国地处北半球，南北距离和东西距离都在 5000km 以上，大多数地区年平均日辐射量在  $4\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  以上，西藏日辐射量最高达  $7\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ 。年日照时数大于 2000h。理论储量达每年 17000 亿 t 标准煤，开发潜力广阔。

1958 年我国开始对太阳电池的研究，1959 年我国研制成功第一个有实用价值的太阳电池。1971 年 3 月太阳电池首次成功地应用于我国第 2 颗卫星上，1979 年开始生产单晶硅太阳电池。20 世纪 90 年代中期后光伏发电进入稳步发展时期，太阳电池及组件产量逐年稳步增加。

近十几年来，光伏发电迎来了快速发展的新阶段。截至 2016 年年底，我国光伏电站累计装机容量 7742 万 kW，成为全球光伏发电装机容量最大的国家。其中，集中式光伏电站 6710 万 kW，分布式光伏电站 1032 万 kW；2016 年新增装机容量 3424 万 kW，同比增长 79.30%，其中集中式光伏电站新增 2998 万 kW，分布式光伏电站新增 426 万 kW，呈迅速发展的趋势。

根据国家能源局公布的《2017 年度全国可再生能源电力发展监测评价报告》数据显示，截至 2017 年年底，我国光伏发电累计装机容量达 130.25GW，光伏发电量达 1182 亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，占全部发电量的 1.8%。

2018 年 5 月底，国家发展改革委员会、财政部、国家能源局联合印发了《关于 2018 年光伏发电有关事项的通知》（发改能源〔2018〕823 号），对 2018 年光伏发电发展的有关事项进行安排部署。2017 年年底并网装机容量累计超过 1.3 亿 kW，光伏发电在推动能源转型中发挥了重要作用，但也存在光伏发电弃光问题显现以及补贴需求持续



扩大等问题，直接影响光伏行业健康有序发展，当前重点需要从扩大规模转到提质增效、推进技术进步上来，需要从更有利于健康可持续发展的角度，着力推进技术进步，降低发电成本，减少补贴依赖，优化发展规模，提高运行质量，推动行业有序、高质量发展。

## 1.2 光伏电站的安全管理

### 1.2.1 自然因素的风险分析

光伏电站由光伏组件、光伏逆变器、光伏支架以及光伏线缆等构成。

光伏电站的安全风险管理非常重要，不论是分布式小型电站，还是集中式大型地面电站。光伏电站一般安装在荒郊野外或者屋顶，组件必须安装在露天状态下，自然环境恶劣，沙尘等会对光伏电站电力设备造成损坏。危岩、泥石流、滑坡等潜在风险和地质自然灾害也是光伏电站的安全隐患，光伏电站选址要建在地震基本烈度为9度以下的地区，对于9度以上地区建站应进行地震安全性评估。积雪、结冰、雷击、鸟类粪便多的地区，光伏发电效率将受到严重影响。

这几年，光伏电站以多种形式在农村出现，如农光互补、村级扶贫电站、渔光互补、林光互补等，光伏电站可以建设在大棚上，也可以建设在农村的沼泽、滩涂、荒地之上，还可以建设在农村的河流、琥珀之中。对于渔光互补项目，要考虑提高防洪标准，考虑风、浪、潮的影响。对于山区的光伏电站应考虑防山洪和排山洪的措施。

### 1.2.2 雷击的风险分析

雷电分为直击雷和感应雷。光伏电站的各类电力设备大部分安装在露天状态下，且分布的面积较大，组件和支架都是导体，对雷电有相当大的吸引力，存在直击雷和感应雷危害的安全风险。

直击雷是指直接落到光伏方阵、直流配电系统、电气设备及其配线等处，对设备、线路造成直接危害的雷击；感应雷是指在相关建筑物、设备和线路的附近及更远的地方产生的雷击，引起相关建筑物、设备和线路过电压，这个浪涌电压通过静电感应或电磁感应的形式串入到相关电子设备和线路上，对设备、线路造成危害。对安装在空旷田野、高山上的光伏发电系统，特别是雷电多发地区，必须配备防雷接地装置。

### 1.2.3 火灾的风险分析

光伏电站火灾危险性较大的设备有汇流箱、逆变器、蓄电池、连接器、配电柜及变压器，易发生电气火灾。

对于变压器防火风险：一是对带油电气设备在使用过程中容易引发火灾，为了防止火势蔓延到贴邻建（构）筑物，在与其他建（构）筑物贴邻侧应设置防火墙；二是对屋

内单台总油量为 100kg 以上的电气设备，屋外单台油量为 1000kg 以上的电气设备，应设置储油或挡油设施，储油设施内应铺设卵石层。

对于电缆防火风险，由于光伏电站占地面积大，电缆分布广，无法针对电缆设置固定的灭火装置。在电缆沟道内应采用防火分隔和阻燃电缆作为应对电缆火灾的主要措施，集中敷设于沟道、槽盒中的电缆宜选用 C 类或 C 类以上的阻燃电缆。

#### 1.2.4 工作场所的风险分析

光伏电站工作场所的卫生与安全风险对工作人员存在潜在伤害：一是物理（非电气）伤害的风险，如阳光照射、割伤（光伏组件的金属框架、接线盒等可能有尖锐的边缘会导致受伤）、灼伤、高处坠落、机械伤害、交通事故等；二是电气伤害的风险，如触电、中毒（光伏板火灾烧毁时出现化学有害烟气）等。

#### 1.2.5 其他因素的风险分析

(1) 光伏支架的稳定。理论上光伏支架的最大抗风能力为 216km/h，光伏跟踪支架最大抗风能力为 150km/h（大于 13 级台风）。若电站建在平地，要考虑到地理和地质因素，如选址地形的朝向、坡度起伏程度、积水深度、洪水水位、排水条件等。

(2) 组件遮挡。组件遮挡包括灰尘遮挡，积雪遮挡，杂草、树木、电池板及其他建筑物等遮挡，遮挡会降低组件接收到的辐射量，影响组件散热，从而引起组件输出功率下降，还有可能导致热斑。

(3) 组件功率衰减。组件功率衰减是指随着光照时间增长，组件输出功率逐渐下降的现象。组件衰减与组件本身的特性有关。其衰减现象可大致分为三类：破坏性因素导致的组件功率骤然衰减；组件初始的光致衰减；组件的老化衰减。

#### 1.2.6 光伏电站的安全管理

加强光伏电站的安全管理主要包括以下措施：

(1) 建立完善的安全管理体系。认真贯彻执行“安全第一，预防为主，综合治理”的方针，做好光伏电站安全管理的主体责任，主要是建立健全安全管理机制、安全责任制、管理制度以及安全投入、教育培训、隐患排查治理、事故报告和应急救援等制度的管理工作。在加强队伍建设、强化考核机制的基础上，重点抓安全技术管理、施工标准化管理、班组建设和员工培训等工作。

(2) 落实安全生产责任制。明确项目经理为施工现场安全管理的第一负责人，建立多层级的梯级安全防护管理体系，体系覆盖到施工班组的每一名工人。明确各级人员的安全责任，以及分管、主管领导的连带责任。从设备安装、运行、管理等各个环节，加强“两票三制”的管理，全面保证安全发供电，全面加强质量管理和提高设备可靠性，控制和减少机组非计划停运时间。



(3) 加强安全巡视和安全检查。光伏电站发生安全事故，多为是火灾、雷击、触电等。其中，比较多的案例是光伏电站起火。各级安全负责人要深入施工现场定期检查安全责任落实情况，要掌握现场的安全动态，使安全巡视和安全检查形成常态。安全检查应定期与不定期相结合，并形成书面检查记录。不断提高故障诊断技术，有计划地安排检修，减少停机，避免事故发生，延长机组平均无故障时间和缩短平均修理时间，降低维修费用，提高可用系数。完善施工现场的安全防护设施以及施工人员的个人安全保护用品的配备。施工人员不得违规操作，管理人员不得违章指挥，员工有权利拒绝违反安全操作规程的工作指令。

(4) 加强屋面分布式光伏电站安全管理。鉴于屋面分布式光伏电站大多在已有建筑物的屋顶施工，在安全管理中要重点加强高空作业安全管理要求，施工人员进入施工现场必须正确穿戴好安全帽、安全带、防滑鞋等安全防护用具。工具和材料等应按照安全管理规定放置稳固，禁止高空抛物和高空落物。施工人员应体检合格，有心脏病、恐高症、高血压等病症者，严禁参与施工。工作场所应设置明显的安全标识和防护措施，高处作业应正确佩戴并系好安全带。

(5) 加强山地光伏电站安全管理。因山体地质条件、坡度、气候条件等原因，要加强现场安全管理。施工机械在山体坡度运行过程中，一定要根据机械性能参数，控制机械运行稳定和安全。施工机械操作人员一定要持证上岗，并经过现场安全教育和培训。特种作业人员要按规定取得《特种作业操作资格证》后方可上岗工作。

(6) 加强预防光伏组件火灾。光伏电站火灾危险性较大的设备有汇流箱、逆变器、蓄电池、连接器、配电柜及变压器，这些组件易发生电气火灾。光伏电站内的主要建筑为综合控制室、变配电站，对于电压为 35kV 以上，单台变压器容量为 5000kVA 及以上的变电站，变压器规模属于《火力发电厂与变电站设计防火规范》（GB 50229—2006）的适用范围，其消防设计参照该规范执行，其他变电站的消防设计应当执行《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014）。电缆夹层电缆采用 A 类阻燃电缆，火灾危险性可为丁类；当综合控制室未采取防止电缆着火后延伸的措施时，火灾危险性应为丙类；配电装置楼和屋外配电装置根据设备含油量确定火灾危险性。

据统计，光伏电站 40% 的火灾事故由直流电弧引起。光伏电站火灾危险源主要是电缆、电气类设备和荒山人火（烧纸）。做好预防火灾，要建立预测、预防的工作，编好专项应急处置方案，在工程建设中要做好电缆及电气类设备安装质量和的防火措施，加强光伏电站运行和维护管理，正确选择灭火器。在缺水、寒冷、风沙大、运行条件恶劣的地区，可以选用排油注氮灭火装置和合成泡沫喷淋灭火系统，对于户内封闭空间内的变压器也可采用气体灭火系统。

(7) 做好水上光伏电站的安全管理。水上光伏电站包括方阵浮体、锚固系统、发电系统、逆变系统等。方阵浮体要合理利用水面面积，优化电站布线路由，便于运维，减少对水路交通的影响，方便锚固施工、保证系泊安全等。保证在风载下浮筒连接锚固，保持浮筒的整体强度，尤其是浮筒连接耳、连接销的强度，确保浮岛不



被撕裂。

### 1.3 光伏电站典型事故案例

近几年来，光伏电站发生的安全事故类型主要有火灾事故、大风触电事故、重大设备事故等。

#### 1.3.1 火灾事故案例

##### 1. 某屋顶光伏电站火灾

2014年8月，武汉某屋顶光伏电站发生火灾事故，彩钢瓦屋顶被烧穿了几个大洞，电站内设备烧毁若干，损失惨重。事故原因：由于施工或其他原因导致某汇流箱线缆对地绝缘能力降低，在环流、漏电流的影响下进一步加剧，最终引起绝缘失效，线槽中的正负极电缆出现短路、拉弧，导致了着火事故的发生。短路、电弧和火花短路的主要原因是载流部分绝缘破坏，形成局部过热，出现电弧、电火花，这是造成火灾事故潜在的点火源。火灾现场如图1-1所示。



图1-1 某屋顶光伏电站火灾现场

##### 2. 某山地光伏电站火灾

2014年5月，某山地光伏电站发生着火，当地林业部门和附近村民组织人员进行救火，火灾造成了数百万元的损失。事故原因：由于汇流箱电缆在施工时被拖拽磨损，在运行一段时间后绝缘失效，正负极电缆出现短路、拉弧，导致了着火事故的发生。某山地光伏电站火灾现场如图1-2所示。

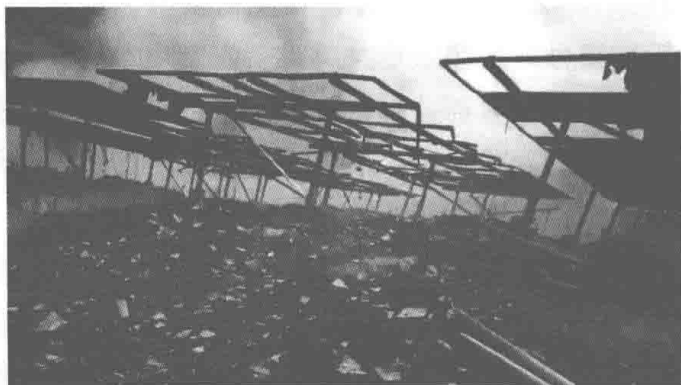


图1-2 某山地光伏电站的火灾现场

分析光伏电站的火灾事故的主要原因：由于设备和电缆老化或者故障，造成短路；熔断器、断路器选型和安装不当，造成直流拉弧；系统设计缺陷，电缆或者开关载流量偏少，造成局部温度过高；施工不当，电气设备螺丝拧得过松，电缆接头压接不牢，造成接头处接触电阻过大；螺丝拧得过紧，电缆接