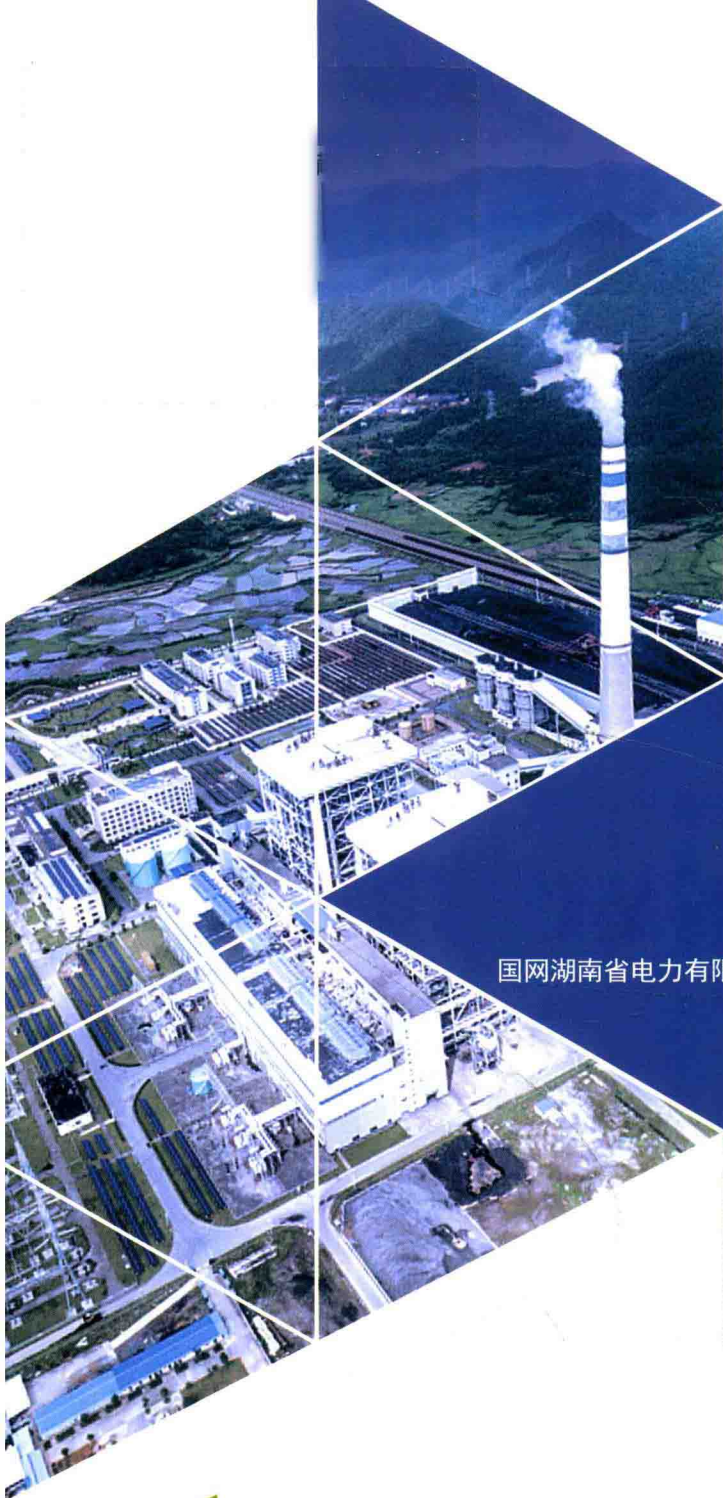




# 直流 电源系统 运维检修技术 及案例分析

国网湖南省电力有限公司电力科学研究院 组编

敖 非 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 直流电源系统 运维检修技术及案例分析

---

国网湖南省电力有限公司电力科学研究院 组编

敖 非 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书从直流电源系统原理入手,深入浅出地介绍了有关直流电源系统运维检修技术的基本理论,并根据运维实际经验,详细阐述了直流电源系统运维检修过程中的技术难点、解决方案和具体实施措施。

全书共6章,介绍了直流电源系统原理、直流电源系统运行维护、直流电源系统评价、直流电源系统检修、直流电源系统典型案例、直流电源系统新技术应用。

本书可供从事变电站技术管理、运行、检修等专业技术人员阅读参考,也可作为电力系统工程相关专业技术人员和科研人员借鉴学习。

### 图书在版编目(CIP)数据

直流电源系统运维检修技术及案例分析/敖非主编;国网湖南省电力有限公司电力科学研究院组编. —北京:中国电力出版社,2018.9

ISBN 978-7-5198-2275-0

I. ①直… II. ①敖… ②国… III. ①直流-电源-设备管理-维修 IV. ①TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 164983 号

---

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:袁 娟

责任校对:黄 蓓 常燕昆

装帧设计:赵丽媛

责任印制:邹树群

---

印 刷:北京时捷印刷有限公司

版 次:2018 年 9 月第一版

印 次:2018 年 9 月北京第一次印刷

开 本:710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张:12

字 数:172 千字

印 数:0001—1500 册

定 价:55.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

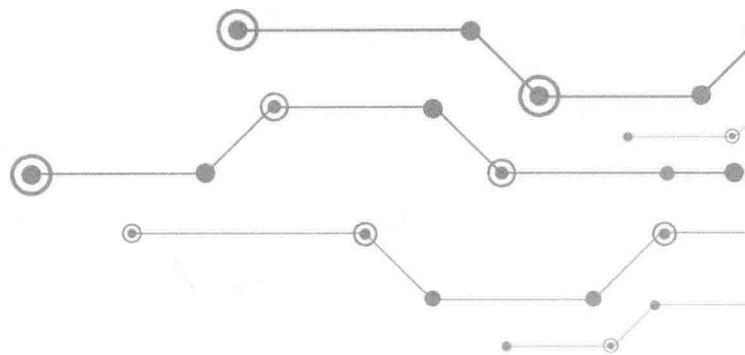
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

## ◎ 本书编委会 ◎

主 编 敖 非

副 主 编 刘 海 峰 彭 铖 毛 文 奇

参编人员 许立强 代文良 潘冠兴 黄 纯 陈仕绢  
唐 鹏 陈 林 梁文武 余 斌 郑显贵  
黎 诚 李达伟 李 刚 李振文 冷 华  
臧 欣 李 辉 朱吉然 徐 浩 刘 宇  
欧阳帆 熊尚峰 洪 权 吴晋波 潘 伟  
沈 杨 蔡昱华 李 理 唐海国 郭思源  
朱维钧 龚汉阳 张志丹 张 帝 陈瑞珍  
郭文明



# 前言

直流电源系统是变电站中重要的二次设备之一,扮演着为变电站内二次设备提供装置与操作电源的角色。直流电源系统一旦出现故障,将导致变电站一次设备断路器拒动,严重威胁变电站内各类电气设备的安全运行甚至造成大面积停电事故。近年来,由于直流电源系统运行维护管理和设备质量等多方面原因,发生了多起因蓄电池爆炸、起火或充电装置、监控单元失效等直流电源系统故障引发的变电站一次、二次设备障碍或事故,造成了较大的经济损失。特别是目前变电站智能化程度越来越高以及大量无人值班站的投运,结构紧凑、经济可靠的交直流一体化电源模式逐步得到广泛应用,对直流电源系统运维检修技术也提出了新的要求。

本书以直流电源系统工程应用为主线,系统阐述了直流电源系统的原理和运维检修及状态评价技术,并辅以相关典型案例,总结了国网湖南省电力有限公司在直流电源系统专业管理及技术监督中运维检修经验。

本书首先介绍直流电源系统定义、特征、典型结构,使读者对直流电源系统进行清晰的认识和了解。第二章至第四章结合精益化管理和状态检修相关要求,分别从运维、检修和状态评价方面,讨论了具体需求、技术要求和实施的途径。本书第五章、第六章选编了直流电源系统典型案例并介绍了相关创新工作成果在直流电源系统的应用实例。

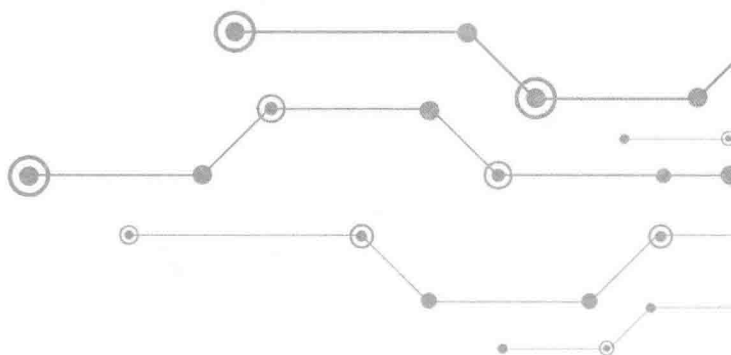
直流电源系统运维检修技术的进一步发展和完善是一个渐进的过程，本书仅是对现有研究和实践成果的总结，为今后的直流电源系统建设提供借鉴和指导。随着对直流电源系统新技术研究和经验的深入，直流电源系统的运维检修模式必将进一步深入，并形成一套成熟、稳定、可靠、先进的技术体系。

本书由国网湖南省电力有限公司电力科学研究院组织编写。在编写过程中，本书得到了国网湖南省电力有限公司、国网湖南检修公司、国网湖南湘西供电公司、国网郴州供电公司、国网娄底供电公司以及北京博电公司等单位的高度重视并给予了大力支持与帮助。另外本书的编写还参阅了相关参考文献、技术标准和技术说明书等。在此，对以上单位及相关作者表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中不妥之处在所难免，希望广大读者批评指正。

编 者

2018 年 7 月



# 目 录

## 前言

## 第一章 概述

- 第一节 直流电源系统的网络及接线 ..... 2
- 第二节 直流电源系统的组成及工作原理 ..... 6

## 第二章 直流电源系统运行维护

- 第一节 直流电源系统的巡视 ..... 23
- 第二节 直流电源系统的应急处置措施 ..... 39
- 第三节 直流电源系统的验收 ..... 48

## 第三章 直流电源系统评价

- 第一节 直流电源系统评价基础 ..... 56
- 第二节 直流电源系统精益化管理评价方法 ..... 65
- 第三节 直流电源系统年度状态评价方法 ..... 74

## 第四章 直流电源系统检修

- 第一节 直流电源系统的检修项目及要​​求 ..... 87
- 第二节 直流电源系统的检修方法 ..... 88

第五章 直流电源系统典型案例

- 第一节 充电装置故障 .....120
- 第二节 监控装置故障 .....124
- 第三节 蓄电池故障 .....127
- 第四节 直流系统绝缘故障 .....138
- 第五节 其他故障 .....145

第六章 直流电源系统新技术应用

- 第一节 直流电源在线监测预警及自动灭火系统 .....153
- 第二节 直流电源一体化测试标准接口的设计与应用 .....158
- 第三节 交流窜入直流系统监测仪 .....165

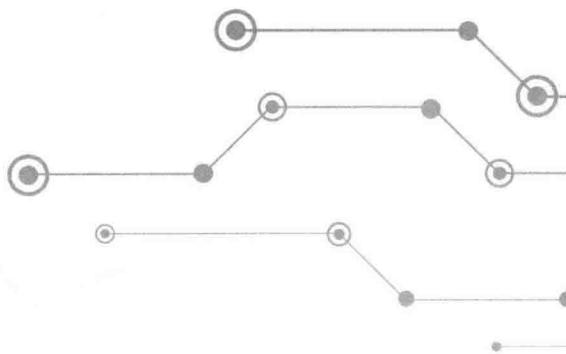
附录 A 直流电源系统厂内验收标准卡 ..... 168

附录 B 直流电源系统竣工（预）验收标准卡 ..... 176



# 第一章

## 概述



变电站作为电力系统中电能传输、交换、分配的重要环节和电网运行的主要监控点，发挥串联整个电力系统的重要作用。变电站电气设备按其用途和功能一般可分为一次设备和二次设备两大类，由其相互连接、组合所构成的系统一般分别称为一次系统和二次系统。一次系统主要包括电力变压器、断路器、隔离开关、互感器、无功补偿设备、避雷器、开关柜等主设备；二次系统则主要包括继电保护及安全自动装置、变电站自动化系统、故障分析系统、计量系统、直流电源系统、视频监视系统、火灾报警消防系统、防盗保卫系统等。

直流电源系统是发电厂和变电站的动力心脏，给信号设备、保护、自动装置、事故照明、应急电源及断路器分、合闸操作等提供直流电源，广泛应用于水力、火力发电厂，各类变电站和其他使用直流设备的场所。直流电源系统是一个独立的电源，它不受发电机、厂用电及系统运行方式的影响，在外部交流电源中断的情况下，由后备电源蓄电池继续提供直流电源。直流电源系统可靠与否对发电厂和变电站的安全运行起着至关重要的作用，是电力系统安全运行的保证。目前随着变电站智能化程度的越来越高以及大量无人值班站投运，结构紧凑、经济可靠的交直流一体化电源模式也逐步得到广泛应用。

## 第一节 直流电源系统的网络及接线

### 一、直流电源系统网络结构

直流电源系统的网络按照结构分类一般分为传统站用直流电源系统和交直流一体化电源系统，随着智能技术的发展，智能变电站中直流电源系统网络结构方式也有所不同。

#### （一）传统站用直流电源系统

传统直流电源系统主要由蓄电池组、充电装置和直流馈线三大部分组成，直流电源系统主要作用是正常情况下的安全可靠供电和事故情况下的不间断供电。直流电源系统配置有监控装置、绝缘监测装置、电压调节装置、蓄电池监测装置等设备，实现控制及监视直流电源系统正常工作的功能。随着直流电源系统负载特性的变化以及蓄电池、充电装置、监控装置等技术的不断进步，直流电源系统的接线方式和组成方式也有所改变。

传统变电站用直流电源系统结构图如图 1-1 所示。

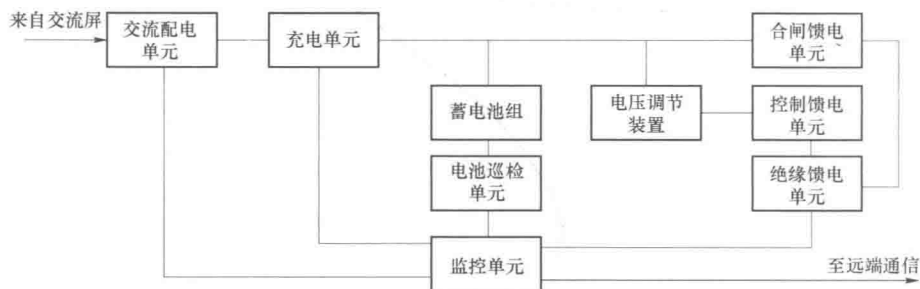


图 1-1 传统变电站用直流电源系统结构图

传统变电站用直流电源系统各子系统分散设计，独立组屏，设备由不同的供应商生产、安装、调试，供电系统也分配不同的专业人员进行管理。这种模式存在的主要问题包括：

（1）直流电源系统自动化程度不高。由不同供应商提供的各子系统通信规约一般不兼容，难以实现网络化管理，系统缺乏综合的分析平台，制约了

管理水平的提升。

(2) 经济性较差。站用直流电源系统资源不能综合考虑，使一次投资成本显著增加。

(3) 安装、服务协调较难。各个供应商由于利益的差异使安装、服务协调困难，远不如站用交直流电源一体化的“交钥匙工程”模式顺畅。

(4) 运行维护不方便。站用直流电源系统分配不同专业人员进行管理：交流电源系统与直流电源系统由变电人员进行运行维护，电力用交流/不间断电源（Uninterruptible Power System, UPS）由自动化人员进行维护，通信电源由通信人员维护，人力资源不能总体调配。通信电源、UPS 等也没有严格纳入变电专业巡检范围，可靠性得不到保障。

(二) 交直流一体化电源系统

随着自动化水平的不断提高，电力系统对其站内直流电源、交流电源、通信等设备的安全运行要求也越来越高。在统一管理、集中监控的趋势之下，电力用交流、直流一体化不间断电源设备应运而生：将直流电源、电力用交流不间断电源和电力用逆变电源(Inverter, INV)、通信用直流变换电源(Direct Current/Direct Current, DC/DC) 等装置组合为一体，共享直流电源的蓄电池组，并统一监控的成套设备。该组合方式是以直流电源为核心，直流电源与上述任意一种电源及一种以上电源所构成的组合体，均称为一体化电源。与传统常规直流电源系统相比较，一体化电源集成了 UPS 及通信用直流变换电源。

交直流一体化电源系统的系统结构如图 1-2 所示。

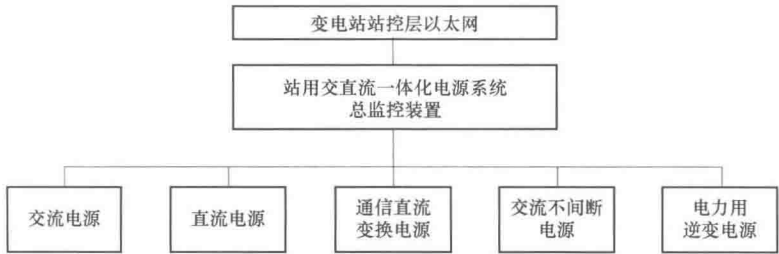


图 1-2 交直流一体化电源系统的系统结构图

(1) 电力用交流不间断电源是由整流器、逆变器和静态开关组成的一种电源装置，它与直流电源的蓄电池组配合，能提供符合要求的不间断交流电源。由于与不接地系统的蓄电池组相连接，所以该装置的直流输入部分与交流输出部分是隔离的。

UPS 正常工作时，由交流工作电源输入，经整流器整流滤波为纯净直流，送入逆变器转变为稳频稳压的工频交流，经静态开关向负载供电，整流器同时向蓄电池浮充电。当交流工作电源或整流器故障时，通过逆变器蓄电池不间断地继续对负荷提供优质可靠的交流电。在过负荷、过压或逆变器本身发生故障或硅整流器意外停止工作而蓄电池又放电至终止电压时，静态开关将在 4ms 内检测反应并毫无间断地转换为备用电源供电。

(2) 通信用直流变换电源简称 DC/DC，是一种利用直流斩波技术将直流电源系统电压进行变换的装置，其输入端与直流电源的蓄电池组相连接，输出特性满足通信电源的要求。

交直流一体化电源系统主要技术特点如下：

1) 建立了站用交直流电源系统统一网络智能平台。实现在一个平台上对整个变电站的交直流电源系统、逆变电源系统、通信电源系统进行监控和分析，解决由不同供应商提供的各独立电源通信规约不兼容等问题，提高了系统网络化、智能化程度。

2) 提高了站用交直流电源系统综合自动化应用水平。进行站用电源协调联动、状态检修、调度遥控等深层次开发应用。

3) 建立了站用交直流电源系统整合机制。优化系统功能结构，实现了各专业间站用电源资源共享。

### (三) 智能一体化电源系统

随着智能技术的发展，直流电源系统网络组成方式也有所变化。在智能变电站中，直流电源系统采用分层分布架构，各功能测控模块采用一体化设计、一体化配置，各功能测控模块运行工况和信息数据应采用 DL/T 860《电力自动化通信网络和系统》标准建模并接入信息一体化平台。实行智能一体化电源各子单元分散测控和集中管理，实现对智能一体化电源系统运行状态

信息的实时监测。智能一体化电源系统监控软件应集成到信息一体化平台中，不独立设置智能一体化电源监控工作站。

智能一体化电源系统网络图如图 1-3 所示。

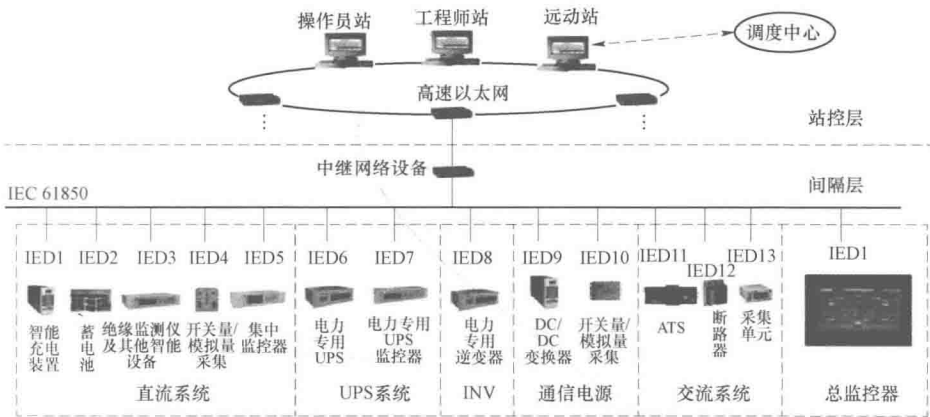


图 1-3 智能一体化电源系统网络图

## 二、直流电源系统主接线方式

直流电源系统的接线方式有多种，传统电力用直流电源系统按接线方式分类主要如下：

(1) 以母线分段为标准可分为：单母线接线方式、单母线分段接线方式、双母线接线方式等。

(2) 以降压装置为标准可分为：带降压装置接线方式和不带降压装置接线方式。

(3) 以充电装置和蓄电池组数为标准可分为：一组充电装置一组蓄电池方式、二组充电装置一组蓄电池方式、二组充电装置二组蓄电池方式、三组充电装置二组蓄电池方式等。

交直流一体化电源系统主接线在直流电源系统接线方式基础上拓展设计，包括了交流电源系统、直流电源系统、通信电源系统、UPS 电源系统、逆变电源系统、总监控装置等。站用交直流一体化电源系统典型主接线图如图 1-4 所示。

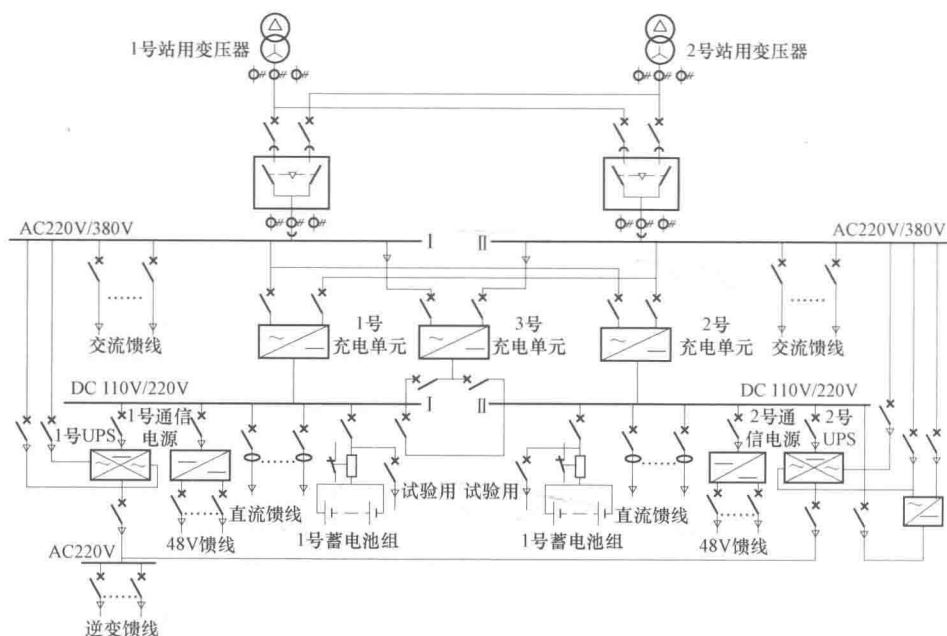


图 1-4 站用交直流一体化电源系统典型主接线图

## 第二节 直流电源系统的组成及工作原理

### 一、直流电源系统组成及作用

直流电源系统 (DC power system), 是蓄电池组、充电装置、直流馈线网络、监测装置等的总称。直流电源设备 (DC power supply equipment), 由充电装置、蓄电池、馈出回路、调压装置和相关的控制、测量、信号、保护、调节单元等设备组成, 通常由制造厂负责完成所有内部电气和机械的连接, 用结构部件完整地组合在一起的一种组合体。传统站用直流电源系统按功能分类主要由交流配电单元、充电装置、监控装置、绝缘监测装置、电压调节装置 (降压硅链)、直流馈线单元、蓄电池组等几大部分组成。

直流电源系统不同的接线方式虽有不同特点，但基本组成和工作原理是一致的。

### （一）交流配电单元

交流配电单元指能对直流柜内交流进线电源进行检测，并实现自投或自复的电气/机械连锁装置。充电柜的交流输入必须有两路分别来自不同站用变压器的电源，因此两路交流电源之间必须具有相互切换、优先选择任一路交流输入为工作电源、交流失电后来电自启动恢复充电装置工作等功能。两路交流输入可以防止一路交流故障造成蓄电池过放电等不良后果，两组充电装置分别选择不同的交流输入，可以避免当一路输入交流过电压时造成所有直流电源发生同一性质的故障。

交流配电单元一般安装在直流充电屏内。考虑到雷击产生过电压的情况，交流电源进线回路上必须装设有防雷保护单元。防雷一般设有 C 级及 D 级，C 级防雷设在交流配电单元入口，选用的防雷器通流量可为 40kA；D 级防雷设在充电模块内，通流量可为 10kA，动作时间均小于 25ns，可以有效地将雷电引入大地，将雷电的危害降至最小。当 C 级防雷器故障时，其工作状态窗口由绿变红，提醒更换防雷模块。

### （二）充电装置

充电装置承担对蓄电池组的（浮）充电任务。其主要功能是将交流电源转换成直流电源，保证输出的直流电压在要求的范围内，并对充电装置进行必要的保护，保证直流电源的技术性能指标满足运行要求，为日常的直流负荷、蓄电池组的（浮）充电等提供安全可靠的直流电源。

根据原理的不同，充电装置分为以下几类：

- （1）高频开关电源型充电装置。
- （2）相控型充电装置。
- （3）交流补偿型充电装置。
- （4）其他类型充电装置。

目前，在电力系统中有交流补偿型、相控型和高频开关电源型充电装置。交流补偿型已很少应用，相控型在少部分变电站还有运行，先进的高频开关

电源型充电装置正在广泛使用。

高频开关电源型充电装置采用大功率半导体器件作为高频变换开关，经高频变压器隔离，组成将交流转变成直流的主电路，且采用输出自动反馈控制并设有保护环节的开关变换器，用于电力工程时也称为电力用高频开关整流模块。

高频开关电源型充电装置主要技术特点如下：

(1) 用高频半导体器件 V 型槽金属氧化物半导体器件场效应晶体管 (Vmosfet, VMOS) 或绝缘栅双极晶体管 (Insolated Gate Bipolar Transistors, IGBT) 取代晶闸管。具有输入阻抗高、开关速度快、高频特性好、线性好、失真小、多管并联、输出容量大等特点。取消了笨重的工频变压器，具有重量轻、体积小、效率高、噪音小的优点。

(2) 采用高频变换技术、脉宽调制 (Pulse-Width Modulating, PWM) 技术和功率因数校正技术。使功率因数大大提高，接近于 1.0，效率高、可靠性高。由于元件集成化，使得重量减轻、体积缩小、维护工作量小。同时由于控制、调制技术先进，使各项技术指标非常先进。

相对于相控电源其晶闸管、变压器工作于工频，高频开关电源的变压器工作在高频状态 (几十 kHz)，开关管只有导通与截止两种状态。从而减小了管耗；变压器、电抗器所需铁芯的截面积可以设计得很小，在同样输出纹波条件下滤波电容也可以比相控电源小千倍；由于变压器、电抗器体积大大减小，变压器、电抗器的铁损及铜损也大大减小。电源效率从相控电源的 80% 以下上升至 90% 左右。

### (三) 监控装置

监控装置用于管理被控设备各种参数和工作状态。在直流电源系统中，用于系统管理，实现对充电模块控制、电池管理和后台远程监控功能；对下级设备实施数据采集并加以显示。

高频开关电源充电装置中均使用监控装置，增强了对充电模块的控制和保护功能、直流电源系统管理及监测功能，并且监控装置的通信功能更容易与站内综合自动化系统整合，完成自动化系统的遥信、遥测等功能，也为实现各种方式的通信组网检测留有进一步发展的余地。



#### （四）绝缘监测装置

绝缘监测装置用于对控制母线电压和各支路对地绝缘电阻进行测量判断，超出正常范围时发出报警信号。微机绝缘监测装置还应具备交流窜直流故障的测记和报警功能。

发电厂和变电站的直流电源系统与继电保护、信号装置、自动装置以及室内配电装置的端子箱、操作机构等连接，直流电源系统比较复杂，发生接地故障的机会较多，当发生一点接地时，由于直流电源系统与地绝缘，仍可继续运行。但同时有另一点或多点接地时，可能引起信号回路、继电保护等不正确动作，因此，直流电源系统必须配置绝缘监测装置监视直流是否接地并立即告警，以便运行和检修人员及时处理，防止发生直流接地带来的继电保护设备误动或拒动、电源短路等严重后果。

根据组成型式不同，绝缘监测装置分类如下：

（1）绝缘监察继电器，如 ZJJ-2 绝缘监察继电器，只能对正、负母线对地电阻和电压显示，不正常时可及时报警并显示接地类型。

（2）微机型绝缘监测装置，它具有各馈线支路绝缘状况进行自动巡检及电压超限报警功能，并能对所有支路的正对地、负对地的绝缘电阻，对地电压等一一对应显示，不正常时可对故障支路显示出支路号及故障类别和报警。

通常，直流绝缘监测装置作为独立单元设备安装在直流馈线屏内，绝缘监测装置能通过数据通信或接点信号与监控装置相连，监控装置成为直流电源系统一个信息管理中心，与变电站综合自动化有很好的接口界面，适应变电站无人值守发展形势的需要。

随着直流技术的发展，绝缘监测装置不作为独立单元设备安装而与监控装置集成一体时，在直流馈线屏内保留装设绝缘检测仪，实现系统母线和支路的绝缘状况监测，产生告警信号并上报数据到微机监控装置，在监控装置显示故障详细情况，监控装置实现绝缘监测管理及交流窜直流测记和报警功能。

#### （五）电压调节装置（降压硅链）

##### 1. 降压硅链功能

电压调节装置（降压硅链）是直流电源系统解决蓄电池（动力合闸母线）