

30216

上海超高压输变电公司 编



超高压输变电操作技能培训教材

交直流电源与测量表计 (第五册)



首套500kV超高压输变电
操作技能指定培训教材



依据规范编写、只讲操作
技能、突出岗位技能鉴定



全国500kV超高压输变电系统
安全操作和技能考核规范读本



全国各网省市超高压输变电企业
运行维护、检修试验等生产人员



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

推荐书目

- 《超高压输变电操作技能培训教材》（变电运行、变电设备检修、输电线路、变电所自动化与监控、交直流电源与测量表计、继电保护、电力通信一套7册）
- 《〈电业安全工作规程〉辅导培训教材和辅导考核题库》（热力和机械部分、发电厂和变电所电气部分、电力线路部分一套共6册）
- 《防止电力生产重大事故的要求与措施》（热力部分、电气部分、综合部分共3册）
- 《〈防止电力生产重大事故的二十五项重点要求〉辅导教材》
- 《电力工业技术监督规定汇编》（2002年版）、《电能计量技术手册》
- 《电力工业技术监督标准汇编》（环保监督、电能质量监督、金属监督、节能监督、热工监督、绝缘监督、化学监督、继电保护监督、电测监督一套共13册）
- 《电力系统继电保护规定汇编》、《电力系统继电保护实用技术问答》
- 《发供电企业劳动定员标准及使用说明汇编》、《变电运行操作技能必读》
- 《供电企业电能损耗与无功管理手册》、《高压互感器技术手册》
- 《电力安全工器具预防性试验规程》、《电力供应与市场营销手册》
- 《10kV配电站工程图集》、《供用电实用手册》、《用电管理手册》
- 《10kV及以下配电装置工程图集》、《防止电气误操作装置管理规定》
- 《10kV及以下配电线路工程图集》、《电力系统二次回路技术手册》
- 《10kV配电工程设计手册》、《县局电业人员岗位培训教材》（共12册）
- 《配电技术手册》（低压部分、10~35kV部分、110~220kV部分一套共3册）
- 《高压直流输电工程技术》、《现代城市电网规划设计与建设改造》
- 《电气简图用图形符号标准汇编》、《电气制图及相关标准汇编》
- 《新旧电气简图用图形符号对照手册》、《2002年版新标准电气制图》
- 《发电厂和变电站电气二次回路技术》、《2002年版新标准电气识图》
- 《电力技术继续教育科目指南丛书》（15册）、《电气试验技能培训教材》
- 《发供电企业班组安全管理培训教材》、《电力系统微机保护培训教材》
- 《电力企业班组管理培训教材》、《变配电设备检修技能培训教材》
- 《电力企业班组建设培训教材》、《电能计量技能考核培训教材》
- 《供用电工人技师培训教材》（送电线路、变电站值班、变电检修、用电检查、直流设备检修、抄表核算收费、装表接电、继电保护、电气试验等）
- 《电力企业创一流与国际一流规定汇编》（2002年版）
- 《供电企业创一流与国际一流规定》（2002年版）
- 《变电运行（岗位）技能培训教材》（两套7册）
- 《架空送电线路岗位技能培训教材》（2册）
- 《用电检查资格考核培训教材》（一套5册）

ISBN 7-5083-3445-0



9 787508 334455 >

定价：22.00 元

销售分类建议：电力工程/输变电

超高压输变电操作技能培训教材

交直流电源与测量表计

(第五册)

上海超高压输变电公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

随着国民经济以每年近 10% 的发展速度的增长,作为国民经济先行官的电力系统近几年来正以超常规速度增长,大型变电所如雨后春笋,变电所设备技术发展升级更新加快,尤其在一些计算机技术、电力电子技术、通信技术方面已经越来越多地融合进变电所控制设备的核心中。面对如此技术进步的步伐,为了满足全国联网和西电东送的战略决策以及超高压交直流输变电建设和运行的需要,根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及有关输变电运行岗位规范等的要求,并结合超高压输变电运行的实际情况,上海超高压输变电公司在总结多年来超高压输变电运行经验和教育培训的基础上组织编写了《超高压输变电操作技能培训教材》(一套 7 册),以满足全国超高压输变电企业为适应超高压输变电发展所需的队伍建设、岗位培训和技能鉴定的培训需要。

《交直流电源与测量表计》是本套教材的第五册,共分 11 章,主要内容是:第一章继电保护控制直流系统组成和结构,介绍了直流系统组成、结构以及发展路程,从中比较各种方案的优劣;第二章蓄电池,重点介绍了密封阀控式铅酸蓄电池的原理和应用,以及一些运行经验;第三章充电装置,介绍了现在运行中的充电机原理;第四章绝缘监视仪,介绍了各种类型的绝缘监视仪的工作原理以及一些在实践中的操作方法;第五章闪光和电压继电器,介绍了各个不同发展阶段的闪光继电器和电压继电器的工作原理;第六章直流系统监控器,说明监控器对充电机以及在直流系统运行监控方面的作用,以及监控器的使用要求和概念理解;第七章交流不间断电源设备,重点介绍了变电所两种类型的不间断电源,对其他场合应用的独立 UPS 也略作了介绍;第八章 48V 通信直流电源,对变电所内的 48V 通信电源的要求进行了介绍,其充电技术、监控技术都与保护控制电源类似;第九章直流系统安全运行,对直流系统的安全运行作了多方面的分析,对电源从系统整合角度进行分析,以提高直流电流运行的可靠性、安全性;第十章新技术在直流系统中的运用与发展,对直流系统及电源方面普及运用的新技术作了介绍;第十一章变电所电气测量仪表,对变电所测量表计的种类、原理、用途和测量误差等作了概要的介绍。

本书可作为全国超高压输变电企业电力生产人员、技术人员和管理干部等学习了解变电所交直流电源与测量表计方面岗位知识和操作技能的培训教材,也可作为电力职业专科学校和电力大专院校的专业课程辅助教材,以及岗位技能培训和职业技能鉴定的培训教程。

图书在版编目 (CIP) 数据

交直流电源与测量表计. 第 5 册 / 上海超高压输变电公司编. - 北京: 中国电力出版社, 2005.8
超高压输变电操作技能培训教材
ISBN 7-5083-3445-0

I. 交… II. 上… III. ①变电所 - 交流电路 - 系统 - 技术培训 - 教材 ②变电所 - 直流系统 - 技术培训 - 教材 ③变电所 - 电气测量 - 技术培训 - 教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 070443 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京丰源印刷厂印刷
各地新华书店经售

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 11 印张 291 千字
印数 0001—3000 册 定价 22.00 元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《超高压输变电操作技能培训教材》

编 审 委 员 会



主任委员： 沈兆新

副主任委员： 林 锋

编委人员： 陈海波 邹 俭 乔卫东 吴 钧 刘新平

徐伯成 周 红 戴春怡 金红核

主 编： 陈海波

主 审： 邹 俭

统 筹： 陶象雯

策划编辑： 杨元峰

《第五册 交直流电源与测量表计》

编 审 人 员

分册主编： 戴春怡

编 写： 戴春怡

审 核： 邹 俭

责任编辑： 郭丽然



当前, 由于全国联网和西电东送的国家战略决策以及超高压交直流输变电的迅速发展, 电力系统输变电容量不断增大, 电压等级逐步升高, 500kV 及以上超高压已成为输变电网络的主要电压等级。因此, 在 500kV 超高压输变电生产人员、技术人员和管理干部等的培训领域迫切需要一套完整而又贴近生产实际情况的超高压输变电操作技能培训教材, 以加快 500kV 超高压输变电各专业岗位技能和职业技能人才的培养步伐。

为此, 根据原国家电力公司、中国电力企业联合会、国家电网公司、中国南方电网有限责任公司等对超高压输变电岗位技能、职业技能等提出的培训要求, 从 2001 年开始, 在上海市电力公司的领导下, 上海超高压输变电公司组织了 500kV 超高压输变电各专业领域、多年运行经验的 30 多位技术人员和专家, 根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及有关输变电运行岗位规范等的要求, 并紧密结合 500kV 超高压输变电运行维护的实际情况, 精心编写了这套由七个专业组成的《超高压输变电操作技能培训教材》(一套 7 册), 以充分反映我国当前 500kV 超高压输变电实际运行技术水平和最新发展状况, 并以满足全国超高压输变电企业为适应超高压输变电网发展所需的队伍建设、岗位培训和技能鉴定的需要。

《超高压输变电操作技能培训教材》分册是: 第一册 变电运行; 第二册 变电设备检修; 第三册 变电所自动化与监控; 第四册 输电线路; 第五册 交直流电源与测量表计; 第六册 继电保护; 第七册 电力通信。

由于这套教材是针对岗位技能和职业技能培训而编写的, 因此在内容安排上突出了操作技能的特点, 除了专业原理和结构的讲解外, 更加侧重实际运用和运行操作的介绍, 在培训功能上具有较强的针对性和实用性, 既可作为超高压输变电岗位技能培训和职业技能鉴定的培训教材, 也可作为电力专业大专院校学生的课程教材, 尤其能为新进输变电企业的大中专毕业生尽快适应本职岗位工作提供了帮助和学习教材。本书的编写出版得到了同行业技术专家和中国电力出版社的热情支持, 在此, 我谨代表编委会向他们表示衷心感谢。

上海超高压输变电公司总经理

沈尧新

2005 年 5 月

前 言



变电所直流系统电源是变电所设备正常运行的核心,担负着给继电保护设备、自动化设备、通信设备正常工作的供电任务,电源系统的任何故障均有可能给电网安全运行带来灾难性的后果。随着电力行业的快速发展,电源设备技术更新加快,新技术的运用越来越广,使电源设备运行的可靠性不断提高。同时新技术、新设备的推广运行需要我们去不断地去学习并提高自己的业务水平,不断总结运行中积累的一些经验。

本书内容,结合电力系统常用的直流电源等设备,从基本理论到运行维护,由浅入深进行介绍,以满足广大运行人员对直流电源系统了解的需要,为直流电源等设备的安全运行做好基础工作。同时本书还对变电所的电气测量仪表也作了一些简要地介绍。

本书共有 11 章,第一章继电保护控制直流系统组成和结构,第二章蓄电池,第三章充电装置,第四章绝缘监视仪,第五章闪光和电压继电器,第六章直流系统监控器,第七章交流不间断电源设备,第八章 48V 通信直流电源,第九章直流系统安全运行,第十章新技术在直流系统中的运用与发展,第十一章变电所电气测量仪表。

由于电源技术融合了各方面专业技术和知识,任何一专业技术的进展均会给直流电源等发展带来影响。加之编者的水平有限,书中难免会出现一些不当和谬误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 5 月

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 继电保护控制直流系统组成和结构	2
第一节 直流系统组成	2
第二节 带合闸母线的双母线直流系统	4
第三节 降压硅结构的双母线直流系统	5
一、降压硅正常工作模式 (6) 二、后备式降压硅工作模式 (6) 三、斩波器式双母线 (9)	
四、双组高频开关电源模块组成的双母线 (10)	
第四节 单母线结构直流系统	10
一、一组蓄电池单母线分段 (11) 二、两组蓄电池单母线分段 (11)	
第五节 直流系统中各种表计配备	12
一、交流输入电压表 (12) 二、充电机输出电压表 (12) 三、充电机输出电流表 (12)	
四、蓄电池电压表 (12) 五、蓄电池电流表 (12) 六、母线电压表 (13) 七、纹波表 (13)	
第二章 蓄电池	14
第一节 蓄电池定义和分类	14
第二节 铅酸蓄电池技术指标	15
一、蓄电池放电曲线 (15) 二、蓄电池容量 (15) 三、蓄电池工作参数 (17)	
四、蓄电池与工作环境温度 (19)	
第三节 铅酸蓄电池原理	19
一、铅酸蓄电池结构 (20) 二、铅酸蓄电池电化学原理 (21)	
第四节 阀控式密封铅酸蓄电池	22
一、铅酸蓄电池发展历史 (22) 二、阀控式密封铅酸蓄电池定义 (23)	
三、阀控式密封铅酸蓄电池分类 (23) 四、阀控式密封蓄电池优点 (23)	
五、阀控式密封蓄电池氧复合原理 (24)	
第五节 铅酸蓄电池运行维护	24
一、运行环境 (24) 二、运行中经常检查项目 (25) 三、周期性放电维护 (25)	
第六节 铅酸蓄电池运行维护中常见问题及处理	26
第七节 蓄电池容量选择	27
一、确定蓄电池容量应考虑因素 (27) 二、蓄电池容量计算 (27)	
第八节 碱性蓄电池	29

- 一、碱性电池命名 (29) 二、镉—镍、铁—镍蓄电池 (29)
- 三、圆柱密封镉镍蓄电池 (30) 四、半烧结式镉镍蓄电池 (32)

第三章 充电装置

34

第一节 充电装置的历史	34
第二节 整流原理	36
一、整流二极管 (36) 二、单相交流变直流电路 (37) 三、三相交流变直流电路 (39)	
第三节 磁饱和充电机	40
一、磁饱和电抗器调压原理 (40) 二、典型电路分析 (41)	
第四节 相控充电机原理	42
第五节 高频开关电源	48
一、PWM 原理 (48) 二、PWM 电路形式 (49) 三、高频开关电源模块内部结构 (51)	
四、高频开关电源模块组成的充电装置 (52)	

第四章 绝缘监视仪

55

第一节 平衡桥原理型绝缘监测装置	55
第二节 电子式绝缘监测装置	58
第三节 微机型绝缘监测装置	60
一、直流系统绝缘常规检测原理 (60) 二、支路巡检原理 (61)	
第四节 便携式直流接地探测仪	67
一、交流便携式接地探测仪原理 (68) 二、交流便携式接地探测仪使用及注意要点 (68)	
三、交流自动锁相技术便携式接地探测仪原理 (69) 四、直流便携式接地探测仪原理 (69)	
五、直流便携式接地探测仪使用 (70) 六、运行中直流接地的处理 (70)	

第五章 闪光和电压继电器

72

第一节 闪光继电器及工作回路	72
一、传统闪光继电器原理 (72) 二、电子式闪光继电器 (72) 三、实际运行中的闪光回路 (73)	
四、闪光继电器技术要求 (75) 五、闪光继电器不闪原因检查 (76)	
第二节 电压监视继电器	76
一、模拟电子技术组装电压监视继电器 (76) 二、数字型电压监视继电器 (77)	
三、微机型电压综合监视继电器 (77)	

第六章 直流系统监控器

80

第一节 监控器功能	80
一、对充电机控制功能 (80) 二、监控器对蓄电池工况管理 (82) 三、监控器对蓄电池检测 (83)	
四、监测和保护功能 (84) 五、与自动化通信功能 (84)	
第二节 监控器结构	85
一、工控机结构 (85) 二、单片机结构 (85) 三、编程控制器加触摸屏结构 (85)	
第三节 监控器发展展望	85

第四节 蓄电池在线监控管理	85
一、蓄电池在线监控介绍 (85) 二、蓄电池在线监控结构 (86)	
三、测内阻判读蓄电池工况原理 (88) 四、测蓄电池电压查找故障蓄电池 (89)	
五、测蓄电池容量检查容量不足蓄电池 (89) 六、计算机分析与管理软件 (89)	

第七章 交流不间断电源设备 90

第一节 不间断电源设备组成	90
一、能量变换部件 (90) 二、储能部件 (90) 三、整流部件 (91) 四、静态电子开关 (91)	
五、检测控制部件 (92)	
第二节 逆变部件 SPWM 原理	92
第三节 UPS 分类	93
一、按备用方式分类 (93) 二、按输出波形分类 (94) 三、按操作方式分类 (94)	
四、按结构形式分类 (94)	
第四节 UPS 电源系统名称解释	95
第五节 变电所不间断电源	96
一、电力专用 UPS (96) 二、事故照明逆变 (98)	
第六节 并机 UPS 系统	99
第七节 变电所不间断电源运行注意事项	100
一、电力专用 UPS 运行注意事项 (100) 二、独立小型 UPS 运行注意事项 (101)	
三、事故照明逆变运行注意事项 (101)	

第八章 48V 通信直流电源 102

第一节 通信电源基本要求	102
一、供电可靠性 (102) 二、保证供电质量 (102) 三、供电灵活性 (102)	
第二节 48V 通信电源结构	102
第三节 48V 高频开关电源充电装置技术要求	105
一、交流配电单元 (105) 二、高频开关电源模块 (105) 三、监控器 (105) 四、其他 (106)	
五、监控器控制及监测功能说明 (106)	
第四节 通信电源集中监控系统	107
一、实行集中监控作用 (107) 二、通信电源集中监控系统功能 (108) 三、状态监视 (108)	
四、远程通信 (109) 五、数据库管理 (109) 六、集中监控系统组成 (110)	
七、其他一些监控内容 (112)	

第九章 直流系统安全运行 113

第一节 过流保护	113
一、熔断器 (113) 二、空气开关 (115) 三、保护元件级差配合 (116) 四、级差配合原则 (117)	
第二节 直流系统接地危害性分析	117
一、两点接地产生寄生回路造成电源短路 (118) 二、两点接地产生寄生回路造成继电器拒动 (118)	
三、两点接地产生寄生回路造成继电器误动 (118) 四、一点接地造成继电器误动原因分析 (118)	
第三节 直流系统对地电容分析	121

一、对地电容来源和利弊 (121) 二、直流电源突波造成空气开关误动分析 (121)	
三、运行中直流系统对地电容的测量 (122)	
第四节 直流系统对在线 UPS 安全性能要求分析	122
第五节 高压反击对直流系统的影响	124
一、接地网电位差形成的高压反击 (124) 二、加强一次场地上直流绝缘工作 (125)	
三、降低接地网电位差 (125)	
第六节 直流系统运行注意事项	125
一、蓄电池 (125) 二、充电装置 (126)	
三、系统绝缘装置 (126) 四、直流熔断器 (126) 五、直流系统运行 (126) 六、直流运行日志记录内容 (126)	
第七节 加强直流设备投运前的验收工作	126
第十章 新技术在直流系统中的运用与发展	128
第一节 DC/DC 48V 直流电源	128
一、DC/DC 48V 电源可行性 (128) 二、DC/DC 48V 电源结构 (128)	
三、DC/DC 48V 电源使用条件和要求 (129)	
第二节 有源功率因数校正 (PFC)	129
一、整流型负荷功率因素分析 (129) 二、功率因数校正方法 (131)	
第三节 大功率开关管最新发展	134
一、各类新型晶闸管 (134) 二、IGBT 模块最新发展 (135) 三、MOS 门控晶闸管 (136)	
四、采用新型半导体材料制造的新型功率器件 (136)	
第十一章 变电所电气测量仪表	138
第一节 电气测量仪表的种类	138
一、盘表系列 (138) 二、变送器系列 (138) 三、电能表系列 (139) 四、数字化测量系列 (139)	
第二节 测量误差基础知识	140
一、测量的定义和分类 (140) 二、测量误差基本概念 (141) 三、测量误差分类 (145)	
第三节 测量误差处理	146
一、各种误差对测量结果的影响 (146) 二、测量误差消除方法 (147) 三、粗大误差处理 (155)	
第四节 测量数据处理	156
一、有效数字 (156) 二、近似数修约 (156) 三、有效数字运算规则 (157)	
四、检定结果数据修约方法 (158)	
第五节 常用电气测量仪表测量原理	158
一、电磁系仪表 (158) 二、磁电系仪表 (159) 三、电动系仪表 (161) 四、电能表原理 (163)	
参考文献	166

绪 论

在电网变电所中,继电保护装置、所内自动化装置、通信装置的电源是由所内直流系统提供。继电保护直流系统的电压等级分 220、110V 两种,通信直流系统电源电压为 48V,所内自动化装置工作电源取自继电保护直流电源或交流不间断电源。

通常直流系统由蓄电池组、充电机装置和直流馈线屏三大部份组成。为保证直流系统安全可靠地运行,直流系统还设置了一些辅助设备,如直流绝缘监测装置、蓄电池检测装置、监控器、闪光直流母线等。随着近年来直流电源中高频开关电源技术的推广和变电所综合自动化的发展,逐步形成了以充电机监控器为核心的直流监视和控制自动化,使得直流系统监控管理与所内综合自动化更好地融合在一起,使直流电源的信息处理功能更加完善。

继电保护直流系统提供可靠的直流电源作为继电保护及自动装置、断路器分闸和合闸等设备的工作电源。由于直流系统对电力系统的安全可靠运行起着重要作用,因此有人把它比喻为变电所的心脏。

直流系统的可靠运行通常从三个方面加以提高:一是从设计方面出发总结以往运行经验,根据设计条例优化选择直流接线、布线方案,考虑运行维护方便和安全合理配置元器件及元器件的安装位置,正确选择各级熔丝、开关的级差配合;二是提高设备部件制造质量;加强投运前的验收工作;三是加强直流系统的运行管理和维护,及时发现问题,将一切隐患消灭于萌芽中。

直流系统的要求:变电所内的继电保护和自动装置等设备对直流系统的要求是连续可靠的供电,即使发生交流供电中断,也要保证直流系统的供电,这是由蓄电池来实现的。所以在正常情况下充电机除了保证直流系统的负荷供电外,还要保证蓄电池在浮充电压状态,使蓄电池处于经常性的充满状态,当交流失电时蓄电池可以在满容量条件下继续供电。在处于不同运行工况条件下,直流系统电压和纹波都在允许范围内。

直流系统的发展:直流系统的充电设备从最初广泛使用的电动直流发电机组,到利用硅整流二极管整流组成的硅整流设备、相控整流设备,直到目前广泛使用的高频开关电源,技术上经历了极大的变化。尤其是近十年来电力电子半导体器件的发展和与微机控制技术的结合,使得充电机及其直流电源系统的技术性能指标、自动化、智能化程度、外观、工艺、可靠性都达到很高的水平。可以说,现在的主要问题已经不是在设备技术指标、功能性方面,而是从整个直流系统考虑如何将系统内各设备进行有效整合,以便更安全、可靠地完成直流供电任务。与充电设备相比,蓄电池方面没有根本性的变化,尽管锂电池等有不少的发展,但在大容量及性能价格比上,仍无法与目前的铅酸蓄电池相比。

随着电力电子技术、计算机技术、通信技术等电源设备上的广泛应用,现在的直流电源系统已经是各种先进电子技术的整合体,尤其是电力电子技术近十年内在大功率、高电压、高频率技术上的不断突破,从整体上改变了传统电源笨重、效率低、技术指标低的局面。

第一章

继电保护控制直流系统 组成和结构

变电所继电保护 110V (或 220V) 直流电源系统是所内所有继电保护、自动化, 以及二次控制回路、断路器分合闸、事故照明等设备工作的电源 (以下简称直流电源), 直流电源内部有蓄电池, 能保证在交流失电状态下不间断连续供电。直流电源使用蓄电池进行储能, 结构简单可靠容易满足设备对电源高可靠性要求。

直流电源系统的结构组成与所带的负载设备工作特性密切相关, 直流电源系统的电路设计、制造工艺、现场安装、运行管理均影响直流系统的安全运行。因此, 设计开始就应充分考虑影响直流电流安全运行的各种因素, 将安全运行的目标贯穿于从设计到运行的全过程。此外, 在运行实践中应不断总结直流系统运行经验, 发现不足之处, 并结合当前的技术条件, 以及采用先进的技术及科学的管理方法来不断提高直流系统安全运行的整体水平。

直流电源系统结构相对简单, 在不同的技术条件下也演绎出许多板本, 实践证明, 直流系统结构组成对安全运行有重大影响。

第一节 直流系统组成

直流电源主要由充电机、蓄电池、馈线屏三大部分组成, 保证直流电源的可靠供电、安全供电和在发生事故情况下的不间断供电。为监视直流电源正常工作, 还有一些辅助设备, 如直流绝缘监视、蓄电池电压监视等。直流电源负荷特性的变化, 以及充电装置、蓄电池、监控装置技术的不断进步, 使得直流系统的接线方式和组成方式也有所改变。

1. 直流充电装置

直流充电装置主要完成将交流电源转换成直流电源 (AC/DC) 这样一个过程, 在这个过程中输出可控和可调的直流电压并进行必要的保护, 使直流电源的技术性能满足运行的要求, 且直流电压的纹波在规定的范围内。早期的直流由交流电 (原) 动机带动直流发电机产生所需要的直流电源, 20 世纪中期大功率二极管的出现, 使得整流技术大量地应用于直流电源上, 并应用磁饱和和控制技术调整直流输出电压, 这种结构的充电机在电力系统直流电源中占很大的比例, 称之为磁饱和充电机。随后出现的可控硅器件 (又称晶闸管) 使得电压调整与整流由同一器件完成, 通过控制晶闸管导通角达到调整输出电压的目的, 这称为相控电源, 目前相控电源还有相当一部分在运行中。近十年来, 电力电子器件在大功率及高频化方面有了很大的发展, 应用高频开关电源技术组成 AC/DC 模块结构的充电机在直流系统中应用日益普及, 高频开关电源的模块冗余结构大大提高了充电机的可靠性。高频开关电源的特点是同比功率体积大大减小, 输出的直流技术性能指标与以前采用其他原理的充电装置相比提高了一个数量级。高频开关电源在自动控制技术方

面大量应用计算机控制技术和计算机通信技术，与监控器一起组成一个自动化监视和控制程度更高的直流系统，这个系统使得人机界面更为友好，调试整定方便，智能化、自动化程度更高，与所内综合自动化容易配合。

高频开关电源充电装置中均使用监控器，监控器对充电机各开关电源模块工作状态进行监控管理，完成充电机输出电压和电流调整、控制、保护等传统充电机控制要求。由于监控器内部计算机技术功能非常强大，监控器可以通过本身的通信口和信号采集口对直流系统附属其他设备进行信号采集和数据管理。如对直流绝缘装置进行数据采集和记录发生直流接地的故障情况，甚至将直流绝缘监测功能组合到监控装置内部；对蓄电池监测仪进行控制，将监测仪所获得的数据经过通信口传送到监控器中进行显示和设置报警门限。监控器本身具有的测量端口和信号输入输出端口（I/O），采集直流系统各点的电压、电流，采集直流系统中开关信号，如馈线开关位置、熔丝熔断信号等，并对所采集的信号按设计要求进行监控和报警。

2. 蓄电池

蓄电池主要分成酸性蓄电池和碱性蓄电池两大类。在电力系统直流电源中，阀控式密封铅酸蓄电池占绝大多数，主要是这种电池性价比高，运行维护简单，质量稳定所决定。蓄电池平时处在满容量浮充电状态，对蓄电池的要求是浮充寿命长，运行可靠、安全，维护简单，大电流冲击条件下，输出电压保持基本稳定，在交流停电情况下保证直流继续供电。

3. 馈线结构

馈线屏结构与直流母线结构、馈线保护、直流供电方式有关，对馈线屏要求是运行可靠，屏面布置简单明了，电源走向一目了然，负载名称清晰准确。

直流电源采用悬浮供电方式，电源正负极对地均不直接接地，这样当直流电源某一极对地绝缘不良时一般不会构成寄生回路导致保护误动和电源短路。由于直流系统辐射范围广，采用悬浮供电方式可以避免一次接地网通过大电流产生的地电位差对直流电源造成的高压反击，提高了直流供电的可靠性。

4. 辅助设备

当直流电源一极接地后，如再发生另一点接地，则容易产生寄生回路，造成保护设备误动或拒动，为此直流系统均安装直流绝缘监测装置，在一点接地时及时发出直流电源接地故障报警信号，告知值班工作人员进行处理。直流绝缘监视装置检测直流接地时需要在直流电源正负二极对地接人对地检测电阻，一般这个电阻值均大于几十千欧，对直流系统安全运行没有影响。现在大型变电所一般均采用有自动查找支路接地功能的直流绝缘监测装置，可以避免人工查找支路接地过程中拉合直流负荷电源，减轻了运行工作人员的工作强度，避免了人工拉合直流支路电源时带来的危险。

由于通常直流绝缘监视仪和蓄电池监视仪都作为独立单元设备供组屏制造厂选配，因此有部分功能相互重复，如电压监测等。这些监测仪均能通过数据通信或触点信号与监控器相连，监控器成为直流系统一个信息管理中心，对上与变电所综合自动化有很好的接口界面，适应变电所无人值守发展形势的需要。

直流电源一旦投入运行，很难有机会像其他设备可以全部停下来进行设备检修，因此在设计时要考虑运行中设备维修和故障处理的需求，通常采用直流母线分段，重要继电保护设备由两段母线分别供电，在特殊情况下可以停用某一段直流，而不影响电网保护。充电机、蓄电池等一些运行中需维护检修的设备在结构上应考虑可退出直流系统，并且方便实施安全隔离措施进行维护检修工作，这些要求在设计之初就要从原理上、工艺结构上给予考虑。

第二节 带合闸母线的双母线直流系统

双母线结构在过去 220V 直流系统中用得较多，主要是一次开关设备有大电流合闸需要，合闸母线电压为 260V，整组蓄电池使用 118 瓶 2V 铅酸蓄电池。控制母线电压 220V，从整组蓄电池 100 瓶处抽头获取。直流系统接线结构如图 1-1 所示。

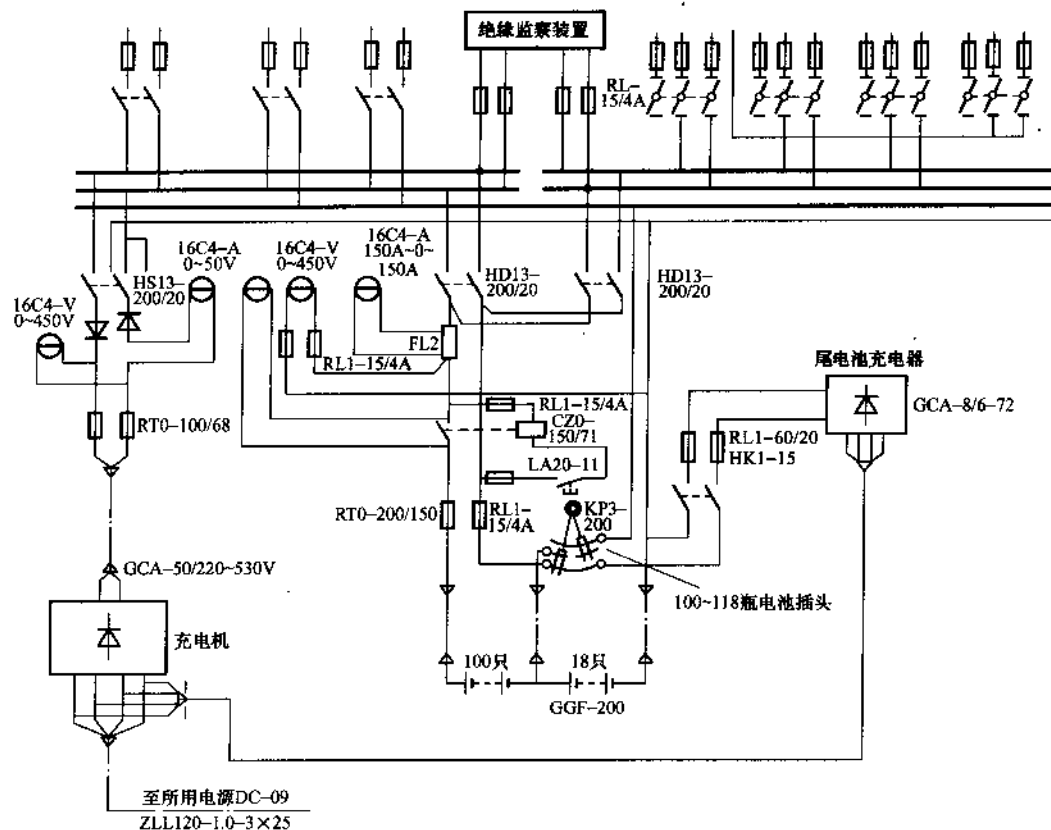


图 1-1 具有合闸母线、控制母线的直流系统原理图

从图 1-1 可以看出，充电机输出有两个位置，对合闸母线（260V）进行充电和对控制母线（220V）进行充电。正常运行中，充电机输出在控制母线位置，对控制母线负载供电和对 100 瓶蓄电池进行浮充。101~118 瓶尾电池另配有小功率浮充机对其进行浮充电，保持尾电池的容量。只有当进行整组蓄电池放电后，充电机输出才放在合闸母线状态，对整组蓄电池进行大电流充电。

当充电机交流失电时，蓄电池在放电过程中电压逐渐下降，调整蓄电池分电盘抽头，通过增加蓄电池瓶数提高控制母线电压，弥补蓄电池放电过程中电压下跌。由于分电盘抽头有小过渡电阻，因此在滑动抽头位置时不会造成控制母线的失压，保证了控制母线供电的连续性，但应避免小电阻过渡电阻触头长时间跨接在两个抽头上，造成该瓶蓄电池大放电。

有些直流系统为了省去小浮充机对尾电池的充电，在控制母线直流负载不大且负载稳定的条件下采用大功率电阻压降对尾电池充电，系统结构如图 1-2 所示。

图 1-2 中充电机对合闸母线上整组蓄电池进行浮充电，同时通过降压电阻对控制母线负荷进

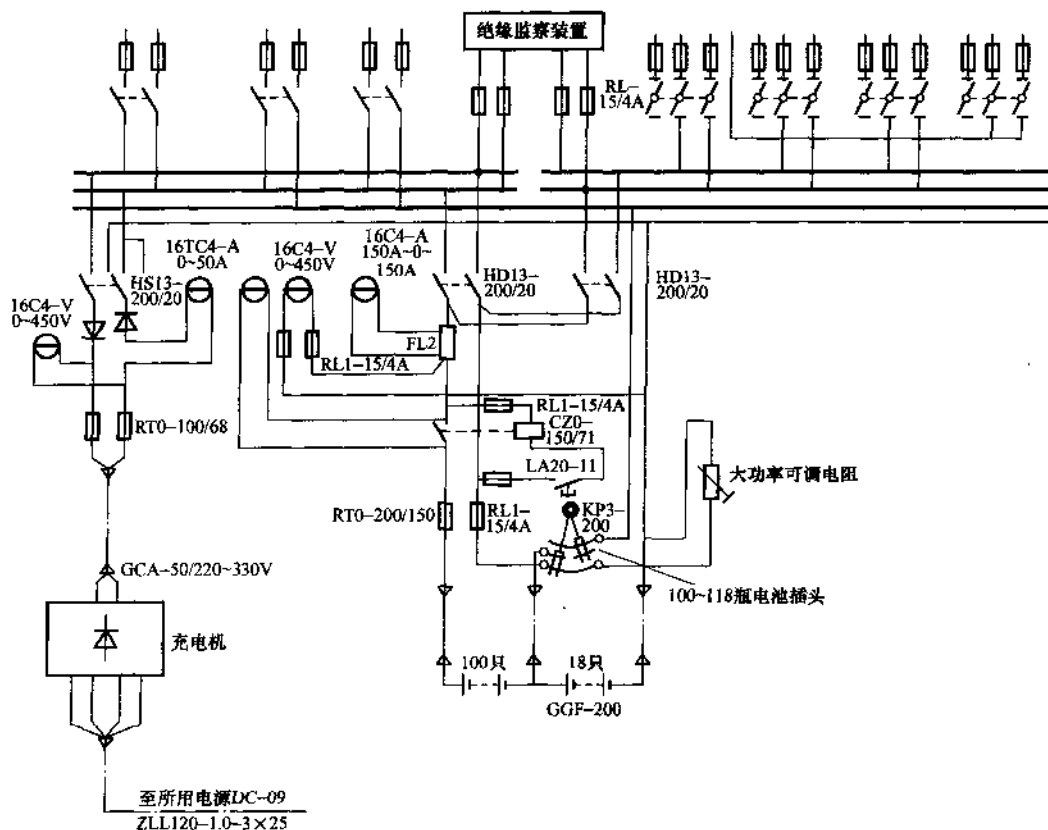


图 1-2 用大功率电阻代替尾电池浮充电原理图

行供电，调节电阻大小使得通过的电流略比控制母线电流大 0.5A 左右（正好相当于蓄电池浮充电流），流过电阻的电流完成向控母负荷供电和控母蓄电池的浮充电，电阻上的压降维持尾电池充电电压。其缺点是运行中值班人员要时时关心电阻中的电流，及时调整电阻跟踪负荷变化带来的电压变化，同时当负荷较大时，降压电阻上功耗较大。

总之，合闸母线的设置是由于一次设备大电流合闸需要产生的，双母线结构减少了合闸大电流冲击对控制母线的影 响，由于这种结构都使用蓄电池抽头分电盘调节控母电压，使得这种结构在运行中操作变得复杂。随着一次开关设备性能的不断改进，断路器操作系统使用弹簧或液压储能结构，合闸电流大幅减少，现在的开关设备合闸与分闸电流仅在几个安培范围内，已没必要单独设置合闸母线输出大电流。

第三节 降压硅结构的双母线直流系统

随着现在断路器合闸电流的急剧下降，分合闸线圈动作功率小，动作电压范围大，因此高压的合闸电源可以取消，使得直流系统只需满足控制母线负荷的需要。为满足富液式铅酸蓄电池直流系统中电池的浮充电压（2.15V）和均充电压（2.4V）以及保证控制母线电压在蓄电池终结时不低于 80% 额定电压，兼顾各种工作方式下控制母线电压的质量，一般利用硅二极管正向工作状态稳定的压降，调整硅二极管组接人数量，保证控制母线电压在正常工作范围内，此时蓄

电池电压高于控制母线，仍沿用习惯上的叫法为合闸母线，而实际是蓄电池电压，在蓄电池电压合闸母线上除了大电流冲击负荷（如事故照明逆变等）外，已不接其他任何负载。在 220V 直流系统中，蓄电池电压一般为 240~250V 之间，110V 直流系统为 125V 左右。

一、降压硅正常工作模式

以 220V 直流系统为例，当使用 108 瓶蓄电池时，控制母线的电压将远大于额定电压的 10%，因此需降低控制母线电压，可以采用蓄电池抽头方式降低电压，但这样将使得接线复杂。由于硅整流二极管固有的压降工作特性，现在一般都利用二极管的压降来调节控制母线电压。

硅整流二极管除了单向导电性外，还有一个特点就是在导通状态下的压降恒定为 0.7V，人们利用这个特性将数个硅整流二极管串联起来组成硅链，利用硅链的压降调节蓄电池电压和控制母线电压的差值。降压二极管以组的形式串入，每组可由 5~8 个二极管组成，压降在 4~6V 左右，根据降压多少的需要，一般串入 4~8 组，每组有抽头供运行中短接调整电压。在设备运行时，控制母线负荷电流流过降压硅链，硅链的功耗等于硅链的压降和负荷电流的乘积，因此每个降压硅应加散热片，散热片的设计应考虑最大负荷电流发热量的散发。采用降压硅直流系统如图 1-3 所示。

图 1-3 中，降压硅链 V1~V5 组成降压电路，正常运行中 S1~S5 触点断开。当交流失电蓄电池放电时，自动控制 S1~S5 触点，在蓄电池电压下降过程中逐个短接降压硅提高控制母线的输出电压，可在相当长一段时间维持控制母线保持不变。当 S1~S5 全部动作降压硅链短接后，蓄电池电压与控制母线电压一致，控制母线电压才真正随蓄电池电压同步下降。

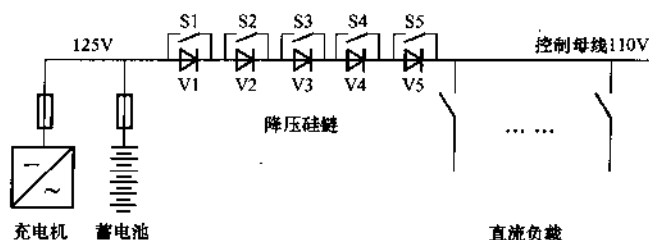


图 1-3 降压硅调节控制母线电压电路

可见，降压硅链解决了蓄电池电压和控制母线电压不一致引起的冲突，以及蓄电池放电过程中电压不稳定现象，保证了蓄电池放电过程的大部分时间中控制母线电压的稳定。降压硅链的工作是否正常直接影响控制母线的电压质量，因此降压硅的自动控制电路要保证动作准确和可靠。为防止自动控制电路故障，降压硅控制电路一般

均具有自动和手动两挡，正常时放在自动挡，当自动挡故障时切到手动挡，由人工进行控制。

在设计和调试时，尤其要注意短接降压硅的调节继电器问题，由于降压硅继电器工作在蓄电池放电状态，要保证在蓄电池放电到 80% 前的电压条件下降压硅继电器能可靠动作。不能由于蓄电池放电造成电压下降而使继电器无法保持动作状态，使继电器短接触点打开加速控制母线电压下降。该继电器动作电压的选取应小于 80% 标称母线电压。

一些制造厂家为防止硅链在运行中意外开断，从运行可靠性考虑，在降压硅链旁并联一组旁路硅链，旁路硅链压降略大于正常硅链，这样一旦工作中降压硅链开断时，可通过旁路硅链自动连通不致于造成控制母线失压。

二、后备式降压硅工作模式

降压硅链串联在负荷回路中，正常运行时存在降压硅发热现象，在直流负荷电流较大的情况下更显严重。为此一些厂家便开发了后备式降压硅链结构，在这种结构中，正常工作时，降压硅中只有很小的电流流过，几乎不存在降压硅发热问题，一旦交流失电降压硅自动投入，此后工作