



人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

电解铝供电

DIANJIELÜ GONGDIAN

黄贵平 等编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
有色金属行业职业教育培训规划教材

电 解 铝 供 电

黄贵平 等编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2015

内 容 简 介

本书是有色金属行业职业教育培训规划教材之一,是根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的。

本书分上篇和下篇,上篇主要介绍了电解铝供电整流运行的基础知识、元器件及系统的运行、管理和故障处理等;下篇主要介绍了电解铝供电整流检修,包括铝电解供电整流系统、继电保护原理、铝电解供电整流设备的检修、高电压技术电气试验、供电整流设备安装工程交接试验、整流装置元件均流系数测试、分析及处理等。本书的特点是简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际需要,突出实际操作。

本书适合电解铝供电企业工程技术人员阅读,可作为企业岗位操作人员的培训教材及职业学校(院)相关专业教材,也可供有关工程技术人员和大学师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电解铝供电/黄贵平等编著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 9

有色金属行业职业教育培训规划教材

ISBN 978-7-5024-6924-5

I. ①电… II. ①黄… III. ①炼铝—电解冶金—供电系统—技术培训—教材 IV. ①TF821

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 201751 号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6924-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2015 年 9 月第 1 版, 2015 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 25.75 印张; 624 千字; 390 页

60.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

有色金属行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

- 主 任 丁学全 中国有色金属工业协会副会长
谭学余 冶金工业出版社社长
- 副 主 任 丁跃华 有色金属工业人才中心总经理、有色金属行业职业技能鉴定指导中心主任、中国职工教育和职业培训协会有色金属分会副理事长兼秘书长
鲁启峰 中国职工教育和职业培训协会冶金分会秘书长
任静波 冶金工业出版社总编辑
杨焕文 中国有色金属学会副秘书长
吴连成 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司总经理
洪 伟 青海投资集团有限公司董事长、党委书记
李庭利 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司副总经理
- 秘 书 长 杨伟宏 洛阳有色金属工业学校校长(0379-64949030, yangwh0139@126.com)
- 副秘书长 张登科 冶金工业出版社编审(010-64062877, zhdengke@sina.com)
- 委 员
- 张廷锋 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
杨富强 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司

王化琳 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
段鲜鸽 洛阳有色金属工业学校
李巧云 洛阳有色金属工业学校
李 贵 河南豫光金铅股份有限公司
闫保强 洛阳有色金属加工设计研究院
刘静安 中铝西南铝业（集团）有限责任公司
张鸿烈 白银有色金属公司西北铅锌厂
但渭林 江西理工大学南昌分院
武红林 中铝东北轻合金有限责任公司
郭天立 中冶葫芦岛有色金属集团公司
董运华 洛阳有色金属加工设计研究院

序

有色金属工业是国民经济重要的基础原材料产业和技术进步的先导产业。改革开放以来，我国有色金属工业取得了快速发展，十种常用有色金属产销量已经连续多年位居世界第一，产品品种不断增加，产业结构趋于合理，装备水平不断提高，技术进步步伐加快，时至今日，我国已经成为名符其实的有色金属大国。

“十二五”期间，是我国由有色金属大国向强国转变的重要时期，要成为有色金属强国，根本靠科技，基础在教育，关键在人才，有色金属行业必须建立一支规模宏大、结构合理、素质优良、业务精湛的人才队伍，尤其是要建立一支高水平的技能型人才队伍。

建立技能型人才队伍既是有色金属工业科学发展的迫切需要，也是建设国家现代职业教育体系的重要任务。首先，技能型人才和经营管理人才、专业技术人才一样，同是企业人才队伍中不可或缺的重要组成部分，在企业生产过程中，装备要靠技能型人才去掌握，工艺要靠技能型人才去实现，产品要靠技能型人才去完成，技能型人才是企业生产力的实现者。其次，我国有色金属行业与世界先进水平相比还有一定差距，要弥补差距，赶超世界先进水平靠的是人才，而现在最缺乏的就是高技能型人才。再次，随着对实体经济重要性认识的不断深化，有色金属工业对技能型人才的重视程度和需求也在不断提高。

人才要靠培养，培养需要教材。有色金属工业人才中心和洛阳

有色金属工业学校为了落实中国有色金属工业协会和教育部颁发的《关于提高职业教育支撑有色金属工业发展能力的指导意见》精神，为了适应行业技能型人才培养的需要，与冶金工业出版社合作，组织编写了这套面向企业和职业技术学院的培训教材。这套教材的显著特点就是体现了基本理论知识和基本技能训练的“双基”培养目标，侧重于联系企业生产实际，解决现实生产问题，是一套面向中级技术工人和职业技术学院学生实用的中级教材。

该教材的推广和应用，将对发展行业职业教育，建设行业技能队伍，推动有色金属工业的科学发展起到积极的作用。

中国有色金属工业协会会长

陈全训

2013年2月

前 言

随着铝工业的不断壮大和发展,电解铝生产从业人员逐年增加,同时对操作人员的技术素质和水平也提出了更高的要求。电解铝供电整流系统是电解铝生产的“心脏”,其安全、稳定的运行,对企业的稳定发展意义重大。一旦电解铝供电系统发生故障,将会破坏电解铝的正常生产秩序,甚至造成灾难性的后果。因此,必须及时消除供电系统故障,同时企业要加强对电解铝供电系统人员的基本技能培训,提高供电整流人员操作及维修水平,使供电整流系统在事故情况下,准确地向调度部门汇报事故信息,正确地进行事故分析和处理,保证企业生产安全、稳定运行。为此洛阳有色金属工业学校和中电投宁夏能源铝业共同组织编写了本书。

本书是在参考有关电力专业书籍,结合铝电解供电整流特点,并在总结多年来对供电整流人员培训经验的基础上编写的。本书参照了行业职业技能鉴定规范,并根据企业生产实际和岗位技能要求,依照系统从高压到低压、一次到二次、交流到直流、运行到检修这一主线,由浅入深,系统地介绍了设备的基本原理、基本操作、维修及运行的相关规定,对电气基础知识也进行了简单描述,对事故处理及案例分析进行了重点介绍,以便加深理解和掌握。本书兼顾了中级工和技师、高级工和高级技师需要重点掌握的相关知识。

本书由黄贵平主持编写,由河南省有色金属协会教授级高工吕森宝主持审稿,上篇编写人员:黄贵平、付红琴(第4~6、9、10、13、15章);张立英(第1、7、12、14章);刘兴华(第2、3、11章);付红琴、侯壮(第8章)。下篇编写人员:侯壮、蒲芳(第16章);段志强(第17~20章);徐明磊(第21章);张立英(第22章)。

本书在编写过程中,得到了洛阳有色金属工业学校校长杨伟宏、副教授李

巧云等同志的大力支持，在此表示衷心感谢。另外，本书参考了一些相关著作或文献资料，对其作者致以诚挚的谢意。

电气自动化技术发展较快，由于水平所限，书中有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

2015 年 7 月 20 日

目 录

上篇 电解铝供电整流运行

1 基础知识	1
1.1 直流电路	1
1.1.1 直流电路的基本概念和简单直流电路	1
1.1.2 电路计算	1
1.2 磁场的基本知识	2
1.2.1 磁的性质和电流的磁场	2
1.2.2 感应电势和载流导体受力	3
1.3 单相交流电	6
1.3.1 交流电路的基本概念	6
1.3.2 单相交流电路参数	6
1.4 三相交流电路	9
1.4.1 三相电势的产生和三相电路的连接	10
1.4.2 不对称三相电路的概念和三相电路的功率	11
1.4.3 三相电路的计算	11
1.5 供电整流电路	11
1.5.1 整流电路的概念	11
1.5.2 常见整流电路及应用	13
1.5.3 铝电解供电整流电路	19
1.5.4 稳流装置	23
复习思考题	30
2 变压器	31
2.1 变压器的结构和工作原理	31
2.1.1 变压器的结构	31
2.1.2 变压器的工作原理	34
2.1.3 电力变压器的型号及技术参数	35
2.1.4 整流变压器	39
2.2 变压器运行标准及规定	42
2.2.1 变压器允许运行方式	42
2.2.2 变压器并列运行	43

2.2.3 变压器油运行管理	44
2.3 变压器运行巡视检查	44
2.3.1 变压器巡视检查	44
2.3.2 整流变压器运行中的监视	45
2.3.3 变压器定期进行外部检查的一般项目	45
2.3.4 变压器的特殊检查项目	45
2.3.5 变压器声音异常的原因	46
2.3.6 变压器油色谱在线监测系统	46
2.4 变压器的验收	46
2.4.1 新设备验收的项目及要求	46
2.4.2 投运前设备的验收内容	52
2.4.3 检修设备验收的项目和要求	53
复习思考题	55
3 整流柜	56
3.1 整流柜工作原理	56
3.1.1 单相整流电路	56
3.1.2 三相桥式整流电路	58
3.2 整流装置运行标准及巡视检查	59
3.2.1 整流器	59
3.2.2 整流柜巡视项目及标准	60
3.2.3 整流柜维护标准	61
3.3 整流装置保护、故障分析及处理	61
3.3.1 整流柜的保护	61
3.3.2 整流柜常见故障处理	64
3.3.3 整流柜故障原因分析及处理措施	65
3.4 整流装置验收	65
复习思考题	66
4 高压断路器	67
4.1 断路器的运行操作	67
4.1.1 断路器的运行原则	67
4.1.2 断路器操作的基本要求	68
4.1.3 断路器的操作	68
4.2 断路器的巡视要求及故障处理	69
4.2.1 断路器的正常巡视检查	69
4.2.2 断路器的特殊巡视检查	70
复习思考题	71

5 互感器	72
5.1 互感器的工作原理及结构	72
5.1.1 电流互感器的分类及技术参数	72
5.1.2 电流互感器的结构和工作原理	74
5.1.3 电压互感器的分类及技术参数	77
5.2 互感器的运行操作	81
5.2.1 电流互感器的运行操作	81
5.2.2 电压互感器的运行操作	82
5.3 互感器的巡视检查及故障处理	82
5.3.1 电流互感器的巡视检查	82
5.3.2 电压互感器的巡视检查	83
复习思考题	84
6 高压隔离开关	85
6.1 高压隔离开关的用途和结构	85
6.1.1 高压隔离开关的用途	85
6.1.2 高压隔离开关的技术参数、分类和型号	85
6.1.3 高压隔离开关的结构	86
6.1.4 隔离开关的操作机构	90
6.2 高压隔离开关的巡视检查及运行	90
6.2.1 高压隔离开关的巡视检查	90
6.2.2 高压隔离开关的运行	91
复习思考题	92
7 SF ₆ 全封闭组合电器配电装置 GIS 系统	93
7.1 GIS 结构原理	93
7.1.1 GIS 基本结构和原理	93
7.1.2 GIS 配电装置的主要元件和布线方式	96
7.1.3 GIS 的技术性能和运行规定	98
7.2 GIS 电气设备运行与维护规定	100
7.2.1 GIS 中气体密度的监测	100
7.2.2 GIS 的检漏	100
7.2.3 GIS 设备的巡视检查	101
7.2.4 GIS 定期检查和检修	102
7.2.5 GIS 电气设备运行维护规定	103
7.3 GIS 装置常见故障及处理方法	104
7.3.1 GIS 装置的故障类型	104
7.3.2 GIS 装置 SF ₆ 发生漏气时的处理方法	104
7.3.3 GIS 发热、异常气味的处理方法	105

7.3.4 GIS 生锈的处理方法	106
复习思考题	106
8 避雷针与避雷器	107
8.1 避雷针、避雷器、接地装置的工作原理	107
8.1.1 避雷针	107
8.1.2 避雷器的工作原理	107
8.1.3 变电所的防雷保护	108
8.1.4 接地装置	109
8.2 避雷装置的运行检查与维护	110
8.2.1 避雷针与避雷器的巡视检查	110
8.2.2 对运行中接地装置进行的安全检查	111
8.2.3 避雷器和避雷针在运行中应注意的事项	111
复习思考题	112
9 电气二次回路基本知识	113
9.1 二次回路概述	113
9.1.1 二次回路的范围	113
9.1.2 二次回路符号说明	114
9.1.3 二次回路图幅分区	117
9.2 二次回路的识图知识	117
9.2.1 二次回路的图纸	117
9.2.2 二次回路的读图	120
9.2.3 识读电气图方法	121
复习思考题	121
10 整流变电站二次回路运行及故障处理	122
10.1 二次回路的运行检查及维护	122
10.1.1 二次回路综合检查	122
10.1.2 值班中检查维护	122
10.2 二次回路上的安全注意事项	123
10.2.1 在二次回路上工作前的安全准备工作	123
10.2.2 在二次回路上工作的安全要求	124
复习思考题	125
11 整流变电站综合自动化系统	126
11.1 整流变电站综合自动化系统概述	126
11.1.1 基本功能	126
11.1.2 基本特征	126

11.1.3 综合自动化技术	127
11.2 综合自动化系统的结构	130
11.2.1 变电站综合自动化系统的体系结构	130
11.2.2 变电站综合自动化系统的硬件结构	131
11.2.3 某整流变电站综合自动化系统简介	133
11.3 综合自动化系统通信网络	136
11.3.1 计算机网络	136
11.3.2 计算机网络的主要功能	137
11.3.3 计算机网络的特点	137
11.3.4 计算机网络的结构组成	138
11.3.5 网络连接设备	140
11.3.6 网络通信协议	141
11.3.7 网络操作系统	141
11.4 综合自动化系统运行操作	141
11.4.1 综合自动化运行管理	141
11.4.2 系统操作	144
11.5 综合自动化系统运行维护及故障处理	149
11.5.1 变电所综合自动化系统的故障分析方法	149
11.5.2 变电所综合自动化系统常见故障的处理	150
11.5.3 变电所综合自动化系统的运行维护	151
复习思考题	152
12 变电站直流操作电源系统	153
12.1 变电站直流系统设备的配置	153
12.1.1 工作原理及配置	153
12.1.2 主要技术指标	154
12.2 直流操作电源系统运行及维护	154
12.2.1 运行监视	154
12.2.2 蓄电池组的运行方式及监视	155
12.2.3 充电装置的运行及维护	157
12.3 直流操作电源系统事故和处理预案	158
12.3.1 阀控式密封铅酸蓄电池事故和故障处理预案	158
12.3.2 直流系统事故和故障处理预案	159
12.3.3 直流系统事故和故障处理的安全要求	160
12.4 交流不间断电源简介	161
12.4.1 引言	161
12.4.2 UPS 电源系统	161
12.4.3 UPS 电源系统的维护	163
复习思考题	164

13 倒闸操作	165
13.1 倒闸操作的原则和基本操作方法	165
13.1.1 倒闸操作的概念	165
13.1.2 电气设备运行状态	165
13.1.3 电气设备倒闸操作任务	165
13.1.4 电气设备倒闸操作的原则	166
13.1.5 倒闸操作的基本操作方法	167
13.2 倒闸操作的步骤和注意事项	168
13.2.1 倒闸操作的基本步骤	168
13.2.2 倒闸操作注意事项	172
13.3 操作票的填写方法	172
13.3.1 倒闸操作票	172
13.3.2 倒闸操作票填写要求	173
13.3.3 操作票执行要求	174
13.4 典型倒闸操作的操作要点及新设备的投用	175
13.4.1 典型倒闸操作的要点	175
13.4.2 倒闸操作实例	177
13.4.3 新设备的投运	180
13.5 防误闭锁装置	182
13.5.1 防误闭锁装置的作用和分类	182
13.5.2 机械类闭锁装置	182
13.5.3 电气闭锁装置	182
13.5.4 微机防误闭锁装置	183
复习思考题	184
14 变电所的管理	185
14.1 变电所的调度管理	185
14.2 变电所安全运行的要求	185
14.2.1 现场管理要求	186
14.2.2 运行基本要求	186
14.2.3 对值班人员的要求	186
14.2.4 值班人员应知的安全注意事项	187
14.2.5 交接班要求	187
14.3 变配电所的巡视检查	188
14.3.1 巡视检查的一般规定	188
14.3.2 正常巡视检查内容	188
14.3.3 特殊巡视检查内容	189
复习思考题	189

15 供电整流系统事故处理	190
15.1 整流变电站常见事故处理	190
15.1.1 概述	190
15.1.2 整流变电站常见事故处理	190
15.2 现场处置方案	193
15.2.1 现场处置原则	193
15.2.2 现场处置的一般步骤	193
15.2.3 现场处置方案 (以 330kV 露天整流变电站为例)	194
15.3 误操作的事故处理	202
15.3.1 防止电气误操作事故的措施	202
15.3.2 电气误操作事故处理	203
15.4 典型案例分析	204
15.4.1 整流柜短路爆炸故障案例	204
15.4.2 整流变压器三次线圈电缆头爆炸故障案例	204
15.4.3 某 220kV 变电站带地刀合刀闸事故案例	205
复习思考题	206

下篇 电解铝供电整流检修

16 铝电解供电整流系统	207
16.1 常见铝电解供电整流系统介绍	207
16.2 供电整流系统设备	207
16.2.1 断路器	207
16.2.2 隔离开关和负荷开关	220
16.2.3 交流电压互感器和电流互感器	220
16.2.4 避雷装置	226
16.2.5 动力变压器和整流变压器	227
16.2.6 整流装置	239
16.2.7 直流大电流刀开关	240
16.2.8 直流大电流传感器	242
16.2.9 滤波系统	243
复习思考题	248
17 继电保护原理	249
17.1 继电保护基本知识	249
17.1.1 继电保护配置的概念	252
17.1.2 电流速断保护 (过流 I 段)	252
17.1.3 限时电流速断保护 (过流 II 段)	252

17.1.4	限时过电流保护（过流Ⅲ段）	253
17.1.5	过流三段式保护的小结	253
17.1.6	差动保护	254
17.2	主设备继电保护	254
17.2.1	变压器的保护	254
17.2.2	母线保护（110kV及以上）	259
17.2.3	220kV线路保护	260
17.2.4	110kV线路保护	260
17.2.5	35kV线路保护	260
17.2.6	10kV线路保护	261
17.2.7	电容器保护	261
17.2.8	自动装置	261
17.3	供电整流系统一次系统图、主接线图、二次回路控制原理图、 展开图和接线图	261
17.3.1	电气主接线定义	261
17.3.2	电气主接线图的重要性	261
17.3.3	双进线双母线的运行方式	262
17.3.4	双进线双母四分段运行方式	262
17.3.5	整流主电路联结	263
17.3.6	二次回路控制原理图、展开图和接线图基础知识	265
17.3.7	二次回路的故障类型及处理方法	270
17.3.8	二次回路上的安全注意事项	274
17.4	继电保护装置校验及调试	275
17.4.1	微机保护装置校验	275
17.4.2	非微型机装置校验	277
17.4.3	二次回路检验	282
17.5	变压器、大功率整流装置常见保护配置、动作原理	284
17.5.1	电流保护	284
17.5.2	瓦斯保护及压力释放保护	286
17.5.3	中性点不接地的间隙保护	286
17.5.4	交直流过电压保护	286
17.5.5	过电流保护（整流装置）	287
17.5.6	超温保护	289
17.5.7	PLC失电保护	290
17.5.8	水压失常保护	290
17.5.9	机组水质低保护	290
17.5.10	直流绝缘监测保护	290
17.5.11	逆流保护	290
17.5.12	机组连锁跳闸	291