

国家职业资格培训教程

铝电解工

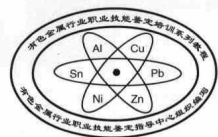
Lü Dian Jie Gong

(上册)

中国有色金属工业协会
中国铝业公司 组织编写
有色金属行业职业技能鉴定指导中心

主 编 吴 鸿 张顺虎
副主编 陈代金 伍少萍 陈京宁

贵州科技出版社



国家职业资格培训教程

铝电解工

Lü Dian Jie Gong

(上册)

中国有色金属工业协会
中国铝业公司 组织编写
有色金属行业职业技能鉴定指导中心



贵州科技出版社

国家职业资格培训教程

铝 电 解 工

(上册)

贵州科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

铝电解工/吴鸿, 张顺虎主编. —贵阳: 贵州科技出版社, 2006. 12
ISBN 7-80662-525-9

I. 铝… II. ①吴…②张… III. 氧化铝电解—技术培训—教材 IV. TF821.032.7

中国版本图书馆CIP数据核字 (2006) 第155227号

铝 电 解 工 (上、下册)

主 编:	吴 鸿 张顺虎	印 刷:	佳美印刷厂
责任编辑:	施福根 李明坤	开 本:	787mm×1092mm 1/16
出 版 社:	贵州科技出版社	印 张:	66.375 2插页
地 址:	贵阳市中华北路289号	字 数:	1785千字
邮 编:	550004	印 数:	1~2500
发 行:	贵州科技出版社		2006年12月第1版第1次印刷
书 号:	ISBN 7-80662-525-9/TF·001	定 价:	90.00元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

国家职业资格培训教程

铝 电 解 工

编写委员会

主 任：蒋维湘

副主任：丁学全 毛远建 常顺清

委 员：丁跃华 郑维亚 谢承杰 伍祚明 黎 云 曹跃清

杨建华 许晓桥

主 编：吴 鸿 张顺虎

副主编：陈代金 伍少萍 陈京宁

前 言

为了在铝电解生产从业人员中开展职业培训和职业技能鉴定,根据劳动和社会保障部有关规定,中国有色金属工业协会、中国铝业公司、有色金属行业职业技能鉴定指导中心组织中铝贵州企业牵头编写了《国家职业资格培训教程——铝电解工》(以下简称《教程》)。

《教程》以劳动和社会保障部颁布的《国家职业标准——铝电解工》(以下简称《标准》)为依据,《教程》紧贴《标准》,内容上遵循“以职业活动为导向,以职业技能为核心”的指导思想,突出职业培训特色;结构上针对铝电解工职业活动领域,按照《标准》中划分的职业功能模块,分初级工、中级工、高级工、技师、高级技师五个级别编写。《教程》的基础知识部分覆盖《标准》的“基本要求”;操作技能部分的“篇”对应于《标准》的“职业功能”,“章”对应于《标准》的“工作内容”,“节”中阐述的内容对应于《标准》的“技能要求”和“相关知识”。

《教程》适用于铝电解工各级别的技能培训,是有色金属行业职业技能鉴定推荐培训教程。《教程》的“预焙槽操炉”部分由伍少萍、汤昌廷编写;“自焙槽操炉”部分由郭吉星编写;“多功能机组作业”部分由陈国良、张仟书编写;“物料输送及烟气净化”部分由袁军生、周俊屏、严大华编写;“电解槽计算机控制”部分由陈晓璠、宋建全编写;“铝及铝合金熔铸”部分由毕昌武、田春、胡永杰编写;“阳极组装”部分由何蓉、胡朝晖、唐宗荣、王光军编写;“母线焊接”部分由程守勇编写;“筑炉施工”部分由周生权、吴刚编写;“培训指导、安全生产、职业道德”等部分由于宏伟、陈京宁、方秀芬编写。全书文字、图表的录入及校对由杨成线完成。

全书由吴鸿、张顺虎、陈代金终审定稿。

平果铝业公司、中国铝业股份有限公司广西分公司、青海铝业有限责任公司、中国铝业股份有限公司青海分公司、山东铝业公司、中国铝业股份有限公司山东分公司、山东铝业股份有限公司、中国长城铝业公司、中国铝业股份有限公司河南分公司、包头铝业(集团)有限责任公司、河南冶金工业学校、兰州连城铝业有限责任公司、豫港龙泉铝业有限公司、遵义铝厂等单位的有关专家对《教程》的内容进行了必要的补充和完善,《教程》在编写过程中得到了劳动和社会保障部培训就业司和职业技能鉴定中心的大力支持,在此一并表示诚挚的感谢。

由于第一次组织编写与《国家职业标准——铝电解工》配套的职业技能培训教程,不足之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见和建议,以便再版时改进和完善。

中国有色金属工业协会
中国铝业公司
有色金属行业职业技能鉴定指导中心

2006年6月

目 录

基础知识

第一章 铝电解操炉	(1)
第一节 铝的性质及用途	(1)
第一单元 铝冶金的发展史	(1)
第二单元 现代铝工业发展	(2)
第三单元 铝的性质与用途	(2)
第二节 铝电解原理	(4)
第一单元 铝电解原理及生产工艺流程	(4)
第二单元 铝电解生产中的主要原料	(5)
第三节 铝电解生产技术经济指标	(6)
第四节 铝电解槽基本结构	(7)
小结	(10)
习题	(11)
第二章 机械、电气基础知识	(12)
第一节 机械、电气常识	(12)
第一单元 力学常识	(12)
第二单元 电气常识	(13)
第二节 液压、气动控制基础知识	(15)
第一单元 液压、气动控制系统简介	(15)
第二单元 液压传动基本原理	(15)
第三节 机械传动基础知识	(17)
第一单元 机械传动基础知识	(17)
第四节 电力拖动基础知识	(20)
第一单元 一般电气元件及符号	(20)
第二单元 电力拖动基本常识	(23)
小结	(24)
习题	(24)
第三章 物料输送及烟气净化	(25)
第一节 物料输送	(25)
第二节 电解烟气干法净化与回收	(32)
第三节 浓相输送系统工艺	(35)
第四节 超浓相输送系统工艺	(37)
第五节 电解烟气干法净化回收系统工艺	(38)
小结	(40)

习题	(40)
第四章 电解槽计算机控制	(41)
第一节 计算机控制系统	(41)
第二节 铝电解槽计算机控制	(43)
小结	(48)
习题	(48)
第五章 铝及铝合金熔铸	(49)
第一节 铝及铝合金的性能与分类	(49)
第二节 铝及铝合金熔铸工艺	(51)
小结	(54)
习题	(54)
第六章 阳极组装	(55)
第一节 绪论	(55)
第二节 碳素材料的基本性质	(56)
第一单元 碳的基本结构	(56)
第二单元 碳素材料的结构性质	(57)
第三单元 碳素材料的机械力学性质	(61)
第四单元 碳素材料的热学性质	(63)
第五单元 碳料的电学性质	(65)
第六单元 碳素材料的化学性质	(66)
第三节 炭制品、炭糊类产品的用途	(67)
第一单元 炭制品	(67)
第二单元 炭糊类产品	(68)
第四节 预焙阳极生产用原料	(69)
第一单元 骨料	(69)
第二单元 粘结剂	(71)
第三单元 主要原料的物理性质	(72)
第五节 预焙阳极生产工艺	(72)
第一单元 原料煅烧	(72)
第二单元 配料、混捏、成型	(73)
第三单元 焙烧	(76)
第四单元 预焙阳极生产工艺流程图	(77)
第六节 阳极组装生产工艺	(78)
第一单元 焙烧块	(78)
第二单元 导杆组架	(78)
第三单元 阳极组装工艺	(80)
第七节 铸铁熔炼	(81)
小结	(96)
习题	(96)
第七章 焊接方法概述	(98)

第一节	焊接方法分类	(98)
第二节	焊接方法介绍	(99)
第三节	焊接方法的选择	(102)
第四节	焊接技术的新发展	(104)
	小结	(106)
	习题	(106)
第八章	筑炉施工	(107)
第一节	筑炉材料	(107)
	第一单元 耐火材料	(107)
	第二单元 铝电解筑炉常用耐火制品	(109)
	第三单元 隔热耐火材料	(116)
第二节	筑炉工具和机械	(117)
	第一单元 筑炉工具	(117)
	第二单元 筑炉机械	(118)
第三节	铝电解筑炉工艺	(123)
	第一单元 无底槽的砌筑	(124)
	第二单元 有底槽砌筑工艺	(125)
	第三单元 铝用铸造炉砌筑工艺	(127)
	小结	(128)
	习题	(128)
第九章	质量管理	(129)
	小结	(133)
	习题	(133)
第十章	安全生产	(134)
	小结	(138)
	习题	(138)
第十一章	职业道德	(139)
	小结	(142)
	习题	(143)

初 级 工

第一篇	铝电解预焙槽操炉	(144)
第一章	预焙槽操炉准备工作	(144)
	第一节 交接班	(144)
	第二节 工器具准备	(145)
	小结	(147)
	习题	(147)
第二章	预焙槽操炉	(148)
	第一节 电解槽通电、焙烧、启动	(148)
	第二节 预焙阳极电解槽换阳极作业	(154)

第三节	抬母线作业	(157)
第四节	测量作业	(159)
第五节	阳极效应熄灭	(162)
小结	.....	(163)
习题	.....	(164)
第二篇	铝电解自焙槽操炉	(165)
第一章	自焙槽操炉准备工作	(165)
第一节	交接班	(165)
第二节	工器具准备	(166)
小结	.....	(167)
习题	.....	(167)
第二章	自焙槽操炉	(168)
第一节	通电、焙烧、启动电解槽	(168)
第二节	测量作业	(172)
第一单元	电解质温度测量	(172)
第二单元	铝液、电解质高度测量	(173)
第三单元	阳极电流分布测量	(174)
第三节	工艺操作	(175)
第一单元	阳极效应状态确认与熄灭	(175)
第二单元	电解槽加工	(177)
第三单元	加糊	(178)
第四单元	旁插槽母线转接、拔、钉棒作业	(178)
第五单元	上插槽抬母线、拔、插棒作业	(181)
第六单元	铆接铝壳	(183)
第七单元	出铝作业	(184)
小结	.....	(185)
习题	.....	(185)
第三章	自焙槽操炉设备维护与故障处理	(186)
第一节	风动砂轮机	(186)
第二节	风动拔棒机	(187)
小结	.....	(188)
习题	.....	(188)
第三篇	多功能机组作业	(189)
第一章	多功能机组作业准备工作	(189)
第一节	交接班	(189)
第二节	吸出工器具准备	(190)
第三节	吸出材料的准备	(190)
第四节	设备运行前的准备	(191)
第一单元	多功能机组运行前的准备	(191)
第二单元	吸出设备运行前的准备	(191)

小结	(192)
习题	(192)
第二章 多功能机组作业	(193)
第一节 操作多功能机组	(193)
第一单元 阳极交换、打壳、抬母线作业	(193)
第二单元 多功能机组料仓加料作业	(195)
第三单元 电解槽加料作业	(196)
第四单元 单台机组吊运重物作业	(197)
第二节 吸出、移注介质	(199)
第一单元 吊运吸出设备	(199)
第二单元 铝液吸出、移注、浇灌作业	(200)
第三单元 电解质吸出、移注、浇灌作业	(201)
第四单元 吸出管的安装和台包清理	(202)
第三节 处理故障	(203)
第一单元 判断、处理多功能机组不能启动的原因	(203)
第二单元 排除介质吸出过程中的异常情况	(204)
小结	(205)
习题	(205)
第三章 多功能机组设备管理	(206)
第一节 清扫多功能机组积尘、杂物、油垢	(206)
第二节 设备故障的发现及处理	(209)
小结	(210)
习题	(210)
第四篇 物料输送及烟气净化	(211)
第一章 物料输送及烟气净化准备工作	(211)
第一节 交接班作业	(211)
第二节 准备工器具作业	(212)
第三节 设备运行前准备作业	(212)
第一单元 设备运行准备作业	(212)
第二单元 空负荷运转单体设备作业	(212)
小结	(213)
习题	(213)
第二章 物料输送及烟气净化	(214)
第一节 输送物料	(214)
第一单元 选择供料料仓作业	(214)
第二单元 监视系统作业	(214)
第三单元 单槽加料作业	(215)
第四单元 停止加料作业	(215)
第五单元 制止物料输送系统冒料作业	(216)
第二节 净化烟气	(216)

第一单元	新鲜氧化铝烟管投料作业	(216)
第二单元	监视烟气净化系统运行作业	(218)
第三单元	多功能机组加料作业	(218)
第四单元	指定设备的启/停作业	(219)
小结	.....	(219)
习题	.....	(219)
第三章	物料输送及烟气净化设备管理	(221)
第一节	风动溜槽维护作业	(221)
第二节	多功能机组下料装置维护作业	(222)
小结	.....	(223)
习题	.....	(223)
第五篇	电解槽计算机控制	(224)
第一章	电解槽计算机控制准备工作	(224)
第一节	交接班	(224)
第二节	准备原材料	(225)
第三节	设备运行前的准备	(225)
小结	.....	(225)
习题	.....	(225)
第二章	电解槽计算机控制	(226)
第一节	监控信息	(226)
第一单元	开启与关闭计算机及常用外设	(226)
第二单元	操作铝电解监控程序	(240)
第二节	录入数据	(245)
第一单元	判断数据录入的合法性	(245)
第二单元	修改电解槽可变控制参数	(245)
第三单元	下发动作命令	(249)
第四单元	录入化验或测量数据	(249)
第三节	打印报表	(250)
小结	.....	(253)
习题	.....	(253)
第六篇	铝及铝合金熔铸	(254)
第一章	铝及铝合金熔铸准备工作	(254)
第一节	交接班	(254)
第二节	工器具准备	(255)
第三节	辅助材料的准备	(256)
第四节	设备运行前的准备	(257)
小结	.....	(260)
习题	.....	(260)
第二章	铝及铝合金熔铸	(261)
第一节	熔炼	(261)

第一单元 配料	(261)
第二单元 熔炼作业	(263)
第二节 铸造	(268)
第一单元 重熔用铝锭铸造	(268)
第二单元 垂直铸造	(272)
第三单元 水平铸造	(275)
第四单元 连铸连轧	(279)
小结	(282)
习题	(282)
第三章 铝及铝合金熔铸设备管理	(284)
第一节 设备维护	(284)
第二节 一般设备故障的确认	(286)
小结	(286)
习题	(286)
第七篇 阳极组装	(287)
第一章 阳极组装准备工作	(287)
第一节 交接班	(287)
第二节 工器具准备	(288)
第三节 原材料准备	(288)
第四节 设备运行前的准备	(289)
小结	(290)
习题	(290)
第二章 阳极组装	(291)
第一节 残极处理	(291)
第一单元 残极、组装块的装卸及托盘的清理	(291)
第二单元 电解质清理	(295)
第三单元 残极压脱	(297)
第四单元 残极破碎	(299)
第二节 处理导杆组架	(306)
第一单元 铁环压脱及打磨	(306)
第二单元 钢爪清理	(309)
第三单元 导杆修复	(310)
第四单元 导杆清刷	(313)
第五单元 涂石墨	(315)
第三节 熔化铁水	(317)
第一单元 化铁炉烘炉及熔化作业	(317)
第二单元 加料、出渣、取样、出铁水作业	(320)
第四节 浇铸铁水	(324)
第五节 悬链控制系统	(327)
第一单元 悬链系统的启动与停止	(327)

第二单元 悬链系统故障的确认与复位	(331)
第六节 输送物料	(332)
小结	(336)
习题	(336)
第三章 阳极组装设备管理	(338)
小结	(342)
习题	(342)
第八篇 母线焊接	(343)
第一章 母线焊接准备工作	(343)
第一节 焊接材料的使用和保管	(343)
第二节 工具的使用与维护	(347)
第一单元 电弧焊工具的使用与维护	(347)
第二单元 气焊、气割常用工具的使用和维护	(349)
第三节 设备的使用与维护	(351)
第一单元 弧焊设备的使用和维护	(351)
第二单元 气焊、气割设备的使用和维护	(356)
小结	(359)
习题	(359)
第二章 母线焊接	(360)
第一节 读焊接零件图	(360)
第二节 切割钢棒	(362)
第三节 焊接槽沿板	(364)
第四节 焊接母线	(375)
第一单元 钢连接板的焊接	(375)
第二单元 电解槽上部机构铝母线堆焊	(376)
第三单元 阳极炭块铝导杆焊接	(383)
小结	(386)
习题	(386)
第九篇 筑炉施工	(387)
第一章 筑炉施工准备工作	(387)
第一节 准备工器具	(387)
第一单元 刨炉、槽施工的准备	(387)
第二节 筑炉施工准备	(389)
第一单元 工器具准备	(389)
第三节 扎固施工准备	(390)
第一单元 阴极炭块组装准备	(390)
第二单元 阴极炭块安装准备	(392)
第三单元 扎槽施工准备	(393)
小结	(394)
习题	(394)

第二章 筑炉施工	(395)
第一节 刨炉	(395)
第一单元 清理电解质	(395)
第二单元 刨边部、出面渣	(396)
第三单元 拆除阴极炭块组	(396)
第四单元 出底渣	(397)
第五单元 刨铸造炉的炉顶、炉壁	(398)
第二节 砌筑电解槽内衬	(398)
第一单元 识读砖型图	(398)
第二单元 耐火制品的质量检查	(400)
第三单元 手工加工砖	(402)
第四单元 耐火泥浆的调配	(403)
第五单元 砌筑电解槽	(404)
第三节 扎固电解槽施工	(406)
第一单元 组装阴极炭块	(406)
第二单元 阴极炭块组安装	(409)
第三单元 扎固电解槽	(410)
第四节 保持炉红砖砌筑	(412)
小结	(413)
习题	(413)
第三章 筑炉施工设备管理	(415)
第一节 设备维护	(415)
第二节 设备故障判断	(416)
小结	(416)
习题	(416)
第十篇 设备管理	(417)
第一章 清扫设备积尘、杂物、油垢	(417)
第二章 设备故障的发现及处理	(420)
小结	(421)
习题	(421)

基础知识

第一章 铝电解操炉

第一节 铝的性质及用途

第一单元 铝冶金的发展史

铝在自然界中分布极广,在地壳中的含量约为8%,仅次于氧和硅,居于第三位。但在各种金属元素当中,铝居于首位。铝的化学性质十分活泼,因此自然界中极少发现元素状态的铝。含铝的矿物有250多种,其中主要的是铝土矿、高岭石、明矾石。

金属铝最早是用化学法制取的。1825年丹麦奥斯特用钾汞齐还原无水氯化铝,得到一种灰色的金属粉末,在研磨时呈现银色的光泽,但当时未能加以鉴定。1854年德国维勒用氯化铝气体通过熔融钾的表面,得到了金属铝珠,每颗约重10~15mg。因此铝的一些物理和化学性质得到了初步的测定。

1854年法国德维斯用钠代替钾还原 $\text{NaCl}-\text{AlCl}_3$ 络合盐,制取金属铝。钠的原子量比钾小,制取1kg铝所需的钠量大约是3.0~3.4kg,而用钾约要5.5kg,因此用钠比较经济。1865年俄国别克托夫提议用镁还原冰晶石来生产铝,这一方案后来在德国铝镁工厂里得到采用。

自从1887年~1888年间电解法炼铝工厂开始投入生产后,化学法便渐渐弃用了。在此之前的30多年内采用化学法总共生产约200吨铝。

电解法炼铝起源于1854年。当时德国本生和法国德维斯分别通过电解氯化铝-氯化钠络盐,得到金属铝。但在那时所用的是蓄电池,故无法扩大试验。直至1867年发明了发电机,并在1880年加以改进后,才使电解法可以用于生产。

1886年美国霍尔和法国的埃鲁,通过实验不约而同地申请了冰晶石-氧化铝融盐电解法炼铝的专利,得到批准。这就是通常所说的霍尔-埃鲁法。也是一百多年来工业炼铝的惟一方法。与化学法相比,电解法成本比较低,且产品质量好,故被各国相继采用,并沿用至今。

自从冰晶石-氧化铝融盐电解法发明以来,全世界原铝产量迅速增长。1890年正值

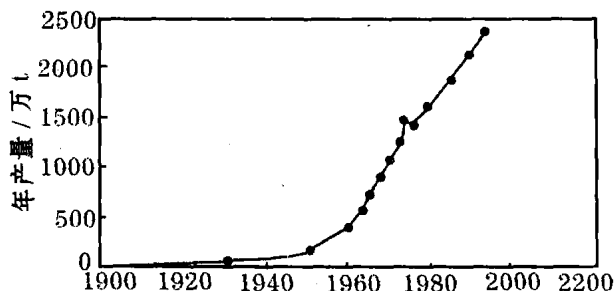


图 1-1 全世界原铝年产量增长曲线

电解法诞生之初,铝产量只有 180 吨,1900 年增至 6990 吨,1925 年 18 万吨,到 1995 年已达到 2400 万吨(图 1-1)。近年我国铝工业发展迅速,到 2001 年总产量达 357.58 万吨后,已跃居世界铝产量第一。

第二单元 现代铝工业发展

在近几十年内,电解槽的容量和生产指标发生了重大的变化。主要的技术进展有以下几个方面。

1. 电解质的化学性质:从传统电解质转变成改良电解质,低分子比电解质已证实能显著提高电流效率,提高生产能力。

2. 电解槽氧化铝添加技术的改进,点式下料技术的运用,使电解槽实现了准连续下料。采用窄加工面技术,单围栏槽壳,双阳极六钢爪结构,节省了电解槽建筑材料,降低了生产的投资。阳极提升采用整体提升传动机构,造价低,传动效率高,结构简单,克服了分段提升中不同步的缺点。

3. 计算机已被广泛地运用在铝电解生产控制中。电解槽的各项生产操作,例如氧化铝添加、更换预焙阳极和出铝等,都实现了高度的自动化和机械化。

4. 改进了烟气排放控制,现代铝工业的环境保护已经有了很大改进,采用氧化铝吸附氟化氢干法净化技术,排出烟气达到国家环保排放标准。氧化铝输送系统采用全密闭的浓相和超浓相输送技术,该系统结构简单、能耗低、无污染。

5. 改进了阳极和阴极质量。现在阳极净耗量大约在 400kg/t - Al 左右,新型内衬材料和结构技术的广泛应用,部分电解槽的寿命达到 3000 天以上。

6. 对电解槽磁场实现模拟计算和改进,采用大面多端进电方式,阴极母线采用非对称性母线配置以抵消相邻列电解槽磁场影响。使得铝电解槽的磁场有了更好的平衡,这成为建造大容量电解槽的一个基本前提条件。

由于铝工业在以上各方面的进展,引起了人们对电解槽容量和槽型设计的重视,铝工业技术也日趋成熟,铝的产量、能量消耗、劳动生产率和环境保护水平等都有了很大提高。另一方面,随着世界环境保护意识的提高和铝质废材回收技术的发展,近年来再生铝的产量也明显增多,已成为世界铝产量的一个重要组成部分。

第三单元 铝的性质与用途

一、铝的性质

铝是一种银白色的金属。铝的原子序数为 13,原子量为 26.98154,外层电子排列形式为 $3s^23p^1$,化合价通常为三价,但有时也呈一价、二价。铝的质量很轻,并兼具其他优良性质,在工业上被誉为万能金属。它的主要特性见表 1-1。

铝是一种氧化倾向极为强烈的金属,所以自然界中很少有以游离状态出现的铝。铝与空气中的氧结合生成一层致密牢固的氧化铝薄膜,覆盖在铝的表面上,这一层氧化铝薄膜阻止了铝的进一步氧化,提高了铝的抗腐蚀能力。

铝粉可在空气中燃烧。所以制造铝粉宜在缺氧的气氛中进行。

铝在高温下能够还原金属活动顺序表中居于其后的金属氧化物。