

“十一五”国家重点图书出版规划项目

Zn

中国有色金属丛书

中国有色金属工业协会组织编写

**锌粉及合金
锌粉生产**

郭天立 主编

熊家政 周炳利 副主编

Nonferrous Metals



中国有色金属丛书

CNMS

锌粉及合金锌粉生产

中国有色金属工业协会组织编写

郭天立 主 编
熊家政 周炳利 副主编

图书在版编目(CIP)数据

锌粉及合金锌粉生产/郭天立主编. —长沙:中南大学出版社,
2010. 12

ISBN 978-7-5487-0159-0

I. 锌... II. 郭... III. 锌合金—生产工艺 IV. TG146. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 256822 号

锌粉及合金锌粉生产

郭天立 主编

☐责任编辑 史海燕

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482

☐印 装 国防科大印刷厂

☐开 本 787 × 1092 1/16 ☐印张 10.5 ☐字数 255 千字

☐版 次 2010 年 12 月第 1 版 ☐2010 年 12 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 0159 - 0

☐定 价 41.00 元

 中国有色金属丛书
NMS 编委会

主任：

康 义

中国有色金属工业协会

常务副主任：

黄伯云

中南大学

副主任：

熊维平

中国铝业公司

罗 涛

中国有色矿业集团有限公司

李福利

中国五矿集团公司

李贻煌

江西铜业集团公司

杨志强

金川集团有限公司

韦江宏

铜陵有色金属集团控股有限公司

何仁春

湖南有色金属控股集团有限公司

董 英

云南冶金集团总公司

孙永贵

西部矿业股份有限公司

余德辉

中国电力投资集团公司

屠海令

北京有色金属研究总院

张水鉴

中金岭南有色金属股份有限公司

张学信

信发集团有限公司

宋作文

南山集团有限公司

雷 毅

云南锡业集团有限公司

黄晓平

陕西有色金属控股集团有限公司

王京彬

有色金属矿产地质调查中心

尚福山

中国有色金属工业协会

文献军

中国有色金属工业协会

委员(以姓氏笔划排序)：

马世光

中国有色金属工业协会加工工业分会

马宝平

中国有色金属工业协会铝业分会

王再云

中铝山东分公司

王吉位

中国有色金属工业协会再生金属分会

王华俊

中国有色金属工业协会

王向东

中国有色金属工业协会钛锆铅分会

王树琪

中条山有色金属集团有限公司

王海东	中南大学出版社
乐维宁	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
许 健	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
刘同高	厦门钨业集团有限公司
刘良先	中国钨业协会
刘柏禄	赣州有色冶金研究所
刘继军	荏平华信铝业有限公司
李 宁	兰州铝业股份有限公司
李凤轶	西南铝业(集团)有限责任公司
李阳通	柳州华锡集团有限责任公司
李沛兴	白银有色金属股份有限公司
李旺兴	中铝郑州研究院
杨 超	云南铜业(集团)有限公司
杨文浩	甘肃稀土集团有限责任公司
杨安国	河南豫光金铅集团有限责任公司
杨龄益	锡矿山闪星锑业有限责任公司
吴跃武	洛阳有色金属加工设计研究院
吴锈钢	中国有色金属工业协会镁业分会
邱冠周	中南大学
冷正旭	中铝山西分公司
汪汉臣	宝钛集团有限公司
宋玉芳	江西钨业集团有限公司
张 麟	大冶有色金属有限公司
张创奇	宁夏东方有色金属集团有限公司
张洪国	中国有色金属工业协会
张洪恩	河南中孚实业股份有限公司
张培良	山东丛林集团有限公司
陆志方	中国有色工程有限公司
陈成秀	厦门厦顺铝箔有限公司
武建强	中铝广西分公司
周 江	东北轻合金有限责任公司
赵 波	中国有色金属工业协会
赵翠青	中国有色金属工业协会
胡长平	中国有色金属工业协会
钟卫佳	中铝洛阳铜业有限公司
钟晓云	江西稀有稀土金属钨业集团公司
段玉贤	洛阳栾川钼业集团有限责任公司
胥 力	遵义钛厂
黄 河	中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
黄粮成	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
蒋开喜	北京矿冶研究总院
傅少武	株洲冶炼集团有限责任公司
瞿向东	中铝广西分公司

中国有色金属丛书

NMS 学术委员会

主任：

王淀佐 院士 北京有色金属研究总院

常务副主任：

黄伯云 院士 中南大学

副主任(按姓氏笔划排序)：

于润沧	院士	中国有色工程有限公司
古德生	院士	中南大学
左铁镞	院士	北京工业大学
刘业翔	院士	中南大学
孙传尧	院士	北京矿冶研究院
李东英	院士	北京有色金属研究总院
邱定蕃	院士	北京矿冶研究院
何季麟	院士	宁夏东方有色金属集团有限公司
何继善	院士	中南大学
汪旭光	院士	北京矿冶研究院
张文海	院士	南昌有色冶金设计研究院
张国成	院士	北京有色金属研究总院
陈景	院士	昆明贵金属研究所
金展鹏	院士	中南大学
周廉	院士	西北有色金属研究院
钟掘	院士	中南大学
黄培云	院士	中南大学
曾苏民	院士	西南铝加工厂
戴永年	院士	昆明理工大学

委员(按姓氏笔划排序)：

卜长海	厦门厦顺铝箔有限公司
于家华	遵义钛厂
马保平	金堆城钼业集团有限公司
王辉	株洲冶炼集团有限责任公司
王斌	洛阳栾川钼业集团有限责任公司

王林生	赣州有色冶金研究所
尹晓辉	西南铝业(集团)有限责任公司
邓吉牛	西部矿业股份有限公司
吕新宇	东北轻合金有限责任公司
任必军	伊川电力集团
刘江浩	江西铜业集团公司
刘劲波	洛阳有色金属加工设计研究院
刘昌俊	中铝山东分公司
刘侦德	中金岭南有色金属股份有限公司
刘保伟	中铝广西分公司
刘海石	山东南山集团有限公司
刘祥民	中铝股份有限公司
许新强	中条山有色金属集团有限公司
苏家宏	柳州华锡集团有限责任公司
李宏磊	中铝洛阳铜业有限公司
李尚勇	金川集团有限公司
李金鹏	中铝国际沈阳铝镁设计研究院
李桂生	江西稀有稀土金属钨业集团公司
吴连成	青铜峡铝业集团有限公司
沈南山	云南铜业(集团)公司
张一宪	湖南有色金属控股集团有限公司
张占明	中铝山西分公司
张晓国	河南豫光金铅集团有限责任公司
邵武	铜陵有色金属(集团)公司
苗广礼	甘肃稀土集团有限责任公司
周基校	江西钨业集团有限公司
郑萧	中铝国际贵阳铝镁设计研究院
赵庆云	中铝郑州研究院
战凯	北京矿冶研究总院
钟景明	宁夏东方有色金属集团有限公司
俞德庆	云南冶金集团总公司
钱文连	厦门钨业集团有限公司
高顺	宝钛集团有限公司
高文翔	云南锡业集团有限责任公司
郭天立	中冶葫芦岛有色金属集团有限公司
梁学民	河南中孚实业股份有限公司
廖明	白银有色金属股份有限公司
翟保金	大冶有色金属有限公司
熊柏青	北京有色金属研究总院
颜学柏	陕西有色金属控股集团有限责任公司
戴云俊	锡矿山闪星锑业有限责任公司
黎云	中铝贵州分公司

总序



有色金属是重要的基础原材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济建设和社会发展等方面发挥了不可或缺的作用。

改革开放以来，特别是新世纪以来，我国有色金属工业持续快速发展，已成为世界最大的有色金属生产国和消费国，产业整体实力显著增强，在国际同行业中的影响力日益提高。主要表现在：总产量和消费量持续快速增长，2008年，十种有色金属总产量2 520万吨，连续七年居世界第一，其中铜产量和消费量分别占世界的20%和24%；电解铝、铅、锌产量和消费量均占世界总量的30%以上。经济效益大幅提高，2008年，规模以上企业实现销售收入预计2.1万亿以上，实现利润预计800亿元以上。产业结构优化升级步伐加快，2005年已全部淘汰了落后的自焙铝电解槽；目前，铜、铅、锌先进冶炼技术产能占总产能的85%以上；铜、铝加工能力有较大改善。自主创新能力显著增强，自主研发的具有自主知识产权的350 kA、400 kA大型预焙电解槽技术处于世界铝工业先进水平，并已输出到国外；高精度内螺纹铜管、高档铝合金建筑型材及时速350 km高速列车用铝材不仅满足了国内需求，已大量出口到发达国家和地区。国内矿山新一轮找矿和境外矿产资源开发取得了突破性进展，现有9大矿区的边部和深部找矿成效显著，一批有实力的大型企业集团在海外资源开发和收购重组境外矿山企业方面迈出了实质性步伐，有效增强了矿产资源的保障能力。

2008年9月份以来，我国有色金属工业受到了国际金融危机的严重冲击，产品价格暴跌，市场需求萎缩，生产增幅大幅回落，企业利润急剧下降，部分行业

已出现亏损。纵观整体形势，我国有色金属工业仍处在重要机遇期，挑战和机遇并存，长期发展向好的趋势没有改变。今后一个时期，我国有色金属工业发展以控制总量、淘汰落后、技术改造、企业重组、充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力为重点，推动产业结构调整和优化升级，促进有色金属工业可持续发展。

实现有色金属工业持续发展，必须依靠科技进步，关键在人才。为了提高劳动者素质，培养一大批高水平的科技创新人才和高技能的技术工人，由中国有色金属工业协会牵头，组织中南大学出版社及有关企业、科研院校数百名有经验的专家学者、工程技术人员，编写了《中国有色金属丛书》。《丛书》内容丰富，专业齐全，科学系统，实用性强，是一套好教材，也可作为企业管理人员和相关专业大学生的参考书。经过编写、编辑、出版人员的艰辛努力，《丛书》即将陆续与广大读者见面。相信它一定会为培养我国有色金属行业高素质人才，提高科技水平，实现产业振兴发挥积极作用。

A stylized, bold Chinese signature in black ink, reading '康瑞' (Kang Rui).

2009 年 3 月

前 言

锌粉及合金锌粉，是铅锌产业重要的产品之一。近年，伴随着我国铅锌产业的蓬勃发展，锌粉及合金锌粉的产能也迅猛增长。提高生产技术水平、节能降耗，将成为该产品保持旺盛生命力的重要课题。

本书从基本原理出发，侧重生产应用，对我国锌粉及合金锌粉的生产技术现状做了系统的介绍。重点介绍了蒸馏锌粉生产、精馏锌粉生产、冶金还原用电炉锌粉生产、冶金还原用喷吹锌粉生产、碱性电池锌粉生产等技术的原理、工艺流程、主要设备特点、主要技术经济指标及操作经验。同时也介绍了相关的粉末冶金知识及生产中的安全防护等。

本书共分7章，第1、7章由郭天立(中冶葫芦岛锌业股份公司)编写，第2、3章由徐红江(中冶葫芦岛锌业股份公司)编写，第4章由熊家政、赵涛、鲁志昂(株洲火炬工业炉有限责任公司)共同编写，第5章由杨如中(中冶葫芦岛锌业股份公司)、郭天立、李勇(株洲火炬工业炉有限责任公司)共同编写，第6章由周炳利(辽宁省葫芦岛市经济合作办公室)编写。

本书适用于锌粉生产企业的工人、技术人员和管理人员，也可供大、中专学校、职业培训学校的教师和学生以及相关研究、设计人员参考。

在本书的编写过程中，中南大学出版社领导和编辑们给予了非常具体的指导和帮助，也得到了中国有色金属工业协会、葫芦岛锌业股份公司、株洲火炬工业炉有限责任公司各级领导的大力支持，特别是周炳利教授级高级工程师利用业余时间完成了大量的工作，所有编者都表现出了极好的合作精神。在此，一并表示衷心的感谢。

受编者工作范围和技术水平的限制，书中难免有错误和片面之处，敬请广大读者和同仁提出宝贵意见。

郭天立
2010 - 11 - 11

目 录



第1章 概 论	1
1.1 粉体材料的界定	1
1.2 粉体材料的主要性能	2
1.2.1 颗粒形状	2
1.2.2 粒度和粒度组成	2
1.2.3 比表面积	3
1.2.4 松装密度和振实密度	4
1.3 粉体材料的生产方法	4
1.3.1 机械粉碎法	4
1.3.2 雾化法	5
1.3.3 电解法	5
1.3.4 还原法	5
1.3.5 液相法	5
1.3.6 气相法	5
1.4 锌粉的分类与用途	5
1.5 锌粉的主要生产方法	6
1.5.1 冶金还原用锌粉的生产方法	6
1.5.2 化学电源(干电池)用锌粉的生产方法	8
1.5.3 化工防腐用锌粉的生产方法	8
1.6 锌粉标准	8
1.6.1 标准范围	8
1.6.2 引用标准	8
1.6.3 标准要求	9
1.6.4 试验方法	10
1.6.5 检验规则	10
1.6.6 包装、标志、运输和贮存等	10
1.6.7 锌粉化学成分的测定	11
1.7 锌粉的粒度分级	11

1.7.1 分级原理	11
1.7.2 锌粉分级技术	17

第2章 蒸馏锌粉生产 19

2.1 蒸馏原理	19
2.2 熔析原理	20
2.3 蒸发凝聚法原理	21
2.3.1 金属的蒸发现律	21
2.3.2 蒸气形核理论	24
2.3.3 粉末的生长机理	25
2.3.4 粉末的粒度特征	26
2.3.5 提高粉末产率的方法	26
2.4 原料	27
2.4.1 蒸馏锌	27
2.4.2 高镉锌提镉后的粗锌	29
2.5 蒸馏锌粉生产工艺	31
2.5.1 工艺流程及主要设备	31
2.5.2 主要技术条件	31
2.5.3 产品品质及控制	31

第3章 精馏锌粉生产 34

3.1 工艺流程及主要设备	34
3.2 主要技术经济指标	38
3.3 原料及产品	38
3.4 岗位技术条件及操作	38
3.4.1 加料岗位	38
3.4.2 B [#] 锌岗位	39
3.4.3 筛粉岗位	39
3.4.4 调整岗位	40
3.5 开、停炉操作	41
3.5.1 开炉操作	41
3.5.2 停炉操作	41
3.5.3 更换导锌管	42
3.6 炉体砌筑	42
3.6.1 炉体砌筑规定	42
3.6.2 塔盘砌筑规定	43

3.6.3 耐火混凝土及砌筑塔盘用灰	43
3.7 精馏法的优点	44
3.8 技术发展方向	44
3.8.1 提高锌粉产量	44
3.8.2 分级技术多样化	45
第4章 冶金还原用电炉锌粉生产	46
4.1 基本原理	47
4.1.1 氧化锌还原反应的热力学	47
4.1.2 氧化锌还原反应的动力学	50
4.1.3 锌蒸气的冷凝	51
4.1.4 冶金炉渣	52
4.1.5 炼锌矿热电炉内的主要化学反应分析	54
4.2 工艺流程及主要设备	58
4.2.1 工艺流程	58
4.2.2 炉料准备及配料	58
4.2.3 矿热电炉熔炼及锌粉冷凝	62
4.2.4 煤气回收	77
4.3 电炉锌粉生产实践	77
4.3.1 开炉准备	77
4.3.2 烘炉	78
4.3.3 电炉的开炉与停炉	80
4.3.4 正常生产操作与控制	82
4.4 技术经济指标	92
4.4.1 主要技术经济指标	92
4.4.2 主要技术经济指标的控制	94
4.5 技术发展方向	96
第5章 冶金还原用喷吹锌粉生产	98
5.1 双流雾化法原理	99
5.2 冶金还原用锌粉的性能要求	101
5.3 工艺流程	102
5.4 主要设备	103
5.4.1 反射炉	103
5.4.2 工频感应电炉	105
5.4.3 沉降仓	106

5.4.4	布袋收尘器	106
5.4.5	锌粉筛分机	106
5.4.6	离心风机	107
5.4.7	喷枪	107
5.4.8	锌粉输送机	107
5.4.9	空压机	107
5.5	关键操作	108
5.5.1	反射炉升、降温操作	108
5.5.2	反射炉司炉操作	108
5.5.3	工频感应电炉司炉操作	109
5.5.4	加料操作	110
5.5.5	喷粉操作	110
5.5.6	喷嘴的安装	111
5.5.7	风压控制	111
5.5.8	扒渣操作	111
5.5.9	锌粉输送操作	111
5.5.10	特殊情况处理	112
5.6	主要技术经济指标及控制	112
5.6.1	锌粉直产率	113
5.6.2	锌粉回收率	113
5.6.3	能耗	113
5.7	产品品质及控制	114
5.8	各种锌粉在冶金还原应用实践中的对比	114
5.9	技术发展方向	115
第6章	碱性电池锌粉生产	116
6.1	碱性电池锌粉物理化学性能	116
6.1.1	碱性电池	116
6.1.2	碱性电池主要用途和应用前景	116
6.1.3	碱性电池基本原理	117
6.1.4	相关基础知识	118
6.1.5	碱性电池锌粉物理化学性能	120
6.2	碱性电池锌粉发展方向	122
6.2.1	生产技术发展方向	122
6.2.2	市场需求发展方向	122
6.3	碱性电池锌粉制造基本方法	123
6.3.1	电解法	123

6.3.2 雾化法	126
6.4 性能检测	139
6.4.1 物理化学性能检测	139
6.4.2 电池性能检测	143
6.5 包装储运	147
第7章 锌粉生产中的安全防护	148
7.1 粉体材料生产中安全防护的一般知识	148
7.1.1 粉体的爆炸性	148
7.1.2 粉末生产中的防爆措施	148
7.1.3 粉尘的毒害及防护	148
7.2 锌粉生产中的安全防护	149
7.2.1 锌粉的危险性	149
7.2.2 锌粉的急救措施	149
7.2.3 锌粉的储存	149
7.2.4 锌粉运输和包装	150
7.2.5 锌粉泄漏应急处理	150
7.2.6 操作注意事项	150
参考文献	151

第1章 概 论

1.1 粉体材料的界定

关于粉体材料，并没有严格的定义。一般情况下，固体物质的外观尺寸在1 mm以下的材料，称为粉体材料。

粒度是粉体材料最具代表性的特性之一，粒度的单位，除采用国际单位毫米(mm)外，实际中习惯采用泰勒标准筛制表示。

泰勒标准筛制的单位为网目数(mesh，简称目)。网目数同时表示了筛网的孔径和粉体的粒度。所谓网目数是指筛网1英寸(25.4 mm)长度上的网孔数。目数越大，网孔越细。由于网孔是网面上丝间的开孔，每一英寸上的网孔数与丝的根数应相等，所以网孔的实际尺寸还与丝的直径有关。如果以 m 代表目数， a 代表网孔尺寸， d 代表丝径，则其间关系为：

$$m = \frac{25.4}{a + d}$$

泰勒标准筛制的网目数与毫米的对照关系见表1-1。

表1-1 泰勒筛制的网目数与毫米对照表

泰勒标准筛目数/目	筛孔宽度/mm	泰勒标准筛目数/目	筛孔宽度/mm
14	1.140	80	0.175
16	0.970	100	0.147
20	0.850	115	0.124
24	0.752	150	0.104
28	0.605	170	0.089
32	0.495	200	0.074
35	0.417	250	0.061
42	0.351	270	0.053
48	0.295	325	0.043
60	0.246	400	0.038
65	0.208		

1.2 粉体材料的主要性能

实践中,通常将粉体材料的性能分为化学成分、物理性能和工艺性能三类介绍。

化学成分主要指粉末中主成分的含量和杂质的含量。金属粉末的化学分析与常规的金属试样分析方法相同。

物理性能主要包括颗粒形状、粒度及粒度组成、比表面积、颗粒密度、粉末体密度等。

工艺性能主要包括松装密度、振实密度、流动性等。

1.2.1 颗粒形状

颗粒形状是指粉末颗粒的几何形状。可将粉末试样均匀分散在玻璃试片上,用放大镜或各式显微镜进行观察,也可以用图像分析仪进行分析。颗粒形状可以笼统地划分为规则形状和不规则形状两大类。规则形状的颗粒外形可近似地用某种几何形状的名称描述,它们与粉末生产方法密切相关。

一般来说,准确地描述粉末颗粒的形状是很困难的。在测定和表示粉末形状时,常采用表面形状因子、体积形状因子和比形状因子来近似地表述。

直径为 d 的均匀球体,其表面积和体积分别为 $S = \pi d^2$ 和 $V = (\pi/6)d^3$,其中的系数 π 和 $\pi/6$ 就称为球的表面形状因子和体积形状因子。对于任意形状的颗粒,其表面积和体积可以认为与某一相当的直径的平方和立方成正比,而比例系数则与选择的直径有关。如果用投影面径 d_p 代表直径,则表面积和体积分别为 $S = f d_p^2$ 和 $V = k d_p^3$,两者的比值 f/k 称为比形状因子。

对于规则的球形颗粒, $f = \pi$, $k = \pi/6$, $f/k = 6$ 。其他形状颗粒 f/k 均大于 6。形状愈复杂,则比形状因子就愈大。表 1-2 列出了某些金属粉末的近似形状与比形状因子的关系。

表 1-2 某些粉末的近似形状与比形状因子的关系

粉末名称	颗粒形状	f	k	f/k
		$\pi(3.14)$	$\pi/6(0.524)$	6.0
雾化锡粉	近球形	2.90	0.4	7.3
不锈钢粉	多角形	2.65	0.36	7.4
钨粉	不规则角形	3.37	0.45	7.5
铝粉	长球形	2.75	0.32	8.6
铝-镁合金粉	多角形	2.67	0.25	10.7
电解铜粉	树枝状	2.32	0.18	12.9
电解铁粉	细长不规则形	2.73	0.15	18.2
铝箔	薄片状	1.60	0.02	80.0

1.2.2 粒度和粒度组成

用直径表示颗粒大小称为粒径或粒度。由于组成粉末的无数颗粒不可能同样大小,因此又用不同粒径的颗粒占全部粉末的百分含量来表示颗粒大小的状况,称为粒度组成,也称粒