

邹晓勇 彭清静 吴贤文 主编

锌产业技术及应用

XIN CHANYE JISHU JI YINGYONG

非
外
借



化学工业出版社

储能材料——基础与应用

锰产业技术及应用

钒产业技术及应用

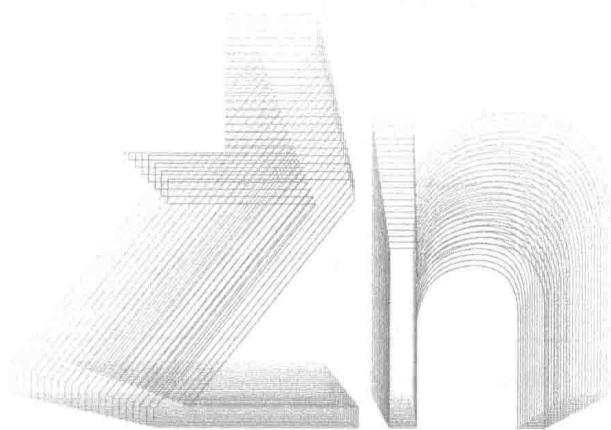
锌产业技术及应用



邹晓勇 彭清静 吴贤文 主编

锌产业技术及应用

XIN CHANYE JISHU JI YINGYONG



化学工业出版社

· 北京 ·

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

本书主要介绍了火法炼锌和湿法炼锌两种工艺技术,全面阐述了锌矿资源及开发利用现状、铅锌矿选矿、火法炼锌、湿法炼锌、炼锌过程有价金属回收利用以及废水处理的基本原理、工艺技术、主要设备和工业实例,并对发展中的锌基储能材料进行了介绍。针对近年技术发展的现状,本书在相关章节还介绍了锌精矿氧压浸出、富氧常压浸出、氨浸法炼锌以及浸出液净化新技术的相关资料。

本书适合有色冶金行业的工程技术人员阅读参考,也可作为高等院校相关专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

锌产业技术及应用/邹晓勇,彭清静,吴贤文主编.
—北京:化学工业出版社,2019.6
ISBN 978-7-122-34181-5

I. ① 锌… II. ① 邹…② 彭…③ 吴… III. ① 炼锌-火法冶炼② 炼锌-湿法冶金 IV. ① TF813.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 054977 号

责任编辑:徐娟
责任校对:张雨彤

文字编辑:冯国庆
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京虎彩文化传播有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张16 字数393千字 2019年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 售后服务:010-64518899
网 址:<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:98.00 元

版权所有 违者必究

近年来我国锌冶金生产快速发展，产量和用量均居世界第一，国内外锌冶金领域新技术新成果也在快速发展中。为了适应锌冶金技术发展的趋势，满足行业从业人员的需求，湖南省2011计划锰锌钒产业技术协同创新中心组织从事锌冶金科研、教学、生产工作的专家教授编写了本书。

本书共分七章，介绍了火法炼锌和湿法炼锌两种工艺技术，以湿法炼锌技术为主线，全面介绍了锌矿资源及开发利用现状、铅锌矿选矿、火法炼锌、湿法炼锌、炼锌过程中有价金属的回收利用以及废水处理的基本原理、工艺技术、主要设备和工业实例，并结合生产实践，总结了实践中的技术和控制条件，同时对发展中的锌基储能材料进行了介绍。针对近年锌技术发展的现状和趋势，在相关章节专篇介绍了锌精矿氧压浸出、富氧常压浸出、氨浸法炼锌以及浸出液净化新技术的相关资料。

本书由邹晓勇、彭清静、吴贤文主编。其中，吴贤文负责编写第5章，彭清静负责编写第7章，张帆负责编写第1章，其他章节由邹晓勇负责编写。此外，吉首大学吴显明、李佑稷、高峰、陈上、申永强、丁雷、向延鸿、华骏对本书的编写给予了极大帮助。在本书编写过程中，还得到了湖南省2011计划锰锌钒产业技术协同创新中心、吉首大学化学国家级实验教学示范中心、吉首大学相关部门的领导、专家，以及有关企业领导、技术人员的大力支持，在此一并表示感谢。在编写过程中，还参阅了锌冶金领域的大量文献，在此向书中参考文献的作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2018年10月

第1章 概 述

1.1 锌的性质和用途	001
1.1.1 锌的性质	001
1.1.2 锌的主要化合物和用途	002
1.1.3 锌的用途	004
1.2 锌矿资源及开发利用	005
1.2.1 各国锌资源储量及生产情况	006
1.2.2 世界大型锌企业产量及典型矿山	008
1.2.3 世界锌资源开发利用水平	009
1.2.4 我国锌资源及开发利用	010
1.3 炼锌工艺简述	011
1.3.1 湿法炼锌工艺	011
1.3.2 火法炼锌工艺	012
1.3.3 炼锌工艺比较	013
1.4 国内外湿法炼锌技术新进展	014
1.4.1 浸出及浸出渣处理技术进展	014
1.4.2 锌液净化技术进展	017
1.4.3 电积过程技术进展	017
参考文献	018

第2章 铅锌矿选矿

2.1 铅锌矿中主要矿物	020
2.2 常用铅锌选矿药剂	022
2.2.1 硫化矿捕收剂	022
2.2.2 氧化矿捕收剂	023
2.2.3 起泡剂	024
2.2.4 调整剂	025
2.2.5 活化剂	027
2.2.6 介质 pH 值调整剂	028
2.2.7 絮凝剂和分散剂	028
2.2.8 脱药剂和消泡剂	029

2.3 硫化铅锌矿浮选	029
2.3.1 铅锌矿床类型	029
2.3.2 硫化矿物的可浮性	030
2.3.3 硫化铅锌矿浮选原则流程	032
2.3.4 铅锌分离方法	035
2.3.5 典型铅锌矿选矿简介	036
2.4 氧化铅锌矿选矿	045
2.4.1 氧化铅矿的硫化-浮选工艺	046
2.4.2 氧化锌矿浮选工艺	047
2.4.3 兰坪氧化混合铅锌矿选矿	048
参考文献	049

第3章 火法炼锌

3.1 竖罐炼锌	052
3.1.1 氧化锌还原反应	052
3.1.2 其他组分在竖罐蒸馏过程中的行为	052
3.1.3 竖罐炼锌工艺过程	053
3.1.4 竖罐蒸馏炉	056
3.1.5 锌蒸气冷凝	059
3.2 鼓风炉炼锌	061
3.2.1 鼓风炉内发生的物理和化学变化	061
3.2.2 鼓风炉炼锌生产工艺过程	065
3.2.3 鼓风炉炼锌的产物	071
3.2.4 有价金属回收简介	072
3.3 电热法炼锌	072
3.3.1 电阻炉炼锌	073
3.3.2 矿热电炉炼锌	074
3.3.3 原料和主要辅助材料的质量要求	076
参考文献	076

第4章 湿法炼锌

4.1 浸出过程	077
4.1.1 浸出方法	077
4.1.2 浸出过程的基本原理	078
4.1.3 锌原料中各组分在浸出过程中的行为	080
4.1.4 铁酸锌的浸出与利用	083
4.1.5 中性浸出过程的沉铁反应	084
4.1.6 从含铁量高的浸出液中沉铁	085
4.1.7 氧化锌矿的浸出	096

4.1.8	氧化锌粉和含锌烟尘的浸出	103
4.1.9	硫化锌精矿氧压浸出	109
4.1.10	硫化锌精矿富氧常压浸出	116
4.1.11	主要浸出设备	119
4.2	硫酸锌浸出液净化	123
4.2.1	浸出液成分及净化方法	123
4.2.2	中浸过程水解除杂	125
4.2.3	锌粉置换法除铜、镉	127
4.2.4	锌粉置换法除钴、镍	130
4.2.5	有机试剂法除钴、镍	135
4.2.6	有机物及油类的去除	139
4.2.7	硫酸锌溶液净化的其他方法及技术发展	140
4.2.8	除氟、氯及钙、镁杂质的净化方法	143
4.2.9	净化过程主要设备	148
4.2.10	净化过程技术经济指标	150
4.3	硫酸锌溶液电解沉积	152
4.3.1	电解液成分要求	153
4.3.2	锌电积过程的理论基础	153
4.3.3	电锌质量和电解添加剂	157
4.3.4	电流效率、槽电压及电能消耗	160
4.3.5	电解车间主要设备	166
4.3.6	锌电解主要操作	169
4.3.7	阴极锌熔铸	172
4.3.8	氨浸法炼锌及进展	174
4.3.9	锌锭国内外质量标准	177
	参考文献	178

第5章 锌基储能材料

5.1	锂离子电池负极	179
5.2	水系锌离子电池	180
5.2.1	锌电极的制备	180
5.2.2	二次锌电极存在的问题	180
5.2.3	解决锌电极问题的途径	181
5.3	混合水系电池	184
5.4	锌空电池	185
5.4.1	锌空电池的发展	185
5.4.2	锌空电池的反应原理、结构特征及性能	186
5.4.3	锌电极的研究与发展	187
5.4.4	锌空电池的分类	188
5.4.5	锌空电池发展所遇到的问题	188

第 6 章 炼锌过程有价金属回收利用

6.1	浸出渣挥发窑还原回收铅锌	192
6.1.1	处理锌浸出渣的目的和方法	192
6.1.2	回转窑处理锌浸出渣的基本原理	194
6.1.3	回转窑处理锌浸出渣的工业过程	196
6.2	从锌精矿焙烧或烧结烟气中回收汞	200
6.2.1	烟气含汞基本情况	201
6.2.2	烟气回收汞的基本原理和方法	201
6.3	从浸出渣中回收银	202
6.3.1	硫酸化焙烧法回收银	203
6.3.2	浸出渣浮选法回收银	204
6.3.3	硫脲法回收银	204
6.3.4	氰盐法回收银	205
6.3.5	氰化法回收银	205
6.4	炼锌过程回收镉	205
6.4.1	从铜、镉渣中回收镉	206
6.4.2	锌焙烧烟尘回收镉	210
6.5	从锌浸出渣或铁矾渣中回收铟、锗、镓	211
6.5.1	从氧化锌烟尘中富集铟和锗的工艺	211
6.5.2	从铟、锗富集渣提铟工艺	212
6.5.3	从铁矾渣中回收铟	214
6.5.4	铟萃余液中回收锗	215
6.5.5	铟萃余液中回收镓	217
6.6	从钴渣中回收钴	217
6.6.1	黄酸钴渣回收钴	217
6.6.2	砷盐净化除钴渣回收钴	219
6.7	从焙烧粗氧化锌粉烟尘中回收铊	220
	参考文献	222

第 7 章 废水处理

7.1	炼锌废水处理方法与原理	223
7.1.1	化学法	224
7.1.2	离子交换法	227
7.1.3	吸附法	227
7.1.4	蒸发浓缩法	228
7.1.5	反渗透法	228
7.1.6	电解法	229

7.1.7	电渗析法	230
7.1.8	生物法	231
7.2	酸碱废水处理	232
7.2.1	自然中和法	232
7.2.2	药剂中和法	232
7.2.3	过滤中和法	233
7.3	含汞废水处理	233
7.3.1	混凝沉淀法	233
7.3.2	硫化法	233
7.3.3	还原法	234
7.3.4	活性炭吸附法	234
7.3.5	离子交换法	234
7.3.6	转化法	234
7.3.7	腐殖酸煤交换吸附法	234
7.4	含锌、铅废水处理	234
7.4.1	含锌废水的处理	234
7.4.2	含铅废水的处理	235
7.5	含铬废水处理	235
7.5.1	电解法	235
7.5.2	铁氧体法	236
7.5.3	化学还原法	237
7.6	含镉废水处理	237
7.6.1	离子交换法	237
7.6.2	化学法	237
7.7	含砷废水处理	238
7.7.1	软锰矿法	238
7.7.2	硫化沉淀法	238
7.7.3	石灰法	238
7.8	含氰废水处理	239
7.8.1	逆流清洗-蒸发法	239
7.8.2	碱性氯氧化法	240
7.8.3	二氧化氯协同氧化剂破氰法	240
7.8.4	电解氧化法	241
7.8.5	臭氧氧化法	241
7.9	废水处理工业实例	241
7.9.1	石灰中和法应用实例	241
7.9.2	西北铅锌冶炼厂污水处理的工业实例	243
7.9.3	荷兰帕克硫酸盐生物还原技术在锌冶炼厂废水中的应用	244
	参考文献	246

第1章

概 述

1.1 锌的性质和用途

1.1.1 锌的性质

锌是元素周期表中第二副族元素。锌原子的最外层有 2 个电子，次外层有 18 个电子。其电子层结构为：

层	K	L	M	N
电子数	2	8	18	2

锌的原子序数为 30；原子量为 65.38；原子价为 2；熔点为 692.7K (419.53℃)；沸点为 1180K (907℃, 101.33kPa 下)；密度为 7.14g/cm³ (在 298K 下, 固态体) 或 6.62g/cm³ (在 692K 下, 液态体)。

铸造锌的密度依其铸造温度和冷却状况略有变化，这是因为结晶颗粒不同所致。若铸造温度超过熔点甚多，且缓慢冷却，则晶粒粗大；若铸造温度超过熔点不多，且冷却速率快则晶粒较细。铸体轧制后密度略显增加，亦为晶体变化之故。铸造锌的物理参数见表 1-1。

表 1-1 铸造锌的物理参数

物理量	数 值
线膨胀系数/ $\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$	
多晶体	3.97(293~523K)
α 轴	14.3(293~373K)
β 轴	60.8(293~373K)
体膨胀系数/ $\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$	0.9(293~673K)
比热容(293K)/[J/(K·g)]	0.3825
熔化热(692.7K)/(kJ/mol)	7.28
气化热(1180K)/(kJ/mol)	114.7
表面张力	熔点 692.7K 时, 液体, 782mN/m
电阻率	293K 时, 固体, 5.96 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 692.7K 时, 液体, 37.4 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$

锌的蒸气压与温度的关系如表 1-2 所示。

表 1-2 锌的蒸气压与温度的关系

温度/K	298	573	692.5	773	1180
蒸气压/kPa	0.15×10^{-14}	0.17×10^{-3}	0.185×10^{-1}	0.169	101.33

金属锌，颜色为银白略带蓝灰色，六面体晶体，其新鲜断面呈现出有金属光泽的结晶形状。锌是一种比较软的金属，仅比铅与锡硬。其展性比铅小，较铁大；延性较铜小，较锡大。细粒结晶的锌较粗粒结晶的锌容易轧及抽丝。

锌的延展性好，可以拉成丝和轧制成片。常温下机械加工将导致越加工越硬，通常称其为冷作硬化现象，故锌的机械加工常在高于其再结晶的温度下进行，一般在 100~150℃ 进行机械加工最适宜，当温度升高到 250℃ 以上时，锌的性质会变脆，亦不易加工。

锌中的杂质对锌的延展性影响很大，杂质元素通常与锌形成固溶体，取代锌晶格中的某些锌原子，使锌晶格发生变形和扭曲，杂质原子与锌原子的半径相差越大，对锌的延展性（变坏）的影响也越大。

锌在常温下与干燥的空气作用很小，但在湿空气中和二氧化碳存在下，表面逐渐被氧化包覆一层致密的灰白色的碱式碳酸锌 $[\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2]$ 膜，该膜可以保护金属锌不致再被氧化，一氧化碳和水蒸气在高温（锌的沸点以上）下可使锌蒸气迅速氧化生成氧化锌。

锌能溶于硫酸或盐酸中，由于溶解时析出氢的超电压会阻碍锌溶解过程的进行，因此一般可以认为纯锌和纯硫酸或纯盐酸不发生化学反应。锌中如有杂质存在时将被溶解，一般杂质越多溶解速率越快；商品锌由于含有杂质，易被硫酸和盐酸溶解。锌在硝酸及热浓硫酸中溶解时会生成氮的氧化物和二氧化硫。商品锌也可溶解于碱中并生成锌酸盐。

1.1.2 锌的主要化合物和用途

1.1.2.1 锌的无机化合物及用途

硫酸锌是最重要的锌盐，因为金属锌的电解生产就是在硫酸锌溶液中进行的。在黏胶纤维生产中用作聚合链状物的促进剂，在纺织工业中作助染剂和着色剂，也用作织物的防火剂，浮选矿石过程的调节剂，凡拉明蓝盐染料的抗碱剂，无机颜料含锌催化剂的原料，木材和皮革的保存剂，骨胶的澄清及保存剂，医药上的催吐剂，果树苗圃防病害和农作物或动物缺锌时的营养料。生产其他锌化合物时也常用硫酸锌为原料。

氧化锌是工业上锌化合物最重要的原料之一。采用不同的制备条件或结合热处理，可制得四种不同晶型的氧化锌，即短针、长柱、星形和羽毛状，其颗粒在 0.1~5 μm 之间。橡胶工业用球状氧化锌，涂料选用柱状氧化锌。由于氧化锌具有对气体的高度吸附性，在石油化工中可用作脱氢、苯酚和甲醛缩合等反应的催化剂，使脂肪族烃化合物转变成不饱和的芳香族化合物，也用于从一氧化碳和氢合成甲醇。由于氧化锌有很高的热导率，因此可用于汽车轮胎中，改善橡胶的热容量以减少过热所发生的畸变。由于氧化锌的白度和高折射率，所以广泛用作户内外的涂料。氧化锌能吸收紫外线，所以可用于配制防晒化妆品或乳液。通过适当的热处理，氧化锌晶格的空穴可以增值，因此它的电导率增加，并呈现出半导体的特性。比如在 900℃ 下，在还原气氛中短时间加热，除去氧原子，剩下多余的锌原子就向本征带转移，这些锌原子携带两个正电荷，释放出两个电子，这样就增加了氧化锌的电导率。空穴也可以用掺入其他离子的办法形成，比如氧化镓进入晶格后，氧化锌就具有半导体性质。氧化锌还显示出光导性，当光照射时，它的电导率可以明显增加，410nm 波长的单色光可产生一个峰值效应，在光电复印技术中可利用这个效应。氧化锌中加入少量其他元素可作为磷光

剂,它可使紫外线、X射线或电视阴极射线转变成不同颜色的可见光。在某些条件下,它还显示电荧光或光荧光,因此可作发光材料。20世纪70年代又研制成功氧化锌半导体陶瓷。以氧化锌为主体添加少量铂或钨,可作湿敏元件和气敏元件,用于测定气体的湿度和组分。氧化锌具有高的非线性 $I-U$ 特性,能承受大电流和高电压,因此可作操作或雷电引起的过电压保护元件,也可作稳压或变频元件。用 Li_2O 掺杂于 ZnO 中可减少它的n型电导率,但 M_2O_3 (M 为 Al 、 Cr)却增加它的n型电导率。随着锂的加入, ZnO 的电阻率可从小于 $10^3\Omega\cdot\text{cm}$ 增加到 $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$,其晶体显示一种四倍于石英的压电效应。水热法生产的氧化锌晶体也有很高的压电效应性,从室温下测得的霍尔系数,求出其电子密度约为 10^{15} 个/ cm^3 。氧化锌还具有交流整流性能。在光学性能方面,氧化锌在室温下吸收低于 365.5nm 的辐射,掺锌可使此限值向更长的波长方向转移。掺少量过渡元素会产生磷光效应,它可被X射线或紫外辐射所激发而放出可见光。

硫化锌的最大用量是作颜料和填料,应用于涂料、橡胶、陶瓷和造纸工业。硫化锌适合于制造儿童玩具,因为它性质稳定,不受胃液侵蚀。硫化锌和硫酸钡的混合物,在商业上称为立德粉或锌钡白,是一种广泛应用的价格相对便宜的白色颜料,不过目前已被钛白粉所取代。硫化锌在电子学和电光学方面的应用正在迅速发展,例如硫化锌和 CdS 、 ZnSe ,加入少量的活化剂(如 Cu 、 Mn 、 Ag)加热至 $800\sim 1200^\circ\text{C}$ 就可制成重要的荧光材料。硫化锌还可用于荧光屏、荧光涂料或发光涂料。硫化锌是具有 368kJ/mol 的禁带宽度的电子过剩的本征半导体,当掺入锌时,在n型产物中的禁带宽度只有 24kJ/mol ,它具有压电和热电性质,是具有 340nm 最大波长的光导体。当固态硫化锌受到紫外线(低于 335nm)、阴极射线、X射线、 γ 辐射以及电场(电荧光)激发时会产生辐射。如果加入不同的活化剂,激发的辐射光波长还可以改变。

氯化锌可以用于纺织工业,包括作羊毛的阻燃剂,还用于生产胶、陶瓷、水泥、冶炼熔剂和木材防腐剂,也可在医药上作消炎剂用。还可作催化剂,用于烯烃的聚合、烷基化、异构化、醇和烷基的酯化等。氯化锌烟雾毒性很强,它能引起鼻、咽和呼吸道黏膜的严重损坏导致萎缩。固体氯化锌与皮肤长期接触易引起溃疡。

含有部分结晶水的氟化锌是一种很有价值的荧光剂,但是无水氟化锌却无此种活性。工业上氟化锌用作陶瓷的釉和涂料、催化剂,以及木材的防水剂。

氰化锌在工业上用于锌的电解提纯或电镀。要得到优质的电镀层,溶液必须是碱性的,通常认为溶液中含有 $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ 和 $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ 阴离子,也可能是两种离子的混合体。

硫氰酸锌在纺织工业中用作中间媒介进行助染。

过氧化锌有许多医学用途,它是无刺激性的防腐剂,能够促使伤口愈合;在橡胶工业中它可作促进剂使用,也可用作合成弹性橡胶的固化剂。

硒化锌中掺入少量锌和镉的化合物是一种商品磷光剂,它能受激发射黄色光。它也被用作使异丙醇转化成丙酮的催化剂。

碲化锌的主要用途和硒化锌相似,它也是半导体和红外材料,并有光导、荧光等特性。

氟硅酸锌(硅氟化锌)可作为混凝土快速硬化剂、木材防腐剂、熟石膏增强剂、洗涤后处理剂、防蛀剂、聚酯纤维生产的催化剂。

氟硼酸锌是耐洗涤和耐磨纺织品中树脂的固化剂、催化剂、阻燃剂、杀虫剂等。

磷酸二氢锌可用于金属制件防锈处理剂、陶瓷工业着色剂、玻璃工业澄清剂。

钼酸锌是白色无毒防锈颜料,广泛用于底漆、面漆以及底面结合的漆,其中包括水性漆。

乙酸锌是合成乙酸乙烯的催化剂，也可作印染媒剂和染剂、木材防腐剂、瓷器釉料、医药上的收合剂、弱防腐剂和消毒剂。

磷化锌在商业上用作毒性极强的杀鼠药和杀霉菌剂，广泛用于农业、卫生和防疫中。 Zn_3P_2 呈现光电和半导体性质。

Zn_3As_2 和 $ZnAs$ 都是半导体，被应用于电子工业。

硼酸锌是工程塑料、橡胶制品、涂料、纺织物等的阻燃剂，可用于医药、陶瓷器的釉料，还可用作涂料的防霉剂、杀菌剂等，于 900°C 煅烧并用 MnO 活化，可用作磷光材料或热荧光材料。

连二亚硫酸锌是木材、织物、造纸工业、植物油、麻、动物胶、高岭土的漂白剂，浮选药剂以及甜菜和蔗糖溶液的处理剂，也用于生产 $Zn(\text{SO}_3\text{CH}_2\text{OH})_2$ 。连二亚硫酸锌不仅用于漂白和还原性染料，也用于合成橡胶的乳化聚合作用。

磷酸锌在工业上通常直接用于镀锌金属件的表面，或形成一层供涂覆涂料用的优质基面以延缓基面受到的侵蚀。除了用于陶瓷工业外，纯磷酸锌的主要用途是被镁还原做成红磷，也是醇酸、酚醛、环氧树脂等各类涂料的基料，还用于生产无毒防锈颜料和水溶涂料，以及用作氯化橡胶合成高分子材料的阻燃剂。

碳酸锌在橡胶工业中用作活化剂和填料，也可作颜料或用于陶瓷工业。

其他含氧酸锌也具有显著的工业意义。 Zn_2TiO_4 可作白色颜料，在 $ZnCr_2O_4$ 中加入少量其他金属氧化物可作催化剂，用于催化 CO 加氢制甲醇，乙烯、氢和 HCN 合成腈以及通过羧酸与乙烯生产乙烯酯。热解法提供了制备 $ZnCr_2O_4$ 的方便途径。这些化合物在电子和磁性材料领域中的应用正在增长，最重要的一类是铁氧体，以高磁性混合氧化物与铁作为主要组分，1953 年首先被用作微波器件，现在已广泛应用于微波通信。反尖晶石型的 Zn_2TiO_4 可作陶瓷电阻，也可用于温度计，因为其电阻温度系数（正值）很大，每摄氏度大于 0.4% 。

1.1.2.2 锌的有机化合物及用途

锌的二烷基硫代氨基甲酸盐可作橡胶硫化促进剂、农药等。

二芳基二硫代磷酸锌和二烷基二硫代磷酸锌用于调配内燃机机油，可提高其抗磨、抗氧化和抗腐蚀性能。

代森锌（亚乙基双二硫代氨基甲酸锌）、代森锰锌（代森锰和锌离子的配合物）、福美锌（二甲基二硫代氨基甲酸锌）、甲基肿酸锌可作为经济农作物的杀菌剂。

促进剂 PX（*N*-乙基-*N*-苯基二硫代氨基甲酸锌）是安全的超促进剂，用于胶乳硫化，也可用于制造与食品等接触的浸渍胶乳制品，还可用作噻唑类的促进剂。

十一碳烯酸锌用于制取抗霉菌和化妆品等。

环烷酸锌用于金属制品的防锈缓蚀剂，也可用作涂料、印刷油墨和树脂的催干剂、润湿剂和杀虫剂、杀菌剂、防霉剂、木材防腐剂、纺织品防水剂和绝缘材料。

硬脂酸锌用于聚氯乙烯的无毒稳定剂，化妆品的添加剂，苯乙烯系树脂的脱模剂，在橡胶工业用于胶料的软化剂和隔离剂，纺织品的打光剂和涂料平光剂等。

葡萄糖酸锌和食品级硫酸锌是锌的强化营养剂。

尿素锌（二硫酸六尿素合锌）作为一种主要含有锌元素的颗粒状复合氮肥，能够使作物根多而壮、茎粗叶大、枝芽粗壮、穗大粒满。

1.1.3 锌的用途

锌在电化顺序中电位较负，其标准电位为 -0.7628V ，许多重金属的电化顺序均在它以

下,可以被锌从溶液中置换出来。锌的用途广泛,在国民经济中占有重要的地位,锌能与很多有色金属形成合金,如由锌、铜组成的合金——黄铜,锌、铜、锡组成的合金——青铜等。锌的熔点较低,熔体流动性好,铸造过程中可使铸模各细小部分充满,因此锌被广泛应用于制造各种压铸件。锌有较好的抗腐蚀性能,常作为钢铁的保护层,如镀锌的板管等。氧化锌是印染业、医药业、橡胶业的重要原料和添加剂。

锌压铸合金具有熔点低、流动性好、易于受压成形等特点,使它在制造异形工件方面具有显著的优点。兼之锌合金铸件表面光整,易于抛光,吸附性强,使它在电镀、喷涂等加工处理方面具有良好的性能,因而锌合金压铸产品不仅实用性强,而且易于实现制品的美观效果。此外锌合金与其他类似材料相比,价格便宜,且抗氧化性能好,其发展前景方兴未艾。锌合金压铸件产品应用非常广泛,其主要产品如下。

(1) 汽车行业用制品 比如化油器、后视镜托、门把手、车锁、内外饰件、仪表配件及其他许多零部件等。

(2) 日用五金 比如拉链头、纽扣、饰品、衣帽钩、皮带扣、钟表零件、镀银餐具、首饰家用装饰品、建筑五金锁具、灯具、灯饰、水龙头、浴室配件、门窗铰链、家具配件等。

此外还有各种机械零部件及文体用品,如工艺旅游纪念品、玩具、家用电器配件等。

锌合金压铸行业的历史不长,但发展迅速。预计随着人们生活水平的提高,锌压铸合金将越来越多地进入人们的生活,将有更多的产品出现,如塑料制品、铁制品、银制品、铜件、不锈钢冲压件等可能被锌合金代替。

目前全球锌的主要用途:镀锌(52%)、青铜和黄铜合金(17%)、其他合金(16%)、锌的半成品(6%)、化学制品(6%)。2012年全球锌终端消费结构为:建筑(48%)、交通运输(23%)、机械(10%)、电子产品(10%)、基础设施(9%)。锌的消费领域较稳定,未来建筑、交通运输等行业对锌的需求趋势仍将起着主导作用。

1.2 锌矿资源及开发利用

锌冶炼的原料有锌矿石中的富矿和锌精矿,也有各冶炼厂产出的次生氧化锌烟尘。按原矿石中所含的矿物种类可分为硫化矿和氧化矿两类。在硫化矿中锌呈 ZnS 或 $nZnS \cdot mFeS$ 状态,氧化矿中的锌多呈 $ZnCO_3$ 和 $Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$ 状态。自然界中锌矿石最多的是硫化锌矿,氧化锌矿一般是次生的,是硫化锌矿长期风化的结果,因此氧化锌矿常与硫化锌矿伴生,但世界上也有大型独立的氧化锌矿,如泰国的巴达思(Pa. Daeng)矿、巴西的瓦赞提矿、澳大利亚的巴尔塔纳(Beltana)矿和伊朗的安格拉(Anqouan)矿等。硫化锌矿一般常与其他金属硫化矿伴生,除锌外还常含有铅、铜、铁、银、金、镉、砷、锑等其他有价金属。硫化矿矿石易选,经选矿得到的精矿中含锌量一般在40%~60%之间。氧化锌矿的选矿至今还是难题,富集比不高,因此目前氧化锌矿的应用多以富矿为对象,一般将氧化锌矿经过简单选矿进行少许富集,或直接冶炼富矿。

自然界中的锌元素和铅元素具有类似的外层电子结构,有强烈的亲硫性,易形成易溶配合物,因此,这两种元素的矿物常常紧密共生。常见的含锌工业矿物有闪锌矿、纤维锌矿、菱锌矿、异极矿、硅锌矿、水锌矿等,自然界锌的主要矿物类型及含量如表1-3所示。数据表明,闪锌矿中的锌含量最高,达到67.1%,是最重要的锌工业原料矿物。

表 1-3 自然界锌的主要矿物类型及含量

矿物名称	化学式	锌含量/%
闪锌矿	ZnS	67.1
纤维锌矿	ZnS	67.1
菱锌矿	ZnCO ₃	52.1
异极矿	Zn ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂ ·H ₂ O	54.3
硅锌矿	Zn ₂ SiO ₄	58.6
水锌矿	Zn ₅ [CO ₃] ₂ ·[OH] ₆	59.6

1.2.1 各国锌资源储量及生产情况

据美国地质调查局统计数据,截至2015年,世界已查明锌资源量为2亿吨(金属量),锌资源储量分布较为集中,储量前三的国家分别为澳大利亚、中国和秘鲁,锌储量占世界储量的比例分别为31.50%、19.00%和12.50%,这三个国家的储量之和约占世界的63%。世界锌资源储量情况见图1-1。

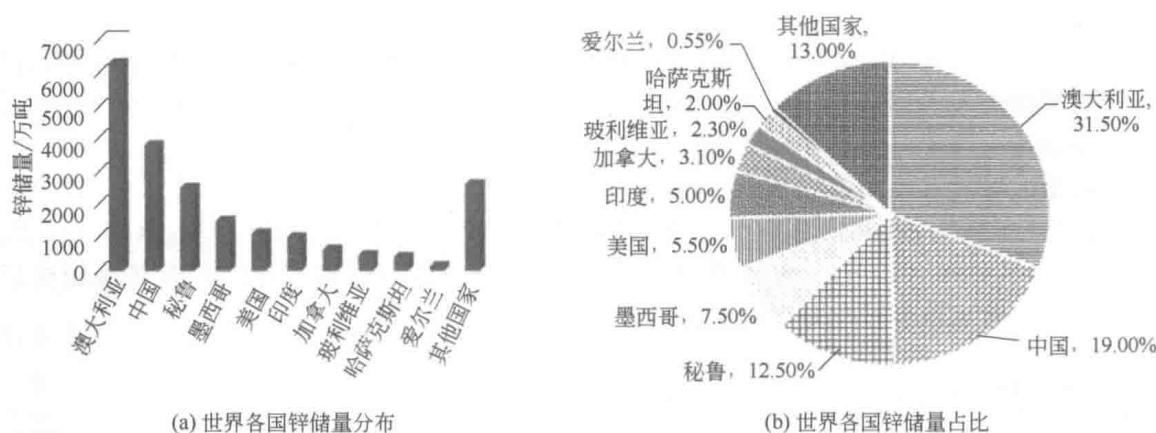


图 1-1 世界锌资源储量情况

世界锌矿床主要分布在北美洲西部的贝尔特-普塞尔盆地、加拿大地盾上提敏斯矿田、加拿大阿巴拉契亚地区的巴瑟斯特-纽卡斯尔矿化集中区、南美洲的秘鲁中北部多金属矿带、澳大利亚芒特艾萨内围区等地区。世界主要的锌矿床如表1-4所示。

表 1-4 世界主要的锌矿床

矿化带	主要矿床	品位	储量/万吨	所属国家
贝尔特-普塞尔盆地	沙利文铅锌矿	Pb+Zn 11.9%	2083	加拿大
	克尔达兰银铅锌矿	Pb+Zn 11.8%	1000	美国
	霍华兹山口矿	Pb+Zn 7.7%	850	加拿大
地盾上提敏斯矿田	基德克里克矿	Pb+Zn 6.42%	952	加拿大
		Cu 2.46%	388	
阿米斯克矿带	弗林弗隆矿	Zn 4.25%	248	加拿大
		Cu 2.18%	135	

续表

矿化带	主要矿床	品位	储量/万吨	所属国家
苏必利尔构造区	克兰顿矿床	Zn 6.5%	390	加拿大
		Cu 4.82%	85	
巴瑟斯特-纽卡斯尔矿化集中区	不伦瑞克 12 号矿	Pb+Zn 13%	1070	加拿大
阿拉斯加西北部	“红狗”矿田	Pb 4.3%	667	美国
		Zn 16.1%	2495	
秘鲁中北部多金属矿带	圣格里高略交代型矿	—	693	秘鲁
	塔米纳纳卡岩型矿床	Pb+Zn 10.3%	575	秘鲁
芒特艾萨内围区	6 个矿区	Pb+Zn 13.2%	1169	澳大利亚
巴顿海槽区东缘	麦克阿瑟河铅锌矿	Pb+Zn 10.6%	2580	澳大利亚
布罗肯希尔矿化集中区	—	Pb+Zn 25%	5500	澳大利亚
塔斯马尼亚岛里德火山成矿带	4 个大型矿区	—	860	澳大利亚
阿尔泰铜铅锌成矿带	列宁诺戈尔斯克矿床	Pb 15.2%	380	哈萨克斯坦
		Zn 28.8%		
	济良诺夫矿	Pb 1.7%	500	哈萨克斯坦
		Zn 2.9%		
准格尔阿拉套成矿区	捷克利矿床	Pb+Zn 11%	550	哈萨克斯坦
卡拉套多金属成矿带	沙尔基亚矿	Pb+Zn 4.13%	1239	哈萨克斯坦
摩天岭成矿区	检德铅锌矿	Pb+Zn 7%~10%	7000	朝鲜

2015 年世界锌精矿产量为 1340 万吨，产量前三的国家为中国（490 万吨）、澳大利亚（158 万吨）、秘鲁（137 万吨），排名前三的国家锌精矿生产量占总锌精矿生产量的 58.6%。世界各国锌资源产量及分布见图 1-2。

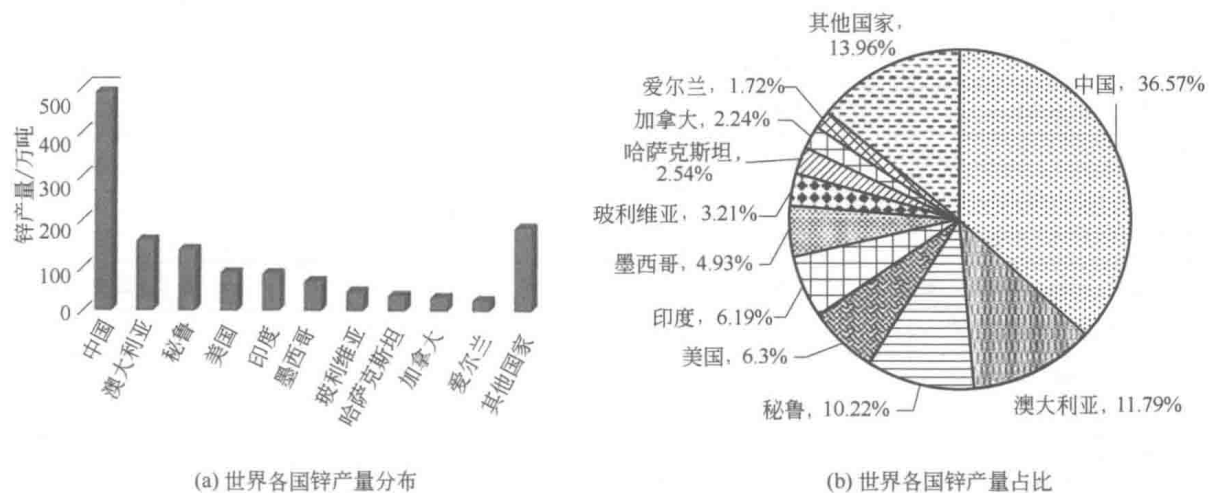


图 1-2 世界各国锌资源产量及分布

2016 年中国锌产量为 627.3 万吨。2017 年世界精炼锌产量为 1370 万吨，中国锌产量为 622 万吨。2018 年 1~6 月中国锌产量为 282 万吨，与去年同期相比略有下降。