



冶金工程本科生专业课程教学

锌冶金学

昆明理工大学锌冶金学教研组

李兴彬 魏昶 陈为亮 邓志敢 李旻廷 谢克强 魏奎先 罗兴国

昆明理工大学冶金与能源工程学院



锌冶金学目录

第一章 绪论

第二章 硫化锌精矿的焙烧

第三章 锌焙烧矿及其他含氧化锌物料的浸出

第四章 锌浸出渣的湿法处理

第五章 硫化锌精矿直接浸出

第六章 锌浸出渣的还原挥发

第七章 中性浸出液的净化

第八章 硫酸锌溶液的电解沉积

第九章 火法炼锌基本原理和工艺



第一章 绪论

1.1 概述

1.2 锌及其化合物的性质

1.3 锌资源及炼锌原料

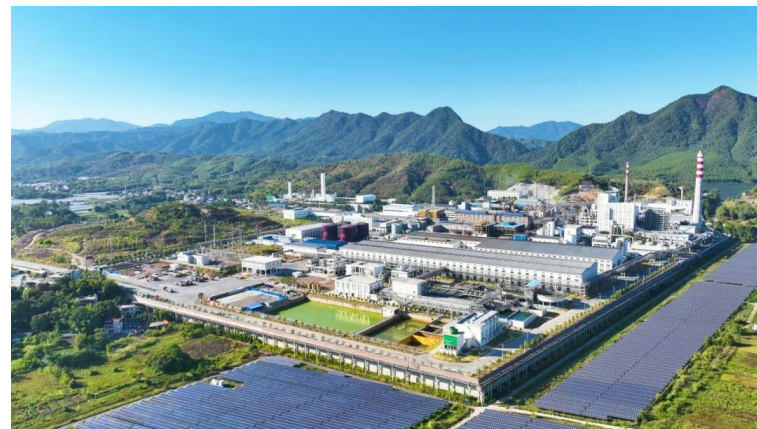
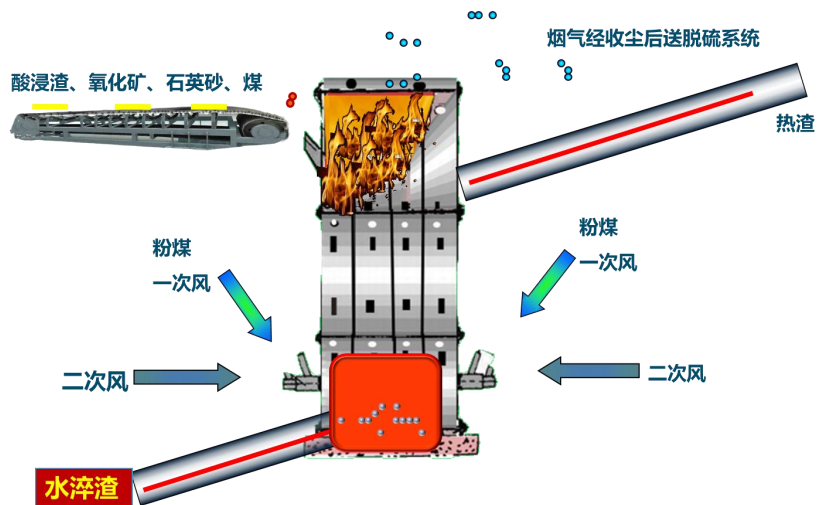
1.4 锌冶炼方法

1.5 锌的用途、产量和消费



1.1 概述

锌冶金生产技术和湿法炼锌与火法炼锌两种工艺并存, 且**以湿法炼锌为主**。



- 湿法炼锌生产效率较高, 且冶炼过程中伴生有价元素能够被有效回收, 故**资源综合回收率高**。
- 湿法冶炼工艺设备采用**大型化、连续化和自动化**生产方式, 这使得**生产效率得到了有效提高**。



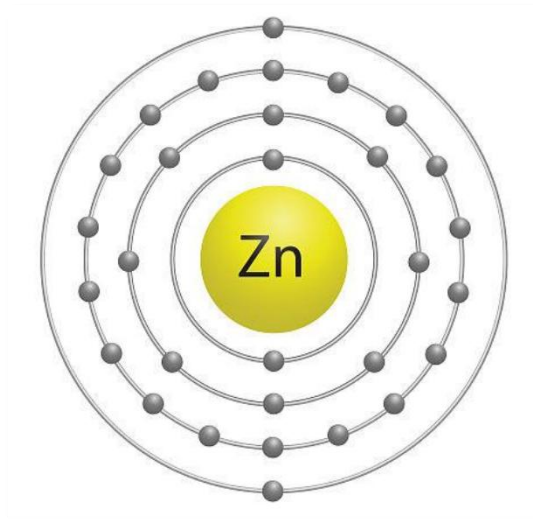
1.2 锌及其化合物的性质

1.2.1 锌的结构与物理化学性质

锌为IIB族元素，原子序数30，原子量65.41。

金属锌是银白色略带蓝灰色的金属，断面有金属光泽。

元素名称	
密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	7.14
熔点 / $^{\circ}\text{C}$	419.58
沸点 / $^{\circ}\text{C}$	907
原子序数	30
英文名称	Zinc
原子半径/pm	133.2
发现年代	公元前1世纪
发现者	中国人
密集六角	
[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	
65.39	电子排布
1.6	相对原子质量
908	电负性
2	元素符号
908	第一电离能/ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
2	氧化态
生命必需元素	

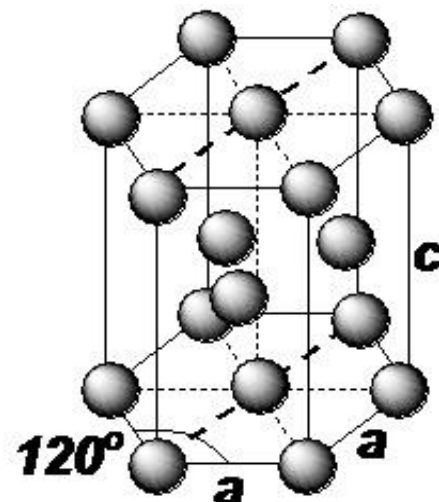
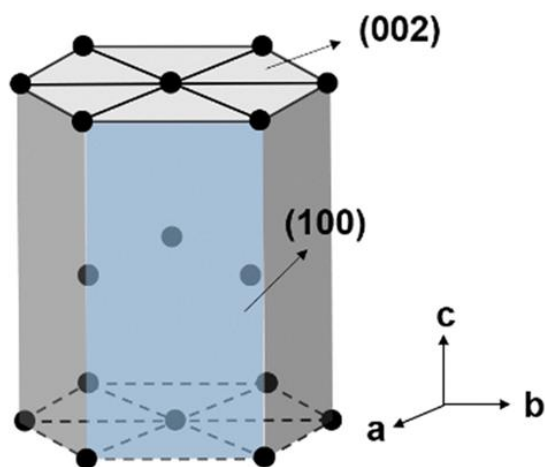


在常温下密度 7.13 g/cm^3 ，**熔点 419.58°C (692.73 K)、沸点 906.97°C (1180.12 K)**，莫氏硬度为2.5，较铅、锡稍硬。



1.2.1 锌的结构与物理化学性质

锌的晶体结构为**密排六方晶格**。



◆锌在熔点附近的蒸气压很小，液体锌蒸气压随温度的升高急剧增大。——**火法炼锌的基础**。

表1-1 不同温度下锌的蒸气压

温度/K	420	500	700	907	950
蒸气压/Pa	21.9	188.9	8151	101325	150439.1



1.2.1 锌的结构与物理化学性质

表1-2 锌的主要物理性质

性质	单位	数值
半径	pm	83(Zn^{2+}), 125(共价), 133.2(Zn)
熔点	K	692.73
沸点	K	1180
熔化热	kJ/mol	6.67
汽化热	kJ/mol	114.2
密度	Kg/m^3	7133(293K)
热导率	$\text{W(m} \cdot \text{k)}$	116(300K)
电阻率	$\text{S} \cdot \text{m}$	5.916×10^{-8} (293K)



1.2.2 锌的主要化合物及化学性质

锌的主要化合物有**氧化锌**，**硫化锌**，**硫酸锌**，**碳酸锌**和**氯化锌**。

□ **ZnO**: 俗称**锌白**，无天然矿物。熔点为 1973°C 。氧化锌为两性氧化物，可溶解于酸和氨液中。在高温下，能被 H_2 、C、CO还原成为金属锌。



氧化锌

□ **ZnS**: 在自然界中以闪锌矿状态存在，是炼锌的主要原料(67.1%Zn)。不能直接被 H_2 、C、CO还原。可溶于盐酸和浓硫酸溶液中，但不溶解于冷的稀硫酸和稀盐酸中。在氧化气氛中加热时，由于挥发后的硫化锌蒸气氧化生成氧化锌和二氧化硫，进一步加速了硫化锌的挥发，**这对硫化锌精矿的沸腾焙烧有重要意义**。



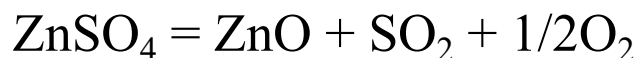
闪锌矿集合体

硫化锌在酸中可氧化分解，目前利用这一点已研究开发了**高压氧酸浸法**处理硫化锌精矿的新工艺。



1.2.2 锌的主要化合物及化学性质

□ **ZnSO₄**:无天然矿物。极易水化，通常含有7个结晶水，硫酸锌在水中的溶解度很大，溶解时放出热量。硫酸锌在923K开始离解，在1023 K以上温度时，离解将激烈进行。



硫酸锌

表 1-3 293 K 和 373 K 时硫酸锌在水中的溶解度

温度/K	293	373
ZnSO ₄ •7H ₂ O溶解度/g	54.4	81.0
ZnSO ₄ 溶解度/g	54.1	60.1



1.2.2 锌的主要化合物及化学性质

- ZnCO_3 : 炼锌原料之一，自然界以菱锌矿状态存在 (52.2%Zn)，623~673K开始分解，易溶于稀硫酸、碱和氨水中。碱式碳酸锌 $\text{ZnCO}_3 \cdot 2\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 为白色细微无定形粉末，密度为 4.42 ~ 4.45 g/cm³，无臭无味，加热到573K分解生成ZnO。碱式碳酸锌不溶于水、醇、酮，微溶于氨水、铵盐，能溶于稀酸、强碱。
- ZnCl_2 : 是无机盐工业的重要产品之一，大量用于印染和制造染料。易溶于水，溶于甲醇、乙醇、甘油、丙酮、乙醚，不溶于液氨。有腐蚀性，有毒。



碳酸锌



氯化锌



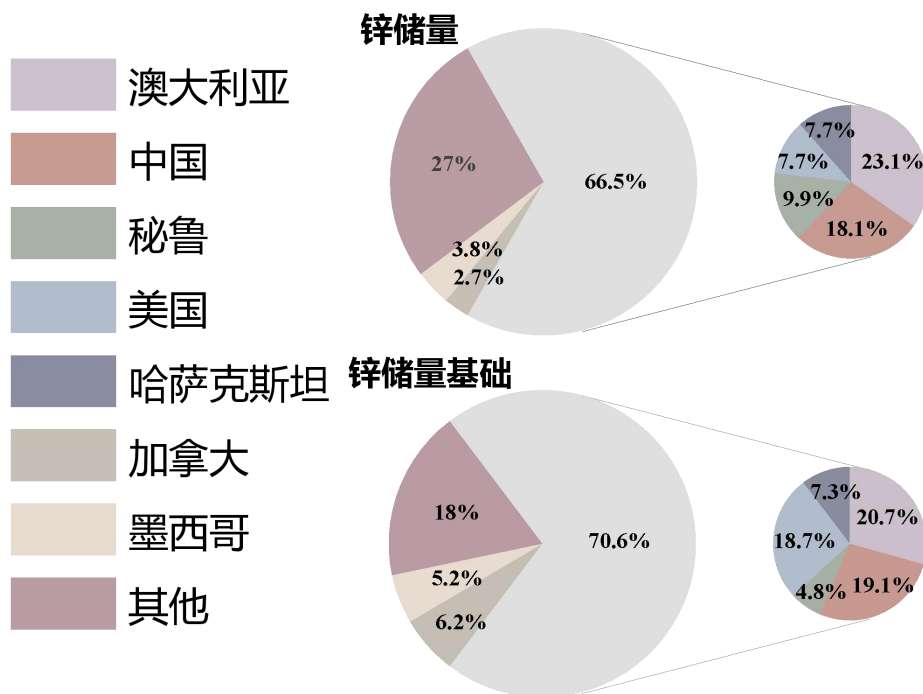
1.3 锌资源及炼锌原料

1.3.1 锌资源概况

世界已查明锌资源量约19亿吨，锌储量约1.8亿吨，主要分布在澳大利亚、中国、秘鲁、美国和哈萨克斯坦等国家，其储量分布如下：

表 1-4 世界锌储量分布

国家和地区	储量/万t	储量基础/万t
澳大利亚	4200	10000
中国	3300	9200
秘鲁	1800	2300
美国	1400	9000
哈萨克斯坦	1400	3500
加拿大	500	3000
墨西哥	700	2500
其他	4900	8700
世界总计	18200	48200





1.3.1 锌资源概况

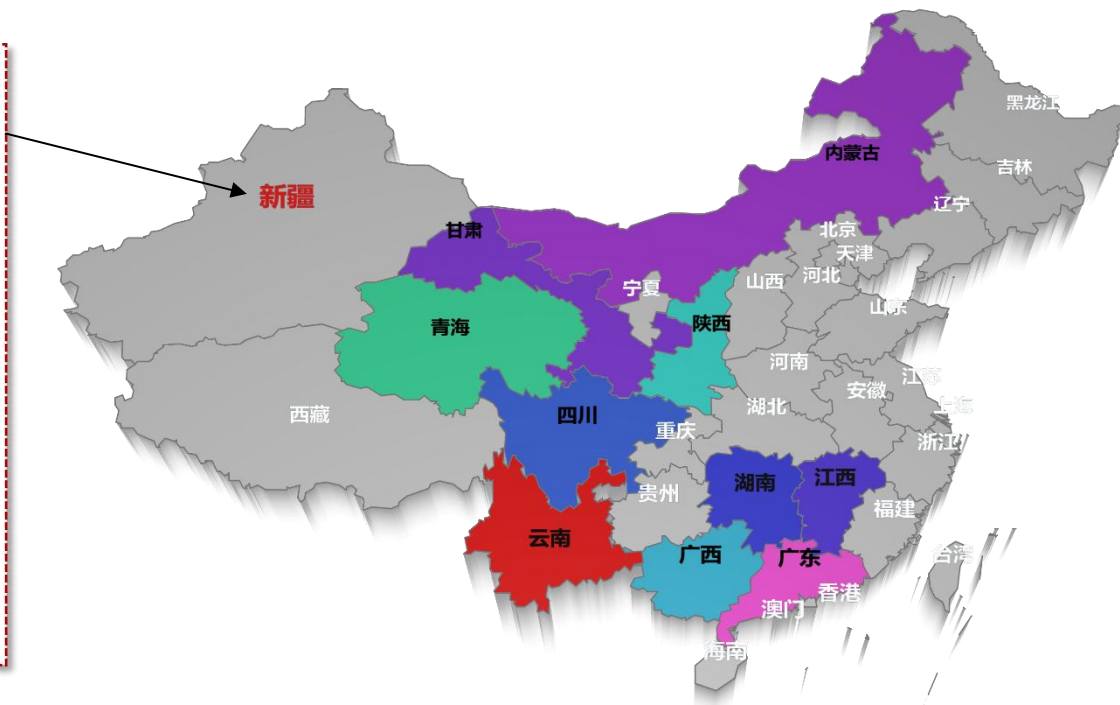
- 我国已勘查锌矿**780处**, 分布在27个省份, 其中锌矿储量在**200万t以上**的有**15个**省、区。
- 东部沿海地区, 锌矿储量占 **26%**;
中部经济地带, 锌矿储量占 **30%**;
西部地区, 锌矿储量占 **44%**。
- 查明资源储量主要集中分布在**南岭、川滇、滇西兰坪、秦岭-祁连山及内蒙古狼山、渣尔泰**等地区。





1.3.1 锌资源概况

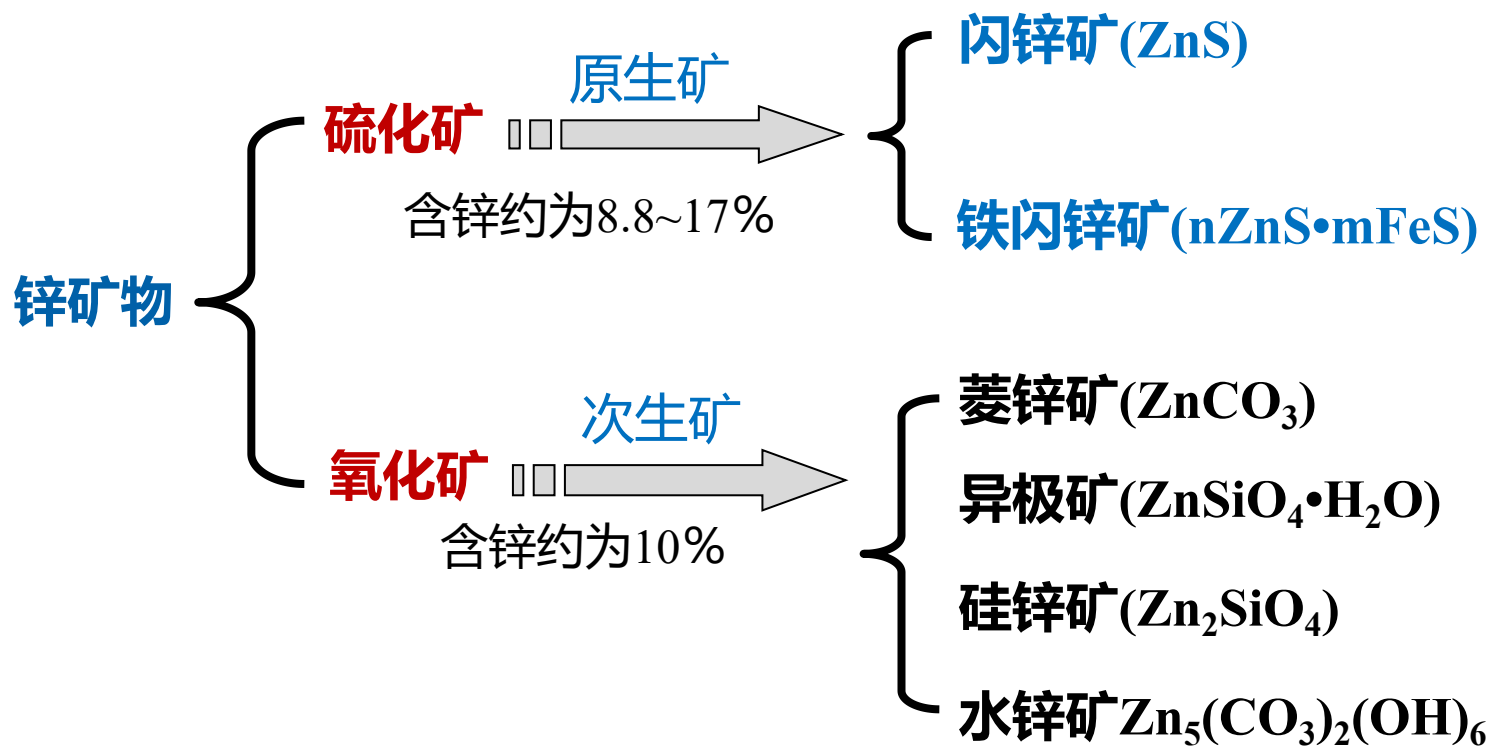
新疆维吾尔自治区和田县发现超大型铅锌矿-火烧云铅锌矿, 是**我国**迄今为止发现的**最大铅锌矿床**, 也是**世界第二大非硫化物锌(铅)矿床**, 矿带已探明铅锌资源量**达 2300 万 t 以上**。



全国铅锌储量以**云南最多**, 其次为广东、内蒙古、甘肃、江西、湖南、四川、广西、陕西、青海。这十省区的铅锌矿资源储量**均超过 400 万 t**, 合计储量**占全国铅锌储量的 80%以上**。



1.3.2 炼锌原料



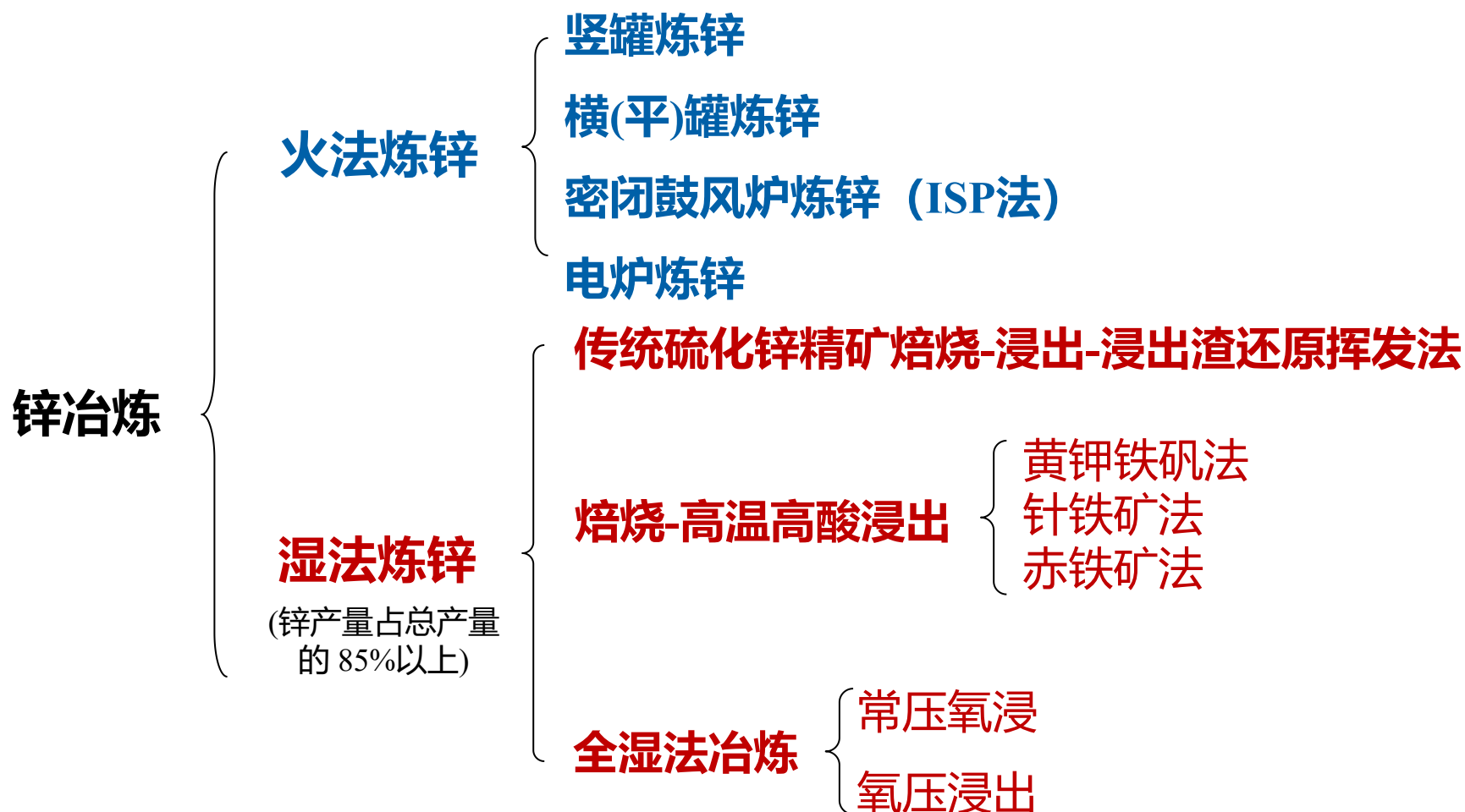
含锌二次资源:

冶炼厂产出的**氧化锌烟尘、浮渣和锌灰等**。



1.4 锌冶炼方法

现代炼锌方法分为**火法**和**湿法**两大类，以湿法冶炼为主。





1.4.1 湿法炼锌

➤ 传统湿法流程工艺包括**焙烧**、**浸出**、**净化**、**电积**和**制酸**五个主要过程。

- 可以浸出大部分锌，同时去除铁、砷、锑等对锌电解有害的杂质。
- 无法溶解铁酸锌，锌浸出率只有80%。

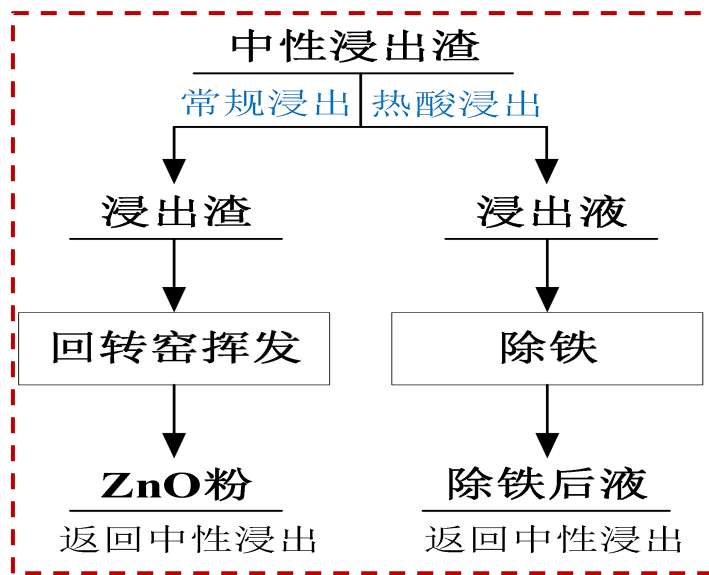
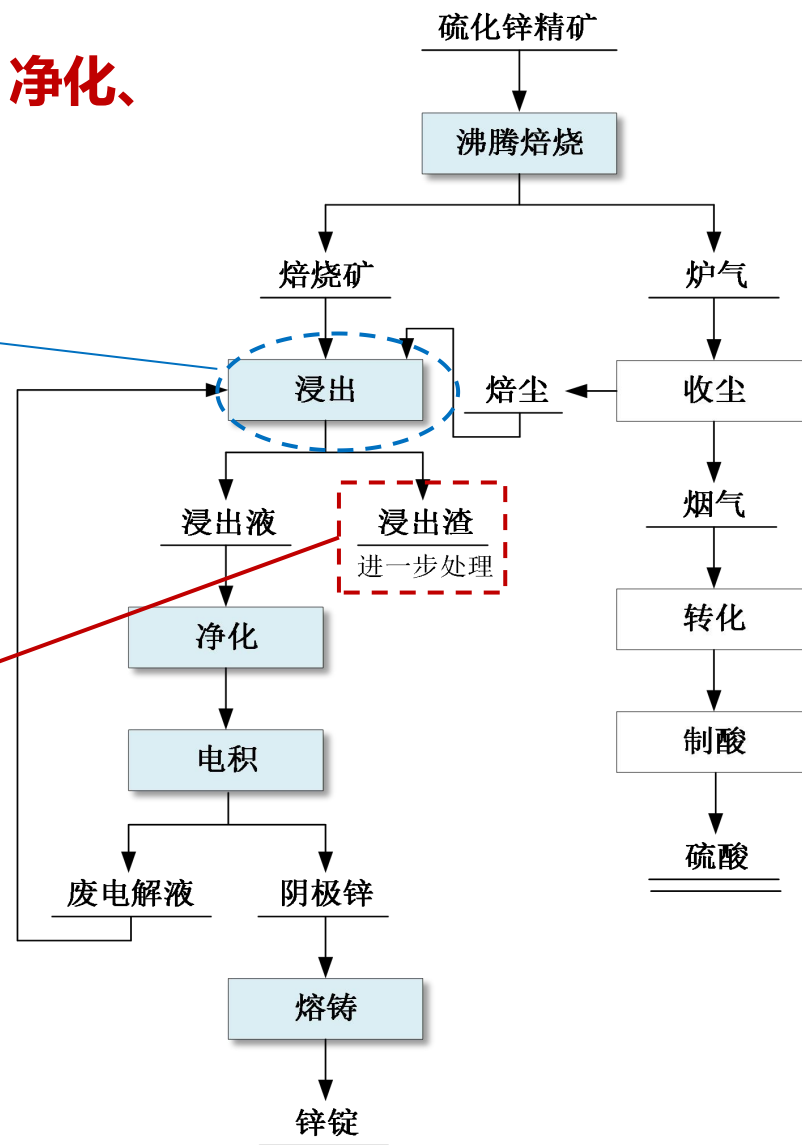


图 1-1 湿法炼锌原则工艺流程



1.4.2 火法炼锌

➤ 火法炼锌主要包括**焙烧**、**还原蒸馏**和**精炼**三个主要过程。

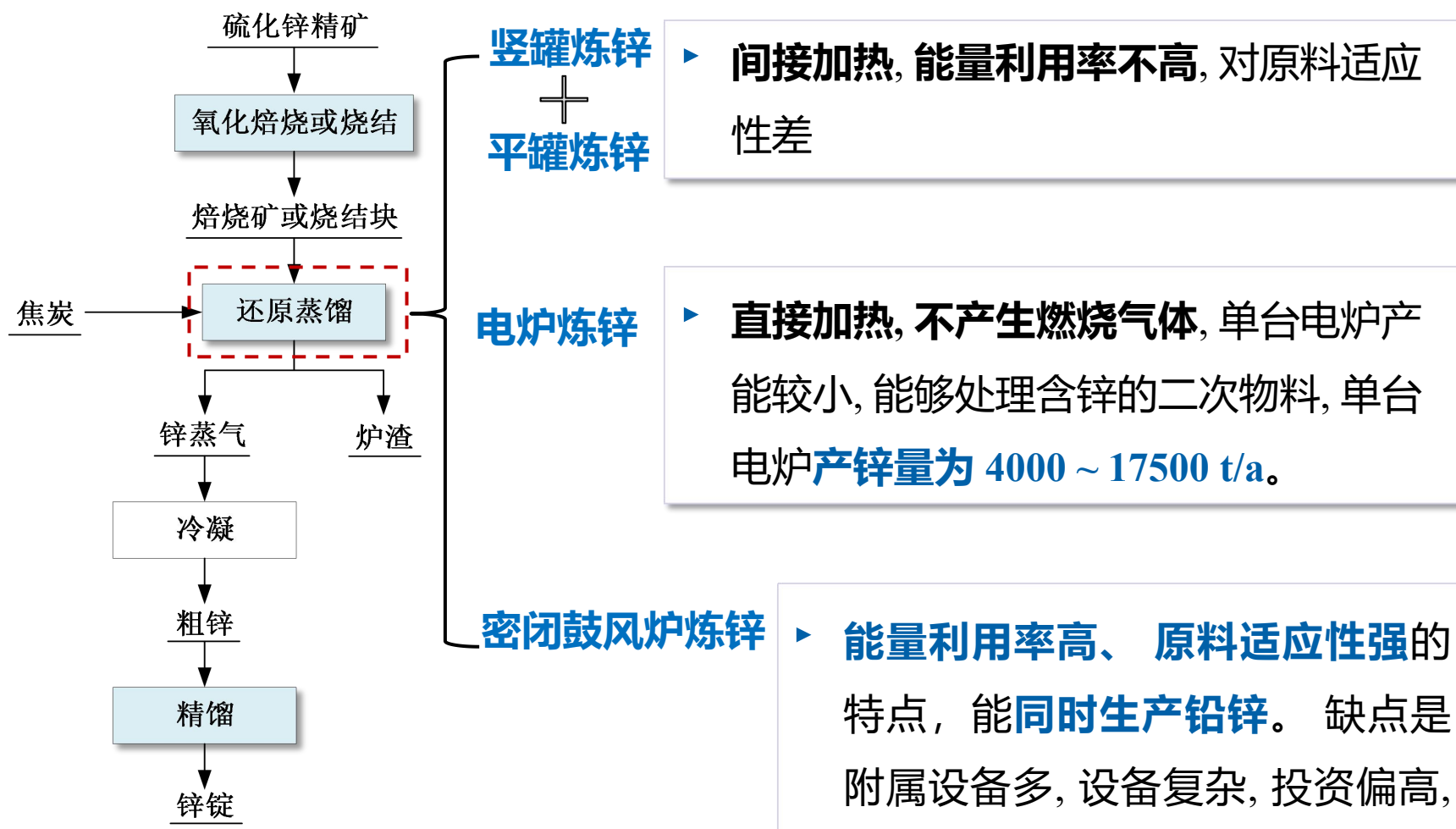


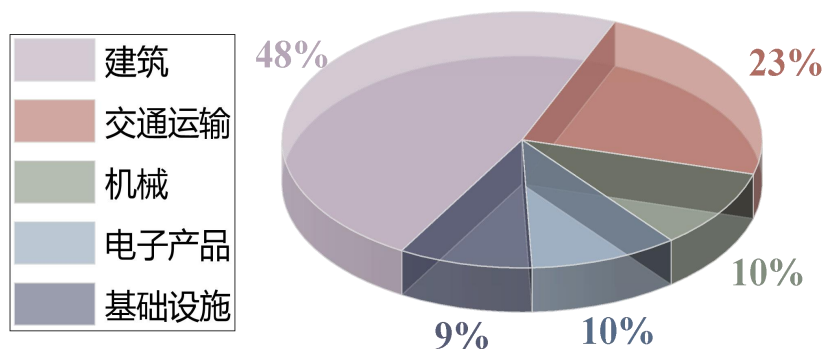
图 1-2 火法炼锌原则工艺流程



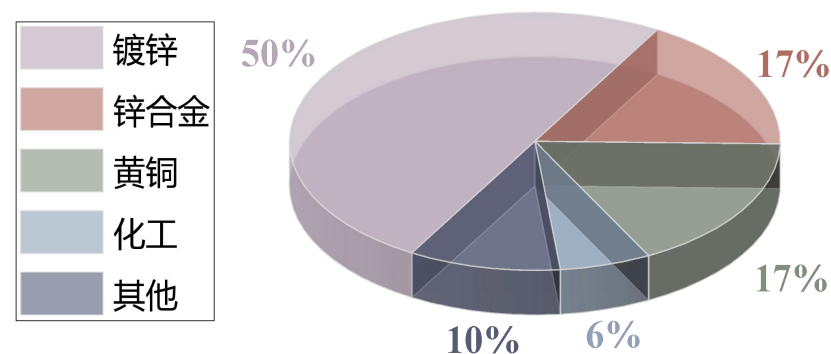
1.5 锌的用途、产量和消费

1.5.1 锌的用途

- 锌最大的应用领域是**镀锌防腐**，占全球锌消费的一半以上；锌广泛用于航天、汽车、船舶、钢铁、机械、建筑、电子及日用工业等行业。



锌终端消费结构



锌中间产品消费结构



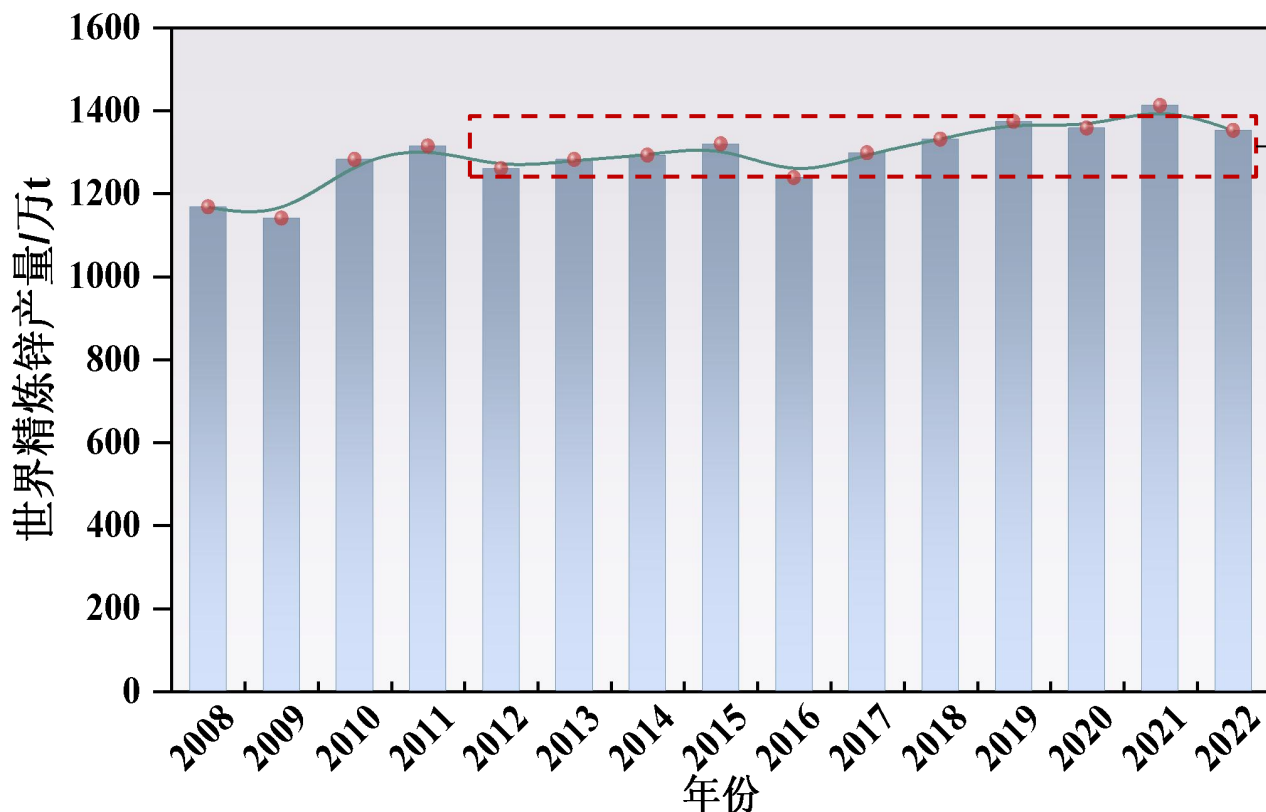
1.5.1 锌的用途





1.5.2 锌的产量和消费

中国、韩国、印度、加拿大、日本五个国家精炼锌产量合计占比**超过全球 65%**，其中**中国精炼锌产量接近全球的 50%**。



近十余年，全球精炼锌产量维持在**1200 万 ~ 1350 万 t**，呈增长趋势。

图 1-3 全球精炼锌产量统计



1.5.2 锌的产量和消费

- 1991 年以来，中国的精炼锌产量**稳居世界第一**。
- 中华人民共和国成立之初，我国的精炼锌产量不足 5000 t，近年来的精炼锌产量**增加了约 150 倍**。

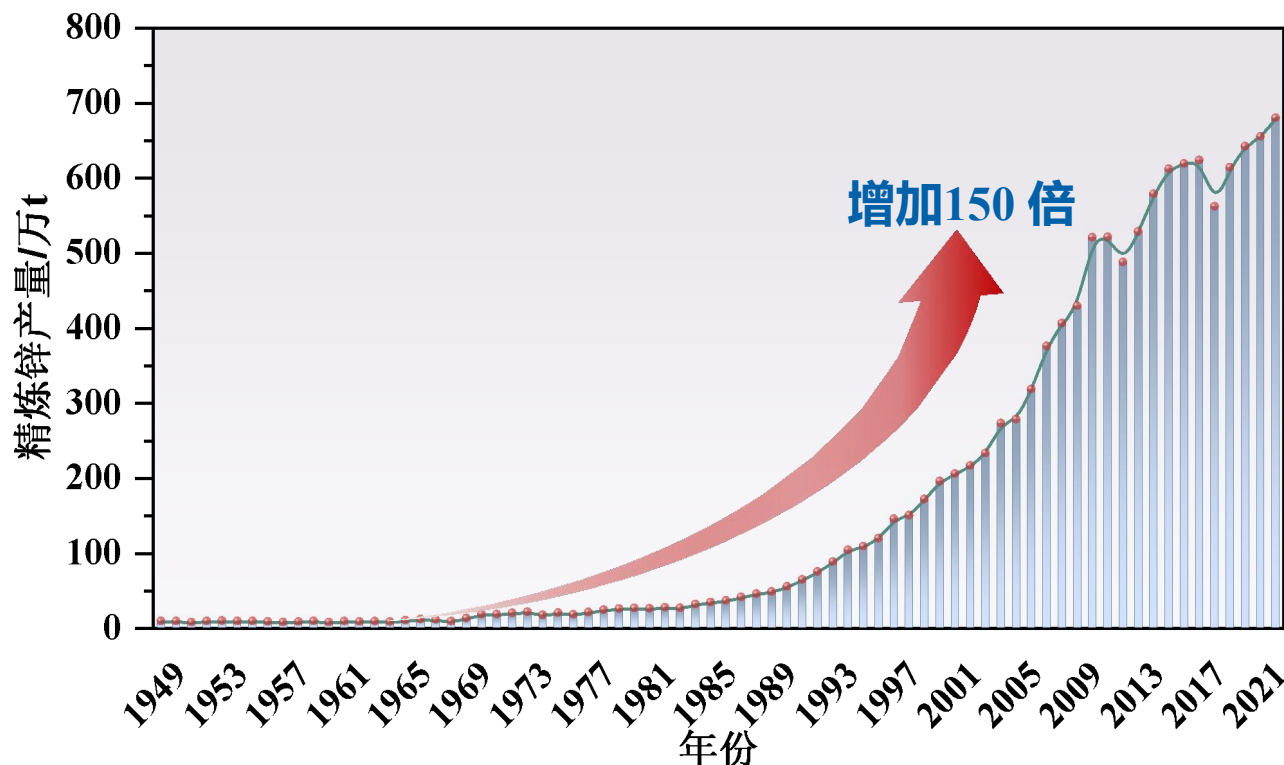


图 1-4 中国历年精炼锌的产量统计



1.5.2 锌的产量和消费

- 全球及中国的锌消费量**逐年增长**，但**增长率趋缓**；
- 全球锌消费2010年1264万t，2020年1319.5万 t，2022年1360万t，与全球精炼锌产量**总体持平**。

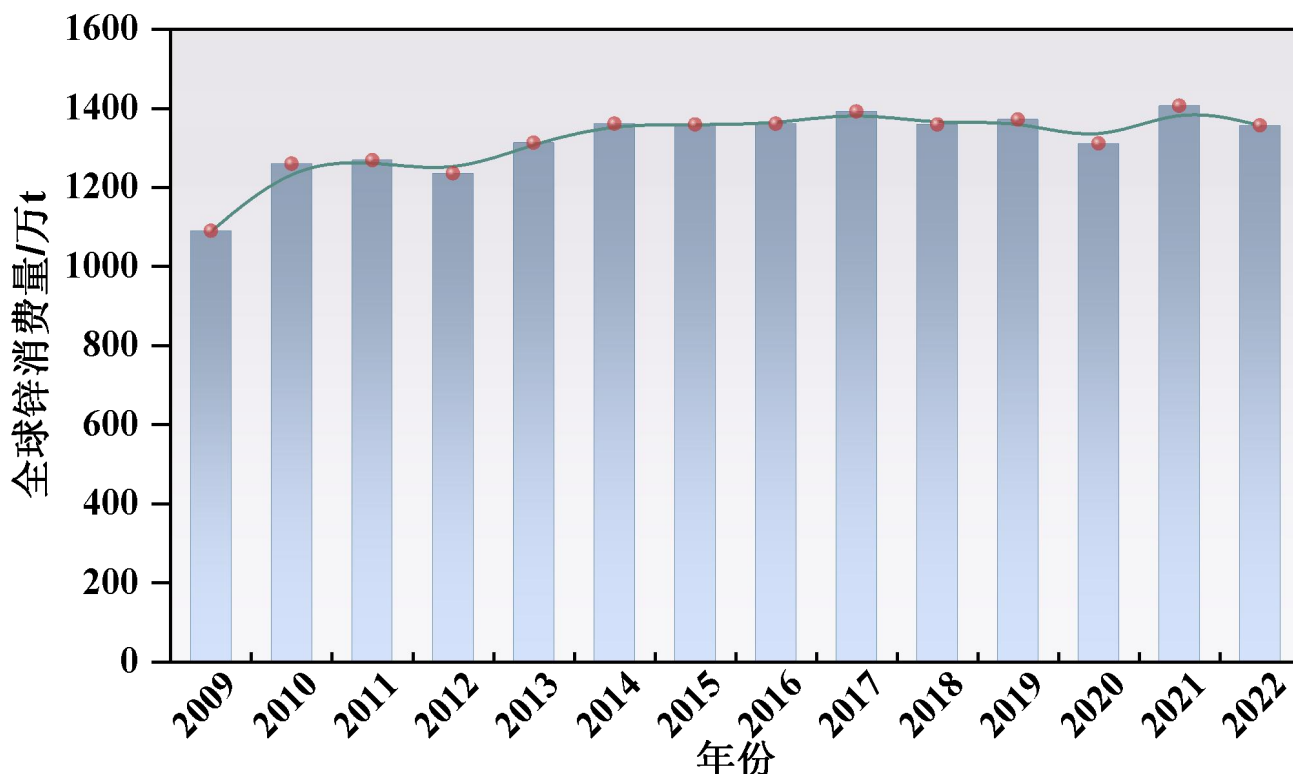


图 1-5 世界锌消费量统计



1.5.2 锌的产量和消费

- 中国是锌资源的主要消费国，**约占整体的51%**，超过一半；
- 中国精炼锌消费呈现**快速增长**趋势。2002年中国锌消费**162万t**，2010年**533万t**，2020年**675.8万t**。

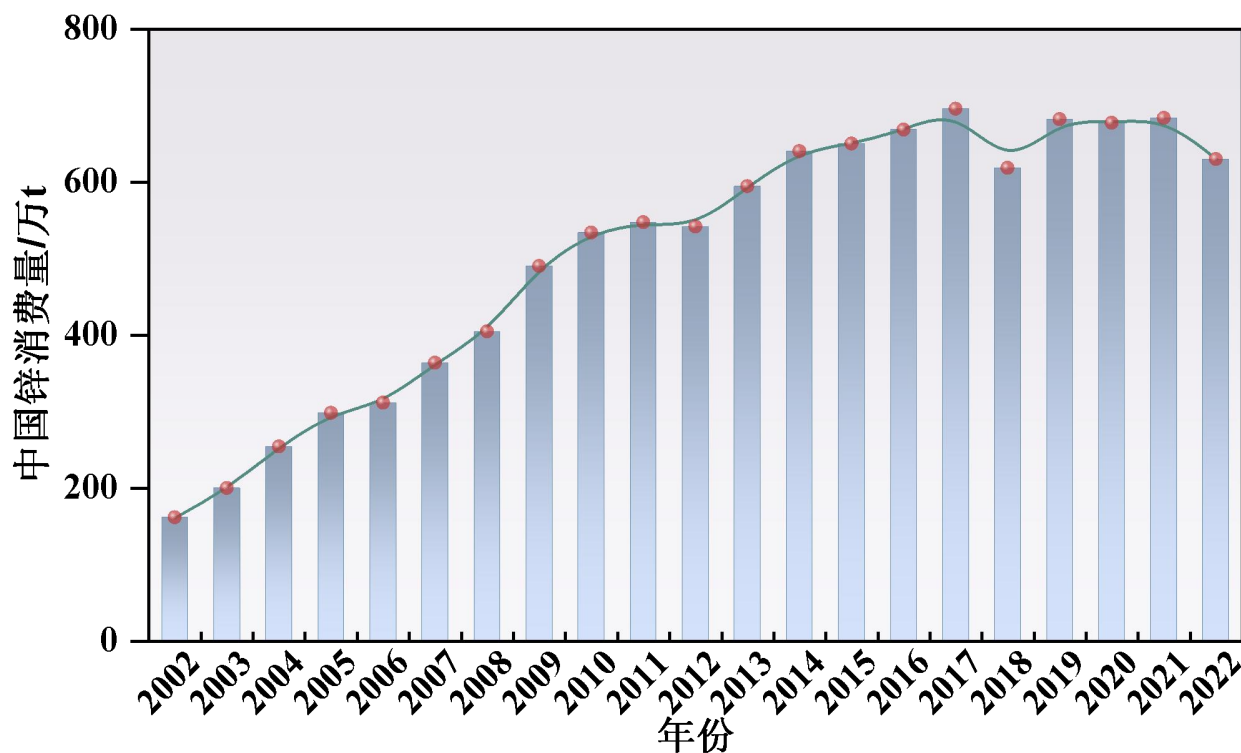


图 1-6 中国锌消费量统计



本章思考题

- 1、简述的炼锌方法有哪些？
- 2、简述锌及其化合物的基本性质。
- 3、简述炼锌的原料有哪些？
- 4、简述炼锌资源的基本特点和性质。
- 5、简述金属锌的用途。