



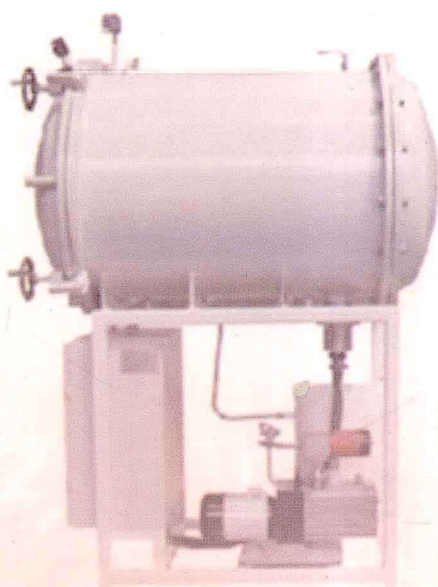
普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

粉末冶金电炉及设计

范才河 主编

朱月兵 陈艺锋 何世文 副主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

粉末冶金电炉及设计

范才河 主编

朱月兵 陈艺锋 何世文 副主编

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 简 介

本书共分九章,主要针对粉末冶金行业用电炉的结构、使用、原理及设计进行了介绍。分别介绍了粉末冶金电炉的发展现状及趋势,传热原理及筑炉材料,电热元件的类型、性能、选择及设计,粉末冶金电阻炉的结构及设计实例,粉末冶金感应炉、电弧炉的结构及设计,粉末冶金真空炉的结构及设计,以及粉末冶金电炉的温度测量、温度控制的方法及手段。

本书适合冶金行业的高校学生、工程技术人员、电炉设计人员及电炉操作人员等参阅。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金电炉及设计/范才河主编. —北京:冶金工业出版社, 2013. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6123-2

I. ①粉… II. ①范… III. ①粉末冶金—电炉—高等学校—教材 IV. ①TF37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 291949 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 常国平 刘小峰 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6123-2

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京印刷一厂印刷

2013 年 1 月第 1 版, 2013 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 15 印张; 345 千字; 230 页

39.00 元

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

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

目 录

1 概论	1
1.1 国内外粉末冶金行业的发展现状	1
1.1.1 国外粉末冶金行业的发展现状	1
1.1.2 我国粉末冶金行业的发展现状	3
1.2 粉末冶金加热炉概述	6
1.2.1 粉末冶金加热炉的类型	7
1.2.2 粉末冶金电炉的选用原则	8
1.2.3 粉末冶金电炉的基本结构	8
1.3 粉末冶金电炉的历史沿革及发展趋势	14
本章小结	16
复习思考题	16
2 粉末冶金电炉传热理论	17
2.1 传热概述	17
2.1.1 传热的基本方式	17
2.1.2 温度场和温度梯度	18
2.2 稳定态传导传热	19
2.2.1 导热的基本定律	19
2.2.2 导热系数	19
2.2.3 平壁的传导传热	21
2.2.4 圆筒壁的传导传热	24
2.3 对流传热	25
2.3.1 对流传热的机理	25
2.3.2 对流传热的数学公式	26
2.3.3 对流传热的实验公式	27
2.4 辐射传热	29
2.4.1 热辐射的基本概念	29
2.4.2 热辐射的基本定律	31
2.4.3 物体表面间的辐射换热	33
2.4.4 气体辐射	36
2.5 稳定态综合传热	38
2.5.1 通过平壁的传热	38

2.5.2 通过圆筒壁的传热	40
本章小结	41
复习思考题	41
3 粉末冶金电炉用筑炉材料	42
3.1 耐火材料的概述	42
3.1.1 电炉对耐火材料的要求	42
3.1.2 耐火材料的分类	43
3.1.3 常用耐火材料的性能	44
3.1.4 特种耐火材料的性能	51
3.2 耐火材料及其用途	53
3.2.1 重质耐火材料	53
3.2.2 轻质耐火材料	56
3.2.3 耐火纤维材料	59
3.2.4 耐火材料新品种	60
3.3 保温材料	62
3.3.1 高温保温材料	62
3.3.2 中温保温材料	63
3.3.3 低温保温材料	64
3.4 不定型耐火材料	67
3.4.1 不定型耐火材料的定义	67
3.4.2 不定型耐火材料的分类	67
3.4.3 不定型耐火材料的特点	68
3.4.4 耐火浇注料	68
3.4.5 耐火可塑料	74
3.5 其他筑炉材料	76
3.5.1 水泥石棉板	76
3.5.2 石棉橡胶板	76
3.5.3 常用胶合剂	77
3.5.4 耐火涂料	78
3.5.5 耐火胶泥	80
3.5.6 炉用钢材	82
本章小结	83
复习思考题	83
4 粉末冶金电炉电热元件及设计	84
4.1 电热元件概述	84
4.1.1 电热元件的使用要求	84
4.1.2 电热元件的分类	84

4.2 电热元件材料及其性能	86
4.2.1 金属电热元件	86
4.2.2 非金属电热元件	90
4.3 电热元件的表面负荷	94
4.3.1 金属电热元件的允许表面负荷	95
4.3.2 非金属电热元件的允许表面负荷	98
4.4 电热元件的计算方法	98
4.4.1 金属电热元件尺寸的计算	98
4.4.2 非金属电热元件尺寸的计算	105
4.5 电热元件在炉内的安装	108
4.5.1 电热元件的安装方式	108
4.5.2 电热元件的安装原则	109
本章小结	110
复习思考题	110
5 粉末冶金电阻炉	111
5.1 电阻炉概述	111
5.1.1 电阻炉的分类及用途	111
5.1.2 电阻炉的优点	112
5.1.3 粉末冶金用电阻炉的使用范围及要求	112
5.1.4 粉末冶金用电阻炉的设计方法及步骤	113
5.2 电阻炉结构设计	113
5.2.1 炉型的选择	113
5.2.2 结构设计	114
5.3 电炉功率的分配与确定	120
5.3.1 电炉功率的分配	120
5.3.2 用估算法确定功率	121
5.3.3 用热平衡法确定功率	121
5.4 粉末冶金用电阻炉类型	124
5.4.1 还原用电阻炉	125
5.4.2 碳管炉	127
5.4.3 烧结用电阻炉	129
5.5 粉末冶金用电阻炉设计实例	132
5.5.1 设计任务和要求	132
5.5.2 电阻炉结构设计	132
5.5.3 电阻炉功率的确定	135
本章小结	146
复习思考题	146

6 粉末冶金感应炉	147
6.1 概述	147
6.1.1 感应加热原理	147
6.1.2 感应电流分布	148
6.1.3 感应加热的电流频率	150
6.1.4 感应加热设备的类型	151
6.2 感应加热设备频率的选择	152
6.3 感应器的设计	155
6.3.1 感应器的分类及结构	155
6.3.2 感应器的设计	156
6.4 粉末冶金用感应炉的类型	159
6.4.1 中频感应透热炉	159
6.4.2 中频感应烧结炉	159
6.4.3 高频碳化炉	160
本章小结	161
复习思考题	161
7 粉末冶金电弧炉	162
7.1 电弧炉概述	162
7.1.1 电弧炉分类	162
7.1.2 电弧的构造及特性	163
7.2 电弧加热基础	164
7.2.1 直流电弧	164
7.2.2 等离子体	164
7.2.3 电弧加热与一般电阻加热的比较	164
7.2.4 电弧中熔滴数目和大小的影响因素	165
7.3 电弧熔炼工艺参数的选择	165
7.3.1 熔炼电流	165
7.3.2 熔炼电压	166
7.3.3 自耗电极的直径	167
7.3.4 自耗电极的长度	167
7.3.5 自耗电极的质量	167
7.3.6 熔化速率	167
7.3.7 熔炼极性	168
7.3.8 冷却强度	169
7.3.9 熔炼真空度	169
7.4 粉末冶金用电弧炉的类型	169
7.4.1 真空熔炼电弧炉	169

7.4.2 等离子电弧炉	170
7.4.3 电子束炉	171
本章小结	173
复习思考题	173
8 粉末冶金真空炉	174
8.1 真空炉概述	174
8.1.1 真空炉分类	174
8.1.2 真空的定义及真空度的量度	175
8.1.3 真空的获得和测量	176
8.2 真空炉的结构及设计	179
8.2.1 真空炉的结构特点	179
8.2.2 真空炉的基本结构	180
8.2.3 真空炉的结构设计	180
8.3 真空炉功率的确定	188
8.3.1 热平衡计算法	188
8.3.2 经验确定法	192
8.3.3 冷却水消耗量的计算	192
8.4 炉子真空系统的设计	193
8.4.1 真空系统的设计参数及基本原则	193
8.4.2 真空系统的类型	195
8.4.3 管路流导的计算	196
8.4.4 真空炉真空系统的计算	198
8.4.5 真空密封	204
8.5 粉末冶金用真空炉的类型	206
8.5.1 真空碳管电阻炉	206
8.5.2 真空硅钼棒炉	207
8.5.3 真空钼丝炉	207
8.5.4 真空感应熔炼炉	208
本章小结	209
复习思考题	209
9 温度测量及控制	211
9.1 温度测量方法	211
9.1.1 接触测量法	211
9.1.2 非接触测量法	212
9.1.3 温度传感器的类型	212
9.2 温度测量工具	213
9.2.1 热电偶	213

9.2.2 热电阻	217
9.2.3 光学高温计	217
9.2.4 辐射式高温计	218
9.3 温度控制	218
9.3.1 位式控制方式	219
9.3.2 晶闸管温度控制	220
9.3.3 变压器控制	222
9.4 计算机在温度控制中的应用	223
9.4.1 计算机温度控制系统的组成	223
9.4.2 计算机温度控制过程	224
9.5 PLC 在温度控制中的应用	225
9.5.1 PLC 的控制作用	225
9.5.2 PLC 的组成	225
9.5.3 PLC 输入及输出应用实例	226
9.6 PID 控制	227
9.6.1 PID 控制原理	227
9.6.2 PID 参数的整定	227
9.6.3 PID 参数的切换	228
本章小结	229
复习思考题	229
参考文献	230

1 概 论

本章学习要点

本章主要介绍粉末冶金行业的发展概况和粉末冶金用电炉的基本知识。通过本章学习，要求对国内外粉末冶金行业的发展现状和粉末冶金电炉的发展趋势有一定的了解，掌握粉末冶金电炉的类型、基本结构及选用原则。

粉末冶金是冶金和材料科学的一个分支，是制取金属粉末或以金属粉末（包括混入少量非金属粉末）为原料，用成型-烧结法制造材料与制品的工艺技术。粉末冶金行业是机械工业中重要的基础零部件制造业。

粉末制备及还原是粉末冶金工艺生产的第一道工序，粉末的质量直接影响粉末冶金制品性能的好坏，还原工艺是降低粉末的氧含量、提高粉末纯度、改善粉末性能的有效方法。成型是粉末冶金工艺过程的第二道基本工序，即在一定的压力等条件下使松散的金属粉末或混合粉成型为具有一定形状、尺寸、孔隙度和强度压坯的工艺过程。成型分为普通模压成型和特殊成型两大类。就普通模压成型而言，压坯质量的好坏主要取决于压制条件，而压制条件主要受成型压机质量好坏的影响，并且在压制中出现的缺陷一般无法在烧结过程中弥补。烧结是粉末冶金生产过程中的一道关键工序，它是在低于粉末中主要组分熔点的温度下进行加热并冶金结合成致密体的过程，其主要目的是：使成型的粉末压坯在加热的情况下，通过原子扩散或颗粒重排使压坯致密化，获得所要求的物理和力学性能的致密体。烧结制品的质量很大一部分取决于烧结设备。

粉末冶金工艺过程中的制粉、还原、压制以及烧结等都要应用粉末冶金炉，因此粉末冶金炉是粉末冶金工业的物质和技术基础。掌握好粉末冶金炉的热工技术，优化粉末冶金炉的结构设计，采用合理的筑炉材料，对提高粉末的产量和质量、节约能源、改善劳动条件以及促进粉末冶金工业的发展具有十分重要的意义。

1.1 国内外粉末冶金行业的发展现状

1.1.1 国外粉末冶金行业的发展现状

粉末冶金具有原材料利用率高（达95%）、制造成本低、材料综合性能好、可近净成型、产品精度高且稳定等优点。此外，粉末冶金还可制造传统铸造方法和机械加工方法无法制备的材料和难以加工的零件，因此备受青睐。随着全球工业化的蓬勃发展，粉末冶金行业发展迅速，粉末冶金技术已被广泛应用于交通、机械、电子、航空等领域，尤其在汽

车制造领域。汽车工业的快速发展极大地推动了粉末冶金在汽车零部件制备中的应用,使汽车行业成为粉末冶金零部件的最大应用领域之一。现在,一些大型汽车公司建立了自己的配套粉末冶金零件加工公司,如美国的福特、通用,日本的丰田、三菱、本田等汽车公司均有自己的粉末冶金事业部。

1.1.1.1 北美

北美是全球最大的粉末生产地区。2009年北美地区的铁粉发货量为222118t,比2008年减少了约25%,截止到2009年北美地区的铁粉需求已经连续5年下降。2009年北美地区的铜粉发货量为12010t,比2008年减少了约24%。而2009年下半年北美地区的粉末冶金行业出现了增长的趋势,尤其是2009年第四季度增长的趋势更为明显。2009年第四季度北美地区铁粉发货量出现的强劲反弹延续到了2010年第一季度,2010年第一季度北美地区的铁粉发货量同比增长了64%,达到了80206t。2010年第一季度北美地区平均每月铁粉的发货量为26935t,按此推算2010年全年北美地区的铁粉发货量为317520t。2010年第一季度北美地区的铜粉和铜基粉末的发货量同比增长了36%,达到了3608t。

在北美,轻型汽车市场是影响粉末冶金工业的一个主要因素,现在轻型汽车制造工业的外包市场结构和产品已经发生了很大的变化,轻型汽车制造工业的外包市场不再局限于北美地区,也存在于欧洲、亚洲和南美洲。据HIS全球观察统计,2010年北美地区轻型汽车的产量达到1215万辆,根据这个产量约使用208656t粉末冶金零件,2010年北美地区平均生产每辆汽车使用约17.2kg粉末冶金零件,与2009年北美地区的统计数字基本一致。

2010年通用汽车公司平均生产每辆汽车使用约21.8kg粉末冶金零件,福特公司平均生产每辆汽车使用约20.5kg粉末冶金零件,克莱斯勒公司平均生产每辆汽车使用约19.5kg粉末冶金零件,在美国的一些亚洲品牌平均生产每辆汽车使用约17.3kg粉末冶金零件。通用汽车公司和福特公司开发的一些新型的变速器使用了约13.6kg粉末冶金零件,福特公司生产的3.5L EcoBoost六缸引擎中使用了重达9.5kg的81个粉末冶金零件,在这种引擎中使用的粉末冶金零件有:阀门导轨、阀门座、连接杆、油泵、感应圈、凸轮帽、可变气门正时系统组件、凸轮轴链轮和毂等。

1.1.1.2 欧洲

欧洲是继北美之后的第二大粉末冶金生产工业区,其生产技术先进,管理体制较完善。为了促进和推动粉末冶金工业的发展,欧洲也采取了一系列的措施。1990年,欧洲成立了粉末冶金协会,开设了多种教育培训活动,赞助了一些基础研究课题,举办了一系列的粉末冶金评奖活动,加强与国际间的交流与合作,建立粉末冶金信息网等。半个世纪以来欧洲铁粉每年增长率在4%~8%之间。

在汽车领域,欧洲粉末冶金制品的应用远远低于美国。据统计,2003年欧洲每辆轻型轿车中粉末冶金制品的使用量只有8kg,而美国则达到18kg。究其原因,一是欧洲的工程师们首先提到的是锻造方法,不愿意因为采用粉末冶金零件而改变原有的设计,欧洲汽车制造厂商也普遍缺乏像美国三大汽车公司那样坚定采用粉末冶金技术的心态;二是欧洲制造的轿车中使用的引擎较小,连杆、轴承帽等零件的形状复杂,难以使用粉末冶金方法制造;三是约80%的欧洲制造的轿车使用手动变速器,而手动变速器使用的粉末冶金制品要少于自动变速器。这些因素的存在大大地阻碍了欧洲粉末冶金技术在汽车中的应用。

尽管欧洲粉末冶金技术在汽车工业中的应用受到了诸多因素的阻碍，然而在全球粉末冶金工业飞速发展的推动下，欧洲粉末冶金工业的发展势头强劲，大量的新技术、新产品被开发、应用。据 HIS 全球观察统计：2010 年全球轻型汽车的销量将达到 7960 万辆，2010 年欧洲轻型汽车的销量将达到 2000 多万辆。据欧洲粉末冶金协会统计，2009 年欧洲平均生产每辆汽车使用约 7.2kg 粉末冶金零件，年需 15 万吨粉末冶金机械零件。

1.1.1.3 日本

日本的粉末冶金行业发展较好，其粉末冶金机械零件的产量增长同样得益于汽车制造行业。2009 年受金融危机影响，日本汽车制造用粉末冶金机械零件的产量出现了大幅度的下降，导致其粉末冶金机械零件的产量也受到很大的影响。到 2010 年日本汽车制造用粉末冶金机械零件的产量出现了大幅增长，其总产量是 95894t，比上年增长了 35.7%，各季度的产量增长分别为：第一季度同比增长了 111.5%，第二季度同比增长了 54.8%，第三季度同比增长了 20.6%，第四季度同比增长了 4.8%。近年日本粉末冶金制品的产量见表 1-1。2010 年日本粉末冶金机械零件的总产值是 1179 亿日元，同比增长了 31.5%。2011 年市场对汽车的需求将比上年减少 10%，受此影响市场对汽车制造用粉末冶金机械零件的需求也相应地减少。

表 1-1 近年日本粉末冶金制品的产量

(t)

产品种类	2008 年	2009 年	2010 年	2010 年/2009 年
轴 承	7718	4885	6629	135.7%
机械零件	103942	69755	95894	137.5%
摩擦材料	738	392	578	147.4%
电触头材料	77	52	73	140.4%
杂 项	1792	956	1162	121.5%
总 量	114267	76040	104263	137.1%

注：杂项包括难熔金属，不含磁性材料和硬质合金（日本经济贸易产业省统计）。

1.1.2 我国粉末冶金行业的发展现状

我国的粉末冶金工业在 20 世纪 50 年代初期几乎为零，经过六十多年的努力拼搏，从无到有、从小到大、从弱到强，现已取得了令人瞩目的成就，在硬质合金、钢铁粉末、磁性材料和金刚石工业等领域的产量已发展成为世界性粉末冶金产业大国。我国粉末冶金工业已经形成一个工业体系，所生产的产品已基本上能满足我国国民经济建设的基本需要。粉末冶金科学研究不仅在理论研究方面有所建树，更重要的是在应用领域为国防建设提供了拥有自主知识产权的新材料，为重大军事工程的建设做出了重要贡献。

1.1.2.1 硬质合金工业的飞速发展

我国是一个钨资源大国，但 20 世纪 50 年代以前基本没有硬质合金工业。20 世纪 50 年代初，我国仅在大连有一个硬质合金小作坊，称为大华电冶厂，1948 年生产硬质合金仅 38kg。1954 年开始筹建株洲硬质合金厂，设计能力为 500t/a，1958 年正式投产，年产硬质合金 750t，形成了我国硬质合金工业的雏形。1964 年开始筹建我国第二大硬质合金厂——自贡硬质合金厂，1972 年正式投产。进入 80 年代，各行各业根据各自的需要又相

继组建了一大批硬质合金车间和工厂，形成了一个蓬勃发展的局面。据估计，现在全国有约 400 家硬质合金生产厂家，仅株洲市估计就有 100 余家大小不等的硬质合金生产厂家，这使我国发展成为一个名副其实的硬质合金产业大国。

我国由于钨资源丰富，而国民经济建设对硬质合金的需求量相对较大，特别是近 20 年来，民营经济的快速发展，使我国硬质合金的生产厂家数目急剧增加。根据中国钨业协会对 42 家大型硬质合金厂的生产能力统计，近十年来硬质合金产量变化如图 1-1 所示。由图 1-1 可见，仅这 42 家企业在 2005 年的产量就达到近 1.6 万吨，与世界硬质合金的总产量基本相当。

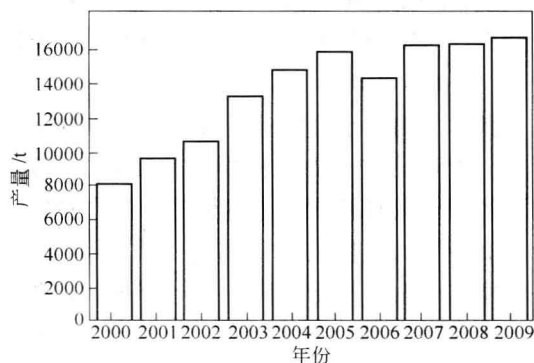


图 1-1 中国近十年硬质合金产量变化

1.1.2.2 钢铁粉末生产的蓬勃发展

我国钢铁粉末的生产经过几十年的发展，取得了显著的成就，有 50 余家较大规模的钢铁粉末生产厂家，总产量已超过 30 万吨/年，占世界钢铁粉末总产量（约 120 万吨/年）的 1/4，这充分说明我国已成为世界上的钢铁粉末生产大国。我国钢铁粉末品种比较齐全，其中水雾化铁粉以较快的速度在发展，2009 年产量较 2004 年增加了近 4.5 倍。2004 ~ 2009 年我国钢铁粉末生产产量见表 1-2。

表 1-2 2004 ~ 2009 年我国钢铁粉末生产产量

(万吨)

产品名称	产 量					
	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
铁鳞还原铁粉	11.34	13.649	14.9	14.1	13.6	15.5
超纯精矿粉还原铁粉	1.97	2.78	2.91	2.10	4.9	
水雾化铁粉	3.29	6.15	7.35	10.9	10.5	13.7
电解铁粉	0.603	0.107	0.14	0.16	0.2	0.12
羰基铁粉	0.023	0.023	0.030	0.010	0.045	0.049
水雾化不锈钢粉	0.026	0.03	0.04	0.05	0.018	—

我国钢铁粉末的应用范围分布较广泛，但主要应用于粉末冶金制品的生产，而且随着我国汽车工业的高速发展，预计在最近的 5 ~ 10 年，我国铁基粉末冶金制品将会出现一个高速发展的时期。现在国外（主要是北美）的汽车每辆用粉末冶金制品约 20kg，而我国的汽车每辆用粉末冶金制品还不到 5kg。如果我国每辆汽车上粉末冶金制品用到 10kg，以每年生产汽车 1500 万辆计算，则需铁基制品 15 万吨，何况还有大量汽车零部件的维修等，磁性材料和电焊条用铁粉也将有大幅度增加。我国钢铁粉末的应用范围统计如图 1-2 所示。

1.1.2.3 有色金属粉末的快速发展

我国铜、铜合金粉与镍粉的生产在高速发展，但整体来说与世界水平相比还有较大

差距。

我国铜及铜合金粉末生产是根据铜基制品工业的需要而逐渐发展起来的。1952 年我国还没有铜及其合金的制粉工业，中国上海纺织机械厂为研制含油轴承，只能采用铰削加工的方法制造铜合金粉。1953 年，中国科学院冶金陶瓷研究所成功采用电解法研制出铜粉。20 世纪 60 年代是我国大规模铜及铜合金制粉工业化生产得到迅速发展的年代。我国现有约 50 家铜及铜合金粉末生产厂家，分布于北京、上海、重庆、天津、甘肃、安徽、江苏、浙江、河北等 17 个省市。其中，最大的生产厂家是有研粉末新材料（北京）有限公司，2010 年铜及铜合金粉产量约 7500t。其次是重庆华浩冶炼有限公司，年产量约 4500t。2002 ~ 2009 年我国铜及铜合金粉末生产情况见表 1-3。可见，近年来我国铜及铜合金粉末生产发展迅速，其中雾化铜合金粉的产量增长最为显著，2005 年还不到 5000t，而到 2009 年全年产量已达 20500t，增长了 4 倍多。

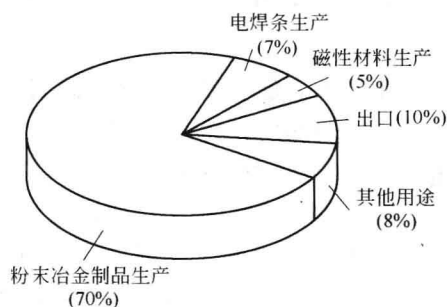


图 1-2 我国钢铁粉末的应用范围统计

表 1-3 2002 ~ 2009 年我国铜及铜合金粉末生产情况

年 份		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
产量 /t	电解铜粉	6300	6200	6450	7300	7300	9300	23800	20000
	雾化铜合金粉	2200	2200	2200	4670	5300	4900	16300	20500
总计/t		8500	8400	8800	11120	12600	14200	40170	40500
统计家数		13	13	13	13	13	9	28	20

我国在 20 世纪 70 年代以前还是一个镍资源缺乏的国家，自从金川镍都建成以后，我国已成为一个镍资源大国。镍粉主要由还原镍粉、电解镍粉和羟基镍粉三部分组成，而人们常将还原镍粉和电解镍粉统称为镍粉。羟基镍粉的生产已引起人们的高度重视，因为羟基镍粉在镍氢电池与镍镉电池中都有采用。据统计，全世界电池用羟基镍粉的年需求量为 10000t，我国电池用羟基镍粉的年需求量为 4000t。我国羟基镍粉的制造正在大力发展中，金川集团有限公司的产能达 500t/a；江油核宝粉末材料有限公司产能为 50t/a；吉林吉恩镍业股份有限公司正引进加拿大技术组建产能达 2000t/a 的羟基镍粉生产线，2009 年的年产量已达 500t。

1.1.2.4 稀土磁性材料的发展概况

我国是一个稀土资源十分丰富的国家，其稀土储量占全球储量的 50% 以上。2009 年我国稀土矿年产量为 12 万吨，约占全球稀土产量的 96%。邓小平同志在 1992 年曾指出：“中东有石油，中国有稀土”，因此我们必须做好稀土的大文章。

稀土是生产稀土永磁材料的关键原料，我国已突破千吨级钕-铁-硼真空快速熔炼以及氢粉碎的关键技术，为我国钕-铁-硼生产的高速发展打下了基础，我国已成为全球最大的稀土永磁体材料的研发与生产基地。图 1-3 所示为 2001 ~ 2009 年我国与全球烧结钕-铁-硼产量统计。从图中可以看出，我国钕-铁-硼的产量在持续增长，2009 年我国钕-铁-硼的

年产量为 6.8 万吨, 约为全球总产量的 80%。

1.1.2.5 金刚石工业的快速发展

我国自 1963 年 12 月合成第一颗人造金刚石起, 迄今 50 年间人造金刚石的产量、质量和价格都发生了巨大的变化, 产量已跃居世界第一位, 其质量可与世界知名厂家相媲美, 而价格却只有国外同类产品的 $1/2 \sim 1/3$ 。在我国, 单晶金刚石、多晶金刚石和金刚石工具为主的制品构成了非常活跃的金刚石工业。

我国粉末冶金工业的其他领域的规模化产业也发展很快, 如摩擦材料、减摩材料、钨基合金等都已形成相当规模的产业, 其产品已基本满足了我国国防与国民经济建设的需求。综上所述, 我国在粉末冶金的多个领域已成为一个粉末冶金产业大国。

近年来, 通过不断引进国外先进技术与自主开发创新相结合, 我国粉末冶金产业和技术都呈现出高速发展的态势, 是我国机械通用零部件行业中增长最快的行业之一。

“十一五”期间, 在我国经济高速发展, 特别是汽车工业强劲发展的推动下, 粉末冶金行业迎来了又一个增长期。与“十五”期间粉末冶金零件的平均年销售量 6.4 万吨, 粉末冶金汽车零件平均占比 25.2% 相比, “十一五”期间我国粉末冶金零件的平均年销售量增至 11.4 万吨, 同时粉末冶金汽车零件占比提升至 40.6%, 2010 年度销量更是达到了 16.2 万吨, 粉末冶金汽车零件占比达到了 46.7%, 粉末冶金汽车零件已成为我国粉末冶金行业最大的市场。

2011 年第一季度我国 53 家重点企业粉末冶金机械零件产量为 40088t, 销售产量 39771t, 同比均增加 24.3%; 第二季度粉末冶金机械零件产量 45892t, 销售产量 41442t, 同比分别增加 16.8% 和 12.8%。

我国粉末冶金行业发展很快, 汽车行业、机械制造、金属行业、航空航天、仪器仪表、五金工具、工程机械、电子家电及高科技产业等迅猛发展, 为粉末冶金行业带来了不可多得的发展机遇和巨大的市场空间, 同时也对粉末冶金装备提出了更高的要求。

1.2 粉末冶金加热炉概述

我国是最早使用加热手段进行材料生产的国家之一, 早在半坡文化时期就烧制了各种陶器, 2000 多年前已掌握铜和铁冶炼的加热技术。在陶瓷烧制鼎盛时期, 陶瓷器以不同地区、不同窑炉命名, 如烧制耀州瓷器的窑炉称为耀州窑。到了近代, 由于欧洲工业生产的迅猛发展, 工业加热技术和加热炉性能得到全面提升。我国从 20 世纪 50 年代以后才开始大力发展自己的工业, 加热技术主要来自苏联。20 世纪 80 年代引进欧、美、日技术, 如德国的德国沙技术、奥地利的爱协林技术、美国的易普生技术。20 世纪 90 年代, 在引进、消化、吸收国外技术的基础上, 国内工业加热技术得到全面发展, 其设计制造水平大

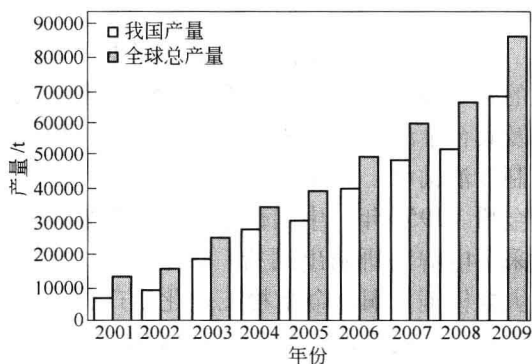


图 1-3 2001 ~ 2009 年我国与全球
烧结钎-铁-硼产量统计

幅度提高。进入 21 世纪后,随着传统材料工艺的改进和先进材料开发的需要,各类加热炉层出不穷。

1.2.1 粉末冶金加热炉的类型

粉末冶金加热炉是在粉末制备、开发及生产中应用最广的设备之一,其结构和类型最多。加热炉按照加热热源、使用的工作温度、使用的加热介质、作业方式、炉子形式、工艺用途的不同,具体分类如下:

- (1) 按加热热源分类,可分为燃料炉、电炉和太阳能加热炉;
- (2) 按工作温度分类,可分为低温炉(低于 700℃)、中温炉(700 ~ 1000℃)和高温炉(1000℃以上);
- (3) 按使用的加热介质分类,可分为气体保护加热炉、液体保护加热炉和真空加热炉;
- (4) 按作业方式分类,可分为周期式作业炉和连续式作业炉;
- (5) 按炉子的形式分类,可分为竖式炉和卧式炉;
- (6) 按工艺用途分类,可分为加热用炉和熔炼用炉。

粉末的还原、碳化、烧结、热处理、煅烧和干燥等用的是加热类型的冶金炉,而提炼金属、熔化金属等用的是熔炼类型的冶金炉。尽管粉末冶金过程中也少量使用燃料炉,但主要还是以电加热炉为主。因此,为突出这一重点,本书主要介绍电加热型粉末冶金炉(又称为粉末冶金电炉或电加热炉),而对其他类型加热炉只做一般性的叙述。

在电加热炉中,按热能来源的方式不同,可分为电阻加热炉、感应加热炉、电弧加热炉、等离子弧加热炉和电子束加热炉等。

电阻加热炉又可分为间接加热式电阻炉和直接加热式电阻炉。间接加热式电阻炉是指电流通过电热元件发出热量,借助辐射和对流使炉膛的温度升高,从而将被加热物料加热的电阻炉;直接加热式电阻炉是指电流由电源通过触头直接流过被加热物料并使其温度升高,从而加热物料的电阻炉,如钨条的高温垂熔就是采用这种加热方式。粉末冶金电炉中电阻加热炉用得最为广泛。

感应加热是利用电磁感应,在金属内激发出电流并使物料加热的方法。感应加热炉可分为有铁芯感应电炉和无铁芯感应电炉。

电弧加热炉可分为直接加热式电弧炉和间接加热式电弧炉。在直接加热式电弧炉中,电弧产生于电极与熔炼物之间;在间接加热式电弧炉中,电弧产生于物料上方的电极之间。电弧加热炉的应用范围主要是熔炼矿石和熔化金属,粉末冶金过程中采用雾化法制备铁粉或钢粉时会用到电弧加热炉;同时,新发展的离心雾化制粉方法中的旋转电极雾化也利用电弧加热的原理。

等离子弧加热炉是利用等离子弧作为热源来精炼、熔化金属的电炉,目前主要是采用直流等离子弧,它是用等离子喷枪对电弧压缩形成的,如制取微细碳化物常使用等离子法。

电子束加热炉的关键部件是电子发射系统,又称为电子枪。电子束加热已用于焊接、熔炼和热处理等方面,如连续式电子束退火炉用于需要在洁净环境下进行的金属材料(钛、铌、钽、锆及核反应堆用材料)的退火;电子束熔炼炉也常用于熔炼难熔的金属,如钨、钼等。

1.2.2 粉末冶金电炉的选用原则

工艺的多样性、产品批量的大小和生产成本的高低是选择粉末冶金炉炉型应考虑的主要因素。不同作业方式加热炉的性能特点及主要用途见表 1-4。对于单件、多品种工件的生产一般采用间隙加热炉，而对于大批量或工艺周期长的工件的生产一般采用半连续或连续加热炉。

表 1-4 不同作业方式加热炉的性能特点及主要用途

炉 型		性 能 特 点			用 途	
间隙加热炉		周期式装料，不重叠，每批装料量大	结构简单，操作方便，密封性好，热损失少，造价低廉	通用性强，便于调整工艺，热效率低	炉温均匀性较差，炉温易波动，工艺不易控制，工件质量稳定性差，不便于流水生产	单件多品种工件生产
半连续加热炉		生产工程有部分重叠，前批工件开始冷却，后批工件即开始加热	与周期式作业炉相似，具有可移动的炉罩、加热箱、炉罐或炉底	不便调整工艺，通用性差，质量稳定，生产率高，生产成本低	炉温均匀性较好，工艺易控制，工件质量较稳定	大批量生产和长周期生产
连续加热炉	脉动式	短时间歇装料，不同批工件装卸料，加热冷却同时进行，互相重叠	结构复杂，密封性较差，热损失大，造价高	不便调整工艺，通用性差，质量稳定，生产率高，生产成本低	炉温均匀性较好，工艺易控制，工件质量较稳定	大批量生产
	流动式	连续装料、卸料，生产过程重叠性更大	与脉动式作业炉相似	不便调整工艺，通用性差，质量稳定，生产率高，生产成本低	炉温均匀性较好，工艺易控制，工件质量较稳定	

炉型的选择还取决于加热热源、工作温度、所使用介质及工艺用途等。根据制品或零件的尺寸、形状、质量、批量和作业方式等因素，可选择加热炉的结构。炉子的结构类型主要取决于炉膛形状、炉底结构及进出料机构。各行各业的各种不同产品对材料的工艺要求变化很大，因此材料制备设备结构类型繁多。近年来，为了提高产量、保证质量、节省能源、减少环境污染以及改善劳动条件等，加热炉的结构更新非常快，使用性能也得到大幅度的提升。特别是加热炉工艺过程控制中计算机技术的应用，为设备的机械化、自动化流水线生产提供了技术条件。再加上各种辅助设备与加热炉配套组合成各种综合性的联动机或生产线，大幅度地提高了生产效率，稳定了产品质量，降低了生产成本，改善了劳动条件，减少了环境污染。

1.2.3 粉末冶金电炉的基本结构

1.2.3.1 炉膛与炉衬

炉膛是由炉墙、炉顶和炉底围成的空间，是对金属工件进行加热的地方。炉墙、炉顶