

高等学校教学用书

粉末冶金车间 设备及设计

GAODENG

XUEXIAO

JIAOXUE

YONGSHU

冶金工业出版社

高等学校教学用书

粉末冶金车间设备及设计

东北大学 李规华 主编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

图书在版编目 (CIP) 数据

粉末冶金车间设备及设计/李规华主编。 - 北京: 冶金工业出版社, 1994. 10

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-1483-5

I. 粉… I. 李… II. ①粉末冶金-车间-设计②粉末冶金设备-设计 IV. TF12

中国版本图书馆CIP数据核字 (94) 第03863号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

香河县第二印刷厂印刷: 冶金工业出版社出版: 各地新华书店发行

1994年10月第 1 版, 1994年10月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 11.5印张; 268千字; 175页; 1-1400册

7.00元

前 言

本书是根据粉末冶金专业教学计划编写的，供大学本科生在学完基础课、专业基础课和必要的专业课后，作为必修课学习的基本教材。学习本课程还应结合下厂实习和进行工艺课程设计训练，培养学生具有正确地选择粉末冶金车间设备，系统地进行车间工艺设计的能力。本书共分粉末冶金车间设备和粉末冶金车间设计两篇。书中引用的资料，取自有关书刊及国内工厂资料，在此特向各文献的原著者致以谢意。

参加本书编写的有北京科技大学吴成义（第一篇）和东北大学李规华（绪论及第二篇），由李规华统稿并担任主编。

中南工业大学姚德超教授、北京科技大学解子章教授和东北大学杨宝全副教授对本书原稿提出了许多宝贵意见，在编写过程中还得到了学校各级领导以及粉末冶金教研室教师们的关心和支持，在此谨对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不足和错误之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

1994. 1

3AC53/09

目 录

绪论	1
第一篇 粉末冶金车间设备	3
1. 制粉设备	3
1.1 固体碳还原制粉设备	3
1.2 气体还原制粉设备	5
1.3 雾化制粉设备	11
1.4 电解制粉设备	19
1.5 等离子炉制粉设备	19
1.6 制粒设备	22
1.7 粉末料的管道输送设备	22
2. 成形设备	25
2.1 油压机的基本结构及工作原理	25
2.2 机械式压力机的种类和结构原理	29
2.3 冷等静压机	35
2.4 其它成形设备	36
3. 烧结设备	40
3.1 烧结设备分类	40
3.2 中温烧结炉的结构及应用	41
3.3 高温烧结炉的结构及应用	42
3.4 真空烧结炉的原理、结构及应用	45
3.5 部分烧结炉的技术参数	50
4. 热状态致密化设备	51
4.1 加压烧结炉	51
4.2 热压机	52
4.3 热等静压机	54
4.4 热挤压机	59
5. 辅助设备	62
5.1 混料、筛分、破碎、球磨、磨粉设备	62
5.2 产品后续处理设备	71
第二篇 粉末冶金车间设计	75
6. 概述	75
6.1 设计的目的和任务	75
6.2 设计的依据	75
6.3 工业设计程序与设计工作的原则	76
7. 可行性研究	77

7.1 可行性研究的重要性	77
7.2 可行性研究的内容与步骤	77
7.3 可行性研究报告的内容	78
7.4 市场调查与预测	79
8. 厂址选择与总平面图	81
8.1 厂址选择	81
8.2 总平面图	82
9. 车间工艺设计	84
9.1 车间工艺设计的任务和说明书的编制	84
9.2 生产方案的选择	85
9.3 生产工艺流程的选择与论证	88
9.4 物料平衡计算	96
9.5 设备的选择与计算	106
9.6 车间劳动组织	109
9.7 技术经济概算	119
9.8 质量管理与生产过程控制	124
9.9 车间平面布置与立面尺寸	126
10. 车间厂房建筑设计	146
10.1 厂房建筑类型与建筑材料	146
10.2 厂房建筑结构及其布置	147
11. 车间辅助设施设计	156
11.1 电力设施	156
11.2 车间供水与排水	158
11.3 供热与供气	162
11.4 环境保护	166
主要参考文献	175

绪 论

粉末冶金学是材料科学的一个重要领域。各类粉末冶金材料、零件和制品在机械制造、轻纺工业、电器仪表、交通运输、计算机技术、地质钻探、石油化工及航海、航空航天和原子能等部门得到了越来越广泛的应用，在国民经济和国防建设中起着重要的作用。随着我国四个现代化的不断发展，各工业部门对粉末冶金产品的品种、数量及质量都提出较高的要求，为此，除了要对老企业进行技术改造外，还要新建、扩（改）建许多粉末冶金厂（车间）。

要建设新企业、扩建或改造老企业、必须进行车间设计，也就是要对新（改、扩）建的企业做出技术与经济的详细规划，确定出该企业的生产经济状况、技术经济指标及施工组织方法等。搞好设计工作，无疑是对企业在建设中加快速度、保证质量和节约投资，在建成后获得最好的经济效益起着决定性的作用。另外，工业现代化的关键在于生产管理的科学化和技术的现代化。设备是粉末冶金生产的重要物质手段和技术基础，正确选择和掌握好粉末冶金生产过程中的各种设备，对提高产品的产量和质量、增加劳动生产率、节约人力和能源、降低成本、改善劳动条件以及促进粉末冶金工业发展均具有十分重要的意义。因此，从事粉末冶金事业的科技人员必须学习和掌握粉末冶金车间设备的选择和使用以及车间设计的基本原理、基本方法，并通过实际训练培养独立进行工作的能力。

虽然目前国内外已经分别出版了一些粉末冶金车间设备或设计方面的教材及手册，但至今还没有一本比较集中、全面、系统地综合介绍设备和设计两方面知识的专门教科书。因此，我们期望本书能对教学和粉末冶金工业的发展有所贡献。

本书是根据高等学校粉末冶金专业本科“粉末冶金车间设备和设计”课程的教学大纲要求编写的。在车间设备方面重点介绍粉末冶金工艺过程中使用的各种设备，使学生了解设备的种类、特点与技术性能；在车间设计方面首先介绍车间工艺设计的内容，介绍如何根据具体条件选择与确定生产方案及工艺流程，编制劳动组织，进行经济核算，画出车间工艺平面布置图，并在此基础上提出对水、电、气、采暖通风、厂房建筑等方面合理的设计要求。本课程的目的是使学生具有正确选择粉末冶金车间设备，全面系统地掌握粉末冶金车间工艺设计的基本能力。

本书着重编写了“可行性研究”这一章。可行性研究是运用多种科学成果，以保证实现工程建设最佳经济效益为目标的一门综合科学。当前各工业发达国家搞工程建设，都要事先做可行性研究，这是近二十多年来，随着现代科学技术、科学管理和市场商品经济的发展而产生和发展起来的。国内外的实践表明，可行性研究是绝对不能忽视的，在这方面积累了很多成功的与失败的经验教训。

另外，由于粉末冶金材料和零件的种类十分繁多，对它们的工艺流程不能一一加以叙述，但为了学习和掌握工艺设计的基本方法，本书仅就最典型的硬质合金的生产工艺流程为例加以简要介绍和说明，以便举一反三，将其运用到其它粉末冶金产品的工艺设计中。

本书还编写“质量管理与生产过程控制”一节，简明扼要地阐述了质量管理、产品质

量、工序质量、全面质量管理以及工序质量控制，一般介绍了物料控制与过程控制的知识。最后，本书还较详细地介绍了粉末冶金企业中粉尘、废水、有害气体、防爆、防火、噪声等环境保护方面的内容和对策，以便引起人们的重视，消除公害，为人类造福。

第一篇 粉末冶金车间设备

1. 制粉设备

1.1 固体碳还原制粉设备

在粉末冶金生产中，固体碳还原法适用于生产铁粉。其设备主要为倒焰炉和隧道窑。目前国内外多采用隧道窑。图1-1、图1-2分别为车底式倒焰炉和隧道窑的结构示意图。

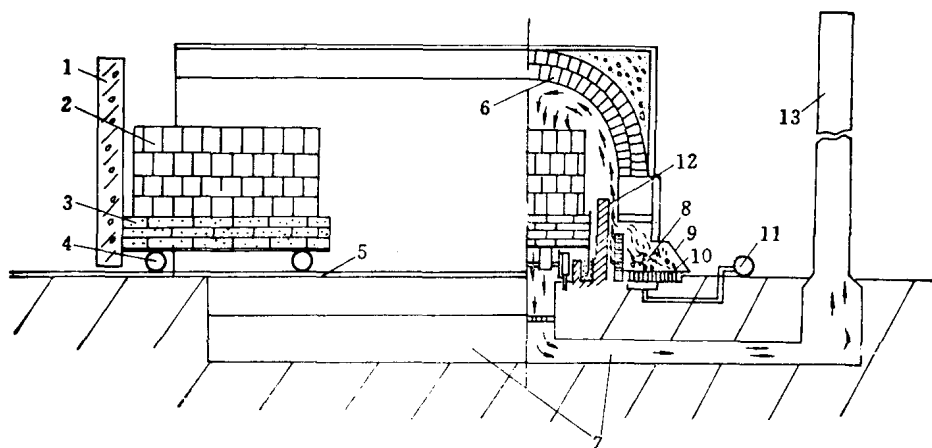


图 1-1 车底式倒焰炉示意图

1—炉门；2—还原料罐；3—台车耐火砖台面；4—车轮；5—轨道；6—拱顶耐火墙；7—底部主烟道；8—燃烧室；9—小炉门；10—炉篦子；11—鼓风机；12—挡火墙；13—烟囱

车底式倒焰炉一台炉子有两部台车。当一部台车出炉时，另一台车进入炉内。台车在炉内的轨道上由卷扬机牵引入炉。台车面由耐火砖砌成，并留有孔道直穿车底，并与底部主烟道勾通，可供燃烧的高温气流均匀的穿过各层料罐，保持炉内温度均匀。燃烧室的底部铺有炉算，烟煤点燃后在鼓风机强力供风下，燃气经挡火墙反射后流向拱顶，再经拱顶反向穿过料罐进入主烟道，最后由烟囱排入大气。当炉内温度达到1150~1200℃并保持足够时间即可将铁鳞还原成铁粉。

图1-2(b)为隧道窑高温带断面图，检修坑道是专为检修窑车而设。台车由水平油压机推动沿轨道进入窑内。加热是由燃烧喷嘴喷出的高温火焰直接加热还原料罐。余气向拱顶汇合再经隧道窑头部的两个排烟道向烟囱排出。台车的台面由耐火材料砌成。为防止燃气进入台车下部，在台车侧面与隧道窑下侧设有砂封槽，以防止燃气烧毁车轮轴瓦。测温采用铂-铂铑（或镍铬-镍硅）热电偶。测温点可选在炉顶，也可在窑的侧面。高温带一般设4~6个测温点。预热带和冷却带须设3个测温点。所有各点的炉温测量都采用自动显示仪表。在条件较好的厂家把燃油喷嘴的自动控制、炉温的自动控制和窑车的自动推进等通过

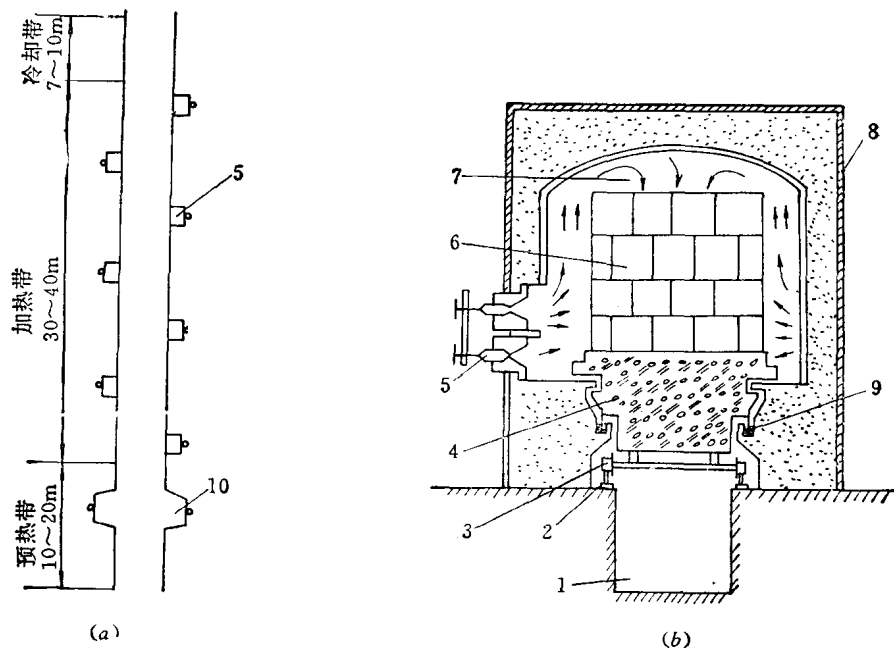


图 1-2 隧道窑结构图
(a) 隧道窑平面图, (b) 隧道窑高温带断面图

1—检修坑道; 2—轨道; 3—台车; 4—台车的台面; 5—燃烧喷嘴; 6—还原罐; 7—反射拱顶, 8—炉壳; 9—砂封槽; 10—烟道

微机联网, 实现了隧道窑的全自动化。

隧道窑的喷嘴一般分布在隧道窑左右两侧, 见图1-2(a)。当隧道的断面很大时, 每个加热点需安装上、下两个喷嘴, 甚至三个。为了使台车及还原料罐在运动过程中均匀受热, 喷嘴在隧道窑左右两侧应呈非对称安装, 这样可以节省燃料。

喷嘴喷出的燃料为重油, 也可用煤气或天然气, 这种燃料的燃烧值较固体燃料高, 容易实现自动控制。

在生产中无论是车底式倒焰炉或是隧道窑, 均采用陶瓷罐作为还原料罐。在自动化程度较差的工厂, 一般用人工装料, 此时料罐多采用有底的陶瓷筒 (见图1-3)。装料时用特

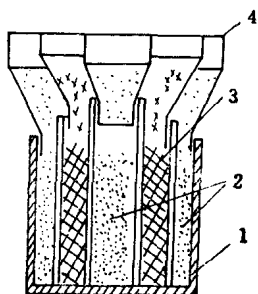


图 1-3 还原罐及装料示意图

1—陶瓷罐; 2—还原剂; 3—铁鳞粉; 4—分料器

制形状的分料器将还原剂 (无烟煤等) 与铁鳞分开, 在空间上形成还原剂包围铁鳞的状态。即铁鳞粉末在罐内呈圆筒状, 其心部充满还原剂, 外部也有一层还原剂包围。还原剂的总碳量应超过理论需要量的20%, 并严格控制含水量。

实际生产中使用的装罐机其机架很高大。图1-4为机械化装罐示意图。分料漏斗是由三层同心圆筒组成, 各层空间分别与料仓中的还原剂或铁鳞供料管道接通。装料时先将分料漏斗直插陶瓷罐底部, 在装料时随物料粉末的升高分料漏斗逐渐提升, 直到装满。

这种机械装料使用的陶瓷罐是无底的陶瓷料罐, 通过接口一节节对接而成。上述陶瓷

料罐用两种材料制成。一种料罐多用硅砂或镁砂加粘土制成，其成本较低但寿命很短；另一种采用SiC材料烧结制成，其寿命可提高到60~100次，但成本很高。我国某些厂家采用SiC：74%，SiO₂：10%，Al₂O₃：6.8%的碳化硅直筒形耐火罐。

在设计倒焰窑和隧道窑时，主要应考虑燃烧点的配置，高温燃烧气流的运动路径与窑内温度分布的均匀性。无论使用何种燃料，燃烧点一般在窑的两侧呈非对称配置。燃烧产生的高温气流一般不直接加热还原料罐，而是经挡火墙反射到窑拱顶，再反射到料罐，并穿过料罐间隙向烟道排出。这样才能保证窑内各处温度差不超过±20℃。

倒焰窑窑身较短，外型尺寸一般长15~20m，高3~4m，宽5~6.5m，窑内腔尺寸长15~20m，宽2~3m，高2.2~2.5m，窑内只有一个温度区。台车快速进出窑内，陶瓷料罐因急冷急热破裂使用寿命较短，正因如此倒焰窑产量低（一般3~5t/d）能耗高（1.2~2.0t/t，以每t铁粉耗煤量计），劳动条件差。近年来已被淘汰。

隧道窑窑身较长，外型尺寸长150~200m，宽6.5~8m，高5~7m；窑内腔长150~200m，宽2.5~3.5m，高3~3.5m。一般有预热带、加热（还原）带和冷却带。在保证还原温度和冷却带长度的条件下，还原带的长度是决定该窑铁粉产量的关键参数。近年来国内外隧道窑单台年产量达10000~40000t，日产量30~130t。随着机械化自动化水平提高，隧道窑的产品产量和质量远超过倒焰窑。世界最有名的隧道窑在瑞典的Högnas公司。我国最长的隧道窑在武汉钢铁公司。隧道窑目前被世界公认为是生产海绵状铁粉的主要设备。

1.2 气体还原制粉设备

在粉末冶金工业生产中，气体还原法可用于生产钨粉、钼粉、钴粉、镍粉、铜粉、铁粉、铅粉、银粉等金属粉末。批量最多的粉末为钨、钼、钴、镍粉。

气体还原炉的种类大致可分为矩形管式炉、圆形管式炉、回转炉、碳管炉四类。无论何种还原炉都必须具有加热和冷却物料的功能、通入还原气体和排出废气的功能、物料给进和产物出炉机构、温度测量及自动控制系统等。实际生产中采用何种炉型要根据各种炉子的特点合理选择。

1.2.1 矩形管式还原炉

矩形管式还原炉的结构如图1-5所示。此图为两管还原炉，炉管呈上、下分布，也有的呈左、右分布。若在一个炉体内同时安装四个炉管，称为四管还原炉，这种炉子近年来已被淘汰。

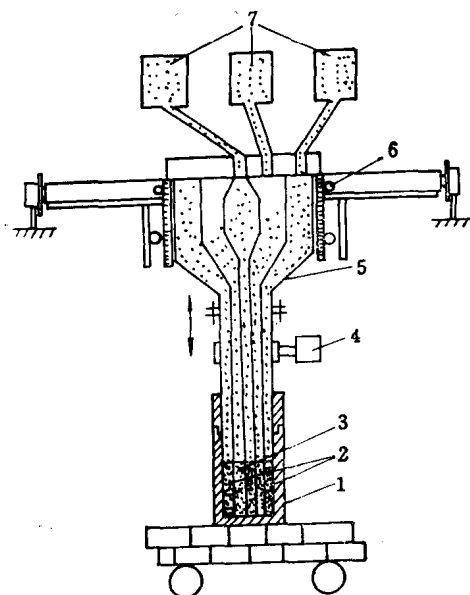


图 1-4 机械化装罐示意图
1—陶瓷料罐；2—还原剂层；3—铁鳞层；
4—振动电极；5—分料漏斗；
6—提升及移动机构；7—料仓

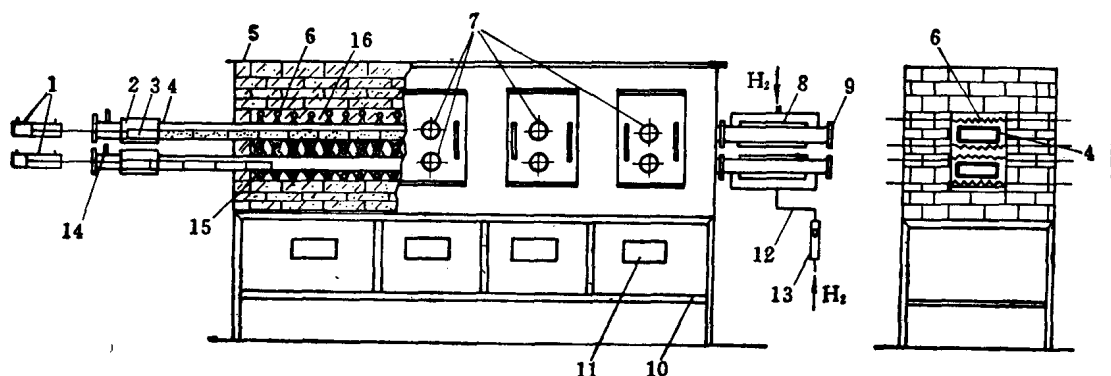


图 1-5 矩形管式还原炉结构示意图

1—物料推进气缸；2—进料炉门；3—装料舟皿；4—矩形炉管；5—炉壳；6—加热丝；7—热电偶；8—水冷套；9—出料炉门；10—炉架；11—控温仪表；12—氢气入管；13—转子流量计；14—出气管；15—炉丝托砖；16—炉丝吊砖

矩形管式还原炉适用于氢还原三氧化钨制取蓝钨或二氧化钨粉的工序，有些厂家也用由二氧化钨或蓝钨还原制取钨粉，也可以用来作铁粉的二次还原。

矩形管式还原炉的炉管是用Cr25 Ni20(最高使用温度1050℃)或1Cr18Ni9Ti(最高使用温度850℃)耐热不锈钢板焊接而成。炉管的截面形状为矩形。早期的截面形状为马弗形，即矩形的上边为弧形。此种近年来已很少采用。炉管焊接后不得漏气。在炉管两端口分别安装有进、出料炉门以便舟皿进出。炉管的左端一般称为炉头，安装有机式或气液缸推料机构。炉管右端(炉尾)的炉管外部，焊有冷却水套。还原后的粉末先经水套在炉管内氢气保护下冷却后方能出炉。氢气经转子流量计后进入氢气输入管道，再由炉尾端进入炉管内，向炉头端流动。在炉管内氢气的流动方向与物料舟皿的推进方向恰好相反，这样可以更好的排除钨粉或其它还原产物中的水蒸气，防止钨粉氧化和颗粒长大。但在特殊情况下如生产粗颗粒钨粉时，也可采用顺舟皿推进方向通氢。出气管用来排出炉管内的废气。废气中除含有大量水蒸气外，仍有40%体积以上的氢气，一般的生产厂家将此废气在出气管处点燃(不回收)。条件较好的厂家，可增设一套氢气回收和净化系统。

还原炉的加热丝是沿炉管的垂直方向分四层配置的。炉体内的加热区按还原工艺要求可分成二带、三带或四带。各带的加热丝独立供电并和测温热电偶、自动控温仪表组成完整的供电、测温及自动控制系统。

为了将加热丝合理的配置在炉管周围，并解决高温绝缘问题，炉内向下辐射加热的炉丝需采用特制的吊砖固定。向上辐射加热的炉丝需采用托砖固定。

在我国使用矩形管式炉已有近40年历史。基本结构变化不大，目前有所改进之处只是在推料机构、出料机构及温控等系统采用了微机控制。有些国家在装舟、出舟、粉料管道输送等方面也实现了微机联网，形成了整个还原工序的微机全自动控制。

矩形管式还原炉的生产效率除与还原物料的种类有关外，还与炉管的截面积(装料量)、炉管长度(加热带长度)、水冷套长度、还原气体的流量、还原温度等主要因素有关。在保证还原温度和还原气体供给量的条件下，炉管截面积越大，加热带和冷却带越长，

单台设备产量越高。

矩形管式还原炉的优点为结构简单、造价低、容易制造、质量较稳定,缺点是产量低、能耗大、不易实现机械化和全自动化。

矩形管式还原炉还可以作为1050℃烧结炉用(使用Cr25Ni20钢板),可用来烧结铜基粉末冶金零件或其它烧结温度不高于1050℃的产品。

工业中常用的二管矩形管式还原炉外型尺寸一般为长5~8m,高1.4~1.7m、宽1.2~2m。功率40~45kW,耗水量1.2~2.5t/h,还原钨粉时氢气消耗量6~8m³/h,钨粉产量200~350kg/d。

1.2.2 圆形管式还原炉

它在结构、外型尺寸、工作原理及影响生产效率的因素上与矩形管式还原炉基本相同。它共有11根管,分两层排列,上层6根,下层5根。由于物料分散,与氢气的接触面积大,并易于排除水蒸气,故多用于二次还原生产细颗粒钨粉,且易控制质量。其产量200~250kg/d。

1.2.3 钢带式还原炉

图1-6为日本川崎公司的钢带式还原炉结构示意图。

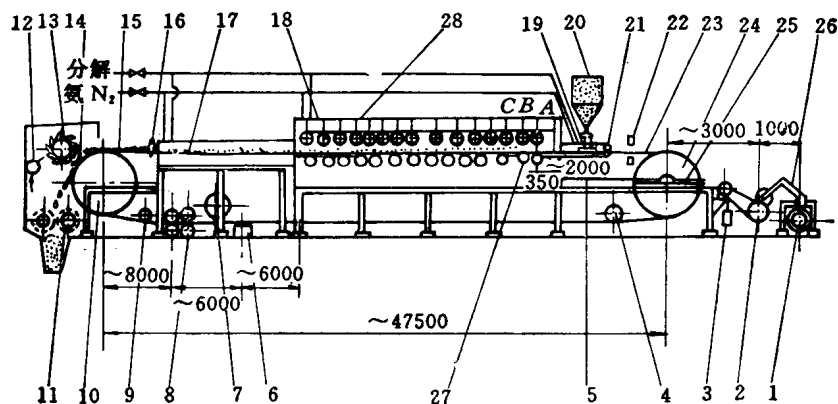


图 1-6 钢带式还原炉结构示意图

- 1—卷扬机; 2—卷带机; 3—张紧装置; 4—改向轮; 5—炉料对中装置; 6—焊接台; 7—备用带 $b \times \delta$
=1250×1.2; 8—压紧传送辊 $\phi 400$; 9—改向轮 $\phi 400$; 10—炉尾滚筒 $\phi 1500 \times 1400$; 11—辊式破碎机;
12—吸气口; 13—扒料机; 14—铲料板; 15—海绵铁; 16—密封辊(泡沫塑料); 17—冷却板;
18—还原段; 19—预热段; 20—料斗; 21—密封辊(橡胶); 22—钢带跑偏控制; 23—工作钢带;
24—炉头滚筒 $\phi 1500 \times 1400$; 25—钢带调偏装置; 26—压带辊; 27—钢带托辊; 28—加热元件

这种炉子主要用来做铁粉的二次还原,被还原物料直接放在钢带上,不使用舟皿。整个钢带是一个封闭的能循环转动的履带,经炉头和炉尾两个大滚筒带动旋转。钢带宽1250mm,厚度1.2mm。炉膛内有很多托辊支撑钢带在炉内移动。加热方式采用单面辐射加热,加热源采用焦炉煤气,先加热辐射管,然后由辐射管再辐射加热被还原物料。也可用铁铬铝丝加热元件代替燃气辐射管。由于采用单面辐射加热,故钢带下部的托辊较易冷却。

钢带进炉口处的密封采用了橡胶辊将钢带和炉口钢板间滚压密封。炉尾端因钢带上物料表面不平,故采用软橡胶辊或泡沫塑料辊滚压密封。这种炉子全长49m,产量约600kg/h,

自动化程度很高，但造价很高，目前在国内很难推广使用。

1.2.4 碳管还原炉

碳管还原（碳化）炉简称碳管炉，其结构见图 1-7。碳管炉的结构特点在很大程度上

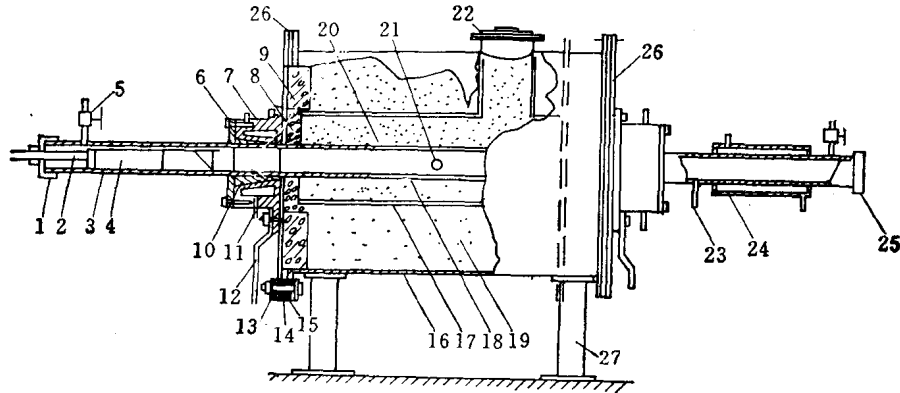


图 1-7 碳管炉结构示意图

1—进料炉门，2—推料杆，3—炉头延伸管，4—石墨舟皿，5—废气出口，6—法兰盘，7—水冷铜套，8—耐火材料定位套，9—耐火砖定位套，10—石墨锥形压环，11—水冷管，12—导电极板，13—绝缘套，14—石棉板，15—炉体法兰，16—炉壳，17—石墨绝热管，18—石墨加热管，19—保温绝热碳黑，20—绝热碳黑，21—辐射高温计，22—碳黑加料盖，23—保护气进口，24—水冷套，25—炉门，26—炉体端板，27—炉架

是由加热元件的特点所决定。其加热元件为一长0.5~2m的石墨管，截面积一般为1000~12000mm²，整根石墨管作为电阻发热元件时显然电阻很小，即使在低电压下也会形成很大电流。故其供电特点为低电压（0~25V），大电流（1~20kA）。这种大电流供电在电器接头上必须采用水冷装置，若结构设计不当将会在接头处产生大量的热量，或因起弧烧毁。

常用的接头如图1-7所示，它是由水冷铜套及石墨锥形压环组成。水冷铜套的内孔为锥形孔。在它与石墨管形成的锥形空间内，用一锥度与之完全相同的高强度石墨锥形压环塞紧。石墨锥形压环上加工有弹性缝隙（见图1-8）。其材料除用高强度石墨外，还可用球墨铸铁、青铜等。

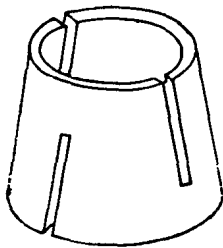


图 1-8 锥形压环的弹性缝隙

水冷铜套通过螺栓与炉体端板联接，导电极板直接与水冷铜套联接。为使两电极间不被炉体的钢板短路，故在炉体端板的边缘与炉体法兰之间，用缘绝套绝缘，然后用螺栓将两端的炉体端板固定在炉体法兰上。为使炉体不漏气，又在炉体端板与炉体法兰之间用石棉板作为密封垫。水冷铜套与炉体端板之间以及法兰盘与水冷套之间，也用石棉板作密封垫。因石墨加热管温度很高（1600~2200℃），周围要用碳黑粉作绝热保温材料。石墨绝热管的两端用耐火材料定位套固定，其外部也用碳黑粉作保温材料。

加料盖的下部有一石墨管或陶瓷管直通石墨绝热管内，可通过此通道装填碳黑粉。炉头延伸管和炉尾装有水冷套的延伸管，均通过法兰盘与水冷铜套用螺栓联接。舟皿由左侧炉门进入延伸管内，经推料杆向炉内推进。碳化后的物料经水冷套冷却后由炉门出炉。在

碳化或还原过程中若需通入保护气体时，可经炉尾的保护气通口通入。

碳管炉的测温元件一般采用热电堆式的辐射高温计或光导纤维式辐射高温计。为了设置光源的辐射通道，可在炉壳体侧面开一个 $\phi 50\text{mm}$ 小孔，用一石墨管穿过绝热管直插到石墨加热管的外壁。这样可防止碳黑粉堵塞光源的辐射通道。测温仪表多采用数码显示仪表。

碳管炉的产量主要由石墨加热管的长度和内径决定。一般碳管越粗、越长，产量越高。

表1-1为生产YG类中颗粒碳化钨粉的碳管炉技术性能指标。

表 1-1 碳管炉技术性能指标

加热管尺寸		炉体外形尺寸	产量(估算)	产量(估算)	动力消耗	
内径/外径	长度(m)	长×宽×高(m)	班产(kg)	年产(t)	电力(kW)	水耗(t/h)
$\phi 50/\phi 65$	9.9	$2 \times 1 \times 1.2$	7~9	2.1~2.8	12~15	0.3~0.5
$\phi 60/\phi 72$	1	$2 \times 1 \times 1.2$	10~12	3~3.6	18~20	0.4~0.6
$\phi 80/\phi 96$	1.2	$2.5 \times 1 \times 1.4$	18~25	8~10	28~35	0.7~0.9
$\phi 100/\phi 120$	1.4	$2.75 \times 1.2 \times 1.4$	80~90	25~28	50~65	1~1.2
$\phi 120/\phi 150$	1.5~1.6	$3 \times 1.2 \times 1.4$	100~120	30~36	65~70	1.2~1.5
$\phi 150/\phi 190$	1.7~1.8	$3.2 \times 1.5 \times 1.5$	150~180	45~55	70~75	1.5~1.8
$\phi 160/\phi 200$	1.8~2.0	$3.8 \times 1.6 \times 1.6$	200~250	60~70	85~100	1.8~2.0

1.2.5 回转管式还原炉

回转管式还原炉的主要特点是还原炉管在工作中通过不停的回转，以使被还原的粉末均匀的分散在管内各槽板上，这样被还原粉末与氢气的接触面积增加，从而加快反应速度。另一方面被还原的粉末从一个“T”形槽板向另一个槽板转移时都有一个倾斜的“撒落”运动，这种运动不但更有利于被还原物料与氢气的接触，而且更有利于排除还原产物中的水蒸气，同时物料在“撒落”过程中将要利用炉管的倾斜角度 α ，获得一个向前的位移。为了进一步说明回转管的工作原理，首先介绍物料在回转管内的运动状态（图1-9）。

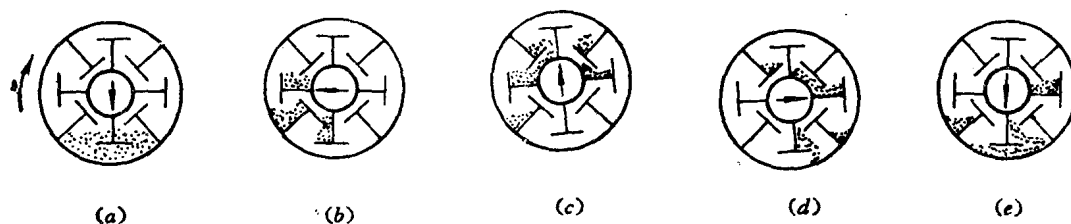


图 1-9 回转管内物料运动的情况

图1-9 (a) 为进料位置。当回转管旋转时，这部分物料被槽板带起，见图1-9 (b)，当管旋转到 (c) 位置时物料被分隔成四个部分。在运动过程中有一次“撒落”运动。当管旋转到 (d) 位置时物料仍分隔成四部分，而且物料在这些位置上又经过一次翻动。当管旋转到 (e) 位置时物料被分隔成六个部分。同时有四个部位的粉末均有一次撒落运动。如果被还原的物料不断从进料螺旋推料器中进入到炉管内时，则“T”形槽板仍按上述规律

把物料分散在各“T”形槽板的空间内，同时重复上述“撒落”运动。粉末的位移量 s 按下式计算，见图1-10。

$$s = H \cdot \tan \alpha \cdot n \cdot N \cdot T \quad (1-1)$$

式中 s ——粉末在时间 T 内的总位移量；
 H ——粉末撒落时的高度（一般为20~30mm）；
 α ——炉体倾斜角（一般为5~8°可调）；

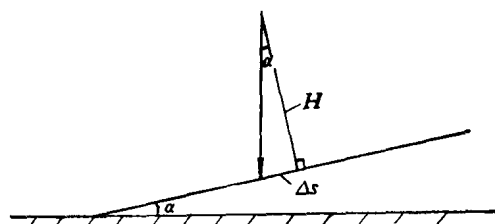


图 1-10 粉末水平位移计算图

n ——回转管旋转一周时粉末撒落次数（一般为5次）；
 N ——回转管转速，一般为6~10r/min；
 T ——粉末穿过炉管全长所需时间。

图1-11为回转管式还原炉的结构示意图。

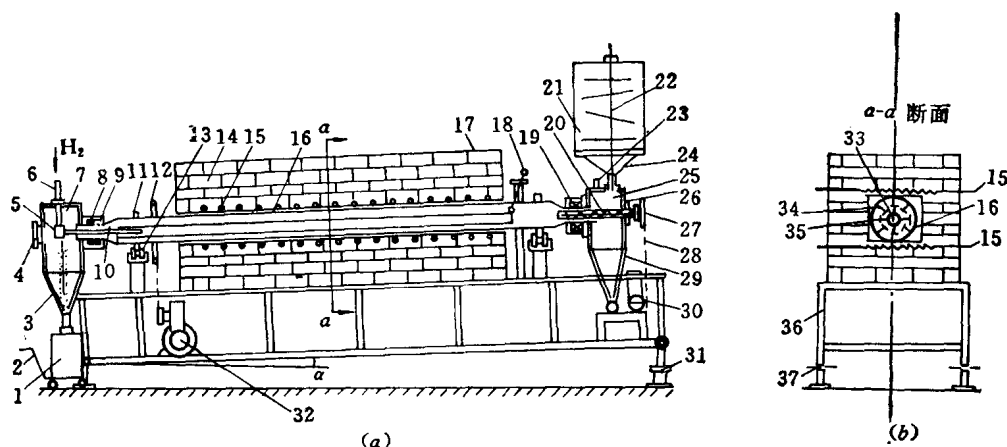


图 1-11 回转管式还原炉结构

1—料桶；2—手推车；3—下料仓漏斗（双层水冷）；4—观察孔；5—氢气管接头；6—氢气进口管；7—下料仓；8—填料函式密封套；9—回转管密封喉管；10—回转管缩径锥；11—托轮箍；12—大链轮；13—托轮；14—耐火砖；15—加热丝；16—回转管外管；17—炉壳；18—振打锤；19—填料函式密封套；20—螺旋推料器；21—三氧化钨料仓；22—搅拌轴；23—废气排出口；24—下料漏斗；25—下料管；26—加料仓；27—推料器链轮；28—链；29—返回料回收仓（双层水冷）；30—减速器；31—角度调整螺母；32—减速器；33—回转管内管；34—“T”形外槽板；35—“T”形内槽板；36—炉架；37—铰轴

回转管的旋转运动是由马达经减速器32和大链轮12带动。通过两个大轮箍可在下部的四个托轮13上滚动。

为了使旋转密封面减小，回转管两端采用缩径的办法将回转炉管两端的直径减少到 $\phi 220\text{mm}$ 左右，形成较细的密封喉管9。为了使炉管在回转过程中不能泄漏氢气，故炉管两端设计了填料函式密封套8（内充石棉盘根）。在炉头端为了进料方便，采用了螺旋自动推料器20。螺旋推料器的下料管25与三氧化钨料仓21的下料漏斗24联接，这样可保证自动给料。螺旋推料器的给料速度可通过改变推料器链轮齿数来改变。一旦给料过多，炉管内必有一部分料返回，并落入返回料回收仓29内。还原的废气经加料仓26的较大空间冷却后由废气排出口23排出。还原后的钨粉经缩径锥10上的提料板提到喉管处然后经滚动可直

接落入下料仓漏斗3冷却,最后进入料桶1内。氢气是由氢气进口管6经管接头5转向而通入炉管内。炉管内氢气的流动方向与还原物料的运动方向相反。

回转管在加热炉的炉膛内可以自由回转,见图1-11(b)。考虑到炉丝更换容易,一般采用横穿炉丝结构。为了使炉体的角度可调,在炉头一端设计了角度调节螺栓31。在物料进入端由于反应产物水蒸气的浓度很高,容易使三氧化钨粘结在T形槽板表面,故在炉头处设计了振打锤18,其动力可用自重或电磁力。

在还原钨粉时,回转管式还原炉的产量较四管还原炉高3~4倍,而且自动化程度很高。与二管还原炉和十一管还原炉比较,省去了大量的舟皿和装舟、卸舟时间,极大地减轻了劳动强度,且产品质量稳定。在我国用来生产钨粉和钼粉已有20多年历史。在投产设备的台数上我国居世界第一位。

回转管式还原炉目前还未制定国家标准。只能根据某些使用设备的性能指标和一些估算结果列出几种回转管式还原炉的技术指标,见表1-2。

表 1-2 回转管式还原炉技术指标

炉管尺寸(mm)	T形槽板 对数	炉管 长度(m)	加热带温度(°C)				年产量 (t)	消耗功率 (kW)	耗水量 t/h
			I	II	III	IV			
500/120	5	6.5	500~600	650~700	750~780	750~780	65~75	60	2.2
450/110	4	5.5	500~600	650~700	750~780	750~780	60~65	55	2.2
400/100	4	5	500~650	680~720	750~780	—	45~50	50	2
350/100 ^①	4	4	500~650	680~720	750~780	—	20~30	45	1.8
300/85 ^①	4	4	500~650	680~720	750~780	—	15~20	40	1.5
210/60		3	500~650	750~780	—	—	10~12	38~40	1.5

① 估计数据。

1.3 雾化制粉设备

在粉末冶金工业中,用雾化法生产金属及合金粉末的设备很多,目前国内外使用的主要有气体雾化装置、水雾化装置、离心雾化装置、复合雾化装置。

1.3.1 雾化制粉设备分类

1.3.1.1 气体雾化制粉设备 图1-12是气体雾化制粉装置示意图,它主要由气源系统、熔炼系统、雾化系统、除尘系统四个部分组成。气源部分是由空气压缩机、储气罐,气体管道及阀门等组成,这些都是标准设备。可根据雾化时所消耗的气体压力和流量要求,合理选择空气压缩机的型号及储气罐、气体管道的尺寸。熔炼系统是由中频电源、中频感应熔炼炉组成。中频电源的主要技术参数是电源功率和电源频率。中频电源频率一般在2500~20000Hz左右。采用可控硅管变频的中频电源,其频率一般为8000Hz。这种频率对冷坩埚悬浮熔炼尤为适宜。

中频感应熔炼炉在我国为标准设备,分无芯(用于熔炼钢铁)和有芯(用于熔炼有色金属)两种。使用时可根据每炉熔化的合金量来确定感应炉的型号及所配中频电源的功率。但应注意必须配备有倾注机架,以便合金熔液缓慢可控制地注入加热漏包中。