

武汉工业大学出版社

石墨▶

仇心礼 编著

生产指南▶

图书在版编目(CIP)数据

石墨生产指南/仇心礼编著. —武汉:武汉工业大学出版社,1997.4
ISBN 7-5629-1245-9

I. 石… II. 仇… III. 石墨-生产工艺-指南 IV. TQ165-62

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路14号 邮编430070)

武汉工业大学出版社中南三〇九印刷厂印刷

(湖北省安陆市九号信箱 邮编432600)

*

开本 787×1092 1/16 印张:13 插页:2 字数:321千字

1997年4月第1版 1997年4月第1次印刷

印数:1—1000册 定价:19.00元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

序

随着科学技术的发展,非金属矿的开发利用已成为当今世界的热点,为加速我国石墨资源的开发利用,满足石墨行业广大职工提高技术素质与管理水平的需要,作者仅编写此书以作奉献。

全书共分三篇十章,分别阐述了石墨选别前的准备作业、选别作业及选别产品处理;也涉及到石墨产品进一步提纯与超微粉碎、产品检验、选矿实例及国内外生产技术水平等方面;并依据石墨生产工艺流程及设备配置,着重介绍了浮选操作及影响因素;常用设备的构造、性能、工作原理、优缺点与操作维护等。所涉及到的理论知识也作了浅显的介绍。

此书与一般同类书籍相比有三大特点。一是理论与实践相结合。对影响产品产量和产品质量的三度(粒度、浓度、酸碱度)、三量(药量、泡量、矿量)及工艺流程等七大因素作了较为详尽的介绍,这对操作工人和现场技术管理人员有着现实的指导意义。

二是编入了近期在石墨行业应用已获成功的新设备、新工艺、新技术,如GZG型管束式石墨干燥机、气流超微粉碎机及石墨纸生产线等。这对从事本行业的工程技术人员知识更新和企业的技术进步与发展颇有实用价值。

三是编入了大量的国内外石墨生产和贸易方面的内容,列举了石墨的产量、消耗量、进出口量和产品销售价格等方面的基础数据,这有助于将由生产型向生产经营型转化的企业加速适应市场经济,满足本行业经贸人员的需求。体现科工贸一体化,构成了本书的特色。

总之,本书专业性很强,很有指南的特征,可供本行业的工程技术人员参考,可作为石墨选矿技术工人的读物,亦可供生产管理与经贸人员作为常备的工具书查阅。

作者敢于注重实践予以创新,一书多用,当是成功之作,定会倍受读者欢迎。

全国非金属矿选矿学组组长 曾宪滨
武汉工业大学教授

1995年1月25日

编者的话

本人从事石墨行业的工作长达 20 余年。实践了从学校的教学到现场的实际操作,从国外引进先进的设备与技术的洽谈到安装调试,从生产到经贸等石墨行业的方方面面。一种对本行业热爱的深厚感情和力图推动本行业加速发展的执著追求,促使着我一直想写一本侧重于生产实践指南方面的书。而今这一愿望在有关领导的支持下,同行专家教授的指导下,有关单位的协助下实现了。

在编写的过程中得到了国家建材局局长秘书郝振华、中国非金属矿工业进出口公司常务副总经理于延棠、宜昌金昌(联营)石墨矿矿长王清成和内蒙古林浩石墨制品有限公司总工程师吴益民等高级工程师的大力支持,为编写本书提供了大量的宝贵资料。

武汉工业大学资源工程系、宜昌县石墨矿(现更名为宜昌石墨工业公司)和湖北省非金属矿工业公司给本人提供了教学、生产和经贸等方面的实践机会。

武汉工业大学曾宪滨教授、苏州非金属矿山设计研究院罗佑初高级工程师和于延棠高级工程师对本书的编写进行了指导和审查,全书由曾宪滨教授进行审定。

中国非金属矿工业进出口总公司总经理兼中国非金属矿工业协会理事长李宝银教授为本书的出版题写了“振兴石墨工业 学习科学知识”的题词;宜昌石墨工业公司对本书的出版给予了热情的支持,对此一并表示感谢。

在编写的过程中重点参考了武汉建筑材料工业学院和山东南墅石墨矿合著的《石墨选矿》和中南矿业学院矿山系浮选教研室编写的《浮选》等书籍,对这些书的编写者,利用这个机会也表示谢意。

由于本人时间紧迫,理论知识、实践经验所限,加之编书的经验欠缺,所以书中的不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

1995 年 1 月 10 日于武汉

目 录

第一篇 石墨的基础知识	1
第一章 石墨和石墨矿床	1
第一节 石墨的性质、用途、分类和技术指标	1
第二节 石墨矿床和矿石	4
第三节 石墨资源	8
第二章 选矿概述与石墨选矿特点	10
第一节 选矿方法和选矿过程	10
第二节 选矿的技术术语和工艺指标	11
第三节 石墨选矿特点	13
第二篇 石墨生产	15
第三章 准备作业	15
第一节 概述	15
第二节 破碎作业	16
第三节 磨矿作业	26
第四节 水力分级作业	35
第四章 选别作业(选浮)	38
第一节 浮选的基本原理	38
第二节 浮选药剂	41
第三节 浮选机械	46
第四节 浮选技术操作——影响浮选过程的因素	58
第五章 石墨选矿产品的处理及检验	67
第一节 石墨选矿产品的脱水	67
第二节 石墨选矿产品的干燥	71
第三节 石墨产品的分级和包装	80
第四节 石墨产品的检验	83
第六章 石墨产品的提纯、粉碎和制品加工	86
第一节 石墨产品的提纯	86
第二节 石墨产品的粉碎	89
第三节 石墨的制品加工	95
第七章 石墨选矿实例	108
第一节 南墅石墨矿	108
第二节 柳毛石墨矿	109
第三节 兴和石墨矿	109
第四节 宜昌石墨工业公司	110
第五节 前苏联查瓦里耶石墨矿	112
第六节 朝鲜东方石墨矿	113
第八章 国内外石墨生产技术水平对比	114
第一节 选矿技术	114
第二节 石墨选矿厂除尘	115

第三节 石墨精矿提纯	116
第三篇 石墨贸易	117
第九章 石墨产供现状	117
第一节 国外石墨生产状况	117
第二节 我国石墨生产状况	119
第十章 石墨国际贸易现状	123
第一节 世界石墨消费国及进口量	123
第二节 我国石墨出口状况	127
第三节 石墨产品销售价格	129
参考文献	133
附录 1 鳞片石墨国家标准(GB/T3518—95)	134
附录 2 微晶石墨国家标准(GB/T3519—95)	144
附录 3 石墨细度检验方法(GB/T3520—95)	149
附录 4 石墨化学分析方法(GB/T3521—95)	152
附录 5 可膨胀石墨国家标准(GB/T10698—89)	161
附录 6 柔性石墨板技术条件(JB/T7758.2—95)	167
附录 7 阀门用柔性石墨填料环技术条件(JB/T6617—93)	170
附录 8 柔性石墨编织填料机械行业标准(JB/T7370—94)	177
附录 9 柔性石墨复合增强(板)垫机械行业标准(JB/T6628—93)	183
附录 10 柔性石墨金属缠绕垫片技术条件(JB/T6369—92)	191
附录 11 石墨浮选常用药剂	196
附录 12 常用标准筛制	197
附录 13 矿浆浓度换算表	198

石墨具有良好的导热性和导电性。虽然石墨的导电性不能与铜、铝等金属相匹敌,但与一般的材料比,其导热导电性是相当高的,如比不锈钢高 4 倍,比碳素钢高 2 倍,比一般的非金属高 100 倍。

石墨的导热性,不仅超过钢、铁、铝等金属材料,而且随温度升高,导热系数降低,这和一般金属材料不同,一般金属的导热系数随着温度的升高而增大。在极高的温度下,石墨甚至趋于绝热状态。因此在超高温条件下,石墨具有隔热性。

4. 润滑性

石墨的润滑性能类似于二硫化钼,摩擦系数小于 0.1。其润滑性能随鳞片大小而变,鳞片愈大,摩擦系数愈小,润滑性能愈好。

5. 可塑性

石墨具有可塑性,可展成透气透光薄片,但高强石墨硬度很大,以至用金刚石刀具都难以加工。

6. 化学稳定性

常温下石墨具有良好的化学稳定性,能耐酸、耐碱、耐有机溶剂的腐蚀,但高温时易氧化。

二、石墨的用途

由于石墨具有许多优良的性能,因而在冶金、机械、电气、化工、纺织、国防等工业部门获得广泛应用。

1. 作耐火材料

石墨的一个主要用途是生产耐火材料,包括耐火砖,坩埚,连续铸造粉,铸模芯,铸模洗涤剂 and 耐高温材料。近 20 年来,耐火材料工业中两个重要的变化是镁碳砖在炼钢炉内衬中被广泛应用,以及铝碳砖在连续铸造中的应用。使石墨耐火材料与炼钢业紧密相连,全世界炼钢业约消耗 70% 的耐火材料。

(1) 镁碳砖 镁碳耐火材料是 60 年代中期,由美国研制成功,70 年代,日本炼钢业开始把镁碳砖用于水冷却电弧炉炼钢中。目前在世界范围内镁碳砖已大量用于炼钢,并已成为石墨的一种传统用途。80 年代初,镁碳砖开始用于氧气顶吹转炉的炉衬。目前英国用作氧气顶吹炼钢炉衬的材料大部分是镁碳砖,炉衬寿命为 1000 次~1500 次,而日本,炉衬的寿命为 2000 次~2500 次。

(2) 铝碳砖 铝碳耐火材料主要用于连续铸造、扁钢坯自位输管道的保护罩,水下喷管以及油井爆破筒等。在日本用连续铸造生产的钢占总生产量的 90% 以上,英国为 60%。

(3) 坩埚及有关制品 用石墨制造的成型和耐火的坩埚及其有关制品,例如坩埚、曲颈瓶、塞头和喷嘴等,具有高耐火性,低的热膨胀性,熔炼金属过程中,受到金属浸润和冲刷时亦稳定,高温下良好的热震稳定性和优良的热传导性,所以石墨坩埚及其有关制品被广泛用于直接熔融金属的工艺中。

传统的石墨粘土坩埚用含碳量大于 85% 的鳞片石墨制造,通常石墨鳞片应大于 100 目(BSS 筛),而目前国外在坩埚生产技术中的重要改进是,所用石墨的类型、鳞片大小和质量有了更大的灵活性;其次是用碳化硅石墨坩埚替代了传统的粘土石墨坩埚,这是随着炼钢工业中恒压技术的引进而产生的。采用恒压技术还可以使小鳞片石墨得到应用,在粘土石墨坩埚中,含碳量达 90% 的大鳞片石墨约占 45%,而在碳化硅石墨坩埚中,大鳞片成分的含量仅占

30%，石墨的含碳量降为 80%。

2. 炼钢

石墨和其他杂质材料用于炼钢工业时可作为增碳剂。渗碳使用的碳质材料的范围很广，包括人造石墨、石油焦、冶金焦炭和天然石墨。在世界范围内炼钢增碳剂用石墨仍是土状石墨的主要用途之一。

3. 作导电材料

石墨在电气工业中广泛用来作电极、电刷、碳棒、碳管、水银整流器的正极、石墨垫圈、电话零件、电视机显像管的涂层等等。其中以石墨电极应用最广，在冶炼各种合金钢、铁合金时，使用石墨电极，这时强大的电流通过电极导入电炉的熔炼区，产生电弧，使电能转化为热能，温度升高到 2000℃ 左右，从而达到熔炼或反应的目的。此外，在电解金属镁、铝、钠时，电解槽的阳极也用石墨电极。生产金刚砂的电阻炉也用石墨电极作炉头导电材料。

电气工业中所使用的石墨，对粒度和品位要求很高。如碱性蓄电池和一些特殊的电碳制品，要求石墨粒度控制在 150 目~325 目(0.1mm~0.042mm)范围内，品位 90%~99% 以上，有害杂质(主要是金属铁)要求在 10% 以下。电视机显像管所用的石墨，粒度要求在 0.5μm 以下。

4. 作耐磨和润滑材料

石墨在机械工业中常作润滑剂。润滑油往往不能在高速、高温、高压的条件下使用，而石墨耐磨材料可以在 -200℃~2000℃ 温度并在很高的滑动速度下(100m/s)不用润滑油工作。许多输送腐蚀介质的设备，广泛采用石墨材料制成活塞环、密封圈和轴承，它们运转时，勿需加入润滑油，石墨乳也是许多金属加工(拔丝、拉管)时的良好的润滑剂。

5. 作耐腐蚀材料

石墨具有良好的化学稳定性。经过特殊加工的石墨，具有耐腐蚀、导热性好、渗透率低等特点，而广泛用于制作热交换器、反应槽、凝缩器、燃烧塔、吸收塔、冷却器、加热器、过滤器、泵等设备。这些设备用于石油化工、湿法冶金、酸碱生产、合成纤维、造纸等工业部门，可节省大量的金属材料。

6. 作铸造、翻砂、压模及高温冶金材料

由于石墨的膨胀系数小，而且能耐急冷急热的变化，可作为玻璃器皿的铸模，使用石墨后，黑色金属得到的铸件尺寸精确，表面光洁，成品率高，不经加工或稍作加工就可使用，因而节省了大量金属。生产硬质合金等粉末冶金工艺，通常用石墨材料制成压模和烧结用的舟皿。单晶硅的晶体生长坩埚、区域精炼容器、支架、夹具、感应加热器等，都是用高纯石墨加工而成的。此外，石墨还可以作真空冶炼的石墨隔热板和底座，高温电阻炉炉管、棒、板、格栅等元件。

7. 用于原子能工业和国防工业

石墨具有良好的中子减速性能，最早作为减速剂用于原子反应堆中，铀-石墨反应堆是目前应用较多的一种原子反应堆。作为动力用的原子能反应堆中的减速材料应当具有高熔点、稳定、耐腐蚀的性能，石墨完全可以满足上述要求。作为原子反应堆用的石墨纯度要求很高，杂质含量不应超过几十个 ppm(ppm 为百万分之一)，特别是其中硼的含量应小于 0.5ppm。在国防工业中还用石墨制造固体燃料火箭的喷嘴，导弹的鼻锥，宇宙航行设备的零件，隔热材料和防射线材料。

8. 作防垢防锈材料

石墨能防止锅炉结垢,有关单位试验表明,在水中加入一定量的石墨粉(每吨水大约用 4g~5g),能防止锅炉表面结垢。此外石墨涂在金属烟囱、屋顶、桥梁、管道上可以防腐和防锈。

9. 石墨新用途

随着科学技术的不断发展,人们对石墨也开发了许多新用途。

柔性石墨制品。柔性石墨又称膨胀石墨,是 70 年代开发的一种新的石墨制品。1971 年美国研究成功柔性石墨密封材料,解决了原子能阀门泄漏问题,随后德、日、法也开始研制生产。这种产品除具有天然石墨所具有的特性外,还具有特殊的柔性和弹性。因此,是一种理想的密封材料。广泛用于石油化工、原子能等工业领域。国际市场需求量逐年增长。

制作半金属摩擦材料。自 70 年代以来,离合器和自动衬广泛使用半金属摩擦材料。半金属摩擦材料是将石墨和金属粉、钢纤维、陶土粉用合成树脂粘结而成。这些自动衬主要可用于高速设备,如飞机、卡车以及越野车的制动装置和离合器片。近几年来,石棉逐渐被石墨所取代,在一些半金属衬面中,石墨的含量已从 1%~2%增加到 15%。该领域石墨消耗量取决于汽车工业的发展状况。

氟化石墨。随着 70 年代国外氟化石墨的开发,石墨的润滑剂作用得到了进一步发挥。氟化石墨直接作为固体润滑剂,润滑效果高于天然石墨和二硫化钼。国外近几年来已将这种氟化石墨固体润滑剂与其他成分一起配成一种内燃机润滑用的润滑添加剂,以一定的比例添加到机油中,可提高内燃机的润滑效果,一般可减少燃油 5%以上。

此外,石墨最新开发的几个领域有:钻井泥浆添加剂、橡胶添加剂、无烟火药和石墨火药,防止静电和控制燃烧点的表面处理剂、以及绝热用的粒状屋面材料等。

三、石墨的分类及技术指标

石墨的分类是多种多样的,按结构可分为晶质片状和非晶质石墨等;按片径的大小可分为大片、小片和微粉等;按含碳量的多少可分为高纯石墨(含碳量 99.9%~99.99%)、高碳石墨(含碳量 94.0%~99.0%)、中碳石墨(含碳量 80%~93%)和低碳石墨(含碳量 50.0%~79.0%)等。

山东南墅石墨矿已有几十年的办矿经验,无论是产量、品种还是技术力量都具全国石墨行业之首,该矿的产品有高纯石墨、高碳石墨、中碳石墨、低碳石墨及各种石墨制品等品种,鳞片石墨的国家标准由该矿起草,其技术指标详见附录 1 中的表 3、表 4、表 5、表 6。

第二节 石墨矿床和矿石

一、石墨矿床

石墨矿床的形成条件有三:一是碳元素的富集;二是较高的温度、压力;三是还原环境。外生作用可以使碳富集,但温度、压力均低,而且是氧化环境为主,不能使碳结晶形成石墨。又因石墨比重小、硬度低,也不能形成有工业价值的砂矿,因此石墨不存在次生矿床,而只有内生和变质成因的两种类型。目前发现的石墨矿床中,以变质矿床的规模和工业意义最大。

根据工业意义的大小,石墨矿床可分为五个类型,其中以结晶片岩中的石墨矿床和变质煤层中的石墨矿床为主。

1. 结晶片岩中的似层状石墨矿床

这类矿床大多产于片麻岩、片岩或大理岩等变质岩系中。系由含大量有机质的沉积岩,经过中深程度的区域变质作用,使含有机碳的气体逸出,经过迁移和富集,在适宜的地质条件下冷却再结晶而成。此类型矿床,一般矿区地质构造复杂,矿床附近往往有花岗岩、伟晶岩石英脉等侵入体存在。矿体多呈层状、或透镜状。矿体倾角较大,有时直立,厚度可达十余米以上,长度一般几十米,有的可达几公里。石墨鳞片较大,但品位不高,一般 3%~5%,最高达 20%~25%。

共生矿物主要有长石、石英、透辉石、透闪石,其次是白云母、绿泥石、方解石、黄铁矿、金红石等。石墨与脉石矿物呈黑白相间,定向排列,构成明显的花岗变晶结构,片麻状构造。

这类矿床规模大,质量好,分布广,是主要的石墨矿床类型。马尔加什,德国的巴伐利亚,前苏联的查瓦里耶,我国的南墅、兴和、柳毛、金溪、宜昌等石墨矿均属此类型。

南墅石墨矿床位于古老的变质岩系中,区内出露的岩石有前震旦纪的片麻岩、结晶灰岩、云母片岩、石墨片岩等,此外还有花岗岩、伟晶岩脉侵入。石墨矿体主要产于大理岩与斜长角闪片麻岩或柘榴斜长片麻岩之间,呈似层状或透镜状。矿体走向东西,向南倾斜,倾角 20°~85°,局部因受构造影响,呈直立或倒转,产状基本上与围岩一致。共生矿物有 20 余种,主要是长石、石英、透辉石、透闪石,其次是蛇纹石、黑云母、绢云母、绿泥石、绿帘石、石榴石等,此外还有黄铁矿、黄铜矿、磷灰石、金红石、锆石、榍石等。

石墨呈鳞片状,鳞片大小一般为(1.0mm~2.0mm)×(0.5mm~1.0mm),片厚为0.02mm~0.50mm。鳞片最大可达 3mm~5mm,最小为(0.5mm~1.0mm)×(0.25mm~0.5mm)。品位 3%~10%,个别高达 20%以上。此外还有囊状和不规则脉状隐晶质石墨充填于围岩破裂带或围岩片理中。这部分石墨因品位低,可选性差,暂未利用。

宜昌三岔垭石墨矿于 1965 年发现。该矿紧靠圈椅垭背斜东翼,矿体赋存在前震旦系崆岭群中部岩组下段(AnZ_2^1)。 AnZ_2^1 为富大理岩段,以黑云斜长片麻岩为主,夹白云石大理岩及透闪石岩,普遍含石墨矿。

矿区内有六个矿体,其中 I 号矿体规模大、品位高,为主要矿体。该矿体似层状产出,矿体顶板为白岗岩,次为大理岩,透辉岩。底板主要为黑云斜长片麻岩,大理岩,透辉岩,局部白岗岩。矿体平均厚度 20.47m(最厚可达 63.57m);平均品位 11.37%(最高可达 25.38%);片径大于 0.5mm 占 31.90%,0.5mm~0.25mm 占 56.90%,0.25mm~0.16mm 占 10.60%,0.16mm~0.1mm 占 0.60%(最大片径可达 2.40mm)。

2. 变质煤层中的石墨矿床

矿床位于含煤变质页岩或石英岩中,系由煤层受到接触变质作用或区域变质作用而生成。矿体为层状或透镜状,厚度可达几十米,延长几百米至几公里以上。矿床中常见有石墨逐渐过渡到无烟煤的现象。石墨晶体直径小于 1 μ m,在显微镜下也难见到晶形。石墨含量一般为 60%~80%。共生矿物有黄铁矿、方解石、少量磷灰石、金红石和磁黄铁矿。

这类矿床规模大、品位高、储量大,是主要的石墨矿床类型之一,但质量不好,我国鲁塘等石墨矿属此类型。在国外,如朝鲜、墨西哥、前苏联等也有这类矿床。

我国湖南鲁塘石墨矿,矿区地层由二叠纪煤系岩层组成,主要为砂质页岩、石英砂岩、碳质页岩及煤层等。本区构造成北北东——南南西走向之向斜,花岗岩侵入向斜之东翼含煤系地层内,矿体呈层状、透镜状,共分二层,厚 0.2m~2m,长达数米至 40 米。倾向北西,倾角 30°~70°。

石墨晶体细小,为隐晶质石墨。矿石品位一般 76%以上,最高达 92.24%。

3. 霞石正长岩中的石墨矿床

这类矿床位于霞石正长岩体内,系岩浆中的 CO₂ 或当岩浆与含有机质的沉积岩接触时,经过岩浆的分异作用或同化作用,使 CO₂ 浓度大大提高,在还原条件下,CO₂ 被分解,成致密结晶状石墨。矿体呈株状、巢状、凸镜状、细脉状或分散于整个岩体内。矿体往往成群出现,但单个的矿体规模都不大,最大直径不超过数十米。石墨为细鳞片状集合体,一般品位为 60%~80%,手选后可得高品级石墨。这类矿床在世界上分布不广,规模也较小,典型的代表是前苏联的波托果尔石墨矿床。

前苏联波托果尔石墨矿位于伊尔库茨克城以西,矿区附近的地层由变动剧烈的前寒武纪结晶片岩及大理岩组成。北部主要是结晶灰岩,南部则以云母片岩、硅质片岩和绿泥石片岩为主,霞石正长岩侵入这些地层,岩体中常见石灰岩之捕虏体。在与石灰岩的接触带中,石灰岩已转变为硅灰石硅卡岩,含有少量鳞片石墨。有工业意义的矿床,产在霞石正长岩的中心部分,矿体呈巢状或株状,单个矿体直径为 2m~25m,长可达 50m。已知的矿体有 20 个,石墨呈微晶片状散布于正长岩体内,鳞片大小为 0.25mm~1mm,很少大于 3mm。品位 60%~85%,在个别正长岩地段,还有浸染状低品位石墨矿产出。

4. 矽卡岩中的石墨矿床

该矿床多产于石灰岩与火成岩接触交代形成的透辉石石榴石矽卡岩内。矿体呈透镜状、巢状,厚 20m~30m,长 100m~150m。有粗鳞片和细鳞片两种类型,品位一般 10%~20%,最高可达 60%~80%。这类矿床质量好,储量往往也很大,但比较稀少。著名的有加拿大的安大略魁北克和英国的阿达隆达克矿床。

5. 结晶片岩中的脉状石墨矿床

矿床产于结晶片岩的构造裂隙中,石墨是由岩浆期后的 CO₂ 充填裂隙结晶而成。常聚成巨大的矿床。矿体呈脉状、树枝状和网脉状。矿体倾角一般较陡,厚度数厘米至数十米,大多数脉脉中石墨含量较高,有时高达 97%~98%。共生矿物有石英、黄铁矿、方解石、磷灰石、辉石、金红石、磁铁矿和钙镁硅酸盐等矿物。石墨晶体垂直于矿壁生长,晶粒粗大,质地优良,是极好的坩埚材料。这类矿床较少见,以斯里兰卡石墨矿床最为典型。我国这类矿床往往与区域变质石墨矿床伴生。

根据储量划分的各类石墨矿床的规模,如表 1-1 所示。

表 1-1 石墨矿床规模

矿床规模	矿石储量(万 t)
巨大型	>5000
大型	1000~5000
中型	100~1000
小型	<100

二、石墨矿石

1. 石墨矿石类型

石墨的工艺特性,主要决定于它的结晶形态。结晶形态不同的石墨,其工业价值和用途及

其选矿方法都不同。工业上根据石墨的结晶形态不同,将石墨矿石分为二类:晶质石墨矿石和隐晶质石墨矿石。

(1)晶质石墨矿石 又可分为致密结晶状石墨矿石和鳞片石墨矿石。

致密结晶状石墨矿石又叫块状石墨矿石。主要由致密结晶石墨和斜长石、石英、透闪石和绿泥石组成。此类石墨结晶明显,晶体肉眼可见,颗粒大于 0.1mm,晶体排列杂乱无章,呈致密结晶状构造。这类石墨矿石的特点是品位高,通常含碳量为 60%~65%,有时高达 80%~90%以上,但其可浮性、可塑性和滑腻性都不及鳞片石墨。这种矿石分布较少,以斯里兰卡所产的石墨为典型。

鳞片石墨矿石。主要由鳞片状石墨、长石、石英、透辉石、透闪石和云母等矿物组成。该石墨呈鳞片状或叶片状,并有鳞片和大鳞片之分。我国的南墅、兴和、柳毛等石墨矿均属此类型。此类石墨矿石的特点是品位不高,一般 3%~5%或 10%~20%之间,但可浮性好,是目前自然界中可浮性最好的矿物之一。其可浮性及滑腻性均较其他类型的石墨优越,技术性能较好。

(2)隐晶质石墨矿石 主要由隐晶质石墨、绢云母、石英、黄铁矿、方解石、褐铁矿、粘土等矿物组成。隐晶石墨又称土状石墨,石墨晶体较小,一般小于 1 μ m,是微晶的集合体,只有在电子显微镜下才能见到晶形。这类矿石的特点是表面呈土状,缺乏光泽,润滑性也差,但矿石品位较高,一般 60%~80%,少数高达 90%以上,可浮性较差,浮选只能起到初步富集作用,通常将精矿和尾矿都作为产品以不同的价格出售。

这类矿石类型,在石墨矿床中占有很大比重,世界总产量一半以上的石墨均来自该类型矿石。朝鲜、奥地利、前苏联等国是隐晶质石墨的主要生产者。我国湖南、吉林等地均有开采。

2. 石墨矿石的工业要求

鳞片石墨可浮性好,品位在 2%~3%就可开采。

隐晶质石墨可选性差,工业上对原矿品位的要求较高。品位小于 65%者,一般不予开采,品位在 65%~80%之间的矿石,经过选别后,可以利用。原矿品位大于 80%者,可以直接利用,通常将石墨磨细,然后出售。

目前,我国石墨矿石的一般工业要求如表 1-2 所示。矿石中的有害杂质,随工业用途而异,通常应对矿石中的磷、二氧化碳、灰分、铁、铅、锌、铜等的含量进行测定。同时对石墨的结晶形态、晶体大小、导电性等应进行研究,以便确定选矿方法及其用途。

表 1-2 石墨矿石的工业要求

矿石类型	品 位(固定碳)			可采厚度(m)		夹石剔除厚度(m)
	边界品位 (%)	贫矿品位 (%)	富矿品位 (%)	倾 角 <45°	倾 角 >45°	
晶质石墨	2.5	3~5	≥5	1	1	≥1~4
隐晶质石墨	60	65~80	≥80	0.4~0.5	0.6	≥1~3

第三节 石墨资源

一、世界石墨资源分布情况

世界上石墨矿床分布很广,但除少数国家有大型石墨矿床外,其余多数属中小型矿床。世界石墨产量较大的国家有十四五五个,但多为隐晶质石墨,而且大部分在当地就消耗了。

前苏联是世界上石墨储量和产量最多的国家之一。第二次世界大战前,前苏联石墨产量占世界产量的40%以上。鳞片石墨主要分布在乌克兰结晶岩带的克什提姆——穆尔津片麻岩中,如查瓦里耶、彼得洛夫斯克、普里阿莫尔省的索尤兹诺耶以及乌拉尔的泰金、穆尔津都有大鳞片石墨矿床。前苏联的隐晶质石墨矿床的储量也很大,其东部边境的波托果尔及伯力边境都有石墨矿床分布。库列依斯克和诺金斯克矿床的石墨品位高达96%,但因其矿区离消费地较远,故影响其使用价值。

朝鲜和韩国的隐晶质石墨储量也很丰富,多数属于从无烟煤到石墨间的过渡产物,品位很高,手选后品位可达85%~90%。也有一些鳞片状石墨,原矿品位可达13%。

马尔加什是高级鳞片状石墨的主要生产国。这个岛国的中部和东部矿床规模都很大,质量很好。石墨矿体长达600km以上,总储量约2000万t。据称,马岛的石墨矿石,平均3t原矿可产1t品位为50%的石墨精矿。

斯里兰卡以产高质量隐晶质石墨闻名于世界,储量丰富,历史悠久,原矿品位约50%,手选可获得品位为90%~95%的高质量精矿。斯里兰卡还有一部分鳞片状石墨。两种石墨的总储量达2000万t。

法国只有一个重要的石墨产区,位于巴伐利亚东部的巴索(Passau)附近,品位一般为20%~25%,采矿深度为70m,矿石精选后的品位为82%~92%。

捷克斯洛伐克的石墨矿床位于波希米亚和莫拉维亚,是巴伐利亚矿脉的延伸矿脉。

奥地利的石墨与捷克斯洛伐克和巴伐利亚相似,储量也很丰富,达1000万t。第一次世界大战前它曾是生产石墨最多的国家之一,由于两次世界大战的破坏,以后生产量就逐渐减少了。

墨西哥的隐晶质石墨产于索诺拉中部,矿床主要产在变质砂岩中,矿体厚度达7.3m,系由煤层变质而成,是世界较大的矿床之一,主要矿体矿石品位达80%,最高为95%。

美国的石墨资源不多,产量很少,主要依赖进口。

此外,挪威、巴西、印度等国也有一些质量较差的石墨矿床。

二、我国石墨资源

我国幅员辽阔,石墨资源丰富。其储量及生产规模都居世界前列。已探明的石墨矿产储量鳞片石墨为11亿t,土状石墨为1600万t。详见表1-3和表1-4。

我国石墨矿床及矿石类型和世界其他国家一样,也是以结晶片岩中的石墨矿床和变质岩石中的石墨矿床为主;矿石类型亦为晶质鳞片石墨和隐晶质土状石墨。我国石墨资源不仅品种齐全,而且分布区域较多,全国近20个省区都有发现。比较集中的地带有:鳞片石墨矿床在山东省的烟台地区至青岛地区的平度县境内、黑龙江省鸡西市至穆稜县光义一带、内蒙古自治区

与山西省、河北省交界处；而土状石墨则在湖南鲁塘、冷水江和吉林省盘石县的烟筒山等地。

表 1-3

中国晶质石墨资源分布

地 区	矿 区 数	总 量		
		A+B+C	D	合计
全 国	69	3702	11747	15449
河 北	4	1	39	40
山 西	2	88	137	225
内 蒙	10	161	307	468
吉 林	1	36	61	97
黑 龙 江	16	1955	9183	11138
安 徽	1	—	17	17
福 建	1	32	22	54
江 西	1	152	66	218
山 东	11	653	429	1082
河 南	3	346	400	746
湖 北	4	52	90	142
广 东	1	9	8	17
海 南	3	17	41	58
四 川	3	48	625	673
云 南	2	19	225	244
陕 西	5	124	82	206
新 疆	1	9	15	24

储量单位：矿物 万 t

表 1-4

中国隐晶质石墨资源分布

地 区	矿 区 数	总 量		
		A+B+C	D	合计
全 国	15	2093	2687	4780
北 京	2	—	11	11
吉 林	2	325	198	523
湖 南	3	1530	1844	3374
广 东	3	1	357	358
西 藏	1	—	244	244
陕 西	2	237	33	270

注：摘自全国矿产储量汇总表截止 1990 年底保有储量。

储量单位：矿石 万 t

(注：A、B、C、D 为储量等级)

第二章 选矿概述与石墨选矿特点

第一节 选矿方法和选矿过程

一、选矿方法

矿石中的各种矿物,都具有各自固有的物理性质和物理化学性质,如:粒度、形状、颜色、光泽、比重、摩擦系数、磁性、电性及表面的润湿性等。我们根据各种矿物不同的性质,可以选择不同的选矿方法,使它们得到分选。

最常用的选矿方法有:

浮游选矿方法(简称浮选法) 是利用矿物表面物理化学性质的不同来分选矿物的方法。浮选法目前应用很广泛,可用来处理绝大多数的矿石。

重力选矿法(简称重选法) 是根据矿物比重的不同及其在介质(水、空气或其他比重较大的介质)中具有不同的沉降速度来进行分选的方法。它广泛用于选别煤炭和钨、锡、金、铁、锰、铬等矿石。此外,有色金属、稀有金属和非金属矿石的选别也常采用重选法。

磁选法 是根据矿物的磁性不同来进行分选的方法。它主要用于选别黑色金属矿石和稀有金属矿石。

电选法 是根据矿物的导电性的不同来进行选别的方法。

除上述四种主要选矿方法外,还有手选、摩擦选、按粒度形状选矿等。

以上这些选矿方法,是使有用矿物与脉石矿物进行机械的分离,因为用这些方法选矿的结果,并不改变矿物本身的物理性质和化学性质,因此习惯上叫做机械选矿法。为了处理成分复杂的难选矿石,近年来已采用了机械选矿法和化学处理法的联合流程。例如:细菌浸出、化学药物浸出、离析——浮选等方法,往往能得到很好的选别效果。

石墨的选矿方法有浮选、电选、重选等,应用最广的是浮选法。

二、选矿过程

矿石被输送到选矿厂后,要经过如图 2-1 所示的一系列作业工序,才能得到适合于冶炼要求和用户需要的产品。由此可见,选矿是一个连续的生产过程。各个作业联结的工序,就表示矿石连续加工的工艺过程。这个过程被称为选矿工艺流程。

选矿过程可分为选别前的准备、选别和选别后的脱水三个阶段。

选别前的准备作业 该作业包括破碎和筛分、磨矿和分级。

选别作业 根据各种矿物不同的性质,将采用不同的选矿方法,如浮选法、重选法和磁选法等。

选别后的脱水作业 精矿脱水通常由浓缩、过滤和干燥三个阶段组成。

石墨选矿通常使用浮选法,这种选别方法的本身又包括粗选、扫选、精选等几个环节。

粗选 原矿进入选矿厂经过破碎、筛分、磨矿、分级达到分选粒度后进行选别,这一最初的

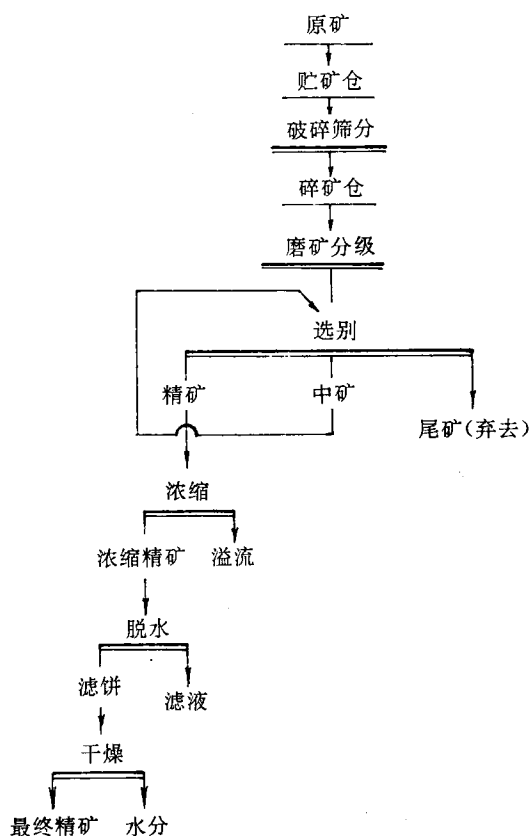


图 2-1 选矿流程示意图

选别作业叫粗选。

精选 粗选后得到精矿和尾矿，将精矿进行再选，称为精选。

扫选 粗选后得到的尾矿，若将其再选称为扫选。

矿石经过选别后可以得到几种产品：精矿、尾矿和中矿。

精矿 是原矿经过选别以后得到的有用矿物含量较高，适合于冶炼或其他部门要求的最终产品。

尾矿 是原矿经过选别以后得到的有用矿物含量很低，其中大部分是脉石，不需要进一步处理或目前在技术上、经济上不适合于进一步处理的产品叫尾矿。

中矿 是原矿经过选别以后得到的中间产品(或称半成品)，其中有用矿物的含量比精矿低，但比尾矿高，因此中矿还需要进一步加工处理。

第二节 选矿的技术术语和工艺指标

一、与选矿有关的技术术语

矿物 地壳中含有各种各样的化学元素，这些元素经过各种地质作用，形成了各种化合物，如黄铜矿(CuFeS_2)、磁铁矿($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)、萤石(CaF_2)等；也形成了极少的单质，如自然金(Au)、自然铜(Cu)、硫磺(S)等。我们把地壳中由地质作用形成的自然元素和自然化合物统称为矿物。由于矿物具有一定的化学成分和内部结构，所以它们也具有一定的物理性质和化学性

质。

岩石 各种矿物在地壳中很少单独存在,它们常常是有规律地组合在一起,我们把这些由一种或数种矿物颗粒组成的集合体称为岩石。

矿石 各种矿物在地壳中并不是均匀分布的,它们各自在一定的地质条件下可能相对富集。当某一有用矿物富集到一定程度,而且在目前技术经济条件下,能满足国民经济要求,可供利用的矿物集合体称为矿石。

矿石一般都由几种矿物组成,通常将其分为二类:矿石矿物和脉石矿物。矿石矿物又称为有用矿物,它是矿石中能直接被利用的矿物或能从中提取一种或多种元素的矿物。脉石矿物也叫做无用矿物,它是与有用矿物伴生的,目前尚没有工业利用价值的矿物。

矿体与矿床 矿体是指在地壳中矿石的天然集聚体。它是一个独立的地质体,具有一定的质量界限、一定的空间位置和几何形状。无论矿体的形状如何,数目多少,只要它们生成在一起就总称为矿床。在目前的技术经济条件下,符合开采和利用要求的矿床称为工业矿床,否则就是非工业矿床。

围岩 矿体周围的岩石称为围岩。矿体的上部围岩叫上盘围岩或顶盘;矿体的下部围岩叫下盘围岩或底盘。夹在矿体中的岩石称为夹石。围岩和夹石都不含有用成分或有用成分含量未达到利用的要求,故称为废石。

二、选矿工艺指标

品位 通常我们把矿石中凡是可供利用的元素或矿物称为有用成分。矿石含有用成分的多少用品位来表示。所谓品位是指矿石中有用成分的重量与矿石重量之比,常用百分数(%)表示。例如在 100g 石墨矿石中含有用成分(固定碳)的含量为 10g,则该矿石的品位为 10%。对于金、铂等贵金属矿石,因矿石中金、铂等含量甚微,其品位则用 g/t 来表示。

为了方便起见,品位通常用希腊字母来表示。如原矿品位用 α 来表示,精矿品位用 β 来表示,尾矿品位用 θ 来表示。

产率 产率是指某一产品的重量与原矿重量之比叫做该产品的产率。通常用希腊字母 γ 表示。精矿产率就是精矿重量占原矿重量的百分数,用 $\gamma_{\text{精}}$ 表示。 $\gamma_{\text{精}}$ 在生产中往往无法直接测定,可用下式计算:

$$\gamma_{\text{精}} = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 α 、 β 、 θ ——分别为原矿、精矿和尾矿的品位,品位是可用化验测定的。

例如:测得某石墨选矿厂原矿、精矿和尾矿的品位分别为 11.16%、89%和 2.48%,那么:

$$\gamma_{\text{精}} = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} \times 100\% = \frac{11.16\% - 2.48\%}{89\% - 2.48\%} \times 100\% = 10.03\%$$

回收率 精矿中有用矿物的重量与原矿中该有用矿物重量的比值叫做该有用矿物的回收率。通常用希腊字母 ϵ 来表示。回收率可用下式来计算:

$$\epsilon = \frac{\beta(\alpha - \theta)}{\alpha(\beta - \theta)} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中 α 、 β 、 θ 所表示的意义同(2-1)式。

现在我们用上述数字来计算某石墨矿的回收率: