

矿物加工学科的发展——历史、现状与未来[†]

胡岳华 王淀佐^①

(中南工业大学矿物工程系, 长沙, 410083) ①(北京有色金属研究总院, 北京, 100086)

摘 要 简要概述了矿物加工学科的起源、历史沿革。对矿物加工学科的发展、现状、面临的新问题及未来发展趋势进行了讨论。由于矿物资源愈来愈复杂, 二次资源、工业废料、海洋资源的加工处理也将成为矿物加工的重要对象, 传统的矿物加工技术面临着严重挑战, 直接从各种资源中, 分离、提取、加工成矿物材料、化学品等直接可用的物料, 实现矿物加工过程高效益、低能耗、无污染, 将是矿物加工学科发展的必然趋势。

关键词 矿物加工 学科 发展*

矿物加工从其现有的学科基础来说, 是一门从矿物资源(矿物、煤炭、二次资源、工业与生活废弃物等)中, 通过分离、富集、提纯等物理的和化学的加工处理, 提取有用物料的科学技术。从远古时代的淘金, 到现代的各种矿物加工技术, 矿物加工学科的形成与发展大致经历了三个阶段。第一阶段, 从远古至本世纪 20 年代前后, 从天然矿石中分选出有用矿物的“选矿”技术的起源与形成; 第二阶段, 从本世纪 20 年代至 60 年代前后, 选矿技术的发展、选矿理论的形成与选矿学科的形成; 第三阶段, 从本世纪 60 年代至今, 无论是从处理的资源变化, 还是科学技术水平发展来看, “选矿”学科已远超出了传统意义上的“选矿”, 而用“矿物加工”才能更确切地反映其学科范畴与科技发展。本文从矿物加工的起源、历史沿革, 学科的形成、发展、现状及面临的问题与发展趋势等方面对其进行阐述。

1 选矿的起源与历史沿革

人类利用矿物资源已有数千年历史, 如自然金、自然铜、滑石、朱砂等的开采与利用。无论是公元前几千年的古埃及, 还是中世纪的罗马帝国时代, 或者是中国古代, 由于科学技术水平整体落后, 社会生产力低, 对矿物资源的需求少, 人类利用的矿物资源主要是通过手工作业从天然矿石中得到的。如淘金、人工溜槽、手动跳汰筛、洗矿槽等原始重选方法及鹅毛粘油刮取浮在水面上的金粉等原始浮选方法。我国古代将原始的重选、浮选总结为“澄、淘、飞、跌”。这些手工作业虽然有近代“表层浮选”“重选”的影子, 但还算不上是一门工业技术, 这种现象一直延伸到 19 世纪中。

19 世纪末至本世纪 20 年代, 世界工业生产快速发展, 对矿物原料的需求增大, 加上 18 世纪产业革命

的推动, 使机械化成为可能。造成了“选矿”技术从古代的手工作业向工业技术的真正转变。近代大部分的选矿工艺与设备属于这一时期选矿领域的技术发明^[1], 如颚式破碎机, 球磨机, 机械分级机, 重选、电磁选的设备与工艺及浮选药剂、工艺与设备等。从那时起, 选矿技术已成为一门人类从天然矿石中选别、富集有用矿物原料的成熟的工业技术, 并得到广泛应用。

2 选矿科技的发展与选矿学科的形成

如前所述, 到本世纪 20 年代, 各种近代选矿技术已基本成型, 虽然, Richards R H 曾总结了当时美国 90 家选厂的工艺流程, 但还无系统的选矿理论和科学体系。随着选矿技术的大规模工业应用, 对各种选矿工艺过程机制及基础理论的研究也随之展开。

首先, 随着流体力学的发展, 重选的基础研究起步较早^[2]。19 世纪下半叶, 奥地利人 Rittinger 提出了“等降现象”; Monroe 等人进一步提出“干涉沉降”。本世纪 40 年代, 苏联学者 Ля ЮНКО 提出了跳汰是在上升水流中“按悬浮体的相对密度分层”的学说; 德国学者 Mayer 从床层位能降的角度解释了分层过程。英国学者 Bagnold 在 50 年代观察到了剪切运动下层流斜面流中多层粒群的松散分层现象。这些学说成了重选的理论基础。在电磁选矿方面, 由于物理学的发展, 人们早就认识到可用永久磁铁选别铁矿石。当电磁铁被用作磁选机的磁场并有了各种工业生产的电磁选矿机后, 电磁选矿理论也初步确立。

在浮选方面^[3~5], 从本世纪 30 年代开始, 美国的 Taggart 及苏联的 Plaksins 等先后提出了捕收剂的“化学反应假说”或“溶度积假说”, 以解释重金属硫化矿的可浮性顺序。美国的 Gaudin A M、苏联的 Bogdanov

* 收稿日期 1999-01-12 第一作者 男 教授 博士生导师

† 高校博士点基金资助课题, 本刊特约稿

及澳洲的 Wark 等人较多的研究了矿物的润湿性与可浮性的关系, 浮选剂的吸附作用机理, 浮选的活化等。美国的 Fuerstenau D W 等人系统地研究了矿物表面电性与可浮性的关系。到 60 年代前后, 浮选的三大基本理论(润湿理论、吸附理论及双电层理论)已初步形成。

从本世纪 20 年代至 60 年代前后, 经过几十年的发展, 选矿已从一门纯工程技术向工程科学转化。这一时期, 一些重要的著作有: 美国 Taggart 的《Handbook of Ore Dressing》, 1927 年第 1 版, 1944 年第 2 版; Gaudin 的《Flotation》, 1932 年第 1 版, 1957 年第 2 版; 澳洲的 Sutherland 和 Wark 的《Principles of Flotation》, 1955 年第 1 版; 苏联 Боцанов 的《Вопросы Теории И Технологии Флотации》, 1959 年第 1 版。选矿已具备了较为独立的工程科学体系, 有其明确的学科方向:

重选 以流体力学为学科基础, 根据不同矿物的密度差异在一定的介质中进行不同矿物的分选。

电磁选 以电磁学为学科基础, 根据不同矿物磁性的差异分选不同矿物。

浮选 以化学为学科基础, 根据不同矿物表面物理化学性质的差异, 实现不同矿物的分选。

这个时期的选矿主要是从天然矿石(金属矿、非金属矿、煤炭等)中, 分离、富集其中的有用矿物, 为冶金、化工、建材提供原料。国外所用“选矿”词汇多为“Ore Dressing”或“Mineral Dressing”。

3 矿物加工学科的形成、发展与现状

60 年代以来, 随着世界经济的快速发展, 一方面人类对矿物资源的需求不断增加, 另一方面, 矿物资源中, 富矿减少、贫细矿物资源增加, 而且矿山、冶炼厂排出的废水、固体废弃物等对环境的污染与治理问题也开始受到重视, 传统的选矿技术与理论已不能完全适应解决这些问题。

为了从贫细矿物资源中有效地分离、富集有用矿物, 充分合理地利用资源, 并能解决环境问题, 选矿科技工作者开始认识到, 不仅仅是传统的选矿技术不能有效的解决贫细矿物资源的分离问题, 而且资源的综合利用是更重要的问题。这就需要综合利用多学科的知识与新成就, 寻找新的学科起点, 开发新的科学技术, 以实现矿物资源的综合利用, 包括分离、富集贫细矿物资源的新技术、工艺和设备; 对矿物的提纯与精加工; 环境的综合治理; 矿物新用途的开发等。即矿物资源的利用不单纯是通过“选矿”得到矿产品的问题, 而是综合“加工”利用的问题。为此, 近几十年来, 选矿及相邻学科的科技工作者在选矿学科及交叉学科领域, 进行了大量的基础理论与工艺技术的研究。而且, 由

于相邻学科的发展, 如电化学、量子化学、表面及胶体化学、紊流力学、生物工程、冶金学、材料科学与工程及计算机科学与技术, 在选矿学科领域中的应用, 形成许多新的学科方向和各种加工利用矿物资源的新技术。“选矿”已不能涵盖多数新的加工利用矿物资源的科学领域, “矿物加工”呼之欲出。矿物加工学科无论从其学科基础, 学科领域及其研究对象方面远比传统选矿学科更广、更深。事实上, 国外从 60 年代开始, 就逐步采用“Mineral Processing”代替“Ore Dressing”, 在我国, 也经过近 10 年的酝酿, 于 90 年代在国家教委招生目录上将“选矿”更名为“矿物加工”。

在近 30 年矿物加工学科的形成与发展过程中, 世界矿物加工领域的科技工作者进行了广泛、深入的研究, 有许多颇具影响的学科群体。如美国加州大学的材料和工程科学系、哥伦比亚大学的 Henry Krumb 矿业学院、宾州大学材料科学系, 犹他大学冶金工程系; 加拿大大不列颠哥伦比亚大学的矿物工程系、麦吉尔大学矿冶系; 澳大利亚 CSIRO 矿物化学研究室、昆士兰大学矿物研究中心; 瑞典勒律欧工业大学选矿室; 意大利 CNR 选矿研究所; 德国克劳斯塔大学、弗来堡研究院、阿亨大学; 苏联米哈诺布尔矿冶研究院; 我国的中南工业大学、中国矿业大学、东北大学、北京科技大学、长沙矿冶研究院、北京矿冶研究总院、北京有色金属研究总院、广州有色金属研究院等。这些矿物加工学术与研究中的研究涉及矿物加工学科各个领域, 促成了矿物加工学科的形成与发展。

目前, 矿物加工的主要学科方向有:

(1) 浮选化学: ① 浮选电化学: 根据电化学原理, 研究浮选过程的机制, 主要针对硫化矿, 电化学反应主导硫化矿与浮选剂作用机理, 通过电化学调控, 实现多金属硫化矿分离。② 浮选溶液化学: 根据溶液化学原理, 研究浮选行为, 主要针对非硫化矿。根据矿物/浮选剂溶液化学反应行为, 预测非硫化矿浮选分离条件与浮选机理。③ 浮选表面及胶体化学: 根据表面及胶体化学原理, 研究颗粒间相互作用, 讨论细粒矿物选择性凝聚、分散与浮选分离行为。讨论超细颗粒加工制备过程机制。如疏水凝聚、选择性絮凝、载体作用等。主要针对超细粒矿物、煤炭的加工利用与废水治理等。

(2) 复合物理场矿物加工: 根据流变学、紊流力学、电磁学等研究重力场、电磁力场或复合物理场(重力+磁力)中, 颗粒运动行为, 确定细粒矿物的分级、分选条件。如磁流体水力旋流器分选, 振动脉动高梯度磁选, 流化床层干法选煤等。

(3) 高效低毒药剂分子设计: 根据量子化学、有机化学、表面化学研究药剂的结构与性能关系, 针对特定

的用途,设计新型高效矿物加工用药剂。

(4) 矿物资源的生化提取:用生物浸出、化学浸出、溶剂萃取、离子交换等处理复杂贫细矿物资源,如低品位铜矿、铀矿、金矿的提取。由于细菌兼有氧化、吸附、降解等作用,不仅强化浸出过程,而且在环境与工艺控制上具有优势。生化提取的基础理论与技术的研究近几年已成为矿物加工学科的重要方向之一。

(5) 直接还原与矿物原料造块:主要从事矿物原料造块与精加工方面的科学研究。研究铁精矿煤基回转窑直接还原、粉体物料成型等过程的机理。

(6) 复杂贫细矿物资源综合利用:研究选-冶联合、选矿-化工联合、多种选矿工艺(重、磁、浮)联合等处理一些大型复杂贫细多金属矿的工艺技术和基础理论,研究资源综合利用效益。

(7) 矿物精加工与矿物材料:通过提纯、超细粉碎、表面改性等方法,不经冶炼,将矿物直接加工成可用的材料。如性能优良的润滑剂,超纯辉钼矿的加工,功能陶瓷所需超细锆英砂、高岭土的加工;电子浆料所需超细金红石的加工;民用、工业用型煤、水煤浆的加工等。

(8) 矿物加工过程计算机技术:用计算机科学技术对矿物加工过程进行模拟、仿真及优化、预测、设计,建立矿物加工过程专家系统,实现矿物加工过程的计算机管理与控制。

4 矿物加工学科面临的问题及发展趋势

“人口、发展与环境”是21世纪国际社会共同关心的重要议题,一方面人口增加、社会发展对资源的需求与日俱增,而天然资源愈来愈复杂、贫细、短缺;另一方面,人类生活对环境问题愈来愈重视。虽然经过几十年的发展,矿物加工学科已形成了较为完整的学科体系,发展了许多新的矿物加工技术,但随着未来人类可利用资源的变化及现有技术的局限性,矿物加工科技的发展仍将面临许多挑战。人类社会生活的发展要求矿物加工科技发展的目标是实现矿物加工过程的“高效益、低能耗、无污染”。这就要求对矿物加工学科发展面临的问题及科技发展趋势进行深入探讨。

4.1 矿物加工学科发展面临的挑战

矿物加工学科的发展首先面临的是资源变化的挑战,矿物加工处理的资源从传统的天然矿石向如下几种资源变化。

(1) 复杂、贫细、大型多金属矿床:这些矿床的特点是金属品种及伴生稀有、贵金属品种多,品位低,嵌布细,难处理。如柿竹园多金属矿、大厂多金属矿、攀枝花铁矿、德兴铜矿、广西三水铝铁矿等。

(2) 各种非金属矿床:包括以非金属矿物、煤炭为

主的矿床及金属矿山中伴生的非金属矿。特别是后者,在金属选矿过程中,经过了碎磨过程,消耗了大量原材料和能耗,一般只回收了占总矿量约10%的有色金属矿或约30%的黑色金属矿,大量的伴生非金属矿(尾矿)未能利用,矿山综合利用率低。

(3) 二次资源:矿山、冶炼厂、化工厂等排出的废水、废渣、废气中的稀有、稀散和贵金属,废旧汽车、电缆、机器及废旧金属制品等二次资源。

(4) 海洋资源:海洋锰结核是一种赋存于深海底的巨大矿产资源,除含锰外,铜、钴、镍等金属的储量十分丰富。在未来陆地资源贫化、枯竭时,也将成为人类的宝贵资源。

由于待处理的资源发生较大变化,而且长期以来矿物加工学科研究的局限性,现有的矿物加工学科发展将在如下技术问题上面临挑战:

(1) 复杂贫细矿物资源综合回收利用技术:目前,大多数矿山的选矿能耗高,产品单一,矿产品含杂较高,矿山综合利用率低,亏损严重。急需开发各种贫细矿物资源的综合利用技术,并进行基础研究。

(2) 二次资源再生利用技术:由于一次资源逐步减少,二次资源的再生利用技术的开发无疑成了矿物加工领域的重要课题。目前,这方面的技术也不成熟,特别是从三废中回收有用物质及对环境的治理方面还无有效手段,造成资源浪费与环境污染。

(3) 洁净煤技术:煤炭是重要的能源,在中国尤其是如此。但燃煤给环境带来的污染已经成为全球严重关注的问题。煤炭的脱硫及深加工技术一直是而且仍将是矿物加工面临的重要问题。

(4) 矿物精加工技术:传统的矿物加工以提供精矿及粗级矿产品为主,产品的附加值低,而且也不能满足现代科技发展对矿物材料性能要求愈高的需要。

(5) 节能、节水、降耗新工艺与新设备的研究:能耗高、水耗高、原材料消耗高一直是困扰矿山生产的难题,各种矿物加工技术的发展,在提高矿山资源综合利用率的同时,必须解决节能耗的问题。

4.2 矿物加工学科的发展趋势

面对待处理资源的变化及技术上存在的问题,矿物加工科技工作者及相关学科的科技工作者,在矿物加工领域及相关学科领域不断进行新的探索和研究,矿物加工工程学与相邻学科的相互交叉、渗透、融合,如物理学、化学与化学工程学、生物工程学、数学、计算机科学、采矿工程学、矿物学、材料科学与工程已大大促进了矿物加工学科的发展,一些新的矿物加工学科领域已初露端倪。矿物加工科技发展将围绕高效益、低能耗、无污染矿物加工新技术的开发来展开,将逐步形成如下学科领域。

4.2.1 矿物富集、分离与综合利用 以传统矿物加

工工程学为基础,主要针对复杂贫细矿物资源的处理、矿冶三废治理及二次资源的再生利用,开发新的技术、工艺及设备,研究其过程基础理论,属传统的矿物加工学科领域,涵盖传统的浮选化学、浮选剂分子设计、复合物理场矿物加工、复杂贫细矿物资源综合利用等学科方向。在这些传统学科方向上,已开发出的新技术成果的推广应用,将促进传统矿物加工技术与经济效益的提高。如“电位调控浮选技术”,已开始在硫化矿浮选厂推广。“冷固球团直接还原技术”已开始工业化,将解决冶炼优质钢原料短缺的难题。“煤炭干法选别”技术的推广应用,为我国大部分缺水地区洗煤、选煤提供了全新的途径。

4.2.2 矿物提取 以矿物加工学、冶金学、采矿工程学、生物化学、电化学等为学科基础,形成新的学科领域,主要针对复杂贫细矿物资源、海洋资源的开发利用。矿物提取是不经选别过程直接从矿石中浸出、提取有用成分。如坑内就地浸出(in-site leaching),生物浸出(bio-leaching)、堆浸、矿浆电解(slurry electrolyte)等。其中较成熟的技术有铜的浸出-萃取-电积技术,采用硫酸溶液将矿石中铜元素溶解,并可采用生物菌催化溶解,含铜溶液经萃取后进行电积,得到高品级铜,取消了传统的选矿和火法熔炼两个高投资、高生产成本的生产环节。

4.2.3 矿物材料 以矿物加工工程学、材料科学与工程,化学与化学工程学为学科基础,针对各种资源的处理,研究不经冶炼,直接从各种资源中加工制备各种材料的新技术与基础理论。如超细矿物粉体材料。超细矿物粉体材料在石油化工行业中,用作填料、催化剂;在电子工业中,用作电子浆料、磁记录材料、光电波吸收材料;此外,在造纸、农业、航空航天、冶金、医药、食品等行业都有广泛应用^[6]。

4.2.4 矿物化学品加工 以矿物加工工程学、化学与工程为学科基础,针对复杂贫细矿物资源及海洋资源的开发利用,研究不经选冶,直接从矿石中制取化学

品的新技术与基础理论。如煤炭的气化、液化;从锰矿石中生产电子级碳酸锰^[7],从煤炭中生产活性炭、炭黑、腐植酸及腐植酸肥料等。

4.2.5 矿物加工计算机技术与矿物经济 矿物加工过程的计算机管理与控制仍是矿物加工工程重要的学科方向,需要研究矿物加工全过程的计算机仿真、模拟与优化设计,建立矿山、选厂的专家系统,进行生产、经营管理。包括各个生产环节的优化、控制,整体生产水平的控制,矿山投资效益、规模效益、产品结构等的经济评估等。

4.2.6 非矿物资源的富集与分离 矿物加工技术是根据待处理物料的物理、化学性质的不同,采用不同的方法进行物料分离与富集,其原理可推广应用于其他领域,从而可大大拓宽矿物加工学科领域。如高梯度磁选用于医学上红细胞的分离,生物学中离子的分离,核工业中核原料放射性固体的分离,超导磁选机分离液态氧、氧等^[8]。浮选法从纸浆废液中回收纤维素,从废纸上脱油墨、脱炭黑,废旧塑料的回收^[9],医药微生物方面,分选结核杆菌与大肠杆菌等。

参 考 文 献

- 1 Arbiter N. In: Somasundaran P. ed. Advances in Mineral Processing. SME, Book Crafters Inc. 1986. 3~15
- 2 孙玉波. 重力选矿. 北京: 冶金工业出版社, 1982. 1~4
- 3 王淀佐, 胡岳华. 浮选溶液化学. 长沙: 湖南科技出版社, 1989
- 4 胡为柏. 浮选. 北京: 冶金工业出版社, 1989. 1~3
- 5 Arbiter N. In: Fuerstenau M C ed. Flotation, A. M. Gaudin Memorial Volume. 1976 1: 13~18
- 6 杨华明. 搅拌磨超细粉碎及机械化学的研究. [博士学位论文]. 长沙: 中南工业大学, 1998
- 7 袁明亮. 从锰矿石中直接生产碳酸锰. [博士后论文]. 长沙: 中南工业大学, 1998
- 8 向发柱. 高梯度磁选数学模型与计算机模拟. [博士学位论文]. 长沙: 中南工业大学, 1998
- 9 Xiansheng Nie. Compositional Features of Inks and their Effect on Flotation Deinking. [Ph. D. Thesis]. The University of Utah. 1996

MINERAL PROCESSING DEVELOPMENT——PAST, PRESENT AND FUTURE

Hu Yuehua Wang Diansuo^①

(Dept. of Mineral Engineering, Central South University of Technology, Changsha, 410083)

① (Beijing Research Institute of Non-ferrous Metals, Beijing, 100086)

ABSTRACT A brief review of the origing and hightory of mineral processing is made in this paper. The recent development, present status, current problem-both scientfic and technologicals as well as the future trends are discussed. Mineral Processing, which usuallg produces only concentrate may develop toward the mineral extractive metallurgy, mineral chemical engineering and mineral materials to achieve the purpose of high efficiency, low cost and no pollution of the processes.

KEY WORDS Mineral processing, Discipline, Development