

有色金属科技进步与展望

——纪念《有色金属》创刊 50 周年专辑

主编 邱定蕃

北 京
冶金工业出版社
1999

内 容 简 介

有色金属在现代工业社会正扮演着举足轻重的角色, 面临世纪之交的有色金属工业有怎样的发展前景呢? 本书从重有色、轻有色、稀有金属、稀散金属、贵金属及稀土地、采、选、冶、材料及相关产业的生产和科技进步角度, 总结和回顾了有色金属工业取得的辉煌成就与进步, 对下一世纪有色金属工业的发展进行了科学的预测和展望, 同时对我国有色金属工业的发展提出了许多富有建设性的意见和建议。文章的执笔者大多是有色金属领域里的著名专家学者。本书对有色金属领域的科技工作者、经营管理人员、高校师生均具有较实用的阅读价值。

图书在版编目(CIP)数据

有色金属科技进步与展望: 纪念《有色金属》创刊 50 周年专辑/邱定蕃主编. —北京: 冶金工业出版社, 1999. 12
ISBN 7-5024-2461-X

I. 有… II. 邱… III. ①有色金属冶金-技术进步-概况-中国 ②有色金属冶金-技术发展-预测-中国 IV. F426.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 43305 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
责任编辑 谭学余 美术编辑 王耀忠 责任校对 符燕蓉 责任印制 牛晓渝
北京源海印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
1999 年 12 月第 1 版, 1999 年 12 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16; 26.25 印张; 633 千字; 409 页; 1-800 册
50.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64013877
冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



前 言

1999 年是《有色金属》创刊 50 周年。在我国众多的科技期刊中，刊龄达半个世纪的不多，而有幸与新中国同龄者更少。在即将跨入新世纪的时刻，为纪念《有色金属》创刊 50 周年，在中国工程院化工冶金材料工程学部、北京矿冶研究总院及本刊编委会的支持下，我们以编辑出版《有色金属科技进步与展望》论文集回报社会。自去年 10 月发出征稿启事以来，获得了读者的热烈响应，收到大量来稿，经专家审稿后有 62 篇入选。这些文章由有色金属领域的知名专家或长期工作在科研、生产第一线的科技人员撰写。特别是一些一直关心、支持本刊的院士，也在百忙中欣然寄来了他们的佳作。这些文章从不同角度论述了有色金属工业在本世纪的发展和对 21 世纪的展望，对未来有色金属工业的发展具有参考价值和指导意义。

《有色金属》是 1949 年 12 月 15 日由原东北工业部有色金属管理局创办的。其宗旨是报道发展有色金属工业的方针政策，交流生产技术、科研成果和经营管理经验，介绍国外有关的工艺技术和装备。报道的专业包括了地质、采矿、选矿、冶金、加工及分析检测。创刊半个世纪来，共出刊 696 期（截至 1999 年 10 月），发稿 5000 余万字，总发行量达 1300 多万册，较系统而全面地记录了中国有色金属工业 50 年的辉煌发展历程，反映了科技人员、管理干部和广大职工在科技进步、发明创新、生产发展、管理经营等方面的智慧结晶，为传播科技信息，活跃学术交流，培养人才，促进有色金属工业发展做出了不可磨灭的贡献。

50 年来，在广大读者、作者的支持和历届编委会及北京矿冶研究总院领导的关怀下，经几代编辑人员字斟句酌、刻意求精地勤奋耕耘，《有色金属》不但是有色金属工业系统发行量、影响面最大的科技期刊之一，获得了社会的肯定与好评，先后多次获国家级及原冶金工业部、中国有色金属工业总公司授予的优秀期刊一、二、三等奖；同时还被国内外多种权威检索系统遴选为文献检索源，是全国 1578 种核心期刊之一，并位居工程技术类的前列。

我们深知，《有色金属》50 年的历程及所取得的成就与进步，蕴涵了读者的深情厚爱，作者的智慧辛劳，领导的热心支持，企业的精心呵护以及编委们的悉心指导和几代编辑人员的奉献精神。

21 世纪是知识经济和社会信息化的时代，作为信息载体和信息产业组成的科技期刊，更要发挥联结科研与生产、技术与市场、成果与转化、国内与国外的桥梁与纽带作用；要以不断开发信息资源，强化信息传播，倡导发明创新，推动传统产业的革新与改造，实现人类社会的可持续发展作为自己的使命。这也正是《有色金属》未来的奋斗目标。

《有色金属》总 编 辑 邱定蕃
副总编辑 丁朝模

筛分破碎机的新思路

饶绮麟 张振权

(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

摘 要: 文章介绍了筛破结合的物料破碎新工艺, 针对传统破碎筛分工艺, 破碎和筛分作业分别在破碎机械和筛分机械中完成的现状, 提出用 1 台设备将破碎筛分这两个物理过程有效结合的新思路。

关键词: 筛分破碎机; 筛破工艺; 简化流程

1 物料破碎的工艺现状

1.1 概述

物料破碎是矿物加工及土石质原料加工工业中的关键工艺过程。从矿山、采石场开采出来的矿石、石料的块度都很大, 依开采工艺及开采设备不同, 露天矿开采出来的原矿最大块度一般为 200~1500mm; 地下矿进入破碎机的原矿最大块度一般为 200~800mm, 采石场开采出来的石料最大块度一般为 200~600mm。这种块度的矿石或石料不能直接在工业中应用, 必须经过破碎使最终粒度达到产品用途的要求。通常破碎作业的总破碎比在 6~8 或 100~130 之间, 目前所有破碎机都不能达到这样大的破碎比。因为 1 台破碎机只能在一定破碎比下才能有效地工作和获得合理的结构及优良的技术经济指标。1 台破碎设备的合理的破碎比范围一般在 3~8 之间, 因此必须将几台破碎设备串联起来进行分段破碎, 才能把物料破碎到所需要的粒度。

1.2 物料破碎的典型流程

矿物加工。破碎原矿的目的是使矿石中的有用矿物分离, 为下一道磨矿工艺提供合格原料, 现不少选厂入磨粒度还维持在小于 25~30mm; 根据“多碎少磨”节能的原则, 入磨

粒度越小越好。通过工艺和设备的改造，一些选厂入磨粒度已达到小于12~18mm，甚至有的选厂入磨粒度已达到小于7~11mm的先进指标。显然，从矿山采掘出的矿石不可能达到这么小的粒度，通常要通过二段、三段甚至四段破碎筛分工艺使破碎产品的粒度降到经济合理、技术可行的最低限度以满足磨矿工序对粒度的要求。根据给矿块度的大小，入磨粒度的要求及生产能力的不同可选择不同的设备组合及工艺流程。目前国内外采用的设备及工艺流程为：对大型破碎车间，多采用三段或四段破碎——粗碎用旋回破碎机或大型颚式破碎机，中碎采用标准圆锥破碎机或颚式破碎机，细碎采用短锥圆锥破碎机或旋盘破碎机与振动筛闭路获得最终破碎产品；对中小型破碎车间，多采用二段破碎——粗碎多采用颚式破碎机，中细碎采用圆锥破碎机、短头圆锥破碎机或旋盘破碎机与振动筛获得最终产品。图1列举了三段破碎的典型流程。

土石质原料加工。破碎石料的目的是为工业制备各种不同粒度要求的碎石。按不同使用目的，根据产量及最终粒度组成要求，由料斗、给料机、破碎机、筛分机和转运、堆集物料用的各种皮带运输机组组成不同的破碎工艺流程。图2、图3列举了生产能力为30~55t/h和200~250t/h采石场的破碎筛分的典型工艺流程。

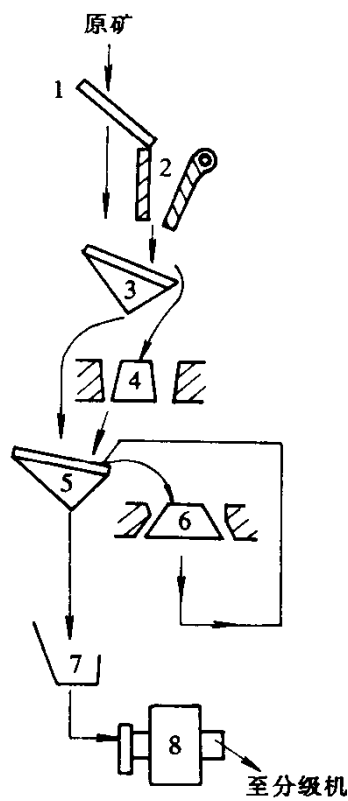


图1 三段破碎机械流程图
1—固定格条筛；2—粗碎颚式破碎机；
3、5—振动筛；4—中碎圆锥破碎机；
6—细碎圆锥破碎机；7—矿仓；
8—磨机

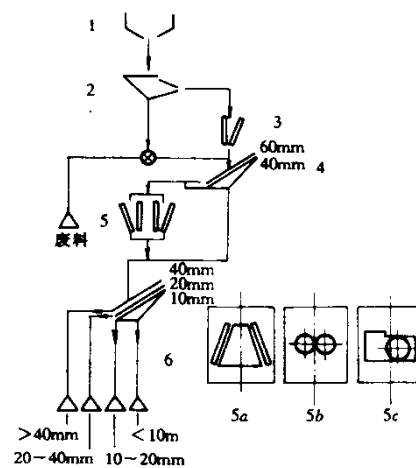


图2 30~55t/h 破碎筛分厂工艺流程
1—料斗；2—ZZG-0725 低矮式振动给料机；
3—PE-400×600 颚式破碎机；4—2YA-1224
双层筛；5—PEX-200×1000 颚式破碎机；
6—3YPJ-1030 三层筛
任选设备：
5a—PYB-600 圆锥破碎机；5b—PGT-760×600
轮胎式双辊破碎机；5c—PWCX-1007 细碎
冲击破碎机

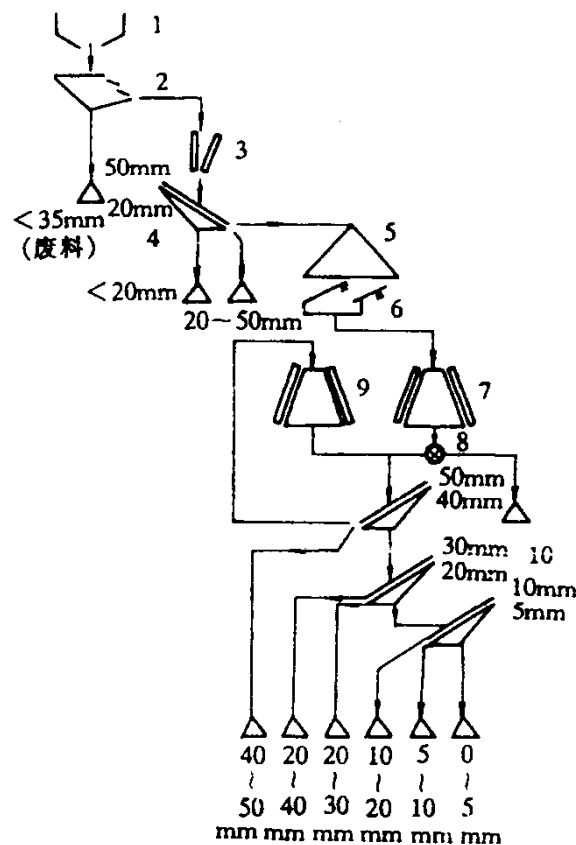


图 3 200~250t/h 破碎筛分厂工艺流程

1—料斗；2—ZZG-1243 低矮式振动给料机；3—PE-750×1060 颚式破碎机；4—2YKJ-1836Z 双层筛；
5—料堆；6—CZG-0915 槽形振动给料机；7—PYB-1750 圆锥破碎机；8—分料器；
9—PYB-1200 圆锥破碎机；10—直线振动筛 2ZJ-1848×2+2ZJ-1542

任选设备：

7a—PE-300×1200×2 颚式破碎机；9a—PEX-250×1200×2 颚式破碎机；9b—PWC-1210
卧式冲击破碎机；10a—圆振动筛 2YKJ-1848×2+2YKJ-1545

2 传统破碎工艺流程

传统破碎工艺流程有以下缺点：

工艺流程长。从上述传统的破碎工艺流程及设备的配置可以看出，对于大型破碎车间必须采用三段或四段破碎，对于中小型破碎车间，也须采用两段破碎才能获得最终产品。

设备台数多。由于工艺流程长，破碎段数增加，需配备的破碎机、筛分机及转载的皮带运输机台数必然增加，设备台数和作业段数多，所需设置的辅助操作岗位必然多。

设备配置需要的高差大。造成土建和施工方面工程量的增加，并给总图和工艺配置造成困难。

能耗高。难以贯彻“以破代磨，多碎少磨”的节能原则。

成本高。投资及运转成本高。

长期以来，国内外专家一直围绕上述问题在破碎理论、简化工艺流程、提高粉碎效率、节能降耗以及满足工业上某些物料产品的粒度要求等方面虽然作了大量工作，研制出各种类型的破碎机和筛分机，对破碎工艺的改造并实现多碎少磨具有重要意义，但一直难以在

增加破碎比、简化工艺流程、节能降耗等方面有重大突破。

3 筛破结合的新思路

从根本上说,破碎作业是为矿物加工工业及土石质原料加工工业提供具有一定粒度、粒度组成、粒形及表面物性的加工原料供后续作业,这就要求物料在破碎过程中既要被充分有效地破碎,在很多场合又要尽可能不被过粉碎。

传统的破碎筛分工艺须分别在破碎机械和筛分机械中完成;我们提出将破碎、筛分这两个物理过程有效结合,由振动筛分给料机+筛分破碎机组成筛破机组,构成筛破结合的破碎工艺流程的新思路。凡是符合排料粒度不需要破碎的物料,尽可能不进破碎机;进入破碎机的物料在破碎过程中,一旦破到排料粒度的要求,要尽可能及时将这些物料从破碎腔中排出。

3.1 振动筛分给料机的作用

(1) 预筛分。从矿山和采石场采出的矿物和石料都由不同粒级的物料组成,其中有相当一部分不须破碎即可达到破碎后要求的粒度。通过预筛分将这些符合要求粒度的物料不经破碎,直接进入排料系统,须破碎的物料才进入筛分破碎机进行破碎,然后再进入排料系统,从而达到合理利用能量,提高机组处理能力,减轻破碎机的破碎负荷,降低钢耗、能耗、减少颚板磨损的目的。

(2) 振动给料。均匀连续给料,保证筛分破碎机满腔正常作业。

3.2 筛分破碎机

笔者设计出一种集破碎和筛分为一体的新型设备,即在1台设备中同时具有破碎、筛分两种功能,首先保证物料被有效破碎,同时根据使用的要求避免物料过粉碎;将在破碎过程中已达粒度要求的产品及时从破碎腔中排出。以达到增加产量、降低功耗,在能量合理利用的前提下大大增加破碎比从而减化工艺流程的目的。

图4为中、小选厂采用筛分破碎机一段破碎的工艺流程简图;图5为采用两台筛分破碎机将最大750mm的石料破碎成4种粒度的两段破碎的工艺流程简图。

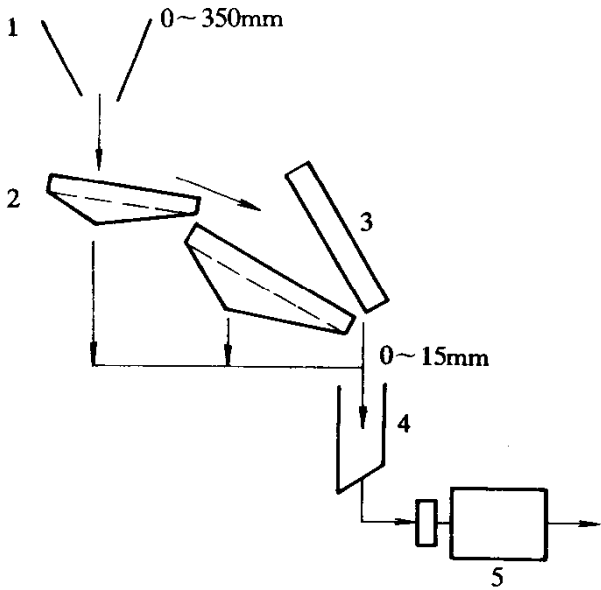


图4 中小选厂一段破碎工艺流程简图
1—料斗; 2—振动筛分给料机;
3—筛分破碎机; 4—矿仓; 5—磨机

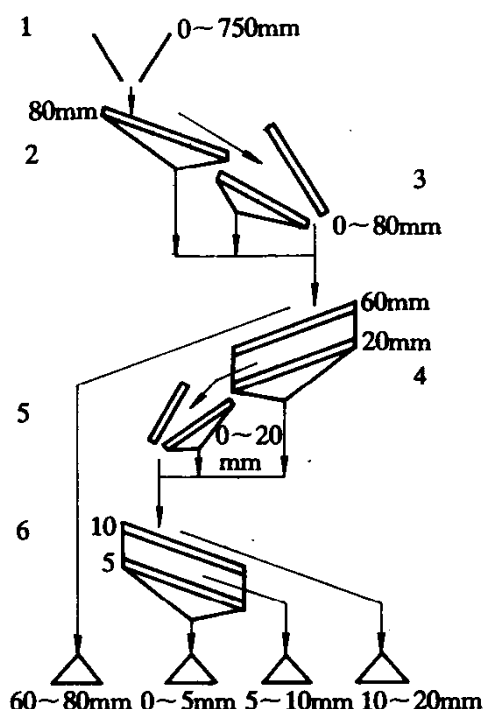


图 5 石料两段工艺流程简图

1—料斗；2—振动筛分给矿机；3—初碎筛分破碎机；4—双层筛；
5—细碎筛分破碎机；6—双层筛

4 PEWS2560 筛分破碎机

要实现筛破结合，关键要研制出具有破碎筛分两种功能的筛分破碎机。新设备还应具备结构简单、实用可靠、维修操作方便、成本低廉、性能优良等优点。根据这种创新构思，在我们开发的外动颚匀摆颚式破碎机的基础上研制出了 1 台 PEWS2560 筛分破碎机。

4.1 工作原理及结构特征

电动机带动偏心轴转动，通过边板将动力传递给动颚，使其相对可调颚作往复运动，周期地改变由动颚和可调颚组成的破碎腔的形状和体积，使进入破碎腔的物料周期地受到挤压、剪切、劈裂作用，将物料破碎，使设备具有破碎功能；同时动颚体及动颚衬板均设计成独特的筛状，在其周期性运动时将已破碎的合格粒度物料及时经筛孔从破碎腔排出，使设备同时具有筛分功能。

图 6 为筛分破碎机的结构原理图。

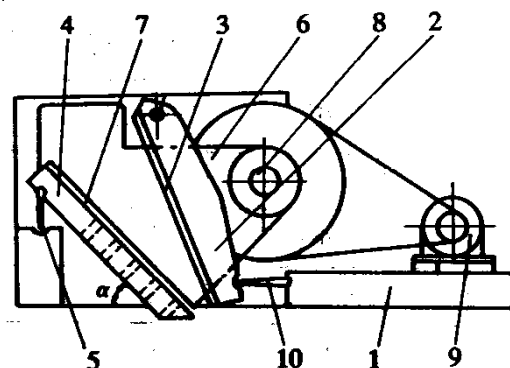


图 6 筛分破碎机的结构原理图

1—机架；2—可调颚；3—可调颚衬板；
4—动颚（筛体）；5—肘板；6—边板；7—动颚肘板（筛板）；8—偏心轴；9—驱动装置；10—调整机构

4.2 主要性能参数

进料口尺寸/mm	250×600
最大给料程度/mm	210
处理能力/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2~20
排料口调整范围/mm	7~60
偏心轴转数/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	250~550
电机功率/kW	15
外形尺寸（长×宽×高）/mm	1500×1490×960
重量/t	3.88

4.3 设备特点

(1) 具有普通颚式破碎机结构简单、工作可靠、制造维修容易、适应性强、成本低等突出优点。

(2) 又兼有外动颚均摆额式破碎机运动特性好，动颚具有理想的运动轨迹，使衬板磨损小、偏心距小、能实现大破碎比；外形低矮、喂料高度及整机重心低等突出优点。

(3) 在 1 台设备中同时实现了破碎与筛分的两种功能，及时将破碎已达粒度的物料从破碎腔中排出，解决了颚式破碎机堵塞、过粉碎的问题。

(4) 偏心轴转速大大提高，处理能力和破碎吨矿石的功耗指标得到改善。

4.4 实验初探

我们分别对相同材质、不同结构参数及特征的 7 套筛板在不同转速和不同排放口的情况下进行了初步试验。各筛板及颚板的结构参数及特征见表 1。

表 1 各筛板及颚板的结构参数及特征 (mm)

编号	特征	孔形	孔宽	孔长	齿形	齿高	齿距
筛 1	双齿小孔	长方形	15	130	梯形	10	50
筛 2	小齿小孔	长方形	15	130	梯形	15	50
筛 3	大齿大孔	长方形	25	130	梯形	15	60
筛 4	深齿小孔	长方形	8	130	梯形	35	50
筛 5	平板小孔	长方形	8	130			
颚 2	小齿无孔				梯形	15	50
颚 3	大齿无孔				梯形	15	60

试验结果分述如下：

(1) 筛分效果。图 7 为表示各筛分板筛分效果的直方图。

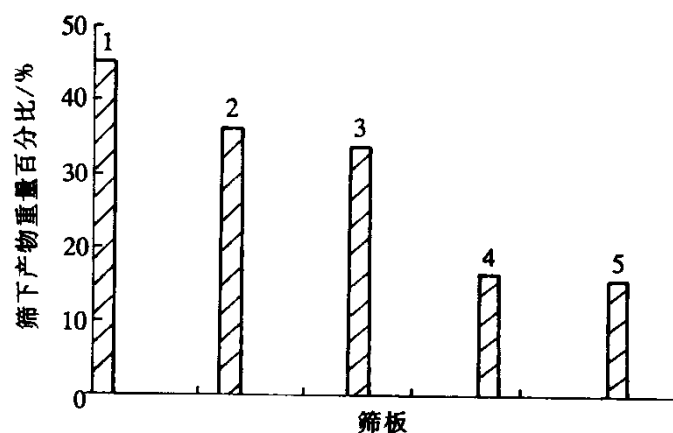


图 7 各筛分板的筛下产物重量百分比

($n=450\text{r/min}$, 孔宽=15mm)

1—筛 2; 2—筛 3; 3—双齿; 4—深齿; 5—平板

图 7 的数据表明, 在 PS2560 筛分破碎机中, 各筛分板都能有效实现筛分, 筛下产物最多的达到 45%, 最少的也在 16% 以上。试验还表明, 不同尺寸筛孔和排放口的组合, 可得到不同粒级组成的产品。

(2) 筛分破碎对产品质量的影响。图 8 为各颚板或筛分板破碎产物的粒度曲线, 其中实线为各筛分板破碎产物的粒度曲线, 虚线为颚板破碎产物的粒度曲线。

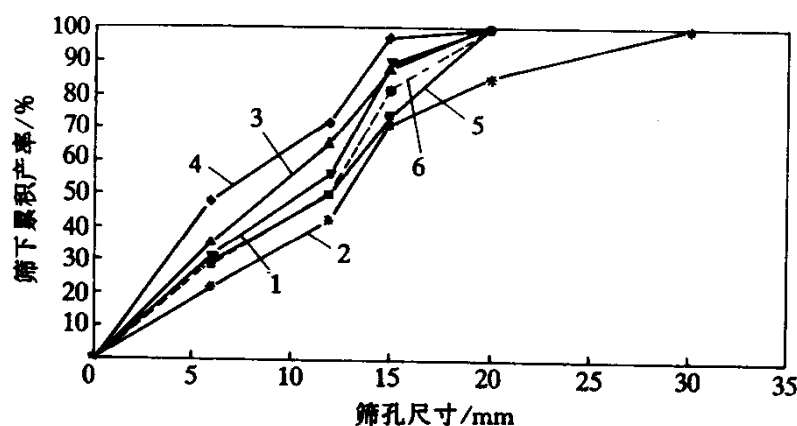


图 8 各筛板的产物粒度曲线比较

($n=450\text{r/min}$, 孔宽=15mm)

1—筛 2; 2—筛 3; 3—双齿; 4—深齿; 5—平板; 6—颚板 2

从图中可见, 筛分板 2 破碎产物 $P(80)$ 为 14mm, $P(90)$ 为 15.1mm, 主要粒度分布在 4~14mm 之间; 双齿筛分板破碎产物 $P(80)$ 为 13.8mm, $P(90)$ 为 15.9mm, 主要粒度分布为 4~14mm; 深齿筛分板破碎产物 $P(80)$ 达到 12.7mm, $P(90)$ 达到 14.2mm, 主要粒度分布为 3~13mm; 而颚板破碎产物 $P(80)$ 则为 15mm, $P(90)$ 为 18.1mm, 主要粒度则分布为 4~15mm。由此可见, 破碎过程中及时将细粒级物料筛出后, 剩余的粗粒级物料的破碎概率增加了, 破碎效率提高了, 因而整个破碎产品的质量得到改善。试验观测还同时表明, 筛分破碎产物的粒形要远远优于单一破碎的产物粒形。

(3) 节能效果。传统 25 系列颚式破碎机, 最大入料粒度 210mm, 如排料口粒度小于

15mm，一般采用 PE250×400 颚式破碎机粗碎加上 PE100×600 细碎颚式破碎机组成两段破碎系统，装机功率为 22.5kW，中间还要配备 1 台筛分机（或皮带运输机）。而采用 1 台 PS2560 筛分破碎机一段破碎即可完成同样的功能，装机功率仅为 15kW，达到了简化工艺流程及节能降耗的目的。

5 结 语

（1）筛分破碎机可以在 1 台设备中同时实现破碎和筛分两种功能，能将已达粒度要求的物料及时从破碎腔中排出；

（2）破碎产物的质量得到改善，产品粒级及各粒级的比例容易调整，产品粒度均匀，粒形较好；

（3）具有良好的运动特性和性能参数，节能效果显著；

（4）简化工艺流程，可带来破碎工艺的变革。

变革中的地下大直径深孔采矿法

谢 源 刘庆林 孙忠铭

(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

摘 要: 本文回顾了地下大直径深孔采矿技术的发展变革, 针对不同的应用条件研究开发了不同的技术方案, 探讨了不同技术方案的工艺特点、技术关键与应用条件等; 同时也简述了国内外大直径深孔采矿技术的最新进展及未来发展方向。

关键词: 大直径深孔; 爆破; 采矿

1 概 述

地下大直径深孔采矿方法的发展, 已有四五十年的历史, 随着深孔凿岩设备的发展, 其孔径和深度都在不断地增大, 特别是近 20 年来, 大直径的液压和高风压凿岩机械及其台车的应用, 使炮孔深度可达 50m 以上, 孔径达 165~250mm, 偏斜率一般不大于 1%。这给地下大直径深孔采矿技术提供了设备保证, 阶段高度大幅度增高, 由一般的 30~70m, 增加到前苏联的 80~90m, 美国的 90~110m, 瑞典基律纳铁矿的超级采场达 154m。这样不仅减少了分段采准工作量, 也提高了采场开采强度, 提高了作业效率, 改善了作业环境, 扩大了矿山生产规模。因其能大大地提高采场开采强度, 使用范围已由空场法扩大到各种有条件的其它采矿方法, 日益得到广泛应用。

70 年代末我国开始试验研究地下大直径深孔采矿技术, 先后进行了 VCR 采矿法、阶段挤压爆破单步骤回采方案、阶段台阶崩矿采矿法、束状阶段盘区崩矿采矿法、高阶大直径深孔采矿法的试验研究与应用试验, 基本形成了适用于各种开采条件比较完整的方案类型和相应的回采工艺, 并在国内许多矿山广泛应用, 取得了较大的经济效益与社会效益。

2 垂直漏斗爆破后退式采矿法 (VCR 法)

VCR 法是大直径深孔采矿技术方案的一种, 主要工艺特点是根据 W. 利文斯顿的漏斗爆破理论, 采用球形药包装药漏斗爆破自下而上分层落矿。

VCR 采矿法的技术关键是炸药性能与岩石物理力学性质匹配、药包最优埋深、合理布孔及装药结构等。80 年代初在凡口铅锌矿进行了 VCR 法试验研究, 研究结果表明: 在凡口铅锌矿的矿岩条件下, 采用密度为 1.43g/cm^3 、爆速为 $4200\sim 4500\text{m/s}$ 的 CHL— V_2 炸药是适宜的; 采用 165mm 孔径条件下球形药包最优埋深应为 $2.7\sim 3.0\text{m}$, 在实际应用中, 超过这一埋深将导致孔口的破坏和爆破作业面形成烟囱状的漏斗, 为下一步施工带来困难。为

保证每一分层落矿形成平整的顶板，要求各个崩矿漏斗有一定的重叠，不使漏斗间形成“脊”部，各球形药包的间距不应大于 1.4 倍的最优埋深，实际应用的布孔参数为 $2.4\text{m} \times 3.6\text{m}$ 和 $2.6\text{m} \times 3.0\text{m}$ 。此法的显著优点是矿石的破碎质量非常好，爆破块度均匀，平均块度一般为 $100 \sim 120\text{mm}$ ，大块率低，大于 500mm 的块度在 1% 以下。

加拿大国际镍业公司所属萨德伯里 (Sudbury) 盆地的矿山，大量的矿石是用此法采出。该公司的铜崖 (Copper Cliff) 北矿，试验一种 VCR 新方案，即从矿体的最下部阶段向上回采，下部采场采完后立即充填，用作上面采场的底板，而无需留有阶段间的矿柱，大大提高了矿块的回收率。

VCR 采矿法球形药包分层落矿的不足之处是施工比较复杂，每次爆破量有限，爆破次数频繁，现有不少矿山主要用这种方法开凿采场切割天井或切割槽，然后用其它深孔方法进行回采作业。

3 阶段挤压爆破单步骤回采

该回采方案是指采用阶段大直径深孔实行阶段挤压爆破连续后退式回采的阶段崩落采矿法。采用预切补偿槽的阶段挤压爆破法，不留间柱、顶柱和底柱的后续回采是本方案的技术关键与工艺特点。这对简化技术管理工作，提高开采强度与效率，极大限度综合回收矿产资源等有重要的意义。

此方案在金厂峪金矿试验，试验采场长 29m ，宽 $13 \sim 18\text{m}$ ，相邻采场已采完并用废石充满，段高 40m ，试验采场矿量 4 万 t。凿岩硐室位于原上部采场的底柱中，沿采场走向布置两条近似平行的凿岩巷道，采用 CMM-2 钻机打下向扇形深孔。

试验采场采用从两条凿岩巷道钻凿下向大直径扇形深孔的布孔方案，共 10 排，排间距 3.0m ，孔底距 3.5m ，共布置 128 个深孔，总孔深 1715m 。

为了克服挤压爆破中挤压位移有限，一次挤压爆破的排数不易超过 5 排及二次松散放矿的贫化损失较大等缺点，该项研究采用了在采场边界（即挤压介质的另一侧）先形成一补偿槽，而后整个采场连同上部采场的底柱一次崩落的挤压爆破方案。补偿槽是先采用 VCR 法形成切割天井然后扩帮而成，掘进了规格分别为 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 和 $2.3\text{m} \times 2.3\text{m}$ 的两个 38m 高的天井，整个成井过程顺利，成井规格较好，每一分层的平均爆高为 2.3m 。

按拉底层空间、补偿槽、挤压介质位移计算，采场爆破崩落矿石的松散系数为 1.34。挤压爆破由于部分直达应力波被挤压介质吸收，反射拉应力波被削弱，但爆破的岩块在相互冲击和相互挤压过程中进一步充分利用爆破过程中的动能。虽然一次爆破回采的步距较大，由于补偿空间的调整，挤压程度不大。基于以上分析，试验采场各排炮孔在不同爆破条件下炸药单耗分别为 $0.35 \sim 0.55\text{kg/t}$ 。

装药结构主要为柱状装药，所有炮孔按设计起爆顺序共分 15 段一次起爆，最大分段药量为 1200kg ，所有炮孔完全按设计爆破边界崩落，爆破效果良好。

带补偿槽的阶段挤压爆破单步骤回采工艺技术，适用于可采用阶段崩落法开采技术条件下的矿体，在提高采场生产能力与作业效率、降低成本和贫化损失等方面有明显的优点。

4 阶段台阶崩矿采矿法

该回采方案的实质是露天矿的台阶崩矿在地下矿的应用,其工艺特点是采用大直径阶段深孔装药向采场中事先形成的竖向切割槽实行全段高台阶崩矿,崩落的矿石由采场下部的出矿系统运出。这一采矿技术具有较高的采场生产能力、作业效率和简化回采工艺等优点。

该项研究与凡口铅锌矿合作于1986年开始,分别进行了回采矿房采场与间柱采场的工业试验,于1990年底完成。

4.1 矿房回采的研究与工业试验

试验采场高80m、长50~70m、宽6.5~8.0m。由于采场的采幅宽仅6.5~8.0m,对于采用孔径165mm的深孔,均匀布孔有些不适应,经分析研究拟采用双密集孔的布孔方案。双密集孔爆破由于在其抵抗线方向形成近似平面应力波阵面,减少应力波能量在传播过程中的耗散,加之叠加应力波的正压作用时间增加,有利于充分利用炸药能量,获得较好的爆破效果,此外因大部分装药集中于中间部位的双密集孔,从而减少爆破对边帮的破坏。

为了给试验提供设计依据和进一步揭示双密集孔爆破的作用机理,应用多火花光弹机进行动态光弹模拟试验,对双密集孔爆破的应力场的形状、衰减规律进行了分析,形成双密集孔效应的合理间距为3.8~8倍的装药直径。

4.2 间柱回采的研究与工业试验

采用阶段台阶崩矿采矿法回采两侧为充填体的间柱的技术关键是如何采用正确的爆破方法,达到适宜的爆破块度,并通过采取合理的爆破工艺技术措施控制爆破作用,保证采场两侧充填体在整个回采期间的稳定。

除了常规的合理起爆顺序、孔间或孔内微差、最大一段分段药量、装药结构等爆破作用控制技术措施外,如何确定在爆破载荷下充填体的动力响应及破坏准则是一个至关重要的课题,为此对充填体临近界面处的动力响应及衰减规律以及破坏判据采用理论分析、模拟试验、现场测定的方法进行了研究。根据测定与研究的结果得出:试验条件下充填体发生破坏的临界冲量密度为 $150.485\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$,充填体中的衰减规律为 $I=237.859e^{-1.148r}$, r 为比例距离,采场边孔与充填体距离以1.5~2.0m为宜,最大分段药量为200~300kg。

采场布孔以3孔、2孔逐排交错的布置方式,排间距分别为2.4m和2.6m,边孔距为1.8m。采场切割槽位于采场顶板侧,用VCR法施工,破顶爆破后以切割槽为自由面后退顺序进行阶段台阶爆破。

阶段台阶崩矿法技术方案简单、效率高,因采用低成本炸药而成本大大降低,从国外大直径深孔采矿技术的应用情况看,阶段台阶崩矿应用比重远比VCR法高。

5 束状孔阶段盘区崩落法

该回采方案的实质是对组成盘区的采场采用连续开采顺序并根据各采场在回采的时序和技术工艺要求的不同,分别采用球形药包分层爆破、阶段深孔台阶爆破以及束状阶段深孔大量崩矿,从而形成盘区内的连续开采过程和大量供矿条件,这里的局部采用球形药包分层崩矿和阶段深孔台阶崩矿实际上是为束状阶段深孔大量崩矿形成必要的切割面和切割空间。

束状孔是将深孔布置成互相平行的束状,每束孔的孔间距很小,仅4~6倍孔径,而束间距可以为单孔时的数倍。设计时通常将一束平行孔做为一个当量(或等效)单孔考虑,一束孔的抵抗线和束间距可以成倍的增加,这一布置方式除改变了相同孔径炮孔爆破应力波参数、改善应力波的传播条件和爆破时炸药能量的利用以及提高爆破效率以外,还有利于简化采场工程结构和采场地压管理工作。

试验盘区为狮子山矿7号矿体,即9P、10P、11P三个采场,在9P采场采用局部球形药包分层爆破和台阶崩矿形成补偿空间以后,10P、11P采场采用束状阶段深孔崩矿。主要采用4孔一束的束状深孔崩矿,4孔束的抵抗线为7m,束间距7.2m,束内孔间距0.8m,实行束间微差,连同原上部顶柱矿量一次爆破,崩落矿量4.6万t,装药量19.2t。爆后观察,矿石全部按设计边界崩落,形成预期的抛掷堆积。

束状孔阶段盘区崩落法除了具有一般大直径深孔采矿技术共有的优点外,在简化采场工程结构和地压管理、提高效率、减少劳动强度(减少钻机的移动次数)有其独特的优点,同时为开采大而贫的坚硬的矿体采用大直径深孔采矿技术开辟了新的途径。近十多年来,在俄罗斯等独联体国家的一些开采厚大矿体的地下矿山大量采用束状深孔方案,一次爆破装药量达100~200t,崩落矿石量为20~100万t,已取得了较好的效果。如在克里沃罗格矿区某矿,采用4~5个间距为0.4m束状孔,最小抵抗线为6~7m。

6 高阶阶段大直径深孔采矿法

高阶阶段大直径深孔采矿的实质是将两个中段(40~60m)合并为一个高阶阶段(80~120m)采场,共用一个底部结构,大直径深孔分段凿岩,这样可以大大减少采准切割工程量。因采场高达120m,采用控制爆破技术确保采场稳定是该法的技术关键。

安庆铜矿1号矿体的1号、3号、5号、7号、9号矿房全部采用此法回采完毕,矿柱已回采了三个,其回采高度达120m。通过采用小断面天井拉槽、合理的装药结构、选用环形和倒梯形分段起爆方式、矿体边界预留保护层、顶板成拱爆破、留矿爆破等技术,对于改善爆破效果、防止帮顶及充填体垮落与降低贫化损失等方面,取得了良好的效果。

高阶阶段大直径深孔采矿法适宜矿岩较稳固的厚大矿体,对提高采场的开采强度及减少采准切割工程量等方面有明显的优势。

7 大直径深孔采矿技术的发展趋势

随着矿山机械化、自动化、计算机和信息技术的飞速发展,推动矿山设备和地下大直径深孔采矿技术的发展。发展趋势主要表现在以下几方面:(1)从采场布置、炮孔设计到凿岩爆破采用计算机进行设计与控制。(2)加大孔径与阶段高度,大孔径从105~165mm扩大到200mm以上,甚至还研究了直径350~400mm大孔的可能性,阶段高度从30~70m增加到80~110m,甚至达到200m以上,有利于提高采场开采强度与采场崩矿量。(3)自动化引导采矿朝井下无人开采系统方面发展。凿岩自动化,新型凿岩台车安装一个全扇形凿岩臂,所有动作(包括开孔、钻进、换杆、退杆、重新定位和下一次开孔)都是自动控制,远距离遥控铲运机及70t井下汽车运输自动化,利用摄像机、遥控和自动传感器控制有轨运输与提升系统。(4)硬岩连续出矿与采矿,移动式的振动放矿机及远距离皮带运输机使连续出矿成为现实,逐渐在国内外推广应用。(5)用锚索加固破碎矿岩,使大直径深孔采矿法的应用范围从稳固岩体扩大到非稳固岩体。这些高技术已在加拿大镍业公司及瑞典卢基公司等企业进行应用研究与探索。这些趋势使采矿工程技术人员井下占用的时间越来越少,计算机终端和复杂设备占用的时间越来越多。总之,日益发展的矿山机械化、自动化使大直径深孔采矿法有更广泛的应用前景。

8 结 语

近十多年来,经各方的共同努力,大直径深孔采矿法已在我国广泛应用,并针对不同的开采和应用条件研究开发了不同的技术方案,这些技术方案又丰富和发展了大直径深孔采矿法,同时为国家取得了巨大的经济效益。

参 考 文 献

- 1 孙忠铭.采矿科研的回顾与展望.——庆祝北京矿冶研究总院建院40周年论文集.北京:冶金工业出版社,1996
- 2 董光煦.高等硬岩采矿学.北京:冶金工业出版社,1995
- 3 刘庆林、谢源等.间柱采场阶段深孔台阶崩矿采矿方法研究.有色金属(矿山部分),1995.10(5),1~5
- 4 萨德伯里矿山的低成本生产.世界采矿快报,1988.11.10,17~19
- 5 汉里姆.基律纳铁矿的超级采场.国外金属矿山,1990,(11),37~40
- 6 谢源等.安庆铜矿高阶段采矿工艺试验研究.矿冶,1997.3(1),1~6
- 7 孙再东等.大直径深孔回采高阶段矿柱的技术探讨.矿业研究与开发,1996.6(3),13~17
- 8 W.E.STANLEY.(加拿大).2000年采矿工业展望.世界采矿快报,1997.3.10,5~7

依靠科技进步 提高矿产资源开发利用水平

马国秋 许水平

(广东凡口铅锌矿, 韶关 512325)

摘 要: 本文介绍了凡口铅锌矿自投产以来一直坚持矿产资源综合开发、综合利用的原则, 认真实施矿山可持续发展战略, 依靠科技进步, 提高矿产开发利用水平, 在矿产资源的开发、管理、综合回收及矿山环境保护等方面取得了较好的经济效益和社会效益。

关键词: 地质管理; 资源回收率; 环境保护

凡口铅锌矿是我国目前最大的地下开采铅锌矿山。矿床储量大、品位高, 矿化集中, 矿床中除富含 Pb、Zn、S 外, 还伴生有 Ag、Ga、Ge、Cd、Hg 等稀有元素, 这些伴生元素经过精矿产品的初步富集之后, 在冶炼过程中得到回收, 具有较高的经济价值。

矿区自 1956 年起, 经原 706 队、932 队等专业地探队伍及矿山在探采过程中储量有所增加, 截止 1997 年末, 累计探明铅锌矿石地质储量 B+C+D: 5470.5 万 t, 金属量 835 万 t (Pb+Zn)。目前矿山保有地质储量 3910 万 t, 金属量: 546.17 万 t。按现在的生产能力预测, 矿山尚可保证服务年限 25 年, 属矿产资源较充裕的矿山。

矿山自 1968 年第一期工程投产后, 经过 30 年的生产发展和技术改造, 现已具备了年产铅锌金属含量 15 万 t 的采选生产能力 (年产矿量 130 万 t), 实际生产能力年产铅锌金属含量 10~12 万 t (矿量 90~100 万 t)。截止 1997 年末, 矿山累计消耗地质矿量 1550 万 t, 向国家提供了 288 万 t 铅锌金属量, 为我国的有色金属工业做出了突出的贡献, 成为技术一流、装备一流、经济效益好的新型矿山。

凡口矿自建矿以来, 一直坚持矿产资源综合开发、综合利用的原则, 认真实施矿山可持续发展战略, 依靠科技进步, 提高矿产资源开发利用水平, 在矿产资源开发管理、综合回收及矿山环境保护等方面都取得了显著的成绩。

1 加强地质管理, 依靠科技进步, 提高矿山企业资源利用率

1.1 加强地质基础管理, 强化地质监管职能, 保证矿山资源的合理开发利用

(1) 建矿以来, 矿山一直保持较为稳定的地质管理机构, 负责矿山生产勘探和资源开发管理工作。目前地质科共有人员 33 人 (其中技术人员 24 人)。