

郭 然/Gou Ran

# 地下铅锌矿山清洁化采矿生产新技术

New technology on cleaner mining production of underground lead and zinc mines

## 前言

### Preface

我国目前铅锌生产主要矿山大多采用地下采矿，如凡口、黄砂坪、栖霞山、厂坝、西铁山、会泽等。相对于金、银、铜、镍、钼等金属矿床而言，铅锌矿床的矿石品位一般较高，因此选矿的尾砂产率相对较低，这就为全尾砂充填采矿法的应用创造了更加有利的条件。有品位较高铅锌矿选矿后的尾砂产率只有30~40%，而充填矿山采用尾砂作为充填料时，所需充填尾砂量一般为矿山矿石产量的45~55%。这种高品位铅锌矿床最适合采用全尾砂充填。假设铅锌精矿品位为40~60%，那么对于原矿品位(Pb+Zn)为20~30%的铅锌矿床而言，尾砂产率恰好能够满足充填的需要。考虑到矿山采矿和充填作业的不均衡性和矿山生产过程中有一定废石产出，可以认为原矿品位(Pb+Zn)为10%以上的地下铅锌矿山都非常适合用全尾砂充填。全尾砂产量与充填料需要量基本平衡时，基本可以实现地下铅锌矿山无须建尾矿库和废石场，为铅锌矿山的清洁化采矿奠定坚实的基础。即使品位较低的铅锌矿，尾矿无法全部用于井下充填，采用全尾砂充填也具有如下优点：①由于不需要进行尾砂分级，节省了尾矿分级设备和设施，降低了生产经营费用；②利用全尾砂堆坝，减少了初期尾矿坝建设投资（分级粗尾砂充填时，细尾砂无法作为堆坝材料）；③全尾砂充填可以做到在采矿场不需脱水，这不仅大大改善了井下生产的安全和清洁条件，还消除了充填泄出水的附加排水费。虽然全尾砂充填具有诸多优点，但是在我国目前铅锌和其它金属矿山的应用并不多。主要原因是缺乏制备和输送可以在采场不需脱水全尾砂充填料的工艺和技术。凡口和栖霞山铅锌矿虽然实现了局部尾砂充填采场的不脱水，但是不脱水部分大多采用分级粗尾砂，全尾砂主要用于对充填养护时间要求不太高的采场。金川镍矿的全尾砂膏体充填，由于制备和输送都还存在一些问题，所以并没有在全矿得到广泛使用。近两年，作者本人主持开发了一套全新的全

尾砂膏体制备和输送工艺和技术体系，在一个铅锌生产矿山得到了很好地应用。

## 大型废石场和尾矿库破坏矿区生态环境 Large-scale waste dump and tail reservoir damaged the eco-environment of mine section

矿山生产不可避免地要产生大量固体废料，即废石和尾矿。传统地下矿山一般都设有大规模的废石场和尾矿库。废石和尾矿的堆存不仅占用大量的土地，而且还严重破坏了矿区的自然环境。废石场和尾矿坝的垮塌会导致泥石流，直接威胁人民的生命和财产安全。为了实现矿山的安全生产，必须修筑坚固的拦石坝和尾矿坝，这又大大增加了矿山基本建设投资和土地复垦费用，增加了矿山闭坑成本。

## 传统矿山设计全局观念不强

### The lack of overall view-point in designing traditional mines

传统矿山设计在进行采矿、选矿和尾矿技术方案选择时，一般是分别进行采矿、选矿和尾矿技术方案的研究。比如：①为了提高选矿回收率，通常采取的技术措施之一就是提高磨矿细度，很少或几乎没有考虑过磨矿细度的提高对尾砂粒度的影响，而尾矿粒度对后续的采矿充填和尾矿堆坝的技术选择和矿山总的经营成本具有重要影响。②为了实现尾砂在采场的顺利脱水，通常利用分级后的粗尾砂进行井下充填，把细尾砂泵送到尾矿库堆存。由于细泥堆坝无法确保尾矿库安全，利用全尾砂进行堆坝节省投资费用的想法不得不放弃。③矿山建设和生产期间很少考虑矿山的闭坑设计和成本。传统坑内矿山设计不进行全过程设计（全过程是指包括矿山基建、生产、闭坑和生态环境恢复的矿山终生设计），因此往往在地表没有重要建筑物或农田时，首先考虑崩落或空场采矿法，以降低生产成本，往往忽略矿山的闭坑成本。

## 分级尾砂充填的固有缺点

### Native defect of vertical sand filling

分级尾砂充填是目前我国铅锌和其它有色金属地

下矿山最常用的充填采矿方法,然而分级尾砂充填有其固有的缺点。

多年来矿山尾矿坝的设计和建设实践表明,矿山基建期修建一个高度较低的碎石基坝,然后在生产过程中利用全尾砂自然堆坝,这种建设模式的尾矿生产费用较低。如果把分级粗尾砂用于井下充填,把细砂排到尾矿库,因为分级后的细砂粒级太小,无法进行自然堆坝,所以就要增加尾矿坝的建设费用。

分级尾砂浆中的水大部分是作为输送尾砂的介质,不是充填体性能的必然要求。利用粗尾砂充填的主要原因是为了使砂浆在采场快速脱水,而采场脱水又带来了新问题:一方面,采场脱水延长了采场回采周期,降低了采矿效率;另一方面,采场脱水增加了井下排水量,提高了排水费用;再有,采场泄水带走相当数量的细泥(相当一部分是水泥),原本清澈的地下水变浑,巷道内的水沟淤积,恶化了井下巷道的生产环境。

## 全尾砂膏体制备新工艺

### New craft of making full tailing paste

全尾砂膏体制备工艺主要包括:选矿厂全尾砂脱水工艺、全尾砂膏体搅拌工艺和膏体制备自动化控制工艺和技术。选矿厂生产的全尾砂脱水是膏体制备的关键技术;全尾砂膏体的搅拌和制备工艺是确保送入井下膏体满足输送和充填体强度要求的关键;自动化控制是提高充填生产效率和保证充填体质量的必要手段。

#### (1) 全尾砂脱水新工艺

目前国内外广泛使用的全尾砂脱水工艺主要有:①陶瓷过滤机脱水;②真空带式过滤机脱水;③压滤机脱水。这些脱水工艺都是将全尾砂脱水至含水10~13%(尾砂浓度为87~90%),在后续的膏体制备搅拌槽内再加入胶结剂(一般为水泥)和水淬渣(或其它含水率<10%的干料)制成满足充填体强度要求的膏体充填料。对于一般金属矿山的全尾砂,膏体浓度一般为76~84%,因此在利用脱水后的全尾砂制备膏体时必须再加一定量的水才能制备成满足要求的膏体。先脱水然后再加水,这无疑会造成能源的浪费。除此之外,由于在全尾砂中部分细泥颗粒小(3~5 $\mu\text{m}$ ),很容易堵塞陶瓷或带式过滤机(孔径1~2 $\mu\text{m}$ ),需要经常用酸洗或超声波清洗。在高海拔地区,由于真空度低,陶瓷和带式过滤机的效率大大降低。为了克服上述脱水工艺的缺点,我们采用了深锥膏体浓密机脱水工艺。独创了一套用深锥制备满足金属矿山充填要求的新工艺。

浓密机是固液分离的常用设备,在矿山得到了广泛应用。但是一般浓密机底流尾砂浓度(<55%)无法满足膏体制备要求的尾砂浓度(要求浓度>73%),常规的所谓高效浓密机底流浓度(<65%)也不能满足膏体制备要求。深锥浓密机可以制备出满足膏体充填浓度要求的全尾砂。深锥浓密机(澄清器)在氧化铝行业得到了广泛应用。目前将深锥浓密机应用到金属矿山采矿充填领域,在全世界也只有2~3个矿山,应用成功的更是少。深锥浓密机在氧化铝和尾砂干堆行业之所以得到广泛和成功的应用,是因为深锥浓密机的工作条件是进出料始终保持平衡,所以深锥内部尾砂始终处于稳定状态。而金属矿山充填工艺经常会出现采充不平衡,因此深锥内尾砂量经常变化,结果导致深锥排料浓度的大幅度波动,无法满足膏体充填料制备要求。我们通过大量的工业试验,掌握深锥内尾砂浓度变化的规律,找到了控制深锥操作参数的有效方法,实现了深锥稳定排放尾砂料浆(排料浓度稳定、排料量稳定)。

#### (2) 膏体制备新工艺

目前国内外膏体制备(或搅拌)工艺有两种,一种是连续制备,另一种是间隔批量制备。连续制备的优点是操作简单,缺点是当制备的膏体质量发生变化,特别是制备的膏体无法满足输送和充填体强度要求时,不能及时处理,有时会造成充填管路堵塞,给生产造成巨大损失。间隔批量制备膏体的优点是可以确保进入充填管道的充填料满足要求,不合质量要求的充填料可以排掉或重新制备,缺点是操作程序复杂、效率低。我们在膏体充填工业试验时独创了一种制备工艺技术,取得了很好的效果。新工艺集合了连续和间隔批量制备膏体的优点,实现了连续制备和批量排料。即可以确保合格料浆送入井下,又不影响配料和制备的连续作业。通过试验找到了一种快速准确在线测定膏体流变学特性的方法。

#### (3) 膏体制备自动化控制新技术

基于Object画面建立膏体充填自动控制系统(见图1)。充填工艺流程、系统性能指标、系统特性参数、运行状态等都可以实时直观地通过画面逼真地展现在操作管理决策者面前。自动控制系统监控平台能够通过画面方便、快捷地实现:整体运行的联动控制、单体设备的单独控制(允许现场手动控制)、现场采集数据在限定时间内进行处理、在线调节和设定系统控制方式和参数、观察现场设备的运行状态。

## 全尾砂膏体超长距离输送技术

Super distance transmission technology of full tailing paste

传统理论和实践认为：膏体输送一般应采用泵送，难以采用自流输送；适合输送膏体充填料浆的标准塌落度为15~25cm。我们通过工业试验证明，条件适合的膏体充填料可以实现自流输送；为了满足充填体强度和顺利输送的要求，应尽可能将膏体料浆的塌落

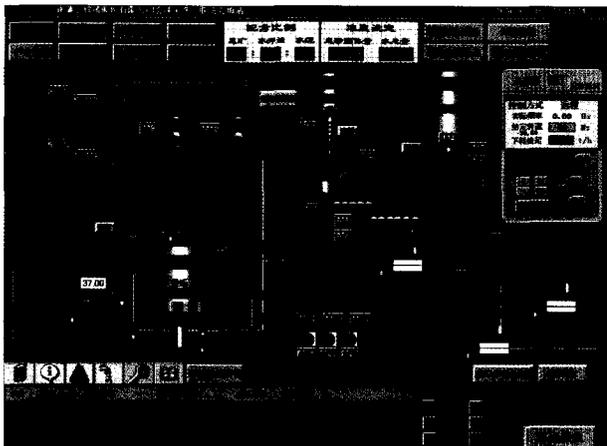


图1 自动化控制电脑显示画面

度控制在22~26cm范围内。近一年的生产实践表明，浓度为82%，灰砂比为1:8，尾砂与炼铅厂水淬渣比为3:1的全尾砂膏体充填料浆，成功地实现了超长距离4000m低压(<4MPa)一段泵送或自流输送(充填倍线最大为4)。目前世界上其它膏体充填矿山的最大输送距离小于3500m。试验矿山膏体充填体7天强度达到了2Mpa以上，满足了高效率进路充填采矿法回采周期短和对充填体强度要求高的需要。膏体充填在采场流动性能良好，接顶密实，几乎看不出到充填体和矿体的分界线。图2是在相邻采场揭露的充填接顶情况。

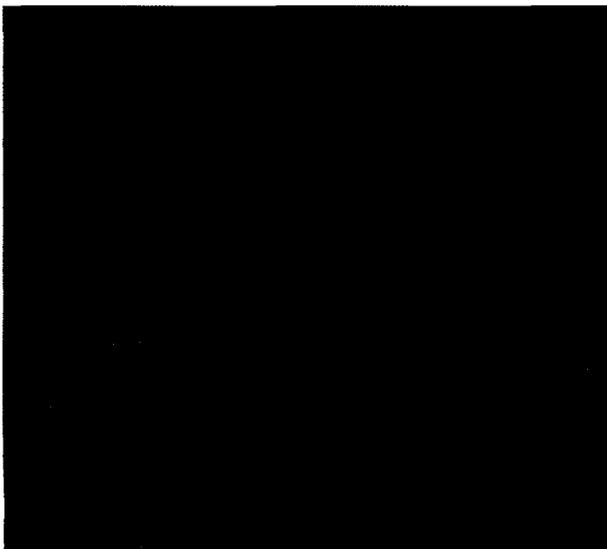


图2 充填采场接顶良好

## 地下铅锌矿山清洁化采矿新工艺

New craft on cleaner mining production of underground lead and zinc mines

为了减轻地下铅锌矿山采矿生产可能给地表环境造成的压力，降低采矿产出废料的运输、提升和处置成本，要尽量采用采掘比低、产出废石量少的采矿工艺，从源头上控制废料产出量。

### (1) 固体废料资源化

地下铅锌矿山生产必然产出大量固体废料，废料的品种主要有废石和尾砂。为了实现地下铅锌矿山生产的地表清洁化，必须努力做到生产固体废料的资源化。变废料为资源的主要途径有：将废石和尾砂用于井下采空区充填，尽可能做到废石不出坑，尾砂少进或不进库；利用废石生产建筑用石料(筑路路基、混凝土粗骨料)和尾砂制砖。

### (2) 推广采用全尾砂膏体充填

采用全尾砂膏体充填的特点是：充填料浆充填到采场后不需脱水，采场和井下巷道的生产环境大大改善，最大限度地降低了井下水沟清理和坑内排泥成本；简化了充填档墙构筑工艺，缩短了充填采场准备时间，大大降低了胶结充填水泥消耗量，缩短了充填体养护时间，极大地提高了充填采矿生产效率和效益；为实现充填富裕尾矿在尾矿库的干堆创造了有利条件，减少了地表占地，简化了尾矿覆垦工艺。

加拿大、澳大利亚、美国和其它采矿大国近10年来广泛采用膏体充填，不仅降低了采矿综合成本，而且有利地保护了地表生态和环境。在我国膏体充填没有得到广泛推广的主要原因是：①基于膏体必须泵送的概念，而目前膏体输送输送泵依赖进口，这无疑大大提高了膏体充填系统的建设和经营成本；②对膏体的认识上还存在一定的误区，有时为了制备和输送传统理念上的膏体，过高地要求膏体料浆的浓度；③膏体制备设备和系统复杂，对操作人员的素质要求高，而我国传统上对操作人员的重要性认识不足。

近两年，作者本人主持或参与开发的深锥浓密机制备膏体和立式砂仓膏体制备工艺和技术，比较好地解决了膏体制备问题。如果以膏体输送和充填体强度要求两个因素综合考虑确定膏体充填料浆浓度，大多数矿山均可实现自流或低泵压输送。有了上述两项技术的保证，膏体充填将在我国金属矿山充填领域得到快速推广应用。

### (3) 树立铅锌矿山终生设计理念

(下转27页)

