

# 复杂铁矿体高效开采工艺与设备选型匹配研究

岳新强 高文凯 王立 舒世俊

新疆宝地矿业股份公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**【摘要】**：本研究聚焦于复杂铁矿体开采中工艺与设备的核心匹配问题。通过对松湖铁矿应用机械化免爆连续采矿工艺的深入剖析，系统探讨了以 SCR-200 型悬臂式掘进机为代表的设备如何与下向进路充填法工艺协同优化。通过研究发现科学合理的选型及设备与工艺的合理搭配对于提高开采速度以及资源利用率，同时也可以从源头上保障作业的安全性和环境的友好程度，本文对类似矿山的安全、高效、低损失的绿色化开采有着重要的理论和实例借鉴作用。

**【关键词】**：复杂铁矿体；高效开采工艺；设备选型匹配

DOI:10.12417/2811-0528.26.08.092

传统的爆破工艺对开采形状复杂，围岩稳定性低的复杂铁矿体时所遇到的问题是效率低、安全性差及浪费矿石资源严重等严重的困难，为了使矿山实现本质安全和高效集约化生产，寻找与复杂条件相适应的新采矿方法及新装备体系迫在眉睫。本文通过实际矿山工程案例进行分析，目的在于找出工艺改革和设备选择的必然关系，从而给出一套解决复杂铁矿体高效开采系统的有效措施和方案。

## 1 复杂铁矿体高效开采工艺原理与关键技术

### 1.1 复杂铁矿体高效开采工艺原理

复杂铁矿体高效开采工艺原理的本质是突破传统的爆破工艺“冲击破碎—间歇作业”的固有模式，向“机械切割—连续协同”的精细开采矿业新模式转变。其本质思想是对复杂的矿体形状各异，围岩稳定性较差等情况，以机械设备的形式对矿岩进行精确、微损分离，在此基础上，开采与其他工序如支护、充填等紧密连接，构成一个有序稳定的连续可控式的作业流程。该工艺的本质并不是把大型机械简单地放到井下，而是在充分认识矿岩物理力学性质的基础上（如硬度、节理发育程度），以此制定合理切割轨迹、进路断面及回采顺序。该原理采用采矿机切割臂上的截齿对岩石进行连续式的切割、剪切以及磨蚀，就像“雕刻”似的层层递进剥落岩石，最大程度上减少了对留存矿墙以及顶底板围岩的振动损伤破坏。与此同时，在对开采行为进行控制的力学环境中进行作业，例如在下向进路充填法中，在人工构筑的充填体之下对岩石进行切割，以充填体为下次切割的支撑作用“人工假顶”，在可控条件下连续下向开采<sup>[1]</sup>。

### 1.2 复杂铁矿体高效开采关键技术

要想达到这种工艺理念目标，就需要一系列环环相扣的成

套核心技术予以支撑。首先是要有“装备—工艺—矿岩”精确适配技术。不是单纯购买设备的问题，要结合矿体赋存状况（厚度、倾角）、岩石坚固性系数（f值）、巷道设计规格等综合选择掘进机的截割功率、机体大小及行走形式等等。比如在松湖铁矿，所采用的 SCR200 型悬臂式掘进机，超过 500KN 的截割能力与凝灰岩类围岩的中等硬度匹配较好，对于它的较大转弯半径不足之处，则采取优化采切工程布置来加以克服。其次是采场结构参数与施工循环的优化组合技术。原有的参数都是为钻爆法设置的，必须革新。关键是构建“机械截割效率—采场稳定性-充填体强度”三者之间的动态平衡公式，实验确定同时发挥设备最大性能（如优化出 4.2 米×4 米大断面）又能够保证作业安全的最佳进路尺寸和采矿程序。最后是全作业过程低扰动控制技术，这是安全高效的前提，主要是掘进机的低冲击截割控制（控制截割振动）、与其配套的早强充填体配方技术（使充填体尽早承重）、及时支护的“短掘短支”工艺。

## 2 开采设备选型与匹配研究

### 2.1 开采设备类型与性能分析

对于复杂的铁矿体采掘工作来说，机器的选择是工艺能否实施的物质条件，当前井下采掘的设备都是以钻爆法与机械破岩法两种路线为主，这两种路线的技术特征不同，应用场合也不一样。传统的钻爆系统的主要设备包含凿岩台车、装药装置以及铲运机，形成钻眼—爆破—出渣这样一条间歇性的生产线。凿岩台车进行岩石破碎钻孔，移动方便，在变化较大的工作面上使用广泛，但是对操机者的能力有一定的要求，并且这项工程还只处于一个准备过程并非直接获取矿石。铲运机进行爆破之后矿石运输，机动灵活、转向半径小，但是受制于爆破情况，且施工环境灰尘较多，震动较大<sup>[2]</sup>。

而与此相对比的是以悬臂式掘进机为代表的机械连续开采装备,也是本文的研究对象。例如应用在松湖铁矿的SCR-200型,该类设备融破碎岩石、装岩、运岩甚至自行行走于一体,犹如一个“钢铁矿工”,直接在工作面上切割破岩。其主要技术参数有截割功率(影响破岩硬度能力)、机体大小及布局形式(影响适用巷道断面)、行走部分灵活性等。SCR-200具有超过500kN的截割强度可以满足中硬以下铁矿岩石的要求,但是长达13米多的机体和17米的转弯半径,在狭窄弯曲的采切巷道掉头不便,这是明显的缺点。

## 2.2 设备与工艺匹配性评估

选用了优良性能的设备,就一定能获得高效生产吗?设备和工艺一定要像齿轮一样紧紧相扣,匹配度决定了能否激发出对方最大的能量。而此匹配度考察首先就是要验证设备的核心能力是不是击中了工艺想要破解的主要难题。就像下向进路充填法的关键在于“在充填体的掩护下实施低扰动的连续采切”,那我们选用的设备是否有低强度的切割方法来降低对顶板(充填体)、两帮的损伤?采矿能力是否能满足连续推进的要求避免积矿停采?在松湖铁矿的应用中,SCR-200掘进机就是凭借机械切割带来的低扰动特性达成了充填法对于围岩稳定性的严格标准,达到了工艺设计目的。

其次,“匹配”还反映在设备与生产工序间的顺利连接上,一个好的工艺系统是一个有机整体,由掘进、支护、通风以及运输等多个环节组成,如果设备在其中“交接点”出现问题的话,效率就会大受影响。比如大功率的掘进机掘进速度快得惊人,可是后面支护材料运送及安装的速度上不去,只得停下来等它,就出现了一个“快掘慢支”的矛盾问题,另外,设备产尘量必须和通风系统排风能力匹配起来,不然会严重影响作业环境质量,因此,在考察的时候要将其放到工艺链图中去,看它是不是“润滑剂”的角色而不是“绊脚石”的身份,这样的综合性分析判断,不仅要了解设备参数还要熟悉矿山生产的内在联系。

## 2.3 设备选型优化模型

针对众多设备可选项及复杂开采环境,依靠经验和直觉进行选择有很大的风险,所以构建一套合理有效的设备选择优化模型是非常必要的。该模型不是单纯的理论公式,而是把技术可行、经济合理、安全可靠三方面相结合的一种决策模型。在此基础上还需要构建完善的指标体系,技术性指标主要有设备适用的矿岩硬度范围,适用断面大小、操作灵活性、可靠性和维修难易程度等;经济效益主要有一次性购买费用或者租赁费用、能耗、消耗品费用比如截齿以及人工费用,还包括可能由于效率带来的一些效益增加。安全性指标主要是设备本身是否

为防爆装置、噪声振动情况、粉尘量及其对巷道围岩稳定性的影响等方面。

建立模型的核心是对各指标能够进行量化或者半量化的计算,并给它们分配合理的与矿山发展总体战略相匹配的权重,比如对一个以安全作为首要考虑的深井矿山而言,设备运行时对围岩产生扰动指数可能会拥有最高的权重值;对于一个急需增加产量完成生产指标的矿山来说,日生产能力指标就是最关键的因素。然后通过多目标决策分析方法(例如层次分析法)对不同设备方案来进行评分对比。就如松湖铁矿采用SCR-200这一决策,就会通过决策模型一目了然地知道,虽然它的购买或者租赁价格昂贵,移动不便等因素,但是在“提高回采率”,“降低贫化率”,“作业安全性提高”这些主要的目标中明显优于原有的钻爆设备组合,这就解释了选择这款设备的原因。模型存在的意义就在于,它使我们选择设备的过程由一种纯粹的艺术变成了一种有迹可循、有理可证的科学式的管理手段,在复杂的条件下为设备的投资提供一道风险防范的决策屏障。

## 3 工艺与设备匹配的工程应用与效果分析

### 3.1 工程应用背景

松湖铁矿L2矿体的开采实践,为探索工艺与设备选型匹配的研究提供了极其典型的一个样本。其主要围岩为凝灰岩,整体稳定性较差,在传统钻孔爆破的开采方式下不仅振动严重,维护费用较高,同时在复杂下向进路采矿过程中,爆破给下方充填体及矿柱的破坏隐患也是难以掌控,威胁着生产的安全性和资源的回收利用。面对这种种难题,矿山最终选择引进了一种机械化的免爆连采技术,而目的也是非常清晰,就是在保障安全的基础上用一种新的技术手段来高效低贫损地进行开采作业。但是新技术的成功绝不仅仅停留在一种设想层面,最终还是要落实到一款可以用来将设想予以“执行出来”的机器上面才行。而正是在这种背景之下,一台SCR-200悬臂式掘进机才成为工艺技术执行落地的“操刀手”,这绝对不是—种随性的选择,而是在结合该矿体岩石硬度中等、设计进路断面大小等情况经过了前期调研分析之后作出的选择,将这样一台具有破碎岩石以及装载运输功能的一种重载机器投入到一个需要严格控制扰动的下向充填法采场之内本身就是一个大的工艺与设备耦合实验了。整个应用的过程,其实就是一个验证这台具体的设备是否能够满足并胜任这个以“低震动截割、连续出矿、配合充填体施工”这样一个完整新技术理念的应用测试过程<sup>[3]</sup>。

### 3.2 应用效果分析

从实践成效看,SCR-200掘进机对向下进路充填法的应

用,在松湖铁矿发挥了明显的耦合效能,整体优于传统钻爆法。最明显的效果就是直接表现在产量、产值上。设备使用后,单班最高推进进度达6m,是钻爆法2.5m的2.4倍;日平均采掘量达到362.9吨,远远超过以往钻爆法平均每天143.5吨。从而实现了采场生产能力保持在每天500—750吨,劳动生产率达到了125吨/人·天,在成本上,尽管该装备折旧费及电耗较高,但由于其工作的不间断性及效率优势使单吨采矿直接费用得到有效控制,更重要的是,还带来了无法估量的“品质效益”。由截割作业可以区分开矿岩界面,矿石贫化率由原先的12%~15%降低到低于8%;回采率达到了92%以上,即在同样的矿块内“榨取”出更多的优质矿产资源,提升了矿产品的质量和经济价值。

更重要的是,匹配产生的安全环保效应更是长远的。非爆作业从根本上杜绝了爆破振动以及火工品管控风险,从本质上实现了“本质安全”。配套装备对围岩的扰动应力不超过0.3兆帕,仅为爆破法的四分之一,因而导致巷道成型好,围岩稳定性强,大大减少了冒顶片帮的概率以及巷道支护强度及成本,此外不发生爆破粉尘及有毒有害气体排放,工作面环境大幅优化。可以说,此次匹配不仅是生产力的一次大解放,更是生产方式的一次绿色环保革新。其表明只要设备选择与工艺设计精当,在复杂的铁矿体里完全可以做到“多赢”的安全高效的高回收利用比率的开采。

### 3.3 存在问题与改进建议

虽然取得了一定成绩,但是在实际应用过程中,工序同设备的适配也暴露出了许多有待解决以及克服的问题,为以后的工作提供了思路。最大的问题便是大型化装备所表现出的行动灵活性问题跟复杂的地质状况之间的冲突。SCR-200掘进机巨

大的体量(长度达到13.3米)、17米的超大转弯半径等特性让它在需要经常转角或者截面发生改变的开拓切割工程里面显得十分不灵活,往往会另需开辟出一个较大的转向硐室或者扩大巷道体积,造成了较多无谓的掘进工程量;而且较慢的速度(行走速度约为50米/小时),使得设备由一盘面转移至另一盘面所需的时间较长,当出现需要马上进行钢拱架支护的破碎带时设备难以撤,打断整个工序进程<sup>[4]</sup>。

要解决这些问题,改进方案需要从系统的角度出发。首先,在矿床开发设计及开采计划中就要把对大型连续采矿设备活动所占空间的要求作为一个重要的限制因素加以考虑。在确定采场结构参数的时候,除了保证有足够的截割空间之外,更应该考虑设备的转弯、移动及维修的空间。通过合理的采切工程的设计(比如改变巷道的形式)来迁就并利用这些设备的优势,而不是使它们来适应原来为小型设备而设的老式格局。其次,在工艺管理方面一定要有相应的与之相匹配的强预见性的生产组织方式,对地质破碎带一定要严格做到“短掘短支,超前支护”,以防出现设备已经陷入险境而不能及时撤回的不利状况。

## 4 结语

本文研究认为,在复杂铁矿体开发利用过程中,工艺与设备的合理选择是技术创新与取得经济效益的重要基础,松湖铁矿的实践展现了机械化免爆连续开采系统的优势所在,也指出了重型机械灵活性不足等问题存在的现实问题,后续针对深部、复杂难采矿产资源的高效利用,还需要不断开展采矿工艺的革新、专用设备的研制,使矿业的发展朝着更加智慧化、清洁化、绿色化的趋势迈进。

## 参考文献:

- [1] 徐浩,李猛.复杂铁矿体高效开采工艺与设备选型匹配研究[C]//新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(五). 2025.
- [2] 王其虎,徐天超,张增贵,等.大冶铁矿两中段接续开采关键工序设备调度和采场布置优化[J].矿业研究与开发,2025,45(2):17-24.
- [3] 左政平.铁矿选矿过程中采用变频器节能探析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(002):000.
- [4] 杨小聪,尹升华.超大型深井铁矿高效绿色开采技术与智能装备研究现状与展望[J].工程科学学报,2024,46(12):2147-2158.