

急倾斜薄矿体充填采矿技术应用研究

陈小龙 李君明 史联兴
青海山金矿业有限公司, 青海 都兰 816101

[摘要]在我国非煤矿山资源开发行业之中,急倾斜薄矿体占有重要部分,而且对于其如何进行有效的安全生产开发存在一定的难度,采用常规的做法往往造成较大的资源浪费以及采空区的安全隐患等问题,充填采矿法利用充填体对采空区顶板进行支护来抑制地压并增加回采率,本篇文章基于非煤急倾斜薄矿体条件详细介绍了该技术的理论及其运用,重点描述了核心技术内容包括采场规格参数设定、充填料配方准则以及充填流程布局等内容,在此基础上分析充填体的作用机理及稳定性的保持方式,并从数值模拟及观测方面提出了对应的建议。

[关键词]非煤矿山;急倾斜薄矿体;充填采矿

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18768

中图分类号: TD853.2

文献标识码: A

Application Research on Filling Mining Technology for Steeply Inclined Thin Ore Bodies

CHEN Xiaolong, LI JunMing, SHI Lianxing
Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Dulan, Qinghai, 816101, China

Abstract: In the non coal mining resource development industry in China, steeply inclined thin ore bodies account for an important part, and there are certain difficulties in how to effectively and safely develop them. Conventional methods often result in significant resource waste and safety hazards in goaf areas. The filling mining method uses filling materials to support the roof of the goaf area to suppress ground pressure and increase recovery rate. This article provides a detailed introduction to the theory and application of this technology based on the conditions of non coal steeply inclined thin ore bodies. It focuses on the core technical content, including the setting of mining site specification parameters, filling material formula criteria, and filling process layout. Based on this, the working mechanism of the filling body and the way to maintain stability are analyzed, and corresponding suggestions are proposed from the aspects of numerical simulation and observation.

Keywords: non coal mines; steeply inclined thin ore body; fill mining

矿业是国民经济的主要产业,不仅是向工业等各方面提供了重要的原料来源,还支持着整个国家经济发展。目前矿山开发也已经由粗放型、过量开采型转向了工业化、机械化、循环经济和绿色开采型,在绿色开采中,充填采矿法的应用,能够很好的控制地面下沉,维护住岩体稳定性,调整地应力及减小尾矿库负担,达到在保护环境的基础上确保安全生产的目的。

1 充填采矿法在急倾斜薄矿体中的应用背景

非煤矿床开采中,急倾斜薄矿体是指倾角大于 55° 、厚度小于4m矿体,具有明显的长度上较长而高度上较高的空间特征。从地质条件来说,该类型矿体多赋存在构造带附近,因此矿岩的交界处可能是清楚的,也可能是模糊不定的,这都会给采矿工程设计施工带来困难。在具体的开采过程中,由于其自身的特点决定了急倾斜薄矿体的开

采具有特殊性,因矿体较薄导致可以布置的工作面走向长度较小,工作面较窄使得大型设备难以进入发挥效能。针对急倾斜薄矿体传统的许多方法都存在不足之处,工程技术人员一直在探索新的技术手段,充填采矿方法的应用也就应运而生了。其本质就是将矿石采出之后马上用充填材料填充到采空区内,通过充填体来支护上下盘围岩以及抑制岩层的变形。这种方法对于地表有较强的保护功能或者围岩稳定性较差的矿山尤为适用。对于非煤急倾斜薄矿体而言,采用该方法主要是基于以下几点:首先可以最大限度回收宝贵的资源。通过充填体对极薄矿脉的两帮起到很好的支护效果,避免采出中矿石的损失及贫化;其次,充填体快速进入采空区就可以很快的侧向压力,这样就减轻了急倾斜矿房高应力区的压力,避免了围岩片帮冒顶,同时为下一步分段分层面的连续回采提供了安全保障^[1];

再次,随着国家对矿山环境保护和安全生产的要求不断提升,这样的方法能够更好的符合绿色开采的要求,一方面减少了固体废弃物的地表堆放量,另一方面大大降低了采空区塌陷的可能性。因此越来越多非煤急倾斜薄矿体矿山采用或者已经采用了这种工艺,但各个矿山具体情况不尽相同,因此就需要根据各自的实际来研究相关的充填技术并对现有的方法做出调整优化。

2 急倾斜薄矿体充填采矿关键技术

2.1 采场结构参数优化

采场结构参数合理选择是急倾斜薄矿体充填法采矿有效实施前提,结构参数主要是指采场的高度、长度与宽度以及间柱、顶柱和底柱尺寸。就其而言,采场沿倾向的高度要结合矿体倾角、矿壁稳定性、穿孔机能力、工人安全等多个方面因素来考虑,采场高度过高固然可以增大每次的回采量但同时也加大了工作面掘进与顶板压力治理的困难程度;采场沿走向长度受到矿体厚度变化与地质构造影响,在薄矿体情况下一般使用较短的设计长度以达到控制采准工程的数量与回采的便利的目的,有文章表明适宜降低采场长度有利于充填接顶质量的提升与成本的节省;采场宽度或者说采幅的选择一定要非常准确,理论上来说应该以采空矿体为准而且最大程度上减少对岩石的破坏,然而在实际生产过程中为了使设备与工人能够通过而适当扩宽采幅以满足机械最小空间与人员活动空间的需求,这就造成了如何进行超挖欠挖的技术问题。

2.2 充填材料选择与配比设计

充填物料的选择和配合比设计直接影响着充填体力学性能以及充填的成本和工艺可行性,是整个非煤急倾斜薄矿体充填开采中的重中之重的研究方向。常用的物料包括矿山本身的废石、选矿厂的尾砂、冶炼厂的炉渣,以及水泥等胶凝物质,在选择物料时候必须要综合考量物料来源是否可靠以及自身具备物理化学性质以及经济成本等问题。对于急倾斜薄矿体填充而言,充填体不但要求具有足够的初期强度以便迅速支撑住周围的岩石环境同时还应该具有较好的流动性便于顺利的运输至狭窄陡峭的采空区并且能够较好的接触顶板部位。因此,充填物料的比例配置也是一个不断尝试和调试的过程,比如选择尾砂和胶凝材料之间的最佳配比,或者混合物浓度以及是否应该加入添加剂、加入量多少。曾有研究者指出对于薄矿体充填可以采用高浓度或者膏体质的充填浆液,因为该种浆液析出来的水分较少,而且最后形成的充填体强度也相对均匀,但是不同的矿区其自身的尾砂特性相差非常大这就意

味着不能简单的将某一特定的配比方程式应用到所有的充填体上必须经过一系列系统的室内试验及现场的工业试验才能够得出适合自身实际情况的最佳方案这也是需要进行大量的研究工作的一个方面。

2.3 充填系统与工艺布置

充填系统及工艺流程是完成充填法采矿由设想转化为现实的重要环节,可靠的系统应当包含配比站、搅拌站、输送管道以及采场中的充填前准备工作等几部分组成。面对着急倾斜薄矿体采矿条件下特有环境因素,系统的设计要符合井下巷道断面小、采场分布广的特点,有时甚至需要采取集中制作、分散输送的方式进行。充填料浆的输送通常为管道重力流或增压泵送方式,对高倾角急倾斜采空区而言,怎样使料浆可以顺利送达到采场深处并均匀铺展也是一个难题,其中涉及到输送管道的角度设计、直径大小的选择甚至于是是否增设减压设备等问题。而采场内部工艺流程的设计就更加细致了,包括了充填挡板架设、排水装置的安置、采场内的充填管路的上顶方式、配合回采工序的衔接等问题。充填挡板须有足够的坚固程度来对抗来自充填体的压力作用。对于薄矿体采场多用木料、砖石乃至混凝土预制件快速搭成。脱水设计也是为了增进充填体致密度及其早期强度的增长,在挡板上安装滤水管或是钻设专门的排水钻孔。充填作业的整个工艺过程循环时间要与回采工作的循环周期相互吻合,以便达到采矿与充填同步进行的效果,进而提升整体矿山开采速率。

3 充填体力学作用与稳定性分析

3.1 充填体力学性能要求

充填体作为急倾斜薄矿体采场中的人工矿柱和围岩支撑体,因此对充填体的力学性质有一定要求,主要是从强度、变形特征和长期稳定性等方面进行考虑。单轴抗压强度是最基础的一个参数,必须能够承担起上盘、下盘围岩的压力甚至是相邻采场回采时带来的冲击载荷,在对薄矿体来说,所需要的强度也不需要像厚大矿体那么高,但是必须保证在整个服役过程中不会出现整体性的破坏。除强度外,其弹性模量也是重要的指标之一,理想的充填体应当有一定的塑形,在当围岩出现一定的形变的时候可以随之产生一定的形变从而不至于发生突然的坍塌,但是如果过于柔软则会导致对围岩的支撑能力下降;此外长期承受荷载的蠕变情况和长期在水和风化作用下的强度持久性也需要考虑到,因为充填体可能要在采空区服役好几年甚至更长的时间,确定这些性能的要求就需要针对具体的矿山开采井深、地质应力水平、矿岩石性质以及回采序列

进行具体分析和计算,从而为充填体配料提供一个较为明确的目标值。

3.2 充填体与围岩相互作用机制

充填体与围岩之间的相互作用是比较复杂的力学过程,研究该作用机理对采场系统的科学设计以及稳定性的判断具有重要的理论价值和意义,在缓倾斜薄矿脉采场内,当开采出矿之后,原来作用在矿体上的应力将会转移至围岩和充填体上,在此时围岩产生卸载应力,并会发生向采空区一侧方向的弹回变形,严重时还会发生塑性破裂,随后填充进去的充填体在硬化的过程中逐渐的顶板闭合并且开始承担来自围岩传递过来的压力,其压力传递的方式和多少取决于充填体本身的刚性、顶帮的质量以及围岩本身所发生的形变情况^[2],如果充填体刚性强,而且顶面闭合好,在这个时候就会比较早的给围岩提供一个有效的支护力来控制围岩继续形变的情况;相反,如果顶面上有较大的空腔或者刚性较小,那么围岩可能会在充填体还没有起作用的时候就发生了不利于采场的形变。另外两者之间接触界面存在的摩擦力,黏聚力也会对于整个系统的稳定起到一定的作用,可以用来抵抗沿着倾角方向向下产生的剪切应力的作用力。

3.3 采场稳定性数值模拟分析

随着计算机科学技术进步,数值模拟成为了研究陡倾薄矿体充填采空区稳定性的强有力手段,它可以动态地展现应力、变形及塑性区的发展演变。常使用 FLAC 或者 ANSYS 等软件建立包括整个矿体、围岩以及充填体的整体二维或者三维地质力学模型,给定不同类型材料不同的结构模型以及相应的力学参数来模拟实际情况,在模拟过程中可以逐渐开采矿体同时模拟充填体注入,进而考察围岩代表性点的位移变化、应力集中的迁移情况以及可能产生的破裂面;而对于陡倾薄矿体而言则主要考察上下盘围岩的变形规律、充填体内各个位置的应力分布情况、顶底板是否会出现弯曲折断的情况。通过调整采场参数或者是充填体力学性质来进行多种工况下的对比从而选择其中较为安全合理的方案。但是数值模拟结果依赖于所输入的数据是否可靠,所以在进行数值模拟时必须要通过现场的地质勘查以及岩体力学测试获得最为真实的数值,并且将结果与实测数据进行校核来增加模拟可信度。

3.4 安全监测与稳定性控制措施

为了保障急倾斜薄矿体充填采矿的安全,需要设置完善的监测系统和有效的控制措施,是研究理论应用于实践的重要步骤。要对围岩表面收敛变形、内部深部岩体位移、

充填体内部应力变化、支护结构受力状态等方面进行监测,常用的方法有收敛仪、多点位移计、应力计等方式以及实际观察法,在重要的监测点像采场顶部、底部、充填体内部都设置监测点,可以随时或阶段性了解稳定性状况并与警戒线相比较,从而能尽早发现不稳定问题^[3]。根据检测情况可以适时调整回采顺序或改变充填参数甚至增加补强措施,例如上盘围岩移动速度加快的话可加快对应该区域的充填速度或者加大该区域充填体等级。并且要有严格的安全管理制度和应急措施制度是稳定的一个关键方面,对工人进行安全知识教育、定时对相关系统进行检查保养、了解地压活动征兆及如何应对等。只有把技术和管理上的措施结合起来才可以形成保障急倾斜薄矿体充填采矿安全的有效屏障。

4 技术应用效果与优化方向

4.1 开采效率与资源回收率分析

使用充填采矿工艺对于加强非煤急倾斜薄矿体的回采速度及回采率具有明显的作用,其具体表现在以下几方面上。由于充填物及时维护了采空区岩层,可以在同一个中段或者附近地区安全地进行多个采场所同时的开采,增加了工作面的有效利用次数以及矿石年生产量。在薄矿体挖掘当中,这种方法可以使用比较灵活的采场布局以及回采顺序,可以针对不同矿体变化进行适时调节,减少了由于复杂地质原因造成的生产停滞情况。

4.2 充填成本与经济性评价

充填采矿方法在获得安全性与回收利益的同时也伴随着较高的成本投入,所以在推广应用之前有必要对它的经济效益进行综合评估。成本主要包括材料成本、制备运输能耗成本、人员工资成本以及设备折旧成本等,胶结材料中的水泥成本往往占较大比例。对于急倾斜薄矿脉而言,由于矿岩总量较少且分布较散,在单产上的分摊成本可能会相对较高,这就需要通过合理调配比例降低水泥使用量,使用工业废弃物代替部分胶结材料,提升整个系统的自动化水平来节约成本。评估时不能单纯的考察直接成本而是应该采取全成本分析的方法,全面地考量因回收率上升而使销售额提升带来的间接收益、因为采空区处治良好而降低的地表治理开支、因为安全生产措施到位减少了安全事故带来的损失,甚至还有环境保护方面带来的效益等。

4.3 安全与环境效益评估

充填采矿方法的安全及环保效应可以说是该工艺的最大亮点之一,对于建设绿色矿山以及开展可持续性发展具有深远影响。安全性上,充填体阻挡住了围岩变形以及

采空区上方顶部冒落的情况发生,使井下生产工作人员所面临的大面积顶板冒落及侧壁片帮危险大幅度下降,也避免了由大面积地压运动所导致的地下井巷灾变发生的几率,为矿山提供了更加本质安全的工作场所^[4]。另外充填体使得已处理采空区具备了足够的稳定程度,也给临近空间或者下盘中段的安全回采创造了有利条件,形成了一个完整的矿山开采期间的安全生产闭环。环境保护方面该技术大量使用了选择过程中所产生的尾砂以及矿山自身的废石等固体废物,避免了堆放这些物质而造成地面空间被侵占,对周围环境产生污染,留下安全问题如尾矿库溃坝危险。

5 结束语

综上所述,充填采矿技术是一种重要的可有效处理非煤急倾斜薄矿体开采的技术手段,该技术体系日趋成熟,实际应用效果也得到了充分验证。本文系统论述了该技术的概念与特征、关键技术、受力原理与分析、应用评价等各方面内容,并说明了其存在的对于资源再利用、地压控制和生态环境保护的巨大意义。从文中可以得出,充填法的有效实施离不开具体矿山地质开采条件的具体运用,科学设计采场结构、材料及施工工艺并不断优化,还需要相

应的稳定性观测和动态监控等方面的保障措施相配合。今后的工作仍将继续从问题入手,在不断加强基础理论研究的同时,在技术创新整合、跨学科交流互鉴等方面做出努力,以使我国非煤矿山开采技术水平更进一步地发展和完善,实现资源开发与生态环境二者间的良好均衡。

[参考文献]

- [1]张鑫,李红鹏,杨朝云,等.银山矿机械化上向水平分层充填采场稳定性数值模拟研究[J].采矿技术,2025,25(6):88-96.
- [2]曹国华,张燕军,王茂德,等.缓倾斜薄矿体机械化干式充填采矿法研究[J].采矿技术,2024,24(5):8-11.
- [3]柏杨,周亚博,崔越,等.急倾斜薄矿体脉外采准上向水平分层充填采矿法研究[J].矿业研究与开发,2023,43(5):1-6.
- [4]李电辉.急倾斜薄矿体轻质吸能材料人工假底设计及应用[J].黄金,2025,46(9):96-103.

作者简介:陈小龙(2000.12—),男,毕业院校:青海大学昆仑学院,学历:本科,所学专业:土木工程,当前就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:采矿技术员,所在职务的年限:1年,职称级别:初级。