

露天矿穿孔作业精细化管理与边坡保护措施

黎金标

广西交投矿业有限公司 广西百色市 531500

DOI:10.32629/ems.v8i5.20167

[摘要] 露天矿山穿孔作业是爆破工序前端十分重要的环节,因此其作业质量对爆破效果、生产效率以及采场边坡稳定性都有直接而重大的影响。本文笔者所在某大型露天砂石矿为工程背景,就以往穿孔作业中所存在的凭经验布孔、参数控制不严、对边坡扰动大等诸多问题,从精细化管理的角度系统而严谨地分析穿孔作业各环节的控制要点,并针对性地在工程实践中付诸实施,最终得出结论:优化穿孔参数,规范布孔及钻孔操作,采用恰当的临近边坡控制穿孔技术,辅以严格的现场管理及过程监控,能切实改善爆破质量,降低大块率,最大限度地减少爆破震动对最终边坡的损伤。

[关键词] 露天矿;砂石矿;穿孔作业;精细化管理;边坡保护

引言

在露天矿山开采工艺链条中,穿孔作业常被视为一项基础性工作,其作业质量深刻影响着后续爆破、铲装、运输乃至最终边坡的长期稳定性,但由于其作业工艺和作业环境相对简单,往往得不到矿山管理者的重视,任凭施工工人按经验施工,造成经济和安全上的问题。对于矿山技术管理人员而言,如何在现有设备条件和地质条件下,将穿孔作业从经验主导转向数据驱动、从粗放施工转向精细控制,是日常生产管理面临的核心挑战。

以笔者所在的某大型露天砂石矿为例,该矿开采矿种为辉绿岩,设计生产能力为90万吨/年,设计台阶高度15m,台阶坡面角 70° 。矿山在2025年以前,尽管总体生产平稳,但穿孔作业环节长期存在一些问题。主要表现为:穿孔队伍习惯于凭经验打钻,导致孔位、孔深、倾角等参数与设计偏离较大;爆破后常出现底板不平整,大块率偏高,不得不依赖液压破碎锤进行大量二次破碎,既增加了成本,也延长了作业循环时间;由于穿孔随意性较大,在临近最终边坡区域未采取有效的控制措施,导致爆破对保留岩体的损伤加剧,影响最终边坡原岩的稳定性,而为保证最终边坡的稳定性不得不降低台阶坡面角,也造成了矿石损失。这些问题的根源,在于穿孔作业缺乏一套系统化、精细化、可操作的管理标准与技术措施。笔者结合矿山实际地质情况与开采条件,分析以往穿孔作业存在的问题,从技术管理角度探讨如何通过穿孔作业的精细化管理提升爆破质量并有效保护采场边坡,构建穿孔作业精细化管理体系并付诸实施,改变了矿山以往穿孔作业的粗放管理,给企业带来了较好的经济效益和社会效益。

1 矿山概况与穿孔作业现状分析

1.1 地质与开采条件

该矿山为山坡型露天矿山,开采矿种为辉绿岩,属坚硬岩石,其单轴抗压强度为48.2~138MPa,平均87.55MPa,普氏硬度系数 $f=6\sim 15$,平均11。矿区岩石内摩擦角为 $41.9^\circ\sim 56.1^\circ$,粘聚力42.1~51.4kPa。地质构造方面,矿区断裂构造欠发育,但辉绿岩岩体内节理裂隙中等发育,主要存在三组高角度节理,产状分别为 $130^\circ\angle 75^\circ$ 、 $205^\circ\angle 70^\circ$ 、 $295^\circ\angle 83^\circ$,节理延伸长度5~30m不等。这种中等发育的节理条件,意味着爆破震动更容易沿节理面传播,导致边坡岩体沿结构面滑移或崩塌的风险增加。

设计露天采场最终边坡角不大于 55° ,台阶高度15m(辉绿岩矿体),台阶坡面角 70° ,设置5m宽的安全平台和8m宽的清扫平台。采用深孔台阶爆破,钻孔形式为垂直孔,采用梅花形布置,钻凿孔径110mm,设计孔网参数为孔距4m、排距3.5m、底盘抵抗线3.5m,设计炸药单耗为 $0.45\text{kg}/\text{m}^3$ 。

1.2 以往穿孔作业问题诊断

通过对2025年以前施工现场观察与数据记录,当时穿孔作业主要存在以下三类问题:

其一,布孔与孔位控制失准。现场操作人员往往凭借个人经验,在爆区自由面情况不佳或遇局部岩体变化时随意调整孔位,导致孔距、排距不均。部分区域孔网过密,造成炸药单耗浪费和过粉碎;另一区域孔网过稀,则易产生大块、根底。尤其是在台阶边缘,底盘抵抗线控制不当,过大则爆破后留下根坎导致铲装困难,过小则易产生飞石危及设备安全。

其二,钻孔参数执行随意。钻孔深度和垂直度是影响底板平整度和爆破效果的关键。实际操作中,操作手常未根据孔口标高变化调整钻孔深度,部分钻孔超深过大,爆破后损伤下部台阶平台;部分钻孔深度不足,则留下高根底。同时,对钻孔垂直度的控制不严,个别钻孔偏斜严重,改变了设计

的最小抵抗线方向, 不仅影响爆破效果, 还可能造成爆破能量向不利方向集中, 加剧对保留边坡的冲击。

其三, 临近边坡穿孔缺乏特殊控制。在开采至最终边坡附近时, 穿孔作业方式与主爆区无异, 仍采用常规的大孔径、大药量参数, 未及时调整为预裂爆破或缓冲爆破所需的穿孔参数。爆破后, 边坡岩体受到强烈震动, 节理裂隙被进一步扩展和贯通, 形成明显的爆破损伤圈, 坡面出现裂缝、浮石、危石增多, 严重削弱了边坡的长期稳定性。这与设计文件中“当开采至临近最终边坡时, 采用预裂爆破技术”的要求相悖。

2 穿孔作业精细化管理体系构建

2.1 动态优化的穿孔参数管理

精细化管理首先要求技术参数从静态设计向动态优化转变。设计文件提供的孔网参数(4m×3.5m)是基于理想条件计算的, 实际生产中必须结合地质条件变化和爆破效果反馈进行动态调整。

具体而言, 应建立爆破效果与穿孔参数的联动分析机制。每次爆破后, 技术管理人员要会同穿孔、爆破班组共同踏勘爆堆, 测量大块率、统计根底情况、观察爆堆松散度和抛掷距离。

(1) 若发现大块率偏高, 应分析是孔网偏大还是炸药单耗不足; 若底板不平整, 则应检查超深控制是否合理。

(2) 在节理较发育区域, 爆破能量易沿裂隙逸散, 可适当缩小孔距和排距, 以增加炸药能量分布的均匀性; 而在完整坚硬岩体区域, 则可在保证破碎效果的前提下试验性放大孔网参数, 以提高穿孔效率。

这种动态优化, 需要技术管理人员将每次爆破效果转化为下一次穿孔作业的指令, 形成设计、施工、反馈、优化的闭环。

2.2 标准化作业流程的制定与执行

标准化是精细化管理的基石。针对矿山实际情况, 应制定涵盖布孔、钻孔、验孔三个环节的标准化作业指导书。

(1) 布孔环节: 在清除台阶面浮石、危石后, 由专职技术人员根据动态优化后的孔网参数进行现场放样。使用测量工具精确标定每个孔位, 并用红油漆或竹签做出明显标记。对于临近最终边坡的预裂孔, 其孔位必须严格沿设计坡面线布置, 孔径应调整至90mm, 孔距应缩小至0.8~1.0m, 以形成连续的断裂面。布孔完成后, 必须由技术人员进行复核, 确保孔位偏差控制在设计要求的范围内(如±0.2m), 并记录在案。

(2) 钻孔环节: 钻机就位后, 操作手应调整钻机至水平状态, 确保钻孔垂直度。对于垂直孔, 使用水平尺或钻机自

带的角度仪进行校准。钻孔过程中, 操作手应密切注意钻进速度、排渣情况和钻压变化。若遇到裂隙带、破碎带或软硬夹层, 应及时记录并报告, 以便调整后续装药结构。在临近边坡的预裂孔钻孔时, 必须确保钻孔角度与设计坡面角70°一致, 且孔底不得超出设计开挖线。每钻完一个孔, 应立即测量孔深, 并与设计孔深(进行核对, 超深或欠深超过0.3m的孔, 必须及时补钻或进行填塞处理。

验孔环节: 钻孔作业结束后, 技术员应逐孔进行验收, 这是防止质量隐患的最后一道关卡。验孔内容包括孔位坐标、孔深、倾角、孔内有无堵塞及是否有异常裂隙。验收数据应详细记录在炮孔验收记录表中。对于不合格的炮孔(如孔位偏差过大、孔深严重不足、堵塞无法处理等), 必须标记为废孔并要求补钻。只有全部炮孔验收合格后, 方可移交爆破单位进行装药作业。这一环节对于控制爆破质量、避免盲炮和飞石至关重要。

3 基于边坡保护的穿孔技术措施

3.1 预裂爆破设计和穿孔控制

预裂爆破是保护最终边坡的有效技术手段。其核心是在主爆区爆破之前, 沿设计边坡界线预先钻凿一排间距更小、线装药密度更低的预裂孔, 通过先于主爆孔起爆形成一条贯穿的裂缝, 从而阻断主爆区爆破震动向保留岩体的传播。

(1) 钻孔和装药结构设计

根据预裂爆破特点, 结合本矿实际, 确定预裂爆破钻孔主要设计参数为: 孔径90mm, 倾角70°, 孔深16.5m(含超深0.5m), 孔距1.0m。

预裂爆破采用不耦合间隔装药, 先将Φ32mm/200g乳化炸药用麻绳或电工绝缘胶布绑在导爆索上, 再与竹片连接在一起, 装药时应放在孔的中间或竹片内帖靠保留岩壁一侧。为了减轻预裂爆破过程中的振动影响, 预裂孔采取分段起爆。预裂孔在同一时段内采用导爆索起爆, 各段之间则用数码电子雷管引爆。

(2) 穿孔控制措施

对于本矿山而言, 实施预裂爆破时穿孔作业需要做到精、准、稳。首先是孔位精度, 预裂孔必须严格布置在设计边坡的坡顶线上, 任何向坡内或坡外的偏移都会影响预裂效果。其次是钻孔角度, 必须与设计台阶坡面角70°严格一致, 实际操作中可使用导向架或采用高精度角度控制的钻机。钻孔深度也应严格控制, 确保孔底在同一水平面上, 超深为主爆孔超深的1/2~1/3, 约0.5m。最后是孔底保护, 钻孔完成后应检查孔底是否有岩粉残留, 并采取保护措施防止杂物掉入,

以免影响后续装药与起爆网络连接。高质量的预裂孔是形成光滑平整边坡面的前提。

3.2 高台阶临边作业安全管理

在临近边坡的台阶上作业,穿孔设备自身的安全也是边坡保护的重要组成部分。钻机在靠近台阶边缘行走或作业时,必须严格按照安全规程执行。作业前应检查行走路线,确保地基稳固,无松散岩块。液压钻机外侧突出部分至台阶边缘的最小距离不应小于4m。在高陡边坡区域作业,应设置醒目的安全警示标志,并安排专人进行监护。操作手应时刻关注作业面变化,一旦发现裂缝、掉块等塌陷征兆,必须立即停止作业,将设备撤离至安全地带。这些措施通过保障设备安全,避免了因设备坠落、倾覆等事故对边坡造成的意外冲击和破坏。

4 管理与技术协同的保障机制

4.1 技能培训与责任落实

扭转凭经验打钻的习惯,根本上就要从提高操作人员的专业技能及质量意识入手,因此矿山有计划、有系统地组织穿孔作业人员参加技术培训,培训内容不止仅包含钻机操作技能,还结合爆破原理、孔网参数意义、边坡保护重要性诸多理论予以讲解,让每位操作手都切实认识到自己所钻的每一个孔的深度、角度、位置都直接关系爆破效果及边坡安全。更重要的是要建立明确、可操作的责任追溯机制,把穿孔质量与个人绩效直接、明确地挂钩:实行实名制钻孔,每钻完一孔即在孔口做明显标记或记录编号,爆破之后若发生因穿孔质量问题导致的根底、大块、边坡损伤,责任人一目了然。由此自然地强化操作人员的责任心和规范作业的自觉性。

4.2 过程监控与信息反馈

由于精细化管理必然要求良好的过程监控,因此技术管理人员绝不可只出现在布孔、验孔阶段,而宜主动到钻孔现场进行动态巡查,以抽查方式用测斜仪、深度计对正在施工的钻孔做及时、准确的复测,由此迅速发现偏差、立即予以纠正,同时有意识、有计划地建立畅通高效的信息反馈渠道。穿孔班组遇裂隙、破碎带等异常情况时,第一时间用即时通讯工具或现场记录表向技术人员作信息反馈,后者据此合理调整孔网参数或装药结构,真正实现信息共享、彼此协同。

4.3 数字化辅助工具的应用

引入成熟、实用的数字化辅助工具有利于提高穿孔作业的精度和效率。矿山引进高精度的手持式RTK设备进行布孔,其厘米级的定位精度大大优于传统皮尺、罗盘,能可靠、准

确地布置孔位,在钻机上安装简易的角度测量仪后,操作手可随时直接观测钻孔参数并及时予以调整,更难得的是,二者操作简便、成本低廉,却能将抽象的精准要求变为具体、可量化的参数指标。

5 实施效果与展望

自推行上述穿孔作业精细化管理措施以来,本矿山的生产状况得到了明显改善。2025年,通过动态优化孔网参数,爆破后大块率由之前的10%左右稳定降至5%以内,二次破碎量大幅减少,铲装效率提升约15%。通过严格验孔和控制超深,爆破后底板平整度显著提高,根底现象基本消除,为后续铲装作业创造了良好条件。尤其重要的是,在最终边坡区域严格执行预裂爆破的穿孔控制后,边坡坡面平整度达到设计要求,爆破震动对保留岩体的损伤明显减轻,边坡的长期稳定性得到了有效保障,同时坡面角可以按设计坡面角保留,减少了矿石损失。总之,穿孔作业精细化管理措施实施之后,给矿山带来了较大的经济效益和安全保障

精细化管理是一个持续改进的过程,未来我们将进一步探索将爆破震动监测数据与穿孔参数进行更精细的关联分析,以期找到在不同地质条件下能同时实现最佳破碎效果与最小边坡损伤的最优穿孔参数组合。同时,持续加强岗位人员的技能培训与质量文化建设,让精细化管理理念深入人心,成为矿山安全生产的坚实基础。

[参考文献]

- [1]李华,王强. 露天矿台阶深孔爆破参数优化研究[J]. 矿业研究与开发, 2021, 41(03): 12-16.
- [2]张明,陈伟. 基于精细化管理的露天矿山穿孔作业质量控制[J]. 现代矿业, 2022, 38(08): 198-201.
- [3]刘志刚,赵勇. 预裂爆破在露天矿山高陡边坡保护中的应用[J]. 工程爆破, 2020, 26(05): 71-75.
- [4]王建军,孙立. 复杂地质条件下露天矿边坡稳定性控制技术[J]. 金属矿山, 2023, (02): 45-49.
- [5]周涛,吴迪. 矿山穿孔设备智能化发展现状与趋势[J]. 矿山机械, 2021, 49(11): 1-6.
- [6]陈永清,李红. 节理裂隙发育岩体爆破块度控制试验研究[J]. 爆破, 2022, 39(02): 34-39.

作者简介:黎金标,男,出生年月日:1987-11-30,籍贯:广西崇左市,壮族,职称:采矿工程师,学历:大学本科,毕业院校:广西大学,研究方向:矿物资源工程。