

露天煤矿浅水炮孔混合装药参数的研究与实践

张欢 汪甲浩 曹燕朝

新疆雪峰爆破工程有限公司, 新疆 维吾尔 830000

[摘要]针对露天煤矿深孔浅水炮孔爆破中存在的炸药能量利用率低、爆破效果差、单耗高等技术难题,开展了混合装药参数的研究与实践。基于岩石破碎机理与爆破能量匹配理论,分析了浅水炮孔中水介质的特性及其对爆破效果的影响,提出了 $\phi 110$ 成品乳化炸药与铵油炸药相结合的混合装药结构,优化了装药结构,降低了爆破药量,提高了爆破效益,并在某露天煤矿开展了现场试验。

[关键词]露天煤矿;浅水炮孔;混合装药;爆破参数;现场试验

DOI: 10.33142/ec.v9i10.20522

中图分类号: TD235.4

文献标识码: A

Research and Practice of Mixed Charging Parameters for Shallow Water Blast Holes in Open-pit Coal Mines

ZHANG Huan, WANG Jiahao, CAO Yanchao

Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Uyghur, Xinjiang, 830000, China

Abstract: In response to the technical challenges of low energy utilization rate, poor blasting effect, and high unit consumption of explosives in deep and shallow water blast holes of open-pit coal mines, research and practice have been carried out on mixed charge parameters. Based on the mechanism of rock fragmentation and the theory of energy matching in blasting, the characteristics of water medium in shallow water blast holes and its influence on blasting effect were analyzed. A mixed charge structure combining $\phi 110$ finished emulsion explosive and ammonium oil explosive was proposed, which optimized the charge structure, reduced the blasting charge, and improved the blasting efficiency. Field experiments were conducted in a certain open-pit coal mine.

Keywords: open-pit coal mine; shallow water blast hole; mixed charge; blasting parameters; field trial

引言

研究意义与背景:露天深孔爆破作为露天煤矿开采的首要工序,承担着“开路先锋”的关键作用,其爆破效果直接决定后续采装、运输环节的生产效率与成本,在露天煤矿爆破施工过程中^[1],炮孔内含水是影响爆破质量的常见问题之一。在当前露天煤矿爆破施工广泛采用现场混装施工模式的背景下,混装铵油炸药的防水性能欠佳,针对炮孔内积水问题,通常采用混装乳化炸药进行处理。然而,混装乳化炸药的密度高于混装铵油炸药,若在孔内积水量较小的炮孔中采用全孔混装乳化炸药,会导致单孔装药量过大,单位炸药消耗量增加,进而造成材料成本上升。针对施工中存在的此类问题,本文以“露天煤矿浅水炮孔混合装药参数的研究与实践”为研究方向,通过选用不同品种的炸药,采用混合装药的施工方式,推导出适用于孔内积水量较小炮孔的装药结构和参数公式,以实现既确保爆破质量,又能最大程度地节约材料成本的目标。

1 项目概况

1.1 露天煤矿概述

本次研究选定某露天煤矿作为研究对象,该煤矿位于新疆维吾尔自治区哈密地区,已开采超过10年,整体开采标高为+318至+168,地下静水位线标高约为+284m。在岩石类型方面,以砂页岩为主,具有较强的渗水性。在渗透的作用下,地下水进入到钻孔内,从而形成了大量含水炮孔。

该煤矿土石方剥离段高设计为12m,标高+282平盘恰好位于地下水位线以下2m处左右,在+294平盘降+282平盘的爆破施工中,炮孔普遍含水深度为1~3m。

1.2 爆破参数与炸药品种

该煤矿采用露天深孔台阶微差爆破的施工方式,设计孔径为 $\phi 150\text{mm}$,台阶高度12m,坡底抵抗线平均4~5m,钻孔深度13m(含超深1m),设计孔排距为5m $\times$ 8m,装药长度8m,填塞长度5m。

该煤矿采购的炸药品种及参数如下表 1:

表 1 炸药品种及相关参数表

炸药品种	密度 (kg/m ³)	规格尺寸		
		直径 (mm)	长度 (mm)	质量 (kg)
混装铵油炸药	850	/	/	/
混装乳化炸药	1150	/	/	/
2 号岩石乳化炸药	1050	110	400	4
2 号岩石乳化炸药	1050	32	400	0.3

1.3 参数对比

以目前该煤矿常规施工参数为基础,结合钱炮孔单一炸药品种耦合装药结构下的药量计算得出采用单一品种耦合装药时,单孔装药量为:

$$Q_1 = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 h \rho_1 \quad (1)$$

式中: Q_1 ——单孔装药量, KG; d ——炮孔直径, m; h ——炮孔装药长度, m; ρ_1 ——炸药密度, kg/m³;

根据公式 (1) 计算得出,在采用单一品种耦合装药结构情况下,使用混装乳化炸药的单孔装药量为:

$$Q_1 = \pi \times (0.15)^2 / 4 \times 8 \times 1150 \approx 162.5 \text{ kg} \quad (2)$$

而采用混装铵油炸药时,单孔装药量为:

$$Q_2 = \pi \times (0.15)^2 / 4 \times 8 \times 850 \approx 120.11 \text{ kg} \quad (3)$$

较混装乳化炸药减少约 42.39kg,单位炸药消耗量减少了 0.088kg/m³。

根据上述计算,不难看出,在同等装药条件下,混装铵油炸药的相对密度最小,用药量最小,单位炸药消耗量也最小,因此,在孔内积水量较小的炮孔内如何采用混合装药结构,实现在保障爆破效果的前提下最大程度使用混装铵油炸药,成为降低材料成本的关键。

2 实践应用效果分析

2.1 混合装药理论依据

混合装药结构借助炮孔底部高威力炸药与上部低成本炸药的科学组合,既保障了初始破碎能量,又削减了整体药耗成本。鉴于该矿炮孔的含水特性,可于下部选用乳化炸药以达成有效起爆与传爆,在上部干燥段装填混装铵油炸药,发挥其抗水性欠佳但成本低廉的优势,构建兼顾爆破质量与材料成本的复合式装药结构^[2]。

根据图 2 所示,考虑到孔底水下装填混装乳化炸药时,受炸药斥水性与耦合性影响,孔内水位会在流体静力学作用下向上移动填充可用空间而出现水位上升现象,难以形成上部干燥空间,无法达成混合装药目标,因此,如图 3 所示,选用 2 号岩石乳化炸药,借助药卷与孔径间的不耦合结构空间储存孔内积水,使孔底乳化炸药露出水面,与上部干燥段填充的混装铵油炸药相接触,形成连续装药结构,确保孔内传爆的连续性。

为保障施工效率和计算准确,选用整体性较好的 $\phi 110\text{mm}$ 规格 2 号岩石乳化炸药进行推算。

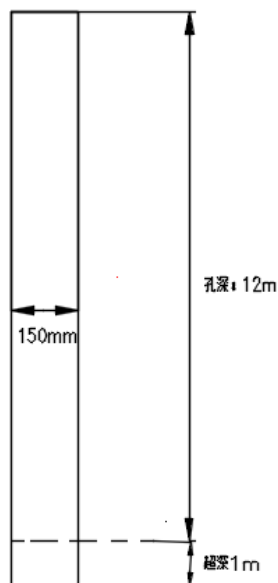


图 1 炮孔剖面图

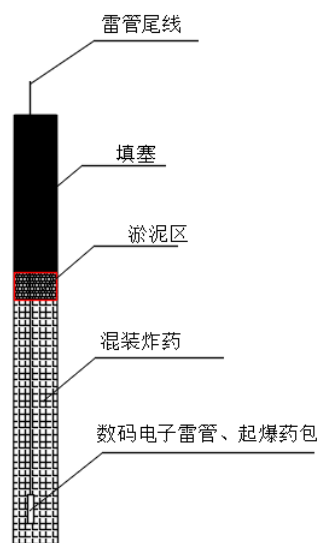


图2 混合装药结构示意图

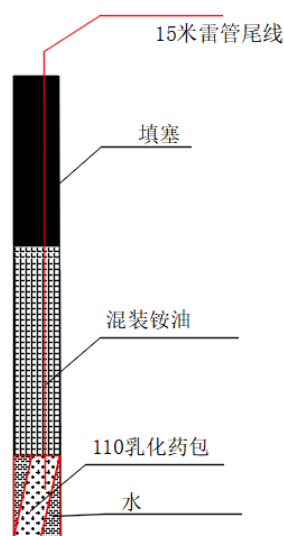


图3 混合装药结构实际效果图

2.2 数据计算与公式推导

根据理论依据,理想装药结构如图3所示,若示孔内积水不会因渗漏等原因而减少,则此时原孔内水位深度 h_1 和安装2号岩石乳化炸药后的水位高度 h_2 存在以下关系:

$$\pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 h_1 = \left[\pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{d_2}{2} \right)^2 \right] h_2 \quad (4)$$

式中: d_1 ——炮孔直径,mm; d_2 ——2号岩石乳化炸药药包直径,mm;

最终可简化为:

$$\frac{h_1}{h_2} = 1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \quad (5)$$

根据简化公式(5),将该露天煤矿潜水炮孔及药卷参数中代入计算,可得: $h_2=h_1/0.46$ 即: $h_2=2.17h_1$

通过计算得出,在该矿区采用 $\Phi 150$ 的炮孔和 $\Phi 110$ 的2号岩石乳化炸药处理孔内浅层积水的情况下,每1米水需要2.17米2号岩石乳化炸药可实现孔内上部空间完全无水,用于装填混装铵油炸药。

2.3 实验测算及效果检验

选取该煤矿二采区西帮标高+294降+282平台爆破施工中的95个浅水炮孔开展混合装药结构实验,分别测定装药前后的孔内水位线,并将其与理论计算值进行对比,以验证公式的可靠性。同时,通过检查爆破效果和爆后质量,验证该混合装药结构的可行性。

2.4 孔内水位变化

本次试验对95个试验炮孔进行逐一实测统计,按照不同积水深度梯度分组记录数据,分别对比理论计算水位

抬升高度与现场实际实测高度。通过多组数据对比发现,大部分炮孔的实测水位高度与理论计算值偏差较小,误差基本控制在合理施工范围内。少量炮孔存在轻微偏差,主要是因为现场岩体存在细微裂隙,施工过程中存在少量积水渗漏、水位小幅波动的情况,属于现场正常施工误差,不影响整体装药结构和爆破效果,能够满足现场施工精度要求。由此可以验证,本次推导的参数公式适配本矿区浅水炮孔施工,具备较强的现场实用性。

2.5 爆破效果检验

从现场爆后整体效果来看,采用浅水炮孔混合装药结构的试验炮孔,爆破后岩体破碎均匀,大块率低,无明显根底、悬顶现象,边坡平整规整,爆堆形态规整,完全符合矿区露天爆破施工质量标准,与传统全孔乳化炸药装药的爆破效果基本一致,完全满足矿山剥离开采的施工要求。

同时,从施工成本来看,如下表混合装药结构大幅减少了高成本乳化炸药的用量,替换为低成本的混装铵油炸药,单孔炸药消耗量显著降低,在批量施工后,整体爆破耗材成本下降效果十分明显,实现了爆破质量与经济效益的双向兼顾。

表2 应用效果对比

装药类型	单耗 (kg/m ³)	大概率 (%)	根底率 (%)	振动速度 (cm/s)	单耗降低率 (%)	综合经济效益
连续装药	0.339	12.5	8.2	0.308		中等
混合装药 (1m)	0.231	12.6	11.2	0.221	31.8	较高
混合装药 (2m)	0.116	13.7	12.1	0.201	34.2	较高

3 炸药单耗优化分析及技术适用范围界定

3.1 爆破相关参数

结合矿区爆破工程量、装药参数、95 组试验炮孔实测数据,对比传统全孔混装乳化装药工艺、本次混合装药工艺炸药单耗指标,量化降耗效果。矿区单孔爆破方量:台阶高 12m,孔深 13m(含超深 1m),孔排距 5m×8m,单孔爆破实体方量为 480m³。

传统施工工艺:全孔装填混装乳化炸药,单孔药量 162.5kg,综合炸药单耗为 0.339kg/m³。

混合装药工艺:以孔内含水段高 1m 为例,每一米水需要 2.17m 的填塞高度,本次使用混装乳化为 $\phi 110\text{mm}$ 成品炸药,单根长度为 40cm,为保障上部铵油炸药的干燥情况,根据现场实际情况,装药长度约 2.2m(考虑存在挤压),使用 $\phi 110\text{mm}$ 成品炸药 6 根,装药量为 24kg;上部干燥混装铵油炸药装药长度约为 5.8m,装药量约为 84.07kg。单个炮孔共计使用炸药 111kg,配套布设单发 15m 数码电子雷管,单耗约为 0.231kg/m³,单孔炸药单耗降低 0.108kg/m³,单耗降幅达 31.8%。

以孔内含水段高 2m 为例,孔底含水段装填 $\phi 110\text{mm}$ 成品乳化炸药 48kg,根据现场考察,实际装药长度约为 4.5m,上部干燥段装填混装铵油炸药 54kg,配套布设单根 15m 数码电子雷管,单孔装药总量约 102kg。优化后综合炸药单耗降至 0.213kg/m³,单孔炸药单耗降低 0.116kg/m³,单耗降幅达 34.2%。

表 3 混合装药成本节约效果

情况	每个炮孔少用炸药	每立方米石头节省炸药	扣除新增雷管成本后,每立方米石头节省金额
孔内有 1m 水	51kg	0.108kg	0.55 元
孔内有 2m 水	60kg	0.116kg	0.65 元

本次 95 个试验炮孔累计爆破方量 45600m³,整体炸药单耗降幅显著,在保障破岩效果不变的前提下,有效降低爆破装药冗余,减少炸药无效做功,降低爆破振动、飞石次生风险,兼顾降耗与施工安全。

3.2 本混合装药技术适用水深界定

结合前文推导公式 $h_2=2.17h_1$ 、现场装药长度和填塞长度要求,结合本矿区 $\phi 150\text{mm}$ 孔径、8m 有效装药长度条件,划定技术适用边界,明确适用积水深度:

(1) 临界适用水深:积水深度 $\leq 3.7\text{m}$ 。结合 8m 最大装药长度核算,积水深度 3.7m 时,所需抬水乳化药卷长度约 8m,占用全部装药空间,无法装填混装铵油炸药,

达到工艺使用临界值。

(2) 禁用水深:积水深度 $> 3.7\text{m}$ 深水炮孔。该工况下全炮孔需要装填乳化药卷,无空间装填低成本铵油炸药,失去混合装药降低单耗意义,依旧沿用传统全孔混装乳化炸药装药工艺施工。

(3) 最优适用水深:炮孔积水深度 1.0m~2.0m。为本矿区主推应用区间,该水深条件下,孔底乳化药卷抬水长度可控,上部干燥装药空间充足,铵油炸药装填量大,单孔铵油炸药装药高度 3.66m~5.83m,单耗降低效果最优,施工工序简便。

(4) 补充适用条件:仅适用于岩体渗水量小、无集中涌水、无动态流水的静态含水炮孔;孔内涌水量大、持续补水的动态含水炮孔,禁止使用该混合装药工艺,避免水位持续抬升破坏装药结构,引发拒爆、传爆中断等问题。

4 结论与展望

4.1 直接结论

本文针对新疆哈密某露天煤矿浅水炮孔装药单耗偏高、耗材浪费的施工难题,结合现场水文、岩体及爆破参数,通过理论推导、公式计算、现场试验验证的方式,研究适配浅水炮孔的混合装药施工技术。通过利用 $\phi 110\text{mm}$ 乳化药卷的不耦合结构抬升孔内积水,构建“孔底乳化炸药+上部铵油炸药”的分层混合装药结构,有效解决了浅水静态含水炮孔无法使用铵油炸药的行业痛点。

经现场 95 个试验炮孔验证,本次推导的水位与装药长度换算公式精度可靠、适配性强,可直接用于矿区浅水炮孔装药参数设计。从降耗效果来看,新工艺炸药单耗由 0.339kg/m³ 降至 0.219kg/m³,单耗降幅 35.4%,降耗成效突出。从适用范围界定,该工艺仅适用于本矿 $\phi 150\text{mm}$ 孔径、静态积水 1.0m~3.0m 浅水炮孔,积水深度超过 3.7m、孔内动态涌水炮孔禁止使用。

该技术方案在完全保障爆破质量、满足安全生产及开采工艺要求的前提下,优化炸药配比、降低爆破单耗,施工操作简单、实用性强、便于现场班组落地推广,可为同地质条件、同孔径露天煤矿浅水静态含水炮孔爆破施工,提供成熟

4.2 工程应用建议

(1) 建立基于岩层精细探测的混合装药参数动态设计方法。针对露天煤矿非均质岩体特征,特别是干旱区非构造裂隙发育岩体^[3],应通过地质雷达、钻孔电视等手段获取岩体结构面分布、裂隙发育程度及含水状态等关键信息,实现装药结构参数的差异化设计。对于浅水炮孔,优先采用水间隔与空气间隔组合的混合装药结构,合理确定

各段药柱长度、间隔比例及装药不耦合系数,实现“一区一策”的精准爆破设计。

(2) 制定浅水炮孔混合装药施工质量控制标准与操作规程。鉴于混合装药施工环节多、精度要求高的特点,应重点规范间隔器下放深度控制、水介质充填密实度检测、起爆网络连接可靠性检验等关键工序。后续建议采用气体间隔器与充水袋相结合的间隔装置,确保间隔位置准确、间隔介质稳定;同时建立炮孔验收-装药-填塞-起爆全过程质量追溯体系,保障混合装药技术的规范化应用。

4.3 研究展望

(1) 智能化装药装备与实时监测技术是推动混合装药精准施工的重要发展方向。当前露天煤矿穿孔、爆破环节智能化程度较低,智能设备平均占比仅为 3%^[4]。未来应重点研发具备孔内环境感知、装药参数自适应调节、装药质量实时反馈功能的智能装药装备,结合物联网与大数据技术、多功能爆破辅助填塞车实现混合装药过程的数字化管控与动态优化^[5],提升浅水炮孔混合装药的施工精度与稳定性。

(2) 多物理场耦合作用下混合装药爆破机理的深化研究是提升技术科学内涵的重点方向。现有研究对爆炸应力场、渗流场、温度场等多物理场耦合作用下,水-气复

合间隔介质的能量传递规律、岩体损伤演化机制等认识尚不充分。借鉴多物理场耦合分析方法^[6],建立考虑流固耦合、热力学效应的混合装药爆破数值模型,揭示不同间隔介质组合条件下爆破能量的时空演化规律与岩体破碎机理,将为混合装药参数的优化设计提供更坚实的理论基础。

[参考文献]

- [1]谢先启,黄小武,姚颖康,等.露天深孔台阶精细爆破技术研究进展[J].金属矿山,2022(7):7-18.
- [2]李东田.露天煤矿水孔爆破施工技术分析[J].工程机械与维修,2024(1):195-197.
- [3]陈亚军,常治国,赵斐.干旱区露天矿爆破作用线理论与实践研究[J].采矿与安全工程学报,2019,36(2):357-363.
- [4]王忠鑫,张建明,贺佑国,等.我国露天煤矿智能化发展的十点反思与十项建议[J].智能矿山,2024,5(6):10-17.
- [5]贾世杰,刘晓军,吴兵兵,等.露天矿山含水炮孔爆破辅助车关键技术及应用[J].智能矿山,2026,7(7):89-94.
- [6]张召彬,李宇轩,边航,等.天然气水合物储层-井筒耦合开采模型与多物理场演化机制[J].地质学报,2025,99(11):3871-3882.

作者简介:张欢(1983—),毕业于新疆农业大学环境工程专业,现就职于新疆雪峰爆破工程有限公司,中级工程师。