

# 露天煤矿爆破网络设计及其影响因素分析

王强 蒲应录 刘江

新疆雪峰爆破工程有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

**[摘要]**露天煤矿爆破网络设计是矿山开采过程中的关键环节,直接影响到矿石的破碎效果、资源回收率及开采成本。随着煤炭资源的逐渐枯竭,矿山开采环境日益复杂,爆破技术在露天煤矿中的应用面临诸多挑战。传统的爆破网络设计方法已经无法满足现代煤矿高效、低耗、环保的生产需求,因此,如何合理优化爆破网络设计,提升爆破效果,降低环境污染和安全风险,成为当前煤矿开采研究的热点问题。文中通过对现有技术的总结与展望,为进一步提升煤矿爆破作业的效率、安全性和环境友好性提供了理论支持和技术参考。

**[关键词]**露天煤矿爆破; 网络设计; 影响因素

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16647

中图分类号: TD235

文献标识码: A

## Design of Blasting Network and Analysis of Influencing Factors in Open-pit Coal Mines

WANG Qiang, PU Yinglu, LIU Jiang

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

**Abstract:** The design of blasting network in open-pit coal mines is a key link in the mining process, which directly affects the crushing effect of ore, resource recovery rate, and mining cost. With the gradual depletion of coal resources and the increasingly complex mining environment, the application of blasting technology in open-pit coal mines faces many challenges. The traditional blasting network design methods are no longer able to meet the production needs of modern coal mines for high efficiency, low consumption, and environmental protection. Therefore, how to optimize the blasting network design reasonably, improve the blasting effect, reduce environmental pollution and safety risks has become a hot topic in current coal mining research. The article provides theoretical support and technical reference for further improving the efficiency, safety, and environmental friendliness of coal mine blasting operations through the summary and outlook of existing technologies.

**Keywords:** open-pit coal mine blasting; network design; influence factor

### 引言

露天煤矿爆破网络的设计被认为是煤矿开采中的关键技术环节,它直接关系到开采效率、成本及安全性。随着煤炭资源的逐渐减少,矿山开采环境变得日益复杂,爆破技术在露天煤矿中的应用面临着更高的要求。爆破网络的设计不仅要充分考虑矿岩的破碎效果,还需对地质条件、煤层结构及炸药性能等多方面因素进行评估,以确保爆破作业在保障安全的同时也能高效进行。合理的爆破网络设计能够显著提升矿岩的破碎质量,优化矿石回收率,降低能源消耗,并减少环境污染及安全风险。随着技术的进步,近年来爆破网络设计方法已有了显著创新。计算机模拟技术与智能化爆破系统的应用,使得矿山爆破作业的精度和可控性大大提高。然而,在复杂的地质条件和多变的环境因素下,如何最大化利用爆破能量、提升作业效果,同时确保安全,仍然是当前设计面临的重要挑战。本文将深入分析露天煤矿爆破网络设计中的关键因素,探讨地质条件、煤层结构、炸药性能和施工工艺等对爆破效果的影响,并提出优化爆破网络与安全控制的策略。通过这些分析,旨在为露天煤矿的高效、安全开采提供理论支持和实践指导。

### 1 爆破技术对露天煤矿生产的重要性

随着社会经济的不断发展,爆破技术已广泛应用于多个领域,尤其在采矿业中,成为常用的矿物破碎方法。爆破技术在露天矿山开采过程中起着至关重要的作用。预裂爆破、光面爆破和高台阶抛掷爆破等技术,对于保持边坡稳定性和降低运营成本发挥着重要作用。此外,深孔微差爆破技术是矿山中常用的技术,它不仅有效提高了岩石的破碎效率,还能显著减小爆破振动对周围环境和设施的危害。总的来说,爆破技术在矿山中的广泛应用,显著提升了生产效率,对露天煤矿的施工质量也产生了深远的影响。

### 2 露天煤矿爆破网络的设计方法

#### 2.1 爆破参数的确定

爆破参数的合理确定被认为是露天煤矿爆破网络设计的核心,它直接影响着爆破效果、矿岩的破碎质量及安全性。主要的爆破参数包括炸药单耗、孔网参数(如孔径、孔深、孔距、排距)、装药结构、起爆顺序及微差时间等。在选择这些参数时,必须综合考虑矿岩的物理力学性质、煤层赋存条件、边坡稳定性要求及环境安全限制等多个因素。适当的炸药单耗可确保矿岩得到充分破碎,避免因过度粉碎而造成能量浪费或过多粉尘污染的产生;孔网参数

的优化设计能够确保爆破块度的均匀性，提高爆破效率，并减少次生破坏的发生。合理的装药结构与起爆顺序设计有效减轻了爆破振动、飞石及噪音等不良影响，从而保障了施工安全，并维护了周边环境的稳定性。

## 2.2 起爆方式与起爆顺序设计

起爆方式与起爆顺序的设计在露天煤矿爆破网络规划中占据着核心地位，对爆破效果、矿岩破碎质量及作业安全性产生着重要影响。常见的起爆方式包括毫秒微差起爆、梯段起爆、定向起爆及控制爆破等，其中，毫秒微差起爆因其能够有效减小爆破振动、降低飞石风险，并提升矿岩破碎的均匀性，因此在实践中得到了广泛应用。合理的起爆顺序设计有助于爆破能量释放方向的控制，避免应力叠加效应，从而增强爆破作业的安全性与经济性。例如，从自由面向后排依次起爆的设计，不仅能够确保岩体顺利崩落，提高采矿作业效率，还能避免飞石对设备及人员造成威胁<sup>[1]</sup>。随着信息化技术的进步，智能电子雷管的应用大幅提升了起爆时间的精确度，从而使得起爆顺序的控制更加优化，有效降低了爆破振动、粉尘污染及边坡破坏的风险，同时提高了矿山生产的安全性与环保水平。

## 2.3 网络布置方式及优化

网络布置方式及其优化被视为露天煤矿爆破网络设计的关键内容，它直接影响爆破的均匀性、矿岩破碎效果及施工的安全性。爆破网络的布置形式通常包括直列式、网格状、分段式及环形布置等，每种方式均适应不同的矿岩特性及开采需求。合理的布置设计能够优化能量的传递过程，提高炸药的利用效率，减少爆破振动及飞石的风险，从而确保施工安全并维护周围环境的稳定性。爆破网络的优化布局应综合考虑矿岩的物理性质、煤层的赋存条件、边坡稳定性要求、爆破块度标准及环境安全因素，通过数值模拟与现场试验的结合进行调整与优化。

## 2.4 计算机模拟与优化设计

计算机模拟与优化设计在露天煤矿爆破网络的设计过程中发挥着至关重要的作用。通过仿真技术，爆破效果能够被精确预测，爆破参数得以优化，从而提升矿岩的破碎质量，同时有效降低爆破振动、飞石及环境污染等不利影响。现代爆破设计广泛采用数值模拟技术，如有限元分析、离散元模拟及流体动力学计算，以模拟炸药爆炸后能量的传播、岩石应力分布及破碎过程，从而优化孔网参数、装药结构及起爆顺序。借助计算机模拟技术，在实际施工前不同爆破方案的效果得以评估，避免了因参数选择不当而带来的安全隐患或爆破质量问题。此外，通过结合大数据分析 with 人工智能优化算法，爆破设计能够实现自适应优化，从而提高爆破作业的精准性与经济性。

## 3 露天煤矿爆破网络设计影响因素分析

### 3.1 地质条件对爆破网络的影响

地质条件被认为是影响露天煤矿爆破网络设计的关键因素之一，它直接决定了爆破参数的选择、网络布置方

式以及爆破效果的稳定性。岩石的物理力学性质，如抗压强度、层理构造、节理裂隙的发育程度及岩性差异等，显著影响着爆破能量的传播路径和矿岩的破碎方式。举例来说，高强度、致密的岩石通常需要较高的炸药单耗及合理的装药结构设计，以确保足够的破碎效果，而节理裂隙发育的岩体则可能导致能量损失、爆破块度不均匀，甚至增加飞石的风险。煤层赋存条件同样影响爆破网络的设计，煤岩接触界面的硬度差异可能导致破碎的不均匀性，甚至产生大块煤矸，这对后续开采作业构成了不利影响。地下水位的高低也是必须考虑的因素，含水层的存在可能会降低炸药的爆炸效率，甚至使装药结构失效，从而影响爆破效果及安全性。此外，边坡的稳定性是地质条件对爆破网络设计影响的另一个重要方面，复杂的地质构造可能会增加边坡坍塌的风险，进而危及采场的安全。

### 3.2 煤层结构与赋存条件的影响

煤层的结构与赋存条件对露天煤矿爆破网络的设计具有重要影响，它们直接决定了爆破参数的选择、能量释放方式及矿岩破碎效果。煤层的厚度变化对爆破设计有显著影响，较厚的煤层在爆破过程中容易形成较大的煤矸块，而较薄的煤层则可能因能量释放不均匀而导致破碎过度或煤炭损失。煤层的倾角也是影响爆破网络布置方式的关键因素，平缓的煤层适宜采用常规的垂直深孔爆破，而倾斜煤层则由于能量传递方向的不同，可能导致煤岩界面破碎不均或增加滑移风险。顶底板岩性的差异也影响爆破效果，尤其当顶板岩层较硬而底板较软时，爆破可能无法充分分离煤岩，从而影响后续的采煤作业。夹矸层的存在同样影响爆破设计，硬质夹矸层可能阻碍爆破能量的有效传播，导致爆破块度不均，而软质夹矸层则可能在爆破过程中引发局部塌陷<sup>[2]</sup>。此外，煤层中存在的裂隙或断层等地质缺陷改变了爆破应力的传递路径，使得爆破网络的能量分布变得不均匀，增加了飞石、振动等安全隐患。煤层的含水情况也会对爆破网络的设计产生影响，高含水量的煤层可能降低炸药的爆炸效率，进而影响爆破效果，同时可能在爆破后形成泥浆，影响采场的排水及后续开采工作。

### 3.3 炸药性能及装药结构的影响

炸药性能与装药结构在露天煤矿爆破网络设计中起着至关重要的作用，直接关系到爆破能量的释放效率、矿岩破碎效果以及作业安全性。炸药的爆速、爆压及爆热等关键性能决定了能量释放的方式及破碎能力。高爆速炸药能够产生更强的冲击波及剪切应力，促使岩石更加彻底地破碎，适用于坚硬岩层；而低爆速炸药则能够延长作用时间，减少飞石及振动效应，适合用于松散岩层或对环境较为敏感的区域。炸药的抗水性也是决定其性能的重要因素，在露天煤矿中，地下水或雨水可能会影响炸药的稳定性，抗水性较差的炸药容易失效，从而影响爆破效果。炸药的密度与感度对能量传递效率有着显著影响。高密度炸药能够提供更大的能量输出，但若感度过高，则可能增加误爆

风险,而感度过低则可能导致起爆困难。装药结构的设计同样对爆破效果起着关键作用,涉及到装药方式、药包的布置及填塞材料等方面。常见的装药方式有连续装药、间隔装药与分段装药,其中,连续装药能够提供稳定的能量释放,进而提升矿岩破碎的均匀性;间隔装药则有助于降低炸药单耗,并减少爆破振动与粉尘污染。药包位置的合理布置能够优化能量的传递方向,从而使矿岩破碎更加均匀,避免了超破或欠破现象的出现。

### 3.4 环境与安全因素的影响

环境与安全因素在露天煤矿爆破网络设计中占据着重要地位,直接影响施工安全、周围环境保护以及矿山的可持续发展。爆破振动是一个关键因素,它对周围建筑物、边坡稳定性以及地下设施的安全构成威胁。若爆破振动过强,边坡坍塌、地裂缝扩展,甚至邻近的建筑、道路及基础设施可能被破坏。因此,爆破振动的控制参数被认为是设计中的重点之一。爆破过程中,飞石的飞行范围与方向受装药量、网络布局及地质条件的影响,若没有有效控制,飞石可能对人员、设备或周围环境带来安全隐患。此外,空气冲击波的影响同样不可忽视,过大的空气冲击波不仅可能破坏附近建筑物的窗户及其他结构,还会影响周围居民的生活质量。爆破噪声污染也需要特别关注,尤其是在矿区靠近居民区、工业设施或生态保护区时,爆破噪声可能对人类健康及生态环境造成不良影响。粉尘污染是露天煤矿爆破中的常见问题,矿岩破碎时产生的大量粉尘若风速较大,可能被吹散到远离矿区的区域,严重时会影响空气质量,威胁作业人员及周围居民的健康。天气条件也对爆破作业的安全性产生影响,大风天气可能加剧粉尘扩散,雷雨天气则可能带来雷电引发爆炸的风险,而低温环境可能导致炸药性能下降,从而降低爆破效果<sup>[3]</sup>。矿区周边生态环境的保护要求在爆破设计中同样占有重要地位。特别是靠近水源地、森林或农田的矿区,爆破所带来的振动、噪声与粉尘可能会对当地生态系统造成破坏。

### 3.5 施工工艺与设备条件的影响

施工工艺与设备条件在露天煤矿爆破网络设计中起着至关重要的作用,直接影响爆破作业的效率、成本与安全性。选择的施工工艺决定了各个操作环节的精细度,钻孔、装药及起爆等步骤的执行效果均受其影响。矿岩类型与煤层结构决定了钻孔的深度、直径及角度的合理设计,孔径过深或过浅可能导致能量传递的不均,进而影响破碎效果。装药工艺的合理性对炸药的使用效率与爆破安全性至关重要,若装药不均或不当,爆破效果可能差,甚至引发安全事故。起爆方式、起爆顺序及控制系统的设计,也会受到施工工艺的影响。通过合理的工艺流程,可以提高爆破的精确度,同时减少潜在的安全隐患。设备条件同样在爆破网络设计中起着关键作用。各类施工设备,如钻机、爆破器材及运输工具等,依赖于设备的性能,直接决定了爆破作业的效率与质量。确保孔稳定性与准确性的高效、精准钻探设备,而高性能的起爆设备则保证了爆破时序的

精确执行,降低了误爆风险。此外,设备的技术状态及日常维护也是影响安全性的关键因素,设备故障可能导致施工进度延误,甚至引发事故。因此,优化施工工艺与提升设备性能,是确保露天煤矿爆破网络设计成功的关键。

## 4 爆破网络设计的优化与安全控制

优化爆破网络设计与安全控制,是露天煤矿爆破作业中的关键环节,旨在通过科学设计提升爆破效果,确保作业安全与环境保护。依赖于精确的计算与模拟,爆破网络的优化设计得以实现,孔距、装药结构、炸药种类及装填方式等因素,必须合理设定,以保证爆破能量的高效均匀传递,从而实现矿岩的高效破碎,并减少能量浪费。优化后的设计不仅能控制碎块的大小与形态,提高矿石回收率,还能够有效降低后续采矿成本。此外,合理的爆破网络布局有助于减少振动、飞石、噪声等负面影响,避免对周边环境与基础设施的损害。在安全控制方面,必须严格管理爆破振动、飞石、空气冲击波等对环境与作业人员的潜在危害。爆破振动的控制,可以通过合理的起爆时序与安全距离来实现,从而减少对矿山边坡、周围建筑物及地下管线的影响。飞石的产生控制,则依赖于精准的起爆顺序与装药方式,通过合理控制炸药量与装药深度,有效避免飞石飞出作业区,确保人员与设备的安全<sup>[4]</sup>。此外,空气冲击波与噪声管理同样关键,低噪声炸药的合理选择、爆破时机的优化以及施工时间的安排,有助于减少对周围环境的干扰。随着智能爆破技术的不断发展,电子雷管与自动化控制系统的引入,使得爆破的起爆更为精准,从而进一步提升了作业的安全性与效率。

## 5 结语

露天煤矿爆破网络设计在矿山开采中的作用,无法忽视,它不仅直接影响矿石的破碎效果和资源的回收率,还对作业安全性与环境保护产生深远影响。通过分析多种影响因素,本文探讨了地质条件、煤层结构以及炸药性能等在爆破网络设计中的关键作用,并强调了优化设计与安全控制的重要性。尽管现有技术已有一定进展,但随着矿山开采环境日益复杂化,提升爆破设计效率与安全性,仍是亟需解决的问题。展望未来,随着智能化与自动化技术的不断发展,爆破网络设计的精准度与高效性,有望得到显著提高,进而促进煤矿行业的可持续发展。

### [参考文献]

- [1]杨玉超.露天煤矿爆破技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(19):19-21.
- [2]张文德,靳志刚,陈彦军,等.煤矿井巷起底爆破网络架空设计与应用[J].陕西煤炭,2021,40(2):109-112.
- [3]王帅.基于麻雀搜索算法优化的BP神经网络爆破振动峰值预测研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2022.
- [4]吴甲.煤矿爆破事故原因分析及对策[J].价值工程,2019,38(34):50-51.

作者简介:王强(1992.2—),毕业院校:大连理工大学,所学专业:电力系统自动化,当前就职单位:新疆雪峰爆破工程有限公司,职称级别:助理工程师。