# 临近构筑物条件下料场控制爆破技术研究

杨志伟　翟为勃
中国水利水电第三工程局有限公司　陕西　西安　710000

**摘　要：**本研究聚焦临近既有构筑物的露天料场开采场景，针对常规中深孔爆破易引发周边构建筑物振动超标、飞石冲击、结构损伤等高频安全风险，系统梳理复杂近距工况下控制爆破的技术逻辑与落地难点。结合国内多座临近构筑物的砂石料场工程实践，从前期风险评估、爆破参数优化、有害效应防控、全过程安全监测四大维度构建完整技术体系。通过精准控能的爆破设计与多维度防护组合，可将爆破振动严格限定在构筑物安全阈值内，在保障周边设施结构安全的前提下，有效提升料场开采效率，为同类复杂工况下的爆破工程提供可直接落地的实操路径。

**关键词：**临近构筑物；料场爆破；控制爆破；安全管控

引言：随着国内基础设施建设对砂石骨料的需求持续攀升，大量露天料场的开采边界逐步向周边民用建筑、工业管线、交通构筑物靠近，传统粗放式的爆破作业模式已完全无法适配近距场景的安全管控要求。过往不少料场因爆破设计不合理、防护措施不到位，引发周边构筑物墙体开裂、管线变形等安全纠纷，既造成额外经济损失，也严重影响项目正常推进。在此行业背景下，系统开展临近构筑物条件下的料场控制爆破技术专项研究，破解近距开采的安全与效率矛盾，是料场开采企业提升本质安全水平的核心需求，也是爆破工程精细化转型的必然趋势。

## 1 临近构筑物料场控制爆破技术基础

### 1.1 控制爆破技术核心内涵与分类

控制爆破是通过优化爆破设计、精确布孔和严格起爆控制，将爆破能量按预定方向释放，使有害效应控制在允许限度内的技术。其核心在于“精准释放”与“有效约束”——前者强调能量定向利用，后者强调危害边界管控。按技术特征可分为预裂爆破、光面爆破、微差爆破、缓冲爆破及静态破碎等类型。预裂爆破通过预先形成裂缝切断振动传播；微差爆破以精确延时分散振动能量；缓冲爆破则调整装药结构降低冲击强度。实际工程中常组合运用多种技术，以形成协同减振效应。

### 1.2 临近构筑物爆破施工的主要有害效应及危害机制

临近构筑物爆破主要面临振动、飞石、冲击波和噪声四类有害效应。爆破振动影响范围最广、控制难度最大，其危害在于弹性波传播引起构筑物强迫振动，当振速超标或频率接近结构自振频率时，可致墙体开裂甚至结构损伤。飞石源于堵塞不严、抵抗线失控或爆生气沿裂隙溢出，具有突发性。冲击波和噪声直接影响居民生活，易引发投诉。上述效应在爆炸瞬间同时产生并相互作用，必须在设计阶段进行统筹防控[1]。

### 1.3 临近构筑物料场爆破施工的核心约束条件

临近构筑物料场爆破受“空间约束”与“安全约束”双重制约。空间约束表现为施工场地狭窄，爆区与保护目标距离被压缩，振动衰减空间不足，传统大药量爆破方案失效。安全约束以保护对象结构特性和抗振能力为依据，不同构筑物对应差异化的振速限值和飞石安全距离。另外，受限条件下维持料场产能意味着须在削减药量的同时通过技术手段弥补破岩效率，这对参数设计与施工组织提出了更高要求。

## 2 临近构筑物料场控制爆破方案设计

### 2.1 工程前期勘察与风险评估

工程前期勘察是控制爆破方案设计的首要环节，其深度与精度直接决定了后续参数设计的安全性和可靠性。勘察工作应涵盖地质条件调查、构筑物现状评估和周边环境摸底三个层面。地质调查重点查明岩体结构类型、节理裂隙发育程度及产状、岩体完整性系数等参数，为爆破参数计算提供依据。构筑物现状评估需对临近建筑物进行逐栋编号，对其结构类型、基础形式、建造年代及既有损伤情况进行详细调查记录，以此为基础结合《爆破安全规程》确定各保护对象的安全允许振速阈值。周边环境摸底则应掌握保护目标的分布方位、距离以及重要设施（如地下管线、高压线塔等）的具体位置。在上述勘察成果基础上，采用定性与定量相结合的方法进行爆破风险等级划分，明确重点保护对象和关键控制指标，为后续方案设计奠定基础。

### 2.2 爆破参数优化设计

爆破参数优化是控制爆破方案设计的核心环节，其目标是在满足破岩需求的前提下将有害效应降至最低。参数优化的关键在于最大单段药量的确定，依据爆破振

动速度随药量增加而增大、随距离增加而衰减的传播规律，结合场地实测的振动衰减参数以及保护目标处允许振速进行反算，据此确定每段起爆的合理药量上限。在此基础上，进一步优化孔网参数和装药结构：孔距和排距的确定应遵循“宽孔距、小抵抗线”的原则以降低爆炸能量集中度；最小抵抗线方向须严格控制为背向保护目标；装药结构方面，临近构筑物方向的炮孔应采用空气间隔装药或径向不耦合装药以降低爆炸峰值压力。微差时间的选取亦不容忽视，合理的孔间微差和排间微差既能保证爆破效果又能实现振动波的能量分散，避免各段波形的主振相叠加。

2.3 针对性控制爆破工艺选型

针对临近构筑物条件下的特殊约束，单一控制爆破技术往往难以兼顾破岩效率与安全控制的双重要求，需根据工程条件进行工艺选型组合。预裂爆破适用于需要将爆区与保护目标彻底隔离的工况，其关键设计参数包括预裂孔孔径、孔距（通常为主爆孔孔距的1/3~1/2）、不耦合系数及线装药密度等。缓冲爆破则布设在预裂孔与主爆孔之间，采用加密孔距、减小单孔药量及径向不耦合装药结构，其功能在于吸收主爆区传递的剩余能量[2]。对于岩体完整性较好、节理不发育的料场，可优先采用微差爆破配合逐孔起爆技术，通过单孔单响最大限度地分散振动能量。当料场与保护目标距离极近（如小于50 m）时，还可考虑采用机械破碎与爆破相结合的分段开采工艺，在近区采用破碎锤处理、远区实施爆破作业，虽效率有所降低但安全裕度显著提升。工艺选型应综合考虑岩体条件、产能要求和经济成本进行比选。

2.4 爆破有害效应专项防控设计

2.4.1 爆破振动防控措施

爆破振动防控分为主动减振与被动隔振两个层面。主动减振通过优化爆源参数实现，包括控制最大单段药量、采用逐孔微差起爆分散振动能量、以空气间隔装药降低峰值压力等。被动隔振通过在爆源与保护目标间设置物理屏障阻断振动传播，以减震沟和缓冲层应用最广。减震沟宜开挖至台阶底面以下0.5~1.0 m，宽度不小于0.3~0.5 m，其隔振效果源于沟界面对应力波的反射和散射，当沟深达到瑞利波波长1/3以上时效果明显。缓冲层即在沟内填充松散材料以消耗透射波能量。在保护目标侧保留一定厚度岩墙作为天然屏障，也是一种经济有效的被动隔振措施。

2.4.2 飞石与冲击波防控

飞石与冲击波防控须从设计和施工两个环节同步把控。设计上应严格控制最小抵抗线背离保护目标，合理选取堵塞长度和材料确保堵塞质量；对临近构筑物侧的首排炮孔宜减小孔径和孔深、降低单孔药量，并增设柔性防护网或竹笆排架。施工上须确保每个炮孔堵塞密实，严禁使用碎石堵塞；装药前应检查孔内状况，遇裂隙孔或贯通孔须调整或废弃。冲击波防控除控制总装药量外，可设置挡波墙或利用地形遮蔽。需注意飞石与冲击波防控措施常与振动控制存在制约关系，应在设计中统筹权衡。

2.4.3 爆破噪声与粉尘控制

爆破噪声与粉尘虽不直接危及结构安全，却直接影响居民生活感受，是引发投诉的主要诱因。噪声控制主要依靠控制一次起爆药量、采用毫秒微差起爆分散噪声峰值以及避开居民休息时段作业。粉尘控制可采取爆前洒水湿润岩面、爆后喷雾降尘、爆区周围设置挡尘网等措施，干燥季节和大风天气应加密洒水频次。实践中应建立噪声和粉尘的日常监测制度，将其纳入爆破作业常态化管控范畴，以改善与周边社区的关系。

## 3 控制爆破施工工艺与质量管控

3.1 爆破施工前期准备工作

施工前期准备直接影响控制爆破的实施效果与安全水平。首先应完成场地清理，清除覆盖层及松动岩块，为钻机作业提供平整平台。钻机就位前由测量人员按设计孔位精确放样，标注各炮孔坐标和设计孔深，并对前排孔抵抗线方向进行复核校正。临近构筑物侧的首排炮孔须采用更严格定位精度，确保孔底不偏离设计控制线。其次应组织专项安全技术交底，由技术负责人向钻机操作手、爆破员及警戒人员详细说明控制重点和操作注意事项。爆破器材进场检验不可忽视，应对每批雷管延时精度抽样检测，确保符合设计要求，避免延时偏差引发振动超标。

3.2 控制爆破施工流程与操作要点

控制爆破施工应严格按“钻孔→验孔→装药→堵塞→联网→警戒→起爆”标准工序执行。钻孔阶段应严格控制角度和深度偏差，预裂孔倾角偏差不宜超过1°，孔底偏差不超过孔距的1/5；钻孔后须逐个测量孔深并检查孔内状况，发现裂隙或贯通孔时应调整装药方案。装药阶段按设计药量和装药结构操作，空气间隔装药须准确控制间隔段长度和位置。堵塞作业是控制飞石的关键工序，应采用黏土或专用材料分层捣实，靠近保护目标的炮孔堵塞质量须重点检查。起爆网络连接应确保雷管段位准确无误，联网后经第二人复核确认[3]。

3.3 爆破施工质量检测与验收标准

爆破质量检测贯穿全过程，包括过程检测和爆后效

果检测两个层面。过程检测以炮孔验收和装药检查为核心，孔深偏差控制在±0.3 m以内，孔距和排距偏差不超过设计值±10%，装药量误差不超过±5%。爆后效果检测考察爆堆形态、块度分布和破碎质量，合格标准为爆堆松散、大块率低、根底平整、无过量飞石。临近构筑物侧还需检查预裂缝是否贯通、缓冲孔爆破后岩壁是否平整，以验证减振措施效果。每次爆破后由技术人员填写质量验收记录，综合评价爆破效果，为后续参数微调提供依据。

## 4 临近构筑物安全监测与应急处置

### 4.1 爆破有害效应监测方案设计

安全监测是验证控制爆破效果和保障临近构筑物安全的直接手段，其方案设计应遵循“全面覆盖、重点突出、实时反馈”的原则。振动监测点应沿爆源至保护目标方向呈放射状布置，在距爆源最近、结构最薄弱及振动最敏感的保护目标处加密布设，每个监测点需记录质点峰值振动速度和主振频率。飞石监测则通过在保护目标前沿设置警戒观察点和利用高速摄像设备捕捉飞石轨迹实现。噪声监测点通常布置在居民区边界处，监测等效连续A声级和最大声级。监测设备的选型应考虑其采样频率和动态范围是否满足爆破信号的采集要求，传感器安装须牢固并与被测介质（地面或结构基础）良好耦合。监测方案还应明确监测频次——在爆破参数调整初期或地质条件变化时应加密监测，待参数稳定后可适当放宽但必须保证每次爆破均有有效监测数据。

### 4.2 监测数据整理与效果分析

监测数据的整理与分析是连接现场施工与方案优化的关键桥梁。每次爆破后应及时收集各监测点的振动波形数据，进行滤波处理和特征参数提取，建立包含爆心距、最大单段药量、微差时间、实测振速及主频等信息的爆破振动数据库。通过统计回归分析方法，建立适用于本场地的振速衰减经验公式，并计算各次爆破的振动衰减系数，用以判断岩体条件是否发生变化。对于超标或接近预警值的监测数据，应结合爆破参数进行追溯分析，查明是药量控制偏差、微差时间设置不当还是地质异常等因素所致，据此提出针对性的调整措施。定期编制监测报告，对阶段内的振动控制效果和变化趋势进行综合评价，同时将监测结果与临近构筑物的巡查记录进行关联分析，综合判断爆破作业对保护对象的影响程度，为安全评估提供量化依据[4]。

### 4.3 突发险情应急处置与预案管理

临近构筑物爆破施工，即便管控周密仍存在不可预见风险，需健全应急处置机制。预案针对振动超标、飞石越界、拒爆、居民投诉制定处置流程，明确岗位职责与响应时限。振动超预警值即刻开展安全评估，巡查构筑物、测量裂缝，出现损伤立即停工，方案经专家论证方可复工；飞石越界需封锁区域，核查人员及财产损失。伴随开采推进，爆源距离、地质条件发生变化，预案应动态修订，并定期组织演练，保障人员熟练掌握处置流程。

## 结束语

临近构筑物条件下料场控制爆破是涉及爆破工程学、岩体力学和结构安全评估的多学科系统工程。本文从方案设计、施工工艺到安全监测全过程开展研究，提出了以“精准释放”与“有效约束”为核心的控制爆破技术体系。实践表明，控制爆破的关键在于通过参数优化、工艺组合和过程管控，实现爆破能量有序释放与有害效应有效约束。未来随着数码电子雷管普及和智能监测发展，料场爆破将朝“精细化”“智能化”方向迈进，实现从经验依赖向数据驱动转变。唯有将安全管控融入方案设计、施工执行和监测反馈全链条，方能在保障构筑物安全前提下释放产能，实现工程效益与社会效益共赢。

## 参考文献

[1]王铁.复杂城市环境下大断面竖井精细化控制爆破技术研究[J].建筑技术开发,2024,51(5):103-106.

[2]张健,姚宁,黎勇,等.复杂环境下高陡边坡危岩体控制爆破排险技术研究[J]. 爆破,2026,43(1):130-137.

[3]余永阳.复杂环境下控制爆破技术研究[J].工程与建设，2023，37(6)：1780-1782.

[4]刘燕岭,张阳光,吴伟.城市复杂环境基坑控制爆破的应用研究[J].煤矿爆破,2025,43(4):34-38.