

敏感环境斜井明挖控制爆破技术

曹树森¹ 钱栋栋¹ 丁学伟² 李明¹

1. 中车智能交通工程技术有限公司; 2. 江苏中车城市发展有限公司

摘要: 某隧道斜井明挖段周边房屋密集, 并分布各种电力、通讯、雨污水管线等重要设施, 为确保明挖段爆破施工中周边各种构筑物及设施的安全, 施工中采用“综合分区控制爆破技术”, 并设置了相应的防护措施, 有效控制了爆破对周边环境及建筑物的影响, 取得了良好的效果, 可为类似工程提供借鉴。

关键词: 斜井明挖; 综合分区爆破; 控制爆破

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.077

一、引言

某斜井位于市区, 洞口明挖段约90m, 靠近多出重要设施, 如电力和通信线路。挖段左侧为一排两层活动板, 基坑边沿与板房最小距离只有1.2米。明挖段上层为松散填充土, 自斜井起点至YJK+095, 平均覆土层厚度0.6米, 局部覆土层厚度1米。下层主要为花岗斑岩, 呈肉红, 灰白色岩体裂隙面浸染成褐黄色, 内有少量泥质物, 岩体坚硬, 仅风化裂隙附近的岩石褪色变软, 可控性等级为V级。基岩为坚硬岩石, 呈肉红色和暗红色, 块状构造, 岩体完整, 可控性为VI级。

薛永利, 孙飞, 顾云, 李飞等^[2]以某建设项目路基控制爆破工程为背景, 采用掏槽爆破方式, 减少了防护工作量、节省了防护成本、降低了防护时破坏网路的概率。鲁梅^[3]对临近既有运营地铁线明挖基坑爆破开挖工程进行了风险分析。王立飞, 殷松松^[4]通过明确孔深、孔径、装药量、底盘抵抗线等关键参数确保了本次地铁车站基坑作业的顺利完成。唐毅, 杨树明, 马颖博等^[5]基于台阶爆破原理, 采取预裂爆破、光面爆破、数码微差雷管、静态爆破、振速监测的综合控制爆破技术, 实现了真实意义的毫秒延时起爆, 有效控制振速, 确保了周边建筑物的安全。林建清, 陈晓岚^[6]对开挖现场爆破参数进行研究, 一方面获得了类似工程的爆破开挖施工经验, 另一方面也探索了GB6722-2014《爆破安全规程》要求控制的最大爆破振速是否合理。朱胥仁, 苗永旺, 陈佐林^[7]等根据不同温度等级设置了对应的爆破器材和装药结构, 保证了爆破器材在高温环境下的稳定性; 采取水压爆破和选用并簇联法的起爆网路, 保证了爆破施工安全。刘秀钊采取浅孔台阶松动控制爆破与静力破碎相结合的方法进行爆破施工。杨利民结合实际工作情况, 提出洞口位置安装防爆棚、洞内短进尺、弱爆破等手段, 有效克服周围环境困难, 成功完成了爆破工作。薛伯志分析了爆破安全管理中值得关注与加强的若干事项, 以降低爆破事故发生的概率。涂业斌针对某地铁车站深基坑开挖实例, 阐述了在复杂环境下的石方控制爆破技术, 通过控制爆破方案的选定, 爆破参数的设计及相应控制措施等, 能够最大限度地避免对附近密集房屋及设施的破坏, 在无振动、无飞石、无污染的条件完成施工。本文在现有研究和案例的基础上, 对敏感

环境斜井明挖控制爆破技术进行研究。

二、爆破控制要求

(一) 爆破振速控制

当需要对地下岩层或地下结构物进行挖除或拆除时, 可采用多种施工方法, 如直接人工开挖、机械挖除, 若碰到坚硬岩石时需进行先爆破再拆除, 通过炸药能量的释放, 使炸药周围的岩体破碎, 同时在爆破应力波作用下, 对远处的岩体产生剪拉应力, 使完整岩体产生裂隙等, 爆破剩余的一部分能量将以波的形式向外传播, 在爆破作业时需要根据实际的破坏情况进行爆破地震强度的检算。随着爆破工程的增加, 各种工况越来越复杂, 为了不对爆破一定范围外的结构物、自然土体及人工放置设备设施等物体造成损伤、损毁等, 需要严格控制爆破时产生的爆破地震强度等级。爆破地震与自然地震有很多相似点, 都是以波的形式传播, 都是使周围岩体等物质产生振动, 但同时爆破地震也有自身的特点, 相对于自然地震, 爆破地震的中心源能量要小很多, 炸药装填多少影响几乎可以忽略, 传递的范围没有自然地震大, 持续的时间没有自然地震时间长, 爆破地震都是在一瞬间就完成爆破, 自然地震则持续时间较长, 爆破地震与自然地震的振动频率不同, 爆破地震频率较高, 自然地震频率较低, 同时, 爆破地震可以通过技术手段调节振动强度。

岩体的振动矢量是由三个方向的矢量和组成, 通常用垂直振动速度作为判定依据, 由于爆破振速的大小与炸药装填数量、距离结构物的距离、地形条件、爆破方法等息息相关, 在工程施工过程中的地质条件、装药设计等千变万化, 不同振动速度对结构物的破坏程度也不同, 为避免爆破时周边板房被震坏, 必须严格控制爆破振速, 参考相关规范及施工经验, 控制振速 $\leq 5\text{cm/s}$ 。^[1]

(二) 爆破飞石控制

爆破飞石是指在爆破过程中从爆破点抛向空中或地面的砂砾、土壤、砾石和其他材料。爆破的危害主要表现为人员伤亡、建筑物损坏和机器设备故障, 其中人员伤亡是最大的危害。飞石的爆破主要受装药、地形、爆破介质、最小阻力线和爆破指数、导孔、风速和风向的影响。斜井的明挖工作暴露在地面上, 爆破过程中, 应严禁飞石破坏、损坏的事情发生, 可采取严格控制装药量、小孔尺寸分散装药或不捆绑装药, 调整局部装药结构, 提高炮孔封闭质量, 合理确定起爆顺序和间隔时间, 减少飞石的作用。对于爆炸区的覆盖物, 爆炸区的覆盖物可以防止飞石的散落, 覆盖材料要求强度高、重量大、韧性好, 可以捆绑成一个厚实的整体, 并能牢固固定, 具体可选用橡胶防护垫、钢丝网、带环绳、连接原木、工业毡垫、帆布、草垫等。建立围挡区, 以爆炸区为中心建立围挡区, 围挡区内不应有人员, 人员因工作需要不能撤离或无法撤离时, 要建立牢固可靠、能

抵御飞石冲击等安全、经济的防护措施。

三、施工方案的选择

综合考虑本工程地形、地质、环境条件、设备等条件，由于最初在选择施工方法时采用了无声膨胀剂，依据控制振速、防止飞石等要点，基于膨胀剂只适用于小体积混凝土的松动拆除，不适用于本工程最后决定本工程采用“综合分区爆破法”^[2]。“综合分区爆破法”，将开放面爆破和自由面爆破原理相结合。在沟渠边界周围以适当的间隔放置炮孔，并以受控的阻力线和受控的装药量进行爆破，在有侧向空气的情况下，形成一个光滑平整的斜坡。而自由面爆破是指沿着开挖的界限以适当的间距布置炮孔，用控制好的装药量进行爆破，在有横向空气侧和最小阻力线

的情况下，对裂缝进行预爆破，使拟爆破的山体分离。整个爆破段应科学地分级分段，以减少爆破振动的影响，作为控制性爆破方法，采用浅孔爆破原理对基坑中部进行爆破，控制爆破对岩石的影响；采用光面爆破原理对边坡进行爆破，减少爆破振动的影响，控制边坡的稳定和边坡的平整美观^[3-4]。

四、爆破试验

(一) 爆破参数的选择

通过试验手段确定爆破参数，以10m作为试验段，采用RJ-2# 乳胶炸药和“第二系列”1-19段非电毫秒雷管。为了避免峰值振速放大，使各段爆破振动波形发生叠加，对段别小的雷管采用跳段排列^[5]，具体如图1所示。

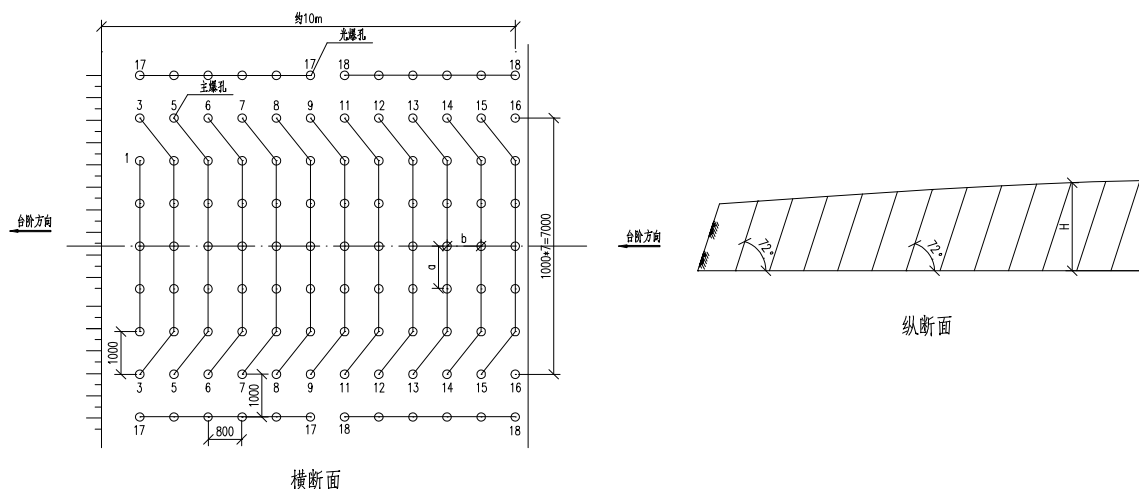


图1 试验段炮眼布置示意图

1. 主爆孔

斜向坡面方向为钻孔方向，俯角72°，深度2.5m，炮孔间距为1m。单孔装药量：

$$Q_{\text{单}} = k \times a \times b \times H \quad (4.1)$$

式中：a、b为炮孔间距，均取1m；

H为台阶高度，取2.5m；

K为炸药单耗，取0.35 kg/m³；

经上式计算单孔装药量为 $Q_{\text{单}} = 0.35 \times 1 \times 1 \times 2.5 = 0.875\text{kg}$ ，根据爆破振速要求反算，单段最大装药量可取7孔同时起爆， $0.875 \times 7 = 6.125\text{kg}$ 。

2. 光爆孔

沿边坡设计开挖线，布置光爆孔，依据岩石的性质炮孔间距E，取0.8m；光爆眼的密集系数用K值表示： $K = E/w$ ，试验段K取1，光爆层为1m。光爆孔线装药密度

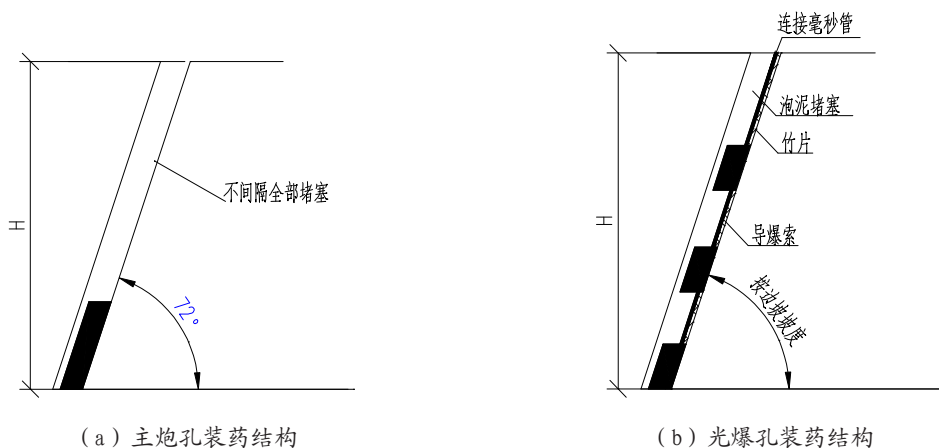


图2 炮孔装药示意图

取0.2kg/m，单个光爆孔装药约为0.5kg。

(二) 钻孔及装药

用YT-28钻孔，孔径42毫米，严格控制孔距和钻孔角度，并根据地面起伏调整钻孔深度，使网底尽量下降到同一水平面，提高装渣效率。

装药结构：主爆孔采用连续装药；轻爆孔采用导爆索，竹片采用空气装药。

起爆网：预计起爆环节始终是一个非电雷管系统，电雷管可用于除起爆雷管之外的其他部位，严禁使用电雷管。如图2所示。

(三) 安全防护

为防止爆破时对周围的人和 environment 造成伤害，爆破区应拉起警戒线并加以覆盖。斜井项目是一个临时工程，开挖面积大，如果用明洞施工或其他方式封闭，需要很长时间，也是一种资源浪费。因此，通过分析爆破的强度，发现沙体应该被覆盖在表面。覆盖物包括橡胶垫、铁丝网、稻草垫、以及轮胎和沙袋的碎片。第一层是边缘至少50厘米宽的橡胶垫，第二层是在所有四个角上连接的金属网。第三层是用带衬里的草垫覆盖。第四层是轮胎和沙袋施压，轮胎是4个连接成一体，1m×1m的沙袋呈梅花形，如下图4-3所示。覆盖层应具有充分的弹性，以防止沙体被困住。

(四) 爆破效果检查

在保护工程完成，人员和设备撤到安全距离后，进行爆破，用测振仪在板房附近（距斜井轴线14.5米）采集了振动速度，测量结果为2.5cm/s。爆破保护覆盖层

如图3，覆盖层成功地配合了爆破，完全阻止了飞石的形成；母岩在爆破过程中被松动，也被完全压实和冲击，以确保石块的破碎效果良好，因为矿渣没有受到过大石块的影响。总的来说，试验段的爆破性能主要达到了预期目标，所选择的爆破参数也适合本项目。



图3 爆破保护覆盖层

五、全段施工情况

爆破参数基本上是由试验段的施工确定的，但由于施工期的压力，为了减少各轮工序之间的时间，根据以往的试验结果和现有的经验，将这个露天爆破段分为8个爆破区进行连续单独爆破，每个爆破区约20~30m。厚度约为2.5m，选择这样的长度和厚度，能保证在现有药量设计上，保证爆破效果。每个爆破区域又以10m作为一个小段，各小段之间采用孔外微差的方式来控制爆破顺序，起爆网络见下图4。

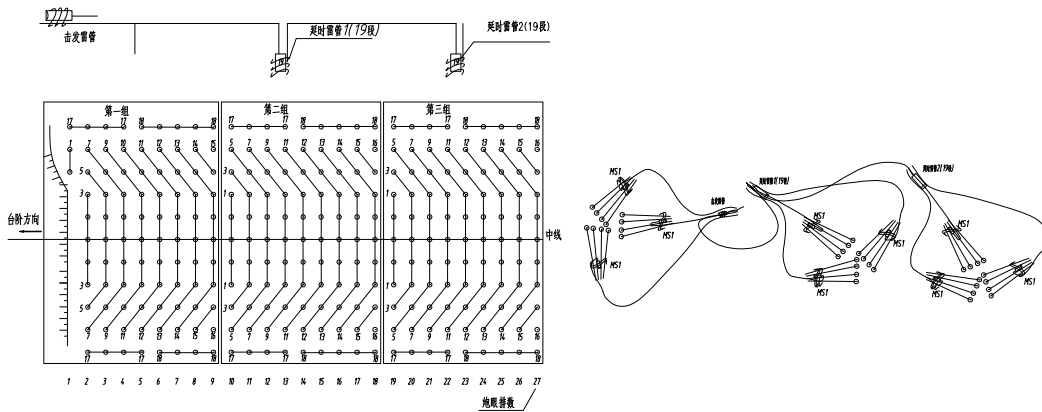


图4 单区域起爆网络示意图

结论

应用“综合分区爆破法”避免了爆破震动对周边环境产生的不良影响。通过对每次爆破振速的实际测量，振速均控制在3.34~4.94cm/s，同时采用柔性覆盖层的方式，对飞石进行防护，避免了爆破安全事故和建（构）筑物损伤，通过爆破区域及段落的合理划分，提高了施工效率，保证了施工进度。

参考文献

[1] 冯叔瑜. 爆破工程[M]. 北京: 铁道出版社, 1980
 [2] 薛永利, 孙飞, 顾云, 李飞, 刘勤杰, 刘迪. 玻璃幕墙邻近区域浅孔控制爆破安全技术[J]. 爆破, 2022, 39 (03): 112-115.

[3] 鲁梅. 临近既有运营地铁线明挖基坑爆破开挖安全监管安全措施[J]. 建设监理, 2022 (05): 77-79.
 [4] 王立飞, 殷松松. 某地铁基坑爆破技术[J]. 科学技术创新, 2022 (15): 152-155.
 [5] 唐毅, 杨树明, 马颖博, 石红兵, 冯志强. 高强岩面明挖车站数码微差控制爆破技术[J]. 建筑技术开发, 2021, 48 (22): 139-140.
 [6] 林建清, 陈晓岚. 高等级防振爆破法隧道开挖施工技术研究[J]. 建筑安全, 2021, 36 (08): 24-26.
 [7] 朱胥仁, 苗永旺, 陈佐林, 李传书, 曹振兴, 刘鳌. 高地温隧道施工的爆破安全技术[J]. 工程爆破, 2020, 26 (03): 63-67+74.