

复杂环境下石方边坡控制爆破与安全措施

张青坚 许新尚

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

摘要: 栾卢高速两河口互通A、B、C、D匝道紧邻洛栾高速和村庄,互通明挖爆区爆破环境复杂,五级梯段边坡开挖紧邻220kV高压线线塔,高压线从爆区低空穿过。在此进行大规模岩石边坡开挖控制爆破,采用优化的爆破方案和爆破参数,通过限制最大单响药量,采用电子数码雷管及网络,实现微差单孔单响,采用预裂爆破措施进行轮廓边线爆破和防振减振措施,通过炮孔口盖重压盖土袋、水袋防飞石抛掷和降尘,孔底通过采用复合反射聚能与消能装置、铺设20cm柔性垫层实现无保护层一次爆破开挖至建基面,确保了复杂环境下大规模控制爆破的实现。

关键词: 控制爆破;防振减振;电子数码雷管;复杂环境

1 工程概况与爆区环境

1.1 工程概况

栾川至卢氏高速公路工程是《河南省高速公路网规划调整方案》(豫政^[2016]86号)中13条联络线的重要一条,编号S76。项目起点位于洛阳市栾川县庙子镇英雄村附近,与G59三门峡到浙川高速公路交叉,到达项目终点,全长约75.31公里。栾卢高速LLTJ-1标起止桩号为K0+000~K12+003,总长12公里,明挖部分主要工程量为:路基挖方190万m³,填方40万m³。其中两河口互通立交,互通区域地质资料及地质勘探对比结果,覆盖地层为第四系上更新统(Q3)的残坡积碎石土,分布不连续,主要分布在坡脚及沟谷底等处,下伏基岩为燕山期灰色硅质带状闪长岩突(γ)、元古界(Pt)片岩。

1.2 爆区环境

两河口互通爆区四周环境特别复杂,明挖总方量45万m³,此次爆破的栾川端五级边坡爆区西侧上部有220KV高压线穿过最近距离25m,爆区东端距已运行洛栾高速最近距离60m,西北方向距正在运行的220kV高压线线塔最近点43m,是重点保护对象。爆区东北面是开阔地带,适合临空面的布置。

2 爆破方案设计

2.1 主要设计原则

结合地形地质条件及防护要求,爆破设计的总体思路是:采用减弱松动爆破,以地表松动隆起而不抛掷为目的,同时采用预裂孔减振措施,严格限制最大单响药量,单孔单响,逐孔起爆,采用在炮孔底部填充20cm柔性垫层进行无保护层开挖,采用防飞石、降低爆破粉尘的防护措施,以最大的努力减少爆破对保护物体高压线塔、高压线路和边坡建基面的破坏影响,以及加强安全防护,确保被保护对象不受损坏^[1]。

2.2 爆破方案设计

(1) 限定每次爆破规模,把整个开挖区分为若干个爆区,划分每次爆破规模,明晰施工总进度,有利于爆破管理和安全防护管理。本次典型爆破的爆破方量为3800m³。

(2) 采用减弱松动控制爆破,根据能量平衡原理,力求较小的合理炸药单耗值,避免过量的炸药产生抛掷岩石现象,但必须保证岩石充分破碎,满足爆破和开挖运输的质量要求。

(3) 根据“微分原理”,采用较小的爆破孔网参数,有利于炸药均匀分散布置在岩体中,有利于炸药能量的充分利用,保证岩石充分破碎。

(4) 控制最大一段单响药量,避免爆破振动对被保护物体的破坏作用。

(5) 为降低主爆孔的爆破振动波对被保护物体的破坏影响,在爆区两侧及后面的边坡,采用预裂爆破,形成一条预裂缝,利用预裂缝减振。

(6) 实行建基面无保护层爆破,在炮孔底部加装复合反射聚能与消能装置,实现开挖区底部建基面一次爆破开挖,降低施工成本,提高施工效率。

(7) 采用电子数码毫秒延期雷管起爆系统,适当设定炮孔孔与孔之间和排与排之间雷管的延期时长,实现单孔单响,逐孔逐排起爆,降低最大单响药量,降低爆破振动对被保护对象的破坏影响^[2]。

(8) 加强安全防护措施:

①采用防爆破飞石、降尘措施,在炮孔口压盖潮湿砂袋和水袋,防止爆破高压气体冲出,防止飞石产生,降低爆破粉尘,防止它们对被保护对象的破坏;②实行精细化作业,定量化逐孔设计,严格控制钻孔精度,严格控制装药量和装药结构,保证堵塞长度和堵塞质量,有

效控制爆破振动和飞石粉尘对被保护物体的破坏作用；
③爆破前对220kV高压线塔及下行高压线路制定严格防护方案，确保安全。

3 爆破参数确定

本次两河口互通爆区的爆破参数是经过经验估算和实地爆破试验调整修正而成，在标段明挖爆破中有典型和示范作用。

(1) 最大一段单响起爆药量。为控制爆破振动强度在安全允许范围，由萨道夫斯基公式求算最大一段单响安全允许起爆药量：

$$Q_{max} = R^3 (V/K)^{3/\alpha}$$

式中：Q_{max}为最大一段单响安全允许起爆药量，kg；

V为安全允许振动速度，cm/s；

R为爆破点至保护物体距离，m；

K为爆破点至保护对象间的地形地质条件有关的系数，中硬岩石K值为150~250；

α为衰减指数，范围为1.5~1.8。

根据《爆破安全规程》(GB6722—2014)规定，安全允许振速中，深孔频率范围在10Hz < f ≤ 50Hz时采用的安全允许振速一般民用建筑物为2.0~2.5cm/s，工业和商业建筑物为3.5~4.5cm/s；搜索高压线塔防震要求规定，取220kV线塔抗震设防为8级，振动加速度为1.5g。本次爆区距保护物体的最近距离R=43m，取K = 160α = 1.75、V = 4.0cm/s，计算最大一段单响安全允许药量为53kg，实际最大单孔装药量为32kg，符合安全要求^[3]。

(2) 主爆孔钻孔参数和最小抵抗线：采用潜孔钻机钻孔，钻孔直径D = 89mm，主爆孔垂直布置，边坡预裂孔、拉裂孔直接沿开挖边线边坡比钻孔，钻孔直径D = 76mm，主爆孔采用矩形布孔。

(3) 孔深与钻孔超深：边坡开挖台阶高度为10m，主爆孔孔深10.5m，超钻50cm，预裂孔、拉裂孔根据坡比和超深分别为12.7m、12m。

钻孔超深L_c等于岩石开挖规范允许的超挖深度和安

装复合反射聚能与消能装置超挖深度之和，即钻孔超挖深度为0.50m，炮孔孔深L = H+L_c (H为台阶高度)。

(4) 炸药单耗值与装药量。根据岩石性质、炸药性质、临空面条件、防护要求和控制爆破要求，采用减弱松动爆破，选用较小的炸药单耗值q，根据经验数据和试验数据，选用炸药单耗值q = 0.35kg/m³。采用2#岩石硝铵露天炸药，单孔装药量Q_单，总装药量Q_总=nQ_单，n为炮孔总数。

(5) 堵塞长度。合理分配炮孔中的药量，合理堵塞长度尤为重要，既要控制岩堆上抛和飞石的产生，又要保证岩石充分破碎，保证爆破质量。为满足防护要求，采用稍大的堵塞长度，主爆孔、拉裂孔堵塞长度为3.5m，预裂孔堵塞长度为2.0m。

(6) 拉裂孔参数。拉裂孔(缓冲孔)是在主爆孔与预裂孔之间的一排炮孔，是主爆孔的另外一种表现形式，其主要作用是降低分散主爆孔的爆破冲击强度对预裂孔边坡的强大冲击，主爆拉裂孔主要是通过分散主爆孔的单孔装药量来实现降低冲击波强度的，主爆拉裂孔的钻孔孔距为主爆孔的2/3，主爆拉裂孔孔距为2m，主爆拉裂孔钻孔超深段和钻孔深度均与主爆孔的相同。拉裂孔炸药单孔药量22.4kg/孔。

(7) 预裂爆破。在设计开挖边线上采用预裂爆破把岩石炸开一条裂缝，形成平整的开挖面，并起到削弱主爆区爆破振动波向爆区外传播的强度，起到减振作用。一般预裂缝能减振20%以上。预裂爆破按设计深度和角度钻孔，超深值与主爆孔相同。预裂孔间距为1m，不耦合系数为2.4。为满足防护质量要求，配合反铲修坡，采用的线装药密度为400g/m，堵塞长度设计为2.0m。装药结构采用径向不耦合装药和轴向间隔装药，中部装药每个药卷之间间隔距离5cm，孔底2.0m加强药量，按中部装药的3倍连续装药，孔口减弱药量按中部药量的70%装药，间隔装药，孔内采用导爆索作传爆线，单孔装药量Q_单 = 5.1kg/孔。两河口明挖爆破孔网参数见下表1。

表1 两河口互通开挖区爆破参数计算表

两河口互通区明挖爆破计算表									
序号	炮孔名称	数码雷管时 (ms)	孔数	孔深 (m)	装药长 (m)	单孔药量(kg)		总药量 (kg)	数码雷管数
						Ø70 4.3kg/m	Ø32 1.0kg/m		
1	主爆孔(1~32)	200~660	32	10.5	7	32		1024	32
2	拉裂孔(33~42)	720~810	10	12	9	22.4		224	10
3	预裂孔(43~62)	50~75	20	12.7	11		5.1	102	2
4	合计		62					1350	44
计划台阶进尺(m)		断面面积(m ²)	方量(m ³)	药量(kg)	单耗(kg/m ³)			备注：装药布孔图见附图1	
10		302.44	3810.74	1350	0.354				

4 爆破网络

起爆网设计为串并联电子数码毫秒延期雷管起爆网络。见附图1, 每个炮孔内均装入1个电子数码雷管, 脚线分别连接在2根主线上, 孔内延期, 每孔设计延时见图2。每组预裂孔孔内导爆索与孔外干线导爆索单向连接,

让后将1个电子数码雷管正向连接预裂孔的导爆索网络上。主爆孔采用单孔单响, 每孔用一个数码雷管, 预裂孔每组为同段雷管, 数码雷管延期间隔时间孔与孔之间10ms、排与排之间60ms, 较大的延时间隔时间可以防止爆破振动振幅叠加, 减少对保护对象的损坏^[4]。

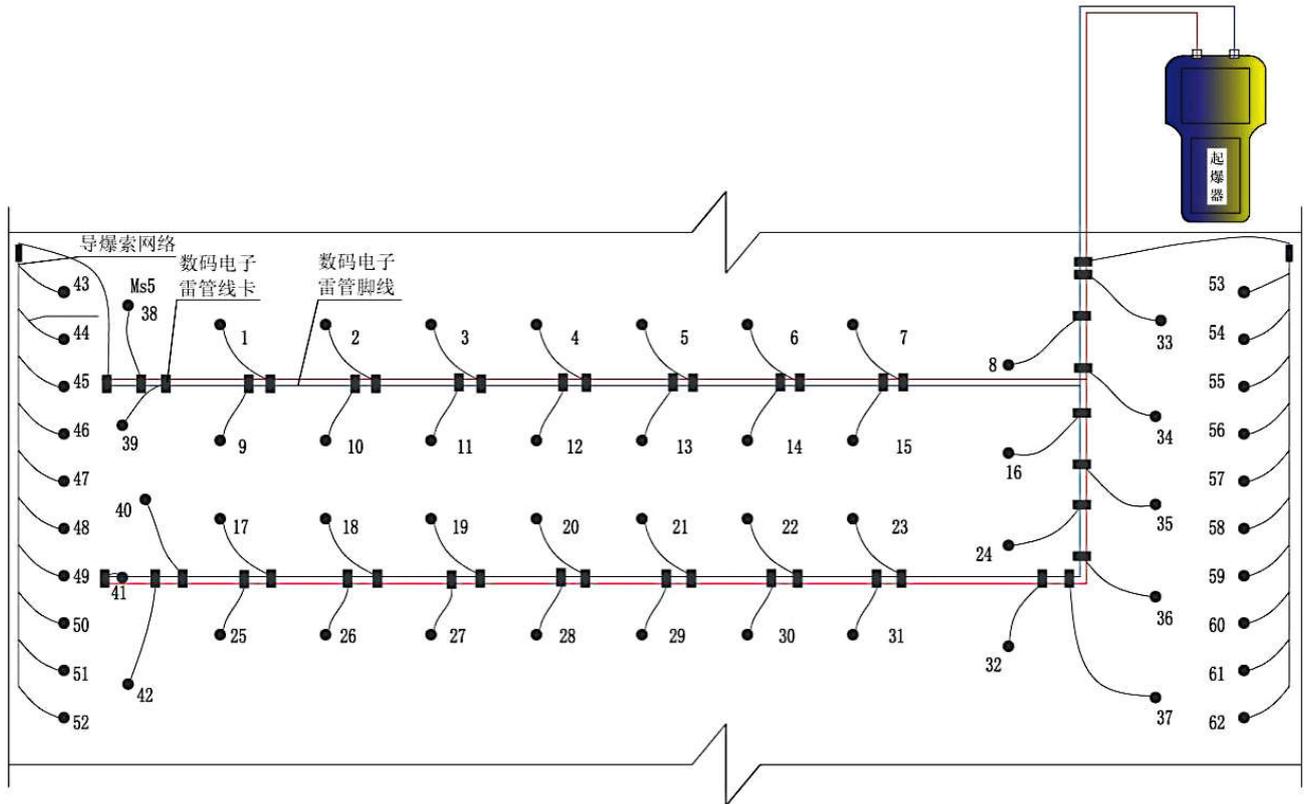


图1 两河口互通石方边坡爆破网络图

5 安全防护

除采用限制最大一段单响起爆药量外, 还采用了预裂爆破产生的预裂缝减振防振措施, 它们都是起主要作用的减振措施。除此之外还采用有效的爆破防飞石、降尘措施, 装药前先对爆区洒水, 使地表面的尘土湿润, 可以在爆破时减少尘土飞扬。在每个炮孔口压盖湿润的砂土袋, 每袋重30kg左右, 并在每个孔口砂土袋上覆盖2袋水袋, 每袋重10kg左右, 压盖砂袋可以有效地防止飞石、粉尘的产生, 起到保护周围物体的作用, 水袋在爆破时破裂并将水抛洒出去, 起到降尘作用, 防止爆破粉尘污染影响改变大气环境^[5]。

6 爆破效果

两河口明挖爆区按爆破设计进行的精细松动控制爆破施工, 爆破后地表开裂松动, 岩石破碎向上隆起高度1.0~1.5m, 临空面向前推移量很少, 只有3m左右, 岩石破碎块度达到预期目的, 适合挖运, 爆区岩体松动效果

较好。经全部开挖查看, 边坡预裂面平整, 预裂孔半孔率满足规范要求, 达85%, 效果较好。底部建基面高程符合设计要求, 底板较平整, 很少有欠挖现象。爆破时基本上没有产生飞石, 爆破粉尘气体也比较稀少。爆破振动强度较低, 220kV线塔、高压电线、建构筑物均未受到任何损坏。

7 结论

经实践验证, 两河口爆区在复杂环境下进行的松动控制爆破的设计爆破方案是合理周全的, 所设计的各个爆破参数合理适用, 采用的防振减振、防飞石、防粉尘的措施是合理有效的, 采用的电子数码延期雷管及爆破网络是合理、安全可靠的。

此次紧邻220kV高压线塔、走线处的石方控制爆破较为成功, 通过采用电子数码延期实现了真正意义上的单孔单响, 起到了有效的防振减振作用, 通过炮孔口压盖砂土袋水袋, 有效起到了防飞石、防粉尘作用。突破了

紧邻220kV高压线塔旁不易进行一次性大规模爆破开挖的常规，这些都可为以后类似爆破施工提供借鉴和参考。

电子数码雷管的使用是爆破行业的一场革命。电子雷管起爆系统是一个完全实现在线编程、在线检测的工程爆破系统，该系统由电子雷管、连接线及起爆控制器组成，采用多项安全技术，使得电子雷管在生产、运输、使用等多个环节的安全性有了本质的提升，任意设置间隔时间，在爆破震动方面，从被动的错峰减振变为主动的干扰减震，具有良好的减振效果。

参考文献

- [1]王铁龙.数码电子雷管在高速公路边坡爆破中的应用[J].市政技术, 2019, 37(04): 60-63, 214.
- [2]杨秋贵, 张占峰, 吴锐, 杜郎隆, 皇甫泽华.复杂环境中石方控制爆破与安全措施[J].人民黄河, 2020.42(06): 182-183
- [3]DL / T5135-2013.水电水利工程爆破施工技术规范[S].
- [4]JTGF90-2015.公路工程施工安全技术规范[S].
- [5]GB6722—2014.爆破安全规程[S].