

高速公路项目路基工程施工爆破技术研究

周亚丽

广西工程技术研究院有限公司

摘要：在高速公路项目路基工程施工爆破过程中会产生一定的动力冲击作业，对于山体围岩应力分布受力、桥涵隧道结构性能和周边构筑物等都会产生重要的影响，稍有不慎，爆破飞石、振动、冲击波等问题更是会造成坍塌、构筑物损坏和人员伤亡等危害。本文通过结合广西某高速公路路基工程施工爆破实际案例对施工爆破技术展开分析研究，采取相关专业技术措施能够最大限度降低路基施工爆破产生的不良影响，能够有利于避免项目施工安全事故的发生，同时也为项目施工生产效能提供科学的保障。

关键词：高速公路；路基工程；施工；爆破；技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.048

引言

施工爆破过程中所产生的有害效应处于无法避免的现状，通过采取相关的技术控制措施，能够有效降低路基工程施工爆破作业中产生的风险问题，进一步确保高速公路工程项目建设整体施工质量。针对现阶段不少高速公路路基工程在施工爆破作业中存在着设计不合理，爆破不科学等问题，导致了路基工程爆破施工安全事故的发生。安全生产始终是高速公路工程建设施工工作作业的首要前提，路基工程在施工开挖作业过程中往往面临着施工环境条件较为复杂的地质地貌，施工开挖技术难度复杂，通常情况下会涉及爆破作业方法。路基工程地质地貌环境复杂本身施工开挖就存在着较大的风险系数，再加上爆破施工作业更是提高了风险系数，容易导致各种施工事故的发生。

一、广西某高速公路项目路基工程施工爆破实例分析

（一）工程概况

广西某高速公路项目路基工程在桩号K30+680~K30+780需要进行施工爆破，爆破体路线大致呈北-南走向。地层岩性为灰岩（含泥质灰岩、泥灰岩），以中风化为主，预计爆破工程量约0.8万m³。爆破点1000m内没有国家一、二级文物或铁路；500m内没有国家三级文物、风景名胜区、高压线；300m内没有省级文物、医院、学校。爆破体西北面方向果六屯，村民民房最近距离约为325m，东北面是那羊屯，村民民房最近距离约为345m。其他方向为农田和林地。周边环境如图1所示。



图1 爆破点周边环境

（二）地质环境条件

（1）地形地貌

本项目地处于广西西北部，项目路线总体走向为南北向，沿线以溶蚀峰丛洼地地貌和剥蚀丘陵地貌为主。剥蚀丘陵地貌主要分布在巴马县东部和大化县北部的大部分区域。山体宽大，连绵起伏，自然斜坡多为20~40度，峰顶海拔一般多为250~350m。区域内多为林地，地势稍低处多为旱地或水田，种植水稻等农作物。路基K30+680~K30+780属剥蚀丘陵地貌，地形起伏较大，自然斜坡坡度约15~25°。根据邻近工点勘察成果和实地调绘，边坡表层硬塑状，局部混碎石，层厚0.8~9.0m；下伏基岩主要为三叠系中统百逢组（T2b）地层，边坡岩性主要为泥质粉砂岩，薄~中厚层状构造，强风化状态为主，局部风化不均匀，岩质软，裂隙发育，岩体破碎，层厚4.0~12.0m；中风化岩层埋藏较深；边坡岩层产状为75°/SE∠14°（165°∠14°）。

（2）气候情况

项目所在区位地处南亚热带季风气候区北缘，气候温和，雨热同季。年平均气温18.2~21.7℃，年降雨量为1249~1673mm之间。年平均气温18.2~21.3℃。1月份气温最低，平均12.2℃，极端最低气温零下3℃，7月份气温最高，平均28.2℃，极端最高气温39.7℃。年日照时数1217~1587小时，年积温6300℃。生长期、无霜期年平均分别达300天、335天。多年平均相对湿度74%~80%。年平均降雨量1249~1673mm，蒸发量1213~1645mm。

（3）水文状况

项目所在区域内水系较为发育，河流属于珠江流域西江水系，自北向南，较大的河流有盘阳河等。项目沿线分布的水库数量总体较少，但水库规模较大，是一座以

发电为主，兼顾航运的大型水库。设计洪水位227.2m；正常蓄水位223m，相应库容26.0亿m³。死水位204m，死库容10.4亿m³，调节库容15.6亿m³，为日调节水库。

二、路基施工爆破方案

根据本项目工程概况，本项目爆破开挖深度1~50m不等，本项目采用爆破点按照300内有民房存在且距离公路较近的保守施工爆破方案，爆破总体方案选择如下：

首先根据路基施工便道布置，一般从边坡较缓位置修建施工便道至山顶，清理表层覆土，平整作业平台，然后采取自上而下分台阶或者分层施工。爆破点距离民房等保护物在100m以上的，且开挖深度在5m以上的（含5m）一般采取深孔爆破；爆破点距离民房等保护对象在50m~100m范围内的采取复杂环境深孔控制爆破；爆破点距离民房等保护对象在50m以下的采取浅孔控制爆破或者机械破碎的方法，其他应在施工过程中根据周边环境变化，相应的调整爆破方案。临近边坡采取预留保护层的减弱松动爆破，保护层厚度一般预留0.5~1m采取机械凿除。台阶高度一般与设计路基边坡台阶高度一致，一般深孔爆破取台阶高度10m，特殊情况下台阶高度在确保安全的前提下根据实际选取。单层爆破完成后根据边坡实际，如边坡需稳固、待其稳固完毕后再进行下一循环的爆破作业。具体如表1所示。

表1 露天岩土爆破类型及适用条件

序号	爆破类型	适用条件
1	深孔爆破	距离民房等保护对象S≥100m
2	复杂环境下深孔控制爆破	距离民房等保护对象100m≥S≥50m
3	浅孔爆破	距离民房等保护对象S<50m，或者开挖深度H<5m

备注：“S”表示爆破点与保护对象的距离。

爆破的总体原则是：采用松动爆破，爆破最小抵抗线沿边坡走向布置，防止爆破飞石飞下山坡造成危害；多打眼少装药，降低装药集中度，采用毫秒延时爆破，确保填塞质量和深度。

三、路基施工爆破方案设计

（一）爆破设计原则

（1）爆破危害主要有爆破飞石、振动等，应严格按照设计进行爆破施工，以保证周边的安全。

（2）控制爆破方向，因施工区局部临近道路、养殖区和村庄，为确保安全，在临近边坡处开挖沟槽，改变爆破方向，使岩体向沟槽处推进，对保护对象进行保护。

（3）严格控制炮孔填塞长度和填塞质量，加强防护覆盖，确保无飞石危害。

（4）严格执行安全措施，针对爆破有可能产生的滚石，应在靠近保护区一侧开挖防护沟或做防护栏等防护措施。

（二）爆破参数设计

（1）深孔爆破

当爆破点距离民房、高压线等保护物在100m以上时，采取自上而下深孔爆破，使用潜孔钻机钻孔，孔径Φ90mm，孔深5~15m。以台阶10m为例进行公式计算，其余均于表格展示出来。

结合该项目实际情况，并根据工程经验及项目设备配备情况，炮孔直径选择d=90mm。台阶高度选择H=10m；炮孔倾角：垂直钻孔；底盘抵抗线：W1=(25~40)d=(25~40)×0.09=2.25~3.6m，取W1=3m；炮孔间距：a=(1~1.5)W1=(1~1.5)×3=3.0~4.5m，取a=3.5m。第一排取3m；从第二排开始取3.5m；炮孔排距：b=(0.6~1.0)W=(0.6~1.0)×3=1.8~3.0m，取b=3m；炮孔超深：h=1.0m；炮孔长度：L=H+h=10+1=11m；炸药单耗：取炸药单耗q=0.4kg/m³；计算单孔装药量：

$Q_1=q_aW_1H=0.4 \times 3.0 \times 3.0 \times 10=36\text{kg}$ ；实际取36kg。（第一排）

$Q \geq 2=kqabH=1.1 \times 0.4 \times 3.5 \times 3.0 \times 10=46.2\text{kg}$ ；实际取46kg。（第二排及以后）

式中K为考虑前排孔的岩石阻力作用的增加系数，K=1.1~1.2。

布孔方式采用梅花形布孔；填塞长度：L1=(0.7~1.0)W1=(0.7~1.0)×3=2.1~3.0，实际取值可大于3.0m；最大单段药量：为控制爆破振动，采用逐孔、多孔或逐排起爆，具体根据爆破点与保护对象的距离及安全允许标准确定。一次爆破药量：一般一次爆破1~2排，每排5孔，根据现场爆破岩石厚度控制炮孔数，一次爆破单段药量控制在0.25t以内。

本方案定孔深10m，单孔装药量约46kg为例，具体参数在实际施工中，结合试炮结果和爆破效果，可适当调整。

（2）复杂环境下深孔控制爆破

当爆破点距离民房及其他建构筑物距离100m以内时，根据《爆破安全规程》规定属于复杂环境下的控制爆破。根据经验，一般距离在30~100m之间，采取深孔控制爆破（在满足台阶高度≥5m）。使用潜孔钻钻孔，孔径Φ90mm。炮孔布置时沿平台垂直钻孔或倾斜孔，炮孔朝向及最小抵抗线方向避开民房等保护对象，台阶高度一般取5~10m，最高不超过10m；下面以台阶高度6m进行设计。单孔装药量：

$Q_1=q_aW_1H=0.35 \times 2.6 \times 2.5 \times 6=13.65\text{kg}$ ；取14kg。（第一排）

$Q \geq 2=kqabH=1.1 \times 0.35 \times 2.6 \times 2.5 \times 6=15.02\text{kg}$ ；取15kg。（第二排及以后）

（3）浅孔爆破

一般距离民房或者其他保护对象小于30m，或者开挖深度小于5m的采取浅孔爆破。浅孔台阶控制在1~4m

左右。浅孔爆破参数如下：炸药单耗取 $0.3\sim 0.60\text{kg}/\text{m}^3$ 计算，距离民房等保护对象小于 30m 时取小值，具体根据保护对象的距离适当调整。炮孔直径取决于钻机类型，工程上一般钻 40mm 的孔径，实际取 40mm 。钻孔深度为需要爆破岩层厚度和钻孔超深之和。通常对于浅孔爆破来说，钻孔深度一般为 $(1\sim 4)\text{m}$ ，设计浅孔控制爆破钻孔最大深度不超过 5m 。钻孔超深，大面积爆破单自由面岩石，为保证爆破效果，炮孔也应有一定的超深。由于小孔径爆破的岩层厚度小，炮孔间距小，超深可取稍小值。处理个别孤石，使药包位于爆破体中心位置即可。

(4) 炮孔布置

由于浅孔控制爆破钻机孔径、孔间距小，所以布孔比较方便，采用梅花型布孔，垂直钻孔。炮孔密集系数 $m=a/b=1.15\sim 1.25$ 。条件许可时，根据单孔所能装炸药量，取较大的孔网参数，以提高施工作业进度；在靠近居民区或高压线时，采用偏小的孔网参数，通过多钻孔少装药的方式，控制爆破震动和减少爆破飞石；部分地段还需限制钻孔深度，以控制单孔药量。

(5) 单孔药量

根据公式 $Q=qabH$ 进行单孔用药量计算，路堑边坡附近的炮孔适当减药，表中对于同一个孔深给出了两套炮孔布置参数，可根据实际环境条件选择，条件许可时取较大的孔网参数，相应的堵塞长度要稍小；条件复杂时，比如周围临近村庄，有高压电线，取较小的孔网参数，相应的堵塞长度要稍大，单孔装药量稍小，同时能够减少爆破震动。

(6) 堵塞长度：炮孔堵塞长度应根据最小抵抗线、炮孔直径或炮孔深度等确定，炮孔堵塞长度按下列公式计算： $L_2=(0.7\sim 1.0)W$ 或者， $L_2=(20\sim 30)d$ ，实际应堵塞到孔口。浅孔控制爆破时可根据炮孔分布，孔与孔之间，排与排之间设计一定的起爆时间差。

对于浅孔爆破，最重要的就是控制好单段药量以及堵塞和抛掷方向，增加炮孔密集系数，减少炸药单耗以便于减少最大单段药量，增加堵塞长度，选择临空面为无保护建筑物的方向，可适当减小爆破震动与飞石抛掷。

(三) 爆破网路设计及爆破网路图

本项目设计采用数码电子雷管起爆网路，逐孔、多孔或逐排起爆（根据周边环境情况确定）。起爆网路设计为工业数码电子雷管起爆网路，采用并联方式联网，组网完成后，使用数码电子雷管专用起爆器进行起爆，采取微差起爆控制技术，每个孔装 $(1\sim 2)$ 发雷管（一般孔深大于 10m 装 2 发雷管）。针对本次爆破特点，逐孔延期时间为 $25\sim 50\text{ms}$ ，逐排延期时间为 $50\sim 100\text{ms}$ 。一般复杂环境下爆破采取逐孔起爆（ 100m 范围内有保护目标时）， 100m 以上采取多孔或逐排起爆，具体以爆破安全验算确定的最大单段药量确定， 300m 范围内无保护目

标时采用逐排起爆。

四、结语

综上所述，结合广西某高速公路路基工程施工爆破技术分析研究，在更好的确保路基工程施工爆破质量的前提下，需要采取相关的专业技术措施，以及路基工程施工爆破技术控制要点如下：

(1) 工程实际表明，爆破振动强度与爆破抛掷方向密切相关，抛掷方向的背向振动强度最大，侧向次之，前方最小。

(2) 根据工程经验，露天岩土爆破，爆破点距离保护对象在 100m 以上的深孔爆破，一般以优化爆破参数为主，结合砂袋压孔口的方法；爆破点距离保护对象在 100m 以下的，不仅要优化参数，从源头上控制爆破飞石，还需采取适当的覆盖措施，以确保爆破施工安全。

(3) 不管是采取深孔爆破或者浅孔爆破，爆破点距离民房或高压线的距离一般都是由远到近推进，具体根据周边山体情况而定，当距离足够大时要提前做好爆破实验，一般在开始爆破时做爆破实验，爆破实验最主要的目的验证爆破参数的合理性，以便对爆破振动、爆破飞石的控制。并在每次爆破时，在民房或高压线等保护对象附近选择 2 个或 2 个以上的振动监测点，逐步优化爆破参数。

(4) 采用数码电子雷管起爆网路。使用 $2\#$ 岩石乳化炸药，数码电子雷管，逐孔或逐排起爆（根据周边环境情况确定），毫秒延期，爆破网路采取并联起爆网路。爆破网路联网作业；联网完毕，要严格认真检查各爆破回路编码是否正确，在雷雨、极端恶劣的气候情况下，应停止爆破作业。

(5) 爆破完成后，对边坡稳定性进行验收，坡面不得出现孤石、危石。专职人员对周边居民区、公共设施、电器线路等进行检验，无异常后留影像资料保存。开挖过程中需对边坡坡比、边坡平台高程、边坡平台宽度、坡面顺直度、坡面平整度进行验收。

参考文献

- [1] 广西某高速公路路基工程施工爆破方案，2023，2.
- [2] 梁学. 新建高速公路山体下方有村庄时的爆破安全防护技术[J]. 西部交通科技，2021（7）：39-41.
- [3] 沈琦. 基于深孔预裂爆破技术的高边坡路基施工研究[J]. 工程建设与设计，2023（13）：223-225.
- [4] 梁金福，林宁，李韬. 某新建次干路工程路基土方爆破对周边建筑的影响探析[J]. 工程技术研究，2021（11）：65-66.

作者简介：周亚丽（1983-）女，汉族，湖南衡阳，大学本科，注册安全工程师。研究方向为：高速公路项目施工安全风险评估与爆破施工质量管理。