

隧道开挖中数码雷管与导爆索协同 赋能光面爆破技术效能研究

金 超

(中铁二十一局轨道交通工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 在隧道施工技术日益成熟的当下, 隧道超欠挖仍是现场技术人员质量控制的重难点。某公司榆林项目部承建的 12# 隧洞长达 21.288 km, 穿越复杂地貌与岩性区域。本项目经光面爆破参数设计检验, 采用数码电子雷管爆破网络技术, 积累经济效益与技术经验。本文对数码雷管与导爆索应用展开分析总结, 希望通过对本次应用实践的深入剖析, 能为行业内其他隧道工程提供切实可行的参考范例, 共同推动数码雷管与导爆索技术在隧道施工领域的广泛应用与创新发展。

关键词 光面爆破; 数码雷管; 导爆索

中图分类号: U455.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.027

0 引言

采用数码雷管可以明显体现爆破设计意图, 提升岩石破碎块度, 减弱爆破振动, 更好地降低爆破单位耗药量、消除爆破作业现场安全隐患、进行平台监控等。电子雷管在提高工程爆破的综合效益方面具有很大潜力, 它为推进我国的爆破器材发展和工程行业的爆破技术进步提供了有力的支持。随着技术持续迭代, 电子雷管有望在更多复杂爆破场景中发挥关键作用, 推动整个工程爆破领域迈向更高质量、更安全高效的发展阶段。

1 数码电子雷管

1.1 数码电子雷管概述

数码电子雷管也称电子雷管或数码雷管, 电子雷管技术是应用微电子、数码、加密等技术, 实现爆破延期时间、起爆爆破网路编程与起爆等。爆破工程和兵器行业中称为工业数码电子雷管, 也称为电子雷管或数码雷管。相对于传统雷管, 数码电子管采用了电子元器件和数字控制芯片, 实现了雷管的可编程和可控制性, 具有更高的延期时间精度、可靠性、适应性及更多的功能^[1]。

1.2 数码电子雷管起爆系统

数码电子雷管起爆系统由三部分组成, 即电子雷管、编码器(手持终端)和起爆器(控制器)。电子雷管工作码包括 UID 码(长度不小于 13 位字节, 随机

生成)、起爆密码(长度不小于 8 位字节, 随机生成)和雷管壳体共三码组成, 三码绑定。通过工作码系统加密信息上传到全国工业电子雷管密码中心进行负责储存。起爆器编码采用 11 位 ASCII 码, 由特征系列码、生产企业相关代号、生产流水号组成, 号码唯一。起爆器按规则解密下载工作码, 解析出在线电子雷管的 UID 码、起爆密码、电子雷管壳体码和相关准许爆破要求、禁爆要求。通过验证相关准许爆破要求、禁止爆破要求等程序, 且起爆密码校验成功后才能进行爆破工作流程操作。数码电子雷管在一定时间范围(目前为 0~16 000 ms)内可以设计任意设定每发雷管的延期时间, 且延时精度高, 有效避免了传统雷管的重段、错段现象, 更好的降低或消除爆破有害效应。通过对雷管延期时间的精准控制, 更能体现设计者的意图, 满足精细爆破的要求, 获得更好的爆破效果和经济效益^[2]。

2 导爆索

导爆索是传爆器材, 用以引爆炸药或者直接工作。导爆索以单质猛炸药为药芯, 外层用棉线、纸条、沥青、塑料或铅皮等材料被覆, 制成的索状器材。导爆索的爆速不小于 6 000 m/s, 能够可靠地起爆常用的工业炸药, 具有一定的抗水性能, 在高温(50℃)、低温(-40℃)环境条件仍可保持原有的起爆和传爆能力, 在受弯曲、打结和一定拉力作用后仍能正常使用。其传爆不受静电、杂散电流等的影响^[3]。

3 光面爆破

3.1 光面爆破常用的技术

1. 周边眼的不耦合装药系数一般取 2~5。
2. 周边眼参数:间距一般为炮眼直径的 10~20 倍。
3. 周边眼炮眼密集系数一般取 0.8~1.0。
4. 堵塞炮泥,封泥长度不小于 0.3 m。

3.2 炮孔布置

根据隧道全断面开挖的爆破说明书要求,中间布置斜眼掏槽孔(掏心孔),掏槽孔周围布置辅助孔,隧洞周边为周边眼(帮眼)的布孔方式。

1. 掏槽孔: III类围岩掏槽孔布置 6 个孔,上下各布置一排 3 个孔,位于隧洞中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距 0.6 m,孔距 0.3 m,孔深 3.2 m,孔长 3.3 m。掏槽孔装药系数取 0.7,掏槽孔装药长度为 $3.3 \times 0.7 = 2.31$ m,取 2.3 m。IV类围岩掏槽孔布置 6 个孔,上下各布置一排 3 个孔,位于隧洞中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距 0.6 m,孔距 0.3 m,孔深 2.6 m,孔长 2.9 m。掏槽孔装药系数取 0.7,掏槽孔装药长度为 $2.9 \times 0.7 = 2.03$ m,取 2 m。V类围岩上台阶掏槽孔布置 4 个孔,菱形布置,位于上台阶中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距 0.6 m,孔距 0.6 m,孔深 1.6 m,孔长 1.7 m。掏槽孔装药系数取 0.7,掏槽孔装药长度为 $1.7 \times 0.7 = 1.19$ m,取 1.2 m;下台阶掏槽孔布置 4 个孔,菱形布置,位于下台阶中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距 0.6 m,孔距 0.6 m,孔深 1.6 m,孔长 1.7 m。掏槽孔装药系数取 0.7,掏槽孔装药长度为 $1.7 \times 0.7 = 1.19$ m,取 1.2 m。

2. 辅助孔: III类围岩辅助孔共 37 个,采用垂直孔,孔深 3.0 m。排距 1.0 m,孔距 0.75 m。IV类围岩辅助孔共 43 个,采用垂直孔,孔深 2 m。排距 1.0 m,孔距 0.75 m。V类围岩上台阶辅助孔共 11 个,下台阶辅助孔 17 个,采用垂直孔,孔深 1 m。排距 1.0 m,孔距 0.75 m。

3. 周边眼孔(帮眼):为钻孔施工方便,减少和

控制超欠挖,周边眼孔距开挖轮廓线 0.2 m,并向外倾斜 2° 。III类围岩光面爆破孔共 45 个,孔深 3.0 m。其中:顶拱孔 25 个,孔距 0.3 m,侧墙孔 10 个,孔距 0.5 m,底孔 10 个,孔距 0.5 m。IV类围岩光面爆破孔共 51 个,孔深 2.0 m。其中:顶拱孔 29 个,孔距 0.3 m,侧墙孔 10 个,孔距 0.5 m,底孔 12 个,孔距 0.5 m。

采用全站仪在掌子面按设计图进行炮孔布置,炮孔均用红漆作出明显标记。

工作面采用钢管自制简易台车作为操作平台,钻孔采用 YT28 手风钻完成,综合考虑循环进尺 III类围岩为 3.0 m,IV类围岩为 2.0 m,V类围岩为 1 m。为衔接下一工作面施工方便,榜样钻孔方向向开挖边线以外倾斜 2° ;达到光爆效果,掏槽孔、辅助孔钻孔方向平行于洞轴线^[4]。

经计算和国家定额及同类工程经验确定单耗为 2.14 kg/m^3 ,周边眼采用导爆索起爆,间隔不耦合装药结构;辅助孔、掏槽孔均用数电子雷管起爆。

工作面上炮眼起爆顺序应为:掏槽眼、辅助眼、周边眼(帮眼、顶眼、底眼)的先后顺序起爆,形成自由面。

3.3 装药结构与炮孔的填塞

1. 装药结构。为降低掘进爆破产生的冲击压力,减少粉碎区域以及减弱对隧道围岩的震动扰动,应力波作用时间加长,炸药的能量得到充分的利用释放,各炮孔均采用不耦合装药。各类炮孔均采用 $\phi 32$ mm、长度为 200 mm 的药卷。

为改善爆破效果,所有炮孔均采用反向起爆方法引爆孔内炸药,即起爆药卷置于炮孔底部。

(1) 掏槽孔:掏槽孔炮孔长度为 3.3 m,装药长度为 3.0 m,连续装药 15.0 节药卷,装药结构见图 1。(2) 辅助孔: III类围岩装药长度为 $3.0 - 0.5 = 2.5$ m,连续装 12.5 节药卷。装药结构图见图 2。(3) 光爆孔:线装药密度取 0.20 kg/m ,间隔装药。装药结构见图 3。

2. 炮孔堵塞。装药前必须清楚跑孔内的岩粉,用

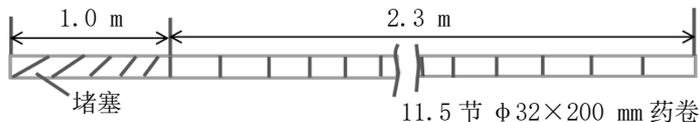


图 1 掏槽孔装药结构示意图

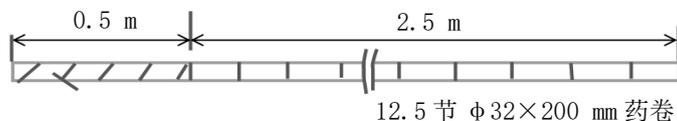


图 2 辅助孔装药结构示意图

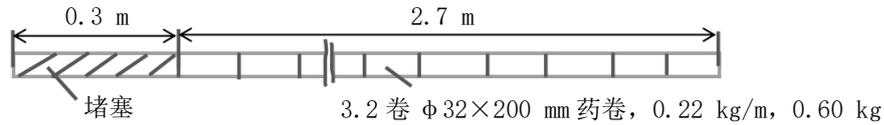


图 3 光爆孔装药结构示意图

木质或竹质炮棍推入进行填塞。炮孔填塞采用配合比为 3:1 的细沙与粘土的混合物或粘性较好的粘土等材料堵塞。周边眼堵塞长度不宜小于 30 cm，其它炮眼深度 3.0~3.5 m 堵塞长度不宜小于 0.6 m，深度超过 3.5 m 堵塞长度不宜小于 1 m。

3.4 起爆网路设计

起爆网路的连接方式为：按照起爆顺序：掏槽孔 → 辅助孔 1 → 辅助孔 2 → 辅助孔 3 → 光爆孔（边墙孔和顶拱孔）→ 底孔依次起爆，共使用 6 个段别的延时导爆管雷管，分别为 MS1、MS3、MS5、MS7、MS9、MS11。其中导爆管雷管数量分别为：MS1 6 发、MS3 11 发、MS5 12 发、MS7 5 发、MS9 30 发、MS11 8 发。另外每个光爆孔需用 3.5 m 的导爆索，38 个光爆孔共需用导爆索 133 m。最后使用导爆管激发针起爆（见表 1）^[5]。

表 1 围岩爆破参数表

爆破种类	编号	孔数	孔深 /m	孔距 /m× 排距 /m	角度 /°	装药量 kg	导爆索 m	雷管段别	爆破种类	编号
掏槽孔	1-6	6	3.2	0.3×0.6	71~76	13.8	—	MS1	掏槽孔	1-6
辅助孔	7-34	28	3.0	0.75×1.0	90	67.5	—	MS (3-5-7)	辅助孔	7-34
光爆孔	35-72	38	3.0	0.5	92	22.8	133.0	MS (9-11)	光爆孔	35-72
顶拱孔	39-60	22	3.0	0.3	92	13.2	—	MS9	顶拱孔	39-60
侧墙孔	61-6435-38	8	3.0	0.5	92	4.8	—	MS9	侧墙孔	61-6435-38
底孔	65-72	8	3.0	0.5	92	4.8	—	MS11	底孔	65-72

4 影响光爆破效果的因素

4.1 地质条件的影响

在中、硬岩石或整体性较好的围岩宜采用中深孔爆破，反之则采用浅孔爆破。在地质构造复杂、裂隙发育的部位，可适当减少炮眼间距，减少装药密度等。

4.2 炮眼精度的影响

为保证良好的光面爆破效果，正确选择爆破参数，钻孔精准控制是关键，对钻孔要求“平、直、齐、准”。

“平”要求周边眼相互平行；“直”各炮眼均垂直于工作面；“齐”炮眼底部落在同一平面上（掏槽眼除外）；“准”开孔位置准确，实际偏斜角度不超过 5°。

4.3 炸药的品种和装药量

光爆所用炸药与主体爆破所用的炸药相比，爆速要低一些，密度要大一些，这样才有利于实现光爆。

若采用间隔装药，岩石爆破一般为 0.15~0.3 kg/m，应综合考虑各种因素。

4.4 装药结构与堵塞质量的影响

在有条件的情况下，应优先选择“三小技术”，即：小直径钎杆、小直径炸药药卷和小直径钻头，尽可能采用水泡泥技术。

5 结束语

数码雷管具有传统导爆管无法比拟的优点，做到了本质上的安全。电子雷管可以设计任意时间间隔起爆，而且精度准确，改变了以往雷管每段强制 25 ms 时间间隔，还存在一定串段的现象，存在安全隐患，使逐孔起爆真正做到了一孔一响，减振成为可能。数码雷管与导爆索结合使用使得爆破效率大大提高，炮痕残留率达到 80% 以上，光爆效果良好，有效控制了

隧道轮廓断面，降低了施工成本，提高了经济效益，在目前精细化管理举措的实施过程中得到了很好的现场时效，值得推广。

参考文献：

- [1] 罗燕. 数码电子雷管爆破开挖造价研究[J]. 价值工程, 2023,42(22):16-18.
- [2] 刘建成. 高速铁路隧道爆破施工环境影响控制技术[J]. 工程与建设, 2022,36(02):469-471,481.
- [3] 李正伟, 张智强, 郭强, 等. 中小断面长斜井隧道光面爆破设计施工技术[J]. 云南水力发电, 2021,37(06):126-129.
- [4] 李博, 郑志涛, 孙冰华, 等. 隧道光面爆破不耦合系数优化研究[J]. 矿业研究与开发, 2021,41(14):138-143.
- [5] 李辉. 公路隧道光面爆破施工技术[J]. 交通世界, 2021(Z1):124-125.