

处理费财政缺失效益支出为 377.38 万元，占全部支出的 20.85%；第一、二、三、七污水处理厂年度污水处理费财政缺失效益支出为 1763.89 万元，占全部支出的 13.61%。如第一、二、三、七污水处理厂按照最终基本水量 25 万吨 / 日计算，未发挥效益支出比例为 19.83%。

从财政缺失效益支出统计可以看出，缺失效益支出额度与污水处理厂负荷率紧密相关，呈反比例对应<sup>[3]</sup>。

## 5 优化运行及降低财政支出研究

根据 Q 市的旅游城市特点和各污水处理厂运行实际，提出优化运行方案，以降低财政支出，提高政府购买服务的资金支出效益。总体思路是主动干预，对相关污水处理厂进行水量调配，增加部分污水处理厂处理水量，使其接近或达到满负荷率运行，提高财政全效益支出比例，降低缺失效益支出比例。同时对调出水量大的污水处理厂按照实际处理水量付费或降低基本水量，以降低财政支出费用。

### 5.1 水量调配时间选定

Q 市各污水处理厂在旅游旺季均处于满负荷运行状态，不具备调配水量条件。其他非旅游旺季的月负荷率低，有接收调配水量的空间。因此进行水量调配选择在每年非旅游旺季的 1 月—6 月和 10 月—12 月。

### 5.2 水量调配污水处理厂选择

选择条件：

一是应在排水量较大区域，污水处理厂有两个以上，接壤区域较多、较近，调配成本不高或新建调配设施投资不大，保证能够根据需要调配水量。

二是水量调出污水处理厂的处理规模 and 实际处理水量较大，能够应对较大规模的水量变化，并且在财政付费基本水量上可以调整。水量调入污水处理厂在非旅游旺季负荷率偏低，能够接收较多水量。

三是调出和调入污水处理厂分属于不同 PPP 项目运营公司，以免出现水量内部调整、总量不变情况，不能降低财政支出。

根据上述条件和三家运营公司、六座污水处理厂的实际情况，处于 Q 市 -1 城区内的第四、第一、第三、第七四座污水处理厂具备上述条件，拟作为水量调配污水处理厂。第二、第五污水处理厂相距较远，不列为水量调配厂。A 公司运营的第四污水处理厂作为水量调出厂，C 公司运营的第一、第三和第七污水处理厂作为水量调入厂。（虽然第三污水处理厂处理规模也是 12 万吨 / 日，但其非旅游旺季负荷率低于第四污水处理厂，可向其他厂调配水量。第四污水处理厂有 3 套生物池系统，特许期将在 2023 年结束，在后续调整运行上更加灵活。）

### 5.3 水量调配具体方案及费用支出分析

结合第四污水处理厂位置和既有泵站管网设施情况，拟定如下水量调配方案。

①污水北调。第七污水处理厂非旅游旺季负荷率不足 50%，有能力再接收污水 2 万 ~3 万吨 / 日。目前已建成一座北调泵站和配套管网，建设规模 2 万吨 / 日，能够将原进入第四污水处理厂污水调配至第七污水处理厂。吨水提升电耗 0.108 元，按照非旅游旺季每天调配 2 万吨计算，年电耗费用约 58.97 万元，再加上日常维护维修费用，年调配水量费用约 75 万元。

②污水西调。第三污水处理厂非旅游旺季负荷率在 60%~70%，能够再接收污水 2 万 ~3 万吨 / 日。可利用一座位于 1 城区西部的第四污水处理厂既有收水泵站与一条备用管线连接（连接成本忽略）实现向第三污水处理厂调配水量，泵站建设规模 4 万吨 / 日，吨水提升电耗 0.047 元，按照非旅游旺季每天调配 2 万吨计算，年电耗费用 25.66 万元，再加上维护维修费，年调配水量费用约 40 万元。

③就近调配。第一污水处理厂非旅游旺季负荷率在 60%~80%，能够再接收污水 0.5 万 ~1 万吨 / 日。第一与第四污水处理厂紧邻，有连通管道，可通过开启闸板实现调配，调配水量费用可忽略不计。

根据上述水量调配方案，在非旅游旺季第四污水处理厂可向第一、第三、第七污水处理厂调配污水 4.5 万 ~5 万吨 / 日，综合考虑运行安全，拟按 4 万吨 / 日水量调配，全年非旅游旺季调配水量合计为 1092 万吨。以 2022 年为基数计算，可使 C 公司运营的四座污水处理厂处理污水总量由 7315.13 万吨增加至 8407 万吨（日均 23.03 万吨），第四污水处理厂总处理量由 3400 万吨降至 2308 万吨（日均 6.32 万吨）。调配水量后，C 公司运营的 PPP 项目基本水量不变，年实际处理水量小于年总基本水量，污水处理费不变；第四污水处理厂基本水量由原 12 万吨 / 日降为 8 万吨 / 日，按照原污水处理单价计算，财政可直接降低污水处理费支出约 2175.4 万元 / 年，扣除调配水量费用约 115 万元 / 年，理论上能减少财政支出 2025.4 万元 / 年。详见图表 8。

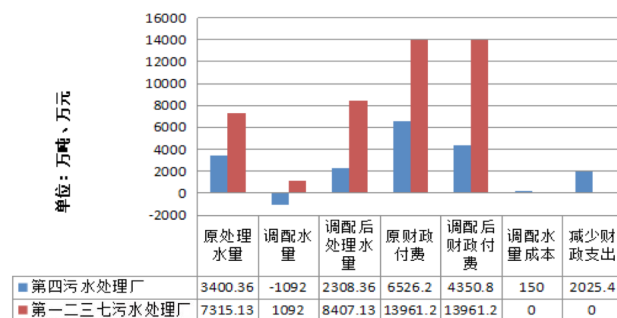


图 8 优化运行调配水量后财政支出节约资金效益分析

若自主运行，只支付污水处理直接成本，则能够减少更大额度财政支出。

调配后，第四污水处理厂年负荷率降至 52.7%，非旅游旺季月负荷率在 40%~60%。第一、第二、第三、第七这四座污水处理厂年负荷率升至 74.3%，非旅游旺季月负荷率达

到 70%~80%，接近基本水量。详见图表 9。

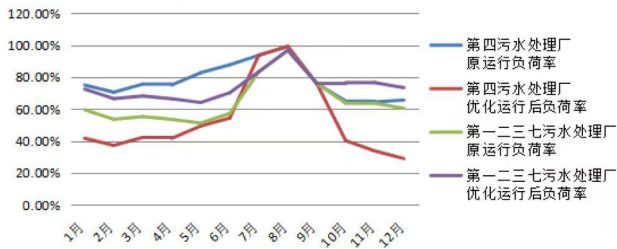


图 9 优化运行调配水量前后污水处理厂负荷率分析

#### 5.4 优化运行调配水量后的第四污水处理厂运营模式

C 公司运营的第一、第三、第七污水处理厂作为调配水量接收方，按照 PPP 项目协议运行，维持基本水量不变。第四污水处理厂在特许期满后，可结合优化运行方案灵活选择后续运营模式：

一是延续原 BOT 合同。由原运营方 A 公司继续运行，科学核定污水处理单价和基础水量。

二是包装新 PPP 项目。结合优化运行方案，重新包装一个 PPP 项目，酌情选择 TOT 等模式，合理设定运营付费方式和基本水量，通过公开招标选定 PPP 项目运营方。

三是自主运行。选择具有污水处理厂运营经验的市属企事业单位负责运行，市级财政支付生产运营直接费用。

#### 5.5 其他可降低财政支出的优化运行方案

第四、第五污水处理厂在旅游旺季处理水量已达到满负荷，目前正在谋划扩容提标工程，由于 Q 市的旅游城市特性，污水处理厂扩容提标后的负荷率仍然会存在总体不高、季节性变化大的情况。因此在上述优化运行调配水量方案的基础

上，还可以考虑在全市范围内总体平衡调配，将第二、第五、第六污水处理厂全部纳入调配水厂范围，通过增建调配泵站和管网，实现城市区内污水处理厂的互联互通，并在非旅游旺季适量收集非城区或近郊的污水引入上述污水处理厂处理，解决污水处理厂负荷率低的问题。同时根据城市发展需要，在实施既有污水处理厂扩容提标或新建污水处理厂项目时，统筹全市污水处理 PPP 项目，优化运行方案，科学研究设定基本水量、污水处理单价和付费模式，进一步降低财政支出。

## 6 结语

Q 市在近几年城市区污水处理厂生产运行过程中，通过调配水量方式，成功解决了部分污水处理厂、泵站在大修、维修、抢修等情况下的停产、限产、限流需求。因此优化 PPP 项目运行，在既有污水处理厂之间进行水量调配，有科学理论数据和技术实践支撑其可行性。国内目前污水处理 PPP 项目很多，也有存在相似的问题的城市，因此通过科学统筹、优化污水处理厂运行来降低财政支出，提高财政支出效益，是一项必要且有意义的工作。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国财政部.关于印发政府和社会资本合作模式操作指南(试行)的通知[Z].2014.
- [2] 崔武文,孟佳乐.污水处理PPP项目回报机制设计研究[J].建筑经济,2019(1):19-20.
- [3] 符晓.污水处理PPP项目设置保底水量分析[J].环境与发展,2020(7):35.

# 光面爆破在Ⅳ级、Ⅴ级围岩中的应用

## Application of Smooth Blasting in Grade IV and V Surrounding Rocks

胡纹浩

Wenhao Hu

四川路桥华东建设有限责任公司 中国·四川·成都 610200

Sichuan Road and Bridge East China Construction Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610200, China

**摘要:** 光面爆破是控制爆破技术之一,可有效控制隧道轮廓超欠挖和平整度,被广泛使用在隧道钻爆开挖中。但是,Ⅳ级、Ⅴ级围岩较破碎、围岩强度较低,采用光面爆破时,爆破产生能量容易沿着围岩裂隙发散,导致光面爆破效果差,局部位置需要补炮。因此,论文提出了一种适用于Ⅳ级、Ⅴ级围岩光面爆破的创新爆破技术,并详细讲解了该施工技术所包含的孔网布置、装药参数及起爆顺序。按照设计要求进行现场施工布置,严格控制炮孔位置和雷管安装,尤其是缓冲孔的排距及间距,保证按照掏槽眼—辅助掏槽眼—第一排崩落孔—第二排崩落孔—第三排崩落孔—缓冲孔—周边眼的顺序起爆,实现岩体逐层剥落,进而达到光爆效果。该光面爆破技术通过优化炮眼布置及装药量,有效减少了总炮眼数量及炸药使用量,加快了在Ⅳ级、Ⅴ级围岩中钻爆施工的进度,提高了破裂岩层隧道爆破施工质量。

**Abstract:** Smooth blasting is one of the controlled blasting techniques, which can effectively control the underbreak/overbreak and flatness of tunnel contours and is widely used in tunnel blasting excavation. However, the surrounding rocks with class IV and V are relatively fragmented and low strength. When using smooth blasting, the energy generated by explosive can easily dissipate along the cracks in the surrounding rocks, resulting in poor smooth blasting effect and the need for supplementary blasting at local locations. Therefore, an innovative blasting technology suitable for smooth blasting in surrounding rocks with class IV and V is proposed in this paper, and provides a detailed explanation of the hole network layout, charging parameters, and initiation sequence included in this construction technology. According to the design requirements, carry out on-site construction layout, strictly control the position of boreholes and detonator installation, especially the row spacing and spacing of buffer boreholes, to ensure that the blasting is carried out in the order of cutting holes - auxiliary cutting holes - first row of collapse holes - second row of collapse holes - third row of collapse holes - buffer holes - surrounding holes, achieving layer peeling of the rock mass and achieving smooth blasting effect. This smooth blasting technology effectively reduces the total number of boreholes and explosive by optimizing the layout and charge of boreholes, accelerates the progress of drilling and blasting in surrounding rocks with class IV and V, and improves the quality of tunnel blasting construction in fractured rock formations.

**关键词:** 隧道; 光面爆破; 施工技术; Ⅳ级、Ⅴ级围岩

**Keywords:** tunnel; smooth blasting; construction technology; surrounding rocks with class IV and V

**DOI:** 10.12346/etr.v5i7.8309

## 1 工程概况

龙眼山隧道结构形式为普通分离式公路隧道,设计时速为80km/h,右线长2644m,左线长2620m。本隧道地质情况较为复杂,围岩等级为Ⅲ~Ⅴ级,其中Ⅳ级、Ⅴ级围岩占隧道全长的88.375%,其中包括70m的破碎带。

## 2 光面爆破设计

### 2.1 上台阶光爆设计

#### 2.1.1 炸药的选取

龙眼山隧道富含丰富的地下水,故选用乳化炸药。乳化炸药是由硝酸铵等无机氧化剂盐溶液和油相燃料组分构成,具有抗水性能好、爆速大等优势,因而乳化炸药被广泛

【作者简介】胡纹浩(1988-),男,中国四川遂宁人,本科,工程师,从事隧道工程研究。

应用<sup>[1-3]</sup>。

### 2.1.2 炸药的参数

该乳化炸药每根长 0.3m, 重 0.3kg, 直径为 32mm。

### 2.1.3 各类炮眼的装药系数

- ①掏槽眼装药系数: 0.928。
- ②辅助掏槽眼(水平)装药系数: 0.632。
- ③辅助掏槽眼(斜眼)装药系数: 0.753。
- ④第一排崩落孔装药系数: 0.597。
- ⑤第二排崩落孔装药系数: 0.474。
- ⑥第三排崩落孔装药系数: 0.395。
- ⑦缓冲孔装药系数: 0.316。
- ⑧周边眼装药系数: 0.237。

### 2.1.4 爆破参数

炮眼的直径为 42mm, 掌子面面积为 87.73m<sup>2</sup>。采用循环爆破开挖, 每次循环进尺 3.8m, 单次循环的需药量为 192.4kg, 炸药的单耗量为 0.577kg/m<sup>3</sup>。

## 2.2 炮眼的布置

### 2.2.1 掏槽眼

在论文隧道光面爆破方案中, 共设计 5 组掏槽眼, 沿隧道中心线对称布置, 距隧道中线为 2.52m, 炮眼间距 0.6m。掏槽形式采用楔形掏槽, 掏槽眼与隧道中心线成 60° 夹角, 眼深为 4.85m。装药结构采用不耦合装药结构, 炮眼直径 42mm, 炸药直径 32mm, 单个炮眼装药量为 4.5kg, 掏槽眼总装药量为 45kg, 不堵塞炮眼, 雷管段数为 1 段, 如图 1 所示。

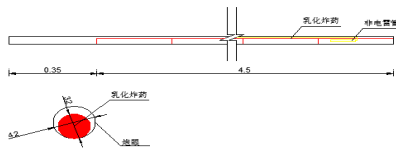


图 1 掏槽眼装药结构

### 2.2.2 辅助掏槽眼(水平)

共设计 5 个辅助掏槽眼(水平), 距离最上层掏槽眼 1.2m, 炮眼间距为 1m。炮眼垂直于掌子面, 眼深为 3.8m。单个炮眼装药量为 2.4kg, 掏槽眼总装药量为 12kg, 不堵塞炮眼, 雷管段数为 3 段, 如图 2 所示。

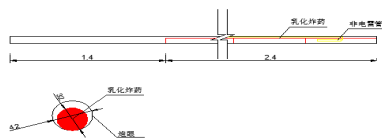


图 2 辅助掏槽眼(水平)装药结构

### 2.2.3 辅助掏槽眼(斜)

共设计 5 组辅助掏槽眼(斜), 沿隧道中心线对称布置, 距隧道中心线为 3.09m, 炮眼间距为 0.6m。炮眼与掌子面呈 68° 夹角, 眼深为 4.38m。单个炮眼装药量为 3.3kg, 掏槽眼总装药量为 33kg, 不堵塞炮眼, 雷管段数为 3 段, 如图 3 所示。

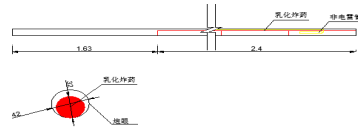


图 3 辅助掏槽眼(斜)装药结构

### 2.2.4 第一排崩落孔

共设计 6 组第一排崩落孔, 沿隧道中心线对称布置, 距隧道中心线为 3.66m, 炮眼间距为 0.6m。炮眼与掌子面呈 78° 夹角, 眼深为 4.02m。单个炮眼装药量为 2.4kg, 掏槽眼总装药量为 28.8kg, 不堵塞炮眼, 雷管段数为 5 段, 如图 4 所示。

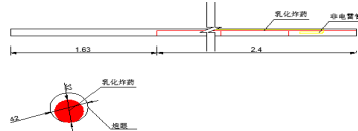


图 4 第一排崩落孔装药结构

### 2.2.5 第二排崩落孔

共设计 3 组第二排崩落孔, 沿隧道中心线对称布置, 距隧道中心线为 4.23m, 炮眼间距为 0.8m。炮眼垂直于掌子面, 眼深为 3.8m。单个炮眼装药量为 1.8kg, 掏槽眼总装药量为 10.8kg, 不堵塞炮眼, 雷管段数为 7 段, 如图 5 所示。

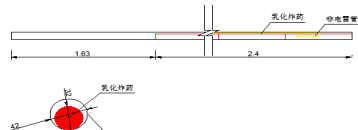


图 5 第二排崩落孔装药结构

### 2.2.6 第三排崩落孔

共设计 15 个第三排崩落孔, 呈环形布置, 炮眼间距为 1.16m。炮眼垂直于掌子面, 眼深为 3.8m。单个炮眼装药量为 1.5kg, 掏槽眼总装药量为 22.5kg, 不堵塞炮眼, 雷管段数为 9 段, 如图 6 所示。

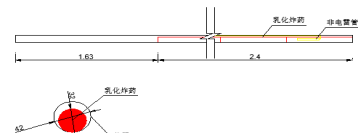


图 6 第三排崩落孔装药结构

### 2.2.7 周边眼

共设计 43 个周边眼, 呈环形布置, 炮眼间距为 0.51m。炮眼与掌子面夹角为 95°, 眼深为 3.8m。单个炮眼装药量为 0.9kg, 掏槽眼总装药量为 38.7kg, 堵塞炮眼, 堵塞长度为 0.2m, 雷管段数为 13 段, 如图 7 所示。

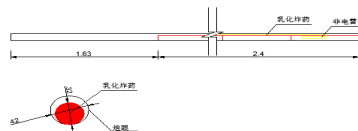


图 7 周边眼装药结构



### 2.2.8 缓冲孔

共设计 18 个缓冲孔，呈环形布置，炮眼间距为 1.14m，与周边眼的排距为 0.6m。炮眼垂直于掌子面，眼深为 3.8m。单个炮眼装药量为 1.2kg，掏槽眼总装药量为 21.6kg，不堵塞炮眼，雷管段数为 11 段，如图 8 所示。

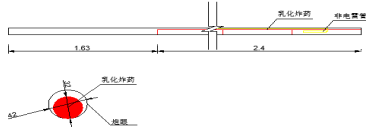


图 8 缓冲孔装药结构

### 2.3 起爆顺序

根据炮眼及炸药布置图（如图 9 所示），爆破顺序如下：掏槽眼—辅助掏槽眼（水平、斜）—第一排崩落孔—第二排崩落孔—第三排崩落孔—缓冲孔—周边眼。

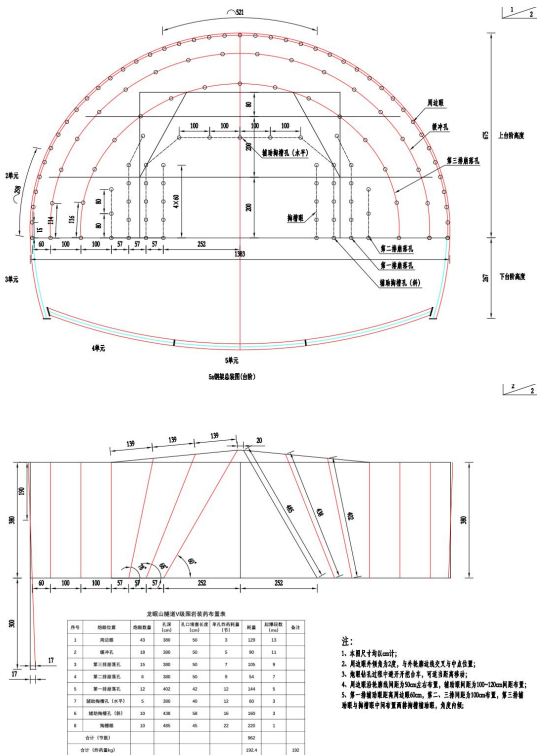


图 9 光面爆破孔网布置及装药结构

## 3 光面爆破的施工流程

### 3.1 测量放样

测量人员采用全站仪精确确定隧道中心线和炮眼的位置，确保施工时能够按照设计进行钻眼<sup>[4]</sup>。

### 3.2 钻眼

采用风动凿岩机进行钻眼，炮眼直径 42mm，按照设计的角度开钻，并保证炮眼深度达到设计值。周边眼施工时掌子面前端需留下 3m 的空间保证周边眼外插角符合设计要求。钻眼结束后由现场施工员验收完毕后再进行装药<sup>[5]</sup>。

### 3.3 清眼

现场采用高压水枪清理后进行装药，以保证爆破的质量<sup>[6]</sup>。

### 3.4 装药

装药方式采用反向装药，装药时必须保证雷管段数准确，否则容易导致起爆顺序错乱，造成爆破效果差<sup>[7]</sup>。装药结构均为不耦合装药，周边眼炸药位于距炮孔底部 2.2m 处开始装药，其余均从炮眼底开始装药。雷管连接方式采用簇联法，保证起爆网络。

周边眼采用该装药方式的原因是，IV 级、V 级围岩较破碎、岩性较差，传统的光爆设计容易导致隧道轮廓表面多挂口、超挖大、残眼数量少。采用该方案有以下优势：由于周边眼选取 2° 外插角，炸药于炮孔三分之二处开始装药，能较好地控制隧道超挖；采用间隔装药降低了周围孔壁的峰值压力，减少炮眼周围岩石的过渡粉碎；导爆索控制周边眼的起爆，便于控制隧道轮廓线。

## 4 结语

光面爆破在中国广泛运用，光面爆破对围岩扰动小，爆破后围岩整体性好。在工程上，采用光面爆破，严格控制超欠挖，便于隧道初支施工，减少喷射混凝土的方量，有利于工程的成本控制。相比预裂爆破，光面爆破炮眼数少于预裂爆破，减少钻眼及装药时间，一定程度上加快工程进度，减少工期。

对比传统光爆设计，本设计中掏槽眼、辅助掏槽眼直眼、辅助掏槽眼斜眼、第一排崩落孔、第二排崩落孔、第三排崩落孔、缓冲孔和周边眼的装药系数分别为 0.907、0.632、0.731、0.597、0.474、0.368、0.263 和 0.158。掏槽眼与隧道中心线成 60° 夹角；周边眼的外插角为 2°。周边眼采用不连续装药，药卷置于周边眼的中心位置处，有利于提高周边眼残留率，控制隧道超欠挖。

## 参考文献

- [1] 黄麟,赵旭东,席韬,等.现场混装乳化炸药中低温制备及性能表征[J/OL].工程爆破:1-7.
- [2] 牛草原,黄文尧,刘小辉,等.多孔粒状硝酸铵含量对现场混装乳化炸药性能的影响[J/OL].火炸药学报:1-9.
- [3] 郭紫卿,邓凌海,叶兰,等.电导率法检测乳化炸药储存稳定性的实验研究[J].爆破器材,2023,52(2):25-31.
- [4] 李向平,龚伟毅,张震.隧道仰拱部位光面爆破技术及工程应用[J].爆破,2023,40(2):69-74.
- [5] 杨悦.公路工程路堑边坡开挖的光面爆破技术探讨[J].交通科技与管理,2023,4(10):108-110.
- [6] 姜家明,杨翎,马朝阳,等.PVC间隔装药光面爆破技术在掘进爆破中的应用[J/OL].采矿技术,2023,23(2):80-84.
- [7] 袁丁.光面爆破技术在碎裂岩石层隧道开挖中的应用分析[J/OL].石材,2023(7):138-140.