

# 基于 PDCA 循环的牛角山隧道光面爆破 质量控制与技术改进

陶 坤<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 中交第二公路工程局有限公司, 陕西 西安 710075)

**摘 要:** 光面爆破质量直接关系到隧道施工的质量、安全及成本等,牛角山隧道凿岩爆破开挖施工过程中,采用 PD-CA 循环质量管理方法,根据 TM 隧道断面测量系统采集的断面超欠挖数据,进行现场检查、讨论分析,找出影响光面爆破质量的主要因素,通过制定有针对性的改进措施并监督执行,较好地提高了光面爆破效果,一次循环进尺平均光面爆破合格率达到 95%,炮眼残留率达到 85%,不仅保证了隧道施工质量,而且降低了施工成本,加快了施工进度,获得了良好的质量效果和经济效益。

**关键词:** 公路隧道;光面爆破;PDCA 循环质量管理;质量控制;技术改进

**中图分类号:** U455.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2012)09-0080-05

**Quality Control and Technical Improvement of Smooth Blasting Based on PDCA Cycling in the Niujiashan Tunnel/TAO Kun<sup>1,2</sup>** (1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an Shanxi 710064, China; 2. No.2 Highway Department of China Communications Construction Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710075, China)

**Abstract:** The quality of smooth blasting is directly related to the quality, safety and cost of tunnel construction. In the blasting excavation construction of Niujiashan tunnel, PDCA cycling quality administration method is adopted. According to the overbreak data collected from TM tunnel cross-section measurement system, in-situ inspection, discussion and analysis were carried out with the main influencing factors of smooth blasting being found out. Through formulating special improving measures and supervising implementation, the effect of smooth blasting is well improved. The average qualified rate and residual rate of blast hole reach to 95% and 85% respectively. The construction quality of tunnel is improved, the construction cost is decreased and construction progress is accelerated. In conclusion, favorable quality and economic effects are achieved.

**Key words:** highway tunnel; smooth blasting; PDCA cycling quality administration; quality control; technical improvement

光面爆破是新奥法隧道施工方法的三大支柱之一,可以减少对围岩的扰动,增强围岩的自承能力,特别是在不良地质条件下效果更为显著;同时爆破造成的超欠挖对隧道施工速度和成本有着不容忽视的影响,超挖引起多装、多运渣;超挖空间还要用混凝土回填,也给后续作业,如喷射混凝土、张挂防水板等作业造成一定的困难;欠挖则需要清除,从而造成人工、工期和材料的超额消耗,致使工程成本增加。光面爆破可以减少超欠挖现象,降低施工的成本,加快施工进度。PDCA 循环质量管理是一种行之有效的质量管理方法,本文探讨了采用 PDCA 对牛角山隧道光面爆破的质量控制与技术改进。

## 1 PDCA 循环质量管理<sup>[1,2]</sup>

PDCA 循环又叫戴明环,是美国质量管理专家戴明博士提出的,它是全面质量管理所应遵循的科学程序。全面质量管理活动的全部过程,就是质量计划的制订和组织实现的过程,这个过程就是按照 PDCA 循环,不停顿地周而复始地运转的。

PDCA 循环是能使任何一项活动有效进行的一种合乎逻辑的工作程序,特别是在质量管理中得到了广泛的应用。P、D、C、A 四个英文字母所代表的意义如下(参见图 1):

P(Plan)——计划,包括方针和目标的确定以及活动计划的制定;

D(Do)——执行,执行就是具体运作,实现计划中的内容;

收稿日期:2012-05-14

作者简介:陶坤(1982-),男(汉族),湖北黄冈人,长安大学工程硕士研究生,中交第二公路工程局有限公司工程师、国家一级注册建造师,建筑与土木工程专业,从事市政工程、公路桥梁、公路隧道的施工技术管理工作,陕西省西安市高新区科技路 27 号 E 阳国际 16 层中交二公局隧道工程公司,taokun52014@yahoo.com.cn。

C(Check)——检查,就是要总结执行计划的结果,分清哪些对了,哪些错了,明确效果,找出问题;

A(Action)——效果,对检查的结果进行处理,认可或否定。成功的经验要加以肯定,或着模式化或者标准化以适当推广;失败的教训要加以总结,以免重现;这一轮未解决的问题放到下一个 PDCA 循环。

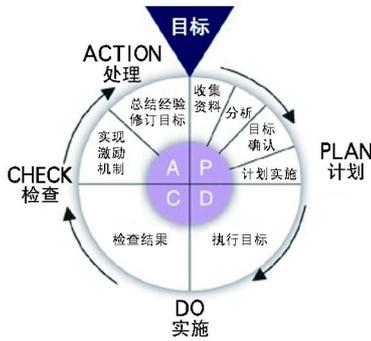


图 1 PDCA 循环的 4 个阶段示意图

PDCA 循环可以使思想方法和工作步骤更加条理化、系统化、图像化和科学化。它具有如下特点。

(1) 大环套小环,小环保大环,推动大循环。PDCA 循环作为质量管理的基本方法,不仅适用于整个工程项目,也适应于整个企业和企业内的科室、工段、班组以至个人。各级部门根据企业的方针目标,都有自己的 PDCA 循环,层层循环,形成大环套小环,小环里面又套更小的环。大环是小环的母体和依据,小环是大环的分解和保证。各级部门的小环都围绕着企业的总目标朝着同一方向转动。通过循环把企业上下或工程项目的各项工作有机地联系起来,彼此协同,互相促进。

(2) 不断前进、不断提高。PDCA 循环就像爬楼梯一样,一个循环运转结束,生产的质量就会提高一步,然后再制定下一个循环,再运转、再提高,不断前进,不断提高。

(3) 门路式上升。PDCA 循环不是在同一水平上循环,每循环一次,就解决一部分题目,取得一部分成果,工作就前进一步,水平就进步一步。每通过一次 PDCA 循环,都要进行总结,提出新目标,再进行第二次 PDCA 循环,使品质治理的车轮滚滚向前。如图 2 所示。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

杭(州)长(兴)高速公路是浙江省高速公路主骨架“两纵、两横、十八连、三绕、三通道”中一连,起

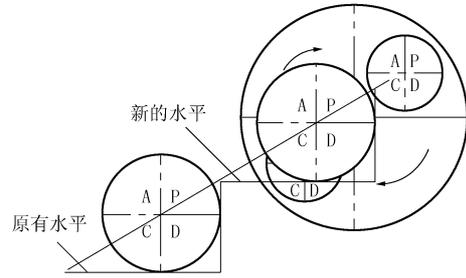


图 2 PDCA 管理方法示意图

于杭州绕城高速公路北段,终于长兴县泗安与申苏浙皖高速相接。

牛角山隧道为左、右线分离的四车道高速公路长隧道,左线起止里程桩号为 ZK22 + 435 ~ ZK23 + 595,长 1160 m,其中 SMA28 m,S3 衬砌类型 700 m,S4 衬砌类型 382 m,S5A 衬砌类型 42 m,S5B 衬砌类型 8 m;右线起止里程桩号为 YK22 + 440 ~ YK23 + 545,长 1105 m,其中 SMA20 m,SMB15 m,S3 衬砌类型 703 m,S4 衬砌类型 331 m,S5A 衬砌类型 36 m;围岩各类衬砌类型占总长度的比例为:S3 衬砌类型 61.94%,S4 衬砌类型 31.48%,S5A 衬砌类型 3.44%,S5B 衬砌类型 0.35%。隧道几何线形与净空按 120 km/h 设计,主洞建筑限界宽度 11.5 m (1.0 + 0.75 + 2 × 3.75 + 1.25 + 1.0),净高 5 m。

### 2.2 项目特点

牛角山隧道为长隧道,是本标段的关键控制性工程,同时也是施工管理、安全管理重点。采用凿岩爆破施工,光面爆破质量的好坏直接关系到隧道施工质量控制、进度控制及成本控制。项目配备了先进的 TM 隧道断面测量系统及 TMF 隧道断面测量 PDA 版,为隧道开挖爆破效果现场实时采集分析创造了便利条件。

## 3 基于 PDCA 循环的光面爆破质量控制与技术改进

为了切实提高牛角山隧道的光面爆破效果,加强隧道施工质量,降低施工成本,加快施工进度,项目成立了“牛角山隧道光面爆破效果分析与改进 QC 质量管理小组”,建立健全了 QC 活动小组组织机构及活动实施细则。根据 TM 隧道断面测量系统采集的断面超欠挖数据<sup>[3]</sup>,现场检查、讨论分析,找出影响光面爆破质量的主要因素,通过制定针对性的改进措施并监督执行,开展了 2 次完成的 PDCA 循环,对隧道爆破光面爆破质量进行了攻关,较好地提高了光面爆破效果。

### 3.1 第一次 PDCA 循环

#### 3.1.1 现状调查

采用 TM 隧道断面测量系统对隧道每个循环开挖爆破后的开挖断面进行了跟踪测量,共计检测断面 20 个(均处于Ⅲ级围岩),共计 400 个测点,对断面数据参照《公路隧道施工技术规范》(JTG F60-2009)6.3.2 条款要求的平均和最大允许超挖值<sup>[4]</sup>进行了统计分析,检测分析结果见表 1,其中 315 个测点合格,85 个测点不合格,且绘制了开挖断面图(图 3)。

表 1 现阶段光面爆破质量检测结果

检测项目	检测值(四舍五入)	合格率
最大超挖值/cm	51, 21, 28, 26, 26, 34, 27, 45, 19, 42, 38, 43, 21, 42, 30, 37, 28, 43, 25, 28	按照规范允许值统计, 400 个测点合格率
最大欠挖值/cm	-15, 0, -18, -2, -9, 0, -27, 0, -6, -8, -9, 0, -14, -8, -16, -9, -8, -11, -3, -6	78.75%
平均超挖值/cm	14, 10, 19, 20, 19, 24, 21, 27, 15, 26, 22, 26, 17, 22, 23, 24, 25, 18, 21	
炮眼残留率/%	50, 80, 75, 65, 75, 65, 80, 85, 70, 70, 65, 70, 80, 85, 80, 85, 75, 75, 70, 80	均值:74%

注:(1)欠挖部位均进行二次爆破处理,统计合格率时计入不合格点数,统计平均超挖值时不予计入;(2)规范允许值:破碎岩(Ⅳ、Ⅴ级围岩)平均 100 mm,最大 150 mm;中硬岩、软岩(Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级围岩)平均 150 mm,最大 250 mm。隧道不得出现欠挖。

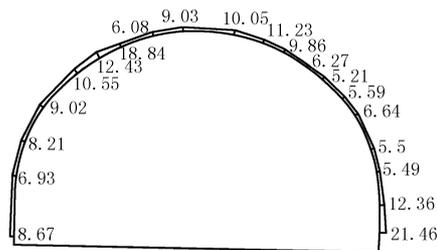


图 3 断面开挖断面尺寸示意图

#### 3.1.2 原因分析

QC 小组成员在爆破前对爆破参数(钻孔位置及数量  $n$ 、周边眼孔的间距  $E$ 、外插角  $\theta$ 、开口位置  $e$ 、钻孔深度  $L$ 、装药量、围岩地质情况及围岩节理情况)进行详细记录。

爆破后采用 TM 隧道断面测量系统进行数据测量,QC 小组成员及施工操作工人采用 TMF 隧道断面测量 PDA 版进行现场检查、分析及记录,找出造成超欠挖的原因,得出光面爆破质量影响因素统计表(见表 2),绘制了光面爆破质量影响因素分析排列图(图 4)。

#### 3.1.3 目标确认

确保隧道开挖轮廓线准确,提高隧道光面爆破效果,减少超挖,破碎岩(Ⅳ、Ⅴ级围岩)平均 100 mm,最大 150 mm;中硬岩、软岩(Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级围岩)

表 2 现阶段光面爆破质量影响因素统计

序号	影响因素	频次	累计频次	累计频率/%
1	钻孔操作参数未按照要求进行	59	59	69.4
2	未根据围岩变化调整爆破参数	16	75	88.2
3	节理发育等地质原因	8	83	97.6
4	炮孔放样错误	2	85	100

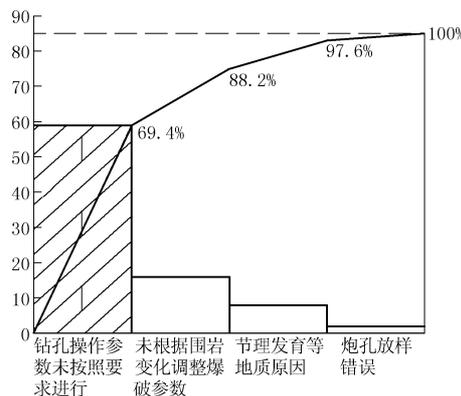


图 4 第一次 PDCA 光面爆破质量影响因素分析排列图

平均 150 mm,最大 250 mm。隧道不得出现欠挖,残留率  $\geq 85\%$ 。

#### 3.1.4 制定对策

QC 小组成员经过认真的分析讨论,采用因果分析图法对光面爆破欠佳的问题进行分析。将原因分为人员组织、工艺方法、材料、机械设备、地质环境等 5 个方面<sup>[5,6]</sup>,把主要问题绘制成因果图(图 5),因果图中的主要原因用“▲”表示。经过 QC 活动分析会的讨论分析并经验证,确认影响光面爆破质量的主要因素有:(1)现场管理不力,岗位不固定,工人责任心不强;(2)周边眼钻孔位置误差较大,间距不符合设计参数,角度误差较大;(3)装药量未按照爆破设计参数进行;(4)围岩地质情况发生变化,但是参数未进行优化调整。

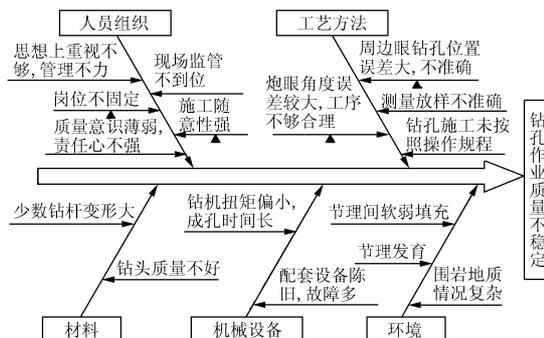


图 5 第一次 PDCA 循环因果图

根据上述分析,QC 小组研究确定了相对应的措施,并分工落实到人,第一次 PDCA 循环对策表详见表 3。

表 3 第一次 PDCA 循环对策

序号	主要因素	目标	对策措施	负责落实人员
1	现场管理不力,岗位不固定,工人责任心不强	定岗定位,固定操作人员	①对责任心差,质量意识不强的工人进行教育,建立奖罚制度;②钻爆作业中实行坚持定人、定位工作,将炮眼划分板块,实行某几个炮眼由某人打;③落实岗位责任制	#、#
2	周边眼钻孔位置误差较大,间距不符合设计参数,角度误差较大	周边眼钻孔位置不得大于 3 cm,外插角度严格控制	①对技术人员、工人进行技能培训,提高业务水平;②施工前由测量人员进行炮孔放样,并标出炮孔位置;③强化现场质检人员的实时监控意识,严格把关	#、#
3	装药量未按照设计进行	严格按照爆破设计参数进行炸药填装	①对技术人员、工人进行技能培训,提高业务水平;②强化现场质检人员的实时监控意识,严格把关	#、#
4	围岩地质情况发生变化,但是参数未进行优化调整	根据围岩情况,及时调整局部爆破参数	①配备经验丰富的技术人员,对围岩地质情况进行准确分析;②强化现场质检人员的实时监控意识,严格把关	#、#

3.1.5 对策实施

(1)针对现场管理不力,岗位不固定,工人责任心不强的问题,组织项目部施工技术人员、开挖班全体施工人员进行质量意识教育和光面爆破基本知识培训,从思想上提高了大家光面爆破意识、质量意识,同时钻爆作业中实行坚持定人、定位工作,将炮眼划分板块,实行某几个炮眼由某人打,并做记录,制定了奖罚措施,利用 TM 隧道断面测量系统进行每循环光面爆破效果现场考核,达到要求每循环奖励 200 元,不合格每循环罚款 400 元,对所负责板块由于责任心不强、人为操作原因屡次造成不合格者,将予以停岗学习,对仍不改者,调离开挖岗位(按照区域定人、定位进行钻孔作业现场见图 6)。



图 6 区域定人、定位进行钻孔作业现场

(2)针对周边眼钻孔位置误差较大,间距不符合设计参数,角度误差较大的问题,由专人进行了操作技能培训,并对光面爆破施工工艺要点进行了二次书面技术交底,施工前安排测量人员进行周边眼的炮孔精确放样,用红色油漆标注炮孔位置,并安排专人跟班进行监督和技术指导。

(3)针对装药量未按照设计进行的问题,在技术交底时,对爆破参数做了进一步交底,并要求加强质量意识,严格按照爆破设计参数进行炸药填装,并安排专人跟班进行监督和技术指导。

(4)针对围岩地质情况发生变化,但是参数未

进行优化调整的问题,项目部增加了施工经验丰富的技术人员,对围岩情况进行跟班准确分析,并与班组长进行仔细沟通,调整局部爆破参数,同时安排专人负责调整参数的落实。

3.1.6 效果检查

采取了上述有效措施后,牛角山隧道光面爆破效果得到了显著的改善,开挖合格率大幅提高,欠挖点大量减少(第一次 PDCA 循环光面爆破效果见图 7)。



图 7 第一次 PDCA 循环光面爆破效果

采用 TM 隧道断面测量系统对隧道每个循环开挖爆破后的开挖断面进行了跟踪测量,共计检测断面 10 个(6 个断面处于 III 级围岩,4 个断面处于 IV 围岩),共计 200 个测点,对每个断面进行了统计分析,其中超出规范要求的共计 19 个,第一次 PDCA 循环光面爆破质量检测结果详见表 4。

表 4 第一次 PDCA 循环光面爆破质量检测结果

检测项目	检测值(四舍五入)	合格率
最大超挖值/cm	III 级围岩:23、29、15、20、9、12 IV 级围岩:27、12、31、25	按照规范允许值统计,200 个测点合格率 90.5%
最大欠挖值/cm	III 级围岩:0、-8、0、-2、-9、0 IV 级围岩:0、-6、-3、-6	
平均超挖值/cm	III 级围岩:11.9、13.5、12.6 IV 级围岩:12.8、19.6	
炮眼残留率/%	III 级围岩:80、85、85、90、80、80 IV 级围岩:85、75、85、75	均值:82%

注:欠挖部位均进行二次爆破处理,统计合格率时计入不合格点数,统计平均超挖值时不予计入。

### 3.2 第二次 PDCA 循环

尽管光面爆破效果得到了提高,但是合格率与炮眼残留率与目标值仍然有一定差距,按照 PDCA 循环质量管理的流程进行了第二次 PDCA 循环。上级单位派遣了一名专家进行现场指导,QC小组成员对每个施工步骤进行仔细检查,逐个落实,做到每个循环认真负责,吸取专家的意见,开挖光面爆破效果进一步得到了提高。对开挖断面再次进行了测量,检测结果见表5,共计检测10个断面,200个测点,191个测点合格,9个测点不合格,合格率达到95.5%,且仅1个测点出现欠挖现象,炮眼残留率达到85%,达到了预期目标。

表5 第二次 PDCA 循环光面爆破质量检测结果

检测项目	检测值(四舍五入)	合格率
最大超挖值/cm	Ⅲ级围岩:19、24、14、20、17 Ⅳ级围岩:17、15、21、29、12	按照规范允许值统计,200个测点合格率
最大欠挖值/cm	Ⅲ级围岩:0、0、0、-9 Ⅳ级围岩:0、0、0、0	95.5%
平均超挖值/cm	Ⅲ级围岩:13、16、11、15、12 Ⅳ级围岩:5、8、7、7、12	
炮眼残留率/%	Ⅲ级围岩:80、85、85、90、80 Ⅳ级围岩:85、85、85、90、85	均值:85%

注:欠挖部位均进行二次爆破处理,统计合格率时计入不合格点数,统计平均超挖值时不予计入。

### 3.3 巩固措施及标准化

为了进一步巩固隧道光面爆破效果,强化现场管理,加强施工人员的技术交底及现场监督指导,制定了严格的施工管理标准和施工工艺标准,通过定人、定岗、定责、定标准,分工到位,各负其责。同时引入激励机制,开展劳动竞赛,进一步完善了奖罚制度,建立健全了全员参与质量管理的制度。

按照 QC 活动取得的经验,编写了《牛角山隧道施工开挖爆破指南》,并在整个施工过程中予以贯彻落实,按照科学规律和操作规程作业,严密组织施工,严格执行爆破制度,从技术上严格把关,现场根据实际情况和爆破效果,及时动态修改爆破设计参数,指导施工班组,提高施工质量。

### 4 结论与建议

(1)牛角山隧道光面爆破开挖质量,通过采用 PDCA 循环质量管理方法,根据 TM 隧道断面测量系统采集的断面超欠挖数据,进行现场检查、讨论分析,找出影响光面爆破质量的主要因素,通过制定有针对性的改进措施并监督执行,较好地提高了光面爆破效果,通过2次 PDCA 循环,一次循环进尺平均光面爆破合格率达到95%,炮眼残留率达到85%,不仅保证了隧道施工质量,而且降低了施工成本,加快了施工进度,获得了良好的质量效果和经济效益。

(2)采用 PDCA 循环质量管理方法,对隧道常见的质量通病进行有效控制,对出现的问题及时进行现场数据收集、分析、制定对策、结果检验、总结经验、修订目标,解决高速公路隧道施工过程中的质量通病及技术难点。

(3)建议在高速公路施工的关键工序、难点工序中,广泛开展 PDCA 循环质量管理,以便有效地提高施工质量。

(4)通过 PDCA 循环质量管理手段,强化了施工人员及管理人員的质量意识及责任心,激发广大技术人员解决施工过程中质量通病、控制难点的主观能动性,提高了他们解决实际技术问题的能力、专业知识水平及团队合作意识。

### 参考文献:

- [1] 宋天田. 地铁盾构隧道的 PDCA 质量管理[J]. 现代隧道技术, 2010,47(2):24-28.
- [2] 章勇武,马国丰,尤建新. 基于 PDCA 的隧道施工进度柔性控制[J]. 地下空间与工程学报,2005,1(5):773-776.
- [3] 陶坤,何小平. TM 隧道断面测量系统在施工质量控制中的应用[J]. 施工技术,2008,37(11):73-76.
- [4] JTG F60-2009,公路隧道施工技术规范[S].
- [5] 吴全科,黄希中,卢玉荣. QC 小组在隧道光面爆破施工中的技术作用[J]. 路基工程,2010,(4):236-238.
- [6] 凌立新. PDCA 循环在水泥路面施工中的应用[J]. 公路工程, 2011,36(2):141-143,156.

## 辽宁朝阳地区金矿勘查最深孔深 1303 m

《中国矿业报》消息(2012-09-15) 由辽宁地质三队承担的一眼深1303 m的固体矿产勘查钻孔,日前在北票二道沟黄金矿业公司平房金矿钻探工程会战工地竣工,并成为朝阳地区金矿勘探最深钻孔。

平房金矿钻探工程会战是中国黄金集团公司2012年十大重点工程之一,首批设计钻孔69个,钻探工作量31138 m。该金矿勘探区地质条件复杂,多层岩石破碎,给施工造成了困难。辽宁地质三队施工的最深孔 ZK4508 于2012年5月21日正式开钻,7月26日钻至1303 m 终孔,随即转入室内资料整理阶段。经过评审,该孔岩矿心采

取率、钻孔弯曲度、校正孔深、简易水文观测、原始报表和封孔等6项质量指标全部合格,并被评为优质孔。

据了解,朝阳地区过去金矿勘探设计、施工钻孔均在500 m左右。该队相关技术负责人介绍,该深孔的竣工,对朝阳地区金矿地质勘查评价和钻探施工有着重要意义。通过地质编录和水文地质编录,不仅查清了矿体赋存位置及围岩、金蚀变带主要赋存的标高、孔内岩层变化,而且对孔内岩石进行了力学分析和简易水文地质监测,掌握了孔内地下水位的变化。