

# Key Technologies and Quality Assurance Measures for Safety Control of Blasting Construction in Pumped Storage Power Station

Shixu Guo

China Hydropower Engineering Consulting (Group) Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611700, China

## Abstract

Blasting operations in pumped storage power stations are characterized by complex working environments, stringent technical requirements, and concentrated safety risks, demonstrating a high degree of coupling between construction quality and safety management. To achieve the dual objectives of quality control and safety assurance, this study systematically outlines key measures for quality assurance and safety coordination in blasting construction, drawing on practical experience from pumped storage projects. The analysis covers construction organization, material and process control, comprehensive quality inspection, and personnel management. Research indicates that by improving construction organization and technical briefing mechanisms, strengthening control over raw materials and processes, establishing a full-process quality evaluation system, and implementing personnel training and accountability management, construction deviations and safety hazards can be effectively reduced, thereby enhancing blasting formation quality and construction stability.

## Keywords

Pumped-storage power station; Blasting construction; Safety management; Key technologies; Quality assurance

## 抽水蓄能电站爆破施工安全管控关键技术与质量保障措施

郭世旭

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川成都 611700

## 摘要

抽水蓄能电站爆破施工具有作业环境复杂、技术要求高、安全风险集中的特点,其施工质量与安全管理呈现高度耦合关系。为实现工程质量可控与施工安全受控的协同目标,本文结合抽水蓄能工程建设中的实践经验,从施工组织、材料与工艺控制、全过程质量检查以及人员管理等方面,系统阐述爆破施工质量保障与安全协同的关键措施。研究表明,通过完善施工组织与技术交底机制、强化原材料及工艺过程管控、健全全过程质量评估体系并落实人员培训与责任管理,可有效降低施工偏差与安全隐患,提升爆破成型质量和施工稳定性。

## 关键词

抽水蓄能电站; 爆破施工; 安全管控; 关键技术; 质量保障

## 1 引言

抽水蓄能电站作为新型电力系统中的重要调节电源,其建设规模大、结构复杂,对施工安全与工程质量提出了更高要求<sup>[1]</sup>。其中,爆破施工作为地下洞室开挖和高边坡成型的关键工序,具有作业风险集中、影响范围广、技术要求高等特点。因此,系统分析抽水蓄能电站爆破施工的安全风险特征,明确管控重点,对提升工程安全管理水平和保障施工质量具有重要现实意义。

【作者简介】郭世旭(1999—),男,中国河南许昌人,本科,助理工程师,从事安全管理研究。

## 2 抽水蓄能电站爆破施工安全风险特征与管控重点

### 2.1 复杂地质条件叠加施工强度,爆破安全风险显著增加

抽水蓄能电站工程建设场地位于山区或者丘陵地区,大多数存在地质情况较为恶劣的情况,围岩种类繁多,节理、断层、破碎等情况也较为分散。在具体施工过程中,常常因为地下厂房、输水隧道以及竖井等规模较大、深度较深而不得不在Ⅳ—Ⅴ类围岩环境下展开大量的爆破施工工作。根据以往工程经验来看,对于抽水蓄能电站来说,其在开展地下洞室施工期间,爆破方量一般占开挖方量的70%以上,一次起爆炸药用量达几百公斤,加之地质条件复杂,施工强度大,对爆破振动速度、围岩稳定以及施工安全的要求高。因

此,在这种情况下,爆破参数的精准化设计及动态优化尤为重要,根据详勘资料进行爆破设计,并根据不同围岩采用不同的装药结构及起爆方法,杜绝出现一爆到底的现象。

### 2.2 地下洞室与高边坡并存, 爆破振动与稳定性控制难度加大

抽水蓄能电站工程建设一般同时存在地下洞室群开挖及地面高边坡开挖,二者在空间位置上互相影响,在爆破振动方面提出了更高的要求。地下洞室爆破振动除可能影响围岩松动圈外,还可能经由结构传递到临近洞室、支护系统中去;如果高边坡爆破控制不当,则易造成局部坍塌、边坡失稳等问题。据有关工程监测结果表明,爆破振速大于 5cm/s 的情况下容易产生局部围岩开裂现象<sup>[2]</sup>,导致支护结构的安全性降低。所以,爆破在地下及地面同时进行的情况下应着重关注振动监测和反馈控制,在现场布置多个振动监测装置,对爆破震动区域进行监控,及时修改爆破参数,也是确保稳定性的关键技术措施之一。

### 2.3 施工环境受限因素较多, 爆破作业组织协调要求较高

抽水蓄能电站爆破施工多在狭长洞室、有限作业面内进行,通风、排烟、照明和运输条件相对受限,爆破作业对现场组织协调能力要求较高。尤其在地下洞室施工中,爆破后有有毒有害气体排散速度慢,若通风措施不到位,易对作业人员安全造成直接威胁。在不利通风环境下,爆破后 CO 可能短时间超标,存在中毒危险,所以从安全管理角度,应优

化爆破工序安排,严格执行爆破、通风、检查、继续施工的闭环流程,爆破后先强制通风至有毒有害气体达标,再经技术人员检查围岩稳定与残爆情况,确认无安全隐患后,方可恢复后续作业,保障施工安全<sup>[3]</sup>。

## 3 抽水蓄能电站爆破施工安全管控关键技术应用

### 3.1 精细化爆破参数设计技术, 有效降低爆破振动与飞石风险

对于抽水蓄能电站爆破作业而言,爆破设计是影响爆破安全的重要因素,在实际工程应用过程中,主要采取“地层—结构面—结构型式”的分层爆破设计方案,按照不同的地层、埋深以及结构面的重要性来设置相应的最小抵抗线尺寸、单位炸药用量和延时。如IV—V类围岩洞段施工过程中,采用缩小孔距为 0.8~1.0m,单孔装药量 1.2~1.8kg 及毫秒延期起爆的方式,将爆破振速控制在 3.0cm/s 以内,大大降低对围岩的扰动范围。不同围岩类别对应的爆破参数及控制效果如表 1 所示:

在高边坡爆破方面则通过采取预裂爆破及缓冲爆破的方法,降低边坡成型区域单孔装药量约 30%~40%,从而达到减少飞石距离以及边坡超挖的目的。根据实际施工过程中对边坡飞石距离进行统计发现,在优化爆破参数之后,边坡爆破产生的飞石最大距离由原来设计的 200m 降为 120m 左右,安全风险大大降低。既保证了安全爆破,又提升了施工质量<sup>[4]</sup>。

表 1 不同围岩类别对应的爆破参数及控制效果

围岩类别	孔距 (m)	单孔装药量 (kg)	起爆方式	控制爆破振速 (cm/s)	飞石最大距离 (m)	超挖率 (%)
III 类围岩	1.2-1.5	2.0-2.5	毫秒延期起爆	≤ 5.0	150-180	≤ 3
IV 类围岩	0.8-1.0	1.2-1.8	毫秒延期起爆	≤ 3.0	100-120	≤ 5
V 类围岩	0.6-0.8	0.8-1.2	微差分段起爆	≤ 2.0	80-100	≤ 8

### 3.2 智能化监测与预警技术应用, 提升爆破全过程安全可控性

在信息化条件下,智能化监测成为抽水蓄能电站爆破安全管控的主要手段,在实际工作中利用在地下洞室、临近建筑物以及高边坡上设置振动测点、位移测点、声波测点来收集爆破影响信息。

在部分抽蓄工程中应用自动化的爆破振动在线监测技术,对每一炮爆破的峰值振速、主振频率和持续时间进行自动记录,并与设计控制指标进行比对,在监测数据分析显示即将达到预警指标时,自动报警提醒现场管理人员及时调整爆破参数。统计结果显示,智能化监测系统使用以来,爆破振动超限率从 6% 左右降低至 1% 以内,爆破参数调整更具针对性和及时性。

### 3.3 分区分级爆破控制技术实施, 保障洞室与边坡结构稳定

抽水蓄能电站建筑物一般由地下厂房群、引水隧洞及

地面高边坡等多个部分构成,各部分对爆破震动及影响的敏感性不一,因此在爆破作业过程中采取分区分级管理尤为重要。

对于地下洞室而言,一般采用将洞室划分成核心区、影响区及一般区,并分别设定不同的爆破控制标准。如将临近主厂房屋顶区域、已完成洞段定义为核心区,在该区域内限定单段起爆药量和最大振速值;而将离重要建筑物较远区域定义为一般区,在保证安全的情况下,适当提高施工速度。

高边坡采取将边坡划分为预裂区、主爆区及缓冲区,并分别进行预裂爆破、常规爆破和弱爆破,使爆破能量逐级衰减,以避免裂隙向边坡内发展。实践证明,爆破分区分级控制后,边坡成型合格率显著提升,边坡支护加固工作量平均下降了 15% 左右。保证了结构稳定可靠<sup>[5]</sup>。

### 3.4 标准化作业流程与现场管控技术, 强化爆破施工安全执行力

除技术手段外,标准化作业流程是保障爆破施工安全

的重要管理技术。在抽水蓄能电站建设中,需构建“光面爆破设计—测量放线—钻孔—装药计算—钻孔质量检查—清理钻孔—准爆证签字—火工品申领—炸药到场与人员清场—现场警戒(发出警戒信号)—装药与堵塞—连接起爆网络—发出起爆前信号—起爆—发出爆破结束信号—通风、排炮—爆后安全检查”的全链条标准化管理体系。

施工过程中,采用严格的作业许可制度和三级安全技术交底制度,并明确每个岗位的工作职责及工作重点,在爆破前由专职安全员再次确认警戒范围,确保所有非作业人员及设备撤离现场;爆破完成后需经专门技术人员对围岩稳定性及残爆情况进行确认,确认无危险后再进行作业。

据统计,在采用标准程序规范实施的工程中,爆破作业安全事故极少出现,没有出现因人为因素引发的安全事故。因此,将技术手段融入到管理过程之中,使得爆破作业安全管理从“人治”转变为“法治”,从而提高爆破作业安全管理的有效性和可控性。

## 4 抽水蓄能电站爆破施工质量保障与安全协同措施

### 4.1 完善施工组织与技术交底机制,实现质量与安全同步控制

抽水蓄能电站爆破施工,首先应保证施工组织的科学性,在此基础上才能实现质量与安全的协同控制。在以往的相关工程中,普遍采用以爆破专项施工方案为核心实施爆破作业的组织管理,并将质量控制的目标与安全控制指标一并纳入到施工组织设计当中。爆破施工作业之前,由项目的技术负责人牵头,由组织施工、技术、安全等相关人员共同会审爆破方案,重点突出爆破范围、控制指标、施工顺序、风险防范等内容,并从可实施性以及安全性上保证爆破方案能够满足工程的要求。在技术交底环节,采取分层分级交底方式,将爆破参数控制要求、质量验收标准和安全操作要点细化到具体岗位。

### 4.2 强化原材料与工艺过程管控,夯实爆破施工质量基础

原材料质量和加工工艺控制是决定爆破施工质量的关键因素之一,在实际工作中对爆破材料如炸药、雷管、导爆索等实施严格的质量检查及验收制度,并按照不同的批次进行管理,保证爆破材料的各项参数满足设计需求及相关规定。例如,对于炸药,可对其密度、爆速等相关参数进行抽查,能较好地防止由于材料性能变化导致的爆破效果不稳定或者扰动过大;工艺上严格按钻孔精准度控制要求执行,并对孔深、孔径及孔位偏移进行过程管控。

### 4.3 健全全过程质量检查与评估体系,提升施工成效稳定性

为了确保爆破施工的质量及安全并使其同步提高,在

整个爆破施工作业过程中应该设置完善的施工过程中的质量检查以及验收程序。在抽水蓄能工程中,需要设置爆破施工过程中的质量三检制,将其中的主要环节作为管理的重点。在爆破作业开始之前针对爆破孔的成孔质量、装药参数以及引爆线路进行全面细致的检查;爆破过程利用监测手段实时掌控振动值及爆破效果;爆后对围岩完整性和超欠挖以及结构稳定性进行综合评价并提供质量评估报告。

### 4.4 加强人员培训与责任落实,构建长效安全质量保障机制

人员素质是爆破施工质量与安全协同控制的重要影响要素,针对抽水蓄能电站爆破施工专业性较强、危险性较高的特性,需要不断加强爆破施工作业人员的专业化培训及考核力度,并定期对爆破技术人员、管理人员以及爆破作业人员进行爆破知识、爆破安全注意事项及突发事件处理方法等方面的培训,强化爆破作业人员的操作行为及思想观念。同时,形成以岗位责任制为主要内容的责任落实机制,将质量和安全责任落实到人,并与绩效考评相关联。通过人员能力提升与责任机制约束相结合,逐步形成安全与质量协同提升的长效保障体系,为抽水蓄能电站爆破施工的高质量实施提供稳定支撑。

## 5 结语

抽蓄电站爆破施工质量和施工安全是有机的整体而非割裂的独立目标,在实际工程施工中,需要统筹协调两者的关系,共同推进抽蓄电站地下工程顺利建设。在项目建设中,通过对施工过程的合理安排及工序管理、对材料质量和施工工艺的严格管控、对施工全过程的质量把控和人员责任制的落实完善爆破施工质量安全双重保证体系,提高爆破成型质量和爆破后结构物的安全性,并减少施工安全隐患。今后,应在工程实践中不断积累经验,持续提升管理标准化和技术精细化水平,为抽水蓄能电站优质安全建设奠定长远基础。

## 参考文献

- [1] 李维多.二氧化碳爆破在水电站边坡开挖中的应用[J].水利技术监督,2026,(02):340-343.
- [2] 杨勇,周环宇.某水电站扩机工程进水口岩坎爆破施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(18):223-225.
- [3] 姚鹏程,王瑜川,曾如意.尼泊尔塔纳湖水电站施工爆破对边坡稳定性的影响分析[J].水电站设计,2025,41(02):41-44.
- [4] 毛羽,金爱云,刘明洋.QC小组活动在叶巴滩水电站隧道爆破开挖质量提升中的应用[J].四川水利,2025,46(03):111-114.
- [5] 郑祥,邱浩扬,王德明,等.水电站边坡智能爆破设计与管控系统研究[J].爆破,2024,41(02):60-66+95.