文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

抽水蓄能电站高边坡施工技术分析

张朝磊
中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司
DOI:10.12238/hwr.v9i8.6546

[摘　要] 抽水蓄能电站作为清洁能源体系的重要组成部分,其建设质量直接关系到能源供应的稳定性和安全性。高边坡施工是抽水蓄能电站建设中的关键环节,由于其地质条件复杂、施工难度大、安全风险高,因此对施工技术提出了极高要求。本文结合工程实际,深入分析了抽水蓄能电站高边坡施工的工程概况与地质特征,探讨了施工过程中的主要难点,详细阐述了关键施工技术,包括开挖技术、支护技术、锚固技术等,同时提出了质量控制与安全管理措施,并结合具体工程案例进行了分析,旨在为类似工程提供参考。
[关键词] 抽水蓄能电站；高边坡；施工技术；质量控制；安全管理
中图分类号：TV52　**文献标识码**：A

Technical analysis of high slope construction in pumped storage power station

Chaolei Zhang
KUNMING ENGINEERING CORPORATION LIMITED

[Abstract] As a vital component of clean energy systems, pumped storage power stations directly determine the stability and security of energy supply through their construction quality. High-slope construction constitutes a critical phase in such projects, where complex geological conditions, challenging engineering requirements, and elevated safety risks demand advanced technical solutions. This study provides an in-depth analysis of high-slope construction practices in pumped storage projects, examining both project profiles and geological characteristics. It identifies key challenges during implementation, details essential construction technologies including excavation techniques, support systems, and anchoring methods, while proposing comprehensive quality control measures and safety protocols. Through case studies from actual engineering projects, this research aims to offer actionable references for similar infrastructure development.
[Key words] pumped storage power station; high slope; construction technology; quality control; safety management

引言

随着我国能源结构调整和新能源产业的快速发展,抽水蓄能电站因其具有调峰填谷、调频调相、应急备用等多种功能,在电力系统中的地位日益凸显。高边坡作为抽水蓄能电站枢纽工程的重要组成部分,其稳定性直接影响电站的安全运行。由于抽水蓄能电站通常建于山区,高边坡所处的地质环境复杂,往往存在断层、破碎带、软弱夹层等不良地质条件,加之边坡高度大、坡度陡,施工过程中易发生滑坡、坍塌等地质灾害,给施工带来极大挑战。

近年来,我国在抽水蓄能电站高边坡施工方面积累了丰富的经验,涌现出了一系列先进的施工技术和管理方法。然而,不同工程的地质条件存在差异,施工技术的应用也需要根据具体情况进行优化和创新。因此,深入研究抽水蓄能电站高边坡施工技术,对于提高工程质量、保障施工安全、加快施工进度具有重要意义[1]。

1 工程概况与地质特征

1.1工程概况

以某抽水蓄能电站为例,该电站总装机容量为1200MW,采用两洞四机布置方式。上水库正常蓄水位为850m,下水库正常蓄水位为420m,最大坝高130m。高边坡主要分布在上水库进出水口、下水库进出水口及引水隧洞进出口等部位,边坡高度在50-150m之间,坡度为45°-60°,部分地段达到70°以上。边坡开挖总面积约为15万㎡,开挖方量约80万㎥。

1.2地质特征

通过地质勘察,该抽水蓄能电站高边坡区域的地层主要由花岗岩、片麻岩及少量的砂岩组成。其中,花岗岩分布广泛,岩

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

体完整性较好,但存在较多的节理裂隙;片麻岩受区域变质作用影响,岩体较破碎,局部存在软弱夹层;砂岩分布范围较小,岩质较坚硬,但抗风化能力较差。

边坡范围内存在多条断层,其中F1断层规模较大,走向与边坡走向基本平行,倾向坡内,断层破碎带宽度为1-5m,主要由碎裂岩、糜棱岩组成,透水性较强,对边坡稳定性影响较大。此外,边坡表层覆盖有厚度不等的残坡积土,厚度一般为2-5m,局部可达10m以上,土体松散,稳定性差。

地下水主要为孔隙潜水和基岩裂隙水,受大气降水补给,水位随季节变化明显。在施工过程中,地下水的作用可能导致边坡岩体软化、孔隙水压力增大,从而降低边坡的稳定性。

2 高边坡施工难点分析

2.1地质条件复杂

如前所述,高边坡区域存在断层、破碎带、软弱夹层等不良地质条件,这些地质缺陷会导致岩体强度降低、完整性变差,增加了边坡失稳的风险。在开挖过程中,易引发塌方、滑坡等地质灾害,给施工安全和进度带来严重影响[2]。

2.2施工空间受限

抽水蓄能电站高边坡多位于山区峡谷地带,施工场地狭窄,大型施工设备难以展开作业。同时,边坡高度大、坡度陡,作业面狭窄,人员和设备的移动不便,增加了施工难度。

2.3施工干扰大

高边坡施工往往与电站其他部位的施工同步进行,如大坝浇筑、隧洞开挖等,各工序之间相互干扰较大。例如,边坡开挖产生的弃渣可能影响大坝基坑的开挖和浇筑,隧洞施工的爆破作业可能对边坡的稳定性产生不利影响。

2.4安全风险高

高边坡施工过程中,存在高处坠落、物体打击、边坡坍塌等多种安全风险。特别是在爆破作业、支护施工等环节,若操作不当,极易发生安全事故。此外,由于边坡高度大,一旦发生滑坡、坍塌等灾害,后果将不堪设想。

2.5环境保护要求高

抽水蓄能电站多位于生态环境较为脆弱的山区,高边坡施工过程中需要严格控制水土流失、扬尘污染、噪声污染等,以保护周边生态环境。这对施工组织和管理提出了更高的要求。

3 关键施工技术

3.1开挖技术

3.1.1开挖方式选择。根据高边坡的地质条件和坡度情况,该工程采用分层开挖的方式,每层开挖高度控制在5-8m之间。对于坡度较缓(小于50°)的地段,采用挖掘机配合自卸汽车进行开挖;对于坡度较陡(大于50°)的地段,采用爆破开挖结合机械修整的方式。

3.1.2爆破技术。为减少爆破作业对边坡岩体的扰动,保护边坡的稳定性,采用预裂爆破和光面爆破技术。预裂爆破在主爆区开挖前进行,形成一道贯穿的裂缝,隔断主爆区爆破应力向保留岩体的传播;光面爆破在开挖轮廓线上布置加密的炮孔,采用不耦合装药,使爆破后边坡轮廓平整,减少超挖和欠挖。

在爆破参数设计方面,根据岩体性质和开挖厚度,合理确定炮孔直径、孔深、装药密度等参数。对于花岗岩等坚硬岩体,炮孔直径采用42-50mm,孔深5-8m,装药密度为0.3-0.5kg/m;对于片麻岩等较破碎岩体,炮孔直径采用32-42mm,孔深3-5m,装药密度为0.2-0.3kg/m。

3.1.3开挖顺序。遵循“自上而下、分层开挖、先支后挖”的原则,先开挖边坡顶部的覆盖层和松散岩体,然后逐步向下开挖。在开挖过程中,及时对开挖面进行清理和修整,为后续的支护施工创造条件。同时,合理安排开挖顺序,避免因开挖顺序不当导致边坡应力集中,影响边坡稳定性。

3.2支护技术

3.2.1喷射混凝土支护。喷射混凝土支护是高边坡施工中常用的初期支护方式,其作用是封闭岩体表面,防止岩体风化剥落,同时与岩体共同作用,提高边坡的稳定性。该工程采用干式喷射混凝土,混凝土强度等级为C20,厚度为10-15cm。在喷射混凝土施工前,对岩体表面进行清理,去除松动岩块和浮土,然后铺设钢筋网(直径6-8mm,间距20×20cm),最后进行混凝土喷射。

3.2.2锚杆支护。锚杆支护通过将锚杆打入岩体内部,利用锚杆的抗拔力和锚固力,将不稳定岩体与稳定岩体连接在一起,提高边坡的稳定性。该工程采用全长粘结型锚杆,锚杆直径为5-32mm,长度为3-8m,间距为1.5-2.5m。锚杆钻孔采用风动凿岩机或潜孔钻进行,钻孔直径比锚杆直径大10-15mm。钻孔完成后,清孔并注入水泥浆,然后插入锚杆,确保锚杆与岩体紧密结合。

3.2.3锚索支护。对于高陡边坡或地质条件较差的地段,采用锚索支护。锚索由多根高强度钢丝或钢绞线组成,具有较高的承载力和变形能力。该工程采用预应力锚索,锚索直径为15.2mm,根数为4-12根,长度为10-30m,间距为2.5-4m。锚索施工包括钻孔、编索、穿索、注浆、张拉等工序。钻孔采用地质钻机进行,钻孔直径为130-150mm;注浆采用水泥浆,水灰比为0.4-0.5;张拉采用分级张拉的方式,确保锚索达到设计预应力值。

3.3锚固技术

3.3.1系统锚杆。系统锚杆是在边坡开挖后,按一定间距和排距布置的锚杆,其作用是全面提高边坡岩体的整体性和稳定性。系统锚杆的参数根据边坡高度、坡度和地质条件确定,一般长度为3-6m,直径为25mm,间距为1.5-2m。

3.3.2预应力锚杆。预应力锚杆通过施加预应力,在岩体内部形成压缩区,提高岩体的抗剪强度和稳定性。该工程中,预应力锚杆的预应力值根据计算确定,一般为50-100kN。在张拉过程中,采用张拉设备进行分级张拉,确保预应力值准确可靠。

3.4排水技术

3.4.1地表排水。在边坡顶部设置截水沟,拦截坡面汇水和坡顶以外的地表水,防止地表水渗入边坡岩体。截水沟采用浆砌石或混凝土浇筑,截面尺寸根据汇水量确定,一般宽度为0.5-1m,深度为0.5-0.8m。同时,对边坡表面进行平整和压实,减少地表水下渗。

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

3.4.2地下排水。对于存在地下水的地段,采用地下排水措施。在边坡岩体中设置排水孔,排水孔直径为50-100mm,深度为5-15m,间距为2-5m,呈梅花形布置。排水孔内安装透水管,将地下水引入排水系统排出。对于断层破碎带等富水地段,设置排水廊道,集中排除地下水。

3.4.3坡面排水。在边坡坡面设置坡面排水沟,将坡面的雨水和渗出的地下水汇集到截水沟或排水孔中。坡面排水沟采用混凝土浇筑,截面尺寸根据坡面汇水量确定,一般宽度为0.3-0.5m,深度为0.3-0.5m。

4 质量控制与安全管理措施

4.1质量控制措施

4.1.1原材料质量控制。严格控制钢材、水泥、砂石料等原材料的质量,原材料进场前必须进行检验,合格后方可使用。对于锚杆、锚索等关键材料,要检查其出厂合格证、性能检测报告等资料,确保其质量符合设计要求。

4.1.2施工过程质量控制。制定详细的施工质量控制计划,明确各工序的质量控制点和检验标准。在开挖过程中,严格控制开挖轮廓、开挖坡度和开挖深度,避免超挖和欠挖。在支护施工过程中,确保锚杆、锚索的安装位置、长度、角度等符合设计要求,喷射混凝土的厚度、强度等满足规范规定[3]。

4.1.3质量检测。定期对边坡的稳定性、支护结构的受力情况等进行检测。采用全站仪、水准仪等设备监测边坡的位移和沉降；采用应力传感器等设备监测锚杆、锚索的应力变化；对喷射混凝土、浆砌石等支护结构进行强度检测。根据检测结果,及时调整施工方案,确保工程质量。

4.2安全管理措施

4.2.1安全教育培训。对所有施工人员进行安全教育培训,提高施工人员的安全意识和操作技能。培训内容包括安全操作规程、安全防护知识、应急处理措施等。特种作业人员必须持证上岗。

4.2.2安全防护措施。在施工现场设置明显的安全警示标志,如禁止标志、警告标志、指令标志等。在高边坡作业面设置安全防护栏、安全网等防护设施,防止人员和物体坠落。对于爆破作业等危险工序,必须采取严格的安全防护措施,如设置警戒区、佩戴防护用品等。

4.2.3应急预案。制定完善的应急预案,明确应急组织机构、应急响应程序、应急救援措施等。定期组织应急演练,提高施工人员的应急处理能力。在施工过程中,密切关注边坡的变形和位移情况,一旦发现异常,立即启动应急预案,采取相应的措施进行处理。

4.2.4现场管理。加强施工现场管理,保持施工现场的整洁有序。合理安排施工工序,避免交叉作业和违章作业。对施工设备进行定期检查和维护,确保设备的正常运行。加强对爆破器材、易燃易爆物品等的管理,严格遵守相关规定。

5 工程案例分析

某抽水蓄能电站高边坡工程采用了上述施工技术和质量安全管理措施,取得了良好的效果。该工程高边坡高度为120m,坡度为55°,地质条件复杂,存在多条断层和软弱夹层。通过采用分层开挖、预裂爆破、光面爆破等开挖技术,减少了对边坡岩体的扰动；采用喷射混凝土、锚杆、锚索等联合支护技术,提高了边坡的稳定性；采用地表排水、地下排水和坡面排水相结合的排水技术,有效降低了地下水位。

在施工过程中,严格执行质量控制和安全管理措施,定期对边坡进行监测。监测结果表明,边坡的位移和沉降均在允许范围内,锚杆、锚索的应力变化稳定,支护结构受力正常。该工程提前2个月完成施工任务,施工质量符合设计要求,未发生安全事故,为类似工程提供了宝贵的经验。

6 结论

抽水蓄能电站高边坡施工存在技术复杂、难度大等特点,因此在其实际施工时,需要根据工程的地质条件,选择合适的施工技术和管理方法。本文通过对某抽水蓄能电站高边坡施工技术的分析,得出以下结论：

深入了解工程概况和地质特征是高边坡施工的基础,只有掌握了边坡的地质条件,才能制定合理的施工方案。开挖技术、支护技术、锚固技术和排水技术是高边坡施工的关键技术,应根据具体情况进行优化和创新,以确保边坡的稳定性。质量控制和安全管理是高边坡施工的重要保障,必须贯穿于施工全过程,采取有效的措施,确保工程质量和施工安全。

结合工程案例进行分析,可以为类似工程提供参考和借鉴,促进抽水蓄能电站高边坡施工技术的不断发展和进步。随着抽水蓄能电站建设的不断推进,高边坡施工技术将面临更多的挑战和机遇。未来,应进一步加强对高边坡施工技术的研究和创新,提高施工的机械化、自动化水平,减少人为因素的影响,确保工程质量和施工安全,为我国能源事业的发展做出更大的贡献。

[参考文献]

[1]郑源.抽水蓄能电站运行与维护[J].水电与抽水蓄能,2024,10(3):3-4.

[2]汪亚茜.抽水蓄能电站建模与蓄能特性研究[J].江西电力,2024,48(4):23-26,33.

[3]梁军.联合连发式抽水蓄能电站开发探讨[J].四川水力发电,2022,41(6):35-39.

作者简介：

张朝磊(1986--),男,汉族,河南安阳人,本科,高级工程师,研究方向：土木工程,水利水电工程,新能源工程。