复杂地质条件下水电站左岸坝肩高陡边坡处理

李红文[1] 赵翔[2]
1. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司；2. 中国水利水电建设工程咨询中南有限公司

摘要：随着我国基础设施建设的加强，作为最重要设施之一的水利水电工程有了飞速发展，规模不断增加，涉及的地区也越来越广。在水电站建设过程中常常会遇到较为复杂的地质条件，在这些区域建设水电站最为重要的条件之一就是确保高陡边坡的稳定性，岩石高边坡的稳定不但涉及整体环境的安全，同时也影响到工程自身的安全性。本文就某复杂地质条件下水电站左岸坝肩高陡边坡进行分析，并提出相应的治理措施，对于确保水电站建设稳定性具有重要作用，能够为类似复杂地质条件的水电站建设提供一定参考和帮助。

关键词：复杂地质条件；水电站；高陡边坡处理

一、引言

某水电站的建筑是目前为止世界较高的拱坝之一，其左岸坝肩边坡高度超过了500m。受到该区域复杂地质条件的影响，水电站的左岸边坡具有如下几方面特点：

（1）左岸边坡属于非常典型的反倾向坡，岩体已经发生了非常严重的拉裂变形，岩体破碎严重，边坡存在这比较严重的稳定性问题；

（2）该区域河谷属于非常典型的深切V型峡谷，边坡地形高陡并且具有两沟相间的地貌特征；

（3）整个河谷的地质结构呈现出上软下硬的特点，在河谷下切时左岸边坡深部还存在着严重的裂缝。

此种复杂地质条件和地形特点都对边坡的设计以及施工造成了比较大的困难，受到地质条件的影响左岸坝顶存在的砂板岩边坡开挖以及支护施工都非常困难。针对上述情况通过科学跟踪、动态设计以及施工技术的研究来对边坡进行治理，确保其质量以及安全得到有效控制[1]。

二、地质条件分析

（一）地貌及岩性特征

该水电站枢纽区属于非常典型的深切V型峡谷，相对高差达到1500～1700m。该坝址左岸高程1850m之上主要为砂板岩构成，坡度达到了40°～50°，高程1850m之下主要为大理岩组成，坡度达到了50°～90°。岩层的走向大体和开挖边坡相同，倾向坡里，属于非常典型的反向坡。

（二）砂板岩的倾倒拉裂现象

从现场实际情况来看，处在缆机平台边坡高程2000m之上的砂板岩大都发生了倾倒拉裂的问题，对于某些突出较为明显的区域来说，受到岩体倾倒变形的影响已经在坡面产生了危岩体，其中1#、2#以及3#倾倒拉裂属于规模相对较大的部分，例如1#危岩体位置倾倒变形情况如图1所示。

图1 左岸1#危岩体位置倾倒变形情况

（三）边坡岩体深部变形破裂情况

该水电站所在区域最为特殊的地质现象就是存在深部裂隙，从地质调查可知，左岸边坡岩体强卸荷带水平深度在50～80m范围，弱卸荷带水平深度在80～120m范围，深部裂隙在水平深度方面一般发育在180-300m位置。高程处在1900m的松弛拉裂带总体呈现SN～N20°W，E∠55°～60°，最大张开达到了0.2～0.3m范围，不但无法确保岩体完整性，同时也会造成顺坡向陡倾结构面连通率逐渐加大，同时会在坡体内部产生后缘切割面，对边坡稳定性造成较大影响[2]。

三、左岸高陡边坡的处理措施

（一）边坡加固处理方案设计分析

（1）边坡的开挖设计

左岸坝肩边坡主要包括缆机平台之上的边坡、缆机平台到坝顶边坡、坝顶之下坝肩槽边坡等几部分。

①对于1960m的缆机平台高程来说，要控制其宽度在14m，开挖综合坡比设定为1：0.5，同时间隔30m设置一级3m宽的马道；控制高程在1885～1960m的开挖综合坡比在1：0.5，设置3级马道；高程1885m设置6m宽马道，其他设置3m宽马道。通过在1885m高程之上进行开挖，能够大大降低边坡受到的载荷，对于边坡稳定是非常有利的。

②对于坝顶高程1885m到垫座基础高程1730m范围来说，高程间隔15m设置一级马道（宽度2m），控制开挖综合坡比为1：0.2。通过分析可知，该区域的f_5断层外部坡体对于左岸坝肩具有非常重要的作用，能够提升其整体稳定性。但是当做坝基拱肩槽边坡时对于边坡的稳定以及坝基变形控制是非常不利的，所以在确定左岸垫座基面过程中可以将f_5断层作为边界，将其外部坡体挖除到1730m高程。

③控制高程1730m之下的拱肩槽上游边坡比在1：0.2～1：0.5范围，高程间隔15m设置一级2m宽的马道，而下游边坡比在1：0.25～1：1范围，高程间隔20m设置一级2m宽的马道；1730m高程之下的坝基边坡比控制在1：1，无须设置马道，1580m高程之下的坝基为水平面。

（2）截排水设计以及常规支护设计

第一，截排水系统设计。为了确保积水顺利排水，遵照“从上到下、内外结合”的基本原则设计周围截排水沟、马道和边坡截排水沟、坡面排水孔、排水洞等排水设施[3]；

第二，浅层支护设计。对于浅层来说，要按照不同区域地质情况采取相应综合支护措施，包括：预灌浆、锚筋桩、锚杆、网喷混凝土等；

第三，为了满足持续变形控制以及岩体破碎地质特点的要求，该工程采用了单孔多锚头防腐型预应力锚索，其长度控制在40-80m范围，拉拔载荷控制在2000—3000kN范围。按照高程的不同锚索的设置数量和距离有所差异，对于1885m高程之上的区域设置2418束，并且间排距控制在4×4m；对于1885m之下的边坡设置1535束，间排距控制在6×6m。同时，按照岩石的破碎情况设置纵横向网格梁以及竖向联系梁。

第四，开口线外部自然边坡支护设计。为了确保工程的安全性，需要加强周边危岩体和具有稳定问题自然边坡的防护，可以通过主、被动防护网+锚杆+喷混凝土的方式进行处理。

（3）潜在大滑块的加固处理

从边坡稳定性分析可知，对于左岸坝肩边坡稳定性具有较大影响的是潜在滑动大块体，该工程中f_{42-9}断层对于潜在滑体的稳定性具有关键性作用。针对此问题，可以在1883m、1860m、1834m高程处设置抗剪传力洞，以此来提升底滑面的抗剪阻滑作用。同时为了进一步提升其稳定性，需要在坡面设置穿越f_{42-9}断

（下转第196页）

万方数据

需求，能够在具体设计时进行针对性处理，以避免可能出现的严重材料应用偏差问题。比如在最为常用的各类管材选择时，除了要考虑到自身性能，保障其应用耐久性外，往往还需要关注运水能力，尤其是对于排水管道，更是需要充分考虑到排水功能的满足，以求更好形成污水排放效果。

当然，在材料选用设计中考虑海绵城市理念的要求还需要重点关注于非传统给排水渠道的优化构建，比如对于城市中相关绿化区域渗水以及储水功能的提升而言，就需要重点考虑到相应材料的恰当运用，可以借助于具备“毛细”现象或者是“虹吸”现象的一些材料进行相关区域铺设，确保该区域的水资源吸收和下渗效果更强，对于排水系统的辅助更强。该方面的设计优化工作难度同样也比较大，很大程度上往往并非由市政给排水设计人员决定，需要协同其他市政部门，以求更好借助于海绵城市理念来服务于市政给排水系统。

（四）系统的统筹规划

市政给排水设计工作的难点就在于整个系统的统筹规划，以求在更好满足各个区域给排水需求的基础上，最大程度上降低自身面临的压力。当然，在该方面工作开展中，相关设计人员必然需要具备较高的专业知识，同时能够全方位调查了解全局给排水状况，做好综合设计处理。在市政给排水系统的统筹规划设计中，同样也需要相关设计人员充分考虑到海绵城市理念的应用，可以在了解当前城市海绵城市功能表达效果的基础上，促使自身给排水系统设计更为适宜合理，避免做不必要的无用功。比如设计人员可以调查了解当前城市各个区域中存在的相应海绵城市相关设施，对于下沉式绿地区域以及改造后的下渗道路等进行全面汇总，同时衡量这些设施可以为市政排水系统缓解的压力大小，在此基础上再进行相应设计处理，如此也就能够达到最优结合效果，保障相应排水管网运行更为高效有序。为了更好优化市政给排水运行效果，往往还需要在具体设计中适当调大一些参数指标，避免对于海绵城市相关设施的依赖性过大。

四、结束语

在当前市政给排水系统的设计构建中，为了更好提升运行效益，在降低自身运行压力的前提下，提高水资源利用效率，注重引入和应用海绵城市理念至关重要，这也是市政给排水系统设计人员需要关注的核心要素，可以综合运用多个资源体现更强优化改造设计效益。

参考文献

[1]黄源铭“海绵城市”在市政道路给排水设计中的应用研究[J].安徽建筑，2020（1）:248 ~ 249.

[2]丁锡峰“海绵城市”在市政道路给排水设计中的应用[J].工程技术研究，2019（24）:231 ~ 232.

[3]沈倩.海绵城市理念下的市政工程给排水规划设计分析门窗，2019（23）:152.

[4]张林厂.试论“海绵城市”在市政道路给排水设计中的应用[J].建材与装饰，2019（33）:272 ~ 273.

[5]尹浩明.“海绵城市”在市政道路给排水设计中的应用分析[J].住宅与房地产，2018，12:116.

[6]陈志斌.海绵城市理念在市政给排水设计中的应用探析[J].居舍，2018，04:1.

[7]付昊.海绵城市理念在市政给排水设计中的运用 [J].江西建材，2017，24:50-51.

（上接第187页）

层的深层锚索。

（二）边坡施工分析

（1）施工流程分析

首先对开口线外部截水沟实施开挖施工，并且要对边坡开口线周边（15m）区域自然边坡进行加固。在进行边坡开挖时一定要遵照“从上到下、分层开挖支护”的原则来实施，上部的支护一定要确保下部开挖的安全性。对于浅层支护来说，要紧跟开挖边坡施工，而深层支护需要滞后开挖边坡2个梯段高度，在浅层支护之后进行。而对于排水洞来说，需要超前边坡1～2个开挖层高度进行施工，但是排水孔等需要在其他相关支护施工完成后再施工[4]。

（2）开挖施工

第一，该工程边坡开挖主要采取的是梯段预裂爆破的方式来进行，对于不同的高程要设置不同的梯段，例如对于高程1885m以上情况来说需要以6m为梯段来进行爆破；对于高程在1885～1730m的情况来说需要以7.5m为梯段来进行爆破；对于高程在1730m之下的情况来说需要以10—15m为梯段来进行爆破，在操作过程中一定要严格控制开挖支护施工程序。为了提升施工便利性和效率，爆破出渣可以采取先截留、之后集中下渣到基坑、最后基坑集中出渣的方式。

第二，为了有效降低爆破振动以及岩体应力松弛卸荷所形成的坝基破坏，需要在坝基建基面边坡高程1630m之下留有5m保护层，并且通过先锚后挖的方式有效控制爆破所引发的载荷松弛问题，最大程度上确保建基面开挖的施工质量。

（3）支护施工

第一，对于复杂地质条件来说，在实际施工中最难控制的就是锚索成孔以及孔斜度问题。一般情况下锚索钻孔需要消耗较长时间（3～7天），对于特殊地质区域钻孔可能消耗1月有余，锚索施工情况直接影响着整个工程的进展。所以需要采取生产性试验的方式来确定出相应措施的有效性，例如采用较粗钻杆、全站仪精准定位、钻杆设置扶正器、通过锚筋束以及锚索孔以纯低压浓浆对边坡实施预灌浆等，通过这些措施有效解决锚索钻孔问题；

第二，要充分考量到单孔多锚头防腐型预应力锚索在边坡破碎岩体方面应用的特点，采取从内到外、逐级分次张拉的方式来进行。一般情况下首次张拉到设计载荷的90%左右，在经过一定时间（14d）调整之后补偿张拉到设计载荷的110%，保证每一束锚索都可以起到作用；

第三，可以通过锚索孔、预固结灌浆孔、锚筋束孔等对于岩石边坡碎石实施灌浆，主要采取的是低压浓浆固结的方式来进行，以此来提升边坡开挖成型质量，也可以有效确保破碎岩体的完整性，能够大大提升边坡的稳定性，同时也可提升锚索的成孔效率。

四、结束语

本文主要分析了某复杂地质条件下水电站左岸坝肩高陡边坡的地质情况，在此基础上提出了以预应力锚索为主、锚杆和混凝土框格梁为辅、全方位多层次的边坡处理措施，同时利用单孔多锚头防腐型预应力锚索能够为复杂地质条件施工创造良好条件。通过这些措施的应用确保了边坡施工质量和安全性，能够为类似边坡处理提供有效的参考意见。

参考文献

[1]王继敏；段绍辉；胡书红.锦屏一级水电站左岸坝肩复杂地质条件高陡边坡处理[J].岩石力学与工程学报，2012（08）:32+34.

[2]杨杰;马春辉;程琳;吕高;李斌.高陡边坡变形及其对坝体安全稳定影响研究进展[J].岩土力学，2018（11）:34-35

[3]汤庆丰.撒多水电站大坝左坝肩高边坡开挖采用的施工技术[J].四川水力发电，2017（10）:32-33.

[4]车孝安.达拉河水电站左坝肩高边坡变形破环模式与治理方案建议[J].陕西水利，2015（05）:84-86.

万方数据