

中小型水闸改建中存在问题与解决方案

王瑞芹 姚树森

巨野县水务局 山东菏泽 274900

摘要:节制闸是防止暴雨造成的高含沙量流入的关键工程,减缓泥沙淤积,延长水库的使用寿命。为了建造一个消能池,进行了一个巨大的地下挖掘,减轻对河岸的冲刷。在出口节制闸施工过程中,节制闸中间墙体支护应力过大,多次互锁螺栓相继断裂,造成重大突发事件。提供了岩石中不连续集的几何相关特征,包括层理和两个节理集的姿态、间距和持久性。节理组剪切位移的调动导致其持久性增加,抗剪强度降低,使整个中壁岩体变弱。

关键字:节制闸;大型地下开挖;地基激光雷达;支护失效

Problems and solutions in the reconstruction of small and medium-sized sluice

Ruiqin Wang Shusen Yao

Juye County Water Bureau, Heze Shandong 274900

Abstract: Sluice gates are crucial engineering structures in preventing high sediment-laden inflows caused by heavy rainfall, mitigating sediment deposition, and extending the lifespan of reservoirs. In order to construct an energy dissipation pool, extensive underground excavation was carried out to reduce erosion along the riverbank. During the construction process of the outlet sluice gate, excessive stress was exerted on the supporting structure of the intermediate wall, resulting in multiple successive failures of interlocking bolts and causing a significant unexpected accident. This paper presents the geometric and kinematic characteristics of rock mass Discontinuity Sets (DS), including bedding planes and two sets of joints, such as their orientations, spacing, and persistence. The mobilization of shear displacements within joint sets leads to an increase in their persistence and a decrease in shear strength, thereby weakening the entire middle-wall rock mass.

Keywords: Control brake; Large-scale underground excavation; Ground-based lidar; Support failure

前言

全球气候变化以及极端天气事件的规模和频率的增加改变了全球环境、生态系统和人类生活条件。最明显的影响之一是干旱和洪水更加普遍和激烈,使自然资源的分布难以控制,影响农业和粮食生产的稳定性。

水库是具有多种用途的人工湖,如蓄水、防洪、发电、灌溉和航运,在近代史上,水库影响了聚落和城市的发展^[1]。水库的稳定运行是极其重要的。水库除了蓄水、排水、发电等常规服务功能外,季节性水位调节和暴雨期间的滞洪作业也会影响水库大坝及其下游地区居民的安全。然而,极端天气事件给水库运行带来了困难;来自上游的短期洪水可能危及大坝,并加剧其集水区坡面冲刷,导致库区沉积物大量堆积,库区蓄水能力降低,阻碍后续水库运行^[2]。因此,对于试图适应气候变化的国家来说,集水区的管理和水库的改善变得非常重要。

本文介绍了巨野县节制闸的除险加固工程项目,根据规范,消能池应具有一定的柔性、透水性和表面粗糙性,其构造和抗冲能力应与水流流速相适应,并应尽量利用原闸拆除石料以节约工程投资。本设计采用 C30 现浇混凝土板护坡, C30 素混凝土海漫长 14m,坡度 1:2.0,厚 150mm,下设 2~4cm 碎石垫层厚 100mm, 300g/m²土工布,中粗砂垫层厚 100mm;

坡顶设 C20 素混凝土封顶,坡脚设 C30 素混凝土齿墙^[3]。

一、项目背景

董官屯节制闸位于菏泽市巨野县董官屯镇董后村西侧,巨龙河桩号 14+766 处,控制流域面积为 167km²,是一座以拦蓄径流、壅高水位用以灌溉的水利枢纽。于 1978 年 10 月竣工,工程等别为 III 等,水闸级别为 3 级。自建成以来,在蓄水灌溉中发挥了较大作用。但由于工程始建标准低,配套设施不完善,加之工程运行 40 多年,随着时间的推移,各种条件发生了一定的变化。运行期间经历了一定程度风暴、雨蚀、水侵等自然灾害,建筑物个别部位受到一定程度的损坏,存在安全隐患,使水闸不能发挥其正常蓄水灌溉效益。

1.1 巨野县节制闸的除险加固工程

巨野县节制闸自建成使用以来,在防洪除涝和灌溉中发挥了巨大作用,但由于建设时设计标准低,存在很多问题,由于节制闸的结构较差,机电设备老化严重,现在运行期间存在很多安全隐患,严重影响了水闸的安全,工程现有防洪标准已达不到设计要求。2021 年 2 月,水发规划设计有限公司编制完成了巨野县巨龙河董官屯节制闸安全鉴定报告,评定为四类闸;2022 年 5 月,完成了《巨野县巨龙河董官屯节制闸除险加固工程初步设计报告》;2022 年 7 月,完成施工图设计。

董官屯节制闸的设计的主要任务是消除安全隐患,发挥灌溉及改善生态环境等效益,当水流量大时,必须保护消能池不被水封顶,使节制闸能够在洪水条件下运行。此外,洪水泄入时,护岸不受影响,河床侵蚀不明显。

董官屯节制闸工程于2022年10月开工建设,该工程规模为中型,工程等别为Ⅲ等,水闸永久性建筑物级别为3级,设计除涝标准为5年一遇,设计洪水标准为20年一遇;节制闸枢纽工程主要由上游连接段、闸室段、消能防冲段、防渗排水工程等部分组成,改建后闸室采用开敞式钢筋混凝土结构,共3孔,每闸孔净宽6m,控制段设工作闸门并配启闭设备,上下游进行护砌。

1.2 董官屯节制闸设计

菏泽巨野县属鲁西黄泛平原区,地质构造上属华北洼地区,该流域均被第四纪沉积物覆盖,沉积厚度一般在700m左右。第四纪地层的成因,大部分为黄河冲积物,土层主要为粉质粘土、粉土及粉砂,顶部分布有少量人工填土(以粉土为主);由于黄泛冲积的缓急不同,形成了粉质粘土、粉土相间分布。出水口部分受河道狭窄的限制,必须设置消能池。高速水流消散后,将水排入河中。根据水工模型试验结果,对消能池的尺寸和形状进行了调整。最后确定了抛掷式消散池。消能池开挖与边坡相邻,覆盖层较浅,对稳定性非常不利。详细设计采用数值模拟方法对围岩和支护系统的应力和位移进行分析。考虑到附近出露面观测到的间断集持续性较差,假设消能池和附近岩体为各向同性均质岩体,采用有限元法中的连续介质模型。节制闸出水口段进行分析结果表明,沿顺层面的滑动势很小。消能池及出水口段的设计与施工必须克服以下难点:

- 1) 岩体中主应力的浅覆盖层和相关倾角,是由地形引起的。
- 2) 关键岩楔失稳,是由于开挖出水口截面较大而引起的。
- 3) 双孔出口节制闸之间的中间墙太薄,有害地影响了自我可持续性。
- 4) 消能池为上游段提供通道,包括普通节制闸段。消能池的开挖消除了通往上游段的道路。

因此,对消能池及出水洞段的施工提出了以下方案:

- 1) 在坡面至普通节制闸与消能池连接处增设一个坑道,为施工时上游段提供通道。该坑道还可作为导洞,更准确地确定消能池区段的地质条件。
- 2) 消能池段顶部和侧壁上半部分采取不对称支护措施,抑制围岩主应力倾斜的影响。
- 3) 在坡脚处设置挡桩,北出洞部分洞口结构采用钢筋

混凝土,在出洞段覆岩较浅的边坡填入混凝土,并用互锁螺栓固定于地面。节制闸掘进钻孔段开挖前,在边坡上部安装预应力地锚,防止地下开挖时边坡滑动。

4) 消能池与双孔出口节制闸连接过渡段冠段开挖后,通过工作台在节制闸底部安装钻孔桩,并浇筑几排柱支撑节制闸上方岩体,将双孔出口节制闸之间的部分薄岩壁段改为人工混凝土柱桩。

1.3. 施工监测

消能池和出水口截面较大,需要分步开挖,围岩的变形随开挖和支护顺序的不同而有较大的变化,开挖后岩体的不连续性可能形成块体,并可能发生滑动和下落^[4]。对于如此巨大的基坑,传统的点剖面监测不能完全保证施工安全。因此,采用先进的地形激光扫描技术,也称为地基光探测与测距技术来监测节制闸施工过程中围岩的位移。

采用连续波发射激光雷达设备,基于相位式测距技术进行原位扫描,精度为1mm。这些控制点的坐标是使用差分全球卫星定位系统确定的,该系统与使用全站仪的导线测量相关联。建立一些固定的测量标记点和移动共轭点作为结合点,通过多站扫描将扫描到的点云合并。扫描时,扫描距离为10m,点云间距设置为<3mm。

在每个挖掘步骤之后执行扫描,在观测标志和共轭点的基础上,将各站点获得的点云进行组合;由机械和建筑材料引起的误差点被过滤掉,以及由于空气中的灰尘而获得的噪声数据,以方便后续分析。在消能池和出水口施工过程中,采用现有的水库安全定期监测项目,缩短了测量间隔。

二、建设

2.1. 概述

消能池挖掘分为南北两部分,从北部两侧开始,向中部移动。支撑系统,包括带钢丝网的喷射混凝土、网格梁和锚杆,在每个圆洞开挖完成后立即安装。南段在北段完成后开挖。开挖深度为1.5~3.0m。为提高施工安全,消能池顶部开挖支护完成后,将池顶部两侧向外开挖,扩宽基础。然后,钢筋被设置和混凝土浇筑,形成钢筋混凝土衬里的皇冠。消能池下半部分的开挖是在顶部的混凝土加固后开始的。水池底板由钢筋混凝土制成,在开挖和支护完成后施工。两边的墙都从底部向上建造,一层一层使用钢筋混凝土。

2.2. 施工困难

节制闸间中壁支护应力过大,多个互锁螺栓相继断裂,造成重大危机。节制闸的施工无法在相似的间隔内进行,地面锚无法及时相互锁定和预应力进行支撑。因此,改用互锁螺栓。施工中在原本干燥的节制闸南壁观察到流水,并报告

从节制闸底部流入,造成积水。喷射混凝土表面观察到裂缝,安装的 13 个互锁螺栓据报道破裂。破损的螺栓立即被更换,挖掘工作继续进行。然而,又有 24 个螺栓断裂。这些被替换为直径为 32 mm 的大螺栓,并在附近安装了额外的加固螺栓。为防止双孔出口节制闸拱顶部分意外塌方,在节制闸拱顶部分延伸基础底部与地面之间设置临时钢架。

三、分析了中墙螺栓断裂的原因及对策

利用二维有限差分软件再次进行了数值模拟,分析了互锁锚破坏后的开挖支护设计。综合考虑开挖支护顺序和加固锚杆。施工过程中中墙南、北两侧最大位移分别为 44.7 mm 和 52.0 mm,高程分别为 114.5 m 和 110.5 m 左右;南侧和北侧节制闸施工期间冠部最大沉降量分别为 5.7 mm 和 3.1 mm。锚杆应力模拟结果与支架详细设计结果相似。采用直径 25 mm、水平间距 1.5 m、垂直间距 0.8~1.2 m 的互锁螺栓,为支撑中墙提供了超过 1.5 的安全系数。

3.1. 基于激光雷达的节制闸壁位移

在边坡中浇筑了浅覆盖层,以减轻节制闸施工期间岩石中主应力倾斜的不利影响。其他区域为喷射混凝土表面或喷射前开挖的裸露岩石。利用地质测斜仪在靠近节制闸的边坡露头处测得的间断集的姿态与中壁点云扫描得到的间断集的姿态进行对比,发现层理的走向和倾角分别相差 15°和 10°~20°。

3.2. 不连续性对螺栓断裂的影响

用点云解释中壁两侧不连续集的形态和持久性,为研究互锁螺栓断裂的可能原因提供了重要信息。在螺栓破坏前,南、北出口节制闸开挖引起的中壁位移较小,沿高程基本均匀。在互锁螺栓破坏期间,中壁位移增大,且在不同标高上变化明显。该区域的连接线几乎平行于 J2 节理组的视倾角。将上述大位移范围上下位置的位移作为岩体的平均位移,将多出的位移视为 J2 节理集的影响,忽略了其他节理集的影响和岩块可能的转动;实测位移可分解为中壁内(不含 J2 节理组)岩体的竖向分量和水平分量,以及 J2 节理组的剪切位移和相关剪胀分量。

设计的互锁锚杆强度足以支撑双孔出口节制闸中壁岩体。然而,出口节制闸的连续开挖对中壁岩体造成扰动,导致 J2 节理沿其倾角方向发生剪切位移。风化面出现不连续性,施工延误使风化面恶化。J2 节理组的剪切位移增加了其持久性,降低了其抗剪强度,降低了整个中壁岩体的抗剪强

度。互锁螺栓与 J2 节理组斜交叉,通过增加节理平面的法向应力,降低了螺栓预应力对活动节理强度的影响,导致沿 J2 节理面滑动抑制作用不显著。

3.3. 对策

在确定了影响互锁螺栓超应力的因素后,在垂直于 J2 节理的三排 36 个螺栓中安装了额外的岩石螺栓。中壁两侧的位移很快减小,减小到 83.5。随后,2016 年 9 月,北出口节制闸底部向下开挖重新启动。底层很快就用钢筋混凝土建造起来,两边的墙都是一层一层往上浇筑的。节制闸的施工最终于 2023 年 4 月完成。

显然,使用地基激光雷达获得了开挖面附近可见范围的精细坐标。不同时期的扫描结果提供了完整的围岩位移分布,可以进行详细的调查,从而明确互锁锚杆断裂的原因。此外,深入了解工程地质和岩体特征在管理节制闸中壁支撑超应力危机中发挥了关键作用。

四、结论

受全球气候变化影响,年平均淤积率超过设计值,偶尔因暴雨、台风等原因突然增加,严重影响水库使用寿命,危及区域供水稳定。本文介绍的董官屯节制闸在加固改造中采取了一系列应对措施,特别是在靠近土石坝的地方修建了泥沙涵洞,为适应气候变化的水库管理提供了参考。

大断面开挖一直是地下工程的一大难题。当开挖靠近斜坡时,挑战就更大了。董官屯节制闸的建设涉及一个巨大的地下挖掘的消能池和节制闸。节制闸的这部分设计精巧,采用分步开挖方案,包括通道和必要的支护,并利用激光雷达技术进行密切监测。为了避免本文介绍的互锁螺栓断裂等支护失效导致的施工危机,岩石支护设计应考虑不连续性剪切位移引起的强度降低。

参考文献:

- [1]毕元章.水闸除险改建研究[J].海河水利,2003(05):26-27+69.
- [2]张绪恒.浅谈黄河下游水闸改建中的几个问题[J].人民黄河,1982(06):41-42.
- [3]龙益辉.对广西水闸加固改建中几个问题的浅见[J].水利建设与管理,2002,22(04):37-38.
- [4]尤小强.水利工程项目的闸设计探讨[J].水资源开发与管理,2016,No.10(06):74-77.DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2016.06.022.