

水工结构中泄水建筑物的设计与水力学计算

王亚东

长江勘测规划设计研究有限责任公司, 中国·湖北 武汉 430010

摘要: 泄水建筑物设计是水工结构中最重要的一环, 对水利水电工程安全运营以及对水资源的配置与使用都有着重要意义。泄水建筑物设计, 应从水力学原理、结构稳定性和对周围环境的影响等几个角度进行考虑。在泄水建筑物设计中, 水力学计算是其中的关键环节, 包括流量控制、能源转化以及水流与建筑相互作用等。因此, 准确的水力学计算是保证泄水建筑物在不同水文地质条件下安全高效运行的前提。

关键词: 水工结构; 泄水建筑物; 设计; 水力学计算

Design and Hydraulic Calculation of Discharge Structures in Hydraulic Structures

Yadong Wang

Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430010, China

Abstract: The design of drainage structures is the most important part of hydraulic engineering, which is of great significance for the safe operation of water conservancy and hydropower projects, as well as the allocation and use of water resources. The design of drainage structures should be considered from several perspectives, including hydraulic principles, structural stability, and impact on the surrounding environment. In the design of drainage structures, hydraulic calculation is a key link, including flow control, energy conversion, and the interaction between water flow and buildings. Therefore, accurate hydraulic calculations are a prerequisite for ensuring the safe and efficient operation of discharge structures under different hydrogeological conditions.

Keywords: hydraulic structure; drainage structures; design; hydraulic calculation

0 前言

泄水建筑物作为水工结构中一种重要的关键设施, 其设计与水力学计算是保证水利工程功能与安全的基础。在进行泄水建筑物设计中, 需要对其水动力特性进行充分了解, 包括流速、水头等参数及对建筑物结构与使用性能的影响。水力学计算有助于工程人员对河流的流动特性进行预测, 对可能发生的洪灾进行评价, 并对建筑物结构进行合理的设计。

1 泄水建筑物的基本类型与特点

1.1 河床式泄水建筑物

河床式泄水建筑物是一种水工结构物, 它是一种在河道上修建, 用于排洪的设施, 其基本特征是与河流的自然流动密切相关, 一般占用整个或相当长的河床, 并在建设过程中设置纵、横隔围堰以起到防护作用。河床式泄水建筑物的常见形式包括溢洪道和泄水洞等^[1]。溢洪道是一种河床式泄水建筑物, 其主要形式有表面溢流, 如表孔溢流, 也可以是通过坝身开设的大孔口溢流, 或者是在坝身设置的泄水孔泄水。表孔溢流对结冰、漂浮物等有良好的阻截作用, 但对孔口的阻力很小, 使其孔径更大, 当水库水位上升时, 其泄水量会急剧增加, 因而其过泄容量也很大。泄水洞是指在坝身或岸堤上开有导流孔的一种泄水方式, 主要应用于高水位工

程中, 以减少洪水对河道的侵蚀, 从而达到生态环保的目的。河床式泄水建筑物的设计和布置需要考虑水文、地形、地质以及泄水流量、泄水时间、上下游限制水位等多种因素, 以确保其在泄放高速水流和消能过程中的自身安全, 同时保证消能后的水流能妥善地与下游河道连接, 避免引起坝后下游地区严重的冲刷。

1.2 岸边式泄水建筑物

岸边式泄水建筑物是一种布置在水工建筑物边坡上的排水设施, 它是一种用于排水的水工建筑物, 主要有岸边溢洪道、溢流坝、泄水隧洞及坝下涵洞四种。这类建筑物具有充分的开发空间, 既可以充分利用河岸的天然地貌, 又可以最大限度降低水流对河道的影响, 还可以保证其自身的独立性, 方便建造与维修。岸边式泄水建筑物是一种常用的泄水形式, 主要有两种: 一种是侧槽式溢洪道, 另一种是岸边泄水洞。侧槽式溢洪道的特征在于, 其泄流堰位于泄水建筑物的一面, 且堰身与泄水建筑物的轴向基本平行, 该结构能使堰体沿着等高线布设, 减小了过水深度, 降低了单位宽度, 适合于陡坡边坡。岸边泄水洞是指在堤岸上开一条引水隧洞, 用于减轻河道冲淤, 同时又能有效地保护生态, 适合于一些具有较大经济价值的水利工程^[2]。

1.3 其他类型泄水建筑物

其他类型泄水建筑物, 如隧洞和竖井等, 在水利工程

中起着非常关键的作用。隧洞是一种常用的泄水设施,通常采用在山体中或大坝上开挖隧洞进行导流,特别适合于地势较高的水利工程。隧洞排水的好处是对周围环境有很好的适应能力,可以降低对周围的影响,并且可以在需要的时候将整个水库排空。竖井是指在地下空间内壁垂直的一种井型管道,主要应用于水利工程中的取水、引水和排水等,具有占地面积小,对周围施工影响小的优点,但施工难度大,安全风险高。利用竖井结构,特别是在较大落差条件下,可实现对流速及流向的有效调控,降低对下游河床的冲刷。

2 水工结构中泄水建筑物的设计原则

2.1 安全可靠

在水工结构中,泄水建筑物设计首先应遵循的是安全可靠原则。该原则需要排水设施可以经受住所有极限水文状况以及潜在的荷载,以避免结构失效。在现代城市排水工程中,越来越重视与环境的和谐统一,采用了多种环保手段,如水土流失防治、环境绿化等。另外,为保证泄水建筑物的安全性,在重大水利工程的可行性和建设实践中,进行了一系列的计算分析、试验验证以及相应的构造措施。

2.2 经济合理

泄水建筑物设计也要符合经济合理原则。这就要求在保证安全性和功能性的同时,尽量减少造价,增加经济性。在工程中,通常首先确定泄水形式,确定几种不同的导流方式及断面,然后通过水力、结构等方面的计算,结合枢纽内其他建筑的特点,选择出一套能满足泄水要求且经济可行的最优方案。通过对工程进行经济、合理的规划,可以降低总投入,增加经济效益,并保证工程的可持续发展与环保。

2.3 便于施工与维护

泄水建筑物设计也要遵循便于施工与维护原则。在进行结构优化时,既要兼顾简便性,又要关注以后的维护。在设计泄水建筑物时,应选择最佳的方案,以保证项目的合理性和经济性,同时考虑到施工的难易程度和后期维护的成本。易于施工和维护的结构,能够有效降低工程施工的危险性,缩短工程周期,减少维修费用,保证泄水建筑物的长期、平稳运行^[3]。该原则的贯彻,不仅可以有效保证工程的安全运行,同时也为工程的长期运营提供了便利。

3 水工结构中泄水建筑物的设计步骤

3.1 确定泄水建筑物的类型与规模

在水工结构中,确定泄水建筑物的类型与规模,是一个非常重要而又繁琐的决策程序。泄水建筑物的作用是疏导水库过剩洪水,迅速泄流,调节水库水位,排除泥沙和漂浮物。在进行防洪减灾工作中,应综合考虑水文地形地质条件,以及泄水流量、泄水时机、上下游限制水位等方面的工作与需求。泄水建筑物类型包括:河床溢洪道、岸边溢洪道、泄水隧洞等,各类型均有表孔溢流、大孔口溢流和泄水孔泄水等结构形式。考虑到一定时期出库水量与泄水结构孔的大小

有直接关系,因此,初步拟定几组的泄水建筑物的孔口尺寸是非常重要的步骤。目前,在确定泄水孔的大小时,尚不清楚该采用何种大小的泄水孔才能达到防洪规范,为此,有必要对泄水建筑物的孔大小进行多套不同的排水结构孔确定,从而确定出符合工程需求的泄水结构孔尺寸。这一步的精度是否合理,将影响到整体工程的安全、经济及实用性,是泄水建筑物设计成功的关键。

3.2 选择合适的结构形式与材料

在水工结构中,选择合适的结构形式与材料是泄水建筑物设计的关键环节。泄水建筑物的布置、型式和外形确定,主要是根据水文地形和地质条件,以及泄水流量、泄水时间、上下游限制水位等方面进行的。在工程中,通常首先确定泄水形式,确定多种布局方案及断面大小,然后通过水力学及结构的计算,结合枢纽内其他建筑的特点,选择出一种能满足泄水要求、经济合理、施工方便的最优方案。在材料选用上,要注意材料的耐久性,抗冲刷能力和性价比。比如,混凝土具有较高的力学性能和耐久性能,经常被用来建造过水坝或泄水道,而钢铁由于具有较高的强度和塑性,经常被用来生产如水闸、门座等。在材料选择时,还需要考虑成本、施工便利性、维护成本以及环境影响等因素。例如,对于地震多发地区,可能需要选择具有较高抗震性能的材料;而在寒冷地区,则需要考虑材料的抗冻性能。此外,环保材料的使用也是现代水利工程设计中越来越受重视的一个方面,它有助于减少工程对环境的影响,实现可持续发展。因此,选用适当的结构型式及材质,不但可保证泄水建筑物的安全及使用功能,也可提升其经济性及环保度。

3.3 进行水力计算与结构设计

在水工结构中,对泄水建筑物设计时,进行水力计算与结构设计是非常重要的一环。水力计算是保证泄水建筑物安全高效运行的重要前提,关键在于准确求取水流的流速、压力和流量等参数。在此基础上,结合已确定的泄水孔大小和基础数据,画出对应的泄流与库水位之间的对应关系。利用此图,可以对水库中的泄水建筑物进行不同水位时的泄水量预测,进而对水库在不同水文状况下的运行状况进行评价^[4]。另外,在水力计算中,也包括调洪演算,用以解决防洪工程中的设计或校核的洪水位及最大泄水量等问题,是防洪工程建设的重要内容。结构设计则需要考虑泄水建筑物在这些水力条件下的稳定性和耐久性,包括对溢流坝、溢洪道、泄水孔等结构的强度和稳定性进行分析和计算。这些设计步骤需要综合考虑水文、地形、地质以及泄水流量、泄水时间、上下游限制水位等任务和要求。通过精细的水力计算,结合工程实际,保证泄水建筑物在恶劣工况下仍能正常工作,并符合经济性与施工性的合理要求。

3.4 考虑消能防冲措施

在水工结构中,泄水建筑物设计应考虑消能防冲措施,是进行消能减震的关键环节。泄水建筑物泄水过程中,由于

其流动速度快、动能大,若未及时采取相应的消能防冲措施,将引起下游河床的剧烈冲刷,进而引发河床下切、岸坡淘刷等不利影响。为此,在进行泄水建筑物设计时,应选用合适的消能防冲方式,采用最为高效的方法,消去汇集来流的一部分动能,减小对河道及其两侧的冲蚀,确保建筑物的安全。常用的消能防冲措施有:挑流式消能、底流式消能和表面流消能等,各有其应用范围和作用。例如,挑流式消能是指通过设置一定高度的挑流鼻坎,充分发挥携带的强大动能,将其排出至较远的建筑物后沿水道排出,从而达到消能目的。

3.5 制定施工方案与维护计划

在水工结构中,泄水建筑物的设计步骤中,制定施工方案与维护计划是至关重要的一环。在进行详尽的工程勘测、地基勘察后,才能决定泄水建筑物的最优选址及大小,其中包含对整个工程进行详尽的计划与进度安排,以保证其顺利实施。在工程设计中,对所需要的材料、器材等进行分析,并提出相应的建议。另外,在工程施工之前,还要与地方有关单位配合,办理施工许可及环评评价。维护计划包括对大坝顶部,坝坡,防浪墙,观测设备等进行经常性的检测和维修,以保证它们的完好。为了避免降雨对大坝表面的冲蚀,以及大坝的过滤设备和坝后降压设备的正常使用,必须进行排水疏浚^[5]。在风沙较大的区域,要经常启动库区的冲砂设备,在较冷的地方要做好防冻工作。另外,泄水建筑物维护主要是保证泄水道的畅通,对上游的浮物进行及时打捞,并使泄洪闸、阀门等辅助设备处于良好的状态。

4 水力学计算

4.1 堰面曲线计算

4.1.1 不同类型溢流孔的堰面曲线公式

对于常用的 WES 堰(克-奥曲线堰),其堰面曲线方程为:

$$x^n = kH_d \left(y - \frac{H_d}{2} \right)$$

其中, $2, y$ 为堰面坐标, H 为确定的设计水头, k 为与堰型有关的系数。根据实验结果及理论计算,得出适用于各种工况及需要的堰面曲线。另外,针对其他形式的溢流孔,如壁、实用等,均有自己独特的堰面曲线计算公式。

4.1.2 确定定型设计水头和流量系数

定型设计水头 H 的确定需要考虑堰顶水头的变化范围和堰的类型。通常采用经验计算方法或参照同类工程进行计算。堰的形状、尺寸、水头、水流形态等都与流量系数 m 密切相关。采用物理模型实验法或经验式法求出流量系数,

精确求取堰的流量系数,是决定堰泄水能力和堰面水力特性的关键。

4.2 泄水能力计算

4.2.1 开敞式溢流孔的泄水能力可按下式计算

开敞式溢流孔的泄水能力计算公式为:

$$Q = m\epsilon\sigma_s B \sqrt{2} H_0^{3/2}$$

其中, Q 为泄流量, m 为流量系数, ϵ 为侧收缩系数, B 为溢流孔净宽, g 为重力加速度, H_0 为包括行近流速水头的堰上总水头。在初始设置时,如果 $H > 3P$ (P 为堰高),那么取 $m=0.47\sim0.49$; 当 $H < 3P$ 时,取 $m=0.44\sim0.47$ 。在初始设置时, μ 为 $0.90\sim0.95$; m 淹没系数,是由泄流的淹没程度决定的,不淹没情况下, $m=1$ 。

4.2.2 孔口泄流按下式计算

孔口泄流按下式计算公式为:

$$Q = \phi A k \sqrt{2gH_z}$$

这里 Ak 是出口处的面积, H_z 表示在自由泄流下的作用水头,淹没泄流时为上下游水位差; ϕ 是开孔或管道的流动因子,在设计初期,对于带胸墙的堰顶高孔,其取值范围为 $1.2H_{zmax} < D < 1.5$,由实验确定。

5 结语

总之,在水工结构中,泄水建筑物设计和水力学计算是一个必不可少的环节。它们对于维护水利工程的稳定性、保障人民生命财产安全以及促进水资源的可持续利用具有重要意义。通过精细的泄水建筑物设计与水力学计算,能够实现对泄水过程的调控,降低洪涝灾害发生的危险性,并为优化流域内的水资源配置提供理论基础。因此,本项目的顺利开展,充分展示水利建设在科技与生态间的巧妙权衡,彰显了人们对大自然的敬畏与巧妙利用。

参考文献:

- [1] 张长安.水库工程挡水建筑物及泄水建筑物设计与施工技术分析[J].低碳世界,2024,14(10):37-39.
- [2] 宋思亮.水库工程挡水建筑物及泄水建筑物设计研究[J].陕西水利,2023(8):132-133+136.
- [3] 刘水辉.新疆某水库工程泄水建筑物水力特性试验成果与分析[J].云南水力发电,2023,39(8):353-356.
- [4] 廖富桂.花坝水库泄水建筑物设计浅析[J].红水河,2023,42(2):38-42+48.
- [5] 王寅.枕头坝二级水电站泄水建筑物设计研究[J].人民长江,2022,53(S2):86-88.