

# 水利工程结构安全性能的检测与评估

李小儒

承德市海河水利工程质量检测有限公司 河北 承德 067000

**摘要：**水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，在促进经济增长以及维护社会稳定方面发挥着关键作用。其功能涵盖防洪、灌溉、供水等基本任务，同时直接关系到人民的生活品质。然而，考虑到我国水利工程的数量庞大，且分布广泛，再加上基层对于水利安全的监管力量相对薄弱，不少水利工程因长期缺乏维护而隐藏安全隐患。因此，本文旨在提出水利工程结构安全性能的检测与评估方法，以期通过研究进一步提高我国水利工程的结构稳定性。

**关键词：**水利工程结构；安全性能；检测与评估

前言：在众多水利工程中，结构安全，无疑是保证工程整体安全的核心要素。因此，相关的检测人员，需要对水利工程结构实施科学的检测，系统分析其质量的隐患问题。此举不但可以进一步提高水利工程的安全性，还可以增强其在洪水等极端天气条件下的防护能力，并对国家的工农业生产，具有不可或缺的实际意义。

## 1 项目介绍

某水利枢纽工程项目，在防洪与灌溉领域中扮演着不可或缺的角色。该工程的设计标准经过严谨地制定，其中校核洪水位被设定为142.982米（概率为0.0333%），而设计洪水位为142.026米（概率为0.2%）。此外，汛限水位定为137.5米，正常蓄水位为138.0米，死水位则设定为132.5米。自1957年建成以来，该工程经历四次加固，逐步形成如今的规模，对当地的农业生产与防洪安全作出重要贡献。

然而，随着长期地运行这座工程的主坝逐渐显露出一些问题。例如，右岸迎水面的局部坝段因缺乏干砌石护坡，填土暴露在外，容易受到水流的冲刷与侵蚀。此外，右岸背水面也出现一些局部塌陷现象，不但严重影响坝体的整体稳定性，还有可能对大坝的安全构成潜在威胁。同时，防浪墙的表层发生破损，无法提供有效的闭合保护，从而降低其防浪能力。在坝顶部分，混凝土路面现已出现局部裂缝，这可能会进一步影响坝体的承载能力。此外，随着库水位上涨至137.2米，背水面的排水沟开始出现清水渗出。一方面严重削弱坝体的防渗性能，另一方面，还可能对其整体稳定性产生不利影响。这些问题亟须引起重视，以保证工程的安全和功能的有效发挥<sup>[1]</sup>。

## 2 水利工程结构安全性能检测技术要点

### 2.1 混凝土指标

随着人们对混凝土性能及其检测重要性的认识不断

加深，我国在混凝土结构检测技术的研发领域，也在不断取得新的进展。目前，已经开发出多种适用性强且实用性高的检测方法，以此充分融合传统与现代科技的优势。例如，经典的回弹法检测，可以与现代技术如红外热成像结合在一起，从而进一步提高混凝土性能检测的准确性。

回弹法是一种成熟且广泛应用的检测技术，它通过测量混凝土表层的回弹值，可以有效评估其抗压强度。此外，一些现代技术手段，如超声波检测与冲击回波技术，也可以更加深入地分析混凝土内部的缺陷及损害情况。这些方法为混凝土耐久性评估提供更为全面的数据支持。与此同时，随着计算机技术与人工智能的飞速发展，混凝土检测的数据分析以及处理能力，也得到进一步提高。以期对混凝土检测数据的深入解析，以及综合评估开拓新的可能性，使对混凝土性能的判断更为精准化。同时，也为预测其使用寿命提供科学依据。这对于水利工程的维护管理来说，具有不可估量的重要价值<sup>[2]</sup>。

### 2.2 钢筋锈蚀指标

在水利工程领域，钢筋锈蚀的检测是一项极为重要的任务，它主要聚焦两个关键内容，其一是钢筋的锈蚀程度，其二是锈蚀速度。这两个指标对于评估水利工程结构的整体健康状况以及预测其使用寿命具有深远的意义。采用科学合理的检测技术，不但可以更好的保障工程的长期稳定运行，还能进一步提高其结构安全性，从而有效避免潜在的安全风险。

其中，钢筋锈蚀的检测技术的运用中，电位测定法被人们广泛应用的检测方式，其拥有悠久的历史。据此方法，通过测量钢筋的电位变化，可以帮助人们快速判断设备的锈蚀状态。尽管电位测定法属于传统检测手段，但随着科技的不断进步，其应用的工具，也在发生

相应的改变。现在的检测仪器与工具，相较于早期设备，已经在技术上取得巨大的飞跃。当前使用的检测设备，一般情况下，集成先进的传感器与数据处理技术，可以提供更加精准的获取测量结果。不但可以极大地提高检测效率，还通过精确的数据收集增强结果的真实性。这种技术上的进步，为钢筋锈蚀的评估提供更加坚实的数据支撑，以此更好的降低人为误差所带来的影响，从而为水利工程的安全性，提供可靠的保障<sup>[3]</sup>。

### 3 水利工程结构安全性能评估措施

#### 3.1 大坝安全设计复核

##### 3.1.1 高程复核

在《碾压式土石坝设计规范》中，对坝顶高程的确定提出系统而明确的要求。根据这一规范，坝顶的高程应等于水库静水位以及坝顶超高值的总和。以此保证坝体在面对可能出现的最大水压力时，可以维持必要的安全性，从而防止潜在的结构风险。同时，在进行土石坝的波浪计算时，检测人员，务必遵循《碾压式土石坝设计规范》的指引。该规范中详细列出波浪的平均波高与周期的计算方法，这些计算，一般情况下，依赖实验站数据所衍生的公式。通过运用合理的公式，检测人员，可以有效预测波浪的动态特性，从而为坝体设计提供科学的依据。经过严谨的计算分析，评估结果显示，无论是主坝部分还是各个副坝，其坝顶高程及防浪墙顶的设计均完全符合相关规范的要求。该结论充分表明，面对可能的波浪冲击，坝体具备足够的稳定性，有效防止因波浪引发的结构安全问题，保证整个坝体系统的安全性。

##### 3.1.2 宽度与上游护坡复核

《碾压式土石坝设计规范》(SL 274—2020)为土石坝的设计，提供相应的执行准则。该规范明确指出，在没有特殊需求的情况下，中低坝的坝顶宽度，一般情况下，应设定在5至10米之间。同时，规范将土石坝按高度分为低坝与中坝，低坝的高度务必低于30米，而中坝的高度应介于30至70米之间。在本水利工程项目中，最大坝高度为24米，因此，该大坝被归类为低坝。目前，主坝的坝顶宽度为8米，副坝的坝顶宽度为6米，均严格符合规范的要求。

此外，该规范还对护坡的设计提出具体规定，特别是要考虑最大局部波浪压力的作用。设计者应当计算与此相关的球形直径、质量、平均粒径以及护坡厚度等关键参数。根据设计图纸及现场检查的结果，右1#与右8#副坝的上游护坡采用草皮进行覆盖，而副坝的主体结构为土坝。在这种情况下，上游护坡应采取有效消减风浪、预防波浪侵蚀以及抵御漂浮物撞击的方法。然而，

现行的草皮护坡未能满足规范的要求，迫切需要进行改进，以保证坝体的安全性。对于其他坝体的迎水坡护坡，本项目设计人员，决定使用厚度为0.35米的干砌石材料。从现场的实际实施情况来看，护坡的厚度已超过计算的最小要求，这充分表明施工过程中考虑到额外的安全保障。此外，砌石基础底部，还设有一层砂碎石垫层，可以明显增强护坡的稳定性。

#### 3.2 溢洪道安全设计复核

##### 3.2.1 泄流能力

在水利工程的设计过程中，控制段及泄槽的布局形式，对于保障工程的安全性，发挥着至关重要的作用<sup>[4]</sup>。本工程的闸门设计采用非淹没出流的形式，意味着在正常操作条件下，流过闸门的水流，不会超过其规定的设计高度，从而保证其工作性能的可靠性。泄流能力的计算遵循《溢洪道设计规范》中的相关公式①，其具体表达如下：

$$Q = m\epsilon B\sqrt{2gH_0^{3/2}}$$

在这一公式中，流量系数 $m$ 与上游堰高 $P_1$ 存在密切关系。对于本工程，当 $P_1/H_0 \leq 0.24$ 时， $m$ 计算公式②为：

$$m = 0.385 + 0.171(P_1/H_0)^{0.657}$$

而在该比值大于0.24时，流量系数 $m$ 的计算则变为公式③：

$$m = 0.414(P_1/H_0)^{-0.0652}$$

针对多孔宽顶堰，侧收缩系数的计算公式④⑤⑥为：

$$\epsilon = [\epsilon_z(n-1) + \epsilon_b] / n$$

$$\epsilon_z = 1 - K \frac{1-b/(b+d)}{\sqrt[3]{0.2+P_1/H_0}} \sqrt{b/(b+d)}$$

$$\epsilon_b = 1 - K \frac{1-b/(b+\Delta b)}{\sqrt[3]{0.2+P_1/H_0}} \sqrt{b/(b+\Delta b)}$$

该式中， $K$ 表示闸墩形状系数，矩形取值为0.19，圆弧取值为0.10，本项目堰顶高程为128.0米，排沙箱涵的泄流能力同样通过公式⑦进行计算：

$$Q = \mu A \sqrt{2gH_0}$$

通过查询溢洪道水位与流量的对应关系表，不难发现，当闸门完全开启时，设计洪水位与校核洪水位下的泄流量，分别为2165立方米每秒与2376立方米每秒，这两种流量均涵盖排沙箱涵的流量。根据这些计算结果，在设计洪水位与校核洪水位下，溢洪道所需满足的最大泄流量要求分别为2083立方米每秒与2352立方米每秒。这两个数值均符合相关规范的标准。根据本研究的计算

结果可知,本工程的泄流设计,保证在多种水文条件下,可以安全、有效地控制水流,从而保障水利工程的稳健运行以及下游地区的防洪安全。

### 3.2.2 消能工复核

在本工程中,消力池的基础结构,由弱风化的泥质粉砂岩构成,这种特定的地质环境,为消力池的稳定性奠定坚实基础。消能方式选用底流消能,这是一种经过实践验证的有效消能手段,可以将流动水的动能转化为热能,从而明显减少水流对下游河床及岸坡的侵蚀。

为保证消力池的设计既具有科学性又具有合理性特征,工程建设人员,可以运用《溢洪道设计规范》中一系列计算公式,进行本工程数据的精确推算分析。在设计消能防冲建筑物的过程中,本工程依据50年一遇的设计洪水标准,即 $P=2\%$ 进行设计。这一标准被认为相对保守,故在极端气候情况下可以提供更高的安全保障。流量复核的基准设定为 $450\text{m}^3/\text{s}$ ,以保证在指定的洪水条件下,消力池与溢洪道可以高效运作下去,并避免溢流或严重的冲刷现象。

本研究的消力池的深度是按照《水闸设计规范》进行计算的。在这一过程中,施工人员特别考虑水跃淹没系数 $\sigma_0$ 与水流动能修正系数 $\alpha$ ,这两个系数均取定为1.05,以此保证消力池深度的科学合理性。同时,消力池的长度也是依据《水闸设计规范》进行的。进而为消力池与海漫的设计,提供具体的指导,还能保证所用设计参数的科学性<sup>[5]</sup>。

### 3.3 输水建筑结构

电站进水口事故闸的建设,是依据弱风化泥质粉砂岩地质基础建设而来的。在本项目工程设计复核过程中,相关的施工人员,选择正常蓄水位138.00m作为计算工况的参考标准。

通过计算结果可以看出,实际配筋设计,不但可以满足日常使用的要求,而且可以有效防止裂缝宽度的过度扩展,从而保障结构的耐久性。在与排洪涵的实际情况相结合进行分析时,工况条件和排沙箱涵相似。在土压力的计算中,工程师采用箱涵覆土深度的土重,同时外水压力则依据计算位置的浸润线水头来确定。箱涵的

计算断面选择在坝轴线的中心位置,这样可以最准确地反映在实际运行中箱涵所承受的受力情况。通过这些细致入微的计算分析,相关的施工人员,可以保证排沙箱涵在面临水库蓄水、洪水等各类工况时,其结构的稳定性始终得以保持。

结语:经过对某水利工程大坝状态的全面评估,本研究识别出一系列急需解决的关键问题,以保证其长期稳定安全。针对此情况,提出以下几项建议:

其一,相关的施工人员,应尽快完善主坝上游的坝坡,以增强其抗冲刷能力。同时,坝顶的防浪墙需进行必要的修整,保证在洪水来临时,可以有效抵御波浪对坝体造成的侵蚀。此外,坝顶的泥结石路面及防汛路面应按照原设计标准进行混凝土硬化,提高其耐久性。

其二,及时修复溢洪道的泄槽底板、隔流墙及边墙的裂缝与局部渗水点。若这些结构缺陷得不到及时处理,可能会对附近的农田和生态环境产生不利影响。建议相关的施工人员,应采取有效的修补措施,以保证溢洪道的正常运行,并维护周边环境的安全。

其三,建议对这些缺陷进行全面修复,并增设事故闸门,以增强箱涵的安全性。同时,应对溢洪道及排沙箱涵的工作闸门面板,以及溢洪道工作闸门的主梁结构进行检查。若发现不符合国家规范的情况,应立即进行加固或更换,以保证闸门在关键时刻,可以顺畅工作,从而保障整个水利工程的安全运行。

### 参考文献

- [1]臧声涛.基于多源数据融合的尾矿库安全评价方法研究[D].北方工业大学,2024.DOI:10.
- [2]陈泳江,汪魁,赵明阶,等.基于云模型-模糊FMECA法的水库大坝安全性分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2024,43(04):30-36.
- [3]张丽媛,郭连峰,王赞.软土区黄河故道疏浚工程岸坡稳定性分析[J].水利水电快报,2023,44(12):25-30.
- [4]刘晓嫚,闫毅志.水工结构抗震分析及设计[J].中国水运(下半月),2019,19(07):230-231.
- [5]范雄安,张发勇.沙沱水电站二期上游围堰安全性分析[J].贵州水力发电,2011,25(02):20-23.