

大坝与隧洞衔接部位的水力特性及工程处理措施

冯 祥

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要: 大坝与隧洞衔接部位的水力特性复杂且关键,影响工程的稳定性和安全性。水流在衔接部位经历显著的收缩和扩散现象,易产生空蚀、振动、冲刷和磨损等问题。影响因素包括大坝与隧洞的几何参数、水流条件及边界条件。为减轻这些问题,需采取结构优化设计、选用合适材料及防护措施、合理运行管理策略等措施。通过优化隧洞进口形状、渐变段设计,选用抗空蚀、耐磨材料,设置防护层,加强监测和维护,可显著改善水流条件,提高结构强度和耐久性,确保工程安全稳定运行。

关键词: 大坝与隧洞;衔接部位;水力特性;工程处理;措施

引言:在水利工程的复杂结构中,大坝与隧洞衔接部位的水力特性对工程的稳定性和安全性至关重要。该部位水流形态多样化,易受多种因素影响,如大坝与隧洞的几何参数、水流条件及边界条件等。这些因素的变化可能导致空蚀、振动、冲刷和磨损等工程问题,对结构造成破坏,影响工程的正常运行。因此,深入研究大坝与隧洞衔接部位的水力特性及其影响因素,探索有效的工程处理措施,对于保障水利工程的安全稳定运行具有重要意义。

1 大坝与隧洞衔接部位水力特性概述

在水利工程的复杂结构中,大坝与隧洞衔接部位的水力特性无疑是最为复杂且关键的一环。这一部位不仅承载着将上游水库的水流顺利导入隧洞的重任,同时,其水流形态的多样化特性也极大地影响着整个工程的稳定性和安全性。(1)在正常运行工况下,水流从大坝上游水库流经衔接部位,进入隧洞。这一过程中,由于过水断面的突然变化,水流会经历显著的收缩和扩散现象。在收缩段,由于水流受到挤压,其流速会迅速增大,同时伴随着压力的显著降低。这一现象的产生,主要源于水流在通过狭窄区域时,为了保持流量守恒,流速的增大成为必然,而流速的增大又导致动压能的增大和静压能的减小。这种压力降低的现象,不仅可能引发空蚀问题,还可能对结构产生较大的动态荷载。(2)进入扩散段后,水流逐渐分散,流速减小,压力则逐渐回升。这一过程中,水流的能量得到重新分配,部分动能转化为静压能。然而,需要注意的是,扩散段的水流状态并非完全稳定,水流可能会产生漩涡、回流等复杂的流态。漩涡的形成,主要是由于水流在受到障碍物或边界条件变化时,产生分离和剪切作用,形成旋转的水流结构。而回流则是由于水流在扩散过程中受到阻力,部

分水流被反向推动,形成与主流方向相反的小股水流。这些复杂的流态不仅增加了水流的能量损失,还可能对衔接部位的结构产生冲刷和磨损作用,进一步加剧结构的受力复杂性。(3)衔接部位的水流还受到来流条件的显著影响。当水库水位变化较大或流量不稳定时,衔接部位的水流速度、压力等水力参数也会随之发生较大波动。这种不稳定的水流状态,不仅会对衔接部位的结构产生更大的动态荷载,还可能引发结构振动、疲劳损伤等问题。特别是在极端天气条件下,如暴雨、洪水等,水库水位和流量的急剧变化可能导致衔接部位的水流状态发生剧烈变化,对结构的安全性和稳定性构成严重威胁。

2 衔接部位水力特性的影响因素

2.1 大坝与隧洞的几何参数

(1)隧洞进口形状。隧洞的进口形状是决定水流进入隧洞顺畅程度的关键因素。不同的进口形状,如圆形、矩形、喇叭形等,会对水流的收缩和扩散过程产生不同的影响。喇叭形进口通过逐渐收缩的设计,能够有效引导水流平滑地进入隧洞,减少水流的能量损失和局部水头损失,从而改善衔接部位的水力特性。相比之下,矩形进口由于形状突变,可能导致水流在进口处产生较大的紊动和漩涡,增加水流的不稳定性。(2)隧洞直径与长度。隧洞的直径和长度也是影响衔接部位水力特性的重要因素。较大的隧洞直径能够降低水流速度,减少水流的能量集中,有助于水流在进入隧洞后逐渐稳定。同时,合适的隧洞长度能够保证水流在隧洞内充分发展,达到稳定状态。如果隧洞长度过短,水流可能无法完全稳定,对后续结构造成不利影响。(3)与大坝的夹角。洞与大坝的夹角对水流在衔接部位的过渡过程具有重要影响。合理的夹角有助于水流顺利过渡,避免产生过大的侧向力,减少水流对结构的冲击。夹角过大或

过小都可能导致水流在衔接部位产生剧烈的流态变化,增加结构的受力复杂性。

2.2 水流条件

(1) 流量与流速。水流的流量和流速是影响衔接部位水力特性的重要因素。当流量较大时,水流在衔接部位的流速增加,压力变化更为剧烈,更容易产生空化空蚀现象。流速的大小和方向还会影响水流的流态,高速水流可能导致水流分离、漩涡加剧等问题,对结构安全构成威胁。(2) 水位变化。水位的变化会改变大坝上下游的水位差,从而影响水流在衔接部位的能量分布。在水库水位快速上升或下降过程中,衔接部位的水流会处于不稳定状态,产生较大的冲击荷载。这种不稳定的水流状态对衔接部位的结构产生动态荷载,增加结构的受力复杂性,可能导致结构疲劳和破坏。

2.3 边界条件

(1) 壁面粗糙度。衔接部位的壁面粗糙度是影响水流阻力和能量损失的关键因素。粗糙的壁面会增加水流的阻力,使水流的能量损失增大。同时,粗糙壁面还可能导致水流紊动加剧,影响水流的稳定性。因此,在设计 and 施工过程中,应严格控制壁面的粗糙度,以提高水流在衔接部位的稳定性和效率。(2) 材料特性。材料特性也是影响衔接部位水力特性的重要因素。不同的材料具有不同的亲水性、抗空蚀性能等特性,这些特性会影响水流与壁面的相互作用。例如,亲水性材料能够减少水流与壁面之间的摩擦阻力,提高水流的稳定性;而抗空蚀性能好的材料则能够减少空化空蚀的发生和发展,保护结构免受侵蚀破坏。

3 特殊水力特性引发的工程问题

3.1 空蚀问题

空蚀是大坝与隧洞衔接部位常见的工程问题之一。

(1) 由于水流速度的变化和压力的降低,当局部压力低于水的汽化压力时,水中会产生大量的气泡。这些气泡在水流的作用下随水流运动到高压区时会迅速溃灭,产生强大的冲击力,对壁面材料造成破坏。空蚀现象通常发生在水流速度较高、压力变化剧烈的区域,如隧洞进口、扩散段等。(2) 空蚀对结构的影响是深远的。首先,空蚀会逐渐削弱结构的强度和耐久性,导致结构材料的逐渐剥落和腐蚀。随着空蚀的不断发展,结构的承载能力将逐渐降低,严重时可能导致结构的局部损坏甚至失效。此外,空蚀还会引发结构的疲劳损伤,加速结构的老龄化过程,进一步降低结构的安全性。(3) 为了减轻空蚀对结构的影响,需要采取一系列有效的措施。首先,可以通过优化隧洞进口形状和尺寸,减少水流的能

量损失和局部水头损失,从而降低空蚀的发生概率。其次,可以采用抗空蚀性能好的材料,如耐磨、耐腐蚀的合金钢或复合材料,提高结构的抗空蚀能力。此外,还可以通过在壁面设置防护层或涂层,减少水流与壁面的直接接触,进一步降低空蚀对结构的影响。

3.2 振动问题

水流的脉动和漩涡会对衔接部位的结构产生周期性的作用力,当这种作用力的频率与结构的固有频率接近时,会引发结构的共振,导致结构振动加剧。振动问题不仅影响结构的安全性和稳定性,还可能引起噪声和振动对周围环境的影响。

振动对结构的影响主要表现在以下几个方面。(1) 长期的振动会使结构产生疲劳损伤,降低结构的承载能力和耐久性。随着振动的不断发展,结构可能出现裂纹、变形等损伤,严重时可能导致结构的整体失效。(2) 振动还会引起结构的噪声污染,对周边环境造成不良影响。特别是在居民区或敏感区域,振动噪声可能引发居民的投诉和不满。

为了减轻振动对结构的影响,需要采取一系列有效的措施。(1) 可以通过优化结构设计,提高结构的刚度和阻尼,降低结构的固有频率,从而避免共振现象的发生。(2) 可以采用减震装置或隔震支座,将振动能量隔离或分散到周围介质中,减少振动对结构的影响。此外,还可以通过加强结构的维护和检修,及时发现和处理潜在的振动问题,确保结构的安全稳定运行。

3.3 冲刷和磨损问题

高速水流携带的泥沙等颗粒物质在流经衔接部位时,会对壁面产生冲刷和磨损作用。冲刷和磨损会使壁面材料逐渐剥落,降低结构的抗渗性和稳定性,影响工程的正常运行。

冲刷和磨损对结构的影响是显著的。(1) 冲刷和磨损会导致壁面材料的逐渐剥落和腐蚀,降低结构的强度和耐久性。随着冲刷和磨损的不断发展,结构的承载能力将逐渐降低,可能出现渗漏、变形等问题。(2) 冲刷和磨损还会加速结构的老龄化过程,进一步降低结构的安全性。特别是在多泥沙河流中,冲刷和磨损问题尤为突出,对结构的安全性和稳定性构成了严重威胁。

为了减轻冲刷和磨损对结构的影响,需要采取一系列有效的措施。(1) 可以通过优化隧洞进口形状和尺寸,减少水流的能量损失和局部水头损失,从而降低冲刷和磨损的发生概率。(2) 可以采用耐磨、耐腐蚀的材料,如耐磨合金钢或复合材料,提高结构的抗冲刷和磨损能力。(3) 还可以通过在壁面设置防护层或涂层,减

少水流与壁面的直接接触,进一步降低冲刷和磨损对结构的影响。(4)加强结构的维护和检修也是减轻冲刷和磨损问题的重要手段。通过定期检查和维修壁面材料的状态,及时发现和处理潜在的冲刷和磨损问题,确保结构的安全稳定运行。

4 工程处理措施

4.1 结构优化设计

结构优化设计是减少特殊水力特性引发工程问题的关键。通过优化大坝与隧洞衔接部位的结构设计,可以显著改善水流条件,降低水流的能量损失和局部水头损失。(1)隧洞进口形状和渐变段的设计至关重要。合理的进口形状,如喇叭形或流线型,能够使水流更平滑地进入隧洞,减少水流的收缩和扩散损失。渐变段的设计则有助于水流逐渐适应隧洞的尺寸和形状,避免水流的紊乱和漩涡的产生。(2)衔接部位的结构尺寸和形状也需要精心设计。适当增大隧洞的直径、调整隧洞的坡度等,都可以改善水流的流态,降低水流的能量集中。同时,合理设置导流设施,如导流翼墙、导流墩等,可以引导水流均匀进入隧洞,进一步减少水流的紊乱和漩涡。(3)通过结构优化设计,不仅可以改善水流条件,还可以提高结构的强度和耐久性,降低特殊水力特性对工程的影响。

4.2 材料选用与防护

针对空蚀、冲刷和磨损等工程问题,选择合适的材料和采取有效的防护措施至关重要。(1)在空蚀易发生的部位,应选用抗空蚀性能好的材料,如不锈钢、高强度合金钢等。这些材料具有优异的耐腐蚀性和抗疲劳性能,能够有效抵抗空蚀的破坏作用。同时,还可以采用表面防护涂层,如环氧涂层、聚氨酯涂层等,进一步提高壁面的抗空蚀能力。(2)对于冲刷和磨损问题,可以采用耐磨材料对壁面进行防护。铸石、碳化硅等耐磨材料具有优异的耐磨性和抗冲刷性能,能够有效抵抗水流中泥沙等颗粒物质的冲刷和磨损。此外,还可以在水流中设置拦沙设施,如拦沙坝、沉沙池等,减少泥沙等颗粒物质对壁面的冲刷和磨损。(3)通过合理的材料选用和有效的防护措施,可以显著提高壁面的抗空蚀、抗冲

刷和抗磨损能力,延长结构的使用寿命。

4.3 运行管理策略

合理的运行管理策略是降低特殊水力特性对工程影响的重要手段。在水利工程运行过程中,应根据水库水位和流量的变化,合理调整隧洞的运行方式。(1)采用分级调节流量的方式,使水流逐渐适应隧洞的过水能力。这有助于减少水流在衔接部位出现过大的流速和压力变化,降低水流的冲击和不稳定。(2)加强对衔接部位的监测和维护。通过安装监测设备,如压力传感器、流速仪等,实时监测水流的水力参数。这有助于及时发现并处理空蚀、磨损等问题,确保结构的安全稳定运行。(3)还应定期对衔接部位进行检查和维修。对于发现的损伤和缺陷,应及时进行修复和处理,防止问题进一步扩大和恶化。

结束语

综上所述,大坝与隧洞衔接部位的水力特性复杂多变,对工程的稳定性和安全性具有重要影响。通过深入分析其影响因素及引发的工程问题,我们认识到结构优化设计、材料选用与防护以及合理的运行管理策略对于降低特殊水力特性的不利影响至关重要。未来,我们应继续加强研究,不断探索更加高效、经济的工程处理措施,以提高大坝与隧洞衔接部位的水力性能,确保水利工程的安全稳定运行。同时,加强监测和维护工作,及时发现并处理潜在问题,也是保障工程长期安全运行不可或缺的一环。通过这些努力,我们能够为水利工程的可持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]张宇宪.浅析水利大坝基础处理的重要性及设计[J].中国科技投资,2019,(8):46.
- [2]奉立.水库大坝灌浆施工技术与防渗加固处理探析[J].湖南水利水电,2019,(2):21-22,43.
- [3]范世运,王赫.水利工程输水隧洞施工开挖与衬砌技术研究[J].东北水利水电,2021,39(9):26-27,35.
- [4]陈平,冯笑.关于水利工程输水隧洞施工期排水控制要点的探讨[J].浙江水利科技,2021,49(1):52-54.