

大型水利枢纽工程结构的抗震性能研究与优化策略

孟少坤

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司，天津，300221；

摘要：本文针对大型水利枢纽工程结构的抗震性能展开研究，分析了影响其抗震性能的关键因素，并提出了相应的优化策略。通过深入探讨抗震设计方法、结构材料选择、地基处理以及抗震加固措施等方面，旨在提高大型水利枢纽工程在地震作用下的安全性和可靠性，为水利工程的抗震设计与建设提供有益的参考。

关键词：大型水利枢纽；工程结构；抗震性能

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.028

引言

大型水利枢纽工程作为重要的基础设施，在防洪、发电、灌溉、航运等方面发挥着关键作用。然而，由于其所处地理位置和结构特点，在地震作用下可能面临较大的安全风险。因此，开展大型水利枢纽工程结构的抗震性能研究，并制定有效的优化策略，具有重要的现实意义。

1 影响大型水利枢纽工程结构抗震性能的因素

结构形式与布局：不同的结构形式具有不同的抗震特性。例如，混凝土重力坝依靠自身重力维持稳定，在抗震方面具有一定优势；而拱坝则通过拱的作用将荷载传递到两岸岩体，其抗震性能受拱座稳定性和坝体应力分布的影响较大。此外，工程结构的布局也至关重要，对称、规则的布局有利于地震力的均匀分布，可提高结构的抗震能力。

材料性能：水利枢纽工程中常用的混凝土、钢筋等材料的性能直接影响结构的抗震性能。混凝土的强度、弹性模量、韧性等指标，以及钢筋的屈服强度、延伸率等，都会在地震作用下对结构的变形和承载能力产生影响。高性能的材料能够更好地抵御地震力，减少结构的损伤。

地基条件：地基是水利枢纽工程的基础，其稳定性和抗震性能对上部结构的安全至关重要。软弱地基、断层破碎带等不良地质条件会放大地震波的影响，增加结构的地震响应，甚至可能导致地基失效，进而引发结构的破坏。

2 大型水利枢纽工程结构抗震性能研究方法

理论分析：采用结构动力学理论，建立水利枢纽工

程结构的力学模型，分析其在地震作用下的动力响应，包括位移、应力、应变等。通过理论计算，可以初步评估结构的抗震性能，为设计提供依据。

数值模拟：利用有限元等数值分析方法，对水利枢纽工程结构进行精细化建模，考虑材料非线性、几何非线性以及地基与结构的相互作用等因素，更准确地模拟结构在地震作用下的复杂力学行为。数值模拟能够为结构的优化设计和抗震性能评估提供详细的信息。

模型试验：通过制作缩尺模型，进行振动台试验或拟静力试验，直观地观察结构在地震作用下的破坏形态和力学性能变化。模型试验可以验证理论分析和数值模拟的结果，为工程设计和抗震措施的制定提供可靠的参考。

3 大型水利枢纽工程结构抗震性能优化策略

3.1 优化结构设计

在水利枢纽工程设计之初，深入探究工程所处地质环境、预期功能与周边自然条件等具体情形至关重要。以此为基，审慎挑选适配的结构形式与布局。例如，对于地质条件复杂且地震风险较高区域，可优先考量重力坝等稳定性强的结构形式，并精心规划其布局，确保各部分受力均匀且协同抗震。通过巧妙设置抗震缝，能有效降低地震时结构间相互作用力，避免整体破坏。强化结构连接与整体性，可使各构件在地震波冲击下协同变形，增强抗震韧性。与此同时，运用精准的力学计算与模拟分析，科学确定结构尺寸与配筋量，保障结构于地震作用时，既具备充足强度抵御外力，又拥有良好延性以吸收与耗散地震能量，维持整体稳定性。

3.2 选用高性能材料

材料的品质直接关联到水利枢纽工程结构的抗震表现。优先选用高强度、高韧性的混凝土与钢筋等基础材料,是提升抗震性能的关键一步。例如纤维混凝土,其内部均匀分布的纤维有效牵制裂缝开展,显著增强抗裂性,使结构在地震中不易因裂缝蔓延而损毁。高性能钢筋具备卓越的屈服强度与延伸率,能在地震力作用下更好地承受拉应力并产生适度变形,协同混凝土共同耗能。这些新型材料的运用,可有效优化结构内部应力分布,降低地震作用下结构损伤风险,极大提高水利枢纽工程在地震灾害中的生存能力与稳定性。

3.3 加强地基处理

不良地基条件对大型水利枢纽工程的危害不容小觑,因此加强地基处理成为关键环节。在面对软弱地基、松散砂土或存在断层破碎带等情况时,需精准施策。地基加固可采用灌浆法,将水泥浆或化学浆液注入地基土体孔隙中,填充并胶结松散颗粒,显著提升地基强度与整体性;夯实法则利用机械反复夯击地面,使地基土密实度大幅增加,增强其承载能力;加筋法是在地基中铺设土工格栅、钢筋网等加筋材料,有效改善地基的力学性能,约束土体变形。这些方法综合运用,能极大提高地基的承载力,使其在地震波冲击下,有效抵抗剪切力与压力,减少变形量,防止不均匀沉降的出现,为上部水利枢纽结构筑牢稳定根基,保障整个工程在地震等自然灾害面前的安全性与可靠性。

3.4 设置抗震加固措施

对于已建成但抗震性能存在缺陷的水利枢纽工程,抗震加固刻不容缓。粘贴碳纤维布是一种常用且高效的加固手段,碳纤维布具有高强度、高弹性模量等特性,

粘贴于结构表面后,与原结构协同受力,能显著提高结构的抗弯、抗剪承载能力,同时其良好的延性可使结构在地震时更好地吸收和耗散能量。外包钢板加固则是将钢板通过焊接或螺栓连接包裹在结构构件外部,增加构件的截面面积与刚度,提升其承载与变形能力。此外,安装隔震支座可有效隔离地震能量向上部结构的传递,通过支座的变形消耗地震波能量,降低结构的地震响应;消能减震装置如阻尼器等,能在结构振动过程中产生阻尼力,将地震动能转化为热能等其他形式能量耗散掉,从而减小结构的振动幅度与加速度,确保水利枢纽工程在地震中的稳定性与安全性,延长其使用寿命并降低地震灾害损失。

4 结语

大型水利枢纽工程结构的抗震性能研究与优化是一项系统工程,需要综合考虑结构形式、材料性能、地基条件等多方面因素。通过理论分析、数值模拟和模型试验等研究方法,深入了解结构在地震作用下的力学行为,进而采取优化结构设计、选用高性能材料、加强地基处理和设置抗震加固措施等优化策略,提高水利枢纽工程结构的抗震性能,确保其在地震作用下的安全可靠运行。在未来的水利工程建设中,应不断加强抗震技术的研究与应用,进一步提高我国大型水利枢纽工程的抗震能力,为经济社会的可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 陈在铁,任青文. 大坝抗震安全性研究进展[J]. 水利水电工程, 2005, (4).
- [2] 周昀,胡正. 对高震区百米级堆石坝不同坝型抗震性能的研究[J]. 四川水利, 2024, 45(04): 157-159+189.