

水工结构抗震设计探讨

陈精卫 聂章博

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450003

摘要:水利工程是国家基础设施建设的重要支柱,在防洪、发电、灌溉等领域发挥关键作用,关乎经济社会稳定发展。水工结构抗震设计作为水利工程安全运行的重要保障,需遵循安全性、适用性、经济性与可持续发展原则。在设计过程中,要重点做好场地与地基处理、优化结构体系与抗震构造、精准计算分析地震作用。针对当前存在的震动参数不准、设计方法不完善等问题,通过加强研究、完善方法、强化落实与建立监测维护体系等策略,可有效提升水工结构抗震性能,为水利工程筑牢安全防线,推动水利事业稳健发展。

关键词:水工结构;抗震设计;探讨

引言:地震灾害的突发性和破坏性,对水工结构安全构成严重威胁。一旦水工结构在地震中损毁,不仅会造成巨大经济损失,更可能引发洪水泛滥等次生灾害,危及下游人民生命财产安全。随着我国水利事业的蓬勃发展,水工结构数量与规模不断扩大,其抗震设计的重要性愈发凸显。然而,当前水工结构抗震设计仍存在诸多问题,制约着工程抗震性能的提升。因此,深入探讨水工结构抗震设计,分析其原则、要点与现存问题,并提出针对性改进措施,对推动水利工程抗震技术发展、增强工程抗震能力具有重要的现实意义。

1 水工结构抗震设计原则

1.1 安全性原则

安全性原则是水工结构抗震设计的根本准则。在设计时,需依据区域地震危险性评估,合理确定抗震设防标准,采用可靠计算模型分析结构在地震作用下的受力状态。通过加强结构关键部位与薄弱环节设计,提高其抗倒塌能力,确保水工结构在遭遇设计地震及罕遇地震时,能维持整体稳定,避免因结构破坏引发洪水泛滥等次生灾害,保障下游人民生命财产安全。^[1]

1.2 适用性原则

适用性原则要求水工结构在地震后仍能保持基本使用功能。设计需充分考虑结构运行需求,确保输水、泄洪、发电等功能在地震作用下不受严重影响。例如,保障水闸启闭设备、水电站机电设备的关键部件的抗震可靠性,合理控制结构变形,防止因过度变形影响正常使用,使水工结构在震后能快速恢复运行,持续发挥社会效益。

1.3 经济性原则

经济性原则强调在满足抗震安全的前提下,合理控制成本。设计过程中,需对不同抗震方案进行技术经济

比选,优化结构选型与布置,避免过度保守设计。采用高效抗震构造措施,减少材料消耗与施工难度,同时综合考虑全寿命周期成本,平衡初始建设投资与后期维护费用,实现抗震效益与经济投入的最优结合。^[2]

1.4 可持续发展原则

可持续发展原则注重水工结构与生态环境的协调。设计时优先选用绿色环保材料,避免采用对生态影响大的施工工艺,减少地震引发的水土流失、水体污染等问题。同时,预留技术升级空间,便于后续应用先进抗震技术加固,使水工结构在整个生命周期内保持良好抗震性能,促进水利事业可持续发展。

2 水工结构抗震设计关键点

2.1 场地与地基处理

2.1.1 场地选择的抗震要求

场地选择是水工结构抗震设计的基础环节,其合理性直接影响结构的抗震性能。选择场地时,需依据区域地震地质资料,避开活动断裂带、易液化土区域、软弱地基等抗震不利地段,优先选取对抗震有利的地段,如坚硬土或开阔平坦、密实均匀的中硬土地段。同时,要充分考虑场地周边地形地貌对地震动的放大或衰减效应,避免因场地选择不当导致结构遭受额外地震力作用。此外,还需评估场地可能发生的地震次生灾害,如滑坡、泥石流等对水工结构的威胁,确保所选场地在地震发生时,能为水工结构提供相对稳定的外部环境,从源头上降低地震风险,为后续抗震设计奠定良好基础。

2.1.2 地基抗震处理措施

地基作为水工结构的基础支撑,其抗震性能直接关系到结构整体稳定性。针对不同地质条件的地基,需采用相应的抗震处理措施。对于软弱地基,可通过换填法、强夯法、桩基础等技术,提高地基承载力与密实

度,增强地基的抗液化能力和抗变形能力;对于不均匀地基,可采用地基处理与结构措施相结合的方式,如设置沉降缝、加强基础刚度等,减少地基不均匀沉降对结构造成的破坏。在处理过程中,需严格把控施工质量,确保地基处理效果达到设计要求,使地基在地震作用下能够有效传递和分散结构荷载,保障水工结构的安全稳定,避免因地基失效引发结构整体破坏。^[3]

2.1.3 场地地震反应分析

通过建立场地地质模型,运用数值分析方法,如有限元法、边界元法等,模拟地震波在场地中的传播过程,分析场地土层的动力响应特性,包括土层加速度、速度、位移反应谱等。研究不同地震波特性和场地土特性对地震反应的影响,确定场地的设计地震动参数,为水工结构地震作用计算提供可靠依据。同时,通过场地地震反应分析,还能发现场地中可能存在的地震放大效应明显区域或薄弱环节,为结构抗震设计优化提供指导,使设计人员能够针对性地采取加强措施,提高水工结构在特定场地条件下的抗震能力。

2.2 结构体系与抗震构造

2.2.1 合理的结构体系选择

合理的结构体系选择是提升水工结构抗震能力的核心要素。在设计过程中,需紧密结合水工结构的功能需求、地质条件以及地震作用特性。优先选用传力路径明确、受力特性良好的结构体系,如对称布置的框架-剪力墙结构、空间整体性强的筒体结构等。同时,注重结构体系的冗余设计,构建多道抗震防线,确保当某一构件在地震中失效时,其他构件仍能继续承担荷载,维持结构整体稳定。此外,通过优化结构刚度分布,避免因刚度突变产生应力集中现象,从而有效提升水工结构的整体抗震性能,使其在地震作用下具备良好的抗倒塌能力。

2.2.2 抗震构造措施的应用

抗震构造措施是保障水工结构在地震中安全可靠的重要手段。在实际应用中,于梁柱节点处合理加密箍筋,可有效约束混凝土变形,显著提升节点的抗剪与抗弯承载能力;在墙体中设置构造柱与圈梁,能够增强墙体的整体性与稳定性,防止墙体开裂倒塌。合理设计伸缩缝、沉降缝的宽度与构造形式,可避免地震时结构部件相互碰撞造成破坏。此外,强化构件之间连接节点的强度与延性设计,关注预埋件、连接件等细节构造,确保结构在地震作用下各部分能够协同工作,共同抵御地震灾害,保障水工结构的安全性。

2.2.3 结构延性设计方法

结构延性设计旨在提高水工结构在地震中的变形与

耗能能力,从而提升抗震韧性。设计时严格遵循“强剪弱弯”“强柱弱梁”原则,科学设计构件的截面尺寸、配筋形式与材料性能,合理控制构件的破坏顺序,促使结构在地震时先发生弯曲破坏,利用塑性铰转动耗散地震能量,避免脆性破坏。同时,优化结构的刚度与强度分布,有效减少结构扭转效应,使结构在地震作用下均匀变形。此外,通过设置黏滞阻尼器、金属阻尼器等耗能装置,进一步增强结构的耗能能力,显著提升结构延性,确保水工结构在遭遇强烈地震时,能够通过自身延性变形消耗能量,维持基本承载能力,保障结构安全。^[4]

2.3 地震作用计算与分析方法

2.3.1 地震作用计算理论

地震作用计算理论是准确评估水工结构地震响应的基石。当前主流理论包括静力法、反应谱法和时程分析法。静力法将地震作用简化为等效静力荷载,适用于结构高度较低、质量与刚度分布均匀的情况;反应谱法通过地震反应谱曲线,考虑结构自振特性计算地震作用,应用广泛且能有效反映地震动力效应;时程分析法则直接输入地震波,对结构进行动力时程计算,可精确模拟结构在地震全过程中的响应。这些理论基于结构动力学原理,通过建立结构振动方程,结合场地地震动参数求解地震作用,为水工结构抗震设计提供理论依据,确保设计结果符合实际地震工况需求。

2.3.2 不同分析方法的特点与适用范围

不同地震作用分析方法各有优劣与适用场景。静力法计算简便、效率高,但忽略结构动力特性,常用于初步设计或抗震性能要求较低的小型水工结构;反应谱法综合考虑结构自振周期与地震动特性,计算结果较为合理,适用于多数常规水工结构的抗震设计;时程分析法能够真实反映结构在地震中的非线性行为和复杂动力响应,但计算量大、对地震波选取要求高,适用于大型、复杂或抗震要求极高的水工结构,如高坝、超大型水闸等。此外,有限元法等数值分析方法可对结构进行精细化建模分析,常用于特殊结构或研究性分析。

2.3.3 地震作用组合与效应分析

地震作用组合与效应分析是确定水工结构设计荷载的关键环节。设计时需考虑不同类型地震作用(如水平地震、竖向地震)与其他荷载(如静水压力、自重)的组合情况,根据规范规定的组合系数和分项系数,计算出最不利荷载组合工况。同时,采用线性叠加或非线性分析方法,分析结构在各种荷载组合下的内力、变形等效应,评估结构的安全性与可靠性。通过效应分析,确定结构关键部位的受力状态,为构件截面设计、配筋计

算以及抗震构造措施的制定提供依据。

3 当前水工结构抗震设计中存在的问题

3.1 地震动参数确定不准确

地震动参数是抗震设计的基础,但受地质条件复杂性、地震监测数据局限性影响,其确定常存在误差。部分区域地震地质资料匮乏,难以精准评估地震危险性,导致设计地震动参数与实际不符。同时,现有地震动预测模型存在不确定性,无法充分考虑局部场地效应,使结构在地震中承受超出预期的荷载,埋下安全隐患。

3.2 抗震设计方法不完善

当前抗震设计方法存在一定局限性。部分传统设计方法简化程度高,未能充分考虑结构在强震下的非线性行为与复杂动力响应,计算结果与实际受力状态偏差较大。且不同分析方法适用范围界定模糊,设计人员在实际应用中易出现方法选择不当的情况,致使设计无法有效保障结构在地震中的安全性。

3.3 抗震构造措施落实不到位

尽管规范对构造措施有明确要求,但实际工程中落实常打折扣。施工过程中,部分施工人员对构造措施重要性认识不足,存在偷工减料、未按设计要求施工的现象。此外,质量监管不到位,无法及时发现和纠正构造措施施工中的问题,导致结构关键部位抗震能力未达设计标准,降低整体抗震性能。

3.4 抗震监测与维护不足

多数水工结构缺乏完善的抗震监测体系,无法实时掌握结构在地震前后及日常运行中的受力状态与损伤情况。且后期维护工作滞后,对已发现的抗震薄弱环节未及时采取加固处理措施,致使结构潜在损伤不断累积,在地震发生时,难以有效抵御地震作用,增加结构破坏风险。

4 水工结构抗震设计的改进措施

4.1 加强地震动参数研究

加强地震动参数研究需整合多源数据与先进技术。一方面,扩大地震监测网络覆盖范围,利用高精度传感器实时采集地震波数据,结合区域地质勘察成果,完善地震危险性评估体系;另一方面,借助机器学习、深度学习算法优化地震动预测模型,充分考虑场地土层特性与局部放大效应,提高参数计算精度,为抗震设计提供更贴合实际的地震动输入依据,降低设计保守或不足风险。

4.2 完善抗震设计方法

完善抗震设计方法需推进理论创新与实践结合。研

发适用于水工结构复杂受力状态的非线性分析方法,结合有限元软件细化结构建模,真实模拟强震下材料塑性变形与构件破坏过程;同时,编制标准化设计流程指南,明确静力法、反应谱法、时程分析法等适用场景,通过案例库建设与设计人员培训,确保方法选用科学合理,提升设计结果对结构抗震性能的保障能力。

4.3 强化抗震构造措施落实

强化抗震构造措施落实需构建全链条管控机制。施工前,组织专项技术交底,明确梁柱节点箍筋加密、墙体构造柱设置等关键要求;施工中,利用BIM技术进行施工模拟与质量追踪,结合第三方监理旁站监督,杜绝偷工减料现象;验收阶段,采用无损检测技术对隐蔽工程进行抗震性能复核,对不符合规范的部位立即整改,确保构造措施严格按设计意图实施,增强结构抗震韧性。

4.4 建立抗震监测与维护体系

建立抗震监测与维护体系需实现动态化智能管理。在水工结构关键部位部署光纤光栅、加速度计等传感器,搭建实时在线监测平台,运用大数据分析技术对结构位移、应力等参数进行趋势预测;基于监测结果制定分级维护策略,对轻微损伤及时修复,对重大隐患启动专项加固方案,形成“监测-评估-维护”闭环管理,有效降低结构在地震中的失效概率。

结束语

水工结构抗震设计是保障水利工程安全运行、守护人民生命财产的关键环节。本文系统探讨了设计原则、关键点,深入剖析现存问题并提出改进措施。从精准确定地震动参数到完善设计方法,从强化构造措施落实到建立监测维护体系,每一个环节都对提升水工结构抗震性能至关重要。随着科技进步与研究深入,未来需持续创新抗震技术,加强多学科融合,推动水工结构抗震设计向智能化、精细化方向发展,为水利工程筑牢抗震安全防线,助力水利事业高质量、可持续前行。

参考文献

- [1]孙帮新,曹枚根.特高压新松换流站直流场设备抗震设计及能力考核[J].高压电器,2021,54(12):24-35.
- [2]柴尚锋.浅议桥梁抗震设计要点及减隔震技术的应用[J].四川水泥,2022(12):85.
- [3]张利军.高层建筑结构抗震设计要点解析[J].建材技术与应用,2022(06):12-14.
- [4]李以友.水工建筑物抗震设计探讨[J].城市建设理论研究(电子版).2021,(14):2065-2065.