

水利工程安全隐患及影响水利工程安全的因素

林大林

奈曼旗经济发展服务中心 内蒙古 通辽 028300

摘要: 水利工程安全受多种因素影响,存在结构性、功能性及管理性等多类隐患。自然因素中,地质条件、水文气象及生物侵蚀均威胁工程稳定;人为因素涵盖设计缺陷、施工问题及运行管理失误。隐患在时间上分短期与长期,空间上具局部性与系统性,触发条件包括渐进性与突发性。深入分析水利工程安全隐患分类、特征及动态演化规律,明确自然与人为因素作用机制,对提升工程安全管理水平、保障水利设施长期稳定运行具有重要意义。

关键词: 水利工程;安全隐患;自然因素;人为因素;动态演化

引言:水利工程作为国家关键基础设施,在防洪、灌溉、供水及发电等领域作用突出,其安全运行关乎人民生命财产与社会经济稳定。然而,受自然环境变化与人类活动影响,水利工程全生命周期面临地质破坏、质量缺陷、操作失误等多样安全隐患。系统梳理隐患分类特征,剖析自然与人为因素作用机制,揭示隐患动态演化规律,是提升工程安全管理、保障设施稳定运行的迫切需求。

1 水利工程安全隐患的分类与特征

1.1 结构性隐患

结构性隐患是水利工程安全的核心威胁,主要源于设计、施工或长期运行过程中形成的物理缺陷。基础稳定性问题表现为地基承载力不足引发的沉降或变形,例如软土地基在长期水压作用下可能产生不均匀沉降,导致上部结构开裂或错位^[1]。主体结构老化是混凝土、金属及砌体材料在自然环境与水力作用下的必然现象,混凝土碳化会降低碱性环境对钢筋的保护作用,加速锈蚀进程;钢筋锈蚀后体积膨胀,进一步加剧混凝土开裂;砌体结构在冻融循环或水流冲刷下易出现风化剥落,削弱整体稳定性。抗震性能不足则反映在结构强度或延性未达到抗震设计标准,地震波作用下可能因能量耗散不足发生脆性破坏,尤其在老旧工程中,早期抗震规范不完善导致结构抗震能力先天薄弱。

1.2 功能性隐患

功能性隐患直接影响水利工程的运行效能,多由设计缺陷、设备老化或维护缺失引发。泄洪能力不足表现为溢洪道过流断面缩小或消能设施效率下降,例如溢洪道被泥沙、杂物堵塞时,实际泄流量可能低于设计标准,导致库水位快速上升威胁大坝安全;消能设施失效则可能引发下游河道冲刷,破坏岸坡稳定性。输水系统故障涉及管道渗漏与闸门启闭异常,管道渗漏可能因材

料老化或连接处密封失效产生,长期渗漏不仅浪费水资源,还可能引发地基软化;闸门启闭异常多由机械磨损或电气故障导致,影响正常调度与防洪安全。监测系统失效是功能性隐患的隐蔽风险,传感器损坏或数据传输中断会导致工程运行状态无法实时反馈,例如变形监测数据缺失可能延误对结构异常的识别,增加突发事故概率。

1.3 管理性隐患

管理性隐患源于制度执行与人员行为的疏漏,具有累积性与放大效应。维护保养缺失表现为设备长期缺乏检修,例如金属结构表面防锈涂层脱落未及时补涂,加速锈蚀进程;输水渠道杂物堆积未清理,降低过流能力并增加水头损失。应急预案不完善体现在响应流程模糊与物资储备不足,例如预案中未明确各级责任人分工,灾害发生时可能出现指挥混乱;防汛物资储备种类或数量不满足实际需求,延误抢险时机。人员操作不规范是管理性隐患的直接诱因,违规操作可能因习惯性违章或对规程理解不足引发,例如闸门操作未遵循分级启闭原则导致水锤效应;培训不足则使操作人员无法掌握新技术或应急处置方法,降低工程运行安全性。

2 自然因素对水利工程安全的影响

2.1 地质条件

地质条件是影响水利工程安全的基础性因素,地震活动、滑坡泥石流及岩溶发育均可能对工程结构造成直接破坏^[2]。地震引发的断层错动会改变地基应力分布,导致坝体或建筑物基础位移,甚至引发整体失稳;地基液化现象在饱和砂土层中尤为突出,地震波作用下土体孔隙水压力骤增,有效应力降低,使原本坚实的土层转变为流动状态,威胁工程基础安全。滑坡与泥石流对水利工程的威胁体现在库岸失稳与坝体侧向压力增加,库岸滑坡可能使大量岩土体滑入水库,导致库容骤减、水位上升,甚至引发涌浪危及大坝安全;泥石流携带的巨石

与泥沙冲击坝体,可能造成局部结构损坏或堵塞泄洪设施。岩溶发育地区的地基稳定性问题主要表现为渗漏与溶洞塌陷,地下水在可溶性岩层中溶蚀形成溶洞,若未在工程勘察阶段充分识别并处理,溶洞可能因地下水动力条件改变或工程荷载作用发生塌陷,导致地基不均匀沉降或突发性塌坑,危及上部结构安全。

2.2 水文气象条件

水文气象条件通过水量与能量输入直接影响水利工程运行安全,极端降雨、长期干旱及冰冻作用是主要威胁。极端降雨事件可能导致洪水超标,入库流量超过溢洪道设计泄流能力,库水位快速上升增加坝体静水压力,若坝体抗滑稳定性不足或泄洪设施失效,可能引发漫坝甚至溃坝事故;短时强降雨还可能引发山洪,冲刷坝脚或输水建筑物,造成局部破坏。长期干旱对土坝与混凝土结构的影响具有累积性,土坝在持续蒸发作用下含水率降低,土体收缩开裂,裂缝可能成为雨水入渗通道,加剧内部侵蚀;混凝土结构在干旱环境中因水分散失发生收缩,若收缩应力超过抗拉强度,可能产生表面裂缝,降低结构耐久性。冰冻作用对水利工程的破坏体现在物理膨胀与材料性能劣化,混凝土中水分冻结时体积膨胀,产生冻胀应力,反复冻融循环导致混凝土表面剥落、骨料外露,削弱结构强度;金属结构在低温环境下韧性降低,脆性增加,若存在应力集中或缺陷,可能发生低温脆断,影响闸门、启闭机等设备的正常运行。

2.3 生物侵蚀

生物侵蚀是自然因素中易被忽视的威胁,植物根系与动物活动均可能对水利工程造成隐蔽但持续的破坏。植物根系具有向水性,在坝体或岸坡中生长时,根系穿透防渗层或结构裂缝,吸收水分的同时扩大裂缝宽度,加速雨水入渗与内部侵蚀,形成恶性循环;根系腐烂后留下孔道,进一步降低结构密实度。动物洞穴对土坝的破坏尤为显著,白蚁在土坝内筑巢形成密集洞穴网络,破坏土体连续性,降低抗剪强度,在洪水或地震等外力作用下易引发管涌或塌坡;鼠类挖掘的洞穴虽规模较小,但若分布于坝体关键部位,同样可能成为渗漏通道或应力集中点,威胁工程安全。生物侵蚀的隐蔽性使其难以通过常规巡查发现,需借助专业探测技术定期评估,避免小隐患演变为大事故。

3 人为因素对水利工程安全的影响

3.1 设计缺陷

设计缺陷是水利工程安全隐患的源头,多因设计阶段对工程环境、运行条件或材料特性认知不足导致^[3]。荷载计算错误表现为对极端工况的忽视,例如未充分考

虑超标洪水或地震作用,导致结构在极端事件中承载力不足;设计洪水位取值偏低可能使溢洪道泄流能力不足,地震动参数选取保守或冒进均会影响结构抗震性能。结构选型不当源于对地形地质条件的误判,如在软土地基上采用重力坝形式,可能因地基承载力不足引发不均匀沉降;在地震活跃区选用刚性结构而未配置抗震耗能装置,会降低结构延性,增加脆性破坏风险。材料选用不合理体现在耐久性与环境适应性失衡,例如在潮湿环境中选用普通碳钢而未进行防腐处理,加速锈蚀进程;在寒冷地区选用抗冻性不足的混凝土,冻融循环下表面剥落影响结构完整性;材料强度等级与工程需求不匹配,可能导致结构过早进入塑性阶段,降低安全储备。

3.2 施工问题

施工问题直接影响工程质量,质量缺陷、工序违规与隐蔽工程隐患是主要表现。质量缺陷多因施工工艺控制不严,混凝土浇筑过程中振捣不充分导致密实度不足,形成蜂窝麻面或孔洞,降低结构抗渗性与强度;钢筋绑扎间距偏差超出规范要求,影响结构受力性能,尤其在抗震关键部位可能削弱节点承载力。工序违规反映在施工顺序或方法违反设计要求,基坑开挖未按分层分段原则进行且未及时支护,可能引发边坡失稳;回填土未分层压实导致压实度不足,土体沉降后使上部结构产生附加应力,甚至引发开裂。隐蔽工程隐患具有隐蔽性,地基处理中换填层厚度不足或压实度不达标,可能因地基承载力不足引发不均匀沉降;止水带安装位置偏差或焊接缺陷,导致接触面渗漏,长期侵蚀结构基础,威胁工程安全。

3.3 运行管理问题

运行管理问题通过长期作用累积风险,超负荷运行、监测数据误判与改造扩建风险是典型表现。超负荷运行表现为工程长期处于非设计工况,高水位蓄水增加坝体静水压力,加速材料老化;频繁启闭闸门导致金属结构疲劳,若维护不及时可能引发启闭机故障或闸门变形。监测数据误判源于人工操作失误或系统校准偏差,人工读数时视线偏差或记录错误可能掩盖结构异常;传感器长期未校准导致数据漂移,使变形、渗流等监测指标失真,延误隐患识别时机^[4]。改造与扩建风险体现在对原结构承载力的忽视,未通过结构复核即增加荷载或改变功能,可能使原结构应力状态超出设计范围;施工扰动如爆破振动、重型机械碾压,可能破坏原结构完整性,尤其在老旧工程中,这极有可能引发结构的严重破坏甚至失稳。

4 水利工程安全隐患的动态演化规律

4.1 时间维度

水利工程安全隐患的演化在时间维度上呈现阶段性特征,短期隐患与长期隐患的形成机制与影响范围存在显著差异。短期隐患多出现在施工期或运行初期,因临时设施失效或初期运行调试不当引发,例如基坑支护结构在土方开挖阶段因支护强度不足或排水不畅发生坍塌,这类隐患通常在工程竣工验收前通过加强监测或补强处理即可消除,对工程长期安全影响有限。长期隐患则源于材料性能退化或环境长期作用,混凝土碳化导致钢筋锈蚀是典型代表,混凝土表层碳化层形成后,钢筋失去碱性环境的保护,在水分与氧气共同作用下逐渐锈蚀,锈蚀产物体积膨胀引发混凝土开裂,裂缝扩展又加速碳化进程,形成恶性循环,这一过程可能持续数十年,最终导致结构承载力显著下降。此外,金属结构疲劳、砌体风化等长期隐患均需通过定期检测与维护延缓发展,但若长期忽视,可能演变为危及工程安全的重大问题。

4.2 空间维度

空间维度上,水利工程安全隐患表现为局部性与系统性并存的特征。局部隐患通常局限于工程某一构件或区域,例如闸门止水橡皮老化导致接触面渗漏,这类隐患影响范围小,可通过局部更换或修复快速解决,但若未及时处理,渗漏可能引发周围土体软化或钢筋锈蚀,扩大隐患范围。系统性隐患则涉及工程多个组成部分或整体功能,输水系统渗漏是典型案例,管道连接处密封失效、闸门启闭异常或消能设施损坏均可能导致系统泄流能力下降,引发库水位异常波动,进而影响大坝、溢洪道等关键结构安全。系统性隐患的识别需通过整体监测与数据分析,单一构件的缺陷可能仅是系统问题的表象,例如坝体局部渗漏可能是地基处理不当或排水系统失效的间接反映,需从工程全局角度分析隐患成因与演化路径。

4.3 触发条件

隐患的触发条件决定其演化速度与破坏形式,渐进

性触发与突发性触发是两种主要模式。渐进性触发隐患的发展具有累积性,渗流通道扩展是典型过程,初期土体中细小裂缝因水力梯度作用逐渐扩展,形成集中渗漏通道,随着水流冲刷,通道直径增大,渗流量增加,最终可能引发管涌或溃坝,这一过程可能持续数月甚至数年,为隐患治理提供时间窗口。突发性触发隐患则因外部事件瞬间改变工程受力状态,地震导致坝体失稳是典型代表,地震波作用下坝体材料动力响应加剧,若结构抗震性能不足,可能因强度或延性不达标发生脆性破坏,从地震发生到结构失效可能仅数秒,此类隐患的防范需依赖结构抗震设计与地震预警系统的协同作用^[5]。此外,极端降雨、爆炸冲击等突发事件均可能成为突发性隐患的触发因素,其破坏力强、演化迅速,对工程安全构成直接威胁。

结束语

水利工程安全隐患由自然与人为因素交织形成,贯穿工程全生命周期。结构性、功能性和管理性隐患相互影响,地质、水文等自然因素及设计、施工等人为因素加速隐患发展。隐患在时间上分阶段,空间上有关联,触发条件决定破坏形式与速度。强化工程全生命周期安全管理,需从多环节构建科学系统保障体系,为水利工程稳定运行筑牢根基。

参考文献

- [1]王妹香.水利工程安全隐患及影响因素与管理措施探析[J].建筑工程技术与设计,2021(26):654-655.
- [2]徐存思.水利工程安全隐患及影响因素与管理措施探析[J].现代装饰,2021,478(17):127-128.
- [3]韦陈.水利工程安全隐患及影响因素与管理措施探微[J].现代装饰,2021,478(17):179-180.
- [4]张学伟.水利工程安全隐患及影响因素与管理措施分析[J].百科论坛电子杂志,2021(14):892.
- [5]王刚.水利工程安全隐患及影响水利工程安全的因素[J].中国图片(中英文),2024(23):56-57.