

区域水文分析与水利工程设计要点探讨

马胜东

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

摘要: 本文围绕区域水文分析与水利工程设计要点展开研究,结合洛阳地区丘陵、平原兼具的地形特征与季风气候下水文变化规律,系统阐述区域水文特征界定、现代化监测技术及标准化数据处理方法,深度解析降水、径流、地下水三大核心水文参数与水利工程设计的内在耦合关系。从工程选址优化、地基防渗精细化设计、安全性全维度设计三个核心维度,总结适配区域水文条件的水利工程设计关键点,提出水文数据驱动的工程设计优化路径,为豫西地区同类水利工程科学规划、精准设计、安全运行提供系统化实用参考,助力区域水利工程建设提质增效与水资源高效利用。

关键词: 区域水文分析; 水利工程设计; 水文参数; 工程选址; 安全性设计

引言

水利工程是区域水资源合理配置、防洪减灾、水生态保护与农业灌溉保障的关键基础设施,其设计科学性、精准性直接决定工程安全性能、综合效益与使用寿命。区域水文特征作为水利工程设计的核心天然依据,降水时空分布、径流形成规律、地下水动态变化等参数,是工程选址、结构尺寸、防洪标准、防渗方案确定的基础前提。当前部分区域水利工程设计中,存在水文分析维度单一、数据精度不足、水文参数与工程设计衔接不紧密、极端水文事件考量不足等问题,易导致工程建成后出现防洪能力不达标、地基渗漏、结构沉降、运行效率低下等隐患。

洛阳地处豫西地区,跨黄河、淮河两大流域,地形以山地、丘陵、平原为主,降水季节分配不均,汛期暴雨集中,非汛期水资源短缺,水文条件复杂多变,对水利工程设计提出了更高的专业化要求。基于此,本文结合洛阳地区水利勘测设计实践经验,系统梳理区域水文分析的核心内容、技术方法与质量控制要点,重点研究水文参数在水利工程全流程设计中的应用逻辑与实操要点,补齐水文分析与工程设计脱节的短板,构建“水文监测-数据分析-设计应用”一体化模式,为同类区域水利工程设计提供规范化、可落地的技术参考,推动水利工程设计向精准化、科学化、标准化方向高质量发展^[1]。

1 区域水文分析核心内容与技术方法

1.1 区域水文特征界定

区域水文特征界定是水文分析的基础性工作,核心在于精准识别、量化区域内降水、径流、地下水三大核心水文要素的时空分布规律、年际变化特征与极端事件发生概率,为水利工程设计提供真实、可靠、可直接应

用的基础参数,也是保障工程设计贴合区域实际的首要环节。

降水分析需立足区域长序列气象监测数据,重点统计多年平均降水量、降水年内季节分配比例、年际变化幅度与变差系数,精准梳理暴雨、连阴雨、短时强降雨等极端降水事件的发生频率、强度、历时及空间分布特征。结合洛阳地区温带季风气候特点,明确6-9月主汛期降水占全年降水量的70%以上,极端暴雨多集中于山区与丘陵过渡带,以此为工程防洪设计、排涝系统规划提供核心依据。同时需结合历史洪水资料,对降水频率进行复核计算,确保设计采用的暴雨参数符合区域长期水文变化规律,避免因数据偏差造成设计冗余或安全不足。

径流分析聚焦地表径流与地下径流的形成机制、转化关系与运动规律,通过标准化计算获取径流量、径流系数、径流深、洪峰流量等关键参数,明确不同地形、不同下垫面条件下径流的时空分布差异与汇流速度。针对洛阳地区山地、丘陵、平原交错的地形特征,分别测算不同地貌单元的径流产生量与汇流路径,掌握枯水期、丰水期径流变化幅度,为工程引水规模、渠道断面、泄洪设施设计提供数据支撑。在径流分析过程中,还需结合区域植被覆盖、河道整治情况,修正径流计算结果,使其更贴合实际水文运行状态。

地下水分析以水文地质勘察为基础,重点监测地下水位埋深、年内动态变化幅度、含水层岩性、厚度、分布范围及补给、径流、排泄规律,核算地下水天然储量、可开采量与地表水-地下水补排关系。洛阳地区浅层地下水多受降水与河道渗漏补给,水位季节性波动明显,明确这一特征可有效指导工程地基抗浮设计、地下水降排方案与防渗边界确定^[2]。同时需对地下水的流向、流速进

行监测分析,判断地下水对工程基础的侧向侵蚀与渗透破坏风险,为工程防护设计提供补充依据。

1.2 区域水文监测技术与数据处理

现代化区域水文监测以精准化、自动化、全覆盖为目标,融合传统现场实测与智能自动化监测技术,构建空天地一体化监测体系,全面提升水文数据获取效率与质量。

现场实测采用翻斗式雨量计、浮筒式水位计、超声波流量计、流速仪等专业设备,在河道断面、水库库区、灌溉渠系等关键点位人工定时采集降水、水位、流量、流速等基础数据,适用于小范围、高精度、定点式监测,可保证核心点位数据的校准精度。人工监测数据需每日核对、每周汇总,确保数据记录真实完整,为自动化数据提供校准基准。

自动化监测依托遥感卫星、雷达测雨系统、地下水位自动监测站、无线传输终端等技术装备,实现大范围区域水文数据24小时实时采集、远程传输、云端存储,可快速捕捉暴雨、洪水、水位骤变等极端水文事件,弥补人工监测的时空局限性。在洛阳山区等地形复杂区域,自动化监测站可有效覆盖人工难以到达的区域,实现水文数据无死角采集,大幅提升区域水文分析的完整性。

水文数据处理是保障数据可用性的关键环节,需严格按照《水利水文资料整编规范》开展工作。首先对原始监测数据进行完整性检查、合理性校验与异常值剔除,排除设备故障、人为干扰、极端天气造成的无效数据;随后采用频率计算、回归分析、水文比拟法等专业方法,对有效数据进行整编、计算与插值补全,将零散的原始数据转化为设计洪水位、设计径流量、地下水稳定水位等可直接用于工程设计的标准化参数;最终建立区域水文数据库,实现数据分类归档、快速检索与长期复用,为工程设计、后期运维提供持续的数据支撑。数据处理完成后还需进行专家复核,确保计算结果符合区域水文实际,杜绝数据误差传导至设计环节。

1.3 水文参数与水利工程设计的核心关联

区域水文参数与水利工程设计存在强耦合、全流程、不可逆的内在关联,是工程设计的核心约束条件与设计依据,直接决定工程方案的合理性与可行性。降水特征直接决定工程防洪标准、泄洪规模与排涝系统设计,极端暴雨重现期是坝体、溢洪道、水闸等结构尺寸确定的核心指标;径流总量与时空分布决定工程引水、蓄水、供水能力设计,是水库库容、渠道流量、泵站功率选型的关键依据;地下水位埋深、含水层渗透性与动态变化,则直接影响工程地基埋深、抗浮设计、防渗体系布置与排

水方案制定。

脱离区域水文参数的工程设计必然存在安全隐患与功能缺陷,只有将水文分析贯穿工程设计全过程,实现水文数据与设计环节精准对接,才能从源头规避工程风险,保证水利工程适配区域自然条件,实现安全、高效、稳定运行。在实际设计工作中,需建立水文参数动态调整机制,根据最新监测数据及时修正设计方案,确保工程始终与区域水文条件保持高度适配。

2 基于水文参数的水利工程设计核心要点

2.1 工程选址的水文条件协同考量

水利工程选址是设计工作的第一步,必须以区域水文数据为核心依据,结合地形、地质条件综合比选,避开水文不利区域,实现工程安全性、经济性与功能性的统一。

水文条件适配性是选址的首要原则,需结合洪水计算数据,将工程选址确定在百年一遇及以上设计洪水位以上,严格避开河道行洪通道、洪水淹没区、径流集中汇流区,杜绝工程建成后受洪水直接冲击与淹没。同时结合区域径流分布规律,优先选择径流稳定、水资源补给充足的区域,兼顾供水、灌溉、防洪等综合功能,避免选址在枯水期径流枯竭、暴雨期排水不畅的低洼地带。针对地下水条件,需避开地下水富集区、水位暴涨暴跌区与强渗透区,防止地基长期受地下水浸泡、渗透破坏导致沉降、失稳。

结合洛阳地区工程实践,山区水利工程选址需重点规避山洪沟口、泥石流易发区;平原区工程需避开地下水浅埋区与涝洼地带;河道沿线工程需保持与主流线安全距离,充分利用河道自然弯道、滩地等有利地形,降低水文风险与建设成本。同时选址需兼顾水文监测便利性,便于工程运行期开展水文动态监测与风险预警^[3]。选址完成后需开展水文条件专项论证,形成选址水文评估报告,作为工程设计审批的重要依据。

2.2 工程地基、防渗设计与水文特性匹配

工程地基与防渗设计是水利工程安全运行的核心保障,必须紧密结合区域地下水埋深、径流规律、渗透特性等水文条件,开展精细化、针对性设计,杜绝地基失稳与渗漏问题。

地基设计需以地下水位动态数据为核心依据,对于地下水位较高、汛期水位抬升明显的区域,优先采用换填垫层、强夯、抗浮桩、降水井等处理措施,提高地基承载力与抗浮能力,抵御地下水浮力与渗透压力;对于地下水位较深、含水层渗透性较弱的区域,可简化地基处理工艺,减少工程投资。同时结合地表径流汇流路径,

在地基周边设置环形渗沟、排水盲管等设施,快速排除地表积水与地下渗水,防止地基软化、含水率过高导致强度下降。地基处理方案需结合水文监测数据进行承载力验算,确保满足工程全生命周期使用要求。

防渗设计需根据区域水文地质条件差异化配置方案,对于地下水丰富、土层渗透性强的区域,采用复合土工膜、钢筋混凝土防渗墙、高压喷射灌浆等高效防渗体系,阻断地下水与地表水渗透通道;对于黏土层分布广、渗透性弱的区域,可采用原地夯实、黏土铺盖等经济防渗方案,兼顾效果与成本。同时结合汛期径流特征,在工程周边设置截水沟、防渗围堰,阻挡地表雨水汇入工程基底,全面提升防渗可靠性。防渗设计完成后需进行渗透稳定性验算,结合水文参数核算渗透坡降与渗流量,确保防渗体系满足安全运行标准。

2.3 水文数据在工程安全性设计中的应用

水文数据是工程安全性设计的核心支撑,需将降水、径流、地下水等参数深度融入防洪、结构、抗灾、运行全维度设计,构建全周期安全保障体系。

防洪安全设计以极端降水与洪水数据为基础,精准确定工程防洪标准,计算不同重现期设计洪水位、洪峰流量,优化坝顶高程、溢洪道宽度、泄洪洞尺寸等关键指标,确保工程可抵御区域历史极端洪水。同时结合洪水涨落规律,设计分级泄洪、预泄腾库等运行策略,提升工程防洪韧性。针对洛阳地区汛期暴雨集中的特点,需适当提高防洪安全冗余,增设应急泄洪设施,应对超标准洪水风险。

结构安全设计依据地下水动态变化数据,合理设置排水孔、减压井,降低渗透压力与扬压力,防止结构开裂、隆起;结合区域冻融水位与土壤冻深指标,在季节性冻土区设置防冻胀层、换填非冻胀材料,避免冻融循环破坏地基与结构。同时根据水文数据核算工程结构荷载限值,优化结构配筋与截面尺寸,保证结构在水流冲击、水位变化等水文荷载作用下保持稳定。

运行安全设计依托水文监测数据建立预警机制,实

时监控降水、水位、流量变化,在暴雨、洪水来临前自动预警,调整工程运行工况,关闭危险区域、开启泄洪设施,最大限度降低水文灾害对工程的影响。在工程运行过程中,需持续收集水文数据,定期复核设计参数,及时对工程结构与防护体系进行优化调整,保障工程长期安全稳定运行。

结束语

本文结合洛阳地区复杂水文条件与水利工程设计实践,系统完善了区域水文分析的核心内容、技术体系与数据应用逻辑,重点强化了水文参数在水利工程选址、地基防渗、安全性设计中的全流程应用,构建了以水文数据为核心的工程设计模式。通过精准开展区域水文监测、分析与数据转化,可有效解决传统设计中水文与工程脱节、方案脱离实际、安全隐患突出等问题,大幅提升水利工程设计科学性、经济性与安全性。

在区域水利工程高质量发展的背景下,水文分析的精度与深度将直接决定工程建设水平,未来需持续强化水文监测设施建设,完善区域水文数据序列,推动水文分析技术向智能化、数字化升级。后续研究可结合洛阳及豫西地区具体水利工程案例,进一步深化水文参数精细化分析,优化不同水文情景下的工程设计适配方案,推动自动化监测、大数据分析等新技术在水文分析与工程设计中的融合应用。持续完善“水文监测-数据分析-设计落地-运维反馈”闭环体系,为区域水利工程高质量发展、水资源可持续利用、防洪减灾体系完善提供更坚实的技术支撑,助力区域水利事业高质量发展。

参考文献

- [1] 刘小康.水利工程土石坝枢纽设计中的要点分析[J].中国科技纵横,2024(13):95-97.
- [2] 杨波.水文分析计算在水库工程区域引水中的应用研究[J].水上安全,2025(23):58-60.
- [3] 王茂才.分析水利工程坝址选择工程地质勘察要点[J].中国设备工程,2025(16):6-8.