

稳定性。在控制逻辑上,系统遵循“少配、勤配”的原则,通过精准的体积控制和频次优化,实现了浆液配制量与实际需求的匹配。这一创新不仅有效避免了传统配浆方式因过量配制造成的浪费,还确保了浆液的新鲜度和稳定性。灌浆站配浆人员由传统模式的每站1人优化为系统集中监控,实现了多站无人化配浆作业。配浆精准控制技术通过建立“实时监测-智能决策-精准执行”的闭环控制机制,不仅解决了传统配浆工艺在精度与效率方面的技术瓶颈,更重要的是为自适应灌浆系统提供了稳定可靠的浆液质量保障<sup>[4]</sup>。

### 3.4 灌浆精准控制技术应用

在杨房沟水电站渗控工程的智能化建设中,灌浆精准控制技术以实时数据驱动的多变量联动控制为核心,通过数值模拟、预测计算与闭环执行实现注浆过程的高精度调控。系统基于变压变浆理论建立非正常渗流耦合模型,将压力梯度、浆液黏度及渗透系数作为动态输入参数,采用有限差分法求解注浆扩散场边界,以实现浆液渗入半径与孔隙充填程度的实时预测。控制核心嵌入基于长短期记忆网络(LSTM)的时序预测模块,对压力-流量-密度三维序列进行趋势识别与异常预判,预测精度保持在86%以上。在现场操作中,系统以“一键灌浆”方式启动,自动加载孔段地质参数、注浆方案及历史工况数据,通过自适应PID算法联动调节灌浆泵速、阀门开度与注入压力,实现P-t、Q-t、 $\rho$ -t多曲线协同稳定<sup>[5]</sup>。灌浆过程中,监测单元持续采集孔口压力、流量及回浆量信号,数据经边缘计算节点实时滤波与特征提取,当识别到回流突增、压力突降或流量反转等异常模式时,系统自动执行降压缓注或停泵处理并生成报警记录。注浆泵组的反馈信号与回浆传感器数据在边缘计算节点进行滤波与聚类分析,识别堵管、渗漏等隐性故障。每次注浆作业结束后,系统将施工参数与注入曲线同步归档,自动生成电子灌浆日志并提交至云端平台,用于后续数据复核与模型自学习。为验证注浆效果,系统联动智能检测模块推荐靶向复核孔,并结合数字岩芯识别算法完成密实率、充填率与再渗透率计算,生成“三率”综合评价结果。经现场验证,4.4万m帷幕灌浆与2.6万m固结灌浆段的注入压力误差控制在 $\pm 0.05\text{MPa}$ 以内,浆液密度波动低于 $0.01\text{g/cm}^3$ ,透水率合格率达到100%,实现灌浆过程的全参数智能化管控与全过程可追溯化执行。

## 4 自适应智能灌浆系统水电站渗控工程应用效果

在杨房沟水电站渗控工程中,自适应智能灌浆系统

的综合应用实现了大坝接缝、固结及帷幕灌浆全过程的动态管控与精准执行。系统覆盖119个灌区,总灌缝长度23539m,其中固结灌浆完成2.6万m,帷幕灌浆完成4.4万m,I、II、III序单位注灰量分别为34.12、29.56、25.78kg/m,平均值为29.82kg/m,施工偏差控制在 $\pm 3\%$ 以内。通过对灌浆参数的实时感知与自适应调整,注浆压力、流量及密度动态曲线(P-t、Q-t、 $\rho$ -t)匹配度提升至92%,渗透率控制精度显著提高。系统采用多源数据协同决策算法,在注入阶段对孔段渗透特性实时反馈,自动修正终压与流量阈值,使透水率最大值降至0.92Lu,灌浆质量合格率达100%。在资源利用方面,智能配浆模块与制输浆联控系统实现水灰比与浆液密度双闭环控制,使浆液浪费率下降18%,共节约施工用水约2000m<sup>3</sup>、水泥约160t,现场临时设施面积减少约4200m<sup>2</sup>。系统通过云端数据库对全过程数据进行归档、分析与比对,生成电子化施工报告,并对异常数据点进行自学习修正。施工完成后,系统依据灌浆日志与地质模型自动推荐检查孔位,靶向推荐契合度超过95%。三率自动识别系统基于岩芯影像智能判别算法,实现岩芯完整率、充填率与密实率的识别精度分别为96.1%、94.5%与95.3%,有效支撑灌后质量评价及防渗效果验证。

## 5 结语

综上所述,自适应智能灌浆系统在中国水电站渗控工程中的推广与应用,标志着灌浆施工技术已由经验型操作向数据驱动、自主决策的智能化阶段转变。以杨房沟水电站为代表的实践表明,该系统通过集成随钻感知、制输浆精准控制、配浆精控与灌浆自适应调控等模块,实现了从数据采集、分析到执行反馈的全过程智能闭环控制。项目运行结果验证了系统在渗控区段的均匀注浆、压力稳定及透水率控制方面的卓越性能,为水电站防渗施工提供了高可靠性技术支撑。

## 参考文献

- [1] 詹程远,张帆,张宏伟,等.水电工程水泥灌浆智能控制系统研究与应用[J].长江技术经济,2024,8(5):120-126.
- [2] 陈刚.水利工程施工中帷幕灌浆技术的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(003):000.
- [3] 樊启祥,黄灿新,蒋小春,等.水电工程水泥灌浆智能控制方法与系统[J].水利学报,2019(2):10.DOI:10.13243/j.cnki.slxb.20180876.
- [4] 李晓超.水利水电工程坝基灌浆施工质量智能控制理论与应用研究[D].天津大学,2018.
- [5] 邹泉.水利水电工程智能灌浆控制技术与控制系统分析[J].工程建设与技术,2025(6).

# Study on planning and design measures of water conservancy channel improvement project

Xiaobing Zhang

Tianjin Water Planning Survey and Design Co., Ltd., Tianjin, 300204, China

## Abstract

The effective implementation of planning and design for water conservancy river channel improvement projects can better ensure the effectiveness of river remediation and maintain ecological balance, which requires attention and emphasis. Relevant personnel should adhere to the principles of safety priority, ecological coordination, and functional comprehensiveness during the planning and design process. On this basis, adjustments should be made to key aspects such as enhancing flood control and drainage capacity, restoring river ecosystem, and optimizing the utilization of shoreline resources, ensuring the scientific rigor, appropriateness, and effectiveness of water conservancy river channel improvement project planning and design.

## Keywords

water conservancy river channel improvement; engineering; planning and design; comprehensive benefits

# 水利河道整治工程规划设计措施研究

张小兵

天津市水务规划勘测设计有限公司, 中国·天津 300204

## 摘要

水利河道整治工程规划设计工作的有效落实可以更好的保障河道整治效果, 维护生态平衡, 需要引起关注和重视, 相关人员在规划设计的过程中应坚持安全性优先原则、生态协调性原则和功能综合性原则, 在此基础上紧抓防洪排涝能力提升、河道生态系统修复、岸线资源优化利用等相应关键点做出调整, 保证水利河道整治工程规划设计的科学性、适切性与有效性。

## 关键词

水利河道整治; 工程; 规划设计; 综合效益

## 1 引言

河道是自然界水文循环的重要载体, 承载着防洪排涝、水资源供给、生态调节、区域发展支撑等相应功能, 在这样的背景下做好水利河道整治是十分必要的, 而在水利河道整治工程中规划设计可以将风险和问题前置。因此, 在水利河道整治工程中, 通过科学的规划设计将风险和问题前置, 是十分必要的。

## 2 水利河道整治工程规划设计原则

在水利河道整治工程规划设计中相关工作人员应坚持如下几点原则, 保障规划设计的科学性, 如图1所示。

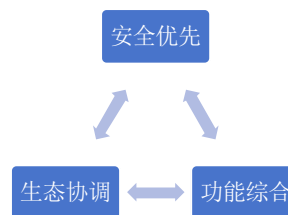


图1 水利河道整治工程规划设计原则

首先, 应坚持安全性优先原则, 发挥河道防洪排涝的基本功能, 以保障防洪安全为首要目标, 根据该地区流域防洪规划确定洪水标准, 配合堤防加固、河道疏浚等相应技术方法确保河道的行洪能力达标。在此基础上还需要关注堤防、河岸等配套建筑物的结构安全。

其次, 应坚持生态协调性原则, 在水利河道规划设计的过程中相关工作人员需要摒弃传统工程设计理念, 避免对自然形态的过度干预, 以保证生态系统完整性、维护生态平衡为核心, 优先选用生态友好型技术, 确保水体与岸坡、陆地间的物质循环和能量交换, 为水生生物的繁衍、生长提供

【作者简介】张小兵(1983-)男, 河北文安人, 本科, 工程师, 从事水务(工程规划、设计、咨询)研究。

良好的栖息环境。

最后,应当遵循功能综合性原则,即在水利河道工程规划设计的过程中,相关工作人员必须考量该地区的综合发展需求,统筹河道的多重功能,例如防洪排涝功能、景观休闲功能、生态平衡功能甚至通航功能等。以此来满足后续河道正常使用的要求。

### 3 水利河道整治工程规划设计要点

防洪排涝是水利河道整治工程的重点任务之一,需要通过“输、固、优、配”四维协同措施来更好地保障河道的行洪排涝能力。

首先,需做好河道疏浚工程优化,河道疏浚工程可以更好地恢复河道行洪能力。在规划设计过程中相关工作人员必须做好数据的采集整合和分析,明确河道淤积地区的淤积厚度和泥沙特性。在此基础上对疏浚工艺作出适当的调整和优化。例如可以引入环保绞吸式挖泥船来处理粘性淤泥为主的河道,可以引入链斗式挖泥船来处理砂质淤积河段<sup>[1]</sup>。

其次,需要做好堤防加固和升级。在堤防加固和升级设计过程中也需要坚持具体问题具体分析的原则,根据存在的堤防病害问题来确定相应的修复方案,保障修复质量和修复效果。一般情况下在堤防加固与升级过程中需要着重考量的问题主要包含堤身裂缝、渗漏、堤身单薄等问题。堤身裂缝问题可通过压力灌浆技术进行处理,堤身渗漏也可以通过土工膜防渗层构建或地下防渗墙构建进行处理。堤身单薄问题可通过培厚堤身和加高堤顶等相应方式来进行处理。在此基础上还可通过堤防生态化改造的方式,提高堤防加固与升级效果,实现安全与生态共赢。

在河道断面优化的过程中需根据该地区的地形条件、功能需求来对断面形式作出适当调节。不同断面的适用场景和技术参数是存在鲜明差异的,必须针对性地进行调整,可以将断面类型划分为矩形断面、梯形断面、复式断面、自然蜿蜒断面等,在此基础上则可以根据实际情况来确定结构参数,如表2所示。

表2 河道断面类型设计参数及适用场景

断面类型	结构参数	适用场景
矩形断面	岸坡坡度 1:0, 底宽 3-10m	城市狭窄河道、建筑密集区
梯形断面	岸坡坡度 1:1.5-1:3, 底宽 5-15m	乡村河道、开阔区域
复式断面	主槽底宽 8-20m, 滩地宽 5-10m	洪水期行洪需求大的河道
自然蜿蜒断面	曲率半径 3-5 倍河宽, 深潭深度 2-3m	生态敏感区、景观河道

配套排涝建筑物需根据该地区区域汇水特征来进行调节。例如该地区属于低洼区域,这时则可通过排涝泵站的位置来保障排涝效果。而在支流汇入干流处则可以通过节制闸的设置实现挡洪排涝、蓄水等多重功能的有机协调。

#### 3.1 河道生态系统修复

现阶段来看,在水利河道整治工程开展的过程中河道生态系统修复是十分重要也是十分关键的目标,可以通过保证水体岸线和陆地的生态连通性保障河道生态修复效果。在规划设计中工作人员需要紧抓生态护岸工程、水生生物栖息地构建以及水体净化三大关键点展开分析。

在生态护岸工程建设的过程中可以根据该地区的地势地形和生态环境来对护岸类型作出适当调节。可采用的护岸类型包括格宾石笼护岸、植被混凝土护岸、抛石护岸等。格宾石笼护岸更适用于流速相对较大的区域,可以将石块装入到镀锌格宾网箱,堆叠形成护岸,并在石笼中填充土壤,种植植物。植被混凝土护岸更适用于景观河道的构建,可以在混凝土基材中添加腐殖土和植物种子以及保水剂,满足植物的生长需求,形成植物生长基质,采用此种方式植被覆盖率可以达到90%以上,且其结构的稳定性和视觉效果都是相对较好的。抛石护岸更多的是应用于山区河道整治当中,可通过大块石抛投形成不规则岸坡,并利用石块间隙营造微环境,种植植物,保障生物多样性,恢复生态系统<sup>[2]</sup>。

在水生生物栖息地构建的过程中应当根据该地区的自

然特点来进行形态调整,尤其需要保障深滩、浅滩、沙洲等地貌能够得到有效保留。在河道整治的过程中还可以通过局部开挖生成深潭,保障其深度在2~3m,深潭可以作为鱼类等相应水生生物越冬和越夏的场所。此外可通过堆筑卵石形成浅滩,保障其水深在0.3~0.5m以内,为水生植物的生长提供良好的环境,同时浅滩也是鱼类产卵的重要场所。在河道中部还可以设置沙洲,构建复合型栖息地,配合人工水草、生态鱼巢投放等多种方式来为水生生物的生长繁衍提供良好的生存环境。

在水体生态净化的过程中可以从源头控制、过程拦截、末端净化完成生态净化体系构建,保证净化效果。在源头控制上需要通过数据调查来明确该地区的污染源头,并通过污水管网建设完成污水的集中处理。在过程拦截上可通过植被缓冲带的建设,在河道两侧种植芦苇、香蒲等挺水植物,这些挺水植物可以有效拦截污染物质,其污染物去除率可以达到30%~40%。在末端净化上可以借助人工湿地、生态浮岛等技术<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 岸线资源利用

岸线资源利用也是水利河道整治规划中十分重要的内容,而在岸线资源利用优化的过程中相关工作人员可紧抓岸线功能分区、岸线空间管控两大核心要点展开分析。在岸线功能分区的过程中可以根据河道的功能定位和地方的发展规划、来对功能分区作出调整,明确不同功能分区的管控标