

基于溢流调节的过水堰坝水流控制施工技术研究

文 / 朱 娜 衡宇建设集团有限公司

摘要：为提升过水堰坝水流控制施工水平，对基于溢流调节的相关技术展开研究。分析溢流调节在防止水流超限、稳定水位流量、提高系统安全性及确保下游水流合理利用等方面的作用，剖析当前施工中存在水流调节精度不足、溢流调节系统不稳定、施工技术与材料适应性差等技术难题。通过优化溢流口设计、引入智能化水流监控系统、采用新型施工材料与工艺等策略旨在解决现存问题。结果表明，这些策略有助于提高过水堰坝水流控制施工技术，为实际工程提供了可行的技术路径与参考依据。

关键词：溢流调节；过水堰坝；水流控制；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.084

引言

在水利工程领域，过水堰坝作为控制水流的关键设施，其水流控制施工技术的优劣对工程整体效益至关重要。随着水利项目规模与复杂性的增加，对水流控制精度、稳定性及资源合理利用的要求不断攀升。然而，当前过水堰坝施工面临诸多挑战。水流调节精度不足，难以精准把控水流状态；溢流调节系统稳定性欠佳，易受多种因素干扰而失效；施工技术与材料适应性差，导致工程质量与耐久性受限。在此背景下，基于溢流调节的过水堰坝水流控制施工技术研究迫在眉睫，旨在突破现有瓶颈，提升水流控制水平，确保水利工程安全、高效运行。

一、溢流调节在水流控制中的作用

（一）防止水流超限

在水利工程运行过程中，遭遇暴雨、洪水等极端天气时，水流流量会急剧增加。若不加以有效控制，超出过水堰坝设计承载能力的水流，可能会对堰坝结构造成直接冲击，引发漫顶、坝体冲刷甚至溃坝等严重后果。溢流调节通过设置合理的溢流口尺寸、形状及高度，能够在水流达到一定阈值时，及时将多余水量排出，限制水流的最大流量^[1]。例如，在一些山区河流的水利工程中，当夏季突发山洪，水位迅速上涨，溢流调节系统启动，有序引导超量水流安全下泄，避免了水流超限对堰坝及周边设施的破坏，保障了上下游居民的生命财产安全。

（二）稳定水位和流量

稳定的水位和流量对于水利工程的正常运行及周边生态环境的稳定至关重要。在天然河道中，水流受季节、降水等因素影响波动较大。溢流调节系统通过自身的调节机制，能够在来水流量变化时，自动调整溢流量。当上游来水增多，水位上升，溢流调节设施开启，增加溢流量以维持水位在合理范围，同时稳定下游流量；当来水减少，通过调节减少溢流量，防止

水位过度下降。以城市供水的水库为例，通过精准的溢流调节，确保了水库向城市供水的水位和流量稳定，保障了城市居民的日常用水需求，也为工业生产提供了稳定的水源供应，避免因水位和流量波动对相关产业造成不利影响。

（三）提高系统的安全性

水利工程系统的安全涉及到多个方面，包括结构安全、运行安全以及对周边环境的安全保障。溢流调节在其中发挥着不可或缺的作用。从结构安全角度看，合理的溢流调节避免了水流对堰坝的过度冲刷和集中压力，降低了坝体出现裂缝、渗漏等病害的风险（如图一所示），延长了堰坝的使用寿命。在运行安全方面，能够有效应对突发情况，如地震、泥石流等自然灾害引发的水流变化，及时调整水流状态，保障水利工程设备的正常运行，避免因水流异常导致的设备故障。此外，溢流调节对周边环境安全也有重要意义，防止因水流失控引发的洪水泛滥、淹没周边区域等情况，减少了对生态环境和人类生活的潜在威胁，全方位提高了水利工程系统的安全性。



图1 堰坝过度冲刷

（四）确保下游水流的合理利用

下游地区的生产生活和生态环境依赖于稳定且合理的水流。溢流调节能够根据下游的实际需求，对水流进行科学分配。在农业灌溉方面，通过控制下游水流流量和水位，确保农田能够得到充足且适宜的灌溉用水，满足农作物不同生长阶段的需水要求，提高农业产量。在工业用水方面，稳定的水流为工业生产提供了可靠的水源保障，有利于工业企业的持续稳定运行。同时，合理的水流对于维持下游河道的生态平衡也至关重要^[2]。适当的流量能够保证河道内水生生物的生存环境，维持生物多样性，促进水体的自净能力，避免因水流过小导致水质恶化或因水流过大破坏生态栖息地。通过溢流调节，实现了下游水流在各方面的合理利用，促进了经济、社会和生态的协调发展。

二、当前过水堰坝施工中的技术难题

（一）水流调节精度不足

在过水堰坝施工完成后的实际运行中，水流调节精度不足是较为突出的问题。一方面，传统的水流调节计算模型多基于理想的水流状态，然而实际水流受河道地形、来水含沙量、水温变化等多种复杂因素影响，这些因素在模型中难以全面精准体现。例如，河道中存在的 irregular 凸起或凹陷地形，会改变水流的流态，导致实际流量与理论计算值产生偏差，使得调节装置难以按预期控制水流。另一方面，调节设备的自身性能局限也影响精度。部分调节闸门的开度控制不够灵敏，无法实现对微小流量变化的精确调整。而且，现有的流量监测设备在测量精度上也存在一定误差，反馈给调节系统的数据不够准确，进一步导致调节动作偏离实际需求，无法满足水利工程对水流高精度控制的要求，如在一些对灌溉用水流量精度要求极高的农业水利项目中，水流调节精度不足可能导致部分农田灌溉不足或过量，影响农作物生长。

（二）溢流调节系统不稳定

溢流调节系统的稳定性面临多方面挑战。其一，系统的控制逻辑易受外界干扰。当遭遇突发强降雨或洪水时，水流的急剧变化可能超出系统预设的应对范围，导致控制程序出现紊乱。例如，一些基于简单阈值控制的溢流调节系统，在面对短时间内大量来水时，可能无法及时准确判断并调整溢流口开度，造成溢流调节滞后或过度调节。其二，机械部件的耐久性问题。长期处于水流冲击、腐蚀环境下，溢流调节系统中的机械传动部件，如阀门的转轴、连接件等，容易出现磨损、变形，导致设备运行卡顿甚至故障^[3]。此外，电气控制部分也易受潮湿环境、电磁干扰等影响，出现线路短路、控制信号丢失等情况，使得整个溢流调节系统无法稳定运行，

严重时可能导致堰坝无法正常调节水流，威胁水利工程安全。

（三）施工技术与材料的适应性差

在过水堰坝施工中，施工技术与选用材料的适配性不佳是一大难题。首先，新型施工技术的应用可能对材料性能提出新要求，而现有材料无法满足。例如，一些先进的快速施工技术需要材料具备更好的早期强度和快速凝结特性，但传统的建筑材料在这方面表现不足，导致施工过程中出现材料不凝固、结构强度增长缓慢等问题，影响施工进度和质量。其次，不同地区的地质、水文条件差异较大，某些施工技术和材料在特定环境下可能无法发挥应有效果。如在寒冷地区，若采用普通的混凝土材料和常规施工工艺，在冬季低温环境下，混凝土容易受冻胀破坏，降低坝体的耐久性和稳定性。此外，一些新型材料在施工工艺上缺乏成熟经验，施工人员难以精准把握施工要点，导致材料性能无法充分发挥，无法达到预期的工程效果。

三、基于溢流调节的水流控制施工技术策略

（一）优化溢流口设计

优化溢流口设计是提升水流控制能力的关键环节。传统溢流口往往在形状、尺寸及位置设置上存在一定局限性。在形状方面，新型的曲线形或复合型溢流口设计，相较于常见的矩形溢流口，能更好地适应水流特性，减少水流在溢流过程中的能量损失与紊流现象，提高溢流效率。在尺寸确定上，通过精确的水力计算和模型试验，充分考虑不同工况下的来水流量、水位变化以及下游河道的过流能力，使溢流口尺寸既能满足大流量泄洪需求，又能在小流量时精准调节水位。例如，在一些多泥沙河流的堰坝工程中，将溢流口位置适当抬高，并设置前置沉沙池，可有效减少泥沙进入溢流口，降低对下游河道的淤积影响，同时避免泥沙对溢流口设施的磨损，延长其使用寿命^[4]。通过全方位优化溢流口设计，可显著提升过水堰坝对水流的调控精度与稳定性。在实际工程中，为了进一步优化溢流口设计，施工团队会进行实地勘察。针对不同的河道地貌，如狭窄山谷与开阔平原，会采用不同的设计方案。在狭窄山谷处，由于水流速度快、冲击力强，会设计收缩型溢流口，引导水流集中下泄，增强水流的可控性。而在开阔平原地区，为了避免水流对下游大面积区域造成冲刷，会采用扩散型溢流口，使水流均匀分散。同时，在设计过程中还会考虑到当地的气候条件，如暴雨频率和强度。对于暴雨频发地区，溢流口尺寸会适当加大，以确保在短时间内能够顺利排出大量洪水。并且，在溢流口周边设置防护设施，如抗冲耐磨的护坦和海漫，减少水流对周边基础的淘刷，保障溢流口长期稳定运行（如图2所示）。

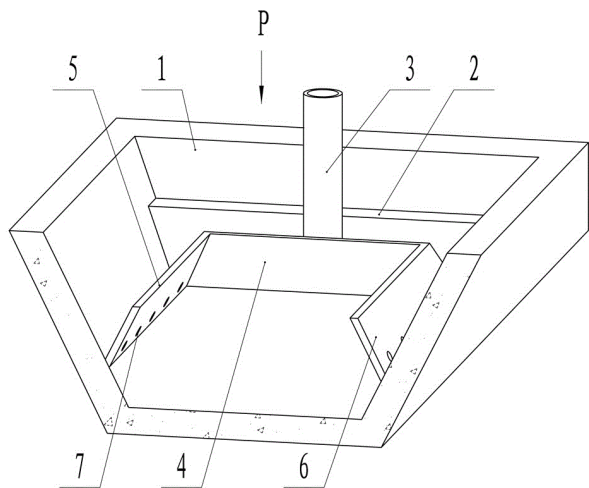


图2 水流减缓装置

(二) 引入智能化水流监控系统

智能化水流监控系统为水流控制带来了质的飞跃。该系统利用先进的传感器技术，能够实时采集水位、流量、流速、水质等多维度数据。通过在堰坝上下游及关键位置布置高精度水位传感器和多普勒流量计，可精确获取水流信息，并将数据实时传输至控制中心。基于大数据分析和智能算法，系统能够对水流状态进行精准预测与分析。当监测到水流异常变化时，如流量突然增大或水位快速上升，系统可自动发出预警信号，并根据预设的控制策略，远程操控溢流调节设备，及时调整溢流口开度或启动辅助调节装置，实现对水流的动态、精准控制。例如，在城市防洪工程中，智能化水流监控系统可提前预判洪水来临时间与规模，为防洪指挥决策提供科学依据，同时自动优化调节堰坝溢流，有效减轻洪水灾害风险，极大地提高了水流控制的及时性与可靠性。在实际运用中，智能化水流监控系统与水利工程的管理平台深度融合。管理人员在办公室内即可通过电脑或手机端实时查看水流各项数据，直观了解堰坝运行状态。系统的预警功能不仅局限于发出警报，还会根据不同的风险等级，提供相应的应对措施建议。比如，当监测到流量接近警戒值时，系统会提示逐步增大溢流口开度；若水位快速上升且流量持续增加，系统会建议启动备用泄洪通道。此外，通过与历史数据对比和机器学习算法，系统能够不断优化自身的预测模型，提高预测的准确性。在一些跨区域的大型水利工程中，智能化水流监控系统还能实现多部门信息共享，水利、气象、交通等部门协同作战，共同应对水情变化，全方位提升水流控制的效率与效果。

(三) 采用新型施工材料与工艺

新型施工材料与工艺的应用为过水堰坝施工带来了诸多优势。在材料方面，高强度、耐腐蚀且耐久性好的新型混凝土材料，如纤维增强混凝土，能有效增强堰坝结构的抗冲刷能力和抗渗性能。这种材料内部的纤维成分可有效抑制混凝土裂缝的产生与发展，延长堰坝使用

寿命。在施工工艺上，采用先进的预制拼装工艺，相较于传统的现场浇筑，可大幅缩短施工周期，减少现场施工对周边环境的影响。同时，预制构件在工厂标准化生产，质量更易控制。例如，在一些生态型堰坝建设中，采用生态友好型的透水材料和特殊的施工工艺，既能满足水流控制需求，又能促进水体与周边土壤的物质交换，为水生生物提供良好的栖息环境，实现水利工程与生态环境的和谐共生，提升了过水堰坝在水流控制方面的综合性能。实际施工时，新型施工材料的选择会根据工程的具体需求和环境特点进行^[5]。在沿海地区，由于海水的侵蚀作用，会选用抗氯离子腐蚀的特种混凝土材料，确保堰坝在恶劣的海洋环境下长期稳定运行。对于一些对景观要求较高的城市内河堰坝工程，会采用装饰性与功能性兼具的新型材料，如彩色透水混凝土，既满足水流控制和生态需求，又能美化环境。在预制拼装工艺方面，工厂会根据设计图纸，精确制作各种形状和尺寸的预制构件。在施工现场，利用大型起重设备将预制构件快速拼装到位，大大缩短了施工时间。而且，预制构件之间采用先进的连接技术，如预应力连接和密封胶密封，确保拼接处的强度和密封性。在施工过程中，还会注重对周边生态环境的保护，采取围挡、洒水降尘等措施，减少施工对周边动植物的干扰，真正实现施工技术 with 生态环境的友好结合。

结语

综上所述，文章深度剖析了基于溢流调节的过水堰坝水流控制施工技术。研究表明，溢流调节在维持水流稳定、保障水利系统安全等方面意义重大。然而，当下施工存在水流调节精度欠佳、系统稳定性不足以及材料与工艺适配度低等问题。为此，提出优化溢流口设计，依据不同水流条件精准调控；引入智能化监控系统，实时把握水流动态；采用新型材料与工艺，增强堰坝性能与施工效能等策略。这些策略若能有效实施，将极大提升水流控制施工质量，有力推动水利工程稳健运行。未来，需紧跟技术发展趋势，持续探索创新，为水利事业发展提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 宋建新. 航电枢纽工程施工导流及水流控制技术[J]. 水上安全, 2024, (01): 34-36.
- [2] 肖洪勇, 董丽娟. 水利水电工程施工水流控制过程的仿真与优化[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016, (20): 56-57.
- [3] 王彪. 威远水电站施工导流及水流控制研究[J]. 工程建设与设计, 2018, (11): 193-195.
- [4] 赵伦. 堆石坝超大基坑施工期水流控制技术[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(06): 32-34+244.
- [5] 郭勇. 浩口水电站施工期水流控制技术综述[J]. 四川水利, 2018, 39(06): 58-61.

作者简介：朱娜(1991.11)，女，汉族，安徽阜阳人，工程师，本科学历，研究方向：水利水电工程。