

水利工程水下施工技术及安全控制研究

王 哲

江华浩坤新能源有限公司 山东 济南 250100

摘 要：水利工程水下施工长期面临复杂水域环境的多重约束，施工技术体系与安全管控水平直接影响工程质量与作业安全。本文围绕水下施工的基础条件与作业特性展开梳理，解析基础处理、结构安装、浇筑修补及辅助配套等核心技术环节，剖析自然环境、施工设备、人员作业与施工工艺四类安全隐患的成因，并从施工前期前置管控、过程动态监控、人员防护、设备运维及应急管理五个维度构建安全控制体系，为提升水下施工技术应用与安全管理水平提供系统参考。

关键词：水利工程；水下施工；安全控制；施工技术；隐患管控

引言：水利工程建设中，水下施工作业长期面临水文条件复杂、作业空间受限、可视程度低等突出难题，施工安全与质量管控始终是制约工程推进的关键瓶颈。水流扰动、地形起伏及设备性能衰减等因素叠加，使得水下作业的不确定性显著高于陆地施工。围绕水下基础处理、结构安装、浇筑修补等核心工序，系统辨识安全风险诱因并建立匹配的管控机制，对于保障水利水下工程的结构完整性与运行可靠性具有重要的工程实践价值。

1 水利工程水下施工基础条件与施工特性

1.1 水下施工环境影响因素

水利工程水下作业依托复杂的自然水环境开展，各类水体自然条件会从不同维度约束施工推进质量与效率。水体流动状态会持续作用于施工机具与作业结构，水流速度的动态变化会改变水下施工载体的受力状态，干扰施工定位精度与作业稳定性，大幅提升施工对位与成型控制的难度^[1]。水域深度会直接限定水下作业的开展范围，水深数值的增加会提升水下作业的作业层级，弱化地面管控对水下施工的调控力度，影响各类施工工序的正常推进。水体温度的季节性与区域性变化会改变水体物理特性，间接影响施工材料的性能状态与机具的运行工况，对水下施工成型质量形成隐性制约。水体内部的杂质含量、浑浊程度等水质条件会遮蔽水下作业视野，阻碍施工人员与智能设备对水下工况的精准判定。

1.2 水下施工作业基本特征

水利工程水下施工相较于陆地施工具备显著的差异化特点，整体作业开展的约束性与复杂性大幅提升。水下作业被水体空间全域包裹，可利用作业空间受到水域边界与水体结构的严格限制，施工机具的移动调整与工序切换存在较大阻碍。水体自身的遮挡与浑浊属性会大幅降低作业可视程度，水下工况的实时状态无法实现清

晰观测，施工过程的精准管控难以落地。特殊的水环境会叠加作业空间与视野的双重限制，提升各项施工操作的实施难度，对施工工艺精度与作业把控能力提出更高标准。水利水下工程多为整体连续性施工项目，工序衔接的紧密程度较高，施工中断会直接影响整体工程结构的完整性与稳定性，对施工流程的持续推进有着严苛标准。自然水域的水文、环境状态处于动态波动过程，外界环境的随机变化会持续干扰施工进度，大幅提升水下施工的不确定性与不可控性。

1.3 水下施工设备与作业条件适配要求

水下复杂的环境工况与特殊作业模式，对施工设备的性能参数与运行状态提出专属适配标准。各类水下施工设备需匹配对应水域的水文与地形条件，设备的抗压性能、防水性能与抗水流干扰性能需贴合水下作业的实际工况，保障设备在水环境中的稳定运行。正式开展水下施工前，需完成设备调试、工况检测、水域勘察等多项前置工作，全面排查设备运行隐患与水域施工阻碍，搭建稳定合规的作业基础。水下施工过程包含人工操控与机械运行的多元作业模式，人机配合的运行节奏需匹配水下工序的推进逻辑。人工操作的管控力度与机械作业的运行参数需相互适配，依托合理的作业配比与配合模式，保障水下各项施工工序有序落地，提升整体施工开展的规整性与高效性。

2 水利工程核心水下施工技术

2.1 水下基础处理施工技术

水下基础处理是水利水下工程施工的核心前置工序，直接决定工程基础的承载能力与整体稳定性。水下清淤作业针对水域内部淤积泥沙与杂物开展清理作业，通过标准化施工流程清除基面多余堆积物质，恢复施工区域基面原始状态^[2]。作业过程需要严格遵循行业施工工

艺规范,精准控制作业范围与作业深度,规避基面土体过度扰动的问题。水下整平作业对清理后的施工基面进行精细化修整,调整基面整体平整度与规整度,弱化水下地形偏差对后续施工的不利影响。水下地基加固依托专业施工工艺改善基底土体结构,提升地基整体密实度与承载性能,严格把控施工过程中的工艺参数与作业精度,保障基础结构满足水利工程长期运行的承载需求。

2.2 水下结构安装施工技术

水下结构安装技术决定水利工程主体结构的成型精度与拼接质量,多类核心工序构成完整的水下安装施工体系。水下构件吊装依托专业吊装设备完成各类工程构件的水下输送与安放,全程平稳调控构件运行姿态,保障构件安放位置符合施工设计标准。水下模板安装注重结构贴合度与稳固性能,强化模板整体密封性,杜绝水体杂质渗入施工区域影响结构成型。水下结构拼接依照工程设计标准对接各类预制构件,精细调控构件对接缝隙与整体平整度,保障结构整体统一性。水下预埋件布设严格遵循施工设计参数,精准定位布设位置,稳固固定各类预埋构件,为后续结构施工与设备安装提供可靠基础条件。

2.3 水下浇筑与修补施工技术

水下浇筑与修补技术用于实现水下结构成型与病害治理,维系水利工程结构的完整性与防渗性能。水下混凝土浇筑采用适配水环境的专用施工工艺,管控混凝土材料配比与浇筑速度,减少水体对混凝土凝结效果的干扰,保障浇筑结构的密实度与强度达标。水下结构缺陷修补针对结构成型后产生的破损、裂隙等问题开展专项处理,根据缺陷实际状态选用适配施工工艺,修复结构受损部位,恢复结构原有力学性能。水下防渗处理通过专用施工材料与工艺封堵结构渗水通道,强化水下结构整体防渗能力,规避水体渗透引发的结构侵蚀与工程隐患,稳固水利工程水下主体结构。

2.4 水下辅助配套施工技术

水下辅助配套施工技术为主体工程施工提供基础保障,维系全流程施工工作有序开展。水下探测定位依托专业探测设备采集水域地形、施工点位及水下工况数据,精准锁定施工核心区域,为各类水下施工工序提供精准数据支撑。水下管线布设遵循标准化施工流程规划管线铺设路径,规整管线排布形态,稳固管线安装结构,满足水利工程输水与排水的基础运行需求。水下临时支护针对复杂水下工况搭建临时防护结构,提升施工区域整体稳定性,抵御水域环境波动带来的施工风险,为主体施工操作营造安全稳定的作业环境。

3 水利工程水下施工安全风险诱因与隐患分析

3.1 自然环境类安全隐患

水利水下施工长期暴露于露天水域环境中,各类自然条件的动态变化会持续滋生施工安全隐患。水域水体状态始终处于动态更迭过程,水流涌动、水位涨跌等水体变化会持续扰动施工工作面的稳定状态,改变施工设备与作业结构的受力条件,提升作业失控的概率^[3]。水下地形具备不规则性与复杂性,隐藏的凹凸结构、深浅落差及水底沟壑会改变施工基面状态,影响设备安放与人员作业的平稳性,极易引发施工偏移或结构失稳问题。雨雪大风及极端水文气象条件会大幅恶化水域作业环境,降低施工可视范围与作业可控程度,干扰施工工序正常推进,增加水下施工整体安全管控难度,形成多维度的环境安全隐患。

3.2 施工设备类安全隐患

水下施工依托多类型机械设备开展作业,设备全运行周期的不稳定状态会衍生各类安全风险。水下施工机械长期浸泡在水体环境中,外部结构与内部零部件易受水体侵蚀,出现性能衰减与运行异常的问题。吊装设备承载负荷与运行姿态把控存在偏差,机械构件磨损、固定结构松动等问题会弱化设备运行稳定性,提升吊装作业失控概率。潜水作业设备承担水下人员防护与作业支撑功能,设备密封性能、供气系统及监测部件出现异常,会直接影响水下作业人员的作业状态。检测辅助设备精度偏移、运维养护不到位会造成施工数据采集失真,误导施工管控与作业调整工作,滋生隐性安全风险。

3.3 人员作业类安全隐患

水下施工各类作业环节均依托人工配合完成,人员作业状态与操作行为直接关联施工安全水平。潜水作业人员长期处于高压复杂的水下环境,作业状态会随作业时长与环境变化出现波动,作业专注度下降会引发操作把控不到位的问题。现场操作人员对水下施工工况的判断出现偏差,作业操作流程未严格贴合施工标准,会造成工序操作出现疏漏。设备运维人员开展设备检查、养护与调试工作时,未全面落实设备排查标准,遗漏设备潜在故障问题。各类岗位人员对施工规范的执行力度不足,作业流程落实流于形式,成为引发施工安全隐患的重要人为诱因。

3.4 施工工艺类安全隐患

水下施工工艺的落实质量与工序排布方式,对整体施工安全形成直接影响。各类水下施工工序具备紧密的关联属性,前后工序衔接节奏把控不合理,会造成施工流程出现断层,破坏施工体系的整体性。技术操作未严

格遵循行业工艺标准,施工参数把控出现偏差,工艺操作精细度不足,会造成结构施工质量不达标,衍生结构性安全隐患。整体施工工序排布未结合现场水域工况与施工条件优化调整,固化老旧施工模式,无法适配动态变化的水下作业环境,大幅提升施工故障与安全事故的发生概率。

4 水利工程水下施工安全控制体系与管控措施

4.1 施工前期安全前置管控

施工前期前置管控是阻断水下安全隐患的核心手段,能够从施工源头降低安全事故发生概率。工程开展阶段需要对整体作业方案进行细化优化,结合水域施工条件调整工艺排布与作业模式,保障方案内容适配现场施工实际状态。全面开展各类施工设备检修工作,排查机械运行隐患与零部件损耗问题,保障设备运行状态符合施工标准。组织在岗作业人员参与专项岗前实训,强化人员对水下施工规范与操作技能的掌握程度,提升岗位作业专业水平^[4]。系统开展施工环境前置排查工作,摸排水域水文状态、地形结构及环境风险点,为后续施工开展构建稳固安全基础。

4.2 施工过程动态安全管控

水下施工整体流程具备动态变化特性,全过程动态管控可以持续稳定施工安全状态。落实现场作业监护工作,紧盯水下各项工序的推进过程,及时纠正不规范作业行为。落实设备运行管控工作,跟踪机械作业工况与运行参数,及时调控设备运行状态。搭建环境实时监测机制,持续采集水域水文、气象及作业环境数据,捕捉环境状态的细微变动。严格约束各工序操作行为,统一现场作业执行标准,推动各施工环节按照规范流程稳步推进,持续压缩安全风险滋生空间。

4.3 作业人员安全防护管控

人员作业安全是水下施工安全管理的核心内容,多维度管控举措可以强化人为作业安全保障。落实标准化个体防护举措,根据水下作业工况配置适配防护装备,弱化复杂环境对作业人员的安全威胁。规范岗位作业权限管控,明确不同岗位的作业范围与操作权限,杜绝跨岗违规作业现象。制定科学合理的轮班作业规范,合理分配作业时长,缓解高强度水下作业带来的作业疲劳。常态化开展应急处置培训与实操训练,提升人员应对突

发作业风险的处置能力,夯实人员作业安全基础。

4.4 施工设备安全运维管控

设备稳定运行是水下施工有序推进的重要支撑,全周期运维管理能够规避设备衍生安全风险。建立设备常态化运维管理机制,依据设备使用工况开展常态化养护工作,延缓设备性能衰减速度。落实周期性检修制度,定时核查设备结构、运行系统与精密部件状态,及时处理设备损耗问题。完成设备作业前系统化调试工作,校准设备运行参数,保障设备适配当期施工工况。梳理设备常见故障特征,搭建故障预判处置模式,提前排查潜在设备隐患,规范设备全周期管理流程。

4.5 施工现场应急安全管控

应急安全管控为水下施工提供兜底保障,有效应对各类突发施工险情。搭建完善的水下施工突发状况应急处置机制,贴合水下作业特性梳理应急处置流程。明确不同险情对应的应急响应方式,根据风险等级启动对应处置流程,提升应急处置的针对性与高效性。规范现场救援管控流程,合理调配救援物资与救援力量,有序开展现场抢险作业。持续完善施工现场应急保障体系,补齐应急管理短板,全面提升水下施工场景的风险抵御能力。

结束语

水利工程水下施工的技术推进与安全管控始终处于动态博弈之中。自然环境的持续侵蚀、设备性能的不稳定、人员操作的偏差以及工艺执行的疏漏,共同构成安全隐患的多重来源。从前期方案优化到过程动态监管,从人员防护落实到设备全周期运维,再到应急兜底保障,五个管控维度相互嵌套、缺一不可。唯有将技术精度与安全意识贯穿施工全流程,方能有效压制各类风险的滋生空间,保障水下工程的整体施工质量与作业安全。

参考文献

- [1]张鑫伟,朱佳辉,黄一城.水利工程水下施工技术及安全控制研究[J].水上安全,2026(1):136-138.
- [2]李德辰.水下爆破技术在水利工程施工中的应用与安全防护研究[J].水上安全,2025(15):183-185.
- [3]吴霞霞.水利工程渡槽桩基础施工关键技术把控与质量提升策略[J].科技与创新,2026(6):130-132.
- [4]胡一博.水下混凝土施工技术在深水水利基础工程中的应用研究[J].水上安全,2025(15):192-194.