

水利工程水下施工技术难点及解决方案

李志 李耀宗

菏泽市水利工程项目管理有限公司, 山东菏泽, 274000;

摘要: 伴随着我国水利基础设施建设规模的不断扩大, 水库除险加固、闸坝改扩建、泵站更新改造和河道整治等水利工程项目的数量也在不断增多, 水下施工已经成了水利工程建设中的一种常态化的施工形式。受水流、水压、能见度、作业空间等因素的影响, 在稳定性控制、结构定位、混凝土质量保证和安全等方面存在着很多的技术难题。通过结合工程实践经验, 对水利工程水下施工的各类施工方法和技术特点进行系统的整理, 分析施工过程中出现的关键技术难点, 给出围堰优化、水下混凝土改良、精确测量技术应用以及智能设备引入等一系列解决办法, 期望给类似的工程项目给予一些可以参照的技术参考。

关键词: 水利工程; 水下施工; 施工技术

DOI: 10. 69979/3060-8767. 26. 05. 028

引言

水利工程建设与水体直接有关, 不论是新建的水库大坝, 还是旧水闸的维修加固, 都会或多或少地涉及到水下的作业。过去在水量小、施工条件好时, 常常采用截流、导流或者分段施工等办法, 把作业面转换成“干作业”, 但是随着工程规模变大、运行要求提升, 完全干作业的条件越来越难达到, 水下施工所占的比例也逐渐增大。尤其在老旧水工建筑物加固改造工程当中, 由于无法长时间停水施工, 只能采取局部围堰、水下浇筑、潜水作业等措施来完成施工任务。这类工程技术繁杂、风险大、工期紧张, 施工组织比常规陆上施工要难得多。在实际工程当中可以发现, 水下施工问题并不是单靠某一项技术失当所能造成的, 而是水文情况、结构设计、材料特性、管理水准等诸多要素叠加而成的。因此, 有必要对水利工程水下施工技术难点进行梳理, 并结合工程经验给出切实可行的解决办法。

1 水利工程水下施工的主要类型与特点

1.1 水下基础施工

水下基础施工主要是桩基施工、沉井或沉箱基础施工、水下开挖、防渗墙成槽施工等。此类施工多在水深大、地基承载力低或者水位无法降低的情况下进行。以闸坝加固工程为例, 在原来的结构前缘加设抗滑桩或者防渗帷幕的时候, 施工过程中水下钻孔是不可少的。钻孔时孔壁稳定性受到水压的影响较大, 泥浆比重控制不好很容易造成塌孔、缩径等问题, 从而影响桩基质量。水下基础施工隐蔽性较强, 一旦出现质量问题很难发现, 返工成本很高。

1.2 水下混凝土施工

水下混凝土施工在水利工程中应用很广, 灌注桩、水下封底混凝土、沉箱底板浇筑及结构修补工程等均用到。与常规混凝土施工不同, 它的施工环境完全不同。水体对于混凝土的冲刷、稀释作用非常明显, 如果使用普通的混凝土配合比, 很容易造成水泥浆流失、骨料外露、强度不足等现象。浇筑过程中不能振捣, 只能依靠自重密实, 所以对混凝土的流动性、抗离析性要求高。在实践中常采用导管法或者泵送法进行水下浇筑, 但是导管埋深控制稍有偏差, 就会出现混凝土中断或者夹泥的现象。

1.3 水下安装与加固施工

水下安装施工主要是闸门安装、金属构件更换、防冲板铺设和水下裂缝封堵等。此类工程一般要潜水员配合进行, 施工精度要求高。在水下对闸门底坎锈蚀部位进行打磨、补焊、防腐。由于水下视线受阻, 操作空间小, 施工人员操作技术难度大, 施工速度慢。

1.4 水下施工的技术特点

水利工程水下施工存在着很多不同于常规陆上施工的技术特点。施工环境受水流、水深、水位涨落等因素的影响较大, 在通航河道或者运行中的闸坝区, 水流流态较复杂, 小的变动都会对围堰的稳定性以及作业平台的安全造成影响。其次, 水下能见度低, 许多操作依靠触觉或者仪器辅助来完成, 质量控制大多依靠声呐探测、取芯检测等间接的方法来进行验证, 直观判断条件不充分。再次, 施工安全风险高, 潜水作业、水压影响、突然出现的水情等都会产生不确定性。同时工程常常要在不停止原有运行的情况下进行施工组织 and 调度的协调。以上种种均是影响水下施工质量的技术选择、过程控制、安全管理等各方面要达到更高的要求。

2 水利工程水下施工的主要技术难点分析

2.1 水流与水压对施工稳定性的影响

在水利工程水下施工中,水流冲刷是最直观的也是最难以控制的影响因素。表面上水流速度较小,但是当流速在围堰迎水面或者基坑边缘处出现局部加速区域的时候,就会造成淘刷坑现象的产生,从而降低基础的承载能力。有些工程在施工前期没有对这一问题给予足够的重视,只用简单的抛石防护处理,结果在不断冲刷的作用下,防护层被掀翻,围堰底部出现空洞,最终造成渗漏或者局部塌陷。相比于陆上施工,水下结构一直处在动态水环境中,它的稳定性不能只靠结构自重来维持,还要考虑流态的变化。水压会对模板、钢板桩围堰和作业平台产生持续的荷载作用,在深水区域,静水压力加上动水压力使结构的受力情况更加复杂。设计阶段只做常规静水压力的简化计算,不考虑波动水位和施工扰动因素时,在实际施工中很容易造成变形超限或者失稳的情况。水流对于潜水员以及水下设备的影响也不能忽视,当流速超过某一限度的时候,人员的操作难度会变大,施工的效率也会降低,风险也会被放大。所以水流和水压问题是水下施工安全、质量控制的第一大难题。

2.2 施工定位与测量精度控制难

水下施工定位精度直接影响结构的安全以及后期使用情况,由于水体对电磁信号具有屏蔽作用,常规的卫星定位系统不能直接用于水下作业,只能借助水面控制平台实现间接的传递控制。实际操作时测量人员要于水面设置控制网,随后经由导向装置或者声呐设备对水下构件加以校准,此一进程之中不可避免地掺杂着诸多误差要素。以水下桩基施工为例,钻机平台一般为浮式结构,受到水流、风力的影响会有些许的晃动,虽然这些晃动量很小,但是随着成孔深度增大,它们所造成的累计误差会使桩身出现偏差,超过规定限度。垂直度控制尤其困难,如果出现偏斜现象,一方面会影响承载能力,另一方面还会对上部结构受力产生不利影响。施工过程中经常要反复复测、修正,延长了施工工期。测量精度控制难题在老旧工程加固中更为明显,由于原来的结构基准点存在着沉降或者变形的情况,给定位带来了更多的不确定因素。

2.3 水下混凝土质量控制难点

水下混凝土施工一直被人们称为工程领域中技术壁垒。混凝土在水中浇筑时,浆体很容易被水流带走,如果配合比设计不合理,离析和强度不足问题就更加严重。导管法施工应用较多,但是操作要求高,导管埋深不够会造成混凝土和水直接接触,形成夹泥层,埋深太

大则会出现提升困难或者堵管的情况。除此之外,由于水下混凝土不能和陆地上一样进行振捣密实,所以水下混凝土的密实程度主要靠自身的流动性能。施工过程中出现间断而形成冷缝会给人造长周期影响整体结构强度。工程验收阶段一般只能依靠钻芯取样或者超声波检测来评价质量,但是它们都是抽样性质的评价手段,不能反映全部的内部质量情况。因此水下混凝土施工对材料选择、施工连续性以及过程监控提出了更高的要求。

2.4 围堰与导流施工风险

围堰工程是决定水下施工能否顺利进行的前提工程,也是“前提工程”。但是在实际的施工过程中,围堰风险却被低估了。围堰要承受水压力、流速冲刷,还要抗地基渗透及施工扰动。若止水措施不到位,则会造成基坑内渗水量增大,进而影响施工进度,并且还会出现基底隆起或者流砂的情况。软弱地基条件下围堰结构抗滑、抗倾覆稳定性显得尤为重要。部分工程由于没有充分地地基处理,仅仅依靠结构自重抗力,当水位上升或者出现突发洪水时会发生位移。导流不畅也经常出现,如果导流断面设计不足或者淤积严重,会造成上游水位升高,增大围堰的受力。围堰失稳一般具有突然性,一旦发生,不仅会造成经济损失,还会危及施工人员的安全,所以它的风险控制难度较大。

2.5 水下焊接与金属结构安装问题

水下焊接施工环境复杂,焊接区域被水体包围,电弧稳定差,焊缝成形质量很难直观判断。由于水体冷却速度很快,焊缝金属容易产生淬硬组织,增大裂纹的可能性。对受反复荷载的闸门或者启闭机连接处而言,在运行阶段会慢慢出现。另外水体中含有一定的腐蚀性物质,长时间浸泡环境对金属构件耐久性的影响比较大。即使焊接质量合格,如果后面没有做好防腐处理,则会降低其使用寿命。检测手段受限属于现实存在的问题之一,常规的无损检测方法,例如磁粉或者超声检测,在水下进行操作困难,需使用专门的设备来配合操作,从而加大了施工成本和技术复杂性。因此水下焊接和安装既是技术上的难题也是管理上的难题。

2.6 施工安全与应急处置难度大

水下施工实质上属于高风险作业,潜水员处在水压改变、视线受限以及体力耗费等诸多考验之中。长时间作业会增加减压病的风险,一旦通讯失联或者设备出现故障,救援就会变得比较困难。施工期间发生突发洪水或者上游泄洪,水位突然上升会对围堰及基坑的安全造成直接威胁。汛期施工要兼顾工期和防洪安全,在防洪安全的基础上才能抓紧工期。如果应急预案没有经过实

际演练,那么一旦遇到险情时,就会出现指挥失误的情况。水上工程事故发生后处理空间小,时间紧迫。所以安全和应急管理成了水下施工过程中无法绕过的难题。

3 水下施工关键技术优化措施

3.1 围堰与导流技术优化

围堰形式的选择不能简单地套用以前的工程经验,应该根据现场水深、流速、水位变化幅度和地质条件来综合考虑。近些年来钢板桩围堰因为施工工期较短、拆除容易、止水效果较好而得到广泛的使用,不过在实际运用时仍然要依照土层特性来调节入土深度以及锁口的方式。当地基为粉细砂或者淤泥质土时,单排钢板桩很难达到稳定的地基要求,这时采用双排钢板桩配合内支撑或者拉锚系统,可以大大提高整体的刚度和抗变形能力。在设计阶段采用有限元数值分析,对围堰的受力、位移、渗流等进行模拟,可以提前发现薄弱环节,防止施工之后多次加固。导流方案也应做精细的设计,必须对多年水文资料进行调查,选定合适的导流断面尺寸及布置位置,不能出现局部水流集中冲刷围堰基部的情况。在河道整治工程中,增设消力设施或者改变导流路径,能够大大减轻围堰迎水面的冲击压力,提高整个工程的安全系数。

3.2 水下混凝土施工技术改进

水下混凝土质量的提高首先要从配合比设计开始。掺入抗分散剂和适量矿物掺合料,可以改善浆体的黏聚性,减少浇筑中水的流失。水灰比控制在合理范围内,使混凝土具有良好的流动性,但不至于产生明显的离析。材料试验阶段应进行模拟水下浇筑试验,而不是简单地参考陆上配合比数据。导管法施工的各个环节不能马虎从事。导管埋深一般应处于一定的范围之内,既保证混凝土一直由内向外扩展,又不使混凝土直接接触水。提管速度应保持均匀,不能忽快忽慢造成断层。浇筑过程中尽量连续进行,在大体积封底施工中,更要合理组织供应能力,防止中途停歇形成冷缝。对结构要求高的地方采用自密实水下混凝土,提高填充密实度,减少后期质量隐患。

3.3 精准定位与智能测量技术应用

为了克服水下定位精度差的问题,可以利用水下声呐扫描系统,对已经施工过的结构进行实时成像以及位置校核。这类技术在复杂的水环境中表现比较稳定,可以弥补传统测量方法的缺陷。用水面全站仪建立控制网,

和水下传感器数据联动校准,可以逐渐提高整体定位精度。在桩基施工中用自动垂直度监测装置可以随时反馈出钻孔的倾斜状况,如果出现偏差就可以立即调节钻机姿态,防止成孔后才再做补救工作。精度要求高的构件安装工程,可以采用三维建模技术对施工前后空间位置进行比对分析。随着信息化技术不断被使用到水下施工中,水下施工测量误差被逐渐减少,施工的控制也变的更好。

3.4 水下机器人与智能装备应用

近些年来水下机器人技术持续完善,水利工程方面应用愈加广泛。相比人工潜水作业,机器人可以在深水或者复杂流态的环境下长时间工作,减少人暴露在高危环境中的时间。闸门检修或者坝体裂缝检查的时候,使用带有高清摄像头、探测装置的水下机器人开展巡检,能较清楚地了解到结构表面情况。机器人在大型工程中可以协助做一些简单的水下清理、标识安装工作,但是不能完全取代人工,在检测、辅助施工方面已经显示出明显的优点。

4 结束语

水利工程水下施工是技术复杂、风险高、对管理水平要求高的系统性工程。围堰和导流的设计、水下混凝土的浇筑、精准测量控制、智能设备的应用等每一个环节都会影响工程质量以及运行安全。经过实践证明,只依靠传统的施工经验已经不能满足目前工程的规模和安全标准的要求,必须在技术创新和精细化管理方面一起进行。不断改进施工方案、引进先进设备、加强全过程的质量和安全管理,可有效地减少施工风险,提高结构耐久性及整体施工效率。

参考文献

- [1]周连军.供水工程水下隧洞防水排水关键施工技术[J].江苏建筑职业技术学院学报,2024,24(3):25-30.
- [2]高旭,吴庆彪,蒙国敏,等.航道炸礁疏浚工程水下爆破施工技术研究[J].价值工程,2024,43(26):74-78.
- [3]万琪.水下钻爆施工技术在航道疏浚工程中的应用[J].珠江水运,2024(3):85-87.
- [4]钱玉超.水利施工中的钻孔灌注桩技术研究[J].科技与创新,2024(21):110-111.
- [5]吴若冰,张腾.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].治淮,2025(3):47-48.