

南水北调工程中水下混凝土施工技术应用与展望

田士开 贾俊璞 康罗英

中国南水北调集团中线有限公司河北分公司永年管理处 河北 邯郸 056000

摘要：南水北调工程运行维护中水下混凝土施工技术起着至关重要的作用。本文先是阐述南水北调工程水下修复的特点及需求，展望了水下修复技术在南水北调工程中的应用前景。接着详细介绍了多种水下混凝土施工技术，像水下自护混凝土和不分散混凝土的各自特点和应用场景，还提及了其他如加速凝剂混凝土技术等。最后探讨了应用策略，涵盖技术选择、方案优化、质量控制及环境保护等方面，旨在助力南水北调工程高质量开展水下混凝土施工。

关键词：南水北调；水下混凝土；施工技术

引言：举世瞩目的南水北调工程自通水以来，其社会效益和经济效益日益凸显，各种不停水检修技术难题亟待解决，其中水下混凝土修复技术尤为迫切和重要，其不仅关乎着整个工程结构的稳固性与安全性，对后续的使用性能也有着深远影响。针对不同水下混凝土施工技术特点来保障南水北调工程安全运行，提升综合效益，本文将就此展开深入探讨。

1 南水北调工程中水下混凝土施工技术展望

1.1 南水北调工程概况

水资源缺乏和时空分布不合理是我国水资源的两大特点。为了有意识、有目的地进行我国水资源时空分布的管理管控，改变我国北方极度缺水的现状，协调分配我国南北方的水资源，促进我国南北各地区经济、人文、社会、环境的协调发展，我国开展了举世瞩目的南水北调工程的建设。自通水以来，沿线省市对其依赖程度与日俱增，已成为沿线重要城市和地区的主供水源。针对南水北调工程特点和要求的不停水检修技术难题亟待解决。

1.2 南水北调工程水下修复的特点

南水北调中线已建成部分主要运用明渠输水。在通水运作期间，受结构承载、温度应力、水流冲刷侵蚀以及冻融损害等多重作用，明渠的混凝土衬砌板于运行时可能产生混凝土损坏、裂隙、隆起变形、塌陷以及防渗排水体系失去效用等多种工程问题。这些问题常常出现在水位变动区域附近及水位之下，在渠道输水运行状态下进行处置存在较大困难。

对于南水北调总干渠输水渠道，衬砌板的损坏形式大致分为以下三类：

(1) 衬砌板裂缝、剥蚀破坏

裂缝乃是混凝土极为常见的病害形式，其形成通常是多种因素共同影响的结果。渠道混凝土衬砌板裂缝按

照成因能够分为：结构型裂缝、温度引发的裂缝、干燥收缩裂缝、层间裂缝、沉降裂缝、冻胀裂缝等；依据深度可划分为表面裂缝、深层裂缝以及贯穿性裂缝等。

剥蚀破坏属于一种从表面向内部逐步侵蚀的损坏过程，较多地发生在渠道水位变化区域。从外观来看，混凝土会呈现出表面松散、存在裂缝、边角掉落、呈层状脱落等现象。

(2) 衬砌板结构破损

鉴于总干渠水流速度较缓，正常情形下因表面磨损、冲刷等因素引发的损坏极少出现。不过，因重物意外坠落所产生的冲击而致使衬砌板混凝土遭受破坏的可能性依然存在。尽管此类破坏属于局部范畴，但却常常致使局部的混凝土衬砌呈现碎裂状态，同时还会使衬砌板下方的防渗以及排水系统遭受损毁。并且，衬砌板的地基也可能发生一定程度的变形，在填方渠道中，情况严重时甚至会对渠堤造成损害。

(3) 衬砌板塌陷、隆起及滑移变形

渠道基础土体因受地质瑕疵、施工弊端以及外水压力等因素干扰而丧失稳定性，使得渠道衬砌板与底部构造分离或相互挤压，进而引发渠道混凝土衬砌板出现变形损坏状况。造成这种破坏的因素大致涵盖：渠道水位急剧下降、外水压力升高致使衬砌板抗浮能力失衡；因集中渗漏路径致使衬砌板底部被淘空，从而造成衬砌板下沉；由于渠道边坡变形引发衬砌板隆起、沉降或滑移等情况。

针对衬砌混凝土裂缝、剥落损坏这类规模较小的混凝土缺陷，一般运用嵌填、灌浆手段予以修复，在这方面国内外的研究已较为完备。然而，对于衬砌板破损、塌陷、隆起及滑移变形这类大面积损坏状况，往往只能拆除原有衬砌构造后，重新对整块衬砌板进行浇筑作业，故而通常需搭建专用围堰来营造干地施工条件。但

这样做会对渠道输水功能产生影响,降低南水北调工程的供水保障率,引发重大损失。

本文重点围绕渠道衬砌混凝土大面积损坏类型,借助研发可在不停水条件下实施水下浇筑的混凝土技术,一次性修复半块或一整块处于水面以下的渠道衬砌板,攻克输水状态下衬砌混凝土大面积修复难题,进而达成输水渠道损毁后的全方位修复目标,使其恢复至原设计标准与功能要求,最大程度提升供水保证率。

1.3 水下混凝土技术的经济效益与社会效益分析

从经济效益来看,水下混凝土施工技术的应用虽在初期可能投入一定成本用于特殊材料、设备及专业技术人员,但从长远角度,它能有效减少因停水检修而造成的社会、经济等方面的损失和影响。水下混凝土施工质量良好可延长渠道使用寿命,降低后期维护成本并提高运营效率。从社会效益而言,高质量的水下混凝土施工保障南水北调工程正常运行,在防洪和供水方面能促进农业发展、保障居民用水,推动工业生产和社会生活的正常运转,对整个社会的稳定、繁荣和可持续发展有着不可估量的贡献^[1]。

2 水利工程中水下混凝土的施工技术

2.1 水下自护混凝土

2.1.1 技术特点

在水下自护混凝土施工过程中,通过向待浇筑区域的水体中加入水溶性高分子聚合物水下保护剂(UPA),使水体转变为低浓度的水溶性高分子聚合物溶液(约100ppm)。这能有效防止混凝土中的水泥颗粒向水中扩散,避免水下混凝土出现离析现象。随后,向该水体中浇筑自密实混凝土,实现水下清晰浇筑效果。实践证明,水下自护混凝土不仅适用于静止水体,对低速流动的水体也适用;既可在淡水中使用,也适应海洋环境;既可在有模板的封闭水域施工,亦可在开放水域及浑水中进行浇筑。

该技术通过水下保护剂改性水体,形成特定的相斥效应,降低水流对混凝土的冲刷作用,提高混凝土在水下的抗分散和抗冲散能力,减少在水流环境中的流失,确保工程质量。通过投入高分子水下保护剂改性水体,构建稳定的空间柔性网络,抑制混凝土胶凝材料的损耗。这样,便能在水体中直接浇筑自密实混凝土,实现模板内空间的全面填充,且能穿越钢筋和堆石体间隙,形成满足性能要求的混凝土结构。总的来说,水下自护混凝土具有不分散、无压自流和浇筑范围可控等显著特点^[2]。

2.1.2 使用场景

该技术已在多个项目中发挥作用,包括道路应急抢

修、海岸护坡水下粘结、高水头溶腔裂隙封堵、大型地下暗河封闭、大坝防渗墙及基础水下浇筑、桥墩水下封堵以及病险水库加固等。

2.2 不分散混凝土

2.2.1 技术特点

水下不分散混凝土是一种新型水下混凝土材料,通过添加纤维素系列或丙烯系列水溶性高分子物质作为关键成分的水下不分散剂,增强新拌混凝土材料颗粒间的粘聚力,有效防止材料分散、离析及水泥流失,大幅提升抗水洗能力,实现水下直接浇筑。

其主要特性如下:

(1) 抗分散性。水下不分散剂能显著提升混凝土的粘聚性,即使直接投入水中,材料分离现象也极小。

(2) 良好的保水性能。水下不分散剂在遇水时溶胀吸水,使混凝土不易产生泌水,同时具有良好的可泵性。

(3) 缓凝特性。纤维素或丙烯系列高分子物质对混凝土具有一定的缓凝作用,对大体积水下混凝土浇筑有益。若对凝结时间有特殊要求,可调整不分散剂配方或高性能减水剂配方。

2.2.2 使用场景

水下不分散混凝土具有自落施工、自密实、无需振捣等优势,且工期短、成本低、生产工艺简便。因此,可广泛应用于核电站、水电站、港口、码头、跨海大桥、跨江大桥等工程项目,以及水下堵漏、混凝土修复、抹面和饮用水工程等领域,具有广泛的应用前景。

2.3 其他技术特点和使用场景的比较

2.3.1 模袋混凝土

模袋混凝土技术涉及采用双层高强度的化学纤维机织材料制成袋状结构,作为柔性的模板。混凝土通过高压泵注入这些袋子中,形成防护结构。这种结构适用于土石坝、堤防护坡,以及河流、湖泊和海岸的护岸工程。其设计可根据需求调整厚度和形状,如设置排水点以排除积水,采用铰链式连接以适应地形沉降,以及以框格式种植草皮以美化环境。该技术以其设计灵活、施工便捷、质量可控以及无需围堰的水下施工优势而受到青睐。然而,模袋混凝土的透水性可能会影响硬化过程,导致硬化速度降低或形成不均匀硬化层,表面平整度难以满足南水北调的技术标准^[3]。

2.3.2 柔性管法

柔性管道施工法是一种特殊的水下混凝土施工技术,通过柔性管道将混凝土输送到水下指定位置。这种管道能适应水流波动和复杂的水下地形,有效减少混凝土与水的直接接触,降低离析风险。该方法在深海石油

钻井平台水下基础施工中应用广泛,尤其在流速快、水深大、施工精度要求高的环境中,能精确地将混凝土送至基础坑进行浇筑。同时,在跨江、跨海大桥桥墩的水下基础施工中,面对强水流冲击时也能发挥重要作用。

2.3.3 预制混凝土衬砌板修复技术

该技术通过拼装8块尺寸为1m×2m的预制混凝土衬砌板,替代渠道原有的4m×4m现浇衬砌板。这种技术在南水北调中线工程的明渠衬砌板修复中得到了应用。然而,当前存在一些挑战,如渠底水深达6m,水流速度快,导致以下问题:

(1) 施工难度增加。预制衬砌板在水中易受到水流影响,可能导致大幅偏转和,使潜水员在水下难以安全、高效、精确地安装衬砌板。

(2) 施工成本提高。根据现有技术,修复渠坡衬砌板的成本约为每块6.81万元,而修复渠底衬砌板可能需要搭建深水围堰,进一步增加成本^[4]。

3 水利工程中水下混凝土的施工技术的应用策略

3.1 合理选择施工技术

在水利工程水下混凝土施工中,合理选择施工技术是关键。需综合考量多方面因素,首先是工程的具体要求,如结构类型、承载能力、耐久性需求等。针对南水北调明渠工程,对于渠道边坡可以支护模板和围挡的位置,不分散混凝土和模袋混凝土技术可能更适用;而对于渠底不方便支护模板和围挡的位置,水下自护混凝土则是首选。其次要结合施工环境,包括水深、水流速度、水温及水质等。在水流湍急处,柔性管法能减少混凝土离析风险;水温低时,需考虑混凝土凝结时间受影响程度,选择合适的添加剂或技术。再者,施工成本与工期也不容忽视。

3.2 优化施工方案

优化施工方案对水下混凝土施工至关重要。一方面,要详细规划施工流程,明确各环节顺序与时间节点,如混凝土搅拌、运输、浇筑的衔接,避免因延误导致混凝土性能下降。另一方面,对施工设备的选型与布置要合理,根据工程规模与场地条件选择合适的搅拌设备、运输船只或泵送机械,并规划好其停放与运行路线,提高施工效率,针对可能出现的突发情况制定应急

预案,例如恶劣天气、设备故障时的应对措施,确保施工连续性。此外,还需考虑施工人员的组织与分工,做到职责明确、协同高效。通过不断模拟与调整施工方案,消除潜在隐患与不合理之处,使施工方案在技术可行、经济合理的基础上达到最优,从而为水下混凝土施工的高质量完成奠定坚实基础。

3.3 加强质量控制

加强质量控制是水下混凝土施工的核心任务。在原材料环节,严格把控水泥、骨料、外加剂等质量,检验其规格、性能是否符合设计要求,杜绝不合格材料入场。在混凝土配合比设计方面,依据工程特性与施工环境精确计算,通过试配调整确定最佳比例,并在施工过程中严格执行。施工过程中,对混凝土的搅拌时间、搅拌均匀度进行监控,确保其一致性。在运输环节,防止混凝土离析、坍落度损失过大,控制运输时间与温度。水下浇筑时,密切关注浇筑速度、高度与振捣情况,保证混凝土均匀密实填充,对于大体积混凝土还要控制温度裂缝^[5]。

结束语

水利工程水下混凝土施工技术在水利建设领域占据着举足轻重的地位。随着技术的不断发展与创新,水下自护混凝土、不分散混凝土等多种技术各显其能,为不同场景的工程难题提供解决方案。合理选择技术、优化方案、严控质量以及注重环保,是保障施工顺利与工程长效的关键要素。

参考文献

- [1]武纪刚.改良水下不分散混凝土在水利工程中的应用研究[J].水利技术监督,2020(05):220-222.
- [2]高文庆.试论水利工程中水下混凝土的施工技术要点[J].科学技术创新,2019,(01):123-124.
- [3]刘维荃.大坝施工中水下混凝土施工技术之研究[J].农业开发与装备,2018(11):75-76.
- [4]金峰.堆石混凝土系列技术在西部水电工程中的应用[J].水电与抽水蓄能,2021(1):16-22.
- [5]李光华.多种混凝土在水电站消力塘水下修补中的应用[J].人民长江,2022,53(增2):99-103.