

南水北调中线工程渠底破损衬砌板水下自护混凝土修复方案

孟繁浪 耿庆彬 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,接着详细介绍了水下自护混凝土施工技术,提出修复方案构想,并从关键控制指标、验收标准以及成本分析等方面展开详细介绍,为南水北调工程高质量开展水下混凝土施工提供一种新的解决思路。

关键词: 南水北调;水下自护混凝土;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,其中渠底破损衬砌板的修复技术尤为迫切和重要。针对水下自护混凝土技术特点如何在南水北调工程中应用,本文将就此展开深入探讨。

1 研究背景

在南水北调中线工程中,由于高水位地下水顶托、地下穿越工程施工期间压力灌浆外溢等原因,渠道底部的80mm混凝土衬砌板可能会出现鼓胀、错位、损伤等一系列问题,进而影响渠道糙率、缩短周边衬砌结构使用寿命、危害工程安全。多数情况下,破损衬砌板无法通过压重等方式实现复位还原,因而需要对其进行及时更换。

由于中线工程为线性工程,为了维持受水区的供水保证率,工程的维修养护往往需要在不停水工况下开展。目前,在南水北调中线工程河北段中,使用较多的水下衬砌板修复技术为“预制混凝土衬砌板修复技术”,该技术将8块1m×2m的预制衬砌板(C35F150W6)拼装成一个整体,用以替代渠道原有的4m×4m现浇衬砌板(渠坡衬砌板厚度100mm,渠底则为80mm)。实际施工时,首先由潜水员在水下将破损衬砌板切割为小块,由吊车逐块吊出渠道;然后,由潜水员对原衬砌板所在的渠底进行基面检查,对残留的杂物进行清扫;最后,由吊车将预制衬砌板逐块吊入水中,再由潜水员引导、调整、安装至指定位置,安装精度需达厘米级。

预制混凝土衬砌板修复技术在进行渠道两侧岸坡的破损衬砌板修复时具有较好的效果,但当衬砌板破损发生在渠底时,由于水深较大(可超过6m)、流速较快(可超过1m/s),预制衬砌板下水过程中可能会在水流作用下发生较大角度偏转和较大幅度位移,潜水员在水底难以开展安全、高效、精准的衬砌板安装作业,使得

该预制混凝土衬砌板修复技术的应用受到限制^[1]。

针对渠底破损衬砌板拆除后不利于修复的问题,有必要基于南水北调中线工程的特点,提出一种渠底衬砌板拆除部位的水下现浇修复新技术,以实现不停水情况下的低成本、高效率、高质量工程维护。

2 研究基础

2.1 水下自护混凝土技术简介

水下自护混凝土技术是针对普通水下混凝土施工难度大、成本高的问题,研发出的一种水下抗分散性能好、施工简便、成本节约、绿色环保、无压自流且范围可控、水下硬化强度高的新型施工技术,现已发布行业标准《水下自护混凝土技术导则》(NB/T 11094)。

具体来说,水下自护混凝土技术利用水下保护剂(安全无毒)对施工部位的水体进行改性,使改性水体与混凝土之间产生一定的排斥作用,降低水流对混凝土的冲刷,提高混凝土在水下的抗分散和抗冲散能力,确保工程质量的可控性。因此,可直接在水体中浇筑自密实混凝土,使其依靠自重充分填充浇筑空间,形成满足性能要求的混凝土。

2.2 水下自护混凝土技术特点

2.2.1 抗分散性能好,力学性能优良

在水下保护剂作用下的静水和低流速水(流速小于1.5m/s)中,水下自护混凝土的胶凝材料损失率小于1%,有效保证有水环境下的施工质量。利用水下自护混凝土技术施工的混凝土,水下强度可在C15-C60之间灵活调整。

2.2.2 施工简便快捷,节省工程投资

水下自护混凝土具有优良的流动性和填充性,因此可在施工中降低浇筑点的移动频率,达到便捷施工。一般采用直接浇筑法,或选用常规的泵送、溜槽、吊罐等

浇筑设备，简化了水下作业，大量节省人力机械配备，从而节省工程投资。

2.2.3 绿色环保无害，实现环境友好

一方面，水下自护混凝土的胶凝材料损失小，不会污染施工水域。另一方面，所使用的水下保护剂经生物安全检验为无毒产品，类似成分的化合物在地方水厂中通常作为絮凝剂和沉淀剂，用于促进水体中的微颗粒和悬浮物等杂质快速沉降，从而加速水体的净化过程。因此，水下自护混凝土技术是一项安全环保的施工技术^[2]。

3 任务目标

3.1 研究目标

本项目致力于针对南水北调工程的特点，引入水下自护混凝土技术，通过开展渠底衬砌板水下现浇修复的

施工方案与修复材料研究，最终提出一种渠底衬砌板水下现浇修复新技术体系，从而有效提升工程维护水平。

3.2 研究任务

3.2.1 渠底衬砌板水下现浇修复方案研究

对于已经拆除破损衬砌板的渠底部位，充分发挥水下自护混凝土的优点，提出新型修复施工方案，并在实际应用的过程中不断优化、完善；同时，明确各步骤的技术细节、关键参数，最终形成配套工法。根据南水北调工程的特点，参考《水下自护混凝土技术导则》（NB/T 11094）中的相关技术规定，水下保护剂和混凝土浇筑宜采用导管法、泵送法等方法，需能确保混凝土质量，避免对环境的污染，如图1所示。

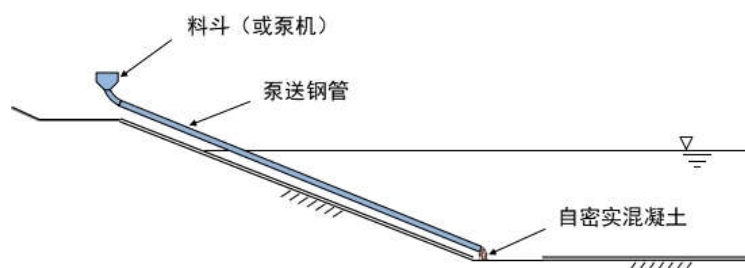


图1 渠底衬砌板水下现浇修复的可选施工方案（钢管泵送）

混凝土浇筑前，应由潜水员水下对将浇筑内区域清理干净；为保证混凝土的整体性，浇筑应连续进行，浇筑过程潜水员全程配合；浇筑过程中潜水员全程跟踪及时调整。浇筑过程中应由潜水员水下检查混凝土流动面的形状及扩展状态、填充状态。浇筑完成后，应由潜水员水下对混凝土进行检查，保证达到设计高程，表面平坦，并确保各个角落都应浇筑到位。

3.2.2 渠底衬砌板水下现浇修复材料研究

在渠底衬砌板的水下修复中，用于修复的水泥基材料应当满足以下几个要求：

（1）修复材料应具有足够的水下自流平能力。根据《南水北调中线一期工程渠道工程施工质量评定验收标准（试行）》（NSBD-7-2007），现浇混凝土衬砌板的表面平整度用2m直尺进行检查，允许的偏差约为8mm/2m；根据《渠道防渗衬砌工程技术标准》（GB/T 50600-2020），衬砌平整度允许值为 $\pm(10\sim 20)$ mm/2m。然而，由于水体流速较大、渠底深度较深，混凝土材料浇筑完成后难以由人工（蛙人）在水下进行抹面，无法人为提升浇筑平整度。因此，要求用于修复的混凝土材料具有足够强的流动性，可在单块衬砌板浇筑范围内（4m×4m×0.08m）依靠自身重力作用自然形成较为平整、连续的表面，以确保渠道的糙率不会因修补施工而

显著增大。

（2）修复材料应具有足够的硬化速度。为提升施工进度，应减少水下保护剂持续投放的时间，而为避免混凝土修复材料在水下保护剂停止投放后因水流冲刷而出现材料损失，混凝土材料应具有足够的早期强度增速，可在较短时间内达到足以自行抵抗水流冲刷的强度。

（3）修复材料应具有较好的综合性能。水下现浇衬砌板需要在渠底长期服役，并同时承受内侧渠道水压力、外侧地下水压力、地基反力等荷载，因此其在水下硬化后的最终强度、抗渗性、耐久性等性能应满足南水北调工程的相关设计要求^[3]。

为此，需要开展水下修复材料的性能试验，探究配合比、流速、水温等内外部因素对材料的水下自流平性能、早龄期硬化速度、水下最终强度、抗渗性能和耐久性能的影响规律。

4 技术指标及测试方法

在本次项目研究和新技术的实际应用过程中，为进行施工质量控制，同时便于评估新技术的真实应用效果，在参考《南水北调中线一期工程总干渠初步设计明渠土建工程设计技术规定（试行）》（NSBD-ZGJ-1-21）、《南水北调中线一期工程渠道工程施工质量评定验收标准（试行）》（NSBD7-2007）、《水下自护

混凝土技术导则》（NB/T 11094-2023）、《水工混凝土 已开展的前期试验初步结果，提出新技术施工的验收标
试验规程》（SLT 352-2020）等相关标准的基础上，结合 准如下：

表1 渠底衬砌板水下现浇修复技术的验收标准

评估项目		技术指标	测试方法
水下自护混凝土的浇筑性能	流动性	坍落扩展度 $\geq 700\text{mm}$	取不少于10L的水下自护混凝土样品，利用坍落度筒在钢板上进行坍落扩展度试验。用钢尺或卷尺测量混凝土停止流动后的最大扩展直径以及与其垂直的扩展直径，两个直径的算数平均值为试验结果。
	抗离析性	V形漏斗时间15s~40s	取不少于10L的水下自护混凝土样品，利用V形漏斗进行V型漏斗试验。使用秒表记录混凝土样品通过V型漏斗的时间。
水下自护混凝土的硬化性能	不平整度	$\leq 15\text{mm}/2\text{m}$ (基于前期实验提出)	用2m靠尺和塞尺测量，测三个断面，每个断面不少于三个测点。
	抗压强度	水下强度等级 $\geq \text{C}20$ (不低于原设计标准)	将9个150mm×150mm×150mm标准混凝土强度试模放置于渠道水底，利用配重固定于紧挨现浇衬砌板的下游原衬砌板表面。在现浇衬砌板完成施工后，在水下浇筑9个强度试模直至浇满，在陆上也浇满9个强度试模。此后，浇满混凝土的水下试模始终放置于渠底，与现浇衬砌板经历相同的水下养护过程；陆上试模则放置于标准养护室。在3d、14d和28d三个龄期，分别取出3个水下、3个陆上试模进行脱模，并对试样开展抗压强度试验。
	抗冻性能	抗冻等级 $\geq \text{F}150$ (不低于原设计标准)	将3个100mm×100mm×400mm标准混凝土抗冻试模放置于渠道水底，利用配重固定于紧挨现浇衬砌板的下游原衬砌板表面。在现浇衬砌板完成施工后，继续在水下浇筑3个抗冻试模直至浇满。在28d龄期，取出3个抗冻试模进行脱模，并对试样开展抗冻性试验。
	抗渗性能	抗渗等级 $\geq \text{W}6$ (不低于原设计标准)	将6个上口直径175mm、下口直径185mm、高度150mm的截头圆锥体试模放置于渠道水底，利用配重固定于紧挨现浇衬砌板的下游原衬砌板表面。在现浇衬砌板完成施工后，继续在水下浇筑6个抗渗试模直至浇满。在28d龄期，取出6个抗渗试模进行脱模，并对试样开展抗渗性试验。

结束语

水下混凝土施工技术在南水北调工程中占据着举足轻重的地位。随着技术的不断发展与创新，水下自护混凝土技术以其优良的特性，一定会在南水北调工程水下衬砌板修复中发挥更大的作用。

参考文献

[1]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.

[2]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.

[3]张艺清.渠道衬砌板修复水下自密实混凝土的制备与性能研究[D].长江科学院硕士学位论文,2020.