



超大直径输水隧洞衬砌混凝土 防裂关键技术

汇报人 吕兴栋

完成单位 长江水利委员会长江科学院

时间 二〇二五年十二月

汇报目录

CONTENTS

一

项目背景

二

关键技术与创新点

三

实践与应用

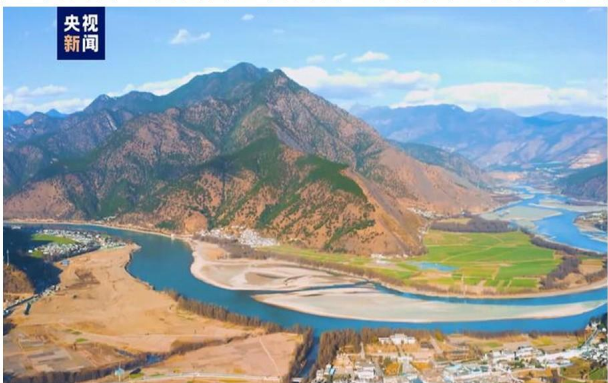
01

项目背景

1.1 背景

党的十八大以来

- 习近平总书记提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，确立国家“江河战略”，擘画国家水网重大工程



滇中引水工程



引江补汉工程



引江济淮工程



引汉济渭工程

国家层面：国家水网建设规划纲要

- **顶层设计、战略规划**。当前和今后一个时期国家水网建设的纲领性指导文件

行业层面：水利高质量发展的六条实施路径

- **六条实施路径**：实施国家水网重大工程……

国家水网主骨架和大动脉

- 当前和今后一个时期一大批引调水工程正加快实施
- **超大直径输水隧洞**是关键控制性节点

1.2 面临技术难题

ICS 93.160 P 99	SL	DL	SL	SL	SL
中华人民共和国水利行业标准	标准	标准	标准	标准	标准
SL 279—2016 替代 SL 279—2002	SL 191—2008 —96 和 SDJ 20—78	DL 5330—2015 L/T 5330—2005	SL 654—2014	SL 725—2016	SL 677—2014 替代 SDI 207—82
水工隧洞设计规范 Specification for design of hydraulic tunnel	规范 structures	规程 crete	用年限 范 ability design r projects	计规范 oring in s	范 onstruction
2016-04-26 发布	2016-07-26 实施	2015-09-01 实施	2009-02-10 实施	2014-04-26 实施	2016-08-23 实施
2016-04-26 发布	2016-07-26 实施	2015-09-01 实施	2009-02-10 实施	2014-04-26 实施	2016-08-23 实施
中华人民共和国水利部 发布	中华人民共和国水利部 发布	中华人民共和国水利部 发布	中华人民共和国水利部 发布	中华人民共和国水利部 发布	中华人民共和国水利部 发布



- **设计局限性**: 现行水工隧洞设计规范按**限裂结构**进行水工隧洞衬砌设计, 没有明确具体防裂技术要求
- **复杂运行条件**: 超大直径、超长距离、大深埋、高外水压力等
- **复杂工程料源**: 引调水工程点多、面广, 料源复杂, 品质难以控制

02

关键技术与创新点

总体思路目标

构建“**结构仿真分析、材料研发与调控、现场应用与保障**”三位一体的技术体系，攻克超大直径输水隧洞衬砌混凝土开裂难题，实现防裂精准管控与结构长效安全

衬砌混凝土开裂风险精细化仿真与定位

建立反映真实几何、约束与材料时变特性的仿真模型

模拟分析分段长度、围岩、配合比等变量下的温度与应力场

界定典型易裂部位与高风险时段，定量评估各因素开裂风险

温升抑制与降本功能材料研发与应用

研发可定向吸附泥粉的抗泥型外加剂

降低用水量与胶凝材料用量，减少水化热总量与干燥收缩源

验证其在抑制温升与降低原材料成本方面的双重效益

数据驱动的仿真模型动态修正与措施实时调控

构建传感器网络，实时获取混凝土温变与应变数据

通过数据反演动态校准热-力耦合模型边界与材料参数

基于校正模型优化温控工艺参数并反馈调整施工方案。

目标

全过程
超大直径输水隧洞衬砌混凝土防裂关键技术

结构仿真分析

材料研发与调控

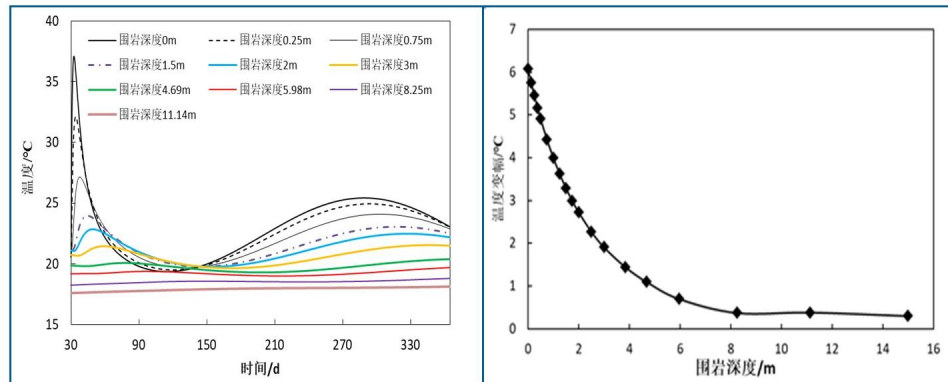
现场应用与保障

创新点1 采用了多场耦合仿真分析，实现衬砌混凝土开裂部位与时段的精准预测

建立了融合真实几何特征、复杂围岩约束、混凝土时变特性及环境边界的三维非稳态热-力耦合精细化模型

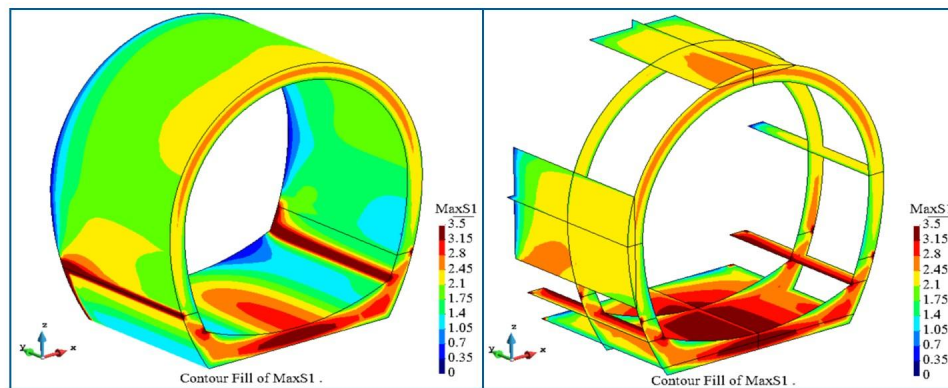
探明了衬砌混凝土温度场与应力场在关键变量组合下的演化规律，精准界定了典型易裂部位与高风险时段

提出了基于开裂风险定量评估的“精准施策”控制路径



顶拱处不同深度围岩的温度变化历程

顶拱处不同深度围岩的温度变幅情况

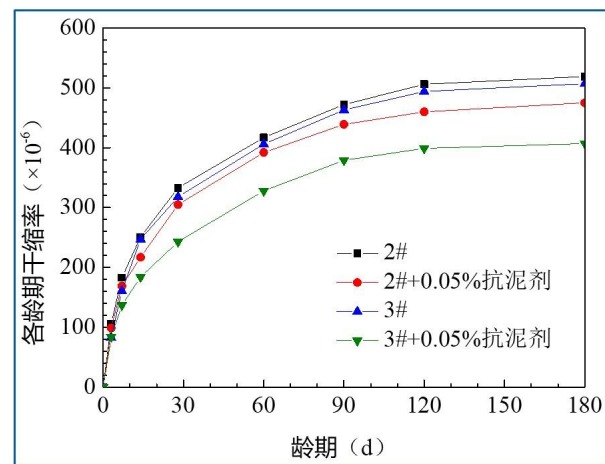


衬砌整体最大应力

衬砌内部最大应力

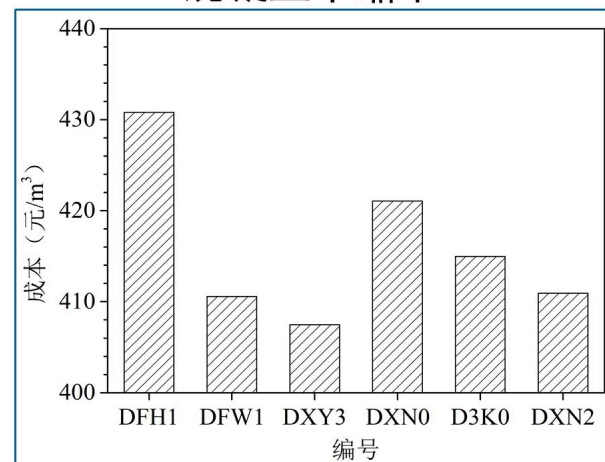
创新点2 发明并应用了兼具温升抑制与降本功能的抗泥型外加剂

- 针对引调水工程骨料含泥的问题，发明了抗泥型外加剂。在保持混凝土工作性能和力学性能不变的前提下，大幅**降低混凝土单位用水量**和**胶凝材料用量**
- 一方面**降低原材料成本，**另一方面**降低混凝土开裂风险



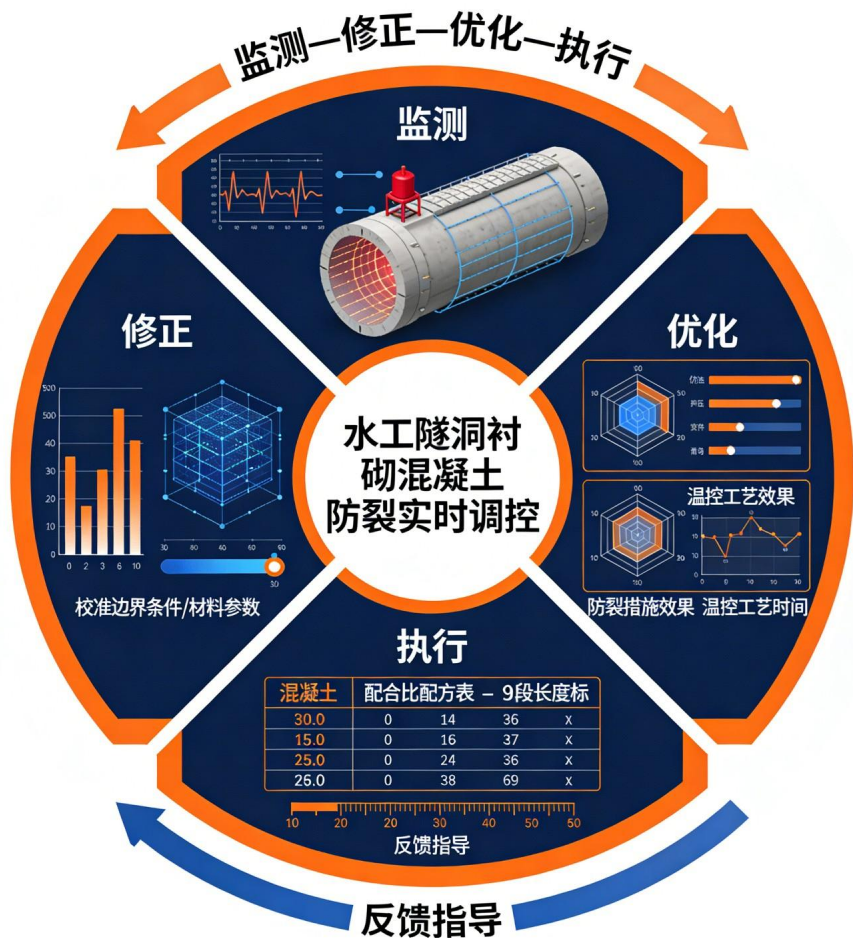
混凝土干缩率

编号	砂种类	处置方式	用水量 (kg/m ³)	坍落度 (mm)	1h坍落度 (mm)	抗压强度 (MPa)		极限拉伸值 (×10 ⁻⁶)	
						7d	28d	7d	28d
1	1#砂	—	165	185	50	29.8	41.1	93	108
2	(1.4)	0.05%PCA伴侣	147	176	88	29.8	42.1	99	115
3	1#砂	—	145	190	50	31.2	46.2	96	116
4	(1.1)	0.05%PCA伴侣	133	185	122	32.4	46.1	105	124



混凝土原材料成本

创新点3 形成了现场监测—室内仿真互馈机制，实现防裂措施的实时优化



□ **监测**：埋设传感器，实时获取混凝土温度与应变数据

□ **优化**：校准仿真模拟边界条件与材料等参数

□ **互馈**：基于动态仿真分析，实时评估防裂措施效果，反馈指导优化**材料**（配合比）与**施工**（分段长度）等

□ **实现防裂措施的动态精准调控**

03

实践与应用

滇中引水工程

工程特征

- 混凝土骨料含泥量偏高
- 衬砌混凝土胶凝材料用量明显高于同类工程，开裂风险大

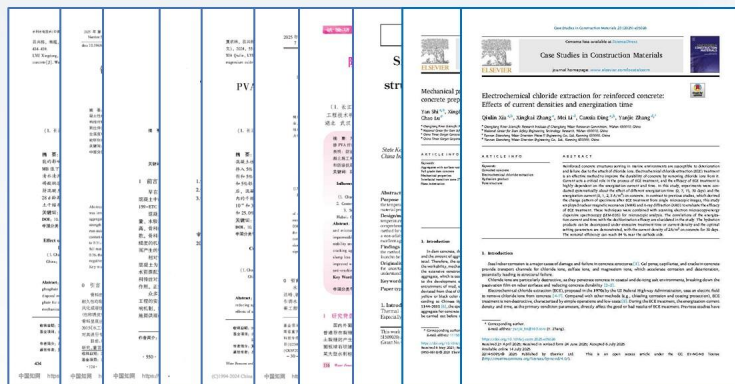


应用效应

工程应用证明		工程应用证明		工程应用证明	
项目名称	云南省滇中引水工程衬砌混凝土	项目名称	云南省滇中引水工程衬砌混凝土	项目名称	云南省滇中引水工程衬砌混凝土
应用单位	中国水利水电第七工程局有限公司	应用单位	云南省滇中引水工程衬砌混凝土有限公司	应用单位	云南省滇中引水工程衬砌混凝土有限公司
联系人	吕兴栋	联系人	吕兴栋	联系人	夏求林
联系电话		联系电话		联系电话	15391556126
应用成果起止时	2022年10月	应用成果起止时	2022年10月	应用成果起止时	2022年10月至今
具体应用情况		具体应用情况		具体应用情况	
滇中引水工程大埋段主干线全长约115公里，地质条件复杂，施工难度大，是全长关键控制性工程中，砂石骨料含泥量的有效控制是保障混凝土质量稳定的核心挑战。难点主要源于：一是工程条件复杂多变，导致原料中泥粉、矿粉成分、粒径分布和赋存状态差异大；二是，骨料加工含泥量的去除效率不均。这些问题造成骨料含泥量基于固定含泥量预设的混凝土配合比和工艺参数，严重影响混凝土质量的均匀性和长期可靠性。长江科学院针对滇中引水工程大埋段砂石骨料技术攻关，形成了滇中引水工程衬砌衬砌混凝土技术，显著提升了含泥骨料的资源利用率，在确保达标基础上，可降低混凝土单位用水量20kg/m ³ ~30kg/m ³ ~60kg/m ³ ，显著抑制水化温升峰值，降低混凝土原材料成本，综合效益显著。		滇中引水工程是国务院确定的172项节水供水重大水利工程中的标志性工程，是中国西南地区规模最大、投资最多的水资源配置工程，也是缓解滇中高原水资源短缺、支撑云南经济社会可持续发展的战略工程。滇中引水工程输水工程总干渠全长664.24km，输水隧洞58座，占输水线路全长的92.1%，隧洞断面形式多样、断面尺寸大且变化多。衬砌衬砌厚度一般在30cm~80cm之间，其中穿岩岩体衬砌衬砌厚度为80cm。工程面临衬砌混凝土方量大、施工条件复杂的技术挑战。长江科学院通过系统的现场调研、理论分析、室内与现场试验等工作，开展了衬砌衬砌混凝土温控防裂措施研究、基于地垫性砂石骨料的混凝土抗裂耐久性研究、大垂直落差长距离输送下混凝土和易性控制技术研究及衬砌衬砌混凝土温控防裂控制技术研究。基于上述研究形成的滇中引水工程衬砌衬砌混凝土温控防裂控制关键技术，有效降低了衬砌衬砌混凝土的开裂风险，为工程按期提前投入运行并发挥效益提供了坚实的技术保障，应用效益显著。		滇中引水工程是国务院确定的172项节水供水重大水利工程中的标志性工程，是中国西南地区规模最大、投资最多的水资源配置工程，也是缓解滇中高原水资源短缺、支撑云南经济社会可持续发展的战略工程。滇中引水工程输水工程总干渠全长664.24km，输水隧洞58座，占输水线路全长的92.1%，隧洞断面形式多样、断面尺寸大且变化多。衬砌衬砌厚度一般在30cm~80cm之间，其中穿岩岩体衬砌衬砌厚度为80cm。工程面临衬砌混凝土方量大、施工条件复杂的技术挑战。长江科学院通过系统的现场调研、理论分析、室内与现场试验等工作，开展了衬砌衬砌混凝土温控防裂措施研究、基于地垫性砂石骨料的混凝土抗裂耐久性研究、大垂直落差长距离输送下混凝土和易性控制技术研究及衬砌衬砌混凝土温控防裂控制技术研究。基于上述研究形成的滇中引水工程衬砌衬砌混凝土温控防裂控制关键技术，有效降低了衬砌衬砌混凝土的开裂风险，为工程按期提前投入运行并发挥效益提供了坚实的技术保障，应用效益显著。	

- 采用抗泥型外加剂，降低混凝土胶凝材料用量30~60kg/m³，成本10~35元/m³，绝热温升5~10℃，大幅降低开裂风险

核心知识产权



专利5项论文10余篇

科研项目3项

水利先进实用技术推广证书2项



汇报完毕 谢谢各位评委!

汇报人 吕兴栋

时间 二〇二五年十二月