

### 3. 二等奖成果

#### 3.1 预应力钢筒混凝土管碳纤维补强加固技术

##### ➤ 简要信息

【获奖类型】应用二等奖

【任务来源】国家自然科学基金委员会，北京市南水北调工程建设管理中心，北京市科学技术委员会

【课题起止时间】2010 年 01 月～2016 年 04 月

【完成单位】中国水利水电科学研究院，北京市水利规划设计研究院，北京市南水北调工程建设管理中心，北京韩建河山管业股份有限公司，北京中水科海利工程技术有限公司

【主要完成人】窦铁生，夏世法，石维新，杨进新，张奇，郑艳侠，冯启

##### ➤ 背景

预应力钢筒混凝土管（简称 PCCP）管体的损伤和缺陷主要有保护层砂浆开裂和分层、预应力钢丝的腐蚀和断裂、管芯混凝土的纵向裂缝及钢筒腐蚀泄漏等，项目团队以北京市科委等项目为依托，结合碳纤维增强复合材料（CFRP）的特点，通过大规模的原型试验、室内试验和数值模拟，开发了具有自主知识产权的预应力钢筒混凝土管碳纤维补强加固技术。

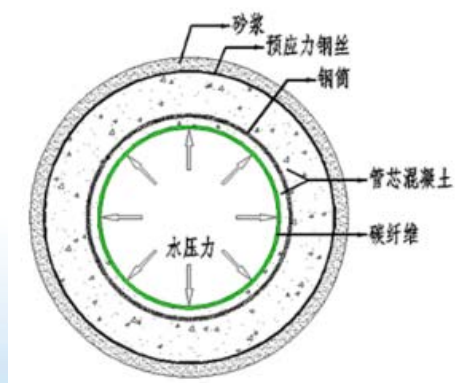


图 1 PCCP 修复设计断面

## ➤ 主要内容

- 针对不同碳纤维层数、布设型式和荷载组合，分别进行了内荷载和外荷载原型试验；同时对受损后的 CFRP 样本进行了室内试验；
- 对补强加固前后的 PCCP 破坏全过程进行了数值模拟，并将原型试验与数值模拟结果进行了比较，掌握了 CFRP 加固后的 PCCP 受力状况、承载机理以及破坏过程，验证了研究方法的正确性，建立了碳纤维补强加固 PCCP 的设计原则；
- 进行了 CFRP 防护材料的研制工作，基于实验提出了适合于长期浸水条件下的 CFRP 表层 YEC 防护材料性能和主要技术指标；
- 根据 PCCP 内部温度低湿度大的环境条件，通过现场试验，建立了一套完整的施工工艺和质控标准。



图 2 CFRP 补强加固施工

## ➤ 创新点

- 在原型试验中，国内外首次对 PCCP 破坏过程中砂浆保护层、预应力钢丝、钢筒、管芯混凝土和 CFRP 进行实时动态测试，全方位反映了 PCCP 原管和 CFRP 补强加固管的力学特性，掌握了受损后 CFRP 力学性态的变化，获取了丰富和极其宝贵的试验资料；
- 确定了各材料的本构关系、层间关系、计算方法和力学参数，验证了研究方法的正确性，建立了 CFRP 加固 PCCP 的设计原则，使得加固后的 PCCP 在寿命期内安全性、可靠性和耐久性得到了保证；
- 研制了适合于长期浸水条件下的 CFRP 表层 YEC 防护材料，保证了 CFRP 的耐久性；
- 建立了一套完整的施工工艺和质控标准，保证了 PCCP 内部温度低湿度大的环境条件下的施工质量。

### ➤ 推广应用情况

预应力钢筒混凝土管（PCCP）CFRP 加固技术解决了带有损伤、缺陷和断丝的 PCCP 管体，在全荷载状态下的安全性、可靠性、耐久性以及加固措施是否合理可靠等基础性和关键性难题，成果已成功应用于重大水利工程南水北调和新疆引额济乌 PCCP 管线加固，为防止 PCCP 管线发生灾难性破坏提供了安全保障，直接经济效益达 1.5 亿元以上。



图 3 PCCP 补强加固后照片