



2018年中国水利学会大禹奖

输调水工程钢筋缠绕钢筒混凝土压力管道（BCCP）创新与实践

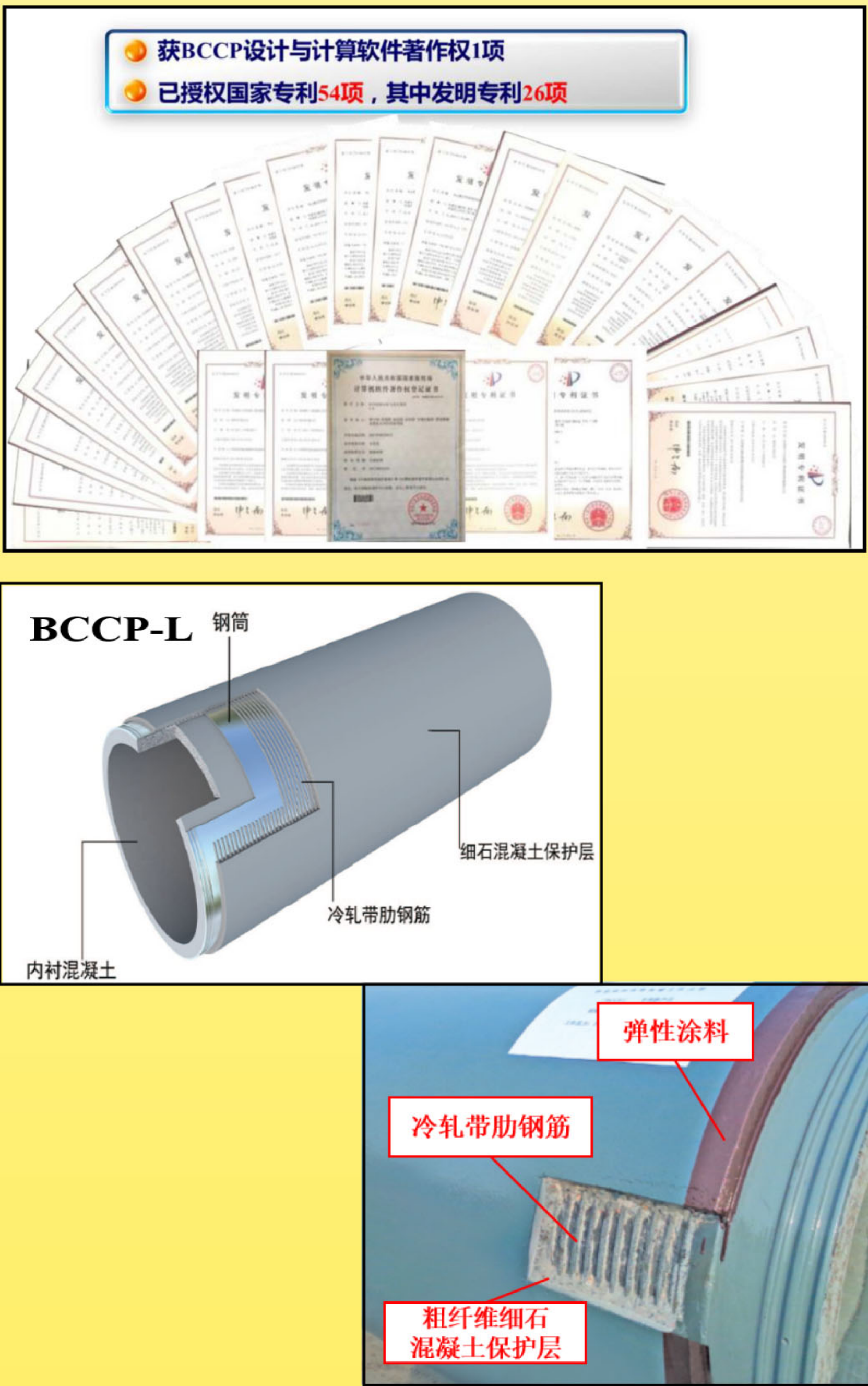
获奖等级： 一等奖
完成单位： 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院 宁夏青龙管业股份有限公司
重庆大学 河海大学
完成人员： 胡少伟 雍富强 胡登兴 柳灵运 孙岳阳 陆俊 韦华 范向前 刘小艳
王宇航 陈徐东 朱东 钱文勋 陈迅捷 黄逸群

一、项目介绍

输调水工程钢筋缠绕钢筒混凝土压力管道（BCCP）创新与实践项目属于输调水工程结构基础理论与应用技术研发。目前我国输水工程中大口径管道广泛采用的PCCP已使用27年，累计1.8万公里PCCP在埋地运行，但在长期使用中逐渐显露出高强钢丝脆化断裂、保护层空鼓裂缝、高强钢丝与钢制管口腐蚀等3大工程难题，已经影响到工程安全与长效使用。因此，亟需研发性能更加优越、安全性能更加可靠、更加经济实用的管道新产品，彻底解决上述3大工程难题。

为解决上述三大工程难题，在国家自然科学基金重点、面上项目等，省部级计划与推广项目，重大工程咨询与自筹经费项目等10余项，总经费3000余万元支持下，由南京水利科学研究院牵头，联合宁夏青龙管业、重庆大学、河海大学等产学研攻关，提出了混凝土、冷轧带肋预应力钢筋、钢筒组合承担内外荷载技术，开发了钢筒钢筋与混凝土相结合的界面处理新技术，形成了新型管道组合结构体系，发明了多工序、多控制目标的管道自动化、数字化生产过程新工艺，研发了钢筋缠绕钢筒混凝土压力管新产品（Bar-wrapped Cylinder Concrete Pressure Pipe，本团队命名该管型简称为BCCP）。

该项目授权国家专利54项，其中发明专利26项；取得新产品鉴定证书1项、软件著作权1项；发表学术论文208篇（SCI收录36篇、EI收录64篇）；成果已编入企业/地方/国家/行业标准5部，培养全国创新争先奖获得者、长江学者特聘教授、国家杰青、国家万人计划领军人才、国家中青年科技创新领军人才、国家百千万人才工程国家级人选、政府特殊津贴专家、国家优青、江苏省333人才、江苏省优青、部级科技英才博士、硕士研究生20余人。



二、成果创新

输调水工程钢筋缠绕钢筒混凝土压力管道（BCCP）创新与实践项目成果创新性包括以下几个方面：

（1）钢筋缠绕钢筒混凝土压力管道（BCCP）新产品创新

该BCCP新产品在结构方面的创新：1）采用钢筒-带肋钢筋-细石混凝土新型组合管道结构，实现内层管芯、钢筋与外层混凝土的受力和变形协同工作，解决了结构内力传递过程中的应力梯度突变问题；2）采用冷轧带肋预应力钢筋，预应力控制在70%，钢筋应力等级低，克服了高应力造成的钢筋应力脆化问题，解决了断丝爆管难题；3）采用粗纤维细石混凝土保护层，抗裂防渗性能好，既可埋地使用，也可露天运行，显著节约管沟开挖和回填成本。

该BCCP新产品在材料方面的创新：1）自主研发了高抗裂性的接头弹性复合砂浆，提高了接头允许相对转角上限值，增强了管道基础适应性与抗震性；2）研发了适用于BCCP的高抗裂、耐腐蚀的内外层混凝土，增加了BCCP的抗冻性、抗渗性和抗裂性，攻克了管道保护层易空鼓开裂的工程难题；3）研发了适应温度应力引起端面缝隙的弹性涂料，固化后密实度强、延展性良好，隔绝水气渗透，保护了管道端面免遭腐蚀。



中国水利学会

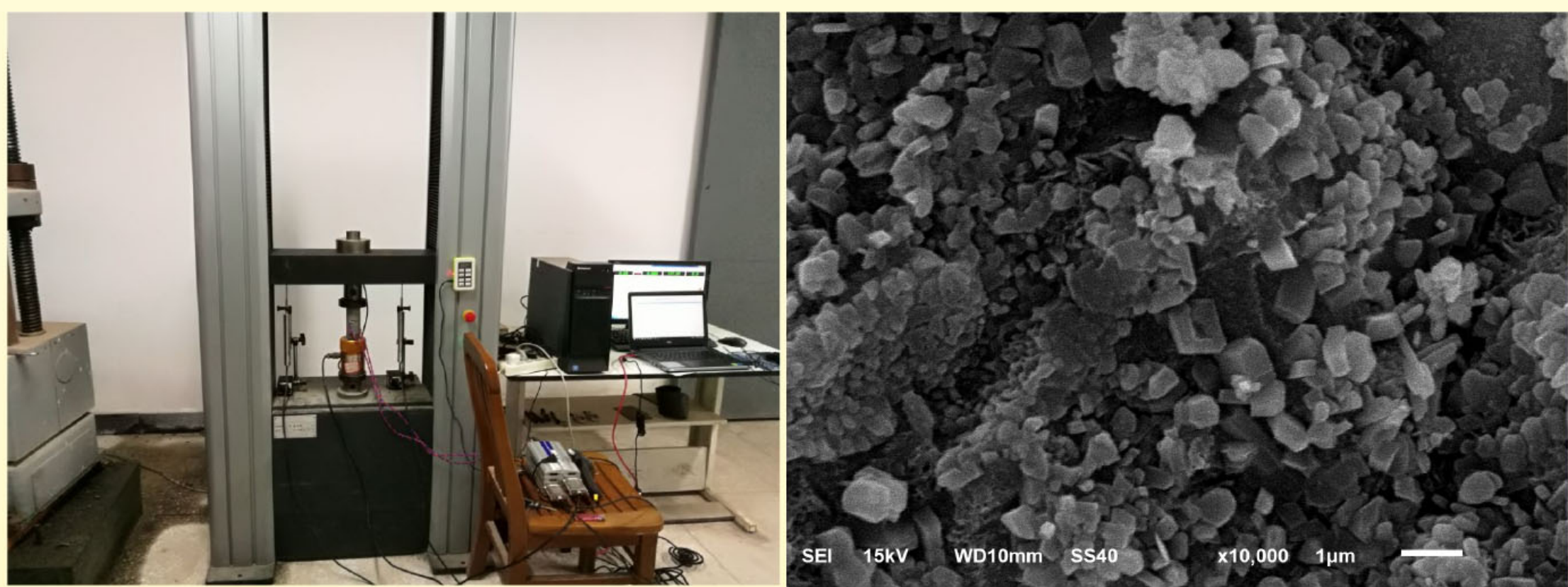


2018年中国水利学会大禹奖

输调水工程钢筋缠绕钢筒混凝土压力管道 (BCCP) 创新与实践

(2) 研发了适用于BCCP的高抗裂、耐腐蚀的内外层混凝土

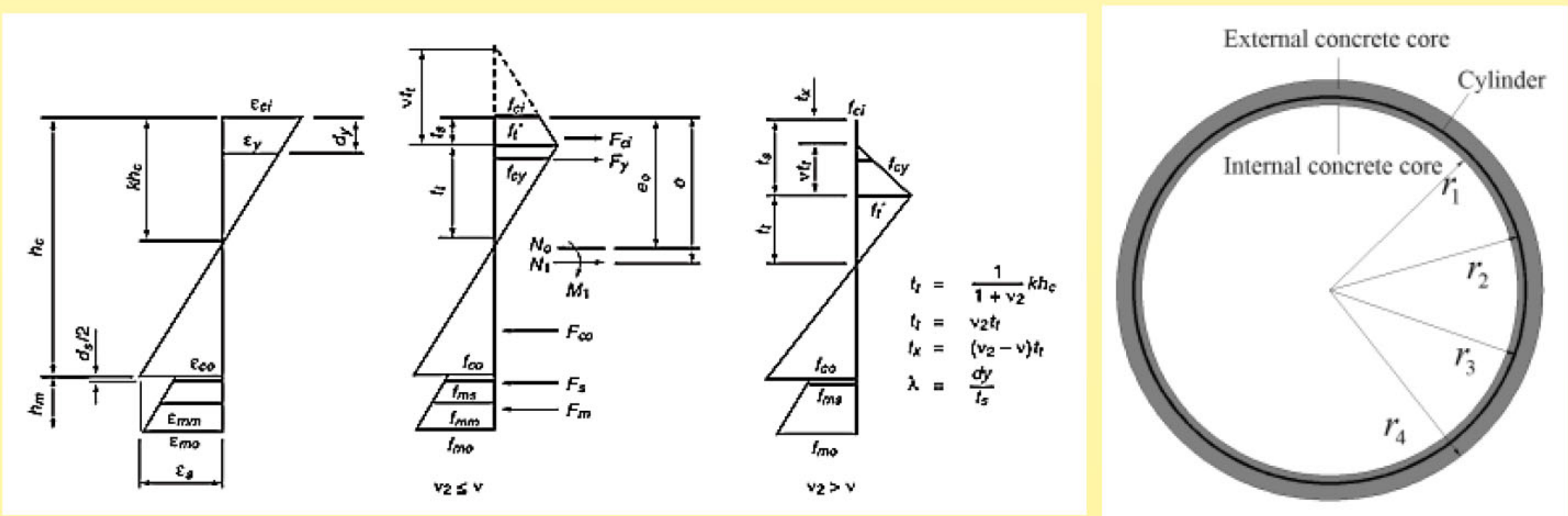
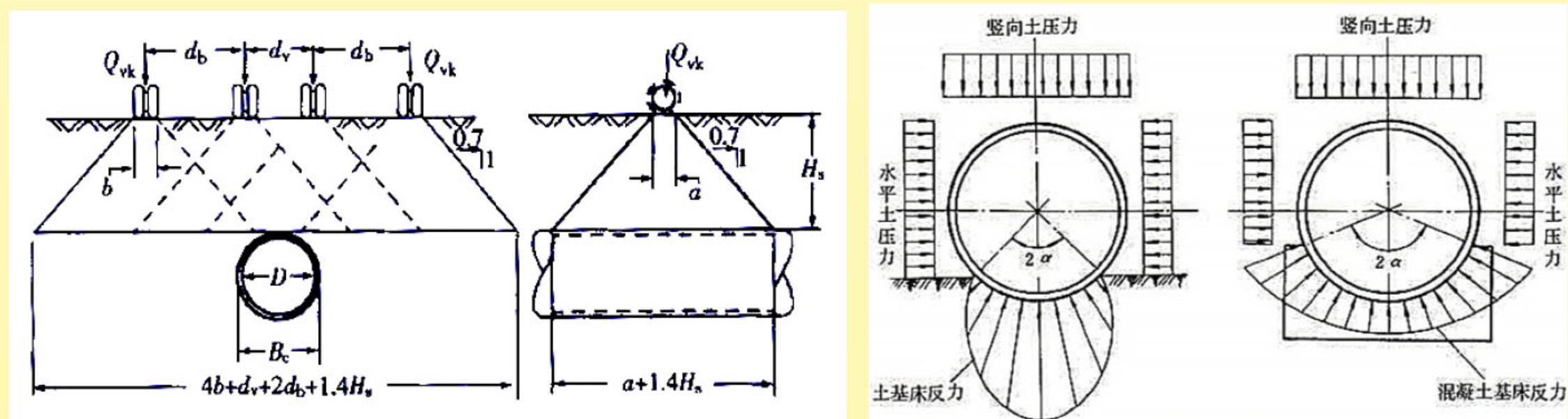
1) 研制了新型掺合料，发明了具有高抗冻性 (F250) 和高抗渗性 (P12)、同时具有优异的抗氯离子侵蚀 ($C \leq 800$)、抗硫酸盐腐蚀 (KS120) 的新型耐腐蚀内层混凝土，解决了混凝土与钢筒之间粘结力低，容易剥落问题。



2) 研发了二次现浇C50粗纤维高耐腐蚀混凝土保护层技术，提出了掺合料和聚丙烯纤维复掺工艺，实现了预应力钢筋、保护层混凝土、钢筒外表面粘结锚固一体化，达到了强腐蚀环境下BCCP工程服役寿命可超过100年的目标。

(3) 建立了BCCP结构设计计算理论与设计优化方法

1) 提出了基于Marston散体极限平衡荷载理论的地下埋管垂直土压力与外荷载计算方法，攻克了不同埋管方式下外荷载的计算难题，建立了BCCP在各种荷载作用下的内力计算模型，给出了BCCP结构整体分析计算理论。



2) 提出了考虑土荷载、活荷载、自重、工压、水锤压力、现场试验压力影响的22种荷载组合工况分析模型，建立了基于工作、弹性和强度极限状态的完整的BCCP结构组合体系计算理论，研发了以变形控制为基础的不同极限状态下整体结构设计优化方法。

(4) 建立了完整的BCCP材料设计参数与承载破坏全过程的表征方法

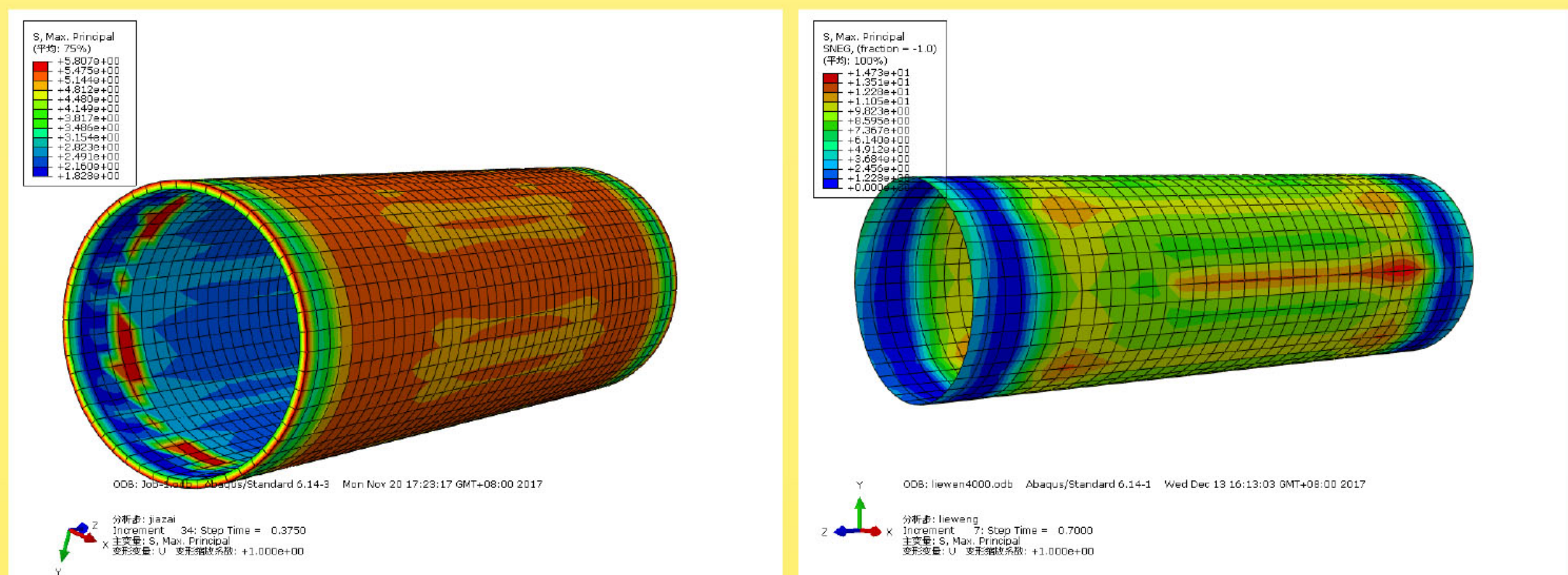
1) 历时三年完成了胶凝材料、粗细集料、外加剂、钢筒、钢筋和混凝土等大量材料性能试验，建立了完整的BCCP材料设计参数与取值方法，提出了相关材料本构关系和屈服准则，揭示了预应力在管道各层之间的传力机制，实现了BCCP带肋钢筋缠绕过程的精细控制与模拟。



2) 研发了大型结构测试新装置，完成了50余根成品管内水压、外压承载破坏全过程原位试验，建立了内外载作用下BCCP整体破坏全过程表征方法，全面揭示了其整体承载破坏机理与破坏形态，其开裂强度为同截面PCCP的1.4~1.6倍，极限荷载强度更高，属于高延性管材。

(5) 提出裂缝和预应力松弛对BCCP整体安全影响的具体评价技术

1) 建立了BCCP组合薄壁结构开裂模拟扩展有限元方法，研发了混凝土断裂测试系统及其精细化测试技术，实现了BCCP裂缝精确定位与全过程动态追踪，得到了BCCP各个极限状态下的内水压、外压极限值以及整体损伤开裂破坏形式，构建了裂缝对BCCP承载能力影响的具体安全评价方法。



中国水利学会



2018年中国水利学会大禹奖

输调水工程钢筋缠绕钢筒混凝土压力管道(BCCP)创新与实践

2) 提出了现场BCCP预应力松弛准确测量方法, 揭示了BCCP在各种运行工况下预应力钢筋应力松弛规律, 构建了不同预应力松弛情况下BCCP极限承载力的分析模型, 最终研发了预应力损失对BCCP整体安全影响评价技术。



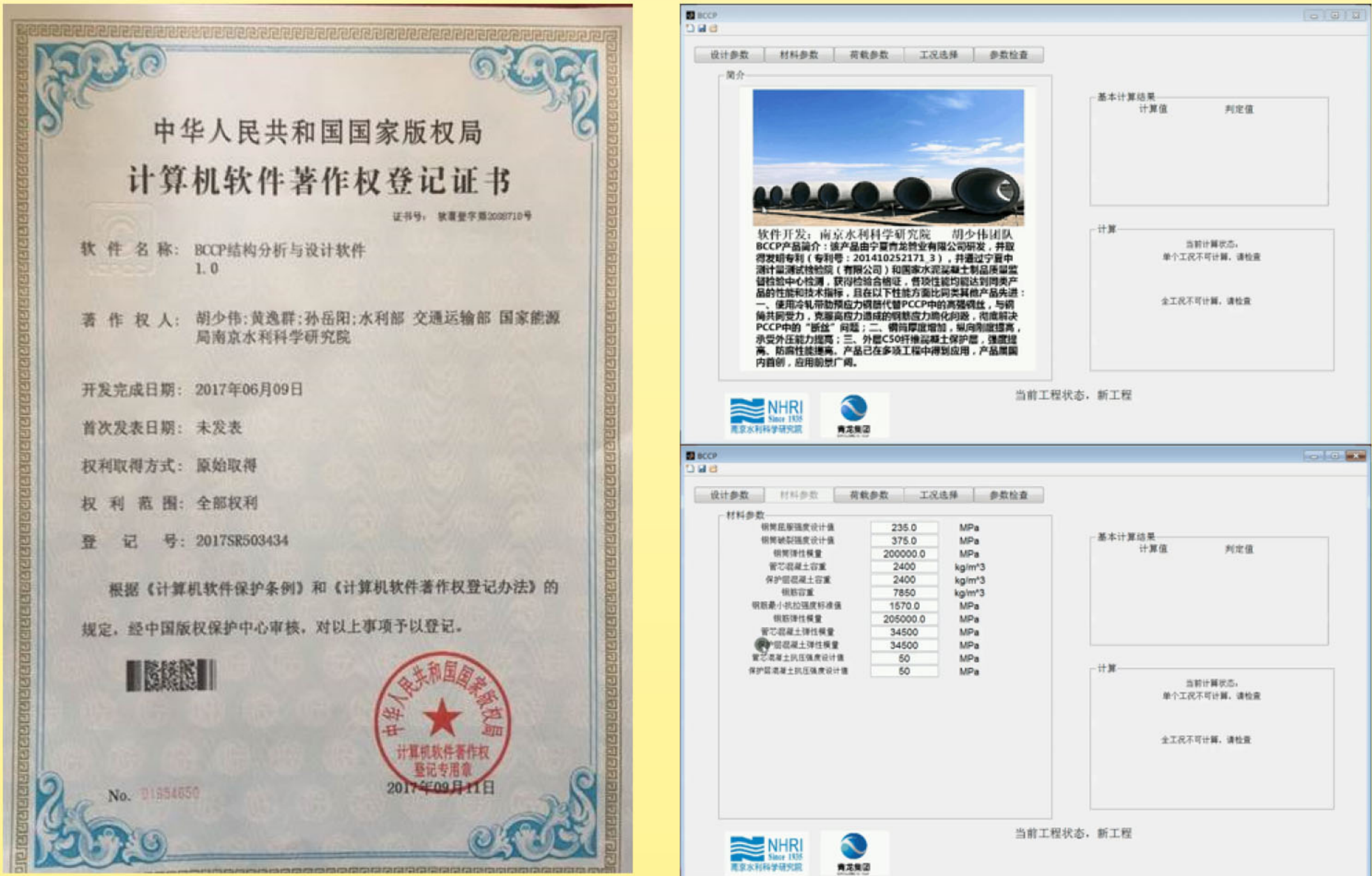
(6) 研发了BCCP管道接头安全性能分析方法与接头弹性复合砂浆

1) 系统完成了大量地基沉降对BCCP接头力学性能影响的现场原型试验, 提出了确保接头结构安全转角计算理论与防控方法, 研发了BCCP接头部位变形综合分析模型及其控制技术, 保障了BCCP管道沿线整体工程安全性与稳定性。

2) 完成了大量弹性砂浆室内与现场原型试验与机理分析, 研制了具有低弹性模量 ($E \leq 5.0 \text{ GPa}$)、高极限拉伸值 ($\geq 400 \mu \epsilon$)、高抗冻性 (F300)、高抗裂性的弹性复合砂浆, 解决了BCCP接头材料易开裂、易剥落问题, 显著提升了BCCP接头处的抗腐蚀性能与承受管道因水锤引起的振动变形等。

(7) BCCP结构分析与设计软件开发

建立了基于工作、弹性和强度极限状态的完整的BCCP结构组合体系计算理论, 研发了基于遗传算法的BCCP结构分析与设计软件, 取得了计算机软件著作权证书 (登记号2017SR503434)



三、应用范围

团队开发的管道用高抗裂、高耐久性水泥基弹性防护砂浆技术已被列入了水利部重点推广项目 (SF-201616), 一致评价该产品具有优异的充填、抗裂、防护、防渗效果。

BCCP新产品主要针对西北地区盐碱腐蚀环境与北方半干旱地区而研发, 在气候干燥的环境、存在干湿交替的环境以及管线明敷的环境都可以使用。目前已销售应用到宁夏固原城乡饮水安全水源工程、西北盐环定泵站改造工程 (宁夏盐池、甘肃环县、陕西定边)、山西禹门口泵站改造工程等10多个输调水工程中, 已取得BCCP新产品销售额6.8亿元, 用户普遍评价该新型管道平整光洁, 结构完整性好, 安全耐久性比同类管道大幅增强。该BCCP新产品在输调水工程中严防断丝爆管、减少维修次数、延长服役寿命等方面取得的间接经济与社会效益不可估量。



应用范围	应用范围	应用范围	应用范围	应用范围	应用范围	应用范围	应用范围	应用范围	应用范围
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程
1. 城市供水工程	2. 工业供水工程	3. 农业灌溉工程	4. 城市排水工程	5. 工业排水工程	6. 农业排水工程	7. 城市污水处理工程	8. 工业污水处理工程	9. 农业污水处理工程	10. 城市垃圾处理工程



中国水利学会