

## 边坡预锚阻滑效应力学模型、使用寿命预测方法及健康延寿关键技术

- 【获奖等级】 应用成果奖特等奖
- 【任务来源】 国家科技计划项目、行业部委项目
- 【起止时间】 2001年1月~2021年12月
- 【完成单位】 中国水利水电科学研究院
- 【主要完成人】 汪小刚、王玉杰、赵宇飞、凌永玉、孙兴松、林兴超、姜龙、刘立鹏、孙平、段庆伟、张强、曹瑞琅、皮进、尹韬、聂勇

### 一、研究背景

预应力锚索作为边坡加固的重要手段，已在水利水电、交通等领域的高边坡工程中得到广泛应用，锚索的长期运行性态直接关系到工程运行安全。由于预应力锚索的锚固机理复杂、赋存环境恶劣、工作性态不明等特点，工程界对预应力锚索的阻滑抗剪作用效应认识有限、尚无合适的寿命预测模型、缺乏有效的防护和延寿技术。

近20年来，课题组在多项国家级、省部级和重大工程科研项目的支持下，围绕“如何准确计算锚索阻滑作用，如何定量预测锚索使用寿命，如何有效延长锚索服役年限”3个关键难题，通过理论分析、数值模拟和室内现场试验，建立了以预应力锚索阻滑抗剪效应力学模型、长期寿命预测方法、监测检测和健康延

寿技术为核心的新型边坡锚固工程技术体系。

## 二、主要内容

1、边坡预应力锚索阻滑抗剪效应力学模型。研制了锚固结构液压伺服大型直剪试验系统（试样尺寸：1m×1m×2m）；提出了锚索挤压张拉、塑性铰形成、拉剪分区破断 3 阶段破坏模式；建立了预应力锚索阻滑抗剪效应力学模型。

2、锚固结构长期性能演化机制与寿命预测方法。首次在漫湾、京珠高速和丰满老坝等 5 个实际工程进行了锚索开挖检测；研制了全浸、电解加速和干湿循环的拟环境腐蚀试验设备，开展了 2160 组锚索腐蚀室内试验；提出了预应力锚索寿命阶段划分模型，建立了预应力锚索寿命预测方法。

3、研制了新型预应力锚索结构与健康延寿关键技术。发明了楔形压胀内锚头和内外锚头防腐的薄弱部位强化防护结构；研制了新型超限荷载变形调整内锚头的超限应力动态调控专用设施；研发了分布式应力变形实时监测及缺陷检测技术。

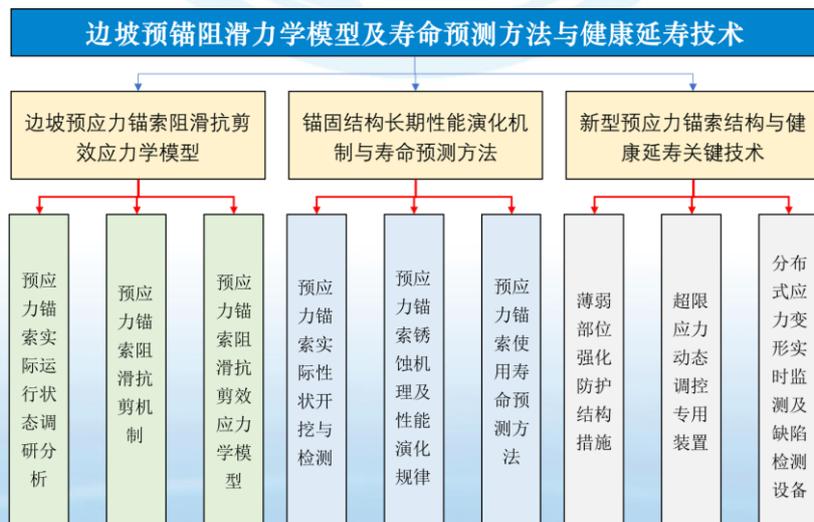


图 1 主要研究内容

### 三、创新点

1、深刻揭示了预应力锚索阻滑抗剪机制，提出了预应力锚索抗剪效应力学模型。通过对预应力锚索运行状态的总结分析，发现了目前边坡锚固设计方法的重大缺陷，依据室内模型试验、数值仿真和理论分析成果，揭示了锚索阻滑抗剪力学机制，并在此基础上建立了相应的力学分析模型。

2、全面研究了预应力锚索腐蚀演化机理，建立了预应力锚索服役寿命预测方法。通过对预应力锚索的现场开挖检测，发现了长期运行条件下锚索腐蚀特征规律，基于锚索全浸、电解加速和干湿循环室内拟环境腐蚀试验，揭示了锚索腐蚀机理，在此基础上提出了锚索寿命预测方法。

3、系统提出了预应力锚索安全防护理念，研发了预应力锚索健康延寿关键技术。通过对预应力锚索结构体系的总结，提出了“薄弱部位强化防护、超限应力动态调控、全程变形实时监测”的理念，发明了薄弱部位强化防护结构措施、研发了超限应力动态调控专用设施、研制了分布式应力变形实时监测技术，形成了从结构措施、专用设施到监测技术的预应力锚索成套体系。

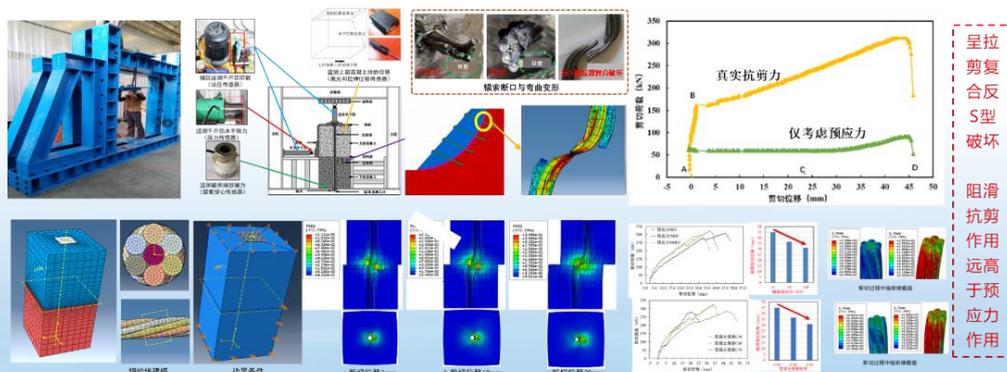


图2 边坡预应力锚索阻滑抗剪机制



图 3 工程实际服役锚索（10~30 年）腐蚀特征和主要影响因素

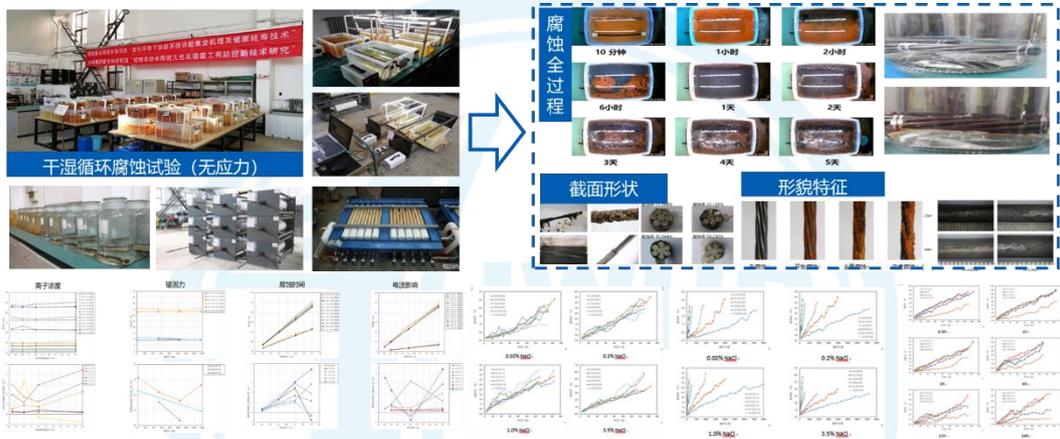


图 4 锚索腐蚀演化机理

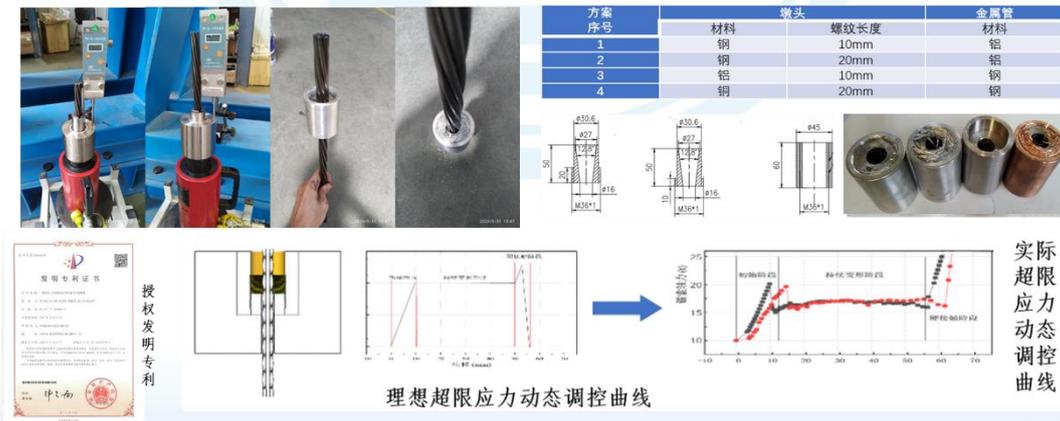


图 5 预应力锚索超限应力动态调控装置

#### 四、推广应用

上述技术体系，提升了对锚固工程加固效应的认识、填补了

锚固工程寿命预测的空白、实现了锚固工程检测和延寿，在边坡锚固技术上实现了突破。项目研究成果已经在三峡、锦屏一级、阿尔塔什等 20 余项工程中得到了推广应用，取得了良好的应用效果，产生了重要的社会与经济效益。

