



# 湖南省大学生研究性学习与创新性实验项目计划 结题须知

一、凡经立项的项目都必须结题。项目研究工作完成后，项目负责人须从网上下载并填写《湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目结题报告》，经所在单位签署意见后，报教务处实验室建设与管理科。

二、申请结题时，项目负责人须提供以下材料：

1、《湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目结题报告》一式三份及电子文档；

2、项目研究成果主件（含项目研究报告、论文、专著、软件、其他等）；

3、必要的附件（验证项目成果及成果推广效果、效益的资料）；

4、项目申请书、开题报告、中期报告复印件；

5、以上2~4项以支撑材料的形式装订成册，一式三份；

6、本结题报告书适用于湖南省立项项目。

## 一、基本情况

项目名称		基于压电陶瓷的智能混杂复合 FRP 预应力筋的力学性能和损伤机理研究				
立项时间		2014/04		完成时间		2015/12
项目 主要 研究 人员	序号	姓名	学号	专业班级	所在院(系)	项目中的 分工
	1	蒋棋	20112502 0125	桥梁与隧道 (卓越)	土木与建筑 学院	智能 FRP 筋设计
	2	刘思琴	20114107 0112	桥梁与隧道 (卓越)	土木与建筑 学院	智能 FRP 筋力学性能
	3	韩阳	20111904 0511	桥梁与隧道 (卓越)	土木与建筑 学院	智能 FRP 筋损伤机理
	4	魏玉标	20110802 0226	桥梁与隧道 (卓越)	土木与建筑 学院	试验研究

## 二、研究成果简介

项目研究的目的、意义；研究成果的主要内容、重要观点或对策建议；成果的创新特色、实践意义和社会影响；研究成果和研究方法的特色。限定在 2000 字以内。

### 2.1 项目研究的目的和意义

目前钢筋混凝土已成为当代土木工程中用量最多的人造材料，这主要是由于混凝土与钢筋具有良好的整体工作性能、钢筋具有良好的弹塑性性能、以及钢筋在混凝土的保护下具有更好的耐久性和耐火性等。但是在工程实践中也出现了许多钢筋在恶劣的复杂环境中易锈蚀的情况，从而导致承载能力下降，影响钢筋混凝土结构的正常使用，并带来巨大的安全隐患。美国1992年报道，因撒除冰盐引起钢筋腐蚀而限载通车的公路桥(其中大多数为预应力混凝土桥)就占1/4，其中已不能通车的占1%，仅这些桥的维修费就高达900亿美元。英国建造在海洋环境中的预应力混凝土结构，因腐蚀需要重建或更换预应力筋的占三分之一以上。我国钢筋的耐久性问题也十分严重，例如北京西直门立交桥使用才19年，因其混凝土

严重剥蚀和钢筋锈蚀，不得不于1999年重建，我国将投入大量资金用于混凝土结构的维修加固以及耐久混凝土结构的新建。

纤维增强复合材料FRP (Fiber Reinforced Polymer/Plastic)筋是由连续的玻璃纤维、碳纤维或芳纶纤维与聚酯、乙烯基或环氧等树脂复合而成的一种高性能筋材。高级复合材料尤其是碳纤维增强复合材料CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer/Plastic)筋以其强度高(有的高于3000 MPa，约为高强预应力钢筋的2倍)、重量轻(约为钢材的1/5)、免锈蚀和抗疲劳性能好等优异性能极有希望成为处于恶劣自然环境下桥梁结构中传统普通钢筋、高强钢丝和钢绞线的潜在替代品。在非预应力FRP筋混凝土结构中，由于FRP筋的弹性模量相对较低，结构的变形较大，从而FRP筋的高强度一般得不到有效的发挥。为了充分发挥FRP筋轻质高强、耐腐蚀和抗疲劳性能好的特点，可以将FRP筋作为预应力筋用在各类结构中，并已进行了大量的相关研究，且取得了一定的研究成果。但是，FRP筋是一种横观各向同性材料，具有抗剪强度较低以及延性较差等特点，最终导致FRP筋在土木工程的预应力混凝土结构中应用受到限制。对此，提出一种智能混杂复合FRP预应力筋，该预应力筋以FRP预应力筋为芯材，外侧缠绕包裹着钢丝网和纤维布带，且在其内埋入压电陶瓷PZT智能材料，并通过环氧树脂胶复合成一体，使该筋材不但具有较高的延性性能和抗剪性能，而且具有智能监测特性。

为了使FRP预应力筋能够在土木工程中得到广泛应用和推广，研究该新型智能混杂复合FRP预应力筋的力学性能和损伤机理具有重要意义。

## 2.2 项目研究的主成果及建议

纤维增强复合材料 FRP (Fiber Reinforced Polymer/Plastic)筋是由连续的玻璃

纤维、碳纤维或芳纶纤维与聚酯、乙烯基或环氧等树脂复合而成的一种高性能筋材。高级复合材料尤其是碳纤维增强复合材料 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer/Plastic)筋以其强度高(有的高于 3000 MPa,约为高强预应力钢筋的 2 倍)、重量轻(约为钢材的 1/5)、免锈蚀和抗疲劳性能好等优异性能极有希望成为处于恶劣自然环境下桥梁结构中传统普通钢筋、高强钢丝和钢绞线的潜在替代品。在非预应力 FRP 筋混凝土结构中,由于 FRP 筋的弹性模量相对较低,结构的变形较大,从而 FRP 筋的高强度一般得不到有效的发挥。为了充分发挥 FRP 筋轻质高强、耐腐蚀和抗疲劳性能好的特点,可以将 FRP 筋作为预应力筋用在各类结构中。但是,用 FRP 筋施加预应力增强混凝土结构,可以提高其使用阶段的极限承载力,但延性性能却大大降低了,这对工程抗震来说是非常不利的。又由于 FRP 没有明显的塑性流动阶段,FRP 结构的破坏往往表现出脆性性质,这对于结构的安全使用也是不利的。这就导致 FRP 筋在土木工程的预应力混凝土结构中应用受到限制。为了拓展 FRP 筋的应用范围,提出一种智能混杂复合 FRP 预应力筋。项目研究成果主要如下:

(1) 提出一种智能混杂复合FRP预应力筋,该预应力筋以FRP预应力筋为芯材,外侧缠绕包裹着钢丝网和纤维布带,且在其内埋入压电陶瓷PZT智能材料,并通过环氧树脂胶复合成一体,使该筋材不但具有较高的延性性能和抗剪性能,而且具有智能监测特性。(该成果已获得一项发明专利)

(2) 试验研究了智能混杂复合FRP预应力筋的智能监测特性,结果表明基于智能骨料和压电陶瓷的小波包能量法能够较好地监测智能混杂复合FRP预应力筋与混凝土粘结滑移,为研究智能混杂复合FRP预应力筋与混凝土粘结滑移机理提

供实时可靠的试验数据。该研究成果同时进一步拓展了智能骨料和压电陶瓷在土木工程的应用范围，为大型土木工程的健康监测提供了一种可靠的方法。（该研究成果已形成一篇）

### 研究成果和研究方法的特色

特色一：以湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目为平台，以培养学生的工程实践能力为主线，强化实验项目的综合性、设计性以及创兴性；

特色二：紧密结合科学研究和科技服务，拓展实验教学资源，开发创新性特色实验项目，有效地提高了大学生工程实践能力和创新能力。

### 实践意义和社会影响

1) 调动广大大学生参与综合设计开发性实验的兴趣和积极性，培养大学生工程实际能力强，能够掌握先进计算理论和实验设备的优秀人才；

2) 通过对外开放，能够对相邻学校起到一定的示范作用。

## 三、项目研究总结报告

预定计划执行情况，项目研究和实践情况，研究工作中取得的主要成绩和收获，研究工作有哪些不足，有哪些问题尚需深入研究，研究工作中的困难、问题和建议。（字数不限，可加页面）

项目按照申请书的计划内容已经完成，取得了很好研究成果，已获批了 1 项国家发明专利，有 1 篇学术论文正在修改准备投到 CSCD 级别的刊物，研究中仍存在以下不足之处：

(1) 智能骨料相对混凝土试件较大，且需要引出导线进行监测，即监测传感器尺寸以及导线对其监测界面的性能存在一定的影响，需对其进行改进；

(2) 该智能混杂复合 FRP 预应力筋制作工艺相对较为复杂，且是在现有的成品 FRP 筋材料进行加工，应进行进一步改进其制作步骤，在 FRP 筋制品过程中就将智能监测材料埋置，使其得以正在的产品化。

根据上述研究中存在的问题，尚需进一步研究的建议如下：

- 1) 根据已有的 FRP 筋锚具开发适合智能混杂复合 FRP 预应力筋的锚具；
- 2) 更深层的研究开发尺寸较小，带自供电能，适用范围更大的智能骨料；
- 3) 进一步改进智能混杂复合 FRP 预应力筋制作工艺，使其产品化成为可能。

#### 四、经费使用情况

经费合计 1 万 元，其中，学校配套资助 1 万 元，学院（所）配套资助 0 元，其他经费 0 元。

CFRP 拉索筋材 1800 元；压电陶瓷片以及智能骨料 4450 元；智能混杂 FRP 筋以及粘结拉拔试件加工制作费 6050 元；论文版面费 3200 元；专利申请费 4500 元。共计 2 万元整。

## 五、指导教师及学院（系）审核意见

项目指导教师对结题的意见，包括对项目研究工作和研究成果的评价等。

项目组成员已完成了该项目的研究工作，其研究成果具有创新性，达到预期目标，同意结题。

负责人签章：

年 月 日

项目主持人所在学院（系）对结题的意见，包括对项目研究工作和研究成果的评价等

负责人签章：

年 月 日

## 六、学校结题审核意见

学校对项目研究的任务、目标、方法和研究成果水平等进行评价，是否结题。

年 月 日