公示材料

1. **项目名称：西藏古建筑木结构受力性能与监测技术研究及工程应用**
2. **推荐单位：西藏自治区文物局**
3. **项目简介：**西藏古建筑木结构历经长年的环境变化，受到地震、腐蚀等自然外力作用以及结构材料性能的退化，结构、构件的承载力和稳定性均有所下降，威胁着结构的安全，亟需在受力性能研究的基础上通过布设监测系统，掌握结构的健康状态，为结构本体保护提供依据。但是，目前国内外对于西藏古建筑木结构受力性能和监测技术研究及工程应用均尚属空白。以往在现代建筑结构中常用的监测技术方法在很大程度上并不适用，这都为西藏古建筑木结构的文物保护工作提出了技术挑战。

本项目在西藏三大重点文物工程保护维修办公室、西藏自治区文物局相关科技项目、国家自然科学基金支持下，以布达拉宫结构监测系统工程为依托，历经十年科研攻关和工程实践，研究了西藏古建筑木结构受力性能，提出了适用于西藏古建筑木结构的监测方法及工程应用的成套关键技术。主要创新性成果如下：

1. 揭示了藏青杨旧材物理力学指标的变异特性，提出了西藏古建筑木结构材料强度时变模型和构件强度退化模型。

2. 揭示了西藏古建筑木结构典型梁柱连接的传力机制与转动性能，得到了其弯矩转角曲线，并获得了梁柱连接的滞回曲线、骨架曲线和恢复力模型。

3. 建立了适用于西藏古建筑木结构系统辨识方法，包括基于动力响应特征的监测数据分析方法以及动力参数识别方法。

4. 提出了基于多重优化准则的结构动力测试传感器布置方法。

5. 基于长期监测数据，建立了适用于西藏古建筑木结构环境因素分析方法，包括基于奇异谱分解的西藏古建筑温度效应理论，以及人群荷载作用下结构舒适度的评价方法。

6. 研发了西藏古建筑木结构监测系统成套技术，发明了适用于古建木结构的光纤光栅传感器安装装置，开发了长期监测软件平台，成功应用于世界文化遗产布达拉宫。

本项目成果填补了西藏古建筑木结构受力性能和监测技术研究的空白。持续五年的结构监测系统为世界文化遗产布达拉宫的保护和利用提供了强大的技术支撑，取得了显著的社会效益。

项目成果获软件著作权2项，实用新型专利1项，出版专著1部，发表论文20余篇，其中SCI/EI/ISTP收录15篇，培养博/硕士研究生6名。多次在国内国际进行学术交流，有力促进了行业科技进步。

**客观评价**

**查新结论：**

2017年4月教育部科技查新工作站（L34）对“西藏古建筑木结构受力性能与监测技术研究及工程应用” 进行了国内外联机检索，利用了35个有关数据库及互联网相关网站，检索到相关文献18篇，经比较、分析、鉴别，可以得出结论如下：

经检索并对相关文献分析对比结果表明：少数国内外相关文献报道分别涉及到该查新项目的部分研究内容，但均未见与该查新项目以上特点相符的文献报道。

该查新项目的主要技术特点在于：

1. 基于藏青杨新材和旧材的力学性能试验，对藏青杨各项物理力学指标进行变异特性分析，建立了适用于藏式古建筑木构件的时变模型和典型梁柱连接计算模型。

2. 建立了古建木结构的系统辨识方法，提出了动力响应特征的西藏古建筑监测数据分析方法、改进随机子空间法的古建筑木结构动力参数识别等。

3. 基于多重优化准则，构建了多种传感器优化方法，以及传感器连接安装装置及安装方法，并将以上成果应用于布达拉宫结构实时监测系统。

4. 建立了古建筑木结构监测数据环境影响因素分析方法—针对温度环境变化，建立了基于奇异谱分解的西藏古建筑温度效应理论和试验研究方法；针对人群荷载环境因素，提出了基于贝叶斯理论的人群荷载作用下结构加速度响应计算方法。

**专家评价：**

该课题成果创新性突出，总体上达到国际先进水平；其中藏青杨古木材退化特征与时变模型、古建筑长期监测数据分析方法两项成果达到国际领先水平。

**主要知识产权证明目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 发明专利有效状态 |
| 软件著作权 | 楼板结构人致振动分析软件V1.0 | 中国 | 2013SRBJ0544 | 2013-9-22 | BJ39221 | 北京交通大学 |  |  |
| 软件著作权 | 藏式古建筑木构应变监测系统V1.0 | 中国 | 2013SR130768 | 2013-11-22 | 0636530 | 北京交通大学，北京数泰科技有限公司 |  |  |
| 实用新型专利 | 一种用于将光纤光栅式传感器安装在木结构上的装置 | 中国 | ZL 2013 2 0240535.7 | 2013-11-13 | 3263721 | 北京交通大学 | 杨娜；白晓彬；郭婷；杨庆山；卢明奇；常鹏 | 已授权、已发证书 |

**主要完成人情况**

1.杨娜

项目负责人，制定总体研究方案，提出主要技术路线，提出主要理论的基本思路和研究框架，全过程参与项目的关键技术的开发和协调管理，指导成果的工程应用。对成果1、2、3、5、6做出的贡献：【论文：Experimental research on mechanical properties of timber in ancient Tibetan building；Experimental study of human-induced effects on floor slab of an ancient Tibetan structure；Pedestrian–bridge dynamic interaction, including human participation；典型藏式古建木构梁柱连接转动性能试验研究；基于人工神经网络的藏式结构有限元模型修正；藏式古建筑木梁柱节点力学性能研究；Dynamic crowd loading test on Tibetan ancient structures；Studies on static performance of mortise and tendon joint in traditional column and tie construction timber structure；Research on Structural Present State and Damage Reasons of Ancient Tibetan Buildings；Analysis of Temperature Effect on Health Monitoring Data of Tibetan Ancient Building；Technology of monitoring and testing for ancient timber structures ；Study on application of FBG sensors in structural health monitoring of timber structure；典型藏式建筑木构架变形特征与变形关系；典型藏式古建木构梁柱连接传力机理分析；适用于遗产建筑的结构健康监测系统；暗销在藏式古建筑木结构连接中的作用；环境激励下古建筑木结构模态参数识别与分析；古建木结构健康监测系统预警机制探讨。指导硕士学位论文：藏式古建典型梁柱连接与木结构体系受力性能研究；藏式古建木构梁柱连接力学性能试验研究及有限元分析；藏式结构有限元模型修正与变形关系分析；藏式古建结构的人致荷载分析；藏式古建筑木构架梁柱节点力学机理研究。专利：一种用于将光纤光栅式传感器安装在木结构上的装置。专著： 藏式古建筑木结构基本力学性能。软件著作权：藏式古建筑木构应变监测系统V1.0；软件著作权：楼板结构人致振动分析软件V1.0。】

2.杨庆山

参与制定总体研究方案和技术路线，提出部分主要理论的基本思路和研究框架，参与项目主要关键技术的开发，对成果1、2、3、4、5、6做出的贡献：【论文：Experimental research on mechanical properties of timber in ancient Tibetan building；Sensor placement methods for an improved force identification in state space；Sensor placement method for dynamic response reconstruction；Modified Tikhonov regularization in model updating for damage identification；Pedestrian–bridge dynamic interaction, including human participation；藏式古建筑木结构损伤识别的数值模拟；藏式古建筑木梁柱节点力学性能研究；Analysis of Temperature Effect on Health Monitoring Data of Tibetan Ancient Building；Technology of monitoring and testing for ancient timber structures；Study on application of FBG sensors in structural health monitoring of timber structure；适用于遗产建筑的结构健康监测系统。专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。专利：一种用于将光纤光栅式传感器安装在木结构上的装置。】

3.尼玛旦增

参与成果的工程应用，参与现场试验的指挥，对成果6做出的贡献：【应用证明】

4.王娟

主持完成监测设备现场试验和传感器优化布置理论研究，参与成果的工程应用。

对成果1、2、3、4、6做出的贡献：【论文：Sensor placement methods for an improved force identification in state space；Sensor placement method for dynamic response reconstruction；Modified Tikhonov regularization in model updating for damage identification；藏式古建筑木结构损伤识别的数值模拟；Technology of monitoring and testing for ancient timber structures；Study on application of FBG sensors in structural health monitoring of timber structure；适用于遗产建筑的结构健康监测系统。博士学位论文：结构时域辨识方法及传感器优化布置问题研究。专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。软件著作权：藏式古建筑木构应变监测系统V1.0。】

5.常鹏

参与西藏古建筑木结构节点力学性能研究，监测系统现场实施分项负责人，完成监测系统软件的设计与实施，参与成果的工程应用。对成果1、2、6做出的贡献：【专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。专利：一种用于将光纤光栅式传感器安装在木结构上的装置。 软件著作权：藏式古建筑木构应变监测系统V1.0。】

6.卢明奇

参与西藏古木材力学性能研究，监测系统现场实施分项负责人，参与成果的工程应用。对成果1、2、6做出的贡献：【专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。专利：一种用于将光纤光栅式传感器安装在木结构上的装置。软件著作权：藏式古建筑木构应变监测系统V1.0。】

7.丁长征

参与成果的工程应用， 参与现场试验的指挥，对成果6做出的贡献：【应用证明】

8.郭婷

参与西藏古建筑木结构系统辨识方法研究，主持完成布达拉宫楼板系统人致振动现场试验，监测系统现场实施分项负责人，参与成果的工程应用。对成果3、5、6做出的贡献：【论文：Experimental study of human-induced effects on floor slab of an ancient Tibetan structure；Dynamic crowd loading test on Tibetan ancient structures。硕士学位论文：藏式古建结构的人致荷载分析。专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。专利：一种用于将光纤光栅式传感器安装在木结构上的装置。】

9.觉单

主持西藏古建筑结构现场勘查，参与现场试验的指挥，参与成果的工程应用，对成果1、2、6做出的贡献：【应用证明】

10.白晓彬

参与长期监测数据分析研究，参与现场试验，参与成果的工程应用。

对成果5、6做出的贡献：【论文：Analysis of Temperature Effect on Health Monitoring Data of Tibetan Ancient Building。专利：一种用于将光纤光栅式传感器安装在木结构上的装置。专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。】

11.戴璐

参与西藏古建筑木结构受力性能研究，参与布达拉宫楼板系统人致振动现场试验，参与成果的工程应用。对成果1、2、6做出的贡献：【专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。软件著作权：楼板结构人致振动分析软件V1.0。】

12.吕梦宁

参与西藏古建筑木结构受力性能研究，参与布达拉宫楼板系统人致振动现场试验，参与成果的工程应用。对成果1、2、6做出的贡献：【专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。软件著作权：楼板结构人致振动分析软件V1.0。】

13.秦术杰

参与西藏古建筑木结构节点力学性能研究，参与成果的工程应用。

对成果2、6做出的贡献：【专著：藏式古建筑木结构基本力学性能。应用证明。】

14.刘敏

参与成果的工程应用。对成果6做出的贡献：【应用证明】

15.邢佶慧

参与成果的工程应用。对成果6做出的贡献：【应用证明】

16.加央曲扎

参与西藏古建筑结构现场勘查，参与现场试验，参与成果的工程应用，对成果6做出的贡献：【应用证明】

17.土登次仁

参与西藏古建筑结构现场勘查，参与现场试验，参与成果的工程应用，对成果1、2、6做出的贡献：【应用证明】

18.王晓峰

参与成果的工程应用。对成果6做出的贡献：【应用证明】

19.张建

参与成果的工程应用。对成果6做出的贡献：【应用证明】

20.白凡

参与成果的工程应用。对成果6做出的贡献：【应用证明】