

1、项目名称

季冻土力学特性及关键试验技术研究

2、推荐奖种

滨州市科技进步奖

3、项目简介

我国季冻土分布广泛，跨越了我国一半以上的省份。当前，我国积极推动“一带一路”战略，该战略带动了诸多重大工程，如巴基斯坦喀喇昆仑公路二期、卡拉奇高速公路、中老铁路、土耳其东西高铁、匈塞铁路等项目。“一带一路”战略示意图中所示，该战略陆上丝绸之路有一大部分在季节冻土区。因此从经济需求和国家“一带一路”战略要求上来讲，季冻土作为道路地基，其特殊的力学特性需要格外的关注，尤其在交通荷载下，季冻土的力学性能更需要充分的了解。

经调查统计，季冻土路基常常会出现冻胀、融沉、沉陷、翻浆、边坡滑塌等一系列的路基病害，威胁行车安全，造成严重的经济损失。因此从季冻土覆盖范围、经济发展、国家战略布局和季冻土路基灾害角度上，研究季冻土的强度变形特性都显得尤为重要。

因此，本课题针对冻融循环土试验技术、季冻土静力学本构理论、冻融循环土强度理论和季冻土残余应变理论中的几个关键问题开展研究。研究成果在多项工程实践中得到推广应用，取得了显著的经济效益和社会效益。本研究的主要创新点如下：

(1) 发现了常规土制样标准不适用于季冻土试验，指出了冻结融化使试样密度离散性放大是目前季冻土三轴试验缺乏稳定性的根源，提出了通过提高土试样密度离散性标准来保证试验结果规律性的思想，建立了季冻土制样的新标准，并通过三轴试验验证了该标准下的可靠性。

(2) 按照季冻土制样新标准，提出了冻融循环下三种典型土类应力应变变化模式及静强度变化模式，得到了围压、冻融循环次数和土类对季冻土静力特性的影响规律。

(3) 提出了冻融循环修正系数的概念，给出了冻融循环下典型土类抗剪强度变化模式，提出了粘聚力和内摩擦角冻融循环修正曲线和计算公式，阐明了其工程应用方法。

(4) 基于新型低温动三轴仪及改进的试验条件，以更符合实际的季冻土埋藏条

件、动应力水平和冻结固结过程，提出了季冻土冻结期的残余变形发展规律和振陷模型计算参数。

(5) 针对冻土三轴试验中出现的温度控制困难及围压补给受阻等问题，分别提出了液体降温、羽绒罩保温以及更换围压管路系统等措施。

4、客观评价

2017 年 5 月滨州市科技局对“季冻土力学特性及关键试验技术研究”成果进行了鉴定，专家组形成鉴定意见如下：

(1) 项目组提供的鉴定资料齐全完整，数据翔实可信。

(2) 通过对土试样密度离散性规律性的系统研究，提出了季冻土制样的新方法。

(3) 研究了围压、冻融循环次数和土类对季冻土静力特性的影响规律，建立了冻融循环下三种典型土类应力应变模型。

(4) 研究了冻融循环下典型土类抗剪强度变化规律，提出了粘聚力和内摩擦角冻融循环修正曲线和计算公式，阐明了其工程实用性。

(5) 研究了季冻土冻结期的残余变形发展规律，并提出了季冻土振陷计算参数的修正方法。

专家组一致认为，该项目成果具有创新性、实用性，达到国际先进水平。

5、技术推广应用情况与社会经济效益分析

本项目首先在东北地区进行推广，推广涉及哈尔滨市和盘锦市两家单位，具体如下：

哈尔滨市三环南线工程东起哈双南路西至哈阿立交桥，该项目采用了滨州学院开展的“季冻土力学特性及关键试验技术研究”中的季冻区典型土的振陷模型进行冻土地基处理，减少了工程中的材料、人力、机械等投入，节约了工期，减少了资源和能源消耗，节约成本。

盘锦市滨海大道市起点二界沟，终点大凌河，全长 42.1 公里，该项目采用了滨州学院开展的“季冻土力学特性及关键试验技术研究”中的强度变形特性进行冻土地基处理，显著减少了冻胀、融沉、沉陷、翻浆、边坡滑塌等一系列的路基病害，有效的保障了道路等基础设施运营安全，延长了道路使用寿命。

6、主要知识产权/代表性论文/论著目录

专利：

(1) 发明专利，王淼，孟上九，单向冻融自然补水装置，2016 年 10 月

论文:

(1) Xiaofei Li, Rui Sun. Reliability of GDS-RCA Resonant Column on Routine Experimentation [J].Applied Mechanics and Material, 2013, vols477-478,439-442.

(2) Xiaofei Li, Rui Sun. Study on the Comparison of Ground Response Analysis for Class I Site [J].Advanced Construction Technologies,2014, vols919-921,1031-1034.

(3) 李晓飞, 孙锐, 袁晓铭. 基于实际记录的现有等效线性化分析程序对比研究[J].地震工程学报, 2015, 37(1): 144-151. (CSCD 核心版)

(4) 李晓飞, 孙锐, 袁晓铭. 现有等效线性化分析程序对实际软场地计算结果的比较[J].自然灾害学报, 2015, 24(4): 56-62.

(5) 王 淼, 孟上九, 王兴隆, 等.循环荷载下冻土振陷增长规律试验研究[J].岩土工程学报, 2016, 38(5): 916-922.

(6) 于啸波, 孙, 袁晓铭, 等.负温对土动剪切模量阻尼比的影响规律[J].岩石力学与工程学报, 2016, 35(7): 1452-1465.

(7) 孙 锐, 于啸波, 袁晓铭, 等.季冻区典型土类动剪切模量阻尼比计算方法[J].岩土工程学报, 2017, 39(1): 116-128.

(8) 孙义强, 孟上九, 王兴隆, 王淼.动荷载作用下冻土试验技术及冻土变形初步研究[J]. 地震工程与工程振动, 2016, 36(1): 169-175.

7、全部完成人排序及对项目的贡献

(1) **李晓飞**, 讲师, 滨州学院, 对本项目技术创造性贡献:

对本项目主要创新点中的(1)、(2)、(3)做出了重要贡献, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 80%, 提出季冻土三轴试验制样新标准, 按照新标准, 研究了冻融循环下季冻区典型土类应力应变关系变化规律、抗剪强度指标变化模式, 通过冻融循环修正系数概念的提出, 给出了抗剪强度指标冻融修正公式。

(2) **王淼**, 助研, 中国地震局工程力学研究所, 对本项目技术创造性贡献:

对本项目主要创新点中的(1)、(2)做出了重要贡献, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 70%, 通过未冻融和冻融两组试验检验季冻土三轴试验制样新标准的可靠性, 绘制应力应变关系曲线。

(3) **于啸波**, 助研, 中国地震局工程力学研究所, 对本项目技术创造性贡献:

对本项目主要创新点中的(2)、(3)做出了重要贡献, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 70%, 探讨冻融循环对季冻区典型土类应力应变关系、静强度

和抗剪强度指标的影响规律。

(4) **李波**，助教，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点中的(2)、(3)做出了重要贡献，投入本项目研究的工作量占本人工作量的70%，选取应变达到15%时的偏应力作为最终的强度值，汇总不同冻融循环次数、不同土类和不同围压下土试样的静强度，研究不同冻融循环次数和不同围压下粉质粘土试验试样的静强度。

(5) **常连盾**，中级，滨州市滨城区建设工程材料检测站，对本项目创造性贡献：

对本项目主要创新点中的(3)做出了重要贡献，投入本项目研究的工作量占本人工作量的70%，提出了冻融循环下典型土类抗剪强度指标粘聚力和内摩擦角变化模式，以未经冻融循环土粘聚力和内摩擦角为基准，提出了冻融循环修正系数的概念，阐明了其物理意义，给出了季冻区典型土类冻融循环修正公式和工程应用方法。

(6) **马辉**，讲师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点中的(4)做出了重要贡献，投入本项目研究的工作量占本人工作量的70%，采用英国GDS新型低温振动三轴仪，利用改进低温动三轴试验的试验技术，使得试验工况更加符合于实际的季冻土路基，进行固结排水低温动三轴试验。

(7) **王志鑫**，讲师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点中的(4)做出了重要贡献，投入本项目研究的工作量占本人工作量的70%，分析不同温度 and 不同动应力幅值下土试样残余应变随振动次数的增长规律，根据不同动应力幅值和低温下土试样残余应变发展规律，给出同一动应力幅值下，季冻土残余应变随低温的发展规律。

(8) **刘敏**，讲师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点中的(5)做出了重要贡献，投入本项目研究的工作量占本人工作量的70%，依据不同温度和动应力幅值下季冻土残余应变随循环荷载振动次数的变化规律，拟合不同动应力幅值、不同温度下季冻土残余应变随循环荷载振动次数的增长规律，选取Monismith模型作为季冻土振陷模型。

8、全部完成单位及排序

(1) 滨州学院

(2) 中国地震局工程力学研究所

(3) 滨州市滨城区建设工程材料检测站