

原件 08

合作协议

本合作协议（“协议”）由以下双方签订：山东建筑大学，一所在中华人民共和国注册的高等院校（以下称“大学”）；以及北京象新力科技有限公司（以下称“公司”）。本协议将从公司在下面签署的日期起开始生效（“生效日期”）。

背景信息

山东建筑大学地处国家历史文化名城、山东省会—泉城济南。学校创建于1956年，1958年本科办学。60多年来，学校扎根齐鲁大地，秉承“厚德博学、筑基建业”的校训和“勤奋严谨、团结创新”的校风，凝练特色、培植优势，现已发展成为一所以工为主、以土木建筑学科为特色，工理管文法艺多学科交叉渗透、协调发展的多科性大学。学校是山东省与住建部共建高校、服务国家特殊需求博士人才培养高校、国家“产教融合”项目建设高校、卓越工程师教育培养计划高校、山东省应用型人才培养特色名校、国家文物局重点研究基地依托单位。

学校设有20个学院（部）和4个研究（设计）院，61个本科专业，1个博士后科研流动站，1个博士人才培养项目，17个一级学科硕士点，18个专业学位类别，64个二级学科培养方向，拥有硕士研究生推免资格。学校面向全国30个省（市、自治区）招生，全日制在校生2.7万余人。学校现有教职员工2209人，其中专任教师1797人，高级岗位人员998人，博士生导师41人，硕士生导师876人。

学校ESI工程学学科位列全球前1%，拥有建筑学和土木工程2个山东省一流学科，建筑学列入山东省高水平“优势

特色学科”建设学科。拥有1个教育部重点实验室、1个乡土文化遗产保护国家文物局重点科研基地、3个省协同创新中心、2个省重点实验室、8个省工程技术研究中心、3个省工程实验室（工程研究中心）、6个省高校重点实验室、2个省高校人文社科研究基地（新型智库）、1个省非物质文化遗产研究基地、1个国家文物学会研究基地、1个省政法委研究基地等重要科研创新平台29个。

学校拥有国家级实验教学示范中心1个、国家级虚拟仿真实验教学中心2个、国家级工程实践教育中心2个，国家级大学生校外实践教育基地1个，国家级特色专业、教育部地方高校本科专业综合改革试点专业5个，国家级一流专业7个，省级一流专业11个，省高水平应用型重点专业（群）7个。6个土木建筑类专业通过国家专业认证（评估）。拥有国家级精品资源共享课程、双语示范课程、教育部马工程重点教材“精彩一课”5门，国家一流课程4门，新工科国家级教研项目2项。

抢抓新机遇，奋进新时代。学校将认真学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，坚持社会主义办学方向，落实立德树人根本任务，扎实推进“六大工程”，强化内涵建设，提升办学水平，向着建设教学研究型大学的目标砥砺前行，努力为全面建成小康社会、实现中华民族伟大复兴中国梦作出新的更大贡献！

北京象新力科技有限公司是一家专门致力于能源、电力、电子、自动化、机械、物理等方向仿真技术研究的高新技术企业，公司以教育教学、交互实验、学术研究作为核心业务。开创性的实现了传统数值计算仿真与虚拟现实相结合，提供

给师生由浅入深的教学体验，涵盖从职业院校到一本院校的不同需求点。

公司期望通过教育部产学研合作协同育人项目的实施，与大学建立合作伙伴关系，实现高校人才培养与企业发展的合作共赢。

公司与大学合作，实施城市道路路面典型病害虚拟仿真实验系统项目，从协议签署之日起执行。

协议

一、公司的承诺

1. 在受本协议约束的前提下，公司同意向大学提供

1、☐教学内容和课程体系改革项目：项目经费人民币50000元（大写：伍万元整）

2、☒实践条件和实践基地建设项目：提供不少于 20 万元的仿真平台支持。

公司将依照《2021 年北京象新力科技有限公司-教育部产学研合作协同育人项目申报指南》的规定，并在大学证明已令公司适当满意地实现了所规定的建设阶段后，根据项目类型，支付该笔资金或仿真平台支持。

2. 公司不承诺负责除本协议规定之外的任何开支、技术援助或品牌宣传。

二、大学的承诺

1. 自本协议生效日起，大学将委派一名教职人员专门负责本项目的协调工作。

2. 大学将根据合作协议中附件《申报书》的方案执行此项目。

3. 大学将根据公司提出的要求向公司提供项目状态，尤其是年中与年末的项目执行报告，包括资金使用情况。

三、保密

1. “保密信息”是指一方根据本协议向另一方披露的、标记为保密信息或在相应情况下通常会被视作披露方保密信息的信息。保密信息不包括接收方已知的信息、非接收方错误而公开的信息、接收方独立开发的信息，或其他方通过合法途径提供给接收方的信息。

2. 除了需要知晓该信息且已书面同意对该信息保密的关联公司、员工和代理，接受方不得向其他人披露保密信息。接收方及其关联公司、员工和代理只能出于根据本协议行使权利和履行义务的目的而使用保密信息，同时须采取合理的谨慎态度来保护这些信息。接收方还可在法律要求时披露保密信息，但须先向披露方提供合理的通知。

四、公开

任何一方均不得在未经另一方事先书面同意的情况下就本协议所赋予的关系发表任何公开声明，除非法律有此要求，并且已向另一方提供了合理通知。

五、生效、期限和终止，其他规定

1. 期限：本协议的生效日期为公司签名的日期，本协议的有效期为一年。

2. 终止

(1) 在下列情况下，任何一方均可在书面通知另一方后立即终止本协议：如果另一方实质性违反了本协议，并在收到首先发现其违约的一方的通知后的 30 天内未对此类违约进行补救。

(2) 在下列情况下,任何一方均可在书面通知另一方后立即终止本协议:如果另一方因不可抗力而无法履行本协议所规定义务的时间超过 30 天。

3. 修订内容。任何修改都必须以书面形式作出,并且明确说明修改了本协议之内容。

4. 管辖法律。本协议受中华人民共和国法律的管辖;本协议履行中出现纠纷,双方应尽力协商解决;协商不成,提交当地仲裁委员会仲裁。

附件:《申报书》

双方已于生效日期由合法授权代表签署本协议。

[以下为签字页]

北京象新力科技有限公司

姓名: 吴爱军

职称: 总经理

日期: 2021年7月4日

山东建筑大学

姓名: 王全满

职称: 副教授

日期: 2021年7月4日

2021 年北京象新力科技有限公司
教育部产学合作协同育人项目申请书

项目名称: 城市道路路面典型病害虚拟仿真实验系统

负责人: 赵全满

联系电话: 15169068030

工作邮箱: zhaoquanman@sdjzu.edu.cn

学校名称: 山东建筑大学

通信地址: 济南市临港开发区凤鸣路 1000 号

申请时间: 2021 年 6 月 28 日

二〇二一年六月制

填 表 说 明

1. 申报资格:

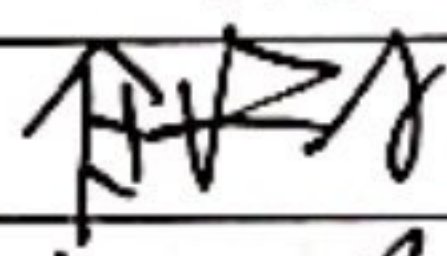
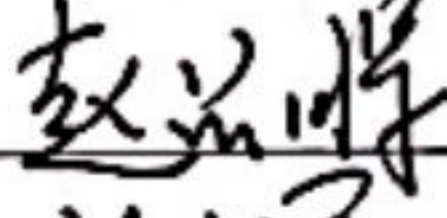
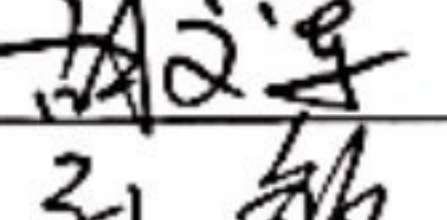
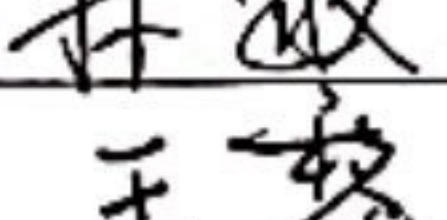
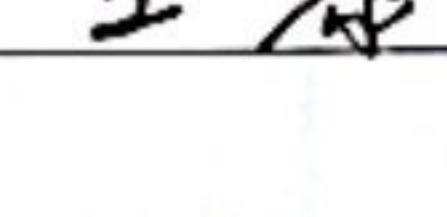
(1) 全日制本科高校在职教师或在校学生;

(2) 原则上不接受之前已获得过同类项目资助的重复申报。

2. 有关项目内容、具体要求和说明请参考项目申报指南。

3. 项目负责人填写的内容由所在单位负责审核, 所填内容必须真实、可靠。

4. 申请书由项目负责人填写并手写签名, 报送所在高校主管部门审查、签署意见并盖章后, 将扫描文件上传到项目平台 (<http://cxhz.hep.com.cn>)。

项目概况	项目名称	城市道路路面典型病害虚拟仿真实验系统				
	项目类型 (单选)	☐ 新工科、新医科、新农科、新文科建设项目 ☐ 教学内容与课程体系改革项目 ☐ 师资培训项目 ☒ 实践条件和实践基地建设项目 ☐ 创新创业教育改革项目 ☐ 创新创业联合基金项目				
	起止年月	2021年6月~2022年6月				
项目负责人	姓名	赵全满	性别	男	出生年月	1987.02
	职务/职称	系主任/副教授		最终学位	博士	
	所在学校及院系	山东建筑大学交通工程学院			邮政编码	250101
					电话	15169068030
	教学研究 工作情况 (限3项)	起止时间	项目名称			项目级别
		2018~2020	基于多指标体系的井周路面维修标准及高性能环保型冷补材料的研发, 项目负责人			山东省自然科学基金
		2018~2020	基于宏-细观尺度模型的CRCP冲断区域开裂及剥落机理研究, 项目负责人			山东省住房和城乡建设科技计划项目
		2017~2019	富水复合地层盾构隧道开挖面渐进性失稳破坏机理, 第二负责人			国家自然科学基金
项目主要成员 (含项目负责人)	姓名	职称	主要任务			签名
	任瑞波	教授	路面车辙病害仿真分析			
	赵品晖	副教授	路面疲劳开裂仿真分析			
	胡文军	讲师	路面坑槽破坏仿真分析			
	孙敏	讲师	井周路面破坏仿真分析			
	王黎	讲师	车辆动载仿真分析			
项目相关背景 and 基础介绍						
项目相关背景 课堂教学是目前应用最为广泛的传统授课形式, 但传统授课存在学生学习积极性和主动性不足、理论多实践少、教学趣味性不足等诸多弊端, 严重影响着教师授课质量和学生培养质量, 受到众多教育工作者的广泛关注。虚拟仿真实验系统是一种新型的教学模式, 可有效丰富教学内容, 加深学生对专业知识的了解, 提高学生学习积极性和主动性。						

车辙、坑槽、疲劳开裂以及井周路面破坏是城市道路的主要病害形式，病害频发，给城市道路建设及养护部门带来极大的困扰。尤其是井周路面破坏，城市管网是城市基础设施的重要组成部分，被喻为“城市动脉”，而检查井是城市管网必不可少的组成部分。在城市管网建设中，检查井不宜布置于城市道路上，但受其他管网的布置和路幅宽度的空间限制，有相当数量的检查井布置在城市主干路、次干路和支路的道路范围内，成为了整个道路的薄弱部位。在车辆荷载的反复作用下，检查井周围路面（简称“井周路面”）极易产生沉陷、开裂、坑槽等早期病害，导致道路整体平整度差，行车颠簸，甚至车辆为躲避井盖造成严重的交通事故。

在市政道路养护中，每年用于井周路面、坑槽修补及交叉口车辙处治费用巨大，但由于其位置及结构的特殊性，导致其耐久性差，病害频发。检查井的存在不利于道路施工，井周路基、路面极难压实，导致井周路面结构失稳。同时，井周路面与常规道路的车辆荷载动态特性差异显著。当车辆经过不平整的检查井及井周路面时，井盖将发生明显的变形和振动，产生刺耳的撞击声和较大的冲击荷载，加速了汽车构件的磨损及井周路面的破坏，导致路面平整度进一步降低，反过来将继续加大车辆的振动冲击荷载，形成恶性循环。

车辆荷载作用下，井周路面、交叉口路面力学响应时空分布特性复杂，井周路面破坏及交叉口车辙形成机理尚不明确，导致路面结构和材料设计存在很大的盲目性。其作为一个特殊的结构部位，具有范围小、间距大的特点，在复杂、多变、多维（包括上下、前后、左右“三维”）的车辆荷载作用下破坏严重。然而，井周路面和交叉口建设及养护时，其设计力学控制指标与常规路段完全相同，显然满足不了特殊结构部位使用功能的需求。

学院道路桥梁与渡河工程专业和交通工程专业培养方案中明确提出：培养“具有扎实的基础理论、宽广的专业知识、较强的实践能力和创新能力”的“应用型高级技术人才”，本项目的实施可大大提升学生专业实践及创新能力。本项目以城市道路路面典型病害为研究对象，围绕车辆荷载动态特性仿真分析、城市道路井周路面破坏仿真分析、城市道路路面车辙病害仿真分析、城市道路路面坑槽病害仿真分析、城市道路路面开裂仿真分析等开展研究，建立城市道路路面典型病害虚拟仿真实验系统，丰富理论教学内容，深化学生对专业知识的

理解。

项目相关基础介绍

申请人具有多年的教学经验，精通有限元仿真软件 ABAQUS，热衷于教学改革，主持了多项数值计算仿真分析相关的教学、科研项目。从 2010 年起，申请人一直从事车-路耦合振动、路面结构破坏失效机理等有限元仿真分析方面的相关研究，参与了多个与仿真分析相关的项目，积累了丰富的研究经验。博士期间参与了中央高校基本科研业务费专项资金项目（CHD2011ZD010），并撰写了博士论文，论文中建立了车-路耦合振动数学模型，对车辆经过 CRCP 冲断区域时的动载特性进行了研究，并利用有限元数值计算方法对 CRCP 冲断区域的破坏机理进行了深入研究。

2015 年工作以来，主持了山东省自然科学基金资助项目（ZR2018BEE039），该项目研究时，利用有限元软件 ABAQUS 建立检查井及井周路面数值仿真模型，对检查井及井周路面进行受力分析，获得井周路面破坏的关键力学参数。2020 年以来主持了“山东建筑大学教学改革研究项目（重点专项）”、“山东建筑大学研究生教育质量提升计划资助项目”、“山东建筑大学本科课程思政示范项目”等教学方面相关课题，热衷于学生教育相关工作，积累了丰富的经验。

近 5 年来，先后在《Road Materials and Pavement Design》、《长安大学学报（自然科学版）》、《公路交通科技》、《北京工业大学学报》、《合肥工业大学学报（自然科学版）》等期刊发表相关论文 20 余篇。对路面车辆动载特性、路面破坏机理等仿真分析方面进行了前期探索，在路面结构力学计算及破坏机理方面有着丰富的研究经验，为本项目的实现奠定了扎实的研究基础。近年来主要研究成果列举如下：

发表论文情况

- [1] 赵全满，张洪亮，许晔. 多锤头破碎机作用下旧水泥路面的力学响应[J]. 合肥工业大学学报：自然科学版，2014，37(5)：620- 623. （CSCD）
- [2] 赵全满，张洪亮，孟宪金. 冲断区域行车舒适性影响因素研究[J]. 合肥工业大学学报：自然科学版，2014，37(7)：839- 844. （CSCD）
- [3] 赵全满，张洪亮，贾伟. 冲断区域车-路间接触力及其影响因素研究[J]. 合肥工业大学学报：自然科学版，2015，38(3)：300- 304. （CSCD）
- [4] 赵全满，张洪亮，高江平等. 基于平整度的 CRCP 冲断区域维修标准

研究[J]公路交通科技, 2015,32(4):130- 135. (CSCD)

[5] 赵全满,张洪亮,周浩. 基于离散元的水泥混凝土细观模拟试验[J]. 公路交通科技,2016,33(12):48- 55. (CSCD)

[6] 赵全满,张洪亮,高江平,周浩. CRCP 冲断区域后续开裂及影响因素分析[J]. 北京工业大学学报,2016,42(5):753- 761. (CSCD)

[7] 赵全满,张洪亮,周浩. 考虑裂缝存在的水泥混凝土性能劣化试验[J]. 公路,2016, (11):6- 10. (中文核心)

[8] 赵全满,张洪亮,高江平,贾朝霞. 基于两尺度模型的 CRCP 冲断区域剥落研究[J]. 长安大学学报(自然科学版),2018,38(01):32- 40. (CSCD)

[9] 赵全满, 陆由付, 张洪亮, 何磊磊. CRCP 冲断区域退化延缓措施研究[J]. 公路, 2019, (4):42-45. (中文核心)

[10] Zhao Quanman, Li Zhigang, Hu Wenjun, et al. Driving Comfort Evaluation for Manhole Covers and Pavement around Manholes [J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2019. (SCI)

[11] Wenjun Hu, Quanman Zhao*, Yao Liu, Zhigang Li, and Xianghui Kong. Damage Evaluation of the Paving around Manholes under Vehicle Dynamic Load [J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2020. (SCI, 通讯作者)

[12] Bao De-xiang, Yu Yun-Yan, Zhao Quan-man*. Evaluation of the chemical composition and rheological properties of bio-asphalt from different biomass sources[J]. Road Materials and Pavement Design, 2020, 21: 1829-1843. (SCI, JCR2, 通讯作者)

主持及参与项目情况

(1) 山东省自然科学基金资助项目(ZR2018BEE039), 基于多指标体系的井周路面维修标准及高性能环保型冷补材料的研发, 主持。

(2) 山东省住房和城乡建设科技计划项目(2018-K4-01), 基于宏-细观尺度模型的 CRCP 冲断区域开裂及剥落机理研究, 主持。

(3) 2020 年山东建筑大学教学改革研究项目(重点专项, XJG2021016), 交通行业发展需求为导向的专业+“微专业”课程体系研究, 主持。

(4) 山东建筑大学研究生教育质量提升计划资助项目 (201107), 城市道路关键部位路面破坏机理及处治教学案例库建设, 主持。

(5) 山东建筑大学本科课程思政示范项目 (202108), 道路建筑材料, 主持。

(6) 国家自然科学基金资助项目 (51709160), 富水复合地层盾构隧道开挖面渐进性失稳破坏机理, 参与。

(7) 国家自然科学基金资助项目 (51808322), 微纳观跨尺度界面增强的SBS/CNTs复合改性沥青结构-流变耦合机理, 参与。

(8) 山东省重点研发计划 (2019GSF109067), 橡胶-乳化沥青冷再生路面材料研发与性能评价, 参与。

(9) 山东高速路桥集团股份有限公司科技项目, 高速公路改扩建工程路桥过渡段及铣刨料台背回填施工关键技术研究与应用, 参与。

参考文献

- [1] 赵全满, 张洪亮, 高江平, 等. 基于平整度的CRCP冲断区域维修标准研究[J]. 公路交通科技, 2015, 32(04): 130-135.
- [2] Zeng H, Park H, Smith B L. Impact of vehicle dynamic systems on a connected vehicle-enabled pavement roughness estimation[J]. Journal of Infrastructure Systems 2018, 25(1): 426-434.
- [3] 张韩, 张宜民, 魏朗, 等. 车辆超载对公路使用寿命的影响[J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(06): 82-88.
- [4] Li S, Yang S, Chen L. A nonlinear vehicle-road coupled model for dynamics research[J]. Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, 2013, 8(2): 101-114.
- [5] 刘大维, 戴宗宏, 陈洋, 等. 车辆多轮动载作用下柔性路面动应力响应[J]. 中国公路学报, 2017, 30(11): 36-44.
- [6] 陈洋, 戴宗宏, 陈焕明, 等. 车辆多轮随机动载作用下柔性沥青路面的应变分析[J]. 振动与冲击, 2016, 35(19): 15-19.
- [7] 刘大维, 陈静, 霍炜, 等. 车辆对路面作用随机动载荷的试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(07): 12-14.

- [8] 郑木莲, 孟建党, 张世铎, 等. 路桥过渡段上车内人体舒适性评价方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2012, 32(02): 1-6.
- [9] 苏曼曼, 张洪亮. 基于整车模型的沥青路面平整度评价方法[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2017, 38(03): 361-366.
- [10] 刘大维, 蒋荣超, 陈焕明, 等. 重型车辆三维随机路面道路友好性仿真[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 16-21.
- [11] 徐中源. 基于实测路面信息的三维虚拟路面重构研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- [12] 金招华. 城市道路检查井盖设施与路面平顺结合数值计算分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [13] 李昊. 检查井井周路面病害防治技术研究[D]. 石家庄: 河北工业大学, 2015.
- [14] 杜健. 交通荷载作用下检查井沉降的理论及其数值模拟与试验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [15] Tobita T, Kang G C, Iai S. Estimation of liquefaction-induced manhole uplift displacements and trench-backfill settlements [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2011, 138(4): 491-499.
- [16] 周进. 车行道检查井的沉降规律及处治措施[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
- [17] Abbas A, Ruddock F, Alkhaddar R, et al. Improving the geometry of manholes designed for separate sewer systems [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2018, 46(1): 13-25.
- [18] Stoikes J. Manhole risers cut costs and preserve pavements [J]. Pavement Maintenance & Reconstruction, 2014, 29(3): 41-50.
- [19] 贺梦琦, 魏连雨. 城市道路检查井井周受力分析研究[J]. 河北工业大学学报, 2014(3): 109-112.
- [20] Wang Y, Kong L, Chen Q, et al. Research and application of a black rapid repair concrete for municipal pavement rehabilitation around manholes [J]. Construction and Building Materials, 2017, 150: 204-213.

项目的特色和亮点
本项目立足于城市道路井周路面破坏及坑槽、开裂和车辙病害频发的实际工程问题，实现了教学、科研与实体工程的有效衔接，保证了虚拟仿真实验的先进性、科学性和合理性。本项目的特色和亮点包括： (1) 实验体系与实体工程相结合。车辙、坑槽、疲劳开裂以及井周路面破坏是城市道路常见病害形式，病害频发，给城市道路建设及养护部门带来极大的困扰。传统室内试验无法有效模拟以上病害的产生过程，学生无法真正了解病害的产生过程及原因，认识不足，本项目可以完美再现以上病害的产生过程，加深学生理解，掌握相关知识，为未来走上工作岗位解决相关工程问题奠定基础。 (2) 实验实践与理论知识相结合。本项目仿真分析实验的相关内容完美贴合《路基路面工程》、《道路工程材料》等课程相关理论教学相关内容，将路面常见病害产生机理、路面材料设计及路面结构组合和厚度设计过程“立体化”体现，加深了学生对理论课程的理解，提高学生学习兴趣及学习积极性。 (3) 实验仿真与学科前沿相结合。车辙、坑槽、疲劳开裂以及井周路面破坏是城市道路常见病害形式，亦是经久不衰的学科前沿，至今尚未根本解决。本项目利用前沿的虚拟仿真技术，再现城市道路常见病害的产生过程，不仅加深了学生的理解，提高了学生的实战能力，而且为相关工程问题的解决积累了宝贵的意见，鼓励着一批批学生向科学前沿、科学难题发起挑战，为相关工程问题的解决输入新鲜血液，有助于相关工程问题的解决及科学问题的突破。
项目建设目标
本项目的建设目标包括以下几个方面： (1) 构建城市道路路面典型病害虚拟仿真实验系统。以城市道路常见病害车辙、坑槽、疲劳开裂及井周路面病害为研究对象，利用 ABAQUS 有限元软件建立路面典型病害仿真模型，模拟病害发生、发展、破坏规律，揭示其破坏机理，形成城市道路典型病害虚拟仿真实验系统。 (2) 提高学生学习积极性，增强创新驱动力。以虚拟仿真实验系统为平台，丰富理论教学内容，加深学生对《路基路面工程》、《道路建筑材料》等课程中路面结构和材料设计相关内容的了解，延伸课本理论知识，丰富教学内容，培养学生理论学习兴趣，提高学生学习积极性，鼓励学生向科学前沿、科学难题发起挑

战，增强学生创新驱动力。

(3) 实现实验教学的线上教学，多资源融合与共享。克服传统教学中室内实验无法线上教学、路面病害无法进行室内实验的弊端，实时、全过程的演示路面病害产生过程，实现实验教学的线上教学，融合线上、线下、室内实验和现场实验及仿真平台等多种资源，构建仿真实验系统平台，实现多班级、多学院、多学校资源共享。

项目建设内容和实施路径

项目建设内容

项目建设内容主要包括以下内容：

- (1) 车辆荷载动态特性仿真分析；
- (2) 城市道路井周路面破坏仿真分析；
- (3) 城市道路路面车辙病害仿真分析；
- (4) 城市道路路面坑槽病害仿真分析；
- (5) 城市道路路面开裂仿真分析。

此外，建立城市道路路面推移、雍包、剥落等病害的仿真分析模型，演示病害发生、发展直至破坏的全过程。

项目实施路径

首先，对城市道路展开病害调查，阅读相关资料，划分城市道路路面典型病害类型，根据难易程度、重要程度等建立实验体系。然后，组织团队成员展开讨论，根据各成员专业特长，明确分工，通力协作，确定各项工作时间节点，确保项目顺利完成。其次，结合道路工程学科前沿，开展城市道路路面典型病害仿真分析，展现病害发生、发展、破坏全过程，揭示相关病害产生机理，不仅向学生灌输专业基础知识，而且要激发学生学习兴趣，提高学生科研素养。最后，优化仿真分析界面组成，美化输出结果，构建城市道路路面典型病害仿真分析系统，形成研究报告。城市道路典型病害仿真分析内容具体实施步骤如下：

(1) 车辆荷载动态特性仿真分析

在检查井沉降模型及井周路面平整度劣化演变模型研究的基础上，基于多体系统动力学理论建立车辆仿真模型，基于三角网格法及 Delaunay 算法建立检查井

沉降仿真模型，基于谐波叠加法构建三维路面仿真模型，实现车辆-井盖-路面模型的三维同构，研究井周路面车辆荷载多维动态特性，并进行参数敏感性分析，以用于井周路面受力仿真分析。

(2) 城市道路井周路面破坏仿真分析

结合交通荷载等级分别对城市快速路、主干路、次干路和支路进行路面结构组合设计，结构类型分为五类：柔性基层沥青路面、半刚性基层沥青路面、刚性基层沥青路面、复合式基层沥青路面和倒装式沥青路面；采用有限元方法建立检查井及井周路面模型，计算多维荷载作用下井周路面各结构层的力学响应，预估不同结构类型及组合的沥青层疲劳寿命、无机结合料层疲劳寿命、沥青层永久变形、路基永久变形及低温开裂指数，对比分析路面设计使用寿命。

(3) 城市道路路面车辙病害仿真分析

针对城区主干道交叉口沥青路面开展车辙现场调查研究，通过数理统计的方法分析现场调查数据，构建描述车辙特征的统计变量，分析该变量变化规律，并对车辙演化的成因机制进行初步探讨；建立城市道路沥青路面三维有限元模型，采用显式积分模拟计算方法，对城市道路沥青路面动力响应特性分析；进行循环荷载作用下沥青路面变形模拟，分析城市道路沥青路面车辙发生、发展规律，揭示城市道路交叉口车辙形成机理。

(4) 城市道路路面坑槽病害仿真分析

将坑槽的产生过程分为 3 个阶段：裂缝的产生、荷载和水作用下集料界面的破坏、荷载和水作用下集料的剥落和坑槽的产生。每个阶段分别建立典型路面结构（包括柔性路面、刚性路面、半刚性路面和倒装式结构）仿真模型，分析荷载及水作用下路面结构不同位置处的力学响应，确定临界荷位，研究荷载、水、沥青材料、集料特性等对路面力学响应的影响，确定关键因素，并模拟出裂缝产生、扩展、集料剥落及坑槽产生的全过程。

(5) 城市道路路面开裂仿真分析

考虑不同温度、使用年限、空隙率和深度的影响，根据沥青老化预估模型得出老化后的动态模量，综合水平力作用和轮胎接触性能，建立新的轮胎-路面接触模型，采用 ABAQUS 有限元软件建立沥青路面路面典型结构模型，仿真分析沥青路面模量梯度、交通荷载、降温等综合作用下路面结构应力响应，结合影响因素

分析，确定临界荷位和路面开裂关键影响因素。 此外，建立城市道路路面推移、雍包、剥落等病害的仿真分析模型，演示病害发生、发展直至破坏的全过程。
项目预期成果
研究成果主要包括： (1) 发表论文 1~3 篇。 (2) 申请专利 1~3 项。 (3) 构建城市道路虚拟仿真实验系统，形成研究报告 1 份。
项目实施计划
本项目实施计划如下： (1) 2021.6~2021.7，对城市道路展开病害调查，阅读相关资料，划分城市道路路面典型病害类型，根据难易程度、重要程度等建立实验体系，组织团队成员展开讨论，根据各成员专业特长，明确分工，通力协作，确定各项工作时间节点。 (2) 2021.8~2022.4，结合道路工程学科前沿，开展城市道路路面典型病害仿真分析，展现病害发生、发展、破坏全过程，揭示相关病害产生机理，完成路面病害虚拟实验体系方面的研究论文 1~3 篇，申请专利 1~3 项。 (3) 2022.5~2022.6，优化仿真分析界面组成，美化输出结果，构建城市道路路面典型病害仿真分析系统，形成研究报告。
经费使用规划
北京象新力科技有限公司给予不少于 20 万的仿真平台支持。

知识产权申明

若立项审批通过,本人郑重承诺在项目开发过程中不发生任何形式的抄袭行为,凡涉及到他人观点和材料,均依据著作规范作了注解或已获得著作人认可。

项目负责人: 王金满

申请日期: 2021年6月28日

申请人所在单位意见:

本单位承诺将全力提供项目人员的配置以及各种条件的保障,本项目不涉及自筹经费,本单位承诺该项目研究内容不侵犯他人知识产权,并积极支持完成好项目。

(加盖高校校级主管部门公章)



签字: [Signature]

日期: 2021年6月28日