

项目合同编号：25-74K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键

技术研究

承担单位：陕西路桥集团有限公司

项目负责人：徐东

通讯邮编、地址：710075、西安市雁塔区南二环财富中心一期 C 座

传真、电话：029-88318881、13028421999

起止年限：2026 年 3 月 至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅制

(2) 场地温度-湿度-盐分场空间分布及变化规律，其对工程有着不容忽视的影响，但缺乏实测和研究数据；

(3) 依托工程大部分为低填浅挖路段，在重载交通作用下，地基-路基-路面作用一个整体，其协同变形效应显著；但缺乏将其作用整体考虑的的计算分析理论；

(4) 在大温差条件下，基层材料的性能及适用性面临挑战；

(5) 部分填石路基段，其填石路基施工控制工艺缺乏经验。

本项目研究工作拟围绕上述核心困难问题开展，通过现场监测试验，获取当地地基、路基和基层的温度场、水分场和变形场等耦合变化规律；采用室内试验对地基土体、路基填土以及基层材料的工程力学和水力特性进行分析；通过试验分析基层材料的适用性和配合比设计；以上述试验成果为基础，建立地基-路基-路面协同受力体系计算分析理论；同时以碎石填料碾压破碎为核心，研究填石路基施工控制工艺；最后综合上述研究成果，研究依托工程施工控制工艺和技术指南。

二、考核指标

1.预期目标

(1) 对极端环境条件下盐渍土季冻区高等级公路基层、路基和地基材料的工程特性、强度和变形等进行针对性研究，保障工程建设质量，为工程建设安全顺利的进行提供依托；

(2) 对大温差厚积雪季冻区公路基层材料和碎石土路基填料地工程特性、施工控制工艺等问题，提出解决问题的方法和流程，确定控制指标标准，指导依托工程施工；

(3) 对大温差盐渍土季冻区基层材料在荷载-温度-湿度场中的温缩变形及强度变化规律进行分析；提出建立温度-湿度-盐分场耦合条件下地基-路基-路面协同受力协调变形一体化计算分析模型，对极端环境条件下低填浅挖路基不均匀（横向和纵向）变形分析；以此为基础，提出新疆阿勒泰地区极端环境下高等级公路病害施工控制措施和工艺指标标准，取得创新成果，填补国内研究空白，推进行业科技进步，形成具有区域推广价值的成果。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

- (1) 依托工程所在地区地基温度场、湿度场变化规律；
- (2) 依托工程类路基温度场、湿度场变化规律；
- (3) 依托工程基层温度场、应变场分布变化规律；
- (4) 依托工程填石路基碾压施工工艺及参数指标；
- (5) 依托工程地区地基-路基-基层“多场”耦合变化规律；
- (6) 依托工程基层材料配比参数指标

3.经济和社会效益

(1) 直接经济效益：减少路基、路面早期病害和其他相关病害的发生和发展程度；获得具有推广价值的研究成果。

(2) 社会效益：为依托工程高质量、顺利、高效地建设提供保障。

(3) 环保生态效益：保障工程安全，减少对生态环境的影响。提高施工效率，减少施工机械造成的碳排放。

4.成果提供形式

- (1) 《环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究》研究报告；
- (2) 《环境影响下地基-路基-路面一体化变形施工控制技术指南》；
- (3) 发表学术论文 8 篇，其中中文核心期刊 1 篇；
- (4) 申请专利 2 项；
- (5) 依托新疆 G680 塔克什肯至恰克图（含 G680-清河）高速公路建设，建立示工程。

5.其他考核指标

- (1) 媒体宣传报道 3 次；
- (2) 技术交流 1 次。

三、项目年度计划内容及考核目标

年度	计划内容及考核目标（每栏限 125 字）
2026 年 3 月 -2026 年 5 月	开始依托工程地质、气候气象条件文献资料调查搜集分析。 考核目标：1.依托工程区域气候、气象和地质条件特征。
2026 年 6 月 -2026 年 8 月	计划内容：开始现场监测试验方案设计，完成对类似条件工程特性及影响因素分析。 考核目标：依托工程区域极端环境条件对工程建设影响及工程治理控制措施；区域公路相关病害状况。
2026 年 9 月 -2026 年 11 月	计划内容：完成研究内容 1 中调查和现场考察工作；完成现场监测试验方案设计，开始现场监测仪器埋设；开始基层、路基填料以及地基土的材料基本工程性质试验； 考核目标：依托工程区域极端环境条件对工程建设影响及工程治理控制措施；区域公路相关病害状况；现场试验仪器布设；路基填料和地基土体基本工程和水力特性。
2026 年 12 月 -2027 年 2 月	计划内容：继续现场监测；开始研究内容 3 中理论分析和研究内容 4 中的室内试验。开始基层材料配比及温缩、干缩试验、路基填料碾压破碎、变形及强度试验。 考核目标：基层材料配比指标在标准、温缩、干缩特性；碎石土填料碾压和破碎特性。投稿研究论文 1 篇，申报专利 1 项。
2027 年 3 月 -2027 年 5 月	计划内容：继续现场监测；完成研究内容 3 和 4 中的理论分析；开始研究内容 5 中理论分析及“三场”耦合特性分析。 考核目标：基层材料及碎石土填料力学特性及水力等特性；路基-地基“三场”耦合变化规律。投稿研究论文 2 篇。
2027 年 6 月 -2027 年 8 月	计划内容：完成现场监测仪器布设；初步完成研究内容 3 和 4 的研究工作，完成研究内容 5 中“三场”耦合分析及路基修筑技术及工艺参数标准。 考核目标：“三场”耦合条件下地基-路基-路面一体化变形和强度变化规律；基层和路基填料施工工艺及控制标准。投稿研究论文 2 篇。
2027 年 9 月 -2027 年 11 月	计划内容：完成研究内容 5 中的理论研究工作；继续现场监测数据的分析；开始研究内容 4 中的仿真分析工作。 考核目标：建立地基-路基-基层协调变形体系分析理论；对地基、路基和基层中的温度场、湿度场等在一个完整的温度场、水分场中循环变化中的耦合变化规律；投研究论文 2 篇，受理专利 1 项。

2027 年 12 月 -2028 年 1 月	计划内容：完成研究内容 4 和研究内容 5 的工作，完成其他研究工作。撰写项目研究报告和施工技术指南。 考核目标：完成项目研究报告和技术指南初稿，投稿论文 1 篇。
2028 年 2 月 -2028 年 3 月	计划内容：进一步校核、完善并完成全部研究内容。 考核目标：撰写研究报告，项目验收和鉴定。

四、项目经费

项目总经费：150.00 万元
交通运输厅补助：19.85 万元
自筹资金：130.15 万元

经费支出预算表

科 目	总经费 (单位：万元)	厅补经费 (单位：万元)
(一) 直接费用	125.013	19.85
1. 设备费	60.807	19.85
(1) 购置设备费	52.807	19.85
(2) 试制设备费	0.00	
(3) 设备改造与租赁费	8.00	
2. 业务费	40.506	
(4) 材料支出	4.00	
(5) 测试化验实验加工支出	6.96	
(6) 燃料及动力支出	5.00	
(7) 差旅支出	12.446	
(8) 会议支出	3.10	
(9) 国际合作与交流支出	0.00	
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	9.00	
(11) 其他支出	0.00	
3. 劳务费	23.70	
(12) 劳务性支出	22.50	
(13) 咨询专家支出	1.200	
(二) 间接费用	24.987	
4. 管理费	4.000	
5. 绩效支出	20.987	
合 计	150.00	19.85

五、项目绩效目标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1.专利授权数（项）	
		（1）授权发明专利	
		（2）实用新型	2
		（3）外观设计	
		2.软件著作权授权数（项）	
		3.发表论文（篇）	8
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	1
		（3）其他	7
		4.著作（部）	
		5.制订标准数（项）	
		（1）国际标准	
		（2）国家标准	
		（3）行业标准	
		（4）地方标准	
		（5）企业标准	
		（6）科技报告	1
	其他成果	1.填补技术空白数	
		（1）国际	
		（2）国家	
		（3）省级	1
		2.获奖项数	
		（1）国家奖项	
		（2）部、省奖项	
		（3）地市级奖项	
		3.其他科技成果产出	
		（1）新工艺（或新方法模式）	1
		（2）新产品（含农业新品种）	
		（3）新材料	
		（4）新装备（装置）	
		（5）平台/基地/示范点	1
		（6）中试线	
		（7）生产线	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4. 研究开发情况	
		(1) 小试	是/否
		(2) 中试（样品样机）	是/否
		(3) 小批量	是/否
		(4) 规模化生产	是/否
	人才引育	1. 引进高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	
		2. 培养高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	3
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	20
		4. 是否设立科研助理岗位	是/否
	产业化情况	1. 开放共享仪器设备数（台/套/只等）	
		2. 科研仪器设备利用率（%）	
		3. 孵化科技型企业（个）	
		4. 转化科技成果（个）	
效果类指标	经济效益	1. 新增产值（万元）	
		2. 新增销售（万元）	
		3. 新增出口创汇（万美元）	
		4. 新增利润（万元）	400
	社会效益	1. 新增税收（万元）	
		2. 新增就业人数	150
		3. 就业培训（人次）	
		4. 带动农民增收（万元）	300
		5. 培训和指导科技服务（人次）	
		6. 新增产业带动情况	
		7. 技术集成示范（项）	1
		8. 建立示范基地（亩数）	
		9. 节约资源能源	
		10. 环保效益	
其他需要说明的情况	无		

六、承担单位或研究人员分工

1.陕西路桥集团有限公司

项目承担单位，负责制定研究方案；参与现场试验实施和研究报告审定；管理协调各参与单位的研究工作。

2. 陕西海外工程建设有限公司

项目参加单位，负责现场试验方案实施，参与现场监测、室内试验。

3.长安大学

项目参加单位，负责室内试验制定和实施、理论研究和数值分析、研究报告撰写、现场试验方案制定；参与现场试验实施等工作。

七、项目参加人员表

项目承担单位：陕西路桥集团有限公司							
参与单位（排序）：陕西海外工程建设有限公司、长安大学							
项目负责人							
序号	姓名	出生年月	工作单位	职称/职务	专 业	在项目中担任具体工作	签名
1	徐东	1973.07.07	陕西路桥集团有限公司	高工/副总经理	公路工程	项目负责	徐东
主要研究人员							
2	杜秦文	1975.02.04	长安大学	副教授	岩土工程	技术负责	杜秦文
3	范锋	1976.09.21	陕西海外工程建设有限公司	高工	公路工程	方案制定	范锋
4	李哲	1971.09.18	长安大学	副教授	岩土工程	现场试验	李哲
5	党杰	1992.08.14	陕西海外工程建设有限公司	工程师	公路工程	室内试验	党杰
6	李新明	1975.12.25	陕西路桥集团有限公司	高工	公路桥梁	室内试验	李新明
7	李治军	1983.08.21	陕西路桥集团有限公司	高工	公路工程	基层材料试验	李治军
8	秦杰	1987.06.26	陕西海外工程建设有限公司	工程师	公路工程	试验数据处理	秦杰
9	陈胜博	1975.09.27	陕西路桥集团有限公司	高工	公路工程	基层材料试验数据分析	陈胜博

10	阮国鹏	1987.04.06	陕西海外工程建设有限公司	工程师	公路工程	现场试验	阮国鹏
11	雷洪波	1973.09.03	陕西海外工程建设有限公司	助理工程师	公路工程	现场试验	雷洪波
12	别东奇	1980.09.19	陕西海外工程建设有限公司	工程师	公路桥梁	现场试验	别东奇
13	赵军	1971.04.08	陕西海外工程建设有限公司	工程师	公路工程	现场试验	赵军
14	唐力行	2000.11.12	长安大学	研究生	岩土工程	多场耦合分析	唐力行
15	梅雨杭	2001.09.22	长安大学	研究生	岩土工程	室内试验	梅雨杭
16	张晋程	2002.10.08	长安大学	研究生	岩土工程	数值分析	张晋程
17	杨雅婷	2002.05.06	长安大学	研究生	岩土工程	室内试验	杨雅婷
18	邵奇梦	1999.10.20	长安大学	研究生	岩土工程	理论研究	邵奇梦
19	郇笑园	2003.06.18	长安大学	研究生	岩土工程	室内试验	郇笑园

八、信息表

项目合同编号		25-74K		密级	/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部			
项目名称		环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究								
项目实施所在地		新疆		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月				
总 经 费		150 万元		厅 拨		19.85 万元				
第一承担单位	单位名称	陕西路桥集团有限公司								
	所在地	陕西省西安市雁塔区						代码	610113	
	通讯地址	陕西省西安市南二环西段 180 号财富中心 C 座 22-24 层						邮编	710075	
	单位性质	(3) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他						代码	916100002 205281069	
参与单位	序号	单 位 名 称								
	1	陕西海外工程建设有限公司								
	2	长安大学								
	3									
项目负责人	姓 名	徐东		性别 (1) 1.男 2.女			出生年份	1973		
	学 历	(3) 1.研究生 2.大学 3.大专 4.中专 5.其他								
	职 称	(1) 1.高级 2.中级 3.初级 4.其他								
	联系电话	029-83118895、18629407176			电子邮箱		/			
项目联系人	姓名	徐东			性别		男			
	联系电话	029-83118895			电子邮箱		/			
项目组人数	15	高级	7	中级	5	初级	1	其他	2	
主要内容 (100 字以内)	1.依托工程条件和区域环境调查分析 2.现场监测试验及“多场”变化规律分析 3.大温差厚积雪盐渍土季冻区高等级公路基层适应性研究 4.碎石土路基填料碾压标准与控制工艺研究 5.“多场”耦合条件下地基-路基-路面协同变形及控制研究									
成果属性	A	A: 新技术 B: 新工艺 C: 新材料 D: 新产品 E: 软科学 F: 装备 G: 其他								
成果形式	A、D	A: 专著、论文 B: 样机、样品 C: 试验工程、产品 D: 示范工程 E: 产品 F: 其他								

九、共同条款

合同各方应共同遵守《陕西省交通运输厅科研项目管理办法》。

1.合同执行过程中，乙方如需修改合同某项条款，应向甲方提出变更内容及理由的申请报告，经甲方审核同意后实施。未接到正式批准以前，双方仍须按原合同条款履行，否则后果由自行修改条款的一方负责。

2.乙方因任何主观或客观原因（如：与大纲评审内容有出入，挪用经费、技术措施或某种条件不落实等）致使计划无法执行而要求解除合同的，需取得甲方书面同意且应视不同情况，部分或全部退还所拨经费；出现上述情况的，甲方有权单方解除本合同且视不同情况要求乙方部分或全部退还所拨经费。

3.乙方的厅补助经费及自筹经费应按国省有关科研经费使用范围开支。

4.项目执行过程中，甲方提出变更合同有关内容时，要与乙方协商达成书面协议。

5.项目完成后，乙方必须按要求向甲方提交一套真实、完整、详细的技术资料及样机，并提出项目验收申请报告，由甲方审查后组织验收。

6.合同正本一式拾份，甲方单位伍份，承担单位伍份。

7.本合同经双方签章后生效，规定内容执行完毕后自然失效。

十、合同签约各方

合同甲方：

陕西省交通运输厅

负责人：（签字）

李涛

2026年3月27日

联系人：（签字）

张昭

（公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：

陕西路桥集团有限公司

单位负责人：（签字）

孙东

2026年3月27日

项目负责人：（签字）

孙东

（公章）

电 话：029-83118866

财务负责人：（签字）孙梦遥

账 户 名：陕西路桥集团有限公司

开户银行：交通银行西安科技路支行

账 号：611301039013000453359

陕西交通科技项目科研诚信 承诺书

本单位承诺在科研项目实施过程中，遵守科学道德和科研诚信要求，严格执行《陕西省交通运输厅科研项目管理办法》的规定和科技项目合同书约定，保证所提交材料的真实性，确保专款专用。如违背以上承诺，愿意承担相关责任，并同意主管部门将相关失信信息记入公共信用信息系统。

项目承担单位：陕西路桥集团有限公司（盖章）

项目负责人：

2026 年 月 日

项目编号：25-74K

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：环境影响下地基-路基-路面一体化变形
机理及施工控制关键技术研究

申请单位：陕西路桥集团有限公司（盖章）

联系人：徐东

电话：029-83118895



陕西省交通运输厅制

2025 年 12 月

目 录

一、 项目研究的背景和必要性	1
1.1 项目研究背景	1
1.2 项目研究的必要性	3
二、 前期科研及工作基础	9
2.1 国内外相关研究现状	9
2.2 项目前期科研及现有工作条件	22
三、 实施方案	29
3.1 拟解决的关键问题	29
3.2 主要研究内容及实施方案	29
3.3 技术路线	30
3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接	36
3.5 有关技术经济指标	36
四、 项目承担单位及参加单位概况	36
4.1 单位概况	36
4.2 技术力量及人员构成	38
4.3 各自承担的主要工作	39
4.4. 项目主要负责人情况	40
五、 项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	40
5.1 依托工程（工作）概况	40
5.2 投资来源	42
5.3 工程进度与项目科研进度的配合	42

5.4 组织管理形式	42
六、项目经费估算及资金筹措情况	44
七、项目绩效指标	50
八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益	52
8.1 项目预期目标	52
8.2 提交的研究成果及其形式	52
8.3 经济、社会、环境效益分析	53
九、其它需要说明的问题	53
十、申请单位意见	53

一、项目研究的背景和必要性

1.1 项目研究背景

近年来，我国公路基础设施建设取得了举世瞩目的成就。截至2025年底，全国公路总里程已超过540万公里，高速公路通车里程突破18万公里，形成了覆盖全国、联通城乡的公路交通网络体系。随着"交通强国"战略的深入推进和"一带一路"倡议的持续实施，公路建设正逐步向西部高寒地区、内陆盐湖区域、高海拔山区等自然环境恶劣区域延伸。这些区域普遍存在大温差、厚积雪、季节性冻土、盐渍土等不利工程地质条件，且往往多种不利因素同时存在、相互耦合，对公路工程建设提出了前所未有的挑战。

统计数据显示，我国早期建设的特殊环境地区的道路工程，在运营5-10年后普遍出现了路面开裂、路基沉降、基层松散等病害问题，部分路段甚至需要提前进行大修养护，造成了巨大的经济损失和社会影响。

(1) 大温差环境的工程影响特征

大温差环境是指日温差或年温差显著、温度变化幅度大的气候条件，主要分布于我国西北内陆、青藏高原及东北高纬度地区。其主要影响表现为：路面结构热胀冷缩变形、路基填料物理风化以及对水分迁移过程影响

(2) 厚积雪环境的工程影响特征

厚积雪环境主要分布于我国东北、西北及青藏高原等地区，特征是冬季降雪量大、积雪深度大、积雪期长。在新疆北部、内蒙古东北

部及黑龙江部分地区，冬季最大积雪深度可达 50-100 厘米，积雪期长达 4-6 个月。其主要影响表现为：路基冻结深度变化、春季融雪水入渗和盐分迁移与重分布。

(3) 季节性冻土的工程影响特征

季节性冻土是指冬季冻结、夏季融化的土层，其冻结深度受当地气候条件、土质条件、覆盖条件等多种因素影响。我国季节性冻土分布面积约占国土面积的 53.5%。其主要影响表现为：冻胀、融沉和冻融循环累积效应。

(4) 盐渍土的工程影响特征

盐渍土是指易溶盐含量大于 0.3% 的土体，在我国西北内陆干旱地区、滨海地区及部分湖泊周围广泛分布。据调查，我国盐渍土总面积约达 100 万平方公里。其主要影响表现为：盐胀、融陷和腐蚀作用。

(5) 多因素耦合作用的复杂性分析

上述大温差、厚积雪、季节性冻土、盐渍土等因素，在自然界中往往不是单独存在，而是相互伴随、相互作用的。在这种多因素并存的环境下，公路工程所面临的挑战远非单一因素影响的简单叠加。

耦合作用具有以下主要特点：

①温度场、水分场、应力场之间的复杂耦合关系：大温差环境提供了温度梯度驱动力，驱动水分在路基和地基中迁移；厚积雪的融雪水为水分迁移提供了充足的水源补给，同时也改变了温度场分布；季节性冻土的存在改变了水分迁移的路径和积聚位置；盐渍土中的盐分在水分迁移过程中发生溶解、迁移和重结晶，进一步影响土体的物理

力学性质。

②时间上的相位差和叠加效应：厚积雪的保温作用在冬季使冻结深度减小，但融雪水入渗却在春季为冻土提供水分补给，导致下一个冬季的冻胀作用增强；盐胀变形在秋季温度降低时开始发展，到冬季达到高峰，而冻胀变形则在冬季持续发展，两种变形效应叠加，使得路基路面结构承受更大的变形作用。

③地基-路基-路面三个层次之间的协同作用关系：地基的冻胀融沉变形向上传递至路基，引起路基整体变形或差异变形；路基的变形进一步向上传递至基层和面层，在路面结构中产生附加应力。同时，路面结构的刚度影响上部荷载向下传递的分布规律，进而影响地基和路基的受力状态。

现有研究对于上述多因素耦合作用规律的认识仍值得加深。一方面，由于影响因素众多、作用机理复杂，建立完整的理论分析模型存在较大难度；另一方面，室内试验和现场观测成本高、周期长，尤其在一些缺乏足够建设实践的地区获取的数据有限，难以支撑系统性的规律总结。

1.2 项目研究的必要性

（1）理论研究的必要性

公路工程所处的自然环境是一个复杂的多物理场系统，温度场、水分场、应力场等物理场之间相互影响、相互制约。传统的研究方法通常采用解耦的方式，将复杂问题简化为单一物理场问题进行分析，这种处理方式虽然在某种程度上降低了问题难度，但忽略了各物理场

之间的相互作用，难以揭示工程问题的本质机理。

公路是由地基、路基、基层和面层组成的多层结构体系，各层之间通过接触面传递荷载和变形，形成一个整体工作系统。传统的分析理论通常采用分层计算的方法，将各层作为独立的分析对象，通过层间接触条件传递计算结果。这种分析方法虽然简单实用，但忽略了各层之间的协同作用效应，难以准确预测整体结构的力学行为。这种相互作用过程是一个动态演化过程，需要采用一体化分析方法进行描述。

公路工程的设计基准期通常为 20-30 年，在此期间需要保持良好的服务性能。然而，现有设计方法和施工控制标准主要基于短期强度 i 和变形指标，对长期性能的预测能力不足。在大温差、厚积雪、季节性冻土、盐渍土等不利环境下，公路工程的性能衰减往往呈现加速态势，短期指标达标的工程可能在运营若干年后即出现严重病害。

(2) 工程实践的必要性

在大温差、厚积雪、季节性冻土、盐渍土等不利环境条件下建设公路，面临的首要问题是工程建设质量难以保证。现有工程实践表明，采用常规施工工艺和质量控制标准，往往难以满足这些特殊环境条件下的工程需求，导致工程建成后不久即出现各种病害问题。

常规压实度控制标准主要针对常温、常规含水率条件下的土体压实特性制定。在季节性冻土区，路基填料的压实特性受温度、含水率、冻融历史等因素影响显著。研究表明，经历一次冻融循环后，压实土体的密度可下降 2-5%，强度下降 10-30%。

本项目将针对上述问题，系统研究各结构层的施工工艺参数和质量控制标准，提出适应于不利环境条件的施工控制关键技术。研究成果的应用，将有效提高公路工程建设质量，减少早期病害的发生，延长工程使用寿命。

公路工程的全寿命成本包括建设成本、养护成本和运营管理成本等。在不利环境条件下，虽然初期建设成本可能因采取特殊措施而有所增加，但如果措施得当，可以大幅降低后期的养护维修成本，从全寿命周期角度实现成本优化。科学的施工控制技术，应该在全寿命周期成本优化的理念下，合理确定施工工艺参数和质量控制标准。通过施工阶段的精细化控制，使工程质量达到最优状态，从而降低后期的养护维修成本。本项目将通过系统研究，建立工程质量与全寿命成本的关系模型，提出基于全寿命成本优化的施工控制决策方法。

综上所述，本项目研究工作具有重要的理论价值和实践意义。

本项目研究工作，拟依托陕西神木和新疆阿勒泰 G680 塔克什肯至恰克图（含 G680-清河）一级公路建设进行。这 2 个依托工程面临的不利工程主要有：

（1）环境条件

①大温差。G680 塔克什肯至恰克图工程地处公路自然区划 IV3 区（阿尔泰山地冻土区），根据设计文件，代表性（青河县）的年平均温度 1°C ，年极端最高温 38.4°C ，年极端最低温 -49.7°C ；年温差超过 80°C ；G337 改扩建工程所在神木地区当地极端最高气温：约 38.9°C ，极端低温可达 -27.9°C ；

②厚积雪。新疆阿勒泰地区又被称为“雪都”。当地最大冻土深度 228cm，最大积雪深度 95cm；

③季冻区。每年 4 月底大量积雪全部融，形成汇水、漫流。

(2) 盐渍土地区

部分区域盐渍土发育且地下水位埋藏浅。盐渍土主要为硫酸盐、亚硫酸盐盐渍土。设计文件指出：“沿线特殊性土主要为盐渍土、季节性冻土”。

(3) 低填浅挖路基

低填浅挖路基中，上部荷载对路基和地基的影响不可忽视；同时，路面对地基的不均匀沉降（横向和纵向）也更加敏感。这一点由该区域内已有其他低填浅挖路基的公路，其路面的横向和纵向裂缝都比较严重可以看出。除此之外，依托公路建成后，进出塔克什肯口岸的运煤等的大货车通行，将主要由其承担。对于低填浅挖路基，其地基-路基-路面协同受力，协调变形的效应更加突出。

(4) 混合碎石土填料路基

新疆阿勒泰地区 G680 塔克什肯至恰克图（含 G680-清河）高速公路“岩质边坡主要为凝灰质砂岩、安山质凝灰岩、花岗岩、砾岩等”。这些不同种类的岩石，施工中会产生不同风化程度、不同破碎程度的混合碎石土填料。采用其作为路基填料，将面临以下主要工程难题：

(a) 填料配比差异性显著：使碾压填筑后的路基强度和变形规律非常复杂；

(b) 填料变形和强度变化性质复杂：不同地点的碎石填料，其

原岩岩性、风化程度、施工碾压不尽相同。混合填料在荷载-温度-水场等多场耦合作用下，其物理、力学特性变化规律复杂，施工中如何进行区分和更有针对性的控制？

(c) 混合碎石填料变形及强度变化规律复杂：在荷载-温度-水场等多场耦合作用下，不同风化程度、破碎程度的碎石填料路基的强度和变形的长期发展规律难以把握。高等级公路建设中，填石路基的在多场耦合作用下，因其变形和强度降低而引起的工程病害并不罕见；

(d) 施工控制难度大：表现为：①施工控制面临“两难选择”：一方面需要保障压实质量，增强压实作用；但这样做会产生“过犹不及”情况：过度碾压会对填方长期变形及强度发展控制存在不利影响；②施工配合工艺控制。建设中取土场连续供料的进度，与路基施工进度很难保障完全配合。路基分层碾压之间的时间若不连续，如何保障碾压质量？不同来源、不同组分的填料，在不同含水率条件下，填料条件如何限定和控制？针对性的研究成果和实践经验都十分缺乏。

虽然填石路基的研究和实践都较长，但建设中仍然存在一些难以妥善解决的困难。尤其对于叠加积雪、融雪的水场变化等因素，针对性的研究和经验相对都较少，施工面临较大的不确定性因素和风险。究其根本，是源于对填料在多场耦合作用下的变形机理，——尤其是长期强度和变形变化规律了解不充分所造成；同时，在建设实践中，表现为对具体填料条件、工况、施工条件等更具有针对性的研究工作的不足。

根据上述可知，其所涉及到的积雪、融雪水下渗、漫流和排水、

冻胀和融陷、盐分的迁徙与积聚、盐胀和盐融、地基和路基水分的迁徙、重载交通荷载作用下地基-路基-路面的协同受力和协调变形等问题相互耦合影响，这些因素使得依托工程 G337 国道神木至盘塘公路改建工程和 G680 塔克什肯至恰克图一级公路建设面临非常独特和复杂的条件。

依托工程建设中亟待解决的难题有：

(1) 积雪-温度场中，冻融循环造成的地基和路基中水场，以及由此引起的盐分场的变化及演化规律；

(2) 重车荷载场的影响；

(3) 大温差条件下沿线地基温度场变化的影响；

(4) 厚积雪条件下地基和路基水场变化规律；

(5) 温度场、水分场盐分场耦合条件下，将地基-路基-路面作为一体考虑，更有针对性的对低填浅挖路基公路不均匀沉降问题进行分析；

(6) 不同来源和成分的碎石土填料压实标准；

(7) 针对性的碎石土填料碾压控制工艺组合及参数；

(8) 大温差环境下，基层材料温缩性能及其长期性能；

(9) 大温差环境下，公路体系基层变形及受力特征。

鉴于此，研究中需要考虑盐分、温度场、积雪、土类、荷载之间的相互影响，在此基础上，综和考虑治理措施条件下，上述各条件之间的动态演化规律，对路基强度和变形的演化规律进行研究，才能根据这一结果综合评价和调整优化设计和施工，避免或减少路基和路面

早期病害的发生，推迟和降低其他病害发生的时间和程度。

本项目拟开展针对性的研究，获得针对性、更有效率采用相应的施工技术和确定工艺参数的成果，不但可为施工提供更具针对性的保障，也可加深相关问题的研究工作，具有区域推广加之和良好的社会效益和经济效益。

二、前期科研及工作基础

2.1 国内外相关研究现状

(1) 大温差条件下基层材料服役性能演化机制

道路隆起病害是路基内部水、热、盐三场综合交互作用的结果^[1]。依托工程地域具有昼夜和四季温差大的特点。路基作为道路结构的支撑体系，在大气环境的直接作用下，其服役期的材料性能演变机制受赋存环境的直接影响，材料特性异于其他地区。半刚性基层作为环境敏感型材料，在大温差地区受温度因素影响较大，温度是半刚性基层道路横向带状隆起病害成因中不可忽视的因素之一。关于此类病害的机理及防治技术研究中，从温度因素的角度出发，多数国内外的专家学者们从各个角度定性的阐述了病害机理，根据具体实际工程给出了经验性处治及预防措施，但缺乏系统的理论及技术支撑，病害处治措施中的防隆起控制指标及标准并不明确，因此在大温差地区的道路隆起病害研究中，从道路赋存环境角度出发，选取温度为主要研究变量，对病害的致病机理及防治措施进行系统研究愈发必要。



图 1. 路面隆起（“搓板路”）病害

水泥稳定碎石作为半刚性基层的组成材料，其在道路服役期受赋存环境条件影响下材料性能（强度、抗折性能、抗疲劳性能等）的劣化是引起横向带状隆起病害的主要原因之一，半刚性基层的材料特性受级配、铺筑条件、赋存环境等因素影响较大。基于此，围绕路基材料的服役性能在道路赋存环境中的劣化机制，进行病害的机理及防治措施研究对病害的防治具有较大意义。关于半刚性基层材料特性的研究中，沙爱民^[2]选取强度及收缩系数等指标，对半刚性基层的材料特性进行了研究，认为在半刚性基层材料的强度设计中，其范围可以根据道路结构而灵活选择，材料的强度与结合料、集料具有较大的显著性关系；针对材料由温度变化而导致的开裂、隆起等病害，相应的处治措施有养生期间保湿、控制细骨料含量等。将半刚性基层视为环境、应力敏感型材料，如何减小环境温度对材料的直接作用，减小应力积聚效应，是防止道路基层材料劣化的关键。作为应力敏感性材料，半刚性基层在路面中的层位位置，对基层材料的疲劳劣化具有较大的影响。陈长寿^[3]提出沥青面层的厚度对道路结构内部的温度场具有一定

的影响,较厚的沥青层可以减小半刚性基层顶部的温度变化幅值,进而可以减少材料产生的温缩变形;李自林等^[4]以断裂力学为依据,使用数值仿真技术分析了半刚性基层在温度场作用条件下材料的破坏机理,从力学的角度对材料的破坏行为进行了探究,通过各项因素对应力强度指标的显著性影响进行了深入分析;陈渊召^[5]对半刚性基层道路结构的温度场进行了深入研究,通过室内试验及现场监测两种方法,进行了半刚性基层材料的温度变形测定试验,以应变系数为研究指标对基层材料在温度场作用下的形变进行了分析,探究外部温度场作用条件下,基层的温度分布状况,基于此进行基层材料在施工期的变形特征研究,并分析了不同层位基层材料的应变系数变化规律,对基层材料在温度场作用条件下的材料性能演化进行了探究;李雪连^[6]以广韶高速公路瓮城段为工程依托,使用现场监测结合数值仿真方法,对荷载及其耦合条件作用下,半刚性基层沥青路面结构的力学参数及路标弯沉指标的变化规律进行了研究,对道路服役性能指标进行了深入探究。

作为多相组成材料,半刚性基层材料的各项性能指标受其组成材料性能、各项组成材料配比及材料的成型方式等因素影响显著,级配设计对其服役性能及材料劣化机制的影响尤为关键,在材料的配合比研究中,赵瑞敏^[7]针对半刚性基层收缩开裂问题,从材料的配合比的角度对病害的防治措施等方面进行了研究。材料的成型方式方面,王龙^[8]通过对比试验,设计了振动成型及静压成型两种方式,研究成型方法与半刚性基层材料配合比设计之间的显著性关系;龙广成^[9]基于

室内对比试验,进行了荷载作用条件下的冻融循环试验研究,设计了极值应力、应变为研究指标,分析了各项力学指标在冻融循环过程中的演变规律,在统计损伤理论的基础上,建立了冻融循环作用条件下材料损伤的本构模型。在 BOTDA 监测方法的基础上,高俊启^[10]使用室内试验结合现场监测数据,建立了传感器件变形量与材料破坏评价指标的关系函数,在此基础上进行半刚性基层早期破坏形式规律解读以及破坏发展进程预测。在道路结构破坏的监测方法研究中,英红^[11]针对道路结构破坏形式的监测过程中出现的刻槽扰动问题,在空域模板的基础上进行改进,对刻槽的形状特征进行提取,选择适合的尺寸的方格,进行图像的遍历搜索,解决了道路结构破坏识别过程中的扰动问题。

道路隆起病害是多重因素耦合作用引起的,并非某个因素单独作用的结果,但在多种致病因素中,存在主要的致病因素,在不同材料组成、不同道路赋存环境条件下,病害的主要致病因素也不尽相同^[12]。王传文^[13]针对某公路段在交付完成不久产生隆起的现象进行了分析,结果表明基层材料劣化,结构松散是导致隆起的主要原因,在此基础上使用 X 射线衍射技术,对材料的组成成分进行了分析,分析结果表明基层结构中磷石膏成分的含量过高,其与路基结构中的水分结合导致膨胀,最终引发隆起病害。刘毅等^[14]针对新疆罗布泊地区的道路隆起病害进行了致病机理研究,研究结果表明在环境温度变化的过程中,路基结构中的盐分随之发生结晶膨胀,最终引起道路隆起病害。

部分专家学者认为道路的赋存环境及交通荷载作用环境是引起

道路横向带状隆起病害的主要原因。美国阿肯色州的公路管理部门对当地的道路隆起病害进行了现场调研,发现道路隆起病害的频发时间段为在雨天之后几天内的下午;水泥混凝土道路面板的长度与隆起发生率间呈正相关的关系;位于透水性良好路基上的道路结构的隆起率更高。在此基础上,认为道路的隆起病害与道路的实际赋存环境(温度、湿度等)有较为显著的关系。陈建康等^[15]使用载波干涉及变形监测两种方法,对水泥混凝土刚性路面的热力变形特征及临界铺设温度进行了探究。在此基础上对温度场赋存环境作用下道路因变形失稳的致因进行了研究,使用正则摄动法对比分析了变坡道路与平直道路在临界摊铺温度之间的区别。

(2) 大温差公路结构热力学模型研究

大温差是一些地区公路基层病害的主要原因之一。结合道路实际的赋存环境,进行道路结构内部热-力场量分析对病害致病机理及防治措施的研究非常重要。作为路面的支撑结构,路基材料的热-力学特性对路面结构的稳定性及服役性能起着关键的作用,道路结构受到大气环境的影响,与温度密切相关。因此,很多学者针对路面温度场展开研究。国外最早的路面温度场研究始于上世纪五十年代末,随后路面温度场研究得到了深入发展。在道路温度场计算模型的研究中,Michael. A^[16]在太阳照射及外部气候作用条件下,建立了预测路面结构温度场的预测模型。Lytton^[17]以沥青混凝土为研究对象,以其热参数为研究指标,对热参数的变化规律进行了相对详细的研究。Hermansson^[18]在前人的基础上,建立了新型道路结构温度场计算模

型，用于计算在高温季节时道路结构的温度场分布。

部分学者基于道路结构内部的温度场分布，结合弹性力学、材料力学中的理论模型对基层材料劣化机制、病害孕育机理进行深入研究，从力学的角度阐释病害机理，如赵昕等^[19]针对半刚性基层的温胀隆起病害，基于力学理论中的压杆失稳模型对致病机理进行了相关的计算分析，在此基础上给出了半刚性基层道路引发隆起病害的临界应力大小，用来判断道路施工及服役过程中是否会发生隆起；栾利强^[20]以疲劳断裂力学理论和材料试验为基础，对温度场作用下道路结构疲劳劣化机制进行系统研究，研究结果表明道路材料的疲劳劣化主要是应力作用条件下裂缝的扩大引起，在影响材料疲劳性能的几项指标中，与弹性模型、轴载呈负相关，与面层、基层厚度等呈正相关；吴赣昌^[21]运用弹性力学、热力学理论，对存在贯穿裂缝的半刚性基层的热-力学特征进行了分析，得出了裂缝区域应力分布特征；郑建龙^[22]基于断裂力学理论、奇异单元理论，对半刚性基层道路在温度场作用条件下的变形特征进行了分析，对由变形产生的裂缝的应力强度特征进行了计算，并提出了相应的控制措施；倪富健^[23]使用数值仿真技术，对具有排水性半刚性基层道路的温度-应力场进行了计算分析，并建立了相应的温度场预测模型，以实际工程为依托，结合现场监测数据对模型进行验证。

(3) 盐渍土季冻区多物理场耦合研究

盐渍土地基通常在岩土工程中归入特殊地基，它具有一般土所没有的特点，同时也给公路、铁路等的建设带来一系列的问题，使得公

路、铁路等出现一系列的病害。我国盐渍土地地区公路病害主要有盐胀、翻浆、溶陷和腐蚀等类型。国内外研究资料表明，高含盐量地区特别是在高地下水位地地区，盐分能降低路面强度、减弱封层作用，从而导致路面的破坏。破坏类型主要表现为：天然路面的不规则变形，沥青面层起皮、脱落、网裂和坑洼，基层材料中盐分聚集导致面层盐胀破坏，翻浆、腐蚀等。

硫酸盐渍土的盐胀与一般膨胀土的膨胀不同，一般膨胀土的膨胀主要是由于土中含有的强亲水性粘土矿物吸水后导致土体膨胀，而硫酸盐渍土的盐胀则是结晶膨胀，是指盐渍土因温度降低或失去水分后，溶于土中孔隙中的盐分浓缩并析出而结晶所产生的体积膨胀。

硫酸盐盐渍土盐胀的形成，是土体内硫酸钠迁移聚积、结晶体胀和土体膨胀三个过程的综合结果，是由于土中液态或粉末状硫酸钠在外界条件变化时吸水结晶而产生体积膨胀所造成，是在水分场、盐分场、温度场、变形场及应力场四场的综合作用下发生的。控制土体盐胀动态特征的基本要素是水、盐、热、力。水主要指土中水的含量及补给状况；盐主要指易溶盐的成分及含量；热主要指温度的高低及时空变化；力主要指施加荷载的大小，快慢及方式等。

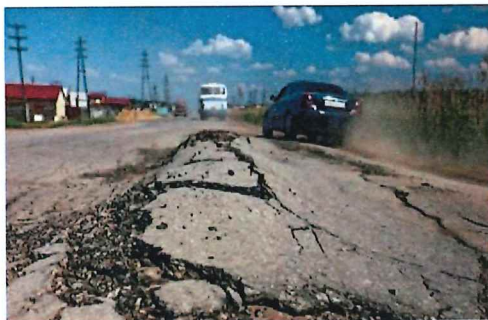


图 2. 盐胀引起的病害



图 3. 融陷引起的病害

徐学祖等^[24]和邱国庆等^[25]将盐渍土的盐胀和冻胀一起研究,在宏观和微观方面深入研究了盐渍土的盐冻胀机理,从水盐的迁移方面研究了盐渍土的热量及结构在盐冻胀过程中的变化机理。高民欢等^[26]和邴慧等^[27]探究了对盐渍土盐冻胀影响最大的两种盐(硫酸盐和氯盐)对盐冻胀的影响程度,发现硫酸盐对盐冻胀促进作用最明显,而氯盐对其有一定的抑制作用。

邓友生等^[28]、万旭升等^[29]和李星星等^[30]单独对硫酸钠溶液的盐胀和冻胀机理进行了一定程度上的区分,研究了从硫酸钠溶液的化成盐结晶机理以及反应时的热量变化来分析不同温度条件下的盐冻胀影响因素,但由于硫酸钠溶液中含水量过大,并没有将固态土的因素考虑进去,与现实中的盐渍土差别较大,得出的冻胀率往往过高。

包卫星^[31]通过系统的试验分析对硫酸盐渍土的盐胀特征、溶陷规律等进行了系统研究,提出以盐分、含水量等作为盐渍土公路工程的综合评价指标;梁俊龙^[32-33]等通过对内陆盐渍土地地区公路病害特征的调查和试验,构造了盐渍土盐胀性的模糊综合评判模型,对内陆硫酸盐渍土进行了分类评价。

邓友生等^[34]通过 CT 扫描技术,分析得到土的类型以及含盐量是影响盐冻胀的主要因素。以上现有研究大都将盐胀与冻胀作为一个整体来研究盐渍土的盐冻胀特性,但在实际工程中,在低温作用下引起盐渍土的膨胀不仅仅是盐胀,冻胀也是组成膨胀的一大因素。

朱元林^[35]于 1986 年通过室内模型试验探究了应变速度、温度和干容重对冻结粉砂抗压强度的影响,得到了冻结粉砂抗压强度随以上

影响因素的变化关系。王春雷等^[36]基于冻土三轴试验,研究了冻土的无侧限条件下的盐渍土抗压强度与含盐量和温度之间的关系。杨成松等^[37-38]基于冻土三轴试验,对不同含盐量条件下冻结粉质粘土抗压强度的变化及其形成机理进行了相关研究。牛江宇等^[39]基于单轴抗压试验,以含盐量和加载速率为变量,研究了冻结硫酸盐渍土单轴抗压强度随含盐量和应变加载速率的变化关系。孙立强等^[40]重点研究了含水率、NaCl 含量因素对两种土质冻土单轴抗压强度的影响,并给出了冻土的最佳含水率。蔡正银^[41]等含水率、硫酸盐含量和干密度为影响因素,研究对冻土无侧限抗压强度的影响,得出了冻土无侧限抗压强度的变化规律。

Brouchkov^[42]通过对细粒盐渍土的承载力的进行了一系列温度和含盐量条件下的试验,得到了温度与含盐量对细粒盐渍土承载特性的影响。Espinosa^[43]和 Wan^[44]等基于硫酸盐渍土的在盐冻胀过程中冰晶体和盐结晶的微观生长过程,研究了不同温度和硫酸盐含量条件下土体中的未冻水含量和盐结晶的变化规律,并得出随着含盐量的增大,硫酸盐渍土的冻结温度降低。Sayles^[45]等通过室内三轴试验研究得出了土中盐溶液浓度对冻结粉土强度的影响规律。Nixon 等^[46]研究了细粒土在盐冻胀过程中的蠕变等力学性能。Steiger 等^[47]通过研究得出了受约束介质的盐胀力大小与溶液的过饱和比成正相关的关系。

陈肖柏^[48]等用较先进的试验手段,在室内开展了重盐渍土在温度变化时的物理化学和力学性质,结果表明:(1)盐土在降温时,部分盐分向冷段迁移,土壤溶液中结合 10 个水分子结晶析出,从而使土

体发生盐胀,盐胀具有不可逆性,并发生在一定的温度区间;(2)盐胀使土的强度降低;不同类型的盐土其盐胀性状不同,通常粉土的盐胀量比粘土高一个数量级;随着降温速率的增大,盐胀率呈幂函数衰减;盐胀率随含水量的减小而减小;随着超载压力的增大,盐胀率呈幂函数衰减;(3)降温及蒸发过程中,盐分从土体水溶液中析出、结晶及盐分从暖区间向冷区,自湿区向干区迁移,聚集并结晶,是盐胀的主要特征;(4)土体盐胀具有累积性,剧烈盐胀区发生在特定的温度范围内。

(4) 碎石(土)填料工程性质

杜秦文等^[49]采用双线法,对十堰—天水高速公路安康西段的变质软岩路堤填料,在两种密度条件下进行了大型三轴试验。根据3种围压条件下的试验结果,对两种密度的填料,分别建立了填料湿化变形发展规律的公式,并用新的第4种围压条件下的试验结果进行校核,吻合程度较好。该公式可用于分析高速公路施工中路堤湿化变形的大小及发展规律。

王晓谋等^[50]采用室内大型压缩试验,研究了变质软岩路堤填料的湿化变形特性,针对秦岭山区十天高速公路安康西段的强风化变质软岩填料受水影响较大的特点,进行了相同密度不同试验方法下的浸水饱和试验。

曹周阳^[51]结合西部交通建设科技项目《秦巴山区变质软岩路基修筑关键技术研究》(2009318812004),依托十(堰)天(水)和柞(水)小(河)高速公路的建设,通过室内与现场试验,结合数值模拟及理

论计算分析,对秦巴山区变质软岩的工程特性及其填料的路用性能、振动压实工艺及检测方法与标准进行了比较深入地研究。

刘永军^[52]根据三轴试验结合数值模拟,对变质软岩填料湿化变形规律进行了研究。通过大型三轴湿化变形试验,研究了变质软岩路堤填料湿化变形规律,提出了填料的湿化变形与轴向偏应力之间的经验公式;通过采用部分试验数据确定公式参数,预测新的围压下的试验结果,验证了公式的合理性;并分析了填料湿化变形对其抗剪强度的影响。

杜艳艳^[53]在基于变质软岩填料其自身材料的特性,在水的作用下易发生湿化变形,影响路堤的使用性能之下。以白云母长英质变晶糜棱岩作为材料进行大型三轴试验,再结合颗粒流数值模拟方法,对其湿化变形的大小及规律进行了研究。探讨了围压、细粒含量和密度等影响因素下路堤填料的湿化变形规律,分析了三种因素对湿化变形的大小及发展规律的影响程度,并且依据部分模拟结果,得到湿化应变与应力水平之间的计算公式,与试验结果得到的经验公式对比,进一步扩大了公式的适用范围。

刘辉^[54]在基于软岩填料在水的作用下会发生崩解和膨胀现象,会引起填料产生湿化变形,从而影响公路的使用寿命以及行车的安全,因此以软岩路基填料为研究对象,通过室内试验并结合离散元方法对变质软岩浸水前后的变形性质以及微观变化做了相关的研究。

Simoni^[55]、Mirghasemi^[56]等通过对土石混合体的试验,研究表明含石量对碎石土的工程力学特性具有重要的影响,碎石土的变形破坏

发展特征受其内部含石量控制,进而影响着碎石土宏观的物理力学性质。

刘文平^[57]在水对三峡库区碎石土的弱化作用一文中,选用三峡库区现场的碎石土,通过确定土粒的比例确定碎石土的级配,根据碎石土的特性,在细粒的含量去确定土体的含水量。在对该地区剪切强度及参数关于含水量和含石量变化的研究,发现不同情况下碎石引起强度变化的临界含石量不相同。

Medley^[58]、Sonmez^[59-60]通过用水泥土为细粒填充材料、用块石作为骨料按一定的含石量及定向性制作试验进行三轴剪切试验研究。

Oda^[61-62]采用三轴压缩试验研究了不同的粗粒土在变形过程中其土体内部结构的变化。

Marsal^[62]进行了土体在围压下的剪切试验研究。Vesic^[63]等研究了土体在排水条件下的三轴剪切试验,发现其内摩擦角和土体所受围压的关系。

(5) 地基-路基-路面结构体系的协同变形统一体系

公路路基结构所承受的行车荷载是通过路面结构向下传递的,路基路面是共同的承载体,但是现行的公路路基路面设计方法是将两者分开设计的,即路面设计时假定路面结构是无限大的弹性半空间体,该半空间体与路基的结构形式无关;路基设计时仅考虑地基沉降和地基路基的稳定性,与路面结构形式无关。这种设计方法导致了理论与实际的偏离,路面结构不能适应路基的变形,路面早期损坏严重、结构耐久性差均与此有关。

公路路基梯形的断面结构,地基沉降呈现中间大两侧小的沉降盆形式,因此横断面上的差异沉降是必然存在的。路基属于整体性结构,地基沉降通过该种路基结构向上传递到路面结构之后,横向沉降的差异势必发生变化。地基的不均匀沉降(或膨胀)变形,在路面结构内部产生附加应力,不均匀沉降值越大,其产生的附加应力也会越大,当不均匀沉降值超过某一限值时,路面结构就会因过大的附加应力和荷载应力叠加超过路面材料的强度而破坏,从而影响道路的使用。现行规范在路面设计时主要考虑了行车荷载的影响,没有考虑地基以及路基不均匀沉降给路面结构层带来的附加应力,因此现有路面设计理论中计算的基底弯拉应力偏于保守,小于基底实际承受的应力,导致路面设计时不太合理,路面过早发生破坏。

已有的文献中就地基的不均匀沉降对路面应力产生的影响研究工作不是很多,而对地基-路基-路面结构体系的协同变形的理论研究几乎还是空白。仅本项目研究课题组成员前期的研究工作中,针对理想条件下地基-路基-路面统一结构体系建立了理论计算模型和方法。

对依托工程所在区域已建成,甚至刚建成公路的初步调查显示,其路面开裂、隆起和下沉等病害较为显著。这一现象无疑与针对湿度、温度、盐分场耦合条件下,将路基-地基-路面统一结构体系的研究仍为空白有关,设计与分析工作无法将其纳入。

由前述分析可以看出,依托工程建设面临大温差、厚积雪、盐渍土、季冻区的冻胀、融沉、盐胀和融陷、融雪下渗等条件下,重载交通作用下低填浅挖碎石土路基填料的高等级公路修筑。这些工程建设

条件独特，但在新疆阿勒泰和类似地区又极具代表性。针对性的研究工作非常欠缺。本项目拟针对这些问题进行较为系统的研究。

2.2 项目前期科研及现有工作条件

(1) 准备工作情况

①本项目承担单位陕西路桥集团有限公司为依托工程建设施工单位，可为科研项目的顺利实施提供全面的保障；

②本项目承担单位，已经对依托工程建设条件进行了一定的试验调查工作，对部分场地进行了大量的盐渍土含盐量、离子种类及其空间分布规律的试验工作，获得了初步的成果；

③本项目承担单位，已对依托工程全线工程建设条件进行了初步的调研，并组织建设、施工、监理和各方驻地试验室技术人员进行了较为详细深入的讨论和交流；进一步了解沟通了依托工程建设中亟待解决的难点；

④课题组成员在前期的工作中，对于冻土、盐渍土、温度-湿度-盐分场耦合相关工程问题积累了较为丰富的施工、研究经验和成果，这些可为本项目的顺利实施提供保障；

⑤课题组在前期的研究当中，初步建立了理想情况下地基-路基-路面一体化理论体系和设计方法，相关成果已获得中国公路建设行业协会科学技术进步奖三等奖（2022）。这一成果可在本项目研究中进一步深化拓展，建立更具实用性的“多场”耦合条件下地基-路基-路面协同受力协调变形计算分析模型。

(2) 实现课题目标的主要措施

①项目承担单位陕西路桥集团有限公司负责依托工程的建设施工，可以调动包括工地中心试验室、现场的设备和人员以及公司科技研发平台的人员、设备等资源，为本科研项目中现场监测、试验工作顺利的试验提供保障；

②项目参加单位长安大学拥有国内一流的科研工作软硬件试验平台设备，可本科研项目的试验、建模、计算分析等提供坚实的保障；

③课题组成员中，包括经验丰富的建设管理、试验和施工技术人员；也包括高校中具有良好的前期科研成果、经验和能力的科研人员；同时也具有可全面投入研究工作的研究生；人员结构搭配合理，为实现课题目标提供保障。

(3) 技术装备条件

①项目承担单位，陕西路桥集团有限公司隶属于陕西交通控股集团有限公司，集团公司建成“新一代人工智能技术应用研发中心”、“卫星技术交通运输行业研发中心”等省部级科研平台 11 个，拥有雄厚的施工技术和经验积累以及较为完善的生产、试验和研发等软硬件平台。这些科研试验平台及软硬件仪器设备等，都可为本科研项目的实施提供保障。

②项目参加单位长安大学直属国家教育部，是国家首批“211 工程”重点建设大学、国家“985 优势学科创新平台”建设高校、国家“双一流”建设高校。学校平台条件完善，现有国家级实验教学中心 5 个（含 3 个国家级虚拟仿真实验教学中心）、省部级实验教学中心

19 个（含 4 个省部级虚拟仿真实验教学中心），有国家工程研究中心 2 个、国际联合实验室 1 个、省部级重点研究基地 91 个，联合共建陕西国家应用数学中心 1 个。学校矢志原始创新，构建“大团队、大平台、大项目、大成果、大服务、大贡献”六位一体科技创新体系；牵头承担国家重点研发计划项目 11 项、课题 37 项。近年来获得国家科学技术进步奖一等奖、二等奖 23 项。年度授权专利 1300 余项。

现有“111 计划”学科创新引智基地、国际合作联合实验室、国家工程研究中心、教育部重点实验室和工程中心、交通运输行业重点实验室和野外科学观测研究基地、民航机场重点实验室、陕西省重点实验室和国际联合研究中心等国家级和省部级重点科研平台 14 个，拥有一批世界一流水平的试验设备设施。

研究所需的软、硬件平台和仪器全部具备。这些可为本项目研究工作顺利地实施提供可靠保障。

参考文献：

- [1] 张海龙. 沙漠区沥青混凝土路面横向隆起成因及力学分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
- [2] 沙爱民. 半刚性基层的材料特性[J]. 中国公路学报, 2008, (01): 1-5.
- [3] 陈长寿. 半刚性基层沥青路面裂缝形成机理及防治措施[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2010, 6(11): 51-4.
- [4] 李自林, 龚能飞, 栾小兵. 半刚性基层沥青路面温缩型反射裂缝的扩展机理分析[J]. 公路交通科技, 2008, (01): 43-46+63.
- [5] 陈渊召, 李振霞. 沥青路面半刚性基层温度效应监测研究[J]. 建筑材料报, 2016, 19(02): 325-329.
- [6] 李雪连, 陈宇亮, 张起森, 等. 现场实测结构温度对半刚性沥青路面性能的影响[J]. 实验力学, 2014, 29(04): 453-459.

- [7] 赵瑞敏, 刘文俊, 杨占云等. 半刚性基层收缩开裂特性研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(09): 109-112.
- [8] 王龙, 解晓光, 于立泽. 成型方法对半刚性基层材料配合比设计的影响[J]. 公路交通科技, 2013, 30(02): 32-37.
- [9] 龙广成, 杨振雄, 白朝能等. 荷载-冻融耦合作用下充填层自密实混凝土的耐久性及损伤模型[J]. 硅酸盐学报, 2019, 47(07): 855-864.
- [10] 高俊启, 耿任山, 盛余祥等. 基于 BOTDA 的机场道面半刚性基层裂扩展规律[J]. 交通运输工程学报, 2017, 17(01): 28-35.
- [11] 英红, 吴倩, 刘杨. 基于空域方格模板的水泥刻槽路面裂缝提取方法[J]. 桂林理工大学学报, 2017, 37(02): 305-310.
- [12] 姚爱玲, 韩方元, 许敏等. 水泥稳定碎石基层混合料的膨胀性分析[J]. 科学与技术, 2020, 20(12): 4902-4908.
- [13] 王传文. 硫酸钙引起路面病害的工程实例分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2007, (03): 67-71.
- [14] 刘毅, 刘杰, 张波等. 极旱荒漠地区板块状盐渍土盐胀特性研究[J]. 中外公路, 2014, 34(02): 51-54.
- [15] Chen J K, Wang R P. Perturbation Solution for Thermal Expansion Buckling of No expansion Joint Slope Pavement Plate[J]. Applied Mathematics and Mechanics (English Edition), 1993, (03): 277-84.
- [16] Malusis M A, Barben E J, Evans J C. Hydraulic Conductivity and Compressibility of Soil-Bentonite Backfill Amended with Activated Carbon[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2009, 135(5):32-38.
- [17] Lytton, R. L; et, al. An Integrated Model of the Climatic Effects on Pavements[R]. Texas Transportation Institute, Texas A&M University, Final Report, 1990: 213~224.
- [18] Hermansson. Simulation Model for Calculating Pavement Temperature Including Maximum Temperature[J]. Transportation Research Record, 2000, 1699: 134~141.
- [19] 赵昕, 沙爱民, 洪斌. 半刚性基层隆起现象的力学分析[J]. 公路交通科技. 2008, (04): 42-46.
- [20] 栾利强. 半刚性基层沥青路面疲劳裂缝扩展与寿命预估研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(09): 118-128.
- [21] 吴赣昌, 凌天清. 半刚性基层温缩裂缝的扩展机理分析[J]. 中国公路学报, 1998, (01): 23-30.

- [22] 郑健龙, 张起森. 半刚性路面反射裂缝及其应力强度因子的有限元分析[J]. 岩土工程学报, 1990, (03): 22-31.
- [23] 倪富健, 徐皓, 刘清泉等. 排水性沥青表面层半刚性基层路面温度场分析[J]. 公路交通科技, 2006, (10): 15-19.
- [24] 徐学祖. 土体冻胀和盐胀机理[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 100-107.
- [25] 邱国庆, E.张伯伦, I.伊斯坎达. 莫岭粘土冻结过程中的离子迁移、水分迁移和冻胀[J]. 冰川冻土, 1986, 8(1):1-14.
- [26] 高民欢, 李斌, 金应春. 含氯盐和硫酸盐类盐渍土膨胀特性的研究 [J]. 冰川冻土, 1997(04): 58-65.
- [27] 马敏, 郝慧, 李国玉. 硫酸钠盐渍土未冻水含量的实验研究[J]. 冰川冻土, 2016, 38(04): 963-969.
- [28] 邓友生, 周成林. 硫酸钠溶液的盐胀与冻胀[J]. 冰川冻土, 2009, 31(05): 920-924.
- [29] 万旭升, 赖远明. 硫酸钠溶液和硫酸钠盐渍土的冻结温度及盐晶析出试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(11): 2090-2096.
- [30] 李星星, 王思敬, 肖锐铨等. 硫酸钠溶液在降温结晶过程中的盐胀与冻胀[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(11): 2069-2077.
- [31] 包卫星. 内陆盐渍土工程性质与公路工程分类研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- [32] 梁俊龙. 内陆盐渍土公路工程分类研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [33] 梁俊龙, 高江平. 硫酸盐渍土公路工程分类研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2012, 44(01): 65-71.
- [34] 邓友生, 蒲毅彬, 周成林. 冻结过程对盐渍土结构变化的试验研究[J]. 冰川冻土, 2008(04): 632-640.
- [35] 朱元林. 冻结粉砂在常变形速度下的单轴抗压强度[J]. 冰川冻土, 1986(04): 365-380.
- [36] 王春雷, 谢强, 姜崇喜. 含盐冻土无侧限抗压强度的试验研究[J]. 路基工程, 2005(5): 58-60.
- [37] 杨成松, 何平, 程国栋等. 含盐冻结粉质黏土单轴抗压强度试验研究[J]. 工程力学, 2006, 23(1): 144-148.
- [38] 杨成松, 何平, 程国栋等. 含盐冻结粉质黏土应力-应变关系及强度特性研究[J]. 岩石力学, 2008, 29(12): 3282-3286.
- [39] 牛江宇, 靳鹏伟, 李栋伟等. 冻结盐渍砂土单轴强度特性研究[J]. 冰川冻土, 2015, 37(02): 428-433.

- [40] 孙立强, 路江鑫, 李恒等. 含水率和含盐量对人工冻土强度特性影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(S2): 27-31.
- [41] 蔡正银, 吴志强, 黄英豪等. 含水率和含盐量对冻土无侧限抗压强度影响的实验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(9): 1580-1586.
- [42] Brouchkov A. Frozen saline soil of the arctic coast: their distribution and engineering properties[C]. Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost. Zurich, Switzerland: A.A. Balkema Publishers, 2003: 95-100.
- [43] Espinosa R M, Franke L, Deckelmann G. Phase changes of salts in porous materials: Crystallization, hydration and deliquescence[J]. Construction & Building Materials, 2008, 22(8):1758-1773.
- [44] Wan X, Hu Q, Liao M. Salt crystallization in cold sulfate saline soil[J]. Cold Regions Science & Technology, 2017, 137:36-47.
- [45] SAYLES F H, CARBEE D L. Strength of frozen silt as a function of ice content and dry unit weight[J]. Engineering Geology, 1981, 18: 55-66.
- [46] NIXON J F, LEM G. Creep and strength testing of frozen saline fine grained soils[J]. Can. Geotech. J., 1984(12) .
- [47] STIGER M. Crystal Growth in Porous Materials-I: The Crystallization Pressure of Large Crystals[J]. Journal of Crystal Growth, 2005, 282:455-469.
- [48] 陈肖柏, 邱国庆, 王雅卿等. 重盐渍土在温度变化时的物理化学性质和力学性质[J]. 中国科学(A 辑), 1988, 4: 429-438
- [49] 杜秦文, 刘永军, 曹周阳. 变质软岩路堤填料湿化变形规律研究[J]. 岩土力学, 2015, 36(01): 41-46.
- [50] 王晓谋, 杜秦文, 曹周阳. 变质软岩路堤填料湿化变形的大型压缩试验研究[J]. 中国科技论文在线, 2011, 6(05): 363-367+373.
- [51] 曹周阳. 秦巴山区变质软岩路堤填料路用性能及振动压实工艺研究[D]. 长安大学, 2013.
- [52] 刘永军. 十天高速公路安康西段变质软岩路堤填料湿化变形研究[D]. 长安大学, 2013.
- [53] 杜艳艳. 变质软岩填料湿化变形规律研究[D]. 长安大学, 2017.
- [54] 刘辉. 变质软岩填料湿化变形特性研究[D]. 长安大学, 2019.
- [55] SIMONI A, HOULSBY G T. The Direct Shear Strength and Dilatancy of Sand-gravel Mixtures[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2006, 24(3): 523-549.
- [56] MIRGHASEMI A, ROTHENBURG L, MATYAS E L. Influence of Particle

- Shape on Engineering Properties of Assemblies of Two-dimensional Polygon-shaped Particles[J]. *Geotechnique*, 2002, 52(3): 209-217.
- [57] 刘文平, 时卫民, 孔位学等. 水对三峡库区碎石土的弱化作用[J]. *岩土力学*, 2005(11): 166-170.
- [58] MEDLEY E W. Observation on tortuous failure surface in bimrocks[J]. *Felsbau, Rock and Soil Engineering Journal for Engineering Geology Geomechanics and Tunneling*, 2004, 22(5): 35-43.
- [59] SONMEZ H, TUNCAY E, GOKCEOGLU C. Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for Ankara Agglomerate[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2004, 41: 717-729.
- [60] SONMEZ H, GOKCEOGLU C, MEDLEY E, et al. Estimating the unbiaxial compressive strength of a volcanic bimrock[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2006, 43: 554-561.
- [61] Oda M. , Experiment study of antistrophic shear strength of sand by plane strain test, *Soil Fdn*, 1978, Vol 12 No.1: 25-38.
- [62] Oda M. , Stress-induced anisotropy in granular masses, *Soil Fdn*, 1985, Vol 25 No.3: 85-97.
- [63] Marsal R. J. , Large scale testing of rockfill materials, *J. Soil Mech. FdnEngng Div. Am. Soc. Civ. Engrs*. 93, 1967, SM 2: 27-34.
- [64] Vesic A. S. & Clough G. W. Behaviour of granular materials under high stresses, *J. Soil Mech. FdnEngng Div. Am. Soc. Civ. Engrs* 94, 1968, SM 3: 661-668.

三、实施方案

3.1 拟解决的关键问题

- (1) 建立荷载作用下地基-路基-路面协调变形分析计算理论；
- (2) 建立地基、路基和基层中温度场、水分场、变形场等多场耦合变化规律；
- (3) 建立机械-填料互馈相应仿真模型。

3.2 主要研究内容及实施方案

一、依托工程条件和区域环境调查分析

1. 区域地质条件调查分析；
2. 依托区域气候气象条件调查分析；
3. 依托工程条件特征分析；
4. 区域内已建成公路病害状况调查及分析；
5. 环境条件对公路建设影响分析；
6. 工程治理及施工控制措施分析。

二、现场监测试验及“多场”变化规律分析

1. 现场监测方案设计；
2. 地基及路基温度场分布及变化规律监测分析；
3. 地基及路基水分场分布及变化规律监测分析；
4. 地基盐分场分布及变化规律监测分析；
5. 地基及路基多场耦合变化规律分析；
6. 基层温度场分布及变化规律现场监测；
7. 基层应变场及变化规律现场监测。

三、大温差厚积雪盐渍土季冻区高等级公路基层适应性研究

1. 基层材料配比试验研究；
2. 基层材料力学性能试验研究；
2. 公路基层工程特性研究；
3. 大温差厚积雪地区高等级公路基层施工控制措施研究。

四、碎石土路基填料碾压标准与控制工艺研究

1. 路堤路基填料及碾压工艺适应性研究；
2. 碎石土填料碾压前后变形与强度特性变化规律试验研究；
3. 填方路堤施工工艺及控制研究。

五、“多场”耦合条件下地基-路基-路面协同变形及控制研究

1. 多场耦合条件路基及地基工程特性研究；
2. 多场耦合条件下地基-路基-路面协调变形研究；
3. 环境条件影响下路基修筑施工控制技术及指标要求研究。

3.3 技术路线

3.3.1 研究技术方案

(1) 首先，对依托工程所在地区的气候、气象、水文、地质以及工程特点等进行调查分析，明确区域特征和工程条件；分析区域主要影响因素及其变化规律。重点分析依托工程所在区域的温度、降雨（降雪）、受环境影响的病害特征、荷载条件等。针对主要影响因素，分析相应的工程措施以及依托工程采取的工艺的有效性等。

(2) 开展现场监测试验工作

①地基和路基监测仪器种类及布设方案

在一个监测断面中，采用温度传感器、湿度传感器、盐分计和沉降计监测地基和路基中的温度场、水分场、盐分场和冻胀变形；分别在两侧路堤边坡坡脚、两侧路肩和路堤中线下，仪器分别布设于地基不同深度和路基土体内。断面拟定不同种类的仪器部分方案如下图所示。

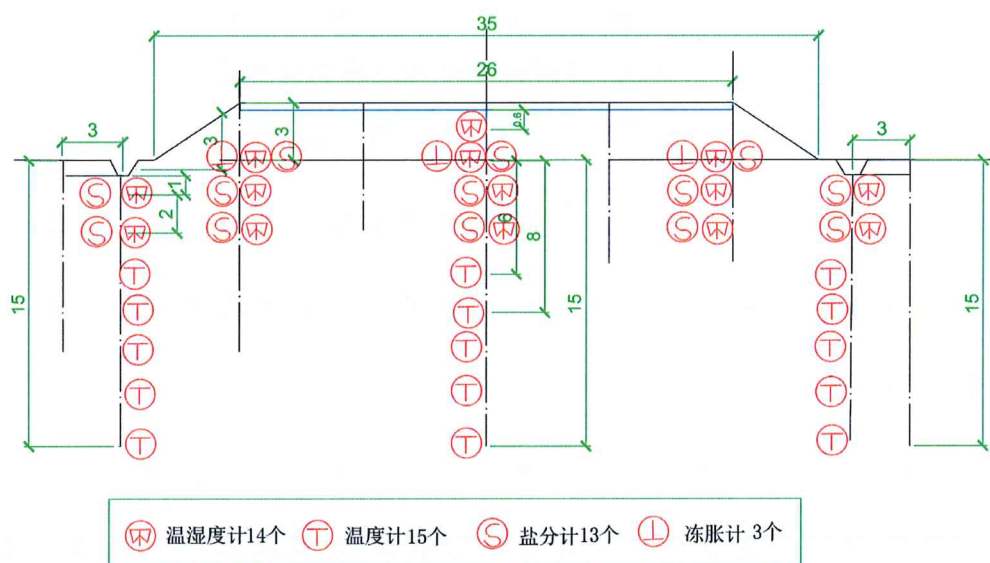


图 4. 地基和路基断面监测仪器布设方案

在依托工程典型路段以 100m~150m 间隔，连续选取 3 个监测断面。每一个监测断面仪器布设种类和方案如上图所示。这样不但可以监测温度场、水场、盐分场等沿深度的变化情况；同时可监测其沿路基纵向的变化，获得各场空间变化规律。

②基层监测仪器及布设方案

每一个断面宽度范围，分别在路中心线、两侧车道中点下位置的基层底面和表面布设两层仪器，分别为温度传感器和应变计。其中应变计沿纵向和横向正交的方向埋设。

基层监测断面与地基和路基监测断面在相同位置，可以是地基、

路基和基层的监测数据位置对应。

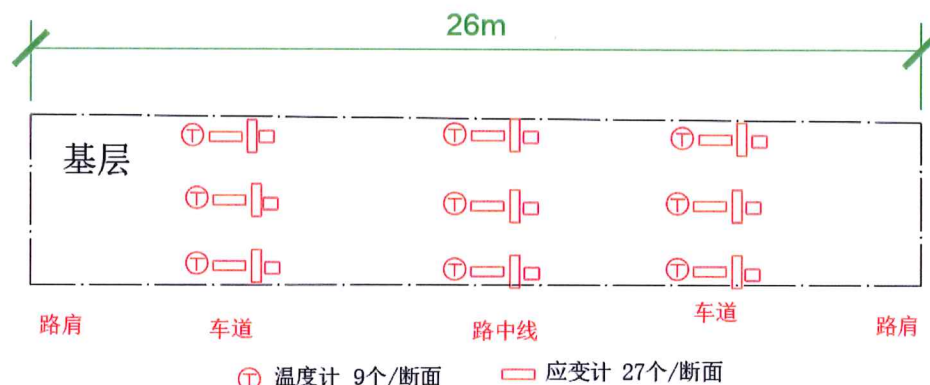


图 5. 基层断面监测仪器布设方案

根据现场监测方案设计，可以对地基、路基中的温度场、水分场等进行长期连续的监测，联合搜集的对应的气象数据，可对依托工程地基、路基和基层的温度场、水分场以及应变场进行分析，掌握其耦合变化规律。

依托工程是其所在区域不通铁路，缺乏高等级公路。该部分现场监测所获得的监测数据，以及分析得到的多场耦合变化规律，将是该区域首测得到的实测成果，对当地公路、铁路、建筑等广泛的建设领域具有重要的参考价值。

(3) 通过试验方法研究基层材料的配比设计、力学及工程特性。

依托工程所在地区，具有大温差、厚积雪和季节性冻土地区等主要特点。而依托工程建成后，承担塔克什肯口岸货车的重车荷载。依托工程大部分地段属于低填浅挖，其基层受车辆荷载、路基和地基的变形等显著影响。因此，针对依托工程的特点，需要对基层材料的配比、干缩和温缩性质、传热性能以及变形与强度性质等进行研究。

采用试验方法，对不同配合比的基层材料的温缩、干缩以及变形与强度等性能进行试验。根据依托工程交通荷载情况，实测地基和路

基的温度场、水分场以及变形情况，结合实测基层中的温度场和应变场，研究适应依托工程条件的基层材料配合比设计。

采用数值方法，分析在大温差和重载交通条件下，地基-路基-基层体系的状态演进变化规律。

结合上述室内试验、数值分析结果，优化材料性能指标要求和配合比；根据现场监测数据校核和验证分析结果。

(4) 依托工程中有碎石填料路基，建设中面临施工控制工艺和参数指标标准确定的困难，因此本项目开展碎石土路基填料碾压标准与控制工艺的研究。

首先，对依托工程的碎石填料进行基本工程性质指标试验，包括其粒径大小、级配等。

碎石填料在路基碾压施工过程中，伴随着强烈的颗粒破碎；使得碾压后的填料级配发生显著改变；同时碾压后的填料的变形与强度也会发生显著改变。这些变化与施工的机械设备、碾压工艺等密切相关。因此，对碎石填料碾压过程中破碎率对碾压后填料的变形与强度的影响的研究是问题的关键。

该部分研究工作，首先采用相似级配法对现场填料粒径进行缩尺，采用击实试验确定碾压后的填料密实状态，测定试验前后级配变化分析其破碎情况；采用三轴试验，研究填料在不同围压状态下的破碎率变化规律。本研究工作对三轴压缩试验的填料制备、围压施加和剪切阶段，采用平行试验方法，全过程测定其颗粒破碎变化情况。

以往的试验研究工作，忽略了填料制备和围压施加阶段破碎率的

变化情况；同时也仅采用试验前后级配变化来测定其破碎率，不能详细了解其颗粒破碎过程规律。本项目拟定的试验方法，能全过程了解其颗粒破碎变化规律。

对碾压压实后填料的变形与强度的试验，分析地基-路基-基层体系在荷载作用下的变形规律。采用 Matlab/Simulink 平台，对压路机-填料互馈相应系统进行互馈仿真建模，分析和优化施工工艺，包括机具设备组合、压实工艺指标参数、压实效果等。根据路基变形要求，设计碎石填料路基碾压施工工艺，确定控制标准，保障施工质量。

该部分研究工作中，首次采用 Matlab/Simulink 平台对机械设备-施工工艺参数-填料响应系统进行仿真建模，该方法具有通用性，可推广应用至其他填料的压实工艺研究当中；同时实现了对碎石填料施工全过程的破碎变化规律进行研究，改进了以往的试验研究工作。

(5) 在前述现场监测、室内试验、理论和仿真研究工作基础上，对温度-水分-荷载场“多场”耦合条件下，地基-路基-路面共同受力、协同变形体系进行研究。

该部分研究工作，首先根据对地基-路基-基层现场监测得到的温度场和水分场变化规律进行耦合分析，得到其在空间协同变化规律。

采用理论研究方法，对非均质地基-路基-路面体系的力学响应进行研究，得到设计和计算理论。结合数值方法，进一步分析“多场”耦合条件下该体系的协调变形和稳定变化规律。

在上述基础上，根据对地基土、路基填料以及基层材料的工程和力学特性试验结果，分析其在重载交通条件下，体系的协调变形规律；

根据工程条件和要求，重点从工程条件、材料要求和施工控制三个方面，对依托工程所在地区的高等级公路路基技术和控制工艺标准。

3.3.2 工作流程

工作流程如下图所示：

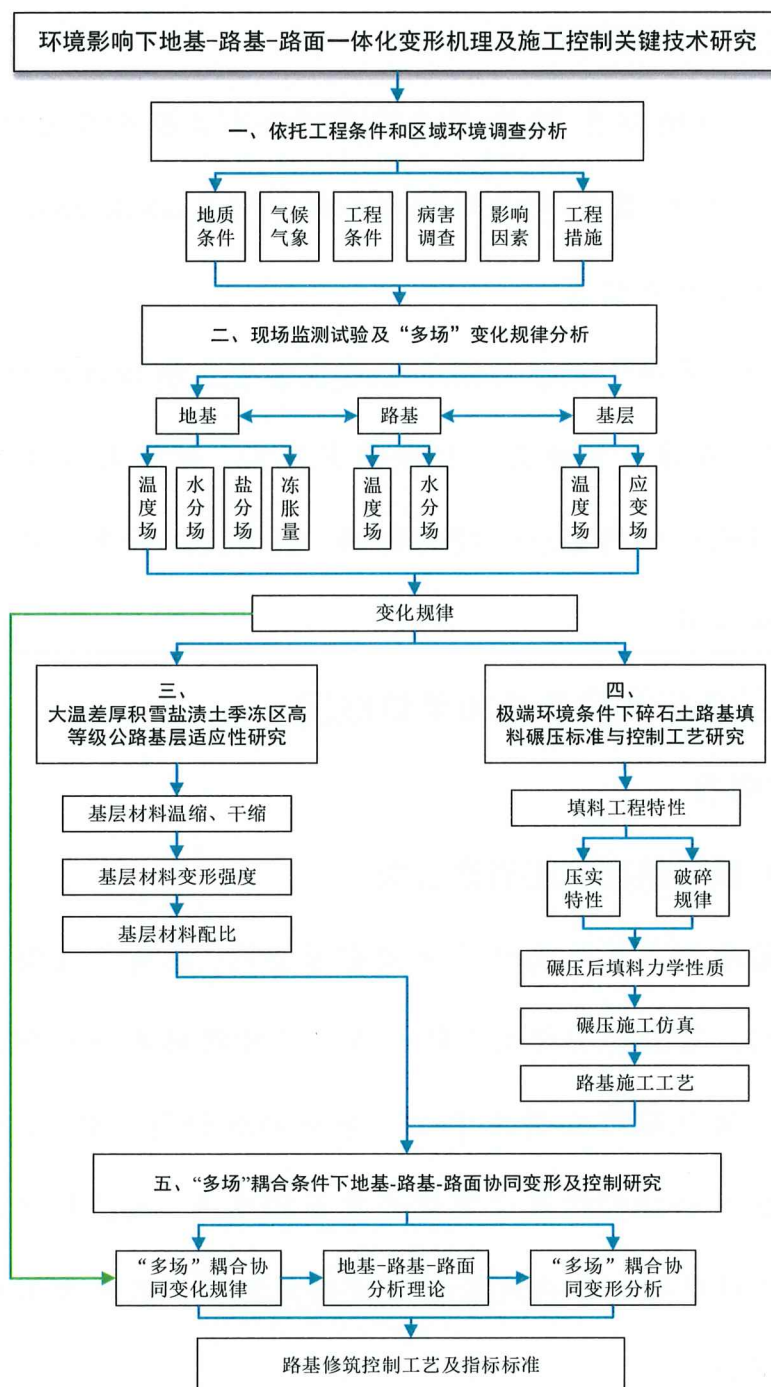


图 6. 工作流程图

3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接

依托工程所在地区不同铁路、缺乏高等级公路。本项目研究取得的成果，可为新疆阿勒泰地区铁路、公路、建筑建设提供重要借鉴；同时也可为全国类似工程条件地区的相关领域提供参考。

3.5 有关技术经济指标

- (1) 场地温度-湿度-盐分场空间分布及耦合变化规律；
- (2) 温度-湿度-盐分场耦合条件下地基-路基-路面协同受力及协调变形计算分析模型；
- (3) “多场”耦合作用下公路病害发生机理及控制措施；
- (4) 保障工程安全，控制减少施工、运营期发生的病害，减少工程对当地脆弱的生态环境的影响，提高施工效率，减少施工机械等造成的碳排放。

四、项目承担单位及参加单位概况

4.1 单位概况

(1) 陕西路桥集团有限公司

项目承担单位陕西路桥集团有限公司，隶属于陕西交通控股集团有限公司，集团公司建成“新一代人工智能技术应用研发中心”、“卫星技术交通运输行业研发中心”等省部级科研平台 11 个，拥有雄厚的施工技术和经验积累以及较为完善的生产、试验和研发等软硬件平台。这些科研试验平台及软硬件仪器设备等，都可为本科研项目的实施提供保障。

(2) 陕西海外工程建设有限公司

项目参加单位陕西海外工程建设有限公司，业务涵盖国内外公路、铁路、钢结构、园区建设、油气田基础建设、市政、工矿、机电安装、水利水电、绿化照明、环保工程等。先后参与了陕西、甘肃、福建、西藏、新疆、江苏、山东、海南等省市的公路、桥梁、水利、工业园区等工程项目。各类技术人员 150 人，具有年完成产值 20 亿元以上的生产能力。紧跟“一带一路”走出过门承建了伊拉克、阿联酋、沙特阿拉伯、乌干达、老挝、印度等国的油田、铁路、隧道、桥梁、房建、市政等工程项目。

(3) 长安大学

项目参加单位长安大学，直属国家教育部，是国家首批“211 工程”重点建设大学、国家“985 优势学科创新平台”建设高校、国家“双一流”建设高校。学校平台条件完善，现有国家级实验教学中心 5 个（含 3 个国家级虚拟仿真实验教学中心）、省部级实验教学中心 19 个（含 4 个省部级虚拟仿真实验教学中心），有国家工程研究中心 2 个、国际联合实验室 1 个、省部级重点研究基地 91 个，联合共建陕西国家应用数学中心 1 个。学校矢志原始创新，构建“大团队、大平台、大项目、大成果、大服务、大贡献”六位一体科技创新体系；牵头承担国家重点研发计划项目 11 项、课题 37 项。近年来获得国家科学技术进步奖一等奖、二等奖 23 项。年度授权专利 1300 余项。

现有“111 计划”学科创新引智基地、国际合作联合实验室、国家工程研究中心、教育部重点实验室和工程中心、交通运输行业重点

实验室和野外科学观测研究基地、民航机场重点实验室、陕西省重点实验室和国际联合研究中心等国家级和省部级重点科研平台 14 个，拥有一批世界一流水平的试验设备设施。

4.2 技术力量及人员构成

姓 名	单 位	性别	年龄	技术职称	专业	在项目中担任具体工作
徐东	陕西路桥集团有限公司	男	52	高级工程师	公路工程	项目负责
杜秦文	长安大学	男	50	副教授	岩土工程	技术负责
范锋	陕西海外工程建设有限公司	男	49	高级工程师	公路工程	方案制定
李哲	长安大学	男	54	副教授	岩土工程	现场试验
党杰	陕西海外工程建设有限公司	男	33	工程师	公路工程	室内试验
李新明	陕西路桥集团有限公司	男	50	高级工程师	公路与桥梁	室内试验
李治军	陕西路桥集团有限公司	男	42	高级工程师	公路工程	基层材料试验
秦杰	陕西海外工程建设有限公司	男	38	工程师	公路工程	试验数据处理
陈胜博	陕西路桥集团有限公司	男	50	高级工程师	公路工程	基层材料试验数据分析
阮国鹏	陕西海外工程建设有限公司	男	38	工程师	公路工程	现场试验

姓 名	单 位	性别	年龄	技术 职称	专业	在项目中担任 具体工作
雷洪波	陕西海外工程建 设有限公司	男	52	助理工 程师	公路工 程	现场试验
别东奇	陕西海外工程建 设有限公司	男	45	工程师	公路与 桥梁	现场试验
赵军	陕西海外工程建 设有限公司	男	54	工程师	公路工 程	现场试验
唐力行	长安大学	男	25	研究生	岩土工 程	多场耦合分析
梅雨杭	长安大学	男	24	研究生	岩土工 程	室内试验
张晋程	长安大学	男	23	研究生	岩土工 程	数值分析
杨雅婷	长安大学	女	23	研究生	岩土工 程	室内试验
邵奇梦	长安大学	女	26	研究生	岩土工 程	理论研究
郜笑园	长安大学	女	22	研究生	岩土工 程	室内试验

4.3 各自承担的主要工作

(1) 陕西路桥集团有限公司

项目承担单位，负责制定研究方案；参与现场试验实施和研究报告审定；管理协调各参与单位的研究工作。

(2) 陕西海外工程建设有限公司

项目参加单位，负责现场试验方案实施，参与现场监测、室内试

验。

(3) 长安大学

项目参加单位,负责室内试验制定和实施、理论研究和数值分析、研究报告撰写、现场试验方案制定;参与现场试验实施等工作。

4.4. 项目主要负责人情况

(1) 徐东,项目负责人。

徐东,男,高级工程师、一级建造师。1996年毕业于西安公路交通大学土木工程专业,先后参与国内多条高速公路项目建设担任项目经理职务,有着丰富的管理经验和项目组织实施能力。

(2) 杜秦文,技术负责人。

杜秦文,男,长安大学公路学院副教授、硕士研究生导师。2005年毕业于浙江大学岩土工程专业,博士学位;2014.10-2015.10 美国亚利桑那大学访问学者;近年来科研工作获得中国公路学会科技进步奖特等奖和叁等奖、陕西省科技进步叁等奖等多个奖项;参与制定行业和地方标准多个。

(3) 范峰,现场试验负责人。

范峰,男,高级工程师、一级建造师。2006年毕业于重庆交通学院公路与城市道路专业,先后参与国内多条高速公路项目建设担任项目经理职务,有着丰富的项目实施经验和组织协调能力。

五、项目依托工程(工作)情况及其他必要支撑条件

5.1 依托工程(工作)概况

(1) G337 国道神木至盘塘公路改建工程,起于神木市神木镇张

板崖村，与在建的 G336 国道店塔至张板崖一级公路相接，止于马镇盘塘村，与在建的山西省静兴高速公路黄河大桥西岸相接，路线起讫桩号为：K7+848.766~K60+175.359，主线全长 51.167Km，其中从 K56+700 至终点为新建段，长 3.475Km。主线采用双向四车道一级公路技术标准，设计速度 60Km/h，整体式路基宽度 24.5m，新建分离式路基宽度 12.25m，分离式路基利用旧路段维持现有宽度 12m，新建桥梁与路基同宽，新建隧道净宽 12.75m。G337 国道改线段（连接线）采用二级公路标准，设计速度 60Km/h，路基宽度 10m，全长 2.645Km。

全线设平面交叉 64 处，增设盘塘互通立交 1 处，改建主线张板崖收费站 1 处、新建盘塘主线收费站 1 处，折家峁服务区 1 处，侯川养护中心 1 处、邱家塬养护站 1 处。

当地极端最高气温：约 38.9° C，极端低温可达-27.9° C，昼夜温差大，季节性变化显著；年平均降雨量：约 430mm-475mm，降雨量较少且集中在 6-9 月，雨量分布不均；年平均蒸发量：约 1700mm - 2000mm，蒸发量远大于降雨量；部分地区地下水位较浅，基坑开挖深度达到 1.5 米时可能出现地下水涌，地下水埋深约 3.20 米 - 4.60 米；最大冻土深度：约 146cm - 160cm；最大积雪深度：约 120mm。

(2) G680 塔克什肯至恰库尔图（含 G680-青河）公路位于新疆维吾尔自治区阿勒泰地区青河县和富蕴县境内，路线全长约 159.120km。设计公路等级为一级，设计时速 100km/h，路基宽度 26m，路面宽度 22.5m。起点顺接在建 G331 口岸连接线（二级公路），通过

G331 口岸连接线近期连接至老口岸，远期预留接口引线至规划南迁新口岸。

项目大部分段落所在地地处青河县中部山间河谷盆地气候区，海拔 1100m~1500m 之间，年平均 1.3℃左右。代表性（清河县）年极端最高温度 38.4℃，年极端最低温度-49.7℃；年平均降雨量 189.1mm（大部分为降雪），年平均蒸发量 1495mm；最大冻土深度 228cm，最大积雪深度 95cm；年最大风速 23m/s。夏季炎热、冬季寒冷，温度年、日较差大。

5.2 投资来源

项目研究经费由省交通运输厅补助和工程配套组成。

5.3 工程进度与项目科研进度的配合

科研进度根据工程进度拟定，二者相配。

5.4 组织管理形式

本项目建立项目负责人、项目专家组和课题负责人联席会议制度，并实行过程动态管理模式及项目负责人、课题负责人和专题负责人三级负责制，按照“项目—课题—专题”分级管理。

(2) 成立项目专家组，对项目和课题研究提供技术指导和咨询，为项目和课题负责人做出决策提供建议，参与项目和课题实施过程中的监督检查、审核、评估与验收等工作。组织学术研讨与交流，对项目和课题的关键技术问题、阶段研究成果及最终研究成果等进行技术咨询和把关。

(3) 项目负责人负责召集项目专家组会议；聘任课题负责人；

把握项目的整体方向，根据项目进展情况调整课题研究方向与内容，确保项目研究计划的完成；定期检查本项目各课题的工作，对课题执行过程中的问题及时做出决策；接受科技部和项目依托部门的检查；及时向专家组成员通报有关情况。

(4) 成立由项目负责人与各课题负责人组成的项目组织实施小组，把握项目好课题的总体目标及研发方向；组织项目和课题的实施、监督、检查项目的执行情况，协调并处理项目执行过程中出现的有关问题；组织项目和课题验收，对项目和课题进行绩效考评等。

(5) 成立课题负责人与各子课题负责人组成的课题实施小组，对课题进行组织和管理。课题实施小组采取课题承担单位管理的方式，课题承担单位负责组织课题的条件保障、具体实施和日常管理，及时发现和报告课题实施过程中出现的问题，按要求编报课题年度计划、计划执行情况和统计报表、科技攻关成果信息及经费预算等信息资料，并及时报项目组织单位。

(6) 设管理办公室作为常设机构，主要职责为：执行专家组及项目负责人的各项决议；负责收集、整理和保管与本项目有关的资料和项目成果、数据等，保证项目成员的共享；负责保持与各个课题经常性联系，随时了解课题进展情况并及时向项目负责人和项目专家组成员汇报；负责项目内部会议的组织和筹备；负责编写项目简报和会议纪要，进行相关数据的统计；协助完成项目年度汇报及结题评估工作。

六、项目经费估算及资金筹措情况

经费投入（万元）		经费支出（万元）			
科 目	估算数	科 目	总经费	厅补经费	其他经费
省交通运输厅补助	19.85	合 计	150.00	19.85	130.15
工程配套研究经费		1.设备费	60.807	19.85	40.957
单位自筹	130.15	（1）购置设备费	52.807	19.85	32.957
其他经费		（2）设备改造与租赁费	8.00	0.00	8.00
		2.业务费	40.506	0.00	40.506
		（1）材料费	4.00	0.00	4.00
		（2）测试化验实验加工费	6.96	0.00	6.96
		（3）燃料动力费	5.00	0.00	5.00
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	15.546	0.00	15.546
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	9.00	0.00	9.000
		（6）其他费用	0.00	0.00	0.00
		3.劳务费	23.70	0.00	23.70
		（1）专家咨询费	1.200	0.00	1.20
		（2）聘用人员劳务费	9.50	0.00	0.00
		（3）其他劳务费	13.00	0.00	22.50
		（二）间接费用	24.987	0.00	24.987
		4.管理费	4.000	0.00	4.00
		5.绩效支出	20.987	0.00	20.987

测算说明:

总研究经费 150.00 万元, 其中厅拨经费 19.85 万元, 单位自筹 130.15 万元。

分项费用组成说明如下:

一、设备费。共计 60.807 万元, 使用厅拨经费 19.85 万元。

(1) 购置设备费

共计 52.807 万元, 其中, 使用厅拨经费 19.85 万元。

序号	名称	单位	数量	总经费(万元)	厅拨经费(万元)
1	冻胀计	支	9	1.242	1.242
2	土壤温湿度计	支	42	3.738	3.738
3	土壤盐分计	支	39	2.964	2.964
4	温度计	支	90	1.44	1.44
5	埋入式应变计	支	90	3.78	3.78
6	通讯数据线	m	5693	3.4158	3.4158
7	数据处理器	支	24	1.104	1.104
8	8 通道数据集线器	个	35	9.45	2.1662
9	自动化采集模块	台	16	9.952	0.00
10	无线传输模块	台	16	5.1712	0.00
11	风光互补供电组	个	16	8	0.00
12	密封机箱	个	16	1.2	0.00
13	立柱及支架	套	9	1.35	0.00
费用合计				52.807	19.85

(2) 设备改造与租赁费

共计 8.0 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	项目	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	钻机	6.00	0.00
2	挖掘机	2.00	0.00
费用合计		8.00	0.00

二、业务费。共计 40.506 万元，使用厅拨经费 0 万元。

(1) 材料费

共计 4.0 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	材料名称	数量/单位	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	地基土样	2/t	1.50	0.00
2	路基土样	2/t	1.50	0.00
3	基层材料	0.5/t	1.00	0.00
费用合计			4.00	0.00

(2) 测试化验实验加工费

共计 6.96 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	测试化验实验加工项目	实施单位	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	常规三轴试验	长安大学	2.16	0.00
2	材料导热系数	长安大学	0.9	0.00
3	基层干缩试验	长安大学	1.2	0.00
4	基层温缩试验	长安大学	1.2	0.00
5	土体渗透性	长安大学	0.3	0.00
6	碎石土破碎率	长安大学	1.2	0.00
费用合计			6.96	0.00

(3) 燃料动力费

共计 5.0 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	项目	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	现场试验设备燃油	4.5	0.00
2	现场试验电力	0.5	0.00
费用合计		5	0.00

(4) 差旅费/会议费/国际合作与交流费

共计 15.546 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	时间、人数、地点、任务	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	交通费用	3.2	0.00
2	住宿费	6.03	0.00
3	餐费	3.216	0.00
4	可行性研究评审	0.6	0.00
5	研究大纲（实施方案）评审	0.6	0.00
6	中期检查会议	0.6	0.00
7	技术研讨、交流会	0.6	0.00
8	成果验收鉴定会	0.7	0.00
费用合计		15.546	0.00

(5) 出版/文献/信息传播/知识产权事费

共计 9.0 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	项目	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	论文出版费	5.60	0.00
2	专利申请费用	1.20	0.00
3	资料费	0.70	0.00
4	资料印刷费	1.50	0.00
费用合计		9.00	0.00

(6) 其他费用

无。

三、劳务费

共计 23.7 万元，使用厅拨经费 0 万元。

(1) 专家咨询费

共计 1.2 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	时间、人数、事由	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	研究初期咨询会，5 人，技术优化	0.4	0.00
2	研究中期咨询会，5 人，技术优化	0.4	0.00
3	项目结题前咨询会，5 人，成果优化	0.4	0.00
费用合计		1.2	0.00

(2) 聘用人员劳务费

序号	时间、人数、事由	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	监测仪器现场埋设，1 人，技术指导和调试	1.5	0.00
2	临时雇佣工人，6 人，现场试验和监测	8.0	0.00
费用合计		9.5	0.00

(3) 其他劳务费

序号	时间、人数、事由	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	研究全部过程，4 人，研究生补助。	13.0	0.00
费用合计		13.0	0.00

四、间接费用。

共计 24.978 万元，使用厅拨经费 0 万元。

(1) 管理费

共计 4.0 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	项目	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	设备占用和日常水电气暖	4.00	0.00
费用合计		4.00	0.00

(2) 绩效支出

共计 20.987 万元，其中，使用厅拨经费 0 万元。

序号	项目	总经费（万元）	厅拨经费（万元）
1	科研绩效支出	20.987	0.00
费用合计		20.987	0.00

七、项目绩效指标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1、专利授权数（项）	
		（1）授权发明专利	
		（2）实用新型	2
		（3）外观设计	
		2、软件著作权授权数（项）	
		3、发表论文（篇）	8
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	1
		（3）其它	7
		4、著作（部）	
		5、制订标准数（项）	
		（1）国际标准	
		（2）国家标准	
		（3）行业标准	
		（4）地方标准	
		（5）企业标准	
		（6）科技报告	
	其他成果	1、填补技术空白数	
		（1）国际	
		（2）国家	
		（3）省级	1
		2、获奖项数	
		（1）国家奖项	
		（2）部、省奖项	
		（3）地市级奖项	
		3、其他科技成果产出	
		（1）新工艺（或新方法模式）	1
		（2）新产品（含农业新品种）	
		（3）新材料	
		（4）新装备（装置）	
		（5）平台/基地/示范点	1
		（6）中试线	
		（7）生产线	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	
		(1) 小试	是/否
		(2) 中试（样品样机）	是/否
		(3) 小批量	是/否
		(4) 规模化生产	是/否
	人才引育	1、引进高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	
		2、培养高层次人才	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	3
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	20
		4、是否设立科研助理岗位	是/否
	产业化情况	1、开放共享仪器设备数（台/套/只等）	
		2、科研仪器设备利用率（%）	
		3、孵化科技型企业（个）	
		4、转化科技成果（个）	
效果类指标	经济效益	1、新增产值（万元）	
		2、新增销售（万元）	
		3、新增出口创汇（万美元）	
		4、新增利润（万元）	400
	社会效益	1、新增税收（万元）	
		2、新增就业人数	
		3、就业培训（人次）	
		4、带动农民增收（万元）	
		5、培训和指导科技服务（人次）	
		6、新增产业带动情况	
		7、技术集成示范（项）	1
		8、建立示范基地（亩数）	
		9、节约资源能源	
		10、环保效益	
其他需要说明的情况	无。		

八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益

8.1 项目预期目标

(1) 降低路基不均匀沉降变形发生程度、减少和推迟路面早期病害的发生；改进和优化控制工艺和提高施工效率等，为依托工程综合节省费用 400 万元或以上；

(2) 对环境影响下盐渍土季冻区高等级公路基层、路基和地基材料的工程特性、强度和变形等进行针对性研究，保障工程建设质量，为工程建设安全顺利的进行提供依托；

(3) 对大温差厚积雪盐渍土季冻区公路基层材料和碎石土路基填料地工程特性、施工控制工艺等问题，提出解决问题的方法和流程，确定控制指标标准，指导依托工程施工；

(4) 对大温差季冻区基层材料在荷载-温度-湿度场中的温缩变形及强度变化规律进行分析；提出建立温度-湿度-盐分场耦合条件下地基-路基-路面协同受力协调变形一体化计算分析模型，对环境影响下低填浅挖路基不均匀（横向和纵向）变形分析；以此为基础，提出环境影响下盐渍土季冻区高等级公路病害施工控制措施和工艺指标标准，取得创新成果，推进行业科技进步，形成具有区域推广价值的成果。

8.2 提交的研究成果及其形式

(1) 《环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究》研究报告；

(2) 《环境影响下地基-路基-路面一体化变形施工控制技术指

南》;

(3) 发表学术论文 8 篇, 其中中文核心期刊 1 篇;

(4) 申请专利 2 项;

(5) 依托实际建设项目建立示工程。

8.3 经济、社会、环境效益分析

(1) 直接经济效益: 减少路基、路面早期病害和其他相关病害的发生和发展程度; 获得具有推广价值的研究成果。

(2) 社会效益: 为依托工程高质量、顺利、高效地建设提供保障;

(3) 环保生态效益: 保障工程安全, 减少对生态环境的影响。提高施工效率, 减少施工机械造成的碳排放。

九、其它需要说明的问题

无。

十、申请单位意见

陕西路桥集团有限公司(公章)

单位负责人: (签字)

年 月 日

环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工 控制关键技术研究 大纲评审意见

2026年3月10日，陕西省公路局受陕西省交通运输厅委托，在西安主持召开了“环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究”（项目编号：25-74K）项目大纲评审会。与会专家（名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了项目研究大纲，经质询讨论，形成如下评审意见。

一、项目研究内容全面，研究目标明确，技术路线可行；

二、项目研究人员组成合理，前期研究基础扎实，试验设备齐全，经费预算符合规定，基本具备开展研究工作的条件；

三、预期成果覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架契合。

与会专家同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

- （1）增加地基、路基含水率变化影响因素；
- （2）有条件情况下落实陕西省境内依托工程。

主任委员：√

2026年3月10日

专家审查意见表

项目名称	环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术				
专家姓名	弥海晨	职务/职称	正高	专 业	公路工程
专家单位	西安公路研究院有限公司			联系电话	13991855657

评审意见

2.项目针对极端环境下公路病害.进而地基-路基-路面-一体化变形机理及施工控制关键技术研究.具有创新性和实用性

- 1.量化预期目标
- 2.进一步完善施工综合控制技术.措施研究
- 3.结合陕西公路建设实际.明确项目研究的作用

评审专家(签字): 弥海晨

2026年3月10日

(本意见入档,应填写工整,纸面不敷,可另加纸)

专家审查意见表

项目名称	环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术				
专家姓名	景宏君	职务/职称	教授	专 业	公路工程
专家单位	西安科技大学			联系电话	13689101111

评审意见

该报告是复利易引起公路工程'服役性能'。本项目是于相关研究现状,开展相关研究。会议决定,同意开题,建议如下:

1. 明确环境影响评价指标;
2. 明确地基-路基-路面-工程一体化模型相互影响和制约因素,要突出重点研究领域研究内容;
3. 研究大纲内容方法应规范;
4. 工作流程图不规范,应修改;
5. 依托工程应落实到陕西境内;
6. 项目绩效在5年内提供新式法新机理。

评审专家(签字): 景宏君

2020年3月10日

(本意见入档,应填写工整,纸面不敷,可另加纸)

专家审查意见表

项目名称	环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术				
专家姓名	叶俊	职务/职称	教授	专业	道路工程
专家单位	中交二公局			联系电话	1308755538

评审意见

本项目开展寒冷地区道路冻害防治机理及控制技术对公路工程的影响，开展公路冻害防治机理及施工技术控制关键技术研究，具有较好的应用价值。

本项目研究内容明确，技术方案合理，前期研究基础较好，同意立项，研究内容应进一步细化。

建议：

1. 围绕公路项目拟解决的关键技术问题；
2. 提出盐渍土地基冻害防治的技术指标要求。

评审专家（签字）：叶俊

2016年3月10日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表（25-74K）

项目名称	环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究				
专家姓名	王松根	职务/职称	研究员	专 业	公路工程
专家单位	原山东省交通厅公路局			联系电话	13488700091

评 审 意 见

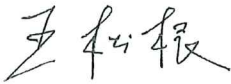
本项目依托新疆G680塔克什肯至恰克图（含G680-清河）高速公路建设，开展的环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究，很有现实意义。

提出的现场监测试验及“多场”变化规律分析、大温差厚积雪盐渍土季冻区高等级公路基层适应性研究、碎石土路基填料碾压标准与控制工艺研究、“多场”耦合条件下地基-路基-路面协同变形及控制研究等研究内容和技术方法具有一定的创新性。提交的研究大纲，研究内容较全面、技术路线和实施方案可行，项目承担单位和研究团队人员组成可满足项目研究要求，工作基础扎实，依托工程和研究经费已落实，具备开展项目研究的条件。

同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

- 1. 期望该项目在地基-路基-路面一体化变形机理和理论方面有所创新，研究成果要在地基-路基-路面一体化影响方面多做文章，不局限于合同约定的内容。
- 2. 除大温差厚积雪盐渍土季冻区等因素外，需进一步补充地下水位及地基、路基含水量变化的对地基-路基-路面一体化变形影响的研究内容。
- 3. 该项目现场观测时间和周期较长，即使是依托工程竣工后，仍需长时间的跟踪观测，项目研究时间是否来得及？大纲中只提到科研进度根据工程进度拟定，二者相配。是否与合同对应？

评审专家（签字）：

2026 年 03 月 10 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究				
专家姓名	吴传海	职务/职称	总工/教高	专 业	道路工程
专家单位	广东华路交通科技有限公司			联系电话	13822141956

评 审 意 见

一、本项目针对依托工程-新疆 G680 塔克什肯至恰克图高速公路建设过程中，需要考虑盐分、温度场、积雪、土类、荷载之间的相互影响，如何调整优化设计和施工，以避免或减少路基和路面早期病害的发生开展研究，研究工作具有一定必要性，大纲编写较为合理，方案实施具有可行性。

二、研究内容的各章节之间衔接不足，建议加强基层和路基修筑的适用性研究与前面的区域环境调查及工程条件的“多场”变化规律的呼应。

三、大温差厚积雪盐渍土季冻区高等级规律基层材料的适用性研究应具体细化结构、材料的优化及拟采用的施工质量控制措施等内容，以便课题研究的顺利推进。

四、碎石土路基填筑技术研究不应只局限于碾压标准与控制工艺，而应与盐渍土和季冻区的特性相关联。

评审专家（签字）：


2026 年 3 月 10 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

环境影响下地基-路基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术 (项目编号: 25-74K)

大纲评审专家委员会名单

序号	评审会职务	姓名	工作单位	所学专业	从事专业	职称/职务	签名
1	主任委员	弥海晨	西安公路研究院 有限公司	公路工程	道路工程	正高工	弥海晨
2	委员	王振军	长安大学	道路工程	道路工程材料	教授	王振军
3	委员	景宏君	西安科技大学	道路工程	道路工程材料	教授	景宏君
4	委员	王松根	山东省公路局	公路工程	道路工程	正高工	网上评审
5	委员	吴传海	广东华路交通科技 有限公司	道路工程	道路工程	正高工	网上评审

评审会参会人员签到表

姓 名	职称/职务	工作单位	联系电话
张海晨	正高	西安公路学院	13991855657
张 凡	教授	西安科技大学	13689101111
王 刚	教授	陕西	13087515558
张 蕊	正高	省公路局	15588602751
齐 娟	正高	" "	13991366181
杜 敏	副教授	长安大学	13991207696
袁 忠	工程师	陕西路桥	15914865622

2026 年 3 月 10 日

专家意见处理表

项目名称：环境影响下地基-路面一体化变形机理及施工控制关键技术研究（项目编号： 25-74K ）

序号	姓名	建议内容	处理意见 (逐条回应，详细说明修改情况)
1	王松根	1. 期望该项目在地基-路面一体化变形机理和理论方面有所创新，研究成果要在地基-路面一体化影响方面多做文章，不局限于合同约定的内容； 2. 除大温差厚积雪盐渍土季冻区等因素外，需进一步补充地下水水位及地基、路基含水量变化的对地基-路面一体化变形影响的研究内容； 3. 该项目现场观测时间和周期较长，即使是依托工程竣工后，仍需长时间的跟踪观测，项目研究时间是否来得及？大纲中只提到科研进度根据工程进度拟定，二者相配。是否与合同对应？	1.采纳。对大纲中“3.2 主要研究内容及实施方案”和“3.3 技术路线”进行了修改完善； 2.采纳。对大纲中“3.2 主要研究内容及实施方案”和“3.3 技术路线”进行了修改完善； 3.研究依托在建工程项目进行，现场监测时间在依托工程建设期间的时间，与合同相对应，二者相匹配。拟采用自动化监测仪器，在依托工程竣工后，仍然可进行监测。
2	吴传海	1.加强基层和路基修筑的适用性研究与前面的区域环境调查及工程条件的“多场”变化规律的呼应；2.基层材料的适用性研究应具体细化结构、材料的优化及拟采用的施工质量控制措施等内容，以便课题研究的顺利推进； 3.碎石土路基填筑技术研究不应只局限于碾压标准与控制工艺，而应与盐渍土和季冻区的特性相关联。	1.采纳。对大纲中“3.2 主要研究内容及实施方案”和“3.3 技术路线”进行了修改完善； 2.采纳。对大纲中“3.2 主要研究内容及实施方案”和“3.3 技术路线”进行了修改完善； 3. 采纳。对大纲中“3.2 主要研究内容及实施方案”和“3.3 技术路线”进行了修改完善。

3	弥海晨	1.量化预期目标; 2.进一步突出施工综合控制技术研究; 3.结合陕西公路建设实际,明确项目研究的作用。	1.采纳。对大纲中“8.1项目预期目标”进行了修改完善; 2.采纳,对大纲中“3.2主要研究内容及实施方案”和“3.3技术路线”进行了修改完善; 3.采纳,在大纲“五、项目依托工程(工作)情况”及其他必要支撑条件”增加了陕西省“G337国道神木至盘塘公路该扩建工程”,并修改完善了其他相关内容。
4	景宏君	1.明确环境影响的复杂性; 2.明确地基-路基-路面一体化变形相互影响机理及因素,重点聚焦该部分研究内容; 3.研究大纲的写法应规范; 4.工作流程图不规范,请修改; 5.依托工程应落实有陕西境内的; 6.项目绩效表与成果提供形式请重新梳理。	1.采纳。对大纲中“3.2主要研究内容及实施方案”和“3.3技术路线”进行了修改完善; 2.采纳。对大纲中“3.2主要研究内容及实施方案”和“3.3技术路线”进行了修改完善; 3.采纳。对大纲进行了修改完善; 4.采纳,对工作流程图进行了修改完善。 5.采纳。在大纲“五、项目依托工程(工作)情况”及其他必要支撑条件”增加了陕西省“G337国道神木至盘塘公路该扩建工程”,并修改完善了其他相关内容; 6.采纳。重新梳理了项目绩效表与成果提供形式。
5	王振军	1.细化分析项目拟解决的关键技术问题; 2.提出盐渍土地区筑路材料的技术指标要求。	1.采纳。对大纲中“3.1拟解决的关键问题”进行了修改完善; 2.采纳。对大纲中“3.2主要研究内容及实施方案”和“3.3技术路线”进行了修改完善。

大纲评审委员会专家(签字): 王振军

项目负责人(签字): 弥海晨