

项目合同编号：25-09K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造

成套技术研究

承担单位：陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司

项目负责人：宋剑

通讯邮编、地址：710075、陕西省西安市雁塔区唐延路 6 号

传真、电话：029-85886063 15667106028

起止年限：2026 年 3 月至 2028 年 4 月

陕西省交通运输厅制

一、项目主要研究内容

1. 主要研究内容

- (1) 湿陷性黄土地区桩板结构受力行为研究;
- (2) 桩板结构关键接头传力行为分析与构造优化;
- (3) 湿陷性黄土地区桩板结构的适应性评价;
- (4) 装配化桩板式路基结构快速施工技术与施工质量控制标准

研究

2. 技术关键

- (1) 确定传力平顺、变形协同的桩板式路基关键拼接节点构造形式。
- (2) 构建湿陷性黄土地区桩板结构适用性评价技术体系。
- (3) 建立桩板式路基结构快速施工技术与施工质量控制标准。

3. 依托工程（依托工作）

该课题研究将依托福银高速（G70）西安至永寿改扩建工程，改建后路线长度 79.099 公里。其中六村堡立交至咸阳北枢纽立交段 K1683+800~K1703+990，路线长度 20.185 公里，采用双向十车道，路基宽度 54 米；咸阳北枢纽立交至预留乾县东枢纽立交段 K1703+990~K1732+300，路线长度 28.304 公里，采用双向八车道，路基宽度 43.5 米；预留乾县东枢纽立交至永寿南立交段 K1732+300~K1762+900，路线长度 30.610 公里，采用双向八车道，路基宽度 42 米。全线设计荷载公路-I 级，其余技术指标均按照《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）执行。依托工程 ZK1756+061.000~ZK1756

+409.000、右幅 YK1756+051.260~YK1756+399.260 作为湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术的试点。本段路基长度 348 米，旧路路基宽 29 米，改建后路基宽 42.0 米，该段均为填方路基，路基平均填土高度 4.7 米，最大填土高度 8.1 米。地基为Ⅲ级自重湿陷性黄土，湿陷土层厚度 14~16 米。

二、考核指标

1.预期目标

通过项目研究，预期形成一套适配湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程的桩板式路基设计、施工及应用技术体系，支撑西永改扩建工程高品质建设，也为同类工程提供可推广的技术成果。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

（1）项目研究成果将提升湿陷性黄土地区桩板式路基结构设计与施工技术水平，可有效减少施工成本并提高工程质量，预计节约全寿命周期工程造价 5%。

（2）项目所提出的技术方案将节约征地和取填土方量，有效节约土地资源占用，节约填土方量不低于 70%。

（3）项目的装配化快速施工技术成果将有力推进工业化、规模化建设模式，预计缩短施工周期不低于 10%，降低环境污染和碳排放量。

3.经济和社会效益

本项目以实际改扩建工程为依托，深入展开对桩板式路基结构的多维度理论探讨与实证试验，旨在探寻适用于湿陷性黄土地区改扩建工程的桩板式路基设计策略与施工技法，为同类桩板式路基的设计与施工控制提供宝贵的参考依据。研究成果有助于降低工程成本、提高工程质量，也将促进桩板式路基在更多地区的使用，进一步推动高速公路改扩建事业的发展。此外，通过优化设计和施工工艺，还可以减少对环境的影响，实现可持续发展。

4.成果提供形式

- (1) 在中文核心及以上期刊发表论文 4 篇；
- (2) 形成湿陷性黄土地区桩板式结构横向拼接接缝工艺；
- (3) 申请国家专利 3 项；
- (4) 提出湿陷性黄土地区桩板式路基设计准则；
- (5) 提交项目研究报告 1 份。

5.其他考核指标

- (1) 开展媒体宣传报道 3 次；
- (2) 技术交流 1 次；
- (3) 培训从事技术创新服务人员 5 人次。

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 第二季度	工作内容：开展西北湿陷性黄土地区的区域沉降差异调研，分析桩板结构受力与协同变形特征，分析不均匀沉降下的变形释放，研究刚度突变区域的桩板结构关键构造设计依据。 阶段性成果：整理调研与分析结果。
2026 年 第三季度	工作内容：建立桩板结构全桥有限元模型，分析板-桩-土的受力与传力路径，确定桩板结构体系受力与变形特征。 阶段性成果：撰写学术论文 1 篇。
2026 年 第四季度	工作内容：（1）基于依托工程建立桩板结构单体模型，研究桩柱构件的受力行为，提出桩板结构关键构件设计依据。（2）对原端板进行改造，研究预埋套筒+插销连接方式，为湿陷性黄土区域管桩精确快速连接提供新的连接方法及依据。 阶段性成果：学术交流 1 次。
2027 年 第一季度	工作内容：开展工程原位试验，监测桩板结构受力与变形特征，研究桩板结构受力与协同变形行为，提出适用于湿陷性黄土地区的桩板结构设计建议。 阶段性成果：撰写学术论文 1 篇。
2027 年 第二季度	工作内容：基于依托工程，开展预成孔植桩工法试桩，考虑成孔工艺、灌浆料、接桩、沉桩、质量控制等参数，总结施工各环节控制要点及工艺参数，指导项目施工。 阶段性成果：申报国家专利 1 项。
2027 年 第三季度	工作内容：以梁板-桩柱连接节点为研究对象，建立精细化局部模型，考虑车辆荷载、湿陷性黄土地基不均匀沉降等，对比分析不同刚度预制梁板与桩柱的连接节点下的传力与变形行为，提出耐损、可靠的节点优化构造形式。 阶段性成果：撰写学术论文 1 篇。

2027 年 第四季度	工作内容：开展不同沉降条件下桩板结构形式的适宜技术方案研究，提出与不同湿陷厚度相匹配的优选结构形式、地基处理及湿陷性消除措施，通过技术经济性分析进行桩板结构的适应性评价。 阶段性成果：申报国家专利 1 项。
2028 年 第一季度	工作内容：编制预制桩板式结构施工指南，明确施工工艺流程、质量控制要点、质量检验及验收标准，指导桩板结构管桩高质量快速精准施工。 阶段性成果：撰写学术论文 1 篇、申请国家专利 1 项。
2028 年 第二季度	整理项目成果，结题。

四、项目经费

项目总经费：149.68 万元

交通运输厅补助：49.68 万元

自筹资金：100.00 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	124.68	41.18
1. 设备费	3	1
(1) 购置设备费	0	0
(2) 试制设备费	0	0
(3) 设备改造与租赁费	3	1
2. 业务费	86.68	29.18
(4) 材料支出	22	7
(5) 测试化验实验加工支出	34	12
(6) 燃料及动力支出	1	0
(7) 差旅支出	12.68	4.68
(8) 会议支出	5	1
(9) 国际合作与交流支出	2	1
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	10	3.5
(11) 其他支出	0	0
3. 劳务费	35	11
(12) 劳务性支出	27.5	8.5
(13) 咨询专家支出	7.5	2.5
(二) 间接费用	25	8.5
4. 管理费	15	4.5
5. 绩效支出	10	4
合 计	149.68	49.68

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）	3
		（1）授权发明专利	
		（2）实用新型	3
		（3）外观设计	
		2.软件著作权授权数（项）	
		3.发表论文（篇）	4
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其他	4
		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	
		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）	
		（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	
		（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	否
		(2) 中试(样品样机)	否
		(3) 小批量	否
		(4) 规模化生产	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	1
		3. 培训从事技术创新服务人员(人次)	5
		4. 是否设立科研助理岗位	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)	50
		3. 新增出口创汇(万美元)	
		4. 新增利润(万元)	
	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	装配化快速施工节能, 降低碳排放不低于 10%。
		10. 环保效益	节约征地、填土方量不低于 70%。
其他需要说明的情况	无		

六、承担单位或研究人员分工

1、陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司

项目申请单位为陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司（简称建设管理公司），成立于 2021 年 3 月，是陕西交通控股集团有限公司权属二级单位，公司对集团公司授权的新建、改扩建特许经营等交通基础设施工程项目实施全面管理。公司本部位于西安市唐延路 6 号。公司内设综合管理部、党群工作部、建设管理部、财务审计部、科技质量部（安委办）、市场开发部 6 个部门，共管理 5 个在建项目管理处、7 个 SPV 公司、2 个在建项目组、6 个经营性公司、9 个区域市场开发中心、9 个已通车未竣工项目管理处及 1 个技术咨询委员会、1 个项目收尾中心。现有职工 475 人，其中博士 8 人、硕士 151 人；中级以上职称占总数 75.4%，其中正高级职称 19 人、高级职称 193 人。交通运输部青年科技英才 2 人，陕西省中青年科技创新领军人才 1 人；获评全国五一劳动奖章 2 人、省五一劳动奖章和省级劳模 6 人。多年来，简称建设管理公司先后投资建设 50 余条高速公路，建成高速公路里程超过 5600 公里，修建了陕西第一条高等级公路西三一级公路、西部地区第一条高速公路西临高速公路和第一条沙漠高速公路榆靖高速公路，建成了 18.02 公里长的规模世界领先的秦岭终南山特长隧道、工程规模世界第一的秦岭天台山双向六车道公路隧道群、桥梁高度国内领先的三水河特大桥（183 米）等一批典型工程。获得国家优质工程奖 18 项、中国建设工程鲁班奖 3 项、中国土木工程詹天佑奖 3 项、公路交通优质工程奖 4 项、陕西省建设工程长安杯奖 19 项、

全国公路水运建设“平安工程”冠名项目 9 个。坚持创新驱动和交通强国战略，开展原创性、前沿性科技攻关，固化形成一批成套关键技术成果。已发布实施交通运输部行业标准 2 项、陕西省地方标准 35 项，取得国家知识产权局专利证书 47 项，计算机软件著作权登记证书 25 项。获得国家科技进步奖一等奖 1 项、二等奖 3 项，陕西省科技进步一等奖 3 项、二等奖 25 项、三等奖 33 项，中国公路学会特等奖 3 项。

2、长安大学

长安大学公路学院拥有土木工程一级学科和桥梁与隧道工程二级学科博士学位授予权，受到国家双一流大学、“985 工程”优势学科创新平台、国家“211 工程”和教育部重点资助。拥有桥梁结构安全技术国家工程实验室、公路大型结构安全教育部工程研究中心、旧桥检测与加固技术交通行业重点实验室、桥梁与隧道陕西省重点实验室等 4 个国家和省部级重点实验室（工程研究中心），并具有一支稳定的科研和试验队伍。拥有正版 ANSYS、MARC、MIDAS 等大型有限元分析软件。

3、陕西省交通规划设计研究院有限公司

于 1958 年由交通部公路勘察设计院第五分院体制下放改组成立。2021 年 5 月，由全民所有制企业改制为有限责任公司，进入陕西交通控股集团，隶属陕西交控科技发展集团，是陕西交通战线上家集勘察、设计、施工、科研于一体大型综合性勘察设计国有企业。在波澜壮阔的交通事业发展进程中，公司致力服务陕西交通发展，忠实扮

演陕西交通建设“排头兵”、“先锋队”角色，为陕西乃至全国公路交通基础设施建设作出了积极贡献，公司承担了全省 85%以上高速公路项目的工程可行性和 70%以上高速公路项目的勘察设计工作；累计完成等级公路工程可行性研究 2.04 万公里，等级公路勘察设计 1.828 万公里（其中高速公路、一级公路 7709 公里），大中型桥梁 4410 座，隧道 614 座（单洞），房屋建筑 290.388 万平方米，国家重点高速公路项目代部咨询审查 5674 公里。2009 年被认定为陕西省高新技术企业，2014 年被交通运输部指定为国家重点公路工程设计审查咨询单位，2022 年入选国家“科改示范企业”名单。公司现有职工 612 人，其中硕士研究生以上学历 288 人，正高级职称 44 人，高级职称 288 人，中级职称 144 人，各类注册人员 173 人，国务院特贴专家 1 人，陕西省勘察设计大师 1 人，陕西省优秀勘察设计师 3 人，陕西省交通运输行业十佳设计师 6 人。在已完成的勘察设计项目中，先后荣获国家优秀设计、优质工程、优秀咨询成果、詹天佑土木工程等省部级以上奖项 220 项；依托重点勘察设计项目取得的科研成果，分别荣获交通部科技进步奖、陕西省科学技术奖等奖项 26 项，取得发明专利和实用新型专利 253 项，软件著作权 40 项。

七、项目参加人员表

项目承担单位：陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司						
参与单位（排序）：长安大学、陕西省交通规划设计研究院有限公司						
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
1	宋剑	1972.01	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司	正高级	桥梁工程	项目负责人
主要研究人员						
2	覃春辉	1974.04	陕西省交通规划设计研究院有限公司	正高级	道路工程	项目总体策划
3	王永锋	1982.03	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司	副高级	桥梁工程	技术负责人
4	石永飞	1979.07	陕西省交通规划设计研究院有限公司	正高级	路基路面	技术指导
5	李耀国	1983.08	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司	副高级	交通工程	现场调研指导

6	刘建梅	1975.02	陕西省交通规划设计研究院有限公司	正高级	桥梁工程	项目总体负责	刘建梅
7	任 权	1982.02	陕西省交通规划设计研究院有限公司	正高级	道路工程	项目方案策划	任权
8	王春生	1972.02	长安大学	教授	桥梁工程	分项负责人	王春生
9	段 兰	1985.03	长安大学	副高级	桥梁工程	分项负责人	段兰
10	张培杰	1990.11	长安大学	讲师	桥梁工程	结构测试与分析	张培杰
11	韩 飞	1991.07	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司	副高级	道路工程	现场试验及工程应用	韩飞
12	司邵东	1990.07	陕西省交通规划设计研究院有限公司	副高级	桥梁工程	方案实施及设计方案	邵东
13	郭 亮	1991.08	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司	工程师	交通工程	测试与计算分析	郭亮
14	孔凡云	1996.10	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司	助理工程师	交通工程	数值模型计算	孔凡云
15	刘 松	1997.02	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司	助理工程师	桥梁工程	报告整理	刘松

八、信息表

项目合同编号		25-09K		密级	/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部				
项目名称		湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究									
项目实施所在地		陕西省咸阳市		起止年限	2016 年 3 月至 2018 年 4 月						
总 经 费		149.68 万元		厅 拨		49.68 万元					
第一承担单位	单位名称	陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司									
	所在地	陕西省（西安市 雁塔区）						代码	610113		
	通讯地址	陕西省西安市雁塔区唐延路 6 号						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	91610113MAB0RU4G29		
参与单位	序号	单 位 名 称									
	1	长安大学									
	2	陕西省交通规划设计研究院有限公司									
	3	建华建材（陕西）有限公司									
项目负责人		姓 名	宋剑		性别 (1) 1.男 2.女		出生年份		1972.01		
		学 历	(1) 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	15667106028		电子邮箱		80800094@qq.com				
项目联系人		姓名	孔凡云		性别		女				
		联系电话	17742495497		电子邮箱		1790421343@qq.com				
项目组人数		15	高级	11	中级	2	初级	2	其他	6	
主要研究内容 (100 字以内)		本项目以湿陷性黄土地区高速公路改扩建为工程背景，以桩板式路基结构为研究对象，从结构受力行为、关键连接构造、适应性评价体系、施工关键技术与质量控制标准等方面开展装配化桩板式结构建造成套技术研究。									
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		AD	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：

负责人：（签字）

李涛

2016年3月16日

联系人：（签字）

张喆

电 话：029-88869067

陕西省交通运输厅

（公章）

合同乙方：（承担单位）陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司

单位负责人：（签字）

石磊

2016年3月16日

项目负责人：（签字）

王钢

电 话：17142495497

（公章）

财务负责人：（签字）

金磊

账 户 名：陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司

开户银行：中国建设银行股份有限公司西安南大街支行

账 号：61050186250000001895

陕西交通科研项目科研诚信 承诺书

项目承担单位及项目负责人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》的规定和科研项目合同书约定，保证所提交材料的真实性，确保自筹经费全额到位、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：陕西交通控股集团有限公司
建设管理分公司

项目负责人：



2026 年 3 月 16 日



项目编号：25-09K

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程
装配化桩板式结构建造成套技术研究

申请单位：陕西交通控股集团有限公司建设管理
分公司（盖章）

联系人：孔凡云

电话：17742495497



陕西省交通运输厅制

2025 年 12 月

应用技术、信息化类及软科学类

编写主要内容

一、项目研究的背景和必要性

近年来,中国车辆保有量持续快速增长,尤其是西北地区重要交通走廊的客货运输需求日益旺盛,货运车辆比例高、轴载大的特点使得公路承载负荷显著增加。中国西北地区广泛分布着湿陷性黄土、高烈度地震等多发不良地质条件,对公路路基的长期稳定与耐久性提出了更为严峻的挑战。在公路网络日益饱和、交通流量不断攀升的背景下,早期建设的高速公路已难以适应现阶段重载交通与湿陷性黄土地质环境的要求,路面损坏、路基沉降等问题日益凸显,实施改扩建成为保障运输安全、提升路网服务水平的紧迫任务。

传统改扩建工程多依赖土质路基,不仅需要大规模取土填方、征用大量土地,在西北地区更面临优质填料短缺、黄土湿陷处理复杂、施工周期漫长等现实困境。尤其在沿线村镇密集、耕地资源宝贵的区域,征地矛盾突出,环境保护压力大,传统施工方式的社会与环境成本日益升高。此外,在交通繁忙走廊进行封闭或半封闭施工,将进一步加剧区域交通拥堵,对经济运行和公众出行造成显著影响。因此,迫切需要一种能够适应重载交通、克服不良地质条件、节约土地资源、缩短施工周期并减少环境干扰的新型路基结构。

在这一现实需求推动下,桩板式结构作为一种具有高刚度、低沉

降、工厂化预制、快速装配化施工特点的创新方案，展现出突出的技术优势与应用潜力。该结构通过桩基将荷载有效传递至深层稳定土层，能较好克服湿陷性黄土等不良地基问题，并大幅减少对地表土体的依赖与扰动。其预制装配化施工模式，可显著缩短工期、减少现场作业面，有利于在不停运或少干扰的条件下实施改扩建，对于保障西北地区重要运输通道的畅通具有现实意义。

目前，桩板式路基结构在公路工程，尤其是湿陷性黄土区和大轴载交通条件下的应用尚处于探索阶段，设计理论、构造细节与长期耐久性等方面的研究仍不系统，制约了其规范化推广。因此，**针对西北地区复杂地质与重载交通特点，开展桩板式结构的关键技术研究，系统解决其设计、施工与性能评估中的科学技术问题**，对于提升高速公路改扩建工程的技术水平、推动交通基础设施绿色低碳发展、保障国家重要战略通道的安全畅通，具有重要的理论价值与工程现实意义。本研究将紧密结合实际工程（西永改扩建工程），为该新型结构的可靠应用与推广提供技术支撑。

二、前期科研及工作基础

1. 对项目领域国内外（省内外）研究现状，研究水平和发展趋势的分析和评价

1.1 国外研究现状

桩板式路基结构最早应用于铁路工程中，在 20 世纪 90 年代初期芬兰就在 Ermanninsuo 地区的一条铁路线上使用了桩板式路基结构[1]。因为此线路通过一片沼泽地，为了处理路基的沉降问题工程师

在该路段使用了将近 400 米的桩板式路基结构。桩板结构很好的控制了沼泽路段的工后沉降量,满足了列车高速运行的安全要求。但是在早期桩板式路基结构的设计理论和规范要求并不健全,此路段的桩板式路基结构在 2004 年发生了坍塌事故。在坍塌后的一年中对该路段进行了彻底的翻新修复,使用了尺寸更大的预制梁板和预制桩。

德国在修建纽伦堡至英格尔施塔特铁路线时也应用了桩板式路基结构[2],因为此线路要穿过一段地基由黏性土和沙粒组成的区域,这种地基土质沉降量大并具有膨胀性。为了确保该区域铁路路基的稳定性和减小路基的沉降变形,采用了桩板式路基结构,使该路段满足了列车安全、平稳、高速的运行条件。在荷兰阿姆斯特丹至比利时布鲁塞尔的铁路线中首次使用了预制管桩的桩板结构[3]。因为线路的部分区域位于海相沉积土地区,该地区土质极为柔软使用传统路基修建铁路无法达到列 300km/h 速度的运行安全标准。桩板式路基结构能有效控制路基的变形沉降,使轨道临界速度达到 500km/h 的使用标准。该路段使用了一联六跨的桩板式路基结构,横向桩间距 3m,全联长 26m。意大利米兰到都灵的铁路线上途经一段土壤污染区域,该区域有毒土层为 7m 厚。为了防止开挖土壤造成二次污染,此区域路段选择使用桩板式结构[4]。桩体采用塑性防腐材料包裹,桩顶与桥面固结形成稳定的整体结构。结构单联长 48~60m,横向桩间距为 6m,桥面宽为 6.5~8m。

国外较早的应用桩板式路基结构在各工程领域中。Pekka Toivola[5]等利用激光测试技术,使用应变计、加速度计等仪器对

Turku-Toijala 桩板结构路段进行监测。通过对现场监测数据进行分析,研究桩板结构的动力响应及沉降特点。研究表明了桩板结构的振动特性和沉降特性,还提出了要经常对结构进行检查维护才能保证结构长期安全的使用。Hans Bachmann[6]等制作了大比例的桩板结构实体试件,并对试件进行了循环加载试验。在对试件进行了大约五千万次的循环加载后结构仍然没有出现严重的裂缝损伤。试验结果表明桩板结构具有满足实际工程应用的承载能力、抗变形能力和抗疲劳性能。Reda M. Bakeer[7]等对过渡段路基结构的受力状况进行研究。通过分析布落锤式弯沉仪、步行部面仪、锥形透度计等设备测得的现场数据,发现过渡段路基结构因为地基填土的差异导致结构的变形不协调,从而使结构受力不均匀。Nick O' Riordan[8]等基于大量的现场实测数据,对桩板式路基结构在长期荷载作用下的沉降规律进行了阐述。P. G. van Duijnen[9]对荷兰某高速铁路的桩板式路基段使用Plaxis 3D 软件进行数值分析。分析结果表明桩板式结构可以有效的控制软土地区路基的沉降量。Arnoldas Norkus[10]等对试验数据进行分析,研究桩板式结构与土体之间的相互作用及群桩桩体端部在荷载作用下的承载能力和变形特点,并验证了已有的群桩承载力模型。Dohyun Kim[11]等利用桩板结构的刚度与土体之间耦合作用的分析方法对结构动力响应的理论计算结果进行验证。验证结果表明现场实测结果与理论计算结果较为吻合。Md. Shajib Ullah[12]等用解析法分析桩土之间的相互作用,把运动和惯性这两个相互作用的分量相结合,对桩土之间的动力响应进行计算。通过振动台模型试验获取地基

的动力响应数据, 结合试验数据对桩体抗阻函数进行估算。Mintaek Yoo[13]等基于有限元原理建立了动力荷载作用下的干砂中桩-土结构动力响应数值模型。通过对模型边界的模拟简化, 提升了模型计算分析的速度, 并用此模型进行不同条件作用下桩基础的动力响应参数研究。Volkan Isbuga[14]等采用 Fortran 语言编程对桩土之间的作用力进行研究, 分别对单根桩和土体进行数值求解来模拟桩土之间的相互作用, 并修正桩体变形的控制微分方程。George Anoyatis[15]等基于有限元原理建立了端承桩沉降的解析非线性连续体模型, 将桩体沉降及应力的模拟计算结果与 Winkler 模量的计算结果进行对比验证。

目前, 国外研究对桩板式路基结构的应用实践和工作性能开展了现场测试、模型试验与数值模拟, 验证了其工程有效性。然而, 研究成果较早、数量有限、地域特征显著, 不能照抄照搬, 仍缺乏指导湿陷性黄土地区的桩板结构设计与应用的系统研究。

1.2 国内研究现状

随着基础设施建设的快速发展, 桩板式路基结构在改扩建工程中应用不断增加, 多个地区、协会颁布了多项桩板式结构的标准、规范, 为桩板式结构的规范化与进一步应用提供了有效支撑[16-19]。国内首次应用桩板式路基结构是在遂渝铁路线无砟轨道综合试验段上[20]。该试验段区域的地基表层为松软土, 其下为基岩。为了有效控制此路段的工后沉降, 选用了桩板式路基结构。该结构由承载板与桩基组成, 板与桩完全固结, 轨道结构直接铺设在承载板上与其连接。

承载板的板厚为 0.6m, 板宽为 4.4m, 桩基直径为 1.2m, 采用双排桩布置, 横向桩间距为 2.5m, 纵向桩间距为 5m。本工程为一联 6 跨的结构形式, 单联长 30m, 联与联之间设有伸缩缝。

在郑西铁路客运专线中也使用了桩板式路基结构[21-22], 由于线路途径深厚松软土地区, 采用桩板式结构对地基进行处理, 减小地基的沉降量来满足列车高速运行的安全要求。此项目使用的是双排非埋式桩板结构, 结构布置在基床表层下方, 承载板上的基床表层使用 0.7m 厚级配碎石铺设。西南交通大学对该项目工程进行研究, 提出了非埋式桩板结构的适用地区。京津城际铁路为国内首条运行时速达到 300km/h 的高速铁路[23]。此铁路线全长为 120km, 其中有三处路段采用了桩板式路基结构, 用来解决地基工后沉降过大的问题。上部结构为 C40 混凝土现浇板, 下部结构的选用是根据每个路段的路况进行选择, 一些路段采用 CFG 桩, 一些路段采用钻孔灌注桩。安徽省的合肥绕城高速公路改扩建工程是国内首个将桩板式路基结构应用于公路工程中的项目。此项目使国内公路用桩板式路基结构的设计与应用不再空白, 对以后的相关工程起到了重要的指导作用。

针对湿陷性黄土的地质特点, 现有研究则侧重于水-力耦合作用下的桩-土系统响应, 湿陷性黄土中桩基负摩阻力的产生、分布和发展规律是研究热点。研究者们通过模型试验和现场测试, 进一步揭示了浸水范围、速率和土性参数对负摩阻力峰值及其中性点位置的影响[24-25]。这为准确预测桩板结构在湿陷过程中的沉降提供了理论依据。为消除或减小黄土湿陷性, 近年来的实践不仅限于传统的强夯、

挤密桩等地基处理方式，也探索了针对桩板结构下卧土体的改良技术。

随着桩板式路基结构在国内的应用越来越多，一些相关的理论研究也不断被提出。詹永祥[26-28]结合武广铁路线桩板结构路基的设计，探讨了桩板结构路基的设计原理及应用，发现桩板结构路基符合无砟轨道的使用标准，还能对边坡地段地基起到良好的加固作用，研究结果阐明了影响桩板结构路基的关键设计参数，为以后此类结构的设计提供参考。对桩板式路基结构进行了大比例动态模型试验，研究结构在循环加载下浸水前后的动力特性，试验结果表明桩板式路基结构浸水前的动应力小于浸水后的动应力并且随着路基深度的增加动应力逐渐减小。王鹏等[29]为解决新建道路下穿运营高铁影响控制难题，提出一种桩板结构下穿方案，并对数值模拟方法和监测方案、施工工艺开展研究，探索了桩板结构对既有高铁的变形的影响。

在仿真分析方面，高霞[30]基于 ABAQUS 软件建立斜坡桩板结构路基的有限元模型。研究了列车在动力荷载和静力荷载的共同作用下，不同桩间距离和桩长对边坡土体位移的影响。研究认为在斜坡路段使用桩板结构路基时，要精确合理的设置桩间距离和桩身长度，这样才能更好的发挥桩板结构的力学特性。马坤全[31]以某高速铁路桩板式路基为例，利用有限元软件 ANSYS 建立桩板结构-地基土体的空间模型，对铁路桩板式路基的动力特性进行研究。研究表明在列车高速运行下桩板式路基的动力响应较小，结构振动响应达到列车高速平稳运行的性能要求。肖宏[32]等对软土地区斜坡上的桩板式路基结构

在地震作用下的动力响应进行研究,采用 ABAQUS 软件建立桩-板-地基的三维空间模型,对模型加载地震波。研究结果表明在地震荷载作用下桩顶的位移最大,其动态变形为水平摇摆变形。桩板的连接部位是结构在地震荷载作用下的最不利位置。梁波[33]对桩板式路基结构进行有限元建模,模拟分析在动力荷载作用下结构的动力响应,研究地基处理的范围对桩体变形的影响。研究结果表明对结构下方范围宽 5 米、深 10 米的地基进行处理,能有效减少桩体的变形。王锦涛[34]使用 ANSYS 软件对桩板式路基的连接部位进行了建模。基于压弯理论分析了连接构造中的法兰盘、螺栓等部件的受力状况,指出通过安装加筋环可提高连接部位的受力性能,在套筒内设置螺栓头能加强灌浆料的锚固强度。董开业[35]基于实际工程对高速公路桩板式路基结构进行数值模拟,分析了结构在各工况作用下的受力状况并发现桩板的连接部位是控制整体结构稳定性的关键部位,对其进行设计时要多加注意。徐皓甜[36]以高速公路改扩建工程为背景,采用 ANSYS 软件建立桩板式路基的数值仿真模型。通过改变桥面厚度、桩间距等参数来研究桩板式结构的静力响应。研究结果指出了板厚的合理设计范围和桩间距的控制范围。李海滨[37]基于有限元软件 ABAQUS 建立了用于高速公路扩建的桩板式路基结构模型,通过改变管桩的类型来选出适应性更好的管桩类型。模拟对比后发现 PTC 桩和 CFG 桩的沉降量较小,并发现桩板式路基结构在高速公路扩建工程中的整体沉降量较小。刘军[38]等对桩板式路基结构的参数取值进行研究,通过建立 Midas civil 模型,并不断改变板厚、桩径等构件参数来分析桩板路

基结构的内力情况,从而优化各构件的参数取值,最终得到了结构各构件参数的最优取值范围。杨金栋等[38]依托实际工程采用 ABAQUS 建立桩板节点的精细化有限元模型得到节点的转动刚度,并采用 MIDAS/Civil 分别建立桩板完全固结和半刚性连接的两种全桥杆系模型进行比较分析。王呈金等[39]采用路基膨胀等效理论,开展室内土样膨胀试验与数值模拟,推导了路基在湿度场下膨胀关系式,对比分析了通过增设桩板结构整治前后钢轨、路基结构形变、应力分布以及桩板结构服役状态。

考虑到桩板结构与土体特性的密切相关性,采用试验研究具有充分的必要性。张浩[40]为了研究桩板式路基结构扩体预制桩的承载特性及荷载传递机制,在试验区对扩体预制桩进行静载试验,分析试验数据。研究表明预制桩的承载能力随着直径的增长得到显著提高,但直径大小不会对管桩的荷载传递机制产生改变。陆万富[41]详细的讲解了高速公路桩板式路基结构的施工工艺流程,强调了梁板及预制管桩的操作要点和安装原理,对梁板的类型及安装顺序进行了说明,并对施工中的质量控制和安全措施进行了强调,为以后此类工程的技术人员提供了施工参考依据。方正东[42]根据桩板路基的结构特点,针对实际设防烈度为 7 度区改扩建项目建立了空间动力计算模型,应用反应谱分析方法,研究结构在 E1、E2 地震作用下的地震反应,并对 E1、E2 地震作用下的抗震性能进行了验算,桩板连接接头、桥墩 PRC 管桩、桩基 PHC 管桩的抗剪承载力和抗弯承载力均满足抗震设计要求,结构均处于线弹性工作状态,基本无损伤。刘亚军[43]

针对西安少陵塬黄土地区存在较厚钙质结核坚夹层, 预制管桩穿越该土层存在较大困难。针对这一问题, 结合实际工程案例, 对普通高强度预应力管桩(C80)在该类地区的应用进行多方案试验。经多方案对比分析, 提出采用静力压桩及超高强预应力管桩(C105)+长螺旋引孔的方案。陈俊[44]等以改扩建项目为依据, 基于ANSYS有限元软件建立结构模型, 研究独立墩柱桩板结构的受力与变形情况, 通过调整荷载形式建立27个工况, 对比各工况下应力、变形变化情况, 表明在恒载和车辆荷载作用下对于旧路基段磨损情况较为明显。林宇亮等[45]以膨胀土为对象, 依托湖北当阳4970铁路专用线的膨胀土滑坡整治工程开展现场试验, 研究加筋土边坡的潜在滑动面的位置分布, 并将实测潜在滑动面与根据加筋土挡墙理论方法确定的滑动面进行对比。

近年来, 随着桩板式结构应用范围的扩大, 对其潜在病害分析、结构监测和施工控制的研究日益深入。学者们开始利用长期监测数据和精细数值模拟揭示病害机理。张浩等[46]基于现场试验研究了扩体预制桩的承载特性, 分析了桩-土界面的力学行为并明确其失效直接影响上部板结构。周聪等[47]依托安罗高速罗山-豫鄂省界段桩板路基结构工程, 开展了桩板结构轻量化健康监测技术研究, 分别对桩板结构上部板梁竖向位移、下部桩柱竖向位移以及桩板连接处桩顶倾斜位移进行了动态监测和分析

1.3 国内应用情况

依托前期相关项目工作经验, 已总结出部分较高适用度的课题资

料,并且收集到了国内外设计与施工、改扩建技术相关资料,对课题研究有着重要的参考意义。依托工程项目具有较高的代表性,可有效体现出改扩建工程中桩板式路基的主要工程特性,应用效果显著。

从全国高速公路建设项目预制桩板式结构的应用情况(如表1)来看,新建工程应用范围较广,总应用里程约17.86km,最长应用在合肥至枞阳段(长度12.98km);而改扩建工程应用6.85km,最长在合安高速改扩建工程(长度2.02km)。

表1 全国部分高速公路改扩建项目工程信息

序号	项目名称	新建/改扩建	应用里程	实施阶段
1	合肥绕城高速陇西至路口段改扩建工程	改扩建	0.24km	已通车
2	合肥绕城高速龙塘收费道口改扩建工程	改扩建	0.41km	已通车
3	合安高速改扩建工程	改扩建	2.02km	已通车
4	合宁高速改扩建工程	改扩建	0.294km	已通车
5	合芜高速公路改扩建工程	改扩建	1.69km	已通车
6	德州至上饶高速公路合肥至枞阳段	新建	12.98km	已通车
7	滁州至天长高速公路	新建	0.965km	已通车
8	河南上罗高速公路	新建	3.10km	已通车
9	G40沪陕高速公路合肥至大顾店段改扩建工程	改扩建	2.192km	施工图设计
10	湖北省武汉四环线北湖至建设段	新建	0.21km	正在施工
11	山西省祁离高速汾河桥桩板式路基	新建	0.336km	施工图设计
12	广东省湛江环城高速南三岛大桥	新建	0.27km	正在施工

G324 国道福清段位于福建省福州市,工程全长5.326km,其中3.92km采用装配式桩板结构,该项目采用植入法复合管桩基础技术,预制板3106片、预应力管桩5144根,达到了工期缩短50%、造价降低30%,并获13项国家专利的创新成果与工程效益;安罗高速豫冀省界至原阳段3标段位于河南省新乡市,工程左幅桥面铺装及右幅梁板安装段采用装配式桩板结构,该项目采用“博士帽”桩板连接专利技术,达到了形成省级工法、提升装配式施工效率的创新成果;项目名

青岛地铁6号线朝阳路站位于山东省青岛市，工程为车站主体结构，其中全段采用装配式桩板结构，该项目采用桩撑体系+大分块预制装配的技术特点，达到了建成全国首座桩撑体系装配式地铁车站的创新成果。可以看出，装配式板桩结构在应对公路改扩建、节约土地占用面积、提升建设效能方面具有充分优势，尤该方法产生的创新成果与经济效益为工程所在地带来了显著社会收益。

然而，装配化桩板式结构作为一种新型组合基础，虽有工期短、环保等优势，但面临设计理论不完善、连接节点薄弱、施工精度要求高、地质适应性差等多重挑战。尤其在西北地区湿陷性黄土区域，这些挑战更为突出：黄土具有遇水易湿陷、抗剪强度低、垂直节理发育且易产生陷穴的特性，现有设计理论未充分考虑该类地质条件下土体湿陷引发的附加应力与不均匀沉降，桩长、桩间距等关键参数优化缺乏针对性依据，导致结构设计或偏保守或存在安全隐患；连接节点薄弱问题因黄土湿陷带来的地基不均匀变形被进一步放大，传统连接方式在土体反复胀缩作用下易产生应力集中，引发节点开裂、渗漏，降低结构整体性；施工精度方面，黄土地区打桩过程中易受孤石、旧基础等地层障碍影响，桩体垂直度控制难度大，且降水施工可能诱发黄土湿陷，进一步影响桩体植入精度与承载板安装质量；长期耐久性则面临黄土地区雨水入渗易导致板下脱空、桩侧负摩阻力增大的问题，加速混凝土碳化与钢筋锈蚀，同时黄土湿陷产生的周期性水平推力也会加剧桩身裂缝发育。当前问题主要集中在连接节点可靠性、施工质量控制和长期耐久性三大方面，亟需结合西北地区湿陷性黄土特性开

展理论创新,针对性优化连接构造与施工工艺,通过工程实践积累数据,逐步形成适配该区域地质条件的技术体系与标准规范。

1.4 研究水平和发展趋势的分析和评价

在国内外相关研究基础上,本研究聚焦西北地区湿陷性黄土地质与高速公路改扩建的实际需求,系统开展“装配化桩板式结构建造成套技术”研究。围绕梁板与路基拼接技术、桩板式路基结构性能、桥面板湿接缝构造、动静载试验验证以及超高强度预应力管桩在湿陷性黄土地基中的应用等关键内容,本研究致力于形成从设计、制作到施工、检测的全链条技术体系。通过梁板与路基的可靠拼接技术,实现新旧结构的协调受力;借助湿接缝构造与超高强度管桩应用研究,提升装配化节点的耐久性与地基适应性;结合动静载试验,系统验证结构在长期重载交通下的服役性能。该研究不仅关注结构本身的力学行为,也重视工厂化预制、现场装配化施工与土地资源节约等工程实际问题的协同解决,体现了多环节集成、多目标优化的技术特点。

从发展趋势来看,当前该领域技术正从局部构件研究向整体系统构建深化,从通用结构向地质与场景适配方向演进。本研究的五个方向共同支撑这一转向:拼接技术与湿接缝研究着眼于装配化体系中的关键连接问题,结构性能与试验研究致力于建立性能导向的设计验证方法,超高强度管桩应用则针对湿陷性黄土地区的地基处理提出针对性方案。这些内容共同推动形成涵盖地质评估、标准化设计、预制装配、质量检测与长期性能评估的成套技术,响应了建筑业工业化、绿色化的发展要求。通过“设计-预制-装配”一体化,该技术有助于提

升工程品质、缩短工期，并降低对环境和既有交通的影响。

就该技术的当前发展水平而言，其在公路改扩建中的工程可行性已得到初步验证，但针对湿陷性黄土及重载交通条件的长期性能与精细化设计，仍需通过本研究进一步夯实。本研究开展的动静载试验与拼接构造研究，将为结构可靠性提供直接依据；超高强度预应力管桩的应用探索，有助于突破湿陷性黄土地基的处理瓶颈。这些工作旨在推动该技术从可行方案走向具备充分数据支撑、工艺可靠、经济合理的成熟工法，不仅可服务于西北地区类似工程，也可为其他面临土地制约、环保要求与交通干扰的公路建设项目提供技术参考，提升我国公路基础设施建设的整体技术水准与可持续发展能力。

2. 项目前期科研及现有工作条件

项目团队汇聚多家单位核心资源，形成全方位支撑体系。陕西交通控股集团有限公司（陕西交控）作为牵头单位，拥有足尺试验平台，可开展新旧路基拼接受力验证与预应力管桩特性测试，同步依托在建项目实施现场静动载试验与监测；其累计建成超 5600 公里高速公路的工程经验，为研究提供实践保障。长安大学公路学院依托“双一流”学科优势，建有 4 个国家/省部级重点实验室，配备 ANSYS、MARC 等大型分析软件，及非接触全场应变监测设备（DIC）、声发射设备（AE）等精密仪器，可精准捕捉结构动态响应与材料损伤。陕西省交通规划设计研究院有限公司（陕交规院）持有 29 项顶级资质，拥有数值仿真与模型试验系统，能实现桩板式路基力学行为模拟与现场勘察检测闭环，进一步完善了“室内试验-数值模拟-现场验证”的全链条支撑。

各单位项目参与人员累计发布行业/地方标准 20 余项，为技术规范落地提供依据。

依托工程保障方面，项目以福银高速（G70）西安至永寿改扩建工程为核心依托，该工程总长 79.099 公里，分两段采用不同六车道设计标准。研究靶段选定 K1755+700-K1757+320 段，全长 1.56 公里，原路基宽 29 米，改建后拓宽至 42.0 米，起终点均衔接挖方路段，平均填土高度 4.7 米，最大填土高度达 8.1 米，最小仅 0.9 米。该路段地基为Ⅲ级自重湿陷性黄土，湿陷土层厚度 15-16 米，地质条件典型且复杂，拟采用桩板式路基进行拼宽设计。此依托工程为湿陷性黄土地区路基拼接技术、桩板式结构性能等核心研究内容，提供了真实的工程场景、复杂的地质条件样本及具体的技术应用需求，可直接验证研究成果的工程适用性与可靠性。

已有研究基础方面，项目前期积累了深厚的技术与成果储备，相关研究项目涵盖本项目相关的多个关键领域：陕西交控宋剑团队主持“基于全寿命周期的公路空心板梁桥服役状态评估及性能提升技术研究”、“新型胶凝高强材料路面基层修筑技术研究”等，长安大学王春生团队完成“复杂荷载与环境下钢桥抗疲劳设计和维护关键技术”等项目，成果应用于 30 余项重大道路与桥梁工程；陕交规院覃春辉团队聚焦公路低碳与智慧交通技术研究，服务 20 余个省级项目。知识产权方面，各单位主要参与人员累计获国家专利 40 余项、软件著作权 20 余项，代表性成果包括《桥梁-滑坡长期健康诊断系统 V1.0》等，为本工程的技术转化奠定了基础。项目团队核心成员依托前期相

关研究,发表高水平学术论文多篇。人员配置上,34人核心团队结构合理,涵盖正高级职称6人、高级职称13人(含副高5人、高工8人),研究成员学历涵盖硕士、博士、研究生,专业覆盖桥梁工程、道路工程、岩土工程等领域,形成“资深专家领衔+中青年骨干支撑+技术人员执行”的稳定梯队。

参考文献

- [1] Han J, Huang J, Porbaha A. 2D Numerical Modeling of a Constructed Geosynthetic-Reinforced Embankment over Deep Mixed Columns[J]. Contemporary Issues in Foundation Engineering, 2005.
- [2] 张龙.高速铁路非埋式桩板路基结构变形机理及承载特性研究[D].兰州交通大学, 2014.
- [3] Frihauf W, Stoiberer H, Scholz M, Schmitt C. SSF engineering: earthwork construction for ballastless track on HSLs[J]. RTR Special, 2006, (9): 69-76.
- [4] Washburn A. Piled-slab searches[J]. Operations Research, 2006, 54(6): 1193-1200
- [5] Toivola P, Vesterinen A, Heiskanen M. Real Time Safety and Structural Stability Monitoring of a Reconstructed Concrete Slab Railway Embankment on a Soft Ground after its Collapse. Symposium "Keep Concrete Attractive", Budapest 2005: 1-6.
- [6] Bachmann H, Mohr W, Kowalski M. The Rheda 2000 Ballastless Track System [J]. European Railway Review, 2003, (1): 44-50.
- [7] Bakeer M, Shutt A, Zhong J, et al. Performance of Pile-Supported Bridge Approach Slabs[J]. Journal of Bridge Engineering, 2005, 10(2): 228-237.
- [8] Oriordan N. Ground engineering[J]. The arup journal, 2004, 1: 18-21.
- [9] Van Duijnen P G. Designing a bridge with Plaxis 3D tunnel[J]. Stabilization of vertical cut using soil nailing, 2005: 10-11.
- [10] Norkus A, Martinkus V. Experimental study on bearing resistance of short displacement pile groups in dense sands[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2019, 25(6).
- [11] Kim D, Jeong S. Comparative study of load distribution ratio of various piled raft foundations based on coupled stiffness matrix[J]. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 2019, 28(16).
- [12] Shajib U M, Hiroki Y, Shekhar G C, et al. On the verification of superposition method of kinematic interaction and inertial interaction in dynamic response analysis of soil-pile-structure systems[J]. Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 2018, 113: 522-533.
- [13] Kwon S Y, Yoo M. Evaluation of Dynamic Soil-Pile-Structure Interactive Behavior in Dry Sand by 3D Numerical Simulation[J]. Applied Sciences, 2019, 9(13).

- [14] Isbuga V. Modeling of pile-soil-pile interaction in laterally loaded pile groups embedded in linear elastic soil layers[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2020, 13(15): 121-127.
- [15] Anoyatis G, Mylonakis G. Analytical Solution for Axially Loaded Piles in Two-Layer Soil[J]. Journal of Engineering Mechanics, 2020, 146(3).
- [16] 中国建筑材料联合会,中国混凝土与水泥制品协会. 桩板式结构设计与施工技术规范: T/CBMF 331-2025, T/CCPA 692025[S]. 2025.
- [17] 广东省公路学会. 公路桥梁预应力混凝土管桩技术规程: T/GDHS 008-2023[S]. 2023.
- [18] 河南省市场监督管理局. 公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程: DB41/T 2314-2022[S]. 2022.
- [19] 中国建筑材料联合会,中国混凝土与水泥制品协会. 桥梁工程用预制混凝土管桩技术规程: T/CBMF 191-2022, T/CCPA 36-2022[S]. 2022.
- [20] 魏永幸. 客运专线无砟轨道桩-板结构路基[J]. 铁道工程学报, 2008, 04: 19-22.
- [21] 王应铭. 郑西高速铁路埋入式连续桩板结构的研究与应用[J]. 路基工程, 2010, (5): 75-77.
- [22] 朱传宁. 车站桩板结构的施工工艺及应用[J]. 铁道建筑技术, 2010, (9): 87-90.
- [23] 陈新建. 桩板结构在京津城际轨道路基工程中的应用[J]. 山西建筑, 2007, 33(3): 294-296.
- [24] 朱彦鹏,李芳川,成 栋,等. 湿陷性黄土场地中单桩承载力与负摩阻力试验研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2024, 41(06): 140-151.
- [25] 艾小平,吴亚平,舒春生,等. 降雨过程对兰州黄土中桩基负摩阻力的影响[J]. 土木建筑与环境工程, 2018, 40(5): 27-33.
- [26] 詹永祥,蒋关鲁,牛国辉,等. 桩板结构路基动力模型试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(8): 6.
- [27] 詹永祥,蒋关鲁,魏永幸. 桩板结构路基沉降影响因素的有限元分析 [J]. 路基工程, 2007(03): 12-14.
- [28] 詹永祥,蒋关鲁,牛国辉,郭建湖. 武广线高边坡陡坡地段桩板结构路基的设计理论探讨[J]. 铁道工程学报, 2007(S1): 94-96+101.
- [29] 王鹏,孟繁增,杨学林,等. 桩板结构下穿运营高铁影响评估与监测分析[J/OL]. 铁道勘察, 1-9[2025-12-19].
- [30] 高霞,肖宏,王洪刚. 高速铁路斜坡桩板结构路基稳定性影响因素分析[J]. 铁道标准设计, 2013(8): 5.
- [31] 马坤全. 高速行车条件下桩板结构-地基土系统的空间振动性能分析[J]. 铁道学报, 2013, 35(1): 8.
- [32] 肖宏,王洪刚. 斜坡软土路基上桩板结构地震响应分析[J]. 土木工程学报, 2014(S1): 8.
- [33] 梁波,邓剑辰. 桩板结构路基的动力响应分析[J]. 铁道学报, 2008, 30(5): 5.
- [34] 王锦涛. 超长连续公路桩板式路基结构力学性能研究[D]. 合肥工业大学.
- [35] 董开业. 公路桩板路基关键部位建模方法及受力研究[D]. 合肥工业大学.
- [36] 徐皓甜. 桩板式结构的承载与变形特性研究[D]. 东南大学.
- [30] 李海滨,柯胜旺,申艳军. 高速公路拓宽中桩类型优选与板桩适应性分析[J]. 郑州大学学报:工学版, 2017, 38(5): 6.
- [37] 刘军,李华寅,白永厚. 运用正交试验方法对桩板路基结构参数的优化分析[J].

- 中外公路, 2015, 35(5): 4.
- [38]杨金栋,邱俊峰,张杰,等.桩板节点刚度对装配式桩板结构受力性能的影响分析[J].福州大学学报(自然科学版),2025,53(03):327-334.
- [39]王呈金,裴彦飞,苏谦,等.基于桩板结构的既有高铁站场路基上拱成因及变形控制研究[J].铁道科学与工程学报,2025,22(01):13-24.
- [40]张浩,赵宇,王中,江磊,王伟.桩板路基结构扩体预制桩的承载特性试验研究[J].铁道科学与工程学报: 1-12.
- [41]陆万富.装配化无土桩板路基在改扩建高速公路中的应用研究 [J].安徽建筑,2020, 27(7): 2.
- [42]方正东,窦巍,张浩.桩板式路基结构抗震性能分析 [J]. 安徽建筑, 2021, 28 (12): 136-138.
- [43]刘亚军,冯浩然,程浩等.高强度预应力管桩在湿陷性黄土富集钙质结核地区的应用研究 [J]. 福建建筑, 2022, (04): 85-89.
- [44]陈俊,万水,付理想等.桩板式结构中新建结构与旧路基接触面有限元分析[J].中外公路,2023,43(06):37-43.
- [45]林宇亮,张震,周应华,等.膨胀土边坡桩板-加筋支护结构的工程特性试验研究 [J].中南大学学报(自然科学版),2025,56(09):3771-3782.
- [46]张浩,赵宇,王中,江磊,王伟.桩板路基结构扩体预制桩的承载特性试验研究[J].铁道科学与工程学报:1-12.
- [47]周聪,刘柳,朱飞,等.公路桩板结构轻量化健康监测设计与应用[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2025,43(08):108-112.

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题

本项目针对湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程需求,开展装配化桩板式结构建造成套技术研究,拟解决如下关键问题:

(1) 确定传力平顺、变形协同的桩板式路基关键拼接节点构造形式,攻克湿陷性黄土地区新旧基础受力与变形协同性不足、节点耐损性不足的技术难题。

(2) 构建湿陷性黄土地区桩板结构适用性评价技术体系,攻克桩板结构在西北湿陷性黄土地区应用的技术适用度、经济性等评判依据缺乏的技术难题。

(3) 建立桩板式路基结构快速施工技术 with 施工质量控制标准,攻克湿陷性黄土地区长桩定位准确性不足、现场连接效率不足等技术难

题。

2. 主要研究内容及实施方案

本项目以湿陷性黄土地区高速公路改扩建为工程背景，以桩板式路基结构为研究对象，从结构受力行为、关键连接构造、适应性评价体系、施工关键技术与质量控制标准等方面开展装配化桩板式结构建造成套技术研究，确定如下四项主要研究内容与实施方案。

研究内容 1：湿陷性黄土地区桩板结构受力行为研究

紧扣项目依托工程，开展桩板式路基整体结构的受力行为计算分析（图 1），分析梁板构件的几何尺寸、节段划分对纵、横向荷载传力的影响规律，分析不同刚度梁板构件对下部桩柱构件的荷载分配调节规律；考虑不同湿陷性土层厚度、桩径、桩间距，开展桩柱构件受力行为分析，提出适宜湿陷性黄土地区的桩柱设计建议。

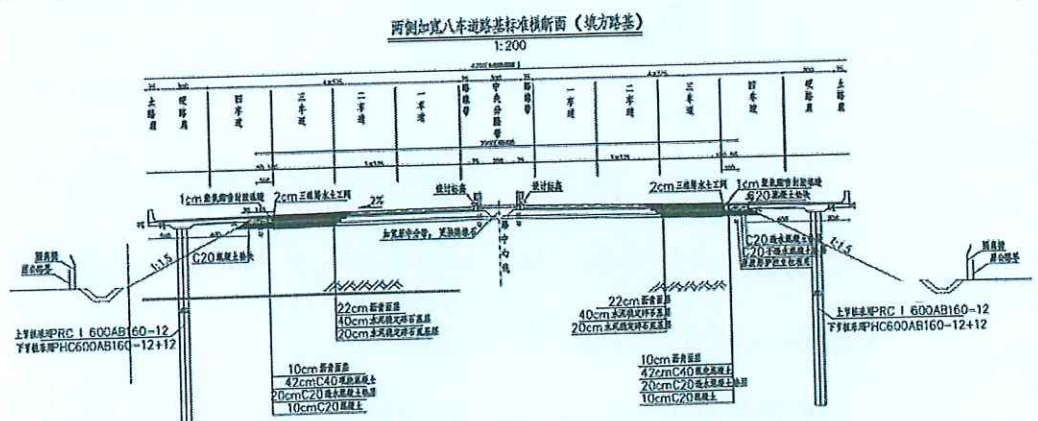


图 1 湿陷性黄土地区高速公路改扩建依托工程路基标准断面图

研究内容 2：桩板结构关键接头传力行为分析与构造优化

考虑湿陷性黄土地区不均匀沉降，开展不同刚度的预制梁板-桩柱连接节点受力与传力行为分析，提出梁板与桩柱连接节点的优化构造形式。

考虑新旧路基沉降差异作用,开展拼接段梁板与既有公路路基的连接拼接构造受力与变形协同性,提出优化的节点构造设计形式,提出梁板与路基连接的节点设计准则。

研究内容 3: 湿陷性黄土地区桩板结构的适应性评价

针对西北湿陷性黄土区域,分级量化湿陷厚度,开展桩板结构适应性与技术经济性分析,确定不同湿陷厚度地质条件下的适宜桩板结构形式,提出与湿陷厚度匹配的地基处理方式与湿陷性消除措施。

研究内容 4: 装配化桩板式路基结构快速施工技术与施工质量控制标准研究

考虑长桩精准定位、桩柱节段拼接可靠,开展湿陷性黄土区域的桩柱施工工艺研究,提出桩板结构的现场快速连接工法,构建桩柱结构施工质量检测与分析成套方法,提出相应的施工质量控制指标。

3. 技术路线

3.1 技术方案

本项目采用文献调研、工程原位试验、数值模拟与理论分析相结合的方法,开展湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程桩板式结构建造成套技术研究,具体实施方案如下:

研究内容 1: 湿陷性黄土地区桩板结构受力行为研究

采用数值模拟、工程原位测试、理论分析相结合的方法,开展湿陷性黄土地区桩板结构受力行为研究。

(1) 考虑扩建与既有路基的沉降差、桩间沉降差,建立桩板结构全桥有限元模型,分析板-桩-土的受力与传力路径,确定桩板结构

体系受力与变形特征。

(2) 基于依托工程, 建立桩板结构单体模型, 考虑不同刚度梁板分析下部桩柱的荷载分配调节作用, 考虑不同湿陷性土层厚度、桩径、桩间距等参数研究桩柱构件的受力行为, 提出桩板结构关键构件设计依据。

(3) 开展工程原位试验, 监测桩板结构受力与变形特征, 研究桩板结构受力与协同变形行为, 提出适用于湿陷性黄土地区的桩板结构设计建议。

研究内容 2: 桩板结构关键接头传力行为分析与构造优化

采用数值模拟方法与理论分析相结合的手段, 开展梁板-桩柱连接节点和新-旧路基拼接节点传力行为分析与构造优化研究。

(1) 以梁板-桩柱连接节点为研究对象, 建立精细化局部模型, 考虑车辆荷载、湿陷性黄土地基不均匀沉降等, 对比分析不同刚度预制梁板与桩柱的连接节点下的传力与变形行为, 提出耐损、可靠的节点优化构造形式。

(2) 以新旧路基拼接节点为研究对象, 建立拼接段梁板与既有路基的连接节点精细化模型, 基于湿陷性黄土区域不均匀沉降调研结果, 确定新旧路基沉降差异范围, 分析新旧路基拼接区域的受力与变形协同性, 提出传力平顺、变形协同的优化构造形式与设计准则。

研究内容 3: 湿陷性黄土地区桩板结构的适应性评价

采用工程调研、数值模拟、统计分析等相结合的方法, 开展西北湿陷性黄土地区桩板结构的适应性评价。

(1) 开展西北湿陷性黄土地区的区域沉降差异调研与统计分析,通过桩板式路基结构群模型,分析桩板结构受力与协同变形特征,分析不均匀沉降下的变形释放,提出桩板结构合理联长确定依据,确定填挖交界区域、桥头过渡段等刚度突变区域的桩板结构关键构造设计依据。

(2) 开展不同沉降条件下桩板结构形式的适宜技术方案研究,提出与不同湿陷厚度相匹配的优选结构形式、地基处理及湿陷性消除措施,通过技术经济性分析进行桩板结构的适应性评价。

研究内容 4: 装配化桩板式路基结构快速施工技术与施工质量控制标准研究

采用工厂化预制+现场装配化施工模式,改进预制桩结构连接构造,组织预成孔植桩工法试桩,编制预制桩板式结构施工指南,明确施工工艺流程、质量控制要点、质量检验及验收标准。

(1) 考虑施工精度控制及桩板式结构快速施工,管桩连接采用新型机械连接方式,对原端板进行改造,采用预埋套筒+插销连接方式,工厂加工生产,确保管桩接桩垂直度及精度控制,实现管桩快速连接,为湿陷性黄土区域管桩精确快速连接提供新的连接方法及依据。

(2) 考虑湿陷性黄土区域含有钙质结核致使设计桩长较长,导致直接沉桩困难、成桩质量难以把控,也直接影响桩身力学性能及工程质量控制,且施工速率慢、造价高。基于依托工程,开展预成孔植桩工法试桩,考虑成孔工艺、灌浆料、接桩、沉桩、质量控制等参数,

总结施工各环节控制要点及工艺参数,指导项目施工。

(3) 编制预制桩板式结构施工指南,明确施工工艺流程、质量控制要点、质量检验及验收标准,指导桩板结构管桩高质量快速精准施工。

3.2 工作流程

本项目采用文献调研、工程原位试验、数值模拟与理论分析相结合的方法,开展湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程桩板式结构建造成套技术研究,具体工作流程按照如图2技术路线图。

4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接

本项目研究成果将在依托工程“福银高速西安至永寿段改扩建工程”中实现直接应用与全面验证。该工程K1755+700-K1757+320试验段地处Ⅲ级自重湿陷性黄土区,平均填土高度达4.7米,是检验装配化桩板式结构解决“高填方、湿陷性、拼宽难”复合难题的标准场景,与本项目研究的湿陷性黄土地区工程背景高度契合。研究成果中关于新旧路基传力平顺、变形协同的拼接节点构造形式、梁板-桩柱优化连接方案、适配湿陷性黄土区的桩柱设计建议,以及长桩精准定位、现场快速连接工法与施工质量控制指标等核心技术,将直接优化该路段施工图设计,指导现场装配化作业实施。本研究将为我国陕西、甘肃、山西等黄土分布广泛省份类似高速公路改扩建工程中的推广奠定基础,为解决同类工程地基处理难题、控制工后沉降提供经过实践验证的完整技术方案。

本项目技术成果将深度衔接我国交通基础设施绿色化、工业化、

智能化转型升级需求，其价值超越单一工程应用。研究形成的“无土路基”装配化桩板式结构体系，可从根本上节约耕地资源，精准匹配基本农田保护区、城镇密集区改扩建工程的土地约束与环保要求，市场需求明确。

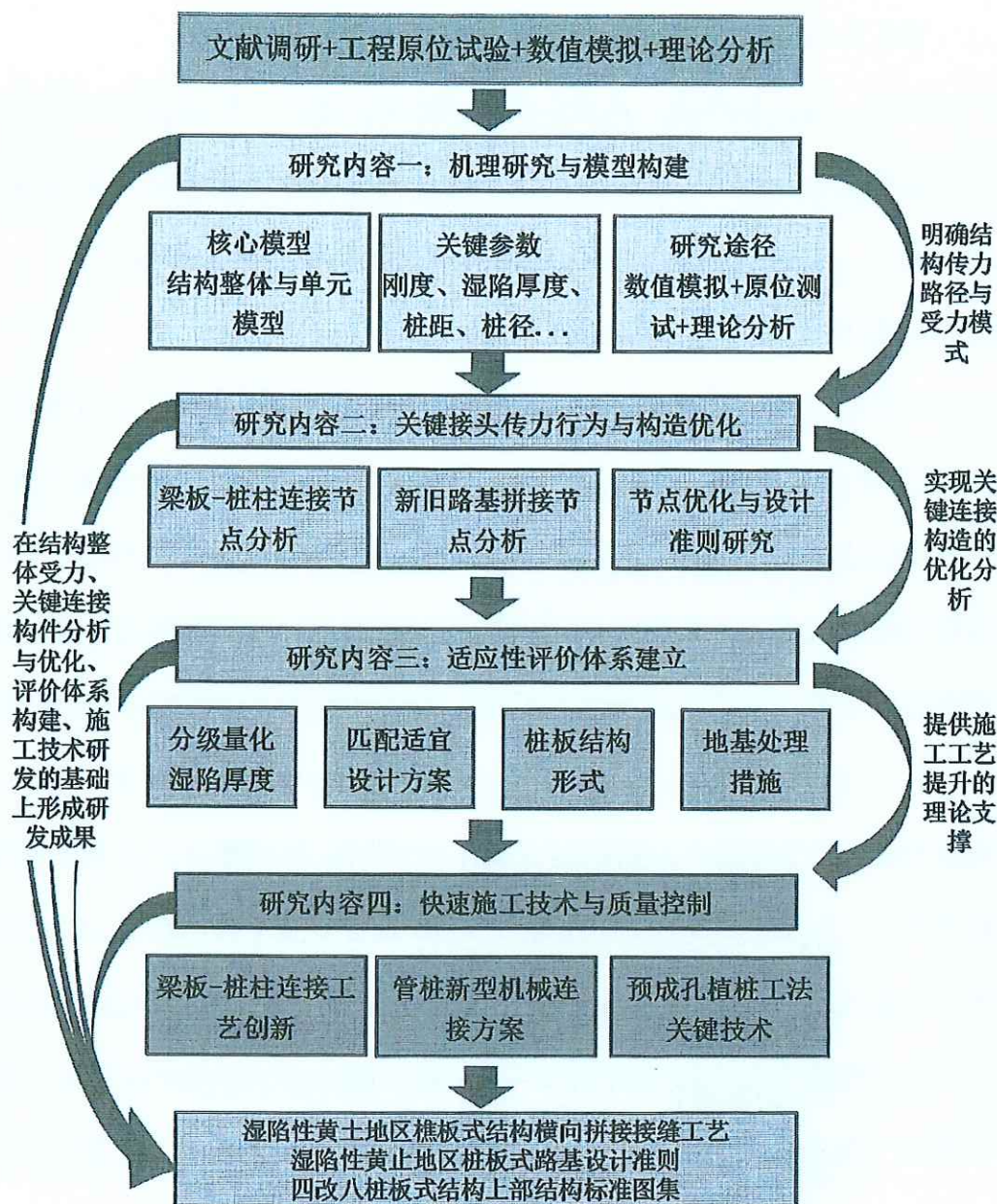


图 2 总体技术路线图

5. 有关技术经济指标

(1) 项目研究成果将提升湿陷性黄土地区桩板式路基结构设计与施工技术水平,可有效减少施工成本并提高工程质量,预计节约全寿命周期工程造价 5%。

(2) 项目所提出的技术方案将节约征地和取填土方量,有效节约土地资源占用,节约填土方量不低于 70%。

(3) 项目的装配化快速施工技术成果将有力推进工业化、规模化建设模式,预计缩短施工周期不低于 10%,降低环境污染和碳排放量。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

项目申请单位为陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司(简称建设管理公司),成立于 2021 年 3 月,是陕西交通控股集团有限公司权属二级单位,公司对集团公司授权的新建、改扩建特许经营等交通基础设施工程项目实施全面管理。公司本部位于西安市唐延路 6 号。公司内设综合管理部、党群工作部、建设管理部、财务审计部、科技质量部(安委办)、市场开发部 6 个部门,共管理 5 个在建项目管理处、7 个 SPV 公司、2 个在建项目组、6 个经营性公司、9 个区域市场开发中心、9 个已通车未竣工项目管理处及 1 个技术咨询委员会、1 个项目收尾中心。现有职工 475 人,其中博士 8 人、硕士 151 人;中级以上职称占总数 75.4%,其中正高级职称 19 人、高级职称 193 人。交通运输部青年科技英才 2 人,陕西省中青年科技创新领军人才 1 人;获评全国五一劳动奖章 2 人、省五一劳动奖章和省级劳模 6 人。

多年来, 简称建设管理公司先后投资建设 50 余条高速公路, 建成高速公路里程超过 5600 公里, 修建了陕西第一条高等级公路西三一级公路、西部地区第一条高速公路西临高速公路和第一条沙漠高速公路榆靖高速公路, 建成了 18.02 公里长的规模世界领先的秦岭终南山特长隧道、工程规模世界第一的秦岭天台山双向六车道公路隧道群、桥梁高度国内领先的三水河特大桥(183 米)等一批典型工程。获得国家优质工程奖 18 项、中国建设工程鲁班奖 3 项、中国土木工程詹天佑奖 3 项、公路交通优质工程奖 4 项、陕西省建设工程长安杯奖 19 项、全国公路水运建设“平安工程”冠名项目 9 个。坚持创新驱动和交通强国战略, 开展原创性、前沿性科技攻关, 固化形成一批成套关键技术成果。已发布实施交通运输部行业标准 2 项、陕西省地方标准 35 项, 取得国家知识产权局专利证书 47 项, 计算机软件著作权登记证书 25 项。获得国家科技进步奖一等奖 1 项、二等奖 3 项, 陕西省科技进步一等奖 3 项、二等奖 25 项、三等奖 33 项, 中国公路学会特等奖 3 项。

长安大学公路学院拥有土木工程一级学科和桥梁与隧道工程二级学科博士学位授予权, 受到国家双一流大学、“985 工程”优势学科创新平台、国家“211 工程”和教育部重点资助。拥有桥梁结构安全技术国家工程实验室、公路大型结构安全教育部工程研究中心、旧桥检测与加固技术交通行业重点实验室、桥梁与隧道陕西省重点实验室等 4 个国家和省部级重点实验室(工程研究中心), 并具有一支稳定的科研和试验队伍。拥有正版 ANSYS、MARC、MIDAS 等大型有限元分

析软件。

陕西省交通规划设计研究院有限公司，于 1958 年由交通部公路勘察设计院第五分院体制下放改组成立。2021 年 5 月，由全民所有制企业改制为有限责任公司，进入陕西交通控股集团，隶属陕西交控科技发展集团，是陕西交通战线上集勘察、设计、施工、科研于一体的大型综合性勘察设计国有企业。在波澜壮阔的交通事业发展进程中，公司致力服务陕西交通发展，忠实扮演陕西交通建设“排头兵”、“先锋队”角色，为陕西乃至全国公路交通基础设施建设作出了积极贡献，公司承担了全省 85%以上高速公路项目的工程可行性研究和 70%以上高速公路项目的勘察设计工作；累计完成等级公路工程可行性研究 2.04 万公里，等级公路勘察设计 1.828 万公里（其中高速公路、一级公路 7709 公里），大中型桥梁 4410 座，隧道 614 座（单洞），房屋建筑 290.388 万平方米，国家重点高速公路项目代部咨询审查 5674 公里。2009 年被认定为陕西省高新技术企业，2014 年被交通运输部指定为国家重点公路工程设计审查咨询单位，2022 年入选国家“科改示范企业”名单。公司现有职工 612 人，其中硕士研究生以上学历 288 人，正高级职称 44 人，高级职称 288 人，中级职称 144 人，各类注册人员 173 人，国务院特贴专家 1 人，陕西省勘察设计大师 1 人，陕西省优秀勘察设计师 3 人，陕西省交通运输行业十佳设计师 6 人。在已完成的勘察设计项目中，先后荣获国家优秀设计、优质工程、优秀咨询成果、詹天佑土木工程等省部级以上奖项 220 项；依托重点勘察设计公司取得的科研成果，分别荣获交通部科技进步奖、陕西省

科学技术奖等奖项 26 项，取得发明专利和实用新型专利 253 项，软件著作权 40 项。

建华建材（陕西）有限公司是目前建华建材集团在中国西北部建立的唯一一家生产基地，规划建设六条管桩生产线。公司第一期工程计划于 2016 年 10 月动工，年生产能力达 400 万米，年产值约 4 亿元人民币，用工 700 人。2018 年公司完成六条生产线投产后，年生产能力可达 1200 万米，年产值达 10 亿元人民币以上，年纳税可以达到 6000 万元人民币。

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
宋 剑	陕西交通控股集团 有限公司建设 管理分公司	男	52	正高	桥梁工程	项目负责 人
覃春辉	陕西省交通规划 设计研究院有限 公司	男	50	正高	道路工程	总体策划 人
王永锋	陕西交控西曲改 扩建管理处	男	42	副高	桥梁工程	项目技术 负责人
石永飞	陕西省交通规划 设计研究院有限 公司	男	44	正高	路基路面	总体技术 指导
李耀国	陕西交控西曲改 扩建管理处	男	41	副高	交通工程	现场调研
刘建梅	陕西省交通规划 设计研究院有限 公司	女	48	正高	桥梁工程	项目总体 负责人
任 权	陕西省交通规划 设计研究院有限 公司	男	42	正高	道路工程	方案负责 人

韩 飞	陕西交控西曲改扩建管理处	男	38	副高	道路工程	理论分析
贾 磊	陕西交控西曲改扩建管理处	男	38	工程师	信息化	现场调研
司绍东	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	33	高级工程师	桥梁工程	结构计算负责人
王春生	长安大学	男	51	教授	桥梁工程	分项负责人
段 兰	长安大学	女	39	高工	桥梁工程	分项负责人
马 凯	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	42	高级工程师	桥梁工程	分项负责人
孙继红	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	50	高级工程师	道路工程	路基沉陷研究
张培杰	长安大学	男	36	讲师	桥梁工程	结构测试与分析
米 瑞	陕西省交通规划设计研究院有限公司	女	39	副高	道路工程	分项负责
孙乾锋	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	45	正高	道路工程	理论研究
吴 拓	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	32	高级工程师	桥梁工程	设计图纸绘制
吴平平	珠海市交通勘察设计有限公司	男	45	正高	桥梁工程	试验分析
郭 平	陕西交控绿科环保有限公司	男	44	正高	公路工程	实践研究
张 雷	陕西交控绿科环保有限公司	男	45	高工	公路工程	实践研究
王文渊	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	31	工程师	桥梁工程	报告撰写
李 娜	陕西省交通规划设计研究院有限公司	女	42	工程师	桥梁工程	报告撰写
韩学峰	陕西省交通规划设计研究院有限公司	女	43	高级工程师	道路工程	路基排水分析

郭 亮	陕西交控西曲改扩建管理处	男	34	工程师	交通工程	项目实践
孔凡云	陕西交控西曲改扩建管理处	女	29	助理工程师	交通工程	项目实践
丁 勋	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	39	高级工程师	道路工程	路基沉陷测试
吕晓云	陕西省交通规划设计研究院有限公司	女	27	工程师	道路工程	数值模拟分析
慕浪浪	建华建材（陕西）有限公司	男	33	工程师	岩土工程	现场试验分析
谭政军	长安大学	男	28	博士研究生	桥梁工程	模型计算
李 熙	长安大学	女	25	博士研究生	桥梁工程	模型计算
纪仁杰	长安大学	男	23	硕士研究生	桥梁工程	测试与分析
唐裕钧	长安大学	男	21	硕士研究生	桥梁工程	测试与分析
杨秋艳	长安大学	女	21	硕士研究生	桥梁工程	测试与分析
杜宇	长安大学	男	21	硕士研究生	桥梁工程	测试与分析

3. 各自承担的主要工作

陕西交通控股集团有限公司建设管理分公司作为项目主持单位，承担统筹协调与保障类工作，具体工作内容如下：

- （1）负责课题不同阶段的对外协调及总体协调工作，保障各参研单位间协作顺畅，为研究工作及时提供资金支持；
- （2）负责提供工程原位试验加载设施、协调工程原位试验场地、配合工程现场测试工作，解决研究落地的基础保障问题；
- （3）承担项目后期应用成果监测与应用价值调查工作，跟踪技术在工程中的实际应用效果，为成果优化提供实践依据。
- （4）基于项目研究成果，在中文核心及以上期刊发表论文 1 篇。

长安大学是项目的主要参与单位,聚焦核心研究内容开展技术攻关与成果汇总,具体工作内容如下:

- (1) 负责研究内容 1, 承担研究内容 1 中桩板式路基整体结构的受力与传力研究, 开展桩柱构件受力行为研究;
- (2) 负责研究内容 2, 承担研究内容 2 中的梁板-桩柱连接节点受力与传力行为研究;
- (3) 参与研究内容 3, 承担研究内容 3 中不同湿陷厚度地质条件下的适宜桩板结构形式与关键拼接构造研究;
- (4) 基于项目研究成果, 在中文核心及以上期刊发表论文 2 篇;
- (5) 参与项目组织管理, 负责项目各阶段技术成果与文件汇总。

陕西省交通规划设计研究院有限公司是项目的主要参与单位,负责专项技术与工程应用转化,具体工作内容如下:

- (1) 负责研究内容 3, 承担研究内容 3 中调研西北湿陷性黄土区域的地质参数调研, 负责桩板结构适应性与技术经济性分析研究, 负责与湿陷厚度匹配的地基处理方式与湿陷性消除措施研究;
- (2) 参与研究内容 2, 承担研究内容 2 中拼接段梁板与既有公路路基的连接拼接构造受力与变形协同性研究, 开展梁板与路基连接的节点设计准则研究;
- (3) 负责课题研究成果在依托工程点位中的图纸设计和优化工作, 负责协调工程原位试验场地与试验加载设施、配合工程现场测试工作, 推动技术成果实践落地与推广应用;
- (4) 基于项目研究成果, 在中文核心及以上期刊发表论文 1 篇、申

请国家专利 1 项。

建华建材（陕西）有限公司是项目的主要参与单位，负责专项技术与工程应用转化，具体工作内容如下：

- （1）负责研究内容 4，承担装配化桩板式路基结构快速施工技术与施工质量控制标准研究，负责湿陷性黄土区域的桩柱施工工艺研究，负责桩板结构的现场快速连接工法、桩柱结构施工质量检测与分析成套方法研究；
- （2）负责提供工程原位试验加载设施、协调工程原位试验场地、配合工程现场测试工作；
- （3）负责研究成果的实践落地与推广应用；
- （4）基于项目研究成果，申请国家专利 2 项。

珠海市交通勘察设计院有限公司是项目的参与单位，具体工作内容如下：

- （1）提供技术支持，负责研究内容必要性把控和研究内容技术问题答疑；
- （2）负责依托工程设计图纸审查工作。

4. 项目主要负责人情况

项目主持人宋剑正高级工程师深耕交通基础设施领域科研与实践多年，在结构健康诊断、新型材料应用等方向形成核心技术优势。其主持的《基于全寿命周期的公路空心板梁桥服役状态评估及性能提升技术研究》，聚焦桥梁全生命周期安全管控痛点，构建了覆盖检测、评估、修复的全链条技术体系；《桥址滑坡治理评估及长期健康诊断

研究》为滑坡治理评估与桥梁-滑坡协同监测提供了有效的解决方案，建立的长期健康诊断系统有效避免桥梁次生灾害及人员财产损失，相关成果在依托工程中应用效果显著；《新型胶凝高强材料路面基层修筑技术研究》研发的低碳胶凝材料体系，通过大比例利用工业固废优化组分设计，既降低工程成本，又实现节能减排，制备的混凝土强度、抗裂性与耐久性均优于传统材料。在技术创新与成果转化方面，宋剑正高级工程师牵头或核心参与多项省部级科研项目。团队形成的专利、软件著作权等知识产权成果已实现工程转化，如《桥梁-滑坡长期健康诊断系统 V1.0》软件、《桥梁用梁体横向纠偏复位施工结构》等专利技术，在公路改扩建、灾害治理工程中发挥关键作用。研究成果已在西永曲太高速公路改扩建工程、陕南山区滑坡治理工程等 20 余项重大交通项目中成功应用，显著提升了工程结构安全性与耐久性。标准编制方面，作为核心起草人参与编制陕西省地方标准《水泥稳定建筑垃圾再生集料基层施工技术规范》（DB61/T 1150-2018），为区域公路工程标准化建设提供技术依据；主持或参与的多项技术成果获行业认可，其领衔的项目曾入选陕西省交通运输科学技术奖公示名单，个人荣获 2024 年陕西省五一劳动奖章。

项目主要参加人员长安大学王春生教授团队长期紧紧围绕桥梁多灾害损伤机理、韧性评估、安全维护与韧性提升等需求开展研究工作。王春生教授在中国率先提出了长寿命、强韧化桥梁的设计新理念，牵头组建了三秦英才特殊支持计划创新创业团队“长安大学桥梁疲劳断裂与复合灾害防治创新团队”和交通运输行业重点领域创新团队“桥

梁耐损性设计与安全维护技术创新团队”。项目组取得的研究成果已在川藏公路整治改建工程通麦特大桥、陕西禹门口黄河大桥、粤港澳大湾区狮子洋大桥等 30 余项重大工程中得到成功应用，主持编制交通运输部《公路钢结构桥梁疲劳监测评估与维护技术规范》，参与编制交通运输部《公路钢结构桥梁设计规范》、《公路工程结构可靠性设计统一标准》、《公路钢桥养护技术规范》，主持编制《高性能钢桥设计与制造技术规程》等地方及协会标准 7 部。

项目申请人陕西省交通规划研究院有限公司总经理覃春辉正高级工程师，西安市劳动模范。长期从事公路勘察设计、研发、EPC 总承包项目管理工作。参编行业标准《公路建设项目管理规范》编制，编写专著《公路工程设计施工总承包管理实施指南》。其主持的多项科研攻关项目，构建了规划、全流程技术体系，破解生态敏感区建设与环保协同难题，研发的低碳工艺使工程显著降低碳排放量；打造的智慧交通监测平台整合多技术，实现路段通行效率的有效提升、事故响应时间的大幅度缩短。牵头多项省部级科研项目，完善现有工程设计与管控方法，形成的专利、软件著作权等成果已落地转化，在全省交通规划、公路建设中发挥关键作用。研究成果已应用于“陕西省‘十四五’综合交通规划实施工程、陕北黄土高原生态公路建设工程”等 20 余项重大项目，提升了规划科学性与工程质量。并获得国家银质奖 1 次、陕西省优秀工程设计奖一等奖 1 次，二等奖 3 次，陕西省科技进步二等奖 1 次，陕西省交通运输科学技术一等奖 1 次。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

1. 依托工程（工作）概况

该课题研究将依托福银高速（G70）西安至永寿改扩建工程，既有福银高速六村堡立交至机场西立交 K1683+800~K1697+400 路线长度 13.6 公里，采用双向六车道高速公路设计标准，设计速度采用 120Km/h，路基宽度 35 米，第二段机场西立交至永寿南立交 K1697+400~K1762+900 路线长度 65.512 公里，采用双向非标准六车道高速公路设计标准，设计速度采用 120Km/h，路基宽度 29 米。改建后路线长度 79.099 公里。其中六村堡立交至咸阳北枢纽立交段 K1683+800~K1703+990，路线长度 20.185 公里，采用双向十车道，路基宽度 54 米；咸阳北枢纽立交至预留乾县东枢纽立交段 K1703+990~K1732+300，路线长度 28.304 公里，采用双向八车道，路基宽度 43.5 米；预留乾县东枢纽立交至永寿南立交段 K1732+300~K1762+900，路线长度 30.610 公里，采用双向八车道，路基宽度 42 米。全线设计荷载公路-I 级，其余技术指标均按照《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）执行。

本课题拟选择 ZK1756+061.000 ~ ZK1756+409.000、右幅 YK1756+051.260~YK1756+399.260 作为湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术的试点。本段路基长度 348 米，旧路路基宽 29 米，改建后路基宽 42.0 米，该段均为填方路基，路基平均填土高度 4.7 米，最大填土高度 8.1 米。地基为Ⅲ级自重湿陷性黄土，湿陷土层厚度 14~16 米。

2. 投资来源

本项目研究经费包括省交通厅补助（项目专项经费）及工程配套研究经费。其中交通运输厅补助用于支持前沿技术攻关与理论基础研究；项目依托工程—西永高速公路改扩建工程的业主单位配套科研资金，用于支撑直接服务于工程设计的应用技术研发与现场试验；参与研究的各高校、科研院所及企业单位使用经费用于其承担课题的研究支出、设备使用及人员投入。所有资金使用遵从统一管理、专款专用，确保经费使用的合规性与高效性，全力保障项目各阶段研究目标的实现。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

本项目科研工作将紧密围绕西永高速公路改扩建工程的实际进程展开，实现“科研引领设计、试验指导施工、监测验证成效”的深度协同。具体配合如下：在工程可行性研究与初步设计阶段，科研工作同步启动，重点开展桩板式结构选型、初步力学分析及关键构造（如梁板拼接、湿接缝）的概念设计，为工程设计提供理论依据与方案比选。在工程施工图设计与招投标阶段，科研将完成关键技术的深化研究与试验方案制定，明确设计参数、施工工艺及质量控制标准，直接写入招标文件与施工指南。在实体工程施工阶段，科研团队将进驻现场，结合路基处理、管桩施工、构件安装等关键工序，开展超高强度预应力管桩的沉桩工艺试验、桥面板湿接缝的现场浇筑与质量检测、以及梁板与路基拼接部位的施工监测，实现“边施工、边验证、边优化”。在工程完工及运营初期，科研工作重点转向桩板式路基的实桥原位测试与长期动静载试验，系统采集结构在重载交通下的长期性能

数据，评估其服役状态，并为未来养护决策提供依据。通过这种全过程嵌入式的科研模式，确保科研成果能够实时反馈并应用于工程实践，提升工程建设的科技含量与质量保障水平。

4. 组织管理形式

为确保项目高效实施，将成立层级清晰、权责明确的项目组织管理体系，项目组织管理实行“课题负责人制”。根据既定的研究内容分工：陕西交控西曲改扩建管理处负责梁板与路基拼接技术研究，陕西省交通规划设计研究院有限公司负责桩板式路基结构性能研究与应用及桥面板湿接缝研究，建华建材（陕西）有限公司与珠海市交通勘察设计院有限公司负责动静载试验研究与超高强度预应力管桩应用研究，长安大学则侧重基于实桥的原位测试与静动载试验验证。各课题单位需指定课题负责人，组建研究团队，严格按照任务书要求开展研究，并定期向项目管理办公室汇报进展。建立常态化的技术协调与数据共享机制，通过工程技术研讨会、年度总结及专题研讨会等形式，确保各课题间的紧密沟通与协同攻关。所有研究成果（包括数据、报告、专利、软件著作权等）将统一归档，知识产权归属及成果共享方式在项目启动前通过协议明确，以保障各方权益并促进成果的有效转化与应用。

六、项目经费估算及资金筹措情况

对经费估算及资金筹措情况说明，提供所需经费测算说明。

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	49.68	合 计	149.68	49.68	100
工程配套研究经费	100.0	1.设备费	3	1	2
单位自筹	0.0	（1）购置设备费	0	0	0
其他经费	0.0	（2）设备改造与租赁费	3	1	2
		2.业务费	86.68	29.18	57.5
		（1）材料费	22	7	15
		（2）测试化验实验加工费	34	12	22
		（3）燃料动力费	1	0	1
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	19.68	6.68	13
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	10	3.5	6.5
		（6）其他费用	0	0	0
		3.劳务费	35	11	24
		（1）专家咨询费	7.5	2.5	5
		（2）聘用人员劳务费	9.5	2.5	7
		（3）其他劳务费	18	6	12
		（二）间接费用	25	8.5	16.5
		4.管理费	15	4.5	10.5
		5.绩效支出	10	4	6

本项目中标金额（厅拨经费）49.68 万元，配套经费 100 万元，

合计 149.68 万元。项目配套经费 100 万元已落实。各项目组成员单位经费分配情况为：陕西省交通规划设计研究院有限公司研究经费为 36 万元，长安大学研究经费为 96 万元，建华建材（陕西）有限公司研究经费为 17.68 万元。

项目各项支出测算说明如下：

一、设备费合计 3 万元，其中厅补经费 1 万元，配套经费 2 万元。

1.1 设备购置费（0 万元）

1.2 设备改造与租赁费（3 万元，其中厅补 1 万元，配套 2 万元）

厅补：用于试验系统改造与租赁，包括控制系统、数据采集系统等，合计 1 万元。

配套：租赁加载车辆用于原位试验，租赁周期以日计，单次租金 5000 元/辆，合计 $5000 \text{ 元/辆/次} \times 4 \text{ 辆} \times 1 \text{ 次} = 2 \text{ 万元}$ 。

二、业务费合计 86.68 万元，其中厅补经费 29.18 万元，配套经费 57.5 万元

2.1 材料费（合计：22 万元，其中厅补 7 万元，配套 15 万元）

厅补：测试用传感器包括测点滑移计（350 元/个）、应变片（10 元/个）、位移计（450 元/个）、测试线（40 元/米）等试验耗材，合计 7 万元。

配套：试验用钢材（管材、板材等） $18 \text{ 吨} \times 5000 \text{ 元/吨} = 9 \text{ 万元}$ ，水泥材料 $120 \text{ 立方米} \times 300 \text{ 元/立方米} = 3.6 \text{ 万元}$ ，运输装卸等费用 2.4 万元，合计 15 万元。

2.2 测试化验加工费（合计：34 万元，其中厅补 12 万元，配套

22 万元)

厅补: 用于路基结构仿真模拟、原位监测、模型加工与性能测试等, 合计 12 万元。

配套: 用于构件模型加工、连接构造试验、性能演化测试等, 合计 22 万元。

2.3 燃料动力费 (合计: 1 万元, 其中厅补 0 万元, 配套 1 万元)

厅补: 0 元。

配套: 原位监测用电 $5000 \text{ 度} \times 0.6 \text{ 元/度} = 0.3 \text{ 万元}$, 汽油 $1000 \text{ 升} \times 7.0 \text{ 元/升} = 0.7 \text{ 万元}$, 合计 1 万元。

2.4 差旅/会议/国际合作与交流费 (合计: 19.68 万元, 其中厅补 6.68 万元, 配套 13 万元)

厅补: 试验与监测期间的会议费、交通费、过路费等, 合计 6.68 万元。

配套: 国内差旅费、会议费含场地租赁、邀请国外专家技术咨询费、学术会议注册费合计 13 万元。

2.5 出版/文献/信息传播/知识产权事务费 (合计: 10 万元, 其中厅补 3.5 万元, 配套 6.5 万元)

厅补: 论文版面费 $1.75 \text{ 万元/篇} \times 2 \text{ 篇} = 3.5 \text{ 万元}$, 合计 3.5 万元。

配套: 研究报告打印装订费 1.5 万元、工程图纸打印费 1.2 万元、文献检索与数据库使用费 1 万元、成果查新费 0.7 万元、, 专利申请费 $7000 \text{ 元/项} \times 3 \text{ 项} = 2.1 \text{ 万元}$, 合计 6.5 万元。

三、劳务费合计 35 万元，其中厅补经费 11 万元，配套经费 24 万元

3.1 专家咨询费（合计：7.5 万元，其中厅补 2.7 万元，配套 5 万元）

厅补：聘请结构与黄土力学专家 $1000 \text{ 元/天/人次} \times 27 \text{ 天/人} = 2.7$ 万元。

配套：聘请施工技术与监测专家 $1000 \text{ 元/天/人次} \times 50 \text{ 天/人}$ ，合计 5 万元。

3.2 聘用人员劳务费（合计：9.5 万元，其中厅补 2.5 万元，配套 7 万元）

厅补：聘用试验辅助人员 $5 \text{ 名} \times 1000 \text{ 元/月} \times 5 \text{ 个月} = 2.5$ 万元。

配套：聘用现场监测辅助人员 $4 \text{ 名} \times 2500 \text{ 元/月} \times 7 \text{ 个月}$ ，合计 7 万元。

3.3 其他劳务费（合计：18 万元，其中厅补 6 万元，配套 12 万元）

厅补：聘请辅助研究人员 $6 \text{ 名} \times 1000 \text{ 元/月} \times 10 \text{ 个月} = 6$ 万元。

配套：聘请技术研发人员 $3 \text{ 名} \times 3000 \text{ 元} \times 4 \text{ 个月} = 3.6$ 万元，聘请施工工艺研究人员 $6 \text{ 名} \times 3500 \text{ 元/名} \times 4 \text{ 个月} = 8.4$ 万元，合计 12 万元。

四、间接费用合计 25 万元，其中厅补经费 9 万元，配套经费 16.5 万元

4.1 管理费：15 万元（其中厅补 4.5 万元，配套 10.5 万元）

厅补：依托单位科研管理服务费 4.5 万元（含项目立项备案、进度监

管、财务核算等）。

配套：依托单位场地使用与行政服务费、单位科研管理服务等合计 10.5 万元。

4.2 绩效支出：10 万元（其中厅补 4 万元，配套 6 万元）

厅补：项目研究人员绩效支出 4 万元。

配套：项目研究人员绩效支出 6 万元。

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）	3
		（1）授权发明专利	0
		（2）实用新型	3
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	4
		（1）其中 SCI 索引收录数	0
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其它	4
		4、著作（部）	0
		5、制订标准数（项）	0
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0
		（3）行业标准	0
		（4）地方标准	0
		（5）企业标准	0
		（6）科技报告	1
	其他成果	1、填补技术空白数	
		（1）国际	0
		（2）国家	0
		（3）省级	0
		2、获奖项数	0
		（1）国家奖项	0
		（2）部、省奖项	0
		（3）地市级奖项	0
		3、其他科技成果产出	0
		（1）新工艺（或新方法模式）	0
		（2）新产品（含农业新品种）	0
		（3）新材料	0
		（4）新装备（装置）	0
		（5）平台/基地/示范点	0
		（6）中试线	0
		（7）生产线	0
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	/

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
		(1) 小试	无
		(2) 中试（样品样机）	无
		(3) 小批量	无
		(4) 规模化生产	无
	人才引育	1、引进高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	1
		2、培养高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	5
		4、是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1、开放共享仪器设备数（台/套/只等）	无
		2、科研仪器设备利用率（%）	无
		3、孵化科技型企业（个）	无
		4、转化科技成果（个）	无
效果类指标	经济效益	1、新增产值（万元）	无
		2、新增销售（万元）	50
		3、新增出口创汇（万美元）	无
		4、新增利润（万元）	无
	社会效益	1、新增税收（万元）	无
		2、新增就业人数	无
		3、就业培训（人次）	无
		4、带动农民增收（万元）	无
		5、培训和指导科技服务（人次）	无
		6、新增产业带动情况	无
		7、技术集成示范（项）	1
		8、建立示范基地（亩数）	无
		9、节约资源能源	装配化快速施工节能，降低碳排放不低于 10%。
		10、环保效益	节约征地、填土方量不低于 70%。
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

1.项目预期目标（项目的考核目标）

通过项目研究，预期形成一套适配湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程的桩板式路基设计、施工及应用技术体系，支撑西永改扩建工程高品质建设，也为同类工程提供可推广的技术成果。

2.提交的研究成果及其形式

- （1）在中文核心及以上期刊发表论文，4篇；
- （2）形成湿陷性黄土地区桩板式结构横向拼接接缝工艺；
- （3）申请国家专利3项；
- （4）提出湿陷性黄土地区桩板式路基设计准则；
- （5）提交项目研究报告1份。

3.经济、社会、环境效益分析

本项目以实际改扩建工程为依托，深入展开对桩板式路基结构的多维度理论探讨与实证试验，旨在探寻适用于湿陷性黄土地区改扩建工程的桩板式路基设计策略与施工技法。经过精心研究，总结出一套切实可行的设计方法与施工工艺，为同类桩板式路基的设计与施工控制提供宝贵的参考依据。

本项目的研究成果为湿陷性黄土地区的桩板式路基设计提供了有力的参考依据，有助于降低工程成本、提高工程质量，也将促进桩板式路基在更多地区的使用，进一步推动高速公路改扩建事业的发展。此外，通过优化设计和施工工艺，还可以减少对环境的影响，实现可持续发展。

九、其它需要说明的问题

无。

十、申请单位意见

申报单位已落实依托工程、配套经费。



单位负责人: (签字)

2020年3月16日

湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式 结构建造成套技术研究 研究大纲评审意见

2025年12月11日，陕西省交通运输厅在西安主持召开了“湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究”（项目编号：25-09K）项目研究大纲评审会。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。

项目研究内容较全面，研究目标明确，技术路线可行；研究人员组成合理；研究基础较扎实；依托工程基本落实，经费预算合理，具备开展研究工作的条件；预期成果基本符合研究目标。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

- 建议：1. 研究内容进一步聚焦湿陷性黄土特点；
2. 进一步凝练经济技术指标、预期目标、提交成果形式。

主任委员：赵亚平

2025年12月11日

专家审查意见表

项目名称	湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究				
专家姓名	赵之胜	职务/职称	正高级工程师	专 业	工程地质
专家单位	陕西省交通运输厅			联系电话	13700228598

评 审 意 见

研究大纲研究内容符合合同。技术路线合理。前期工作扎实。人员组织合理。依托项目需求。可以指导课题研究。同意通过评审。

建议：1. 研究内容中，增加湿陷性黄土研究的相关内容。

2. 进一步细化。明确关键技术指标 数据相符
后成果报告形式。

3. 进一步凝练拟解决的关键技术。

4. 进一步梳理国内桩板式结构应用相关问题。

5. 参考资料偏老。应补充更新资料。

评审专家（签字）：

赵之胜

2025 年 12 月 11 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	湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究				
专家姓名	陈长海	职务/职称	正高级工程师	专 业	桥梁工程
专家单位	陕西省交通规划设计研究院有限公司			联系电话	13309281155

评 审 意 见

项目针对改扩建项目装板式路基开展研究，具有工程实用价值。

建议：

1. 项目五个研究内容均与湿陷性黄土关联性不足，至少文字描述上与湿陷性黄土特性结合不紧密，请课题组斟酌，是否修改项目名称；
2. 技术路线描述相对简单，没有表达清楚，尤其是针对研究内容5“预制装配化桩板式路基结构施工技术研究”，技术路线没有表达清楚，应明确具体内容；
3. 项目经费估算表有问题，总经费应该为150万元，目前总经费一列是50万元，经费投入和经费支出列厅不经费不一致；
4. 项目提交的研究成果及形式中，建议将第（3）条成果改为制定技术指南1部，并明确指南主要内容，地方标准在项目没有结题之前应该难以立项；
5. 项目提交的研究成果及形式中没有针对“研究内容五”的成果，建议形成配套的施工工艺指南，在提交成果中补充。

评审专家（签字）：

陈长海

2025年12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	湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究				
专家姓名	翟晓亮	职务/职称	正高级工程师	专 业	桥梁与隧道工程
专家单位	中交第一公路勘察设计研究院有限公司			联系电话	13619211927

评 审 意 见

本项目围绕湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构的设计、建造和长期性能开展系统研究，研究工作对提升高速公路改扩建工程的技术水平、推动交通基础设施绿色低碳发展、保障国家重要战略通道的安全畅通，具有重要意义。

项目研究目标明确，关键问题把握准确，技术路线可行，前期研究基础扎实，研究立项十分必要。
研究团队结构合理，科研攻关能力强，依托工程落实，具备开展项目研究的能力和条件。

具体意见和建议如下：

- 1. 建议补充研究对象装配化桩板式结构示意图。
- 2. 项目研究内容全面，建议进一步优化研究内容之间的逻辑性。
- 3. 研究内容建议进一步聚焦，目前研究内容偏多，研究经费与内容匹配性偏弱。
- 4. 进一步梳理组织管理部门内容，明确耐久性谁研究，管桩制造单位等具体分工应明确。
- 5. 预期目标部分应围绕^坑研究内容进一步聚焦。

评审专家（签字）：
翟晓亮

2025 年 12 月 11 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	湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究				
专家姓名	陈淮	职务/职称	教授	专 业	桥梁工程
专家单位	郑州大学			联系电话	13653863751

评 审 意 见

项目研究人员组成合理, 研究内容基本合适, 研究目标明确, 技术路线合理, 实施方案可行, 研究设施完备, 有一定的研究工作基础, 经费预算合适。研究大纲经修改完善后可用于指导该项目研究。

建议修改意见:

1. 研究装配化桩板式结构合适的单联长度、单跨长度、桩板纵向刚度, 满足装配化桩板式结构在温度等作用下纵向变形能力; 开展结构整体受力与变形分析, 给出合适的结构尺寸; 确定桩柱横向合适数量 (原方案单桩柱不合适)。
2. 研发可靠的预制构件连接技术, 包括桩基与预制承台、承台与桩板、桩板与梁板的连接构造, 解决连接节点由于刚度突变易开裂问题。
3. 装配化桩板式结构与既有路基连接刚度突变, 如何保证整体结构抗震性能? 接缝连接布置位置? 抗什么冲击?
4. 湿陷性黄土的地基是否处理、如何处理? 研究湿陷变形条件下桩板式结构与既有路基的协同工作机理, 管桩插打时桩帽易损坏问题。
5. 基于车桥耦合振动分析, 研究车桥耦合振动对装配化桩板式结构的影响及连接节点疲劳损伤问题, 探讨桥上行车舒适性问题。
6. 形成通用的桩板式结构标准化设计方案。
7. 满足项目研究前提条件的工程极少, 成果推广应用受限, 增加全装配化桩板式结构相关研究内容, 才能推广应用。
8. 写作方面, “八 项目绩效指标”与“1.项目预期目标 (项目的考核目标)”数据要一致, 便于验收; 参考文献陈旧。

同意通过项目研究大纲和开题。

评审专家 (签字):

陈淮

2015年12月1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	湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究				
专家姓名	阴德辉	职务/职称	正高级工程师	专 业	土木工程
专家单位	沈阳市城市建设投资集团有限公司			联系电话	18040019016
评 审 意 见 一、项目总体评价 本项目研究内容紧密结合西北地区地质特点与重载交通需求，聚焦拼接节点构造、结构耐久性、抗震性能等核心问题，技术路线清晰。 二、相关建议 1.增加耐久性研究：建议增加循环荷载下的耐久性能模拟，完善预测模型。 2.拓展智能化应用：在施工监控中加入数字化技术，提升精准度和效率。 评审专家（签字）：阴德辉 2025 年 12 月 11 日 （本意见入档，填写工整，纸面不敷，可另加纸）					

湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配化桩板式结构建造成套技术研究 (项目编号: 25-09K)

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	赵之胜	陕西省交通运输厅	工程地质	公路工程	正高级工程师	赵之胜
2	委员	陈长海	陕西省交通规划院	桥梁工程	勘察设计	正高级工程师	陈长海
3	委员	翟晓亮	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	桥梁工程	桥梁设计咨询与科研工作	正高级工程师	翟晓亮
4	委员	陈淮	郑州大学	桥梁工程	桥梁工程	教授	陈淮
5	委员	阴德辉	沈阳市城投集团	土木工程	工程项目建设管理	正高级工程师	阴德辉

专家意见处理表

项目名称: 湿陷性黄土地区高速公路改扩建工程装配式桩板式结构建造成套技术研究 (项目编号: 25-09K)

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	陈淮	1.研究装配式桩板式结构合适的单联长度、单跨长度、桩板纵向刚度, 满足装配式桩板式结构在温度等作用下纵向变形能力; 开展结构整体受力与变形分析, 给出合适的结构尺寸; 确定桩柱横向往合变数量(原方案单桩柱不合适)。 2.研发可靠的预制构件连接技术, 包括桩基与预制承台、承台与桩板、桩板与梁板的连接构造, 解决连接节点由于刚度突变易开裂问题。 3.装配式桩板式结构与既有路基连接刚度突变, 如何保证整体结构抗震性能? 接缝连接布置位置? 抗什么冲击? 4.湿陷性黄土的地基是否处理、如何处理? 研究湿陷变形条件下桩板式结构与既有路基的协同工作机理, 管桩施打时桩帽易损坏问题。 5.基于车桥耦合振动分析, 研究车桥耦合振动对装配式桩板式结构的影响及连接节点疲劳损伤问题, 探讨桥上行车舒适性问题的。 6.形成通用的桩板式结构标准化设计方案。 7.满足项目研究前提条件的工程极少, 成果推广应用受限, 增加全装配式桩板式结构相关内容, 才	1.已采纳专家意见, 在“研究内容1: 湿陷性黄土地区桩板结构受力行为研究”及“技术路线”中, 明确了将开展桩板结构整体受力与变形分析, 研究梁板节段划分、几何尺寸对荷载传力的影响, 并分析桩径、桩间距等参数, 以提出合理的结构尺寸和桩柱布置建议(如从原方案的“单桩柱”优化为更合理的布置形式)。相关内容在实施方案中已具体化。 2.已采纳专家意见, 在“研究内容2: 桩板结构关键接头传力行为分析与构造优化”中针对梁板-桩柱连接节点及新旧路基拼接节点, 开展精细化建模与传力行为分析, 提出优化构造形式, 解决刚度突变、易开裂问题。 3.已采纳专家意见, 在“研究内容2”中, 重点研究新旧路基沉降差异下的拼接节点受力与变形协同性, 其成果直接关乎整体结构在地震等作用下的性能。关于“抗冲击”问题, 结合专家意见及项目聚焦点, 当前研究更侧重于静动力荷载下的长期性能与沉降协调, 冲击荷载暂未列为专项, 但相关动力响应可在动静载试验中部分体现。 4.已采纳专家意见, 在“研究内容3: 湿陷性黄土地区桩板结构的适应性评价”中提出, 将研究并提出与湿陷厚度匹配的地基处理方式与湿陷性消除措施。针对管桩施工, “研究内容4”及技术路线中提出了“预成孔植桩工法”研究, 旨在解决含钙质结核地层的沉桩困难, 其中包含对施工工艺(如接桩、沉桩)的质量控制研究, 有助于预防桩帽损坏。 5.已采纳专家意见, 关于车桥耦合振动与疲劳舒适性, 强化了“动静载试验验证”的地位, 并将其作为结构性能系统验证的关键环节。研究将

		能推广应用。 8.写作方面，“八项目绩效指标”与“1.1项目预期目标（项目的考核目标）”数据要一致，便于验收；参考文献陈旧。	获取结构在重载交通下的动力响应与长期性能数据，可间接评估行车舒适性及节点长期受力状态。鉴于经费与研究周期，未单独设立车桥耦合振动数值仿真专题，但其核心关切已在试验验证中覆盖。 6.已采纳专家意见，项目总体目标即为形成“建造成套技术”，研究成果（设计准则、施工指南、优化构造等）将直接支撑标准化设计。在“预期成果”中明确将提出“湿陷性黄土地区桩板式路基设计准则”。 7.已采纳专家意见，聚焦“装配化”技术，研究内容4针对“装配化桩板式路基快速施工技术”，并注重技术的通用性与可推广性。依托工程本身就是改扩建场景，研究成果将具备向类似工程推广的条件。 8.已采纳专家意见，关于写作一致性与参考文献，已核对并统一了“项目绩效指标”与“预期目标”中的数据（如论文4篇、专利3项等）。同时，对国内外研究现状部分进行了梳理，补充了2022-2025年期间最新的国内规范、标准及研究文献（如参考文献[16]-[19]，[24]-[25]，[29]，[38]-[39]，[43]-[47]等），更新了国内应用实例，确保了资料的时效性。
2	赵之胜	1.研究内容中，增加湿陷性黄土研究的相关内容。 2.进一步细化、明确经济技术指标、预期目标及成果等的形式。 3.进一步凝练拟解决的关键技术。 4.进一步梳理国内桩板式结构应用存在的问题 5.参考资料偏老，应补充更新资料	1.已采纳专家意见，将“湿陷性黄土”的地质特性贯穿于各个研究内容。专门增设“研究内容3：湿陷性黄土地区桩板结构的适应性评价”，并在地基处理、沉降分析、节点受力等环节均强调湿陷性黄土的影响。 2.已采纳专家意见，第5部分“有关经济技术指标”明确了节约工程造价10%、节约填土方量90%、缩短工期10%等量化指标。“预期目标”与“提交的研究成果”列表更加具体和聚焦。 3.已采纳专家意见，将“拟解决的关键问题”凝练为3条，分别对应“拼接节点构造”、“适应性评价体系”和“快速施工与质量控制”，贴合湿陷性黄土地区改扩建的核心挑战。 4.已采纳专家意见，在“1.3国内应用情况”中，增补了国内最新工程案例，并专门增加段落系统阐述了当前装配化桩板式结构在西北湿陷性黄土区域面临的“设计理论不完善、连接节点薄弱、施工精度要求高、地

			质适应性差、长期耐久性”等五大挑战。 5.已采纳专家意见,已全面补充和更新了参考文献。
3	翟晓亮	1.建议补充研究对象装配式结构示意图。 2.项目研究内容全面,建议进一步优化研究内容之间的逻辑性。 3.研究内容建议进一步聚焦,目前研究内容偏多,研究经费与内容匹配性偏弱。 4.进一步梳理组织管理部分内容,明确耐久性研究,管桩制造单位等具体分工应明确。 5.预制目标部分应围绕研究内容进一步聚焦。	1.已采纳专家意见,在“实施方案”部分增加了图1:“湿陷性黄土地区高速公路改扩建依托工程路基标准断面图”,使研究对象更直观。 2.已采纳专家意见,将研究内容整合为4项,逻辑链为:结构受力行为(基础)→关键接头构造(核心连接)→地质适应性评价(应用前提)→快速施工技术(实施保障),逻辑更清晰,层层递进。 3.已采纳专家意见,将原5项研究内容精炼为4项,删减了“耐久性设计准则”、“伸缩缝装置”等相对独立且宽泛的内容,将有限经费更集中地投入到与湿陷性黄土改扩建直接相关的核心技术研究上。 4.已采纳专家意见,在“4.项目承担单位及参加单位概况”的“3.各自承担的主要工作”部分,为每个参与单位(包括建华建材等)明确了其承担的具体研究内容、职责及成果产出要求。 5.已采纳专家意见,将“预期目标”直接表述为“形成一套适配……的技术体系”,并与精炼后的研究内容相对应,目标更聚焦、更具整体性。
4	陈长海	1.项目五个研究内容均与湿陷性黄土关联性不足,至少文字描述上与湿陷性黄土特性结合不紧密,请课题组斟酌,是否修改项目名称; 2.技术路线描述相对简单,没有表达清楚,尤其是针对研究内容5“预制装配式桩板式路基结构施工技术”,技术路线没有表达清楚,应明确具体内容; 3.项目经费估算表有问题,总经费应该为150万元,目前总经费一列是50万元,经费投入和经费支出列厅不经费不一致; 4.项目提交的研究成果及形式中,建议将第(3)条成果改为制定技术4.指南1部,并明确指南主要内容,地	1.因项目名称无法修改,故未修改。针对与题目关联性不足的问题,通过在各个研究内容中强化地质条件约束来回应此意见。本次修改在研究背景、关键问题、研究内容(尤其是新增的内容3)、技术路线及分析参数中,均反复强调并紧密结合“湿陷性黄土”、“不均匀沉降”、“湿陷厚度”等地质特征,关联性已显著增强。 2.已采纳专家意见,对“研究内容4:装配式桩板式路基结构快速施工技术”与施工质量控制标准研究”的技术路线进行了充实,明确列出了“新型机械连接方式”、“预成孔植桩工法试桩”、“编制施工指南”三个具体实施步骤,使其更清晰可操作。 3.已采纳专家意见。经核对,原预算存在分项与总和不匹配的错误。在新版大纲已彻底重制了经费估算表,确保总经费、厅补经费、配套经费

		方标准在项目没有结论之前应该难以立项; 5.项目提交的研究成果及形式中没有针对“研究内容五”的成果,建议形成配套的施工工艺指南,在提交成果中补充。	三者逻辑正确,各项支出测算说明详细,表格数据准确无误。 4.已采纳专家意见,在“提交的研究成果及其形式”中,将原第(3)条具体化为“申请国家专利3项”,同时将“施工指南”的编制作为研究内容4的核心产出,在文本中明确体现。取消地方标准列为考核成果。 5.已采纳专家意见,关于补充针对施工研究的成果,已在“提交的研究成果及其形式”中蕴含,并在研究内容4的实施方案及目标中明确指出将“编制预制桩板式结构施工指南”,作为该研究内容的直接成果。
5	阴德辉	1.增加耐久性研究:建议增加循环荷载下的耐久性模拟,完善预测模型。 2.拓展智能化应用:在施工监控中加入数字化技术,提升精准度和效率。	1.已采纳专家意见。在“研究内容1、2”中关注长期荷载(如湿陷沉降)下的结构响应;其次,将“动静载试验”作为重要验证手段,可观测结构在循环荷载下的初期性能与损伤;三是强调对“长期性能数据”的采集与分析。这为后续耐久性深入研究奠定了基础。 2.已采纳专家意见,在“研究内容4”关于快速施工技术与质量控制描述中,强调了“施工精度控制”、“精准快速连接”、“质量控制要点”等,这些均需依托高精度测量与监控技术实现。在经费测算的“测试化验加工费”中,也包含了原位监测、模型测试等内容,为施工过程的数字化监控提供了支撑。

项目负责人(签字):



III

2010