

项目合同编号: 25-61K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称: 高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发

承担单位: 西安公路研究院有限公司

项目负责人: 苗建宝

通讯邮编、地址: 710061、陕西省西安市高新区高新六路 60 号

传真、电话: 029-87827248

起止年限: 2026 年 3 月 至 2029 年 3 月

陕西省交通运输厅制



项目合同编号：25-61K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发

承担单位：西安公路研究院有限公司

项目负责人：苗建宝

通讯邮编、地址：710061、陕西省西安市高新区高新六路 60 号

传真、电话：029-87827248

起止年限：2026 年 3 月 至 2029 年 3 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) 低碳耐久型聚氨酯基弹性体材料研发;
- (2) 新型减隔震支座结构体系和系列化定型;
- (3) 高烈度区桥梁减隔震技术适用性研究;
- (4) 支座智能感知技术研究。

2. 技术关键

- (1) 解决传统橡胶支座寿命普遍较短的问题
- (2) 适应高烈度区的新型减隔震支座结构体系及产品系列研发
- (3) 高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座多方位刚度需求及协同抗震技术研究
- (4) 解决支座智能化水平不高, 支座性能长期监测困难的问题

3. 依托工程(依托工作)

项目一: 108 国道汉中段龙家沟桥是汉中市普通干线公路危桥加固改造工程, 位于陕西省汉中市宁强段, 该桥于 1999 年建成通车, 桥梁中心桩号为 K1791+765, 桥梁全长 31m, 全宽 12m, 所属路段为二级公路。采用原址拆建方案, 上部采用 $1 \times 20\text{m}$ 预应力混凝土现浇箱梁, 斜交角 30° , 桥梁设计荷载等级为公路—I 级, 下部结构采用柱式台, 钻孔灌注桩基础, 拟采用减隔震体系设计, 桥台处设置抗震支座, 桥址位置地震动峰值加速度 0.1g , 反应谱特征周期 $s=0.40\text{s}$ 。

项目二: G70 福银高速公路西安至永寿段改扩建工程, 起点设

于六村堡收费站，终点为既有福银高速永寿南立交北侧，路线全长 79.31km。项目改扩建方案以两侧拼宽为主，对局部路段条件受限或控制性工程影响时，采用单侧拼宽方案。路线区域地震动峰值加速度 $0.15g/0.2g$ ，反应谱特征周期 $s=0.45s$ ，在该工程选取八兴滩小桥、上旦中桥等桥梁作为课题的依托工程。

项目三：西安都市圈环线乾县至富平高速公路，路线西起乾县灵源镇西王村东至西安市阎良区振兴街道中王村，路线全长 80.2 公里，与福银高速共线 10.5 公里，新建里程 69.7 公里。本项目采用双向六车道高速公路设计标准，新建路线全长 69.7 公里，设计速度采用 $120km/h$ ，路基宽度 34.5 米，设计荷载公路-I 级。在该工程选取相关桥梁作为课题的依托工程，路线区域地震动峰值加速度 $0.15g/0.2g$ ，反应谱特征周期 $s=0.45s$ 。

二、考核指标

1.预期目标

- (1) 解决传统橡胶支座寿命普遍较短的问题;
- (2) 研发高烈度区新型减隔震支座结构体系及产品系列;
- (3) 进行高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座多方位刚度需求及协同抗震技术研究。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

维护成本：高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座使用寿命较传统橡胶支座提高 1 倍以上，在桥梁的全寿命周期内，维护成本节约明显；

采购成本：相同承载力作用下，高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座的截面积较传统橡胶支座减小 50%以上，比传统橡胶支座体积更小、重量更轻，用料节约明显。

3.经济和社会效益

本项目研发的高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座，紧扣国家交通基建升级与绿色低碳发展战略，契合国内外桥梁工程抗震运维需求，可产生显著的综合效益，具体如下：

(1)经济效益显著当前我国交通基础设施建设处于高质量发展阶段，“十四五”期间各级财政对交通运输领域投资规模持续扩大，国内公路桥梁保有量超 100 万座，大量早期建设桥梁的板式橡胶支座已进入大面积更换期，市场需求空间巨大。同时，产品设计参照 EN1337、EN15129 等国际标准，适配发展中国家公路铁路建设及

欧洲高速铁路桥梁建造需求，具备广阔的国际推广前景。

(2) 社会效益突出产品可显著提升高烈度区桥梁的抗震性能，有效减小地震作用下桥梁结构的破坏程度，大幅降低震后桥梁维修加固成本，筑牢公众出行与物资运输的安全防线。

(3) 环境效益良好：产品采用低碳耐久型聚氨酯弹性体材料，替代传统橡胶材料，且不含铅芯等有毒有害物质，从生产源头避免重金属污染。产品全生命周期内的节能环保特性，能够推动交通基础设施建设领域的绿色低碳转型，助力实现生态效益与工程效益的协同发展。

4.成果提供形式

(1) 提交《高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发》研究报告；

(2) 形成高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座出版产品图 1 套，安装图 1 套，高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座设计指南 1 部；

(3) 申请专利共 2 项，其中实用新型专利 1 项、发明专利 1 项；

(4) 发表核心论文 1-3 篇。

5.其他考核指标

开展媒体宣传报道不少于 3 次，技术交流不少于 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 年度	第 1、2 季度：完成项目前期准备工作：形成技术调研报告，编制技术方案，依托工程落实。 第 3、4 季度：针对技术方案进行较详细的结构及其构造分析，开展装置研发，依托工程设计。
2027 年度	第 1、2 季度：开展桥梁支座用弹性体材料性能要求的调研确定低碳耐久型聚氨酯弹性体材料的关键性能参数，并完成低碳耐久型聚氨酯基弹性体材料研发。 第 3、4 季度：开展新型减隔震支座结构体系和系列化定型研究，研究一系列适用于聚氨酯弹性体的产品结构型式和应用方法，解决现有产品及技术在整体应用性能和安装、更换过程中的缺陷；同步推进依托工程施工。
2028 年度	第 1、2 季度：开展桥梁减隔震技术适用性研究，针对性汇总、分析并总结适用于现有公路桥梁的减隔震技术要求、设计要点和产品类型等适用性条件；依托工程检测。 第 3、4 季度：编制最终研究报告并汇总相关成果，示范工程基本完成。

四、项目经费

项目总经费：89.96 万元
交通运输厅补助：19.96 万元
自筹资金：70.00 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	70.56	15.96
1. 设备费	6.6	1.4
(1) 购置设备费	1.2	0
(2) 试制设备费	0	0
(3) 设备改造与租赁费	5.4	1.4
2. 业务费	46.3	10.1
(4) 材料支出	19.5	2.1
(5) 测试化验实验加工支出	10.5	1.5
(6) 燃料及动力支出	4	0
(7) 差旅支出	4	2.6
(8) 会议支出	0.6	0.6
(9) 国际合作与交流支出	0.6	0
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	5.6	3.3
(11) 其他支出	1.5	0
3. 劳务费	17.66	4.46
(12) 劳务性支出	4.7	1.5
(13) 咨询专家支出	12.96	2.96
(二) 间接费用	19.4	4
4. 管理费	7.0	0
5. 绩效支出	12.4	4
合 计	89.96	19.96

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）	2
		（1）授权发明专利	1
		（2）实用新型	1
		（3）外观设计	
		2.软件著作权授权数（项）	
		3.发表论文（篇）	1-3
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其他	1-3
		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	
		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	
		3. 培训从事技术创新服务人员(人次)	
		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)	
		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)	
		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			

六、承担单位或研究人员分工

西安公路研究院有限公司作为项目牵头主持单位,全面负责项目顶层规划、整体统筹协调与全周期实施管控工作,主导编制项目总体实施方案、管理细则与全过程推进计划,统筹各单位协同协作、科研经费规范化管理及研究各阶段质量验收把控;统一整合凝练全套科研成果,全面承担项目综合管理、整体统筹与总技术负责职责。

陕西直道致远工程科技有限公司配合西安公路研究院有限公司组建研究团队,共同开展国内外资料调研及工程调查,协助编制研究工作大纲和实施细则,按照研究内容分工约定开展各项研究工作,撰写相应研究报告及其他成果资料,并协助完成研究成果的各阶段验收。

七、项目参加人员表

项目承担单位：西安公路研究院有限公司							
参与单位（排序）：陕西直道致远工程科技有限公司							
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	签名
1	苗建宝	1987.01	西安公路研究院有限公司	正高级工程师	桥梁工程	项目负责人	苗建宝
主要研究人员							
2	石雄伟	1976.09	西安公路研究院有限公司	正高级工程师	桥梁工程	技术负责人	石雄伟
3	王伟	1981.03	陕西直道致远工程科技有限公司	正高级工程师	桥梁工程	材料试验	王伟
4	马毓泉	1968.03	西安公路研究院有限公司	正高级工程师	桥梁工程	减隔震技术研究	马毓泉
5	许冰	1980.12	西安公路研究院有限公司	正高级工程师	桥梁工程	合理构造形式研究	许冰
6	柯亮亮	1983.11	西安公路研究院有限公司	正高级工程师	桥梁工程	长寿命材料研究	柯亮亮
7	赵庭	1989.02	西安公路研究院有限公司	高级工程师	桥梁工程	依托工程设计	赵庭

8	李京	1989.01	西安公路研究院有限公司	高级工程师	桥梁工程	施工质量控制研究	李京
9	骆巧叶	1990.05	陕西直道致远工程科技有限公司	高级工程师	桥梁工程	材料试验	骆巧叶
10	曹晓刚	1988.07	陕西直道致远工程科技有限公司	高级工程师	桥梁工程	产品设计	曹晓刚
11	雷浪	1993.02	西安公路研究院有限公司	中级工程师	桥梁工程	减隔震结构研究	雷浪
12	刘颜滔	1994.05	西安公路研究院有限公司	中级工程师	桥梁工程	结构受力分析	刘颜滔
13	张小亮	1987.08	西安公路研究院有限公司	高级工程师	桥梁工程	支座试验研究	张小亮
14	刘剑	1990.09	西安公路研究院有限公司	高级工程师	桥梁工程	依托工程设计	刘剑
15	张涛	1989.02	西安公路研究院有限公司	中级工程师	桥梁工程	依托工程试验	张涛
16	魏程	1993.03	西安公路研究院有限公司	中级工程师	桥梁工程	实桥应用	魏程
17	王剑飞	1993.07	西安公路研究院有限公司	中级工程师	桥梁工程	支座测试	王剑飞
18	陈亮	1997.02	陕西直道致远工程科技有限公司	助理工程师	桥梁工程	施工指导	陈亮
19	巩文杰	1998.05	西安公路研究院有限公司	中级工程师	桥梁工程	适用性分析	巩文杰
20	雷蔚雯	1999.12	西安公路研究院有限公司	助理工程师	桥梁工程	实桥应用	雷蔚雯

八、信息表

项目合同编号		25-61K		密级		/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部		
项目名称		高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发								
项目实施所在地		陕西省		起止年限		2026 年 3 月至 2029 年 3 月				
总 经 费		89.96		厅 拨		19.96				
第一承担单位	单位名称	西安公路研究院有限公司								
	所在地	陕西省西安市					代码	610100		
	通讯地址	陕西省西安市高新区高新六路 60 号					邮编	710065		
	单位性质	(3) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他					代码	3		
参与单位	序号	单 位 名 称								
	1	陕西直道致远工程科技有限公司								
	2									
	3									
项目负责人		姓 名	苗建宝		性 别 (1) 1.男 2.女		出生年份	1987		
		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	15249205285 029-87827248		电子邮箱		342838952@qq.com			
项目联系人		姓 名	刘颜滔		性 别		男			
		联系电话	13629299320 029-87827248		电子邮箱		377383240@qq.com			
项目组人数		20	高级	12	中级	6	初级	2	其他	
主要研究内容 (100 字以内)		课题开展低碳耐久性材料、新型减隔震支座结构体系和产品定型、桥梁减隔震技术适用性等三个方面技术的研究和开发。具体如下： 1) 低碳耐久型聚氨基弹性体材料研发； 2) 新型减隔震支座结构体系和系列化定型； 3) 桥梁减隔震技术适用性研究；								
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	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.合同正本一式柒份，甲方单位伍份，承担单位贰份。

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）



2026年3月27日

联系人：（签字）

张喆

（公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：（承担单位）

单位负责人：（签字）



2026年3月27日

项目负责人：（签字）

黄建丰

（公章）

电 话：

财务负责人：（签字）

王强

账 户 名：

西安公路研究院有限公司

开户银行：

工商银行南关支行
3700021509014434288

账 号：

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：(盖章)

项目负责人：

年 月 日

项目编号: 25-61K

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称: 高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术
研究与产品开发

申请单位: (盖章) 西安公路研究院有限公司

联系人: 刘颜滔

电 话: 13629299320



陕西省交通运输厅制

2026 年 3 月

填写说明

格式要求：目录页码齐全，双面打印，胶装不另加封皮。

可研报告可参考网评专家意见及建议，按照**研究大纲深度**编写。

应用技术类应本着有限目标、有限规模、重点突出、适应市场、重在应用的原则，不求全求大、面面俱到。综合考虑研究期限、财力等实际情况，合理确定研究内容。软科学研究项目可研报告应由相关业务单位或部门牵头完成，内容要与业务工作紧密结合。

目 录

一、项目研究的背景和必要性	1
二、前期科研及工作基础	5
2.1 国内外研究现状	5
2.2 存在的问题	18
2.3 前期成果及现有工作条件	19
2.3.1 前期科研成果	19
2.3.2 现有工作基础及条件	19
2.3.3 研究支撑条件	20
2.4 参考文献	21
三、实施方案	23
3.1 拟解决的关键问题	23
3.2 主要研究内容及实施方案	24
3.3 技术路线	34
3.4 后续技术改造	35
3.5 有关技术经济指标	35
四、项目承担单位及参加单位概况	36
4.1 单位概况	36
4.1.1 承担单位	36
4.1.2 参与单位	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 依托工程情况	40
5.2 投资来源	41
5.3 工程进度与项目科研进度的配合	41
5.4 组织管理形式	42
六、项目经费估算及资金筹措情况	45
七、项目绩效指标	49
八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益	51
8.1 项目预期目标	51
8.2 提交的研究成果及其形式	51
8.3 经济、社会、环境效益分析	51
九、其它需要说明的问题	53
十、申请单位意见	54

高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术 研究与产品开发

一、项目研究的背景和必要性

我国处于世界两大地震带即环太平洋地震带和亚欧地震带之间，是一个强震多发国家。我国地震的特点是发生频率高、强度大、分布范围广、伤亡大、灾害严重。几乎所有的省市、自治区都发生过六级以上的破坏性地震。强烈地震造成了人员伤亡和极大的经济损失，使建设成果毁于一旦，引发长期的社会、政治和经济问题，并带来难以慰藉的感情创伤。公路桥梁是生命线系统工程中的重要组成部分。在抗震救灾中，公路交通运输网是抢救人民生命财产和尽快恢复生产、重建家园、减轻次生灾害的重要环节。

桥梁作为生命线系统工程中的重要组成部分，一旦损毁、中断便等于切断了地震区的生命线，次生灾害将十分严重，经济损失无疑将大大加剧。汲取这些地震灾害的教训以后，基于桥梁抗震设计的结构控制技术，开始在我国桥梁工程界得到日益重视，并逐步开展了桥梁减隔震设计研究工作。

5·12 汶川特大地震后，交通运输部及时颁布了新的《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)，为提高桥梁抗震设计的水平和结构抗震的性能起到了积极作用。4·14 玉树大地震后，国务院迅速组织交通运输部等相关部委，研究部署抗震救灾和灾后恢复重建工作，交通运输部也将工程抗震、防灾技术列入重点研究工作内容来组织实施。2020 年以后，交通运输部又根据汶川地震后的抗震及减隔震设

计经验和产品应用经验的积累相继颁布了《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01-2020)和《公路桥梁抗震性能评价细则》(JTG/T 2231-02-2021),根据新规范要求 and 规定,我国现役桥梁普遍存在不同程度的抗震能力不足的问题,对于桥梁减隔震产品又提出了全新的要求,既有桥梁数量庞大,减隔震支座是改善抗震能力不足的经济有效的方法,推广应用前景广阔。

本项目的研究从如何应用减隔震装置有效实现工程防、减灾,如何实现桥梁结构的安全、适用、经济、环保、耐久等方面开展技术攻关工作。

对于地震作用,传统的结构设计采用的对策是“抗震”,即主要考虑如何为结构提供抵抗地震作用的能力。一般来说,通过正确的“抗震”设计可以保证结构的安全,防止结构的整体破坏或倒塌,然而,结构构件的损伤却无法避免。在某些情况下,要靠结构自身来抵抗地震作用显得非常困难,需要付出很大的代价。因此,我们必须寻求更为有效的抗震手段,如减隔震技术。

现有的减隔震技术采用“软化结构”、“以柔克刚”的途径,利用减隔震构造及装置在满足正常使用功能要求的前提下,达到延长结构周期、消耗地震能量、降低结构响应的目的。减震是利用特制减震构件或装置,使之在强震时率先进入塑性,产生大阻尼,大量消耗进入结构系统的能量;而隔震则利用隔震体系,设法阻止地震能量进入主体结构。但是支座水平刚度偏小,在高烈度地区墩顶位移过大,具有落梁风险。

另外,现有板式橡胶支座已大量应用于中小跨径桥梁中,但存在问题:一、支座工作时可能受到高温、臭氧、盐蚀等多重环境因素影响,导致其材料性状呈时变特性,缩短支座的使用寿命。二、由于支座本身质量参差不齐或梁体结构受力不合理,支座可能出现各式各样的病害问题,影响其原有的性能参数与受力体系,削弱承载能力和耗能能力,甚至降低桥梁结构的整体安全性和耐久性。

随着桥梁工程的高速发展,有关桥梁安全性和耐久性方面的问题逐渐显现,其中就包括桥梁板式橡胶支座的性能劣化问题。在复杂环境、荷载和支座质量的多重影响下,支座会呈现出不同程度、不同性质的性能改变。研究人员从病害成因、支座性能退化、后期处治等多方面进行了分析和研究,通过性能试验、模拟环境试验、有限元分析或理论分析等方式综合探讨了板式橡胶支座性能劣化的影响因素、作用机理和影响规律,但是在各方面仍存在待解决的问题:

(1)热老化对板式橡胶支座的性能影响的相关研究已接近完备,但是少有支座受光照、臭氧、酸雨、低温、紫外线等其他因素影响的相关试验,由于现今桥梁所处环境的复杂性,橡胶的使用寿命会有一定的折减,有必要对此类问题进行深究。其次,针对地震作用下,讨论支座已服役年限与其抗震能力之间的相关关系,对研究桥梁板式橡胶支座运营状态下的实际抗震性能有重要意义。

(2)需研究支座脱空的时变规律及脱空后在地震作用下的力学性能变化规律。目前,有关支座脱空的相关研究主要集中在成因、后果与处置方法,对支座脱空时变性问题的研究较少,同时需要研究支

座脱空后在地震作用时的力学性能的改变问题,分析板式橡胶支座在该状态下的抗震性能。需对出现剪切变形超限或不均匀鼓凸的支座进行进一步的力学性能研究。这两种病害较为普遍,但目前的研究集中在成因分析和极限荷载作用下的性能改变,少见针对出现此类病害的支座进行的性能变化的参数分析,导致无法对此类支座进行性能评估。同时应针对不同的剪切角或不同程度剪切变形的支座性能进行对比实验,探究支座不同程度剪切超限时的力学性能变化。

(3) 现有的橡胶支座的阻尼和水平刚度比较小,在较低水平力作用下发生很大的变形,因此该产品尺寸大,承载能力有限,因此需要研发一种尺寸较小,承载能力较好的支座,应用于地震区。

(4) 现有橡胶支座没有设置预偏量,在长联大跨的现浇混凝土桥梁中初始剪切较大,因此需要研究是否可以设置一定的预偏量,使其的极限变形量更大,能够更好地适应于中高地震区。

(5) 现有的橡胶类支座安装更换施工工艺复杂,消耗大量的人力物力,因此有必要简化其施工工艺。

综上所述,针对现有板式橡胶支座服役寿命普遍较短、工程应用中更换频繁的技术瓶颈,亟需研发一种具有长寿命特征的高性能材料,以替代传统橡胶材料,满足现代工程对结构耐久性与经济性的更高要求。其次,针对减隔震设计桥梁在减隔震产品选用方面的迫切需求,亟需一种性能更稳定、更能适应桥梁多参数化减隔震设计要求的新型产品,以替代现有的橡胶减隔震装置。另外,随着我国公路桥梁大规模步入养护阶段,大量既有桥梁面临抗震能力储备不足的现实挑战。

为从根本上解决这一问题,必须突破传统支座的技术局限,开发一种长寿命、结构新颖且施工高效的新型减隔震支座,以满足既有桥梁改造升级的迫切需求。

我国公路桥梁已经超过 100 万座,绝大部分建设于 2020 年以前,随着《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01-2020)和《公路桥梁抗震性能评价细则》(JTG/T 2231-02-2021)的发布,2020 年以前设计建造的桥梁可能存在抗震能力不足问题,减隔震支座是提升桥梁整体抗震能力的经济合理的方式,在陕西省内进行大范围的推广应用,形成示范工程,进而进一步推广应用至国内其他省份,形成核心产品,直接实现经营业绩增长,推广应用前景广阔。

二、前期科研及工作基础

2.1 国内外研究现状

目前,国内外用于桥梁工程的减隔震橡胶支座(板式)主要有“板式橡胶支座”,“铅芯橡胶支座”和“高阻尼橡胶支座”三种。

橡胶支座自 1936 年在法国铁路桥梁首次使用以来,在世界范围内得到较快发展。盆式橡胶支座于 1959 年在西德研制成功,并于 1962 年在 Wiesbaden-schierstein 之间的跨莱茵河的快速公路 B42 号桥上使用。

在新西兰,从 1973 年到 1993 年,有 48 座公路桥梁和一座铁路桥梁采用了减隔震技术,其中包括四座用减隔震技术加固以提高抗震性能的桥梁。其大部分隔震桥采用的是铅芯橡胶支座。

美国第一次将隔震技术用于桥梁是在 1984 年,用于对 Sierra Point

Bridge 进行抗震加固。该桥原建于 1956 年,长 200m,宽 40m,水平方向略有弯曲。动力分析表明,该桥提高抗震性能的办法是用铅芯橡胶支座代替刚性球铰支座进行隔震。据计算,在距离该桥 7 公里处的圣安德烈斯断裂层发生里氏 8.3 级地震情况下,这些支承能延长结构的固有周期,使桥墩所受地震力减小到原来的 $1/6$,并采用限位杆保证纵梁与横梁的连接。

美国第一座新建的隔震桥 Sexton (1990) 桥,在伊利诺斯 3 号公路上,该桥主体结构为 3 跨连续组合钢板梁。桥墩和桥台均有桩基。在选择方案之前做了可行性研究。选用方案的原则是尽量减轻作用在桥墩上的地震力和非地震力。因为这里地基条件较差,根据 AASHTO 设计规范规定,该桥设计地震加速度峰值为 $0.2g$,三类场地土。最终选择方案是采用二十个铅芯橡胶支承将地震荷载分配到桥台上,并在桥墩上放了二十个合成橡胶支承。通过调整桥墩和桥台上支承的刚度,使作用在桥墩上的地震力和风荷载等为最小。

日本第一座建成的隔震桥梁是静岗县横跨 Keta 河的宫川大桥,完成于 1990 年,为 3 跨连续钢桁架梁桥,桥长 110 米,Ⅰ场地土,使用铅芯橡胶支承。桥的主体结构横向是受到约束的,沿纵向有 $\pm 150\text{mm}$ 的间隙可供移动,超过这一范围桥台将会限制其进一步移动。通过适当选择和布置铅芯橡胶支承,将总惯性力合理分配到各个桥墩和桥台上。该桥未隔震的基本周期约为 0.3 秒,而经隔震设计的基本周期在小位移幅值内为 0.8 秒,大位移幅值下为 1.2 秒。在此之后,关东大地震之前有 27 座桥梁使用了铅芯橡胶支座,7 座桥梁使用了

高阻尼弹性支座。它们经受了地震的考验，在地震中表现出的良好抗震性能极大的推动了这一技术的进一步发展，在关东地震后对这些支座的使用剧增。此外，一些隔震桥梁中，还使用了其它类型的隔震装置。

意大利也是世界上较早在桥梁中应用减隔震技术的国家，但减隔震技术的发展走的是一条截然不同的道路。从 1974 年以来，现代减隔震技术渗透到了意大利的传统桥梁建造中，尽管早期应用的设计中没有现代减隔震规范和官方的指南可循，但意大利已经采用了多种形式的隔震系统，例如：膨胀支座、钢质阻尼器、滑动支座等。至今，意大利大约有 260 多座桥梁安装了抗震保护系统，几乎所有新建桥梁都有保护系统。它们不可都划归减隔震系统，其中有一部分是耗能器，还有一部分是使地震力重新分配。

我国在 1965 年首次将板式橡胶支座引入公路桥梁中，自此 50 余年以来，伴随着我国基础设施的大规模建设与发展，板式橡胶支座在公路桥梁中得到大规模推广与应用。此类支座之所以成为中小跨径桥梁的首选支座类型，主要原因在于其服役性能良好、造价成本较低、安装施工方便，同时具有良好的减隔震性能。

然而，随着板式橡胶支座服役时间的增加，在多次桥梁检测中发现，部分支座发生了橡胶老化、剪切超限、橡胶层鼓凸、支座偏位甚至脱空等病害，同时，少量支座存在掺入再生胶的问题，此类病害对桥梁的常规服役性能与抗震性能均会带来诸多不利影响^[1]。

支座产品的费用占桥梁总造价很低，但支座更换的费用却非常高。

我国公路桥梁采用板式橡胶支座数量较大,每年由于支座质量问题造成的经济损失巨大。国内外学者对板式橡胶支座已展开大量研究,利用 FEA 软件采用增加弹性模量和剪切模量对支座出现病害的情况进行了模拟分析;通过建立板式橡胶支座的有限元模型,分析得出橡胶支座的极限脱空率和极限剪切角,并对支座同时存在脱空和剪切时的失效标准进行研究。板式橡胶支座脱空面积小于 20% 时,支座压缩变形超过支座允许压缩变形,对支座性能影响较大;脱空面积大于 20% 时,出现钢板最大应力不满足要求,对支座性能影响非常大。因此,对于公路桥梁板式橡胶支座不允许其发生脱空。

(1) 板式橡胶支座

板式橡胶支座是桥梁支座中不可或缺的支座类型之一,具有性能可靠、安装和使用方便、造价低、吸收部分振动、减小活载对桥梁结构及墩台的冲击的特点,在 20 世纪 50 年代国内外已广泛开始应用。在我国目前新建跨度小于 30m、位移量较小的公路桥梁中几乎均使用橡胶支座。但近年来,随着我国交通量的增大,以及橡胶产品生产质量、支座设计和施工不当等原因,橡胶支座出现大量病害。橡胶支座病害主要有不均匀外鼓、开裂(包括破损)、剪切变形大、脱空(包括缺失)、钢板外露、偏压、偏位和串位等。通过对国内近 16 万个在用板式橡胶支座的检查结果进行初步统计分析表明:除了样本支座存在支座老化开裂现象外,同时支座偏压脱空现象、剪切变形超限现象也较为突出。

板式橡胶支座一般分为非加劲支座和加劲支座。非加劲支座只有

一层橡胶构成,在水平力作用下支座能够满足水平位移的需要,但在竖向荷载作用下,支座的垂直压缩变形过大,橡胶向侧向膨胀,在四周产生较大的凸突,此处橡胶具有较大的拉伸变形,而产生应力老化,这种支座在竖向荷载较大的桥梁上很少使用。为了即可承受较大的垂直荷载,又能满足支座水平位移量的要求,通常可以采用若干层橡胶片和薄钢板为刚性加劲物组合而成,各层橡胶与钢板之间经涂刷胶黏剂加压硫化牢固地粘结成为一体。支座在竖向荷载作用下,嵌入橡胶片之间的钢板将约束橡胶的侧向膨胀,从而使竖向压缩变形相应减小,可大大提高支座的竖向刚度。加劲钢板在阻止橡胶层侧向膨胀的同时,对支座的抗剪强度几乎没有影响。板式橡胶支座通过其剪切变形提供隔震所需的水平柔度,其主要缺点是水平刚度很小,在较低水平力如制动力、摇摆力等作用下,支座也会产生较大的变形。为了控制过大的水平位移,可将板式橡胶支座与钢制阻尼器结合使用。

胥明,黄跃平等^[2]用不同的方案测量板式橡胶支座的抗压弹性模量,对结果进行不确定性分析,并且对现有的检测方法进行改进,最终进行对比分析。结果表明,匀速加载相较于规范上的加载方法测量结果明显偏高,误差较大,并且不同的测试方法、设备、仪器以及试验环境等因素均会对测量结果产生影响。Bhuiyan等通过对不同参数下的板式橡胶支座进行力学性能试验,并且对结果并行对比分析得出板式橡胶支座的力学性能与其中间层橡胶厚度、橡胶种类、橡胶硬度、形状系数、环境温度等对其最终力学性能测量结果的影响。李洛书等^[3]对实际已服役15年的板式橡胶支座的各项力学性能指标进行检测,

得出支座的失效条件与使用寿命,结果表明:根据橡胶的热老化试验进行预测,支座的使用年限为 50~120 年。

邹立华、王克海等^[4]对不同参数下的板式橡胶支座进行摩擦滑移试验,得出了滑移特性变化趋势与其加载方式、摩擦系数、加速度以及支座本身参数之间的关系,构建了支座摩擦滑移的模型。李悦等^[5]对比分析有限元模型与实际常温试验结果,研究了环境温度对板式橡胶支座摩擦滑移性能的影响,结果表明随着温度的降低,摩擦滑移阶段中的能耗不断增加。Joshua 等^[6]对板式橡胶支座设计不同的加载方式进行循环往复地摩擦滑移试验,得到了其在发生摩擦滑移时详细的破坏阶段以及破坏模式,并建立损伤模型。

(2) 铅芯橡胶支座

铅芯橡胶支座是在叠层橡胶支座中插入铅芯得到的一个紧凑的减隔震装置,铅芯提供了地震下的耗能和静力荷载下所必须的屈服强度与刚度。在较低水平力作用下,因其具有较高的初始刚度,变形很小;在地震作用下,由于铅芯的屈服,一方面消耗地震能量,另一方面,刚度降低,达到延长结构周期的目的;因而满足一个良好的减隔震系统所应具备的要求,但是已有研究表明,铅芯橡胶支座在低温下橡胶会发生迅速硬化现象,在低周期反复荷载作用下铅芯棒会发生疲劳剪切破坏,使支座的阻尼大幅降低,同时,铅芯减隔震橡胶支座存在铅对环境造成污染的问题。

Kalpakidis I V^[7] 对铅芯橡胶减隔震支座在循环荷载作用下力学性能变化进行了研究,研究结果表明由于铅芯发热,导致支座的特征

强度和耗散能量的能力降低,提出了可以预测铅芯橡胶减隔震支座的特征强度和能量耗散随时间变化的理论关系式,该理论的基础是预测铅芯的温度,并且将温度和特征强度联系起来。

Moein Ahmadipour^[8]研究了橡胶层数、铅芯直径、以及铅芯材料对铅芯橡胶减隔震支座水平力学性能参数的影响,研究表明铅芯直径对支座水平力学性能参数的影响最大,橡胶层数对其水平力学性能参数几乎没有影响,铅芯直径直接影响支座的特征强度和耗散能量的能力。

日本建筑学会对直径为 500mm 的铅芯橡胶减隔震支座进行了往复循环加载的水平力学性能试验,加载圈数为 30 圈,加载频率为 0.5Hz,剪应变为 100%,研究表明,第三十圈的特征强度是第一圈的 70%,同时对铅芯橡胶减隔震支座的特征强度的相关性进行了研究,研究表明特征强度和铅芯的温度的相关性很大。

国内学者刘彦辉、周福霖等^[9]通过对铅芯橡胶减隔震支座进行水平剪切试验,对支座的水平力学性能参数展开系统的研究,并推导出了铅芯橡胶减隔震支座的屈服前刚度、屈服后刚度、特征强度的计算公式。

曾令子等^[10]通过对 6 个不同直径的铅芯橡胶减隔震支座进行反复循环水平剪切试验,分析了支座滞回曲线的变化特征,研究支座的力学性能与循环次数以及支座直径的关系,研究表明,在反复循环加载试验中,屈服后刚度基本保持不变,而特征强度在循环加载的前几圈显著下降,后期逐渐趋于稳定,对于不同直径的支座,其力学

性能规律变化大致相同,但变化的幅值不一致。

沈朝勇等^[11]采用3种不同内部剪切模量的铅芯橡胶减隔震支座,通过对其进行反复循环加载试验,探究在不同温度、不同剪应变、不同压应力作用下,支座水平力学性能的变化。试验采用两种加载频率分别是0.05Hz和0.25Hz,试验结果表明加载频率、压应力、剪应变、温度对支座的屈服后刚度影响较小,对支座的滞回环面积影响较大,此外,该研究说明支座在反复循环加载50圈后,支座力学性能参数有一定程度的降低,但放置一定时间后,其力学性能又能基本恢复。

钟伟健等^[12]采用直径为90mm和120mm的小型铅芯橡胶减隔震支座,通过对其进行加载频率为0.8Hz的高速反复循环剪切试验,加载圈数为100圈,研究支座在高速往复循环荷载作用下力学性能的变化情况,研究结果表明,随着循环圈数的增多,特征强度和等效阻尼比逐渐降低,但降低的幅值越来越小,屈服后刚度基本不变。

孙海军等^[13]通过拟静力试验研究了直径为300mm的铅芯橡胶减隔震支座在不同压应力下的力学性能参数变化情况,试验加载频率为0.01Hz。研究结果表明,随着压应力的增大,支座的特征强度以及滞回环面积增大,等效阻尼比和等效刚度减小。基于试验的数据和Bouc-Wen模拟,研究得到不同的压应力下对应的模型参数,进而拟合出压应力和模型参数的函数关系式。

Masato Abe等^[14]采用直径为600mm的橡胶减隔震支座,通过其进行剪应变小于20%的水平剪切变形试验,压应力分别设置为3.92MPa和7.84MPa,研究结果表明,当剪应变较小时,竖向压应

力大小对支座各项力学性能的影响程度反而会增大。

刘宝石等^[15]通过对 4 组小尺寸铅芯橡胶减隔震支座进行剪切试验,研究不同形状系数的支座在不同竖向压应力作用下的力学性能变化情况,并基于试验结果提出小尺寸铅芯橡胶减隔震支座的力学性能修正公式。

郑文智、姚嘉栋等^[16]研究了铅芯橡胶减隔震支座在大变形循环荷载作用下特征强度退化的问题,剪切应变为 150%,加载频率为 0.03Hz,加载圈数为 11 圈,研究结果表明支座在反复荷载作用下,随着加载圈数的增加,特征强度在前三圈下降的幅度较大,后面几圈基本保持稳定,屈服后刚度基本保持不变,基于试验结果,再对广义 Bouc-Wen 模型进行优化,最后得到适用于铅芯退化效应的广义 Bouc-Wen 模型。

王建强、赵云等^[17]通过对铅芯橡胶减隔震支座进行低周反复循环剪切试验,研究了支座的水平剪切性能和压应力的相关性,研究结果表明,随着压应力的增大,滞回环逐渐饱满,支座耗能能力、支座的特征强度、以及等效阻尼比几乎呈线性增加。随着剪应变的增大,压应力对铅芯橡胶减隔震支座的特征强度和等效阻尼比的影响程度相对减小。此外,再根据试验结果提出了支座剪切性能的压应力相关经验公式。

李勇、庞辉等^[18]通过对大尺寸铅芯橡胶减隔震支座进行快速往复循环剪切试验,研究了加载频率与剪应变变化对其力学性能的影响规律,当加载频率为 0.67Hz 时,支座在前三圈循环下温度上升幅度为

29.98%，特征强度退化了 12.2%，当剪应变从 25%增大为 250%时，特征强度的增长的幅度范围为 64%-188%，支座耗能增加了 26 倍。

程志远、胡紫东等^[19]通过对铅芯橡胶减隔震支座进行拟静力试验，研究支座竖向力相关性，研究结果表明，竖向力的范围为 1MPa~12MPa，加载圈数为 3 圈，研究结果表明当竖向压力小于 5MPa 时，其滞回环面积明显减小，支座耗能能力减弱。当竖向压力为大于 7MPa 时，其滞回环受压应力的影响不大，耗能性能趋于稳定，基于试验数据拟合出支座参数与竖向力的相关性曲线。

(3) 高阻尼橡胶支座

高阻尼减隔震橡胶支座是采用特殊配制的橡胶材料制作，其形状及构造与天然橡胶支座相同。但该橡胶材料粘性大，其自身可以吸收能量。由于与耗能功能集成在一起，可以节省使用空间，施工上也比较方便。高阻尼减隔震橡胶支座的滞回环的面积较大，表明有较大的耗能能力，且滞回曲线在变形较小时就表现为非线性，而且与反复次数、变形大小和位移历程有关，力学性能比较可靠，但是高阻尼减隔震橡胶支座存在低温性能不稳定等诟病。

美国、西欧和日本等国为研制性能卓越的新型高阻尼减隔震支座已投入了大量的人力和物力。利用高阻尼复合橡胶材料替代铅芯，达到既绿色环保又可以有效耗散地震能，从而使工程结构在强震中免遭破坏。许多发达国家都已经取得了突破性进展，美国、西欧等国已经研制出了性能稳定的新型高阻尼减隔震支座。对此，日本取得了更加丰硕的成果，突破传统减隔震体系复合材料的限制，研制出了性能极

佳的超高阻尼减隔震支座。1995 年, Sano 和 Di-Pasquale 依据 Davienkov-Martine 法则提出了一个非应变率相关模型。1997 年, Aiken 提出一个非应变率相关本构模型。2004 年, Junji Yoshida, Masato Abe 和 Yozo Fujino 对高阻尼复合橡胶材料做了一系列试验研究, 并建立了双向加载下高阻尼橡胶支座的本构关系。Hwang, J.S. 运用 Kelvin 模型设定高阻尼支座计算模型, 紧接着又确定了考虑应变、频率和竖向荷载等相关参数的恢复力模型。A. Dall'Asta 和 L. Ragni 研究了不同剪应变与加载频率下的剪切试验, 得出非线性粘弹性损伤模型。A.R. Bhuiyan 在 Maxwell 模型上加入一个非线性弹簧和一个弹塑性滑块, 提出了 HDR 的粘弹塑性流变模型。Masato Abe 对 LRB 和 HDR 进行了试验研究和对比分析, 得出随着水平剪切位移的增加, 高阻尼橡胶支座的等效刚度增加而阻尼比降低。

近年来, 我国科研人员对高阻尼减隔震支座的研发和应用做了大量的研究。2006 年, 薛晓锋等^[20]运用有限元分析手段研究表明高阻尼减隔震支座能够使桥梁的减隔震能力提高 30% 以上。2008 年, 袁涌等^[21]对新型高阻尼减隔震支座的综合性能研究表明其是速度相关型支座, 其中等效水平刚度相关性较明显, 但对其等效阻尼比影响较小。资道铭^[22]等运用试验和数值分析相结合的研究手段, 精确、定量地验证了新型高阻尼支座在桥梁结构体系中的减隔震能力。2011 年, 张欣在软弱场地条件下对比分析了板式减隔震支座和 HDR 对桥梁的减隔震能力, 结果表明 HDR 在软弱场地条件下仍具有较好的减隔震能力。2013 年, 杜鹏飞^[23]用有限元精确的验证了 HDR 在桥

梁中的减隔震性能。尽管如此,目前我国开发的 HDR 都是基于桥梁减隔震体系,建筑用 HDR 的研发仍有大量的工作需要完成。

为研究桥梁在实际地震中的减隔震性能,国内外学者也对隔震桥梁在实际地震作用下的动力性能进行了研究。1987 年新西兰 Edgecumbe 6.3 级地震中,距 TeTeko 桥 11 公里处的地面峰值加速度达到 $0.33g$,而该桥性能良好,仅出现微小的损伤。1991 年日本 4.9 级地震中,由于该地震距离桥址区 30km ,地面峰值加速度较小,采用铅芯橡胶支座隔震的 Miyagawa Bridge 支座并未屈服,但主梁加速度峰值相比地面峰值加速度有所减小。1992 年美国 Cape Mendocino 7.0 级强震中,Eel River Bridge 的隔震桁架与桥台之间的纵向相对位移峰值约 200mm ,横向相对位移峰值约 100mm ,震后系统恢复到原来位置,结构损伤较小,仅伸缩缝处的混凝土剥落。1993 年发生在日本的 Kushiro-Okii 7.8 级地震中,On-Netoh 老桥仅在 4#桥墩发生较大的位移,该桥处于日本北部的严寒地带,对采用橡胶/铅芯橡胶支座隔震的日本 On-Netoh 新桥进行分析发现, -20°C 环境温度下的墩底峰值弯矩比常温时大几乎 1 倍,可见低温效应会显著增大地震作用下的桥墩内力。1999 年 10 月台湾 Gia-Yi 6.0 级地震中,铅芯橡胶支座隔震混凝土连续梁桥—Bai-Ho 桥性能良好。1999 年 Duzce 7.2 级地震中,位于震中附近、高架桥以西约 5km 处的 Duzce 强震观测站记录到的加速度峰值超过 $1g$,土耳其 Bolu 高架桥主梁端部发生约 250mm 的横向位移,桥台发生碰撞,桥墩墩顶的不锈钢钢板、聚四氟乙烯板由于复位能力不足几乎全部移位。为了提升 Bolu

高架桥的支座位移能力及隔震系统的复位性能,采用摩擦摆支座对其进行了抗震加固。

与板式橡胶支座,铅芯橡胶支座和高阻尼减隔震橡胶支座相比,本项目拟研发的高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座应具有较高的设计承载力(可达 25MPa),具有较强的耗能能力(阻尼比达 20%以上),有较好的复位能力,安装、更换时不损伤结构本体;可实现自动化连续生产、质量稳定、节能环保,没有再生胶料,其环保性明显优于铅芯橡胶支座和高阻尼隔震橡胶支座;温度适用范围更广、低温稳定性更强;高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座,主体拟采用聚氨酯弹性体,聚氨酯弹性体是一种新兴的有机高分子材料,聚氨酯产品具有耐磨、弹性好、耐冲击、耐腐蚀的特性,聚氨酯有“耐磨王”之称,赋予结构阻尼吸收能量、弹性变形及复位、承载功能。该支座的研制基于国家标准 GB 20688.2-2006《橡胶支座 第 2 部分:桥梁隔震橡胶支座》,同时参考了欧洲标准 EN 1337-3、EN 15129 等国外标准以及交通运输行业标准 JT/T 842-2012《高阻尼隔震橡胶支座》。高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座,要求与墩、梁连接可靠,承载能力高,长寿命、复位能力强,抗疲劳性能好,耐低温、耐腐、耐磨、耐久性好,应具有良好的耗能能力,经济环保,易生产,安装、养护、维修、更换方便,特别研究适用于 9 度及以下地震烈度区各类公路及市政桥梁的减隔震结构和性能的产品。初步拟定支座设计竖向压应力应达到 25MPa 以上,极限竖向压应力达到 90MPa 以上。通过支座的高承载能力,复位能力强的优势,可控制地震作用下桥梁和支座产生的相对

水平位移处于较小水平，起到较好的水平位移控制作用。

我国属于地震多发国家，41%左右的国土面积处于地震基本烈度7度及7度以上地区，同时，这些地震多发地区往往又是人口密集地区，地震对这些地区生命和财产造成的损害更加严重。建筑减隔震产品有利于提高城市建筑和基础设施抗灾能力，提高农村住房设防措施和抗灾能力，能有效减少地震对生命和财产造成的损害。另一方面，我国减隔震研究起步较晚，技术相对落后，导致在同等强度地震下，我国受到地震的损害比发达国家更严重，美国1989年加州洛马普里埃7.1级地震死亡人数为63人，日本1995年阪神7.3级地震死亡人数为6500人，而2008年我国汶川8.0级地震死亡人数达6.9万人，是日本和美国的数十倍，甚至高于伊朗和巴基斯坦等国家。因此，我国研发和应用桥梁减隔震技术具有重要的意义和现实需求。

随着公路、铁路、高速公路等交通基础设施的建设加速，对桥梁安全和可靠性的需求也不断提高。特别是在高烈度地震区，隔震支座是其中不可或缺的设计元素。减隔震支座能够降低桥梁结构的振动和地震反应，提高桥梁的稳定性和耐久性。因此，在桥梁工程领域，减隔震支座拥有广阔的市场，尤其是在一些地震频发地区和恶劣气候环境中。

2.2 存在的问题

现有的减隔震橡胶支座在应用过程中也逐渐暴露出其材料性能的不足和诸多亟待解决的工程问题。主要包括：

- 1) 限于材料性能，该产品水平尺寸较大，承载能力有限；

2) 相较支座竖向刚度, 水平刚度普遍较小, 中高烈度区地震作用下剪切位移偏大, 可能导致落梁现象;

3) 橡胶普遍耐低温和耐紫外线老化性能差, 使用寿命不足;

4) 支座结构构造复杂, 减隔震橡胶支座的安装和更换施工难度大。

2.3 前期成果及现有工作条件

2.3.1 前期科研成果

项目承担单位围绕着公路桥梁抗震评估、桥梁抗震加固、减隔震支座研发等, 进行了相关研究, 取得了一定的成果, 为本项目的进一步研究打下了坚实的基础, 主要包含:

表 2-1 已取得的重大成果

序号	成果	阶段	备注
1	基于位移法的中小跨径梁式桥抗震设计及试验研究	已完成	陕西省交通运输厅科研项目
2	高烈度区既有桥梁抗震性能评价及加固改造技术研究	研究中	陕西省交通运输厅科研项目
3	一种桥梁用梁体横向纠偏复位施工结构	已授权	实用新型专利
4	一种地裂缝用自适应高度的盆式支座及其安装方法	已授权	发明专利

2.3.2 现有工作基础及条件

项目组通过对公路桥梁抗震进行的大量调研, 掌握公路桥梁抗震研究现状及工程实践存在的问题, 为开展本研究奠定了坚实的基础。

项目组自 2000 年起就开始了公路桥梁领域的探索: 近年来, 本项目组在桥梁领域开展了众多研究, 并取得了丰硕成果。先后承担了《预应力加固混凝土桥梁关键技术》、《钢板-混凝土组合加固混凝土桥梁的方法及质量评价技术研究》、《预应力混凝土预制箱梁桥加固技

术及质量评价研究》等多项桥梁加固方面的省部级科研项目，完成了《活性粉末混凝土梁式桥设计施工应用研究》、《公路桥梁钢结构与混凝土专用防腐涂层的研究》等多项新材料相关省部级课题，完成了《高墩大跨径连续刚构健康监测应用技术研究》《基于高墩大跨连续刚构群的施工误差随机性及其耦合作用机理研究》等多项桥梁监测方面的省部级科研项目，同时完成了《基于位移法的中小跨径梁式桥抗震设计及试验研究》抗震方面课题。在桥梁加固、新材料、桥梁监控和监测、桥梁抗震等关键技术研究领域取得了创新性成果，并在实践中得到了应用。

工程实践方面，项目组承担了大量高速公路及国省干线公路新建桥梁设计和旧桥加固维修设计等工作，项目组有多名设计经验丰富的正高级、高级工程师和长期从事桥梁结构分析的优秀科研骨干，本项目组有多座桥梁抗震的设计、咨询、施工工作经历，且承担并完成了多项桥梁抗震研究课题，为项目顺利完成提供技术人才保障。

项目组有多名设计经验丰富的高级、正高级工程师和长期从事桥梁结构分析和科研的优秀科研骨干，为本课题的顺利开展奠定了坚实的基础。

2.3.3 研究支撑条件

本项目由西安公路研究院有限公司承担，课题研究组长期开展桥梁结构抗震评估、抗震支座研发等工作，具有丰富的实践经验，且均有系统的研究。

陕西直道致远工程科技有限公司参与，公司主要从事路桥工程产

品及材料研发和相关产业化技术服务,拥有专业化研发团队 30 余人及中试基地和中试设备 100 余台套,建有博士后创新基地和创新孵化中心。

2.4 参考文献

- [1] 刘利.在役公路桥梁板式橡胶支座病害分析及对策研究[D].中国铁道科学研究院,2012.
- [2] 胥明,黄跃平,周明华.板式橡胶支座抗压弹性模量检测方法的研究[J].公路,2006,(02):5-11.
- [3] 李洛书,板式橡胶支座失效条件及检测方法研究.山西省,北京铁路局太原科学技术研究所,2002-01-01.
- [4] 邹立华,王克海,赵人达.大跨 RC 斜拉桥的非线性地震响应分析[J].铁道学报,2004,(06):95-99.
- [5] 李悦,李治,李冲.支座摩擦滑移和挡块力学性能退化影响下桥梁易损性研究[J].土木工程学报,2020,53(S2):280-287.
- [6] 《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术研究综述·2014[J].中国公路学报,2014,27(05):1-96.
- [7] 李勇,庞辉,戴君武,等.加载频率与幅值对橡胶隔震支座力学性能的影响试验研究[J].地震工程与工程振动,2023,43(03):136-149.
- [8] 薛斌,朱玉华,何毅,等.基于概率密度演化的铅芯橡胶支座水平等效刚度不确定性[J].地震工程与工程振动,2018,38(06):145-152.
- [9] 刘彦辉,谭平,周福霖,等.高墩隔震连续梁桥地震模拟振动台试验[J].中国公路学报,2015,28(02):60-68+94.

- [10] 曾令子,杨军.铅芯橡胶支座反复加载试验研究[J].工程抗震与加固改造,2018,40(04):98-101.
- [11] 沈朝勇,黄襄云,陈洋洋,等.超高阻尼隔震橡胶支座力学性能温度相关性影响因素分析[J].地震研究,2020,43(03):471-477+601.
- [12] 钟伟健,刘彦辉,何慧慧,等.多次循环往复荷载对铅芯橡胶支座剪切性能的试验研究[J].华南地震,2018,38(02):122-126.
- [13] 孙海军,林剑峰,江正谭.高烈度地震区钢-混结合段位置对大跨斜拉桥地震响应的影响[J].交通科技,2023,(02):90-97.
- [14] MASATO ABE,隋莉莉.用于土木工程结构抗震的半主动调谐质量阻尼器[J].吉林建筑工程学院学报,1998,(02):15-20.
- [15] 刘宝石,任祥香,薛斌,等.小尺寸铅芯橡胶支座力学性能试验研究[J].土木工程学报,2022,55(S1):112-117+125.
- [16] 郑文智,姚嘉栋,王浩,等.自适应形状记忆合金变频摩擦摆隔震桥梁抗震性能提升研究[J/OL].中国公路学报,1-13[2025-12-18].
- [17] 王建强,赵云,刘耀东,等.铅芯橡胶支座竖向刚度试验研究[J].铁道建筑,2015,(11):33-36.
- [18] 李勇,庞辉,戴君武,等.加载频率与幅值对橡胶隔震支座力学性能的影响试验研究[J].地震工程与工程振动,2023,43(03):136-149.
- [19] 程志远,胡紫东,李黎.考虑竖向力相关性的铅芯橡胶支座性能研究[J].工程抗震与加固改造,2019,41(03):87-91.
- [20] 薛晓锋,胡兆同,刘健新.高阻尼橡胶耗能性能研究[J].公路交通科技,2006,(03):70-73.

- [21] 袁涌,熊世树,朱昆.橡胶隔震支座对桥梁隔震性能的实时子结构拟动力实验研究[J].华中科技大学学报(城市科学版),2008,(01):35-38+46.
- [22] 资道铭,袁涌.高阻尼橡胶隔震支座的力学性能及隔震效果分析研究[J].华商,2008,(03):144-145.
- [23] 杜鹏飞.高阻尼隔震橡胶支座在桥梁设计中的分析与运用[J].赤峰学院学报(自然科学版),2013,29(21):48-51.

三、实施方案

3.1 拟解决的关键问题

本项目拟解决的关键问题如下:

(1) 解决传统橡胶支座寿命普遍较短的问题

解决传统橡胶支座低温性能不足、抗紫外线热空气老化性能差以及能耗碳排放高的问题,本课题从材料配方和性能的研究出发,拟研发出可实现长寿命,节能、低碳、环保且可回收的支座专用高性能材料。

(2) 适应高烈度区的新型减隔震支座结构体系及产品系列研发

通过理论试算、产品试制、试验验证等研究方法,开发可解决现有隔震橡胶支座尺寸大、承载低、不能设置偏移量、施工更换困难等问题的新型减隔震支座结构,并形成一套与之匹配的系列产品。

(3) 高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座多方位刚度需求及协同抗震技术研究

为解决隔震橡胶支座水平刚度小且单一,水平性能可设计性差,

全桥刚度多样性需求不足,协同抗震能力差等问题,本项目拟研究一种水平刚度可设计性强、剪切模量范围广,可实现大范围水平刚度需求和协同抗震,在高烈度地震作用下,最大程度发挥隔震耗能作用的桥梁减隔震支座。

(4) 支座智能化水平不高,支座性能长期监测困难的问题

当前市面各种支座产品智能化水平不高,缺乏安装后支座力学性能和受力状态参数监测手段,仅能通过理论计算粗略估计支座实际受力大小,支座实际受力状态受安装质量、相邻支座、支座病害等多种因素影响,难以准确量化。

3.2 主要研究内容及实施方案

本项目从支座低碳延寿、新型减隔震结构、高烈度地震区减隔震技术、智能感知技术的需求出发,开展低碳耐久性材料、新型减隔震支座结构体系和产品定型、桥梁减隔震技术适用性、支座智能感知性能等四个方面技术的研究和开发。具体如下:

(1) 低碳耐久型聚氨酯基弹性体材料研发

开展桥梁支座用弹性体材料性能要求的调研,结合现有桥梁对聚氨酯支座新产品的性能需求分析,确定低碳耐久型聚氨酯弹性体材料的关键性能参数;制备不同配方组分的聚氨酯弹性体并对其关键性能参数进行测试,建立聚氨酯组分配方与关键性能的构-效关系,进而基于材料基因组技术研发面向不同荷载工况和气候环境的聚氨酯弹性体材料,形成系列高阻尼、高强度、高耐候、节能低碳、长寿命的聚氨酯弹性体材料产品。

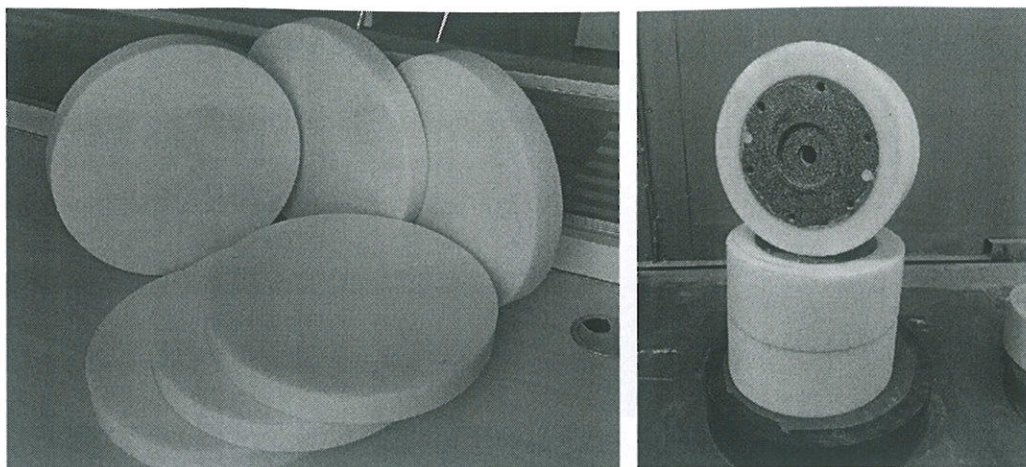


图 3-1 聚氨酯材料样品

研制出的聚氨酯弹性体可全面替代橡胶，并解决了传统橡胶支座承载力低、服役寿命短、环境适应性差的技术难题。研制的新型材料应显著提升桥梁支座服役寿命，降低全寿命周期使用成本，同时可实现工艺生产的革命性改进，且明显的降低碳排放。

实施方案：拟选用耐低温性能、抗老化、抗紫外线、耐臭氧、耐水解、耐冲击、耐腐蚀、耐油性好的聚氨酯材料作为基础研发弹性体材料，聚氨酯材料具有弹性模量高、减隔震性能好、使用寿命长、绿色低碳等特性。通过对高烈度区减隔震桥梁对减隔震产品的需求性能分析，初步反向研究计算分析聚氨酯弹性体所需要的参数性能，然后根据初定材料参数性能选用相应配方进行材料的研制，最终针对不同的桥梁减隔震性能需求，确定材料不同剪切模量等技术参数对应的聚氨酯配方。

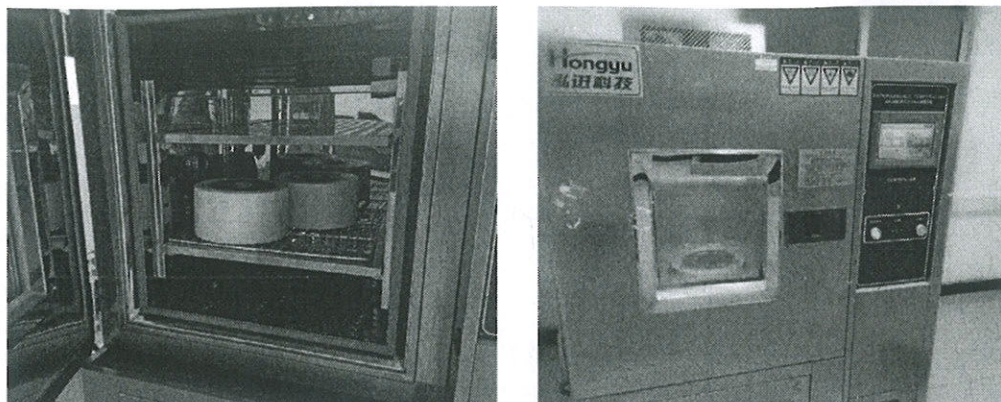


图 3-2 老化性能试验 ($70^{\circ}\text{C} \times 1008\text{h}$)

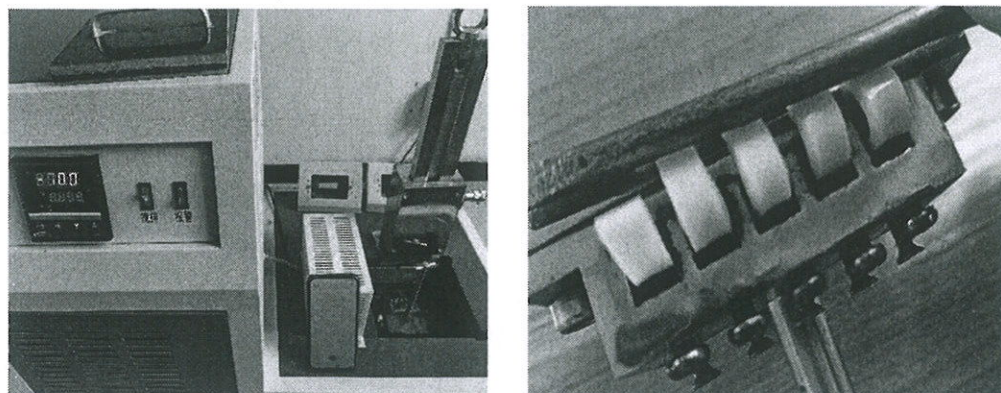


图 3-3 试片低温性能试验 (-70°C)

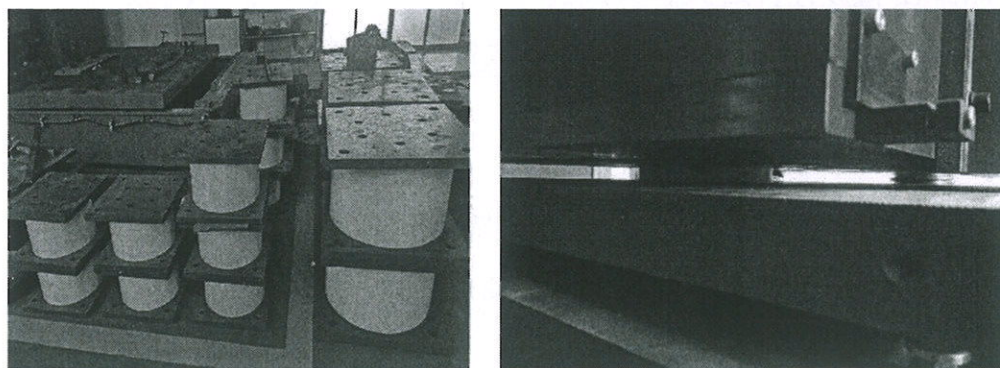


图 3-4 成品性能试验

(2) 新型减隔震支座结构体系和系列化定型

基于聚氨酯弹性体的力学性能研究,以及现有桥梁减隔震技术适用性研究成果,结合桥梁自身需求,在现有行业产品优缺点论证分析的基础上,研究一种竖向承载能力大、多剪切模量多刚度、减隔震能力强、适应用桥梁范围广的桥梁聚氨酯支座。研究一系列适用于聚氨

酯弹性体的产品结构型式和应用方法,解决现有产品及技术在整体应用性能和安装、更换过程中的缺陷。研发全新高效的可快速成型聚氨酯浇注及成型工艺流水线,可保证原料混合均匀、产品性能稳定。同时通过材料本身特性,研究出配套的安装更换施工工艺,最后根据不同桥型特点和施工工艺,研究成套的快速安装方法和工艺。

实施方案:拟研发高烈度长寿命减隔震支座 PED(I)~(V)系列,适应不同跨径、桥型、承载力需求、抗震要求和应用场景,详见表 3-1,典型支座构造见图 3-5、3-6。

表 3-1 拟研发高烈度长寿命减隔震支座类型

型号	地震烈度	适用桥梁
PED(I)型	6度	空心板或更小公路及市政桥梁
PED(II)型	7度	公路及市政中小桥梁
PED(III)型	8度	各类公路及市政桥梁
PED(IV)低摩擦	/	作为滑动装置使用或中度区长联大跨等重要桥梁
PED(IV)高摩擦	9度	特殊需求的高减震要求环境
PED(V)	/	配合以上三类固定装置使用

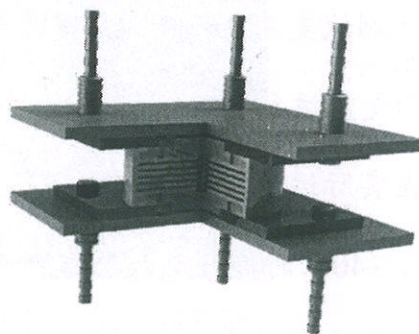
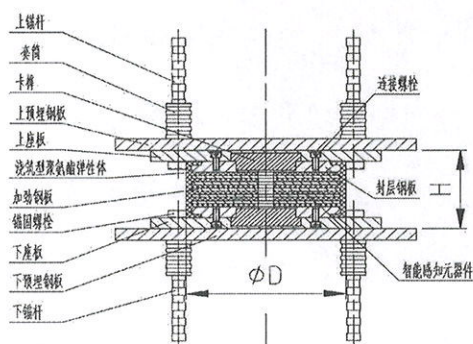


图 3-5 PED(III)型支座结构示意图

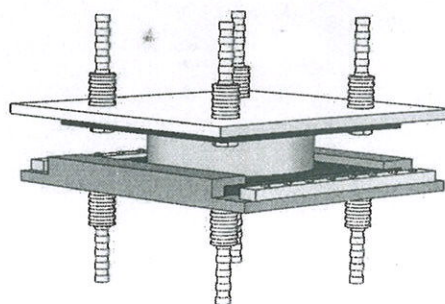
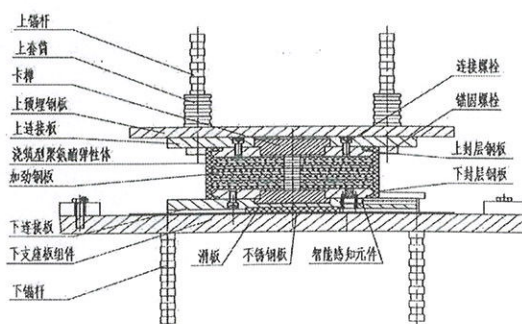


图 3-6 PED(IV)型支座结构示意图

对初步研究的试制样品聚氨酯支座各项性能进行试验和测定, 主要进行以下试验: ①支座位移和变形测量: 通过使用测量设备(如位移传感器、GPS 等), 监测支座的位移和变形情况, 评估支座在地震或其他负荷作用下的性能。②支座垂直刚度测试: 通过施加静载或动载, 测量支座在压缩或拉伸状态下的刚度。评估支座的响应特性和变形能力。③支座滞回特性测试: 通过施加周期性负载, 测量支座的滞回环特性。评估支座的耗能能力和恢复性能。④支座耐力测试: 通过施加静态负载或模拟地震负载, 测定支座的承载能力。评估支座在设计工况下的可靠性。⑤支座材料性能检测: 对支座材料进行物理和化学性能测试, 如抗拉、抗压、抗剪强度、弹性模量、阻尼比等。评估支座的材料质量和耐久性。⑥支座振动特性测试: 通过施加周期性激励, 测量支座的固有频率、阻尼比, 通过往复水平加载试验模拟地震作用来测试支座抗震性能。这可以用于评估支座的减震性能和动力特性。⑦支座运行状态检测: 检测支座的位移、变形、沉降等指标, 评估其在实际运行中的表现和健康状况。⑧支座耐低温性能测试: 测试 -70°C 、 -40°C 时支座力学性能试验来验证支座低温性能。新型减隔震支座性能要求见表 3-2。以上试验评价产品性能, 同时优化其构造, 完善高烈度区公路桥梁减隔震支座。

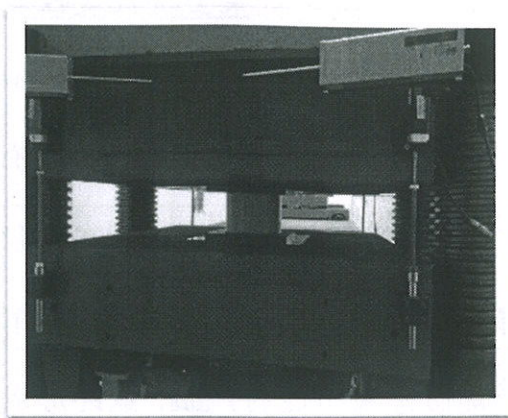


图 3-7 支承装置竖向压缩试验

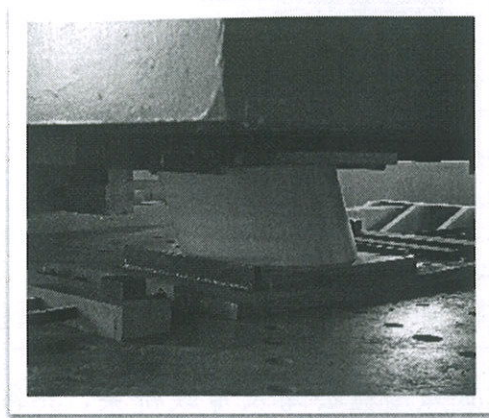


图 3-8 模仿地震疲劳试验

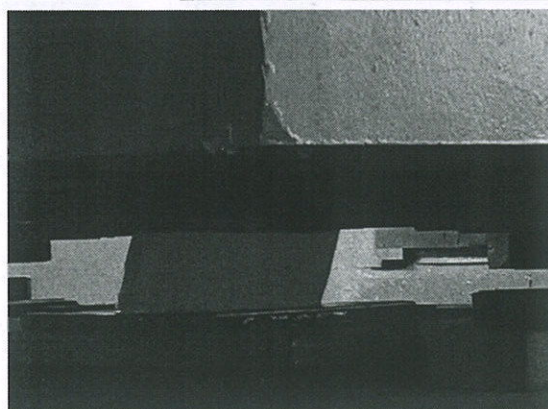
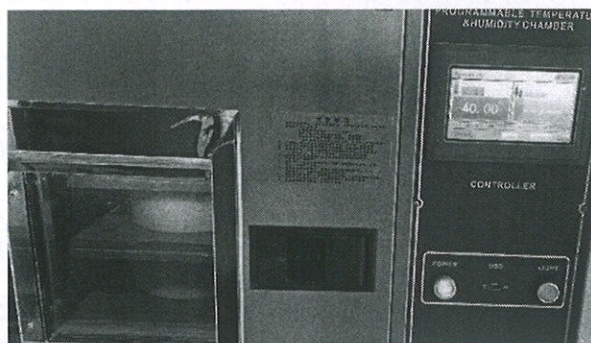
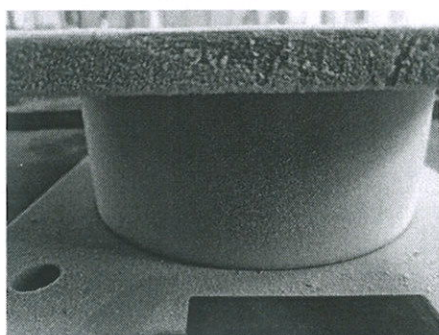


图 3-9 支承装置低温剪切性能试验 (-40°C)

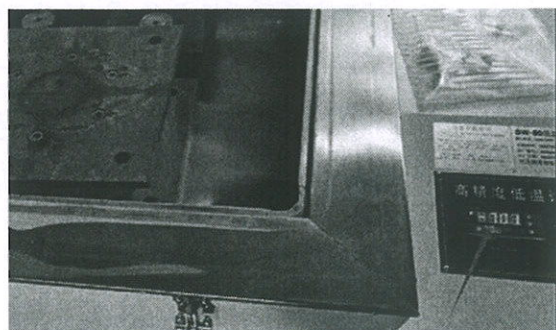
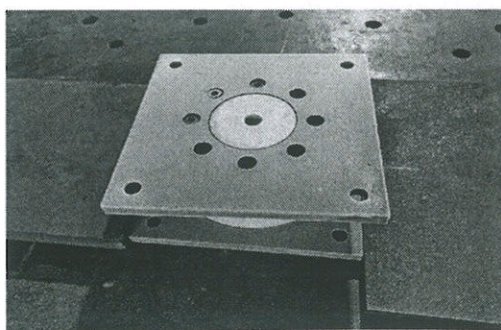


图 3-10 支承装置低温性能试验 (-70°C)

试验后再通过理论验算和修正计算出适用于桥梁全桥抗震性能评价用的实测参数性能；然后通过 Opensees、桥梁博士等有限元模拟分析软件计算产品在实际桥梁上多地震作用的应用效果，并分析评价桥梁的减隔震设计效果；最后根据有限元分析结果，确定产品在工程上的使用配合和不同的参数组合要求，研究一系列适用于 9 度及以下地震烈度区公路及市政桥梁，具备一定防落梁功能的产品。最终形成多参数多结构的系列产品满足多样化的桥梁抗震需求。同时研究一种高效的可保证原料混合均匀、性能稳定、可实现大批量生产的聚氨酯支座浇注及成型工艺。针对有锚栓连接的减隔震支座应用场景，研究一种可快速对齐上下锚栓和可精确设定剪切位移量的支座结构或更换装置，解决支座更换时上下锚固位置已经远远偏离初始安装位置的问题。

表 3-2 新型减隔震支座性能要求

项目/试验条件		性能要求
承载性能	竖向压缩刚度 (K_v) kN/mm	$K_v \pm K_v \times 30\%$
	设计压应力 (σ_0) MPa	17.5~25
	压缩变形量 (Y) mm	设计荷载下, $\leq T_r \times 7\%$
剪切性能	剪切模量 (G) MPa	2.5, 3.7, 4.7 (只作为质量控制指标)
	水平等效刚度 (K_h) kN/mm	$K_h \pm K_h \times 15\%$
	等效阻尼比 (ξ) %	$\xi \pm \xi \times 15\%$
剪切性能相关性 (水平等效刚度和等效阻尼比偏差, %)	剪应变稳定性 ($0.5\gamma_0$ 、 $1.0\gamma_0$ 、 $1.5\gamma_0$)	± 15
	压应力相关稳定性 (2.5MPa, 10MPa, 15MPa, 20MPa, 25MPa)	± 15
	频率相关稳定性 (0.01Hz, 0.1Hz, 0.5Hz, 1.0Hz)	± 15
	重复加载次数相关稳定性 (反复加载 50 次, 第 1, 3, 5, 10, 20, 30, 50 次循环)	± 15
	温度相关稳定性	-40℃
		-25℃

项目/试验条件			性能要求
		-10℃	-10 ~ +15
		0℃	±10
		+23℃	基准值
		+40℃	±10
位移性能	常规位移剪应变 (γ_0) %	I 型, II 型, III 型, IV 型	±70
	地震容许剪应变 (γ_e) %	III 型, IV 型 (固定时)	±150, 外观应无异常或损伤
	设计滑动位移 (X_d) mm	IV 型, V 型	±50、±100、±150、±200、±250、±300
转动性能	设计转角 (θ) rad		见附录 D
摩擦性能	设计滑动摩擦系数 (μ)	I 型, II 型, V 型	$0.15 \leq \mu \leq 0.20$ (弹性体与钢板无润滑) ^a
		IV 型	$0.05 \leq \mu \leq 0.10$ (滑板与不锈钢板无润滑) ^a
		IV 型, V 型	≤ 0.03 (滑板与不锈钢板有润滑)
耐久性能	老化性能 (70℃×168h) 水平等效刚度和等效阻尼变化率, %		±10
	徐变性能 徐变应变变化率, %	I 型, II 型, V 型 15MPa×1000h	≤10
		III 型, IV 型 20MPa×1000h	
	疲劳性能 ($\gamma_s \times 50$ 次) 水平等效刚度变化率, %		±15, 无裂纹
极限性能	极限剪切, $\gamma_u = \pm 175\%$	IV 型 G4.7	不发生破坏、屈曲或翻滚
	极限剪切, $\gamma_u = \pm 200\%$	III 型 G2.5、G3.7, IV 型 G3.7	
	拉剪性能, $\gamma_e = \pm 150\%$, $\sigma_t = 5.0\text{MPa}$	III 型, IV 型	不发生拉剪破坏
	极限抗压强度, $\sigma_u = 90\text{MPa}$ (I 型, $\sigma_u = 70\text{MPa}$)		不发生破坏, 内部钢板不断裂

(3) 高烈度区桥梁减隔震技术适用性研究

基于聚氨酯材料可设计特性研发的多水平刚度聚氨酯支座, 通过多参数多结构组合实现桥梁与支座协同抗震, 提升了桥梁的水平变位能力和结构复位能力, 能同时实现水平和竖向各向防落梁功能和抗震需求, 可满足高烈度地震地区的桥梁抗震设计要求。

实施方案:

从现有的抗震需求、减隔震设计技术规范、产品标准、设计应用案例分析、研究论文成果等方面着手,针对性汇总、分析并总结适用于现有公路桥梁的减隔震技术要求、设计要点和产品类型等适用性条件。拟从竖向承载力、剪切模量、减隔震参数、设计寿命、老化性能、耐低温性等方面,对高烈度长寿命减隔震支座与传统的板式橡胶支座、铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座等进行性能对比分析,验证高烈度长寿命减隔震支座的优良性能和高烈度区的良好适应能力。

重点针对普通板式橡胶支座的替换需求,通过桥梁结构力学响应与抗震需求分析,设计满足不同服役工况和抗震要求的高承载、多剪切模量、多刚度公路桥梁聚氨酯支座新产品,并据此提出本项目研究的关键点、具体参数和目标,作为产品系列化和参数研究的指导文件。高烈度长寿命减隔震支座通过改变材料,提高其水平等效刚度;通过桥梁和支承装置协同抗震,改变现有的仅通过装置来减小桥墩水平力,满足设计要求的现状。

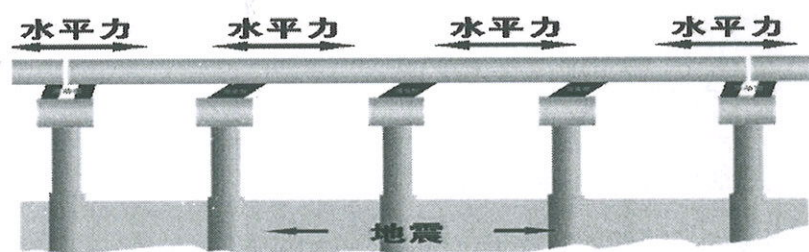


图 3-11 PED 支承装置减隔震原理示意

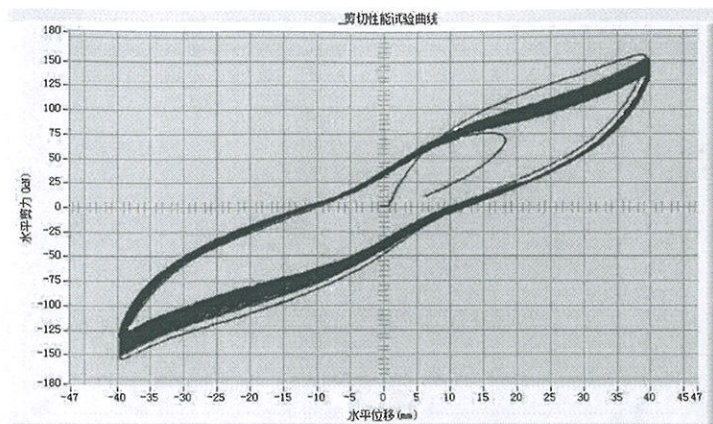


图 3-12 PED 支承装置反复加载剪切性能曲线

(4) 支座智能感知技术研究

研究一种可配套该项目产品的智能感知技术，竖向力传感器、位移传感器等可采用内置和后置式安装方式，传感器具有灵敏度高、可靠性强、使用寿命长、校准方便等特性，同时配套相应算法软件，完成监测数据的实时处理和显示。具备智能感知功能的桥梁支座可实时监测支座的力学性能和桥梁的受力状态等关键参数，既可验证支座产品性能，又可用于长期监测，反映桥梁结构受力状态。确保产品使用安全的同时，也为桥梁智能化建设提前植入了智能感知元器件，方便桥梁的智能化监测。

针对现有普通板式支座单墩多支点的支座更换实际需求出发，对该类型情况的更换后各支点的性能进行有效评价，并兼顾更换后运营期的长期健康监控及智能养护系统的建设。

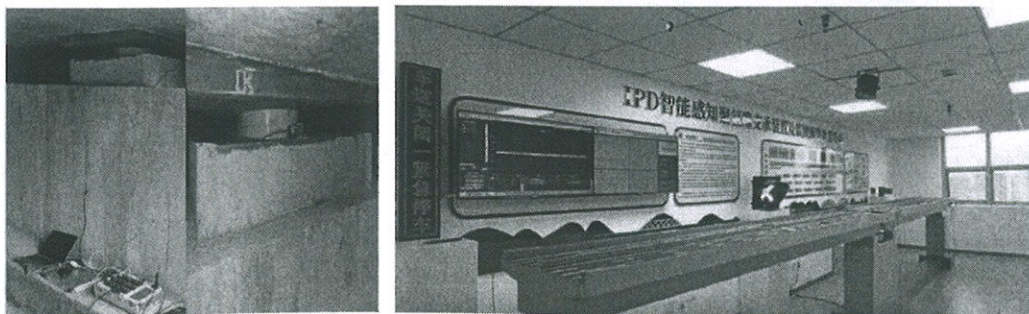


图 13 智能监测系统

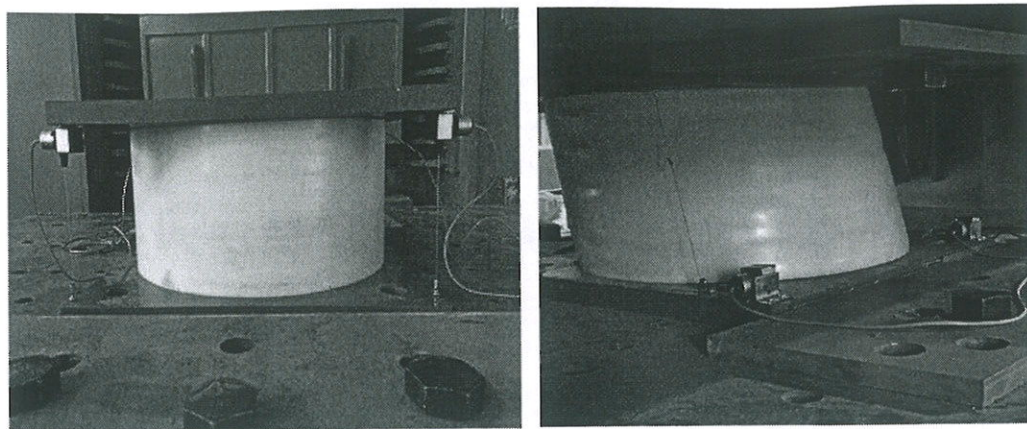


图 14 位移传感器试验

3.3 技术路线

(1) 准备阶段：调研与文献收集，确定研究的具体步骤、细化相关的研究内容。

(2) 试验研究：根据参数性能选用对应配方进行产品设计，开展相应的试验研究，确定合理参数，最终针对不同的性能需求，确定产品不同剪切模量对应的聚氨酯配方。

(3) 数值计算阶段：通过实体有限元模拟产品在桥梁上的应用，分析桥梁减隔震设计效果；最后根据有限元分析结果，确定产品在工程上的使用配合和不同的参数组合要求，最终形成多参数多结构的系列产品满足多样化的桥梁抗震需求。

(4) 开发长寿命减隔震系列支座：通过以上试验评价产品性能，同时优化其构造，完善高烈度区公路桥梁减隔震支座。

(5) 工程验证：通过依托工程实践，验证产品性能，根据验证情况对产品进行必要优化，以满足支座高烈度区减隔震需求。

本项目的总体路线如下图所示：

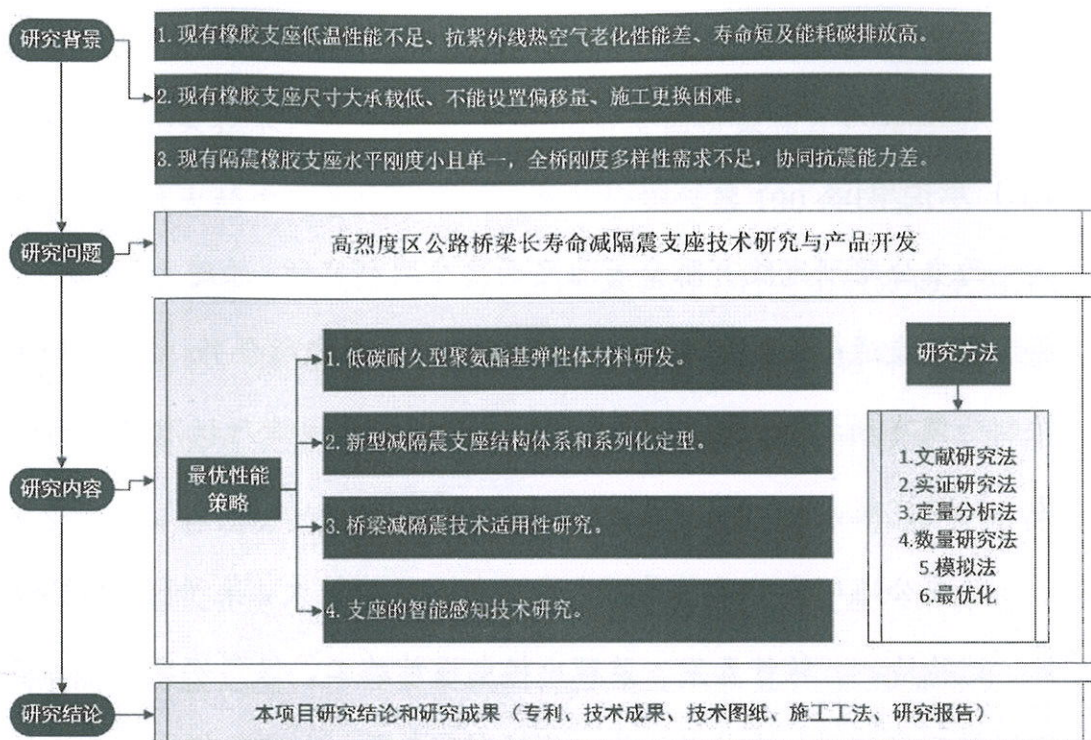


图 3-15 技术路线图

3.4 后续技术改造

依托本项目研发的低碳耐久聚氨酯材料、新型减隔震支座及智能感知技术，后续将开展针对性技术改造。选取高烈度区典型桥梁试点，应用系列化支座产品并配套智能传感器，搭建实时监测平台验证使用效果。根据试点反馈，优化材料配方、安装更换工艺及感知模块性能。总结经验编制技术指南，推广至更多桥型，完善行业标准，助力高烈度区桥梁抗震性能提升与低碳运维。

3.5 有关技术经济指标

维护成本：高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座使用寿命较传统橡胶支座提高 1 倍以上，在桥梁的全寿命周期内，维护成本节约明显；

采购成本：相同承载力作用下，高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座的截面积较传统橡胶支座减小 50% 以上，比传统橡胶支座体积更小、重量更轻，用料节约明显。

四、项目承担单位及参加单位概况

4.1 单位概况

4.1.1 承担单位

西安公路研究院有限公司原名西安公路研究所，始建于1960年，原隶属于交通部，1975年与陕西省交通科学研究所合并，2000年底转制为国有科技型企业，2009年经陕西省交通运输厅批准更名为西安公路研究院，2021年5月改制为有限公司。

西安公路研究院目前是国内交通行业规模较大，集科研、勘察设计、试验检测、软件开发、监理、机电设计施工、仪器研发生产、路用材料开发销售、技术咨询为一体的科研机构。全院现拥有各类资质14个，其中甲级资质9个。2004年通过了中国方圆标准认证中心的审核，获GB/T19001—2000质量管理体系认证证书。2010年成为省发改委批准的陕西省首批“固定资产投资项目节能评估文件编制机构和评审机构”。2011年被认证为西安市“高新技术企业”。

科研成果获陕西省科学技术二等奖2项，三等奖1项；陕西省交通运输科学技术奖一等奖2项；陕西省自然科学优秀学术论文奖1项；陕西省公路学会优秀学术论文一等奖1项；交通运输企业科技创新成果一等奖2项，科技成果在桥梁工程实际中得到广泛应用，得到国内外专家高度评价，社会经济效益显著。编写陕西省地方标准5部，授权国家专利70余项，发表核心期刊论文30余篇。

4.1.2 参与单位

陕西直道致远工程科技有限公司，成立于2014年，坐落在美丽

的古城西安，注册资本 1000 万元。公司主要从事工程技术研究、产品研发及相关技术产业化服务。公司拥有全国桥梁构件产品行业西北地区规模最大的中试基地，中试设备及检测仪器 100 余台套。

公司注重和发展技术创新与产品研发工作，科研创新方面有着坚实的技术团队，该团队先后主持和参与完成了交通运输部科技项目（桥梁减震隔震装置技术标准研究）、陕西省社会发展科技攻关项目（基于多目标设防的公路交通安全防护关键技术研究）等 20 余项科研项目；团队负责人曾主持开发了“铁路桥梁球型钢支座”、“桥梁高阻尼隔震橡胶支座”、“桥梁聚氨酯弹性体支承装置”等 30 余系列桥梁构件产品，并获得 50 余项自主知识产权和专利技术授权；获中国公路学会科学技术一等奖 1 次，陕西公路学会科学技术二等奖 1 次，中交集团科学技术二等奖 2 次，陕西五部委创新创效大赛科技奖 1 次；承担陕西省火炬计划项目负责人 1 次；主持编写交通运输部行业产品类标准 6 部，地方标准 5 部（2 部在编），团体标准 4 部。公司与有关高校共建博士后创新基地，成立创新孵化中心，共同支持社会专业人才的培养，并助力其梦想转化为服务社会的优秀成果。

公司秉承“直道而行，行稳致远”的企业精神，充分发扬大国工匠精神，坚守科研和应用的初心，创造服务社会大众的作品，建百年企业，立传世根本；以“用户至上、科技领先、以人为本、求真务实”为经营理念，向科学化、专业化、现代化的方向继续前行，为我国交通事业发展做出更大的贡献，并竭诚欢迎社会各界朋友们的合作共赢。

4.2 技术力量及人员构成

项目研发团队技术人员 20 名，其中正高工 6 人、高级工程师 6 人、中级工程师 6 人，人员梯队及知识结构构成合理。研发团队技术人员具有丰富科研经验，对公路桥梁抗震评估、减隔震支座应用均有系统研究，可及时、准确开展各项工作。部分主要人员主持或参与过省厅科研项目，有丰富的科研管理经验，能够保障科研工作有序进行。

项目名称	高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发					
项目总投资	89.96 万元		申请资助金额		19.96 万元	
申请项目负责人	姓名	苗建宝	性别	男	年龄	39
	职务	分院副院长	职称	正高级工程师	专业	桥梁工程
项目研究主要成员情况						
姓 名	单 位	性别	年龄	技术职称	专业	在项目中担任具体工作
石雄伟	西安公路研究院有限公司	男	49	正高级工程师	桥梁工程	技术负责人
王 伟	陕西直道致远工程科技有限公司	男	45	正高级工程师	桥梁工程	材料试验
马毓泉	西安公路研究院有限公司	男	58	正高级工程师	桥梁工程	减隔震技术适用性研究
许 冰	西安公路研究院有限公司	男	45	正高级工程师	桥梁工程	合理构造形式研究
柯亮亮	西安公路研究院有限公司	男	43	正高级工程师	桥梁工程	长寿命材料性能研究
赵 庭	西安公路研究院有限公司	女	37	高级工程师	桥梁工程	依托工程设计
李 京	西安公路研究院有限公司	男	37	高级工程师	桥梁工程	施工质量控制研究

骆巧叶	陕西直道致远工程 科技有限公司	女	36	高级工程师	桥梁工程	材料试验
曹晓刚	陕西直道致远工程 科技有限公司	男	37	高级工程师	桥梁工程	产品设计
雷 浪	西安公路研究院有 限公司	男	33	中级工程师	桥梁工程	新型减隔震 结构研究
刘颜滔	西安公路研究院有 限公司	男	32	中级工程师	桥梁工程	结构受力分析
张小亮	西安公路研究院有 限公司	男	39	高级工程师	桥梁工程	支座试验研究
刘 剑	西安公路研究院有 限公司	男	36	高级工程师	桥梁工程	依托工程设计
张 涛	西安公路研究院有 限公司	男	37	中级工程师	公路与 桥梁	依托工程试验
魏 程	西安公路研究院有 限公司	女	33	中级工程师	公路与 桥梁	实桥应用
王剑飞	西安公路研究院有 限公司	男	33	中级工程师	公路与 桥梁	支座测试
陈 亮	陕西直道致远工程 科技有限公司	男	29	助理工程师	桥梁工程	施工指导
巩文杰	西安公路研究院有 限公司	男	28	中级工程师	桥梁工程	适用性分析
雷蔚雯	西安公路研究院有 限公司	女	27	助理工程师	桥梁工程	实桥应用

4.3 各自承担的主要工作

西安公路研究院有限公司全面负责整个项目的实施、组织、协调和管理工作，负责依托工程设计和应用研究。

陕西直道致远工程科技有限公司配合西安公路研究院有限公司组建研究团队，共同开展国内外资料调研及工程调查，协助编制研究工作大纲和实施细则，按照研究内容分工约定开展各项研究工作，撰写相应研究报告及其他成果资料，并协助完成研究成果的各阶段验收。

4.4 项目主要负责人情况

苗建宝，男，1987年10月生，陕西榆林人，工学硕士，正高级工程师。主要从事桥梁结构科研、设计、旧桥评估与加固工作，先后主持和承担多项省部级科研和桥梁加固设计项目，获陕西省科技进步奖二等奖2项，三等奖1项，陕西省创新方法大赛一等奖1项，陕西省优秀工程设计二等奖1项，参与制定陕西省地方标准2部，累计发表核心文章10余篇，获国家专利10余项。可以满足本项目负责人要求。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

5.1 依托工程情况

依托工程包含三个项目，分别是：

项目一：108国道汉中段龙家沟桥是汉中市普通干线公路危桥加固改造工程，位于陕西省汉中市宁强段，该桥于1999年建成通车，桥梁中心桩号为K1791+765，桥梁全长31m，全宽12m，所属路段为二级公路。上部结构采用 $1 \times 10\text{m}$ 实腹式片石混凝土圬工板拱，矢跨比 $f/L=1/3.76$ ，下部结构采用重力式桥台，扩大基础，桥面采用混凝土铺装，荷载等级为汽车—20级，挂车—100级。采用原址改建方案，上部采用 $1 \times 20\text{m}$ 预应力混凝土现浇箱梁，斜交角 30° ，桥梁设计荷载等级为公路—I级，下部结构采用柱式台，钻孔灌注桩基础，拟采用减隔震体系设计，桥台处设置抗震支座，桥址位置地震动峰值加速度 $0.1g$ ，反应谱特征周期 $s=0.40s$ 。

项目二：G70福银高速公路西安至永寿段改扩建工程，起点设于

六村堡收费站，终点为既有福银高速永寿南立交北侧，路线全长 79.31km。路线经过西安市未央区、经开区，西咸新区沣东新城、秦汉新城、空港新城，咸阳市渭城区、秦都区、礼泉县、乾县、永寿县。项目改扩建方案以两侧拼宽为主，对局部路段条件受限或控制性工程影响时，采用单侧拼宽方案。路线区域地震动峰值加速度 $0.15g/0.2g$ ，反应谱特征周期 $s = 0.45s$ ，在该工程选取八兴滩小桥、上旦中桥等桥梁作为课题的依托工程。

项目三：西安都市圈环线乾县至富平高速公路，路线西起乾县灵源镇西王村，与都市圈环线西段周至至乾县段相接，东至西安市阎良区振兴街道中王村，顺接都市圈环线富平至蓝田段，路线全长 80.2 公里，与福银高速共线 10.5 公里，新建里程 69.7 公里。本项目采用双向六车道高速公路设计标准，新建路线全长 69.7 公里，设计速度采用 $120km/h$ ，路基宽度 34.5 米，设计荷载公路-I 级。在该工程选取相关桥梁作为课题的依托工程，路线区域地震动峰值加速度 $0.15g/0.2g$ ，反应谱特征周期 $s = 0.45s$ 。

5.2 投资来源

本项目资金预算 89.96 万元，其中省厅专项资金 19.96 万，剩余资金为自筹资金。

5.3 工程进度与项目科研进度的配合

项目执行时间为 3 年，研究内容与依托工程两者互相配合，研究根据依托工程的规划制定方案，并将阶段研究成果在依托工程进行试验验证。已开展了前期调研和部分研究工作，具体工程进度与科研进

度的配合为:

2026.03~2026.05: 形成技术调研报告, 编制技术方案, 依托工程落实。

2026.06~2026.11: 针对技术方案进行较详细的结构及其构造分析, 开展装置研发, 依托工程设计。

2026.12~2027.05: 开展桥梁支座用弹性体材料性能要求的调研, 结合现有桥梁对聚氨酯支座新产品的性能需求分析, 确定低碳耐久型聚氨酯弹性体材料的关键性能参数, 并完成低碳耐久型聚氨酯基弹性体材料研发。

2027.06~2028.01: 开展新型减隔震支座结构体系和系列化定型研究, 研究一系列适用于聚氨酯弹性体的产品结构型式和应用方法, 解决现有产品及技术在整体应用性能和安装、更换过程中的缺陷; 同步推进依托工程施工。

2028.02~2028.08: 开展桥梁减隔震技术适用性研究, 针对性汇总、分析并总结适用于现有公路桥梁的减隔震技术要求、设计要点和产品类型等适用性条件; 依托工程检测。

2028.09~2029.03: 编制最终研究报告并汇总相关成果, 示范工程基本完成。

5.4 组织管理形式

为保障项目科研工作规范、高效推进, 确保技术攻关与成果落地, 在严格执行科研项目管理相关规定的基础上, 构建“目标导向、制度保障、协同高效、全程可控”的组织管理体系, 健全全流程管理制度, 具体如下:

(1) 组织管理架构: 实行项目负责人负责制, 统筹科研总体进

度、技术质量、经费使用及成果把控，实现科研目标全周期监控与风险防控；设立科研财务助理，为预算编制、经费调剂、财务决算及验收等提供专业化服务；建立年度及中期科研进展监测与评估机制，完善团队日常技术交流与跨任务协同制度。

(2) 核心管理制度：构建层层递进的责任约束机制，落实全流程管理责任，涵盖：科研诚信管理制度、知识产权管理制度、技术质量管理制度、科研进度管理制度、安全环保管理制度、技术资料归档制度、科研经费使用制度、成果转化衔接制度、后期技术服务制度等。

(3) 科研实施管控：明确项目总科研目标与阶段性技术目标(含技术指标、成果质量、攻关节点等)，划定科研工作范围、核心内容及工作量，梳理技术攻关关键节点，制定可量化的阶段性控制计划；健全内部管理机构与行为规范，将各项目标落实至专项攻关小组及核心成员，确保攻关方向明确、责任到人。

(4) 进度管控体系：构建分级科研进度管理体系，结合技术攻关工序与工作流程，制定综合进度计划，统筹团队人力、研发设备等资源；运用成熟的计划管理工具，实时对比实际进展与计划进度，及时纠正偏差，保障科研工作按节点推进。

(5) 协同攻关机制：整合团队核心技术优势，搭建专项研发平台，建立“个体创新+联合攻坚”的协同机制。针对关键技术突破，凸显成员专业优势，激发创新活力；针对技术集成、系统优化等工作，凝聚团队合力，实现科研瓶颈突破，为持续创新提供组织保障。

(6) 质量与成果管控：定期召开科研协商会议，及时研判并解

决实施过程中的技术难题，督促整改优化；建立科研技术文件全周期归档制度，确保研发过程可追溯；严格遵循科研技术流程，开展阶段性成果验证与系统测试，保障成果的科学性、实用性与可转化性。

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	19.96	合 计	89.96	19.96	70
工程配套研究经费	0	（一）直接费用	70.56	15.96	54.6
单位自筹	70	1.设备费	6.6	1.4	5.2
其他经费	0	（1）购置设备费	1.2	0	1.2
		（2）设备改造与租赁费	5.4	1.4	4
		2.业务费	46.3	10.1	36.2
		（1）材料费	19.5	0.4	19.1
		（2）测试化验实验加工费	10.5	5.5	5
		（3）燃料动力费	4	0	4
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	5.2	3.2	2
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	5.6	1	4.6
		（6）其他费用	1.5	0	1.5
		3.劳务费	17.66	4.46	13.2
		（1）专家咨询费	4.7	1.5	3.2
		（2）聘用人员劳务费	12.96	2.96	10
		（3）其他劳务费	0	0	0
		（二）间接费用	19.4	4	15.4
		4.管理费	7.0	0	7.0
		5.绩效支出	12.4	4	8.4

注：预算编制按照《陕西省人民政府办公厅关于改革完善省级财政科研经费管理的实施意见》（陕政办发[2022]3号）文件执行，详见附件《科研经费预算编制说明》。项目验收将组织财务专项验收或审计。

经费测算详细说明:

本项目经费预算严格按照《国务院办公厅关于改革完善中央财政科研经费管理的若干意见》(国办发〔2021〕32号)、《陕西省人民政府办公厅关于改革完善省级财政科研经费管理的实施意见》(陕政办发〔2022〕3号)等相关科研经费管理办法编制,分为“直接费用”和“间接费用”两大部分。

(一) 直接费用 (合计: 70.56 万元):

直接费用是指在项目实施过程中发生的与之直接相关的费用。

(1) 设备费 (6.6 万元):

是指在项目实施过程中购置或试制专用仪器设备,对现有仪器设备进行升级改造,以及租赁外单位仪器设备而发生的费用。

购置设备费 (约 1.20 万元):

是指在项目研究开发过程中试制专用仪器设备

设备改造与租赁费 (约 5.40 万元):

是指在项目研究开发过程中对现有仪器设备进行升级改造以及租赁外单位仪器设备和桥梁检测车等

(2) 业务费 (约 46.3 万元):

业务费是项目执行的主体支撑费用,主要包括:

1) 材料费 (约 19.50 万元):

是指在项目实施过程中消耗的各种原材料、辅助材料等低值易耗品的采购及运输、装卸、整理等费用。根据项目所需材料及数量,结合市场价格测算。

2) 测试化验实验加工支出 (约 10.50 万元):

是指在项目实施过程中支付给外单位(包括项目承担单位内部独立经济核算单位)的检验、测试、化验、实验及加工等费用。根据实验方案及样品数量,结合市场价格测算。

3) 燃料动力费 (约 4 万元):

是指在项目经费用于项目研究开发过程中相关大型仪器设备、专用科学装置等运行发生的可以单独计量的水、电、气、燃料消耗费用等。

4) 会议费/差旅费/国际合作与交流费 (约 5.20 万元):

差旅费是指在项目研究过程中开展科学实验(试验)、业务调研、学术交流等所发生的差旅费、市内交通费用等;会议费是指在项目研究过程中为组织开展学术会议、研讨会、评审会以及协调项目等活动而发生的会议费用。参照现行差旅标准及会议市场情况预估。

5) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/印刷费 (约 5.60 万元):

是指在项目研究过程中,需要支付的出版费、资料费、印刷费、专用软件购买(使用)费、数据购买和调查费、文献检索费、专利申请及其他知识产权事务等费用。根据出版合同、官方收费标准及印刷品询价单等市场公允价格,结合研究计划的实际需求数量进行具体测算。

6) 其他支出 (约 1.50 万元):

指在项目研究中发生的除上述费用之外其他业务费支出。以市场价格或公允标准为基础。

(3) 劳务费 (约 17.66 万元)

1) 专家咨询费 (4.70 万元)

用于支付给临时聘请的咨询专家的费用。

2) 劳务费 (12.96 万元)

项目实施过程中支付给参与项目研究的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员等的劳务性费用。

(二) 间接费用 (合计: 19.4 万元)

间接费用是指项目承担单位在组织实施项目过程中发生的无法在直接费用中列支的相关费用, 主要用于补偿单位为项目研究提供的现有仪器设备及房屋、水、电、气、暖消耗等间接成本, 以及激励科研人员的绩效支出。测算依据主要根据项目直接费用扣除设备费后的余额, 按照国家或项目主管单位明确规定的核定比例进行计提。

(1) 管理费 (7.00 万元)

测算依据: 按照项目直接费用扣除设备购置费后的差额, 根据国家规定的核定比例提取。用于补偿单位为项目提供的现有公共设施、管理服务 etc 产生的间接成本。

计算基数: $(70.56 - 1.20) = 69.36$ 万元, 按约 10% 的比例计提。

(2) 绩效支出 (12.40 万元)

根据项目预算绩效目标和预计完成的工作量设定。用于激励项目组科研人员的创新绩效。此部分费用将在项目通过关键节点考核或验收后, 由单位根据科研人员的实际贡献进行分配, 以充分调动科研人员积极性。

本单位承诺, 将严格执行相关财务管理制度, 确保经费专款专用, 独立核算, 并接受上级主管部门和审计部门的监督检查。

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)	2
		(1) 授权发明专利	1
		(2) 实用新型	1
		(3) 外观设计	
		2、软件著作权授权数(项)	
		3、发表论文(篇)	1-3
		(1) 其中 SCI 索引收录数	
		(2) 其中 EI 索引收录数	
		(3) 其它	1-3
		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	
		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	
		(2)中试(样品样机)	
		(3)小批量	
		(4)规模化生产	
	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、培训从事技术创新服务人员(人次)	
		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)	
		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)	
		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			

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

本项目立足高烈度区公路桥梁抗震安全与长效运维核心需求,针对传统橡胶支座寿命短、减隔震结构适配性不足、协同抗震能力弱等问题,设定以下科研预期目标,推动桥梁支座减隔震技术迭代升级:

- 1) 解决传统橡胶支座寿命普遍较短的问题;
- 2) 研发高烈度区新型减隔震支座结构体系及产品系列;
- 3) 进行高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座多方位刚度需求及协同抗震技术研究。

8.2 提交的研究成果及其形式

- 1) 提交《高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发》研究报告;
- 2) 形成高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座出版产品图 1 套,安装图 1 套,高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座设计指南 1 部;
- 3) 申请专利共 2 项,其中实用新型专利 1 项、发明专利 1 项;
- 4) 发表核心论文 1-3 篇。

8.3 经济、社会、环境效益分析

本项目研发的高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座,紧扣国家交通基建升级与绿色低碳发展战略,契合国内外桥梁工程抗震运维需求,可产生显著的综合效益,具体如下:

- (1) 经济效益显著当前我国交通基础设施建设处于高质量发展阶段,“十四五”期间各级财政对交通运输领域投资规模持续扩大,国

内公路桥梁保有量超 100 万座，大量早期建设桥梁的板式橡胶支座已进入大面积更换期，市场需求空间巨大。同时，产品设计参照 EN1337、EN15129 等国际标准，适配发展中国家公路铁路建设及欧洲高速铁路桥梁建造需求，具备广阔的国际推广前景。从产品性价比来看，相较传统高阻尼隔震橡胶支座，该产品温度适用范围更广、低温稳定性更强、承载能力更大；对比铅芯橡胶支座，成本更为低廉且省去铅芯材料成本；与价格高昂的阻尼器等减隔震产品相比，优势更为突出。此外，产品长寿命特性大幅降低支座更换频率与全生命周期运维成本，安装、更换工艺便捷，进一步压缩施工成本，能够为生产企业、工程应用方创造可观的经济价值。

（2）社会效益突出产品可显著提升高烈度区桥梁的抗震性能，有效减小地震作用下桥梁结构的破坏程度，大幅降低震后桥梁维修加固成本，保障地震灾害发生时交通线路的畅通，为灾区物资运输与应急救援工作提供关键支撑，减少因交通中断造成的间接损失。同时，支座内置高性能智能感知元器件，可实时监测力学性能等关键参数，不仅保障产品自身使用安全，还能为桥梁智能化建设植入数据感知节点，为桥梁运营期的智能化管理、精准养护提供科学依据，助力交通基础设施运维体系的智慧升级，筑牢公众出行与物资运输的安全防线。

（3）环境效益良好产品采用低碳耐久型聚氨酯弹性体材料，替代传统橡胶材料，且不含铅芯等有毒有害物质，从生产源头避免重金属污染。材料具备优异的耐候性、抗老化性，大幅延长支座服役寿命，减少支座更换频次，降低资源消耗与废弃物产生量。此外，配套研发

的高效浇注成型工艺，可实现原料混合均匀、产品性能稳定，生产过程能耗更低、碳排放更少，契合国家“双碳”目标要求。产品全生命周期内的节能环保特性，能够推动交通基础设施建设领域的绿色低碳转型，助力实现生态效益与工程效益的协同发展。

综上所述，无论从国家大的方针政策以及支座技术水平发展趋势，还是从高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座所产生的具体经济效益，都说明了高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座具有广阔的市场应用前景。

九、其它需要说明的问题

无

十、申请单位意见

本单位支持“高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发”项目的立项申报，并将为该项目的实施提供必要的依托工程和经费保障。

本项目的依托工程已落实为项目依托工程 108 国道汉中段龙家沟桥、G70 福银高速公路西安至永寿段改扩建工程 3 座桥梁和西安都市圈环线乾县至富平高速公路相关桥梁，配套经费已落实。



西安公路研究院有限公司

单位负责人

年 月 日

高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术

研究与产品开发

大纲评审意见

2026年3月12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“高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发”（项目编号：25-61K）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、项目研究内容比较全面，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，依托工程落实，经费预算符合规定，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。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

1.进一步明确新型支座长寿命、减隔震、高烈度相关性性能指标，突出产品适配性；

2.完善高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座性能试验与常规制作对比测试。

主任委员：王彦科

2026年3月12日

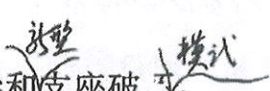
专家审查意见表

项目名称	25-61k 高烈度地区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发				
专家姓名	王登科	职务/职称	正高级工程师	专 业	桥梁与隧道
专家单位	陕西省铁路集团公司			联系电话	13709260508

评 审 意 见

本项目研究必要，前期研究成果和研究支撑条件满足研究，实施方案及技术路线可行，依托工程落实，预期目标成果明确，同意项目立项研究。

建议：

- 1、 研究内容范围偏宽，偏大，宜对研究范围按桥梁结构类型，或支座类型予以限定。
- 2、 研究斜弯坡桥支座，减隔震和强震时的落梁和支座破坏。


评审专家（签字）：



2026 年 3 月 12 日

（本意见入档，填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发				
专家姓名	中岳	职务/职称	正高	专业	桥梁工程
专家单位	中交一公局			联系电话	1999.801018

评审意见

该课题是解决高烈度区桥梁抗震需求，针对传统橡胶支座寿命短，承载力低渣性劣化严重问题，提出聚四氟乙烯替代橡胶支座路线，创造新时点。具体意见及建议如下：

1. 加强对新材料聚四氟乙烯替代传统橡胶材料时的长期性能研究，特别是恶劣环境下的长期性能研究。
2. 明确研究的目标、适用范围、应用场景。
3. 寿命比传统支座提高1倍，可达30~40年，应给出聚四氟乙烯的目标使用寿命的验证方法。
4. 完善试验验证技术方案。
5. 除常规力学性能分析外，建议增加振动试验，低温下动力性能测试，多地震谱下的数值仿真。

评审专家（签字）：

中岳

2026 年 3 月 12 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	高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发				
专家姓名	柴唐焰	职务/职称	正高	专 业	桥梁工程
专家单位	中铁第一勘察设计院集团有限公司			联系电话	13991256879

评 审 意 见

一、本项目立足高烈度区公路桥梁抗震安全与长效运维核心需求，通过专题科研，对解决传统橡胶支座寿命短、减隔震结构适配性不足、协同抗震能力弱等问题具有显著作用。本项目选题明确，研究内容全面，研究目的明确，针对性强，具有较好的社会、经济和工程价值，同时具备较好的工程实践指导作用，研究意义较高。

同意研究大纲。

二、建议

1. 文中多次提到隔震，隔震与减隔震的含义是否有所区别？建议明确。
2. 文中关于板式橡胶支座、铅芯橡胶隔震支座、高阻尼橡胶支座的相关研究成果的引用文献数量分布不够均衡，建议调整。
3. 文中仅提到桥梁博士软件的使用，本项目研究内容较多、较复杂，应提前选定适用的有限元分析软件。
4. 为体现减隔震支座的应用效果，建议增加同一座桥梁采用与不采用该型支座的抗震设计比较案例。
5. 本项目依托的三个工程项目，均没有体现出高烈度区的情况说明，建议补充。
6. 文中部分描述内容先后顺序不当，建议调整；个别描述用词不准确、前后矛盾，建议修改。

评审专家（签字）：



2016年3月12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	25-61K 高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发				
专家姓名	王玉银	职务/职称	党委书记 教授	专 业	结构工程
专家单位	哈尔滨工业大学土木工程学院			联系电话	13766831066

评 审 意 见

- 1、“2.2 存在的问题”中提出了 5 个问题，“3.1 拟解决的关键问题”中归纳了 3 个关键问题，“3.2 主要研究内容及实施方案”中的研究内容为 4 部分，彼此之间不协调。
- 2、实施方案比较笼统，相关指标、参数不明确。
- 3、要充分考虑网评专家的建议，进一步修改和完善研究大纲。

评审专家（签字）：王玉银

2026 年 3 月 12 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	25-61K 高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术 研究与产品开发				
专家姓名	李立峰	职务/职称	教授	专 业	桥梁
专家单位	湖南大学			联系电话	13607433836

评 审 意 见

研究大纲总体内容齐全，具有较好的研究技术路线和前期研究基础，研究目的明确，特别是针对目前陕西省桥梁建设和保养过程中抗震的需求，采用减隔震措施的方法来满足其抗震性能，经费预算符合规定，也有依托工程，出发点很好。

几点建议如下：

- 1、关键问题 1 和 2 有雷同的地方，实际上都是说新型支座的问题。
- 2、产品的开发非常麻烦，特别是对于抗震支座，目前而言，橡胶支座是在国内应用非常广泛的材料，如高阻尼橡胶隔震支座、铅芯橡胶支座、普通板式橡胶支座。建议补充聚氨酯的性能指标介绍和已有的研究成果。
- 3、建议补充产品的吨位级别，这一点很重要。明确支座的具体力学性能指标，包括减隔震效果的评估和描述等。
- 4、细化长寿命的概念和描述，如何验证和衡量其长寿命性能，是否开展老化试验，具体描述指标是什么。建议补充合适的动力试验测试支座的相关力学性能指标（特别是各个刚度值）、阻尼系数、耗能系数、耐久性、老化性能等，难以推广应用。
- 5、建议删除支座内部设置的感知元件，这个难度大、实现比较困难。



评审专家（签字）

2026 年 3 月 12 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发 (项目编号: 25-61K)

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	王登科	陕西省铁路集团有限公司	路桥工程	路桥工程	正高工	王登科
2	委员	牛宏	中交第一公路勘察设计有限公司	桥梁工程	桥梁工程	正高工	牛宏
3	委员	柴唐焰	中铁第一勘察设计院	桥梁工程	桥梁工程	正高工	柴唐焰
4	委员	王玉银	哈尔滨工业大学	桥梁工程	桥梁工程	教授	线上专家
5	委员	李立峰	湖南大学	土木工程	土木工程	教授	线上专家

专家意见处理表

项目名称: 高烈度区公路桥梁长寿命减隔震支座技术与产品开发 (项目编号: 25-61K)

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	王登科	1、研究内容范围偏宽, 偏大, 宜对研究范围按桥梁结构类型, 或支座类型予以限定。 2、研究斜弯坡桥支座, 减隔震和强震时的落梁和新型支座破坏模式。	1、采纳, 研究内容实施方案中明确拟开发支座产品类型及适应范围等; 2、采纳, 新型支座IV型针对斜弯桥等场景, 拟通过提高支座变形能力实现防落梁功能。
2	牛宏	1、加强对新材料聚氨酯替代传统橡胶材料时的长期性能研究, 特别是复杂环境下的长期性能研究。 2、明确研究的目标、适用范围、应用场景。 3、“寿命比传统支座提高1倍”, 就是30~40年, 应给出聚氨酯支座的目标使用寿命和验证方法。 4、完善智能感知提升方案。 5、除常规力学性能分析外, 建议增加振动台试验、低温下动力性能测试、多地震动下的数值仿真。	1、采纳, 在智能监测技术中增加新型支座长期性能监测研究内容, 追踪支座复杂环境长期性能。 2、采纳, 在研究内容实施方案中明确拟开发支座产品类型及适应范围等。 3、新型减隔震支座预期使用寿命至少30年, 主要通过老化实验验证新型支座预期寿命。 4、采纳, 完善智能感知技术研究内容, 细化实施方案相关技术; 5、增加低温性能试验和多地震下的数值仿真, 支座抗震性能主要通过水平往复加载试验模拟。
3	柴唐焰	1.文中多次提到隔震, 隔震与减隔震的含义是否有所区别?建议明确。 2.文中关于板式橡胶支座、铅芯橡胶隔震支座、高阻尼橡胶支座的相关研究成果的引用文献数量分布不够均衡, 建议调整。 3.文中仅提到桥梁博士软件的使用, 本项目研究内容较多、较复杂, 应提前选定适用的有限元分析软件。 4.为体现减隔震支座的应用效果, 建议增加同一座桥梁采用与不采用该型支座的抗震设计比较案例。 5.本项目依托的三个工程项目, 均没有体现出高烈度区的情况说明, 建议补充。 6.文中部分描述内容先后顺序不当, 建议调整; 个别描述用词	1、采纳, 在研究背景中明确减震、隔震相关概念; 2、采纳, 补充完善研究现状相关内容; 3、采纳, 将根据研究内容需要采用 Opensees、桥梁博士等软件进行数值模拟分析; 4、采纳, 依托工程应用中将选择典型桥梁进行采用与不采用该型支座的抗震性能评估分析; 5、采纳, 补充依托工程相关桥梁桥址位置抗震参数; 6、采纳, 修改完善研究大纲相关内容。

		不准确、前后矛盾, 建议修改。	
5	王玉银	1、“2.2 存在的问题”中提出了5个问题, “3.1 拟解决的关键问题”中归纳了3个关键问题, “3.2 主要研究内容及实施方案”中的研究内容为4部分, 彼此之间不协调。 2、实施方案比较笼统, 相关指标、参数不明确。 3、要充分考虑网评专家的建议, 进一步修改和完善研究大纲。	1、采纳, 修改完善存在问题、关键问题和研究内容中相关内容; 2、采纳, 实施方案中明确研发产品型号、适用范围等内容, 细化智能感知技术实施方案; 3、采纳, 充分考虑专家意见, 修改和完善研究大纲。
5	李立峰	1、关键问题1和2有雷同的地方, 实际上都是说新型支座的问题。 2、产品的开发非常麻烦, 特别是对于抗震支座, 目前而言, 橡胶支座是在国内应用非常广泛的材料, 如高阻尼橡胶隔震支座、铅芯橡胶支座、普通板式橡胶支座。建议补充聚氨酯的性能指标介绍和已有的研究成果。 3、建议补充产品的吨位级别, 这一点很重要。明确支座的具体力学性能指标, 包括减隔震效果的评估和描述等。 4、细化长寿命的概念和描述, 如何验证和衡量其长寿命性能, 是否开展老化试验, 具体描述指标是什么。建议补充合适的动力试验测试支座的相关力学性能指标 (特别是各个刚度值)、阻尼系数、耗能系数、耐久性、老化性能等, 难以推广应用。 5、建议删除支座内部设置的感知元件, 这个难度大、实现比较困难。	1、完善相关内容, 关键问题1强调弹性体材料性能, 关键问题2强调支座整体构件。 2、采纳, 在主要研究内容中增加聚氨酯已有成果和材料相关预期性能指标; 3、采纳, 明确研发产品型号、适用范围、抗震性能等内容; 4、采纳, 在支座性能试验中完善老化试验相关内容 5、智能感知技术是该支座产品一项特色, 适当完善智能感知技术实施方案相关内容。

大纲评审委员会专家 (签字): 王彦科 李立峰 李业峰

项目负责人 (签字): 苗康云