

项目合同编号：25-86X

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：多源融合的航道运行监测智能感知体系研究

承担单位：国交空间信息技术（北京）有限公司

参与合作单位：安康市交通建设投资集团有限公司

项目负责人：胡玉龙

通讯邮编、地址：100029，北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 1202
室

传真、电话：010-65299555

起止年限：2026 年 3 月 至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅制

项目合同编号：25-86X

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：多源融合的航道运行监测智能感知体系研究

承担单位：国交空间信息技术（北京）有限公司

参与合作单位：安康市交通建设投资集团有限公司

项目负责人：胡玉龙

通讯邮编、地址：100029, 北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 1202
室

传真、电话：010-65299555

起止年限：2026 年 3 月 至 2028 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

当前，交通强国战略全面实施，智慧航道已成为全国内河航道高质量发展的重点方向和关键支撑。为顺应智慧航道发展趋势，紧紧抓住航运高质量发展的突破口，聚焦汉江安康至白河段航道智能感知不足、多源数据融合与运行监测能力欠缺等问题，开展多源融合的航道运行监测智能感知体系研究，为汉江安康至白河段智慧航道工程建设提供关键技术支撑与解决方案。

(1) 开展汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究。开展汉江安康-白河航道现状与航道运行状态监测需求分析，研究航道运行状态感知要素获取技术手段与方法，设计适应汉江安康至白河航道特点的“空天岸水”协同智能感知体系。

(2) 开展多源数据融合技术研究。系统分析智能感知设备所采集的多源航道运行状态数据的类型、结构、格式、粒度及关联特征，深入研究多源异构数据的时空配准、噪声滤除与信息互补等融合处理方法，为汉江安康至白河航道构建高精度、高效率的航道运行监测体系提供可行的技术路径。

(3) 开展航道数字孪生关键技术研究。基于智能立体感知数据，研究航道多尺度数据模型构建技术，奠定数字孪生基础；深入研究数字孪生航道三维可视化技术，重点解决航道实体世界到虚拟空间的高效映射问题；在此基础上设计完整的航道数字孪生平台技术方案，为陕西省智慧航道数字孪生技术的实际应用提供明确的技术指引。

2. 技术关键

(1) 汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究

重点分析确定航道通航环境要素、航道通航运行状态、航道基础设施状态、航道助航设施状态等航道感知指标体系，根据指标体系研究航道水面、水下、空中的立体感知设备的建设要点、技术要求等，明确各类传感器布设密度与覆盖范围，设计多设备协同感知监测方案。

(2) 多源数据融合技术研究

针对航道多源感知数据一数多源、接入标准不统一、数据格式差异、采集频率不一致、时空基准不统一等问题，研究航道地理空间数据、物联网感知数据等多源异构多维时空数据融合技术路线，实现多源航道运行监测大数据标准化接入、时空对齐、关联匹配等处理，提升多源数据在航道运行监测中的应用

价值。

(3) 航道数字孪生关键技术研究

研究多尺度建模技术，基于多源融合后的航道监测数据，生成航道、船、闸、标等全要素多尺度建模数据标准，自定义不同层级呈现的数据主题，实现物理空间与数字空间的分层次映射；研究三维可视化技术，针对大规模航道数据的高效渲染、多维度信息直观呈现等核心问题，基于三维图形引擎，以高性能数据调度与智能空间计算为核心，多层次实时渲染复杂航道三维场景，实现航道水上水下一体、静态动态一体可视化浏览能力。

3. 依托工程（依托工作）

依托工程为安康市公铁水联运（汉江复航）项目，项目安康市公铁水联运（汉江复航）项目位于陕西省安康市，主要范围包括安康市汉滨区至白河县 164 公里范围内的汉江河道及沿岸，建设内容包括港口及配套仓储、航道、船闸等，总投资约 82.66 亿元。本项目主要依托航道建设工程。

安康市公铁水联运（汉江复航）项目航道建设规模及标准为：航道全长约 164km，设计航道尺度为 $2.5\text{m} \times 60\text{m} \times 270\text{m}$ （水深 $\times$ 航宽 $\times$ 最小弯曲半径）。航道工程建设内容包括：航道疏浚工程、护岸等其他航道工程、航道支撑保障系统、航道基础设施建设（水上服务区建设）、碍航设施改造工程等，其中支撑保障系统建设内容包括助航标志、水位站、站场及航标维修保养基地、信息化系统及航道管理船舶。

二、考核指标

1. 预期目标

通过课题研究，将达到以下目标：

(1) 针对安康枢纽~白河段航道特点，研究设计一套空天岸水智能立体感知体系。

(2) 形成一种成熟高效的多源数据融合技术方法，实现多源异构数据的标准化接入、时空对齐、关联匹配等。

(3) 完成航道数字孪生关键技术攻关，形成一套适用于汉江安康枢纽~白河段的航道数字孪生平台技术方案。

预期成效：填补省级航道运行监测的多源智能感知技术空白，为汉江安康枢纽~白河段航道智慧化升级提供科学系统、先进可行的技术指导。

2. 主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

(1) 课题形成的航道智能立体感知体系能够指导汉江安康至白河航道感知设备建设，避免“过度建设”或“监测不足”，降低感知系统设计成本 15-20%。

(2) 课题构建的航道数字孪生平台技术方案，可有效指导汉江安康至白河航道数字孪生平台建设，建设效率提升 10-20%。

3. 经济和社会效益

(1) 通过本项目的研究，将形成多源融合的航道运行监测智能感知技术体系，指导推动陕西省航道全域监测体系升级，构建覆盖航道空中、水面、水下的全方位监测网络，同时具备全天候运行能力与全过程动态追踪特性，彻底打破传统监测模式的局限，全面提升全省航道运行监测数字化、智能化水平，提高航道管理的效率和准确性，减少人工巡航的频率和成本。

(2) 通过本项目的研究，能够有效推动陕西省航道感知数据应用和航道数字孪生平台建设进程，实时监测航道设施状态、交通流量及通航环境变化，推动全省航道运行监测体系向数字化、智能化方向转型，为航道信息服务、航道养护管理等工作提供更精准、更全面的数据支撑，有效预防船舶碰撞、船撞桥等事故，保障航道安全，减少人员伤亡和财产损失，提升公众安全感。

4. 成果提供形式

(1) 提交内河航道多源智能感知与协同监测技术报告 1 份；

(2) 申请软件著作权 1 项，其权利归属双方共有，并提交授权证书等相

关证明文件；

(3) 提交 EI 索引收录论文 1 篇。

4. 其他考核指标

开展宣传报道 3 次，技术交流 1 次。

三、项目年度计划内容及考核目标

年度	计划内容及考核目标（每栏限 125 字）
2026 年 1 月 -2026 年 12 月	1.第一季度进度计划 （1）工作内容：完成多源融合的航道运行监测智能感知体系研究大纲编制及大纲评审工作。 （2）阶段性成果：多源融合的航道运行监测智能感知体系研究大纲。 2.第二季度进度计划 （1）工作内容：汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究阶段，研究航道智能立体感知要素需求。 （2）阶段性成果：汉江安康-白河航道智能立体感知要素需求研究报告。 3.第三季度进度计划 （1）工作内容：汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究阶段，研究航道智能立体感知设备与技术。 （2）阶段性成果：汉江安康-白河航道智能立体感知要素设备与技术研究报告。 4.第四季度进度计划 （1）工作内容：多源数据融合技术研究阶段，收集现有航道运行监测数据资源，研究多源数据现状与应用问题，针对现状与问题，研究多源数据融合技术。 （2）阶段性成果：多源数据融合技术研究报告。
2027 年 1 月 -2027 年 12 月	1.第一季度进度计划 （1）工作内容：航道数字孪生关键技术研究阶段，研究多尺度建模技术及三维可视化技术。 （2）阶段性成果：航道数字孪生关键技术研究报告。 2.第二季度进度计划 （1）工作内容：编写并发表学术论文。 （2）阶段性成果：论文。 3.第三季度进度计划 （1）工作内容：汇总项目研究成果，编制内河航道多源智

	能感知与协同监测技术报告。 (2) 阶段性成果:《内河航道多源智能感知与协同监测技术报告》。 3.第四季度进度计划 (1) 工作内容: 成果整理完善阶段, 整理项目材料, 申请软件著作权。 (2) 阶段性成果: 软件著作权。
2028 年 1 月 -2028 年 3 月	1.第一季度进度计划 (1) 工作内容: 项目完善及验收阶段, 完成项目成果自查, 整理验收材料、提交项目成果、完成项目验收。 (2) 阶段性成果:《项目验收报告》。

四、项目经费

项目总经费：38.7 万元

交通运输厅补助：19.35 万元

自筹资金：19.35 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	35.9	17.95
1. 设备费	0	0
(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	0	0
2. 业务费	17.9	8.95
(4) 材料支出	4	2
(5) 测试化验实验加工支出	0	0
(6) 燃料及动力支出	0	0
(7) 差旅支出	8.9	4.45
(8) 会议支出	0	0
(9) 国际合作与交流支出	0	0
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/印刷支出	2	1
(11) 其他支出	3	1.5
3. 劳务费	18	9
(12) 劳务性支出	16	8
(13) 咨询专家支出	2	1
(二) 间接费用	2.8	1.4
4. 管理费	2.8	1.4
5. 绩效支出	0	0
合 计	38.7	19.35

五、项目绩效目标

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

课题承担单位国交空间信息技术(北京)有限公司系中国交通通信信息中心控股子公司,前身是“交通运输遥感中心”。公司现有员工中,博士、硕士比例超过 70%,公路、遥感测绘等领域高级职称占比 15%,核心骨干人员具备 10 年以上行业服务经验,团队员工均是遥感、测绘、地理信息系统、交通规划管理等相关专业的硕士或博士,具备较强的技术研发、工程实施等核心业务能力,可高效、高质量完成项目关键技术研究工作,可为本项目实施提供专业团队保障。

公司具有甲级测绘资质,是双软认证企业和北京市高新技术企业,北京市“专精特新”中小企业称号。先后获得北京市科学技术奖一等奖、中国公路学会科学技术奖、地理信息科技进步奖、综合交通运输大模型智能体创新应用大赛一等奖等多个奖项,多年来作为交通运输部技术支持单位获得部相关司局的一致好评。

参与单位为安康市交通建设投资集团有限公司,主要为项目研究提供实验场所、实验数据,同时提供必要的研发经费支持,其次参与项目的工作人员侧重现场实验及对外协调。

六、项目参加人员表

项目承担单位：国交空间信息技术（北京）有限公司							
参与单位（排序）：安康市交通建设投资集团有限公司							
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	胡玉龙	1987.7	国交空间信息技术（北京）有限公司	高级工程师/战略总体部经理	地图制图学与地理信息工程	项目负责人	胡玉龙
主要研究人员							
1	蒋勇	1990.11	安康市交通建设投资有限公司	高级工程师 工程部长	土木工程	项目组织协调	蒋勇
2	程明	1977.4	安康市交通建设投资有限公司	高级工程师 副总经理	交通工程	项目管理研究	程明
3	李均	1978.12	安康市交通建设投资有限公司	工程师 部门负责人	交通工程	项目组织协调	李均

4	李顺飞	1989.1	安康市交通建设投资公司	工程师 部门负责人	应用化工	项目管理研究	李顺飞
5	刘维	1996.4	国交空间信息技术（北京）有限公司	助理工程师	土木工程	航道智能立体感知体系研究	刘维
6	宋歌	1991.1	国交空间信息技术（北京）有限公司	工程师	测绘工程	航道智能立体感知体系研究	宋歌
7	赵国芳	1997.2	国交空间信息技术（北京）有限公司	助理工程师	遥感科学与技术	航道智能立体感知体系研究	赵国芳
8	李毓旻	2000.2	国交空间信息技术（北京）有限公司	助理工程师	测绘科学与技术	多源数据融合技术研究	李毓旻
9	弓一帆	1996.9	国交空间信息技术（北京）有限公司	工程师	计算机科学与技术	多源数据融合技术研究	弓一帆
10	吴小洁	1997.4	国交空间信息技术（北京）有限公司	助理工程师	交通运输	多源数据融合技术研究	吴小洁
11	李志飞	1988.4	国交空间信息技术（北京）有限公司	高级工程师	测绘科学与技术	航道数字孪生关键技术研究	李志飞
12	敖智	1984.6	安康市交通建设投资公司 集团有限公司	高级工程师 部门负责人	公路工程与管理	航道数字孪生关键技术研究	敖智

13	王胜强	1987.1 1	安康市交通建设投资 集团有限公司	工程师 部门负责人	土木工程	航道数字孪生关键技术 研究	王胜强
14	陈龙龙	1992.1 1	安康市交通建设投资 集团有限公司	助理工程师	土木工程	航道数字孪生关键技术 研究	陈龙龙
15	吴远哲	1992.8	安康市交通建设投资 集团有限公司	助理工程师	公路工程	航道数字孪生关键技术 研究	吴远哲

七、信息表

项目合同编号		25-86X		密级		/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部	
项目名称		多源融合的航道运行监测智能感知体系研究							
项目实施所在地		陕西省安康市		起止年限		2025 年 12 月至 2027 年 12 月			
总 经 费		38.7 万		厅 拨		19.35 万			
第一承担单位	单位名称	国交空间信息技术（北京）有限公司							
	所在地	北京市					代码	110000	
	通讯地址	北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 1202 室					邮编	710299	
	单位性质	(3) 1. 大专院校 2. 科研院所 3. 企业 4. 其它					代码	91110105M A017KDU9J	
参与单位	序号	单 位 名 称							
	1	安康市交通建设投资集团有限公司							
	2								
	3								
项目负责人	姓 名	胡玉龙		性别 (1) 1. 男 2. 女			出生年份	1987. 7	
	学 历	(1) 1. 研究生 2. 大学 3. 大专 4. 中专 5. 其它							
	职 称	(1) 1. 高级 2. 中级 3. 初级 4. 其它							
	联系电话	17600696898 010-65299555		电子邮箱		huyulong@guojiaomap. c om			
项目联系人	姓名	刘维		性别		男			
	联系电话	13007439089		电子邮箱		1269527887@qq. com			
项目组人数	15	高级	4	中级	5	初级	6	其它	0
主要研究内容 (100 字以内)	(1) 航道智能立体感知体系研究 (2) 多源数据融合技术研究 (3) 航道数字孪生关键技术研究								
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	F	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							

八、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。未经接到正式批准以前，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：与可行性研究内容有出入，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. 合同正本一式捌份，甲方单位伍份，承担单位叁份。

（注：承担单位各1份，甲方留存5份，总数不超过10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。

九、合同签约各方

合同甲方：

陕西省交通运输厅

负责人：（签字）

李涛

科技合同专用章

2026年3月26日

联系人：（签字）

张喆

（公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：（承担单位）

国交空间信息技术（北京）有限公司

单位负责人：（签字）

毕伦

2026年3月26日

项目负责人：（签字）

胡玉茹

（公章）

电 话：010-65299549

财务负责人：（签字）

毕伦

账 户 名：国交空间信息技术（北京）有限公司

开户银行：招商银行股份有限公司北京北三环支行

帐 号：110929914410701

户名：国交空间信息技术（北京）有限公司
开户行：招商银行股份有限公司北京北三环支行
账号：110929914410701
行号：308100005141

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：胡玉龙

2021年3月26日

项目编号：25-86X

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：多源融合的航道运行监测智能感知体系研究

申请单位：（盖章）国交空间信息技术（北京）有限公司

联系人：刘维

电话：13007439089



陕西省交通运输厅制

2026 年 03 月

目 录

一、项目研究的背景和必要性	1
1.项目研究背景	1
2.项目研究目的	3
3.项目研究必要性	4
二、前期科研及工作基础	5
1.国内外研究现状与发展趋势分析	5
2.项目前期科研及现有工作条件	11
3.参考文献	12
三、实施方案	18
1.拟解决的关键问题	18
2.主要研究内容	18
3.技术路线	19
4.后续技术改造或与基本建设计划的衔接	24
5.有关技术经济指标	24
四、项目承担单位及参加单位概况	25
1. 单位概况	25
2. 技术力量及人员构成	26
3. 各自承担的主要工作	27
4. 项目主要负责人情况	28
五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	29
1. 依托工程（工作）概况	29
2. 投资来源	29
3. 工程进度与项目科研进度的配合	29

4. 组织管理形式	31
六、项目经费估算及资金筹措情况	31
七、项目绩效指标	32
八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益	34
1.项目预期目标	34
2.提交的研究成果及其形式	35
3.经济、社会、环境效益分析	35
九、其它需要说明的问题	36
十、申请单位意见	36

一、项目研究的背景和必要性

1. 项目研究背景

(1) 国家战略驱动与政策支撑

交通强国战略全面实施背景下,智慧航道已成为全国内河航道高质量发展重点方向和关键支撑。交通强国建设为智慧航道发展提供了强大政策支撑。为加快我国航运建设,实现党中央建设“交通强国”的目标,2019年9月,长江重庆航道局召开“十四五发展规划智能航运与信息化专题”研讨会,提出航道智能化信息化规划需超前定位,借鉴“智慧公路”理念打造“智慧航道”,为行业发展提供了实践参考。2020年8月,《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》中明确智慧航道建设已经被交通运输部列为未来重点研究课题。2023年12月,《交通运输部关于加快智慧港口和智慧航道建设的意见》明确提出推进航道智能感知设备部署应用,加强水位、气象、海况、航标状态、航道尺度、整治建筑物、桥梁通航净空尺度、通航建筑物运行状态的动态监测,建设航道数字孪生平台。2024年5月,《财政部 交通运输部关于支持引导公路水路交通基础设施数字化转型升级的通知》明确要求推动大数据、物联网、人工智能、北斗导航等新技术与交通基础设施深度融合,体系化部署交通基础设施运行状态感知设备。2025年政府工作报告首次将“低空经济+智慧港航”并列定位为新增长引擎。

(2) 技术发展趋势与突破

当前,我国内河航道智能感知技术正处于从传统人工巡查向“空天岸水”一体化智能监测体系转型的关键时期。人工智能、大数据、5G、北斗等新技术的快速发展,为内河航道智能感知技术升级提供

了重要机遇。内河船舶智能化水平不断提高，船舶感知、决策等智能航行关键核心技术取得突破，智能船舶已在长江、珠江等水系开展试点应用。推动基础设施智慧化转型，支持航道数智化升级改造，推进高等级航道应用智能感知设备、数字孪生等技术，已成为行业发展共识。

(3) 汉江航道发展现状与需求

汉江源远流长、水量充沛、终年不冻，具有发展水运和综合利用水资源的优越条件。汉江干流地处我国中部，倚北临南、承东启西，是陕西、湖北两省核心水运干线；汉江流域衔接长江、黄河两大水系，通过长江干流与湘江等支流贯通，可形成纵横南北、通达东西的水运网络，是长江中游核心水运通道的重要组成部分。凭借突出的区位优势与水运价值，汉江被交通运输部列为国家高等级航道。

安康枢纽~白河段，长度 164km，现状为IV级航道，航道尺度为 $1.9\text{m} \times 50\text{m} \times 330\text{m}$ （水深 $\times$ 航宽 $\times$ 弯曲半径），安康枢纽至白河段航道大部分为库区航道，常年回水区范围内水深富足，水面宽阔，水流平缓，但部分枢纽无通航建筑物以及库区库尾回水变动段航道尺度不满足通航需求，同时当前航道智能化监测监管能力滞后，基础设施差，数据采集不全，难以实现航道复航后的动态精准监测与科学监管运营等问题。陕西省安康市为提升汉江上游航道的通航能力和运行效率，激活黄金水道活力，正在推进重大交通基础设施项目即安康市公铁水联运（汉江复航）项目，其中将重点建设智慧航道支撑保障工程，通过现代信息技术赋能传统水运，实现航道运行的智能化感知、精准化调度与高效化管理。

当前安康至白河智慧航道支撑保障工程建设主要存在三大核心

突出问题亟需解决：

一是安康至白河航道智能感知体系不完善、感知需求不明确、技术不适配以及感知设备无法协同监测的问题。

二是航道感知数据一数多源、接入标准不统一、时空基准不一致、多源异构数据难以有效融合的技术问题。

三是数字孪生技术在内河航道运行监测领域工程化应用不足，缺乏适配汉江航道特点的数字孪生平台建设方案的问题。

2. 项目研究目的

本项目紧扣交通强国战略导向，顺应智慧航道“空天岸水”一体化监测的行业发展趋势，立足汉江安康至白河段山区、库区航道特点与实际发展需求，针对当前航段存在的三大核心突出问题，开展多源融合的航道运行监测智能感知体系研究：一是通过汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究，明确汉江安康至白河航道核心特点，系统梳理出通航环境、通航运行、基础设施、助航设施、船闸调度等五大类核心感知需求，为后续感知技术选型、设备布设、体系设计提供精准需求导向，构建适配汉江安康至白河航道特点的“空天岸水”协同智能感知体系；二是通过多源数据融合技术研究，突破多源异构数据标准化、时空配准、智能融合等技术瓶颈；三是通过航道数字孪生关键技术研究，研发适配该航段的航道数字孪生关键技术及平台技术方案，整体填补陕西省内河航道智能感知与协同监测领域技术空白。

最终为安康市公铁水联运（汉江复航）项目提供关键技术支撑，为汉江安康至白河段智慧航道工程高质量建设与高效绿色运营提供可行解决方案，同时为陕西省智慧航道建设地方标准制定提供技术支撑，推动全省内河航道管理从传统人工经验模式向智能化、精准化、

数字化转型，提升航道安全保障能力、运行效率和管理水平，助力区域经济发展与交通强国战略在陕西内河航运领域的落地实施。

3. 项目研究必要性

(1) 落实交通强国国家战略、填补陕西省内河航道智能感知领域技术空白的必然要求

交通强国建设纲要明确将智慧航道作为水运高质量发展的核心支撑，交通运输部先后印发多份文件，明确要求推进航道智能感知设备部署、多源数据融合与数字孪生平台建设，2025年政府工作报告将“智慧港航”列为交通领域新增长引擎。

汉江安康枢纽-白河航道，是陕西省纳入国家高等级航道网的内河航道，是陕西打通通江达海通道、融入长江经济带的唯一水运主动脉。其智慧化建设对于提升陕西省水运发展水平、支撑交通强国战略实施具有重要意义。但是当前，国内智慧航道核心研究与工程实践均集中于长江、珠江中下游平原航道，针对汉江上游山区库区航道的技术研究处于空白状态，陕西省更是尚未形成省级内河智慧航道建设的技术体系、标准规范与成套解决方案。本项目是国家交通强国战略在陕西水运领域落地的核心抓手，更是填补陕西省内河智慧航道技术空白的基础性、前瞻性研究，具有不可替代的行业价值。

(2) 支撑安康市公铁水联运（汉江复航）项目建设的刚性前置技术需求

本项目全程依托陕西省核心水运工程——安康市公铁水联运（汉江复航）项目，该航段具有“山区库区航道为主、回水变动段动态变化大、水位变幅显著、航道弯曲半径小、通航密度季节性波动大”的独有特征，直接照搬通用方案可能出现严重的水土不服，极易造成“过

度建设”或“监测盲区”，导致投资浪费、安全保障能力不足。本项目研究形成的“空天岸水”协同感知体系、多源异构数据融合技术、航道数字孪生平台方案，是该复航工程智慧航道建设的前置技术支撑，直接决定工程中智慧航道支撑保障系统建设的科学性、经济性与安全性，是智慧航道落地不可缺少的技术攻关环节，本项目的研究在汉江航道保障安全、提升效率、强化服务方面具有重要支撑意义。

（3）引领陕西省内河航道智慧化建设的基础性工作

当前陕西省内河航道智慧化建设处于起步阶段，尚未形成统一的省级技术标准与建设规范，省内其他内河航道的智慧化升级缺乏技术指引。本项目针对汉江安康-白河段航道形成的研究成果，可直接为陕西省制定智慧航道标准体系提供核心技术支撑，形成可复制、可推广的内河智慧航道建设技术体系，引领全省内河航道的智慧化升级，为陕西水运高质量发展提供长期技术储备。

（4）构建陕西公铁水联运体系的核心技术保障

本项目研究的核心价值在于通过内河航道多源感知与协同监测技术研究，推动航道运行的精细化、智能化管理发展，显著提高航道通过能力和安全保障水平，赋能提升航道通行效率，支撑安康公铁水联运体系一体化建设，有效降低区域物流运输成本，为区域经济发展提供便捷、高效、绿色的水路运输服务，推动陕南更好融入长江经济带，促进区域产业协同发展、资源高效流通，助力区域经济高质量发展。

二、前期科研及工作基础

1. 国内外研究现状与发展趋势分析

（1）国外研究现状分析

在全球智慧航运转型与交通基础设施数字化浪潮下，欧美、日本等发达国家依托技术积淀与政策引导，率先开展内河航道智能感知与协同监测技术研究与实践，形成了“感知设备迭代升级、数据融合深度赋能、数字孪生场景落地、协同体系跨域联动、标准规范统筹推进”的发展格局。

欧洲以内河航道网络资源为依托，通过欧盟专项基金支持，构建了覆盖“感知-融合-应用”全链条的技术研发与示范体系。核心研究与实践集中于数字孪生与全链条协同监测集成、标准化支撑下的跨域协同感知体系建设及低碳目标导向的协同监测技术探索三大方向，荷兰鹿特丹港、德国莱茵河航道已实现重点航段智能感知全覆盖，通过多设备协同联动消除监测盲区，形成“单点感知-全域协同-智能决策”的闭环机制。2022-2025年，欧盟在《跨欧洲交通网络(TEN-T)》升级规划中，重点推进莱茵河、多瑙河等核心航道的「空天岸水」一体化感知网络建设，荷兰代尔夫特理工大学联合鹿特丹港务局研发了基于边缘计算的航道多源数据实时融合终端，实现雷达、AIS、视频数据的秒级协同处理，设备功耗降低40%，监测精度提升至95%以上^[49]；德国于2023年发布《智慧内河航道2.0技术规范》，提出基于数字孪生的航道全生命周期管理方案，在莱茵河科隆段实现航道地形、水文、船舶动态的虚实同步更新，更新频率达5分钟/次^[50]。

日本针对内河航道狭窄、水文复杂的特点，深耕感知设备小型化、低功耗与多设备协同运维技术，核心成果包括：高精度小型水位流速传感器，可适应浅滩、弯道等复杂水域部署，数据精度达 $\pm 2\text{cm}$ ，支持与沿岸监测站的实时数据协同传输；基于机器视觉的航标状态监测系统，结合无人机巡检实现航标缺损、漂移的自动识别，误报率控制

在 1.5% 以内，同时联动远程运维平台完成故障预警与校准调度，形成“感知-识别-运维协同闭环；通过物联网技术构建设备协同管理平台，实现不同类型感知终端的状态联动监测与能耗优化，大幅降低人工运维成本。2024 年，日本海上保安厅联合东京大学研发了适用于山区狭窄航道的微型水下感知机器人，搭载侧扫声呐与北斗短报文模块，可在水深 0.5-10m 的浅水区实现障碍物实时探测，探测精度达 $\pm 3\text{cm}$ ，已在利根川航道试点应用^[51]；2023 年，日本川崎重工推出新一代低功耗航标感知终端，集成太阳能供电与多模通信模块，续航能力提升至 5 年，同时支持与无人机、岸基监测站的自组网协同，已在日本全国内河航道推广 2000 台^[52]。

此外，美国于 2022-202 年在密西西比河航道推进「智能航道示范区」建设，依托 GPS III 与星链卫星构建广域航道监测网络，结合 AI 算法实现船舶航行轨迹预测与航道拥堵预警，预测准确率达 88%，有效提升航道通行效率 20%^[53]；新加坡港务局联合麻省理工学院于 2024 年研发了基于数字孪生的跨境航道协同管理平台，实现新马柔佛海峡航道的跨区域数据共享与联合调度，成为国际跨境智慧航道协同的典型范例^[54]。

（2）国内研究现状分析

目前，我国内河航道里程、设施规模、运力、运量均居世界第一，承担着东中西跨区域矿石、煤炭、危化品、集装箱等大宗货物运输，初步形成了以国家高等级航道和主要港口为主体的总体发展格局，是国家实施交通强国、构建高质量综合立体交通网的重要基础，也是国家推进“一带一路”建设、京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设等重大战略的重要支撑^[1]。一直以来，囿于涉水环境的

复杂性,我国内河航道环境及设施存在动态监管能力弱和集成服务不足等突出问题^[2-3],目前主要通过航道感知对象和航道感知设备两个方面开展研究,以增强通航环境及航道设施运行状态智能监测能力,提升航道智能化水平和服务品质^[4-5]。

航道感知对象分类目前没有统一标准,可以参照的标准有《国民经济行业分类与代码》(GB/T 4754-2017)及《基础地理信息要素分类与代码》等。孙星等^[6]将水上交通状态感知信息分为内河水上交通流、航道通航环境信息、通航枢纽船舶行为、船舶状态数据和船载危险货物状态等。吕永祥^[7]提出航道要素应包含航道河床、水文状况和航标等;李学祥等^[8]将长江航道要素分为航道尺度、水文气象、地形地貌、助航设施和通航建筑物等内容。本研究将航道运行感知按功能分为航道通航环境要素感知、航道通航运行状态感知、航道设施状态感知三大类。航道感知是利用各种感知设备、技术手段和方法,动态监测和实时采集航道设施、船舶、水位、航道断面等感知对象的业务特征和事件信息,形成物联传感数据,导航定位、卫星和无人机遥感等监测和观测数据,以及视频解析数据和分析信息,实时为航道维护管理、船舶航行提供可靠的航道信息,是构建虚拟航道及实时刻画实体航道条件的技术基础。

在多源数据融合技术方面,蒋仲廉、聂梓熠^[60]等以内河航道基础设施为研究对象,基于经典的JDL融合功能模型,构建了内河航道多源信息融合功能模型,针对内河航道信息多源异构的特点,从数据检测、过程优化、智能计算3方面对信息融合算法进行概述总结,为内河航道基础设施运行状态智能化监测提供了理论与决策支撑。胡书才^[61]基于无人机倾斜摄影、多波束测深、载波相位差分技术获取的多

源数据进行融合处理,并应用于内河航道建设和养护。

数字孪生技术在内河航道领域的工程化应用仍处于起步阶段,目前已在航空航天、军事、能源等领域实现规模化应用,在内河航道领域的应用多集中于试验验证与局部航段示范。在国内基于三维实景融合的多维空间信息融合与可视化研究应用中,潘明阳、刘涛等人^[28]提出通过 Web 实现多维数字航道监控平台的搭建,通过对数据加载算法的优化,提高数据可视化的加载和渲染效率,实现可视化平台的稳定运行。张建春^[29]针对长江段航道信息搭建可视化系统,并对航道中的地形数据进行分析处理,研究海量数据的加载调度流程,确定航道信息可视化的最优加载办法。汤健峰、江文萍^[30]结合 WebGIS 技术,对航道信息数据的组织结构与编码进行研究,以 Openlayer 为框架实现对航道数据的可视化表达。金琪然^[48]等提出利用数字孪生技术高效处理长江航道大数据以及利用人工智能进行数据挖掘与分析的研究方法,以提高数据的质量级别和处理效率。李邵喜等人^[47]基于 GoogleEarth 三维可视化平台,结合三维 GIS 相关技术,提出一种将 4D 数据与动态三维数据相结合,并在以三维航道为框架的条件下进行可视化显示,分析航标及水位的改变对航道产生的影响,实现对航道三维状态下的监管。王凯、徐浩^[55]等人基于大数据监测与分析、数字孪生体构建、虚实模型的信息实时匹配与交互和数字驱动控制,以及动态可视化等进行了详细的水路运输数字孪生关键使能技术分析。马瑞鑫、薛礼^[56]等根据数据流向提出数字孪生航道建设技术框架,并梳理出航道数据底座底板、模拟仿真引擎、业务知识模型和航道场景应用等建设内容。

(3) 技术发展趋势与前沿方向

多源异构数据融合技术向深度智能化发展。随着人工智能技术的快速发展,多源数据融合正从简单的数据叠加向智能分析和决策支持转变。基于图神经网络、深度学习等技术的融合方法能够更好地处理异构数据的时空关联,提升融合精度和实时性。2022-2025年,基于大模型的航道多源数据融合成为新趋势,通过预训练模型实现航道数据的语义理解与智能推理,大幅提升融合的智能水平与泛化能力。

数字孪生技术与航道业务深度融合。数字孪生技术正从概念验证向工程应用转变,2024年建成了覆盖长江、珠江水系的数字孪生航道试验段,未来将实现大量智能航标、船舶等要素数字映射,构建船舶能效优化算法模型。未来3-5年,航道数字孪生将向“全要素、全流程、全协同”发展,实现与航道养护、船舶调度、应急处置等业务的深度融合,成为智慧航道的核心支撑平台。

“空天岸水”一体化协同感知成为主流。5G+北斗技术的融合应用,为构建“空天岸水”一体化感知网络提供了技术支撑。北斗系统与5G、遥感卫星等技术融合,构建的一体化感知网络将广泛应用于航道运行监测、航道公共服务等场景。2022-2025年,北斗三号短报文、低轨卫星通信、5G-A等新技术的融合应用,将解决山区、库区航道通信盲区问题,实现航道感知网络的全域覆盖。

边缘计算与云计算协同架构日趋成熟。通过在航道沿线部署边缘计算节点,实现数据的就近处理和实时分析,减少数据传输延迟,提高系统响应速度。同时,通过云计算平台实现大规模数据的存储、处理和分析,为航道管理提供强大的数据支撑。未来,航道感知将形成“边缘实时处理、云端智能分析、边云协同联动”的架构,兼顾监测的实时性与数据分析的深度性。

此外，低碳化、轻量化、标准化成为智慧航道技术发展的重要方向：感知设备向低功耗、太阳能供电、小型化发展，降低建设与运维成本；航道数字孪生向轻量化建模、云端轻量化部署发展，适应地方航道管理部门的算力需求；全国智慧航道标准体系逐步完善，实现感知数据、建模标准、应用接口的统一，为跨区域航道协同管理奠定基础。

2.项目前期科研及现有工作条件

(1) 相关研究工作基础

项目承担单位承担了多项国家级和省部级科研项目，在多源智能感知、数据融合、数字孪生等相关领域具有深厚的研究基础和技术积累。2023 年承担了云南高等级航道信息化建设项目，构建了包含 27 类 300 余项航道数据的数据底座，实现了 10 类可视化模型的统一配置管理，2024 年承担了江西省智慧航道建设技术指南研究项目，项目深入调研分析国内外智慧航道相关标准及典型案例，全面总结借鉴内河智慧航道建设经验，系统分析先进技术应用成效，深入调研国内航道特点和发展需求，充分吸收智慧交通领域的最新研究成果，并参考已发布国家及行业相关技术标准，形成了《江西省智慧航道建设技术指南》，为江西省智慧航道设计、建设和运营提供技术指导。

(2) 现有试验设施与设备条件

项目承担单位拥有完善的试验设施和先进的研究设备，为项目实施提供了强有力的硬件支撑。感知设备方面：拥有无人机倾斜摄影系统、RTK 定位设备等多种感知设备；数据处理平台方面：配备了高性能计算服务器、GPU 集群、存储系统等数据处理设备，具备处理大规模数据的能力。同时，团队拥有数字孪生建模软件、三维可视化

平台、数据融合分析软件等专业软件工具；试验场地方面：安康市交通建设投资集团有限公司可依托安康市公铁水联运（汉江复航）项目，为本项目提供专属航道试验场地。

（3）研究人员情况

项目团队拥有一支结构合理、技术过硬的研究队伍，包括：

项目负责人：1名，具有高级职称，长期从事航道智能感知、数字孪生等领域研究，承担多项国家级科研项目，在相关领域具有较高的学术影响力。

主要研究人员：15名，分别在多源数据融合、人工智能、数字孪生、系统集成等领域具有丰富的研究经验。

3.参考文献

[1]李文杰，李伟明，杨胜发，等.航道承载力内涵及评价方法研究——以长江上游航道为例[J].重庆交通大学学报(自然科学版)，2019，38(10)：74-80.

[2]马爱兴，曹民雄，王秀红，等.长江中下游航道整治护滩带损毁机理分析及应对措施[J].水利水运工程学报，2011(2)：32-38.

[3]刘怀汉，李学祥，杨品福，等.长江智能航道关键技术体系研究[J].水运工程，2014(12)：6-9.

[4]余青容，刘林，李学祥.长江航道信息化项目建设效益评估指标体系研究[J].水运工程，2014(12)：16-19.

[5]郑兵，胡南.基于数据库和云计算的内河航运优化设计研究[J].舰船科学技术，2018，40(1)：46-48.

[6]孙星，严新平，初秀民，等.基于船标岸一体化技术的内河信息服务关键技术研究[J].交通信息与安全，2012，30(4)：126-130.

- [7]吕永祥.长江干线航道要素状态感知与交互技术分析[J].水运工程, 2012(9): 153-158.
- [8]李学祥, 严新平.基于在航船舶动态信息的长江航道要素感知方法综述[J].水运工程, 2014(12): 31-36.
- [9]白凤春, 高文兵, 张士兵, 等.虹吸式水位计和直立式水尺桩对比观测的实验研究[J].内蒙古水利, 2014(2): 21-22.
- [10]盖志刚, 赵杰, 杨立, 等.一种新型激光智能水位测量系统的研制[J].光电子激光, 2013, 24(3): 569-572.
- [11]安全, 范瑞琪.常用水位传感器的比较和选择[J].水利信息化, 2014(3): 52-54.
- [12]许笠, 王延乐, 华小军.雷达水位计在水情监测系统中的应用研究[J].人民长江, 2014, 45(2): 74-77.
- [13]Stateczny A, Lubczonek J. Radar sensors implementation in river information services in Poland[C]//Proc. of 15th International Radar Symposium. 2014: 199-203.
- [14]李志.水位流速雷达研制[D].成都: 电子科技大学, 2015.
- [15]纪树山.雷达式水位流速传感器研制[D].成都: 电子科技大学, 2013.
- [16]黄伟, 郝润科, 尹刚, 等.水位自动监测系统的设计[J].电子科技, 2015, 28(4): 65-68.
- [17]Mi J, Karpi O, Ole V, et al. Monitoring of water level based on acoustic emissions[C]// 2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC). IEEE, 2015: 193-197.
- [18]董勇.运用 AIS 航标的综合水文气象系统[J].天津航海,

2015(3): 49-50.

[19]方晶, 吴青, 初秀民, 等.基于多功能航标的长江水文信息采集系统研究[J].交通信息与安全, 2010(6): 53-56.

[20]张峰.基于多源信息聚融的港域航道智能监测系统[J].中国海事, 2011(12): 52-55.

[21]吕达仁, 魏重, 张健国.激光探测能见度的实验研究[J].大气科学, 1976(1): 55-61.

[22]王宗俐, 曹乃锋, 王春录.一种激光能见度仪设计的新方法[J].激光与红外, 2012, 42(6): 629-632.

[23]庄子波, 黄炜, 符超, 等.后向散射式小型激光雷达能见度仪探测研究[J].激光技术, 2015, 39(1): 119-123.

[24]陈晓婷, 鲁昌华, 张玉均, 等.数字摄像能见度仪的白天能见度算法设计[J].电子测量与仪器学报, 2013, 27(4): 353-358.

[25]李屹, 朱文婷.基于数字摄像技术的能见度检测[J].现代电子技术, 2012, 35(20): 95-97.

[26]黄国良, 徐恒, 熊波等.内河无人航道测量船系统设计[J].水运工程, 2016, 1(511): 162-168.

[27]王利锋, 蒋新华, 王冰, 等.多波束测深系统在航道测量中的关键问题探讨[J].海洋测绘, 2014, 34(5): 55-58.

[28]潘明阳; 刘涛; 王德强; 赵德鹏; 张新宇.Web 多维数字航道监控平台[J].交通运输工程学报, 2014, 14(02):97-103+126.

[29]张建春.长江航道三维可视化系统设计与实现[J].海洋测绘, 2017, 37(03):66-69.

[30]汤健峰; 江文萍.WebGIS 技术在内河航道可视化管理中的应用[J].测绘地理信息, 2018, 43(05):89-92.

- [31]沈睿.基于 VTS 图像的船舶自动跟踪技术与实现[D].大连海事大学, 2010.
- [32]陈婧.基于 Kalman 滤波的内河船舶定位跟踪方法研究[D].武汉理工大学, 2013.
- [33]王黎明.基于 VTS 雷达目标的 IMM 算法研究与实现[D].大连海事大学, 2013.
- [34]Liu W, Chen X, Chu X. Belief rule-based methodology and Particle filter for radar target tracking[C]//Informative and Cybernetics for Computational Social Systems (ICCSS), 2014 International Conference on. IEEE, 2014: 85-90.
- [35]J.F.Vesecky, K.E.Laws, J.D.Paduan: Using HF surface wave radar and the ship Automatic Identification System (AIS) to monitor coastal vessels[C]. Geo-science and Remote Sensing Symposium, Proceedings of 2009 IEEE International IGARSS 2009, 2009: 761-764.
- [36]Lin Changchuan, Dong Fang, Le Jie, Wang Gaoyao, AIS System and the Applications at the Harbor Traffic Management[C].4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing.2008: 1.
- [37]Liping L, Shexiang M. Analysis and Simulation of Slot Collision and Reception Performance of AIS[M]. Advances in Electric and Electronics. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 661-669.
- [38]吴红双.基于 AIS/雷达融合信息的船舶避碰终端设计与实现[D].哈尔滨工程大学, 2013.
- [39]邓术章, 李光正, 鲁慧民, 周兆欣. 船用 ARPA 雷达与 AIS

信息融合的实现[J]. 船海工程, 2009, 06: 145-148.

[40]刘传润, 鲍君忠. AIS 与 VTS 的雷达/ARPA 信息融合的研究与实现[J].航海技术, 2007, 02: 37-39.

[41]Ying Shijun. A Data Fusion Algorithm for Marine Radar Tracking, Intelligent Systems, 2009. GCIS '09. Page(s):234-238.

[42]YAN R J, PANG S, SUN H B, et al. Development and missions of unmanned surface vehicle[J]. Journal of marine science and application, 2010(4):451-457.

[43]HAN Y F, YE Q H, ROELVINK D J A. Modeling on the estuarine turbidity maximum of yangtze estuary before and after the regulation works using Z-model[J]. Coastal engineering proceedings, 2014 (34):46.

[44]巴恩哈特.无人机系统导论[M].北京:国防工业出版社, 2014.

[45]杨胜发, 金健灵, 刘旭晖. 铜锣峡河道泡漩结构分布特征研究[J].水电能源科学, 2020, 38(11): 28-31, 36.

[46]陈先桥, 杨品福, 初秀民.内河枯水期航行仿真建模及实现技术研究[J].计算机工程与应用, 2012, 48(6): 243-245.

[47]金琪然, 余杰.数字孪生和人工智能技术在长江航道大数据治理中的融合应用研究[J].中国水运, 2023(S2): 146-155.

[48]金琪然; 余杰.数字孪生和人工智能技术在长江航道大数据治理中的融合应用研究[J].中国水运, 2023(S2):146-155.

[49]European Commission. Trans-European Transport Network (TEN-T) Upgrading Plan 2022-2027[R]. Brussels : European Commission, 2022.

[50]German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. Technical Specification for Smart Inland Waterway 2.0[R]. Berlin : BMVI, 2023.

[51]Japan Coast Guard , The University of Tokyo. Research and Application of Micro Underwater Sensing Robot for Mountain Narrow Waterway[J]. Journal of Japan Society of Civil Engineers , 2024 , 80(3):12-20.

[52]Kawasaki Heavy Industries , Ltd. New Generation Low-Power Navigation Mark Sensing Terminal[P]. Japan Patent, JP2023105621A, 2023.

[53]U.S. Army Corps of Engineers. Smart Waterway Demonstration Area Construction on the Mississippi River[R]. Washington: USACE, 2025.

[54]Maritime and Port Authority of Singapore, MIT. Cross-Border Waterway Collaborative Management Platform Based on Digital Twin[J]. Journal of Waterway and Harbor Engineering, 2024, 45(6):89-98.

[55]王凯, 徐浩, 张梦妍, 等.数字孪生技术在水路运输领域的应用及研究[J].中国舰船研究, 2023, 18(5): 1-10.

[56]马瑞鑫; 薛礼; 问皓; 徐明华; 刘奥祥.数字孪生航道建设及航道智慧化指标体系研究[J].水道港口, 2024, 45(04):612-620.

[57]JEONG D Y , BAEK M S , LIM T B , et al. Digital twin:technology evolution stages and implementation layers with technology elements[J]. IEEE Access, 2022, 10: 52609-52620.

[58]CALDERÓN-RIVERA N, BARTUSEVIČIENĖ I, BALLINI F.

Barriers and solutions for sustainable development of inland waterway transport: a literature review[J]. Transport Economics and Management, 2024, 2: 31-44.

[59]BAČKALOV I, VIDIĆ M, RUDAKOVIĆ S. Lessons learned from accidents on some major European inland waterways[J]. Ocean Engineering, 2023, 273: 113918.

[60]蒋仲廉; 聂梓熠; 余珍; 刘怀汉; 初秀民. 基于 JDL 的内河航道多源信息融合功能模型研究 [J]. 水道港口, 2023, 44(01):131-136+156.

[61]胡书才. 多源数据融合可视化技术在內河航道建设和养护中的应用研究[J]. 中国水运, 2025(11): 81-83.

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题

(1) 拟解决汉江安康至白河航道智能感知体系不完善、感知需求不明确、技术不适配以及感知设备无法协同监测等问题。

(2) 拟解决现有航道感知数据一数多源、接入标准不统一、时空基准不一致、多源异构数据难以有效融合的技术问题。

(3) 拟解决数字孪生技术在汉江安康-白河航道运行监测领域工程化应用研究不足, 缺乏适配汉江山库区航道特点的数字孪生平台技术方案的问题。

2. 主要研究内容

(1) 开展汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究

开展汉江安康至白河航道现状与航道运行状态监测需求分析, 深入调研汉江安康-白河航道的地理环境、水文特征、航运现状等基本

情况,分析航道运行状态监测的具体需求,重点分析航道通航环境要素、航道通航运行状态、航道基础设施状态、航道助航设施状、船闸调度通航信息等感知需求,研究航道运行感知要素获取与协同监测技术手段与方法,设计适应汉江安康至白河航道特点的“空天岸水”协同智能感知体系。

(2) 开展多源数据融合技术研究

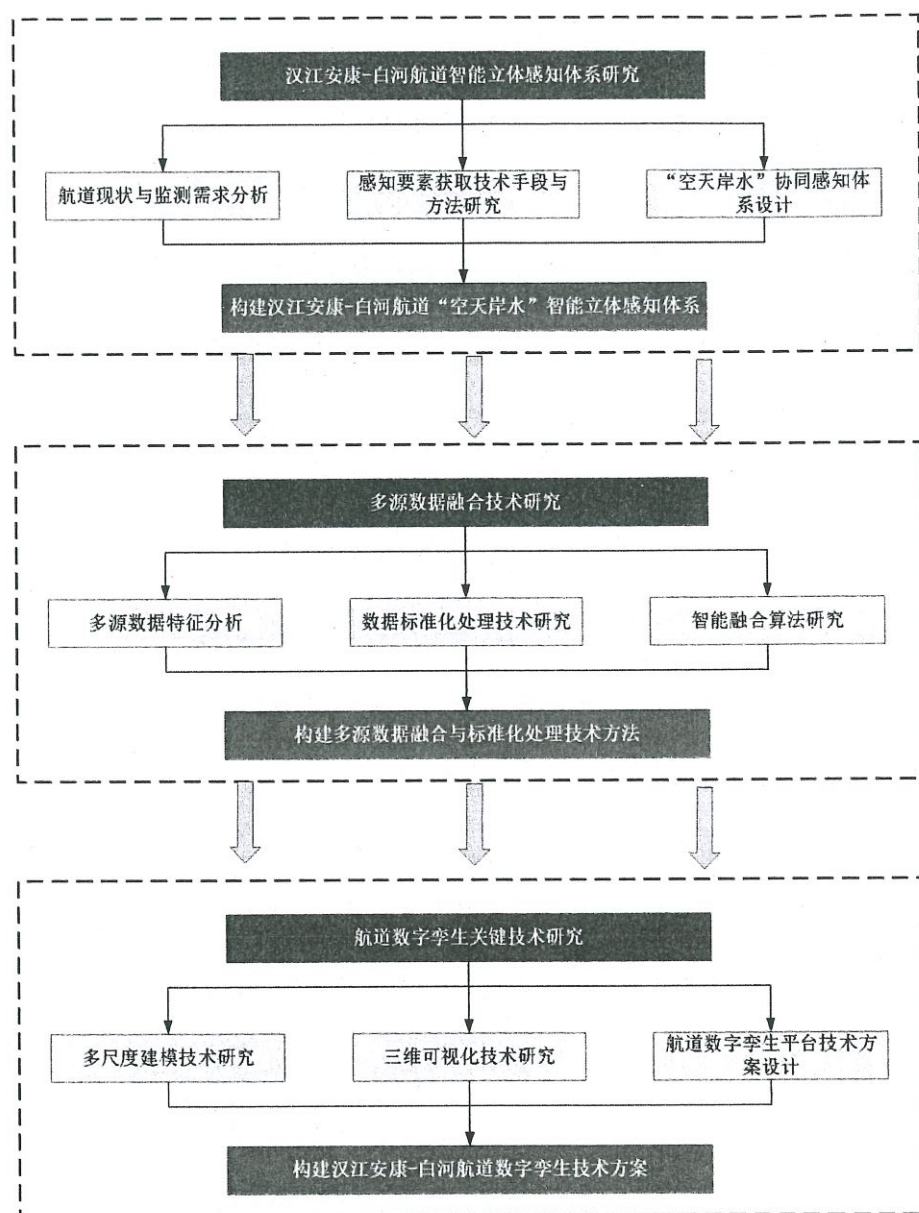
系统分析智能感知设备所采集的多源航道运行监测数据如 AIS 数据、雷达数据、视频数据、水文数据等的类型、结构、格式、粒度及关联特征,深入研究多源异构数据的时空配准、噪声滤除与信息互补等标准化处理方法,为构建汉江安康至白河航道高精度、高效率的航道运行监测体系提供可行的技术路径。

(3) 开展航道数字孪生关键技术研究

深入研究汉江安康-白河航道数字孪生应用核心业务需求、典型应用场景及应用模式,基于智能立体感知数据,研究航道多尺度数据模型构建技术,奠定数字孪生基础;深入研究数字孪生航道三维可视化技术,重点解决航道实体世界到虚拟空间的高效映射问题;在此基础上设计完整的航道数字孪生平台技术方案,为陕西省智慧航道数字孪生技术的实际应用提供明确的技术指引。

3. 技术路线

(1) 研究技术方案



多源融合的航道运行监测智能感知体系研究技术路线图

1) 汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究

航道现状与监测需求分析。深入调研汉江安康至白河段航道的地理环境、水文特征、航运现状等基本情况，分析航道运行状态监测的具体需求。重点分析航道通航环境要素（包括水位、流速、流向、能见度等）、航道通航运行状态（包括船舶流量、船舶密度、航行速度等）、航道基础设施状态（包括航道水深、河床地形、整治建筑物等）、航道助航设施状态（包括航标、灯塔、信号设施等）、船闸调度通航

信息（船闸通行状态、待闸船舶、待闸锚地状态等）等感知需求。

感知要素获取技术与协同监测方法研究。研究航道运行状态感知要素获取技术手段与方法，一是水面感知技术研究：研究基于雷达、激光雷达、视频监控等设备的水面船舶检测、识别和跟踪技术；研究水位、流速、流向等水文参数的实时监测技术；二是水下感知技术：研究基于多波束测深仪、侧扫声呐、水下机器人等设备的水下地形测量、障碍物检测、整治建筑物状态监测技术；三是空中感知技术：研究基于无人机的航道巡查、航标状态监测、水面油污检测等技术；研究基于卫星遥感的大范围航道监测技术；四是岸基感知技术：研究基于光纤传感、压力传感等设备的航道基础设施状态监测技术；研究基于视频分析的航道运行状态监测技术；五是研究空天岸水一体协同监测方法，实现不同感知层设备的数据互联互通与动态调度，制定设备协同工作机制，确保“空天岸水”各感知节点形成有机整体，提升航道全要素、全时段、全方位的监测能力。

“空天岸水”协同感知体系设计。设计适应汉江安康至白河航道特点的“空天岸水”协同智能感知体系，一是感知层设计：确定各类感知设备的类型、布设原则和覆盖范围，形成协同立体化的感知网络；二是网络层设计：设计数据传输网络架构，包括有线网络、无线网络、卫星通信等多种传输方式，确保数据传输的可靠性和实时性。

2) 多源数据融合技术研究

多源数据特征分析。采集 AIS、雷达、空天遥感、视频、水文等多源感知数据，分析各类数据类型、结构、格式、粒度、关联性、场景化、质量（缺失率、时延性、精度）等特征。重点分析 AIS 数据、雷达数据、视频数据、水文数据、地形数据等不同类型数据的特点和

相互关系，建立数据特征模型，统一特征量化指标体系。

数据标准化处理技术研究。研究多源异构数据的数据标准化、时空配准、噪声去除、信息互补等融合技术，一是研究时空配准技术：研究基于北斗/GPS 技术的时间同步、空间匹配方法，实现不同传感器数据在时间和空间上的精确对齐；二是研究噪声去除技术：研究基于机器学习、信号处理等技术的噪声去除方法，提高数据质量；三是数据校准技术：研究传感器标定、数据校正等技术，确保数据的准确性和可靠性。

智能融合算法研究。研究多模态数据融合算法，通过融合多种优势互补的传感器，将来自同一监测目标但不同数据来源且表现为多种模态形式的信息进行关联，融合不同属性、时间及模式，以便于获取更为准确、完善地感知信息，实现对航道运行状态的智能语义理解。

3) 航道数字孪生关键技术研究

多尺度建模技术研究。基于智能立体感知数据，利用 BIM、GIS、倾斜摄影、视频融合航道三维建模方法，构建航道多尺度航道数据模型，一是宏观尺度模型：构建航道整体的三维地形模型，用于航道规划、船舶导航等应用；二是中观尺度模型：构建航道关键节点的精细化模型，包括船闸、桥梁、码头等重要设施；三是微观尺度模型：构建航道局部细节的高精度模型，用于设施维护、安全监测等应用。

三维可视化技术研究。开展智慧航道数字孪生三维可视化技术的研究，一是实时渲染技术：研究基于 WebGL、Unity3D 等技术的三维场景实时渲染优化方法；二是物理仿真技术：研究航道水流、船舶运动等物理过程的仿真技术。

航道数字孪生平台技术方案设计。

严格对标《内河水运数字孪生总体要求(征求意见稿)》的顶层规范,深入研究汉江安康-白河航道数字孪生应用核心业务需求、典型应用场景及应用模式,围绕航道全流程数字化构建与智慧化管理核心目标,开展四项关键工作:一是设计多源数据融合底座,整合“空天岸水”感知、地理空间及业务专题数据,制定数据清洗、标准化转换与分级存储规范,保障海量航道数据高效调度与安全管理;二是结合汉江安康至白河段山区、库区航道特性,开展全要素多尺度建模设计,构建从宏观航道地形到微观设施的分层级数据模型,明确各层级建模精度与呈现主题,实现物理航道的全面数字化复刻;三是高精度三维建模、实时渲染及流体动力学仿真集成技术,设计虚实映射与实时同步机制,搭建实体航道与数字孪生体的动态映射链路,建立数据驱动的状态更新规则,确保虚拟空间精准复刻物理航道运行状态与环境变化;四是规划平台功能模块并开展应用适配设计,优化三维场景高效渲染与多维度信息展示方案,适配航道管理、应急调度等业务需求,形成适配该段航道特点的可落地技术方案。

(2) 工作流程

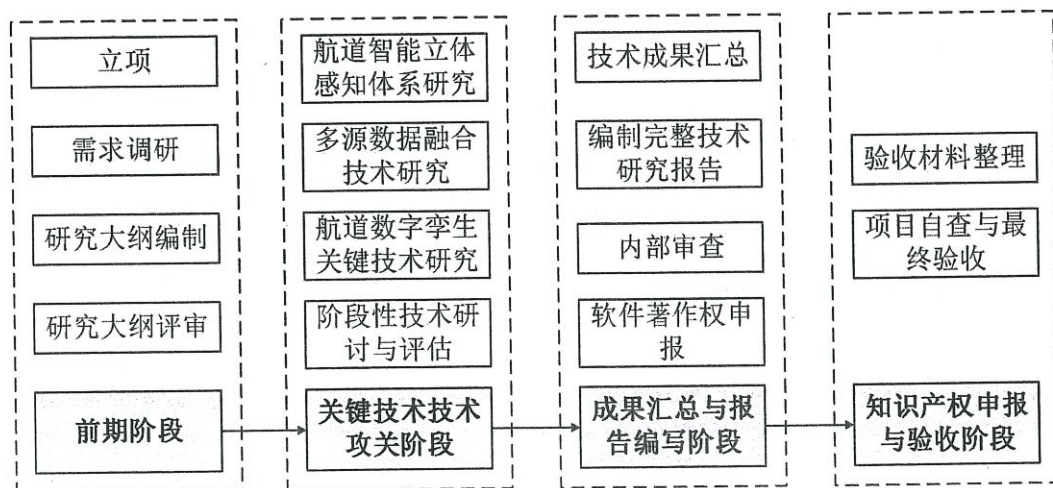


图 1 工作流程图

本项目工作流程主要包括四个阶段：

一是前期调研与大纲编制阶段：主要包括立项、组建研究团队、需求调研、编制研究大纲、完成大纲评审。

二是关键技术攻关突破阶段：主要包括航道智能立体感知体系研究、多源数据融合技术研究、航道数字孪生关键技术研究、阶段性技术研讨与评估、学术论文撰写发表。

三是成果汇总与报告编制阶段：主要包括技术成果汇总、编制完整技术研究报告、内部审查、软件著作权申报等。

四是项目完善及验收阶段：主要包括验收材料整理、项目自查与最终验收。

4.后续技术改造或与基本建设计划的衔接

(1) 与安康市公铁水联运（汉江复航）项目的衔接

本项目研究形成的技术路线及方案成果将与安康市公铁水联运（汉江复航）项目形成有机衔接，推动汉江安康至白河智慧航道工程高效率、高质量建设，促进汉江安康至白河航道高效、绿色运营。

(2) 与智慧航道建设标准规范的衔接

本研究将与国家和行业智慧航道建设标准规范保持一致，形成的成果将为陕西省制定地方标准提供技术支撑，推动形成具有陕西特色的智慧航道建设标准体系。

5.有关技术经济指标

(1) 课题形成的航道智能立体感知体系能够指导汉江安康至白河航段感知设备建设，避免“过度建设”或“监测不足”，降低感知系统设计投资成本 15%-20%。

(2) 课题构建的航道数字孪生平台技术方案，可有效指导汉江安康至白河航道数字孪生平台建设，建设效率提升 10%-20%。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

(1) 国交空间信息技术（北京）有限公司

项目承担单位为国交空间信息技术（北京）有限公司，系中国交通通信信息中心控股子公司，前身是“交通运输遥感中心”。公司现有员工中，博士、硕士比例超过 70%，公路、水路、遥感测绘等领域高级职称占比 15%，核心骨干人员具备 10 年以上行业服务经验，团队员工均是遥感、测绘、地理信息系统、交通规划管理等相关专业的硕士或博士，具备较强的技术研发、工程实施等核心业务能力，可高效、高质量完成项目软件研发工作，可为本项目实施提供有力的专业团队保障。

公司具有甲级测绘资质，是双软认证企业和北京市高新技术企业，北京市“专精特新”中小企业称号。先后获得北京市科学技术奖一等奖、中国公路学会科学技术奖、地理信息科技进步奖、综合交通运输大模型智能体创新应用大赛一等奖等多个奖项，多年来作为交通运输部技术支持单位获得部相关司局的一致好评。

(2) 安康市交通建设投资集团有限公司

项目参加单位为安康市交通建设投资集团有限公司（以下简称“安康交投集团”），安康交投集团是按照市委办、市政府办《关于印发安康市交通建设投资集团有限公司组建方案的通知》（安办字〔2021〕113 号）精神，在原安康市交通建设投资有限责任公司的基础上增资扩容，整合市公路局 4 户企业资源资产及其他国有资源、资

本，组建集投资、融资、建设、养护、运营为一体的交通投融资平台公司。集团公司牢固树立“没有项目，没有投资，就没有未来”的发展理念，坚决贯彻市委市政府决策部署，做实落实“三个年”活动，加强与央企省企深度合作，以商招商，以企引企，坚持项目建设为依托，以资源换资金、以时间换空间、以经营换发展，积极探索交通发展新模式，策划包装了安康西综合客运枢纽项目、安康市“公铁水”综合枢纽、316国道 SRT 超级虚拟轨道交通、瀛湖环湖旅游公路、新能源电动车充电桩、交通行业砂石原材料基地等十个项目，总投资达 150 亿元。

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
胡玉龙	国交空间信息技术(北京)有限公司	男	39	高级工程师	地图制图学与地理信息工程	项目负责人
蒋勇	安康市交通建设投资集团有限公司	男	36	高级工程师	土木工程	项目组织协调
程明	安康市交通建设投资集团有限公司	男	49	高级工程师	交通工程	项目管理研究
李均	安康市交通建设投资集团有限公司	男	48	工程师	交通工程	项目组织协调
李顺飞	安康市交通建设投资集团有限公司	男	37	工程师	应用化工	项目管理研究

刘维	国交空间信息技术(北京)有限公司	男	30	助理工程师	土木工程	航道智能立体感知体系研究
宋歌	国交空间信息技术(北京)有限公司	女	35	工程师	测绘工程	航道智能立体感知体系研究
赵国芳	国交空间信息技术(北京)有限公司	女	29	助理工程师	遥感科学与技术	航道智能立体感知体系研究
李毓旻	国交空间信息技术(北京)有限公司	男	26	助理工程师	测绘科学与技术	多源数据融合技术研究
弓一帆	国交空间信息技术(北京)有限公司	男	30	工程师	计算机科学与技术	多源数据融合技术研究
吴小洁	国交空间信息技术(北京)有限公司	女	29	助理工程师	交通运输	多源数据融合技术研究
李志飞	国交空间信息技术(北京)有限公司	男	38	高级工程师	测绘科学与技术	航道数字孪生关键技术研究
敖智	安康市交通建设投资集团有限公司	男	42	高级工程师	公路工程与管理	航道数字孪生关键技术研究
王胜强	安康市交通建设投资集团有限公司	男	39	工程师	土木工程	航道数字孪生关键技术研究
陈龙龙	安康市交通建设投资集团有限公司	男	34	助理工程师	土木工程	航道数字孪生关键技术研究
吴远哲	安康市交通建设投资集团有限公司	男	34	助理工程师	公路工程	航道数字孪生关键技术研究

3. 各自承担的主要工作

(1) 国交空间信息技术(北京)有限公司

国交空间信息技术（北京）有限公司为主要承担单位，负责航道智能立体感知体系研究、多源数据融合技术研究、航道数字孪生关键技术研究及相关研究成果的总结，知识产权的申请等工作。

（2）安康市交通建设投资集团有限公司

主要为项目负责需求调研、航道感知数据收集、现场实验及对外协调，同时提供试验场地等。

4. 项目主要负责人情况

项目主要负责人胡玉龙，1987年7月出生，2017年毕业于武汉大学，地图制图学与地理信息工程专业，博士学位，2020年北京大学博士后出站，高级工程师职称。主要研究方向为交通遥感信息化、智慧交通、空间信息技术在交通行业的应用。先后主持或参与了多个国家级交通信息化重大示范工程项目，包括高分重大专项（副总师）、国家重点研发计划（骨干）等。作为项目负责人为交通运输部规划司、公路局、海事局等开发研制了多个交通信息化平台，有效支撑了交通精准扶贫、“四好农村路”建设、高速公路收费制度改革、灾害应急与损毁评估等工作。授权发明专利9项，发表SCI、EI检索论文多篇，研发的高分遥感与浮动车轨迹数据融合监测技术在自然灾害风险普查和灾毁评估工作中得到广泛应用，获中国地理信息科技进步奖二等奖（“公路灾害天空地一体化协同监测与风险评价关键技术研究及应用”）。

从2022年开始，负责水上数字化转型升级业务。在救捞领域，组建博士团队攻关“海上遇险人员及小目标识别”关键技术，为部救捞局提供海上智慧搜寻解决方案；在海事领域，研发基于卫星遥感的中远海船舶动态感知技术，积极争取交通运输部“陆海

空天”海上安全一体化相关项目落地；在内河航运领域，研发基于空天遥感的动态电子航道图生产技术，并与广东、湖南、浙江等航道管理机构开展合作应用。

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

依托工程为安康市公铁水联运（汉江复航）项目，项目位于陕西省安康市，主要范围包括安康市汉滨区至白河县 164 公里范围内的汉江河道及沿岸，建设内容包括港口及配套仓储、航道、船闸等，总投资约 82.66 亿元。本项目主要依托航道建设工程。

安康市公铁水联运（汉江复航）项目航道规模及标准为：航道全长约 164km，设计航道尺度为 2.5m×60m×270m（水深×航宽×最小弯曲半径）。航道工程包括：航道疏浚工程、护岸等其他航道工程、航道支撑保障系统、航道基础设施建设（水上服务区建设）、碍航设施改造工程等，其中支撑保障系统建设内容包括助航标志、水位站、站场及航标维修保养基地、信息化系统及航道管理船舶。

2. 投资来源

本项目的全部经费来源于陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目经费。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

（1）本项目研究进度安排

2026 年 1 月-3 月，完成多源融合的航道运行监测智能感知体系研究大纲编制及大纲评审工作。

2026 年 4 月-9 月，航道智能立体感知体系研究阶段，研究航道智能立体感知要素需求、航道智能立体感知设备与技术。

2026 年 10 月-12 月，多源数据融合技术研究阶段，收集现有航

道运行监测数据资源，研究多源数据现状与应用问题，针对现状与问题，研究多源数据融合技术。

2027年1月-3月，航道数字孪生关键技术研究阶段，研究多尺度建模技术及三维可视化技术。

2027年4月-6月，论文编写阶段，完成学术论文撰写发表。

2027年7月-9月，技术报告编制阶段，编制航道内河航道多源智能感知与协同监测技术报告，完成报告内部审查。

2027年10-12月，知识产权申报阶段，整理项目材料，申请软件著作权。

2028年1月-3月，项目完善及验收阶段，完成项目成果自查，整理验收材料、提交项目成果、完成项目验收。

(2) 与安康市公铁水联运（汉江复航）项目进度的配合

本项目是安康市公铁水联运（汉江复航）项目智慧航道建设的前置核心技术支撑，全程与依托工程同规划、同推进，实现研发进度与工程建设深度同频、技术成果与建设需求精准匹配。

汉江复航项目航道工程总体实施周期为6年，其中与本项目直接相关的智慧航道支撑保障系统将于工程实施的第二年启动建设，与本项目2年研究周期高度契合。本项目将全程依托工程建设场景、基础设施配套与现场数据资源开展技术攻关，分阶段同步推进研究成果的转化落地：项目前期形成的航道感知需求清单、设备选型与布设方案，直接服务于智慧航道系统的施工图设计；中期攻关形成的多源数据融合技术方法、标准化处理规范，直接用于智慧航道数据中台的建设开发；后期输出的航道数字孪生平台技术方案，直接指导平台系统的开发部署与功能实现，确保研究成果全链条嵌入汉江复航项目智慧航道工程建设全流程。

本项目研究与依托工程建设形成双向赋能的闭环机制：一方面，本项目输出的成套技术成果为智慧航道工程提供科学的设计依据与

技术指引，保障工程高质量、高标准落地；另一方面，依托工程的现场实践、实测数据与建设需求，可反向验证、持续优化本项目的技术方案与研究成果，最终共同助力汉江安康至白河段航道实现高效、绿色、安全运营。

4. 组织管理形式

课题组下设 3 个专项研究小组，分别为航道智能立体感知体系研究组、多源数据融合技术研究组、航道数字孪生关键技术研究组。三个研究小组由项目负责人统一领导，协调各组之间研究工作。

六、项目经费估算及资金筹措情况

项目总经费为 38.7 万元，其中 19.35 万元来源于陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目经费，企业自筹 19.35 万元。

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	19.35	合 计	38.7	19.35	0
工程配套研究经费	0	（一）直接费用	35.9	17.95	
单位自筹	19.35	1.设备费	0	0	
其他经费	0	（1）购置设备费	0	0	
		（2）设备改造与租赁费	0	0	
		2.业务费	17.9	8.95	
		（1）材料费	4	2	
		（2）测试化验实验加工费	0	0	
		（3）燃料动力费	0	0	

		(4) 差旅费/会议费/国际合作与交流费	8.9	4.45	
		(5) 出版/文献/信息传播/知识产权事费	2	1	
		(6) 其他费用	3	1.5	
		3.劳务费	18	9	
		(1) 专家咨询费	2	1	
		(2) 聘用人员劳务费	16	8	
		(3) 其他劳务费	0	0	
		(二) 间接费用	2.8	1.4	
		4.管理费	2.8	1.4	
		5.绩效支出	0	0	
		合计	38.7	19.35	

七、项目绩效指标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1、专利授权数（项）	
		(1) 授权发明专利	
		(2) 实用新型	
		(3) 外观设计	
		2、软件著作权授权数（项）	1
		3、发表论文（篇）	
		(1) 其中 SCI 索引收录数	
		(2) 其中 EI 索引收录数	1
		(3) 其它	
		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	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
		(5) 企业标准	
		(6) 科技报告	
	其他成果	1、填补技术空白数	
		(1) 国际	
		(2) 国家	
		(3) 省级	1
		2、获奖项数	
		(1) 国家奖项	
		(2) 部、省奖项	
		(3) 地市级奖项	
		3、其他科技成果产出	
		(1) 新工艺（或新方法模式）	
		(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	
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（%）	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
效果类指标		3、孵化科技型企业（个）	
		4、转化科技成果（个）	
	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

1.项目预期目标

通过课题研究，将达到以下目标：

(1) 针对安康枢纽~白河段航道特点，研究设计一套空天岸水智能立体感知体系。

(2) 形成一套成熟高效的多源数据融合技术方法，实现多源异构数据的标准化接入、时空对齐、关联匹配等。

(3) 完成航道数字孪生关键技术研究，形成一套适用于汉江安康枢纽~白河段的航道数字孪生平台技术方案。

预期成效：填补省级航道运行监测的多源智能感知与协同监测技术空白，为汉江安康枢纽~白河段航道智慧化升级提供科学系统、先

进可行的技术指导。

2.提交的研究成果及其形式

(1) 提交航道内河航道多源智能感知与协同监测技术报告 1 份；

(2) 申请软件著作权 1 项，其权利归属双方共有，并提交授权证书等相关证明文件；

(3) 提交 EI 索引收录论文 1 篇（论文发表注明：依托陕西交通科技项目及项目编号）。

3.经济、社会、环境效益分析

(1) 课题形成的航道智能立体感知体系能够指导汉江安康至白河航段感知设备建设，指导推动陕西省航道全域监测体系升级，构建覆盖航道空中、水面、水下的全方位监测网络，同时具备全天候运行能力与全过程动态追踪特性，彻底打破传统监测模式的局限，避免“过度建设”或“监测不足”，降低感知系统建设投资成本；课题形成的多源数据融合技术路线，能够有效提高多源航道感知监测数据应用；课题构建的航道数字孪生平台技术方案，可有效指导汉江安康至白河航道数字孪生平台建设，提升建设效率，研究成果后期推广应用至全省范围后，将全面提升全省航道运行监测数字化、智能化水平，提高航道管理的效率和准确性，减少人工巡航的频率和成本。

(2) 通过多源融合的航道运行监测智能感知体系研究，能够有效推动航道感知数据应用和航道数字孪生平台建设，实时监测航道设施状态、交通流量及通航环境变化，推动全省航道运行监测体系向数字化、智能化方向转型，为航道信息服务、航道养护管理等工作提供更精准、更全面的数据支撑，有效预防船舶碰撞、船撞桥等事故，保障航道安全，减少人员伤亡和财产损失，提升公众安全感。

九、其它需要说明的问题

无

十、申请单位意见

本项目依托工程为安康市公铁水联运（汉江复航）项目，经费来源于陕西省交通运输厅补助及我单位自筹经费，我单位完全同意本项目的全部申报内容，承诺严格履行申请单位的责任与义务，为项目实施提供全方位、全周期的支撑与保障。

国交空间信息技术（北京）有限公司（公章）

单位负责人：

军伦

2026年3月19日

多源融合的航道运行监测智能感知体系研究

大纲评审意见

2026年3月23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“多源融合的航道运行监测智能感知体系研究”（项目编号：25-86X）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、预期成果基本覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架高度契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

- 1.结合陕西省航道特点进一步丰富主要内容；
- 2.完善技术路线图，加强应用场景及落地性分析。

主任委员：王建子

2026年3月23日

专家审查意见表

项目名称	内河航道多源智能感知与协同监测技术研究				
专家姓名	苗建宝	职务/职称	正高工	专 业	土木工程
专家单位	西安公路研究院有限公司			联系电话	15249205285

评 审 意 见

本项目紧扣交通强国、智慧港航、内河航道数字化转型政策导向，依托汉江安康—白河复航工程开展多源智能感知与协同监测、数字孪生技术研究，对支撑公铁水联运项目建设具有现实必要性与应用价值。承担单位技术背景扎实、参与单位工程支撑充分，研究基础较好。同意修改完善后研究大纲通过评审。意见如下：

一、总体情况：

1、同时覆盖“感知体系 + 数据融合 + 数字孪生”三大板块，内容全面，每个部分研究内容也很多，但是未突出汉江山区库区航道水位变幅大、回水变动段复杂、季节性通航等独有特征，建议根据项目总经费合理聚焦研究重点。

2、提出三大核心问题，但仅停留在“研究什么”，未明确怎么解决、怎么验证、怎么落地，建议聚焦主要研究内容后细化第三部分实施方案。

二、技术路线偏理论、缺工程化细节，如“空天岸水”感知体系只讲框架，未明确设备选型、布设间距、供电通信、运维方案，水位 / 流速 / 地形 / 航标 / 船舶关键监测指标与精度要求、多源数据融合具体算法、时延、准确率。

三、总经费仅厅拨19.35 万元，规模过小，应该增加配套经费，同时也无法支撑多源感知、数据融合、数字孪生、现场测试、知识产权等全链条研发，不具备可行性。

四、无设备费，无感知设备、服务器、软件采购建议核查，同时劳务费占比高达超过一半，比例过高。

五、人员结构方面公路、土木偏多，水文航道、通信感知、AI 算法、数字孪生开发专业人员不足。

六、未明确科研成果如何与依托工程结合应用，同时工程进度与项目科研进度的配合要体现如何与依托工程实施的结合。

评审专家（签字）：

年 月 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	多源融合的航道运行监测智能感知体系研究				
专家姓名	唐海波	职务/职称	正高工	专业	公路工程
专家单位	中铁二院工程集团有限公司			联系电话	18192640597

评审意见

一、总体意见

项目针对多源融合的航道运行监测智能感知体系开展研究，研究目标明确，内容全面，技术路线可行，人员配备合理，依托工程恰当。同意通过研究大纲审查。

二、建议

1. 梳理优化和解决的关键问题；
2. 优化完善技术路线；
3. 补充配套研究经费。

评审专家（签字）：

唐海波

2026年3月23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	多源融合的航道运行监测智能感知体系研究				
专家姓名	赵池航	职务/职称	教授、博导	专 业	交通运输工程
专家单位	东南大学			联系电话	13951922763

评 审 意 见

该项目开展多源融合的航道运行监测智能感知体系的研究工作，主要包括航道智能立体感知体系、多源数据融合技术、航道数字孪生关键技术等。该项目研究大纲的研究内容具体，研究目标及拟解决的问题明确，技术架构与技术路线较可行；达到了项目研究大纲的评审要求。

修改建议如下：

- (1) 在“国内外研究现状分析”中增加近 3 年的国内外研究的论述及相关参考文献；
- (2) 在“技术方案”中增加详细的技术路线图，以增加技术路线的可行性。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 23 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	内河航道多源智能感知与协同监测技术研究				
专家姓名	伍朝辉	职务/职称	副研究员	专 业	交通数字化
专家单位	交通运输部科学研究院			联系电话	15210832821

评 审 意 见

同意通过研究大纲评审。

建议：

（1）研究内容 1 可修改为“符合陕西省内河航道特点的航道智能立体感知体系研究”，不同典型场景适用的不同技术方案；研究内容 2 建议重点考虑“多源数据融合技术研究及标准化处理要求”；研究内容 3 “数字孪生技术应用”部分，可以先对典型需求与应用场景进行梳理，再延伸至技术与平台方案研究；

（2）结合《内河水运数字孪生总体要求（征求意见稿）》来提出航道数字孪生平台技术方案，更重要的是要研究应用模式、打造出典型应用场景。

评审专家（签字）：伍朝辉

2026 年 3 月 22 日

多源融合的航道运行监测智能感知体系研究 (项目编号: 25-86X)

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	王建军	长安大学	交通运输工程	交通运输工程	教授	王建军
2	委员	苗建宝	西安公路研究院有限公司	土木工程	土木工程	正高工	苗建宝
3	委员	曹海波	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	公路工程	公路工程	正高工	曹海波
4	委员	赵池航	东南大学	交通运输工程	智慧交通系统	教授	赵池航
5	委员	伍朝辉	交通运输部公路科学研究院	计算机应用专业	交通数字化	正高工	伍朝辉

专家意见处理表

项目名称：多源融合的航道运行监测智能感知体系研究（项目编号：25-86X）

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	/	结合陕西省航道特点进一步丰富主要内容	完全采纳 修改“三、实施方案-2、主要研究内容”，丰富汉江安康-汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究、多源数据融合技术研究及航道数字孪生关键技术研究三项内容。
2	/	完善技术路线图，加强应用场景及落地性分析	完全采纳 在“三、实施方案-3、技术路线”中补充“多源融合的航道运行监测智能感知体系研究技术路线图”。并在航道数字孪生关键技术研究部分增加核心业务需求和典型应用场景研究等内容。
3	王建军	进一步丰富主要研究内容	完全采纳 修改“三、实施方案-2、主要研究内容”，丰富汉江安康-汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究、多源数据融合技术研究及航道数字孪生关键技术研究三项内容。

4	王建军	完善技术路线图	完全采纳 在“三、实施方案-3、技术路线”中补充“多源融合 的航道运行监测智能感知体系研究技术路线图”。
5	王建军	加强协同监测技术内容研究	完全采纳 在“汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究” 部分增加空天岸水一体协同监测方法研究工作。
6	苗建宝	同时覆盖“感知体系+数据融合+数字孪生”三大板块，内 容全面，每个部分研究内容也很多，但是未突出汉江山区 库区航道水位变幅大、回水变动段复杂、季节性通航等独 有特征，建议根据项目总经费合理聚焦研究重点。	完全采纳 在“航道现状与监测需求分析”中主要研究汉江安 康-白河航道地理环境、水文特征等。本项目研究 重点聚焦于汉江安康-白河航道智能立体感知体系 研究、多源数据融合技术研究、航道数字孪生关键 技术研究三个方面。
7	苗建宝	提出三大核心问题，但仅停留在“研究什么”，未明确怎 么解决、怎么验证、怎么落地，建议聚焦主要研究内容后 细化第三部分实施方案。	完全采纳 补充完善 3. 技术路线，详细阐述三大核心问题怎 么解决；在“（2）与安康市公铁水联运（汉江复 航）项目进度的配合”中补充通过安康市公铁水联 运（汉江复航）项目的实施实现本项目研究成果的 验证和工程化落地。

8	苗建宝	技术路线偏理论、缺工程化细节，如“空天岸水”感知体系只讲框架，未明确设备选型、布设间距、供电通信、运维方案，水位/流速/地形/航标/船舶关键监测指标与精度要求、多源数据融合具体算法、时延、准确率。	部分采纳 “空天岸水”感知体系中设备选型、布设间距、供电通信、运维方案、水位/流速/地形/航标/船舶关键监测指标与精度要求、多源数据融合具体算法、时延、准确率将在实际研究过程中确定，作为研究成果。
9	苗建宝	总经费仅厅拨19.35万元，规模过小，应该增加配套经费，同时也无法支撑多源感知、数据融合、数字孪生、现场测试、知识产权等全链条研发，不具备可行性。	完全采纳 项目总经费调整为38.7万元，申报单位按1:1配套经费，以支撑多源感知、数据融合、数字孪生、现场测试、知识产权等全链条研究工作。
10	苗建宝	无设备费，无感知设备、服务器、软件采购建议核查，同时劳务费占比高达超过一半，比例过高。	部分采纳 第一，本项目核心研究目标是形成适配汉江安康-白河段航道特点的智能感知体系方案、多源数据融合技术方案、数字孪生平台建设技术方案，核心产出为研究报告、技术方案、学术论文、软件著作版权等智力成果，属于前置性技术研究项目，而非工程建设类项目。感知设备、服务器、配套软件的采购与部署，属于后续依托工程——安康市公铁水联运（汉江复航）项目的建设实施内容，不纳入本科研项目的研究范畴，因此本项目无设备采购需求。此外现有自有设备与软件可完全覆盖项目研究需求，无需新增采购。 第二，本项目为典型的智力密集型科研项目，无工

			程建设、设备采购等大额刚性支出，核心工作量集中在现场调研、需求分析、技术攻关、算法研发、方案编制、报告撰写、知识产权申报等智力劳动环节，劳务费是本项目最核心的经费支出项，此外，经进一步评估，已调整劳务费为18万元，不超过总经费的一半。
11	苗建宝	人员结构方面公路、土木偏多，水文航道、通信感知、AI算法、数字孪生开发专业人员不足。	不采纳 项目团队现有人员虽部分具备公路、土木专业背景，但其核心研究方向与实践经验已全面覆盖本项目开展所需的水文航道、通信感知、AI 算法、数字孪生开发四大核心专业领域，完全能够支撑本项目全流程研究工作，例如本项目负责人胡玉龙博士，长期深耕内河智慧航道、航道运行监测、水运信息化领域，先后主导云南高等级航道信息化建设、江西省智慧航道建设技术指南编制、浙江省水路交通基础设施数字化转型升级等多个省级航道科研与工程项目，对航道水文特征、河床演变规律、航道工程特性、内河航运管理需求具备系统深入的研究与丰富的工程实践经验。

12	苗建宝	未明确科研成果如何与依托工程结合应用，同时工程进度与项目科研进度的配合要体现如何与依托工程实施的结合。	完全采纳 在“3. 工程进度与项目科研进度的配合”中详细描述了本项目科研成果如何与依托工程结合应用以及项目科研进度与工程实施进度项结。
13	曹海波	梳理优化拟解决的关键问题	完全采纳 深入分析本项主要研究内容拟解决的关键问题，并修改完善“1. 拟解决的关键问题”。
14	曹海波	优化完善技术路线	完全采纳 在“三、实施方案-3、技术路线”中补充“多源融合的航道运行监测智能感知体系研究技术路线图”。
15	曹海波	补充配套研究经费	完全采纳 项目总经费调整为 38.7 万元，申报单位按 1:1 配套经费。
16	赵池航	在“国内外研究现状分析中增加近 3 年的国内外研究的论述及相关参考文献	完全采纳 已在 1. 国内外研究现状与发展趋势分析和 3. 参考文献中补充近 3 年国内外研究的论述和相关参考文献。

17	赵池航	在“技术方案”中增加详细的技术路线图，以增加技术路线的可行性。	完全采纳 在“三、实施方案-3. 技术路线-(1) 研究技术方案”中增加技术路线图
18	伍朝辉	研究内容1可修改为“符合陕西省内河航道特点的航道智能立体感知体系研究”，不同典型场景适用的不同技术方案；研究内容2建议重点考虑“多源数据融合技术研究及标准化处理要求”；研究内容3“数字孪生技术应用”部分，可以先对典型需求与应用场景进行梳理，再延伸至技术与平台方案研究；	完全采纳 研究内容1标题修改为汉江安康-白河航道智能立体感知体系研究，内容方面增加针对不同典型航道场景研究适配不同的技术方案，根据不同的航道场景研究差异化技术选型、设备组合、布设原则等内容；研究内容2修改为多源数据融合技术及标准化处理要求研究，在原研究内容基础上增加“数据标准化处理要求”研究相关内容；研究内容3在原有的技术与平台方案研究基础上增加典型需求与应应用场景的梳理相关工作，系统梳理汉江安康-白河航道数字孪生建设的核心业务需求和典型应用场景。
19	伍朝辉	结合《内河水运数字孪生总体要求(征求意见稿)》来提出航道数字孪生平台技术方案，更重要的是要研究应用模式、打造出典型应用场景。	完全采纳 修改“航道数字孪生平台技术方案设计”部分，研究内容严格对标《内河水运数字孪生总体要求(征求意见稿)》的顶层规范，重点深化了数字孪生核心业务需求、典型应用场景及应用模式研究，确保研究内容既具备行业合规性与技术先进性，又具备极强的工程落地性与示范引领性。

大纲评审委员会专家(签字):

王建子

项目负责人(签字):

胡玉花