

项目合同编号：25-80K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究

承担单位：西安科技大学

项目负责人：陈少杰

通讯邮编、地址：710054；陕西省西安市碑林区雁塔中路 58 号

传真、电话：15929447533

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：25-80K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究

承担单位：西安科技大学

项目负责人：陈少杰

通讯邮编、地址：710054；陕西省西安市碑林区雁塔中路 58 号

传真、电话：15929447533

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

本项目主要研究公路工程附属构造物用全煤矸石粗集料混凝土的设计方法与性能调控。研究重点如下：

(1) 不同矿源煤矸石集料理化性质研究

对研究区域内重点煤矿煤矸石进行调研分析，采集具有代表性的煤矸石，分析不同矿源煤矸石集料的理化性质，建立科学的品质评价体系。

(2) 新型外加剂研发及全煤矸石粗集料混凝土配合比设计优化

研发专用于煤矸石混凝土的新型外加剂，依据现行规范选定水灰比，研究不同矿源煤矸石理化性质、外加剂对全煤矸石粗集料混凝土工作性能的影响，提出满足不同工作性能需求的全煤矸石粗集料混凝土配合比设计方法。

(3) 全煤矸石粗集料混凝土力学特性及抗冻性能研究

结合微观技术，测定不同影响因素对全煤矸石粗集料混凝土密实性、界面过渡区强度和厚度影响，试配不同标号配合比，建立其微观强度-宏观强度、强度-水灰比关系，修正《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011) 之传统 Bolomey 公式。

同时，基于上述研究结论，室内试验分析全煤矸石粗集料混凝土抗冻耐久性，及其冻融过程中孔隙结构演变规律，从微观角度提出全煤矸石粗集料混凝土的冻融损伤机制。

(4) 全煤矸石粗集料混凝土工程应用研究

依托榆林市新建、大中修养护工程，开展全煤矸石粗集料混凝土的现场工程应用，提出全煤矸石粗集料混凝土施工的关键控制环节，验证其在工程中的实际应用效果，并持续跟踪监测完善。

2. 技术关键

(1) 基于煤矸石理化性质全煤矸石粗集料混凝土配合比设计；

(2) 针对公路工程附属构造物的全煤矸石粗集料混凝土工作性能、力学性能调控。

3. 依托工程（依托工作）

本项目依托榆林市交通运输局所管辖 2026-2027 年度新建、大中修工程开展研究，完全能够保证科研的顺利实施。

二、考核指标

1. 预期目标

- (1) 煤矸石粗集料混凝土的碎石取代率达到 100%;
- (2) 明确在公路工程附属构造物中使用不同标号的全煤矸石粗集料混凝土配合比。

2. 主要技术经济指标

- (1) 基于煤矸石理化性质全煤矸石粗集料混凝土配合比设计;
- (2) 研发全煤矸石粗集料混凝土外加剂, 调控工作性能。

3. 经济和社会效益

(1) 煤矸石是煤炭开采的副产品, 通常被视为废弃物。通过将其作为混凝土的替代材料, 可以充分利用这种资源, 降低对传统原材料(如沙子和石子)的需求, 减少资源的消耗和浪费, 有助于推动资源的可持续利用。此外, 还能减少相关的能源消耗和温室气体排放, 进一步降低碳足迹。

(2) 使用煤矸石混凝土可以降低建筑和基础设施项目的成本。煤矸石通常可以以相对较低的价格获得, 这意味着使用煤矸石混凝土可以降低建筑材料的采购成本。

(3) 通过推广煤矸石混凝土的使用, 可以促进相关产业的发展。在煤矸石提取和处理过程中, 涉及到许多环节, 例如运输、研磨和筛分等。这将为相关行业创造就业机会, 带动经济增长和社会发展。

4. 成果提供形式

- (1) 《全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究》报告;

(2) 《全煤矸石粗集料混凝土施工技术指南》;

(3) 发表论文 1 篇;

(4) 申请专利 1 项。

5. 其他考核指标

开展的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）
2026.03—2026.06	整理相关研究现状，完成项目的立项工作，准备试验所需材料和仪器，编写研究大纲和工作实施详细计划；
2026.07—2026.09	采集具有代表性的不同矿源煤矸石，通过室内试验测定煤矸石集料的密度、吸水率、压碎值、主要化学成分、有害元素、矿物成分等。分析不同矿源煤矸石集料的理化性质，同时收集国内外相关文献煤矸石集料的信息，建立科学的品质评价体系；
2026.10—2026.12	通过室内试验测试煤矸石理化性质和水灰比、附加用水、外加剂等对全煤矸石粗集料混凝土工作性能的影响，提出可以定量设计满足不同工作性能需求的全煤矸石粗集料混凝土配合比设计方法；
2027.01—2027.03	在满足全煤矸石粗集料混凝土工作性能的基础上，通过室内试验研究煤矸石理化性质和混凝土水灰比、附加用水、外加剂等对全煤矸石粗集料混凝土力学性能（抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度等）的影响；

2027.04—2027.06	采用微观技术测定不同影响因素对全煤矸石粗集料混凝土密实性以及界面过渡区强度和厚度的影响，最终验证不同标号的全煤矸石粗集料混凝土配合比，建立全煤矸石粗集料混凝土的微观强度-宏观强度、强度-水灰比关系，修正传统 Bolomey 公式；
2027.07—2027.09	基于工作性能和力学性能的研究，探求不同标号全煤矸石粗集料混凝土的抗冻性能，通过室内试验研究冻融循环对全煤矸石粗集料混凝土抗冻耐久性（强度损失率、质量损失率等）的影响；
2027.10—2027.12	采用孔隙测定技术研究全煤矸石粗集料混凝土冻融劣化过程中孔隙结构的演变规律，基于微观角度提出全煤矸石粗集料混凝土的冻融损伤机制，最终用于榆林市大中修工程中，并持续跟踪监测；
2028.01—2028.03	汇总研究结果，撰写报告，申请课题评审验收。

四、项目经费

项目总经费：49.968 万元

交通运输厅补助：19.968 万元

配套资金：30 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	47.47	19.968
1. 设备费	0.0	0.0
(1) 购置设备费	0.0	0.0
(2) 试制设备费	0.0	0.0
(3) 设备改造与租赁费	0.0	0.0
2. 业务费	43.0	18.0
(4) 材料支出	0.0	0.0
(5) 测试化验实验加工支出	30.0	18.0
(6) 燃料及动力支出	0.0	0.0
(7) 差旅支出	1.794	0.0
(8) 会议支出	0.0	0.0
(9) 国际合作与交流支出	0.0	0.0
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	8.0	0.0
(11) 其他支出	3.206	0.0
3. 劳务费	4.47	1.968
(12) 劳务性支出	1.0	0.0
(13) 咨询专家支出	3.47	1.968
(二) 间接费用	2.498	0.0
4. 管理费	2.498	0.0
5. 绩效支出	0.0	0.0
合 计	49.968	19.968

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。项目验收将组织财务专项验收或审计。

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
		（1）授权发明专利	
		（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
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其他	1
		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
		（1）新工艺（或新方法模式）	
		（2）新产品（含农业新品种）	
		（3）新材料	1
		（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	是
		(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	4
		(1) 博士、博士后	1
		(2) 硕士	3
		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

（1）西安科技大学

- ①负责制定室内试验研究大纲和具体实施方案；
- ②负责室内外试验方案的制定与实施；
- ③参与试验路铺筑；
- ④负责项目研究报告的撰写；
- ⑤负责项目的验收。

（2）榆林市交通运输综合执法支队

- ①负责制定项目总体研究大纲和总体方案；
- ②负责试验段的铺筑；
- ③参与项目的验收。

（3）榆林市公路局

- ①负责制定项目总体研究大纲和总体方案；
- ②负责试验段的铺筑；
- ③参与项目的验收。

七、项目参加人员表

项目承担单位：西安科技大学						
参与单位（排序）：榆林市交通运输综合执法支队，榆林市公路局						
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	陈少杰	1989-05-23	西安科技大学	副教授	道路工程（路基）	科研项目主管
主要研究人员						
2	雷江峰	1983-06-08	榆林市交通运输综合执法支队	中 级	道路工程（路基）	大纲制定
3	景宏君	1974-06-28	西安科技大学	正教授	道路工程（路基）	大纲制定
3	张 伟	1986-03-11	榆林市交通运输综合执法支队	中 级	道路工程（路基）	项目实施
4	李海滨	1982-10-06	西安科技大学	正高级	道路工程（路基）	方案制定与撰写
5	刘 伟	1987-12-28	榆林市公路局	中 级	道路工程（路基）	施工技术
6	邹晓龙	1985-05-16	西安科技大学	副教授	道路工程（路基）	方案制定与撰写
7	张晓轴	1972-10-03	榆林市公路局	正高级	道路工程（路基）	项目协调
8	李克南	1996-08-10	西安科技大学	技术员级	道路工程（路基）	方案制定与撰写
9	高 静	1982-10-26	榆林市公路局	助理级	道路工程（路基）	数据分析
10	崔源泉	2002-04-24	西安科技大学	技术员级	道路工程（路基）	室内外试验
11	张衡飞	2003-08-12	西安科技大学	技术员级	道路工程（路基）	室内外试验
12	延喜乐	1971-05-19	榆林市公路局	副高级	道路工程（路基）	试验检测
13	单俊伟	1999-10-13	西安科技大学	技术员级	道路工程（路基）	室内外试验
14	郝焕莲	1983-09-06	榆林市公路局	中 级	道路工程（路基）	协同调控
15	刘小红	1976-03-02	榆林市公路局	副高级	道路工程（路基）	试验检测
16	李浩熙	1998-03-15	榆林市公路局	助理级	道路工程（路基）	质量控制

八、信息表

项目合同编号	25-80K	密级	/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部				
项目名称	全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究								
项目实施所在地	陕西省榆林市		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月				
总 经 费（万元）	49.968		厅 拨		19.968				
第一承担单位	单位名称	西安科技大学							
	所在地	陕西省西安市碑林区					代码	610103	
	通讯地址	西安市雁塔中路 58 号					邮编	710054	
	单位性质	(1) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他					代码	10704	
参与单位	序号	单 位 名 称							
	1	西安科技大学							
	2	榆林市交通运输综合执法支队							
	3	榆林市公路局							
项目负责人	姓 名	陈少杰		性别 (1) 1.男 2.女			出生年份	1989	
	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	15929447533			电子邮箱		csj@xust.edu.cn		
项目联系人	姓名	邹晓龙			性别		男		
	联系电话	13474032318			电子邮箱		609292044@qq.com		
项目组人数	15	高级	5	中级	5	初级		其他	6
主要研究内容 (100 字以内)	不同矿源煤矸石集料理化性质研究, 以及全煤矸石粗集料混凝土配合比设计和优化, 力学特性研究和抗冻性能研究。								
成果属性	C	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. 合同正本一式拾份，甲方单位伍份，承担单位伍份。

7. 本合同经双方签章后生效，规定内容执行完毕后自然失效。

十、合同签约各方

合同甲方：

陕西省交通运输厅

负责人：（签字）

2020年3月27日

联系人：（签字）

（公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：（承担单位）

西安科技大学

单位负责人：（签字）

小翟伟

2020年3月27日

项目负责人：（签字）

陈以杰

（公章）

电 话： 15929447533

财务负责人：（签字）

王凯

账 户 名：西安科技大学

开户银行：中国银行股份有限公司西安大雁塔北广场支行

西安科技大学
中行西安大雁塔北广场支行

账 号：102492014123

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：

项目负责人：

陈少杰

2026年3月27日



项目编号：25-80K

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：全煤矸石粗集料混凝土设计与
性能调控研究

申请单位：西安科技大学（盖章）

联系人：陈少杰

电 话：15929447533



陕西省交通运输厅制

2026年3月

目 录

一、项目研究的背景和必要性	1
1.项目研究的背景和目的	1
2.项目概况	2
3.市场需求前景或推广应用领域	3
4.达到的技术水平及在国民经济发展中的作用	4
二、前期科研及工作基础	4
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	4
2.项目前期科研及现有工作条件	10
3.参考文献	12
三、实施方案	16
1. 拟解决的关键问题	16
2. 主要研究内容及实施方案	16
3. 技术路线	18
4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接	19
5.有关技术经济指标	19
四、项目承担单位及参加单位概况	19
1. 单位概况	19
2. 技术力量及人员构成	22
3. 各自承担的主要工作	23
五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	24

1.依托工程（工作）概况	24
2.投资来源	24
3.工程进度与项目科研进度的配合	24
4.组织管理形式	26
六、项目经费估算及资金筹措情况	27
七、项目绩效指标	28
八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益	30
1.项目预期目标	30
2.提交的研究成果及其形式	30
3.经济、社会、环境效益分析	30
九、其它需要说明的问题	31
十、申请单位意见	31

一、项目研究的背景和必要性

1. 项目研究的背景和目的

在全球气候变化和环境污染日益严峻的背景下，减少工业废弃物的排放、实现废弃物的资源化利用已成为国际社会共同关注的焦点。煤矸石作为煤炭开采和加工过程中不可避免的副产物，其年排放量巨大，约占当年煤炭生产总量的 15%~25%。据统计，我国煤矸石的年排放量已高达 80 亿吨，并且以惊人的速度逐年累积。大量煤矸石的堆积不仅占用了宝贵的土地资源，还对周边环境造成了严重的污染。煤矸石在露天堆存过程中，可能产生固废、废水和废气等“三废”问题，对水源、土壤和空气造成长期而深远的负面影响。此外，煤矸石堆还可能引发滑坡、泥石流等地质灾害，对周边居民的生命财产安全构成威胁。因此，将煤矸石转化为混凝土粗集料，实现其资源化利用，是缓解环境污染压力、保护生态环境的迫切需求。

随着基础设施建设的不断推进，交通行业对建筑材料的需求日益增长。然而，传统的筑路材料如天然砂石等面临着资源枯竭和开采难度加大的问题，且严重破坏山体、植被等生态环境，与我国“碳达峰、碳中和”目标及生态文明建设要求相悖。全煤矸石粗集料混凝土的研究与应用，为解决这一问题提供了新的思路。煤矸石作为一种储量丰富的工业废弃物，具有潜在的利用价值。通过科学的处理方法和合理的设计调控，可以将其转化为性能优良的混凝土粗集料，替代部分或全部天然集料使用。这不仅能够减少对天然资源的开采，还能提高资源的利用效率，降低资源消耗成本。此外，煤矸石混凝土的应用还能

促进建筑废弃物的循环利用，形成筑路材料的闭环生产模式，为交通行业的可持续发展提供有力支撑。

尽管全煤矸石粗骨料混凝土的研究与应用具有诸多优势，但在实际推广过程中仍面临一些挑战。首先，煤矸石的化学成分和物理性质复杂多变，需要针对不同来源和性质的煤矸石进行专门的研究和设计。其次，煤矸石混凝土的性能调控需要综合考虑多个因素，如水灰比、外加剂种类及掺量等，这些因素之间的相互作用关系复杂且难以预测。为了克服这些挑战，需要加强煤矸石的基础研究，深入了解其物理化学性质及其对混凝土性能的影响。同时优化煤矸石混凝土的配合比设计，通过试验验证和数据分析确定最佳参数，提高煤矸石混凝土的工作性能、力学性能和耐久性。通过这一研究，有望实现煤矸石的高效利用和混凝土的绿色化生产，是环境保护、资源节约、经济效益提升、技术创新推动以及交通行业可持续发展的必然要求。

综上，全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究，既是解决煤矸石固废污染、缓解天然资源短缺的环保举措，也是满足工程建设需求、推动建材行业转型升级的技术创新，具有重要的现实意义和应用价值。

2. 项目概况

煤矸石是成煤过程中副产物，是我国目前排放量最大的工业固体废物之一。我国的煤矸石总体利用水平远远低于发达国家，给政府和企业带来了巨大的环保压力，并且已经严重制约企业和社会经济的正常健康发展。目前我国煤矸石的堆积量仍然在不断增加，且无法得

到有效的处理，随着可持续发展以及节能环保理念的深入人心，如何有效利用煤矸石资源，将其变废为成为当前亟待解决的重大问题之一。

以陕北地区为例，由于自然地形和地貌特点独特，在该地区修建公路，石料一直处于严重缺乏状态。每年需要从周边地区大量调用碎石，以满足巨大的工程需求。陕北地区是产煤大省，煤矸石产量巨大，大量存积的煤矸石不仅堆积占地，还会自燃污染空气或引起火灾。随着国家节能增效政策的推进和对环境保护的逐步重视，高效清洁利用煤矸石显得尤为重要，如何有效利用煤矸石资源，变废为宝，解决环境污染问题，成为目前亟待解决的问题之一。本项目研究全煤矸石粗集料混凝土，用煤矸石将水泥混凝土中的粗骨料替换，确定材料性质和适用范围；通过室内试验和数值分析方法研究煤矸石水泥混凝土性能特性，并分析不同影响因素下的作用规律，明确最佳配比。结合试验段工程研究提出修筑全煤矸石粗集料混凝土成套技术，包含煤矸石混凝土在道路上运用及煤矸石混凝土道路构造物运用。为实现煤炭产业废弃材料的资源化再应用，增加公路筑路材料的可选种类，减轻煤矸石处置压力提供理论和技术支持。

3. 市场需求前景或推广应用领域

本技术可在煤矿资源丰富的地区进行推广运用，这些地区煤矸石产量大，处置难，需要对此类固废进行资源化运用，且该技术具有广泛的推广价值和适用性。近年来，随着我国公路总里程逐年增长，筑路材料的需求量急剧增加，天然石材资源日益稀缺。且长期开采天然

石料需要破坏山体结构，对生态环境造成不可逆转的伤害。并且目前筑路材料主要靠在外采购天然石料，然而天然石料资源属于不可再生资源，违背了可持续发展战略。并且因为部分地区缺乏天然石料需要长途运输，大幅度增加了施工成本，不符合就地取材的理念。全煤矸石粗骨料混凝土应用技术在成本节约、环境保护等方面具有一定优势，是一种适用于国省干线公路的低碳环保技术，可广泛用于二级公路及附属构造物施工工程中。

4. 达到的技术水平及在国民经济发展中的作用

我国对该方面的研究起步稍晚，但也取得了一定的成果。建立了全煤矸石粗骨料混凝土应用技术节能减排评价方法与量化指标，分析了不同水泥混凝土结构的能源消耗与环境影响。但现有研究成果表明，全煤矸石粗骨料混凝土应用技术方面的资源消耗与环境排放研究尚未开展，全生命周期内缺乏系统的能源消耗分析方法与评价体系，难以量化全煤矸石粗骨料混凝土应用技术环境效益，极大的阻碍了全煤矸石粗骨料混凝土应用技术的推广应用。因此，有必要对这种低碳环保的全煤矸石粗骨料混凝土应用技术展开全面、系统的研究，研究成果可有效的完善全煤矸石粗骨料混凝土应用技术的相关规范或地方标准，量化全煤矸石粗骨料混凝土应用技术全生命周期中的环境效益，为全煤矸石粗骨料混凝土应用技术大规模推广应用提供理论参考。

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

煤炭是有机物埋藏于地下经长期变化的产物，有黑色金子、工业粮食等称号，也是自十八世纪以来全球运用的主要能源之一^[1]。煤炭开采量大导致煤矸石排放量巨大，带来的环境污染是世界各国普遍面临的问题，如何利用煤矸石也逐渐被提上日程。2021 年国家发展改革委会同科技部、工业和信息化部、财政部、自然环境部、生态环境部、住房和城乡建设部等部门联合发布《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》，文件中指明了煤矸石综合利用方向^[2]，并提出到 2025 年新增大宗固废综合利用率达到 60%，存量大宗固废有序减小的主要目标。尽管当前煤矸石具有诸多利用方向，但其年排放量依旧远超年消耗量，并且我国利用率要低于西方国家^[3]。为完成“十四五”目标，如何将煤矸石在交通行业资源化、规模化和高值化利用成为一个亟待解决的问题。

煤矸石作为煤炭开采和洗选过程中产生的固体废弃物，其理化性质对煤矸石混凝土的性能具有显著影响。煤矸石的化学成分、物理结构以及矿物组成等因素，直接关系到其在混凝土中的表现。邱继生等^[4]通过 XRD、骨料压碎试验及混凝土强度测试，探讨了不同地层煤矸石的化学组成、物理强度及其作为粗/细骨料取代率（0~100%）对混凝土抗压强度的影响。发现粗骨料取代率增加显著削弱混凝土抗压强度，而细骨料取代影响不明显。煤矸石压碎指标低、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 含量高而 Fe_2O_3 含量低的，更适合作骨料。白国良等^[5]针对陕北矿区五类煤矸石，研究其放射性、化学（ SiO_2 、 Al_2O_3 为主）、矿物组

成（石英、黏土矿物）、含碳量与发热量，并测试其混凝土力学性能。发现煤矸石理化特性满足环保标准，适宜作骨料，煤矸石混凝土抗压强度主要受含碳量影响。王艳等^[6]研究了陕西省不同矿区煤矸石粗集料的理化性质（宏观与细观指标）及形状特征，发现高石英、高岭石和伊利石含量高，微观结构密实的煤矸石吸水率和压碎指标低。与天然碎石相比，煤矸石集料形状不规则，棱角尖锐且表面粗糙，低吸水率、低压碎指标的煤矸石集料能提升混凝土和易性和强度。马成理等^[8]经过对煤矸石的物理性能（安定性、坚固性、软化系数、堆积密度）及化学成分进行探究，表明除堆积密度略大于标准要求外，其余指标符合规定要求，可以替代碎石作为骨料制备混凝土。

力学性能作为衡量混凝土质量的重要指标，直接关系到混凝土在工程应用中的安全性^[7]。随着研究的不断深入，刁廷礼等^[9]通过部分取代配制不同设计标号的煤矸石混凝土，对比混凝土实际强度与设计强度关系，建立二者经验换算关系式。吴秀峰等^[10]等设计了 10 组煤矸石粗集料混凝土试件，研究结果表明自燃煤矸石粗集料与 C40 砂浆基体的强度和弹性模量相配，虽然其自身强度远不及天然碎石，但因充分发挥了集料和基体的协调作用，可配制出性能优良的 C40 混凝土且早期强度发展的更理想。周梅等^[11]利用煤矸石制备混凝土，采用混凝土最大密度曲线公式确定煤矸石粗集料的颗粒级配范围，试探结果表明，当公式中的幂函数次方取 0.63 时，混凝土抗压强度最高。滕飞等^[12]通过 16 组煤矸石混凝土试件研究压碎值、水胶比双因素对混凝土抗压强度的影响，利用回归分析方法建立了双因素与抗压强度

的经验公式，并由其余文献 25 组煤矸石粗集料混凝土数据验证普适性，结果表明普适性良好。陈久权等^[13]研究了取代率、水灰比等对煤矸石粗集料混凝土抗压强度的影响，试验结果表明，混凝土强度随取代率的增加而降低，煤矸石粗集料取代率低于 30% 时，28d 强度才能满足 C40 强度等级，取代率为 50% 时，养护时间需大于 60d 才能满足强度要求，取代率为 70% 时，养护时间大于 90d。白国良等^[14]对陕北不同矿源煤矸石粗集料的理化性质进行研究，并制备为混凝土，分析理化性质对混凝土抗压强度的影响规律。

在寒冷地区或经历季节性冻融循环的环境中，混凝土结构的性能极易受到损害，而煤矸石混凝土作为一种环保型建材，其抗冻性能的优劣直接关系到工程的安全性和使用寿命。施士升^[15]探究了普通混凝土和高强混凝土在冻融循环工况下的宏观力学性能，借助显微镜观测了不同次数冻融循环周期后混凝土内部微观结构。研究结果表明，力学性能、弹性模量、剪切模量等均会受到冻融循环的负面影响，且呈负相关趋势；随着冻融循环次数的增加水泥浆体裂缝及界面裂缝数量逐渐增多，裂缝宽度增加。李永靖等^[16]人通过快速冻融法和混凝土动弹性模量测试煤矸石混凝土抗冻性能。试验结果表明，煤矸石混凝土可用于一般承重结构，但在水灰比相同的情况下，普通混凝土抗冻性要优于煤矸石混凝土，在冻融过程中的质量损失率也低于煤矸石混凝土；两种混凝土的耐久性及质量损失率都与水灰比呈负相关关系。李霖皓等^[17]选用许昌煤矸石粗集料制备取代率为 30%、75%、100% 的煤矸石粗集料混凝土，在冻融循环 75 次后，75% 和 100% 取代率的煤

矸石粗集料混凝土表面砂浆严重侵蚀,部分集料脱落,质量损失率与相对动弹性模量均超过规范要求。白朝能等^[18]使用煤矸石作粗集料制作 C30 混凝土,采用快冻法测试其抗冻性能。试验结果表明,经 75 次冻融循环后,未掺煤矸石的混凝土耐久率为 10.81%,掺煤矸石的混凝土耐久率在 6.49%~7.61%,且在不掺煤矸石的情况下,冻融循环可达到 75 次,掺煤矸石的情况下只有 50 次,特别是当煤矸石掺量大于 30%后,混凝土抗冻性能明显下降。顾云等^[19]的研究发现原状煤矸石粗集料混凝土的质量损失率随着煤矸石掺量的增加而增大,当煤矸石掺量为 60%时,经过 150 次冻融循环后,混凝土的质量损失率已经超过 5%,而普通混凝土经过 300 次冻融循环后仍未破坏。葛洁雅^[20]将原状煤矸石和煅烧煤矸石按不同替代量掺入混凝土替代粗骨料,制备煤矸石粗骨料-地聚物混凝土,研究煤矸石掺入量与煅烧对混凝土抗冻性的影响,并借助扫描电镜观察其微观结构。研究表明煤矸石地聚物混凝土抗冻性与煤矸石掺量密切相关,煅烧煤矸石与否对抗冻性影响不大,可适于一些对抗冻要求较低的地区。

国外学者 Swaine^[21]和 Coles 等^[22]人对煤矸石成分进行了研究,表明其中含有多微量元素且有钍、镭等放射元素,但试验证明放射元素并不会对人体健康产生危害。Solesbury^[23]及 Szczepanska 等^[24]人对国外不同地区煤矸石进行研究,结果表明煤矸石颗粒度级配和压实度存在一定规律。Jiao 等^[25]发现低烧失量、低含碳量的煤矸石集料性能更优,表现为低破碎值、低吸水率和高安定性。碳含量及分布显著影响骨料性能,均匀分布的碳作为缺陷,增加破碎值,降低健全性,影

响混凝土耐久性。

Kou^[26]研究发现煤矸石的加入显著降低了混凝土的峰值应力、弹性模量及力学性能，降幅最高达 57%。SEM 观察揭示，煤矸石与砂浆界面过渡区较厚且疏松，是导致性能下降的主要原因。基于实验结果，提出了考虑煤矸石替代影响的归一化应力应变模型。Li 等^[27]发现煤矸石孔隙分布广、微观力学性能差，导致煤矸石混凝土流动性和强度略低于普通混凝土。然而，煤矸石高孔隙率和吸水率促进了与水泥的紧密结合，使煤矸石混凝土整体密实度优于普通混凝土。此外，煤矸石混凝土界面过渡区（ITZ）宽度对水灰比变化不敏感，而普通混凝土则显著变化。当水灰比大于 0.4 时，煤矸石混凝土抗压强度仅比普通混凝土低约 10%，表明煤矸石的孔隙结构和微观力学特性是决定煤矸石混凝土致密性和强度的关键因素。

Qiu 等^[28]建立的煤矸石混凝土冻融损伤演化模型能够真实有效地反映冻融环境下煤矸石混凝土冻融损伤的发展；本文建立的煤矸石混凝土冻融损伤本构模型能够准确反映煤矸石混凝土在冻融和负载损伤下的整体过程损伤特征。可为寒区煤矸石混凝土结构耐久性评价和寿命预测提供理论依据。Zhang^[29]测试的各种煤矸石集料都为非碱活性集料，煤矸石掺量在一定范围内不会明显降低混凝土的抗渗性，随着煤矸石集料掺量的增加，煤矸石混凝土的力学性能并没有降低，但混凝土的抗冻性能明显降低。

针对当前研究，学者主要聚焦于煤矸石理化性质对混凝土强度的影响，却忽视其对混凝土工作性能的影响，工作性能的好坏是判断混

凝土是否可以用于实际工程的重要指标，而煤矸石较大吸水率对混凝土工作性能的影响却鲜有关注；并且各项工作中均未根据煤矸石的理化性质设计煤矸石混凝土的配合比，导致混凝土硬化后在煤矸石集料周围形成一层水膜，削弱了煤矸石混凝土界面过渡区的致密性和强度，从而影响混凝土性能。

2. 项目前期科研及现有工作条件

（1）项目前期科研

本项目拟定的主要研究人员均为长期从事公路工程研究和工程质量管理等工作的高层次人才，为确保本项目顺利实施，项目组成员已对国内外相关资料进行了收集整理，已查阅了大量国内外有关公路水泥混凝土技术研究资料，落实了室内试验和现场试验段测试所需的一系列相关仪器，并对依托工程项目所在地的气候、水文和地质条件拥有第一手资料。

（2）支撑条件

1) 技术支撑条件

①已查阅了大量国内外有关全煤矸石粗集料混凝土应用技术研究资料，落实了室内试验和现场试验段测试所需的一系列相关仪器，并对依托工程项目所在地的气候、水文和地质条件拥有第一手资料。

②对项目研究工作进行了协作分工，确定了项目研究人员。

③依托工程项目管理单位拥有经验丰富的高级工程技术人员和道路检测设备，为试验路的标准铺筑、快速检测、实施反馈和动态调整做了大量的准备工作。

④项目研究单位拥有一系列先进的试验仪器与检测设备，如混凝土搅拌机、万能试验机、快速冻融机、混凝土收缩仪、混凝土抗渗机、动三轴剪力仪、粘韧性试验机，且具备本项目开展基于所需的分析试验设备，如 SEM 电镜扫描仪、红外光谱分析仪、热分析仪、X 射线衍射仪、低场核磁共振仪等，为顺利开展材料的组成成分、结构分析以及性能试验提供了良好的试验工作条件。

⑤项目承担单位具有较强的学术影响和科研实力，拥有资深的现场检测、结构与材料等理论和实践的分析人才，并具备有利的室内试验条件，确保现场检测、理论分析和室内分析顺利进行。

2) 项目组织支撑条件

①严格按本项目计划目标组织实施。

②项目由承担单位和第一负责人全面负责管理，联合体各方的具体内容将以分合同形式进一步明确。

③定期召开项目进展工作会议，检查前阶段的工作进度，讨论解决研究过程中各项技术问题，布置下一阶段的工作重点和具体要求。

④对本项目的重点阶段性目标和成果进行重点考核和督促，以确保项目总体研究目标的实现。

(3) 技术装备条件

本课题组在前期资料调查已做了大量工作，具备课题分析理论基础和试验设备，完全可满足项目开展过程中的室内试验、分析和现场应用研究工作的需要。

本项目承担单位为西安科技大学，其在公路维护与运营管理等方面

面积累了丰富的经验与数据，并且拥有大量工程实体作为项目的支撑。同时，拥有一批在领域内具有较强影响力的教授与专家学者和具有丰富工程实践经验、工作勤恳踏实的工程技术人员。参加本项目研究的是以教授为首的学术梯队，研究人员具有较强的科研能力和较高的科研水平。

本项目组在前期资料调查以做了大量工作，具备课题分析理论基础和试验设备，完全可满足项目开展过程中的室内试验、分析和现场应用研究工作的需要。

（4）研究人员情况及协作条件

项目组成员包括正高级、副高级、中级以及外聘教授、外聘研究生等研究人员组成。

项目组学术氛围浓厚，工作扎实，人员搭配结构合理，团结协作精神强。项目负责人长期从事公路路面养护及路面安全运营的相关工作，积累了丰富的经验。项目组主要成员有多年从事道路结构分析、道路材料试验研究和工程质量管理等工作经验，具有坚实的理论基础、丰富的工程实践经验和充足的科研时间。研究人员均主持或参与近年的多项省部级科研项目，具有扎实的理论分析研究能力和丰富的工程实践经验。

因此，理论基础、技术路线、研究方案及技术力量的配备均表明申请人和申请单位具备完成此项目的各种条件，可如期完成预定的研究内容，并取得预期的研究效果。

3. 参考文献

- [1] 张婧雯, 刘海娇, 李杨子,等. 煤炭的非传统稳定同位素研究进展[J]. 地球环境学报, 2023, 14(01): 38-48.
- [2] 孙浩. 一种新型固废粉煤灰泡沫混凝土的制备及性能研究[D]. 内蒙古工业大学, 2022.
- [3] 谢明壮. 复杂铝硅碳基固/危废协同高效资源化利用研究[D]. 北京科技大学.
- [4] 邱继生, 侯博雯, 关琥, 等. 煤矸石理化性质对混凝土抗压强度的影响[J]. 非金属矿, 2019, 42(02): 29-32.
- [5] 白国良, 刘瀚卿, 刘辉, 等. 煤矸石理化特性与煤矸石混凝土力学性能研究[J]. 建筑结构学报, 2023, 44(10): 243-254.
- [6] 王艳, 左震, 文波, 等. 煤矸石粗集料理化性质和形状特征对混凝土强度的影响[J]. 矿业科学学报, 2022, 7(05): 554-564.
- [7] 蔡闽金, 朱海良, 万洋, 等. 新型低碳超高韧性纤维混凝土研制与力学特性研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2024, 52(07): 1000-1008+988.
- [8] 马成理. 自燃煤矸石的材料性能试验研究[J]. 太原理工大学学报, 2003, 34(2): 154-157.
- [9] 刁廷礼. 煤矸石及煤矸石混凝土的材料性能和结构性能[J]. 工业建筑, 1983(03): 30-40.
- [10] 吴秀峰, 周梅, 崔正龙. 自燃煤矸石粗集料对混凝土强度影响的试验研究[J]. 工业建筑, 2009, 39(03): 81-85.
- [11] 周梅, 牟爽, 王强, 等. 强条件下集料级配对煤矸石集料混凝土

- 工作性与强度影响[J]. 硅酸盐通报, 2012, 31(06): 1529-1534.
- [12] 滕飞, 阚宏, 周梅, 等. 自燃煤矸石粗骨料混凝土双变量强度公式研究[J]. 混凝土, 2015(05): 37-39+45.
- [13] 陈久权, 刘磊, 杜秉旋. 煤矸石粗集料混凝土配合比设计及性能研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(10): 300-302.
- [14] 白国良, 刘瀚卿, 朱可凡, 等. 陕北矿区不同矿源煤矸石混凝土抗压强度试验研究[J]. 土木工程学报, 2023, 56(04): 30-40.
- [15] 施士升. 冻融循环对混凝土力学性能的影响[J]. 土木工程学报, 1997(04): 35-42.
- [16] 李永靖, 邢洋, 张旭, 等. 煤矸石骨料混凝土的耐久性试验研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(07): 1215-1219.
- [17] 李霖皓, 马昆林, 龙广成, 等. 煤矸石作为骨料对不同水泥基材料耐久性影响[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(01): 227-235.
- [18] 白朝能, 李霖皓, 沈远, 等. 煤矸石对 C30 混凝土抗冻性能影响的试验研究[J]. 工程技术研究, 2018,(10): 15-17.
- [19] 顾云, 张彬. 煤矸石集料混凝土工作与力学性能研究[J]. 混凝土, 2019, (07): 71-73.
- [20] 葛洁雅, 朱红光, 李宗徽, 等. 煤矸石粗骨料-地聚物混凝土的力学与耐久性能研究[J]. 材料导报, 2021, 35(S2): 218-223.
- [21] Swaine D J , Goodarzi F . Environmental aspects of trace elements in coal[M]. Springer Science & Business Media, 2013.
- [22] Coles D G, Ragaini R C, Ondov J M. Behavior of natural

- radionuclides in western coal-fired power plants[J]. *Environmental Science & Technology*, 1978, 12(4): 442-446.
- [23] Solesbury F W . Coal Waste in Civil Engineering Works: 2 Case Histories from South Africa[J]. *Advances in Mining Science and Technology*, 1987, 2: 207-218.
- [24] Szczepanska J, Twardowska I. Distribution and environmental im-pact of coalmining wastes in Upper Silesia, Poland[J]. *Environmental Geology*, 1999, 38(3): 249-258.
- [25] Jiao Y, Qiao J, Jia R, et al. The influence of carbon imperfections on the physicochemical characteristics of coal gangue aggregates[J]. *Construction and Building Materials*, 2023, 409: 133965.
- [26] Kou X, Shen L, Zhao H, et al. Effect of raw coal gangue coarse aggregates on mechanical properties and compressive stress–strain response of concrete[J]. *Structural Concrete*, 2024.
- [27] Li Y, Liu S, Guan X. Multitechnique investigation of concrete with coal gangue[J]. *Construction and Building Materials*, 2021, 301: 124114.
- [28] Qiu J, Zhou Y, Vatin N I, et al. Damage constitutive model of coal gangue concrete under freeze-thaw cycles[J]. *Construction and Building Materials*, 2020, 264: 120720.
- [29] Zhang J X, Chen W L, Jin S S, et al. Investigation on durability of coal gangue aggregate concrete[J]. *J. Beijing Univ. Technol*, 2011,

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题

- (1) 基于煤矸石理化性质的全煤矸石粗集料混凝土配合比设计；
- (2) 针对公路工程附属构造物的全煤矸石粗集料混凝土工作性能、力学性能调控。

2. 主要研究内容及实施方案

课题组主要研究全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控，结合多指标，研发煤矸石混凝土专用外加剂，调控工作性能及力学性能，保证在不影响力学强度要求下，具有良好的工作性能，便于实际工程运用。全煤矸石粗集料混凝土主要适用于公路工程中的防护与支挡工程、排水工程等混凝土附属构造物，研究重点如下：

(1) 研究区域不同矿源煤矸石调研分析及集料理化性质研究

对研究区域内重点煤矿煤矸石进行调研分析，并采集具有代表性的不同矿源煤矸石，通过室内试验测定煤矸石集料的吸水率、密度和压碎值、含泥量等物理性能指标；采用微观技术测定煤矸石集料的主要化学成分、矿物成分和有害元素等。分析不同矿源煤矸石集料的理化性质，建立各评价指标的相关性，同时收集国内外相关文献煤矸石集料的信息，建立科学的品质评价体系。

(2) 全煤矸石粗集料混凝土配合比设计和优化

依据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011) 选定水灰比，结合不同矿源煤矸石的理化性质，引入附加用水的概念，研究煤矸石

集料粒径、吸水率、附加用水、外加剂等对全煤矸石粗集料混凝土工作性能（坍落度、扩展度、凝结时间等）的影响，建立全煤矸石粗集料混凝土工作性能与各影响因素的响应关系，提出可以定量设计满足不同工作性能需求的全煤矸石粗集料混凝土配合比设计方法。

（3）全煤矸石粗集料混凝土力学特性研究

在满足全煤矸石粗集料混凝土工作性能的基础上，通过室内试验研究煤矸石理化性质和混凝土水灰比、附加用水、外加剂等对全煤矸石粗集料混凝土力学性能（抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度等）的影响，采用微观技术测定不同影响因素对全煤矸石粗集料混凝土密实性以及界面过渡区强度和厚度的影响，试配不同标号的全煤矸石粗集料混凝土配合比，建立全煤矸石粗集料混凝土的微观强度-宏观强度、强度-水灰比关系，修正《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55-2011）的传统 Bolomey 公式。

（4）全煤矸石粗集料混凝土抗冻性能研究

基于工作性能和力学性能的研究，通过室内试验分析冻融循环对全煤矸石粗集料混凝土抗冻耐久性（强度损失率、质量损失率等）的影响，采用孔隙测定技术分析全煤矸石粗集料混凝土冻融过程中孔隙结构的演变规律，基于微观角度提出全煤矸石粗集料混凝土的冻融损伤机制。

（5）全煤矸石粗集料混凝土工程应用研究

基于室内试验结果，根据不同工程对混凝土性能的要求，调控全煤矸石粗集料混凝土性能，提出全煤矸石粗集料混凝土施工工艺，用

于榆林市新建、大中修工程中，并持续跟踪监测，收集服役过程中全煤矸石粗集料混凝土的性能参数变化，推动全煤矸石粗集料混凝土标准化的建立。进行对全煤矸石粗集料混凝土工程应用的经济效益分析。

3. 技术路线

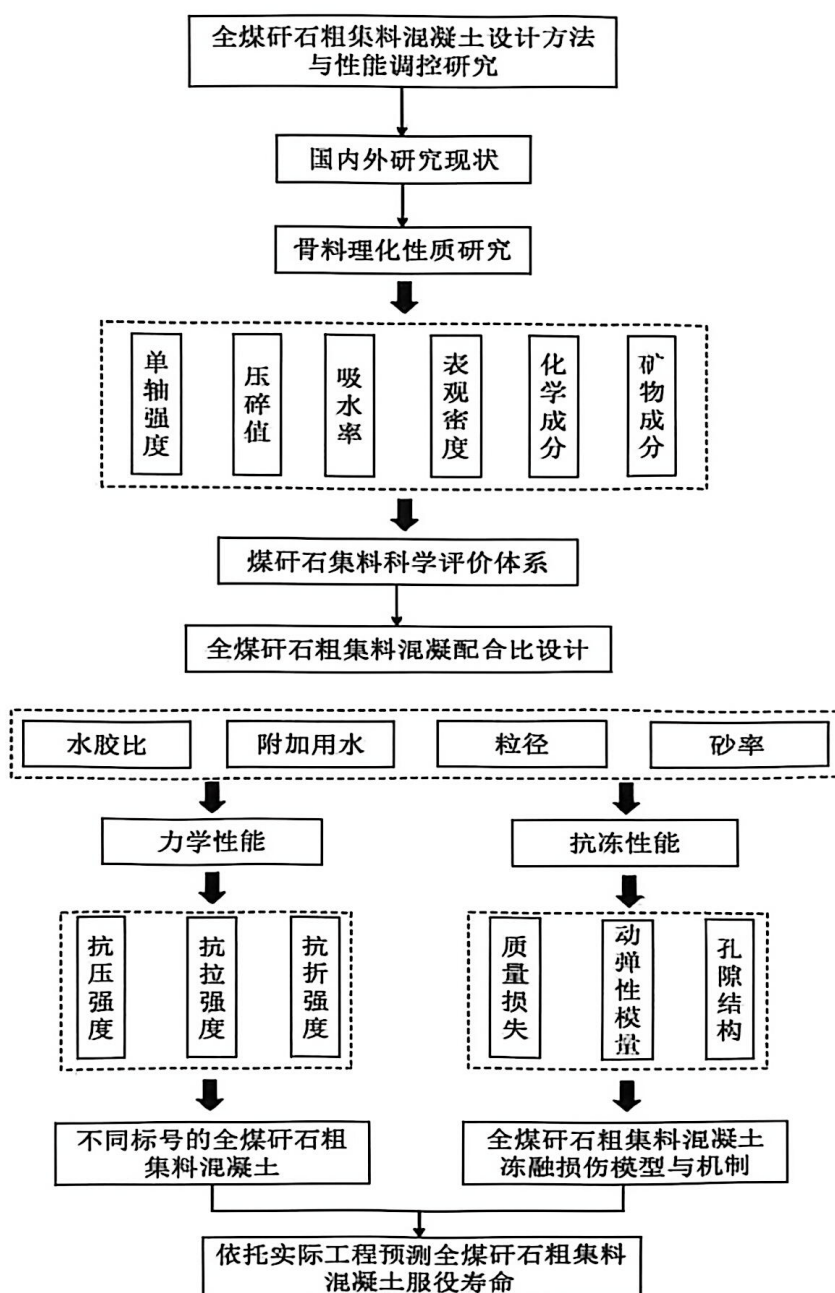


图 1 技术路线

4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接

本项目的研究将量化全煤矸石粗集料混凝土应用技术的节能减排效果与环境生态效益,推进了全煤矸石粗集料混凝土应用技术的推广应用,与国家倡导的“降污减碳、生态环保”理念相契合,对健全绿色交通养护技术体系、推动“绿色交通”示范创建提质扩面,对于拓宽煤矸石在道路工程中的资源化利用途径具有重要现实意义,应用前景广阔。

5. 有关技术经济指标

(1) 开发全煤矸石粗集料混凝土制备技术,与普通混凝土进行成本对比;

(2) 研发专用于全煤矸石粗集料混凝土的外加剂,调控工作性能,平衡力学性能与工作性能;

(3) 研究冻融对全煤矸石粗集料混凝土强度的影响,评价全煤矸石粗集料混凝土的抗冻性能效果。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

(1) 西安科技大学

西安科技大学作为本项目的承担单位,完全有能力承担本项目的研发工作。西安科技大学建工学院的土木工程专业为国家级特色专业建设点,具有土木工程专业一级学科博士学位和硕士学位授予权,其中岩土工程学科为陕西省重点学科,设有土木工程博士后科研流动站;学院有教职工 120 多人,其中教授 15 人,博导 7 人,副教授或

相当专业技术职务 28 人，获政府特殊津贴的 2 人，入选省部级跨世纪拔尖人才的 4 人；科研基地涵盖陕西省高速公路建设集团公司、陕西建工集团、西安地铁建设公司等 11 家单位。道路工程研究中心拥有对混凝土性能测试的整套试验测试设备，并具有很强的设备开发能力；混凝土材料微细观分析及力学性能试验系统，其中 SEM 电镜扫描仪、差热分析仪、热重分析仪、X-衍射仪、红外光谱分析仪、电子探针、扫描电镜、快速冻融机等设备在国内相同学科处于先进水平。

学院近五年来共承担科研项目 120 项，累计到款 8000 余万，其中承担国家攻关项目 2 项，部委联合攻关项目 14 项，陕西科技项目 12 项，交通厅项目 12 项。获得国家科技进步二等奖 1 项，部级二等奖 16 项，三等奖 12 项，获陕西省科技进步一等奖 2 项，二等奖 5 项。

（2）榆林市交通运输综合执法支队

榆林市交通运输综合执法支队以执法与行业管理为核心职能，其科研支撑体系由核心技术依托单位、内设技术管理单元及产学研协同网络构成，运行机制与科研方向均围绕交通工程质量监管与技术升级展开；该支队作为榆林市交通运输局下属副县级事业单位，编制 117 名、经费财政全额拨款，2020 年 11 月挂牌，内设质量监督科等技术管理单元统筹科研课题对接，其核心技术依托单位为 1999 年 12 月成立、隶属支队的榆林市公路工程试验检测中心，该中心拥有公路工程综合乙级与水利工程质量检测乙级资质，注册资本 200 万元，主营质检技术服务、技术咨询与人员培训，持有 2 项公路试验相关专利，是支队工程质量鉴定、数据核验、新材料应用验证的关键试验平台与科

研成果转化载体；单位聚焦固废材料（煤矸石、镁渣粉等）路用技术、路网智能监测、应急处置技术方向，构建“需求-研究-应用-反馈”的闭环运行机制，通过试验路建设、标准修订、执法规范优化推动科研成果转化。

（3）榆林市公路局

榆林市公路局成立于 1956 年，是一个正处级建制的事业单位。主要负责全市境内国省干线公路的建设、管理和养护工作。下设 13 个公路管理段、8 个超限检测站、8 个经营性单位，共 29 个下属单位。现有在职职工 1688 名、具有专业技术职称人员 394 人。公路局管养国省干线公路 1811.4 公里，桥梁 552 座，二级公路双向通行隧道 6 座/5058 米。其中，国道 8 条 1064.2 公里，省道 1 条 178.8 公里，沿黄观光路 407.6 公里，绕城快速干道 78 公里，榆靖公路 41 公里。公路等级为一级路 222.9 公里，二级路 645.5 公里，三级路 943.0 公里。有 8 个施工、设计、监理、试验检测、沥青储备等经营性单位，承揽着我市国省干线大中修、安保、灾害、水毁以及管养外公路工程建设任务。在多年的工作中，一直致力于新工艺、新技术的研究。获得陕西省科学技术二等奖 2 项、三等奖 6 项；榆林市科学技术一等奖 8 项、二等奖 1 项。拥有各种先进的筑路机械设备 185 台（件）；各类试验检测仪器齐全，公路工程试验检测中心，具有公路工程试验检测乙级资质，能够承担各级公路、桥梁工程的试验和科研攻关任务，有多名长期从事公路桥梁试验的中高级技术人员及试验设备，多次承担全国高速、一级公路的试验检测和科研课题任务。

2. 技术力量及人员构成

道路工程研究中心拥有对混凝土材料微细观分析及力学性能试验系统，其中 SEM 电镜扫描仪、差热分析仪、热重分析仪、X-衍射仪、红外光谱分析仪、电子探针、扫描电镜等设备在国内相同学科处于先进水平。实力雄厚的研究队伍和先进完善的试验设备，为该项目的顺利实施提供了强有力的保障。项目具体人员见表 1。

表 1 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
陈少杰	西安科技大学	男	1989-05-23	副高级	道路工程（路基）	科研项目主管
雷江峰	榆林市交通运输综合执法支队	男	1983-06-08	中级	道路工程（路基）	大纲制定
景宏君	西安科技大学	男	1974-07-10	正高级	道路工程（路基）	大纲制定
张伟	榆林市交通运输综合执法支队	男	1986-03-11	中级	道路工程（路基）	项目实施
李海滨	西安科技大学	男	1982-10-06	正高级	道路工程（路基）	方案制定与撰写
刘伟	榆林市公路局	男	1987-12-28	中级	道路工程（路基）	施工技术
邹晓龙	西安科技大学	男	1985-05-16	副高级	道路工程（路基）	方案制定与撰写
张晓轴	榆林市公路局	男	1972-10-03	正高级	道路工程（路基）	项目协调
崔源泉	西安科技大学	男	2002-10-22	技术员级	道路工程（路基）	室内外试验
高静	榆林市公路局	女	1982-10-26	助理级	道路工程（路基）	数据分析

张衡飞	西安科技大学	男	2003-08-12	技术员级	道路工程（路基）	室内外试验
延喜乐	榆林市公路局	男	1971-05-19	副高级	道路工程（路基）	试验检测
单俊伟	西安科技大学	男	1999-10-13	技术员级	道路工程（路基）	室内外试验
郝焕莲	榆林市公路局	女	1983-09-06	中级	道路工程（路基）	协同调控
刘小红	榆林市公路局	女	1976-03-02	中级	道路工程（路基）	试验检测
李浩熙	榆林市公路局	男	1998-03-15	助理级	道路工程（路基）	质量控制

3. 各自承担的主要工作

（1）西安科技大学：

- 1）负责制定室内试验研究大纲和具体实施方案；
- 2）负责室内外试验方案的制定与实施；
- 3）参与试验路铺筑；
- 4）负责项目研究报告的撰写；
- 5）负责项目的验收。

（2）榆林市公路局：

- 1）负责制定项目总体研究大纲和总体方案；
- 2）负责试验段的铺筑；
- 3）参与项目的验收。

4. 项目主要负责人情况

陈少杰，男，1989年生，博士，副教授，硕士生导师。主要从事固废资源化利用、低碳建材、混凝土耐久性等方面的研究工作。近

年来，主持国家自然科学基金青年项目、陕西省自然科学基金基础研究计划、陕西省博士后基金、陕西省教育厅科学研究计划、榆林市科技计划、西安市碑林区科技计划、陕西省“四主体一联合”校企联合研究中心开放基金等多项科研课题；参与国家自然科学基金、陕西省自然科学基金基础研究计划、陕西省教育厅科学研究计划等多项科研课题。发表论文 20 余篇，授权专利 3 项。作为主要完成人，获国家级一流本科课程、陕西省教学成果一等奖、陕西省一流本科课程、陕西省高等学校科学技术研究成果一等奖、陕西省交通运输科学技术一等奖等奖项。指导多项大学生创新创业大赛，获中国国际大学生创新大赛省级银奖、全国大学生职业规划大赛省级铜奖等荣誉。

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

本项目依托榆林市交通运输局所管辖 2025-2027 年度新建、大中修工程开展研究，完全能够保证科研的顺利实施。

2. 投资来源

经详细调研预算，本着成本节约、经济适用的原则，本课题经费来源以省厅补助为主，积极争取工程配套支持确保本项目各项工作的顺利开展。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

本项目研究起止日期为 2026 年 3 月至 2028 年 3 月，具体计划进度安排如下：

（1）2026 年 3 月至 2026 年 6 月

整理相关研究现状，完成项目的立项工作，准备试验所需材料和仪器，编写研究大纲和工作实施详细计划；

(2) 2026 年 7 月至 2026 年 9 月

采集具有代表性的不同矿源煤矸石，通过室内试验测定煤矸石集料的密度、吸水率、压碎值、主要化学成分、有害元素、矿物成分等。分析不同矿源煤矸石集料的理化性质，同时收集国内外相关文献煤矸石集料的信息，建立科学的品质评价体系；

(3) 2026 年 10 月至 2026 年 12 月

通过室内试验测试煤矸石理化性质和水灰比、附加用水、外加剂等对全煤矸石粗集料混凝土工作性能（坍落度、扩展度、凝结时间等）的影响，提出可以定量设计满足不同工作性能需求的全煤矸石粗集料混凝土配合比设计方法；

(4) 2027 年 1 月至 2027 年 3 月

在满足全煤矸石粗集料混凝土工作性能的基础上，通过室内试验研究煤矸石理化性质和混凝土水灰比、附加用水、外加剂等对全煤矸石粗集料混凝土力学性能（抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度等）的影响

(5) 2027 年 4 月至 2027 年 6 月

采用微观技术测定不同影响因素对全煤矸石粗集料混凝土密实性以及界面过渡区强度和厚度的影响，最终验证不同标号的全煤矸石粗集料混凝土配合比，建立全煤矸石粗集料混凝土的微观强度-宏观强度、强度-水灰比关系，修正传统 Bolomey 公式。

(6) 2027 年 7 月至 2027 年 9 月

基于工作性能和力学性能的研究, 探求不同标号全煤矸石粗集料混凝土的抗冻性能, 通过室内试验研究冻融循环对全煤矸石粗集料混凝土抗冻耐久性(强度损失率、质量损失率等)的影响

(7) 2027 年 10 月至 2027 年 12 月

采用孔隙测定技术研究全煤矸石粗集料混凝土冻融劣化过程中孔隙结构的演变规律, 基于微观角度提出全煤矸石粗集料混凝土的冻融损伤机制, 最终用于榆林市大中修工程中, 并持续跟踪监测。

(8) 2028 年 1 月至 2028 年 3 月

汇总研究结果, 撰写报告, 申请课题评审验收。

4. 组织管理形式

(1) 本项目各项研究内容和计划严格按本项目计划目标组织实施。

(2) 项目由负责单位和第一负责人全面负责管理, 明确分工协作、经费拨付、考核目标 and 责任要求等具体内容。

(3) 每 3 个月定期召开项目工作会议, 检查前阶段的具体工作研究进展和实施深度, 讨论解决研究过程中的各项技术问题和其他事宜, 布置后阶段的工作重点和具体要求。对不能按时、保质完成研究任务的人员及时予以更换。

(4) 对本项目的重点阶段性目标和成果进行重点考核和督促, 以确保项目总体研究目标的实现。

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	19.968	合 计	49.968	19.968	0.0
工程配套研究经费	30	1.设备费	0.0	0.0	0.0
单位自筹	0.0	（1）购置设备费	0.0	0.0	0.0
其他经费	0.0	（2）设备改造与租赁费	0.0	0.0	0.0
		2.业务费	43	18.0	0.0
		（1）材料费	0	0	0.0
		（2）测试化验实验加工费	30.0	18.0	0.0
		（3）燃料动力费	0.0	0.0	0.0
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	1.794	0.0	0.0
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	8.0	0.0	0.0
		（6）其他费用	3.206	0.0	0.0
		3.劳务费	4.47	1.968	0.0
		（1）专家咨询费	3.47	1.968	0.0
		（2）聘用人员劳务费	0.5	0.0	0.0
		（3）其他劳务费	0.5	0.0	0.0
		（二）间接费用	2.498	0.0	0.0
		4.管理费	2.498	0.0	0.0
		5.绩效支出	0.0	0.0	0.0

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。

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
		（1）授权发明专利	
		（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
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其它	1
		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
		（1）新工艺（或新方法模式）	
		（2）新产品（含农业新品种）	
		（3）新材料	1
		（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	是
		(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	4
		(1) 博士、博士后	1
		(2) 硕士	3
		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效益

1. 项目预期目标

本项目执行时间需贯穿公路工程建设全过程，经过重点研究，将达到如下目标：

- (1) 煤矸石粗集料混凝土的碎石取代率达到 100%；
- (2) 明确不同标号的全煤矸石粗集料混凝土配合比。

2. 提交的研究成果及其形式

(1) 提交《全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究》报告；

- (2) 提交《全煤矸石粗集料混凝土施工技术指南》；
- (3) 发表论文 1 篇；
- (4) 申请专利 1 篇。

3. 经济、社会、环境效益分析

(1) 煤矸石是煤炭开采的副产品，通常被视为废弃物。通过将其作为混凝土的替代材料，可以充分利用这种资源，降低对传统原材料（如沙子和石子）的需求，减少资源的消耗和浪费，有助于推动资源的可持续利用。此外，还能减少相关的能源消耗和温室气体排放，进一步降低碳足迹。

(2) 使用煤矸石混凝土可以降低建筑和基础设施项目的成本。煤矸石通常可以以相对较低的价格获得，这意味着使用煤矸石混凝土可以降低建筑材料的采购成本。

(3) 通过推广煤矸石混凝土的使用，可以促进相关产业的发展。

在煤矸石的提取和处理过程中，涉及到了许多环节，例如运输、研磨和筛分等。这将为相关行业创造就业机会，带动经济增长和社会发展。

九、其它需要说明的问题

无

十、申请单位意见

同意申报，依托工程及配套经费已落实

西安科技大学（公章）

单位负责人：（签字）

2026年3月27日



全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究

大纲评审意见

2026年3月24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“全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究”（项目编号：25-80K）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、研究内容全面，研究目标明确，技术路线可行。

二、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.开展陕北地区煤矸石区域分布调研，确定理化特性；
- 2.明确全煤矸石粗集料混凝土应用场景。

主任委员： 

2026年3月24日

专家审查意见表

项目名称	全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究				
专家姓名	梁武星	职务/职称	正高	专业	公路工程
专家单位	西安公路研究院			联系电话	13609110361

评审意见

建议:

- 1. 全区域内煤矸石调研, 建立分类指标, 以便应用
- 2. 明确适用范围.

评审专家(签字): 梁武星

2026年3月24日
(本意见入档, 应填写工整, 纸面不散, 可另加纸)

专家审查意见表

项目名称	全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究				
专家姓名	路鑫	职务/职称	正高级工程师	专 业	公路工程
专家单位	陕西高速公路工程试验检测有限公司			联系电话	15091850063

评 审 意 见

项目针对陕北煤矸石堆存污染、天然石料短缺、运输成本高的痛点，提出 100%煤矸石粗集料替代方案，契合陕西交通绿色低碳发展方向。聚焦煤矸石在交通工程中的高值化利用难题，研究方向符合陕西煤炭产区公路建设实际需求，研究意义重大、应用前景广阔。项目依托西安科技大学与地方交通部门产学研优势，前期基础扎实、试验条件完备、技术路线可行，同意立项。建议如下：

（1）项目采用煤矸石全部代替粗集料，由于煤矸石抗压强度通常在 20-50MPa，远低于天然骨料（石灰石抗压强度 100-200MPa），会导致混凝土整体抗压强度不足；煤矸石骨料压碎值一般在 16%-23%，高于天然骨料标准，会影响混凝土结构的稳定性。所以全部代替天然骨料应重点考虑原材料的强化技术和分类标准，建议在研究内容第一部分煤矸石集料理化性质研究中增加集料的分类和适用情况；

（2）研究内容第二部分吸水率对集料混凝土工作性能（坍落度、扩展度、凝结时间等）的影响，但是煤矸石颗粒级配较差，颗粒多棱角、级配不均，也会影响混凝土密实度，导致混凝土内部空隙增多，降低强度和耐久性，建议在第二部分增加颗粒级配对集料混凝土工作性能的影响；

（3）依托工程选取新建和大中修项目，目前路面大多数采用沥青混凝土，建议依托工程对项目和应用的层位进行明确。

评审专家（签字）：

2026 年 3 月 24 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	全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究				
专家姓名	赵晓东	职务/职称	正高工	专业	公路工程
专家单位	铜仁市交通运输局			联系电话	13709190090

评审意见

以下意见仅供参考：

1. 考虑到煤矸石自身特性影响，应对其抗冻性、抗碳化能力和长期变形等进一步研究，确保其耐久性和稳定性。

2. 应对其不同应用范围深入开展分类研究，建议在农村公路上推广应用。

评审专家（签字）：

赵晓东

2026 年 3 月 24 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	全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究				
专家姓名	罗 强	职务/职称	教授	专 业	道路与铁道工程
专家单位	西南交通大学			联系电话	1390823860

评 审 意 见

我国煤矸石的年排放量以惊人速度逐年累积。大量煤矸石的堆积不仅占用了宝贵的土地资源，还对周边环境造成严重的污染问题，对水源、土壤和空气造成长期而深远的负面影响。此外，煤矸石堆还可能引发滑坡、泥石流等地质灾害，对周边居民的生命财产安全构成威胁。将煤矸石转化为混凝土粗集料，实现其资源化利用，是缓解环境污染压力、保护生态环境的迫切需求。开展全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究，符合可持续发展的要求，具有良好工程和环境效益。

煤矸石作为一种储量丰富的工业废弃物，具有潜在利用价值。通过科学处理方法和合理的设计调控，可转化为性能优良混凝土粗集料，替代部分或全部天然集料使用。这不仅能够减少对天然资源的开采，还能提高资源的利用效率，降低资源消耗成本。但存在煤矸石的化学成分和物理性质复杂多变、煤矸石混凝土的性能调控需要综合考虑多个因素等问题。为此，课题的主要研究内容包括：1) 不同矿源煤矸石集料理化性质研究；2) 全煤矸石粗集料混凝土配合比设计和优化；3) 全煤矸石粗集料混凝土力学特性研究；4) 全煤矸石粗集料混凝土抗冻性能研究；5) 全煤矸石粗集料混凝土工程应用研究。其中，基于煤矸石理化性质的全煤矸石粗集料混凝土配合比设计、全煤矸石粗集料混凝土性能调控等是拟解决的关键技术问题。

项目研究内容完整，目标明确，技术路线可行；课题组具备良好研究基础和实验条件，承担单位有较强技术研发能力，人员组成合理，依托工程落实；预期研究成果覆盖意见目标，与研究内容的逻辑框架契合，拟提出的研究成果形式有技术报告、专利论文、技术指南等，同意研究大纲通过评审。

建议：加强研究区煤矸石分布及类型调研和性能评价；在煤矸石理化性质研究基础上，明确全煤矸石粗集料混凝土应用场景和边界技术条件分析。

评审专家（签字）：

2026 年 03 月 24 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	金矿矿石粗选设计方法与控制指标				
专家姓名	杨华	职务/职称	正高	专业	10-10-10-10
专家单位	山西交通职业技术学院			联系电话	13834665511

评审意见

项目设计方法明确、技术路线基本可行、
内容较为完整、同意大纲通过评审。

建议：

1. 进一步细化考核指标，提出适用于不同矿度煤研石集料石之指标的煤研石颗粒指标，便于工程应用选取；
2. 对产出的典型煤研石分布、颗粒组成等进行调研和测试；
3. 强化煤研石颗粒研究，重点是相互影响关系研究。

评审专家（签字）：

2020年3月24日

（本意见入档，填写工整，纸面不敷，可另加纸）

全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究（项目编号：25-80K）

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	梁武星	西安公路研究院	公路工程	公路工程	正高工	梁武星
2	委员	路鑫	陕西高速公路工程试验检测有限公司	公路工程	公路工程	正高工	路鑫
3	委员	赵卫东	铜川市交通运输局	公路工程	公路工程	正高工	赵卫东
4	委员	罗强	西南交通大学	道路与铁道工程	路基工程	教授	网上评审
5	委员	申俊敏	山西交通科学研究院集团	公路工程	公路工程	正高工	网上评审

专家意见处理表

项目名称：全煤矸石粗集料混凝土设计方法与性能调控研究

(项目编号：25-80K)

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.	梁武星	① 建议陕北地区全区域内煤矸石调研，建立指标； ② 明确全煤矸石混凝土适用范围。	1. 在前期准备工作中，已对陕北地区重点煤矿煤矸石进行调研分析，建立指标及相应规范。 2. 全煤矸石混凝土重点用于公路工程附属构建建设中。
2.	赵卫东	① 考虑到煤矸石自身特性影响，应对其抗渗性，抗碳化能力及长期变形等进一步研究，确保其耐久性和稳定性； ② 应对其不同应用范围深入分类研究，建议在农村公路上推广应用。	1. 已在研究大纲中增加耐久性 & 稳定性研究； 2. 项目应用范围主要针对二级公路及以下道路的附属构造，在后期工程应用中将增加农村公路上的运用。
3.	路鑫	① 建议在研究内容第一部分集料理化性质研究中增加集料的分类和适用情况； ② 建议增加颗粒级配对集料混凝土工作性能的影响； ③ 建议依托工程对项目和应用的分层位进行明确。	1. 已在研究大纲中增加集料分类及选用情况研究； 2. 项目大纲中已包含级配混凝土工作性能影响研究； 3. 将明确主要在依托工程中的道路附属构建使用。
4.	罗强	① 加强研究区域煤矸石分布及类型调研和性能评价； ② 在煤矸石理化性质研究基础上，明确全煤矸石粗集料混凝土应用场景和边界技术分析。	1. 在前期准备工作中，已对研究区域（陕北地区）重点煤矿煤矸石进行调研工作，并建立指标； 2. 已在研究大纲中明确体现主要应用于二级公路及以下道路的附属构造。

