

DB61

陕西省地方标准

DB61/T XXXX—2025

小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固技术规程

Technical specification for corrugated steel exoskeleton reinforcement of
small span beam bridges

(编制说明)

2025—XX—XX 发布

2025—XX—XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目录

1 工作简况 1

1.1 任务来源 1

1.2 目的意义 1

1.2.1 标准制订的目的 1

1.2.2 标准制订的意义 2

1.3 主导单位 3

1.4 标准制定的前期基础工作 3

1.5 人员及分工 8

1.6 规程编制过程 9

1.6.1 调研与稿件研讨情况 9

1.6.2 立项情况 10

1.6.3 大纲编制和评审 10

1.6.4 征求意见稿编制情况 11

2 标准编制原则及主要内容 12

2.1 编制原则 12

2.2 标准质量控制 12

2.3 标准审查 13

3. 本标准主要技术内容说明 13

3.1 目的和范围 13

3.2 编制依据 14

3.2.1 法律法规 14

3.2.2 政策文件 14

3.2.3 技术规范 14

3.3 规范内容 15

3.3.1 中小跨径梁桥承载性能提升的外骨骼机理与适用性研究 15

3.3.2 中小跨径梁桥的承载性能提升装置研发 16

3.3.3 中小跨径梁桥的承载性能的提升技术应用 16

4 标准主要创新性 17

5 采用国际或国外先进标准的程度 17

6 与现行法律法规和强制性国家标准的关系 18

7 知识产权说明 18

8 贯彻本标准的要求和措施建议 18

《小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固技术规程》

（征求意见稿）

编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

根据《陕西省市场监督管理局关于下达 2023 年度陕西省地方标准制修订项目计划的通知》（陕市监函[2023]410 号），由省交通运输厅推荐的“小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固技术规程”等 23 项交通运输地方标准（详见附件）获批立项。由陕西省交通规划设计研究院有限公司作为第一承担单位，联合长安大学、西安世纪金属结构有限公司开展编制工作。

1.2 目的意义

1.2.1 标准制订的目的

为了贯彻落实交通运输部对提升桥梁安全耐久水平提出的处理意见，更好的发挥波纹钢外骨骼加固桥梁的优势，提升我国公路桥涵使用性能，需要制订波纹钢外骨骼相关规程。国内研究人员对波纹钢加固桥梁的相关研究近几年才展开，虽然我国对波纹钢板应用于桥梁加固方面做了大量的研究应用，但对波纹钢板加固桥梁的力学性能认识不够深刻，尚未确定影响波纹钢板加固桥梁效果的关键参数，对波纹钢板加固桥梁的数值模拟精度不高，进而导致加固桥梁的施工指导不足。因此，对于跨径在 13m 以下，桥台形式为薄壁桥台或者墙式桥台，且桥下无水的通道涵，制订波纹钢外骨骼加固技术在设计原理、

结构组合形式、施工工序、施工工艺、质量控制等方面的相关规程，指导施工实践，促进小跨径板式桥涵加固领域快速发展。

1.2.2 标准制订的意义

(1) 弥补传统加固方式的不足

传统的主动加固方式和被动加固方式存在以下方面的缺点：施工周期长；工艺流程复杂；影响正常交通运营；影响桥下净空界限要求和同行排洪能力。而波纹钢外骨骼加固法用到的波纹钢板件可以在工厂提前批量预制，节省施工时间，加快了施工进度；波纹钢板件的生产工艺简单，不需要复杂的计算，对工人技术水平要求低；波纹钢加固完全在桥底进行施工，不影响桥面以上道路通行，能够保证行车通畅；波纹钢由于线性特点，对桥下的净空侵占较小。

(2) 指导施工实践

波纹钢外骨骼加固作为一种新型加固方法，其经济性与适用性优于传统加固方法，但由于其受波纹钢截面选型、牵引力大小等因素影响，且缺乏标准化的技术规范，所以严重制约了波纹钢外骨骼加固的工程应用实践。因此编制波纹钢外骨骼加固技术规程，对于工程实施具有较大的指导意义。

(3) 促进新型加固体系发展

对比传统加固方式，波纹钢外骨骼加固的创新性得到充分利用，提高了新型结构体系运用到桥梁加固上的市场竞争力，能够加快我省桥梁使用性能提升工作进程，为我省桥梁产业快速发展奠定基础。

1.3 主导单位

陕西省交通规划设计研究院有限公司，于 1958 年由交通部公路勘察设计院第五分院体制下放改组成立，原直属陕西省交通运输厅，2021 年公司整体并入陕西省国资委旗下的陕西交通控股集团有限公司，2021 年 5 月，由全民所有制企业改制为有限责任公司，拥有公路行业甲级，市政行业专业甲级，建筑行业甲级，电子通信广电行业甲级等 31 项资质，技术实力居全国前列。2009 年被认定为高新技术企业。2014 年被交通运输部确定为国家重点公路工程设计审查咨询单位，2022 年入围国务院国资委科改示范企业。

公司是“高新技术企业”，“全国科改示范企业”，目前拥有国家、省级、市级、交控集团研发平台共 6 个。公司现有职工 600 人，其中，博士 12 人，硕士研究生 235 人，正高级职称 24 人，高级职称 277 人，中级职称 203 人，各类注册人员 243 人。公司现有高层次人才 17 人，有突出贡献专家 1 人，享受政府特殊津贴专家 1 人，省部级以上劳动模范 4 人，陕西省勘察设计大师 1 人，陕西省优秀勘察设计师 4 人，陕西省交通运输行业十佳设计师 6 人。公司承担省部级科研项目 100 余项，累计获得省部级科技进步奖 27 项，累计获得专利授权 143 项，软件著作权 39 项。

1.4 标准制定的前期基础工作

公司自 2019 年 8 月成立小跨径桥梁加固课题组，对国内外桥梁加固技术进行了详细的调研。结合自身已具备的技术条件，课题组对该类结构做了大量试设计，结果表明波纹钢外骨骼加固极具推广价值。

在此基础上，课题组开展了中小跨径钢结构外骨骼加固设计科研攻关，并主持完成交通运输厅重大专项《在役中小跨径非现标准公路桥梁结构性能提升技术研究与应用研究报告》（21-55K），发表科研论文 5 篇，其中包含 2 篇与成果密切相关的《中文核心期刊要目总览》论文；申报国家专利 1 项；技术指南 1 项。专利涉及到的一种施加牵引力反力架装置如图 1.1 所示：

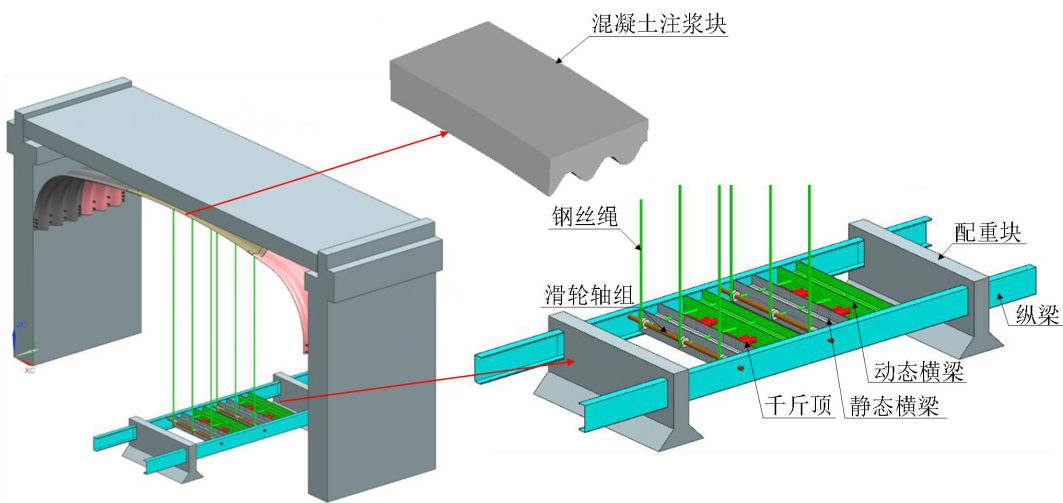


图 1.1 反力架牵引装置示意图

依托工程：

（1）国家高速公路京昆线（G5）陕西境蒲城至涝峪公路改扩建工程

工程背景：该桥上部结构为 8m 钢筋混凝土空心板单跨简支梁，下部结构为钢筋混凝土轻型桥台，基础形式采用扩大基础。下穿道路为地方小路，原有梁桥荷载等级为汽车-超 20 级，挂车-120 级。通过波纹钢外骨骼加固措施，对其进行承载性能提升，使改扩建后的公路能够满足公路 I 级设计荷载的要求。

计算过程：依据工程实际尺寸和材料特性，结合现场波纹钢板加固空心板梁桥的实际情况，分别利用 MIDAS 和 ABAQUS 软件建立单梁杆系有限元模型和全桥板壳-实体有限元模型，如图 1.2 所示。

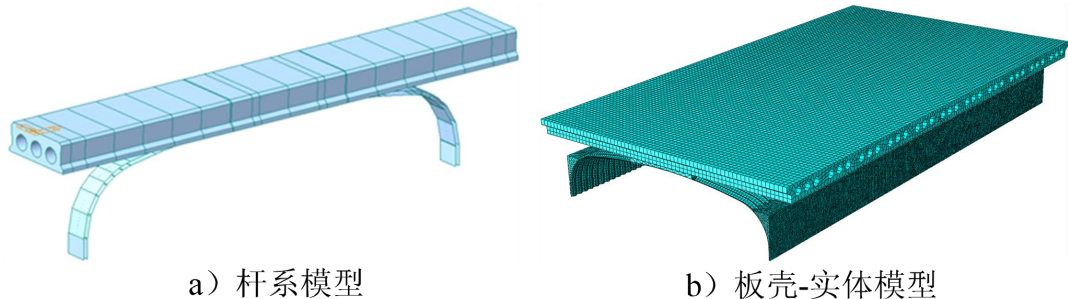


图 1.2 数值模拟图

结论：

- 1) 采用波纹钢板外骨骼加固后原桥的承载能力满足规范要求；
- 2) 通过对比加固前后空心板支反力、空心板活载弯矩效应对加固后波纹钢板外骨骼拱脚产生的水平推力进行分析，验证了波纹钢板外骨骼具有恒载卸载、协同承担活载、改善桥台受力的作用；
- 3) 建立 ABAQUS 回弹模型和无回弹模型，通过数据变化规律可以看出，采用波纹钢板外骨骼加固后空心板梁的承载性能和刚度得到了有效的提升；
- 4) 对反力架牵引张拉施工从构件组成和施工流程做了详细的介绍，从施工准备、注浆工艺、注浆施工要求等方向出发，提出一套关键施工技术理论，为后续类似加固工程提供了宝贵的经验；
- 5) 通过在波纹钢板张拉阶段（受力最不利阶段）进行了波纹板的应变测试，将现场测试结果与有限元模型计算结果作对比，得出实测值与理论值的最大误差为 14.6%，且实测值整体上小于理论值，说明波纹钢板的实际受力满足设计荷载使用要求。

现场效果：现场加固过程见图 1.3~图 1.6。



图 1.3 波纹钢拼装



图 1.4 水箱下拉施加牵引力



图 1.5 注浆混凝土



图 1.6 加固完成效果图

(2) 基于波纹钢拱形外骨骼的梁桥性能提升试验

工程背景：为了研究波纹钢外骨骼加固体系的强度、刚度等力学性能，探究波纹钢拱形外骨骼对桥面板提供恒载卸载作用和活载协同承载作用，通过测定其强度、安全度、抗裂度及各级荷载下的挠度和裂缝开展情况，进一步探究波纹钢外骨骼加固体系的受力特性，开展室内试验研究。试验梁采用 5960mm 钢筋混凝土预制梁，波纹钢截面分别选用 $200\text{mm} \times 55\text{mm}$ 、 $150\text{mm} \times 50\text{mm}$ 两种尺寸，整体尺寸为 $4880\text{mm} \times 990\text{mm} \times 1138\text{mm}$ ，共设计 3 个试验，分别测试单梁的承载性能和波纹钢的加固效果。

实验平台模型：实验平台模型如图 1.7 所示。

现场效果：目前试验正在进行中，现场试验见图 1.8。

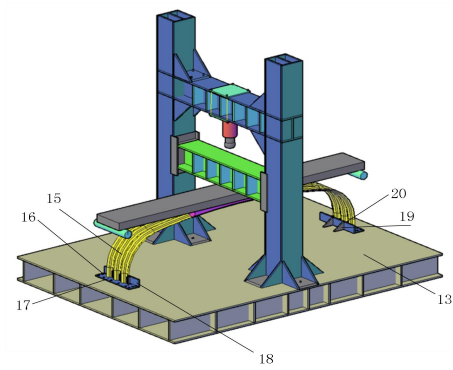


图 1.7 实验平台模型图



图 1.8 现场试验图

编制单位多年来主持或参与 3 项国家，6 项行业标准以及众多地方标准的编制工作，积累了丰富的标准编制经验。

序号	标准性质	标准名称	标准编号	标准状态	备注
1	国家标准	沥青混合料低温抗裂性能评价方法	GB-T 38948-2020	现行	参编
2	国家标准	城市轨道交通设施运营监测技术规范 第1部分：总则	GB/T 39559.1-2020	现行	参编
3	国家标准	城市轨道交通设施运营监测技术规范 第2部分：桥梁	GB/T 39559.2-2020	现行	参编
4	公路行标	公路工程建设项目投资估算编制办法	JTG 3820-2018	现行	参编
5	公路行标	公路工程建设项目概算预算编制办法	JTG 3830-2018	现行	参编
6	公路行标	公路工程估算指标	JTG T3821-2018	现行	参编
7	公路行标	公路工程概算定额	JTG T3831-2018	现行	参编
8	公路行标	公路工程预算定额	JTG T3832-2018	现行	参编
9	公路行标	公路养护预算编制导则	JTG 5610-2020	现行	参编
10	深圳地标	道路工程勘察信息模型交付标准	SJG 89-2021	现行	主编
11	深圳地标	市政道路工程信息模型设计交付标准	SJG 90-2021	现行	主编
12	深圳地标	市政桥涵工程信息模型设计交付标准	SJG 91-2021	现行	主编
13	深圳地标	市政隧道工程信息模型设计交付标准	SJG 92-2021	现行	主编
14	深圳地标	市政道路管线工程信息模型设计交付标准	SJG 94-2021	现行	主编
15	深圳地标	市政道路工程信息模型施工应用标准	SJG 116-2022	现行	主编
16	深圳地标	市政桥梁工程信息模型施工应用标准	SJG 117-2022	现行	主编
17	深圳地标	市政隧道工程信息模型施工应用标准	SJG 118-2022	现行	主编
18	深圳地标	城市道路工程信息模型运维应用标准	SJG 119-2022	现行	主编
19	深圳地标	交通公用设施养护技术规程		报批稿	主编

20	重庆地标	重庆市公路水运智慧工地建设及运行指南	CQJ TZ/T A04-2022	现行	参编
21	广东地标	公路工程信息模型分类和编码标准		总校稿	主编
22	广东地标	公路工程信息模型数字化交换标准		初稿	主编
23	广东地标	公路工程信息模型设计应用标准		总校稿	主编
24	广东地标	公路工程信息模型施工应用标准		总校稿	主编
25	广东地标	公路工程信息模型运维应用标准		总校稿	主编
26	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 数据表达通用规则	T/GBAS 2-2022	现行	参编
27	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 信息分类和编码	T/GBAS 67-2023	现行	参编
28	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 结构共用要素	T/GBAS 68-2023	现行	参编
29	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 桥梁结构	T/GBAS 3-2022	现行	参编
30	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 沉管隧道结构	T/GBAS 49-2023	现行	参编
31	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 人工岛结构	T/GBAS 50-2023	现行	参编
32	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 交通工程设施结构	T/GBAS 51-2023	现行	参编
33	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 交通土建工程材料	T/GBAS 52-2023	现行	参编
34	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 结构健康监测	T/GBAS 58-2023	现行	参编
35	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 桥梁检测	T/GBAS 55-2023	现行	参编
36	粤港澳大湾区团标	桥岛隧智能运维数据 沉管隧道检测	T/GBAS 56-2023	现行	参编

1.5 人员及分工

主要参与人员及分工

序号	姓名	职称/职称	单位	工作内容
1	张通	高级	陕西省交通规划设计研究院有限公司	项目负责人
2	王晓明	教授	长安大学	组织协调与技术指导
3	赵建华	高级	西安世纪金属结构有限公司	试验组织
4	张涛	高级	陕西省公路局	技术指导
5	张虎	高级	陕西省交通规划设计研究院有限公司	技术指导
6	李晓	中级	陕西省交通规划设计研究院有限公司	理论研究
7	陈钰	研究生	长安大学	规程撰写与方案计算

8	彭寒笑	研究生	长安大学	规程撰写与方案计算
7	张立库	中级	陕西省交通规划设计研究院有限公司	方案拟定
8	曹周阳	高级	西安世纪金属结构有限公司	实验方案制定
9	张富华	工程师	陕西省交通规划设计研究院有限公司	结构设计
10	宛征	工程师	陕西省交通规划设计研究院有限公司	结构设计
11	鲁楠	中级	西安世纪金属结构有限公司	结构设计
12	王义普	研究生	长安大学	规程撰写与方案计算
13	吴润涵	研究生	长安大学	规程撰写与方案计算
14	李兆辉	研究生	长安大学	理论研究与方案计算

1.6 规程编制过程

1.6.1 调研与稿件研讨情况

2022 年 9 月，规程编制主导单位联合长安大学、陕西交控新材料有限公司，开展了《小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固技术规程》的前期研究和资料收集工作，广泛参考研究了国内外钢结构、混凝土结构及钢混组合结构桥梁设计施工规范与相关论文资料等，并在认真研究相关政策法规、标准规范和广泛调研的基础上，全面分析小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固需求，开展标准研讨、大纲拟订、草案编制和讨论交流工作，初步确定了《小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固技术规程》技术内容和框架，形成了标准草案。并以此为基础，向陕西省市场监督

管理局提出陕西省地方标准编制立项申请。

1.6.2 立项情况

2023 年 5 月 30 日，《陕西省市场监督管理局关于下达 2023 年度陕西省地方标准制修订项目计划的通知》（陕市监函〔2023〕410 号），标准正式立项。按通知要求于 2025 年 5 月 30 日前完成制修订工作。

本规程由陕西省交通厅提出，由陕西省交通运输标准化技术委员会归口。

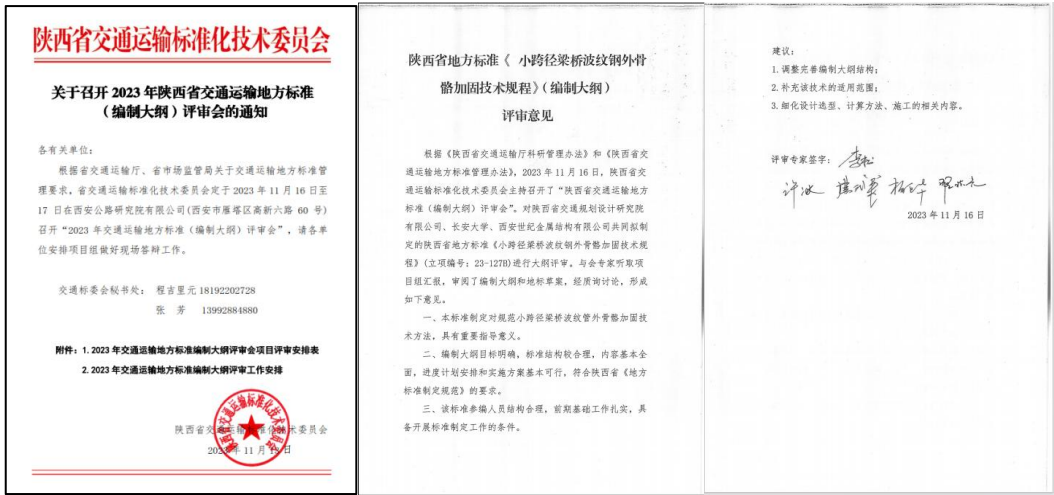
2023 年 6 月 26 日，陕西省交通运输标准化技术委员会《关于 2023 年交通运输地方标准计划下达的通知》（陕交标函〔2023〕2 号）转发了陕市监函〔2023〕410 号文进一步明确了标准编制的具体要求。



1.6.3 大纲编制和评审

2023 年 11 月 16 日，陕西省交通运输标准化技术委员会组织召开 2023 年陕西省交通运输地方标准（编制大纲）评审会。评审专家认为本规程编制大纲目标明确，结构较合理，内容基本全面，进度计划安排和实施方案基本可行，符合陕西省《地方标准制定规范》的要

求。参编人员结构基本合理，前期基础工作扎实，具备开展标准制定工作的条件。同意通过大纲评审。评审专家还对标准大纲的结构和内容提出了具体的修改意见和建议。



1.6.4 征求意见稿编制情况

2023 年 11 月～2024 年 8 月，编制组根据大纲评审意见，进一步补充调研，参照相关行业标准应用情况和设计施工需求，优化了规程的章节结构，完善了规程内容，形成了规程初稿。经主导单位组织编制单位进行内部审查、讨论和研究，继续对标准适用范围、逻辑结构、技术内容、元数据项等进行修改和完善，并按 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》和陕西地方标准 DB61/T 1214—2020《地方标准制定规范》的要求，对照检查采用了规范性用语、规范了表达方式和文本格式，提升了标准在编写格式上的规范性。基于此，形成了《小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固技术规程》征求意见稿。

2 标准编制原则及主要内容

2.1 编制原则

小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固技术规范编制应遵循完整性、前瞻性、扩展性和可操作性的原则：

1) 完整性：规范应规定材料选择、结构设计、计算方法、构造细节、施工工艺、质量控制、检验验收等各个环节的要求，指导从业人员全面了解并遵循最佳实践，确保工程质量和安全。

2) 前瞻性：规范在制定过程中应充分考虑未来技术发展趋势和行业需求变化，对于小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固这一新型技术，应预见到可能的技术革新和应用场景拓展，为未来的技术进步预留空间。

3) 扩展性：应充分考虑小跨径梁桥波纹钢外骨骼加固在不同工程条件下的适应性，以及与其他工程结构的兼容性。规范应提供全面的设计参数和构造措施，以便工程技术人员根据具体项目特点进行灵活选择和调整。此外，规范还应便于后续修订和补充。

4) 可操作性：规范中的条款应明确具体、易于理解和执行，避免模糊和歧义，还应注重与现行法律法规、标准体系的协调一致。

2.2 标准质量控制

为保证此次标准编制的质量，编制组将严格按照编制组自审、单位审查、内部审查、专家组审查的审查管理体系要求，按如下流程进行编制质量管理：

(1) 主编单位组织参编单位按编写分工表进行编写，并将编写工作落实到各参加单位的具体负责人员。

(2) 各编写单位在标准编制各阶段按时提交技术文件成果，由各

编制单位的标准负责人员审查后提交给标准主编单位。

(3)主编收到各单位提交的技术文件成果后及时汇总和审查，汇总后组织各编写单位互检，并形成互检意见。

(4)标准的主编单位汇总互检意见后，组织编制单位进行讨论和标准修改，修改后的文件重新提交主编单位。

(5)主编单位对技术文件成果汇总后，组织内部审查，提出审查意见后，参编单位根据审查意见进行修改，修改后的文件重新提交主编单位。

(6)主编单位汇总修改后的技术文件成果后，组织编写组及内部审查专家组召开审查会，汇总审查意见后返回编制单位进行修改。

(7)主编单位对修改后的技术文件成果统稿后，将项目文件、审查表和意见采纳汇总表等资料报送相关主管部门审核和评审。

2.3 标准审查

形成标准送审稿后，标准主编单位将标准送审稿和编制说明等材料报送省省交通运输标准化技术委员会组织初审与专家评审会，审查通过后形成专家审查意见，标准起草工作组根据审查意见进一步对标准进行修改，形成标准报批稿。

3. 本标准主要技术内容说明

3.1 目的和范围

本标准编制的目的是使小跨径梁桥的波纹钢外骨骼技术应用，有工程质量保证，能够做到安全适用、经济合理、技术先进。

本标准适用于公路板式桥涵的加固应用，为城市桥梁和铁路桥梁性能提升提供参考。本标准所指波纹钢外骨骼技术加固技术的适用范围为单孔板式桥涵，跨径在 13m 以下，桥台为薄壁桥台或者墙式桥

台，且桥下无水的通道涵。

3.2 编制依据

3.2.1 法律法规

- 《中华人民共和国标准化法》
- 《团体标准管理规定》
- 《陕西省标准化条例》

3.2.2 政策文件

- 中共中央 国务院《交通强国建设纲要》
- 中共中央 国务院《国家标准化发展纲要》
- 交通运输部《交通运输领域新型基础设施建设行动方案（2021—2025 年）》
- 交通运输部《关于进一步提升公路桥梁安全耐久水平的意见》
- 交通运输部《关于进一步提升公路桥梁安全耐久水平的意见》
- 《陕西省“十四五”综合交通运输发展规划》
- 《陕西省公路“十四五”发展规划》

3.2.3 技术规范

本标准规范性引用文件如下：

GB 16776-2005	建筑用硅酮结构密封胶
GB 50017-2017	钢结构设计标准
GB 50205-2020	钢结构工程施工质量验收标准
GB 50300-2013	建筑工程施工质量验收统一标准
GB/T 470-2008	锌锭
GB/T 709-2019	热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 1231-2006	钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
GB/T 1839-2008	钢产品镀锌层质量试验方法

GB/T 2518-2019	连续热镀锌和锌合金镀层钢板及钢带
GB/T 3274-2017	碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带
GB/T 22083-2008	建筑密封胶分级和要求
GB/T 34567-2017	冷弯波纹钢管
JTG D60-2015	公路桥涵设计通用规范
JTG 3362-2018	公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG F80/1-2017	公路工程质量检验评定标准
JTG/T J22-2008	公路桥梁加固设计规范
JTG/T J23-2008	公路桥梁加固施工技术规范
JTG/T D65-06-2015	公路钢管混凝土拱桥设计规范
JTG/T 3360-01-2018	公路桥梁抗风设计规范
JTG/T 3650-2020	公路桥涵施工技术规范
JC/T 483-2022	聚硫建筑密封胶
JB/T 9186-1999	二氧化碳气体保护焊工艺规程

3.3 规范内容

针对中小跨径梁桥承载性能提升的设计要点，本项目主要侧重以下研究内容：中小跨径梁桥承载性能提升的外骨骼机理与适用性研究、中小跨径梁桥的承载性能提升装置研发与中小跨径梁桥的承载性能的提升技术研究与应用。具体内容如下：

3.3.1 中小跨径梁桥承载性能提升的外骨骼机理与适用性研究

波纹钢外骨骼应用于中小跨径梁桥承载性能提升，其基本原理是利用波纹钢板、牵引环等部件组成加固结构，通过体外拼装、固定、牵引、注浆等步骤，实现恒载卸载和协同承载，还能满足不同跨径与净空需求、改善桥台受力。其适用性研究首先需要根据跨径和净空要求，设计波纹钢外骨骼线形并初步拟定波纹钢板的波形尺寸和对波纹钢施加的牵引力。然后，模拟各边界约束，根据实际施工阶段进行杆系有限元分析，若主梁承载能力不满足

现行规范要求，则需要优化波纹钢板的波形尺寸或牵引力大小，直至主梁承载能力满足现行规范要求；采用杆系有限元分析，可以快速确定主梁承载能力满足现行规范要求所需的波形尺寸和牵引力。验算主梁承载能力满足现行规范要求后，再进行板壳-实体有限元分析，对波纹钢板各效应进行校验，若波纹钢板各效应不满足现行规范要求，则需要优化波纹钢板的波形尺寸或牵引力大小，直至波纹钢板各效应满足现行规范要求。

3.3.2 中小跨径梁桥的承载性能提升装置研发

中小跨径梁桥采用波纹钢外骨骼加固的施工流程包括施工前准备、波纹钢板施工、牵引力张拉施工和混凝土注浆施工。施工前要准备好材料、清理场地等；波纹钢板施工有工厂预拼接、吊装顶推就位等步骤；牵引力张拉施工借助反力架牵引装置；混凝土注浆施工要注意顺序和压力控制。波纹钢外骨骼加固结构包含多种部件，其中反力架牵引装置由滑轮轴组、静态横梁等组成。波纹钢板是主要受力部件，由多个单元钢板螺栓连接而成，其顶部的牵引环用于连接反力架牵引装置，共同实现对波纹钢板的牵引和加固。

3.3.3 中小跨径梁桥的承载性能的提升技术应用

本研究依托京昆线某改扩建工程，工程中的桥梁原荷载等级无法满足改扩建后的公路 I 级设计荷载要求，需在特定条件下对既有桥梁加固加宽，为波纹钢外骨骼技术提供了应用场景。对原桥结构验算发现中梁承载能力不满足规范，边梁满足。经 MIDAS

杆系模型分析，加固后空心板梁各截面弯矩减小，边、中梁承载能力均满足规范，且主梁各截面挠度减小，刚度提升，避免了支座脱空。同时，波纹钢外骨骼起到恒载卸载、协同承载和改善桥台受力的作用。此外，波纹钢板在施工和运营阶段应力较小、安全系数大，稳定性满足规范要求。现场施工有序，在波纹钢板张拉阶段进行应变测试，结果表明最大误差在规范允许范围内，实测值小于理论值，验证了模型准确性，说明波纹钢板实际受力满足设计荷载要求。

4 标准主要创新性

综合国内外相关规范，本地方标准《小跨径梁桥性能提升的波纹钢外骨骼技术规程》中涉及几项关键技术标准，与其他规范标准对比如下：

（1）波纹钢外骨骼加固法作为一种新型的桥梁加固方法，其设计方法原理和结构组合形式有别于常规类型的桥梁加固方法，国内外现行规范还没有相关设计要求。本规程首次提出波纹钢外骨骼加固法的相关标准。

（2）波纹钢外骨骼加固结构作为一种轻型组合式加固结构，其施工工序、施工工艺及质量控制均不同于现行标准，国内外现行规范还没有相关要求。本规程首次提出波纹钢外骨骼加固施工技术及相关标准。

5 采用国际或国外先进标准的程度

本标准的编写结合了规范《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T

J22-2008）、《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23-2008）、《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205-2020）及《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB 50300-2013）为主要参考。并根据我国现有研究成果予以借鉴。

6 与现行法律法规和强制性国家标准的关系

本标准不违反现行法律、法规和强制国家标准。

7 知识产权说明

波纹钢外骨骼加固技术已经获取：实用新型专利 6 项，发明专利 4 项已进入实质性审查阶段。

一种大跨径抗滑拱形波纹钢结构（专利号：CN2022230289152）、

一种基于无级牵引的简支桥梁加固结构（专利号：CN202222864150X）、

基于无级牵引的简支桥梁加固结构及其加固方法

（专利号：CN2022113103941）、

一种基于反力架牵引的简支桥梁加固结构（专利号：CN2022215977122）、

基于反力架牵引的简支桥梁加固结构及其加固方法

（专利号：CN2022107243916）、

一种简支梁桥的波纹钢拱式加固结构（专利号：CN2021230938897）、

简支梁桥的波纹钢拱式加固结构及其加固方法（专利号：CN2021115060217）、

一种简支梁桥加固结构（专利号：CN2021227442542）、

一种简支梁桥的波纹钢加固体系（专利号：CN2021227460080）、

简支梁桥加固结构及其加固方法（专利号：CN2021113293119）

8 贯彻本标准的要求和措施建议

本标准规定的试验以及精度控制等要求，均以国内实际工程为背景进行过论证且可实施，故要求严格执行。

本标准规定的技术要求均以国内实际工程为背景进行过论证且

可实施，建议贯彻实施中进一步总结经验、收集相关实践数据。

本标准起草过程中，得到了长安大学以及西安世纪金属结构有限公司的大力支持、指导和帮助，在此深表谢意！

编制单位：陕西省交通规划设计研究院有限公司

2025 年 01 月 06 日