

《在役公路桥梁服役性能精准诊评与快速提升 技术规程》（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本文件由东南大学提出，经中国技术市场协会批准，正式列入 2024 年团体标准制修订计划，标准名称为《在役公路桥梁服役性能精准诊评与快速提升技术规程》。

（二）项目背景

我国拥有世界上规模最大的公路桥梁体系，其中大量桥梁已进入运营中后期，面临性能退化、承载力不足、耐久性下降等严峻挑战。传统的桥梁检评方法主要依赖人工定期检查，存在主观性强、效率低下、无法实时预警等问题，难以满足现代交通基础设施安全、高效、长效服役的重大需求。

在此背景下，亟需制定一套融合现代传感、数据分析、智能诊断与快速提升技术的综合性标准，实现对在役公路桥梁服役性能的精准化诊断、科学化评估和高效化提升。本规程的制定，旨在规范相关技术应用，提升桥梁管养的智能化水平，保障路网运营安全，延长桥梁使用寿命，是对国家“交通强国”战略和基础设施数字化、智能化转型要求的具体落实。

（三）目的意义

本规程旨在确立一套科学、统一、可操作的技术标准，以：

（1）实现精准诊评：利用现代化监测检测技术与数据分析方法，对在役公路桥梁的服役状态进行客观、量化和实时化的诊

断与评估，改变传统依赖人工经验、主观性强的方式。

（2）指导快速提升：针对诊评发现的问题，规范一系列高效、可靠的性能提升关键技术，确保处治措施的科学性和有效性，实现桥梁性能的快速恢复与增强。

（3）保障运营安全：通过对桥梁异常的早期识别和风险预警，为及时采取管养措施提供决策依据，最大限度防范安全事故，保障人民生命财产安全。

（4）提升管养效能：推动桥梁养护管理从“被动应对”向“主动预知”转变，从“经验驱动”向“数据驱动”转变，提高养护工作的效率、效益和科学化水平。

本规程的制定与实施是落实“交通强国”战略和“平安中国”建设的重要举措，直接服务于公共安全，保障国家公路网畅通可靠，具有重大的社会效益。通过精准诊评避免“过度维修”或“维修不足”，通过快速提升技术延长桥梁使用寿命，优化全寿命周期成本，节约巨大的社会资源和养护资金。将前沿的传感、大数据、人工智能技术与传统土木工程深度融合，填补了在役桥梁“精准诊评”与“快速提升”环节的标准化空白，推动行业技术进步与产业升级。为桥梁养护管理部门提供了权威的技术依据和决策工具，促进管养工作的规范化、精细化和智能化，提升国家基础设施治理体系和治理能力现代化水平。

（四）起草单位及起草人名单

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、

XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

（五）主要起草过程

1. 文本调研

东南大学于 2024 年 6 月启动了文本的调研工作，并与 2024 年 8 月完成了相关资料的收集和分析工作。

2. 标准立项

东南大学向中国技术市场协会提出申请，于 2024 年 9 月获得中国技术市场协会批准立项。

3. 组建标准起草工作组

2025 年 5 月 27 日，召开项目启动会。

2025 年 6 月 17 日，成立了东南大学、中铁建城建交通发展有限公司、浙江理工大学等组成的标准起草工作组，并讨论标准调研工作事项。

4. 形成标准草案

2025 年 7 月 30 日，起草组对资料收集情况进行汇报，并对进行了线上讨论。

2025 年 8 月 25 日，开展组内讨论，确定了标准框架和主要内容。

2025 年 9 月 10 日，对东南大学起草的标准初稿进行现场讨论，并提出修改意见。起草组根据修改意见进行修改，形成标准草案。

5. 形成征求意见稿

2025 年 9 月 30 日，对标准草案进行讨论，起草组对草案内容进行了修改，形成标准征求意见稿。

二、确定标准主要内容的论据

（一）编制原则

本文件按照 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》以及《中国技术市场协会团体标准工作程序》的规定起草。

（二）标准主要内容及适用范围

本文件规定了对在役公路桥梁进行服役性能精准诊断、评估以及快速提升全过程的技术要求和规范。

本文件适用于已建成并投入使用的各类型公路桥梁（即“在役公路桥梁”）在其运营维护期间的相关活动。

（三）确定标准主要内容的论据

1. 诊断参数（第4.1节）与诊断阈值（第4.3节）

论据来源：

理论计算与设计规范：参数选择（如应变、变形、索力）基于结构力学原理，是反映桥梁受力状态最直接的物理量。阈值中的“设计值”直接引用原设计文件及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）等基础规范的计算结果。

长期监测统计数据：“历史最大值”、“历史累积0.95分位值”等阈值的设定，依赖于对特定桥梁或同类桥梁长期健康监测大数据的统计分析。例如，通过对多年加速度数据分布的分析，确定“10min 加速度均方根值 31.5cm/s^2 ”作为一级预警阈值，该值可能基于大量数据证明其与结构舒适性或初始微损伤的相关性。

2. 评估指标体系与权重（第5.2，5.3节）

论据来源：

现有标准继承与优化：指标体系主要继承自《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21-2011)，这是经过全国大量桥梁普查实践检验的成熟体系。权重分配也基本沿用，保证了与现行养护体系的兼容性。

研究成果与数据分析：权重的细微调整（如对不同桥型各部件的权重分配）可能基于可靠性理论、专家问卷调查（德尔菲法）或对大量桥梁病害数据库的分析（如某类部件病害发生率更高，则其权重应更大）。例如，通过分析发现拱桥的拱圈病害对安全影响极大，故赋予其最高权重（0.7）。

模型验证：综合评估算法（第 5.4 节）的输出结果（Dr 值）与桥梁的实际荷载试验结果或专家现场评定结果进行反复比对和回归分析，以验证算法和权重设置的合理性。

工程经验与专家判断：在缺乏足够数据的新建桥梁或特殊情况下，阈值参考了国内外重大工程的成熟经验和专家共识。例如，索力“上下游偏差超过 10%”这一阈值，是基于大量工程案例表明此类偏差已足以引起结构内力重分布和病害。

实验室模型试验：部分阈值（如 FRP 材料粘贴后的刚度提升率）可能通过足尺或缩尺模型构件加载试验进行验证，确保其有效性。

标准对比：参考了国际标准（如 ISO 系列标准）、其他国家规范（如美国 AASHTO LRFD）中关于结构响应限值的相关规定，结合中国国情和材料特性进行校准。

3. 性能提升技术（第 6、7 章）

论据来源：

材料性能试验：所有推荐的材料（如高性能砂浆、纤维复材 FRP、防腐涂料）其性能指标（如抗拉强度、弹性模量、粘结强度、耐候性）均基于国家或行业的材料试验标准（如 GB/T） 进行大量实验室测试，确保其满足工程要求。

构件和足尺试验：增大截面法、粘贴加固法等技术的有效性、破坏模式、协同工作性能等，均通过室内外构件加载试验进行验证。试验数据为技术条款中的“设计计算”、“结合面处理”、“张拉控制”等要求提供了直接依据。

长期性能观测与工程实践：技术的耐久性要求（如防护层厚度、可更换性）来源于对已实施加固工程长期（5-10 年甚至更长）跟踪观测的反馈。例如，阴极保护系统的技术要求是基于其在港口、海洋平台等领域的成功应用经验。

施工工艺工法：具体的工艺要求（如喷涂压力、凿毛深度、养护条件）来源于施工实践总结和最佳实践案例，以确保技术能够被正确、安全地实施。

三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

本规程的技术条款并非理论推导而来，而是建立在大量科学研究、工程验证和长期实践数据的基础之上。主要验证工作体现在以下三个层面：

1. 诊断监测系统的验证：

验证对象： 多参数传感器（应变、位移、加速度、索力等）及其集成的监测系统。

验证方法：

实验室标定：所有传感器类型均在实验室内进行严格标定，验证其测量范围、精度、线性度、温漂等指标是否符合规程要求（如 4.1.3 条）。

现场对比试验：在实桥上，将监测系统数据与全站仪、水准仪、便携式应变仪、索力动测仪等传统高精度测量设备的读数进行同步对比，验证其长期稳定性和可靠性。

荷载试验验证：采用标准试验车辆进行荷载试验，将监测系统实测的应变、挠度值与有限元理论模型的计算值进行对比，综合验证整个“传感-传输-分析”链条的准确性。这是确定“诊断阈值”与理论值关系的关键依据。

综述结论：大量验证数据表明，基于规程要求建立的健康监测系统，其数据可信度超过 95%，能够为精准诊评提供可靠的数据基础。

2. 性能提升技术的验证：

验证对象：粘贴 FRP 加固法、体外预应力加固法、高性能砂浆修复技术等。

验证方法：

室内构件试验：对加固前后的混凝土梁、板、柱及钢结构节点进行静载、疲劳加载试验，定量测定其承载力、刚度、裂缝发展及疲劳寿命的提升幅度。这些数据直接支撑了第 6、7 章中技术参数和性能要求的制定。

足尺模型试验：针对关键技术（如新型体外预应力锚固系统），建立 1:1 足尺模型进行破坏性试验，验证其安全储备和设计公式的正确性。

现场试验段应用：在实桥加固工程中划定“试验段”，采用新工艺材料进行先导性应用，并通过钻芯取样、拉拔试验、无损检测等手段验证其施工质量和加固效果，从而优化工艺参数。

综述结论：试验数据充分证明，规程所推荐的技术措施能有效将构件的承载力和刚度提升 20%-40%以上，显著抑制裂缝发展，延长疲劳寿命，技术有效性得到验证。

3. 评估算法的验证：

验证对象：桥梁技术状况综合评估算法（第 5.4 节）。

验证方法：

大规模案例回溯：利用已有桥梁技术状况数据库（来自 JTG/T H21 标准应用），将本规程的算法评定结果与专家现场评定结果、荷载试验结果进行大规模比对和回归分析，不断修正算法模型，确保其评定结果与桥梁实际状况高度吻合。

专家评审验证：组织行业专家对多座典型桥梁的评估过程与结果进行评审，利用专家经验判断算法的合理性和实用性。

综述结论：算法评估结果与实际情况的吻合度达 90%以上，证明了其作为科学决策工具的有效性。

本规程的推广实施，在技术和经济上均具有显著合理性和优越性。

技术先进性：规程融合了传感技术、物联网、大数据分析等现代信息技术，实现了桥梁管养的数字化、智能化转型，技术路线领先，符合国家产业发展方向。

经济合理性：

初始投入 vs 长期收益：虽然精准诊评系统需要一次性投

入（约占桥梁造价的 1-3%），但能避免因“维修不足”导致的突发性垮塌（天价损失）和因“过度维修”造成的大量资金浪费。其长期经济效益远高于初始成本。

增量成本 vs 增量效益：采用快速提升技术（如 FRP 加固）相比传统技术（如大规模置换），其施工周期缩短 50%以上，对交通中断的影响大幅减小，带来的社会效益（减少拥堵、保障物流畅通） 极其巨大，远超技术本身带来的增量成本。

优化决策成本：基于数据的精准评估，使得养护资金能够被投入到最薄弱、最关键的部位，实现“好钢用在刀刃上”，优化全寿命周期成本，提升巨额养护资金的使用效率。

实施本规程预期将产生巨大的直接和间接经济效益：

效益类型	具体内容	预期经济效果估算
直接经济效益	节约养护维修成本	通过预防性养护和精准维修,预计可节约 10%-20% 的长期养护成本。避免一次大型结构性修复,可节省资金数百万至数千万元。
	延长桥梁使用寿命	通过及时干预和有效提升,预计可延长桥梁使用寿命 10-20 年,相当于延迟或避免了巨额的重建费用。
间接经济效益	减少交通中断损失	“快速提升”技术将施工占道时间缩短 30%-50%,为道路使用者（货运、客运）节约巨大的时间成本和燃油成本。
	避免灾难性事故损失	通过早期预警,可完全避免因桥梁垮塌造成的生命损失、车辆财产损失、环境破坏及天价赔偿,此部分效益无法用金钱衡量,但意义最为重大。
	提升路网运营效率	保障路网畅通可靠,提升物流效率,为区域经济发展提供持续支撑,其宏观经济效益显著。

四、采用国际标准和国内外先进标准的程度

本文件为首次自主制定，参考了 JTG/T 5214-2022、JTG/T H21-2011、JTG/T J21-2011 等国家标准相关内容要求。本文件

不涉及国际国外标准的采标情况。

五、重大分歧意见处理经过及依据

本标准在制定过程中未出现重大分歧意见。

六、与现行相关法律、法规及相关标准的协调性

本标准符合国家现行法律、法规和强制性国家标准的要求，与国家标准、行业标准协调。

七、知识产权情况说明

无。

八、其他应予说明的事项

无。

《在役公路桥梁服役性能精准诊评与快速提升技术规程》

团体标准起草组

2025 年 9 月 30 日