

《中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术规程》

山东省地方标准编制说明 (报批稿)

一、工作简况

(一) 任务来源

本标准任务来源是根据山东省市场监督管理局《山东省市场监督管理局关于印发《港口装卸服务规范 第1部分：集装箱等》第二批地方标准计划项目的通知》（鲁市监标函【2024】166号）。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施，由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

(二) 起草单位、主要起草人及任务分工

1. 主要起草单位

山东高速集团有限公司、山东高速集团有限公司创新研究院、山东高速工程检测有限公司、山东高速基础设施建设有限公司、同济大学、长安大学、交通运输部公路科学研究院、临沂公路事业发展中心。

2. 主要起草人

张文武、辛公锋、王珊珊、徐传昶、龙关旭、王阳春、尚志强、马乃轩、张宁、马川义、胡超、张豪、孙利民、夏烨、韩万水、王涛、韦韩、邵珠峰、朱晨辉、李福如、曹明喜、郑晨、徐昕、王能威、付文博、高欣凯、武略、陈相因、刘星雨、李颖。

3. 任务分工

张文武：标准起草负责人，执笔编写标准。组织标准起草工作，把握标准制定技术方向，组织协调标准制定所需资源。

辛公锋、王珊珊：标准起草负责人，组织确定标准制定方案，组织推进标准制定程序和进度，组织协调标准制定所需资源。

徐传昶、龙关旭、尚志强、王阳春：组织讨论确定标准框架、编写思路，组织起草组人员讨论确定标准化对象需要规范的技术要素。

马乃轩、张宁、马川义、孙利民、夏烨、韩万水、王涛、韦韩：参与标准调研、标准编写、标准讨论。

邵珠峰、朱晨辉、李福如、曹明喜、郑晨、徐昕、王能威、付文博、高欣凯、武略、陈相因、刘星雨、李颖：协助整理标准相关技术文档，参与办理征求意见，办理标准研讨会、标准专家审查会等具体事务等。

（三）起草过程

1. 前期准备

标准计划下达后，在山东省交通运输厅标准化秘书处的指导下，于2024年10月成立了标准起草组，起草组讨论了工作进度安排、任务分工及标准的初步思路，正式启动标准制定工作。

2. 现状调研

编写组立足于实际工程项目，广泛调研，通过理论研究

和工程实际应用相结合，明确了中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术细节、实施流程等技术要求。具体工作时间如下：

2024 年 10 月至 2024 年 12 月，进行现场调研、查阅资料、期刊、论文、相关国内外规范，收集中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术研究现状及成果资料。

2025 年 01 月至 2025 年 07 月，针中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术的指标要求、研究现状、发展方向进行归纳、总结，为中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术规程初稿的撰写奠定了必要基础。

3. 标准编制

2025 年 07 月至 2025 年 9 月，经起草组经过多次内部讨论、相关方调研及专家意见征集等形式，完成标准初稿的编写工作，并召开初稿审查会。

2025 年 9 月至 2026 年 1 月按照初稿审查会专家意见，进一步明确了标准适用范围，并按照规程编制要求完善编制，并完善了编制说明，完成征求意见稿的编制工作并开始征求意见。

2026 年 2 月至 2026 年 3 月，向 37 个相关方进行了广泛的意见征求，共收到回函 37 份，有意见回函 27 份，共计意见 73 条，无意见回函 10 份。编制组对意见进行了逐条处理，采纳意见 60 条，部分采纳意见 2 条，未采纳意见 11 条，形成了详细的意见处理表和标准送审稿。

二、 地方标准制定的目的和意义

桥梁结构作为交通运输中控制性工程，一旦出现安全事

故，除造成人员伤害，更会引起交通运输通道的堵塞和瘫痪，给交通运输和国民经济平稳运营造成难以估量的损失和社会影响。据统计，目前山东省公路桥梁总数约 3.5 万座，资产总数居全国前列。其中，中小跨径桥梁占比达 85%以上，具有量大面广的区域分布特征，这些桥梁所处环境复杂多样，且随着运营年限的增加，大批老旧桥梁的结构受损和退化趋于显著；同时，山东桥梁实际运营荷载不断提高，车重、车流量不断加大，桥梁安全隐患也与日俱增。为及时消除安全隐患、保障桥梁结构的安全运营，有必要对桥梁的服役性能开展全面、有效、准确的测试、评估，由此指导对问题桥梁开展针对性的养护、维修或加固。

目前现行的行业规范，对中小跨径桥梁的检测评估结果受检测人员经验的影响具有较强的主观性，且主要考虑了结构的表观病害情况，并不能满足对结构力学性能准确判断的需求。随着信息技术、传感技术等领域的发展，在国务院《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》、交通部《公路长大桥梁结构健康监测系统建设实施方案》等政策的持续推动下，结构健康监测被越来越多的应用于桥梁养护工作中，成为桥梁结构性能评估的一个重要手段，并形成了《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）等规范标准。虽然如此，既有规范标准大多面向长大跨径桥梁，并未对中小跨径桥梁监测工作的实施提出针对性的规定或要求。由于中小跨径桥梁在监测成本限制、传感器选型、监测指标、评估预警方法等方面均与长大跨桥梁有所不同，相应监测规范、标准的缺失将对中小跨径桥梁监测工作的实施、应用造成显著

不利影响。此外，既有规范以健康度作为评价指标，侧重对桥梁整体性能的评价，并不能用以对桥梁部件、构件层面的服役性能进行判断，并且由于传感器布置的稀疏性，监测系统亦不能及时识别结构早期发生的微小损伤。可见，桥梁结构健康监测在当下的应用中还存在诸多不足，其单独应用并不能实现对桥梁服役性能全面、有效的评估。

统筹利用检测、监测数据开展桥梁结构服役性能评估将能够形成优势互补，提升桥梁服役性能评估的全面性、准确性和可信度，为后续结构病害成因分析、维修加固提供可靠依据。由此，检监测数据融合应用业已成为业内共识和行业的迫切需求。对此，交通部《“十四五”交通领域科技创新规划》、《“十四五”公路养护管理发展纲要》等政策文件也分别对检监测数据融合应用提出了要求。虽然如此，目前尚未有相关的规范标准可供参考，使得当下的桥梁评定业务流程中存在检测、监测数据相互割裂的情况，无法综合利用两种数据以提升桥梁养护水平。针对这一行业技术空白问题，有必要面向中小跨径桥梁制定检监测数据融合与评估技术规程，建立科学统一的标准，在进一步完善我国桥梁检测、监测标准体系的同时，亦将对提升桥梁管养水平发挥重要的指导作用。

三、 地方标准编制原则、主要技术内容和确定依据

（一） 标准的编制原则

本文件的编制是在总结国内中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术的基础上，并结合山东省中小跨径桥梁技术状况评定与桥梁健康监测建设及数据分析的情况，制定本标

准。本标准符合国家有关法律法规、强制性标准及相关政策要求。

本文件按照《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）的规定起草。

在编写过程中突出了以下五项编写原则：

（1）协调性原则。充分做好资料调研工作，做好与相关标准、规范的协调、衔接，保证本标准与《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）、《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）、《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21-2011）、《公路桥梁结构监测技术规范》（JTG/T 1037-2022）、《在用公路桥梁现场检测技术规程》（JTG/T 5214-2022）等相关标准统一性。

（2）可操作性原则。结合现省内已中小跨径桥梁技术状况评定及桥梁健康监测现状，起草的条文应明晰、规范，便于工程应用，规范内容应详细、明确，可操作性强。

（3）成熟性原则。标准在充分技术论证或试验验证的基础上，在实际工程中加以验证，确保标准制定内容依据充分，理论正确，验证可信，确保技术成熟性、可靠性。

（4）指标合理性原则。标准中的指标应具有明确的针对性、实用性和现实性。

（5）代表性和先进性原则。标准以我省中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术的实施现状为依据，参考国内其他标准、规范以及科研项目相关经验，确保标准内容据实可行，更好地指导我省中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术的应用与推广，进而有利于行业的持续发展。

（二） 标准编写的主要技术内容和确定依据

本文件共分为七个章节：范围、规范性引用文件、术语、融合与评估方法、数据采集、等级评定、融合评估等内容。

1. 范围

本章是说明本标准规定的中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术的内容和适用范围。

本文件确立了公路中小跨径桥梁检监测数据融合与评估的程序，规定了对象选择、指标确定、数据采集、等级评定和融合评估阶段的指示，以及上述阶段之间的转换条件，描述了数据处理、指标计算、报告编制等追溯方法。

本文件适用于单孔标准跨径小于等于 40 m 公路梁式桥的检监测数据融合与评估。

2. 规范性引用文件

本章是在标准制订过程中规范性引用现有国家标准、行业标准及团体标准。主要从三个层面考虑，第一个层面是吻合国家现有相关标准，充分利用现有国家标准的基础；第二个层面是充分结合山东省现有地方标准的要求，与山东省地方特色保持一致；第三个层面是充分借鉴国内相关先进经验。基于以上三个层面和标准文本中涉及的有关标准内容，其中共规范性引用行业标准 6 项。

3. 术语

本章节是标准使用者准确理解和实施标准的前提条件。为了便于标准使用者理解，对中小跨径桥梁检监测数据融合与评估技术规程中涉及的“检监测数据融合与评估”、“构件监测指标”和“总体监测指标”3 个术语进行了界定，给

出了本标准中明确定义。

4. 程序确立

(1) 主要技术内容

本章节明确了数据融合与评估工作一般程序。

(2) 建设原则依据

4.1 本条明确了中小跨径桥梁检监测数据融合与评估工作的一般程序。

按照对象选择、指标确定、数据采集、等级评定、融合评估和报告编制的顺序进行，即可完成中小跨径桥梁检监测数据融合与评估工作。

其中，由于数据融合包括数据级、特征级和决策级三个层级的融合，本规程中，数据级融合体现在等级评定时，裂缝监测数据可直接将检测数据进行更新，用以进行裂缝检测指标评定；特征级融合体现在，在检测指标技术状况评定与监测指标健康度评定过程中，需根据本规程中的相关规定，以及桥梁自身情况、检监测情况，选取合适的的数据源计算指标，并在后续计算过程中通过指标评定结果进行融合计算；决策级融合体现在，在上述过程中，除了构件指标的评定，还计算了总体检测、监测指标的分数并进行了加权融合计算。

5. 对象选取

(1) 主要技术内容

本章节结合相关规范，明确了选取进行检监测数据融合与评估桥梁的方法。

(2) 关键技术指标依据

5.1 本条说明了哪些桥梁可以选取。

本条综合了《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）、《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01-2015）、《公路桥梁结构监测技术规范》（JTG/T 1037-2022）等规范中需特别注意的桥梁，结合桥梁群轻量化监测等交通部试点项目经验，列出了需要进一步明确力学性能的特殊桥梁。

5.2 本条说明了对象选取的工作内容。

通过监测、检测报告等资料，分析桥梁是否需要进一步确定其力学性能，从而确定评估对象，并规范搜集相关资料。

由于中小跨径桥梁的监测系统在实际工作一般不会在全桥进行布设，而是根据病害情况、风险等级等，在一跨或者多跨上进行布设，由于监测数据融合的目标是更为准确地确定桥梁的使用性能，其评估对象应为具有相对独立的力学性能和使用功能的单元，因此需要对融合评估工作的对象进行规定。

从桥梁的结构形式来看，山东省中小跨径桥梁主要有简支梁桥、连续梁桥与拱桥三种，从材料类型来看，主要有混凝土梁桥和钢梁桥两种，从上部结构形式来看，主要有实心板梁桥、空心板梁桥、小箱梁桥、大箱梁桥、T梁桥等，除此之外，还可以从下部结构形式、基础类型、跨越功能等多个方面进行划分，但根据工作目标，依据结构形式进行划分是最为简洁与准确的划分方式。

对于简支梁桥来说，每一跨都是单独的受力系统，因此只对安装监测系统的桥跨进行融合评估，对于连续梁桥来说，则是一联。中小跨径桥梁健康监测系统一般在多跨桥梁的最不利跨进行布置，具有代表性。

6. 指标确定

(1) 主要技术内容

本章节结合相关规范、论文及现场实施经验，明确了选取进行检测数据融合与评估桥梁的方法。

(2) 关键技术指标依据

6.1 本条说明了检测指标确定的工作内容。

6.2 本条说明了如何确定具体的监测指标。

根据不同的桥梁风险分类，需要针对性设置构件监测指标，保证评估结果有效性的同时，避免资源浪费，对于自振频率和冲击系数，是行业内使用最广泛的桥梁整体振动特性指标，因此对于所有进行融合评估的桥梁，都需要进行评定。

7. 数据采集

(1) 主要技术内容

本章节明确了检测、监测数据采集的标准。

(2) 关键技术指标依据

7.1 本条说明了检测数据的采集方法。

按照相关规范采集的检测数据与编制的检测报告是可靠的，因此数据可以直接使用，但超出定期检查周期的检测相关数据滞后性过大，难以反映桥梁当前的状态，因此需要重新采集。

7.2 本条说明了监测数据的采集方法。

为确保数据的有效性，需要对监测系统的相关指标进行充分的检查，对于安装了大量传感器的桥梁，为减少数据采集、处理的工作量，仅采集后续分级评定中所需要的数据即可。同时，一个月的数据量，能够保证后续计算中有足够的

工况，同时也符合 JTG/T 1037-2022 中对于超限等级评定的要求。

7.3 本条规定了中性轴指标监测传感器的要求。

对于中性轴特征的计算，需要对传感器的安装位置和采样频率进行规定，以保证特征计算的准确性。其中，“Xia Y , Lei X , Wang P ,et al.Long-term performance monitoring and assessment of concrete beam bridges using neutral axis indicator[J].Structural Control and Health Monitoring, 2020”中指出，为提升中性轴指标计算精度，应变传感器应尽可能远离截面中性轴布设，且优先选择跨中截面开展监测，该位置在车辆荷载作用下变形响应最大，可获得更优监测数据“信噪比”；结合《桥梁结构健康监测技术标准》SJG 148 - 2024 中“传感器布设时应远离截面理论中性轴位置，且同一侧布设的传感器应相互远离”的结论，同时考虑顶底板附近应力集中，根据实际工程经验，建议将腹板应变传感器布设在距顶板下缘及底板上缘 0.1 倍至 0.15 倍梁高范围，可兼顾测量精度与数据的稳定性。

7.4 本条规定了数据采集程序的转换条件。

8. 等级评定

（1）主要内容

本章节明确了前述各个指标的等级评定方法。

（2）关键技术指标依据

8.1 本条说明检测指标等级评定的方法。

对于检测报告中已经进行过相关评定的桥梁来说，无需再次耗费人力进行等级评定，直接采用相关结果即可。由于

本规程中的评估对象可能是孔或联，相应的评定结果并不完全一致，因此此类桥梁需要重新评定。

8.2 本条说明了监测指标评定、评分的方法。

同样，可以使用监测报告中的结果。如需处理数据，首先应该进行预处理，之后按照规范进行相应的算法处理。对于裂缝，一般监测其长时间状态下的宽度、开合情况等，是检测数据的有效补充，因此可以更新检测数据。

有限元模型是衡量桥梁力学性能状态的重要参考，因此需要准确建立。

8.3 本条规定了构件监测指标健康度的评定标准。

8.4 本条规定了中性轴指标健康度的评定方法。

考虑到一个主梁构件上可能有很多个中性轴监测截面，同时每个中性轴监测截面在监测周期内会产生不同车辆引起的多个计算值，因此参考《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21-2011）等相关规范中对于混凝土保护层厚度等类似指标的评定方法，计算中性轴指标特征值。

在桥梁监测中，一个梁构件上可能沿纵向设置了多个中性轴监测截面，假设 1 号梁设置三个截面，分别为 1 号截面、2 号截面与 3 号截面。

首先根据式 4 计算 N_{41} 、 N_{42} 、 N_{43} ，首先从特定时长的监测数据中，提取每一次过车响应，带入公式计算上述三个值，由于在一段监测期内，会存在多个过车响应，因此通过在此计算周期内的均值来代表中性轴位置。根据文献“夏烨, 王鹏, 孙利民. 基于中性轴指标的混凝土梁桥长期监测与性能评估[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2020, 48(5): 11.”

表明，过短的计算周期可能受制于样本数量从而导致缺乏代表性，过长的计算周期中存在较多的异常数据干扰因而不确定性增大，故选取一周作为计算周期，一周内的中性轴位置的均值基本稳定，同时，方差表现的较为稳定。

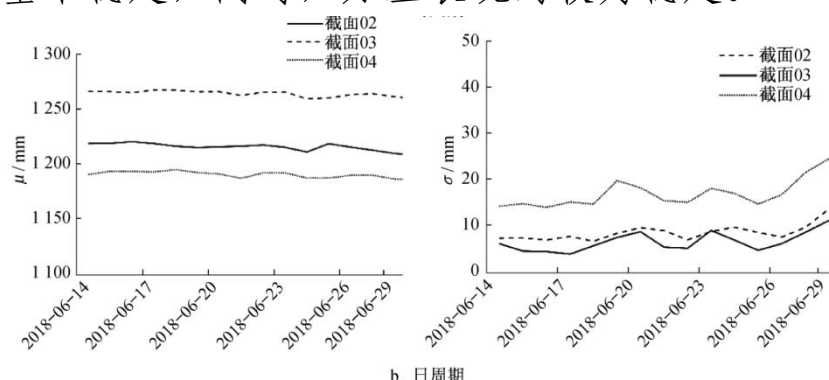


图 1 中性轴长周期计算结果

之后对三个截面的 NA_{11} 、 NA_{12} 、 NA_{13} 值进行平均，得到中性轴标准值 NA_{1e} 。

根据 “[1] Ye X , Peng W , Limin S .Neutral Axis-Based Health Monitoring and Condition Assessment Techniques for Concrete Box Girder Bridges[J].International Journal of Structural Stability and Dynamics, 2018:1940015-.DOI:10.1142/S0219455419400157.” 文献所述：对于普通钢筋混凝土梁，主梁在弹性阶段，中性轴不随荷载变化而变化，考虑到一定的冗余量；在混凝土进入拉应力阶段并出现裂缝时，中性轴会发生较为剧烈的变化，代表受压区混凝土发生较快的缩减，对于普通钢筋混凝土主梁，梁底带裂缝工作是相对正常的；当梁底裂缝进一步扩展时，中性轴位置升高幅度放缓，此时对应的是受压区混凝土强化的过程，此时中性轴位置的升高同步伴随裂缝的开展。通过以上计算模拟与实验，确定中性轴指标健康度分级标准。

对于预应力钢筋混凝土梁，其中性轴的变化模式有所不同，由于预应力钢筋对主梁施加了预压应力，所以在普通钢筋混凝土梁出现裂缝，中性轴位置变化的阶段，预应力钢筋混凝土梁的中性轴并不会发生变化；随着所承受荷载进一步增加，主梁受压区混凝土进入强化阶段，对比普通钢筋混凝土梁，此时梁并不会出现裂缝，而是随着荷载的增加扩大受压区混凝土面积，因此表现为中性轴位置的下降；当荷载进一步增大，受拉区混凝土开裂时，此时跟普通钢筋混凝土主梁相同，表现为中性轴位置上升，受压区缩减；后续变化预应力钢筋混凝土梁与普通钢筋混凝土梁的变化趋势一致，但变化幅度较小。

综上，在线弹性阶段，中性轴位置趋于保持恒定，而对混凝土开裂和强化等非线性行为响应迅速且显著，两者对 NA 的影响具有可区分性。开裂对中性轴的影响程度强于强化。

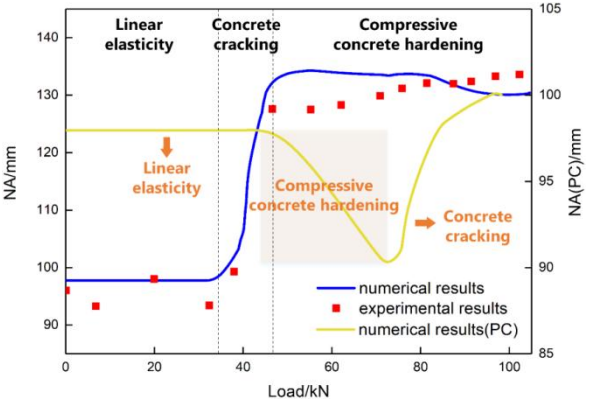


图 2 有限元模拟中性轴在开裂过程中的变化

8.5 本条给出了自振频率指标的健康度评分标准。

由于自振频率与桥梁结构的整体刚度有较为明显的相关关系，因此可以通过线性内插的方式为自振频率健康度进行赋分，参照《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T

J21-2011) 中对于自振频率参数的等级评定标准, 按照计算频率与理论频率的比值进行赋分。

8.6 本条给出了冲击系数指标的健康度评分标准。

冲击系数能够反映桥梁结构本身的动力特性、桥面平整度、桥头及伸缩缝沉降变形等因素, 在《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015) 中, 将基频作为冲击系数的计算依据, 国外的规范, 例如美国 AASHO 规范, 则将跨径作为冲击系数的变量; 相关论文研究表明, 桥面平整度、桥梁结构形式对冲击系数均有较为明显的影响, 以上说明冲击系数能够较为全面的反映桥梁结构的整体状况。

根据国内外相关论文研究, 冲击系数的现场实测受到行驶车辆速度、车辆数量、桥面不平整度、数据分析技术等因素的影响, 本规程中引用《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01) 中的测试方法, 基本排除了车辆行驶状态、车辆数据量与数据分析技术的影响。进一步参考“邓露, 陈雅仙, 韩万水, 等. 中小跨径公路混凝土简支梁桥冲击系数研究及建议取值[J]. 中国公路学报, 2020, 33(01): 69-78. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2020.01.007.”等文献, 路面不平整度对冲击系数的影响明显, 在路面不平整度好、很好时, 不同基频的桥梁的冲击系数与规范取值的比值在 0.5 以下, 随着桥面平整度的下降, 计算冲击系数与规范取值的比值逐步变大至 2 以上, 论文中建议的设计冲击系数取值为 0.2。

根据“吴君. 移动荷载作用下桥梁冲击系数统计分析[D]. 西安: 长安大学, 2024.”等论文的相关现场实测数据, 90% 以上的实测冲击系数在 04 规范的计算曲线以内, 最大的实

测值/设计值的数值为 1.3。

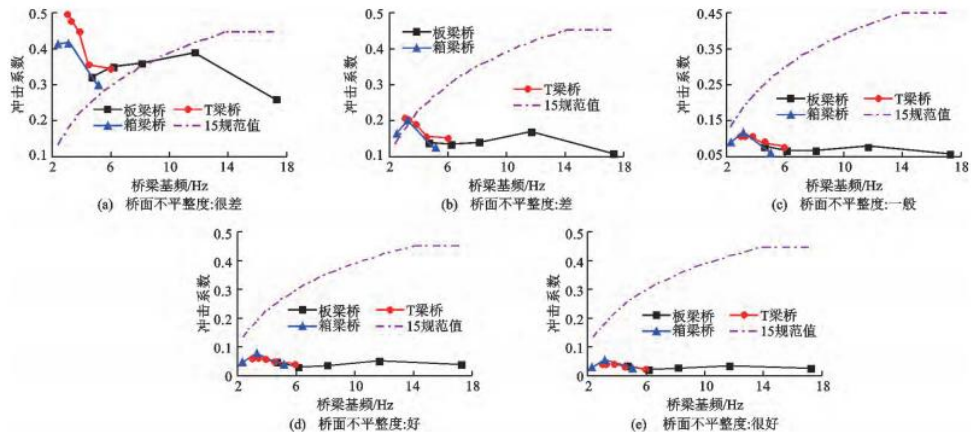


图 6 桥面不平整度对 IM 的影响

图 3 桥面不平整度对冲击系数的影响

9. 融合评估

(1) 主要技术内容

本章节明确了融合评估的计算及桥梁技术状况分类方法。

(2) 关键技术指标依据

9.1 本条说明了融合计算与评估的工作流程。

9.2 本条规定了 5 类桥的单项控制指标。

中性轴 5 类桥的限制规则主要来源于压溃实验，实验表明在梁破坏前，其中性轴也不会上升超过 25%。基频的 5 类桥限制规则来源于《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21-2011）上部结构 5 类标度的评定标准。

9.3 本条规定了构件技术状况评分计算的方法。

不同类型构件的评定指标，对于同一项目既有检测指标又有监测指标的情况，选取高的评定等级的指标，是从最不利角度出发。

9.4 本条规定了桥梁总体的技术状况评分的计算方法。

监测总体指标的权重一方面来源于专家调查，另一方面通过对比验证法保证了结果的合理性。

首先，对于整体评价桥梁性能状态的监测指标，主要有基频、冲击系数、阻尼比、振型等指标，在 JTG/T-1037 中，主要提及了频率变化，而在 JTG/T J21-01 中，主要使用了基频、冲击系数、阻尼比三个指标。在相关研究中，阻尼比在中小跨径桥梁中的统计规律尚没有丰富的数据支撑，因此本规程中选择了基频和冲击系数两个总体监测指标。

其次，对于总体监测指标的融合权重，本规程进行了专家调查，并对专家的打分的一致性进行了分析。

表 1 专家打分表

融合权重	检测权重	监测权重	基频	冲击系数
检测权重	1	打分	/	/
监测权重	打分	1	/	/
基频	/	/	1	打分
冲击系数	/	/	打分	1

表 2 专家打分一致性分析（前 5 位专家）

	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5
专家 1	1	0.9906	0.9889	0.8964	0.9959
专家 2	/	1	0.9993	0.9047	0.9933
专家 3	/	/	1	0.8826	0.9959
专家 4	/	/	/	1	0.8620
专家 5	/	/	/	/	1

通过计算分析所有专家打分最终得到检测指标占比 0.86，两项总体监测指标占比为 0.14，自振频率和冲击系数分别占比 0.11 和 0.03。

本规程中上部结构主要构件的占比为 0.248，桥墩、桥台的合计占比为 0.2064，均大于 0.14，同时在极端情况下，当两种指标均评为 0 分或满分，桥梁总体评分变化最大为 14

分，也不会出现评定等级的大幅变化，可以认为是原有检测方法的补充。

最后，通过多个桥梁的实际计算结果，证明此权重既能够有效反映桥梁的力学性能，又不会因为单个指标的加入，使评估结果失真。

10. 报告编制

（1）主要技术内容

本章节明确了报告编制的方法。

（2）关键技术指标依据

10.1 至 10.8 条说明了评估报告编制的基本格式和主要内容。

附录 A

（1）主要技术内容

本章节提供了车辆过桥工况提取的追溯方法。

（2）关键技术指标依据

A.2 中所使用的方法均为行业内通用的数据处理方法，其鲁棒性和有效性能够得到保证。

附录 B

（1）主要技术内容

本章节提供了中性轴指标计算的追溯方法。

（2）关键技术指标依据

B.1 车辆经过桥梁时，应变测量值由“动力响应”和“静力响应”两部分组成，在计算中性轴时取“静力响应”部分进行计算将获取更高的精度与稳定性，而合理地提取“静力响应”部分则需要较高的采样频率。

需要注意的是，传感器的采样频率对于静力响应的提取有一定程度的影响，过低的采样频率容易导致数据失真，因此规定采样频率为 20Hz。

附录 C 说明了报告中重要表格的编制参考。

四、 试验验证的分析、综述报告，预期的经济、社会和生态效益

（一） 试验验证的分析、综述报告

本规程中的方法在多座混凝土梁式桥上进行了应用，按照本规程所规定的评估程序得到的评估结果，与专家分析结论基本一致，说明本规程能够完整、有效地进行中小跨径公路桥梁的检监测数据融合与评估工作。以下以某预应力混凝土小箱梁连续梁桥为例进行检监测数据融合与评估工作程序。

1. 对象选取

桥梁跨径组合为 $(3*20)m + (3*20)m$ ，本桥仅在第一跨上安装了监测系统，监测项目包括主梁振动、主梁动挠度、主梁应变等，并且为连续梁桥，因此检监测数据融合评估工作的对象为桥梁第一联。

搜集相关资料，获取桥梁的最新一期定期检测报告及健康监测报告。

2. 指标确定

结合本例桥梁的监测情况，本桥的检测指标按照定期检测报告中的项目确定，构件监测指标包括横截面中性轴、主梁跨中竖向位移、主梁应变，整体监测指标包括自振频率和冲击系数。

3. 数据采集

检测报告及监测报告中的数据符合本规程要求，因此直接采用其中的数据。

4. 分级评定

4.1 检测指标分级评定

在获取桥梁定期检测报告后，所计算的为全桥的等级评定，本例中的工作对象为桥梁的第一联，应根据检测报告中的信息重新针对第一联进行检测技术状况评定。

表 3 桥梁定期检测整体结果

部位	部件序号	评价部件	权重	部件技术状况		技术状况	
				评分	等级	评分	等级
上部结构	1	上部承重构件(主梁、挂梁)	0.70	86.33	2类	87.71	2类
	2	上部一般构件(湿接缝、横隔板等)	0.18	84.87	2类		
	3	支座	0.12	100.00	1类		
下部结构	4	翼墙、耳墙	/	/	/	93.57	2类
	5	锥坡、护坡	/	/	/		
	6	桥墩	0.52	87.57	2类		
	7	桥台	/	/	/		
	8	墩台基础	0.48	100.00	1类		
	9	河床	/	/	/		
	10	调治构造物	/	/	/		
桥面系	11	桥面铺装	0.44	100.00	1类	95.83	1类
	12	伸缩缝装置	0.28	86.33	2类		2类
	13	人行道	/	84.87	2类		
	14	栏杆、护栏	0.11	100.00	1类		
	15	排水系统	0.11	/	/		2类
	16	照明、标志	0.06	/	/		
综合评定 分数	Dr=91.62	评定等级		2类			

4.2 监测指标分级评定

(1) 横截面中性轴指标分级评定

中性轴设计值为 60mm，通过规程所述方法求得第 33 跨梁中性轴指标如下：

表 4 中性轴指标评定表

梁号	1	2	3	4	5
中性轴位置 (mm)	64.55	63.18	63.89	62.57	65.21
健康度等级	1	1	1	2	1
扣分	0	0	0	35	0

(2) 自振频率指标评分

表 5 自振频率指标评定表

时间	振动方向	阶次	f_{di}	f_{mi}	f_{mi}/f_{di}	评定分数
监测期	竖向	1	2.60	3.50	1.34	100

通过计算监测期内实测值的平均值得到本周期内自振频率指标特征值，即 1.34；并通过与理论频率的比值得到 f_{mi}/f_{di} 大于 1.10，确定自振频率指标健康度评定分数为 100 分。

(3) 冲击系数评分

表 6 冲击系数指标评定表

时间	μ_{di}	μ_{mi}	μ_{mi}/μ_{di}	评定分数
监测期	0.15	0.147	0.98	94

通过计算试运行期实测特征值的平均值得到本周期内冲击系数指标特征值，即 0.147；并通过与理论频率的比值得到 μ_{mi}/μ_{di} 为 0.98，通过线性内插后确定冲击系数指标健康度评定分数为 94 分。

5. 融合评估

本桥梁无 JTG/T H21 中规定的 5 类桥梁技术状况单项控制指标，继续流程。

根据《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T1037-2022）中“表9 超限报警阈值设定表”，桥梁在监测内主梁跨中主梁跨中竖向位移（挠度）未发生超限，保留原检测评定指标等级。

根据检测技术状况评定中上部结构得分，加入中性轴指标后，计算得到评分为88.20，下部结构得分为92.27，桥面系得分为88.81。

监测的桥梁总体监测指标为桥梁自振频率及冲击系数，桥梁自振频率指标健康度评定分数为100分，桥梁冲击系数指标健康度评定分数为94分。故最终得分为： $Dr=88.20 \times 0.344+92.27 \times 0.344+88.81 \times 0.172+100 \times 0.110+94 \times 0.030=91.14$ 分。最终求得桥梁监测跨的监测数据融合总体技术状况评分为91.14分，融合评估技术状况等级为2类。按照技术状况评定标准得分为89.91，评定为2类。

6. 报告编制

按照规程中的相关规定，编制报告。

（二）预期的经济、社会和生态效益

《规范》实施后能够规范、科学、合理、有效地指导国内中小跨径桥梁技术状况评估，为行业内中小跨径桥梁检测、监测数据的融合与运用提供依据，通过多源信息融合的方法，将中小跨径桥梁的日常检查信息与健康监测数据进行采集、传输、综合、过滤、相关及合成，实现检测监测数据的优势互补，提升桥梁评估结论的合理性和可信度，为桥梁运营养护科学决策提供支撑，提升“预防性养护”占比，指导养护资金精准投入。

五、与现行相关法律、法规、规章和其他标准的关系

目前，现有桥梁健康监测技术规范包括《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）、《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB50982-2014）、《结构健康监测系统设计标准》（CECS333-2012）等，这些标准在适用性上主要针对于大跨度桥梁或结构特殊的其他桥梁结构。桥梁技术状况评定的规范包括《公路桥梁技术状况评定标准》（JT/T H21-2011）、《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JT/T J21-2011）等，这些标准主要从检测数据上对桥梁技术状况评定的方法和流程做出了规定。除此之外，中国工程建设标准化协会公路分会于2023年立项了团体标准《公路桥梁结构监测和检测数据融合与协同应用技术规程》，该规程对公路长大跨桥梁监测和检测数据融合与协同应用相关的信息模型创建与应用、桥梁健康度评估、应急响应与管养决策协同应用技术等进行了规定。

六、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本文件无重大分歧意见。

七、公平竞争审查结论

八、实施地方标准的要求，以及组织措施、技术措施、过度期和实施日期的建议等措施建议

建议过渡期是1个月。各工程单位是标准实施的主体，为确保其准确理解、掌握和执行标准，规范中小跨径桥梁检测监测数据融合与评估技术规程的实施，标准发布后将向标准实施主体进行推广和宣贯，推动标准的落地实施。预计此项

工作需要 1 个月的时间。

九、 涉及专利的有关说明

无。

十、 其他需要说明的内容

无。

提出单位：山东省交通运输厅

2026 年 8 月