

团 体 标 准

T/TMAC ×××—202X

冲击破坏桥梁下部结构应急抢险修复技术规范

Technical specification for emergency response and restoration of bridge substructures damaged by impact

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217 室

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

 4.1 应急抢险修复框架 2

 4.2 一般要求 2

5 应急检查与评价 3

 5.1 应急检查 3

 5.2 应急评价 4

6 修复方案设计 4

 6.1 临时性加固 4

 6.2 永久性修复 4

7 修复工程施工 5

 7.1 修复工程施工 5

 7.2 修复工程养护 5

8 修复效果评价 6

 8.1 评价方法与等级分类 6

 8.2 修复效率评价 6

 8.3 修复质量评价 6

 8.4 功能恢复评价 6

 8.5 评价等级 7

前 言

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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由交通运输部公路科学研究所提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

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

本文件主要起草人：XXX、XXX。

引 言

本文件涵盖了冲击破坏桥梁下部结构应急抢险修复的指导原则和技术措施,以确保在桥梁下部结构受到冲击破坏后能够迅速、有效地进行修复。对桥梁养护与应急抢修具有指导意义。

本文件包含冲击破坏桥梁下部结构应急抢险修复过程中的应急检查与评价、修复方案设计、修复工程施工、修复效果评价 4 部分,用于桥梁养护与应急抢修领域。

本文件的发布机构请注意,声明符合本文件时,可能涉及到第 4 章 4.2 条、第 6 章 6.2 条、第 8 章 8.1 条和 8.5 条中桥梁加固方案的适应性与可靠性分析方法(专利号:ZL 2021 1 1302546.9)相关专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下,就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下方式获得。

专利持有人姓名:交通运输部公路科学研究所

地址:北京市海淀区西土城路 8 号

邮箱: ly.zhang@rioh.cn

请注意除以上专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

冲击破坏桥梁下部结构应急抢险修复技术规范

1 范围

本文件规定了冲击破坏桥梁下部结构应急抢险修复的技术要求与实施规范，包括应急检查与评价、修复方案设计、修复工程施工、修复效果评价等。

本文件仅适用于冲击破坏桥梁下部结构的应急抢险修复，不适用于上部结构发生破坏时的应急抢险修复。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范
JTG/T J23 公路桥梁加固施工技术规范
JTG/T 3512 公路工程基桩检测技术规程
JTG/T 3360-02 公路桥梁抗撞设计规范
JTG 5120 公路桥涵养护规范
JT/T 988 桥梁结构加固修复用粘贴钢板结构胶
JT/T 989 桥梁结构加固修复用纤维粘结树脂
JT/T 990 桥梁混凝土裂缝压注胶和裂缝注浆料

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冲击破坏 impact damage

因地震、爆炸、泥石流、船舶漂浮物撞击和车辆碰撞等高强度瞬时作用，导致结构发生裂缝、变形、断裂等物理损伤的现象。

3.2

应急抢险修复 emergency response and restoration

在桥梁遭受冲击破坏后，为快速恢复通行能力、减少次生灾害影响，采取临时性加固与永久性修复相结合的技术措施的总称。

3.3

临时性加固 temporary reinforcement

在应急抢险阶段，实施的钢围带加固、临时支撑架等短期技术措施，旨在快速恢复桥梁基本功能并保障临时通行安全。

3.4

永久性修复 permanent repair

在临时加固基础上，通过基础补强、墩台置换等系统性技术措施，对受损结构进行永久性修复，确保其满足原设计安全标准与耐久性要求。

3.5

修复效果评价 restoration effectiveness assessment

通过定性分析与定量检测，评估修复后桥梁下部结构的承载能力、稳定性及耐久性恢复至原设计水

3.6

隐蔽缺陷 hidden defect

桥梁下部结构中发生的内部混凝土蜂窝、钢筋锈蚀、桩基空洞等肉眼不可直接观测的损伤，需借助无损检测技术方可识别。

4 基本规定

4.1 应急抢险修复框架

- 4.1.1 桥梁下部结构应急抢险修复应遵循“分级响应、分步实施”原则，包括临时性加固和永久性修复两部分，每部分采取不同类型的技术措施，以满足功能修复的需要。
- 4.1.2 桥梁下部结构应急抢险修复包括：应急检查与评价、修复方案设计、修复工程施工、修复效果评价 4 个部分，应急抢险修复示意图见图 1。

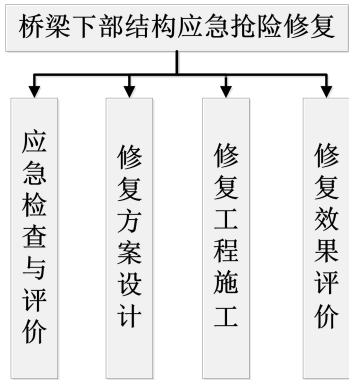


图1 桥梁下部结构应急抢险修复

4.2 一般要求

- 4.2.1 冲击破坏桥梁下部结构应急抢险修复应遵循以下总体原则：
- a) 修复工作需统筹结构安全性、耐久性、施工可行性及经济性，确保技术方案科学合理；
 - b) 根据冲击破坏等级（轻微、中度、严重）制定差异化修复策略，避免资源浪费。
- 4.2.2 应急检查与评价要求主要包括：
- a) 应急检查应提前收集桥梁设计图纸、施工记录、历次检测报告等资料；
 - b) 应急检查应结合桥梁类型及环境条件，编制应急检查方案，明确安全措施；
 - c) 应急检查以目测和简易测量仪器为主，必要时可采用全站仪、裂缝观测仪等设备；
 - d) 无法抵近桥梁结构时，可采用无人机搭载检测设备进行应急检查；
 - e) 应急检查报告应包含损伤位置、深度、范围及成因分析，为修复方案设计提供依据；
 - f) 应急检查完成后，应及时按照 5.2 进行应急评价。
- 4.2.3 修复方案设计要求主要包括：
- a) 修复方案设计的目标是将桥梁下部结构的承载力恢复至原设计水平；
 - b) 增设防撞设施的桥梁结构，抗撞等级满足要求；
 - c) 应分析修复方案的承载力提升率和费用与延长年限比，以评价修复方案的适应性和可靠性。
- 4.2.4 修复工程施工要求主要包括：
- a) 施工前应制定专项施工方案，明确安全警戒区、交通导改措施及应急预案；
 - b) 材料进场前需提供混凝土和砂浆的抗压强度、胶黏剂耐久性的质量检测报告；
 - c) 施工期间应实时监测结构变形，设置可靠的位移阈值，配备专职安全员；
 - d) 修复工程完工后，应进行承载能力试验；
 - e) 桩基加固等隐蔽工程应留存影像资料及检测记录；
 - f) 修复工程施工后 1 年内应每月检查一次，重点监测裂缝扩展及沉降量；

g) 季节性冰冻地区应采取防冻融保护，沿海地区需增加氯离子渗透检测。

4.2.5 修复效果评价要求如下：

- a) 修复效果评价应从修复效率、修复质量和功能修复等多个维度进行综合考量；
- b) 可采用承载能力提升率进行评价安全性，采用费用与延长年限比评价资源利用合理性；
- c) 结构性防船撞设施应符合 JTG/T 3360-02 的要求，必要时可通过碰撞模拟试验进行评价。

5 应急检查与评价

5.1 应急检查

- 5.1.1 冲击造成主梁偏移量不小于 10mm 时，需进行专项检测。
- 5.1.2 应根据现场勘察情况，初步判断冲击力对基础、墩台、支座的破坏程度。
- 5.1.3 现场勘察应详细记录桥梁下部结构宽度不小于 0.2mm 的裂缝、偏移量不小于 5mm 的变形、断裂等表观损伤。
- 5.1.4 桥墩裂缝检测可采用目测方法，必要时采用超声波探伤法，裂缝宽度不小于 0.2mm、深度不小于 20mm 应进行专门标注。
- 5.1.5 变形检测可采用目测方法；采用全站仪时，水平测量精度±1mm，倾斜度测量精度不大于 1%、沉降量测量精度不大于 2mm。
- 5.1.6 裂缝长度记录精度±10mm，宽度记录精度±0.05mm。
- 5.1.7 混凝土强度检测宜采用回弹法。
- 5.1.8 桩基完整性应采用低应变动力试桩法检测，桩基承载力应采用高应变动力试桩法检测。
- 5.1.9 墩台和支座应急检查应进行滑动、沉降、断裂等检查，具体检查指标和容许值见表 1。

表1 墩台和支座应急检查内容

检查内容	检查指标	允许值	检查方法
墩台滑动	墩台水平位移	≤5mm	目测/全站仪
墩台沉降	沉降量	≤3mm/年	目测/全站仪
墩台断裂	裂缝长度	≤200mm	目测/尺
墩台表观裂缝	裂缝长度	≤100mm	目测/尺
	错位量	≤5mm	目测/尺
	裂缝宽度	≤0.3mm	目测/超声法
混凝土强度	混凝土强度值	≥设计值	回弹法
伸缩装置	偏移量	≤5mm	目测/尺
	脱空高度	≤3mm	目测/尺

5.1.10 基础应急检查应进行表 2 中的检查。

表2 基础应急检查内容

检查内容	检查指标	允许值	检查方法
基础埋深	埋置深度	≥设计值	目测/探地雷达
冲刷	冲刷深度	≥设计值	目测/探地雷达
河床状况	基础周边砂砾流失量	≥1m³	目测/尺
桩基完整性	桩身缺陷长度	≤2m	动力试桩法
桩基承载力	承载力值	≥设计值	动力试桩法

5.2 应急评价

- 5.2.1 冲击破坏按照应急检查的结果，按照病害的严重程度，分为轻微破坏、中度破坏、严重破坏三个等级。
- 5.2.2 轻微破坏是指出现局部裂缝且裂缝宽度较小，墩台出现轻微位移，不影响整体稳定性。
- 5.2.3 中度破坏是指出现贯通裂缝且裂缝宽度适中，墩台出现局部基础掏空且掏空深度影响结构安全。
- 5.2.4 严重破坏是指出现结构断裂，墩台倾斜较大、基础掏空较深且影响结构安全。
- 5.2.5 冲击破坏成因分析需结合力学模拟（如有限元法），量化冲击能量与结构响应关系。
- 5.2.6 根据应急检查的裂缝、变形、断裂情况，按照如下公式计算损伤评分。

应急检查评分=
$$\frac{\text{不满足允许值的指标数量}}{\text{应检测的指标数量}} \dots\dots\dots (1)$$

5.2.7 应急检查损伤等级根据 5.2.6 的损伤评分，按照表 3 进行等级划分：

表3 应急检查损伤等级划分标准

检查内容	损伤评分划分标准
轻微破坏	[0.85 1.00]
中度破坏	[0.60 0.85)
严重破坏	[0 0.60)

6 修复方案设计

6.1 临时性加固

- 6.1.1 临时性加固宜采用 C40 及以上的早强速凝混凝土。
- 6.1.2 桥墩裂缝宽度不大于 5mm 时，可采用碳纤维布包裹；裂缝宽度大于 5mm 时，应采用钢围带加固。
- 6.1.3 墩台倾斜度不大于 1%时，可增设临时支撑架；倾斜度大于 1%时，应采用液压顶升纠偏。
- 6.1.4 基础掏空可临时填充速凝混凝土，同步设置沉降监测点。
- 6.1.5 临时性加固需在 24 小时内完成，并设置安全警示标识。

6.2 永久性修复

- 6.2.1 永久性修复的混凝土材料和保护层厚度应符合 GB/T 50476 的要求。
- 6.2.2 永久性修复方案的基本原则和设计程序应符合 JTG/T J22 的要求。
- 6.2.1 墩台永久性修复宜采用抗压强度不小于 60MPa 的环氧砂浆或混凝土。
- 6.2.2 基础采用微型桩加固的，直径应不大于 300mm，桩长应穿透软弱层进入持力层不小于 2m，垂直度偏差应不大于 1%。
- 6.2.3 扩大基础加固基础宽度增加量应不小于 30%，新旧混凝土界面采用植筋连接。
- 6.2.4 墩台裂缝应采用环氧树脂注浆（注浆压力不小于 0.5MPa）修复，注浆后裂缝闭合率不小于 90%。
- 6.2.5 墩台可采用预制混凝土节段（强度不小于 C50）进行置换，节段接缝应采用高强螺栓（抗剪强度不小于 400MPa）连接。
- 6.2.6 应从修复加固的安全性和效率性两个方面，分析修复加固方案的适应性和可靠性。
- 6.2.7 应采用承载力提升率评价修复加固方案的安全性，应采用费用与延长年限比评价修复加固方案的效率性。
- 6.2.8 承载力提升率按照如下公式计算：

$$P_u = \frac{P_a - P_b}{P_b} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

P_b ——加固前的承载能力；

P_a ——加固后的承载能力。

6.2.9 修复加固费用与延长年限比按照如下公式计算：

$$\rho_m = \frac{M_i}{T_c - T_b} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

M_i ——加固费用投入；

T_c ——加固后的正常使用年限；

T_b ——不采取加固措施时的正常使用年限。

6.2.10 可靠性和适应性评价 Z 可按下式计算，评价价值最大的方案为最优方案：

$$Z = \lambda_1 P_u + \lambda_2 \rho_m \dots\dots\dots (4)$$

式中：

λ_1, λ_2 ——权重值，通常分别为 0.5，也可根据具体情况确定。

7 修复工程施工

7.1 修复工程施工

- 7.1.1 应根据桥梁冲击破坏等级，编制专项应急预案，明确交通管制措施、人员疏散路线及应急物资储备清单。
- 7.1.2 施工区域应设置围挡（高度不小于 1.8m）及警示灯（可视距离不小于 500m），专职安全员每日巡查并记录安全隐患。
- 7.1.3 水上作业应配备救生设备（救生圈不小于 2 个/作业面），实时风速大于 10m/s 时应暂停施工。
- 7.1.4 高空作业人员需佩戴双钩安全带，风速不小于 6 级时禁止吊装作业，吊装设备额定载荷应不小于 1.5 倍构件重量。
- 7.1.5 临时支撑架承载力应不小于 1.2 倍设计荷载，基础应采用厚度不小于 200mm 的混凝土垫块。
- 7.1.6 修复施工使用的环氧砂浆抗压强度应不小于 60MPa，钢材需提供质量证明文件。
- 7.1.7 采用喷射混凝土修复时，宜分层喷射，每层 30mm~50mm。
- 7.1.8 修复工程施工期的桩基检测方法应符合 JTG/T 3512 的要求。
- 7.1.9 微型桩施工的桩孔垂直度偏差不大于 1%，注浆压力不小于 1.0MPa，桩身完整性按低应变法抽检，抽检率不小于 10%。
- 7.1.10 扩大基础新旧混凝土应进行界面凿毛处理，粗糙度不小于 3mm，植筋深度不小于 20 倍钢筋直径。
- 7.1.11 墩台裂缝注浆应按照自下而上的顺序进行，注浆压力不小于 0.5MPa，密实度满足要求，合格率应不小于 90%。
- 7.1.12 墩台置换时，预制节段的吊装误差不大于 5mm，接缝处涂刷界面剂，粘结强度满足要求。
- 7.1.13 隐蔽工程应留存高清影像（分辨率不小于 1200 万像素）及检测记录，及时归档至项目数据库。
- 7.1.14 每道工序完成后应进行自检，桩基注浆、墩台接缝等关键节点应由第三方进行检测。
- 7.1.15 修复工程施工采用的结构胶等粘结材料的粘结特性应符合 JT/T 988、JT/T 989、JT/T 990 的要求。
- 7.1.16 永久性修复施工的质量检验与验收应符合 JTG/T J23 的要求。

7.2 修复工程养护

- 7.2.1 修复工程的桥梁经常检查和定期检查应符合 JTG 5120 的要求。
- 7.2.2 冲击破坏桥梁下部结构修复后 1 年内，每月应全面检查一次，重点监测裂缝扩展（允许增量不大于 0.1mm/月）、墩台沉降量（允许值不大于 3mm/年）等。
- 7.2.3 冬季应喷洒防冻融剂，沿海地区每季度检测氯离子渗透率。
- 7.2.4 清理排水系统淤积物（淤积厚度不小于 50mm 需立即处理）。
- 7.2.5 冲击破坏桥梁下部结构修复后 1~5 年，每半年检测一次，每年进行一次荷载试验，重点监测防

撞设施状态、支座位移（允许值不大于 2mm）等。

7.2.6 冲击破坏桥梁下部结构修复后应建立养护日志，记录检测数据、维修记录、影像资料、专家评估报告等，养护日志电子档案永久保存，纸质档案保存时间不小于桥梁设计使用年限。

8 修复效果评价

8.1 评价方法与等级分类

8.1.1 冲击破坏桥梁下部结构的应急抢险功能修复效果评价应从修复效率、修复质量和功能修复等多个维度进行综合考量。

8.1.2 修复效率评价主要从响应速度、施工周期、资源利用合理性等方面进行评价。

8.1.3 修复质量评价主要从结构安全性、材料工艺合规性、耐久性等方面进行评价。

8.1.4 功能恢复评价主要从交通通行能力、社会经济影响等方面进行评价。

8.1.5 修复效果评价各评价指标的权重值可按表 4 取值。

表4 修复效果评价

评价内容	评价指标	权重
修复效率	响应速度	0.1
	施工周期	0.2
	资源利用合理性	0.05
修复质量	结构安全性	0.3
	材料工艺合规性	0.1
	耐久性	0.1
功能修复	交通通行能力	0.1
	社会经济影响	0.05

8.2 修复效率评价

8.2.1 应从响应时间、施工周期和进度控制等方面评价修复效率。

8.2.2 响应时间应从接到事故报告到启动应急预案、组织人员和设备到达现场的时间。

8.2.3 施工周期应从开始施工到完成修复工作所需的总时间。

8.2.4 应评估施工过程中的进度管理情况，包括是否按照预定计划有序进行，是否存在延误及其原因等。

8.3 修复质量评价

8.3.1 通过专业检测手段，评估修复后的桥梁下部结构是否满足安全要求，包括承载能力、稳定性、耐久性等。

8.3.2 检查修复过程中使用的材料、施工工艺和施工质量是否符合相关标准和规范。

8.3.3 对比修复前后的桥梁状况，评估修复效果是否显著，是否达到了预期目标。

8.3.4 静载试验加载至设计荷载的 110%，持荷 2 小时无异常变形，可判定结构安全性满足设计要求。

8.3.5 环氧注浆密实度应不小于 90%，焊缝无损检测合格率应达到 100%。

8.3.6 混凝土抗氯离子渗透性应满足规范要求。

8.3.7 修复后 5 年内墩台累计沉降量应不大于 10mm，裂缝扩展速率应不大于 0.05mm/年。

8.4 功能恢复评价

8.4.1 应评估修复后的桥梁是否能够满足原有的交通通行需求，包括车道数、通行速度、承载能力等方面。

8.4.2 应分析修复施工期间对周边交通的影响，以及修复完成后对交通状况的改善情况。

- 8.4.3 应评估修复工作对当地社会经济的影响，包括交通运输、居民生活、产业发展等方面。
- 8.4.4 车道通行速度恢复至设计值不小于 95%。

8.5 评价等级

- 8.5.1 修复效果评价等级分为优秀、合格和不合格三个等级。
- 8.5.2 评价等级为优秀的，承载能力提升率应不小于 95%，修复周期应不大于设计工期的 90%。
- 8.5.3 评价等级为合格的，承载能力提升率应不小于 85%，修复周期应不大于设计工期。
- 8.5.4 评价等级为不合格的，承载能力提升率小于 85%，修复周期大于设计工期，需返工或补充修复。
- 8.5.5 根据修复效率、修复质量和功能修复的具体评分，根据表 8-1 的权重值，按照如下公式计算功能效果评价评分。

功能效果评价评分= $\sum_{i=1}^n P_i \cdot n_i$ (5)

式中：

- P_i ——修复效率、修复质量和功能修复的具体评分，采用综合评分法，分值为 0~100 分。
- n_i ——修复效率、修复质量和功能修复的权重值，按表 8-1 取值。

- 8.5.6 评价等级可分为优秀、合格和不合格三个等级，根据 8.5.5 条的功能效果评价评分，按照表 5 进行等级划。

表5 修复效果评价等级划分标准

检查内容	划分标准
优秀	[85 100]
合格	[70 85)
不合格	[0 70)