

冲击破坏的桥梁下部结构应急抢险修复设计

杨志雄

(甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 某山区高速公路桥梁由于岸坡滚石碰撞, 下部结构发生脆性破坏, 交通受阻。首先提出临时加固方案, 对下部结构进行临时处理后及时恢复交通; 然后进行永久性加固, 确保结构在设计使用年限内的安全运营, 为同类山区桥梁修复设计提供参考。

关键词: 公路桥梁; 应急抢险; 下部结构; 冲切破坏

中图分类号: U443.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0128-03

0 引言

桥梁结构作为高速公路的生命节点工程, 保证其安全和长期性能, 对于高速公路系统的正常运营具有重要意义。然而由于运营期间的各种不确定因素, 总会出现一些不同程度的损坏现象, 影响车辆通行, 甚至导致严重事故, 造成巨大经济损失, 此时必须采取快速、有效的维修加固措施, 改善桥梁的整体性能。

1 工程背景

某山区高速公路大桥全长 952.9 m, 上部结构为跨径 30 m 装配式预应力混凝土小箱梁; 桥墩采用柱式墩, 嵌岩桩基础。由于持续降雨导致桥下岸坡约 120 m³ 的滚石翻滚碰撞至该桥的 6 号桥墩横系梁, 见图 1。冲击部位距右侧墩柱边缘 1.5 m, 距左侧墩柱边缘 3.5 m, 导致横系梁、右侧桩基和桥墩出现多条裂缝。大桥 6 号桥墩直径 1.5 m, 墩高 10 m, 采用 C30 混凝土; 桩径 1.7 m, 桩长 16 m, 采用 C25 混凝土; 横系梁截面尺寸为 1.2 m × 1.4 m, 采用 C30 混凝土。右侧桩基为防止泥石流冲刷, 设置 15 cm 厚的素混凝土包裹。

2 结构破坏分析

2.1 结构破坏情况

(1) 滚石碰撞作用下横系梁受到水平和竖向冲切力作用, 形成 45° 冲切破坏锥体^[1], 冲切部分横系梁呈现明显错台, 见图 2; 横系梁与左侧墩柱相交处



图1 滚石碰撞图

出现弯曲开裂。

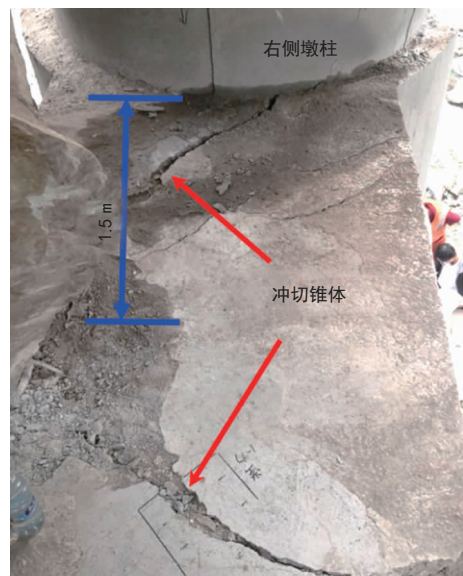


图2 横系梁冲切锥体图

(2) 右侧桩基存在一条斜向主裂缝, 裂缝走向从桩基顶部约 1/2 截面处以 1 : 3 斜度向下发展至地面线, 裂缝最大宽度为 50 mm, 并存在明显错位。左侧桩基未发现明显受力裂缝。

(3) 右侧墩柱存在三条明显斜向裂缝, 裂缝走向从柱底截面以约 45° 向上发展至约 2 m 处, 裂缝最大

收稿日期: 2022-12-28

作者简介: 杨志雄(1984—), 男, 本科, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

宽度为 10 mm, 左侧桩柱底部混凝土保护层存在轻微裂缝。主要裂缝见图 3。



图 3 右侧桩基斜裂缝

2.2 结构破坏机理分析

(1) 滚石从约 3 m 高处下落撞击横系梁, 瞬间对横系梁产生的水平和竖向冲击力合计约为 200 t, 导致横系梁发生冲切破坏, 冲切锥体与横系梁产生脱离, 致使碰撞处形成铰接^[2,3], 见图 4。

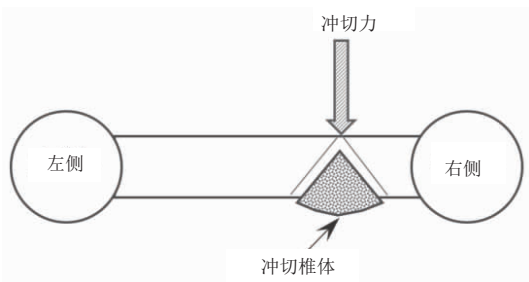


图 4 系梁局部冲切受力图

(2) 横系梁碰撞处形成铰接后, 原系梁被分割为两个悬臂结构。与左侧桩基连接横系梁为 3.5 m 大悬臂, 在冲切力作用下, 其根部将产生较大弯矩 (见图 5), 致使系梁与左侧桩基连接部分出现弯曲裂缝。

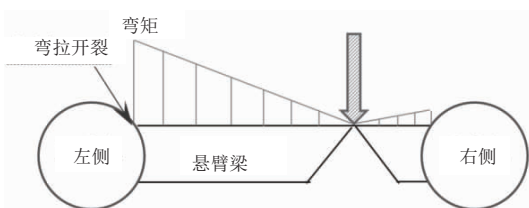


图 5 系梁悬臂受力图

(3) 由于碰撞位置靠近右侧桩基, 冲切力大部分由横系梁传递给右侧桩基承担, 致使右侧桩基产生冲切破坏^[4], 见图 6。

(4) 右侧桩基冲切锥体与原结构产生错动后, 桩基纵向主筋将产生一定弯曲变形^[5] (见图 7)。由于桩

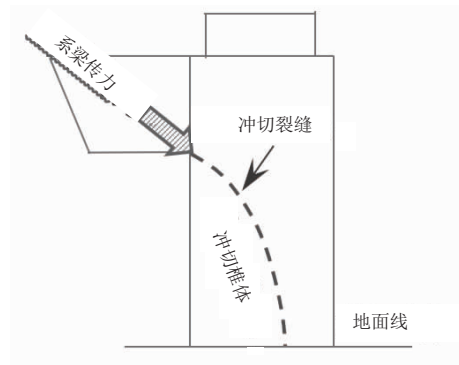


图 6 系梁向桩基传力图

柱结构主筋连接, 桩基纵向主筋变形带动墩柱纵向主筋弯曲变形, 并对墩柱混凝土保护层产生崩裂力, 致使墩柱混凝土有一定程度的开裂^[6,7]。

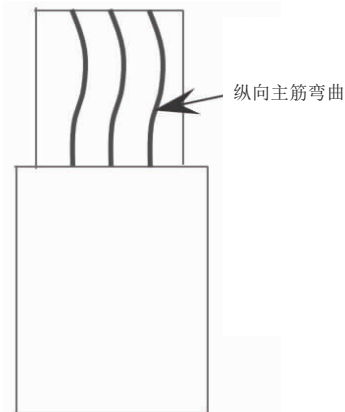


图 7 墩柱纵向主筋变形图

3 处置方案

3.1 理论依据

为适应快速、有效地加固修复要求, 从多个方案中选择低应力钢带环箍方案, 即给钢带先施加一定初始应力, 使钢带对构件产生较大的横向压力, 使混凝土构件处于三向应力状态, 原柱的箍筋受拉、纵向钢筋受压, 有效的提高混凝土轴心抗压强度、抑制纵向斜裂缝的产生和发展。混凝土柱被加固后的受力分析见图 8。

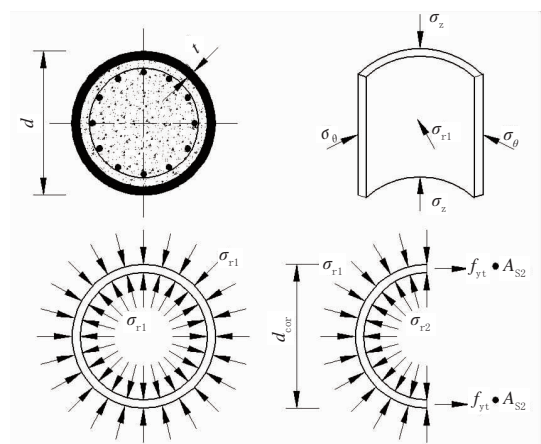


图 8 钢板及混凝土受力图示

考虑钢筒、外层混凝土、核心混凝土、纵向钢筋四部分提供的承载力组成的预应力钢板加固后的混凝土柱承压承载力为^[8]:

$$N=f_{cy}(A_{c1}+A_{cor})+k\frac{2f_{yt}A_{s1}}{s\cdot d_{cor}}A_{cor}+f_{ys}A_{s2}+k(A_{c1}+A_{cor})\sigma_{r1}$$

式中: N 为结构承载力; A_{c1} 为外层混凝土截面面积; A_{cor} 为核心混凝土(箍筋内边缘)面积; A_{s1} 为单根箍筋的截面积; A_{s2} 为纵向钢筋的截面面积; f_{cy} 为混凝土单轴抗压强度; f_{yt} 为箍筋屈服强度; f_{ys} 为纵向钢筋的屈服强度; σ_{r1} 为钢板施加于结构的作用力; k 可取4; s 为箍筋的纵向间距。

而对于采用低应力钢带加固的压弯构件承载力的计算,国内研究资料较少,可按照规范公式保守采用无应力钢带等效箍筋效应进行计算。叶超^[9]的《预应力钢带加固钢筋混凝土柱力学性能及加固尺寸效应研究》中通过模型分析可知,钢带对于压弯构件的承载力有明显提高,但增幅随着偏心率的增大呈明显下降趋势,当偏心率0.54时,承载能力仅增加1.82%~5.79%。

3.2 临时处置方案

(1)钢板环箍加固右侧桩基

斜向裂缝严重削弱了桩基的完整性,为了保证桩基整体受力,临时处置采用预应力钢板环箍加固方案。通过施加预压应力,使桩基混凝土处于三向受压状态,从而有效提高桩基整体受力性能。加固方案见图9。桩基环箍后,采用聚合物砂浆对裂缝进行压力灌注。

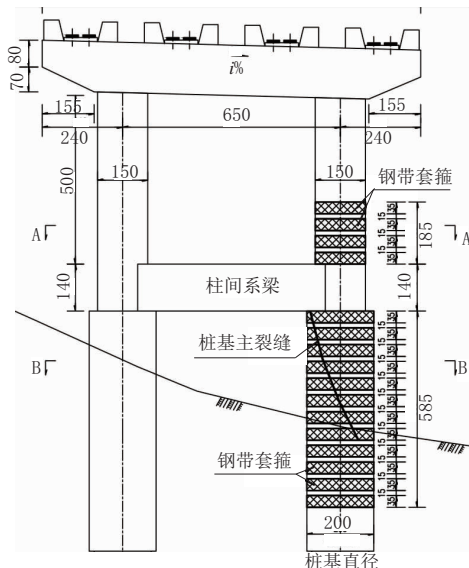


图9 临时处置方案图(单位:cm)

(2)钢板环箍加固右侧墩柱

采用环氧树脂对两侧墩柱裂缝进行封闭处理,

采用钢板环箍加固右侧墩柱,加固范围为横系梁顶部向上1.85 m。

(3)破除滚石

破除滚石,解除横系梁压力。破除过程中应采用沙袋对基桩进行有效防护。

3.3 永久处置方案

(1)右侧桩基处置

在临时处置方案的基础上,对右侧桩基采用扩大截面进行加固。采用直径为3 m的钢套筒+内部浇筑C40聚合物混凝土方案,扩大截面加固范围为横系梁顶面以下不小于7.5 m,根据基岩埋深情况调整。加固方案见图10。

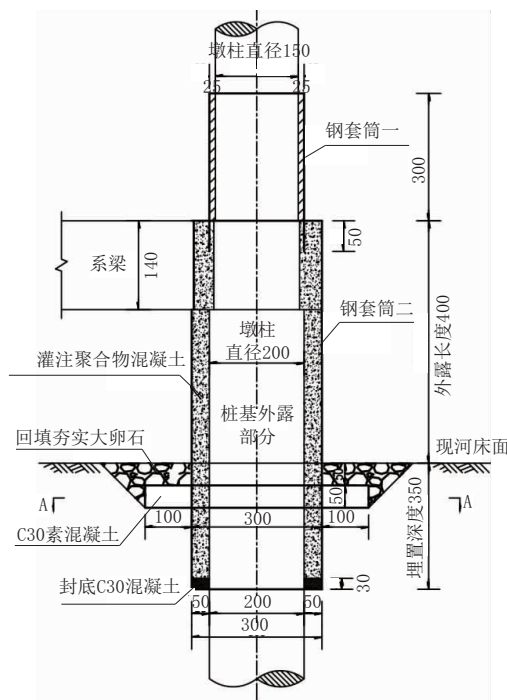


图10 永久处置方案图(单位:cm)

(2)右侧墩柱处置

在临时处置方案的基础上,对右侧墩柱采用扩大截面进行加固。采用直径为2 m的钢套筒+内部浇筑C40聚合物混凝土方案,扩大截面加固范围为横系梁顶面以上3.0 m。

(3)横系梁处置

设置临时支撑,采用扰动较小的破除方案凿除原有损伤混凝土后,对变形钢筋进行补强后,再用C40聚合物混凝土重新浇筑横系梁。

4 结 论

(1)本文分析了落石冲击作用下桥梁下部结构的破坏机理,落石冲击导致柱系梁首先发生冲切破坏,柱系梁在破坏面处形成铰接;冲切力通过系梁传至

(下转第139页)

内涝的目的。

4.4 规划效果

规划系统工程实施后,其服务范围内的排水防涝能力将会得到很大的提高,历史积水点会被消除,排水系统可达到设计暴雨重现期5 a一遇规模的能力,结合绿色蓄排设施可进一步增加城市排水系统的韧性。通过“绿、灰、蓝、管”多措并举等综合措施,可有效应对100 a一遇的暴雨。排水系统的初雨截流设施及海绵设施的建设,初期雨水经过净化处理后达标排放,可有效缓解地区的初期雨水径流污染。

5 结 语

浦东新区排水防涝规划立足本市排水、水系及水环境实际,针对现状存在问题,结合经济社会发展整体需求,围绕“提高城市应对灾害性天气的排水能力、削减随雨水入河的污染物”的基本目标采取的必要措施。规划坚持“绿、灰、蓝、管”多措并举的规划理念,深度挖潜现有设施,合理解解决好源头控制与大、小排水系统的组合问题;通过构建模型评估城市内涝风险、高效预测区域积水灾害、明确重点提标改造地区,有效提升规划效率并及时反馈规划效果。

规划通过对已建排水系统低影响开发及现有排水设施多用途利用等方式对排水系统进行提标改造,建设初雨截流设施及海绵设施,有效提升城市排水防涝能力,缓解初期雨水径流污染。目前,国内仍处于“绿、灰、蓝、管”多措并举型排水系统建设的探索期,本规划实施的设施将成为城市的重要基础设施,为推动全国“绿、灰、蓝、管”多措并举型排水系统建设提供技术及建设经验,为今后同类规划的编制提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 苗伟,冯爽,殷殷.沈阳市排水(雨水)防涝综合规划研究[J].规划师,2014,30(S1):86-91.
- [2] 周玉文.城市排水(雨水)防涝工程的系统架构[J].给水排水,2015,51(12):1-5.
- [3] 郝天文,孔彦鸿.城市排水系统的困局与重构[J].城市规划,2019,43(8):103-107.
- [4] 靳俊伟,吕波,章卫军,等.重庆主城区排水(防涝)综合规划总体技术路线[J].中国给水排水,2015,31(8):24-29.
- [5] 马洪涛,周凌.关于城市排水(雨水)防涝规划编制的思考[J].给水排水,2015,51(8):38-44.
- [6] 林涛.城市排水(雨水)防涝综合规划编制思考[J].中国给水排水,2015,31(14):12-15.

~~~~~  
(上接第130页)

墩柱及桩基,导致墩柱及桩基产生冲切破坏。

(2)为快速恢复交通首先通过钢板环箍进行临时加固,通过施加预压应力,使桩基混凝土处于三向受压状态,从而有效提高基桩整体受力性能。

(3)在临时处置方案的基础上,对桥墩采用了扩大截面法进行加固,确保了结构的安全性、耐久性。

#### 参考文献:

- [1] 吴进军.桥梁下部结构病害分析及检测加固措施研究[D].西安:长安大学,2016.
- [2] 朱聪.碰撞冲击荷载下钢筋混凝土结构的动态响应及损伤机理[D].天津:天津大学,2011.

- [3] 李彩华.岩体崩塌落石对桥梁破坏作用的动态演绎研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [4] 谭沸良.泥石流区桥梁的防灾减灾设计原则初步研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [5] 余志祥,许浒,吕蕾,等.落石冲击对山区桥梁墩柱破坏的影响[J].四川大学学报(工程科学版),2012,29(2).
- [6] 何思明,庄卫林,张雄,等.都汶公路彻底关大桥桥墩抗滚石冲击防护研究[J].岩石力学与工程学报,2013(S2):3421-3427.
- [7] 文浩,徐贞珍.冲击荷载下的结构内力分析[J].城市建设理论研究.2012(17).
- [8] 刘云付,任振华,贺熏陶.加固钢筋混凝土圆截面柱的新方法[J].湖南交通科技.2020(9).
- [9] 叶超.预应力钢带加固钢筋混凝土柱力学性能及加固尺寸效应研究[D].宁波:宁波大学,2020.