

大纵坡柔性高墩连续梁桥纠偏处治技术

陈 钢¹, 杨栋才¹, 熊世伟², 朱泽文², 林泽方²

(1. 江西省交通投资集团南昌东管理中心, 江西 南昌 330096; 2. 江西交科交通工程有限公司, 江西 南昌 330200)

摘 要: 针对大纵坡柔性高墩连续梁桥墩柱易偏位问题, 以江西省某高速公路高架桥为工程背景, 深入分析墩柱偏位成因并提出基于二维千斤顶的纠偏施工技术, 以及该类桥梁墩柱偏位预防措施。结果表明: 墩柱偏位过大主要受支座滑移、温差效应、墩柱抗弯能力不足及大纵坡与横坡变换综合作用所致; 通过实施应急处治、桥墩纠偏及实时监测等措施, 可有效恢复偏位墩柱至设计状态。二维千斤顶纠偏技术具有施工便捷、安全可控、效益显著等优势, 为柔性高墩桥梁病害处治提供了有效的技术方案与实践经验, 具备良好的推广应用价值。

关键词: 大纵坡; 柔性高墩; 病害分析; 墩柱偏位; 纠偏技术

中图分类号: U445; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)08-0298-06

Rectification and Treatment Technology for Large Longitudinal-slope Flexible High-pier Continuous Beam Bridges

CHEN Gang¹, YANG Dongcai¹, XIONG Shiwei², ZHU Zewen², LIN Zefang²

(1. Jiangxi Provincial Communications Investment Group Nanchang East Management Center, Nanchang 330096, China; 2. Jiangxi Jiaoke Transportation Engineering Co., Ltd., Nanchang 330200, China)

Abstract: For the problem of easy deviation of the pier columns of large longitudinal slope flexible high-pier continuous beam bridges, taking an expressway viaduct in Jiangxi Province as the engineering background, the causes of pier column deviation are further analyzed, and a rectification construction technology based on a two-dimensional jack, and the preventive measures for the pier column deviation of this bridge are proposed. The results indicate that the excessive deviation of pier column is primarily attributed to the combined effects of support slippage, temperature difference effects, insufficient bending resistance of the pier column, and transformation between large longitudinal slope and transverse slope. By implementing the emergency treatment, pier rectification, real-time monitoring and the other measures, the offset pier column can be effectively restored to the designed state. The two-dimensional jack rectification technology has the advantages such as convenient construction, controllable safety and significant benefits, which provides the effective technical scheme and practical experience for treating the defects of flexible high-pier bridges, and has good value for promotion and application.

Keywords: large longitudinal slope; flexible high-pier; defect analysis; pier column deviation; rectification technology

0 引 言

桥梁作为交通基础设施的关键组成部分, 其安全与耐久性直接关系到路网畅通、人民生命财产安全与社会稳定。一旦发生垮塌等严重事故, 将造成不可估量的人员伤亡和经济损失, 并可能引发广泛

的社会影响。在众多桥型中, 简支变连续梁桥因其兼具简支梁施工便利与连续梁行车平顺的优点, 被广泛应用于高速公路、城市立交及跨线桥梁, 已成为我国公路桥梁的主流形式之一^[1]。然而, 为适应复杂地形, 此类桥梁在山区高速公路中常呈现出“大纵坡”与“柔性高墩”相结合的显著特点^[2]。这种结构体系在长期运营过程中, 暴露出一些特有的病害, 例如重庆石忠高速李家湾大桥、湖南郴宁高速部分桥梁等均出现了支座异常滑移、墩柱持续偏位等典型病害, 严重威胁结构安全与服役性能^[3-5]。

墩柱偏位病害的产生与发展是多种因素耦合作用的结果。其直接诱因常始于支座安装精度不足导

收稿日期: 2025-12-29

基金项目: 江西省交通运输厅科技项目(2024YB055; 2022H0014)

作者简介: 陈钢(1986—), 男, 学士, 工程师, 从事公路养护研究工作。

通信作者: 熊世伟(1998—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事桥梁检测与维修加固研究工作。电子邮箱: 1808926278@qq.com

致的支承面不平整,使得桥梁上部结构传递至交接墩的水平摩擦力分布不均,墩柱在持续的不平衡水平力作用下发生渐进式偏移^[6]。更深层次的原因则更为复杂:桥墩施工时存在的初始几何缺陷或材料不均匀性,构成了偏位的内在诱因;频繁往复的车辆移动荷载,尤其是重载交通的冲击效应;而桥梁所处的大纵坡与横坡组合线形,不仅使结构长期处于一种“倾斜”的受力状态,还放大了温度变化引起的梁体伸缩对墩顶的水平推力效应^[7-8]。这些因素相互叠加,使得墩柱偏位成为大纵坡柔性高墩连续梁桥的常见且突出的病害。

当墩柱偏位累积超过一定限度时,将引发一系列连锁效应,如支座局部脱空导致应力重分布、梁体支承体系失效,极端情况下甚至可能引发落梁灾难^[9]。因此,对已发生显著偏位的桥墩进行及时、有效的纠偏处治,是恢复桥梁结构受力合理性、保障其长期运营安全的关键举措^[10]。从工程经济性角度出发,理想的纠偏目标是在不损伤主体结构的前提下,通过施加可控外力,将偏位墩柱精准复位至设计位形。然而,在工程实践早期,由于对偏位机理认识不清,纠偏处治方案往往依赖经验,存在设计针对性不强、施工过程粗放等问题,导致总体纠偏效果不彰,甚至可能对结构造成二次损伤^[11]。

随着近年来类似工程案例的不断涌现,桥梁工程界对墩柱偏位问题日益重视,相关理论研究与处治技术探索也逐步深入。在纠偏技术方面,学者和工程师们提出了多种方案。例如,陈火文^[12]采用千斤顶顶升反力架结合横隔板提供反力的方法进行纠偏;沈阳超^[13]则利用先进的 PLC 同步控制系统,实现了多台千斤顶对反力架的分级、同步顶推,并在纠偏后实施了系统的安全评估与预警监控。目前,以反力架为主要施力体系的纠偏方法应用较多,但其通常存在施工成本高、现场作业空间要求大等局限,且常用的水平千斤顶多为单向顶推,在需要多方向、精细化调整时显得灵活性不足^[14]。针对这些不足,黄新赞^[15]创新性地提出了一种通过步履式顶推千斤顶利用自反力纠偏的处治措施。

综上所述,尽管现有研究与实践取得了一定进展,但发展一种更加高效、经济、灵活且对原结构干扰小的纠偏技术,仍是工程实践的迫切需求。本文以实际工程项目为依托,在深入剖析大纵坡柔性高墩连续梁桥墩柱偏位成因机理的基础上,提出并详细阐述了一种基于二维千斤顶的新型纠偏施工技

术。该技术旨在克服传统方法的局限性,通过二维可控顶推实现精准、柔性复位,并在施工安全控制与工程经济效益之间取得良好平衡,以为同类桥梁的病害处治提供一套具有良好可操作性、可推广性的技术解决方案与实践参考。

1 桥梁概况

江西省高速某高架桥上部结构为预制装配式后张预应力混凝土 T 梁,为先简支后连续结构,2011 年建成通车。如图 1 所示,跨径布置为 $4 \times (5 \times 30)$ m,横向分为左右两幅,每幅布置 6 片 T 梁。桥梁纵坡为 0.56%~2.556% (其中 10~17 跨纵坡为 2.556%),平面位于 $R=1\ 600$ m 左偏圆曲线上。全桥伸缩缝均采用模数式伸缩缝,全桥支座采用板式橡胶支座。

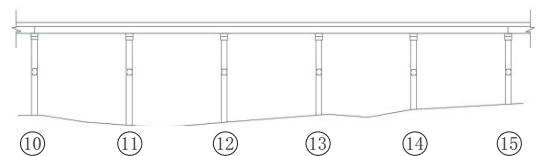


图 1 桥梁立面示意图

下部结构桥墩为双柱式柔性墩,墩柱高度为 13.43~31.74 m,墩柱直径 1.4 m,5#~19#墩桩基为端承桩,1#~4#墩桩基、0#和 20#桥台桩基设计为摩擦桩。

2 桥梁病害检测分析

2.1 支座滑移

2023 年对该桥进行专项检查,与历年检查情况进行对比,其中 15#墩某支座由位移 28 cm 发展为完全脱空,10#墩、15#墩其余支座位移呈发展趋势,最大位移量 25 cm。根据检测结果可知,该桥 10#墩、15#墩处设计纵坡为 2.556%,而实测支座上钢板水平倾角 $2^\circ \sim 7^\circ$,故支座实际上并未处于水平状态。

2.2 墩柱偏位

墩柱垂直度共检查 9#~19#桥墩两幅 44 个墩柱,获得纵桥向、横桥向共 88 组墩柱垂直度数据,其中有 46 组数据结果超过《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》(JTG F80-1—2017)8.6.1 节规定“桥墩 $5\text{ m} < H \leq 60\text{ m}$ 时,全高垂直度不大于 $H/1\ 000\text{ mm}$ 且不大于 20 mm”的限值,报警率达 52.27%。其中右幅 10#、15#墩、左幅 15#墩垂直度呈明显往纵向大里程(上坡方向)倾斜,最大偏移 186.6 mm (见图 2),倾斜率 10.7‰,为规范限值 10.7 倍。

2.3 病害成因分析

经测量和检查,桥墩偏位超出规范限制,支座滑



图2 墩柱大幅偏位

移量超过支座设计位移量,该桥左右幅10#、15#墩偏位情况存在安全隐患,其主要原因如下:

(1)桥梁平面部分位于设置超高的弯道上,横坡变换,且桥面存在较大纵坡,梁底支座支撑面不水平。

(2)柔性高墩的抗弯能力相对较弱,在相同纵向水平力作用下,更易出现纵向偏位。

(3)偏位的墩柱多为简支墩,温度变化导致支座钢板出现“年轮”现象;在温差作用下,简支梁两端产生伸缩变形,在墩顶或盖梁顶产生沿上坡侧的差异水平力,该力的合力进一步加剧桥墩的变形与偏位。与此同时,梁体自重的约束作用会导致不可恢复的残余位移,从而在支座钢板上逐渐形成累积的偏移痕迹。

3 纠偏处治施工方案

3.1 应急处治

由于部分支座出现脱空情况,为确保施工期间桥梁运营安全,先采取应急处治措施,将10#墩、15#墩的支座全部更换。更换支座采用单墩顶升法,不断开桥面联系,对交通影响较小,施工相对简单,是目前较为常用的一种方法。通过桥检车将施工人员和器材运送至梁底,每个支座两侧分别放置一个液压千斤顶,共布置10个千斤顶,并用钢垫块填充千斤顶与横隔板的间隙。各千斤顶连接油泵,共同施加荷载,确保梁体同步升起,大致顶升15~20 mm,直至可以顺利将旧支座拆除。旧支座拆除后,清理垫石表面,支座表面涂抹5201硅脂,以降低接触面摩擦系数。最后,完成楔形钢板和支座的安装并调平,楔形钢板与梁体的间隙采用水泥砂浆填充密实。

3.2 桥墩纠偏

进行更换支座应急处治后,为确保桥梁的长期运营安全和耐久性,还须对10#、15#号桥墩采取纵向

纠偏复位,处治后对墩顶偏位进行跟踪监测。

首先对梁间既有横隔板进行加固以使其能够满足二维千斤顶支撑要求,见图3。考虑到现墩顶向上坡端偏位,将二维千斤顶置于上坡端的T梁端横隔梁与梁肋间,临时顶升将支上坡端侧恒载由支座转移到二维千斤顶上。启动水平方向油泵使墩、梁间产生相对位移而逐步将桥墩纠偏,桥墩纠偏处治布置见图4。



图3 横隔板加固装置

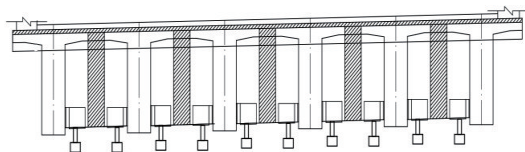


图4 纠偏装置布置示意图

具体施工技术要点如下。

3.2.1 梁端横隔板加固

首先,对钢板粘贴面进行除锈和粗糙处理,同时混凝土表面应保持清洁。采用植筋法安装螺栓,应避免钻孔损伤原构件钢筋及预应力筋,并在钢板适当位置打注胶孔。将钢板托起悬挂在各螺栓上,拧紧螺母。为保证注胶层的厚度,在钢板与混凝土之间垫4 mm厚垫片。钢板周边密封后,通过灌胶机压力注入结构灌注胶。注胶操作应从最低处的注胶口开始,待相邻注胶口有胶液流出后,封闭当前注胶口,并转移至流胶的注胶口继续作业。排气孔流出胶液后,需立即将其弯折并扎紧。注胶过程中,可辅以轻敲钢板,通过声响判断胶液的流动与填充状况。最后一个排气孔应在保持注入压力的状态下进行封堵,以避免胶层出现脱空。

3.2.2 桥墩应力消散

根据地质资料及现场实际开挖局部情况,为保证应力消散发挥最大价值,对现状桥墩土往下开挖至桩柱交接处往下1~2 m后再开始纵向顶推,开挖施工时施工单位应做好专项研究及土体防护支挡,保证开挖及施工时的安全。

3.2.3 梁体限位装置

梁体限位装置在进行纠偏工程时为避免梁体滑移,需设置限位装置。根据主梁恒载作用下支反力计算结果,11#~14#墩中支点总反力标准值为 8 258 kN,支座与钢板接触时摩擦系数 $\mu=0.2$,故 11#~14#墩支座摩阻力均为 1 651 kN。

简支墩 10#、15#上主梁顶升后,经计算 10#墩最大偏位 71.3 mm,产生该位移量需要 205.3 kN 的水平推力,相应桥墩的水平推力为 410.6 kN;15#墩最大偏位为 186.6 mm,产生该位移量需要 287.4 kN 的水平推力,相应桥墩的水平推力为 574.8 kN。因此,简支墩顶推时可利用连续墩(11#~14#墩)摩阻力提供反力,故可不设置梁体限位装置。

3.2.4 竖向顶升梁体

3.2.4.1 预顶升

预顶升有助于规避顶升机械的原始故障,并消除作业中可能发生的非弹性变形。实施时需保证梁体同步顶升,且在卸载前保持荷载不少于 5 min。卸载后,应对控制系统及相关表观状态进行检查。

3.2.4.2 顶升至有效高度

待现场再次核实千斤顶没有位移等异常情况,才能进行下一步顶升操作。最大顶升高度控制为 5 mm 以内。

3.2.5 纵向顶推桥墩纠偏

竖向顶升后,借助千斤顶与盖梁之间摩擦力提供反力进行纠偏,操作顺序为千斤顶推进 5 mm,待桥墩稳定,再推进 5 mm,循环操作直到墩身恢复至设计要求值;若桥墩出现混凝土开裂等异常现象应立即停止纠偏工作。完成纵向纠偏,观测稳定后,回填桥墩周围土体。

3.2.6 复位后支座调平

保证上部梁体与桥墩之间的正常传力,确保支座垫石顶面高程和平整度符合要求,使支座均匀受力,以避免桥墩后续再产生大的偏位。

3.3 纠偏监测

为确保纠偏施工的安全可控、精准复位及长期效果验证,需建立全过程、多维度监测体系。

3.3.1 墩柱竖直度监测

桥墩作为桥梁的承重结构,其倾斜过大将造成桥面伸缩缝扩大、支座变形等,严重时影响桥梁整体构件的受力形式及使用寿命。对于高墩而言,由于其墩身高,重心高等因素,施工精度要求较高。桥墩的倾斜在一定程度上也反映设计参数是否合理,施

工工艺是否符合要求。通过对墩柱垂直度监测,反映出桥梁的健康状态,了解桥墩的变形情况,验证设计参数及施工工艺是否合理。可通过测斜计进行墩柱垂直度监测,测点布设在桥墩顶部(见图 5),左右幅 10#墩及 15#墩的每墩柱各布置一个测点,共 8 个测点。

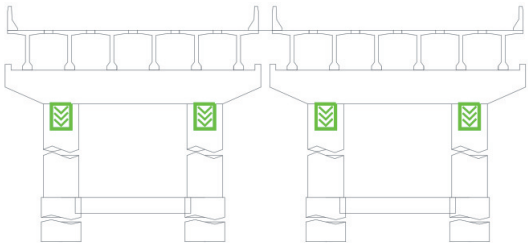


图 5 墩柱竖直度测点布置图

3.3.2 伸缩缝位移、支座位移监测

伸缩缝是桥梁中为适应温度变化引起的构件热胀冷缩而设置的构造措施,其核心功能在于协调上部结构因荷载、环境及材料特性产生的位移,是确保桥面连续与完整的关键装置。此项监测可反映伸缩缝伸缩量变化规律是否正常。伸缩缝作为桥梁梁端的薄弱部位,直接承受车辆的反复动力作用,同时还承受疲劳、磨损以及物理和化学的各种侵蚀,作为桥梁结构发生病害最为频繁的部件之一,对伸缩缝的监测具有重要意义,梁受温度影响产生纵向变形,通过伸缩缝可以反映梁的端部位移,从而了解梁是否释放温度应力;支座位移反映了墩梁间相对运动,通过支座位移监测有助于了解墩梁的相互作用趋势,与支座受力形式,有必要对其进行长期监测。

可通过直线位移计进行梁端伸缩缝、支座的位移监测,伸缩缝测点布设在左右幅 10#墩梁端、15#墩梁端位置,用于测量两相邻联桥跨主梁纵向相对运动,每墩 2 个测点,共 4 个;支座位移测点布置在 10#墩、15#墩主梁最外侧和最内侧支座周边,每墩 8 个测点,共 16 个,见图 6。

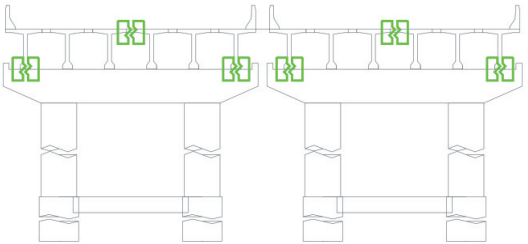


图 6 伸缩缝、支座位移测点布置图

3.3.3 温度监测

温度对桥梁的影响主要为整体升降温和主梁温度梯度两部分。对于 5×30 m 预应力混凝土 T 梁桥,

该联桥跨纵向长度达150 m,整体升降温对其主梁沿纵向桥向变形的影响较大;主梁温度梯度主要为太阳日照导致的主梁温度场部分不均匀,其对结构弯曲变形有一定影响,对桥梁梁端纵向位移影响不大。

温度对桥梁的影响主要为整体升降温和主梁温度梯度两部分。对于桥梁纵向位移的影响,以整体升降温为主,故在10#墩墩顶盖梁处布置1个环境温湿度计用于环境温湿度的测量,见图7。

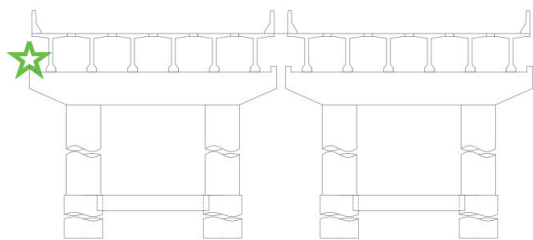


图7 温度测点布置图

3.3.4 墩柱应力检测

桥梁结构的应力监测通常借由应变监测间接完成,其核心在于掌握关键截面的受力状态,从而评估结构在长期服役或瞬态荷载下的力学响应。对于产生偏位的桥墩,不论在纠偏过程中或是日常运营使用过程中,其主要为压弯构件,且理论上桥墩底部桩、柱结合处附近弯矩最大。因此,有必要对桥墩底部应力最不利位置进行测点布设。

墩柱应变监测点布设左右幅15#墩及左右幅10#墩桩柱接合面四周位置,对称粘贴表面式混凝土应变计或安装振弦式应变传感器,共布置32个测点,见图8。连接自动化数据采集仪,实时监测应变变化。根据混凝土弹性模量换算为应力值: $\sigma = E \times \varepsilon$ 。顶推期间连续实时监测,千斤顶每推进1 mm记录1组数据;暂停及稳定阶段每5 min记录1次。应力达到限值80%时发出预警,达到限值90%时立即停止施工,防止应力超限导致结构破坏。

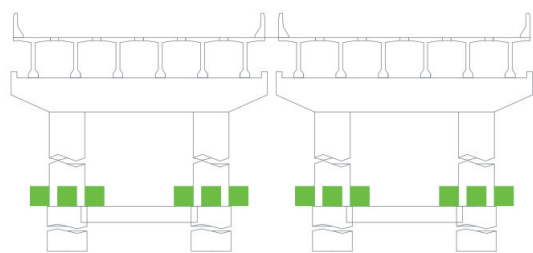


图8 墩柱应变测点布置图

4 效益分析

4.1 经济效益

以一座简支变连续梁桥纠偏处治工程为例,采用

本工法对4个桥墩进行纠偏处治建安费约115万元,每个桥墩纠偏费用仅约为28.5万元,而采用传统纠偏方法每个桥墩纠偏费用约72万元,即每纠偏1个桥墩可以节省43.5万元。因此,本工法可显著缩短施工时间,降低桥梁养护成本,有效防止桥墩纠偏后再次产生较大偏位,消除安全隐患。

4.2 社会效益

桥梁偏位问题在高速公路桥梁中经常出现,应用该工法对偏位桥梁进行纠偏处治,与传统纠偏方法相比无需支撑支架,对周围环境基本无影响,节约了大量钢材,符合国家节能减排和发展低碳经济的政策方向。同时缩短了施工工期,降低限制交通对高速公路运营的影响,保障了桥梁的服役寿命和服役安全性,对提升桥梁管养水平具有积极意义,可为同类型桥梁纠偏处治工程提供科学依据。

5 墩柱偏位预防措施

根据病害成因分析,大纵坡柔性高墩连续梁桥可以在不同阶段采取相应措施预防墩柱偏位病害:

5.1 设计阶段

(1)计算模型必须精确模拟所有关键施工阶段,尤其要验算“全跨简支梁架设完成但未连续”的最不利工况,计算每个墩顶所受的水平推力。

(2)在坡底或地质条件好处设置刚性抗推墩,其余为柔性墩。设计时应使刚性墩承担大部分水平力,形成明确的受力路径。

(3)墩顶支座安装位置及墩身施工轴线,必须根据收缩徐变、温度及大纵坡水平分力的长期效应,计算并设置精确的预偏量与预转角。

5.2 施工阶段

(1)采用砂箱、钢楔块等设置抗剪临时支座,其抗剪承载力必须经专项验算,大于所承受梁体下滑推力。并在墩顶与T梁端部之间,安装可调节的刚性钢挡块或精轧螺纹钢对拉杆,主动限制纵向位移。

(2)优先从坡底向坡顶方向架设,让已架梁体对坡底刚性墩形成反向约束。每跨梁应快速架设完成,避免单个墩长时间承受不对称推力。

(3)在体系转换前,测量各墩累计偏位。若偏位超标,应实施纵向顶推,用千斤顶施加反向力,将墩顶偏位纠正一部分后,再进行最终张拉锁定。

5.3 运营阶段

(1)增加支座与伸缩缝位移变形的检查频率,及

时更换损坏部件。

(2)建立实时监测系统,或定期进行全桥墩柱的偏位复测,形成长期变形档案,评估其长期稳定性。

6 结 语

本文针对大纵坡柔性高墩连续梁桥运营中出现的墩柱偏位与支座滑移等典型病害,提出了一套包含应急支座更换、基于二维千斤顶的桥墩精准纠偏以及全过程多参数监控的综合性处治方案。该技术通过横隔板加固提供反力、竖向临时顶升转移荷载、纵向分步可控顶推复位,实现了对偏位桥墩的安全、高效、精准纠偏,并借助应力、位移与温度等同步监测,确保了施工过程可控与处治效果持久监控。

实践证明,本文提出的纠偏施工技术具有施工便捷、安全可控、经济高效的显著优势,相较于传统纠偏方法,在降低成本、缩短工期、减少对交通和环境影响方面表现突出。同时,从设计、施工到运营全周期提出的针对性预防措施,为同类桥梁的病害防控提供了前瞻性指导。本文研究不仅成功恢复了该桥墩柱的设计位置,消除了重大安全隐患,更为大纵坡柔性高墩桥梁的养护维修与病害防治提供了行之有效的技术方案和宝贵的实践经验,具备良好的推广应用价值,对提升我国该类桥梁的长期服役性能与管养水平具有重要意义。

参考文献:

- [1] 史彪之,怀光辉,查怀松,等.超长多跨预应力连续梁桥支座预偏量设置分析[J].城市道桥与防洪,2024(12):82-86.
- [2] 侯杰,谢鸿,谢文文.高墩、大纵坡桥梁桥墩纠偏过程中的两种垂直度测量方法[J].湖南交通科技,2021,4(1):126-129.
- [3] 田世清,石庆凡,唐赐明,等.李家湾大桥墩柱纠偏技术介绍[J].公路交通技术,2013(1):56-58;64.
- [4] 丘峰,黄乔森,王勇平.高墩弯桥墩柱倾斜成因及影响分析[J].公路交通科技,2023,40(3):141-149.
- [5] 吴宏业.高墩桥梁桥墩偏移病害分析与纠偏处理[J].北方交通,2019(12):37-40.
- [6] 林广宇.某斜交T梁桥偏位成因分析及纠偏技术探析[J].科学技术创新,2022(31):150-153.
- [7] 张贻能.高速公路桥梁桥墩纠偏施工技术研究[J].交通科技与管理,2023,4(8):143-145.
- [8] 曾洋.在役桥梁桥面顶推纠偏技术和复位方案[J].黑龙江交通科技,2024,47(3):89-92.
- [9] 张桥,谭锋,陈亮.某公路桥梁墩柱偏斜病害集成处治方案研究[J].西部交通科技,2025(6):117-119;145.
- [10] 马宁.公路桥梁墩柱偏位典型病害特征分析及维修处置措施研究[J].运输经理世界,2023(3):128-130.
- [11] 谢均胜.某桥墩偏位分析及处理措施探讨[J].北方交通,2021(8):26-29.
- [12] 陈火文.桥梁支座错位和墩柱偏移病害的处治技术[J].建设机械技术与管理,2024,37(5):87-89.
- [13] 沈阳超,张智越,尹龙龙.纵坡段高墩桥墩柱偏位处置及复位安全性评价[J].工程与建设,2024,38(3):613-617.
- [14] 刘明.大纵坡、高墩桥梁桥墩检测及纠偏方案[J].北方交通,2022(3):12-15.
- [15] 黄新赞.先简支后结构连续T梁桥桥墩偏位原因分析与处治技术研究[J].运输经理世界,2025(3):91-93.