

预应力混凝土连续梁桥长期下挠病害成因及工程控制对策

马 勇

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要]随着预应力混凝土连续梁桥的建设规模扩大,由于混凝土连续梁桥长期下挠导致的交通事故时有发生。导致预应力混凝土连续梁桥长期下挠的关键因素包括方案设计的合理性、环境温湿度变化、人为施工作业等,以上因素都会直接作用于预应力混凝土连续梁桥的运行过程,增加梁体下挠的潜在风险。本研究探讨预应力混凝土连续梁桥长期下挠的病害成因,结合工程实例给出可行的控制对策。通过本次研究得出,防范与控制预应力混凝土连续梁桥的长期下挠病害应遵循因地制宜的基本原则,增进工程设计单位、施工部门、运维机构之间的沟通协调。

[关键词]预应力混凝土连续梁桥;长期下挠;病害成因;工程控制

DOI: 10.64635/ja.2026.1373

中图分类号: U448.215

文献标识码: A

Causes of Long-Term Deflection in Prestressed Concrete Continuous Beam Bridges and Engineering Control Measures

Ma Yong

Xinjiang Beixin Road & Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 830011, China

Abstract: With the expansion of the construction scale of prestressed concrete continuous beam bridges, traffic accidents caused by long-term deflection of such bridges have occurred from time to time. The key factors leading to long-term deflection in prestressed concrete continuous beam bridges include the rationality of scheme design, changes in environmental temperature and humidity, and human construction operations. These factors directly affect the operation of prestressed concrete continuous beam bridges and increase the potential risk of beam deflection. This study explores the causes of long-term deflection diseases in prestressed concrete continuous beam bridges and proposes feasible control measures based on engineering cases. The study concludes that the prevention and control of long-term deflection diseases in prestressed concrete continuous beam bridges should follow the basic principle of adapting measures to local conditions and strengthen communication and coordination among engineering design units, construction departments, and operation and maintenance organizations.

Keywords: prestressed concrete continuous beam bridge; long-term deflection; disease causes; engineering control

引言

预应力混凝土连续梁桥具有结构刚度大、不易变形、抗震性好、伸缩缝较少等优势,预应力混凝土连续梁桥目前已实现广泛的应用。经长时间使用的预应力混凝土连续梁桥易发生下挠病害,不利于保持桥梁整体结构的稳定,还有可能引发桥头跳车的重大事故。基于此,桥梁施工人员以及工程运维部门应准确把握预应力混凝土连续梁桥长期下挠的成因与解决方案,在保障人员安全的前提下降低桥梁病害的处置成本。

1 预应力混凝土连续梁桥长期下挠的病害成因

1.1 工程设计缺陷

在预应力混凝土连续梁桥的设计环节,工程设计人员

未结合区域地质环境、自然气候等实际情况进行精准预测,或者由于缺乏前期考察而导致项目图纸与实际需求存在较大差距。桥梁设计人员在预应力混凝土连续梁桥的荷载极限分析、结构形式选择、预应力分布预测等方面缺乏严密的考虑,不利于预应力混凝土连续梁桥的整体刚度与强度满足行业监管要求^[1]。一些预应力混凝土连续梁桥的跨中梁高与中部支点高度存在不合理的比例设计,易导致桥梁整体结构的刚度分布不均,加剧连续梁桥的跨中下挠现象。一部分工程设计人员未充分考虑连续梁桥在环境温湿度波动影响下的收缩徐变效应,由此造成预应力混凝土连续梁桥在实际使用中面临结构失稳的威胁,显著增加车辆颠簸甚至侧翻的风险^[2]。

1.2 人为施工失误

预应力混凝土连续梁桥的施工效果直接关系到工程正常使用,缺乏工程质量管控的预应力混凝土连续梁桥施工效果与图纸设计不符,导致桥梁在使用环节发生重大的断裂或渗漏事故。一部分项目施工人员未严格按照规定开展预应力混凝土连续梁桥的梁体刚度与挠度分析,或者在振捣、浇筑与养护混凝土的过程中存在人为操作失误,以上因素都会直接影响桥梁基础设施的安全使用。一些项目施工部门未安排专业人员负责审查入场材料的刚度、和易性、坍落度等指标,则会埋下工程运行中的重大事故隐患,由于大体积混凝土的弹性模量较低或者结构刚度不足而加剧梁体下挠。施工人员在浇筑或振捣混凝土时存在操作错误,增加大体积混凝土出现渗漏或裂缝的几率,不利于混凝土结构长期保持良好的耐久性。

1.3 运维养护缺失

预应力混凝土连续梁桥在施工完毕后,应立即进入混凝土结构养护环节。然而在工程实践中,一些项目总承包企业并未安排专业人员负责实施混凝土结构养护,这种情况容易导致混凝土裂缝或渗漏范围的持续扩大,还会诱发梁体下挠的事故。桥梁工程在进入使用阶段后,由于养护作业不规范、车辆超载运行、极端降雨气候等复杂因素影响,易导致梁体表面出现大范围的渗漏或开裂,严重影响预应力混凝土连续梁桥的正常使用^[3]。处于露天运行环境中的预应力混凝土连续梁桥还会持续受到化学腐蚀、温湿度变化等不利因素影响,增加桥面铺装层开裂的风险,并有可能加速大体积混凝土的结构劣化。例如在化工污染严重地区或者沿海地区,具备强腐蚀性的化学物质持续渗透至梁体缝隙,加速混凝土与钢筋结构的劣化。工程养护部门未及时更换或修复桥面铺装层,没有对损坏的钢筋以及混凝土结构实施必要的修复处理,易缩短预应力混凝土连续梁桥的工程寿命。

如下表,为预应力混凝土连续梁桥长期下挠病害的常见成因归纳:

表 1 预应力混凝土连续梁桥长期下挠病害的常见成因归纳

病害表现	成因分析
连续梁桥的跨中下挠	工程设计缺陷
梁体下挠、渗漏、开裂	施工操作失误
混凝土裂缝或渗漏	运维、养护力度薄弱

2 预应力混凝土连续梁桥长期下挠病害防控实例

2.1 工程概况

杜尚别第 82 小区环形路立交桥项目位于杜尚别西面,

本项目的中心桩号为 km15+65.05。项目东西方向起点 km12+0.00, 终点 km19+0.00, 全长 700m。该立交桥项目主要由长 120m、7 跨预应力混凝土连续梁大桥一座和东西两面共 272.27m 长的引道组成。项目南北方向起点 CH0+0.00, 终点 CH8+35, 全长 835m, 主要由长 387.67 地下行车道和环岛上跨地下行车道两座 21m 宽的小桥组成, 并且在东、南、西、北面各设一道地下人行通道。项目总承包部门负责各种管线的移除与新建, 并负责高架桥梁、引道挡墙工程、地下人行通道工程、新建自来水、高压电力、居民用电、通讯管线、热力管道、绿化用水管线等管线布置。依据本项目的现场地勘情况, 沿路线的地形起伏不明显, 总体地势较为平坦。工程探井及钻孔资料显示, 拟建道路在勘探深度的 32.3 范围内主要由黏土、砂壤土、卵石、砂砾石组成。

2.2 病害分析

预应力混凝土连续梁桥的梁体裂缝迹象比较明显, 集中体现在梁体连接处、锚固端、张拉端等关键区域。技术人员经过现场调查得出, 预应力混凝土连续梁桥的梁体病害产生根源较为复杂, 这类病害主要来自施工人员的人为操作失误、自然气候变化、混凝土结构设计缺陷等方面^[4]。工程总承包部门在明确连续梁桥常见病害成因的基础上, 采取积极、有效的措施进行应对。技术人员通过建构有限元分析模型, 经过全面评估得出桥梁预应力筋断裂、结构松动、梁体开裂对结构下挠产生的影响大小, 充分发挥有限元建模工具在判断梁体开裂风险等级中的功能。项目技术人员通过展开综合评价与考察, 进一步归纳出连续梁桥的预应力混凝土结构存在缓慢的收缩徐变趋势。大体积砼结构一旦存在收缩徐变的倾向, 则有可能引发梁体表面的大规模断裂, 威胁车辆的安全通行。

如下图, 为预应力混凝土连续梁桥的梁体裂缝病害实拍图:



图 1 预应力混凝土连续梁桥的梁体裂缝病害的实拍图

2.3 处置方案

为避免预应力混凝土连续梁桥的下挠程度增加, 项目总承包部门拟采取源头防范的措施, 全面加大对混凝土浇筑作业、振捣作业、预应力钢绞线张拉作业等关键环节的

控制力度。具体在混凝土浇筑开始之前,施工人员对模板进行脱模剂涂刷,在涂刷完成后及时进行混凝土浇筑。施工人员在首次浇注时采用分层分段施工模式,其中各层的分段长度要依据底层混凝土完成初凝前的灌注上层砼厚度进行确定。专门用于大体积混凝土振捣的振捣棒主要包括“30 棒”“50 棒”的两种类型,施工人员可通过小孔进入箱内进行振捣。大体积砼振捣采取划区专人负责的形式,将施工责任严格落实到各班组以及各岗位人员。施工人员在从事振捣作业的过程中,尤其需注意腹板与横隔梁交叉处、张拉端、锚固端等钢筋密集部位的振捣密实度,避免遗漏振捣。振动过程中禁止振动棒碰撞波纹管,并应当安排专人看护模板,避免出现大面积的漏浆或跑模。施工时严格控制砼高度,张拉时要严格按照图纸规定的张拉顺序进行钢束张拉^[5]。该项目总承包部门通过采取以上可行性措施,妥善解决了预应力混凝土连续梁桥长期下挠问题,延长了工程运行寿命。

3 预应力混凝土连续梁桥长期下挠的控制对策

3.1 加强调研,优化方案设计

为避免预应力混凝土连续梁桥出现严重的长期下挠,工程设计部门应当从源头入手改进图纸方案,通过优化项目设计妥善解决连续梁桥的结构下挠问题。为防止预应力混凝土作为主要结构的连续梁桥在长时间使用后出现梁体下挠,项目设计单位需安排专业人员负责展开现场勘察,明确项目所在场地的地质环境与气候条件,并且将采集到的第一手数据作为工程图纸设计的重要依据。在此前提下,结合项目所在场地的实际情况调整图纸方案,合理增加连续梁桥的梁体截面高度,这样做能够显著改善梁体刚度,避免在后期使用阶段出现大面积的梁体下挠^[6]。设计人员还可通过调整梁体顶板或中跨底板的预应力分布形式,对连续梁桥的梁体挠度进行长期控制,从项目全生命周期的角度入手加大风险防控力度。当前时期,项目设计部门应充分发挥大数据分析 with 有限元分析技术工具的作用,通过建构有限元分析模型或大数据分析模型,将二维图纸转化成三维可视化的直观模型,从而方便工程设计人员准确把握预应力混凝土连续梁桥在不同时段的下挠程度变化趋势。在多数情况下,桥梁腹板厚度对大跨径连续梁桥下挠的影响较为明显。因此在工程设计环节,设计人员应高度重视桥梁腹板的结构厚度控制;并通过合理调整梁体顶底板的最小厚度,达到显著增强桥梁整体结构刚度、改善工程抗裂性能与防渗性能的目的。

如下图,为预应力混凝土连续梁桥结构刚度分析的有

限元仿真模型:



图2 预应力混凝土连续梁桥结构刚度分析的有限元仿真模型

3.2 严格审查,规范施工作业

项目总承包企业人员通过加大对预应力混凝土连续梁桥结构材料的入场审查力度,可避免未达到行业监管规定的材料或机械设备进入项目场地,对消除连续梁桥的下挠风险具有显著意义。将物联网监测仪、无损探伤设备等数字化工具合理应用于工程材料的入场审查,确保钢筋、混凝土、预应力管道的坚固度与抗渗性满足图纸设计要求。项目施工人员在进入作业场地之前,应明确预应力混凝土连续梁桥在结构布局方面的特殊性,增进工程设计单位与施工部门之间的沟通协调,妥善做好技术交底工作。工程总承包企业应加大对施工作业过程的监督,切实规范施工人员的操作行为^[7]。例如在预应力张拉环节,关键在于按照正确的张拉顺序予以实施。施工人员还要避免预应力张拉力度过大或过小,并应当防止注浆密实度较低、预应力失效、钢绞线锈蚀等常见隐患形成,从源头降低梁体下挠的发生率。

3.3 注重养护,定期排查隐患

避免预应力混凝土连续梁桥长期下挠的重点即为加大桥梁结构养护力度,工程总承包企业应当在严格规范施工作业的基础上加强桥梁结构养护,并安排专业人员负责定期排查梁体表面以及深部的安全隐患。具体有必要严格限制通行车辆的最大荷载,禁止超出荷载极限值的车辆运行于预应力混凝土连续梁桥。在预应力混凝土桥梁的运营阶段,需通过设置限载标志、安装称重设备等方式,全面控制超载车辆的通行,切实减轻连续梁桥的结构负担^[8]。为防止桥梁表面或内部结构存在预应力损失,工程养护部门需加大风险排查的力度,及时察觉并妥善处置连续梁桥在运行过程中的隐蔽缺陷。随着桥梁预应力损失比例的持续增大,混凝土连续梁桥中跨的竖向挠度将会不断减小,然而这种趋势并不会直接造成梁体结构的大面积下挠。基于以上考虑,工程养护部门应及时察觉潜在的隐蔽缺陷,充分发挥无损探伤技术在排查预应力混凝土连续梁桥长期下挠隐患过程中的功能。对已经出现严重腐蚀或裂缝迹象的梁体结构需立即采取修补、封闭等处理措施,避免既有病害的范围扩大。工程养护部门针对已出现下挠趋势的混凝土连续梁桥,可通过增设体外预应力束、补充注浆等

方式进行加固处理,旨在恢复混凝土连续梁桥结构的最佳线性状态^[9]。若大体积预应力混凝土连续梁桥在持续运行多年后出现了中跨下挠的迹象,工程养护部门应尝试在不中断区域交通的情况下采取外加结构的梁体加固方案,或者配合采用“体外预应力”方案。工程运维与养护部门通过采取以上方案,能够在确保区域交通安全的同时延长桥梁结构寿命,推动大体积混凝土连续梁桥工程的运维成效提升。

4 结束语

综上所述,预应力混凝土连续梁桥长期下挠的成因复杂,桥梁施工部门以及运维管理人员需加大对桥梁使用过程的监测力度,避免由于混凝土桥梁长期下挠引发重大的交通事故。为确保预应力混凝土连续梁桥的正常使用,应当重视物联网、人工智能、大数据等技术手段的采用,在全面采集原始数据的基础上精准把握工程病害隐患。从源头解决预应力混凝土连续梁桥长期下挠的复杂问题,还需进一步加大对入场材料的质量监测力度,并且在桥梁关键部位增加保护装置。

[参考文献]

[1]陶兴旺.预应力混凝土连续梁桥常见病害成因分析及对

策[J].城市建设理论研究(电子版),2026(3)85-87.

[2]周峰.大跨径混凝土连续梁桥下挠过大分析及处置对策研究[J].科学技术创新,2026(2)93-96.

[3]胡科.预应力混凝土连续梁桥悬浇施工预拱度设置研究[J].安徽建筑,2025,32(11)150-152.

[4]魏鹏.大跨度预应力混凝土连续梁桥合龙施工方案优选[J].交通世界,2025(32)169-171.

[5]董鹏飞,唐凯.一级公路预应力混凝土连续梁桥变形控制技术[J].交通科技与管理,2025,6(17)34-36.

[6]毕建民,李伟,杜鹏程等.恒载作用下 200m 级预应力混凝土梁桥考虑收缩徐变的结构应力分析[J].河南科技,2025,52(10)77-85.

[7]邓思勉.预应力混凝土连续梁桥加固技术研究[J].工程技术研究,2025,10(6)60-62.

[8]杜学亮.大跨 PC 连续梁桥实测病害与长期下挠影响因素[J].中国水运,2025(3)152-155.

[9]张静静,饶春华.基于有限元模型的大跨度预应力混凝土连续刚构桥长期下挠因素分析[J].交通世界,2023,(22):135-137.