

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.12.040

桥梁顶升施工墩柱不同步效应影响分析研究

丁祥文

(上海市市政公路工程检测技术有限公司,上海市 201108)

摘 要:以某三跨预应力混凝土连续梁结构调坡顶升施工为工程背景,研究桥梁顶升墩柱之间不同步位移差的力学行为和其控制方法。首先,采用梁格模型与参数化分析方法对比仅不同墩柱之间在较大的顶升位移差以及同时考虑横桥向顶升位移差对主体结构的影响,准确地评估顶升墩柱不同步效应对桥梁受力的影响,并基于结构应力提出 3 个位移量级,从而提出基于位移差的性能控制量化分析;其次,基于主梁抗裂控制要求,提出采用不同墩柱位移差来衡量顶升施工质量,并分析此位移差对结构受力性能的影响,为快速判断顶升施工安全性提供参考思路;最后,通过实例工程实施及相关监测数据验证不同步性位移量级性能控制方法,为类似工程提供参考。

关键词:桥梁顶升;不同步性;位移量级;性能控制;参数分析

中图分类号:U445

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)12-0153-04

0 引言

目前,国内外桥梁顶升技术已成为城市已建桥梁改建或新建桥梁施工中一种成熟可靠、经济环保的施工方法。随着桥梁顶升技术的不断推广和广泛运用,顶升施工方法也显现出安全问题,如安徽合肥在建高架桥在整体抬升过程中因千斤顶顶升力不足而导致整体坍塌、湖南怀邵衡铁路架梁时因千斤顶锈蚀而发生落梁事故等。故而,整个施工过程中应当时刻关注顶升力及位移同步性控制等问题,避免安全事故的发生。

已有较多学者对桥梁整体顶升的关键技术进行了研究分析^[1-2],主要研究桥梁整体顶升各方案的优劣^[3]、PLC 同步顶升技术的应用效果以及整体顶升时桥梁结构的受力分析情况等,并对顶升过程中纵向误差控制限值和横向误差控制限值均有所阐述^[4-6]。实际顶升过程中,各墩柱处顶升位移会有所差异,这种差异程度如何影响桥梁结构的受力性能尚未有学者进行深入研究。

本文将以某三跨连续桥面变宽的预应力混凝土桥梁调坡顶升施工过程为例,分析施工过程可能出现的墩柱不同步位移差对桥梁结构应力、反力的影响,并引入不同量级的不同步位移差等级,研究不同步性对桥梁结构的影响程度,并提出采用基于位移

量级的性能控制方法,实现施工过程的精细化控制。

1 工程案例背景

桥梁结构为预应力混凝土三跨连续梁桥,跨径布置为 39 m+60 m+32 m,主梁为单箱三室变截面,箱梁顶板宽度 16.5~20.5 m,箱梁高度 2.0~3.7 m,全桥总重 6 609.6 t。

墩柱编号为 DZ42~DZ45,DZ42 墩和 DZ43 墩采用双支座支承,DZ44 和 DZ45 采用三支座支承。对墩柱处支座进行编号,如图 1 所示。

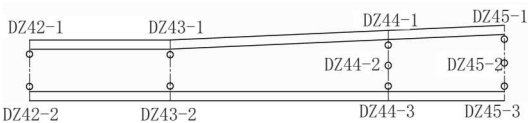


图1 桥梁平面支座布置图

本工程顶升施工设计方案总体上分为两步:(1)以 DZ42 墩为转动点,DZ43~DZ45 以相同角速度进行同步调坡顶升,实现桥梁纵坡由 -0.03%变至 +1.32%;(2)桥梁纵坡调整到位后,对各墩柱进行整体同步抬升,顶升至设计高程。通过顶升,最高顶升高度 323.9 cm,最低顶升高度 147.2 cm,如图 2 所示。

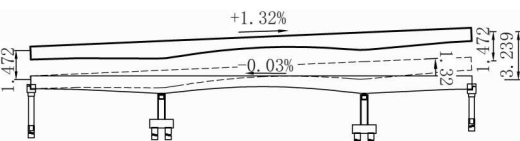


图2 某工程桥梁顶升过程示意图(单位:m)

案例桥梁需要进行调坡和整体顶升,涉及到各墩柱的同步协调施工操作,具有如下施工技术难点:

收稿日期:2022-05-13

作者简介:丁祥文(1994—),男,硕士,助理工程师,从事桥梁监控工作。

(1)大纵坡调改循环工序多,同步顶升系统的工作频次大大增多,且不同墩柱处顶升高度不一,需对顶升施工进行精确控制;

(2)桥面存在变宽段,结构本身在自重作用下会产生空间扭转效应,同一墩柱处不同支座反力的分配比例不一,增加了顶升施工同步控制的难度;

(3)桥梁顶升量程较大,墩柱高度较高,在顶升过程中,桥梁处于“高位悬空”状态,顶现场预警控制措施缺少针对性,控制难度大。

目前,规范中规定的桥梁顶升常用位移差控制限值为2 mm,但并未明确指出纵桥向和横桥向控制指标的区别,亦未明确指出限值是针对控制系统千斤顶的位移差还是墩柱控制点的高程之差等。故而,目前常用的控制指标存在较多不明确性。对于大调坡桥梁顶升,顶升位移差控制指标尚未有深入的研究,缺少相应的预警控制措施,以及缺少施工过程中存在顶升位移差基于理论分析的定量判断。

综上,案例桥梁面临大调坡顶升、自身结构扭转效应明显、大量程高位顶升施工等多方面难题,造成墩柱同步性顶升控制难度大,而已有的控制指标和计算分析手段存在较大弊端,无法满足工程需求,需开展深入技术研究。

2 墩柱位移不同步效应影响分析

针对变宽桥梁调坡顶升,各墩柱的顶升高度存在因结构自身重量扭转作用和调坡时纵向滑动等因素而产生顶升高度不同步现象。根据实际可能存在的顶升不同步情况进行力学行为分析,为深入研究不同步性对桥梁结构受力性能的影响提供数理基础。

2.1 工况分析

桥梁调坡顶升施工墩柱不同步性分析需考虑如下2种计算工况。

(1)工况1:桥梁调坡时易出现不同墩柱之间产生较大顶升位移差的情况,此时横桥向不同步误差可忽略不计,主要计算纵桥向各墩柱位移差对桥梁结构受力的影响。

(2)工况2:桥梁顶升施工过程中,尤其桥面变宽桥梁结构自身存在明显的自重扭转效应,此工况则考虑桥梁结构空间扭转效应对桥梁结构受力的影响,分析在纵桥向存在一定顶升位移差的同时计入横桥向不同步误差的作用。

在线弹性范围内,不同量级位移差的结构响应呈线性关系,可选基准位移差1 cm进行杆系有限元

计算,采用Midas Civil建立全桥梁格三维有限元模型,分析工况1和工况2下结构的力学响应,梁格计算模型如图3所示。

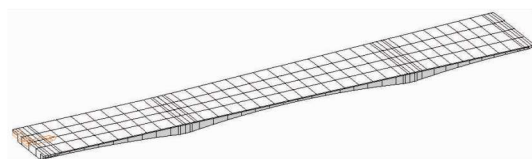


图3 三维有限元梁格模型

工况1和工况2可能的强制位移组合如图4和图5所示。工况1共有 $24=16$ 种可能组合,工况2共有 $210=1\,024$ 种可能组合,通过Midas Civil中沉降功能自动计算最不利组合。

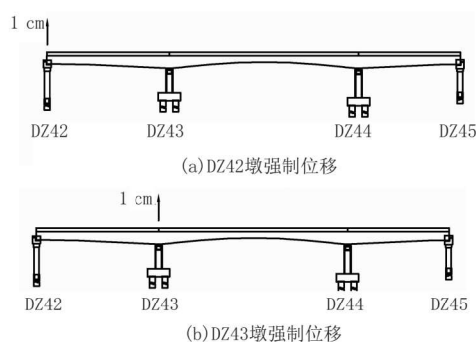


图4 工况1部分可能组合

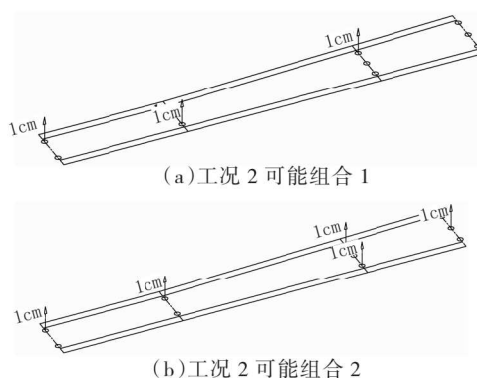


图5 工况2部分可能组合

计算模型中仅考虑各墩柱支座位置的位移差,忽略实际工程中同一墩柱下各千斤顶竖向支撑反力的差异。墩柱支座处的竖向支撑约束设置为只受压边界条件,消除支座负反力的失真模拟因素。

2.2 结构受力分析

桥梁顶升改造设计对顶升过程中桥梁结构的应力状态或变形量有控制要求。如对于混凝土结构,要求混凝土拉应力不超限或梁体不开裂,顶升到后桥头高程衔接满足 $\pm 5\text{ mm}$ 等^[7-8]。

针对墩柱位移差的控制要求,分析基准位移差1 cm工况1和工况2下结构的应力和反力。通过分析工况1和工况2结构应力和反力,对比工况1和工况2的受力特点,为指导现场施工评判分析提供

依据,其计算结果见表 1 和图 6。

表 1 工况 1 和工况 2 应力计算结果

工况	拉应力 / MPa	允许拉应力 / MPa	压应力 / MPa	允许压应力 / MPa
工况 1	1.33	1.855	11.8	22.4
工况 2	1.95		14.8	

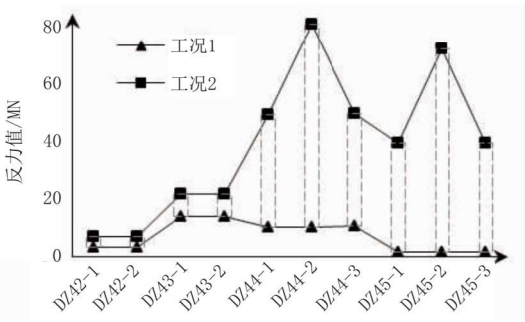


图 6 工况 1 和工况 2 各墩柱支座反力

由应力结果可知:(1)工况 1 和工况 2 的拉应力之比为 0.68、压应力之比为 0.80,工况 1 的最大拉应力和最大压应力均小于工况 2,说明考虑横桥向位移差的工况 2 更为不利;(2)工况 1 的拉压应力和工况 2 压应力均小于规范允许值,但工况 2 的拉应力已达 1.95 MPa,超出规范限值,存在开裂风险^[9-10]。

由反力结果可知:(1)工况 1 同一墩柱处各支座反力接近,分配均匀,无明显差距,说明工况 1 为整体受力情况;(2)工况 2 墩柱 DZ42 和 DZ43 各支座反力分配均匀,无明显差距;(3)墩柱 DZ44 和墩柱 DZ45 的各支座反力出现“中间大两边小”的分配不均匀现象,偏载系数接近 2;(4)工况 1 墩柱 DZ44 和 DZ45 支反力相差较大,工况 2 支反力相差较小,说明工况 1 对变宽段支座反力不均匀性影响更大;(5)工况 2 各墩柱支座反力均大于工况 1 支反力,且桥梁等宽段两工况支反力较接近,变宽段两工况支反力相差较大。

3 不同步位移量级分析

位移差量级直接影响结构的受力性能,从而影响桥梁顶升进程的决策。本文基于不同位移量级对结构的力学性能,提出位移量级等级概念,及其性能水平,从而实现桥梁顶升的性能控制。

3.1 位移量级划分

根据桥梁结构在不同位移差作用下的应力水平和工程经验,将不同步位移差划分为 3 个等级,并根据位移差对主体桥梁结构产生的应力水平明确各位移量级对应的性能水平。

(1)位移量级 1:顶升过程的位移差产生的附加

应力不超过规范限值的 10%,可以继续顶升施工。

(2)位移量级 2:顶升施工过程中混凝土的拉压应力均在规范限值内,可以继续顶升施工。

(3)位移量级 3:顶升过程中允许主体结构进入塑性,但是整个结构不发生倒塌,停止顶升施工,并采取补救措施。

不同位移量级对应的结构性能水平与规范之间的对应关系见如图 7 所示。从中可知:(1)位移量级 1 要求严于规范要求,位移量级 2 等同于规范要求,位移量级 3 松于规范要求;(2)同一位移量级下的两种工况对应的性能水平一致;(3)位移量级 3 表示桥梁结构已经接近受力性能极限,存在倒塌风险,施工过程中应避免此量级位移差。

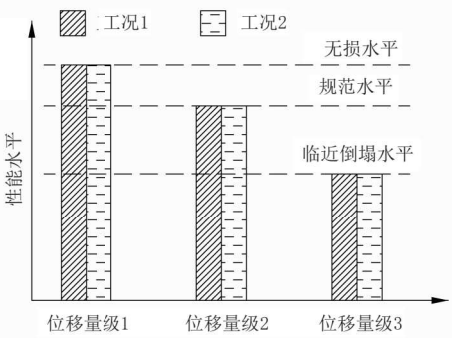


图 7 不同位移量级结构性能水平

3.2 允许位移差分析

基于前述有限元的计算结果以及位移量级的划分,可按照各位移量级的性能水平要求按照线弹性原理反推出相对应的位移差限值,如图 8 所示。从中可知:(1)位移量级 1 要求各墩柱之间纵桥向位移差在 1.8 mm 以内,横桥向位移差在 0.4 mm 以内;(2)位移量级 2 要求各墩柱之间纵桥向位移差在 21 mm 以内,横桥向位移差在 9.5 mm 以内;(3)位移量级 3 要求各墩柱之间纵桥向位移差在 40 mm 以内,横桥向位移差在 15 mm 以内;(4)工况 2 的位移差限值比工况 1 要求严格,说明横桥向的位移差影响较大,需引起重视。

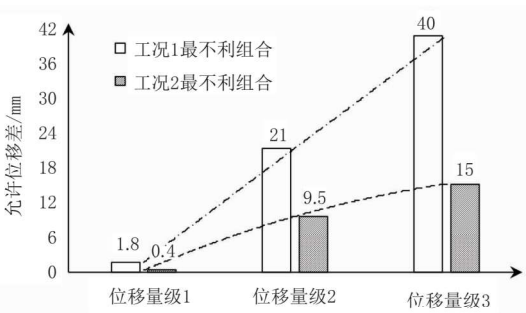


图 8 工况 1 和工况 2 不同位移量级位移差限值

综上,横桥向不同步误差会引起变宽段各支座支反力出现较大的不均匀分配现象,允许出现的位移差限值较低,顶升施工过程中应加强对横桥向不同步误差的控制。

4 实例工程分析

结合现场的实测数据,按照上述的墩柱不同步力学分析过程和不同步控制研究对实例工程展开分析。

4.1 成桥状态性能评估

本桥调坡顶升和整体同步顶升共分为19个进程,成桥时顶升高度情况见表2。墩柱之间最大纵桥向墩柱位移差为1.3 cm,可确定成桥状态满足位移量级2性能目标。分析表明,成桥状态施工误差对桥梁结构的使用性能未造成影响,顶升施工效果可以接受。

表2 成桥顶升高度

项目	DZ42	DZ43	DZ44	DZ45
最终顶升高度/m	1.459	1.996	2.831	3.239
设计顶升高度/m	1.472	1.983	2.828	3.239
差值/m	0.013	-0.013	-0.003	0.000

4.2 顶升过程性能控制分析

不同墩柱之间最大位移差数据如图9所示,结合本文的位移量级性能控制方法对顶升过程进行分析。

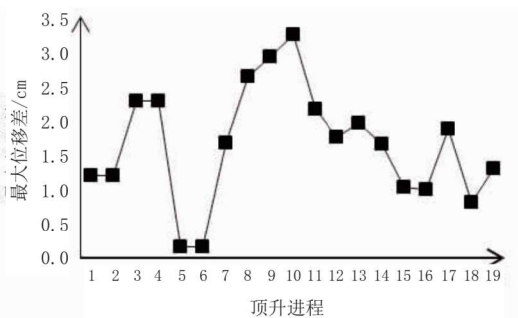


图9 顶升进程纵桥向墩柱位移差

从中可知:(1)顶升过程中墩柱之间纵桥向位移差最大为3.2 cm,存在5个顶升进程纵桥向位移差在2.1 cm以上。该部分进程均处于位移量级3,存在结构整体倒塌的风险,现场应采取千斤顶重新调整顶升高度以减少此进程施工对后续顶升施工的影响。

(2)大部分进程的墩柱之间纵桥向位移差均在2.1 cm以内,处于位移量级2,满足规范要求,施工可以接受,可以进行顶升施工。

(3)通过在顶升进程实时监测墩柱之间位移差

的变化,对较大位移差进行及时调整,可以有效控制住成桥时顶升位移差在可接受范围内,并达到预期的位移量级等级,从而实现定量性能控制,提高施工质量和效率。

综上,将墩柱之间位移差监测数据与本文位移量级性能控制方法相结合,可有效提高施工质量,快速进行现场施工判断,保障施工过程的安全,降低施工成本。

5 结论

以三跨连续梁为工程背景,开展墩柱之间位移差力学分析和位移量级性能控制方法研究。

(1)根据案例桥梁的结构特点,对墩柱之间纵桥向顶升位移差和横桥向顶升位移差进行力学分析,计算结果表明横桥向顶升位移差对结构的影响更大,施工过程应注意横桥向误差控制。

(2)为明确墩柱之间位移差对顶升施工的影响,将纵桥向和横桥向顶升位移差按照性能目标分为3个位移量级,并建立了位移量级对应的性能水平等级,实现了位移差量化了顶升施工控制的性能等级水平。

(3)根据墩柱之间位移差分析结果,结合实例工程的分析,验证了基于位移量级对顶升施工控制的可行性,为解决顶升施工墩柱之间不同位移差性能控制提供了参考思路。

参考文献:

- [1] 王玄玄,黄玉林,赵金城.油缸顶升位移不同步对整体钢平台性能的影响[J].科学技术与工程,2018,18(22):128-136.
- [2] 尹天军.塔梁墩固结体系斜拉桥整体顶升关键技术[J].桥梁建设,2020,50(2):104-109.
- [3] 金明东.某钢箱梁桥整体顶升施工风险分析与控制[J].结构工程师,2020,36(3):244-251.
- [4] 石华军.城市高架桥梁顶升及桥墩更换技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
- [5] 袁诗佳.梁式桥结构顶升关键技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [6] 白凤明.桥梁同步顶升技术及其计算机仿真研究[D].武汉:湖北工业大学,2013.
- [7] 孙媛媛,江军.南河特大桥顶升方案关键点分析与设计[J].上海公路,2018(3):57-60.
- [8] 周松,常光照,孟晓亮,等.大跨径混凝土连续梁桥整体顶升施工分析[J].桥梁建设,2017,47(3):116-120.
- [9] 胡安庆,何跃军.曲线桥梁顶升施工关键技术[J].中国市政工程,2017(1):31-34.
- [10] GB/T 51256—2017.桥梁顶升移位改造技术规范[S].