

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.05.026

引用格式:罗雷.连续刚构桥下挠影响因素及对结构受力的影响分析[J].公路与汽运,2024,40(5):147-150.

Citation:LUO Lei.The influence factors of downflexure of continuous rigid frame bridge and analysis of its influence on structural force[J].Highways & Automotive Applications,2024,40(5):147-150.

连续刚构桥下挠影响因素及对结构受力的影响分析

罗雷

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司,广东佛山 528041)

摘要:从钢束预应力损失、混凝土收缩徐变、施工质量、设计理论、后期运营管理方面分析连续刚构桥下挠的影响因素;以广东佛山市一座三跨连续刚构桥为例,对不同程度主跨下挠时桥梁结构受力进行计算,分析连续刚构桥内力随主跨整体下挠的变化规律。

关键词:桥梁;连续刚构桥;主跨下挠;影响因素;结构受力

中图分类号:U445.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)05-0147-04

连续刚构桥以其施工方法成熟、造价低、跨越能力较强等优点在桥梁建设中得到广泛应用。然而由于施工工艺存在缺陷、人为施工质量控制不当或管养不当,不少连续刚构桥出现跨中下挠过大的问题,影响行车安全。本文参考以往文献资料,结合工程实践经验,分析连续刚构桥下挠的影响因素,并结合实例分析连续刚构桥下挠时结构受力的变化,为桥梁管养等提供参考。

1 连续刚构桥下挠影响因素分析

1.1 钢束预应力损失

连续刚构桥的跨中挠度是结构自质量等恒载作用效应、活载作用效应等与预应力体系提供的预应力作用效应平衡的结果,预应力筋布置形式和有效预应力大小会在一定程度上影响桥梁挠度^[1-2]。

根据JTG 3362—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》,预应力损失主要包括:预应力筋与管道壁间摩擦引起的预应力损失;锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩引起的预应力损失;采用加热方法养护时,钢筋与台座之间的温度差引起的预应力损失;张拉时混凝土弹性压缩引起的预应力损失;钢筋松弛引起的预应力损失;混凝土收缩徐变引起的预应力损失^[3]。

1.2 混凝土的收缩徐变

混凝土收缩徐变的影响因素有许多,如混凝土配合比、温度、湿度、混凝土受荷时间等。混凝土徐变早期增长明显,后期趋于缓慢,但徐变不会在某一

时间节点消失,而是在混凝土结构整个生命中一直存在,直到结构破坏。

工程研究数据显示,有的运营已十多年的大跨径桥梁仍在持续下挠,表明当前对于混凝土收缩徐变的探索研究还不够完善,设计中对于混凝土结构徐变的影响程度和持续时间把握不准确,桥梁实际发生的收缩徐变与设计考虑的存在较大偏差^[4-5]。

1.3 施工质量

大跨径连续刚构桥悬臂施工节段较多,施工中挂篮变形无规律、梁段分层分段收缩程度不同、模板变形刚度不足等会导致部分梁段的接缝质量存在问题,与设计建模所考虑的一次成型的整体桥梁结构在接缝处强度、刚度方面存在一定偏差。当某些梁段接缝存在施工质量缺陷时,接缝截面长期存在较大荷载作用,会产生较大剪切徐变,导致主跨跨中下挠程度加大。

有研究表明,混凝土结构受荷龄期越早,最终徐变值越大。但实际施工中,为了赶工期,经常会大幅度提前进行预应力钢束张拉,导致桥梁结构最后徐变值远远超出设计值,桥梁结构下挠严重。

1.4 设计理论

当前使用的混凝土收缩徐变理论模型没有考虑持续的车辆活荷载及其冲击效应对桥梁混凝土结构收缩徐变的影响,而仅考虑了恒载长期作用对桥梁结构的影响^[6]。随着社会经济的发展,机动车数量持续飙升,重载货车的吨位增大。经过多年运营后,桥梁结构状况下降,但其承担的荷载增大不少,甚至

超出规范要求的频次和质量,尤其现在车辆超重、超速严重,桥梁结构长期高负荷运营,结构内部会产生疲劳损伤,对长期徐变值产生一定影响。

1.5 后期运营管理

桥梁建设完成投入运营后,由于外部环境侵蚀、重载车辆通行、材料老化等,桥梁结构会产生一定病害,如不及时处理,会加速桥梁结构的进一步损坏。

公路规范对运行车辆的载质量、行驶速度等有明确规定,桥梁结构设计也依照相关规范执行。如果管养单位未按照设计规定限制车辆的质量和速度,随着时间的推移,桥梁结构内部损伤会累积,积累到一定程度时,桥梁结构线形会出现异常^[7-11]。

2 连续刚构桥下挠对结构受力的影响

2.1 桥梁概况

广东佛山市某三跨(72+130+72) m 连续刚构桥,桥面宽度为 17 m(0.5 m 防撞护栏+16.0 m 行车道+0.5 m 防撞护栏)。上部结构采用单箱单室截面,其中箱梁底板宽度为 8.50 m,箱梁左右侧翼缘板宽度为 4.25 m,箱梁根部最大梁高为 7.0 m,跨中梁高 2.8 m,箱梁高度按 1.8 次抛物线变化。下部结构采用双肢薄壁墩,单肢厚 1.25 m,墩高 10.00 m。

2.2 有限元计算模型

桥梁结构计算采用有限元分析软件 MIDAS/Civil,共划分为 149 个节点、136 个单元,其中主梁划分为 116 个单元,实心薄壁墩划分为 10 个单元。主梁采用 C55 混凝土,纵向预应力钢束采用 $\phi 15.2$ mm 钢绞线,汽车荷载采用公路-I 级。按 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》对荷载作用效应进行自动组合,得到承载力极限状态基本组合,本文主要考虑一期、二期恒载和汽车荷载。图 1 为有限元模型。

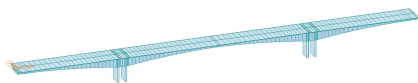


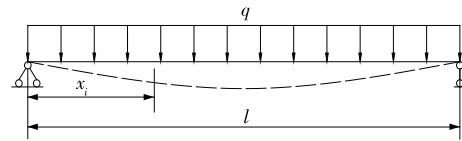
图 1 连续刚构桥有限元模型

2021 年对该桥进行荷载试验,试验结果与理论计算结果吻合较好,桥梁结构分析计算结果与结构实际受力相符。

2.3 桥梁结构线形变化形式选择

实际工程中,连续刚构桥可能出现多种形式下挠,分为两类:一类是非挠曲线方程下挠,如近似折线、圆曲线、双曲线、悬链线、抛物线、无规律曲线;二

是按挠曲线方程下挠^[6]。经与实测线形对比。本文采用挠曲线方程模拟连续刚构桥主跨下挠(见图 2)。



q 为均布荷载集度; x_i 为某处距梁端的距离;

l 为连续刚构桥主跨跨径

图 2 挠曲线下挠示意图

根据材料力学,主梁任意点处的挠度值 f 为:

$$f = 3.2 f_{\max} (2k^3 - k^4 - k)$$

式中: f_{\max} 为跨中最大挠度值; $k = x/l$ 。

2.4 主跨下挠对结构内力的影响

2.4.1 主跨下挠对比方案

采用 8 个桥梁主跨下挠模型和原桥模型进行对比分析,对比模型主跨按 2.3 节所述挠曲线方程进行下挠处理,其他参数均与原桥模型一致(见表 1)。

表 1 某连续刚构桥下挠对比方案

方案编号	主跨跨径/ m	主跨跨中 最大挠度/cm	挠跨比
1	130	0	0
2	130	20	1/650.0
3	130	40	1/325.0
4	130	60	1/216.7
5	130	80	1/162.5
6	130	100	1/130.0
7	130	150	3/260.0
8	130	200	2/130.0
9	130	300	3/130.0

注:挠跨比为主跨最大挠度与主跨跨径的比值。

2.4.2 计算结果及分析

选择连续刚构桥边跨最大活载弯矩 A 截面、墩顶最大负弯矩 B 截面和主跨跨中 C 截面作为结构内力控制截面(见图 3),分析承载力极限状态基本组合下内力(截面弯矩)随连续刚构桥主跨线形的变化规律。不同主跨跨中下挠量下各控制截面的弯矩变化分别见表 2 和图 4、表 3 和图 5、表 4 和图 6。

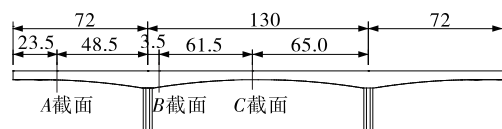


图 3 连续刚构桥结构内力控制截面(单位:m)

表 2 不同主跨下挠量下 A 截面的弯矩变化

方案 编号	主跨跨 中下挠 量/cm	A 截面弯 矩组合值/ (kN·m)	主跨下挠后 A 截面弯矩 变化率/%	组合值中 活载效应 占比/%
1	0	127 728.9	—	19.95
2	20	127 343.7	-0.30	20.01
3	40	126 960.7	-0.60	20.08
4	60	126 580.4	-0.90	20.15
5	80	126 203.1	-1.19	20.22
6	100	125 831.9	-1.49	20.28
7	150	124 927.9	-2.19	20.46
8	200	124 053.2	-2.88	20.63
9	300	122 415.4	-4.16	20.97

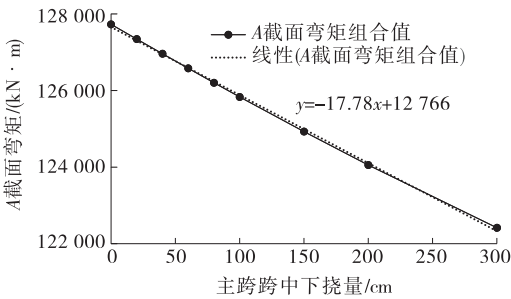


图 4 不同主跨下挠量下 A 截面的弯矩变化曲线

表 3 不同主跨下挠量下 B 截面的弯矩变化

方案 编号	主跨跨 中下挠 量/cm	B 截面弯 矩组合值/ (kN·m)	主跨下挠后 B 截面弯矩 变化率/%	组合值中 活载效应 占比/%
1	0	-992 768.5	—	10.30
2	20	-995 935.2	0.32	10.31
3	40	-998 963.3	0.62	10.32
4	60	-1 001 847.3	0.91	10.33
5	80	-1 004 581.8	1.19	10.34
6	100	-1 007 161.6	1.45	10.34
7	150	-1 012 904.4	2.03	10.36
8	200	-1 017 569.5	2.50	10.38
9	300	-1 023 378.3	3.08	10.42

由表 2~4 和图 4~6 可知:1) 当(72+130+72) m 连续刚构桥主跨整体下挠时,A、B、C 截面弯矩呈近似线性变化,B、C 截面弯矩后期呈现收敛趋势,但不明显。2) 当主跨跨中挠度从 0 增大到 300 cm 时,边跨 A 截面的弯矩组合值减小 5 313.5 kN·m、

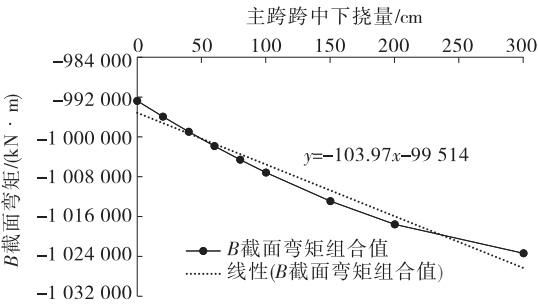


图 5 不同主跨下挠量下 B 截面的弯矩变化曲线

表 4 不同主跨下挠量下 C 截面的弯矩变化

方案 编号	主跨跨 中下挠 量/cm	C 截面弯 矩组合值/ (kN·m)	主跨下挠后 C 截面弯矩 变化率/%	组合值中 活载效应 占比/%
1	0	186 304.2	—	14.97
2	20	187 264.1	0.52	14.97
3	40	188 194.1	1.01	14.97
4	60	189 092.8	1.50	14.97
5	80	189 958.7	1.96	14.97
6	100	190 790.6	2.41	14.98
7	150	192 711.9	3.44	14.98
8	200	194 390.4	4.34	15.00
9	300	196 939.9	5.71	15.03

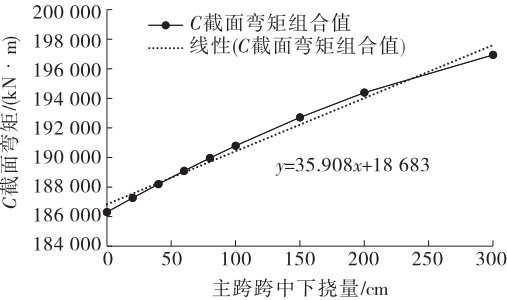


图 6 不同主跨下挠量下 C 截面的弯矩变化曲线

4.16%,随着主跨下挠,A 截面的弯矩呈近似线性下降;墩顶 B 截面的弯矩组合值增加 30 609.8 kN·m、3.08%,随着主跨下挠,B 截面弯矩前期呈近似线性增加,后期有收敛趋势,但不明显;主跨跨中 C 截面的弯矩组合值增加 10 635.7 kN·m、5.71%,随着主跨下挠,C 截面弯矩前期呈近似线性增加,后期有收敛趋势,但不明显。

3 结论

(1) 连续刚构桥下挠的主要影响因素包括预应

力钢束有效预应力损失、混凝土材料收缩徐变、连续刚构桥梁段施工接缝质量、混凝土结构未达到龄期提前施工预应力荷载、设计中对活载对混凝土收缩徐变的影响考虑欠缺、后期管养缺失。

(2) 连续刚构桥主跨整体下挠时,按挠曲线方程模拟主跨线形变化。主跨跨中挠度从 0 增加到 300 cm 时,在荷载效应作用下,各控制截面的内力变化幅度都在 6% 以内。随着下挠的增大,边跨 A 截面、墩顶 B 截面、主跨跨中 C 截面的弯矩前期均呈近似线性变化,B、C 截面后期有收敛趋势,但不明显。

(3) 主跨整体下挠时,连续刚构桥 B、C 截面弯矩增大,A 截面弯矩减小,即主跨整体下挠对主跨跨中、主墩墩顶附近截面不利,其中主墩墩顶截面弯矩增量最大。连续刚构桥出现整体下挠时,应重点检查主墩墩顶、主跨跨中附近结构状况,观察是否有新增裂缝或存在裂缝扩展的情况,并及时加固处理,避免结构损伤加剧。

参考文献:

- [1] 吴培明.混凝土结构(上)[M].2 版.武汉:武汉理工大学出版社,2011.
- [2] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规

范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

- [3] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTG 3362—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [4] 曾攀.在役大跨径梁桥挠度监测与结构运营状态分析的关键技术研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [5] 龚昕.大跨度预应力砼连续梁式桥主梁下挠研究[D].成都:西南交通大学,2006.
- [6] 杨晋文.连续刚构桥跨中下挠的影响因素分析[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2015,28(2):17-20.
- [7] 丁文胜,吕志涛,孟少平,等.混凝土收缩徐变预测模型的分析比较[J].桥梁建设,2004(6):13-16.
- [8] 罗长维.结构线形对桥梁技术状况评价的量化研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [9] 熊峰.大跨径连续梁桥下挠及其对策的研究[D].长沙:湖南大学,2018.
- [10] 富富豪,彭辉.大跨径预应力砼箱梁桥挠度监测与分析[J].公路与汽运,2020(3):118-120+135.
- [11] 郑万成.大跨径刚构桥梁跨中下挠病害治理对策研究[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(5):194-196.

收稿日期:2023-02-09

(上接第 133 页)

(1) 陡坡堆土导致边坡稳定性下降,桥区软土层发生深层蠕动挤压桥桩和墩柱两侧填土引起不均匀土压力差是导致墩柱偏位的主要原因。墩柱偏位的本质是桩基发生挠曲,应重点评估桩基状况。

(2) 在桥下空间利用过程中应评估堆土对桥梁的影响,作业过程中加强对桥梁结构的监测。

(3) 采取开挖主动区土体至承台底,主动区侧沿承台边缘施工应力释放槽,墩顶和墩底用千斤顶反力同时纠偏,对被动区土体采用高压旋喷桩稳固的综合纠偏措施,纠偏效果良好。

(4) 纠偏是一个高风险、高难度的非常规施工过程,设计时应综合考虑实际情况,施工时应对纠偏效果进行全程、同步监控,根据纠偏效果动态调整纠偏措施。

参考文献:

- [1] 洪艺勇.高压旋喷桩在大型桥墩纠偏中的应用[J].江西建材,2017(12):154+159.

- [2] 陈海兵,曹宇鹏,唐海霞,等.连续箱梁桥上下部结构偏位修复与加固技术研究[J].公路与汽运,2023(2):115-118+126.
- [3] 苏美选,林智勇.软土地基上桥梁墩柱偏位分析与纠偏措施[J].工程勘察,2019,47(6):8-11.
- [4] 竺明星,龚维明,何小元,等.堆载作用下考虑土拱效应的被动桩变形内力半解析解[J].岩土工程学报,2013,35(11):1997-2008.
- [5] 张恒,廖鸿钧.软土地区大面积堆载作用下邻近桥梁墩柱偏位分析研究[J].广东土木与建筑,2022(11):78-81.
- [6] 仲召银,冷伍明,杨奇,等.深厚软土区桥梁基桩水平静载试验与 m 取值分析[J].铁道科学与工程学报,2023,20(9):3350-3361.
- [7] 庄立科.杭甬高铁桥墩基础偏移及纠偏处理[J].铁道建筑技术,2014(6):34-38.
- [8] 夏浩.基于现场试验的单桩水平承载力分析[J].福建建设科技,2021(2):31-33.

收稿日期:2023-08-20