

海沧大桥 140m 连续刚构桥施工悬臂平面变形 监测方法与精度分析

池杨敏¹ ,黄泽纯² ,刘成龙²

(1. 广东省长大公路工程有限公司 , 广东广州 510093 2. 西南交通大学土木工程学院 , 四川成都 610031)

[摘 要] 本文介绍大跨度连续刚构桥悬臂箱梁平面变形监测的必要性及其方法。精度分析和监测结果表明 , 该方法对同类桥梁型施工中的变形监测具有参考价值。

[关键词] 刚构桥 ; 变形 ; 监测 ; 精度 ; 悬臂 ; 箱梁

[中图分类号] TU196+ .1 [文献标识码] B [文章编号] 1001 - 837X(2001) 01 - 0023 - 04

PRECISION ANALYSIS AND THE METHOD OF PLANE DEFORMATION MONITORING UNDER 140 METERS CONTINUOUS RIGID STRUCTURE BRIDGE CANTILEVER CONSTRUCTION OF HAICANG BRIDGE

CHI Yang-min¹ ,HUANG Ze-chun² ,LIU Cheng-long²

(1. Chang Da Highway Eng. Co. Ltd. of Guangdong Province ,Guangzhou 510075 ,China 2. Institute of Civil Eng. ,Southwest Jiaotong University ,Chengdu 610031 ,China)

Abstract : The method and necessity about continuous box girder plane deformation of long span continuous rigid structure bridge are introduced in the paper. The result of precision analysis and monitoring showed that this method has some reference value about deformation monitoring to other same kind bridge construction.

Key words : rigid structure bridge ; deformation ; monitoring ; precision ; cantilever ; box girder

1 工程概况及悬臂平面变形的成因分析

厦门海沧大桥西航道桥为三跨(78 + 140 + 78 = 296 米) 预应力混凝土连续刚构桥 , 位于曲率半径为 900 米的圆曲线、缓和曲线和直线段上 , 悬臂长度设计为 66 米 , 划分为 19 节段箱梁 , 其上部结构按上、下行两座分离式桥设计 , 单幅桥面宽 15.4 米 , 桥面平均高度为 51.112 米 , 长 296 米的桥面高差达 7.45 米 , 采用挂篮逐块对称悬臂浇筑法施工 , 即每浇筑一节段箱梁 , 就进行预应力钢束的张拉 , 然后挂篮前移 , 进行下一节段箱梁的施工。

这种大跨度预应力连续刚构桥 , 当悬臂施工到一定长度时 , 在悬臂箱梁块重和张拉力的作用下 , 悬臂箱梁存在较大的下挠方向和上挠方向的挠度变形 , 这是众所周知的 , 但这种较大的下挠和上挠挠度变形可能引起箱梁平面位置的变化 ; 此外 , 由于该桥位于小曲率半径的圆曲线和缓和曲线上 , 且桥面的纵横向坡度较大 , 因而零号块两端的悬臂施工纵向单 T 梁段线型非对称 , 特别是张拉后 , 悬臂受到预应力钢束水平力的作用 , 在这种情况下 , 悬臂可能产生半径方向的水平位移 ; 还

有 , 由于此桥位于台风频繁出现和日照温差较大的沿海地区 , 台风以及日照温差的作用 , 也可能使悬臂产生水平方向的扭转变形。最后 , 由于施工过程中的许多误差 , 如箱梁砼块重、配筋、张拉力、预应力钢束位置、测量放样等误差和其他未顾及因素的影响 , 有可能使实际施工悬臂的力学性质发生变化 , 从而出现设计上未曾顾及的额外变形。

以上分析说明 , 在长跨小半径连续刚构桥施工中 , 存在引起悬臂箱梁产生水平方向变形的因素。

2 悬臂平面变形监测的必要性

由上面分析可知 , 西航道桥的长悬臂在施工中发生平面变形的可能性存在 , 为保证分向施工的悬臂在合拢时的平面合拢精度和成桥线型 , 应该对这种变形进行监测 , 必要时在施工放样时考虑进行预偏 , 以便指导施工。此外 , 象西航道桥这样的大跨度小半径宽桥面刚构桥 , 设计和施工在国内鲜见 , 许多设计、施工的方法和数据还需验证 , 为了确保成桥线型和自然合拢 , 设计单位、建设单位和施工单位为安全起见 , 均要求在施工过

程中,对悬臂的平面变形进行连续不间断的监测。由此可见,对施工中的悬臂平面变形进行监测,在大跨度小半径曲线连续刚构桥施工质量控制工作中,具有十分重要的地位。

3 变形监测方法的确定

这种大跨度连续刚构桥施工中的平面变形监测,具有桥面高、监测点多、工作量大、施工体远离岸上的测量控制点、通视条件受水面折光、雾气和挂篮等施工机具的影响等特点,因此,所选择的变形监测方法要求:①工作基点或基准点,离监测点的距离必须尽可能地近;②应当观测图形简单、作业效率高和在施工现场容易实现;③对仪器设备的要求不要太高;④变形监测的精度能满足施工监控的要求。

众所周知,对于非直线型的建筑物,如重力拱坝、曲线型桥梁以及一些高层建筑物的水平位移监测,大地测量的监测方法一般为前方交会法,诸如角度前方交会、边长前方交会和边角前方交会等,而不论哪一种前方交会方法,其共同特点是交会点精度受交会图形和交会距离影响,如交会角在 $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ 和交会距离在350米范围内为最佳,因此在确定变形监测方法时,首先面临如何选择有利的变形监测基准点和工作基点;其次,在工作基点和基准点位置确定即交会图形一定时,要在上述几种交会方法中,选择一种相对而言作业效率高和精度好的方法。

3.1 基准点、工作基点和监测点位置的布设

作为变形监测的基准点,要求其点位稳定并在施工体附近,在西航道桥东西两侧各有一个海沧大桥全桥测量平面控制网 G34 和 W10,经一年多的两次控制网复测,证明其点位稳定,受施工干扰小,因而可作为基准点。而作为变形监测的工作基点,要求其点位相对稳定并尽可能地离监测点近,在综合考虑交会角大小和通视条件的前提下,在东岸下水方向海堤上和西岸上水方向砗涵洞上,各布设 1 个工作基点 W14 和 W15,此外,在 18 号墩和 19 号墩已竣工的零号块顶面适当位置处,各布设 1 个工作基点 T18 和 T19。

作为变形观测标记的监测点,要求其布设在最能代表建筑物变形的位置上,受施工干扰小,通视条件好。由于在前 10 号块,悬臂长度短、箱梁高、腹板厚、强度大,其产生平面变形的可能性不大或其变形量较小可忽略不计,为此在 11 号块后,每块箱梁上布设 1 个监测点,具体位置为外侧腹板 1 米处的桥面上。选择腹板外侧桥面上的原

因是它们与工作基点 W14、W15 通视条件好。基准点、工作基点和监测点的位置分布见图 1。

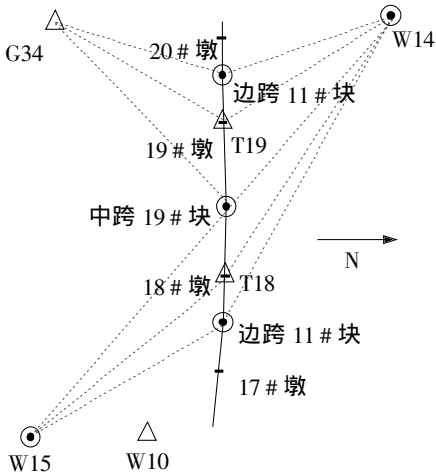


图 1 基准点、工作基点和监测点位置示意图

3.2 工作基点的控制测量

为确定工作基点的位置,并使其具有较高的点位精度,以 G34 和 W10 为起算点,按二等边角网的要求,联测工作基点的坐标。平差后,测角的单位权中误差为 ± 1.39 秒,测距的单位权中误差为 $\pm 2.75\text{mm/km}$,工作基点的点位中误差最大值不超过 $\pm 1.8\text{mm}$,考虑到边角网具有较多的多余观测,因此按上法施测的工作基点应该具有足够高的精度和可靠性,可用于监测点的变形监测。

3.3 各种交会方法的位移量精度估算与监测方法的确定

为比较上述各种前方交会方法在运用于西航道桥箱梁平面变形监测中的精度情况,以便选择相对精度较好、效率较高的监测方法,可根据图 1 的交会图形和有关公式,以及测角和测边的先验精度,估算各种交会方法监测的位移量精度。

在进行位移量精度估算时,常见全站仪测角标称精度为 ± 2 秒,根据文献 1 的规定,当用 ± 2 秒的仪器对某角观测两测回,则该角的测角先验精度可确定为 $m_{\beta} = \pm 5$ 秒。常见全站仪测距的标称精度为 $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm})$,则边长为 $S_i(\text{km})$ 的测边先验精度为:

$$M_{S_i} = \pm \sqrt{2^2 + (2 \times S_i)^2}$$

由文献 2 知,两测站角度前方交会的交会点点位误差估算公式为:

$$m_{p_1} = \pm \frac{m_{\beta} \times \sqrt{a^2 + b^2}}{\rho \times \sin p}$$

上式中 a, b 为交会边长, p 为交会角。由于位移量为两次观测结果之差, 所以位移量的中误差应为:

$$M_{\Delta p_1} = \sqrt{2} \times m_{p_1}$$

由文献 2 可知, 两测站距离前方交会点位误差估算公式为:

$$m_{p_2} = \pm \frac{\sqrt{m_a^2 + m_b^2}}{\sin p}$$

同理, 位移量的中误差为:

$$M_{\Delta p_2} = \sqrt{2} \times m_{p_2}$$

双测站边角前方交会, 可视为角度交会结果和距离交会结果的均值, 即 $P_3 = (P_1 + P_2)/2$, 由误

差传播定律可推求边角交会的点位误差估算公式为:

$$m_{p_3} = \pm \frac{1}{2} \times \sqrt{m_{p_1}^2 + m_{p_2}^2}$$

同理也有位移量的中误差为:

$$M_{\Delta p_3} = \sqrt{2} \times m_{p_3}$$

现从西边跨、中跨和东边跨中各取 1 个监测点, 分别以不同的控制点作为测站和后视点, 按上面公式, 估算上述三种交会方法所获得的位移量中误差, 估算结果见表 1, 精度估算时的交会图形见图 1。

表 1 各种交会方法位移量监测精度估算表

点名	测站	后视	距离(m)	角度 (° ' '')	交会角 (° ' '')	位移量中误差 Mp/M△p			
							边长	角度	边角
西边跨 11 # 块	W15	T18	251.054	8 26 32	95 37 59	Mp	2.89	6.18	3.41
	T18	W15	37.999	75 55 28		M△p	4.08	8.75	4.82
	W14	T18	348.655	4 37 18	43 03 10	Mp	4.27	12.45	6.58
	T18	W14	37.999	132 19 32		M△p	6.04	17.61	9.30
中跨 19 # 块	W15	T18	278.740	14 04 28	65 14 03	Mp	3.18	7.66	4.15
	T18	W15	68.982	100 41 29		M△p	4.50	10.84	5.86
	G34	T19	313.547	6 21 14	22 54 43	Mp	7.45	20.02	10.68
	T19	G34	70.981	150 44 03		M△p	10.54	28.30	15.10
	W14	T19	283.695	14 17 45	66 25 43	Mp	3.15	7.73	4.17
	T19	W14	70.981	99 16 32		M△p	4.46	10.93	5.90
东边跨 11 # 块	G34	T19	216.156	4 24 14	149 41 45	Mp	5.67	10.54	5.98
	T19	G34	37.999	25 54 01		M△p	8.02	14.91	8.46
	W14	T19	262.292	8 17 07	87 37 40	Mp	2.88	6.43	3.52
	T19	W14	37.999	84 05 13		M△p	4.07	9.09	4.98

从表 1 中的三种不同交会方法, 在不同控制点估算的西边跨、中跨和东边跨的点位误差和位移量监测中误差结果, 可以总结出以下规律: ①边长交会的精度最高, 边角交会的精度次之, 而角度交会的精度最差; ②不论是哪一种交会方法, 交会精度随交会角的不利而降低; ③对西边跨上的监测点, 宜用 W15 和 T18 作为测站交会, 中跨上的监测点, 宜用 W15 和 T18 或 W14 和 T19 作为测站交会, 而东边跨上的监测点, 宜用 W14 和 T19 作为测站交会。

根据精度估算结果及其分析总结的规律, 不难作出“应以双测站测边交会作为平面变形监测的主要方法”的结论, 由此获得的位移量监测的中误差应小于 $\pm 5\text{mm}$, 能满足设计和施工对平面变形监测的精度要求, 而且这也是一种作业效率最高而易于被施工单位接受的方法。

4 实测位移监测量的分析

从西边跨、东边跨和中跨, 取 4 个监测点在 5 月 12 日至 7 月 2 日近二个月的时间内的 4 次位移监测结果, 汇总于表 2 中。

表 2 部分监测点位移监测量统计表

点名		LW18-11		LE18-12		LW19-11		LE19-11	
观测时间	X/Y	坐标(m)	相对位移	坐标(m)	相对位移	坐标(m)	相对位移	坐标(m)	相对位移
5月12日	X	15.312	0	15.3042	0	15.2571	0	15.3184	0
	Y	652.6429	0	727.5422	0	792.5548	0	867.3598	0
5月31日	X	15.3167	-4.7	15.3043	-0.1	15.2589	-1.8	15.3152	3.2
	Y	652.6437	-0.8	727.5386	3.7	792.5539	0.9	867.3573	2.5
6月16日	X	15.3178	-1.1	15.3087	-4.4	15.2671	-8.2	15.3143	0.9
	Y	652.6395	4.2	727.5347	3.8	792.5459	8.0	867.3567	0.6
7月2日	X	15.3173	0.5	15.3116	-2.9	15.2674	-0.3	15.3201	-5.8
	Y	652.6354	4.1	727.5321	2.6	792.5430	2.9	867.3516	5.1
累计位移值(mm)		$\Delta X = -5.3$	$\Delta Y = 7.5$	$\Delta X = -7.4$	$\Delta Y = 10.1$	$\Delta X = -10.3$	$\Delta Y = 11.8$	$\Delta X = -1.7$	$\Delta Y = 8.2$

分析表 2 中的实测位移量数据,可总结出以下规律:①平面位移变形确实存在,以表 2 中统计的 11# 块箱梁为例,在近 2 个月的时间内,朝圆心方向累计位移为 6mm,朝零号块方向累计变形为 9.4mm。上述 4 个监测点都呈现这样的变形规律;②按上述方案设计的边长交会变形监测方法,确实具有较高的精度,这是从同一监测点不同监测周期所得坐标的离散性较小得出的结论。

5 主要结论

①小半径大跨度连续刚构桥施工中,悬臂箱梁平面变形确实存在。对 140m 左右的跨度,变形

量较小,而对 140m 以上的跨度,应考虑在施放样中进行预偏。

②双测站距离前方交会,能够满足小半径大跨度连续刚构桥施工悬臂梁平面变形监测的精度要求,而且施测效率高,便于实施。

厦门海沧大桥 140m 连续刚构桥的高精度自然合拢和变形监测实践证明,本文所用的方法对同类桥型的施工监控具有较大的参考价值。

[参考文献]

- [1] GB50026-93,工程测量规范[S].
- [2] 武汉测绘学院《测量学》编写组.测量学(下册)[M].北京:测绘出版社,1995.