

文章编号: 0451-0712(2004)12-0057-05

中图分类号: U448.275.4

文献标识码: B

单索面预应力混凝土部分斜拉桥 施工控制技术及关键施工工艺的研究

张 善¹, 卢明康², 惠 新¹, 马 恒², 王建秋², 张宇峰³

(1. 江苏省高速公路建设指挥部 南京市 210017; 2. 常州市高速公路建设指挥部 常州市 213003;

3. 江苏省交通科学研究院 南京市 210017)

摘 要: 以常州两座单索面预应力混凝土部分斜拉桥的施工过程为研究对象,建立了以主梁线形控制为主且兼顾斜拉索索力、主梁应力的控制体系,并通过索塔足尺节段模型试验等工作对部分斜拉桥关键性施工工艺开展研究。目前两桥均已高精度合拢,取得了满意的施工质量和控制结果。

关键词: 部分斜拉桥; 施工控制; 施工工艺

1 工程概况

常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥,均采用 70.15 m+120 m+70.15 m 三跨双塔单索面预应力混凝土塔梁固结式部分斜拉桥,除桥面宽度分别采用 28 m 和 26.5 m 外,其余条件均相同。桥长 260.3 m,桥上设 0.273% 的单向纵坡,无竖曲线,桥梁结构位于半径为 8 600 m 的平曲线上。

该两座部分斜拉桥主梁均采用单箱三室大悬臂变截面预应力混凝土连续箱梁,三向预应力体系,支点梁高 4.1 m,跨中梁高 2.6 m,从支点起 39 m 范围内梁高按二次抛物线变化。主梁划分为 59 个梁段,其中 0 号、1 号和 1' 号梁段总长 12 m,在墩顶及墩旁临时支架上立模现浇;边跨支架现浇梁段长 9 m,边、中跨合拢段长 2 m,其他各梁段长 3~5 m,采用挂篮悬臂浇注法施工。

索塔高 31 m,为钢筋混凝土独柱实心矩形截面,

顺桥向长 3 m,横桥向宽 2 m,布置在中央隔离带上,并与箱梁固结。

斜拉索为单索面,双排布置在中央隔离带上,每个塔上设有 8 对 32 根斜拉索,全桥共 64 根,拉索与索塔连接采用鞍座形式。斜拉索梁上标准间距为 5 m,双排横向布置间距为 1.0 m,塔上竖向间距 2.33 m,索与梁的水平夹角 25°。

从斜拉索安全度控制、主跨与塔高之比、斜拉索与水平轴夹角等斜拉桥要素来看,常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥均应被称为斜拉桥,设计中也是将其按斜拉桥进行设计的,但其较大的边跨与主跨之比、主梁变截面、布索区较短、桥塔附近主梁中的无索区段较长、边跨梁端无锚固索等结构特点,又引入了典型的部分斜拉桥设计理念,因此结构形式较为新颖。同时,由于两桥相互紧邻且采用完全相同的结构形式,为使索面外观整齐,达到良好的视觉效果,故在桥面较宽的

收稿日期: 2004-07-05

项动力特性处于合理的范围内。

5 结语

通过研究无桥台斜腿刚架桥斜桥的特性和工程实践,对推动这种桥型的发展和实际应用具有一定的参考价值,也为解决和降低斜桥的病害缺陷增添了一种途径。

参考文献:

- [1] 黄平明. 混凝土斜梁桥[M]. 北京:人民交通出版社, 1999.
- [2] 邵容光,夏淦. 混凝土弯梁桥[M]. 北京:人民交通出版社, 1994.
- [3] 中铁大桥局集团武汉桥梁科学研究院. 武汉市绕城公路黄陂互通 1 号桥静动载试验报告.

情况下大胆采用了单索面设计,具有创新性,但这也为桥梁施工及控制带来了较大难度。

2 施工控制技术的应用

2.1 施工控制体系的建立

桥梁的施工控制是一项集测试、计算、分析、决策于一体的智能行为,是一个预告→量测→识别→修正→预告的循环过程。其主要工作内容包括两大部分,一部分是数据采集系统,即监测;另一部分是数据分析处理系统,即监控。其中,施工监测是利用在桥梁重要部位埋设多种性能各异的传感器和相关的测试仪器,按施工方案的工况和工序,测得包括几何参量和力学参量在内的大量数据。而施工监控则是利用高效计算机程序,对数据进行分析处理,与原设计进行比较和误差分析,并确定和指导下一阶段的施工参数,预报施工中可能出现的不利状况及避免措施,即施工预警。通过施工监测与监控的有机结合,调整控制桥梁的内力和线形,尽可能地使桥跨结构的内力和线形接近或达到设计预期值,从而达到确保桥梁施工安全和正常运营的目的。

部分斜拉桥属高次超静定结构,所采用的施工方法和安装顺序与成桥后的主梁线型及内力状态有密切的关系,且在施工阶段随部分斜拉桥结构体系和荷载工况的不断变化,结构内力和变形也随之不断发生变化。因此需对部分斜拉桥的每一施工阶段进行详尽的分析和验算,求得斜缆索的张拉吨位、主梁挠度、塔柱位移以及结构内力、应力等施工控制参数的理论计算值,并在施工中加以有效的控制,以保证部分斜拉桥在施工过程中结构的受力状态和变形始终处于设计所要求的安全范围内,成桥后的主梁线型符合设计期望,结构本身又处于最优的受力状态,这就是部分斜拉桥的施工控制问题。可以说部分斜拉桥的施工控制是保证斜拉桥成功修建的必要条件之一。

考虑到部分斜拉桥的施工控制是一项集测试、计算、分析、决策于一体的智能行为,必须要有完善的组织上的保证。根据常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥采用三跨双塔单索面预应力混凝土塔梁固结式部分斜拉桥的特点,参考国内外施工过程监控系统工作的开展情况,特别委托江苏省交通科学研究院承担这两座大桥的施工控制工作,并建立了监测监控项目组(由业主、监控、设计、监理和施工单位组成),进行上部结构的施工过程监控。监测监控项目组下设变形、温度、应力、索力 4 个

测量小组,并成立监控计算小组,以负责施工控制中数据监测、计算等具体技术问题。同时,成立了起指导作用的监测监控专家顾问组,其具体成员组成由监控方和设计单位协商选定,由监控方负责管理与协调监测、监控专家顾问组的日常工程,重大问题最后仍由监控方决策。

为保障施工过程中监控过程信息传递的准确、高效,在施工过程监控系统的具体工作中建立了一套完整的报表体系。施工过程监控组对施工信息分析处理后得到的施工过程监控系统参数通过报表以书面形式及时上报给监理,由监理在征求有关单位意见后再反馈施工单位。在全桥施工过程中,共计提供了包括方案、大纲、工作细则、设计复核计算报告、施工控制指令表、工况报告、月报、预警报告、来往函件、最终总报告在内的 10 大类内业报告,对全桥施工过程进行了控制。

2.2 施工控制原则与方法的选用

常州两座部分斜拉桥施工控制的原则是稳定性、变形、内力控制综合考虑。在施工中采取了如下的控制策略:斜拉索中内力及主梁和索塔中位移应在斜拉桥施工过程中实时监测并反馈,全桥结构状况以斜拉索的索力与主梁控制点标高作为双指标控制,以标高控制为主。考虑到部分斜拉桥主梁刚度较大,斜拉索索力的变化较多时引起的主梁悬臂挠度变化仍将比较有限,故斜拉索中索力力争一次张拉到预定吨位,尽可能减少索力调整的次数。索力调整不以改变主梁标高为主要目的,而主要是为了减小斜拉索中索力的离散性和改变结构受力性能。标高、线形的控制主要通过混凝土浇注前放样标高的调整来实现。

根据本监控项目的实际情况,监测监控项目组选用了自适应控制方法,通过施工中的主梁标高、索力、应变、温度及塔顶偏位、截面尺寸和弹性模量等数据采集,在对所得到的数据进行误差分析后,不断修正设计参数,使索力、标高的计算与实测值之差不断缩小,从而使计算程序把握住目前的施工过程,进而预估将来的施工状况,达到施工控制的目的。

2.3 施工控制系统中现场测试

2.3.1 实际施工中的基本参数测试

实际施工控制过程中,进行了以下 4 类基础参数的测试与收集:

(1)混凝土龄期为 5、10、14、21、28 d 的弹性模量试验以及按规定要求的强度试验,如施工现场改变水泥品种或砂石集料及配合比时需做一套试验;

(2)挂篮支点反力及其他施工荷载在桥上布置位置与数值;

(3)实际工期与未来进度安排;

(4)气象资料。

该类数据中除气象资料由监控单位收集外,其余资料的试验与采集均由施工单位进行。

2.3.2 实际施工中的实时测量

本次施工监测主要包括以下 4 方面内容。

(1)位移监测。

监测部分斜拉桥主梁各控制点高程变化和纵、横向水平位移,共布设主梁位移控制点 146 个;监测部分斜拉桥索塔顶点偏移(三维坐标值的改变),共布设测点 4 个。

(2)索力监测。

监测部分斜拉桥施工过程中斜拉索索力,共 64 根索,采用脉动法测量,并在其中 2 根索下布设了压力传感器。

(3)主梁及索塔应力监测。

监测部分斜拉桥主梁各控制截面应力,共布设 116 个应力测点;监测部分斜拉桥索塔各控制截面应力,共布设 12 个应力测点;另布设了 2 个无应力筒,以用于进行混凝土收缩修正参考,混凝土徐变修正则采用规范中的计算公式。

(4)施工过程中环境温度及各应力和温度测点位置温度值。

共布设温度测点 214 个,其中包括试验索中温度测点 18 个;斜拉索中温度测点 32 个;主梁中温度测点 124 个(其中 120 个测点利用混凝土应变计的测温功能, $P-P$ 截面的 4 个温度测点则采用布设半导体温度计的方法测得);索塔中温度测点 36 个,其中 8 个利用混凝土应变计的测温功能,另外 28 个采用布设半导体温度计的方法测得。

2.4 施工监控计算与分析

监控计算是施工控制方法的具体实施,工作量较大。它通过对所有施工监测的数据进行计算并进行误差分析,决定下一个施工环节的指令。

本项目中,施工监控计算中设计参数误差分析与识别,主要内容包含以下 8 个方面:

(1)斜拉索张拉力误差对结构位移与内力的影响;

(2)挂篮重量、刚度对标高的影响;

(3)梁段自重误差对结构位移与内力的影响;

(4)梁、塔和索的刚度误差对结构位移与内力的影响;

(5)混凝土收缩、徐变对结构位移与内力的影响;

(6)施工荷载变动对结构位移与内力的影响;

(7)温度的影响;

(8)主梁体内预应力误差的影响。

本项目中,施工监控计算的主要内容包含以下 3 个方面:

(1)根据设计资料及有关规范的理想参数,进行正装、倒拆计算;

(2)按最小二乘法拟合桥梁控制参数值,对施工各阶段进行跟踪计算;

(3)成桥索力调整计算。

2.5 施工控制成果

通过对常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥施工过程的严格控制,目前两桥状况良好,合拢高差分别控制在 17 mm 和 6 mm(未扣除合拢口斜坡造成的 5 mm 高差),全桥线形平顺,成桥状态实测高程与理论高程误差较小,索力较均匀,同号索边跨与中跨索力差及平行的两根斜拉索索力差均较小,全桥绝大部分斜拉索实测索力与理论索力之差均控制在 6% 以内;经过修正后(去除收缩和徐变应力)的真实实测应力值较小,与理论值基本吻合。因此,全桥达到了较好的施工控制效果。

3 部分斜拉桥关键施工工艺的研究

根据常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥采用单索面预应力混凝土部分斜拉桥的具体特点,在该两座桥的施工过程中,主要围绕以下 4 个关键施工工艺开展研究。

3.1 临时锚固及合拢后体系转换的研究

结合常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥承台宽度较大(10 m 宽),墩身不高(约 7.4 m)的特点,施工中采用了空钢管支撑箱梁底板,再用精轧钢筋锚固的临时锚固方法,并着重进行了受力分析、施工模拟及构造措施的研究。钢管两端分别锚固于承台和箱梁底板,钢管能连拉带撑,每根钢管的支撑力和抗拉力均大于 500 t,墩身两旁钢管形成大距离力臂(8.6 m),足以抵抗不平衡弯矩。

实桥应用效果表明:采用空钢管支撑进行临时锚固具有刚度较小,悬浇混凝土的重量大部分仍由盆式支座承担的优点,使主梁受力更趋于实际,同时,体系转换迅速,保证了工期并避免主梁线型大幅度改变,有效确保了合拢精度。

3.2 主梁纵向和竖向压浆工艺的研究

常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥部分主梁纵向预应力孔道采用了真空辅助压浆工艺,并取得了良好效果。

传统上,竖向预应力筋成孔多采用波纹管或铁皮管,但此两种成孔形式均存在孔径较小,在焊接等工作中易造成管壁破裂,且有堵管等缺点。因此,在常州两座部分斜拉桥的施工中进行了工艺革新,竖向预应力筋采用钢管成孔,以联通管压浆。

3.3 斜拉索预埋管及索鞍定位研究

常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥中采用了比较新颖的贯通式索鞍结构,这在日本屋代南和屋代北桥及我国漳州战备大桥中均得到了较成功应用,但在实际施工中仍存在较多问题,对其斜拉索预埋管及索鞍定位的研究开展还较少。

针对索鞍高空作业,定位困难,耗时耗人工,与钢筋互相影响,混凝土浇注过程中容易错位及斜拉索预埋管埋设定位时,主梁块段各点方位尚未稳定,处于变动之中,如果没有对预埋管的方位进行预调,会使成桥后预埋管方位不符合力学要求,从而造成预应力损失,预应力筋损伤及产生不利次应力的问题。在常州两座部分斜拉桥的施工中根据索塔尺寸和钢筋布置情况,采用特制劲性骨架,使索鞍整体定位,以分开作业,缩短工期和方便钢筋施工,同时,采用了考虑各工况主梁曲线,及时修正预埋管安装的方位坐标的施工工艺,实桥应用表明,这些方法应用效果良好。

3.4 索鞍足尺节段模型试验研究

索塔鞍座及锚固装置是斜拉桥的关键部位之一,国内外对斜拉桥的鞍式索塔也进行过一些试验研究,但这些试验目的一般都是检验索塔的安全性。而如斜拉索与内管,内管与外管之间接触挤压受力情况,斜拉索与小曲率半径钢管间的摩擦系数,斜拉索对鞍座的劈裂作用,内管充填材料的填充性、粘结性,充填材料和抗滑锚头在拉力差下的受力性能和抗滑移能力,以及鞍座施工工艺等问题均有待进一步研究。

结合常州两座部分斜拉桥的施工,进行了索鞍足尺节段模型试验,本次试验内容主要包括:

(1)施工状态钢绞线斜拉索与索鞍内管间的摩擦系数测试;

(2)内管灌浆以后,模拟运营状态拉索通过索鞍

区段的锚固性能试验;

(3)在试验最大斜拉索力之下,进行索塔鞍座区应力测试并进行受力性能研究;

(4)进行模型三维有限元计算分析,验证设计的安全度。

研究表明:

(1)本桥中所使用的环氧涂层钢绞线与钢管摩擦系数为 0.282,漳州战备大桥的试验结果是 0.31;

(2)摩擦系数的大小与两端的基准索力是有一定关系的,即基准索力增大时摩擦系数略有增大;

(3)设计要求的施工阶段每根斜拉索的最大索力差为 125 kN,当平衡索力分别是 1 000 kN、2 000 kN 和 3 000 kN 时,干摩擦抗滑移安全系数分别为 2.24、4.48 和 4.72;

(4)当索鞍区采用“内管灌浆+管外套筒区灌浆+索夹”的构造形式时,其粘结锚固性能优于仅“内管灌浆”的构造形式;

(5)在设计正常使用极限状态下,索鞍结构基本处于弹性工作状态,该鞍座部位模型的安全系数高于 1.5,有足够的安全储备,设计方案安全可靠。

4 结语

部分斜拉桥虽然出现较晚,但由于其刚柔相济的特性,符合结构受力特点,因此具有经济、美观、刚度大、施工方便等优点,其发展很有潜力,可以肯定,不久的将来,在我国将会有越来越多的部分斜拉桥屹立于大江大河之上。常澄高速公路常州东互通式立交主线桥及常州东环公路京杭运河桥施工过程中根据单索面部分斜拉桥的具体特点进行的施工控制技术和关键施工工艺研究,不仅有利于这两座部分斜拉桥的安全建设和正常运营,亦希望能对今后类似桥梁的建设提供参考。

参考文献:

- [1] 徐君兰. 大跨度桥梁施工控制理论[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [2] 石雪飞. 斜拉桥结构参数估计及施工控制系统[D]. 上海:同济大学桥梁工程系,1999.
- [3] 官万轶,韩大建. 大跨度斜拉桥施工控制方法研究进展[J]. 华南理工大学学报,1999,27(11).

2005 年度《公路》月刊广告征订

《公路》月刊于 1956 年创刊,由中华人民共和国交通部主管,是中国公路行业出版最早的中央级综合技术类科学技术期刊,是公路运输类核心期刊,是全国优秀科技期刊。

经过为读者服务的近 50 年,《公路》月刊形成了自己鲜明的特点,“坚持科技第一”、“热忱为读者服务”是我们的一贯方针。《公路》月刊目前月发行量为 2 万份,拥有稳定的读者群,并深得读者们的信任与厚爱。

为做好 2005 年度《公路》杂志的广告计划,并及早着手设计和制作,《公路》月刊已经开始征订 2005 年度广告。请有意通过《公路》月刊向大众宣传自己产品的商家及在市场经济大潮中树立企业形象的设计、科研、施工、管理等单位,尽快与本刊联系,索要“广告刊登须知”及“价目表”。

为加强广告安排的计划性,本刊将按照收到征订合约的先后次序,安排广告刊出位置与时间的优先权,请及早与我们联系。

广告是市场营销活动的重要环节,本刊作为广告媒体,将竭诚为您服务。愿我们携手合作,共创美好未来。

广告联系人:王少侠 010—65259164,65279988 转 1801
谭昌富 010—65259168,65279988 转 1802
谢跃庆 010—65125565,65279988 转 1816

地址:北京东四前炒面胡同 33 号(100010)

E-mail:advt@chn-highway.com

《公路》杂志社

Research on Construction Control Technics and Key Construction Technology in Prestressed Concrete Partial Cable-Stayed Bridges

ZHANG Shan¹, LU Ming-kang², HUI Xin¹, MA Heng²,
WANG Jian-qi², ZHANG Yu-feng³

- (1. Jiangsu Provincial Department for Expressways Construction, Nanjing 210017, China;
- 2. Changzhou Provincial Department for Expressways Construction, Changzhou 213003, China;
- 3. Jiangsu Transportation Research Institute, Nanjing 210017, China)

Abstract: With the construction procedures of the two Prestressed Concrete Partial Cable-Stayed Bridges in Changzhou City as a research object, the monitoring and controlling system are established which emphasize mainly on the girder line type control together with the cable force and the girder stress, and the research work for the aspect of the key construction technics of cable-stayed bridge are taken up through the experiment of segment model of bridge tower. Now, these two bridges are connected in high precision with satisfying construction quality and control results.

Keywords: partial cable-stayed bridge; construction control; construction technology