

文章编号: 0451-0712(2006)03-0154-04

中图分类号: U433.35

文献标识码: B

丽水紫金大桥斜拉桥主梁施工测量控制

郭彦领

(中交路桥北方工程有限公司 北京市 101119)

摘 要: 以丽水紫金大桥斜拉桥为例, 介绍斜拉桥主梁线型的控制, 以及主梁索导管、锚箱、挂篮弧形垫板的定位及计算, 并且总结施工中的经验教训, 以期为同类型的桥梁施工提供有益的借鉴。

关键词: 斜拉桥; 主梁; 线型; 索导管

1 工程概述

丽水紫金大桥位于浙江省丽水市段江上, 所在线形为直线, 主桥跨径 2×160 m。主梁标准断面为肋板式结构, 桥面总宽 30.5 m, 断面上二肋中距为 24.1 m, 肋宽 1.8 m, 梁高 2.5 m, 桥面板厚 25 cm, 每隔 4.0 m 设预应力混凝土横梁一道。主梁采用前支点牵索挂篮对称分段悬浇施工, 标准段长度为 8 m。

2 主梁施工测量控制

主梁施工的许多工序与测量有着密切的联系, 测量工作的好坏不仅影响着进度, 还对质量有很大影响。为了更好地阐述主梁测量控制, 首先介绍一下

主梁标准段的施工基本流程: 挂篮前移→挂篮到位(调整挂篮横向偏位、控制挂篮纵向间距)→调整模板标高→绑扎钢筋(安装主梁索导管)→斜拉索第一次张拉→浇筑混凝土至一半→斜拉索第二次张拉→浇筑完毕→养生→主梁纵向预应力张拉→斜拉索第三次张拉→挂篮下降前移。

2.1 主梁线形的控制

广义的主梁线形控制包括主梁轴向偏位控制及主梁高程控制等。

由于主梁是采用前支点牵索挂篮对称分段悬浇施工, 所以主梁轴向偏位与挂篮的设计和加工有着密切的关系。主梁轴线偏位控制分为事前、事中和事

收稿日期: 2006-01-16

A Study and Application of Monitoring and Measurement Technology for Cable Tensions on Cable-Stayed Bridge

TAN Xing-hua

(CRBC International Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: Through reviewing and summarizing to the existing study achievements and project experiences, the common method used to measure cable force (method of measuring vibration frequency) is studied, its adaptive limits and the shortage in measuring the force in cables with shock absorber are pointed out. The structural characters and mechanics properties of cable with shock absorber are also analyzed and the dynamics model is set up. According to the energy principle, the calculation method considering with the effect of shock absorber is carried out, and is applied to Danshan cable-stayed bridge in Qingdao City, and the expected results are obtained, which provides theoretic basis and technological preservation to the construction control and operation management of same type bridge especially to force monitoring in the cables with shock absorber.

Key word: concrete cable-stayed bridge; technology of monitoring cable force; method of measuring vibration frequency; effect of shock absorber

后控制。事前控制包括:挂篮在设计、加工及拼装3个阶段均要复核挂篮预留孔相对位置是否正确;准确放样主梁预留孔的位置,并且在安装预留管道之后进行复核;在下一段施工前根据挂篮的偏位情况确定两侧C型梁行走距离。事中控制:在挂篮行走的过程中检测挂篮的偏位情况(一般测量底模的偏位),这时通过调整C型梁两侧行走距离,非常容易调整挂篮的偏位。事后控制:挂篮提升之后,再次复核挂篮的偏位。如果偏差超规范,用较大吨位的导链使挂篮的一侧向后或向前移动从而调偏。如果此时挂篮两侧的移动方向上,锚固杆与预留孔之间没有空隙则挂篮偏位即使超限也无法纠正。挂篮准确就位只能说明主肋位置正确了,翼缘板模板及前端堵头模板还要准确放样,以控制边梁线形及断面里程。

主梁标高的控制,是一个非常重要的工序,它包括主梁空模标高的定位和浇注混凝土标高的控制等。监控单位提供的标高是主梁标高控制的基础,目前一般施工单位很少有力量去复核这个标高,只有按照监控指令去执行。显然如果它错了,后续工作将跟着错。测量精度与主梁模板的加工精度是主梁标高控制的保证。主肋底模平整度应在2 mm之内,且要保证一定的刚度,底模与顶模相对尺寸要符合梁体设计要求。日照及温差是影响主梁标高控制的重要环境因素,在晴天时最好的办法是在凌晨日出前把挂篮空模调整复核完毕。我们前几段采用相对标高法控制,后来由于梁段加长受气温影响加大,最终几段是采取时间避让法,即在晴热天气下把测量主梁空模标高的时间控制在凌晨4点至6点钟左右。经测量在白天气温超过35℃时,挂篮最前端受气温影响最大下挠超过8 cm,即使夜晚23点,影响值最大仍有1 cm左右。本桥通过观测,25 t吊车对梁端标高的最大影响在1.3 cm左右。所以调整空模标高时要求吊车开至下横梁附近,另外在调整空模时,钢筋或其他杂物禁止堆放在梁端,要按照监控单位指定的位置存放。空模调控具体操作时,测量人员测量出挂篮最前端的底模标高,与监控单位提供的标高比较,算出高差,提供给现场。现场施工人员根据高差,在后锚座附近利用液压千斤顶,顶住已浇主梁底面及挂篮承重系统的纵梁顶面,然后在两者之间增减钢垫板来调整前端的底模标高。中锚杆处为调节方便在主梁与挂篮之间刚开始可以预留3~5 mm缝隙,调控空模标高要考虑这个预留值,最后必须把中锚

杆提紧,确保挂篮底模与已浇梁底紧密结合,否则会影响对监控标高的控制。

主梁混凝土标高控制指每段梁跨中标高的控制,我们采用取平均值的方法,即取已浇梁段与挂篮前端堵头模板实测标高的平均值。

索力张拉时的标高控制:在索力张拉时,通过测量预埋的钢筋推算肋板底标高,与监控单位提供的标高相比较,并把差值在现场立即反馈给监控单位。监控人员根据实测的索力与标高,决定索力调整的大小。一般在索力的调控范围内以标高控制为主。索力调整标高的余地很小,关键是空模标高要严格控制,并且挂篮不得出现异常情况。

2.2 主梁锚箱、索导管和弧形垫板的定位方法与计算

2.2.1 主梁锚箱数据的计算与定位

主梁锚箱是指主梁处斜拉索锚口加劲板,通俗讲是为斜拉索张拉提供方便的有两个开口的空箱子,其形状如图1所示。其数据的计算是在AutoCAD中完成的。所有锚箱数据的计算均应在锚箱施工前计算复核完毕,放样时,根据在AutoCAD中点算的锚箱底面四角点的坐标,用全站仪在挂篮底板上放出点位做上记号,供放置锚箱使用。

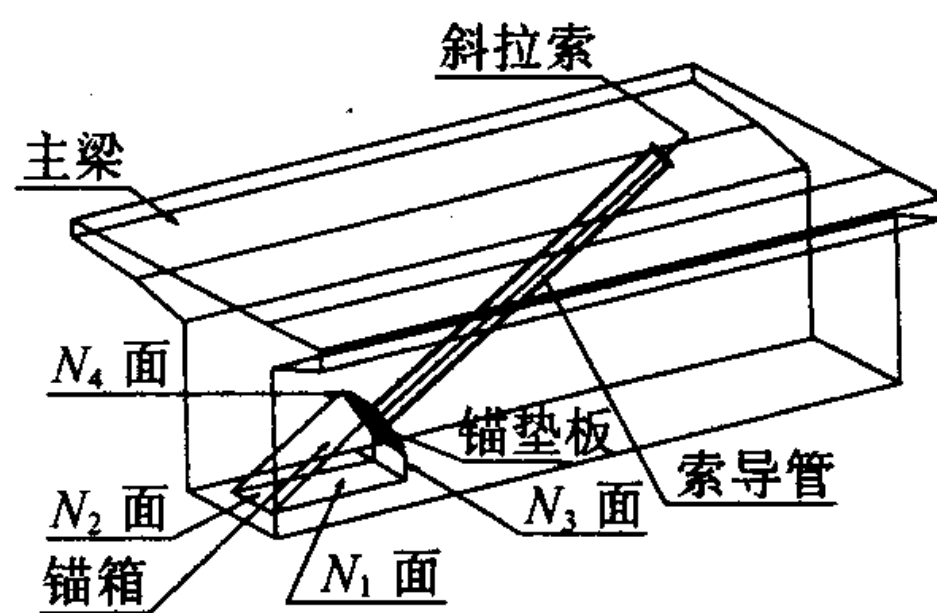


图1 主梁锚箱空间示意

2.2.2 索导管的定位及其数据的计算

为了不影响进度,索导管的定位一般安排在空模标高定位完成之后,与钢筋绑扎一起进行。索导管的定位方法:测量锚垫板(锚垫板需采用精加工)上表面三边的中心点推算锚垫板的实际中心坐标,利用定位圆盘测量索导管出口中心坐标,通过这2个实测中心坐标与理论值比较,现场利用导链调控索导管空间位置。

(1) 斜拉索悬垂量的计算。

由于斜拉索自重的影响,测控索导管时,必须考虑垂度的影响,否则当悬垂量较大时,将很难保证斜拉索在索导管出口处居中。

垂度(示意图见图2)的计算公式如下:

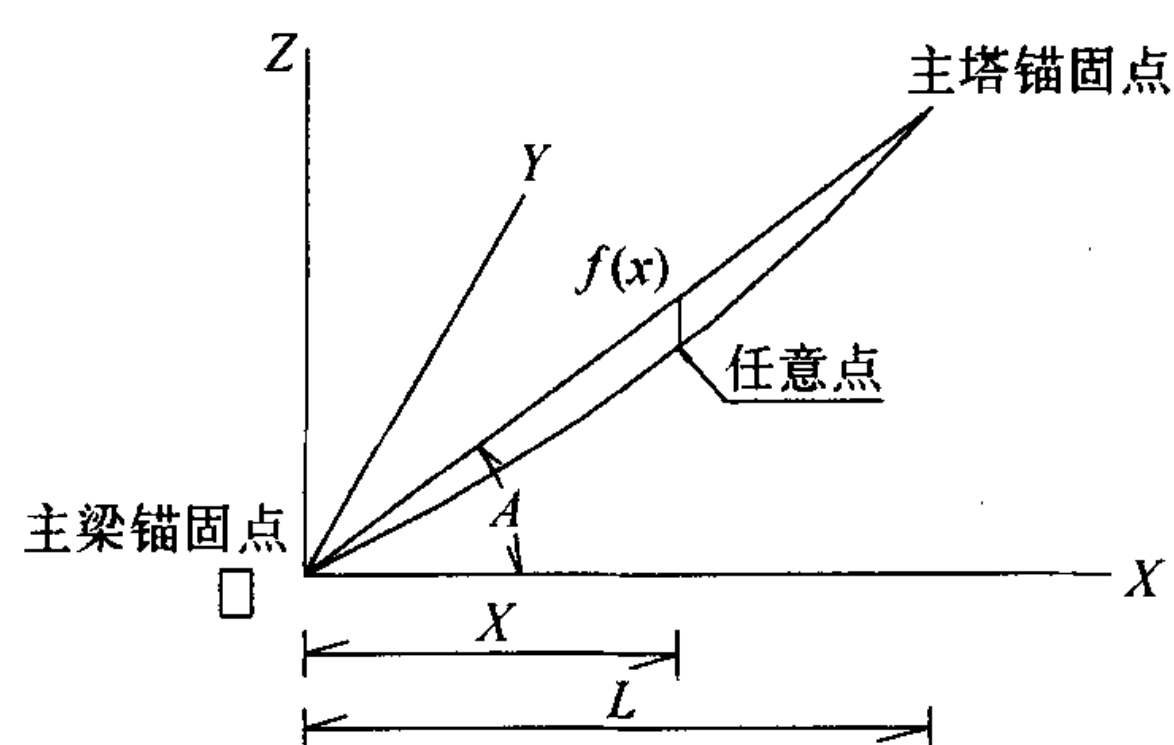


图2 垂度示意

$$f(x) = -q \times X \times (L - X) / (2F \times \cos A) \quad (1)$$

式中: L 为斜拉索在水平面上的投影长度; X 为斜拉索上任一点在水平面上的投影距主梁锚固点的距离; q 为斜拉索的单位质量; F 为设计索力; A 为斜拉索的竖直角。

本桥部分 A 号斜拉索在索导管出口处的悬垂量计算如表 1, 从表中可以看出在最后几段中, 初张力下已达到 4 cm 左右, 如果把初张力值换算为第一次张力值则悬垂量最大达 13 cm 左右。

表1 主梁索导管出口端斜拉索下垂修正值计算

| 斜拉索 编号 | 单根拉索 初张力 kN | 拉索面积 mm ² | 拉索单位质量 kg/m | 斜拉索索长 m | 斜拉索 竖直角 (°) | 索导管长度 m | cos A | X | 水平投影 m | 下垂修正值 m |
|-----------|-------------------|-------------------------|----------------|------------|-------------------|------------|-------|-------|-----------|------------|
| A14 | 3 950 | 8 119.3 | 63.5 | 143.826 | 34.413 32 | 4.197 | 0.825 | 3.462 | 118.654 | -0.039 |
| A15 | 4 050 | 8 119.3 | 63.5 | 151.571 | 33.362 00 | 4.314 | 0.835 | 3.603 | 126.594 | -0.042 |
| A16 | 4 100 | 8 119.3 | 63.5 | 159.365 | 32.412 31 | 4.428 | 0.844 | 3.738 | 134.538 | -0.045 |
| A17 | 3 900 | 7 195.8 | 56.3 | 167.203 | 31.551 23 | 4.537 | 0.852 | 3.866 | 142.486 | -0.045 |

(2) 锚垫板理论中心坐标及空模状态下索导管出口处索导管中心与斜拉索中心坐标差矢量的计算。

在 AutoCAD 中, 以原设计标高为基准标高(此标高下索导管出口处索导管中心与斜拉索中心重合), 在三维坐标系下, 首先模拟这种状况, 然后根据底模前后端的实测高程(此高程在检测空模标高时一并测出), 通过旋转 AutoCAD 中的本段梁体、锚箱、索导管(包括锚垫板)模拟施工现场梁体状况。在此状况下算出锚垫板理论中心坐标, 算出索导管出口处索导管中心与斜拉索中心(未考虑下垂量)的坐标, 从而计算出它们的差值矢量。此状态下由于梁段标高与原设计相比均发生了变化, 所以两者中心一般不重合了。

(3) 索导管现场测控计算及索导管变动后的调控方法。

现场计算采用自编的程序在 PC-E500 计算机中运行, 编程思路采用穿线法, 只需输入修正后的标高就可以计算出: 索导管出口处在锚垫板中心与主塔锚固点直线上的坐标。修正标高主要考虑气温影响的标高差值(此值通过相对标高法测量), 以及悬垂量影响值, 然后再考虑坐标差的影响, 应该说计算较复杂。

在向索导管中穿索时, 有时会把索导管扰动; 另外随着斜拉索的增长, 最后几段主梁施工中, 在第一次张拉斜拉索之后, 由于第一次张拉力仅为设计索

力的 1/3 左右, 此时悬垂量较大, 斜拉索仍紧贴着索导管, 这样监控单位不能准确地测出索力, 不得不把索导管的加固解除。针对这样的情况, 我们调控后几段索导管时采用第一次张力的悬垂量, 第一次斜拉索张拉之后, 在索导管出口四周加塞木楔子, 使斜拉索在索导管出口处大致居中。调整木楔子在索导管出口处厚度的最佳时机是在第二次张拉之后, 计算状态模拟浇注完毕时索导管出口处索导管中心与斜拉索中心的状况, 不过数据是采用上一段类推的。因为如果等主梁混凝土浇注完毕, 再人为调整索导管已十分困难, 不过这时混凝土还没有终凝, 索导管出口端会随着斜拉索的变化而变化, 所以采用了这时的状况, 这种方法经过实践效果不错, 但是执行必须到位。

2.2.3 弧形垫板的测量控制

弧形垫板作为一个传力构件, 它是把斜拉索的力传递给挂篮。它的定位精度影响到索导管与锚箱的安全。其定位方法与索导管出口的定位方法基本一致, 都是采用穿线法, 不过它的计算不用考虑悬垂量的影响, 但需要进行标高的修正。在最后一阶段主梁施工中, 由于仪器无法观测到弧形垫板, 我们是在索导管定位完毕之后, 采用拉线法去定位的。

3 斜拉桥测量监测

斜拉桥是高次静定结构, 它对成桥线形有较严

格的要求,每个节点坐标的变化都会影响结构内力的分配。测量监测是斜拉索施工监控的重要组成部分,通过测量监测提供斜拉桥在各阶段结构变形的数据资料,为斜拉桥实施控制和调整提供依据。

3.1 测量监测内容及布点

施工控制中的测量监测主要有主梁及主塔变形测试。本桥的测量监测工作主要与监控单位配合,在一个主梁梁段施工周期内,配合监控单位进行斜拉索的张拉工作,同时测定每一工况下主梁的变形,具体主要包括本段空(底)模标高,斜拉索第一次、第二次张拉前后的底模标高,主梁混凝土浇注完毕底模标高,第三次张拉前后的底模标高,以及在本梁段第三次斜拉索张拉完毕之后,测量所有先前施工的梁段肋板底标高。索塔变形测试主要是,在主梁每段施工前后,测定索塔沿桥轴线方向的位移以及横向水平位移。主梁每一施工阶段在最前面的断面上布置3个观测点,纵向跨中布置一个点。这些观测点均采用 $\phi 14$ mm的钢筋,在浇筑混凝土之前埋设,钢筋要求下端放在模板上,上端露出混凝土面约5 cm,要求上下端点焊固定,主肋上观测点要考虑不得与挂篮轨道有冲突。

3.2 测量时机的选择及数据的整理

设计时所提供的每个施工节段相应桥面标高和其他变形值一般是基于标准气温下的设计值。因此,测量时机应选择在凌晨日出之前,这时气温较稳定,日照误差对结构变形影响最小,但是在实际施工很难全部做到。一般第一次斜拉索张拉安排在晚上10点之后,第二次张拉在混凝土灌注一半时,一般在凌晨3点左右,第三次张拉安排在晚上10点之后。主塔的变形观测采用全站仪,一般安排在早晨进行。测量监测外业完成之后,及时整理计算,确保数据准确真实,按照一定的表格用电脑记录下来,及时用电子邮件反馈给监测小组。

4 施工总结

(1)重视挂篮的设计与加工。

挂篮作为主梁施工的主要载体,它的设计是否科学,精度和刚度是否满足要求,对于保证主梁的质量起着举足轻重的作用。通过本桥挂篮的应用提出以下建议。

①加工前建议对挂篮设计图纸进行严格的专家论证。

②挂篮与模板若作为一个整体,模板一旦轴线偏差超规,挂篮的调偏能力太弱。挂篮设计建议增加主梁模板微调装置,另外挂篮为中锚杆预留的圆孔,设计是建议采用一个宽(横向)略大于锚杆直径,而长(纵向)为锚杆直径2倍的图形方案。这样将有利于解决棘手的挂篮偏位问题。

③设计挂篮时不仅要有平面图还应该有完整的立体图,要模拟挂篮在每一梁段上的设计状况是否与斜拉索、主梁设计状况等有冲突,特别是曲形梁的设计。

④挂篮模板系统的设计,在纵向和横向上不但要考虑梁体设计要求,还需要考虑挂篮在混凝土浇注完毕时挠度的影响,另外在加工时还需要保证一定的精度要求

⑤重视止推装置的设计与施工。它不仅影响着挂篮的安全,也影响着测量控制的精度。最后几段梁的斜拉索的水平分向力很大,止推装置一旦变形过大,会直接影响到斜拉索在索导管的居中,也影响到索力乃至梁底标高。

(2)斜拉桥监控的一些核心技术,如主梁各阶段标高与索力的计算,斜拉索长度的计算等,作为施工单位如果能够掌握,那将拥有更为广阔的施工空间。

(3)在斜拉桥的施工中,要重视气温的影响。主梁空模测控时要尽量安排在不受气温影响的时段,斜拉索的张拉要尽量安排在受气温影响小的时段。另外要正确应用相对控制标高法,强调同一点,要求考虑施工状况。

(4)为了更加方便观测主塔偏位情况,建议在主塔塔顶合适的位置埋设反射镜片。

(5)AutoCAD在斜拉桥中的应用值得重视。在本桥,AutoCAD被成功地应用于斜拉桥三维空间状态的模拟,以及重要数据如主塔锚固齿板、主梁锚箱和主梁索导管空间位置等数据的计算。

5 结语

斜拉桥施工过程十分复杂,影响因素较多。要求各参建单位通力合作,施工各班组密切配合。在质量管理方面加强预测工作,采取必要的防范措施。作为承担斜拉桥控制重要任务的测量部门,要求测量仪器先进,要求测量人员能够吃苦耐劳,具有扎实的测量计算功底,要求把测量工作做细、做精,并且切实配合监控小组认真做好施工监控工作。