

自锚式悬索桥锚跨混凝土箱梁现浇施工技术

吴国华

(中国葛洲坝集团第二工程有限公司,四川成都 610091)

摘要:锚跨是自锚式悬索桥特有的结构,是直接锚固主缆索的跨段。由于其混凝土体积巨大,结构构造与实际受力、截面应力均十分复杂,是自锚式悬索桥施工的重点和难点。就锚跨段钢筋混凝土箱梁施工技术进行了探讨。

关键词:自锚式悬索桥;锚跨;支架;预应力混凝土;索导管

中图分类号:TV7;TV544

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)增1-0031-03

1 概述

自锚式悬索桥与传统悬索桥相比较有两个显著的区别:一是主缆锚固于边跨加劲梁(即锚跨),因而可以利用加劲梁的水平支承能力来平衡(传递、支承)主缆的水平分力,利用锚跨自重来平衡主缆拉力的竖向分力,节省庞大的锚碇工程,在地质条件差或深水桥位,此优点十分突出;二是可以利用主缆水平分力为加劲梁提供压应力,可减少加劲梁的预应力布置,甚至可以采用普通钢筋混凝土结构,从而节省预应力费用。

由于锚跨承受主缆的纵向力和竖向力,因此,加劲梁及锚跨梁的截面设计必须相对强大。锚跨钢筋混凝土箱型梁构造复杂,同时具有主缆锚固区段前、后锚面的构造和功能。

2 工程实例

某桥自锚式悬索桥全长660 m,按50 m+140 m+280 m+140 m+50 m布置,两端主缆锚固区梁段50 m+21 m采用预应力混凝土箱梁。主梁由钢箱梁、预应力混凝土箱梁(锚跨)通过钢混结合段组成连续梁。钢箱梁为整幅断面,梁高350 cm,梁面宽(含风嘴)39 m。锚跨同样采用整幅截面,4箱室构造,标准截面梁高350 cm,顶板厚28 cm,底板厚25 cm,腹板厚50 cm,箱梁翼缘板宽2.5 m,翼缘根部厚45 cm;锚固区长400 cm,梁高加高至620 cm,梁宽加宽至4 100 cm,为实心体,其间设4个100 cm×100 cm人孔;结合段侧梁体顶板厚度为53 cm,底板厚度为50 cm,腹板厚度为65 cm。分5节段+钢混结合段共6个节段浇筑。

通过对临时墩配贝雷梁方案与碗扣式满堂支

架方案进行比较并结合现场施工条件,确定采用满堂支架方案浇筑。

支架处于原状土地基,桥墩基础基坑的回填采用砂砾石分层填筑并压实,经轻型动力触探地基承载力试验得知地基承载力符合要求。先用挖掘机将表层粘土整平、用16 t振动压路机进行碾压。在经过平整压实的基面浇筑20 cm厚的C20混凝土垫层,浇筑时注意振捣以保证垫层整体密实。地基处理完成后,在支架地基外侧设置两道纵向排水沟,以确保地基范围内排水通畅。

垫层混凝土按照施工图纸进行放线,测量人员用全站仪放样连续梁在地基上的竖向投影线,并用白灰撒上标志线,现场技术员根据投影线定出连续梁的中心线,同样用白灰线做标记,根据中心线向两侧对称布设碗扣支架。

支架采用规格为 $\varphi 48.3 \times 3.6$ mm碗扣式满堂支架。因梁体线形属变截面,故满堂支架的搭设具有三种截面形式:

(1)标准断面(即梁高3.5 m段)。

立杆水平横向间距(横桥向):腹板下横向间距0.6 m,底板及翼缘板下间距0.9 m。立杆水平纵向间距(顺桥向):0.6 m。立杆竖向步距:1.2 m。

(2)渐变断面处。

立杆水平横向间距(横桥向):腹板下横向间距0.3 m,底板及翼缘板下间距0.9 m。立杆水平纵向间距(顺桥向):0.6 m。立杆竖向步距:1.2 m。

(3)锚固区(5#墩上实心体)。

立杆水平横向间距(横桥向):腹板下横向间距0.3 m,底板及翼缘板下间距0.6 m。立杆水平纵向间距(顺桥向):0.6 m。立杆竖向步距:1.2 m。

收稿日期:2015-04-25

为确保支架的整体稳定性,设置纵、横向及水平向剪刀撑。纵向剪刀撑宽度不小于6 m,横向每4跨设置剪刀撑。对于封顶杆及扫地杆位置应设置水平剪刀撑,全平面设置,中间水平杆设置间距应不大于4.5 m。

根据立杆及横杆的设计组合,从底部向顶部依次安装立杆、横杆。一般先全部装完一个作业面的底部立杆及部分横杆,再逐层往上安装,同时安装所有横杆。立杆和横杆安装完毕后安装剪刀撑,以保证支架的稳定性。

为便于在支架上高空作业,安全省时,可在地面上大致调好顶托伸出量,再运至支架顶安装。

根据梁底高程的变化决定顺桥向控制断面间距,横桥向设左、中、右三个控制点,精确调出顶托标高,然后用明显的标记标明顶托伸出量,以便校验。

最后再用拉线内插的方法依次调出每个顶托的标高,顶托伸出量一般控制在20 cm以内为宜。

支架顶部采用可调节顶托支撑横向方木,方木截面尺寸为15 cm×15 cm。在方木顶沿连续梁顺桥向再铺设一层方木做分配梁,该方木截面尺寸为8 cm×8 cm,腹板处间距为10 cm,底板及翼缘板处间距为20 cm,直接承托连续梁底部模板。模板采用15 mm厚竹胶板拼装而成。侧模沿竖向设置8 cm×8 cm方木做背肋,间距25 cm,背肋外侧沿连续梁纵向方向设置横楞,横楞采用双 $\varphi 48 \times 3$ mm钢管,通过使用拉杆件加固侧模,拉杆件采用 $\varphi 20$ 螺纹钢加工而成,布置间距为横向100 cm,竖向60 cm。

为了检查支架的承载力和稳定性,减少并消除支架的非弹性变形及地基的沉降量。在铺设完箱梁底模方木后,对支架、模板进行预压。根据施工图要求,预压荷载按1.15的安全系数考虑。由于该桥锚跨混凝土体量巨大,第一节段总重约6 000 t,因此,根据《钢管满堂支架预压技术规程》(JG/T194—2009)将第一节段划分为3个单元进行预压,其中BC单元包含4 m长的实心钢筋混凝土体锚固区,该单元钢筋混凝土重量为3 445 t,理论预压100%时的重量为3 962 t(图1)。

预压材料采用混凝土预制块与沙袋,预制块每块重2.5 t并设有双吊环,以保证其吊运过程安全平稳;沙袋每袋重1.5 t。为精确计量加载重

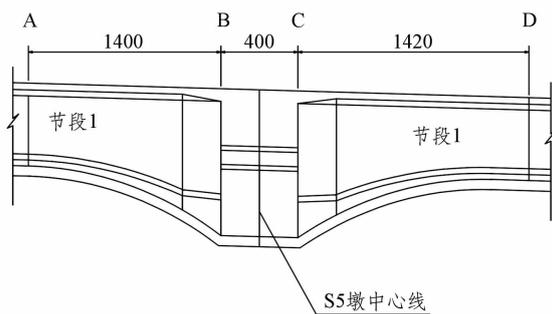


图1 节段一预压单元划分图

量,吊装用汽车吊配5 t电子吊钩秤逐级加载。预压重量按计算荷载的60%—100%—120%分三次逐级加载。即预制块分层布设在预压区域外围,中间堆放沙袋,起到稳定堆载体的作用。先铺设第一层,全部完成后再铺第二层。预压前,每5 m一个断面,每个断面设6个观测点。其中底模板上设置3个,支架底基础上设置3个。

在对支架地基进行处理后、预压荷载施加之前,测量并记录原地面的标高。全部预压荷载施加完毕后,记录各测点的标高,每间隔24 h观测一次,记录各测点的标高,计算前后两次的沉降差。当满足下列要求之一:①各测点沉降量平均值小于1 mm;②连续三次各测点沉降量平均值累计小于5 mm时,即可判定沉降稳定。此时,需要检查支架各扣件的受力情况,当观测到24 h的沉降量小于2 mm后开始卸载。卸载亦采用吊车逐个将预制块卸下。卸载完成后,观测支架的弹性变形。

卸载6 h后观测各测点标高,计算前后两次的沉降差,即地基回弹量,以验证、校核施工预拱度设置值的合理性并确定支架预拱度设置的合理值。本桥经过预压测量,非弹性变形为7~22 mm,弹性变形为5~16 mm,经过分析,确定模板预拱度按12 mm设置。

锚跨主梁模板采用胶合板,在支架预压完成后,重新标定桥梁中心轴线并对箱梁的底模板平面位置进行放样。预压后,通过调承托或木楔精确调整底模板标高,其标高设定时按加载预压确定的预拱度设置。

主梁现浇时梁端、主缆锚点位置需要向边跨设置预偏(预长),以补偿主缆轴力以及混凝土梁预应力引起的压缩量。施工图给出的预偏量仅为理论计算值,实际预偏量是由施工监控单位根

据规范与现场实际施工条件计算给出,结合段混凝土浇筑时的气温是影响预偏量的主要因素。本桥预计当年3月份主梁合拢,根据当地历史气象资料,3月份气温在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上下,施工监控单位经过计算发出了监控指令:主缆锚点(锚墩)预偏 40 mm ,梁端预偏 60 mm ,结合段端头预偏 39 mm 。

主缆锚固区预埋是锚跨施工质量的关键控制点,施工时需进行精确定位。本桥每个主缆锚固区包括37根索导管和相应的锚垫板。

主缆锚头锚垫板与索导管面相互垂直,生产时已经将锚垫板与索导管焊接在一起,根据每根索导管的位置,后锚面混凝土轮廓并不在同一个平面上。后锚面钢模设计内凸槽,凸槽顶面垂直于每根索股发散的中心线,即垂直于预应力孔道中心线,索股中心与孔道中心线是重合的。施工时应根据后锚面钢模索股张拉盒位置放置索导管。

由于索导管预埋位置直接影响索股锚固的受力方向,安装时,必须按照设计的三维坐标连同散索套一起精确测量定位。本桥利用定位支架精确定位并固定牢固来保证位置准确。定位支架按照图纸精准下料焊接,定位横梁暂时不焊接。根据设计位置调整定位支架,利用汽吊将各索导管吊至劲性骨架上,将索导管后端对准钢模张拉盒位置初步固定,前端根据计算定位在横梁上临时固定,用手拉葫芦调整索导管位置,经全站仪反复测量、核对无误后,用定位横梁焊接并固定索导管,将其与调整好的索导管连接成一个整体,保证其稳定性。混凝土浇筑前,索导管内用泡沫或麻絮等材料填充密实,防止漏浆堵塞导管。

需要注意的是:除了施工图中设计的预埋件以外,还有辅助施工需要的预埋件,例如辅助架设主缆的猫道预埋件需要在主缆安装方案中确定,一般预埋钢混结合段附近。本桥猫道的预埋在两边跨与主梁理论交点的钢混段内,将预埋件预埋钢混段,将连接钢板直接焊接于预埋件上,猫道承重索下端用插销通过连接件锚固于耳板上。

锚跨主梁混凝土的浇筑同普通桥一样。首先对梁体标高的控制必须准确,要通过精确的计算预留支架的沉降变形;其次,对梁体预埋件的预埋要求具有较高的精度,特别是拉杆的预留孔道要有准确的位置及良好的垂直度,以保证在正常的

张拉过程中拉杆始终位于孔道的正中心。主梁浇筑顺序应从两端对称向中间施工,防止偏载产生的支架偏移,施工时用水准仪观测支架沉降值并详细记录。待成型后立即复测梁体线型,将实际线型与设计线型进行比较,及时反馈信息,以便调整下一步施工。锚固体混凝土中的钢筋、管道密集,混凝土浇筑、振捣难度大,需要预先制定详细的浇筑方案,采取严密措施,尽量减少水泥水化热,防止混凝土产生裂缝。

根据设计规定,锚跨混凝土箱梁要求整体一次浇筑,不能分层分块浇筑,从而给锚固区混凝土浇筑带来很高的技术难度,需要采取相应的措施,确保混凝土浇筑质量。

从支架、模板受力变形方面考虑,由于混凝土浇筑时间过长,混凝土已进入初凝状态,而支架由于受到的混凝土重量不均而造成变形使混凝土开裂,故将混凝土初凝时间控制在 12 h 以上。

从混凝土浇筑量和浇筑能力方面考虑,混凝土浇筑分层厚度不宜过厚,宜控制在 20 cm 上下并配备足够的混凝土垂直运输设备。本桥由于受地形环境限制,配备2台混凝土泵车,另有1台备用,浇筑时仍然显得不足,之后增加了1台汽车地泵,基本满足浇筑要求。

从混凝土配合比优化设计着手,在配合比设计时,选用低水化热水泥,同时掺入一定量的粉煤灰代替部分水泥用量以降低水化热;选用缓凝高效减水剂,有效地延缓并错开了水化热峰值的发生。

温度控制方面,选用内径 40 mm 镀锌钢管作为冷却水管,锚固区为 4 m 长(顺桥向)、 6.2 m 高的实体,冷却管按照 $80\text{ cm}\times 80\text{ cm}$ 间距呈梅花型对称布置,每一水平面为一组,当混凝土覆盖冷却管后即开始通水冷却。每天测量出水水温,一般 10 d 左右水温开始下降,此后开始每天减小通水量直至结束。

采取有效措施降低原材料温度,如用搭设凉棚、凉水喷洒等方法给集料降温。

尽量选择气温低的天气浇筑,白天如有阳光、气温升高时,对混凝土仓面喷洒雾状水雾。

混凝土保温、保湿是控制混凝土内外温差、防止表面裂缝的关键措施。混凝土浇筑完毕,初凝

(下转第41页)

与锚下垫板连接处配置专用连接管,中部接头除焊接外还用不干胶布缠裹。管道内穿入内径略小的硬塑管,以避免管道意外漏浆造成堵塞。

3.5.2 预应力张拉

箱梁预应力张拉按“先纵向再横向、先腹板束后底板束再顶板束、先长束后短束”的原则进行。其中,纵向预应力采用两次张拉工艺,即当混凝土强度和弹模均达到设计值的 60%、90% 以上时分别进行腹板束张拉,张拉应力按设计值的 50%、100% 控制。竖向和横向预应力采用单根单端张拉工艺,纵向预应力束按整束、左右对称的工艺进行,并严格按应力和伸长值双控进行。

3.5.3 管道压浆

真空压浆是在传统基础上将孔道系统封闭,一端用真空机将孔道内的空气抽出,并保证孔道真空度在 80% 左右(真空压力表为 -0.8 MPa),同时压浆端压入水胶比为 $0.3 \sim 0.35$ 的水泥浆。当水泥浆从抽真空端流出且稠度与压浆端基本相同时,再经过特定的位置排浆(排水及微末浆)和保压措施,以保证孔道内的水泥浆饱满。

4 结 语

(1)虽然该连续梁跨度大、结构复杂、混凝土浇筑强度高、工程量大,但由于采用了分段现浇施工方案,使实际施工工期大大缩短,满足了业主节

(上接第 33 页)

后立即在其表面覆盖保温保水材料,如在铺设双层土工布后用冷却管流出的温水喷洒养护。

3 结 语

自锚式悬索桥具有不需要修建大体积锚碇的优点,特别适用于地质条件很差的地区,因其受地形限制小,可结合地形灵活布置;虽然其存在钢结构的加劲梁造价偏高、施工步骤受到限制且必须在加劲梁、桥塔做好之后再吊装主缆、安装吊索,需要搭建大量临时支架以安装加劲梁等缺陷,但

(上接第 37 页)

和设备选用上给予了充分的考虑,确保了产品的质量和供应量。经过两年多时间运行实践证明,该系统的实际运行效果良好,安全可靠,系统生产能力、砂石料质量均满足设计和大坝施工要求,为贵州都柳江大融航电枢纽工程和从江航电枢纽工

点工期目标,相比于同类工程挂篮施工工期节约达 2 个月。

(2)完工后的连续梁型体测量检测结果表明:连续梁整体成桥线性好、没有明显的节段施工缝痕迹,混凝土外观质量整体良好,其中连续梁 A_0 段梁体外观质量达到了镜面清水混凝土效果。

(3)分段现浇施工组合性支架体系充分利用了公司闲置钢管柱+贝雷梁标准件,大大减少了脚手架数量及支架基础处理工程量,节省了大量的周转资金,取得了较好的经济效益。

大跨度、变截面连续梁的支架法分段现浇施工在跨江汉运河特大桥施工中得到了成功运用,从使用效果看,工程实体质量完全满足设计要求、施工速度快、成桥线性优美、整体外观质量较好。虽然支架体系结构及施工具有一定难度,但只要做好施工技术交底并适当加强现场管理,就能顺利完成施工。综上所述,连续梁支架法分段现浇施工是一次成功的创新、尝试和应用,效果良好,可供同类工程参考和借鉴,特别值得推广至如高速公路桥梁工程、城市高架桥工程等类似项目。

作者简介:

陈树文(1970-),男,湖北天门人,项目总工程师,高级工程师,从事桥梁工程施工技术及管理工作。(责任编辑:李燕辉)

在中小跨径桥梁中其仍然是一个很有竞争力的方案。随着实践经验的逐渐积累,自锚式悬索桥的设计理论和施工方法也将趋于完善,跨越能力也会不断提高。可以相信:今后会有越来越多的方案倾向于这种桥型。

作者简介:

吴国华(1964-),男,云南保山人,项目总工程师,高级工程师,学士,从事公路工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

程的顺利实施奠定了坚实的基础。

作者简介:

徐凯旋(1974-),男,湖北石首人,高级工程师,双硕士,从事水利水电工程建设施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)