

无背索波形钢腹板斜拉桥上部结构施工技术

华剑平 石伟 李华萍

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:随着波形钢腹板在主梁上的广泛应用,我国诞生了第一座无背索波形钢腹板斜拉桥——溱水路大桥,该桥应用了多种预应力结构体系,具有主梁自重轻、抗震性能好、预应力效率高和避免腹板开裂等优点。但同时也给施工及监控带来了一定的困难,本文结合溱水路大桥的施工情况,分别介绍了一些上部结构主要施工技术,供类似桥梁施工参考。

关键词:无背索 波形钢腹板 斜拉桥 施工技术

1 工程概况

溱水路大桥位于河南省新密市北环道,所在区域规划为城市公园。主桥采用跨径为(30+70+30)m墩梁固结体系独塔双索面无背索斜拉桥。无背索斜拉桥是以主梁受压、斜拉索受

拉、斜塔平衡部分主梁自重的结构体系。主梁采用分离式单箱双室波形钢腹板整体箱梁,索塔处为钢筋混凝土箱梁,梁宽50m,梁高2.5m~3.5m。拉索锚固位置设在横梁处,间距6m。采用体内和体外预应力混合配筋。

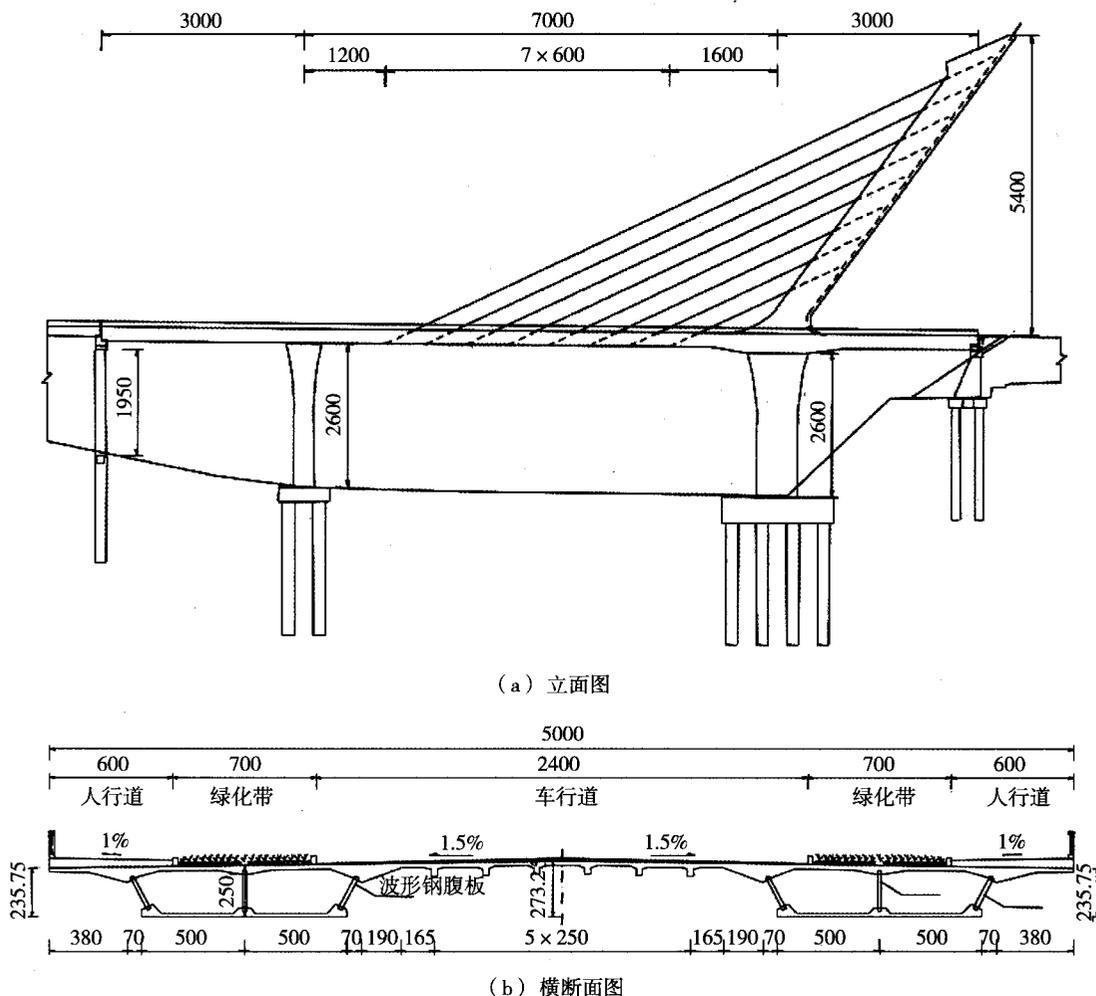


图1 溱水路大桥主桥型布置图(单位:mm)

2 施工方案的选择

该桥是目前国内第一座波形钢腹板斜拉桥,主梁为分离式单箱双室波形钢腹板整体箱梁,在当前已建成的桥梁中并没有可借鉴的经验。常规的斜拉桥的施工方案有悬臂法、支架法、转体施工法以及顶推法等施工方法,根据该桥的结构对比分析选取适合的施工方法。

悬臂法又分为悬臂拼装法和悬臂浇筑法。悬臂拼装法主要用于钢主梁(钢桁架梁或钢箱梁)施工,此外如果采用悬臂拼装法需先安装斜拉索后安装体外索,造成斜拉索受力较难控制,进而对桥塔的受力影响较大。悬臂浇筑法通常采用从0号块向两边对称施工的方式,从该桥的结构为无背索斜拉索,在施工时边跨采用支架法,而主跨侧采用前支点或后支点挂篮。对于主跨只有70m长的主梁,需新设计一套挂篮系统,从施工成本上考虑并不值得,况且采用两种不同的施工工艺,无论是施工管理还是施工进度都不是理想的组合。转体施工法通常应用于跨线桥梁,为减小施工对交通的影响,通常是先采用支架法现浇主梁,随后完成斜拉索的挂索,通过斜拉索的调索来完成由支架承受载荷转换至由斜拉索承受,最后通过转体使梁与引桥之间的对接。该桥的主塔结构为门架式结构,并不适合采用转体结构,况且该桥不是跨线桥,桥面下面为一规划公园,能满足直接采用支架法的施工,无需转体法施工。通过各方面的对比分析,采用支架法施工较为可行。支架法又分为钢管桩支架与满堂脚手架法^[1],钢管桩支架通常用于河道、山区等地基不易处理的场地,与满堂脚手架法相比其施工成本略高一些,因此该桥最终采用满堂脚手架法进行桥梁上部结构的施工。

3 施工难点

(1) 在主梁浇筑时需考虑满堂脚手架产生的弹性变形以及拼装间隙、地基沉降造成的非弹性变形的影响。

(2) 主塔为一斜塔结构,为保证主塔的稳定,需拉索提供部分水平拉力。在浇筑过程中如何固定模板,控制好主塔的结构尺寸,是该桥施工的又一难点。

(3) 该桥采用了体外索加斜拉索的组合体系,在体系转换中如何保证体外索的应力及斜拉索拉力对主塔应力的控制是该桥控制的关键所在。

(4) 波形钢腹板与混凝土之间的连接技术要求高,施工难度大,主要体现在钢腹板与两端混凝土的结合部施工及标准节段钢腹板与混凝土顶、底板的结合部施工。

4 无背索波形钢腹板斜拉桥主要施工技术

4.1 满堂支架的搭设及消除变形的措施

为避免地基沉降造成的非弹性变形的影响,首先对原地面进行处理,结合施工现场情况,采用石灰土搅拌法对地基进行加固。采用路拌机使混合料搅拌均匀,当土层达到最佳含水量时,最后用碾压机进行压实。要求压实度达到90%后,才能进行下一道工序施工。接着进行垫层混凝土浇筑,要求周围设置排水槽,并对混凝土面设有1%横坡,以防积水造成地基的沉降。然后进行支架搭设,支架系统由下而上依次为支撑架底托基础、 $\phi 48$ 碗扣脚手支架、顶托、分配梁和底模等组成。底托分配梁采用 20×20 cm 枕木分块安装。钢管支架用 $\phi 48$ 碗扣脚手管搭设脚手架立杆,立杆按 $90\text{cm} \times 60\text{cm}$ (腹板和底板)间距和 $90\text{cm} \times 90\text{cm}$ (翼缘板)间距进行布置;钢管支架设置纵横向横联,横联层距按 120cm 布置,在横桥方向和纵桥方向支架之间设置斜杆支撑,斜联按 360cm 间距布置。最后对支架进行预压,支架搭设完成并安装底模后,为保证支架变形符合要求,需进行预压以消除支架非弹性变形,即消除整个基础的沉降变形及支架各接触部位的变形;同时可实测出支架各处挠度变形量,为设置施工预拱度提供依据。预压采用水袋加载法。沉降、变位观测点在每跨跨中、 $1/4$ 跨、墩顶断面设置,每个断面分别在底板转角和翼缘设4个测点。每个测点上用细钢丝绳悬挂垂球,并在地基相应位置钉上水泥钉,垂球与水泥钉之间间距 50mm 。吊车吊放橡胶水袋就位,分级加载橡胶水袋。测量在附近已完工的墩身上作一临时水准点,采用三等水准测量观测方法观测压载全过程各测点的标高、变位变化情况,分析整理数据得出控制立模标高和设置预拱度时的取值,并且要

详细检查支架结构的变形稳定等安全状况。压载数据观测完成后,放掉橡胶水袋中的水卸载并对观测点进行复测,注意卸载水的排放。支架预压完成后,进行后续钢筋、模板、混凝土及预应力施工。

4.2 主梁的施工

主梁施工采用满堂脚手架施工,其主梁的腹板采用的是波形钢腹板,结合该结构的特点,可采用流水作业法^[2]施工,即施工底板钢筋——安装波形钢腹板——浇筑底板混凝土——施工顶板钢筋——浇筑顶板混凝土,每完成一段安装横向体内预应力和体外索,最后安装纵向体内预应力与体外索。为避免混凝土受变形开裂的影响,施工时从跨中开始分别向两侧对称施工。

波形钢腹板与混凝土顶板连接采用“T-PBL”连接件,底板连接采用焊钉连接件,采用参数如下:开孔钢板及翼缘板厚14mm,贯穿孔直径:60mm@150mm,贯穿钢筋: $\phi 22$ mm(HRB335);焊钉采用M22的普通栓钉,焊钉高150mm。腹板与连接件采用MC-FL-2型焊缝。边腹板钢板对接焊缝采用MC-BV-B1型焊缝,中腹板用10.9级M22的高强螺栓进行连接,并进行焊脚尺寸为10mm的贴角焊接。

波形钢腹板进行现场拼装时^[3],腹板两侧及翼缘板底部设置支撑架,保证钢腹板的位置准确。波纹钢腹板的安装与箱梁底板钢筋绑扎同时进行,先安装边腹板,最后安装中腹板。在边腹板与中腹板需设置临时支撑以加强钢腹板的定位,每隔5m在腹板顶端设置横拉钢筋及加强方木。

4.3 主塔的施工

主塔施工主要解决两个问题:一是解决模板支架的问题;二是对预埋管是安装及测量定位。由于此桥先完成主梁架设后才进行主塔的施工,因此可以借助斜拉索的拉力来平衡斜塔的自重作用。为降低施工成本减少脚手架的用量,对于侧模模板借助塔内劲性骨架^[4]通过拉杆加以固定,劲性骨架采用工字钢并埋设于在塔内。劲性骨架的另一好处就是方便钢筋的绑扎定位,提高施工效率。对于预埋管的安装也是施工中重要环节,如查预埋管与设计安装要求偏差过大,会造成斜拉索在预埋管管口处产生折角,即对斜拉索索体

造成影响,还对桥梁结构的受力产生影响。这里预埋管与锚垫板位置的确定采用空间直线方程的方法^[5],直接观测锚垫板和索道管特征线上任意点的坐标,根据实测x坐标计算相应的y坐标及标高并与该点实测坐标进行比较,当偏差值较大时,锚垫板和索道管测点处位置需进行相应调整。在此基础上再考虑由于斜拉索在自重的作用下有一定垂度,形成一根悬链线而非直线,所以在定位过程中应考虑斜拉索的垂曲 f_x 对锚垫板和索道管定位标高的影响,在具体定位时需做相应的修正。

4.4 预应力索体的施工

该桥采用了体内预应力、体外索以及斜拉索多种组合体系,因此在施工的时候必须严格按照施工顺序及应力控制要求进行施工,以避免造成桥梁局部应力过大。在施工前须对主桥实际施工的各个过程进行分析,具体可分为如下几个阶段:①支架施工波形钢腹板组合箱梁,张拉箱梁预应力钢束;②支架施工索塔第一节段,张拉索塔预应力束,张拉F8最短斜拉索;③依次支架施工索塔第2、第3、第4节段,张拉索塔预应力束,张拉F7~F2斜拉索;④支架施工索塔第5节段及索塔横梁,张拉索塔及横梁预应力束,张拉F1斜拉索;⑤拆除支架,完成体系转换,施工桥面系。利用ALGOR有限元程序分析得到施工阶段变形和应力值,①~④阶段结构变形很小,理想状态下可以忽略。⑤阶段为成桥阶段,主梁最大竖向位移6.7mm,斜塔纵桥向变形17.1mm,箱梁最大主应力0.6MPa,最大正应力1.0MPa,最小主应力-16.0MPa,波形钢腹板最大剪应力10.0MPa,对应最大Von Mises应力102.8MPa,最小剪应力-22MPa,斜拉索张拉力4200kN,张拉应力最大576.8MPa,满足规范要求。^[6]

5 结语

波形钢腹板板PC结合梁具有自重轻、抗震性能好、预应力效率高和避免腹板开裂等优点,在国内桥梁建设中已在18座桥梁中成功应用^[7],但对于采用无背索波形钢腹板斜拉桥在国外桥梁建设中还是首座,且在该桥中应用了两种预应力体系,以实现主梁的优化设计。由于该桥的特殊结

构,使得施工产生了诸多困难,本文结合溱水路大桥实际施工,介绍了上部结构的一些主要施工技术,为今后类似桥梁的建议提供参考。

参考文献

- [1] 张灵芝,蔡汝一. 30m跨连续箱梁满堂脚手架施工技术[J]. 重庆电子工程职业学院学报, 2011(02): 161
- [2] 刘芳,艾军,张建东等. 多工作面施工方案在某波形钢腹板箱梁桥中的应用[J]. 施工技术, 2011(12):46-49

- [3] 杨林杰. 浅谈波形钢腹板预应力混凝土箱梁的施工[J]. 中国水运. 2010(11):225-226
- [4] 邓凤学. 独塔无背索轻斜拉桥主塔施工技术[J]. 广州大学学报(自然科学版)2008(4):88
- [5] 卢鹏. 无背索斜拉桥锚垫板、索道管的定位测量[J]. 桥梁建设2007(增刊2):134-135
- [6] 汤意. 无背索波形钢腹板部分斜拉桥的整体力学性能分析[J]. 公路工程2011(8):42-43
- [7] 王博木,王玉杰,任大龙. 波形钢腹板预应力混凝土组合梁桥的应用与发展[J]. 江苏技术师范学院学报2011(4):48

(上接第22页)

(2) 新桥面系吊装安装施工,新桥面系吊装安装施工过程和工艺类似于新建桥的程序。其具体技术要求如下: 1) 桥系各个组成部分都有较高的精度要求,各组件的预制加工与安装要符合设计的精度要求,可参照相关的技术规范。2) 主缆高强钢丝绳必须采用镀锌的才能确保其耐久性,并核对设计图纸提供的下料长度,精确截断下料长度,对各根钢丝绳进行必要的预拉,以消除非弹性变形。3) 桥面系桥面各点标高应尽量符合设计标高,一般需经反复的调整,主缆垂度与矢高比应符合设计要求。4) 钢件要求三级焊缝,焊接口周边必须密闭,以阻止雨水灌入。各杆就位后,应及时拼装,及时对焊主杆及系杆接头。对接焊缝按等强度连接施焊,系杆与主杆连接的焊脚尺寸 h_f 不小于系杆的厚度,采用满焊。油漆品种由建设单位确定,要求油漆采用二底二面工艺。5) 抗风索需尽量收紧才能保证桥功效。6) 其他方面技术操作。可参照交通部颁发的施工技术规范进行。

(3) 加固施工要点。施工时始终要严格遵守建设部颁《钢结构设计规范》(GB 50017-2003)、《钢结构工程施工与验收规范》(GB 50205-95)、《建筑钢结构焊接规程》(JGJ 81-91)和交通部部颁《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041-2000)的规定施工外,对于混凝土尚应注意: A、加固施工所用的混凝土在浇筑前应进行配合比试验,以确保混凝土的各项指标满足设计要求; B、混凝土浇筑时,应根据现场情况采用附着式或插入式振捣器进行振捣。对于新旧混凝土结合面区域应特别注意振捣密实; C、混凝土初凝后,应立即进行养护。

(4) 防腐建议。主缆索夹夹持段仍采用旧桥的防腐方案,用油脂涂抹在主缆表面,并用防渗油薄膜包裹,最后外层套铝壳保护,经过20年的验证,该防腐措施是有效的。主缆的防腐最薄弱的地方为散索段的防腐,也是此桥更换主缆的真正原因,因此此段采用防腐性能较好的热缩带,在缠绕时采用50%的搭接缠绕,使索体外形成双层保护,同时在钢丝的表面涂抹一层较薄的油脂,以增强索体的防腐性能。吊杆索体外层套哈弗套管,内填充聚氨酯发泡剂,以保护索体具有良好的使用寿命。其余表面部份采用刷涂油漆防腐,因此仍存在着钢结构油漆防腐普遍存在的弱点,建议建设单位在每隔2~3年,应对桥梁的钢结构部分进行例行检查并做好钢结构的除锈防腐工作。

7 结语

钢丝绳索相比平行钢丝索体具有更好柔性与弹性,在施工中会产生更多的不利影响,如主缆的空缆线形的控制问题相比平行钢丝索体更复杂。本文从主缆、吊索、索夹和索鞍的设计进行分别介绍,并结合实桥的应用说明施工方法、步骤及注意事项。钢丝绳索在南平九峰索桥的成功应用,为今后类似桥梁设计和施工提供了参考。

参考文献

- [1] 徐君兰,姚玲森. 桥梁计算示例集吊桥[M]. 人民交通出版社, 1991: 12-24
- [2] 中交公路规划设计院. 公路悬索桥设计规范(报批稿)[S]. 北京,人民交通出版社, 2002
- [3] 蒋友宝,冯健,孟少平. 销接节点考虑接触特性的设计讨论[J]. 公路交通科技, 2006(9):76-80
- [4] 闻邦椿. 机械设计手册[K]. 北京:机械工业出版社, 2010: 1-164