

东海大桥主航道桥斜拉桥上部结构设计

孔德军 谢尉鸿 杜萍 邓青儿

(中铁大桥勘测设计院, 湖北 武汉 430050)

摘要: 本文介绍了东海大桥主航道桥斜拉桥上部结构的设计, 重点介绍了在斜拉桥上首次采用的钢-混凝土箱形结合梁、为解决主梁和边墩及辅助墩间负反力问题而采用的体外预应力以及斜拉索锚固区的设计特色。

关键词: 钢-混凝土箱形结合梁 体外预应力 索锚区 斜拉桥 东海大桥

1. 工程概况

东海大桥主航道桥采用主跨420m钢-混凝土箱形结合梁双塔中央索面斜拉桥方案, 考虑到与相邻的跨径70m非通航孔连续梁布置相协调, 斜拉桥跨径布置为73+132+420+132+73=830m。见图1。

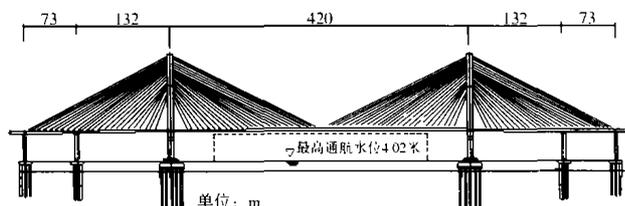


图1 斜拉桥立面布置图

2. 主要技术标准

1) 道路为港区对外集疏运专用通道, 按高速公路标准设计, 双向六车道, 两侧设连续紧急停车带。

2) 设计行车速度 80km/h。

3) 车辆荷载等级: 按汽车一超20级设计, 挂车-120验算; 并按全桥集装箱重车满布, 前、后车辆轴距为10m进行校验。

4) 风: 100年一遇10m高度处设计风速 $V_{10m} = 42\text{m/s}$ 。

3. 结构设计

3.1 支承体系

在主塔墩、辅助墩及边墩处均设置竖向、横向支座, 主塔和主梁间纵向采用液压阻尼装置以限制主梁纵向位移及改善行车条件。

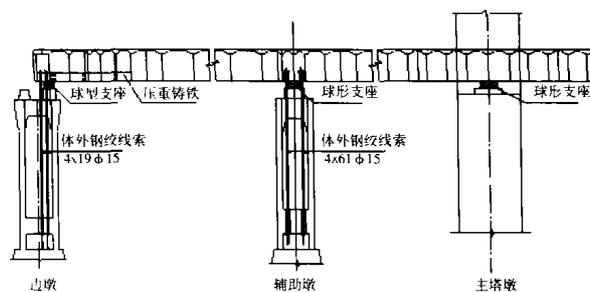


图2 支承体系立面布置示意图

由于在恒载和活载作用下边墩及辅助墩顶会出现负反力, 且车辆活载较大, 相当于一线重载铁路的集度, 负反力也相应较大, 若完全采用压重的方式, 由于压重集度较大, 将对压重区段结合箱梁的受力极为不利。考虑到在成桥状态下负反力较小, 而活荷载作用下负反力所占比重较大, 并且边墩及辅助墩墩身较高, 故本桥在解决上述问题时采用压重和体外预应力相结合的方法, 在边墩附近主梁内设置一定数量的压重以使边墩顶在结构自重作用下不出现负反力, 采用体外预应力束连接墩身和主梁以克服活荷载作用下各墩的负反力。

3.3 主塔

主塔为钢筋混凝土结构。在造型上塔身上段为适应中央索面布置采用倒Y形构造, 下段采用实腹宽肩式墩身, 见图3。塔身截面中塔柱为单箱单室, 其余截面为单箱双室。主塔纵向尺寸为8m, 横向尺寸上塔柱7m, 中塔柱4.2m, 下塔柱从37m渐变为28m。主塔采用C50级高性能混凝土。

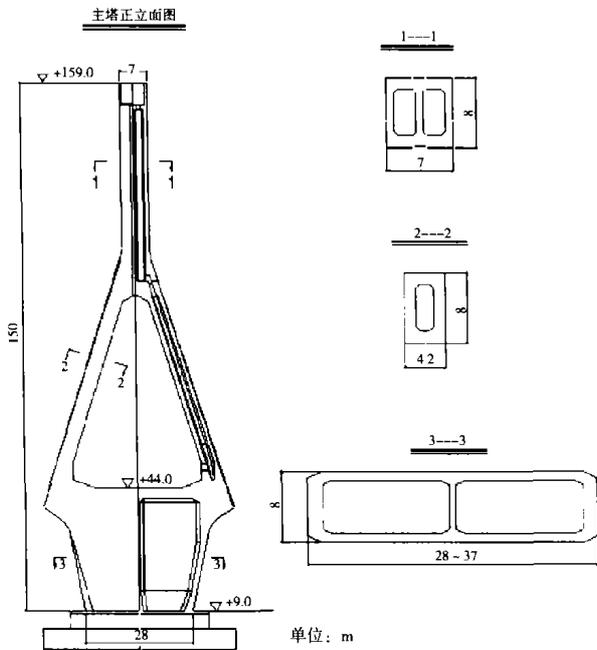


图3 主塔正立面图

主塔上塔柱为锚固斜拉索及传递索力的关键部位。由于本桥主塔端斜拉索索距较密，斜拉索索力较大，若索锚区完全采用环向预应力来平衡斜拉索水平分力，预应力在上塔柱大部分区段的布置会十分密集，施工难度大且不易保证施工质量，故在上塔柱上部约2/3数量的斜拉索采用钢锚梁以平衡一部分斜拉索水平分力，其余的斜拉索直接锚固在混凝土塔壁上。钢锚梁与混凝土塔壁之间有刚性连接与非刚性连接两种方式，考虑到在运营若干年后斜拉索换索及可能出现的断索情况下，主塔截面纵向将出现较大的不平衡水平分力，为使塔壁更好的共同受力，本桥采用钢锚梁与塔壁间刚性连接的方式，具体做法见图4。钢锚梁在塔柱环向预应力施加后再安装以充分的发挥预应力的作用。

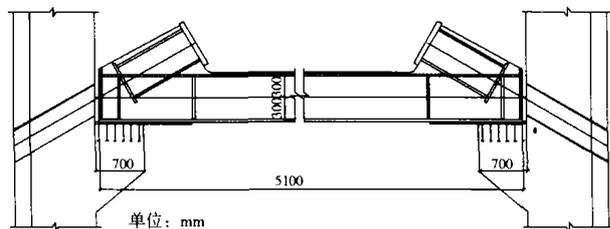


图4 钢锚梁结构

主塔中、下塔柱交接处为实腹式盖板，盖板内横桥向布置60根 $19\phi 15.24$ 高强度低松弛预应力钢绞线束，以平衡中、上塔柱传来的轴力，使

之顺畅的传入下塔柱及满足局部承载能力需要。

3.4 斜拉索

斜拉索采用中央平行索面，每塔每索面共24对斜拉索，梁端索距8m，塔端索距约2.2m，全桥共224根斜拉索。斜拉索采用 $\Phi 7$ mm镀锌平行钢丝，钢丝标准强度 $R=1670$ MPa。斜拉索以集装箱拖挂重车密集型排列作为主力荷载进行设计，在换索及断索工况下容许应力适当提高。

3.5 主梁

主梁为钢-混凝土箱形结合梁。本桥采用这种加劲梁形式主要是为满足在集装箱拖挂重车荷载作用下斜拉桥的刚度、施工工期及结构耐久性等要求。

主梁采用单箱三室截面，梁高4.0m，混凝土桥面板宽33.0m，悬臂板宽4.5m，钢底板宽24.0m。主梁混凝土标号为C60级，钢结构部分材质Q345qD。主梁一般断面见图5。

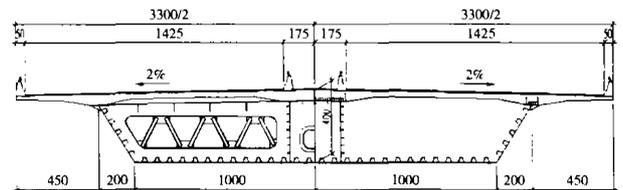


图5 主梁一般截面

主梁每节段长8m，除在节段两端预留0.5m宽现浇混凝土接缝外，均在预制场全断面制作完成。主梁运抵桥位吊装后，拼装连接钢主梁部分，随后现浇混凝土顶板接缝段。主梁设置宽为1.0m的接缝主要是考虑到钢主梁部分拼接板宽度及纵向钢筋的连接要求。

主梁混凝土面板一般厚28cm，在腹板顶附近加厚至55cm。主梁混凝土面板内纵桥向在腹板附近布置4层直径20mm间距为12.5cm的普通钢筋，其余部分布置2层直径16mm间距为10cm的钢筋，横桥向布置2层直径16mm基本间距为15cm的钢筋。普通钢筋配筋率较高主要是为了减少预应力的数量，同时有助于控制混凝土面板内的裂缝。

主梁预应力采用纵、横向预应力体系。主梁在跨中及辅助墩顶附近布置一定数量的纵向合拢

(下转第24页)

主缆散索段各索股外表面分别涂刷磷化底漆及环氧云铁底漆、刮涂专用密封剂、用高强玻璃布作单索股缠包、再刮涂专用密封剂、刷涂聚氨酯面漆，即与主缆规则段的施工工艺相似；将散索套上下直缝与环缝的空隙用专用密封剂预先封严，然后将专用密封剂用手动注胶枪压注入散索套内，可分几次灌注直至灌满；将环氧、固化剂、石英砂、辉绿岩粉按合适的比例搅拌均匀，用灌浆泵往预埋管内灌注环氧浆直至将管内全部灌满，管口处用灌环氧水泥浆密封。

索鞍的防护为：用专用密封剂将鞍座顶盖与鞍座体的对接缝部分密封，在整个索鞍外表面涂刷聚酯面漆。

索夹及吊杆上锚头的防护为：用电动打磨机将螺栓头表面除锈，在整个索夹及吊杆上锚头表面涂刷环氧云铁底漆及聚氨酯面漆。

防腐质量控制：主缆清洗干净后，表面应无油脂、水分、灰尘等异物存在，用白色清洁布擦拭被清洗后的表面，应无明显污迹；密封剂不允许漏涂、缺陷、异物夹杂、表面有气孔存在；密封剂厚度检验方法为用裁纸刀切取小片，用卡尺测定厚度。用软质绘图橡皮摩擦硫密封剂表面，应无剥离现象；油漆表面应光滑、无缺陷，若发现裂纹、脱落、漏涂时，必须重新修整或补涂。每涂完一层漆后，必须检查厚度，可用测厚仪对工件上的涂层或随炉件进行测量，涂层厚度必须达到工艺规程要求。

4. 结束语：

子牙河大桥上部悬索结构由柳州OVM公司施工，从2003年9月开始，至2004年4月全部完工，共用了约8个月时间，其中净工期约为6个月，包含了安装索鞍、架设猫道、安装主缆、紧缆、安装索夹、安装吊杆、体系转换、防腐等多项工序，各工序经业主和监理验收，均符合设计及规范要求。虽然在施工期间碰到很多技术难题，但经过全体施工人员的努力，最后都能成功有效地解决。本桥的顺利建成通车，使天津市又多了一道靓丽的风景线。

参考文献

- [1]严国敏编. 现代悬索桥. 北京：人民交通出版社. 2002.
[2]雷俊卿、郑明珠、徐恭义编. 悬索桥设计. 人民交通出版社. 2002.

(上接第31页)

预应力束，纵向预应力集中在主梁腹板附近混凝土面板内布置以使其能可靠锚固。横向预应力采用 $3\phi 15.24$ 高强度低松弛预应力钢绞线，横向布置基本间距为0.5m，在相邻的多个节段间预应力的布置尽量相近以减小相邻主梁节段由于横向预应力的张拉导致的主梁横向变形差异，保证钢梁节段栓接顺利实施。主梁在悬拼施工时布置28根直径为32mm的预应力粗钢筋，其中约有一半预应力筋集中在竖腹板附近混凝土面板内布置，以针对性的克服在弯曲剪力滞后效应下主梁横向混凝土面板的应力不均匀现象。

主梁钢结构部分一般截面底板及斜腹板厚16mm，竖腹板及腹板上翼缘厚24mm，塔根及边墩、辅助墩顶附近主梁钢板局部加厚。主梁横隔梁采用桁架形式以利过桥管线的布置。主梁一般截面横隔梁板厚16mm，上翼缘板厚24mm。

主梁相邻节段间钢结构部分的连接均采用 $\Phi 24$ mm高强度螺栓拼接以减小在海上施工的难度，保证施工质量。

主梁钢结构部分和混凝土面板之间通过设置剪力钉来传递结合面间的剪切力，剪力钉的布置根据各节段剪力的大小布置。剪力钉采用直径为22mm的圆头焊钉，其长度除上翼缘钢板两端部为有效抗弯采用较长的450mm外，其余均为200mm。主梁剪力钉除主梁节段间拼接板采用现场焊接外其余均在工厂焊接。

4. 结语

钢-混凝土箱形结合梁这种梁式在东海大桥主航道桥斜拉桥上的设计实践，将为今后更广阔的应用积累经验。