

超大跨度连续箱梁支架法现浇施工技术

匡 明 陈拥军

(中铁二局股份有限公司杭州湾跨海大桥项目经理部 浙江杭州 310003)

摘 要 杭州湾跨海大桥南引桥陆地 50 m + 80 m + 50 m 和 4 × 50 m 预应力混凝土连续箱梁, 采用支架法原位现浇施工, 针对其跨度大、一次浇筑混凝土数量多、海工耐久混凝土工艺要求高、真空压浆工艺新等特点, 介绍了支架、模板、钢筋、混凝土、预应力、真空辅助压浆等施工技术, 供同类工程借鉴。

关键词 超大跨度 连续箱梁 支架 模板 海工耐久混凝土 预应力 施工技术

1 工程概况

杭州湾跨海大桥全长 36 km, 桥面全宽 33 m, 双向六车道, 是目前世界上最长的跨海大桥。其中南引桥滩涂区和陆地相接地段, G01 ~ G08 墩间上部为预应力混凝土连续箱梁, 包括跨十塘大堤 50 m + 80 m + 50 m 联和大堤内 4 × 50 m 等高联。

50 m + 80 m + 50 m 联为三跨变高度预应力混凝土连续梁, 单幅桥为单箱单室斜腹板箱形截面, 中支点梁高 4.500 ~ 4.816 m, 跨中及边支点梁高 3.200 ~ 3.516 m, 主梁采用圆曲线变高, 变高范围为中支点附近左右各 36 m。主梁顶宽 15.8 m, 横坡 2%; 主梁直线段底宽 6.625 m, 变高范围底宽由 6.625 m 变为 5.999 m。腹板厚 0.55 m ~ 0.70 m, 底板厚 0.25 m ~ 0.70 m。

4 × 50 m 联为等高预应力混凝土连续梁, 单幅桥为单箱单室斜腹板箱形截面, 梁高 3.200 ~ 3.516 m, 桥面顶宽 15.8 m, 横坡 2%。主梁底宽 6.625 m, 腹板厚 0.60 m, 底板厚 0.30 m。

主梁为纵横双向体内预应力体系, 均采用钢绞线束, 横向预应力体系顺桥向间距 60 cm 一束 4 $\phi^{15.24}$, 扁锚锚固, 两端交错张拉, 横梁处为 9 $\phi^{15.24}$; 纵向体内预应力体系采用 19 $\phi^{15.24}$ 、15 $\phi^{15.24}$ 、12 $\phi^{15.24}$ 和 9 $\phi^{15.24}$ 四种, 均采用塑料波纹管成孔。

2 施工技术

2.1 支架工程

2.1.1 支架设计

2.1.1.1 设计方案

箱梁支架采用重型门架, 单樑门架重 25 kg, 高 1.9 m, 宽 1.0 m, 立杆外径 $\phi 57$ mm, 壁厚 2.5 mm。支架顶部安装可调节顶托, 其上安装模板系统; 支架与混凝土基础接触处安装底座, 截面 14 cm × 14 cm。通过门架、调节杆和顶托不同组合, 可实现不同高度要求的支架。门架之间通过拉杆和

普通钢管、扣件进行整体加固, 并利用普通钢管设置足够数量的剪刀撑, 确保支架的整体稳定性。根据箱梁现浇施工时支架的荷载分析, 将箱梁支架按翼缘板、腹板和底板三个区域分别设计, 见图 1。

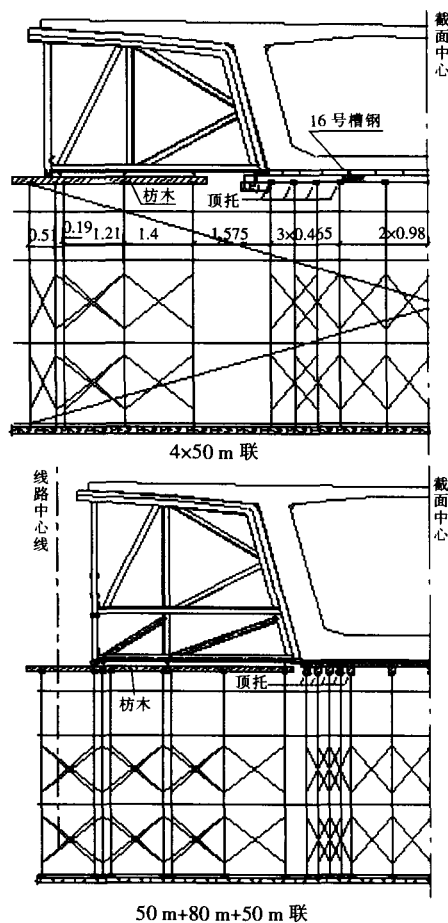


图 1 支架设计图(单位:m)

2.1.1.2 支架检算。

(1) 单樑门架承载力计算。HR100 型可调门式支架的立杆截面积 $A = 2A_0 = 848 \text{ mm}^2$ 。从压杆稳定分析其承载力为: $[N] = \phi A [\sigma] = 108 \text{ kN}$, 单根立柱承载力为 54 kN (ϕ ——立杆稳定系数, 长细比 $\lambda = h/i = 94.3$, 得 $\phi = 0.594$, $[\sigma]$ ——材料设计强度 215 MPa)。

(2) 支架检算。把支架当成对模板的外部约

束,采用 ANSYS 软件对模板受力进行计算,要求门架单根立杆荷载应小于其容许承载力值。

2.1.2 地基处理

针对工程场地地基承载力低的特点,支架搭设前,先清除表层软土及淤泥,换填 80~100 cm 厚石碴;分层碾压密实,按二级以上公路填石路基标准进行控制,并在填至设计标高后检测弯沉值,确保施工期间地基总沉降和不均匀沉降满足规范要求。考虑场地在箱梁施工后将作为预制箱梁运架设备的拼装地,故在石碴顶面浇筑了厚 15 cm 的 C15 混凝土面层。通过处理,其地基容许承载力满足大于 150 kPa 的要求。

2.1.3 支架搭设

支架加固采用 $\phi 48$ mm、壁厚 3.5 mm 钢管作为横杆和斜撑。施工顺序为:根据图纸放样→安装底座→拼装门架及交叉拉杆→安装水平加固钢管→逐层向上搭设→安装剪力撑加固钢管→安装调节杆及顶托。

2.1.4 支架预压

为消除地基和支架系统非弹性变形和检测其弹性变形值,应在支架搭设完成后对支架进行预压。即将成捆钢筋照梁体荷载分布情况堆码整齐,按 120 % 的设计荷载进行超载预压 7 天。预压前,在支墩附近、1/4 跨、1/2 跨、3/4 跨以及悬臂段端部等位置的支架顶面(模板上)和地面上设置沉降观测点。经实测,支架顶总变形量约为 10 mm,其中,地基沉降、支架变形各 5 mm,与理论分析值基本一致。

2.1.5 支架拆除

箱梁翼缘板下的支架在不影响底模支架的情况下可在外侧模拆除后即可进行,箱梁底板下的支架必须待纵向预应力束张拉压浆完毕后方可拆除。拆除顺序:纵向从跨中向两端,横向左右对称,先上层后下层,并照“先装后拆,后装先拆”的原则进行。

2.2 模板工程

2.2.1 底模系统

2.2.1.1 结构设计

4×50 m 联箱梁直接采用大块钢底模板预制,标准段尺寸为 6.625 m×4.0 m;底模系统由横向主梁、纵向分配次梁和面板组成。横向主梁为 2 根 16 槽钢支撑在支架顶托上,纵向间距 1.0 m;纵向分配次梁为 14 槽钢,支撑在横向主梁上,间距 0.35~0.55 m;面板采用 10 mm 厚的冷轧钢板分节加工而成。为固定外模桁架,在横向主梁上设置挡板,通过铁楔将外模紧靠底模。底模在墩顶区域采用木模。

50 m+80 m+50 m 联箱梁梁底宽度和箱梁高度均有变化,为便于调节和加工,其底模板采用木结构。顶托上铺纵向 14 cm×16 cm 枋木,纵向上

铺横向 8 cm×12 cm 枋木。面板采用 122 cm×244 cm×1.5 cm 竹胶板,板与板接缝用双面胶夹紧,防止漏浆。

模板设计按公路桥梁施工规范的荷载标准组合进行计算分析,其强度和刚度均应满足要求。

2.2.1.2 安装及拆除

底模安装工作在支架搭设完成并经检查验收合格后进行。对于 4×50 m 联箱梁,先安装横向分配梁,然后将已焊接成整体的纵向分配梁和面板吊装就位,再按照预留拱度和沉落量调节标高,最后将底模固定。50 m+80 m+50 m 联箱梁采用木底模,先安装完纵、横向枋木,调整好标高后再铺面板(竹胶板)。底模拆除工作在箱梁纵向预应力张拉和管道压浆后进行,拆除顺序与安装相反。

2.2.2 外侧模系统

2.2.2.1 结构设计

由于箱梁高度大,外侧模系统必须采用桁架结构,由桁架、面板和纵移滑道组成。其面板采用 8 mm 厚的 A3 钢板,纵向加劲肋在腹板和翼缘板分别采用 I12 和 I10 工字钢,桁架采用 I16 工字钢和 14 槽钢组合而成。4×50 m 联箱梁直接利用预制梁模板,桁架靠腹板侧直接支撑于底模横向主梁上,用楔子固定;底横梁直接支撑在纵向钢轨上,其下为横向枋木直接支撑在顶托上,用顶托调整外模板标高。50 m+80 m+50 m 联箱梁需对预制梁模板加高处理后使用,采用外模包底模方式。在底模面板下穿 $\phi 32$ 精轧螺纹钢对拉固定外模位置,外模底横梁直接支撑在纵移滑道上,用顶托调整外模板标高。

模板设计按公路桥梁施工规范的荷载标准组合,采用 ANSYN 程序计算分析,各杆件的强度和刚度均应满足要求。

2.2.2.2 安装及拆除

在支架搭设完成并验收合格后,安装外模下的横向枋木和纵向滑移钢轨,用顶托调整其标高至理论位置。然后将分节加工成型的外侧模用平板车运至现场,利用吊车吊装到位。单块侧模安装完,用螺栓连接成整体,并上好全部拉杆,调整紧固件。

箱梁外侧模拆除应在梁体混凝土强度达到设计值的 75 % 后进行,拆模时梁体混凝土表面温度与环境温度之差不得大于 15 ℃。箱梁外模拆除按纵移方案考虑,连接螺栓解除后,松掉锁紧侧模和底模的铁楔子(或拉杆),然后调节支架顶托,使侧模脱离底模和梁体。采用卷扬机作牵引,沿滑道(钢轨)分节纵向将侧模滑移至指定位置。模板拆下后,应及时清除模板表面和接缝处的残余灰浆并均匀涂刷脱模剂,整修后备用。

2.2.3 内模系统

2.2.3.1 结构设计

箱梁内模采用木模结构,内模桁架采用 8 cm

×12 cm 枋木, 转角处用夹板和螺栓连接; 桁架与面板之间的纵向加劲肋采用 8 cm × 12 cm 枋木; 面板用 122 cm × 244 cm × 1.5 cm 高强竹胶板, 接缝处夹双面胶并粘贴胶布防止漏浆。内模桁架和纵向加劲肋间距根据计算结果确定, 保证板面刚度。内箱采用枋木和 $\phi 48$ 普通钢管加固。

2.2.3.2 安装及拆除

箱梁内模安排在加工场按 4 m 一节分节制作, 采用普通钢管脚手架支撑加固形成整体, 用平板汽车运至现场, 再用 50 t 吊车吊装入模, 拼装就位。各接缝处用宽胶带粘贴, 以防止漏浆。

内模拆除工作在梁体混凝土强度达到设计值的 75 % 后进行。首先, 拆除钢管脚手架, 然后自上而下拆除模板, 搬运至加工场整修合格后用于下一节段。

2.3 钢筋工程

钢筋在加工场集中加工, 汽车运至施工现场。按“放样→底板钢筋→箍筋和蹬筋→腹板钢筋→安装波纹管→端部加强钢筋→安装内模→顶板钢筋→安装波纹管”的顺序安装。

2.4 混凝土工程

箱梁采用 C50 海工耐久混凝土, 单节段长 40 ~ 80 m, 其混凝土数量为 450 ~ 1 020 m³。

2.4.1 拌制和运输

(1) 实行工厂化生产混凝土, 集中在大型拌和站进行。共配置了 4 台 60 m³/h 和 1 台 90 m³/h 拌和机, 理论生产能力为 330 m³/h, 考虑一台设备作为备用, 实际生产能力为理论的 1/3, 即 90 m³/h。因此, 灌注一节箱梁要 5 ~ 11 h, 加上开始和结束的非正常时间, 实际灌注需 7 ~ 13 h, 满足施工规范要求。

(2) 混凝土的运输包括从拌和站至现场的运输、地面至模内的垂直运输, 分别采用 6 ~ 8 m³ 的混凝土罐车、4 台 HBT80 泵送, 并配置 4 台移动式布料机进行布料。

2.4.2 混凝土浇筑

箱梁混凝土施工按照“底板与腹板倒角处→腹板→底板→顶板, 从两端向中间”的原则, 采用 4 台布料机从箱梁的两端向中间对称布料、连续灌注, 以水平分层(灌注厚度不大于 300 mm)、斜向分段(工艺斜度为 1:4 ~ 1:5)的施工工艺进行。由于箱梁为斜腹板结构, 加上其高度大, 使得腹板的混凝土捣固工艺成为技术难点。为此, 经反复试验和攻关, 决定采用引导器引导捣固棒、改善混凝土工作性能、控制混凝土捣固时间等技术措施, 使混凝土质量得到了有效控制。

2.4.3 混凝土养护

采用保温保湿方案养护混凝土, 包括静养、升温、恒温、降温等过程。在混凝土灌注完毕, 采用养护罩封闭梁体, 箱梁顶面采用干海绵覆盖, 混凝土静养至初凝(约 8 h), 然后将箱梁顶板上海绵

浇水湿透。在养护中应加强混凝土内部温度、表面温度、养护罩内不同部位温度以及环境温度监测, 并根据监测情况采取适宜的保温保湿措施。

2.5 预应力工程

箱梁采用纵、横双向预应力体系。纵向预应力钢束为 19- $\phi^j 15.24$ 、15- $\phi^j 15.24$ 、12- $\phi^j 15.24$ 、9- $\phi^j 15.24$ 共五类钢绞线束, 采用内径 90 mm 和 100 mm 波纹管成孔; 箱梁顶板横向预应力钢束为 4- $\phi^j 15.24$ 钢绞线(BM15-4 扁锚), 采用内尺寸 70 mm × 21 mm 的扁波纹管成孔。

2.5.1 预应力管道

箱梁预应力管道采用塑料波纹管成孔。管道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包裹。管道内穿入内径略小的硬塑料管, 避免管道意外漏浆造成堵塞。

2.5.2 预应力张拉

箱梁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 50 % 以上时进行腹板束张拉, 张拉应力按设计值的 33% 控制; 待混凝土强度和弹模均达到设计值时进行剩余的预应力束张拉。按“先纵向后横向、先腹板束后底板束、先长束后短束”的原则, 和“0→0.1 σ_k (作伸长值标记、测工具锚夹片外露)→ σ_k (测伸长值、测工具锚夹片外露、静停 2 分钟)→补油至 σ_k →锚固, 回油到 0(测总回缩量、工具锚夹片外露量)”的程序进行, 其中, 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。预应力施工采用 YCW450B、YCW250B 和 YDC240QX 型千斤顶及配套的高压油泵。

2.5.3 管道压浆

为提高箱梁的耐久性, 采用真空压浆工艺对预应力管道压浆。

水泥浆拌和机和压浆泵为一体机, 其中, 拌和机为 1 300 r/min 的高转速拌和机, 压浆泵能连续均匀地压浆, 并可保持 0.7 MPa 以上的恒压, 且具有压浆量、进浆压力可调功能; 施工要求: 浆体养护缸的搅拌速度不能大于 500 r/min; 采用水环式真空泵, 循环水用自来水, 水温不能超过 40 ℃; 其抽真空的能力应大于 90 % (-0.09 MPa), 抽真空的效率应不小于 40 m³/h。

预应力束张拉施工完成后进行钢绞线切割、安装密封罩等工作, 然后抽真空, 待真空度满足要求后方可进行压浆。压浆时, 浆体由孔道压浆端压入, 从抽真空端排出, 直到流出的稠度达到注入的稠度, 然后在 0.7 MPa 下保压不少于 2 min。

3 结束语

杭州湾跨海大桥的超大跨度现浇连续箱梁, 虽具有跨度大、一次灌注数量多、海工耐久混凝土工

路堑边坡喷钢纤维混凝土防护施工技术

孙立功

(陕西铁路工程职业技术学院 陕西渭南 714000)

摘 要 以大秦铁路沙茶段 DK310 + 445 ~ + 600 路堑为例, 阐述喷钢纤维混凝土路堑护坡的施工技术及试验结果, 供同类工程参考。

关键词 路堑边坡 防护 钢纤维混凝土 施工技术

1 工程概况

大秦铁路沙茶段 DK310 + 445 ~ + 600, 全长 155 m。线路以挖方通过一低缓山梁, 地势右高左低, 地面坡度 $10^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 地层为花岗岩, 灰黄色中粗粒结构, 风化严重呈砾砂夹碎块状。路堑边坡坡度为 1:1, 坡脚以上 1 m 采用 M5 浆砌片石, 以上坡面采用喷钢纤维混凝土防护。

2 施工技术要求

一是边坡要求坡面平整, 采用光面或预裂爆破, 严禁采用大爆破; 二是路堑边坡每平方米先锚固一根长 1.0 m $\phi 16$ mm 的锚杆, 外露 0.07 m 长作为喷层厚度控制标志; 三是采用 C25 混凝土, 锚杆孔用 M25 水泥砂浆灌注; 四是钢纤维断面为 0.4 mm $\times$ 0.5 mm、长 20 ~ 25 mm, 每立方米混凝土掺 70 kg; 五是速凝剂按水泥质量的 5 % 掺入; 六是喷射前应先对坡面进行整修, 再用高压水冲洗干净; 七是正式作业前应进行试喷, 掌握合适的风压和喷射距离、角度、水灰比; 八是喷射手作业时带防护眼镜、口罩、手套等防护用品。

3 施工技术

3.1 机具设备

主要机具设备见表 1。

孙立功, 男, 副教授, 硕士。

艺要求高、真空压浆工艺新等特点和难度, 但由于施工技术上有针对性地采取了一系列措施, 精心操作, 质量良好地完成施工, 值得类似工程借鉴。

(1) 超大跨度的箱梁自重大, 其支架结构和地基处理应适当加强, 特别是翼缘板下面的支架, 由于腹板混凝土水平荷载通过外模桁架的传递, 使其荷载显著增加, 应予特别注意。

(2) 箱梁外模采用大块钢模施工, 可显著提高箱梁的外观质量, 由于与内模不能采用拉杆对拉, 因此, 应尽可能提高外模桁架的强度、刚度。外模桁架采用在滑道上拖拉拆除, 有利于加快安装

表 1 主要机具设备表

机具名称	规格	数量
手风钻	YT-25	2 台
锚杆注浆罐	风压机	1 台
混凝土喷射机	转子二型	1 台
高压风、水、电		
钢脚手	$\phi 50$ 长 6.0 m $\phi 50$ 长 1.5 ~ 2.0 m	各 100 根

3.2 坡面脚手架搭设

沿坡脚平台分段搭设钢脚手架一次到堑顶。由上向下分层喷射, 脚手架也相应分层拆卸, 当喷至坡脚时脚手架也拆卸完毕, 以后逐段类同。

3.3 坡面整修

开喷前, 须对坡面进行整修, 大致铲平, 堑顶与地面交界处杂草应清除, 将坡面的松散碎石冲洗干净。并先在凹处喷射同级素混凝土找平。

3.4 锚杆施工

按设计在坡面上每平方米设 1 根 $\phi 16$ mm、长 1 m 的锚杆。锚孔用手持风钻施工。清孔后, 先用风压注浆罐压入 M25 砂浆, 然后压入锚杆, 7 天后, 要求抗拔力不小于 200 kg。

3.5 钢纤维混凝土理论配合比

理论配合比先根据有关资料选定, 实际喷射试验后确定水泥: 砂: 石为 1: 2.4: 1.6, 水灰比为 0.45, 钢纤维掺量为 70 kg/m³, 速凝剂掺量为水泥重量的 5 %。在施工中水灰比难以掌握, 由喷射手根据喷到坡面上的钢纤维混凝土的干湿程度, 调整喷头出水开关进行掌握, 它与理论水灰比有一定

进度。

(3) 高度大的斜腹板箱梁, 其腹板下部及底板倒角混凝土的捣固, 应采取适当的引导措施, 并应从混凝土工作性能方面进行必要的调整。

(4) 箱梁一次性浇筑混凝土数量大, 对其相应的配套施工设备要求高, 否则无法满足施工质量的要求。

(5) 采用真空压浆工艺有利于保证预应力管道的压浆质量, 其浆液配合比设计等, 应严格按照施工规范进行, 否则难以达到预期目的。

收稿日期: 2006-04-13