

Discussion on Construction Technology of Cast-in-place Pier and Abutment at Sea

Qizhong Qing

China Railway Construction Port Aviation Administration Group Co., Ltd. General Contracting Branch, Zhuhai, Guangdong, 519000, China

Abstract

Standards of the high efficiency and high quality have been realized by the cast-in-place reinforced concrete pier by taking cantilever beams, laying down the scaffold, setting up the shore self-propelled barge and covering the bottom in the opposite direction of hammock, at the same time, drawn a conclusion that experience and lesson in the process of The cast-in-place reinforced concrete pier construction, which laid a solid foundation for the follow-up construction.

Keywords

technological innovation; high efficiency and high quality standards; experience and lessons

海上现浇墩台施工技术探讨

卿启忠

中国铁建港航局集团有限公司总承包分公司, 中国·广东 珠海 519000

摘要

现浇上墩台通过采取悬挑工字钢、铺设满堂脚手架、反吊铺底及泵车上搭岸自航驳等施工工艺技术革新, 实现了高效率高质量的标准, 本文同时总结了现浇上墩台施工过程中的经验和教训, 为后续施工奠定了坚实的基础。

关键词

工艺革新; 高效率高质量; 经验和教训

1 项目实施背景

中国烟台港西港区 30 万吨级原油码头工程共有上墩台 12 座, 其中圆形上墩台 10 座, 包括系缆墩上墩台 6 座, 尺寸为 $\phi 14000 \times 1500 \text{mm}$, 靠船墩上墩台 4 座, 尺寸为 $\phi 14000 \times 2000 \text{mm}$; 方形上墩台 2 座, 其尺寸为 $32000 \times 17700 \times 1500 \text{mm}$ 。所有上墩台均由砼立柱支撑, 根据其结构特点、施工效率及受海浪影响等因素, 采取以下措施进行现浇上墩台砼的浇筑:

(1) 方形上墩台因有悬挑平台, 采取在悬挑工字钢上铺设满堂脚手架支撑 1500mm 厚砼, 分二层浇筑;

(2) 6 座系缆墩采取脚手架支撑 1500mm 厚砼, 进行一次性浇筑;

(3) 4 座靠船墩因受海浪影响较大, 采取大型扁担钢梁进行反吊铺底施工, 为加快施工进度, 一次性浇筑 2000mm

厚砼。因此对各受力构件进行精准计算, 并优化水上现浇砼施工工艺, 以提高劳动效率, 实现技术工艺革新是本文研究的重点内容。

2 实施效果

本工程通过在大型悬挑工字钢上铺设满堂脚手架支撑上墩台, 成功解决临海侧悬挑平台施工难的问题; 通过精准计算满堂脚手架及铺底材料, 成功实现一次性浇筑完 1.5m 厚上墩台砼, 大大提高施工劳动效率; 通过精准计算反吊铺底材料, 成功实现一次性浇筑完 2.0m 厚上墩台砼, 成功解决满堂脚手架易受海浪影响等问题, 同时保证了现浇上墩台的外观质量。

3 技术原理

3.1 系缆墩 1500mm 厚上墩台支撑构件受力计算

拟采用满堂脚手架支撑, 纵、横向间距为 600mm, 步高 600mm, 主梁拟采用双 [8 槽钢, 间距 600mm, 次梁拟采用

100*100mm 方木, 间距 250mm。

3.1.1 满堂脚手架受力计算

(1) 荷载计算

①钢筋混凝土自重 $p_1=25.00*1.5*0.60*0.60=13.5\text{kN}$

②模板及铺底自重 $p_2=0.5*0.60*0.60=0.18\text{kN}$

③活荷载为施工荷载标准值与振捣混凝土时产生的荷载 (kN):

$$P_3=(1.00+2.00)*0.60*0.6=1.08\text{kN}$$

$$P_{\text{总}}=P_1+P_2+P_3=13.5+0.18+1.08=14.76\text{kN}$$

(2) 强度计算

按强度计算, 立柱的受压应力为

$$\sigma=P/A=14.76*1000/489.06=30.18\text{N/mm}^2$$

按稳定性计算立柱的受压应力, 钢管回转半径为

$$i=\sqrt{(d^2+d_1^2)/4}=\sqrt{(48^2+41^2)/4}=31.56\text{mm}$$

长细比 $\lambda=L/i=600/31.56=19.01$, 查表得 $\varphi=0.973$

$$\sigma=P/\varphi A=14.76*1000/(0.973*489.06)=31.02\text{N/mm}^2$$

$$K_A*K_H*f=0.7*1/(1/(1+2.8/100))*205=147.52\text{N/mm}^2$$

$\sigma < K_A*K_H*f$, 满足规范要求。

3.1.2 主梁受力计算

(1) 荷载计算

①钢筋混凝土自重 $q_1=25.00*1.5*0.60=22.5\text{kN/m}$;

②模板自重 $q_2=0.30*0.60=0.18\text{kN/m}$

③活荷载为施工荷载标准值与振捣混凝土时产生的荷载 (kN):

$$P_1=(1.00+2.00)*0.60*0.6=1.08\text{kN}$$

(2) 强度计算

最大弯矩考虑为静荷载与活荷载的计算值最不利分配的弯矩和

$$M_{\text{max}}=P*(L/4)+1/8*q*L^2$$

均布荷载 $q=1.2*22.5+1.2*0.18=27.22\text{kN/m}$

集中荷载 $P=1.4*1.08=1.51\text{kN}$

最大弯矩 $M=1.51*0.6/4+1/8*27.22*0.6*0.6=1.45\text{kN.m}$

最大支座反力 $N=1.51/2+27.22*0.6/2=8.92\text{kN}$

截面应力 $\sigma=M/W=1.45*10^6/(2*2.01*10^4)=36.07\text{N/mm}^2 < [\sigma]$, 满足规范要求。

(3) 抗剪计算

$$Q=qL/2+P/2=27.22*0.6/2+1.51/2=8.92\text{kN}$$

截面抗剪强度 $T=3Q/2bh=3*8920/(2*2*43*80)=1.94\text{N/mm}^2 < [T]$, 满足规范要求。

(4) 挠度计算

最大挠度考虑为静荷载与活荷载的计算值最不利分配的挠度和

$$W_A=PL^3/(48EI)+5qL^4/(384EI)$$

$$=1.51*1000*600^3/(48*2.1*10^5*2*100.45*10^4)$$

$$+5*27.22*600^4/(384*2.1*10^5*2*100.45*10^4)$$

$$=0.125\text{mm} < 600/400=1.5\text{mm}$$

满足规范要求。

3.1.3 次梁受力计算

(1) 荷载计算

①钢筋混凝土自重 $q_1=25.00*1.5*0.25=9.38\text{kN/m}$

②活荷载为施工荷载标准值与振捣混凝土时产生的荷载

(kN):

$$P_1=(1.00+2.00)*0.60*0.25=0.45\text{kN}$$

(2) 强度计算

最大弯矩考虑为静荷载与活荷载的计算值最不利分配的弯矩和

$$M_{\text{max}}=P*(L/4)+1/8*q*L^2$$

均布荷载 $q=1.2*9.38=11.26\text{kN/m}$

集中荷载 $P=1.4*0.45=0.63\text{kN}$

最大弯矩 $M=0.63*0.6/4+1/8*11.26*0.6*0.6=0.6\text{kN.m}$

最大支座反力 $N=0.63/2+11.26*0.6/2=3.69\text{kN}$

截面应力 $\sigma=M/W=0.6*10^6/(16.67*10^4)=3.6\text{N/mm}^2 < 13\text{N/mm}^2$, 满足规范要求。

(3) 抗剪计算

$$Q=qL/2+P/2=11.26*0.6/2+0.63/2=3.69\text{kN}$$

截面抗剪强度 $T=3Q/2bh=3*3690/(2*100*100)=0.55\text{N/mm}^2 < [T]$, 满足规范要求。

(4) 挠度计算

最大挠度考虑为静荷载与活荷载的计算值最不利分配的挠度和

$$W_A=PL^3/(48EI)+5qL^4/(384EI)$$

$$=0.63*1000*600^3/(48*2.1*10^5*833.33*10^4)$$

$$+5*11.26*600^4/(384*2.1*10^5*833.33*10^4)$$

$$=0.012\text{mm} < 600/400=1.5\text{mm}$$

满足规范要求。

3.2 方形上墩台临海侧悬挑平台支撑构件受力计算

3.2.1 工字钢受力计算

悬挑平台尺寸为 32000*1680*570mm, 拟采用 20a 工字钢支撑, 间距为 600mm, 其上铺设满堂脚手架支撑整个上墩台。

(1) 荷载计算

①钢筋混凝土自重 $q_1=25.00*0.57*0.60=8.55\text{kN/m}$

②模板及架子管自重线荷载 (kN/m): $q_2=1.50*0.60=0.90\text{kN/m}$

③活荷载为施工荷载标准值与振捣混凝土时产生的荷载 (kN):

$$P_1=(1.00+2.00)*0.60*1.68=3.024\text{kN}$$

(2) 强度计算

最大弯矩考虑为静荷载与活荷载的计算值最不利分配的弯矩和

$$M_{\max}=P*(L/2)+1/2*q*L^2$$

均布荷载 $q=1.2*8.55+1.2*0.9=11.34\text{kN/m}$

集中荷载 $P=1.4*3.024=4.2\text{kN}$

最大弯矩 $M=4.2*1.68/2+1/2*11.34*1.68*1.68=19.53\text{kN.m}$

最大支座反力 $N=3.024+12.06*1.68=23.29\text{kN}$

截面应力 $\sigma=M/W=19.53*10^6/(23.55*10^4)=82.93\text{N/mm}^2 < [\sigma]=215\text{N/mm}^2$, 满足规范要求。

(3) 抗剪计算

$$Q=qL+P=11.34*1.68+4.2=23.251\text{kN}$$

截面抗剪强度 $T=3Q/2bh=3*23251/(2*100*200)=1.74\text{N/mm}^2 < [T]$, 满足规范要求。

(4) 挠度计算

最大挠度考虑为静荷载与活荷载的计算值最不利分配的挠度和

$$W_A=P*(0.5L)^2/(6EI)+qL^4/(8EI)$$

$$=4.2*1000*(0.5*1680)^2/(6*2.1*10^5*2354.5*10^4)$$

$$+2.5*1680+11.34*1680^4/(8*2.1*10^5*2354.5*10^4)$$

$$=2.7\text{mm} < 1680/400=4.2\text{mm}$$
, 满足规范要求。

3.2.2 搭设满堂脚手架及铺底材料

计算方式与 3.1 条类似, 在此不予详细计算。

3.3 靠船墩 2000mm 厚上墩台反吊铺底构件受力计算

3.3.1 双 [25 槽钢作扁担梁受力计算

单根 [25 槽钢受力 $F=285*25/36/2=98.95\text{KN}$, 最大悬挑部分长 400mm。

$$\tau_{\text{剪}}=F/A=98.95*1000/3991=24.8\text{N/mm}^2 < [\tau]=125\text{N/mm}^2$$

验算 [25 热轧槽钢的挠度变形:

$$W=FL^3/(3EI)$$

$$=98950*400^3/(3*2.1*10^5*3586.95*10^4)$$

$$=0.28\text{mm} < 400/400=1.0\text{mm}$$
, 满足规范要求。

3.3.2 $\varnothing 400\text{mm}$ 钢管作主梁支撑受力计算

钢筋混凝土自重 $q_1=285*25/(3.14*7*7)=46.3\text{kN/m}^2$

模板及反吊架自重 $q_2=150/(3.14*7*7)=0.97\text{kN/m}^2$

均布荷载 $q=46.3+0.97=47.27\text{kN/m}^2$

钢管支撑净高为 3770mm, 钢管支撑区格面积为

$$3.2*3.2=10.24\text{m}^2$$

顶部承载压力 $N=47.27*10.24=484\text{KN}$

钢管回转半径 $i=\sqrt{(400*400+380*380)/4}=275.86\text{mm}$

长细比 $\lambda=L/i=3770/275.86=13.67$, 查表得 $\varphi=1.0$

轴心受压稳定性验算

$$N/(\varphi A) \leq f$$

$$484*1000/(1.0*12246)=39.5\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$
, 满足规

范要求。

3.3.3 双 32C[槽钢作反吊主梁受力计算

①钢筋混凝土自重 $q_1=25.00*2*2.2=110\text{kN/m}$

②模板及反吊架自重线荷载 $q_2=1.0*2.2=2.2\text{kN/m}$

均布荷载 $q=1.2*110+1.2*2.2=134.64\text{kN/m}$

(1) 中间主梁计算按四跨等跨连续梁受力计算

四跨等跨的跨距最大值按 3250mm 计算

$$V_{\max}=0.62*q*L=0.62*134.64*3.25=271.3\text{KN}$$

$$\tau_{\text{剪}}=V_{\max}/2A=271.3*1000/(2*6150)=22.06\text{N/mm}^2 < [\tau]=125\text{N/mm}^2$$

验算 [32C 热轧槽钢的挠度变形:

$$W_{\max}=0.967*qL^4/(100EI)$$

$$=0.967*134.64*3250^4/(2*100*2.1*10^5*8524*10^4)$$

$$=4.1\text{mm} < 3250/400=8.1\text{mm}$$
, 满足规范要求。

(2) 两侧主梁计算按单跨梁受力计算

单跨梁跨距最大值按 3000mm 计算。

$$V_{\max}=0.5 \cdot q \cdot L=0.5 \cdot 134.64 \cdot 3.0=202 \text{KN}$$

$$\tau_{\text{剪}}=V_{\max} / 2A=202 \cdot 1000 / (2 \cdot 6150)=16.4 \text{N/mm}^2 < [\tau]=125 \text{N/mm}^2$$

验算 [32C 热轧槽钢的挠度变形:

$$W_{\max}=5qL^4 / (384EI) \\ =5 \cdot 134.64 \cdot 3000^4 / (2 \cdot 384 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 8524 \cdot 10^4) \\ =4.0 \text{mm} < 3500 / 400=8.7 \text{mm}, \text{ 满足规范要求。}$$

3.3.4 铺底材料

计算方式与 3.1 条类似, 在此不予详细计算。

4 安全性

本工程对悬挑工字钢、满堂脚手架、铺底主次梁及反吊铺底等受力构件进行详细计算, 施工期间未发生任何工字钢、脚手架、槽钢、方木等材料变形导致发生的安全质量事故。

5 适用推广范围

本工程所有施工项目适用于临海悬挑平台支撑、满堂脚手架支撑、反吊铺底施工、水上砼浇筑等工程。

6 主要实施方法

6.1 系缆墩 1500mm 厚上墩台实施方法

本工程系缆墩上墩台共有 6 座, 其尺寸为 $\Phi 14000 \cdot 1500 \text{mm}$, 因工期紧迫, 需进行一次性浇筑而成, 浇筑厚度达 1500mm。采用满堂脚手架支撑, 脚手架纵横向间距为 600mm, 步高 600mm, 采用 $\Phi 48 \cdot 3.5 \text{mm}$ 钢管, 底模主梁采用双 [8 槽钢, 槽钢间距为 600mm, 次梁采用 $100 \cdot 100 \text{mm}$ 方木, 方木间距为 250mm, 底模板面采用 12mm 木胶板铺设, 板间缝隙采用玻璃胶或腻子密实, 上墩台侧模采用 4 片大型组合钢模拼装而成。砼浇筑完成后, 经测量浇筑前、后两次标高差在 2mm 内, 且上墩台侧面及底面砼色泽一致, 表面平整, 外观质量美观。

6.2 方形上墩台实施方法

本工程方形上墩台尺寸为 $32000 \cdot 17700 \cdot 1500 \text{mm}$, 临海侧悬挑部分长 1680mm, 根据其结构特点分 2 层进行浇筑, 底层砼厚 570mm。施工时先在现浇盖板上铺设工字钢, 工字钢根据架子管间距取 600mm, 长度为 6000mm, 其中悬挑长度为 1680mm, 后端压载长度为 4320mm, 通过在工字钢上搭设满堂脚手架, 以砼自重压载工字钢。为确保施工安全, 在

工字钢顶部再压载 2 道通长 20a 工字钢, 且此 2 道工字钢采取满焊连接, 并采用 [10 槽钢将通长工字钢与预制盖板上预埋 $\Phi 110$ 吊环焊接牢固, 最后在所有工字钢后端打设 $\Phi 18$ 膨胀螺栓与工字钢焊接牢固。

砼浇筑完成后, 经测量悬挑部位浇筑前、后两次标高差在 2mm 内, 且上墩台侧面及底面砼色泽一致, 表面平整, 外观质量美观。

6.3 靠船墩 2000mm 厚上墩台实施方法

本工程靠船墩上墩台共有 4 座, 其尺寸为 $\Phi 14000 \cdot 2000 \text{mm}$, 由 5 根 $\Phi 1500 \text{mm}$ 砼立柱支撑, 净高 4300mm。因施工期进入 11~12 月份, 铺设满堂脚手架受海浪影响较大, 需改变架子管支撑工艺, 采用反吊铺底施工工艺方能满足施工作业。整个上墩台采用在 5 根砼立柱上进行反吊铺底, 每根砼桩由 2 组双 [25 槽钢作扁担钢梁, 由 $\Phi 40$ 圆钢作拉杆, $200 \cdot 200 \cdot 20 \text{mm}$ 钢板作垫板, 双 [32 槽钢作主梁, 单 10# 工字钢作次梁 1, 其上再铺设 $100 \cdot 100 \text{mm}$ 方木作次梁 2 进行铺底施工。因主梁跨度较大, 需在主梁中间及端头部位额外增加 16 根 $\Phi 400$ 钢管作支撑, 为防止钢管受海浪影响, 需将钢管与盖板上预埋钢板或吊环焊接牢固。

通过采用反吊铺底施工工艺, 成功解决了搭设架子管受海浪影响等问题, 并且大大缩短了海上施工作业时间, 加快施工进度, 为年底前完成水上现浇砼获得保证。

6.4 水上现浇砼实施方法

本工程现浇上墩台共有 12 座, 均为独立离岸式墩台, 因距离岸侧较远, 需采用搭岸式平板自航驳, 接连岸侧临时通道后, 可同时上 1 台汽车泵、4 辆砼罐车及 1 辆 80t 履带吊车。平时不浇筑砼时, 汽车泵及砼罐车下船, 可由 80t 履带吊在平板驳内进行模板支拆及运输施工材料; 当浇筑砼时, 将 80t 履带吊紧靠船尾, 汽车泵及砼罐车依次排开, 可同时容纳 4 辆大型砼罐车。平均每船浇筑及运输时间约 2 小时, 大大缩短了离岸式水上砼浇筑时间, 同时保证了砼质量^[1-5]。

7 实践中的经验、教训

(1) 本工程充分验证了大型悬挑工字钢上支撑架子管, 利用砼自身压载重量及工字钢后端焊接加固力量, 以解决临海侧悬挑平台施工难的问题, 为后续类似工程提供借鉴。

(2) 在侧模与底模接触部位采用塑料 U 型槽进行止浆

处理,拆模后止浆效果明显,且外观质量美观。

(3)本工程充分验证了系缆墩满堂脚手架及双[8槽钢铺底工艺一次性成功浇筑完1500mm厚现浇砼,为后续类似工程提供借鉴。

(4)本工程充分验证了靠船墩反吊及支撑铺底工艺一次性成功浇筑完2000mm厚现浇砼,为后续类似工程提供借鉴。

(5)本工程采用搭岸式平板自航驳水上运输砼、浇筑砼及模板支拆等,大大提高船机的合理利用率,为后续类似工程提供借鉴。

(6)泵车支腿完成后,需在4腿周边焊接4个大吊鼻,采用手拉葫芦将泵车支腿与大吊鼻连接,增加泵车稳定性。

(7)海上搭设满堂脚手架需充分考虑受海浪的影响,巨浪巨涌来临前,需提前撤出架子管,以免造成不必要的损失^[6-8]。

8 效益评估

本工程采用搭岸式平板自航驳水上运输砼、浇筑砼及模板支拆等,大大提高船机的合理利用率,同时通过采用满堂脚手架一次性成功浇筑完1500mm厚现浇砼,采用反吊及支撑铺底工艺一次性成功浇筑完2000mm厚现浇砼等技术创新,

不仅加快了施工进度,节约施工成本,同时提高了现浇上墩台砼的外观质量,得到监理、业主的一致好评。

9 结语

本文通过采取悬挑工字钢、铺设满堂脚手架、反吊铺底及泵车上搭岸自航驳等施工工艺技术革新,不仅大大提高施工效率,节约施工成本,还提高现浇上墩台的整体外观质量,因此本文中各项施工工艺技术革新值得推广。

参考文献

- [1] 江正荣编著. 建筑施工计算手册(第二版). 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] 交通部第一航务工程局编. 港口工程施工手册. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [3] 《港口工程荷载规范》(JTJ144-1-2010)
- [4] 《水运工程混凝土施工规范》(JTJ202-2011)
- [5] 《水运工程质量检验评定标准》(JTJ257-2008)
- [6] 《水运工程测量规范》(JTJ131-2012)
- [7] 《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ275-2000)
- [8] 《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ202-2-2011)