

大尺寸薄封底深水有底套箱的设计与施工

李晓波¹, 郭主龙²

(1. 中国路桥集团第二公路工程局 西安市 710065; 2. 中国路桥集团一路桥国际建设股份有限公司—华东工程有限公司)

摘 要: 台州市椒江大桥水中主桥承台尺寸为 $26.4\text{ m} \times 12.3\text{ m} \times 2.5\text{ m}$, 采用有底钢套箱施工, 着重介绍了大尺寸薄封底深水套箱在非常规条件下的设计与施工。

关键词: 套箱; 设计; 施工; 悬吊; 封底; 体系转换

1 椒江大桥概况

台州市椒江大桥全长 2.5 km , 桥宽 19 m , 设计荷载为: 汽车—超 20 级, 挂车—120, 人群 3.5 kN/m^2 。引桥跨径为 30 m 及 50 m T 梁, 主桥为 $65\text{ m} + 100\text{ m} + 105\text{ m} + 100\text{ m} + 65\text{ m}$ 变载面预应力混凝土连续箱梁。桥宽布置为: 2 m 人行道 + $2 \times 7.5\text{ m}$ 机动车道 + 2 m 人行道。

水中主墩承台采用套箱法施工, 连续箱梁 0 号块及边跨直线段采用水中搭设支架法施工, 合拢段采用吊架施工, 其余块段采用轻型三角挂篮悬臂浇注施工。该桥于 1998 年 9 月开工, 2001 年 11 月竣工。

主墩基础为 18 根桩径为 1.8 m 的钻孔灌注桩, 承台尺寸为 26.4 m (长) $\times 12.3\text{ m}$ (宽) $\times 2.5\text{ m}$ (高), 由于地方海事部门的要求, 封底厚度不得大于 50 cm , 给深水承台的施工带来了超乎寻常的难度。

2 现场水文水质条件

桥位地处入海口, 一天 2 次涨落潮, 平均高潮位 + 3.0 m , 平均低潮位 - 2.5 m , 超差达 5.5 m 。

水流湍急, 流速 $V > 3\text{ m/s}$ 。水中的含泥量大, 沉积速度快, 且泥易粘结成块, 难以搅散。

最低潮水深 3.5 m , 最高潮水深 10 m 。

3 大尺寸薄封底所带来的不利因素分析

按照计算, 2.5 m 的封底厚度方能确保封底及整个套箱结构的安全。 50 cm 的封底意味着封底后抽水时, 近 $2\,000\text{ t}$ 的水浮力无法依靠封底混凝土来

消除, 而造成整个套箱的上浮。

由于水流速大, 封底薄, 这将严重影响封底混凝土的质量, 造成部分混凝土空洞, 无粘结浆, 导致套箱漏水, 影响后续承台混凝土施工。

水的含泥量大, 沉积速度快, 而且粘性大。在封底施工时, 泥块极易夹杂在混凝土中, 造成混凝土整体强度偏低, 减小封底混凝土与钢护筒之间的摩擦力, 亦能造成漏水现象的发生。

为了尽量减小套箱的尺寸, 同时减轻自重, 套箱内侧板即作为承台模板, 这就要求套箱下沉时具有相当的均衡性、平稳性, 以使偏差控制在规范要求之内。

4 套箱设计总体构思

4.1 套箱板的结构设计

(1) 套箱板采用 6 mm 厚的钢板作面板, 辅以加劲肋钢板及型钢作为龙骨, 以满足强度和刚度要求。

(2) 为了加强套箱的整体性, 保证套箱侧板与套箱底板在受力后, 不出现相对位移而造成从四周侧板处漏水, 套箱底板与侧板一样均考虑用钢结构。

(3) 综合考虑套箱板的受力及现场的吊装能力, 套箱板除具有足够的刚度外, 还应满足起吊能力。套箱侧板 (总高 8 m) 在高度方向分成 2 层, 每层高 4 m , 每层共分成 16 块, 每块重不宜超过 10 t , 块与块之间在拼装时临时用高强螺栓栓接。底板的分块除了满足侧板的分块条件外, 还应考虑在护筒位置的接头, 以便于底板的安装, 底板共分成 24 块。

(4) 为了加强套箱的整体受力, 套箱板在拼装时

临时用螺栓栓接,待套箱板拼装完后,所有拼接缝(包括侧板与侧板之间,底板与底板之间及侧板与底板之间)均等强封闭焊接。

(5)由于封底厚度仅为 50 cm,为了增加封底混凝土与钢护筒之间的摩擦力,同时亦不致于由此过多地增加自重,而减小基桩的安全系数,考虑在套箱底板靠近护筒的圆周范围内,设计成向下的喇叭口,以增加护筒处四周局部封底的厚度。

(6)为增强套箱侧板与封底混凝土之间的粘结,在套箱侧板内侧封底高度范围内焊接锚固筋。

(7)为了抵抗封底完后,套箱内抽水时,套箱外的水压力,防止套箱变形,套箱内侧设支撑,同时考虑内支撑的强度和刚度以及拆卸方便,内支撑采用杆件形式。

套箱构造见图 1 所示。

4.2 套箱的悬吊系统设计

4.2.1 悬吊系统的作用

套箱自重 250 t,悬吊系统的主要作用就是下沉钢套箱及悬吊套箱自重和封底混凝土的重量及其他施工荷载。

4.2.2 套箱的施工特点

(1)水流大;

(2)套箱平面偏差要求小于 1 cm。

在如此大的套箱下沉过程中要达到此要求,如果按常规的利用卷扬机或手拉葫芦作为悬吊系统,将很难达到精度要求。由此,我们首次尝试使用了利用 32 t 螺旋千斤顶与 $\phi 32$ 精轧螺纹钢筋组合作为悬吊系统。它具有如下优点:受力均匀、可靠;套箱整体下沉平稳、偏差小;具有可微调性、可控性强;受力明确,安全可靠度高。

4.3 导向系统的设计

4.3.1 导向的作用

引导钢套箱的下沉,及时纠正套箱的偏位,使偏差控制在允许范围之内。

4.3.2 导向系统应具备的条件

(1)应具备一定的侧向受压能力,可用型钢制作;

(2)应依附在能承受水平推力的物体上,如钢护筒(钢护筒之间事先采用 $\phi 60$ cm 钢管互相连接,增强钢护筒的整体稳定性);

(3)与套箱内侧板之间应预留一定的间隙(10 mm 左右);

(4)应尽量减小导向与套箱内侧板之间滑动面

的摩擦系数(可粘贴四氟板),以利套箱的整体下沉。

4.4 反压系统的设计

由于本桥套箱施工的特殊性(厚 50 cm 封底所造成的封底抽水时近 2 000 t 的水浮力,无法依靠封底混凝土本身来克服)。因此,须设置反压系统以抵消水浮力的影响,这是本套箱施工成败的关键所在。

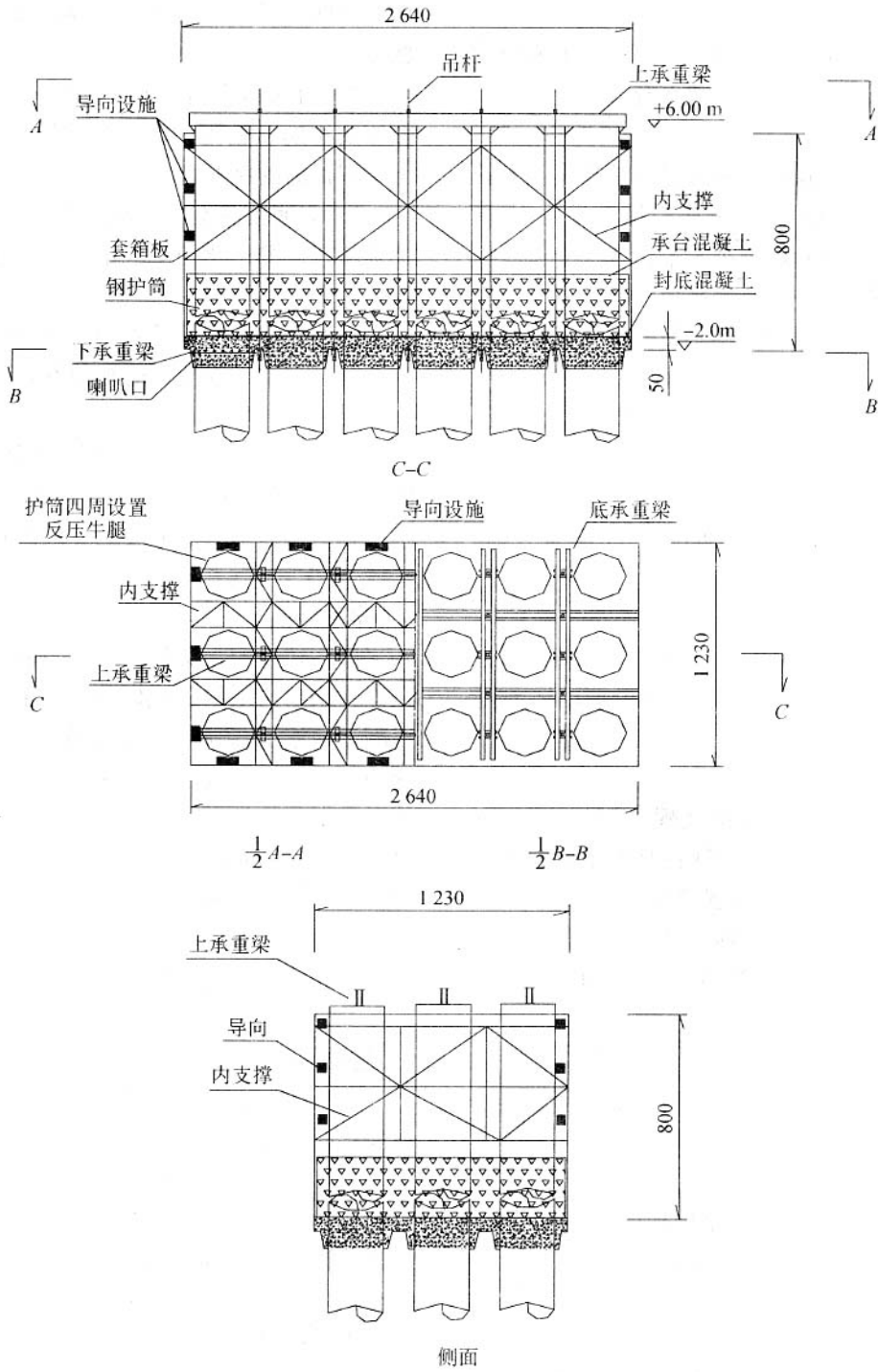
加平衡重,在此是不可取的,有以下原因:(1)2 000 t 的重量非同小可,因此也需要增加悬吊系,使悬吊系在承台尺寸范围内难以布置;(2)不利于整个套箱体系的受力,特别是对封底混凝土。因为封底混凝土的主要作用为:隔水;依靠与钢护筒之间的摩擦力来抵抗封底混凝土及套箱板等的自重影响。在最高潮水位时能够发挥出平衡重的作用来抵抗水浮力,但在最低潮时,平衡重起了很大的负作用,不利于封底混凝土的受力。因此,加平衡重的方法是不可行的。

为此,必须选择一种被动受力的方式来解决此问题。被动受力在此的涵义是:本身无过大的自重;在正常状态下(封底混凝土的摩擦力足以抵抗水浮力时)不参与受力;而当封底混凝土不足以抵抗水浮力时,与封底混凝土一起参与以抵抗水浮力。经过反复论证,决定采取反压牛腿的方式来作为此被动受力体系,亦即反压系统。对反压系统有如下要求:(1)反压系统必须依附于钢护筒,充分利用钢护筒的抗拔力;(2)本身重量轻,具有足够的强度和刚度,经计算,选用双肢^[27a]槽钢作为主受力件来制作反压牛腿;(3)经计算,每根钢护筒上对称设置 16 个反压牛腿,整个承台 18 根钢护筒共设置 288 个反压牛腿;(4)反压牛腿底端焊接在套箱底板上,并埋在封底混凝土内,上端焊接在钢护筒上。这样,反压牛腿就兼具拉、压受力能力,在低水位时承受拉力,在高水位时承受压力。

4.5 封底混凝土的选用

由于施工条件苛刻,这就要求封底混凝土须能克服上述影响。我们考虑到了絮凝混凝土,絮凝混凝土有如下几个优点:(1)水下不易离散,抗水流扰动能力强;(2)絮凝混凝土抗泥浆侵入能力强;(3)絮凝混凝土在水中,水泥浆不易流失,并且能够在水下振捣。但是絮凝混凝土也有以下不足之处:(1)塌落度随时间的推移损失较快,这就要求混凝土的拌制、浇筑要连续,一气呵成;(2)由于掺入了絮凝剂,混凝土搅拌时间较长,一盘料需搅拌 5 min,增加了施工时间。

综合利、弊,并经模拟封底试验,最后决定采取絮凝混凝土作为封底混凝土。



单位:cm
图1 套箱构造

5 钢套箱的施工

5.1 钢套箱板加工

套箱板在工地加工厂加工平台上制作,主要控制以下几点:(1)平整度;(2)平面尺寸;(3)焊接变形的校正;(4)螺栓孔的精度;(5)螺栓连接板的平整、

光滑度;(6)焊缝的超声波检查。

套箱板在制作完后,使用前须在工厂进行整体试拼。

5.2 钢套箱的现场拼装与下沉

5.2.1 钢套箱的拼装

(1) 拼装平台。

在常水位处的钢护筒外壁焊接牛腿,牛腿顶上铺设纵、横型钢,作为套箱的拼装平台。

(2) 拼装程序。

在拼装平台上精确放样→铺设底承重梁及套箱底板,临时用螺栓连接,待所有底板铺设完后,重新调整底板位置并临时固定于拼装平台上→套箱底板之间相互焊接在一起,并焊上反压牛腿→拼装第 1 层侧板,并临时栓接→侧板与侧板,侧板与底板焊接→安设悬吊系统及导向系统→拆除拼装平台→下沉第 1 节套箱→拼装第 2 层套箱侧板及内支撑→整体下沉至设计标高。

5.3 悬吊系统施工

悬吊系统由顶升系统、承重吊杆、上承重梁、底承重梁等 4 部分组成。

5.3.1 顶升系统

顶升系统利用 32 t 螺旋千斤顶缸体的回落,来达到下沉钢套箱的目的。使用前须仔细检修,排除故障。

5.3.2 承重吊杆

承重吊杆采用 $\phi 32$ mm 精轧螺纹钢筋,整个钢套箱及封底混凝土的重量,在封底混凝土形成强度之前由它承担。使用前须仔细挑选顺直的螺纹钢筋,并且认真检查螺纹与螺帽的匹配性。施工时为避免电弧焊机搭铁、氧割及碰撞等伤害,采用 PE 管防护。吊杆采用连接套筒接长。

5.3.3 上承重梁

上承重梁由双肢 I56 a 工字钢构成,钢套箱体系的重量由上承重梁传递给钢护筒。

5.3.4 底承重梁

底承重梁由双肢 I40 a 工字钢构成,将吊点的力均匀分布到套箱底板上,避免局部应力过大。

5.4 封底施工

封底施工时,应注意以下几点。

(1) 封底顺序为:底板与护筒之间的喇叭口→四

周→中间位置。封底时应遵循对称的原则,多点同时施工。

(2) 封底前应由潜水工将封底高度内的钢护筒外壁的水锈及粘附的海生物清理干净,以确保混凝土与钢护筒的粘结力。

(3) 封底前将套箱底板上沉积的淤泥清理干净,个别清理不到的地方,可用高压水枪将其冲至悬浮状态。

(4) 封底时,水下导管的布置、移动应尽量减少,应充分利用水下混凝土的扩散性,让其自然流动,以确保混凝土的质量。

(5) 封底过程中,始终保持套箱内、外的水头高度一致,可通过在套箱板上开设阀门来实现,以防套箱内外水压差对封底混凝土造成破坏。

6 体系转换

体系转换的含义是:在封底抽水之前,反压系统是焊在钢护筒上的,抽水之后,为了便于承台钢筋及混凝土的施工,须将多余的钢护筒割除,此时反压系统的上端焊接点,就必须转换至底端 15 cm 高(桩顶伸入承台内的长度)的钢护筒外壁上。此时,由于焊接长度减小,因此沿护筒四周须增设反压牛腿,牛腿底部紧压在封底混凝土面上。

以上各步骤完成后,即可进行破桩头、整平封底混凝土表面、绑扎钢筋、承台混凝土施工等。

7 结语

4 个水中主墩承台的套箱施工非常成功,封底后抽水时无变形、无漏水现象,为下道工序的正常进行开创了条件。此套箱的非正常施工在国内不多见,它的成功同时也给设计人员提供了一个参考,即:在结构设计时,可尽量少地考虑施工荷载影响(此桥为减少封底混凝土的重量),从而达到优化设计,减少工程投资的目的。