

防波堤箱筒型基础结构 气浮拖运与负压下沉工艺

祝业浩, 倪国平, 吴凤亮

(中港第一航务工程局一公司, 天津 300456)

摘要: 以天津港箱筒型基础防波堤试验工程为例, 介绍了防波堤箱筒型基础新结构及基础结构气浮拖运和负压下沉的新工艺, 实践证明: 这种国内首次开发的新工艺, 安全可靠, 耗能少, 操作简单, 适用于淤泥质地质条件下的防波堤、导堤及护岸工程。

关键词: 箱筒型基础结构; 气浮拖运; 负压下沉

中图分类号: U 656.24

文献标识码: A

文章编号: 1003-3688(2005)05-0040-04

Technology for Towing of Pneumatically Floated Cylindrical Substructures and Installing with Negative Pressure for Breakwaters

ZHU Ye-hao, NI Guo-ping, WU Feng-liang

(No. 1 Eng. Co. of CHEC-Tianjin Port Const. Corp., Tianjin 300456, China)

Abstract Based on the pilot works for the breakwaters built on cylindrical steel structures for Tianjin Port, the paper presents an introduction to a new structure of breakwaters built on cylindrical structures and a new technology for towing pneumatically floated cylindrical structures and installing the cylindrical structures with negative pressure. The engineering practice proved that the new technology, which is the first that has been ever developed in China, is safe and reliable, low in energy consumption and easy to operate, thus applicable to breakwaters, levees and revetments built on mucky soils.

Key words cylindrical infrastructure; towing with pneumatic floating; installing with negative pressure

1 引言

为适应我国航运事业蓬勃发展的需要, 天津港规划大规模建设防波堤工程。天津港建堤地点地质为淤泥质软土, 砂石料缺乏, 若采用传统的斜坡堤和混合堤等结构型式, 势必工期长、费用高, 故有必要开发防波堤新型结构。经天津港务局、天津大学、一航院和一航局一公司等单位进行理论分析、模型试验和结构优化研究, 提出了箱筒型基础防波堤新结构型式, 并于2003年10月开始试验工程, 2004年5月竣工。

2 工程概况和特点

2.1 工程概况

箱筒型基础防波堤试验工程位于天津港北大防波堤东外堤南端的延长线上, 起点紧邻东外堤的南端头。试验工程平面布置见图1。

该工程海底泥面标高-2.2~-2.6m(新港理论最低潮面, 下同), 堤顶标高+5.3m, 轴线总长71m, 在其周边抛理宽10m、厚1.1m护底块石。试验工程断面结构见图2。

试验工程由三组独立的结构体组成, 每组结构体分上下两部分, 下部为箱筒型基础结构(以下简称基础结构), 上部为直立钢筋混凝土圆筒挡浪结构(以下简称挡浪结构)。第一组结构体长和宽均为22m, 第二、三组结构体长和宽分别为23.5m和22m, 结构体间距1m。第一、二组基础结构由4个钢筋混凝土圆筒型构件分前后各两个呈矩阵形排列组成, 每个圆筒顶设有预制十字梁盖板, 相邻圆筒型构件间现浇竖向连接墙、水平顶板(或翼板)和接缝混凝土将4个圆筒型构件连接成整体。在每个圆筒顶盖板上预埋排气阀门和预留安装排水泵的孔洞。圆筒型构件的外径为10.5m, 壁厚0.25m, 高8.0m, 混凝土等级为C30F30Q。

第三组基础结构由4个圆筒分前后各两个呈矩阵形排列组成。每个圆筒顶现浇钢筋混凝土盖板, 相邻圆筒间用竖向钢板和现浇钢筋混凝土水平顶板(或翼板)将4个

收稿日期: 2005-03-03

作者简介: 祝业浩(1944-), 男, 高级工程师, 港口与航道工程专业。

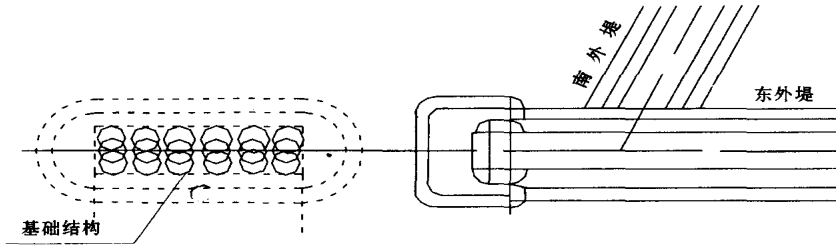


图1 试验工程平面布置图

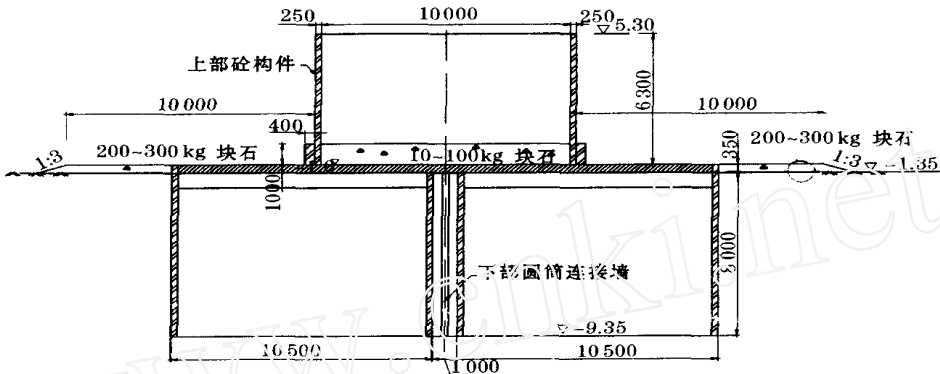


图2 工程结构断面图

钢圆筒连接成整体。在每个圆筒顶盖板上也预埋排气阀门和预留安装排水泵的孔洞。钢圆筒型构件的外径为 10.5 m，壁厚 10~12 mm，高 8.0 m。

挡浪结构为 6 个直立钢筋混凝土圆筒，圆筒外径 10.5 m，壁厚 0.25 m，高 6.3~7.4 m。钢筋混凝土圆筒安装在基础结构顶板上的钢筋混凝土杯口之中，圆筒外侧与杯口内侧间浇注水下不分离混凝土将独立结构体上下两部分牢固地连接在一起。杯口尺寸为内径 10.8 m，厚 0.45 m，高

1.0 m。圆筒内抛填 1.0 m 厚块石。

2.2 第三组基础结构钢圆筒刚度加强措施

为了保证钢圆筒在气浮拖运和负压下沉过程中的稳定性，减小使用期筒身变形，设计采取了增加钢圆筒刚度的措施。主要有：在钢圆筒内外侧施焊竖向肋板，在钢圆筒内侧顶板以下 1.5 m、5.0 m 和 7 m 处加焊用型钢焊接组合桁架，筒体间用钢板焊接，圆筒顶现浇 50 cm 厚钢筋混凝土盖板。钢圆筒结构加强措施见图 3。

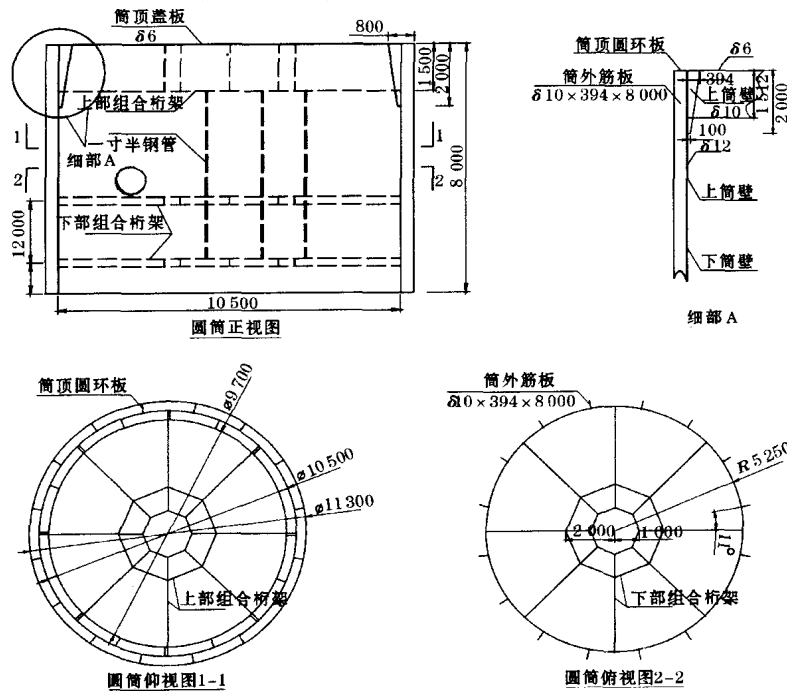


图3 钢圆筒结构制作图

2.3 地质

从地质勘察报告可知, 本工程所处的地层从上至下可分为淤泥质粘土、淤泥、淤泥质粘土、粉质粘土混贝壳、粉土、粉砂。其中上部 10 m 厚海相沉积的淤泥、淤泥质粘土具有含水率高、孔隙比大、压缩性高、强度低的特点, 土质差, 属于软弱土层。其下 2 m 厚海陆交互沉积的粉质粘土混贝壳, 土质不均匀、工程性质较差。粉土承载力较高, 工程地质性质较好。粉砂分布连续, 土质均匀, 呈密实状, 为良好持力层。

2.4 工程特点

(1) 基础结构无底有盖, 重心偏上, 浮心偏下, 气浮拖运要求气密性高, 基础结构下沉入土深度 8.0 m, 无专用设备, 如何保证沉到设计标高, 且垂直、正位, 这是需要经过技术论证、在施工中不断研究解决的大量技术问题。

(2) 基础结构气浮拖运和负压下沉工艺在国内是首次, 没有经验可借鉴, 也没有现成的技术标准、规范和规程可供使用。

(3) 本工程属试验工程, 没有专业预制构件厂, 基础结构体积庞大, 如何预制、运输也是工程成功的关键。

3 主要工序的施工要点

3.1 施工流程

施工流程见图 4。

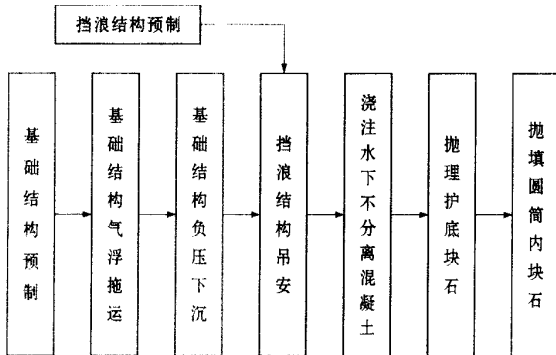


图 4 施工流程图

3.2 基础结构预制

(1) 预制场地的选择

为了有利于基础结构下水和气浮拖运, 曾提出 3 种施工方案:

在码头上预制, 用大型起重船吊基础结构入水, 充气浮运。

建造一个水下平台, 在该平台上组装基础结构, 乘高潮充气浮运。

在 3 000 t 半潜驳船上预制, 运至合适的水下海域, 半潜驳船下潜, 基础结构腔内充气浮运。

经分析比选决定采用在半潜驳船上预制的方案。

十字梁盖板在码头上预制, 用起重船吊安后浇注接缝混凝土。

第二组基础结构的钢圆筒在码头上制作, 用起重船吊

运到半潜驳船上拼装后浇注盖板混凝土。

(2) 保证基础结构气密性的技术措施

圆筒混凝土一次浇注到位, 不设置施工缝, 混凝土振捣采用特制加长软轴振捣棒。

圆筒顶部与十字梁盖板接触面预留凹槽, 浇注接缝混凝土前进行凿毛、刷环氧树脂两遍、铺设水泥砂浆。

接缝节点混凝土采用微膨胀混凝土。

盖板预留孔洞采用预埋钢管方法, 预埋钢管壁外侧加焊环形钢板。

基础结构气浮拖运前进行气密性试验。

3.3 基础结构气浮拖运

基础结构的气浮拖运分两个过程, 第一个过程(即下水过程)是在具有足够水深的地方将位于半潜驳船上基础结构充气浮起, 将其从半潜驳船上拖出; 第二个过程(即拖运过程)是将气浮的基础结构拖运至安装地点。为了减小下水过程所需的水深, 三组基础结构从半潜驳船上气浮下水时均处于充气漂浮的最高状态, 气浮筒内基本没有封气水柱。经调查决定三组基础结构气浮下水地点选在主航道北侧, 距安装地点 1.5~ 5.6 km, 海底泥面标高 - 3.0~ - 5.0 m 处。

基础结构气浮下水流程为: 将半潜驳船拖至基础结构气浮下水地点下锚驻位 充气船帮靠半潜驳船, 接通充气胶管 基础结构与半潜驳船间系缆相对固定 主拖轮与基础结构间通缆 半潜驳船注水下潜 基础结构充气浮起, 半潜驳船停止下潜 解除基础结构与半潜驳船间的系缆 主拖轮将基础结构从半潜驳船上拖出 半潜驳船浮起, 拖回港内。

气浮拖运稳定性分析: 以第二组基础结构为例, 根据气浮稳定性分析理论计算, 基础结构气浮状态下的稳定性参数见表 1。

表 1 第二组基础结构气浮状态下的稳定性参数

气浮状态	入水漂浮过程			气浮拖运过程		
	筒壁入水 (m)	筒底封气水深 (m)	定倾高度 (m)	筒壁入水 (m)	筒底封气水深 (m)	定倾高度 (m)
稳定性参数	3.7	0.0	1.33	4.5	0.9	2.31

基础结构从半潜驳船上气浮下水时, 由于其处于充气漂浮的最高状态, 是结构充气漂浮的稳定性最差的情况。该状态下, 结构的定倾高度为 1.33。理论上, 只要浮体定倾高度大于零, 结构就能稳定地漂浮。

基础结构气浮拖运采用交工 50 号 (720 kW) 拖轮主拖, 充气船随航。

为满足气浮拖运过程稳定性要求, 施工中选定基础结构筒壁入水 4.0 m, 筒底封气水深 1.0 m, 圆筒内气压 0.03 MPa。拖带力按 $F = A \rho V^2 / 2g$ 公式计算 (A 为迎水面积, ρ 为海水容重, V 为航速), 选定拖缆用长 70~ 80 m, $\varnothing 60$ mm ~ $\varnothing 80$ mm 尼龙缆, 拖点位置设置在筒体间竖向连接墙上预埋的 $\varnothing 60$ mm 钢筋拉环, 两侧各一个, 距底部 2.0 m。航速

不大于 2 kn 。

3.4 基础结构负压下沉

(1) 基础结构负压下沉计算

根据现场钻孔土层资料和基础结构几何尺寸、重量等资料, 利用我国桩基规范提供的压桩系数计算结果, 在水位 + 2.0 m 时, 在自重作用下, 通过排气, 基础结构可入土 4.9 m, 施加 0.025 5 M Pa 负压作用, 能使基础结构继续下沉至设计标高。

(2) 负压下沉设备的选择

能抽水产生负压作用的设备首选是射流泵, 但考虑到其使用环境(需没入水中)以及在调平过程中需频繁启闭等原因, 最后决定选择体积小、安装方便、启闭灵活, 可产生 0.03 M Pa 负压作用, 能满足本工程要求的 100QWB65-15-7.5 潜水排污泵。

(3) 基础结构定位

当基础结构被拖至定位方驳附近时, 解除主拖轮拖缆, 用锚艇顶推基础结构向定位方驳靠拢, 同时向定位方驳锚机通两根尼龙缆, 利用锚机收放缆绳, 测量人员用全站仪进行细定位。

(4) 基础结构下沉及调平

基础结构准确定位后, 打开设置在盖板上的排气阀门, 基础结构即下沉入土。由于原泥面不平及土质不均, 基础结构入土下沉会产生位移与倾斜, 当高差超过 10 cm, 可通过启闭相应部位的排气阀门进行调整。基础结构腔内气体排净后, 下沉停止。然后启动排水泵抽水负压下沉, 同时根据基础结构顶板的高差启闭设置在不同部位的水泵, 调整基础结构下沉速率进行调平和纠偏。当排水泵无水排出并有泥浆出现, 即可关闭排水泵, 结束下沉工作。

3.5 基础结构实施效果

三组基础结构气浮拖运过程中筒壁吃水 3.7~ 4.4 m, 筒体内 0.03 M Pa 气压, 在浪高小于 0.5 m, 航速小于 2 kn 的情况下, 基础结构是平稳的。例如第二组基础结构气浮拖运至安装地点, 拖轮解缆后, 基础结构突然间出现了较大的摇摆现象, 大幅度摇摆 3~ 4 个周期后趋于稳定, 摇摆时筒体边缘的最大升沉幅度达 1.5 m。产生这种现象的原因是第二组结构在气浮拖运过程中虽然维持其定倾高度满足要求, 但气浮筒内的封气水高度只有 0.1 m, 当结构受到风浪、船行波等外荷载的作用出现微小的摇摆后, 向上升的筒体由于入水深度减少, 筒内的封气水的高度减少, 致使摇摆中上升的筒体内的压缩气体向外逸出, 产生喷射现象, 更加激励结构摇摆。结构摇摆几次, 筒内气体逸出一定量后, 筒体下沉, 筒内的封气水的高度增加至筒内气体无法逸出, 在水阻尼作用下, 气浮结构就趋于稳定。

三组基础结构排气靠自重下沉入土 4.5~ 5.35 m, 与计算结果比较吻合。抽水负压时, 通过启闭设置在基础结构顶板不同部位的排水泵调整其下沉速率, 可以有效地进行

调平和纠偏。实施结果负压下沉可达到设计标高, 偏位和倾斜值也符合设计要求。譬如第二组基础结构在抽水负压下沉过程中一个筒体上的排水泵出现故障, 当时其顶板高差达 30 cm, 基础结构平均入土深度已超过 5 m, 待水泵修复后, 开启入土深度小的筒体上的水泵, 关闭入土深度大的筒体上的水泵, 经过数十分钟后, 结构基本调平。再开启全部水泵, 将结构下沉到位, 最终测量结果其顶板高差仅为 5 cm。

三组基础结构负压下沉情况见表 2。

每组基础结构气浮拖运及负压下沉可以在 24 h 内完成, 相当于 24 h 完成 23.5 m 长的防波堤基础。实践证明, 几乎是以前预制速度来控制防波堤试验工程施工工期。

表 2 三组基础结构下沉综合记录

序号	实测项目	实 测 数 据		
		第一组	第二组	第三组
1	排气下沉用时 (min)	48	58	90
2	排气下沉入土深度 (m)	5.05~ 5.35	4.5~ 4.8	4.6
3	排气下沉后顶板高程 (m)	1号 + 1.1 2号 + 1.0 3号 + 0.8	1号 + 1.7 2号 + 1.5 3号 + 1.4	1~ 3号 + 1.7
4	抽水下沉用时	3 h (8 台泵)	2 h 16 min (8 台泵) 5 h 55 min (4 台泵)	6 h 20 min (4 台泵)
5	抽水下沉入土深度 (m)	1.8~ 2.10	0.6~ 1.0 0.75	3.5
6	排气抽水下沉入土总深度 (m)	7.15~ 7.25	7.25~ 7.35	8.1
7	下沉停止后顶板高程 (m)	1号 - 1.0 2号 - 1.0 3号 - 1.0	1号 - 1.05 2号 - 1.05 3号 - 1.10	1~ 3号 - 1.8
8	基础结构中心偏位 (mm)	偏北 16 偏东 7	偏南 88 偏西 10	偏东 100 偏东 30

4 结语

(1) 基础结构在近海正常海况条件下, 气浮拖运是安全可靠的。实践证明, 施工中选择的技术参数是合理的。

(2) 本工程采用排水泵抽水使基础结构腔内外产生压差, 施加下沉力可达到总下沉阻力的 2.2~ 2.8 倍, 该施工工艺消耗能源少, 操作简单。

(3) 通过启闭设置在基础结构顶板不同部位的排水泵调整其下沉速率, 可以有效地调平和纠偏, 达到有控制(标高、倾斜、偏位)下沉, 且操作简便易行。

(4) 基础结构预制的关键是处理好接缝、节点、预留空洞等, 确保其气密性。

(5) 基础结构气浮拖运和负压下沉施工工艺在国内是首次开发, 实践证明是成功的。在淤泥质地质条件下的防波堤、导堤及护岸等水工工程中具有广泛的推广应用前景。