

山东高速青岛海湾大桥建设丛书

桥梁水下无封底

混凝土套箱建造技术

姜言泉 编著

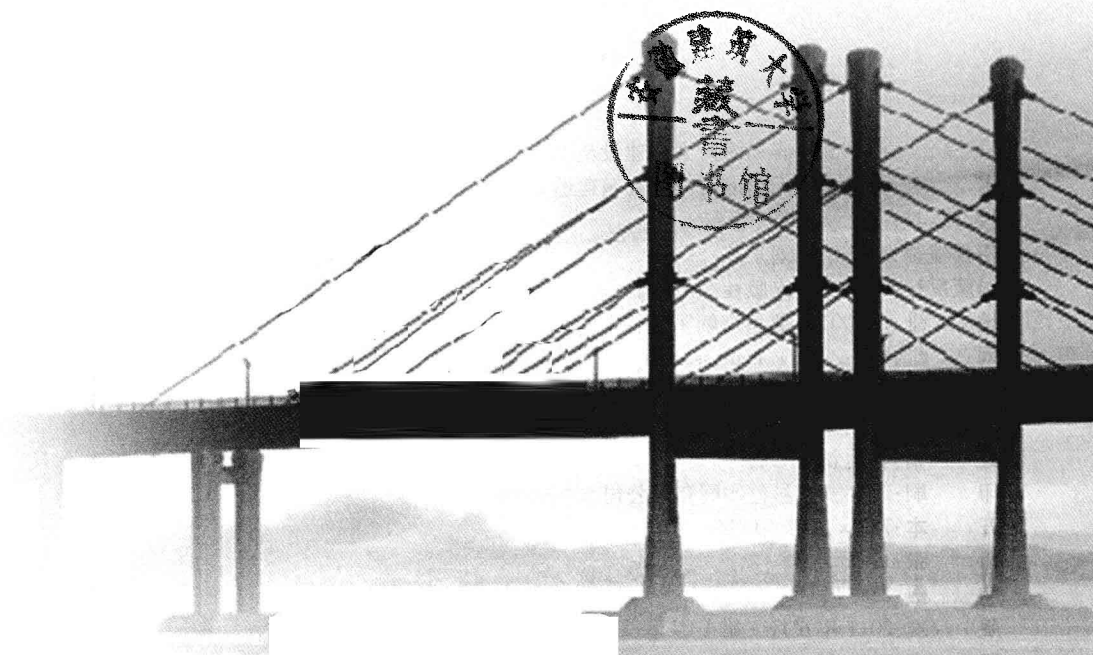


人民交通出版社
China Communications Press

山东高速青岛海湾大桥建设丛书

桥梁水下无封底 混凝土套箱建造技术

■ 姜言泉 编著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书以青岛海湾大桥水下无封底混凝土套箱的科研及应用为主线,从研究和应用的角度,较为系统地介绍了水下无封底混凝土套箱的研究动态和工程应用实践,创新性地提出了水下无封底混凝土套箱施工工艺,对青岛海湾大桥非通航孔桥桥墩承台施工的工法、结构设计进行了详细描述。

本书可供桥梁设计和施工及相关技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁水下无封底混凝土套箱建造技术/姜言泉编

著. —北京:人民交通出版社,2011.6

(山东高速青岛海湾大桥建设丛书)

ISBN 978-7-114-08211-5

I. ①桥… II. ①姜… III. ①桥梁基础:桩基础—混凝土围堰—工程施工—施工技术 IV. ①U445.55

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第019109号

山东高速青岛海湾大桥建设丛书

书 名:桥梁水下无封底混凝土套箱建造技术

著 作 者:姜言泉

责任编辑:张征宇 刘永芬

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757969 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯鑫彩色印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11

字 数:258千

版 次:2011年6月 第1版

印 次:2011年6月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08211-5

定 价:45.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

跨海大桥按通航要求可分为通航孔桥和非通航孔桥,位于通航跨位置的基础由于桥梁的跨径较大,所需要承担的来自上部结构的荷载也较大,所以基础体积巨大,承载能力也较高;非通航桥的下部结构体积不大,但数量多,占整个下部结构工程量的大部分,非通航孔桥的下部结构,对工期、造价甚至整个工程的成功起着至关重要的作用。本书就跨海大桥非通航孔桥下部结构的设计与施工技术展开研究,探讨在海洋环境下桥梁下部结构设计与施工的特点,以期对桥梁设计和施工技术人员在跨海大桥的建设中有所指导和帮助。

本书以青岛海湾大桥水下无封底混凝土套箱的科研及应用为主线,回顾了国内外关于桥梁深水基础工程的发展情况,创新地提出了水下无封底混凝土套箱施工工艺。对青岛海湾大桥非通航孔桥桥墩承台施工的工法、结构设计进行了详细描述。同时对水下无封底混凝土套箱的受力、耐久性评估、防船撞性能等内容进行了详细介绍。

本书各章节的内容安排如下:

第1章介绍了国内外深水桥梁基础的发展现状,讨论了国内跨海桥梁工程非通航孔桥桥墩承台的施工工艺,总结了混凝土套箱施工及设计需要解决的关键技术问题。

第2章对混凝土套箱的施工工艺及现场试验研究进行了详尽描述。介绍了水下无封底混凝土套箱施工现场的工程地质概况,钢筋混凝土套箱预制、钢围堰制作安装过程、套箱的胶囊止水技术及承重剪力键的施工,弹性应力吸收层的设置情况。在现场试验方面主要介绍了承台水化热温度监测、套箱抗渗水试验及套箱内部铺设防水卷材的施工工艺等内容。

第3章讨论了水下无封底混凝土套箱在各种不同设计荷载作用下的受力性能。采用套箱内壁设置弹性应力吸收层的方法有效提高套箱的抗裂性能,成功解决了混凝土套箱开裂的老大难问题。建立了考虑承台水化热效应、水管冷却效应、弹性应力吸收层和套箱的整体模型。重点讨论了承台施工水化热效应对套箱力学性能的影响。同时,应用大型显示瞬态非线性有限元计算程序 ABAQUS/Explicit,仿真计算了小型渔船对非通航孔的碰撞作用。

第4章讨论混凝土套箱在恶劣海洋环境下的寿命评估研究;建立了在荷载及盐冻共同作用下的混凝土强度退化模型和在冻融与荷载复合作用下混凝土的损伤衰减模型。基于疲劳损伤理论,推导了混凝土在多重因素复合作用下的损伤模型,并采用该模型进行承台寿命评估研究。

第5章对全书进行了总结,介绍了水下无封底混凝土套箱的技术特点及应用条件。书中附录为水下无封底混凝土套箱的设计指南及施工指南。

全书从研究和应用的角度,较为系统地介绍了水下无封底混凝土套箱的研究动态和工程应用实践,各章内容相互衔接,但又相对独立,可作为该领域研究、应用和教学的参考

书籍。

本书由姜言泉编著,其他参与编写人员主要有邵新鹏、张峰、侯福金、吴健、蔡建军、季辉、罗德龙等。参与本书内容相关的科研项目研究者有姜言泉、徐庆军、韩冰、李丕明、李术才、侯福金、欧阳瑰琳、王兆星、吴健、王广洋、刘国强、孙成新、罗德龙、王元丰、蔡玉田、季辉、闫宗山、程建新、荆玉才、路征远、蔡建军、于宪涛、庄纪文、张峰、吴寒亮等。本书由林国雄校稿。

本书对东海大桥、杭州湾跨海大桥等跨海工程的基础施工方面也进行了介绍,同时本书也引用了大量的参考文献,谨以此书表达对这些文献作者的感谢!

目 录

第1章 绪论	1
1.1 国外桥梁深水基础发展概况	2
1.2 我国桥梁深水桩基础发展概况	5
1.2.1 东海大桥引桥承台施工	7
1.2.2 杭州湾跨海大桥引桥承台施工	10
1.3 研究现状评价	16
第2章 技术方案	18
2.1 工程概况	18
2.1.1 工程地质	18
2.1.2 气象条件	19
2.1.3 水文条件	19
2.2 混凝土套箱工法	20
2.2.1 混凝土套箱工法流程	21
2.2.2 钢筋混凝土套箱预制	21
2.2.3 钢围堰制作及陆上安装	25
2.2.4 混凝土套箱及钢围堰现场安装就位	26
2.2.5 套箱底部胶囊止水	29
2.2.6 剪力键焊接及体系转换	32
2.2.7 承台混凝土浇筑	32
2.3 现场试验内容	33
2.3.1 混凝土及承台施工期现场温度监测	33
2.3.2 承台与内壁抗渗水试验	35
2.3.3 套箱内贴防水卷材	36
第3章 水下无封底混凝土套箱受力性能分析	43
3.1 设计工况下混凝土套箱力学性能分析	43
3.1.1 有限元模型	43
3.1.2 不同荷载工况下的混凝土套箱内力及变形分析	45
3.1.3 焊接处局部有限元分析	52
3.2 承台收缩变形分析	60
3.3 船舶撞击作用仿真分析	67
3.3.1 计算方法	68
3.3.2 仿真分析	69

3.4 弹性应力吸收层力学特性	88
3.4.1 泡沫板力学性能检测结果	88
3.4.2 泡沫板力学性能模型	93
3.5 混凝土水化热分析基本理论	94
3.5.1 实用算法	94
3.5.2 空间有限元分析法	100
3.6 混凝土承台水管冷却温度场分析	106
3.6.1 三维水管冷却问题的有限元法理论	106
3.6.2 承台介绍	107
3.6.3 模型建立与边界条件	108
3.6.4 结果的比较与分析	109
3.6.5 承台水管冷却参数分析	110
3.7 混凝土套箱的瞬态热力耦合分析	112
3.7.1 基本参数	112
3.7.2 水化热热源函数确定	114
3.7.3 套箱温度场和应力场	114
3.7.4 温度可靠性分析	121
第4章 混凝土套箱对承台寿命影响的评估	123
4.1 混凝土在多重因素作用下的耐久性	124
4.2 荷载与冻融循环复合作用试验结果	130
4.3 持续荷载与盐冻共同作用下混凝土耐久性试验研究	134
4.4 混凝土套箱寿命预测	136
第5章 结语	141
5.1 本书主要研究内容小结	141
5.2 应用情况及推广应用前景	142
附录1 水下无封底钢筋混凝土套箱设计指南	143
附录2 水下无封底钢筋混凝土套箱施工工法指南	154
参考文献	169

绪 论

21 世纪上半叶世界桥梁建设的重心已移向中国,由于坚持改革开放,我国经济开始腾飞,自 20 世纪 90 年代以来,高速公路等交通基础设施建设快速发展,中国桥梁建设进入了一个辉煌时期。与此同时,我国跨海大桥建设也进入了大发展时期,全长 32.5km 的东海大桥于 2005 年 5 月建成通车,它是我国建造的第一座真正意义上的跨海大桥,随后相继建成了:杭州湾跨海大桥(全长 36km)、南通港洋口港区陆岛通道工程黄海大桥(全长 10km)、舟山大陆连岛工程(包括岑港大桥、响礁门大桥、桃夭门大桥、西堠门大桥和金塘大桥等五座跨海大桥及接线公路,全长约 50km,其中桥长约 25km)。正在建设中的跨海大桥有:青岛海湾大桥(一期工程的海域段 27.089km,工程总长约 45km)、福建省平潭海峡大桥(总长 3.510km)、广东省南澳大桥(桥梁全长 9.341km)、宁波象山港大桥(桥长 6.748km)、广深沿江高速公路深圳段(桥梁长 31.452km)、福建厦漳跨海大桥(全长 9.3334km)。港珠澳跨海大桥(主体工程总长 29.6km,其中桥梁长约 22.9km)开工在即。正在规划中的跨海大桥有:旅顺至蓬莱的渤海湾大桥(总长约 120km)和琼州海峡跨海大桥(总长约 31.6km)等。

跨海大桥建设面临的主要问题有:

(1) 自然条件非常复杂:大风、大雨、大雾发生频率高,全年有效作业时间比一般桥梁短得多。海面宽阔,水文条件十分复杂,并有不同的特点:东海大桥地处外海,波浪很大;杭州湾桥处于强潮海湾,潮流速度很大;在建的广东南澳大桥由于涌太大,采用最先进的打桩船,全年只有短短的一个季度适宜进行沉桩作业。海上工程地质复杂,一般软土层很厚,沿线常富集浅层沼气,陆海交接处一般有宽阔的滩涂,潮起潮落,干湿交替,对工程影响很大。

(2) 跨海大桥一般工程都非常宏大,以青岛海湾桥为例,一期工程全桥桩基共计 5238 根,混凝土箱梁共计 1764 孔,混凝土总量约 200 万立方米,钢筋用量约 27 万吨,钢箱梁约 3.6 万吨等。由于施工环境恶劣,工程量大,工期矛盾非常突出。

(3) 海洋环境对桥梁构件腐蚀非常严重,必须采取有效措施保证结构的设计使用寿命。

(4) 海上船舶吨位大,船撞力大。不仅航道桥需要防船撞,引桥也需要设防,而且防撞范围很宽。

为了解决建造跨海大桥面临的困难,目前主要采取的措施有:

(1) 通过调查、研究和科学试验充分掌握桥梁建设所经过海域的水文特征、气象特征、工

程地质特征和海上航运现状及规划情况;建立潮流、泥沙和波浪数模,进行水工模型试验;进行原型水文观测和工程地质勘察;必要时建立桥位梯度风速观测站,为设计提供必要的依据。

(2)针对建设条件和工程规模,因地制宜,贯彻“标准化、预制化和大型化”的设计原则,尽量把海上工程移到陆地完成;充分评估施工方案的可行性和风险性,以最大限度回避海上施工风险、加快工程进度和保证工程质量。

(3)重视耐久性设计。在结构、材料和工法等方面采取有效措施,尤其要做好海工混凝土的研制和现场配合比设计工作,针对不同腐蚀环境对结构构件采取不同的防腐蚀措施,以达到 100 年设计基准期的要求。

目前我国跨海大桥主要采用钢管桩和钻孔桩两类基础,承台是桩基础的重要组成部分,由于桥长、承台数量非常多,水环境对承台施工影响很大,承台又处于腐蚀最严重的浪溅区和水位变动区,因此,跨海大桥与一般桥梁承台的设计原则多有区别:由于施工条件恶劣,许多桥设计都把围堰封底设置在平均低潮位以上,以改善承台的施工条件,避免进行围堰水下封底,也便于对承台进行防腐处理。实践证明,提高承台高程,降低了海上施工风险,加快了工程进度,对建设跨海大桥发挥了重要作用。出于景观考虑,青岛海湾大桥承台按不露底的原则设计,由于部分承台和围堰底板淹没在水中,若按常规方法施工,围堰必须进行水下封底,并在围堰内另立承台模板,以进行承台防腐处理。按常规方法施工,虽无特殊技术上的困难,但施工工序多,作业时间长,风险比露底方案大,在承台数量太多的情况下,对工程投入和施工进度影响很大,需另辟蹊径。港珠澳大桥为尽量减小建桥对水流流态及泥沙冲淤变化的影响,以“将阻水率控制在 10% 以内”作为设计目标,为此,所有非通航孔桥承台顶面均置于海床面以下,以减少基础的阻水率及阻水效应。

1.1 国外桥梁深水基础发展概况

从历史上说,早期国外大型桥梁大多采用气压沉箱基础。到了 20 世纪 30 年代,沉井基础开始胜出,成为优先考虑的基础类型。从 20 世纪七八十年代后,随着科学技术的发展,各个国家在修建跨海大桥时采用各种新的基础类型。

在美国,气压沉箱一直沿用到 20 世纪二三十年代。1852 年美国首次采用气压沉箱修筑跨越 Pedee 河的桥墩。1870 年,气压沉箱在用于美国著名的圣路易斯城的 Eads 桥的基础时,其尺寸已达到约 $22\text{m} \times 25\text{m}$,下层深度达到约 33m,并通过技术改进,开创了气压沉箱的新技术,至今仍被采用。1874 年开始建造,1883 年通车的纽约布鲁克林大桥(Brooklyn)同样采用了气压沉箱基础,但是这种类型的基础造价较高而且工人的劳动条件差,容易使工人身体受到严重损害,甚至它的建造者华盛顿·罗布林也为此得了严重的沉箱病,不得不在家休养,同时遥控指挥工程直到大桥落成。

近年来,国外修建了不少跨越大江大河和跨越海湾的深水基础,取得了很大的成绩,也积累了不少新经验。大直径钢管桩、大直径混凝土灌注桩和空心桩、复合基础均得到较广泛的采用^[1],地下连续墙已开始桥梁基础中采用,超大型沉井也已经出现并顺利设置或下沉。这标志着桥梁基础工程技术已取得了很大的发展。目前国外深水基础的主要类

型有:

(1) 大直径钢管桩、管柱基础

这种基础近年来发展很快,在日本得到了大量采用,如日本跨径 240m 的滨名大桥每个主墩采用了 49 根直径 1.6m 钢管桩。在冲刷深、覆盖层较薄时,往往将钢管桩沉至岩面钻孔嵌岩,成为管柱基础。日本主跨为 220m 及 185m 的内海大桥,水中 4 个深水墩均采用直径 2m 的钢管柱基础。图 1-1 所示为修建于孟加拉国 Jamuna Multipurpose Bridge (1994 ~ 1998) 的大直径钢管桩基础,它采用 2.5m 和 3.15m 两种直径的钢管桩,钢管桩壁厚 45 ~ 60mm,长度为 80 ~ 85m,地层为中密到致密砂层,采用预制承台和现浇墩身。

(2) 大直径钻孔灌注桩基础^[2]

国外有很多工程采用直径 2 ~ 4m 的大直径钻孔桩,而且往往采用扩孔方法,扩孔直径可达 3 ~ 4m。日本横滨港横滨大桥为跨径 460m 的钢斜拉桥,其基础为嵌岩桩扩孔至直径 10m,是目前世界直径最大的嵌岩钻孔灌注桩。图 1-2 为 Cooper River Bridge, South Carolina 桩的施工照片。

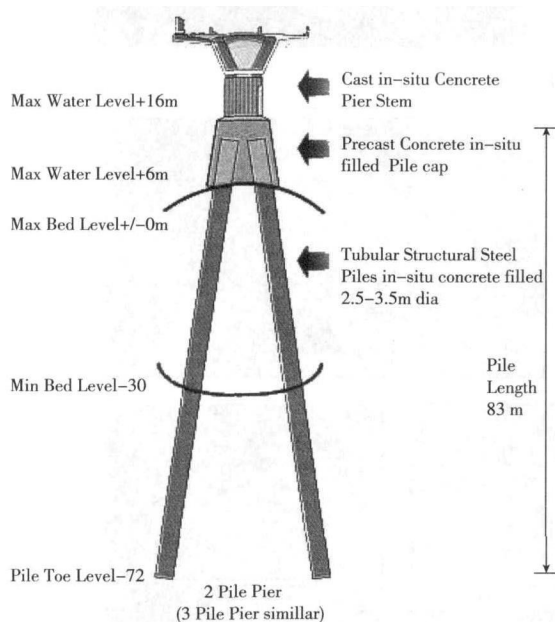


图 1-1 贾木纳河多用途桥基础结构示意图

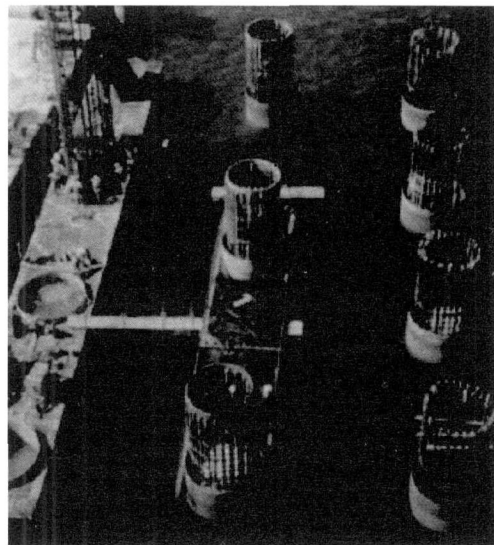
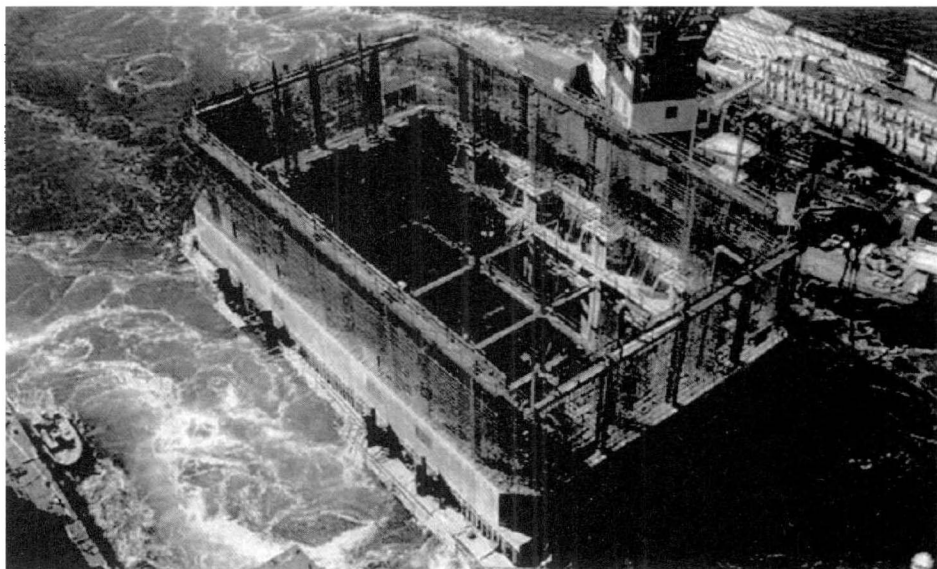
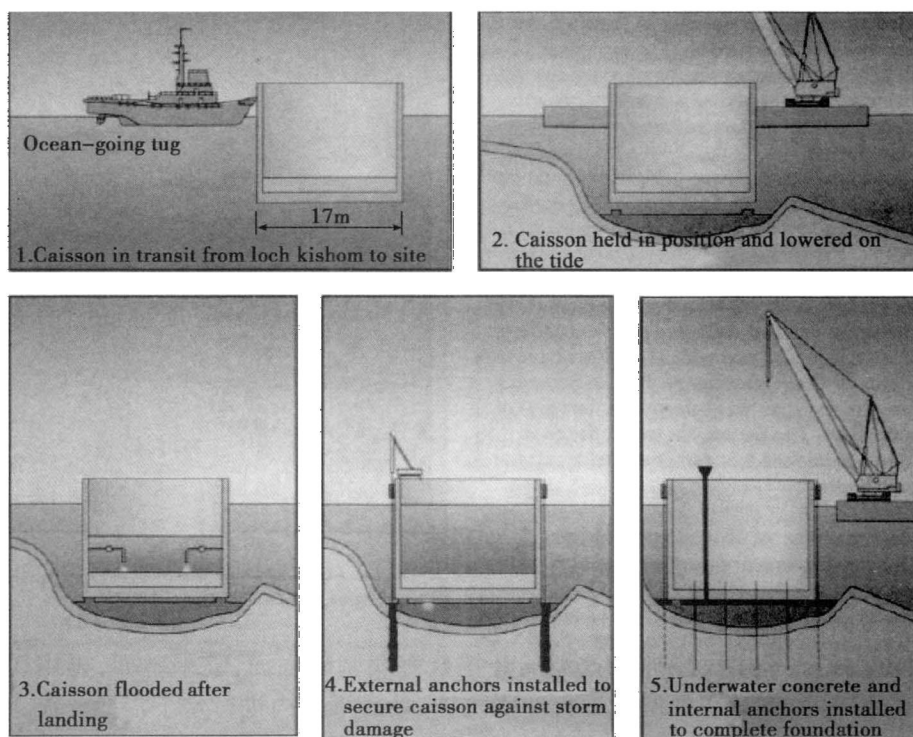


图 1-2 直径 3m 桩(库珀河大桥,南卡罗来纳州^[2])

(3) 设置式沉井基础

这种基础特点是用大型抓斗挖泥船开挖至海底基础底面,整平基面,再用切削机磨平,然后设置沉井,在其周围抛石进行冲刷防护,最后沉井内进行水下混凝土施工。日本明石海峡大桥,最大施工水深 60m,两主塔分别采用直径 80m 和 78m、高 70m 和 67m 的浮式钢壳沉井,壁厚 12m,分为 16 个舱,是目前规模最大的浮运沉井基础。日本濑户大桥基础采用同样的施工方法。葡萄牙的萨拉查大桥的主塔基础和锚碇基础也采用了类似方法施工。图 1-3、图 1-4 和图 1-5 分别为第二塔科马海峡大桥、斯凯岛大桥和明石海峡大桥施工现场照片。

图 1-3 第二塔科马海峡大桥^[2]图 1-4 沉井安装(斯凯岛, 苏格兰, 英国^[2])

(4) 复合基础

日本跨径 420m 的公铁两用斜拉桥——柜石岛桥 3 号墩岩面倾斜, 水深近 20m, 采用 46m × 29m × 30.5m 钢壳沉井与 16 根 4m 直径的灌注桩组合的复合基础。

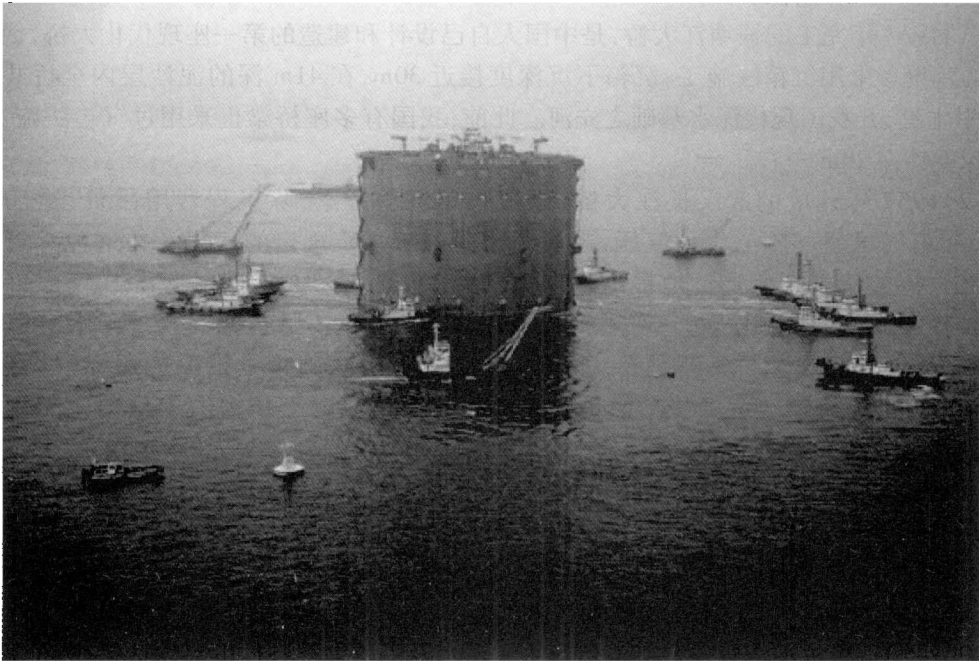


图 1-5 钢围堰(明石海峡大桥, 日本^[2])

表 1-1 列出了一些国外桥梁工程的基础形式。

国外桥梁基础形式			表 1-1
工 程 名 称	桥 型	基 础 形 式	施工时最大水深
日本明石海峡大桥	960m + 1990m + 960m 三跨双铰加劲悬索桥	沉井基础	75m
美国塔科玛大桥	主跨 853. 4m 悬索桥	沉井基础	60m
日本濑户大岛大桥	200m + 325m + 200m 三跨连续钢桁桥	管桩基础	25m
日本首都高速公路 12 号线桥	主跨 570m 悬索桥	气压沉井基础	22m
日本横滨港湾大桥	200m + 460m + 200m 三跨连续双层桥面钢斜拉桥	井柱组合基础	24m
日本白鸟大桥	330m + 720m + 330m 悬索桥	筑岛地下连续墙基础	17m

1.2 我国桥梁深水桩基础发展概况

克服深水困难,建筑桥梁基础,是桥梁工程中最艰巨的工作。我国桥梁深水基础发展大

致经历了以下几个阶段:

(1)1937年完工的钱塘江大桥,是中国人自己设计和建造的第一座现代化大桥,钱塘江大桥的建设者采用沉箱法施工,沉箱下沉深度接近30m,在41m深的泥沙层内全桥共打入1440根木桩,开我国现代深水基础之先河。此前,我国有多座桥梁也采用过沉箱法施工,但下沉深度均在20m左右。

(2)1957年建成的武汉长江大桥,原拟采用沉箱方案,除工程费用昂贵、施工周期长外,沉箱气压超过3.7个大气压,超过了当时施工规范规定的气压。在这种背景下武汉长江大桥的建设者创造性地提出了“管柱钻孔基础”方案,它采用直径1.55m钢筋混凝土管柱,用振动锤锤击下沉,使用钢板桩作围堰,这一新型基础克服了深水沉箱施工的困难,为提前完成大桥工程创造了条件。自此,管柱基础得以推广应用,管柱直径由1.55m逐步发展到3.0m、3.6m、5.8m,并由普通钢筋混凝土结构发展到预应力钢筋混凝土结构。

当水更深或持力层较深时需要增大管柱的直径和长度,而这样做起重能力和下沉设备都遇到了前所未有的困难,并且会减少桥墩的刚度,为此,南京长江大桥2号墩和3号墩采用了钢沉井加管柱基础方案,采用此方法施工,钢沉井沉入河床一定深度后,再在其中下管柱,从而大幅度减少了管柱下沉深度和自由长度。

(3)采用钢板桩围堰管柱基础虽然解决了深水及厚覆盖层条件下兴建钻孔基础的问题,但这些方法受水位控制,施工周期长,在长江上建一个基础一般要两个枯水期。九江大桥施工中提出了“双壁围堰大直径钻孔基础”。双壁围堰具有坚强的圆形外壳,可以承受很大的水头差,加上围堰内预留孔的方法,可以早封底以安全渡洪。在配合空气压下沉的工法后,可以将围堰下到更深的覆盖层内,或作为沉井基础。这一新的施工方法,在简化工序、缩短工期方面有了新的突破,达到了在长江上仅用一年甚至更短的时间便可兴建一个基础的新水平。此后,双壁围堰大直径钻孔基础方案在国内得以推广应用。芜湖长江大桥围堰直径达30.5m,抽水水头32m,钻岩直径3.0m。

从以上发展过程可以看到,由于受当时条件的限制,管柱和钻孔桩直径较小,当桩的自由长度太大时,往往不能满足桥墩刚度的要求,所以长江上所建的公铁两用桥在2000年以前多采用低桩承台,即使在发生最大冲刷时,不能成为低桩承台,也把承台修得很低,尽量减少桩的自由长度,以增加桥墩的强度与刚度,并提供了采用较小直径桩的可能性。

在深水基础中采用吊箱围堰修建高桩承台,在公路桥梁中用得非常普遍。一方面公路桥对桥墩的刚度要求较低,但更主要的是钻孔设备和工法得到了很大发展,可进行大直径和超长桩施工。目前大跨度桥梁的桩基多采用吊箱围堰高桩承台,承台设计多以不露底为原则,引桥承台也有不露顶的设计。提高承台设置高度,简化了主体结构,也简化了工序和降低了施工难度。由于采用大直径钻孔桩,目前铁路桥修建深水基础也多采用吊箱围堰。但高桩承台基础也有它的适用范围,当桩的自由长度太长,结构自身的防撞能力会随之降低,在某些情况下采用吊箱围堰修建深水基础并不适宜,还是应进行多方案(包括沉井方案)比较,选择更为经济合理的方案。

表1-2列出了一些国内桥梁工程的基础形式。

国内桥梁基础形式

表 1-2

工程名称	桥型	基础形式	施工时最大水深(m)
苏通大桥	主跨 1088m 连续钢箱梁双塔双索面斜拉桥	双壁钢吊箱高桩承台钻孔灌注桩	50
武汉白沙洲大桥	50 + 180 + 618 + 180 + 50 (m) 钢—混凝土组合梁斜拉桥	双壁钢吊箱高桩承台钻孔灌注桩 (长江上首次采用)	20
钱江五桥	68 + 3 × 120 + 68 (m) 五跨连续预应力混凝土箱梁桥	整体式双壁钢围堰套箱钻孔灌注桩	8
瑞安飞云江三桥	主桥 240 + 170 + 60 (m) 三跨一联独塔双索面预应力混凝土边箱梁斜拉桥	单壁无底钢围堰钻孔灌注桩	7
黄石长江公路大桥	主跨 245m 预应力混凝土连续刚构桥	双壁钢围堰钻孔灌注桩	25
铜陵长江大桥	主跨 432m 预应力混凝土斜拉桥	双壁钢围堰钻孔灌注桩	50
重庆长江大桥	主跨 174m 预应力混凝土 T 形刚构桥	浮式圆形钢围堰钻孔灌注桩	18
夷陵长江大桥	主跨 348m 三塔单索面混凝土加劲梁斜拉桥	高桩承台钻孔灌注桩	23
南京长江大桥	3 联 9 跨, 每联为 3 × 160m 连续钢桁梁	沉井基础、沉井加管柱基础	77

目前,桥梁深水基础施工中采用的防水围堰大致有如下几种形式:钢板桩围堰、混凝土套箱围堰、钢套箱围堰以及钢—混凝土组合结构围堰等。其中,钢板桩围堰为单壁结构;混凝土围堰视其平面尺寸大小,采用整体预制钢筋混凝土围堰或组装式预制钢筋混凝土围堰^[3];钢套箱围堰又分为单壁和双壁钢围堰等。每种围堰都有各自的特点和适用条件,因此需根据各自的水文、地质、造价以及设备情况等比选而定。

无论何种围堰都要进行混凝土封底止水,一般采用水下灌注混凝土封底,封底厚度根据抽水水头和混凝土与钢护筒之间的握裹力确定^[8]。水下灌注混凝土采用导管法施工,工法比较复杂,对混凝土供应强度、初凝时间和流动度等比干环境施工要求高,容易发生堵管事故,另外由于护筒壁很难清洗干净,容许握裹应力应偏低取值(10 ~ 15t/m²)。

目前跨海大桥非通航孔桥承台施工多采用钢套箱围堰或混凝土套箱围堰,两种围堰都存在一些问题,对于青岛海湾大桥围堰底板被淹没的情况,施工和防腐处理比已建的跨海大桥更加困难,为了说明本书提出的水下无封底混凝土套箱在恶劣海洋环境中的优越性能,以下介绍我国已建成的类似工程的施工实例,并把本书提出的水下无封底混凝土套箱与之进行对比分析。

1.2.1 东海大桥引桥承台施工^[4]

1. 混凝土套箱概述

东海大桥非通航跨桥梁承台工程全部在海上施工,共有 586 个承台,其中:直径 11m、高 4m 的圆形承台共 510 个;长 27.85m、宽 10.2m、高 4.35m 的两端带有折角的整体式长承台 76 个。由于海上承台数量太多,施工环境恶劣,采用过去的设计思路和施工工法,不符合工

程的实际情况,也很难实现三年建成大桥的要求。根据工程的建设条件和工期要求,采取了两项措施:一是提高承台高程,在干环境下进行围堰封底和承台施工;另一项措施是采用预制有底混凝土套箱,以减少承台施工工序。经过多种施工方案的综合比较,施工单位选择了带钢底板的混凝土套箱施工方法。与钢套箱施工方法相比较,混凝土套箱具有刚度大、抗风浪能力强、工序少(不拆除)、施工安全性好和永久保护承台、使其免受腐蚀的优点,但不能重复使用。

混凝土套箱分为圆形和六边形长套箱两种形式(图 1-6),均在预制厂制造,利用海上平潮水流冲击力小的时候进行套箱安装,就位后钢扁担即与预定的四根钢管桩临时焊接,形成平面支承体系。此外,以较快的速度将承台内其余的钢管桩与钢扁担之间增强连接,并在套箱底板与桩之间安装封孔板及加强支撑。套箱通过钢扁担、钢底板与钢管桩形成可靠的受力体系,使混凝土套箱与群桩连接成整体。

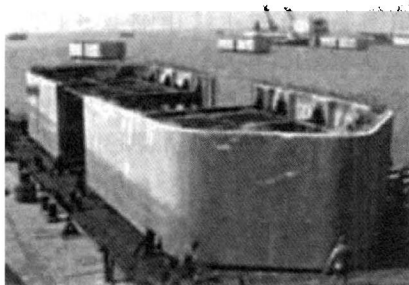
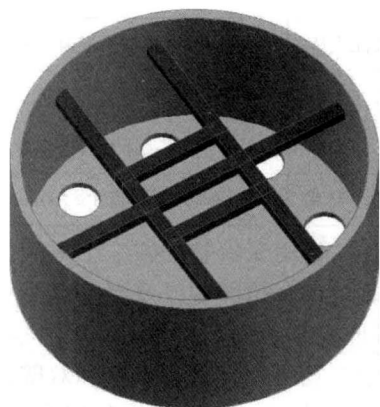
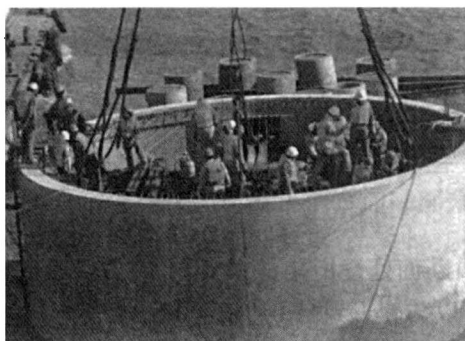


图 1-6 带钢底板混凝土套箱的两种基本形式

带钢底板混凝土套箱有以下优点:

- (1) 套箱无需拆除,减少了海上作业工序,加快了施工进度。
- (2) 混凝土套箱封底后,便可形成一个“陆上作业”施工的环境,减少了施工人员海上作业的风险。
- (3) 混凝土套箱刚度大、重量大,有利于抵抗上浮力和波浪浮托力,以保证施工期间结构的安全。
- (4) 套箱预制质量易于控制,承台混凝土施工质量容易得到保证,外观质量好。
- (5) 混凝土套箱不能重复使用,需要解决较大规模预制场地,同时,套箱的重量较大,安装时需要大型的起重船。

2. 混凝土套箱结构设计

(1) 套箱设计思路与原则

套箱需在各种施工荷载和波流力作用下,满足结构强度与稳定性要求。

套箱内的钢扁担不仅要满足受力要求,还要便于安装、拆卸,且在安装、拆卸过程中不伤及套箱侧壁。钢底板结构要求能承受封底混凝土的施工荷载,其主梁、次梁布置应尽量简化,以便于在底板上开设桩位孔。套箱的总重量不超过 250t,以适应预制场龙门吊的起吊能力,套箱上需另设钢防水围堰。

(2) 圆形混凝土承台套箱

以 70m 跨径的承台套箱为例,直径为 11m,承台内布置 8 根钢管桩,在套箱壁位于桩顶高程处的平面上设置钢扁担梁,钢扁担梁由 20mm 厚钢板焊接成 400mm × 800mm 的钢箱梁,作为套箱的承重结构,并搁置在支撑桩的顶面上,见图 1-7。套箱底部采用 2[28a 钢底板梁,见图 1-8。加设吊杆与钢扁担梁联系,以减小钢底梁的跨径。每个套箱内设置 17 根 $\phi 32$ mm 钢吊杆,见图 1-9。套箱吊装时吊点设在钢扁担上。

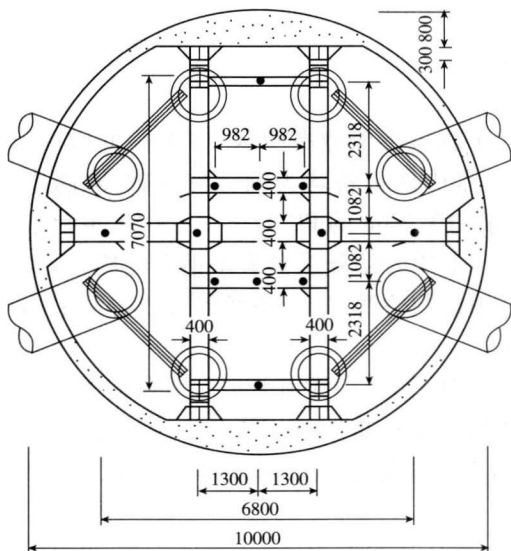


图 1-7 钢扁担梁平面布置(尺寸单位:mm)

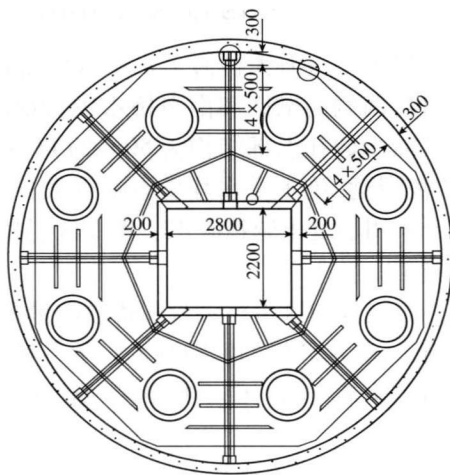


图 1-8 钢底梁平面布置(尺寸单位:mm)

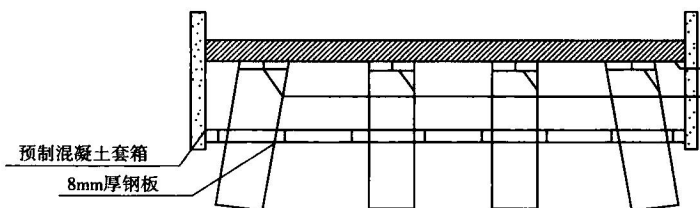


图 1-9 套箱剖面示意图

(3) 六边形承台混凝土长套箱

套箱长 27.85m, 宽 10.2m, 高 4.5m, 厚 0.3m, 在钢扁担梁支撑处套箱壁局部加厚至 0.65m。承台内布置 16 根钢桩, 在套箱壁位于桩顶高程处的平面上设置钢扁担梁, 钢扁担梁由 20mm 厚板焊接成 400mm × 800mm 的钢箱梁, 见图 1-10。钢箱梁搁置在支撑桩的顶面上, 作为套箱的承重梁, 套箱吊装时吊点设在钢扁担上。

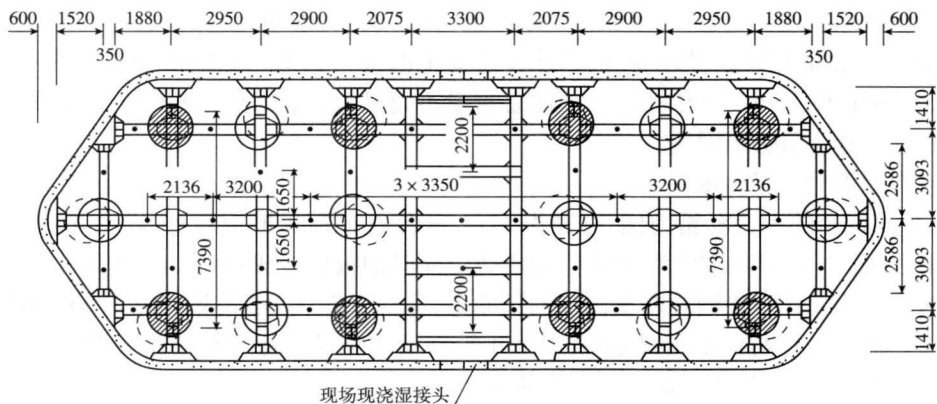


图 1-10 钢扁担梁尺寸(尺寸单位:mm)

1.2.2 杭州湾跨海大桥引桥承台施工^[5]

杭州湾跨海大桥海上水中区引桥范围包括:北航道桥南侧高墩区、中引桥低墩区、南航道桥两侧高墩区和南引桥水中低墩区等。海上水中区引桥均为钢管桩基础,除南岸滩涂区前少数孔上部结构为 50m 的 PC 箱梁外,其余均为 70m 的 PC 箱梁。水中区承台数量多、离岸远,施工受水环境影响很大,养护条件差。本桥大部分承台采用钢套箱施工,少数承台采用混凝土套箱施工。水中区引桥大部分采用预制桥墩,少数高度较大的桥墩采用现浇施工。

海上水中区引桥承台和桥墩数量多、施工持续时间长、施工环境恶劣。承台在潮位变化区施工,受水环境的影响很大。承台和墩身处于腐蚀非常严重的(E 级)氯盐侵蚀环境,防腐蚀问题非常突出。由于数量多、腐蚀问题突出和施工条件恶劣,海上墩身和承台施工受到特别关注。

1. 钢管桩基础承台结构

海上钢管桩基础承台共计 517 个,承台、封底和填芯共计混凝土 28.4 万立方米。依桩