

大跨度桥梁沉井基础 研究与实践

张 鸿◎著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

大跨度桥梁沉井基础 研究与实践

张 鸿◎著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书全面系统介绍了桥梁大型沉井基础设计与施工关键技术研究 and 工程实践情况,内容涵盖沉井基础设计、陆上沉井基础施工、水上沉井基础施工、沉井信息化施工与控制等。结合水上与陆上工程项目实际,本书向读者详细阐述了水上沉井定位与着床、沉井接高与首次下沉、沉井下沉施工、终沉控制等建设技术细节。

本书可供土木工程专业广大师生、学者、工程师及对大跨度桥梁基础感兴趣的人士参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大跨度桥梁沉井基础研究与实践 / 张鸿著. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2016.7

ISBN 978-7-114-13071-7

I. ①大… II. ①张… III. ①长跨桥—桥梁基础—沉
井—研究 IV. ①U448.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 122212 号

书 名: 大跨度桥梁沉井基础研究与实践

著 作 者: 张 鸿

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11.5

字 数: 266 千

版 次: 2016 年 7 月 第 1 版

印 次: 2016 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13071-7

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



前 言

随着我国桥梁建设不断向宽阔水域、海洋环境发展,大跨度桥梁基础传统施工方法将面临更为棘手的技术难题。与传统的就地浇筑基础相比,预制基础减少了桥位处现场施工作业量,有明显的优势。沉井基础作为预制基础的一种结构形式,具有整体刚度大、承载力大、耐久性和抗震性能好、防船舶撞击能力强等诸多优点,在桥梁工程中得到广泛应用,尤其是大跨悬索桥锚碇基础和桥梁深水基础。近几年,国内沉井基础施工技术日益成熟,在深水基础建设上迈进了国际先进水平,为未来跨海深水桥梁建设的顺利实施奠定了坚实的基础。

本书是作者多年从事桥梁大型沉井基础理论研究和工程实践的技术成果总结,结合某长江公路大桥北锚碇沉井基础和泰州长江公路大桥中塔沉井基础等工程实践,研究和总结了大型沉井在建造过程中所面临的技术难题,特别是深水大型沉井施工技术的挑战。这些成果的总结将对我国桥梁基础,特别是深水基础的建设起到较大的促进作用。本书第1章对桥梁大型沉井基础在国内外桥梁工程中的发展现状和技术问题进行了概述;第2章着重介绍了桥梁大型沉井基础的设计,涉及沉井结构构造设计、基础沉降设计及抗水平滑移计算等;第3章阐述了陆地沉井基础的主要施工技术,包括首节沉井制造、沉井接高与下沉、封底混凝土施工等,并结合某长江大桥北锚碇沉井基础实践对施工工艺进行了详细说明;第4章重点介绍了水中沉井基础的关键施工技术,包括钢壳沉井制作与运输、沉井定位与着床、终沉控制措施等,并结合泰州长江公路大桥中塔沉井基础实践,对水中沉井关键技术进行阐述;第5章介绍了沉井信息化施工控制,结合工程实例进行了说明。

本书从理论上对大型沉井基础设计施工中所面临的技术难题进行了阐述,并结合相关工程案例进行分析说明,可供从事相关专业的技术人员、科研人员及教学人员使用,同时也为未来类似工程的设计施工提供有益的参考。

在本书编写过程中,张永涛、张国志、杨炎华、刘建波、杨钊、吴启和、陈培帅

等参加了部分内容的编写工作。

衷心感谢中铁大桥勘测设计院、南京水利科学研究院等单位在工程项目实施中所提供的支持。为本书提供图、表和照片的单位在此一并致谢。

由于时间仓促,书中难免存在不妥之处,望读者见谅。

著作者

2016 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 水中沉井(箱)基础在国外的发展与应用	(1)
1.2 沉井基础在我国的发展与应用	(5)
1.3 沉井基础建设关键技术	(10)
第 2 章 沉井基础设计	(14)
2.1 沉井的一般构造	(14)
2.2 沉井基础设计要点	(18)
2.3 沉井基础设计计算	(19)
第 3 章 陆上沉井基础施工	(38)
3.1 概述	(38)
3.2 首节沉井制作	(40)
3.3 沉井接高施工	(46)
3.4 沉井下沉验算	(48)
3.5 沉井下沉施工	(54)
3.6 封底混凝土施工	(72)
3.7 工程实践	(75)
第 4 章 水中沉井基础施工	(86)
4.1 概述	(86)
4.2 施工期河床冲刷形态分析及防护措施	(89)
4.3 沉井首节钢壳下水及首次下沉高度确定	(101)
4.4 沉井摆振分析及抑振措施	(102)
4.5 沉井着床预偏量确定	(108)
4.6 钢壳夹壁混凝土施工	(117)
4.7 钢壳沉井段制作与运输	(122)
4.8 沉井定位与着床	(129)
4.9 混凝土沉井段接高与下沉施工	(144)

4.10 沉井终沉稳定分析与封底混凝土施工 (146)

第5章 沉井信息化施工与控制 (149)

5.1 概述 (149)

5.2 信息化施工 (149)

5.3 施工控制 (159)

5.4 实施案例 (163)

第6章 结语 (174)

参考文献 (175)

第1章 绪 论

沉井基础在工程领域已有上百年的应用,矿井、取水泵房、水电站导流、地下油库、水塔、桥梁基础等工程的建设均有沉井结构的使用。沉井既是永久结构物的基础,又是施工时的挡土和挡水围堰结构。

随着我国桥梁建设向宽阔水域、深水、复杂地层、外海区域发展,大型沉井基础建设数量也相继增加,沉井构筑物焕发出新的生命力。沉井基础具有埋置深度大、整体性强、稳定性好,能承受较大的垂直荷载和水平荷载等特点,其在桥梁基础尤其在大跨径桥梁基础中有着广泛的应用前景。

1.1 水中沉井(箱)基础在国外的发展与应用

1.1.1 技术发展现状

目前国外在大跨径桥梁的深水基础中,一般多采用预制沉放基础(沉箱与沉井基础)、沉井与桩复合基础形式、多柱基础、地下连续墙等。其中采用预制沉放基础的工程实例较多,其工艺为先在陆上预制基础构件,后在深水中下沉就位。该类型基础将大量现场水上现浇工作改在陆上预制,用大型起重船吊装法或浮运法将预制好的基础在深水中下沉到位,有的甚至与墩身构件一同预制安放,这样能以较快的速度完成桥梁深水基础的建造,不仅减小施工难度,也提高了工程品质。预制沉放基础按传统可分为两大类:一类为沉箱基础,另一类为沉井基础。

沉箱基础一般适用于基础覆盖层较浅、基槽开挖后回淤小的良好持力层或经处理的地基上,其施工工艺为先开挖水下基槽,专用设备进行碎石基床整平,浮运沉箱下沉或大型起重船安装下放。沉井基础一般适用于基础覆盖层厚、水下基槽开挖难度大等因素,其施工是在沉井内部取土,利用沉井自重或采用其他辅助措施使沉井下沉至设计标高后进行混凝土封底。

目前水中沉井结构底节多采用钢壳,为双壁空心结构,其内充填混凝土,必要时采取加设气筒等助浮措施,浮运至墩位,灌水(或放气)着床,混凝土接高与井内取土沉井下沉交替循环进行,直至下沉到设计标高,如美国的新格林维尔大桥沉井基础。

沉箱基础可采用钢壳结构,也可采用混凝土结构,如日本明石海峡大桥两主塔分别采用直径 80m 和 78m、高 70m 和 67m 的钢壳沉井结构,最大施工水深 60m,壁厚 12m,分为 16 个舱,是目前规模最大的桥梁沉箱基础,桥型布置见图 1-1 所示。丹麦大贝尔特东桥两个主塔及两侧锚碇均采用预制混凝土沉箱基础,桥型布置见图 1-2 所示。此外,日本北、南备赞瀬户桥的海中基础,葡萄牙的萨拉扎桥 3 号墩基础也采用此法修建。加拿大诺森伯兰大桥是一座采用预制钢筋混凝土构件拼装的特大型桥梁,基础均为沉箱基础,采用抓斗挖泥船开挖

基槽至海底岩石面,整平基岩面,放置沉箱,周围水下抛石进行冲刷防护,最后充填沉箱内混凝土。

国外沉井(箱)施工最大水深达 60m,采用的方法大多是设置沉箱基础形式。

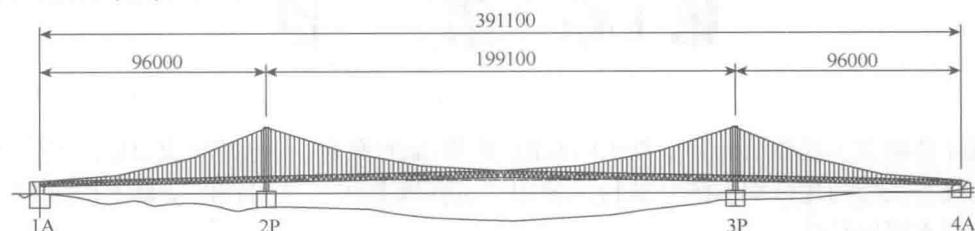
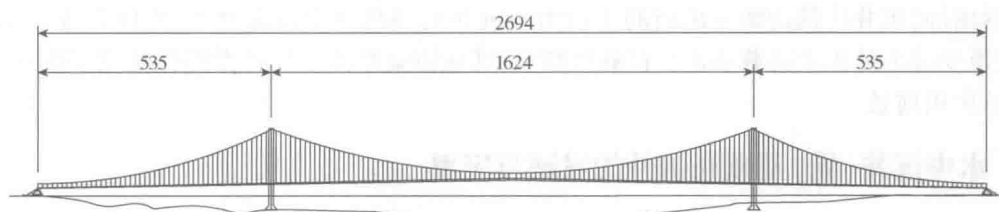
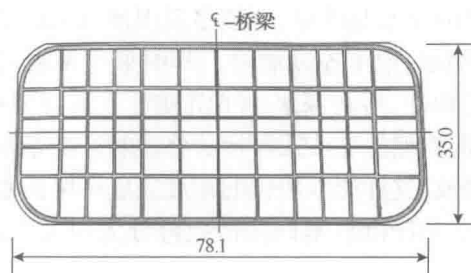


图 1-1 日本明石海峡大桥总体桥型布置(尺寸单位:cm)



a) 总体布置图



b) 主塔基础

图 1-2 丹麦大贝尔特东桥主塔基础(尺寸单位:m)

1.1.2 工程应用实例

沉井、沉箱基础在国外应用较早,其中沉箱基础发展较为迅速,沉井基础发展进程相对滞后。本书对日本、欧洲及美国等国家相关典型工程作简要介绍。

(1) 日本明石海峡大桥主墩基础

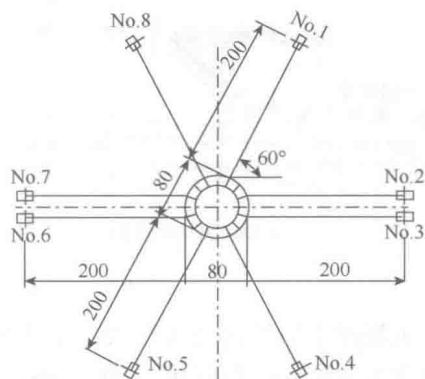
日本明石海峡大桥为 960m+1991m+960m 的世界最大跨径悬索桥,两个主塔墩均采用沉箱基础,其中 2 号墩沉箱直径 80m、高 70m;3 号墩沉箱直径 78m、高 67m。两座主塔基础在水深 35~50m,最大潮流 4.1m/s 的自然条件下建设完成。大桥主墩钢沉箱的形状综合考虑潮流作用力与方向、下沉时的稳定性等因素,设计为圆筒形的双层壁体结构。

主桥 2P 基础钢沉箱总质量约 19000t,拖航时的吃水深度约为 8m,配置了 12 艘拖轮(单个拖轮马力为 3000~4000ps),拖轮布置方式为沉箱前方有 4 艘,后方有 4 艘,其余 4 艘用于

控制方向,见图 1-3a)。海底地质为砂砾层,采用大型抓斗式挖泥船开挖基槽至持力层,沉箱为倒圆锥台形,沉箱拖运到位后,利用 8 个重力式锚碇系泊系统进行定位沉放,见图 1-3b),单个锚块质量为 85~120t。为了实现沉箱与锚碇系统的快速连接,研制了一种由公、母金属件构成的缆索装、脱装置;每个舱内布置的 2 台潜水泵(共 32 台)向舱内注水实现沉箱的快速、平稳着床。



a) 沉箱拖运



b) 沉箱定位系泊系统

图 1-3 日本明石海峡大桥施工(尺寸单位:m)

(2) 日本南北备赞濑户大桥

北备赞濑户桥为 3 跨连续梁悬索桥,跨度为 274m+990m+274m,南备赞濑户桥为 3 跨连续梁悬索桥,跨度为 274m+1100m+274m。两桥的 11 个主要基础均采用沉箱,沉箱坐落在基岩上。基槽开挖时,先对整个区域的水下岩石进行爆破作业,挖泥船抓出破碎岩石,然后平整基底。

在墩位处进行海床开挖的同时,钢壳沉井在造船厂舾装码头进行制作,拖运到墩位并下沉到位,采用预填集料混凝土的方法进行沉井内水下混凝土浇筑。

(3) 丹麦大贝尔特东桥锚碇基础

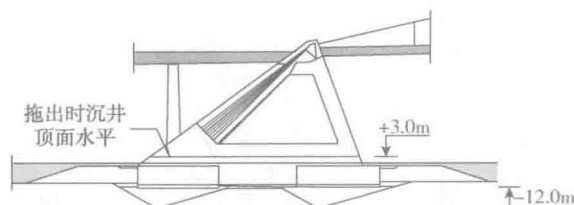
丹麦大贝尔特东特为主跨 1624m 的悬索桥,锚碇基础为 2 个尺寸为 122m×54.9m×15m(高)、质量 55000t 的沉箱。东桥锚碇受到约 600MN 的水平力,锚址处黏土层厚 20m,其下为深厚层泥灰岩,水深约 10m,采用楔形状碎石垫层使主缆拉力和锚碇恒载的合力垂直于倾斜的开挖面,解决了基础可能沿着开挖扰动区滑动的问题。沉箱安装后进行其下碎石垫层灌浆,确保沉箱与基础间的整体共同作用,见图 1-4a)。

锚碇沉箱在干船坞内预制,采用 3 艘拖轮拖带、2 艘拖轮顶推至桥位处。沉箱定位的锚碇布置是由 4 艘拖船和 2 艘吊船甲板上的绞车操纵的系缆所形成,所有拖带船舶都系固在沉箱顶锚桩上,见图 1-4b)。沉箱定位后注水压重快速着床。

(4) 希腊里奥—安蒂里奥(Rion-Antirion)跨海大桥主墩基础

希腊里奥—安蒂里奥跨海大桥为主跨 560m 的四塔五跨连续梁斜拉桥,主墩施工处水深达 65m,海床以下 500m 之内无岩层。大桥处于地震频发区,过去的 35 年发生过 3 次里氏 6.5 以上的地震。由于地壳的运动,大桥的另一端罗奔尼撒半岛至今仍以 8~11mm/年的速度漂离大陆。基于上述原因,大桥采用直径 90m 的圆形沉箱基础,径向设置 32 片加劲肋;采用直

径 2m 的钢管桩进行加固;基础与地基间设置碎石层,在保证基础与地基之间水平位移的同时,也防止了在强震作用下地基发生液化现象,见图 1-5a)。



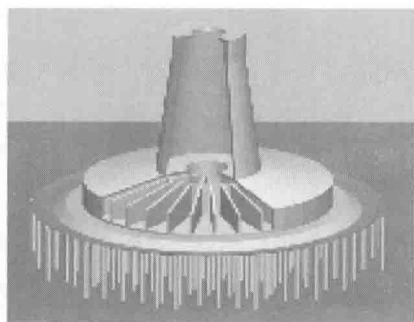
a) 锚碇沉井基础结构



b) 沉井基础定位沉放

图 1-4 丹麦大贝尔特桥西桥锚碇沉井基础施工

沉箱在干船坞内浇筑至 15m 高度后,拖运至旁边的湿船坞接高至锥形结构完成,拖轮拖带至永久墩位处进行沉放,见图 1-5b)。沉箱采用定位船进行准确定位,定位完成后对 32 个隔仓灌水下沉,电脑微分压舱系统进行全天 24h 监控,减小风和水流影响,保持基础垂直稳定状态。



a) 沉箱基础结构



b) 沉箱定位

图 1-5 希腊里奥—安蒂里奥大桥主桥沉箱基础

(5) 美国 82 号公路新格林维尔桥主墩基础

美国 82 号公路新格林维尔桥为一座双塔双索面混凝土梁斜拉桥,桥跨布置为 180m+420m+180m,两主塔墩(37 号墩、38 号墩)墩位处水深 21~24m,均采用沉井基础,沉井底部平面尺寸为 36.0m×24.0m,高度分别为 53.0m 及 62.0m。沉井基础顺桥向分为 4 个格仓,横桥向分为 6 个格仓,井壁和隔墙均为双壁结构。底板是由隔墙和布置在横桥向隔墙间的 4 个半圆形气筒组成的全封闭结构,4 个半圆形气筒沿横桥向隔墙全长布置,气筒上设阀门,调节沉井在浮态时井内的水量。

主塔墩沉井基础用褥垫进行先期河床防护,人字形挡水墙及导向桩对首节钢壳沉井进行定位;底节以上的沉井混凝土按先四周后中部的顺序浇筑,圆形气筒调节沉井在浮态时井内的水量,确保沉井混凝土施工处于干施工作业环境;沉井着床后,拆除气筒,井孔内用抓斗抓除覆盖层土层,沉井下沉到位,如图 1-6 所示。

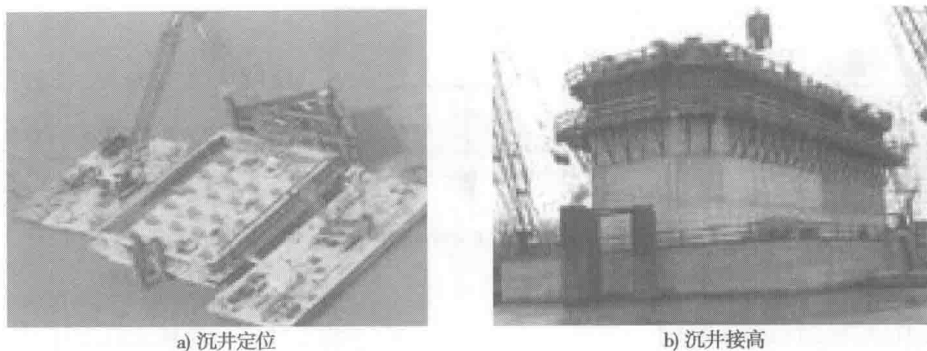


图 1-6 美国 82 号公路新格林维尔桥沉井基础

1.2 沉井基础在我国的发展与应用

1.2.1 技术发展现状

中国桥梁深水基础在 20 世纪 70 年代由于修建九江长江大桥的需要,首创了双壁钢围堰钻孔桩复合基础;20 世纪 80 年代,茅岭江铁路大桥采用了平台式套箱围堰,肇庆西江大桥则采用了沉井基础。

随着我国桥梁建设技术的不断发展,在基础建设方面积累了越来越多的工程经验。沉井基础同样也得到了迅速的发展,尤其在深水复杂环境下水中沉井的建设技术取得了突破性成功,如泰州长江公路大桥中间塔采用深水沉井基础,两侧锚碇也采用陆地沉井基础,两边主塔采用钻孔桩基础,如图 1-7 所示。

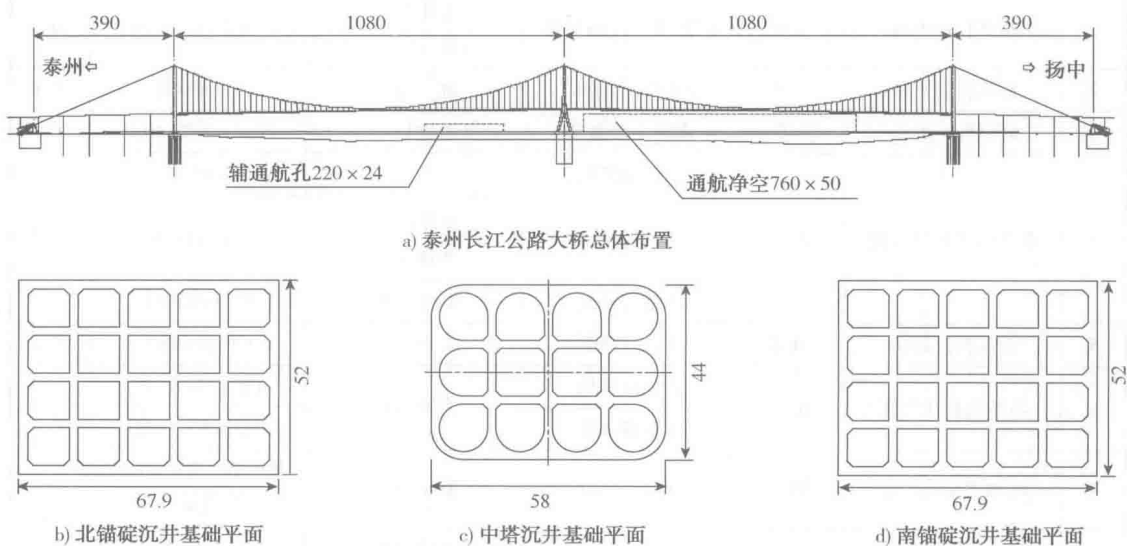
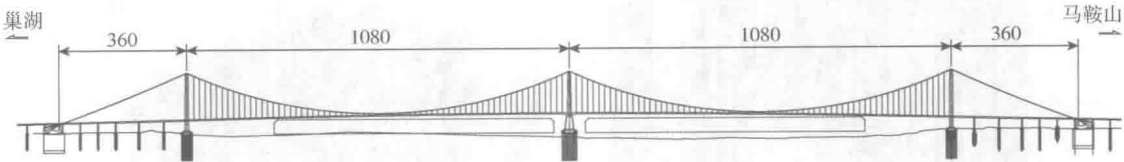
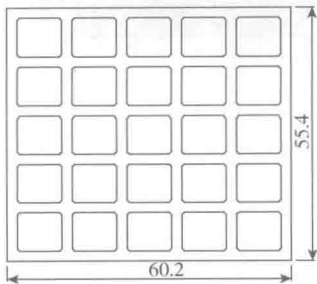


图 1-7 泰州长江公路大桥总体布置图及两侧锚碇和中塔沉井基础(尺寸单位:m)

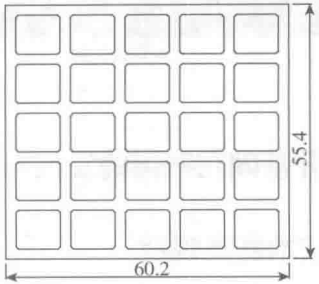
马鞍山长江大桥南北锚碇基础也采用大型沉井基础,主塔采用钻孔桩基础,布置如图 1-8 所示。



a) 马鞍山长江大桥总体布置图



b) 北锚碇沉井基础平面



c) 南锚碇沉井基础平面

图 1-8 马鞍山长江大桥总体布置图及两侧锚碇沉井基础(尺寸单位:m)

此外,国内还有多座大桥主墩(塔)或锚碇采用沉井基础,如表 1-1 所示。

沉井作为主墩(塔)基础或锚碇基础的典型桥梁工程

表 1-1

序号	桥梁名称	主桥跨度 (m)	所属桥梁部位	水中沉井/ 陆上沉井	基础规模 (m)	建成 时间
1	南京长江大桥	160	4号~7号主墩基础	水中沉井 (水深30m)	18.2×22.4×55	1968
2	江阴长江大桥	1385	北锚碇基础	陆上沉井	51×69×58	1999
3	海口世纪大桥	340	南北主墩基础	水中沉井	30.4×19.2×40.1	2003
4	泰州长江公路大桥	1080	南锚碇基础	陆上沉井	67.9×52×57	2012
			中间塔基础	水中沉井 (水深20m)	58×44×76	
			北锚碇基础	陆上沉井	67.9×52×41	
5	南京长江四桥	1418	北锚碇基础	陆上沉井	69×58×58.2	2012
6	马鞍山长江大桥	1080	北锚碇基础	陆上沉井	60.2×55.4×41	2013
			南锚碇基础		60.2×55.4×48	
7	鹦鹉洲长江大桥	850	北锚碇基础	陆上沉井	外径66、内径41.4、 高43	2014
8	合福铁路铜陵长江大桥	630	3号墩基础	水中沉井 (水深33m)	62×38×68	在建
9	沪通长江大桥	1092	28号主墩基础	水中沉井 (水深30m)	86.9×57.6×105	在建
			29号主墩基础		86.9×58.7×115	

1.2.2 工程应用实例

1) 水中沉井基础应用实例

(1) 南京长江大桥

南京长江大桥为双层式公铁两用桥,正桥长 1576m,大桥共有 9 个桥墩,正桥的桥孔跨径 160m。其中 4 号~7 号主墩采用浮式钢筋混凝土沉井基础,矩形沉井平面尺寸为 $18.2\text{m} \times 22.4\text{m}$ 、高为 55m,设有 20 个井孔。大桥 4 号~7 号墩采用深水浮运沉井,墩位处覆盖层平均厚度约 35m,基岩为黏土页岩。

沉井刃脚组拼在岸边用联结梁将两艘驳船连接起来,组成导向船。利用导向船上的起重设备将沉井底节吊起抽去拼装船后放入水中,采用了上下游定位船及墩位处使用导向船的方法进行沉井下沉施工。沉井接高并下沉至稳定深度过程中,采用 20 个钢气筒进行下沉调节。

沉井逐节接高,下沉至接近河床,钢气筒逐渐放气,使沉井沉入河床直至稳定深度。沉井着床时机选在枯水期,其流速为 $0.8 \sim 1.0\text{m/s}$ 。沉井下沉前未进行河床的预先防护措施,在沉井下沉过程中河床出现较大冲刷,呈现前冲后淤,前后河床面高差达 4.60m。为了防止河床进一步冲刷危及沉井的稳定及影响定位精度,在沉井上游侧冲刷坑内抛投粒径 150mm 以下的石料进行河床防护。

沉井在吸泥下沉过程中曾出现翻砂现象,主要原因是局部吸泥过深、没有及时调整吸泥部位。同时沉井在下沉过程中还出现大幅度摆动现象,4 号墩沉井施工过程中最大摆幅达 58.6m,5 号墩最大摆幅达 30m,这主要原因是边锚锚力设计不足等因素造成的。

(2) 海口世纪大桥主桥

海口世纪大桥主桥为 $147\text{m}+340\text{m}+147\text{m}$ 双塔双索面钢筋混凝土斜拉桥。大桥南、北主墩基础为水上沉井基础,土层自上而下依次为淤泥、黏土、中砂、细砂、黏土、粗砂、细砂与细砂互层(图 1-9a)。底节钢壳沉井平面尺寸为 $30.4\text{m} \times 19.2\text{m}$,高 14m,其上钢筋混凝土沉井平面尺寸为 $29.8\text{m} \times 18.6\text{m}$,高 26.1m。

底节钢壳沉井在陆上拼装成整体,由 5000kN 起重船吊运至墩位处下沉至河床(图 1-9b)。钢壳沉井着床前,先将沉井位开挖 2m 左右深基槽,铺设碎石垫层进行河床面整平,确保沉井平稳着床。采用吸泥下沉方式辅以冲抓破碎、潜水钻机破碎、吸泥等施工工艺以及泥浆套等助沉措施。

沉井上节钢筋混凝土段采用滑模法施工,滑升系统由模板系统、操作平台系统、提升系统三部分组成。

(3) 泰州长江公路大桥中塔沉井基础

泰州长江公路大桥为主跨 1080m 三塔两跨悬索桥,中塔采用水中沉井基础。基础标准断面尺寸为 $58\text{m} \times 44\text{m}$,总高 76m,其下节钢壳沉井高 38m,上节混凝土沉井高 38m。沉井平面分为 12 个隔仓,四角采用圆端型倒角,倒角半径 8m,见图 1-10。沉井下沉到设计位置时底面标高为 -70.00m,封底混凝土厚度 11m。中塔墩位处为感潮河段,水深约 20m,最大水流 2.61m/s ,较恶劣的自然条件给基础施工带来了巨大的挑战。

首节 8m 高钢壳沉井在专业钢结构制造厂内拼接,整体浮运至专用码头处进行水上接高

至 38m。根据前期河工模型试验的研究成果,沉井定位着床时间选择在 2007 年 12 月初长江枯水位季节,利用上下游锚墩定位系统和基于 GPS RTK 技术的可视化信息监控系统,最终沉井精确下沉至-70m 标高处,沉井顶面平面误差控制在 30cm 以内,倾斜度控制在 1/360 以内,填补了当时国内外该技术领域的多项技术空白,也为日后深水大型沉井建造提供了很好的借鉴。

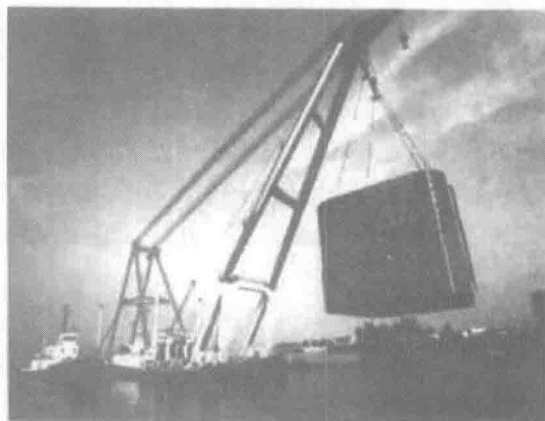
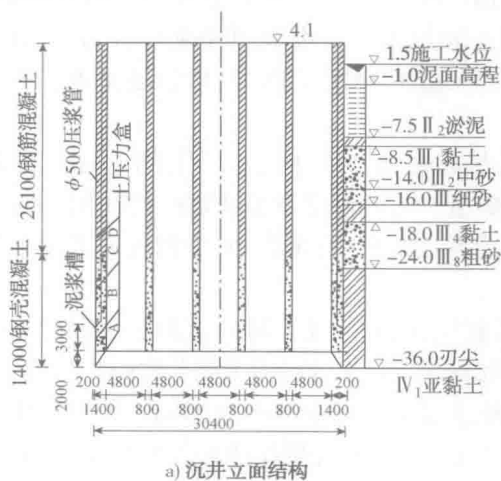


图 1-9 海口世纪大桥主墩沉井基础(尺寸单位:mm)

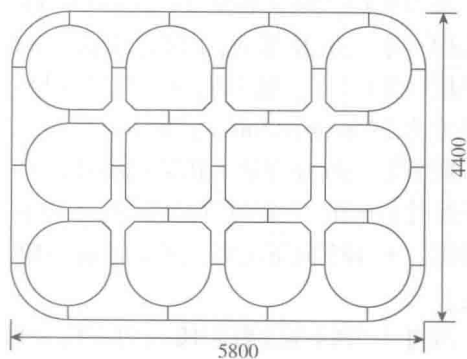
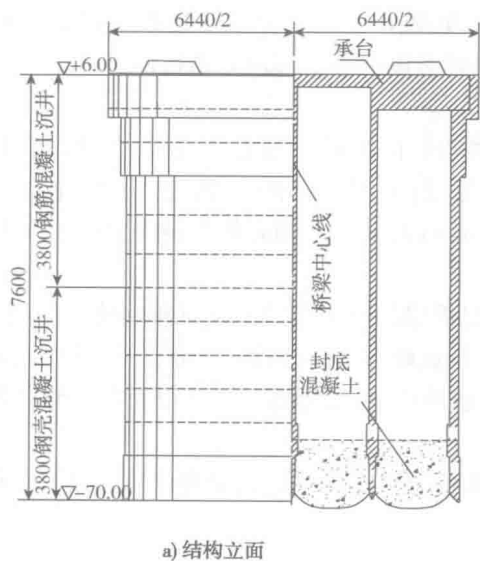


图 1-10 泰州长江公路大桥中塔沉井基础结构(尺寸单位:cm)

2) 陆上沉井基础应用实例

(1) 江阴长江公路大桥

江阴长江公路大桥为主跨 1385m 悬索桥,其北锚碇采用大型陆上沉井基础(图 1-11),为矩形多舱沉井,长 69m、宽 51m,下沉深度为 58m,共分为 36 个格仓。井位主要土层为亚黏土、亚砂土、粉砂、含砾中粗砂等。

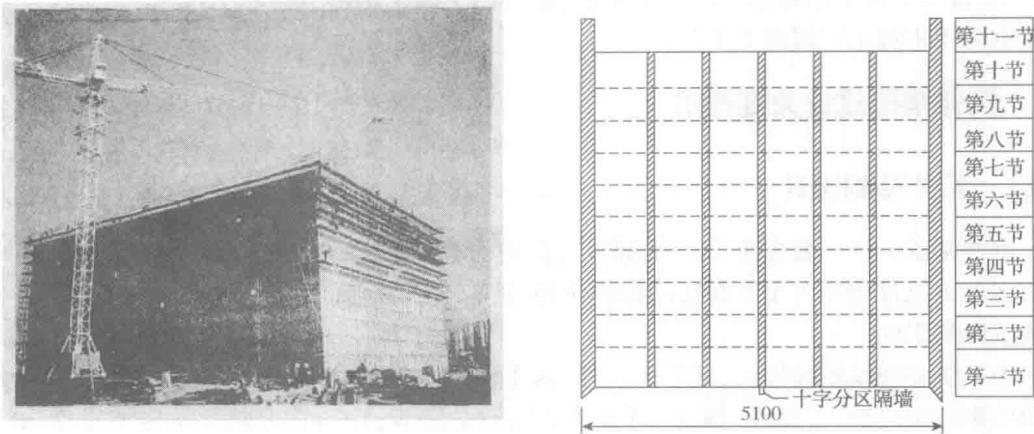


图 1-11 江阴大桥北锚碇施工(尺寸单位:cm)

该沉井施工规模大,地质条件复杂且邻近长江大堤,施工的难度和风险均较大。沉井下沉方案为排水下沉 29m 深,不排水下沉也为 29m,分 11 次接高,4 次下沉。采取空气吸泥法进行取土下沉,顶部设有 12 台轨道式门吊配吊重 10t 的电动葫芦作为取土的辅助起重设备。沉井下沉过程中采用了空气幕法助沉措施,同时对井内泥面标高、沉井顶面位置,周边地表沉降等进行了监测,指导沉井下沉施工。

(2) 马鞍山长江大桥北锚碇沉井

马鞍山长江大桥为主跨 1080m 的三塔连续悬索桥,南北锚碇均采用陆上重力式沉井基础。其中北锚碇沉井长和宽分别为 60.2m 和 55.4m(首节沉井长和宽分别为 60.6m 和 55.8m),沉井高 41m,共分 8 节,第 1 节为钢壳混凝土沉井,高 8m;第 2~8 节均为钢筋混凝土沉井,其中 2~6 节段高 5m,第 7 节高 3.5m,第 8 节高 4.5m,沉井封底混凝土厚为 8m,如图 1-12 所示。

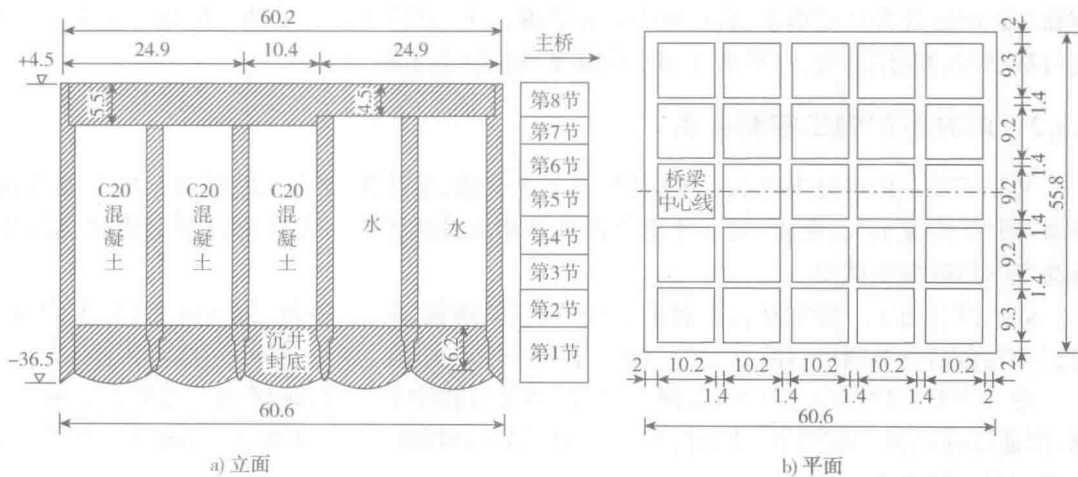


图 1-12 马鞍山长江大桥北锚碇沉井基础结构(尺寸单位:m)

首节钢壳沉井拼装前,采用“砂桩复合地基加固”处理地基,砂桩加固后,换填地表 2.5m 范围内的软弱土层;其上进行首节 8m 高钢壳拼装,并浇筑舱内 7m 高混凝土;沉井分 3 次接

高下沉,首次下沉采用排水下沉施工工艺,第二次下沉采用部分排水下沉施工工艺,最后一次下沉采用不排水下沉施工工艺。

1.3 沉井基础建设关键技术

1.3.1 沉井基础设计

沉井基础设计一般按重力式基础进行计算分析,需满足承载力、稳定性以及变形的要求。沉井下沉过程中由于不断扰动周围土体,应充分关注施工工艺对沉井结构及地基承载力和沉降的影响。

由于沉井规模不断加大,其平面尺寸、入土深度也越来越大,下沉过程受地层不均性及阻碍物影响风险加大,设计时需特别重视结构构造细节,特别是刃脚及结构节点处构造处理。确保沉井下沉过程中,在较多不确定因素条件下的结构安全。

设计计算主要包括:地基承载力计算,抗倾、抗滑稳定性验算,基础沉降计算,沉井下沉验算,沉井结构验算及抗浮验算等内容。

考虑到沉井下沉过程中,不断扰动周围土体,土壤的物理力学性能指标恢复指标不易精确确定,在桥梁沉井基础设计中一般不考虑沉井井壁四周土体对沉井基础的嵌固有利作用,按扩大基础计算,其计算模型为上部结构传来作用力以及结构自身重量、水流波浪、船撞力、地震等作用水平力与沉井基底反力、基底摩阻力。

对于承受较大竖向力作用的墩台和索塔基础,一般选择埋土体物理力学性能较好持力层,并通过沉井结构周围的深厚土层的边载作用,获取较大的基底垂向承载力。同时,在封底混凝土完成后,井孔内充填水,置换沉井下沉过程中的土体,减少了地基土的负荷,成为补偿性基础。

对于受水平力作用较大的锚碇基础,为减少基础前趾产生的较大的应力,避免基础产生较大变形,影响桥梁正常使用,通常通过调整沉井井孔内不同重度回填料,增加结构稳定力矩,例如在近前趾处井孔充填水、后趾处井孔充填混凝土、中间井孔充填砂等措施。还应确保基底与基础间的摩擦系数,以平衡作用于锚碇基础的巨大水平力。

1.3.2 沉井下沉施工控制要点

沉井下沉一般可分为初沉、中沉及终沉三个阶段,各个阶段施工控制目标各有侧重,应根据沉井结构及水文、地质、周围环境条件制订相应的技术方案及针对性预案措施,必要时辅助室内物理模型试验。

陆上沉井施工一般包括首节制造、下沉、接高、纠偏、助沉、终沉、封底等工序;水中沉井施工一般包括首节制造、浮运、定位、着床、接高、下沉、纠偏、助沉、终沉、封底等工序。

在沉井下沉过程中,应加强监测与监控,加强过程中的管理,确保施工过程得到有效控制,保证沉井顺利下沉到位。同时,沉井作为桥梁运营期的基础结构,还应满足永久结构的使用和耐久性要求。

1) 初沉阶段控制

(1) 陆上沉井

陆上井址处上部地质一般为软弱土层,应制订完善的沉井制作及首次下沉工况控制条