

特大型桥梁 深水高桩承台基础 施工技术

主 编 张 鸿 刘先鹏
副主编 王海怀 肖文福 徐 伟

中国建筑工程工业出版社

U

U445.55

2

特大型桥梁深水高桩承台基础 施工技术

主 编 张 鸿 刘先鹏

副主编 王海怀 肖文福 徐 伟

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

特大型桥梁深水高桩承台基础施工技术/张鸿, 刘先

鹏主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07740-0

I. 特... II. ①张...②刘... III. 承台-桥梁基
础: 桩基础-工程施工-施工技术 IV. U445.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 113159 号

本书主要以苏通长江公路大桥主塔 4 号墩基础施工为主, 同时兼顾其他几个辅助桥墩基础的施工, 较全面地反映特大型桥梁中深水高桩承台基础的施工技术。本书可供国内同行借鉴, 也可作为土建专业人员的参考资料。

* * *

责任编辑 郦锁林

责任设计 肖广慧

责任校对 汤小平

特大型桥梁深水高桩承台基础施工技术

主 编 张 鸿 刘先鹏

副主编 王海怀 肖文福 徐 伟

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京铁成印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 411 千字

2005 年 10 月第一版 2006 年 5 月第二次印刷

印数: 1501 - 3000 册 定价: 42.00 元

ISBN 7-112-07740-0

(13694)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

我国桥梁深水基础技术从 20 世纪 50 年代开始,发展至今已进入了国际水平。深水基础的施工,直接受到深水环境的影响,并且随着水深的增加,未知及可变的技术因素也相应增加,其施工技术的难度也急剧增加。

苏通长江公路大桥位于江苏省东部的南通市和苏州(常熟)市之间,是交通部规划的黑龙江嘉荫至福建南平国家重点干线公路跨越长江的重要通道,也是江苏省公路主骨架网“纵一”——赣榆至吴江高速公路的重要组成部分,是我国建桥史上工程规模最大、综合建设条件最复杂的特大型桥梁工程。苏通大桥工程主要由北岸接线工程、跨江大桥工程和南岸接线工程三部分组成,跨江大桥工程总长 8206m,其中主桥采用双塔双索面钢箱梁斜拉桥。斜拉桥主孔跨度 1088m,列世界第一;主塔高度 300.4m,列世界第一;斜拉索长度 580m,列世界第一;群桩基础平面尺寸 $113.75\text{m} \times 48.1\text{m}$,列世界第一。

鉴于苏通大桥深水基础施工技术的难度比其他桥梁大,具有独特性,为提高我国桥梁建设水平,中港二航局组织同济大学一起编写了《特大型桥梁深水高桩承台基础施工技术》这本书,既可供国内同行借鉴,也可作为土建专业的参考资料。本书由张鸿、刘先鹏主编,王海怀、肖文福、徐伟副主编,参加编写的还有何平、丁峰、张国志、姚蓓、高纪兵、左明昌、姚平、彭强、秦宗平、黄朝晖、何关健、黄文学、陶建飞、王周瑜、刘亚东、胡安祥、杨昌维、骆艳斌、陈灿、李绍辉、宋灿、谢小松等。

本书主要以苏通长江公路大桥主塔 4 号墩基础施工为主,同时兼顾其他几个主桥辅助墩基础的施工,较全面地反映特大型桥梁中深水高桩承台基础的施工技术。全书共包括八章:第一章,桥梁基础施工技术概述;第二章,深水区高桩平台的施工准备;第三章,施工平台搭设;第四章,钻孔灌注桩施工;第五章,河床永久性防护;第六章,钢吊箱施工;第七章,大体积混凝土承台施工;第八章,通航安全措施。

本书主要以苏通大桥基础施工的技术为依托,在编写过程中也参考了其他相关资料,在此向所有原作者表示感谢。由于编者水平有限,加上时间紧,书中难免会有不妥之处,恳请读者不吝批评指正。

编 者
2005. 6

目 录

前言

第一章 桥梁基础施工技术概述	1
第一节 桥梁基础类型	1
第二节 桥梁深水基础施工技术及其特点	4
第三节 桥梁深水基础工程实例	8
第二章 深水区高桩平台的施工准备	30
第一节 施工区水文、地质勘察资料准备	30
第二节 粉细砂河床底冲刷规律	35
第三节 施工测量	38
第三章 施工平台搭设	43
第一节 施工平台概述	43
第二节 施工平台形成工艺	45
第三节 钢管桩平台的搭设	49
第四节 护筒区平台的搭设	56
第五节 钢护筒垂直度控制措施	64
第六节 施工平台防撞措施	65
第四章 钻孔灌注桩施工	67
第一节 准备工作	67
第二节 试桩	75
第三节 钻机	76
第四节 PHP 高性能泥浆	79
第五节 成桩施工	81
第六节 高强度水下混凝土的配置	101
第七节 灌注桩桩底注浆	102
第八节 桩身质量控制及检测技术	109
第五章 河床永久性防护	116
第一节 河床冲刷计算	116
第二节 调治构造物	121
第三节 河床护底施工工艺以及动态控制	122
第六章 钢吊箱施工	126
第一节 钢吊箱概述	126
第二节 钢吊箱设计计算	134
第三节 钢吊箱施工工艺流程及施工方法	164
第四节 钢吊箱定位技术措施	180
第五节 自密实混凝土在封底混凝土中的运用	186

第六节 钢吊箱施工安全监测 209

第七章 大体积混凝土承台施工 229

第一节 高性能混凝土的配制技术 229

第二节 大体积混凝土裂缝控制的一般措施 240

第三节 4号主墩承台大体积混凝土温控设计 244

第八章 通航安全措施 256

第一节 船舶通航维护 256

第二节 防撞措施 257

参考文献 263

第一章 桥梁基础施工技术概述

第一节 桥梁基础类型

一、概述

随着社会的发展、交通运输需求量的扩大以及桥梁建设技术水平的不断提高，一大批跨江河、海峡的深水大跨桥梁陆续涌现，成为城市中不可或缺的一道风景。而这些大型桥梁的建设，不论是在规模和结构上的扩大与复杂，还是在施工环境中的影响与多变，都对其设计和施工提出了很高的要求，并给工程增加了相当的难度。虽然目前国内外桥梁施工技术已有不少成功的经验，但是尚未形成一个完整的体系，而每一个新的工程总会呈现出一些新的问题和困难，并不能只依靠借鉴以往的工程经验去解决，得具体问题具体分析，不断改进施工技术。

桥梁都建造在一定的地层上，桥梁结构的全部荷载都由下部地层来承担。受桥梁结构影响的那一部分地层称为地基（ground），桥梁下部结构与地基接触的部分称为基础（foundation）。桥梁上部结构为桥跨结构（bridge superstructure），而下部结构包括桥墩（bridge pier）、桥台（abutment）及其基础，如图 1-1 所示。

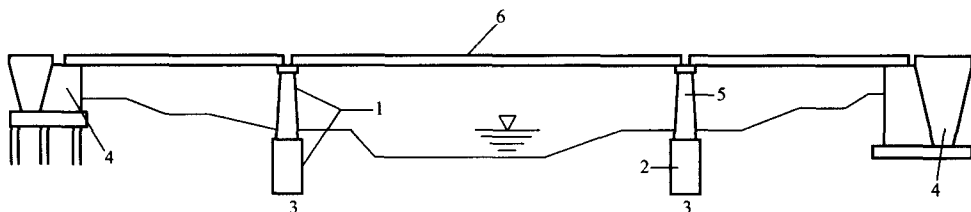


图 1-1 桥梁结构各部位立面示意图

1—下部结构；2—基础；3—地基；4—桥台；5—桥墩；6—上部结构

桥梁基础根据其埋深分为浅基础（shallow foundation）和深基础（deep foundation）。将埋置深度较浅（一般在数米以内），且施工简单的基础称为浅基础；由于浅层土质不良，需将基础置于较深的良好土层上，且施工较复杂的基础称为深基础。基础埋置在土层内深度虽较浅，但在水下部分较深，如深水中桥墩基础，称为深水基础，在设计和施工中有些问题需要作为深基础来考虑。

工程实践表明：桥梁的地基与基础的设计和施工质量对整个桥梁结构的质量和正常使用起着巨大的影响。基础工程是隐蔽工程，如由缺陷，较难发现，也较难弥补和修复，而这些缺陷往往直接影响整个桥梁结构的使用甚至安全。基础工程的施工进度，常常控制着整个桥梁工程的施工进度。下部工程的造价，通常在整个桥梁造价中占相当大的比例，尤

其是在复杂的地质条件下或深水条件下修建桥梁基础更是如此。因此，对桥梁基础工程必须做到精心设计、精心施工。

二、桥梁深水基础类型

多年来，我国桥梁工程界通过建造跨越长江的大跨度桥梁，已经积累了 30m 左右水深条件下各种深基础的施工经验。桥梁深水基础技术从 20 世纪 50 年代开始发展至今，已进入国际先进水平。但我国公路桥梁发展较晚，近 20 年才有较大规模的发展，而铁路桥梁发展相对较早。从已施工的基础形式看，可以粗略地将其划分为三个发展阶段。

第一阶段为大力发展管桩及混凝土桩基础。20 世纪 50 年代因修建武汉长江大桥的需要，首创管桩基础，自此管桩直径由 1.5m 发展到 3.0m、3.6m、5.8m；由普通钢筋混凝土发展到预应力钢筋混凝土。

第二阶段为大力发展沉井和钻孔桩基础。20 世纪 60 年代因修建南京长江大桥的需要，由于施工水深达 30.5m，覆盖层厚度达 54.87m，发展了重型沉井、深水浮运钢筋混凝土沉井和钢沉井；又因成昆线的需要，开始较大规模发展钻孔桩基础。

第三阶段为大力发展复合基础。20 世纪 70 年代由于修建九江长江大桥的需要，首创了双壁钢箱围堰钻孔桩复合基础；20 世纪 80 年代，在修建茅岭江铁路大桥时采用了平台式套箱围堰；在修建肇庆西江大桥时除了采用钻孔桩、沉井及钢管桩基础外，还采用了双承台钢管桩基础。

根据目前国内外已建成的桥梁深基础情况，其类型主要有：桩基础（包括打入桩基础和钻孔桩基础）、管柱基础、沉井基础、组合基础（包括沉井加管柱基础和沉井加钻孔桩基础）和特殊基础（包括双承台管柱基础、锁口管柱基础、多柱基础、连续墙基础、沉箱基础和设置基础）。桥梁深水基础类型见图 1-2。

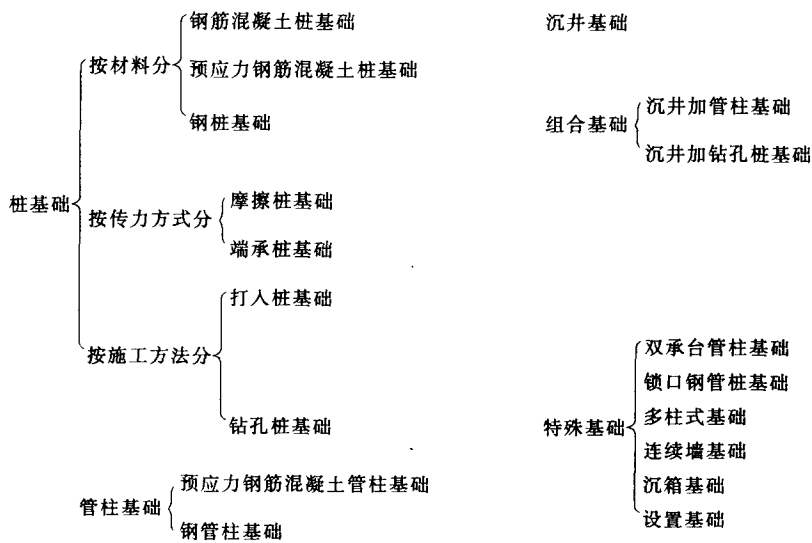


图 1-2 桥梁深水基础类型

目前，国内也已经成功施工了最大水深达 70 余米的深水基础，这表明我国深水基础的施工技术水平已接近和达到世界先进水平。

1. 桩基础

桥梁深水桩基础是桥梁深水基础形式中最为经济的基础形式。桩基础与其它形式的深基础相比,具有以下优点:

(1) 桩基所需沉入的深度要比沉井、沉箱所需下沉的深度小;

(2) 当沉井、沉箱与桩的深度相等时,桩基础的用料少 40%~60%。因此,桩基的造价一般比沉井、沉箱低一些;

(3) 桩基刚度小。在流速大、冲刷深的情况下,桩径将会随着冲刷深度的增大而增大。

桩基础是由承台座板(也简称承台)把一组(最少两根)桩连接在一起的基础。承台多为现浇的钢筋混凝土结构,是一个变形远小于位移的刚性板或梁。

桥梁深水桩基础的形式,可按承台分成为:水上高承台桩基础;水下高承台桩基础;低承台桩基础;高低双层承台桩基础。

桥梁深水桩基础按照成桩方法分为打入桩(包括振入、压入、旋入)、钻孔灌注桩及钻孔埋设预制桩三大类型。

2. 管柱基础

管柱基础是我国于 1953 年修建武汉长江大桥时所首创的一种新的基础形式。管柱基础主要由三部分组成:一是承台座板,二是管柱柱身,三是嵌岩柱塞。

(1) 钢筋混凝土承台座板

钢筋混凝土承台座板,一般简称承台,其作用是:将管柱顶连接为一个整体;通过它将上部结构传来的荷载分配传递到每根管柱上;将柱顶锚固在承台内,以抵抗外力矩。

(2) 柱身

管柱柱身是由若干节管柱拼接而成,而管柱节有钢筋混凝土管节、单壁钢管节、双壁钢管节等。另外,在管柱内常需增加钢筋笼和填充混凝土。

(3) 嵌岩柱塞

管柱基础的特点之一就是在柱底钻孔嵌岩,柱塞底混凝土应与管柱内的填充混凝土同时灌注。柱塞内的钢筋,其下端应插至孔底,上端应深伸入管柱内计算的长度。这样,嵌岩柱塞就将预制管柱和岩层结合在一起,形成一压弯构件。

管柱基础还按其承台座板的高低分为:低承台管柱基础;漫水高承台基础;出水高承台基础(即日本常采用的多柱式基础)等三种。

3. 沉井基础

沉井基础刚度大,能承受对基础作用的较大弯矩,且沉井基础有较大的承载面积。当桥梁的上部荷载较大,基础需要埋设较深时,沉井基础也是常用的基础类型之一。

沉井基础作为桥梁深水基础的另一特点是,在其下沉过程中,可以自身防水,避免了桩和管柱基础中的防水围堰。深水浮运沉井的类型有:带临时井底的沉井、双壁浮运(空体自浮)沉井、带钢气筒的浮运沉井。

4. 组合基础

在水深很深、且有非常厚的覆盖层或地质条件很复杂的情况下,当施工技术无法将单一形式的基础下沉到达预期深度时,可以采用两种不同形式的基础,以接力的方法来修筑桥梁深水基础,通常称这种形式的基础为组合基础。

组合基础所说的组合,指的是在外形结构上的组合,而不是指两种基础作用与性质上

的组合。例如，沉井加管柱组合基础，曾在南京长江大桥 2、3 号墩上用过；沉井加钻孔灌注桩组合基础，曾在广东江村南北大桥的南桥各墩台和北桥南台基础中采用。

5. 特殊基础

随着桥梁跨度不断增大，基础入水深度不断增加，尤其是近年来国外海湾、海峡大桥不断兴建，针对一些特殊的复杂自然条件，采用了一些特殊基础，例如：

(1) 针对水深、覆盖层浅及岩性复杂的情况，我国首创了“双承台钢管基础”，其特点是将结构主体与施工工艺密切结合，使施工辅助工程大幅压缩而形成的一种施工上直接一体化的桥梁深水基础结构。在修建广茂线肇庆西江大桥 4 号墩基础工程时首先采用。

(2) 在海洋中修筑管柱基础时，不能使用难以抵抗海上大风的大浪的围堰来降低承台标高，日本采用加大管柱直径，并将承台提高到水面以上，称此结构形式为多柱式基础。如日本的大岛大桥、大鸣门桥、横滨湾大桥和伊唐岛大桥等。

(3) 地下连续墙也是一种特殊的桥梁基础形式。日本将墙用“接头”的形式在平面上连接成一个封闭的矩形、八角形、井字形或圆形等不同的结构形式的地下连续墙基础作为特殊的桥梁基础形式。

(4) 沉箱基础就是将沉井底节做成一个有顶盖的施工作业工作室，然后在顶盖板上装设井管及气闸，也称为气压沉箱。当桥梁深水基础需修建在透水性很大的土层中且含有难于处理的障碍物，或基底需要经过特殊处理的情况下，沉井无法下沉时，可采用沉箱基础。沉箱基础主要由顶盖、刃脚、工作室、箱顶砌体、升降井孔、气闸及箱顶管路组成。

第二节 桥梁深水基础施工技术及特点

一、桥梁深水基础主要特点

桥梁深水基础，不仅深水环境对它产生许多直接作用，而且深水对其设计理论和施工技术都会提出一些特殊问题。例如，不论是基础类型的选择、基础埋深的确定、外荷载或作用力的计算以及地基承载力与沉降量确定等问题，均与水深有关。因此，认识桥梁深水基础的特点是必要的。初步归纳，桥梁深水基础的主要特点有：

1. 基础所受到的水平力、如水流冲击力、船舶碰撞力、水压力、水撞力、波浪力等，都要比陆上或浅水基础大的多；

2. 深水基础除了考虑环境水的侵蚀，还需要考虑潮汐、洪水以及流水所夹砂石与流冰的直接碰撞、磨损问题；

3. 深水基础的稳定性与可靠度，一般常受水文条件控制，所以对桥梁深水基础，水文条件与地址条件具有同样重要的地位；

4. 深水基础类型的选择一定要慎重考虑，并作全面的可行性分析，因为它不仅关系到基础造价高低，还直接影响到桥梁工程的成败、质量和工期；

5. 深水基础应具有高抗自然灾害的能力，这要求其勘测设计作大量、细致的勘测。由于深水基础的地基勘测均需在水下进行原位勘测，工作条件差，要取得真实、可靠的数据难度大，这就要求其勘测手段更先进、可靠；

6. 深水基础属于水下隐蔽工程，其设计与施工必须将水流速度、水深深度等因素及

由深水所引起的其他约束条件联系起来综合分析，并采取相应措施；

7. 对于海湾、海峡和近海岛屿间的近海桥梁深水基础，更应考虑海洋环境产生的荷载，如由台风、巨浪、大潮所产生的巨大水平力，应成为其设计和施工中必须考虑的重要控制条件；

8. 根据桥梁深水基础的现状和发展来看，目前在水深大于100m的深水中修建的桥梁基础尚无先例，但海洋大陆架最大水深可达200m，而现在世界上最深的水下建筑，即1998年美国墨西哥湾修建的Bullwinke石油钻井平台，水深达411m。因此，在水深200m条件下修建海上桥梁深水基础是可能的，但随着水深的增加，未知及可变的技术因素也相应增加，其设计和施工的难度也将急剧增加。

二、深水基础施工技术及其特点

1. 深水基础施工平台

深水基础钻孔桩一般为大直径，施工时受洪水、通航、大流速和冲刷的影响，为排除施工干扰，必须在桩位设置工作施工平台。施工平台是钢护筒下沉定位的导向辅助平台；是桩基础钻孔、水下混凝土灌注的作业平台；是基础施工机具、材料临时堆放的场地；是双壁钢围堰施工拼装、下沉的支承平台。

平台的施工根据平台的构造分类不同而不同。深水桩基施工平台分为固定施工平台和浮动施工平台两种类型。部分国内深水桩基施工平台实例见表1-1。

国内深水桩基施工平台实例一览表 表 1-1

工程名称	平台形式	平台构造	固定平台受力方式
鄂黄长江公路大桥	固定平台	平台基础由钢管直桩和斜桩组成；钢管桩顶端纵横布设由2工56b组成的承重钢主梁；在承重钢主梁上搭设高度为2m的万能杆件桁架；桁架上用5cm厚木板做平台铺装	钢管桩单独受力
佛开高速公路九江大桥	固定平台	钢管桩作为平台支撑；角钢焊制成桁架作为纵、横向连接；贝雷桁架作为承重梁；45号工字钢和5cm木板作为平台铺装	钢管桩单独受力
岳阳洞庭湖大桥	固定平台	用钢管桩作为支撑基础；管内灌满黄砂增加强度；其上放置工字钢、贝雷架、工字钢轨道；钢管桩之间用[22槽钢作剪力撑和横向连接整体	钢管桩单独受力
利津黄河公路大桥	固定平台	φ80cm混凝土钻孔灌注桩作为平台基础；其上布置工55型钢作为纵横连接及分配梁	钻孔桩单独受力
尖山跨海大桥	固定平台	在钢护筒顶部加工一个井字槽钢架；在井字架的槽钢上加焊限位钢板，使其准确就位	钢护筒单独受力
蚌埠朝阳淮河公路大桥	固定平台	钢管桩作定位、支撑系统；钢护筒顶端加焊牛腿；用16号槽钢加固纵、横向连接及平台钢管桩与桩护筒间相互连接，保证平台的稳定和抗扭	钢管桩与钢护筒共同受力
黄石长江公路大桥	固定平台	以双壁钢围堰作为平台基础；用N型万能杆件组拼成桁架结构；上弦连接工56工字钢；设16个支座与钢围堰焊接	双壁钢围堰
泰和赣江特大桥	浮动平台	浮箱平台用海军锚定并准确定位，再打φ325mm钢管桩锚定	—
隆沪铁路濂溪河铁路桥	浮动平台	钻探船设计采用桶筏积木式，用若干个油桶组成；对钻探船进行平面锚固定位和垂直升降定位	—
女姑山特大桥	浮动平台	浮动平台采用中-60浮箱、箱形钢梁、标准梁节组拼；将定位桩打入淤泥黏土中一定深度，使浮动平台只能随潮水升降，而平面位置不变	—

固定施工平台按构造形式分为支架施工平台和围堰施工平台。支架施工平台包括木桩施工平台、钢筋混凝土桩施工平台或型钢、钢管桩施工平台等。围堰施工平台包括钢套箱围堰施工平台、钢板桩围堰施工平台、浮运薄壳沉井施工平台。支架施工平台按组成平台的构造可分为型钢平台、桁架平台和型钢与桁架组合平台；按平台的受力方式可分为钢管桩单独受力、钢护筒单独受力、钢管桩与钢护筒同时受力三种类型。固定施工平台的优点为：结构简单，相对固定，在成孔过程中对成孔质量有保证。缺点为：周转材料使用多，周期长，平台构架和定位桩的拆装比较费事；且因其平台构架均在施工水位以上，桩的自由长度较长，刚度较差，有头重脚轻之弊。当平台受到较大水平力，如风力、水流冲击力等或冲刷较大时，平台容易失稳。

浮动施工平台是深水中完成钻孔桩基础施工的一种简便而有效的方法，它是指利用水上设备（民用船舶或工程浮箱）以及军用器材等搭设作业平台进行钻孔桩施工的方法，适用于水流较平稳，波浪小，流速不大，通航压力小的河流中深水钻孔桩基础施工。按构造形式分为浮船、六七式标准舟节、浮箱等。浮动施工平台的优点为：结构简单、架设较为简单；可充分利用制式器材，方案灵活性大；投入施工快，显著缩短工期；容易改装成套箱拼装下沉用平台，能节省大量时间；受潮汐水位变化的影响小，抗洪能力强。平台可随水位上浮下沉，在涨水时可继续施工，确保施工进度。缺点为：占用较多水上设备和器材；占用较多河道，一定程度上影响通航，在河道通航繁忙、流速较大的河流中实施比较困难；定位需要较庞大的锚锭系统；钻机施工过程中晃动大，钻进效率低，且不能适应大扭矩、大功率的回旋钻机。

2. 围堰施工

深水基础施工方案主要取决于当地地质条件。从施工方面来看，钻孔灌注桩基础的施工有分为先下钢围堰后成桩和先成桩后下钢围堰两种施工方案。

（1）先下钢围堰后施工钻孔桩方案

先下钢围堰后施工钻孔桩方案具有以下优点：

- 1) 钢护筒厚度及长度减少易于准确定位；
- 2) 节省钻孔平台钢管桩钢材也可节省加工焊接及施工桩的费用；
- 3) 节省钻孔平台的稳定措施费。

若无覆盖层或覆盖层很浅时宜采用先下钢围堰后施工钻孔桩方案。

先下钢围堰后施工钻孔桩方案流程见图 1-3。

（2）先成桩后施工钢围堰方案

先成桩后施工钢围堰方案具有以下优点：

- 1) 施工快，从施工钻孔平台钢管桩、架设平台至开钻时间短；
- 2) 可降低钢围堰高度，节省工期，降低造价；减少双壁钢围堰夹壁混凝土量；
- 3) 避免岩面高低不平时，钢围堰不规则的高低刃脚着岩难度；
- 4) 清除钻渣难度减小；
- 5) 封底混凝土量可减少。

因此，先成桩后施工钢围堰方案常被用于覆盖层较厚，且覆盖层较软、承载力较小，工期和造价有要求的工程中，如图 1-4 所示。

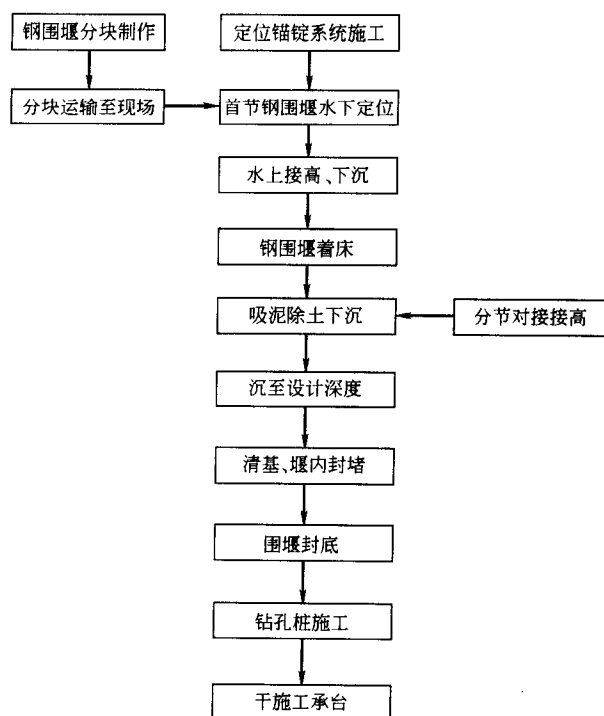


图 1-3 先下钢围堰后施工钻孔桩方案流程图

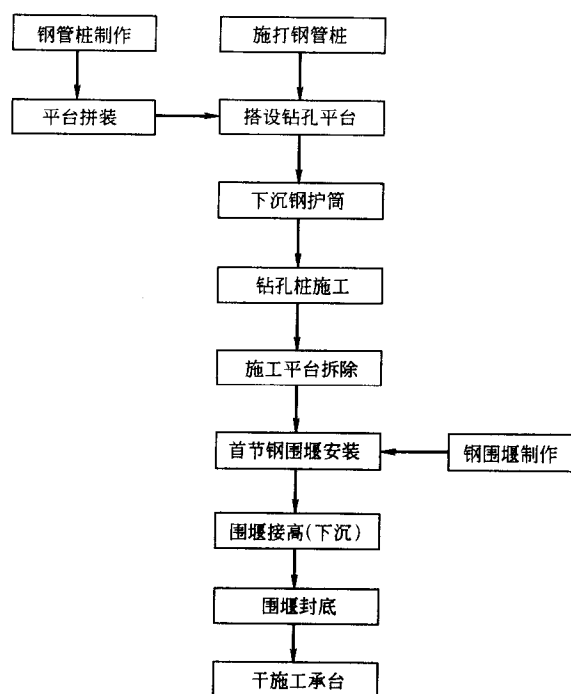


图 1-4 先成桩后施工钢围堰方案流程

第三节 桥梁深水基础工程实例

一、海口世纪大桥主墩沉井施工技术

1. 工程概况

海口世纪大桥位于海南省海口市北部海甸河入海口处，大桥全长 2262m，主桥为 147m+340m+147m 双塔双索面钢筋混凝土斜拉桥，主塔高 106.9m，外观为钻石形。大桥于 1998 年 3 月正式开工，于 2003 年 1 月建成通车。

大桥南北主墩（S1、N1）采用沉井基础。主墩处最高潮位 4.25m，最低潮位为 -0.28m，常水位 1.5m。土层结构依次为淤泥、黏土、中砂、细砂、黏土、粗砂、细砂、黏土与细砂互层。

2. 沉井制作

(1) 沉井构造

世纪大桥主墩基础 S1、N1 为沉井基础，沉井沿高度方向共分 7 节，底节为钢壳沉井，长 30.4m，宽 19.2m，外墙厚 1.4m，内墙厚 0.8m，高 14m，内部分为 15 个井孔。第 2 节至第 6 节为钢筋混凝土沉井，平面尺寸为 29.8m×18.6m，外墙厚 1.2m，内墙厚 0.6m，高 26.6m，沉井构造见图 1-5。最后井顶一节因处于潮汐变化区段，为提高结构抗腐能力，采用防腐混凝土。沉井封底混凝土厚度为 5m。沉井顶面高程为 +4.1m，基底高程为 -36.5m，井底落在黏土层和黏土细砂互层上。

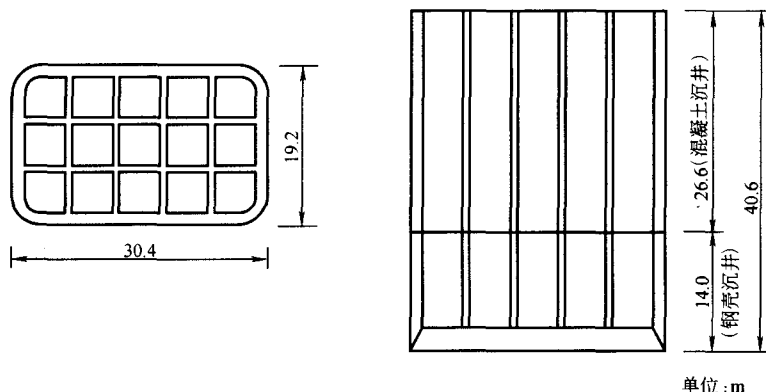


图 1-5 沉井构造示意

(2) 沉井钢壳制造

S1、N1 沉井的钢壳高 14m，S1 分为 3 个标准节，N1 分为 4 个标准节，每节平面尺寸为长 30m，宽 18.8m。钢壳均在陆上拼装场地拼装至 14m 高，然后由 500t 浮吊运至墩位处下沉就位。

采用砖砌墩来支撑钢壳内纵横隔仓，外围井壁刃尖直接在场地上布置枕木、钢板来支撑。然后在砌好的砖墩顶面上放好钢壳安装线，拼装遵循先内外后外原则进行，单元件利用钢壳一侧的塔吊吊装。刃尖在钢壳下水前先期浇筑 0.8m 厚的混凝土。

(3) 沉井钢壳整体吊装

沉井钢壳整体吊装见图 1-6。

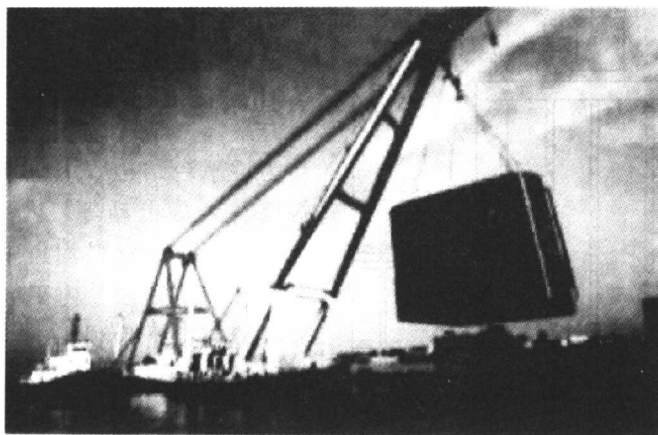


图 1-6 沉井钢壳整体吊装示意

经计算沉井钢壳的最终吊重为 4700kN，选用 500t 的起重船进行吊装。浮吊进场前对大堤外浮吊走行范围内的部分航道进行了疏浚。500t 吊船进场就位后，挂上钢丝绳，经多方联合检查验收无误后，对现场进行清理，然后进行试吊，试吊中各方均无异常情况后续壳重新吊起，后退 30m 左右起锚，借助 2600 匹马力拖轮的顶推在原地转 180°，在拖轮护航下抵达墩位处。

在墩位旁预先停泊一 400t 定位方驳，方驳长边与钢壳平行，距钢壳 2m。以定位好的方驳作为粗定位的参照物，然后 500t 浮吊携钢壳进入墩位处，钢壳缓慢沉放，期间吊钩始终保持 1000kN 以上的受力。刃脚入水后钢壳上预先设置的水管与定位方驳上的水泵相连，均匀对称地向钢壳隔仓壁内注水助沉。

当钢壳下沉到刃尖距基床顶面 2m 时进入精确定位阶段，定位采用前方交会法，临近一侧的岸上设 2 台经纬仪定位，另一侧岸上设 1 台全站仪作为校核。在钢壳的纵横两轴线设 4 个测点，通过实测值与理论值比较，确定钢壳的偏移位置，扭转方向，并及时通知吊船进行调整，逐步缓慢移动，边纠正边下沉。预先派潜水员对墩位处河床用高压水枪进行整平。当刃脚沉入河床时，经反复检验位置及标高无误后，并不马上脱钩，而是立即向沉井钢壳的 15 个隔仓回填砂，填至刃脚以上 3m 再松钩，500t 浮吊退场，立即在钢壳外利用开底泥驳回填砂，回填高度为 4~6m。

(4) 沉井钢壳内混凝土浇筑

钢壳内水下混凝土浇筑方量为 1128m³，强度 C20，浇筑高度 6.5m，共分 26 个隔仓。混凝土通过固定泵管由栈桥泵送到沉井边 400t 驳船上的储料斗内，然后用方驳的吊机将储料斗吊至浇筑位置，采用导管法浇筑水下混凝土，浇筑顺序为先四周后中间。钢壳内水下混凝土浇筑完成后，上部属于干浇混凝土，强度 C20，总方量为 1558 m³，输送采用泵送与搅拌车输送相结合。浇筑前须对老混凝土面进行处理，浇筑顺序为先四周后中间，顶部混凝土浇筑完毕 20h 后开始施工缝凿毛，并于 48h 内完成。

(5) 钢筋混凝土沉井滑升施工

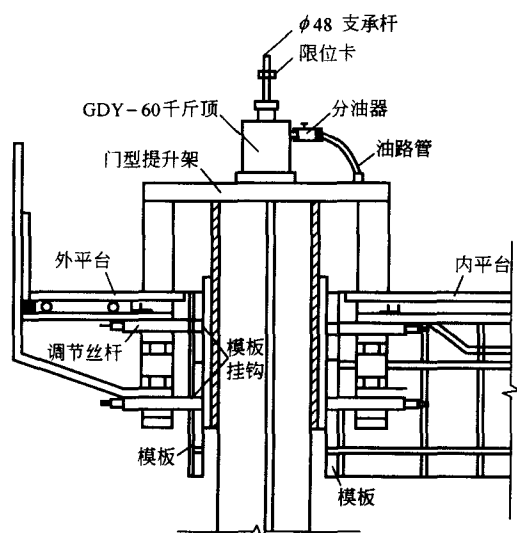


图 1-7 滑升系统示意

世纪大桥主墩沉井基础滑升施工高度为 26m，分 4 次进行滑升，每次滑升高度为 6m、9m、8m 和 3.1m，每米混凝土方量为 211m^3 。

滑升系统由模板系统、操作平台系统、提升系统三部分组成，见图 1-7。其中外平台为挑平台结构，用于绑扎钢筋、混凝土振捣及人员走动等。内平台为操作平台，大部分机具及材料均集中于平台上，为满足沉井下沉需要，内平台为活动平台。提升系统包括千斤顶、支承杆、针形阀、油管、油路、分油器、液压控制台与阀门等。千斤顶选用 GYD-60 型大吨位千斤顶共计 152 台。

各系统检查能正常运转后，进入始滑阶段。始滑高度为 90cm，分 3 次浇筑及提升，在始滑工程中检查滑模平台是否水平、各千斤顶工作是否正常，然后转入正常滑升。正式滑升过程中 2 次滑升的间隔不大于 1.5h，在气温较高时增加 1~2 次中间提升，每次 1~2 次个行程。

混凝土井壁偏移及扭转的测量与控制：在方便观测的平台四角设置测量标志，采用经纬仪观测平台的偏移和扭转情况，每滑一作业班测量 1 次，同时每滑 3m 高用吊线锤吊测模板四边的垂直度，出现偏差，则采用倾斜平台的方法徐缓纠正模板的偏差；操作平台每上升 50~60cm 作 1 次水平测量，并将水平标高标于各支承杆上，调整各千斤顶和限位卡，以控制平台的均衡提升，纠正平台的倾斜和扭转。

3. 沉井下沉工艺

(1) 不排水吸泥下沉方案

设备的选择：根据计算及沉井结构特点（内部有 15 个井格），每个沉井布置 15 台 $\phi 150$ 空气吸泥机。

管线布置：沉井下沉布置设备及管线较多，因此管线布置上遵循尽量延长主管线、总管线，减少支管线的原则和尽量利用滑模施工的支架设备布置，避免上穿井格的布置原则。

吸泥机的移动机构：吸泥机利用铺设在开型门架上的横梁和轨道进行水平移动，见图 1-8。纵横及上下向的移动则通过手拉葫芦及撬棒实现，工作时应经常移动吸泥机。

(2) 助沉措施

此次沉井下沉过程中采用的助沉措施有泥浆套助沉、高压射水、潜水员配合射水及排除障碍、潜水钻机钻吸、冲击锤破碎泥岩层、改用 $\phi 250$ 吸泥机等手段。

启用泥浆套，当沉井刃尖高程达到 -25m 左右，下沉系数已接近 1，开始采用泥浆套助沉技术。

泥浆套管布置在沉井钢壳 5m 高处，见图 1-9。采用泥浆套助沉时，必须保证井内水头比井外水头高 3m，以防止翻砂涌水破坏泥浆套。同时特别注意井内吸泥的对称作业，

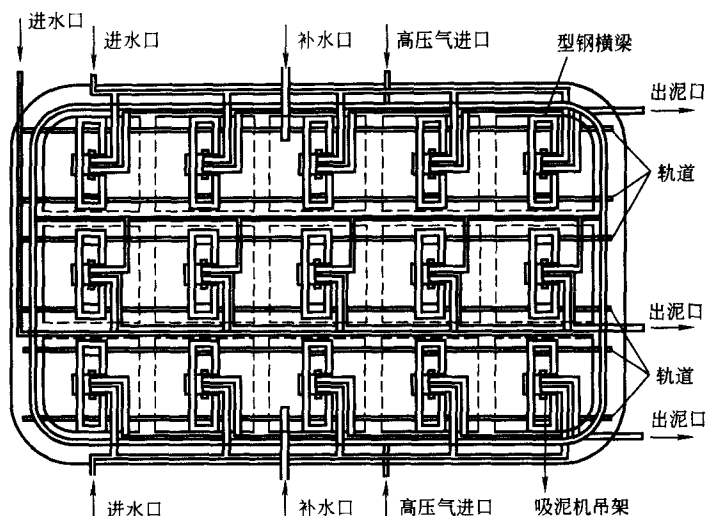


图 1-8 吸泥机布置示意

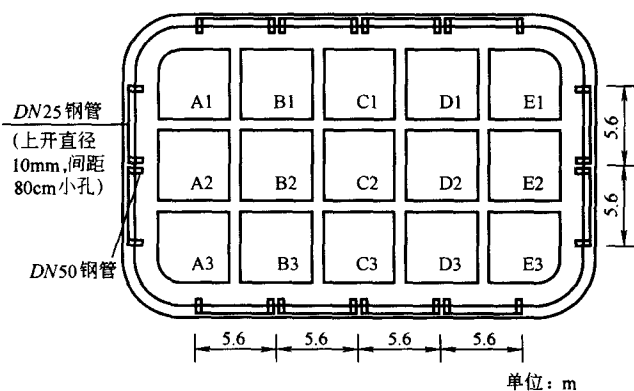


图 1-9 泥浆套布置

使沉井平稳下沉，并随时注意纠偏。

对于黏土和密实砂层，原高压射水设备采用单枝和双枝高压水枪装在吸泥管的两侧，但开始因为流速与流量的不足，效果不明显，后增大了水压，并派潜水员进行水底人工水平射水破土，改善了井格下和刃脚处的取土效果。

对于卵砾石胶结块，采用 $\phi 250$ 吸泥机，取得了较好的效果。

对于泥岩、砂岩夹层和粗砂胶结块，用 1.5t 冲击锤破碎成块，再由潜水员配合将碎块吊出井外。

(3) 终沉技术

当沉井下沉至设计标高 -36.0m 近 1m 左右时，沉井进入终沉阶段，为保证沉井最终稳定着床及清基时的稳定，采取了以下措施：

1) 控制下沉速度，主要以掏刃脚踏面的泥土来实现，吸泥机吸泥主要以尽量减小沉井高差为目的。

2) 开始对泥浆套固化，以确保沉井下沉到位后的稳定。