

# 港珠澳大桥岛隧工程 工厂法沉管预制

林鸣 董政 梁桁 卢永昌 著

科学出版社



# 港珠澳大桥岛隧工程 工厂法沉管预制

林鸣 董政 梁桁 卢永昌 著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书详细介绍了目前世界最大的超级沉管预制工厂设计、施工及33节沉管预制技术。依托港珠澳大桥沉管隧道工程,对预制技术集成了沉管钢筋流水线生产、大型自动化液压模板、混凝土全断面浇筑及控裂技术、7.8万t沉管顶推等成套技术进行了详尽介绍。通过工厂法技术的成功应用,该工程实现了超大型混凝土构件的工业化制造,攻克了世界首次曲线沉管工厂法预制难题,形成了近百项专利,实施的成果可大力推广至行业其他领域构件预制中,大大提高了土木行业施工标准化及品质。

本书可供高等院校道路工程、桥隧工程、土木工程等专业师生及相关专业工程技术人员参考使用。

审图号:GS(2018)5374号

图书在版编目(CIP)数据

港珠澳大桥岛隧工程工厂法沉管预制/林鸣等著. —北京:科学出版社, 2019.2

ISBN 978-7-03-060585-6

I. ①港… II. ①林… III. ①跨海峽桥—桥梁工程—工程技术—研究—中国②沉管隧道—隧道工程—工程技术—研究—中国 IV. ①U448.19②U459.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第032671号

责任编辑:郭勇斌 欧晓娟/责任校对:彭珍珍

责任印制:张克忠/封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年2月第一次印刷 印张:35 1/2 插页:2

字数:824 000

定价:228.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 港珠澳大桥岛隧工程工厂法沉管预制

主 编 林 鸣 董 政 梁 桁 卢永昌

副 主 编 吴凤亮 尹海卿 翟世鸿 梁杰忠 杨绍斌

陈伟彬 陈良志

编写人员（以姓氏笔画排序）：

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马 勇 | 王 李 | 王 俊 | 王晓东 | 方 东 |
| 申昌洲 | 吕勇刚 | 朱 成 | 刘可心 | 刘经国 |
| 李 阳 | 李 超 | 杨 红 | 杨秀礼 | 邹正周 |
| 汪华文 | 张文森 | 张宝兰 | 张 洪 | 陈 聪 |
| 陈 伟 | 陈海峰 | 林 巍 | 孟庆龙 | 姜立德 |
| 高纪兵 | 唐永波 | 黄文慧 | 黄清飞 | 屠柳青 |
| 彭晓鹏 | 戴双全 | 戴书学 | 魏 杰 |     |

# 序 言

经过一个世纪的发展,世界上有近 20 多个国家采用沉管隧道技术修建了一百多条沉管隧道。沉管隧道法理念产生于英国,实践于美国,发展于荷兰、日本和中国。著名的沉管隧道有连接欧亚两大洲的波斯普鲁斯海峡沉管隧道、连接丹麦与瑞典的厄勒海峡沉管隧道、连接韩国釜山与巨济岛的釜山沉管隧道以及我国被誉为“新世界七大奇迹”之一的连接珠海与香港的港珠澳大桥沉管隧道。

港珠澳大桥沉管隧道是当今世界上规模最大的公路沉管隧道,是世界上第一条深埋沉管隧道,也是中国第一次在复杂海况下建设的沉管隧道。沉管隧道长 6.7 km,其中沉管段 5664 m,由 33 节管节组成,标准管节长 180 m,采用混凝土自防水结构,重约 7.8 万 t;隧道最大水深近 50 m,最大埋深超过 20 m;设计使用寿命 120 年,建设标准遵循内地、香港、澳门三地标准就高不就低原则。可以说,在这样困难的条件下,要建设一条品质完美,滴水不漏的隧道,不管是在沉管隧道技术还处于起步阶段的中国,还是在世界范围都是极具挑战的。

如何将如此巨大的混凝土结构制造出来是摆在建设者面前的第一道难关。作为设计施工总承包单位,中国交通建设股份有限公司的工程师们遵循“大型化、工厂化、标准化、装配化”理念,在世界范围内做了大量调查及研究工作,走遍了珠江口所有可能选用的沉管制造场地,经过数十次方案论证,最终选择了珠海牛头岛作为预制工厂,用工厂法沉管预制方案代替干坞法预制方案。

然而,中国并没有工厂法沉管预制先例,世界上也仅有厄勒海峡沉管隧道有此经验,且厄勒海峡沉管隧道没有曲线沉管,能提供帮助和借鉴的只是一些概念性方案。因此,港珠澳大桥沉管工厂法预制技术难题只能靠自己攻克。

在港珠澳大桥岛隧工程全体参建人员的努力下,仅用 14 个月建设成了世界上规模最大的沉管预制工厂;集成开发了沉管钢筋流水线生产、全液压模板、混凝土全断面浇筑及控裂、管节顶推等成套技术;用 4 年多时间生产了 33 节巨型沉管管节,创造了浇筑百万方混凝土无浇筑裂缝的记录;首次实现了工厂法预制超大曲线沉管,丰富和发展了世界超大型混凝土构件工厂法预制技术。

撰写此书的目的是为了记录港珠澳大桥工厂法沉管预制从无到有的全过程建设经

验，包括方案比选、厂址论证、预制场设计与施工、工厂化流水线技术及工厂文化等，希望可以为国内外类似工程所借鉴，推进大型构件制造技术的进步。由于水平有限，本书难免有错误、遗漏及理解不全之处，还望读者不吝赐教，对此表示深深的感谢。

最后向参与了港珠澳大桥沉管工厂法预制的所有建设者们表示由衷的敬意。

作者

2018年12月

# 目 录

## 序言

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 概述</b> .....        | 1   |
| 1.1 沉管预制技术发展 .....           | 1   |
| 1.2 结构分类 .....               | 3   |
| 1.3 沉管预制方法 .....             | 6   |
| 1.4 港珠澳大桥岛隧工程沉管预制的限制条件 ..... | 8   |
| <b>第 2 章 预制方案论证</b> .....    | 13  |
| 2.1 厂址调研与论证 .....            | 13  |
| 2.2 南沙预制厂方案 .....            | 25  |
| 2.3 牛头岛预制厂方案 .....           | 34  |
| 2.4 方案比选 .....               | 43  |
| <b>第 3 章 工厂设计与施工</b> .....   | 44  |
| 3.1 工厂法预制总工艺 .....           | 44  |
| 3.2 总平面布置 .....              | 51  |
| 3.3 施工组织方案 .....             | 52  |
| 3.4 场地平整工程与深坞区、浅坞区开挖 .....   | 54  |
| 3.5 沉管预制厂房 .....             | 58  |
| 3.6 混凝土生产与输送 .....           | 103 |
| 3.7 深坞区与浅坞区 .....            | 115 |
| 3.8 生产、生活保障设施 .....          | 173 |
| 3.9 坞口航道 .....               | 191 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第 4 章 工厂联动调试</b> .....  | 196 |
| 4.1 概况 .....               | 196 |
| 4.2 模型试验 .....             | 196 |
| 4.3 深坞门、浅坞门调试 .....        | 253 |
| 4.4 深坞区、浅坞区灌水调试 .....      | 266 |
| <b>第 5 章 钢筋工程</b> .....    | 277 |
| 5.1 概述 .....               | 277 |
| 5.2 钢筋加工 .....             | 279 |
| 5.3 钢筋绑扎 .....             | 286 |
| 5.4 钢筋笼顶推 .....            | 296 |
| 5.5 体系转换 .....             | 301 |
| <b>第 6 章 模板工程</b> .....    | 310 |
| 6.1 概述 .....               | 310 |
| 6.2 模板总体设计 .....           | 311 |
| 6.3 底模 .....               | 312 |
| 6.4 内模 .....               | 316 |
| 6.5 侧模 .....               | 321 |
| 6.6 端模 .....               | 325 |
| <b>第 7 章 沉管混凝土工程</b> ..... | 327 |
| 7.1 概述 .....               | 327 |
| 7.2 原材料 .....              | 328 |
| 7.3 配合比 .....              | 335 |
| 7.4 沉管混凝土控裂 .....          | 357 |
| 7.5 混凝土输送及布料系统 .....       | 368 |
| 7.6 混凝土浇筑 .....            | 371 |
| 7.7 养护 .....               | 376 |
| <b>第 8 章 管节顶推</b> .....    | 378 |
| 8.1 限制条件 .....             | 378 |

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| 8.2 难点                | 379        |
| 8.3 顶推方案比选            | 379        |
| 8.4 主动支撑分散顶推技术        | 389        |
| 8.5 推移系统              | 398        |
| 8.6 无缘支撑系统            | 410        |
| 8.7 系统操作              | 413        |
| 8.8 实施效果              | 417        |
| <b>第 9 章 沉管预应力</b>    | <b>419</b> |
| 9.1 设计方案              | 419        |
| 9.2 永久预应力体系           | 420        |
| 9.3 预应力施工             | 424        |
| <b>第 10 章 预设、预埋工程</b> | <b>432</b> |
| 10.1 概述               | 432        |
| 10.2 管节接头预埋件          | 433        |
| 10.3 节段接头预埋件          | 443        |
| 10.4 封门及管内预设预埋件       | 447        |
| 10.5 管顶舾装预埋件          | 453        |
| <b>第 11 章 结构防水</b>    | <b>454</b> |
| 11.1 沉管防水体系设计         | 454        |
| 11.2 管节接头防水           | 454        |
| 11.3 节段接头防水           | 465        |
| 11.4 注浆               | 477        |
| <b>第 12 章 舾装</b>      | <b>484</b> |
| 12.1 概述               | 484        |
| 12.2 端封门              | 484        |
| 12.3 压载系统             | 495        |
| 12.4 管顶一次舾装           | 500        |
| 12.5 二次舾装             | 502        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第 13 章 管节起浮、横移、系泊</b> ..... | 507 |
| 13.1 概述 .....                  | 507 |
| 13.2 深坞区、浅坞区灌水及检漏 .....        | 508 |
| 13.3 起浮 .....                  | 510 |
| 13.4 横移 .....                  | 515 |
| 13.5 系泊 .....                  | 519 |
| <b>第 14 章 测控与施工放样</b> .....    | 523 |
| 14.1 沉管预制测控简介 .....            | 523 |
| 14.2 施工控制网 .....               | 523 |
| 14.3 钢筋测控 .....                | 527 |
| 14.4 模板系统测控 .....              | 530 |
| 14.5 管节顶推测控 .....              | 533 |
| 14.6 端钢壳测控 .....               | 537 |
| <b>第 15 章 曲线管节预制</b> .....     | 538 |
| 15.1 概述 .....                  | 538 |
| 15.2 曲线设计方案 .....              | 538 |
| 15.3 曲线管节预制 .....              | 539 |
| <b>第 16 章 工厂文化</b> .....       | 548 |
| 16.1 “6S”管理文化 .....            | 548 |
| 16.2 教学文化、工匠精神 .....           | 550 |
| 16.3 两会文化 .....                | 551 |
| 16.4 风险文化 .....                | 552 |
| 16.5 人文关怀 .....                | 553 |
| <b>参考文献</b> .....              | 555 |
| <b>彩图</b>                      |     |

# 第1章 概 述

## 1.1 沉管预制技术发展

1810年英国人在伦敦首次进行了沉管隧道施工试验，直到19世纪末期，沉管法才得以完善。1910年，美国在跨越加拿大和美国的底特律河建造了世界上第一条沉管铁路隧道，标志着沉管隧道技术得以成功应用。目前世界上已建成了150多条沉管隧道，中国已建成约15条，已建成的大型沉管隧道工程有厄勒海峡沉管隧道、韩国釜山—巨济沉管隧道、土耳其博斯普鲁斯海峡沉管隧道等，这些工程的成功建设都为沉管隧道的发展提供了新的思路。

总体来说，按照建成时间先后和结构特点基本上可以把沉管隧道结构及预制类型划分为三个主要发展阶段。

1) 第一阶段沉管隧道成型于20世纪20~40年代，其典型特征为：①钢壳结构；②单个行车道内不超过2车道；③造船厂预制沉管。例如，1910年美国建成的第一条沉管铁路隧道——底特律河水底铁路隧道，水下段由10节长80m的钢壳管节组成。

2) 第二阶段沉管隧道成型于20世纪40~60年代，其典型特征为：①钢筋混凝土（或预应力）结构；②矩形断面；③干坞内或造船厂预制沉管。沉管以钢筋混凝土结构为主，在车道布置形式上更加灵活，满足了道路通行的基本要求，解决了交通拥挤的问题。沉管法修建水底隧道一个明显的进步，是1941年在荷兰建成的穿越马斯河的水下公路隧道。管节用钢筋混凝土制成矩形结构，内设4车道并附设自行车和人行的专用通道。管节断面为24.8m×8.4m，外面用钢板防水，并用混凝土作防锈保护层。

3) 第三阶段沉管隧道成型于20世纪60年代后期，其典型特征为：①节段式管节；②混凝土结构自防水；③工厂法预制开始得以应用。第三阶段沉管隧道建设中最大的技术进步当属混凝土预制水平提高，沉管自防水能力得以成功应用。自20世纪80年代末以来，将混凝土沉管隧道的防水重点放在加强混凝土裂缝控制方面，通过节段式管节和整体式浇筑尽可能地减少温度裂缝的出现，使混凝土自身成为永久的防水屏障，不再使用外包材料进行辅助防水，而且可以根据浮运条件与设备能力制作较长的隧道管节。

由于各国的地域、环境不同，施工技术水平不同，选用的沉管结构形式及施工方法也不同。从世界沉管隧道工程发展历史，大致可以看出世界沉管隧道的技术发展趋势：

- 1) 每节管节长度越来越长, 每节管节中的车道数越来越多。
  - 2) 从单一用途向多用途发展。
  - 3) 沉管隧道的地基适应性越来越复杂。沉管隧道可修建在较坚硬地基(河床、海床)上, 亦可修建在软弱地基(河床、海床)上。世界上已建成的 150 余条沉管隧道中, 不少是修建在软弱地基上的。
  - 4) 制造管节材料逐步由钢筋混凝土取代, 采用高性能的混凝土。
  - 5) 在钢筋混凝土管节预制过程中, 需采取多种控制混凝土裂缝的技术措施, 以确保钢筋混凝土管节的质量, 特别要防止贯穿裂缝的出现。
  - 6) 标准化的防水体系日趋完善。
  - 7) 管节的浮运、沉放、连接等系统日趋科学、简便, 以适应多变的外界施工环境。
  - 8) 沉管设计计算逐渐趋于规范化。
- 目前世界沉管隧道的建设统计, 如表 1-1 所示。

表 1-1 世界主要沉管隧道建设统计表

| 编号 | 隧道名称             | 国家  | 完工年份 | 沉管长度/m | 断面结构      | 施工方法                       |
|----|------------------|-----|------|--------|-----------|----------------------------|
| 1  | 底特律河水底铁路隧道       | 美国  | 1910 | 800    | 双层钢壳、圆形   | 造船厂制造+沉设到位后浇筑内部、外部混凝土      |
| 2  | 底特律—温莎隧道         | 美国  | 1930 | 670    | 双层钢壳、圆形   | 造船厂制造                      |
| 3  | 荷兰穿越马斯河水下公路隧道    | 荷兰  | 1942 | 584    | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞内浇筑底板、墙体和端封门, 漂浮状态下再浇筑顶板 |
| 4  | 伊丽莎白河隧道          | 美国  | 1952 | 638    | 双层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳并浇筑混凝土              |
| 5  | 贝敦隧道             | 美国  | 1953 | 778    | 单层钢壳、矩形   | 造船厂预制钢壳+浇筑混凝土              |
| 6  | 巴尔的摩港隧道          | 美国  | 1957 | 1 920  | 双层钢壳、圆形   | 造船厂制造                      |
| 7  | 汉普顿跨海湾公路隧道       | 美国  | 1957 | 2 091  | 双层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳                    |
| 8  | 伊丽莎白河 2 号隧道      | 美国  | 1962 | 1 010  | 双层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳+浇筑混凝土              |
| 9  | 切萨皮克湾跨越隧道        | 美国  | 1964 | 1 750  | 双层钢壳、圆形   | 造船厂制造                      |
| 10 | 香港红磡海底隧道         | 中国  | 1972 | 1 600  | 单层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳                    |
| 11 | 扇岛海底 chengnan 隧道 | 日本  | 1974 | 664    | 单层钢壳、矩形   | 干坞预制钢壳+驳船浇筑混凝土             |
| 12 | 汉普顿公路 2 号跨河隧道    | 美国  | 1976 | 2 229  | 双层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳+码头浇筑混凝土            |
| 13 | 香港地铁过海隧道         | 中国  | 1979 | 1 400  | 钢筋混凝土圆管结构 | 干坞分批预制                     |
| 14 | 大场隧道             | 日本  | 1980 | 672    | 单层钢壳、矩形   | 造船厂预制钢壳+码头浇筑混凝土            |
| 15 | 斯海尔德隧道           | 比利时 | 1980 | 510    | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞预制                       |
| 16 | 亚伯尔隧道            | 比利时 | 1980 | 336    | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞预制                       |
| 17 | 海姆斯普尔隧道          | 荷兰  | 1980 | 1 475  | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞预制                       |
| 18 | 麦克亨利堡隧道          | 美国  | 1987 | 3 292  | 双层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳                    |
| 19 | 香港东区海底隧道         | 中国  | 1989 | 1 860  | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞预制                       |

续表

| 编号 | 隧道名称               | 国家    | 完工年份 | 沉管长度/m  | 断面结构      | 施工方法                         |
|----|--------------------|-------|------|---------|-----------|------------------------------|
| 20 | 664号州际公路隧道         | 美国    | 1992 | 1 425   | 双层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳并浇筑部分内衬混凝土+码头处浇筑最后混凝土 |
| 21 | 广州珠江隧道             | 中国    | 1993 | 457     | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞分批预制                       |
| 22 | 第三座海港隧道            | 美国    | 1994 | 1 172.9 | 双层钢壳、圆形   | 造船厂预制钢壳                      |
| 23 | 那霸港临港公路沉管隧道        | 日本    | 1994 | 724     | 双层钢壳、矩形   | 造船厂预制钢壳+码头浇筑混凝土              |
| 24 | 川崎港海底沉管隧道          | 日本    | 1994 | 1 187   | 双层钢壳、矩形   | 造船厂预制钢壳+干坞浇筑混凝土              |
| 25 | 多摩川沉管隧道            | 日本    | 1994 | 1 550   | 双层钢壳、矩形   | 造船厂预制钢壳+码头浇筑混凝土              |
| 26 | 宁波甬江水底隧道           | 中国    | 1995 | 420     | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞一次性预制                      |
| 27 | 神户港港岛沉管隧道          | 日本    | 1997 | 520     | 双层钢壳、矩形   | 造船厂预制钢壳+干坞浇筑混凝土              |
| 28 | 香港西区海底隧道           | 中国    | 1997 | 1 364   | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞分批预制                       |
| 29 | 厄勒海峡沉管隧道           | 丹麦、瑞典 | 2000 | 3 510   | 钢筋混凝土箱型结构 | 工厂法预制                        |
| 30 | 东京港 daiichikoro 隧道 | 日本    | 2001 | 1 328.8 | 钢筋混凝土箱型结构 | 船坞内预制                        |
| 31 | 宁波常洪沉管隧道           | 中国    | 2002 | 395     | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞一次性预制                      |
| 32 | 上海外环隧道             | 中国    | 2003 | 736     | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞预制                         |
| 33 | 博斯普鲁斯海峡沉管隧道        | 土耳其   | 2008 | 1 387   | 半钢壳、箱型    | 浅干坞浇筑底板混凝土+临时码头浮态浇筑剩余混凝土     |
| 34 | 釜山—巨济沉管隧道          | 韩国    | 2010 | 3 240   | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞内露天预制                      |
| 35 | 沙农沉管隧道             | 爱尔兰   | 2010 | 675     | 钢筋混凝土箱型结构 | 干坞分批预制                       |
| 36 | 广州仑头—生物岛沉管隧道       | 中国    | 2010 | 277     | 钢筋混凝土箱型结构 | 移动干坞(半潜驳)预制                  |

## 1.2 结构分类

### 1.2.1 沉管纵向结构形式

#### (1) 整体式

整体式管节结构的纵向刚度大，在地基反力的作用下，会呈现“宁折不弯”的结构特性，其适应地基变形能力弱，沉管结构易产生较大的纵向内力，差异沉降变形会集中反映在沉管接头，沉管接头需要具有更高的传力能力。整体式管节不宜设计得过长，目前已建沉管隧道的整体式管节长度以 100 m 左右的居多，原因是长度越长，对结构纵向受力和沉管接头传力的要求越高，结构设计的难度越大。整体式管节如图 1-1 所示。



图 1-1 整体式管节

## (2) 节段式

节段式管节由若干个节段通过临时预应力组合成大管节，每个小节段为刚性段，沉管受力变形时能利用更多的节段接头及时消化变形，吸收平衡内力。与整体式管节相比较，其适应地基变形能力较强，会呈现“以柔克刚”的结构特点。由于小节段的管节具有柔性结构特点，将沉管设计成不同长度时，对沉管纵向结构设计都不会构成特别的影响。节段式管节如图 1-2 所示。

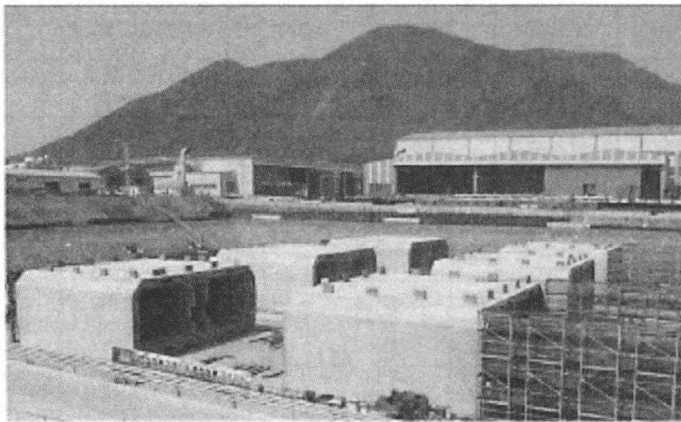


图 1-2 节段式管节

## 1.2.2 沉管的结构类型

沉管的结构类型有钢筋混凝土结构、钢壳混凝土组合结构及预应力钢筋混凝土结构。

### (1) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构沉管使用最为广泛，技术十分成熟。既可以采用整体式管节结构设计以期得到更好的防渗漏功能，也可采用节段式管节结构，让沉管纵向获得更好的柔性去适应地基变形。

钢筋混凝土结构管节预制一般采用干坞法及工厂法两种。当采用小节段管节结构时可以将沉管管节设计得更长。如果沉管规模足够大、沉管足够长，还可以考虑采用工厂法预制。采用更长管节的设计方案可获得更短的安装工期；采用工厂法预制可以得到更稳定的预制质量控制环境。钢筋混凝土结构管节如图 1-3 所示。

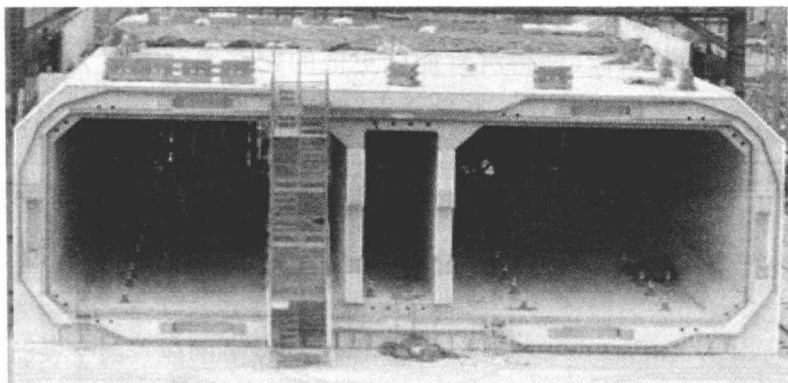


图 1-3 钢筋混凝土结构管节

## (2) 钢壳混凝土组合结构

钢壳混凝土组合结构分为全钢壳混凝土组合结构和单侧钢壳混凝土组合结构。全钢壳混凝土组合结构又称“三明治组合结构”，断面有单圆形、双圆形或矩形等，钢壳包于混凝土的内外表面，能够让钢材更好地发挥结构效率，进而有可能获得断面尺度最经济的沉管结构设计；单侧钢壳混凝土组合结构的钢壳外包于混凝土单侧表面，主体结构仍然采用钢筋混凝土结构，能够更好地发挥其防水功能。

钢壳混凝土组合结构沉管已有较长的历史，早期美国及日本都有采用，工程案例多，设计、制造和施工技术成熟。该结构最大的优势是可以实现工业化制造，对现场干坞和临时工程的要求相对较低。钢壳混凝土组合结构沉管在防渗、结构抗震方面具有优势，并且由于能够实现工业化制造，其质量控制也有明显优势。然而，其造价一般较高。钢壳混凝土组合结构管节如图 1-4 所示。

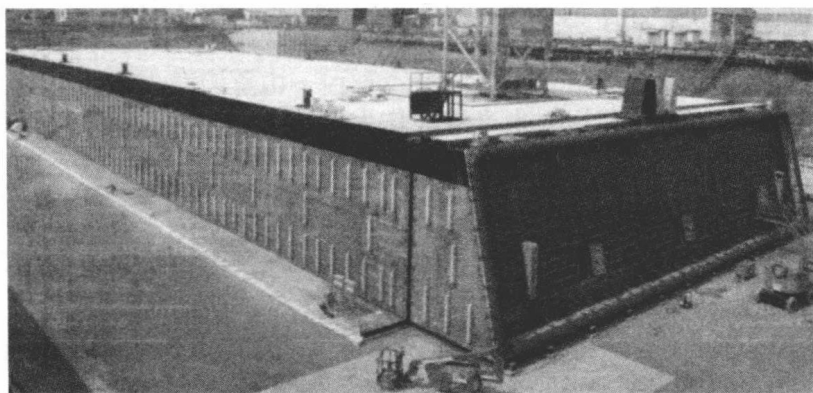


图 1-4 钢壳混凝土组合结构管节

### (3) 预应力钢筋混凝土结构

预应力钢筋混凝土结构沉管，准确地说应该属于“部分”预应力钢筋混凝土结构。所谓“部分”有两层含义：①通常只需要在沉管顶板、底板部位设置预应力体系；②设置的预应力体系需要与普通钢筋混凝土体系配合使用，共同发挥作用。总体上来说，钢筋混凝土是主受力体系，在结构中增设部分预应力体系是为了提高沉管顶板、底板结构抗裂性能，通过这样的组合，使得沉管能以更低的配筋率获得更大的横断面跨度和更为经济的结构断面。如图 1-5 所示，其施工工法与钢筋混凝土结构管节类似。

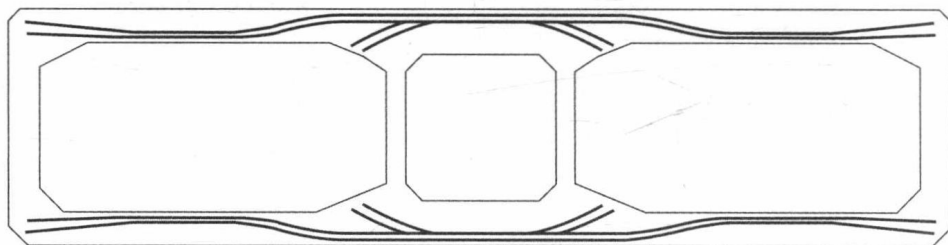


图 1-5 预应力钢筋混凝土结构示意图

## 1.3 沉管预制方法

随着各国沉管隧道修建技术的发展，越来越多的水下隧道采用沉管法施工，沉管预制方法及场地是沉管隧道修建的重要因素。其预制方法总体可分为干坞法和工厂法两大类，干坞法又分为移动干坞方案和固定干坞方案。通过对各种方案进行综合比较，确定不同环境中适宜选用的方法，达到最经济、合理的目标。

### 1.3.1 干坞法

干坞根据其构造型式，一般分为移动干坞和固定干坞两类。

#### (1) 移动干坞方案

移动干坞方案即修造或租用大型半潜驳作为可移动式干坞，在移动干坞上完成管节的预制，然后利用拖轮将半潜驳拖航到隧道附近已建好的港池内下潜，实现管节与驳船的分隔，再将管节浮运到隧道位置完成沉放安装工作。

移动干坞方案是世界沉管隧道建设中的一个创举，与固定干坞方案相比，它主要具有以下几个方面的优点：

1) 省去了固定干坞的建造时间，一开工就可以直接进行管节的预制，有利于节省工程工期。

2) 在半潜驳上进行管节的预制，可以大大减少岸上施工场地的占用，尤其在施工场

地紧张时更具优势。

3) 管节预制完成后, 可以通过半潜驳运载管节到隧道附近, 由于半潜驳的吃水深度比管节小, 可以大大节省航道的疏浚费用, 有利于降低工程造价。

当然, 移动干坞生产效率低, 只适合沉管数量少、场地受制约的情况。

## (2) 固定干坞方案

根据与隧道位置的关系固定干坞方案分为轴线干坞方案和另选位置干坞方案。

轴线干坞方案即将干坞布置在隧道轴线岸上段主体结构位置。该方案将干坞与隧道岸上段相结合, 减少了施工场地的占用, 同时岸上段和干坞共用了一部分基坑开挖和支护, 可以减少一部分工程费用, 并且管节从坞内拖出后, 直接沿隧道纵向浮运, 减少了航道疏浚费用。然而, 由于干坞和岸上段主体结构相干扰, 不能形成沉管段与岸上段并行作业, 该方案管节沉放只能从一端往另一端进行, 与两端往中间对称沉放方案相比, 将增加管节的沉放工期, 如图 1-6 所示。



图 1-6 轴线干坞

另选位置干坞方案即在隧道轴线以外选择合适的位置建造干坞。另选位置干坞方案可实现岸上段结构、管节制作及基槽开挖等关键性的工序并行作业, 从而可以最大限度地节省工期, 典型代表为韩国釜山—巨济沉管隧道沉管预制厂, 如图 1-7 所示。



图 1-7 另选位置干坞