

# 沉管隧道设计施工手册

## 预制篇

中国交通建设股份有限公司

科学出版社



# 沉管隧道设计施工手册

## 预制篇

中国交通建设股份有限公司

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书基于国内外沉管隧道工程的设计施工理论和实践经验,结合港珠澳大桥沉管隧道工程实践经验编写而成,介绍了沉管预制的发展情况及未来发展趋势,并分干坞法、工厂法和钢筋混凝土三明治法三个工法介绍沉管预制各分项工程实施要点。

本书可供高等院校道路工程、土木工程等专业师生,以及相关专业技术人员参考使用,也可为今后类似的沉管隧道工程设计、施工提供参考和借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

沉管隧道设计施工手册. 预制篇 / 中国交通建设股份有限公司编. —北京: 科学出版社, 2019.6

ISBN 978-7-03-061339-4

I. ①沉… II. ①中… III. ①沉管隧道—隧道工程—设计—手册  
②沉管隧道—隧道施工—手册 IV. ①U459.9-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 102564 号

责任编辑: 郭勇斌 欧晓娟 / 责任校对: 杨 赛

责任印制: 师艳茹 / 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 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 6 月第一次印刷 印张: 47 1/2 插页: 2

字数: 1 123 000

定价: 278.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# “沉管隧道设计施工手册”

## 编委会

署 名 中国交通建设股份有限公司  
顾 问 冯正霖 徐 光 朱永灵

## 编辑委员会

主 任 刘起涛 陈奋健  
副 主 任 陈 云 孙子宇 林 鸣 刘伯莹  
编 委 (以姓氏笔画排序):

王世峰	王汝凯	王彰贵	毛元平
方 彦	卢永昌	史福生	吕卫清
朱利翔	刘建波	李一勇	李惠明
吴利科	吴维忠	张 鸿	张鸿文
陈绍章	林少敏	孟凡超	钟建驰
曹根祥	曹湘波	康学增	梁卓仁
梁德章	裴明山		

主 编 林 鸣  
副 主 编 刘晓东 尹海卿 卢永昌  
编审委员 (以姓氏笔画排序):

久保田	王 强	孔令磊	刘亚平
刘海青	关秋枫	孙 亮	花田幸生
苏长玺	李春初	杨 华	杨 威
杨永宏	杨绍斌	杨树生	吴凤亮
何 波	辛文杰	张 洪	张宝兰
陈 林	陈 鸿	陈 越	陈伟彬
罗 冬	周光强	孟凡利	赵 辉
钟辉虹	高 潮	高纪兵	郭旭理
黄凯彬	黄维民	梁 桁	梁杰忠
宿发强	屠柳青	董 政	韩西军
谢臣伟	翟世鸿	樊建华	黎亚洲

## 《预制篇》编辑组

组 长 陈伟彬 董 政 周 林 张 洪  
成 员 (以姓氏笔画排序):  
王 李 王 俊 王晓东 申昌洲  
朱 成 刘可心 刘忠鹏 刘经国  
李 阳 李 超 杨 红 杨永宏  
邹正周 邹纪祥 汪华文 张文森  
张宝兰 陈 聪 孟庆龙 唐永波  
黄文慧 游 川 戴双全 戴书学  
鞠小刚 魏 杰

# 序 言

沉管隧道工法是水下隧道建设的主要工法之一，其建设关键工序包括基础处理、管节预制、浮运、沉放对接、最终接头等。1910年建成的穿越美国密歇根州底特律（Detroit）河铁路隧道是世界上第一条沉管隧道，采用钢壳式沉管隧道技术，其后在北美洲陆续建造了几十条这种结构的沉管隧道。直至1942年建成的穿越荷兰鹿特丹马斯（Maas）河的公路沉管隧道，揭开了混凝土沉管隧道建设的序幕，也形成了沉管隧道两种主要结构型式，即钢壳式沉管和混凝土沉管隧道。后来，日本在这两种主要结构型式的基础上进行融合，形成了一种新的管节结构，即三明治式沉管结构，并得到了广泛的应用。

通过百年的沉管隧道设计与施工技术积累，沉管技术在深水、复杂水流和复杂地质条件下的设计施工技术不断进步并渐趋成熟，已经能够跨越更深和更宽阔的河口、海峡水道。其中几大标志性沉管隧道工程包括：首座混凝土沉管隧道工程马斯隧道，工厂法预制的厄勒（Øresund）海峡沉管隧道，干坞内移动模架全断面水平浇筑节段的釜山—巨济沉管隧道，目前最深的海底沉管隧道博斯普鲁斯（Bosphorus）海峡沉管隧道，目前世界最长、埋深及体量最大的港珠澳大桥公路沉管隧道。

港珠澳大桥东连香港，西接珠海、澳门，是集桥、岛、隧为一体的超大型跨海通道。由中国交通建设股份有限公司联合体承建的岛隧工程是大桥的控制性工程，是目前世界上综合难度最大的沉管隧道之一。本手册主要由中国交通建设股份有限公司依托港珠澳大桥岛隧工程项目的建设经验，并结合世界上其他沉管隧道的建设经验，在多家设计、施工单位及同行的支持和共同努力下汇编完成。

编者收集和研究了世界典型沉管隧道相关资料，根据参与港珠澳大桥沉管隧道的规划、调研、选型、建设等全过程的设计施工经验，并对当今世界上的主要沉管隧道设计施工技术进行了系统的梳理、总结与概括，最终编写完成了本手册。由于目前世界上还没有沉管隧道行业系统性的应用手册公开发表，编写过程中汇集了世界各地典型沉管隧道工程的资料，有较多资料并未正式发表，作者姓名不详，在此向为本手册作出指导、提供资料的同行和专家及未知姓名的作者们致以崇高的敬意，感谢他们为沉管隧道设计施工手册的系统性、完整性做出的巨大的贡献。

本手册具体分为设计篇、基础篇、预制（制造）篇、安装篇及综合篇，汇集了国内外类似沉管隧道工程的规划、科研、勘察设计、试验及施工等资料，其目的在于为世界沉管隧道行业梳理一套有关沉管隧道勘察设计、基础、制造、安装及综合系统性的工具书。本手册主要对沉管隧道设计、施工原理及具体工艺方法要点进行了阐述，并列举了大量典型工程案例，以提供思路及借鉴，希望读者能从中得到启发及参考。由于时间紧，作者水平有限，难免有不足、不妥和理解有误之处，敬请专家和读者批评指正。

编 者

2018年12月

# 目 录

序言

1 绪论	1
1.1 沉管预制发展	1
1.1.1 沉管预制的发展历程	1
1.1.2 沉管预制发展现状	3
1.2 沉管预制的限制因素与未来发展趋势	5
1.2.1 沉管预制的限制因素	5
1.2.2 沉管预制的未来发展趋势	5
1.3 结构形式及施工工法	7
1.3.1 结构形式	7
1.3.2 施工工法	16
2 干坞法钢筋混凝土沉管预制	18
2.1 概述	18
2.1.1 干坞法	18
2.1.2 总平面布置	19
2.1.3 工艺流程	20
2.2 主要设备配置	21
2.2.1 灌排水系统	21
2.2.2 系泊绞缆系统	24
2.2.3 钢筋加工系统	24
2.2.4 模板系统	25
2.2.5 混凝土生产、输送系统	26
2.2.6 起重吊装系统	26
2.2.7 出坞围堰及坞门	26
2.3 钢筋	26
2.3.1 材料进场及管理	26
2.3.2 钢筋加工、转运	27
2.3.3 钢筋绑扎	27
2.3.4 钢筋绑扎骨架	29
2.3.5 钢筋接头	30
2.3.6 钢筋绑扎架	30
2.4 模板	31

2.4.1	底模	31
2.4.2	侧模	32
2.4.3	内模	32
2.5	预留、预埋设施	34
2.5.1	预埋件	34
2.5.2	中埋式可注浆钢边止水带	34
2.5.3	端钢壳	35
2.6	混凝土施工	36
2.6.1	施工方法	36
2.6.2	混凝土浇筑	38
2.6.3	施工缝处理	38
2.6.4	模板拆除	38
2.6.5	混凝土养护	39
2.6.6	混凝土的品质管理	42
2.7	混凝土配合比及控裂设计	43
2.7.1	混凝土配合比设计	43
2.7.2	混凝土控裂	44
2.7.3	多摩川沉管隧道、川崎航道沉管隧道沉管控裂案例	57
2.8	预应力	72
2.8.1	预应力管道安装	73
2.8.2	预应力施工	73
2.9	舾装	73
2.9.1	压载水箱	73
2.9.2	端封门	74
2.9.3	GINA 橡胶止水带	76
2.9.4	管节水密性检验	79
2.10	干坞法沉管预制案例	80
2.10.1	多摩川沉管隧道、川崎航道沉管隧道沉管预制	80
2.10.2	东京港第二航道沉管隧道沉管预制	87
2.10.3	广州洲头咀隧道沉管预制	217
3	港珠澳大桥岛隧工程沉管预制(工厂法)	238
3.1	概述	238
3.1.1	工程概况	238
3.1.2	工艺流程	240
3.2	工艺模型试验	241
3.2.1	概述	241
3.2.2	小尺寸模型与其他相关试验	249

3.2.3	配合比验证	250
3.3	钢筋	263
3.3.1	数控设备工厂化加工	263
3.3.2	钢筋分区绑扎	265
3.3.3	钢筋笼顶推	269
3.3.4	体系转换	269
3.4	模板	272
3.4.1	模板系统介绍	272
3.4.2	模板总工艺	276
3.4.3	底模	278
3.4.4	侧模	280
3.4.5	内模	283
3.5	混凝土	286
3.5.1	生产系统	286
3.5.2	混凝土浇筑	290
3.5.3	控裂	295
3.6	管节顶推	302
3.6.1	顶推工法介绍	302
3.6.2	顶推系统	303
3.6.3	施工工艺流程	319
3.6.4	顶推操作	319
3.6.5	体系转换	325
3.6.6	质量管理	328
3.6.7	摩擦系数控制	330
3.7	预应力	332
3.7.1	半刚性管节结构预应力介绍	332
3.7.2	预应力管道安装	333
3.7.3	钢绞线穿束	334
3.7.4	张拉	336
3.7.5	压浆	338
3.8	舾装	340
3.8.1	一次舾装	340
3.8.2	管节接头一次舾装	344
3.8.3	节段接头	368
3.8.4	管内舾装	381
3.8.5	管顶一次舾装	391

3.8.6	浅坞钢闸门启闭	395
3.8.7	深坞门启闭	403
3.8.8	灌水检漏	414
3.8.9	起浮横移	417
3.9	工厂法沉管预制案例——厄勒海峡沉管隧道	430
3.9.1	工程概况	430
3.9.2	关键施工工艺	431
3.9.3	预制厂的规划及设计	436
3.9.4	液压千斤顶及支撑系统	450
3.9.5	混凝土工艺技术	455
3.9.6	沉管预制	468
4	钢混凝土三明治沉管预制	482
4.1	概述	482
4.1.1	钢混凝土三明治沉管结构介绍	482
4.1.2	高流动性混凝土	483
4.1.3	工艺流程	487
4.2	钢壳制作	487
4.2.1	小块的制作	488
4.2.2	大组裝	490
4.3	混凝土浇筑	493
4.3.1	高流动性混凝土的种类和特征	493
4.3.2	设定高流动性混凝土的配合比顺序	494
4.3.3	浇筑顺序	495
4.3.4	混凝土的养护	495
4.3.5	品质管理	495
4.3.6	浇筑时的管理	496
4.3.7	混凝土填充性的确认	497
4.3.8	浮态浇筑	497
4.4	高流动性混凝土配合比设计与施工	498
4.4.1	高流动性混凝土配合比设计简介	498
4.4.2	性能	501
4.4.3	材料	503
4.4.4	配合比	504
4.4.5	性能审核	578
4.4.6	生产	580
4.4.7	施工	587

4.4.8 检查	600
4.5 钢筋混凝土三明治沉管预制案例	603
4.5.1 那霸港临港公路沉管隧道管节制造	603
4.5.2 新若户公路沉管隧道管节制造	628
4.5.3 港珠澳大桥沉管隧道最终接头三明治结构制造	657
参考文献	744
彩图	



## 1.1 沉管预制发展

### 1.1.1 沉管预制的发展历程

沉管隧道法产生于英国，实践于美国，在荷兰、中国和日本得到发展。自 1910 年美国底特律河建成世界上第一座水下沉管隧道以来，水下沉管隧道技术经历了不断发展完善的过程（图 1-1）。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 100 多条沉管隧道。著名的沉管隧道有美国旧金山海湾水下隧道、连接欧亚两大洲的土耳其博斯普鲁斯沉管隧道、连接丹麦与瑞典的厄勒海峡沉管隧道及中国的港珠澳大桥沉管隧道。



图 1-1 底特律河铁路隧道

世界第一条沉管隧道采用钢壳形式，其后在北美洲陆续建造了几十条钢壳沉管隧道。钢壳沉管隧道是单圆形或双圆形断面的钢壳与混凝土复合结构，钢板焊接而成的钢壳起到外防水层作用，后浇筑的混凝土起到压载抗浮作用。通常选择在隧址附近临水船坞或新建干坞焊接拼装钢壳管节，然后将钢壳管节下水并浮运到隧址附近，在浮态下分段分块平衡浇筑混凝土形成钢壳混凝土管节。因此，早期的沉管都是在船坞或干坞中预制的。

1942年建成的穿越荷兰鹿特丹马斯(Maas)河的水下公路隧道(图1-2),揭开了混凝土沉管隧道建设的序幕,也形成了沉管工法的两种主要类型,即钢壳沉管隧道和混凝土沉管隧道。混凝土沉管隧道结构可采用多箱室矩形断面形式,最大限度地利用内部空间,既满足公路、铁路或公铁两用交通净空,又满足通风、逃生和管线要求。混凝土沉管隧道技术在欧洲和亚洲地区得到了广泛的应用,至今全球已经建成超过50条大型混凝土沉管隧道,其设计和施工技术也得到极大的发展。钢筋混凝土沉管采用混凝土自防水,对混凝土性能及施工工艺要求高,需要稳定的施工环境,钢筋混凝土沉管预制延续了早期的干坞预制工法。

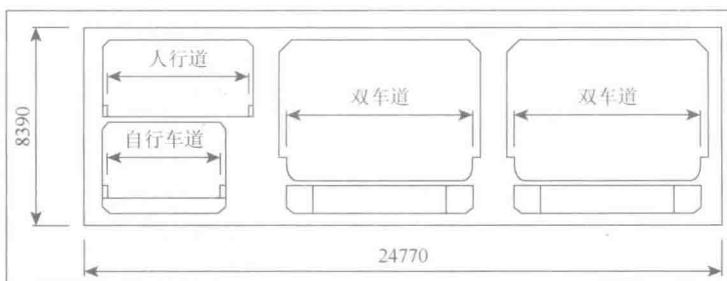


图 1-2 穿越马斯河水下公路隧道沉管横截面图(单位: mm)

由于场地的限制,根据在半潜驳船(以下简称半潜驳)上预制沉箱的经验及干坞沉管预制经验,移动干坞沉管预制工法(以下简称移动干坞法)应运而生,半潜驳本身即为沉管管节的预制场地,有效地解决了用地问题,同时也避免了沉管浮运起重的问题(图1-3)。1981年东京羽田干线(Haneda Conveyor)地铁隧道工程、1994年香港中环填海工程地铁501隧道、2010年广州仑头—生物岛沉管隧道等工程均采用了干坞法沉管预制。



图 1-3 干坞法半潜驳拖运

2000 年建成通车的厄勒海峡大桥位于丹麦首都哥本哈根和瑞典城市马尔默之间的厄勒海峡（又称松德海峡），该海峡是世界上最繁忙的河道之一。厄勒海峡沉管隧道是厄勒海峡大桥的重要组成部分之一，其沉管隧道建设首次采用了工厂法预制沉管，标志着一种全新沉管预制工法的诞生（图 1-4）。工厂法提出了两个主要概念：①在固定的浇筑台上对完整的管节进行逐段匹配浇筑；②采用类似于运河上的通航闸的两层坞池。自此，沉管预制形成了干坞法和工厂法两种主要预制工法。



图 1-4 厄勒海峡沉管隧道预制厂

工厂法沉管预制是在封闭厂房内形成管节节段流水线预制，在工期和品质上相对干坞法更具优势。我国的港珠澳大桥沉管隧道管节预制也采用了工厂法（图 1-5）。

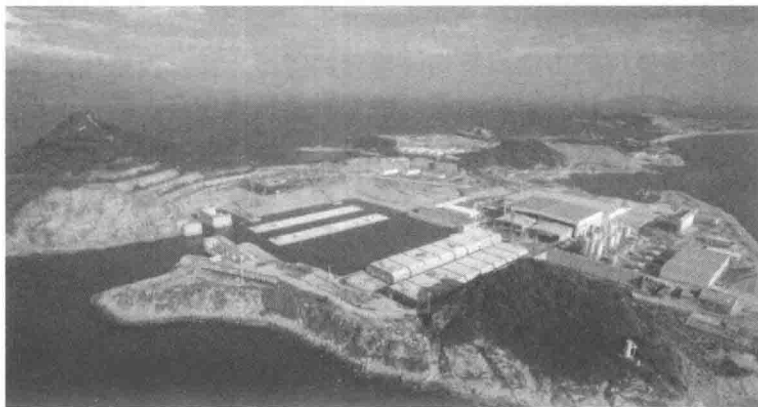


图 1-5 港珠澳大桥沉管隧道预制厂

### 1.1.2 沉管预制发展现状

目前，沉管预制的主要发展规律如下。

## 1. 每节管节长度越来越长，每节管节中的车道数越来越多

1910 年在美国底特律河下用沉管法施工的隧道全长只有 782 m，由 10 节管节组成，每节长 78.2 m。1972 年在旧金山湾区快速交通系统（bay area rapid transit system, BART）的海底隧道即旧金山海湾水下隧道全长 5825 m，由 58 节管节组成，每节长 82~107 m。目前世界上的沉管隧道每节管节长一般在 100~130 m，最大重量一般在 30000~40000 t。荷兰京斯麦尔隧道仅有 4 节管节，每节长度 268 m，重达 50 000 t。我国港珠澳大桥沉管隧道由 33 节管节组成，标准管节长 180 m，重达 78 000 t。

城市道路或公路的沉管隧道，过去多为二车道，目前普遍为四车道、六车道，也有采用八车道的。如美国采用钢壳结构形式的麦克亨利堡（Fort McHenry）隧道，以及荷兰采用矩形钢筋混凝土结构形式的德雷赫特（Drecht）隧道，其结构横断面形式如图 1-6 所示。这两条结构形式截然不同的沉管隧道是迄今为止世界上车道数最多的水下道路沉管隧道。我国粤港澳大湾区正在修建的深中通道海底沉管隧道，将成为世界上第四座八车道的水下道路沉管隧道。

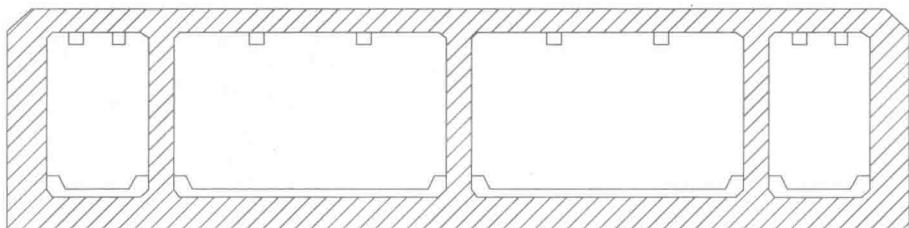


图 1-6 荷兰德雷赫特隧道结构横断面图

## 2. 从单一用途向多用途发展

最初的沉管隧道像用矿山法或盾构法修建的隧道一样，用途较为单一，即为城市道路（公路）或铁路（地铁）水下隧道。随着沉管技术发展，特别是矩形钢筋混凝土结构形式沉管隧道出现，其横断面宽度尺寸可以较大，这样就出现了城市道路与铁路、公路与铁路共管设置，甚至可同时设置公共管廊。通行轨道运输系统的沉管隧道最近也发展成能通行高速铁路的水下隧道，隧道内的行车速度最高可达 200 km/h，平均达 160 km/h。

## 3. 制造管节材料逐步由钢筋混凝土取代

从管节制作方式和材料来看，圆形钢壳混凝土结构往往先在岸边的预制场制造钢壳后再下水，然后在水中处于浮态时浇筑内衬混凝土。

矩形钢筋混凝土管节先在临时干坞或工厂内制作，制成后往坞内灌水，使之浮起并拖运至预定位置沉放。在同一横断面内可以容纳 4~8 条车道，这种管节优点是横断面空间利用率较高，在建造多车道隧道时尤为突出；车道的标高可以抬高，隧道埋深较浅，隧道长度也相应较短，因而工程量较少及造价较低，还可节省大量钢材。

#### 4. 多种混凝土裂缝控制技术的采用

在钢筋混凝土管节预制过程中,需采取多种混凝土裂缝控制的技术措施,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。

在最近一些新建的沉管隧道中,除采用传统控制混凝土裂缝产生的技术措施外,为了增加管节结构的抗拉强度,还采用了纵向预应力措施。另外,也有采用钢纤维或化学纤维混凝土的,如采用 Dura 纤维(美国希尔兄弟化工公司)生产的高强聚丙烯单丝或网状纤维,可以极为有效地控制管节混凝土塑性收缩及离析裂缝,大大改善钢筋混凝土管节的抗渗能力。

#### 5. 工厂化流水线生产的发展

钢筋混凝土管节的预制,由传统干坞预制发展为工厂化流水线生产。1995年7月动工修建、2000年6月建成通车的丹麦哥本哈根到瑞典马尔默之间的厄勒海峡沉管隧道,沉管段长3560m,由20节钢筋混凝土管节组成,每节管节长175m,宽42m(分8个施工段浇筑),开启了大型沉管管节工厂化流水线预制的时代。

## 1.2 沉管预制的限制因素与未来发展趋势

### 1.2.1 沉管预制的限制因素

#### 1. 防水、拖航、沉放等质量控制要求极高

由于沉管隧道处于水底,对沉管隧道的防水性要求极高;同时为了满足沉放、抗浮等要求,需要严格控制干舷高度和抗浮安全系数,对管节预制的质量控制要求极高,需要在施工过程中采用一系列严格的技术措施。

#### 2. 沉管预制场地的限制

沉管预制需要合适的场地来适应越来越大的尺寸规模。沉管法对于通航的影响同样是限制条件之一。

#### 3. 地质条件的限制

由于GINA橡胶止水带(以下简称GINA止水带)和OMEGA橡胶止水带(以下简称OMEGA止水带)的使用,水力压接法在管节沉放施工中得到了广泛的使用,但是对于有些地质条件所带来的不均匀沉降和防水问题需要进一步研究。

### 1.2.2 沉管预制的未来发展趋势

#### 1. 建设规模不断增大

采用沉管法在美国底特律河修建的世界上第一座沉管隧道的沉管段只有782m长;旧

金山海湾水下隧道长 5825 m, 由 58 个管节组成; 1980 年通车的比利时亚伯尔隧道横断面尺寸为  $53\text{ m} \times 9.35\text{ m}$ , 标准管节长 138 m, 沉管段只有 336 m 长, 是世界上最宽的沉管隧道; 2000 年竣工的厄勒海峡沉管隧道沉管段长 3560 m, 横断面尺寸为  $38.8\text{ m} \times 8.6\text{ m}$ , 是由 20 节管节组成的公路铁路两用隧道, 也是世界上第一例采用工厂法预制管节的沉管隧道; 拟建丹麦—德国的费马恩海峡 (Fehmarn Belt) 沉管隧道沉管段长 17.6 km, 最大水深 40 m, 公路铁路两用, 公路为双向四车道, 设计速度 120 km/h, 铁路设计速度为 160 km/h。该隧道横断面尺寸为  $42.2\text{ m} \times 8.9\text{ m}$ , 业主招标推荐沉管隧道设计为 89 个管节, 其中有 79 个标准管节和 10 个特殊管节, 每个管节长 217 m, 建成后将成为世界上规模最大的沉管隧道。

美国的麦克亨利堡隧道、荷兰的德雷赫特隧道和我国上海外环隧道均为双向八车道, 是车道数最多的道路沉管隧道。目前处于初步设计阶段的深中通道沉管隧道全长 6845 m, 其中沉管段长 5035 m, 高速公路标准, 双向八车道, 设计速度为 100 km/h。

## 2. 环境适应性越来越强

沉管隧道从江河下游或出海口建造发展到江河中游, 能够在江河中较大水流速度条件下进行管节的浮运沉放安装, 如广东省佛山市的汾江路南延线的东平河沉管隧道工程和江西省南昌市的红谷隧道工程, 目前均完成了管节的沉放安装。

从浅水区向深水区发展, 2008 年土耳其建成的博斯普鲁斯沉管隧道为目前世界上最深的铁路沉管隧道, 最大水深达 61 m。

港珠澳大桥沉管隧道首次采用了刚性与柔性结构形式之外的新结构体系——半刚性结构, 新的管节结构体系对于地质情况具有更强的适应性。半刚性管节保留了节段式管节的柔性, 同时又兼备整体式管节的刚性, 受力、传力更合适, 能适应的环境工况更广泛。

## 3. 最终接头技术不断进步

早期沉管隧道均采用圆形钢壳结构, 隧道的最终接头是通过浇筑水下混凝土实现临时止水, 然后连接隧道的结构, 将最终接头做成一个刚度大于或等于隧道结构的结构段。在矩形结构的沉管隧道中, 通常采用封板式的方法, 即在管节安放后约 2 m 纵向长度的最终接头空间设置若干钢支撑, 来防止管节水压消失后 GINA 止水带回弹, 在结构外侧设置钢封板形成施工期间的水密封系统, 抽排钢封板内空腔的水体, 连接隧道的结构, 形成与隧道等刚度的结构段。

在沉管隧道施工环境的影响下, 如隧道的埋深、结构形式、航道的通航要求及环保的需求, 沉管隧道水下最终接头的形式得到不断的发展。伸缩式的最终接头已获成功应用, 在隧道暗埋段内设置一个可纵向移动的短管节, 当最后一个管节完成水下安装后, 将该短管节推出, 与已沉放的管节对接, 完成接头水密封后进行结构处理。日本在 20 世纪 90 年代研发了预制安装式的最终接头方案, 大阪南港隧道采用 V 型楔块最终接头, 可发挥钢结构精确制造技术和管节的准确安装, 当 V 型楔块最终接头安放到水下的设计位置, 利用其自身的重量压紧止水带, 达到止水的效果, 然后进行管节内的构造处理, 可大幅减少潜水作业, 在隧道埋深较大的情况下提高了安全性。