



“十三五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

新型内河沉管隧道工程 修建技术实践

贺维国 邢永辉 沈永芳 吕 洋  吴 刚 范国刚 宋超业 

Construction Technology Practice
of **New Type**
in the Inland River
Immersed Tunnel Engineering



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



“十三五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

新型内河沉管隧道工程 修建技术实践

贺维国 邢永辉 沈永芳 吕 洋  吴 刚 范国刚 宋超业 



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

内 容 提 要

本书基于广州仑头隧道、官洲隧道的建设实践,全面、系统地阐述了新型内河沉管隧道修建的关键技术体系。全书共分五篇。第一~四篇为第一部分,针对仑头隧道、官洲隧道设计与施工中的关键技术进行了深入介绍,系统地阐述了沉管隧道水下检测体系及其应用的典型成果。第五篇为第二部分,精选了作者团队在沉管隧道修建过程中的科研、设计等发表的核心论文,以利读者查考。

本书可供从事沉管隧道工程科研、设计、施工的工程技术人员参考及使用,还可以作为隧道工程从业人员以及相关专业高校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新型内河沉管隧道工程修建技术实践 / 贺维国等编著

. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017.5

ISBN 978-7-114-13711-2

I. ①新… II. ①贺… III. ①内河—沉管隧道—隧道工程—工程技术—研究 IV. ①U459.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第048428号

书 名:新型内河沉管隧道工程修建技术实践

著 作 者:贺维国 邢永辉 沈永芳 吕 洋

责任编辑:王 霞 王景景

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.ccpress.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:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:24.5

插 页:2

字 数:554千

版 次:2017年5月 第1版

印 次:2017年5月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13711-2

定 价:98.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



仑头隧道洞门



仑头隧道生物岛上鸟瞰



官洲隧道内部装修



综合监控管理大楼



官洲隧道洞门



综合监控管理大楼中央控制室



仑头隧道移动干坞预制管段



仑头隧道管段拖航



仑头隧道管段沉放对接



仑头隧道管段与半潜驳分离



官洲隧道最终接头二次围堰水下混凝土施工



官洲隧道最终接头二次围堰完成效果



官洲隧道轴线干坞预制管段



仑头隧道格栅式地下连续墙护岸结构



仑头隧道格栅式地下连续墙护岸结构接头处理



仑头隧道岸上段明挖主体结构施工



仑头隧道岸上段明挖围护结构施工



仑头隧道模袋砂围堰

编委会

主任委员:贺维国

副主任委员:邢永辉 沈永芳 吕 洋

编 委:

第一篇至第四篇

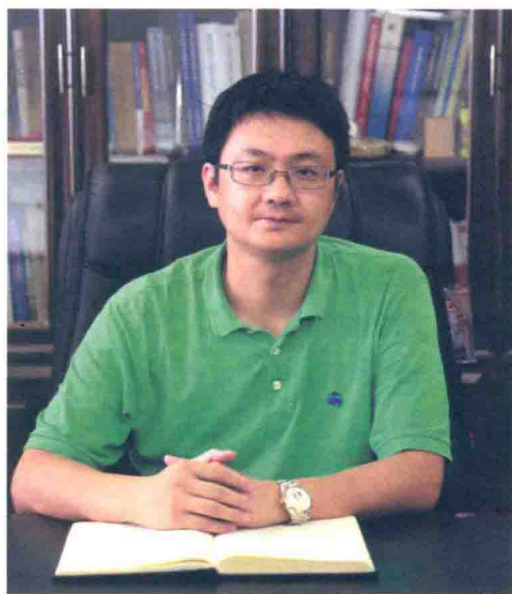
贺维国 沈永芳 邢永辉 范国刚 陈海军 周华贵 吕 洋
吴 刚 于 勇 褚 凯 奚笑舟 曾 珂 周恩先 杨海涛
马军秋 冯 珂 曹 威 李朋辉

第五篇

贺维国 洪开荣 宋 仪 刘建飞 邢永辉 沈永芳 张延猛
陈海军 钟伟春 杨飞虎 王光辉 杨世东 王怀东 彭红霞
奚笑舟 程晓明 石 刘

主 审:吴 刚 范国刚 宋超业

作者简介



贺维国,毕业于西南交通大学地下工程与隧道工程专业,现任中铁隧道勘测设计院有限公司总工程师,教授级高级工程师,一级注册结构工程师,注册土木(岩土)工程师,中国中铁专家,广州市政府重大行政决策专家,享受国务院政府特殊津贴专家。

从事隧道与地下工程的设计、科研工作 20 余年,主持完成了四座沉管法隧道勘察设计以及十多座其他工法大型水下隧道设计、科研工作,撰写论文十多篇,出版专著一部,获得专利 30 余

项,获省部级以上优秀设计(咨询)奖、科技进步奖三十多项,主编(参编)国家规范 6 部。主编完成国内首本沉管隧道技术规范《内河沉管法隧道设计、施工及验收规范》,于 2013 年 11 月 1 日实施。

沉管隧道是指将水域段隧道分成若干基本结构单元,分别预制完成后将其通过浮运、沉放、水下对接贯通方式形成的整座隧道,又称沉管法隧道、沉埋管段法隧道。自1910年在美国底特律建成了世界上首座沉管隧道以来,沉管隧道修建技术在世界范围内取得了长足的进步,到目前为止,全世界建成的沉管隧道总数已超过150座。1993年12月,我国大陆建成了首座沉管隧道——广州珠江隧道。我国国土辽阔、江河湖泊众多,大部分城市依水而建,随着经济发展,穿越江河湖泊的交通通道需求日趋强烈。沉管隧道因其断面形式灵活、埋深浅、地质条件制约小、工期短等优点逐步成为修建城市大型水下通道的主要方式。进入21世纪以来,我国大陆地区的沉管隧道建设进入了快速发展期,依次建成了宁波常洪隧道、上海外环越江隧道、广州仑头隧道、广州官洲隧道、天津海河隧道、舟山沈家门隧道、广州洲头咀隧道等7座沉管隧道。此外,我国大陆在建和列入近期建设计划的沉管隧道还有10多座。我国的沉管隧道绝大部分属于内河沉管隧道。

与海洋环境相比,内河往往具有河道狭窄、航运密度高、水流速度大、季节性水位落差大、地质条件差异大等特点,因此内河沉管隧道的干坞建造、管段浮运、管段最终接头设计、护岸处理等都有极特殊的地方。广州仑头隧道(建设期称“仑头—生物岛隧道”)、官洲隧道(建设期称“生物岛—大学城隧道”)作为我国大陆建成的第五、第六座沉管隧道,均为内河沉管隧道。项目自2004年开工以来,得到了国内外同行的高度关注,建设过程中发表了大量的相关论文。但是由于受到论文篇幅的限制,这些论文只能针对某一特定技术点进行讨论。为了全面、系统地阐述这两座隧道的关键技术体系,促成了本书的编撰。

本书共分五篇,第一篇主要介绍两座隧道工程背景和建设概况,归纳了其工程特点和关键技术;第二篇系统地阐述了仑头隧道关键技术的设计与施工,包括世界首次全面采用的移动干坞技术、新型格栅式地下连续墙施工工艺、灌

砂基础模型试验、钢封板式水下最终接头,以及模袋砂围堰、管段预制工艺、管段附属结构设计、管段浮运沉放对接等;第三篇主要阐述官洲隧道关键技术设计与施工,并略去了与仑头隧道类似的技术,阐述的关键技术包括轴线干坞技术、三维实体模型管段结构计算方法、水下二次围堰浇筑方法、岸边水下最终接头工艺等;第四篇系统地阐述了沉管隧道水下检测体系,介绍了沉管隧道水下检测体系在两座隧道中应用的典型成果,并对沉管隧道水下检测体系进行了展望;第五篇论文汇编收录了两座隧道主要建设人员撰写的部分相关论文,作为本书理论体系和关键技术的补充。鉴于大量高品质论文的存在,本书采用了一种特殊的模式:第一~四篇为第一部分,该部分较为系统、全面地介绍了仑头、官洲隧道的环境条件、关键技术体系等内容,通过这部分内容读者可以对两座隧道的技术体系有全面的了解;第五篇为第二部分,从两座隧道建设者众多的论文中遴选了部分与第一部分关键技术相关联的核心论文,通过这部分内容,读者可以对工程的核心技术有更深入的了解。这两大部分内容互为补充,读者可以穿插阅读。

本书由贺维国、邢永辉、沈永芳、吕洋等编著,吴刚、范国刚、宋超业主审,参加编写的主要有:第一篇(邢永辉、吴刚、陈海军)、第二篇(邢永辉、周华贵、杨海涛、奚笑舟、褚凯、李朋辉)、第三篇(吕洋、曾珂、陈海军、于勇、曹威、周恩先、马军秋)、第四篇(吴刚、沈永芳、冯珂、奚笑舟)。

本书可为从事沉管隧道工程建设的管理、设计、施工、监理、检测等专业技术人员提供借鉴和参考。

本书在编写过程中,得到中铁隧道勘测设计院有限公司和上海交通大学海洋水下工程科学研究院有限公司的大力支持和帮助,引用了上海交通大学、同济大学、广州打捞局、广东源天工程公司、中铁隧道集团有限公司、广州市隧道开发公司、上海海科工程咨询有限公司等参建单位的部分成果,还得到洪开荣、宋仪、刘建飞、张延猛、钟伟春、杨飞虎、王光辉、杨世东、王怀东、彭红霞、石刘、聂能横、李治国、吴鸿军、宋妍、曾进群、胡慧等同志的支持,并提供了论文;文稿在整理、出版过程中得到了中铁隧道勘测设计院有限公司赵晋友执行董事、张美琴副总工程师、李睿主任、徐彦举高级工程师、陈翰工程师等的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

编者虽然长期从事沉管隧道的设计、检测和研究工作,但受种种条件限制,书中疏漏和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2016年11月

第一篇 概述

第 1 章 工程背景与建设条件	3
1.1 工程背景	3
1.2 建设条件	6
第 2 章 工程建设概况	13
2.1 仑头隧道	13
2.2 官洲隧道	17
2.3 工程特点及关键技术	20

第二篇 仑头隧道修建关键技术

第 1 章 移动干坞	25
1.1 设计	25
1.2 施工	27
1.3 经验总结	30
第 2 章 管段预制	32
2.1 设计	32
2.2 施工	45
2.3 经验总结	55
第 3 章 管段附属结构	56
3.1 管段接头构造与形式	56
3.2 管段临时结构	63
3.3 经验总结	72

第4章 管段浮运、沉放及对接..... 73

4.1 浮运工艺..... 73

4.2 沉放与对接工艺..... 77

4.3 经验总结..... 79

第5章 灌砂基础..... 80

5.1 基础设计..... 80

5.2 模型试验..... 81

5.3 基础施工..... 84

5.4 经验总结..... 85

第6章 最终接头..... 87

6.1 最终接头..... 87

6.2 最终接头施工工艺..... 87

6.3 经验总结..... 93

第7章 护岸、围堰及接口段..... 94

7.1 护岸..... 94

7.2 围堰..... 100

7.3 接口段..... 101

7.4 经验总结..... 103

第三篇 官洲隧道修建关键技术

第1章 轴线干坞..... 107

1.1 干坞概况..... 107

1.2 坞底处理..... 108

1.3 边坡支护..... 109

1.4 坞内排水系统..... 110

1.5 干坞施工..... 110

1.6 经验总结..... 111

第2章 管段预制..... 112

2.1 设计概要..... 112

2.2 管段主体结构设计..... 112

2.3 管段预制施工..... 116

2.4 经验总结..... 121

第3章 管段浮运..... 122

3.1 管段浮运前的准备工作..... 122

3.2 管段浮运、沉放..... 126

3.3 经验总结	131
第4章 最终接头	132
4.1 最终接头设计与施工	132
4.2 二次围堰设计与施工	133
4.3 经验总结	135
第5章 护岸接口段	136
5.1 护岸结构	136
5.2 接口段	138
5.3 经验总结	143

第四篇 水下检测技术

第1章 水下检测技术	147
1.1 概述	147
1.2 沉管隧道水下检测体系	149
第2章 水下检测技术应用	151
2.1 检测内容	151
2.2 水下检测典型成果	152
2.3 经验总结	161
参考文献	163

第五篇 论文选编

广州市仑头—生物岛沉管隧道设计体会	167
广州市仑头—生物岛水底隧道方案论证	180
严重液化沉管隧道抗震计算	189
静力作用下沉管隧道三维数值模拟	199
沉管隧道主体结构设计关键技术分析研究	207
从仑头—生物岛沉管隧道浅谈混凝土管段的防水设计	218
利用移动干坞制作沉管管段	226
广州市仑头—生物岛隧道护岸结构设计	233
广州市仑头—生物岛隧道护岸结构设计	246
浅谈沉管隧道起浮与抗浮设计	253

仓头—生物岛沉管隧道管段浮运方案探讨..... 259

仓头—生物岛沉管隧道岸上最终接头设计..... 265

广州某沉管隧道固定干坞与移动干坞方案的经济比较..... 272

生物岛—大学城沉管隧道最终接头设计..... 278

仓头—生物岛隧道工程大型沉管模板体系的设计与计算..... 285

沉管隧道混凝土施工关键技术探讨——混凝土配合比设计..... 291

沉管隧道裂缝的成因、特点及控制..... 299

沉管隧道短管节拉合试验..... 307

模袋砂围堰在仓头—生物岛隧道工程中的应用..... 314

生物岛—大学城沉管隧道二次围堰施工技术..... 317

水下混凝土墙体拆除技术及工艺优化..... 325

生物岛—大学城沉管隧道灌砂试验及结果分析..... 334

水下检测与监测技术在沉管隧道工程中的应用..... 342

风荷载对半潜驳拖航时摇摆角的区间估计..... 350

广州仓头—生物岛隧道工程基槽的水下检测..... 357

广州仓头—生物岛隧道工程水中管段对接之检测研究..... 369



第一篇 概述

第1章 工程背景与建设条件

第2章 工程建设概况

Construction Technology Practice of New Type
in the Inland River
Immersed Tunnel Engineering

目前,修建水下隧道的方法,主要有矿山法、盾构法和沉管法。矿山法适用于地质条件较好的岩质地层,且隧道埋深最大;盾构法适用于较均匀的土质地层,要求有一定的覆盖层;沉管法可以适用于不同地质条件,隧道埋深最小,隧道顶部甚至可以没有土层覆盖。

广州仑头隧道、官洲隧道首尾相连,依次连接了海珠区仑头村、开发区生物岛、番禺区大学城三地,在生物岛两侧跨越仑头海、官洲河两条珠江河道。由于生物岛南北向长度较短,要实现此通道与生物岛的道路衔接,只能采用埋深最浅的沉管法。这两座隧道虽然距离很近,但地质条件、环境条件却差异很大,从而导致了非常大的设计差异,主要体现在以下三个方面:

(1)仑头隧道穿越的地层,主要是深厚的软土地层,两侧岸边及河道范围内的淤泥、粉细砂等软土厚度达 30~40m。这使得水下基槽开挖主要考虑边坡稳定及回淤问题,护岸结构采用了自稳性好的新型格栅式地下连续墙结构形式。

官洲隧道穿越的地层,主要是全强风化混合岩。这使得有超过 12万 m^3 的水下基槽开挖都需要采用水下爆破方式开挖,同时护岸结构采用了单层连续墙+锚索的结构形式,局部地方采用了对拉式锚索。

(2)仑头隧道周边建筑物密集,无法找到合适的干坞场地,因此在世界上首创了移动干坞方案用于沉管管段的预制;为了节省工期,提出了水下最终接头方案。此外,受移动干坞最大载重能力的限制,决定了管段的最大长度,从而导致两岸需施作一定的模袋砂围堰。

官洲隧道周边建筑物较少,且已开始拆迁,加之官洲河河道较为狭窄,因此采用了常规的轴线干坞方案用于沉管管段的预制。与轴线干坞对应,采用了岸边最终接头方案,但是由于沉管段与干坞坞底存在 10 多米的高差,因此创造性地提出了岸边水下最终接头的方案。为了在纵向空间有限的条件下实现岸边水下最终接头的施工,又创造性地开发出采用水下不扩散混凝土浇筑二次围堰的新工艺。

(3)仑头海河道中间存在水下深槽,为了保证两岸道路接线顺畅,仑头隧道在深槽处采用了局部突出 2.5m 的方案;同时,仑头隧道由于地处软土区域,沉管段后期沉降较大,为了控制沉管段与岸上段结构间的差异沉降,在两者的衔接处采用了承台式构造。

本篇第 1 章主要从工程背景、建设条件出发,详细对比介绍了两座隧道总体布置以及地质、水文、航运、河势演变等情况。第 2 章分别介绍了两座隧道工程特点与技术难点、主要建设过程、主要参建单位等,并对工程的关键技术作出简要介绍。