

港珠澳大桥岛隧工程

论文集

卷 I



中交港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部

科学出版社



港珠澳大桥岛隧工程

论文集

卷 I



中交港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是在港珠澳大桥建设过程中建设团队结合理论设计、思考、实践实施而编写的论文的集锦，本卷为综合、设计及人工岛方面内容，共计81篇论文。

本书可供从事桥梁道路工程设计、施工、测量、监测等专业人员参考，也可供高等院校交通工程、桥梁工程、道路工程等专业师生阅读。

审图号：GS（2018）5372号

图书在版编目（CIP）数据

港珠澳大桥岛隧工程论文集. 卷 I/中交港珠澳大桥岛隧工程项目
总经理部编. —北京：科学出版社，2019.1

ISBN 978-7-03-059191-3

I. ①港… II. ①中… III. ①跨海峡桥—桥梁工程—文集②水下
隧道—隧道工程—文集 IV. ①U4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 240276 号

责任编辑：郭勇斌 欧晓娟 / 责任校对：王萌萌 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1月第一版 开本：787×1092 1/16

2019年1月第一次印刷 印张：39

字数：925 000

定价：218.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

“港珠澳大桥岛隧工程论文集”编委会

主 任 林 鸣

副 主 任 刘 晓 东 尹 海 卿 刘 亚 平

编 审 委 员 (以 姓 氏 笔 画 排 序):

王 强 孔 令 磊 冯 颖 慧 刘 海 青

杨 绍 斌 吴 凤 亮 何 波 张 宝 兰

陈 伟 彬 陈 良 志 陈 林 林 巍

罗 冬 岳 远 征 周 光 强 孟 凡 利

赵 辉 高 潮 高 纪 兵 黄 维 民

宿 发 强 梁 桁 梁 杰 忠 屠 柳 青

董 政 谢 臣 伟 樊 建 华

序 言

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，是我国继三峡工程、青藏铁路、南水北调、西气东输、京沪高速铁路之后又一重大基础设施项目。其中，岛隧工程是大桥的控制性工程，包括一条长 6.7 km 的沉管隧道和两座各 10 万 m² 的外海人工岛，采用设计施工总承包模式，由中国交通建设股份有限公司联合体承建。

沉管工法是一项综合了水工工程、地下工程、隧道工程的复合性技术，实施难度和风险非常大，因而在隧道建设中应用不多。到目前为止，全世界建成的沉管隧道只有一百多条，主要集中在美国、日本、欧洲等发达国家及地区。中国的沉管隧道建设起步较晚，在 20 世纪 90 年代初才建设了第一条沉管隧道，截至 2010 年，全国也只在内河、江湖中修建过十多条沉管隧道，长度也是几百米级的。

深埋海底、长达 6.7 km 的外海沉管隧道，放眼全球，都是令人望而生畏的难题：岛隧工程结合、软土地基不均匀沉降控制、超大管节预制、外海条件管节浮运和沉放、深水深槽条件管节对接、结构与接头的水密、最终接头等技术难题都是具有世界级挑战性的。

七年建设征程，岛隧工程建设团队攻坚克难、创新实践，完成了 100 多项试验研究，申报并取得超过 400 项技术专利，开创了公路沉管隧道“最长、最大跨径、最大埋深、最大体量”四项世界纪录，取得了大直径深插钢圆筒快速成岛新技术、半刚性沉管新结构、整体式主动止水最终接头新方案、复合地基加组合基床隧道基础新形式等多项创新成果；攻克了曲线段沉管工厂法预制、外海沉管安装等多项新技术。这些创新成果是本工程项目一线科技人员聪明才智与实践探索的结晶。

2011~2017 年，4000 名岛隧建设者七年如一日，坚守七年、奉献七年，确保了港珠澳大桥主体工程顺利交工验收。现将项目建设过程中编写及发表的论文约 400 篇进行梳理汇总，形成了论文集共四卷，呈现给同行和专家学者，以供参考。由于水平有限，本书难免有错误、遗漏及理解偏颇之处，还望读者不吝赐教，以便鞭策我们不断探索和提升，全体编写人员对此深表感谢。

最后，衷心感谢各级领导和同仁对港珠澳大桥岛隧工程的支持、关心与帮助！

中国交通建设股份有限公司联合体
港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部

2018 年 11 月

目 录

序言

综 合

沉管隧道规划综述	林 鸣 刘晓东 林 巍 等 (3)
沉管隧道结构选型的原理和方法	林 鸣 林 巍 (15)
港珠澳大桥：中国智造的“超级工程”	林 鸣 (24)
The Hong Kong-Zhuhai-Macao Island and Tunnel Project	Ming Lin Wei Lin (26)
港珠澳大桥沉管岛隧工程技术实践	刘晓东 (29)
港珠澳大桥岛隧工程设计施工关键技术	尹海卿 (33)
日本交通沉管隧道的发展与经验	林 鸣 林 巍 刘晓东 等 (47)
钢混三明治沉管结构综述	林 鸣 刘晓东 林 巍 等 (58)
钢混三明治沉管结构发展历史及设计方法适用边际研究	林 鸣 刘晓东 林 巍 (65)
高流动性混凝土综述及在沉管隧道中的应用	林 鸣 刘晓东 林 巍 (76)
日本沉管隧道最终接头施工新工法	林 鸣 史福生 表 莲 (88)
整体式主动止水最终接头技术及其与沉管管节的一体化	林 鸣 林 巍 刘晓东 等 (96)
港珠澳大桥沉管隧道路面问题的探讨与改良构想	林 鸣 林 巍 刘晓东 等 (113)

设 计

港珠澳大桥总体设计与技术挑战	刘晓东 (123)
港珠澳大桥岛隧工程精细化勘察组织与实施	林 鸣 (130)
沉管隧道勘察设计关键技术问题分析与探讨	张志刚 刘洪洲 (143)
沉管隧道节段接头剪力分配原则及降低剪力构造措施研究	黄清飞 李 塔 吕勇刚 (156)

沉管隧道纵向计算原则与软件研发	李 毅 付佰勇 徐国平等	(162)
港珠澳大桥岛隧工程隧道基础沉降计算及参数选取	李建宇 梁 桁	(168)
外海深埋沉管隧道基槽水下边坡设计与稳定性分析	王 勇 乔春生 孙彩红	(177)
海中沉管隧道回填防护设计的讨论	林 巍 张志刚	(184)
港珠澳海底沉管隧道近陆域段管节防护设计	张志刚 林 巍 刘晓东等	(193)
港珠澳跨海集群工程海底沉管隧道防火设计	张志刚 林 巍	(203)
港珠澳大桥西人工岛二次止水墙优化设计	陈海锋 王婷婷 梁 桁	(211)
港珠澳大桥东人工岛岛上建筑设计——自然与人文的结合	冯颖慧 姜立得	(216)
人工岛岛上建筑工程的结构设计分析	梁继忠	(224)
港珠澳大桥东人工岛结合部非通航孔桥总体设计	陈虎成 刘 磊 刘晓东等	(230)
港珠澳大桥沉管隧道最终接头吊装解析	刘凌锋 林 巍 尹朝晖等	(238)

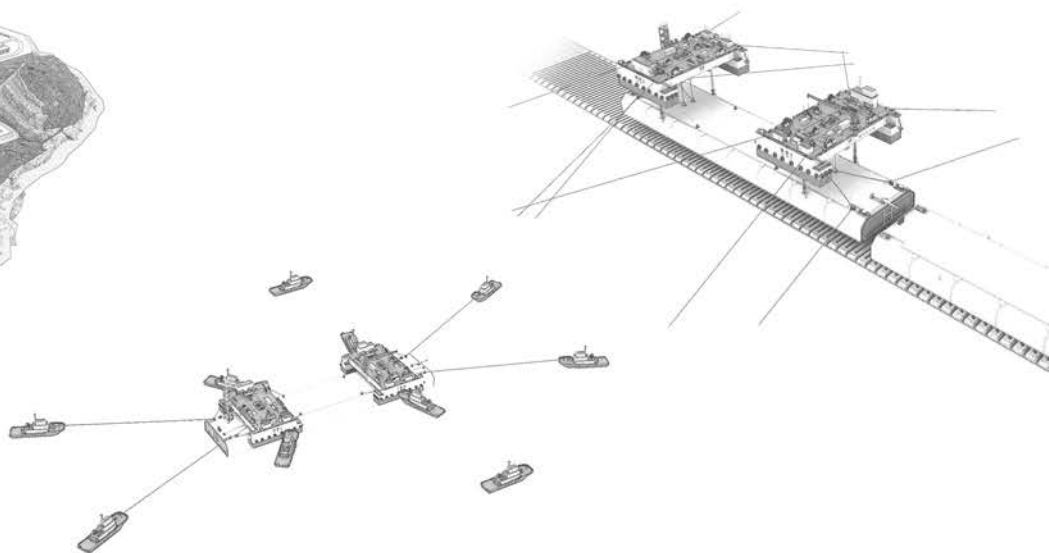
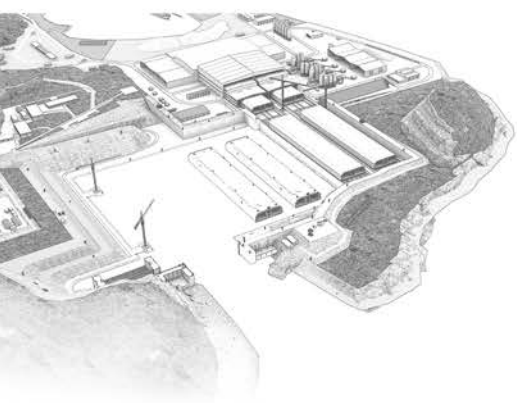
人 工 岛

大直径钢圆筒振动下沉工艺及设备的开发与应用	孟凡利 孔令磊 刘昊槟等	(255)
港珠澳大桥快速人工建岛施工关键技术	沈永兴 李业勋 张 奎	(261)
大直径钢圆筒振动下沉可行性分析方法	胥新伟 刘亚平 高 潮	(269)
大直径钢圆筒振沉计算方法	胥新伟 刘亚平 黎双邵	(274)
港珠澳大桥岛隧工程钢圆筒制造技术	李 森 余良辉 周力伟	(279)
钢圆筒围堰结构有限元应力分析	王 宇 胥新伟 刘思国	(285)
港珠澳大桥钢圆筒振沉施工船舶驻位工艺	张铁军 刘昊槟 杨润来	(290)
港珠澳大桥钢圆筒振沉测量定位系统开发及应用	沈家海 刘 明 刘保永	(295)
港珠澳大桥人工岛副格陆地振沉试验吊装工艺及设计	刘 峰 赵 坤 陈 机	(300)
港珠澳大桥西人工岛钢圆筒及岛内回填砂成岛技术	陈梅生 孔令磊	(305)
港珠澳大桥围护结构宽樁槽止水施工工艺	马 旭 张怡戈 程 琪	(310)
外海人工岛围护结构修补加固技术	杨润来 孟令月	(315)
港珠澳大桥钢圆筒与副格水下拆除施工技术	丰贯凌 刘昊槟 程 琪	(319)

港珠澳大桥西人工岛钢圆筒围堰结构稳定性监测及分析·····	唐永国 刘保永 (325)
钢围堰结构下软土地基固结沉降分析·····	侯晋芳 喻志发 李明英 等 (335)
东人工岛钢圆筒沉降位移分析·····	金廷文 钱健龙 (342)
港珠澳大桥岛隧工程大圆筒结构边坡稳定分析·····	张丽珍 刘海欣 (350)
港珠澳大桥西人工岛沉管隧道基础高压旋喷桩施工技术·····	刘昊槟 程 琪 (357)
港珠澳大桥西人工岛超厚度回填砂上超长度塑料排水板打设工艺·····	马 旭 冀 晋 陈三洋 (366)
港珠澳大桥西人工岛现浇隧道基础中粗砂振冲密实施工技术·····	孟令月 杨归任 贾紫阳 (373)
现浇隧道基础 PHC 桩复合地基施工技术·····	孟令月 张 端 (378)
外海挤密砂桩复合地基上重力式码头施工总结·····	张 端 杨润来 冀 晋 (384)
挤密砂桩复合地基重力式码头沉降位移监测及分析·····	孔令磊 唐永国 (394)
深基坑及岛隧结合部施工关键技术 in 离岸海上人工岛中的应用·····	孔令磊 张怡戈 刘昊槟 (408)
外海人工岛深基坑监测技术·····	靳 胜 杨润来 (417)
外海深基坑管涌封堵技术·····	刘昊槟 杨润来 孟令月 (422)
港珠澳大桥西人工岛止水结构水密性验证·····	靳 胜 杨润来 刘保永 (429)
港珠澳大桥西人工岛现浇隧道防水体系的综合应用·····	陈三洋 孟令月 李海平 (435)
港珠澳大桥岛隧工程西人工岛暗埋段隧道模板设计及施工技术·····	赵传林 张怡戈 杨润来 (443)
港珠澳大桥西人工岛现浇隧道暗埋段钢筋安装施工工艺·····	杨润来 陈三洋 刘保永 (454)
港珠澳大桥西人工岛现浇隧道暗埋段高大模板支撑体系安全管理·····	孟令月 赵立新 (463)
大尺度现浇暗埋段隧道裂缝控制关键技术·····	谷坤鹏 于 铜 陈克伟 等 (468)
港珠澳大桥东人工岛隧道现浇暗埋段结构防裂技术·····	王金龙 莫日雄 (475)
港珠澳大桥西人工岛现浇隧道端钢壳安装技术·····	刘昊槟 杨润来 朱宝华 (480)
港珠澳大桥西人工岛现浇隧道端封门安装技术·····	杨润来 刘昊槟 朱宝华 (486)
港珠澳大桥东人工岛敞开段清水混凝土模板施工技术·····	张 奎 吴海章 陈传正 (493)
港珠澳大桥东人工岛敞开段隧道侧墙大体积混凝土温度控制·····	赵 辉 谷坤鹏 陈克伟 (498)

隧道敞开段底板大体积混凝土温度应力控制技术	刘海青 谷坤鹏 赵 辉 等 (506)
现浇隧道大体积混凝土温度裂缝控制	刘保永 陈三洋 何海龙 (512)
现浇隧道混凝土裂缝修补技术	陈三洋 刘保永 何海龙 (517)
港珠澳大桥清水混凝土施工足尺模型试验研究	孔令磊 杨润来 江宪权 (522)
石灰石粉清水混凝土试验研究	汪华文 薛安平 阳 俊 等 (528)
港珠澳大桥西人工岛敞开段隧道清水混凝土施工	刘昊槟 孟令月 贾紫阳 (537)
移动模板支撑体系在港珠澳大桥东人工岛清水混凝土施工中的应用	陈利军 王 岩 (543)
东人工岛挡浪墙墙身清水混凝土施工技术	吴 平 王 聪 邵 亮 等 (551)
港珠澳大桥挡浪墙清水混凝土控裂技术	张怡戈 贾紫阳 孟令月 (557)
港珠澳大桥东人工岛清水混凝土外观质量控制	莫日雄 陈利军 (564)
港珠澳大桥人工岛房建清水混凝土质量控制	季 晖 刘可心 刘 雨 (572)
港珠澳大桥东人工岛非通航孔桥箱梁混凝土全断面一次浇筑施工工艺	陈传正 刘宇光 (580)
港珠澳大桥东人工岛非通航孔桥浪溅区钢筋混凝土防腐体系	宋子鹏 莫日发 (586)
港珠澳大桥东人工岛结合部非通航孔桥管线槽侧板预制工艺	曾庆喜 游 川 王鼎献 (592)
论港珠澳大桥东人工岛现浇防撞护栏精细化施工	陈利军 王 岩 (597)
海上高频振动打桩的动侧摩阻力及可打性工程研究	李业勋 张 奎 沈永兴 等 (606)

综 合



沉管隧道规划综述*

林 鸣¹, 刘晓东², 林 巍², 孙 亮³

(1. 中国交通建设集团有限公司, 北京; 2. 中交公路规划设计院有限公司, 北京;
3. NCC 设计咨询公司, 东京 日本)

摘 要: 本文讨论了沉管隧道规划的方法与原则。以实现工程价值为目标, 以保证安全、工期及投资为导向, 从项目调查、方案比选及实施模式 3 个方面展开论述。方案比选中着重讨论了比选目的、技术评价、经济评价及复合评价体系, 并提出了适应可持续发展需求的全社会成本评价体系的初步思考。对于沉管隧道项目, 选择适宜的实施方案有利于激发创新方案, 降低风险。期望本文能够为沉管隧道项目或类似项目的规划提供有益的借鉴。

关键词: 沉管隧道; 总体规划; 方案比选; 实施模式

1 概 要

沉管隧道具有投资大、建设风险大的特点, 因此立项时的总体规划研究至关重要。

沉管隧道规划包括调查、选择工法、确定总体性方案、预制方案, 还需要考虑工程实施方式^[1]。

沉管隧道规划的挑战主要来自 3 个方面:

1) 专业面广。涉及社会、经济、环境, 以及水(海)工工程、隧道工程、结构工程、公路工程、机电工程等多领域、多专业^[1]。

2) 沉管工法具有可供选择的方案及其组合形式多样的优势^[1, 2]。但是对于沉管隧道规划而言, 该优势可能会成为挑战。因为沉管工法的总体方案与未来工程实施主体的能力、经验甚至技术喜好关联度极高^[1, 2], 在沉管规划阶段, 实施主体信息不完全, 极易导致认知缺失问题^[3]。

3) 各种因素交错影响(interlinked)^[1]。为应对上述挑战, 作者回顾已有文献, 结合工作体会, 归纳并提出了沉管隧道规划内容及原则的思考。

首先, 需要掌握项目环境及特点, 进行广泛的工程调查, 第 2 节将论述调查内容及目的。

* 本文曾刊登于《中国港湾建设》2017 年第 1 期。

其次,为了确保沉管隧道的最终成品与期望一致,对一些方案需进行选择;同时,为了保证安全、工期及造价可控,对一部分关键的工法与构造需进行具体考量。因而在第3节讨论比选原则,第4节具体讨论几个主要方案的比较。

最后,为获得优化建设方案、降低项目风险,得到创新性方案是关键,因而需根据项目特点营造创造性的工作环境。第5节针对沉管隧道项目讨论了传统设计-合同-施工模式与设计施工总承包模式在沉管隧道工程应用中的优劣比较,以及应如何引导设计方案。

本文未讨论工程建设的必要性及经济性等方面的问题。

2 调 查

与一般工程一样,调查是沉管隧道规划的基础性工作,调查成果不仅对于沉管隧道的规划、设计、施工十分重要,对于沉管隧道完成后的维护运营管理也十分重要。

调查内容主要包括社会环境、自然条件、环境保护及预制场等方面^[2]。

2.1 社会环境

2.1.1 水道

主要包括河床、海床现标高及演变趋势、回淤规律;现在的航道,未来的规划航道;锚地;以及沉管施工可使用的临时水域、临时航道条件。

2.1.2 航运

沉管隧道规划水域内存在航道时,需要对航行船舶进行实际状态调查,包括航行目的地、船型、通航时间段、通行船舶数量、航迹图及系泊状况。

2.1.3 交通

沉管隧道用于道路交通时,需要对机动车情况,步行、自行车交通,兼用管廊,危险品运输需求,有无收费站等进行调查。

2.1.4 法规限制

需要进行相关城市规划法规调查,掌握土地、水利、渔业、文物等限制条件。

2.1.5 障碍物

调查沉管隧道规划区域的上下水道,电力、通信、煤气等地下管线,以及管线尺寸、

位置、材质、老化程度；是否有废弃的旧构筑物及其基础、护壁、沉船；可能存在爆炸物时，要进行爆炸物调查。

2.1.6 防灾

调查规划的沉管隧道与周边区域的联动防灾的条件和需求。

2.2 自然条件

2.2.1 气象

气象条件调查包括气温、风向、风速及降雨量等。对于沉管隧道规划而言，气温用于分析沉管隧道结构的温度应力及变形；风向和风速用于评估海上作业可用的窗口和尾气的扩散计算；降雨量用于排水设计。

2.2.2 水文

水文调查包括流量（径流），流速、流向及其分布特征，水位（潮位），海水密度、温度，波浪及其特征。对于沉管隧道，这些因素影响沉管的设计与施工，决定沉管的重力平衡设计^[4,5]、压载水箱设计^[6]、拖航及沉放作业效率^[5]。

需注意，海水的密度会随着季节、水温的变化而变动（图1）。

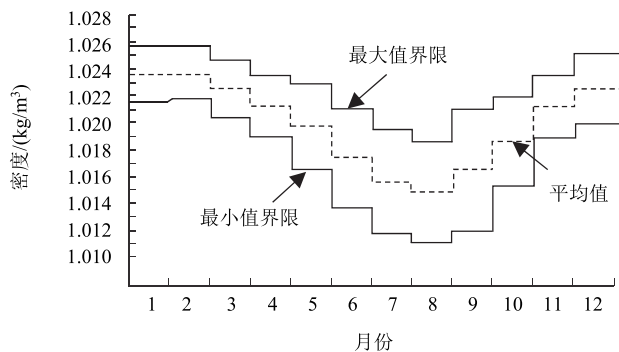


图1 海水密度随月份的变化

2.2.3 地质

需要查明规划的沉管隧道区域的地层构成、土质性状，重点关注基础沉降和基槽开挖难易度。与陆上结构物不同的是沉管隧道通常不存在地基承载力的问题，但是如果存在地基和基础的压密沉降，需要特别注意不均匀沉降问题。如果规划沉管隧道轴线的地层构成变化剧烈或土质条件变化显著，地震条件下会使得沉管结构承受巨大应力，因此

在规划沉管隧道轴线时应予以重视。

沉管隧道地质调查应从规划的初期开始，参考表 1。

表 1 沉管隧道地质调查概要表

调查阶段	初期调查		正式调查		补充调查
	资料调查	现场勘查	概略调查	详细调查	
调查目的	①概略掌握地层构成及土质状况； ②判断可能出现问题的土质及确认以后需要的调查作业		①掌握全线的地层构成及土质状况； ②选定采样地点； ③确定详细调查方针	①掌握全线的地层构成及土质状况； ②掌握地下水分布； ③掌握土力学的各项性质，绘制土质纵断面图和横断面图	①补充土质调查； ②对设计施工方面产生问题的土质进行精密调查； ③对不十分明确的位置追加调查； ④地震及其他特殊情况的设计资料
调查方法	①收集整理现有资料； ②文献调查	①地表地质调查； ②窰井调查； ③声波探测	①地质钻孔； ②声波探测； ③物理探测； ④采样； ⑤室内试验	①现场位置试验； ②物理检层； ③室内试验； ④现场抽水试验； ⑤动态特性试验； ⑥材料试验； ⑦水质试验； ⑧试挖调查	①地质钻孔； ②声波探测； ③现场位置试验； ④物理检层； ⑤平板荷载试验； ⑥施工试验； ⑦地下水模拟
调查内容	①概略地形； ②概略地质； ③周边自然及社会环境概况； ④概略水文、气象条件； ⑤以往的地质灾害	①概略地形； ②概略地质； ③确认周边自然及社会环境，软弱地基的分布状况； ④掌握以往的地质灾害等； ⑤选定后期的调查地点	①地层构造； ②土层的分布状态，特别是软弱地基的分布状态； ③典型的土力学的相关性质； ④地下水分布情况； ⑤设计施工上的问题点	①详细的地质构造和土层的分布状态； ②各层的详细的力学性质（强度、变形、压密、透水性等）； ③含水层的性状； ④地基在震动时的动态特性； ⑤作为材料土的适用性； ⑥设计施工上的问题点	①决定并确认详细调查时补充设计用数值； ②施工上的问题点

2.2.4 地震

地震调查可参考文献[2]。

2.3 环境保护

2.3.1 水质

在沉管隧道施工期可设定浮游悬浮物浓度及 pH 等环境控制指标，用以评估疏浚、回填施工对水质的影响。在隧道运营期需考虑隧道路面排水和清扫用水，对水质环境影响进行评估。

2.3.2 大气

公路沉管隧道需要进行大气背景调查，包括隧道周边的风向、风速、温度及日照，

使用这些数据评估预测从隧道口及通风塔排出的机动车尾气污染物质，包括 CO₂、NO_x、SO_x 等及烟尘对沉管隧道周边环境的影响。

2.3.3 噪声与震动

在城市人群密集地区规划建设沉管隧道，需要进行工程噪声与震动影响调查。要特别关注对相关的地方性规定的调查。

2.3.4 地下水及其影响

沉管隧道陆上段开挖施工一般都需要进行地基降水，地基降水及其地下水位变化控制不当会引发周边地基沉降，因此需要进行隧道建设地下水位的变化影响调查。同时对于地下水水质及地下流的影响也需关注。

2.3.5 砂石料与工程弃土

沉管隧道施工需要大量优质的砂石料，需对来源进行调查。

沉管隧道施工会产生大量弃土，需要对弃土土质、特别是有机物污染等进行确认，对其再利用及处理方法做好调查。

2.4 预制场

2.4.1 预制场地

沉管隧道构件超大，预制场地规划十分受限。通常仅可考虑采用既有船坞、专用干船坞（包括工厂法）、浮船坞（半潜船）、岸壁制作场等作为预制场地。

利用既有船坞需结合场地规模、吃水、地基承载力等综合判断是否适用。

专用干船坞（包括工厂法）应尽可能在规划沉管隧道的沿岸区域选择，对于软弱地基需要考虑地基处理的额外投入和工程风险。

对于浮船坞（半潜船），需调查甲板尺度、承载能力，评估预制工效。岸壁制作场仅适用于小规模沉管隧道项目，需要利用滑道或浮吊辅助下水。

2.4.2 舾装场地

舾装作业包括在预制完成的沉管上安装沉放所用各种设备，完成沉放准备等。舾装场地需选择在水面平静、水深足够、水域宽阔、拖航方便与临时放置场地联动便利的区域。为了便于舾装场地的选址，需要对规划区域的气象、海况、航道及陆地支持条件进行充分调查。

需要浮态进行混凝土浇筑时，钢壳沉管系泊和浇筑条件是调查重点。

2.4.3 临时放置场地

沉管临时放置可选择漂浮系泊方式或坐底方式。

选择漂浮系泊时需调查潮流、波浪等气象及海况条件，评估安全风险。

坐底方式通常需要将沉管管节沉放在海底人工碎石垫层上，需要对海床承载能力、冲刷稳定等进行调查。

选择临时放置场地同样需对水深、海况、预制场地及舾装场地的距离等进行调查。

3 比选原则

3.1 技术评价

对于沉管隧道，在规划阶段通常需要对总体方案的各个方面做出决策，包括：①结构形式。例如，用钢壳还是混凝土^[1]；②建造位置^[2]；③预制场及位置^[2]；④平、纵线形^[1,2]；⑤中隔墙数量^[4]，或横断面布置^[2]；⑥管节长度^[2]；⑦维护方法^[2]；⑧通风方案^[1]及通风塔^[2]。

这是为了尽早向可实施方案靠近^[7]，缩小可选方案的范围，以利于方案深化。在规划阶段确定的总体方案应该趋向于提高项目安全、质量，更好地控制工期及造价。反之，如果规划阶段的选择并不能或清晰地达成上述目标，则应该考虑将选择放在下个阶段，以便获得更加全面的信息，进而得到更优的决策。例如，图 2 说明隧道内司机与乘客的安全与横断面管廊划分的联系^[1,8]，可看出，对成品期望的描述越具体，越易缩小可选方案的范围。

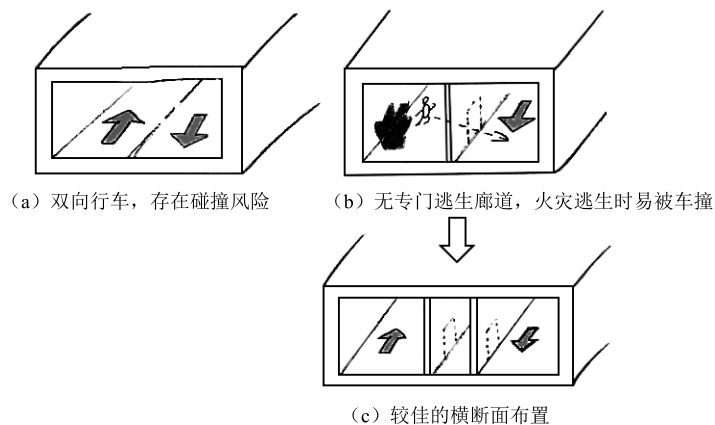


图 2 人员安全度期望与横断面布置形式的关联示意图

沉管隧道方案的因素间相互影响^[1]，方案比选通常是一个反复的过程。例如，沉管管

节横断面布置影响管节漂浮时的吃水深度^[5], 同时影响沉管基槽的开挖量及通风方案^[1], 管节吃水深度影响管节拖运时可达的地点, 管节可达的地点影响可供选择的预制场位置, 预制场的特点影响结构选型^[9], 而结构选型又会影响横断面布置。

沉管方案比选涉及多因素, 并且与工法紧密联系。以管节长度方案评价为例, 长管节的优势如下。

1) 接头数量较少, 管节接头的制造费用较低。管节接头包括临时止水端封门、预埋件及橡胶止水带^[10]。

2) 管节数量少, 总的安装次数较少^[1, 10], 有可能减少浮运及沉放的施工费用。

3) 对于海上作业, 浮运、沉放通常被认为是沉管施工的主要风险^[10], 厄勒海峡沉管隧道管节安装期间发生过端封门破损的事故^[11], 管节数量少, 作业次数少, 对作业风险控制较为有利^[1, 10]。

长管节的劣势如下。

1) 增加单次施工的费用^[10]。

2) 预制场地的空间要求较大^[1]。

3) 对基础不均匀沉降更敏感, 因此结构设计可能偏不经济。

4) 长管节对水动力荷载更敏感^[2], 参考图 3, 因此可能增加运输时的风险。

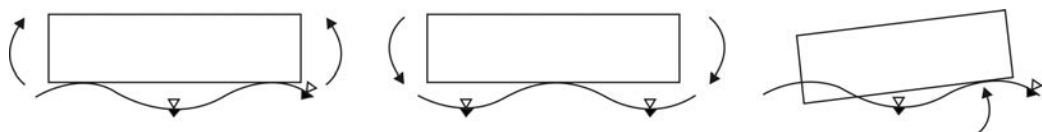


图 3 浮运时沉管管节纵向受力示意图

5) 对于混凝土隧道, 由于弯曲裂缝受纵向预应力控制^[12], 管节越长, 预应力费用将增加^[10]。

6) 当沉管管节位于曲线上, 长管节将导致横向尺寸增加, 如图 4 所示。

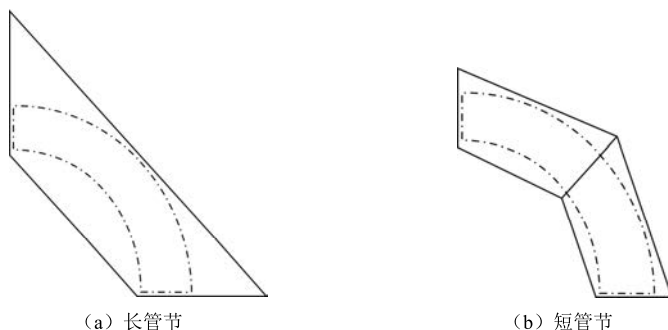


图 4 曲线管节长度与宽度的关系平面示意图

综上, 沉管隧道规划阶段的方案比选与决策时应注意因素多、因素交错、与工法联系紧密, 同时需要反复比较, 当目标优势不明显时, 为获得较优的方案, 可将决策留到下个阶段。