



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目

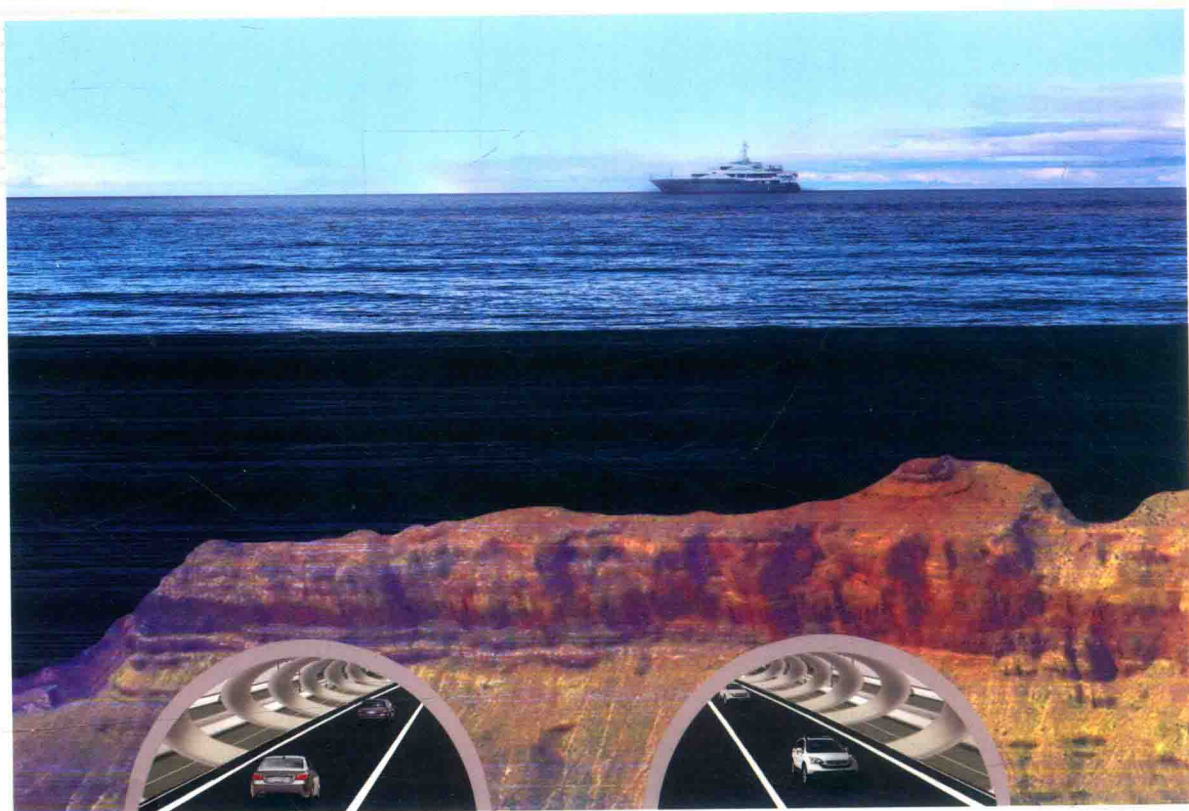
大型跨海隧道 钻爆法修建技术

Construction Technology of Large Cross Section

Subsea Tunnel

Using Drill and Blast Method

张顶立 著



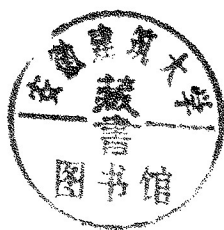
人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十二五”国家重点图书出版规划项目

大型跨海隧道钻爆法 修建技术

张顶立 著



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

内 容 提 要

本书为“十二五”国家重点图书出版规划项目,基于国家“863”计划项目“大型跨海隧道钻爆法修建核心技术研究”成果,重点介绍了钻爆法修建跨海隧道的基本原理及核心技术。全书共分8章,系统介绍了海底隧道建设全过程安全风险控制体系、突水机理及事故演化过程、隧道平纵断面确定方法、地质保障技术、不良地质体复合注浆理论与安全施工技术,最后阐述了主动控制式防排水系统及结构设计方法。

本书可供从事隧道与地下工程专业的设计、科研和施工等技术人员参考使用,也可作为高校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大型跨海隧道钻爆法修建技术 / 张顶立著. — 北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2017. 12
ISBN 978-7-114-14257-4

I. ①大… II. ①张… III. ①水下隧道—隧道施工—
钻爆法施工—施工技术—研究 IV. ①U459.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 252952 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

书 名: 大型跨海隧道钻爆法修建技术

著 作 者: 张顶立

责任编辑: 李 喆 卢俊丽 肖 鹏

责任校对: 宿秀英

责任印制: 张 凯

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.ccpres.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: 25.25

字 数: 640 千

版 次: 2018 年 3 月 第 1 版

印 次: 2018 年 3 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14257-4

定 价: 110.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

海底隧道作为一种重要的跨海通道方式,在国外已得到广泛的应用。20 世纪 30 年代以来,国外已先后修建了 40 多座跨海隧道工程,修建方法主要有钻爆法、沉管法和掘进机法。其中,钻爆法因具有适应性强等诸多优点得到了较为普遍的应用。挪威采用钻爆法已建成 100 多公里的海底隧道;日本著名的关门海底隧道、青函海底隧道均采用钻爆法建成。国外在海底隧道钻爆法施工方面积累了一定的成功经验,但我国地域辽阔,地质条件变化较大,且围岩条件普遍较差,如厦门翔安海底隧道的风化槽(囊)、青岛胶州湾海底隧道的断层破碎带,以及大连湾海底隧道的浅层岩溶构造等不良地质条件,都是制约隧道安全施工的关键因素。

作为建造于海床以下的隧道工程,海底隧道面临着施工过程中的突涌水防治和运营期间的排水量控制两大核心难题。因此,在采用钻爆法修建海底隧道时应重点解决好以下问题:①隧道合理覆盖层厚度的确定,这是施工安全和结构稳定的保证;②施工过程中的地质保障系统和超前预报技术,这是隧道安全施工和结构耐久性设计的保障;③不良地质体的有效处置与可靠加固,这是海底隧道修建的核心技术;④隧道施工过程的精细化变形控制,这是实现隧道安全快速施工的关键;⑤隧道防排水设计理论与方法的确定,这既是隧道安全施工的保证,更是隧道高效运营的前提;⑥施工过程中的质量控制与风险管理,这是安全、高质量建成海底隧道的技术与管理保证。本书针对上述问题,对作者近十余年的有关研究成果进行了系统总结,以期形成海底隧道钻爆法修建的核心技术体系。

全书共分 8 章,系统介绍了海底隧道建设全过程安全风险控制体系、突水机理及事故演化过程、隧道平纵断面确定方法、地质保障技术、不良地质体复合注浆理论与安全施工技术,并在最后阐述了主动控制式防排水系统及结构设计方法。

由于特殊结构形式和建造环境,海底隧道对其所穿越的地层条件具有绝对的依赖性,因而不良地质体通常成为控制性工程,也是海底隧道建设的主要技术难点。为确

保海底隧道的建设与运营安全,作者在国家“863”计划及国家自然科学基金重点项目等支持下,针对海底隧道不良地质段的地层加固与堵水、水环境作用下的围岩稳定性及安全风险控制、隧道渗水量控制等关键问题开展了系统的研究和实践,形成了海底隧道钻爆法修建设计理论与关键技术体系。

本书主要成果已在厦门翔安海底隧道和青岛胶州湾海底隧道等工程中成功应用,为工程安全提供了重要支持。主要创新性成果有:

(1)开发了复合注浆新技术,解决了海底隧道不良地层加固和堵水的核心技术难题。针对海底隧道不良地质体对地层加固和堵水的双重要求,提出了复合注浆新理念,在地层中充填注浆和劈裂注浆形成浆脉状结构,同时挤压浆脉之间的地层,以解决地层加固的问题;鉴于浆脉间的地层强度低且极易破坏,再由渗透注浆对浆脉间土体加固,从而复合成完整致密结构以达到堵水的效果,使海底隧道不良地质段的安全施工成为可能;并提出了以堵水率、加固体强度和加固体完整性作为注浆效果的评价指标。

(2)建立了隧道围岩变形与海床安全性之间的动态关系,实现了施工过程中的精细化安全控制。建立了三种突水模式的机理模型,用地层变形量表征突水危险性,提出了基于隧道安全的围岩变形控制标准确定方法;通过现场监测、模型试验和理论分析,建立了围岩变形与施工过程的时空演化机制,实现了精细化的过程控制;明确将水致灾害作为海底隧道的核心安全风险,建立了隧道极限覆盖层厚度的新理念,提升了钻爆法海底隧道建造的适应性。

(3)提出了基于排水量控制要求的隧道支护设计方法,建立了海底隧道主动控制式防排水体系和结构设计理论,实现了真正意义上的“堵水限排”设计理念。按照原始渗水量,将隧道围岩划分为不同的等级,据此确定出隧道防水原则以及地层加固和支护设计方案,建立了“地层—结构”的水耦合作用模型,给出了围岩加固圈、初期支护及二次衬砌水荷载的计算方法;明确了注浆加固圈的形成机理及作用,提出了围岩、加固圈和初期支护内侧渗水量预测模型;提出了隧道排水率与二次衬砌安全储备之间的动态关系,为相关结构设计提供了依据。

上述成果使我国在海底隧道不良地质体安全、快速施工方面实现了重要突破。与日本青函隧道采用全断面注浆和挪威奥斯陆隧道采用冻结法相比,我国在翔安隧道和胶州湾隧道不良地质段应用复合注浆技术,使堵水率达到98%以上,加固体强度达到5MPa,工程建设全过程无伤亡事故发生,不良地质段施工进度较常规技术提高两倍以上。

我国海岸线较长且江河湖泊众多,随着经济社会的快速发展,将修建大量的跨江海隧道工程,本书相关成果将为这些重大工程提供有力的技术支持,从而促进海底及

水下隧道设计理论和施工技术水平的整体提升,实现本行业的持续技术进步。

本书的研究工作得到了国家“863”计划(2006AA11Z119)和国家自然科学基金(重点项目51134001、面上项目50778011)的支持,得到了厦门翔安海底隧道和青岛胶州湾隧道工程参建单位有关领导和专家的无私帮助,宋浩然博士、孙振宇博士、侯艳娟博士、李鹏飞博士、李兵博士,陈铁林教授、房倩教授等为本书的出版付出了很多心血,宋浩然博士和孙振宇博士还协助作者完成了书稿的部分整理和校对工作,在此表示深深的谢意!

考虑到本书相关研究工作尚处于初步阶段,由于时间仓促,加之作者水平所限,且许多问题尚在研究之中,书中不妥甚至谬误之处难免,恳请广大读者批评指正!

著 者

2017年12月

第1章 绪论

1.1 海底隧道发展历程·····	002
1.2 海底隧道主要建造方法及其适应性·····	007
1.3 海底隧道建造的关键问题·····	016
1.4 海底隧道研究进展·····	021
1.5 本书特色与研究重点·····	033

第2章 海底隧道建设全过程安全风险控制体系

2.1 海底隧道建设期全过程安全风险特点·····	036
2.2 海底隧道建设期安全风险发生机理·····	039
2.3 海底隧道安全风险管理体系的建立·····	041
2.4 海底隧道建设期全过程安全风险因素及其评价·····	044
2.5 海底隧道施工突水安全风险分析与评估·····	063
2.6 海底隧道建设安全风险控制·····	096

第3章 海底隧道突水机理及事故演化过程

3.1 海底隧道突水特点·····	100
3.2 海底隧道突水模式·····	107
3.3 海底隧道围岩应力场的力学模型·····	111

3.4	水力劈裂型突水机理和演化过程·····	121
3.5	地层坍塌型突水机理和演化过程·····	131
3.6	结构面滑移型突水机理和演化过程·····	135
3.7	海底隧道突水过程特点及控制·····	140

第4章 基于工程安全性的海底隧道平纵断面确定方法

4.1	海底隧道覆盖层厚度及其合理值的确定·····	144
4.2	基于风险系数法的钻爆法海底隧道纵断面线位确定方法·····	152
4.3	基于风险系数法的钻爆法海底隧道平面线位确定方法·····	166

第5章 海底隧道建设的地质保障技术

5.1	海底隧道地质预报概述·····	174
5.2	TSP 长距离地质预报·····	177
5.3	地质雷达(GPR)法短距离地质预报·····	182
5.4	钻孔超前预报·····	190
5.5	海底隧道施工的工程响应及安全风险预测·····	194

第6章 隧道围岩复合注浆技术及其应用

6.1	不良地层隧道围岩安全性及其破坏特征·····	208
6.2	复合注浆技术及其作用机理·····	212
6.3	海底隧道注浆材料选择方法·····	236
6.4	海底隧道注浆设备选型与工艺设计·····	249
6.5	海底隧道注浆效果检测与评价方法·····	255
6.6	厦门翔安海底隧道 F1 风化槽复合注浆工程实例分析·····	260

第7章 海底隧道不良地质段的安全施工技术

7.1	大断面海底隧道上覆地层变形特点·····	280
-----	----------------------	-----

7.2	海底隧道围岩变形监测方案·····	282
7.3	大断面海底隧道围岩变形规律·····	286
7.4	大断面海底隧道地层变形控制标准研究·····	298
7.5	安全施工关键技术和应急管理体系·····	313

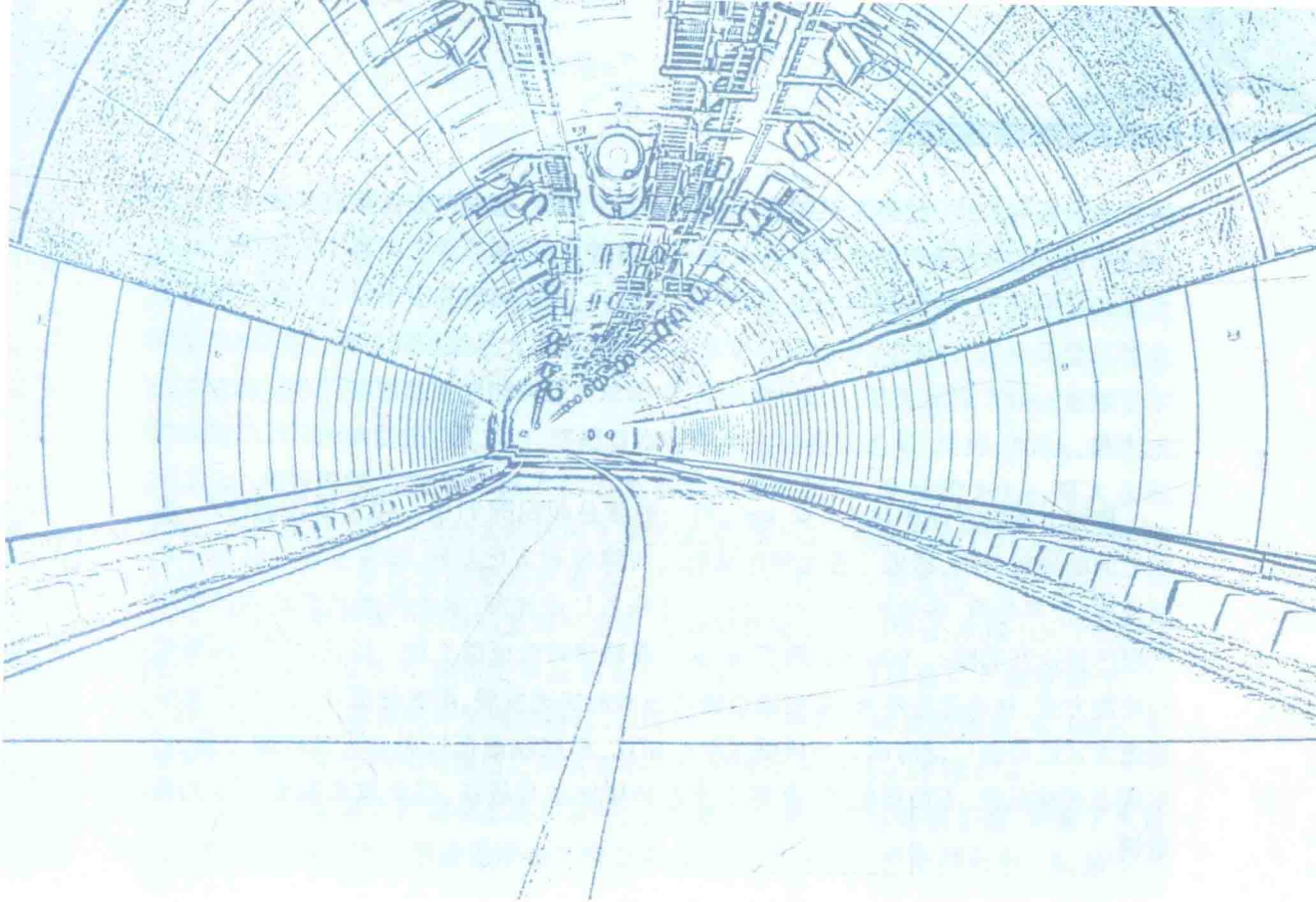
第8章 海底隧道主动控制式防排水系统及结构设计方法

8.1	主动控制式防排水设计理念·····	328
8.2	海底隧道渗水量预测方法·····	330
8.3	海底隧道“堵水系统”结构受力分析·····	338
8.4	基于结构安全性的海底隧道断面优化方法·····	341
8.5	海底隧道防排水结构设计·····	348
8.6	复杂条件下海底隧道防排水系统设计原则·····	370

参考文献	379
------	-----

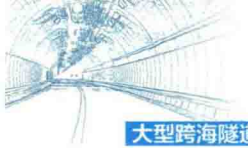
后记	387
----	-----

中英文索引	389
-------	-----



绪 论 第1章





地球上的海洋面积达 3.6 亿 km^2 , 约占地球总面积的 71%。由于海洋的存在, 地球上的陆地被分割, 造成了各地理区域的交通障碍和文化差异, 随着全球经济一体化的发展, 世界各国、各地区之间的生活、经济联系日益加深, 解决海洋造成的水域阻隔问题已经迫在眉睫。为实现陆路交通, 就需要修建跨海通道工程。以往通常采用桥梁与轮渡方式, 然而近些年来, 随着隧道修建技术的快速发展, 海底隧道作为一种重要的通道方式已得到广泛应用。与桥梁或轮渡相比, 海底隧道抵抗恶劣天气的能力强, 可实现全天候运营, 不妨碍航道, 有利于生态环境保护与战备, 因此越来越受到人们的重视。

1.1 海底隧道发展历程

世界海底隧道的历史可追溯到 18 世纪中叶, 早在 1751 年, 法国的 Nicola Demara 就提议修建英吉利海峡隧道。1802 年, 拿破仑提出修建加来海峡(即多佛尔海峡)隧道的想法, 即由采矿工程师 Albert Mathieu 设计, 修建一条 37.4km 的海底隧道, 但这一建议因遭到英国政府的拒绝而搁浅。1865 年, 英国建成了穿越泰晤士河的水下人行隧道, 全长 366m。建成后, 这条隧道被交给伦敦铁路公司并加以改建, 这就是世界上第一条水下铁路隧道。世界上最早的海底隧道是日本的关门海底隧道, 1936 年 9 月开工, 1944 年竣工, 隧道全长 3.6km, 其中海底段长 1.14km。著名的日本青函铁路跨海隧道全长 53.85km, 海底段长 23.3km, 以钻爆法为主开挖持续 20 年, 克服了包括 4 次海水淹没和强大土压力带来的许多困难, 于 1985 年 8 月竣工。英法海峡隧道则是由 3 条长 51km 的平行隧道组成, 海底段长 39km, 于 1987 年 12 月开工, 1991 年 6 月 29 日全部凿通, 1993 年 6 月对外运营开放。挪威有较长的海岸线及大量的狭湾与岛屿, 至今已建成超过 40 条海底隧道, 总长 240km, 形成了被称为“挪威海底隧道概念”的一整套技术, 对挪威及其他国家和地区的海底隧道工程建设产生了积极影响。另外, 美国、澳大利亚、丹麦、冰岛等国家也修建了海底隧道。

大量海底隧道的成功修建,解决了许多前所未有的技术难题,为以后进行海底隧道建设积累了丰富的工程经验,极大鼓舞了许多工程师对跨越海峡的隧道进行规划。而随着全球经济一体化进程的加快,各国之间的联系也越来越紧密,目前许多国家之间的海峡隧道,甚至洲际超长大海底隧道也在修建与规划中,主要有:连接印度尼西亚的爪哇岛与苏门答腊岛之间的巽他海峡隧道,全长约 39km,最大水深 200m;连接日本和韩国的对马海峡隧道(图 1-1),将把日本与亚洲大陆连接起来,长约 250km,最大水深 210m;连接欧洲大陆与非洲大陆的直布罗陀海峡隧道,全长约 50km,最大水深 300m;连接欧亚大陆与美洲大陆的白令海峡隧道(图 1-2),海峡宽约 113km,最大水深 51m;跨越丹麦和瑞典的厄勒海峡通道,采用隧道和桥梁组合通道(公铁两用),长 16km;跨越丹麦和德国的费马恩海峡通道,采用铁路隧道(长 19km,水深 50m)或桥隧组合通道;连接加拿大东部纽布伦瑞克和爱德华太子岛的诺森伯兰海峡隧道,长 13km,水深 30m;挪威的许多海峡隧道,如跨越挪威外奥斯陆峡湾的隧道,长 14km,水深 300m;穿越萨哈林和北海道之间的宗谷海峡的隧道,长 51km,水深 67m。

国外在海峡隧道的建设上起步较早,已修建了大量的海底隧道工程,积累了大量的工程经验,这些大型隧道无论是在建设规模上,还是在复杂性上都处于当时地下工程的前列。

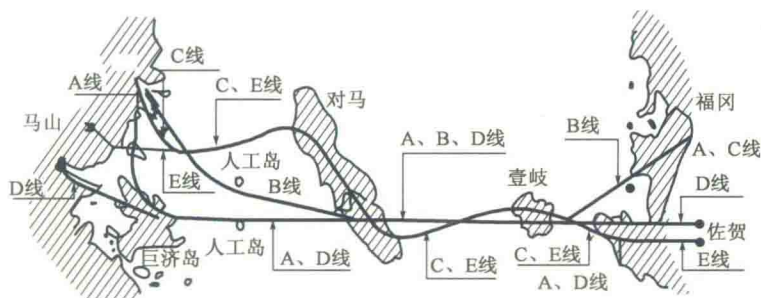


图 1-1 日韩对马海峡隧道示意图



图 1-2 白令海峡隧道位置示意图



与欧美国家相比,我国海底隧道的建设起步较晚。1972年建成的港九中线海底隧道是香港也是我国第一条海底隧道。我国内地直到2005年9月才开始修建第一条海底隧道——厦门翔安隧道,并于2010年4月通车。目前,我国已建和拟建的跨海隧道共21座,如表1-1所示。其中已建9座,拟建12座。采用钻爆法施工的有2座,沉管法的有7座,盾构法的有2座,钻爆+盾构法的有2座,其他修建方法则尚在研究之中。

中国跨海隧道一览表

表 1-1

序号	跨海隧道名称	地区	全长 (km)	海下长度 (km)	开工 年月	通车 年月	修建 工法	使用 属性
1	港九中线海底隧道(红磡海底隧道)	香港	1.9	1.6	1969.9	1972.12	沉管法	公路隧道
2	地铁海底隧道	香港	约2	1.4	1977.7	1980.2	沉管法	铁路隧道
3	港九东线海底隧道	香港	4	2.2	1986.8	1989.9	沉管法	公铁两用
4	港九西线海底隧道	香港	2	1.36	1993.8	1997.4	沉管法	公路隧道
5	港九西线铁路隧道	香港	2	1.26	1994.1	1998.6	沉管法	铁路隧道
6	高雄过港隧道	高雄	1.55	0.72	1981.5	1984.5	沉管法	公路隧道
7	厦门翔安海底隧道	厦门、翔安	8.695	4.2	2005.9	2010.4	钻爆法	公路隧道
8	胶州湾海底隧道	青岛、黄岛	6.17	3.3	2006.6	2011.6	钻爆法	公路隧道
9	港珠澳大桥海底隧道	香港、珠海、 澳门	6.7	—	2009.12	2018.7	沉管法	公路隧道
10	厦门轨道交通2号线海底隧道	厦门、海沧	—	—	—	—	钻爆+ 盾构法	轨道交通
11	厦门轨道交通3号线海底隧道	厦门、翔安	—	—	—	—	钻爆+ 盾构法	轨道交通
12	大连湾海底隧道	大连	—	—	—	—	—	公路隧道
13	胶州湾第二海底隧道	青岛、黄岛	—	—	—	—	—	公路隧道
14	渤海海峡海底隧道	大连、烟台	123	—	—	—	—	铁路隧道
15	台湾海峡海底隧道	福建、台湾	130	—	—	—	—	
16	琼州海峡海底隧道	广东、海南	34	18	—	—	盾构法	铁路隧道
17	港岛—北大屿山海底隧道	香港	10	—	—	—	—	公路隧道
18	孙逸仙大马路—友谊大马路海底隧道	澳门	—	—	—	—	—	公路隧道

续上表

序号	跨海隧道名称	地区	全长 (km)	海下长度 (km)	开工 年月	通车 年月	修建 工法	使用属性
19	澳凼第一海底隧道	澳门	—	—	—	—	—	公路隧道
20	澳凼第二海底隧道	澳门	—	—	—	—	—	公路隧道
21	长江口隧桥工程(崇明 越江通道)	上海	8.95	—	—	—	盾构法	公路隧道

我国拥有超过 18000km 长的海岸线,岛屿、海湾星罗棋布。近年来,我国经济飞速发展,不断加快沿海地区建设和海洋资源开发,改善和提高海上交通能力的需要越来越迫切。可以预见,未来我国必将有大量的跨海通道工程投入建设。除海峡隧道外,由于我国江河湖泊众多,水下隧道建设更是方兴未艾。在未来 10 至 30 年内,我国将建造近百座水下隧道。表 1-2 为我国多座水下隧道的修建方式、断面大小、埋置深度等主要情况。

中国主要水下隧道一览表

表 1-2

隧 道 名 称	地区	长度 (km)	最高水压 (m)	修建工法	地质概述	使用属性
广深港狮子洋隧道	广州	10.8	70	盾构法	砂岩、砂砾岩	高铁隧道
武广浏阳河隧道	长沙	10.1	50	矿山法	泥岩、砂砾岩	高铁隧道
天津海河隧道	天津	2.3	35	盾构法	—	铁路隧道
长株潭湘江隧道	长沙	2.87	40	盾构法	—	铁路隧道
宝兰客专渭河隧道	天水	9.94	50	矿山法	—	铁路隧道
杭长客专线钱塘江隧道	杭州	9.5	50	盾构法	—	铁路隧道
Cross Harbor 隧道	香港	—	—	沉管法	—	公路隧道
Mass Transit 隧道	香港	—	—	沉管法	—	公路隧道
金山石化工程排污隧道	上海	—	—	沉管法	—	排污隧道
宁波常洪公路隧道	宁波	3.54	—	沉管法	—	公路隧道
宁波甬江公路隧道	宁波	1	—	沉管法	—	公路隧道
广州黄沙珠江隧道	广州	1.2	—	沉管法	—	公路隧道
外环泰和路公路隧道	上海	2.9	—	沉管法	—	公路隧道
东区海底公路、地铁隧道	香港	2.2	—	沉管法	—	—
香港地铁	香港	—	—	沉管法	—	地铁隧道
东区跨港隧道	香港	—	—	沉管法	—	公路隧道
红磡海底公路隧道	香港	1.86	—	沉管法	—	公路隧道
西区海底公路隧道	香港	2	—	沉管法	—	公路隧道

续上表

隧道名称	地区	长度 (km)	最高水压 (m)	修建工法	地质概述	使用属性
台湾高雄港公路隧道	台湾	2.3	—	沉管法	—	公路隧道
外环吴淞口公路隧道	上海	2.9	—	沉管法	—	公路隧道
广州珠江隧道	广州	1.2	—	沉管法	—	—
机场路先行段	香港	—	—	沉管法	—	公路隧道
启德机场隧道	香港	1.3	—	沉管法	—	公路隧道
西区跨港隧道	香港	—	—	沉管法	—	公路隧道
长江隧道(上元门)	南京	5.8	—	沉管法	—	公路隧道
生物岛—大学城隧道	广州	0.55	—	沉管法	—	公路隧道
广州洲头咀沉管隧道	广州	3.3	—	沉管法	—	公路隧道
江西青山湖隧道	南昌	0.52	—	沉管法	—	公路隧道
舟山沈家门海底隧道	舟山	0.27	—	沉管法	—	—
南京玄武湖公路隧道	南京	2.7	—	明挖法	—	公路隧道
武汉东湖隧道	武汉	1.5	—	明挖法	—	—
杭州西湖公路隧道	杭州	1.3	—	明挖法	—	公路隧道
上海延安东路公路隧道	上海	2.5	—	明挖法	—	公路隧道
宝鸡渭河人防隧道	宝鸡	1.6	—	明挖法	—	人防隧道
重庆长江排污隧道	重庆	0.9	—	盾构法	—	排污隧道
上海打浦路公路隧道	上海	2.7	—	盾构法	—	公路隧道
复兴东路公路隧道	上海	2.8	—	盾构法	—	公路隧道
延安东路复线公路隧道	上海	—	—	盾构法	—	公路隧道
上海地铁2号线区间2条	上海	—	—	盾构法	—	地铁隧道
上海明珠线轨道交通4条	上海	—	—	盾构法	—	地铁隧道
岳阳城陵矶过长江输气隧道	岳阳	4.8	—	盾构法	—	输气隧道
忠县宜昌长江输气隧道	湖北	—	—	盾构法	—	输气隧道
红花套长江输气隧道	湖北	—	—	盾构法	—	输气隧道
黄石长江输油隧道	湖北	—	—	盾构法	—	输油隧道
江苏三江口输气隧道	江苏	—	—	盾构法	—	输气隧道
海底/南海输气隧道	—	—	—	盾构法	—	输气隧道
武汉长江隧道	武汉	3.6	—	盾构法	—	公路隧道
广深港狮子洋隧道	广州	10.8	—	盾构法	—	铁路隧道
南水北调中线穿黄工程	郑州	3.5	—	盾构法	—	输水隧道
杭州庆春路过江隧道	杭州	3.6	—	盾构法	—	公路隧道

续上表

隧道名称	地区	长度 (km)	最高水压 (m)	修建工法	地质概述	使用属性
翔殷路市政过黄浦江隧道	上海	2.6	—	盾构法	—	公路隧道
上中路市政过黄浦江隧道	上海	1.3	—	盾构法	—	公路隧道
西藏南路过黄浦江隧道	上海	2.7	—	盾构法	—	公路隧道
深圳孖洲岛海底隧道	深圳	0.9	—	盾构法	—	—
城陵矶长江管道隧道	湖北	1.7	—	盾构法	—	输气隧道
军山过长江输气隧道	湖北	—	—	钻爆法	—	输气隧道
长沙浏阳河隧道	长沙	0.87	—	钻爆法	—	铁路隧道
长江口隧桥工程 (崇明越江通道)	上海	8.95	隧道在江 中的最大 埋深为 55m	泥水加气 平衡盾构 法	粉质黏土或夹 较多薄层粉砂, 渗透性强;灰色 淤泥质软土	公路隧道

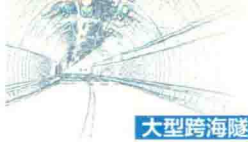
1.2 海底隧道主要建造方法及其适应性

针对海底隧道施工技术的特殊性,世界各国的隧道工作者在实践中已创造出多种能够适应各种围岩的隧道施工方法,且伴随着世界科学、技术、经济和社会的发展,交通运输、水利、水电和采掘工程,特别是城市地下交通及地下空间利用等大规模的地下工程建设,极大地促进了海底隧道修建技术的进步。

海底隧道的常用施工方法主要有钻爆法(新奥法)、沉管法、掘进机法(盾构法/TBM法)、围堰明挖法及悬浮隧道法(阿基米德桥法)等。海底隧道建造方法必须与不同区域的自然条件相适应,从安全、技术、经济 and 工期等方面进行详细综合比选,或对上述方法进行组合应用,必要时也可采用桥隧结合的方式修建跨海通道。

实际工程中,需要根据海底的地形地质条件、海洋环境条件、海上航运条件等,结合隧道方案平纵线形指标、横断面形状及内轮廓组成、衬砌结构形式的不同要求,对各方案的可行性、结构可靠稳定性、施工风险预测及应对措施、运营通风及救援方案等方面作深入分析和研究,然后综合比选钻爆法、沉管法、掘进机法、围堰明挖法等方案在工程中的优缺点,考虑技术和经济等方面因素,对各方案进行评价,选择最适宜的工法。

海底隧道穿越不良地质段时,极易发生突涌水事故,威胁施工安全。由于水压力较高,水源补给无限,且施工中不具有自然坡排水条件,一旦发生大的突涌水,就可能



引起严重的灾难性后果,直接关系到海底隧道工程施工成败。因此,在选择施工方法时,需对海底隧道穿越不良地质段如断层和风化槽的施工工法和措施进行重点考虑。

1.2.1 钻爆法

钻爆法作为一种传统的隧道施工方法,广泛应用于隧道工程。它强调喷射混凝土支护、锚杆加固及监控量测与信息反馈,及时掌握围岩和支护变形动态,保持围岩变形与容许变形、围岩压力与结构抗力动态平衡,使施工方法具有很好的实用性和经济性。钻爆法不仅能在硬岩、软岩的隧道施工中运用,而且能在具有膨胀性地层、湿陷性土层及软弱砂土地层的隧道施工中运用,此外,在偏压地带和高应力地区也可以使用。

1) 钻爆法的主要优点

(1) 适合各种地形条件和不同的断面形式。由于该工法采用人工配合机械化作业,施工灵活,适用于各种大小和形状的隧道断面;配合辅助施工方法及必要的地层加固和处置,对各类复杂地质条件具有很好的适应性。

(2) 采用钻爆法施工的隧道通常埋置深度较大,有利于抵御各种自然及战争灾害,在地震及战争时期具有较强的生命力。

(3) 大量采用人工作业,在劳动力市场较为充足的地区,隧道工程的建设成本较低。

2) 钻爆法的主要缺点

(1) 由于人工作业占有较大比重,机械化程度较低,作业人员劳动强度大。

(2) 隧道掘进速度制约因素较多,不同地质条件下的施工进度差异性较大,施工进度慢,工作效率通常较低,工程造价受地质条件影响较大。

(3) 工程质量与安全状态的可控性差,遇有不良地质时更加突出,受到监控手段及工程不安全状态和作业人员不安全行为的影响,发生安全事故的概率较高。

3) 钻爆法修建海底隧道的适应性

作为一种传统的工艺方法,钻爆法成熟度较高,对于在稳定性较好的岩质地层中修建隧道工程具有很好的适应性,但地质条件对其影响也较大。

(1) 对地质条件适应性好。由于海底隧道 V 字形纵断面结构特点,隧道将穿越各种不同的地层,钻爆法施工灵活多变,断面利用率高,因而可根据地层条件的变化随时调整施工工艺和辅助施工工法,适应性好。

(2) 适应隧道断面转换及施工组织。海底隧道车道转换地段及联络通道处经常