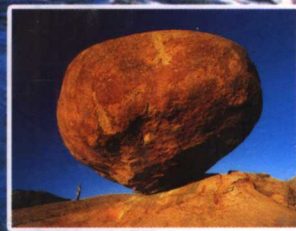
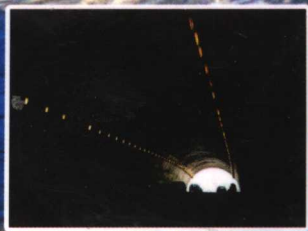


隧道、地下工程及岩石破碎 理论与应用

唐春安 郭陕云 主编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

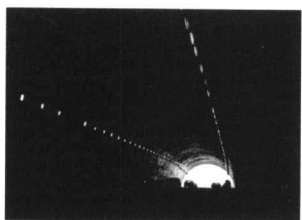
U45/2

2007

隧道、地下工程及岩石破碎 理论与应用

——隧道、地下工程及岩石破碎学术研讨会论文集

唐春安 郭陕云 主编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

隧道、地下工程及岩石破碎理论与应用/唐春安,郭
陕云主编. —大连:大连理工大学出版社,2007.8
ISBN 978-7-5611-3686-7

I. 隧… II. ①唐…②郭… III. ①隧道工程—学术会议—
文集②地下工程—学术会议—文集③岩石破碎—学术会
议—文集 IV. U45-53 TU94-53 TD231.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 114940 号

大连理工大学出版社出版

大连市软件园路 80 号 邮政编码 116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:26.75 字数:588千字
2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

责任编辑:范业婷

责任校对:宜呈

封面设计:宋蕾

ISBN 978-7-5611-3686-7

定价:148.00元

序

大连是一座美丽的城市，经历了百年洗礼和大连人民的辛勤劳动，说她是北方明珠恰如其分。

大自然的恩惠使大连三面环海，海岸曲折，湾深港阔，不淤不冻，确是东北亚经贸、物流、航运中心的天赐之地。

大连人民在地下工程建设中更有重要的贡献，早在 20 世纪六七十年代，大连的机关、企事业单位、街道、学校，甚至是小学都参与了当时“挖防空洞”的建设，同时建有发电通风、给水排水、防化抗震等功能，设施齐全。建筑面积达 4000 多平方米，拥有 1080 座席和附属设施的市政地下俱乐部，就是历史的见证。当时这在全国都是不多见的。

大连的矿产资源丰富，20 亿吨的石灰石和 2000 多亿立方米的花岗岩，以及城市基础设施建设，造就了大连众多的地下工程和岩石破碎工作者。

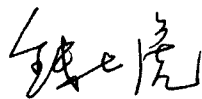
隧道、地下工程和岩石破碎都是新兴学科，需要不断进行理论创新与发展；广泛经验积累是形成新理论和原有理论创新的前提，这需要广大的隧道、地下工程和岩石破碎工作者的积极参与、研究与探索。

创新是发展的主题，任何创新都要接受实践的检验。因此，只有真正理解基本理论和概念，才能在研究和应用中不断地创新。

随着环境保护意识的增强，越来越多的工程建设向地下发展。一方面为我们提供了施展才华的机会，另一方面也对我们提出了更高的要求。同时，也需要岩石力学、地质学、数值模拟技术等诸多学科的支持。

我欣慰地看到 60 篇关于隧道、地下工程、岩石破碎等学科的论文，这里凝聚着作者的经验和心血。我希望大家不断地总结经验，有所发明，有所发现，有所创造，有所前进……

祝会议圆满成功！



2007 年 8 月

前 言

隧道与地下工程的建设早已深入到交通、水电、军事、城市建设等领域，并取得了显著的成效。与隧道、地下工程紧密相关的岩石破碎技术，也有了极大的提高。2008年，大连湾海底隧道工程即将开工，它将为隧道与地下工程方面的专家、学者提供一次极好的交流、学习、实践和提高的机会。在这样一个大背景下，为反映近年来隧道、地下工程及岩石破碎理论与实践方面的最新进展，交流与推广这两个学科所取得的新理论、新成就和新经验，推动其理论、技术、工艺装备及科研水平的发展与提高，由中国土木工程学会隧道与地下工程分会、中国岩石力学与工程学会岩石破碎专业委员会主办的“隧道、地下工程与岩石破碎学术会议”将于2007年8月10~12日在大连召开。会议将就隧道与地下工程的设计理念、施工工法、施工新技术、新材料以及岩石破碎的新理论、新设备、新工艺等进行广泛的研讨与交流。

大会共收到论文70多篇，经过专家们的认真评审，有60篇论文入选本论文集。这些论文的内容涵盖了隧道与地下工程的设计理念、施工工法、施工新技术与新材料以及岩石破碎技术的新理论、新设备、新工艺等方面的理论探讨、科研成果和研究进展，反映了我国地下工程领域的最新发展动态，具有较高的学术参考价值和应用价值。论文的作者不仅有学术造诣深厚的专家，也有一批近年来在该领域崭露头角的年轻科技工作者，他们已成为该领域的中坚力量，可喜可贺。

本次会议将对隧道与地下工程界的学术交流与协作、科技创新、技术发展、工艺装备及科研水平的发展与提高起到积极的推动作用。

本次会议由大连市勘察设计协会、大连理工大学、大连大学、中港一航局三公司与大连重工起重集团联合承办，谨在此表示诚挚的谢意。

由于时间和水平有限，论文集中难免有误，恳请批评指正。

唐春安 郭陕云

2007年8月

会议顾问委员会

钱七虎	宋振骐	顾金才	王梦恕
施仲衡	傅冰骏	朱维申	史玉新
吴 维	刘维宁	蒋树屏	崔玖江
王建宇	徐小荷	赵 文	潘一山
韩士藩	张国建	蔡万生	朱 承

会议组织委员会

主 席	唐春安	郭陕云	
副 主 席	郭昌惠	李夕兵	马宝承
	李景春	朱 承	
秘 书 长	马玉罄		
副秘书长	常锡智	李春元	柴荣峰

主办单位

中国土木工程学会隧道与地下工程分会
中国岩石力学与工程学会岩石破碎专业委员会

承办单位

大连市勘察设计协会
大连理工大学
大连大学
中港一航局三公司
大连重工起重集团

协办单位

中建八局大连公司
大连港湾工程公司
武警交通九支队

目 录

· 隧道工程 ·

关于我国海底隧道建设若干工程技术问题的思考	郭陕云(3~9)
分岔式隧道施工过程 FLAC3D 数值模拟和模型试验研究	朱维申, 李勇, 王汉鹏, 李术才, 张强勇(10~14)
大连海底隧道稳定性分析与微震监控技术的几点思考	唐春安, 徐涛(15~22)
CRD 法施工工序对沉降的影响模拟分析	黄明利, 徐恒国, 张树利(23~27)
鄂尔多斯某隧道覆盖层探测实例分析	邓洪亮, 谢向文, 郭玉松, 张志清(28~32)
基于数值离心加载法的隧道群稳定性分析	梁正召, 唐春安, 马天辉, 唐世斌(33~41)
半空间多孔介质中圆形衬砌隧道的动态响应	姜领发, 焦玉勇(42~50)
基坑下已运营地铁隧道隆起位移计算分析与施工监测	俞缙, 许琼鹤, 邢葳葳, 鲁绪文, 于航波(51~57)
霍克-布朗节理岩体中圆形隧洞稳定性分析	孙金山, 卢文波(58~66)
岩石隧道掘进机(TBM)的施工速度(AR)与围岩分类	祁生文, 伍法权, 王大国, 李晓, 李守定(67~76)
顶溶洞对隧道围岩稳定性影响的数值分析	谭志宏, 唐春安, 曹武安(77~81)
高速铁路隧道空气动力学效应控制	常翔, 张献伟(82~88)
双连拱隧道开挖对桩基影响的数值模拟分析	李炳田, 浦海, 李海亮, 董旭(89~95)
喷射混凝土厚度对隧道支护效果的影响	郭献章, 杨菊英, 梁正召, 肖福坤(96~101)
使用期隧道结构抗震可靠度研究	李志华, 张其一, 康海贵, 刘怀相, 马海君(102~108)
A Study on Shaping and Dimensioning of Water Tunnel for Mugecuo Hydropower Project	

Based on Norwegian Experiences

.....D. W. Mao (109~117)

探地雷达在隧道超前预报及衬砌质量检测中的应用
.....裴强, 王桂萱, 白雪冰, 赵杰(118~129)

自密实防水混凝土衬砌隧道足尺模型试验
.....李厚祥, 曾三海, 陈月顺(130~135)

隧道开挖引起的建筑物地表沉降及控制措施研究
.....赵杰, 王桂萱, 张国强, 裴强(136~143)

浅析连拱隧道结构设计的改进
.....王万平, 王亚琼, 赖金星(144~149)

基于正交设计的地下厂房位移地应力因素敏感度分析
.....金立夫, 姜谔男, 张娇(150~155)

海底隧道的三维离散元稳定分析
.....张国强, 王桂萱, 赵杰, 裴强(156~160)

射流通风技术的形成与大瑶山隧道施工中的应用
.....赵云非(161~167)

客运专线隧道施工技术浅析
.....常翔, 张献伟(168~175)

盾构隧道穿越既有线施工控制措施研究
.....张飞进, 高文学(176~180)

论加快设备投资回收率的途径和对策
.....黄永康(181~186)

海底隧道的流固耦合数值模拟
.....王桂萱, 张国强, 赵杰, 裴强(187~193)

浅谈大连湾海底隧道的走向与工法
.....曲文斌, 马玉馨(194~196)

· 地下工程 ·

条带开采工程岩体非线性流变力学研究
.....柴华彬, 邹友峰(199~205)

土层性质及结构特性对地铁车站的影响
.....陈健云, 李建波, 李静, 胡志强(206~218)

地铁基坑环境保护技术综合应用
.....李明文(219~222)

大断面硐室围岩稳定性的数值模拟分析
.....韦寒波, 高谦(223~230)

滩海吸力式桶形基础水平承载特性的研究

.....武科, 栾茂田, 范庆来, 王志云(231 ~ 238)

露天转地下开采境界矿柱稳定性分析
.....高瑞永(239 ~ 244)

高跨比对层状顶板稳定性的影响
.....赵兴东, 刘建坡, 于庆磊(245 ~ 250)

管棚与箱涵合理间隙与填充方法研究
.....徐海宁, 丁文其, 吴浩(251 ~ 260)

小湾水电站引水发电系统地下厂房安全监测及施工期监测成果
.....裴海淇(261 ~ 266)

复合土钉墙中钢管桩的现场监测与受力分析
.....夏华宗(267 ~ 271)

基于遗传算法结合神经网络的围岩初始地应力反演
.....姜延辉, 王桂莹, 张国强, 马震岳(272 ~ 279)

深基坑开挖过程对地铁的影响的 ANSYS 有限元分析
.....蒋超, 汪宏, 刘安来(280 ~ 287)

探地雷达在地下工程结构检测中的应用
.....姚爱军, 向瑞德, 郎虹, 周智(288 ~ 292)

红透山铜矿深部地压数值模拟分析
.....刘建坡, 赵兴东, 李元辉, 张建勇(293 ~ 300)

系统进化与露天矿生产过程的优化研究
.....陈晓青, 张国建(301 ~ 306)

梯形接头板技术在南水北调中线一期穿黄工程北岸竖井地连墙施工中的应用
.....吴广安, 龚木金(307 ~ 311)

· 岩石破碎 ·

岩石爆破三维有限元数值模拟
.....沈新普, 沈国晓(315 ~ 319)

单向恒定侧压下混凝土抗压特性数值模拟
.....钟红, 林皋, 李红军(320 ~ 325)

节理岩质边坡破坏过程的数值试验研究
.....唐烈先, 唐春安, 李连崇, 邢军, 梁正召(326 ~ 332)

大理岩单轴受压破坏过程的声发射特征研究
.....周忠良, 屠晓利(333 ~ 340)

长条形不耦合装药的硐室爆破实验
.....于连生, 马玉馨(341 ~ 344)

前混合磨料水射流切割岩石的实验及机理研究
.....聂百胜, 宫伟力, 兰日昌, 王晓娟, 孟筠青(345 ~ 350)

应力波峰值强度对岩石破坏影响的数值模拟研究	李慎刚, 赵文, 朱万成(351 ~ 356)
尺寸效应对岩体破坏的影响	李强, 杨庆(357 ~ 361)
层状地层法向剥离量与爆炸位置的理论关系	肖建华, 梁为民(362 ~ 370)
松散破碎膨胀型软岩巷道支护技术研究	孔德森, 李守广, 徐继东, 王辉(371 ~ 376)
便携式磨料水射流割岩系统的研制与数值模拟	宫伟力, 聂百胜, 谢桂馨, 张艳松(377 ~ 383)
大漂石地层筒钻法桩孔钻进碎岩技术应用研究	代国忠, 殷琨(384 ~ 387)
堆垒求和安全爆破实用新技术力学模型研究	邓先禄, 马玉馨(388 ~ 396)
灰色预测模型在岩体失稳预报中的应用	张淑峰, 屠晓利, 魏金祝(397 ~ 401)
滑坡的成因与控制	李广波, 马玉馨(402 ~ 404)
岩石分区碎裂化试验研究	张智慧, 李英杰, 唐鑫(405 ~ 411)

隧道工程

Tunneling Engineering

关于我国海底隧道建设若干工程技术问题的思考

郭陕云

(中国土木工程学会隧道及地下工程分会, 河南 洛阳 471000)

1 引言

厦门东通道翔安隧道的建设开启了我国大陆方面海底隧道的先河, 使得我国众多隧道建设工作者和有关专家、学者的多年梦想成真。我们由衷地敬佩福建省及厦门市相关主管领导的勇气和魄力, 并感谢他们为中国水下隧道的建设和发展所做出的努力和贡献。翔安隧道将作为中国大陆第一座海底隧道载入史册。我曾有幸多次参加厦门东通道的技术方案征询和论证会, 并于 2004 年 3 月参与并主持了中国土木学会隧道及地下工程分会和厦门市路桥建设总公司联合举办的厦门东通道海底隧道修建技术高级专家研讨会, 所以对翔安隧道修建技术方案前后形成的过程有着部分的了解。因此也催使我对海底隧道建设的工程技术问题有着个人粗浅的认识和想法。

2 工程准备

人类要用水下隧道穿越海域的思想始于 19 世纪的欧洲拿破仑时代, 英法海峡隧道自 1800 年曾两次动工开挖后又停了下来。正因为人们有了这百年的热望和向瀚海天堑挑战的勇气, 才产生出了当今为世人所骄傲的“世纪杰出工程”。日本于 20 世纪 40 年代建成的关门海峡隧道是世界上最早的海峡隧道, 仅接着就又开始了对穿越津轻海峡的调查准备工作, 二战期间停了下来, 直到 1946 年重新开始, 用了 24 年的时间完成了至今仍为世界上最长的海底隧道。英国、日本、丹麦、挪威等岛国土地资源紧张, 海域交通不便, 激发了他们拼力构筑越海隧道的积极性和创造力。他们不仅有着令世人瞩目的越海工程, 而且通过这些艰巨而伟大的工程实践成为了世界上海底隧道建设的强国。

我国大陆有着 18000 公里的海岸线, 沿海分布着 5000 多个岛屿 (近些年来有资料说, 面积在 500 平方米以上的岛屿有 6500 多个), 还有许许多多海口和港湾。随着国家社会经济的发展, 加快沿海地区建设, 开发海资源的需求将会越来越高, 改善和提高通过海湾和海峡的交通能力问题也会日益突出。大的如我国的渤海湾、胶州湾、杭州湾、珠江口、琼州海峡、台湾海峡的交通建设都会成为我们隧道建设工作者的光荣使命和历史责任。我们虽然已经开始了第一条海底隧道工程的建设, 另一条青岛至黄岛的海底隧道已进入初步设计阶段, 但是从总体来看, 国家还应有更为远大的憧憬和规划。琼州海峡铁路轮渡已建成投运, 勾通大陆和海南勉强可行。渤海湾也已开始轮渡建设, 借以勾通烟台到大连间的海上交通, 其效果可以想知。在这些地方真正要实现全天候、大流量

作者简介: 郭陕云, 中国土木工程学会隧道及地下工程分会理事长, 教授级高级工程师。

的快捷交通，只有靠海底隧道来实现。近些年来时有一些专家学者和志士仁人提出勾通我国重点海域水底隧道建设的建议，并在地方政府的支持下自发组织了多次有关海底隧道的研讨活动，国家应予以重视和支持。渤海湾、琼州海峡、台湾海峡海底隧道工程的前期调查研究工作应列入国家计划并据以实施。尤其台湾海峡海底隧道工程意义之大、工程之巨将是旷世之作，没有数十年乃至几十年的前期准备工作，是断不能成功的。琼州海峡海底隧道工程建设没有政治障碍，如能较早实施，可为台湾海峡隧道工程作技术准备和经验积累。一旦两岸统一，时机成熟，便可大展宏图，圆梦成真。这是中华民族的大事，也是件功德无量的好事。

重大工程项目前期准备不足，临时仓促开工是我国基本建设的痼疾，由此带来工期、质量、安全、效益等诸多问题。海底隧道项目一般都具有投资规模大、风险程度高、技术难度大、建设周期长的特点，我国在这方面刚刚起步，应注意克服积习弊端，从长计议，及早打算，周密安排，才可能少走弯路，不失时机。

3 技术方法

海底隧道已有多例成功经验的建造方法是沉埋法、暗挖法和盾构法。其实盾构法亦属暗挖性质，只是开挖、支护和构筑不同于一般的暗挖施工。一般的暗挖施工最多的是人工开挖、机械挖掘和钻爆开挖。此外使用围堰排水后明挖的方法构筑水下隧道对海底隧道来说机会不多。使用悬浮隧道的方法尚处在试验研究阶段。

(1)沉埋法是在海岸边的干坞里或在大型船台上将隧道管节预制好，再浮拖至设计位置沉放对接而后沟通成隧。世界上最早是美国人于1910年成功建造的穿越底特律河的水下隧道。百年来沉埋法发展很快，已成为某些国家修建水下隧道的首选方法。我国最早采用沉埋法修筑水下隧道的是香港，1972年建成了穿越维多利亚海港的公路隧道。其后是广州市穿越珠江的沉埋隧道，宁波市穿越甬江的沉埋隧道。上海市也在黄浦江下修建了多座沉埋隧道。可以说使用沉埋法建造海底隧道从技术上来说我国已经没有什么太多的障碍了。

使用沉埋法修筑水下隧道具有较多的优势。如隧道埋深浅，线路相对较短；隧道断面形式灵活，可以做得很大且利用率很高；隧道管节在岸边或船上工厂化预制，质量有保证；隧道管节长度大，接缝少，防水结构可靠；隧道结构比重小，对地基的地质条件和承载力要求较低，且抗震性能较好；技术成熟，造价可控，工程风险相对较低。但是，沉埋法的使用往往受到较多的限制，甚至在很多情况下不能被采用。如水下地形复杂，基槽开挖困难或工程量太大不易实现时；海域水深过大，隧道结构防水能力不足或基槽开挖没有能力实现时；水道流速过大（目前受限于3米/秒），管节沉放对接困难时；航道交通异常繁忙，无法为管节拖放提供时间或空间的。

总之，使用沉埋法修建水下隧道优势明显，在有条件的地方修筑海底隧道应该首推沉埋法。

(2)使用盾构法建造水下隧道起源于英国，1818年法籍英国工程师布鲁纳尔设计了世界上第一台盾构机，并于1825年用于泰晤士河下455米长的隧道。之后，盾构技术逐渐成熟，发展为现代化的气压平衡、土压平衡、和泥水加压平衡等多种形式的盾构机

和硬岩掘进机(TBM)。近些年来, 又有了能用于软、硬交错地层的复合式盾构机和伸缩式双护盾掘进机, 从而盾构机和掘进机(可以统称为TBM)的使用范围越来越广泛了。最为成功的例子是英法海峡大隧道的实现。它由11台具有高度自动化和激光导向的掘进机担负了三条各自长达50多公里的海底隧道施工, 其中水下部分各37公里。其中双护盾掘进机创造了单向掘进长达21.1公里的成绩, 同时又创造了月进1487米的最高记录。我国上海于1962年开始了盾构隧道试验工程, 于1970年建成了打浦路水下隧道工程, 也是我国第一条使用盾构机修建的隧道。之后, 上海使用盾构机法在黄浦江下修建了多座水下隧道。接着, 广州市使用盾构机在珠江下修筑了地铁隧道。近些年来随着国家基建形势的高涨, 盾构机掘进机技术在我国得到了快速地发展。2004年在长江上游重庆市使用泥水加压盾构建成了开挖直径6.4米的主城排污隧道。该盾构机在水深30米、江底最小埋深9米左右通过了950余米的中硬岩层。在长江入海口上游附近上海市正在使用目前世界上最大直径(15.4米)的盾构机修建水下双向单管三车道的公路隧道。这一切都说明了我国已具备了使用盾构、掘进机修建水下隧道的技术能力。但是我国使用盾构掘进机在海底建造隧道的例子还没有过。海底隧道较之江河下的隧道有其不同处, 这是我们尚待弥补的空缺。

使用盾构机法建造海底隧道有其显著的优势。现代化的生产手段速度快, 效率高; 施工通风易于解决, 可以实现长距离独头掘进; 进洞工作人员作业环境较好, 安全保证程度高; 隧道管片及防水系统工厂化预制, 机械化拼装, 质量稳定; 比较钻爆法开挖施工隧道埋深要求较低, 因此线路长度可以缩短。而且盾构掘进机技术发展余地很大, 设备性能日益完善, 适用范围越来越广。但是盾构掘进机的劣势也是明显的: 其构筑的隧道断面形式和线型受限, 灵活度不大, 曲线半径不能太小; 机件复杂, 设备昂贵, 建设成本中设备费用占用比率较高; 对地层地质和水文情况敏感度极高, 在掘进前方不良地质、严重水害和障碍物难以探明的情况下, 建设风险较大; 在隧道掘进中途须要更换刀具和整修刀盘, 工艺复杂, 操作困难; 隧道洞口附近需要有较大的施工整备场地, 包括预制管片的场地, 代价较高。

由于盾构掘进机的突出特点, 所以在特长的海湾、海峡隧道建设中, 有着其它施工手段往往不能代替的优势。为了海底隧道的建设, 我国必须得大力推进盾构掘进机使用、修理和制造技术的发展。所以, 在海底隧道建设中, 凡能使用盾构掘进机施工的, 当优先采用, 为其发展创造条件, 以利于更加宏伟的海底隧道工程的建设。

(3)采用钻爆法开挖施工修筑海底隧道的成功实例很多, 当首推日本的青函隧道。青函隧道长达53.85公里, 其中海下段23公里, 隧道最小埋深100米, 水深140米, 建设时间长达24年, 于1988年竣工。至今它仍是世界上最长的海底隧道。挪威在过去近30年的时间里, 用钻爆法建成了40条海底隧道, 积累了大量经验, 形成了被称为“挪威海底隧道概念”的一整套技术。著名的有于1981年完工的Vardø隧道, 于1992年完成的Byfjorden隧道, 于1994年完成的Hitra隧道, 于1999年完成的North Capo隧道, 于2000年完成的Bømlafjord隧道。我国使用钻爆法掘进建造水下隧道的实例不多, 只有短距离通过河流、湖泊或水库的情况。厦门翔安隧道采用钻爆法掘进通过海底, 可谓我国大陆第一例。

钻爆法有其明显的优点,如隧道断面可以灵活变化,随机设置,空间利用率高;施工方法和施工顺序易于调整,机动性好,对地层地质适应能力好;借助中间辅助坑道或平行导坑开辟工作面,可以较大幅度地提高整个隧道的施工进度;机械化程度可高可低,便于成本控制,在我国目前劳动力价格相对低廉的情况下可以节省工程费用;尤其在掘进过程中遭遇不良地质,像突水、涌泥、溶岩时,工程风险相对较低。因此钻爆法广为应用,在常见的隧道施工中一直占着主导地位。但是,采用钻爆法施工洞内作业环境差,工人劳动强度大;频繁的爆破作业对隧道围岩扰动大,不利于围岩稳定;对海底隧道的埋深要求高,比较沉埋隧道和盾构隧道钻爆法隧道埋深最大,线路最长,相应地加大了工程费用;采用钻爆法长距离独头掘进通风困难,目前国内达到的最高纪录为7公里,一般情况下只能在4公里左右;现场构筑施工环节较多,工程质量难以控制。

采用钻爆法掘进施工建造水下隧道往往需要有较多的辅助施工手段配合,如锚固,注浆,管棚,等等。这些工程措施在通过断层破碎带和软弱地层时是很有效的。发展海底隧道技术应加大对辅助施工措施的研究和开发力度,促使其运用得更加广泛和更加有效。施工防、排水是钻爆法掘进施工建造海底隧道的关键环节之一,在防水、治水方面我国隧道工程界已经积累了不少的经验,将这些经验进行总结和提高,用于海底隧道建设是我们面临的一个重大课题^[1-3]。

4 方案比选

海底隧道工程方案比选的主要内容是:(1)线位和线形,指隧道线路中心的空间位置,包括平面方向及垂直纵坡;(2)线数和断面,即同一方案内的隧道的数量、间距和各隧道断面的形状及大小;(3)附属及运营设施,如通风、照明、通讯、信号、供电、供水、灾害预防和救治、运营指挥和控制、结构防腐和防冻以及设备检查和维修,等等;(4)建造方式,就是通常人们所谓的施工技术方法和施工技术方法。我国在海底隧道工程建设上是最近两年才起步的,方案比选中可供使用的成熟经验很少。因此,我们要借鉴于国外的成功技术,结合国内的实际情况在实践中不断摸索创新,积累自己的经验。这里对照国外的成功实例,分述方案比选的各项内容。

(1)线位和线形。它决定了海底隧道与地层和水域的关系,其中隧道在海底的最小、最大埋深和通过或绕避不良地质段是最重要的考虑因素。如果海底隧道顶板岩体覆盖太薄,则会增加隧道结构失稳的可能性,并且加大隧道渗漏水,进而使隧道维护成本增加很多。但是扩大隧道顶板厚度就会使隧道长度以较大的幅度增加,从而使得工程费用急剧上升。以我国常用的隧道纵坡3%计,隧道埋深每增加1米,隧道长度就增加667米。采用钻爆法或盾构法进行海底隧道施工,日本、挪威等国的规范中对隧道覆盖厚度都有相应的规定,但是在实际中很少有符合规定的情况。我国海底隧道在厦门东通道之前尚没有先例,应该在这方面做些试验研究工作,并参照国外的规定和经验制定自己的标准写入规范,使设计有所依从。

比较国外已建海底隧道的纵坡率,我国厦门东通道海底隧道采用3%显然偏小。这可能是受到现行国家公路隧道设计规范的约束。原用规范是90年代颁布施行的,主要依据80年代隧道通风实测资料。应该看到现今汽车技术的进步,通过科学实验合理制