



“十二五”国家重点出版物出版规划项目

高速铁路特长水下盾构隧道 施工技术

洪开荣 著



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

014009181

U459.1
01

“十二五”国家重点出版物出版规划项目
铁路科技图片出版基金资助出版

高速铁路特长水下盾构隧道 施工技术

洪开荣 著



中国铁道出版社

2013年·北京



北航

C1695655

U459.1
01

181200110

内 容 简 介

本书以广深港高速铁路狮子洋水下隧道工程施工技术为基础,以大量工程建设中的数据、经验和教训为依托,全面客观地对高速铁路特长水下盾构隧道施工技术进行分析、总结和提升,提出一些理念与原则,对今后我国跨江越海长大隧道工程建设具有一定的指导意义。

全书共分9章,主要内容有:狮子洋水下隧道工程地质特点及盾构选型、大直径泥水盾构及设备配套、现场组装与始发、水下盾构隧道结构力学特征分析、施工期管片上浮及控制、盾构掘进引起地层变形与控制技术、高磨损性地层盾构刀具比选与减压限排换刀技术和泥水盾构掘进控制与对接技术。

本书可供隧道及地下工程修建中的设计、施工、科研等技术人员及广大师生使用和学习。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路特长水下盾构隧道施工技术/洪开荣著. —北京:中国铁道出版社,2013. 10
ISBN 978-7-113-16062-3

I. ①高… II. ①洪… III. ①高速铁路—水下隧道—隧道施工—盾构法 IV. ①U459.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 021199 号

书 名:高速铁路特长水下盾构隧道施工技术
作 者:洪开荣 著

责任编辑:徐 艳 电话:010-51873193

编辑助理:张卫晓

封面设计:冯龙彬

责任校对:马 丽

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2013年11月第1版 2013年11月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:19.25 字数:482千

书 号:ISBN 978-7-113-16062-3

定 价:85.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187



作者简介

洪开荣(1965~),男,博士,教授级高级工程师,中铁隧道集团有限公司总工程师,盾构及掘进技术国家重点实验室主任。现任中国土木工程学会隧道及地下工程分会常务理事、秘书长,中国岩石力学与工程学会常务理事,《隧道建设》期刊编委会副主任。

编者长期从事隧道及地下工程的技术研究和管理工作,先后主持了太平驿引水隧洞的岩爆防治技术、我国首座地下储气洞库修建技术、浅埋跨江越海隧道建设技术、高速铁路特长水下隧道修建技术、城市地铁大型暗挖车站修建技术等重大课题的研究工作。提出的复合盾构理念与方法,极大地推动了我国地铁修建技术的进步,并持续推进我国盾构技术的自主创新和产业化发展;提出的水下浅埋大跨互通立交隧道的施工技术以及目标型注浆方法与工艺,保障了我国首座钻爆法海底隧道和首座水下立交互通隧道的顺利建成。先后参加了我国铁路、公路、水电、地铁与市政等重难点隧道工程建设,公开发表论文30余篇,并出版专著8本,获国家科技进步一等奖一项、二等奖一项,省部级科技进步奖一等奖两项。获第七届詹天佑青年奖和第九届詹天佑成就奖,2006年获国务院政府特殊津贴。

序

我国拥有 1.8 万公里的陆地海岸线、6000 多座岛屿,同时还有上百座因“择水而居”理念建设的城市,如何改善海岸交通条件,加强大陆与岛屿的连接、改善城市两岸的交通,拓展城市发展空间,是我国经济发展必须面临的问题。

近年来,隧道建设者们做出一些有益的探索,建成厦门翔安海底隧道、胶州湾海底隧道、长沙湘江水下互通立交隧道等重大工程。目前国内外对采用水下隧道作为跨越江河湖海方式已基本形成共识,也标志着水下隧道时代的来临,广深港高速铁路狮子洋隧道就是一个例证。

狮子洋隧道 10.8 km,三次穿江越洋,其中狮子洋水面宽达 3 300 m,水深达 26.6 m,设计水压达 0.67 MPa,是国内首条特长铁路水下隧道,也是我国第一条特长水下盾构隧道。其在软土地层、软硬不均地层和全岩层中采用大直径泥水盾构施工,也是国内首次采用盾构“相向掘进、地中对接、洞内解体”的施工技术,其技术难度及施工风险相对较大。另外,在这本专著中,作者对盾构管片结构设计方法进行了较系统的研究。认为目前盾构拼装式管片在周边介质发生变化时会成为外扩式不稳定结构,极易导致隧道失稳。特别是狮子洋隧道为水下高速铁路隧道,对管片的使用寿命要求很高,增加二次衬砌以确保隧道结构稳定和隧道的耐久性,这才是真正的百年大计。

在狮子洋水下隧道施工过程中,本书作者精心组建具有高技术水平的管理团队,以高度的社会责任感、讲科学的建设理念、勇于探索的精神,先后攻克“高压、强渗透”地质条件下,盾构带压更换刀具等多项世界性技术难题,成功穿越深水、淤泥和超浅埋地段,实现盾构的水下精确对接。

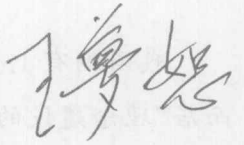
经过 4 年多的施工与建设,在所有参建方的共同努力下,狮子洋水下铁路隧道顺利建成,目前运营良好。在施工过程中,建设者们克服了许多技术难题和意想不到的困难,取得许多宝贵的经验和教训。他们编著的《高速铁路特长水下盾构隧道施工技术》是一部很好的施工技术总结,其全面、客观地将狮子洋水下隧道地质复杂、技术难度高的特征反映出来,是一部能开拓思路、很有应用与创新价值

的书,我从内心感到高兴,因为这样的书是来自工程实践、资料真实。本专著所述的施工经验及技术很宝贵,以后我国修建三大海峡隧道都可以借鉴和参考。

愿作者继续努力,为我国隧道及地下工程建设事业作出更大的贡献。

中国工程院院士

2012年12月



前 言

广深港高速铁路是我国中长期铁路网规划“四纵四横”之“北京—广州—深圳—香港”高速铁路的重要组成部分,对于拉动珠三角经济圈的发展具有重要意义。全线控制工程——狮子洋隧道在国内首次采用“相向掘进、地中对接、洞内解体”施工方式,被工程界专家誉为“中国铁路世纪隧道”,是我国铁路隧道从“穿山越岭时代”向“跨江越海时代”迈进的标志性工程。

本书以广深港高速铁路狮子洋隧道工程为依托,对高速铁路水下盾构隧道结构力学特征及盾构掘进与对接技术进行深入的研究,实现上千次的水下高压进仓作业,攻克了强渗水、管片上浮、盾构姿态控制等一系列难题,全面系统地论述跨江越海隧道盾构施工关键技术,对我国将来跨江越海盾构隧道的修建具有重要的参考价值与指导作用。

本书9章内容全部由洪开荣策划,第1、2、3、5、7、8章由洪开荣主笔执写,方俊波、李凤远、李洋参与编写;第4、6章由方俊波主笔执写,杜闯东、郑清君、李凤远参与编写;第9章由杜闯东主笔执写,方俊波、洪开荣、郑清君参与编写。本书第1章概述狮子洋水下隧道工程特点和技术难点。第2章介绍狮子洋水下隧道工程地质特征和盾构选型。第3章详细介绍狮子洋隧道所采用的大直径泥水盾构机的主要组成和性能参数,及其主要结构、关键系统和附属系统等。第4章介绍泥水盾构现场组装方案、调试和盾构始发技术,并结合实际应用,重点介绍施工中对盾构所进行的适应性改造。第5章对盾构管片结构受力进行较系统的研究,提出减少管片配筋率以提高经济性等观念,研究结果显示高速铁路拼装式管片衬砌水下隧道设置二次衬砌很有必要。第6章对管片设计、生产工艺流程、管片上浮机理及上浮量的计算、数值模拟及实测结果、控管片上浮措施等关键性技术进行介绍。第7章通过大量监测数据与分析,得出盾构掘进时隧道纵向、横向地表沉降和地中土体水平位移规律。第8章通过对岩土层磨蚀性与岩土成分试验、刀具的金相分析,寻找刀具磨损规律,并结合掘进效果对刀具进行比选,同时提出“减压限排换刀技术”。第9章介绍盾构姿态的控制方法,总结掘进参数、泥浆参数等在盾构掘进中的重要地位;并通过研究对接点的工程地质和水文地质以控制对接点的围岩稳定,对接点的贯通精度进行估算以控制对接精度,在此基础上制定对接及解体施工方案。

“平步越高山,谈笑跨江海”,这是隧道与地下工程建设者的梦想,也是隧道科技未来使命之所在,期望本专著能对我国将来的跨海隧道建设提供参考与借鉴。

在编写本专著的过程中,参考有关单位和学者的技术资料,并引用其中部分

内容及试验数据。在全书组稿过程中,中铁隧道集团有限公司教授级高工方俊波全程参与,并做了大量细致的工作;在成稿过程中也得到许多基层技术人员的支持与帮助,在此一并向他们致以诚挚的感谢!

此外,无论是项目施工过程还是本专著编写,都得到了王梦恕院士、谭忠盛教授等专家学者的精心指导和帮助,在现场调研、理论分析、试验和技术总结中,得到了北京交通大学、中铁隧道集团技术中心等单位 and 同仁的大力支持和帮助,并得到国家国际科技合作专项项目(编号 2011 DFB 71550)和河南省创新型科技人才队伍建设工程项目的资助,在此对他们表示衷心的感谢!

在本书的出版过程中,中国铁道出版社高度重视,并给予出版基金的支持,在此对出版社的各相关人员表示衷心的感谢。

尽管付出大量的心血,但书中不可避免会有错漏或不当之处,有些提法也可能需要大家一起讨论,敬请提出并指正。

作 者

2012 年 11 月 28 日

目 录

1 概 述	1
1.1 工程背景	1
1.2 工程概况	2
1.3 工程的主要特点及难点	4
2 狮子洋水下隧道工程地质特点及盾构选型	5
2.1 狮子洋水下隧道地层特点	5
2.2 狮子洋水下隧道盾构选型	9
2.3 狮子洋水下隧道盾构选型的基本功能要求	16
3 狮子洋水下隧道盾构及设备配套	21
3.1 气垫式泥水盾构	21
3.2 泥水处理系统	53
3.3 管片模具	63
3.4 本章小结	64
4 大直径泥水盾构现场组装与始发	65
4.1 泥水盾构组装	65
4.2 泥水盾构调试	75
4.3 泥水盾构始发	77
4.4 泥水盾构使用中适应性改造	87
4.5 本章小结	95
5 水下盾构隧道结构力学特征分析	96
5.1 管片结构设计基本方法	96
5.2 管片结构力学特征分析	107
5.3 水下盾构隧道二次衬砌必要性分析	139
5.4 本章小结	149
6 大直径泥水盾构施工期管片上浮及控制	150
6.1 狮子洋水下隧道管片设计和生产情况	150
6.2 管片上浮机理分析与上浮量计算	156
6.3 施工过程模拟计算	160

6.4	狮子洋水下隧道管片上浮量监测与分析	172
6.5	管片上浮控制措施及结果	178
6.6	本章小结	187
7	大直径泥水盾构掘进引起地层变形与控制技术	189
7.1	泥水盾构掘进引起的地表隆沉机理	189
7.2	泥水盾构施工地表沉降变化规律及影响因素	191
7.3	盾构施工土体水平位移监测结果与分析	198
7.4	软土地层的沉降控制	207
7.5	本章小结	212
8	高磨损性地层盾构刀具比选与减压限排换刀技术	214
8.1	狮子洋水下隧道地层的磨蚀性	214
8.2	刀具磨损原因分析及对策	219
8.3	不同地段刀具抗磨损性比选	227
8.4	高水压条件下的进仓换刀技术	243
8.5	本章小结	255
9	大直径泥水盾构掘进控制与对接技术	256
9.1	狮子洋泥水盾构掘进流程与模式选择	256
9.2	盾构掘进控制	259
9.3	泥浆参数设置及质量控制	271
9.4	对接技术	275
9.5	盾构洞中解体与运输	289
9.6	本章小结	296
	参考文献	297

1 概 述

1.1 工程背景

随着社会的发展,可利用土地资源相对减少,交通压力日益增大,环境保护越来越受重视,为实现可持续发展,隧道及地下空间的开发将发挥重要的作用,特别是江河、海峡两岸的交通问题亟需解决。然而,基于“资源节约型、环境友好型”的发展观念,为减少对两岸的环境影响和破坏,提高土地资源的利用率,同时保障运营不受气候的影响,确保有有效的抗震性能和抗战性能,因此以跨江越海隧道的方式将会越来越多。就铁路而言,以往铁路隧道的行车速度目标值较低,在跨江越海工程中,大多采用桥梁方式,随着高速铁路运行速度目标值的提高,线路标准要求更高,而大跨度的桥梁难以解决振动和舒适度问题,同时部分通航标准要求较高的大江、大河,对于设置水中墩特别敏感,对防洪也提出了较高的要求,因此,水下隧道的优势明显加大,所以在穿越较大的水域时,世界上大多数国家都采用隧道水下穿越方式。

目前,我国正在建设连接港珠澳的伶仃洋跨海工程,在主航道上,因为航道资源的要求和香港机场起降限制,采用长度 6 km 沉管隧道方式修建。此外正在规划设计的海峡隧道有 3 条,分别是连接广东和海南两省的琼州海峡跨海工程、连接大连与烟台的渤海湾跨海工程、连接福建和台湾的台湾海峡跨海工程。

广东、海南两省间由于琼州海峡相隔,目前琼州海峡的运输主要以轮渡为主,包括粤海铁路也是采用轮渡方式。琼州海峡是国道主干线——黑龙江至海南三亚的同三高速公路的必经之地,因此跨海工程是同三高速公路的“咽喉”。由于受台风(年平均 27 次,登陆时风力在 12 级以上)、浓雾(年平均日数为 23 d,最多 43 d)等不良气象条件的影响,琼州海峡每年不适航天数在 80 d 左右,阻碍了同三高速公路的畅通,并在一定程度上制约了海南的经济发展。建造跨海大桥同样面临着以下困难:琼州海峡最窄处近 20 km,海水深度在 20~117 m 之间,海底地质条件复杂,而且由于海水较深,海床下 200 多米深未见基岩,给桥梁的基础施工带来较大的难度。同时,根据航道计划,该海峡还要求具备 30 万吨油轮通行,则其安全航道宽度不得小于 1 400 m,通航净高要超过 70 m,其技术难度巨大,工程造价也会急剧增加。琼州海峡的浓雾、暴风雨天气使得桥梁方案亦难以保证全天候通行,另外桥梁方案不利于国防要求,桥梁目标明显,易于遭到战略轰炸,且残桥又会妨碍潜艇与航母通过。据初步估算,在此处建桥,其造价不会低于 5 万元/m²(按桥面面积计),要高于相同车道隧道工程。而修建隧道则不受气候的影响,可以保证全天候通行,且不会对所在海域造成污染,不干扰海面通航,因此隧道方案比桥梁方案更具优势。

台湾海峡最窄的地段是从福建福州市附近的平潭到台湾台北市附近的新竹,直线距离约 125 km,海峡深度普遍在 80 m 以内。计及隧道在两岸的延伸总长可能达 135 km。这条线路的两端均靠近台湾和福建的政治、经济、文化中心。此外,从福建的厦门经金门、澎湖到台湾的台南以北,也是一个可供选择的方案,其优势是中间有几个岛屿,不过线路要长得多。专家们

设想中的台湾海峡桥梁、隧道工程建设有北线、中线和南线三个方案,起点均在福建。其中最短的是北线隧道,起于福建的平潭,止于台湾的桃园海滨,长 125 km;最长的是南线,即厦门—金门—澎湖—嘉义海滨,跨海总长约 207 km;中线从福建莆田到台湾中部,因为此线的海底地质情况复杂,已很少再被提及。

总之,我国水下隧道的建设刚刚起步,随着我国经济腾飞的迫切需要和工程建设的不断发展,跨洋越海隧道工程将会愈来愈多,如琼州海峡隧道、渤海湾桥隧工程以及台湾海峡隧道的修建将提到议事日程。连接港珠澳的伶仃洋跨海工程已开始实施。连接大连与烟台的渤海湾跨海隧道已进入论证阶段。

广深港高速铁路狮子洋水下隧道修建技术具有重要的理论意义和现实意义,其技术成果与工程建设经验必将会对以上海峡隧道的建设提供很好的借鉴作用,尤其是对琼州海峡隧道的建设有一定的参考价值。

1.2 工程概况

广深港高速铁路北起广州新铁路枢纽的广州南站,经南沙区黄阁镇下穿狮子洋后进入东莞市、深圳市,然后经深圳皇岗进入香港,全长 146 km,线路按上下行双线设计,设计时速为 350 km。狮子洋水下隧道为整个广深港高速铁路的控制性工程,该隧道位于珠江三角洲平原区,处于广深港高速铁路东涌站—虎门站区间内。线路在出东涌站后,在沙公堡以 7 000 m 的曲线半径右转进入隧道,然后以直线下穿小虎沥、小虎岛、沙仔沥、沙仔岛、珠江航运的主航道——狮子洋水道、虎门港沙田港区后,以 7 000 m 曲线半径左转下穿沿江高速公路后出地面,线路部分地段下穿民居。狮子洋水下隧道由明挖引导段、明挖暗埋段、双洞单线盾构隧道组成,起止里程为 DK33+000~DK43+800,全长 10.8 km。狮子洋隧道立面布置如图 1-1 所示。



图 1-1 狮子洋水下隧道布置图

狮子洋水下隧道最大纵坡为 20%,最小纵坡为 3%。盾构隧道最大覆土 52.3 m,最小覆土 7.8 m;河道内的隧道最小覆土 8.7 m,水深最大 26.6 m 处的隧道覆土 26.0 m。盾构隧道大部分处于砂岩、砂砾岩中,部分地段穿越软硬不均地层,穿越基岩的最大单轴抗压强度为 82.8 MPa,基岩的渗透系数达 6.4×10^{-4} m/s,基岩的石英含量最高达 55.2%,岩石地层的黏粉粒($\leq 75 \mu\text{m}$)含量为 26.1%~55.3%。隧道范围内地下水位处于地表以下 0.5~1.2 m。狮子洋水下隧道纵剖面如图 1-2 所示。

本区段两条 $\phi 10.80$ m 的盾构隧道,采用 4 台气垫泥水加压式平衡盾构相向掘进,并于洋底对接。气垫泥水加压式平衡盾构是一个具备多种功能于一体的综合性设备,该设备集合盾

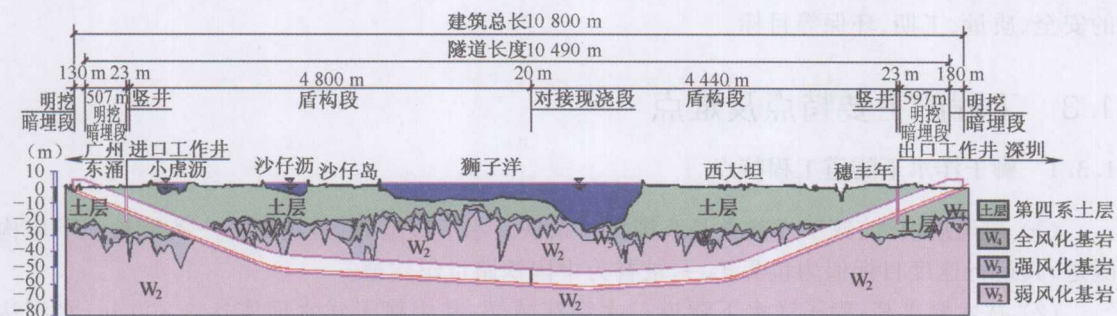


图 1-2 狮子洋水下隧道纵剖面图

构施工过程中的开挖、出渣、结构安装、注浆、导向等全部功能。

隧道平面为直线,左、右线间距约为 17~22 m。纵断面设置了 2 段竖曲线,曲线半径 25 000 m,总长度 675 m,占总体长度的 15%。

狮子洋水下隧道盾构段隧道长 9 340 m,内径 9.8 m,外径 10.8 m,管片厚度 500 mm,管片宽度 2.0 m,管片采用“7+1”分块模式的通用楔形环,盾构隧道的有效净空面积为 65 m²。狮子洋水下隧道限界如图 1-3 所示,管片结构如图 1-4 所示。

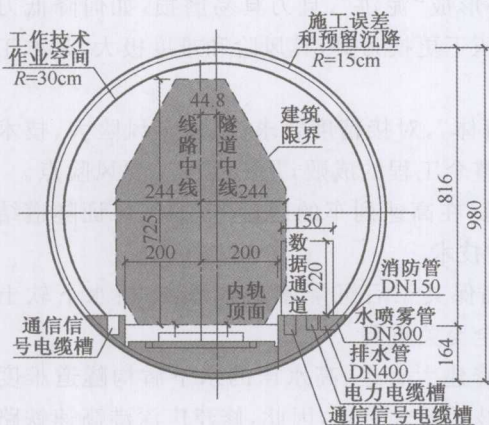


图 1-3 狮子洋水下隧道限界图(单位:cm)

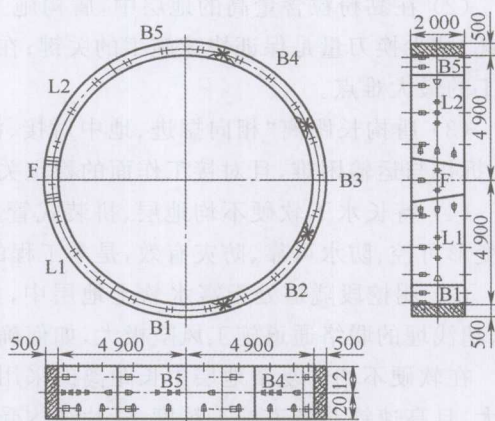


图 1-4 管片结构分块图(单位:mm)

盾构隧道以管片自防水为主,接缝采用两道弹性密封止水条防水。

本工程是广深港高速铁路的控制性工程,也是国内高速铁路工程中第一个水下盾构隧道工程,具有项目建设规模大、技术要求高、建设周期长、系统复杂、项目质量要求高、技术复杂、技术风险大等特点,而且隧道水压高、线路长、地层渗透性大、运行速度快,设计采用洋底“地中对接、洞内解体”的盾构施工方法亦为国内首创,无借鉴先例。

本隧道分为 2 个标段(SD II 标、SD III 标)相向施工,SD III 标承担从隧道出口向隧道进口的施工任务,其两台盾构从东莞侧出口盾构井始发,穿越穗丰年村、穗丰年水道、西大坦,在狮子洋底与 SD II 标盾构对接。本书主要以 SD III 标即出口段的盾构隧道施工为主要对象展开论述。

SD III 项目实行“项目法管理、专业化施工、专家资源支持”的项目组织方式,以质量管理体系标准、职业健康安全管理体系标准、环境管理体系标准进行控制,应用网络技术进行资源和

进度的动态管理,贯彻“构筑世纪工程、打造世界品牌”的项目管理理念,全面实现本项目施工的安全、质量、工期、环保等目标。

1.3 工程的主要特点及难点

1.3.1 狮子洋水下隧道工程特点

(1) 建设规模大:狮子洋隧道是我国第一条铁路水下隧道,也是我国第一条特长水下盾构隧道,其运行速度目标值为世界第一,被誉为中国铁路世纪隧道。

(2) 技术要求高:狮子洋水下隧道三次穿江越洋,其中狮子洋水面宽达 3 300 m,水深达 26.6 m,设计水压达 0.67 MPa,为我国目前水压最大的水下盾构隧道。

(3) 科技含量高:盾构隧道处于软硬不均地层中,且在国内是首次采用“相向掘进、地中对接、洞内解体”的盾构施工技术。

1.3.2 狮子洋水下隧道施工技术难题

狮子洋水下隧道在我国隧道建设史上具有里程碑意义,其主要技术难题是:

(1) 通过大直径、长距离、高水压、软硬不均地层水底隧道的盾构选型,来确保破岩与切土协调、有效稳定工作面、高效密封防止涌水、保障环流畅通,是本工程施工的重大难点。

(2) 在黏粉粒含量高的地层中,盾构施工极易形成“泥饼”,且刀具易磨损,如何降低刀具磨损、减少换刀量是保证快速施工的关键;在高水压下更换刀具,其风险和难度极大,是本工程施工的最大难点。

(3) 盾构长距离“相向掘进、地中对接、洞内解体”,对接精度要求高、安全风险大、技术复杂、拆机与运输困难,且对接工作面的稳定关系到整个工程的成败,是工程的主要风险点。

(4) 特长水下软硬不均地层、拼装式管片隧道,在高速列车的运行下,如何保证隧道结构的变形可控、防水可靠、防灾有效,是本工程的关键技术。

(5) 明挖段隧道处于富水软土地层中,如何确保其工后沉降满足运营要求;水下软土地层、超浅埋的联络通道施工风险极大,如何确保安全至关重要。

在软硬不均的复杂地层中长距离的采用盾构修建大直径、高水压的水下盾构隧道难度非常大,且高速铁路隧道施工精度、管片结构受力等技术要求更高,因此,修建广深港高速铁路狮子洋水下隧道就给予了施工单位更严峻的挑战。

2 狮子洋水下隧道工程地质特点及盾构选型

2.1 狮子洋水下隧道地层特点

2.1.1 隧道工程地质

(1) 地形、地貌

狮子洋水下隧道工程所在地位于珠江三角洲冲积平原区,地形平坦开阔。线路自西向东跨越狮子洋水道,水深流急,在过江处江面宽达 3 300 m,主航道宽约 700 m,最大水深 26.6 m。隧道陆域段上方有村庄、房屋、水塘、道路,河渠密布,地面标高 $-0.8\sim 1.5$ m。隧道所处区域水系发育,其间还跨越较多小河涌。

(2) 地层

根据前期勘察报告可分为:第四系全新统人工填土层(Q_4^{ml});第四系全新统海陆交互层(Q_4^{mc});第四系残积层(Q^{el});基岩主要为下白垩系(K_1b),按风化程度可分为全风化、强风化、弱风化。地层由上而下分别为。

1) 人工填土层(Q_4^{ml})

主要为素填层,局部为杂填土及耕植土,颜色主要呈土灰色、褐黄色等,由黏性土组成,属 I 级松土,实测标贯击数 2~4 击。本层主要分布在珠江两岸,厚层 0.40~3.55 m,平均厚度 1.36 m。

2) 海陆交互相沉积层(Q_4^{mc})

① 粉质黏土层:本层零星分布,呈灰色、土灰色,大部分呈软塑状,局部硬塑状,层厚 0.50~9.20 m,平均 2.51 m;标贯击数一般 2~11 击,平均击数 7.2 击。

② 淤泥层:本层分布广泛,呈深灰色、灰黑色,主要成分为黏粒,含少量粉粒,手感滑腻,属高压缩性土,土质较均匀,局部夹粉砂薄层,属 II 级松土。该层层厚 0.80~17.50 m,平均层厚 5.27 m;标贯击数一般 1~5 击,平均击数 2.3 击。

③ 淤泥质土层:本层分布广泛,呈深灰色,主要成分为黏粒,含有机质,饱和、流塑状。该层层厚 0.65~12.85 m,平均层厚 4.09 m;标贯击数一般 1~7 击,平均击数 2.8 击。

④ 粉土层:本层零星分布,呈深灰色,组成物主要为粉粒、黏粒,很湿,稍密,局部松散,标贯击数一般 2~6 击,平均击数 3.3 击,层厚 1~3.5 m,平均层厚 2.22 m。

3) 冲积层(Q^{al})

① 黏性土层:本层大部分地段有分布(主要为珠江两岸),呈褐黄色、灰色、杂色等,组成物主要为粉质黏土,局部为黏土、粉土,呈软塑状、局部硬塑状,标贯击数一般 4~21 击,平均击数 9 击,层厚 0.6~9 m,平均层厚 3.07 m。

② 淤泥质土层:本层主要分布在东莞侧,广州侧地段零星分布,呈深灰色、灰黑色,组成物主要为淤泥质黏土和淤泥质粉质黏土,饱和,流塑状,标贯击数一般 1~8 击,平均击数 4.5 击,层厚 0.6~8.5 m,平均层厚 3 m。

③ 粉细砂层:本层主要分布在珠江两岸,呈灰白色、褐黄色等,组成物主要为粉砂、细砂,分选性好。饱和,稍密~中密状,局部松散或密实状,标贯击数一般 5~30 击,平均击数 15.2 击,层厚 0.6~11.5 m,平均层厚 3.46 m。

④ 中砂层:本层主要分布在沙仔岛和东莞侧,呈灰白色、褐黄色等,组成物主要为中砂,分选性好。饱和,稍密~中密状,局部松散或密实状,标贯击数一般 6~58 击,平均击数 19.5 击,层厚 0.55~12.9 m,平均层厚 3.83 m。

⑤ 粗砾砂层:本层主要分布在沙仔岛和东莞侧,呈灰白色、褐黄色等,组成物主要为粗砾、砂砾,分选性好。饱和,中密状,局部稍密或密实状,标贯击数一般 4~89 击,平均击数 25.5 击,层厚 0.55~13.05 m,平均层厚 3.99 m。

⑥ 砾石、卵石层:本层在珠江两岸零星分布,呈灰白色,组成物主要为圆砾、角砾、卵石,分选性差。饱和,中密状,标贯击数一般 10~50 击,平均击数 28.1 击,层厚 0.6~5.9 m,平均层厚 1.82 m。

4) 残积土层(Q^{el})

本层零星分布,呈褐红色、灰色,组成物主要为粉质黏土、黏土,大部分呈硬塑状,局部呈软塑状,遇水易软化,标贯击数一般 7~47 击,平均击数 19.4 击,层厚 0.55~15.40 m。

5) 基岩(K₁b)

基岩岩性主要为泥岩、泥质粉砂岩,局部含粉砂岩、细砂岩等,根据风化程度把基岩分为三层:

① 岩石全风化层:本层大部分钻孔有揭露,呈褐红色、灰色、深灰色等,原岩组织结构已风化破坏,岩石已风化成坚硬土状,标贯击数一般 30~90 击,平均击数 44.5 击,层厚 0.5~11 m,平均层厚 2.74 m。

② 岩石强风化层:本层大部分钻孔有揭露,呈褐红色、灰色、深灰色等,原岩组织结构已风化破坏,岩石大部分呈岩状,局部半岩半土,风化裂隙发育,岩石较破碎,岩质软,标贯击数一般 50~90 击,平均击数 54 击,层厚 0.4~49.61 m,平均层厚 5.66 m。

③ 岩石弱风化层:本层分布广泛,呈褐红色、灰色等,主要由泥质粉砂岩、泥质细砂岩组成。陆源碎屑结构,中厚层状,泥质、钙质胶结,局部铁质胶结,局部裂隙发育,岩芯呈短柱状、柱状及碎块状,岩质稍碎,揭露层厚 1~53.3 m,平均层厚 17.91 m。

(3) 断裂构造

根据部分区域地质资料,勘察范围存在东莞—厚街断裂、化龙—南沙断裂和文冲—狮子洋断裂。其中东莞—厚街断裂 NE60~70 走向,倾向 NW,倾角 70°左右。化龙—南沙断裂,总体走向 NNW,为正断层,倾角 60°~70°。文冲—狮子洋断裂,总体走向 NW330°,倾向 SW,倾角 50°~80°。

根据初测及定测物探、钻探成果资料,未揭示到大的断裂破碎带,物探仅在里程 DK39+541、DK39+738 附近存在范围较窄的物探异常带。

钻探结果表明:在里程 DK38+150~DK38+250、DK39+600~DK39+730 段存在基岩风化面凹槽及软弱夹层,部分钻孔在施工过程中存在漏水现象,说明裂隙较发育,有可能为断裂影响。

(4) 地层主要参数表

1) 岩石单轴极限抗压强度

岩石单轴极限抗压强度见表 2-1。

表 2-1 单轴极限抗压强度表

地 层	试验状态	样品最大值(MPa)	样品最小值(MPa)	样品平均值(MPa)
强风化层	天然	3.55	1.23	2.48
	饱和	14.7	0.7	5.73
弱风化层	天然	82.8	6.54	27.91
	饱和	78.7	3.1	23.99

各种岩石抗压强度所占的比例见表 2-2。

表 2-2 岩石抗压强度分布情况表

试验状态	抗 压 强 度			
	<5 MPa	5~20 MPa	20~50 MPa	>50 MPa
弱风化天然状态	0%	30%	60%	10%
弱风化饱和状态	2%~3%	约 30%	60%	7%~8%

2) 泥质粉砂岩、粉砂质泥岩的粉粒、黏粒含量

盾构段岩石强~弱风化带颗粒分析汇总见表 2-3。

表 2-3 盾构段岩石强~弱风化带颗粒分析汇总表

岩性	样号	深度(m)	粗粒组			细粒组		
			粗	中	细	粉粒	黏粒	
			各种级配的百分含量(%)					
			2~ 0.5 mm	0.5~ 0.25 mm	0.25~ 0.075 mm	0.075~ 0.05 mm	0.05~ 0.005 mm	<0.005 mm
泥质粉砂岩	Jz-IV 05-隧沙 28-2-Y1	32.00~32.60	1.6	26.7	45.6	8.3	17.8	
泥质粉砂岩	Jz-IV 05-隧沙 23-Y2	47.40~48.00	5.7	19.9	30.3	9.7	28.0	6.4
泥质粉砂岩	Jz-IV 05-隧沙 25-Y3	54.70~55.30	3.9	23.6	25.1	12.8	28.2	6.4
泥岩	Jz-IV 05-隧沙 19-Y2	53.10~53.70	3.8	38.0	34.9	6.6	16.7	
泥质细砂岩	Jz-IV 05-隧莞岸 67-Y1	34.20~34.80	4.3	29.6	34.0	7.0	25.1	
细砂岩	Jz-IV 05-隧莞岸 2-1-Y5	54.30~54.80	3.3	16.8	24.6	17.5	30.1	7.7
泥质粉砂岩	Jz-IV 05-隧沙 27-Y1	52.70~53.00	7.3	28.7	26.8	11.6	18.1	7.5
泥质粉砂岩	Jz-IV 05-隧沙 28-Y2	38.20~38.70	2.7	17.0	39.7	9.7	27.9	3.0

3) 石英含量

盾构段各岩土层石英含量见表 2-4。