

文章编号:1006-2106(2015)04-0076-04

## 复杂地质海底隧道设计<sup>\*</sup>

杨毅秋<sup>1\*\*</sup> 赵 军<sup>2</sup> 杨贵生<sup>1</sup>

(1. 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251; 2. 天津市地下铁道集团有限公司, 天津 300161)

**摘要:**研究目的:台山核电海底隧道工程是我国首条盾构海底隧道,隧道外径 9 m,穿越中风化岩层、软土、砂层及土石交界面,地质条件复杂且位于海底。主要工程特点:大直径、长距离、复杂地质条件下盾构施工。存在难点包括:隧道工法选择、纵断面设计、结构设计、盾构选型及刀盘设计、盾构穿越土石分界及孤石群处理方案。通过理论分析研究和工程类比,确定安全合理设计方案。

**研究结论:**(1)本工程海底隧道设计采用复合式泥水平衡盾构,钻爆法结合盾构法施工,通用管片+二次衬砌的复合式衬砌模式,能有效解决复合地层长距离水下掘进难题;(2)复合式盾构刀盘设计、水下孤石爆破处理能有效地解决盾构在土石交界面掘进高风险、低效率的难题;(3)通过实践证明本工程设计能有效地解决海底隧道相关技术难点,施工风险得到有效控制,可为今后同类工程及海峡隧道研究建设提供借鉴。

**关键词:**海底隧道;盾构与钻爆法结合;复杂地质

中图分类号:U455 文献标识码:A

## Design of the Complex Geological Subsea Tunnel

YANG Yi-qiu<sup>1</sup>, ZHAO Jun<sup>2</sup>, YANG Gui-sheng<sup>1</sup>

(1. The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China; 2. Tianjin Metro Group Co. Ltd, Tianjin 300161, China)

**Abstract: Research purposes:** The subsea tunnel project in Taishan nuclear power station is the first subsea shield tunnel in China with external diameter 9 m through middle weathered rock, clay, sand and the interface of soil and rock. The geological and geotechnical condition in this tunnel is very complex. The main character of this project is large diameter shield tunnel, long distance construction in complex geological strata. The difficulties include tunneling construction method, longitudinal profile design, structure design, TBM selection and cutting head design, the treatment of tunneling through interface of soil and rock and boulders group. Through theory analysis and experience analogy, the safe and reasonable design scheme was demonstrated.

**Research conclusions:** (1) The tunnel machine in this project adopt the mix-shield TBM, Shield tunneling method combines with New Austria Tunneling Method. The lining of the tunnel is combined type of universal segments lining and cast in concrete lining. It effectively solves the problem of long distance and under the sea tunneling. (2) The mix-shield cutter head design, boulders blast under the sea solves the problem of high risk and low efficiency speed of tunneling. (3) Through practice, it is demonstrated that this design can effectively solve the technical problems of subsea tunnel, and effectively control the construction risks, which can provide some references for the related projects and

<sup>\*</sup> 收稿日期:2014-11-19

<sup>\*\*</sup> 作者简介:杨毅秋,1979 年出生,男,高级工程师。

future channel tunnels construction.

**Key words:** subsea tunnel; Shield tunneling method combines with New Austria Tunneling Method; complex geology

## 1 工程概况

### 1.1 隧道地理位置及工程概况

台山核电站位于珠江八大口门的崖门和虎跳门出口黄茅海西侧,核电站需要的循环冷却水在大襟岛南侧取得,通过1、2号机组取水隧道穿越海底引入核电厂区。两条取水隧道平面轴线均为直线,隧道中心间距29.2 m,建筑长度4.3 km/条。隧道布置如图1所示。

隧道两侧部分岩石段采用钻爆法施工,其余段采用盾构法施工,隧道内直径7.3 m,外直径8.7 m,采用盾构管片和二次衬砌复合支护结构。

## 1.2 工程地质概况

隧道主要穿越粗砂、中砂、细砂、粗砂混黏性土、粉质黏土、黏土及花岗岩和砂岩地层。在大襟岛侧,隧道穿越的基岩主要为微风化粉砂岩;在陆域电厂侧,隧道穿越的基岩主要为全风化花岗岩、中风化花岗岩层。

本工程场地地下水主要为海积层孔隙水、残积层

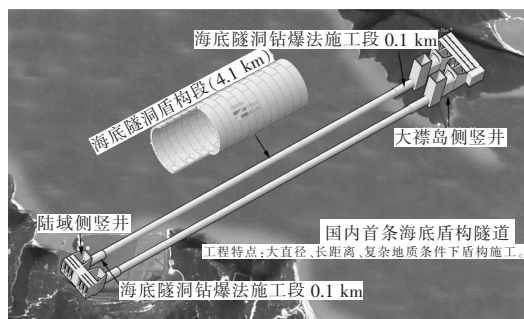


图1 台山核电海底隧道概况

孔隙水和深部基岩风化带裂隙水。赋水砂层可以看成是透镜体状的储水体,与海水无直接联系。

1 号隧道洞身岩石段长度约 780 m,土层段掘进长度约 3 551 m,其中有 370 m 岩石段位于陆域。2 号隧道洞身岩石段长度约 533.6 m,土层段掘进长度约 3 620 m,其中有 303 m 岩石段位于陆域。隧道纵断面形式如图 2 所示。

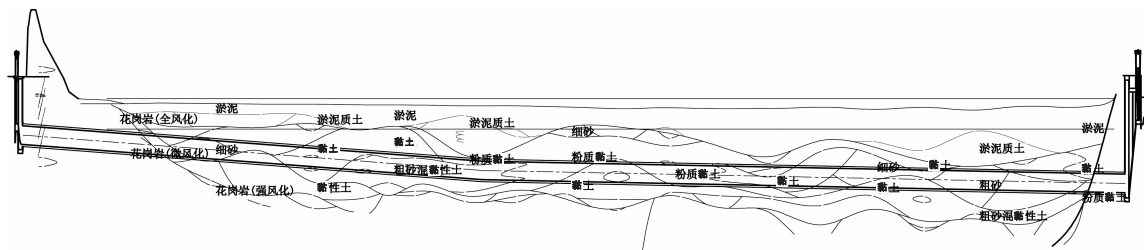


图 2 隧道纵断面图

## 2 隧道设计概况

### 2.1 隧道纵断面设置原则

隧道穿越复杂地层,纵断面的确定直接关系本工程的施工风险<sup>[1]</sup>。本隧道纵断面设计主要根据地质条件、隧道施工和使用阶段的抗浮及受力要求确定。根据地质勘察资料,隧道范围上层地层主要为淤泥和淤泥质土,该层土质松软,承载力较低;下层为砂层和黏土层。为了保证盾构推进的稳定和减小蛇行,同时也避免使用阶段的隧道结构沉降而造成隧道结构破坏,在满足隧道抗浮和受力情况下,隧道埋深尽量减小,依据上述原则,确定隧道纵断面埋深位置。

## 2.2 施工方法的确定

盾构法和钻爆法进行比较,其中钻爆法存在的难点如下:

一是,海底钻爆法施工隧道对地质条件要求较高,

地质构造对钻爆法隧道方案的可行性、造价、工期均有重大影响。

二是, 钻爆法施工两侧竖井深度达到 120 m, 隧道内施工通风采用风管送排风方式, 对通风要求较高, 井下独头掘进长度达到 2 300 m (从竖井口部计算), 通风在技术上难度极大。

三是,由于隧道海底段长度较大,地质情况存在不确定性,工期不确定因素较大。

四是,由于钻爆法施工隧道对地质勘察资料要求较高,受海上天气影响,勘察工作周期将比盾构方案长,对后续工作周期及总工期有较大影响。

通过经济技术比较,盾构方案从施工安全、工期保证和使用功能方面均优于钻爆法隧道方案。

隧道两侧穿越中风化、微风化岩石地段,对盾构刀具磨损较大,综合比较后决定采用钻爆法<sup>[2]</sup>;盾构机在钻爆法隧道洞内始发掘进<sup>[3]</sup>。



隧道位于海底,刀具更换只能在带压状况下进行,这就需要带压进仓方法对已磨损的刀具进行更换。本工程位于海底且埋深较深,采用海底高压法换刀技术,单条隧道掘进过程中需进行4次换刀。

盾构机配置了超前注浆系统,可通过位于前盾环向8个注浆孔进行超前注浆,对地层进行预处理,降低盾构掘进风险。

### 3.5 土石分界面盾构掘进控制措施

盾构通过土石分界面地层,由于地层的强度不均、地层应力差异对盾构掘进造成影响。解决方法主要通过刀盘特殊性设计、掘进姿态和泥水分离等几方面控制。

本工程土石分界面存在两处,分别位于陆域侧和大襟岛侧。陆域侧长度约260 m,盾构由花岗岩地层掘进至粉质黏土、砂层。大襟岛侧长度约80 m,盾构由砂泥岩地层掘进至黏土地层。由于盾构由岩石地段进入软土地段,需要根据掌子面情况,分段落、分步进行盾构机刀盘刀具的更换,将部分滚刀更换为羊角刀,增加开口率,提高了掘进效率,同时应适当降低泥浆比重,防止结泥饼现象。盾构由软土进入岩石段,要提前在软土地段选好换刀地点,将软土刀具更为换滚刀,同时控制掘进速度、刀盘转速及推进压力<sup>[9]</sup>。

## 4 隧道施工方案

### 4.1 盾构钻爆法洞内始发方案

根据详勘资料和施工过程中的超前地质预报措施,确定采用钻爆法施工的段落长度。盾构始发和到达在钻爆法形成的洞室中进行。

盾构始发段掌子面前方岩层不需要加固,盾构到达段距离掌子面10 m范围进行注浆加固岩层,封闭基岩裂隙水。盾构始发时为防止刀具在凹凸不平的掌子面硬岩层造成损坏,在盾构机刀盘前方浇筑C20素混凝土对掌子面进行找平。

### 4.2 二次衬砌施工方案

本工程采用钢筋混凝土在已完成管片衬砌的基础上施工。从大襟岛向陆域侧方向,采用三台12 m全圆针梁式模板台车进行连续跳打施工,台车每循环浇筑约12 m。施工流程:绑扎钢筋→台车定位→堵头封堵→浇筑混凝土→混凝土等强→拆模、进入下一循环。

## 5 结论

台山核电海底隧道是一座输水长隧道,目前2号隧道均已贯通,解决了施工过程中的风险和难点。针对岩石段的掘进主要遵循“高转速、小扭矩、大推力”<sup>[10-11]</sup>的思想,及时检查刀盘刀具,根据地层情况采取调整滚刀刀环材料等措施。软土地段为防止上

浮、错台等现象,主要通过控制掘进速度与同步注浆匹配,螺栓紧固力调整及尽量减少停机、停机后逐渐调整掘进姿态等措施。

本文意在结合隧道设计介绍本工程特点。针对地质条件复杂、掘进距离长、风险高的特点,为达到减小工程风险,降低造价,确保工程安全,设计采用了钻爆法与盾构法结合的方案,经实践证明该方案可行,保证了工程安全、质量、进度,节约了投资,本工程可为今后海底隧道研究建设提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 洪开荣. 我国盾构隧道发展中的几个问题[C]//地下工程高层论坛会议论文集,2004.  
Hong Kairong. Some Problems of the Shield Tunnelling Development in China[C]//Conference Proceedings of The Top Forum For The Underground Engineering, 2004.
- [2] 卿三惠, 谢文清, 辜文凯, 等. 胶州湾海底隧道钻爆法施工关键技术创新[J]. 铁道工程学报, 2011(9): 63 - 69.  
Qing Sanhui, Xie Wenqing, Gu Wenkai, etc. Innovation of Key Construction Technology for Kiaochow Bay Submarine Tunnel with Boring and Blast Method[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(9): 63 - 69.
- [3] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.  
Zhou Wenbo. Shield Tunnelling Technology and Application [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004.
- [4] 朱伟, 译. 隧道标准规范(盾构篇)及解说[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.  
Translated by Zhu Wei. Standard Code for Tunnel (Shield Tunnelling)[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.
- [5] 刘建航, 侯学渊. 盾构法隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991.  
Liu Jianhang, Hou Xueyuan. Shield Tunnelling Method [M]. China Railway Publishing House, 1991.
- [6] 张凤祥, 朱合华, 傅德明. 盾构隧道[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.  
Zhang Fengxiang, Zhu Hehua, Fu Deming. Shield Tunnel [M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [7] 王效文. 地铁盾构隧道施工组织影响因素分析[J]. 现代隧道技术, 2005(12): 53 - 57.

(下转第101页 To P. 101)