

文章编号:1006-2106(2013)07-0053-06

## 厦门翔安海底隧道穿越二长岩脉关键技术\*

王彦清\*\*

(中铁二十二局集团有限公司, 北京 100043)

**摘要:**研究目的:厦门翔安海底隧道是我国大陆第一条海底隧道。厦门翔安海底隧道服务隧道穿越二长岩脉时,地质条件复杂,易发生突水,涌泥,坍塌等事故,是该工程施工的难点之一,也是以往海底隧道施工过程中未曾遇到过的,没有现成的施工经验可供借鉴。在施工过程中一定要采取切实可行的开挖方法,支护方案,并配合超前地质预报和监控量测,才能确保施工安全,快捷。

**研究结论:**(1)通过切实可行的超前地质预报,获得准确的地质情况,然后通过 FLAC3D 数值模拟对比选取台阶法施工的开挖方案,为施工方便选择上台阶高度为 6 m,根据地层变形控制和隧道稳定性控制,借助 FLAC3D 数值模拟调整出合理的开挖进尺为 2 m,合理的台阶长度为 10 m;(2)为了达到强度和稳定性,耐久性的要求,厦门翔安隧道服务隧道采用复合衬砌;(3)针对二长岩脉段,通过对拱顶下沉和洞内收敛的监控量测验证方案的合理性和具体措施的有效性;(4)厦门海底隧道的关键技术是集合了开挖,支护,地质预报和监控量测的综合技术系统,可以为以后海底隧道穿越二长岩脉段或者风化围岩的施工提供参考。

**关键词:**海底隧道;二长岩脉;台阶法;超前地质预报

**中图分类号:**U45 **文献标识码:**A

## Key Construction Technology for Construction of Xiamen Xiang'an Subsea Tunnel across Monzonite Vein

WANG Yan - qing

(China Railway 22th Bureau Group Co. Ltd, Beijing 100043, China)

**Abstract: Research purposes:** The Xiamen Xiang'an Subsea Tunnel is the first subsea tunnel built in the China mainland. As the geological conditions were complex, the accidents of water and mud bursting and the collapse easily happened when the service tunnel of the Xiamen Xiang'an Subsea Tunnel crossed monzonite veins. It was one of the difficult points in construction and it also never been met in the previous tunnel construction. Therefore, there was no construction experience to draw. During the construction process, the feasible excavation methods and supporting program had to be used along with the advanced geological prediction, monitoring and measurement in order to ensure the safe and fast construction.

**Research conclusions:** (1) By making the feasible geological prediction, the accurate geological situation was obtained. By making the FLAC3D numerical simulation and comparison of the excavation schemes with bench method, the 6m step height was easily chosen. Based on the controls of the stratum deformation and tunnel stability, the reasonable 2 m excavation footage was adjusted with the help of the FLAC3D numerical simulation, and the reasonable step length was 10m. (2) In order to meet the requirements of the strength, stability and durability, the composite lining was adopted to the service tunnel of the Xiamen Xiang'an Tunnel. (3) For the monzonite veins section, by monitoring and measuring

\* 收稿日期:2013-04-07

\*\* 作者简介:王彦清,1973年出生,男,高级工程师,现任中铁二十二局厦门海底隧道项目部副经理。

the subsidence of the crown and the convergence of the cave, the rationality of the scheme and the effectiveness of specific measures were verified. (4) The key technology system of the excavation, support, geological prediction and monitoring and measuring for the Xiamen Subsea Tunnel can provide the reference to construction of submarine tunnel across monzonite veins section or weathered rock section.

**Key words:** subsea tunnel; monzonite veins; bench method; advanced geological prediction

1 工程概况

厦门翔安隧道服务隧道海底段穿越二长岩脉段,在纵断面上大体呈“V”字形与隧道相交,影响范围宽约 56 m,属于软质 V 级围岩,处于地下水位线以下,覆盖层厚度 48.62 ~ 50.45 m。里程段为 NK 11 + 052 ~ NK 10 + 996 围岩风化严重,裂隙发育,有三条强风化辉绿岩脉,涌水量较大。隧道开挖高度 7.43 m,宽度 7.96 m,开挖面积 47.1 m<sup>2</sup>。厦门翔安隧道服务隧道穿越二长岩脉地质剖面图如图 1 所示。

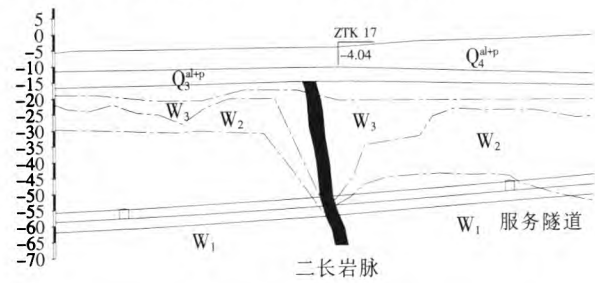


图 1 厦门翔安隧道服务隧道穿越二长岩脉地质剖面图

由于服务隧道二长岩脉段岩体节理、裂隙比较发育,隧道自稳条件差,水压力和水量大,地层渗透系数大,一旦施工方法不当,可能发生围岩过度松弛变形,在围岩的薄弱部位,在高水压作用下有可能被冲开,或发生渗透破坏,严重时将发生大规模涌水、突泥。

2 二长岩脉物理力学性质

二长岩是一种中性深成岩,岩性介于正长岩和闪长岩之间,碱性长石和斜长石的含量相等,含有 30% 的深色矿物,按主要暗色矿物成分,分角闪二长岩和云辉二长岩等。深成相二长岩的特征结构是自形斜长石和自形、半自形暗色矿物被他形钾长石所包裹,称二长结构。浅成相可具斑状结构,斑晶为斜长石和钾长石,称二长斑岩。二长岩可呈独立小岩株状产出,也可与正长岩、闪长岩伴生形成杂岩体。由二长岩组成的岩脉称为二长岩脉。

由于二长岩脉的侵入,二长岩脉附近的岩层常存在风化现象,岩层一般软弱破碎,地质复杂,土、砂、石交杂,受地下水的影响较大。易发生突水、涌泥、坍塌

灾难性事故。

厦门翔安隧道穿越二长岩脉段,在纵断面上大体呈“V”字形与隧道相交,围岩风化严重,裂隙发育,有三条强风化辉绿岩脉,与海水连通,涌水量较大,最大水压达 0.7 MPa,最大出水量达 50 m<sup>3</sup>/h。头顶无限海水,无法通过地表进行处理。

3 超前地质预报

超前地质预报是在隧道开挖以前,为准确探明不良地质体的位置和分布形态,采用专门的方法和技术,对于一定范围内的地质情况进行预报。作为一道必经工序,有疑必探,无疑也探,先探后掘。

超前地质预报对于隧道穿越二长岩脉具有重要的意义。

3.1 超前地质预报总体方案

物探钻探相结合,以钻探为主。长短结合,以短为主。先长后短,先物探后钻探,准确到米。为准确探明风化深槽土石交界面的位置,掌子面推进到距离风化槽 50 m 左右采用 TSP 长距离探测一次,先初步探明掌子面前方的土石交界面位置、含水体、裂隙、地层物理力学性能等地质情况。距离初步探明位置 15 m 处,进行水平钻探准确确定土石交界面的里程及走向,准确探明风化深槽内地质情况,并对 TSP 预报成果进行验证。

3.2 海底隧道服务隧道二长岩脉段 TSP - 203plus 超前地质预报

TSP 方法属于多波多分量高分辨率地震反射法,其探测原理如图 2 所示。地震波在设计的 24 个震源点(布置在地层或构造的走向与隧道轴相交成锐角的隧道边墙)用小量炸药激发产生。当地震波遇到岩石波阻抗差异界面(如断层、破碎带和岩性变化等)时,一部分地震信号反射回来,一部分信号透射进入前方介质。反射的地震信号将被高灵敏度的加速度地震传感器接收并以数字形式记录下来。采集数据通过 TSPwin 专用软件处理,便可了解隧道工作面前方地质体的性质(软弱岩带、破碎带、断层、含水岩层等)和位置及规模。

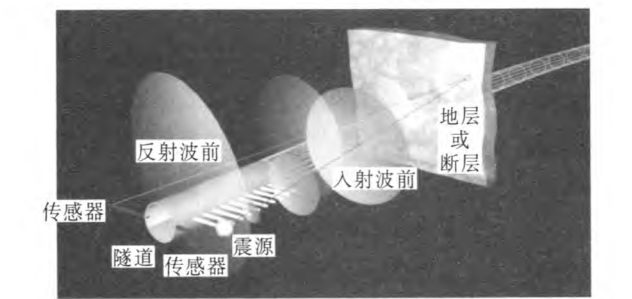


图 2 TSP 探测原理示意图

接收器位置在 NK 11 + 150,开挖面位置为 NK 11 + 090,设计 24 炮,2 个接收器位于隧道左、右边墙同时接收。观测系统详细情况如图 3 所示。

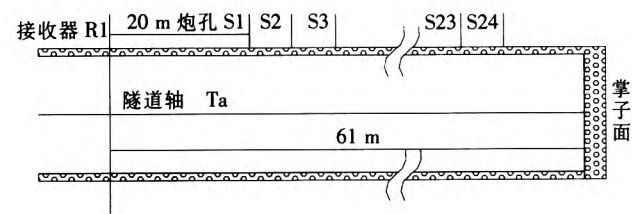


图 3 观测系统示意图

3.3 海底隧道服务隧道二长岩脉段超前钻孔取芯

结合 TSP - 203plus 预测结果,进行钻孔取芯试验,探明前方地质水文状况,钻孔设备选用日本 KO-KEN 产 RPD - 180C 和 RPD - 75SL 多功能快速钻机。

在掌子面 NK 11 + 090 处设置 4 个超前探孔,1#孔向上与纵轴线夹角为 10°,3#和 4#孔分别向外侧与中轴线夹角为 10°。每个钻孔深度均为 100 m,2#孔沿隧

道中轴线方向,孔位布置如图 4 所示。

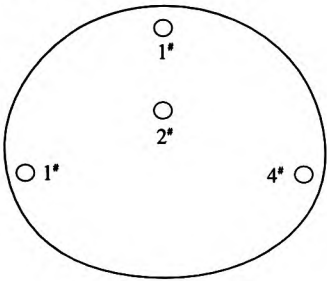


图 4 探孔孔位布置图

3.4 超前地质预报结果

厦门翔安隧道服务隧道 NK 11 + 052 ~ NK 10 + 996 里程段围岩风化严重,裂隙发育,有三条强风化辉绿岩脉,涌水量较大。

服务隧道的地质预报结果不但可以指导服务隧道的设计调整和施工实施,而且可以作为主隧道的超前地质先导洞,为主隧道的施工提供地质参考。

4 隧道开挖方案

4.1 海底隧道服务隧道二长岩脉段开挖方案确定

厦门翔安隧道服务隧道海底段穿越二长岩脉段,在纵断面上大体呈“V”字形与隧道相交,围岩风化严重,裂隙发育,有三条强风化辉绿岩脉,涌水量较大。以下利用 FLAC3D 在同种工况下分别对全断面开挖和台阶法开挖引起的最终沉降量进行分析。计算范围顶部取到地面,沿区间隧道纵向取 50 m。施工过程中考虑隧道超前支护加固地层。厦门翔安隧道服务隧道模拟地层取值如表 1 所示。

表 1 厦门翔安隧道服务隧道模拟地层取值表

岩土名称	地层代号	标高范围	工程特性	重力密度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	弹性模量 $E/\text{GPa}$	泊松比 $\mu$	粘聚力 $c/\text{kPa}$	计算摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
填筑土	$Q_4^{\text{me}}$	-3.5 ~ -11	疏密不匀,工程特性相差悬殊	10.5	0.015	0.2	21.0	-
粘性土	$Q_3^{\text{al+pl}}$	-11.0 ~ -15	中等压缩性,承载力较高	18	0.015	0.2	24	22
全风化带	$W_4$	-15 ~ -20	中等压缩性,承载力较高	18	0.1	0.48	24	25
强风化带	$W_3$	-20 ~ -55	中等压缩性,承载力较高	19	1	0.46	24	30
微风化带	$W_1$	-55 ~ -86.5	连续性好,均匀,抗剪、抗拉强度高	26.5	40	0.20	24	70
初期支护	-	-	-	24.0	26.5	0.20	-	-
二衬	-	-	-	24.0	33.5	0.30	-	-

整个模型采用实体单元建模,土层采用莫尔 - 库仑模型,隧道结构采用弹性体模型。其模拟模型建立如图 5 所示,模拟计算结果如图 6、图 7 所示。

同种工况条件下不同施工方法的模拟分析结果表明:采用全断面法开挖时,隧道最终的最大沉降量最

大,为 194.54 mm;采用上下两台阶的台阶法开挖时,隧道最终最大沉降量次于全断面开挖,为 170.85 mm;采用 CRD 开挖时,隧道最终最大沉降量最小,为 157.51 mm。但是由于隧道开挖高度 7.43 m,宽度 7.96 m,开挖面积 47.1 m<sup>2</sup>,采用 CRD 法施工作业断面

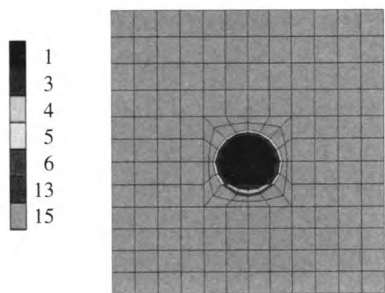


图 5 厦门翔安隧道服务隧道模型

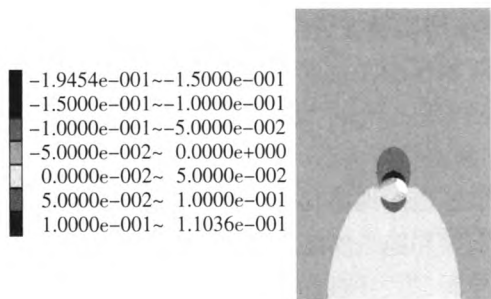


图 6 全断面施工模拟最终沉降云图

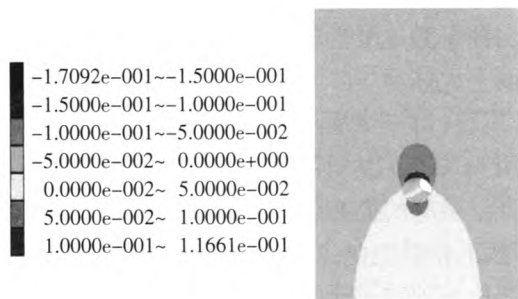


图 7 台阶法施工模拟最终沉降云图

较小,不利于机械化施工,施工速度较慢,而且施工工序复杂,不经济。综上所述,厦门翔安隧道服务隧道采用施工产生沉降较小,而且施工较为方便,经济,快捷的台阶法施工。

根据服务隧道纵断面图,F3 风化深槽切入服务隧道部分呈“V”形分布,在大部分区段服务隧道的下半断面围岩条件较好,所以有针对性地制定了上半断面帷幕注浆方案,只加固上半断面,仍然采用上下台阶法开挖。考虑到服务隧道断面尺寸及出碴的需要,服务隧道上台阶高度取为 6 m。开挖前施作超前大管棚,第一循环开挖结束,施作下一循环帷幕注浆时,对下台阶进行周边加固注浆,这样减少每循环帷幕注浆的施工时间,仰拱底部注浆效果比周边帷幕注浆效果好,加快施工进度。

4.2 开挖进尺的确定

海底隧道穿越二长岩脉段,地质条件复杂,开挖进

尺的合理控制关系到施工的进度和施工的安全。进尺较小不利于施工组织,造成进度较慢;进尺较大,又不利于控制围岩变形,保证安全。为了优选出厦门翔安隧道穿越二长岩脉的合理开挖进尺,采用 FLAC3D 数值模拟方法分别对开挖进尺为 1 m,2 m,3 m 的情况进行分析,进尺为 2 m 时沉降云图和应力云图如图 8、图 9 所示。

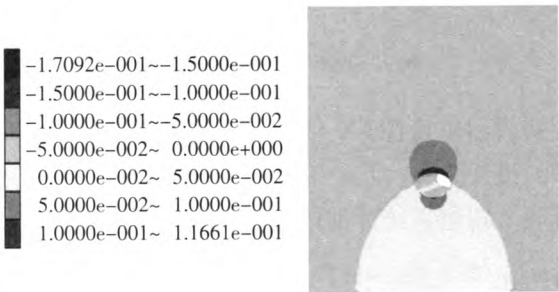


图 8 进尺为 2 m 时沉降云图

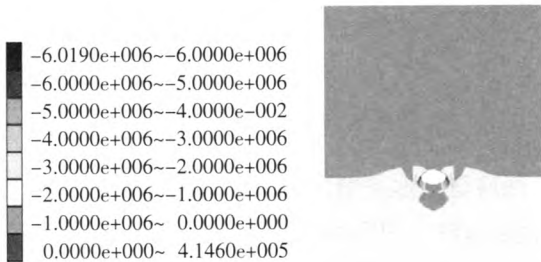


图 9 进尺为 2 m 时应力云图

通过分析可知,开挖进尺为 2 m 或者 3 m 时,竖向应力最大值明显比竖向进尺为 1 m 时小(进尺为 1 m 时,竖向应力最大值为 7.49 MP;进尺为 2 m 时,竖向应力最大值为 6.02 MP;进尺为 3 m 时,竖向应力最大值为 600 MP),而当进尺为 2 m 时,最终沉降最大值比进尺为 3 m 时小,所以厦门翔安隧道服务隧道穿越二长岩脉段开挖进尺取为 2 m。当采用 2 m 的台阶长度时,既能有效地控制地层变形,又能保证隧道的稳定性,而且有利于隧道施工组织。

4.3 台阶长度的优化确定

选用台阶法施工时,台阶长度的确定是关键环节,如果台阶长度过小,则影响施工进度,而如果长度过大,则不利于控制围岩变形,易发生突水,涌泥等,造成安全事故。下面通过采用上面的地层参数,针对服务隧道,取上台阶高度为 6 m,分别取台阶长度为 6 m,10 m,14 m,20 m,通过 FLAC3D 进行模拟分析。台阶长度不同时,沉降云图和竖向应力云图如图 10、图 11 所示。



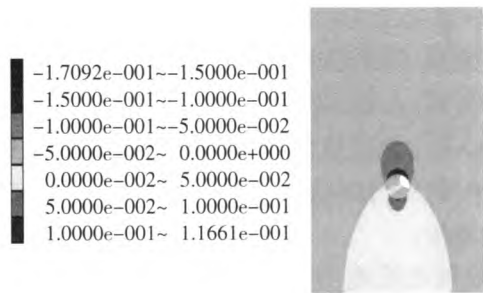


图 10 台阶长度 10m 时沉降云图

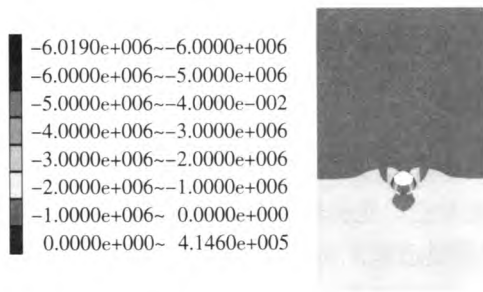
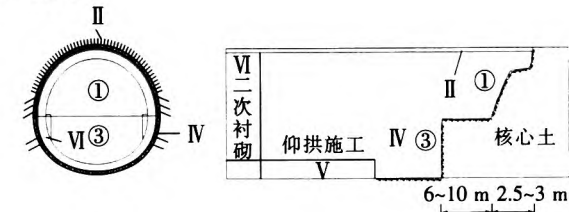


图 11 台阶长度 10 m 时应力云图

通过模拟分析可知,当台阶长度为 6 m 时,最大沉降量最小(为 170 mm),但是此时的竖向应力却最大,从隧道安全和稳定性的角度综合考虑,取台阶长度为 10 m 较为合理,此时的沉降量较小,而竖向应力也取得较小值。从施工角度来看,这一台阶长度适中,既便于出渣,上下台阶施工又不会有太大的影响。

4.4 海底隧道服务隧道二长岩脉段开挖施工

厦门翔安隧道服务隧道二长岩脉段先使用 RPD-180C 超前地质钻机进行钻孔取芯,探明前方水文地质状况,通过取出的岩芯判别前方围岩级别,对原设计进行修正。根据地勘资料显示,其主要围岩的岩性为强风化二长岩脉,属于 V 级围岩。此段采用上下台阶法施工,上台阶高 6 m 左右,由于是在海底进行施工,尽量减少对围岩的扰动,一次掘进控制在 2 m 内,台阶长度控制在 6 ~ 10 m 以内,其主要施工作业程序如图 12 所示。



施工工序: ①—上台阶开挖; Ⅱ—上台阶初期支护; ③—下台阶开挖; Ⅳ—下台阶初期支护; Ⅴ—仰拱施工; Ⅵ—二次衬砌

图 12 厦门海底隧道服务隧道台阶法开挖方案示意图

5 支护方案

服务隧道二长岩脉段采用上下台阶法施工,上台阶高 6 m 左右,一次掘进控制在 2 m 内。初期支护主要包括格超前小导管预注浆、栅钢架安装、钢筋网焊接及喷射混凝土施工。洞身开挖完成后随即施工初期支护,施工时必须保证格栅钢架与围岩密贴,形成承载结构。施工作业程序如图 13 所示。

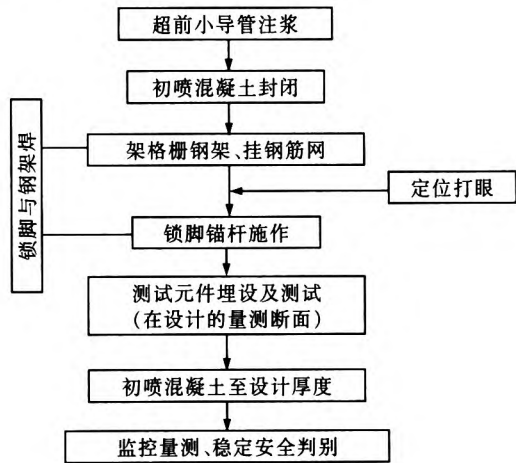


图 13 初期支护施工作业程序图

5.1 钢筋网施工

钢筋网片按设计规格在钢筋加工厂加工,铺设前先在岩面喷射 3 cm 混凝土,网片应随受喷面的起伏铺设,混凝土保护层应不小于 20 mm,且与锚杆或钎钉焊接牢固,保证在喷射砼作业时不发生颤动。

5.2 格栅钢架施工

服务隧道才用  $\phi 25$  格栅钢架,间距 0.50 m,每榀格栅钢架之间用  $\phi 22$  的钢筋连接,并与锁脚或超前导管尽可能焊接为一体。施工时在钢架基脚部位预留 5 ~ 10 cm 原状围岩,人工用风镐凿平后钢架就位,为防止拱脚下沉,在拱脚和格栅钢架接头处设置  $\phi 25$  砂浆锁脚锚杆,必要时在钢架基脚处设枕木以增加基底承载力。钢拱架架设采用三维非 0 接触围岩量测系统放样,复核断面超欠挖情况,根据设计要求及时调整。

5.3 喷射混凝土施工

为提高工效和保证质量,喷射作业采取分片进行,按照从拱脚开始,最后喷射拱顶的顺序施喷。喷前先找平受喷面的凹处,再将喷头成螺旋形缓慢均匀移动,每圈压前面半圈,力求喷出的混凝土层面平顺光滑。

初期支护喷射砼与围岩之间应保证密贴,设置小导管预埋注浆管,及时进行水泥浆液(加适量膨胀剂)注浆回填。

5.4 锁脚锚杆、超前导管施工

为确保减缓拱顶下沉,确保衬砌净空,SF5d 断面

每榀钢架设置锁脚锚杆,上台阶每侧 2 根、下台阶每侧 2 根。用水泥砂浆灌注并积压密实,确保锚固的水泥砂浆长度大于杆体钢筋直径的 40 倍。

临时仰拱及时封闭后,如果基底软弱,应及时进行仰拱底注浆,注浆压力 0.5 ~ 1.0 MPa,一般以封闭前端出浆为止。

### 5.5 初支背后补偿注浆

为减少因初期支护背后存在空洞而引起洞内及地表下沉增大,确保初支与围岩密贴,在初期支护背后预埋注浆管,梅花型布置,进行初支背后填充注浆液浆,注浆压力为 0.5 ~ 1 MPa,水灰比不大于 1 : 1。

## 6 监控量测

为了及时掌握隧道周边围岩位移变化情况,及时反馈信息指导施工,在该段施工过程中,每隔十米设置一个监测断面,测桩布置紧跟掌子面,对拱顶沉降和水平收敛进行监测,如图 14 监控量测示意图所示。

施工监测项目分必测项目和选测项目。围岩及支护状态观察、拱顶下沉、周边位移及收敛以及浅埋段的地表下沉、围岩与支护结构的接触应力、支护结构的应力状态为必测项目;支护、衬砌相关量测、围岩弹性波检测做为选测项目,隧道监控量测的项目布置内容如图 14 所示。

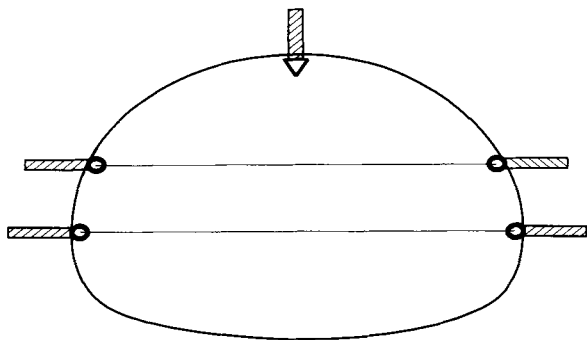


图 14 监控量测示意图

## 7 突水、涌泥、坍塌等处理方案及防范措施

由于厦门翔安隧道服务隧道不具备自然坡排水条件,一旦发生渗透涌水,很可能导致隧道淹没和坍塌,造成人员和机械设备的重大危害。因此,施工中除采用各种有效的工程措施保证施工和结构的安全外,应对其它可能出现的意外(即施工防突水)将是施工重点。施工中拟采取如下方案与措施:

(1)在施工中加强超前预报,及时准确探明隧道围岩地质状况;

(2)对全强风化岩地段和海底风化深槽地段等不良地质地段,采用超前大(小)管棚或小导管预注浆进行支护处理,以加固围岩;

(3)不良地质地段坚持“预注浆加固,导坑开挖,支护及时封闭,衬砌紧跟开挖”的施工原则,避免隧道坍塌的发生;

(4)预注浆施工完成后,及时对注浆效果进行分析,确保达到预加固岩体的目的;

(5)施工中加强对初期支护的监控量测,出现变形异常及时采取措施处理;

(6)尽早施作混凝土二次衬砌。

## 8 结论

(1)采用物探钻探相结合,以钻探为主。长短结合,以短为主。先长后短的超前地质预报可以较为准确地探明隧道施工所需要的工程地质资料,为施工和调整设计提供指导。

(2)根据二长岩脉段特殊的地质条件,以及隧道的断面和施工的便捷性,经济性等方面,通过切实可行的超前地质预报,获得准确的地质情况,然后通过 FLAC3D 数值模拟对比选取台阶法施工的开挖方案,为施工方便选择上台阶高度为 6 m,根据地层变形控制和隧道稳定性控制,借助 FLAC3D 数值模拟调整出合理的开挖进尺为 2 m,合理的台阶长度为 10 m;。

(3)根据控制变形,施工安全和施工阶段防水的要求,初期支护主要采用格超前小导管预注浆、棚钢架安装、钢筋网焊接及喷射混凝土施工,开挖之后及时进行初期支护。

(4)为了及时掌握隧道周边围岩位移变化情况,及时反馈信息指导施工,在该段施工过程中,对拱顶沉降和水平收敛进行监测,从而验证了方案的合理性和具体措施的有效性。

(5)针对海底隧道穿越二长岩脉的特点,针对突水、涌泥、坍塌等常见的工程问题,采取有针对性的预防措施和应急处理方案,以防范于未然,避免工程事故发生。

(6)厦门海底隧道穿越二长岩脉的关键技术是集合了开挖,支护,地质预报和监控量测的综合技术系统。

## 参考文献:

- [1] 徐海廷,王全胜,孙国庆,等. 厦门翔安海底隧道土石交界软弱地层全断面注浆实验研究[J]. 铁道工程学报, 2009(1):67-71.

(下转第 79 页)

新工法,包括施工方法,施工原则及详细的施工步序;  
(3)分析了既有站产生沉降的主要原因及沉降控制措施,包括增加临时立柱和千斤顶,型钢钢架基底处理,采用超细水泥浆进行初支背后回填注浆,采用多台千斤顶同时加力顶升;  
(4)通过分析监测数据,既有车站轨道结构和车站结构沉降量均得到了有效控制,最终沉降量均未超过 3 mm 沉降控制指标。

参考文献:

[1] 李兆平,李铭凯,黄庆华. 南京地铁车站下穿既有铁路站场施工技术研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005(6): 1061 - 1066.  
Li Zhaoping, Li Mingkai, Huang Qinghua. A study of Construction Technique for the Nanjing Subway Station under the Nanjing Railway Station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007(2):4209 - 4213.  
[2] 王占生,张顶立. 浅埋暗挖隧道近距下穿既有地铁的关键技术[J]. 岩石力学与工程学报,2007(2):4209 - 4213.  
Wang Zhansheng, Zhang Dingli. Key Techniques on Shallow Embedded Tunnel Constructed Beneath Existing Subway Tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007(2):4209 - 4213.  
[3] 李鹏飞,张顶立,房倩,等. 变位分配原理在隧道穿越建筑物施工中的应用研究[J]. 北京工业大学学报,2009(10):1344 - 1349.  
Li Pengfei, Zhang Dingli, Fang Qian. Study on Deformation Distributing Principle Used in Construction of Tunnel Passing Through Existing Structures [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2009(10): 1344 - 1349.  
[4] 陈孟乔,杨广武. 新建地铁车站近距离穿越既有地铁隧道的变形控制[J]. 中国铁道科学,2011(4):53 - 59.

Chen Mengqiao, Yang Guangwu. Deformation Control of a Newly - built Subway Station Crossing the Adjacent Existing Subway Tunnel[J]. China Railway Science, 2011(4):53 - 59.  
[5] 蔺云宏,李冀伟,王飞. 暗挖地铁隧道斜交下穿既有铁路的施工研究[J]. 铁道工程学报,2012(11):82 - 86.  
Lin Yunhong, Li Yiwei, Wang Fei. Study on Construction of Subsurface Excavated Metro Tunnel Under - passing Existing Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012(11):82 - 86.  
[6] 吴海洋. 北京地铁新线车站穿越既有地铁站影响及安全控制措施研究(博士论文)[D]. 北京:北京交通大学,2005  
Wu Haiyang. Research on Impact and Safety Control Measures of Beijing Newly Built Subway Station Crossing the Existing Subway Station [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2005.  
[7] 北京城建设计研究总院有限责任公司. 公主坟站下穿既有有线站设计方案汇报[R]. 北京:北京城建设计研究总院有限责任公司,2011.  
Beijing Urban Engineering Design & Research Institute Co. Ltd. Gongzhufen Station Under - cross Existing Line Station Design Reporting [R]. Beijing: Beijing Urban Engineering Design & Research Institute Co. Ltd,2006.  
[8] 北京城建勘测设计研究院有限责任公司,公主坟站第三方监测总结报告[R]. 北京:北京城建勘测设计研究院有限责任公司,2012.  
Beijing Urban Construction Survey and Design Institute Co. Ltd. The Third - party Monitoring Summary Report of Gongzhufen Station [R]. Beijing: Beijing Urban Construction Survey and Design Institute Co. Ltd, 2012.



(上接第 58 页)

Xu Haiting, Wang Quansheng, Sun Guoqing, etc. Experimental Research on the Full Face Grouting for Weak Stratum in Soil and Rock Boundary for Xiamen Xiang'an Submarine Service Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society,2009(1):67 - 71.  
[2] 琚建明. 超前地质预报技术在海底隧道施工中的应用[J]. 铁道工程学报,2007(7):76 - 80.  
Ju Jianming. Application of Technologies of Geological Forecast in Advance in Construction of Submarine Tunnel[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007(7):76 - 80.  
[3] 李术才,徐帮树,李树忱. 海底隧道衬砌结构选型及参数优化研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005(21):3894 -

3902.  
Li Shucai, Xu Bangshu, Li Shuchen. Lining Structure Type of Subsea Tunnels and Its Support Parameters Optimizing [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2005(21):3894 - 3902.  
[4] 张建斌,朱合华,朱岳明,等. 厦门翔安海底隧道数字化建模技术[J]. 岩石力学与工程学报,2007(6):1237 - 1242.  
Zhang Jianbin, Zhu Hehua, Zhu Yueming, etc. Digital Strata Modeling and Its Application to Xiang'an Subsea Tunnel in Xiamen [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2007(6):1237 - 1242.

# 厦门翔安海底隧道穿越二长岩脉关键技术

作者: 王彦清, WANG Yan-qing  
作者单位: 中铁二十二局集团有限公司, 北京, 100043  
刊名: 铁道工程学报 ISTIC PKU  
英文刊名: Journal of Railway Engineering Society  
年, 卷(期): 2013(7)

## 参考文献(4条)

- 徐海廷;王全胜;孙国庆 厦门翔安海底隧道土石交界软弱地层全断面注浆实验研究[期刊论文]-铁道工程学报 2009(01)
- 琚建明 超前地质预报技术在海底隧道施工中的应用[期刊论文]-铁道工程学报 2007(07)
- 李术才;徐帮树;李树忱 海底隧道衬砌结构选型及参数优化研究[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2005(21)
- 张建斌;朱合华;朱岳明 厦门翔安海底隧道数字化建模技术[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2007(06)

引用本文格式: 王彦清, WANG Yan-qing 厦门翔安海底隧道穿越二长岩脉关键技术[期刊论文]-铁道工程学报 2013(7)