

# 水下沉管隧道岩土工程勘察技术应用

邓力雄

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200082

**[摘要]** 水下沉管隧道具有地质适应性好, 重量轻, 对沉降敏感等特征, 水下沉管隧道岩土工程勘察数据力求尽量全面且真实有效。文章中阐述了水下沉管隧道勘察过程中勘察要点, 并结合工程实例分析和介绍了如何做好水下沉管隧道勘察工作, 以为其他类似工程提供参考和借鉴。

**[关键词]** 沉管隧道; 勘察要点; 岩土工程分析

DOI: 10.33142/ec.v4i7.4190

中图分类号: G322

文献标识码: A

## Application of Geotechnical Investigation Technology in Underwater Immersed Tunnel

DENG Lixiong

Shanghai Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai, 200082, China

**Abstract:** Underwater immersed tunnel has the characteristics of good geological adaptability, light weight and sensitive to settlement. The geotechnical investigation data of underwater immersed tunnel should be as comprehensive and effective as possible. This paper expounds the key points in the process of underwater immersed tunnel investigation and analyzes and introduces how to do a good job of underwater immersed tunnel investigation combined with engineering examples, so as to provide reference for other similar projects.

**Keywords:** immersed tunnel; key points of investigation; geotechnical engineering analysis

### 引言

目前我国建成的沉管隧道有十多座, 已具有较为丰富的施工经验。沉管隧道的勘察常常在水域等困难工况条件下, 面对软土等特殊地层。而沉管隧道的结构设计又是以变形为主控要素<sup>[1]</sup>。针对这些特点, 勘察作业时应坚持勘察原则, 重视勘察要点, 确保高质量完成勘察作业。

### 1 勘察大纲制定

勘察大纲的质量关系到整个勘察项目的完成质量, 从而关系到水下沉管隧道的设计施工质量。编制前应强化和设计的信息沟通, 对工程的设计规模特征、所需岩土具体参数及时了解, 方案编制主要包括工程概况、设计特点、任务、目的依据、技术方案、成果要求, 以及质量保护、环境保护、职业健康等措施与工作计划安排等。技术方案具体内容应包括质量控制要求、勘探深度、勘探点间距、勘察孔类型、勘探方法、取样和试验点间距、试验项目和测试指标等, 均应根据岩土条件具体复杂程度设计, 应满足设计提供的勘察技术要求和相关规范要求。完成现场踏勘和资料收集后编写大纲, 技术方案需具有预见性、针对性和可施工性。

### 2 勘察要点和关键点

水下沉管隧道岩土工程勘察应收集查明当地气象、水文、区域地质资料以及工程地质及地震资料, 包括水位、流量、流速、流向、水温, 比重、水质、河(海)道资料、河床稳定性、河道整治、河(海)势变化、工程地质、区域地震史、抗震设防等基本资料, 其中水中隧道岩土工程勘察勘察关键性指标主要包括软土强度指标、地层精细分层、土的变形指标三个重要指标<sup>[2]</sup>。

在工程地质调绘的基础上, 采用钻探、原位测试(含标准贯入试验、静力触探试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验)、及室内土工试验相结合的综合勘察手段, 确定地层分层。沉管隧道分为主线段和两端段, 主线段一般较为平顺, 两端为斜坡段, 隧道各段管节有不同的埋深。

水下沉管施工时在水底进行基槽开挖, 开挖一般采用围堰放坡开挖, 边坡稳定性需进行稳定性分析评价, 水下软土抗剪强度指标是评价计算水底基槽边坡稳定性的关键指标。通常采用薄壁取土样, 测试三轴压缩固结不排水剪切、不固结不排水剪切、快剪、固结快剪等试验, 同时根据十字板剪切试验测得软土强度指标统计值。

土的变形指标是最关键性的指标，会直接影响到沉管隧道结构设计和隧道使用的安全，需要全方位重点掌握好。沉管隧道地基土的变形过程是卸荷反弹、再压缩<sup>[3]</sup>。

### 3 工程实例

#### 3.1 工程概况

广州南沙某隧道项目在穿越蕉门水道、上横沥水道两处采用沉管隧道方案。设计最大开挖深度分别为 14.75m、14.91m，施工时采用临时围堰。

#### 3.2 水文

(1) 潮汐。珠江河口潮差不大，一般为 1.5m 左右，最大可达 3m 以上。南沙区各站多年平均潮差在 1.20~1.60m 之间。潮差的年际变化不大，年内变化相对较大。汛期潮差略大于枯水期潮差。

(2) 河势演变。1999~2008 年之间，起步区范围内的蕉门水道属于冲刷河道，上横沥属于微冲河道。

(3) 河道水文条件。

表 1 工程隧址处水文条件（流量）

河段	流量 (m³/s)				
	P=0.33%	P=0.5%	P=1%	P=2%	P=5%
蕉门水道	4246.716	4105.881	3926.92	3763.044	3417.311
上横沥水道	3979.813	3838.39	3643.262	3471.991	3257.446

#### 3.3 工程地质条件

沿线基岩为燕山期（ $\gamma$ ）花岗岩，上覆为第四系松散堆积层，包括人工填土层（Q4ml）、全新统海陆交互相沉积层（Q4mc）、全更新统河流相冲洪积层（Q4al+pl）和残积层（Qel）。场地沉管隧道涉及主要地层工程特征如下：

①<sub>3</sub>层河底淤泥，灰色，流塑，饱和，含有机质及贝壳碎屑，层厚 0.5~6.4m，层顶高程-4.95~4.15m，层顶深度 0m；

①<sub>4</sub>层粗砂，灰黄色，松散，饱和，砂质较纯，层厚 0.4~8.8m，层顶高程-8.15~5.28m，层顶深度 0~3.5m；

②<sub>1-1</sub>层淤泥，灰黑色、深灰色，流塑，海陆交互相沉积而成，含有机质，局部含少量粉细砂，局部渐变为淤泥质土，切面光滑，具滑腻感和腥臭味，层厚 0.5~27m，层顶高程-25.16~6.37m，层顶深度 0~24.6m；

②<sub>1-2</sub>层淤泥质粉质黏土，灰色、深灰色、灰黑色，流塑，饱和，含少量有机质，味臭，断续夹薄层粉细砂及少量贝壳，层厚 0.5~27m，层顶高程-25.35~5.01m，层顶深度 0~32.2m；

②<sub>1-2b</sub>层中粗砂，深灰色，稍密，饱和，海陆交互相沉积而成，混含淤泥质，层厚 0.5~9.6m，层顶高程-22.52~1.91m，层顶深度 1.5~30.3m；

④<sub>2</sub>层粉质黏土，灰黄色、灰色，可塑，冲积-洪积而成，局部含少量粉细砂，摇振反应无，稍有光泽，干强度及韧性高，层厚 0.5~7.4m，层顶高程-49.09~-11.17m，层顶深度 10.7~51m。

#### 3.4 水文地质条件

拟建线路由北向南穿越的主要河道依次为蕉门水道、上横沥水道等，呈网脉状。50 年一遇防洪潮水位 7.56m，上横沥水道和蕉门水道洪、潮差不大，一般为 1.5m，最大潮差可达 3m。最高潮位多出现在汛期，洪潮叠加情况频发。

通过河道冲刷经验公式计算，在 200 年一遇洪水条件下，上蕉门水道河床的极限冲刷深度 1.78m，横沥水道河槽最大冲刷深度为 1.58m。

根据地表水水质分析结果，本场地：

①蕉门水道地表水对混凝土结构具有微腐蚀，在长期浸水和干湿交替情况下，地表水对钢筋混凝土结构中的钢筋具有微腐蚀性；

②上横沥水道地表水对混凝土结构具有弱腐蚀，在长期浸水情况下，地表水对钢筋混凝土结构中的钢筋具有微腐蚀性，在干湿交替情况下，地表水对钢筋混凝土结构中的钢筋具有弱腐蚀性。

#### 3.5 室内土工试验

为提供场地软粘性土的三轴抗剪强度指标，进行了无侧限抗压强度试验、三轴不固结不排水试验、三轴固结不排水剪切试验；为验算管节沉放时的荷载，进行水的容重、悬浮物测定试验，以测定河水的比重；为判别地表水和地下水对建筑材料的腐蚀性，进行了水质分析试验。

### 3.6 岩土工程分析

#### (1) 沉管隧道开挖范围涉及主要地层分析

蕉门水道沉管段开挖揭露地层多为①3 河底淤泥、①4 粗砂、②1-1 淤泥、②1-2 淤泥质粉质黏土，局部区间基底可能揭露④2 粉质黏土层；上横沥水道揭露地层除上述常见地层外，淤泥层中多见②1-2b 中粗砂透镜体。线址内天然地基难以满足持力层要求，建议采用水泥搅拌桩、碎石桩、CFG 桩等处理，水泥搅拌桩、碎石桩、CFG 桩应贯穿软土层进入下卧持力层有足够的深度；当隧道基础底板位于粉质黏土层时，应进行地基承载力及变形验算，综合考虑地基处理方式。隧道基础底板位置跨越不同土层，岩土性质不均一，设计时应注意工后不均匀沉降。

#### (2) 边坡坡率及支护建议

##### A、沉管主线段

沉管法属水下挖掘，在该段施工过程中一不能设置围堰，二要保证通航及安全，三是水下开挖难以采取常规支护措施，因此建议采用水下分级放坡开挖。放坡坡度应根据基槽各土层分别确定：软土和松散粉细砂层可考虑 1:5，一般砂层和可塑土层可考虑 1:3，硬塑土层可考虑 1:2.5；或者通过试验确定坡降比。

##### B、沉管两端隧道暗埋与敞开段基坑支护止水与开挖

##### ①拉森钢板桩

隧道两端起点至埋深小于 5.0m 段可采用拉森钢板桩支护。在基坑开挖前，沿开挖基坑两侧打入拉森钢板桩作挡土、止水支护结构，钢板桩须进入持力层有足够的深度，必要时可在基坑内侧加水平支撑或斜撑。施工完毕拔出钢板桩时，要注意处理拔桩及其带土问题，防止边坡土体位移和减少对周围设施的影响。

##### ②护壁排桩

该隧道基坑直接连接珠江沉管段，故在基坑开挖前，沿开挖基坑两侧布置护壁排桩作挡土支护结构。护壁排桩应根据开挖深度、岩土条件以及荷载要求等选择进入持力层的深度，必要时应增加支撑或锚拉结构。

有关支护设计参数详见下表。

**表 2 开挖涉及地层剪切指标**

土层 编号	土层名称	剪切指标				三轴固结不排水试验				三轴不固结试验	
		直接快剪		固结快剪		总应力		有效应力		不排水剪 UU	
		内摩擦角	凝聚力	内摩擦角	凝聚力	内摩擦角	凝聚力	内摩擦角	凝聚力	内摩擦角	凝聚力
		$\phi$	c	$\phi$	c	$\phi_{cu}$	$C_{cu}$	$\phi'_u$	$C'_u$	$\phi$	c
		°	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa
② <sub>1-1</sub>	淤泥	2.0	4.9	10.8	8.9	14.2	7.0	16.6	8.7	2.6	8.2
② <sub>1-2</sub>	淤泥质粉质黏土	2.9	8.3	12.3	13.5	12.8	7.7	17.0	10.2	3.2	8.4
② <sub>1-2a</sub>	淤泥质粉质黏土夹粉砂	5.0	10.6								
④ <sub>2</sub>	粉质黏土	12	20	15	30						

**表 3 开挖涉及地层固结指标**

土层 编号	土 层 名 称	稠度指标		固结指标		无侧限抗压强度			有机质	坡角	
		塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	原状土	重塑土	灵敏度		水上	水下
		$I_p$	$I_L$	$a_{v1-2}$	$E_{s1-2}$	qu	qu'	$S_t$			
		/	/	MPa <sup>-1</sup>	MPa	kPa	kPa		%	°	°
② <sub>1-1</sub>	淤泥	20.8	1.95	1.716	1.76	10.4	3.7	2.6	3.1		
② <sub>1-2</sub>	淤泥质粉质黏土	16.8	1.37	0.985	2.56	15.4	7.0	2.2			
② <sub>1-2a</sub>	淤泥质粉质黏土夹粉砂	14.7	1.15	0.625	3.45				3.3	*38	*34
② <sub>1-2b</sub>	中粗砂								1.1	*41	*36
④ <sub>2</sub>	粉质黏土	15.2	0.36	0.383	4.89						

岩土 分层	岩土名称	回弹	回弹再压	固结系数 (Pi)						次固结系数 (Pi)		
		模量	缩模量	200	300	400	200	300	400	200	300	400
		Ec	Erci	C <sub>v</sub>			C <sub>H</sub>			C <sub>a</sub> <sub>v</sub>		
		MPa	MPa	X10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s						X10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s		
② <sub>i-1</sub>	海陆交互相淤泥层	6.0	4.8	1.0	0.6	1.0	1.1	0.9	1.2	17.8	20.3	19.0
② <sub>i-2</sub>	海陆交互相淤泥质土层	7.0	5.6	0.9	0.8	0.7	1.0	1.0	1.0	14.2	13.4	17.5

#### 4 结束语

水下沉管隧道项目勘察坚持勘察原则，制定勘察大纲，重视勘察要点，提供设计所需的岩土参数，提出合理的措施建议，降低地质问题给项目工程造成的危害，保证项目施工顺利完成，实现项目社会效益最大化。

#### 【参考文献】

- [1]程新生,李书枪.水下沉管隧道岩土工程勘察要点探讨[J].中国港湾建设,2010(2):42-46.  
[2]赵珍祥.水下沉管隧道岩土工程勘察要点分析[J].四川水泥,2016(10):230.  
[3]孙宪明.小议水下隧道岩土工程勘察[J].中华民居旬刊,2013(15):273-274.

作者简介：邓力雄（1989-），男，东华理工大学，本科，水文与水资源工程，上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，设计师，4年，中级工程师。