

---

# 佛山市城市轨道交通三号线工程 土建阶段第三方技术服务实践与总结

乔书光 陈树杰 郭春生 编著

---

西南交通大学出版社

· 成 都 ·



# 《佛山市城市轨道交通三号线工程 土建阶段第三方技术服务实践与总结》

## 编 委 会

主 编：乔书光 陈树杰 郭春生

副主编：魏贤坤 游 杰 夏文宇 熊剑飞

编 委：牛永宝 公丕义 曾红彪 唐栋林 焦发旺 廖 宁 邝燕珊

李天东 周 航 何永成 余 超 王 策 吴 其 王超超

张 杰 彭逸勇 陈霆轩 杨 帆 王亚飞 李 伟 金 鑫

赖 炜 吴光标 焦宝文 张义龙 马启杰 梁镇邦 张志宏

卢其栋 邱英达 蒋建军

审定人：周振华

主要参编单位：佛山市铁路投资建设集团有限公司

上海勘察设计院研究院（集团）有限公司

中铁隧道勘测设计院有限公司

北京城建勘测设计研究院有限公司

广东省重工建筑设计院有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

佛山市公路桥梁工程监测站有限公司

广州轨道交通建设监理有限公司

湖南中大建设工程检测技术有限公司





## 前言 Preface

---

佛山市城市轨道交通三号线是佛山市轨道交通线网中贯穿南北的骨干线，线路全长 69.5 km，共设 37 座车站，其中高架站 3 座，地下站 34 座，其设计列车运行速度为 100 km/h，是沟通佛山南北经济发展的大动脉。

三号线除了线路长、站点区间多、建设体量大以外，工程地质条件之多变、周边环境之复杂也同样让佛山地铁建设者们感到棘手，例如在深厚淤泥层、深厚粉细砂层、深厚高含水量砂层、岩溶地区、上砂下岩、上软下硬等艰难地质条件下开挖深基坑、盾构掘进以及实施暗挖，又例如在市区繁华地带分期施工、倒边施工，保护重要建筑、重要管线、重点文物建筑、既有线等。为了应对如此多高风险、高难度的施工挑战，佛山地铁秉承“专业的人做专业的事”的原则，引进了多家全国知名、技术力量过硬的第三方专业服务单位，为三号线工程建设的风险应对与质量提升提供了专业技术支持。

本书以佛山市城市轨道交通三号线工程实践为依托，从第三方技术服务的角度对土建施工阶段的相关工作进行了较为全面的剖析与总结。书中主要内容按第三方技术服务专业共分为六篇，包括第三方测量、第三方监测、第三方检测、桥梁监测、环境与水土保持监理监测、旧盾构机预评审与盾构监控等。

“第三方测量篇”对三号线工程中 GNSS 控制网、联系测量、贯通误差、陀螺全站仪、内外业一体化、三维激光扫描等测量方法和新技术进行了实践分析和讨论。

“第三方监测篇”以监测数据为切入点，对复杂环境、高风险地质条件下的三号线地下车站和盾构隧道的风险识别与防控处置进行梳理与总结。

“第三方检测篇”从试验检测管理模式、试验标准化工作方案、多样式原材料抽样方案、原材料检测电子化台账、检测数据深度挖掘五个方面对三号线工程的检测工作展开了立体的分析与探讨，提出了不少建设性的建议。

“桥梁监测篇”重点介绍了现场监控与数值仿真分析手段的应用实践，最终实现了三号线顺德水道大桥施工全过程的线性控制与高精度合龙。

“环境与水土保持监理监测篇”对轨道交通工程的环境监测技术做了较为全面的阐述，又分别对三号线工程大气环境与水环境的影响进行了具体分析，提出了行之有效的管控措施。

“旧盾构机预评审与盾构监控篇”通过对三号线盾构机适应性、可靠性的预评审工作进行统计与梳理，提出了对新造和再制造盾构机审查工作重点的建议。借助三号线盾构姿态纠偏工程案例总结提炼了盾构机姿态控制的技术措施与管控程序。

全体编委及各第三方服务单位的技术人员扎根于工程建设第一线，在繁忙的工作之余主动发现问题、思考问题、解决问题，并着手收集素材潜心钻研，高质量地完成了本书的撰写。在此，对所有参编人员精益求精的敬业精神致以由衷的赞美与感谢！

本书从佛山市城市轨道交通三号线工程实践出发，全面总结了第三方技术服务在建设管理中的经验成效与不足，有望在佛山市的新线建设中得到传承与提升，同时也希望能给城市轨道交通工程建设领域的同行工友们提供有益的参考与帮助。限于作者水平、精力，虽经辛劳几易其稿，仍难免存在纰漏与不足，敬请广大读者批评指正。

**编著者**

二〇二一年七月

# 目录 Contents

## 第一篇 工程概况与第三方技术服务概述

第一章 工程概况 .....	002
第二章 场地环境与工程地质 .....	010
第三章 第三方技术服务概况 .....	021

## 第二篇 第三方测量

第四章 城市轨道交通工程测量工作重点 .....	030
第五章 城市轨道交通工程测量技术 .....	033
第一节 城市轨道交通带状 GNSS 控制网测设处理技术探讨 .....	033
第二节 同一车站始发左右线情况下的基线边设计及地面网改造 .....	038
第三节 轨道交通工程测量中不同平面联系测量方法的应用比对 .....	044
第四节 地面控制网变形对盾构基线边的影响分析 .....	054
第五节 长大区间利用中间风井吊钢丝矫正掘进方位的探讨 .....	058
第六节 车站不同施工进度下贯通误差测量方案的探讨 .....	070
第七节 长区间与短区间地下控制点联测成果对任意设站控制网测量的影响 .....	079
第八节 GAT05 型陀螺全站仪在暗挖区间联系测量中的应用 .....	083
第九节 城市轨道交通工程测量内外业一体化的思考与实践 .....	088
第十节 三维激光扫描技术应用于隧道断面测量的优势及前景展望 .....	094

## 第三篇 第三方监测

第六章 城市轨道交通工程监测工作重点 .....	102
第七章 地下车站深基坑监测分析与风险防控 .....	110
第一节 深厚软土基坑开挖对围护结构变形及地表沉降的影响分析 .....	110
第二节 深大基坑施工对紧邻重要建（构）筑物影响的监测分析 .....	119
第三节 岩溶区深基坑工程的风险识别与应急处置措施 .....	130
第四节 深基坑围护结构深层水平位移变形的影响因素分析 .....	146



第八章	盾构区间施工监测分析与风险防控 .....	159
第一节	盾构下穿典型环境单元施工风险识别与监测分析 .....	159
第二节	盾构穿越重点文物建筑的风险识别与监测分析 .....	175
第三节	盾构穿越浅覆土地段的风险识别和监测分析 .....	183
第四节	盾构掘进过程中地表沉降监测与控制技术探讨 .....	188
第五节	盾构始发穿越端头加固区的风险控制与监测分析 .....	198
第六节	盾构穿越软弱地层的风险控制与监测分析 .....	203
第九章	城市轨道交通监测总体咨询服务工作总结 .....	211

## 第四篇 第三方检测

第十章	城市轨道交通工程检测工作总结 .....	220
-----	----------------------	-----

## 第五篇 桥梁监测

第十一章	顺德水道大桥的数值仿真分析 .....	236
第十二章	顺德水道大桥线形控制技术 .....	249

## 第六篇 环境与水土保持监理监测

第十三章	轨道交通工程环境监测技术管控与提升 .....	260
第十四章	轨道交通工程大气环境影响分析与管控措施 .....	269
第十五章	轨道交通工程水环境影响分析与管控措施 .....	278

## 第七篇 旧盾构机预评审与盾构监控

第十六章	盾构机的工程适应性和装备可靠性分析 .....	292
第十七章	盾构掘进过程中的姿态纠偏及管片选型的应用 .....	301



## 第一篇

# 工程概况与第三方技术服务概述

## 一、线路概况

佛山市位于广东省中南部，珠江三角洲腹地，东倚广州，西接肇庆，南连中山、江门，北通清远，近邻港澳，下辖禅城、南海、顺德、高明、三水 5 个区，是粤港澳大湾区重要节点城市，并逐渐形成广佛同城化。

根据《佛山市城市轨道交通线网规划》(2016 年)，全市由 14 条城市轨道交通线组成，线网全长 562 km，包括市域骨干线、市区加密线和外围加密线三类。佛山市城市轨道交通三号线和二号线工程为第一期建设规划线路[《佛山市城市轨道交通近期建设规划》(2011—2018)]，是全市轨道交通线网的骨干线路，于 2012 年 9 月获国家发改委批复同意建设。图 1.1 为佛山市轨道交通线网规划图(2016 年)。

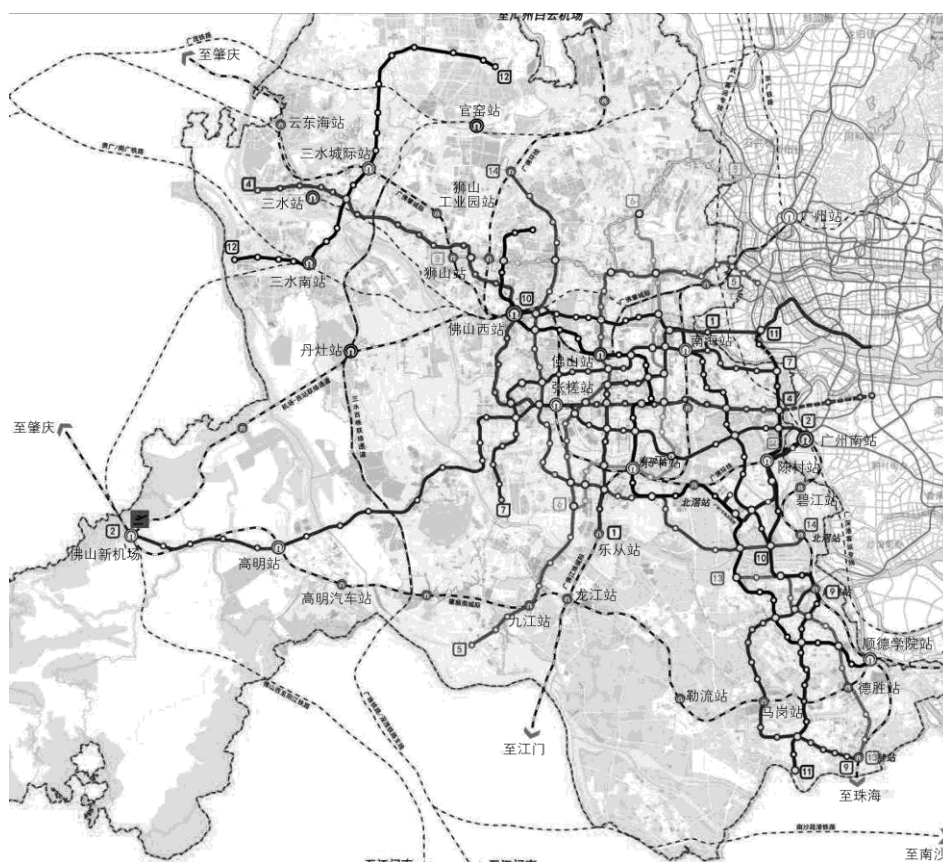


图 1.1 佛山市轨道交通线网规划(2016 年)

佛山市轨道交通三号线是贯通佛山中心组团南北的主干线，南起顺德客运港站，经大良、伦教、北滘、文华路、季华路、南海大道、文昌路、佛山火车站、佛山西站、狮山，北到科技学院站，是中心城区与大良容桂组团、狮山组团、北滘陈村组团的联系线。线路全长约69.5 km，共设37座车站，其中高架站3座，地下站34座，换乘站15座，平均站间距1.93 km。全线设置一段两场，分别为狮山车辆段、北滘停车场和逢沙停车场，设4座主变电站，分别为大良主变、水口主变、火车站主变和狮山主变，设湾华控制中心。远期高峰单向最大断面客流量为3.04万人/h，采用6辆编组B型车，最高设计速度为100 km/h。图1.2为佛山市轨道交通三号线工程线路图。

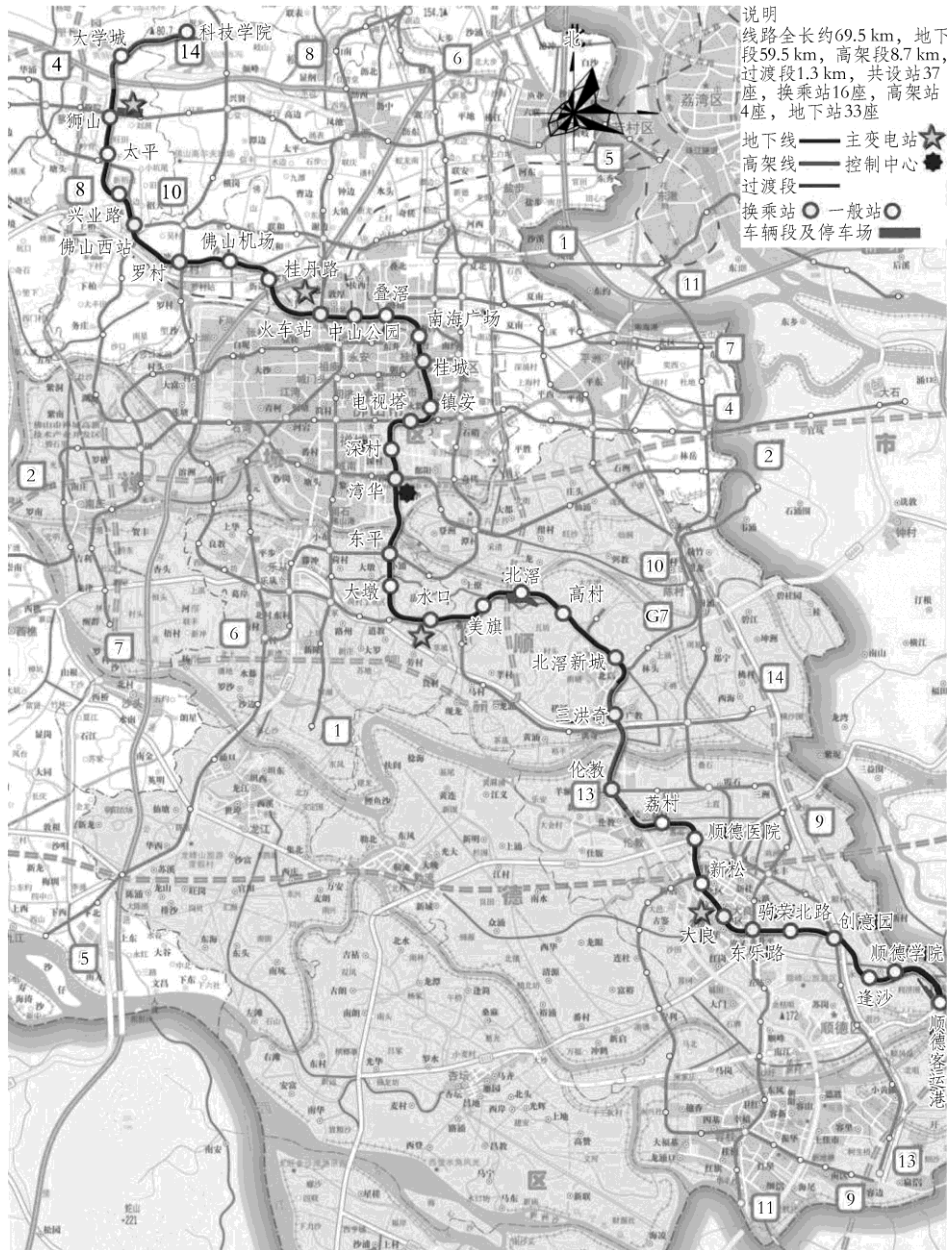


图 1.2 佛山市轨道交通三号线工程线路图

## 二、车站设计概况

三号线各车站的形式、规模及围护结构形式等，如表 1.1 所示。地下车站均为明挖框架结构。

表 1.1 车站设计要素汇总表

序号	站名	车站形式	车站性质	围护结构形式	轨面埋深/m	站台宽度/m	车站长度/m	主体建筑面积/m <sup>2</sup>	总建筑面积/m <sup>2</sup>
1	顺德客运港	地下二层侧式	起点站	地连墙	12.95	3.1	537.35	19 705	23 408
2	顺德学院	地下二层岛式	中间站与广珠城际线换乘	地连墙	16.01	12	388.23	26 456	26 456
3	逢沙	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.90	11	204.7	8 341	12 237
4	创意园	地下二层岛式	换乘站（规划规划十三号线）	地连墙	15.90	11	273	11 101	15 888
5	驹荣北路	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.74	11	208	8 470	13 269
6	东乐路	地下二层岛式	换乘站（新线网规划十一号线）	地连墙	14.9	14	524.8	24 837	28 733
7	大良	地下三层岛式	中间站	地连墙	23.2	11	266	14 722	18 594
8	新松	地下三层岛式	中间站	地连墙	22.55	13	165	11 485	15 612
9	顺德医院	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.90	11	215	8 609	11 717
10	荔村	地下二层岛式	中间站	地连墙	15.15	11	273	11 207	14 346
11	伦敦	高架二层侧式	中间站	高架站	地上 12.099	3.875 ×2	132	6 697	9 294
12	三洪奇	高架三层侧式	中间站	高架站	地上 19.040	3.875 ×2	144	7 418	11 502
13	北滘新城	地下二层岛式	换乘站（与广州七号线延长线换乘）	地连墙	13.40	14	210	21 292	27 497
14	高村	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.90	11	267.6	10 751	14 117
15	北滘	地下二层岛式	换乘站（与广佛城际换乘）	地连墙	14.90	12	215	9 163	11 986
16	美旗	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.95	11	273.2	11 101	15 579
17	水口	地下二层岛式	换乘站（新线网规划八号线）	地连墙	14.9	11	209	8 497	10 573
18	大墩	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.9	11	473.6	17 771	22 224
19	东平	地下三层岛式	换乘站（与六号线换乘）	地连墙	24.37	16	191.35	17 639	20 862
20	湾华	地下二层岛式	换乘站（与二号线换乘）	地连墙	16.04	15	322.48	16 944	19 076

续表

序号	站名	车站形式	车站性质	围护结构形式	轨面埋深/m	站台宽度/m	车站长度/m	主体建筑面积/m <sup>2</sup>	总建筑面积/m <sup>2</sup>
21	深村	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.9	11	197.2	8 574	13 812
22	电视塔	地下二层双岛式	换乘站(与四号线换乘)	地连墙	15.9	13	188.5	19 316	24 252
23	镇安	地下二层岛式	中间站	地连墙	15.4	11	466	18 864	24 968
24	桂城	地下三层岛式	换乘站(与一号线换乘)	地连墙	22.472	12	211.4	15 255	18 422
25	南海广场	地下三层岛式	中间站	地连墙	21.1	13	145.8	9 969	13 393
26	叠滘	地下三层叠线侧式	中间站	地连墙	15.25 24.25	3.5×2	149.8	16 167	18 135
27	中山公园	地下二层岛式	中间站	地连墙	15.2	11	285	11 526	13 858
28	火车站	地下二层岛式	换乘站(与五号线换乘)	地连墙	15.4	14	232.91	13 275	16 502
29	桂丹路	地下二层岛式	中间站	灌注桩	15.4	11	486.2	19 532	23 132
30	佛山机场	地下二层岛式	中间站	地连墙	15.14	11	219.6	9 054	11 462
31	罗村	地下二层岛式	换乘站(新线网规划十四号线)	灌注桩	14.90	12	207	8 826	11 645
32	佛山西站	地下二层岛式	换乘站(与四号线换乘及新线网规划广州 28 号线)	地连墙	19.88	13.6	488.6	21 037	24 127
33	兴业路	地下二层(局部三层)岛式	中间站	地连墙	19.45	11	193.1	9 281	12 868
34	太平	地下二层岛式	中间站	地连墙	14.90	11	209.6	8 533	11 660
35	狮山	地下二层岛式	终点站、换乘站(新线网规划八号线)	灌注桩	14.90	11	335.10	14 486	22 011
36	大学城	地下三层岛式	中间站	灌注桩	22.77	11	182	11 369	14 309
37	科技学院	地上三层侧式	终点站	高架站	42.72	3.5	144	6 595	7 399

### 三、区间设计概况

三号线各区间的主要类型包括盾构法衬砌隧道、明挖箱型隧道、暗挖马蹄形复合衬砌隧道、单墩式高架桥等，如表 1.2 所示。

表 1.2 各区间设计要素汇总表

序号	区段	线路	区间长度/m	施工工法	隧道尺寸	区间附属及加固方式
1	顺德客运港站—顺德学院站	左线	2 401.393	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	4 个联络通道, 冷冻法
		右线	2 405.174			
2	逢沙停车场出入段线 (明挖部分)	出场线	202.651	明挖法	—	—
		入场线	203.1			
3	逢沙停车场出入段线 (盾构段)	出场线	1 113.934	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 冷冻法
		入场线	1 088.68			
4	顺德学院站—逢沙站	左线	1 051.705	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	1 个联络通道, 地面加固
		右线	1 051.705			
5	逢沙站—创意园站	左线	1 958.695	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	3 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 958.695			
6	创意园站—驹荣北路站	左线	1 430.424	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	2 个联络通道, 地面加固
		右线	1 430.424			
7	驹荣北路站—东乐路站	左线	830.386	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 地面加固
		右线	830.386			
8	东乐路站—大良站	左线	1 225.564	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 无加固; 2 个外挂废水泵房
		右线	1 225.564			
9	大良站—新松站	左线	1 485.626	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 1#洞内加固
		右线	1 541.627			
10	新松站—顺德医院站	左线	1 516.78	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 地面加固
		右线	1 516.78			
11	顺德医院站—荔村站	左线	1 176.01	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	1 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 176.01			
12	荔村站—伦教站 (盾构部分)	左线	1 356.88	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	2 个联络通道, 地面加固
		右线	1 355.795			
13	荔村站—伦教站 明挖区间	左线	470.055	明挖法	—	—
		右线	471.172			
14	荔村站—伦教站 (高架区间)	左线	202.6	高架	—	—
		右线	202.6			
15	伦教站—三洪奇站 (高架区间)	左线	3 320.161	高架	—	—
		右线	3 320.161			
16	三洪奇站—北滘新城站 (高架区间)	左线	1 045.336	高架	—	—
		右线	1 040.764			



续表

序号	区段	线路	区间长度/m	施工工法	隧道尺寸	区间附属及加固方式
17	三洪奇站—北溆新城站 (明挖区间 U 形槽段)	左线	345.868	明挖法	—	—
		右线	345.275			
18	三洪奇站—北溆新城站 (明挖区间暗埋段)	左线	200.348	明挖法	—	—
		右线	200.05			
19	三洪奇站—北溆新城站 (盾构区间)	左线	958.006	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	1 个联络通道, 冷冻法
		右线	963.469			
20	北溆新城站—高村站	左线	2 242.276	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	3 个联络通道, 冷冻法
		右线	2 242.276			
21	高村站—北溆站 (正线明挖区间)	左线	443.788	明挖法	—	—
		右线	443.788			
22	高村站—北溆站 (正线盾构区间)	左线	1 180.345	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	1 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 180.345			
23	高村站—北溆站 出入段场线盾构区间)	左线	408.016	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	—
		右线	419.425			
24	高村站—北溆站 出入段场线明挖区间)	左线	142.633	明挖法	—	—
		右线	142.631			
25	北溆站—美旗站	左线	1 392.939	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	2 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 392.939			
26	美旗站—水口站	左线	1 976.301	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	2 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 976.301			
27	水口站—大墩站	左线	1 947.883	盾构法	内径 5 440 外径 6 200	3 个联络通道, 2#冷冻法、3#地面加固
		右线	1 947.883			
28	大墩站—东平站	左线	1 011.618	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 011.618			
29	东平站—湾华站	左线	2 788.932	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	5 个联络通道, 无加固
		右线	2 788.934			
30	湾华站—深村站	左线	965.982	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 无加固
		右线	965.982			
31	深村站—电视塔站	左线	1 518.138	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 518.139			
32	电视塔站—镇安站	左线	901.592	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 冷冻法
		右线	901.592			

续表

序号	区段	线路	区间长度/m	施工工法	隧道尺寸	区间附属及加固方式
33	镇安站—桂城站	左线	1 308.369	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 冷冻法
		右线	1 309.377			
34	桂城站—南海广场站	左线	781.678	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 无加固
		右线	781.678			
35	南海广场站—叠滘站	左线	1 699.958	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 2#端头 +加固; 2 个外挂废水泵房
		右线	1 699.958			
36	叠滘站—中山公园站	左线	982.52	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 冷冻法; 2 个外挂废水泵房
		右线	982.52			
37	中山公园—火车站	左线	987.008	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 地面加固
		右线	987.008			
38	火车站—桂丹路站	左线	2 137.246	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	4 个联络通道, 1#2#冷 冻法、3#4#地面加固
		右线	2 136.071			
39	桂丹路站—佛山机场站	左线	1 732.48	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	3 个联络通道, 无加固
		右线	1 732.479			
40	佛山机场站—罗村站	左线	1 609.818	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	2 个联络通道, 1#地面加固
		右线	1 609.822			
41	罗村站—佛山西站	左线	2 019.379	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	3 个联络通道, 无加固
		右线	2 021.421			
42	佛山西—兴业路暗挖段	左线	235.260	暗挖法	12.02 m×9.5 m、	—
		右线	277.460		6.68 m×7.03 m	
43	佛山西站—兴业路站	左线	849.872	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 无加固
		右线	849.872			
44	兴业路站—太平站	左线	2 023.342	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	3 个联络通道, 1#冷冻法
		右线	2 023.341			
45	太平站—狮山站	左线	788.022	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	1 个联络通道, 无加固
		右线	788.022			
46	狮山站—大学城站 明挖段(含出入段线)	左线	103.965	明挖法	—	—
		右线	167.273			
47	狮山站—大学城站 盾构段	左线	2 514.097	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	4 个联络通道, 无加固
		右线	2 461.725			
48	大学城站—科技学院站 盾构段	左线	1 062.213	盾构法	内径 5 400 外径 6 000	4 个联络通道, 无加固
		右线	1 062.275			

续表

序号	区段	线路	区间长度/m	施工工法	隧道尺寸	区间附属及加固方式
49	大科区间暗挖段	左线	28.604	暗挖	15.8 m×8.266 m	—
	大科区间暗挖段	右线	28.542		15.6 m×12.42 m	
50	大科区间明挖暗埋段	左线	99.157	明挖法	—	—
	大科区间明挖暗埋段	右线	99.298			
51	大科区间 U 形槽段	左线	55	明挖法	—	—
	大科区间 U 形槽段	右线	55			
52	大科区间路基段	左线	37.811	—	—	—
	大科区间路基段	右线	38.012			
53	大学城站—科技学院站—终点（高架段）	左线	1 626.04	高架	—	—
		右线	1 625.698			

#### 四、工程筹划

三号线工程于 2016 年 11 月 18 日全面开工，首通段（顺德学院—镇安）计划于 2022 年年底初期试运行，北段（镇安—科技学院）力争于 2023 年年底初期试运行。

# 场地环境与工程地质

### 一、城市自然地理状况

佛山市位于中国广东省中南部，地处珠江三角洲腹地，东倚广州，近邻港澳，地理位置优越。珠江水系中的西江、北江及其支流贯穿全境，属典型的三角洲河网地区。佛山市轨道交通三号线工程由北往南途经南海、禅城、顺德三个区，贯穿佛山市区域南北。

佛山市位于北回归线以南，为南亚热带季风气候。全年降水丰沛，雨季明显，日照充足，多年平均温度在 21.9℃。由于地处低纬区，海洋和陆地天气系统均对佛山有明显影响，冬夏季风的交替是佛山季风气候突出的特征：冬春多偏北风，夏季多偏南风。冬季的偏北风因极地大陆气团向南伸展而形成，干燥寒冷；夏季偏南风因热带海洋气团向北扩张而形成，温暖潮湿。

据统计，佛山市受热带气旋影响年平均 1~2 次。佛山市从 4 月到 12 月均会受热带气旋影响，7 月是受热带气旋影响率最高的一个月，其次是 8 月份，7—9 月受热带气旋影响的次数占全年的 75%。

佛山市的强降水频发，全年均有可能出现，其中 5—6 月最多，7—9 月和 4 月次之，暴雨日数的逐月分布情况与之一致。5 月和 6 月的暴雨日数均在 1 d 以上，7 月到 9 月的暴雨日数为 1 d 左右，年平均暴雨日数为 6.8 d，最多可达 13 d。日最大降雨量可达 250 mm 以上，最大雨强为 102.6 mm/h。据统计，在一年之内还可能出现 1~3 次的持续性暴雨天气（连续 2 d 或 2 d 以上出现暴雨），持续时间可长达 3 d。持续性暴雨出现的次数一年之内最多可达 3 次，南部的持续性暴雨比北部多。

三号线线路沿线地表水体发育，穿过多个河涌、湖泊以及池塘等。其中，穿越较大的水系包括桂畔海、顺德水道、东平水道等。沿线水系均属于珠江三角洲的网河区，向东流入狮子洋，再南流至伶仃洋出海，河道纵横交错，互相贯通，潮洪混杂，水流变化十分复杂，汛期既受流溪河、西、北江洪水影响，又受来自伶仃洋的潮汐作用。河道洪水呈随机性变化，潮汐一般呈周期性变化。在洪水期，水位受较为单一的西、北江洪水影响，同时受到潮水的顶托。

### 二、地形与地貌

沿线地势呈北高南低，属于珠江三角洲冲积平原与残丘相间地貌，地势较平坦、开阔，河网密布，局部为剥蚀残丘地貌，沿线最低标高约为 1.45 m，最高标高约为 62.00 m。其中，自起点至佛山机场段以珠江三角洲平原地貌为主，地势平坦开阔，地面高程一般为 1.5~3.5 m，局部略有起伏；自佛山机场至三号线终点段以残丘地貌为主，地势起伏较大，地面高程一般为 4.0~21.1 m。

### 三、工程地质情况

#### (一) 地质构造

本区域在大地构造上属华南加里东地槽褶皱系，并可进一步分为 6 个二级构造单元。它们是粤东隆起区，粤中、粤北、粤东北拗陷区，桂东拗陷区，粤西、桂东南隆起区，雷琼断陷区和五指山断陷区，线路沿线的区域构造纲要如图 2.1 所示。

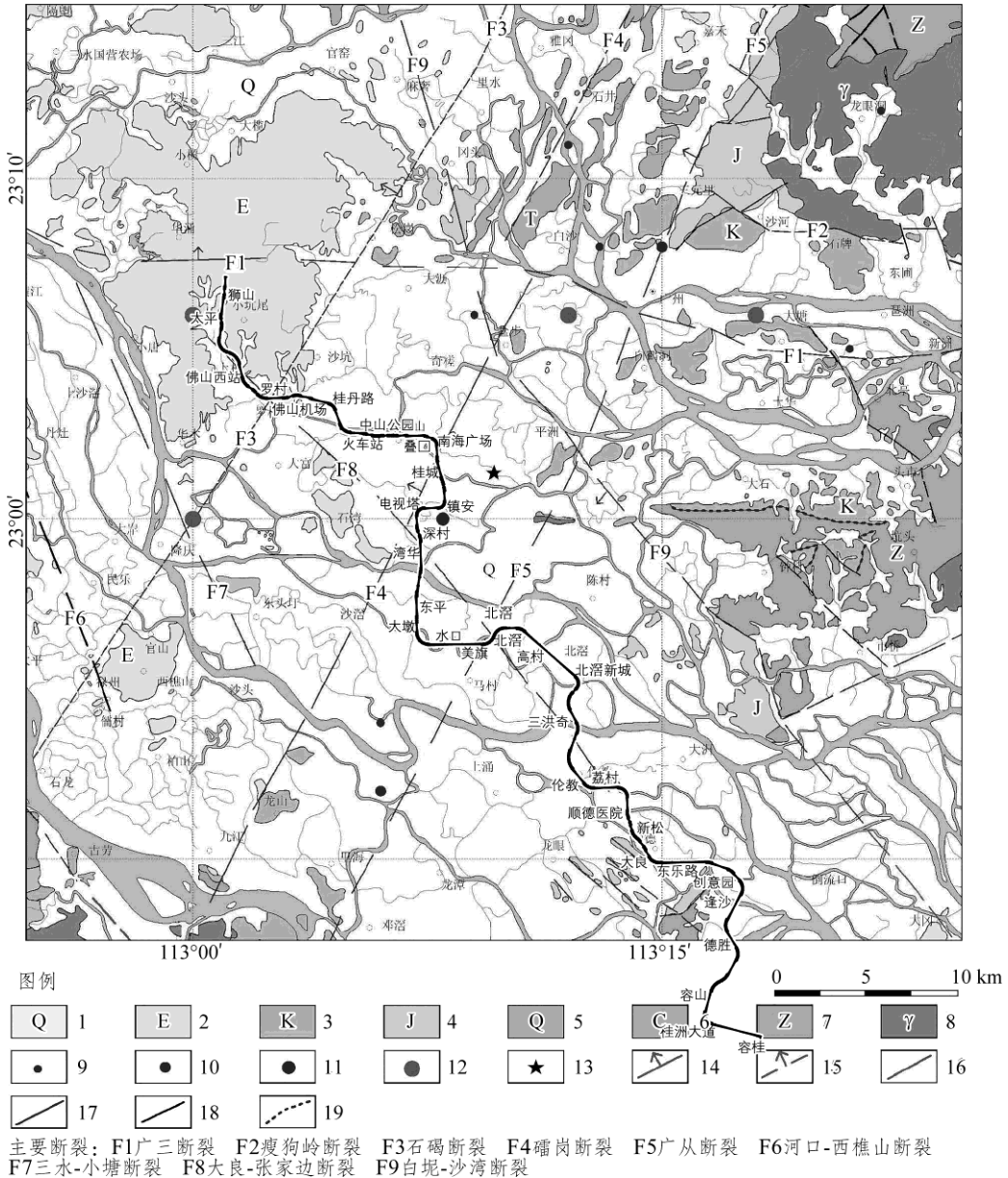


图 2.1 线路沿线的区域构造纲要图

本线路区域位于我国东南沿海地震带的中部地区。本区在地质历史上，经历过多次构造运动，主要形成有 NE、NW、NEE 和 EW 向的断裂。在历次构造运动中，燕山运动规模宏大，活动强烈，对区域构造的形成、影响尤其深远。此次运动的主要特点是：北东向断裂活动强烈，东西向断裂再次复活，沿海地区出现北西向断裂；沿断裂有多次大面积的岩浆侵入和喷溢交替出现，动力变质和接触变质作用分布广泛。构造运动形成的深大断裂，基本上控制了东南沿海地区大地构造格局，其中有些断裂至今仍有不同程度的活动。新生代以来本区的构造活动呈现由西北向东南逐渐增强的趋势。喜山运动，在本区以差异性断块运动和断裂的继承性活动为主，在雷琼和滨海地区有大规模的玄武岩喷发活动。这一时期，在南海海域发生海底扩张，导致在滨海及近岸浅海出现一系列平行于海岸线的大规模北东向阶梯状断裂。南海扩张停止，随之而来的是太平洋板块和菲律宾板块前沿的推挤作用，从而在大陆边缘一带产生了一系列复活和新生的北西至北北西断裂。同时，亦使滨海近岸的北东和北东东向断裂活动进一步加强，构成了区内的主要地震构造带——东南沿海地震外带；与此相毗邻的内带其构造活动相对较弱。

## （二）断 裂

区内断裂构造发育，主要有 NE、NW 和近 EW 向三组，下面简述其中一些主要断裂的特征及其活动性。

### 1. 石碣断裂 F3

该断裂位于佛山市南海区松岗镇石碣村附近，往南西经罗村、王借岗，延至民乐一带，往东北可至里水附近，除石碣等局部出露地表外，大部分被第四系覆盖。断裂走向  $NE20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ，南段倾向 NW，于长坑附近见倾角约  $30^{\circ}$ ；北段倾向 SE，倾角  $50^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 。前人曾在沙堤一带作了 4 条物探剖面，断层有很好的反映，推测断层往 NW 倾，与场面实测吻合。沿断裂在航片上也反映为 NNE 向明显的色带界面。该断裂的构造岩以构造角砾岩和硅化岩为特征。在石碣村的二叠系中见构造角砾岩和硅化岩带，宽 20 余米，长 100 余米，呈 NE35 展布，地貌上呈明显的突出的山岗，其角砾由硅化岩组成，又被硅质胶结，反映了断层的多次活动；2003 年郭钦华等人采集的硅化构造角砾岩热释光测年结果为  $(39.09\pm 2.70)$  万年；在附近 ZK6-5 钻孔 41 m 左右深处的红层也见有构造角砾岩；断裂两侧次级断层、裂隙节理发育；北西盘 500 m 范围内下第三系红层中间，有受挤压和片理化现象。南东盘在王借岗出露有始新世的次橄榄玄武岩（上地幔岩浆分异产物），说明这是一条切割较深的断裂，此断裂是新构造分区的狮山隆起区和佛山沉降区的分界线。

### 2. 礞岗断裂 F4

它位于佛山市南海区礞岗附近，断裂走向  $NE0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，倾向 NW，倾角  $40^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。构造相当发育，硅化构造角砾岩与硅化岩相间出现，角砾大水混杂，局部具有磨圆特征和定向排列的眼球状，胶结程度差。断层附近发育有温泉。例如在桂城大厦场地钻孔发现大量构造角砾岩，岩性破碎，硅化强烈。这表明该断裂在早更新世曾有过强烈活动。据断层角砾岩上覆的上更新世和全新统等厚线形态分析，该断裂在距今约 3 万年以来基本处于相对稳定状态。

### 3. 广州—从化断裂 F5

断裂走向北北东，北起从化良口，往南西经温泉、从化、神岗至三元里，隐伏于平洲西等地，抵西江左岸九江一带后为西江断裂所截，全长约 90 km。

越秀山以南，断裂隐伏在第四系之下，根据钻探、坑探及物探资料，东风西路见白垩系内形成数十米宽的破碎带，中山七路等地的上白垩统地层中见断层切割上白垩统三水组，使该组的东湖段与西濠段呈断层接触。人防 9 号工程在广州医学院的巷道人工剖面上见侏罗系灰岩与白垩系砂砾岩呈断层接触，断层破碎带宽 26 m，由成分为灰岩、灰质页岩、粗砂岩、粉砂质泥岩的角砾组成，断层下盘是侏罗系灰岩、上盘是白垩系砂砾岩，走向北东 40°，倾角 65°，属正断层性质。龙溪大道五丫口大桥以及广佛地铁的地质钻探亦揭露断层构造岩。在佛山市中央服务区进行的电磁测深探测，结果反映断裂两侧的电阻率有明显的差异。这些迹象是断裂带自越秀山以南仍继续向南西方向延伸的迹象。但自广佛地铁往南西至西江左岸左滩右滩之间近 20 km 地段间，全为第四系覆盖而情况不明，但根据该段东北所掌握的情况及西南左、右滩地表显露的位置，推测断裂大致部位自东北而西南应大抵在湾头村、劳村西、流勒西等之地下伸展。至于在龙江岗、龙江水坑以及左、右滩一带，断裂地表显示极为清晰。在左滩西牛山地区，断在上二叠统砂页岩与粉砂岩内，形成宽达近 20 m 由透镜体、石英脉与断层压碎岩等组成的破碎带，自上盘面向东南，可见多组与断面平行的破裂面形成的三角岩面；在右滩象山一带，亦可见宽达 20 m 的断裂破碎带，自上而下可分三带：硅化带、压碎岩带及由石英细脉穿插的角砾岩带。

据地震局陈田附近的跨断层短水准测量数据估算，从 1992 到 1997 年间，断裂两侧形变平均速率仅为 0.18 mm/a。沿断裂带采集的断层物质进行测年数据结果分别为距今 34.2、25.9、12.6 万年，断裂曾在中更新世有过强烈活动。

沿广从断裂历史上曾发生过 2 次 4 级和多次 3~4 级历史地震。

### 4. 大良—张家边断裂 F8

也称三角断裂、北江隐伏断裂（带）。沿南庄、顺德、三角一带分布，区域上，隶属于西江断裂带（《1:25 万江门幅区调查报告》，2003）。断层走向 310°左右，倾向北东。

断裂多为第四系覆盖，地表仅于南段的容奇北和黄圃镇出露。在容奇北断层切过花岗岩的地段出现组石英脉。在黄圃镇一废弃石场，剥露出完好断面，断壁是为白垩纪褐灰色砾岩，断面整齐平直，产状  $240^\circ \angle 68^\circ$ ，砾岩层面产状近于水平，断壁脚下即为奥陶纪花岗岩（上盘），两盘紧贴在一起剥露于地表，其间有约 3cm 厚绿泥石化断层泥，微固结，片状，其成分来源于上盘的花岗岩。从断面和断层域内的组构要素的地质记录上已很难判断断层的性质，但断层的剖面效应为上盘相对上升，这一点是可以肯定的。

## （三）工程地质分区及其特征

根据沿线地面条件、地形地貌、第四系地层分布规律、基岩岩性分布特征，结合沿线地质构造特点、水文地质条件和原位测试成果，将沿线工程地质和水文地质单元分为 3 个大区共 5 个小区。各工程地质分区详见表 2.1。

表 2.1 工程地质单元分区表

工程地质分区	亚区	分区范围	构造特点	地形、地貌特点	岩土层特点	水文地质特点	工程地质条件评价
I 区		起点至顺德学院段。钻孔号范围 ZK1~ZK3-2	未见断层通过	以珠江三角洲冲积平原为主。地形平坦、开阔，多为市政道路、厂房、鱼塘、民居等，并穿越容桂水道，地面高程 1.5~5.4 m	第四系以人工填土、海陆交互相软土及砂层、冲洪积砂层与黏性土、花岗岩残积土为主。软土广泛分布于沿线；海陆交互相砂层一般含有淤泥团块，颗粒级配不均，松散，为中重液化土层，冲洪积砂层为本地区的主要含水层，透水性中等。冲积土层与花岗岩残积土一般为可塑至硬塑状态，为微透土层。基岩为奥陶系花岗岩	本区穿过容桂水道。砂层为本地区的主要含水层，透水性中等，水量中等，渗透系数一般为 2.0~8.0 m/d	地面平坦、开阔，地质构造较为简单，影响线路建设的工程地质因素有：1.软土的工程性质差，易造成基坑涌水、涌砂、坍塌。3.花岗岩的残积土及全、强风化带浸水易软化崩解、基岩风化裂隙水不发育，但发育有花岗岩的风化深槽。工程地质条件较简单
II 区	II 1	顺德学院至水口段。钻孔号范围 ZK3-3~ZK12-2	根据区域资料 F5 断层，钻探中未钻遇	以珠江三角洲冲积平原为主，在顺峰山公园附近分布丘陵。地形平坦、开阔，多为市政道路、民居、厂房、鱼塘等，并穿越顺德水道，地面高程 1.5~4.2 m	第四系以人工填土、海陆交互相软土及砂层、冲洪积砂层与黏性土、红色碎屑岩残积土为主。软土呈厚层状分布于沿线，严重液化土层；冲洪积砂层一般含少量黏粒，颗粒级配不均，松散—稍密砂层为本地区的主要含水层，透水性中等。冲洪积土层与红层残积土一般为可塑至硬塑状态，为微透土层。第四系覆盖层厚度大，部分钻孔 45 m 未钻遇基岩，在该段揭露基岩为白垩系红色碎屑岩	本区穿过顺德水道。砂层为本地区的主要含水层，透水性中等，水量中等，渗透系数一般为 4.0~10.0 m/d	地面平坦、开阔，地质构造较为简单，影响线路建设的工程地质因素有：1.软土的工程性质差，易造成基坑涌水、涌砂、坍塌。3.第四系覆盖层厚度大，基岩埋藏较深。工程地质条件较简单



续表

工程地质分区	亚区	分区范围	构造特点	地形、地貌特点	岩土层特点	水文地质特点	工程地质条件评价
II区	II2	镇安至南海广场段。钻孔号范围ZK18-2~ZK19-1	未见断层通过	以珠江三角洲冲积平原为主。地形较平坦、开阔，多为市政道路、厂房、民居等，地面高程2.1~2.6 m	第四系以人工填土、海陆交互相软土及砂层、冲洪积砂层与黏性土、红色碎屑岩残积土为主。软土呈透镜体状分布于沿线；海陆交互相砂层含有淤泥团块，呈松散状，为中—严重重液化土层；冲洪积砂层一般含少量黏粒，颗粒级配不均，稍密—中密，砂层为本地地区的主要含水层，与红层残积土一般为可塑至硬塑状态，为微透水层。在该段揭露基岩为白垩系红色碎屑岩层。	砂层为本地地区的主要含水层，透水性中等，渗透系数一般为2.0~10.0 m/d	地面平坦、开阔，地质构造较为简单，影响线路建设的工程地质因素有：1.软土的工程性质差。2.砂层含水量较丰富，稳定性差，易造成基坑涌水、涌砂、坍塌。工程地质条件较简单
	III1	水口至镇安段。钻孔号范围ZK12-3~ZK18-1	根据区域资料断层通过，未钻探中未钻遇	以珠江三角洲冲积平原为主。地形较平坦、开阔，多为鱼塘、厂房、市政道路、民居等，并穿越东水道，地面高程2.4~6.2 m	第四系以人工填土、海陆交互相软土及砂层、冲洪积砂层与黏性土、红色碎屑岩残积土为主。软土呈条带状分布于部分钻孔；海陆交互相砂层含有淤泥团块，呈松散状，为轻微—严重重液化土层；冲洪积砂层一般含少量黏粒，颗粒级配不均，稍密—中密，为轻微液化土层，砂层为本地地区的主要含水层，透水性中等。冲洪积土层与红层残积土一般为可塑至硬塑状态，为微透水层。在该段揭露基岩为古近系红色碎屑岩	本区穿过东平水道。砂层为本地地区的主要含水层，透水性中等，渗透水量中等，渗透系数一般4.0~10.0 m/d	地面平坦、开阔，地质构造较为简单，影响线路建设的工程地质因素有：1.软土的工程性质差。2.砂层含水量较丰富，稳定性差，易造成基坑涌水、涌砂、坍塌。工程地质条件较简单
III区	III2	南海广场至狮山段。钻孔号范围ZK20~ZK27	根据区域资料断层通过，未钻探中未钻遇。	以珠江三角洲冲积平原为主，在狮山附近分布较平坦、开阔，多为市政道路、民居、厂房等，并穿越佛山水道，地面高程2.2~25.5 m	第四系以人工填土、海陆交互相软土及砂层、冲洪积砂层与黏性土、红色碎屑岩残积土为主。软土呈透镜体状分布于沿线；海陆交互相砂层含有淤泥团块，呈松散状，为轻微—严重重液化土层；冲洪积砂层一般含少量黏粒，颗粒级配不均，稍密—中密，砂层为本地地区的主要含水层，透水性中等。冲洪积土层与红层残积土一般为可塑至硬塑状态，为微透水层。在该段揭露基岩为古近系红色碎屑岩	本区穿过佛山水道。砂层为本地地区的主要含水层，透水性中等，渗透水量中等，渗透系数一般为2.0~8.0 m/d	地面平坦、开阔，地质构造较为简单，影响线路建设的工程地质因素有：1.软土的工程性质差。2.砂层含水量较丰富，稳定性差，易造成基坑涌水、涌砂、坍塌。工程地质条件较简单

## (四) 地质与岩性

沿线穿越的地层有元古界奥陶系、中生界白垩系、新生界古近系及新生界的第四系，局部还发现有花岗侵入岩体。从区域地质角度出发，现由老至新简述如下。

### 1. 奥陶系花岗岩 (O<sub>1ny</sub>)

分布于线路起点至顺德学院站一带，属侵入岩，岩性为褐红、褐黄、浅灰等色，为片麻状细粒斑状（含斑）黑云母二长花岗岩。

### 2. 白垩系 (K)

分布于线路顺德学院站一大墩站。

#### 1) 白垩系下统百足山组 (K<sub>1b</sub>)

本组属内陆湖泊相为主的砾、砂泥质建造，与下伏地层呈角度不整合接触。为暗红、淡红色，由砾岩、砂砾岩、含砾岩、砂岩、粉砂岩、泥质粉砂泥岩，含少量凝灰岩，含叶肢介。

#### 2) 白垩系下统白鹤洞组 (K<sub>1bh</sub>)

岩性以紫红色粉砂岩、泥质粉砂泥岩、粉砂质泥岩为主，少量砂砾岩、砂岩、普遍含石膏层，肢介。

#### 3) 白垩系上统大朗山组 (K<sub>2dl</sub>)

上部褐红色粉砂质泥岩、粉砂岩、深灰色泥岩夹玄武岩、含砾砂岩；下部紫红色、褐红色砾岩、砂砾岩夹泥岩。与上覆、下伏地层呈角度不整合接触。

### 3. 古近系 (E)

分布于线路大墩—狮山终点。

#### 1) 古近系莘庄组 (E<sub>1x</sub>)

上部暗褐红色钙质泥岩、粉砂岩、砂岩、夹微层石膏，下部砖红色砾岩、含砾长石砂岩。与下伏地层呈角度不整合接触。

#### 2) 古近系布心组 (E<sub>1-2b</sub>)

上部灰色泥岩夹薄层状粉砂岩；中部灰色薄层状含钙质泥岩、夹泥灰岩；下部青灰色，风化紫红色含钙质泥岩，含微层石膏。与上覆地层呈角度不整合接触。

#### 3) 古近系宝月组 (E<sub>2by</sub>)

紫红色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩与泥岩不等厚互层，含介形虫。与下伏地层呈角度不整合接触。

#### 4) 古近系华涌组 (E<sub>2h</sub>)

紫红色砾岩、砂砾岩，紫红泥岩、砂岩、粉砂岩夹粗面岩、粗面质凝灰岩、火山碎屑岩、火山集块岩、角砾凝灰岩、凝灰质砂岩、碧玄岩，含介形虫。

### 4. 第四系 (Q)

第四系包括全新统 (Q<sub>4</sub>)、上更新统 (Q<sub>3</sub>) 及残积土层，缺失中更新统和下更新统。

全新统包括人工填土 (Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>)、海陆交互相沉积的淤泥、淤泥质土层 (Q<sub>4</sub><sup>mc</sup>)、上更新统冲积—洪积砂层、土层 (Q<sub>3+4</sub><sup>al+pl</sup>)。

## （五）土石工程等级及隧道围岩分类

根据《城市轨道交通岩土工程勘察规范》，佛山市城市轨道交通三号线工程沿线岩土施工工程分级如下：

（1）Ⅰ级松土：人工填土，冲积—洪积形成的砂层即岩土分层<1>、<2-2>、<2-3>、<3-1>、<3-2>及<3-3>，为Ⅰ级松土，机械能全部直接铲挖满载。

（2）Ⅱ级普通土：海陆交互相沉积的淤泥、淤泥质土、黏性土，冲积—洪积、残积形成的黏性土，即岩土分层<2-1A>、<2-1B>、<2-4>、<3-4>、<4N-2>、<4N-3>、<4-2B>、<5N-1>、<5N-2>、<5H-1>、<5H-2>、<6>、<6H>层为Ⅱ级普通土，机械需部分刨松方能铲挖满载，或可直接铲挖但不能满载。

（3）Ⅲ级硬土：已风化成半岩半土状的岩石强风化带划分为Ⅲ级硬土，即岩土分层<7>、<7H>层，机械需普遍刨松或部分爆破方能铲挖满载。

（4）Ⅳ级软石：碎屑岩石中—微风化带和花岗岩中风化岩可划分为Ⅳ级软石，即岩土分层<8>、<8H>、<9>层等，部分用爆破开挖。

（5）级次坚石：岩石微风化花岗岩可划分为级次坚石，即岩土分层<9H>层。能用液压冲积镐解碎，大部分需用爆破法开挖。

根据《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307—2012），佛山市城市轨道交通三号线工程沿线隧道围岩分级如下。

### 1. VI级围岩

包括素填土、杂填土、淤泥质土和冲积—洪积砂层、河湖相淤泥质土层，即岩土分<1>~<3>层和<4-2B>、<4N-2>、<5N-1>、<5H-1>层。围岩极易坍塌变形，有水时，土、砂常与水一齐涌出，浅埋时易坍塌至地表。

### 2. 级围岩

包括冲积—洪积、残积形成的黏性土（粉质黏土、黏土）、已风化成土柱状的岩石全风化带及已风化成半岩半土状的岩石强风化带，即岩土分层<3-4>、<4N-3>、<5H-2>、<6>、<6H>、<7>和<7H>层。围岩易坍塌，处理不当会出现大坍塌，侧壁经常小坍塌，浅埋时易出现地表下沉（陷）或坍塌至地表。

### 3. IV级围岩

中风化带可划分为Ⅳ级围岩，即岩土分层<8>和<8H>层。拱部无支护时可产生较大的坍塌，侧壁有时失去稳定。

### 4. Ⅲ~Ⅳ级围岩

红层岩石（砂岩）类微风化岩带（岩土分层<9>），可划分为Ⅲ~Ⅳ级围岩，拱部无支护时可产生小坍塌，侧壁基本稳定，爆破震动过大易坍塌。

### 5. Ⅱ级围岩

微风化花岗岩（岩土分层<9H>），可划分为Ⅱ级围岩，暴露时间长，可能会出现局部小坍塌，侧壁稳定，层间结合差的平缓岩层，顶板易塌落。

各岩土层岩土施工工程分级及隧道围岩分级见表 2.2。

表 2.2 岩土施工工程分级及隧道围岩分级表

层号	岩土名称	状态或风化程度	岩土施工工程分级	隧道围岩分级
<1>	人工填土层	松散—稍压实	I	VI级
<2-1A>	海陆交互相淤泥层	流塑	II	VI级
<2-1B>	海陆交互相淤泥质土层	流塑	II	VI级
<2-2>	海陆交互相淤泥质粉细砂层	松散	I	VI级
<2-3>	海陆交互相淤泥质中粗砂层	松散—稍密	I	VI级
<2-4>	海陆交互相粉质黏土层	可塑	II	VI级
<3-1>	冲洪积粉细砂层	中密	I	VI级
<3-2>	冲洪积中粗砂层	稍密—中密	I	VI级
<3-3>	冲洪积粗砾砂层	中密—密实	I	VI级
<3-4>	冲洪积卵石土层	稍密—中密	II	级
<4N-2>	冲洪积可塑状土层	可塑	II	VI级
<4N-3>	冲洪积硬塑状土层	硬塑	II	级
<4-2B>	河湖相淤泥质土	流塑	II	VI级
<5N-1>	红层可塑状残积土层	可塑	II	VI级
<5N-2>	红层硬塑状残积土层	硬塑	II	级
<5H-1>	花岗岩可塑状残积土层	可塑	II	VI级
<5H-2>	花岗岩硬塑状残积土层	硬塑	II	级
<6>	红层全风化带	坚硬土柱状	II	级
<6H>	花岗岩全风化带	坚硬土柱状	II	级
<7>	红层强风化带	半岩半土状	III	级
<7H>	花岗岩强风化带	半岩半土状	III	级
<8>	红层中等风化带	软岩	IV	IV级
<8H>	花岗岩中等风化带	较硬岩	IV	IV级
<9>	红层微风化带	较硬岩	IV	III~IV级
<9H>	花岗岩微风化带	坚硬岩		II级

## (六) 不良地质作用及特殊岩土

### 1. 软 土

沿线软土层为第四系海陆交互相淤泥<2-1A>、淤泥质土层<2-1B>。其主要分布范围为大部分地段。厚度 0.60 ~ 35.0 m，平均厚度 7.86 m。淤泥、淤泥质土层具有含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、灵敏度高的特点，其主要物理力学性质指标：含水量平均值 60.5%，压缩系数标准值  $a=0.86 \text{ MPa}^{-1}$ ，压缩模量标准值 2.95 MPa，黏聚力标准值 11.4 kPa，内摩擦角

标准值 6.4°。

淤泥、淤泥质土含水量高，强度低，易发生压缩变形导致基坑失稳、地面沉降和软土震陷。

## 2. 砂土液化

沿线海陆交互相沉积砂层<2-2>、<2-3>和冲洪积粉细砂层<3-1>、冲洪积中粗砂<3-2>，分布全线绝大部分地段，按国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)第 4.3.1 条~4.3.4 条，采用标准贯入试验方法对砂层进行液化判别，沿线<2-2>砂层会产生地震液化，液化等级多为“中等—严重”，局部为“轻微”，为潜在的不良地质作用。

## 3. 风化岩和残积土

### 1) 碎屑岩风化岩和残积土

风化岩是在岩石风化营力作用下，其结构、成分和性质已产生不同程度的变异；残积土是指原岩已完全风化成土而未经搬运，已完全具备土的性质。风化岩和残积土受其原岩岩性和区域构造等因素的影响，一般表现出风化的不均匀性，水平方向上常出现岩土突变、软硬互层的特征，造成功率学性质局部差异大。

场地分布白垩系红色岩系按其风化程度划分为全—微风化四个带，以其为母岩形成不同岩性特征的残积土，具体工程特征如下：

(1) 软化特性：白垩系碎屑岩本身岩性特点含泥质成分，为泥质胶结或泥钙质胶结，水理性质较差，在浸水的情况下，岩石易软化，失水或风干后易开裂。岩石的软化特性可造成岩体强度变化，浸水后强度降低，对地基的均匀性产生不良影响。

(2) 风化不均匀性：白垩系红色岩系具明显的风化不均匀性，在岩石的强风化层中夹中—微风化硬岩，在中—微风化层中夹强风化软层等软硬不均现象，造成岩层风化带在水平和垂直方向上的风化程度、深度和厚度等具明显的不稳定性和不连续性。岩石的风化不均匀导致地层软硬不均，出现上硬下软或上软下硬现象，对地基的均匀性等可产生不良影响。

### 2) 花岗岩类风化岩和残积土

线路花岗岩类残积土及风化层主要有以下两个特性：

(1) 崩解性：残积土及全风化和强风化岩遇水浸泡后，其中风化形成的亲水矿物质迅速吸水膨胀，岩土发生崩解导致岩土强度降低，影响地基土的均匀性和稳定性。

(2) 球状风化和风化深槽：由于球状风化现象，残积土或全强风化岩中可形成中微风化岩孤石现象，本次勘察于 ZK2-1B、ZK3B 号钻孔钻遇孤石。孤石为中风化岩，厚度 3.80~5.10 m，层顶标高-13.30~-10.86 m。

球形风化现象及风化的不均匀性，对地基的稳定性、均匀性及盾构工程施工等可产生不良影响。

## 四、水文地质情况

地质勘察揭露的地下水位普遍埋藏较浅，稳定水位埋深为 0.50~7.80 m，标高为-2.40~-23.70 m，地下水位的变化与地下水的赋存、补给及排泄关系密切，每年 4—10 月为雨季线路地下水类型按赋存方式分为第四系松散层孔隙水及基岩裂隙水。

### 1. 第四系松散层孔隙水

本次勘察揭露的第四系含水层主要为冲积—洪积砂层<3-1>、<3-2>层，其富水性和透水性与砂土颗粒组成有关，砂质颗粒越粗，分选性好，砂质纯净，则富水性好，径流通畅，透水性强，反之则差。本次勘察揭露砂层以中粗砂层<3-2>为主，层位分布不稳定，厚度变化较大，颗粒组成不均匀，属中等—强透水层。由于冲积—洪积土层和残坡积土层含水贫乏，透水差，多属弱、微透水层，起到相对隔水作用，因此对于埋深较大的砂层水一般具有微承压性。

冲积—洪积土层、残积土层和岩石全风化带，含水贫乏，透水性较差。

## 2. 基岩裂隙水

本沿线基岩裂隙水主要赋存于碎屑岩和花岗岩强风化带、中风化带，其风化裂隙、构造裂隙和节理较发育，富水性较好，赋存条件一般。

## 3. 地下水补给与排泄

勘察范围大气降水是地下水的主要补给来源，排泄主要表现为大气蒸发，地下水位受季节影响。第四系砂层孔隙水的补给来源主要靠大气降水及沿线河水，基岩裂隙水主要靠第四系孔隙水的越流补给和大气降水补给。大气降雨充沛，水位会明显上升，而在冬季因降水减少，地下水位随之下降。

## 第三方技术服务概况

### 一、第三方技术服务标段概况

佛山市轨道交通三号线工程线路长、站点多、地质情况复杂、建设体量与难度大，为使三号线工程严格按规范、设计要求施工，同时满足国家和地方的法律、法规等相关管理制度的要求，建设单位分别引进了第三方测量、第三方监测、第三方检测、桥梁监测、环境监理和盾构机管理技术咨询等第三方专业服务。表 3.1 为第三方专业服务单位配置及标段划分。

表 3.1 第三方专业服务单位配置及标段划分

序号	服务类别	标段划分及服务单位	标段范围
1	第三方测量	测量 1 标：中铁隧道勘测设计院有限公司	东乐路站（含）—湾华站
		测量 2 标：上海勘察设计研究院（集团）有限公司	湾华站（不含）—狮山站（含）
		测量 3 标：北京城建勘测设计研究院有限公司	起点—东乐路站（不含） 狮山站（不含）—终点
2	第三方监测	监测 1 标：广东省重工建筑设计院有限公司	东乐路站（含）—高村站（含）
		监测 2 标：北京城建勘测设计研究院有限公司	高村站（不含）—南海广场站（不含）
		监测 3 标：中铁工程设计咨询集团有限公司	南海广场站（含）—狮山站 （含车辆段）
		监测 4 标：北京城建勘测设计研究院有限公司	起点—东乐路站（不含） 狮山站（不含）—终点
3	监测总体咨询	上海勘察设计研究院（集团）有限公司	全线
4	第三方检测	佛山市公路桥梁工程监测站有限公司	全线
5	桥梁监测	湖南中大建设工程检测技术有限公司	伦教站—三洪奇站高架区间 三洪奇站—北滘新城站高架区间 顺德水道大桥 狮山站—大学城站高架区间 大学城站—科技学院站—终点高架区间
6	环境与水土保持 监理监测	广州轨道交通监理有限公司	全线
7	旧盾构机预评审 技术咨询	广州轨道交通监理有限公司	全线

## 二、第三方技术服务工作内容

### (一) 第三方测量

主要工作内容：

(1) 地面控制测量，包括首级平面 GNSS 控制网和首级二等水准网的复测与维护，精密导线网的测设、定期复测与维护。

(2) 施工控制测量检测，包括施工地面加密控制点的检测、明挖法施工测量检测、联系测量检测、暗挖段施工测量检测等其他施工测量检测。

(3) 制订各标段《第三方测量技术方案》，并报建设单位审批。

(4) 贯通测量（隧道平面贯通测量和隧道高程贯通测量）、中线调整测量。

(5) 土建竣工测量检测，包括断面测量、限界测量、防淹门及安全门检测。

(6) 铺轨控制基标检测。

(7) 位移沉降监测。

(8) 施工放样测量检测：车站围护结构、各层施工放样主控制点、主要轴线、线路中线及高程的抽测；各车站站台板标高检测；安装装修结束后，地面构造物外边线测量，并形成测量报告。

(9) 专项调查与测绘（含前期用地红线及结构放样测量）。

(10) 各工序衔接的交接桩等日常事务，重要工序及重要预埋件施工测量。

(11) 协助建设单位做好与全线测量有关的测量工作及检查测量监理工程师、施工单位测量人员的数量、技术水平、仪器设备情况和测量规范、标准的执行情况，落实建设单位的管理意图。

(12) 每月上报测量月报。

(13) 复核施工图设计中的线路及与其相关的坐标、高程和主要的几何尺寸。

(14) 与设计或外部（市政、管线等）协调时，按建设单位需要指定的其他测绘内容。

(15) 标段的测量管理事务：

① 各施工标段测量方案的审核。

② 根据建设单位赋予的其他方面的职责和权限，并依据工作需要为建设单位提供技术咨询、资料解释、成果管理等。

③ 参与竣工文件的编制。

(16) 其他管理工作。

### (二) 第三方监测

#### 1. 现场安全监测

(1) 明挖基坑（明挖车站主体结构、附属结构、明挖区间、临时施工竖井、区间风井及风机房等）工程自身的安全监测，包含围护结构水平与竖向位移、围护结构体侧向位移、支撑轴力、立柱隆沉、坑底回弹等。

(2) 盾构区间和矿山法联络通道的安全监测，包含拱顶沉降、净空收敛等。



- (3) 与车站、区间近接的需重点保护的建（构）筑物的沉降、倾斜监测。
- (4) 与车站、区间近接的需重点保护的地下管线。
- (5) 爆破振速监测。
- (6) 地表沉降。
- (7) 地下水位。
- (8) 对重要部位实施跟踪监测。

## 2. 现场安全巡视

现场安全巡视见表 3.2、3.3。

表 3.2 基坑工程现场巡查表

分 类	巡 视 内 容
施工现场	开挖面岩土体的类型、特征、自稳性，渗漏水量大小及发展情况
	开挖长度、分层高度及坡度，开挖面暴露时间
	降水、回灌等地下水控制效果及设施运转情况
	基坑侧壁及周边地表截、排水措施及效果，坑边或基底有无积水
	支护桩（墙）后土体有无裂缝、明显沉降，基坑侧壁或基底有无涌水、流沙、管涌
	基坑周边有无超载
	放坡开挖的基坑坡度有无位移、坡面有无开裂
支护结构	支护桩（墙）有无裂缝、侵限情况
	冠梁、围檩的连续性，围檩与桩（墙）之间的密贴性，围檩与支撑的防坠落措施
	冠梁、围檩、支撑有无过大变形或裂缝
	支撑是否及时架设
	盖挖法顶板有无明显变形和开裂，顶板与立柱、墙体的连续情况
	锚杆、土钉垫板有无明显变形、松动
	止水帷幕有无开裂、较严重渗漏水
周边环境	建构筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的开裂位置、数量、宽度，混凝土剥落位置、大小、数量，设施能否正常使用
	地下构筑物积水及渗水情况，地下管线的漏水、漏气情况
	周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况
	河流湖泊的水位变化情况，水面有无出现旋涡、气泡及其他位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等
	工程周边开挖、堆载、打桩等可能影响工程安全的其他生产活动
监测设施	基准点、监测点的完好、保护情况
	监测元器件完好、保护情况

表 3.3 盾构法隧道工程现场巡查表

分类	巡视内容
施工工况	盾构始发端、接收端土体加固情况
	盾构掘进位置（环号）
	盾构停机、开仓等的时间和位置
	联络通道开洞口情况
管片衬砌	管片破损、开裂、错台情况
	管片渗漏水情况
周边环境	建构筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的开裂位置、数量、宽度，混凝土剥落位置、大小、数量，设施能否正常使用
	地下构筑物积水及渗水情况，地下管线的漏水、漏气情况
	周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况
	河流湖泊的水位变化情况，水面有无出现旋涡、气泡及其他位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等
	工程周边开挖、堆载、打桩等可能影响工程安全的其他生产活动
监测设施	基准点、监测点完好状况、保护情况
	监测元器件完好情况、保护情况

### 3. 现场风险咨询管理

#### 1) 全线安全风险信息的收集、分析、处理及反馈工作

负责整理、汇总和分析全线第三方监测、巡视信息及预警建议信息等。

负责根据全线安全风险信息初步判定综合预警状态，提出全线风险预警建议信息，提供监控跟踪和风险控制的咨询意见并上报建设单位。

监控管理信息除上报建设单位外，还及时反馈至监理、施工及设计单位。

#### 2) 协助建设单位进行全线安全风险监控管理

协助建设单位对全线施工单位、监理单位的安全风险监控体系的建立与执行情况等进行监督、检查和指导，参与施工监控实施方案、风险处理方案的评审。

#### 3) 预警事物的处理

负责预警快报：当风险工程可能达到红色综合预警状态或发生重大突发风险事件时，应进行快报。报送内容主要包括风险时间、地点、风险概况、原因初步分析、变化趋势、风险处理建议等；第三方监测的预警快报应是在充分结合施工单位和监理单位报送的监控及预警建议信息基础上的综合预警快报。

及时落实建设单位的预警及加强监控处理的反馈意见，组织和参与现场分析和专家论证，参与预警事务处理，提交修正设计参数和专家论证所需的相关监测资料。

跟踪预警事务处理情况，协助建设单位对预警状态风险处理的监控和事务处理加强监督和检查。

#### 4) 规范全线各施工单位的施工监测

第三方监测单位应协助建设单位对全线各承包商的施工监测进行管理及监督，负责制

全线的监测规划，协调相邻标段的监测关系。第三方监测单位对施工监测单位进行监督、管理与指导，其主要工作内容包括：对施工监测单位资质、人员、仪器设备，到监测方案的审核、测点埋设、日常数据采集、信息报送对施工单位的监测工作进行全程监督与指导，施工监测工作存在问题时应以口头、工作联系单的方式要求其改正。

5) 配合安全风险事故的调查和处理工作

发生安全风险事故时，配合安全风险事故的调查分析，并给出专业意见。

6) 负责对施工单位提交的经监理签认的预警和消警报告进行复审

#### 4. 日程管理工作

根据建设单位的要求，参加各开工站点每周工作例会，参加设计交底、图纸会审等相关工程会议，同时参加建设单位组织的对各施工、监理单位的月度、季度检查，并将检查出的问题及时汇总到建设单位，作为建设单位对施工、监理单位进行考核的依据。

编制《监测技术大纲》等相关技术文件，组织专家会审、批复后报建设单位备案。

第三方监测单位统一向进场单位进行监控量测管理、技术交底，同时应向各单位下发《监测技术大纲》等相关文件，对各单位在监测工作相关流程以及技术要求方面存在的疑问进行详细说明。

### (三) 第三方检测

(1) 协助建设单位进行质量抽检。按要求对工程用原材料、半成品、成品等进行抽检试验，对工程实体质量进行现场检测，检测频率为施工单位自检频率的5%。

(2) 建立原材料质量和工程实体质量的评估机制，同时建立相对独立的资料管理体系并纳入建设单位工程资料管理系统，按要求及时提交检测报告或检测结论、工作总结报告等，保证检测结果客观、公正，对检测报告的准确性负责。

(3) 检测、检查工程实体质量和工程材料质量。根据国家规范要求对工程材料和实体进行检测，同时对现场进行定期的检查和检测及不定期的质量巡查。定期的检查和检测结果以月报的方式每月上报建设单位和相关单位，作为建设单位对各施工单位工程质量评定的依据。

现场检查 and 检测的主要内容包括对工程原材料及成品的质量进行现场抽检，对施工过程中的工艺水平、工序合理性及分部工程、分项工程施工质量进行检查，对已认定的标准试验进行复核，对内业资料进行抽查，对工地试验室进行抽查。

(4) 检查和指导施工单位检测工作。抽查施工单位的内业资料和资料管理情况，主要检查资料的真实性、完整性；检查施工单位独立试验的频率、见证取样的独立性和真实性；参与工程分项、分部（子）单位工程验收。参加建设单位组织的相关检查。

(5) 整理各类试验报告，配合做好交/竣工档案整理工作。按要求对各类试验检测报告的编制、校核、审查、批准及交付进行控制，保证出具的检测报告的数据真实客观、计算准确无误、结论评判正确。在工程项目完工前，完成相关试验检测资料的整理工作，并对该工程的试验检测工作进行总结。

### (四) 监测总体咨询

(1) 协助建设单位编制关于监测技术要求统一标准化的管理文件，对第三方监测单位的

组织机构设置、人员仪器配备等情况进行审查备案。

(2) 协助建设单位开展管理文件宣贯、技术标准实施和技术培训工作。

(3) 参与第三方监测方案的专家评审，并对专家评审意见落实情况进行检查、监督。按要求监督、指导第三方监测单位的监测工作，定期检查方案执行情况。

(4) 检查、指导第三方监测单位的内业工作，对监测成果进行统一的标准化管埋。

(5) 随机组织三方抽测现场监测点，检核各监测单位数据的真实性、可靠性。

(6) 参与预警分析处置，提供技术咨询服务。

## (五) 桥梁监测

(1) 现场安全测试与监测。包括高架区间(含顺德水道大桥)的成桥静载试验、成桥动载试验，顺德水道大桥的线型监测、应力监测、温度场监测、斜拉索索力监测、索塔及主墩应力监测、索塔位移监测等。

(2) 现场安全巡视。按要求进行现场安全巡视，实施现场测试和监测工作时同时进行安全巡视，特殊情况应加密巡视频率。

(3) 现场风险咨询管理服务。开展顺德水道大桥安全风险信息的收集汇总、整理分析及反馈工作，包括监测数据、巡视信息等，初步判定综合预警状态，提出风险预警建议信息，提供跟踪监测和风险控制的咨询意见并上报相关单位。协助建设单位进行安全风险监控管理，对施工单位、监理单位的安全风险监控体系的建立与执行情况等进行监督、检查和指导，参与施工监测实施方案、风险处理方案的评审。

(4) 配合预警处置工作。当工程出现达到红色综合预警状态或发生重大突发风险事件时，发送预警快报。报送内容主要包括风险发生时间、地点、风险概况、原因初步分析、变化趋势、风险处理建议等；桥梁监测的预警快报，应是在充分结合施工单位和监理单位报送的监测及预警建议信息基础上的综合预警快报。及时落实建设单位的处置意见，组织和参与现场分析和专家论证，参与预警事务处理，提交修正设计参数和专家论证所需的相关桥梁监测资料。跟踪预警事务处理情况，协助建设单位监督检查相关单位是否按要求落实处理意见。

(5) 规范桥梁施工单位的施工监测。负责制订顺德水道大桥监测规划，监督、指导承包商的施工监测工作，协调与相邻标段间的监测问题。

## (六) 环境与水土保持监理监测

(1) 施工行为污染达标监理。监督检查项目施工建设过程中各种污染因子是否达到环境保护标准要求，督促施工单位按照环境保护要求组织施工。

(2) 生态影响及减缓措施监理。监督检查项目施工建设过程中施工场地、临时占地、环境敏感保护目标等生态保护、减缓、恢复及补偿措施是否达到环保要求。

(3) 环保“三同时”设施监理。监督检查项目施工建设过程中废水、废气、噪声、固废等环境污染治理设施、环境风险防范设施和生态保护措施等是否按照环评文件及其批复的要求进行设计、施工和运行。

(4) 环评文件及其批复相符性监理。监督检查项目选址、建设内容、规模、工艺、总平面布置、环境保护目标、污染防治措施和生态保护措施等实际建设情况是否相符环评文件及其批复的要求；指出项目环评阶段遗漏的环境问题，并提出补充和优化建议。

监理人发现与环评文件及其批复不相符合的，应及时通知施工单位予以纠正，发现重大问题，应及时向环境保护行政主管部门报告，根据环境保护行政主管部门要求督促施工单位进行整改。

(5) 水土保持。监督检查各施工单位是否按照批复的水土保持方案组织施工和落实各项水土保持工作，是否落实水土保持“三同时”制度。

切实做好水土保持监测工作，并按规定向水利部珠江水利委员会及广东省水利厅提交监测实施方案、季度报告及总结报告，接受水行政主管部门的监督检查。

## (七) 旧盾构机预评审技术咨询

(1) 组织审查施工单位报审的盾构机档案资料。通过收集查验相关信息资料、调取资料数据库查询对比、查询盾构机相关上下游厂商、现场勘查等，审查资料真实性，并客观评价。

(2) 组织开展盾构机适用性预评审，形成预评审报告并报送建设单位，包括查明盾构机使用历史，掌握盾构机现状，查证报审资料的真实性、完整性、准确性。

(3) 加强盾构信息化施工的管理，开展盾构技术咨询服务。根据不同的地质环境、周边环境和自身环境，从盾构始发到到达全过程设置有针对性的掘进参数预警值，利用盾构监控远程系统 24 小时监控盾构施工情况，实时监控预警盾构施工，及时发现、处置异常情况，避免发生质量安全事故。综合分析各项数据，提前预判可能出现的安全风险，提出风险管控处理意见；加强重大风险安全巡查，有效地预防安全风险。



