

广州市轨道交通二号线广州新客站~江南西、江夏~嘉禾

工程可行性研究阶段岩土工程勘察报告

广州市地下铁道设计研究院

二〇〇四年八月

广州市轨道交通二号线广州新客站~江南西、江夏~嘉禾

工程可行性研究阶段岩土工程勘察报告

地质编录：

报告编写：

项目负责人：

技术负责：

审核人：

总工程师：

广州市地下铁道设计研究院

二〇〇四年八月

目 录

1 概 述..... 1

1.1 任务依据 1

1.2 工程概况与勘察范围 1

1.3 勘察要求与目的 1

1.4 勘察钻孔布置及深度 2

1.5 勘察方法与完成工作量 2

1.6 勘察执行标准 3

2 自然地理概况..... 4

2.1 线路地面条件和地貌特征 4

2.2 区域气候特征 4

2.3 河流水文特征 6

3、区域地质特征..... 7

3.1 区域构造主要特点 7

3.2 断裂 7

3.3 褶皱 8

3.4 地层与岩性 8

3.5 侵入岩 9

4、岩土工程特征..... 9

4.1 南延段（广州新客站~江南西）岩土工程分层及其特征 9

4.2 北延段（江夏~嘉禾）岩土工程分层及其特征 13

4.3 北延段（江夏~嘉禾）比选线路岩土工程分层及其特征 15

4.4 岩土分界线 17

4.5 不良地质及特殊岩土 17

5、水文地质条件..... 19

5.1 地下水的赋存与补给 19

5.2 地下水的腐蚀性 20

5.3 抽水试验与渗透系数 20

6 土石可挖性分级及隧道围岩分类..... 22

6.1 土石可挖性分级 22

7 场地和地基的地震效应..... 23

7.1 工程安全等级 23

7.2 建筑场地类别 23

7.3 砂土液化 23

7.4 软土震陷 23

7.5 抗震设防烈度 23

8.1 关于统计指标和参数建议值的说明 24

8.2 岩土参数建议值 24

8.3 原位测试统计指标 25

8.4 室内试验统计指标 25

9 岩土分区及其特征..... 26

9.1 广州新客站~江南西珠江冲积平原地段（里程YAK1+500~YAK2+850.0除外） 26

9.2 石壁至官坑地段（里程为YAK1+500~YAK2+850.0） 26

9.3 江夏~嘉禾（含比选线路）广花冲积盆地地段（里程为YAK22+900~YAK27+200） 27

10 岩土工程条件评价和工程措施建议 28

10.1 关于工程场地的稳定性 28

10.2 主要不良地质作用对工程的影响 28

10.3 工程措施建议 29

10.4 下一步勘察工作建议 33

11. 其它说明 33

附 表

1、钻孔主要数据一览表（附表 1.1~1.3）3 张

2、各岩土分层顶面标高、埋深及厚度统计表（附表 2.1~2.3）3 张

3、岩土参数建议值表(附表 3.1~3.3).....3 张

4、各岩土分层土工试验统计表（附表 4.1~4.3）3 张

5、岩石试验统计表（附表 5.1~5.3）3 张

6、各岩土分层粒度分析统计表（附表 6.1~6.3）3 张

7、抽水试验汇总统计表（附表 7.1~7.2）2 张

8、水质分析汇总统计表（附表 8.1~8.2）2 张

9、各岩土分层标准贯入试验统计表（附表 9.1~9.3）3 张

10、砂土地震液化判别表（附表 10.1~10.3）2 张

11、土工试验汇总统计表（附表 11.1.1~11.1.7、11.2.1~11.2.4、~11.3.3）15 张

12、岩石试验汇总统计表（附表 12.1.1~12.1.3、12.2.1~12.2.2、12.3.1~12.3.2）7 张

13、标准贯入试验汇总统计表（附表 13.1.1~13.1.7、13.2.1~13.2.7、13.3.1~13.3.7）20 张

14、粒度分析汇总统计表（附表 14.1.1~14.1.2、14.2.1、14.3.1）4 张

15、土的三轴剪切试验报告（附表 15.1.1~15.1.3、15.2.1）3 张

16、钻孔电测井岩、土电性（电阻率）统计表（附表 16.1~16.2）2 张

17、钻孔岩土声波测试统计表（附表 17.1~17.2）2 张

附 图

1、图例（附图 1）1 张

2、钻孔平面布置、线路图（附图 2）17 张

3、工程地质线路纵断面图（附图 3）11 张

4、钻孔简易水文地质抽水试验成果图（附图 4）8 张

5、钻孔柱状图.....87 孔

6、岩芯照片（另册装订）87 孔

1 概 述

1.1 任务依据

受广州市地下铁道总公司委托，广州市地下铁道设计研究院承担广州市轨道交通二号线广州新客站~江南西、江夏~嘉禾工程可行性研究阶段岩土工程勘察任务。

有关钻孔布置和技术要求按广州市地下铁道设计研究院轨道交通总包总体部《广州市轨道交通二号线、八号线拆解工程可行性研究阶段岩土工程勘察技术要求》（穗铁院[二号线]联字（2004）第 32 号）文件进行（2004 年 5 月 13 日发的文件）。

1.2 工程概况与勘察范围

广州市轨道交通二号线南延段(广州新客站~江南西)工程呈南北走向，线路南起广州新客站至江南西（不含），里程为 YAK0+189.191~14+000.729，九站九区间，线路长约 13.81km，该工程拟为地下线。

广州市轨道交通二号线北延段(江夏~嘉禾)工程呈南北走向，线路南起三元里（不含）至嘉禾，里程为 YAK18+060.000~27+350.546，线路长约 9.29km，共六站六区间。该工程三元里至远景拟为地下线，远景站为地面站，随后，线路转为高架线至终点。由于二号线北延伸 YAK18+060.00~18+400.00（三元里折返线至机场路）段已在二号线首期工程设计阶段完成了详勘，不包括在本次勘察范围内，所以本次勘察实际范围为江夏~嘉禾段。

此外，还布置了一条江夏~嘉禾比选线路 BYAK22+500.00~27+365.297，线路长约 4.87km。

本次勘察二号线南延段（广州新客站~江南西）工程，沿线为苗圃、鱼塘、剥蚀残丘、农田、珠江、城市道路和居民住宅区。

二号线北延段（江夏~嘉禾）工程，沿线为城市道路、农田、鱼塘和住宅区。北延段（江夏~嘉禾）比选线路，沿线为城市道路、农田、荒地和住宅区。

1.3 勘察要求与目的

根据广州市地下铁道设计研究院轨道交通总包总体部提出的《广州市轨道交通二号线、八号线拆解工程可行性研究阶段岩土工程勘察技术要求》和工程可行研究阶段的性质，具体勘察要求如下：

1.3.1 调查和收集勘察范围内的区域性地质构造、工程地质、水文地质、河流水文、气象、地震、地貌等资料，以及勘察范围内重要及高大建（构）筑物地基资料，勘察范围的岩土工程施工经验。

1.3.2 根据收集的各种地质资料，对勘察范围的区域地质进行分析、解释，了解勘察范围可能遇到的断裂，褶皱等构造的分布情况，根据资料初步了解断裂活动性，并分析不良地质条件对工程的影响。

1.3.3 对收集到的气象资料、沿线有关的工程地质、水文地质、地震、地貌等资料，可归纳其主要的、适当的内容编入可行性研究阶段岩土工程勘察报告的有关章节。

1.3.4 初步了解勘察范围岩土层分布特征，提出各岩土层的物理力学性质参数，按岩土分区进行岩土工程评价，提出工程措施建议，分析评价不同岩土的不良地质作用对施工的危害性。

1.3.5 提出土石可挖性分级，围岩分类及其划分标准。

1.3.6 本次勘察目的是：大致反映勘察范围的地貌特征、区域地质、工程地质、水文地

质，了解地震、气象，河流水文概况，提交必要的气象要素，河流水文要素，满足工程可行性研究的需要。

1.4 勘察钻孔布置及深度

1.4.1 钻孔布置与编号

根据技术要求，主要按地貌单元沿线路右侧布置钻孔，每类地貌单元一般不小于 6 个钻孔，在每个车站和区间均布置钻孔，钻孔间距为 300 米，在地质条件复杂地段，钻孔间距为 200m。

本次钻孔编号为 MBZ1-S (N) **，MBZ1—代表地铁二号线可行性研究阶段钻孔（即工程编号），S 代表南延段，N 代表北延段，**代表钻孔序号。抽水孔孔号在钻孔号前加“S”。本次勘察布置钻孔 88 个，抽水孔 8 个。

1.4.2 钻孔深度

1.4.2.1 本次勘察钻孔深度以 35m 为宜，且满足以下条件之一：

- （1）连续进入结构底板（见线路纵断面图）之下中等风化和（或）微风化岩层 5m；
- （2）如遇有软弱层，则应钻至结构底板之下 10m。

1.4.2.2 断层带钻孔除满足上述条件外，应钻穿断层破碎带，但最大孔深不宜超过 50m；遇到这种情况可通过业主与二号线设计总体部联系，共同确定终孔深度。

1.4.2.3 过珠江水系的钻孔深度应同时满足以下条件：

- （1）在剖面图上，钻孔深度及孔口标高以河床泥面起算。
- （2）钻孔进入河床泥面之下 35m。

1.5 勘察方法与完成工作量

1.5.1 根据国家标准《地下铁道、轻轨轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307-1999）5.1 条、5.2 条的规定，本次勘察的方法主要为调查和搜集有关的勘察资料，适当进行钻探勘察，其中在钻探中，进行标准贯入试验，采取土样、水样和岩样测试分析，以及测井等综合方法。

1.5.2 本次勘察外业工作始于 2004 年 5 月 22 日，至 2004 年 6 月 27 日，完成二号线广州新客站~江南西及江夏~嘉禾外业的钻探工作。后又于 2004 年 7 年 14 号进场，至 2004 年 7 月 24 日完成二号线江夏~嘉禾比选线路外业的钻探工作。本次勘察本院实际完成钻孔 87 个，另外完成抽水孔 8 个。 有关钻孔数据详见附表 1。

1.5.3 本次勘察主要机械设备详见表 1.1，勘察完成工作量详见表 1.2。

1.5.4 本次勘察前线路沿线还未布置测量控制点，故本次勘察钻孔根据地形地物采用地形图定点确定钻孔位置，然后根据设计方提供的电子地形图读出钻孔的高程及坐标。

主要勘察设备、仪器一览表 表 1.1

勘察手段	施工用途	设备、仪器名称	型 号	产地	数量
钻探	取芯钻进	油压钻机	XY-100	国产	12
原位测试	标准贯入	标准贯入器	N-63.4	国产	12
土工试验	取样	取土器	THD30、TB74A	国产	12
管线探测	地下管线探测	地下金属管线	雷迪	国产	1
		线探测仪	JX-F1	英国	1
物探	电阻率测试	数控集流激电仪	WDJB-1	国产	4
	波速测试				
报告编制	数据处理	计算机	P4	国产	4
	岩芯照片	数码相机	Nikon	日本	2

完成实物工作量表 1.2

序号	项 目	单位	工作量	备注
1	钻探	孔/米	87/3461.80	实际钻孔
2	标准贯入试验	次	613	
3	岩样	组	87	
4	土样	组	168	
4	水样	组	2	
6	孔位测量	孔	87	
7	管线探测	孔	40	
8	电阻率测试	孔	13	
9	波速测试	孔	13	
10	抽水试验	孔/米	8/211.8	9 台班
11	岩芯照片	孔	87	

1.6 勘察执行标准

1.6.1 本次勘察主要执行下列国家标准以及地方标准。

- (1) 国家标准《地下铁道、轻轨轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307-1999）；
- (2) 国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）；
- (3) 国家标准《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999）；
- (4) 国家标准《土的分类标准》（GBJ145-90）；
- (5) 国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2002）；
- (6) 广东省标准《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-31-2003）；
- (7) 国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）；
- (8) 中国工程建设标准化协会《岩土工程勘察报告编制标准》（CECS99：98）。

1.6.2 在地铁线路勘察方面可优先执行《地下铁道、轻轨轨道交通岩土工程勘察规范》（GB5037-1999），在勘察手段和操作方面可优先执行《岩土工程勘察规范》（GB5021-2001）。

1.6.3 在软土分布区，其相应的要求（如取样）可执行国家标准《软土地区工程地质勘察规范》（GBJ83-91）。

1.6.4 执行与上述标准相关的国家标准、国家行业标准和适用于本次勘察的地方规程以及有关工具书等。

2 自然地理概况

2.1 线路地面条件和地貌特征

2.1.1 线路地面条件

南延段广州市新客运站至江南西，沿线呈南北走向，途经官坑、大石水道、南浦、三支香水道、洛溪、珠江水道、南洲、东晓南路、瑞宝村、五凤乡、跃进村、止于江南西。线路全长13.81km。沿线为苗圃、鱼塘、剥蚀残丘、农田、珠江、城市道路和居民住宅区。

北延段江夏至嘉禾，沿线呈南北走向，经江夏北、江夏工业区、黄边村工业区及彭上新村、止于嘉禾，沿线为城市道路、农田、鱼塘和住宅区。

北延段比选线路江夏至嘉禾，沿线呈南北走向，经陈田村、江夏北、上林镇及彭上新村、止于嘉禾，沿线为城市道路、农田、荒地和住宅区。

2.1.2 地貌特征

南延段大部分地貌属珠江三角洲冲积平原，仅在里程 YAK1+500~YAK2+700 属剥蚀残丘地貌，最低标高-4.70m，最高标高为 30.0m。

北延段及比选线路地貌属广花冲积盆地，地势较平坦、开阔，最低标高 10.40m，最高标高为 16.40m（全线场地景观见右图）



2.2 区域气候特征

广州市受季风环流所控制，冬季处于极地大陆高压的东南缘，常吹偏北风，且恰在冷暖气团交汇地带，气象要素变化大。夏季受副热带高压及南海低压槽的影响，常吹偏南风，由于暖湿气流的盛行，气候高温多雨，因而摆脱了回归干燥及信风带的影响，而表现出季风气候的特色。受低纬海洋湿润气流的调节，夏季不像中国内陆长江流域一些盆地那样酷热。广州南亚热带季风气候显著，日照充足，热量丰富，长夏无冬，雨量充沛，干湿季明显。四季节树木常绿，花果常香，鱼虾常鲜。但热带气旋、暴雨、洪涝、干旱、寒潮和低温阴雨也常出现。广州市各气候要素如下：

2.2.1 太阳辐射总量与日照

广州市各地下午太阳高度角都在 42° 37" 以上，太阳高度角较大，太阳辐射总量与日照时数均充足。广州市年总辐射量自东南向西北递减，年总辐射量为 4400~4000 兆焦耳/平方米·年。广州市各地日照时数基本上从东南向西北递减。但广州市区成为全市的日照相对低值区，因为市区的大气污染较严重，霾、雾、烟、尘较多，降低了日照时数，全年日照总数为 1770~1940 小时。

广州市太阳辐射及日照参数见下表：

广州市各站累年逐月太阳总辐射量统计表 表 2.1

月份	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
广州市区	306	243	268	301	389	419	407	490	444	440	337	334

单位：兆焦耳/平方米

广州市各站累年逐月太阳总辐射量统计表 表 2.2

月份	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
广州市区	132.4	77.7	68.4	79.7	130.4	140.8	222.4	202.4	187.0	201.2	184.0	168.4

单位：小时

2.2.2 气温

广州市地处低纬，终年气温较高，年平均气温为 21.4~21.9℃，其分布为南高北低，各地平均气温差别不大。

最冷月为 1 月，月平均气温为 12.9~13.4℃，极端最低气温达-2.6℃，出现在从化（1963 年 1 月 16 日）。最热月为 7 月，月平均气温为 28.4~28.7℃。极端最高气温 39.4℃，出现在广州（2004 年 6 月 30 日）。

广州市各站各月平均气温表 表 2.3

月份	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
广州市区	13.4	14.3	17.8	21.8	24.6	27.3	28.4	28.3	27.0	23.9	19.4	14.0

单位：℃

2.2.3 降水

广州市年降水量在 1612~1909 毫米之间，地区分布为北多南少，丘陵多于平原。广州市降雨量年内分布不均匀，雨量主要集中在 4~9 月，约占年雨量的 80%以上，其中前汛期（4~6 月）占年雨量的 40%~50%，后汛期（7~9 月）占年雨量的 30~40%。每年 10 月至次年 3 月是少雨季节，降雨量占全年雨量的 20%左右。广州市降水量虽然丰沛，但很不稳定，年际变化大。最多雨年和最少雨年降雨量相差 2 倍多。

广州市各站各月平均降水量表 2.4

月份	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
广州市区	40.9	66.3	89.9	174.3	288.7	274.6	223.1	223.6	179.9	69.1	41.0	24.1

单位：毫米

2.2.4 风

广州市受季风环流控制，风向有明显的季节变化。冬半年（9 月至翌年 3 月）处于大陆冷高压的东南侧，盛吹偏北风，其频率基本在 14%~40%；夏半年（4~8 月）经常副热带高压西部及南部支槽与西南低压槽的交替影响，常吹偏南风，其频率大致在 14%~24%。

广州市各站各月平均风速表 表 2.4

月份	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12	全年
广州市区	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.9	1.7	1.8	1.9	2.1	2.0	1.9

单位：米/秒

2.2.4 灾害天气

对二号线建设影响最大的灾害天气主要有：热带气旋和暴雨，分述如下：

2.2.4.1 热带气旋

热带气旋是影响广州市的重要天气因素。热带气旋产生于热带海洋上，是以低压为中心的大气涡旋，在我国按照其中心附近最大风力划分为 4 个等级：6~7 级称为热带低压；8~9 级为热带风暴；10~11 级为强热带风暴；12 级或以上的称为台风。

影响广州市的热带气旋数量，各年之间差别很大，少的全年只有 1 个，多的达 7 个，如 1961 年、1993 年。平均每年 3.2 个。热带气旋侵袭广州的数量多年平均为 0.9 个，但各年之

间差别大，多的一年中有 3 个侵袭广州市，如 1947 年、1960 年、1971 年，个别年份受热带气旋袭击比较严重，如 1971 年 6~8 月，广州市连续 3 次受热带气旋袭击和影响。少的全年没有热带气旋侵袭广州市，这样的年份近 44 年来有 21 年。一年之内，除 1~4 月没有热带气旋直接影响广州市外，其他各月均有受热带气旋直接影响的可能。而 4~10 月才有可能受到热带气旋直接的侵袭。因此，4~10 月是广州市的热带气旋多发季节，特别是盛夏的 7、8、9 三个月，热带气旋影响和侵袭广州市的可能性均较大，分别占全年的 71.4%和 81.4%。这三个月可以说是广州市热带气旋活动的盛行期。

据 1949~1993 年资料统计，有 23 个热带气旋对广州影响较大，造成广州 8 级以上大风（或极大风速 ≥ 24.4 米/秒）、日雨量在 100 毫米以上的大暴雨。

2.2.4.2 暴雨

根据国家气象局的标准，凡日雨量 40~99.9 毫米称为暴雨；日雨量 100~199.9 毫米称为大暴雨；日雨量 200 毫米或以上称为特大暴雨。

从地区分布来看，北部的从化县、增城县多暴雨，南部的番禺县、广州市区相对较少。

从季节分配来看，广州市一年中的暴雨主要集中的夏季风盛行时期，每年 4~9 年夏季风盛行，暴雨显著增加；10 月至翌年 3 月，主要受冬季风控制，暴雨显著减少。所以，广州市暴雨季节长，暴雨日数多。从广州市各地平均状况看，除 12 月份没有暴雨外，其余各月都有，最多出现在春夏之交的 4、6 月，是防汛的紧张阶段；其次是 8 月、4 月和 7 月；再次是 9 月，其它月份极少出现暴雨。

据 1908~1988 年 80 年（缺 1944、1946、1947 年资料）统计结果，1908~1988 年共出现暴雨 142 次，平均每年 1.9 次，最多年份达 7 次。

2.3 河流水文特征

南、北延线工程分别位于广州市区南、北部边缘区，其中南部水系发育，线路穿越较大的珠江水系有大石水道、三支香水道和珠江水道。而北部沿线水系发育较差，仅见 2 条流量较小的溪流。

大石水道宽 160m，水深 3.40~3.50m，属于珠江一支流河道，河道不宽，航道南侧有几个抽砂场，交通不甚繁忙，运砂船相对较多。

三支香水道，宽 180m，水深 3.50~5.00m，属于珠江一支相对较窄的河道，把南浦跟洛溪分隔，由于南浦大桥较低，河道交通不甚繁忙。

珠江水道，宽 500m，水深 5.00~11.00m，为珠江主河道，河较宽，水急，线路沿洛溪大桥展布，河道北侧为广州市围安造船厂码头，河道交通十分繁忙，船只过往繁密，其中每隔半个钟头就有一艘大型高速游轮通过，产生很大波浪，对江面施工及其他小船航行影响较大。

以上三条水道地面局部分布鱼塘集水区。

大石水道、三支香水道和珠江水道属于珠江三角洲的网河区，是广州河道的下段，东流入狮子洋，再南流至伶仃洋出海。珠江三角洲网河区河道纵横交错，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，大石水道、三支香水道和珠江水道的水位受较为单一的北江洪水影响，同时受到潮水的顶托。

大石水道、三支香水道和珠江水道受潮汐影响显著，潮汐性质与珠江口各站基本一致，均

属不规则半日潮，而且两个相邻的高潮或低潮的潮位和潮流历时均不相等。从潮位资料统计来看，年最高潮位多出现在汛期，最低潮位则出现在枯季，说明径流对潮位影响显著。潮位过程线的型状为涨潮历时短，落潮历时长，呈不对称正弦曲线。

根据前人研究成果，沥滘断面处 100 年一遇设计水位为 2.69 米，200 年一遇设计水位为 2.72 米。

三沙口站 100 年一遇的设计水位为 2.52 米，200 年一遇的设计水位为 2.62 米。三沙口站历史实测最高水位为 2.43 米（1993 年），平均高潮位为 0.73 米，平均低潮位为-0.76 米。

注：以上水位统一采用珠江基面高程，珠江基面高程+5.00 米=城建基面高程。

3、区域地质特征

3.1 区域构造主要特点

广州市位于华南褶皱系（一级单元），粤北、粤东北—粤中拗陷（三级单元）的中部，为晚古生代至中三迭世的拗陷。印支运动使晚古生代地层发生过渡型褶皱，并发育了走向断裂。构造线方向以北东向为主，还有东西向，两者常常联合在一起，形成“S”形弯曲。中、新生代以断陷盆地发育为特征，并追循深、大断裂带分布。中生代的岩浆活动频繁，以多次侵入和喷溢为特征，新生代则表现为偏基性的岩浆喷溢。

广从断裂和瘦狗岭断裂为界线把广州市分成三个构造区。广从断裂以西构造区，即北东向的广花凹陷盆地的南西部。瘦狗岭断裂以南的构造区，包括广州市中心及黄埔港一带，由中生界白垩系构成倾向北，比较宽阔的向斜构造。南延段线路位于该构造区的西部。

北延线江夏~嘉禾（含比选线路）位于广从断裂西侧晚古生代广花盆地东南缘，构造线总体方向为北北东向，盆地内展布着由上古代地层组成的复向斜构造，向斜轴向以北北东向为主，往南收敛，往北或往北西撒开，复向斜略呈“帚状”，新市-嘉禾向斜位于“帚状”的收敛处。向斜内煤岩被压碎，压裂严重，断裂发育，围岩稳固性差，深部地压明显，因此工程规划区为地应力集中区。江夏~嘉禾线路沿新市-嘉禾向斜东翼呈南北向展布。

3.2 断裂

3.2.1 广州新客站~江南西

根据《广州市基岩地质图》（1：5 万）等区域地质资料（见图 2），广州市轨道交通二号线广州新客站~江南西线路在里程约 YAK11+510~YAK12+300 段与广三断裂呈大角度斜交，广三断裂区域特征如下：断层走向为近东西向（SEE90-100°）倾向南，倾角 50~85°，正断层特征，具平移。断裂切割三水盆地。断裂带汞气测量高于异常下限 5.7 倍，在 1372 年 4.75 级地震发生在中山大学附近，1999 年发生于三水市与广州市交界处 1.7 级地震说明广三断裂仍存在一定活动性（资料来源于广东省地震局）。

3.2.2 江夏~嘉禾

根据《广州市基岩地质图》（1：2 万）等区域地质资料（见图 3），江夏~嘉禾沿线西侧新市-嘉禾断裂发育，以北北东向和东西向断裂及其交接复合为主要构造骨架。根据附近煤矿资料，该组断裂规模较大，沿走向往往延伸数千米，断距落差几十米至两百米，断裂结构面擦痕、擦阶和滑动镜面等形迹发育、断裂具有明显的压性或压扭性质。多种形迹显示北北东向断裂构造具有多期、多阶段、多序次的活动特征。根据区域地质资料，北北东向断裂组分布在线

路西侧，但对线路影响不大。本次勘察未揭示到该组断裂。其次近东西向断裂也比较发育，对线路有一定的影响，在局部地段与线路大角度斜交(里程约 YAK24+00~YAK24+300)。本次勘察未揭示到断裂破碎带，但在 MBZ1-N03 孔（里程 YAK23+470 附近）东西向断裂延伸位置，揭示到风化深槽。

3.3 褶皱

3.3.1 广州新客站~江南西

本线路大部分属天河向斜南翼的范围，天河向斜由白垩系地层组成，向斜轴线近东西向。南翼倾角约 30°~45°，北翼倾角 15°~20°，天河向斜整体向东倾伏，西部翘起。

3.3.2 江夏~嘉禾

本线路北延段从江夏至嘉禾（近南至北走向），经过新市-嘉禾向斜东翼，新市-嘉禾向斜轴向北北东，向斜东翼线路内岩层向西倾斜，倾角 40~50°。

3.4 地层与岩性

沿线穿越的地层有古生界震旦系、中生界石炭系中上统壶天群、二迭系下统、白垩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：

3.4.1 震旦系（Z）

主要分布于南延段官坑村南部残丘一带，里程约为 YAK1+500~YAK2+700，属变质岩，岩性为暗灰~青灰色混合花岗岩。

3.4.2 石炭系中上统壶天群组（C₂₊₃ht）

分布于线路江夏~嘉禾，里程约为 YAK22+900~YAK24+750，比选线路全线均有分布。岩性

为灰、灰黑、深灰色泥炭质灰岩、硅质灰岩，岩溶发育。

3.4.3 二迭系下统栖霞组（P₁q）

分布于北延段，里程约为 YAK24+750~YAK27+200，为陆源碎屑及碳酸盐建造，与下伏基岩呈整合接触。岩性主要为灰色~灰黑色、黑色泥质（泥炭质）粉砂岩夹炭质页岩，南北走向，倾向西，倾角 40~50°。

3.4.4 白垩系下统白鹤洞组（K₁b）

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。上段属广钢段（K₁b²），下段属猴岗段（K₁b¹），广钢段分布于南延段南洲至东晓南路及一带，里程约为 YAK0+200~YAK9+670，猴岗段分布于广州市新客站至南洲一带，里程约为YAK0+200~YAK9+670，岩性为暗褐红~褐红、棕红夹青灰色泥质粉砂（泥）岩，局部夹有燕山期花岗岩侵入体。

3.4.5 白垩系上统三水组（K₁S）

本组属内陆湖泊相为主的粗砂~细砂屑碳酸盐建造，与下伏白鹤洞组呈角度不整合接触。本次勘察仅揭露到康乐段（K₁S¹），分布于线路南延段五凤乡北至跃进村南，里程约为 YAK13+200~YAK13+650。岩性为棕红色、紫红色泥质粉砂岩、细砂岩，粗砂岩。

3.4.6 浅层喷出岩（K₂λ π）

五凤乡一带分布有浅层喷出岩， 里程约 YAK9+670~YAK13+200。岩性为紫红色、紫灰色、灰色~灰白色的英安斑岩、流纹岩和泥灰岩。岩性较复杂。

3.4.7 第四系（Q）

第四系包括全新统（Q₄）、上更新统（Q₃）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（Q₄^{ml}）、海陆交互相沉积的淤泥、淤泥质土层（Q₄^{mc}）、上更新统冲

积—洪积砂层、土层 (Q_3^{al+pl})。

3.5 侵入岩

分布于广州新客站~江南西南官坑站南，里程约为YAK3+290~YAK3+600。属燕山期 (γ_5) 花岗岩体，岩性为褐黄、米黄、褐灰色花岗岩。

4、岩土工程特征

根据《广州市轨道交通二号线、八号线拆解工程可行性研究阶段岩土工程技术要求》，结合沿线岩土层的成因类型、风化状态等，将沿线分南延段、北延段（含比选线路段）分别进行岩土层划分，各段岩土层划分为九大类，各层内有必要的再细分亚层，各岩土分层及其特征如下：

4.1 南延段（广州新客站~江南西）岩土工程分层及其特征

4.1.1 人工填土层 (Q_4^{ml})

沿线人工填土层较广泛分布，主要为杂填土，少部分为素填土。颜色较杂，杂填土的组成物主要为人工堆填的粘性土、中粗砂、碎石、砖块、砼块。松散，局部地段人工填土层下存在可塑状耕植土。视电阻率 $26 \Omega \cdot m$ ，波速 $V_p=751.3m/s$ ， $V_s=208.3m/s$ 。标准贯入试验 7 次，标贯击数 2~8 击，平均 4.7 击。较广泛分布，沿线均有揭露，厚度为 0.50~4.90m，平均厚度 2.84m。本层在图表上代号为“<1>”。

4.1.2 海陆交互相沉积层 (Q_4^{mc})

本层根据土的性质和沉积层序，分为四个亚层，缺失<2-3>层。

4.1.2.1 海陆交互相淤泥、淤泥质土层

本层沿线除里程YAK1+400~YAK2+900 缺失外，广泛分布。呈深灰~灰黑色，主要由粘粒及有机质组成，局部地段含少量粉细砂、中粗砂及贝壳碎片，饱和，流塑状。视电阻率 $32 \Omega \cdot m$ ，波速 $V_p=627m/s$ ， $V_s=118.6m/s$ 。标准贯入试验 78 次，标贯击数 1~4 击，平均 1.7 击。厚度 0.50~14.05m，平均厚度 4.68m，含水量标准值 64.50%，压缩系数标准值 $a=1.41Mpa^{-1}$ ，为高压缩性土，本层在图表上代号为“<2-1>”。

4.1.2.2 海陆交互相沉积砂层

本层分布在沿线珠江河道及其两侧地段，主要为淤泥质粉砂、淤泥质细砂，呈深灰色、灰色等，组成物为粉砂、细砂，局部含少量中粗砂，含淤泥质及少量有机质，饱和，松散状。标准贯入试验 22 次，标贯击数 2~9 击，平均击数 5 击。层厚 0.60~8.20m，平均厚度 2.86m，本层在图表上代号为“<2-2>”。

4.1.2.3 海陆交互相粘性土、粉土层

本层主要为粉质粘土、粘土及粉土，呈深灰色、灰色夹灰白色，软塑~可塑状。组成物粘粒、粉粒，土质较均一，本层分布于线路局部地段，仅 12 个钻孔有揭露。标准贯入试验 12 次，标贯击数 4~9 击，平均击数 5.8 击。层厚 1.30~5.40m，平均厚度 2.86m。本层在图表上代号为“<2-4>”。

4.1.3 冲积—洪积层 (Q_3^{al+pl})

4.1.3.1 冲积—洪积粉细砂层

本层主要分布在番禺洛溪新城及南洲至东晓南路一带，仅 8 个钻孔有揭露，呈灰白、灰黄色、浅黄白色等，组成物主要为粉砂，饱和，呈松散~稍密状。视电阻率 $41 \Omega \cdot m$ ，波速

$V_p=716.5\text{m/s}$, $V_s=182.5\text{m/s}$ 。标准贯入试验 18 次, 统计样本数 16 个, 标贯击数 2~10 击, 平均击数 6.5 击。层厚 1.40~13.40m, 平均厚度 5.78m。本层在图表上代号为“<3-1>”。

4.1.3.2 冲积—洪积中粗砂层

本层主要分布在里程YAK6+60~YAK12+400 地段, 其他地段零星分布, 灰白、灰黄、灰色等, 组成物主要为中粗砂, 局部夹砾砂, 饱和, 稍密~中密, 局部松散状。视电阻率 47 $\Omega\cdot\text{m}$, 波速 $V_p=847.6\text{m/s}$, $V_s=254.6\text{m/s}$ 。标准贯入试验 43 次, 标贯击数 3~20 击, 平均击数 11.5 击。层厚 0.70~14.00m, 平均厚度 5.23m。本层在图表上代号为“<3-2>”。

4.1.3.3 冲积~洪积土层

本层主要分布在里程 YAK0+200~YAK1+300、YAK3+300~YAK6+700 和 YAK11+900~YAK13+800 地段, 浅灰、浅灰黄、灰~灰白、深灰色等, 主要由粉质粘土、粘土、粉土组成, 含少量砂粒, 可塑状, 局部为软塑状或硬塑状。标准贯入试验 24 次, 标贯击数 4~15 击, 平均击数 8.7 击。层厚 0.50~7.80m, 平均 3.12m。本层在图表上代号“<4-1>”。

4.1.3.4 河湖相淤泥质土层

沿线仅于里程 YAK4+900 的 MBZ1-S19 孔和 YAK9+350 的 MBZ1-S42 孔有揭露, 深灰色, 主要由淤泥质土组成, 含少量砂粒, 流塑状。标准贯入试验 1 次, 标贯击数 1 击, 层厚 0.50~1.40m, 平均 0.83m。本层在图表上代号为“<4-2>”。

4.1.4 坡积土层 (Q_3^{dl})

本层分布在里程 YAK1+600~YAK2+500 地段, 暗黄色, 土黄色, 由粉质粘土组成, 湿, 可塑状。标准贯入试验 1 次, 标贯击数 11 击。层厚 1.10~4.40m, 平均层厚 2.75m。本层在图表上代号为“<4-3>”。

4.1.5 残积土层 (Q^{el})

主要由红层碎屑岩、花岗岩、混合花岗岩、浅层喷出岩风化作用形成, 岩性主要为粉质粘土、粉土、粘土。按残积土层的状态和密实度可分为二个亚层。

4.1.5.1 可塑或稍密状残积土层

(1) 红层碎屑岩残积土层: 沿线分布于里程YAK0+200~YAK1+600, YAK4+150~YAK8+500、YAK13+200~YAK13+800 地段。为红层碎屑岩风化作用形成的粉质粘土、粘土、粉土组成, 褐红色、暗褐红色等, 湿, 可塑或稍密状。视电阻率 22 $\Omega\cdot\text{m}$, 波速 $V_p=759.8\text{m/s}$, $V_s=203\text{m/s}$ 。标贯击数 7~15 击, 平均击数 11.9 击。层厚 1.10~16.10m, 平均厚度 5.30m。本层在图表上代号为“<5-1>”。

(2) 浅层喷出岩残积土: 本层主要分布于沿线里程 YAK11+800~YAK12+600 地段, 为浅层喷出岩风化作用形成的粉质粘土、粘土组成, 灰绿、灰褐、紫红及灰白色等, 湿, 可塑状。标贯击数 8~13 击, 平均击数 10.8 击。层厚 1.00~6.20m, 平均厚度 3.23m。本层在图表上代号为“<5H-1>”。

4.1.5.2 硬塑或中密状残积土层

(1) 红层碎屑岩残积土层: 本层主要分布于沿线里程 YAK3+200~YAK10+500 和 YAK12+900~YAK13+800 地段, 为红层碎屑岩风化作用形成的粉质粘土、粘土、粉土组成, 褐红色、暗紫红色等, 稍湿, 硬塑状, 粉土中密状。标贯击数 16~29 击, 平均击数 22.6 击。层厚 0.70~21.30m, 平均厚度 4.26m。本层在图表上代号为“<5-2>”。

(2) 浅层喷出岩残积土: 本层主要分布于沿线里程 YAK10+80~YAK11+500 和 YAK12+100~YAK12+700 地段, 本层为浅层喷出岩风化作用形成的粉质粘土、粉土组成, 紫红夹

灰白色等。粘性土硬塑状，粉土中密状，标贯击数 17~29 击，平均击数 22.8 击。层厚 2.20~27.80m，平均厚度 10.02m。本层在图表上代号为“<5H-2>”。

(3) 混合花岗岩残积土：本层主要分布于沿线里程YAK1+600~YAK2+500 地段，主要为混合花岗岩风化作用形成的砂质粘性土组成，褐红夹灰黄色，稍湿，硬塑状，吸水崩解。视电阻率 $54 \Omega \cdot m$ ，波速 $V_p=924m/s$ ， $V_s=281.7m/s$ 。标贯击数 16~24 击，平均击数 17.9 击。层厚 1.00~4.80m，平均厚度 3.10m。本层在图表上代号为“<5Z-2>”。

4.1.6 岩石全风化带

(1) 红层岩石全风化带 (K_1)：本层主要分布于沿线里程YAK3+200~YAK5+300、YAK8+150~YAK18+600、YAK12+900~YAK13+80 地段，褐红色、暗褐红色、紫红色等，母岩主要由泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩及粗砂岩等组成，组织结构已基本风化破坏，但尚可辨认，岩芯坚硬土状或密实土状。视电阻率 $31 \Omega \cdot m$ ，波速 $V_p=1133.1m/s$ ， $V_s=372.3m/s$ 。标贯击数 30~48 击，平均击 35.4 击。层厚 0.50~11.30m，平均厚度 2.86m。本层在图表上代号为“<6>”。

(2) 英安斑岩、流纹岩、泥灰岩全风化带 ($K_2 \lambda \pi$)：本层主要分布于沿线里程YAK11+20~YAK13+50 地段，紫红夹灰白色、深灰色。母岩组织结构已基本风化破坏，但尚可辨认，岩芯呈坚硬土状或密实土状。视电阻率 $61 \Omega \cdot m$ ，波速 $V_p=1102m/s$ ， $V_s=365m/s$ 。标贯击数 31~42 击，平均击数 36.6 击。层厚 2.00~8.70m，平均厚度 4.34m。本层在图表上代号为“<6 $\lambda \pi$ >”。

(3) 混合花岗岩全风化带 (Z)：本层零星分布于 MBZ1-S10 孔（里程 YAK0+700）。褐黄、褐杂色。母岩组织结构已基本风化破坏，但尚可辨认，岩芯呈坚硬土状或密实土状。标贯

击数 38 击。层厚 2.00m。本层在图表上代号为“<6Z-2>”。

4.1.7 岩石强风化带

(1) 红层岩石强风化带 (K_1)：本层较广泛分布于里程YAK0+200~YAK1+500、YAK2+870~YAK10+700 和YAK12+900 地段，褐红色、暗褐红色、紫红色等，主要由泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩及粗砂岩等组成，岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈岩状或半岩半土状，岩质较软，失水碎裂。视电阻率 $19 \Omega \cdot m$ ，波速 $V_p=1356.6m/s$ ， $V_s=502.7m/s$ 。标准贯入试验 28 次，统计 11 次，标贯击数 52~85 击，平均击数 59.3 击，其中 17 次锤击反弹。层厚 0.50~10.90m，平均厚度 4.15m。本层在图表上代号为“<7>”，

(2) 英安斑岩、泥灰岩强风化带 ($K_2 \lambda \pi$)：本层分布于里程YAK10+700~YAK13+100 地段，紫灰色、紫红间灰白色，深灰色。本层主要分布在东晓南路及五凤乡一带。岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙发育，岩体破碎，岩芯呈半岩半土状，岩质较软，标贯击数 55~58 击，平均 56.5 击，其中 17 次锤击反弹。层厚 0.60~16.40m，平均厚度 7.02m。本层在图表上代号为“<7 $\lambda \pi$ >”。

(3) 花岗岩强风化带 (γ_5)：本层仅分布于MBZ1-S12、MBZ1-S13 孔（里程YAK3+200~YAK3+550 地段），褐黄、褐杂色，岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈半岩半土状，岩质较软，遇水崩解。波速 $V_p=1040m/s$ ， $V_s=517.5m/s$ 。标准贯入落在岩块上而反弹，层厚 2.20~4.80m，平均厚度 3.50m。本层在图表上代号为“<7H>”。

(4) 混合花岗岩强风化带 (Z)：本层分布于 MBZ1-S06（里程 YAK1+700）地段，褐

黄、灰褐色，岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈半岩半土状，岩质较软，遇水崩解。标准贯入落在岩块上而反弹，层厚 3.50~6.90m，平均厚度 4.87m。本层在图表上代号为 “<7Z-2>”。

4.1.8 岩石中风化带

(1) 红层岩石中风化带 (K_1)：本层广泛分布于里程YAK1+200~YAK1+500、YAK2+900~YAK10+700 和YAK12+900~YAK13+500 地段，棕红色、暗褐红色、紫红色等，主要由泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩及粗砂岩等组成，陆源碎屑结构，厚层状构造，泥质及钙质胶结，岩体稍破碎，岩芯短柱状，少量呈碎块状，岩质稍硬，失水易龟裂。视电阻率 $22\Omega\cdot m$ ，波速 $V_p=2308.6m/s$ ， $V_s=968.5m/s$ 。层厚 0.50~24.60m，平均厚度 5.00m。本层在图表上代号为 “<8>”，

(2) 英安斑岩、流纹岩、泥灰岩中风化带 ($K_2\lambda\pi$)：本层分布于里程YAK10+700~YAK13+100地段，紫灰色、紫红间灰白色，深灰色。隐晶质结构，斑状构造，基质为隐晶质，成分主要为石英，次为斜长石，钙质胶结，裂隙较发育，岩芯呈短柱、碎块状，岩质稍硬，视电阻率 $93\Omega\cdot m$ ，波速 $V_p=2641.5m/s$ ， $V_s=1137.8m/s$ 。层厚 1.40~20.00m，平均厚度 7.43m，本层在图表上代号为 “<8 $\lambda\pi$ >”。

(3) 花岗岩中风化带 (γ_5)：本层仅分布于里程MBZ1-S12 孔 (YAK3+260)，褐黄、褐杂色，细粒花岗结构，块状构造，矿物主要为石英砂、云母、长石。岩体破碎，岩芯呈碎块状居多，岩质较硬。层厚 0.50m。本层在图表上代号为 “<8H>”。

(4) 混合花岗岩中风化带 (Z)：本层仅分布于 MBZ1-S06 (里程 YAK1+710) 和 MBZ1-S10 孔 (YAK2+700)，褐黄、杂灰色、灰褐色，花岗变晶结构，块状构造，矿物主要为石英

砂、长石、黑云母等。裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈短柱状及碎块状，岩质较硬。层厚 1.00~6.00m，平均厚度 3.50m，。本层在图表上代号为 “<8Z-2>”。

4.1.9 岩石微风化带

(1) 红层岩石微风化带 (K_1)：本层广泛分布于里程YAK0+200~YAK1+200、YAK2+900~YAK9+700 和YAK13+730 地段，棕红色、暗褐红色、紫红色等，主要由泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩及粗砂岩等组成，陆源碎屑结构，厚层状构造，泥质、铁质及钙质胶结，岩体完整，岩芯多呈长柱状，少量呈碎块状，RQD为 71~95%。岩质较硬，失水易裂。视电阻率 $429\cdot m$ ，波速 $V_p=3033.4m/s$ ， $V_s=1335.4m/s$ 。层厚 0.60~22.70m，平均厚度 6.95m。本层在图表上代号为 “<9>”。

(2) 英安斑岩微风化带 ($K_2\lambda\pi$)：本层呈透镜体状分布于钻孔MBZ1-S50 孔 (里程YAK11+420)、MBZ1-S52 (里程YAK12+000)，紫灰色、紫红间灰白色。隐晶质结构，斑状构造，基质为隐晶质，成分主要为石英，次为斜长石，钙质胶结，裂隙稍发育，岩体较完整，岩芯多呈长短柱，少量呈碎块状，RQD为 81~95%。岩质坚硬，视电阻率 $80\Omega\cdot m$ ，波速 $V_p=3875m/s$ ， $V_s=1736m/s$ 。层厚 1.10~4.00m，平均厚度 2.10m，在图表上代号为 “<9 $\lambda\pi$ >”。

(3) 混合花岗岩微风化带 (Z)：本层分布于里程 YAK1+600~YAK2+200 地段，浅灰间灰白色，花岗变晶结构，块状构造，矿物主要为石英砂、长石、黑云母等。岩芯呈柱状，局部呈碎块状，RQD 为 76%。岩质坚硬。层厚 9.20~12.40m，平均厚度 10.80m，在图表上代号为 “<9Z-2>”。

4.2 北延段（江夏~嘉禾）岩土工程分层及其特征

4.2.1 人工填土层（ Q_4^{ml} ）

本层沿线广泛分布，主要为杂填土，次为素填土，局部为耕植土。颜色较杂，组成物主要为人工堆填的粘性土、中粗砂、碎石、砖块、砼块。松散~稍压实。波速 $V_p=782.3\text{m/s}$ ， $V_s=217.5\text{m/s}$ 。厚度为0.50~3.60m，平均厚度1.94m。本层在图表上代号为“<1>”。

4.2.2 海陆交互相沉积层（ Q_4^{mc} ）

本线路位于广州市北郊，地貌属广花冲积盆地，本层缺失。

4.2.3 冲积—洪积层（ Q_3^{al+pl} ）

4.2.3.1 冲积—洪积粉细砂层

本层仅分布于MBZ1-N03 孔（里程YAK23+470）和MBZ1-N08 孔（里程YAK24+780），淡黄色、浅黄白色等，组成物主要为粉砂，含少量粘粒，饱和，松散状。视电阻率 $18\Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=700\text{m/s}$ ， $V_s=180\text{m/s}$ 。标贯击数5击。层厚1.70m。本层在图表上代号为“<3-1>”。

4.2.3.2 冲积—洪积中砂层

本层沿线呈透镜体分布于里程YAK23+470、YAK24~470、YAK24+940~YAK24~350、YAK26+100、YAK26+500、YAK27+400 地段，灰白色、灰黄色、灰色等，组成物主要为中砂、粗砂，饱和，普遍呈稍密~中密，局部松散，视电阻率 $27\Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=705\text{m/s}$ ， $V_s=192\text{m/s}$ 。标准贯入试验8次，标贯击数3~18击，平均10击。层厚1.00~2.80m，平均厚度1.75m。本层在图表上代号为“<3-2>”。

4.2.3.3 冲积~洪积粘性土层

本层沿线较广泛分布，仅于里程YAK26+00~YAK26+100 地段缺失，浅灰色、灰黄色、灰色、灰白色、深灰色等，主要由粉质粘土、粘土组成，含少量砂粒，可塑状，局部为软塑状或硬塑状。视电阻率 $58\Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=755.7\text{m/s}$ ， $V_s=199\text{m/s}$ 。标准贯入试验33次，标贯击数2~14击，平均为8.7击。层厚0.70~8.50m，平均厚度3.66m。本层在图表上代号“<4-1>”。

4.2.3.4 河湖相淤泥质土层（ Q_3^{al} ）

本层分布于里程YAK23+100~YAK24+900 地段，黑色、灰黑色，由泥质、粘粒及有机质组成，饱和，流塑状，层厚1.10~2.60m，平均厚度1.73m。标准贯入试验3次，标贯击数3~4击，平均3.3击。含水量为52.9%，孔隙比为1.408，压缩系数为 0.90MPa^{-1} ，压缩模量为2.67MPa，固结系数为 $0.382\text{cm}^2/\text{s}\times 10^{-3}$ ，属高压缩性土。本层在图表上代号为“<4-2>”。

4.2.4 坡积土层（ Q_3^{dl} ）

本层缺失。

4.2.5 残积土层（ Q^e ）

主要由二迭系下统碎屑岩风化作用形成，岩性主要为粉质粘土、粘土。按残积土层的状态和密实度可分为二个亚层。

4.2.5.1 可塑或稍密状残积土层：本层沿线较广泛分布于里程YAK23+100~YAK26+00，YAK27+190 地段，为泥质（泥炭质）粉砂岩、炭质页岩夹薄层炭质灰岩风化作用形成的粉质粘土、粘土组成，灰黑色、黑色、紫红、灰白等色。视电阻率 $51\Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=765\text{m/s}$ ， $V_s=216.55\text{m/s}$ 。湿，可塑状，标准贯入试验21次，标贯击数5~14击，平均击数10.1击。揭露层厚1.00~24.90m，平均揭露厚度7.46m。本层厚度变化大，于MBZ1-N03 孔（里程YAK23+470）钻至孔深50m仍未揭穿该层。本层在图表上代号为“<5-1>”。

4.2.5.2 硬塑或中密状残积土层：本层沿线广泛分布于里程YAK22+900~YAK23+500、YAK24+00~YAK25+100、YAK25+400~YAK25+800、YAK26+300~YAK26+600 地段，为泥质（泥炭质）粉砂岩风化作用形成的粉质粘土、粘土组成，浅红、褐黄、浅灰白及灰黑等色，稍湿，硬塑状，视电阻率 $125\ \Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=856.7\text{m/s}$ ， $V_s=379\text{m/s}$ 。标准贯入试验 38 次，标贯击数 12~32 击，平均击数 20.4 击。揭露层厚 2.85~33.00m，平均层厚 9.80m，本层在图表上代号为“<5-2>”。

4.2.6 岩石全风化带（P_{1q}）

主要由二迭系栖霞组碎屑岩风化作用形成，按岩石组成物成分可分为二个亚层。

（1）泥质粉砂岩、炭质页岩全风化带：本层沿线较广泛分布于里程YAK22+900、YAK24+00、YAK25+300、YAK26+00~YAK27+200 地段，黑色、灰黑色等，母岩主要由泥质粉砂岩、泥炭质粉砂质、炭质页岩等组成，组织结构已基本风化破坏，但尚可辨认，岩芯呈坚硬土状或密实土状。视电阻率 $68\ \Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=1104.3\text{m/s}$ ， $V_s=365.2\text{m/s}$ 。标准贯入试验 10 次，标贯击数 31~48 击，平均击数 37.0 击，层厚 1.90~6.25m，平均厚度 3.15m。本层在图表上代号为“<6>”。

（2）泥质灰岩全风化带：本层在沿线零星分布，主要在里程YAK23+950 地段，灰黑色，母岩主要为泥质灰岩，组织结构已基本风化破坏，但尚可辨认，岩芯呈密实土状。视电阻率 $68\ \Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=1074.5\text{m/s}$ ， $V_s=353\text{m/s}$ 。标准贯入试验 1 次，击数 38 击，层厚 4.70m。本层在图表上代号为“<6c>”。

4.2.7 岩石强风化带（P_{1q}）

主要为二迭系下统栖霞组地层，本层沿线较广泛分布于里程YAK23+950、

YAK24+960~YAK26+200、YAK26+500~YAK27+200 地段，灰黑色，岩性主要为泥质粉砂岩，少量泥炭质粉砂岩，岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈碎块状或半岩半土状，岩质较软。视电阻率 $69\ \Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=1297\text{m/s}$ ， $V_s=476.4\text{m/s}$ 。标准贯入 8 次，其中有 7 次落在岩块上而反弹，一次击数 52 击。层厚 1.50~12.60m，平均厚度 5.43m。本层在图表上代号为“<7>”。

4.2.8 岩石中风化带

（1）泥质粉砂岩中风化带（P_{1q}）：为二迭系下统栖霞组地层，本层沿线较广泛分布于里程YAK24+750~YAK26+250、YAK26+500~YAK27+200 地段，灰黑色、黑色等，岩性主要为泥质粉砂岩、含炭质粉砂岩、局部为炭质泥岩，陆源碎屑结构，薄层~中厚层状构造，岩石组织结构部分破坏，矿物成分基本未变化，裂隙较发育，泥质、铁质及钙质胶结，岩芯破碎，呈碎块状~短柱状，岩质稍硬，性脆，失水易裂。视电阻率 $52.8\ \Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=2326.7\text{m/s}$ ， $V_s=651.1\text{m/s}$ 。层厚 2.80~16.90m，平均厚度 10.25m。单轴抗压试验 4 组，天然抗压强度 8.8~37.7MPa，平均 19.50 MPa。本层在图表上代号“<8>”。

（2）灰岩中风化带（C_{2+3ht}）：本层沿线分布于里程 YAK23+100、YAK23+800~YAK24+00、YAK24+750、YAK26+350 地段，石炭系中上统壶天群地层，灰色、黑色等，岩性主要为炭质灰岩、灰岩、泥炭质页岩夹薄层灰岩，微晶质结构，薄层~中厚层状构造，岩石组织结构部分破坏，矿物成分基本未变化，有风化裂隙，岩芯较完整，呈短柱状~长短柱状及碎块状，岩质较硬。视电阻率 $86\ \Omega\cdot\text{m}$ ，波速 $V_p=2355.5\text{m/s}$ ， $V_s=973\text{m/s}$ 。层厚 0.42~3.60m，平均厚度 1.66m。单轴抗压试验 2 组，天然抗压强度 28.9~50.1MPa。本层溶洞发育，于MBZ1-N05、MBZ1-N14 号孔揭露有溶洞，洞高 0.86~1.20m。本层在图表上代号

“<8c-2>”。

4.2.9 岩石微风化带

(1) 砂（泥）岩微风化带（ P_{1q} ）：为二迭系下统栖霞组地层，本层沿线分布于里程 YAK25+00~YAK26+100、YAK26+700~YAK27+200 地段，灰黑色、黑色等，岩性主要为泥质粉砂岩、含炭质粉砂岩、局部为炭质泥岩，陆源碎屑结构，薄层~中厚层状构造，泥质、钙质胶结，胶结紧密，裂隙较发育，岩芯破碎，以碎块状为主，少量短柱状及长柱状，岩质较硬，性脆，失水易裂。岩石质量指标 RQD 值一般为 35~75%。视电阻率 $55\ \Omega\cdot m$ ，波速 $V_p=2963.1m/s$ ， $V_s=1327.1m/s$ 。揭露层厚为 4.80~17.70m，平均揭露层厚 10.09m。单轴抗压试验 4 组，天然抗压强度 17.75~31.20MPa，平均 25.40 MPa。本层在图表上代号为“<9>”。

(2) 灰岩微风化带（ C_{2+3ht} ）：为石炭系壶天群组地层，本层沿线较广泛分布于里程 YAK22+900~YAK23+100、YAK23+800、YAK23+800、YAK24+00~YAK24+750、YAK26+350 地段，岩性为泥炭质灰岩、炭质灰岩、灰岩，浅灰色，晶质结构，厚层状构造，矿物成分主要为方解石，岩质坚硬，岩芯较完整，多呈柱状，少量碎块状。岩石质量指标 RQD 值一般为 30~95%。视电阻率 $63\ \Omega\cdot m$ ，波速 $V_p=2839.4m/s$ ， $V_s=1244.1m/s$ 。揭露层厚为 2.80~24.90m，平均揭露层厚为 8.57m。单轴抗压试验 3 组，天然抗压强度 33.65~69.80MPa，平均 50.93 MPa。本层溶洞零星发育，仅于 MBZ1-N07 号孔揭露有溶洞，洞高 0.40m。本层在图表上代号为“<9C-2>”。

4.3 北延段（江夏~嘉禾）比选线路岩土工程分层及其特征

4.3.1 人工填土层（ Q_4^{ml} ）

本层沿线广泛分布，全部钻孔均有揭露，主要为杂填土，局部为耕植土。颜色较杂，组成物主要为人工堆填的粘性土、石英砂、碎石、砖块、砼块。松散~压实。厚度为 0.40~4.60m，平均厚度 2.44m。本层在图表上代号为“<1>”。

4.3.2 海陆交互相沉积层（ Q_4^{mc} ）

本线路位于广州市北郊，地貌属广花冲积盆地，本层缺失。

4.3.3 冲积—洪积层（ Q_3^{al+pl} ）

4.3.3.1 冲积—洪积粉细砂层

本层零星仅分布于 MBZ1-N19、MBZ1-N22、MBZ1-N25、MBZ1-N27（里程 BYAK23+250、BYAK24+200、BYAK24+950、BYAK25+350），橙黄色、浅灰黄色、浅黄色等，组成物主要为粉砂、粉细，含少量粘粒，饱和，松散状。标贯击数 10 击。层厚 0.70~2.60，平均厚度 1.31m。本层在图表上代号为“<3-1>”。

4.3.3.2 冲积—洪积粗砾砂层

本层沿线呈透镜体分布于里程 BYAK24+500~BYAK25+800 地段，浅橙黄色带浅灰白色、灰黄色等，组成物主要为粗砂、砾砂，次为中砂，饱和，普遍呈稍密~中密，局部松散。标准贯入试验 9 次，标贯击数 7~29 击，平均 16.4 击。层厚 1.00~7.70m，平均厚度 3.16m。本层在图表上代号为“<3-2>”。

4.3.3.3 冲积~洪积粘性土层

本层沿线广泛分布，全线钻孔均有揭露，灰黄色、褐红色、橙黄色、灰白色等，主要由粉质粘土、粘土组成，含少量砂粒，湿，可塑状或硬塑。局部地段流塑~软塑，仅见于 MBZ1-N19 及 MBZ1-N21 号孔。标准贯入试验 32 次，其中流塑~软塑地段标贯击数 1~4 击，平均为 2.5

击，其余地段标贯击数 6~18 击，平均为 12.2 击，层厚 1.25~13.90m，平均厚度 4.55m。本层在图表上代号“<4-1>”。

4.3.3.4 河湖相淤泥质土层

本层分布于里程 BYAK25+770 地段，灰色，由泥质、粘粒及有机质组成，饱和，流塑状，层厚 1.45m。本层在图表上代号为“<4-2>”。

4.3.4 坡积土层（Q₃^{dl}）

本层缺失。

4.3.5 残积土层（Q^{el}）

主要由二迭系下统碎屑岩风化作用形成，岩性主要为粉质粘土、粘土及泥炭质粉质粘土。按残积土层的状态和密实度可分为二个亚层。

4.3.5.1 可塑或稍密状残积土层：本层沿线较广泛分布，仅于里程 BYAK24+970 地段缺失，为泥质（泥炭质）粉砂岩、炭质页岩风化作用形成的粉质粘土、粘土组成，暗黄色、褐红色、灰黑色、黑色、浅灰白等色。湿，可塑状，局部呈硬塑状。标准贯入试验 25 次，标贯击数 6~18 击，平均击数 11.0 击。揭露层厚 1.00~16.90m，平均揭露厚度 7.76m。本层在图表上代号为“<5-1>”。

4.3.5.2 硬塑或中密状残积土层：本层沿线局部分布于里程 BYAK24+500、BYAK25+800、BYAK26+240 地段，为泥质（泥炭质）粉砂岩风化作用形成的粉质粘土、粘土组成，褐红带浅灰白色、深灰色、暗黄色、浅紫红色等，稍湿，硬塑状。标准贯入试验 38 次，标贯击数 13~28 击，平均击数 19.4 击。揭露层厚 0.80~21.80m，平均层厚 7.22m，本层在图表上代号为“<5-2>”。

4.3.6 岩石全风化带（P_{1q}）

主要由二迭系栖霞组碎屑岩风化作用形成，岩性为泥炭质粉砂岩、泥质粉砂岩。本层沿线路局部分布于里程 BYAK23+250、BYAK24+970~BYAK25+350、BYAK26+240 地段，黑色、暗黄色、暗灰色、浅灰白色带浅肉红色、灰色、深灰色等，母岩主要由泥炭质粉砂岩、泥质粉砂岩等组成，组织结构已基本风化破坏，但尚可辨认，岩芯呈坚硬土状或密实土状。标准贯入试验 12 次，标贯击数 30~50 击，平均击数 41.4 击，层厚 2.15~14.00m，平均厚度 6.42m。本层在图表上代号为“<6>”。

4.3.7 岩石强风化带

（1）泥（炭）质粉砂岩石强风化带（P_{1q}）：主要为二迭系下统栖霞组地层，本层沿线路局部分布于里程BYAK24+960、BYAK25+360、BYAK26+240 地段，灰黑色、深灰色，岩性主要为泥质粉砂岩，泥炭质粉砂岩，岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈碎块状或半岩半土状，岩质较软。标准贯入 3 次，标贯击数 53~76 击，平均击数为 63.3 击。层厚 1.20~5.40m，平均厚度 3.38m。本层在图表上代号为“<7>”。

（2）灰岩强风化带（C_{2+3ht}）：石炭系中上统壶天群组地层，本层沿线路局部呈透镜体分布于里程BYAK24+500~BYAK24+750 地段，灰黑色、深灰色，岩性主要为泥炭质灰岩、灰岩夹粉砂岩，岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈碎块状或半岩半土状，岩质较软。层厚 1.10~2.90m，平均厚度 2.00m。本层在图表上代号为“<7c-2>”。

4.3.8 岩石中风化带

(1) 泥质粉砂岩中风化带 (P_{1q})：为二迭系下统栖霞组地层，本层沿线零星分布于里程BYAK25+350 地段，深灰色，岩性主要为泥质粉砂岩，陆源碎屑结构，层状构造，岩石组织结构部分破坏，矿物成分基本未变化，有风化裂隙，泥质胶结，岩芯破碎，呈碎块状、饼状~短柱状，节长 4~12cm，岩石质量指标RQD=14%，采取率为 93%。岩质稍硬，性脆，失水易裂。层厚 3.55m。本层在图表上代号“<8>”。

(2) 灰岩中风化带 (C_{2+3ht})：本层沿线局部分布于里程BYAK24+500~BYAK24+970 地段，石炭系中上统壶天群地层，浅灰白色、深灰色，岩性主要为灰岩，微晶质结构，层状构造，岩石组织结构部分破坏，矿物成分基本未变化，有风化裂隙，岩芯较完整，呈短柱状~长短柱状及碎块状，岩石质量指标RQD=20~73%，采取率为 63~95%，岩质较硬。层厚 5.40~8.50m，平均厚度 6.95m。单轴抗压试验 2 组，天然抗压强度 14.80、29.80MPa。本层未揭露到溶洞。本层在图表上代号“<8c-2>”。

4.3.9 岩石微风化带

(1) 砂（泥）岩微风化带 (P_{1q})：为二迭系下统栖霞组地层，本层沿线路零星分布于里程BYAK25+350 地段，深灰色，岩性主要为泥质粉砂岩，陆源碎屑结构，层状构造，钙质胶结，胶结紧密，局部有少量风化裂隙，岩芯多破碎，以碎块状为主，少量短柱状及长柱状，节长 5~30cm，岩石质量指标RQD=17~44%，采取率为 86~90%，岩质较硬，性脆，失水易裂。揭露层厚为 7.00~ 11.00m，平均揭露层厚 9.00m。本层在图表上代号为“<9>”。

(2) 灰岩微风化带 (C_{2+3ht})：为石炭系壶天群组地层，本层沿线路较广泛分布，仅于里程BYAK24+700~BYAK24+970 地段缺失，岩性为泥炭质灰岩、硅质灰岩、灰岩，浅灰色，深灰色，浅灰白色，隐晶~微晶质结构，厚层状或块状构造，矿物成分主要为方解石，岩质坚

硬，岩芯较完整，多呈柱状，少量碎块状。岩石质量指标RQD值一般为 40~95%，采取率为 58~95%。揭露层厚为 2.80~24.90m，平均揭露层厚为 8.57m。单轴抗压试验 6 组，天然抗压强度 36.50~65.70MPa，平均 50.28 MPa。本层溶洞发育，于MBZ1-N21、MBZ1-N22、MBZ1-28、MBZ1-N29、MBZ1-N30 号孔揭露有溶洞，洞高 0.71~4.72m。本层在图表上代号为“<9C-2>”。

4.4 岩土分界线

残积土层和岩石全风化带在成因上属于岩石，但在物理力学性质指标方面具有土的特性，岩石全风化带试验结果也是按土层提供，在可挖性方面考虑，它们与岩石强风化带有明显的差别。为了工程实施的便利，本次勘察将岩土分层<7>~<9>层划分为岩层，将岩土分层<1>~<6>划分为土层。即在垂直方向上岩石强风化带的上界为岩土分界线。

4.5 不良地质及特殊岩土

4.5.1 广州新客站~江南西不良地质及特殊岩土

4.5.1.1 软土

沿线软土层为第四系海陆交互相淤泥、淤泥质土层<2-1>。其主要分布范围为珠江河两侧。厚度 0.50~14.05m，平均厚度 4.68m。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 63.8%，压缩系数标准值 $a=1.34MPa^{-1}$ ，压缩模量标准值 2.18MPa。粘聚力标准值 3.90kPa，内摩擦角标准值 4.9° 。

由于淤泥、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。

4.5.1.2 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>，本层主要分布在珠江两岸，按国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）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>、<3-1>、<3-2>砂层会产生地震液化，液化等级多为“轻微”，局部为“中等~严重”，为潜在的不良地质作用。

4.5.2 江夏~嘉禾不良地质及特殊岩土

4.5.2.1 软土

沿线软土层为第四系河湖相淤泥质土层<4-2>。其零星分布，层厚 1.10~2.60m，平均厚度 1.73m，淤泥、淤泥质土层具有含水量较高，孔隙比大，压缩性高，抗剪强度低，灵敏度高的特点，取土样一个，其土工试验结果指标为：含水量为 42.94%。压缩模量 2.67MPa。粘聚力 10.8kPa，内摩擦角 10.2°。

由于淤泥、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。

4.5.2.2 砂土液化

沿线冲洪积粉细砂层<3-1>、<3-2>，本层零星分布于局部地段，孔号分别为 MBZ1-N03、MBZ1-N10-1。按国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）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<3-1>砂层潜在“严重”液化趋势，<3-2>砂层局部产生地震液化，等级多为“轻微~中等”，为潜在的不良地质作用。

4.5.2.3 岩溶

岩溶主要发育在路线中部~北部地段。其发育范围多在石炭系地层与二迭系地层接触处。

本次勘察揭露至石灰岩溶洞的钻孔有 3 个，孔号为 MBZ1-N05、MBZ1-N07、MBZ1-N14，洞顶标高-30.50~-3.75m，埋藏深度在 19.35~44.40m，洞高 0.40~1.20m，大部分无充填物，全漏水。这些溶洞发育对桩基施工和隧道掘进影响较大，可能造成地面沉陷、突水、盾构机具塌落等工程事故。对岩溶的发育，在线路设置和工法选择中，应引起充分重视。

4.5.2.4 煤矿采空区

线路经过黄边村工业区及彭上新村，根据广州市北郊煤矿采空区资料，黄边村东约 1km 处有广州市二煤矿厂区（也即在黄边村工业区西南侧），现已全部关闭。采空区老窿对地下线隧道施工或桩基施工影响甚大。

根据“广州市华南快速干线—华南北路初设阶段工程地质勘察报告”及“电法勘探报告”，原广州第一、第二煤矿设计规模为年产 3 万吨的小型煤矿，最浅部的开采标高为-50~150m，含煤岩系主要为下叠统童子岩组，厚度为 0~6.23m，一般厚度为 1.0~1.2m，为较稳定煤层。属于深部采煤，对地铁线路影响不大。

过去一些民窑无规划乱开采浅层劣质煤，坑道分布凌乱，支护简单，废弃后造成塌陷，“广州市华南快速干线—华南北路初设阶段工程地质勘察报告”报告中的钻孔揭示 7.9~10.0m，11.6~17.4m处垂直穿过坑道后，几小时即形成约 4m²的塌陷。

因此，民窑无规划开采形成的采空区是影响地铁线路的主要问题。

本次勘察未揭露采空区老窿，有待于下一阶段勘察查明其对线路的影响。

4.5.3 江夏~嘉禾比选线路不良地质及特殊岩土

4.5.3.1 软土

沿线软土层为第四系河湖相淤泥质土层<4-2>。其零星分布，层厚 1.45m，淤泥质土层具有含水量较高，孔隙比大，压缩性高，抗剪强度低，灵敏度高的特点。

由于淤泥质土含水量高，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。

4.5.3.2 砂土液化

沿线冲洪积粉细砂层<3-1>、粗砾砂<3-2>，本层较广泛分布于线路中部地段，按国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）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<3-1>、<3-2>砂层不存在地震液化。

4.5.3.3 土洞

土洞主要发育在路线的 BYAK24+500 和 BYAK24+970 地段。其发育范围多在石炭系地层与二迭系地层接触处。本次勘察揭露土洞的钻孔有 2 个，孔号为 MBZ1-N23、MBZ1-N30，洞顶标高-22.50~-10.10m，埋藏深度在 24.10~37.40m，洞高 3.10~12.80m，MBZ1-N23 号孔土洞无充填，MBZ1-N30 号孔土洞全充填，全漏水。土洞对桩基施工和隧道掘进影响较大，可能造成地面沉陷、盾构机具塌落等工程事故。在线路设计和工法选择中，应对土洞引起充分重视。

4.5.3.4 岩溶

岩溶主要发育在路线的南部和北部地段。其发育范围多在石炭系地层。本次勘察揭露至石灰岩溶洞的钻孔有 5 个，见洞率达 42%，孔号为 MBZ1-N21、MBZ1-N22、MBZ1-N28、MBZ1-N29，洞顶标高-32.70~-1.80m，埋藏深度在 19.10~47.60m，洞高 0.40~4.72m，大部分无充填物，全漏水。这些溶洞对桩基施工和隧道掘进影响较大，可能造成地面沉陷、突水、盾构机具塌落等工程事故。对岩溶的发育，在线路设置和工法选择中，应引起充分重视。

5、水文地质条件

5.1 地下水的赋存与补给

5.1.1 地下水位

本次勘察所揭露的地下水位普遍埋藏较浅，溶洞区个别孔水位埋藏较深，稳定水位埋深为 0.15~17.40m，标高为-1.60~15.30m，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，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。

5.1.2 地下水类型

线路地下水类型按赋存方式分为第四系松散层孔隙水，层状基岩裂隙水及碳酸盐岩类裂隙溶洞水。

5.1.2.1 第四系松散层孔隙水

第四系冲积—洪积砂层为主要含水层，南延段于砂层做抽水试验 2 次，钻孔单位涌水量 0.502~1.389 l/s.m，渗透系数 8.38~8.40m/d。北延段于MBZ1-NS03 孔和MBZ1-NS07 孔进行了简易抽水试验，单孔涌水量为 0.221~0.229 l/s.m，渗透系数为 3.3~13m/d，属强透水层。根据抽水试验，单孔最大涌水量 59.5~122.7m³/d。

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。

5.1.2.2 层状基岩裂隙水

层状基岩裂隙水主要赋存在白垩系和二迭系碎屑岩及震旦系变质岩的强风化带和中风化带，二迭系地层裂隙相对较发育，裂隙充填物较少，含一定量地下水。广州新客站~江南西于

白垩系碎屑岩层做简易抽水试验 3 次，钻孔单位涌水量 0.0076~0.01 l/s.m，渗透系数 0.015~0.025m/d，属弱透水层。江夏~嘉禾于二迭系地层（于 MBZ1-NS10-1 孔中进行）进行了简易抽水试验，单孔涌水量为 0.166 l/s.m，渗透系数为 0.926m/d，该层属于弱透水层。

震旦系变质岩裂隙大部分被泥质充填，岩体大部分完整，地下水赋存条件较差，其富水性差。

5.1.2.3 碳酸盐岩类裂隙溶洞水

碳酸盐类裂隙溶洞水主要赋存在石炭系灰岩中，溶蚀裂隙和溶洞发育，本次勘察对该层进行抽水试验，孔号分别为MBZ1-NS07、MBZ1-NS14，单孔涌水量为 0.405~1.157 l/s.m，渗透系数为 112.2~135.5m/d，预测单孔最大涌水量为 608.8~814.7m³/d，水量中等~丰富。

5.1.3 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珠江河水，层状基岩裂隙水及石灰岩岩溶裂隙水主要靠第四系孔隙水的越流补给和大气降水补给。

5.2 地下水的腐蚀性

根据本次勘察所取地下水样的水质分析报告，按国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）12.2 条判别，结果表明广州新客站~江南西地下水对混凝土结构无腐蚀性，对混凝土结构中的钢筋无腐蚀性。江夏~嘉禾地下水对混凝土结构无腐蚀性，但对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性。

5.3 抽水试验与渗透系数

5.3.1 抽水试验

本次勘察对 8 个钻孔进行了稳定流简易水文地质抽水试验，广州新客站~江南西、江夏~嘉禾各有 4 个钻孔，孔号分别为 MBZ1-SS11、MBZ1-SS16、MBZ1-SS30、MBZ1-SS43、MBZ1-NS01、MBZ1-NS07、MBZ1-NS10-1、MBZ1-NS14。冲积—洪积砂层综合渗透系数为 3.3~13m/d，属强透水层。白垩系碎屑岩层裂隙渗透系数为 0.015~0.025 m/d，属弱透水层。二迭系碎屑岩层裂隙渗透系数为 0.926m/d，属弱透水层。但溶蚀裂隙渗透系数为 112.2~135.5m/d，属极强透水层。有关抽水成果图详细见附图 4。

5.3.2 渗透系数的计算公式选择

对广州新客站~江南西 MBZ1-SS11、MBZ1-SS16 和 MBZ1-SS43 号孔的淤泥或淤泥质土<2-1>及强、中风化泥质粉砂岩、泥岩<7>、<8>层，抽水试验可视为潜水完整井抽水试验，因其透水性相对较差，含水量较少，按水位恢复时间，选择公式 $K = \frac{3.5\gamma_w^2}{(H + 2\gamma_w)t} \ln \frac{s_1}{s_2}$ 计算其渗透系数数值。对广州新客站~江南西 MBZ1-SS30、MBZ1-SS43 号孔的砂层<3-2>和江夏~嘉禾 MBZ1-NS03 号孔粉砂<3-1>、中砂<3-2>、MBZ1-NS10-1 号孔的强、中风化泥炭质粉砂岩<7>、<8>层以及 MBZ1-NS07 和 MBZ1-NS14 号孔的炭质灰岩溶洞，抽水试验按承压水抽水试验，选择公式

$$K = \frac{0.366}{ms} Q \lg \frac{R}{r_w}$$
 计算其渗透系数。对江夏~嘉禾 MBZ1-NS07 号孔的中砂<3-2>层抽水试验按潜水完整井抽水试验，选择公式 $K = \frac{0.732Q}{s(2H-s)} \lg \frac{R}{r_w}$ 计算其渗透系数。各抽水试验

段岩土层、溶洞的渗透系数计算结果值见附表 7.1、 7.2。

5.3.3 渗透系数的选用

根据本次抽水试验成果、室内渗透试验资料和广州地区经验，本报告整理并建议沿线各岩土分层的渗透系数：

（1）人工填土层<1>：沿线广泛分布，主要由建筑物、垃圾夹余土、余泥组成，以松散状为主，局部稍压实，孔隙大，连通性较好，有一定透水性，渗透系数建议采用 0.5~10m/d。

（2）海陆交互相淤泥、淤泥质土层<2-1>：较广泛分布于广州新客站~江南西，普遍含粉粒，流塑状，抽水试验渗透系数为 0.014~0.111m/d，土工分析试验渗透为 0.0007~4.553m/d，建议采用 0.01~0.15m/d。

（3）海陆交互相淤泥质粉砂、细砂<2-2>：于广州新客站~江南西里程 YAK4+600+YAK8+700 地段局部分布，弱~中透水，渗透系数建议采用 1~8m/d。

（4）冲积-洪积砂层<3>：广泛分布于广州新客站~江南西里程 YAK5+100~YAK12+300 地段，江夏~嘉禾局部有分布，富水性强，大部分承压性质，但随所含粘粒的多少，其渗透性也不同，抽水试验渗透系数为 3.3~8.4m/d，建议采用 4~12m/d。

（5）冲积-洪积土层<4-1>：沿线普遍有分布，透水性差，渗透系数建议采用 0.001~0.05m/d。

（6）河湖相淤泥质土层<4-2>：分布于江夏~嘉禾局部地段，透水性较差，渗透系数建议采用 0.01~0.15m/d。

（7）残积土层<5>：沿线较广泛分布，碎屑岩类残积土层，以泥质、粘粒、粉粒为主，透

水性差，渗透系数建议采用 0.01~0.02m/d。广州新客站~江南西分布的花岗岩、混合花岗岩残积土层为砂质粘性土，渗透系数建议采用 0.1~0.5m/d。

（8）岩石全风化带<6>：沿线较广泛分布，岩石已风化成土状，裂隙已被泥质充填，透水性差。碎屑石类全风化带，以泥质和粘粒为主，渗透系数建议采用 0.02~0.05m/d。花岗岩和混合花岗岩类全风化带，含较多砂粒，渗透系数建议采用 0.1~0.5m/d。

（9）岩石强风化带<7>、中风化带<8>：风化裂隙较发育，含一定量地下水。红层泥质粉砂岩、泥岩强风化带、中风化带，广泛分布线路大部分地段，抽水试验渗透系数为 0.0052~0.018m/d，建议采用 0.005~0.02m/d。喷出岩强风化带、中风化带，建议渗透系数取 0.008~0.05m/d。江夏~嘉禾的泥炭质粉砂岩、炭质泥岩、炭质页岩强风化、中风化带裂隙宽度较大，岩石较破碎，抽水试验渗透系数为 0.926m/d，建议采用 1~5m/d。花岗岩和混合花岗岩强风化、中风化带渗透系数建议采用 1~3m/d。

（10）岩石微风化带<9>：岩石完整性较好，风化裂隙不甚发育，碎屑岩类微风化带渗透系数建议采用 0.005~0.05m/d。花岗岩和混合花岗岩微风化带渗透系数建议采用 0.001~0.005m/d。

（11）溶洞：分布于江夏~嘉禾（含比选路线），为灰岩溶洞，洞内一般无充填物，抽水试验渗透系数为 112~135.5m/d，建议采用 115~135m/d。

6 土石可挖性分级及隧道围岩分类

6.1 土石可挖性分级

根据《地下铁道、轻轨轨道交通岩土工程勘察规范》（GB5037-1999）附录 B，轨道二号线南、江夏~嘉禾沿线土石分级如下：

6.1.1 I 级松土

人工填土，海陆交互相沉积的淤泥、淤泥质土，冲积-洪积形成的砂层及河湖相的淤泥质土，即岩土分层<1>~<3>及<4-2>层，为 I 级松土。机械能全部直接铲挖满载。

6.1.2 II 级松土

冲积-洪积，残积形成的粘性土，即岩土分层<4-1>和<5>层为 II 级松土，机械需部分刨松方能铲挖满载，或可直接铲挖但不能满载。

6.1.3 III 级硬土

已风化成坚硬或密实土状的岩石全风化带划分为 III 级硬土，即岩土分层<6>层，机械需普遍刨松或部分爆破方能铲挖满载。

6.1.4 IV 级软石

岩石强风化带可划分为 IV 级软石，即岩土分层<7>层及红层<8>粉砂质泥岩。部分用爆破开挖。

6.1.5 V 级次坚石

岩石中风化带（硬质岩石）和微风化带可划分为 V 级次坚石，即岩土分层<8>~<9>层，用爆破法开挖。

6.1.6 VI 级坚石

致密石灰岩、细粒花岗岩微风化带可划分为 VI 级次坚石，即岩土分层<9>层，用爆破法开挖。

6.2 隧道围岩分类

根据《地下铁道、轻轨轨道交通岩土工程勘察规范》（GB5037-1999）4.3 条，轨道二号线江夏~嘉禾沿线隧道围岩分类如下：

6.2.1 I 类围岩

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，即岩土分层<1>~<3>层和<4-2>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。

6.2.2 II 类围岩

包括冲积-洪积及残积形成的粘性土（粉质粘土、粘土），即岩土分层<4-1>和<5>层，以及断裂破碎带。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。

6.2.3 III 类围岩

已风化成土柱状或土块状的岩石全风化带，以及岩石强风化带可划分为 III 类围岩，即岩土分层<6>和<7>层。拱部无支护时可产生较大的坍塌，侧壁有时失去稳定。

6.2.4 IV 类围岩

砂（泥）岩类中等风化带（岩土分层<8>、<8c-2>、<8H>），可划分为 IV 类围岩，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。

6.2.5 V类围岩

红层岩石（砂岩）、英安斑岩、流纹岩、泥灰岩和混合花岗岩类岩石微风化带及石灰岩类岩石微风化带(岩土分层〈9〉、〈9λ〉、〈9〉、〈9λπ〉、〈9Z-2〉、〈9C-2〉)可划分为V类围岩。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。

7 场地和地基的地震效应

7.1 工程安全等级

根据国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2002）本工程安全等级为一级。

7.2 建筑场地类别

根据国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）第4.1条的有关条文和广东省地震局对二号线广州新客站~江南西、江夏~嘉禾部分钻孔做过声波剪切波速资料，判定建筑场地类别为II类。场地土类型：广州新客站~江南西珠江冲积平原地段（里程为YAK0+189.191~YAK1+500、YAK2+700~YAK13+650）土类别为中软场地，剥蚀残丘地段（里程为YAK1+500~YAK2+700）为中硬场地，江夏~嘉禾（含比选线路）地段（里程分别为YAK22+900~YAK27+200、BYAK22+900~BYAK26+250）为中软场地。

7.3 砂土液化

按国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）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，结果表明海陆交互相粉细砂层<2-2>、冲积-洪积砂层<3-1>会

产生“严重”液化，<3-2>砂层局部会产生“轻微~中等”液化（详见附表10）。

液化砂层主要分布在广州新客站~江南西、江夏~嘉禾线路局部地段，建筑设计施工时，可根据隧道或基坑的施工工法和建筑物结构情况综合判定液化砂层对建（构）筑物的影响程度，提出抗液化措施。

7.4 软土震陷

软土主要指第四系海陆交互相淤泥、淤泥质土层<2-1>及河湖相淤泥质土层<4-2>层。广州新客站~江南西软土层主要分布在珠江两侧至东晓南路一带，分布范围较广，呈饱和、流塑状，厚度0.50~14.05m，平均厚度4.68m；江夏~嘉禾（含比选线路）缺失<2-1>层，该段软土主要指河湖相淤泥质土层<4-2>层，分布于里程YAK23+100~YAK24+900及里程BYAK25+770地段，分布范围不广，呈饱和、流塑状，厚度1.10~2.60m，平均厚度1.73m。软土含水量高，透水性差，强度低、高压缩性、高灵敏性等特征，当其受到震动时，土层结构易受破坏，抗剪强度和承载力随之大幅度降低，引起地面或建筑物下陷。

7.5 抗震设防烈度

根据国家标准《建筑物抗震设计规范》（GB50011-2001）附录A，广州地区抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.10g，地震特征周期值为0.34s。

8 岩土物理力学指标及其参数建议值

8.1 关于统计指标和参数建议值的说明

各土（岩）层物理力学性质指标统计和原位试验数据统计均是根据《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》（GB50307-1999）16.2.2 条按岩土层进行统计。各指标的标准值，按不利组合考虑；当该组合无意义时，则空缺，如统计个数不足 6 个，只提供统计平均值，异常值按 95%置信水平剔除。统计提供数据有：参与统计样本数、最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数、标准值。

本报告所列岩土参数建议值，是指为满足工程需要，根据有关规范的规定在室内试验和原位测试的基础上，利用其统计结果进一步计算、查表并结合地区经验综合判断之后，所给出的各岩土层的参数。

关于本报告室内试验和原位测试汇总表、统计表中所列的标准值和平均值的使用，特作如下说明：根据国家标准《地下铁道轻轨交通岩土工程勘察规范》（GB50307-1999）（下称“地铁勘规”）第 12.2.5 条，承载能力极限状态计算需要的岩土参数标准值，可按本报告汇总统计表中各岩土参数标准值；当设计规范另有专门规定标准值的取值方法时，按有关规范执行；正常使用极限状态计算需要的岩土参数宜采用平均值，评价岩体、土体性状需要的岩土参数应采用平均值。

8.2 岩土参数建议值

本报告所列岩土参数建议值，是在统计结果的基础上进一步计算、查表并结合钻孔资料、

勘察成果及地区经验综合判断之后给出的。各力学参数建议值见附表 3。

根据国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（下称“国标勘规”）第 14.2.5 条，以及国标《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》（GB50307-1999）16.2.3 条，承载能力极限状态计算可采用岩土参数标准值；正常使用极限状态计算需要的岩土参数宜采用平均值；评价岩体、土体性状需要的岩土参数应采用平均值。以上标准值，平均值可在各岩土层物理力学指标统计表选取，当设计规范另有专门规定标准值的取值方法时，按有关规范执行。

8.2.1 物理性质基本指标

各土层的物理性质基本指标，即天然密度，天然含水量，孔隙比是在土工结果统计成果的基础上并结合有关规范给出的经验值，提出建议值。

8.2.2 抗剪强度指标

各土层的抗剪强度指标，包括粘聚力和内摩擦角，是在土工试验结果的基础上统计出平均值。

8.2.3 压缩性指标

各土层的压缩性指标，即压缩系数、压缩模量是在土工试验结果统计出其平均值。

8.2.4 地基承载力特征值

淤泥、淤泥质土、淤泥质砂的地基承载力特征值，用统计表中的有关岩土参数的标准值，按广东省标准《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-3-2003）（下称“广东地基规范”）表 4.4.2-5 和表 4.4.3-2 查出。

海陆交互相积砂层、冲积-洪积砂层的地基承载力特征值，按“广东地基规范”表 4.4.3-2 查出。

冲积-洪积、残积的粘性土、粉土，以及岩石全风化带的地基承载力特征值，用统计表中的有关岩土参数的标准值，按“广东省地基规范”表 4.4.2-3 和 4.4.2-4 查出并结合标贯击数给出。

岩石强风化带、岩石中等风化带、岩石微风化带的地基承载力标准值，按“广东地基规范”按 4.4.1 式计算并参照表 4.4.1-2 给出。

8.2.5 桩周土、岩摩擦力特征值与桩端土、岩承载力特征值

土层、全风化带和强风化带桩周土、岩摩擦力特征值与桩端土、岩承载力特征值，用统计表中的有关岩土参数的标准值，按“广东地基规范”表 10.2.3-1 查出。

中等风化带和微风化带桩周土、岩摩擦力特征值按“广东省地基规范”第 10.2.4 条计算，并结合经验给出。

8.2.6 静止侧压力系数和土的泊松比

土的泊松比按“广东地基规范”表 4.3.11 给出，静止侧压力系数根据土的泊松比计算求出。

8.2.7 基底摩擦系数

基底摩擦系数按“广东地基规范”表 8.5.7-2 给出。

8.2.8 岩层或土层地基系数：按《铁路路基支挡结构设计规范》（TB10025-2001）附录 B 给出。

8.2.9 地基水平抗力系数的比例系数：按《广东地基规范》表 10.2.19-2 给出。

8.2.10 岩石或土体与锚固体极限摩阻力标准值按《铁路路基支挡结构设计规范》（TB10025-2001）附表 C 给出。

8.2.11 临时边坡度

临时边坡度按“地铁勘规”表 12.2.1-1 和表 12.2.1-2 并结合经验给出。

8.2.12 土石工程分级和铁路隧道围岩分类

土石工程分级和铁路隧道围岩分类按国家部标准“地铁勘规”附表 4.3.1 给出。

8.3 原位测试统计指标

8.3.1 附表 9 和附表 13 分别为各土层标准贯入汇总及统计表。

8.3.2 附表 16 和附表 17 分别为各土层电测井岩、土电性（电阻率）及岩土声波测试统计表。

8.4 室内试验统计指标

9.4.1 岩土物理力学指标

附表 4 和附表 11 为各土层土工试验汇总及统计表，附表 5 和附表 12 为各岩层岩石试验汇总及统计表。附表 15 为土的三轴剪切报告统计表。

各统计参数按“地铁勘规”第 16.2.2 条～第 16.2.3 条求得。

9.4.2 粒度分析

附表 6 和附表 14 为各砂层粒度分析汇总及统计表。

9 岩土分区及其特征

按岩土工程地质条件的不同特点，将轨道交通二号线广州新客站~江南西、江夏~嘉禾初步分为三个段（区），即广州新客站~江南西珠江冲积平原地段（里程 YAK1+500~YAK2+850.0 除外）、石壁至官坑地段（里程为 YAK1+500~YAK2+700）和江夏~嘉禾（含比选线路）广花冲积盆地地段（里程为 YAK22+900~YAK27+200），现将上述三段（区）的主要特征说明如下。

9.1 广州新客站~江南西珠江冲积平原地段（里程 YAK1+500~YAK2+850.0 除外）

9.1.1 地貌特征

本段包括广州市新客运站到石壁工业区（里程约 YAK0+200~YAK1+500）、官坑村南到跃进村（里程约 YAK2+850~YAK13+800），也即南延段整条线路除 YAK1+500~YAK2+850.0 外合为一区，均为珠江三角洲冲积平原地段。线路里程 YAK4+500~YAK4+850、YAK6+650~YAK7+050、YAK7+900~YAK8+600 地段，横穿珠江的大石水道、三支香水道、沥窖水道。所处地形高程较平坦，地面高程为 5.70~17.17m。沿线为农田、苗圃、鱼塘、珠江、城市道路和居民住宅区。

9.1.1 岩土特征

岩土特征详见 4.1 广州新客站~江南西岩土工程分层及其特征。

9.1.2 断裂特征

本段在瑞宝村附近有广三断裂通过（里程约 YAK11+510~YAK12+300），与线路呈大角度斜交。断层走向为近东西向（SEE90~100°），倾向南，倾角 40~84°，正断层特征，具平移，透水性情况不详。本次勘察未揭露断裂破碎带，有待于在下一阶段勘察中查明其对工程的影响。

9.1.3 地下水特征

（1）松散岩类孔隙水：本段海陆交互相沉积砂和冲积—洪积砂层，厚度较大，地下水丰富，补给来源充沛，与珠江河水水力联系密切，本段于砂层做抽水试验 2 次，钻孔单位涌水量 0.502~1.389 l/s.m，渗透系数 8.38~8.40m/d，属强透水层。根据抽水试验，单孔最大涌水量 59.5~122.7m³/d。本段地下水位普遍埋藏较浅，最浅 0.15m，最深 4.0m。

（2）层状基岩裂隙水：本段层状基岩裂隙水主要赋存于碎屑岩类强风化带和中风化带，根据抽水试验，钻孔单位涌水量 0.0076~0.01 l/s.m，渗透系数 0.0052~0.015m/d，属弱透水层。

（3）地下水腐蚀性

根据本段勘察所取地下水样的水质分析报告，按国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）12.2 条判别，结果表明本段地下水对混凝土结构无腐蚀性，对混凝土结构中的钢筋无腐蚀性。

9.2 石壁至官坑地段（里程为 YAK1+500~YAK2+850.0）

9.2.1 地貌特征

本段为震旦系地层组成的剥蚀残丘地段，属于丘陵地区，地势较高较陡，植被良好，风化层较厚，岩性为震旦系混合花岗岩。沿线为林区及苗圃区。

9.2.2 岩土特征

根据本段 3 个钻孔揭露的情况，把各岩土分层特简述如下：

（1）坡积土层<4-3>：暗黄色，土黄色，由粉质粘土组成，可塑状。本层主要分布在官坑

村南侧的山上，标准贯入试验 1 次，标贯击数 11 击。本次勘察仅 2 个钻孔有揭露，层厚

1.10~4.40m，平均 2.75m。

(2) 坡积层<5Z-2>：为混合花岗岩风化作用形成的砂质粘性土组成，褐红夹灰黄色，硬塑状。本层零星分布在官坑村南部的山上。标贯击数 14~24 击，平均击数 17.9 击。层厚

1.00~4.80m，平均厚度 3.10m。

(3) 混合花岗岩全风化带<6Z-2>：褐黄、褐杂色。本层零星分布在官坑村南部的山上。原岩组织结构已基本风化破坏，但尚可辨认，岩芯呈坚硬土状或密实土状。标贯击数 38 击。

层厚 2.00m。

(4) 混合花岗岩强风化带<7Z-2>：褐黄、灰褐色，岩石组织结构已大部分破坏，但尚可清晰辨认，矿物成分已显著变化，风化裂隙较发育，岩体较破碎，岩芯呈岩状夹土状，岩质较软，遇水崩解。本层零星分布在官坑村南部山上一带，仅 MBZ1-S06 这 1 个钻孔揭露。贯入因落在岩块上而反弹，层厚 3.50~6.90m，平均厚度 4.87m。

(5) 混合花岗岩中风化带<8Z-2>：褐黄、杂灰色、灰褐色，花岗变晶结构，块状构造，矿物主要为石英砂、长石、黑云母等。岩体较破碎，岩芯呈短柱状及碎块状，岩质坚硬。本层零星分布在官坑村南部山上一带，仅 MBZ1-S06 这 1 个钻孔揭露。层厚 1.00m。

(6) 混合花岗岩微风化带<9Z-2>：浅灰间灰白色，花岗变晶结构，块状构造，矿物主要为石英砂、长石、黑云母等。本层零星分布在官坑村南部山上一带，仅 MBZ1-S06 这 1 个钻孔揭露。岩芯呈柱状，局部呈碎块状，RQD 为 76%。层厚 1.00m，在图表上代号为“<9Z-2>”。

9.2.3 断裂特征

本次勘察未揭露断裂破碎带。

9.2.4 地下水特征

本段揭露的地下水位普遍埋藏较深，最浅 3.0m，最深 7.70m。

9.3 江夏~嘉禾（含比选线路）广花冲积盆地地段（里程为 YAK22+900~YAK27+200）

9.3.1 地貌特征

本段地貌属广花冲积盆地，所处地形较平坦、较开阔，地面标高 12.40~16.40m，

二号线江夏~嘉禾工程线路（含比选线路），沿线为城市道路、农田、荒地、鱼塘和住宅区。北部沿线水系发育较差，仅见 2 条流量较小的溪流。

9.3.2 岩土特征

岩土特征详见 4.2 及 4.3 节岩土工程分层及其特征。

9.3.3 断裂特征

本段线路西侧断裂发育，以北北东向和东西向断裂及其交接复合为主要构造骨架。根据煤矿井下观察，北北东向断裂与本区含煤层走向一致或稍有斜交，规模较大的断裂沿走向往往延伸数千米，断距落差几十米至两百米，断裂结构面擦痕、擦阶和滑动镜面等形迹发育、断裂具有明显的压性或压扭性质。多种形迹显示北北东向断裂构造具有多期、多阶段、多序次的活动特征。其次，近东西向扭断裂也比较发育，该组断裂往往把含煤错断、规模较大的扭断裂水平错距达 100 米。根据区域地质资料，北北东断裂组分布在线路西侧，对线路影响不大。本次勘察未揭示到该组断裂，东西向断裂对线路有一定的影响，在局部地段与线路大角度斜交(里程约 YAK24+00~YAK24+300)。

本次勘察钻孔未揭示到断层破碎带。

9.3.4 地下水特征

（1）松散岩类孔隙水：本段冲积砂层为主要含水层，厚度较大，地下水丰富，补给来源主要靠大气降水补给，地下水位升降随季节而变化。根据抽水试验，单孔涌水量为 0.221~0.229 l/s.m，渗透系数为 3.3~5.83m/d，属强透水层。本段揭露的地下水位普遍埋藏较深，最浅 0.9m，最深 17.50m（由于基岩面全漏水而造成地下水位下降）。

（2）层状基岩裂隙水：本段层状基岩裂隙水主要赋存于二迭系碎屑岩类强风化带和中风化带，栖霞组粉砂层裂隙发育，裂隙宽度较大，岩芯破碎，透水性较好。根据抽水试验，单孔涌水量为 0.166 l/s.m，渗透系数为 0.926m/d，该层属于弱透水层。

（3）碳酸盐类裂隙溶洞水：本段下伏基岩主要为壶天群组灰岩，碳酸盐类裂隙溶洞水主要赋存在石炭系石灰岩中，溶蚀裂隙和溶洞发育，根据抽水试验，单孔涌水量为 0.405~1.157 l/s.m，渗透系数为 112.2~135.5m/d，预测单孔最大涌水量为 608.8~814.7m³/d，水量中等~丰富。

（4）地下水腐蚀性

根据本段勘察所取地下水样的水质分析报告，按国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）12.2 条判别，结果表明本段地下水对混凝土结构无腐蚀性，对混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性。

10 岩土工程条件评价和工程措施建议

10.1 关于工程场地的稳定性

根据广州市基岩地质图和有关区域地质地震资料，轨道交通二号线南延段沿线经过断裂有广三断裂，该断裂仍有活动性；江夏~嘉禾沿新市~嘉禾断裂展布。就本次勘察的性质和任务而言，尚不足以判断工程场地的区域稳定性，根据国家标准《建筑抗震设计规范》，轨道交通二号线广州新客站~江南西、江夏~嘉禾按 7 度进行抗震设防。其抗震措施按建筑物的重要性和设计要求的抗震能力进行设防。

关于场地的稳定性问题，本报告建议应以广三断裂及新市~嘉禾断裂为重点进行全线地震安全性评价及进行建设场地地质灾害危险性评估。

10.2 主要不良地质作用对工程的影响

10.2.1 南延段（广州新客站~江南西）不良地质作用对工程的影响

（1）本段软土较发育，强度低，易失稳，易压缩变形。易产生地面沉降和引起建筑变形。

（2）砂层透水性较强，富水性好，强度及稳定性差，其中饱和粉细砂层会产生地震液化，对隧道施工、建筑物地基和基坑边坡稳定性有一定的影响。

（3）泥质粉砂岩及其风化残积土，遇水易软化，开挖暴露后易干裂，对隧道顶板和基坑边墙产生失稳，施工时应予注意。

（4）沿线珠江水系发育，流量大，线路三次横穿珠江水道，珠江河底软土层、松散砂层厚度大，最厚达 15.3m，层底最低标高-13.8m，隧道施工易产生下陷、涌水，对施工影响极

大。

(5) 根据《广州市基岩地质图》(1:5万)等区域地质资料可知,在瑞宝村附近有广三断裂通过(里程约YAK11+510~YAK12+300)。由于本次勘察未揭露到断裂带,其透水性情况无法判别。

10.2.2 北延段(江夏~嘉禾)不良地质作用对工程的影响

(1) 本段软土零星发育,强度低,易失稳,易压缩变形。易产生地面沉降和引起建筑变形。

(2) 砂层透水性较强,富水性好,强度及稳定性差,其中砂层会产生地震液化,对地下线隧道施工有一定的影响。

(3) 泥质(泥炭质)粉砂岩、炭质页岩及其风化残积土,遇水易软化,开挖暴露后易干裂,对隧道顶板和基坑边墙产生失稳,施工时应予注意。

(4) 路线分布有石炭系石灰岩,溶洞较为发育,地下水丰富,对隧道施工或桩基施工影响甚大。

(5) 线路经过黄边村工业区及彭上新村,根据广州市北郊煤矿采空区资料,黄边村东约1km处有广州市二煤矿厂区(也即在黄边村工业区西南侧),现已全部关闭。采空区老窿对地下线隧道施工或桩基施工影响甚大。本次勘察未揭露采空区老窿。

10.2.3 北延段(江夏~嘉禾比选线路)不良地质作用对工程的影响

(1) 本段软土零星发育,强度低,易失稳,易压缩变形。易产生地面沉降和引起建筑变形。

(2) 砂层透水性较强,富水性好,强度及稳定性差,但不会产生地震液化,对地下线隧

道施工影响有一定的影响。

(3) 泥质(泥炭质)粉砂岩、炭质页岩及其风化残积土,遇水易软化,开挖暴露后易干裂,对隧道顶板和基坑边墙产生失稳,施工时应予注意。

(4) 路线土洞、溶洞较为发育,地下水丰富,对地下线隧道施工或桩基施工影响甚大。

10.3 工程措施建议

10.3.1 广州市新客运站~江南西工程措施建议

10.3.1.1 广州市新客运站至石壁工业区段(YAK0+200~YAK1+500)

10.3.1.1.1 主要工程地质问题

(1) 本段软土较发育,强度低易失稳,易压缩变形。失水易产生地面沉降和引起建筑变形。

(2) 砂层普遍分布,透水性较强,强度及稳定性差,会产生地震液化,对地下线隧道施工有影响。

(3) 泥质粉砂(泥)岩及其风化残积土,遇水易软化,开挖暴露后易干裂,对隧道顶板或基坑边墙产生失稳,施工时应予注意。

10.3.1.1.2 工法与线路埋深设计中应注意的问题

广州市新客运站可采用明挖方案,主要岩土工程特点是砂层厚度较大,砂层上覆土层为淤泥、淤泥质土层,地下水较丰富。应采取一定的支护措施。

本段隧道若采用浅埋盾构法施工,隧道洞身经过不同岩层(围岩属I~V类),岩(土)性强度不均匀,施工时应根据详细勘察成果,将线路调至较均匀地层,避免地层硬度不均对盾

构掘进的不利影响。值得注意的是，MBZ1-S05 钻孔揭示到的岩芯比较破碎。

本段地势平坦、开阔，大部分地段为苗圃、鱼塘，基岩埋藏较浅，高架方案在岩土方面是可行的，但考虑到该段南侧为广州市客运站交通较复杂，北侧须通过剥蚀残丘，因此高架方案是不可行的。

综上所述，从规划及岩土工程方面分析，本段可采用盾构或明挖方案。

10.3.1.2 石壁工业区至官坑村南（YAK1+500~YAK2+850）

10.3.1.2.1 主要工程地质问题

本段属于剥蚀残丘地貌，岩性为混合花岗岩，其残积土遇水易崩解，对隧道顶板或基坑边墙产生失稳，施工时应予注意。本次勘察未揭示到混合花岗岩球状风化体。

由于客观原因，本段有两个钻孔未施工（孔号为 MBZ1-S08、MBZ1-S09）。此外，当时技术要求只要求按孔深钻探，钻孔没有钻至隧道底板，部分钻孔甚至还未钻至隧道顶板标高，因此，不能确定隧道洞身经过何类围岩。

10.3.1.2.2 工法与线路埋深设计中应注意的问题

本段拟采用盾构法施工，隧道洞身一小部分需经过III类围岩（里程约为 YAK2+280~YAK2+850），一部分可能在混合花岗岩中微风化带通过。如果洞身经过 V 类围岩，微风化岩岩质坚硬，隧道掘进比较困难。详勘时，应增加钻孔数量，详细查明球风化的分布、发育情况，避免地层硬度不均对盾构掘进的不利影响，可采用深度适当的深埋盾构方案。

由于该段周边建（构）筑物较少，山高林密，因此矿山法施工方案也是可行的。

综上所述，本段采用深埋盾构法或矿山法都是可行的。

10.3.1.3 官坑村南到东晓南路段（YAK2+850~YAK10+610）

10.3.1.3.1 主要工程地质问题

（1）本段软土发育，强度低易失稳，易压缩变形。失水易产生地面沉降和引起建筑变形。

（2）砂层较广泛分布，透水性较强，强度及稳定性差，会产生地震液化，对地下线隧道施工有一定的影响。

（3）泥质粉砂（泥）岩及其风化残积土，遇水易软化，开挖暴露后易干裂，对隧道顶板或基坑边墙产生失稳，施工时应予注意。

（4）线路穿越大石水道、三支香水道、珠江沥窖水道，河水急，应充分考虑潮汐影响及隧道渗漏问题。

10.3.1.3.2 工法与线路埋深设计中应注意的问题

本段主要岩土工程特点是淤泥、淤泥质土层厚度大，淤泥、淤泥质土层下覆土层为砂层，透水性较好，线路又穿越大石水道、三支香水道、珠江沥窖水道，河水急，水深 3.40~11.00m，岩土工程条件较复杂。

本段拟采用盾构法，洞身大部分经过I~III（里程约 YAK2+850~YAK8+200、YAK9+350~YAK10+610），其余为IV~V 类围岩，其中南浦到南洲段，砂层及软土广泛分布，洞身大部分切穿砂层和软土，施工时应做好防震陷措施。隧道过珠江时亦应充分做好隧道顶板防漏防塌措施。

10.3.1.4 东晓南路到跃进村段（YAK10+610~YAK13+800）

10.3.1.4.1 主要工程地质问题

（1）本段局部存在薄层软土，强度低易失稳，易压缩变形。失水易产生地面沉降和引起建筑变形。

(2) 本段局部存在砂层，透水性较强，强度及稳定性差，会产生地震液化，对地下线隧道施工有一定的影响。

(3) 本段局部泥质粉砂岩风化残积土层较厚，遇水易软化，开挖暴露后易干裂，对隧道顶板或基坑边墙产生失稳，施工时应予注意。

(4) 本段在瑞宝村附近有广三断裂通过（里程约 YAK11+510~YAK12+300）。由于本次勘察未揭露到断裂带，其透水性情况无法判别，但对隧道施工有影响。

(5) 本段从瑞宝村附近至五凤乡附近存在浅层喷出岩（里程约为 YAK10+610~YAK13+200），岩性为英安斑岩、流纹岩及泥灰岩，其风化残积土和全风化、强风化带遇水有软化、崩解现象，微风化岩强度大，岩质坚硬，天然单轴抗压强度为 35.2~54.4MPa，隧道掘进较困难，对隧道施工有较大的影响。

(6) 本段基岩普遍埋藏较深，基岩面起伏较大，对盾构法施工掘进有影响。

10.3.1.5.2 工法与线路埋深设计中应注意的问题

本段线路周边多为密集高层建筑物。沿线不良地质主要为软土、砂层及广三断裂带。

本段拟采用盾构法施工，由于基岩以喷出岩为主，微风化岩面埋藏深，风化层厚度大，围岩大部分属Ⅲ类，盾构法施工时应根据详细勘察成果，将线路调至较均匀地层，避免地层硬度不均对盾构掘进的不利影响。

10.3.2 江夏~嘉禾线路工程措施建议

10.3.2.1 江夏到江夏北段（YAK22+900~YAK24+750）

10.3.2.1.1 主要工程地质问题

(1) 本段软土稍发育，厚度不大，但强度低易失稳，易压缩变形。失水易产生地面沉降

和引起建筑变形。

(2) 砂层局部分布，透水性较强，强度及稳定性差，会产生地震液化，对地下线隧道施工有一定的影响。

(3) 炭质页岩及泥质粉砂岩风化残积土，埋藏较深，其中 MBZ1-N03 号孔还未揭穿该层，基岩面起伏较大，对桩基设计有一定的影响。

(4) 本段基岩主要为壶天群组灰岩，岩面埋藏深度不一，岩溶较发育，见溶洞率为 25%。地下水丰富，对桩基或地下线隧道施工有较大的影响。

(5) 线路经过黄边村工业区东侧及彭上新村，该地段附近存在煤矿采空区。本次勘察未揭露采空区老窿。采空区老窿对地下线隧道施工或桩基影响甚大。

10.3.2.1.2 工法与线路埋深设计中应注意的问题

本段主要岩土工程特点是基岩面起伏较大，岩溶较发育，残积土厚度较大，软土及砂层局部分布，砂层透水性好，软土易失稳，无论采用何种工法，都存在不利影响。

本段线路沿江夏村向北走向，线路经过居民住宅，楼高 3~9 层不等。

由于本段下伏基岩为壶于群组灰岩，岩溶较发育，地下水丰富。从地质条件考虑，采用线路深埋的方案是不可行的。

本段拟为高架方案，从岩土工程特性及桩基施工技术角度考虑，高架的方案是可行的。从城市规划角度考虑，高架影响沿线景观，如采用线路浅埋方案，将不可避免遇到建筑物基础，大量增加桩基托换的工作量，成本较高。

综上所述，采用高架或地下浅埋方案施工是可行的。建议在线路稳定后，逐桩进行钻探，确保每一根桩的设计有充分的地质依据。

10.3.2.2 江夏北到嘉禾段（YAK24+750~YAK27+200）

10.3.2.2.1 主要工程地质问题

（1）砂层局部分布，厚度不大，但透水性较强，强度及稳定性差，会产生地震液化，对地下线隧道施工有一定的影响。

（2）泥质粉砂岩风化残积土层，埋藏较浅，基岩面普遍埋藏较浅，但局部地段揭露有壶天群组灰岩（仅 MBZ1-N14 号孔有揭露），并揭露有溶洞，对桩基设计有一定的影响。

（3）线路经过黄边村工业区及彭上新村，该地段附近存在煤矿采空区。本次勘察未揭露采空区老窿。采空区老窿对地下线隧道施工或桩基影响甚大。

10.3.2.2.2 工法与线路埋深设计中应注意的问题

本段主要岩土工程特点是基岩面普遍埋藏较浅，但局部地段揭露有壶天群组灰岩，岩溶比较发育，残积土厚度不大，软土及砂层局部分布，砂层透水性好，软土易失稳，岩土工程条件一般。

本段线路沿江夏北工业区向北走向至嘉禾，线路经过厂区及少量居民住宅，楼房普遍为低层。

本段拟采用高架方案，从岩土工程特性及桩基施工技术角度考虑，高架的方案是可行的，但从城市规划角度考虑，高架影响沿线景观。如采用线路浅埋方案，将不可避免遇到低层建筑物基础，要增加桩基托换的工作量，成本稍高。

由于线路经过黄边村工业区及彭上新村东侧，该地段附近存在煤矿采空区老窿，钻探揭露有壶天群组灰岩（仅 MBZ1-N14 号孔有揭露），岩溶发育，地下水丰富。从地质条件考虑，采用线路深埋的方案要慎重考虑论证。无论采用何种工法，都必须详细查明地下老窿分布的具

体分布范围、岩溶发育情况，避免因老窿、岩溶突水而造成桩基失稳及隧道崩塌，同时还应详细探明地下瓦斯浓度，防止桩基或隧道开挖时发生瓦斯爆炸事故。

综上所述，采用高架方案最优，地下浅埋方案次之，不宜采用深埋方案。建议在线路稳定后，逐桩进行钻探，确保每一根桩的设计有充分的地质依据。

10.3.3 江夏~嘉禾比选线路工程措施建议（江夏至上林镇北附近，里程为 BYAK22+900~BYAK26+250）

10.3.3.1 主要工程地质问题

（1）本段软土零星发育，强度低，易失稳，易压缩变形。失水易产生地面沉降和引起建筑变形。

（2）砂层透水性较强，富水性好，强度及稳定性差，对地下线隧道施工有一定的影响。

（3）泥质（泥炭质）粉砂岩、炭质页岩及其风化残积土，遇水易软化，开挖暴露后易干裂，对隧道顶板和基坑边墙产生失稳，施工时应予注意。

（4）路线土洞、溶洞较为发育，地下水丰富，对地下线隧道施工或桩基施工影响甚大。

10.3.3.2 工法与线路埋深设计中应注意的问题

本段主要岩土工程特点是第四系残积土及风化土层母岩均为栖霞组泥（炭）质粉砂岩，厚度较大，局部地段还揭露有栖霞组泥质粉砂岩。下伏基岩全部为壶于群组灰岩，岩溶较发育。本段栖霞组地层与壶天群组地层接触处土洞较发育。软土及砂层局部分布，砂层透水性好，软土易失稳，无论采用何种工法，都存在不利影响。

本段线路沿江夏（即黄石东路江夏村牌坊与陈田村牌坊之间）向北走向至嘉禾，线路经过厂区、农田、荒地及少量居民住宅，楼房普遍为低层，但周边有白云尚城、云泉居及时代玫瑰

园等大型社区，楼房为高层。

本段拟采用高架方案，从岩土工程特性及桩基施工技术角度考虑，高架的方案是可行的，但从城市规划角度考虑，高架影响沿线景观，如采用线路浅埋方案，将不可避免遇到建筑物基础，要增加桩基托换的工作量，成本稍高。

线路经过黄边村工业区东侧（解放庄）及彭上新村东侧，该地段离存在的煤矿采空区老窿较远。本段下伏基岩均为壶天群组灰岩，土洞及岩溶较发育，地下水丰富。从地质条件考虑，采用线路深埋的方案是不可行的。无论采用何种工法，从安全角度考虑，都必须详细查明地下老窿分布的具体分布范围、岩溶发育情况，避免因老窿、岩溶突水而造成桩基失稳及隧道崩塌，同时还应详细探明地下瓦斯浓度，防止桩基或隧道开挖时发生瓦斯爆炸事故。

综上所述，采用高架方案最优，地下浅埋方案次之，不宜采用深埋方案。建议在线路稳定后，逐桩进行钻探，确保每一根桩的设计有充分的地质依据。

10.3.4 江夏~嘉禾稳定线路的选择

根据 10.3.2 节及 10.3.3 节对江夏~嘉禾两条线路工程地质的阐述，两条线路所揭示的岩土层分布基本一致，只是灰岩溶洞发育程度不一。原线路仅 MBZ1—N07 孔 25.4~25.8m 处、MBZ1—N14 孔 19.35~20.21m 处发育溶洞，而比选线路遍布溶洞，钻探所揭露的溶洞最大高度 3.7m，且较连续分布。从岩溶发育角度看，原线路优于比选线路。

原线路相对比选线路距采空区老窿和新市—嘉禾断裂较近。采空区对地铁线路的影响极大，因此有必要充分收集前期采空区资料和下一阶段勘察验证原线路是否穿过采空区。

如果通过验证资料证明原线路避开采空区，我们认为原线路方案优于比选方案，对于岩溶发育区，可以采用浅埋和高架方案避开溶洞。

10.4 下一步勘察工作建议

10.4.1 查清沿线广三断裂、新市—嘉禾断裂的活动性、规模、分布位置、产状及对地铁隧道施工的影响。

10.4.2 在初勘和详勘时，应增加勘察手段方法，如旁压试验、十字板剪切试验、静力触探试验及声波测试等勘察手段，准确查清沿线的岩土工程特征及其物理力学性质。

10.4.3 应对轨道交通二号线广州新客站~江南西、江夏~嘉禾工程建设场地进行地震安全性及地质灾害危险性评估。

10.4.4 进一步查明下伏基岩石炭系壶天群组石灰岩岩溶发育情况，必要时逐桩进行钻探。

10.4.5 增加物探工作，查明江夏~嘉禾沿线及其两侧是否存在煤矿采空区老窿位置、埋深及与线路的关系，探明地下瓦斯浓度，防止桩基或隧道开挖时发生瓦斯爆炸事故。

10.4.6 对于石壁工业区至官坑南段的剥蚀残丘，应增加钻孔数量和深度，进一步查明隧道围岩性质。

11. 其它说明

11.1 本报告坐标和高程采用广州市城建坐标和高程。

11.2 钻孔平面布置图和地质剖面图的背景资料（指地形图、线路平面图、线路断面图）由广州轨道设计总体提供。

11.3 本报告根据中国工程建设标准化协会标准《岩土工程勘察报告编制标准》（CECS99：98）和轨道交通（地铁）的性质进行编制。