

1006-2106( 1998) 03-0130-40

# 广州地铁一号线车站深基坑支护技术述评

宋 冶\*

高尔洋

马德云

(铁道部科学研究院西南分院 成都 610031)

**提 要** 广州地铁一号线全长 18.48 km,全线共设 16座车站,其中 14座车站为地下车站,施工中采用了多种深基坑支护技术。在对深基坑支护技术进行现场考察和调研的基础上,本文阐述了各车站支护结构的形式及施工方法,并分析了各种支护结构的使用效果。对适合广州地铁各类地质条件下,深基坑支护设计和施工方法作出相应结论,可供借鉴。

**主题词** 广州地铁 地下车站 深基坑 支护技术

**分类号** U231.3 文献标识码 A

## 1 概 述

广州地铁一号线西起广州钢铁厂,东至广州东站,途经荔湾区、越秀区、东山区等繁华市区,总长 18.48 km。全线共设 16座车站,其中除广钢、坑口两车站为地面车站外,余 14座车站均为地下车站。

广州地铁地处珠江冲积扇地区,沿线穿越地层软硬变化频繁,且地下水丰富。地层上部为第四系海陆交替相沉积及河流冲积等土层,如杂填土、淤泥及淤泥质土、含水砂层(粉细砂及中、粗、砾砂)、粘性土(粘土及粉质粘土)。下伏岩层为白垩系红色碎屑岩,主要为泥岩、泥质粉砂岩及粉砂岩等,其风化程度分为强风化、中风化及微风化三带。地铁一号线沿线各段地质条件差异比较大,其中黄沙至中山七路区间为珠江河谷平原,第四系土层厚达 15~20 m,黄沙和长寿路两车站以及中山七路车站西段基本处于软土层中。其余地段的第四系土层厚 5~10 m,个别地段达 15 m,车站基坑大部分处于半土半石地层中。广州地铁一号线地貌分布情况如图 1 所示。为了降低造价和便于运营,地铁一号线剖面线路采用浅埋方案。区间线路,除线路两端的芳村和天河一带因地域开阔采用明挖外,其余采用暗挖。而地下车站均采用明挖法施工(其中农讲所、公园前两车站采用盖挖逆作法),基坑开挖深度 11~22 m 不等,采用了多种深基坑支护技术。

为了研究适合广州地铁各类地质条件下深基坑支护设计与施工方法,我们结合深基坑支

\* 本文收稿日期:1998-07-07 宋 冶 副研究员 男 34岁

护研究课题,对广州地铁一号线 14座地下车站深基坑的支护结构进行了现场技术考察与调研,重点考察了上述车站的支护结构形式及其使用效果 该工作于 1995年 9月进行,现将考察与调研结果陈述于下。

## 2 各车站支护结构形式及施工方法

广州地铁一号线工程量巨大,其设计、施工均采用招投标方式进行。因此设计与施工单位多,施工方法多,这是广州地铁一号线的一大特点 全线 16座车站,设计单位 8个,施工单位 14个,监理单位 6个。由于各设计院设计风格的不同以及各区段工程地质和水文地质条件的差异,因此就形成了不同的支护结构形式和施工方法。各种支护结构形式在同一地区施工,对



图 1 广州地铁一号线地貌分区简图

支护结构设计与施工技术的发展将起到很好的促进作用,同时也为广州地铁二号线支护结构的合理选型积累了经验。

调查结果表明,全线 14座地下车站中,基坑护壁共采用了地下连续墙、人工挖孔桩、钻孔桩、旋喷桩、喷锚支护放坡以及无支护放坡等多种结构形式,支撑结构采用了横撑、预应力锚索(杆)支撑以及无支撑等形式。上述护壁及支撑间的互相组合便构成了目前地铁一号线地下车站所采用的各种支护结构形式。在基坑施工方法上,有 13座地下车站全部或部分采用敞口施工的明挖法,有两座地下车站全部或部分采用了盖挖逆作法。

2.1 护壁结构

2.1.1 地下连续墙

全线共有 4座车站采用地下连续墙,它们是芳村(北段)、黄沙、长寿路和公园前(B区),使用连续墙总延长 2 204 m,占全线地下车站护壁结构的比例为 29%。各站连续墙参数见表 1

表 1 地下连续墙结构参数

车 站 设计参数	芳村(北段)	黄 沙	长寿路	公园前(B区)
墙厚(m)	0.6	0.6	0.6	0.8
墙高(m)	18~20	19~22	22~26	25~27
墙宽(m)	5.1	6.0	6.0	6.0
配筋率	0.0063	0.0057	0.0065	0.080
嵌入深度(m)	3~5	4~6	4~5	4~5
延长(m)	866	520	560	258
基坑深度(m)	15	15~18	15	20~22
截面形式	矩形截面	矩形截面	矩形截面	矩形截面
接头形式	工字形钢板接头	锁口管接头	工字形钢板接头	工字形钢板接头
成槽方式	冲击成槽	冲击和钻抓成槽	冲击和钻抓成槽	独头钻和钻抓成槽
地层地质	全土层(粘土及粉质粘土为主)及半土半石地层	淤泥质土及厚砂层,基底以下为强、中风化岩	淤泥及粉细砂岩,基底以下为强风化粉细砂岩	开挖范围内地层为半土半石地层

2.1.2 人工挖孔桩

全线共有 10座地下车站采用人工挖孔桩,它们是花地湾(西侧)、芳村(南段)、西门口、公园前(A区北侧、C区、D区)、烈士陵园、东山口、扬箕、体育西路和体育中心,其中除西门口车站采用矩形挖孔桩外,其余 9座车站均采用圆形挖孔桩。共使用挖孔桩 3 476根,总延长 5 174 m,占全线地下车站护壁结构的比例为 58%(其中圆形挖孔桩为 52%、矩形挖孔桩为 6%)。各车站人工挖孔桩护壁结构参数见表 2

表 2 人工挖孔桩结构参数

车 站 设计 参 数	花地湾	芳村 (南段 )	中山七路	公园前 ( A区北 侧、 C区、 D区 )	烈士陵园
使用桩数 (根 )	141	189	364	570	406
桩内径 ( m)	1. 2	1. 2	1. 2	1. 2	1. 2
护壁墙厚 ( cm)	15(实)、 25(空 )	15	15	15	15
桩高 ( m)	17	15~ 19	19	20	17~ 19
配筋率	0. 0128	0. 0084	0. 0136	0. 0185	0. 0113
嵌入深度 ( m)	5	3	3. 5~ 4. 5	3. 5	3. 5
基坑深度 ( m)	11~ 12. 5	15~ 16	14~ 15	15. 5	15
截面形式	圆形截面	圆形截面	圆形截面	圆形截面	圆形截面
布置方式	空实相间	密排布置	密排布置	密排布置	密排布置
地层地质	半土半石地层 (土层厚 5~ 8 m 下部为风化 岩 )	半土半石地层 (土层厚 5~ 8 m 下部为风化 岩 )	厚淤泥和饱和 粘土,下部为粉 质粘土和强风 化砂岩	主要为半土半石 地层,部分含淤泥 和饱和砂岩	主要为半土半 石地层

续表 2 人工挖孔桩结构参数

车 站 设计 参 数	东山口	杨箕	体育西	体育中心	西门口
使用桩数 (根 )	146	394	471	411	381
桩内径 ( m)	1. 2	1. 2(1. 5)	1. 2(1. 5)	1. 2	1. 0~ 1. 3
护壁墙厚 ( cm)	15	15	15	15	15
桩高 ( m)	16~ 23	20	19~ 22. 5	20	20
配筋率	0. 0087	0. 0113	0. 0109	0. 0113	0. 0100
嵌入深度 ( m)	3. 5~ 4. 5	5	—	4. 5	3. 5~ 4. 0
基坑深度 ( m)	15	14~ 15	8~ 10	14. 5	16
截面形式	圆形截面	圆形截面	圆形截面	圆形截面	矩形截面
布置方式	桩中心距 1. 8 m	密排布置	密排布置	密排布置	密排布置
地层地质	主要为半土半 石地层	东段含淤泥和 饱和砂岩,其余 为半土半石地 层	主要为半土半 石地层	主要为半土半石 地层	主要为半土半 石地层 (上层以 粘土为主,下层 为强风化)

2.1.3 钻孔桩与旋喷桩组合结构

全线共有三座地下车站采用钻孔桩与旋喷桩组合护壁结构,它们是农讲所、东山口 (部分)

和扬箕（部分），其中前两座车站共使用钻孔桩 548根，旋喷桩 549根，总延长 841 m，占全线地下车站护壁结构的比例为 9%。其结构参数见表 3

表 3 钻孔桩与旋喷桩组合结构参数

车 站 设计参数		农讲所	东山口 (部分)	杨箕 (部分)
桩 数	钻孔桩 (根)	334	214	——
	旋喷桩 (根)	335	214	——
桩 径	钻孔桩 (m)	1. 25	1. 2	1. 2
	旋喷桩 (m)	0. 8	0. 8	0. 8
钻孔桩中心距 (m)		1. 8	1. 8	1. 8
桩高 (m)		17~ 18	16~ 23	16~ 23
配筋率		0. 0067	0. 0085	——
基坑深度 (m)		15	15	15
截面形式		圆形截面	圆形截面	圆形截面
地层地质		主要为半土半石地层	主要为半土半石地层	东段含淤泥和饱和砂岩，其余为半土半石地层

2. 1. 4 喷锚支护放坡

全线仅广州东站采用喷锚支护放坡施工，总延长 230 m，占全线地下车站护壁结构的比例为 2%。

2. 1. 5 无支护放坡

全线有三座地下车站采用无支护放坡施工，它们是花地湾（东侧）、芳村（南段）和公园前（A区），总延长 541 m，占全线地下车站护壁结构的比例为 6%。

（1）花地湾车站（东侧）

该区段因地形宽阔，采用无支护放坡施工，其中土质边坡坡度为 1∶ 1，岩石边坡坡度为 1∶ 0. 3

（2）芳村车站（南端）

该区段东侧原设计为喷锚支护放坡，施工改用无支护放坡，其中土质边坡坡度为 1∶ 1，岩石边坡坡度为 1∶ 0. 3

（3）公园前车站（A区）

该区段南侧采用无支护放坡开挖，其中土质边坡坡度为 1∶ 1，岩石边坡坡度为 1∶ 0. 3

2. 2 支撑结构

2. 2. 1 横撑结构

全线共有 11座地下车站采用横撑支撑，它们是芳村（北段）、黄沙、长寿路、中山七路、西门

口、公园前 (C区、D区)、烈士陵园、东山口、扬箕、体育西路和体育中心,其中除扬箕车站采用型钢支撑外,其他车站均采用  $\phi 600$  钢管支撑 (壁厚 10 mm) 横撑道数按受力条件设置为一至四道不等,其中长寿路车站采用四道横撑,黄沙、公园前 (C区、D区) 和扬箕车站采用三道横撑,体育西路和体育中心 (北段) 采用一道横撑,其余车站采用两道横撑 (芳村车站除外)。此外,横撑架设时普遍施加了预荷载

### 2.2.2 撑—锚组合支撑

采用撑—锚组合支撑的车站有芳村 (北段) 和体育中心 (南段)。其中芳村车站北段连续墙为一撑二、三锚,即顶部架设一道  $\phi 600$  钢管横撑,下部设置二、三道预应力锚杆 ( $\phi 35$  铬合金钢),锚杆预应力锁定为 150~250 kN。体育中心车站南段采用一撑一锚,该段原设计为二道钢管支撑方案,施工阶段经方案优化,改为下部用一道预应力锚杆取代第二道横撑,锚杆预拉力为 150 kN。

### 2.2.3 预应力锚索 (杆) 支撑

采用预应力锚索 (杆) 支撑的车站有芳村 (局部)、西门口 (部分) 和公园前 (A区)。其中,芳村车站北段连续墙局部地段采用三道  $\phi 35$  铬合金预应力锚杆支撑,其锚杆预拉力锁定为 150~300 kN,南段挖孔桩采用二道  $\phi 40$  III级螺纹钢预应力锚杆,其锚杆预应力锁定为 300 kN。西门口车站部分地段采用三道预应力高强钢丝 ( $18\phi 5$ ) 锚索支撑,其锚预拉力锁定为 300 kN。公园前车站 A区北侧采用四道预应力钢绞线 ( $3\phi 15.24$ ) 锚索支撑,预拉力为 100~200 kN。

### 2.2.4 悬臂无支撑

全线只有花地湾车站挖孔桩采用悬臂无支撑方式,同时桩顶设置纵梁。该段地质条件较好,土层较薄,基坑大部分处于强风化岩中,且基坑深度较浅,只有 11~12 m。

体育西路车站原设计也为悬臂无支撑方案,后因施工时产生较大位移并危及到邻近建筑物的安全,而改设一道横撑支撑。

## 2.3 施工方法

### 2.3.1 明挖法

全线 14 座地下车站中,共有 13 座车站的基坑全部或部分采用了敞口施工的明挖法,它们是花地湾、芳村、黄沙、长寿路、中山七路、西门口、公园前 (A区、C区和 D区)、烈士陵园、东山口、扬箕、体育西路、体育中心和广州东站,基坑开挖深度 11~18 m。

### 2.3.2 盖挖逆作法

全线 14 座地下车站中,有两座车站全部或部分采用了盖挖逆作法施工,它们是公园前 B区和烈士陵园。其中,公园前车站采用地下连续墙盖挖逆作法,基坑开挖深度 22 m;烈士陵园车站采用钻孔桩和旋喷桩组合护壁结构盖挖逆作法,基坑开挖深度 15 m。

## 3 各种支护结构的使用效果

### 3.1 地质条件的适应性

#### 3.1.1 地下连续墙

从全线 14座地下车站的调查结果来看,地下连续墙主要用在厚淤泥和饱和砂层等软土中,在粘土土层和半土半石地层中也有应用,其地质条件的适应性比较广泛。

#### 3.1.2 人工挖孔桩

从调查情况来看,人工挖孔桩用在半土半石地层中效果比较好。在淤泥和饱和砂层中也有应用,但开挖过程中均发生了涌泥、涌砂、成孔困难的问题,造成工期拖延,有些不得不改变施工方法。如杨箕车站东段软土中因成孔困难而改为钻孔桩,中山七路车站挖孔桩在通过厚砂层时增加了钢护筒护壁,两车站局部工期延误了 4~7个月。

#### 3.1.3 钻孔桩

钻孔桩对地质条件的适应性与连续墙相同,在软土和半土半石地层中均有应用。

### 3.2 施工速度

#### 3.2.1 地下连续墙

连续墙的施工速度差异比较大,这主要取决于成槽速度。从一台机组的成槽速度来看,长寿路车站软土层中挖成一个槽段,最快 4小时,最慢两天。黄沙车站基底下有中、微风化岩石的地段,挖成一个槽段一般为 2.5~5天,最慢为一个月。芳村车站半土半石地段一般 5~10天挖成一个槽段。公园前车站因连续墙槽段较深且基底下为中风化岩石,成槽速度较慢,一般 15~20天。调查表明,地层的软硬以及成槽机具是否合理配套,是影响连续施工速度的主要因素。

#### 3.2.2 人工挖孔桩

人工挖孔桩(包括矩形挖孔桩)的施工速度,各车站差异均不大,比较均衡。从一个班组(二人)的成孔速度来看,土层一般每天进尺 1m,风化岩石中两天 1m。一个桩孔(深度 18~20m)一般 20~25天可成桩。从单班速度来看,挖孔桩不如连续墙快,但挖孔桩可通过多投入劳动力增开工作面的方法提高整体速度,从调查情况来看挖孔桩整体施工速度高于地下连续墙。

#### 3.2.3 钻孔桩

钻孔桩施工速度也主要取决于地层的软硬。在农讲所车站,平均 15~16小时成孔,最慢 50小时成孔。东山口车站平均三天成孔。单从成孔速度来看,钻孔桩比较快,但由于桩间土层还需施作旋喷桩加固,因此其整体施工速度较挖孔桩慢。

### 3.3 结构性能与防水性能

#### 3.3.1 地下连续墙

在结构的整体刚性、连续性以及利用性等方面,矩形截面的地下连续墙是上述三种护壁结构中性能最好的一种。从各车站使用情况来看,连续墙均做为内衬结构主要的承载构件与内衬组合使用,内衬尺寸均予以减薄。在组合截面中,连续墙厚度为 0.6~0.8m,内衬为 0.4m。

地下连续墙的防水效果比圆形挖孔桩和钻孔桩都好,其防水的关键主要在于墙段间的接头质量。广州地铁一号线地下连续墙采用了两种接头,它们是锁口管接头和工字形钢板接头。

调查表明,工字形钢板接头的防水效果比锁口管好,且容易施工,但用钢量大。

### 3.3.2 人工挖孔桩

将人工挖孔桩与内衬组合使用,是地铁一号线地下车站设计的一大特点,可充分利用挖孔桩承载力的性能,经济效益比挖孔桩单纯用于挡土结构时好得多。从使用情况来看:

(1)在圆形挖孔桩中,圆形桩体不连续,其桩间三角区需回填混凝土找平,结构的利用性比较差。圆形挖孔桩的防水效果也比较差,在饱水地层中使用,需要采用其他辅助防水措施,如中山七路、扬箕车站均采用了高压喷桩防渗墙。在圆形挖孔桩与内衬的组合截面中,挖孔桩直径为 1.2 m,内衬厚度为 0.5 m

(2)在矩形挖孔桩中,矩形桩体连续,其桩壁面稍做处理即可直接用于内衬,结构的利用性比圆形挖孔桩好。矩形桩采用企口榫接,并且在桩间设置了橡胶止水条,其结构的整体刚性与防水效果均比圆形桩好。在矩形挖孔桩与内衬的组合截面中,矩形桩厚度为 1.0 m,内衬为 0.2 m,整个截面的材料用量比圆形挖孔桩省 24%。

### 3.3.3 钻孔桩

钻孔桩的结构性能与防水性能和圆形挖孔桩差不多,桩间需用旋喷桩堵水,并回填混凝土找平。在组合截面中,钻孔桩直径为 1.2 m,内衬厚度为 0.5 m

## 3.4 对周围环境的影响

在地下连续墙和钻孔桩的施工中,均产生大量的泥浆废料和一定的噪音及振动,容易污染环境造成公害。在城市核心地带以及施工场地狭小的场合,泥浆的处理尤为棘手,需增加专用的处理机具及设施。而在人工挖孔桩施工中,无泥浆,无噪音,无振动,符合城市环境保护的要求,容易为附近居民接受。

## 3.5 施工环境与质量管理

地下连续墙与钻孔桩均采用机械化作业,技术含量高,工人劳动强度低,施工环境好。地下连续墙与钻孔桩均为地下隐蔽结构,质量管理难度大且施工工序多,其中一个环节处理不好就可能影响后续工序的施工质量,因此质量管理比较复杂且要求严格,对施工单位的施工素质有较高的要求。人工挖孔桩施工环境最为恶劣,工人劳动强度大,且安全性低。但人工挖孔桩为明挖施工,施工质量管理比较简单。

## 3.6 材料用量与施工费用

根据调研结果,全线 14 座地下车站三种主要护壁结构的材料用量与单位成本如下:

(1)混凝土用量:按组合截面计,设厚 0.8 m 的连续墙为 1(内衬厚 0.4 m),则直径 1.2 m 的圆形挖孔桩为 1.31(内衬厚 0.5 m),厚 1.0 m 的矩形桩为 1(内衬厚 0.2 m)。

(2)钢筋用量:从主筋配筋率来看,连续墙平均为 0.0066,圆形灌注柱平均为 0.0114,矩形挖孔桩为 0.0100



(3)每立方米施工费用<sup>\*</sup>:连续墙为 2 800元,圆形挖孔桩为 1 300元(有防水要求时,需另加辅助防水费 200元),矩形挖孔桩为 1 300元,钻孔桩为 1 800元(辅助防水费另加 100元)。

可以看出,在材料用量以及施工费用上矩形挖孔桩具有很大的优越性。

对于施工方法,采用盖挖逆作法的施工费用至少比明挖法高 20% 以上。在所增加的费用中,中桩的费用占了很大的比重。

## 4 结论

(1)根据对广州地铁一号线 14座地下车站深基坑支护工程的技术考察与调研,我们认为在第四系地层中进行地铁车站深基坑施工,支护结构的设计与施工显得非常重要,支护结构的优劣不仅直接影响工程造价而且直接影响工程安全与质量。调查结果表明,广州地铁一号线 13座地下车站的深基坑支护结构的设计是可靠的,工程质量是符合要求的(长寿路车站连续墙开裂有专项调查,本文免述)。

(2)在全线地下车站所采用的护壁结构中,地下连续墙在结构的整体刚性、防水性能以及地质条件的适应性等方面优势最为突出。同时施工采用机械化作业,施工环境比较好,但造价较高。地下连续墙的施工速度取决于地质条件、机具设备及投入数量,总的说来连续墙在软土中应用具有很大的优越性,施工速度相当快。而在硬岩中,施工速度则明显降低。在全线 14座地下车站中有 4座车站全部或部分采用了地下连续墙(均为矩形截面),其总长度占全线地下车站护壁结构的比例为 25%,主要都是用在淤泥类软土及饱和砂层中,在以粘土及粉质粘土为主的全土层以及半土半石地层中也有使用。

调查表明,地下连续墙的防水效果主要取决于墙段的接头。广州地铁一号线地下连续墙采用了两种接头形式,它们是锁口管和工字形钢板接头。其中,锁口管接头用于黄沙与长寿路车站,工字形钢板接头用于芳村与公园前车站。从调查情况来看,在施工的难易性和离水效果上工字形钢板接头均明显好于锁口管接头。

(3)人工挖孔桩是地铁一号线地下车站中采用最多的一种护壁结构,全线共有 10座车站全部或部分采用了人工挖孔桩,其总长度占全线地下车站护壁结构的比例为 58% (其中圆形挖孔桩为 52%,矩形挖孔桩为 6%),主要用在半土半石地层中,淤泥和含水砂层中也有使用。人工挖孔桩的最大特点是能够充分利用国内丰富的劳动力资源,投资省,施工速度快。并且,人工挖孔桩施工完全不产生泥浆和噪音,符合城市环境保护要求,相对其他方法而言容易为附近居民接受。但从结构上看,圆形挖孔桩由于桩间不连续,使其整体刚性、防水性能均比较差,因此使得内衬截面一般较厚,在材料用量上显得很经济。而矩形挖孔桩则从构造上弥补了圆形挖孔桩的这一不足。由于桩间采用榫接咬合并设置橡胶止水条,使得矩形挖孔桩结构的整体刚性及防水能力均大大优于圆形挖孔桩。而且从接头的构造上看,矩形挖孔桩的接头防渗性能也优于地下连续墙。在材料用量上,由于矩形挖孔桩的桩壁面稍做处理即可直接用做内衬,使得矩形挖孔桩与内衬的组合截面要比圆形挖孔桩与内衬组合截面省。同时矩形挖孔桩的配筋比圆形挖孔桩合理,用钢量也比较省。从构造形式上看,矩形挖孔桩与地下连续墙完全相同,可以

\* 资料来源:(铁二院)王晋川等,广州地铁一号线工程结构自防水实录,第十一届地铁学术交流论文集,1996. 12

认为,矩形挖孔桩就是人工施作的地下连续墙。在地质条件的适应性上,人工挖孔桩在半土半石地层中的使用效果比较好,其中矩形挖孔桩比圆形挖孔桩更具有优越性,尤其是对结构有较高防水要求的情况下更是如此。而在淤泥类软土及饱水砂层等难以自稳的地层中,人工挖孔桩的使用效果较差,施工中桩孔容易发生涌泥、涌砂、坍孔的情况,应当慎用。如中山七路和杨箕车站,在淤泥和饱水砂层中施作挖孔桩时遇到了涌泥、涌砂、坍孔的难题,最后不得不改变施工方法,工期也受到延误。

(4)从调查情况来看,在稳定性较好的地层如基岩出露较高的半土半石地层中,采用间隔桩取代密排桩是成功的,可使基坑支护成本进一步降低,施工速度进一步加快。间隔桩的形式,从现场来看有空心护壁桩与实心桩间隔布置(如花地湾车站),有素混凝土桩与钢筋混凝土桩间隔布置(如烈士陵园车站),有灌注桩与旋喷桩间隔布置(在农讲所车站)。此外,在明挖区间隧道还有挖孔桩与网喷混凝土间隔布置的形式(如体一广区间南段)。调查表明,上述间隔桩结构在地质条件比较好的情况下,使用效果均比较好。

(5)钻孔桩在全线有两座车站全部或部分采用,其总长度占有护壁结构的比例为 9%。该结构施工机械化程度高,成孔速度快,但成本比较高。而且桩间一般需采用旋喷桩加固与堵水,这样将增加作业时间并使成本进一步提高。

(6)对于放坡开挖,从调查情况来看,应采用喷锚支护而不宜采用无支护的形式。广州地区雨水充沛,开挖暴露出的土层及风化岩层遇水极易失稳坍塌,其结果一是危及附近建筑物的安全,二是污染基坑施工场地延误后续施工。因此边坡必须进行适当的护壁处理。

(7)调研结果表明,支撑的作用非常明显,施工中必须按设计要求及时施设。而选择悬臂无支撑方案必须慎重,对于深基坑( $H \geq 8 \sim 10$  m)以及周围有建筑物时最好不采用。目前全线只有地质条件比较好且基坑深度不太大的花地湾车站,成功地实施了无支撑悬臂桩。而体育西路车站原设计采用的无支撑方案,因施工中发生桩体位移过大危及周围建筑物安全,不得不改为横撑支撑。从各种支撑结构的使用特点来看,钢管横撑等内支撑手段具有立即提供承载力并可重复使用的特点。但在大跨度基坑中,横撑的支承能力将下降而成本将增加。尤其是对于大跨度基坑,横撑因支承能力下降而容易产生失稳的可能性,应当予以足够的重视。目前全线已有一座车站(长寿路车站)发生了横撑失稳的情况,造成了停工。而预应力锚索(杆)支撑的最大特点就是能提供宽阔的基坑作业空间,不干扰后续施工。从使用情况来看,当采用两道以上横撑时,对后续施工干扰加大,施工难度增加,容易影响工期。这时采用预应力锚索(杆)支撑或撑一锚组合支撑具有较好的效果。

(8)在全线 14 座地下车站中,有 13 座车站全部或部分采用明挖法施工,两座车站采用了盖挖逆作法施工。明挖法作为一项传统、成熟的基坑施工技术,以其施工简单、快速、经济的特点,目前在各地的地铁车站施工中仍是首选的施工技术。明挖法的最大缺点就是对城市交通干扰太大。同时对周围环境的安全,影响也比较大。尤其是在深基坑的场合,基坑变形的控制难度较大,需要增加大量与内部结构无关的临时支撑体系来控制变形。盖挖逆作法正好与之相反,其最大优点就是对城市交通干扰远小于明挖法,并且控制基坑变形的能力强,不需要大量与内部结构无关的临时支撑,而是直接利用内部结构做为支撑,施工工艺比较合理。但盖挖逆作法作为一项新技术用于地铁工程,目前的施工成本还远高于明挖法,工期也不少于明挖法。

如果在这方面加以研究改进,相信盖挖逆作法将以其对环境干扰很小的优良的施工性能,成为我国城市地铁工程中取代明挖法的首选施工技术。目前,除广州地铁一号线有两座车站采用盖挖逆作法外,上海地铁一号线以及北京地铁复八线各有三座车站采用了盖挖逆作法。随着国力的增强,这项施工技术在内地地铁工程中已经逐渐多了起来。

## DISCUSSION ON SUPPORTING TECHNIQUE OF DEEP FOUNDATION PIT FOR STATIONS ON NO. I LINE OF GUANGZHOU METRO

SONG Ye GAO Eryang MA Deyun

Southwest Institute, China Academy of Railway Sciences

**Abstract** There are 16 stations on the No. I line of the Guangzhou Metro with a total length of 18.48 km. A lot of supporting techniques for the deep foundation pit were used in the construction of Guangzhou metro's 14 underground stations. Based on the investigation and research of these supporting techniques in construction site, the paper expounds the different mode of the supporting structures and their construction methods, and analyzes their application effects. The corresponding conclusions on the supporting design and construction methods for deep foundation pit which are suitable for different geological conditions of Guangzhou metro are also proposed.

**Keywords** Guangzhou Metro; underground station; deep foundation pit; supporting technique.

## 铁道 14 个项目列为 1998 年国家重点建设项目

国家发展计划委员会近日下达了 1998 年国家重点建设项目名单 (117 项)。其中,铁道项目 14 项。

这 14 项铁道项目是:

西安安康线

安徽芜湖长江大桥

湘黔复线及电气化

京广线电气化——京郑段,武广段

宝成复线

哈大线电气化

达万线

邯济线

南疆铁路

焦柳复线——襄石复线,石长线

成昆线电气化

横南铁路

新菏兖石复线一期工程

朔黄铁路

以上项目中,新菏兖石复线一期工程、达万线、朔黄铁路为 1998 年新增国家重点建设项目。

(兰玉供稿)