

# 香港西铁兆康站桩基工程施工工艺

李世全

(中铁十四局集团有限公司海外部 山东济南 250014)

**摘 要** 介绍香港西铁兆康站的工程地质条件、桩基工程的特点、采用的各种钻孔灌注桩施工工艺的优势与不足。

**关键词** 香港西铁 桩基工程 施工工艺

香港西铁工程自九龙半岛西部的南昌站起,至新界西南部的屯门站,全长 30 多 km。沿线共有 9 个站,依次为南昌站、美孚站、荃湾西站、锦上路站、元朗站、郎屏站、天水围站、兆康站及屯门站,如图 1 所示。兆康站又称屯门北站,距屯门约 2 km,总投资 13.86 亿港元,它是西铁沿线仅有的 2 个建在屯门河上的车站之一。兆康站主要包括:车站区、南、北接驳站、南、北高架桥、南、北连接桥及 35 区结构工程等。600 多根不同直径(0.30~2.5 m)的钻孔灌注桩构成了兆康站的基础工程。



图 1 香港西部铁路一期工程平面

## 1 兆康站工程地质条件概述

兆康站建在屯门河上,其地质钻探资料见表 1。表 1 仅为该区地层典型描述,兆康站的实际地质状况要复杂得多。坚硬的轻微风化岩石、较硬的中风化岩石及软弱的强风化岩石间互层现象十分普遍。预钻探时,有时还发现岩石之中存在因风化、侵蚀引起的空洞。钻孔灌注桩的桩底确定在岩芯获得率大于 85 %的 / 类轻微风化岩石-中风化岩面上。若出现强、弱岩层的互层现象,则应加深至稳定的 / 类岩

面上。

表 1 典型地质描述

岩层类别	地层描述		
	100~300 mm 厚混凝土 Nullah 河底板		
	灰黄色砂及灰色中-粗角砾回填层		
	中等密实,灰黑色淤泥质中砂或灰黑色淤泥(海相沉积)		
	灰色、浅褐色含粘粉砂质细-中砂(冲积相沉积)		
	剖面 A	剖面 B	剖面 C
	灰色、浅褐色完全风化安山岩	完全风化火山碎屑角砾岩	灰绿色完全风化细粒火山凝灰岩
	强风化安山岩	强风化火山碎屑角砾岩	强风化火山凝灰岩,松散,褐色粉砂夹棱角-次棱角,细-中砾火山凝灰岩碎屑
	中风化安山岩,灰色、浅黄褐色,中密节理	中风化火山碎屑角砾岩,浅黄褐色夹灰白色斑点,中密节理	中风化火山凝灰岩,灰绿色夹白色斑点,密集节理
	轻微风化安山岩,灰色、浅褐色,中-密集节理	轻微风化火山碎屑角砾岩,灰色夹白色斑点,有时有石英脉,中-密节理	轻微风化火山凝灰岩,灰绿色夹白色变质斑点,中-密集节理,节理面有石灰质浸染及钙化

## 2 兆康站的桩基工程各种成孔工艺及其优缺点

在兆康站分布着 600 多根不同直径的钻孔灌注桩,桩径有 330、600、800、1 200、1 500、1 800、2 500 mm,桩长从 10 多 m 至 80 多 m,最长的桩达 80.10 m,桩底高程为 -74.11 m。

在兆康站钻孔灌注桩的各种施工工艺中,清孔、钢筋笼绑扎、吊装钢筋笼、混凝土浇筑等工艺基本相同,主要区别在于成孔工艺。不同成孔工艺各有其优缺点。

### 2.1 振锤式全套管冲抓钻机成孔

(1)成孔工艺: 挖掘机进行初步开挖,以便安装临时钢护筒; 吊机、振锤安装、固定,并逐步压入第 1 节护筒,边用锤式抓斗挖掘,边用振锤振动、压入护筒; 安装、焊接第 2 节护筒,重复第 2 步工序,遇到孤石或风化岩石层时,则使用十字冲击锤先将其击碎; 依次连接、振动、压入其他节护筒,直至护筒下到桩端持力层为止; 挖掘完毕后,即刻测定挖掘深度,确认是否已至桩底设计高程,然后进行清孔,清孔采用内风管空气吸泥机。

(2)优点: 无需大型机械设备,成孔造价低; 若  
铁道标准设计 RAILWAY STANDARD DESIGN 2003 (4)

收稿日期:2002-12-05  
作者简介:李世全(1969—),男,工程师,1994年毕业于中国科学院新疆分院,理学硕士。

桩底设计埋深较浅,而且地层简单,无软硬岩石之间互层现象,该成孔工艺在施工进度上也有优势。

(3) 缺点: 由于采用吊机和振锤安装、固定、振动、压入钢护筒,在控制护筒的垂直度时有很大困难,随着护筒节数增多,垂直度控制也越困难,多次往复纠偏花费相当长时间;遇到软硬岩石互层时,由于使用十字冲击锤,若岩层倾斜,则会导致井孔倾斜,产生“香蕉桩”;由于多次往复使用十字冲击锤冲击岩层,使用振锤进行垂直度纠偏,使得桩端持力岩层受到扰动、破坏,在采用内风管空气吸泥机进行清孔时,很容易出现护筒底部“漏底”现象,使得清孔十分困难,甚至失败,浪费工时。

在兆康站地质状况十分复杂,坚硬的轻微风化岩石、较硬的中风化岩石及软弱的强风化岩石之间互层现象十分普遍,有时还发现岩石之中有因风化、侵蚀引起的空洞。而钻孔灌注桩的桩底持力层要求确定在稳定的Ⅰ类岩面上,故此,该成孔工艺在兆康站桩基施工中是失败的,甚至可以说是灾难性的,平均单桩工时为2.5周~3周,而且次桩率高,甚至有“香蕉桩”。

## 2.2 摇动式-附着式全套管冲抓钻机成孔

(1) 成孔工艺: 以挖掘机进行场地平整及初步开挖,以便安装摇动式-附着式装置及临时钢护筒;利用摇动装置固定、摇动钢护筒,减少护筒与周围土体之间摩阻力,边摇动、边压入,同时用锤式抓斗挖掘;安装、连接第2节护筒,重复第2步工序。遇到孤石或风化岩石层时,则使用十字冲击锤先将其击碎。由于护筒顶底都有精加工的公母接头,护筒间连接借助于内六角螺丝,则省去护筒切割、焊接;依次连接、摇动、压入其他节护筒,直至护筒下到桩端持力岩层为止;挖掘完毕后,即刻测定挖掘深度,确认已至桩底设计高程,然后进行清孔,清孔采用内风管空气吸泥机。

(2) 优点: 噪声低,振动小;由于摇动装置是附着在履带式吊机上,在摇动、压入护筒时,其位置固定,运作稳定,护筒垂直度容易控制;护筒顶底部都有精加工的公母接头,护筒间连接借助于六角螺丝,则省去护筒切割、焊接;护筒插入整个井孔,孔壁不会坍塌。

(3) 缺点: 施工需大型机械设备,全孔长护筒,要求较大场地;成孔造价较高;由于多次往复使用十字冲击锤冲击岩层,使得桩端持力岩层受到扰动、破坏,在采用内风管空气吸泥机进行清孔时,可能会出现护筒底部“漏底”现象。

该成孔工艺在兆康站桩基施工中是较成功的,平均单桩工时为4~5d,而且成桩质量较好。然而,当桩身较长时,其优越性则大大降低,当桩长超过45m时,

单桩工时增加至6~8d,当桩长超过60m时,该成孔工艺基本上不宜采用。

## 2.3 旋挖钻机成孔(德国Bauer公司BG钻机系列)

(1) 成孔工艺: 挖掘机进行初步开挖,以便安装临时钢护筒;吊机、振锤安装、固定,并压入护筒(3~6m),护筒顶要高出地面0.3~0.5m;用BG钻机系列配以尖底、平底或耙式螺旋钻头,分别进行护筒内粘土、散土及杂填土挖掘,对于黑色海相沉积淤泥,则采用筒式钻头;护筒内开挖至距筒底0.5m时,向护筒内注入膨润土泥浆,然后继续螺旋钻头或筒式钻头挖掘至岩石露头,同时要确保护筒内膨润土泥浆水头压力;岩石露头后,则采用各种筒式钻头进行风化岩石层的挖掘,如用锅底式钻头开挖软弱的强风化岩石或用滚刀式钻头开挖坚硬的轻微风化岩石或较硬的中风化岩石等;挖掘至桩底设计高程后,开始清孔,清孔采用膨润土泥浆置换法,将孔内沉渣悬浮、携带出来,再通过脱砂机将其从泥浆中分离出来,用自卸车运出工地。泥浆可以再循环利用。当膨润土泥浆的重度 $<1.10\text{ g/ml}$ ,含沙量 $<5\%$ ,pH值为8~12时,清孔完毕。

(2) 优点: 噪声低,振动小;钻进速度快,成桩时间短,当桩长不超过40m时,平均单桩工时仅为3~4d;当桩长不超过50m时,平均单桩工时为5~7d;造价低;场内施工机械移动方便;由于只有1节护筒,节省了安装、连接及纠偏时间;机械安装简单;采用膨润土泥浆护壁,不易出现坍孔及护筒底部“漏底”现象;可以钻较大深度的桩孔,当桩长超过60m时,其优越性更明显;由于采用多种旋挖钻头,对于复杂地层有广泛适应性。

(3) 缺点: 当膨润土泥浆管理不当时,有时会坍孔;膨润土泥浆置换不可能绝对保证将孔内泥沙全部悬浮、携带出来,在桩孔底部有时会有残留,影响成桩质量;当地层中有承压水时,施工困难;作为端承桩,成桩检测优质桩率低(优质桩要求桩底与持力岩层间无杂物),缺陷修补工作较多。

## 2.4 复合工艺成孔

(1) 施工工艺: 全套管冲抓钻机+气举式反循环回旋钻,这种复合工艺成孔用于桩孔深度较大( $H>40\text{ m}$ ),地层十分复杂,软硬岩石互层时,其结合了2种施工工艺。用摇动式(或旋转式)-附着式全套管冲抓钻机挖掘至首层坚硬的轻微风化岩石或较硬的中风化岩石(薄层,未至桩底设计高程),临时钢护筒也下至该层;用气举式反循环回旋钻挖掘至桩底设计高程,钻头采用牙轮钻头、楔齿滚刀式、球齿滚刀式钻头

等,用空气吸泥机排除钻渣,用清水清孔。

(2) 优点: 全套管冲抓钻机的所有优点; 无须泥浆护壁; 桩端持力岩层不会受到扰动、破坏,无护筒底部“漏底”现象; 成桩质量好,优质桩率高; 可以钻较深的桩孔,适应复杂地层。

(3) 缺点: 施工需较多大型机械设备及护筒,要求较大场地; 成孔造价很高。

## 2.5 冲击回转钻机成孔(潜孔锤钻)(MUSTANGA-66 系列)

冲击回转钻机用于兆康站的各种小直径钻孔灌注桩施工,如北高架桥 74 号墩的 12 根直径为 600 mm 的 H 桩;兆康站的 162 根直径为 330 mm 的小型钻孔桩。该钻机为液压控制,装配有偏心铰孔装置及潜孔锤钻。

(1) 施工工艺: 首先用反铲挖掘 2~3 m 深,除去表层障碍物,再用指定土料回填; 测量放样后,安置、固定钻机及护筒; 利用偏心铰孔装置压入第 1 节永久性钢护筒,同时进行筒内土体挖掘; 安装、焊接第 2 节永久护筒,重复工序 3,直至岩石露头; 从孔中除去偏心铰孔装置,安装潜孔锤钻,挖掘 3.7 m 的嵌岩孔槽。潜孔锤钻冲击旋转于孔底,经钻杆供给压缩空气使潜孔锤往复冲击,使刃口破岩; 挖掘至桩底设计高程后,进行清孔,对于直径为 330 mm 的小型钻孔桩,其桩径很小,在开挖时,偏心铰孔装置及潜孔锤钻均由压缩空气驱动,孔内钻渣被同时冲刷出来,即使有少许残留,在进行高压注浆时也可被带出,无须再次清孔; 对于直径为 600 mm 的 H 桩,则用空气吸泥机排除钻渣,用清水清孔。

(2) 优点: 钻进速度快,成桩时间短,平均单桩工日仅 2~3 d; 场内施工机械移动方便,机械安装简单; 至岩石露头都有永久性钢护筒,无须泥浆护壁; 不

会出现塌孔及护筒底部“漏底”现象; 可施工斜桩。

(3) 缺点: 噪声高,振动大; 孔内钻渣易于飞溅,污染环境; 埋设永久性钢护筒,成本增加。

## 3 成桩质量检测

在兆康站桩基施工中,对成桩质量检测十分严格,主要采用如下方法:超声波检测,全桩长抽芯检测,桩底与岩石界面抽芯检测,扇形超声波检测,芯样抗压强度试验及荷载试验。

(1) 超声波检测:采用四管超声波检测法,检测率为 100%,可根据管超声波检测柱状图,判断成桩混凝土的连续性及质量好坏。

(2) 全桩长抽芯检测:采用装有半合管的 3 层取芯管抽芯,钻孔直径为 100 mm,由桩顶抽芯至桩底以下入岩 700~800 mm,抽测率为 3%。

(3) 桩底与岩石界面抽芯检测:用取样钻机,在预埋的直径为 100 mm 的超声波管内钻孔抽芯,孔径为 77 mm,由超声波管底至入岩 700~800 mm,用以观察桩底与岩石界面的结合状况,抽测率为 3%。

(4) 扇形超声波检测:在桩底与岩石界面抽芯检测或全桩长抽芯检测完成后进行,方法与超声波检测相同,只是将发射器放入直径为 100 mm 的超声波管内,直至抽芯孔底;而接收器放入其他 3 个直径为 50 mm 的超声波管内至管底。这样,可获得扇形超声波检测图,判断桩底与岩石界面的结合状况,抽测率为 3%。

(5) 芯样抗压强度试验及荷载试验:这些都是常规性的,这里不再叙述。

总之,香港西铁兆康站工程地质条件十分复杂,桩基施工质量要求很高,需要先进的设备及施工工艺。对于不同的地质条件,不同桩长、桩径的钻孔灌注桩,应采用相应的施工工艺。

## 知识窗

### 山岭铁路隧道衬砌的类型

衬砌是沿隧道开挖周边修筑的永久性支护结构物,国内采用的衬砌类型主要有以下几种。

整体式衬砌——用模筑混凝土或砌体施作的衬砌。该衬砌内轮廓形状、尺寸与截面厚度,百余年来虽经多次改变,但至今在山岭铁路隧道中仍占主导地位。

装配式衬砌——由预制构件在隧道内拼装成的衬砌。我国 1958 年曾在黔桂线张家山 1 号隧道和宝兰线 29 号隧道扩建中试用过,拼装砌块前者为 T 形,后者为半圆形,均未设螺栓连接。由于砌块接头防水问题未解决好、狭窄的洞口场地难以满足砌块预制要求、现场制造砌块精度不够和成本较高等原因,未能得到推广。

喷锚衬砌——喷锚支护用作永久衬砌时的通称,包括喷射混凝土衬砌、锚杆喷射混凝土衬砌、锚杆钢筋网喷射混凝土衬砌和喷射钢纤维混凝土衬砌。喷锚衬砌 1965 年在成昆线开始采用,现限于中等以上围岩的短隧道中应用。

复合衬砌——按新奥法原理修建隧道,用喷锚作初期支护、模筑混凝土作二次支护组合而成的衬砌,在内外 2 层支护间根据需要可设置防水层。我国首座采用复合衬砌的隧道是建成于 1979 年的皖赣线下坑隧道。

喷锚支护整体式衬砌——以喷锚支护(必要时可设钢筋网和格构拱)为施工支护的整体式混凝土减薄型衬砌。它是 20 世纪 90 年代以来,鉴于全面实行新奥法施工有困难,又无其他施工支护可使用的现实,根据国情设计的一种将喷锚施工支护作为结构受力的一部分,与整体式衬砌相结合的衬砌新形式。此种型式衬砌因厚度较以往所用整体式衬砌可减小,故称“减薄衬砌”,近年来已改名为“喷锚支护整体式衬砌”,在南昆线、内昆线等新建铁路工程中得到大量应用。

(王效良 供稿)