

澳门美高梅金殿工程大口径钻孔扩底灌注桩施工技术

李世京, 陈宏儒

(深圳市孺子牛建设工程有限公司, 广东 深圳 518026)

摘要:澳门美高梅金殿工程主楼基础为 38 根钻孔扩底灌注桩, 桩孔直径为 3 m 扩底到 4.2~4.5 m, 场地狭窄, 且是在微风化花岗岩中扩底。根据工程的具体情况, 采用贝诺特工法、反循环四翼刮刀钻头钻进、滚刀钻头钻进等组合钻进工艺, 同时采用在港澳地区限制严格的泥浆护壁钻进。为港澳地区用泥浆钻桩孔作出了典范, 且取得了良好的经济效益。

关键词:澳门美高梅金殿工程; 钻孔扩底灌注桩; 微风化花岗岩; 贝诺特工法; 四翼刮刀钻头; 滚刀钻头; 泥浆护壁

中图分类号: TU473.1⁺4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2006)12-0005-04

Construction Technique of Large Diameter Under-reamed Bored Cast-in-place Pile in Macao Meigaomei Golden Palace / LI Shi-jing, CHEN Hong-ru (Shenzhen Ruziniu Construction Engineering Co. Ltd., Shenzhen Guangdong 518026, China)

Abstract: The foundation of the main building of Macao Meigaomei Gold Palace consists of 38 under-reamed bored cast-in-place piles, the diameter of pile hole was enlarged from 3m to 4.2~4.5m in narrow light weathered granite construction field. So Benoto Method, reverse circulation drilling with quadruple-wing drag bits, drilling with roller-type cutting head and combined drilling technology was adopted as well as wall protection with mud, which is strictly districted in Hongkong and Macao. The project became an example for pile hole drilling with mud in Hongkong and Macao, and good economic result was received.

Key words: Macao Meigaomei Gold Palace project; under-reamed bored cast-in-place pile; light weathered granite; Benoto Method; quadruple-wing drag bit; roller-type cutting head; wall protection with mud

美高梅金殿工程位于澳门南湾的填海区, 其主楼基础为钻孔扩底灌注桩, 桩数 38 根, 直孔段桩径 3 m, 在中风化、微风化花岗岩中扩大到 4.2~4.5 m, 桩深 70 m 左右, 最大桩深为 80.10 m。单桩混凝土灌注量平均为 431.88 m³, 最大为 510 m³。于 2005 年 6 月 1 日举行动土典礼, 钻机从 6 月 8 日开始钻孔, 9 月 30 日钻孔桩工程全部结束。

1 地质情况与施工难点

1.1 地质情况

桩孔所遇地层从上至下为:

- (1) 填充细砂层, 松散、含饱和水, 呈深灰色, 易坍塌;
- (2) 海相淤泥层, 软弱可塑, 黑灰色, 较易坍塌;
- (3) 残坡积粘土层, 可塑, 粘土含量较高, 水中浸泡 2 h 完全崩解;
- (4) 全风化花岗岩, 风化呈土状, 杂色, 土含量

约 60%, 尖棱的石英颗粒含量约 40%, 俗称黄花砂, 所有桩孔在此层均遇到大块孤石, 质地坚硬, 钻孔极易发生孔斜, 该层层面一般在孔深 30 m 左右, 层厚 30~40 m;

(5) 中风化~微风化花岗岩, 该层层面均在 60 m 左右, 中风化与微风化穿插交替, 质地坚硬, 较难钻进, 扩底困难更大。

1.2 施工难点

桩深、径大、岩硬、孤石多等因素合成了这项工程施工技术的高难度, 比较突出的有以下几点。

(1) 护孔防塌难度大。香港附近大口径嵌岩桩的施工工艺方法, 形成了比较统一的模式, 即上部松散、软弱地层均用钢护筒隔离保护, 用贝诺特工法边下钢护筒, 边在筒内抓土, 穿过风化基岩, 直到把钢护筒下入稳定的基岩面。以下基岩孔段采用清水反循环钻进。但这套工艺方法在澳门使用困难大, 往往因为风化花岗岩中的孤石阻碍钢护筒下行, 即使

收稿日期: 2006-07-25

作者简介:李世京(1937-), 男(汉族), 湖南长沙人, 原江西省地矿局副总工程师、教授级高级工程师、国务院特殊津贴专家, 深圳市孺子牛建设工程有限公司总工程师, 探矿工程专业, 从事岩土工程施工管理工作, 广东省深圳市金田路 3037 号金中环国际商务大厦 28 楼 2801 号, (0755)33228966, shijing3777@yahoo.com.cn; 陈宏儒(1949-), 男(汉族), 陕西人, 深圳市孺子牛建设工程有限公司总经理、高级经济师, 从事岩土工程施工方面的工作, (0755)33001599, hongruchen888@yahoo.com.cn。

用冲击破碎孤石将钢护筒延伸至基岩面,而终孔后由于钢护筒超长,表面摩阻力超过起拔力,而无法拔出钢护筒,这将是巨大的经济损失。本工程按照香港方法施工,钢护筒要下 60 m 左右,十之八九可能要丢弃钢护筒,所以决定用优质泥浆护壁,即采用短护筒保护 30 m 以浅的孔段,30 m 以深则采用低密度泥浆护壁,桩孔扩底桩径大至 4.5 m,如果泥浆密度大于 1.09 kg/L,则无法完成声波井径测定,因此,必须严格调整控制泥浆参数。

(2) 孤石钻进困难。在全风化花岗岩中每桩孔均有孤石,工勘孔显示有的桩孔还有多层孤石。在有孤石的孔段不仅钻速低,而且极易造成孔斜,孔斜后会导致钻具折断,机械损坏,钻孔超径,钢筋笼下放困难等一系列问题。

(3) 场地小、设备多。美高梅工地面积为长 120 m、宽 25 m,周围被施工预应力管桩的打桩机包围。在这窄长的场地中,要摆放 6 台桩机、4 台吊车、3 台挖掘机、1 个泥浆搅拌站及 6 个储浆罐,此外还要加工钢筋笼,存放钢护筒及钻具、灌浆器具等,施工安排调度可说是见缝插针。

(4) 周围打桩强烈振动对孔壁稳定及护筒起拔带来了不利影响。

2 钻进方法

鉴于复杂的地质条件,桩基在不同孔段采用了不同的钻进方法,实践证明这种多工艺方法的组合是有效的。

2.1 松软覆盖层采用全套管钻机——贝诺特工法钻进

采用了韩国釜玛公司生产的 BM-C300 型全套管钻机,配套使用钻桩抓斗和履带吊车。

2.1.1 工艺方法

全套管钻机首先将钢护筒的底筒插入地下一定深度,用摇管机左右转动并向下压入护筒,再用钻桩抓斗抓出砂土。本工程设计钢护筒穿过填海砂层与淤泥层,进入全风化花岗岩后终止钻进作业。抓斗作业不允许超过钢护筒底口,并保留护筒内 2~3 m 土层不抓,以隔离地下水,并在护筒内注入泥浆,平衡地下水压力,供后期反循环钻机钻进使用。

2.1.2 钢护筒入孔长度限制

考虑套管钻机的提升起拔能力仅为 7400 kN,计算钢护筒自身重力与周壁摩阻力,一般入孔长度控制在 35 m 以内。护筒周壁的摩阻力并非定值,随着护筒入土时间的延长,以及周边柴油打桩机的强

力振动,摩阻力会大大超过预计值,个别情况大于 100 kN/m²。

2.1.3 挖土作业

采用 BM2750HB 型钻桩抓斗进行抓土,抓斗长度为 6741 mm,斗容量为 2.5 m³,质量 18 t。当抓斗遇到障碍物时,可下入冲锤捣碎后延伸钢护筒。因抓斗没有良好的导向,只能在钢护筒内抓土,超出钢护筒抓土,不仅容易造成桩孔超径,孔形不平顺、规整,更严重的是抓斗超出护筒后,在遇孤石时无导向作业会抓偏钻孔,引发孔内连串机械事故,而且纠偏耗费极大,这是本工程最大教训。经及时纠正超出钢护筒抓土后才扭转被动局面。

2.2 全风化花岗岩采用 RCD 反循环四翼刮刀钻头钻进

全风化花岗岩俗称黄砂,其含砂量为 30%~40%,其余为长石风化的粘土,具有强造浆性能,泥浆增粘迅速,考虑用滚刀钻头钻进容易造成钻头泥包,且钻速低,所以特意加工了四翼双腰带刮刀钻头钻进。

2.2.1 钻机

本工地上 6 台 RCD 反循环钻机,4 台韩国釜玛公司 R-300 型钻机,2 台德国 WIRTH 公司产品。R-300 型钻机性能为:钻孔直径 3000 mm;最大给进力 790 kN;最大顶升力 1270 kN;钻机质量 34 t;转速及扭矩:1 速 0~6.5 r/min、232 kN·m,2 速 0~25 r/min、58 kN·m;钻杆直径 350 mm。

2.2.2 钻头

四翼刮刀钻头的中心管选用 $\varnothing 325$ mm \times 25 mm 高强无缝钢管,上部通过法兰盘与鼓形平衡器连接,钻头总长度为 3.8 m,钻头有上下 2 个导向腰带,腰带用 30 mm 厚钢板卷制。下腰带用 4 根均布的 200 mm \times 200 mm 工字钢横撑,上方用 $\varnothing 121$ mm \times 8 mm 钢管成 30°夹角斜撑加固。下腰带焊接 4 片刮刀翼板,翼板与中心管轴成 15°夹角,使之成“犁铧形”刮削土层,翼板底成 30°坡锥角,便于切削下来的土块顺坡滑落到钻头反循环吸口,以便迅速排出孔外。刮刀 15°的正前角能使切削下来的泥条、土块沿刮刀斜面上翻动,而不被向前运动的刮刀碾入孔底形成泥垫。翼片上均开了 3 个洞眼,减少回转时冲洗液流动的阻力。

2.2.3 钻速

使用四翼刮刀钻头在全风化花岗岩中钻进,转速一般为 15 r/min,泥浆排量为 8~10 m³/min,钻压 200~300 kN,钻速可达 1.0~1.2 m/h。刮刀钻头

定心好,在土层中钻速高,但遇孤石后无法顺利通过,只好提钻更换滚刀钻进。

2.3 非均质地层及硬基岩采用滚刀钻头钻进

在风化花岗岩中常有大孤石存在,一般刮刀钻头无法克取,只能更换滚刀钻头钻进,直至终孔平均有 6.7 m 厚的基岩,均用滚刀钻头钻进。

2.3.1 钻头

Ø3 m 滚刀钻头底面装有 12 in 球齿截锥滚刀 17 只,其中边刀 5 只,中心刀 4 只,正刀 8 只。各类滚刀安装与钻头底平面夹角都不相同,中心刀轴线与水平面夹角为 10° ,边刀为 40° ,其他滚刀为 20° 。为了提高钻具的导正防斜性能,钻头上通过 Ø980 mm 大法兰盘连接鼓形导正平衡器,其上通过变径接头连接有双排气管的 Ø350 mm 钻杆。钻杆内径 300 mm,壁厚 25 mm。钻具连接如图 1 所示。



图 1 滚刀钻头及钻具连接示意图

2.3.2 钻压

该场地硬岩主要是中风化及微风化花岗岩,其抗压强度在 50 ~ 100 MPa,硬岩钻进的关键是要满足轴心压力的需求,这有赖于钻具配重器的使用。由于现场未使用足够的加重块,所以依靠钻具自重和钻机给压,850 kN 以上,钻速一般在 0.05 ~ 0.08 m/h 之间。

2.4 扩底钻进

直孔段钻进达微风化花岗岩之后,再使用扩底钻头将桩孔孔底段直径由 3 m 扩大到 4.2 ~ 4.5 m,这是本场地桩基施工费时较多的主要原因,坚硬基岩直孔钻进速度慢,扩底难度更大,扩底完成后还要调低泥浆密度至 1.09 kg/L 以下,进行超声波测孔径、孔形和孔的垂直度。

采用 2 种滚刀扩底钻头,一种是机械式的,通过钻具压力推动扩孔翼径向伸张,逐步扩大孔径。因垂直行程与扩孔翼展开直径有一定比例关系,可测量给进行程来标定桩孔扩底的直径。另一种是液压扩底钻头,通过地面液压装置,驱使扩孔翼径向展

开,当扩到规定直径后,液压回路打开,可知扩底达到设计直径。

我们对端承桩已嵌入微风化基岩再进行扩底的设计持有不同认识,扩底是端承桩的持力层承载力达不到设计荷载的前提下采用的一种辅助措施,内地扩底桩一般仅用于中风化以软的地层,如果把扩底桩当作一种普遍使用的设计模式,包括在坚硬的微风化花岗岩中仍然要求扩底,显然是对社会资源的一种浪费,并不是科学、合理的设计理念。本场地平均每孔扩底耗费 2.76 天,最长的桩孔是 7 ~ 8 天。

3 泥浆护孔技术

该场地泥浆护孔的主要层位为全风化花岗岩,具强水敏特性和高含砂率,试块在水中浸泡 2 min 即开袋解体,2 h 即完全垮塌。对于大直径钻孔,其孔壁裸露时间长,夜间不准作业,钻孔打打停停,加之场地还被柴油打桩机包围,打桩的强力振动也加大了护孔难度。

3.1 泥浆类型设计

针对地层的特点,泥浆对策是要有效抑制地层水化分散,防范与处理钻进中粘土和大量石英砂粒的侵害,维持泥浆“低密度、低粒度、低失水”的三低特性,以利于砂粒沉淀和预防泥浆粘度急骤升高。

泥浆造浆材料选用优质膨润土,并以腐植酸钾(KHm)作泥浆主处理剂,充分发挥其稀释、降粘、降失水和抑制地层中粘土物质水化分散的作用,实践证明这种“三低”泥浆在钻进中能在孔壁上形成薄而致密、韧性好的泥皮,它的滤液又因含有钾离子能达到抑制水敏性地层水化分散的作用。这种泥浆还具有良好的剪切稀释作用,在循环中粘度小,流动阻力小,便于泵送和清除泥砂,能有效保持孔底清洁,防止泥包钻头。在循环停止后,泥浆很快形成网状结构,保持了泥浆的稳定性和悬浮岩粉的能力。泥浆的配方为:1000 L 水,25 kg 优质膨润土,5 kg 纯碱,4 kg 腐植酸钾。

3.2 泥浆主要性能控制标准

为适应庞大循环量中途处理困难的实际情况,将新泥浆配制成具有预处理功能的泥浆,即这种泥浆具“三低”特性,可有效调整和恢复泥浆正常性能,提高泥浆护孔、除砂、声波测井、混凝土灌注的适应性。其性能参数如表 1 所示。

3.3 泥浆搅拌与储备

现场有 2 台自行设计的 3 m³ 四轴立式搅拌机。泥浆搅拌依配方按淡水→纯碱→膨润土→KHm 的

表1 桩孔施工用泥浆主要性能参数

泥浆类型	密度/(kg·L ⁻¹)	粘度/s	失水量/(mL·30 min ⁻¹)	pH值	含砂量/%	胶体率/%	稳定性
预处理新泥浆	1.008~1.01	16~17	≤25	9~10	0	100	<0.01
钻进泥浆	≤1.25	<40	≤45	7~8	<8.0	>96	<0.02
清孔测井泥浆	<1.10	18~22	≤30	7.5~8.5	<2.0	100	<0.01

投料顺序,边搅拌边加料,加完料后再搅拌 10 min,搅好的泥浆送入 6 个相互连通的泥浆箱陈化备用。泥浆储备箱容量为 200 m³。搅拌站每小时可生产 24 m³ 泥浆,可满足 6 台钻机生产需要。

由于工地狭窄,将 3 根桩孔的钢护筒抓空后作地下泥浆库。每个地库容量可达 200 m³,3 个地库储存量可达 600 m³,既可储备新浆,又可回收桩孔灌注混凝土时顶出的好泥浆。

3.4 泥浆循环与净化除砂

因地面不能挖池开沟建造泥浆循环系统,每台桩机配 4 个 35 m³ 铁箱作循环净化装置。1 号、2 号箱为重力沉淀箱,3 号箱为水力旋流除砂箱,4 号箱为经过净化处理的泥浆箱,用泥浆泵抽出泥浆送入钻孔循环。

水力旋流除砂器是泥浆净化的主要手段,每台钻机安装 3 台 EXJ-250 型除砂器,其中 1 台由 1 台 4PN 型泵匹配,另 2 台由 1 台 8PN 型泵送浆,这样作业过程可视泥浆含砂及钻进情况分别开动 1 台或 2 台或 3 台旋流除砂器。分离出来的钻渣、废浆集中外运废弃。

3.5 泥浆护孔效果

本工程搅拌新泥浆 16737 m³,耗用优质膨润土 460 t,平均泥浆用土量仅为 27.48 kg/m³。这样超密度的泥浆,维护了复杂地质条件与不良施工环境下的钻孔孔壁稳定,超径系数平均仅 1.08,没有发生垮孔、埋钻等恶性事故,测井曲线显示桩孔孔形规整,一些因大孤石抓出而出现的孔壁空穴也被泥浆护壁的效果恢复了稳定。这个工程泥浆护壁的良好效果为港澳地区用泥浆钻桩孔作出了典范。它的经济效益主要是缩短钢护筒下入深度,避免了价格昂贵的钢护筒的大量损耗,同时对提高质量、减少事故、加快进度都发挥了重要作用。

4 结语

本工程的实践,为大直径、桩深(长)、嵌岩扩底桩摸索了一套较好的成孔工艺方法。它以泥浆护壁为基础,多种工艺方法组合优化,扬长避短,分层对号,达到优质、高效的目的。需强调的是,钻孔桩泥浆技术应由粗放管理向精细方向过渡,这对进一步提高桩基质量和施工效率,适应严格的社会环保要求都有现实意义,这个工程作了大量细致的工作,积累了一些经验,可供类似工程借鉴参考。

山河智能 演绎 BAUMA CHINA 2006 新亮点

本刊讯 2006年11月21~24日,两年一届的中国国际工程机械、建材机械、工程车辆及设备博览会(BAUMA CHINA 2006)在上海新国际博览中心盛大拉开序幕。湖南山河智能机械股份有限公司在上海新国际博览中心室外南广场开辟了近 1000 m² 的展位。

自主研发的全新设备闪亮登场 山河智能立足于在自主研发、精益制造、诚信经营三方面建立的好体系和形成的比较优势,每年都向市场推出多种高性能、高品质的新产品。本次展会上,山河智能参展的 SWE 系列小型挖掘机、SWL 系列滑移式装载机、SWDM 系列旋挖钻机、SWD 系列潜孔钻机等,大部分机型都是全新推出的。如旋挖钻机,在继 SWDM20、16 机型后,又推出 SWDM22 型以适应大型桩基础、复杂地质条件施工,目前国内扭矩最大的 SWDM25 型旋挖钻机,以及设计结构紧凑、功能齐全、低噪声,适应城市特有环境下工民建领域施工的 SWDM12 旋挖钻机。山河智能 23 台样机闪亮登场,成为本届展会的新亮点。公司每天都安排精彩的样机演示。

大型桩工机械挺进北美市场 山河智能在继小型液压挖掘机批量出口欧美发达国家后,大型桩工机械——SWDM 旋挖钻机,也吹向了进军北美市场的号角,21 日下午,美国 APE 公司与山河智能签订 SUNWARD 旋挖钻机美国独家代理协议。此前,美国 APE 公司总裁多次来到湖南长沙山河智能产业园,与山河智能公司高层领导频繁

接触,并对山河智能的 SWDM 旋挖钻机进行了考察和亲身体会。另一方面,山河智能公司在选择北美代理商时,也充分考察对方的实力和配套、售后服务能力,双方最终达成共识,并选择在这次盛会上签定了协议。

滑移装载机国内市场全面启动 与此同时,山河智能滑移装载机国内市场开始全面启动,掀开部分省市诚招代理商活动序幕,标志着山河智能又一款新的产品正式走向国内市场。

乌拉尔地区与西伯利亚高原上可见“SUNWARD” 21 日下午,俄罗斯 BAM 集团与山河智能签定代理合作协议,主要代理山河智能系列产品的小型液压挖掘机、滑移装载机、大型桩工机械等产品的销售。山河智能一直把自己的产品定位为中高端领域,欧美等发达地区也成为其产品出口的主要目的地,但在纵跨北欧与北亚的俄罗斯,山河智能尚未涉足。随着山河智能品牌在国际上的知名度与美誉度的不断提升,众多国际商家已关注“SUNWARD”品牌,俄罗斯市场也必不可少,山河智能人也放眼于此,而俄罗斯有实力的商家也希望与山河智能合作,此次与俄罗斯 BAM 集团签订代理合作协议,从此在乌拉尔山脉与高加索地区以及广阔的西伯利亚高原上可见“SUNWARD”。

(莫湘雄 供稿)