

岩土工程

巨石、中粗砂填海区风动潜孔锤引孔 钻进工艺应用的研究

王 平, 彭晓阳, 经 明, 刘广忠

(山西省地质矿产勘查开发局工勘处, 太原 030001)

[摘 要]通过成功地解决深圳市妈湾电厂(二期)基础工程 H 型桩沉入困难问题,使用各种风动潜孔锤在巨石、中粗砂填海区进行了引孔钻进工艺的试验研究及应用,对风动潜孔锤钻进工艺及其机具的使用作了进一步的分析研究,提出了风动潜孔锤使用过程中工艺方面的改进措施。

[关键词]风动潜孔锤 泡沫剂 巨石填海区 跟管钻进

[中图分类号]P634.5 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2002)05-0074-05

0 概 述

风动潜孔锤钻进工艺技术已愈来愈广泛地应用于矿山爆破钻孔、基岩水井钻探、边坡稳定治理(锚杆等)钻孔和一些基岩桩基钻进等施工领域。这种钻进工艺以其独特的钻进凿岩机理、优质高效的钻进速度、低廉的钻进施工成本,受到了施工单位的青睐。而且,风动潜孔锤钻进工艺技术也随着工程建筑市场的要求在不断地完善充实,适用范围也在不断地创新和突破。我局地建总公司通过对风动潜孔锤钻进工艺技术的创新、改进,成功地解决了深圳妈湾电厂(二期)基础工程施工中无法穿透填石,且桩身严重扭裂破坏等技术问题。由于在施工中所采用的风动潜孔锤施工设计方案独特、合理,且突破了国内以往的常规钻进规程,完成了 800 多条 H 型桩(总延米 13000 m)的引孔工作,而且还有效地提高了 H 型桩的承载力,收到很好的效果。

1 场内地质情况

场地内填石区、填砂区填筑时间为 1990 年 4 月,距今已有 10 年的时间;基础地下水与海水联通,水位受潮汐的影响而变化,地下水位 ± 0.00 m(地表高程 + 4.00 m)。拟建发电机组所处场地分两部分:一部分为回填石区,回填石为开山破碎石料,岩石成份为混合花岗岩(强度中硬)、混砂料及残粘土,碎石颗粒呈棱角状,粒径范围变化比较大,一般为

200400 mm,最大 10002000 mm,占 50 %左右。填石厚度 920 m,一般为 13 m 左右。另一部分为填砂石交接带区,上部为填砂层,厚度为 1013 m,砂层为中粗砂,主要成份为石英、长石,含少量贝壳,颗粒均匀、纯净,无粘着感;下部为填石区,呈倾斜状分布,厚度为 36 m,填石粒径大小不等,一般为 2001000 mm;填石区下部为淤泥层。

2 施工技术要求

设计要求建筑物桩基础为沉入 $390 \times 360 \times 20 \times 20$ mm 进口 H 型钢桩基础,单桩竖向允许承载力为 318 kN,两个截面方向单桩水平允许承载力为 120 kN 和 40 kN。要达到上述承载力的要求,H 型桩必需穿透碎石层和砂层进入淤泥层,而且桩位偏差不能大于 10 cm,更不能出现 H 型桩扭裂、变形,也不能有移位补桩情况出现,在烟囱区设计上还要求桩基倾角为 7° (斜桩)。H 型桩沉入时施工难度大,因此,施工时必须采取有效的导向钻孔措施,以保证 H 型桩的顺利打入。导向钻孔形成后还需进行密实工作,以保证 H 型周边土体对 H 型桩体的抱裹力,桩周摩阻力不会因导向孔的形成而减小。

3 引孔工艺的确定及设备的选择

针对该区地质条件和设计要求,选择设计了 4 种导向引孔钻孔施工工艺:小直径风动潜孔锤($\phi 105$ mm)蜂窝孔施工、大直径风动潜孔锤

[收稿日期]2001-09-05;[修订日期]2002-02-04;[责任编辑]李石梦。

[第一作者简介]王 平(1961 年-),男,1983 年毕业于中国地质大学(武汉)探矿工程系,教授级高级工程师,主要从事岩心钻探、水文水井钻探及岩土工程、基础工程的技术研究和管理工作。

($\phi 559$ mm)一次成孔施工、潜孔锤跟管钻进施工、冲击钻孔施工。

3.1 小直径风动潜孔锤蜂窝孔引孔施工

3.1.1 所使用的潜孔锤及配套设备

- 1) 空气压缩机 XHP - 750, 风量 $21 \text{ m}^3/\text{min}$, 风压 21 MPa , 共 2 台, 工作时单台供风;
- 2) 钻机 CM - 351, 功率 1.8 kW , 2 台;
- 3) 潜孔锤 DHD340A 3 套(配 $\phi 105$ mm 钻头若干), DHD360A 2 套(配 168 mm 钻头 6 个);
- 4) 高压送风管及管汇 2×100 m(每台机配用);
- 5) 高压泡沫注入泵 2 台;
- 6) 经纬仪 2 台(校正钻具垂直度及斜度);

3.1.2 引孔工艺及技术参数

首先,对场地基础表层回填 24 cm 碎石,并用夯击能量为 $3500 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 的冲击夯锤进行点夯和 $2000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 能量的普夯,使基础进一步密实平整,潜孔锤作业时孔口不易塌陷。

1) 布孔 按照设计 H 型钢桩的沉入方向,根据 H 型钢桩的规格($390 \times 360 \times 20 \times 20$ mm),沿腹板和翼板的长宽,布置成 H 型状孔(如图 1 所示),用 $\phi 105$ mm 锤头成孔,基本孔数为 7 眼,然后根据施打中掌握的桩位所处地层石块的情况增打 26 个孔眼。钻进中做好每一孔眼的记录,观察其进尺情况、上返岩屑性质,以准确断定是否有巨石,从而准确确定增打钻孔的方位和数量,使 H 型桩打入时岩石残留阻力降至最小。

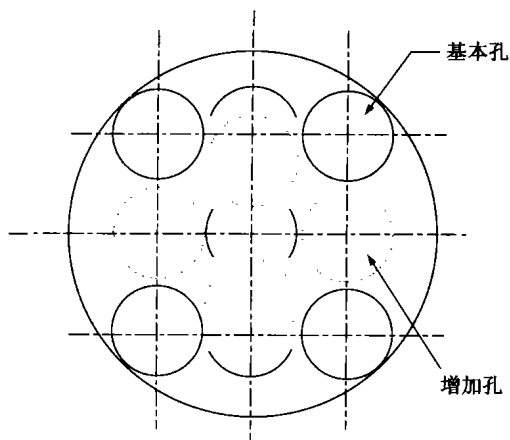


图 1 钻孔布置

2) 钻眼顺序的确定 为了实现 H 型桩的顺利沉入,在试桩施工期间,为了取得准确的资料,在部分引孔施工中先打中心眼,然后再打周边眼,另一部分是先外后中心。经几组试桩沉桩效果来看,两种顺序对沉桩效果是不同的,直接影响到 H 型桩打入时的垂直度、扭转方位角和难易程度等质量指标。

从试验来看,先在对角线上钻孔、再打中间孔完成中心孔,按此种顺序完成引孔成孔效果很好,在正式工程施工期间,共完成 800 多条 H 型桩的打入,没有发生 H 型桩的扭转、倾斜现象。

3) 测量 钻机就位时,采用 2 台经纬仪校正钻机桅杆及钻杆的垂直度,钻进中也随时校核,以确保每个钻眼的垂直度。因为地层碎石不均匀,软硬变化,钻具很容易偏斜,故必须及时校核和更正。对于斜桩的施工,为确保钻具始终保持 7° ,也必须用仪器随时校核。

4) 钻进中操作手要严密注意钻进情况,变层时,钻进速度及冲击器工作声音会发生明显变化,这时要适当调整钻进参数,增加钻压或调小钻压(吊打),防止石缝夹、卡钻具,提高钻效。特别是当钻入含水层后,已没有岩粉从孔内返出地表,此时,可以随风管三通泵入 ADF - 1 泡沫剂,达到及时清除孔内岩屑的目的,将部分岩屑返出地表,同时也起到润滑钻头和钻具的目的,效果较好,也提高了钻速。当钻进深度至 1520 m 时,钻具回转及进尺阻力明显加大,岩石土体包裹钻具,很容易发生卡埋钻具事故,此时,需加大供风量和风压,使空压机满负荷工作,同时降低回转速度,不断地提动钻具,提动高度一般为 1020 cm,逐渐缓慢地钻进,直至钻透填石层达到淤泥层或砂层,每个单孔均需重复上述作业方法。

3.1.3 蜂窝状孔引孔工艺的优势分析

1) 钻机机动灵活,履带式 CM351 钻车装有大功率气动马达,重型液压钻臂, 17.24 MPa 液压系统,场地内行走方便,而且定位灵活、准确。

2) 经试验,该钻机最深钻孔深度达到了 20 m,一般为 1317 m,由于工艺采用得当,钻进参数选择合理,已经突破了这类钻车钻进额定深度,创下了国内使用该机型钻进最深孔的记录,特别是在这种复杂地层条件下,保证了厚石区 H 型桩的沉桩工作。

3) CM351 钻车钻臂最大倾角可高于水平面 60° , 低于水平面 19° 。因此,在电厂烟囱区 100 多根斜桩的引孔施工中,成功地保证了 7° 这一倾角指标, H 型桩打入时很顺利达到设计深度。这是其他常规钻机和钻进工艺难以达到的。尤其是在砂石交接带钻进,地层上部 38 m 的中粗砂,下部填石厚度 810 m,倾斜钻进砂层时钻具很容易下倾偏离 7° 钻孔轨迹,不能准确穿透填石层。本次施工中使用 CM351 钻车配合以合适的钻进工艺,成功地解决了这一难题。

4) 钻进引孔效率高。采用 DHD340A 风动潜孔锤配以 XHD750 大功率空气压缩机,钻凿效率很

高,根据已完成的 800 多根引孔工作量统计,钻进单眼效率平均为 30 min/眼,完成一个桩位的引孔工作一般需 34 h(含引孔完成后的密实工作),单机日成孔 8 根。在本项工程中共配备了 4 台套设备,顺利地按期完成了任务。

5) 施工成本较低,同其他引孔工艺相比,蜂窝状引孔潜孔锤钻进工艺的成本是较低的。从单套 DHD340A 型冲击器使用状况来看,钻头平均寿命 800 延米;冲击器外套寿命平均为 2000 延米;空压机运行状态在整个工程施工中运行良好,没有出现较大的故障和形成过多的维修费用,仅有正常的油耗,单机每小时耗油量不超过 100 kg。

6) 孔内事故率低,安全系数大。从地层的特殊情况看,在此区域的填石区深孔和斜孔钻进时很容易出现坍塌、掉块、夹埋钻具事故,地层也极不稳定,尤其受海水涨落潮冲刷的影响,孔内情况更为复杂。但由于精心组织施工,工艺方法得当,DHD340A 潜孔冲击器钻具直径均匀,成孔后通过孔状况好,克服了上述诸多不利因素,整个工程施工中没有发生孔内事故。

7) 引孔后沉桩质量及效果能满足设计要求。经过整个工程 800 多根 H 型桩引孔后打入至规范要求,达到收锤标准后,对试桩进行了静压载荷和水平载荷检测,单桩垂直载荷达到 4950 kN(未破坏),水平载荷达 300 kN(位移没有超过规范要求)。而且沉桩也比较顺利,满足了设计要求。

3.1.4 风动潜孔锤蜂窝状多孔工艺施工存在的几个问题及改进措施

1) 沉桩过程中的扭转、倾斜问题。在多孔引孔完成后进行 H 型桩的打入过程中,发现个别桩出现了轻微扭转和倾斜现象。经分析研究认为,除了由于打入 H 型钢桩时柴油锤发生偏打现象和 H 型钢桩垂直度校正不好外,另外一个主要因素就是在这些孔的引孔成孔过程中,孔内有残留石块没有被完全打碎、打穿,或者有较硬掉块塌落伸出,沉桩时受阻而扭转倾斜。因此,要解决这一问题,需在引孔过程中如发现桩孔位置有较大的填石时,应及时准确判断其具体位置和厚度,增加钻进引孔眼数,同时在此桩位引孔成孔完成后再复打一次。在顺石边钻进或石与石间钻进时采用了“轻压、慢钻”的吊打方式,切不可加大钻压钻进,以保持引孔的垂直度,同时也避免了“夹卡”钻和“顺溜”孔斜。根据整个工程情况看,每个桩位引孔眼数超过 9 个时,沉桩一般都很顺利,没有出现扭、斜现象。

2) 引孔完成后的密实问题。由于本工程设计钢桩类型为端承摩擦桩,规范要求以竖向端承载荷为主,而且桩身摩阻力不可超过整个桩竖向允许承载的 15%,否则摩阻力过高反而会形成负向阻力,降低单桩基础的承载力。钢桩在受水平方向载荷时位移不能超过规范要求的规定量。为此,在整个工程的施工中都采用了风动潜孔锤密实法,对桩基引孔工作完成孔进行密实,其作用有两个方面:一是起到稳定作用,提高钢桩的水平载荷能力;同时增加桩周摩阻力而提高桩的水平荷载力;二是避免钢桩周围过于松散,砂及细石料受海水冲刷而流失,对钢桩的保护作用降低影响其整体质量和寿命。开始密实时,成孔引孔完成后立刻用 2050 mm 碎石逐孔回填,利用冲击器振动(不回转)密实,密实深度 45 m。经标贯检测:04 m,贯入度 67 击,较理想;410 m 范围内贯入度 45 击,密实度较低,达不到要求。因此,在后序的施工中,密实深度加深至 710 m;密实时每次填料要慢速,避免在孔内“架桥”,而且密实高度每次不超过 1 m;振动次数以冲击器不回转振动下入困难为止。同时,要求填石料粒径级配要好,以 20-50 mm 连续级配为宜。填料顺序为先中心眼再外围眼。

3.2 大直径风动潜孔锤一次成孔引孔工艺试验应用

在工程开始初期,为了加快施工进度,提高沉桩质量,为深圳妈湾电厂二期基础工程施工完成填石区的沉桩工作,摸索出一套可靠的工艺技术和确定施工设备,我公司又从香港进口了美国英格索公司生产的 DHD112WS 大直径风动潜孔锤钻具,该种冲击器外径 $\phi 276$ mm,长 1993 mm(76"),钻头直径 $\phi 559$ mm(22")。当工作风压为 5.62 kg/cm² 时,需耗风量 15.29 m³/min(540 scfm);当工作台风压为 10.55 kg/cm² 时,需耗风量 28.32 m³/min。此潜孔锤单锤一套 4 万美元。为了有效地发挥冲击器的冲击功能,达到理想的工作状态高效钻进凿岩,工作时同时配备 2 台 XHP750 型空压机并联供风,使钻进工作时风压达到了 15 kg/cm²,供风量在 30 m³/min 以上。由于受条件的限制,配套钻机采用了国产大扭矩的 GM-20 型钻机, $\phi 168$ mm 钻杆。在每 3 m 的单根钻杆外加焊直径为 $\phi 450$ mm 的外套取粉管,冲击器外套也加焊外套。这样,一方面可以提取孔内钻屑,另一方面也可以保护冲击器,减少磨损,提高其使用寿命。

使用上述设备和潜孔锤共完成 10 根桩的引孔工作,最深孔达到 16 m,一般 13 m 左右。从试验使

用的情况来看,由于地层不稳定,又受海水涨落的影响,在孔内5 m以下开始塌方掉块,虽然钻进中每完成12 m,跟管打入 $\phi 600$ mm的护筒,但在此层段施工难度是很大的。经分析,影响这种钻进工艺技术的主要原因有以下几个方面:

1) 地层的影响,易塌方掉块,岩粉不多,石块不少,难以用取粉管带出地表。

2) 冲击器工作状态不好,尤其是在遇砂层钻进时(夹层),砂体将潜孔锤包裹,排风不畅,回转时冲击器打打停停,不稳定,难以连续作业。

3) 所选钻机不合适,各种通风附件在高压下走风漏气,消耗损失了能量;钻机移动不方便;钻具每次加杆都需提出主动钻杆,孔内残留岩粉逐渐增多,形成的明孔时间难以保持,影响了连续加杆作业;钻进效率较低,钻孔速度平均每根桩孔8 h。

4) 钻进中需随孔深的增加不断打入护筒井管,操作起来复杂。因此,笔者认为,在此类地质条件下施工大直径风动潜孔锤钻进,难以获得实质性的成功,必须根据国内设备能力和风动潜孔锤的工艺特性来确定合理的技术工艺和设备。本次试验,为国内同类地层进行引孔沉桩取得了宝贵技术资料和生产经验。

3.3 风动潜孔锤跟管钻进工艺技术的试验应用

在本工程的施工中还引进了一家香港工程公司,采用了偏心扩孔套管跟进风动潜孔锤钻进工艺,系统类型510,潜孔锤型号DHD112S,偏心钻头最大外径 $\phi 580$ mm,跟管管径 $\phi 559$ mm;配备空气压缩机型号XHP900WCAT,输出风压34.61 kg/cm² (350psig),输出风量25.48 m³/min (900 cfm);钻机为德国科赖姆工厂生产的GH105型全液动大口径履带桩孔钻机。在整个工程项目中共完成了100根H型桩的引孔成孔工作,其中斜桩30根,孔深最深16 m,一般10 m左右;其他桩孔70根,孔深一般12 m左右,成孔时间5 h。这种工艺在本地区地质条件下施工主要存在以下问题:

1) 卡埋钻具 由于地层中石料大小软硬不均,石块之间缝隙多,偏心钻头工作时伸出很容易被夹卡住,不进尺,不工作,所跟套管不能随孔深的增加而及时延伸,钻效较低。

2) 钻头合金胎体折断问题 钻机扭矩大,当钻进遇坚硬块石时,潜孔锤偏心钻头偏心块被岩石别断,造成孔内事故,成本也大大增加,在试验施工中共有4只钻头被卡断在孔内。尤其在施工斜孔时,经常发生卡钻现象,操作起来难度较大。

3) 施工成本高 同其他工艺施工相比,偏心扩孔跟管钻进工艺在此区域地质条件下使用,消耗材料量大,事故发生频繁,台效也低,因此施工成本加大,据统计,是其他工艺方法施工的3倍左右,单套偏心钻具价格4万美元,钻头8千美元。但使用这种设备机具仅施工完成了100根桩的引孔工作,就结束了。

4 看法和建议

几种类型的风动潜孔锤在同一地区的复杂地层中进行生产试验研究对比分析,在国内基础工程中是很少见的。通过本工程实践,对潜孔锤施工工艺有如下几方面的建议:

1) 成桩质量方面 为了更好地提高H型桩的单桩承载能力,用风动潜孔锤完成多孔引孔、振密工序后,在沉入H型钢桩时,在其腹板内侧加焊2条1无缝钢管,长度为410 m,在喷粉管上竖开有一定间距的眼孔,有眼孔段控制在23 m。此管随H型钢桩一起沉入填石层中,喷粉管口露出地表。完成成桩后用高压喷粉机经加压泵顺喷粉管喷入加有早强速凝剂的水泥粉末,使受到喷粉的石、砂和水泥快速与H型钢桩固结,不仅能大幅度提高桩的承载能力,从而减少总桩数,降低成本,而且还可以起到永久性保护钢桩的目的,避免了海水的侵蚀。水泥喷入量以每米1袋(标号为Po32.5[#]的水泥粉(25 kg))为宜。此外可以有效地解决发电厂基础桩百年大计中的质量、寿命问题,更显示出了潜孔锤施工工艺的优势。

2) 引孔钻进工艺方面 虽然小直径风动潜孔锤多孔工艺已获得了成功,然而其台效仍未达到最佳状态。因此,在与本工程类似的地质条件下施工,建议采用新开发的专利技术——对心扩孔套管跟进潜孔锤钻头钻进工艺技术。这种钻进工艺有以下几方面的优势性能:

(1) 使用低回转扭矩 在各类岩土层穿孔时,全端面正圆的对心扩孔钻头,只需很小的转矩就可以有效钻进,在钻进各种卵砾石、砂砾土等泥土层时仍可顺利扩孔钻进,钻速亦快,精度亦高。

(2) 容易锁定连接 钻进过程中,如需要时可随意解扣提出钻杆;在套管内如遇回落的岩屑,亦可轻易提出钻杆,不会卡紧钻具。但使用偏心扩孔钻头在提升钻杆时,由于偏心钻头的偏体,常常发生卡套管鞋的情况,不易提出,造成卡钻和埋钻事故。在本工程中已证明了这一点。

(下转第85页)

算方法切实可行;该支护结构水平位移小于湖北省一级建筑基坑支护结构水平位移允许值 40 mm。

5 结 论

工程实践证明,图 1 所示的后插筋式旋喷桩—灌注桩复合式基坑支护结构的抗弯刚度较大,在确定一个结构计算单元截面的短期抗弯刚度时,可按本文的方法进行截面等效和简化,再按《混凝土结构设计规范》(GBJ10 - 89)中提供本文中的(1)式进行计算,并且可按本文所介绍的水平位移计算方法

和步骤,计算复合式基坑支护结构的水平位移。

[参考文献]

[1] 地基处理手册编委会,地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.
[2] GBJ10 - 89,混凝土结构设计规范[S].
[3] JGJ94 - 94 建筑桩基技术规范[S].
[4] 武汉市基础工程协会等.深基坑工程技术规定[S].DB42/ 159 - 1998.
[5] 沈蒲生.混凝土结构[M].武汉:武汉工业大学出版社,1993.
[6] 段新胜.悬臂式桩排支护结构水平位移分析示例[J].工程勘察,1997(6) 1417.

DISCUSS ON THE METHODS TO DETERMINE THE BENDING RIGIDITY AND HORIZONTAL DISPLACEMENT

DUAN Xin - sheng¹, GU Xiang¹, CHEN fei², LIU Yi - jie¹

(1. Hankou Geotechnical Engineering Institute of China University of Geosciences, Wuhan 430030;
2. Wuhan Branch of Jiangxi Geotechnical engineering Company, Wuhan 430032)

Abstract :According to the theory of concrete structure , the mechanical model and calculating procedure to determine the bending rigidity and horizontal displacement of the bored piles - jet grout piles compound protecting structure of foundation pit are discussed and presented in this paper.

Key words :compound protecting structure of foundation pit , mechanical modal , bending rigidity ,horizontal displacement

(上接第 77 页)

(3)可多角度钻孔 此系统可有效地钻进任意角度孔,包括垂直方向和水平方向角度孔。而且空心的扩孔钻头,可提供柔顺平稳的钻速。

(4)有效的套管内排碴 压缩空气由中心钻头端孔排出后,在钻杆与套管间形成的环空,把岩粉气举上升排到地面,可保证高速排碴效率,减少孔内沉碴,避免了钻头由于重复破碎而减少使用寿命。

(5)钻杆轻易解扣提出 钻孔完成后,把钻杆稍作少量反转,就可把中心钻头与空心钻头解扣分体,轻易在套管内把钻杆与中心个别头一同提出。由于中心钻头为实体结构,且口径小于套管内径,因此不

会产生卡钻。

(6)若需提出回套管,利用钻机自身的起拔能力可以顺利拔出套管重复使用,若不取回套管,还可以换用其它适合口径的常规潜孔锤钻头钻进,用作其它用途。

我公司计划引进一套 CAR 503 系统对心扩孔跟管钻进风动潜孔锤,单价人民币 380,000 元,在同类地层的工程中使用。

3)其他钻进工艺试验 本工程施工中还进行了冲击钻孔成孔引孔工艺,孔径 600 mm,单孔成孔时间 7 天,效率很低,没有选用。

APPLICATION OF GUIDED - BORING TECHNOLOGY OF PNEUMATIC DOWN - THE - HOLE HAMMER IN MEGALITHIC AND COARSE - SAND SEE RECLAMATION

WANG Ping, PENG Xiao - yang, JING Ming, LIU Guang - zhong

(Engineering Exploration Branch, Shanxi Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration, Taiyuan 030001)

Abstract :Testing researchers of guided - boring technology have been carried out in megalithic and coarse - sand see reclamation using different pneumatic down - the - hole hammers. Problems facing H - type pile submergence in the second - stage foundation works of Shenzhen Mawan Electric Power Plant has been successfully solved. This paper analysis pneumatic down - the - hole hammer technology and tool utilization , and suggests improving steps of technology during utilization of pneumatic down - the - hole hammer.

Key words :pneumatic down - the - hole hammer , foaming agent , megalithic see reclamation