

旋挖钻配合振动锤及加长钢护筒在特殊地质条件下的应用

王云

北京城建亚泰建设集团有限公司, 北京 100013

[摘要]旋挖钻机成孔工艺由于成孔效率高、适应地形广、切割岩层快、干湿均可作业等优点,近些年发展非常迅速,且根据不同地质条件衍生出许多新技术新产品。尤其在中西部缺水的山区,修筑公路或铁路桥梁桩基首选旋挖钻。文中通过实际案例分析,介绍了旋挖钻干孔作业过程中遇到浅层滞水时采用加长钢护筒止水的施工工艺。北社大桥位于山西省长治市平顺县北社乡北社村西,横跨长治环城高速,连接北社村和西社村两座山头,全长477.5m,其中6#—9#桩基位于山谷谷底。由于干孔作业过程中遇到卵(砾)石层,再加上桩位位于低洼地带,雨季施工中存在浅层滞水,成孔后卵(砾)石层中的砂砾随着水流流出,导致上方的粉质粘土层及卵(砾)石层坍塌。通过降水、回填灰土、灌注低标号砼等多种办法试验失败后,最终采用振动锤振入加长加厚钢护筒进行止水,再在护筒内钻孔、成孔、下钢筋笼、灌注砼并同时拔出钢护筒的施工工艺解决了塌孔问题。该施工工艺的应用经过多种方案的比较并优选,在保证工期增加不多的情况下费用增加的最少。该工艺不但解决了施工中遇到的问题,同时为以后碰到这种困难提供了解决问题的思路,丰富和扩大了旋挖钻干孔作业的应用范围。

[关键词]旋挖钻;干孔;卵(砾)石层;振动锤;加长钢护筒

DOI: 10.33142/ec.v6i8.9144

中图分类号: TU753.3

文献标识码: A

Application of Rotary Drilling Combined with Vibration Hammer and Extended Steel Casing in Special Geological Conditions

WANG Yun

Beijing Urban Construction Yatai Group Co., Ltd., Beijing, 100013, China

Abstract: The drilling process of rotary drilling machines has developed rapidly in recent years due to its advantages of high drilling efficiency, wide adaptability to terrain, fast cutting of rock layers, and easy operation in both dry and wet conditions. Many new technologies and products have been derived based on different geological conditions. Especially in mountainous areas with water scarcity in the central and western regions, rotary drilling is the preferred method for building pile foundations for highways or railway bridges. Through practical case analysis, the article introduces the construction process of using extended steel casing to stop water when encountering shallow stagnant water during the dry hole operation of rotary drilling. Beishe Bridge is located in the west of Beishe Village, Beishe Township, Pingshun County, Changzhi, Shanxi Province, across the Changzhi Expressway, connecting Beishe Village and Xishe Village, with a total length of 477.5m, of which 6 # -9 # pile foundations are located at the bottom of the valley. Due to encountering a layer of gravel during the dry hole operation, coupled with the fact that the pile is located in a low-lying area, there is shallow stagnant water during rainy season construction. After drilling, the sand and gravel in the gravel layer flow out with the water flow, causing the upper silty clay layer and gravel layer to collapse. After various methods such as precipitation, backfilling with lime soil, and pouring low-grade concrete failed in the experiment, a vibration hammer was finally used to vibrate the lengthened and thickened steel casing for water sealing. The construction process of drilling, forming holes, placing steel cages, pouring concrete, and simultaneously pulling out the steel casing solved the problem of hole collapse. The application of this construction process has been compared and optimized through multiple schemes, with the minimum cost increase while ensuring that the construction period does not increase significantly. This process not only solves the problems encountered during construction, but also provides a solution for future difficulties, enriching and expanding the application range of rotary drilling dry hole operations.

Keywords: rotary drill; dry pores; boulder (gravel) layer; vibration hammer; extended steel casing

引言

旋挖钻干孔作业因具有能够适应各种地形,对岩层钻孔效率高,占用场地小,不污染环境等优点,在山区缺水的地方使用起来十分普及,但是若遇到较厚的卵(砾)石层并赶上雨季,出现较大浅层滞水的话,十分容易出现塌孔。

为了充分发挥旋挖钻干孔作业的优点,通过各种方案的比较,选择对旋挖钻钢护筒进行加长加厚,利用振动锤

并配合吊车进行插拔,解决了出现的问题。

该课题的研究不仅解决了施工中实际出现的问题,还为以后碰见类似的问题(如软弱夹层、溶洞等)提供了参考,拓宽了思路,丰富和扩大了旋挖钻机的使用范围。

1 项目概况

1.1 项目基本情况

国道 G207 线长治过境段公路工程第二合同段全长

6.7km, 道路宽 24.5m, 双向六车道, 总造价 4.68 亿元, 按高速公路等级修建。2017 年 5 月开工, 总工期 18 个月。

G207 线长治过境段公路在山西省长治市平顺县北社乡西社村东北约 850m 处跨越一黄土冲沟及 G2201 环城高速设有一座北社大桥。该桥全长 477.5m, 最高墩柱 42m, 最深桩基 69m, 最大跨径 T 梁 50m。该桥是整个环线国道的重点工程, 同时也是我标段能否按期顺利交工的关键节点工程。

1.2 大桥桩基基本情况

北社大桥在现有高速路西侧的 9[#]—15[#]墩桩基位于西社村半山坡, 地质资料显示有较硬的中风化石灰岩, 为端承桩, 桩长 15—24m, 桩径 1.5—1.8m。高速路东侧 0[#]—6[#]墩桩基位于北社村半山坡, 地质资料显示为粉质粘土, 为摩擦桩, 桩长 35—69m, 桩径 1.5—2m。7[#]和 8[#]墩桩基位于现有高速路的边坡上, 设计有 24 根群桩, 桩长 47m, 桩径 1.5m。

水文资料显示钻探时期没有地下水, 通过咨询当地村民, 了解到以前打井 300m 也没有钻出过地下水。

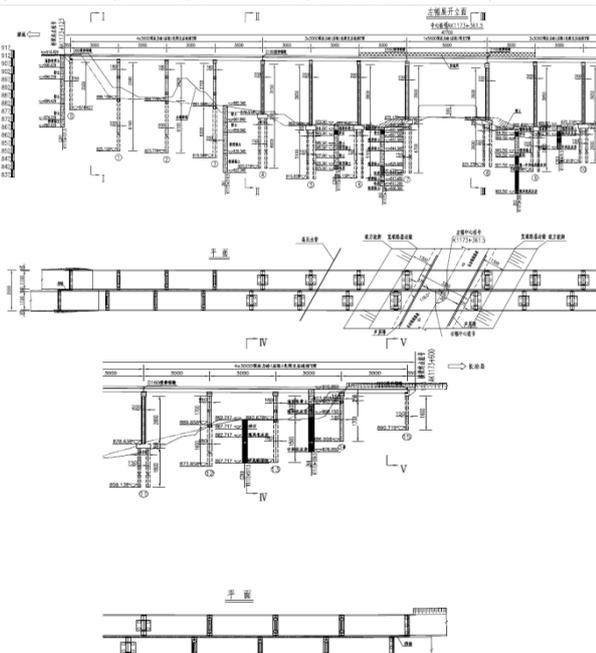


图 1 北社大桥平里面图

1.3 桩基施工工艺选择

根据以上水文、地质资料及现场实际考察, 并考虑 18 个月的紧张工期, 决定选用两台旋挖钻机在高速路东西两侧同时开钻 (高速路阻断, 两侧只有一个涵洞能通过小型设备, 钻机等大型设备需要绕路很远), 争取 2 个月时间内完成全部 108 根桩基的施工。

高速路西侧考虑到需要钻岩层, 通过现场取芯测试中风化灰岩最大地基承载力为 1200kpa, 故选用山河智能 SWDM420 旋挖钻机能够满足施工要求。高速路东侧全部为

粉质粘土层, 个别出现砾石层, 通过现场直立的崖壁能够看出土质结构比较紧密, 考虑采用 SWDM280 旋挖钻机。由于没有地下水, 通过试钻, 均可以采用干孔作业。



图 2 旋挖钻在半山坡干孔正常作业

1.4 旋挖钻干孔作业遇到特殊地质情况

前期 15[#]—10[#]桩基施工十分顺利, 除去表层几米为粉质粘土, 下部全部为中风化石灰岩, 干孔作业成型完整, 一天能完成两根桩。9[#]桩基开始从表层 3m 以下出现一层卵 (砾) 石层, 厚度 3—7m, 并且卵 (砾) 石层中有浅层滞水, 导致成孔后卵 (砾) 石层上部的粉质粘土层随着砂砾的流出而塌方。通过试钻最低处的 7[#]和 8[#]桩基, 也存在相同的问题, 干孔作业无法继续进行。



图 3 谷底桩孔遇地下浅层滞水出现塌孔

1.5 方案优选

1.5.1 轻型井点降水后再采用旋挖钻干孔作业
通过现场挖探坑抽水试验, 需在 5[#]—10[#]桩基外围 10m

的位置设置一圈降水井，井底高程位于卵石层底 2m，井距 10m 一个。高速路隔断处顺高速路加密 2 座，共设置 56 座。保证作业场区内没有水后采用旋挖钻进行干孔作业。

该方案相比直接干孔作业需增加降水费用 90 万元，工期延长 1 个月。

存在分险为：(1) 卵石层上打降水井比较困难；(2) 干孔作业时旋挖钻进入岩层后震动过大容易出现卵石掉落而形成扩孔；(3) 由于雨季施工不确定因素太多，降水效果及工期均不敢保证。



图 4 集水坑抽排浅层滞水示意图

1.5.2 泥浆护壁法旋挖钻孔

由于旋挖钻机自身不能造浆，需要外购泥浆或膨润土，泥浆外排需要场地，同时砼浇筑需要使用泵车配合。

该方案相比干孔作业需要增加费用 130 万元，工期延长 25 天。

存在分险为：(1) 泥浆护壁完全靠泥浆自身压力，卵石层埋深浅的话水头压力低护壁效果特别差；(2) 另外旋挖钻钻头每次提升和下放四周的齿牙都会刮掉护壁，造成塌孔和沉渣过厚。(3) 制浆池及排浆池需要占用较大场地。

1.5.3 加长钢护筒止水后再用旋挖钻干孔作业

该工艺需要 4 套 13m 长的加厚钢护筒（厚度 20mm，顶端 50cm 位置加厚为 40mm，底端打磨出刃脚），钻孔前先采用大型振动锤（550 长臂挖机改装）配合 50t 吊车振入钢护筒，埋入深度必须达到卵石层以下 2m，起到隔水和护壁的作用，再按旋挖干孔作业进行成孔、清孔、下钢筋笼，灌注砼后及时拔出钢护筒。

该方案相比干孔作业需要增加费用 70 万元，工期延长 10 天。

存在分险为：(1) 需要大功率的振动锤；(2) 振入及拔出钢护筒时需要大吨位吊车配合；(3) 穿越卵石层时碰见大粒径的卵石钢护筒容易卷边导致卡钻。

1.5.4 冲击钻泥浆护壁成孔灌注

该工艺采用冲击锤冲击成孔，可以避免塌孔，但工作效率低下，高速公路西侧均为嵌岩桩，一天钻岩深度就 2m 左右，需要多台钻机，结合现场地形及变压器大小，

最多只能同时 2 台进行作业，而高速公路东侧摩擦桩深度均为 60 多米，成孔不能完全保证，该工艺成桩扩孔比较严重，最多能达到 30%。

该方案相比旋挖钻干孔作业需要增加费用 75 万，工期延长 90 天。

存在分险：(1) 需要重新申报变压器或购买大型发电机组；(2) 多台同时作业施工场地泥泞不堪，还需要重新申请临占地。

根据以上方案的技术经济比较，并申报业主审批，同意采用旋挖钻机配合振动锤及加长钢护筒进行干作业的施工方案。

1.6 施工重点及难点

该工艺的施工重点及难点为前期的加长加厚钢护筒振入和后期的拔出。

根据桩径 1.5m，卵石层厚 3—7m，最大粒径 25cm 左右，钢护筒设计长 13m，壁厚 20mm，内径 1.7m。由于单根重 12t，从外地调配大型的振动锤配合 50t 吊车进行振入和拔出，振入时桩位偏差控制比较困难。



图 5 定制加长加厚钢护筒

2 桩基钻孔

2.1 加长钢护筒振入

2.1.1 测量定位

钻孔前先对桩位进行放线，平面控制网采用三角控制网形式，利用复核后的导线点、水准点，用全站仪精确定出桥桩的中心位置，然后分别沿顺桥向和横桥向设置牢固的控制桩。控制桩应高于孔圈，并在孔圈上标识桩基中心连线。中心采用“+”字线定位，四周采用短钢筋埋设控制桩，误差控制在 10mm 以内。[1]

2.1.2 护筒就位

护筒采用 50T 吊车吊起，根据控制桩钢筋采用人工辅助调整好护筒中心并就位，护筒中心和桩位中心偏差不得大于 50mm。

2.1.3 护筒振入

采用 550 加长臂挖机搭载高频振动锤振入护筒，开始的时候利用护筒自重配合振动锤低频稳入土层，埋深 1m

以上时开始高频振入，边振边观察护筒的垂直度，倾斜度控制在1%以内，需要的及时进行纠偏。

遇到大粒径的卵石时减慢振入速度，直至穿透卵石层并超过2m以上，护筒埋深到位后，孔口高出地面30cm左右。



图6 加长加厚钢护筒振入及拔出示意图

2.2 旋挖钻成孔

2.2.1 钻机安装就位

钻机就位前，须将场地垫平填实，钻机按指定位置就位，调整桅杆及钻杆的角度。钻机安装就位后，要精心调平，使得底座和端座平稳，在钻进运行中定期用仪器和挂吊锤检查和校正，确保钻机不产生移位和沉陷。钻机的钻头或钻杆和护筒中心在同一铅垂线上，偏差不大于50mm。

2.2.2 钻进

旋挖钻的钻进是用动力头驱动钻杆和钻头旋转，利用钻头下端的切削刃对土层进行切削破碎，切削的土体被挤进钻斗，装满后将钻斗提出孔口，旋转钻机底盘然后反转，并开启钻斗阀门，将土体排放到地面或直接卸在汽车上运走。这样通过钻斗的旋转、削土、提钻、甩土，多次反复作业而成孔，直至孔底标高。

初始钻进进尺要缓慢，尽量减少钻杆晃动，保证钻孔的垂直度。钻进过程中，应随时调整机架保持钻杆垂直、位置正确，防止因钻杆晃动引起扩大孔径及增加孔底沉渣。孔的垂直度主要是靠调整机座、大臂和钻杆座孔之间的相对位置来确定的。大臂和钻杆座孔上都装有刻度盘，调整大臂和钻杆座孔的相对位置，通过刻度盘指针的指示即可知道钻杆是否垂直于机座；机座上装有水准仪，利用水准仪可以将机座调平。因此，只要将机座调平，同时使钻杆垂直于机座，那么钻杆就垂直于地面了，这样就保证了钻进中孔的垂直度。

2.2.3 终孔

钻孔达到设计深度后，必须核实地质情况。通过钻渣，与地质柱状图对照，以验证地质情况是否满足设计要求。如与勘测设计资料不符，及时通知监理工程师及现场设计代表进行确认处理。如满足设计要求，立即对孔深、孔径、孔型进行检查。对于孔径、孔壁、垂直度等检测项目采用

测控仪进行检测。确认满足设计和规范要求后，报请监理工程师验收，监理工程师验收合格后，立即进行清孔。

2.2.4 清孔

清孔目的是清除钻渣和沉淀层，减少孔底沉淀厚度，防止桩底存留过厚沉渣而降低桩的承载力。清孔分两次进行，第一次清孔在钻孔深度达到设计深度后进行，第一次清孔就应满足规范要求，否则不应下钢筋笼。待钢筋笼安装到位后下放导管再进行第二次清孔。

在钻孔终了和清孔后，对孔径、孔深和倾斜度用专用仪器测定，孔底沉渣厚度摩擦桩不大于300mm，端承桩沉渣厚度不大于50mm。

清孔完成后请监理工程师予以验收，合格后方可进行下一道工序的施工。

3 钢筋笼制安

3.1 钢筋笼制作

钢筋连接采用焊接，尽量采用长尺12m的主筋，在加工场地提前滚好笼子，最后吊装起来在孔口进行焊接连接。若孔深太深，为了缩短下笼时间，可提前把两段在吊车起吊范围内的钢筋笼进行焊接，但最长不得超过23m。

主筋间距偏差不超过10mm，箍筋间距不超过20mm，长度偏差不超过100mm。主筋保护层采用钢筋耳控制，允许偏差20mm，为了确保钢筋笼居于钻孔中心，沿钢筋笼每隔2m放置1组，每组设置4个。

3.2 钢筋笼吊装

钢筋笼在加工场地经隐蔽验收合格后，起吊运输至现场准备下笼，起吊过程利用重心偏移原理，通过起吊钢丝绳在吊车钩上的滑运和人工配合放入运输车辆，运输车辆采用自己加工的炮车，每次只能运输一节，不能落起来。

钢筋笼下放时先起吊最上面的一节，通过现场焊接进行接长。焊接时间根据孔深调配焊接工人，保证验孔后至安装完毕不超过2个小时。钢筋笼安装完毕后需立即固定，笼子到位后需复合笼顶标高，并根据需要进行二次清孔。全部就绪后经验收合格可进行下道工序。

4 砼灌注

4.1 配合比优化

通过外加剂（减水剂、引气剂）、胶结材料（水泥和矿物掺合料）和粗细骨料（中砂和碎石）的选择与搭配，进行配合比的精心设计，将砼的屈服应力减小到足以被因自重产生的剪应力克服，使砼的流动性增大，同时又具有足够的塑性黏度，令骨料悬浮于水泥浆中，不出现离析和泌水问题，能够借助灌注桩导管埋深砼的压力达到自密实。

根据施工要求确定合适的坍落度，根据适配结果选择合适的水灰比，如果加大水灰比，增加用水量，虽然会增大流动性，但黏性及稳定性降低，只能依靠掺加高效减水剂来实现，最后确定的施工配合比经过试配，浇筑前后均不离析、不泌水，粗细骨料均匀分布，砼配好后，采用导

管法进行无水砼灌注。

4.2 导管安装

钢筋笼下放至设计深度并固定后,立即下放砼输送导管,下放时要避免碰撞钢筋笼,导管由直径 300mm 的钢管制作而成,内壁表面光滑并有足够的强度和刚度,管段的接头密封良好,方便拆装,每节导管长度 4.5m。导管使用前应试拼装、试压。试水压力可取 0.6—1Mpa,每次灌注后应对导管内外进行清洗。

导管底口距离孔底 30cm 左右,需根据初灌砼量及桩基直径计算,保证埋管深度在 1m 以上。

4.3 砼浇筑

砼浇筑采用导管法,导管接口采用卡口式,砼搅拌运输车运输砼至现场,使用自卸方式向导管漏斗内浇筑。浇筑砼前,要对孔内进行二次清孔,确保孔内无积水。浇筑首批砼剪球开始后,必须连续的进行,尽可能缩短拆除导管的时间,一般不超过 2.5h。浇筑过程中要经常用测深锤探测孔内砼面高度,及时调整导管的埋深,导管的埋深控制在 2—6m,砼接近桩顶时,提高漏斗高度,保证漏斗距离设计桩顶高程不小于 4m。

计算最后一车砼用量时,需考虑拔出钢护筒时砼面的下沉量,保证桩顶加灌 0.5m—1m。拔出钢护筒的时间需要控制在砼面进入钢护筒底面开始 4 个小时以内,以防砼初凝拔不出钢护筒。^[2]

5 结束语

本次采用振入加长钢护筒止水护壁再干孔旋挖作业

的施工工艺,共施工了 48 根桩,占整个大桥桩基工程量的一半以上,不但抢回了耽误的工期,还避免了更大的经济损失。桩基施工经过超声波检测,全部达到设计要求。

增加的机械设备费用及加工的钢护筒材料费也通过洽商变更得以补偿。同时还给自己的施工经历增添了不可多得的宝贵经验。

需要注意的是虽然钢护筒止住了卵(砾)石层中的浅层滞水,由于振入时周围土体的短暂液化,还是有部分积水渗入,需要在第一时间进行灌桩,必须对钢筋笼吊装、导管安放、砼灌注以及钢护筒拔出进行统筹安排,整个过程不得中断。

旋挖钻成孔技术已经相当成熟了,但是遇到不明的特殊地质情况时,需要根据现场施工条件进行灵活应用,充分发挥旋挖钻的优势,拓宽它的使用范围。另外施工前一定要对水文、地质情况做出详细的了解和判断,不能完全依靠图纸,避免造成不必要的损失。

[参考文献]

[1]中华人民共和国交通运输部.公路桥涵施工技术规范:JTG/T3650-2020[S].北京:中国标准出版社,2020:16-19.

[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑桩基技术规范:JGJ94-2008[S].北京:中国工业建筑出版社,2008:33-45.

作者简介:王云(1979.11—),男,籍贯:浙江平阳,研究方向:道路桥梁施工,职称:工程师,学历:本科。