

汾河特大桥大直径超深旋挖钻孔灌注桩施工技术

杨联锋, 彭志平, 孙智杰

(山西省第三地质工程勘察院, 山西 晋中 030620)

摘要:蒙华铁路汾河特大桥桩基具有桩径大、钻孔深、地层复杂等特点。在施工过程中遇到了钻孔成孔后缩径、沉渣超标、钢筋笼位移等问题。通过认真分析探索, 总结出了旋挖钻机在松散砂层施工条件下的泥浆配置方法、膨胀土缩径现象的处理措施、防止钢筋笼位移的有效工具, 有效保障了工程质量、降低了施工成本, 产生了一定的社会效益和经济效益。

关键词:旋挖钻机; 大直径超深钻孔; 灌注桩; 松散砂层; 沉渣控制; 泥浆胶体率

中图分类号: U443.15⁺4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2019)07-0089-05

Construction technology of large diameter ultra-deep rotary bored piles at Fenhe Bridge

YANG Lianfeng, PENG Zhiping, SUN Zhijie

(Shanxi Provincial Third Institute of Geological Engineering Investigation, Jinzhong Shanxi 030620, China)

Abstract: The Fenhe Bridge pile foundation along Menghua Railway has such characteristics as large diameter, great borehole depth and complicated stratum. Many problems have been encountered in the construction such as borehole shrinkage, higher-than-standard settlements, rebar cage dislocation. By careful analysis and exploration, the method of mud preparation, the treatment measures of borehole shrinkage in expansive soil, and the effective tools to prevent dislocation of rebar cages have been developed for drilling in loose sand layers with rotary drilling rig, which not only ensured the construction quality, but also reduced the cost, achieving some social and economic benefits.

Key words: rotary drilling rig; large diameter ultra-deep borehole; grouted pile; loose sand layer; control of settlements; mud gel ratio

随着我国基础设施建设的高速发展, 公路、铁路桥梁跨度不断加大, 大直径超深钻孔灌注桩工作量持续增长, 基于旋挖钻机动力扭矩大、机动灵活、环保等优势, 其在大型桥梁桩基施工中的应用越来越多^[1-2], 但是在松散砂层等特殊地层, 大直径超深桩基施工过程中遇到了不少困难^[3]。本文分析了蒙华铁路汾河特大桥桩基项目中遇到的难点问题、工艺流程、采取的措施及工程效果, 并提出了一些建议。

1 工程概况及地质条件

1.1 工程概况

蒙华铁路汾河特大桥是蒙华运煤铁路专线 MHJ-11 标段的重点工程, 该桥全长 7.9 km, 位于山西省河津市西郊, 设计墩台 194 个, 钻孔灌注桩

2943 根, 总延米 157381 m, 承载类型为摩擦承载桩, 最大钻孔直径 2 m, 最深设计桩长 91 m, 场地地面标高 370~374 m。根据工程施工进度要求, 首先施工重点控制性区段(汾河北坝跨汾河向南方向), 此区段桩径为 2 m, 共 24 个墩台, 平均孔深 67 m, 最长设计桩长 91 m, 最深成孔深度超过 97 m。

1.2 工程地质条件

工程地质勘探深度内地层主要为第四系全新统风积层, 土层为粉砂、细砂、中砂; 第四系全新统冲积层, 土层为新黄土、粘性土及粉土; 上更新统冲积层, 土层为新黄土、粘质新黄土、粘性土、粉土、砂类土及碎石类土, 局部为第四系全新统人工堆积层、素填土、填筑土。

1.3 水文地质条件

收稿日期: 2018-12-24; 修回日期: 2019-03-13 DOI: 10.12143/j.tkgc.2019.07.015

作者简介: 杨联锋, 男, 汉族, 1968 年生, 副院长, 高级工程师, 探矿工程专业, 主要从事钻探(井)工程技术与管理工作, 山西省晋中市大学街, sxjlylf@sohu.com。

引用格式: 杨联锋, 彭志平, 孙智杰. 汾河特大桥大直径超深旋挖钻孔灌注桩施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(7): 89-93.

YANG Lianfeng, PENG Zhiping, SUN Zhijie. Construction technology of large diameter ultra-deep rotary bored piles at Fenhe Bridge[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(7): 89-93.

桥址区地表水主要为汾河水,桥址段汾河水面宽约 35 m,水深 4~6 m,常年流水,水量受季节影响变化较大。桥址区地下水主要为第四系孔隙潜水,主要受大气降水及汾河水补给,其排泄方式主要为人工抽取。

1.4 不良地质及特殊地质

1.4.1 砂土液化

桥址区部分地段粉土及粉砂为地震可液化土,见表 1。

表 1 液化地层情况
Table 1 Liquefied stratum

地 段	液化地层岩性	埋深/m	厚度/m
DK525+290-DK526+100	粉土	4.7~17.3	1.6~10.8
DK527+087-DK527+463.5	粉土	9.7~11.3	1.0~3.5
DK528+204.2-DK529+100	松散、精密粉砂	8.0~20.0	1.3~12.4

1.4.2 崩塌

汾河三级阶梯地段黄土陡坎边缘,地形陡峭,高差约 100 m,黄土垂直节理发育,局部发生小型黄土坍塌及错落,边坡稳定性较差。

1.4.3 湿陷性

桥址区砂质及粘质新黄土具湿陷性。

2 施工设备的选择

根据工程地质勘察报告相关资料,考虑到本项目桩基数量多,口径大、超深孔、桩位密集,工期紧的实际情况,综合比较后,确定采用高效率的大扭矩旋挖钻机成孔、导管水下灌注成桩的桩基施工工艺方案。选用的 360 型旋挖钻机具有如下优点:

(1)履带底盘,接地压力小,适合于各种施工工况,在施工场地内行走自如,机动灵活,对孔位方便、快捷。

(2)自动化程度高、成孔质量好、效率高。该钻机为全液压驱动,电脑控制,精确定位钻孔、自动校正钻孔垂直度和自动测量钻孔深度,最大限度地保证钻孔质量。

(3)采用静态泥浆护壁的成孔工艺,减少泥浆污染。

(4)自带动力,缓解施工现场电力不足的矛盾。

3 施工技术要求

按照中国铁路总公司企业标准《铁路桥梁钻孔桩施工技术规程》(Q/CR 9212-2015)^[4]及总承包方下发的施工技术要求进行施工,详见表 2。

表 2 施工技术要求

Table 2 Technical requirements on construction

序号	项 目	质 量 控 制 要 点
1	测量放样	钻孔允许偏差:群桩 100 mm;单桩 50 mm
2	放护桩	引出十字护桩并保护好,要求中心偏差 ≤ 5 mm
3	护筒埋设	护筒严密不漏水,回填密实,埋深满足施工要求,顶面位置 ≤ 50 mm;倾斜度 $\leq 1\%$;孔内水位宜高于护筒底脚 0.5 m 以上
4	钻机就位	有防止钻机下沉和位移措施,对中误差 ≤ 10 mm;钻头直径满足成孔孔径要求
5	开钻钻进	泥浆指标按钻机机具和地质条件确定。对制备的泥浆应实验性能指标,钻进时应随时检查泥浆密度和含砂率。针对松散地层情况,新制备泥浆指标控制在 1.25~1.3 g/cm ³ 为宜,钻孔过程中做好钻孔记录
6	终孔检查	钻孔达到设计深度后,必须核实地质情况,孔深、孔径不小于设计值,倾斜度 $< 1\%$
7	钢筋笼加工	单面焊 $\geq 10d$;双面焊 $\geq 5d$;焊缝厚度 $\geq 0.3d$,并不得小于 4 mm;焊缝宽度 $\geq 0.8d$,不得小于 8 mm;焊渣敲净。主筋间距 $\leq \pm 5d$;箍筋间距 $\leq \pm 20$ mm。钢筋笼连接应做同等条件接头实验
8	钢筋笼入孔及焊接	声测管接头严密不漏水,绑扎牢固,间距均匀;保护层误差 $-5\sim +10$ mm;接头箍筋绑扎满足设计和验标要求;钢筋笼平面位置偏差 ≤ 10 cm,底面高程偏差 $\leq \pm 10$ cm
9	下导管	导管接头牢固,严密不漏水;控制导管长度和导管节数,导管下口距孔底控制在 25~40 cm
10	二次清孔	泥浆密度 1.05~1.10 g/cm ³ ,含砂率 $\leq 2\%$,粘度 17~20 s,孔深 \geq 设计桩长;摩擦桩沉渣厚度 ≤ 20 cm
11	混凝土浇筑	混凝土塌落度控制在 18~20 cm,保证首灌混凝土导管埋深 < 1 m,控制拔管长度,导管埋深控制在 1~3 m;在灌注过程中,混凝土连续灌注,每根桩的灌注时间宜在混凝土的初凝时间内完成,混凝土浇筑高度高出设计桩顶至少 1 m

4 施工初期发现的钻孔质量问题及原因分析

4.1 施工过程及质量问题

在开工初期的 177 号墩台,里程 DK528+168.3,地层分布从上至下为:粉土、粉砂、粉质粘土、粉土、粉砂、中砂、粉砂、粉土。松散砂层共 35 m,孔

深 8~20 m 为地震可液化土,桩孔施工时(直径 2 m、设计孔深 78.5 m),采用直径 2.3 m 护筒,护筒长度 5 m,钻头直径 2.0 m。入孔泥浆性能指标:密度 1.12 g/cm³,粘度 25 s,含砂率 2%。该桩孔施工结果:成孔时间 19 h,安放钢筋笼 11 h,安放导管 2.42 h,安放导管后量测孔底沉渣厚度 42 cm,超标

严重,经反复换浆清孔耗时约 15 h,沉渣厚度才达 18 cm,符合规范要求^[4-5]。混凝土灌注时间较长,充盈系数大,后经经验桩仪器检查,存在质量问题:

(1)32.5 m 左右处有缩径现象(见图 1)。(2)部分桩在破除桩头后发现钢筋笼位移现象,最多位移 7 cm(见图 2)。

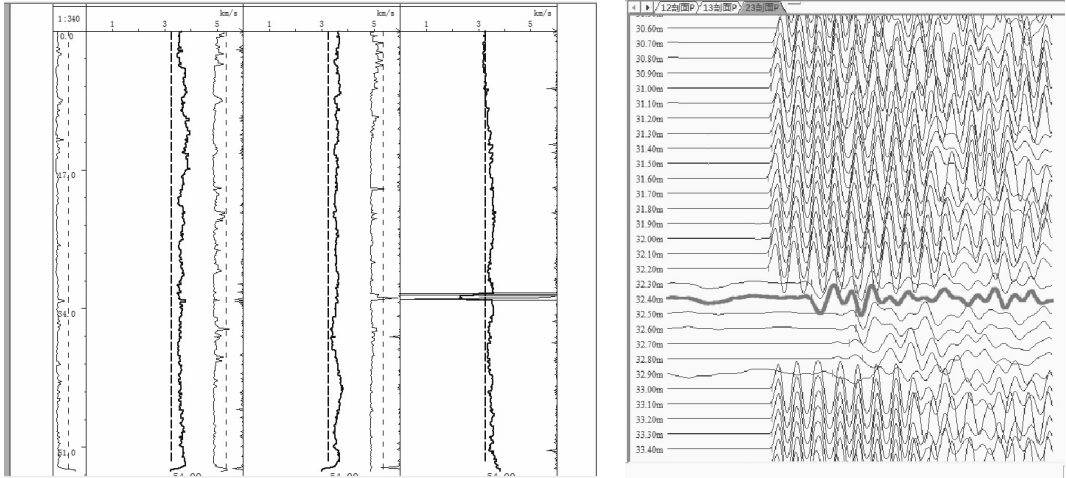


图 1 32.5 m 处缩径波形

Fig.1 Borehole shrinkage wave at 32.5 m



图 2 钢筋笼位移

Fig.2 Dislocation of rebar cage

4.2 原因分析

针对孔底沉渣过多、充盈系数超标、缩径、钢筋笼位移等问题,通过对施工过程和泥浆液的反复实验、测试和研究对比分析,找到了原因。

4.2.1 缩径问题

地层主要以粉砂、细砂为主,地下水系丰富,潜水层运动形式为紊流形态,孔壁很不稳定,在潜水层下部有近 1 m 透水性较差的粉质粘土层,这层粘土具弱膨胀性,分析发现,粉质粘土地层缩径与时间关系密切,孔壁的土层被水浸泡后,体积膨胀,钻孔孔壁一定厚度内的土的含水量近似达到其膨胀含水量后,停止膨胀^[6],会造成钻孔缩径,但不垮塌。

4.2.2 泥浆问题

泥浆性能不能满足单孔施工周期和地层要求,

致使松散地层的护壁效果降低,孔底沉渣超标,部分层位有扩径现象。

4.2.3 钢筋笼位移

由于在钢筋笼安放过程中两个吊环焊接的不对称和基台木安放不平稳,造成钢筋笼位移,影响了保护层厚度及均匀性。

5 旋挖钻机施工工艺的改进

根据上述对施工中遇到的问题分析,我们着重从泥浆的固相主材、泥浆用水、钻进工艺、现场施工过程管理等方面进行改进^[7-8]。

5.1 泥浆技术改进^[9]

首先解决泥浆主材膨润土,联系了浙江安吉、河南鹤壁、河北张家口、陕西洋县不同产地的膨润土厂家,各自发送 200 目的优质钠基膨润土样品,使用桶装矿泉水,按照 1:14 的配比进行泥浆配制,静置 48 h 后,发现除安吉的泥浆样品外,其余 3 种泥浆样品性能明显下降,尤其是胶体率性能对比差别较大。

水是泥浆的重要组成部分,水质对泥浆的性能有很大的影响。水中影响泥浆性能的主要因素是可溶盐的种类和含量,水中含有高价阳离子或过多低价阳离子都会使粘土水化减弱,泥浆稳定性下降^[10]。衡量水质的重要指标就是总矿化度和硬度,随后我们将工地用水取样,进行水质分析化验,发现几项指标严重超标,严重影响着膨润土的造浆率和体系的稳定

性。从水质分析报告中可以看出钙为 114.38 mg/L, 镁盐为 56.99 mg/L, 铵盐为 0.28 mg/L, 碳酸氢根 600.89 mg/L, pH 值为 7.5, 游离二氧化碳为 12.67 mg/L, 这些地下水的离子分子含量对于泥浆的性能会产生极大的影响, 因为钻孔过程中, 泥浆不断的与地下水接触, 会导致泥浆中 HO^- 含量降低, 打破泥浆中原有的 H^+ 、 OH^- 的平衡状态, pH 值下降, 膨润土的水化效果弱化。同时, 地下水中的镁离子、碳酸氢根离子、铵盐离子均会与现场配置好的泥浆中的 OH^- 发生化学反应, 从而增加了泥浆中的固相含量, 产生气孔, 影响泥浆的护壁性能, 致使松散地层垮塌、掉落, 造成孔底沉渣厚度超标、混凝土超耗。施工水源无法选择, 只有通过改良现场施工用水, 之后我们联系了膨润土厂家共同研究价格适中、操作简便、性能稳定的泥浆处理剂, 经过反复试验, 解决了当地水质对泥浆的影响, 泥浆的性能稳定可靠, 长时间不分解, 增加了悬浮能力。

5.2 桩径保持

钻孔成孔后, 停待 3 h, 采用同级钻头进行扫孔, 用钻头将膨脹入钻孔内的粘土部分削去, 钻孔的孔径就能保持规则形态。为了防止由于震动造成钻头底门打开, 在扫孔前把底门与筒体之间用电焊焊牢, 防止孔内事故的发生。通过扫孔保证了桩径指标, 提高了桩身质量。

5.3 泥浆日常管理

改善泥浆过程管理工作, 经常保持泥浆的优质、均匀, 以满足成孔、成桩质量。泥浆配置完成后要静置 24 h, 不可现用现配, 正确使用旋流除砂器除砂, 合理调节底流口尺寸, 避免堵塞, 力求底流口呈“伞状”流体。在泥浆池与孔口间设置沉淀池, 一孔一清理。

5.4 钢筋笼保护层

为有效控制桩身保护层厚度, 保证钢筋笼的居中位置, 在安放上笼前, 使用了 4 根 2.5 in ($\text{O}63.5$ mm) 无缝钢管平均分布安放于孔内四周, 钢管上部挂钩固定于护筒上, 混凝土灌注完成后, 将钢管拔出。此措施避免了因人为操作疏忽, 致使钢筋笼移位的质量通病。

5.5 施工现场管理

5.5.1 依靠制度管理

首先要求所有施工管理人员要不折不扣地执行各项管理规章制度, 项目主要管理人员更要以身作则。在此基础上, 项目部又针对劳动纪律、安全、质

量等方面制定了现场的管理制度, 明确了岗位职责, 制定了奖罚措施。制定了班前生产例会制度, 科学合理的组织施工工作。

5.5.2 编制针对性的施工方案

为了能够有计划地进行项目管理, 我们在开工前的准备期间编制了施工方案, 由项目主要管理人员根据现场情况、施工图纸、施工经验等进行编写。内容包括编制依据、工程概况、工程地质条件、承包内容、施工方法、施工组织、技术质量、工程安全措施、文明施工、施工预案等 10 个方面。

由于施工是动态运行的, 所以在施工中会根据实际情况进行调整验证。通过几个项目的情况比较, 凡是有计划的施工方案的项目, 施工效果都比较好, 正所谓凡事预则立, 不预则废。一个项目完成的好坏, 关键取决于准备工作充分与否, 再差的计划也比没计划好, 没有预控则会打乱仗。

5.5.3 把控环节、严格质量控制

项目生产的成败在质量, 评价项目最重要的砝码就是工程质量, 在生产中, 质量决定了进度、成本、效益。通过十几年的桩基施工, 我们总结出了桩基工程经常出现的质量问题及质量通病: 孔壁坍塌、护筒底部坍塌、钢筋笼上浮、钢筋笼变形、沉渣过厚、声测管不通、混凝土超方短方、堵管等。

为了杜绝此类质量事故的发生, 从施工源头、施工过程入手, 进行严格把控。根据施工流程的几个工序, 进行细化分解, 把原有的 9 项步骤分解成 50 个小节, 每一项小节都有操作标准、检验准则、复检程序, 并且把责任划分到班组或个人。在这 50 个小节中, 一般的程序需自检, 重要的流程节点需值班员进行检查。对于能够认真履行职责的个人或班组进行奖励, 对于屡次有误差的个人或班组要进行处罚, 值班员监管不力的也要进行责罚。

6 改进后的成果

改进后的泥浆质量稳定、可靠, 在成孔后 20 h 量测, 孔底沉渣在 5 cm 以内, 混凝土超耗得到有效控制, 声测管未发现堵塞现象, 破除桩头后钢筋笼居中, 未发现有移位现象, 保证了成孔成桩质量, 缩短成桩周期, 提高了施工进度。

7 结语

在大口径超深孔旋挖灌注桩施工中, 由于单孔

施工周期较长,常规配置的泥浆性能不能满足成桩质量要求,尤其在钻进施工松散砂层地层时,会发生孔壁坍塌、沉渣厚度超标等事故,给施工质量、安全、进度造成十分重大的影响。通过全面分析地质、水文情况及现场管理等方面的原因,配置出高粘、胶体率好的泥浆,很大程度上可以解决旋挖灌注施工中经常出现的质量通病。通过制定落实相应的现场管理制度避免了重复作业、孔内事故的发生,给整个项目施工带来了较好的经济效益。

参考文献 (References):

- [1] 杨联锋,刘成博.跨江特大桥旋挖钻孔灌注桩入海口水上施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):89-92.
YANG Lianfeng, LIU Chengbo. Over-water construction practice of rotary bored grouting pile at the estuary of Oujiang River[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(9):89-92.
- [2] 陈顺安,彭阳.旋挖钻在湘江特大桥的应用[J].湖南交通科技,2010,36(1):87-90.
CHEN Shunan, PENG Yang. Application of rotary drilling in the construction of Xiangjiang extra large bridge[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2010,36(1):87-90.
- [3] 彭海明.特殊地层中大口径钻孔灌注桩施工技术的研究[D].长沙:中南大学,2003.
PENG Haiming. Research on construction technology of large diameter bored piles in special stratum[D]. Changsha: Central South University, 2003.
- [4] Q/CR 9212-2015,铁路桥梁钻孔桩施工技术规范[S].
- [5] JGJ94-2008,建筑桩基技术规范[S].
JGJ94-2008, Technical code for building pile foundations[S].
- [6] 代万庆.膨胀土地层钻孔灌注桩缩径原因及预防措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(11):50-51,75.
DAI Wanqing. Cause of hole shrinkage of bored-grouting pile in expansive soil and the prevention measures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(11):50-51,75.
- [7] 聂金玲.天津高新区 117 大厦超长桩钻孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):64-67.
NIE Jinling. Construction technology of borehole for super-long pile of 117 Mansion in Tianjin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(6):64-67.
- [8] 李友东,王国辉.滨海复杂地层超深旋挖钻孔灌注桩质量问题改进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(11):80-83.
LI Youdong, WANG Guohui. Quality improvement technology for ultra-deep rotary bored grouting pile in complex coastal strata[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(11):80-83.
- [9] 薛振华,段东旭,杜世权.聚合物泥浆在钻孔桩施工中的应用[J].低温建筑技术,2013(5):120-122.
XUE Zhenhua, DUAN Dongxu, DU Shiquan. Application of the polymer mud in drilling pile[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2013(5):120-122.
- [10] 李世忠.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1992.
LI Shizhong. Drilling technology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.

(编辑 周红军)

(上接第 82 页)

- [20] 顾玉民,赵金花,高磊,等.多参量原位探测与可视化技术集成在海域天然气水合物勘查中的应用研究[J].矿床地质,2012,31(S1):423-424.
GU Yumin, ZHAO Jinhua, GAO Lei, et al. Application of multi-parameter in-situ detection and visualization technology integrated in offshore natural gas hydrate exploration[J]. Mineral Deposits, 2012,31(S1):423-424.
- [21] 艾勇福,刘敬彪,盛庆华.深海中深孔钻机监控系统设计与实现[J].电子器件,2009,32(6):1102-1105.
AI Yongfu, LIU Jingbiao, SHENG Qinghua. Design and realization of the monitoring system in deep-sea drilling machine[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2009,32(6):1102-1105.
- [22] 杨红刚,陈雪娟,刘小卫,等.水下勘察基盘用海底钳系统设计与分析[J].石油机械,2011,39(10):45-48.
YANG Honggang, CHEN Xuejuan, LIU Xiaowei, et al. The Design and analysis of the seafloor template pliers[J]. China Petroleum Machinery, 2011,39(10):45-48.
- [23] 汪飞雪,薛雄伟,曹晓明,等.双缸液压同步控制系统建模及仿真[J].锻压技术,2018,43(9):113-118.
WANG Feixue, XUE Xiongwei, CAO Xiaoming, et al. Modeling and simulating on hydraulic synchronization control system with double cylinders[J]. Forging & Stamping Technology, 2018,43(9):113-118.
- [24] 李志峰,赵志诚.基于模型参考模糊自适应的多缸同步控制[J].太原科技大学学报,2010,31(4):266-270.
LI Zhifeng, ZHAO Zhicheng. Multi-cylinder synchronization control based on model reference fuzzy adaptive method[J]. Journal of Taiyuan University of Science and Technology, 2010,31(4):266-270.
- [25] 邓飙,苏文斌,郭秦阳,等.双缸电液位置伺服同步控制系统的智能控制[J].西安交通大学学报,2011,45(11):85-90.
DENG Biao, SU Wenbin, GUO Qinyang, et al. Intelligent control for electro-hydraulic position servo synchronic control system with double cylinders[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2011,45(11):85-90.

(编辑 王建华)