

复杂地层振冲碎石桩施工技术研究

陈志刚, 侯树芃, 龚泽鹏

(华电金沙江上游水电开发有限公司拉哇分公司, 四川 成都 610041)

摘要:对于液化层埋深、地层构造复杂无法使用常规振冲设备进行地基加固处理的地层,通过施工工艺的试验性探索、相关施工设备的选型、施工工序的衔接、加密制桩相关控制参数的控制,同时借鉴当前国内外相关地层的处理经验,通过引孔式振冲法很好地处理了复杂的地层,其适用性在引孔与下设护筒后得到了极大的提升。随着需要处理地层复杂程度的变化,振冲碎石桩施工工艺也将不断探索与改进,以便适宜复杂多变地层下液化层的加固处理。

关键词:振冲碎石桩;复杂地层;施工技术;质量检查

中图分类号:P534;TU521.2+5;U445.4

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2022)03-0027-04

Study on Construction Technology of Vibroflotation Gravel Pile in Complex Stratum

CHEN Zhigang, HOU Shupeng, GONG Zepeng

(Lawa Branch of Huadian Jinsha River Upstream Hydropower

Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: Foundation with deep buried liquefied layer and complicated stratum structure cannot be reinforced by conventional vibrating equipment, but can be well treated by applying method of vibroflotation with guiding hole on the basis of conducting experimental exploration of the construction technology, right selection of related construction equipment, reasonable scheduling of construction procedures, stricter control of the parameters related to pile construction, and learning from international good practices in strata treatment. The complex strata is well treated by applying the method of vibroflotation with guiding hole, and the applicability of vibroflotation method is greatly improved after guiding hole and casing are arranged. With the change of the complexity of the stratum, the construction technology of vibroflotation gravel pile will be explored and improved continuously, so as to suit the consolidation of the liquefied layer under complicated and changeable stratum.

Key words: vibroflotation gravel pile; complex stratum; construction technology; quality inspection

1 概述

传统振冲碎石桩是使用振冲器进行造孔后填料密实,其对地层的稳定性及可钻性有较高的要求。随着地层的复杂多变,振冲碎石桩造孔工艺也随着处理地层的复杂性而改变。

据勘探资料,河床覆盖层厚 17.7~58.8 m,江心纵向覆盖层厚 35.35~55.55 m,下游侧相对较厚。覆盖层总体上沿江心一带的堆积层比较厚,向两侧逐渐变薄。物质构成主要以砂卵砾石层为主,局部夹有含砾中粗砂、含泥砾粉细砂透镜体,分布厚度变化较大,埋深大于 20 m。河床覆盖层按其颗粒组成、分布层次等,自上而下大体可分为:

(1) 回填碎石土:为开挖弃渣料,主要为含泥砂卵砾石,局部含块石及孤石。

(2) 砂卵砾石层:分布于河床覆盖层上部,层厚 12~27 m,分布规律为两侧相对较薄,局部夹有含砾中粗砂层透镜体。

(3) 含泥砾中粗砂层:分布于河床覆盖层中上部,揭露该岩组埋深 12~26 m,横向分布连续,左厚右薄,推测纵向延伸长度大于 300 m,向上下游侧呈透镜状渐变尖灭。

由于施工区域地下水较为饱和,且降水难度较大,为保证振冲碎石桩干地施工,河床水位必须保持在振冲碎石桩施工平台高程 1 m 以下左右。

河床坝基心墙下存在范围较小的砂层透镜

收稿日期:2022-05-10

体,其范围在坝上下游方向延伸约 120 m,坝轴线方向约 180 m,最大埋深距地面约 20 m。经分析,虽然该透镜体不存在液化问题,但其力学指标低于相邻砂卵石层,且心墙正好坐落在该透镜体上。为避免不均匀沉降造成心墙局部破坏,同时提高心墙部位地基承载力,采用碎石振冲桩进行处理。大坝基础振冲碎石桩施工范围为坝上 0+012~坝下 0+013,坝右 0+089.12~坝右 0+273.12 范围内,高程 2 480~2 466 m 采用振冲碎石桩对基础进行加固处理。

2 振冲碎石桩施工

由于需处理的砂层透镜体位于回填碎石土及砂卵石层下,造孔需穿透上部回填碎石土及砂卵石层,而传统振冲器造孔却无法穿透上部砂卵石层。由于地下水位较高,地层饱和度较大,致使上部回填碎石土及砂卵石层胶结性差,极易发生塌孔漏浆情况,因此,只能采用引孔成桩的施工工艺进行地基处理。因为地层的复杂性及外界施工条件的局限性,从施工合理性及工期要求通过现场试验择优选取旋挖钻机引孔并下设护筒的施工工艺。

2.1 改善外界施工条件

(1)对于上部回填碎石土及砂卵石层,局部存在较大粒径的卵石及孤石,在引孔时极易导致钻孔偏斜且施工难度较大,在施工前期对上部 4 m 范围内的粒径大于 20 cm 的石块进行换填清理。

(2)对于地下水位高及地层高饱和度,极易在造孔过程中发生塌孔风险,采用在施工平台周边开挖深度约 3 m 左右的截排水沟进行引排。

2.2 造孔工艺性试验

2.2.1 引孔及护筒下设试验

原施工为上部 2 m 范围引孔并下设护筒后进行振冲器造孔施工,下部采用振冲器造孔施工。后经现场试验,振冲器无法在该地层进行造孔施工。经研讨分析,对于上部约 12~27 m 砂卵石层较厚,粒径较大且较为密实,依靠振冲器挤密造孔施工较为困难。

经过现场试验,需对于上部回填碎石土层及砂卵石层采用全段引孔穿透。在引孔过程中,由于地层含水饱和且胶结性差而时常发生塌孔,只有通过增加护筒下设才能保证在该地层的造孔

施工。由于该地层对护筒下设的摩擦阻力较大,致使护筒下设同样存在一定的难度。

摩擦式钻杆常用于较软地层的钻孔施工,可钻进淤泥层、泥土层、泥(砂)层、卵(漂)石层。机锁式钻杆不但可以用于软地层,还可在较硬的地层作业。机锁杆旋挖钻机可以钻进粉土、黏土、淤泥层、砂土层、强风化岩层和卵石层^[1]。经过现场多次试验及综合考虑,使用旋挖钻机摩擦阻式钻杆带截齿筒并在该地层全段下设护筒,钻孔孔能够穿透该地层,保障成孔率。遇较大孤石时,使用旋挖钻机机锁式钻杆带截齿筒钻进。护筒按照 6~8 m 一节进行下设,护筒采用焊接方式进行连接,制桩后,护筒起拔拆除。钢护筒(壁厚 30 mm、直径 1 m)顶端高出地面 0.3 m,护筒埋设偏差不得超过 30 mm。钢护筒下设采用旋挖钻机钻设直径为 1 m 的导孔,75 t 履带吊配合 ZD120A 型振动锤下设护筒是较为科学和可行的施工方案。

2.2.2 振冲器造孔试验

施工中,采用旋挖钻机引孔穿透回填碎石土层及砂卵石层。

(1)ZCQ180 型振冲器造孔(加水造孔)。使用 ZCQ180 型振冲器常规加水造孔,其电流值达约 350 A,多次超过荷载跳闸,均不能有效进行造孔施工,反而极易发生埋设振冲器事故,同时对振冲器本身的损害较大。

(2)ZCQ180 型振冲器造孔(加水、风造孔)。对 ZCQ180 型振冲器加装供风系统进行造孔施工,其效果较只加水方式更好,但在造孔施工中,尽管电流超过负荷也不能达到设计深度。由于供风扰动,孔段均出现不同程度塌孔现象。

(3)ZCQ260 型振冲器造孔(加水造孔)。使用大功率 ZCQ260 型振冲器进行相关造孔试验,其优势较 ZCQ180 型振冲器并无明显变化,而且在施工中多次超载跳闸,说明在该地层使用大功率振冲器设备更加危险。对于振冲器无法在含泥砾的粗砂层中振冲造孔,主要原因是砂层原始层状较为密实,在长时间振动后析水板结,振冲器无法穿透。

2.2.3 含泥砾中粗砂层旋挖钻机造孔试验

鉴于含泥砾中粗砂层的原始密实度较高,在试验阶段采用旋挖钻机摩擦阻式钻杆带筒钻进行该

层上部引孔钻进。因该层密实度高,且处于高饱和水状态,对摩阻式钻杆损伤较大且不易成孔,致使旋挖钻杆易被破坏,破坏形式大多为疲劳断裂与扭转变形,甚至发生钻杆失稳造成弯曲^[2]。经过多次试验和分析,后采用旋挖钻机机锁式钻杆带截齿筒钻、双层底钻头钻进引孔,虽然能够进行部分孔段引孔,但引孔后存在垮塌情况,振冲器也无法进行造孔施工。

为了有效切割扰动含泥砾中粗砂层,达到振冲器下穿挤密该层的效果,反复钻孔试验和研究设备相关的适用性,并根据旋挖钻头的选配与使用胶结好的砂卵砾石和强风化岩石,需配备锥形螺旋钻头、双层底旋挖钻头(粒径大的用单口,粒径小的用双口)和合金斗齿(子弹头),才会收到好的效果^[3]。

经综合试验情况并根据机械构造性能,选择对该处地层采用上部回填碎石土及砂卵砾石层(处理层厚约 4~12 m)采用旋挖钻机摩阻式钻杆或者机锁式钻杆带截齿筒钻进行引孔钻进施工,并且全段下设护筒;而含泥砾中粗砂层(处理层厚约 4~8 m)则采用旋挖钻机机锁式钻杆带截齿筒钻、双层底钻头钻进进行部分引孔,并使用旋挖钻机机锁式钻杆带螺旋钻头进行下穿扰动。含泥砾中粗砂层及下部砂卵砾石层(处理层厚约 6~10 m)使用振冲器下穿造孔至深入下部砂卵砾石持力层,达到设计标准后结束造孔。在造孔过程中,将振冲器反复下沉、上提 2~3 遍进行扩孔。

表 1 部分桩体试验施工统计数据表

序号	桩号	施工深度 /m	设计孔深 /m	有效桩深 /m	填料量 /m ³	平均桩径 /m
1	B ₁	19.31	18.94	14.31	16.60	1.14
2	B ₂	19.11	19.05	14.11	18.35	1.13
3	B ₃	19.57	19.05	14.57	15.88	1.11
4	C ₁	17.31	17.11	12.31	15.25	1.18
5	C ₂	17.15	17.11	12.15	13.07	1.09
6	C ₃	17.66	16.91	12.66	14.94	1.08

3.2 桩体密实度检测

桩体完整性及密实程度检验。选用重载动力触探或超重载动力触探进行测试,抽检桩体参照《水电水利工程振冲法地基处理技术规范》(DL/T5214-2016)及《建筑地基检测技术规范》(JGJ340-2015)关于碎石桩密实程度的关系,N63.5 与碎石桩密实程度的关系为修正后大于 10 击即可判定为密实,N120 与碎石桩密实程度的

2.3 清孔及加密制桩

2.3.1 清孔

当达到设计孔深和设计处理边界状态时,若返出泥浆过稠或出现桩孔缩颈迹象,需要清孔 2~3 遍,直至孔口返出泥浆变稀为止^[4]。

2.3.2 填料制桩

使用含泥料不低于 5% 的碎石等硬质材料,不使用已风化、易腐蚀或软化的石料。填料粒径以 20~80 mm 为佳,最大粒径不超过 100 mm。填料宜选择连续级配的碎石料,小、中碎石比为 1:1,并在现场指定位置进行拌合,然后进行振冲填料。

桩体加密从桩底开始,加密段长度约 0.5 m,逐段向上进行,同时,利用振冲器的水平振动力将填入孔中的石料不断挤向侧壁土层中,同时使填料挤密,直到符合设计控制要求^[5]。

利用安装在不同设备上的数据采集传感器,可以实现对振冲施工过程中的深度、电流、电压和填料量等进行实时的监控,并形成数据报告。对整个施工流程实现动态监控,并科学合理地录入制桩流程数据,对制桩流程实施严格监管,从而有效管理工程建设质量。

3 质量检查

3.1 桩体直径检查

根据过程施工质量管控,制桩后桩体有效平均桩径均大于 1 m,满足相关设计要求。按要求抽检部分桩体试验施工统计数据见表 1:

关系为修正后大于 11 击即可判定为密实,密实程度均判定为很密实。桩体密实度检测统计见表 2。

3.3 桩间土处理效果检测

根据对桩间土在振冲桩施工前后检测进行对比:

B 区承载力原始特征值是 500 kPa,经过桩体处理后提升至大于 700 kPa,较原始地基提升约 40%;C 区承载力原始特征值是 410 kPa,经过

表2 桩体密实度检测统计表

序号	桩号	有效桩深 /m	平均击数	修正后平均击数	密实程度	备注
1	B ₁	14.31	N _{63.5'} =27.4	N _{63.5'} =16.9	很密实	重型动力触探
2	B ₂	14.11	N _{120'} =23.4	N _{120'} =16.7	很密实	超重型动力触探
3	B ₃	14.57	N _{63.5'} =24.8	N _{63.5'} =17.5	很密实	重型动力触探
4	C ₁	12.31	N _{63.5'} =28.7	N _{63.5'} =19.1	很密实	重型动力触探
5	C ₂	12.15	N _{63.5'} =27.0	N _{63.5'} =18.9	很密实	重型动力触探
6	C ₃	12.66	N _{120'} =26.6	N _{120'} =16.9	很密实	超重型动力触探

桩体处理后提升至大于 470 kPa,较原始地基提升约 14.63%。

分析其改善效果,C区与B区区别较大,主要原因是C区部位地层中含泥,泥质结构对整体承载力改善存在一定的影响,而B区不含泥。从分析结果判定,制桩加密后的桩间土能够满足设计相关要求。

3.4 单桩荷载试验

为判定碎石桩单桩的承载力,进行了碎石桩单桩承载力原位静载荷试验,试验采取堆载法,载荷板直径为 1 m,从 P-s 单桩荷载试验曲线(图 1)上看,0~8 级近乎于直线,可以确定为压密变形阶段,对应的荷载 1 000 kPa 定为临塑荷载,从第 9 级往下为塑性变形阶段,没有明显的陡降段,P-s 曲线上拐点没有出现,并且按照规范其沉降总量也未达到载荷板直径的 6/100,桩体整体性未出现损坏。承载力 $P_0=1\ 000\text{ kPa}$, $E_0=67.4\text{ MPa}$ 。

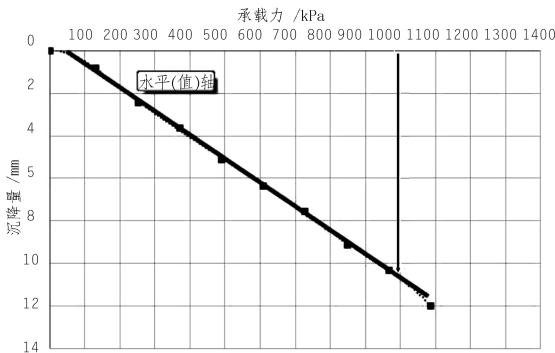


图1 单桩荷载试验曲线图

承载力特征值经检测能够满足单桩设计 850 kPa 的要求。

4 结 语

对于液化层埋深、地层构造复杂无法使用常规振冲设备进行地基加固处理的地层,通过施工工艺的试验性探索、相关施工设备的选型、施工工

序的衔接、加密制桩相关控制参数的控制,同时借鉴当前国内外相关地层的处理经验,通过引孔式振冲法很好地处理了复杂的地层问题,其适用性在引孔与下设护筒后得到了极大的提升。通过该复杂地层下的振冲碎石桩引孔及下设护筒施工,对引孔过程中旋挖钻机的钻杆形式及在各类地层情况下的钻头适用性进行了进一步的探索。对于上部较为松散但质地坚硬的地层一般采用摩阻式钻杆或者机锁式钻杆带截齿筒钻进行引孔钻进施工,对于埋设较深摩阻较大的地层可采用机锁式钻杆带截齿筒钻、双层底钻头、螺旋钻头进行一定深度的造孔与地层切割。在引孔及下设护筒满足常规振冲器造孔后再使用振冲器进行造孔与制桩施工,在一定程度上突破了固有的振冲碎石桩的适用性,为以后类似地层的加固处理提供了一定的施工经验。随着以后工程情况的特殊性以及需处理地层的复杂性,振冲法加固处理还需不断地探索,以便适应于更复杂的地基加固处理。

参考文献:

- [1] 翁炜,黄玉文,胡继亮,等.旋挖钻机钻杆失效形式分析及制造工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,(10):1-3.
- [2] 程斐.旋挖钻机钻头的选配与使用[J].中国煤炭地质,2009,21(1):39-41.
- [3] 水电水利工程振冲法地基处理技术规范[S].DL/T5214-2016.
- [4] 孙士国,朕生乾.振冲碎石桩施工方案[R].四川:中国安能集团第三工程局有限公司,2021,6-7.
- [5] 孙士国,贾洪波.振冲碎石桩施工总结报告[R].四川:中国安能集团第三工程局有限公司,2021,13-14.

作者简介:

陈志刚(1992-),男,甘肃陇西人,助理工程师,本科,从事水电工程建设管理工作;
侯树芃(1997-),男,甘肃武威人,助理工程师,本科,从事水电工程建设管理工作;
龚泽鹏(1997-),男,四川成都人,助理工程师,本科,从事水电工程建设管理工作。

(责任编辑:卓政昌)