

北京上庄东路巨型砂石坑回填路基复合处理技术

秦俊生^{1,2}, 涂晓方², 周自梁², 陈刚³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 北京市地质矿产勘查开发总公司, 北京 100050; 3. 北京市地质工程勘察院, 北京 100037)

摘要:根据北京上庄东路巨型砂石坑的地质条件及周边情况,采用振冲碎石桩、强夯置换及强夯复合地基处理技术与重锤夯扩挤密碎石桩对砂石坑回填路基进行综合处理。在高水位的情况下,对由软土和建筑垃圾回填形成的砂石坑,采用振冲碎石桩作为砂石坑渗水通道,通过强夯置换形成纵向增强体并加大处理深度,最后采用强夯处理的复合处理方案;对于桥桩两侧的回填土路基则采用重锤夯扩挤密碎石桩方案,减少对桥桩的影响。

关键词:砂石坑回填路基;振冲碎石桩排水;强夯置换;强夯;重锤夯扩挤密碎石桩;复合处理方案

中图分类号:U416.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)02-0060-04

Comprehensive Treatment Technology of Roadbed of Large Sandstone Pit Backfill in Beijing/QIN Jun-sheng^{1,2}, TU Xiao-fang¹, ZHOU Zi-liang¹, CHEN Gang³ (1. China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. Beijing Geology and Mineral Resources Prospecting and Developing Company, Beijing 100050, China; 3. Beijing Institute of Geological Engineering, Beijing 100037, China)

Abstract: According to the geological conditions of the large sandstone pit and the peripheral conditions, the ideal comprehensive application of vibro-replacement stone column, dynamic replacement & dynamic composite foundation treatment and heavy compacted crushing stone pile in Shangzhuangdonglu backfill roadbed of sandstone pit was introduced. At high water level, for the sandstone pit back-filled with soft soil and construction waste, vibro-replacement stone column was taken as the seepage tunnel, by dynamic replacement to form vertical reinforcement with the treatment depth increasing, and finally the compound treatment scheme of compact consolidation was adopted. For the backfill roadbed at both sides of bridge pile, the scheme of heavy compacted crushing stone pile was used in order to reduce the impact to bridge pile.

Key words: backfill roadbed of sandstone pit; seepage by vibro-replacement stone column; dynamic replacement; dynamic compaction; heavy compacted crushing stone pile; compound treatment scheme

1 工程概况

北京上庄东路道路工程位于北京市海淀区与石景山区交汇处,连接阜石路和复兴路,道路全线长 2.15 km,红线宽度 40~50 m,规划为市政主干道。现状为 2 个直径约 800 m 的巨型砂石坑回填后形成的填方区,地基的承载力以及沉降均不满足设计要求,需对本路段的桥头以及南侧路段的路基进行处理,以达到以下目的:(1)使其承载力 ≤ 120 kPa;(2)消除新近填土的欠固结沉降;(3)确保桥台最终沉降量 ≥ 50 mm;(4)确保附近变电站的正常使用,不能影响已施工桥桩的质量及安全。

2 场地工程地质与水文地质条件

2.1 场地工程地质条件

拟建场地位于永定河冲洪积扇中上部,下覆地层颗粒较粗。因开采砂石形成横跨南北的两个巨大砂坑,北端砂坑因桥梁施工已回填至地面,南端砂坑

部分回填,原砂坑积水受采石场排渣影响,已被淤积的泥沙挤至拟建场地西侧,场地内地形起伏变化较大,地面标高为 53.66~63.88 m。

场地地面以下 25 m 深度范围内的地层划分为人工堆积层、第四系沉积层及侏罗系基岩 3 大类。根据岩土体的物理力学性质进一步分层描述如下:

(1)人工填土层,该层土质极不均匀。

粉土填土①层:褐黄色,稍密、稍湿,含砖渣、灰渣、植物根系等;

卵石填土①₁层:杂色,中下密,湿~饱和, $D_{60} = 20$ cm, $D_{10} = 2 \sim 4$ cm,亚圆形,含量约 60%,粉土及细砂充填,含砖渣、灰渣等;

房渣土①₂层:杂色,稍密,湿~饱和,含砖块、灰渣、卵石等;

细砂填土①₃层:褐黄色,中下密,湿~饱和,颗粒较均匀,含砖渣、卵石等;

淤泥质粉质粘土填土①₄层:黄褐~灰色,饱和,

收稿日期:2011-07-12;修回日期:2011-12-09

作者简介:秦俊生(1970-),男(汉族),安徽人,中国地质大学(北京)博士在读,北京市地质矿产勘查开发总公司副总经理、高级工程师、国家注册一级建造师、注册安全工程师,探矿工程专业,从事探矿工程、岩土工程、地质灾害工程及矿山环境治理新技术研究工作,北京市西城区南纬路 4 号北京市地质矿产勘查开发总公司,flowboy@163.com。

流塑~软塑,含砖渣、圆砾等。

该大层厚度为 17.00 ~ 23.5 m,层底标高为 39.79 ~ 40.16 m。

(2)一般第四系沉积层,主要为卵石②层,杂色,密实,湿~饱和, $D_{大} = 10\text{ cm}$, $D_{一般} = 2 \sim 4\text{ cm}$,亚圆形,含量约 70%,中粗砂充填。

(3)侏罗系基岩。

强风化凝灰岩③层:黄白色,岩体较破碎,节理、裂隙发育,裂隙面有红褐色锈蚀斑点;

强~全风化凝灰岩③₁层:黄白~棕红色,全风化,结构已破坏,呈土状。

2.2 场地水文地质条件

本路段揭露 2 层地下水,第一层为上层滞水,静止水位标高 54.96 ~ 51.59 m(埋深 0.10 ~ 5.50 m),主要受砂石场洗砂排水影响;第二层为地下潜水,静止水位标高 41.04 ~ 40.46 m(埋深 13.00 ~ 14.60 m)。

3 回填砂石坑地基处理方案

3.1 回填土的特征及地基处理难点

3.1.1 回填土的特征

回填时间长短不一,绝大部分为近期砂石厂的废弃物;回填的材料主要有砂子、粘性土、石子,普遍夹淤泥;回填土层分布不均匀,杂乱无章;地下上层滞水丰富。总体特征表现为地基承载力低,沉降量大及沉降不均匀。

3.1.2 地基处理难点

回填土处理深度较大,平均深度 20 m;回填土处理的面积大,约 15700 m²;淤泥质粉质粘土填土①₄层普遍分布,厚度 1.5 ~ 2.0 m,呈流塑~软塑状态,承载力低,沉降量大,固结时间长;地下水较浅。

3.2 地基处理方案的选择与优化

根据勘察报告和路基设计要求,本工程地基处理主要是加固处理人工填土。

对桥台两侧,由于桥台灌注桩已经施工,采用强夯进行施工时考虑到震动对桩身质量的不利影响,因此采用重锤夯扩挤密碎石复合地基处理方法,该方法具有处理深度大、桩间土挤密效果好等优点,既能满足路基的承载力要求又能同时保证地基土的均匀性和压实度,减小路基沉降量和沉降差,而且可有效的保护桥台灌注桩不受施工影响。

南侧路段填土地基处理可采用方法较多,常见的方法有:(1)换填碾压;(2)抛石挤淤;(3)沉管挤密碎石桩或振冲碎石桩;(4)夯扩挤密碎石桩;(5)CFG 桩法;(6)振冲碎石桩排水、强夯置换结合面层强夯复合

处理方案。方法(1)~(5)分别存在土方开挖量大,需采取截排水措施、处理深度小,处理效果得不到保证、成孔深度受回填料影响大,施工用电量,用电量得不到保证、工程造价高等不足,方法(6)具有处理效果好、处理影响深度大、工程造价低等优点。

强夯法处理填土地基具有施工工艺简单、施工速度快、造价低廉等特点,但对于本工程中重点要处理的高饱和度淤泥来说,单纯的强夯法施工无论是增加强夯能量还是强夯的击数对于粘性土中孔隙水的消散作用都不显著。本工程地基处理的关键是加速软粘土中孔隙水的释放和消散,加速软粘土的固结,只有通过增加排水通道才能达到上述目的,强夯置换砖渣土(碎卵石)桩法可以很好解决上述难题。

强夯置换原理:重锤自高空落下瞬间形成巨大的能量对被加固土体产生 3 个方面的作用,一是直接位于重锤下面的土在瞬间高能冲击下形成一个压密体;二是土体在巨大能量冲击下发生竖向剪切破坏,形成圆柱形深坑;三是锤体落下冲压和冲切土体形成夯坑的同时,还产生强烈的震动,以震波的形式将能量向土层深处传播,基于震动液化、排水固结和震动挤密等联合作用,使置换体周围的土体也同时得到加固。其原理如图 1、图 2 所示。

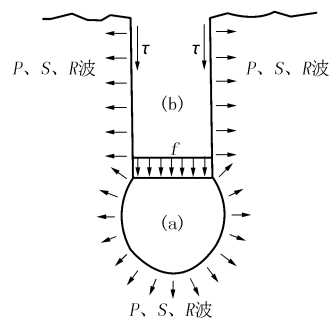


图 1 强夯动能在地层中的转换传递路径

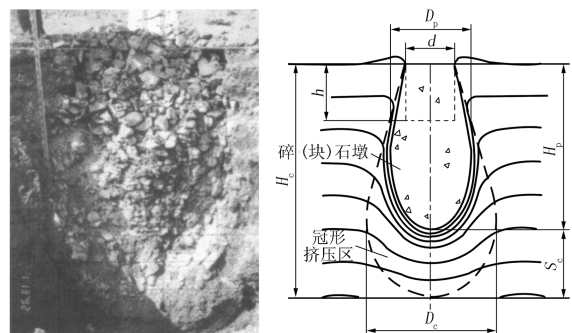


图 2 填料夯扩桩端地层压缩变形示意图

为保证工程质量,提高工程效果,对施工场地先进行抛石整平提供作业面后,在路基两侧采用振冲碎石桩,达到排水渗水的目的,同时也能限制坡角的

位移,待降水、排水结束后再进行强夯置换施工,强夯置换施工完成后再进行强夯施工。

因此,采用振冲碎石桩排水+强夯置换+强夯法复合处理方案既能满足路基的承载力要求又能保证地基土的均匀性和压实度,减小路基沉降量和沉降差,是本场地地基处理的最佳方案。

4 地基处理方案及设计参数

4.1 振冲碎石桩设计

设计参数:桩径 800 mm;桩长 13 m,桩端进入卵石层①、或②(按地质勘察报告孔口标高+地面铺填 1 m 的砂石);桩体材料选用直径 3~5 cm 的碎石或卵石;碎石桩布置在路基的两侧,间距 3.0 m。

4.2 强夯置换地基处理设计

对于回填土路基,在进行大面积强夯施工前,先进行强夯置换施工。强夯置换施工前,为确保强夯机械安全平稳施工作业,应先进行场地平整,去除表层的冰层和冻土,铺设 1 m 厚的毛石,再铺 0.5 m 厚的砂石。

强夯置换设计参数:强夯锤重 15 t;重锤直径 1200 mm;填充材料为碎石或卵石;碎石墩体直径 2000 mm;碎石墩深度 4 m;终孔标准:采用深度和贯入度双控原则,即:深度 4 m 和最后 2 锤贯入度 < 10 cm;孔位间距 5 m × 4 m,三角形布置。

4.3 强夯设计计算

强夯设计施工参数包括:锤重和落距、最佳夯击能、单点夯击能、单点夯击数、夯点布置、夯击遍数以及两遍间隔时间、处理范围等。

4.3.1 单点夯击能

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79 - 2002)和公式(1)即可确定:

$$H = \alpha \sqrt{Mh/10} \quad (1)$$

式中: H ——加固深度,大于 7 m; M ——锤重; h ——锤落距,m; α ——修正系数,取 0.5~0.8,本工程可以取 0.5。

经计算,当锤重 18 t,落锤高度 15 m 时,即夯击能 3000 kN·m 时,即可满足设计要求。

4.3.2 单点夯击数

单点夯击随着击数增加,土体越来越密,此时具有一个最佳夯击数,超过此击数时,地基土不但不会加密,反而会越夯越松,因此单点夯击数应由现场单点夯击试验确定。夯点的夯击次数应满足下列条件:最后两击的平均夯沉量 > 50 mm;夯坑周围地面不应发生过大的隆起;不因夯坑过深而发生提锤

困难。一般单点夯击数为 4~6 击。

4.3.3 夯点布置

为了保证整个场地都能均匀加固不留空白,同时又要考虑到夯击坑的有效影响范围,因此单点夯击间距与夯锤直径有密切关系,一般夯锤直径为 2.5 m,由单点夯击试验隆起曲线确定单点夯击间距,遍夯单点夯击间距为 6~7 m。根据本工程基础大小形式,设计采用直径为 2.4 m 的夯锤,单点夯击间距为 7 m,采用三角形布置。

4.3.4 夯击遍数

夯击时单点重夯应采取 2 遍,布点梅花型交叉布置,最后一遍为低能量满夯。满夯能量为 1000 kN·m,采用低落距锤,锤印搭接 1/3。

4.3.5 处理范围

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79 - 2002),考虑到本工程结构要求以及地质条件,设计基础外超出的处理范围为最外边基础外皮向外 3.0 m。

4.3.6 两遍之间的时间间隔

因本工程地下水水位埋深较浅,同时,需要进行处理的地基土含水量相对较大,根据有关经验,两遍强夯施工不可连续进行,需要间隔 1 周进行孔压水消散。在大面积施工前应消除地面积水,保证机械正常作业。

4.3.7 强夯现场试验

在进行正式的强夯施工前,在现场有代表性的地点进行单点试验和小区试验,以确定最佳强夯施工参数。

4.3.7.1 单点夯试验

进行单点夯试验的目的是为了合理选择夯击数,每个试夯小区均布设 2 个单点夯击试验点及 2 个地面变形观测试验点,测量其周围的地面变形(即高程变化和水平位移量)。

用随机抽样检验法,抽取 2 个单点作夯击试验点,详细观测每击夯沉量,并作出击数 N 与沉降量 s 的曲线图。

单点做地面变形观测的方法是用 $\varnothing 6$ mm 钢筋,截取 200~250 mm;6 mm 厚钢板切割成 20 mm × 20 mm 方形块。将 2 根 200~250 mm $\varnothing 6$ mm 钢筋与钢板中心上下对正焊接,即制成变形观测器。选取夯点,布置变形观测网,从圆心选 2 条射线(夹角为 90°)方向,距圆心 2.5 m 埋设一个变形观测器,再每隔 500 mm 埋设一个变形观测器,每个方向共埋设 4 个观测器,第五个观测器布置在距圆心 5.5 m 处,如图 3 所示。埋设深度为起夯面下 300 mm,要求下面

的钢筋打入原状土,钢板紧贴原状土面。

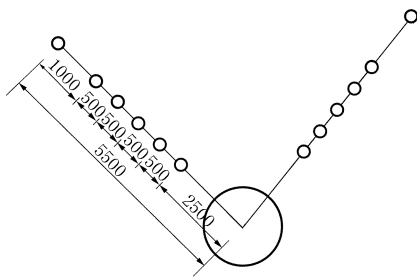


图3 点夯试验变形观测布置图

4.3.7.2 小区群夯试验

小区群夯试验的目的是判断强夯的适宜性和夯后地基所能达到的物理力学指标是否满足设计要求。是在单点夯试验的基础上,按设计确定的夯击能、夯击数和布点间距分遍施工,并控制最后两击的平均夯沉量满足设计要求,使地基土在水平方向和垂直方向均得到有效加固。群夯试验过程中取得的参数将是指导工程施工的依据。工程施工的程序与群夯试验施工完全一致。

小区试验内容包括:强夯施工前的重型动力触探试验($N_{63.5}$)和轻型动力触探试验(N_{10});强夯施工后重型动力触探试验($N_{63.5}$)和轻型动力触探试验(N_{10});以及夯前夯后的 ω 、 γ 、 E_s ;

在进行小区试验夯击后,间隔6天以后,进行标准贯入试验检测,检验强夯处理效果。同时通过试验夯取得施工最佳参数,从而更有效的保证地基加固的效果。

4.3.8 强夯设计参数

强夯锤重20 t;重锤直径2400 mm;强夯能量3000 kN·m;夯点间距7 m×4 m;遍数为2遍点夯、1遍平夯;夯击数暂定5击。

4.4 桥台两侧填方段夯扩挤密碎石桩设计计算

4.4.1 柱锤夯扩挤密碎石桩复合地基设计

挤密碎石桩设计参数:设计桩径550 mm;设计桩长5~9 m;设计桩间距1.4 m;置换率 $m=0.12$ 。

挤密碎石桩复合地基承载力按照下式进行计算:

$$f_{spk} = mf_{pk} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (2)$$

式中: f_{pk} ——桩体承载力特征值,取400 kPa; m ——碎石桩面积置换率,为0.12; β ——影响系数,为1.1; f_{sk} ——桩间土承载力特征值,取90 kPa。

经过计算,碎石桩复合地基承载力特征值 $f_{spk}=135$ kPa,满足设计要求。

4.4.2 复合地基沉降计算

根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002),按照下式进行复合地基沉降量计算:

$$S = \varphi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{spi}} (z_i \alpha_i - z_{i-1} \alpha_{i-1}) \quad (3)$$

其中各复合土层压缩模量按下式计算:

$$E_{sp} = \xi E_{s,k} \quad (4)$$

根据经验,取经过夯扩挤密后的地基土压缩模量为8.0 MPa,则复合土层压缩模量为12.0 MPa。

桥台中心点最大沉降计算结果分别为41.05 mm。满足设计要求。

4.5 场地平整有关要求

由于场地仍在生产砂石,地表大量洗砂水漫流,且地面高差较大,堆积了大量砂石料和建筑垃圾。为了保证强夯机械的安全作业,对现场场地应进行平整,清除表层的冻块和冰块。铺设1.0 m厚毛石及0.5 m厚砂石,压实后方可进行强夯施工。

5 工程质量检测

上庄东路(复兴路—阜石路)砂石坑地基采用振冲碎石桩、强夯置换、强夯复合处理方案与重锤夯扩挤密碎石桩方案,为业主节省了投资,缩短了工期。施工完成后,经过北京市勘察设计院检验,结果全部合格,达到了设计要求。该工程的成功实施对类似砂石坑回填土地基的设计、施工具有指导和借鉴作用。

6 结语

通过本工程的实践,可以得出如下启示:

(1)砂石坑等复杂场地的地基处理方案确定,一定要根据场地的地质条件和施工条件,结合周边环境特点,利用各自处理方法的优点,扬长避短,综合确定,做到技术可行、经济合理。

(2)方案比选决定工程造价及工期,是项目投资控制的关键内容。

(3)施工过程中要加强风险防范管理,识别危险源和风险点,做好各项应急预案工作,确保项目的技术、质量及施工的安全。

参考文献:

- [1] 龚晓南.地基处理手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 上庄东路岩土工程勘察报告[R].北京:北京市地质工程勘察院,2005.
- [3] JGJ79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [4] 沈保汉.桩基与深基坑支护技术进展:沈保汉地基基础论著选集[M].北京:知识产权出版社,2006.
- [5] 刘景政,杨素春,钟冬波.地基处理与实例分析[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.