

大直径深层钻孔灌注桩拔除工艺研究

裴 迅¹, 芮大虎¹, 吴庆红², 葛执礼²

(1. 河南理工大学土木工程学院, 河南 焦作 454003; 2. 中铁十六局集团轨道交通公司, 北京 111018)

摘要:结合郑州南站连接线明挖隧道(拔桩区间)拟拔桩基直径大、桩长的特点,对桩体受力特征和拔桩工艺进行了研究。通过拔桩过程中桩周土破坏模式和桩体自身的抗拉强度分析计算,选取有效的减阻方法并应用于工程实践,取得良好效果。最后总结出大直径深层钻孔灌注桩拔除工程中桩身局部扩大、桩侧摩阻力过大和断桩等问题及相应的解决方法,供今后类似工程借鉴。

关键词:钻孔灌注桩;拔桩;FCEC全回转清障机;极限侧阻力;断桩

中图分类号:TU473 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)01-0068-04

Research on Pulling-out Technology for Long Bored Pile with Large Diameter/PEI Xun¹, RUI Da-hu¹, WU Qing-hong², GE Zhi-li² (1. School of Civil Engineering Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454003, China; 2. China Railway 16 Bureau Group Beijing Metro Engineering Construction Co. Ltd, Beijing 111018, China)

Abstract: According to the characteristics of long and large diameter pile to be pulled out in the open-excavated tunnel (pile-pulling interval) in Zhengzhou, the force on pile body and the pile-pulling technology are studied. Through the analysis and calculation on failure mode of soil around the pile and tensile strength of the pile body in pulling-out process, the effective method of resistance reduction is selected to be applied in the engineering practice, and good results are achieved. The solutions of pile body partial enlarged, too large pile lateral friction and pile broken in pile pulling-out operation are summed up, which can serve as reference for the same projects.

Key words: bored pile; pile pulling; FCEC full rotary wrecker machine; ultimate lateral resistance; broken pile

0 引言

随着我国城市化建设的快速发展,城市轨道交通工程施工中遇到既有建筑物桩基时,需要将侵入的桩体整体拔出。但是,拔桩过程中存在周边土体扰动而影响周围建筑物的安全、桩体和钻机垂直度偏差较大出现“啃桩”现象、桩体拔出过程中孔壁易坍塌以及由于断桩引起清障不彻底等诸多问题。目前对抗拔承载力研究,国内外做了大量的试验和研究。刘文白等^[1]通过室内试验和PFC^{2D}软件模拟了拔桩过程,并确定了桩的上拔承载力;吴林峰等^[2]利用水射流破土机理破坏桩周土层,减小桩侧摩阻力,经济、高效的将桩体拔出;宋辉等^[3]利用有限元程序ABAQUS软件,模拟了拔桩过程中套管压入和拔出对既有管道的水平位移和沉降的变化规律,并为施工提供了有益的指导。国外有Ramanathan等^[4]对抗拔桩在砂土中的摩阻力变化规律进行了研究;Parry等^[5]和Rao等^[6]通过模型实验研究了抗拔桩的破坏面形式及抗拔桩承载力在不同的条件下(桩的长

径比、桩表面粗糙度、土体的密实度)的变化情况,提出了抗拔桩承载力的半经验公式。

拔桩施工中如何切断桩体与桩周土的联系,即破除桩周的摩阻力是关键技术问题。对于不同类型的桩在不同地质情况下,其减阻方法也是多种多样。戴金林^[7]利用库伦定律对桩体极限摩阻力标准值进行了计算,与现场载荷试验吻合良好,并提出了钻孔灌注桩侧壁摩阻参数计算新模式;刘杰^[8]通过对桩侧摩阻力的分析计算和选用有效的减阻措施,有效的避免了工程中断桩的发生。

本文以郑州南站连接线明挖隧道工程(拔桩区间),拟拔除的灌注桩直径大、桩长、拔桩难度大的特点,为了能够安全、快速的将桩体拔出,对桩基受力特征和减小桩侧摩阻的方法进行了研究。

1 工程概况

郑州南站连接线明挖隧道工程是新建郑州机场至郑州南站连接线工程的一部分,为地下区间隧道,

以确保郑州机场二期工程按期投入使用,实现郑州东站、郑州机场与郑州南站的衔接。本期实施的部分连接线工程处于拟建的郑州机场二期工程飞行区站坪下方,小里程端与郑州至新郑机场城际铁路明挖区间隧道相接,大里程端至本期工程终点,总长 396.58 m。线路走向具体详见图 1 所示。

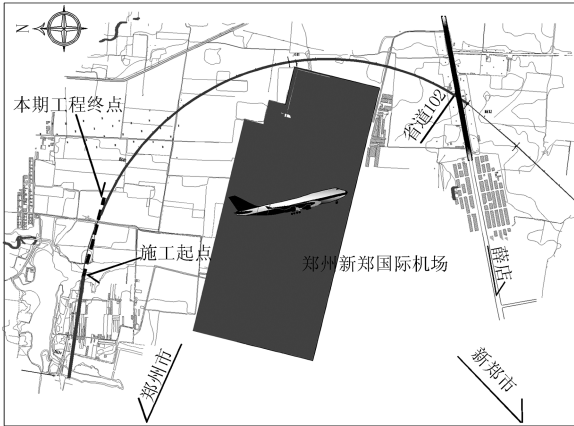


图 1 新建工程线路平面示意图

由于本工程施工起点围护结构与原城际铁路围护桩相碰,需对原城际铁路围护桩进行拆除。拆除原城际铁路围护桩的直径 1.2 m、桩长 22.3 m、桩身强度 C30,总计为 52 根。

拔桩场地位于郑机城际铁路工程施工现场内,已完成钻孔灌注桩的施工,尚未进行冠梁浇筑和土方开挖。需拔除的钢筋混凝土钻孔灌注桩的周边地层结构如图 2 所示。

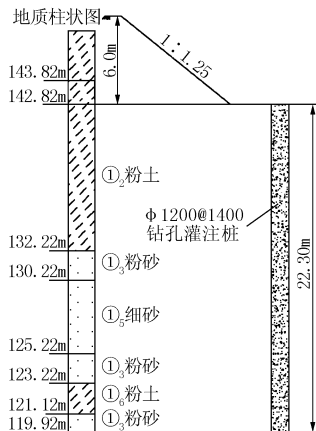


图 2 地层结构示意图

2 拔桩的破坏形态

拔桩过程中桩周土破坏如图 3 所示,可分为桩土接触面的剪切破坏、桩周土体锥形破坏、复合剪切面

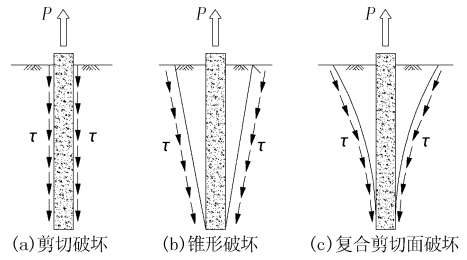


图 3 拔桩破坏形式图

破坏。Meyerhof 等^[9]曾指出,当桩顶荷载达到极限抗拔承载力时,土体剪切破坏面在桩底处与桩侧表面相切,而在地表面,土体破坏面与水平面成 $45^\circ - \varphi/2$ 夹角。何思明^[10]基于这种理论的基础上,总结出了适合 33 种土体剪切破坏的破坏面计算公式:

$$\frac{dz}{dx} = \tan(45^\circ - \varphi/2) \times (L/z)^N \quad (1)$$

根据边界条件 $x=r, z=0$ (计算简图见图 4),对式(1)等式两边同时积分,得到土体破坏面方程为:

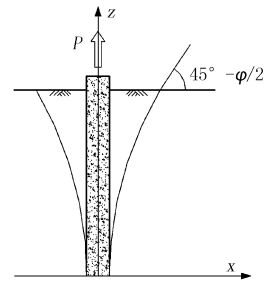


图 4 拔桩承载力计算简图

$$x = r + \frac{L}{\tan(45^\circ - \varphi/2) \times (N + 1)} \times (z/L)^{N+1} \quad (2)$$

式中: φ ——土体内摩擦角; r ——桩的半径; L ——桩长; N ——待定参数。

当 N 趋于无穷大时,对式(2)取极限得:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left[r + \frac{L}{\tan(45^\circ - \varphi/2) \times (N + 1)} \times (z/L)^{N+1} \right] = r \quad (3)$$

式(3)即为桩土接触面剪切破坏时土体破坏面方程。

当 N 趋于 0 时,对式(2)取极限得:

$$\lim_{N \rightarrow 0} \left[r + \frac{L}{\tan(45^\circ - \varphi/2) \times (N + 1)} \times (z/L)^{N+1} \right] = r + \frac{z}{\tan(45^\circ - \varphi/2)} \quad (4)$$

式(4)为桩周土体锥形破坏时土体破坏面方程。

一般而言,拔桩的破坏模式通常为图(3)中的(a),即桩土接触面的剪切破坏。对于这种破坏形

式,其抗拔力可用式(5)这种经验公式计算:

$$P = W + f_{\text{桩侧}} \quad (5)$$

由上式可知,桩体抗拔力包括桩体自重 W 和桩侧摩阻力 f 。准确的计算桩身与桩周土体之间的摩擦力,能为拔桩施工提供安全有效的指导。

3 拔桩极限侧阻力及设备选型

3.1 桩体极限侧阻力计算

桩体拔除是桩周土体由受剪破坏到桩土剥离的过程。因此,拔桩极限侧阻力宜按下式计算^[11]:

$$f_{\text{桩侧}} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i \quad (6)$$

式中: q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值,可按表 1 取值; u ——桩身周长; l_i ——第 i 层土的厚度; ψ_{si} ——大直径桩侧阻尺寸效应系数,粉土取 $\sqrt[5]{0.8/d}$,沙土取 $\sqrt[3]{0.8/d}$ 。

表 1 桩侧摩阻力计算参数

层号	土层名称	土层厚度/m	桩周极限侧阻力标准值/kPa
① ₂	粉土	10.0	80
① ₃	粉砂	2.0	75
① ₅	细砂	5.0	72
① ₃	粉砂	2.0	75
① ₆	粉土	2.1	83
① ₃	粉砂	1.2	75

桩侧极限阻力:

$$f_{\text{桩侧}} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i = 5861.23 \text{ kN}$$

为了防止施工中断桩现象的发生,必须考虑桩体自身的抗拉强度。根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)^[12]中的 6.2.22 条,桩身轴向拉力设计值表达式如下(不考虑预应力筋):

$$N \leq f_y A_s \quad (7)$$

式中: f_y ——钢筋抗拉强度; A_s ——钢筋截面积。

待拔除的钢筋混凝土灌注桩通长布置的配筋为 17 ϕ 25 和 4 ϕ 28(HRB 335),根据式(7)可得:

$$f_y A_s = 17f_y A_{s1} + 4f_y A_{s2} = 3241 \text{ kN} \leq f_{\text{桩侧}} = 5861.23 \text{ kN}$$

由上述计算可知,桩侧极限阻力远大于钢筋抗拉强度。为了防止出现断桩,造成二次拔桩的问题,必须减小桩侧阻力,以便能够将桩体整体拔除。

3.2 拔桩设备选型

当起拔力超过桩体自身的材料强度时,很容易将桩体拔断造成二次拔桩的麻烦。因此选用有效的措施减小桩侧摩阻力,保证起拔力小于桩体自身的抗拉强度。本工程工期紧,待拔桩径大、桩长,综合

考虑施工安全、施工成本、施工工期,确定采用 FCEC 全回转清障机进行拔桩。

FCEC 全回转清障机配置履带自行走,移动便捷;钢套管可以通过多节连接,满足不同长度、规格的旧桩拔除需要,灵活可变,可清除旧桩直径最大为 2 m、深度最深为 70 m。FCEC 全回转清障机通过旋转驱动钢套管,钢套管底端镶嵌钛合金钻头,具有强大的切割破碎能力。钢套管边回转边切削边推进压入,使周边土体与桩分离,同时在钢套管内加入了膨润土,大大减小了桩侧摩阻力,然后通过特殊装置将钢丝绳送到桩底,与桩身锁扣牢固后,配合履带吊将旧桩拔出。在钢套管内进行清障拔桩,对地下土体产生很小的扰动。由于钢套管对孔壁的支撑,在钢套管周边的土体应力尚未释放时,就已经将障碍物清除并及时回填,对原城际铁路钻孔灌注桩影响很小。为确保后续施工的安全,桩孔回填一般采用 8% 水泥掺量的水泥土。在桩孔回填的过程中缓缓拔出钢套管,桩孔下部回填土由于自然冲击力使回填土体密实,上部回填土体则通过挖机或重锤进行击实。

在套管旋转切削桩周土的同时,加入了膨润土,不仅起到了润滑套管、冷却钻头的作用,还促使桩周土发生液化,极大程度上降低了拔桩时的桩侧极限阻力。此时,桩周土处于流塑状态,液限指数 $I_L > 1$,故桩侧极限摩阻力取 15 kPa。减阻后桩侧摩阻力为:

$$f_{\text{桩侧}} = S_{\text{桩周}} q_{sik} = 1260 \text{ kN} \leq f_{\text{桩侧}} = 5861.23 \text{ kN}$$

$$\text{桩体自重: } G = V_{\text{桩}} \times 25 \text{ N/m}^3 = 630 \text{ kN}$$

拔桩阻力计算表达式如下:

$$F = (f_{\text{桩侧}} + G)K \quad (8)$$

式中: F ——拔桩阻力; $f_{\text{桩侧}}$ ——桩侧极限阻力; G ——桩体自重; K ——拔桩的安全储备系数,一般取 1.3 ~ 1.5。

由式(8)可得,拔桩阻力为:

$$F = (f_{\text{桩侧}} + G)K = 2853 \text{ kN} \leq f_y A_s = 3241 \text{ kN}$$

由上述不等式可知,减阻措施满足要求,在桩身材料所能承受的抗拉强度范围之内。

3.3 履带吊车型

在拔桩施工过程中,由履带吊车提供起拔力,克服桩体自身重力和桩侧摩阻力,将桩体缓慢拔出。因此,吊车设备的选型是确保施工安全进行的前提。

在起重吊装工程的设计中,为了计入动载荷、不均衡载荷的影响,常以计算载荷作为计算依据。计算载荷的一般公式为:

$$Q_j = K_1 K_2 N \quad (9)$$

式中: Q_j ——计算载荷; K_1 ——动载荷系数; K_2 ——不均衡载荷系数; N ——设备及索具重力。

一般取动载荷系数 K_1 为 1.1, 不均衡载荷系数 K_2 为 1.1~1.2。另外,该地区室外吊装作业时不考虑风载荷。

吊车所需拉力: $N = F = 2853 \text{ kN}$

由式(9)可得:

$$Q_j = K_1 K_2 N = 3742 \text{ kN}$$

以上计算可以得出,选用一台 250 t(2500 kN) 和一台 150 t(1500 kN) 的履带吊车配合使用,能够满足受力要求,就可以将桩体拔除。其中,履带吊配备专门的路基板供吊行走,路基板选用尺寸为 2200 mm × 8000 mm 的 6 块。

4 拔桩工艺流程

(1) 将桩顶凿除至地面以下 0.3 m 左右。

(2) 清障机自行定位。移动清障机的中心与拔除的旧桩中心吻合,调整清障机水平度,复测钢套管中心与桩位中心在同一垂直线上。

(3) 清障机液压驱动 $\varnothing 2000 \text{ mm}$ 钢套管旋转钻进。由于钢套管底端镶嵌锯齿状的钛合金刀头,在旋转驱动装置的驱动下,360°快速旋转沉入,即使桩身周边存在其他障碍物,也能一并切割穿透,直至沉入到桩底以下 1~2 m。

(4) 桩与四周土体实施分离后,通过专用设备将钢丝绳送到桩身底部,与桩身锁扣牢固后,使用履带吊车将旧桩拔出清除。起拔时速度不宜过快。

(5) 清障机移至下一桩位位置,进入下一拔桩施工工序。

5 结论

本工程利用 FCEC 全回转清障机,采用减阻法进行了桩体拔除。桩体拔除过程中,以理论分析和实际应用互相反馈纠偏指导施工,成功拔除 52 根大直径深层($\varnothing 1200 \text{ mm}$ 、长 22.3 m) 钢筋混凝土钻孔灌注桩。施工现场见图 5。

通过本次施工,可得到如下结论。

(1) 减阻法拔桩的应用:FCEC 全回转清障机套管内置 HAS 高压气雾喷射器,同时在套管内加入膨润土,起到润滑减阻、冷却钻头的作用,大大减小桩体拔除的阻力的同时起到泥浆护壁的作用。



图 5 FCEC 全回转清障机拔桩施工现场

(2) 桩体局部鼓包现象处理:在拔桩施工过程中,钢套管底端配置了镶嵌钛合金钻头,具备超强的切割切削钻进能力,在钢套管沉入过程中能将桩身周边钢套管外的障碍物切割破碎,即使桩身局部扩大,也不会影响拔桩施工。

(3) 断桩风险的处理:由于 FCEC 全回转清障机减小了套管内径,致使钢丝绳套索装置无法安装,需将该装置拆除。改进措施为:钢套管沉入一定深度,桩与四周土体实施分离后,将钢丝绳索固定于距离桩顶 2 m 的位置,两台吊车配合将旧桩吊起,当桩体起吊 1/3 时,将钢丝绳索移至桩体 1/3 处,将桩缓缓拔除。由于在套管内加入了膨润土,减小了桩体在起吊过程中的受力,大大降低了断桩的风险。

参考文献:

- [1] 刘文白,周健. 上拔荷载作用下桩的颗粒流数值模拟[J]. 岩土工程学报,2004,26(4):516-521.
- [2] 吴林峰. 射水造孔法拔除混凝土预制桩施工技术[J]. 人民黄河,2010,32(11):150-151.
- [3] 宋辉. 套管法拔桩对既有大直径地下污水管的影响[J]. 上海大学学报(自然科学版),2011,17(3):321-324.
- [4] Ramanathan T S, Ganapathy A P. Pull out Resistance of Piles in Sand[J]. Indian Nat Soc Soil Mech Found Eng,1970,9(2):189-202.
- [5] Parry R H, Swin C W. Effective Stress Methods of Calculating Skin Friction on Driven Piles in Soft Clay[J]. Ground Engineering, 1997,10(3):24-26.
- [6] Rao K S, Venkatesh K H. Uplift Behavior of Short Piles in Uniform Sand[J]. Soils and Foundation,1985,25(4):1-7.
- [7] 戴金林. 钻孔灌注桩侧壁摩阻力极限值计算[J]. 建筑结构,2007,37(8):85-87.
- [8] 刘杰. 浅谈对如何减小桩侧摩阻力的拔桩方法[J]. 中华民居(下旬刊),2012,(6),127-128.
- [9] Meyerhof G G, Adams J I. The Ultimate Uplift Capacity of Foundation[J]. Canadian Geotechnical Journal,1968,(4).
- [10] 何思明. 抗拔桩破坏特性及承载力研究[J]. 岩土力学,2001,22(3):309.
- [11] JGJ 94—2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [12] GB 50010—2010, 混凝土结构设计规范[S].