

人工挖孔灌注桩桩底打管后注浆技术及应用

段新胜¹, 鄢泰宁², 顾 湘¹

(1. 中国地质大学汉口分校 岩土与建筑工程系 湖北 武汉 430030 ; 2. 中国地质大学 武汉 工程学院 湖北 武汉 430074)

摘 要 结合实际工程介绍了人工挖孔灌注桩桩底打管后注浆的设计与施工新方法 , 使用该方法不仅可避免在含承压水的砂土层中进行人工扩底施工且可提高单桩承载力。

关键词 : 人工挖孔灌注桩 ; 桩底打管 ; 后注浆

中图分类号 : TU473.1+4 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-3746(2001)05-0001-03

Post Grouting for Hand Dug Piles with the Pipe Driven at the Pile End / DUAN Xin-sheng , GU Xiang (China University of Geo-sciences at Hankou , Wuhan Hubei 430030 , China) , YAN Tai-ning (China University of Geo-sciences , Wuhan Hubei 430074 , China)

Abstract : The design and construction method of hand dug piles with post grouting by the driven tube at the pile end is introduced with reference to the field cases . Not only does it eliminate the manual underreaming process in the sand layer with pressure bearing water , but also increase the single pile bearing capacity .

Key words : hand dug pile ; tube driving at the pile end ; post grouting

1 工程概况及问题的提出

湖北省枣阳市人民银行拟修建一栋占地面积 15 m × 62 m 的 7 层砖混结构住宅楼 , 该场地离沙河仅 200 余 m , 属沙河一级阶地。场地地层自上而下分别为 : ①填土层 , 平均厚度 5.0 m , 主要由灰褐 ~ 褐黄色粉质粘土组成 , 且富含砖头、碎石等杂物 , 结构松散 ; ②粉质粘土 , 平均厚度 2.0 m , 褐黄色 , 湿 ~ 可塑状态 , 结构较松散 ; ③含砾中粗砂 , 平均厚度 9.0 m , 稍密 ~ 中密状态 , 下部砾石含量增大 , 渗透系数 $k = 5.0 \times 10^{-2}$ cm/s ; ④强风化砂岩 , 棕黄色 ~ 棕红色 , 呈粉状 , 主要成分为石英和长石 , 厚度未揭穿。场地有 2 种形式的地下水 : 一为①层中的上层滞水 , 受大气降水和地表水的影响 ; 二为③层中的承压水 , 水位距地表约 3.5 m。由于①、②层均不拟作为天然地基持力层 , 根据地层和建筑荷载的特点 , 设计单位为本建筑设计墙下人工挖孔桩独立基础 , 如图 1 所示。桩长 6.7 m , 桩径 $d = 1.0$ m , 扩底直径 $D = 1.7$ m , 桩端进入③层持力层的深度 $\geq 1.5d$ (取 1.7 m) , 砖墙荷载通过过梁传递给人工挖孔桩。

由于③层渗透系数较大 , 地下水位较高 , 要在该层进行人工挖孔桩扩底施工 , 通常需采用深井降水

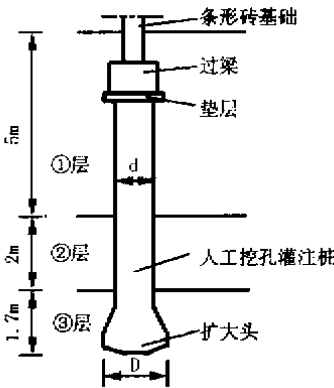


图 1 人工挖孔桩设计图

的方法 , 至少将场地地下水位降至桩底标高以下 0.5 m , 即场地降水深度 $S \geq 6.0$ m。本工程场地长宽比 > 5 , 按“大井法”计算的场地总降水量为 223 m³/h , 按单井涌水量 35 m³/h 计算 , 至少需 6 口承压完整井降水 , 才能保证人工挖孔扩底的正常施工。该方案不仅工程成本高 , 而且现有的排水设施不能满足大排水量的要求 , 加之施工场地位于市中心 , 场地狭窄 , 也不便于另铺设排水管道 , 故未采纳深井降水方案。开始在第③层土中进行扩大头施工时 , 仅用潜水泵在孔内抽水 , 强行施工 , 但由于流沙和塌孔

收稿日期 2001-02-21
作者简介 : 段新胜 (1962-) , 男 (汉族) , 湖北黄梅人 , 中国地质大学汉口分校岩土与建筑工程系系主任 , 副教授 , 探矿工程专业 , 博士在读 , 从事岩土工程教学与科研工作 ; 湖北省武汉市汉口航空路 15 号 (027) 83644696 ; 鄢泰宁 (1945-) , 男 (汉族) , 江西人 , 中国地质大学 (武汉) 勘察与建筑工程研究院院长 , 教授 , 博士生导师 , 探矿工程专业 , 从事勘察技术与工程教学与科研工作 ; 湖北省武汉市武昌喻家山 (027) 87482227 ; 顾湘 (1960-) , 女 (汉族) , 江苏南通人 , 中国地质大学汉口分校副教授 , 探矿工程专业 , 从事岩土工程与建筑工程教学与科研工作。

现象严重 ,没有获得成功。后考虑施工场地的特殊情况 ,经多方面进行技术及经济比较 ,决定缩短设计桩长 1.4 m ,将扩大头部分的扩底施工提高到第②层粉质粘土中进行 ,在第③层土中只人工垂直开挖 0.3 m ,然后收底 ,避开在含承压水的砂土层进行人工扩底施工。桩底以下较原设计缩短的部分 ,则借鉴泥浆护壁成孔灌注桩桩底后注浆技术 ,用直径 $D \geq 1.7$ m、高 ≥ 1.4 m 的后注浆固结体代替 ,如图 2 所示。

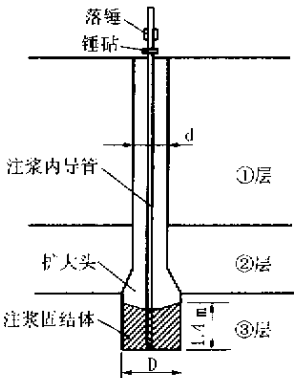


图 2 挖孔桩桩底后注浆示意图

本工程采用的人工挖孔桩桩底打管后注浆的目的、机理和施工工艺均与通常泥浆护壁成孔灌注桩有所不同 ,归纳总结此工程的设计和施工方法 ,对今后类似的工程有借鉴作用。

2 人工挖孔桩桩底打管后注浆机理

本工程的人工挖孔桩打管后注浆方法是在下完钢筋笼后 ,用打管的方法将注浆内导管打入孔底一定深度 ,待灌注桩身混凝土 5~7 天后 ,通过注浆内导管向桩底土层注浆 ,在桩底扩大头下形成一定强度的后注浆固结体 ,以注浆固结体作为桩端的一部分 ,既保证了桩端进入持力层的设计深度要求 ,又避免了在含承压水砂土层进行人工扩底施工 ,在注浆过程中扩大头及固结体周围由于挖孔施工和地下水的影响而受扰动的砂土层在一定程度上也可得以加固 ,从而提高单桩承载力。

3 人工挖孔灌注桩打管后注浆设计

人工挖孔灌注桩打管后注浆设计确定的关键参数主要有 :固结体强度及浆液类型与性能、注浆管打入孔底深度、允许的最大注浆压力、单桩注浆量、实际注浆流量、浆液扩散半径等。

3.1 浆液的选择

下方数据

本工程注浆固结体为桩端的一部分 ,注浆固结

体的强度必须满足桩身所受轴向压力的要求。由于该工程设计要求的单桩极限承载力标准值为 $Q_{uk} = 2500$ kN ,按文献 [1] ,固结体的立方体无侧限抗压强度值 f_{cu} 必须满足 :

$$f_{cu} \geq 2Q_{uk} / (\psi_c \cdot 0.785 D^2) \tag{1}$$

式中 : ψ_c ——基桩施工工艺系数 ,取 0.8 ; D ——扩底直径 ,取 1.7 m。

按式 (1) 本工程注浆固结体 $f_{cu} \geq 2.8$ MPa。

浆液的可灌性与浆液类型及地层的渗透系数大小有关 ,在渗透系数 $k \geq 5.0 \times 10^{-2}$ cm/s 的砂土层用水泥浆进行渗透注浆可灌性较好。本工程选择 525 普通硅酸盐水泥 ,水灰比为 1 的水泥浆液 ,其性能为 :粘度 18 s ,密度 1.49 g/cm³ ,初凝时间 14 h ,终凝时间 24 h ,结石率 85% ,3 天抗压强度 2.0 MPa ,7 天抗压强度 2.4 MPa ,14 天抗压强度 2.4 MPa ,28 天抗压强度 8.9 MPa。

3.2 注浆管打入孔底深度的确定

由于本工程将用后注浆加固体的高度替代设计所缩短的桩端长度 ,故注浆管打入孔底深度 ≥ 1.4 m。注浆管直径选用 1½ in (38 mm) 的镀锌管。

3.3 注浆施工中允许最大注浆压力的确定

渗透注浆最大注浆压力以不破坏地层的天然结构为原则。砂砾层注浆时 ,根据文献 [3] ,允许最大注浆压力可按式计算 :

$$[p] = m_2 (0.75 T + m_1 \lambda H) \tag{2}$$

式中 $[p]$ ——允许最大注浆压力 ,MPa ; m_1 、 m_2 ——系数 ,查表 1 ; T ——地基覆盖层厚度 ,m ; H ——注浆段深度 ,m ; λ ——与地基土性质有关的系数 ,一般取 0.5~1.5 ,结构松散、渗透性强的地层取下限 ,反之取上限。

表 1 砂砾层的 m_1 、 m_2 值选定

$m_1 / (kPa \cdot m^{-1})$		m_2		
注浆方法		注浆次序		
自上而下	自下而上	I	II	III
80	60	1	1.25	1.5

本工程注浆段深度和地基覆盖层厚度相等 ,取 T 为 7.5 m ;由于注浆段上部灌注了桩身混凝土 , m_1 可取 80 kPa/m , m_2 取决于注浆次序 ,本工程按一次注浆 ,可取 1.0 ; λ 取 1。故按式 (1) 计算的允许最大注浆压力 $[p] = 0.60$ MPa。

3.4 单桩注浆量的确定

根据文献 [1] ,单桩注浆量按下式计算 :

$$Q = a_1 V n (1 + a_2) \tag{3}$$

式中 : Q ——单桩注浆量 , m^3 ; a_1 ——孔隙充填系数 ,应通过现场试验测定 ,无试验资料时对于中粗砂层可取 0.6 ; V ——注浆加固的总体积 ,本工程按直径为 1.7 m、高为 1.4 m 的圆柱体体积乘以 1.2 的系数计算 ,取 3.8 m^3 ; n ——土的孔隙率 ,取 0.4 ; a_2 ——浆液的损耗系数 ,取 10%。

本工程按式 (3) 计算单桩注浆量 $Q = 1.0 \text{ m}^3$ 。
水泥的相对密度 d_c 为 3.0 g/cm^3 ,水灰比为 1 ,水的密度 ρ_w 为 1000 kg/m^3 ,单桩注浆加固体所需水泥用量及用水量经设计计算分别为 $m_c = 750 \text{ kg}$ 、 $m_w = 750 \text{ kg}$ 。

3.5 注浆流量及单桩注浆时间的确定

注浆流量的大小与注浆压力、地层及浆液的性质有关。根据文献 [1] 注浆流量经验值为 $5 \sim 20 \text{ L/min}$ 。由于本工程注浆段深度较浅 ,不拟使用过高的注浆压力 ,故设计注浆流量定为 $q = 8 \text{ L/min}$,单桩注浆时间为 $t = Q/q = 125 \text{ min}$ 。

3.6 浆液扩散半径的验算

由于本工程是在含砾中粗砂层中注浆 ,主要为渗透注浆 ,浆液在压力作用下充填土的孔隙 ,排挤出孔隙中存在的自由水和气体 ,根据 Maag(1938)球形扩散理论 ,按文献 [4] 浆液扩散半径 R 可用下式估算 :

$$R = \sqrt[3]{3khr_0t/\beta n} \tag{4}$$

式中 : R ——浆液的扩散半径 , cm ; k ——土层的渗透系数 ,该层土取 $5.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$; h ——实际注浆压力 , h 值不应大于允许的最大注浆压力 ,本工程取 3000 cm 水柱(1 cm 水柱 = 0.1 kPa) ; r_0 ——注浆内导管内径 ,取 1.9 cm ; t ——注浆时间 ,本工程取 125 min ; β ——浆液粘度对水的粘度比 ,本工程取 1.2 ; n ——砂土层的孔隙率 ,本场地为 0.4。

按式 (4) 计算 ,浆液的扩散半径 $R = 1.1 \text{ m}$,为桩底扩大头(0.85 m)的 1.29 倍 ,满足设计要求。

4 注浆工艺

4.1 工艺流程

成孔→吊放钢筋笼→打入或振入注浆管→灌注桩身混凝土→混凝土养护→桩底注浆。

4.2 工艺要点

(1) 在注浆管管端以上 1.2 m 长度范围内每间隔 200 mm 沿圆周方向钻 4 个 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 孔 ,用防水胶布包住孔眼 ,以防泥浆和水泥浆进入管内。管端焊接直径大于注浆管外径的锥头。将注浆管一次性打

入孔底 1.4 m。

(2) 用 BW - 150 型泵作为注浆泵 ,通过三通调节注浆流量和注浆压力。

(3) 注浆压力一般维持在 0.3 MPa ,当注浆量 $< 8 \text{ L/min}$ 时 ,适当增大注浆压力 ,但不能大于最大允许压力(0.6 MPa) ,以免对地基土产生破坏作用。

(4) 当单桩桩底注浆量 $> 1 \text{ m}^3$ 时 ,可终止注浆 ;当注浆压力达到 0.6 MPa 、灌注流量 $< 0.5 \text{ L/min}$ 时 ,再灌 30 min 可结束注浆。

5 注浆效果

原设计人工挖孔桩桩端进入含砾中粗砂层 1.7 m ,勘察报告提供的桩端土的极限端阻力标准值为 $q_{pk} = 1100 \text{ kPa}$,由于桩的长度仅 6.7 m ,且为扩底桩 ,不考虑桩侧阻力 ,单桩极限承载力标准值 $Q_{sk} = (\pi/4) D^2 q_{pk} = 2500 \text{ kN}$ 。

本工程共有工程桩 60 根 ,桩底打管后注浆施工结束 20 天之后 ,随机进行 1 根桩的静载荷试验和 3 根桩的高应变动测检验 ,平均单桩极限承载力为 3117 kN ,表明人工挖孔桩桩底打管后注浆不仅可避免在含承压水的中粗砂层进行人工扩底施工 ,还能使单桩承载力提高 1.25 倍。

6 结论

(1) 本人工挖孔桩工程采用孔底打管后注浆不仅可避免在含承压水的中粗砂层进行人工挖孔扩底施工 ,还能使单桩承载力提高 1.25 倍。

(2) 本工程人工挖孔灌注桩桩底打管后注浆是按渗透注浆设计 ,当桩长较大 ,桩底以上覆盖层较厚时 ,也可按压密注浆或劈裂注浆设计。

(3) 当桩底以下地层的渗透系数较小 ,按渗透注浆设计时 ,应选用超细水泥浆液。

(4) 当桩端扩大头半径大于按允许最大注浆压力所确定的浆液扩散半径时 ,可沿钢筋笼四周打入不少于 3 根的注浆管进行桩底后注浆。

参考文献 :

[1] 程晓 ,等 . 土建注浆施工与效果检测 [M] . 上海 : 同济大学出版社 ,1998 .
[2] JGJ 94—94 ,建筑桩基技术规范 [S] .
[3] 林宗元 . 岩土工程治理手册 [M] . 沈阳 : 辽宁科学技术出版社 ,1993 .
[4] 叶书麟 ,等 . 地基处理与托换技术 [M] . 北京 : 中国建筑工业出版社 ,1994 .
[5] 中国建筑科学院 . 灌注桩后注浆工法 (YJF 04—98 [J]) . 施工技术 ,2001 (1) .