

钻孔灌注桩后注浆加固机理及其应用

郑昌晶, 张顺英

(河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队, 河北 秦皇岛 066001)

摘要: 钻孔灌注桩后注浆技术具有缩短桩长、提高承载力、减少桩数、保证桩基质量及节约造价等优点。通过工程实例, 阐述了桩端、桩侧复式后注浆的加固机理、承载力的经验计算、控制要点及防治措施。

关键词: 钻孔灌注桩; 后注浆; 加固机理; 承载力

中图分类号: TU473.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)08-0045-05

Consolidation Mechanism of Post-grouting for Bored Grouting Pile and the Application/ZHENG Chang-jing, ZHANG Shun-ying (Qinhuangdao Mineral Hydrogeology and Engineering Geology Team, Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Qinhuangdao Hebei 066001, China)

Abstract: The technical advantages of post-grouting for bored grouting pile are shorter length of pile, the bearing capacity improvement, less number of piles, good quality of pile foundation and the cost saving. Based on the engineering cases, the paper described the consolidation mechanism of compound post grouting for the end and the side of the pile, the empirical formula of bearing capacity, control points and control measures.

Key words: bored grouting pile; post-grouting; consolidation mechanism; bearing capacity

为满足钻孔灌注桩承载力的设计要求, 传统的处理方式是扩大桩径、增加桩长使桩端进入基岩, 其结果增加了工程总造价, 给施工造成了很大的困难。通过钻孔灌注桩后注浆技术, 可以达到提高承载力、减少桩数、减少群桩的总体沉降、降低施工难度、节约造价的目的, 取得了良好的经济效益, 因此对该项技术研究有非常重要意义。

1 概述

拟建内蒙古呼和浩特市冀东水泥厂水泥粉磨调配站等构筑物, 设计采用钻孔灌注桩, 桩径 1000

mm, 桩长 24 m 左右, 桩端持力层为卵石层。要求经过桩端、桩侧复式注浆后, 单桩竖向极限承载力标准值达到 8500 kN。

2 地质条件^[1]

场区地层及其物理力学性质见表 1。

3 加固机理

灌注桩施工过程中, 将注浆管沿钢筋笼外壁埋设, 在压力作用下, 水泥浆液通过注浆管压入桩端、桩侧的地层孔隙中, 使得原本松散的沉渣、土颗粒、

表 1 地层及物理力学性质参数表

地层代号	岩土名称	层厚 /m	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙比 e	压缩模量 E_s /MPa	粘聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /($^\circ$)	极限端阻力 /kPa	极限侧阻力 /kPa
①	杂填土	0.39							不计
②	粉质粘土	2.14	20.6	0.64	6.5	35	20		64
② ₁	粉土	3.11	20.7	0.51	8.0	7	22		33
③	粉细砂	2.51	19.2		11.0	0	30		40
③ ₁	细中砂	1.50	19.2		15.0	0	35		72
④	粉质粘土	3.67	21.1	0.43	5.0	20	10		48
⑤	粉细砂	3.41	18.8		16.0	0	32		53
⑤ ₁	中粗砂	4.00	19.8		20.0	0	38		88
⑥	粉质粘土	3.46	20.4	0.67	7.5	25	16		68
⑦	中粗砂	1.24	18.8		22.0	0	38	1750	89
⑧	卵石	未揭穿	20.9		23.5	13	24	3500	115

收稿日期: 2011-01-19

作者简介: 郑昌晶(1958-), 男(汉族), 辽宁普兰店人, 河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队工程处技术负责、高级工程师、注册建造师, 水文地质工程地质专业, 从事水文地质、岩土工程勘察、设计与施工技术管理工作, 河北省秦皇岛市海港区燕山大街 221 号, zhengchangjing1958@163.com。

孔隙和裂隙胶结成一个高强度的结合体,提高桩侧摩擦力及桩端阻力(见图1)。

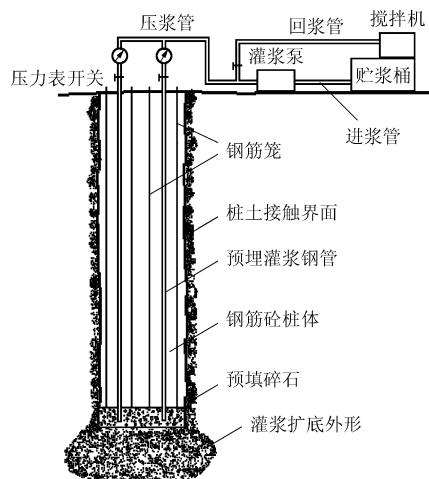


图1 钻孔灌注桩后注浆示意图

3.1 桩端压力注浆加固机理

3.1.1 高压浆液对桩底沉渣的置换、压密和固结作用

泥浆护壁法成孔工艺,由于以泥浆作冲洗介质,不可能将钻渣完全携带至地表;在灌注混凝土前的第二次清渣工序与首灌桩端混凝土工序之间有一定的时间间隙,孔内泥浆中部分沉渣将沉淀于孔底。以上2个因素形成该成孔工艺的固有缺陷之一,即孔底或多或少存在沉渣,在非渗透性风化岩以上地层注浆时,高压水泥浆液进入桩端将桩底疏松的沉渣土体和离析的部分混凝土、残渣进行充分的置换、密实和固结,形成强度较高的水泥土复合体,提高了桩端持力层的抗压强度,减少了桩基沉降量。

3.1.2 对桩端持力层的渗透、劈裂、挤密、充填作用

对于粗粒土桩端持力层(中粗砂、卵石层等),主要通过渗透性注浆,使桩底虚土与浆液发生物理化学反应形成高强度的水泥结石体,使持力层的抗扰动能力、变形模量和抗压强度等都得到很大的提高;对于细粒土桩端持力层(粘性土、粉土、粉细砂层等),因土的渗透性较小,主要通过高压浆液的劈裂作用,使持力层已有的微裂隙张开或产生新的裂隙,高压浆液沿着张开的裂隙渗透到地层一定深度,经过脉渗、充填和固结,在原桩土体内部产生了网状结石体,类似于土体的加筋作用。

3.1.3 桩端扩大头或树根桩的作用^[3]

在水泥浆液的压密作用下,桩端土体受压产生较大的压缩变形,形成水泥土结石体扩大头“梨形体”,增大了桩端受力面积,或者水泥浆渗入地层中

网状固结形成了类似“树根桩”的作用,使桩土界面几何和力学条件得以改善,从而提高了桩端阻力值。

3.1.4 桩身自重使土体产生反向摩阻力

在注浆压力作用下,桩身自重使土体产生反向摩阻力,桩底土体经预压提前完成部分压缩变形,可减少使用阶段的桩基竖向沉降。

3.2 桩侧压力注浆加固机理

3.2.1 对桩侧土体的渗透、挤密作用

钻孔过程中孔壁受扰动,特别是进入密实砂、卵石层较深的桩,孔壁附近土中应力释放,出现“松弛”现象,孔径越大,影响就越明显。在压力作用下,浆液渗透到桩周土体中,有一定的挤密、置换作用,增强了土体的应力,增加了桩侧摩阻力。

3.2.2 对桩侧土体的渗透、胶结作用

对于泥浆护壁钻孔灌注桩,由于泥皮的存在,阻碍桩身混凝土与桩周围土体的固结,相当于桩侧涂上一层“润滑剂”,泥皮愈厚,桩侧摩阻力降低愈严重。水泥浆液可以改善泥皮的力学性质,提高侧摩阻力;另外,浆液将桩身混凝土与桩周土体较好的胶结在一起,提高了摩擦系数。

3.2.3 对桩身混凝土压密作用

对桩侧进行压浆时,桩身混凝土还没有完全固结,这样桩身混凝土会在注浆过程中得到进一步的密实,并会消除混凝土外部的一些气泡,提高桩身混凝土的抗压强度和弹性模量。

4 钻孔灌注桩承载力计算

4.1 桩端、桩侧复式后注浆灌注桩承载力计算

在初步设计阶段,对后注浆灌注桩承载力的估算非常重要。在符合规范的前提下,结合地层情况,单桩极限承载力标准值按下式估算^[2]:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{gsk} + Q_{gpk} \\ = u \sum q_{sjk} l_j + u \sum \beta_{si} q_{sik} l_{gi} + \beta_p q_{pk} A_p$$

式中: Q_{sk} ——后注浆非竖向增强段总极限侧阻力标准值; Q_{gsk} ——后注浆竖向增强段的总极限侧阻力标准值; Q_{gpk} ——后注浆总极限端阻力标准值; u ——桩身周长; l_j ——后注浆非竖向增强段第 j 层土厚度; l_{gi} ——后注浆竖向增强段内第 i 层土厚度; q_{sik} 、 q_{sjk} 、 q_{pk} ——分别为后注浆竖向增强段第 i 土层初始极限侧阻力标准值、非竖向增强段第 j 土层初始极限侧阻力标准值、初始极限端阻力标准值; β_{si} 、 β_p ——分别为后注浆侧阻力、端阻力增强系数。

根据表1中地层及物理力学性质参数,采用经

验计算公式计算出单桩竖向极限承载力标准值为9428 kN。

4.2 灌注桩承载力计算

根据地层物理指标与承载力参数之间的经验关系,按下式计算单桩极限承载力标准值^[2]。

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$$

式中: q_{sik} ——桩侧第*i*层土的极限侧阻力标准值; q_{pk} ——极限端阻力标准值。

经计算单桩极限承载力标准值为7525 kN。

5 注浆参数确定

主要包括注浆的水灰比、注浆量及注浆压力,不同的地质条件采用不同的参数,施工前,根据设计参数进行试桩,利用静载试验确定施工参数。

5.1 注浆材料及水灰比

选用P. O 42.5普通硅酸盐纯水泥浆,水灰比0.6。

5.2 注浆压力

根据库仑摩擦定律,注浆压力愈高,孔壁周围土压力愈大,桩体与周边土结合愈紧密, φ 、 c 值也愈高,土的静压力显著增大。所以选用正常注浆压力2~2.5 MPa,瞬间开启压力<5 MPa,终止压力4 MPa。

5.3 注浆量

复式注浆估算^[2]:

$$G_c = a_p d + a_s n d$$

式中: G_c ——注浆量,以水泥质量计,t; a_p 、 a_s ——分别为桩端、桩侧注浆经验系数; d ——基桩设计直径,m; n ——桩侧注浆断面数。

经计算及现场灌注桩试压浆试验,注浆水泥总量2.7~3.1 t之间,桩侧为0.8~1.0 t,桩端为1.9~2.1 t。压浆流量20~40 L/m。

6 后注浆施工的控制要点

6.1 注浆管的制作

注浆管采用 $\varnothing 33.5 \text{ mm} \times 3.25 \text{ mm}$ 无缝钢管,管长比钢筋笼长0.7 m,采用丝扣接箍连接,密封胶或止水胶带密封,桩端注浆管底部20 cm内制作压浆喷头,梅花形布孔3排,每排3个孔,共布孔9个,孔距5 cm,孔径6 mm。桩侧注浆位置放在桩顶以下10 m处,按桩端注浆管要求制作。全部使用自行车内胎将小孔包扎封牢,管底封死,注浆孔总面积要小于注浆管内截面积。

6.2 注浆管安装

(1)4根注浆管十字型绑扎在钢筋笼加强筋外侧,固定间距<2 m,严禁使用电焊焊接,注浆管在桩底部伸出钢筋笼20 cm,不得悬吊,下笼受阻时,不得撞笼、墩笼、扭笼。

(2)注浆管下到底后,必须在注浆管内注满清水,检查管路的密封性能,管顶露出孔口50 cm,用丝堵封严,防止灌注桩身混凝土时,混凝土进入注浆管。

6.3 注浆

(1)桩灌注2天以后,使用约2 MPa压力的清水冲开喷射器喷射口。5~7天后注浆,注浆时控制10 m范围内无钻孔作业,且桩混凝土灌注时间3天以上。

(2)注浆顺序:因注浆位于地下水水位以下,先桩侧后桩端,桩侧、桩端注浆时间间隔<2 h,先边缘后中间,并间隔跳开注浆。

(3)严格控制水泥颗粒的细度,严禁使用受潮结块水泥,注浆液使用JW180型水泥搅拌机搅拌,容量1.5 m³,水泥浆要搅拌均匀,搅拌时间>2 min;通过滤网(网眼>3 mm×3 mm)存入3~4 m³储浆箱中,清除渣子,并不断搅拌,以防泌水沉淀。搅拌后3 h泌水率>3%,流动度控制在14~18 s之间,以利于水泥浆液的渗透、扩散。

(4)注浆采用2DWH-70型高压泵,在进行注浆时,另一端口可保持开放,使浆液溢出少许,不致因浆液凝于管中造成阻塞。

(5)施工中应做好开阀、初始压力、最后压力及浆液体积等参数的记录。

(6)注浆结束后,立即关闭安装在注浆管口的阀门,对注浆管进行封堵,并稳压一段时间,防止管内浆液压力过高造成返浆现象,并及时清洗管泵设备。

(7)后注浆灌注桩的单桩极限承载力标准值,通过静载试验确定,根据试验结果及时调整施工参数。

6.4 注浆终止条件

注浆量及注浆压力均达到设计要求;注浆总量已达到注浆总量的75%,且注浆压力超过设计值。

7 灌注桩后注浆事故的防治

7.1 桩后注浆事故的原因

7.1.1 注浆管堵塞的原因

(1)注浆管连接密封不好,渗入泥沙,堆积在注浆管喷射器内,增加注浆管压通的阻力。

(2)灌注混凝土时,由于导管上下的频繁活动,把注浆管划破或折断,或连接处及喷射器的密封性破坏,使泥浆进入,加上混凝土的固结,高压注浆时很难压通。

(3)下入注浆管时,未进行检查,管内有铁屑等杂物,堵塞管内通道。因其它事故停泵时间较长,管内水泥浆产生沉淀或初凝。

(4)水泥浆太稠、水泥结块,水泥浆未搅拌均匀就放出,易产生沉淀,在压浆中途堵塞。

7.1.2 喷射器被包裹的原因

(1)下入注浆管前,桩孔未清洗干净,孔底沉渣多,注浆管下不到底。

(2)灌注混凝土初期,注浆管未采取固定措施或固定不好,致使其上浮,造成喷射器及其上部的注浆管被包裹。

7.1.3 地面冒浆的原因

(1)注浆管管路折断,高压注浆时,水泥浆从上部断管底部流出,因桩周与孔壁之间有泥皮存在,比较软弱,易被高压水泥浆液冲破,使水泥浆液上串而流出地表。

(2)注浆管封闭不严,焊接不牢,在高压水泥浆液作用下,孔洞不断扩大,使水泥浆液从此流出,再沿桩周与孔壁的环状间隙上返流出地表。

(3)压浆过早,成孔钻进时,孔壁被扰动,尚未恢复到原始状态,比较软弱,高压浆上返。

7.1.4 地下串浆的原因

(1)地层的原因:软塑~流塑状态的软土,地层层间部位含有透水性很强的中、粗砂层等,很易被高压液破坏、击穿。

(2)在高压水泥浆液的作用下,给桩侧及桩下软弱层位被击穿创造了条件,加大了破坏力。

(3)桩间距离较近,施工时产生了坍孔现象。

7.2 桩后注浆事故的防治

7.2.1 注浆管不通的防治

(1)先用高压注浆泵压注清水,因为清水粘度小,有利于压注。如清水已压通,可以压注水泥浆液。

(2)在注浆泵额定压力范围内,尽量采用高压压注,如实在压不通,应停止压注,防止损坏泵体和管路。

(3)每个桩孔最好下入两根压浆管,如一根压不通可使用另一根,一次性压完所需浆液总量

(4)如果一根桩两根压浆管均压不通,采取在桩的边缘打孔再压浆的补救办法。

①在桩的边缘钻进 $\varnothing 110$ mm孔,孔的边缘与桩的边缘相距150~200 mm,孔深大于桩孔深度0.5 m;

②钻到设计孔深后,经验收、清孔,下入25 mm和20 mm压浆管各一根;

③封孔:先在25 mm管内压注水灰比0.8的水泥浆液,并加入早强剂,直到注满全孔为止;

④注浆:待水泥浆液达到一定强度后(2天),再从20 mm注浆管压入水泥浆液,水灰比与原压浆水泥浆液一致,其压入浆液总量和泵压均要略大于常规桩后注浆。

7.2.2 地面冒浆、地下串浆的防治

(1)发现桩侧壁冒浆,如注浆量满足或接近设计要求,可以停止注浆;如注浆量较少,将注浆管用压力水冲洗干净,待水泥浆液凝固、堵塞冒浆的毛细孔道时再重新注浆。

(2)当注浆压力长时间低于正常值或地面出现冒浆或周围桩孔串浆时,可用另一根压浆管进行高压注浆,一次压完浆液总量。或改为间歇注浆,间歇时间宜为30~60 min,同时可采取降低水灰比、加浓浆液、掺加促凝剂等措施。

(3)如压浆量已达到80%才发现地面冒浆或地下串浆,可视为该桩后注浆工作完成。

(4)如两根压浆管均已折断或破裂,无法注浆时,可采用打孔补救压浆办法。

8 桩端、桩侧复式注浆效果分析

8.1 解决了虚土问题^[4],提高桩端阻力

注入桩端的浆液与桩端虚土发生物理化学反应使其固化,凝结成一个结构新、强度高的化学性能稳定的结石体,并有一定的扩底效应。并对桩端土层进行挤压、密实、充填、固集,使桩底沉渣、桩端受到扰动的持力层得到有效的加固或压密,使桩土间界面的几何和力学条件得以改善,提高桩端阻力。

8.2 改善了桩侧摩阻力

泥浆护壁法在钻孔灌注桩施工中,由于泥皮的“润滑作用”使得承载力大受影响。注入桩侧的浆液,在压力作用下,沿桩侧壁与桩土间泥皮一定高度范围内上渗,并渗入泥皮及桩侧更大范围内的桩周土体中。浆液凝结后,桩侧泥皮被加固,更大范围内的桩周土体被调动起来参与承载,桩侧摩阻力得到较大提高。

8.3 削弱群桩效应

对群桩来说,由于浆液的扩散作用,凝结后改善

桩间土的力学性质,可以减小承载力的离散性,增大群桩的整体性,最大限度的发挥桩间土的承载力,更有效的将各个单桩连接在一起,使其成为一个整体,大幅度提高承载力。

8.4 增大了单桩极限承载力

根据设计及规范要求,首先试桩6根(工程桩),3组后注浆灌注桩,3组灌注桩,利用静载试验确定其单桩极限承载力标准值及累计沉降量,但未进行破坏性试验,钻孔灌注桩注浆后单桩极限承载力得到很大的提高^[5](见表2、图2)。

表2 钻孔灌注桩静力载荷试验结果一览表

试桩号	桩长/m	桩径/m	最大加载量/kN	极限承载力/kN	累计沉降量/mm	备注
119	24.1	1.0	8900	8500	9.98	注浆
130	24.2	1.0	9000	8500	11.23	注浆
109	24	1.0	9000	8500	12.25	注浆
97	24.5	1.0	7200	7000	23.48	未注浆
166	24.4	1.0	7200	7000	24.40	未注浆
201	24.2	1.0	7200	7000	21.08	未注浆

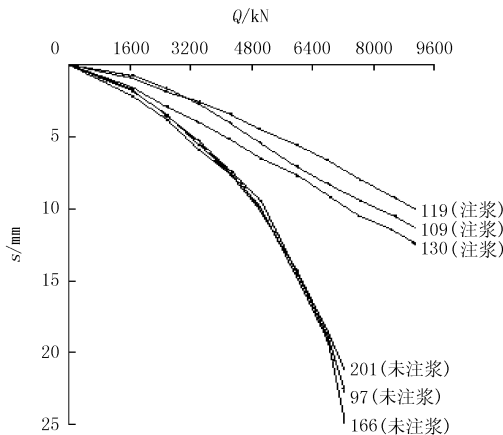


图2 注浆前后钻孔灌注桩 Q-s 曲线图

施工结束以后,利用高应变动力检测法(CASE法)检测,单桩极限承载力标准值^[5](见表3、图3)。

表3 灌注桩高应变(CASE)法检测一览表

桩号	桩径/m	桩长/m	极限承载力/kN	备注
26	1.0	24.2	11162.1	注浆
37	1.0	24.3	11563.5	注浆
45	1.0	24.5	11326.5	注浆
103	1.0	24.5	8346	未注浆
113	1.0	24.4	8125	未注浆
120	1.0	24.1	8231	未注浆

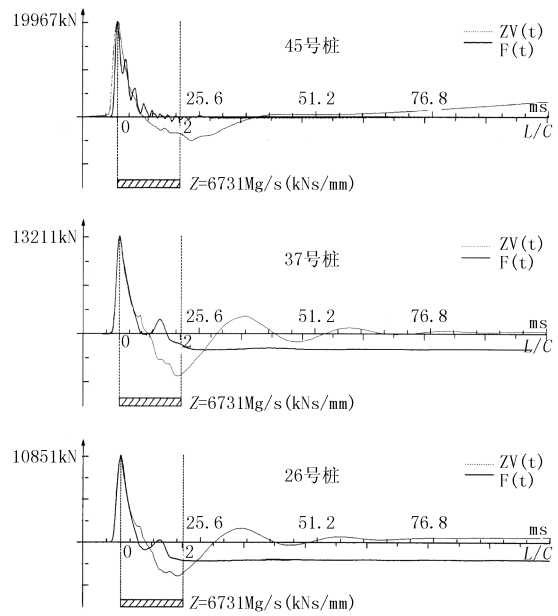


图3 后注浆钻孔灌注桩高应变曲线图

9 结语

采用钻孔灌注桩后注浆承载力计算的公式,计算结果合理,基本符合工程实际情况。桩端、桩侧复式后注浆技术对提高钻孔灌注桩的承载力是很有效的,一般可提高30%~50%。而且愈松散、软弱的土层,提高幅度愈大。后注浆技术是提高单桩承载力,减少承载力离散性,削弱群桩效应的一项有效措施。

参考文献:

- [1] 中冶集团武汉勘察研究院有限公司. 内蒙古冀东水泥有限责任公司二期粉磨生产线工程勘察报告[R]. 2008.
- [2] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [3] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] 代国忠、王忠生, 等. 灌注桩后压浆法作用机理和施工工艺的研究[J]. 长春工程学院学报, 2004, 15(3).
- [5] 呼和浩特市建筑工程质量检测试验中心. 内蒙古冀东水泥有限责任公司二期粉磨站灌注桩工程[R]. 2008.