

高压循环注浆结合钢管托换在桩基补强中的应用探讨

牛建东¹, 旷景心¹, 谭旭亮²

(1. 中南大学土木工程学院, 湖南长沙 410075; 2. 长沙恒德岩土工程技术有限公司, 湖南长沙 410075)

摘要: 灌注桩施工过程中, 经常遇到不良地层, 导致在灌注桩身混凝土的过程中, 孔壁局部坍塌, 使得土体进入混凝土中, 造成灌注桩断桩、桩身混凝土存在缺陷及桩端承载力不足等情况。而高压循环注浆结合钢管托换补强技术可以很好地对上述问题进行处理。结合桩基补强工程实例, 对其设计、计算和应用进行探讨和分析, 并对高压循环注浆结合钢管托换补强技术加固效果进行抽心检测, 检测结果表明: 经补强加固后的桩基承载力满足设计要求。

关键词: 循环式注浆; 钢管桩; 托换; 桩基补强; 承载力

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)05-0066-03

Application of Combination of High-pressure Circulation Grouting and Steel Pipe Underpinning in Pile Foundation Reinforcement/NIU Jian-dong¹, KUANG Jing-xin¹, TAN Xu-liang² (1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410075, China; 2. Changsha Hengde Geotechnical Engineering Technology Co., Ltd., Changsha Hunan 410075, China)

Abstract: Bad geological conditions are often encountered in bored pile construction process, which cause local collapse of hole wall and soil mixing into concrete in the concrete grouting; these lead to bored pile broken, concrete defects in pile body and insufficient bearing capacity of pile end. High pressure circulation grouting with steel pipe underpinning reinforcement technology can be very good to deal with the problem. Take high pressure circulation grouting with steel pipe underpinning reinforcement technology as the research object and with the engineering case of pile foundation reinforcement, analysis is made on the design, calculation and application; the reinforcement effect is tested by core-collection, test results show that the bearing capacity of pile foundation meets the design requirements after reinforcement.

Key words: circulation grouting; steel pipe pile; underpinning; pile foundation reinforcement; bearing capacity

0 引言

灌注桩作为基础处理的主要方式, 在地基处理中得到了广泛的应用, 但灌注桩施工过程中, 经常遇到不良地层, 导致在灌注混凝土的过程中, 孔壁局部坍塌, 使得土体进入混凝土中, 造成灌注桩断桩、桩身混凝土存在缺陷和桩端承载力不足等情况。一般的处理方法有加桩或补桩等, 但这些方法均会造成基础工程造价的大幅提高和工期延长, 影响工程正常的竣工时间。高压循环注浆结合钢管托换补强技术是以高压循环注浆提高桩身胶结较差部位的强度, 以钢管桩托换桩基部分承载力为原理对缺陷桩进行加固的补强方法。本文以高压循环注浆结合钢管托换补强技术为研究对象, 结合桩基补强工程实例, 对其设计应用进行探讨, 并结合抽心检测技术, 对其加固效果进行验证。

1 工程概况及地层岩性

1.1 工程概况

湖南湘潭某商住楼桩基础, 桩型为人工挖孔灌

注桩, 桩端持力层为紫红色中风化粉砂质泥岩, 桩端极限承载力为 1700 kPa。设计桩径 1500 ~ 2400 mm, 桩身砼强度等级为 C30。桩基施工完成后, 经检测中心进行检测, 部分桩心样单轴抗压强度达不到设计要求, 为不合格桩。必须对其进行加固处理。

1.2 地层岩性

各土层力学参数见表 1。根据勘察报告, 勘察范围及勘探深度内, 场地主要为潜水, 潜水主要赋存于圆砾④中, 受同层地下水补给, 场地地下水对混凝土结构和钢筋混凝土结构中的钢筋均不具腐蚀性, 对钢结构具弱腐蚀性。

表 1 土层力学参数

层号	土层名称	分布厚度 /m	桩的极限侧	桩的极限端
			阻力标准值 q_{sik}/kPa	阻力标准值 q_{pk}/kPa
②	粉质粘土	11.3 ~ 13.8	60	
③	粉质粘土	0.4 ~ 2.5	50	
④	圆砾	0.4 ~ 7.9	100	3000
⑤	强风化粉砂质泥岩	1.7 ~ 2.8	90	2800
⑥	中风化粉砂质泥岩	7.7 ~ 11.9		3400

收稿日期: 2013-05-16; 修回日期: 2014-01-18

作者简介: 牛建东(1975-), 男(汉族), 安徽淮南人, 中南大学博士后, 岩土工程专业, 研究方向为基础工程、支挡结构、地基处理、注浆工程, 湖南省长沙市中南大学铁道校区土木工程学院道路桥梁系, niudong@csu.edu.cn。

2 桩基补强加固方案设计

根据抽心情况,混凝土桩身底部胶结不好,其强度无法确定。如采用加桩或补桩等补强方法,则会造成基础工程造价的大幅提高和工期延长,影响工程正常的竣工时间。为避免上述情况的发生并根据桩身砼质量、桩径和单桩承载力,决定对该桩采用高压循环注浆和钢管托换技术进行处理,具体方案如下。

(1) 利用桩顶抽心孔,适当增加 2~3 个钻孔,并用地质钻机加深成孔,孔深穿过桩底 1.0~2.0 m,成孔后经高压风、水清孔后,投入骨料,采用 425 普通硅酸盐水泥通过高压注浆补强。微型桩桩径 130 mm,微型桩的桩长应根据实际桩长确定,在实际桩长的基础上增加 1.0~2.0 m。

(2) 对于桩承载力要求较大,桩身砼离析较严重的部分桩,采用钢管桩补强方案。单根桩中钢管桩数量应根据桩基具体情况确定,一般采用 4 个。钢管桩方案是在 130 mm 钻孔内放置 1 根 6~8 m $\phi 114$ mm $\times 8.0$ mm 钢管桩托换该桩的部分承载力。

(3) 采用 1~3 MPa 高压水清洗各孔,将孔内冲洗干净,并将钢管放入孔内。再往孔内注入水泥浆。

(4) 局部桩基在桩基外侧钻孔穿透圆砾层,采用高压循环注浆,使桩外侧地层特别是圆砾层的侧摩阻力大大提高,使桩侧摩阻力充分发挥。

桩基补强钢管桩及注浆孔布置具体见图 1。

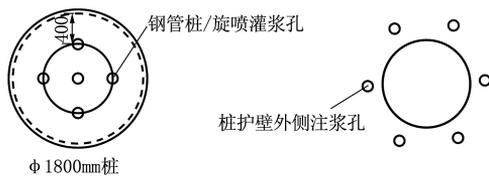


图 1 桩基补强钢管桩及注浆孔布置图

3 桩基补强计算分析

上述补强方案的计算原则为:钢管桩与桩中钢管承载力标准值等于桩胶结不良段所承受荷载的标准值,原桩注浆处理后的砼强度,考虑到混凝土的缺陷,取 C30 混凝土强度的 1/2,其余强度当安全储备。

3.1 验算承载力

(1) 灌注桩混凝土承载力 N_1 。根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94 - 2008)^[1] 计算:

$$N_1 \leq \gamma_b (1/\gamma_c) R_a A \quad (1)$$

式中: γ_c ——混凝土安全系数,1.25; γ_b ——构件工作条件系数,0.95; R_a ——混凝土的强度,考虑到混凝土的缺陷,取 C30 混凝土强度的 1/2; A ——混凝土的面积。

不同桩径桩身混凝土承载力见表 2。

表 2 不同桩径桩身混凝土承载力

桩径 /mm	桩面积 /mm ²	γ_b	γ_c	R_a /MPa	N_1 /kN	注浆处理后强度/kN
1500	1766250	0.95	1.25	15	20135.25	6398.54
1600	2009600	0.95	1.25	15	22909.44	7280.11
1800	2543400	0.95	1.25	15	28994.76	9213.89
2000	3140000	0.95	1.25	15	35796.00	11375.17
2400	4521600	0.95	1.25	15	51546.24	16380.25

(2) 原桩钢筋承载力。原桩基础中的钢筋抗压强度作为安全储备。

(3) 钢管桩承载力标准 N_3 。按《钢管桩结构设计与施工规程》(CESZ8:90) 计算^[2], $\phi 114$ mm $\times 8$ mm 钢管:

$$N_3 = f_c A_c (1 + \sqrt{\theta} + \theta) \quad (2)$$

$$\theta = f_a A_a / (f_c A_c) \quad (3)$$

式中: f_a ——纵筋抗拉压强度设计值; f_c ——钢管中砼强度值,考虑到混凝土的缺陷,取 C30 混凝土强度的 1/2,按 C30 取 15 MPa; A_a ——钢管截面积, 2.512×10^3 mm²; A_c ——钢管中的砼面积, 6.64×10^3 mm²; θ ——钢管混凝土套箍系数, $\theta = 7.94$ 。

$$N_3 = 15 \times 6644 \times (1 + \sqrt{7.94} + 7.94) = 1171.72 \text{ kN}$$

(4) 桩侧摩阻力 N_4 ^[3]。经高压注浆后,应考虑桩侧摩阻力:

$$N_4 = (u \sum q_{sik} l_i) / 2 \quad (4)$$

根据《建筑桩基技术规范》(GB 50007 - 2011) 和地勘报告综合取值,计算得到不同桩径的桩侧摩阻力计算值(见表 3)。

表 3 不同桩径的桩侧摩阻力计算值

地层	桩侧摩阻力 /KPa	桩身分布长度 /m	桩侧摩阻力/kN				
			$\phi 1.5$ m 桩	$\phi 1.6$ m 桩	$\phi 1.8$ m 桩	$\phi 2.0$ m 桩	$\phi 2.4$ m 桩
粉质粘土	60	6	847.8	904.32	1017.36	1134	1356.48
粉质粘土	50	1.3	153.075	163.28	183.69	204.75	244.92
圆砾	100	7.9	1860.45	1984.48	2232.54	2488.5	2976.72
强风化泥质粉砂岩	90	2.4	508.68	542.592	610.416	680.4	813.888
中风化泥质粉砂岩	200	2.4	1130.4	1205.76	1356.48	1512	1808.64
总和		20	4500.4	4800.43	5400.48	6019.65	7200.64

注:根据桩的设计承载力,经此方案处理后桩基可以满足设计承载力的要求。

(5)处理后的桩基承载力见表4。

表4 不同桩径桩基处理后总承载力

桩径 /m	注浆后的承 载力/kN	加钢管以后的桩基承载力/kN			
		1根	2根	3根	4根
1.5	6398.5	7570.2	8742.0		
1.6	7280.1	8451.8	9623.6	10795.3	11967.0
1.8	9213.9	10385.6	11557.3	12729.1	13900.8
2.0	11375.1	12546.9	13718.6	14890.3	

3.2 嵌岩阻力增大原因分析

原设计中桩基的承载力全部来自于嵌岩部位的摩阻力和桩端的端阻力。经本方案处理后,其摩阻力和端阻力明显增加,原因如下。

(1)注浆浆液充填桩侧与嵌岩段的孔隙,嵌岩段岩土体经高压挤密后,会大幅提高桩侧嵌岩段的摩阻力及端阻力增加明显。

(2)钢管桩嵌岩部分可以提高桩端的摩阻力和桩端承载力,进而提高桩承载力。

4 桩身补强工艺

4.1 桩身补强工艺流程

放线→钻孔→高压洗孔→放置钢管→全孔段高压循环注浆→封孔→桩基外侧注浆。

4.2 主要施工工艺

(1)按设计要求均匀布置注浆孔,每个孔分担的面积应尽量相等。

(2)采用XY-100型地质钻机成孔,单动双管金刚石钻进取心,采用清水高压循环给水,钻机用低压高速钻进,垂直度控制在0.3%以内。

(3)钻孔达设计深度后,采用高压风、水洗孔,主要针对胶结差的地段,采用封孔装置,分段高压清洗。

(4)放置钢管。钢管应通长布置,钢管驳接采用坡口对接焊,且4个孔钢管驳接面尽量错开。钢管底部3m在同一截面的钢管上开 $\varnothing 12@500$ 孔,制作好的钢管由现场的塔吊吊起,垂直放入孔内,保证钢管下至设计深度(在钢管上焊2 $\varnothing 12$ 钢筋进行检测),允许误差5cm。

(5)预埋注浆管及封孔。吊放钢管后,在孔口预埋长1m的注浆管和排气管。注浆管和排气管均采用2in($\varnothing 50.8$ mm)的镀锌管,排气管下端以超出孔口固结段5~10cm为宜。

(6)全孔段高压循环注浆^[6]。

注浆材料:普通硅酸盐水泥(P. O. 52.5)及膨胀材料。

水泥浆配合比:采用分段灌注,浆液由稀至浓进行灌注,水灰比为2→1→0.8→0.6→0.45。

注浆压力为1~3MPa,开始应尽量将压力控制在1MPa左右。

注浆过程应根据吃浆量和压力变化来改变水灰比,这是保证注浆质量的关键。

注浆要持续进行,不能中断。如特殊原因中断,应在水泥初凝前半小时恢复注浆;若不能恢复,则应用低压水进行清洗,正常后再重新注浆。

注浆结束标准:浆液浓度为0.45、压力为3MPa时,稳压持续时间为30min,桩身停止吸浆或吸浆量 ≥ 0.2 L/min时,可结束注浆。

(7)封孔。注浆完毕检查合格后,采用1:1水泥砂浆封孔。

(8)桩基外侧注浆方案。为提高桩基的桩侧摩阻力,尤其是圆砾层的桩侧摩阻力,在桩基护壁外侧均匀布置4~6个钻孔,穿透圆砾层,采用高压注浆,使桩外侧地层特别是圆砾层的侧摩阻力大大提高,使桩侧摩阻力充分发挥。

5 检测方法

桩基础进行补强加固处理后,采用钻心法检测桩身混凝土中骨料的分布情况、胶结效果,桩底沉渣情况和桩身的完整性。取出来的心样试件进行混凝土抗压强度试验,检测桩身混凝土强度,判定桩基经过加固后满足设计要求。

6 结语

通过计算分析不同桩径缺陷桩的承载力,对不合格桩基采用高压循环注浆提高桩身胶结较差部位的强度,并以钢管桩托换桩基部分端承力,使经过补强加固处理后的缺陷桩承载力满足设计要求,同时,通过抽心检测验证,补强后的缺陷桩在承载力方面确实达到设计要求,证明高压循环注浆结合钢管托换技术应用至桩基补强领域在经济性、技术可靠性和施工可行性等方面都是可行的。

参考文献:

- [1] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [2] 俞振全. 钢管桩的设计与施工[M]. 北京:地震出版社,1993.
- [3] GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].
- [4] 张忠苗. 桩基工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [5] 李学明,伍军,李国亮. 开口钢管桩竖向承载力计算探讨[J]. 路基工程,2005,(4).
- [6] 陈亮晶,牛建东. 低渗透性情况下注浆方法研究[J]. 施工技术,2013,42(7):68-70.
- [7] 张旭东. 微型钢管灌注桩基础托换技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):73-75.