

文章编号: 1673- 9469(2010) 04- 0018- 05

后注浆提高钻孔灌注桩单桩承载力分析

原建博, 鹿群, 李慧霞

(1. 天津城市建设学院, 天津 300384; 2. 天津市软土特性与工程环境重点实验室, 天津 300384)

摘要: 钻孔灌注桩存在桩端沉渣和桩侧泥皮, 使其承载力不能充分发挥。后注浆技术可以消除其固有缺陷, 可以提高单桩承载力。后注浆对不同持力层的适应性和单桩承载力提高的幅度是不同的。通过对北京、上海、天津、武汉地区大量已有的后注浆工程实例的承载力提高幅度进行对比分析, 考虑安全储备后, 提出了承载力提高的大致范围, 为钻孔灌注桩后注浆技术设计和施工提供了参考依据。

关键词: 后注浆; 机理; 单桩承载力; 提高幅度

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Summary and analysis of increasing range of bearing capability of single bored pile after grouting

YUAN Jian-bo, LU Qun, LI Hui-xia

(1. Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, Tianjin 300384, China)

Abstract: There are bottom sediment and slurry skin at pile side in bored piles, so that the bearing capability of piles can not fully develop. Post-grouting technique can eliminate the above inherent defect and enhance the bearing capability. The adaptability of post-grouting and the increasing range of the bearing capability are different in different bearing strata. The increasing range of the bearing capability is summarized according to the numerous examples of construction projects in Beijing, Shanghai, Tianjin and Wuhan. After comparing and analyzing these data and considering the safe reserve, the general increasing range of the bearing capability has been put forward in the above four regions. The advised general increasing range can provide reference to design and construct bored pile after grouting.

Key words: post-grouting; mechanism; bearing capability of single pile; increasing range

钻孔灌注桩的承载力来自于桩侧摩阻力和桩端阻力, 桩侧泥皮和桩端沉渣, 使其承载力不能得到充分发挥。国内外许多相关学者对这个问题进行了深入研究, 常采取对钻孔灌注桩桩端和桩侧进行压力注浆, 即后注浆技术, 达到了提高桩的承载力并减少桩基沉降的目的。在参考相关文献的基础上, 结合北京、上海、天津、武汉地区大量已有的后注浆工程实例, 分析这四个地区及两类土质的持力层后注浆提高单桩承载力的幅度后, 得出了后注浆提高承载力的大致范围, 并分析了两类土质的持力层后注浆承载力提高幅度不同的原因。

1 后注浆的机理

在钻孔灌注桩的桩身混凝土达到一定强度后, 通过预埋的注浆管, 高压作用下将以水泥为主剂的浆液注入到桩端、桩侧一定范围的土层中去。注入浆液通过渗透、填充、置换、劈裂、压密及固结, 或多种形式的综合作用, 固化了桩端沉渣和桩侧泥皮, 改善了桩端、桩侧一定范围土体的物理力学性质, 使桩端阻力和桩侧阻力都有不同程度的提高, 并且可以起到减少桩基沉降的作用。

分析。

2 工程实例分析

从表 1 可以看出北京地区地质条件比较好, 地下 20m 以下主要是卵石和圆砾层为主, 适宜采用后注浆提到承载力, 采用桩端注浆单桩可以提高 44% 以上, 有的还可达到 100% 以上, 若采用桩端和桩侧注浆可以提高单桩承载力 77% 以上。

2.1 工程实例

以北京、天津、上海和武汉地区工程为例进行

表 1 北京地区工程实例
Tab. 1 The construction projects in Beijing

工程名称	桩径 /mm	桩长 / m	桩端 土层	桩侧土	注浆方式	单桩承载/ kN		提高 幅度
						未注浆	注浆后	
首都机场 3 号 航站楼工程	800	25	中砂	粉质粘土、 卵石层	桩端、桩侧	5 067	8 950	77%
国家体育场 (鸟巢) 工程	800	31~ 37	卵石、 圆砾	粉砂、细砂、 中砂、圆砾	桩端	—	—	44% 以上
CCTV 主楼	800、 1200	25~ 33	卵砾 石层	—	桩端、桩侧	—	—	90%
北京名 人广场	800	24. 5	卵石	粉质粘土、 粉细砂	桩端	6 900	10 200	48%
北京现代 南洋大厦	1 000	22	卵砾 石层	粘性土、粉 细砂、中砂	桩端、桩侧	7 500	17 000~ 18 700	127% ~ 149%
北京皂君 庙电信楼	800	22. 3	卵石	粘性土、 粉细砂	桩端 桩端、桩侧	6 200 6 200	10 200 13 800	65% 123%
北京世界 金融中心	1 000	24	卵石	粉质粘土、 卵石	桩端 桩端、桩侧	9 000 9 000	18 800 19 200	109% 126%

表 2 天津地区工程实例
Tab. 2 The construction projects in Tianjin

工程名称	桩径 /mm	桩长 / m	桩端 土层	桩侧土层	注浆方式	单桩承载力/ kN		提高 幅度
						未注浆	注浆后	
天津港南 疆某工程	1 000	49	粉土、 粉砂	粉土、粉质粘土、 粉土及粉砂	桩端 桩端、桩侧	10 500 10 500	13 500 17 000	28. 6% 61. 9%
天津保税区 国贸大厦	600 800	46 56	粉细砂 粉细砂	淤泥、粘土、 粉砂	桩端 桩端	4 800 8 000	6 700 10 000	39. 6% 25%
天津远洋海河 广场住宅	800	44	粉砂	粉土、粉质 粘土	桩端	6 600	8 800	33. 3%
天津国际 海运大厦	800	38. 4	粉质 粘土	—	桩端	13 500	17 500	约 30%
天津华信 大厦	800	50	粉质 粘土	粉质粘土	桩端	10 000	12 500	25%
天津鸿吉 商厦	800	56	粘性土、 粉砂	粘性土、粉砂	桩端	10 000	14 000	40%
塘沽天远 海河花园	800	50	粉砂	淤泥粉质粘土、粉 质粘土、粉砂	桩端	7 200	9 500	32%
天津长迅 大楼	800	42	粉砂	粘性土	桩端	9 600	12 200	27%
天津海 航大厦	850	62	粉质粘土	粘性土、粉砂	桩端	13 750	17 500	27%
天津海河 大桥	1 500	44	亚粘 土层	粉细砂、粘土	桩端	—	—	23%

表 3 上海地区工程实例
Tab. 3 The construction projects in Shanghai

工程名称	桩径 /mm	桩长 /m	桩端 土层	桩侧土层	注浆方式	单桩承载力/ kN		提高 幅度
						未注浆	注浆后	
上海裕景明珠广场	800	48.4	粉砂	淤泥质土、粘土、粉土	桩端	7 400	9 300	25.7%
上海中建大厦	850	51	粉砂	淤泥质粘土、粘土、粉质粘土	桩端	9 216	15 000	约 60%
上海虹桥	850	51	粉细砂	粉砂、黏土	桩端	9 300	14 150	52%
枢纽工程	850	72	粉细砂夹中细砂	粉细砂、粉砂、黏土	桩端	11 700	20 000	71%
上海浦东某工程	1 000	88	粉砂	黏土、粉质黏土、砂质粉土	桩端、桩侧	8 000	28 750	159%
上海江	800	72	粉细砂	淤泥质土、	桩端	8 400	10 000	19%
山大厦				粉细砂	桩端、桩侧	8 400	12 000	43%
上海卢湾城市花园住在项目	600	49	粉砂	粉质黏土、淤泥质黏土、粘土	桩端	3 450	5 000	45%
上海新外滩花园	850	44.5	粉细砂	淤泥质粘土、粘土	桩端、桩侧	5 200	9 600	84.6%
上海东海大桥	2 500	110	粉细砂	—	桩端	—	—	26.8%
上海卢湾某酒店式高档公寓	750	55.2	粉砂	—	桩端	6 820	8 040	18%

表 4 武汉地区工程实例
Tab. 4 The construction projects in Wuhan

工程名称	桩径 /mm	桩长 /m	桩端 土层	桩侧土层	注浆方式	单桩承载力/ kN		提高 幅度
						未注浆	注浆后	
武汉柴林大厦	800	44.2	砾砂层	—	桩端	4 700	6 600	40.4%
武汉国际会展中心	800	33~ 42	卵石层	粉土、粉细砂	桩端	—	—	30% ~ 50%
武汉金宫大厦	1 000	56.3	卵石层	粘土、粉质粘土、中砂	桩端、桩侧	14 000	24 272	70%
武汉瑞通广场	800	44	卵石层	粘土、粉土、粉细砂	桩端、桩侧	7 200	13 000	80%
武汉轨道交通线某工程	800	28.5	粉细砂	—	桩端	—	—	30% ~ 50%
武汉汉正街高层住宅	800	45	砾石层	粉土、—	粉细砂桩端 桩端、侧	5 500 5 500	8 900 9 800	62% 78.2%
武汉国际商厦	600	12	粉细砂	粉土、粘性土	桩端 桩端、桩侧	1 300 1 300	1 560 1 820~ 2 600	20% 40% ~ 100%
武汉第一人民医院门诊楼	600	36	粗砂	—	桩端、桩侧	2 300	4 700	105%
武汉船舶公司	800	47.1	卵石层	—	桩端	6 300	9 900	87%
武汉怡景花园	800	41.6	卵石层	—	桩端	—	—	30%

表 5 四个地区后注浆单桩承载力提高范围

Tab. 5 The increasing range of the bearing capability of single pile after grouting

地区	北京	天津	上海	武汉
一般选择的桩端持力层一般桩侧土情况	卵砾石层粘性土、粉质粘土粉细砂、粉砂、中砂、圆砾、卵石	粉砂、粉细砂、粉质粘土、粉土、粉质粘土、粘性土、粉砂、淤泥、淤泥质土	粉砂、粉细砂淤泥质土、粘土、粉土、粉细砂	卵砾石层粉土、粘土、粉细砂、粉质粘土、中砂
供参考的桩端提高范围	桩端 40% ~ 70% 桩端、桩侧 70% ~ 120%	20% ~ 40% 约 60% 或以上	15% ~ 70% 60% ~ 100%	30% ~ 80% 70% ~ 100%

从表 2 可以看出天津地区 40m 以下, 以粉砂、粉质粘土为主, 采用桩端后注浆可以提高单桩承载力 20% 以上, 若桩端、桩侧联合注浆可以提高单桩承载力 60% 以上。

从表 3 可以看出上海地区 40m 以下也是以粉砂、粉细砂为主, 桩端后注浆可以提高单桩承载力 18% 以上, 情况好的话达到 70% 左右也是可能的, 若采用桩端、桩侧联合注浆可以提高单桩承载力 40% 以上, 提高 150% 左右也是可能的。

从表 4 可以看出武汉地区 10~ 30m 以粉细砂层为主, 情况类似于天津和上海的土质, 桩端注浆可以提高单桩承载力 20% ~ 50%, 若桩端、桩侧联合注浆可以提高到 40% 以上。30m 以下为卵石、砾石为主, 为最适宜的桩端持力层, 并有很好的可注性, 仅桩端注浆可以提高单桩承载力 30% ~ 80%, 若桩端、桩侧联合注浆可以提高单桩承载力 70% 以上, 提高幅度高于 30m 以上的土质。

分析已有数据, 并考虑安全储备, 提出了 4 个地区仅桩端注浆和桩端、桩侧联合注浆单桩承载力提高范围。

2.2 对比分析

两类桩端持力层的对比: 北京和武汉这类一般以卵砾石层为桩端持力层的地区, 仅桩端后注浆能提高单桩承载力 30% ~ 70%, 桩端、桩侧联合注浆提高单桩承载力 60% ~ 100%。

天津和上海这种一般以粉砂、粉细砂为桩端持力层的地区, 仅桩端注浆提高单桩承载力 15% ~ 40%, 若联合注浆提高约为 60% 或更高。

承载力提高幅度不同的原因: 卵砾石层和粉土、粉细砂层相比, 后注浆单桩承载力提高幅度较大的原因有: (1)从岩土介质可注性角度讲, 在粉细砂为代表的细粒土中进行后注浆时, 压入浆液主要是对桩端沉渣进行填充加固, 浆液渗入率低, 主

要是劈裂注浆作用。而以卵砾石层为代表的粗粒土进行后注浆时, 注入浆液除了对桩端沉渣进行填充加固外, 其浆液渗入率高, 浆液通过渗透、挤密、填充及固结作用, 将桩端土和桩端一起形成带扩大头的整体, 相当于增加了桩端进入持力层的深度和桩端受力面积, 从而大幅度提高桩端阻力。从两者桩侧的渗入率角度考虑也是一样的, 粗粒土与细粒土相比, 粗粒土渗入率高, 侧摩阻力提高幅度大, 从而单桩提高幅度大于细粒土。(2)从注浆后两者形成的结石体角度考虑, 粗粒土形成的结石体强度高于细粒土形成的结石体, 结石体强度越高越有利于桩基承受荷载, 粗粒土提高幅度大于细粒土。

3 结论

1) 桩端、桩侧后注浆技术可以消除桩侧泥皮和桩端沉渣, 改善桩基质量并减少沉降。

2) 不同地区、不同土层后注浆提高单桩承载力的幅度是不同的。卵砾石层与粉砂层相比, 后注浆后单桩承载力提高幅度大。

参考文献:

[1] 张忠苗. 桩基工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

[2] 顾建平, 王志勇. 上海中心大厦项目主楼桩基的选型与评估[J]. 建筑施工, 2009, 31(7): 530- 532.

[3] 张忠苗. 灌注桩后注浆技术及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.

[4] 李久林, 杨俊锋, 杨庆德, 等. 国家体育场(鸟巢)工程施工新技术综述[J]. 建筑技术, 2008, 39(8): 564- 575.

[5] 中国建筑科学研究院. 灌注桩后注浆(PPG)工法(YJGF 04- 98) [J]. 施工技术, 2001, 30(1): 46- 47.

[6] 吴春秋, 肖大平, 吴俊. 灌注桩后压浆技术的工程实

- 践及理论研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(7): 117-122.
- [7] 刘梅, 余渊, 张武. CCTV主楼桩基后压浆施工[J]. 施工技术, 2006, 35(7): 4.
- [8] 朱炳寅, 陈富生. 水下钻孔灌注桩桩底压浆的工程实践及分析[J]. 建筑结构, 1998(3): 29-32.
- [9] 刘金砺, 祝经成. 泥浆护壁灌注桩后注浆技术及其应用[J]. 建筑科学, 1996(2): 13-18.
- [10] 杨红民, 吕海林, 蔡军, 等. 从天津港某工程静载试桩结果浅析后压浆的处理效果[J]. 中国港湾建设, 2008(3): 18-20.
- [11] 李飞, 祝经成. 泥浆护壁钻孔灌注桩后压浆技术在软土地区的应用[J]. 建筑科学, 2000, 16(1): 44-45.
- [12] 施颖, 姚君. 天津塘沽海河大桥主塔墩桩基方案选型研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2009(1): 112-115.
- [13] 何宗义, 汪潜平. 钻孔灌注桩桩端后压浆在上海裕景明珠广场的应用[J]. 探矿工程, 2007(1): 36-38.
- [14] 朱庆涛, 王俊佚, 李广, 等. 灌注桩后注浆技术在超高层建筑桩基工程中的应用[J]. 建筑施工, 2006, 28(2): 97-99.
- [15] 唐坚. 软土地基钻孔灌注桩桩端后注浆试验成果分析[J]. 中国市政工程, 2010(3): 81-83.
- [16] 黄蔚. 桩端后注浆技术在软土地基泥浆护壁钻孔灌注桩施工中的应用实践[J]. 建筑施工, 2008, 30(3): 659-661.
- [17] 罗银禄. 钻孔灌注桩后压浆技术在上海软土地基中的应用[J]. 建筑结构, 2005, 35(2): 45-47.
- [18] 陈飞. 钻孔灌注桩后压浆技术的研究和应用[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [19] 龚维明, 戴国亮, 张浩文. 桩端后压浆技术在特大桥梁桩基中的试验与研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2007, 37(6): 1066-1070.

(责任编辑 刘存英)

(上接第8页)

2) 地连墙厚度取 0.8m, 内支撑刚度取 1.14K, 将第 2、3 道钢支撑的预加轴力调整为 1300kN、1000kN, 能够使地连墙的侧向变形控制在 30mm 以内, 保证了基坑工程和周围环境的安全。

3) 地连墙的侧移值和基坑周围沉降基本都在 30mm 左右, 与有限元分析结果吻合较好, 表明本基坑支护方案合理可行。

参考文献:

- [1] 陈忠汉, 程丽萍. 深基坑工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 熊智彪, 陈振幅, 段仲沅. 建筑基坑支护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [3] 唐孟雄, 陈如桂, 陈伟. 深基坑工程变形控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [4] 白永学. 支护结构与土体共同作用的深基坑二维有限元分析[J]. 岩土工程, 2006, 26(5): 75-80.
- [5] 陆新征, 宋二祥, 吉林, 等. 某特深基坑考虑支护结构与土体共同作用的三维有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(4): 488-491.
- [6] 吴晓娜. 深基坑支护结构的三维空间变形有限元分析[J]. 路基工程, 2008(5): 61-63.
- [7] 杨宝珠, 仲晓梅. 基于 FLAC-3D 的深基坑开挖过程数值分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(3): 15-18.
- [8] 马露, 李琰庆, 蔡怀恩. FLAC3D 在深基坑支护优化设计中的应用[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2007, 24(4): 35-38.
- [9] 安景波, 赵思远, 邓志辉. 长抗拔灌注桩优化设计方法[J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 19(4): 295-297.
- [10] 刘健航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [11] 温发明, 黄新贤, 张凯健. 采动区 CFG 桩复合地基计算方法[J]. 黑龙江科技学院学报, 2010, 20(1): 40-43.
- [12] 王桂平, 刘国彬. 考虑时空效应的软土深基坑变形有限元分析[J]. 土木工程学报, 2009, 42(4): 114-118.

(责任编辑 马立)