

人工挖孔桩桩底注浆技术与应用

唐松涛 申琪玉

(华南理工大学,广州 510640)

摘要 人工挖孔桩是应用较为普遍的基础结构。将地基处理技术压浆工艺引入到人工挖孔技术中,可避免人工开挖过程中的涌水、冒砂现象,并减小开挖深度。浆体与软弱地基土结合形成复合地基,可提高桩端承载力。结合工程实际,对桩底压浆后的人工挖孔桩进行了检测,表明该技术在本工程中应用是成功的,可供类似基础工程参考应用。

关键词 人工挖孔桩 桩底压浆 复合地基 检测

中图法分类号 TU753.3; **文献标志码** B

人工挖孔桩施工设备简单,操作方便,占用场地小,无施工噪音,无泥浆排放,质量可靠,因而得以广泛的使用,特别是在施工场地狭小的情况下可以弥补大型机械的不足。但依靠人工操作也让其使用范围受到限制,如在地质条件差、地下水丰富的场地将不能施工。为消除安全隐患,减小开挖深度,提高桩端的承载力,可将地基处理压力注浆技术引入到挖孔桩施工技术中。理论和实践表明,采取对桩端实施压力注浆,即浆液通过渗透、劈裂、充填和挤密土颗粒进行胶结,形成复合地基,改善土的力学性能,可以大幅度提高桩端承载力,减小沉降,产生良好的经济效益,且施工工艺并不复杂,对承载力较低、土质疏松的砂层、砾石层尤其适用^[1]。

1 桩端压力注浆技术

1.1 压力注浆基本原理

压力注浆材料一般为纯水泥浆、水泥砂浆、掺入外加剂的水泥浆、化学浆液如水玻璃等,材料本身和易性好,加入压力后渗透、流动性强。在挖孔成桩后,利用桩端的预留注浆装置均匀地将浆液注入桩端底层土中,浆液使周围土体挤密而形成浆

泡,注浆的压力基本沿着浆泡的径向向外发展^[2]。随着注浆量的增加及注浆压力增大,浆液以填充和渗透等方式,由桩底向其周围辐射,取代土颗粒或岩石裂隙中的水和空气,并和土以不同的方式结合或者产生化学反应,形成另外一种结石体,从而改变了桩端土的物理、化学性质,使基桩直立在有浆液贯通而形成一体的坚固持力盘上,从而起到加固持力层,提高土体承载力的作用^[3];桩端压力注浆也能使桩略微上抬而产生反向摩阻力,相当于“预应力”的作用,提高桩侧摩阻力;还可使部分桩端压缩变形在施工期内提前完成,减少日后使用期的竖向压缩变形。

根据注浆种类、土层性质和注浆压力等不同条件,压力浆液能对桩端和部分桩周土体产生渗透、填充、置换、劈裂、压密、固结等不同作用方式^[4]:

(1) 细粒土:在粘性土、粉土、粉砂、细砂的桩端持力层中注浆时,如果浆液压力超过劈裂压力,则土体产生水力劈裂,实现劈裂注浆,土体被网状结石分割成复合土体;它能有效传递和分担荷载,从而提高桩端阻力。

(2) 粗粒土:孔隙较大的中砂、粗砂、卵石、砾石的桩端持力层中注浆时,浆液主要通过渗透、挤密、填充及固结作用,大幅度提高持力层扰动面及持力层的强度和变形模量,并形成扩大头,增大桩端受力面积,提高桩端阻力。

2010年6月1日收到

第一作者简介:唐松涛(1967—),湖南人,工程师,硕士,研究方向:建筑施工管理。

(3) 桩端虚土:与注入的浆液发生物理化学反应而固化,凝结成一个结构新、强度高、化学性能稳定的结石体,提高桩端阻力。

1.2 桩端压力注浆施工过程

桩端压力注浆施工机具由地面和地下装置构成:地面注浆装置由高压注浆泵、浆液拌和机、贮浆桶、地面管路系统及观测仪表等;地下注浆装置由竖向镀锌导浆管、注浆管及桩端压力注浆装置等组成。整个注浆施工过程分为以下几个阶段:

(1) 基桩人工开挖成孔,清孔完毕后下放钢筋笼。多数桩端压力注浆工法,其注浆管附着在钢筋笼上,两者同步放入孔内;有的桩端压力注浆工法,是在钢筋笼放入孔内后再将压力注浆装置放入至桩孔底部。每根桩放置 3 根注浆管,当其中一根管堵塞时,可用另外两根替换,另外也可使浆液在桩底分布均匀。

(2) 浇注桩身混凝土。浇注混凝土前须将注浆管上端封闭,以免水泥、砂浆等异物进入,堵塞管路。

(3) 管道系统压水清渣。正式注浆前,先从注浆管道向桩底注入压力水,置换出沉渣和沉淤并清洗疏通注浆管道,然后再用稀浆液置换出桩底及注浆管道中的水。

(4) 桩端压力注浆。待桩身混凝土达到一定强度后方可注浆,一般是 10—15 天龄期^[5]。在此阶段要注意注浆压力的控制:在注浆的不同阶段,注浆压力也不相同,随着注浆压力的变化必须适当调节浆液浓度,一般先稀浆,最后浓浆。稀浆便于输送,渗透能力强,中等浓度浆起到填充、挤密作用,浓浆对已注入的浆液有脱水作用。注浆时必须密切观察压力表压力情况,当发现注浆压力突然下降,流量突然增大时,必须立即停止注浆,进行检查。当发生冒浆、跑浆现象时,必须立即停止注浆。

(5) 拆卸注浆接头。当桩底注浆结束后,卸下注浆接头采取机械封堵闭浆。

具体的施工工艺流程如图 1 所示:

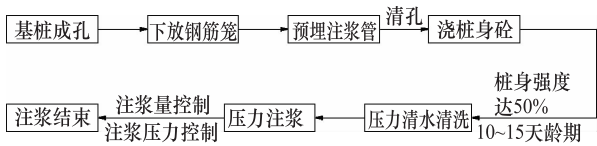


图 1 桩底压浆工艺流程

1.3 桩端压力注浆的特点

1.3.1 该技术经济效益明显

使用注浆工艺来提高桩端承载力,据工程经验,对不同桩长的桩可提高单桩竖向承载力 20%—40%^[6]、甚至更高,且可减少桩底沉降。一根桩如果桩底注浆量为 2—5 t,那么只会增加投资约 2 000 元,但可减小桩径与桩长,减小开挖深度,甚至可以节省降水措施这一道工序,综合比较来看,优势明显。

1.3.2 压力注浆桩适应性较广

几乎可适用于各种土层及强、中风化岩层,特别是在较软弱的土体中具有良好的应用效果。对于中砂地基,粘土地基,若有适宜的排水条件也可采用,如果排水不畅则可能在土体中引起高孔隙水压力,此时必须采用很低的注浆速率;既能在水位以上干作业注浆,也能在有地下水的情况下水下注浆;不仅应用于人工挖孔桩,对大量的钻孔桩、管桩也有较好的效果。

1.3.3 该工艺环境效益好

注浆材料对环境无污染,施工噪音小,操作简单,设备轻巧,易于普及。各工序可穿插进行,流水作业,组织好基本不占用工期。节省了大量的人力、物力,因此值得推广。

2 施工工艺控制

桩底压力注浆属隐蔽工程施工,要保证质量必须加强施工过程中的质量管理工作,制定周密管理制度及做好现场监控,而实施过程中最容易做到的就是注浆压力控制和注浆量的控制。

2.1 注浆压力控制

注浆压力与地基土层的密度、渗透性、初始应力、桩深以及注浆次序等都有密切的关系。但这些因素是难以准确预知的,通常只能根据现场压水试验初步确定,并根据土体的软硬程度适时调整。若土体较软,渗透性好,则注浆压力较低,一般在4 MPa以下;反之,若土体致密,渗透性差,注浆压力势必较高,可达4—8 MPa。一般第1、2根桩注浆压力低,以后随注浆桩数增加注浆压力增大,如同打桩过程中的“挤土效应”。

虽然较高的注浆压力能使浆液扩散半径增大,进而增大结石体的体积,但是,一旦注浆压力超过桩的自重和摩阻力时,就有可能使桩向上产生过大的位移,也会使注浆管爆裂或者地面冒浆。因此在施工时,可在桩顶设置百分表,严密监视桩的上移量,并在开始注浆时使用较小的注浆初始压力,等土层中的注浆通道完全打开后再逐渐加大压力,当注浆压力急剧增大或土层不可注入时可换另外一根注浆管补注。

2.2 注浆量控制

合理的注浆量是决定最终承载力的主要因素,由桩端土层参数以及待增加承载力要求而定。一般对疏松软弱土层多注浆,对风化岩层或砾石层可少注浆。根据以往工程经验绘制表1,可据此进行估算注浆量^[6]。

表1 注浆量的经验数据

桩径/mm	注浆量/t			
	渗透性好		渗透性差	
	持力层厚	持力层薄	持力层厚	持力层薄
800	2—3	1—1.5	1—1.5	0.8—1
1 000	3—4	1.5—2.5	1.5—2.5	1—2
1 200	4—5	2.5—3.5	2.5—3.5	2—3
1 500	≥5	≥3.5	≥3.5	≥3

在实施注浆中,还需根据压水试验情况及注浆过程中的反应适当调整注入量,并通过对注浆压力、浆液浓度、注浆方法诸因素的调控,将所需注浆量灌注到设计要求范围内。一般浆液浓度和注浆量大,注浆压力高,加固效果越好。对于无法进行

注浆,并且最终的注浆量及压力与设计要求相差较多的情况,应视为注浆不合格。可在桩身混凝土上钻孔、下带注浆器的注浆导管,用水泥浆将注浆器上部封实,待封孔水泥浆液达到一定强度后,进行补注浆。

3 工程实例

3.1 工程概况

广州市某亚热带建筑科学实验楼工程位于大学校园内,结构形式为框架结构,四栋地上四层建筑,总高23.60 m,总建筑面积9 777 m²,设计使用年限50年,抗震设防烈度为7度,基础形式采用桩基础,人孔开挖成孔,桩径为1.2 m、1.4 m两种,竖向承载力特征值分别为1 200 kN、1 600 kN。该工程场地地貌单元属于剥蚀残丘地貌,地面标高约为30.50—32.00 m,高差约为1.5 m,场地较为平坦。根据岩土工程勘察报告显示,场地地层属坡积、残积成因,拟建场地下部岩土体大体可分为7层,自地面向下各层依次为:①-1素填土层、①-2杂填土层、②粉质黏土层、③-1可塑砂质黏性土层、③-2硬塑砂质黏性土层、④-1全风化花岗岩层、④-2强风化花岗岩层;地下水位约位于地下8 m处,处于砂性黏土层中。

3.2 加固原因及处理方案

本工程基础拟采用人工挖孔桩,桩端持力层为③砂质粘性土,桩设计竖向承载力最大为1 600 kN。由于对持力层含水量估算偏小,当工人成孔开挖至持力层顶面时,发现涌水量较大,个别桩有流砂现象,无法继续向下开挖,而桩还未达到设计深度,承载力达不到设计要求。此时若改用其他基础形式显然不现实,而在场地四周设置井点降水不仅影响工期,也不经济,只能想其他办法。

鉴于本场地土层较软,而桩位已经布置、开挖成型,修改基础方案已不可能,经多方比较后,认为可采用桩底后压浆技术加固地基持力层,形成复合地基。

3.3 注浆参数

本工程人工挖孔桩桩端持力层为砂质黏性土,

使用后注浆法使其桩端承载力特征值 $\geq 1\,050\text{ kPa}$,后注浆施工方法如下:

清孔后,浇注混凝土前于桩侧置 3 根直径 25 mm 的镀锌注浆管,注浆管与钢筋笼加劲钢筋绑扎固定或焊接,注浆管底部封闭,插入孔底砂层 $\geq 150\text{ mm}$,孔壁出浆孔 9 个,直径 6—8 mm,间距 30 mm。出浆孔先用电工胶布封闭,再包扎橡皮(可用废弃的单车内胎)以阻止水、土进入管内。待桩身混凝土强度等级达到设计强度的 50% 时可开始注浆。

注浆材料:采用 42.5R 纯水泥浆,水灰比 0.45 左右,可掺入适量的早强剂和微膨胀剂。

注浆压力:注浆压力的大小是控制注浆效果的主要因素,因而必须控制在适当范围内,可通过压水实验结果调整。本工程注浆压力约 2—4 MPa。

水泥用量:每桩约 2 500 kg 左右。

3.4 注浆效果

本工程地基注浆加固过程约一个星期,注浆完成后对桩进行静载试验以确定实际加固效果,检测在一个月以后进行,使得注入的水泥浆充分凝固。否则,浆液未充分固结,将影响到检测结果的正确性。通常要求注浆后保养 15 d 左右^[7]。静载试验荷载和沉降结果如表 2、表 3 和表 4 所示。

表 2 1 号桩荷载沉降表

工程名称:某大学亚热带建筑科学 2 号实验楼首期 试验桩号:1 号桩											
测试日期:2010-03-20			桩长:9.00 m			桩径:1 200 mm					
荷载/kN	0	480	960	1 200	1 440	1 680	1 920	2 160	2 400		
本级沉降/mm	0.00	1.34	1.01	0.68	0.77	0.86	0.77	0.93	0.82		
累计沉降/mm	0.00	1.34	2.35	3.03	3.80	4.66	5.43	6.36	7.18		

表 3 2 号桩荷载沉降表

工程名称:某大学亚热带建筑科学 2 号实验楼首期 试验桩号:2 号桩											
测试日期:2010-03-21			桩长:11.00 m			桩径:1 200 mm					
荷载/kN	0	480	960	1 200	1 440	1 680	1 920	2 160	2 400		
本级沉降/mm	0.00	1.06	1.05	0.59	0.70	0.88	1.02	0.87	0.97		
累计沉降/mm	0.00	1.06	2.11	2.70	3.40	4.28	5.30	6.17	7.14		

表 4 3 号桩荷载沉降表

工程名称:某大学亚热带建筑科学 2 号实验楼首期 试验桩号:3 号桩											
测试日期:2010-03-21			桩长:11.00 m			桩径:1 200 mm					
荷载/kN	0	480	960	1 200	1 440	1 680	1 920	2 160	2 400		
本级沉降/mm	0.00	0.99	0.92	0.90	0.69	0.77	0.84	0.96	0.90		
累计沉降/mm	0.00	0.99	1.91	2.81	3.50	4.27	5.11	6.07	6.97		

根据以上数据可得 3 根桩的 $Q-s$ 曲线分别如图 2 所示:

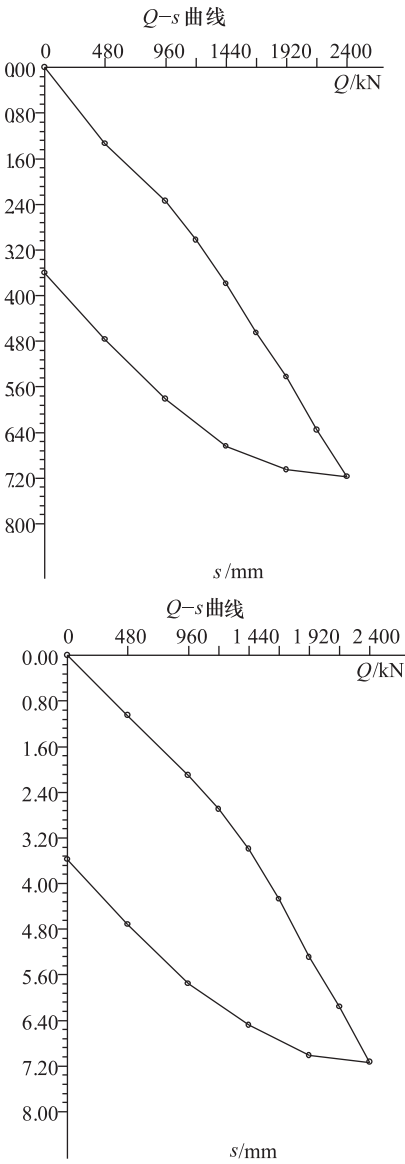


图 2 1 号桩、2 号桩荷载沉降曲线

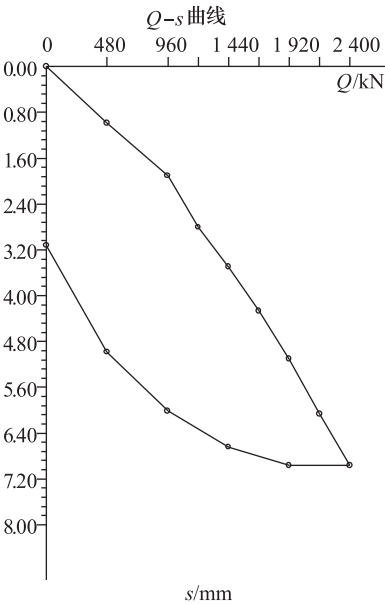


图3 3号桩荷载沉降曲线

根据以上3根测试桩的 $Q-s$ 曲线可以看出,曲线无明显拐点,而该桩持力层为硬塑粘土,桩极限承载力可取沉降 $s=(0.010-0.015)b$ 对应的荷载值, b 为承台宽度,据此计算的极限承载力应为 $s=30-45\text{ mm}$ 对应的荷载值,而三根桩的最终沉降量均不超过 8 mm ,可见桩极限承载力远大于设计值 $1\,200\text{ kN}$ 和 $1\,600\text{ kN}$,沉降量也满足要求,加固效果良好。

4 结语

通过以上分析研究以及在工程中的实际应用可知,桩底后注浆技术工艺似乎比较简单,但实施过程中还是要时时刻刻注意的,要随时监测注浆压力和注浆量的变化。在施工中工序应安排合理、措施得当、管理严格,才能得到预期的效果,否则将会出现质量事故,比如桩端承载力达不到要求,地面冒浆,注浆管路爆裂或堵塞等,不仅浪费材料,而且处理也相当困难。

参 考 文 献

- 1 Fleming W G K. The improvement of pile performance by base grouting. Civil Engineering, 1993; 97: 88—93
- 2 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- 3 霍凯成. 注浆机理及应用. 武汉理工大学学报, 2002; (2): 43—44
- 4 沈保汉, 孙维萍, 兰 岚. 灌注桩后压浆技术. 建筑业10项新技术讲座
- 5 朱红兵. 桩底注浆在实际工程中的应用和效果. 浙江建筑, 2000; (4): 13—14
- 6 张忠苗, 吴世明, 包 凤. 钻孔灌注桩桩后注浆机理与应用研究. 岩土工程学报, 1999; 21(6): 681—686
- 7 张建牛. 注浆加固技术在软弱地基处理中的应用. 山西建筑, 2005; (2): 65—66

Labour-dug Pile Base Grouting Technology and Application

TANG Song-tao, SHEN Qi-yu

(South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641, P. R. China)

[Abstract] The labour-dug pile is widely used in foundation engineering. Grouting process will be introduced to labour-dug pile technology, you can avoid the water gushing in the process of manual excavation, sand the phenomenon of risk, and may reduce the depth of excavation. Cement paste with the weak foundation soil combine to form a composite foundation, can improve pile bearing capacity. In this paper, engineering practice, right after the grouting pile test results show that the application of technology in this project is successful. The technology is available for similar projects for reference applications.

[Key words] labour dug pile pile base grouting composite foundation detection