

灌注桩后注浆技术在高密度人群地区施工中的应用

吴建平 中国桂 奕怀著
浙江省二建建设集团有限公司

摘要：浙江省玉环市人民医院改扩建工程为钢筋混凝土框架结构，基础为桩基础，桩型采用钻孔灌注桩。钻孔灌注桩在含黏土角砾层存在清渣困难、对持力层扰动破坏使端阻降低及泥浆护壁使侧阻降低的缺点很难避免，所以对含黏土角砾层作为持力层的钻孔桩实行桩底注浆工艺是很有必要的。通过应用和分析，认为钻孔灌注桩后注浆技术以它噪音小，对周围环境影响小等优点，宜在南方等软土地区应用。

关键词：钻孔灌注桩；桩基础；静载试验；后注浆

一、工程概况

(一) 地质报告分析

浙江省玉环市人民医院改扩建工程位于玉环市玉城街道，玉环市人民医院园区内。拟建工程由6-13层综合病房楼（包括急诊楼及病房楼）附属工程连廊及2层地下室组成，地上总建筑面积约68991.39m²，地下室建筑面积40784.3m²，框架结构，预估设计最大荷载8000kN/柱，拟采用桩基础。

本工程重要性等级为一级，场地等级为二级，地基等级为二级，岩土工程勘察等级为甲级。

通过勘察，查明了场地勘探深度范围内各地基土层的埋藏、分布规律及特征。场地地处滨海积平原，地形平坦开阔，场地勘察深度内的②层为淤泥，流塑状，②层厚度大，性质差，具有高含水量、高孔隙比、高压缩性等特点，不经处理，上部建筑物易产生较大的沉降量及不均匀沉降，且持续时间长。当地面存在大面积堆载或地下水降低时，软土易产生固结沉降，沉降过大过快时，可能引起桩侧负摩阻力，降低桩基承载力。⑥₂层含黏土角砾，中密-密实状，力学性质好，全场分布，可作为拟建建筑物的基础持力层。

(二) 确定桩型及采用技术

场区内的地下水位常年接近地表，为确保地下室在施工期间和使用期间的安全，地下室应设置抗浮桩，桩型宜采用钻孔灌注桩。以实测土试指标、埋藏分布条件为依据，经查表计算对比，并结合地区经验后综合确定，选用桩径为600mm承压兼抗拔桩和桩径800mm的承压桩，桩长51.0~68.0m，以⑥₂层含黏土角砾作为基础持力层，桩端进入持力层不小于2倍桩径。本工程的桩长、桩径均大，孔底清淤较困难，孔壁泥皮厚，要采取相应的技术和工艺保证措施，以确保钻孔灌注桩的施工质量。

钻孔灌注桩后注浆技术是改善泥浆护壁钻孔灌注桩桩底沉渣、桩侧泥皮固有缺陷的一项重要技术。所谓后注浆，就是在成桩后在桩身砼达到一定强度时，通过预埋管道用高压泵向桩的某些部位灌注水泥浆，消除虚土与泥皮，改变桩与岩、土之间的边界条件，从而提高桩的承载力并减少沉降量，提高局部位置的土体强度。已作为建设部推广应用的新技术，在以后的建设建筑中将有普遍的应用，特别是钻孔灌注桩在高层建筑深桩基础上广泛应用。具有显著的经济效益和社会效益。比如说有些工程建筑物需要，设计桩比较长，甚至会达到60cm，甚至进入砂层更深，这些桩在施工时承载力较大，若适当采用注浆方法可以在满足承载力要求的同时缩短桩长减小沉降，提高生产率，为工程节约不少费用和时间。钻孔灌注桩在含黏土角砾层存在清渣困难、对持力层扰动破坏使端阻降低及泥浆护壁使侧阻降低的缺点很难避免，所以对含黏土角砾层作为持力层的钻孔桩实行桩底注浆工艺是很有必要的。

由于玉环市人民医院改扩建工程位于闹市区，旁边医院也还在运行，故减少拟建工程对周边人员、房屋及道路等设施的影响就显得尤为重要。钻孔灌注桩后注浆技术以它噪音小，对周围环境影响小等优点，故本桩基工程采用钻孔灌注桩后注浆技术。

二、施工流程及操作要点

(一) 施工流程

成孔 → 终孔后同时第一次清孔 → 制作钢筋笼并预埋注浆管 → 下钢筋笼并第二次清孔 → 灌注混凝土 → 开塞 → 制浆 → 注浆 → 封孔

(二) 操作要点

1. 预埋注浆管

本工程后注浆导管采用直径35mm，壁厚3.25mm的钢管，与钢筋笼加劲筋绑扎固定或焊接，沿钢筋笼圆周对称设置2根；注浆管采用丝口连接，管长比通常孔深长100mm，上面露出自然地面100mm。注浆管端部采用橡胶或塑料布包扎，以免堵塞。注浆管底部安装可靠有效的注浆阀，注浆阀应能承受1MPa以上静水压力；注浆阀外部保护层应能抵抗砂石等硬质物的刮撞而不致使受损，注浆阀应具备逆止功能。采用20MPa的压力表。

2. 开塞

灌注桩成桩后的3~7d，对注浆管应进行清水开塞，压通

综合病房楼地基土物理力学指标设计参数表

层序	岩土名称	层顶埋深 (m)	土工参数						
			含水量 (%)	重度 (kN/m ³)	地基承载力特征值 (kPa)	压缩模量 (MPa)	负摩阻力系数	桩周土阻力 (kPa)	桩端土阻力 (kPa)
① ₀	素填土	3.82					0.30		
① ₁	黏土	1.72	40.7	17.61	65.0	3.16	0.15	12.0	
②	淤泥	0.82	59.6	15.79	45.0	1.70	0.15	4.0	
④	碎石	-14.38			300.0			33.0	
⑤ ₁	黏土	-16.88	38.0	17.79	120.0	4.09		17.0	350.0
⑤ ₂	黏土	-22.28	40.2	17.67	90.0	3.13		15.0	300.0
⑤ ₃	角砾	-27.78			280.0			28.0	
⑥ ₁	粉质黏土	-33.48	30.6	18.45	130.0	4.23		19.0	
⑥ _{2a}	黏土	-36.78	39.6	17.69	100.0	3.74		16.0	
⑥ ₂	含黏土角砾	-39.68			250.0			30.0	1200.0

注浆管路。开塞压力：3MPa~5 MPa。

3. 制浆

制浆采用42.5级水泥配置，水灰比为1: 1~0.5: 1，同时添加适当的膨胀剂和减水剂，浆液的各项指标应按设计要求控制。制浆过程，先按配比将适量的水和水泥投入制浆机内，搅拌3~5min后便成水泥浆，然后制浆机出口的滤网过滤，滤网网眼应小于40 μm，流入储浆桶内储存。

4. 注浆

注浆在成桩后7~10d进行。注浆作业与成孔作业点的距离不宜小于8~10m，对于桩群注浆宜先外围、后内部；对桩位图上同一承台或附近的桩，宜同时注浆。注浆时，浆液不得溢出地面和超出有效注浆范围。

估算注浆量：设计初步估算，水泥用量为每桩2t。

实际注浆量：最终采用水泥量结合现场情况确定。

注料泵：应选用高压（至少10 MPa）、高位移（5米/小时以上）、性能稳定且易于使用的注料泵。桩帽注射结束时的注射压力由地板质量和浇口深度确定。对于受损岩石、未饱和黏土和淤泥，注射压力必须在3 MPa到10 MPa之间。

注入从水泥浆开始，3~5分钟后提高水泥浆浓度。如果孔压力降低，并且注料管中存在负压，则必须提高泥浆浓度。在注射过程中，必须首先注射第一个注射管，并采用“少注射，多重复”的方法，在第一个注射管注射完毕后，依次注射第二个注射管。注浆过程中，浆液密度和输浆量应每小时测定一次，浆液发生变化时，应随时加测。

5. 注浆结束标准

(1) 多次注入后，注入孔内，三次反复注入后，注入即可停止。

(2) 注射压力保持在30分钟以上、注射压力急剧增加、土壤采取或不采滑水时，可停止注射。

(3) 注射压力或注射孔注射量符合设计要求。

6. 封孔

注浆结束后，经验收合格后及时将注浆孔采用高一标号砂浆进行封填密实。

7. 异常情况处理

在注射过程中，必须定期观察现场周围的土壤和注射孔，并根据具体情况采取适当的治疗措施。在注射过程中，如果有渗漏，应采用封闭表面、低压、面膜厚度、流量限制、限制、间歇注射等方法。

三、质量检查和静载试验

(一) 质量检查

质量检查包括过程质量检查和注浆最终质量检查。

过程检查主要对水泥材质试验报告、压力表鉴定证书、注浆记录、设计工参数、后注浆施工记录、特殊情况处理记录等资料情况进行检查。

其中，在注浆这个过程中，我们要注意一些必要的施工细节，例如：要检查水泥，就是水泥是不能有结块的现象的，核实进场的水泥量及水泥浆的水灰比，掺外加剂的，检查外加剂的掺量。检查压力表，阀门、管线是否完好。并且要有专人从注浆开始就要记录注浆的压力，当压力过小时，就会对桩端土、桩周土加固范围渗入充填强度、深度小，加固的作用会变小，影响加固质量；当压力过大时，又会破坏注浆管，导致施工问题，对于压力的控制时此环节的一个十分重要的问题。要控制一个较合适的注浆压力，注浆的控制以注入水泥量的多少为主控因素，要记录每次水泥的用量，保证水泥的注入量达到要求。

最终质量检查：根据《建筑地基处理技术规范》（JGJ79 - 2012）相关规定采用小应变检测注浆前后的测裂缝宽度，经检测注浆后的灌注桩符合Ⅰ类桩。

(二) 静载试验

1. 根据该工程桩基的施工记录和地质报告，并结合试桩的试验曲线特征，综合分析，结果表明：所有试桩在加载至最大试验荷载时，Q-S曲线呈缓变型，S-lgt曲线尾部无明显下拐，试桩桩顶累计沉降量相对较小，在末级荷载作用下桩的沉降能达到相对稳定。

2. 根据《建筑基桩检测技术规范》（JGJ106-2014）及以上曲线，综合分析确定试桩单桩竖向抗压极限承载力及单位工程单桩竖向承载力特征值，试验成果见下表。

静载试验成果表

试桩桩号	桩径 (mm)	设计单桩抗压承载力特征值 (kN)	试验结果		桩顶最大沉降值 (mm)
			单桩竖向抗压极限承载力 (kN)	单位工程单桩竖向承载力特征值统计 (kN)	
29#	800	4000	8500	4250	12.91
133#					13.99
287#					25.05
317#	600	2100	4500	2250	13.97
413#					5.50
558#					9.21
703#					21.55
843#					18.06
873#					17.61

四、结束语

通过对在含黏土角砾层桩底的应用和分析可得出下列有用的结论：

第一，钻孔灌注桩为取土桩，对周边建筑物和道路影响较小，但在泥浆排放及外运、弃土外运时对道路存在污染问题，故应有合理的排放和清洁措施，以免对周边环境造成污染。

第二，注浆范围和建筑物的水平距离很近时，应加强对临近建筑物和地下埋设物的现场监控；注浆点距离饮用水源或公共水域较近时，注浆施工如有污染应及时采取相应措施。

第三，对在含黏土角砾层作为持力层的钻孔桩实施合理的桩底注浆工艺来提高桩承载力，效果很明显。对桩底注浆工艺和参数的确定，要针对不同的地质条件有针对性地进行，在保证桩底混凝土不破坏和桩不上抬前提下，实行桩底注浆量和注浆压力双控，并首先保证桩底合理的注浆量。

第四，桩底注浆预埋管要埋两根注浆管，在灌注桩成桩后的3~7d，对注浆管进行清水开塞，且应在水下混凝土达初凝强度（通常7~10d左右）后进行注浆，浆液水灰比常为（0.4~0.7）：1，先稀后浓，掺入少量减水剂和膨胀剂。注浆后保养龄期通常应在15d以上。

第五，通过工程实例和静载测试，采用钻孔灌注桩后注浆技术施工速度快，效果好，同等承载力下可减少桩径，并可减少后期沉降。

参考文献

[1] 张忠苗, 吴世明, 包风. 钻孔灌注桩桩底后注浆机理与应用研究[J]. 岩土工程学报1999, 21 (6): 681-686.
 [2] 王文渊, 刘彬源, 李贺, 张福荣. 超长灌注桩桩端侧复式后注浆施工技术[J]. 施工技术2017, 46 (21): 117-124.
 [3] 杜璐, 赵勇. 钻孔灌注桩后注浆施工技术研究与应[J]. 天津建筑业2019, (8): 299-301.
 [4] 中国建筑科学研究院. JGJ94-2008 建筑桩基技术规范[S]. 中国建筑工业出版社, 2008北京
 [5] 中国建筑科学研究院. JGJ106-2014建筑基桩检测技术规范[S]. 中国建筑工业出版社, 2014北京
 [6] 叶再p. 复杂持力层条件下旋挖扩底后注浆灌注桩在桥梁工程中的应用[J]. 浙江建筑2015, 32 (4): 25-41.