

高压注浆技术在桩基工程事故处理中的应用

詹晨曦

(福州市建筑设计院, 福州, 350001)

摘要 对高压注浆技术在桩基工程事故处理和加固等方面的作用机理及效果进行分析, 通过实例阐明了高压注浆技术对提高桩端持力层承载力及桩侧摩阻力, 改善桩身质量和桩的荷载传递的性能。

关键词 高压注浆 承载力 变形控制 桩基检测

桩基础作为深基础中的一种, 在土质不良地区修建各种建筑物尤其是多层、高层建筑、重型厂房等广泛采用的基础型式。但由于地质情况、设计变更、施工质量等因素的影响, 桩基础在检测过程中不时发现问题, 高压注浆技术作为一种桩基加固补救手段已被广泛采用。高压注浆技术是指在成桩后通过桩体内预埋的高压注浆管或钻孔后埋设管, 用一定的压力把水泥浆压入桩底、桩身或桩侧, 在桩底形成扩大头、桩身(侧)形成置换包裹体, 并使水泥浆对桩侧泥皮、桩身和桩端的沉渣、桩周土层起到冲蚀、渗透、填充、置换、劈裂、压密和固结的作用, 增加了桩与土体的侧摩阻力和端阻力, 从而改善桩身质量、提高桩的承载力。

1 桩端高压注浆技术应用

当桩在施工中发生工程事故时, 使桩基承载力无法满足设计要求或存在过厚桩底沉渣时, 往往采用桩端高压注浆技术处理。特别是当桩底持力层为破碎岩石、裂隙发育的风化岩层、卵石层或其他孔隙度高的地层时, 用高压注浆技术处理取得效果尤为显著。

1.1 桩端高压注浆力学机理

把配置好的水泥浆用高压泵将浆液压入桩底持力层, 浆液首先渗透到最疏松的桩端残渣和持力层岩土体间隙中冲走沉渣, 以水泥浆液充填固结后形成了强度较高的混凝土。随着注浆量和注浆压力的增加, 桩底逐渐形成梨形体扩大头, 压密区范围也逐渐扩大, 从而使得桩底土的应力路径和固结状态改善。

桩底后压浆不但加固桩底持力层提高桩端阻力, 还能提高桩侧的摩阻力, 这是因为桩底后压浆使得桩进入持力层的“嵌岩段”部分侧阻力明显提高, 而且桩底后压浆过程中浆液沿着桩壁泥皮向上渗透, 充填桩侧和桩周土体间隙, 同时也加固了桩端部分的桩侧土。

桩底高压注浆技术提高单桩承载力表现为: 水泥浆冲走桩底沉渣形成了强度较高混凝土, 消除了桩底沉渣的影响; 随着注浆压力的增加, 水泥浆不断地充填在由于灌注桩身混

收稿日期: 2004-02-20

作者简介: 詹晨曦 (1968-), 男, 工程师, 从事岩土工程与工程地质勘察工作。

凝土时形成的“虚尖”、“干渣石”中,增强了桩端混凝土的强度; 水泥浆不断向桩端持力层中的松软岩土体渗透、压密,提高了桩端岩土体的承载力,桩端形成类似扩大头或扩底效应,增加了桩端的承载面积,从而提高桩端承载力; 当水泥浆液在压力作用下沿着桩侧壁向上渗透、挤压,充填桩侧和桩周土体的间隙,提高桩端部位的桩侧摩阻力。

1.2 桩端高压注浆工程实例

某邮电大楼建筑场地地层自上而下为残积土、粘土、粉质粘土、卵石、残积土、强风化花岗岩。桩基础选用人工挖孔桩,单桩承载力极限值为 3 800 kN,设计取顶板埋藏深度 13.60 m~15.00 m 的卵石层为桩基持力层,桩径 800 mm,砼 C20,选取其中 3 根进行静载试验(图 1),结果表明桩的竖向承载力均在 3 040 kN~3 420 kN,一旦压力大于 3 000 kN,桩身下沉逐渐加剧,累计下沉超过 40 mm,无法满足设计要求。该曲线类似于中、高压缩性土层的 $Q-s$ 曲线,即呈渐进破坏的“缓变形”,随后对这 3 根桩进行取芯,桩身质量完好,水泥标号合格,只有在取持力层芯样中发现卵石层卵石的粒径虽然较大,但卵石含量低,且填充其间的粉质粘土松散,由此分析单桩极限承载力低的原因在于该层的桩端土极限端阻力标准值 q_{pk} (MPa) 较预估值低。

根据分析的情况决定采取对桩底土层高压注浆法,先在两根人工挖孔桩上钻取注浆孔,将注浆管下入桩底持力层 0.5 m 左右进行喷浆注射。桩底注浆完成后取这两根桩进行静载试验。与前 3 根桩相比,这两根桩沉降量明显减小,

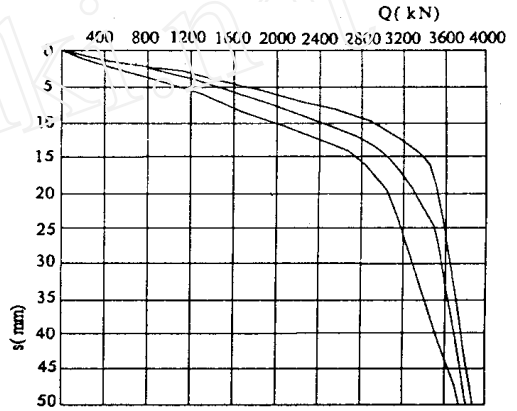


图 1 灌浆前 17#、29#、40# 桩静载试验 $Q-s$ 曲线

Fig. 1 the pile's static loading test's curves of NO. 17, NO. 29 and NO. 40 before grouting

无明显陡降段,但累计沉降量仍然偏大,分别为 36.8 mm、38.5 mm,桩身达到极限荷载状态。这说明桩底高压注浆技术的采用是有效的,但由于只是在单根桩底持力层形成加固区,而桩顶荷载在通过桩端向持力层传播时,是近似地按某一压力扩散角向下扩散,因此只对单根桩注浆所取得效果不够理想。随后对场地中所有桩进行取芯注浆,再抽三根桩进行静载荷试验,三根桩的沉降量均有较大幅度减小,桩身极限承载力 $\geq 3 800$ kN,满足设计要求(图 2)。同时,取数个检查孔芯样(检查孔位于两桩之间),发现两根桩桩底间的卵石缝隙中的粘土大部分被块状水泥充填物代替,卵石相互胶结紧密,在桩底形成大面积的低压缩性持力层,使地基承载力标准值明显提高。

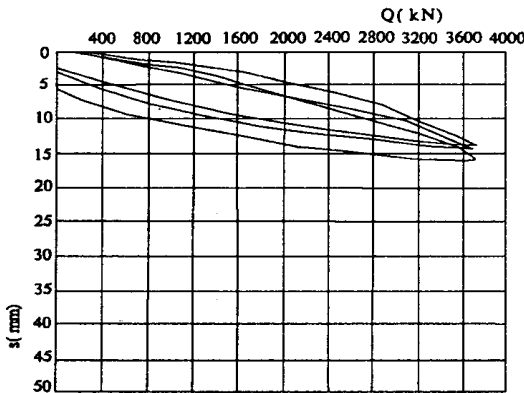


图 2 整体灌浆后 4#、9#、31# 桩静载试验 $Q-s$ 曲线

Fig. 2 the pile's static loading test's curves of NO. 4, NO. 9 and NO. 31 after total grouting

冲钻孔桩、人工挖孔桩等大直径桩桩底沉渣过厚或桩身出现严重离析时,也可采用高压注浆技术弥补桩身缺陷。通过高压注浆技术一般能将缺陷位置的沉渣或破碎残余物冲洗干净,高压注入高标号的水泥浆充填其中的空隙,从而使桩身质量得到好转。通过低应变动力检测方法一般可以明显地观察到注浆效果。图 3、4 为某小桥冲钻孔桩(桩长 11 m, 砼 C25) 桩身高压注浆前后反射波法检测实测曲线对比。图 3 中的 7.3 m 附近的缺陷部位多次反射,无桩底反射,为 IV 类不合格桩。图 4 中的曲线反映了桩身质量已得到显著改善,且有明显的桩底反射,后又经静载试验得到进一步的验证。

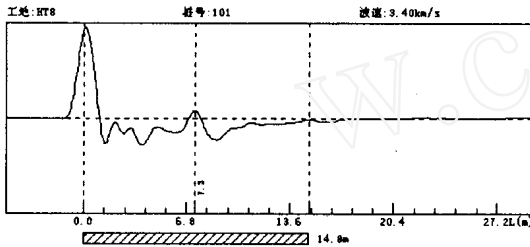


图 3 桩身高压注浆前反射波法实测曲线

Fig. 3 the pile's reflecting wave's curve of on-the-spot survey before high pressure grouting

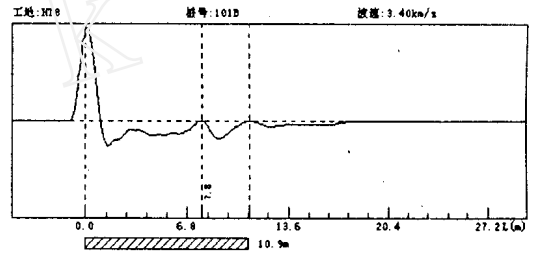


图 4 桩身高压注浆后反射波法实测曲线

Fig. 4 the pile's reflecting wave's curve of on-the-spot survey after high pressure grouting

从图 5 灌浆后静载荷试验曲线可以看出,沉降在加载开始的 4 级较大,而后逐渐减小,卸荷回弹量小,这是因为灌浆部位受到荷载后被挤压密实,这一部分的沉降量为塑性变形,不会随荷载降低而减小,灌浆后桩身承载力满足设计要求的极限承载力 3 200 kN。

2 桩身(侧)高压注浆技术应用

2.1 桩身(侧)高压注浆力学机理

桩侧高压注浆是通过在钻孔灌注桩施工过程中,预埋置管式单向筏与内管组成后压浆装置,在成桩 8 d~10 d 后通过后压浆装置用一定的压力把水泥浆液压入桩侧土层中。当浆液注入时,对桩侧泥皮进行破坏,对桩周土体起到渗透和挤密作用,充填桩侧混凝土与桩侧周围土体的间隙。

2.2 桩身(侧)高压注浆工程实例

对于 PHC 管桩,当桩身出现断裂,有时因断裂部位太深、地下水流太大等原因无法进行开挖砍去断裂部位,在这种情况下高压注浆作为一种补救手段是非常有效的。因 PHC 管桩管壁薄、脆、钢筋纤细等特点,为了提高灌浆后的桩身水平抗剪能力,应在管桩芯内插入钢筋笼并灌满高强度水泥浆,插筋及灌浆深度一般在

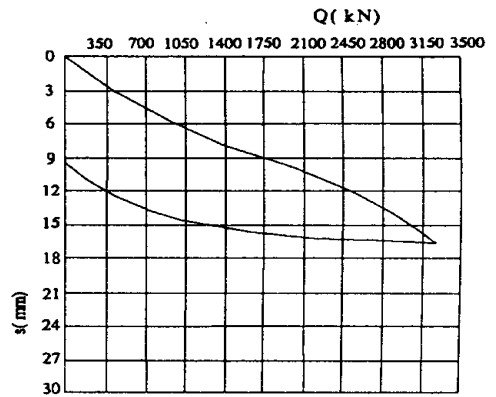


图 5 单根桩灌浆后静载试验 Q-s 曲线

Fig. 5 the sing pile's static loading test's curves after grouting

缺陷部位以下数米左右。

若 PHC 管桩缺陷裂隙吻合较紧 (或未完全断裂), 缺陷部位周围为粘土等与桩身粘结致密的土层, 高压注浆仅对缺陷部位产生效果, 其后进行低应变动测得到的曲线类似于上述冲孔桩。

当 PHC 管桩缺陷部位断裂严重, 并且缺陷周围为砂土等松散的土层时, 高压注浆时水泥浆往往向外渗出, 在缺陷部位附近形成长度一米至几米的加密带。某住宅小区十余根 PHC 管桩断裂后, 经扶正、插筋、灌浆, 前后反射波形均类似 (图 6~8)。

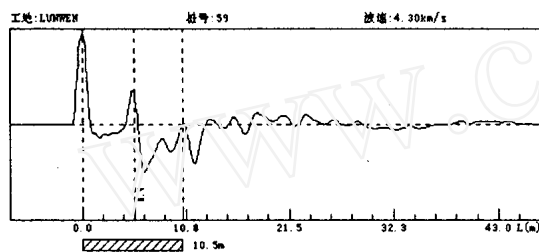


图 6 高压注浆前 PHC 管桩实测曲线
Fig. 6 the PHC pile's reflecting wave's curve of on-the-spot survey before high pressure grouting

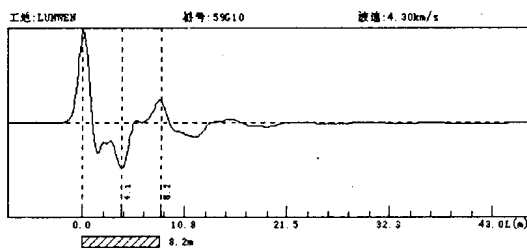


图 7 高压注浆 2 d 后 PHC 管桩实测曲线
Fig. 7 the PHC pile's reflecting wave's curve of on-the-spot survey two days after high pressure grouting

图 6~8 中 59# 桩长 20.15 m, 桩周土层为 0 m~0.6 m 杂填土, 0.6 m~3.5 m 粘土, 3.5 m~9.0 m 泥质粉细砂, 9.0 m~17.0 m 中砂, 17.0 m 以下为残积砂质粘土 (持力层)。图 6 为高压注浆前实测曲线; 图 7 为高压注浆 2 d 后实测波形, 此时由于水泥浆未完全凝固, 充斥于裂隙部位的水泥强度低于 PHC 管桩桩身很多, 仍出现明显的缺陷波形; 图 8 为高压注浆 10 d 后实测波形, 水泥浆基本凝固, 缺陷得到显著改善, 同时在缺陷部位以上有明显的反向扩径信号, 缺陷以下有明显的正向缩径信号。

选取其中的一根开挖发现, 不仅缺陷被较好弥合, 缺陷部位附近砂层被水泥浆液挤开, 渗出的水泥浆紧贴 PHC 管桩形成长度约 4 m, 厚约 10 cm 的包围层 (图 9), 反射波曲线中的扩径与缩径正是这一层的反映, 同时, 砂质粘土中也有一定程度水泥浆侵入现象, 这对桩身抗剪强度的恢复有一定的帮助。

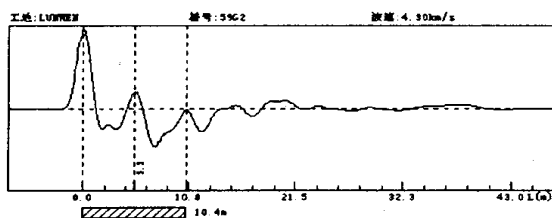


图 8 高压注浆 10 d 后 PHC 管桩实测曲线
Fig. 8 the PHC pile's reflecting wave's curve of on-the-spot survey ten days after high pressure grouting

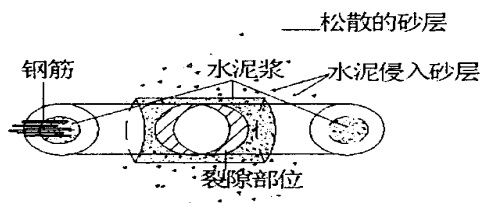


图 9 缺陷的 PHC 管桩高压注浆后效果示意图
Fig. 9 the deficiency PHC pile's effect's sketch map after high pressure grouting

3 结语

高压注浆技术在处理桩基工程事故实践中具有明显的优势, 由于充分考虑了原有桩基的利用以及对桩身和桩底沉渣的置换优势, 其造价低、时间快, 经济效益和工期效益非常明显。是一种比较有效的桩基础补救加固手段。但在设计和施工过程中也同时存在一些问题:

- (1) 高压注浆施工中有时由于注浆管失效、注浆过程因冒浆而停注等造成注浆失败。
- (2) 工程地质因素对现场施工的影响很大, 如地下水量过大, 易冲走尚未凝固的水泥浆, 造成高压注浆效果不佳。
- (3) 对桩基高压注浆效果进行检验时, 有些方面如 PHC 管桩的水平侧向抗拉强度缺少试验数据验证, 单以理论模型估算无法完全可靠。

The Application Of High Pressure Grouting Technology In The Pile Foundation Accident Handling

Zhan Chenxi

(Fuzhou Architectural Designing Institute, Fuzhou, Fujian, 350001)

Abstract

This paper analysis the mechanism and effect of high pressure grouting on piles bearing capacity improvement, settlement control, and pile foundation accident handling. By real testing, the paper elaborates on which high pressure grouting methods improve the physical and mechanical characteristics of piles butt bearing layer and lateral soil. It also illustrated the perfect of quality of pile shaft and the characteristics of bad-transfer.

Key words High pressure grouting, Bearing capacity, Deformation control, Pile testing