

钻孔压浆桩的承载特点及单桩承载力的评价

姜振泉 (中国矿业大学 江苏徐州 221008)
于永志 (山东威海建委质检站 山东威海 264400)

摘要 钻孔压浆桩是一种新型端承-摩擦灌注桩,其承载能力要明显高于其他钻孔灌注桩。根据与相近场地条件钻孔灌注桩的实际测桩结果所作的对比分析,钻孔压浆桩可以形成较高的侧摩阻力,在极限荷载中,侧摩阻力的构成比达 65%~75%。

关键词 钻孔压浆桩 承载力 侧摩阻力 评价

中国图书资料分类法分类号 TU 473.1

作者简介 姜振泉 男 44岁 博士 工程地质

1 引言

钻孔压浆成桩法是近年国内开发的一种成桩新工艺,具有低噪音,无污染,高效低耗的特点,并能够在各种复杂的场地条件下快速成桩。威海是较早引进钻孔压浆成桩技术的地区,至今已在建筑桩基和基坑支护两方面推广应用,总工程量接近 4 万米,实际工程应用反映的效果良好。

威海引进钻孔压浆桩以来,市建委质检站对其进行了重点控制检测。根据静力荷载,高、低应变动测等综合测桩结果,这种桩型表现较高的承载能力,成桩质量也相对其他钻孔灌注桩容易得到保证。但由于目前国内对钻孔压浆桩承载特点的研究较少,对其承载力的确定也缺少成熟的经验,在桩基设计中,大多是参照一般的钻孔灌注桩进行布桩设计,从而使得桩基的设计存在很大的盲目性,其承载特点没有得以充分发挥。本文根据威海市部分压浆桩工程的实验成果和测桩资料,分析了该桩型的承载特点,并就其单桩承载力的确定问题作了初步探讨。

2 钻孔压浆桩的成桩工艺及技术特点

2.1 成桩工艺

与普通的钻孔灌注成桩相比,钻孔压浆成桩在成桩工艺上表现明显不同的特点。它使用长臂螺旋钻完成钻进,在不提钻的情况下向钻孔内高压灌注水泥浆,依靠灌浆压力使钻具缓慢上提,待钻具提出

后再完成下套钢筋笼、高压重复补浆、填骨料等程序成桩。其工艺流程如图 1 所示。这样预先灌注的水泥浆液具有双重作用,既替代泥浆护壁,也构成了桩体混凝土的水泥部分。

2.2 技术特点

通过钻头处的出浆口进行高压灌浆,钻具被注浆压力顶起后,水泥浆液直接与孔底原状岩土层接触,孔底无残留虚土,可使桩端阻力能够得到充分发挥。另一方面,高压注浆在对孔壁土体产生较强挤密作用的同时,浆液通过孔隙向周边土体的渗透而产生膨胀扩径,可以大大提高桩的侧摩阻力。

3 钻孔压浆桩的承载特点

3.1 单桩承载能力

表 1 为威海质检站对威海大世界商城(简称大世界)和威胜大厦(简称威胜)两个场地钻孔压浆桩的单桩承载力所作的静载和高应变动载测桩结果。

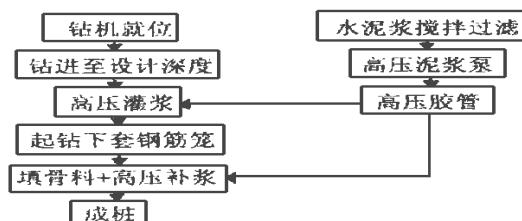


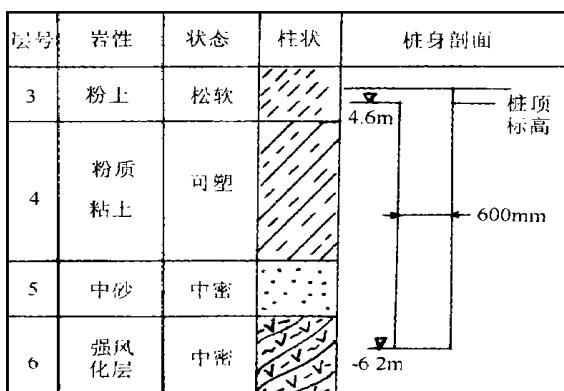
图 1 钻孔压浆桩的工艺流程

表 1 钻孔压浆桩单桩极限承载力检测结果

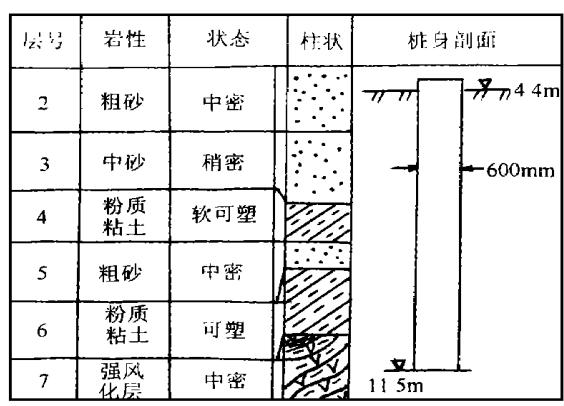
场地	桩长/m		静载试验结果/kN		高应变动测结果/kN		桩体质量 动测结果
	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	
威胜场地	13.2~16.4	15.2	3 200~4 510	3 697	2 465~3 958	2 944	完整无离析
大世界场地	8.71~11.75	10.52	2 228~3 650	2 700	2 421~2 616	2 566	完整无离析

其中威胜场地完成单桩静载试验 5 组,高应变动测 16 件;大世界场地完成单桩静载试验 6 组,高应变动测 6 件。两个场地通过静载试验测试的 11 根桩的桩体混凝土标号均为 C₂₀,其断面尺寸有 9 根桩为 Φ600 mm,另 2 根为 Φ800 mm(大世界场地)。

威胜场地和大世界场地的桩基均以片麻岩强风化层作为桩端持力层,由钻探取样试验和原位测试结果确定的承载力标准值均为 $f_k = 450$ kPa。两个场地桩长范围的土层分布和静载测桩所获得的 $Q-S$ 、 $lgt-S$ 曲线,以“威 3#”桩和“大 4#”桩为例,分别如图 2 和图 3 所示。



(a)



(b)

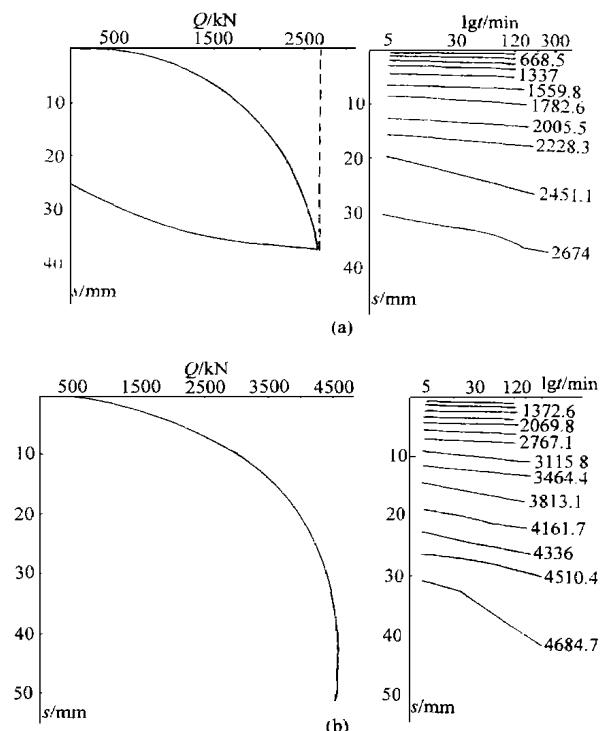
图 2 试桩桩体范围土层柱状
a——大 4 号桩;b——威 3 号桩

3.2 压浆桩的承载特点

作为端承-摩擦桩,其单桩的极限承载力 Q_u 由桩侧摩阻力 Q_{su} 和桩端阻力 Q_{pu} 构成,即

$$Q_u = Q_{su} + Q_{pu}。 \quad (1)$$

关于端承-摩擦桩荷载的传递特征,一般认为初期荷载主要由侧摩阻力承担,当荷载增至一定程度,桩端出现明显位移后,端阻力才开始明显发挥作用。根据图 3 所示威胜和大世界场地两个具有代表性的静载试验曲线,对应于沉降速率明显变化的荷载,威 3 号桩和大 4 号桩分别为 2 005.5 kN 和 3 464.4 kN,如果将此荷载考虑为极限侧摩阻力,则二者占其单桩极限荷载的比例均接近 80%。这与根据摩擦端承桩承载力构成的一般判别方法^[1,2](图 4)所确定的比例比较接近。结合这两种判别方法对

图 3 钻孔压浆桩单桩静载测桩 $Q-S$ 曲线

(图中数据为 Q 值)

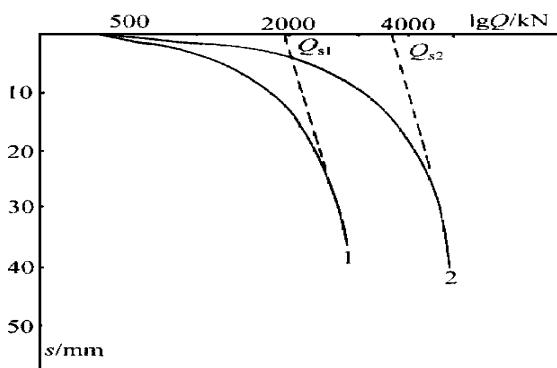
a ——大 4 号桩; b ——威 3 号桩;
 s ——沉降量; Q ——荷载; t ——时间

表 2 桩侧极限摩阻力和桩极限端承力的分担比例

场地	试桩 件数	极限承载力/kN		平均极限摩阻力		平均极限端承力		分担比例 $Q_{su} : Q_{pu}$	
		范围值	平均值	Q_{su}/kN	F_s/kPa	Q_{pu}/kN	P_c/kPa		
威胜场地	5	3 200~4 510	3 697	3 140		110.5	635	2 316	4.9 : 1
大世界场地	6	2 228~3 650	2 700	2 060		93.6	655	2 338	3.2 : 1

其它桩 Q_{su} 与 Q_{pu} 的分担比例判别也反映出相同的特点。(表 2)

表 2 的评判结果反映了钻孔压浆桩的基本承载特点,与其他类型的钻孔灌注桩相比,钻孔压浆桩能够发挥较高的侧摩阻效果。如图 5 所示为威海质检站对与大世界场地相毗邻的高层住宅小区场地一沉管灌注桩的静载测桩结果。该场地沉管灌注桩也以强风化片麻岩作为桩端持力层,场地土层分布及其岩土工程性质与大世界场地基本相同。该试桩桩长 11 m,桩径 400 mm。根据由 $lg Q - S$ 曲线对桩极限侧摩阻力判别结果,其侧摩阻效果约为 42 kPa,不及大世界场地平均值的 50%,与桩的极限端承力的分担比例约为 2.6 : 1,也大大低于相近场地条件的大世界场地。(3.2 : 1)

图 4 根据静载测桩 $lg Q - S$ 曲线对侧摩阻力的判别

1—大 4 号桩;2—威 3 号桩

$Q_{sl} = 1 995 \text{ kN}; Q_{s2} = 3 600 \text{ kN}$

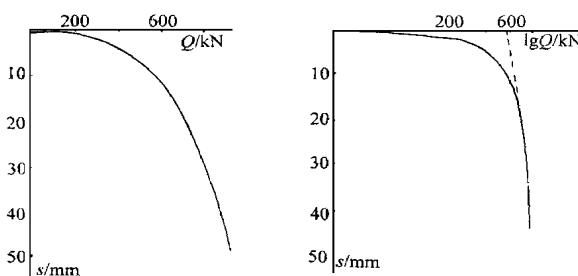


图 5 沉管灌注桩的测桩结果及侧摩阻力判别

4 桩周土条件对桩承载力的影响

在桩基持力层条件、桩体材料、断面尺寸、成桩质量等方面基本相同的情况下,威胜场地和大世界场地桩基极限承载力的差异主要由其不同的桩周摩阻效果所致,二者在侧摩阻效果上的差异在静载试验曲线上有明显反映。对比分析威 3 号和大 4 号两个试桩的 $lg Q - S$ 、 $Q - S$ 曲线(图 3)可以看出,对于出现明显位移前各沉降变形阶段的荷载,威胜场地也明显高于大世界场地,在侧壁摩阻强度 F_s 上,威胜场地高于大世界场地近 20%。(表 2)

威胜和大世界两个场地侧摩阻力的差别与二者不同的桩周土条件有关。威胜场地地处冲洪积平原的前缘,为山麓斜坡堆积地貌和海成地貌的衔接地带,场地范围的土层以海相堆积的稍密-中密粗、中砂为主,其厚度占基岩以上土层厚度的 65%~80%;场地内的坡、洪积相堆积不发育,岩性以砂砾层和砂质粘性土为主,其厚度在 0.5~3 m 范围,主要分布于下部,上覆于基岩风化层之上(图 2 威 3 号桩)。大世界场地地处山前冲-坡积平原的中部,场地范围的土层分布与威胜场地明显不同,基岩上覆土层为一套冲积和坡积交互土层,岩性以粘性土为主,其厚度占 70% 以上(图 2 大 4 号桩)。

根据钻孔压浆成桩的工艺特点,分析认为威胜场地桩基承载能力较高与桩长范围砂层厚度较大有关,在高压灌注水泥浆液情况下,砂层更利于浆液向周边形成渗透扩散。这样浆液在对桩周土产生挤密作用的同时,还对桩周一定范围土体产生固砂效果,形成葫芦状凝固体,从而使桩的侧摩阻力明显提高。而与之相比,在桩周土层为粘性土情况下,浆液的扩散渗透效果甚微,高压注浆对桩周土只产生挤密效果。

5 钻孔压浆桩承载力设计

由以上对钻孔压浆桩测桩结果的分析可以看出,其承载特点与一般的灌注桩表现不同,但由于目前国内对这种桩研究较少,桩基设计缺少成熟的经

表 3 大世界场地桩基实际承载力与设计标准对比

测桩 编号	桩长 /m	桩径/mm	实测极限 荷载 kN	由测桩结果确定的 设计值 Q_{ku}/kN	由静探资料确定的 设计值 Q_{ss}/kN	沉降量/mm	$Q_{ku} - Q_{ks}/kN$
大 1#	10.6	3 080	1 774	1 812	3.1	-38	
大 2#	10.6	3 650	2 101	2 126	4.6	-25	
大 3#	10.6	2 228	1 283	1 313	4.5	-30	
大 4#	10.85	2 674	1 694	1 675	4.5	+19	
大 5#	11.75	2 718	1 565	1 524	7.0	+31	
大 6#	8.71	2 700	1 554	1 501	3.5	+47	

验,对单桩承载力大都参照一般的钻孔灌注桩进行设计。根据笔者对威海部分场地的勘察资料与相应钻孔压浆桩测桩结果所作的统计分析,并参照相关规范,认为压浆柱承载力设计应重视充分利用场地实际勘探资料,否则对承载力的确定容易出现较大偏差。如威胜场地桩基设计的单桩承载力标准值为 $Q_k \geq 1 340 \text{ kN}$,而实际检测的单桩极限承载力标准值最低为 3 200 kN,由 $\lg Q - \lg S$ 曲线推算的屈服荷载也超过 1 500 kN,反映出桩基设计的明显不合理。

根据威海的情况,笔者认为,在目前关于压浆桩承载力的确定无成熟经验的情况下,可以将静力触探资料作为规范设计的基本依据。因为静探所反映的土层承载特点对桩基具有模拟效果,能够对土层条件的变化客观地反映出来。以大世界场地为例,该场地范围基岩埋深变化较大,且土层分布极不稳定,尤其是上部一层松软粉土在场区范围厚度分布存在极大差异,从而产生非成桩质量原因造成的桩基实际承载能力的反常,出现桩体长反而承载能力低的现象。这种情况下,如果依据实际静探资料确定桩基承载力,可以将反常趋势明显反映出来。如表 3 所列,根据场地实际静力触探资料按有关规范^[3]对大世界场地 6 根试桩承载力的计算结果,不但与根据

实际测桩结果按规范方法确定^[4]的承载力比较接近,且二者所反映的场地不同位置桩基承载能力的变化趋势基本一致。

6 结束语

在钻孔压浆桩实际测桩结果基础上分析了这种新型桩的承载特点,根据威海的工程应用实践,钻孔压浆桩的承载力要高于一般的钻孔灌注桩。其主要差异反映在侧壁摩阻力上,钻孔压浆桩的单桩极限摩阻力比沉管灌注桩和泥浆护壁钻孔灌注桩的提高系数分别达到了 1.86 和 1.73。

参考文献

- 1 许惠德等. 岩土工程的检验和监测技术. 第一版, 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994
- 2 周国钧等编译. 灌注桩设计施工手册. 第一版, 北京: 地震出版社, 1993
- 3 中华人民共和国建设部. 中华人民共和国行业标准: 建筑桩基技术规范, JGJ 94—94. 第一版, 北京: 中国建筑工业出版社, 1995: 27~40
- 4 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册. 第三版, 北京: 中国建筑工业出版社, 1992: 822~845

(收稿日期 1999-02-02)

THE BEARING CHARACTERISTICS OF PRESSURE-GROUTING PILE AND EVALUATION OF ITS BEARING CAPACITY

Jiang Zhenquan (China University of Mining and Technology)

Yu Yongzhi (Quality Control Station, Commission of Construction of Weihai City)

Abstract Pressure-grouting pile is a new kind of grouting-pile, whose bearing capacity made up end-bearing and side friction. The pressure-grouting pile has higher bearing capacity than other kinds of grouting pile, and it consists principally in frictional resistance. 65%~75% of ultimate bearing capacity of pressure-grouting pile comes from the side friction based on analyzing the proportion of frictional resistance to end-bearing.

Keywords pressure-grouting pile; bearing capacity; frictional resistance; evaluation