

预应力混凝土管桩的施工监理

黄伟钦 黄志宇

(惠州市建设集团工程建设监理公司, 516001)

[摘要] 本文以某小区 2 号商住楼预应力管桩基础工程施工监理为背景。针对锤击法预应力管桩的施工特点, 结合施工过程中出现的一些较突出的问题进行分析探讨。总结了预应力管桩锤击法施工的监理要点和监理控制手段。

[关键词] 预应力混凝土管桩; 施工监理

[中图分类号] TU473.1

[文献标识码] B

[文章编号] 1001-523X(2001)07-0017-04

SOME ASPECTS ON CONSTRUCTION SUPERVISION OF PRESTRESSED TUBULAR PILES

HUANG Wei-qin HUANG Zhi-yu

[Abstract] This article introduces the construction supervision of prestressed tubular piles in one building. It integrates with some extraordinary questions appeared in the course of construction, analyses and discusses the reasons, summarizes the important points and measures in construction supervision.

[Key words] Prestressed tubular piles, Construction supervision

预应力管桩作为一种新的桩型,已广泛应用于建筑、铁路、桥梁、港口码头等工程。由于管桩具有桩身混凝土强度高,PHC 桩混凝土强度等级为 C80,桩身耐打,穿透能力强,单桩承载力高;设计选用范围广,容易布桩,沉降量小;对桩端持力层起伏变化大的地质条件适应性强;运输吊装轻便;工程造价经济,成桩质量较可靠,桩长搭配灵活,施工速度快,工期短,监理方便,检测时间短,现场简洁等优点,被越来越多的设计人员所接受应用。管桩的制作质量要求已有国家标准《先张法预应力混凝土管桩》(GB13476-92)。1995 年广东着手编制并于 1998 年正式颁布了《预应力混凝土管桩基础技术规程》(以下简称《管桩规程》)。从而使管桩的制作、勘察、设计、施工、监理有法可依,有章可循。

1 工程概况

2 号商住楼楼层 20 层,其中地下室 1 层,框支剪力墙结构,基础采用桩径 $\phi 500$ 的 PHC 预应力混凝土管桩,壁厚 125,单桩设计承载力 2500kN,设计桩长约 14m,共 513 根。最后 3 阵贯入度控制为 20mm/10 击,桩端持力层为强风化层,要求进入持力层深度不少 1d。每根桩总锤击数不宜超过 2500,最后 1m 锤击数不宜超过 300。采用锤击法施工,施工设备

选用 6.2t 柴油锤,设备建议落距(冲程)1.9~3.6m。

2 工程地质条件

2 号商住楼位于惠州市区内,场地西侧 50m 为惠深公路,东侧为第一期已建成的住宅群,南北两侧为空地,原始地貌为冲积洼地,现经人工填土平整,场地类别为 II 类,详细的地质勘察资料见下表 1 所述。

其中在第四系残积土层粉土层中在 ZK2、ZK5、ZK9 钻孔处揭露有风化岩块夹层,夹层厚 0.5~1.0m。整个场地淤泥质粘土仅在 ZK2、ZK9 钻孔有所揭露。

3 桩基施工方案的确定

经多方案比较,结合本工程基坑护壁桩已完工,由于受场地限制,护壁桩距离基础边仅 1.5m 的实际情况。我们提出了先施工 4 根角桩作为试打桩,并抽取 2 根作静载试验,以确定收锤标准和检验设计单桩承载力。待取得可靠参数后,全面分层开挖基坑土方,然后才施打管桩的方案,得到了设计、施工、质检和业主的一致认同。

4 施工监理要点

4.1 打桩施工前的监理质控点

为了有效全面的控制管桩的施工质量,我们按照设计要求,参照桩基技术规范、规程,查阅了大量的有关管桩施工资料。编制了操作性较强的“2 号楼预应力管桩施工监理交底书”,发送给施工单位和监理人员。从施工和监理人员的技术素质、所要熟悉的法律和规范、地质勘察资料、各方的职责、图纸会审和技术交底、桩位定位、管材质量控制、成桩中间和终桩质量的验收、安全措施及施工技术资料、桩基检测

收稿日期:2001-03-20

作者简介:黄伟钦(1967~),男,广东兴宁市人,1989 年 7 月毕业于华南理工大学,本科学历,注册监理工程师,主要从事边坡、地基与基础方面的研究工作。

等都作了详细的技术指导要求。

我们组织各单位技术人员对管桩分项工程进行了专门的图纸会审和技术交底。审查施工单位提交的“预应力混凝土管桩施工组织设计”,提出了改进意见。派出专业测量监理员参与检查现场的测量标桩、建筑物的定位放线及水准的精度。

2 号商住楼地质勘察资料

表 1

土层	1	2	3	4	5	6	7	8
土质情况	人工填土	粘土	粘土粉质粘土	粉细砂粉土	淤泥质粘土	粉质粘土粉土	强风化含砾砂岩	中风化含砾砂岩
状态	松散	软塑	软塑可塑	饱和稍密	流塑局部夹砂岩	硬塑坚硬	稍硬	岩质较硬
土层厚度 (m)	2.4~6.0	0.4~7.85	1.9~5.6	0.6~1.4	2.1~2.6	0.9~4.70	2.4~7.5	
标贯值 N (击)		4.4~7.2	8.4~16.9		3.8~6.2	11.7~44.1	46.3~168.5	
承载力标准值, kPa		100	140~180	120	70	200	350~450	1000
管桩侧阻力标准值 kPa		36	50~80	20	20	82	200	
管桩端阻力标准值 kPa						2500~3800	8000	

管桩材料的质量控制,由于管桩是半成品产品,要求生产厂家必须是通过 ISO 9002 质量认证企业。经多方考查,我们最后选定了信誉质量好的中山“鸿运”管桩厂产品。尽管如此,我们还是认真地审查每一批进场管材资料和质量。

预控是监理事前质量控制的有效方法。我们对 513 根桩的入土深度编制了预控桩长一览表,以便施工和监理人员现场随时核查成桩质量。预估打桩难度以及采取的保证措施,对存在薄状夹层的区域,在桩位平面图中明确标识,建议先采取开口桩钢靴“重锤低击”,加缓冲垫层做法,或引孔穿越夹层等措施。

试打桩是新型桩型必须进行的一种试验方法。本工程利用 4 根地下室角桩作为试验桩,抽取 2 根作静载试验。试验桩的有关成桩参数和静载试验结果如表 2 所示:

通过试验桩的结果可以看出,收锤标准采用锤重 6.2t,落距 2.2m,最后 3 阵 10 击的贯入度控制在 20mm/10 击左右是可以满足单桩设计承载力要求,为监理收锤提供了可靠的依据。

试验桩的有关成桩参数和静载试验结果

表 2

桩号	入土桩长 (m)	落距 (m)	总锤击数	最后 3 阵贯入度 (mm/10 击)			单桩承载力设计值 (kN)	最大加载量 (kN)	累计沉降量 (mm)	残余沉降量 (mm)	承载力设计值对应沉降量 (mm)
491	16.45	2.2	753	40	30	20	2500	5000	23.23	12.03	7.94
506	16.95	2.2	752	20	20	16	2500	5000	15.56	4.19	4.91

4.2.2 垂直度的控制

要求打桩场地平整,桩架要垂直。第一节管桩起吊就位插入地面时的垂直度偏差不得大于 0.5%。随时测量桩身的垂直度。在打入过程中监督操作人员始终保持桩锤、桩帽、桩三点成一线,不得有偏心锤击。

4.2.3 打桩顺序的控制

管桩的施打顺序相当重要,从中间核心筒 59 桩承台开始向四周进行;先塔楼,后裙楼;根据预控桩长,宜先打长桩,后打短桩;宜从毗邻第一期住宅群的一侧开始由近及远地进行。

4.2.4 中间质量控制

接桩质量的控制:管桩的接头质量是管桩桩基质量的关键。接头质量的宏观要求是既需保证桩的竖向承载力要求,又要使桩能承受一定的弯矩和剪力。管桩接桩采用焊接法,接桩时上下节桩段应保持顺直,错位偏差不宜大于 2mm。接桩焊接完成自然冷却 10min 后,必须经监理等有关人员检查合格后,才能继续施打。

单桩质量收锤控制:每根桩在施工单位自控自检达到收锤标准后,必须通过监理员等进行现场平行检验最后三阵锤的贯入度、桩长、落距,确保桩达到设计要求的持力层和收锤标准。

督促施工单位做好打桩原始记录,同时监理人员也必须做好详细的记录,以便核查成桩质量,掌握施工第一手资料,并为工程结算建立详细的工程档案资料,才能掌握监理工作的主动权。

采用送桩器施打时,必须严格控制收锤贯入度。从保证管桩施工质量出发,送桩不宜太深。对于承载力较大的摩擦端承桩,送桩深度不宜超过 2m。

4.2.5 施工监理中应注意的几个问题

4.2.5.1 桩顶标高的观测和桩上浮问题

我们监理组非常重视成桩质量的监测。在工程桩施工前,我们就要求施工单位先打一根沉降观测桩,作为高程传

递和沉降观测的基准点。并将规划部门所测量的高程坐标点引测到该基准点,经监理复核认可后才准予使用。对每根桩施工完毕后立即由施工、监理进行第一次测量,要求精确测量桩顶标高。每天监测一次,直至桩顶标高稳定为止,可以停止观测,并计算出标高差,以判断桩有无上浮。经观测统计:最大上浮值达 17.2cm 上浮 10~17.2cm 有 4 根,上浮 5~10cm 有 4 根,上浮 2~5cm 有 20 根,上浮 1~2cm 有 35 根。

从上述桩顶标高观测的结果,部分桩出现了上浮现象。我们及时报告设计部门和业主,对 5 根桩以上的群桩采用开口桩钢靴,对上浮桩采取了续打措施(有些资料称复打,本人认为对管桩而言,称“续打”较为恰当),同时加强续打时对邻桩桩顶标高的观测,原则上续打以复位为主,续打的贯入度

控制为 20~25mm/10 击。

4.2.5.2 采用高应变随机抽测

我们在完成 222 根桩时,随即对该部分随机抽查了 20 根进行了高应变动测法监测,采用锤重 5t,落距 2m,自由落锤方式,用曲线拟合法和 CASE 法分析结果分别见下表 3、表 4 所示。

曲线拟合法分析结果						表 3
桩号	49	51	86	313	401	408
桩长(m)	12.00	12.00	13.00	11.00	13.00	13.00
动测承载力(kN)	5140	4998	5589	4307	5059	5050
桩身完整性	完整	完整	完整	完整	完整	完整

CASE 法分析结果														表 4
桩号	69	94	101	293	299	307 补	323	334	338	355	382	388	398	414
桩长 m	10.0	11.0	15.7	12.0	11.0	12.0	11.0	12.0	10.0	11.0	11.0	13.0	13.0	13.0
最大动位移 mm	13.6	11.0	15.7	-	17.9	18.4	16.0	18.3	18.0	15.1	18.8	15.0	14.2	16.2
动测承载力 kN	5090	5190	5090	-	4270	5010	3620	5040	4020	4120	2190	4900	4060	4020
桩身完整性	完整	完整	完整	锤击桩头破裂	完整	完整	完整	完整	完整	完整	完整	浅部轻微缺陷	完整	完整

根据《管桩规程》提供的公式: $R = Q_{uk} / \gamma_p$ (式中: R —单桩竖向承载力设计值, Q_{uk} —单桩竖向极限承载力设计值, γ_p —桩侧阻端阻综合抗力分项系数,当根据静载试验确定单桩竖向极限承载力标准值时,取 $\gamma_p = 1.60$)。从上述表 3、表 4 高应变动测法检测结果,有 2 根桩(323、382)的单桩竖向承载力设计值达不到设计要求。为此除高应变检测合格的桩外,及时对其它桩全面实行续打,续打的贯入度控制为 20~25mm/10 击。

4.2.5.3 管桩环裂问题

本工程先行施工的试打桩 4 根角桩和 3 根边桩:506、507、491、18、163、493、160 共 7 根桩,在土方开挖后发现管桩桩顶以下 2~4 段范围出现 1~2 条不同程度的环向裂缝。以上现象从力学角度是必然的。主要原因是附加动荷载所致,这些动荷载来自管桩的起吊、运输中的颠簸、工地上的拖桩等附加动荷载产生的肉眼不易觉察的微小裂缝。在管桩施打时,桩顶受到冲击,桩身产生振动,从而产生压应力和拉应力,这些应力的作用,加剧了环裂的进一步扩大,故土方开挖后肉眼可以清晰可见环裂,少部分环裂处还出现了混凝土剥落现象。由于我们及时发现和分析了该环裂原因,后来再无出现类似环裂现象,管桩的环裂对桩的竖向承载力影响不大,但对于需要抵抗较大水平荷载时,应引起设计人员的重视和处理。

4.2.5.4 管桩纵裂问题

本工程在施工过程中发现桩号为 379、16、42、39、158、136、293、141、155 共 9 根桩,在桩顶法兰以下 2m 范围段出现 2~4 条数不等的纵向裂缝。这批断桩入土深度 9.2~11.55m,最后收锤 3 阵贯入度为 5~15mm/10 击;总锤数 311

~492,最后 1m 锤击数 104~309。经分析主要是即将收锤时,桩端已达到设计持力层,贯入度控制过严,桩锤反弹厉害,冲击能量突然增大,致使桩头破损而出现纵裂现象。由于纵裂出现在桩顶需截除部分,经设计和管桩厂的技术人员鉴定后,认为对桩的受力影响不大,截除纵裂部分后仍可使用。个别纵裂较严重者象 158 桩采取了补桩措施。

4.2.5.5 收锤标准问题

锤击法管桩施工的收锤标准,应要求实行双控原则,以桩长及桩端入持力层的临界深度为第一控制条件。第二是贯入度控制指标。《管桩规程》规定的最后贯入度不宜小于 20mm/10 击,亦不宜大于 50mm/10 击。本工程通过试验桩的结果表明,只要满足第一控制条件,贯入度控制在 20mm/10 击,是完全可以满足设计承载力要求的;采用送桩器时,贯入度控制在 15mm/10 击即可。如果第一控制条件不满足,即使贯入度控制再严,单桩承载力也难以达到设计要求。

4.2.5.6 断桩问题

本工程在施工过程中共出现 15 根断桩现象,断桩率 2.9%。桩长 11~11.35m,最后收锤 3 阵贯入度为 5~15mm/10 击;总锤数 197~700,其中 11 根采用了送桩器施打。经分析断桩主要与上述地质报告揭露的持力层中存在 0.5~1m 厚较硬的风化石夹层有关,另外与采用送桩器和收锤标准过严有关。因采用送桩器后,不但传力不畅通,受力也不均匀,容易造成偏心锤击而断桩,后来采用补桩和引孔法施工处理。

5 桩基质量检测

本工程在试验桩的基础上,结合施工中用高应变动测法随机抽测的 20 根的实际情况,对全面续打后的桩抽取了 2 根做静载试验,试验结果见表 5。

工程桩的有关成桩参数和静载试验结果

表 5

桩号	入土桩长 (m)	落距 (m)	总锤击数	最后 3 阵贯入度 (mm/10 击)			单桩承载力设计值 (kN)	最大加载量 (kN)	累计沉降量 (mm)	残余沉降量 (mm)	承载力设计值对应沉降量 (mm)
382	10.40	2.2	287	9	8	7	2500	5000	27.13	15.85	6.26
136	9.90	2.2	370	8	6	5	2500	4000	24.02		

根据《管桩规程》提供的公式： $R = Q_{uk} / \gamma_p$ ，可知两根桩的单桩承载力基本满足设计要求。其中 136 号桩加至 5000kN 级荷载时，沉降量缓慢增大至 73.07mm。根据地质报告分析该桩未进入设计持力层。这一现象正好说明：如果第一控制条件不满足，即使贯入度控制再严，单桩承载力也难以达到设计要求。经设计、施工、监理、质监部门共同研究后，根据预控桩长表，凡未能达到预控桩者，再行续打。确实不能再贯入的桩，由设计进行内力验算分析，该补桩的就进行补桩，以确保桩基的安全可靠度。

6 结语

预应力混凝土管桩在惠州的应用刚刚起步，在设计、施工、监理等方面的经验都有待进一步探索、积累和完善。通过对本工程施工阶段的监理实践，首先设计在没有本地区经验的情况下，对单桩承载力的确定不宜定得过高，应通过可靠的试验桩结果来确定单桩承载力和收锤标准。同时也说明试验桩的结果不能完全适用于工程桩的评定和评价。另

外对本地区预应力管桩的推广应用奠定了良好的基础。在相同条件下，应用预应力混凝土管桩的经济效益显著。本工程桩基础和采用人工挖孔桩设计方案比较，节省了 130 万元的工程投资，受到建设单位的好评。

参考文献

1 广东省标准，预应力混凝土管桩基础技术规程 (DBJ/T15 - 22 - 98)

2 王 离，预应力混凝土管桩在广东的推广应用，桩基工程技术 (主编刘金励)，北京：中国建材工业出版社，1996

3 王 离，预应力管桩基础设计应注意的问题，桩基工程技术 (主编刘金励)，北京：中国建材工业出版社，1996

4 黄上进，郑 楷，汕头市预应力管桩基础设计若干问题探讨，高层建筑桩基工程技术 (主编刘金励)，北京：中国建材工业出版社，1998

5 阮起楠著，预应力混凝土管桩，北京：中国建材工业出版社，2000

(上接第 16 页)

6 经济性分析

下梅林新村 1、2、9、10 均为 8 层住宅，都位于鱼塘回填土区域，所不同的是 1、2 号楼采用 $\phi 480$ 沉管灌注桩，柱荷载通过承台和沉管灌注桩传递至持力层，9、10 号楼采用 $\phi 550$ 深层水泥搅拌桩，柱荷载通过独立柱基传至水泥桩土复合地基。按深圳地区有关定额取费标准，经测算，折合建筑面积

每平方米造价，深层水泥搅拌桩造价约为 $\phi 480$ 沉管灌注桩的 70 % 左右，具有较好经济效益，还有施工噪音小，周期短的特点。

另外，沉管灌注桩基础，柱荷载通过承台传递，承台为高度 1.2 ~ 1.5m 的钢筋混凝土，而深层水泥搅拌桩处理后，不用承台，按独立柱基设计，使钢筋混凝土量显著减小，也使总造价降低。

单桩竖向静载试验结果汇总表

表 1

桩 号	桩径 (mm)	设计单桩竖向承载力标准值 (kN)	试压安全系数 (R_y)	最大试验荷载 (kN)	最大沉降量 (mm)	卸荷后残余沉降量 (mm)	卸荷后回弹率 (%)	单桩竖向极限承载力 P_u (kN)	除以 R_y 时单桩竖向承载力标准值	
									R_d^f (kN)	对应沉降量 (mm)
1 (470)	550	140	2	280	8.21	6.41	22	280	140	2.52
2 (265)	550	140	2	280	1.38	0.69	50	280	140	0.44
3 (20)	550	140	2	280	3.86	2.02	48	280	140	1.07

7 总结

1) 本工程利用深层水泥搅拌桩加固处理组成复合地基，1996 年 5 月竣工，1997 年整个工程评为广东省优质样板工程。投入使用以来，未发现因基础沉降引起的开裂，说明该工程桩基选型是正确可行的。

2) 在适当条件下，合理选择使用水泥搅拌桩加固软弱地基，提高复合地基承载力，具有工期短，造价低的特点。

3) 深层水泥搅拌桩施工周期短，一般比沉管灌注桩缩短一半，施工噪音低，对周围已有建筑物影响小。

4) 深层水泥搅拌桩是一种简便有效的加固软弱地基技术，能大幅度提高复合地基承载力，值得推广应用。

参考文献

1 建筑桩基技术规范 (JG 94-94)，北京：中国建筑工业出版社，1995

2 深圳地区地基处理技术规程 (SJ 04-96)，深圳市勘察研究院，1996

3 中书麟，地基处理工程实例应用手册，北京：中国建筑工业出版社，1998

