

工程建设国家级工法汇编

(2009~2010年度)

第二分册

本书编委会 编

中国建筑工业出版社

刚—柔性桩复合地基施工工法

GJEJGF001—2010

温州东瓯建设集团有限公司

毛西平 朱奎 金文

1. 前 言

由于在荷载作用下,地基中附加应力随着深度增加而减小,地基应变也逐渐减小,所需“地基刚度与强度”也相应变小。为了更有效地利用复合地基中桩体的承载潜能,可以通过调整竖向增强体复合地基的桩土刚度与强度分布来适应附加应力由上而下减小的特征。刚—柔性桩复合地基这种新型地基处理形式便应运而生。刚—柔性桩复合地基是通过刚性桩、柔性桩和桩间土体协调变形,共同承担荷载的复合地基。公司通过产学研相结合,从理论分析、试验验证、数理统计全面研究了刚—柔性桩复合地基的特性,提出了较成熟的设计方法和施工工法,取得了显著的社会经济效益,其关键技术于2006年9月24日经浙江省科技厅鉴定为国际先进水平,并获得了建设部科技推广项目、浙江省科技进步奖三等奖、浙江省创业创新项目银奖及国家华夏建设科学技术三等奖等奖项。为了更好地推广这项技术,公司还主编了现行国家标准《刚—柔性桩复合地基技术规程》。

2. 工 法 特 点

- 2.1 施工器械与传统器械并无差异,工艺实施简单,安全可靠性强。
- 2.2 可使地基基础工程工期缩短1/3~1/4时间。
- 2.3 可使地基基础工程成本节约20%~35%,节约了投资。
- 2.4 处理后的地基沉降更加均匀,减少了因不均匀沉降产生的裂缝。
- 2.5 可有效地处理复杂的地基情况,减少传统桩基挤土桩不良的环境效应,有利于保证施工质量。

3. 适 用 范 围

- 3.1 地质土层中具有两个不同埋深持力层的情况。
- 3.2 有深埋地下室,且整体性较好的建筑物。
- 3.3 疏桩设计时天然地基补偿量不足的情况。
- 3.4 因特殊原因不宜采取单一桩型进行地基处理的情况。
- 3.5 工程进度要求较快而承载力要求较高的多层或小高层建筑物。

4. 工 艺 原 理

由于刚性桩荷载传递能力较强,可把刚性桩桩端置于较深的持力层,把上部大部分荷载传递到土质较好的持力层,从而大大减少了加固土层的压缩,达到了控制沉降的目的。柔性桩荷载传递能力较差,可以把柔性桩桩端置于较浅的持力层,承担部分荷载,发挥柔性桩参与承载的作用。通过合理安排刚性桩和柔性桩的施工顺序,加之褥垫层的作用而形成刚—柔性桩复合地基,使刚性桩、柔性桩和桩间土体变形协调共同承担荷载。

5. 施工工艺流程及操作要点

5.1 施工工艺流程（图 5.1）

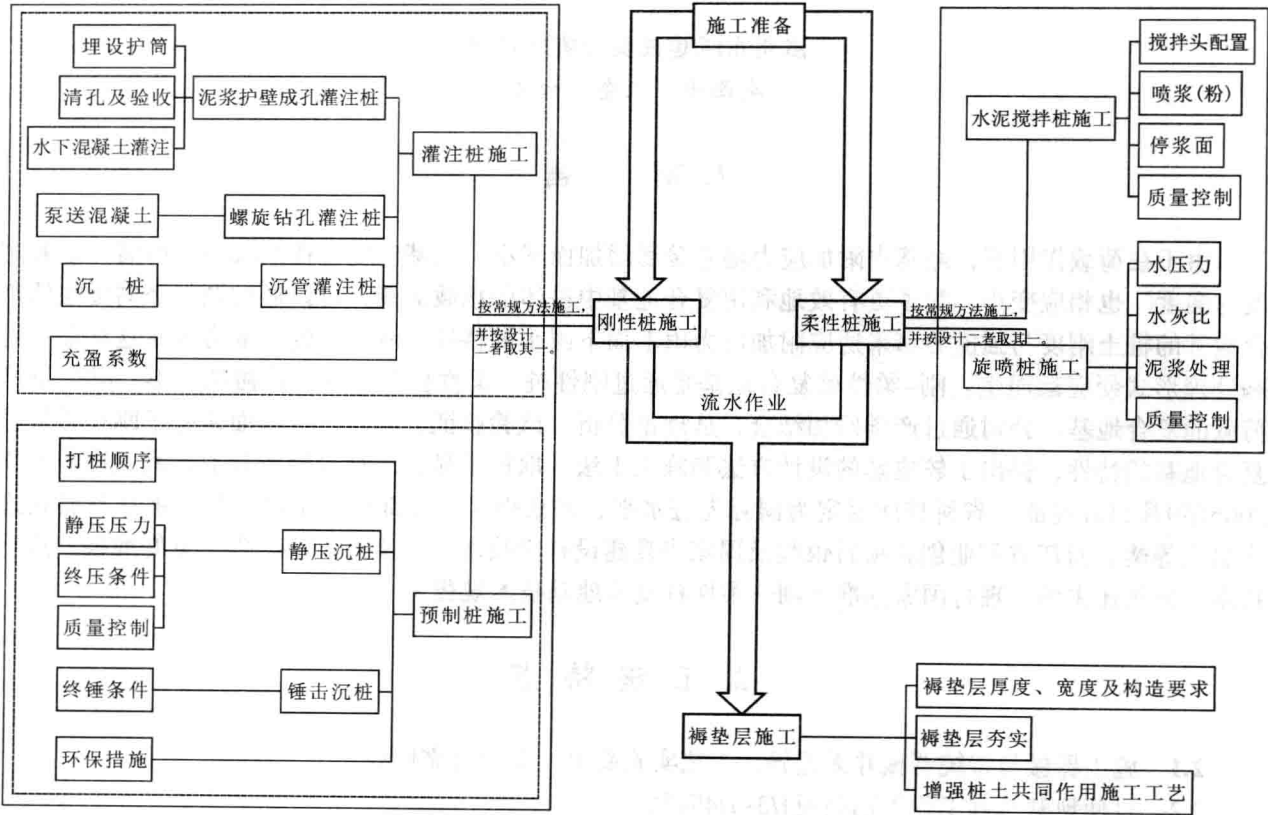


图 5.1 刚—柔性桩复合地基施工工艺流程及要点

5.2 施工工艺

5.2.1 施工准备

1. 刚—柔性桩复合地基施工应具备下列资料：

- 1) 建筑场地岩土工程勘察报告。
- 2) 施工图及图纸会审纪要。
- 3) 建筑场地和邻近区域内的地下管线、地下构筑物、危房、精密仪器车间等的调查资料。
- 4) 主要施工设备条件、制桩条件、动力条件以及对地质条件的适应性等资料。
- 5) 施工组织设计。
- 6) 水泥、砂、石、钢筋等原材料及其制品的质检报告。
- 7) 有关荷载、施工工艺的试验参考资料。

2. 施工现场事先应予平整，必须清除地上和地下的一切障碍物。遇明浜、池塘及场地低洼时应抽水 and 清淤，应分层夯实回填黏性土料，不得回填有机杂填土或生活垃圾。

3. 刚—柔性桩复合地基施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施，应在开工前准备就绪，保证施工机械正常作业。

5.2.2 刚性桩施工

刚性桩是刚度较大的竖向增强体，包括灌注桩和预制桩。

1. 灌注桩施工要点

1) 泥浆护壁成孔灌注桩施工时应符合下列规定:

① 施工期间护筒内的泥浆面应高出地下水位1.0m以上,在受水位涨落影响时,泥浆面应高出最高水位1.5m以上。

② 清孔及验收:在清孔过程中,应不断置换泥浆,直至浇筑水下混凝土。浇筑混凝土前,孔底沉渣厚度不应大于100mm,孔底500mm以内的泥浆比重应小于1.25;含砂率不得大于8%;黏度不得大于28s。

③ 水下灌注的混凝土必须具备良好的和易性,配合比应通过试验确定;坍落度宜为180~220mm;水下灌注混凝土的含砂率宜为40%~50%,并宜选用中粗砂;粗骨料的最大粒径不应小于40mm;导管埋入混凝土深度不应小于2m。严禁将导管提出混凝土灌注面,并应控制提拔导管速度,应有专人测量导管埋深及管内外混凝土灌注面的高差,填写水下混凝土灌注记录。

④ 灌注混凝土必须连续施工。应控制最后一次灌注量,超灌高度宜为0.8~1.0m,凿除泛浆高度后必须保证暴露在桩顶的混凝土强度达到设计强度。

2) 长螺旋钻孔灌注桩施工时应符合下列规定:

采用泵送混凝土时,钻至设计深度后,应先泵入混凝土并停顿10~20s,再缓慢提升钻杆。提钻速度应根据土层情况确定,且应与混凝土泵送量相匹配,保证管内有一定高度的混凝土。桩身混凝土的泵送压灌应连续进行。混凝土压灌结束后,应立即将钢筋笼插至设计深度。

3) 沉管灌注桩施工时应符合下列规定:

打桩时应根据土质情况和荷载要求,分别采用单打法、复打法、反插法等。单打法可用于含水量较小的土层,且宜采用预制桩尖;反插法及复打法可用于饱和土层。

2. 预制桩施工要点

1) 打桩顺序采用如下:对于密集桩群,自中间向两个方向或四周对称施打;当一侧毗邻建筑物时,由毗邻建筑物外向另一方向施打;根据基础的设计标高,宜先浅后深;根据桩的规格,宜先大后小,先长后短。

2) 静压沉桩静压压力应符合下列规定:

① 采用静压沉桩时,场地地基承载力不应小于压桩机接地压强的1.2倍,且场地应平整。

② 最大压桩力不宜小于设计的单桩竖向极限承载力标准值,必要时可由现场试验确定。压桩机的最大压桩力应取压桩机的机架重量和配重之和乘以0.9。

3) 静压沉桩静终压条件:

① 应根据现场试压的试验结果确定终压力标准。

② 终压连续负压次数应根据桩长及地质条件等因素确定。对于入土深度大于或等于8m的桩,负压次数可为2~3次;对于入土深度小于8m的桩,负压次数可以为3~5次。

③ 稳压压桩力不得小于终压力,稳定压桩的时间宜为5~10s。

4) 静压沉桩时第一节桩下压时垂直度偏差不应大于0.5%;宜将每根桩一次性连续压到底,且最后一节有效桩长不宜小于5m;抱压力不应大于桩身允许侧向压力的1.1倍。

5) 锤击沉桩终止锤击的条件应以控制桩端的设计标高为主,贯入度为辅。

5.2.3 柔性桩施工

1. 水泥搅拌桩施工应符合下列规定:

1) 搅拌头翼片的枚数、宽度、与搅拌轴的垂直夹角、搅拌头的回转数、提升速度应相互匹配,以确保加固深度范围内土体的任何一点均能经过20次以上的搅拌;搅拌头的直径应定期复核检查,其磨损量不得大于10mm。

2) 所使用的水泥均应过筛。喷浆(粉)量及搅拌深度必须采用经国家计量部门认证的监测仪器进行自动记录。

3) 停浆(灰)面应高于桩顶设计标高300~500mm。开挖时应将搅拌桩顶端施工质量较差的桩段用

人工挖除。

4) 可采用提升或下沉喷浆(粉)的施工工艺,但必须确保全桩长上下至少再重复搅拌一次。

2. 旋喷桩施工应符合下列规定:

1) 旋喷桩的施工参数应根据土质条件、加固要求通过试验或根据工程经验确定,并在施工中严格控制。单管法及双管法的高压水泥浆和三管法高压水的压力应大于20MPa。

2) 水泥浆液的水灰比应按工程要求确定,可取0.8~1.5,常用1.0。

3) 施工中应做好泥浆处理,及时将泥浆运出或在现场短期堆放后作土方运出。

4) 旋喷桩施工完毕,应迅速拔出喷射管。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程,必要时可在原位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位,可采用复喷措施;在施工过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时,应查明原因并及时采取措施;水泥土搅拌桩和旋喷桩施工的垂直度偏差不得超过1%,桩位偏差不得大于150mm。

5.2.4 刚性桩和柔性桩流水作业

1. 根据桩施工工艺及地质条件,要对刚性桩和柔性桩施工顺序统筹安排。

1) 刚性桩为挤土桩,则应先施工刚性桩再施工柔性桩。

2) 刚性桩为非挤土桩,可按施工实际情况安排,宜先施工刚性桩再施工柔性桩,因为刚性桩施工会使土体受到扰动,而后续柔性桩施工可使扰动的地基得到加固,提高了地基的整体强度。

2. 一般情况下,为了缩短工期,刚性桩和柔性桩可形成流水作业,当部分刚性桩或柔性桩施工完毕留出工作面后,便可组织另一种桩型进行施工。

1) 刚性桩为灌注桩时,柔性桩施工与灌注桩成桩的时间间隔必须大于24h。

2) 刚性桩为预制桩时,柔性桩施工必须在预制桩沉桩完毕15d之后,且不应在未施工的或者龄期在15d之内的预制桩周围一倍桩长范围内施工。

5.2.5 褥垫层施工

褥垫层是在桩体复合地基和上部结构基础之间设置的垫层。褥垫层施工前,基坑开挖应确保基坑内刚、柔性桩体不受损坏,因此必须合理安排基坑挖土顺序和控制分层开挖的深度,挖出的土方不得堆置在基坑附近。褥垫层施工前,桩间浮土必须清除干净;预留桩伸出长度使桩伸入上部承台长度能够符合规范要求。

1. 褥垫层的厚度、宽度及构造要求

1) 褥垫层厚度。褥垫层厚度宜取100~300mm,并考虑虚铺厚度。土质较差或上部结构刚度不大、沉降要求严格时,取小值。虚铺完成后根据褥垫层的厚度及分布面积采用静力压实法选用机械或者人工夯实。

2) 褥垫层宽度。褥垫层设置范围宜大于基础范围,每边超出基础外边缘200~300mm。

3) 褥垫层构造。当复合地基采用流动性强、厚度大的褥垫层(如厚砂垫层)时,为了防止褥垫层在上部荷载作用下侧向挤出造成建筑物沉降过大,可在褥垫层两侧做砖胎模或者采用带翻口的基础(图5.2.5-1、图5.2.5-2)。

2. 褥垫层夯实

褥垫层铺设宜采用静力压实法,当基础底面下桩间土的含水量较小及垫层厚度大于300mm时,也可采用动力夯实法。

3. 增强桩土共同作用施工工艺

为了增强桩土共同作用效果,根据工程具体情况可采取以下措施:

1) 适当减低刚性桩的标高,增加刚性桩上部的褥垫层厚度。

2) 柔性桩上部的褥垫层可采取相对流动性较强的褥垫层材料(如刚性桩上部采用碎石加粗砂的褥垫层,柔性桩上部采用粗砂褥垫层),使柔性桩能刺入褥垫层,从而有效发挥柔性桩的承载作用。

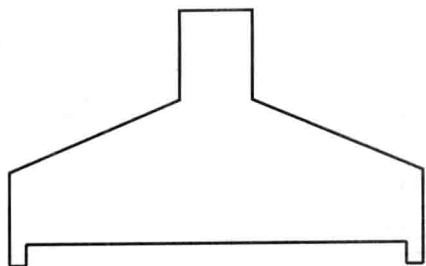


图5.2.5-1 带翻口基础施工示意图

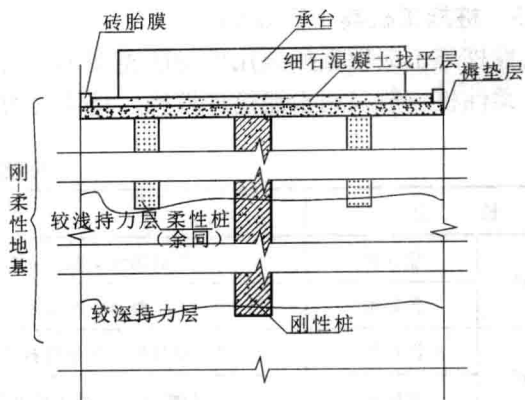


图5.2.5-2 刚—柔性桩复合地基砖胎膜示意图

3) 在地质较软的土层及地下水位较高的区域铺设褥垫层时,应采用片石做褥垫层,片石铺设时,下层片石大面朝下,上层片石大面朝上,以达到较好的承载效果。

5.3 劳动力安排 (表 5.3)

人员数可按现场桩基工程规模灵活调配变动,具体可参考表5.3。

劳动力安排		表5.3
桩 型	主要人员数 (按每个机组)	备 注
刚性桩	灌注桩 钻机设备操作工 3 人 灌灰设备操作工 2 人 钢筋工 2 人 杂工 3 人	
	预制桩 操作工 3~4 人 沉桩技术工 2 人	
柔性桩	水泥搅拌桩 湿法施工每个机组由 8~10 人组成 干法施工每个机组由 5~7 人组成 其中: 班长 1 名 操作人员 1~2 人 司泵工 1~2 人 送料工 2~4 人等	
	旋喷桩 操作工 3~4 人 灰浆搅拌 2 人	

6. 材料与设备

6.1 褥垫层材料

褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配良好的砂石等,最大粒径不超过20mm,密实度不小于0.94;应采用片石不宜采用天然砂卵石,片石最小直径不宜小于100mm。

6.2 桩基材料 (表 6.2)

桩基材料		表6.2
桩 型	材 料	备 注
刚性桩	灌注桩 预拌混凝土、钢筋等	
	预制桩 预应力管桩、方桩、钢管桩等	
柔性桩	水泥搅拌桩 水泥、砂等	
	旋喷桩 水泥、砂等	

6.3 桩施工机具（表 6.3）

刚性桩施工应根据所选用的桩的类型不同而选用不同类型的桩机，桩机具体参数可根据地区经验选取。柔性桩一般采用水泥搅拌桩机。具体实物图见图6.3-1~图6.3-3。

桩 型		桩施工机具	备 注
刚性桩	灌注桩	钻孔灌注桩机、沉管灌注桩机等机具及其配套设备	
	预制桩	静压桩机或锤击桩机等机具及其配套设备	
柔性桩	水泥搅拌桩	深层水泥搅拌机、灰浆搅拌机、灰浆泵、冷却泵等机具及其配套设备	
	旋喷桩	旋喷钻杆、高压柱塞泵、浆液搅拌机等及其配套设备	



图6.3-1 预制桩机



图6.3-2 钻孔灌注桩机

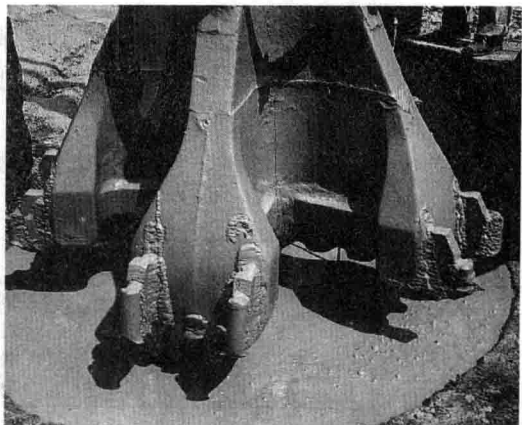


图6.3-3 水泥搅拌桩机

7. 质 量 控 制

7.1 施工中要认真执行和遵守的主要规程和规范有

- 《刚—柔性桩复合地基技术规范》JGJ/T 210-2010；
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202-2002；
- 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002；
- 《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008。

7.2 施工过程质量控制

7.2.1 机械设备调试完，施工前宜试打，以校对勘察报告所提供的地质资料。同时，检验桩施工设备性能，确定各项工艺参数及保证工程质量的技术措施。

7.2.2 受旧基础和杂填土及其他地下障碍物影响，易造成桩位偏移，控制时发现要及时消除影响，重新定位。若不能消除影响，经建设单位、监理单位、设计单位共同研究处理方案，重新确定桩位，方可施工。

7.2.3 褥垫层施工质量控制：

- 1) 褥垫层铺设应在复合地基检验（静载荷试验和低应变检测）完成且满足设计要求后再进行。
- 2) 褥垫层施工中应注意防止出现“橡胶土”或“翻浆”现象，若出现应将褥垫层以及受干扰的下卧层挖掉，重新处理。褥垫层底面通常应设在同一标高上，如深度不同，可挖成台阶或斜坡搭接，搭接处充分夯压密实，并按先深后浅的顺序进行。褥垫层分段施工时，接头处做成斜坡，每层错开0.5~1.0m长度，并夯压密实。

8. 安全措施

- 8.1 桩施工前应处理高空和地下障碍物，作业区无高压线路，施工场地平整，周围排水畅通。
- 8.2 桩施工设备就位后，必须平正、稳固，确保在施工中不发生倾斜、移动。为准确控制桩施工深度，应在机架或桩管上标注醒目的深度标记。施工区域内严禁非工作人员靠近。
- 8.3 桩机械必须有验收合格证，桩基指挥工必须持证上岗，桩施工过程中操作人员不得擅自离岗位。
- 8.4 施工过程中，如遇暴雨、六级以上大风等不良气候时应停止施工。为确保施工安全和质量，不宜在夜间施工。

9. 环保措施

- 9.1 挤土型刚性桩施工时，如邻近有建筑物或构造物，应采取适当的隔振措施，如开挖防挤沟等，在邻近河岸或斜坡上打桩时，应观测对边坡的影响；注意打设顺序，宜中间向两个方向或向四周对称、分段施工，避免向同一个方向打桩，防止发生挤密不均而造成不均匀沉降。
- 9.2 禁止污水乱排乱放，应采取有效处理措施。在钻孔灌注桩施工时在合适地点安排泥浆池，不得将泥浆直接排入河流；水泥搅拌桩施工时应设置沉淀池等。
- 9.3 锤击桩等高噪声施工禁止夜间施工。
- 9.4 水泥的运输机搅拌过程中，应采取有效地措施防止风尘飞扬。
- 9.5 施工现场应设合格的卫生环保设施，施工垃圾集中分类堆放，严禁垃圾随意堆放和抛撒。

10. 效益分析

刚—柔性复合地基改变了软土地区单一桩型的局面，增加了复合地基基础的类型。刚—柔性桩复合地基基础减少了刚性桩的数量，可以显著减少挤土桩的挤土效应，避免出现缩径、断桩等质量问题；此外，刚—柔性桩复合地基总体沉降均匀，有效地减少了上部结构和砌体出现裂缝几率，具有很好的社会效益。

刚—柔性桩复合地基有明显的经济效益。刚—柔性桩复合地基基础减少了刚性桩的数量，还可以使工程造价节省20%~35%。下面用一个具体的工程优化来说明：

温州汇昌河商住楼工程系六层框架结构，上部荷载传到基础底面标准值为62000kN，原设计采用 $\phi 426$ 沉管灌注桩，有效桩长为36m，桩数为168根，设计承载力标准值为370kN，基础采用独立承台。根据刚—柔性桩复合地基进行优化后， $\phi 426$ 沉管灌注桩数量减少为85根，增加水泥搅拌桩数量为267根，基础形式由承台基础改为条形板带基础。通过表10比较可以发现工程造价节省21.7%。

工程造价比较 表10

	单位造价	常规桩基础	刚—柔性桩复合地基
沉管灌注桩 $\phi 426\text{mm}$ (36m)	2340 元/根	393120 元	198900 元
水泥搅拌桩 $\phi 500\text{mm}$ (13m)	370 元/根		98790 元
桩基础混凝土量	500 元/ m^3	127500 元	110000 元
合计造价		520620 元	407690 元
节约造价		112930 元	
节约百分比		21.7%	

该工程共监测6个沉降观测点，累计沉降最大量18mm，最小量16mm，相邻两点沉降差不大于2mm。

通过上部结构施工过程以及结顶以后的沉降观测数据，可以看出刚-柔性桩复合地基整体沉降均匀，沉降也能满足规范要求。

11. 应用实例

11.1 温州市豪锦佳园工程

温州市豪锦佳园工程用地为60亩，总建筑面积为60000 m²。

本工程原计划采用钻孔灌注桩基础，预算总费用为982万元，经建议设计修改后采用刚-柔性桩复合地基，刚性桩采用钻孔灌注桩，柔性桩采用水泥搅拌桩，基础和地基之间设置褥垫层，褥垫层厚度为200mm，褥垫层材料采用碎石灌粗砂。修改后实际费用仅731万元，比原设计节省251万元，节约了25.6%左右的投资。

该工程监测10个沉降观测点，累计沉降最大19mm，最小13mm，沉降方差2.3mm²，达到了沉降均匀的良好效果。

11.2 温州市金乐花苑工程

温州市金乐花苑工程用地30亩，总建筑面积58000m²。该工程原设计采用钻孔灌注桩基础，预算总费用为893万元，经建议设计修改后采用刚-柔性桩复合地基，刚性桩采用钻孔灌注桩，柔性桩采用水泥搅拌桩，基础和地基之间设置褥垫层，褥垫层厚度为200mm，褥垫层材料采用碎石灌粗砂。实际费用仅646万元，比原设计节省247万元，节约了27.7%的投资。

通过监测发现有褥垫层刚-柔性桩复合地基刚性桩、柔性桩和桩间土共同作用良好，各自的承载能力都得到了充分发挥，是一种经济可靠的基础形式。沉降观测结果也表明工程结构稳定，满足规范要求，本工程共监测8个沉降观测点，累计沉降最大20mm，最小16mm，相邻两点沉降差不大于3mm。

11.3 温州市西堡锦园安置房工程

温州市西堡锦园安置房工程位于温州市瓯海区新桥镇，用地55000m²，总建筑面积90000m²。该工程原设计采用预应力混凝土桩基础，预算总费用为1159万元，经建议设计修改后采用刚-柔性桩复合地基，刚性桩采用预应力混凝土桩，柔性桩采用水泥搅拌桩，基础和地基之间设置褥垫层，褥垫层厚度为250mm，褥垫层材料采用碎石灌粗砂。实际费用仅906万元，比原设计节省253万元，节约了21.8%的投资。

该工程共监测9个沉降观测点，累计沉降最大22mm，最小19mm，相邻两点沉降差不大于3mm，沉降均匀，有效地减少了出现裂缝等一系列问题。

浅水位栈道木桩施工工法

GJEJGF002—2010

福州第七建筑工程有限公司 福州建工（集团）总公司

张孝松 林元明 刘越生

1. 前 言

近几年，随着园林景观工程的增多，园林、公园中水上木栈道的木桩施工随之增多。然而，园林、公园中的池水或湖水水深都非常浅，平均水深在0.7~2.5m之间，一般木桩截面大（边长或圆径200~300mm），单节桩自重达300~500kg，而施工现场吃水浅不适合通常的水上打桩船进场施工，这就造成对水上木栈道木桩施工的困难。在福州西湖千米木栈道工程前，福州市尚无此类工程的施工经验。我们曾考察过其他城市类似木栈桥，其压桩方法有的采用水上挖泥船的液压斗进行压桩作业，有的采用原始的人工锤击压桩，发现这些方法对桩身垂直度及压桩力都无法得到有效控制。公司通过综合考察及福州西湖千米木栈道的施工实践，针对浅水位条件下木桩的施工方进行研究，形成了浅水位条件下水上木桩施工工法，并总结形成本工法。本工法由福州第七建筑工程有限公司2008年在“福州西湖环湖路福建会堂至左海段景观工程”水上木栈道中首次应用。

2. 工 法 特 点

2.1 本工法施工的木桩单桩承载力较普通的水上挖泥船的液压斗进行压桩作业或人工作业有明显提高。因为桩按承载性状分类，属以磨擦力为主的端承磨擦桩，它不但桩侧摩阻力大（桩周面积大）。同时，在沉管过程中，由于重锤产生巨大的冲击能对土层的强夯作用，使持力层变形模量值大大提高。一般单桩设计承载力标准值能达到3000~4500kN。

2.2 较水上挖泥船的液压斗进行压桩作业具有施工周期短（平均20min打一根桩），经济合理，可降低工程造价，且施工场地不存在泥浆污染的优点。

2.3 桩身质量能得到充分保证。因为利用重锤垂直施打木桩，其桩身垂直度与其他方法对比有很大的提高。

3. 适 用 范 围

本工法适用于水深0.5~2.5m，一般成型的打桩船无法进入的湖（池、河）水的施工环境，桩端持力层较为坚硬的粉黏土层或残积土层。

4. 工 艺 原 理

浅水位水上木桩施工工法工艺原理是采用配重平衡的浮（船）体在浅水位（水深可浅至50cm）作为施工平台进行打桩作业，通过浮（船）体上的主卷扬机提升重锤，到达高度后松锤，让其在垂直的导槽内垂直落下对木桩产生冲击力，克服桩身与土体的摩擦力、端承力，打入木桩，达到贯入度标准后实现打桩作业，达到设计要求的桩端竖向承载力并实现木桩的垂直度控制。

5. 施工工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

浅水位水上木桩施工工艺流程如下：

施工准备——木桩加工与运输——固定打桩船——吊桩就位——锤击首节沉桩——接桩——锤击沉桩——终桩——截桩。

5.2 操作要点

5.2.1 施工准备

1. 调查湖（池）底和邻近区域内有无影响施工的地下管线、地下构筑物、设备等，并采取预防措施。
2. 施工前，做好湖（池）底平整工作，应预先进行查探，挖除桩位处的大的旧基础、石块、废铁块等障碍物。

3. 根据建设方提供的测量基准点，用全站仪和钢卷尺引测桩基轴线。轴线坐标及标高水准点应设在不受施工影响的地方，并在施工中经常复测。轴线和桩位放样应经复核无误后才能施工。

4. 正式施工前应进行试打桩，以了解地层对施工的影响和确定桩端持力层贯入度与收锤标准。收锤标准由设计院、建设方、施工方和监理在现场确定，并形成试桩纪要以指导工程施工。

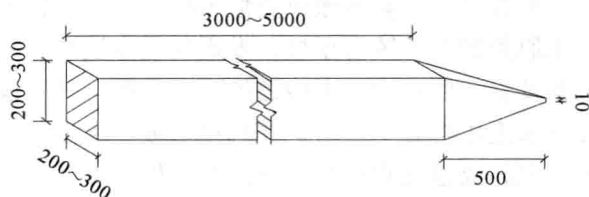


图5.2.2 木桩桩尖示意图

5.2.2 木桩加工与运输：木桩尖加工成锥形，并装船。木桩如图5.2.2所示。

5.2.3 固定打桩船

待打桩船导杆对准桩中心位时就可固定打桩船。简洁的方法是用4个船工在船体的四周角点，用撑篙钉入土体以固定，只有当这根桩压桩结束后才可拔除。

5.2.4 吊桩就位

1. 采用打桩船上的副卷扬机将木桩吊起，并令其垂直对准桩位中心。将木桩套上的桩帽，并加好缓冲垫材，解除吊钩木桩徐徐松下，检查并使桩锤、桩帽与桩三者处于同一轴线上，且垂直插入水下表土中。

2. 在拟打桩的侧面或桩架上设置标尺，以控制贯入度。采用桩锤在木桩上低锤轻击，使木桩入土一定的深度，以调整固定木桩的垂直度。

5.2.5 锤击首节沉桩

1. 起锤1m轻压或锤击，使桩保持垂直插入表土约50cm。固定桩身后，即可正式沉桩。
2. 施工顺序原则上横向多排桩的由湖岸往湖心退打，纵向由一个方向向另一方向依次施打，不允许跳打，以保证邻桩桩身不被碰撞，影响质量。
3. 施工员要认真填写打桩各项记录，施工记录应包括每米锤击数和最后1m的锤击数，必须准确记录最后三阵，每阵10击的贯入度及落锤高度。

4. 沉桩过程中若发现木桩未达设计桩长且反弹严重，往往是桩尖遇到了孤石，应将情况提请有关部门研究。

5.2.6 接桩

1. 当沉桩接近打桩船体操作平台，即可停打。用同样方法吊起上节桩，与下节桩对正后，进行接桩。

2. 接桩采用8厚双面热浸镀锌钢板如图5.2.6（a）所示， $\phi 12$ 热浸镀锌螺栓对夹木桩进行接桩。接桩大样如图5.2.6（b）所示。

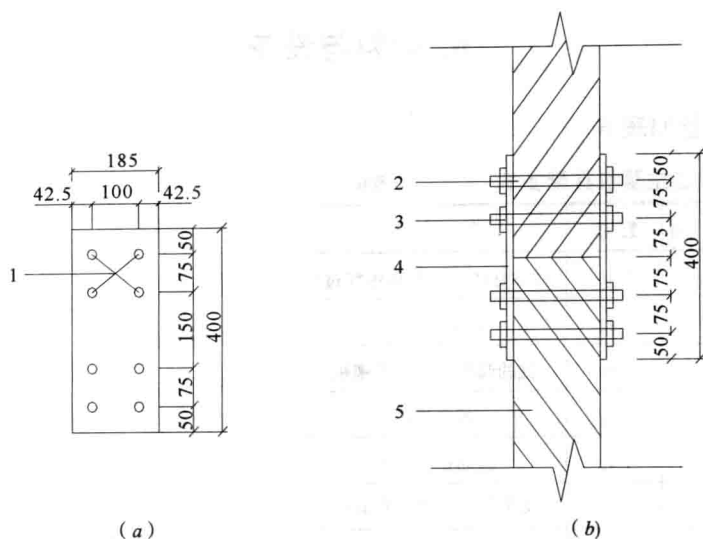


图5.2.6 木桩接桩大样图

(a)接桩钢板正面大样图；(b)木桩接桩侧面大样图

1—直径14孔；2— $\phi 12$ 热镀锌螺栓；3—弹簧垫片；4—110 μm 镀锌钢板；5—方木桩

5.2.7 锤击沉桩

接桩完毕后，应进行隐蔽验收，验收合格，即可进行打桩作业，工艺同5.2.5。

5.2.8 终桩

1. 沉桩收锤应由施工单位代表、建设方代表、监理工程师在现场按下列要求确定：

- 1) 最后三阵，每阵10击的贯入度应在规定落锤高度条件下符合试桩纪要规定的收锤标准。
- 2) 达到设计要求的持力层。
- 3) 桩顶标高应大于设计标高。
- 4) 若遇异常情况应报设计单位会同处理。

2. 移机：打桩结束后，船工松开撑篙，退出桩位，移至新桩位。

5.2.9 截桩

每流水段施工结束后，由测量员统一测设桩顶标高，并逐一在木桩上进行标记，用锯木电锯进行切割。严禁用斧凿、砍。

5.3 劳动力组织

水上浮体锤击木桩施工人员劳动组织：

每台班10人组成，其中：

1. 指挥1名。负责桩的起吊及喂桩，调整插桩时桩的垂直度（在两台经纬仪的配合下），并指挥打桩船移位及桩的定位，及时组织力量排除施工中出现的故障。
2. 桩机司机1名。负责桩机的操作及日常维修保养，正确操纵机械进行桩的定位，调整桩的垂直度，压桩。在指挥下，正确进行桩的起吊、运输及喂桩。
3. 电工1名。负责现场全套施工机械电器设备的安装及其安全使用。
4. 吊桩及接桩工2名。在指挥下，负责桩的起吊运输及喂桩，并配合桩机司机进行桩的定位，上下节桩的接桩。
5. 施工员1名。负责桩基的定位及校正桩的垂直度，根据试桩标准进行压桩施工，施工中及时作好各种原始记录，并及时解决施工中出现的技术问题。
6. 船工4名。负责打桩船的移位、定点。

6. 材料与设备

本工法所需机具设备如表 6。

水上浮体锤击木桩施工主要机具配备表 表6

序号	机 具 名 称	型号、规格	数 量	备 注
1	桩 锤	300kg	1 台	铁圆柱体（导杆从中穿过）
2	水上船体，桩架		1 台	如图 6 所示
3	卷扬机	JM	1 台	桩的起吊、运输及喂桩
4	卷扬机	JKL	1 台	提升桩锤
5	发电机	FX30GF	1 套	随船提供电力
6	经 纬 仪	J2	2 台	定桩位、校正桩垂直度
7	水 准 仪	DS3	1 台	测定高程及控制桩顶标高
8	导 杆	35mm	1 根	根据木桩长度选定其长度

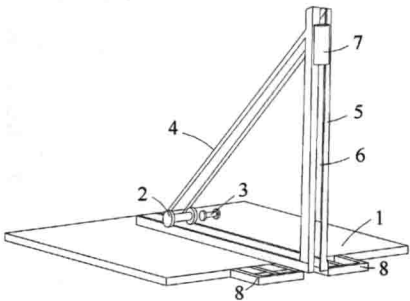


图6 水上船体、桩架示意图

1—船体；2—主卷扬机；3—副卷扬机；4—桩架；
5—柱体；6—导槽；7—桩锤；8—接桩工作台

7. 质 量 控 制

7.1 质量控制标准

7.1.1 本工法执行以下标准：

1. 《建筑桩基技术规范》JGJ/T 94-2008。
2. 《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206-2002。
3. 《桩基检测技术规范》JGJ 106-2003。
4. 《地基与基础工程施工及验收规范》GB 50202-2002。
5. 其他有关规范、标准和设计图纸的要求。

7.1.2 成桩允许偏差应符合下列规定：

1. 桩位偏差：桩位偏差依据木桩的规格尺寸由设计单位具体确定，一般不得大于上部横梁的短边尺寸。
2. 垂直度：允许偏差小于1%。

7.2 质量保证措施

7.2.1 正式施工前，组织设计、监理、甲方、施工单位有关人员到现场做1~2 根试打桩的试验，根据试验的实际情况，指导和确定施工的技术参数，并向施工作业班组进行技术交底。

7.2.2 将木桩垂直对准桩位中心，缓缓放下插入表土中，待桩位置及垂直度校正后即可将锤连同桩帽压在桩上，同时应在桩的侧面或桩架上设置标尺，并做好记录方可击桩。

7.2.3 沉桩时应用适用桩头尺寸的桩帽和弹性衬垫，发现损坏应及时修整或更换。以缓和打桩时的冲击和打桩应力均匀分布，延长撞击的持续时间以利桩的贯入。

7.2.4 沉桩过程中，要经常注意桩身有无位移和倾斜现象，如发现问题及时纠正。

7.2.5 桩将沉至要求深度或到达硬土层时，应控制好落锤高度，以免打烂木桩头。

7.2.6 沉桩过程中做好施工记录，至接近设计要求时，即可对贯入度或入土标高进行观测，至达到设计要求为止。

7.2.7 打桩过程中出现贯入度突然剧变，则可能木桩已穿过硬土进入软土层，或碰到孤石，此时应对照地质资料进行检查。若穿过硬层进入软土层，则继续施打；若桩打不下去，桩锤严重回跳，可

能是桩尖顶到孤石，这时应减小桩锤落距，慢慢下打，待桩尖穿过障碍后再加大落距。如无法穿过障碍则应请潜水员进行清障，有困难的应报设计单位会同研究处理。

7.2.8 锤击不宜偏心，开始落距要小。

7.2.9 对于不同的持力层，贯入度标准与单桩极限承载力的对应，应分别试验（试桩）后确定（单桩极限承载力的确定可采用打桩船的桩锤用“大应变”的试验方法予以确定）。

8. 安全措施

8.1 施工人员必须经过技术培训，并取得合格后方可安排上岗操作。施工中要经常对操作人员进行安全教育，使施工人员树立安全第一的思想。

8.2 进入施工现场人员必须戴安全帽，穿工作鞋（上船工作不准穿硬度鞋），在作业时必须穿救生衣，对桩接桩爬上桩架时必须戴安全带。

8.3 各种设备转动外露部分均应设置安全防护罩。开工前各岗位操作人员必须检查设备完好情况，特别要定期对桩架进行检查，确认桩机性能良好才能使用。

8.4 移动桩机时要确保桩架与高压电线等障碍物有足够的安全距离，并设专人负责监护收放随机电缆线。

8.5 遇有六级以上强风、浓雾等恶劣气候，不得进行水上作业。应停止施工并下锚固定打桩船，并用揽风绳固定桩架，以免打桩船体倾覆。

8.6 起吊木桩时卷场机司机、指挥员必须检查施工现场人员所在位置是否安全。现场没有指挥人员时严禁擅自进行吊装。

8.7 水上作业平台周边，必须设置防护栏杆，如设置防护栏杆有困难的，工人作业必须系安全带，设置警示圈。

8.8 乘坐交通船在水上作业的人员必须穿戴救生衣，各施工作业点和交通船上必须有足够的救生设备和救生衣。

8.9 应做好水上安全作业应急预案。

8.10 其他安全生产规定参照桩基有关施工规程。

9. 环保措施

9.1 施工期间的主要污染源为施工中产生轻微噪声。

9.2 严格执行《建筑施工场界噪声限值》GB 12523，控制和降低施工机械和运输车辆造成的噪声污染。

9.3 合理安排作业时间，尽可能将作业安排在白天施工，避免夜间施工，使施工噪声对周围环境影响减少到最低程度。

10. 效益分析

10.1 社会效益

1. 本工法具有单桩承载力高、桩身垂直度高的特点，桩身质量得到充分保证。且在施工中基本不产生污染源，是非常环保的一种施工方法，且能耗低效率高。

2. 由于质量稳定可靠，所施工的木栈道的使用寿命周期大为提高，既能减少资源消耗又延长自然资源的使用，为此具有广泛的社会效益。

10.2 经济效益

本工法打桩质量稳定，且采用本工法施工可以挤开小粒径的块石，不用因此频繁地调整桩位，或下水清障，节约了工期与成本。施工进度有明显提高：对比人工成桩（或挖泥船压桩）15~20根/天，本工法施工效率提高到30~35根/天。工效提高约2~3倍，从而节约了费用。以福州市西湖公园环湖木栈道工程1500根桩为例，由于工效提高，结算可以节省544911元施工费用。

11. 应用实例

福州市西湖公园环湖木栈道工程、福州左海公园景观改造工程水上木栈道，工程质量满足规范要求。现以福州市西湖公园环湖木栈道工程为实例。

11.1 工程概况

福州市西湖公园环湖木栈道工程由福州市西湖公园管理处筹资兴建，工程位于福州市西湖公园。本项目内容主要包括：木栈道长约1000m²，3000 m²，工程造价约1000万，为福州市第一条水上木栈道，是福州市重点工程之一。本工程由福州市政府投资建设，福州市规划设计研究院设计，由福州第七建筑工程有限公司施工。该工程合同工期短，施工紧张，特别是在西湖水上浅水位打木桩，施工难度大，无可借鉴的成熟经验：由于福州西湖常水位至湖底高度只有0.7~2.0m之间；工程桩采用203mm×203mm方形进口南方松木，约1500根桩，施工现场吃水浅且工程桩采用松木，不适合通常的水上打桩船进场施工。

11.2 施工情况

经过攻关，采用“浅水位水上木桩施工工法”进行打桩作业，成功解决了西湖浅水位打桩的难题，为类似环境的打桩作业提供了一种实用的施工方法，并与“福建建筑科学研究院”配合利用打桩浮体本身的桩锤采用“大应变”试验方法进行单桩极限承载力的测定，既经济又快捷。经过检测，所抽检的桩其单桩极限承载力全部大于到设计要求的40kN。桩身垂直度合格率大于98%，取得了满意的效果。

在施工中开展QC活动，其成果分别获得2009年福州市、福建省工程质量协会一等奖、中国建筑业协会优秀奖、全国质量协会及中国科学技术协会等五部委联合授予的优秀奖。

11.3 工程评价

福州西湖木栈道的施工取得良好效果，通过本工法的实践，为这类工程提供了一种成熟可靠的施工方法，单桩承载力及桩垂直度都达到或超过了设计要求，且施工工期快，可广泛适用于园林、公园中水上木栈道工程。

长螺旋钻孔压灌混凝土桩施工工法

GJEJGF003—2010

江西中恒建设集团有限公司 南昌市建筑工程集团有限公司

聂吉利 曹开伟 何丹 胡琪 李运华 杨东海

1. 前 言

复合地基主要是通过通过在天然地基中植入的加强体，以加强体和桩间土共同承担上部荷载，根据加强体材料或施工工艺的不同，衍化出多种处理方法，如散体系列（如振冲碎石桩）、水泥土系列（如深层搅拌桩）、灰土系列（如石灰桩）、水泥系列（如CFG桩）等。这些方法各有所长，特点鲜明，适用范围也不尽相同，有时不能互相取代。为了提高加固效果，我们进行系统地深入探索和研究，研发了长螺旋钻成孔压灌混凝土桩。这种桩属于水泥系列范畴，它克服了振动碎石桩施工振动强烈的缺点，弥补了深层搅拌桩强度偏低的不足，避免了石灰桩受地下水限制的施工缺陷，加上简单的施工工艺又比CFG桩更能保证桩身质量，它的单桩承载力高，施工过程快捷、成本低、适用范围广、用途也较多，具有较高的社会效益与经济效益。该技术经过公司长期深入细致的调查、试验和应用，经不断积累，不断进步，使该技术水平应用达到较高水平，在公司施工的桩基工程中采用效果显著，经总结整理形成本工法。

2. 工 法 特 点

2.1 利用流态混凝土流动性好、稠度高的特点，将混凝土通过压力压入，使护壁和成桩合二为一，根本排除了泥浆污染和泥浆处理问题，做到环保施工，放入钢筋笼容易。

2.2 混凝土利用高压泵压灌式浇捣，桩尖无虚土，也不会产生离析，防止了断桩、缩径、塌孔等施工通病，施工质量容易得到保证。

2.3 穿硬土层能力强，单桩承载力高、施工效率高，操作简便。

2.4 低噪声、不扰民、不需要泥浆护壁不排污、不降水、施工现场文明。

2.5 桩端和桩侧与桩身周围土壤结合紧密，无泥皮现象。这就根本上改变了基础桩的承载力和变形，对桩的抗拔受力性能的改善起到重要作用。钢筋笼不会沾黏泥浆，握裹力能够充分保证。

2.6 综合效益高，工程成本与其他桩型相比比较低廉。

3. 适 用 范 围

3.1 本工法适用于建（构）筑物基础桩和基坑、深井支护的支护桩。

3.2 适用于填土层、淤泥土层、沙土层及卵石层，亦适用于有地下水的各类土层情况，可在软土层、流沙层等不良地质条件下成桩。

3.3 桩径一般采用400~800mm，桩长不超过28m，随着机械能力的加强，桩径可达到1000mm以上。

4. 工 艺 原 理

长螺旋钻孔压灌混凝土桩由长螺旋钻孔桩演变而来，与普通长螺旋钻孔桩不同，利用长螺旋钻机

钻孔至设计标高，停钻后在提钻的同时通过设在钻杆及钻头上的混凝土孔，用高压混凝土泵向桩内压灌流态混凝土，连续压灌至设计桩顶标高后，移开钻杆将插入钢筋笼而形成的桩体。采用此法能提高桩的承载力，抗拔力；其原因是由于成桩时土体在混凝土压力作用下对周围土体有一种前推的作用，强迫周围的土体向周边运动，相应地也就增加了桩的半径。随着半径的增大，土体被挤密，土的压缩模量 E 逐渐增大。这种挤压的结果使得周围土体的密度变大，形成合理结构；土体密度的增大，使侧摩阻力增大；也使土的本构关系发生变化，原来均质的结构变成一种复杂而又合理的状态。土的内摩擦角也增大，变形模量增大，端部承载能力也相应增大。该工法施工程序简化，效率提高；应用广泛，不受地下水位限制；所用混凝土摩擦系数低，流动性强，骨料分散性好，所用螺旋钻机即可钻孔又可压灌混凝土，操作简便，混凝土灌注速度快，成桩质量好，降低造价。

5. 施工工艺流程及操作要点

5.1 施工工艺流程

5.1.1 材料准备

首先对进厂材料进行二次检测，对不符合要求的材料不能进厂，做好混凝土配合比和制作好钢筋笼，保证成孔合格后能及时浇筑混凝土，桩身混凝土浇筑完成后能及时安放钢筋笼，不影响下道工序施工。

5.1.2 施工工艺流程（图5.1.2）

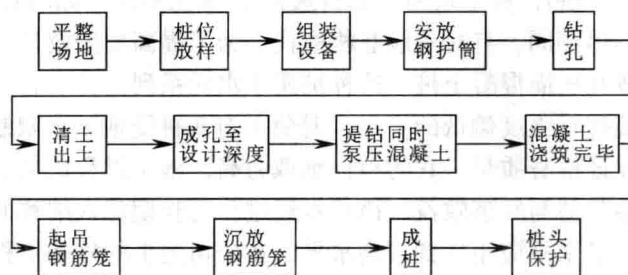


图5.1.2 施工工艺流程

5.2 操作要点

5.2.1 施工准备工作

1. 设计图优化核对。工程勘察报告，桩基工程施工图纸及图纸会审记录，熟悉施工图纸。
2. 场地平整，修建施工便道确保施工机械正常通行。
3. 施工测量：测量现场高程，定轴线，定出桩心、桩位。
4. 桩基工程中所用的原材料必须进行复验，只有经过复验合格的原材料才允许使用。
5. 施工前熟悉建筑场地和邻近区域内地下管线、地下构筑物、周边建筑等必须调查清楚，以便采取相应的加固和保护措施，进而保证桩基顺利施工。

5.2.2 施工工艺

1. 检测桩孔口标高，确定钻孔深度后移机至桩位点。检查钻杆与地面垂直度（垂直度偏差不大1%），当其不符合要求时，应结合场地实际情况铺设枕木或钢板，调整钻机，使钻机支撑稳定，钻杆垂直度满足要求。接着用钻头对准桩位，启动钻机入钻；观察钻机电流表，根据电流大小控制下钻进尺，一次性钻到预定深度。为准确控制钻孔深度，在桩架式钻杆上作出控制深度的标尺，以便在施工中进行观测、记录，必须保证桩孔进入硬土层达到设计要求的深度。钻进中若发现不良地质情况或地下障碍物时应立即停钻，并通知建设单位与设计单位确定处理方法、修改工艺参数或重改桩位、桩长等。

2. 用混凝土泵完成钻孔中心压灌混凝土成桩，钻进到设计深度后，略提钻杆20~50cm，以便混凝土将活门冲开；边提钻边压灌混凝土，提钻与压混凝土速度相匹配，始终保持泵入孔中混凝土量大于钻杆上提体积量。混凝土的灌注高度应高于设计桩顶标高50cm，多余的部分后期凿去，以保证桩顶混凝土强度满足要求。

3. 待钻孔中心泵压混凝土形成桩体后，钻杆拔出孔口前，先将孔口浮土清理，然后将已吊起的钢管及钢筋笼垂直对准孔口，把钢筋笼下端插入混凝土桩体中，采用不完全卸载方式使钢筋笼下放到设计高度。钢筋笼到位后，振动拔出钢管，放置地面，待下一桩施工备用。