

浅谈水泥粉煤灰碎石桩在南苑湿地A地块中的应用

胡阳圣 王潇 廖俊杰

北京金河水务建设集团有限公司

摘要: 水泥粉煤灰碎石桩是由碎石、石屑、砂、粉煤灰综合利用后掺适量水泥加水拌和,所构成的粘结度较高的桩体,又称CFG桩,CFG桩复合地基是由CFG桩、桩间土和褥垫层组合而成的复合地基形式,作为一种粘结强度极高的桩体复合地基,能适应更广泛的土质条件、大幅度提高地基承载力、施工简单快捷、缩短工期、节约费用等技术优点,现在已经在整个中国运用推行。

关键词: 地基处理;水泥粉煤灰碎石桩复合地基;施工方法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.022

CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩的简称)复合地基成套技术,已列入国家建设部重大推荐技术和国家科委重大推广研究成果,已在中国国内的许多省份使用。CFG桩在建筑工程中应用广泛,水利工程中也适用于水闸、泵站等水工建筑物地基基础处理。本文以南苑森林湿地公园先行启动区A地块土方及水系工程为背景,对CFG桩的施工工艺及质量控制要点进行论述。通过描述其施工工艺,深入反映其增加地基承载能力,抑制下沉方面的功能,从而阐述CFG桩在水利工程中的使用价值和普遍。

一、工程概况

本项目为南苑森林湿地公园先行启动区A地块施工,规划总面积约为53.3公顷。公园总体设计遵照上位规划,以森林湿地为基底、以南苑历史风貌、人文积淀为文化底蕴,恢复南海子乾隆时期“陂塘燕影、湖波荡漾”的历史风貌。公园设计表现皇家苑囿的古朴和大气。古朴自然的皇家苑囿风貌融入历史人文特色节点,为周边办公、居住人群提供一个有氧的室外氧吧,并将历史文化融入公园景观中,使文化与风景为伴。

本项目为南苑森林湿地公园先行启动区A地块施工,规划总面积约为53.3公顷,需开挖土方196.8万 m^3 。以小龙河为界,在现状小龙河上方新建节制闸B。小龙东侧为湿地保育区(分区七、分区八),湖底为黏土防渗,需新建泵站a和退水闸C。

小龙河西侧为大泡子地块(分区一至分区六),湖底为黏土防渗和膨润土防渗结合施工,需新建泵站b、分洪闸D和分洪闸E。

二、工艺技术及设计标准要求

(一) 设计要求

(1) 节制闸B的CFG桩采用正方形布置,桩径0.6m,桩间距2.0m,设计桩长5.2米,共60根,其桩区为闸室区。

(2) 退水闸C的CFG桩采用等边三角形布置,桩径0.6m,桩间距1.5m,根据桩的长度及桩顶高程将CFG桩划分为5个区域,其中1#桩区为上游连接段挡墙区,设计桩长为10.90m,共28根;2#桩区为铺盖区,设计

桩长为11.10m,共15根,3#桩区为闸室区,设计桩长为10.00m,共45根,4#桩区为过路箱涵区,设计桩长10.40m,共15根,5#桩区为下游连接段挡墙区,设计桩长10.20m,共42根。

(3) 分洪闸D的CFG桩采用等边三角形布置,桩径0.6m,桩间距2.0m,根据桩的长度及桩顶高程将CFG桩划分为4个区域,其中1#桩区为上游连接段挡墙区,设计桩长为7.1m,共36根;2#桩区为闸室区,设计桩长为6.2m,共55根,3#桩区为消力池区,设计桩长为5.1m,共46根,4#桩区为海漫区,设计桩长为5.8~5.1m,共20根。

(二) 材料要求

(1) 水泥:采用普通硅酸盐水泥,强度等级宜为32.5以上,质量优良,新鲜无结块,满足质量技术要求,应为国家免检产品;

(2) 粉煤灰:II级粉煤灰,应为国家免检产品;

(3) 碎石:碎石为不溶于地下水或不地下水侵蚀所影响的坚硬骨料,通常采用砂砾、碎石等,一般粒径为20~50mm,松散密度 $1.39t/m^3$,含水率1.05%,杂质含量小于5%;

(4) 石屑:选取和碎石相同的原材料进行加工为宜,严格按照相关规范和设计要求进行配合比实验,从而确定掺入数量,一般粒径为2.5~10mm,松散密度 $1.47t/m^3$,杂质含量小于5%;

(5) 混合料配合比:应根据采用的施工方法及设计要求在实验室进行配合比试验,强度达到C15标准。

(三) 设计标准

(1) 按施工图纸要求控制钻进深度,确保设计桩长,深度误差不应大于10cm;

(2) 成桩施工过程中应保证桩体完整性,不断桩;

(3) 浇筑桩体过程中,对其强度要求要进行试块取样,每一浇筑台班及每浇筑 $100m^3$ 至少取样一组(边长为150mm的立方体),在一定的温度和相对湿度条件下进行养护28天,并测定其强度;

(4) 在冬季浇筑时混凝土料进孔温度不得小于 $5^{\circ}C$,在桩头和桩间土处应做好保温处理,防止其受冻;

(5) 浇筑桩顶高度应超过设计桩顶高度且不低于0.5m,当实际施工作业面高出桩顶设计标高较大时,应适当加大混凝土灌注量,确认成桩符合设计要求后用湿黏性土封顶;

(6) 开挖时应选用适当的方式避免桩体被物理破坏;清土和截桩时,严格按照技术方案实施,同时施工时也要时刻谨慎,不要导致设计桩顶以下桩体破坏和扰动桩间土;

(7) 清理桩间土和桩头:

- a. 检验合格后，人工清除预留好的30cm深土层；
- b. 采用钢钎及风镐等工具凿除预留桩头至设计标高；
- c. 凿桩头时，钢钎水平安放，不得竖向劈凿桩头，以免损伤桩体质量；
- d. 凿除桩头后，尽快清运平整到位，确保场地平整度偏差 $\leq \pm 1.5\text{mm}$ 。

(8) 未尽事宜，应按JGJ79-2012中第7.7节中的规定执行。

(9) 地基处理后复合地基承载力不低于120Kpa（采用复合地基载荷试验进行检测，检测点数不少于3点），单桩承载力不低于450KN。

(10) CFG桩处理后的地基竣工验收后，将基础面清理至有效桩顶高程，然后在桩顶铺设一层300mm水泥稳定碎石，其中碎石应为级配碎石，粒径宜为5mm~16mm，水泥占比为8%，并要求干密度不小于2250kg/m³。

三、CFG桩的加固机理

(一) 挤密作用

CFG桩在成桩的过程中，由于桩体挤压侧边土壤，导致桩与土壤的孔隙比缩小、密实度提高，桩与土壤之间的硬度也提高。桩体中的粉煤灰及水泥发生水化反应，对地基中的软弱地层具有吸水、发热和膨胀的作用，使地基中的软弱层挤密，从而提高强度。同时，CFG桩除能够使地基承载力增强以外，还能够增加土壤的抗剪强度，从而提高了软土地基的稳定性。

(二) 置换作用

CFG桩具有较好的粘结强度，设计型号为C15，在上部荷载作用下桩体刚度较周围软弱的土层大，变形小。复合地基荷载试验结果显示，在荷载作用下首先是以桩体整体性受力，应力相对集中，并以桩体整体性承受荷载为主要形式，从而相应降低了桩间土应力，因此复合地基的承载力较原有地基增加了承载力，减小了沉降量。随着时间的推移，桩体刚度也有所提高，桩体整体性的功效发挥得更为突出。

(三) 桩体的排水作用

CFG桩还具有很好的透水功能，桩体具备了排水效用，削弱了桩间土里的孔隙水压力，桩间土的刚性和复合地基承载力有所上升。

四、CFG桩施工要点

(一) 工艺流程（见图1）

(二) 平整场地

提前核查了施工现场地上和地下所有对对建筑结构有影响的管线，对有影响的管线加以改移和保护。清除地基的表土，包括植被、沟穴、垃圾等，并根据原有的地形高度和桩顶标高，进行平整并钻孔场地，最终的地基高程应超过原设计桩顶标高50cm，并按相应的坡度排水，预留排水沟等排水措施，将地面压实，满足长螺旋钻机安全行走和施工作业。

(三) 测量放线

测量放线时用全站仪施放建筑物轴线控制点桩位，其余桩位依据控制点桩位用钢卷尺和经纬仪施放，桩位

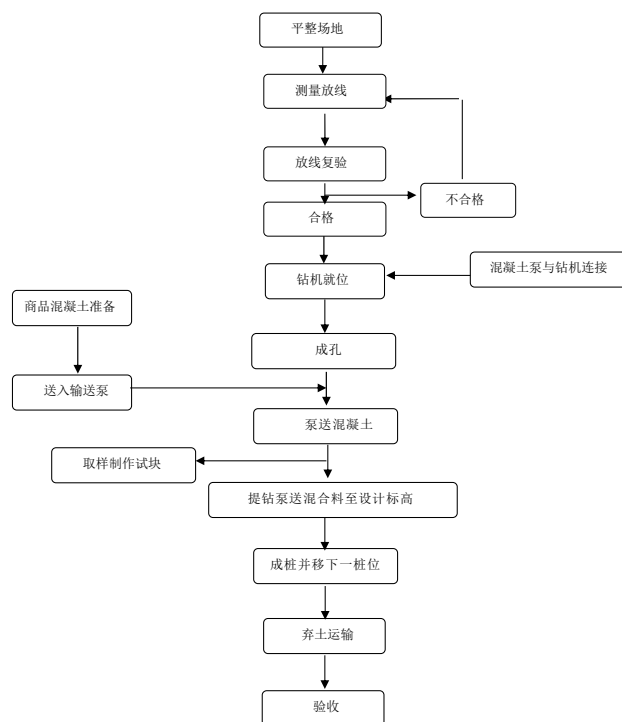


图1 CFG桩施工工艺流程图

偏差需满足规范要求。

建筑物轴线控制点用 $\Phi 20$ 以上钢筋插入地下50cm，并撒白灰标记；一般性桩位可用15cm长 $\Phi 3.2$ 焊条插位，并撒白灰标记。

桩位控制标准及允许误差如下：

群桩20mm，单排桩（群桩边桩）10mm。

(四) 钻机就位

钻机就位前，施工员应复核桩位坐标，并经监理验收合格。钻机根据桩点定位并实时调整机身，利用钻机塔身的前后垂直标杆检查导杆，并校准定位，使钻杆垂直对准桩位中心，以保证桩身垂直度偏差控制在1%以内。

桩机施工顺序以1/4圆为一部分，顺时针或逆时针进行施打。1/4圆内按照一条龙顺序进行施工。详见以下

对于不同长度桩位施工区域使用白灰进行重点性标注，以防止出现错打现场。

(五) 钻进成孔

钻机定位后，应当进行复验，钻头与桩位点与规范要求误差值不得超过20mm。开钻前，为避免堵塞混合料输送泵管，先用清水润湿混凝土泵的进料斗及泵送管线，然后再制备一定的水泥砂浆进行泵送，并将泵送的砂浆全部泵出管外。同时关闭钻头阀门，向下移动钻杆至钻头碰到地面时，再开启钻机以使钻头转动。转动的频率应该先慢后快，这时不应倒转或者提升钻杆。在钻机进行成孔作业时，出现钻杆抖动、倾斜或难钻孔的现象时，应立即关掉钻机或减小钻孔速率，当遇到坚硬岩层和地下障碍物而无法钻进时应停止钻进，寻找发生这种现象的原由，严禁强行向下钻进。按照原设计图纸所

提供的桩体尺寸，由此推出钻孔深度，并在钻机塔身相应位置作明确的长度标识，作为施工时控制桩长的依据，当动力头底面移动到标识位置时，这时桩长就达到了设计尺寸。在钻孔过程中，施工单位技术负责人、施工员等应进行旁站，提前观看勘察单位给出的地质勘察报告，再依据施工图纸，掌握施工现场地质情况，制定可行的钻进速度、尺寸，实时观察钻杆钻出的土质并分析，是否钻进到设计给出的土层。如遇特殊的地质状况，应当将现场情况及时告知CFG桩复合地基设计人员及勘察单位负责人，并及时通知监理，进一步分析及确定施工方案。

(六) 泵送混合料

长螺旋钻头到达设计标高后，应停止钻杆钻动，开始泵送混合料，以免超钻。混凝土输送泵管布置不可有过多的弯道且尽量水平，混合料输送泵与钻机距离不宜超过60m，当泵送距离较长时，泵管不宜悬空太多，下面应有支撑物。前台指挥人员与后台泵工采用吹哨或电铃进行信号沟通配合。长螺旋钻至设计标高后，开始泵送混合料，当泵送混合料达到钻杆芯管一定高度后，方可再次提钻。在泵送混合料的同时，同时提钻，提钻速率控制根据土层情况与泵送量相适应，保证钻头始终埋在CFG桩混合料液面1-2m，以防止外部水流入、混合料夹杂泥土等质量缺陷的发生。成桩作业应当连续不间断（混合料供应连续及时，有情况及时反映），直到CFG桩桩体浇筑高度高出桩顶设计标至少50cm。若在浇筑时由于某些因素而导致混合料浇筑过程停顿，根据现场土质情况和地质勘察报告，避开透水性较好的土层，不宜在这些土层内中止浇筑混合料，防止地下水流入桩体。

(七) 混凝土的准备

泵送混合料采用商品混凝土，塌落度为16~18cm，同时要求商品混凝土供方提供下列资料：

- (1) 配合比通知单。
- (2) 开盘鉴定。

混凝土到达施工现场后，应进行塌落度试验，实测混凝土塌落度与要求砼塌落度之间的允许偏差为±20mm。CFG桩浇筑期间，制作混凝土试件，规格为150mm×150mm×150mm，标准养护，并28天后测试其抗压强度。

(八) 钻孔弃土及桩间土清运

施工时，为保证桩头质量，钻孔弃土暂时堆放在桩头上部，待成桩后，对其进行扫平。桩间土的开挖和清运，采用机械、人工联合清运，避免机械设备超挖，并预留200mm用人工清理并有专人指挥。

截桩采用专用切桩机，一次性切除。

(九) 桩体检测

(1) 桩身完整性检测：CFG桩桩身完整性通过低应变动力试验检测。通过检测结果确认桩体完好。

(2) CFG桩混合料强度试验：每台班制作混合料标准立方体试件1组，进行28天标准养护后，再进行标准试件抗压强度检验。通过检验结果确认其质量情况。

(3) CFG桩复合地基静力载荷试验：依次进行单

桩、复合地基载荷试验，测算沉降与承载力。检验数量：桩数的1%，且不少于3根。

五、CFG桩施工质量控制

(一) 质量要求

序号	检验项目	允许偏差	施工单位检验数量	检验方法
1	桩位（纵横向）	50mm	按成桩总数的10%抽样检验，且每检验批不少于5根	经纬仪或钢尺丈量
2	桩体垂直度	1%		经纬仪或吊线测钻杆倾斜度
3	桩体有效直径	不小于设计值		开挖50~100cm深后，钢尺丈量

(二) 质量控制措施

(1) 核查商品混凝土塌落度及配合比，实时观察混合料的和易性，和易性太小容易造成堵管，及时调整混凝土塌落度，塌落度宜为160mm~180mm，配合比需经试验室校核，并经监理同意；

(2) 钻机进场后先用钢尺测量钻机钻杆的直径，钻杆直径应大于设计桩径，钻机主塔高度大于桩长5m左右；

(3) 在正式钻孔作业前，应做好试桩工作，确定作业参数。拔管时严格遵循试桩过程中确定的速度拔管并及时调整，采用静止提拔的方法提拔钻杆，在一定情况下采用边转动边提升的方法；

(4) 施工作业时根据地质条件，为了不扰动相邻桩体而对其造成破坏，采取隔排跳打方法；

(5) 施工中应实时检查排气阀是否正常作业，发现堵塞及时清洗，以免成桩空心。

(6) CFG桩桩顶标高应当比设计标高高出至少50cm，以保证桩体的有效桩长。

六、结论

本工程对CFG桩身完整性抽样检测的结果为全部合格，CFG桩施工技术作为地基处理的一种方式，已经被普遍使用，而对于其技术更好的处理，也在不断的更新和完善，使得工程质量更加有了保障。水利工程上遇到的复杂地质情况使基础工程越来越重要，CFG桩显示出了很大的优越性，桩体材料价格相对低廉，且施工简单，节约了资金，是一项较为理想的地基处理技术，具有可观的经济效益和广阔的市场推广前景。

参考文献

[1] 钟鸣. 浅谈水泥粉煤灰碎石桩（CFG桩）地基处理的设计与应用[J]. 文摘版：工程技术，2015，（009）：276。
 [2] 陈清香. 水泥粉煤灰碎石桩在地基处理中的应用[J]. 河南建材，2009，（5）：46-47。
 [3] 张政伟. 水泥粉煤灰碎石桩在地基处理中的应用[J]. 科技风，2014，（10）：163-163。
 [4] 杨建军. 水泥粉煤灰碎石桩在地基处理中的应用[J]. 科学之友，2010，（17）：77-78。

作者简介：

胡阳圣，男，1994年02月，初级工程师，经理助理，从事项目管理工作。