改进深搅桩机具与提高水泥土质量

徐茂荣[1]　孙伟武[2]　陈贵清[2]　杨国生[3]　张立荣[1]　庄　皓[4]
(1 上海荣恒工程公司　2 诸暨建筑设计院　3 诸暨监理公司　4 浙江省建筑设计院)

提　要　本文介绍了对“SJB-Ⅱ型”双头深搅桩机具改进、提高水泥土质量的有关技术经验，论证了双头和单头深搅桩机具的喷浆机理与水泥土质量之关系，提出了搅拌头叶片的有关技术要求和设计方法，并附工程实例。

一　引　言

深搅桩加固软土地基，用于房屋建筑基础承重和深基坑支护，是一项比较成熟的软土处理技术，主要优点是：安全、经济、无环境污染，施工简便。从 80 年代初全面推广应用以来，成效卓著。尤其是湿法深搅桩用于软土地基处理，只要设计正确，施工无误，执行信息化施工管理，桩基质量是安全可靠的[1]。

本文拟结合工程实例，进一步论证深搅桩机具改进与提高水泥土质量的若干技术要素。并根据双头和单头深搅桩机具喷浆方式的差别，探讨了对搅拌头叶片的有关技术要求，以及深搅桩机具有关技术参数必须与之相匹配的问题。可供从事深搅桩设计、施工人员参考。

二　机具改进

原装“SJB-Ⅱ型”深搅桩机具是三轴双头钻机，中轴为喷浆管，其余二根为搅拌轴。按本文实例的设计要求为搅拌头叶片喷浆，于是对原装机进行改进。

1.双头改单头。原装机搅拌轴中距为 500，改为 450，取消中轴喷浆设备，使二根搅拌轴改成单头独立喷浆体系。

2.搅拌轴改进。原搅拌轴为 ϕ127，改为 ϕ108，并在顶部配制送浆回转器，使输浆管通过回转器把浆液沿 ϕ108 管孔送入搅拌头。

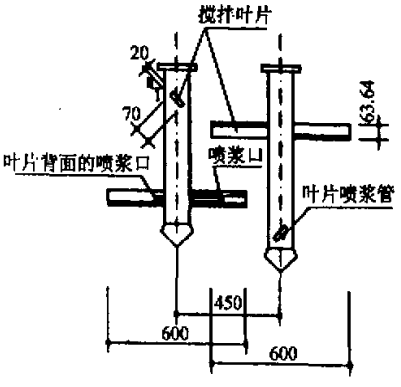


图 1　“SJB-II”改进后的深搅拌桩钻头(双头)

3.更换喷浆泵。原配一台出浆量为 3m³ / h 的“UB-3 型”柱塞式灰浆泵，改为二台“UBJ-1.8 型”可调节流量的挤压式灰浆泵。

4.搅拌头改进。改进后的搅拌头详见图 1 所示。选用 ϕ108 管为钻杆，截面 70×20 的 45 号钢为搅拌叶片，成 45° 倾角与钻杆焊成整体，叶片水平投影高度为 63.64mm，喷浆口设在下层叶片，并将左右喷浆口错位布设。

三　桩身单元土体的搅拌次数和机型对比

深搅桩桩身的质量主要取决于水泥土搅拌是否均匀，而搅拌均匀的关键是搅拌叶片对单元土体的搅拌次数，次数越多越均匀。1999 年 6 月中国建筑科学研究院(99)建研地字第 2 号《<建筑地基处理技术规范>(修订)征求意见稿》，提出了搅拌次数≥20。所以搅拌叶片应根据深搅桩机具有关技术参数进行设计计算求得。

1.桩身单元土体搅拌次数计算公式如下：$n=\dfrac{Nn_{lf}n_frh}{H}$ 式中：

n——桩身任一单元土体的搅拌次数；

N——深搅桩机具钻杆搅拌时，下沉和提升喷浆的次数。由设计单位指定，一般规定为二喷四搅；

n_{lf}——搅拌叶片层数，一般为二层；n_f——每层搅拌叶片的叶片数，一般为二片；

r——钻杆每分钟转速(rpm)；　h——切土厚度，即搅拌叶片水平向投影高度(mm)；

H——钻杆每分钟下沉或提升高度(mm)。

2.改进型双头与原装双头及单头深搅桩机具功效对比。

(1)改进型双头深搅机具：喷浆方式为搅拌头下层搅拌叶片喷浆，已知技术参数为：

N=4，二喷四搅；　n_{lf}=2 层；

n_f=2 片；　r=46rpm；

h=63.6mm(见图 1)；　H=1000mm；　桩身每单元土体搅拌次数

n=4×2×2×63.6×46/1000=46.8 次

(2)冶金部指定的江阴振冲机械厂生产的“SJB-Ⅱ型”原装深搅桩机具：喷浆方式为中浆管喷浆，位置在所有搅拌叶片上面，已知技术参数为：

N=3，二喷三搅一切土；　n_{lf}=2；

n_f=2；　r=46rpm；

h=63.6mm；　H=1000mm；

桩身每单元土体搅拌次数　n=3×2×2×63.6×46/1000=35.1 次

(3)单头深搅机具：喷浆方式为搅拌头下层搅拌叶片喷浆，已知技术参数为：

N=4，二喷四搅；　n_{lf}=2；

n_f=2；　r=60rpm

h=25mm；　H=1000mm

桩身每单元土体搅拌次数：　n=4×2×2×25×60/1000=24 次

(4)笔者在施工现场所看到的单头深搅桩机具，搅拌叶片厚度一般均为 20mm，大都呈水平状与搅拌头钻杆焊接成整体，如图 2 所示，且叶片磨损后未予增补。尤其是叶片的悬挑端，厚度均小于 20mm。这种水平放置较之改进后的双头深搅桩机具，其单元土体的搅

拌次数仅及双头机具的一半(51.3%)，显然其桩身水泥土搅拌均匀性大大低于双头机具。

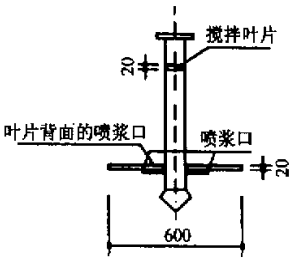


图2 现场施工的单头深搅桩钻头

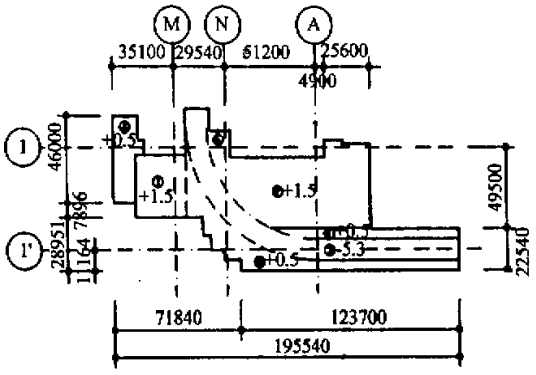


图3 深搅桩机平面布置图

(5)对“正转下沉喷浆，反转提升搅拌”的讨论。设计要求制桩时，钻机正、反转交替进行。从理论上分析，提高水泥土质量主要关键是土体的搅拌次数，与正反转向无关，本工程用改进后的双头机实践结果已经证实。此外，为要执行“正、反转”要求，迫使钻机开关频繁，不仅降低制桩功效，且深搅桩机具也易损坏。

四 工程实例

1. 概况

连云港某国家重点工程软土地基处理，采用满堂布置的湿法深层搅拌桩，全场共分为①～⑥共六个区，平面布置详见图 3 所示。由于工程量较大，业主选择三家打桩公司共同承担施工。我们选用改进后的“SJB-Ⅱ型”双头深搅机三台(相当于单头机六台)，其余二家均选用单头深搅机。制桩过程均由监理公司跟踪监理。

2.地质条件

场区属海滩区潮间带，土层物理力学性质详见表 1。

表 1 土层的物理力学性质

土层	土层名称	层底标高 (m)	含水量 w(%)	重度 r (kN/m^3)	孔隙比 e	液性指标 I	压缩模量 E
5	淤 泥	-9.02～1.19	64.3	16.3	1.774	1.28	1.56
5-2	淤质粘土	-13.01～11.14	49.3	17.4	1.354	0.92	1.96
8	粘 土	-16.32～5.66	18.7	20.7	0.557	0.11	7.31

注：1-1 层杂填土已全部挖除，故各项指标未列入其中。

3.设计要求

(1)深层搅拌桩桩径 ϕ600，桩长 6.0～16.0，要求进入⑧号土，桩与桩搭接 150mm，置换率 80%左右，全场满堂布置。

(2)采用二喷四搅：搅拌喷浆下沉(正转)、搅拌提升(反转)、重复搅拌喷浆下沉(正转)

搅拌提升(反转)的施工工艺，遇已废弃的塑料排水板影响搅拌时改用二喷六搅。搅拌头下沉或提升速度不超过 1.0m / min，钻头转速 60 转 / min。

(3)检测方法

①成桩后第七天，抽取成桩数量的 2%采用标准贯入器检测桩身、水泥土强度，要求 $N \geqslant 8$ 击；

②龄期达到 28 天后做钻孔取芯与抗压试验，要求 $Ru \geqslant 150kPa$；

③成桩 60 天后进行复合地基静载荷试验，要求复合地基承载力设计值≥200kPa。

4.检测结果分析

检测单位按设计要求对各公司施工的深搅桩进行了跟踪检测，每家打桩公司根据检测次序随机选入了 10 根桩的测试结果(见表 2)，并进行质量对比，得出如下结论：

表 2　某工程深搅桩 7 天龄期标贯检测结果

机型	检测深度 / 桩号	1.0～1.3	3.0～3.3	5.0～5.3	7.0～7.3	9.0～9.3	11.0～11.3	13.0～13.3	15.0～15.3
改进的双头搅拌桩机	2J33-47	15.0	20.4	27.1	>50	>50			
	2K3-18	10.0	9.5	11.8	12.1	10.9	9	11.0	
	2K30-47	11.0	11.4	12.7	18.2	18.5	22.4	12.9	
	2J33-23	11.0	17.0	17.1	22.3	24.8	21.5		
	2J27-43	11.0	11.3	24.3	27.5	10.7	11.1		
	2J13-43	8.0	11.4	28.4	>50	>50			
	2J10-41	7.0	8.5	15.3	29.5	15.0			
	2J15-47	8.0	12.3	28.4	15.5	11.6			
	2I17-7	12.0	28.5	27.1	33.3	32.3			
	2I21-11	9.0	19.9	16.2	10.3	13.2			
单头搅拌桩机一	2F3-6	3.0	8.5	9.9	11.2	11.7	8.0	12.3	>50
	2D15-15	13.0	20.0	20.8	11.3	27.7	6.4	27.8	13.4
	2F5-14	5.0	10.4	14.4	19.0	30.2	12.8	17.8	7.2
	2E5-29	8.0	10.5	14.5	37.2	37.8	22.4	26.3	13.4
	2D19-20	20.6	20.1	21.4	26.1	21.4	13.6	38.0	7.6
	1C1-30	8.0	6.7	9.9	13.8	22.6	13.6	27.1	
	2F11-5	23.0	24.8	21.7	22.5	28.5	26.4	10.8	
	2F12-4	20.0	21.9	29.9	26.8	42.0	>50	13.1	
	2A16-2	11.0	19.1	15.4	19.0	27.7	21.6	11.6	
	1A15-22	10.0	5.7	7.2	10.4	23.5	11.2	15.5	12.1
单头搅拌桩机二	2H2-33	9.0	20.8	7.2	12.9	19.0	15.1		
	1C7-38	14.0	11.4	15.3	21.5	27.4	21.6	17.4	
	2D6-11	10.0	20.9	13.6	10.3	12.4	19.2	17.4	
	2G16-6	5.0	8.5	7.2	5.1	14.9	23.9	21.7	不合格
	2G6-10	6.0	6.6	6.3	7.7	14.9	18.2	17.3	
	2H6-42	12.0	21.3	18.0	18.1	20.7	14.3	16.6	27.8
	2H9-15	11.0	14.2	21.6	16.3	>502	15.1	18.5	25.8
	2F6-17	12.0	10.6	16.3	16.4	12.4	8.8	5.4	
	2F7-13	21.0	17.1	16.3	20.4	33.2	14.4	8.5	18.7
	2D16-15	27.0	12.4	16.3	23.3	27.4	19.9	15.0	15.9

(1)双头机施工的深搅桩，标贯击数比较均匀，从测试时取出的水泥土样目测，呈现颜色较一致，搅拌较均匀。

(2)双头机施工测试的 10 根桩，计 61 段中，不足 8 击的有 1 段，占 1.64%；单头桩施工测试的 20 根桩，计 148 段中，不足 8 击的有 17 段，占 11.49%，其中有一根桩(桩号为 2G16-6)被判为不合格桩。

(3)检测、设计、监理和业主一致认为，双头机制成的深搅桩桩身质量较好。

五 结 语

通过本工程实践，提高深搅桩质量，应注意下列各要点：

(1)开工前，应对每台深搅桩机具的技术参数和搅拌叶片进行检查验收，必须满足设计要求。

(2)建议桩身单元土体的搅拌次数以≥30 次为宜。

(3)尽可能采用原装双头机具制桩。因为单头机具采用下沉喷浆，由于土层硬软不同，首次下沉穿越较硬土层处，下沉困难，沉速度慢，喷浆量过多，相应地减少了其他土层中的水泥浆含量，而双头机首次是切土下沉，不存在上述弱点。

(4)施工队伍素质和职业道德，是保证深搅桩质量的重要环节。

参考文献

[1] 庄皓，徐茂荣等：《上海大屯九层宿舍水泥搅拌桩工程实践》，见《岩土力学理论与工程实践》，上海交通大学出版社，1999。