

高含水量地基粉喷桩的“先砂后粉”工艺研究

陈 文 赖灿辉 姚云龙

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

T664/3.14

关键词 高含水量 地基处理 粉喷桩 “先砂后粉”工艺 水泥掺入比

深层搅拌水泥粉喷桩(简称深搅粉喷桩)近年来在软土地基改良加固中越来越被重视。该施工方法设备简便,成本低廉,无振动,无噪音,所以大受工程界欢迎^[1]。但是,当地基土含水量很高时,桩体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 将随含水量 ω 的增大而非线性下降,在一般的水泥掺入比下甚至不能成桩,否则要求大幅提高水泥掺入比,这是不经济的。为此,我们提出了“先砂后粉”工艺。

1 施工工艺

“先砂后粉”工艺系在深搅粉喷桩施工工艺的基础上发展而成。它不需要增加新的机具,只需将钻机喷嘴切割成喇叭形,同时增加原料——干燥细砂,施工前预先将砂摊开晾干。施工工艺过程如图 1 所示。

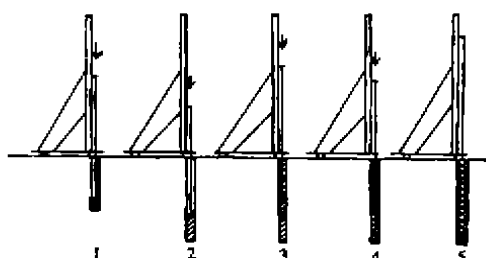


图 1 “先砂后粉”工艺流程

1. 钻机下钻同时喷干燥细砂;2. 快速提升并喷干水泥粉;3. 再次旋转下钻至设计标高;4. 正常提升钻机,喷水泥粉至地面;5. 成桩。

2 工艺原理

较之深搅粉喷桩工艺,“先砂后粉”工艺增加了“喷砂”工艺,即利用粉喷机喷干燥细砂。它作用是为土体提供良好的排水通道,降低地基含水量;同时使土粒粗化,降低土中粘粒含量,从而改良土壤。然后喷入干水泥粉强行拌和,一方面干水泥粉吸收地下水,再次降低地基含水量;另一方面干水泥粉与水

发生水化和水解反应,结果形成大量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,它对地基加固起到离子交换和使软土团粒化的作用,使桩身具有粘结强度^[2]。由于一般粉喷机喷嘴为圆筒形孔,喷砂极易堵塞,故在实际施工时应将粉喷机喷嘴割成喇叭形,以减少局部摩擦阻力,使砂的喷送得以顺利进行。

3 工程实例

工程概况:广东省揭阳市第二水厂,三个清水池,粉喷桩工程。该工程地处揭阳市北河东岸,场地为沼泽洼地,常年地下水位高于地表 0.3m,含水量很高,地质条件相当复杂(见表 1)。

表 1 工程地质情况表

层号	土层名称	层厚 h/m	含水量 $\omega/\%$	标准贯入击数 $N/\text{击}$	密度 $\gamma/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	单桩承载力标准值 $f_{p,k}/\text{kPa}$
1	覆盖层	0.3	-	1.8~2.2	-	-
2	流塑状淤泥	2.5	91	0.5~0.6	14.5	40~45
2	流塑状淤泥	3~4	136	0.1	13.5~14	<40
3	薄层中粗砂	0.2~0.4	-	-	-	-
4	软塑状淤泥质粉质粘土	2~3	-	1~1.5	-	-
5	粗砂	2	-	11~13	-	-
6	可塑状白色高岭土	-	-	-	-	-

从表中可以看出,第 2 部分土体含水量最高,各土性指标最差,应作为主要处理对象。该部分埋深为 8m。对该层进行多孔岩土样测试,发现岩芯不成形,呈流塑状态,其粘粒含量为 49.63%。

原设计为采用 425 号普通硅酸盐水泥的粉喷桩,水泥掺入比 17%,在试桩时发现,复合地基承载力 $f_{p,k}$ 为 94.7 kPa,小于业主所要求的 128.4 kPa,如要达到承载力要求,需要将水泥掺入比增至 25% 以上,使成本大为提高。因此,我们采用“先砂后粉”工艺,保持原水泥掺入比 17% 不变,但分为两次喷水泥粉,并且先行喷送了密度为 80 kg/m^3 的干燥细砂。施工过

程见图2。

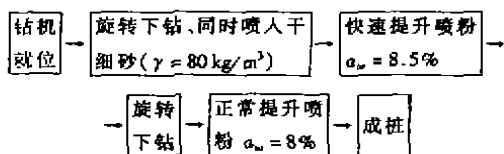


图2 桩体现场施工流程图

表2 处理后土性指标变化表

状态	密度 $\gamma/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	摩擦角 φ_i	标贯锤 击数 N	粘粒含量 (%)	含水量 (%)
加固前	13.6	0°	0.1	49.63	91~136
加固后	15.8	5°	>7	18.93	50.8

为了解喷前后土性指标的改变情况,我们现场做了一根全长喷砂($\gamma_s=100\text{kg}/\text{m}^3$)的桩(桩长13m),然后对加固后的土性指标进行了测试,试验结果见表2。可以看出,喷砂后,土体含水量由高达136%下降至50.8%,粘粒含量从49.63%降至18.93%,轻便触探试验结果换算为 $N_{63.5}$ 后发现,标贯锤击数也由0.1击增至7击以上,同时土体内摩擦角也从0°增至5°。总之,各土性指标大为改善,达到了预期的目的。

为使设计更接近于工程实际,并得到处理后场地土土质情况和桩体实际强度,我们进行了室内水泥土试验。4根试验桩(1#~4#)各采用不同工艺,桩径统一为600mm,平均桩长为13m。具体做法如下:

a. 1#桩。不喷砂,只喷水泥粉(425号普通硅酸盐水泥,下同)。钻机从地表钻至设计标高,但不喷砂,然后将钻头快速提升并喷干水泥粉($a_w=8.5\%$,下同),第二次将钻头下沉但不喷粉,最后提升钻机并同时喷干水泥粉成桩。

b. 2#桩。全桩采用先砂后粉工艺。钻机先钻进并喷干燥细砂($\gamma=80\text{kg}/\text{m}^3$,下同)至设计标高,然后快速提升并喷干水泥粉,再将钻机下钻重复搅拌至设计标高。然后正常提升喷干水泥粉。

c. 3#桩。钻机先钻进喷砂至8.0m标高,然后下沉搅拌至设计标高,再快速提升钻头并喷干水泥粉,至地表后,复钻下沉至设计标高,然后提升喷干水泥粉至地面,最后,在桩头8.0m范围内复喷水泥粉($a_w=8.0\%$)。

d. 4#桩。先将钻机钻进下沉并喷干燥细砂至8m标高,然后搅拌下沉至设计标高,再快速提升喷干水泥粉,至地表后再将钻机下沉搅拌至设计标高,然后正常提升喷送干水泥粉。

成桩7天后,做单桩复合地基承载力试验^[3]。具体做法为:①压板尺寸为1m($B=1\text{m}$), $f_{sp,k}$ 近似取 $S/B=0.005$ 所对应的荷载(S 为沉降量)。②用千斤顶加压,并用水泥块配重作静载试验。荷载及沉降均由相应传感器控制,试验结果如图3~5所示。

由相应传感器控制,试验结果如图3~5所示。

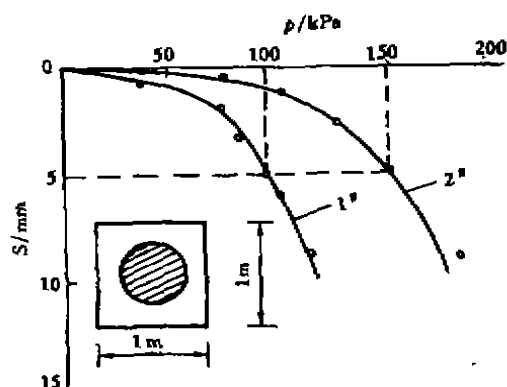


图3 1#,2#桩的 $p-S$ 曲线

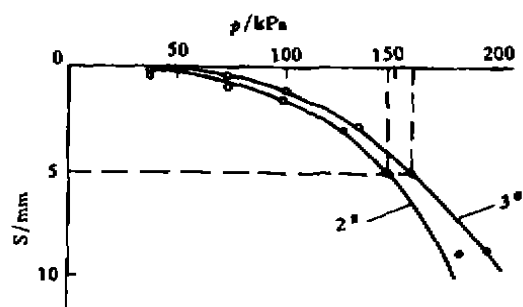


图4 2#,3#桩的 $p-S$ 曲线

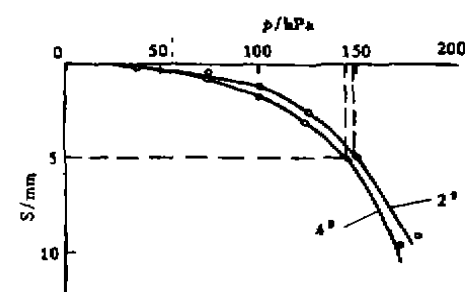


图5 2#,4#桩的 $p-S$ 曲线

3.1 加固效果比较

图3为2#桩与1#桩的比较。在相同的水泥掺入比下,采用“先砂后粉”工艺的2#桩单桩承载力标准值 $f_{sp,k}$ 为149.8kPa,而未采用该工艺的1#桩 $f_{sp,k}$ 仅为94.7kPa,前者比后者高出58.1%。再对第2层土进行室内水泥土试验,经过10天养护推算的28天龄期1#~2#桩 $f_{cu,k}$ 如表3所示。2#号桩水泥抗压

表3 桩体28天的 $f_{cu,k}$ 值

桩号	总水泥掺入比	$f_{cu,k}/\text{kPa}$
1#	$a_w=17\%$	1573
2#	$a_w=17\%$, 加 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 干细砂	2560
3#	$a_w=25\%$	2588

强度标准值比1[#]号桩增长62.8%。因此,采用“先砂后粉”工艺能大幅提高水泥土抗压强度,从而使复合地基承载力大为提高。

3.2 经济性比较

图4为3[#]桩与2[#]桩的比较。可以看出,只在桩头8m内采用复喷工艺而不采用“先砂后粉”工艺的3[#]桩尽管水泥掺入比要高8%,其单桩承载力标准值 $f_{sp,k}$ 只比采用“先砂后粉”工艺的2[#]桩大6kPa(3[#]桩 $f_{sp,k}=155.8\text{kPa}$, 2[#]桩 $f_{sp,k}=149.8\text{kPa}$),显然2[#]桩施工方案要经济得多。按1994年黄砂价(35元/t),1[#]~3[#]桩造价分别为40,40.8,49元/m,2[#]桩每米桩成本只需在1[#]桩基础上提高2%,性能却和每米成本高于1[#]桩22.5%的3[#]桩相差无几,其原因就是2[#]桩采用了“先砂后粉”工艺。本工程中,3个清水池共需714根桩(桩长13m),采用“先砂后粉”工艺后,每米桩节省8.2元,总共降低成本 $714\times 8.2\times 13=76\ 000$ 元。当桩长更长,桩数更多时,“先砂后粉”工艺的经济效益将得到更充分的体现。

3.3 优化选择

当各土层含水量不同时,是否有必要全桩长喷砂呢?图5为只在桩头8m范围内喷砂的4[#]桩与全桩长喷砂的2[#]桩的比较。4[#]桩 $f_{sp,k}$ 为147.9kPa,只比2[#]桩低2.6kPa,相差不到2%。由此可见,对于不同含水量的土层,可以因地制宜,只对含水量高的土层进行喷砂工艺,这时整个加固效果无多大影响,而

且将更为经济。以本工程为例,桩径600mm的桩,按1994年黄砂价35元/t计算,部分桩长喷砂,比全桩喷砂节省0.8元/m,工程714根桩,可减少造价 $714\times 0.8\times 5=2\ 800$ 元。当工程较大时,这也是很可观的。因此“先砂后粉”工艺施工时,可以根据地质资料对喷砂长度进行优化。

4 结论与建议

“先砂后粉”工艺使粉喷桩在高含水率地基土中的施工得以实现。它利用粉喷桩机械,先“喷砂”排水,降低土体含水量,改良土壤,再喷入水泥粉搅拌均匀,加固效果明显。其施工简单,原料易得,经济合理,值得在高含水量地区推广应用,但在地基含水量不高时,由于在掺砂过程中施工困难,故宜慎用。

在本文的撰写过程中得到张志铁副教授的悉心指导,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- 1 《地基处理手册》编委会.地基处理手册.北京:中国建筑工业出版社,1989.4
- 2 龚晓南.深层搅拌法设计与施工.北京:中国铁道出版社,1993
- 3 孙更生等.软土地基及地下工程.北京:中国建筑工业出版社,1984

(收稿日期:1995-09-1)

国际水电协会(IHA)在巴黎成立

水电向来被公认为是最重要的再生能源。全世界在技术与经济上可开发的水电蕴藏量约为8800TW·h/a,在亚洲与南美,约有80%的可开发水电资源有待开发;在非洲,约有93%的可开发水电资源有待开发。目前,水电领域正面临着一个世界范围的问题,即:工程投资、工程延误、合同管理,以及由于缺乏相互了解,环境学家对水电工程持异议这样一个综合性的问题,为此需要成立一个国际性的机构,就各方面的水电信息,增进了解,互相交流,并处理有关专业最重要的问题。1995年6月在巴塞罗那举行的国际水电会议上,与会代表提出了成立国际水电协会的建议并得到了来自40个国家学者与专家的支持,经投票一致通过成立该协会。同年8~9月,筹备工作小组举行会议,就协会的框架、目的、工作重点交换意见并作出了规定,国际水电协会(IHA)于1995年11月16日在巴黎正式成立。在第一次全体大会上,协会的主要创建者E.莫作尼教授和R.拉

菲特教授分别当选为两年一届的首任协会正副主席,确定《水电与坝》为该协会主办的杂志,秘书处设在英国Agha与Uedia之间。IHA是一个多学科机构,开展的主要工作有:①增进对水电在持久开发中所起作用的了解;②促进水电工程在环境合理情况下的拟建与在建;③激励在这一领域开展研究、进行工程实践。IHA的工作重点是:教育;环境问题;工程财金;工艺;抽水蓄能;研究与实验室操作;交流/公共关系。IHA就这7个重点领域正在成立相应的7个委员会,分别由该领域的专家任委员会主席。

(元国江 供稿)

简 讯

▲德国复兴信贷银行向土耳其提供2100万美元贷款,以便从德国购置机电设备供土耳其安纳托利亚西南部正在兴建的Batman水电站使用,这座198MW的水电站是土耳其国家水电公司的辅助电站。

▲法国开发基金会向几内亚提供175万美元以资助Kalata水电站的开发研究。

(熊莉芸 供稿)