

粉体喷射搅拌法的应用实例

铁道部第十一工程局 胡昌虎

粉体喷射搅拌法,简称粉喷桩。为我国近年来开始发展应用的一项软土加固新技术。它是利用特制的搅拌机具,用压缩气体将粉状固化剂送入搅拌头的喷灰口喷出,在土层深处就将软土及固化剂强制拌合,使其硬结成桩。这些加固体与桩周土形成复合地基共同承担上部荷载,从而达到加固软土的目的。

南昆铁路七甸段泥炭土的局部地段采用粉喷桩作加固试验。在设计部对桩型、置换比、固化剂配比确定以后,由我院进行粉喷桩施工。目前试验段施工将结束,现将有关情况介绍如下。

一、工程概况

加固试验段地处南昆铁路 DK786+300~DK786+400,试验段长度 100m,加固宽度 23m,有效桩长 10m,桩径 0.5m,桩距 1.1m,正方形布置。总工作量 19000 延米。水泥:石灰:粉煤灰=5:2:3。每延米喷粉 118.8kg,加固土设计强度为 400KPa,复合地基承载力 130KPa。

二、场地工程地质条件

场地位于云南呈贡县七甸乡境内的水塘地区,地势平坦,为现代高原沼泽。洼地第四系洪积和湖积厚达 29m。表层有 1.0—2.5m 厚的粘土、粘砂土硬壳层,硬塑状,其下为泥炭土,淤泥质土和粘土、粘砂土等,软~流塑,夹饱和粉砂层,总厚 2—27m。

加固范围内以泥炭土为主,其局部夹有粘砂土,粘土等。泥炭土天然含水量 90—573%,天然容量 9.4—13.9KN/m。天然孔隙比 2.13—10.92,有机质含量 36.97%,有机质腐烂程度不一样,含有没有腐烂的杂草团及树干,树根等。压缩系数 2.11—17.24MPa。

加固范围内各土层的有关主要地质参数如表 1。

三、施工

(一)施工机械及配套设备

我们选用武汉工程机械厂研制的 PH—5 型粉喷桩机,带有灰罐,空压机等配套设备,搅拌头为双层叶片式。

为保证三粉混合的均匀度和速度,并与主机喷粉速度相适应,我们选用 HJ—200 型灰浆搅拌机。

(二)施工准备

1、根据场地桩位特征,拟编施工方案,做好现场平面布置,制定施工组织设计,安排好施工流程。

2、桩位测量放线。根据地下水位以上的表层土含水量低,不利于桩体硬结的特点,在放线定位的同时可以桩位为中心,挖一直径等于桩径,深约 20—30cm 的小坑,并注满水。

表 1 加固土主要地质参数

层次	层 厚 (m)	土层名称	容 重 γ_r (KN/m ³)	直 剪		固结快剪 $\phi_{cu}(0)$	固结系数	
				c(kpa)	$\phi(0)$		Cv 垂直 (cm ² /s)	Cv 水平 (cm ² /s)
①	1.0—2.5	填 土	18.0	25	25	25	4×10^{-4}	
②	0.5—1.0	砂粘土	18.5	25	15	15	4×10^{-4}	3×10^{-4}
③	2.0—2.5	粘砂土	19.0	30	20	20	5×10^{-4}	4×10^{-4}
④	3.5—6.0	泥炭土	13.8	14	12	12	7.76×10^{-4}	2.38×10^{-4}
⑤	2.0—2.5	粘 土	17.0	18	20	20	1.5×10^{-4}	1.0×10^{-4}

(三)劳动组织

除根据三粉每天需要量合理组织进料外,每班 9 人(不含机长及质检人员),其中三粉拌和 4 人,灰罐装料 3 人,主机操作 1 人,喷粉操作 1 人。

(四)施工技术

粉喷桩是利用固化剂和原地基土拌和后产生的一系列物理——化学反应,使饱和软土和固化剂硬结成具有完整性,对环境的稳定性和具有一定强度的加固性,同时通过桩体硬结过程中对桩周土吸水作用,减少桩周土的含水量及孔隙比,以形成桩、土共同承载的复合地基,所以保证三粉质量并拌和均匀,喷搅均匀是提高成桩质量的关键。除按照施工组织设计外,还按照“南昆线七甸段泥炭土粉喷桩施工暂行规定”的要求进行施工。

三粉的质量要求

水泥为普通 425[#] 水泥,石灰、粉煤灰粒度 $\leq 0.2\text{mm}$,石灰 $\text{CaO} + \text{MgO} > 80\%$,粉煤灰用新鲜粉煤灰。

1、施工方法

(1)桩机就位

根据桩位分布及流程安排,对准桩位。对位过程应精心操作,防止钻架出现过大倾斜,并尽量使四个液压支座(步履机构)和两个下底座同时承担桩机重量,以增加其稳定性。

(2)下钻

开动喷粉机,待搅拌头接近地面时,开动空压机,喷射压缩气体,以防止钻进时堵塞喷灰口。随着搅拌头的钻进,加固土体被切碎搅拌。为避免钻架摆动,下钻速度应浅部慢深部快。

钻进过程中,由于地层局部的粘土及粘砂土含水量低(强度较高)及树干、树根的影响,对搅拌头形成较大的钻进阻力,应时刻观察主电机的电流变化(遇硬土层时主机电流表的电流值会突然增大)及相应深度,为提升喷粉时使用合理参数穿过这类土层提供依据。

(3)钻进结束

钻至设计加固深度后停钻。

(4)提钻、喷粉

钻至设计深度后,反向旋转搅拌头,启动送料器,待粉体送出后,开始提升搅拌头。提升喷粉的正确操作是保证成桩质量的关键。应严格按照喷粉试验时确定的送风压力、灰罐压力,送料器转速等参数进行。各闸阀及送料器的操作应动作连贯,一气呵成。同时根据下钻时掌握的地层变化情况,对粘砂土、粘土及树干、树根含量高的土层以适当增大送风压力的方式通过。

(5)提升结束,桩体形成

搅拌头提升喷粉至桩顶设计标高时,原地喷粉搅拌 30 秒钟后停灰,待搅拌头提至地表时,停止送气,并停机。

整个成桩过程中,应如实、认真地填写施工记录表。

2、施工质量控制

施工质量的好坏,将直接影响到加固效果。因此,每道工序必须按操作规定进行操作。为此,我们做到了如下几点:

(1)水泥、石灰、粉煤灰拌和前应严格称重,按比例投放,并使在灰浆搅拌机内拌和时间不少于 5 分钟。

(2)确实保证喷粉的均匀性。送灰过程中,应时刻观察计量装置上送灰速度的变化,必要时对送灰参数作适当调整。若因地层及其它原因造成喷灰口堵塞而断灰时,提起搅拌头通开喷灰口再次喷粉时,应重复 0.5—1.0m 开始喷粉。

(3)地表 1.0—2.5m 厚地层呈硬塑状,含水量低,对搅匀及桩体硬结不利,可通过复搅及边搅拌边加水的方法解决。

(4)通过控制操作平台的平整度及钻架的垂直度来保证桩体垂直度。

3、质量检查

经对桩龄为 28 天的桩体进行开挖检查,桩群外观整齐,桩体完整直立,桩位及桩顶标高均符合设计要求,桩顶向下 30cm 因搅拌后土质较松,直径为 $\phi 550\text{mm}$,30cm 以下直径变为 $\phi 500\text{mm}$,即达到设计要求,粉体分布均匀,桩体坚硬,搞创困难,经在桩径方向 1/4 处钻孔取芯,芯体完整,强度均一。

(五)常见故障排除

如前所述,场地各土层物理特性纵向变化大。3—5m 及 7—9m 范围内的土层局部含水量低使土粒间连接程度增大,且在泥炭土的局部含有一定量的杂草团、树干、树根等。实践表明,当喷灰速度 $>70\text{kg/分}$ 时,这类地层会造成喷灰口堵塞,还有空气湿度大,加大每延米喷粉量是一般房屋地基加固时喷粉量的 2—3 倍,这些因素也会导致喷粉不畅,现将常见故障及处理措施列于表 2 中。

四、结束语

- 1、采用水泥、石灰、粉煤灰加固泥炭土,由于桩体硬结过程中的吸水作用,提高了桩间土的强度,形成复合地基,因此,比较经济。还因其不具排水固结功能,不需超载预压,因此,工期短,效率高。实践表明,粉喷桩是加固泥炭土的最有效的方法之一。
- 2、能否实现顺利喷粉,将直接影响成桩速度和质量,应在喷粉材料的采购、运输、拌和、装类罐全过程中保证粉体干燥度,粒度符合要求,禁止其它杂物混入。

表 2 喷粉常见故障及处理措施

常见故障	产生故障原因	故障处理措施
搅拌头喷灰口堵塞	1、局部土层含水量低,土粒间连接程度高。 2、供气压力低。 3、杂物阻塞。	1、改进搅拌头,使土体充分切碎。 2、加大供气压力。 3、在灰浆搅拌机和灰罐处加过滤网。
送灰管及钻杆不畅通	1、蝶阀杂物堵塞 2、送灰管及钻杆接头处因空气湿度大导致粉体结壳,直径变小。	1、每成数根桩,清理一次蝶阀。 2、保持固化剂干燥,经常放掉空压机储气罐及气水分离器的积水,必要时串用两支气水分离器。 3、打开接头,清除硬结的灰粉。
送风压力调节困难	1、因误操作,使灰粉反方向流入送气球阀。 2、送风压力表进灰。	1、清理球阀及送风管灰粉,成桩完停止供气时,应先关送气球阀,后关空压机。 2、清理压力表中灰粉,或修理、更换压力表。
送灰器送灰量小	灰罐压力小。	增大灰罐压力,并防止其漏气。

3、粉、土的搅拌效果,通常用土体中任一点经搅拌头搅拌的次数 G 来控制。

即： $G=\frac{n \cdot z}{V} \cdot h$

- 式中 h—搅拌头叶片垂直影响高度
z—搅拌头叶片总数
n—搅拌轴转速
v—搅拌头提升速度

从上式可以看出,搅拌效果除搅拌头本身结构外,在于提升速度与转速的匹配。据《上海

市软土技术处理规范》，搅拌头每提升 15mm 搅拌一圈，便可达到搅拌要求。我们认为在达到种匹配要求及设备能力允许的情况下，可以用提高搅拌头的提升速度并同时加大单位时间内的喷粉量的办法来提高成桩速度。单位时间的喷粉量，可以通过加大灰罐压力（但不得大于 0.43MPa）调整送灰器转速来实现。因为在空压机单位时间送气量一定的条件下，送灰管内粉量越多，管内压力越大，所以在提高成桩速度的同时，还因管内压力大，而减少了喷灰口堵塞的可能性。

参 考 文 献

- [1] 龚主华等：《岩土工程施工方法》，辽宁科技出版社，1990 年。
- [2] 黄俊、蒋忠信：《南昆线七甸泥炭土的工程地质特征及加固措施》。铁路路基科技动态报告文集，1993 年。

第五届国际重载运输会议

第五届国际重载运输会议是 1993 年 6 月 6 日至 10 日在北京喜来登长城饭店召开的。此次会议由中国铁道学会主办，国际重载运输协会、中国铁道科学研究院和北京铁路局协办。

国际重载运输协会原名国际重载运输顾问委员会，1985 年正式成立时改为现名。协会目前有中国、美国、加拿大、澳大利亚和南非五个会员国。中国铁道学会 1985 年代表中国参加了该协会，曾担任过理事、副主席，在今年召开的理事会会议上，当选主席。该协会每年召开一次理事会和一次专题学术研讨会，每四年召开一次大会。第一届于 1978 年在澳大利亚的佩斯召开，第二届于 1982 年在美国的科罗拉多召开，第三届于 1986 年在加拿大的温哥华召开，第四届于 1989 年在澳大利亚的布里斯班召开，1993 年，第五届大会在北京召开，第六届将于 1997 年在南非召开。

出席第五届国际重载运输会议的代表有 240 余人，其中中方代表 70 余人，外方代表 170 余人。他们分别来自中国、美国、加拿大、澳大利亚、南非、英国、法国、日本、韩国、香港、印度、奥地利、德国、瑞典、瑞士、荷兰、菲律宾、巴西、马来西亚、新加坡、泰国、俄罗斯、伊朗和西班牙等 24 个国家和地区。

大会共征集论文 68 篇，其中中国的 21 篇。会议代表分三个小组进行了分组报告和讨论，主要讨论了重载铁路在管理、工务、机务等方面面临的问题。一是重载运输的本质，认为重载运输必须结合大宗货物和商品运输，为各类市场和顾客服务。二是强调了重载运输的运营管理人员一定要提高服务质量，要创造性地工作，提高重载运输的效益与安全。三是会议认为铁路的基本建设不能同运营管理分开，轮轨关系必须整体考虑，要综合考虑技术进步。四是要重视发挥人的潜力。会议交流了信息，互通情况，对我国发展重载运输有重要作用。

（张雄）