

杭州机场高速铁路软基布袋注浆桩质量控制与检测实践

闫 斌

中铁十五局集团第二工程有限公司 上海 201714

【摘要】：钱塘区和萧山区的软土分布范围广，土层的压缩性大、承载力低，属于铁路工程中常见的不良地质情况。杭州机场高铁站前四标钱塘动车存车场采用布袋注浆桩技术处理软土地基，通过对该工程实践的阐述来论述布袋注浆桩施工工艺流程、施工全流程质量控制要点、原材料、成孔、注浆、成桩等重要工序的控制标准、成桩检测方案的制定。从现场检测结果可以看出，按照严格的质量控制手段执行之后，桩身强度、单桩承载力和复合地基承载力都达到了设计规范所规定的要求。该工艺可以用于沿海冲海积平原软土地基的加固工程，在铁路工程软基处理中有较好的应用前景。

【关键词】：铁路软基；布袋注浆桩；质量控制；桩基检测；地基加固

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.086

引言

常规软基处理技术的施工扰动大、加固不均匀、后期沉降难以控制等缺点，常规软基处理技术施工扰动大、加固不均匀、后期沉降难控。布袋注浆桩属于一种新的加固软基的技术手段，用土工布袋来限制注浆浆液的注入，固化之后形成规则的柱状桩体，可以明显提高地基的整体性和承载能力，具有施工方便、扰动小、防渗性好的特点。本文通过施工现场的地质条件和施工技术为基础，在杭州市高铁站前第四工地对钱塘动车存车场大面积软土工程实施质量管理检测并控制加固效果，总结出现场施工过程中软土工程应用方案，在此基础上对工程施工过程中的软土工程检测情况进行了研究，最终得出适合杭州软土区的软土工程实践经验。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

杭州机场高铁站前四标线路总长 11.480 公里，线路经过钱塘区和萧山区，线路内有桥梁、隧道、路基等施工结构，其中钱塘动车存车场布置了大量的布袋注浆桩。本工程施工布袋注浆桩总施工桩数为 8345 根，两段分别计算，合计 8345 根。桩体直径为 0.4 米，桩长为 24 米，桩间布置为正方形，间距 1.5 米。桩身上部荷载 188 千牛、下部荷载 151 千帕。桩顶设垫层，垫层厚 0.6 米，为碎石、中粗砂分层铺填，垫层内设双层土工格栅，桩顶设钢筋混凝土桩帽。

1.2 施工设计参数

桩体混合料养护到 28 天以后，无侧限抗压强度大于等于 5.0 兆帕。土工布袋使用的是长丝有纺土工布，抗拉强度、顶破强力等都符合规范要求。注浆管材用专用 PPR 管，管壁留注浆孔眼，控制阀保证注浆稳定。浆液用水泥和粉煤灰混合料，掺入一些膨润土防止浆液沉淀。

2 布袋注浆桩施工工艺流程

按照工程现场实际情况本次施工采用了标准化的工序，施工分为施工准备阶段、成孔作业阶段、布袋入土阶段、压力注

浆阶段、成桩收尾阶段五个部分，各环节不存在因工序间的空档而产生的质量问题。

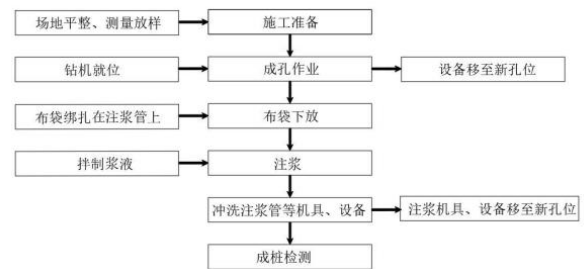


图 1 施工工艺流程图

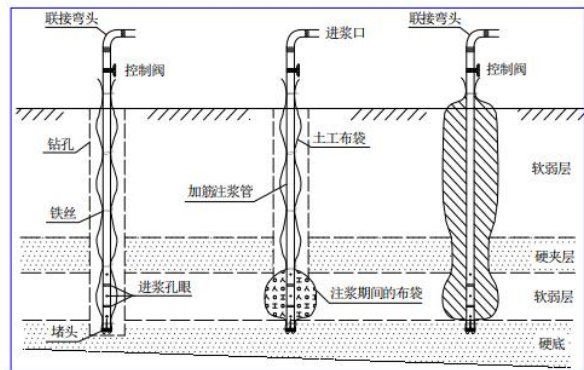


图 2 布袋注浆成桩加固立面示意图

2.1 施工准备

施工前完成技术、场地、物资、人员的全部准备。技术上对桩位放样进行复核，施工人员进行技术交底，工艺参数及质量标准予以明确。场地平整清场、开挖排浆沟槽、设置沉淀池，施工废水经沉淀后回用，不致于造成污染。物资层面上对水泥、粉煤灰、土工布袋等原材料进行严格的检验，不合格的材料不得进场。人员层面组建专业的施工班组，明确各个管理人员以及作业人员的岗位职责，所有特种作业人员必须持有相应的资格证书才能上岗。

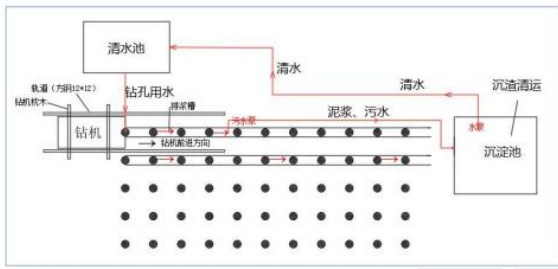


图3 布袋注浆场地浆液循环示意图

2.2 成孔作业

选用地质钻机进行成孔施工，钻机安装在轨道上，在施工前需要对钻机水平度进行校准，并固定好设备防止施工时发生偏移。钻孔时按均匀速度转动摇杆旋转钢丝钻，经常观测土层的变化情况，做好施工记录。钻孔的垂直度误差不能大于百分之一，成孔的深度误差不大于正负一百毫米。容易出现塌方和软土地基的部位就用泥浆循环护壁。成孔完成后检测孔深，孔深合格后进行下一道工序。

2.3 布袋下放

成孔验收合格后，及时下放绑扎完成的布袋和注浆管。布袋先在注浆管外侧固定好，底部加绑扎防止漏浆，中间每隔一定距离加绑扎点保证布袋平顺入孔。将布袋下放到设计的桩底位置，管体上面部分高出地面不少于0.5米，保证桩顶的成形质量。下放时不能大力拉扯，防止布袋破损、移位。

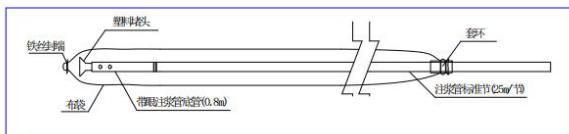


图4 套有布袋的注浆管总成示意

2.4 压力注浆

注浆分为浆液拌制、加压注浆、同步拔管、补浆封口四个过程。按照规定的比例拌合浆液，保持浆液不离析，过滤杂质后存放在储料设备里。注浆压力控制在0.2-0.6兆帕之间，注浆速度保持在每分钟50-65升左右。注浆到一定的深度后匀速拔管，拔管速度控制在每分钟0.4~0.5米，浆液填充均匀。孔口浆液回落后再做一次补浆，直到浆液稳定溢出孔口，保证桩体密实无空洞。单桩完成之后立马清理出注浆设备上的杂物，以免造成管道堵塞。

3 施工全过程质量控制措施

3.1 原材料质量控制

原材料质量影响桩体成型效果，必须有严格的原材料控制制度。水泥采用普通硅酸盐水泥，强度等级不低于42.5。粉煤灰等级不低于二级，控制烧失量和细度指标。土工布袋必须严格控制其物理性能，保证土工布具有优良的抗拉、防渗、抗破

损能力，不得使不合格的土工布袋进入施工现场使用。拌合用水采用干净的淡水，不得使用受污染的水。所有原材料进场时查验质量证明文件，按照规定抽样送检，检测合格后方可使用。

3.2 成孔工序质量控制

成孔阶段主要是控制好孔位、垂直度和孔深这三个方面。使用高精度测量仪器来放样桩位，孔位偏差不能大于50毫米，桩间距误差应控制在正负100毫米以内。施工前进行钻机的水平校正，钻进过程中随时观察垂直度是否合格，防止出现倾覆现象。严格按照设计标高控制孔深，用钻杆测量和测绳检测相结合的方式进行检查，防止孔深不够的现象发生。当软土地段出现钻孔坍塌的时候，增大泥浆的黏度来降低钻进速度，从而保持孔壁的完整。

3.3 布袋安装质量控制

布袋为约束浆液、形成规则桩体的主体构件，绑扎、下放均须慎重。底端设置两根马凳以防止漏浆，中间各处均匀打孔。下放作业要保持平稳匀速，不得碰到孔壁造成损坏。下放完毕后检查布袋的位置，保证桩顶、桩底位置符合设计要求，保证桩体外形规整、直径合格。

3.4 注浆工序质量控制

注浆是控制桩身成孔质量的主要工作，注浆控制的内容主要是注浆浆液的组成及水灰比、钻孔注浆的压力大小及注浆连续性。严格按照试验所确定的配合比拌制浆液，准确地控制各种材料的用量，浆液的粘度、比重、析水率控制在规范范围内。遵照先稀后浓、慢速均匀的原则，按照土层性质调整注浆压力，防止压力过大而使布袋被撕裂，或者压力太小而使桩体疏松。全程连续注浆，不得有中途停止现象，注浆量、注浆压力、注浆时间等施工参数要同时抄写在记录上并保存现场施工资料。

3.5 施工管理制度管控

创建分部经理、总工、技术员、施工班组质量责任制，签订质量责任状。三检制度实行以后，自检、互检、专检完成以后才能进入下一道工序。定期召开质量例会进行施工隐患的检查，改善施工工艺。严格按照技术交底制度实行，施工前确定控制标准，施工中开展现场巡视，施工后就质量缺陷做回访工作，最后创建起一个闭环式管控体系。

4 成桩检测方案与检测结果分析

4.1 检测依据与检测内容

本次检测严格按照铁路路基工程施工质量验收标准、地基处理技术规程等行业的相关规定以及本项目特有的验收标准进行检测工作。检测内容为原材料复检、浆液性能检测、桩体外观检查、桩身强度检测和承载力检测等内容，在各方面的保证上保证成桩的质量，并评价地基加固的效果。

4.2 现场检测方法

4.2.1 施工过程中抽样检测

施工过程中每班随机取浆液试样进行浆液比重、粘度、析水率的检测,核对拌合质量。对进场的原材料进行抽样检验,确保全部进场的材料都具备有效的合格证及复检报告。指定专人负责施工数据的记录、资料的整理工作,施工资料是后期质量验收的依据。

4.2.2 浅层外观检测

成桩养护七天以后,从有代表性的桩体上挖取桩头,直接观察桩体表面、直径、间距,查验桩体成型的完备性,察看有无断桩、缩径、变形等质量不合格情况,马上寻找施工异常的问题。

4.2.3 钻芯强度检测

成桩养护二十八天之后,用钻孔取芯的方式对桩身进行检测,来判定桩身的强度。在桩体中心部位钻成贯穿全高的孔,将获取的芯样按长度分三段,每一段取一个试样做无侧限抗压强度试验来检测桩身的固化强度,看是否达到设计标准。钻芯完成后用水泥砂浆填灌到孔内,防止地基出现渗水现象。

4.2.4 承载力载荷试验

采用平板载荷试验的方法来确定单桩的承载力以及复合地基的承载力,选择不同的施工区段作为试验桩体,在模拟工程实际受力工况的情况下观察桩体的沉降和受力变化情况,从而判断地基的承载能力和沉降控制的效果。

4.3 检测结果分析

本次检测的样本量很多,全部满足规范规定,浆料配合比均匀,各项指标稳定。浅层开挖的检测结果可以发现,桩身外形规则,直径、间距和垂直度等偏差均在合格范围内,无缩径、断桩、破损等现象的发生。从钻芯试验结果可以得知,本工程桩芯混凝土的完整性和质量比较好,桩体二十八天无侧限抗压强度都大于等于 5.0 兆帕,满足设计要求。

根据承载力试验结果可知,单桩的承载力最大值比设计值大,复合地基的承载力不低于 151 千帕,工后沉降量控制在十厘米之内,地基沉降均匀,没有出现明显的不均匀沉降。经由对本次所建的布袋注浆桩施工整体检测可知,此次所建的布袋

注浆桩施工质量合格,软土基础的加固效果满足工程的设计要求,对铁路路基的长期稳定运行有保障。

5 施工常见问题及处理对策

5.1 孔壁坍塌问题

施工区是淤泥质土,土质松软、容易塌落。施工过程中使用改良泥浆,控制泥浆的密度、粘度等各方面参数,加快出渣速度,减少土体扰动。如果出现轻微塌孔,立即补足泥浆加固孔壁,塌孔严重的要回填土体静置一段时间后再成孔。

5.2 布袋破损漏浆

布袋质量不良、下放时的磕碰、注浆压力过大均会造成布袋破损、漏浆。施工前对布袋进行严格的筛选,做好防护工作,下放过程中均匀缓慢进行。注浆压力不能太大也不能太小,防止压力突然升高或降低,发现漏浆立即停止注浆,找出破损位置,更换布袋重新施工。

5.3 桩体密实度不足

浆液拌合不均匀、拔管速度过快、补浆不及时会造成本土桩体内部空洞、密实度不够。施工过程中不间断的进行搅拌浆液、控制拔管速度,浆液回落后及时补充浆液,保证浆液能够全部填充至布袋内。注浆结束后的封堵孔口可减缓浆液的流出,提高桩体的密实度。

6 结论与展望

6.1 结论

本文以杭州机场高铁软基处理工程为实践对象,证明了采用布袋注浆桩工艺处理沿海冲海积平原软土层技术是可行的,具有良好的技术经济和社会效益。对原材料、成孔、布袋安装、注浆等主要环节加以控制,创建起系统的质量监督体系之后,可以大幅度提高成桩质量。经过现场检测可以得到,桩体的强度、承载力以及沉降等指标符合铁路工程设计标准,地基加固效果较好。

相对于传统的软基处理工艺来说,布袋注浆桩施工扰动小、成型规整、防渗性强,施工流程简捷,适合大面积、大批量的施工,综合经济效益好。施工过程中产生的废水可以循环使用,扬尘和噪声污染能够控制,符合绿色施工的要求,适合城市周边的铁路工程。

参考文献:

- [1] 张国栋.铁路站场软基布袋注浆桩加固施工关键技术与质量控制[J].交通科技与管理,2026,7(06):88-90.
- [2] 彭仪普,汤致远,邓湘洋,等.软土地区布袋注浆桩复合地基承载性状分析[J].建筑科学,2024,40(07):148-156.
- [3] 彭仪普,汤致远,邓湘洋,等.布袋注浆桩复合地基固结方程解析解[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2023,39(04):604-614.
- [4] 方仁啟,任军朝.铁路路基工程中的布袋注浆桩施工技术及其成桩特性分析[J].科学技术创新,2023,(11):167-170.
- [5] 左坤,徐林荣,赵新益,等.高速铁路夹硬层软基布袋注浆桩加固技术研究[J].铁道建筑,2017,(02):95-101.