

布袋注浆桩在深厚层软土地基加固中的应用

董文 叶春林

(铁道第四勘察设计院, 湖北武汉 430063)

【摘要】 布袋注浆桩是一项新的软土地基加固技术, 应用于深厚层和夹硬层的软土加固, 具有明显的优势。结合甬台温铁路深厚层软土地基加固, 介绍了布袋注浆桩的加固机理、设计、施工、质量检测方法和标准等。检测结果表明, 布袋注浆桩成桩质量良好, 加固后, 地基沉降得到有效控制, 满足设计要求。

【关键词】 布袋注浆桩; 深厚层软土; 地基加固; 铁路

【中图分类号】 TU 213; TU 472

Application of Bag-grouting-pile in Strengthening Deep Thick Softsoil

Ding Guangwen Ye Chunlin

(The Forth Survey and Design Institute of the Railway, Wuhan Hubei 430063 China)

【Abstract】 Bag-grouting-pile is a new technique to improve softsoil, it has obvious advantage to improve the deep thick or forcedly interlayer softsoil. Based on the case of the softsoil improving in Yong-Tai-Wen railway engineering project, the mechanism, design and construction of this new technology are introduced.

【Key word】 bag-grouting-pile; deep thick softsoil; foundation improvement; railway

0 引言

高标准铁路对路基沉降控制标准提出了更高的要求, 而对于深厚层软土, 在目前的技术条件下, 单纯的采用排水固结或复合地基进行处理, 确实造价较低, 但很难满足路基沉降和稳定要求; 在夹硬层软土地基条件下, 其他常规的地基加固措施明显地存在一定的技术缺陷, 无法穿越硬夹层, 加固夹层以下软土, 达不到路基沉降控制标准。一般主要是以桥代路或采用旋喷桩、钻孔桩、桩网复合结构等工程造价很高的地基加固措施。

在深厚层或夹硬层软土地基上修建各类建筑物已日益广泛, 新建客运专线铁路——甬台温铁路, 地处浙江沿海, 沿线软土广泛分布, 许多地段分布夹硬层(卵砾石)的深厚层软土(40~55m)。在此软弱地基上修建高标准铁路, 软土地基的工后沉降控制成了整个工程的难点和重点, 直接决定工程的成败、造价和工期, 成为工程应用成败的关键, 寻求该类软土经济有效的加固技术具有重要意义。

为解决深厚层或夹硬层的软土处理这一难题, 探索经济有效的加固技术, 笔者结合新建甬台温铁

路, 对夹硬层的深厚层软土地基特性进行了深入研究, 对其加固方法进行了综合分析比较, 选用布袋注浆桩进行处理; 同时, 对布袋注浆桩加固软土技术进行了专题研究, 得到其加固机理、设计计算方法、质量控制及检测方法等研究成果, 并在甬台温铁路台州南站、温岭站及乐清车站大量分布卵砾石夹层的软土地基首次采用了布袋注浆桩加固, 节省大量的软土地基处理费用。本文结合台州南站路基特点, 对其应用情况加以介绍。

1 台州南站工程地质条件

1.1 地形地貌、地层岩性

台州南站位于浙江省台州市, 冲海积平原地貌, 地形平坦开阔。根据钻探揭示, 其地层主要特点为软土层很厚(一般 30~45m), 且软土中夹有 1~2 层角砾土或细圆砾土等硬层。依照《铁道工程地质勘察规程》其地层从上至下依次描述如下:

- ①黏土, 软塑, 厚 0~2.0m;
- ②₁ 淤泥, 流塑, 厚 0~4.0m;
- ②₂ 黏土, 硬塑, 厚 0~8.1m;
- ②₃ 淤泥质黏土, 软~流塑, 厚 4.2~26.8m;
- ②₄ 角砾土, 稍密, 饱和, 厚 0~2.3m;
- ③黏土, 硬塑, 厚 2.6~26.0m;

③₁ 细圆砾土, 稍密, 饱和, 厚 0~6.3 m; ③₂ 淤泥质黏土, 软塑, 厚 0~25.0 m; ③₃ 黏土, 软塑, 厚 0~31.3 m; ③₄ 细圆砾土, 中密, 饱和, 厚 0~4.9 m。

1.2 地基土主要指标(见表 1)

表 1 地基土主要指标表

地层	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	黏聚力 C_u / kPa	摩擦角 $\varphi_u / (^\circ)$	压缩模量 E_s / MPa
①黏土	17.5	12.85	2.45	4.2
② ₁ 淤泥	16.54			2.07
② ₂ 黏土	19.17	27.14	9.77	5.4
② ₃ 淤泥质黏土	18.23	16.96	3.36	3.91
③黏土	19.23	34.32	12.41	7.5
③ ₂ 淤泥质黏土	18.5	27.01	6.36	4.26
③ ₃ 黏土	18.8	31.7	10.71	7.05

2 加固方案选择

软土地基加固方法主要采用^[1-4]：深层搅拌桩、塑料排水板、CFG 桩、桩网结构(管桩)等。在硬层软土地基条件下, 一般常规的地基加固措施均不能穿越卵砾石夹层, 造成硬夹层以下软土无法加固, 不能满足客运专线、高等级公路、堤坝、房屋工程对沉降控制的要求。而采用旋喷桩、钻孔灌注桩进行地基加固, 工程造价很高。

布袋注浆桩以其桩体性能稳定、施工方便、造价低等优点, 适宜加固硬夹层之间或夹层以下软土。其主要特点如下:

1) 布袋注浆桩可与土层组成复合地基, 加固软土效果明显。浆液在布袋内成桩, 易形成较规则的注浆体, 桩体质量易得到保证; 布袋的隔离、排水、加筋作用, 有利于增加土体的强度。在软硬互层的软土地基处理中, 加固效果更加明显, 具有很高的推广价值。

2) 借助钻孔施工, 可穿越硬夹层, 至地层深处, 施工方便。先成孔, 然后将装好注浆管的布袋放到孔内, 再进行注浆。成孔直径小, 可采用小型设备施工, 易穿越卵砾石等障碍物, 并可灵活选择加固层位, 施工方便。

3) 造价低。所需材料主要为土工布袋、水泥等, 施工设备主要为成孔及注浆等常规设备, 工程造价低。

3 布袋注浆桩加固地基的机理

布袋注浆桩是以土工织物袋和注浆浆液形成似圆柱状硬化体来加固土体, 是软土注浆技术和土工织物综合应用而成的新技术, 由注浆芯管、土工布袋(或塑料编织袋)、水泥混合浆液组成(见图 1)。

施工时采用工程钻机或振动成管成孔, 然后将已套好布袋的注浆芯管放入孔内。用压力注浆泵把

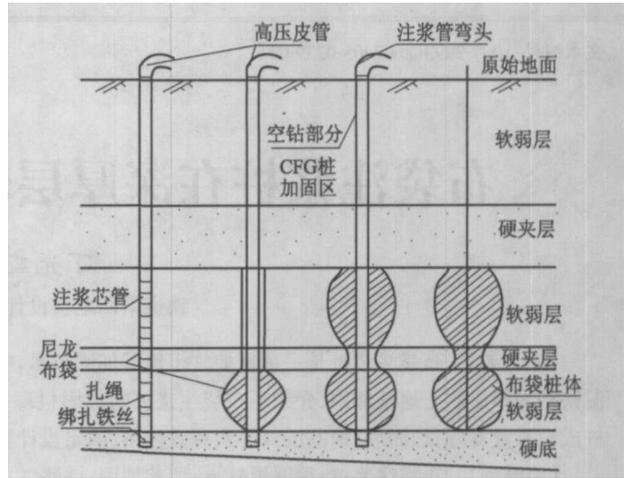


图 1 注浆布袋桩加固原理图

水泥混合浆液从芯管顶部的注浆口中注入, 通过芯管下部的出浆孔进入布袋内, 在注浆压力的作用下, 布袋自下而上逐渐膨胀。当布袋充盈后, 浆液压力瞬时提高, 孔壁附近土体受到挤压致密, 使桩孔直径略为扩大, 同时在孔壁土体的侧限约束下浆液在布袋内受压成形。当注浆体完全固结后, 经自然养护至预定强度, 整个桩就形成了一圆柱状或葫芦串状桩体, 直径一般为 30~40cm。它与土层组成复合地基, 达到加固土体, 提高土体承载力的作用。

此外, 布袋也对加固土体起到良好的作用, 其功用如下:

1) 排水作用。布袋可以形成排水通道, 当土体中存在超孔隙水压力时, 土中的水沿着织物排出土体, 加速土体的固结, 对土体压密有利。此外, 注浆布袋的渗水性, 在受到浆液压力时, 能将浆液中较稀的部分从布袋内排出, 降低布袋内水灰质量比, 从而加速凝固, 得到高密度、高强度的硬化体。

2) 隔水作用。浆液在布袋内的压力大于布袋周围的被动土压力, 布袋的隔离作用使浆液体可通过膨胀布袋压密土体, 形成较规则的注浆体。

3) 加筋作用。由于布袋的抗拉强度较高, 能使注浆布袋桩起到加筋土体的作用, 增加了土体的稳定性。

4) 加固作用。在软弱土层中, 布袋注浆桩挤密了土体, 增加了土体的抗压强度, 减少了土体压缩变形及地基沉降量。

由于土工织物袋的排水、隔离、加筋等特性, 与常规的压密注浆相比, 注浆布袋桩的压密效果更优, 施工易于控制, 而且比压密注浆技术更经济合理。加固机理见图 1。

4 设计

客运专线铁路软土路堤工后沉降控制值: 正线为

$\Delta s \leq 15 \text{ cm}$, 沉降速率 $< 4 \text{ cm/年}$; 桥路过渡段 $\Delta s \leq 8 \text{ cm}$ 。

考虑列车荷载时最小稳定安全系数不小于 1.15, 不考虑列车荷载时最小稳定安全系数不小于 1.25。

台州南站路基经稳定和沉降检算, 夹层以上软土采用 CFG 桩加固。CFG 桩桩径 0.5 m, 桩长以桩底嵌入硬层深度 1~2 m 控制, 单桩设计长 9~33 m; 桩位平面布置以复合地基承载力和圆弧稳定检算确定, 桩间距 1.6 m, 呈正方形布置。

卵砾石夹层中间及下部软土地基采用布袋注浆桩加固, 桩径 0.4 m, 桩长以桩顶、桩底嵌入硬层 $> 0.5 \text{ m}$ 计算, 设计桩长 10~26 m; 桩位平面布置以复合地基沉降检算确定, 桩间距 1.6 m, 呈正方形布置。轴心抗压强度设计值: $f_{cu} = 2.4 \text{ MPa}$ (见图 2)。

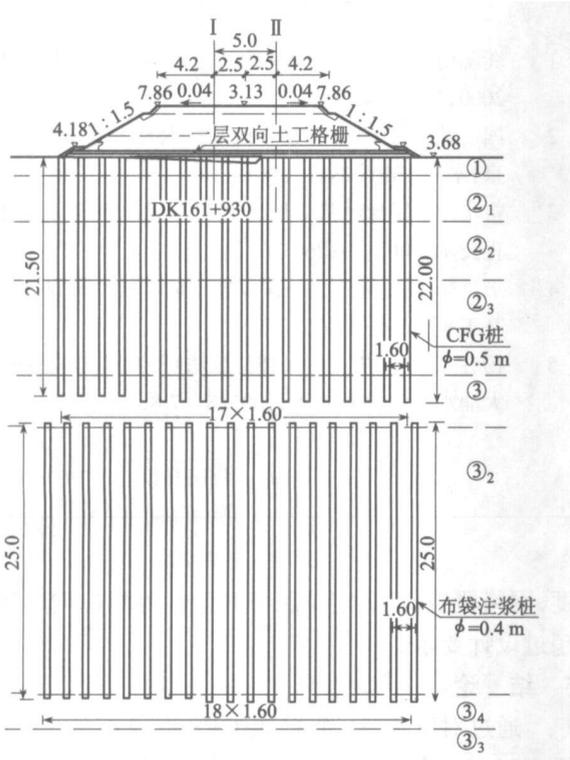


图 2 布袋注浆桩布置图(单位:m)

在台州南站设计布袋注浆桩 2.8 万根, 57 万延米, 布袋注浆桩单价约 50 元/m, 预应力管桩 180 元/m, 价差约 130 元/m, 仅台州南站采用布袋注浆桩, 可节约投资 7400 多万元, 降低了工程造价。

5 桩基施工

布袋注浆桩施工分: 桩位放样、成孔、注浆、成桩检测等阶段。施工要点如下。

5.1 成孔施工

成孔设备一般采用旋转式钻机或者振动成管设

备。设计要求开孔直径 $\geq 89 \text{ mm}$, 现场施工控制在 160 mm, 以利于注浆管及布袋顺利送入孔内。钻孔深度为地基处理深度。

5.2 注浆工艺^{[9]①}

注浆工艺流程大致分为: 将水泥、粉煤灰与水置于搅拌机内拌和、搅拌贮浆、浆液通过液压泵压入注浆管、布袋膨胀成桩等几个环节。其工序如下:

1) 将符合设计深度的土工织物袋套在注浆塑料管外, 两端用铁丝扎紧, 以保证注入袋内的浆液不从两端溢出。2) 每隔 50 cm 左右用扎绳将布袋扎牢, 然后连同塑料管一并放入已钻好的孔内。3) 通过注浆泵将搅拌好的浆液自下而上逐节压入, 注浆量应大于布袋套体积。随着浆液的逐节压入, 使整条布袋以塑料管为轴心形成一个形似圆柱状的长桩。

5.3 布袋注浆桩的施工参数

1) 注浆量: 注浆量根据布袋成桩后的体积计算。布袋桩直径 0.4 m, 成桩后桩径 0.45 m, 桩长 25 m, 成桩体积 $V = 3.98 \text{ m}^3$, 相应注浆量为 3.98 m^3 。

2) 注浆流量, 注浆流量恒定为 15 L/min。

3) 注浆压力: 注浆布袋桩的注浆压力必须大于地层的被动土压力, 否则达不到布袋膨胀的目的。据计算, 埋深为 25 m 处土层, 被动土压力 225 kPa, 埋深为 50 m 处土层, 被动土压力 450 kPa。

4) 浆液性能: 现场必须严格按照实验的配合比拌制浆液。浆液配方可由水、膨润土、粉煤灰、水泥、KA1 (添加剂)、KA2 (添加剂) 等组成。浆液基本性能应达到如下标准: 黏度 30~35 s, 密度 1.4~1.5 g/cm³, 析水率 $< 3\%$, 单轴抗压强度 $> 2.4 \text{ MPa}$ (龄期 7 d), 气温较高时进行注浆施工应考虑少放 KA1。

试验室配比试验数据: 水灰质量比 0.7, 粉煤灰 45%, 水泥 55%, 黏度 32 s, 密度 1.45 g/cm³, 单轴抗压强度 3.7 MPa (龄期 7 d)。

6 桩基检测与加固后效果

6.1 布袋注浆桩的成桩检测

1) 布袋注浆所用的水泥和外掺剂品种、规格及质量要符合设计要求。

检验方法: 检查产品质量证明文件及抽样检验。

2) 浆液要严格按设计要求和实验选定的配合比拌制, 制备好的浆液要均匀, 不得离析。

检验数量: 施工单位每班对现场拌浆液要有 3 次以上随机抽样, 并交有关试验部门测试各项指标。

检验方法: 观察, 并用浆液比重计检测浆液密度。

① 上海隧道工程股份有限公司. 柱状布袋注浆工法. 2004.

3)布袋注浆桩的完整性、均匀性、单轴抗压强度
 检验数量:施工单位抽样检验桩总数的0.5%,
 且不少于3根。

检验方法:成桩7d后,垂直钻孔取芯检测,观察其完整性、均匀性,水泥结石7d强度不小于2.4MPa。

地基处理完工后分别进行了桩体强度试验和复合地基单桩试验,试验结果表明,布袋注浆桩桩体强度均大于2.4MPa,满足设计要求。

6.2 布袋注浆桩的加固效果检测

施工期间对路基面、路基基底的沉降,路基坡脚的位移进行了监测,测试结果显示,路基沉降与位移值均在设计要求范围内,表明地基采用布袋注浆桩及CFG桩处理后,其稳定和沉降满足设计要求。

7 结论

柱状布袋注浆桩除桩体本身具有一定的强度外,由于土工织物袋的排水、隔离、加筋等特性,与常规的压密注浆相比,注浆布袋桩的压密效果更优,提高桩间土的强度,与土层组成复合地基,达到加固土体,提高土体承载力的作用。从实际注浆量与设计对比分析,笔者认为,在需要布袋注浆桩加固的流塑软土层能很好地撑开布袋,起到加固作用;在不需布袋注浆桩加固的硬塑土层,也能部分撑开布袋。取芯试验检测结果表明其成桩质量满足设计要求;

从沉降观测结果来看,地基沉降得到有效控制。

1)布袋注浆桩,易形成有规则的桩体,质量可靠;施工设备均为常规机具,施工方便;

2)柱状布袋注浆桩对桩间土具有挤密效应,增加桩间土体强度,易与土层组成复合地基,达到加固地基的作用;

3)在夹硬层软土加固中,软土地段注浆浆液能较好的撑开布袋,在硬夹层地段,也能部分撑开布袋,形成葫芦桩桩体,符合加固软弱层的意图。

在深厚层软土地基特别是夹硬层软土加固中,采用布袋注浆桩设计是合理的,施工工艺是先进的、可行的,具有可操作性,便于推广应用。

参 考 文 献

- [1] 龚晓南. 有关复合地基的几个问题[J]. 地基处理 2000, 11(3): 42-48.
- [2] 闫明礼, 等. CFG桩复合地基技术及工程实践[M]. 北京: 水利水电出版社, 2001.
- [3] 雷华阳. 复合地基应用进展和发展趋势[J]. 岩土工程技术, 2002(5): 260-264.
- [4] 王攀, 等. 高速公路深厚软土地基处理研究[J]. 路基工程, 2006(2): 65-67.
- [5] 杨春来, 李国栋. 用布袋注浆法巧治小煤矿立井井筒大涌水[J]. 建井技术, 2005(8): 7-8.

收稿日期: 2007-07-05

(上接第229页)

4.4 通过对测试的数据进行处理、分析、统计得到如下结果:

1)检测网内符合精度 X 方向为 0.006 m, Y 方向 0.010 m, 平面为 0.012 m, 高程 H 方向 0.012 m。

2)检测网内外符合精度 X 方向为 0.013 m, Y 方向 0.016 m, 平面为 0.021 m, 高程 H 方向 0.024 m。

3)检测网外内符合精度 X 方向为 0.007 m, Y 方向 0.008 m, 平面为 0.011 m, 高程 H 方向 0.014 m。

4)检测网外外符合精度 X 方向为 0.015 m, Y 方向 0.017 m, 平面为 0.023 m, 高程 H 方向 0.028 m。

5)整网内符合精度 X 方向为 0.006 m, Y 方向 0.010 m, 平面为 0.012 m, 高程 H 方向 0.012 m。

6)整网外符合精度 X 方向为 0.013 m, Y 方向 0.017 m, 平面为 0.021 m, 高程 H 方向 0.033 m。

根据设计要求, 点位水平精度 1~5 cm, 垂直精度 3~10 cm。综上所述, 整网内符合精度、外符合精

度, 网络覆盖范围、定位服务时效性等指标均达到或超过设计要求。

5 结 论

通过对网内 51 个 C 级 GPS 点及网外 11 个 C 级 GPS 点的测试, 并对所有点的三维坐标进行精度比较分析, 认为网内精度较高, 网外点也能达到设计要求, 甚至网外点距最近基站的距离小于 25 km 的条件下, 精度也能满足设计要求。因而系统设计是科学的、合理的; 系统建设采用联合共建, 一网多用、信息共享的设计思路是可行的, 符合当前信息化建设要求。可节省大量人力、物力和财力, 具有较好的经济效益与社会效益, 也具有推广价值。

参 考 文 献

- [1] 王平. 虚拟参考站—GPS网络RTK技术[J]. 测绘通报. 2001(增刊): 4-5.

收稿日期: 2007-08-16