

水泥搅拌桩在川藏铁路成雅段软基处理中的应用

杜耀斌

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川成都 610065)

摘要:水泥搅拌桩是软基处理的一种有效措施。介绍了水泥搅拌桩自动喷浆成桩施工过程中的施工准备、试桩、工艺流程、技术参数及要求、施工控制和质量检验等内容。

关键词:川藏铁路;软基处理;水泥搅拌桩;喷浆;地基承载力

中图分类号:U215.1;U215.7;U213.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)增2-0001-04

水泥搅拌桩是软基处理的一种有效措施,是将水泥作为固化剂的主剂,利用搅拌桩机将水泥喷入土体并充分搅拌而使水泥与土发生一系列物理化学反应,使软土硬结进而提高地基强度。

水泥搅拌桩利用钻机带有喷嘴的注浆管钻至土层的预定位置或先钻孔,然后将注浆管放置到预定位置后以高压使浆液从喷嘴中射出、边旋转、边喷射浆液,将土体与浆液搅拌混合形成固结体。施工采用单独喷出水泥浆的工艺称为单管法;施工采用同时喷出高压空气与水泥浆的工艺称为二管法;施工采用同时喷出高压水、高压空气及水泥浆的工艺称为三管法。传统施工工艺主要有“二喷二搅”、“二喷四搅”等。笔者依托川藏铁路成雅段工程水泥搅拌桩施工,对水泥搅拌桩自动喷浆成桩过程中的工艺、质量要点、重点进行了介绍和阐述,为确保成桩质量,针对雅安地区的特殊气候条件(该地区素有“华西雨屏”、“西蜀天漏”和“雨城”之称)、结合现场实际施工、成桩效果(成桩效果与土体含水率有关),提出了“四喷四搅”施工工艺(即四次搅拌,四次喷浆),并对桩身质量进行了检测和评价。

1 川藏铁路成雅段工程概况

新建川藏铁路成都-雅安段站前工程位于四川省雅安市境内。该标起点桩号为D1K111+477.82,终点桩号为D3K138+020,线路长度为25.907 km。线路长、工程地处山区丘陵地带,地形起伏较大,植被茂密,沿线经过鱼塘、水田、菜地等不良地段较多。为确保路基主体工程施工填筑质量,使路基填筑后不发生整体沉降等缺陷,最终

决定采用水泥土搅拌桩进行处理。该线路设计水泥搅拌桩共108 048根,合计628 521 m,施工范围较广,工程量较大。

该段上覆第四系全新统坡洪积层软土、黏土,坡残积层黏土。下伏基岩为下第三系名山群(E)泥岩夹砂质泥岩。各地层岩性描述如下:

(1)软土(Q_4^{dl+pl}):褐黄、灰黄色,软塑状,局部夹淤泥质粉质黏土,分布于沟槽及水田表层等处,厚度为0~8 m不等。

(2)黏土(Q_4^{dl+pl}):褐黄、褐灰色,硬塑状,质较纯,分布于段内河流二级阶地表层,厚0~3 m。

(3)泥岩夹泥质砂岩(E):棕红、紫红色、青灰色等,泥质结构,以薄层~中厚层为主,节理较发育。泥岩易风化剥落,具弱膨胀性,遇水易软化、崩解,失水收缩、开裂,岩石裂隙较发育。该地层含石膏,钻探岩芯多见石膏及石膏溶蚀后留下的孔洞。全风化(W4)带一般厚0~4 m,强风化(W3)带一般厚0~4 m,取芯以碎块状为主,少数柱状岩芯岩质较软,具体地层物理力学指标见表1。

2 水泥搅拌桩的作用原理及适用范围

水泥搅拌桩法是利用压缩空气将水泥浆、水泥粉等固化剂喷入软土地基中,采用搅拌机械将软土和固化剂强制搅拌使其产生一系列物理化学反应而形成的一定强度桩体,与桩间软土一起形成复合地基以起到提高地基承载力、增强路基稳定性与减少地基沉降的作用。

水泥搅拌桩法适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、粘性土以及无

收稿日期:2017-04-29

表 1 浅层地基土层的分布及主要物理力学指标表

土层	厚度 /m	$\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	C_u / kPa	内摩擦角 φ_u	σ_0 / kPa	E_s / MPa
软土 (Q_4^{dl+pl})	0~6	17	8	4	60	2
松软土 (Q_4^{dl+pl})	1~3	18	15	8	100	3
黏土 (Q_4^{dl+cl})	0~4	19	25	15	150	8
泥岩夹泥质粉砂岩 (K_2g)	2~7	20	25	15	200	10

流动地下水的饱和松散砂土等地基。当地基土的天然含水量小于 30% (黄土含水量小于 25%) 时,大于 70% 或地下水的 pH 值小于 4、塑性指数大于 25、有机质含量高、地下水具有腐蚀性等情况时应慎重选用,必需通过现场试验以确定其适

用性。

3 水泥搅拌桩施工技术及其质量要求

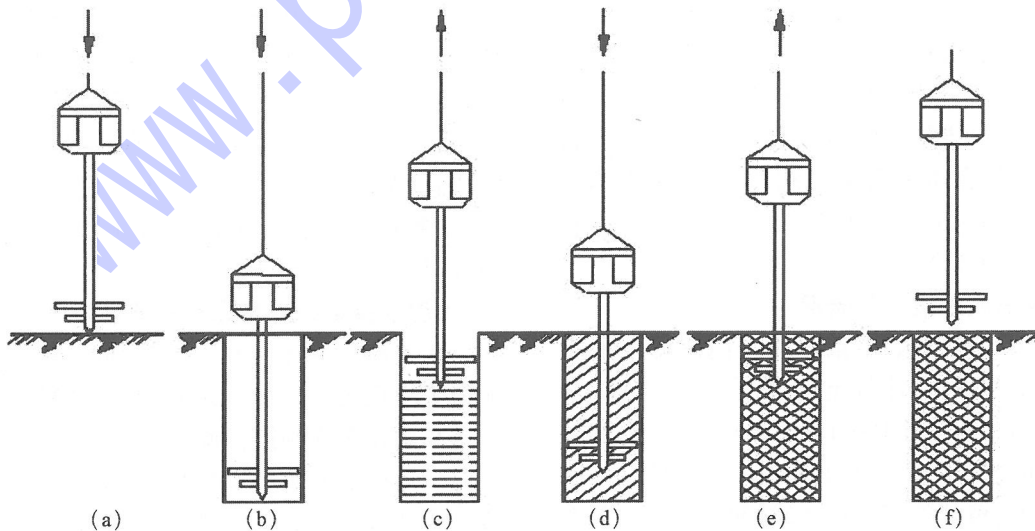
3.1 施工工艺

水泥搅拌桩施工工艺流程及工序见图 1、2。

3.2 施工方法及工艺要求



图 1 水泥搅拌桩施工工艺流程图



备注:(1)定位下沉;(2)深入到设计深度;(3)喷浆搅拌提升;(4)原位重复搅拌下沉;(5)重复搅拌提升;(6)搅拌完成形成加固体

图 2 水泥搅拌桩施工工序图

水泥搅拌桩的施工顺序宜从中间向外围,或采用由一边向另一边顺序施工,具体施工工艺及

技术要求如下。

(1) 施工技术要求。

水泥搅拌桩设计要求如下:

水泥:P. O42.5 级普通硅酸盐水泥;

掺灰量:不小于被加固湿土质量的 15% ~ 20%;

水灰比:0.45 ~ 0.55;

粉煤灰:粉煤灰掺入量为水泥质量的 20%;

桩身强度:28 d 无侧限抗压强度不小于 1.5 MPa, 90 d 无侧限抗压强度不小于 1.8 MPa。

桩间采用正三角形布置,桩顶铺设 0.6 m 厚碎石垫层夹铺两层双向、抗拉强度为 80 kN/m 的土工格栅。桩径采用 0.5 m,桩间距宜为 1.1 m,桩的加固深度不宜大于 10 m。要求其打入下卧层的深度不小于 0.5 m。如下卧层为基岩,则为基岩分界面。

水泥搅拌桩钻机就位后,启动搅拌机钻机,钻速稳定后将钻杆钻入地下,钻孔过程做好记录。钻至设计标高后,打开高压注浆泵,反循环提钻并喷射水泥浆至工作基准面以下 0.3 m,重复搅拌下钻并喷水至设计深度,反循环至地表。

(2) 制备水泥浆。

水泥用量按设计标准为土体质量的 22%,水灰比为 0.5。施工中可使用定量容器进行用水量控制,试验人员现场配合调配。

(3) 钻机就位。

施工时采用钻机塔身前后和左右的垂直标杆检查塔身导杆,校正位置,使钻杆垂直对准桩位中心,确保桩身垂直度允许偏差不大于 1%,桩位允许偏差不大于 5 cm。

(4) 预拌下沉并喷浆。

待水泥搅拌桩机的冷却水循环正常后,开动灰浆泵,确认浆液顺利从喷嘴喷出时启动桩机,操作升降手将搅拌轴沿导向架搅拌回转向下切土钻进喷浆,下沉速度为 1.6 ~ 1.8 m/min。转数为 60 r/min 左右,喷浆压力为 0.9 ~ 1.2 MPa,喷浆量为 65.83 L/m。如遇硬土层,可用钢绳加压器均匀给压钻进至设计桩底高程。钻工根据施工过程中电流的变化和搅拌头(主机)钢丝绳的松紧度判定钻孔是否达到持力层。

(5) 提升喷浆。

以 1.2 ~ 1.3 m/min 的匀速提升钻头喷浆。

喷浆过程中不断搅拌水泥浆,防止其离析并通过电脑自动记录喷浆量,距地面 50 cm 时,停止喷浆。

(6) 复搅下沉并喷浆。

喷浆完成后,继续下沉钻头进行补浆喷浆,搅拌至设计深度。

(7) 提升喷浆搅拌至停浆面。

搅拌至设计深度后进行提升搅拌喷浆,进一步拌和均匀。孔深范围内各段的补浆量由电脑自动控制并保证喷浆完成后各段喷浆量相等,水泥浆刚好使用完。

成桩过程中,若因故停止,恢复供浆时应在断浆面上或下重复搭接 0.5 m 长喷浆施工。因故停机超过 3 h,拆卸管道清洗并在原桩位旁边补桩。

(8) 清洗。

若桩机停止施工或施工间歇时间过长时,向水泥浆搅拌桶中加入清水,开启灰浆泵,清洗全部管中残存的水泥浆,直至其基本干净并将粘附在搅拌头的软土清洗干净。

(9) 移位。

将桩机移至下一桩位,重复进行上述步骤的施工。

(10) 清除保护土层、凿桩头。

水泥搅拌桩施工完毕,在其混合料终凝后,将打桩弃土清运,清运时不允许对设计桩顶标高以下的桩身造成损害;不可扰动桩间土;不可破坏工作面未施工桩位。

清运完毕,由人工开挖桩顶保护土层。清运保护土层时不得扰动基底土,防止形成橡皮土。施工时严格控制标高,不得超挖。

保护土层清除后,截除桩顶设计标高以上桩头。截桩时,在同一水平面按同一角度对称放置 2 个或 4 个钢钎,采用截桩机截桩。桩头截断后,用钢钎、手锤将桩顶从四周向中间修平至桩顶设计标高。如果在保护土层开挖和截桩头时造成桩体断至桩顶设计标高以下时,必须接桩至设计桩顶标高,剔平、凿毛并清洗干净桩顶,采用与桩体材料、配比相同的混合料接桩并超出桩周长 200 mm。

3.3 施工注意事项

(1) 放线:施工前,按照桩位平面布置图统一测放桩位线,桩位中心点用钎子插入地下并用

白灰明示,桩位间距为1 m。

(2) 钻 孔:搅拌机到达指定桩位并对中,使搅拌机基本垂直于地面,控制其平整度和导向架垂直度实测偏差为0.8%。启动搅拌机电机,搅拌头在原地搅拌2 min、待搅拌头转速正常后放松起吊钢丝绳,使搅拌头沿导向架边搅边下沉,下沉速度由电气控制装置的电流监测表控制,工作电流不应大于额定值(钻进过程中,如孔深即将到达设计深度时,若钻机电流突然变大且钻进进尺很慢甚至钻机晃动时,说明已贯入持力层),一般不超过1.2 m/min。下沉时不宜冲水;当遇到较硬土层下沉较慢时,可适量冲水,但应考虑冲水对成桩强度的影响,此时应适当调整配合比并适当减少用水量。记录员按规定的表格填写下沉速度、深度和相关的技术参数。

(3) 制 浆:在搅拌头下沉的同时,后台拌制固化浆液,浆液要搅拌均匀、加筛过滤,现制现用,不得停放过久,在压浆前按配合比拌匀后倒入集料斗。在拌制浆液前,水泥应过筛。

(4) 搅 拌:钻孔搅拌头下沉到达设计深度(标高)后,开启灰浆泵,泵送距离为8 m。待浆液到达喷浆口时,再按规定的提升速度边喷浆、边提升搅拌头,使浆液和土体充分拌和直至设计顶面标高加预留量。

(5) 复 拌:钻孔搅拌头喷浆提升至设计顶面标高加预留量时关闭灰浆泵,搅拌头重复下沉或按设计要求在桩顶局部部位重复下沉、提升、拌和一次,此时,集料斗中的浆液正好排空。为使原土和固化剂搅拌均匀,可再次将搅拌头边旋、边进入土中直到设计深度后再边旋、边提升、提出地面。

(6) 水泥搅拌桩施工前,需用清水冲洗整个管道并检查管道中是否有堵塞现象,待水排尽后方可开钻。为保证水泥搅拌桩桩体垂直度满足规范要求,需在主机上悬挂吊锤,通过调整钻杆控制垂直度。

(7) 为确保桩体每m的掺和量及水泥浆用量达到设计要求,每台机械均应配备电脑记录仪。同时,现场应配备水泥浆比重测定仪,以备随时抽检水泥浆水灰比是否满足设计要求。

(8) 根据项目施工中成桩存在的问题及区域内淤泥较厚等特性,水泥搅拌桩施工时采用“四喷四搅”工艺。第一次下钻时,为避免堵管可带

浆下钻,喷浆量应小于总量的1/2,带水下钻。第一次下钻和提钻时,一律采用低挡操作,复搅时可提高一个挡位。每根桩的正常成桩时间应不小于40 min,喷浆压力不小于0.4 MPa。

(9) 搅拌桩施工时,桩端一般要求进入持力层0.5 m以上。其是否进入持力层可根据前期试桩试验确定的钻进速度和电流表读数等参数进行判断。

(10) “叶缘喷浆”搅拌头能较好地解决喷浆中的不均匀问题,搅拌桩施工过程中应采用“叶缘喷浆”搅拌头。

(11) 施工时,应严格控制喷浆时间和停浆时间。每根桩开钻后应连续作业,不得中断喷浆。严禁在未喷浆的情况下进行钻杆提升作业。储浆罐内的储浆应不小于一根桩的用量加50 kg,否则不得进行下根桩的施工。

(12) 施工中发现喷浆量不足时,应整桩复搅、复喷,喷浆量不小于设计用量。如遇停电、机械故障原因,若喷浆中断应及时记录喷浆时中断的深度,在12 h内采补喷处理措施,补喷重叠段应大于100 cm;超过12 h应采取补桩措施。

3.4 质量控制及检验

水泥搅拌桩的质量控制、检验应贯穿整个施工过程。在施工过程中,可以通过随时检查施工记录和机械计量记录的通过标准的施工工艺或检验标准对每根桩进行质量评定,并及时处理各类质量问题。可以采用以下几种方法对水泥搅拌桩进行质量检验。

(1) 施工现场常规检查的项目主要包括:桩径、桩距、桩长、水泥掺入量、搅拌转数、提升速度、复搅次数、停浆处理方法等。采用现场开挖和施工记录检查,频率为总桩数的5%,且单点工程不少于3个点。

(2) 成桩均匀性检查:成桩3 d后,用轻便静力触探检查每m桩身的均匀性;成桩7 d后,采用浅部开挖桩头,深度宜超过停浆面以下0.5 m,检查搅拌桩是否均匀,水泥土、密实度、桩径等是否达到设计要求。

(3) 成桩28 d后,采用双管单动取样器进行垂直钻孔取芯,观察桩体完整性、均匀性,取不同深度的3个试验桩试样做无侧限抗压强度试验。

(下转第25页)

要修补处理;

(3)安全系数。小模板拼装施工:安全系数达到99.3%;爬行小车二次浇筑:安全系数达到100%;

(4)施工成本。小模板拼装施工:约120万元;爬行小车二次浇筑:约40万元,节省施工成本80万元。

7 结语

新建川藏铁路成都至雅安站前工程II标段连续梁接触网变截面采用爬行小车二次浇筑施工,通过改进创新出的施工技术在该项目中的应用,有效节省了成本,减少了模板安装和拆除时间,降低了材料用量,节省了外观处理费用,有效地保证了施工人员安全及施工质量问题。该工艺在提高功效、降低成本、创造效益的同时,也满足了施工质量、施工工期及安全文明施工等方面的要求,相比传统施工工艺缩短工期4个月,取得了较好的经济效益。随着今后中国水电五局后续铁

(上接第4页)

28 d龄期桩身无侧限抗压强度不小于1.5 MPa, 90 d龄期桩身无侧限抗压强度不小于1.8 MPa。钻芯后的孔洞采用水泥砂浆灌注封闭。

(4)水泥搅拌桩的承载力在成桩后28 d采用复合地基荷载试验进行检测,检验数量为总桩数的2‰,且不少于3根。复合地基承载力检验采用复合地基平板荷载试验,荷载试验必须在桩身强度满足试验荷载条件时进行。

水泥搅拌桩施工后取芯效果见图3。



图3 水泥搅拌桩成桩取芯芯样照片

路、公路及市政桥梁工程的日益增多,通过对该项施工工艺在局内的推广,可为今后类似工程的施工提供技术指导与帮助,对中国水电五局在铁路、公路及市政等相关行业的发展具有深远的意义。目前该项技术广泛地应用于连续梁菱形挂篮施工中,施工前景广阔。中国水电五局在川藏铁路成雅项目首次应用该项技术即很快地掌握了施工工艺,并对该项技术进行了研究、效果分析、总结,可为今后中国水电五局在类似工程中的应用提供指导与借鉴。

作者简介:

王铁山(1976-),男,陕西三原人,工程师,从事铁路工程施工技术与管理工作;

任伟彰(1983-),男,四川苍溪人,工程师,学士,从事水利水电工程施工及铁路工程施工技术与管理工作;

毛祥(1991-),男,甘肃甘谷人,技术员,从事水利水电工程、公路工程及铁路工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

4 结语

笔者介绍了水泥搅拌桩加固软土地基的作用原理及其适用范围,分析了水泥搅拌桩法施工工艺流程和施工控制要素,并对水泥搅拌桩的质量检验、检测进行了论述。为满足现场施工质量要求,根据依托项目的实施情况,在传统的“二喷二搅”、“二喷四搅”等工艺基础上提出了“四喷四搅”的工艺方式用以提高成桩质量,通过运用该项施工技术后检测其桩身芯样连续性、完整性达65%以上且表面光滑,断口基本吻合,桩体28 d无侧限抗压强度大于1.5 MPa,均满足设计要求,在取得较好施工效果的同时,亦可为后续类似工程施工提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 高等级公路地基处理设计指南[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [2] TB10106-2010,铁路工程地基处理技术规程[S].

作者简介:

杜耀斌(1976-),男,甘肃榆中人,项目常务副经理,工程师,从事水利水电及铁路工程施工技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)