

承压动水条件下复杂地层的 注浆加固工法

(TGJGF-03·04-31)

中铁十五局集团有限公司

一、前言

中铁十五局集团深圳地铁项目部承建的深圳地铁一期工程老街至大剧院区间,线路局部处于老河床含承压动水极为丰富的不均匀砂卵石中。在施工过程中,我们采用普通水泥+水玻璃双液浆、超细水泥+水玻璃双液浆、化学浆材(马丽散)作为注浆材料,袖花管后退式注浆与独头管注浆相结合的综合注浆工艺,收到了较好的加固效果,大大加快了施工进度,保证了施工安全,经长时间的施工改进总结得出此工法。

二、工法特点

1. 针对性较强,固结体强度较高,浆液渗透均匀,对有压动水条件下的不均匀地层加固效果显著。
2. 固结体与注浆小导管共同形成超前支护体系,小导管同时起到锚杆和管棚作用,开挖安全系数高。
3. 注浆操作工序简单,便于程序化作业,从注浆到开挖间隔时间短,注完浆后即可开挖。

三、适用范围

本工法适用于对地层注浆加固强度要求高、地层结构不均匀(地层厚度变化快、类型多样、砂砾颗粒级配不连续、粒径大小悬殊等)并富含快流速有压地下水的地质。

四、工艺原理

由于地下水具有较大流速,为防止浆液注入后被其冲走和稀释,注浆时加水玻璃或速凝剂使水泥浆速凝,普通水泥+水玻璃作为充填料先注入地层中大的孔隙内或在劈裂作用下形成浆团或脉状体,然后利用超细水泥的高强度、高渗透性对前期加固体空白区进行渗透式加固,对加固体进行强化,最后用化学浆液的高渗透性和高强度对易于发生涌水涌砂部位(如开挖拱顶、迎水面等部位)进行大角度注浆补强,提高施工安全系数。同时打入的注浆小导管和固结体共同形成较为良好的受力整体,以达到加固、止水、确保安全开挖之目的。

五、施工工艺

(一)工艺流程(见图1)

(二)施工要点

1. 施工准备

(1)地质及施工环境调查 在加固之前先要搞清加固地段工程地质及水文地质情况,包括加固范围内的地层成因、地层结构、砂砾级配、孔隙度、分层厚度、连续情况、密实度以及地下水渗流速度、水压、水位变幅、补给情况和水温等。环境调查包括浆材对地下水的污染情况,注浆对地面隆升及周边重要建筑物和地下管线的影响程度等。

(2)浆材及设备调查 根据注浆加固范围内工程、水文地质特征及加固效果要求和现有施工能

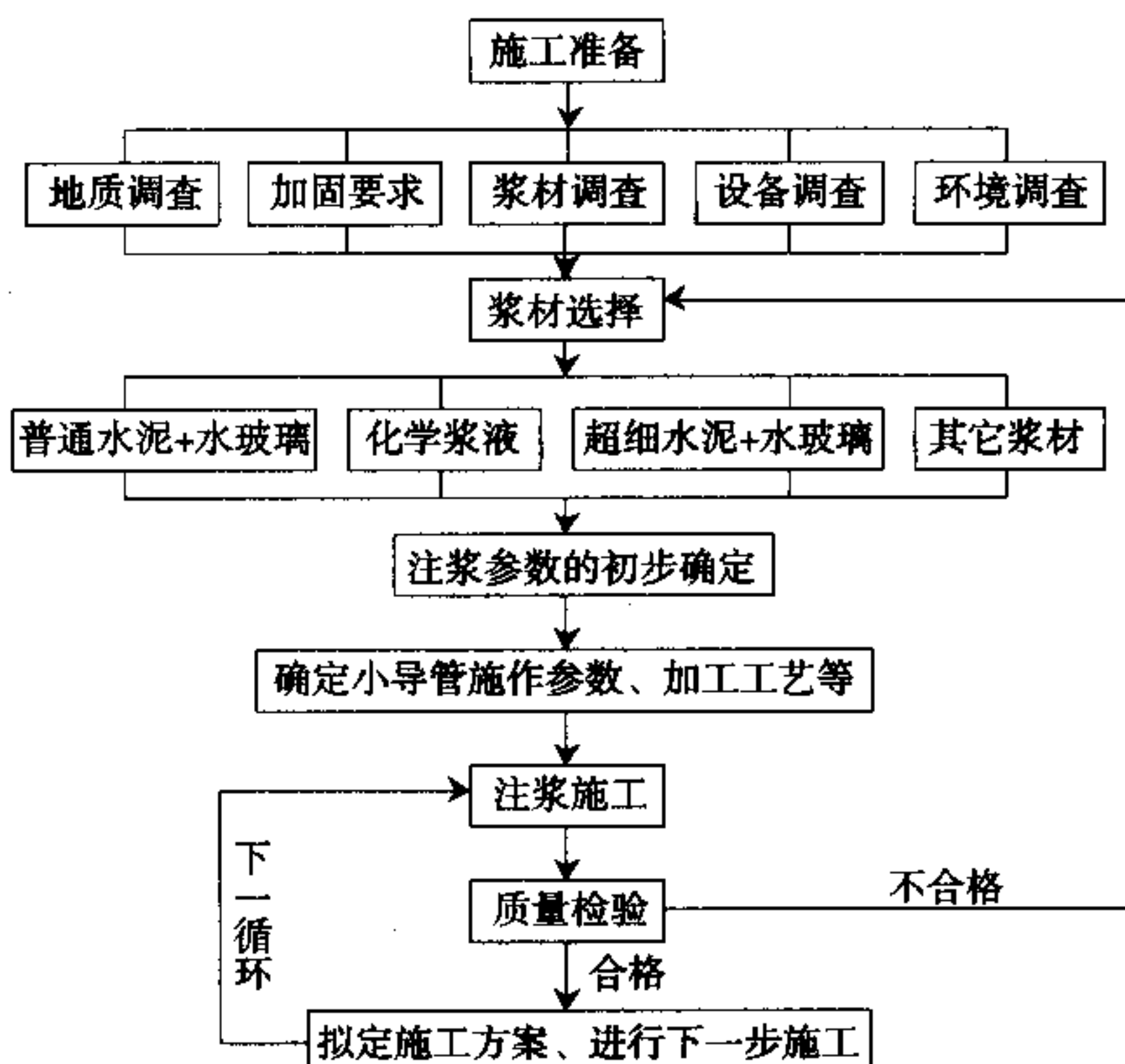


图1 注浆施工流程

力,选择能保证注浆效果的注浆材料和设备。对普通水泥、超细水泥和化学浆液进行充分调查和试验。

2. 注浆参数的初步确定

(1) 配比选定 综合考虑各种复杂因素后,初步确定浆液的凝胶时间和固结强度。首先进行室内配合比试配实验。室内实验首先以固定水灰比,调整水玻璃浓度,测定实验温度和凝胶时间,最后选出能满足施工要求的配合比做净浆试块抗压试验。注意在实验中,水玻璃有如下特性:当水泥浆水灰比一定,水玻璃不小于 20Be' 时,1:1 混合后凝胶时间与水玻璃浓度关系不大,但对胶凝体强度影响却很大,水玻璃越浓,凝胶体的强度就越高。水玻璃浓度一定时,水灰比越小,凝胶时间就越短,胶凝体强度也越大。相同配合比下,温度越高,凝胶时间越短,但对胶凝体强度影响却不大。通过多次实验,得出超细水泥水灰比为 0.8~1.2,普通硅酸盐水泥水灰比为 0.8~1,35Be' 水玻璃与水按体积比 0.5~0.7 稀释,等体积混合后在 20℃ 左右时凝胶时间、强度和可注性等方面均能满足施工要求。相同配合比下,与普通水泥浆液相比,超细水泥浆液黏度更小,凝胶时间更快,所以在使用超细水泥时水灰比一般取 0.8~1.0,此时浆液更具有可注性。化学浆液选用法国浩珂伟博公司生产的“马丽散”,反应时间为 40s,自由膨胀率为原体积的 20 倍左右,胶凝体强度高达 50MPa。

(2) 注浆压力 注浆时根据加固地层不同,压力相差较大。砂卵石层中浆液以充填形式扩散到大的孔隙,注浆压力一般低于 1.0MPa;在中细砂中只有粒径较小的浆液才能注入,超细水泥浆液能以渗透形式扩散,注浆压力在 1~2MPa 左右;化学浆液在粉细砂和黏土中呈细脉状扩散,注浆压力高达 20MPa。

(3) 注浆量 注浆量是根据注浆目的确定的:当地下水丰富且流动速度较大时,浆液在地下水的作用下会有一定程度的稀释;当要求用注浆堵漏时,注入量一般会很大;当注浆管间隔一定距离布置,目的在于加固地层时,可以根据要求的注浆扩散半径和所注地层的孔隙率,换算出设计影响范围内的注浆量,按此量进行注浆操作即可。

3. 小导管加工与布置

(1) 小导管加工

按图 2 尺寸及要求加工,其中 3m 管为直径 32mm 的无缝钢管,后端 1.0m 不钻孔。采用独头注浆。为了保证注浆加固的均匀性,6m 管采用袖阀管注浆,袖阀管加工方法为每隔 400mm 对打两个孔,孔眼内侧直径为 6mm,外侧直径为 8mm,中部留有 1mm 的台阶,将切割好的直径为 8mm 的薄铁皮放入孔眼中,并用胶水粘牢,可避免砂砾和水泥浆液从止浆塞后端小孔进入导管之中,有利于注浆芯管顺利拔出。

(2) 小导管布置

为保证地层加固效果,采用梅花形布管,间距为 30cm。外侧主要布置 6m 长导管,能起到较好的管棚作用。内侧主要布置 3m 管,采用独头注浆,以补充 6m 管注浆留下的加固空白区。布管如图 3 所示。

(3) 角度控制

严格控制注浆小导管的角度,才能保证注浆的均匀性,减少加固盲区。3m 管外插角 30°,6m 管外抽角 15°。在打孔时,钻杆角度要按要求进行测量,可用地质罗盘测量钻杆的角度和方向。

4. 注浆施工

袖阀管注浆施工步骤为:成孔→取出岩芯管→放入双栓塞注浆管→注浆→向外引拔注浆管→结束。注浆栓塞两胶塞节长一般为 400mm,内管用外径 25mm 钢管制成,管之间丝口连接。注浆时先将内管放到管最前端,由内向外引拔注浆内管,这样在袖阀管的每一部分浆液都能得到最充分的扩散,注浆效果也较为明显。注浆停止时,先停注水玻璃,继续注一分钟左右净水泥浆,再拔内管或停注,以防止堵管;独头注

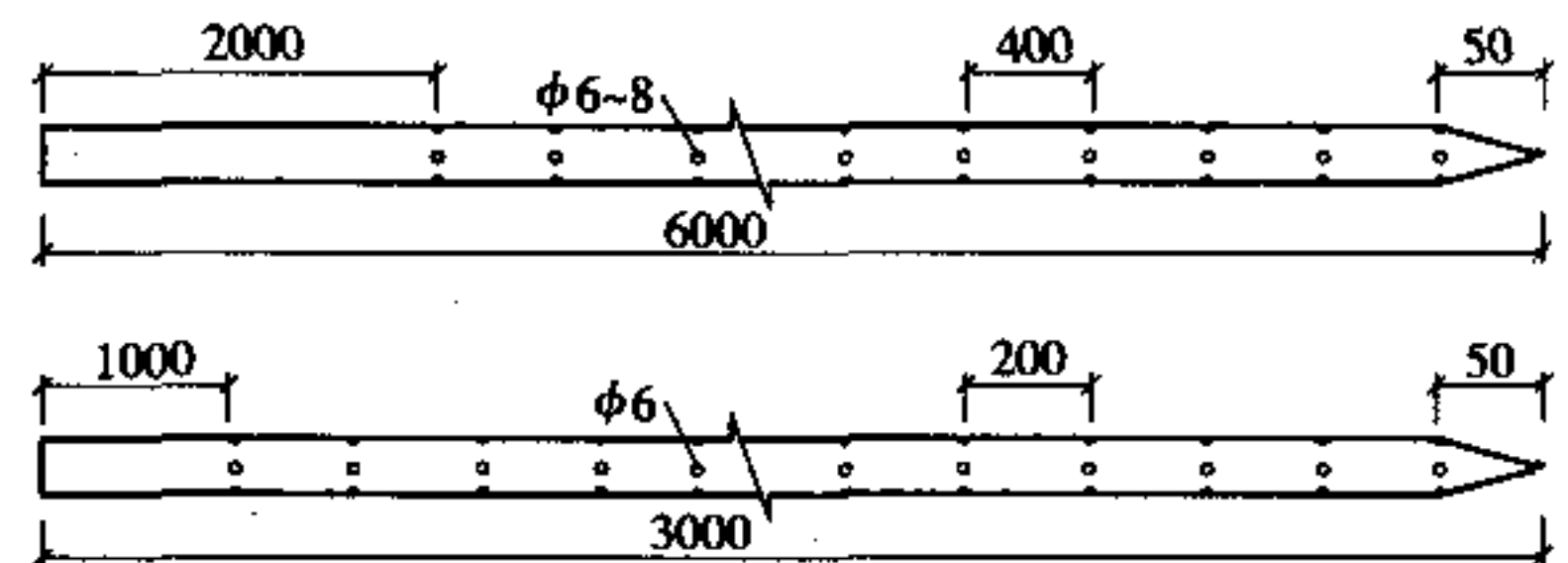


图 2 小导管(单位:mm)

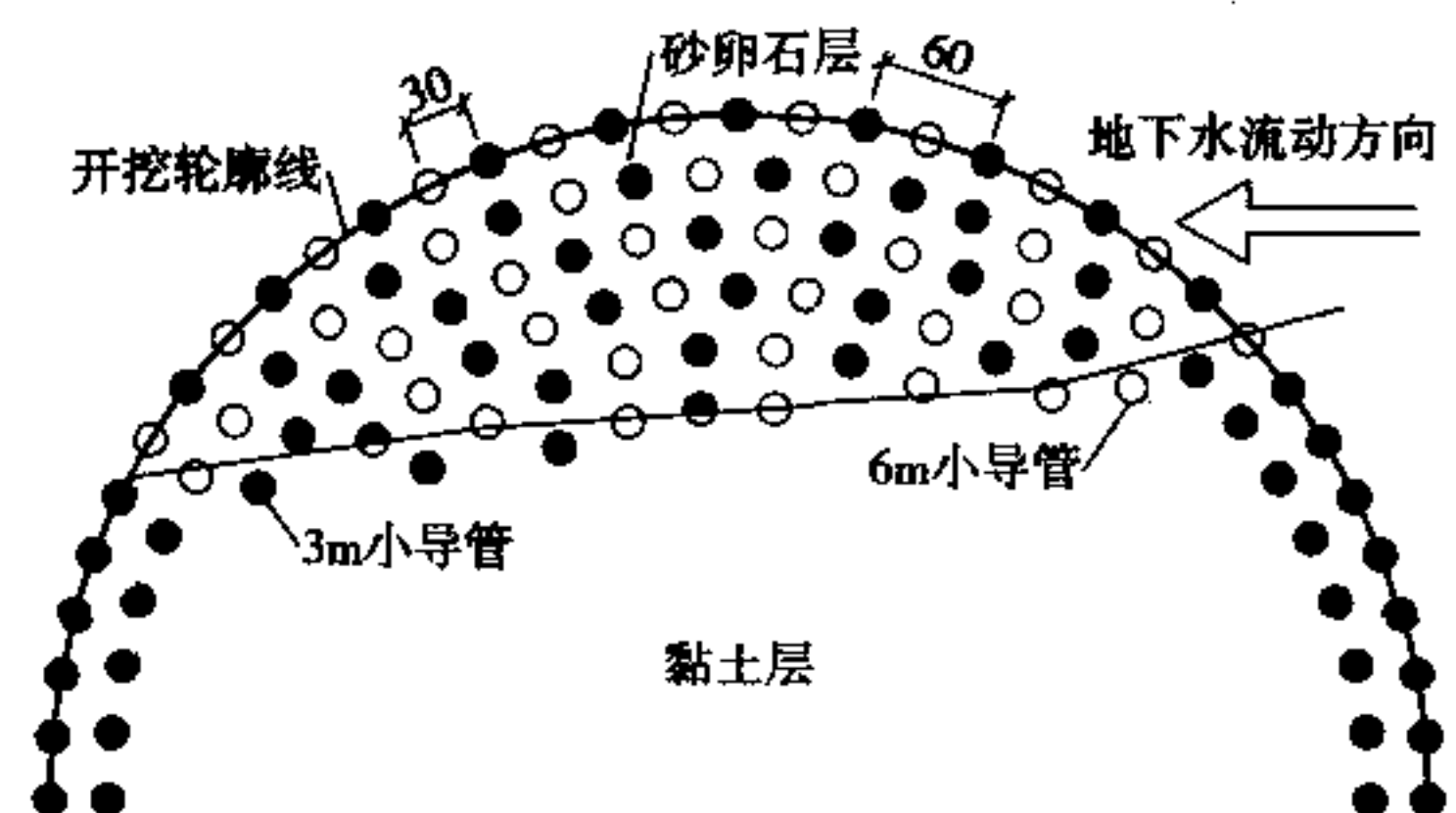


图 3 小导管布置(单位:cm)

浆一般只适用于注浆管不超过 3m 时,否则,管前端浆液易凝胶导致堵管。化学注浆在注浆管前端安装封孔器,在注浆压力挤压下,封孔器膨胀封堵孔壁,压力继续上升,冲破前端栓塞而注浆,注浆结束后注浆管可取出再用。黏土中地下水基本不流动,因此注浆时采用 3m 管注普通水泥浆即可。浆液在黏土中劈裂产生裂隙,但渗透和挤密一般较小。

(1) 注浆顺序

施工段卵石层下部为砾质黏土层,其抗浆液渗透能力很强,注浆时由下向上,将水一步一步向上抬,最后挤到加固范围之外。考虑到地下水存在一定的流动速度,因此本段采用“由下到上,由内到外,先封堵源头,再加固拱顶”的注浆顺序。如果水较大时,迎水面 6m 长袖阀管可用超细水泥。化学浆液最后注入,布置在拱顶 120°范围内砂卵石层之中,对加固盲区和粉细砂进行加固补强。

(2) 排水孔

注浆到后期,常会出现打探孔有水、在注浆时压力很高也压不进去的现象,这时可以考虑打孔排出被封闭的地下水,便于浆液充填。泄水孔一般距注浆孔 1.0m 左右,打设在注浆孔的下方和地下水流动方向的上游。注浆一段时间后,浆液从孔口冒出,待其浆液浓度变浓后即可堵塞泄水孔,继续注浆达到设计压力后即可。

(3) 注浆时各种参数的调节

注浆参数调节主要包括注浆过程中对注浆压力、注入量和浆液凝胶时间的现场把握。

压力表是注浆过程中浆液压力变化的记录仪,可通过读数变化进行注浆操作,注浆压力一般控制在注浆环境所能承受的压力范围之内,应根据环境调查结果确定。

凝胶时间可根据打孔时水流大小调节:当地下水流较大时将凝胶时间调小,当水流较小时可少加或不加水玻璃,注净浆。

在注浆循环开始时由于土体松散,地下水量较大,因此注浆量也相对较大,注浆量在保证理论注入量的条件下宜适当增加。后期大部分孔隙均已被充填,注浆量会大幅度减小。

(4) 注浆结束后作业

每根管注浆结束时,用棉花和木块堵住注浆管口,以防浆液流失;冲洗注浆管、搅浆桶和贮浆桶,收整好各种管线。化学浆液注浆机在施工完毕后要用机油完全置换出机器内部的化学浆液,以防堵塞管道。

六、机具设备(见表 1)

表 1 机具设备

序号	机具名称	型号或要求	数量	作用
1	双缸拌浆桶	1400r/min 以上	1	拌浆
2	双液注浆机	SYB50-1 型	1	注浆
3	化学浆液泵	多功能气动	1	注化学浆液
4	储浆桶	1m ³	4	装水泥、水玻璃浆和清水
5	压力表	机械式,量程 5MPa	1	测注浆压力
6	风枪	YT-28 型	1	打设注浆管
7	空压机	20m ³	1	供风枪钻孔和化学注浆
8	电焊机	300A	1	切割和焊接钢管,小导管
9	钻眼机	钻直径 6~8mm 的孔	1	加工小导管
10	喷锚机	KSP-2 型	1	封闭注浆作业面

七、劳动组织

每工班注浆施工人员的具体安排见表 2。

八、质量控制措施

1. 打管时必须现场记录地质情况、地下水流量以及前期加固效果等,以便调整注浆参数。
2. 原材料一定要遵循先检验再使用的原则,确保所用材料全为合格品。
3. 小导管角度误差必须控制在 $\pm 2^\circ$ 范围内,小导管打入长度必须到位。对于施工时因客观原因确实无法施工到位的,要编号记录,采取进一步的补救措施。

表2 每工班劳动力安排

岗位	人数	职 能 及 技 术 要 求
浆液搅拌	2	配制浆液,能正确称量且认真负责
浆液过滤	1	浆液的过滤、开关、搅拌及输送
双液注浆机	1	熟练注浆机的操作过程和故障的排除,并能通过对仪表的判读进行相应的注浆作业
配制水玻璃	1	普工
风枪工	1	钻孔打设小导管
工作面(普工)	3	高压管与注浆管的搭接,注浆面围岩异常情况的联络与处理,具有一定的抢险经验,帮助打设小导管
现场调度	1	对整个注浆过程应较为熟练,负责注浆施工的全面控制与协调工作,观察注浆范围内地面的变化情况采取相应的施工措施
技术负责	1	负责注浆配合比,小导管布设及角度控制等技术性工作

4. 加强现场试验,严格控制浆液配合比,合理使用各种浆液。制定相关注浆记录表格,记录施工的每个环节,作为质量分析的一手资料。

5. 每完成一个循环,要进行效果检验,主要是通过打检查孔和开挖。打孔位置位于前期注浆孔的空白处,直到全掌子面打孔无水流出才说明达到了加固效果。

6. 开挖检验时记录加固效果,如强度、浆液扩散效果、均匀程度、加固体抗渗透能力、受振后是否变松弛以及各种浆液在地层中的分布情况等,并现场分析存在问题的原因,进一步改善注浆工艺。

九、安全生产和环境保护

注浆施工具有一定的危险性,施工中应做到以下几点:

1. 压浆管接头必须连接牢固,混合器与压力表、注浆管与注浆小导管的连接必须用铁丝加以捆绑,已破损的高压注浆管必须及时换掉。

2. 搅拌机电源开关容易进水,要防止电源开关被浸湿后发生漏电和短路。

3. 在较高的注浆压力下掌子面可能发生突水、涌砂,注浆前应预备一定量的抢险物资如稻草、棉被、木块等。同时派专人监控周围环境,发现异常立即停机。

4. 浆材料如水泥、早强剂、速凝剂以及化学浆液等都有一定的腐蚀性,作业时要戴防护手套,掌子面施工人员还应戴防护眼镜。

十、效益分析

1. 先用普通水泥充填比全用超细水泥注浆每延 m 可节约成本 2500 元。

2. 加固体强度上升快,注浆完后便可开挖,比普通水泥 + 水玻璃注浆循环缩短工期 2/3。

3. 有针对性选用化学浆液能快速提高整体强度,保障施工的安全,加快作业进度。

十一、工程实例

深圳地铁一期工程老街至大剧院区间地铁线路约有 100m 局部位于富含地下水的砂卵石层中,拱部距离地面只有 10m 左右,属于浅埋暗挖单洞双层重叠式隧道。隧道穿越广深铁路桥下,周边高楼林立,地面沉降控制严格。地层结构复杂,岩土性质纵横向变化快。地下水流速大、补给快、水位变幅大、受潮汐影响显著,给安全开挖带来极大威胁。早期施工采用普通水泥 + 水玻璃双液浆加固,由于浆液扩散不佳,加之地下水稀释和冲刷作用,浆液又不能渗透到中细砂层,所以开挖时地下水渗出过程中带出大量粉细砂,迅速形成水流通道,多次发生涌水涌砂事故,致使开挖无法顺利进行,甚至危及隧道上方交通安全,施工两个月仅掘进 5m。采用本工法后,没有发生过涌水涌砂事故,对地面及地下管线等重要设施也没造成不利影响,一天掘进保持在 0.5m 以上,顺利通过了竖井西侧及广深铁路桥下地质复杂段,节约了大量成本,保证了施工安全,抢回宝贵工期,取得了较好的经济效益和社会效益。

执笔:赵 林 赵世永 顾 刚 巩学玉