

# 浅谈青岛地铁4号线某区间隧道前进式注浆施工工艺

袁清强

中铁二十局集团第四工程有限公司 山东青岛 266100

**摘要:**在地铁市政隧道施工中由于岩层中的水极易造成渗水、塌方、喷水等现象,在处理塌方过程中采用一般的注浆工艺,如果注浆压力过大容易造成底面隆起,浆液到处流传,从而破坏地下管线,如果压力过小,则达不到注浆处理的效果。为了使浆液按照塌方体需要的地方满足要求,采用了一种新的注浆工艺-前进式注浆,达到止水和加固塌方体的效果。

**关键词:**地铁隧道、水泥浆液注浆、塌方体处理

## 一、工程概况

### 1、地质概况

青岛地铁4号线位于我国东部黄海湾,地形地貌受人工改造较大,根据钻孔揭示地层情况,工程地质分区为构造~剥蚀区、山麓斜坡堆积区以及河流侵蚀堆积区,地形较平坦,地势向大里程方向逐步下降,地面高程6.0~24.0m。沿线两侧多为楼房建筑,地面交通繁忙,场区环境条件较为复杂。岩层节理、裂隙对本工点的影响主要表现于局部岩体破碎,强度较低,节理、裂隙密集发育,具有不均匀性的特点,围岩稳定性差,地下水丰富。

### 2、施工概况

青岛地铁4号线某区间位于崂山区九水东路站至静港路站之间。区间线路出九水东路站后,转向李沙路,随后沿李沙路中敷设,沿道路往南前行,先后下穿润泰公司厂房(1层砖房)和双顺汽修厂民房等建筑(1~2层砖房),最后进入静港路站。线路走向沿李沙路敷设,地面为沿街商业、工厂办公用地等,场地范围内存在给水、雨水、污水、路灯、供暖、通讯、燃气、供电等管线,地下管线主要沿线路两侧及路中绿化带敷设。

在开挖过程中由于地表水和地下水非常丰富,常以渗流的形式流向开挖的掌子面,经常出现塌方、掉块等现象,不仅影响了施工进度,还给工程施工带来一系列的麻烦。采取一般的防、排、截、堵相结合,采用水玻璃双液或水泥浆单液注浆等方法因地制宜的原则进行水害塌方的治理。由于市政地铁施工地下管线非常多而复杂在注浆止水的过程中很容易干扰到地下管线,尤其是燃气管线和给水管线,存在非常大的风险。

### 3、塌方体存在问题

#### ①注浆过程控制难度大

塌方体隧道采用地表注浆方式极易存在地表返浆冒浆、大部分浆液留存于浅部地层而达不到隧道区域等问题,难以达到预期加固效果。因此,采用有效的注浆控制方法来保证浆液注入到目标区域内,而不是无序扩散,是最核心的问题。

#### ②塌方体加固难度大

塌方体为富水砂层与黏土层、充填混凝土的混合物,其结构松散、自稳能力差,对注浆加固效果的要求极高。

#### ③地表隆起与管线变形风险

注浆会导致地表隆起及管线变形,且拱顶上方存在给水等多条市政管线,注浆过程中需在保证隧道开挖安全的前提下,严格控制地表隆起及管线变形。

## 二、施工工艺

## 1、施工工艺流程原理

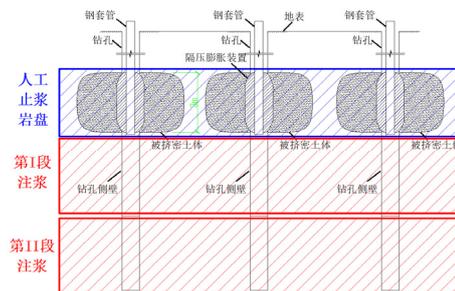
### ①注浆材料方面

为了有效控制浆液扩散范围,避免浆液无序扩散,拟采用部分凝胶可控型浆液(如:水泥-水玻璃浆液),利用其速凝特性,保证浆液留存在目标加固区域内。同时,拟采用部分水泥单液浆作为注浆材料,利用其长期性能稳定、加固强度高的特性,保证注浆加固体的长期性能。综上,注浆材料选用水泥-水玻璃浆液与水泥单液浆两种浆液相互配合。

### ②注浆工艺方面

为了解决地表注浆过程中浆液上返、浆液无法有效到达深部目标加固区域的问题,拟采用预加水水平应力控制性注浆技术,技术原理如下图(1)所示。采用可膨胀装置封堵钢套管与钻孔壁之间的空隙,并对周围地层施加水平应力,对地层进行挤密,增加其抵抗浆液上返的能力,最终在目标加固区域上方形成人工止浆岩盘,保证注浆浆液留存在止浆岩盘以下的区域内,之后采用前进式分段注浆工艺,对目标加固区域内进行逐段注浆加固。

相比传统的注浆工艺,以上工艺方法可有效避免浆液上返、大部分浆液留存于浅部地层等问题,大幅度提高目标加固区域内的浆液留存率,保证注浆加固效果。同时可有效减少总注浆量,进而减少因注浆导致的地表隆起值,实现注浆加固效果与地表隆起控制的双赢。



前进式注浆应力控制性原理图(1)

一般的隧道施工,尤其是渗水性隧道塌方会根据不同的地质类型和围岩特性在注浆的过程中,也会采取不同的注浆方式使浆液通过导管压到岩体裂隙中,经过物理化学反应,将破碎围岩或松散颗粒在短时间内胶结成整体,阻挡了裂隙间地下水的渗入,增强围岩的整体稳定性。根据青岛地铁4号线隧道的现场实际情况经过多次试验,采用前进式注浆水泥浆液按照比例配制出的浆液进行止水固结,该方法注浆效果要比前期进洞时用水玻璃配置的浆液注浆效果明显要好,经对比测定水泥水玻璃浆液的固结时间一般在2小时左

右,大大缩短了施工工序的衔接时间,从而达到既保证注浆效果又保证地面不隆起连续作业施工的目的。

## 2、浆液的选择、配置及特性

前进式注浆不仅在工艺原理上进行了理想化,也在浆液的浆液粘度、颗粒度和胶结时间长短上,根据现场多次试验情况配合比,浆液水灰比为 0.8: 1~1.2:1,水泥浆和外加剂的重量比一般在 1: 0.01~1: 0.12,即水泥、水、外加剂的配合比为 1:1:0.12 为宜,在此配合比根据现场渗水量的大小和需要止水的范围、时间进行调整。在实际施工过程中采用的浆液比为 1:1,浆液粘度在 50~120pa.s,比重为 1.067~1.088,施工温度控制在 8~40℃之间进行,配置出浆液 PH 值 5.0~5.5。该浆液的初凝时间约为 30min 终凝时间为 180min。在试验的过程中还发现该液体的凝结时间与水量的多少成正比,水量的多少和止胶体强度成反比和止胶体膨胀率成正比,所以在使用前浆液一定要搅拌均匀做一些简单的测试和评定,以便发挥更好的作用。

## 3、超前导管参数及注浆压力

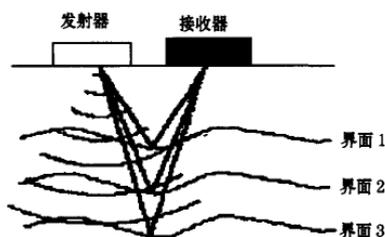
在施工现场通过地质水平钻把直径 80mm 的导管打入塌方体,无缝钢管长度 8m~12m 不等,每钻进 3~5 米进行一次注浆。管壁每隔 10~20cm 梅花形钻眼,眼孔直径 6~8mm,导管顶端为尖锥型以利于导管打入岩体,尾部外露 10cm 以便在注浆时焊接止浆阀等。由于浆液的膨胀率较大故在施工过程中注浆压力一般控制在 0.5~0.8MPa 以防浆液在岩体内膨胀时把地下管线胀破。在注浆过程中实时采用水准仪对地面进行测量。从注浆作业情况来看,注浆压力比水泥浆单液、水玻璃双液注浆压力略大。根据采用的注浆压力结合本隧道的软弱岩体的物理性质,注浆扩散半径在约 0.5m~0.8m 之间,在浆液粘稠度固定的情况下注浆的压力还与岩体的裂隙宽度和粗糙度、裂隙的发育程度、裂隙水头压力等都有直接的关系。通过在现场试验结果分析:在注浆过程中岩体空隙里的水一部分被注浆压力挤出,一部分被液体吸收利用,空隙内浆液也由稀变浓,由浓变胶凝,直至浆液达到初凝。通过注浆挤压与浆液的水化作用时的吸收,使固体范围内含水量得到很大程度改变。从而大大降低了岩体的含水率,使岩体的强度和自稳性也得到了很大的提高。

## 三、注浆效果的检测

### 1、地质雷达检测原理和应用

该塌方体注浆效果采用地质雷达技术进行全方位检测,。就案例工程而言,地质雷达采用了武汉智岩 RSM-SWS 型号雷达,和其他地质雷达相比,该雷达采用了最先进的控制器和数字化处理软件,具有检测精度高、数据成像清晰、体积小、重量轻、耗能低、抗干扰性强等特点,检测深度可达 15m,完全有效满足塌方体注浆效果的鉴定。

武汉智岩 RSM-SWS 型号雷达采用发出 15~3000MHz 的脉冲电磁波信号,检测原理如图 2 所示:



地质雷达检测简易图(2)

根据武汉智岩现场检测的图像和原理分析,在地铁隧道工程注浆质量检测中当电磁波信号遇到不同界面时,电磁波穿过不通介质就会折射或者投射,现场另外一台接收器接收到反射回来的电磁波信号,然后根据接收器接收到的时间、电磁波反射、振幅强度、波阻抗等参数,对注浆位置,形状、效果进行分析鉴定。

在本次塌方注浆质量检测中采用地质雷达进行检测,电磁波天线主频在 400~1000MHz 之间,由于该段地质非常复杂,人工回填物较多,电磁波反射回来的电导率和介电常数多为无磁性介质,为了保证检测效果分析用计算机电磁波传播速度时,对介电常数进行分析计算验证,地质雷达电磁波传播速度和介质分界面深度采用计算公式为:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon r}}$$

$$h = \frac{c \times t}{2 \times \sqrt{\epsilon r}}$$

其中:h—介质分界面深度(m)

t—地质雷达发出和回收到电磁波的时间(n.s);

c—电磁波正常空气中的传播速度(0.5m/n.s);

V—电磁波在衬砌混凝土中的传播速度(m/n.s)

$\epsilon r$  —相对介电常数

## 四、施工过程中应注意的事项

(1)在施工现场全过程安排专人进行地面高程观察和测量,保证注浆压力和水泥用量的同步计算,在进行多孔同时施工时必须跳两孔以上进行钻进施工,待 7 天后在进行临近孔位施工。

(2)严格控制浆液的比例和浆液的凝固时间,保证浆液在钻进、注浆的过程中形成连续施工,以防注浆管堵塞凝固。

(3)严格控制注浆压力,在钻进注浆的过程中,安排专人进行压力的观察记录,并和地面观测人员沟通时刻,一旦地面隆起超标,先暂停注浆,查找原因或者减小注浆压力。

## 五、结束语

在山东大学教授的指导下,根据青岛地铁四号线隧道塌方地质情况,利用前进式注浆施工工艺处理坍塌体,从总体来看塌方体效果处理非常理想,达到了预期效果,满足了今后在市政地铁隧道施工对底面隆起要求严格的需求。由于前进式注浆工艺复杂、成本费用较高、设计参数又是多变的,通过本次实验性注浆处理,为以后的施工提供施工经验。在今后的施工中应把握好施工要求、因地制宜,充分发挥前进式注浆的施工工艺。现仅将青岛地铁隧道塌方的施工经验介绍给大家,供各位同行与专家参考,提出宝贵的意见。

## 参考文献:

- [1]王胜国. 高地应力软岩隧道大变形分级标准研究[J]. 铁道建筑技术, 2016(04).
- [2]刘利成. 浅埋富水卵石土岩层隧道地表止水注浆施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2014(09).
- [3]刘强、张可能. 不同土体中水泥—水玻璃浆液的扩散规律[J]. 中南大学学报(自然科学版) 2015(01).
- [4]张庆松、张连震. 水泥—水玻璃浆液裂缝注浆扩散的室内试验研究[J]. 岩土力学, 2015 36(08).