

文章编号: 0451-0712(2006)03-0204-06

中图分类号: U455.49

文献标识码: B

地表注浆在隧道工程中的应用

张 虎

(路桥集团国际建设股份有限公司北京工程处 北京市 100025)

摘 要: 以昱岭关隧道为例,对地表注浆在隧道工程中的应用及施工要领进行分析,并对存在的问题提出解决的办法。

关键词: 隧道施工; 地表注浆; 方法与应用

注浆法是利用压力将能固化的浆液通过钻孔注入岩土孔隙或建筑物的裂隙中,使其物理力学性能得到改善的一种方法。注浆法出现于19世纪初的法国,我国的注浆技术研究起步较晚,20世纪50年代以前所做工作很少,50年代开始初步掌握注浆技术。注浆法在土木工程的各个领域,特别是在水电工程、井巷工程中得到了广泛的应用,已成为不可缺少的施工方法。在隧道工程中,地表注浆主要应用于围岩地质条件差(I、II类围岩)、偏压、洞口及浅埋层土体的固结、加固洞周围岩,来维护土体在施工过程稳定,改善隧道成洞条件。

现以浙江省02省道昌昱段高速公路第六合同段,昱岭关隧道为例,介绍地表注浆方法在隧道工程中的应用。

1 工程概况

昱岭关隧道位于浙江省西北部的天目山区,隧址区地形条件十分复杂,属于山岭区地形,自东向西逐渐升高,海拔高程在120~1100 m,隧址区内雨量充沛,地表水丰富,从上到下的岩性为:地表覆盖含碎石性粘土及含粘性土碎石,厚度为7~13 m。隧道主要穿越岩层为强~中等风化炭质灰岩,产状 $270^{\circ}/45^{\circ}$,强风化炭质灰岩厚度一般为1~5.5 m,中风化厚度一般为7.5~18 m;最底部为岩层微风化炭质灰岩。隧道地下水类型主要为松散岩孔隙水和基岩裂隙水两大类,基岩顶部发育有7~8 m厚的残坡积层,疏松多孔,连通性好,富含孔隙水;基岩为强风化~中等风化炭质灰岩,节理、裂隙发育。地下水

位受大气降水的影响较大,地下水对混凝土无腐蚀性。

昱岭关隧道起讫桩号为K36+155~+325,全长170 m,其中明洞12 m(K36+155~+162、K36+320~+325)、暗洞158 m(K36+162~+320)。按高速公路标准设计,采用双连拱隧道。隧道平纵线形和隧道几何尺寸净空断面标准按80 km/h行车速度设计;隧道净宽为9.75 m,建筑限界高度为5.0 m;洞内路面设计荷载采用汽车—超20级,挂车—120。该隧道主要特点是:浅埋(最小埋深仅2.8 m)、偏压、地质条件差(110 m I类围岩、60 m II类围岩)及曲线双连拱隧道。

2 注浆目的

由于隧址地质水文条件复杂,埋深浅,节理发育,地下水丰富且存在偏压,为了改善成洞条件,根据设计要求用地表注浆的方法,把隧道周围的岩层进行注浆加固,形成一个整体,降低或匀化岩石的压缩性,提高岩石变形模量,改善不均匀性,从而降低地表下沉,减轻偏压和地下水对开挖的影响,进一步达到整个隧道的安全、稳定,保证施工和运营的正常进行。

3 地表注浆范围及注浆孔布置

地表注浆范围覆盖整个暗洞施工,洞身段注浆长度为K36+162~+320,长158 m,在此范围内根据隧道工程地质条件采用了三个方案,三个方案段分别长33 m、50 m、75 m。对于明洞段,当基底为含

粘性土碎石时,为了提高基底承载力,对基底进行地表注浆,注浆长度视开挖后的实际地质条件而定。

注浆宽度覆盖隧道开挖轮廓线,隧道拱顶加固范围为衬砌中心线以上11 m。注浆孔成梅花形布置,I类围岩间距150 cm,II类围岩间距200 cm。

4 钻孔设备及实施方法

在施工过程中采用两台ZQS-100型潜孔钻机进行钻孔,一台钻机配备5人。在开始钻进时,应根据设计图纸要求确定出孔位,孔位偏差一般要求不大于10 cm,并在钻进施工中注意控制钻孔倾斜率,

偏差值不宜大于5°,以使孔位及孔斜误差满足设计要求,钻孔完成且确认达到设计要求后,可按要求尽快安放注浆管,以防止塌孔。

钻机在工作过程中工作压力为0.5~0.7 MPa,最大钻深可达60 m,正常情况进度为10 m/h。

根据钻孔得知,线路右侧覆盖层注浆范围内主要是残坡堆积物,当钻到5~6 m深时,风压达到0.8 MPa时有水冒出来。线路左侧注浆范围内主要是含粘性土碎石。根据设计要求,我们选择了K36+305.9~+315段进行试验,其中孔位的布置,注浆顺序见图1、图2所示。

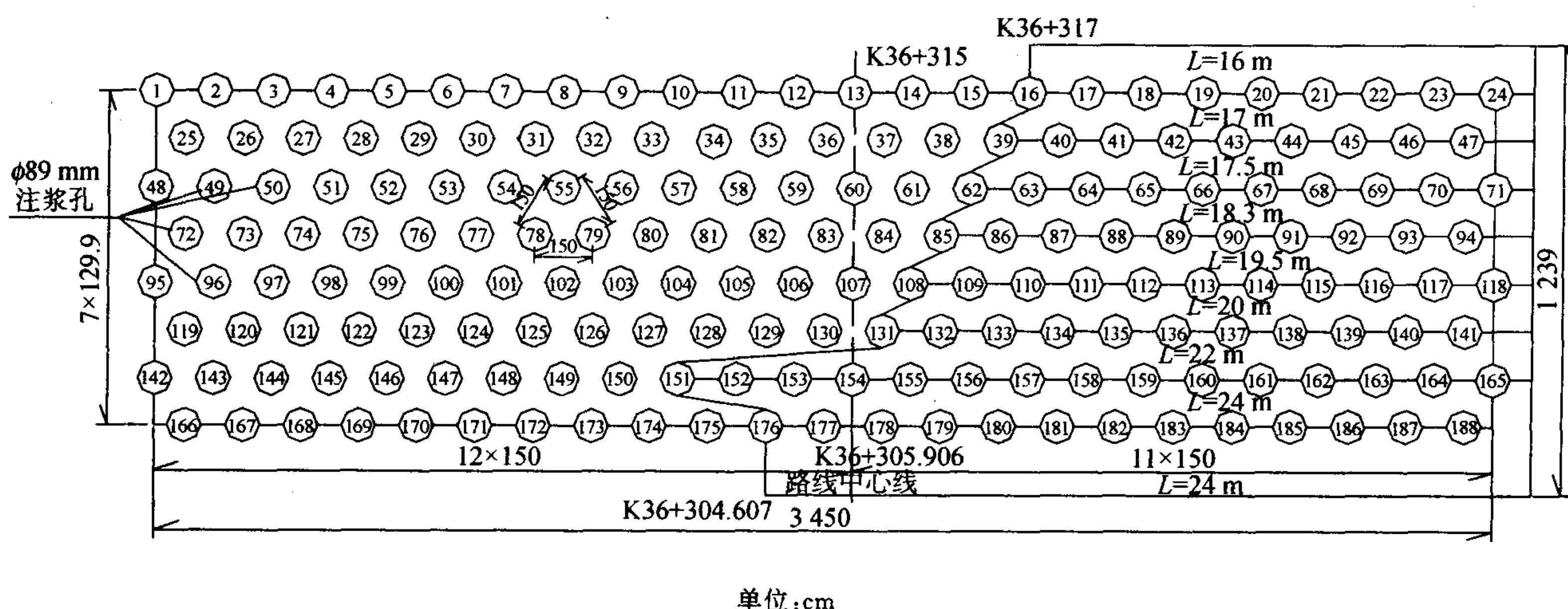


图1 昱岭关隧道地表注浆试验段注浆孔平面布置

5 注浆材料

注浆材料采用水泥单浆液和水泥、水玻璃双浆液。原则上外围周边孔采用水泥、水玻璃双浆液,内部孔采用水泥单浆液。

水泥:复合硅酸盐水泥32.5(R);

水玻璃:浓度30~40Be,模数3;

缓凝剂:磷酸氢二钠;

设计配合比:单液水灰比0.6:1~1:1;

双浆液水、水泥、水玻璃配比为1:1.84:0.032,胶凝时间25 min;

施工配合比:单液水灰比0.5:1~1:1;

水灰比为1:1,水泥浆液与水玻璃体积比为1:1。

原材料加注顺序为:水→磷酸氢二钠→水泥→水玻璃。

具体操作是把磷酸氢二钠放在水中充分搅拌,溶解后再加入水泥进行搅拌,再与水玻璃混合注入注浆管内。

6 注浆施工

采用单液JZB-2型积压式注浆机和双液FBY-60型注浆机各一台,每台机器配备4人,开机记录1人,观察换孔1人,2人拌制水泥浆。正常情况单液注浆机2 m³/h,工作压力为0~3 MPa,双液注浆机>60 L/min,工作压力为0.5~7 MPa。

6.1 施工方法

采用预埋注浆花管法。在注浆孔内,预先下入带有孔眼的注浆管,称为“注浆花管”,然后在注浆花管内注入浆液,通过孔眼把浆液压入周围围岩内,达到固结效果。

预埋注浆花管施工工艺流程见图3、图4所示。

6.1.1 施工要求

(1)注浆钻孔直径为89 mm,注浆管直径为50 mm的钢管(壁厚4 mm),注浆管前端钻花孔,钻孔直径为1 cm,间距为40 cm,梅花形布置。对于明洞段,注浆管长350 cm,导管尾部50 cm不设花孔;

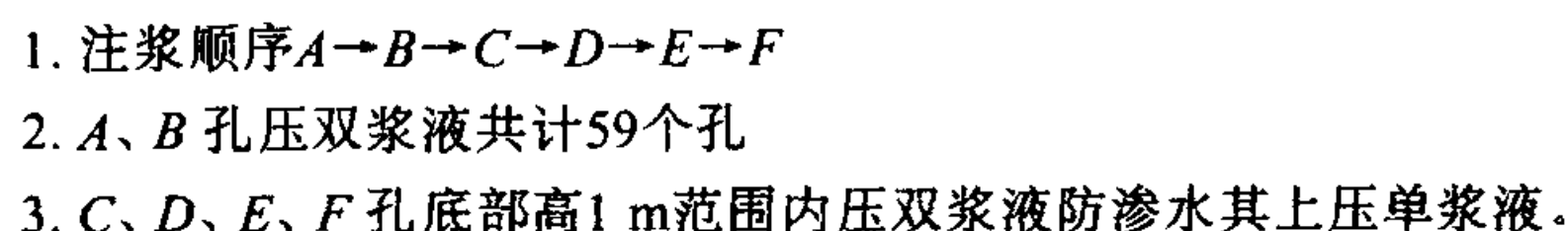
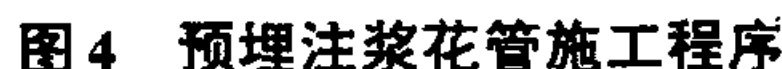
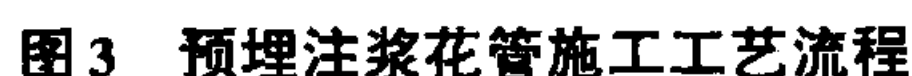


图2 昱岭关隧道地表注浆试验段注浆顺序



(3) 单浆液。

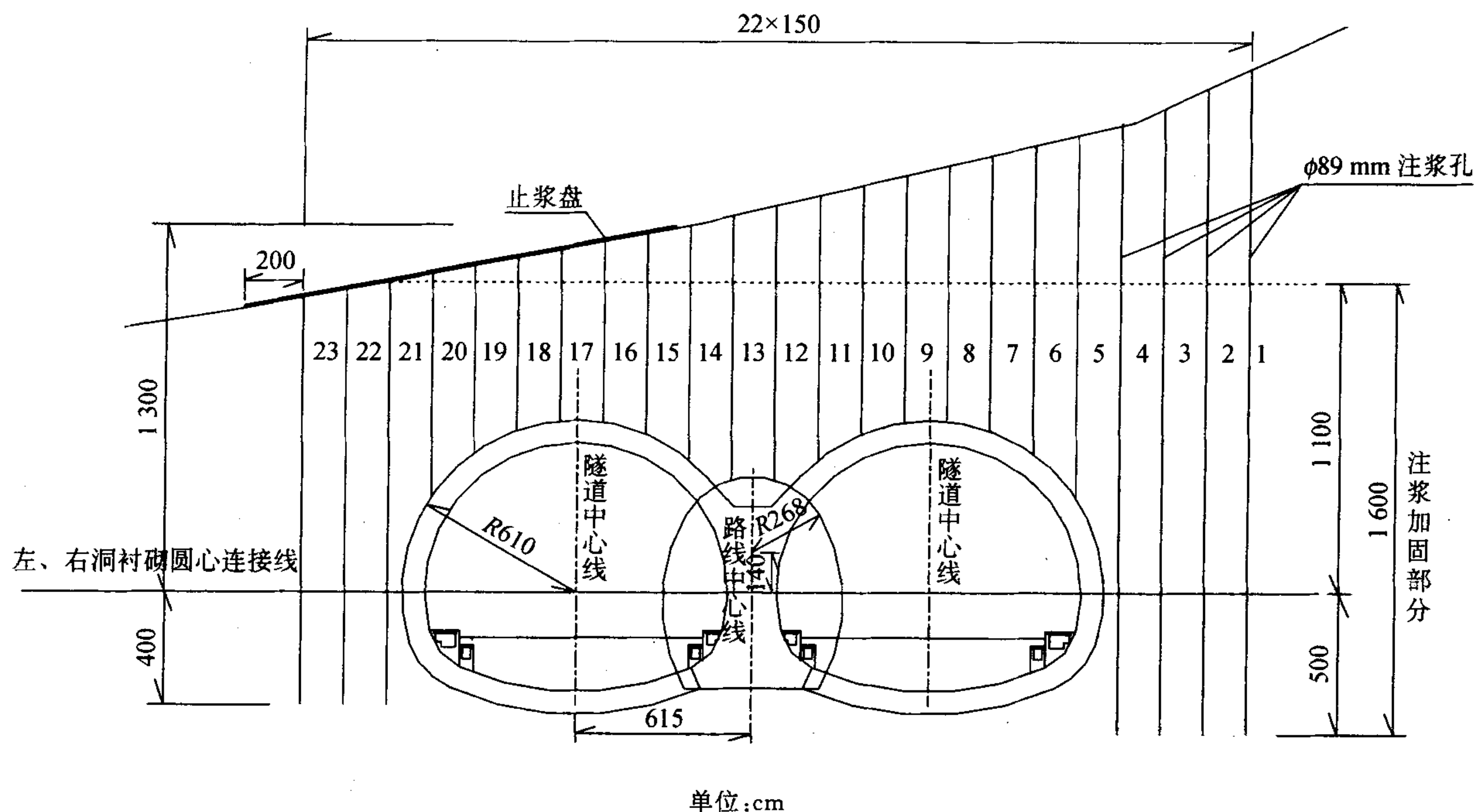


图 5 地表注浆方案—注浆孔(23孔)立面布置

选用单浆液注浆机 JZB-2 型机器进行注浆, 工艺流程如图 6 所示。

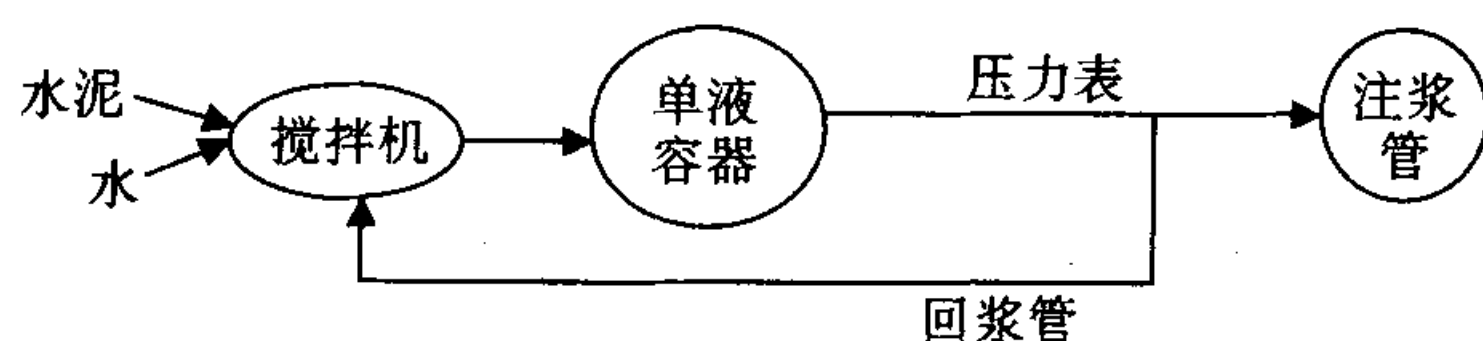


图 6 单液注浆工艺流程

(4) 双浆液。

选用双浆液注浆机 FBY-60 型机器进行注浆, 工艺流程如图 7 所示。

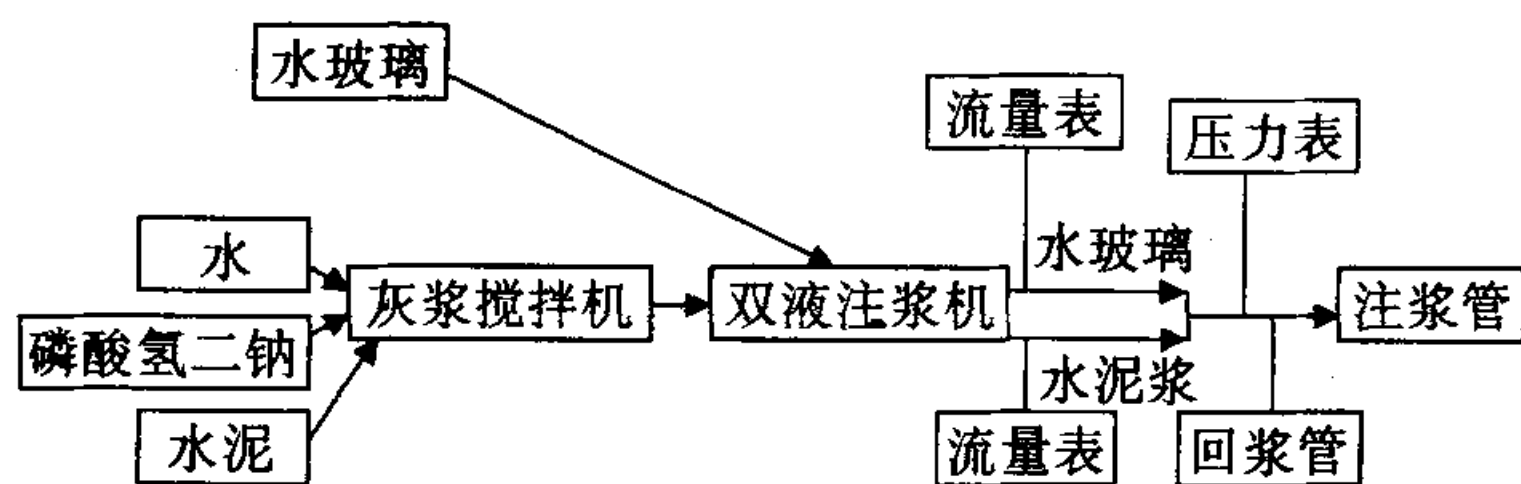


图 7 双液注浆工艺流程

(5) 冲孔。

在注浆前用风和水对注浆孔进行冲孔。冲孔标准为每孔冒出清水时为止, 尽量将孔底残渣及沉淀物清理干净。

(6) 注浆顺序。

先注沟侧(低处)周边孔, 后注山侧(高处)周边孔, 先外围后内部, 间隔注浆方式(见图 2)。

(7) 注浆压力。

前期注浆孔: 0.5~1.2 MPa, 施工时也有达到过 1.5~1.6 MPa;

后期注浆孔: 1.2~2.5 MPa, 施工时也有达到过 2.6~3.0 MPa。

(8) 注浆结束控制。

浆液结束标准以注浆终压和注浆量确定。前期注浆孔以单孔注浆量控制为主, 压力为辅, 当单孔注浆量达到设计单孔注浆量时, 即可换孔注浆; 后期注浆孔则以终压控制为主, 注浆量为辅。达到终压时, 当注浆孔注入率小于 60 L/min 时, 可再延时 20~30 min, 即可结束注浆。

(9) 封孔。

注浆结束后, 采用注浆液封孔, 孔口抹平。

6.2 异常情况的处理

6.2.1 串浆

在注浆过程中, 当浆液从其他注浆钻孔内流出现象, 称为串浆。防止及处理串浆的主要措施有:

(1) 对注浆孔进行间隔注浆;

(2) 适当延长相邻两注浆孔先后施工的间隔时间, 待前一孔注浆的浆液基本凝固后, 再开始后一孔的注浆;

(3) 如具备施工条件, 可对串浆孔同时进行注浆, 一个孔用一台注浆机, 否则应将串浆孔用止浆塞堵住, 待注浆结束后, 串浆孔再继续注浆。

6.2.2 冒浆

在注浆过程中,浆液沿着注浆管或地质裂隙冒出地表的現象,称为冒浆。冒浆的处理措施有:

(1)在冒浆处,采用麻线等物嵌入有浆液冒出缝隙内,再用水玻璃、水泥混合液体进行及时封堵;

(2)采用低压、浓浆、限流、限量、间歇注浆的方法进行灌注;

(3)在地表设置止浆盘,尤其是埋层较浅处的注浆,由于上覆压力不够或注浆压力过大都将导致冒浆。止浆盘施作采用在地表覆盖双层钢筋网片后再喷射 20 cm 厚的混凝土。

6.2.3 浆液无法注入

(1)找出注浆中断原因,尽快解决,及早恢复注浆。

(2)如不能立即恢复注浆,应立即冲洗注浆管,防止堵管,而后再恢复施工。

6.2.4 漏浆

(1)采用低压、浓浆、限流、限量、间歇注浆的方法进行灌注。

(2)必要时,可注入砂浆或其他填充材料先堵漏浆通道再按方法(1)进行处理。

(3)采用水泥—水玻璃双浆液进行处理。

6.3 预埋注浆花管法的特点

可按需要灌注任何一个注浆段,并可进行重复注浆。可使用较高的注浆压力,注浆时冒浆和串浆的可能性小。

缺点是花管不能重复使用,管材耗费较大。

7 质量标准和质量鉴定

7.1 质量标准

按设计要求,注浆后注浆范围内岩体抗压强度不小于 10 MPa。

7.2 质量鉴定

按注浆孔总数的 4% 设置检查孔,钻取岩芯,进行试压,量测其物理力学参数。

8 试验段结果

我们一共试验了 60 个眼孔,累计进尺 440.5 m,设计注浆为 299.47 m³,实际注浆量为 277.15 m³,注入率为 92.55%,2003 年 4 月 23 日取试样,钻了 3 个检查孔,取芯进行试压,其中有 1 孔取样不够试件长度,抗压强度分别为:5.88 MPa、5.21 MPa。其平均值为 5.55 MPa,为设计抗压强度的 56%。主要原因

是:土层为含粘性土碎石,浆液注入岩体形成脉状挤压岩体,但挤压岩体的效果随脉状分布有很大的差别,同时加上地下水的作用,孔下部的扩散量较少,故达不到设计值,最终在专家论证的基础上,设计单位同意将注浆强度以 5MPa 验收。经过注浆试验段的施工验证,地表注浆在隧道施工中,对隧道周围岩层的固结具有非常好的作用,为保证隧道施工安全及正常运营提供了良好的前提条件。

9 施工管理

根据设计和施工要求,工区技术负责人先向施工人员进行技术交底,施工人员再向工班长进行技术、安全交底。注浆、钻孔工作均实行两班制,24 h 现场值班,由工班长和副班长进行钻孔并做好注浆记录,每天下班后把记录交给施工员,再由施工员交给技术员。钻孔前先检查孔的编号是否与图纸相符,孔间距是否在允许误差范围内,成孔后用可以拆卸的 PVC 管,检查孔的深度和垂直度,合格后再进行安装注浆花管,花管根据编号先在加工棚加工,如长度超过 12 m 的可做成 2~3 节,在现场进行焊接。安装花管时,首先检查花管的编号,再检查注浆花管的长度是否与该编号的设计长度相符。

注浆前应检查注浆设备是否处于正常状态。检查原材料是否与设计配合比相符。

注浆过程中随时观察压力表、流量表的读数,做好记录,发现问题及时处理,随时保持机械处于正常工作状态。

10 注意事项

(1)严格按照施工工艺流程、注浆顺序、配合比进行施工;

(2)随时观察注浆压力,流量以及注浆孔周围的变化,以便及时采取措施进行处理;

(3)在单液换双液和间歇时间时,单液换双液时,时间控制在 10 min 以内,根据配合比间歇时间不得超过初凝时间,以防堵管。

11 本次试验的不足和对今后施工的建议

不足之处主要是,开始时有部分管的孔口堵塞不是很密实,出孔冒浆现象严重,还有个别孔冲孔有些不彻底。

建议:(1)加强孔口的堵塞和冲孔,在成孔后立即对孔口进行夯实封闭并设置止浆环,如图 8 所示。

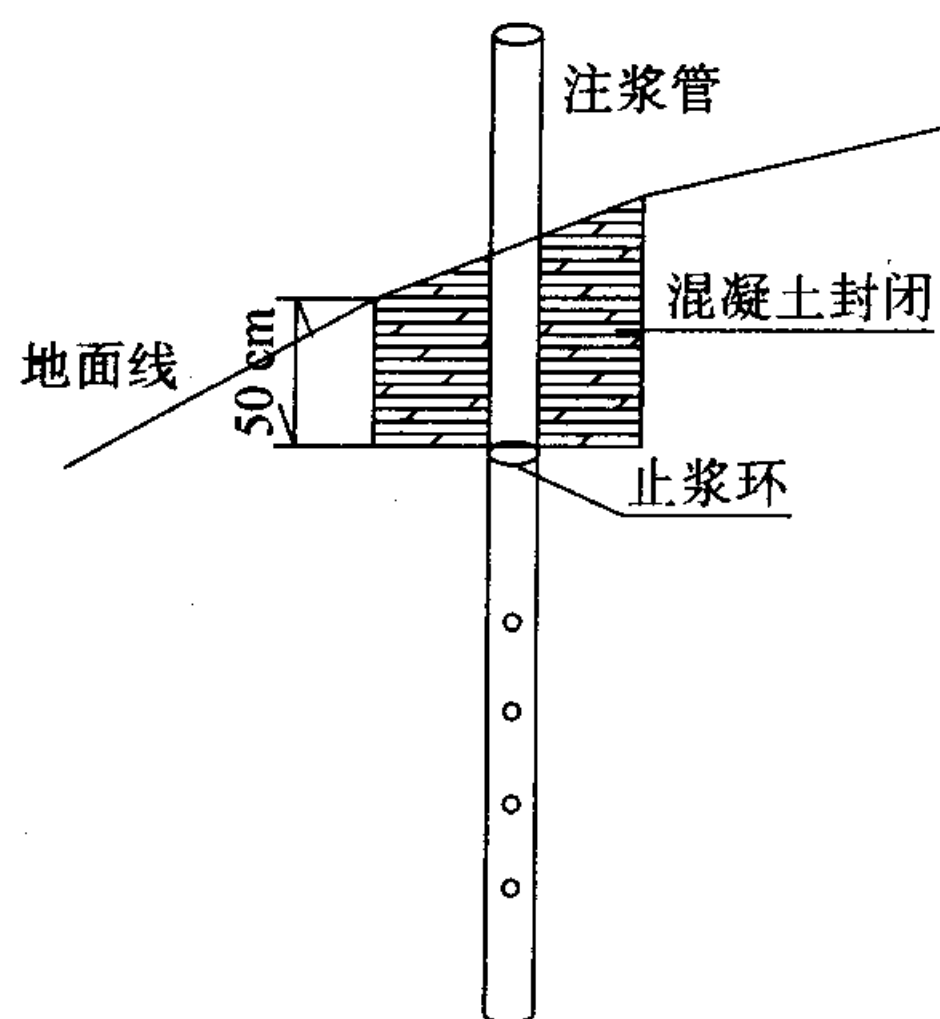


图8 孔口处理

(2) K36+162~+305.9 的注浆段划分如下: K36+162~+195, K36+195~+245, K36+245~+275, K36+275~+305.9。

(3) 通过试验证明, 注浆可以提高成洞条件, 可以继续按此方案施工。鉴于目前注浆孔间距为 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$, 试验结果抗压强度为设计值的 56%。因此, 建议方案二注浆孔间距由 $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 改为 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 。

(4) 本次试验的施工工艺是可行的, 施工机具能够满足今后的施工要求。

(5) 本次试验结果抗压强度只有设计值的 56%。主要原因是地质问题, 但在具体施工过程中应加强控制管理力度。

12 注浆费用

注浆费用与普通建筑工程费用的预算方法相同, 注浆费用包括直接工程费、间接工程费和其他费用, 如包干费、法定利润等。

12.1 直接工程费

12.1.1 注浆材料费

注浆材料的价格除按标准计算外, 还包括容器费及工地运输费。施工中, 为了调节凝胶时间, 有时要改变添加剂的数量, 注浆材料费应包括该内容。

12.1.2 人工费

按作业内容注浆施工可大致分为钻孔、安装制作注浆管和注浆三部分。因此应按作业内容计算人工费。

由于工程的规模、钻孔土层性质、施工目的和方法及现场条件不同, 使得注浆施工的效率明显不同。应根据每种注浆方法的特点, 按取费标准并结合工程的具体情况做出预算。注浆试验过程中, 在判断注浆效果的同时, 还要明确工程的施工效率, 然后再做预算。

冬季、雨季, 夜间作业等可适当增加人工费。

12.1.3 动力费、水费

它包括开动注浆设备的所有动力费和注浆施工中使用的水费。电力设备费和给水设备费用应包括在临时费用中。

12.1.4 仪器设备使用费

注浆施工中使用的主要设备有钻孔设备、注浆设备、各种管材、其他设备费和仪器等, 可根据实际情况计算这些设备器材的使用费。

12.1.5 材料消耗费

计算钻机设备的材料消耗费应包括钻杆、风管、钻头等材料消耗费。此外, 安装制作注浆管的材料消耗费是指注浆管、过滤器、加工注浆管的材料及各种密封材料的费用等。注浆用杂费主要是指洗涤液和劳动工具的费用等。这些费用的多少往往取决于钻孔土层的性质、选择的施工方法等, 一般以 100 m 钻孔作为计算单位。

12.2 间接工程费

12.2.1 临时工程费

临时工程费用是注浆施工中需要的所有辅助工程以及各种临时设备的费用。包括埋设物的保护费、地表保护费、施工设备费、水电费、安装设备费(包括空压机、提供水压设施等)、临时建筑费、排放废水及泥水处理费等。

12.2.2 运输费

它包括与注浆有关的所有运输费用。如施工开始时设备材料的运进, 施工结束后的拆除搬家, 以及施工过程中工地内大小件运输等费用。

12.2.3 其他费用

施工管理费是指经营维护现场所需要的费用。计算时将直接工程费和间接工程费之和乘以一个系数, 系数的大小取决于工程费用的多少, 一般大于 10%。

普通管理费取决于每个企业的条件, 一般情况下是取直接工程费和间接工程费之和的 13% 以上。

13 结语

地表注浆作为注浆法在隧道工程中的一种应用方式, 尤其是为改善围岩条件较差的隧道工程的成洞条件, 把隧道周围的岩层进行有效地加固, 使之形成一个整体, 改善围岩的不均匀性, 从而保证整个隧道的安全、稳定, 确保施工和运营的正常进行均能起到很好的作用。