

# 软流塑地层浅埋暗挖隧道施工工法

(TGJGF-03·04-36)

中铁隧道集团有限公司

## 一、前言

南京地铁南北线一期工程珠江路站~鼓楼站和鼓楼站~玄武门站区间隧道各有一段是软~流塑地层,覆土厚度8~9m,采用矿山法暗挖施工,结构断面为马蹄形复合式衬砌。为了建造这两段隧道,组织了设计、施工、科研、机械制造等专业技术人员进行了科研攻关,形成了多项科研成果,本工法就是在这些科研成果和施工技术总结的基础上形成的。

本工法的关键技术是大管棚液压顶进、挤入法施工小导管、掌子面全断面注浆加固、后退式劈裂注浆工艺和小型机械结合人工开挖等,其关键技术成果已于2003年11月8日通过了江苏省科技厅组织的专家鉴定。

## 二、工法特点

1. 对工程性能很差的软流塑地层实施有效的改善提高,解决此类软弱地层的工程结构支护参数设计与施工加固,有一套完整的、先进的施工方法和施工工艺。
2. 能充分保证地面建筑、城市交通、地下管线等设施和环境不受工程施工影响,工程施工可在地下平稳地进行。
3. 工法可操作性强,工艺技术标准高,能使工程建设达到快速、安全、经济、合理、质量好的目标。

## 三、适用范围

1. 软流塑地层中的浅埋暗挖地铁区间隧道或跨度小于8m的隧道、过街道、地铁出入口及其它类似的地下工程。
2. 软流塑地层中跨度大于8m的浅埋暗挖隧道或其它类似的地下工程可参照本工法进行施工。
3. 本工法的大管棚液压顶入技术、小导管掌子面后退式注浆技术、劈裂注浆工艺等在地下工程软弱地层加固中具有广泛的适用性。

## 四、工法原理

针对软流塑地层强度低、高压缩性的特点,采用液压顶入法及其它顶入法顶入 $\phi 108$ 大管棚和 $\phi 32$ 小导管,能避免钻孔扰动地层,有效地超前加固与挤密土层。对掌子面及周围岩层采用劈裂注浆法进行加固,从根本上解决了软流塑地层渗透系数低、注浆困难这一难题。在地层加固后有超前支护的情况下,采用上弧导坑短台阶分部开挖和支护,衬砌钢模台车全断面衬砌紧跟,保证工程施工顺利进行。

## 五、施工工艺

### (一) 工艺流程

软流塑地层浅埋暗挖隧道施工工艺流程见图1。

### (二) 操作要点

#### 1. 软流塑地层特点与变形控制标准

软流塑地层工程特性为围岩自稳能力极差,开挖后易产生塌方,严重时可能发生涌泥现象,地层加固难度较大;地面沉降控制难度大,地

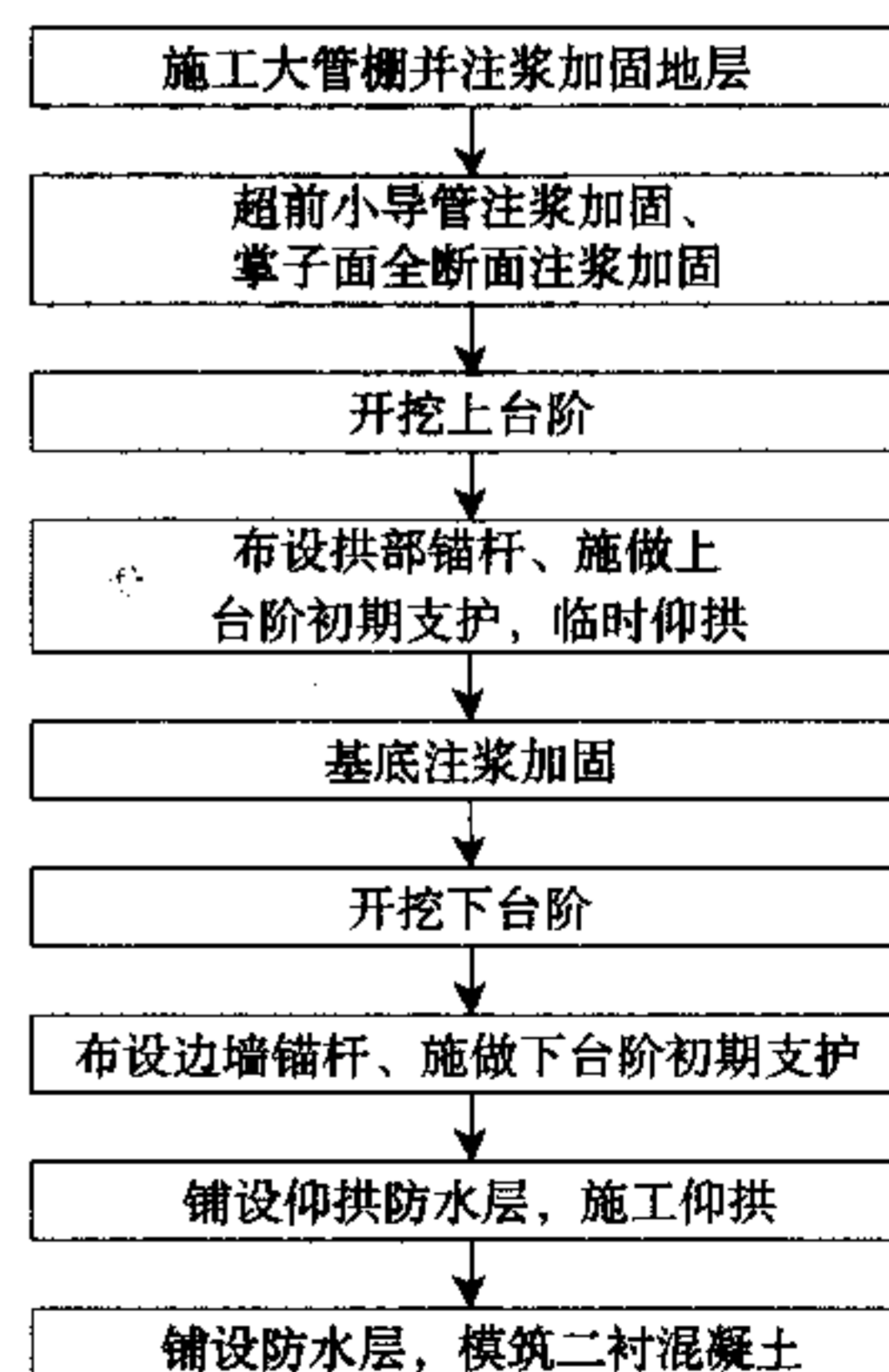


图1 隧道施工工艺流程

面沉降过大,在道路区易引起路面开裂,甚至塌陷;在管线和建筑物区,易造成地下管线破坏和建筑物开裂。

软流塑地层变形控制标准:

地面隆沉总体上仍控制在  $+10\text{mm}$ 、 $-30\text{mm}$  之内,并应根据每幢建筑物和隧道的相对位置进行具体分析,以确定每幢建筑物的具体标准。

建筑物允许倾斜值按《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)取值,多层和高层建筑物基础(片石基础和毛石基础除外)的允许倾斜值:当建筑物高度 $\leq 24\text{m}$ ,取 0.004;当  $24\text{m} <$  建筑物高度 $\leq 60\text{m}$ ,取 0.003。

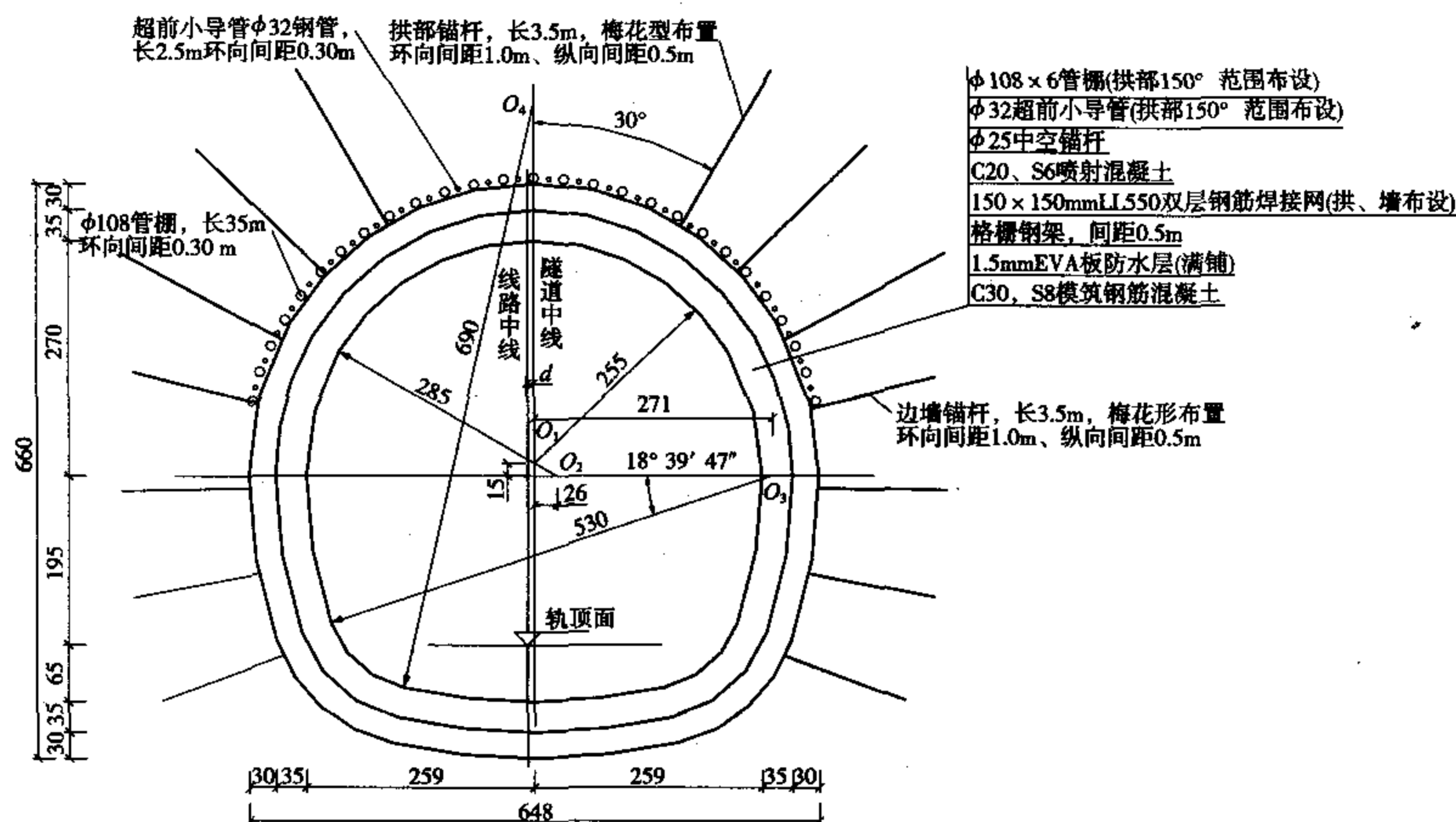


图2 VI级围岩设计结构 A 型横断面及参数(单位:cm)

## 2. 工程结构断面与支护参数

### (1) 一般断面

根据地层特点,工程结构断面一般采用马蹄形。拱部  $150^\circ$  范围布长  $35\text{m}$  的  $\phi 108$  大钢管管棚和长  $2.5\text{m}$  的  $\phi 32$  小导管超前支护,钢管打孔注浆。大钢管采用水泥—水玻璃双液浆对周围  $1.5\text{m}$  范围进行注浆加固。大管棚搭接长度  $5\text{m}$ ,环向间距  $0.30\text{m}$ 。小导管搭接长度  $1\text{m}$ ,环向间距  $0.30\text{m}$ ,采用 HC-T 单液浆进行注浆加固。掌子面用长  $13\text{m}$ 、直径  $42\text{mm}$  的 PVC 劈裂注浆管,搭接长度  $4\text{m}$ ,I 号圈采用 HC-T 单液浆注浆,其余采用水泥—水玻璃双液浆注浆。边墙采用中空锚管注浆,浆液选用 HC-T 凝胶时间可调注浆材料单液浆。VI 级围岩 A 型断面和设计参数如图 2 所示(A 型断面用于下穿建筑物段)。

### (2) 大管棚工作室

大管棚工作室长  $5 \sim 6\text{m}$ ,利用大管棚向上的插角形成的保护空间进行设计,支护参数同标准断面(见图 3)。

## 3. 隧道施工方法

隧道开挖采用短台阶法施工:上台阶预留核心,底部设置  $20\text{a}$  工字钢并喷厚  $25\text{cm}$  C20 级混凝土的临时仰拱;下台阶先跳槽挖接钢拱架,随后进行清底和隧道底部支护闭合。开挖台阶长度  $3 \sim 4\text{m}$ 。

防水层在全断面开挖和初期支护完成后,滞后一段距离铺设,并与仰拱衬砌和边墙底部衬砌保持协

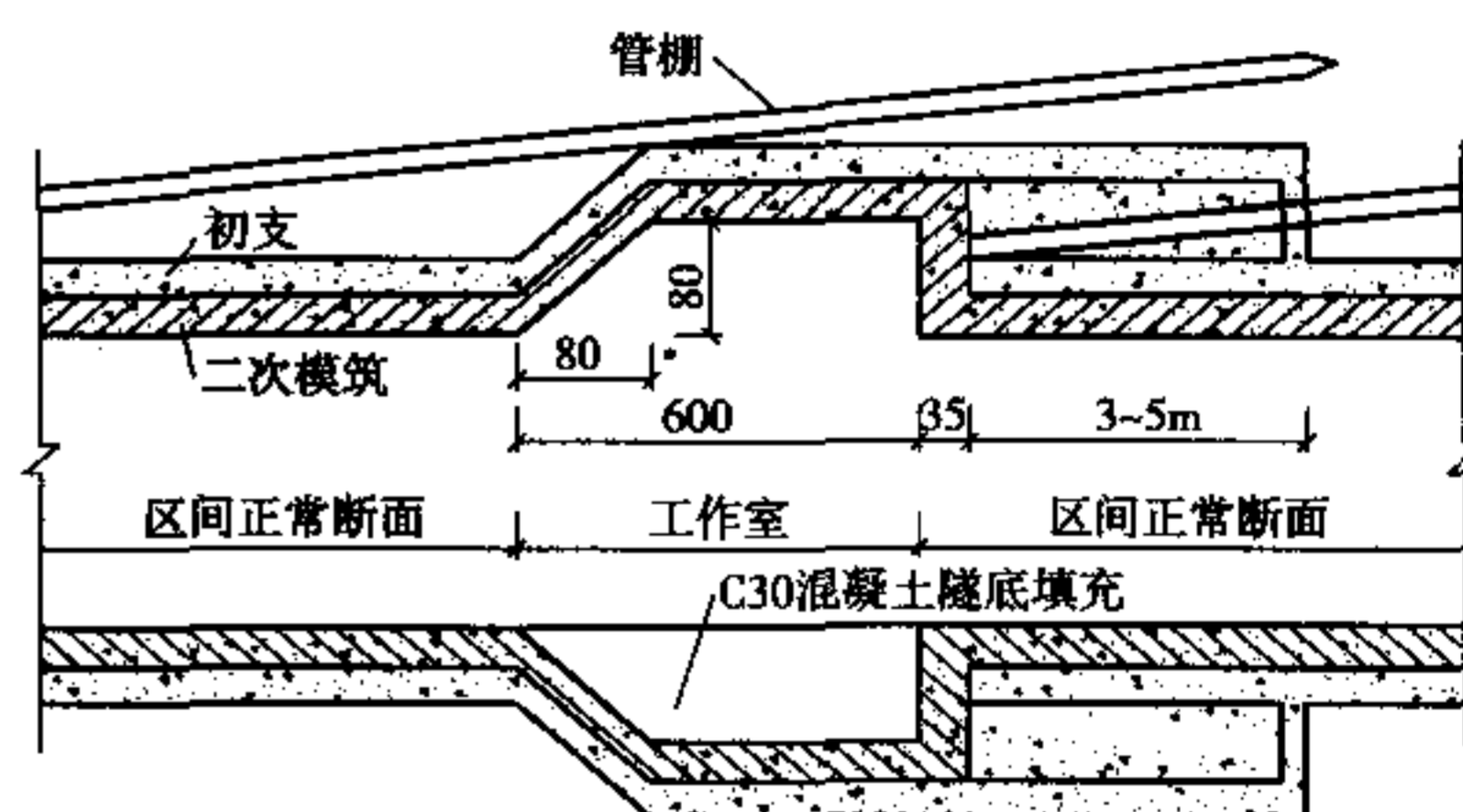


图3 大管棚工作室(单位:cm)

调。拱墙二次衬砌在防水层、仰拱衬砌和边墙底部衬砌完成后,隧道开挖变形与初期支护结构基本稳定时,用衬砌钢模台车一次浇筑成型。

#### 4. 施工要点

##### (1) 大管棚施工

大管棚棚管用  $\phi 108$  无缝钢管,长 35 ~ 40m,壁厚 6mm,将其加工成花管。

大管棚施工工艺流程见图 4。棚管采用液压顶入法对应于设计位置直接顶入,以避免用引孔法时成孔困难。这样,可以挤压软流塑土体,也排出部分含水,起到加固土体的目的,对土体的扰动较小,施工时地表基本无变形。大管棚施工导向采用长 2m 的  $\phi 120$  无缝钢管,通过掌子面封闭混凝土墙固定,上插角度  $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。液压顶进后背支座采用三角型钢架,钢架由 20a 槽钢焊接加工而成,通过 22a 工字钢传力于管棚工作室两边后端墙。

##### (2) 超前小导管注浆施工

超前小导管用  $\phi 32$  普通钢管,一端做成尖形,另一端焊接上铁箍。在距铁箍端 1.0 ~ 1.5m 处开始钻孔,钻孔沿管壁间隔 200mm,呈梅花型布设,孔位互成  $90^{\circ}$ ,孔径 8 ~ 10mm。

超前小导管采用不开孔直接顶入地层的方法进行布设,等小导管打入设计位置时对地层进行注浆。小导管施工工艺流程见图 5。

##### (3) 掌子面注浆施工

掌子面注浆管用长 13m、直径 42mm 的 PVC 袖阀管(劈裂注浆管,其构造见图 7),搭接长度 4m,间距 0.5m,浆液采用水泥—水玻璃双液浆。袖阀管注浆具有两个止浆塞,能将浆液限定在任意一段进行灌注;阻塞器可以在袖阀管内自由移动,可反复注浆;可以使用较高的注浆压力,注浆时冒浆和串浆的可能性比其它方法要小;可根据不同的地层采用不同的注浆材料或浆液配合比,选用不同的注浆参数;注浆、钻孔可分开作业,以提高工作效率。

采用钻孔和静压结合的方法将袖阀管置入土体。注浆采用后退式注浆。注浆工艺流程见图 6。

##### (4) 基底加固

注浆管和锁脚锚管均采用  $\phi 32$  普通水煤气管,长 2.5 ~ 3m,其加工和布设等施工方法同超前小导管。

##### (5) 注浆孔布置

大管棚、超前小导管、基底加固注浆管和需注浆的锁脚锚管,其注浆孔即为设计管位。

掌子面注浆孔的布置采用全断面布置,注浆时按先四周后中间顺序进行,中间布置一排水孔,以利于软土地层中的孔隙水在注浆过程中受到挤压时能顺利排出。周边孔向外倾角  $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

##### (6) 注浆材料

考虑到区间隧道所通过的地层为淤泥质粉质黏土,隧道周边注浆要求浆液保持后期强度,采用一般注浆材料很难达到这个要求,因此,对不同注浆管采用不同注浆材料。

①大管棚注浆材料为 32.5 级水泥和水玻璃双液浆,水玻璃浓度为 25 ~ 35Be',模数 2.6,水泥浆液水灰比为 0.8:1 ~ 1:1(根据现场实施效果进行调整),水泥浆液与水玻璃的比例为 1:1。

②小导管、中空锚杆、基底注浆管注浆材料采用 HC-T 凝胶时间可调注浆材料,凝胶时间为 20 ~

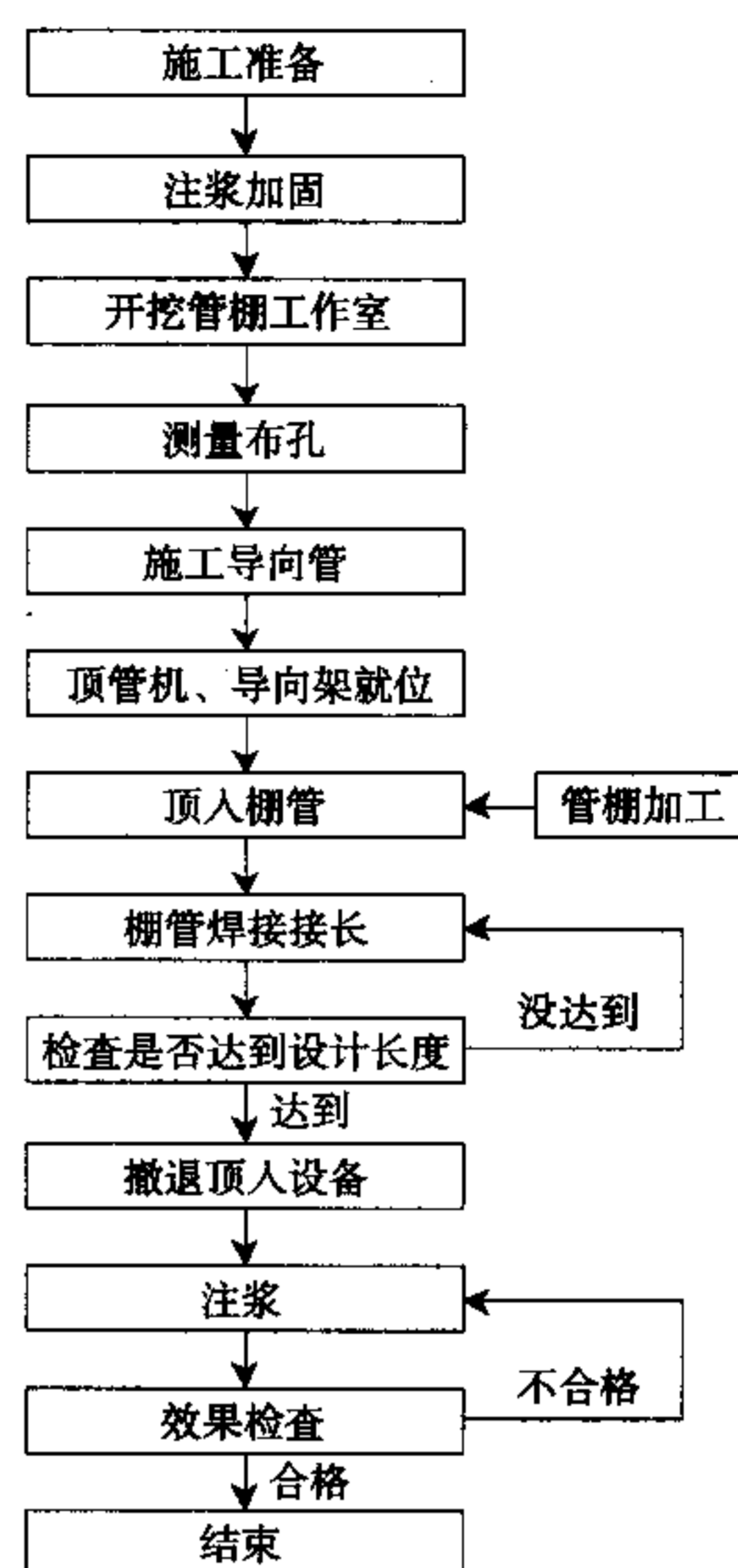


图4 大管棚施工工艺流程

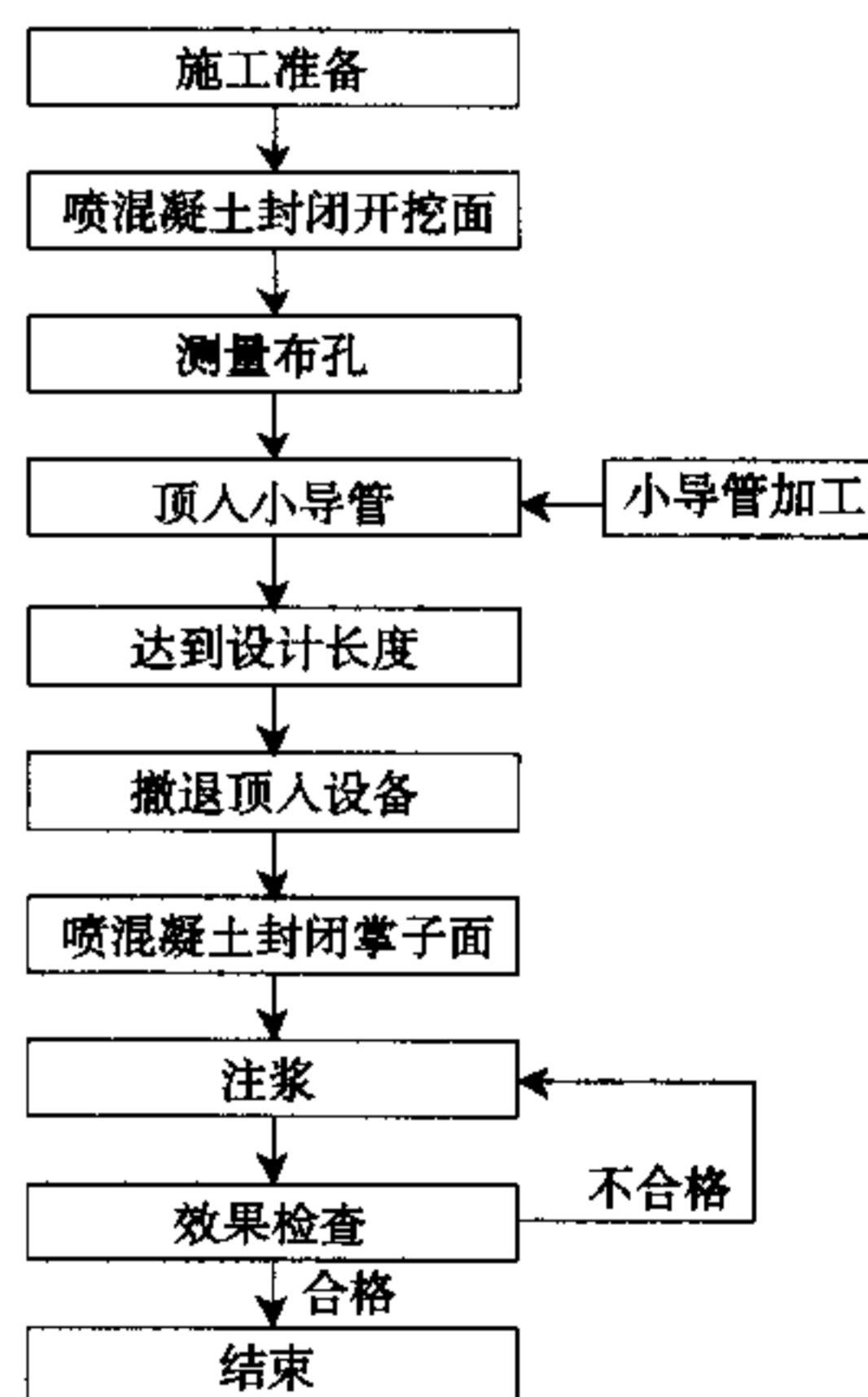


图5 小导管注浆工艺流程

40min,水灰比为0.8:1~1:1,水泥标号42.5级。

③PVC劈裂注浆管注浆材料:周边I号圈孔采用HC-T凝胶时间可调注浆材料,凝胶时间为20~40min,水灰比为0.8:1~1:1,水泥标号42.5级。其余孔采用水泥和水玻璃双液浆压注。

### (7) 注浆作业

#### ① 注浆压力

大管棚注浆压力1.0~1.5MPa;掌子面深孔注浆(PVC劈裂注浆管)压力0.8~1.5MPa;若进行二次注浆,第一次注浆压力0.6~0.8MPa,第二次注浆压力1.0~1.5MPa;小导管、锁脚锚管、基底加固注浆压力0.6~1.0MPa。

#### ② 注浆速度

根据地层吸浆量由经验确定,本工程通过工程类比法确定注浆速度30~50L/min。

#### ③ 凝结时间

浆液凝结时间通常控制在20~40min,太短则浆液凝固太快,注浆效果较差;太长则浆液凝固时间长,严重影响到工期。

#### ④ 单孔注浆量

$$Q = LR^2 \pi v \eta n$$

式中  $Q$ ——单孔注浆量( $m^3$ );

$L$ ——注浆段长(m);

$R$ ——浆液扩散半径(m);

$v$ ——注浆段土层孔隙率;

$\eta$ ——浆液损失率;

$n$ ——浆液有效充填率。

掌子面注浆孔  $Q = 2.47m^3$ ,小导管  $Q = 0.31m^3$ ,大管棚  $Q = 2.52m^3$ 。

### (8) 注浆方式

PVC劈裂注浆管采用全孔分段后退式注浆。大管棚和小导管采用全孔一次性劈裂注浆。

### (9) 注浆要点

①注浆之前要清理注浆孔,安装好注浆管,保证其畅通,必要时进行压水试验。

②注浆必须连续作业,不得任意停泵,以防浆液沉淀,堵塞管路,影响注浆效果。

③注浆应由低处向高处,由无水向有水处依次压注,以利充填密实,避免浆液被水稀释离析。

④注浆时,必须严格控制注浆压力,以防大量跑浆和使结构产生裂缝。

⑤在注浆过程中,如发现从施工缝、混凝土裂缝少量跑浆可以采用快凝砂浆钩缝后继续注浆,当冒浆或跑浆严重时,应关泵停压,待浆液凝固后进行第二次注浆。

⑥注浆结束标准:当注浆压力稳定上升,达到设计终压;压注浆量达到计算值80%以上并持续稳定10min(土层中要适当延长时)后,不进浆或进浆量很少时,即可停止注浆,进行封孔作业。

⑦停浆后,立即关闭孔口阀门,然后拆除和清洗管路,待浆液初凝后,再拆卸注浆管,并用高等级水泥砂浆将注浆孔填满捣实。

### (10) 注浆管理

①为了确保顺利通过质量检查和验交,必须保管好全部证明书及测量数据等;

②施工中应经常监视注浆量、注浆压力及地面建筑、地下管线和二衬结构状况,必要时应变换注浆参数;

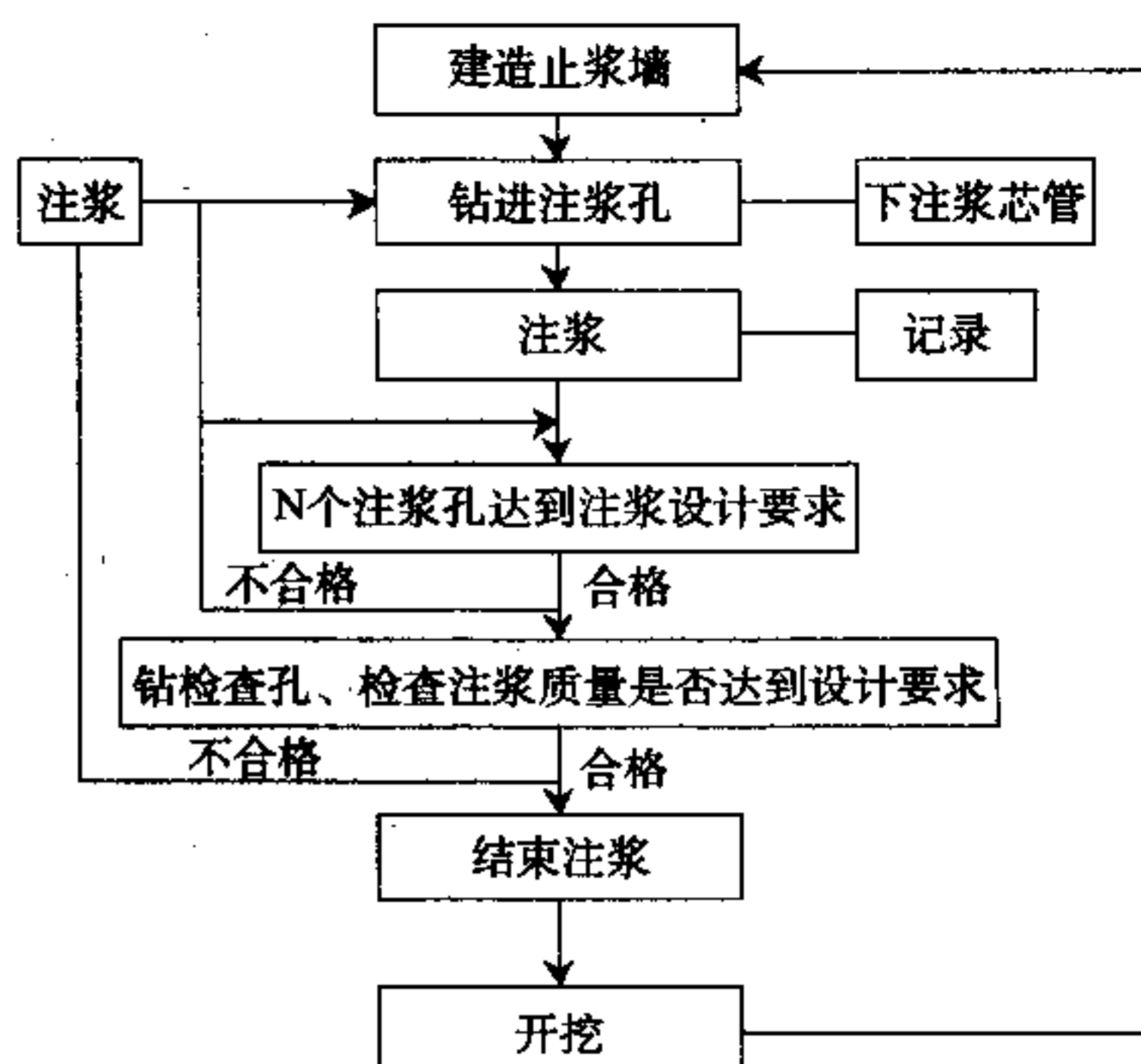


图6 掌子面注浆工艺流程

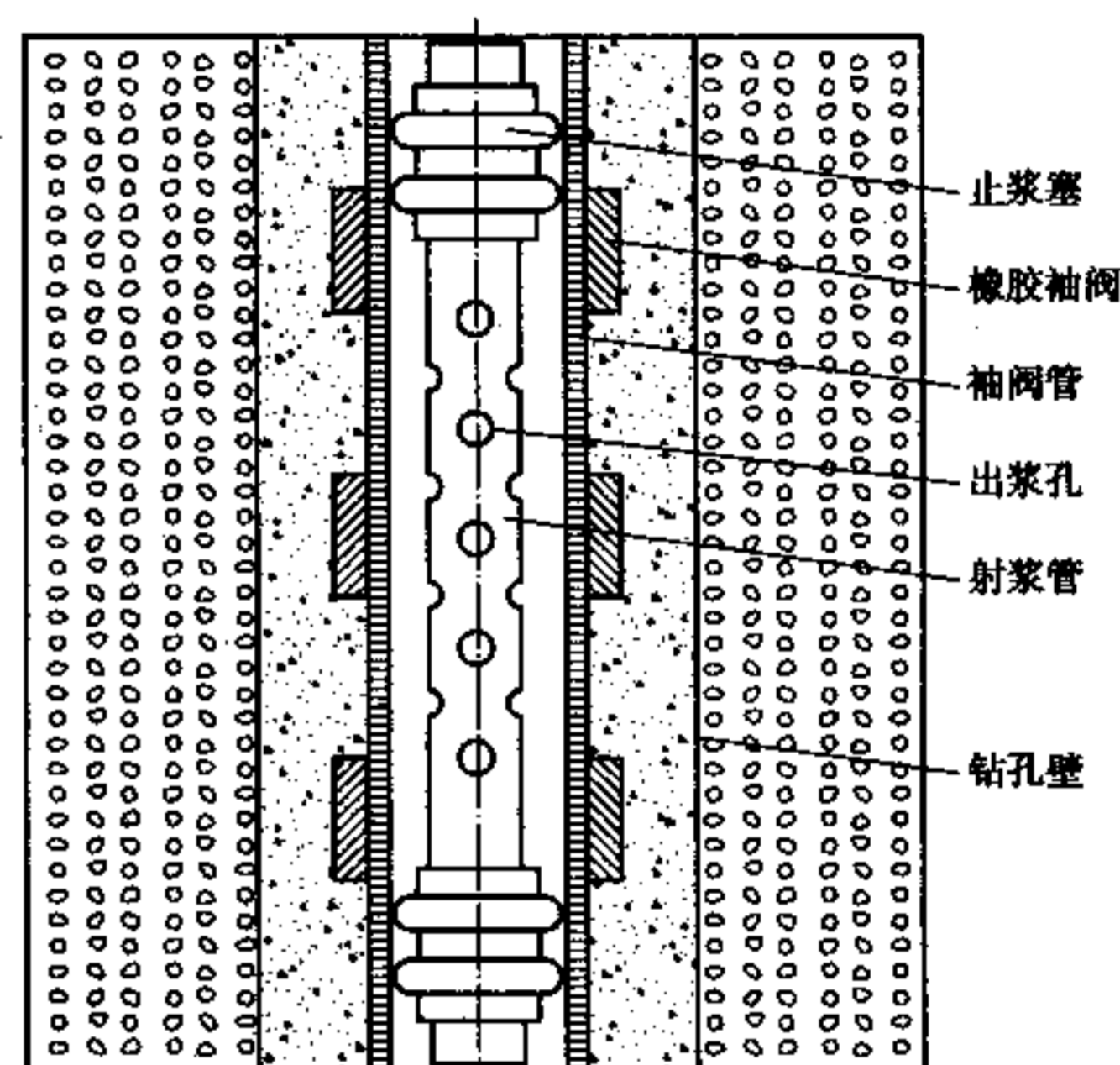


图7 袖阀管构造

③根据注浆情况,事先应计算出注浆量,并与实际注浆量进行对照,及时跟踪、变更施工参数。

掌子面长管注浆每循环13m,开挖9m,预留4m作为下一循环的止浆岩墙。止浆墙面网喷厚30cmC20级混凝土,作为注浆孔钻机的工作面和钻杆架立面。

#### (11)隧道开挖及初期支护

隧道开挖采用台阶分部法人工开挖,开挖台阶长3~4m。上台阶环形开挖,预留核心土,台阶底部设置20a工字钢并喷厚25cmC20级混凝土的临时仰拱。上台阶开挖每次0.5m,及时进行挂网初喷和格栅钢架架立后的复喷。每个拱脚施作两根锁脚锚杆,锁脚锚杆为 $\phi 25$ 中空锚杆,长2.0m。边墙施作长3.5m、环纵向间距1m的置入式中空注浆锚杆并注浆。每开挖1m进行一次小导管布设和注浆。每次上台阶开挖后都要及时架设工字钢、挂网,喷混凝土封闭,形成临时仰拱。

下台阶施工前,周边加设注浆管,尽量控制渗水范围,并采用 $\phi 32$ 普通水煤气管进行基底注浆加固,以避免开挖后底部上鼓。开挖时,对好上部钢拱架位置采用小型机械跳槽开挖,人工修整周边轮廓,缩短拱架封闭时间,尽早成环。每次开挖进尺0.5m,开挖后及时接长与固定格栅钢架,同上台阶一样进行锁脚锚杆和边墙中空注浆锚杆打设并注浆。

如开挖时掌子面不稳,开挖后均采用网喷混凝土封闭掌子面。喷混凝土均采用双快(硫铝酸盐)水泥。初期支护施工完成后,立即对初期支护背后进行回填并注浆加固。

#### (12)防水层施工

①区间结构采用抗渗等级为S8的补偿收缩防水混凝土进行结构自防水;结构外侧全包铺设厚1.5cm的EVA防水板,并在防水层外设置细石混凝土或土工布保护层。

②铺设防水层前,初期支护表面不得有明水,如有渗漏可采用注浆堵水或设置排水管将水排除。

③变形缝处设置中埋式橡胶止水带,止水带位置要准确居中,止水带用细铅丝绑扎固定于结构钢筋上;在拐角处止水带安装成直径10cm以上的圆角;止水带的接头采用现场硫化的方法进行连接。

④施工缝处设置钢板腻子止水带或遇水膨胀橡胶条,钢板腻子止水带用细铅丝绑扎固定于结构钢筋上;止水带连接采用搭接法。

#### (13)二次衬砌施工

先施工仰拱,边墙和拱部采用长12m的模板台车一次浇注成型。混凝土采用高性能补偿收缩防水混凝土,混凝土配合比设计要考虑自身防渗抗裂的要求。施工时控制混凝土的入模温度,同时加强混凝土的浇注、振捣与养护。

采用商品混凝土时,加强与混凝土生产厂家的联系和现场质量检验,防止使用质量不合格的混凝土。

#### (14)现场监控量测

监控量测的项目主要根据地下工程的地质条件、围岩类别、跨度、埋深、开挖方法和支护类型等综合确定。南京地铁南北线一期工程珠江路~鼓楼区间、鼓楼~玄武门区间确定的主要监测项目、使用仪器和监测频率见表1。监控量测工作流程见图8。

表1 监测项目

监测项目	监测仪器	监测频率
地质和支护状况观察	利用肉眼、罗盘对围岩情况、支护结构裂缝进行观察和描述	与洞内监测项目同时进行
周边位移	收敛计	
拱顶下沉	水准仪、普通钢尺	开挖面距量测断面前后 $<2B$ 时:1次/天,
地表沉降	水准仪、钢钢尺	开挖面距量测断面前后 $\leq 5B$ 时:1次/2天,
地下管线沉降	水准仪、钢钢尺、经纬仪	开挖面距量测断面前后 $>5B$ 时:1次/周
土体水平位移	测斜管、测斜仪	埋设一周内1次/1~2天,埋设一周后1次/周
土体分层垂直位移	沉降管、分层沉降仪	埋设一周内1次/1~2天,埋设一周后1次/周
围岩压力	压力盒、频率接收仪	开挖面距量测断面前后 $<2B$ 时:1次/天,
钢架应力	钢筋计、频率接收仪	开挖面距量测断面前后 $\leq 5B$ 时:1次/2天,
地下水位	水位管、地下水位仪	开挖面距量测断面前后 $>5B$ 时:1次/周
		1次/2天

注:表中 $B$ 为隧道宽度。

## 5. 施工对策

(1)隧道的开挖和一次支护应从上而下、衬砌结构应从下而上进行。关键是如何控制拱部、掌子面的稳定及仰拱封闭前的下沉。

(2)制定严格的施工管理制度、严格施工纪律,在施工中严格执行“浅埋暗挖法”的“管超前,严注浆;短进尺,强支护;早封闭,勤量测”的原则和施工工艺。

(3)布设大管棚要认真按设计要求进行,采用无水钻孔作业,液压顶入法成型,水泥—水玻璃双液浆一次性压入注浆。大管棚施工时,工作面喷厚35cm 双层网喷 C20 级混凝土封闭掌子面。

(4)隧道周边(I号圈注浆孔和小导管、边墙中空锚杆)应采取劈裂和压密注浆,浆液用HC-T注浆材料配制,凝胶时间为20~40min,水灰比0.8:1~1:1,水泥42.5级。注浆压力以不引起地层拱起为原则,注浆压力1.0~1.5MPa。

(5)开挖面打深孔(孔深13m)进行全断面注浆加固,注浆顺序从周边向内圈依次注浆,并喷一定厚度的混凝土封闭开挖面。

(6)在架立钢拱架的0.5m开挖循环前,先用风枪打入小导管,然后进行一次性压入注浆。根据现场监控量测结果,必要时每榀钢拱架打设一次。浆液采用HC-T超细单液浆注浆,水灰比0.8~1.0,初凝时间20~40min。

(7)施工中要充分重视开挖过程中的时空效应,即开挖弧形导坑、架设格栅拱和喷混凝土作业要快并连续进行,一般应控制在最短时间(不超过4h)内完成。

(8)钢格栅拱的拱脚下铺设钢板,钢板宽度与钢拱架匹配,纵向长度50cm,并架设临时仰拱。拱部格栅与临时仰拱应连接牢固。初期支护格栅拱的设计应能达到等刚度,辅助筋的焊接要牢靠,避免局部压弯失稳。临时仰拱矢高30cm,采用20a工字钢骨架,喷厚25cmC20级混凝土封闭,形成整体。

(9)上台阶开挖时,拱脚应高出台阶10~20cm,并避免台阶底部积水。格栅拱脚下铺长40~50cm的钢板,同时在拱脚处两侧各设置2根能注浆的长2.5m的 $\phi 32$ 锁脚锚管,锁脚锚杆置入角为 $60^\circ$ ,采用HC-T超细单液浆注浆。单液浆水灰比0.8~1.0,初凝时间20~40min。

在拱脚以上 $35^\circ \sim 55^\circ$ 范围内增设3根长5m中空锚杆注浆,注浆加固拱腰上方土体。同时,对初期支护背后空隙及时进行充填注浆,以防地层下沉。浆液采用1:0.5~1:1水泥砂浆,压力 $<0.5\text{MPa}$ 。

上台阶长度控制在一倍洞径(5~6m),以充分发挥掌子面的空间效应。

(10)下台阶周边加设外插 $3^\circ \sim 5^\circ$ 的注浆管,通过注浆尽量控制渗水范围。

下台阶开挖前采用长3.5m的 $\phi 32$ 普通水煤气管进行基底注浆加固,按环向间距0.4m,纵向间距1m,向下 $30^\circ$ 用风枪打入。

下台阶开挖宜对应好上部钢架拱脚跳槽开挖,及时支撑开挖后的拱脚,缩短拱架封闭时间,使支护尽早成环。施工时,先开挖一侧,设置2根长2.5m的 $\phi 32$ 普通水煤气管锁脚锚杆(置入角为 $60^\circ$ )。

(11)整个施工过程严格进行动态设计、动态施工和动态管理,及时进行量测与信息反馈,形成快、准、严的决策机制和作业程序,这是安全通过的重要条件。

## 六、主要机具设备(见表2)

## 七、劳动组织

管棚施工、注浆、开挖、喷射混凝土施工分三班进行,仰拱、铺底、防水层及衬砌随开挖进度而分段进行。劳动组织见表3。

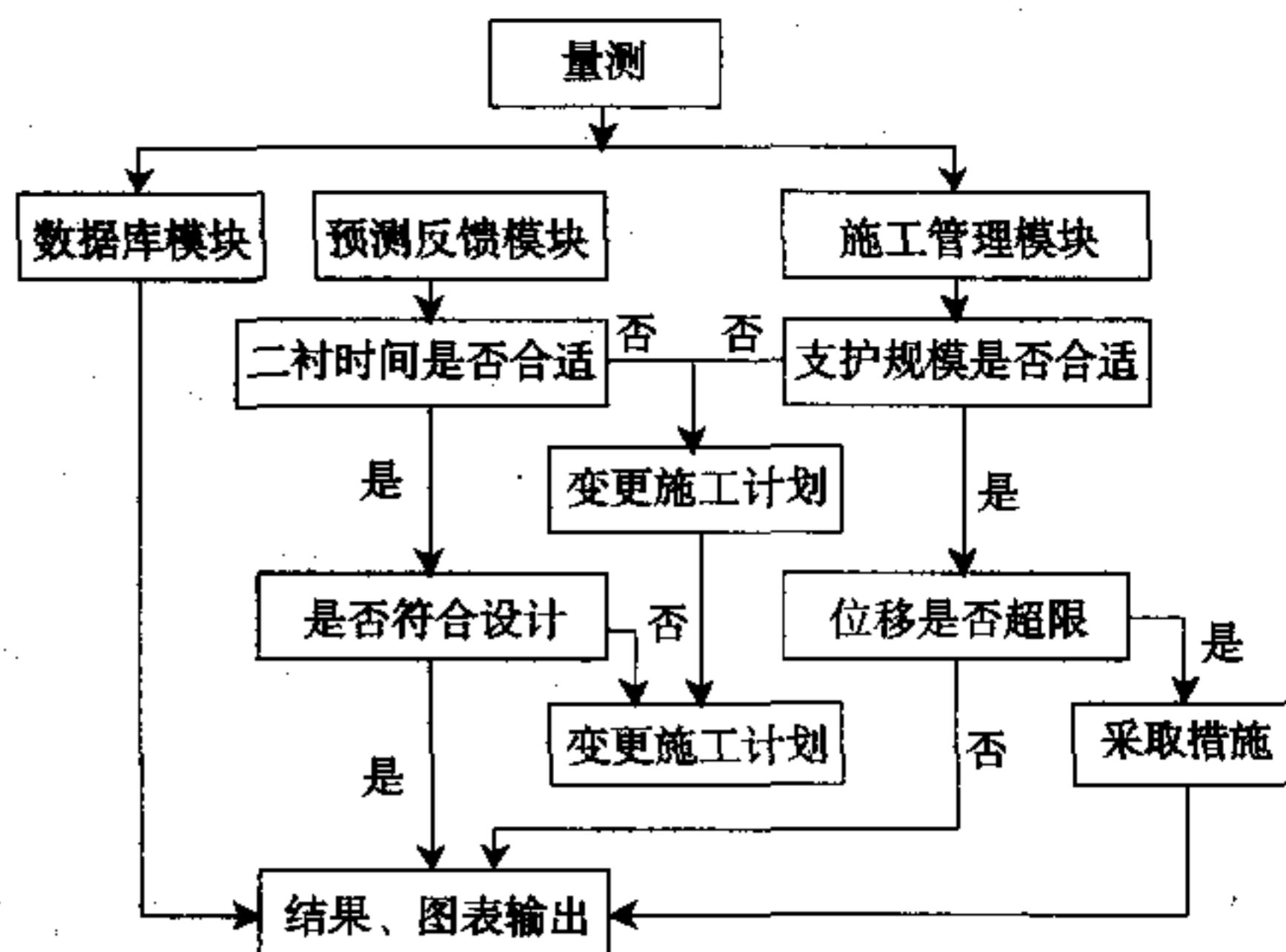


图8 监控量测工作流程

表2 主要机具设备

序号	机械名称	型 号	规 格	数量
1	液压千斤顶		50kN	1
2	导向架	自制		1
3	管棚钻机	GBZ-150	钻深 300m	1
4	注浆机	BW-250/50	11kW、3m <sup>3</sup> /h	2
5	双液注浆机	HVF-5D		1
6	风钻	YT-28		4
7	湿喷机	TK-961		1
8	电动空压机	4L-208	130kW、20m <sup>3</sup> /min	2
9	轴流通风机	MFA100P	110kW、1200m <sup>3</sup> /h	2
10	模板台车	自制	12m	1
11	自卸翻斗车		4~5t	4
12	混凝土输送泵	HBT60C	60m <sup>3</sup> /h	4
13	混凝土运输车		6m <sup>3</sup>	6
14	混凝土搅拌机	JZ350	350L	4
15	龙门吊	自制		1
16	电动葫芦	CD1	100kN	4
17	自卸汽车		15t	6
18	挖装机	大宇 DH55 型		2

表3 劳动组织

序号	岗位工种	人数	说明
1	司钻工	6	每台班 2 人
2	注浆工	6	每台班 2 人
3	混凝土喷射手	2	
4	各类机械司机	22	
5	钢筋工	6	
6	挖土工	18	每台班 6 人
7	防水层作业工	6	
8	混凝土工	26	
9	普工	8	
10	电工	2	
11	焊工	3	
12	机修工	2	
13	钳工	1	
14	汽车司机	16	
	合 计	124	

## 八、质量要求

施工除遵循我国现行与本工程相关的施工与设计规范的质量要求外,还要结合本工程特点达到以下要求:

1. 除采用大管棚、小导管、锚杆及注浆加固结构外,初期支护还应采用钢拱网喷。
2. 全断面注浆止浆墙采用喷射混凝土(C20 级),其厚度不小于 30cm,并严格按喷混凝土工艺和质量要求进行施工和管理。
3. 严格按设计要求进行注浆,大管棚和小导管采用顶入法施工,布孔误差应小于设计要求的 5%。
4. 浆液应严格按照设计要求进行配制,并在试验段进行试验后使用。
5. 长孔采用全孔分段后退式注浆,短管采用全孔一次性注浆。注浆压力按不同的管、不同位置设计。
6. 当出现窜浆或跑浆时,要及时进行封堵或采用间隙注浆等措施。
7. 每循环结束后,需检查注浆效果,达到设计要求后再开挖,否则应钻孔补注。
8. 采用上下断面台阶法施工,台阶长控制在 3~4m,开挖循环进尺宜为 50cm。上台阶宜用环形开挖预留核心土,上台阶底部设强度较大的临时仰拱进行封闭。

## 九、安全措施

1. 坚持安全教育,持证上岗。
2. 严格按设计及施工规范要求施工,认真执行相关的施工安全规程。
3. 针对软流塑地层严格执行动态设计、动态施工和动态管理,及时进行信息量测与反馈,制定严格的施工管理制度和措施,严格施工纪律,并在施工中严格执行“浅埋暗挖法”的“管超前,严注浆;短进尺,强支护;早封闭,勤量测”的原则和施工工艺,确保整个工程安全和施工安全。
4. 严格按施工组织设计及作业指导书进行施工,提前作好安全技术交底。
5. 加强机械设备的使用、保养、维修,保证设备运转良好。严格按设备的操作要求进行操作。
6. 注浆施工时由技术人员统一指挥,各就其位,严格执行注浆管理程序。注浆结束后需对注浆设备进行认真清洗,设备退出现场后及时保养。全面保证注浆作业安全、工程环境安全和设备人员安全。

## 十、效益分析

本工法成功应用,使软流塑地层中也能进行浅埋大跨隧道的施工,使工程建设全部转入地下而不占用地面,不影响城市地面交通,避免了因地面施工产生的震动、噪声、粉尘等公害,对地表及周围环境的影响非常小,对既有建筑设施和地下管线无破坏,为以后城市地下工程在类似情况下施工提供了可靠的决策依据和技术指标,将促进城市与其它行业的地下工程进一步发展,社会效益明显。

采用本工法比同样工程采用冻结法或明挖施工所发生的费用低得多,具有可观的经济效益。

## 十一、应用实例

南京地铁南北线一期工程珠江路站~鼓楼站和鼓楼站~玄武门站区间隧道,为矿山法施工区间,隧道结构断面为马蹄形复合式衬砌结构。

珠江路站~鼓楼站区间在珠江路站北端(K9+482.6~K9+710)穿过软~流塑状粉质黏土(覆土厚度约9m)。鼓楼站~玄武门区间在玄武门站南端(K11+229~K11+398.4)穿过软~流塑状淤泥质粉质黏土(覆土厚度约8m)。

采用软流塑地层浅埋暗挖隧道施工工法,使隧道顺利地通过了这两段软弱地层,除交叉口段地面沉降较大外,其余地段地表沉降均不超过30mm,其他监测数据均正常。保证了地下管线、地面建筑的正常使用和结构安全,施工中未发生塌方和施工安全事故,在居民因担心而干扰导致停工三个月的情况下,仍然如期完成生产任务,工程质量优良率达98%以上,达到了预期的创优目标。

执笔:周书明 张先锋 肖广智 周顺华 余才高