

# 铁路车站三线大跨度软弱围岩隧道施工工法

(YJGF 13—2002)

中铁隧道集团有限公司

山岭地区修建铁路，因受地形限制，一些车站的部分站线段延伸入隧道内，由此形成铁路车站三线大跨隧道。与双线铁路隧道相比，三线隧道具有跨度加大而高度变化相对较小，即矢跨比变小，结构形状变得更加扁平的特点。在软弱围岩地层中修建三线大跨隧道，隧道开挖后拱顶及局部应力集中过大，隧道结构极易失稳，给施工带来极大困难。

三线大跨软弱围岩隧道施工工法依据新奥法原理，利用双侧壁导坑法进行开挖支护，拱部和边墙分别采用组合模板台车衬砌。

## 一、工法特点

1. 将监控量测技术、数据处理和信息反馈技术应用于施工，动态修正施工方法和支护参数，确保施工安全。
2. 运用双侧壁导坑法进行开挖支护，拱部边墙开挖先施作小导管注浆，分部封闭成环，初期支护为锚、网、喷加格栅钢架结构，二次衬砌为钢筋混凝土结构。
3. 边墙与拱部分别采用一套组合模板台车，具有费用低、效率高、混凝土外观质量好的优点。

## 二、适用范围

1. 本工法适用于新奥法指导施工的大跨度软弱围岩地下通道及洞室。
2. 本工法适用于各种埋深，IV~VI级围岩的铁路三线大跨隧道和类似跨度与围岩的铁路隧道、公路隧道、城市地铁、地下停车场等各种洞室。

## 三、工艺原理

1. 采用双侧壁导坑法施工大跨隧道，其机理是将大跨洞室分割成几个小洞室分部施工，合理转化工序。双侧壁导坑施工示意图1。

2. 以岩体力学理论为基础，监控量测为依据，采用新奥法原理和控制爆破技术，及时喷锚进行初期支护，针对围岩软弱的特点，经监控数据反馈，合理确定工序间关系。

3. 利用监控位移反分析法及初支钢筋轴力、围岩应力、二衬钢筋轴力、二

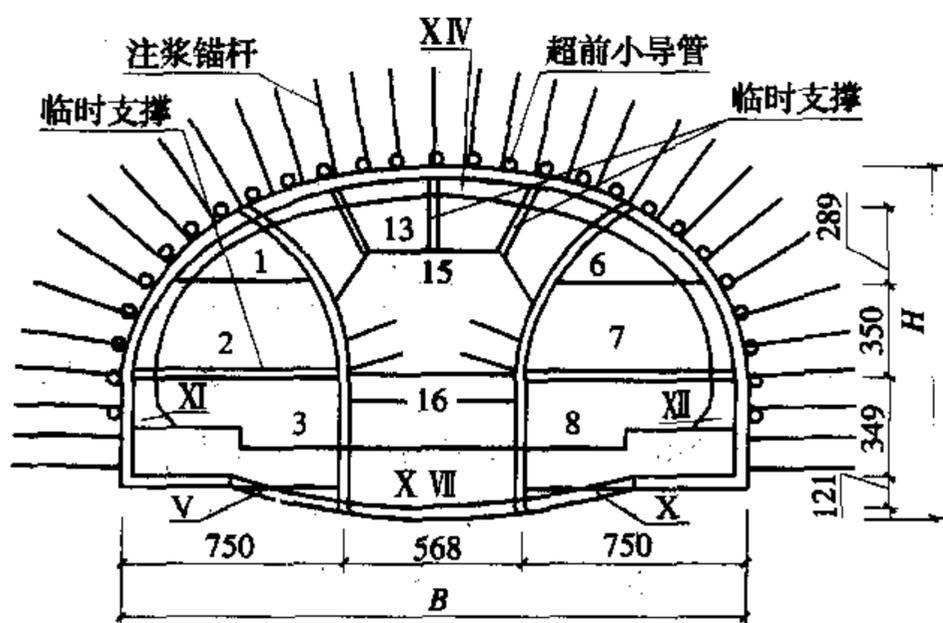


图1 双侧壁导坑施工示意图 (单位: cm)

衬接触压应力的量测结果指导施工。

#### 四、工艺流程及操作要点

##### (一) 工艺流程

工艺流程见图2。

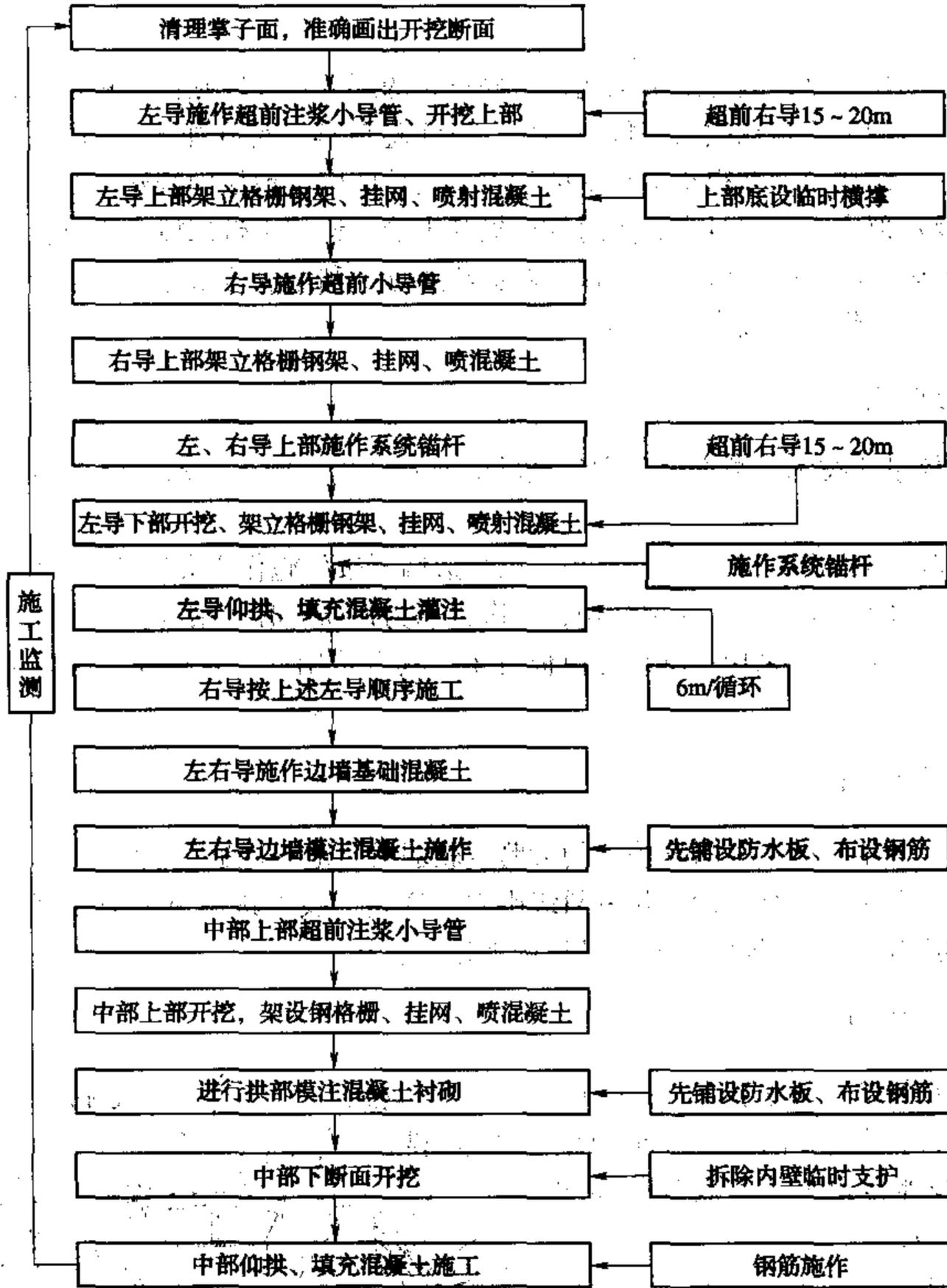


图2 施工工艺流程

1. 左导超前, 先施作超前小导管并注浆, 开挖1、2部, 在2部底设横向临时支撑。
2. 开挖左导3、4部, 使4部及时封闭成环。
3. 灌注仰拱混凝土(V)。
4. 待左导开挖15~20m后, 进行右导开挖。6、7部同左导1、2部; 8、9部同左导3、4部。

5. 灌注右导仰拱混凝土 (X)。
6. 灌注左、右导边墙混凝土 (XI、XII)。
7. 边墙钢筋混凝土施作完毕后开挖中洞 13 并设竖向临时支撑。
8. 拆除导坑内壁上部临时支护钢架, 灌注拱部混凝土 (XIV)。
9. 开挖中洞 15。
10. 开挖中洞仰拱 16。
11. 灌注仰拱混凝土 (XVII)。

## (二) 操作要点

### 1. 施工准备。

- (1) 熟悉设计图纸, 制订详细施工方案;
- (2) 地表布置监测桩点, 并进行原始数据测量;
- (3) 分析洞口段地质情况和稳定与否, 制订进洞前辅助加固措施;
- (4) 准备施工队伍和设备, 培训施工人员, 组织所需材料。

2. 洞口段加固措施。洞口段的施工, 一般埋深较浅, 地质条件差, 开挖宽度和高度又大, 不易稳定。针对洞口段不良地质的具体情况, 应采取适当的加固措施。

3. 导坑施工。一侧导坑先施工, 另一侧导坑滞后 15~20m 施工。

#### (1) 导坑上半断面施工。

①在导坑上部测量划出开挖轮廓线, 沿开挖轮廓线打设超前小导管并注浆; ②导坑上半断面采用正台阶法开挖, 每次开挖进尺 0.5~0.75m; ③正洞周边初喷混凝土厚度 5cm; ④架立格栅钢架, 挂网, 焊上连接杆。格栅钢架 0.5~0.75m/榀; ⑤在周边钻锚杆孔, 安装系统径向锚杆并注浆; ⑥周边复喷混凝土至设计厚度; ⑦在底部横向挖槽, 埋入横向临时支撑。

(2) 导坑下半断面施工。导坑下半断面开挖面与上半断面开挖断面前后错进 15~20m; ①开挖导坑下半断面, 每次进尺 1.0~1.5m; ②正洞周边初喷混凝土厚度 5cm; ③架立格栅支撑, 挂网, 焊上连接杆, 格栅间距 0.5~0.75m/榀; ④钻锚杆孔, 安装系统径向锚杆并注浆; ⑤周边复喷混凝土至设计厚度; ⑥灌注一侧导坑隧底部分仰拱, 灌注边墙基础混凝土, 衬砌前绑扎钢筋, 并预留钢筋接头, 每循环 6m; ⑦开挖另一侧导坑上、下半断面同上。

(3) 边墙二次衬砌。侧壁导坑挖成以后必须先做外壁部分二次衬砌后才能开挖中洞, 这是结构的受力要求, 按侧壁导坑的高度将部分拱部和边墙同时进行灌注, 在拱部开挖后拱部二次衬砌的跨径减小, 这样可提高结构在施工期的刚度, 改善结构在施工期的受力。

#### (4) 注意事项。

- ①导坑施工应坚持“管超前, 短进尺, 弱爆破, 强支护, 勤量测, 早封闭”的原则。
- ②导坑下部开挖后, 呈瘦高形, 根据软弱围岩特征, 中部岩体经多次扰动后, 呈现大塑性区, 通过及时施作仰拱和填充混凝土及内壁间对拉锚杆可起到良好作用, 有效控制结构位移下沉。
- ③为保证两侧壁导坑内壁间土体稳定, 可在内壁间施作对拉锚杆, 并设围檩。
- ④为防止外侧壁部分混凝土和初期支护因悬臂力矩产生的拉应力而失稳, 采取的措施是将侧壁导坑的外壁上部每米增加 2 根  $\phi 22 \times 300$  的锚杆, 锚杆的外露端和模筑混凝土连成整体, 同时在二次衬砌拆模后, 在导坑内壁初支上加斜撑支顶二次衬砌混凝土上部。

### 4. 中洞施工。

#### (1) 施工步骤。

①左、右导坑外壁部分二次衬砌施作后，进入拱部开挖，先测量划出开挖轮廓线，沿开挖轮廓线打设超前小导管注浆加固，参数同导坑；②人工利用风镐，局部控制爆破开挖，每循环进尺0.5~0.75m；③初喷混凝土5cm；④架设拱部格栅钢架，挂网，焊纵向联接筋；⑤打设系统锚杆参数同导坑；⑥喷射混凝土至设计厚度；⑦架设临时竖撑每排3根；⑧拆除导坑内壁上部临时支护钢架；⑨开挖8~10m后进行拱部模注衬砌，每循环6m；⑩开挖中洞中、下部并及时进行仰拱和填充混凝土施作。

(2) 注意事项。中洞部分施工会引起应力重分布，由于开挖的跨径大，顶部形状又过于扁平，可能产生较大的受力和下沉，因此应注意以下事项：

①拱部施工应坚持“管超前，短进尺，弱爆破，强支护，勤量测，早封闭”的原则。

②拱部开挖支护完成后在拱部设临时竖撑，可以减少结构受力和拱顶下沉。在绑扎钢筋、立模、混凝土灌注、混凝土养护等衬砌工序中应尽可能地对临时竖撑采取适宜的托换措施。

③在进行拱部二次衬砌施工时，拱顶临时支撑和侧壁导坑内壁临时支撑都要拆除，此时拱部二次衬砌应紧跟，与开挖面的间距应保持在0.5倍洞径以内，否则初期支护的强度不可能保证围岩变形稳定，而导致支护结构的破坏。侧壁导的内壁初期支护拆除应配合拱部衬砌，拆一段衬砌一段，衬砌完一段再拆除下一段。

④中、下层部分开挖应一次挖成，不必左右错进。仰拱开挖每次开挖长度不超过2~3榀钢架间距并及时初期支护。仰拱开挖长度达到6m时，应灌完仰拱模筑混凝土再开挖。从上层开挖到仰拱成环的距离控制在2倍洞径以内。

5. 喷钢纤维混凝土施工。钢纤维混凝土采用湿喷工艺喷射，可以大幅度降低粉尘浓度和回弹率，增大一次喷层厚度，提高生产效率，保证工程质量。

(1) 湿喷工艺流程。将满足要求的水泥、砂、石、水、减水剂按配合比加入搅拌机进行搅拌，搅拌好的成品混凝土用运输设备运至喷射地点，并加入喷射机料斗，然后根据湿喷机操作规程进行喷射。湿喷工艺流程如图3所示。

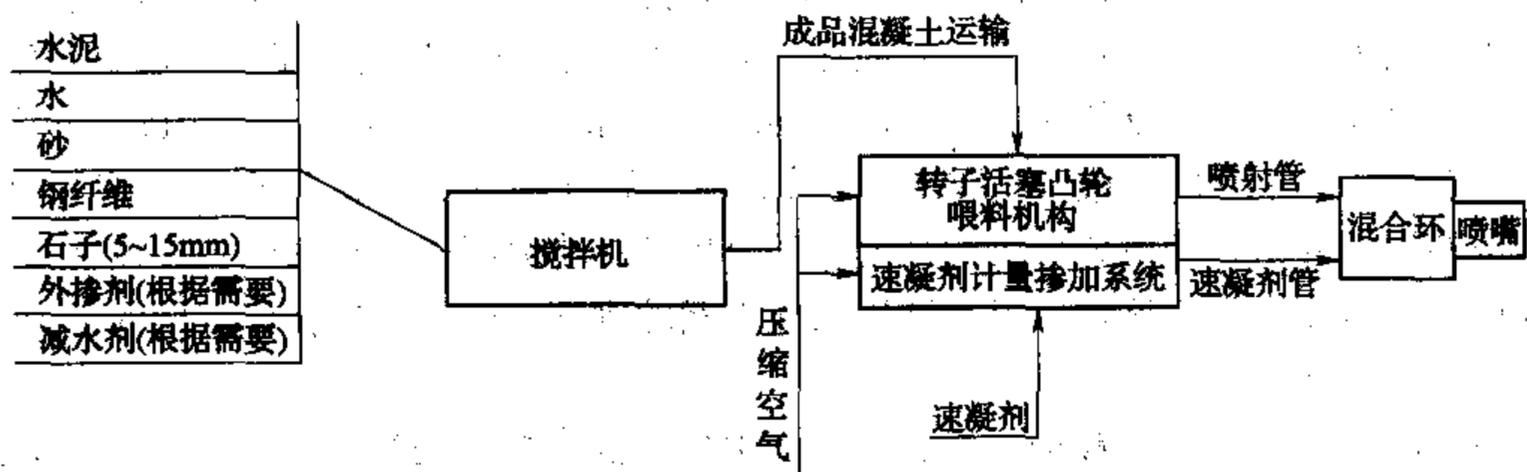


图3 TK-961型湿喷机工艺流程图

(2) 设备。350L混凝土搅拌机1台；20m<sup>3</sup>电动空压机1台；4m<sup>3</sup>混凝土罐车2台；TK-961型湿喷机1台。

(3) 人员。湿喷机司机1人，喷射手2人，上料3人，运料2人，搅拌3人，电工1人，班长1人。共计13人。

(4) 材料。细度模数大于2.5的中粗砂，石子最大粒径15mm，42.5级普通硅酸盐水泥，8604型液态速凝剂，饮用水，高效减水剂，直径0.25~0.4mm、长度20~30mm的钢纤维。

(5) 配合比。每立方米的混凝土的材料用量为：水泥 500kg，粗骨料 1000kg，细骨料 1000kg，钢纤维 32 ~ 37kg，速凝剂 17.5 ~ 25kg。

(6) 注意事项。

- ①混凝土材料和易性好，坍落度 8 ~ 15cm。
- ②按规程操作和保养湿喷机。
- ③系统风压  $\geq 0.5\text{MPa}$ ，风量  $\geq 10\text{m}^3/\text{min}$ 。
- ④喷嘴控制。

## 6. 二次衬砌施工。

(1) 施工方案。三线大跨隧道施工工序繁多，施工干扰因素多，如果采用人工立模加横撑进行二次衬砌施工，将对前方开挖出碴进料造成极不利影响，甚至需暂停开挖。从作业循环时间和施工进度考虑，人工立模衬砌速度缓慢。隧道断面大，拱部衬砌跨度大，立模加固困难，衬砌外观质量难以保证。因此，衬砌施工方案如下：混凝土在洞外自动计量拌和站拌制，自卸汽车运输，输送泵泵送入模，边墙、拱部采用墙、拱分开式模板台车衬砌，由边模台车和顶拱台车两部分组成，如图 4 和图 5 所示。

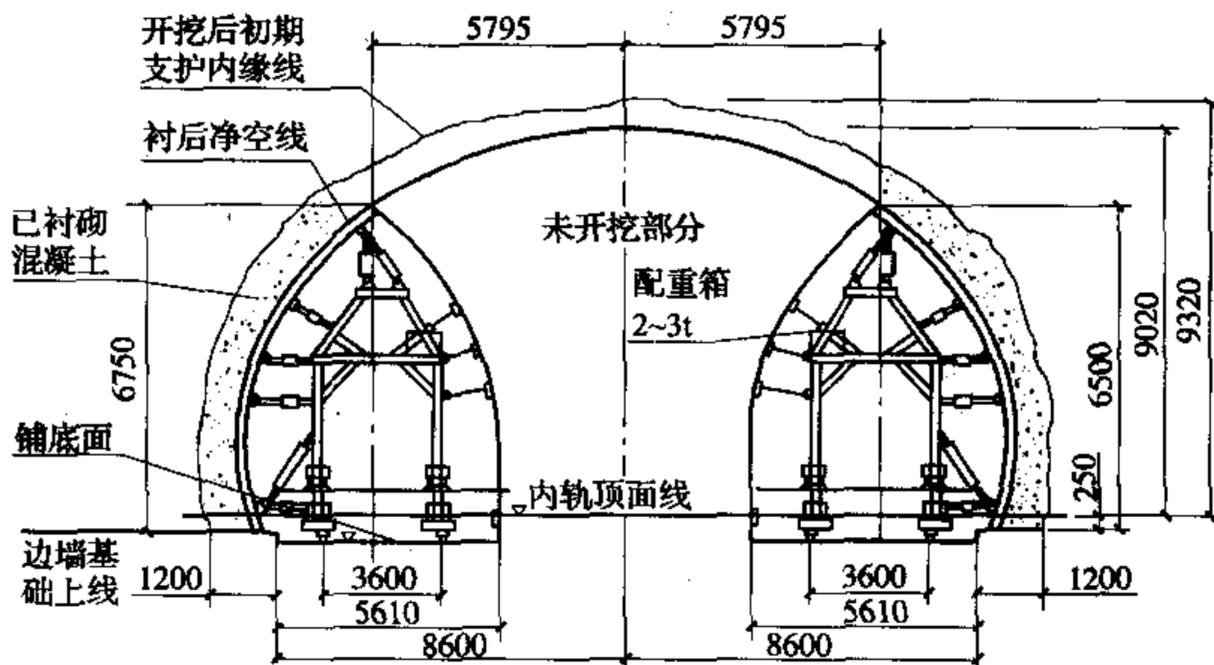


图 4 边墙衬砌图

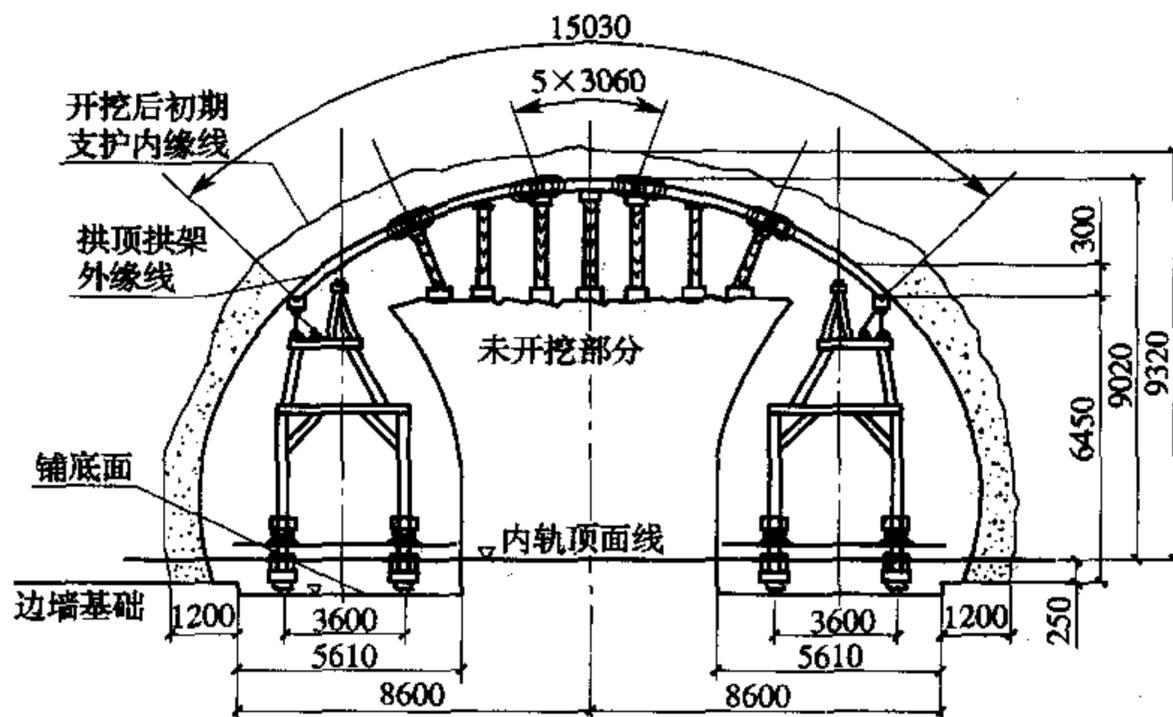


图 5 顶拱衬砌图

### ①边模台车。

a. 要求。液压动作，靠外力行走，拱架配组合钢模，拱架可上下、左右动作，内净空可通过 ZLC-50 装载机。

b. 参数选定。轨距：3600mm，钢轨 38kg/m，轨枕槽钢 160×600；门架高度：内净空 3800mm；液压系统：系统压力 16MPa，泵排量 20mL/r。

c. 关键问题处理：

- 侧压问题。由于隧道中洞未开挖，导洞的另一侧临时边墙可作为台架的支撑物。
- 调心装置。设计成三角架结构，与调心元件（油缸）相对应安装的丝杠即可保证拱架的位置，又可充当支撑作用。

- 为防止拱架前后摆动，可在拱架通梁Ⅱ及Ⅳ上设置两根斜置丝杠与主骨架相连。

- 为防止拱架以拱部三角架销为圆心旋转，台车前后可设两根斜拉丝杠与拱架相连。

- 拱架用钢板拼焊成“工”字型，将三个半径的弧长一起做成整体形。

②顶模台车。顶拱分五部分，拱脚用两个台架支撑，台架的轨距为 3600mm，与边模台车共用一条轨道，故内净空也与边模台车一致。

为了能够脱模，拱脚通梁下设有一组铰接等腰梯形结构，调节丝杠，拱脚可左、右、上、下移动。

顶拱的跨度超过 14m，中间用方木支撑。行走时，要求将中间三节拱架拆除，每个台架单独行走。在就位时，两台架必须前后位置一致。

### (2) 注意事项。

①在进行边墙衬砌时，隧道中洞部分未开挖，导洞的另一侧临时边墙可作为台架的支撑物。

②拱部临时竖撑在绑扎钢筋、立模、混凝土灌注期间应采取稳妥的托换措施。

③对拱部二衬及时实施回填注浆。

④防水板铺设和钢筋绑扎作业利用特制的作业台架进行。

### (三) 施工监测项目

监控量测项目主要根据隧道工程的地质条件、围岩类别、跨度、埋深、开挖方法和支护类型等条件综合确定。具体项目、测点布置、量测频率和周边允许相对位移值见表 1~表 4。

表 1 监测项目表

序号	监测项目	测试工具及仪表	备注
1	地表下沉	普通水准仪	必测（浅埋段）
2	拱顶下沉	普通水准仪、钢尺	必测
3	收敛监测	净空变位位移计	必测
4	土体水平位移		洞口段浅埋堆积体
5	土体垂直位移		洞口段浅埋堆积体
6	初支钢筋轴力	应力计	必测
7	围岩应力	压力盒	必测
8	二衬钢筋轴力	应力计	必测
9	二衬接触压力	压力盒	必测

表2 测点布置

围岩级别	断面间距 (m)	水平收敛	拱顶下沉	表面位移
V	5~10	5	3	2
IV	15~30	5	3	2

表3 量测频率

位移速度 (mm/日)	距工作面 (距离)	频率
>10	(0~1) D	1~2次/日
5~10	(1~2) D	1次/日
1~5	(2~5) D	1次/2日
<1	>5D	1次/周

表4 隧道周边相对位移值 (%)

围岩级别	覆盖厚度 (m)		
	<50	50~100	>300
V	0.20~0.80	0.60~1.60	1.00~3.00
IV	0.15~0.50	0.40~1.20	0.80~2.00

注：表中所列围岩稳定性应变基准值是参考性的施工管理值。

根据位移变化速率判别，当净空变化速率大于10mm/d时，需加强支护系统；当净空变化速度小于0.5mm/d时，则认为围岩基本稳定。

当实测位移超过表4的允许值或位移值无明显下降时，应立即采取补救措施。

## 五、机具设备

施工机械配备见表5。

表5 施工机械配备表

序号	机械名称	规格型号	数量
1	装载机	ZLC50	2
2	发电机	250kW	1
3	空压机	VF-9/7-C	1
4	空压机	4L-20/8	3
5	变压器	315kVA	1

续表 5

序号	机械名称	规格型号	数量
6	变压器	S7-500	1
7	变压器	S7-100	1
8	轴流风机	DF-110W55	1
9	轴流风机	30kW	1
10	车床	CY6140	1
11	钻床	Z3032×10	1
12	混凝土拌和机	JSY600A	2
13	配料机	HPD800	2
14	钢筋挤压连接机	YJH-7B	1
15	输送泵	HBT-60A	1
16	抽水机	80D30×9	2
17	注浆机	CZJ-30	2
18	电焊机	BX3-500-2	12
19	湿式喷射机	TK-961	2
20	钢筋切割机	GJ32	2
21	反铲	WY20	1
22	皮带输送机		1
23	自卸汽车	8t	6
24	强制拌和机	350L	1
25	混凝土罐车	4m <sup>3</sup>	2

## 六、劳动力组织

劳动力组织人员配备见表 6。

表 6 劳动力组织配备表

开 挖	人数	衬 砌	人数
测量放线 (含监测)	10	防水板铺设	12
钻孔 (包括锚杆及爆破)	26	混凝土生产	12
喷射混凝土 (包括立拱架)	36	输送泵	6

续表 6

开 挖	人 数	衬 砌	人 数
出 碴	15	混凝土输送、振捣	18
排水、养路、通风	10	脱模定位	14
清理及风水电	15	其他	15
合 计	112	合 计	77

## 七、质量控制

本工法除执行施工设计图纸等文件的有关技术要求，执行《铁路隧道施工及验收规范》(TBJ 204—96)、《钢筋混凝土工程施工及验收规范》(TBJ 204—83)外，尚应注意以下质量标准：

1. 超前导管钻孔严格控制外插角，注浆应饱满。
2. 钢支撑应严格测量检查，准确定位，连接良好，拱脚不悬空。
3. 锚杆应确保眼深，注浆饱满，抗拔力达到设计要求。
4. 喷混凝土达到设计厚度，强度合格。

## 八、安全措施

施工过程中除应严格遵守国家和部颁有关隧道施工安全技术规则外，还应注意以下事项：

1. 设专职工程技术人员做好地质描述和超前地质预报，并根据监控量测结果，调整支护参数，确保施工人员、设备的安全。
2. 隧道开挖采用光面爆破，严格按爆破设计和《爆破安全规程》操作施工，严格控制药量，做好软岩的防塌、光爆成形工作。
3. 洞内施工严格控制进尺，严格按设计和施工方案进行超前小导管注浆加固，在上一环初期支护没完成前，不得进入下一环开挖作业。
4. 结构应及时封闭成环。
5. 拱部开挖支护完成，在架设临时竖撑后方可拆除导洞内壁上部临时支护钢架。

## 九、技术经济分析

1. 在V级围岩条件下，采用台阶法在相同支护条件下侧壁出现塑性破坏，而采用双侧壁导坑法支护结构各截面均能满足要求，并且有较大的安全储备。因而，双侧壁导坑法能较好地满足各种基本条件，保证围岩的稳定性及隧道施工的安全性。

2. 衬砌施工中由于使用了模板台车，既保证了混凝土的外观质量，解决了各工序的干扰问题，又加快了衬砌速度。

## 十、工程实例

### (一) 襄渝改线狗磨湾隧道出口

1. 工程特点。襄渝铁路改线上的狗磨湾隧道全长 1285m，由于地形限制，出口端位于

车站内，形成 250.5m 的三线车站隧道和 144m 从三线过渡到单线的过渡段隧道。三线隧道中有 120m 属浅埋、偏压，具有以下特点：

(1) 地质条件差。隧道穿过地层为志留系石英云母片岩，稳定性差，属Ⅳ级围岩。

(2) 开挖断面大。开挖高度为 13m，开挖宽度为 20.5m，开挖面积达 228m<sup>2</sup>。

(3) 浅埋。隧道衬砌外覆土厚 3.8~11.0m，属超浅埋。

(4) 偏压。地面横坡一般为 1:0.75~1:2，横坡较陡，埋深又浅，因此隧道偏压受力十分明显。

(5) 距既有线近。隧道出口洞门的基础开挖紧靠既有线路道碴的坡脚，改线和既有线呈 16°40′ 的夹角，在路堑边坡中相交。

## 2. 浅埋、偏压、三线隧道支护参数。

### (1) 初期支护。

格栅钢架：间距 75cm，横截面外轮廓尺寸 20cm×25cm，主筋 4φ22，腰筋 8 字节 φ16。

钢筋网：φ6，间距 15cm×15cm。

喷混凝土：C<sub>20</sub> 混凝土，厚 30cm。

锚杆：φ22，L=4.0m，间距 120cm×120cm，呈梅花形布置。

(2) 二次衬砌。C<sub>25</sub> 钢筋混凝土。双层 φ20 主筋，间距 25cm，混凝土厚度拱顶 50cm，边墙为 70cm。

(3) 洞口段加固措施。在靠山侧施作 6 根抗滑桩，(断面尺寸 2.0m×2.5m，长 32m)，以临时承受开挖时的地层压力，最大限度地减少山体扰动和明挖数量。

在出口洞门的 10m 单压明洞采用明挖，先墙后拱施作明洞，在出口端另外 20m 单压明洞采用偏压明洞部分暗挖的特殊施工方法。

3. 施工结果。该隧道于 1990 年 10 月开工，1993 年 5 月 10 日竣工，由中铁隧道集团二处有限公司承建。采用铁路车站三大跨软弱围岩隧道施工工法，施工中未发生塌方和死亡事故以及危及行车安全、中断行车的事故，工程质量经甲方验收评为优良，三线隧道平均施工速度为 9.8m/月。

## (二) 内昆铁路曾家坪 1\* 隧道进口

1. 工程特点。曾家坪 1\* 隧道全长 2563m，因受地形限制，曾家坪车站昆明端站线被迫伸入曾家坪 1\* 隧道进口洞内，形成 269m 三线隧道及 144m 由三线过渡到单线的过渡段隧道。三线隧道中有 90m 位于堆积层地质中，有以下特点：

(1) 地质条件差。隧道进口段 90m 位于堆积层中，以块碎石为主，自稳能力差，属Ⅴ级围岩。

(2) 开挖断面大。开挖高度为 13.83m，开挖宽度为 20.68m，开挖面积达 230m<sup>2</sup>。

(3) 浅埋。洞口段隧道衬砌外覆土厚度 2~15m。为超浅埋隧道。

## 2. 浅埋、堆积层、三线大跨隧道支护参数。

### (1) 初期支护。

拱部小导管：φ42 小导管，L=3.5m，纵向间距 2.0m 环向间距 40cm，外插角 5°~7°。

格栅钢架：主格栅 25cm×20cm，内壁格栅 20cm×15cm，间距均为 50cm。

系统锚杆：中空锚杆，L=4.0m，间距 100cm×100cm，梅花形布置。

锁脚锚杆：φ42 钢花管，L=3.5m。

喷混凝土： $C_{30}$ 钢纤维混凝土，厚度30cm。

(2) 二次衬砌。 $C_{20}$ 级钢筋混凝土，双层 $\phi 22$ 螺纹钢主筋，间距25cm，混凝土厚度拱顶为80cm，边墙为120cm。

(3) 洞口段加固措施。在洞口段纵向55m，隧道中线左侧15m，右侧25m范围内进行深孔注浆加固。注浆加固参数： $\phi 75$ 钢花管， $L=15\sim 55\text{m}$ ， $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 梅花形布置，注浆压力0.1~0.5MPa。

3. 施工结果。该隧道于1998年9月开工，2000年10月1日竣工，由中铁隧道集团二处有限公司承建。采用铁路车站三大跨软弱围岩隧道施工工法，施工中未发生坍方及死亡事故，二次衬砌不渗不漏，内实外美，被评为全线优质工程，三线隧道平均施工速度为23m/月。

(执笔人：杨秀权 薛书琢)