

# 金家岩隧道的新奥法施工

金家岩隧道试验组

## 一、概 况

金家岩双线铁路隧道, 位于成渝线石场站至小南海站区间。全长570米, 中心里程为 $K469+585$ , 隧道内两线路中心间距为5米, 进口和出口端各设有明洞15米和50米, 隧道平面进口端为半径 $R=700$ 米曲线和50米缓和曲线, 中部和出口均在直线上。隧道剖面往出口方向为下坡, 坡度分别为2.5‰和8‰。

在金家岩双线隧道进行软弱围岩新奥法施工科研试验, 主要内容有光面爆破、锚喷支护、复合式衬砌、结构防水、地质调查及声波测试等五个项目。试验目的, 除用喷锚作为第一次支护。改进隧道掘进方法。节约木材外, 主要为取得软弱围岩双线隧道新奥法施工及其量测的经验。为进一步完善铁路双线隧道光面爆破、喷锚支护和复合式衬砌施工工艺, 设计参数、支护机理、地质条件等提供经验数据。

鉴于该隧道在未进点试验以前, 施工单位就已采用常规的上下导坑施工方法掘进300余米, 下导坑只有100余米未打通, 为了完成科研试验项目, 试验段选择在该隧道围岩地质较软弱的中部Ⅰ~Ⅳ类围岩地段进行, 以利于各类围岩多项目的科研试验, 收集研究光爆、喷锚、防水及复合式衬砌的作用和效果。试验段详细划分如下: 从 $K469+488\sim+575$ 长87米, Ⅵ类围岩地质为中厚层砂岩, 岩石强度较高, 节理发育, 有泥夹层和少量裂隙水,  $K469+575\sim+585$ 长10米, Ⅵ类围岩为泥岩夹薄层砂岩。有裂隙水, 这两段作光面爆破, 喷锚永久支护试验。 $K469+585\sim+623$ , 长38米。Ⅰ~Ⅱ类围岩, 为薄层泥岩夹煤层。局部有小褶曲构造, 岩石破碎, 裂隙水发育, 这段作为试验重点。进行光面爆破, 喷锚支护, 结构防水, 地质调查和复合式衬砌试验。

通过试验段的科研试验, 取得了大量的科研数据, 成功的进行了135米软弱围岩双线隧道新奥法施工实践。现除一部分压力盒和小形应变计需继续观测, 以量测复合式衬砌受力状态外。其余试验工作均告结束。

## 二、科研试验与施工

### 1. 地质概况及试验段围岩特征

金家岩隧道位于重庆中梁山背斜南段东翼, 是南依长江的旁山隧道, 隧道埋深最大达120米, 浅埋处为40~50米, 隧道高出长江水面约20米。中梁山背斜轴部为二迭纪地层, 两翼为三迭系和朱罗系地层。背斜轴线扭曲, 伴生有冲断层为主的纵向断裂, 岩层受剧烈挤压成翘曲。节理发育, 岩层局部倒转, 有煤层和逆断层。严重风化破碎。岩层中裂隙水发育, 最大

涌水量为170T/日,岩石分类属I~IV类围岩。

(1)地质情况。全隧道通过岩体为砂。泥岩夹煤系地层,其中,试验段K469+488~575,长87米,以砂浆为主,砂岩呈厚层状,部份为中厚状,有泥缝,节理发育,属IV类围岩。K469+575~623,长48米,为泥岩夹煤系地层,以泥岩为主,呈中至薄层状。薄层较多,节理发育,加之层间小褶曲构造,岩体松散破碎,属I~III类围岩。

(2)水文地质情况。洞内裂隙水发育,局部有小股流出,往往出露在砂岩,泥岩接触处或节理裂隙集中地段,最大流量可达0.94T/秒,大部分为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 型水,但在K469+616和K469+815两处,地下水为 $\text{CO}_3^{2-} - \text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ 型水。 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量为537.8毫克/升和268.8毫克/升在K469+553和+628等处,地下水对混凝土有侵蚀,要求选用能抗酸性水泥。

(3)声波测试,岩体纵波速度经用钻孔法声波测试结果,厚层微风化石英砂岩纵波速度 $V_p$ 为4500~5500M/秒。严重风化为2500~3000M/秒,完整性较好的厚层泥岩为3000M/秒,中至薄层为2000~2500M/秒,泥岩夹煤系地层为1500~2000M/秒以下。

(4)岩石力学指标,通过用点荷载和剪力仪试验,长石石英砂岩的抗压强度300~500公斤/cm<sup>2</sup>,薄层砂岩为200~300kg/cm<sup>2</sup>,泥岩为50~150kg/cm<sup>2</sup>,泥岩层面的内聚力 $C = 0.8 \sim 1.1 \text{ kg/cm}^2$ ,摩擦角 $\phi = 20^\circ$ ,薄层砂岩层的内聚力 $C = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ ,摩擦角 $\phi = 24^\circ$ 。

(5)泥岩的膨胀性。

试验结果薄层泥岩天然含水量为12~13%,膨胀量为2~5%,膨胀力0.4~0.6kg/cm<sup>2</sup>,中厚层泥岩天然含水量5~7%,膨胀量8~10%,膨胀力1~2kg/cm<sup>2</sup>,尤其是中厚层泥岩,有较明显的膨胀性,最大达10.6%,它们一经裸露遇风,就很快发生风化膨胀,而且很快完成膨胀过程,为此要求泥岩地段喷锚支护要及时,防止开挖后泥岩暴露过久,发生较大变形造成坍塌。

(6)爆破和喷锚、支护对围岩挠动的观测。

用声波透射法试验,测得试验段砂岩光面爆破的震动影响的深度为0.4~0.8米,泥岩为0.2~0.4米,而一般爆破震动影响深度,砂岩为1.0~1.2米,泥岩为0.8~1.0米。

隧道围岩开挖喷锚后,经用声波测试,七天期内围岩在一米多范围内有压密现象。三个月期左右,在两米多范围内有压密现象。声速提高5~10%,这说明了喷锚支护在起作用,有效地阻止围岩的变形。

## 2. 光面爆破

为了应用新奥法进行软弱围岩双线隧道开挖,摸索光面爆破对围岩的挠动程度,有效地控制开挖轮廓,减少超挖,为喷锚支护创造必要的条件,进行了D-17低爆速炸药研制。在工地对D-17和2号岩石硝铵 $\phi 25$ 和 $\phi 32$ 毫米炸药性能进行对比试验。内容有炸药密度、猛度、爆速、殉爆距离,传爆性能以及单孔和三孔漏斗试验,装药结构,爆破规模、振动强度,对围岩扰动深度等的测试对比试验,根据试验数据提出进出口试验段的光爆设计参数表和炮眼布置图,见图二和图三,起爆方式均采用电毫秒雷管起爆。

按上述光爆炮眼布置图和装药参数表施工,在较均质的地质条件下,爆破效果是好的,光爆周边眼痕迹可保存90%左右,平均超挖量小于10厘米。在II~III类软弱围岩试验段拱部导坑开挖不完全统计,平均超挖约为13厘米,较过去减少30厘米。用声波仪测试表明。光爆

对围岩挠动总深度不超过 1 米，这就大大减少了爆破对围岩的挠动。为大断面开挖采用光面爆破提供了条件。

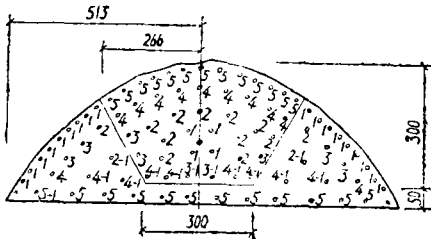


图 1 炮眼布置 (1)

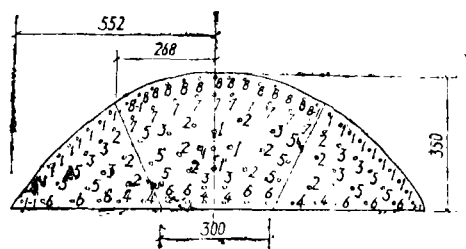


图 2 炮眼布置 (2)

DK 469+485~+585拱部光爆参数表 (Ⅳ类围岩)

部 位	炮眼名称	炮眼编号	毫秒雷管		炮 深 度 (m)	炮眼 数量 (个)	装药量、长度 (mm) × 重量 (克)			备 注
			段	个			φ32硝安	φ25—D—17	小 计	
中 央 倒 梯 形	掏槽眼	0			1.2	1				五眼中空
		1	1	4	1.2	4	70 × 525		2100	直眼掏槽
	扩槽眼	2	2	10	1.0	10	50 × 375		3750	
	两边眼	3	3	4	1.0	4	40 × 300		1200	
	底板眼	3—1	3	2	1.0	2	50 × 375		750	
	底角眼	4—1	4	4	1.2	4	60 × 450		1800	
	内圈眼	4	4	9	1.0	9	40 × 300		2700	
	周边眼	5	5	13	1.0	13		32 × 160	2080	
	合 计		5	46	48.8	47	12300 克	2080 克	14380 克	
扇 形 扩 大 (单 侧)	周边眼	1	1	9	1.0	9		36 × 180	1620	
		1—1	1	1	1.2	1		44 × 220	220	
	内排眼	2	2	1	1.0	1	50 × 375		375	
		3	3	2	1.0	2	60 × 450		900	
		4	4	1	1.0	1	60 × 450		450	
		5—1	5	1	1.2	1	69 × 500		500	
	掘进眼	2—1	2	1	1.0	1	50 × 375		375	
		4—1	4	2	1.0	2	60 × 450		900	
	底板眼	5	5	5	1.2	5	69 × 500		2500	
	合 计		5	23	25.4	23	6000 克	1840 克	7840 克	

金家岩隧道进行D—17低速炸药和 2 号岩石硝安炸药对围岩表层建筑物的震动影响试验，证明采用研制的D—17低爆速炸药（爆速 1830~2000米/秒）其振速较岩石硝安炸药要小，能起到减轻震动强度的作用。在金家岩试点，同一段雷管最大用药量为9.25 公斤 情况

下, 其距爆源10米处测得振速为8.44厘米/秒。这一振速对临时喷层是有影响的。为此, 必须控制同一段雷管起爆的用药量。以减轻爆破对围岩和喷层的破坏。

DK 469+585~+625 拱部光爆参数表 (I~III类围岩)

部位	炮眼名称	炮眼编号	毫秒雷管		炮眼深度 (m)	炮眼数量 (个)	装药量、长度(毫米)×重量(克)			备 注
			段	个			φ32硝安	φ25硝安	小 计	
中央倒梯形	掏槽眼	0			1.1	1				五眼中空
		1	1	4	1.1	4	40×300		1200	直眼掏槽
	扩槽眼	2	2	6	1.0	6	60×450		2700	
		3	3	4	1.0	4	60×450		1800	
	两边眼	5	5	6	1.0	6	50×375		2250	
	底板眼	4	4	2	1.1	2	60×450		900	
	底角眼	6	6	4	1.1	4	60×450		1800	
	内圈眼	7	7	9	1.0	9		36×180	1620	传爆线
	周边眼	8	8	12	1.0	12		18×90	1090	600×12
		8—1	8	2	1.0	2		39×195	390	600×12
	合 计			49	51.1	50	10650克	3090克	13740克	8.4M
扇形扩大(单侧)	周边眼	1	1	9	1.0	9		32×160	1440	
	掘进眼	2	2	3	1.0	3	60×450		1350	
		3	3	3	1.0	3	60×450		1350	
		4	4	2	1.1	2	60×450		1350	
	底板眼	6	6	3	1.1	3	60×450		900	
	掘进眼	5	5	3	1.0	3	60×450		1350	
	底角眼	1—1	1	1	1.1	1		36×180	45	传爆线
	合 计						7740克	1620克	7785克	

## 2. 喷锚支护

喷锚支护是新奥法施工的重要环节。我国双线铁路软弱围岩隧道, 过去还没有较好的经验, 金家岩隧道围岩较为软弱部分, 为薄层泥岩夹煤系。节理发育, 风化严重, 局部岩层倒转褶曲, 这次新奥法施工试点取得完全成功, 说明了喷锚支护开挖软弱围岩隧道是可行的, 不但节约了木材, 而且由于支护及时, 喷层与围岩共同受力, 有效地减少了围岩变形, 防止坍方, 保证了安全生产。

试验段的初期和永久喷锚支护参数和施工方法的确定, 是基于金家岩隧道的实际地质情况和已采用的分部开挖法, 结合电算和工程类比法进行确定的。施工进度平均每天按1米安排。每部爆破后即敷设锚杆和初期喷射混凝土支护, 厚度要求5~7厘米, 拱部完成后接着进行挂钢筋网、二次喷混凝土支护, 按规定喷足厚度, 然后落中层Ⅲ部, 开挖边墙Ⅳ部和Ⅴ部, 并及时进行初期喷锚支护, 防止坍方, 待挖完一段后, 再分段(长约5~10米)进行挂

网，一次按设计要求喷足混凝土厚度。

喷锚支护参数如下表所示

段 别	围 岩 情 况	支 护 参 数			
		喷钢筋混凝土厚	锚 杆	钢 筋 网	模注钢筋混凝土
K469+488~+573 长87米喷锚段	厚层砂岩偶夹薄层泥岩有少量裂隙水Ⅳ类围岩	15厘米	φ22 长200cm 间距1.5×1.25M	φ6 元钢间距0.2×0.2M	无
K469+573~+585 长10米喷锚段	中薄层泥岩夹砂岩煤系地层有少量裂隙水岩质松软Ⅲ类围岩	20厘米	φ22 拱顶L=2.5M 其余为3M 间距0.8×0.8M	2×φ12环向,φ6纵向,间距0.2×0.2M	无
K469+585~+623 长38米复合衬砌段	中薄层泥岩夹砂岩煤系地层有二条挠曲破碎带有裂隙水Ⅰ~Ⅱ类围岩	20厘米	φ22 拱顶L=2.5M 其余为3M 间距0.8×0.8M	2×φ12环向拱部φ12边墙纵向φ6间距0.2×0.2M	40cm (有仰拱)

上述施工开挖程序和支护参数，通过试验段的施工实践和围岩变形量测结果，证明是成功的合理的。

本段开挖后，围岩变形发展较快，主要量测手段为：用水平仪，钢尺量测拱顶下沉，收敛计量测边墙净空变位，单点和三点位移计量测围岩内部相对位移。试验段中共进行了6个断面的量测工作，其中一个在Ⅳ类围岩，其余5个均在本段Ⅱ~Ⅲ类围岩，量测结果，拱顶下沉最大在+605处，达412毫米，边墙净空变位最大在+610边墙中部，达101毫米，围岩内部相对位移仍发生在+610处山侧，单点计为21.7毫米，三点计为28.53毫米。

喷锚施工工艺，喷射混凝土采用材料为重庆425号矿渣水泥，宜宾化工厂出产的芙蓉牌速凝剂，五凤溪和两河口产的中砂（ $MK=2.15\sim2.17$ ），石场的石灰岩碎石。水泥、砂、碎石配合比为1:2:2，速凝剂掺量为3~4%，水灰比为0.4。经试验，喷混凝土初凝时间为1'45"~2'30"，终凝时间为3'40"~5'30"。锚杆施工，采用φ22螺纹钢筋，长2.5~3米，砂子用长江沿岸的细河砂，灌浆配合比为1:1:0.4（水泥、砂子、水）。

本隧道采用喷锚机械有，转子Ⅱ型混凝土喷射机三台（江苏武进机械厂产），HPIHb型喷射混凝土三联机一台（扬州水工机械厂产），皮带送料机二台，混凝土切割机一台，锚杆注浆器二台，ML-20型锚杆拉力计一台，锚杆钻机二台。

喷锚支护施工在金家岩隧道是成功的，但还存在待研究解决的几个问题，首先是干喷混凝土作业粉尘太大，影响工人身体健康；第二，回弹太大，拱喷回弹大于30%，增大了成本；第三，施工予加变形量问题，目前没有经验，大了超挖，少了欠挖都给施工带来困难；第四，锚杆与喷层的联接采用挂临时钢筋网电焊的办法，不够快捷方便，尚需改进；第五，如何利用喷锚支护有效地控制围岩变形，要进一步研究；第六，喷锚机械尚不配套，要研究配套成龙，改善劳动条件。

### 3. 防水层施工

隧道结构防水，是我国铁路隧道建设急待解决的科研项目之一。这次试点防水层施工，重点在研究复合衬砌采用喷涂或人工涂抹防水层的可能性，原计划采用机械喷涂工艺敷设冷乳化沥青防水层，在试验中喷涂了50平方米，由于喷钢筋混凝土表面粗糙不平，空隙太大，而喷浆机每次喷层太薄，仅0.1厘米，未能达到封闭孔隙，满足防水的要求，存在不少问题。因此研究决定改用人工涂抹方法，先抹防水层，后抹保护层，厚度各为1厘米，待保护层达

到一定强度后,再立模灌注钢筋混凝土二次支护。人工涂抹时,工人在特制的移动式工作台上进行操作。

防水层和保护层人工涂抹施工工艺如下:

#### (一) 保护层:

1. 采用材料:普通硅酸盐水泥(425号以上),氯丁胶乳;乳化沥青,水,OT,聚乙烯醇。

#### 2. 配合比:

水泥:乳化沥青:氯丁胶乳混合液:水=100:24:8:10

3. 施工工艺要求:严格按上述配合比,用人工拌合,达到粘稠均匀状态,涂抹时要求抹平,不留空隙,厚度1厘米。材料要随拌随用。一次不能拌和太多,防止未用完终凝硬化,并要注意不要随意地用水稀释,防止收缩开裂。

#### (二) 防水层:

1. 材料:普通硅酸盐水泥(不低于425号)氯丁胶乳混合液(包括中性阳离子氯丁胶乳OT,聚乙烯醇),水。

2. 配合比:普通水泥(425号):水:氯丁胶混合液=100:10:20~24

3. 施工工艺要求:严格按上述配方,用人工拌合达到粘稠均匀状态,在已基本硬化了的砂浆层上,均匀地抹上一层防水层,厚度要求1厘米,要抹平不留空隙。防水材料一次拌合不要太多,要随抹随拌,防止硬化不好涂抹,并注意不要随意加水,防止收缩开裂。

#### (三) 乳化沥青液的制作:

1. 配方:60#沥青:水:乳化剂OT:聚乙烯醇=100:98.8:10:0.2

2. 操作:先将OT和聚乙烯醇放入水中加热搅拌并保持70~80℃,倒入匀化机中,再将热至150~160℃的溶化沥青倒入搅拌两分钟即成。

#### (四) 氯丁胶乳混合液的制作:

1. 配方:氯丁胶乳:OT:聚乙烯醇:水=100:4:2.4:200~300

2. 操作:将配好的OT及聚乙烯醇与氯丁胶乳混合搅拌即成。

#### (五) 防水层和保护层技术性能

	胶凝时间(小时)		抗渗能力 公斤/厘米 <sup>2</sup>	弹性模量 公斤/厘米 <sup>2</sup>	抗压强度 公斤/厘米 <sup>2</sup>	附着力 公斤/厘米 <sup>2</sup>
	初凝	终凝				
防水层	6	11	15	$2.9 \times 10^5$	373	6.2
保护层	10.5	20.5	15	$2.1 \times 10^4$	268	4.1

上述防水层和保护层,采用人工涂抹,效果是好的,只是个别地方由于施工不严,产生漏水现象,同时工效太低,劳动强度大,不利于大面积全面推广。另外,此防水层柔性差,易开裂,不能适应软弱围岩变形的要求,需进一步研究改进配方。

对于大股流水的地方,需采用凿眼插入胶皮软管引导的办法,将流水导入水沟。

#### 5. 复合式衬砌

金家岩隧道试点采用复合式衬砌,在我国铁路隧道建设中尚属首次尝试,为了摸索这方面

的经验, 试验组围绕选型、计算、测试以及配合地质调查进行大量工作, 在广泛收集研究国内外复合式衬砌结构类型的基础上, 以工程类比法选定了金家岩隧道复合式衬砌各种设计参数, 同时编制了杆单元和三单元两种电算程序作为定性参考, 提出了金家岩复合式衬砌断面图。此断面图拱顶厚度为50厘米, 边墙厚度为70厘米, 在施工过程中, 由于围岩变形量测结果, 已很明显的逐渐趋于稳定状态, 8个月以后的变形速率已稳定在0.1毫米/日以下, 同时由于围岩变形影响, 有局部地段二次网喷混凝土层侵入复合衬砌模注钢筋混凝土限界内, 亦需进行特别处理, 为此, 进行了复合式衬砌变更设计。

复合式衬砌二次模注混凝土施工是采用搭设钢管脚手架进行的, 按先墙后拱顺序进行灌注, 为了测定复合式衬砌受力情况, 在试验段K469+605和+606.5两个断面的拱顶、边墙, 仰拱等部位共埋设了钢弦压力盒41个, 以量测围岩变形对模注钢筋混凝土接触面的压力分布, 探讨复合式衬砌受力机理和安全耐久性, 为今后铁路隧道的设计和施工积累技术资料。

### 三、几点体会

金家岩双线铁路隧道综合科研试验工作, 经过两年多时间的施工实践, 取得了大量的经验数据, 对我国铁路隧道建设, 推广使用新奥法施工, 具有十分重要的参考价值, 尤其是对软弱围岩隧道的设计与施工, 提供了必要的经验。从总体来说, 金家岩软弱围岩双线隧道采用新奥法施工是成功的, 节约了木材, 改进了掘进方法, 保证了安全生产。但存在问题是施工进度太慢, 主要原因是施工队伍对新技术新工艺不熟练, 机具设备不足, 材料供应不及时, 施工管理薄弱等所造成。通过金家岩隧道试点, 我们有如下的体会:

(1) 采用新奥法施工铁路隧道是可行的, 尤其是软弱围岩隧道, 新奥法较过去采用木支撑施工法有更大的优越性, 除了节约木材外, 主要的效果在于用光面爆破, 能最大限度地减少超挖, 采用大断面开挖, 可减少爆破对围岩的扰动。用喷锚支护能及时地加固隧道围岩, 在隧道开挖后, 围岩应力重分布过程中, 喷层与围岩共同受力, 从而有效地抑制围岩变形, 防止坍方, 保证安全生产。同时围岩变形趋于稳定, 可以减薄二次模注混凝土衬砌厚度, 节约投资。本隧试验段469+610处, 地质较松软破碎, 岩层挠曲倒转, 为I类软弱围岩, 较469+680处地层为差, 采用新奥法开挖支护, 没有发生大的坍方事故。而469+680处, 由于用木支撑开挖, 发生了坍顶事故。这说了新奥法的优越性, 但推广采用新奥法施工, 关键在培训必须的光面爆破和喷锚支护技术工人, 配备必要的机具设备, 在施工程序和劳动组织上进行必要的调整, 改革过去老的一套工序, 配合开挖并对围岩进行变形量测, 以正确指导施工。同时, 要注意做好劳动保护工作, 尤其是采用干喷钢筋混凝土的情况下, 粉尘太大, 必须加强通风, 减少粉尘对工人的身体健康的危害。

(2) 光面爆破和喷锚支护效果是新奥法施工的关键。金家岩隧道施工实践表明, 软弱围岩光爆喷锚技术是成功的, 但仍然存在不少技术问题需进一步研究解决。尤其是地质软硬不均的地层, 光爆效果不显著, 还发生坍塌情况。本隧道试验生产的D-17低爆速炸药, 爆速仍然偏高, 未达到1600~1800米/秒的要求, 需进一步改进配方, 对软弱围岩光爆设计参数也要进一步研究试验, 以期取得更好的效果。喷锚支护主要问题在锚杆的初期强度和与喷层的联合作用, 本隧道几次小坍方, 除地质因素外, 都是由于喷层与锚杆脱开, 喷层过薄造成

的,因此必须要研究较合理的锚杆与喷层的联结方式,既方便快捷安装,而效果又好。另外锚杆的早期强度高,与喷层联结好,对抑制围岩变形有很大作用。根据三点位移计量测资料。围岩在1.0~1.5米范围内变形松弛较大,占60%以上,目前采用的填浆锚杆,早期强度差,无法控制围岩的早期变形,这也是造成围岩变形大的原因,因此,要研究解决锚杆的早期强度问题,根据地质声波测试结果,软弱围岩内部松弛变形在四米以远,为了抑制围岩变形,要研制长锚杆的制作与安装。

### (3) 围岩变形量测和施工工序配合问题。

新奥法施工特点之一是施工开挖的同时,对围岩变形进行监测量测,待围岩变形基本稳定后,再进行模注钢筋混凝土二次支护,这给施工程序安排带来困难,对软弱围岩来说,变形的大小,二次挂网喷钢筋混凝土强度和围岩软弱程度而定。金家岩隧道围岩变形基本稳定时间长达八~九个月。这对安排后续工序防水层和模注钢筋混凝土二次支护施工都很被动,另一方面,实际拱顶最大下沉变形412毫米,而施工预加变形和误差仅250毫米,在计划上就少了162毫米,形成侵限(采取了变更衬砌设计解决),边墙预加变形和误差250毫米,实际边墙收敛两侧共101毫米,这样一侧在施工安排上就超挖了200毫米。因此,如何预留变形和施工误差量。掌握围岩的变形速率,合理地安排施工程序,加快施工进度,这将是推广新奥法施工急待解决的课题,对软弱围岩来说,这一问题更显得重要。同时,要进一步研究采用喷锚支护办法来控制围岩的变形量和变形速率,使隧道开挖和二次模注钢筋混凝土支护时间不受围岩变形条件的限制,使施工程序安排变被动为主动。

(4) 防水层的涂抹,采用人工的办法,费工费时,劳动强度大,不宜大面积推广。就防水效果来说是成功的,因此需进一步研究采用机械喷涂的方法,才能适应日益发展的铁路建设的需要。另外,金家岩隧道采用的防水层配方,属刚性防水层,强度高,易开裂,不宜在变形大的软弱围岩中使用,虽然规定涂抹防水层应在围岩变形基本稳定后进行,但并不是完全稳定,随着时间的推移,变形仍在发展,这就给防水层带来开裂漏水的可能,因此,要继续研究改进配方,喷涂具有柔性的防水层。

### (5) 分部开挖与全断面一次开挖。

由于金家岩隧道施工机械设备差,过去已采用上下导坑掘进了大部分,试验段仍决定采用分部开挖法进行,分部开挖多次爆破对围岩的震动影响,其变形曲线一般是随着开挖爆破次数而呈波浪形。这对减少围岩干绕,缩短围岩稳定时间很不利,将造成拖延防水层设置和二次模注钢筋混凝土时间。因此,采用新奥法施工,宜采用全断面一次或两次爆破开挖,分部愈少愈好。这就必须配备一定的打眼喷锚,出碴施工机械,并配套成龙,才有利于全面推广新奥法施工。金家岩隧道试验段有十米采用弧型导坑一次爆破开挖,效果很好,但无装碴机装碴,限制了速度,工效仍提不高,所以配合推广新奥法,必须实现机械化施工。

### (6) 喷锚支护作永久衬砌问题。

这是一个有争议的课题,分歧点在于钢筋网喷钢筋混凝土层和锚杆的耐久性问题,在较硬的围岩, $P$ 值在4以上,由于围岩变形较小,岩石强度较高,喷层基本没有开裂,一般来说,用喷锚作永久支护没有什么大的争议,金家岩隧道内 $K469+488\sim575$ 一段长87米属IV类围岩,决定以喷锚作为永久支护,虽然有待时间的考验,但一致认为质量安全都没有多大



问题, 从469+575~595长20米为Ⅰ~Ⅲ类围岩, 原计划作喷锚永久支护试验, 但由于+585~595长10米, Ⅱ类围岩地质太差, 对采用喷锚作永久支护提出了异议, 因而改为复合式衬砌, 仅保留+575~585长10作为试验。关键论点在于软弱围岩变形后, 网喷钢筋混凝土层必然开裂, 喷层内钢筋和锚杆会被锈蚀, 尤其有腐蚀水的地方, 喷钢筋混凝土层因钢筋锈蚀而剥落, 因此其耐久性是令人怀疑的。这一问题目前尚未解决, 需进一步研究试验, 提出科学的根据, 才能得出正确的结论。