

# 金川二矿区不良岩层巷道地压活动 规律及控制方法的研究

采矿教研室金川科研组

金川井巷公司科研所

(执笔:方祖烈)

## 摘 要

本文从理论和实践的结合上阐述了不良岩层巷道维护问题。其要点是:①找出了1978年以前金川在不良岩层中采用多种支护型式都难以维护的根本原因是:把流变体围岩稳定问题视为单纯的传统支护结构问题;②确定了不良岩层的基本属性为易发展为松散体的流变体,从理论上阐明了不良岩层巷道必须分次支护的理由;③查明了不良岩层巷道地压类型,以流变体变形地压为主;④总结了地压活动基本规律,分析了在围岩纵深12米范围内,最终出现的二个压密区、一个松弛区、一个松动区,压密区实际上是承载环,在围岩稳定过程中起着关键作用,从理论上解释了金川不良岩层巷道围岩稳定过程;⑤采用了信息化设计——现场监控设计法;⑥提出了金川不良岩层巷道支护原理和设计方法,即根据岩层不同属性,不同地压来源,从分析地压活动规律入手,运用信息化设计法,使支护特性和施工工艺过程不断适应围岩变形的活动状态,以达到抑制围岩变形、维护巷道稳定的目的。

## 前 言

金川二矿区约有25%的基建巷道处于不良岩层中,其工程地质条件复杂,岩体破碎软弱,地压大,巷道维护十分困难,导致了前面掘进、后面返修达14年之久,使二矿区长期不能投产。因此,研究不良岩层中巷道地压活动规律,以便有科学根据地采取相应的控制方法,使巷道少返修或不返修,已成为金川二矿区建设中急待解决的技术关键问题之一。也是国家重点科研项目——“金川资源综合利用”的关键课题之一。

为了进行上述研究工作,首先我们对不良岩层巷道各种断面形状和各种支护方式地压显现特征作了全面调查,接着开展了大量现场量测,在1150、1250、1300中段安装了BM-1型机械式多点位移计和断面收敛测点,对围岩不同深度的位移值和巷道表面收敛值进行长期观测。四年来,共获得了三万多个观测数据,与此同时还结合进行了室内试验和理论计算

分析，初步掌握了二矿区不良岩层巷道的地压活动规律，摸索出一套新的支护方法，为较好地控制二矿区巷道地压，保证二矿区顺利投产做出了贡献。

## 一、工程地质概况

金川矿区位于祁连山——吕梁山——贺兰山形成的山字形构造的前弧西翼。大地构造学划分在阿拉善边缘隆起带，即龙首山隆起带。控制矿区的 $F_1$ 大断裂和河西走廊 $F_2$ 大断裂南北对应，造成龙首山上升，两侧下沉。北侧为潮水拗陷，南侧为河西走廊拗陷。矿床赋存于 $F_1$ 的次级低序次断裂构造中。

二矿区是金川四个矿区中最大的一个矿区。岩层走向北西，倾向南西，呈单斜层状构造。吕梁运动开始就形成了一套北西 $50^\circ-60^\circ$ 的构造体系，以后虽然有新构造体系，但老构造体系一直占主导地位。吕梁运动奠定了矿区的构造骨骼，以后多次构造运动及频繁的

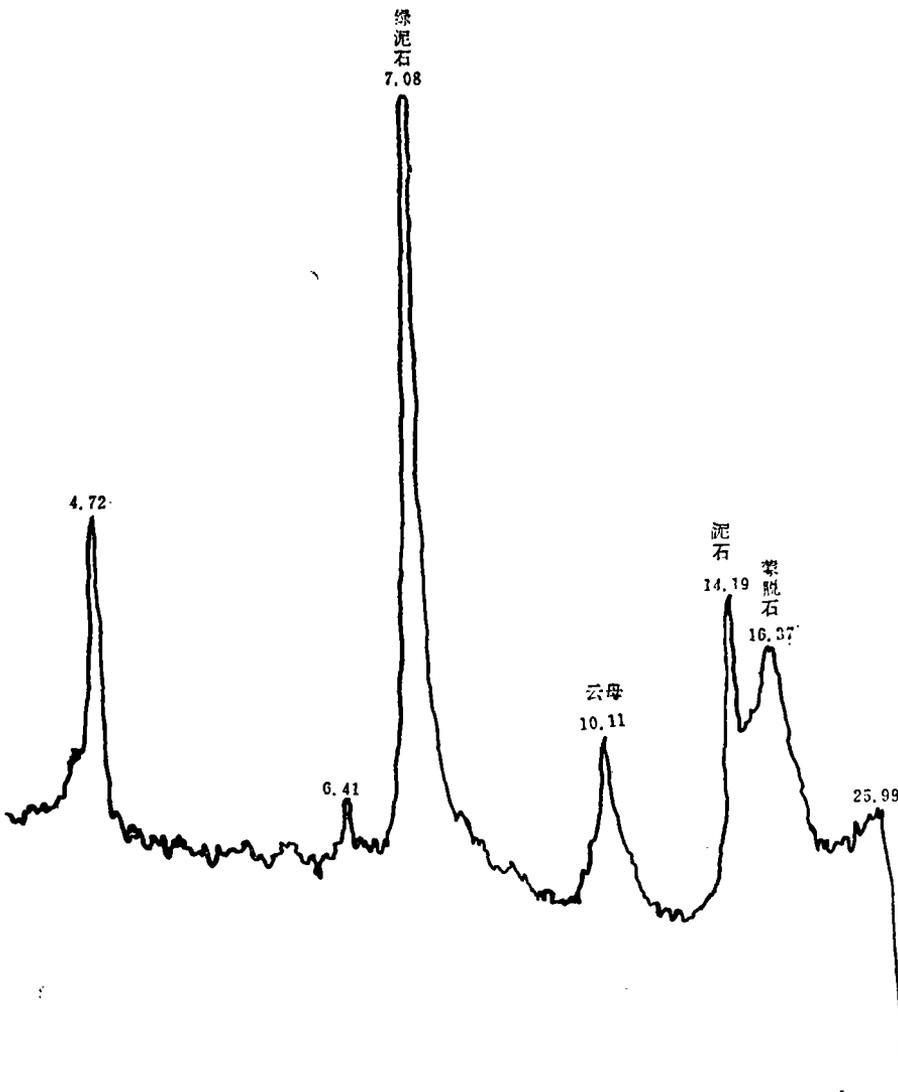


图 (1) 1250中段绿泥石片岩X射线衍射图

岩浆侵入，使古老的变质岩支离破碎。第四纪以来构造运动也极为强烈，使工程地质条件变得更加复杂。与矿区有密切关系的“F<sub>1</sub>”断层，走向为北西50°—70°，倾向南西，长170公里，离超基性岩体为600—1100米。矿区另一主要断层“F<sub>16</sub>”位于“F<sub>1</sub>”与矿体之间，长3.8公里，由石墨片岩、云母石英片岩等组成，在井巷施工中多次揭露，对井巷工程影响很大。

按照中国科学院地质研究所等单位的分类，不良岩层主要是指混合岩带和片岩、片麻岩带散体结构的“F<sub>1</sub>”断层压碎岩组、“F<sub>16</sub>”断层带破碎岩组以及层状结构和层状碎裂结构的多种岩浆频繁穿插的中薄层大理岩岩组，还有一些岩层的接触带，矿体与围岩接触带以及部分贫矿等。

我们对不良岩层中具有代表性的绿泥石片岩和石墨片岩进行了分析。由X射线衍射谱测定可知：1250中段底盘沿脉绿泥石片岩主要成分为绿泥石、蒙脱石、云母等，其中蒙脱石含量大约为20%，其x射线衍射图谱如图1所示。

这种岩石对水敏感，据比表面积分类属亲水岩种，当风干后再遇水就迅速崩解，完全失去承载能力。

该岩石膨胀性能强，根据膨胀性能测定，最大膨胀率为3.45%（在风干含水量为1.55%条件下），其垂直面膨胀力为1.03公斤/厘米<sup>2</sup>。因此，防止风干脱水和防潮是防止这类围岩强度软化的前提条件。

由x射线衍射谱测定：1150中段石墨片岩主要成分为绿泥石、皂石、石英、云母等。其x射线衍射图谱如图2所示。按比表面积大小的岩种分类，石墨片岩属弱亲水性，有微膨胀。

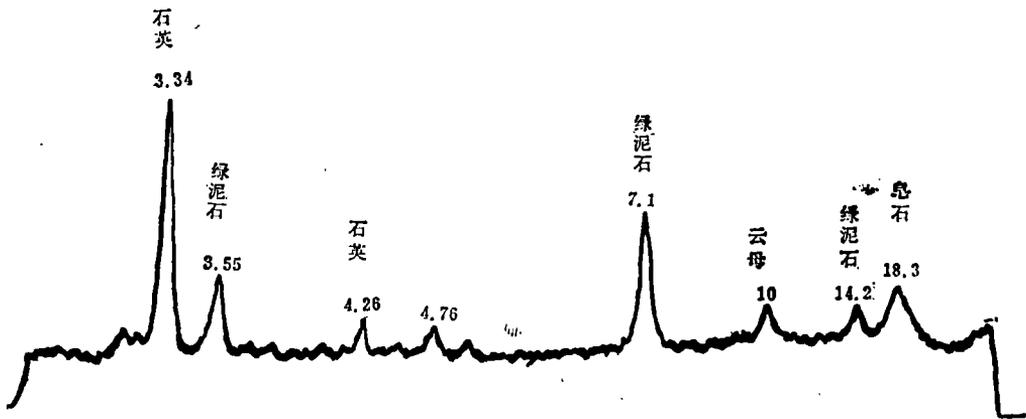


图 2 1150中段石墨片岩X射线衍射图谱

绿泥石片岩和石墨片岩岩性上的基本特征是：破碎软弱，容重小，层理、节理裂隙发育，孔隙率大，总体强度低，稳定性差。围岩在无支护条件下相对稳定时间很短（一般只有几小时），而且稳定面积很小。

## 二、地压显现的特征

二矿区各水平巷道由于地应力不同，围岩力学性质和岩体结构上差异，其支护受力情

况是复杂的。经调查统计，各种断面形状和各种不同的支护方式，其地压显现特征是：

1.以侧压为主时，其破坏形态是：

直墙拱形预制块和整体浇注混凝土支架为直墙内鼓，普遍产生纵向张裂缝，拱顶成尖顶形，支架脱皮剥落，有钢筋时，钢筋裸露压弯。巷道断面呈桃形。

U型钢金属支架：在周围压力呈均匀分布时，一般呈均匀压缩，当侧偏压较大时，则一侧变形大，有时也出现U型钢压弯或立柱内移等。

梯形木棚子支架：侧压大时，大多数棚腿在底板上0.5—1.2米处被折断。如果棚子密，木质较好，则产生棚腿内移，呈倒梯形。

2.在局部地区以顶压为主或侧压顶压大小相近时，则剪切楔形体形成和发展大多在拱腰处，因此一般拱腰破坏严重。在用木棚支架时多数为顶梁压断，用U型钢支架时，则出现立柱下陷，整体支架下移等。

3.如果巷道不封底，底鼓是普遍现象。

4.局部地区由于支护和施工方案不当，顶板冒落、塌方严重。如1150中段联络道和1250中段底盘运输道，在工时，因冒顶塌方，整个巷道堵死。

据统计，冒顶塌方高度有2—3米至10几米不等。从地质构造条件看，发生在断层破碎带、接触破碎带的塌方占85%，节理、片理密集带塌方占10%，其余为强烈蚀变带等。塌方规模主要受岩体结构控制。

造成围岩和支护变形、破坏的自然因素是：工程地质条件差，这是构成矿区地压活动频繁剧烈的前提，表现在岩性差，明显地“软、滑、碎”。另外矿区还处于活动性构造体系内，结构面发育，已编号的断层就有150多条，北西向的构造体系控制着矿区工程地质条件。巷道埋深较大，二矿区巷道一般都在地表400米以下，因此地应力相应加大（据地质部地质力学所等单位的地应力量测，深度每增加100米，平均水平主应力大约增加45公斤/厘米<sup>2</sup>）。还有不良岩层的流变特性和某些岩石的膨胀特性等，其情况错综复杂，而且每条巷道具具体条件不同，变形、破坏差异也很大。

其生产技术因素是：巷道布局和位置选择，断面形状，掘进方式方法，支护参数及力学特性，支护施工方法及支护在时间和空间上的合理控制，支护质量等。

自然因素是客观存在的，我们可以去认识它，并在一定程度上去改造它，以便发挥其有利的一面，消除其有害的一面，为生产实践服务。

生产技术因素是人为的、可变的因素。

如何使生产技术因素能适应各种错综复杂的自然条件，寻求地压与其影响因素之间的定性、定量关系，在这个基础上选择最有效、最经济的方法来控制地压，这就是本课题需要解答的一个重要内容。

### 三、地压活动的基本规律

地压显现，不是一种偶然现象，它具有一定的规律性，认识和掌握这种规律性，就能有效地控制它。

分析地压活动规律的前提条件是对岩层属性的认识。金川不良岩层到底是怎样一种属性的介质，经过三年多试验研究，我们认为基本属于易发展为松散体的流变体，主要根据是：

①不良岩层1150喷锚试验段实测得到的围岩最大位移值为142mm，但按弹塑性体有限单元法计算结果，其围岩最大位移值仅为它的1/10，这说明不良岩层粘性位移值是很大的，显示了它具有明显的流变体性质。

②从围岩深部岩体位移长期观测结果看，围岩各部分径向应变值随时间而不断变化，而且松弛区、压密区相互交替出现。这也是一种明显的流变性质，这种现象按弹塑性体是无法解释的。有限元电算表明：在弹塑性体中，由于开挖影响，围岩各点位移都是向巷道空间方向移动，而且从深部到巷道壁位移值是由小到大逐渐变化。

③根据巷道断面收敛和围岩位移的长期观测，围岩位移的时间效应特别明显。

因此初步判断：不良岩层基本属于流变体。它和以含粘土矿物为主的某些流变岩体不同之处在于：当没有支护或支护不当，其围岩位移任其发展超过其允许最大位移值时，极易转变为松散体。因此恰当地控制围岩位移是不良岩层巷道维护技术的一个关键。

经过近四年来的综合分析研究，在这种岩层中地压活动基本规律是：

1.地压类型基本以变形地压为主，局部地区存在松散地压，在绿泥石片岩富集地区存在一定的膨胀地压。

变形地压主要是由围岩变形而对支护产生挤压作用引起的。而围岩变形是一个复杂过程，它总是包含有各种可能的成份，据试验研究金川不良岩层围岩变形以流变变形为主。

在局部地区，主要是维护不当，在位移任意发展时由变形地压逐步转变为松散地压。

还在以绿泥石片岩为代表的膨胀性岩石，在风干遇水后产生膨胀地压。这种地压随含水量增长压力也随时间逐步增长，因此也可归结为变形地压一部分。不区分地压类型，任何维护措施都有一定的盲目性。

2.地压随时间而变化的总趋势：前期随时间增长而迅速增大，以后增长速度逐渐下降，维护恰当，到一定阶段趋向稳定。表现为稳定性的变形地压。

围岩变形是地压活动最直接的体现，因此一般都是用围岩变形或位移来描述地压活动情况。我们量测位移在现场用多点位移计和断面收敛测点，实测得到的位移—时间曲线和断面收敛—时间曲线如图3、图4、图5、图6所示。

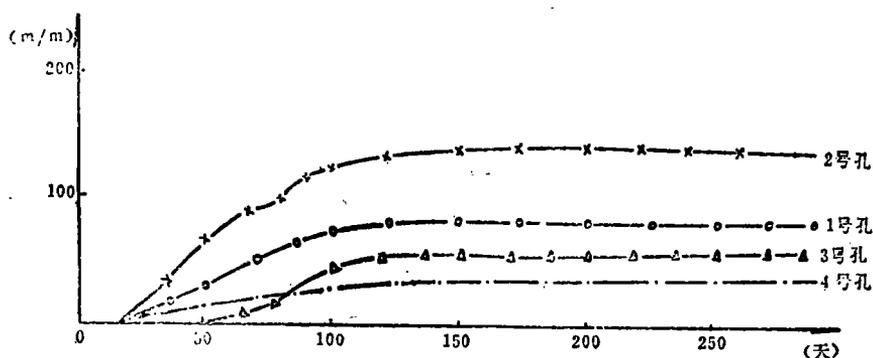


图3 1150喷锚试验段多点位移计第一观测断面表面位移—时间曲线

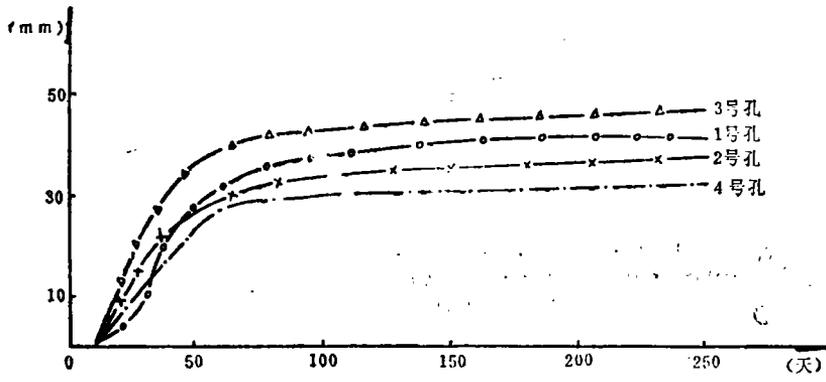


图 4 1150 喷锚试验段多点位移计第二观测断面表面位移—时间曲线

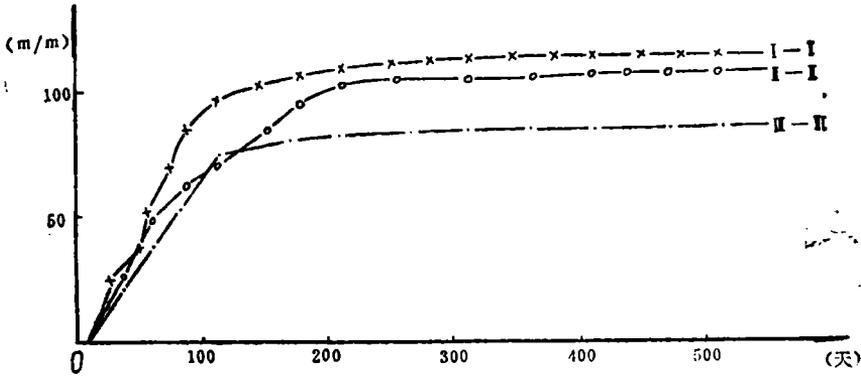


图 5 1150 喷锚试验段 A<sub>4</sub> 断面收敛—时间曲线

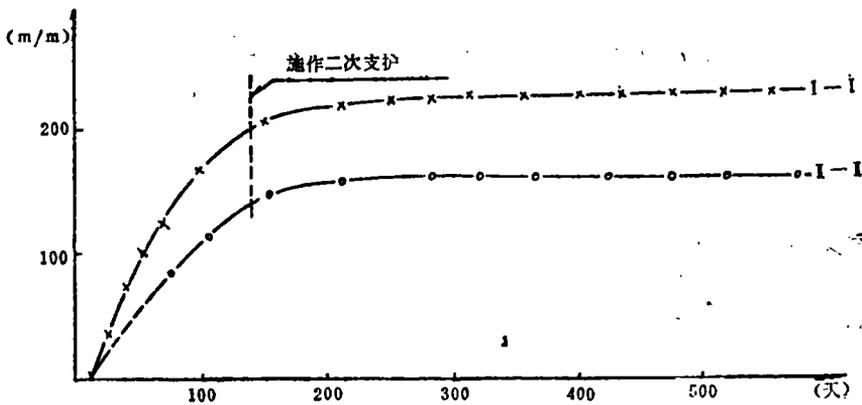


图 6 1150 喷锚试验段 A<sub>4</sub> 断面收敛—时间曲线

从图上可知：一般位移增长和急剧增长阶段持续时间大约为40—100天，该阶段变形量约占趋向稳定时总变形量的70—80%。缓慢增长阶段持续时间大约为20—40天，以后是开始趋向稳定阶段。呈稳定性变形地压性质。各月速率平均递减情况如表1所示。

表 1 1150中段第一观测断面表面位移各月平均速率

测孔号	各 月 平 均 位 移 速 率 (毫米/天)				
	第一个月	第二个月	第三个月	第四个月	第五个月
1	0.7	/	0.55	0.2	0.03
2	2.1	1.42	0.77	0.4	0.07
3	0.8	0.33	0.27	/	0.038
4	0.33	0.23	0.26	0.1	0.03

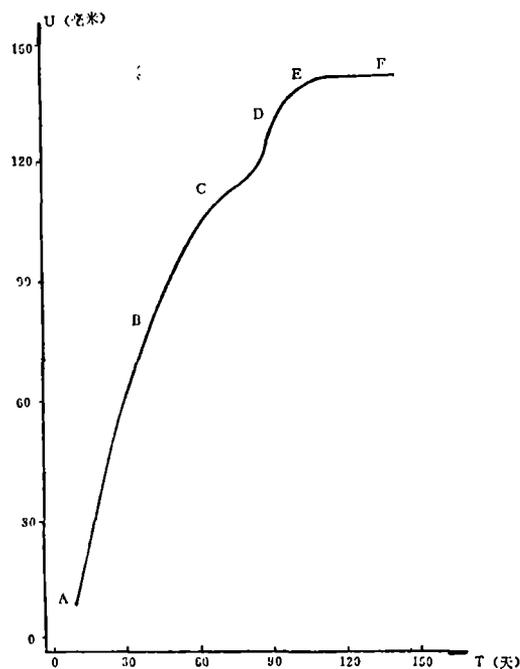


图 7 电子计算机做出的位移—时间曲线

图7是M-150 电子计算机做的1150 喷锚试验段第一观测断面 2 号孔表面位移—时间曲线。ABC段基本上为匀速段，CD 段突然变为增速段，到D点位移已超过允许的最大位移值，2号孔附近围岩已趋于破坏状态。于是马上采取了补强措施，重绑钢筋，重喷砼，因此DE 段位移速率下降，表现为减速段，围岩向稳定方向转化。EF段为零速段，围岩趋于稳定。

如果量测手段可靠，用位移速率来判断围岩稳定状况是最简便的。

下面我们用回归方法求出实测曲线的解析表达式，再根据解析式推算其变化趋向和长期效应。具体方法是：

(1) 根据位移—时间特性曲线求出解析式。由实测曲线可知，不良岩层围岩位移随时间变化情况不是直线相关，而是存在着较为复杂的某种曲线相关关系，根据M-150

电子计算机非线性回归程序拟合计算的结果，在一般的不良岩层采以下回归方程：

$$u = a_0 (1 - e^{-a_1 t}) \dots\dots ①$$

$$V = a_0 a_1 e^{-a_1 t} \dots\dots ②$$

式中：u ≡ 位移量

t ≡ 时间

V ≡ 位移速率

$a_0$ 、 $a_1$  为常数

在稳定性更差的不良岩层，则可采用下列回归方程：

表 2

P <sub>1</sub> = 1.906528, P <sub>2</sub> = -0.01044, P <sub>3</sub> = 0.276669, P <sub>4</sub> = 0.000225, P <sub>5</sub> = 0.013826																			
1	T 时间	0	10	20	28	35	39	58	65	86	93	103	115	120	126	130	135	140	
	U 实测	0	10	15	20	32	35	56	64	71	73	76	77	78	79	78	79	79	
	U 回归	1.9	6.6	11.6	23	31.2	35.9	55.7	61.3	72.1	74.2	76.3	77.7	78.1	78.4	78.5	78.6	78.6	
	V 速率	0.29	0.64	0.96	1.13	1.18	1.17	0.87	0.72	0.34	0.25	0.16	0.08	0.06	0.03	0.02	0.01	0.0008	
P <sub>1</sub> = -21.643509, P <sub>2</sub> = 0.007597, P <sub>3</sub> = 3.64995, P <sub>4</sub> = -0.000078, P <sub>5</sub> = -0.021173																			
2	T 时间	8	15	21	29	36	40	59	65	68	83	89	92	103	107	115	125		
	U 实测	8	22	38	61	73	76	104	108	110	116	123	132	138	140	140	140		
	V 回归	5.9	25.8	40.6	57.5	70.2	76.7	101.9	108.3	111.2	123.7	129.7	127.9	135.5	139.9	139.9	141.5		
	V 速率	3.10	2.63	2.30	1.94	1.69	1.57	1.12	1.01	0.96	0.73	0.65	0.61	0.46	0.40	0.27	0.06		
P <sub>1</sub> = -1.405227, P <sub>2</sub> = 0.027782, P <sub>3</sub> = 1.576111, P <sub>4</sub> = -0.000098, P <sub>5</sub> = -0.002429																			
3	T 时间	0	6	16	24	35	62	92	86	89	97	100	103	107	115	118	122	125	
	U 实测	0	4	16	24	28	38	41	42	43	46	46	48	50	53	53	54	54	
	U 回归	1.4	6.8	16.3	21.7	27.4	37.1	42.6	43.6	44.3	46.4	47.1	47.9	48.9	50.9	51.7	52.8	54.6	
	V 速率	1.62	1.17	0.77	0.59	0.45	0.30	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.27	
P <sub>1</sub> = 0.183317, P <sub>2</sub> = -0.004754, P <sub>3</sub> = 0.273221, P <sub>4</sub> = 0.000008, P <sub>5</sub> = -0.00124																			
4	T 时间	0	6	35	42	74	89	95	98	102	106	112	116	120	124	127	131	140	144
	U 实测	0	2	9	13	18	24	24	25	25	27	27	27	28	28	28	29	29	29
	U 回归	0.2	1.8	9.7	11.6	19.7	23.0	24.2	24.7	25.4	26.1	26.9	27.4	27.9	28.3	28.5	28.7	29.0	28.9
	V 速率	0.27	0.27	0.26	0.23	0.20	0.19	0.18	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.05	-0.004	-0.03	

$$u = \frac{p_1 + p_3 t + p_5 t^2}{1 + p_2 t + p_4 t^2}$$

$$v = \frac{p_3 - p_1 p_2 - (p_5 - p_1 p_4)t + (p_2 p_5 - p_3 p_4)t^2}{(1 + p_2 t + p_4 t^2)^2}$$

$p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ 、 $p_5$ 为常数

以1150喷锚试验段为例，经M-150电子计算机运算，多点位移计第一观测断面的1、2、3、4号孔的 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ 、 $p_5$ 的值如表2所示，实测曲线和回归曲线拟合情况如图8所示。

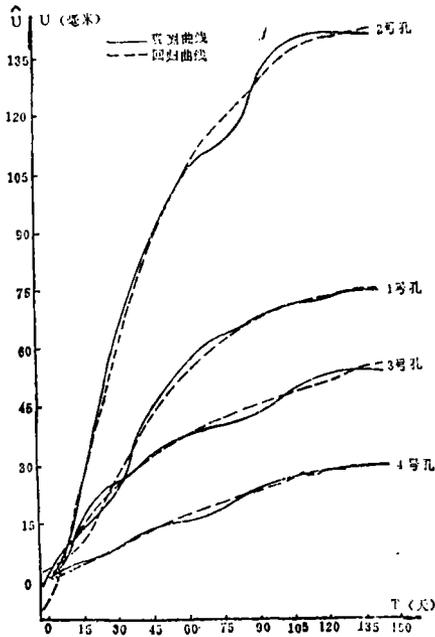


图8 实测曲线和回归曲线拟合情况

## (2) 稳定性判断:

当巷道围岩位移在允许范围以内时，即

$$u < [u_{允}]$$

则可判为稳定的，否则不稳定。 $[u_{允}]$ 可由实测求出。

当位移速率 $V$ 单调下降，最后趋近于零时，则可判为稳定的。

由实测可知： $[u_{允}]$ 为100—110毫米，从表上可看出，除2号孔外，其它各孔 $u$ 都没有超过 $[u_{允}]$ 。2号孔 $u$ 已超过 $[u_{允}]$ ，2号孔附近破坏严重，后采取补强措施，位移速率很快下降，因此整个巷道趋于稳定状态。

3. 巷道开挖引起的围岩径向应变在时间和空间上分布规律是：松弛区和压密区随时间交错产生，并向深部逐渐衰减，直至消失。

由于巷道开挖，破坏了原岩应力平衡状态，围岩产生了应力重新分布。随着时间发展，应力

又处于不断调整状态中。围岩力学形态变化是不断适应应力重分布的结果。它的基本过程是：巷道开挖——应力变化——围岩变形——应力重分布——继续变形，这样相互适应、互相影响、循环往复，最后达到新的平衡为止。

根据多点位移计的长期观测，可以形象的看出围岩力学形态变化的这个过程。以1150喷锚试验段第一观测断面1号孔为例，其围岩在纵深12米范围内径向应变在时间和空间上变化情况如图9所示。

从图上可看出围岩稳定过程：

(1) 巷道掘进后，周边围岩向临空面发生位移，在周边附近发生较大的松弛变形。周边应变值最大，随着深度增加，应变值逐渐衰减。很明显，在0—2.5米范围内，松弛变形十分显著， $C$ 、 $\Phi$ 值已经大幅度下降，围岩原先完整性已经受到破坏，这个范围即我们常说的松动圈。如不及时支护则围岩很快向不稳定方向发展。如果及时支护，不仅防止局部岩块失稳，而且能抑制围岩变形发展，防止松动圈的扩大，并可大大加固松动圈内岩体，提高其自承能力。

(2) 松动圈消失，围岩出现压密状态。在围岩纵深2.5—6米范围内出现压密区。这

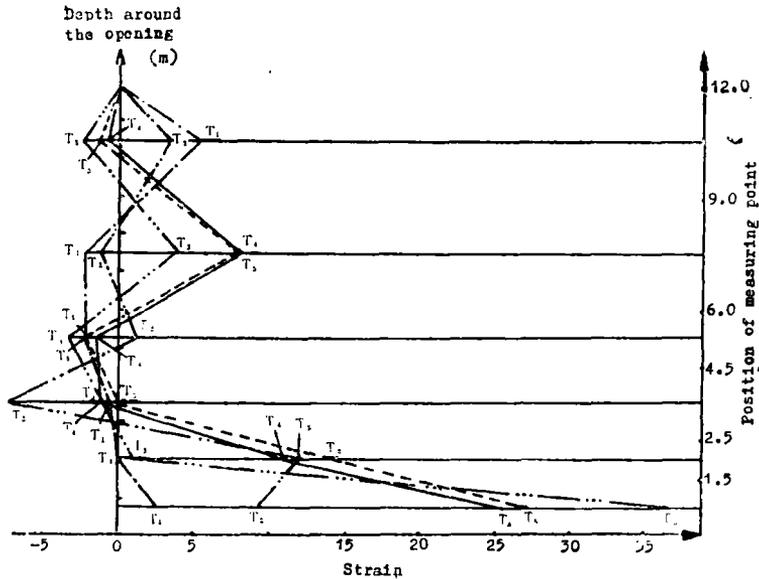


图 9 围岩径向应变随时间和空间变化情况

个压密区出现是围岩开始向稳定方向转化的重要标志。

这个压缩状态围岩形成承载圈，一方面对6米以外围岩起支撑作用，另一方面对松动区起保护作用。

从现场量测数据来看，松动圈和压密区的出现不是偶然现象，而是流变岩体力学状态随时间而带规律性变化的结果。在铁道系统普济隧道、灰峪隧道、腰岷河隧道用形变——电阻率法的现场量测中也出现了完全类似的现象。当然，围岩力学性质和支护力学性质不同也会有很大差异。

(3) 由于岩性和岩体结构千变万化，在围岩应力不断调整过程中，围岩纵深部位(即6米到12米范围内)，应变动态出现了复杂的情况。在6米至9米区段，围岩由初期的压缩状态逐渐转变为后期的松弛状态。并且应变值稳定在0.008左右。在9米至12米区段，围岩由初期松弛状态逐渐转化为后期的压缩状态。从总的趋势看：仍然是压缩和松弛状态交错产生，并随深度增加逐步衰减。实际上这是流变岩体一系列应力及应变互相适应、相互影响的过程。

从这里可以看出：围岩在纵深12米范围内径向应变随时间而不断调整，在量测时间内出现二个压密区(即2.5米至6米，9米至12米)，一个松弛区(即6米至9米)，一个松动区(即0至2.5米)。压密区实际上是承载圈，支撑着绝大部分地应力，它在围岩稳定过程中起着关键作用。

4. 据变形量、变形速率、变形与时间关系曲线做出了围岩变形活动状态图，从图上可得出围岩松动圈尺寸为1.5~2.5米，围岩明显位移范围为8—9米，围岩允许最大位移值为100—110毫米，两次支护合理间隔时间混合岩化片麻岩为50天，石墨片岩和黑云母片麻岩为120天。

巷道开挖引起的围岩松动圈和明显位移范围是衡量围岩稳定程度，评价支护效果的一个重要指标。据多点位移计实测，巷道围岩位移活动状态如图10所示。



从图上可以看出巷道表面至深1.5米处围岩位移值一般较大,而深度大于2.5米以后位移值显著减小。从不同深度位移特征看,深度2.5米以内不仅位移量大,而且各处参差不齐,2.5米以后围岩位移基本是连续的。这种差别实质上反映了围岩位移两种类型,前者是趋于破坏的松动圈向巷道空间的移动,后者主要是由流变变形引起的。因此围岩松动圈大致为大于1.5米,小于2.5米。测定松动圈范围主要用途是确定锚杆长度。从图上还可以看出围岩明显位移范围大约为8米多至9米,它是在极不稳固岩体中确定二次支护锚索长度的主要依据。

另外根据现场位移量测,我们还可以确定在不同支护条件下围岩允许的最大变形值。然后按允许的最大变形值来选择支护的结构型式和确定支护柔度(即支护合理的可缩量),以做到既充分发挥围岩的自承能力,又能使用围岩不出现有害的松散状态,使巷道维护工作获得既安全又经济的效果。

如1150中段在石墨片岩和黑云母片麻岩中采用矮墙半圆拱断面,用喷锚网联合支护,经位移和断面收敛量测,发现围岩变形值在100—110毫米以内时,一次支护喷层虽然也有局部开裂现象,但都没有出现危险的破坏情况,凡超过这个值的地段(如图10的二号孔附近),支护状态都严重恶化,围岩出现明显有害的松散状态,可见在1150试验段这样的条件下,围岩允许的最大变形值为100—110毫米。当然,地应力不同,岩性和岩体结构不同,断面形状、维护方法或施工方法的不同,这个允许的最大位移值也是不一样的。这就是很难确定一个统一判据的原因。

围岩位移时间效应对正确指导施工过程也有重要意义。一般不良岩层支护总是要分二次或多次完成。在第一次支护后,当围岩位移呈增速或匀速发展时,急于施作一次支护显然是不合适的。如1150试验段前6米区间一次支护后,拱顶出现纵向剪切裂隙,曾试图通过及早加强支撑抗力,以求得与围岩变形取得平衡,约在一次支护后15—30天内即完成了二次支护,这时围岩变形正处于增速和匀速发展阶段,围岩变形能释放还很不充分,过早地提高支护结构刚度,产生了较大的变形地压,二次支护后喷层又在原处开裂,以后又补喷,相继又出现局部开裂现象。根据这个教训,在试验段其余部分均在变形速率明显下降时上二次支护,围岩很快就开始趋向稳定。由此可见,二次支护时间是支护成败的重要因素。根据现场实测,在1150中段这样的试验条件下,两次支护合理的间隔时间混合岩化片麻岩为50天,石墨片岩和黑云母片麻岩为120天。

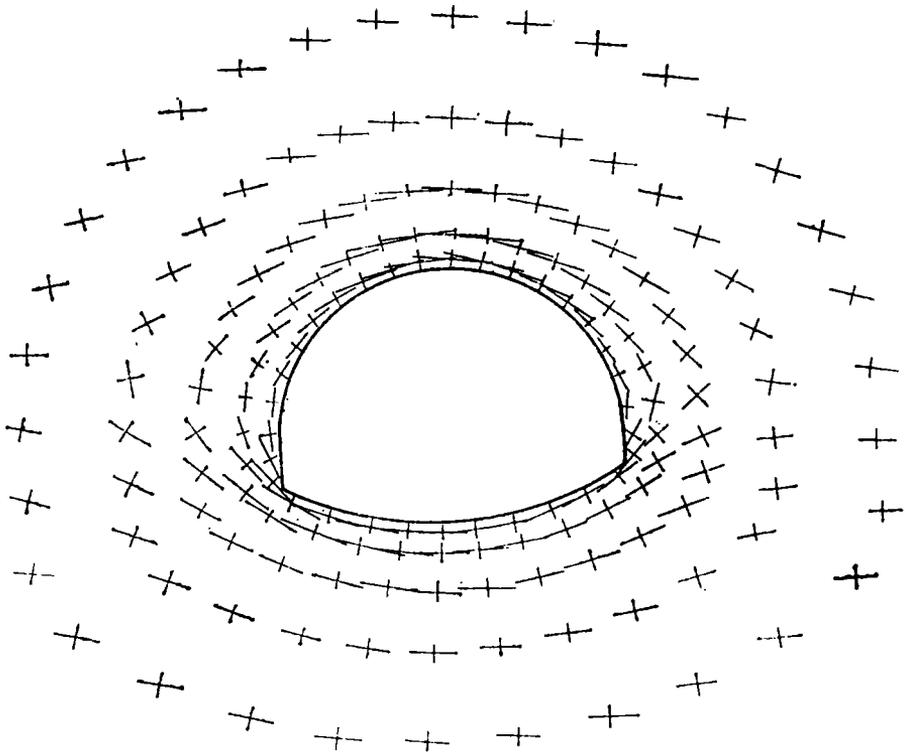
由于矿区存在较大的水平构造应力,最大主应力方向基本为水平方向,其相应的围岩变形和应力分布情况是:侧帮位移较大,应力较小,顶底板位移较小,而应力较大。

同在水平方向,由于两侧岩性不同,位移值相差也大。如图10所示在相同的量测条件下,右帮为石墨片岩,位移值最大达142毫米,左帮为黑云母片麻岩,岩性比右帮好,位移值最大是84毫米。有限元计算,右帮位移值为左帮的1.8倍,和现场实测结果基本一致。

5.维护得当,支护与围岩将形成统一的结构体系。据有限元分析,支护基本作用是:改善围岩力学形态,提高其自承能力。

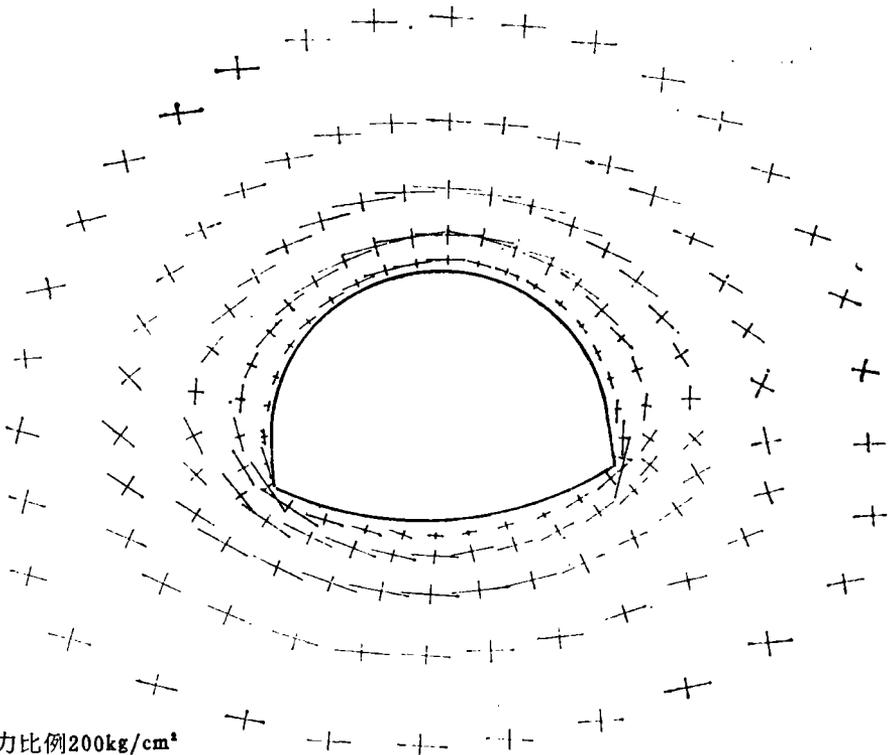
以喷锚支护和注浆支护为例,在作有限元分析时,从无支护和有支护对比中可以看出:

(1) 有支护时,围岩周边径向应力成倍增加,周边围岩由两向应力状态转入三向应



应力比例 $200\text{kg}/\text{cm}^2$

图 11 巷道喷锚支护非线性分析围岩应力布图



应力比例 $200\text{kg}/\text{cm}^2$

图 12 巷道无支护非线性分析围岩应力布图

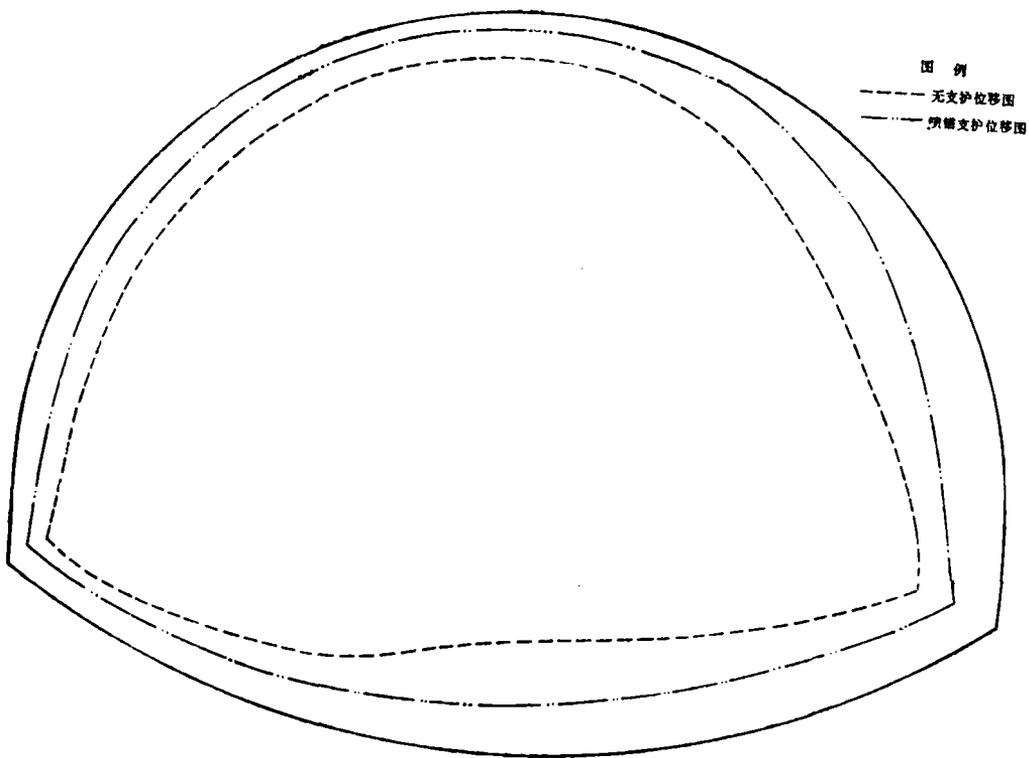


图 13

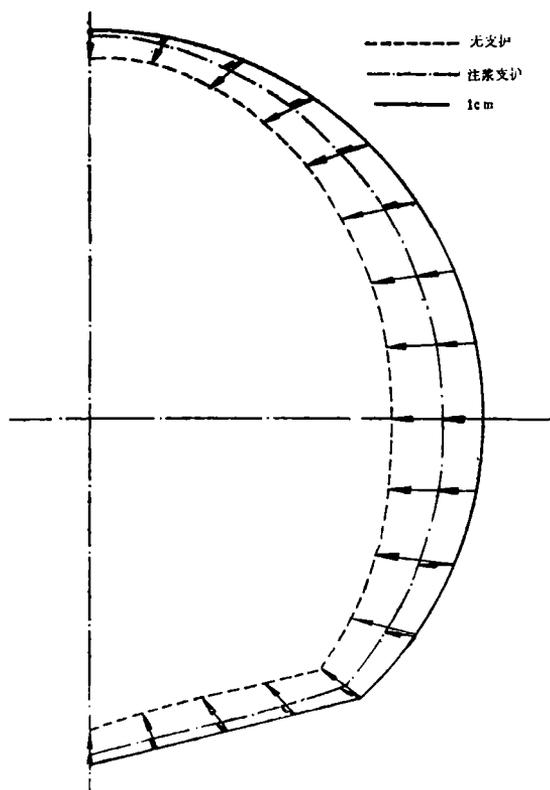


图 14

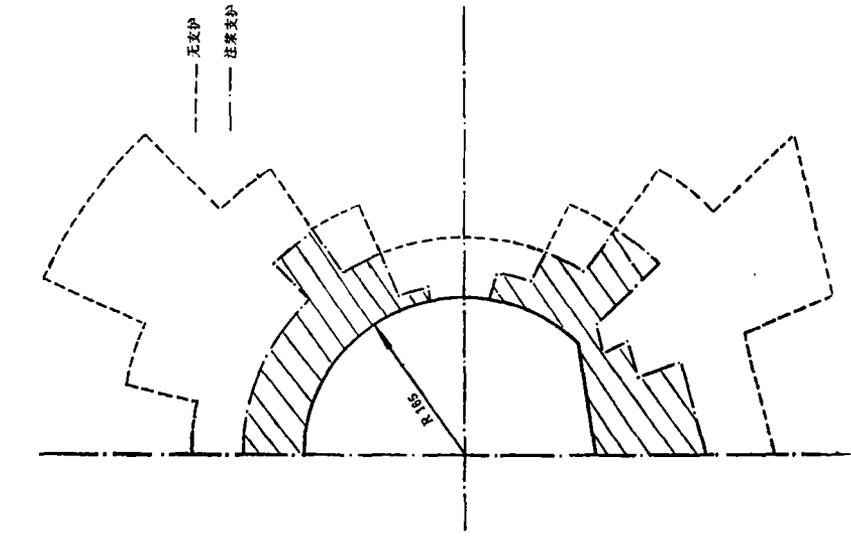


图 16

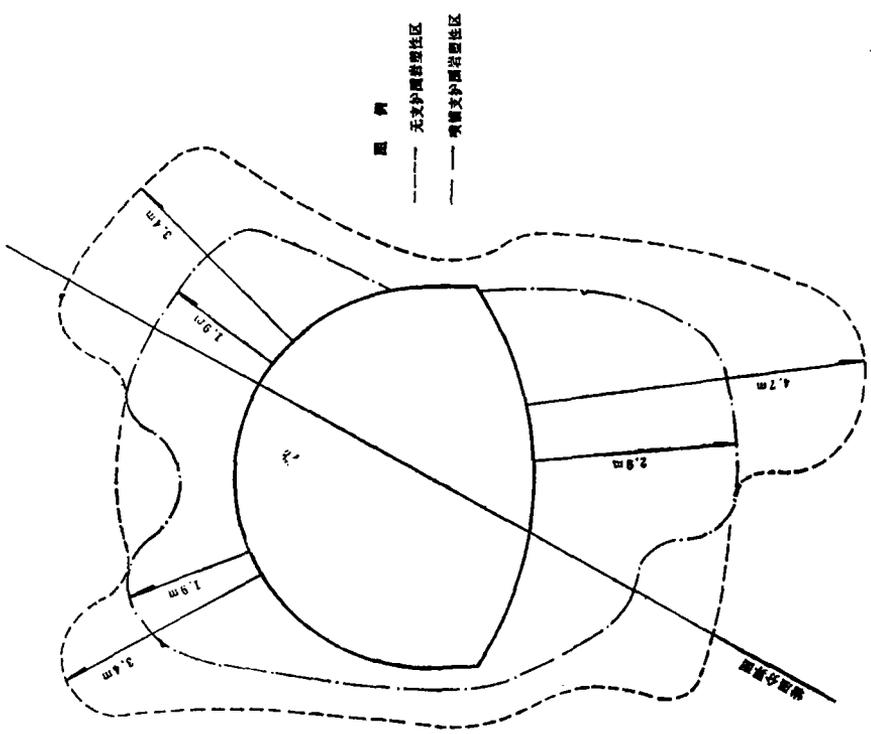


图 15

力状态（当然是在围岩与支护紧密全面粘结情况下），它使应力圆右移，强度提高，同时也使剪应力减小，从而大大增强抗剪能力。据计算，1150喷锚段径向应力增加2—2.6倍，1300注浆段平均增加5—10倍。1150中段有支护与无支护应力分布对比如图11、图12所示。

(2) 有支护时，围岩周边位移明显下降。1150中段两帮位移减少37%，1300中段减少53%，底鼓现象大幅度减轻，1150中段底鼓减少44%，1300中段底鼓减少50%，如图13、图14所示。

(3) 支护作用使围岩塑性区明显减小。1150中段塑性区减少47%，1300中段塑性区减小60%，如图15、图16所示。

#### 四、巷道维护原理

1978年以前金川在不良岩层巷道中，采用多种支护型式都难以维护的根本原因在于引用了错误的支护原理和支护方法，把金川流变体围岩稳定问题视为单纯的传统支护结构问题。采用了“支撑围岩、防止冒落”的方法。它完全忽视了地应力这个使围岩产生变形破坏的根本作用力；忽视了地压来源；忽视了地压活动规律；忽视了围岩变形、破坏是一个缓慢的发展过程。我们知道，在围岩变形发展过程中，适时地加以处理，围岩破坏是可以避免发生或至少是可以避免连续发生。

实践已经表明：这种只着眼于改变支护材料和支护结构是解决不了金川巷道稳定问题。

随着岩石力学的发展，人们越来越清楚地认识到：流变岩体围岩与支护之间不完全是一个载荷和结构问题。在大多数情况下它们是相互作用、共同变形的统一的力学体系。支架力学特性可以影响到地压显现的性质。地压显现规律可以决定支架受力状态与工作状态。支架上压力不仅与围岩变形、破坏有关，而且与支护本身结构和性能有关。支架上承受的不是静载荷，而是可变载荷，其载荷大小在相当程度上取决于支架敷设时间和结构本身的刚度等。

因此，根据试验研究的成果，我们提出了新的维护原理，其要点是：根据岩层不同属性，不同地压来源，从分析地压活动规律入手，运用信息化设计法，使支护特性和施工工艺过程不断适应围岩变形的活动状态，以达到抑制围岩变形，维护巷道稳定的目的。

具体来说有以下几点：

1. 地压来源和类型不同，支护原理也不同。

松散地压：在查清松动范围基础上，运用支护来支撑围岩、防止垮落。

变形地压：主要是支护与围岩共同作用和施工监测问题。运用支护结构和施工工艺过程合理控制、加固围岩、调整应力、提高岩体强度，并适当地释放应力和允许围岩有适量变形以维护巷道稳定。

膨胀地压：防止围岩脱水风干再遇水和减少扩容，其他措施同变形地压。

2. 围岩变形是围岩力学形态变化最直接体现，它不仅直接地反映了地压活动规律，而且也是大变形流变岩体用来分析判断围岩稳定程度的可靠手段。因此，进行现场位移量测，准确地掌握围岩变形活动状态、恰当地控制围岩变形时间效应，妥善地安排施工工

艺过程，保证支护特性曲线和围岩变形特性曲线共同工作在最佳点，这是搞好维护的关键。

3. 采用信息化设计——即现场监控设计。用监测数据确定二次支护结构和参数、确定补强时间、再次支护时间和封底时间以及合理的施工顺序，并有效地判断围岩稳定程度。

4. 要充分利用和发挥围岩自承能力，因此一般应采用柔性和深入围岩内部加固岩体的支护结构和封闭支护等支护形式。

## 五、控制措施

地压控制措施是指调节围岩压力状况和控制围岩变形的各种技术措施的综合。其目的是为了防正地压显现带来的有害影响，保证巷道安全使用。

地压控制最基本点是：减小围岩应力（特别要消除周边围岩产生危险应力集中的可能性），提高围岩强度。二者仍不足以保证围岩稳定时，再给以外力，以改变其受力条件，达到稳定目的。合理控制措施主要是：

1. 根据工程地质条件 and 生产需要，统筹考虑巷道布局。

巷道位置最好是选在工程地质条件好，而且工程量又少的地段。但在金川常常是顾此失彼。如矿山运输干线按开采要求一般要和矿体走向平行，但多数中段这样的巷道正好与地应力的最大主应力方向近似垂直，这是在实际设计中难以解决的矛盾。另外巷道交岔口断面大，应力集中，经常是地压剧烈显现地点，但必要的交岔又难于避免。因此要统筹兼顾，全面衡量。总的原则是维护费用低，利于生产，要作为主要因素考虑。一些关键性工程要尽可能布置在良好岩体里。避免不了的则要尽可能垂直穿过不良岩层（对 $F_1$ 、 $F_{16}$ 断层破碎带更要注意），而不要沿不良岩层走向布置。

相邻巷道间距要避免重迭应力的出现。据弹塑性理论计算，在均匀应力场中，巷道开挖后距巷道中心6倍巷道半径处，围岩应力集中系数就在1.04以下，可以认为不受开挖影响。因此相邻巷道中心必须相距二巷道半径和的6倍以上。据现场实测，一般要在15米以上。

2. 断面形状要适应地应力分布特点，应以扁椭圆形，带反拱马蹄形，带反拱矮墙半圆拱形或圆形为主。

一个合理的断面形状，应能改善围岩应力分布状态，减少应力集中，特别是不让围岩出现拉应力。

由力学分析可知，当其它条件相同时，改变巷道宽高比可以改变围岩应力分布状态。

理想的断面形状应为等应力轴比的扁椭圆形。但由于扁椭圆不易施工，而且断面利用率也低，因此金川矿区不良岩层巷道应采用接近压应力轴比的马蹄形或圆形。设计的断面应留有允许围岩变形的余量。据现场实测每侧一般要留150—300毫米。

3. 要保持和加固围岩强度

根据不良岩层怕水、怕风、怕震的特点，施工方法要慎重考虑。正确的施工方法应有利于围岩稳定，尽量减少其强度损失。瑞士、西德等西欧国家在松软岩层中已停止使用凿岩爆破法施工，而主要采用掘进机掘进。在没有合适的掘进机时，必要时也可用风镐、手镐刷、掘。国内外经验表明，这对保持围岩的二次强度是十分有效的。在必须采用凿岩爆破施工时则应采用预裂爆破、光面爆破等保护围岩少受震动的措施。另外要使巷道成型规

整、表面平滑，避免出现较大的凹凸不平现象，以减少应力分布不均和局部应力集中。

要及时封闭围岩，隔绝大气对围岩风化作用。要采取排水、疏干、防潮措施，使巷道不存水。防止水对围岩溶蚀、软化、崩解、膨胀作用。

对特别松软的断层带或断层影响带，则要对围岩进行压力注浆（水泥注浆、化学注浆）、打锚杆、锚索和喷射砼等加固围岩的措施。它们能深入围岩内部，封闭节理裂隙，把不联系或联系很弱的岩块胶结成整体，或形成挤压加固带，大大提高围岩粘结力和整体性，全面改善围岩力学性质，提高围岩强度。

#### 4. 选择合理的支护型式和支护参数

不良岩层基本上属于易发展成为松散体的流变体。从流变特性考虑，巷道围岩变形要持续较长时间，因此支护不能太早，以允许有适量变形，减小支架上的压力。但从易发展成为松散体，围岩自稳时间很短的特点，则支护又是越早、越及时越好。解决这一矛盾的唯一办法是分次支护。即在巷道开挖，围岩暴露后立即实施第一次支护，及时封闭围岩，使围岩保持较高强度，以防止有害的松散状态发生。以后在围岩变形速率明显下降时上第二次支护。一次支护公认的是以喷锚支护为最好，二次支护则可根据现场具体情况选择。不管选用什么支护型式都应设置仰拱，形成全封闭结构。

从有限元分析可以看出：底板位移量和塑性区都很大，生产实践中也看到底鼓现象普遍而严重，因此对底板有效支护是解决整个巷道维护的一个重要环节。设置仰拱可以用混凝土砖或混凝土预制块构件。也可试用在底板打一些浅眼，装入少量药包进行松动爆破，使底板形成一个应力降低带，然后再向眼内注入有一定压力的水泥砂浆，对已破坏底板重新进行加固，使之形成能防止底鼓的承压反拱。有些矿山实践证明这种支护底板方法效果也较好。从现场实测中可以看出：封底比不封底巷道收敛值要降低50%，如图17所示。

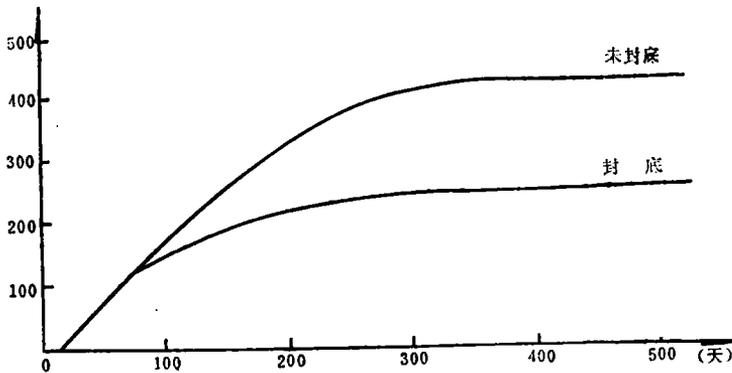


图17 封底与不封底围岩变形量比较

#### 5. 要实行“设计、施工、监测”相结合的信息化设计

在不良岩层支护设计和施工法不能停留在“工程类比法”的阶段，而要采用信息化设计，即现场监控设计法，以使用监测数据来克服人们在预先设计中的片面性和局限性，随时调整支护参数、指导施工过程。如根据围岩允许的最大变形值设计支护柔性，根据松动圈范围设计锚杆参数，根据围岩变形时间效应确定二次支护的时间、封底时间和支护补强

时间, 根据一次支护应力大小设计二次支护强度等。总之, 如图18所示, 要建立起围岩特性曲线和支护特性曲线相平衡的条件。

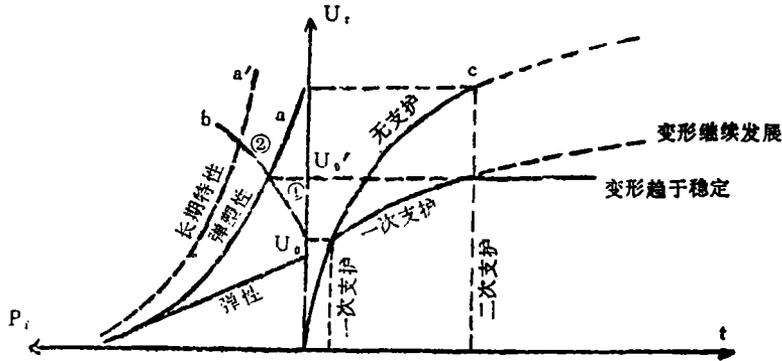


图 18 考虑时间因素的支护—围岩特性曲线

6. 要认真解决好巷道施工和支护质量问题。由于施工质量不好, 使围岩和支护状态恶化情况时有发生, 在这方面应建立起必要的检查监督制度。

\* \* \*

在本课题的研究中得到北京有色冶金设计研究总院, 北京冶金建筑研究总院, 长沙矿山研究院, 中国科学院地质研究所等兄弟单位的大力支持, 在此深表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] 金川二矿区不良岩层巷道变形控制与喷锚支护的试验研究 冶金部建筑研究总院等四单位
- [2] BM-1型多点位移计在金川矿区的应用 北京钢铁学院、金川井巷公司
- [3] 金川二矿区不良岩层巷道注浆加固与支护方法的研究报告 长沙矿山研究院、金川井巷公司
- [4] 金川矿区原岩应力测量及其构造应力场研究 中国地质科学院地质力学研究所等单位

# Study on the ground pressure and control method for openings in soft and broken rocks in Jin Chuon Mine No. 2

Fang Zu-lie

## Abstract

This paper elucidates the theory and <sup>point</sup> practice of opening <sup>maintenance</sup> (maintenance) in soft and broken rocks. Its main points are as follows.

(1) The radical Cause of failure of viarous type of supporting structure in soft and broken rocks in Jin Chuon Mine before 1978 has been found to be that the stabilizing problem of rheological rocks around openings was simply regarded as a structure problem of conventional supporting.

(2) The soft and broken rocks in Jin Chuon Mine is a kind of rheological materials which <sup>P</sup> may readily become loose material. So it is necessary to use secondary supports for the openings in such rocks.

(3) The ground pressure around the openings in soft and broken rocks in Jin chuon Mine is recognized as a deformation pressure of rheological a <sup>Q</sup> material.

(4) The basic regularity of ground pressure in Jin Chuon Mine is determined there are two compressed and compacted regions, one slack region, and one broken region around the openings in 12 meters deep. The compressed and compacted regions are bearing circles and play a critical part in stabilizing the openings around.

(5) An information design method, field supervision and control method is used in Jin Chuon Mine.

(6) The supporting principles and design methods of openings in soft and broken rocks in Jin Choun Mine are put forward. It is important to use information design method to make support property and construction technic to fit deformation condition of rocks around the opening. It is also important to restrain rock deformation and slabilite the apening through analysis of regularity of ground pressure in accordance with different rock properties and ground pressure type.