

浅部采场地压的试验研究

冯现珍

(广西大学)

摘要: 本文根据龙头锰矿李家背矿段试验采场室内模拟试验结果, 和现场试采了一个采场(上部), 三个矿房(下部)的初步观察, 分析研究了覆岩厚度六十余米时, 开采缓倾斜($8^{\circ}\sim 12^{\circ}$)矿层采场围岩移动的特点和矿柱承压的性态。试验研究表明, 采场顶板岩层的稳固性主要受岩层层面、节理、裂隙的制约; 全面法采场中留下的不规则矿柱, 承压大, 且随顶板暴露面积和时间的增加而增加; 在开采多层近距矿层时, 上下对齐地留设矿柱, 利于回采作业的安全。

一、前言

开采地表以下100m以内的缓倾斜、多层近距极薄矿层群时, 采场围岩怎样移动? 如何留设矿柱? 在上下矿层顶底板间距只有2.3~2.9m厚时, 能否确保上下矿层同时回采的安全? 显然, 这对于地下开采和其他地下工程建设, 都有重要意义。现以广西龙头锰矿李家背矿段试验采场室内相似模拟试验结果, 和现场试采了一个采场, 三个矿房后的初步观察资料, 对上述问题进行研究。

二、采场地质条件与采矿工程布置

龙头锰矿李家背矿段的矿层群, 埋深60~100m, 属浅海沉积型碳酸锰矿床, 在厚度为8m的含矿带中, 共有四层矿, 其中第四层矿又分为四小层。矿层顶板为厚层灰岩, 有令人满意的天然光滑面, 稳固; 底板为薄层灰岩, 也稳固。各矿层、夹石层的厚度、品位、容重列于表1。

因对地质勘探报告中矿岩力学、物理性质指标的取样地点和试验方法不详, 用DH-1型点荷载仪测定试验采场矿岩的点荷载强度指标, 并以点荷载强度相似选配相似材料, 而矿岩容量仍沿用地质勘探报告的数据,

各矿层、夹石层厚度、品位、容重

表1

层次	厚度 (m)	品位 (%)	容重 (g/cm ³)	备注
顶板	66	/	2.68	用全面法回采
一层矿	0.86	15.73	2.75	
一夹层	1.29	3.38	2.71	
二层矿	0.38	14.93	2.89	
二夹层	1.13	3.03	2.74	
三层矿	0.44	19.97	2.97	
三夹层	2.3	1.5	2.73	'楼板'
四层矿	1.6	16	3.1	房柱法
底板	/	/		

并以 $2.73\text{g}/\text{cm}^3$ 为选配相似材料容重的主要参数。点荷载强度试验成果列于表2。

试验采场矿岩点荷载强度试验成果表

表2

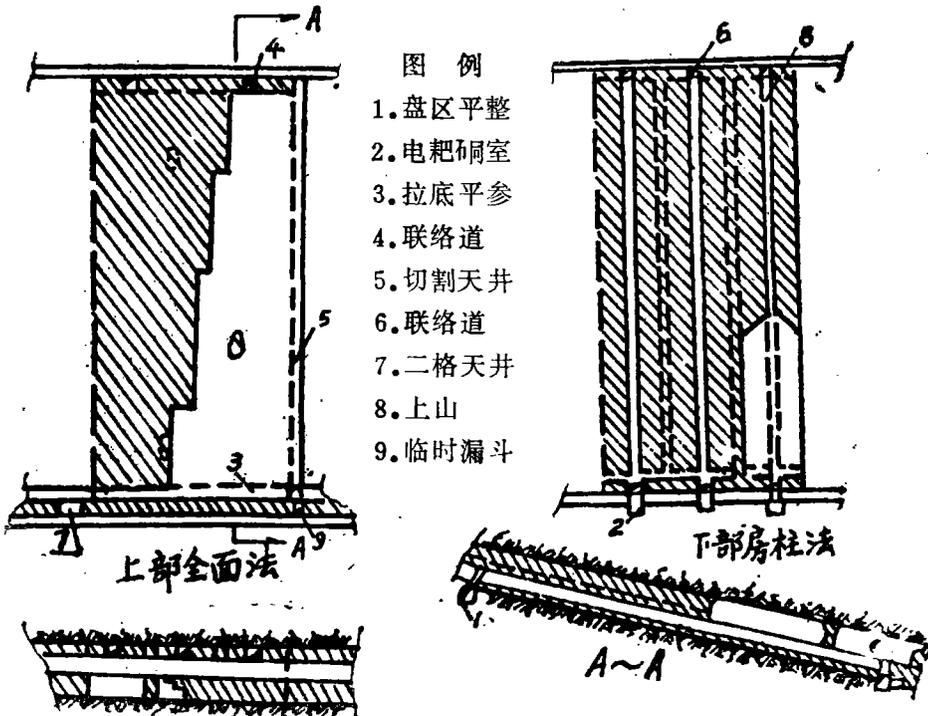
试样 编组	试样 个数	$I_s(50)$	$I_s(50)$ 平均值	相 关 系 数	标 准 误 差	回归方程式
I	20	68.91	68.91	0.524	7.647	$I_s = 120.64 - 10.35D$
II	20	44.01	45.81	0.785	7.673	$I_s = 125.09 - 16.22D$
III	19	47.61		0.675	10.036	$I_s = 115.36 - 13.55D$

*D—加荷点间距离(cm)

试验采场西南角，除了有一条断距约2米的正断层外，尚有数条小断层通过，但断距小，且不连续，所有断层对试验采场的矿层影响不大；第三夹石层（称为“楼板”）为含锰灰岩、砂质灰岩互层，属薄层灰岩，共十三个小分层，分层厚15~45厘米不等，层理清楚，节理较发育。

试验采场矿层埋深66m，倾角 $8^\circ \sim 12^\circ$ ，采场沿矿层走向布置，长32m，沿倾斜平均斜长52m。如表1所列，上部三层矿用全面法回采，采高3.8~4.3m，以直线、正台阶落矿工作面沿走向推进，每天两班作业，每周推进1.6~2m，采场内留 $4 \times 2\text{m}^2$ 、间距12~18m不规则矿柱。下部第四层矿用房柱法回采，矿房净宽8~11m，采高1.6~1.8m，留宽为2m的房间连续矿壁，矿房回采工作面自下而上、从中央上山逆倾斜双向推进，每周推进3~3.6m。上下采场均为水平浅眼落矿，电耙运搬。为确保出矿品位，矿岩需分采、分爆、分运。

试验采场地质条件与采矿工程布置如图一所示。



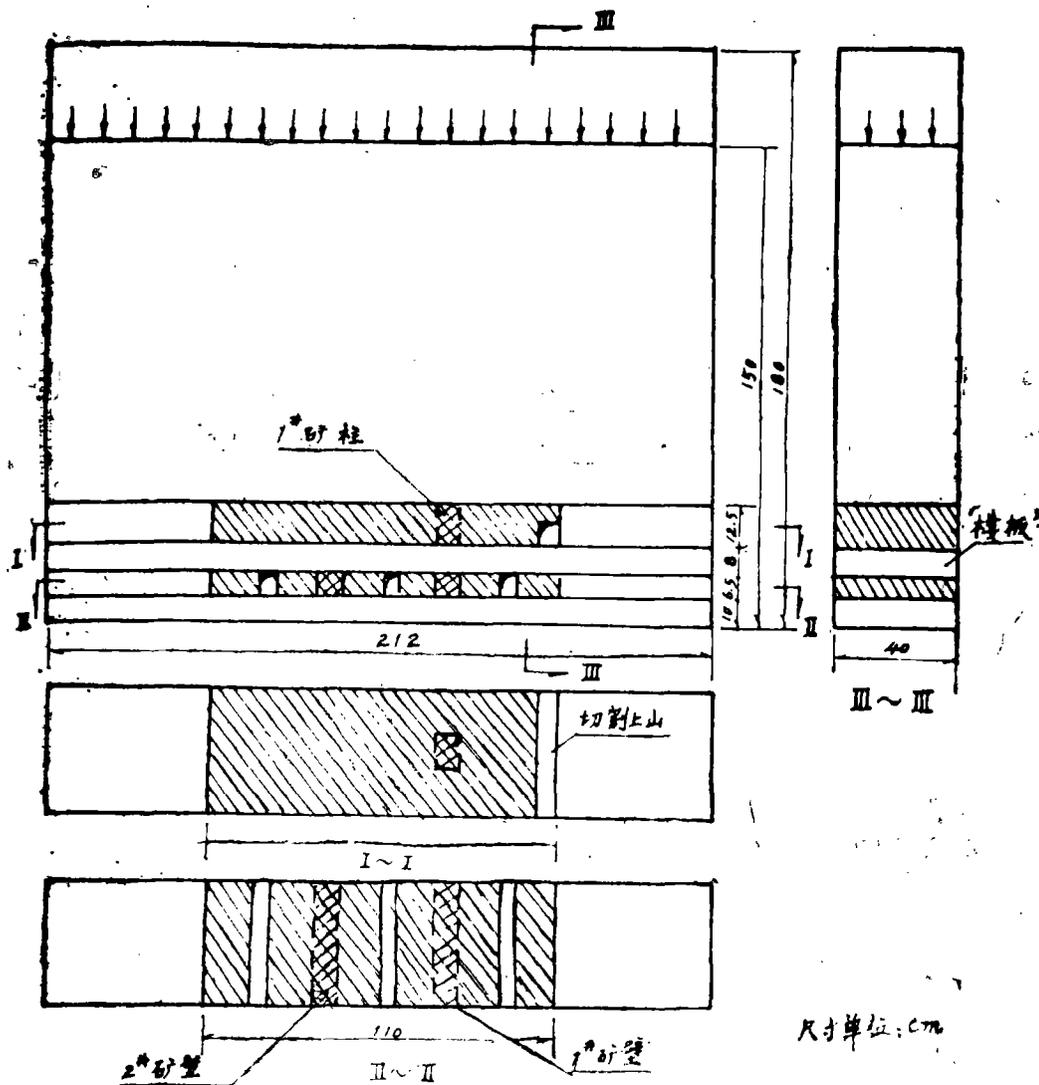
图一 试验采场地质及采矿工程布置图

三、相似材料模拟试验研究

采场围岩、矿柱以及间隔上下部采场的‘楼板’，其应力状态、变形、位移及破坏崩塌，是很复杂的力学过程，很难用数值方法求解，现场研究也受到时间和空间的限制，因此，采用相似材料模拟实验方法进行研究。

(一) 模型设计、建造、开挖实验及测试工作

显然，模拟试验应满足几何相似、运动相似和动力相似三个条件。本试验模型长212cm，高150cm，厚40cm，几何相似比为 $\frac{1}{30}$ ，时间相似比32，以时间相似来满足运动相似。众所周知，以石膏、沙子为主的模型材料，一般，其容重控制在 $1.6\sim 1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 比较方便。经选配，取矿岩容重相似比为1.67，故动力相似比为50。模型结构尺寸如图二所示。



图二 模型结构尺寸图(1:20)

建造相似模型的基本原则，是使选定的相似准则在模型建造中得以实现。然而，模拟实验的实践表明，由于迄今为止所获得的相似材料尚不很理想，欲使模型的所有指标与岩层保持完全一致，基本上是不可能的。囿于这种状况，为使模型的力学性质和力学条件满足设计要求，必需保证模型中的矿岩都遵守既定的容重相似比例。为此，以定体积、定材料重量为原则，按原型实际层数、厚度分层连续造型，并把重点放在‘楼板’的建造上。如上所述，组成‘楼板’的十三个小分层，其各小分层厚度及造型时相似材料用量列于表3，每一层面上均撒以适量干沙、云母粉分隔，并用节理刀按节理统计情况模拟节理裂隙。

造型后经四天(96小时)拆模养护月余，待模型含水率接近于原型(含水率4~5.5%)时，即行开挖试验。

开挖前48小时，进行补偿加载，以满足相当于原型66米复盖岩下进行回采作业的要求。

‘楼板’各小分层厚度与配料用量

表3

分层编号	厚度 (cm)	造型层厚 (mm)	配 料 用 量				实际造 型用 量 (kg)
			石 膏 (kg)	沙 子 (kg)	硼 砂 (g)	水 分 (dm ³)	
1	15	5	1.27	6.36	25	0.76	7.35
2	24	8	2.03	10.17	41	1.22	11.76
3	30	10	2.54	12.71	51	1.53	14.7
4	21	7	1.78	8.9	36	1.07	10.29
5	18	6	1.27	6.36	25	0.76	7.35
6	21	7	1.78	8.9	36	1.07	10.29
7	15	5	1.27	6.36	25	0.76	7.35
8	15	5	1.27	6.36	25	0.76	7.35
9	15	5	1.27	6.36	25	0.76	7.35
10	15	5	1.27	6.36	25	0.76	7.35
11	15	5	1.27	6.36	25	0.76	7.35
12	21	7	1.78	8.9	36	1.07	10.29
13	45	15	3.81	19.06	76	2.29	22.05

* 分层编号以自下而上的造型先后为序。

开挖试验按采准、切割、回采的顺序进行，与原型完全一致。开挖时不考虑爆破影响，用机械方法，按矿量相似、时间相似开挖。

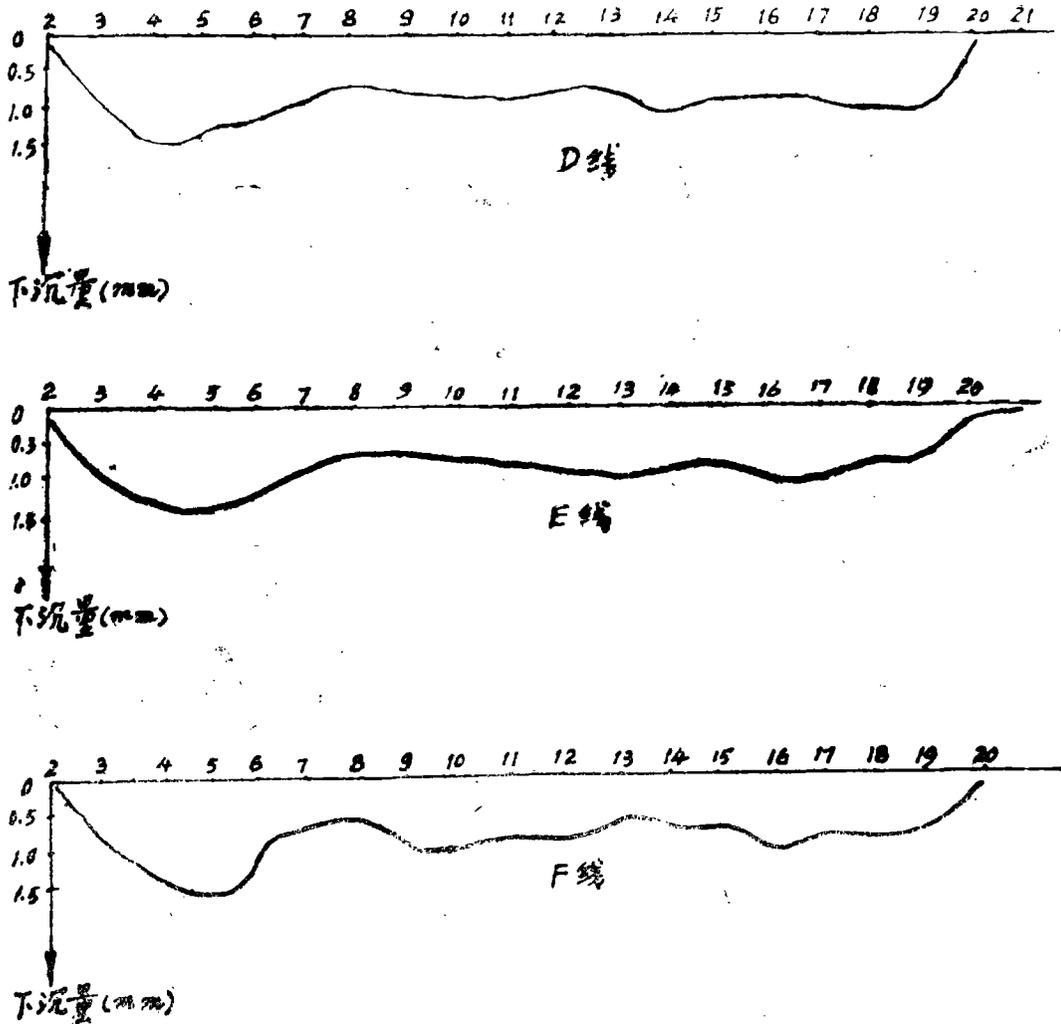
开挖中的测试工作，一方面是用S₁型精密水准仪，观测拆模后在全面法采场顶板岩层布设的A、B、C三条岩移线上各测点和在‘楼板’上布设的D、E、F三条岩移线上各测点的下沉量，另一方面是测读造型时埋在1#矿柱和1#、2#矿壁里的BW—3型和BW—2型(两只)超小型空盒压力计的应变值。上述压力计的量程分别为3kg/cm²和2kg/cm²，灵敏

度 $270\sim 500\mu\epsilon/\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

(二) 试验结果与分析

1. 岩层下沉:

开挖试验中, 每三小时为一循环, 环循进度: 全面法70mm, 房柱法100mm。每隔24小时观测各测点一次, 先后共六次, 各岩移线上各测点的下沉量如表4所列。‘楼板’岩层下沉曲线如图三所示。



图三 ‘楼板’ 岩层下沉曲线

由表4可知, 开挖过程中, 上、下采场顶板岩层的平均下沉量分别为0.79mm和0.802mm, 昼夜平均下沉速度分别为0.197mm/昼夜和0.2mm/昼夜, 均较小。

顶板岩层下沉量观测成果表

表4

点号 ↓ 下沉量 ↙ 线号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	下 沉 量 (mm) (全面法)									
A	0.65	0.72	0.85	1.25	1.07	0.98	0.61	0.72	0.71	0.29
B	0.64	0.54	0.71	1.15	1.04	0.66	0.66	0.75	0.78	0.60
C	0.70	0.63	0.84	1.02	1.10	0.90	0.90	0.88	0.74	0.61

下 沉 量 (mm) (房柱法)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
D	0.15	0.95	1.50	1.32	1.23	0.86	0.61	0.81	0.83	0.90	0.76	0.83	1.08	0.96	0.88	0.89	0.96	0.90	0.03	0.02
E	0.13	0.98	1.40	1.32	1.26	0.81	0.69	0.72	0.86	0.75	0.86	0.70	0.91	0.86	1.08	0.97	0.84	0.89	0.12	0.08
F	0.16	0.94	1.37	1.65	1.15	0.69	0.52	1.05	0.95	0.77	0.86	0.62	0.89	0.84	1.14	0.86	0.88	0.79	0.10	0.12

2.矿柱承压:

从八六年六月十四日开始开挖采准、切割巷道时起、截至六月二十二日开挖结束,六月二十三日至六月二十九日进行开挖后观察测量完毕止,前后共16天,每天测读各压力计应变值,并按室温、各压力计特性曲线,计算相应的应力值。测试计算成果列于表5,并以压力—时间曲线示于图四。

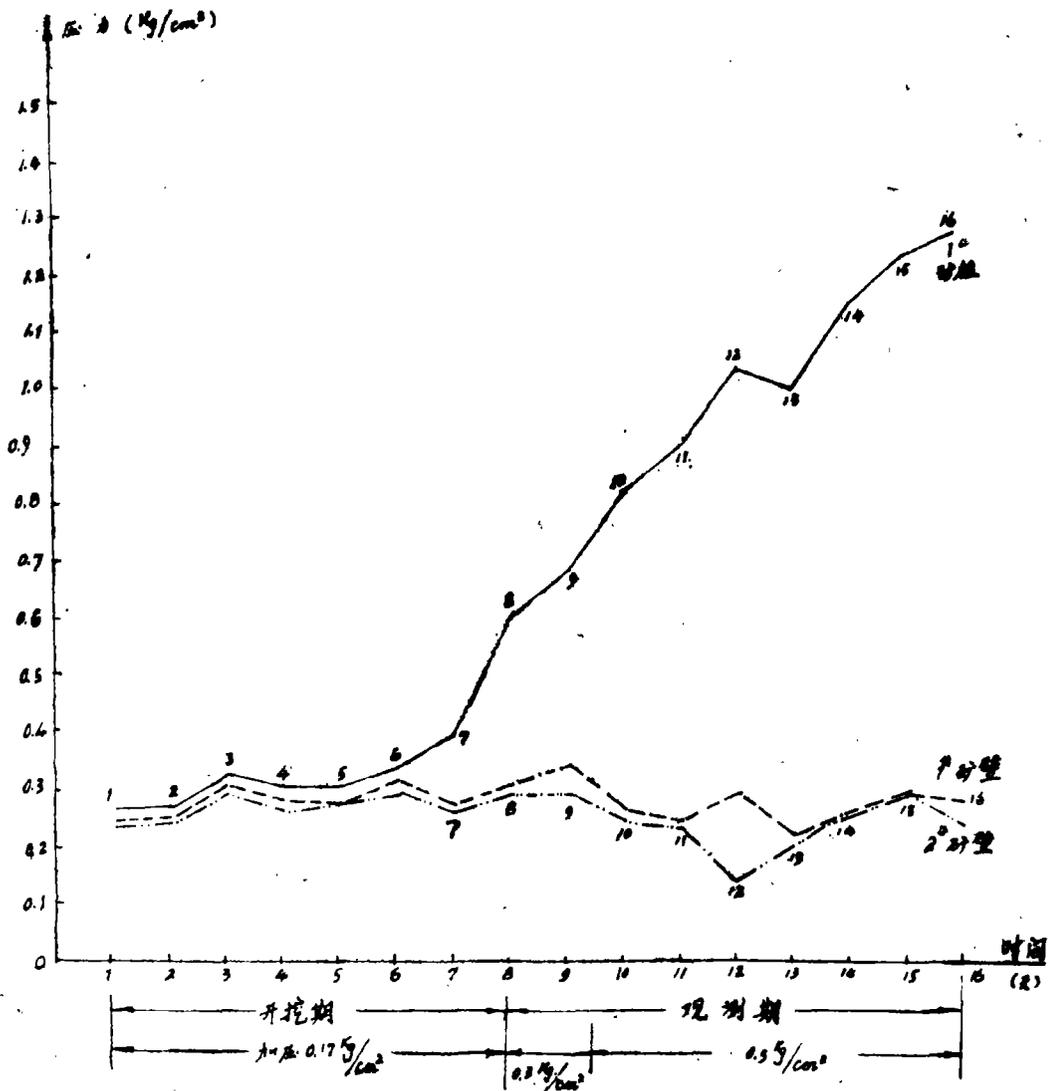
矿柱承压值测试计算成果表

表5

日期	作图点号	承压值(kg/cm ²)			日期	作图点号	承压值(kg/cm ²)		
		1#矿柱	1#矿壁	2#矿壁			1#矿柱	1#矿壁	2#矿壁
6.14	1	0.242	0.270	0.237	6.22	9	0.683	0.292	0.343
6.15	2	0.249	0.270	0.241	6.23	10	0.824	0.261	0.246
6.16	3	0.309	0.327	0.296	6.24	11	0.893	0.235	0.239
6.17	4	0.284	0.304	0.263	6.25	12	1.032	0.289	0.122
6.18	5	0.275	0.304	0.274	6.26	13	0.992	0.214	0.200
6.19	6	0.311	0.339	0.298	6.27	14	1.146	0.259	0.259
6.20	7	0.392	0.256	0.267	6.28	15	1.229	0.289	0.289
6.21	8	0.600	0.308	0.293	6.29	16	1.265	0.270	0.233

由表5与图三可见:

(1) 矿柱承压值,即采场的顶板压力,随空场暴露面积和暴露时间的增加而增大。开挖第三天,上部采场留下1#矿柱后,其承压明显增大,下部1#、2#矿壁承压亦然;开挖



图四 矿柱压力—时间变化曲线

第五天，当上部回采工作线越过2#矿壁后，上下采场顶板压力更大，这说明顶板压力在向矿柱及两帮围岩传递。

(2) 开挖下部几个矿房过程中，1#、2#矿壁承压值稍有增大的趋势，但变化幅度小。值得注意的倒是：下部开采对上部矿柱影响较大，这可从1#矿柱在其下部矿房开挖过程中，承压明显增大而得到证实，也说明了上部采场应超前下部采场回采的必要性。

(3) 在模型开挖过程中，上下空场顶板均未发生冒顶，即使开挖结束后，将补偿加载量由原来 $0.17\text{kg}/\text{cm}^2$ 增加到 $0.3\sim 0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，1#、2#矿壁承压值变化依然很小，只是1#矿柱承压值大幅度增加而已，说明上下空场顶板是比较稳固的。

四、现场试采过程与采后初步观测资料

本试验采场八五年十月底至八六年四月，进行采准、切割工作，共掘进进尺400.8m，八六年五月八日中班正式开始回采，同年十一月结束回采作业。从开始到结束作业，直至回采结束后至今半年多，除了在上部采场顶板的局部地点，因纵横节理裂隙交错，为确保安全而安装了六十四套金属锚杆（长 $1.8\sim 2.0\text{m}$ ），支了十余根木支柱外，从未发生过冒顶现象；观测顶板下沉的木滑尺，埋在矿柱里的八只光弹应力计，几经现场观测，未见异常现象，1#矿柱中的光弹应力计，最大应力条纹也只近于三级，上下空场顶板完整，仅个别地点有极少量松石片落。

五、结论

根据模型开挖试验结果，和矿山实际回采的初步观察，可得出以下研究结论：

1. 浅部空场法采场内留设不规则矿柱，承压大，且与空场暴露面积、暴露时间有密切的线性关系。为确保作业安全，矿柱断面尺寸不应小于 $4\times 2\text{m}^2$ ，同时加快回采进度。
2. 开采多层近距极薄沉积型矿层群时，在上下矿层顶底板间距 $2.3\sim 2.9\text{m}$ 的条件下，隔层（即“楼板”）受上下采动损害后所具有的稳固性，能满足净宽 $8\sim 11\text{m}$ 的矿房在回采过程中不作专门护顶的要求，即：隔层的稳固性主要受其自身的层面、节理、裂隙的制约，次生地压对其影响不大。
3. 上下对齐地留设矿柱，利于安全回采作业，值得推广应用。

本试验研究，得到龙头锰矿和长沙矿山研究四室田允明高级工程师的大力帮助，在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 徐挺，《相似理论与模型试验》，中国农业机械出版社，1982.12.
- [2] 谷德振，《岩体工程地质力学基础》，科学出版社，1979.10.
- [3] [波] M·鲍莱茨基等著，于振海等译，《矿山岩体力学》，煤炭工业出版社，1985.7.
- [4] 田允明，《实用矿山地压》，中南工业大学出版社，1987.6.

（参加试验人员：扬选臣、程贵海、刘志刚、闭历平、李家光等）

THE TEST AND RESEARCH OF STRATA STRESSES AT THE STOPE NEAR THE EARTH'S SURFACE

Feng Xian—Zhen

(*Guangxi University*)

ABSTRACT

According to the laboratorial simulated testing results of the Li—jia—bei testing stope at longtou Manganese Mine in Guangxi, and to the initial observes after to be mined a open stope (above)and three pillar—and—rooms (under), this paper analysed the moving characters of the surrounding rocks in the stope by the conditions the thickness of cover—burden equal more 60m high, the dip angles of the ore beds equal 8 to 12 degrees. Also, it analysed the properties of the pillars. The test and research indicated, the stability of the open stope's roof strata mostly depended on the layer's stratifications, joints and crevices, the random pillars remained in the stopes not only support a great pressure, but the pressures would be increased with the area and the time exposed as well, when workings in neighbour and multi-bed of ore, the pillars would be designed and remained in such a manner that pillars above and under in dip and strike would be aimed at each other, so that the mining operations can be done safely.