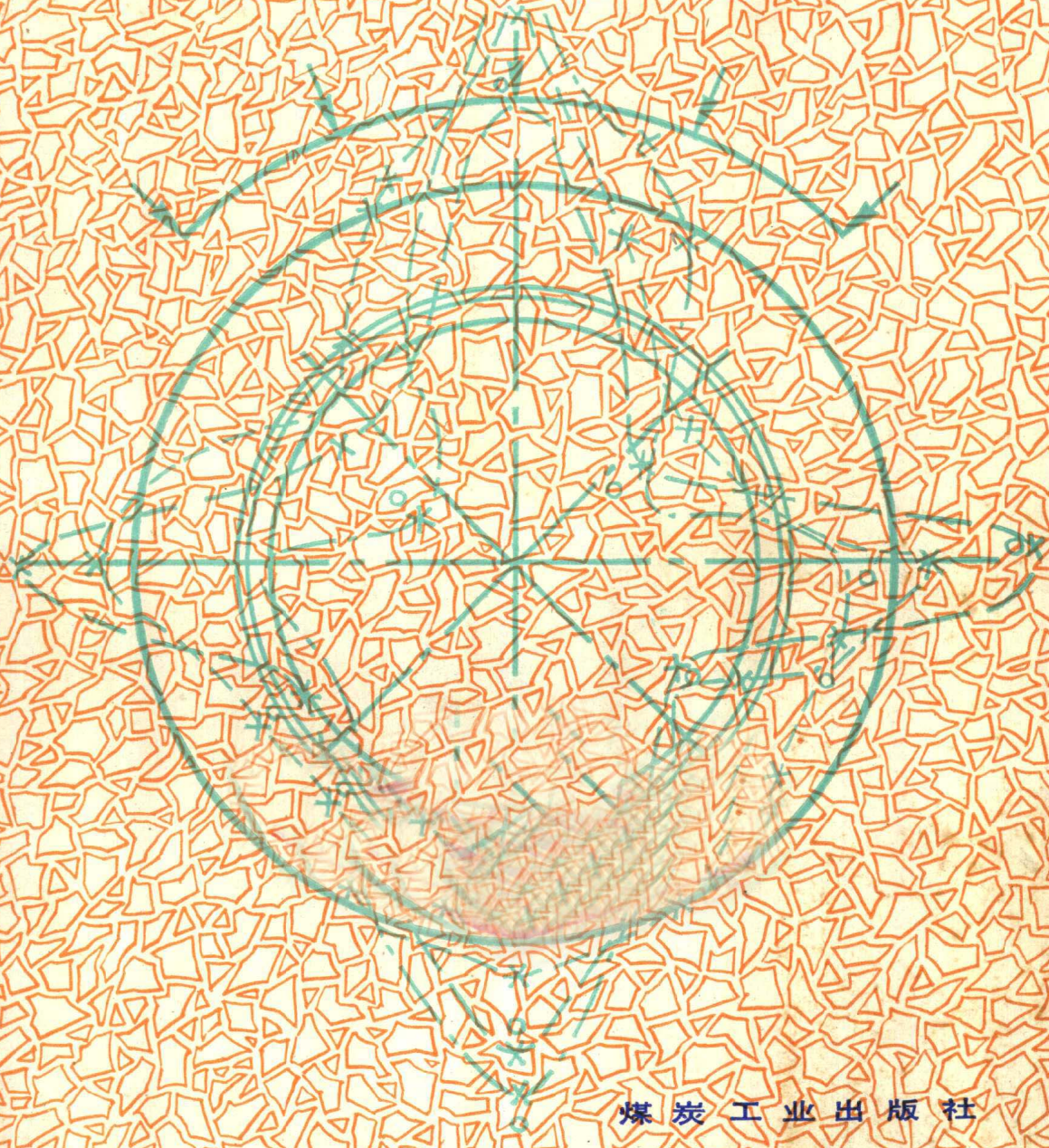
〔西德〕O·雅各毕等 编著

实用岩层控制

下册

黄阿毕等 译



煤炭工业出版社

SHIYONG YANCENG KONGZHI

实 用 岩 层 控 制

下 册

〔西德〕 博士、工程师 奥斯卡·雅各毕编著
博士、工程师 乔治·爱维林以及
工程师 南尼·布施曼、
博士、工程师 威廉·果彻、
工程师 汉斯·黑尔维希、
博士 黑尔曼·依乐斯贝尔格、
工程师 维尔纳·尤布特、
工程师 维里·卡默尔、
顾问 波多-维尔纳·雷兹参予编写

黄阿毕 等译
王定衡 涂继正 校订

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 提 要

《实用岩层控制》是德意志联邦共和国埃森烟煤协会矿井支护和岩石力学研究所的奥斯卡·雅各毕等编著的。本书系统地总结了这个研究所近几年的研究成果，反映了该所在岩层控制方面所达到的最新水平。

本书系统地阐述了岩层压力的基本概念，以及如何确定岩层压力的大小及其分布；详细介绍了岩层压力的现场实测方法和实验室模拟方法；对大冒顶、片帮和岩石突出的防止与处理措施也都做了相应地介绍。

本书的特点是比较实用。

本书可供煤矿生产、设计、矿山压力研究等单位的工程与科学技术人员以及煤矿院校的教师参考。对其它采掘工业的科技人员也适用。

Von Dr-Ing. Oskar Jalobi
PRAXIS DER GEBIRGSBEHERRSCHUNG
Verlag Glückauf Gmbh·Essen 1976

*

实 用 岩 层 控 制
下 册
黄阿毕 等译 王定衡 涂继正 校订

*

煤炭工业出版社 出版
（北京安定门外和平北路16号）
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092 1/16 印张13 插页1
字数301千字 印数1—3,000
1980年12月第1版 1980年12月第1次印刷
书号15035·2346 定价1.70元

目　录

第五章　巷道的矿压显现 …… 1
第一节　掘进裂缝的形成和冒顶洞穴 …… 1
（一）掘进工作面前方和巷道帮内裂缝的形成 …… 1
（二）掘进工作面与支架间的冒落 …… 1
第二节　掘进工作面后方的顶、底板和巷道壁的破断与运动 …… 4
（一）巷道帮内的裂缝 …… 4
（二）顶底板的破坏形式 …… 5
（三）模型试验中的破断形式 …… 7
（四）模型试验和井下顶底板内的破断形式 …… 9
（五）倾斜岩层中沿走向巷道的破坏形式 …… 10
第三节　顺槽的破坏形式与其它巷道的区别 …… 11
（一）顺槽的服务期限 …… 11
（二）离层和岩层错动 …… 12
（三）在倾斜岩层内的岩层错动 …… 14
（四）回采巷道周围裂缝的图象 …… 16
（五）第二个工作面前方的冒顶洞穴 …… 17
（六）巷道旁窄煤柱的作用 …… 17
（七）关于顺槽旁煤柱宽度的建议 …… 18
（八）上位顶板岩层内的裂缝 …… 19
第四节　巷道形状和支架：它们对破断变形的影响 …… 20
（一）急增阻和缓增阻支架 …… 20
（二）用与不用锚杆及支撑式支架的拱形巷道同矩形巷道的比较 …… 22
（三）完全和非完全支架的比较 …… 23
（四）急增阻和缓增阻中间支架的矩形巷道 …… 24
（五）矩形巷道：岩层结构、巷道宽度和支架阻力 …… 25
（六）A·威尔逊关于松散带与岩石强度和支架阻力的关系 …… 26
（七）O·吕特根多尔夫关于松散带与巷道壁内的摩擦力与支架阻力的关系 …… 27
第五节　巷道断面慢性闭合 …… 28
（一）底膨 …… 28
（二）底板向上褶皱的防治措施 …… 29
（三）巷道顶板剧烈向内褶皱 …… 30
（四）巷道帮向内移动 …… 31
第六节　巷道断面受冲击地压闭合：岩石突出 …… 33
（一）现象 …… 33
（二）机理 …… 35
（三）煤层中的临界应力（Ⅰ） …… 37
（三）煤层中的临界应力（Ⅱ） …… 38

（四）扬斯测试钻孔和卸压钻孔 ……40
（五）测试钻孔和卸压钻孔的进一步发展 ……42
第七节　巷道冒落 ……44
（一）拱形支架支护的大巷 ……44
（二）梯形棚子平巷 ……45
（三）锚杆支护的矩形巷道 ……47
（四）急倾斜层中的顺槽 ……48
第八节　地质因素：在有和无支护的巷道内岩层滑动与岩层强度对巷道变形有何影响？ ……48
（一）滑动岩层组的厚度和褶皱的大小 ……48
（二）受滑动面包围的岩层的临界厚度 ……49
（三）有和没有支架阻力时平行层理的层组强度 ……50
（四）锚杆支护平行层理层组的连接强度 ……51
（五）巷道帮内的滑动层面 ……52
（六）岩层间的摩擦力和巷道壁移动 ……52
（七）两种不同强度岩层垂直层理层组的强度 ……53
第九节　实物模型试验能够解答何种问题？ ……54
（一）研究目标和应用范围 ……54
（二）试验设备和试验的进行 ……56
第五章总结·展望 ……59
第六章　巷道变形 ……61
第一节　“生产巷道的观测”：一种简易方法用来监视岩层控制和顶底板会合量大的原因 ……61
（一）通过巷道监视使巷道布置合理化 ……61
（二）生产巷道的观测 ……62
（三）用于生产与设计的即时分析和电子计算机数据处理分析 ……65
（四）用量测锚杆测定巷道围岩的移动 ……65
第二节　鲁尔煤矿的顺槽统计 ……67
（一）顺槽的类型及其应用数字 ……67
（二）煤层条件和支护条件 ……69
（三）顺槽的状况 ……69
第三节　用拱形支架的顺槽顶底板会合量所表现的影响 ……71
（一）在使用拱形支架情况下的矿井深度、煤层厚度、底板、巷道高度和两帮充填 ……71
（二）使用拱形支架的顺槽沿纵向的顶底板会合量离差 ……73
（三）岩层压力增高和岩石活动特征，巷道特性曲线 ……74
（四）涌水 ……75
第四节　顺槽的超前、同时和滞后掘进：对顶底板会合量有什么影响？ ……76
（一）顶底板会合量对比 ……76
（二）老塘中的滞后掘进巷道 ……79
第五节　如何在开采前计算开采状态下的巷道顶底板会合量？ ……80
（一）按W·戈策和W·卡麦法计算无上方采动的顺槽顶底板会合量 ……80

（二）按O·雅各毕法用巷道的矿压显现特性曲线计算顶底板会合量……82
（三）按J·F·拉富法计算顺槽巷道帮处的顶底板会合量……83
（四）按J·雷欧哈特法计算顶底板会合量……84
第六节　顶板、底板和巷道帮的岩层运动情况：与顶底板会合量的关系……86
（一）在使用拱形支架的巷道中的变形百分数和巷道断面……86
（二）煤柱宽度对巷道帮移动的影响……87
（三）使用和不使用锚杆支护金属网巷道中巷道帮的移动……88
（四）用和不用锚杆支护的矩形巷道的离层作用……89
第七节　支架与支架支撑力：对顶底板会合量的影响有多大？……91
（一）使用锚杆的框形支架和拱形支架进行比较的巷道……91
（二）巷道支护不当的影响事例……94
（三）H·扬斯使用液压量测支架的结果……95
（四）按L·拉帕蔡维茨法计算的岩层压力、支架阻力和顶底板会合量……97
第八节　运输大巷：随时间而变化的蠕变……98
（一）决定运输大巷煤柱尺寸的原则……98
（二）暂停开采之前和之后的顶底板会合量……99
（三）从初期测量值推导预期的顶底板会合量的方法……101
（四）压力增加情况下时间的影响……102
第九节　开拓和准备巷道：弹性变形和非弹性变形……103
（一）掘进工作面后方与在采动压力下的弹性卸压……103
（二）B·施瓦尔兹有关顶底板会合量和根据初始测定预先计算顶底板会合量的方法……105
（三）离层量和顶底板会合量……106
（四）陶恩隧道中的测定……107
第十节　有下部采掘：它对大巷顶底板会合量起何种影响？对测定结果如何从岩石力学上加以解释？……109
（一）大巷顶底板会合量实例……109
（二）一次说明问题的试验：岩层水平应力的影响……110
第六章总结·展望……111
第七章　巷道支架……113
第一节　巷道支架的发展方向……113
（一）回采巷道支架的重要性……113
（二）目的和重点：改进和机械化……114
（三）回采巷道的布置和支架……115
（四）可靠的回采和支护设计对巷道支架发展的意义……118
（五）常用的支架说明书……120
第二节　拱形支架的特性及支撑性能……130
（一）可缩性和变形……130
（二）缓增阻的摩擦连接件……131
（三）支架的支撑力和滑动件初始下缩阻力……131
（四）井下测定的滑动件阻力……132
（五）锚固和无锚固的纵向锚杆……133

（六）支架支撑力和背部充填 …… 134
（七）支架背部充填机械化的作用 …… 135
（八）倾斜煤层回采巷道的支架载荷测定 …… 136
（九）支架型钢的抗弯曲力和抗扭转力 …… 139
第三节　拱形支架：回采巷道应用的支架规格的确定 …… 140
（一）根据巷道掘进顺序、巷道帮充填和巷道顶底板会合量选择回采巷道支架 …… 140
（二）型钢重量和支架间距 …… 141
第四节　拱形巷道应用的锚杆：承压能力、适应能力和机械化的可能性 …… 142
（一）岩巷锚杆支护（洛林煤田） …… 142
（二）拱形巷道锚杆的支架阻力 …… 144
（三）滑动锚杆：支撑力与可缩性 …… 146
（四）复合支护：喷射保护层、支架背部充填、拱形支架和锚杆 …… 147
（五）回采巷道的一种复合支护 …… 149
（六）隧道工程中的复合支护 …… 150
（七）陶恩隧道采用喷射混凝土时的剪切破断和可缩性 …… 151
第五节　钢圈支架：特殊情况用的闭式支架 …… 153
（一）回采巷道中的钢圈支架 …… 153
（二）试验台上的钢圈支架 …… 154
（三）钢筋混凝土弧形板支架：按照H·凡·杜易斯法钢圈支架和混凝土预制块支架的比较 …… 156
（四）混凝土支架和钢支架的理论支架阻力 …… 157
（五）环形和拱形可缩性混凝土预制块支架的模型试验 …… 159
（六）椭圆形钢圈支架的优点 …… 160
（七）回采巷道中的椭圆和圆形钢圈支架 …… 162
第六节　框形支架（棚子）的应用范围和支撑能力 …… 163
（一）应用范围 …… 163
（二）槽钢可缩式棚腿的载荷测定 …… 165
（三）可缩性棚腿及其支撑能力 …… 166
（四）矩形巷道支架顶梁和支柱规格的确定 …… 167
第七节　锚杆支护的矩形巷道：应用范围与支架型式 …… 170
（一）法国矿山在矩形巷道中应用锚杆的范围、检查和使用情况 …… 170
（二）锚杆支护使用规定 …… 172
（三）支护说明书和锚杆-梯形支架巷道的特性 …… 173
（四）模型试验中锚杆的支架阻力 …… 176
（五）用于无支撑支架宽矩形巷道的锚杆必要长度 …… 177
（六）巷帮锚杆和埋入钻孔的分段锚杆 …… 178
（七）模型试验中和有或无支撑支架时锚杆的载荷测定 …… 178
第八节　回采工作面端头处的巷道 …… 180
（一）需要的空间和断面减小 …… 180
（二）用镁粘结剂加固巷道帮 …… 182
（三）镁粘结剂的粘结能力 …… 184
（四）拱形支架的支撑 …… 185

（五）工作面端头的支撑力损失 …… 186
（六）倾斜煤层中的回采工作面端头支护 …… 187
第九节　长壁工作面后方的巷道帮 …… 189
（一）不用巷道帮充填墙、用木垛还是用刚性大的充填墙？ …… 189
（二）无辅助保护设施的回采巷道 …… 190
（三）木垛的承压能力 …… 192
（四）巷道帮刚性充填的承压能力和作用 …… 194
（五）巷道帮充填材料和充填材料的技术特征 …… 196
（六）刚性巷道帮充填材料用的集料—洗选矸石 …… 197
第七章总结·展望 …… 198

第五章　巷道的矿压显现

第一节　掘进裂缝的形成和冒顶洞穴

（一）掘进工作面前方和巷道帮内裂缝的形成

岩石未采动时处于弹性应力状态。掘进巷道时产生应力解除。这时岩石又受到在边缘的采动压力的影响（见第一章第一节（一）和（二））。

掘进工作面前方形成球面扇形断裂面a。断裂面在顶板b内呈现弯曲缝隙；在巷道帮呈现为带有断裂面d的对称羽状裂缝c。从巷道帮的这种重迭瓦片形结构即可看出掘进方向。采用某种特殊掘进机有可能利用工作面前壁形成的裂缝。在强度小的弹性岩石中（如褐煤），在较小的深度就会形成这种裂缝；以及在强度大的岩石中（如南非金矿的石英岩），则在较大的深度才出现这类裂缝。

裂缝的方向和间距受岩石强度和应力的影响，并随节理和层理的条件而改变。

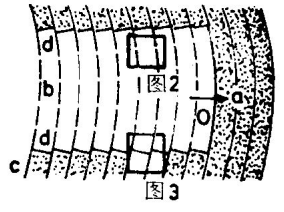


图 1　穿过巷道的水平断面（俯视图）

○　掘进工作面前壁
—　掘进头前壁和巷道两帮内的裂缝
…　顶板内的裂缝

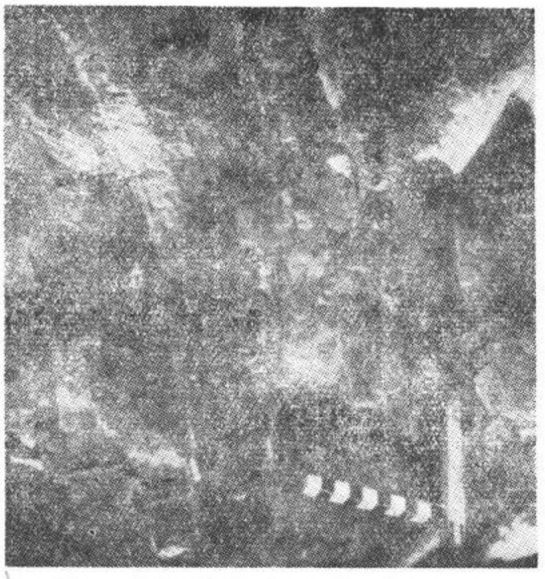


图 2　巷道左帮的顶板情况（向右掘进）



图 3　顶板和巷道右帮的情况

（二）掘进工作面与支架间的冒落

实例：掘进机掘进巷道时的冒顶洞穴

1. 生 产 数 据

所调查的巷道长度：　　400米

（岩层）深度（无回采影响）：　　900米

钻头直径：　　5.1米

支架：环形支架，局部是用100号和120号工字钢的双环形支架，有4个插接件和一个可缩性鱼尾板连接件，液压张紧，插接式背板。

支架间距：　　1.10米和1.25米

控顶距离（即从掘进工作面前壁到第一个支架的距离）：2.3至7米之间，平均为3.5个支架间距，相当于4.2和4.8米。

平均支护滞后的时间：　　2±2.5班、12±15小时

平均推进速度：　　12.17米/日

掘进机运转占工作面生产时间的百分比　28.5%

岩石条件造成的停机时间占工作面生产时间的百分比　12.5%

占计划外停机时间的百分比　23%

2. 岩　　层

大部分岩石是从坚固的到易于破碎的（图1）。岩层向掘进方向倾斜10～15°。岩石被确定为以下几种类型。分类时按照岩石被分层面、滑动层面、节理和底板软岩中的剪切面所分裂的程度及其强度划分。

第一类岩层

从泥质页岩到砂岩的所有类型的岩石，只受到与岩层平行的节理的破坏，而没有受到其它方向节理破坏。

第二类岩层

同第一类岩层，但还受到其它节理的破坏。除去底粘土层以外还有包括通常被数十厘米长的剪切面穿透的软岩。

第三类岩层

巷道穿过的煤层和煤层直接底板中楔形底粘土层。

3. 冒顶洞穴及冒落特性参数（KZ）

KZ1，无冒顶洞穴

KZ2，个别冒顶洞穴

KZ3，多处冒顶洞穴，范围和高度都较大。（冒顶洞穴底面积占巷道周围表面积20%以上）

4. 相 互 关 系

图2表示拱顶范围内的冒落与其前面一架拱顶的冒落以及巷道壁的岩层类型之间的关系。前面拱顶处的较大冒落和不好的岩层使巷道内再次发生大冒落。当破碎岩层中一旦出现冒顶洞穴时，继续发生几乎是无法避免的。相反，如在支架上只出现个别的冒顶洞穴或根本没有冒顶洞穴，那么它后面的巷道即使处于破碎岩层中也几乎不出现冒顶洞穴。另一方面，在中硬和坚硬岩石中，即使前面的拱顶发生过大的冒顶洞穴，以后最多只会发生个别的小冒顶洞穴。

图3表明，这种关系在原则上对于拱基范围是适用的。此处的拱基是指与巷道拱顶相

连、向下至水平直径的巷道周边部位。这个结果有力地说明了：除非是极坚硬的岩石，否则注意避免小的冒顶洞穴是何等重要。

图 4 说明拱顶冒顶洞穴和支护滞后时间、掘进工作面前壁到第一架支架的距离以及岩石类型之间的关系。当控顶距为2.5倍支架间距时，如果支护滞后 2 天，在破碎岩层中（第 3 类岩层）就出现大的冒落洞穴；若为 5 倍支架间距，这种冒顶洞穴在 24 小时内就会发生。在中硬岩石（即第二类岩层）中，只有当控顶距至少是 4 倍支架间距时，支护滞后 4 天后顶板才可能发生大的冒顶洞穴。每种岩石都有一定的“临界支护滞后时间”，但它取决于控顶距。巷道掘进工作面前壁到第一个支架的距离愈短，这个临界支护滞后时间，从而许可的支护滞后时间愈长。当支护滞后时间较短时，控顶距的影响就较小，支护滞后时间较长时，控顶距的影响较大。

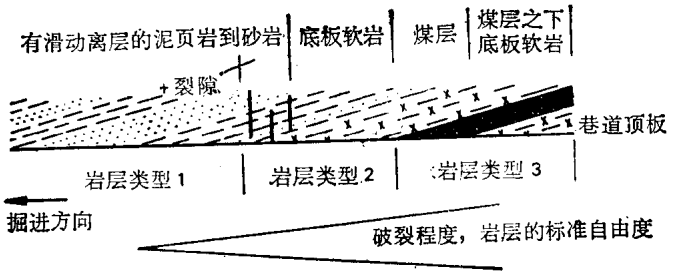


图 1　岩层类型的划分

允许控顶距和允许支护滞后时间可按图 4，根据巷道穿过的岩石类型简便地确定并通知掘进人员。

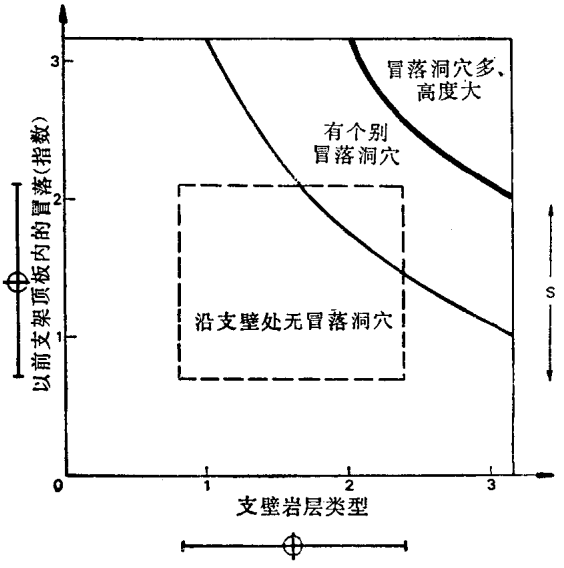


图 2　顶板的冒顶洞穴

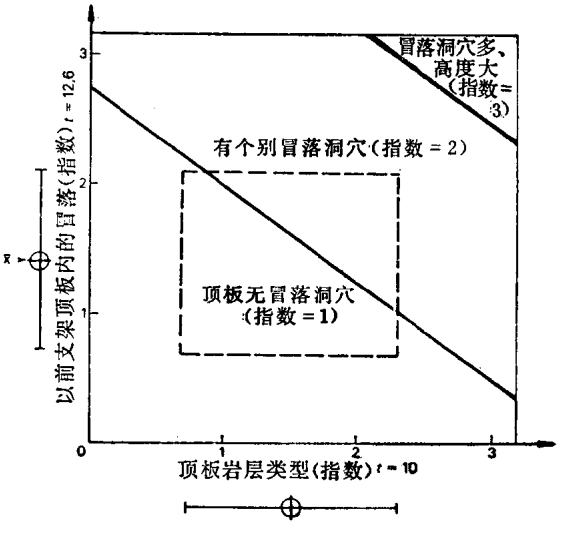


图 3　拱脚的冒顶洞穴

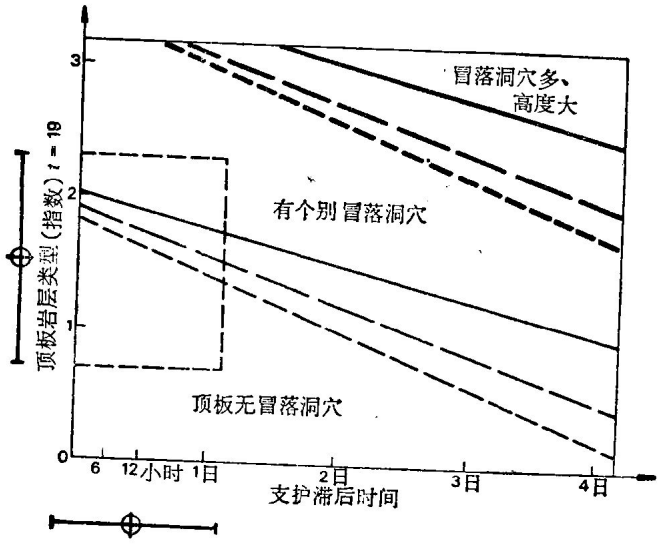


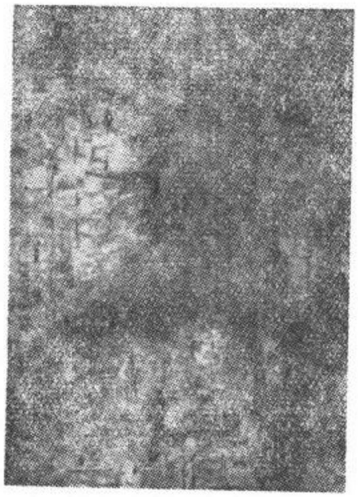
图 4　拱顶的冒顶洞穴

——控顶距为2.5倍支架间距
－－控顶距为 5 倍支架间距
---控顶距为 4 倍支架间距

第二节　掘进工作面后方的顶、底板和巷道壁的破断与运动

（一）巷道帮内的裂缝

掘进工作面前壁形成的裂缝被后来出现的裂缝盖上。在层理不发达的泥质页岩中，巷道帮上出现了密集的集中裂缝（图 1）。随着岩石的强度和应力的不同，裂缝距离也可能较大。裂缝的倾角受到岩石滑动层面和强度不同的岩层(比如页岩和煤)的影响（图2)。节理可能改变裂缝（见第二章第二节(三)）的倾角和走向。



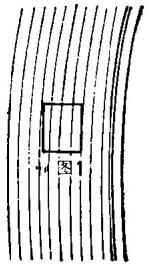


图 1　巷道帮上的集中裂缝

在随回采工作面或在其后掘进的顺槽中，回采工作面侧的顶底板内都不形成与巷道平

行的裂缝。这是这种巷道状况之所以比较好的一个原因（见第一章第九节、第六章第四节和第五节（一）、第七章第一节（三））。

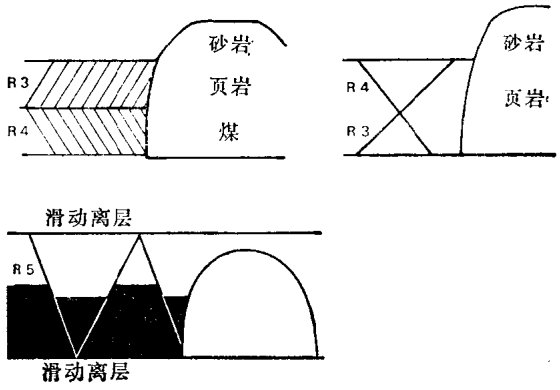


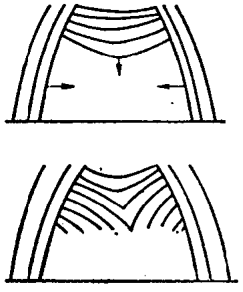
图 2　裂缝类型与岩层构造有关

（二）顶底板的破坏形式

压缩和折屈

“压缩”是指平行岩层方向受到破裂之后长度的减少。这种当岩层的相邻部位受到挤压或者岩层一侧下沉时（岩层弯曲）会出现这种情况。此外，急倾斜岩层的自重也会造成压缩。

压缩最常出现在缓倾斜煤层巷道顶板中，在巷道两帮内经常形成倾角大的裂缝。它们进入两帮的深度达巷道宽度的两倍。这种倾角大的侧壁向巷道空间内移动，因而使顶底板岩层受到压缩（图 1）。



a. 巷道帮内的垂直于层理裂缝，顶板内的岩层压实和沿平行层理方向的分离

b. 反复刷帮后有尖褶皱

图 1　巷道内的变形。在底板内可能出现与它对称的变形

在软岩中首先形成圆形褶皱。如果向巷道空间的错动运动急剧增加或空间狭窄，就能形成尖形褶皱（图2a），较坚硬的岩层则向巷道空间弯折。这时的褶皱又成了直翼形（图 2 b）。如果靠近巷道空间的岩板比较长或因错动不断地增加，岩层就会离层剥落（图 2 c）。在急倾斜岩层巷道的帮上也可看到小的或较大的褶皱。

压缩就象受压破坏一样，可以造成交叉的裂缝。这种现象也经常出现在急倾斜岩层中，岩层的重量将所出现的楔块相互挤压。如果缺少交叉裂缝中的一个，岩层就形成逆断层（图 2 d）。在这种逆断层处岩层也可能离层剥落（图 2 e）。

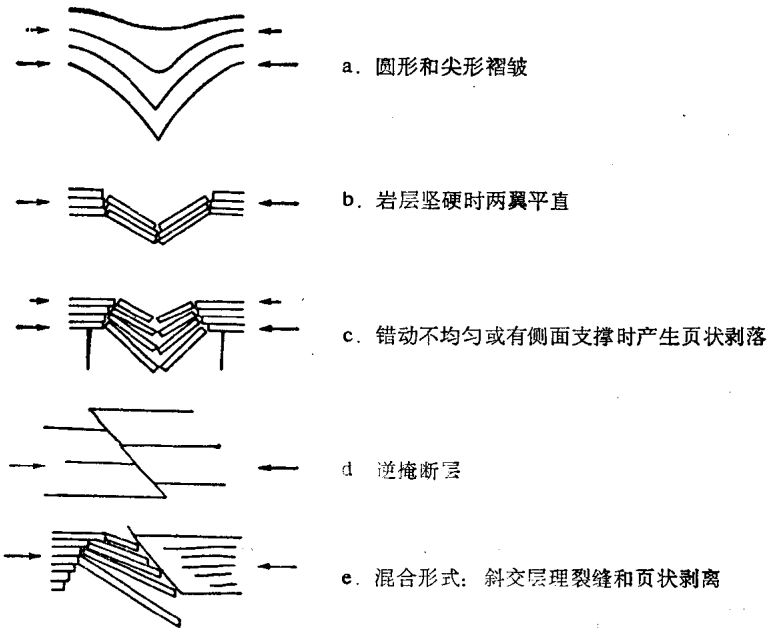


图 2 出现压缩时的几种破坏形式。也可以观察到与之对称的（朝上的）成直立的形式（在急倾斜层中）

弯 曲

当巷道顶板岩层受力弯曲后，其下面两侧会出现凹面、中间出现凸面弯曲线。如果向两侧可以伸长，就会形成A形破断（象大写的拉丁字母A，图3a）。

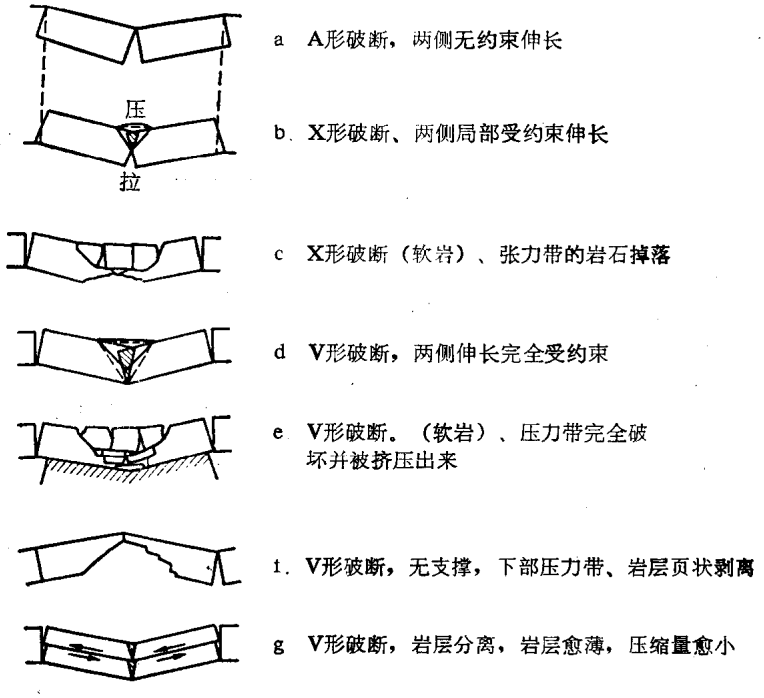


图 3 弯曲产生的破断（其中所有形式的破断都可能出现直立的或对称的形状）

如果弯曲向侧面的伸长局部受阻碍，岩层上部就相互压缩(图 3 b)，出现一个向上压缩的楔形破断块的X形破断。这个破断块可能将岩层的相邻破断块向下挤入巷道空间内。

如果岩石比较软时，X形的角度可能很大。拉伸区是冒落，在压缩区就形成许多破断块(图3c)。

如果向侧面的伸长完全受阻，就可能形成V形破断（图 3 d)。楔形断裂块向上挤压，同时将相邻的岩层部分向下压。

如果岩层很软，而且向侧面的伸长完全受阻，尤其是在有其它软岩支撑的情况下，就会有一个宽的三角区受到严重破坏，并向外压出(图 3 e)。

如果岩层一侧下沉(例如在顺槽中或在工作面顶板中)，就可能出现方向相反的V形破坏。这时岩层向下离层剥落(图 3 f)。

如果岩层被与岩层平行的裂缝分开，楔形破断块就会少得多（图 3 g)。岩石板块越薄，压缩的程度就越小。这种破断形式在侧面伸长完全受阻及由于沉积物造成明显的弱面时特别多。

（三）模型试验中的破断形式

在平行于层理方向应力解除的水平中，亦即在巷道内被切割的岩层中（巷道帮），破断的形式是由于垂直于层理的岩层压力造成的。其形式分为剪切破断、分离破断及混合破断。这些破断在井下通过巷道帮的移动而显示出来。破断的形式取决于地质条件。在有滑动层面时巷道帮的移动特别大（见图 1）。

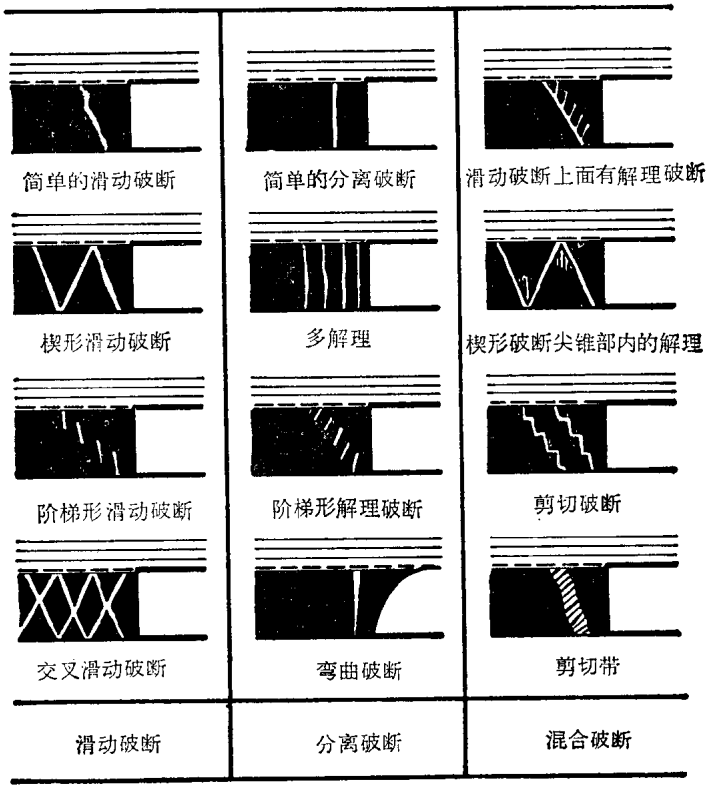


图 1

在平行于层理方向应力未解除的水平中，亦即在尚未被切割的岩层中（巷道的顶底板），破断形式是由平行于层理的岩层压力造成的。它可能出现褶皱（圆的、尖的、钝的）、混合形式或平缓逆断层。破断形式取决于地质条件和支架阻力。平缓逆断层出现于较高的支架阻力的情况下。这时的顶底板会合量最小(见本章第四节(四)和(五))(见图 2)。

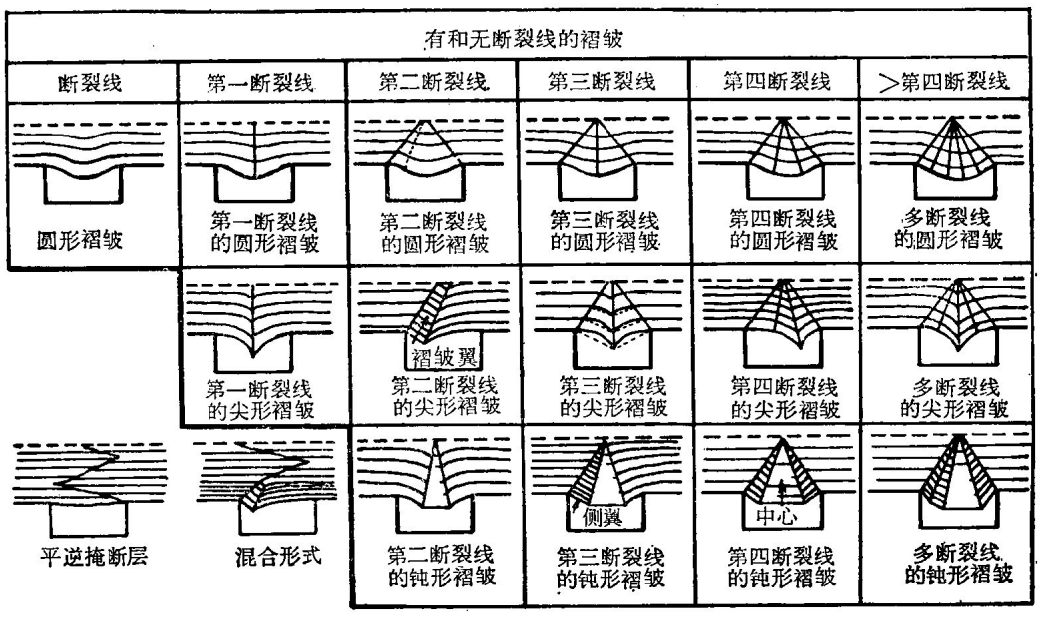


图 2　平行于层理方向无延伸可能性时岩层中的破断形式示意图

巷道顶底板和两帮的破断形式（相对于平行于层理的平面来说）是镜像对称的，并且与倾角无关。褶皱的落差可能与巷道宽度相同；但坚硬岩层可以使褶皱落差受限制而变得很小。

常常遇到巷道全部被冒顶漏矸堵死。这可以用破断的发展过程来阐明。起初，被巷道切割的岩层由一些裂缝所裂分；以后，顶板和底板或其中之一向巷道空间内褶皱。经过这样卸载之后，即在当未切断的岩层由于褶皱被切断之后，巷道帮内的裂隙由于垂直的岩层压力而向褶皱的岩层内发展，或者是在后者内出现新的裂缝。沿这些裂缝可能出现岩石运动，使已被切断的岩层挤出，从而使褶皱扩大，并在某些情况下导致巷道完全被冒死（图 3）。

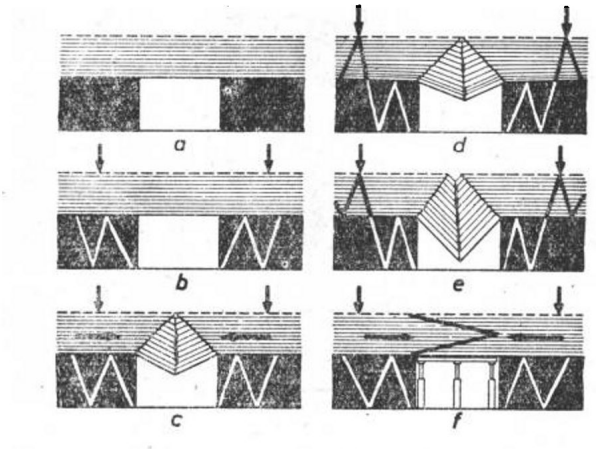
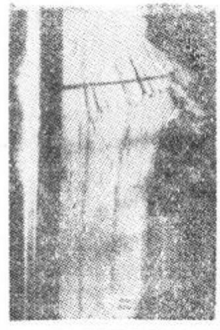
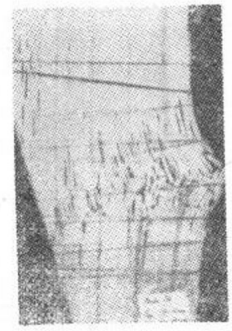
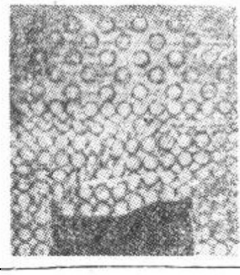
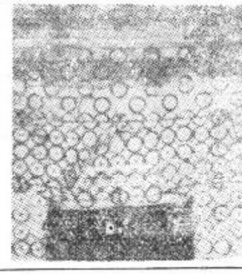
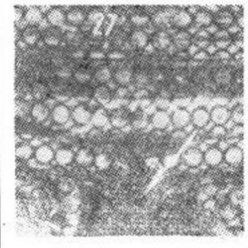
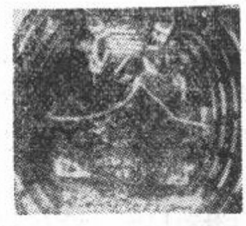


图 3　平巷变形时的破断顺序

这种破坏发展过程适用于所有形式的巷道和各种不同（岩层）的倾角。

（四）模型试验和井下顶底板内的破断形式

离层褶皱（折屈、弯曲和压缩所形成的混合破断）

	有凹、凸形弯曲的两断面拖曳褶皱	有凹形弯曲的两断面弯曲褶皱	尖褶皱（凹面）	圆褶皱（凸面）
模型材料试件				
模型				
井下				

	三断面拖曳褶皱	四断面拖曳褶皱	多断面拖曳褶皱	带平缓剪切破断的两断面拖曳褶皱
模型材料试件		