



瓦斯地质学

河南理工大学
资源环境学院地质工程系

第二章 瓦斯地质基础

2.1 矿井瓦斯

□ 2.1 矿井瓦斯

1. “瓦斯”词语来源？

“瓦斯”音译自日文“ガス（瓦斯）”

2. 矿井瓦斯

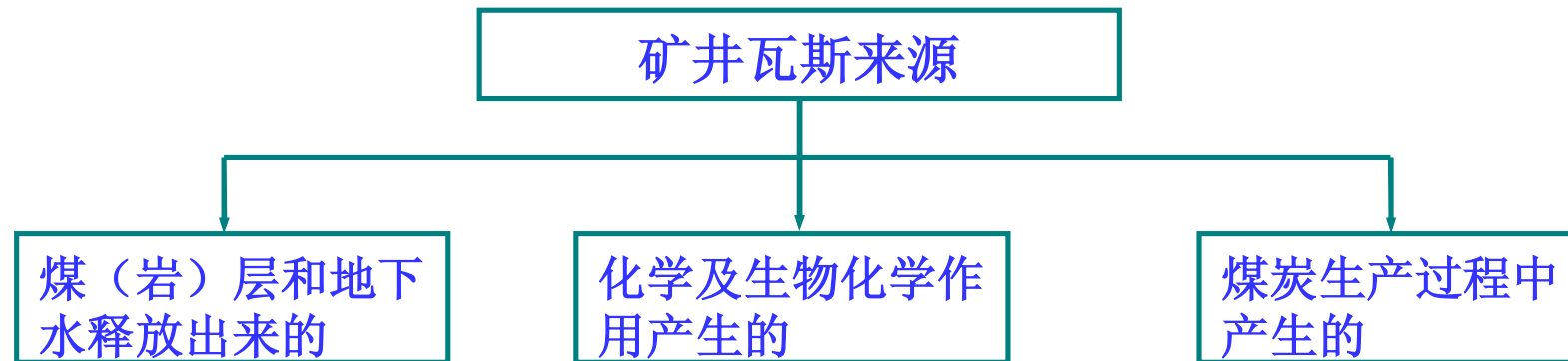
是指从煤层及煤层围岩中涌出的，以及在煤矿生产过程中产生的各种气体的统称。

矿井瓦斯成分很复杂，其主要成分是甲烷(CH_4)，其次是二氧化碳(CO_2)和氮气(N_2)，还含有少量或微量的重烃类气体、氢(H_2)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO_2)、硫化氢(H_2S)等。

广义：煤矿井下有毒气体的总称。**狭义：**甲烷

2.1 矿井瓦斯

□ 2.1.1 矿井瓦斯来源



2.1 矿井瓦斯

□ 2.1.2 矿井瓦斯的性质

1. 物理性质

无色、无味、无嗅、可燃烧、窒息、有毒性、微溶于水。

密度： 0.7168kg/m^3 ;

水中溶解度： 55.61 l/m^3 (0°C , 0.1MPa)

33.10 l/m^3 (20°C , 0.1MPa)

爆炸范围： $5\%-15\%$ (体积百分比, 相当 1m^3 空气 $33-100\text{g}$ 瓦斯)

对空气比重： 0.5545

发热量： 35.994 MJ/m^3

扩散系数： $0.196\text{ cm}^2/\text{s}$ (0°C , 0.1MPa)

分子直径： $0.41 \times 10^{-9}\text{m}$

2.1 矿井瓦斯

□2.1.3 煤矿常见气体的部分物理性质

性质	甲烷	二氧化碳	一氧化碳	硫化氢	乙烷	氢气
	CH ₄	CO ₂	CO	H ₂ S	C ₂ H ₆	H ₂
分子量	16.04	44.01	28.01	34.08	30.07	2.01
密度, kg/m ³	0.7168	1.98	1.25	1.54	1.36	0.09
对空气的比重	0.5545	1.53	0.97	1.17	1.05	0.07
沸点, 0℃, (0.1MPa下)	-161.7	-78.5	-190	-61.8	-88.3	-252.8
爆炸下限, %	5	/	12.5	4.3	3	4
爆炸上限, %	15	/	74.2	45.5	12.5	74.2
发热量, MJ/m ³	35.99	/	11.86	23.5	64.53	11.94

2.1 矿井瓦斯

□ 2.1.4 瓦斯的危害及用途

危害:

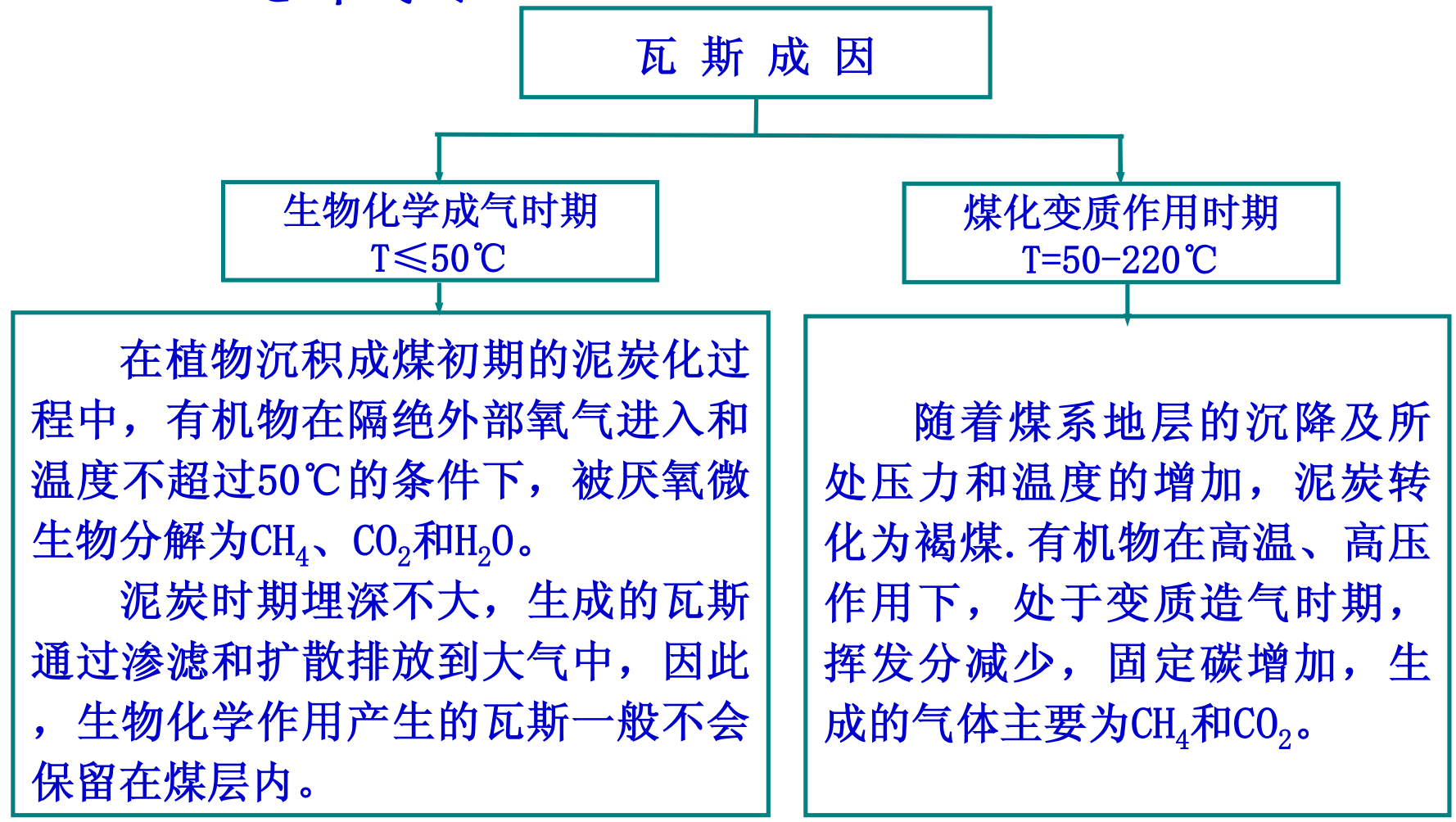
1. 可造成瓦斯窒息事故 (>43%呼吸短促, >57%即刻昏迷)
2. 可酿成瓦斯燃烧事故 (<5%或>15%存在火源)
3. 引起瓦斯爆炸事故 (5%-15%存在火源)
4. 产生煤与瓦斯突出事故

用途:

1. 用城镇煤气
2. 用作锅炉和窑炉燃料
3. 瓦斯发电
4. 作为机动车燃料
5. 用作化工原料和化工产品

2.2 瓦斯成因

2.2.1 瓦斯成因



2.2 瓦斯成因

□ 2.2.2 成煤过程中瓦斯生成量

煤 阶	褐 煤	长焰煤	气 煤	肥 煤	焦 煤	瘦 煤	贫 煤	无烟煤
生气量 (m^3/t)	68	168	212	229	270	287	333	419
阶段生气量 (m^3/t)		100	44	17	41	17	46	86



2.2 瓦斯成因

□ 2.2.3 煤层瓦斯垂向分带各带气体组分

瓦斯风化带

带名 (从上到下)	气带成因	CO ₂	N ₂	CH ₄
		%	%	%
		(按体积)	(按体积)	(按体积)
CO ₂ -N ₂	空气~生化成因	20~80	20~80	0~10
N ₂	空气成因	0~20	80~100	0~20
N ₂ -CH ₄	变质成因	0~20	20~80	20~80
CH ₄	变质成因	0~10	0~20	80~100

瓦斯在压力和浓度差驱动下进行运移，煤层保存瓦斯量的多少取决于封闭条件(埋藏深度、透气性、地质构造)与贮藏条件(吸附性、孔隙率、含水性、温度、压力等)。

2.2 瓦斯成因

从上向下

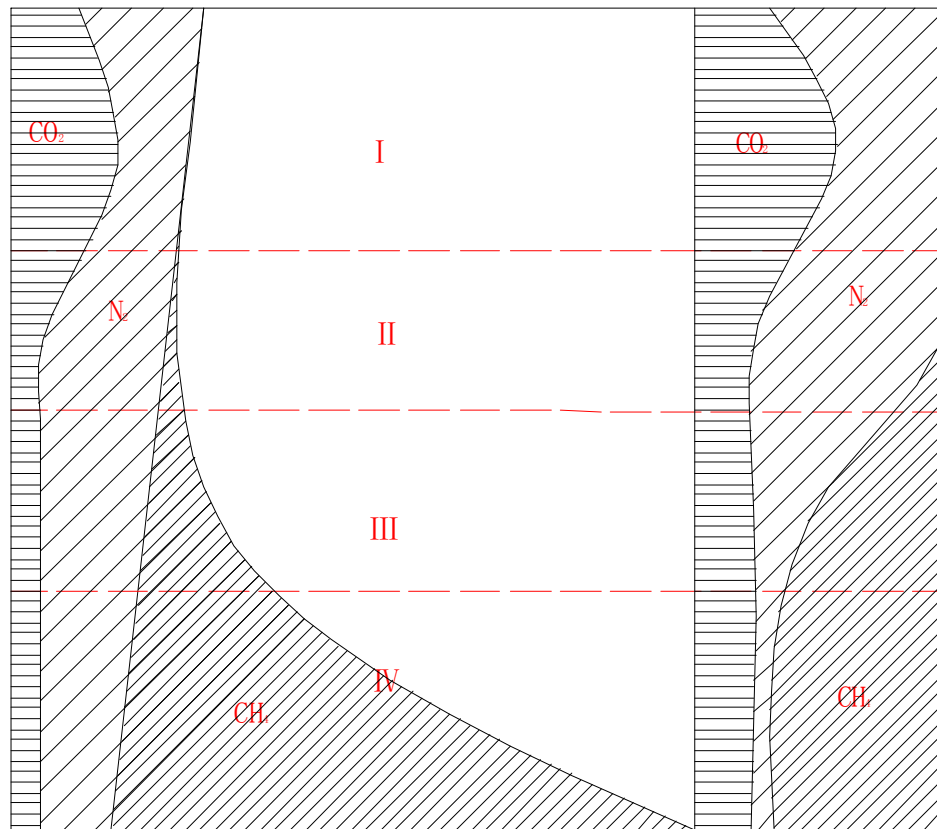


图2-2-2 顿巴斯煤田煤层瓦斯组分在各瓦斯带中的变化
I—氮气-二氧化碳带 II—氮气带 III—氮气-甲烷带 IV—甲烷带

2.2 瓦斯成因

□ 2.2.4 瓦斯风化带下限

- (1) 煤层中所含瓦斯的 CH_4 成份达80%;
- (2) 煤层瓦斯压力为0.1-0.15MPa;
- (3) 在相同条件下(M和T)，与煤层瓦斯压力相当的瓦斯含量;
气煤 $X=1.5-2.0 \text{ m}^3/\text{t.r}$;
肥煤与瘦煤 $X=2.0-2.5 \text{ m}^3/\text{t.r}$;
瘦煤 $X=2.5-3.0 \text{ m}^3/\text{t.r}$; 贫煤 $X=3.0-4.0 \text{ m}^3/\text{t.r}$;
无烟煤 $X=5.0-7.0 \text{ m}^3/\text{t.r}$, 相对瓦斯涌出量 $q=2-3 \text{ m}^3/\text{t}$;
- (4) 矿井相对瓦斯涌出量为 $2\text{m}^3/\text{t}$ 。

影响因素:

煤层赋存地质条件(围岩性质、煤层有无露头、断层发育、煤层倾角、地下水活动等)

2.3 瓦斯赋存

2.3.1 瓦斯在煤体内赋存状态

1 瓦斯在煤体内存在状态

游离瓦斯
10-20%

以自由气体分子存在于煤体或围岩的较大裂隙、孔隙和空洞之中。

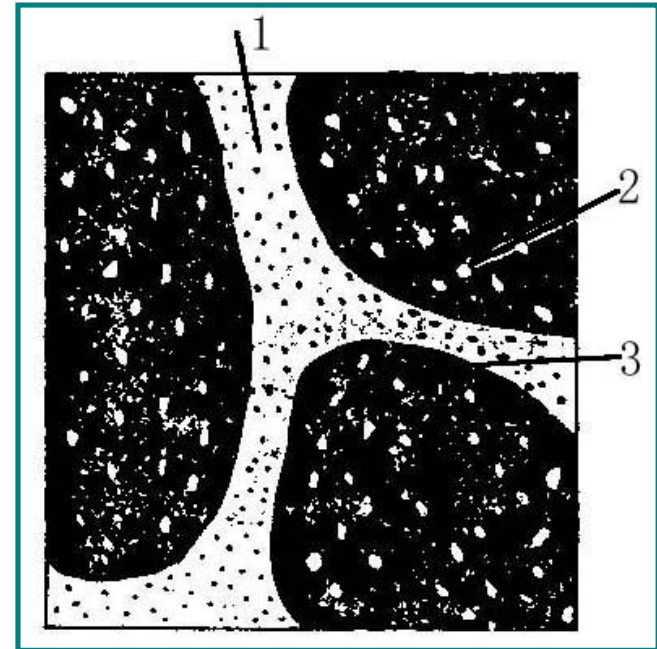
吸附瓦斯
80-90%

吸着状态

在与颗粒固体在分子之间引力作用下，被吸着在煤体孔隙的内表面上。

吸收状态

瓦斯分子进入煤体颗粒结构内部，与煤体固体分子相结合。

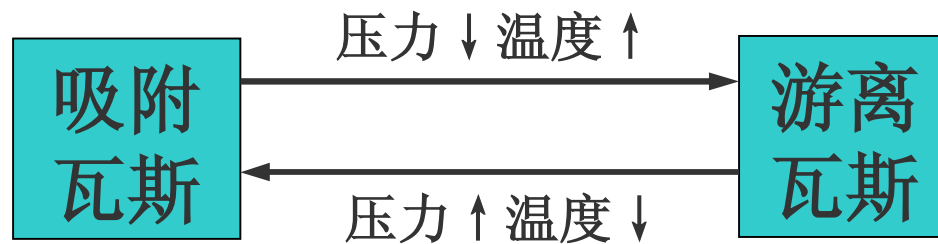


图例 瓦斯在煤层内存在状态
1 - 游离瓦斯；2 - 吸着瓦斯；3 - 吸收瓦斯

2.3 瓦斯赋存

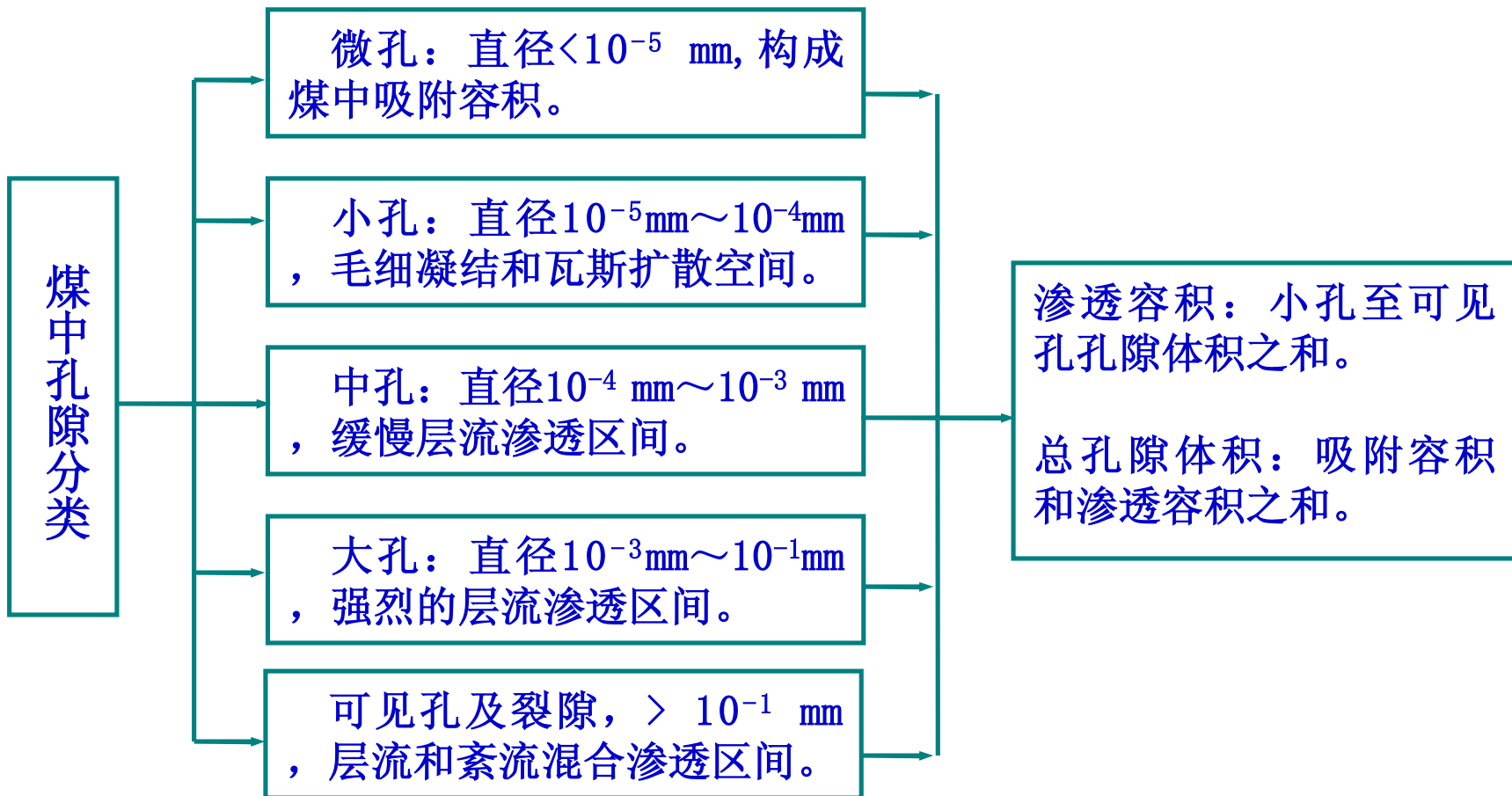
□ 2.3.2 瓦斯吸附与解吸

- (1) 吸附瓦斯与游离瓦斯处于动平衡状态；
- (2) 外界压力、温度变化，原平衡破坏；
- (3) 这种瓦斯由吸附状态转化为游离状态的现象，称为解吸；
- (4) 吸附态瓦斯无内能，游离态分子热运动具有内能；
- (5) 煤的解吸瓦斯量：瓦斯压力从平衡状态下过渡到正常标准大气压下，煤体释放的瓦斯量。



2.4 煤的性质

□2.4.1 煤的孔隙分类



2.4 煤的性质

□2.4.2 不同变质程度煤的孔隙分布

煤牌号	挥发份含量 (%)	小孔、中孔和大孔(m ³ /t)			微孔(m ³ /t)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
长焰煤	13~16	0.070	0.045	0.061	0.028	0.021	0.023
气煤	35~40	0.058	>0.001	0.030	0.034	0.015	0.026
肥煤	28~34	0.050	>0.001	0.025	0.033	0.019	0.026
焦煤	22~27	0.039	>0.001	0.019	0.038	0.021	0.026
瘦煤	18~21	0.036	>0.001	0.016	0.033	0.022	0.029
贫煤	10~17	0.052	>0.001	0.022	0.052	0.027	0.033
半无烟煤	6~9	0.054	>0.001	0.023	0.056	0.033	0.044
无烟煤	2~5	0.076	>0.001	0.029	0.052	0.049	0.055

2.4 煤的性质

□ 2.4.3 煤的吸附等温线

1916年郎格缪尔导出单分子层吸附状态方程--郎格缪尔方程:

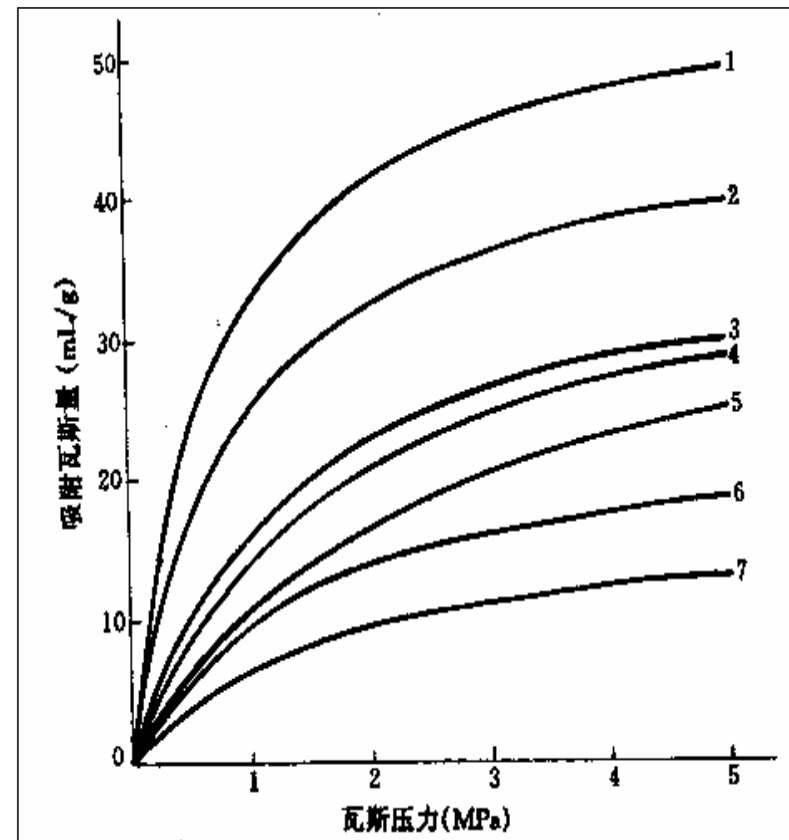
$$X = \frac{abP}{1 + bP}$$

式中: X——给定温度下, 瓦斯压力为p时单位质量固体(纯煤除水份和灰份)表面吸附的气体体积, m^3/t 或 m^3/m^3 ;

p——煤层平衡的瓦斯压力, MPa;

a——吸附常数, 试验温度下煤的极限吸附量, m^3/t ;

b——吸附常数, MPa^{-1} 。



2.4 煤的性质

□2.4.4 煤的吸附能力主要影响因素

煤的吸附能力主要影响因素

1 瓦斯压力

在给定温度下，吸附量与瓦斯压力呈双曲线变化。

2 气体性质

$\text{CO}_2 > \text{CH}_4 > \text{N}_2$

3 温度

温度每升高1度，吸附瓦斯的能力要降低8%。

4 变质程度

变质程度和孔隙结构和比表面积及化学成份有关，呈马鞍型变化。

5 煤中水分

艾琴格尔经验公式：
$$X_w = \frac{1}{1 + 0.31M_{ad}} X_d$$

式中： X_w ——湿煤的瓦斯吸附量， m^3/t ； X_d ——干煤的瓦斯吸附量， m^3/t ； M_{ad} ——煤中水分含量，%。

2.4 煤的性质

2.4.5 不同变质程度煤的吸附瓦斯量

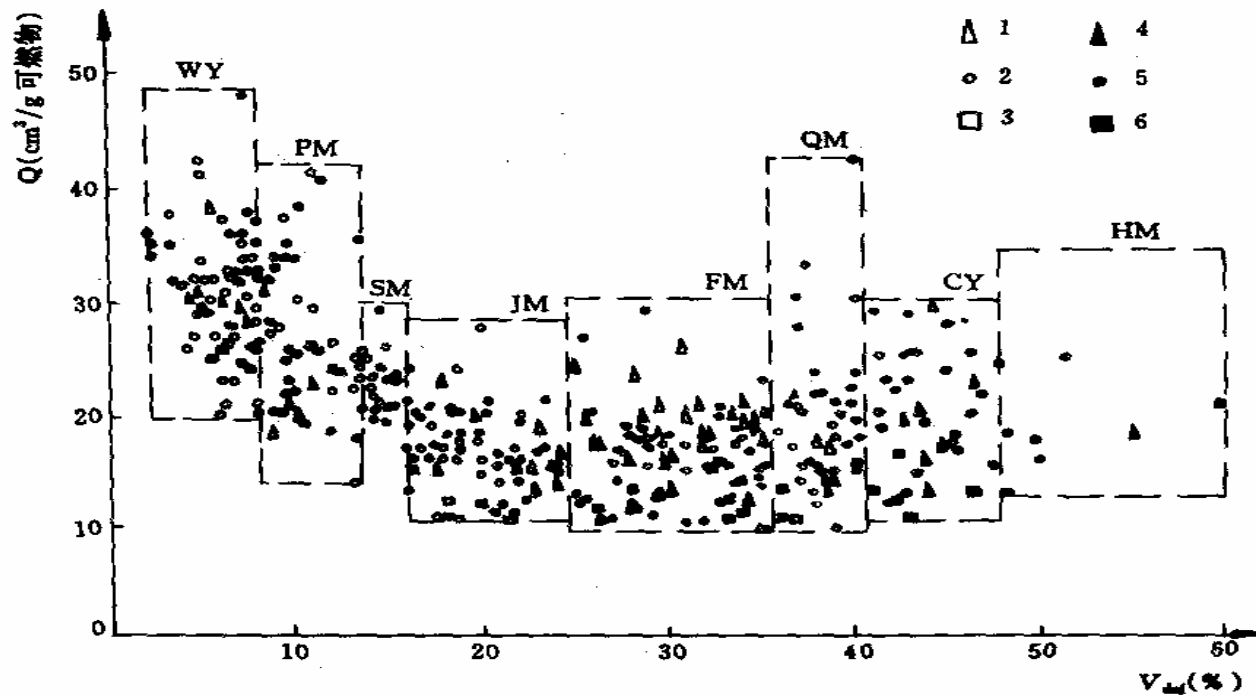


图2 不同变质程度煤的吸附瓦斯量
($t=30^\circ\text{C}$, $p=2\text{ MPa}$)

1、2、3—非突出煤；4、5、6—突出煤； 1、4—新容量法2、5—重量法，3、6—旧容量法

2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.1 瓦斯运移

保存在煤层中的瓦斯仅占形成瓦斯量的1/10。成煤过程中形成的瓦斯可分如下几个部分：

- (1) 保存煤层中的瓦斯；
- (2) 从煤层中运移出来，保存在围岩中的瓦斯；
- (3) 从煤层中运移出来，溶解于地下水中瓦斯；
- (4) 排放大气中瓦斯。

2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.2 瓦斯运移方式

1、渗滤

瓦斯沿裂隙、构造破碎带、喉管的运移方式。

2、扩散

由于气体浓度差原因，气体由高浓度向低浓度扩散，达到扩散平衡。

2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.3 煤层瓦斯流动

1、原始煤体：

瓦斯在煤层中以呈压缩状态，煤层瓦斯压力随深度增大而增大，是在漫长的地质年代里，煤层瓦斯由深部向地表流动的结果，但这种煤层瓦斯流动是极其缓慢的，在采矿工程中，研究煤层瓦斯流动时，一般忽略这种缓慢的瓦斯流动。通常认为，在采掘工作或钻孔未影响到的煤层，瓦斯处于平衡状态，不会发生瓦斯流动。

2.5 煤层瓦斯运移

2、采掘影响区

由于采掘破坏了原有的瓦斯压力平衡状态，引起瓦斯流动，形成瓦斯流动场。影响煤层瓦斯流动的因素很多，诸如煤层赋存条件、瓦斯压力、含量、煤层透气性以及采掘技术条件等等，但主要影响因素为瓦斯压力和煤层透气性，前者是瓦斯流动的动力，后者是瓦斯流动的阻力。

2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.4 煤层瓦斯流动方式

① 当孔隙直径为 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ cm时，由于孔径大于瓦斯分子的平均自由程 10^{-5} cm，瓦斯流动表现为自由扩散或慢速的层流渗透，这时瓦斯流动符合费克或达西定律。

② 当孔隙直径为 $10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4}$ cm时，瓦斯流动为层流渗透，符合达西定律。

③ 当孔径或可见裂隙宽度大于 2×10^{-4} cm时，瓦斯流动表现为层流渗透或层流与紊流的混合过渡流。

④ 当孔隙直径小于 10^{-5} cm时，瓦斯流动属于分子扩散。

⑤ 当孔径小于 3×10^{-7} cm时，会出现瓦斯表面扩散和固体中的扩散。

煤层中上述各种瓦斯流动形式是同时存在的，但为了简化煤层瓦斯流动状态，通常用线性渗透规律来描述，即认为煤层中瓦斯流动属层流渗透，即符合达西定律。

2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.5 瓦斯流动场

瓦斯在煤层中由高压流向低压，在煤层中即形成一定的流动范围——瓦斯流动场。

从时间因素来看：流动类型可分为稳定流动和非稳定流动两种类型，前者流动场不随时间而变化，后者流动场随时间而改变。煤层瓦斯流动属非稳定流动类型。

从空间形态来看：瓦斯流动类型分为单向流动、径向流动和球向流动三种类型。

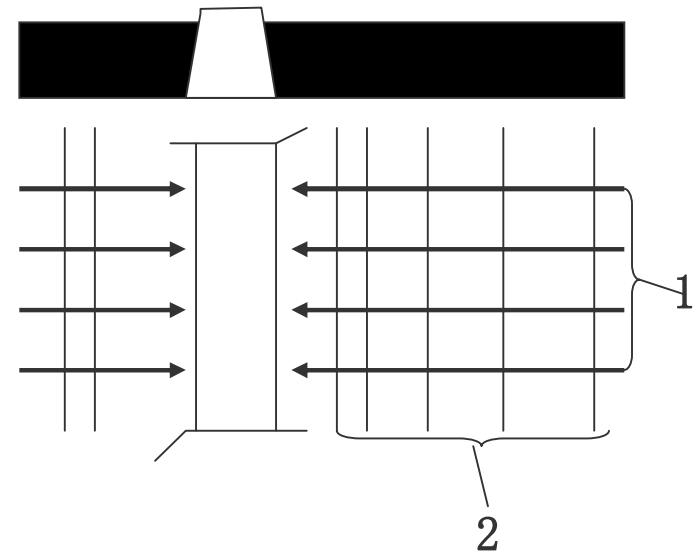
2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.5 瓦斯流动场

(一) 单向流动

单向流动的特点是煤层瓦斯沿单一方向流动，流线相互平行。

沿煤层开掘高度大于煤层厚度的巷道后，巷道两侧煤层中的瓦斯皆沿垂直于巷道的方向流动，这种流动属单向流动。



煤层瓦斯单向流动
1—瓦斯流线，2—等瓦斯压力线

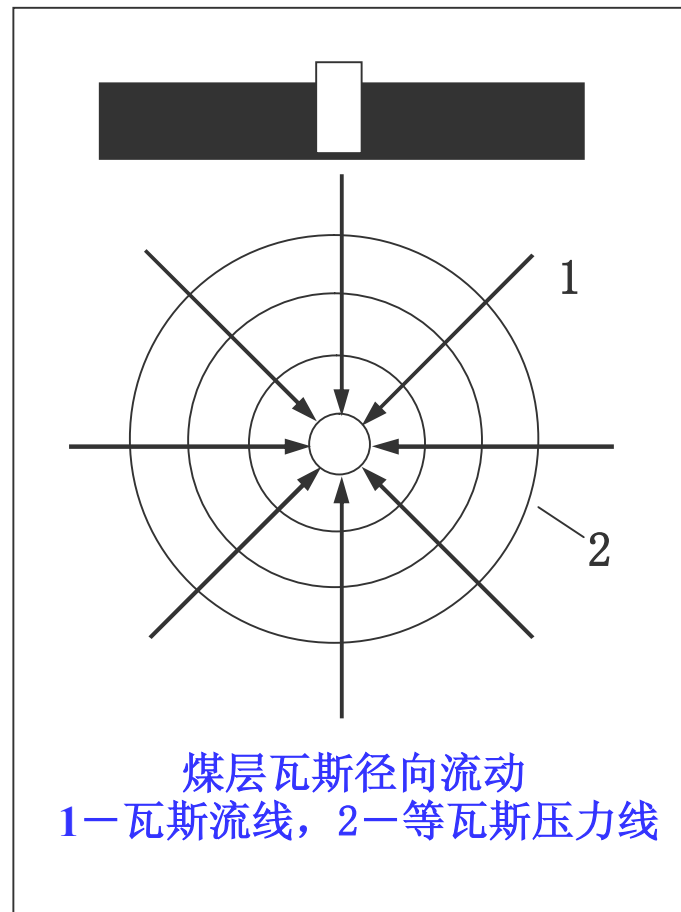
2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.5 瓦斯流动场

(二) 径向流动

径向流动是平面流动。径向流动时，等瓦斯压力线为一组同心圆，瓦斯流线沿圆的径向发展。

在煤矿井下，石门或钻孔垂直揭穿煤层时，煤层中的瓦斯流动就是径向流动。



2.5 煤层瓦斯运移

□ 2.5.5 瓦斯流动场

(二) 球向流动

球向流动的特点是等瓦斯压力线为一组同心球状，瓦斯流线沿球的径向发展。在煤矿井下属球向流动的情况很少见。

石门揭特厚煤层，特厚煤层中的掘进面迎头和钻孔孔底以及煤块的瓦斯放散等都可近似地视为球向流动。

2.6 矿井瓦斯涌出

□ 2.6.1 矿井瓦斯涌出

1. 矿井瓦斯涌出

是矿井在开拓、掘进、回采过程中，瓦斯从煤层或岩层涌向采掘空间的现象。

2. 瓦斯涌出来源：煤层、岩层、邻近层。

3. 绝对瓦斯涌出量 (m^3/min 或 m^3/d)

4. 相对瓦斯涌出量 (m^3/t)

2.6 矿井瓦斯涌出

❖ 绝对瓦斯涌出量(Q)

是指矿井在单位时间内涌出的瓦斯体积，单位是 m^3/min 或 m^3/d 。

$$Q = \frac{q \times A}{1440}$$

q —相对瓦斯涌出量， min^3/min ;

Q —绝对瓦斯涌出量， m^3/t ;

A —矿井日产量， t/d 。

❖ 相对瓦斯涌出量(q)

是指在矿井正常生产条件下平均每采一吨煤所涌出的瓦斯体积，单位是 m^3/t 。

2.6 矿井瓦斯涌出

2.6.2 矿井瓦斯涌出方式

矿井瓦斯涌出方式

普通涌出

由采落煤炭和煤层、岩层的新鲜暴露面，通过孔隙、裂隙，缓慢、长时间的涌出。

特除涌出

采掘时，在极短的时间内，瓦斯从煤体、围岩内突然、大量的涌出，有时还伴有煤粉、煤块和岩石等。

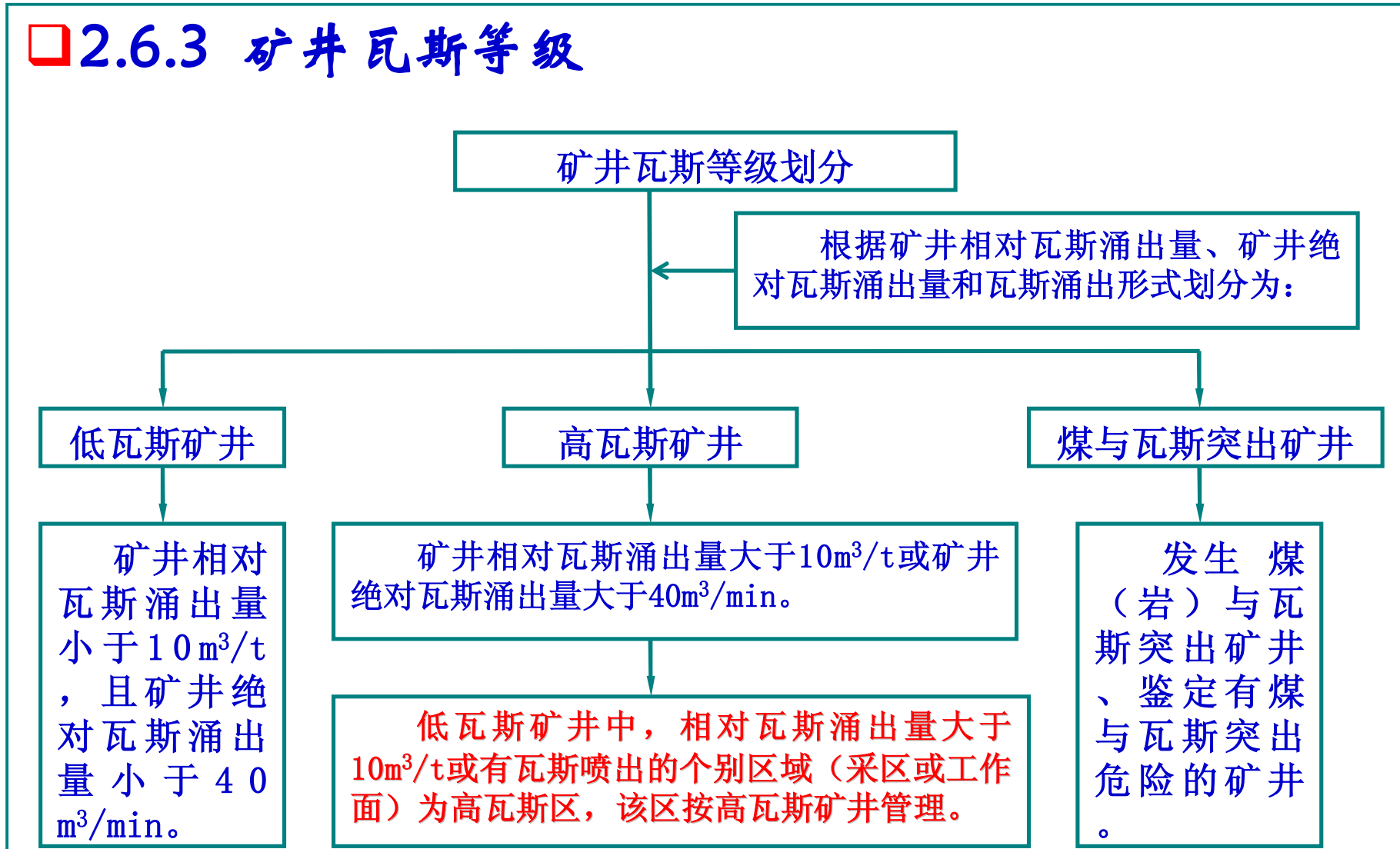
煤与瓦斯突出

瓦斯喷出

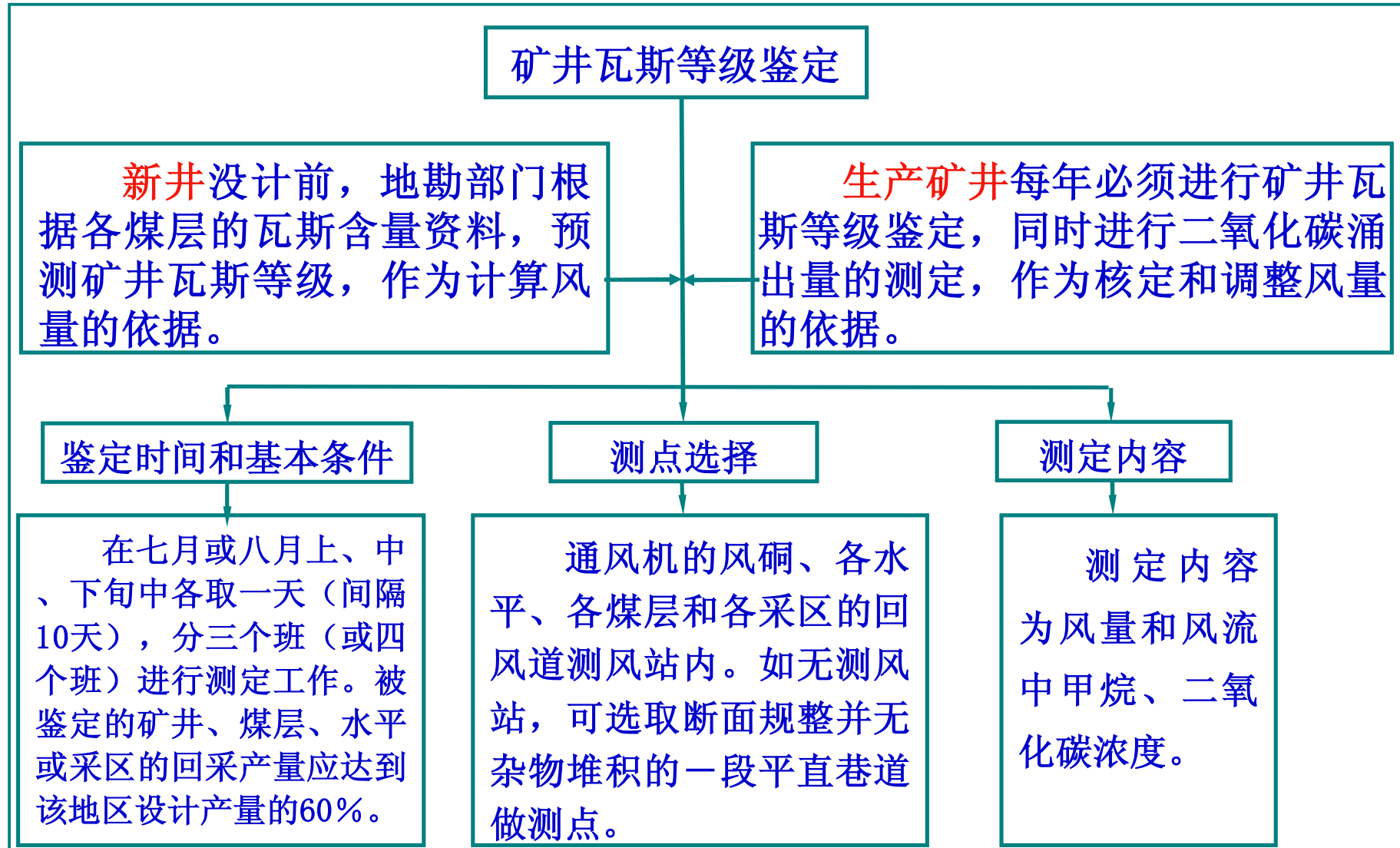
瓦斯（CO₂）喷出 从煤体或岩体裂隙、孔洞或炮眼中大量瓦斯（CO₂）异常涌出的现象。在20m巷道范围内，涌出瓦斯量 $\geq 1.0\text{m}^3/\text{min}$ ，且持续时间在8h以上时，该采掘区即定为瓦斯（CO）喷出危险区域。

2.6 矿井瓦斯涌出

2.6.3 矿井瓦斯等级



2.6 矿井瓦斯涌出



2.7 煤与瓦斯突出

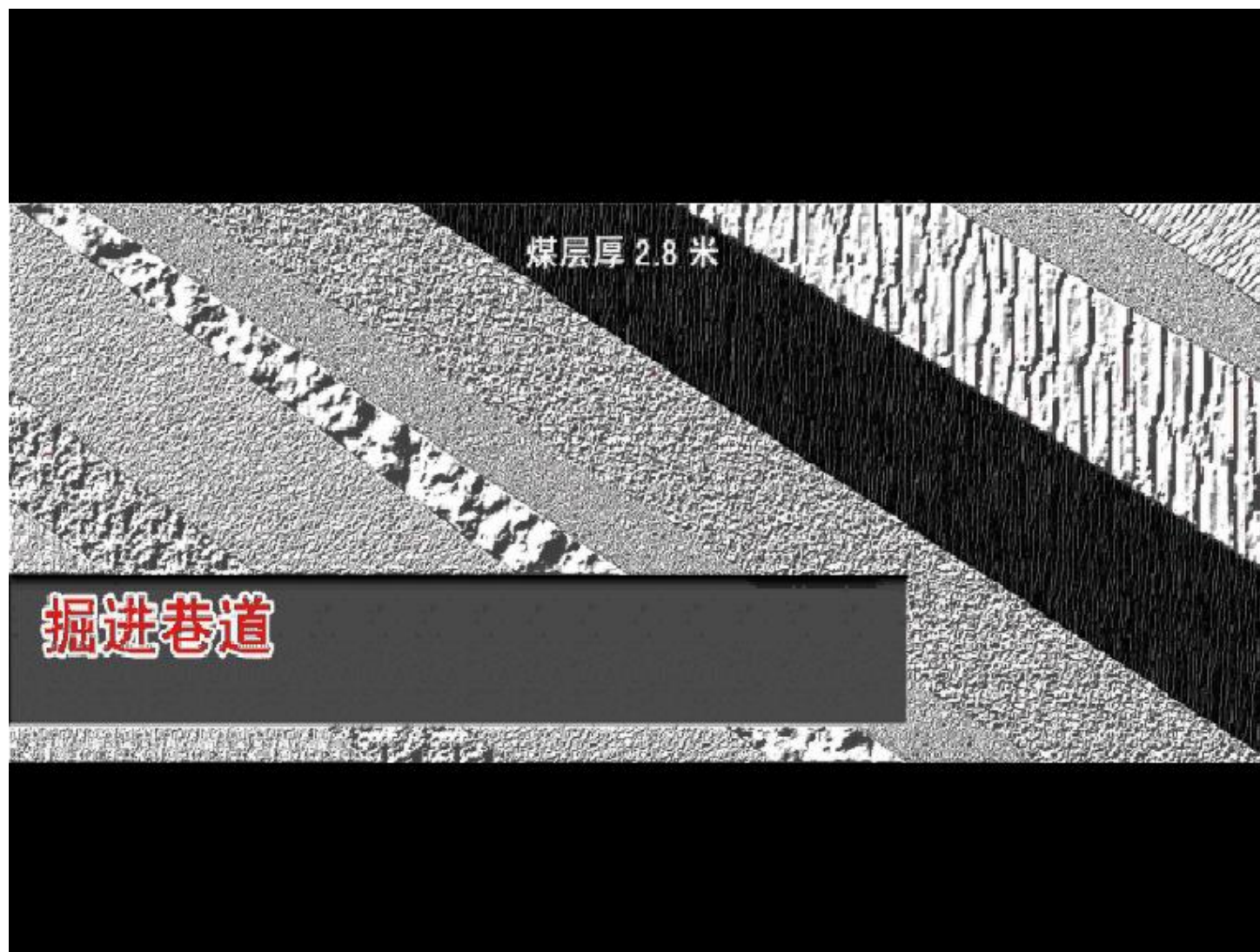
□ 2.7.1 煤与瓦斯突出

什么是煤与瓦斯突出？

煤与瓦斯突出是发生在煤矿井下的一种复杂的瓦斯动力现象，表现为在很短时间（几秒至数十秒）内，大量的煤（几吨至数千吨）和瓦斯（数百至数百万米）由煤体向采掘巷道喷出，伴随着强大的冲击力，破坏煤壁，摧毁巷道，使风流逆转，煤流埋人，甚至造成严重的爆炸事故。煤与瓦斯突出是煤矿井下严重的自然灾害之一。

2.7 煤与瓦斯突出

突出模拟



2.7 煤与瓦斯突出

□ 2.7.1 煤与瓦斯突出分类

1. 按突出特征和成因分

- 煤与瓦斯突出(突出)
- 煤与瓦斯压出(压出)
- 煤与瓦斯倾出(倾出)

2.7 煤与瓦斯突出

突出特点：

(1) 突出的煤可抛出一定距离，由数米到数十米，有时煤拐弯抛出现象；

(2) 突出煤体的堆积坡度小于煤的自然安息角，具有明显分选现象；

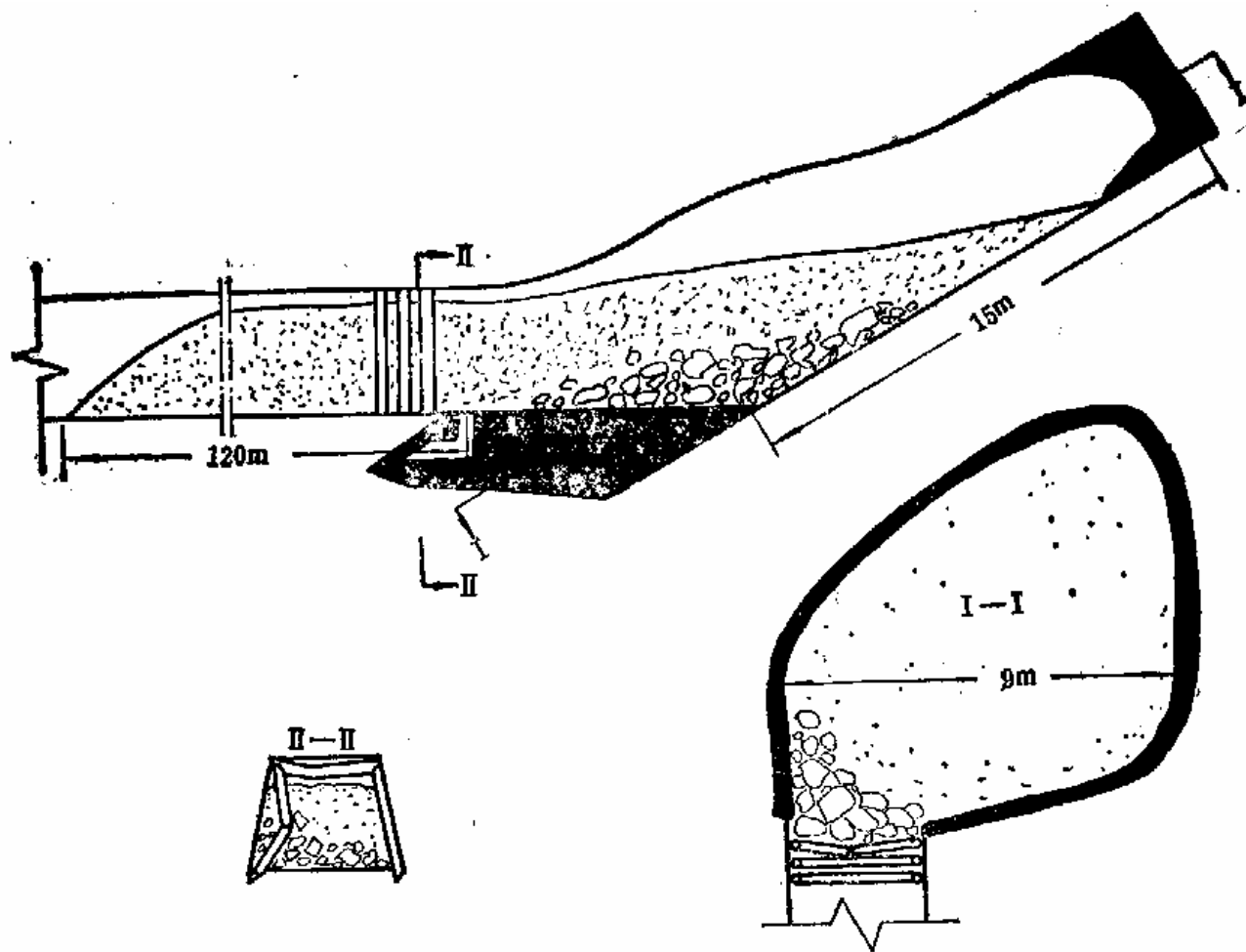
(3) 煤体破碎程度高，有大量粉煤和极细粉尘；

(4) 伴随大量瓦斯涌出，采区或总回风流中瓦斯浓度超限，甚至出现瓦斯逆流；

(5) 突出时具有明显动力效应，如破坏突出时有明显的动力效应，如破坏井巷设施、推翻矿车、搬运巨石等；

(6) 突出后的空洞多数位于巷道上方或上隅角，形状多为口小腔大的梨形、倒瓶形等。

2.7 煤与瓦斯突出



南桐鱼田堡矿+150m 水平主石门放炮破4号煤层底板时发生第二次突出示意图

2.7 煤与瓦斯突出

压出特点：

(1) 压出的煤抛出距离很近，一般为2—3米，堆积坡度较小，有时煤壁整体位移，使工作面煤壁鼓出或巷道底部煤体鼓起；

(2) 压出的煤多为大块或碎块状，无分选现象。

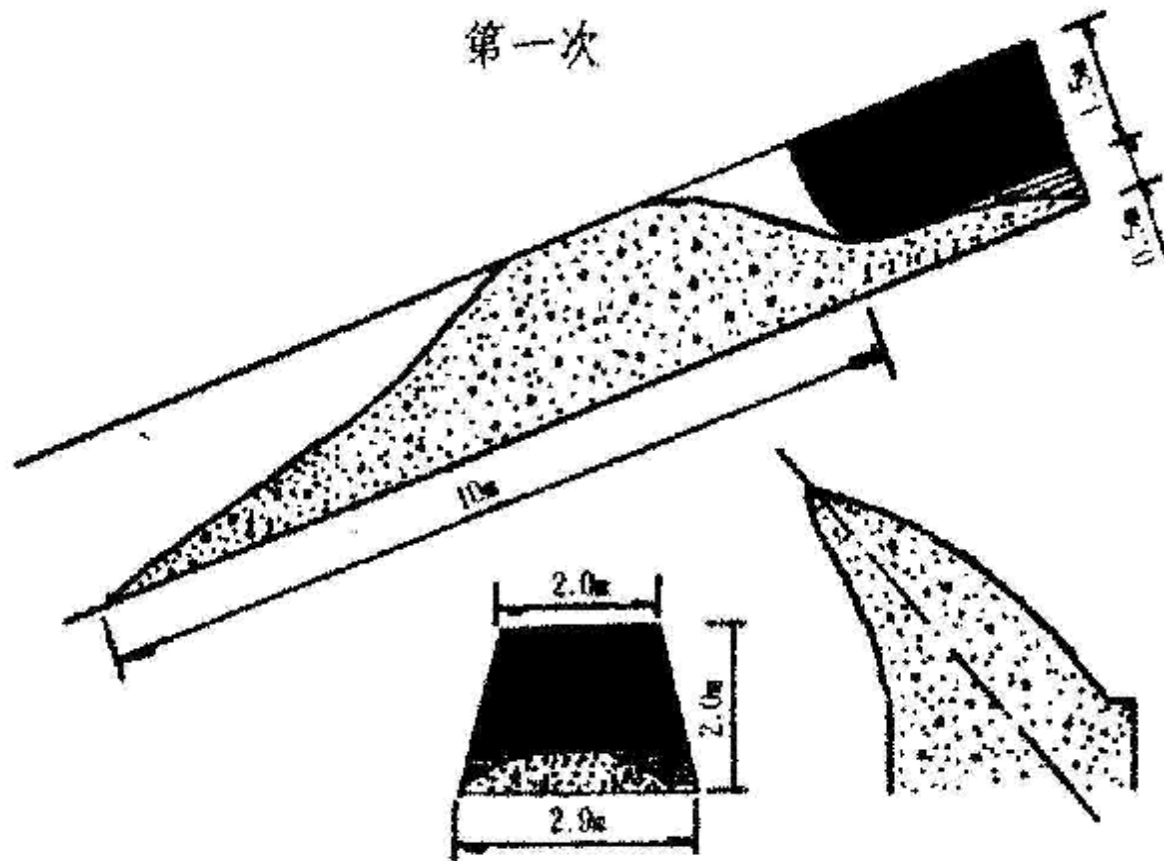
(3) 发生压出前工作面压力显现较为明显，支架折断、工作面掉碴、响煤炮等；

(4) 压出时的瓦斯涌出量不大，不至于引起采区回风瓦斯超限，但工作面回风瓦斯浓度可短时增高或超限，在正常通风情况下，很快就可恢复正常，只有个别情况下会出现大量瓦斯涌出或从顶底板裂隙中喷出瓦斯现象；

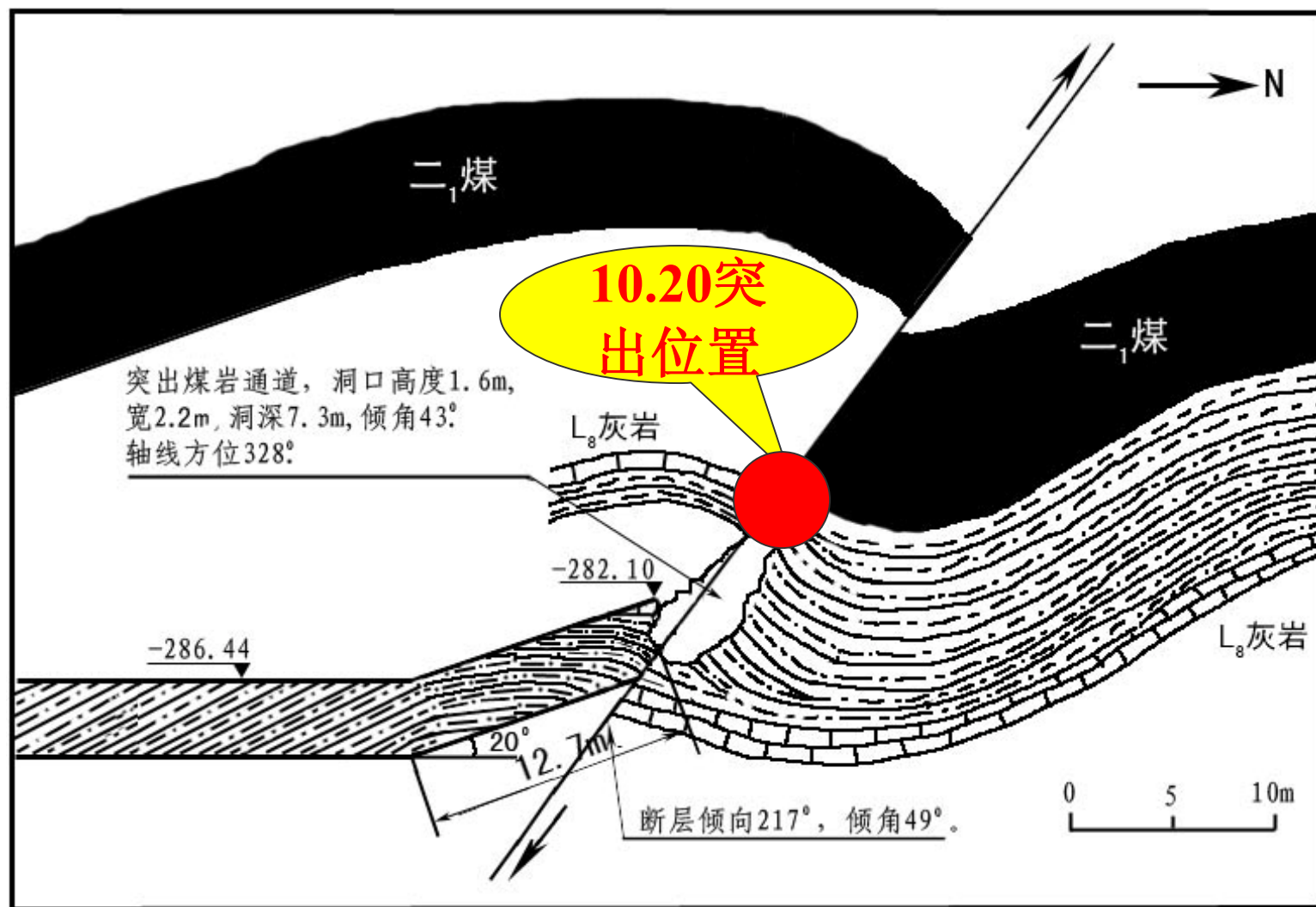
(5) 压出时动力效应明显，如打倒或折断支架、推走采掘工作面的设备；

(6) 除煤壁整体位移外，压出后所形成的空间不规则，有袋状的，也有楔形或缝形的。

2.7 煤与瓦斯突出



2.7 煤与瓦斯突出

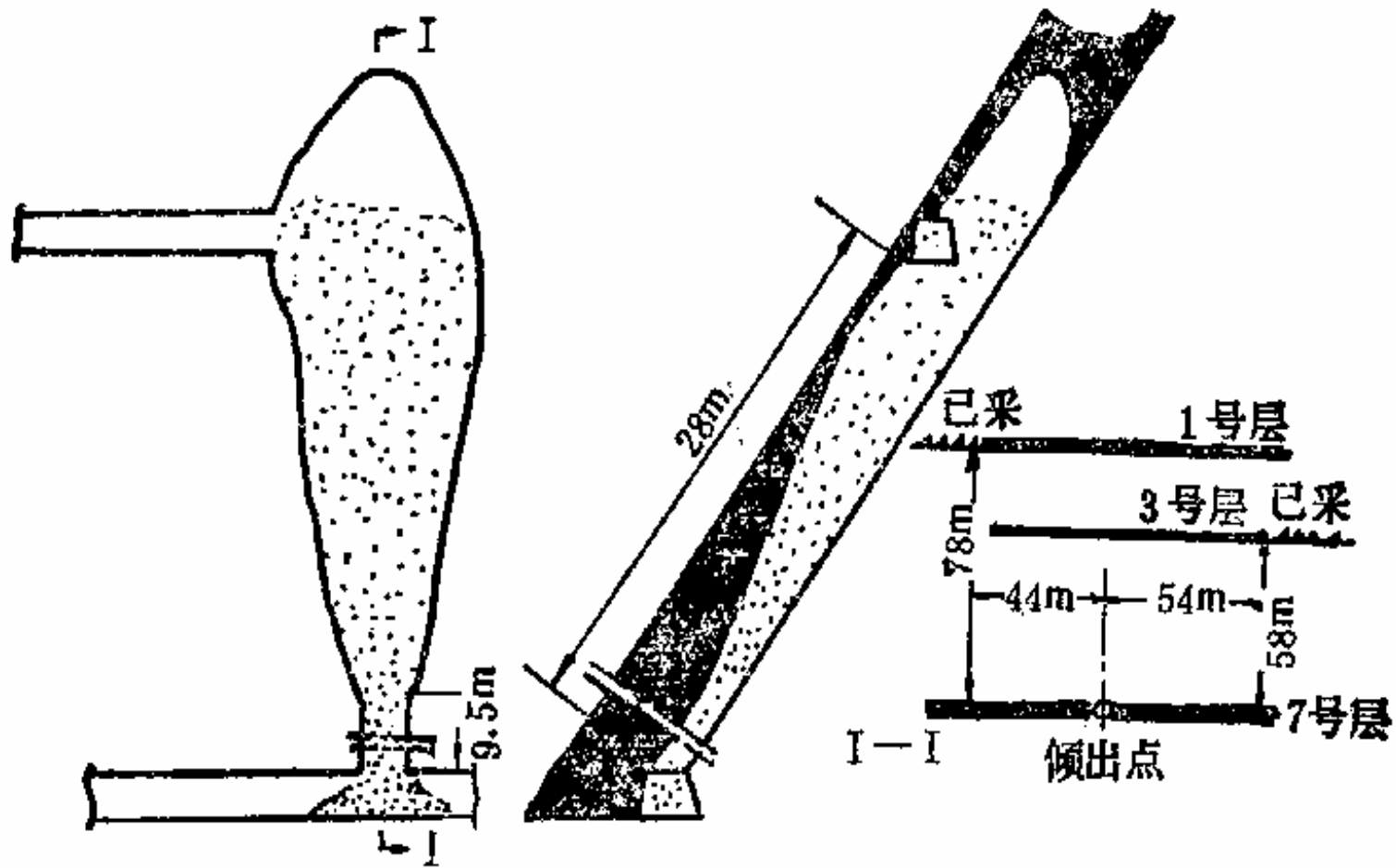


2.7 煤与瓦斯突出

倾出特点:

- (1) 倾出的煤就近堆积在采掘工作面附近或正下方（上山掘进工作面），不显示气体搬运特征；
- (2) 倾出的煤堆积坡度近于或等于煤的自然安息角，无分选现象；
- (3) 倾出的煤主要是碎块，粉末状的煤很少；
- (4) 倾出时伴随涌出大量瓦斯，但引起采区回风流中瓦斯浓度超限的时间较短，瓦斯影响范围仅在本工作面或本采区之内，不出现瓦斯逆流现象；
- (5) 倾出时动力效应比煤和瓦斯突出时小，但可打垮工作面附近的支架；
- (6) 倾出多发生在煤质松散和煤层倾角和厚度较大的情况下；
- (7) 倾出后的空洞形状是口大腔小，多沿煤层倾斜方向延伸。

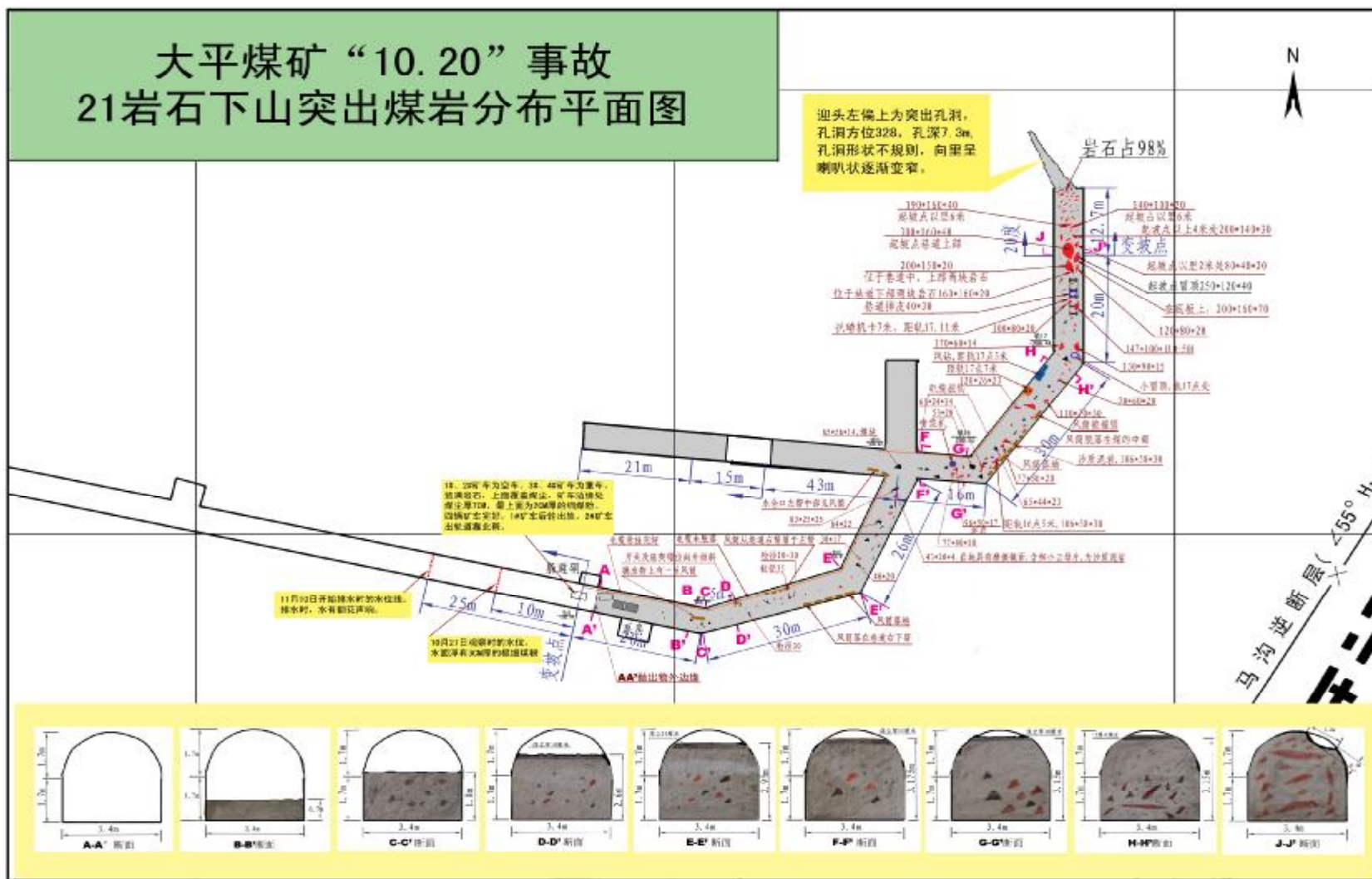
2.7 煤与瓦斯突出



六枝煤矿五采区二中巷上山倾出示意图

2.7 煤与瓦斯突出

大平煤矿“10.20”事故
21岩石下山突出煤岩分布平面图



2.7 煤与瓦斯突出

2. 按突出强度分

- 小型突出 ($<50\text{t}$)
- 中型突出 ($\geq 50, <100\text{t}$)
- 次大型突出 ($\geq 100, <500\text{t}$)
- 大型突出 ($\geq 500, <1000\text{t}$)
- 特大型突出 ($\geq 1000\text{t}$)

2.7 煤与瓦斯突出

3. 按突出地点分

- 石门突出
- 平巷突出
- 上山突出
- 下山突出
- 回采工作面突出

2.7 煤与瓦斯突出

4. 按参与突出物种类分

- 煤与瓦斯突出
- 岩石与瓦斯突出
- 煤与二氧化碳突出
- 岩石与二氧化碳突出
- 盐与二氧化碳突出
- 煤、盐和二氧化碳突出

2.7 煤与瓦斯突出

□ 2.7.2 煤与瓦斯始突深度

发生突出的最小垂深或突出上界的垂深称始突深度。

- 抚顺老虎台、本溪红阳二矿、淮南谢三矿500-600m。
- 邵阳沙田矿和郴州罗卜安矿50-60m。
- 北方深南方浅。

高突瓦斯矿井分布图



严重突出矿区

北票、六枝、南桐、天府、芙蓉、松藻、英岗岭、涟邵、白沙、焦作、鸡西、阜新、沈阳

2.7 煤与瓦斯突出

□ 2.7.3 煤与瓦斯突出机理

- 瓦斯主导假说 (瓦斯包说、瓦斯膨胀说、卸压说、瓦斯解吸说等)
- 地压主导假说 (集中应力说、应力叠加说、顶底板不均匀说、拉应力说、震动说等)
- 化学本质说 (煤变质引发化学反应, 煤体爆炸)
- 综合假说 (地应力、瓦斯、煤体物理力学性质综合作用结果)

2.7 煤与瓦斯突出

□ 2.7.4 煤与瓦斯突出过程

- 准备阶段 能量积聚，煤体处于临界状态
- 发动阶段 高应力状态破坏，裂隙增加，解吸加剧
- 扩展阶段 弹性能和瓦斯使煤体迅速破坏，瓦斯抛出
- 停止阶段 煤体破坏停止，瓦斯涌出减弱

本章结束!