

煤矿院校内部参考教材

煤矿通风与安全

(下 册)

山东矿业学院 山西矿业学院 四川矿业学院
西安矿业学院 河北矿冶学院 阜新煤矿学院
重 庆 大 学 贵州工学院
淮南煤炭学院 焦作矿业学院

协 作 编 写

陕西省韩城矿务局印刷厂印

一九七四年九月

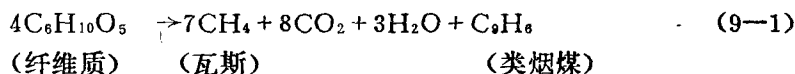
U18/S467

第九章 矿 井 瓦 斯

第一节 概 述

本章所讨论的矿井瓦斯，系专指从煤体或围岩中放出的甲烷（沼气）而言。

古代植物在成煤过程中，经厌氧菌作用，能分解产生大量瓦斯；另外，在以后煤的炭化过程中，随着煤的化学成分和结构的变化，继续有瓦斯不断生成。有人将这一过程，写成如下理想的化学方程式：



根据这一关系，每一公斤纤维质，在变成烟煤的过程中，将要生成0.257立方米的瓦斯，或者说，每生成一吨烟煤，同时要伴生1200立方米瓦斯。但在长期的地质年代里，由于瓦斯扩散能力强，比重小，地层的孔隙性较大，大部分已逸散到大气中去，只有少部分至今仍被保存在煤体或围岩之中。

煤体或围岩中被保留下来的瓦斯数量，叫瓦斯含量，其单位常用米³/吨或厘米³/克表示。煤体的瓦斯含量受着复杂因素的影响，但总的来说不外下列两个方面：一是成煤和炭化过程中瓦斯生成量的多寡、古代植物的种类、厌氧菌活动的情况、炭化程度的高低等，都是影响瓦斯生成的基本条件；二是瓦斯能被保存下来的条件，如煤的孔隙率和对瓦斯的吸着能力、顶底板岩石的透气性、成煤后的地质运动和地质构造、煤层的倾角和埋藏深度等。在一般情况下，煤的炭化程度越高、孔隙率越大、埋藏越深、顶底板越致密，其瓦斯含量也越大。虽然炭化程度高的煤，其生成的瓦斯量大，但能否保存下来，还要看外部条件。以大同和抚顺两煤田为例，前者成煤年代较早，炭化程度也较高，但由于煤层顶底板为透气性强的岩石（砾岩，砂岩和砂页岩），煤体中的瓦斯易透过这种岩石泄放于大气中，因此在生产过程中，瓦斯逸出量较少；后者成煤年代很晚，炭化程度也较低，但由于煤层顶板为很厚的致密状油母页岩，透气性很差，生成的瓦斯被大量保存在煤体之中，成为著名的高瓦斯含量煤田。

此外，在煤层结构和煤质发生急剧变化的区域，例如封闭断层和火成岩侵入体附近，煤体中的瓦斯含量也往往变大。

瓦斯含量是决定生产过程中瓦斯涌出量大小的基本依据。但在目前还没有一种较为理想的测算方法。常用的有两种：一类是直接测定法，即通过钻孔用密闭岩芯采取器取出煤样，在实验室中抽出其中所含的全部瓦斯，再加上打钻过程中逸散的瓦斯，除以试样的重量求得其瓦斯含量；另一类是根据某些测定数据，按经验公式进行计算求得。

瓦斯在煤体和围岩中的存在状态，包括游离状态和吸着状态两种。

游离状态也叫自由状态，这种瓦斯是以自由气体的状态存在于煤体或围岩的裂缝和孔隙

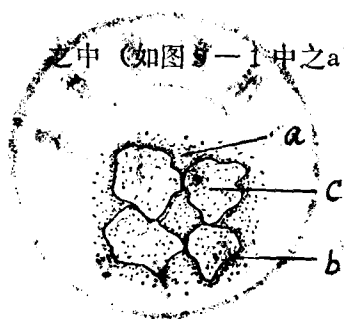


图 9—1

之中 (如图 9—1 中之 a)，其量的大小，主要决定于贮存空间的体积、瓦斯压力和温度。

吸着状态又称结合状态，其特点是瓦斯与煤或某些岩石结合为一体，不再以自由气态形式存在。按其结合的形式不同，又可分为吸附和吸收两种：吸附状态，是由于固体粒子和气体分子之间分子引力的作用，使气体分子在固体粒子表面上紧密附着一个薄层 (如图 9—1 之 b)；吸收状态，是气体分子已进入煤分子团的内部 (如图 9—1 之 c)，它和气体溶解于液体中的现象相似。

几种状态的瓦斯是处在不断变化的动平衡之中，在一定的客观条件下又具有其相对稳定性。当温度、压力等外界条件变化时，这种相对稳定性即遭到破坏。例如，当压力升高温度降低时，部分瓦斯将由游离状态转化为吸着状态，这种现象称为吸附。相反，如果压力降低温度升高时，又会有部分瓦斯由吸着状态转化为游离状态，这种现象叫做解吸。

煤体中既然含有瓦斯，当在煤层中开出采掘空间时，必然引起煤体中瓦斯压力的变化，破坏了原有的瓦斯平衡状态，不仅存在于孔隙中的游离瓦斯会涌入采掘空间，而且处于吸着状态的瓦斯，因动平衡的破坏而转化为游离瓦斯，源源涌出。随着采掘工作的发展，煤体和围岩因受采掘的影响产生新的裂缝和孔隙，瓦斯动平衡破坏的范围不断扩展，涌出瓦斯的范围也不断扩大，故瓦斯能保持较长时的均匀涌出。这就是矿井中瓦斯涌出的基本形式。但有时在一定条件下也会出现瓦斯喷出和煤与瓦斯突然喷出的特殊涌出形式。

瓦斯喷出，也简称喷出，是瓦斯从可见的裂缝或喷口中，在较短时间内大量涌出的现象。

煤与瓦斯突然喷出，简称瓦斯突出或突出，它是在几分钟甚至几秒钟的短暂时间内，大量瓦斯连同粉煤 (有时也带有块煤或岩石) 一起喷出的现象。有些国家也发生过岩石与瓦斯突出的现象。

关于瓦斯的特殊涌出问题将在本章第四节中详细讨论。

由于煤矿中较普遍地存在有瓦斯，如果管理不善或措施不力，可能引起爆炸事故，在某些地区和矿井，还有瓦斯的特殊涌出现象。因此，瓦斯对煤矿安全生产有着严重威胁。

在资本主义国家，由于资本家追逐利润不顾工人死活，缺乏必要的措施，瓦斯爆炸时常发生。日本在 1952 年一年之中发生爆炸事故达 90 起。美国在 1968 年发生过一次死亡 78 人的重大瓦斯爆炸事故。

我国在解放前，煤矿工人遭受着帝国主义、封建主义、官僚买办 (官僚资产阶级) 的残酷压榨，成千上万的阶级兄弟被矿井瓦斯夺去了生命。解放后在党中央和毛主席的英明领导下，二十几年来，广大煤矿工人和革命的工程技术人员，在党的安全生产方针的指导下，在战胜瓦斯危害方面，积累了丰富的经验，取得了大量成果。以抚顺为例，在日本帝国主义侵占我国东北的最后十年间，共发生过大小 54 次瓦斯爆炸事故。解放后，在党中央和毛主席的亲切关怀下，广大煤矿职工，经过五年奋战，终于征服了这个一向逞凶井下的“气老虎”，不仅保证了安全生产，而且已经把亿万立方米的瓦斯按照人的意志抽放出来，成为宝贵的化工原料和燃料，为人类驯服矿井瓦斯谱写了光辉的篇章。此外，在掌握瓦斯涌出、爆炸、突出等自然规律方面，已取得不少成就，在预防瓦斯爆炸、瓦斯突出和瓦斯抽放等方面也积累

了许多宝贵的经验。

实践证明, 矿井瓦斯危害虽大, 但广大煤矿职工, 通过三大革命运动的不断实践, 不仅能认识它的规律, 总结出战胜它的经验, 而且在煤矿生产中对煤炭和瓦斯进行综合开发、综合利用, 使瓦斯化害为利, 变废为宝, 造福于人类。

第二节 矿井的瓦斯涌出状况

在煤矿生产中, 煤层和围岩中赋存的瓦斯不断地向采掘空间涌出, 为保证安全生产, 掌握矿井的瓦斯涌出状况, 就成为矿井设计和生产管理的一项重要依据。本节将就瓦斯涌出的规律和矿井瓦斯涌出量的确定方法进行讨论。

一、矿井瓦斯涌出量的影响因素

矿井瓦斯涌出量, 就是矿井正常生产过程中, 涌进生产巷道的瓦斯量。有绝对和相对两种表示方法 (详见第二章)。对于整个矿井的叫全矿井的瓦斯涌出量, 对个别翼、采区或工作面的瓦斯涌出量, 就分别叫翼的、采区的或工作面的瓦斯涌出量。瓦斯涌出量的大小, 取决于自然因素和开采技术因素的综合影响。

1. 自然因素

1) 煤层和邻近层的瓦斯含量。这是瓦斯涌出量大小的决定因素。开采煤层的瓦斯含量高, 其瓦斯涌出量必然大; 或者开采煤层本身的瓦斯含量并不高, 但在开采煤层的上部或下部赋存有瓦斯含量大的煤层 (通常称之为邻近层) 或岩层, 由于受开采的影响, 这些邻近层内的瓦斯就要大量流入开采煤层的采空区 and 生产空间, 从而增加了矿井的瓦斯涌出量。本章第一节中叙述的影响瓦斯含量的诸因素, 也是影响矿井瓦斯涌出量的基本因素。其中埋藏深度影响最为显著, 对同一煤田, 瓦斯涌出量一般总是随开采深度的增加而增加的。

2) 地面大气压力的变化。生产矿井中总是存在一些采空区以及煤壁的孔隙和坍塌处, 瓦斯易于在这些地点积存并不断放出。在一定的空气压力下, 这些地点的空气和生产巷道的风流, 处于相对平衡状态, 积存瓦斯稳定地泄入风流中。如果大气压力下降, 生产井巷中的空气压力必然也下降, 瓦斯积存区的空气压力会高出风流的压力, 积存区的瓦斯就会更多地泄入风流, 使矿井的瓦斯涌出量增大; 反之, 矿井的瓦斯涌出量就变小。例如峰峰羊渠河一矿1971年7月实测情况: 27日大气压力为733.5毫米水银柱, 矿井的绝对瓦斯涌出量为11.61米³/分; 30日大气压力升高至745毫米水银柱, 矿井的绝对瓦斯涌出量减少为8.06米³/分。

地面大气压力降低引起矿井瓦斯涌出量的增加, 是日常瓦斯管理工作中应当十分重视的问题, 如果管理不善, 就可能造成事故。例如, 英国在1868—1872年5年间, 在990次瓦斯爆炸事故中, 有51.6%是在地面大气压力下降时发生的。为了加强瓦斯管理, 应通过观测, 掌握本矿大气压力变化与矿井瓦斯涌出情况变化的规律, 例如随气压变化瓦斯涌出量变化较大的地点和波动幅度, 季节和气候对瓦斯涌出量的影响等。以便有针对性的加强瓦斯检查与机电设备的管理, 合理地控制风流或采取其他相应措施, 以防瓦斯事故。

2. 开采技术因素

1) 开采规模。开采规模是指开采深度, 开拓与开采范围以及矿井的产量而言。开采深度越大, 煤层的瓦斯含量越高, 一般瓦斯涌出量也就越大; 在相近似的瓦斯赋存条件下, 开拓与开采范围大产量高的矿井、水平或采区, 其绝对瓦斯涌出量就比开拓与开采范围小产量低的为大, 而相对瓦斯涌出量往往差异不大。故在同一煤田内的若干矿井, 当瓦斯地质条件变化不大, 即使矿井生产能力不同, 但在同一水平开采时, 其瓦斯等级一般相差不大。

对某一生产矿井、水平或采区, 在生产工艺和瓦斯赋存条件基本不变的情况下, 随着产量的增减, 有些矿井, 其绝对瓦斯涌出量有明显的增减, 而相对瓦斯涌出量的变化则不甚明显。例如, 表9—1和表9—2所列开滦林西矿八水平和唐山矿对角通风系统所负担的采区的产量和瓦斯涌出情况。林西矿八水平11年间尽管产量增长近10倍, 相对瓦斯涌出量一直维持在1.0~1.5米³/吨; 唐山矿尽管1970年9月1日高产日比8月份平均日产量增加了46.7%, 其绝对瓦斯涌出量增加了47.8%, 而相对瓦斯涌出量增加却不足1%。

表9—1

时 间	59年7月	60年7月	63年7月	65年7月	68年7月	70年7月
月 平 均 日 产 量 (吨)	540	632	2352	3494	4354	5189
绝对瓦斯涌出量(米 ³ /日)	619	972	3644	3982	4263	5860
相对瓦斯涌出量(米 ³ /吨)	1.15	1.55	1.55	1.14	0.98	1.13

表9—2

时 间	70年8月份 平 均	70年9月份 平 均	70年9月1日 高 产 日
产量(以8月份平均日产为100%)	100%	113.8%	146.7%
绝对瓦斯涌出量(米 ³ /分)	27.2	31.0	40.2
相对瓦斯涌出量(米 ³ /吨)	5.80	5.85	5.83

有些矿井则不是这样, 高产时, 绝对瓦斯涌出量增加不甚明显, 而相对瓦斯涌出量却有显著地下降。例如抚顺龙凤矿, 1970年9月份平均月产比8月份增加49%, 绝对瓦斯涌出量仅增加7.5%, 相对瓦斯涌出量却下降了33.4%。

一般说来, 当矿井开采具有一定规模后, 如果矿井涌出的瓦斯主要来源于采落的煤炭, 产量变化时, 对绝对涌出量的影响较对相对涌出量的影响为显著; 如果瓦斯主要来源于采空区或煤壁, 产量变化时, 绝对涌出量起伏量较小, 而对相对涌出量则有显著的影响(详见本节之二——矿井瓦斯来源的分析)。各矿井应根据各自的具体条件, 通过统计分析, 找出产量与涌出量间的变化规律, 以便组织高产时或扩建时恰当地配风, 确保安全生产。

2) 开采顺序与开采方法。首先开采的煤层(或分层), 除其本煤层(或本分层)瓦斯涌出外, 邻近层(或其他分层)的瓦斯也要通过裂隙渗透出来, 因此瓦斯涌出量就增大。表9—3是辽源厚煤层各分层回采工作面的瓦斯涌出情况, 其中第一分层的涌出量为第四分层

表9—3

人 工 分 层	全煤层平均	1	2	3	4
瓦斯涌出比率(%)	100	180	103	70	47

四倍。在采空区丢失煤炭多回收率低的采煤方法的采区，瓦斯涌出量大；顶板管理采用陷落法比充填法能造成顶板更大范围的破坏与松动，瓦斯涌出量也就比较大；回采工作面周期来压时，瓦斯涌出量会大大增加。据焦作矿务局焦西煤矿资料，周期性来压比正常生产时，其瓦斯涌出量增加50~80%。

3) 生产工艺过程。同一工作面，一般在放炮或截煤时的瓦斯涌出量最高。表9—4和表9—5是辽源矿务局掘进工作面和焦作矿务局焦西矿回采工作面生产工艺不同时的瓦斯涌出量。

表9—4

工 序	支 架	打 眼	放 炮	装 煤	交 接 班
瓦斯涌出量 (倍数关系)	1.00	1.00~1.00	1.55~1.65	1.30~1.40	0.80~0.90

表9—5

工 序	正常生产时	放 炮	放 顶	移溜子清底
瓦斯涌出量(倍数关系)	1.00	1.50	1~1.20	0.80

4) 通风压力。通风压力对矿井瓦斯涌出量的影响，在道理上和大气压力对瓦斯涌出量的影响是一样的，但表现形式不同。抽出式通风的矿井，瓦斯涌出量随矿井通风压力（负压）的提高而增加。表9—6是辽源太信一井1954年实测值。压入式通风的矿井，瓦斯涌出

表9—6

时 间 (月)	1	2	3	4	5
矿井通风压力 (毫米水柱)	170	165	150	140	130
瓦斯涌出量 (米 ³ /分)	22.57	21.9	21.6	20.9	19.61

量随矿井通风压力（正压）的降低而增加。

5) 已采区的管理。如果已采区的密闭质量不好，或其进、回风两侧的通风压力差过大，就会造成采空区大量漏风而把更多的瓦斯带出来。如图9—2，当矿山压力增大时，密闭1.2及其附近煤柱被压裂。如不及时修理，密闭区内的瓦斯就会透过密闭或煤柱涌出。

综上所述，影响矿井瓦斯涌出量的因素是多方面的。由于各矿的条件不同，诸因素的影响程度也不

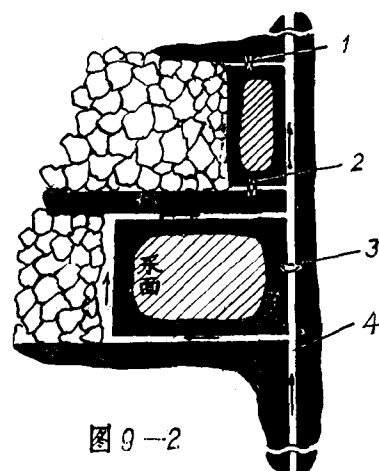


图9—2

1.2—密闭；3—风门；
4—上山眼。

同,但总有几种因素是主要的,对主要影响因素,要下力量找出其规律性,以便有针对性地采取控制和防范措施。

二、矿井瓦斯来源的分析

每一个生产矿井,不仅要掌握影响瓦斯涌出量的主要因素和涌出量之间的变化规律,而且也要弄清矿井瓦斯涌出来源的分布情况,了解其数量和比例关系,这对矿井通风和瓦斯管理也是十分必要的。

查定矿井瓦斯来源的方法,要根据矿井的具体条件和需要而定。一般是将矿井的瓦斯涌出来源分为回采区(包括回采工作面的采空区)、掘进区和已采区三部分。其测定方法是同时测定全矿井的、各回采区的和各掘进区的绝对瓦斯涌出量,并以全矿井的绝对瓦斯量为百分之百,各回采区绝对涌出量之和对矿井绝对涌出量之比值即为回采区涌出量的百分比,同理可求出掘进区的百分比,从矿井绝对涌出量中减去回采区和掘进区涌出量之和,即为已采区的涌出量。对某一回采区或掘进区测定其绝对涌出量,可分别在其进、回风流中测得瓦斯浓度和通过的风量,回风与进风绝对瓦斯量的差值即为该区的绝对瓦斯涌出量。

回采区瓦斯涌出量的大小,主要取决于煤体、围岩以及邻近层的瓦斯含量,工作面产量和范围,煤体的破碎程度及其在工作面的存留时间,工作面采空区的大小以及采区通风状况等。掘进区瓦斯涌出量的大小,主要取决于煤体和围岩的瓦斯含量与透气性,采准巷道的多少以及掘进地点是否在瓦斯富集带等。已采区的瓦斯涌出量大小,主要取决于采空区范围大小和其中丢煤的多少,顶板管理方法,邻近层的分布及其瓦斯含量以及采空区的密闭质量等。

表9—7列出我国一些矿井的瓦斯来源情况。

表9—7

矿务局	矿 井	回 采 区 (%)	掘 进 区 (%)	已 采 区 (%)	备 注
抚 顺	龙 凤	30.1	65.2	4.7	1952至1954年平均值,在此期间用巷道法抽瓦斯
重 庆	天府一井	27.5	18.6	53.9	1955年7月至56年5月的平均值
鸡 西	滴道四坑	24.0	20.5	55.5	1956年资料
鹤 壁	梁 塔 矿	30.0	40.0	30.0	1961年至64年的平均值
阳 泉	二 东 矿 四尺井	58.15	18.15	23.70	1971年至72年平均值

由上表可见,各矿井的瓦斯来源情况有很大差别。同一个矿井,建设初期瓦斯主要来自掘进区,当矿井达到设计产量后,回采区涌出瓦斯即占有较大的比重,随着生产年限的增长,已采区面积越来越大,其瓦斯涌出的比重也随之加大,因此老矿井应重视对已采区的瓦斯管

理。表 9—8 是辽源矿务局对该局所属矿井在不同时期的瓦斯来源统计。

表9—8

地 点	不同时期 比例(%)	建井和重点开拓期	达到设计产量后	矿井生产后期
回 采 区		0~20	20~35	35~20
掘 进 区		100~65	65~30	30~10
已 采 区		9~15	15~30	35~70

各矿应根据瓦斯涌出来源的不同，采取相应的措施以减少涌向生产巷道的瓦斯量，或重点管理，保证安全生产。有些邻近层瓦斯含量比较大的矿井，还要进一步查定本煤层和邻近层在回采工作面总瓦斯涌出量中所占的比例，以便采取相应措施，例如阳泉四矿四尺煤本煤层瓦斯只占工作面总瓦斯涌出量的20~30%，而顶板邻近层却占75~80%；包头五当沟G₂煤层205工作面，本煤层瓦斯只占9.3%，上邻近层占74.4%，下邻近层及其他占10.1%，针对这种情况，上述两个矿井对上邻近层的瓦斯进行了抽放，都取得了很好的效果。

三、矿井瓦斯等级鉴定

在《规程》第150条中规定：“在一个矿井中，只要有一个煤层发现过一次沼气（不论其中有多少层是无沼气的煤层），该矿井就必须依照瓦斯矿井的工作制度来管理。各矿务局革委会必须在全年瓦斯变化较大的一个月组织进行矿井瓦斯等级鉴定工作，并将结果报省（区）管理局审批。瓦斯矿井的等级，根据沼气含量最大的煤层日产一吨煤涌出的沼气体积确定，分为四级”。（见第二章）

按照上述规定，矿井瓦斯等级鉴定工作一般如下进行：

1. 鉴定的时间，根据当地气候条件，选定矿井绝对瓦斯涌出量变化较大的月份进行，一般在7月或8月。

在鉴定月的月初、月中、月末各找产量正常的一天进行鉴定工作（一般取5日、15日、25日三天）。每天按早、中、晚三班进行测定，测定前必须作好组织分工和仪器校正等准备工作。

2. 鉴定内容和测点的选定。为掌握整个矿井以及各生产水平和各煤层的瓦斯涌出情况，鉴定内容包括矿井的、水平的和煤层的相对瓦斯涌出量。如果是多井口，需要对各独立通风系统分别鉴定。为此测点应布置在每一通风系统的主扇风峒内（也有在主扇扩散器上口），以及各水平的各煤层回风道测风站内。

3. 测定内容。在每一测定地点均需测定如下内容：通过回风道的风量、风流的瓦斯浓度、二氧化碳浓度以及风流的温度。为准确起见每班要测三次，取三次的平均值作为本班测定结果。测定记录可记入表9—9中。

测定二氧化碳浓度，也是为了求出每一通风系统、各煤层的吨煤二氧化碳涌出量，因为它虽不是瓦斯矿井等级划分的标准，但它和沼气一样也是矿井风量计算的依据（《规程》第

地点_____

时间_____

表9—9

项 目	风量 (米 ³ /分)	瓦斯浓度 (%)	二氧化碳浓度(%)	温度 (°C)
第 一 次				
第 二 次				
第 三 次				
平 均				

115条)。测定温度用于风量校正。

4. 测定记录的整理

1) 将每一测定地点月初、月中、月末三天每天三班的测定结果, 分别填入表9—10中:

矿_____测定地点_____年____月_____表9—10

旬 别	月 日	班 次			早 班			中 班			晚 班			平均绝对瓦斯涌出量Q _瓦 (米 ³ /日)	
		项 目			风 量	CH ₄	CO ₂	风 量	CH ₄	CO ₂	风 量	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
					(米 ³ /分)	(%)	(%)	(米 ³ /分)	(%)	(%)	(米 ³ /分)	(%)	(%)		
上															
中															
下															

表中三班平均绝对瓦斯涌出量按下式计算:

$$Q_{\text{瓦}} = \frac{Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + Q_3 C_3}{3 \times 100} \times 60 \times 24 \quad \text{米}^3/\text{日} \quad (9-2)$$

式中 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 为昼夜三班测得的风量, 米³/分;

C_1 、 C_2 、 C_3 为昼夜三班测得的沼气或二氧化碳的浓度, %。

2) 将矿井各通风系统、各水平和各煤层的每一鉴定地点的三天鉴定结果汇总列入表9—11。

表中的相对瓦斯涌出量, 是取三天中最大的沼气 (或二氧化碳) 绝对涌出量被该区域月平均日产量来除获得的。

求出每一通风系统、每一水平和每一煤层不同区域的相对瓦斯涌出量后, 按分级标准找出相应的瓦斯等级。

5, 矿井瓦斯等级的确定。依各煤层中瓦斯相对涌出量最大的定为矿井的瓦斯等级。其余煤层的鉴定结果, 可供作矿井日常通风瓦斯管理以及分析瓦斯变化规律的参考。

据不完全统计, 我国煤矿1972年瓦斯等级鉴定情况 (包括部分地方煤矿在内) 列入表9—12。在超级瓦斯矿井中, 有17个坑口的相对瓦斯涌出量超过50米³/吨, 其中南桐矿务局南

桐二井，辽宁省烟台煤矿东七坑，六枝矿务局凉水井，阳泉二矿东四尺坑的相对瓦斯涌出量

表9—12

瓦 斯 等 级	一 级	二 级	三 级	超 级
占统计矿井总数的百分比(%)	45.79	17.91	11.21	25.07

都在80米³/吨以上。

四、矿井相对瓦斯涌出量的预测

新矿井或生产矿井的新水平或新区，需要预先掌握其瓦斯涌出状况（目前以其相对瓦斯涌出量为标准），做为设计的依据。这种在新矿井或新水平或新区开发以前，按照一定方法，预先获得该区域的相对瓦斯涌出量的工作，称为矿井相对瓦斯涌出量的预测。

目前，预测相对瓦斯涌出量的方法有两类：一是计算法；二是统计法。由于影响矿井瓦斯涌出量的因素很复杂，这两类方法求得的相对瓦斯涌出量都只是近似值，尤其是计算法的误差往往更大。

计算法。此法多用于新矿井的瓦斯涌出量预测，它是在地质勘探过程中，求出煤层的瓦斯含量，然后取各煤层中瓦斯含量最大者乘以一个校正系数，做为该矿井的相对瓦斯涌出量。校正系数，应根据邻近矿井或瓦斯赋存条件与开采条件相近的矿井的瓦斯含量与涌出量的比值，并考虑其他可能的影响因素再加某些修正而确定的。

统计法。目前一些矿井常用的统计法，是以该矿井各不同深度已采水平瓦斯涌出的大量实测资料，通过分析整理，找出相对瓦斯涌出量与开采深度的比例关系，并以此为依据推算该矿井各待开发水平的相对瓦斯涌出量。

下面简述运用统计法的步骤：

1. 资料整理。将矿井历年生产过程中积累的瓦斯涌出量实测资料，按其对应的不同开采深度分别整理出来。表9—13是抚顺矿务局龙凤矿和老虎台矿的统计资料。表中的开采深

表9—13

龙 凤 矿		老 虎 台 矿 东 部	
开 采 深 度 (米)	相对瓦斯涌出量 (米 ³ /吨)	开 采 深 度 (米)	相对瓦斯涌出量 (米 ³ /吨)
200	12.6	235	5.8
320	25.7	272	8.3
370	28.8	320	13.6
410	33.0	370	12.7
500	41.5	430	14.5

度为矿井平均开采深度，可用下式计算：

$$H = \frac{\sum hT}{\sum T} \text{ 米} \quad (9-3)$$

式中 H ——全矿井平均开采深度，米；

h ——各水平（或区域）开采深度，米；

T ——各水平（或区域）平均日产量，吨。

2. 以矿井平均开采深度为横座标，矿井相对瓦斯涌出量为纵座标，作出涌出量随深度变化的曲线。图9—3是以表9—13龙凤矿的数据作出的。图中各点通常呈条带状分布，通过

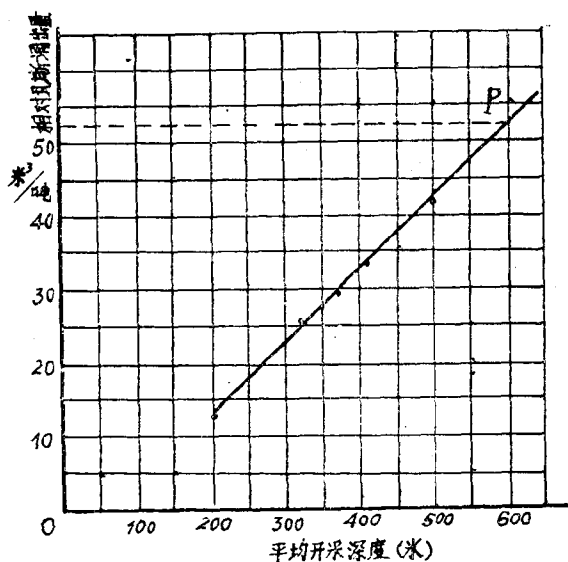


图9—3

这个条带的中心即可画出相对瓦斯涌出量随深度变化的关系线。这个关系线一般在浅部变化较缓且规律性差，达到一定深度后才近似呈直线变化。这是因为浅部煤层中的瓦斯容易逸入大气，大气中的氧气和氮气也能进入煤层，造成浅部煤层含有较多的二氧化碳和氮气，瓦斯则较少或不存在，通常将这一地带叫瓦斯风化带，把关系线开始呈直线变化的深度叫瓦斯风化带的下限深度。瓦斯风化带下限深度确定的方法有两种，一是相当于瓦斯涌出量为2~3米³/吨处的深度，如开滦赵各庄矿即以此法确定；二是以煤层放出气体中甲烷浓度为80%时的深度来确定，抚顺龙凤矿便是采用此法。

关系线作出后，将其外延，即可预推

出深部的瓦斯涌出量，以图9—3为例，如欲知开采深度为600米处的相对瓦斯涌出量，即可在横座标600米处作平行于纵座标的直线，和关系线相交于P点，此点所对应的52米³/吨，就是预计的新水平生产时的相对瓦斯涌出量。

3. 求瓦斯梯度值。既然相对瓦斯涌出量与开采深度呈近似直线的变化，其比例常数必为定值。习惯上把这一比例常数，即瓦斯涌出量每增加1米³/吨时深度增加的米数，称为瓦斯梯度，可通过下式求得：

$$\alpha = \frac{H_2 - H_1}{q_2 - q_1} \text{ 米/米}^3/\text{吨} \quad (9-4)$$

式中 α ——瓦斯梯度，米/米³/吨；

H_1 、 H_2 ——瓦斯风化带以下任意两个深度，米；

q_1 、 q_2 ——对应于 H_1 、 H_2 深度的相对瓦斯涌出量，米³/吨。

以图9—3为例： $H_2 = 400$ 米， $q_2 = 32.3$ 米³/吨， $H_1 = 200$ 米， $q_1 = 12.6$ 米³/吨，则 $\alpha = 10$ 米 米³/吨，即说明抚顺龙凤矿，在瓦斯风化带以下，垂深每增加10米，相对瓦斯涌出量增加1米³/吨。

瓦斯梯度，对某一矿区，一般在不大的范围内是比较稳定的，因此若某矿井的瓦斯梯度

α ，瓦斯风化带下限深度 H_0 及其相对涌出量 q_0 为已知，即可按下式计算出该井田某一深度 H 处的预计相对瓦斯涌出量 q ：

$$q = \frac{H-H_0}{\alpha} + q_0, \quad \text{米}^3/\text{吨}. \quad (9-5)$$

如已知 $H_0 = 300$ 米， $\alpha = 30$ 米/米³/吨， $q_0 = 3$ 米³/吨，新水平的设计开采深度 $H = 450$ 米，通过公式(9-5)计算出 $q = 8$ 米³/吨，即新水平投产后，该水平的相对瓦斯涌出量预计为8米³/吨。

表9-14列出一些矿井的瓦斯梯度及瓦斯风化带的下限值。

表 9—14

由于影响瓦斯涌出量的因素是多方面的，在进行预测时，需考虑新区、水平的地质构造、煤质情况、顶底板岩性变化、矿田的开发史和开采技术等因素，做相应的修正，并在生产过程中根据实际情况进行必要的调整。有的矿井根据煤田范围内的大量统计资料，做出象底板等高线那样的等瓦斯梯度线，并依此外推，可获得较精确的预测值。对那些地质条件变化大，煤层埋藏不稳定的煤田，以及待开发的新煤田，如何能取得可靠的预测值，仍然是一个有待解决的课题。

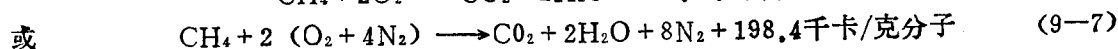
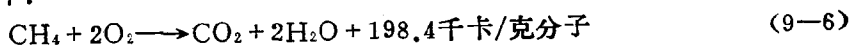
矿 井	瓦斯风化带 下限 (米)	瓦 斯 梯 度 (米/米 ³ /吨)
开滦赵各庄矿	485	29
焦作焦西矿	90	15
抚顺龙凤矿	200	10
辽源西安矿	131	8.2
阳泉四矿七尺煤	50	27

第三节 瓦斯爆炸及其预防

一、瓦斯的爆炸性

瓦斯爆炸是煤矿主要灾害之一，国内外已有不少由于瓦斯爆炸造成大量人员伤亡和严重破坏生产的惨痛教训。我们必须很好地掌握瓦斯爆炸的发生、发展规律及其预防措施，杜绝此类事故，确保安全生产。

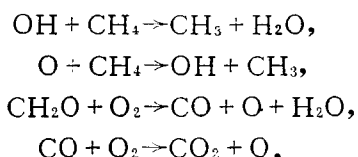
所谓瓦斯爆炸，就是一定浓度的甲烷和空气中的氧在引火源的作用下产生激烈的氧化反应，其化学反应式如下：



瓦斯爆炸是一个很复杂的化学反应过程，上式只是反应的最终结果。

近年来，很多人认为瓦斯爆炸是一种链式反应（有的叫链锁反应）。当爆炸混合物吸收一定能量（通常是引火源给予的热能）后，反应分子的键即行断裂，离解成两个游离基（也叫自由基）。这种最初生成的游离基就成为整个反应的活化中心。一个游离基进一步反应就会再产生两个游离基，这种迅速反应的结果，即酿成爆炸。对这一复杂的反应，曾有不少人提出不同的反应过程，现只举一个例子来说明。 CH_4 吸收能量后离解成 CH_3 和 H 两个游离基。

CH_3 与 O_2 反应生成 CH_2O 和 OH ($\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{OH}$) 两个新的游离基; 同时 H 和 O_2 反应生成 OH 和 O ($\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{O}$) 两个新的游离基。这些新游离基的进一步反应如下:



如此迅速发展构成链式反应。其最终产物则是 CO_2 和 H_2O 〔如公式(9—6)所示〕。如果氧不足, 反应不完全时尚有 CO 。

以上链式反应过程, 虽然还是一种假说, 但由于采用近代的检查方法, 在甲烷的爆焰中检查到 O 、 OH 、 CH_3 、 CH_2O 、 CO 等游离基的大量存在, 这种爆炸的链式理论已被更多的人所接受。

由(9—7)式可知, 要使一个体积的 CH_4 完全反应, 必须具有10个体积的含 O_2 20%的空气, 所以瓦斯爆炸的最完全反应是当井下空气中含甲烷为 $1 / \left(1 + 2 \times \frac{100}{20} \right) = 9.1\%$ 时。

如果是在新鲜空气(含 O_2 21%)中, 即应为 $1 / \left(1 + 2 \times \frac{100}{21} \right) = 9.5\%$ 。

有人在空气中瓦斯浓度为9.5%条件下测定过爆炸时的瞬时温度, 在自由空间内可达 1850°C ; 在封闭空间内最高可达 2650°C ; 井下巷道呈半封闭状, 其爆温将在 1850°C 以上。

由于爆炸时气体温度骤然升高, 必然引起气体压力的突然增大。在容积固定的条件下, 爆炸前后的气体压力关系可用下式表示:

$$P_1 = P_0 (273 + t_1) / (273 + t_0) \quad (9-8)$$

式中: P_0 和 t_0 —爆炸前混合气体的压力(大气压)和温度($^\circ\text{C}$);

P_1 和 t_1 —爆炸后混合气体的压力(大气压)和温度($^\circ\text{C}$)。

假设爆炸前 $P_0 = 1$ 大气压, $t_0 = 15^\circ\text{C}$, 爆炸后的温度 $t_{1\text{封闭}} = 2650^\circ\text{C}$ 或 $t_{1\text{自由}} = 1850^\circ\text{C}$, 代入上式, 则可求出 P_1 分别为10.2和7.4大气压, 其平均值约为9个大气压, 即在理想条件下爆炸后的压力约为爆炸前的9倍。事实上不可能这样高, 但当发生瓦斯连续爆炸时, 其第二次爆炸的初始压力有时会高出正常大气压力, 这就会越爆越猛, 出现很高的冲击压力。

爆炸时产生的高温高压, 促使爆源附近的气体 and 爆炸火焰以极高的速度(可达每秒几百米甚至数千米)向外冲击, 这对安全生产有很大危害: 造成人员伤亡; 破坏巷道及有关设施与设备; 扬起大量煤尘使之参与爆炸产生更大的破坏力; 并可能引燃坑木等可燃物造成火灾。

爆炸发生时, 由于爆源附近气体高速向外冲击, 加之爆炸生成的一部分水蒸汽很快凝聚, 就会在爆源附近形成气体稀薄的低压区, 致使被爆炸冲出的气体连同爆源外围的气体, 在爆炸发生后, 又以高速反向冲回爆源地, 这种反向冲击的力量虽较正向冲击的力量为弱, 但因其沿已遭破坏的区域反冲, 故其破坏性往往更大。如果反向冲击的空气中含有足够的瓦斯和氧, 而爆源附近的火源尚未消失, 或有因爆炸而产生的新火源的存在, 又可能造成第二次爆炸, 例如1940年日本帝国主义侵占我国东北时期, 抚顺龙凤矿曾在一昼夜发生过43次的瓦斯连续爆炸事故。

瓦斯爆炸的另一个危害, 就是爆炸后生成大量的有害气体。某些煤矿分析瓦斯爆炸后的气体成分为: $\text{O}_2 = 6 \sim 10\%$, $\text{N}_2 = 82 \sim 88\%$, $\text{CO}_2 = 8 \sim 4\%$, $\text{CO} = 4 \sim 2\%$ 。爆炸后的

气体中氧含量大为减少，并出现大量一氧化碳，特别是当有煤尘参与爆炸时，一氧化碳的生成量更大，这往往是造成人员伤害的主要原因。

二、瓦斯爆炸的条件及其影响因素

瓦斯爆炸必须具备三个条件：一定浓度的甲烷，一定温度的引火源和足够的氧。现分述如下：

1. 瓦斯浓度

根据热爆炸理论，瓦斯爆炸之所以产生，是瓦斯氧化反应剧烈发展的结果。每16克甲烷完全氧化时，能放出198.4千卡的热量。如果生成的热量超过周围介质的吸热和散热能力，即形成热量的积聚，促使氧化进一步迅速发展就会酿成爆炸；如果参与氧化反应的物质较少，氧化生成的热量易于为周围介质所吸收，就不会形成爆炸。当新鲜空气中含有9.5%的瓦斯时，遇有火源，混合气体中的全部氧和瓦斯都将参加化学反应（此时其参与反应的物质为最多）。瓦斯浓度低于9.5%时，会出现过剩的氧，而高于9.5%时，又会出现过剩的瓦斯，在这两种情况下，参与反应的物质都比9.5%时为少。当反应物质少到一定程度时，即不会产生爆炸。因此瓦斯爆炸是有一定的浓度范围的，这个浓度范围称为瓦斯爆炸界限，其最低浓度界限叫爆炸下限，最高浓度界限叫爆炸上限。在新鲜空气中瓦斯爆炸界限一般为5~16%，5%为下限，16%为上限。

当瓦斯浓度低于5%时，遇火不爆炸，但能在火焰外围形成燃烧层，此燃烧层呈浅兰或淡青色；浓度高于16%时，在混合气体内遇有火源不爆炸也不燃烧，但如有新鲜空气由外部供入时，即可在混合气体与新鲜空气的接触面上进行燃烧。

瓦斯的爆炸界限，并不是固定不变的。

当有可燃性气体混入时，能增加瓦斯爆炸的危险性。表9—15列出矿内常见的几种可燃

表9—15

气体名称	化学符号	爆炸下界 (%)	爆炸上限 (%)
甲 烷	CH ₄	5.00	16.00
乙 烷	C ₂ H ₆	3.22	12.45
乙 烯	C ₂ H ₄	2.75	28.60
氢	H ₂	4.00	74.20
一氧化碳	CO	12.50	75.00
硫 化 氢	H ₂ S	4.30	45.50

性气体的爆炸界限。当瓦斯混合气体中混入某些可燃性气体时，不仅增加了爆炸性气体的总浓度，而且会使瓦斯爆炸的界限发生变化。当井下发生火灾时，在高温的作用下，瓦斯和其他可燃性气体的生成和涌出量必然明显增加，即使平时瓦斯涌出量很小的矿井，也有发生爆炸的可能，应予以警惕。

当矿井空气中含有煤尘时，也会使瓦斯的爆炸下限降低，增加爆炸的危险性。

惰性气体混入，可以降低瓦斯爆炸的危险性。少量加入可缩小其爆炸界限，多

量混入甚至能使瓦斯混合气体失去爆炸性。例如在CH₄的爆炸性气体中加入25.5%的CO₂或36%的N₂，无论CH₄浓度多大都不会发生爆炸。基于这种情况，近年来有人从事抑制瓦斯爆炸的阻化剂的研究，试验表明，加入少量某些阻化剂即能使瓦斯失出爆炸性。例如加入5.4%二溴二氟甲烷(CF₂Br₂)或6%的一溴三氟甲烷(CF₃Br)即可实现。

此外，混合气体的初温(爆前混合气体的温度)越高，爆炸界限就越扩大。例如有人在实验室中进行过如下试验：当初温20℃时，爆炸界限为6.0~13.4%；100℃时为5.45~13.5%，700℃时为3.25~18.75%。所以，当矿井发生火灾或爆炸时，高温会使原来不具备爆炸条件的瓦斯发生爆炸，应予以注意。

2. 引火温度

瓦斯爆炸的第二个必要条件是高温火源的存在。通常把点燃瓦斯所需的最低温度叫引火温度。瓦斯的引火温度一般认为是650~750℃。明火、煤炭自燃、电气火花、赤热的安全灯网罩、吸烟，甚至撞击或摩擦产生的火花等，都足以使瓦斯引燃。

由于瓦斯的热容量较大(约为空气的2.5倍)，当其遇火后并不立即发生反应。即需要迟延一个很短的时间后才爆炸或燃烧。这种现象称为延迟引火现象，其延迟引火的时间称为感应期。这种现象对煤矿的安全生产有着重要作用。因为使用安全炸药进行爆炸时，即使爆温能高达两千度左右，但由于爆焰存在的时间极短(通常仅为千分之几秒)，也不致将附近的瓦斯引爆。但如果炸药质量不合格或炮泥充填不当时，会使爆焰停留时间延长，超过其感应期，造成事故。在实验室试验获得的感应期与瓦斯浓度和引火温度的关系详见表9—16。

表 9—16

感应期 瓦斯浓度(%) 火源温度 (秒) (°C)	700	725	750	775	825	925	1025
4	8.2	3.6	2.4	1.4			
6	10.2	4.3	2.6	1.5	0.62	0.21	0.07
8	14.0	5.2	3.0	1.6	0.67	0.25	0.08
10		6.3	3.5	1.75	0.72	0.26	0.09
12		7.9	4.1	1.90	0.77	0.27	0.09

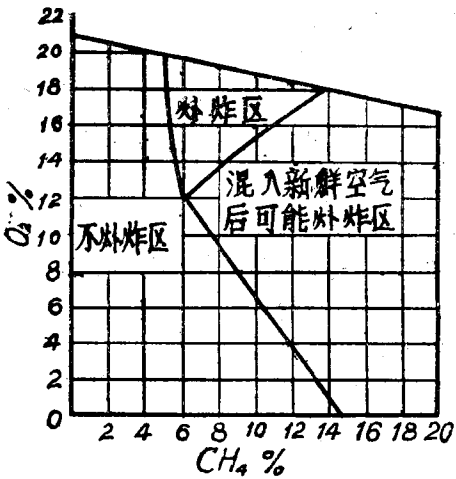


图 9—4

如果混合气体中混入某些气体或气体压力增大时，会使感应期缩短，甚至完全消失。例如，在瓦斯中加入0.5%的CH₂O(甲醛)或0.32%的NO₂时，感应期即完全消失。甲醛是瓦斯氧化过程的中间产物，NO₂在爆破后的炮烟中多量存在，再加上爆破冲击波对气体冲击作用，并下放炮时，瓦斯的实际感应期将比表9—16所列的时间为短。

3. 氧的浓度

据实验得知，当含瓦斯的混合气体中氧浓度降低时，瓦斯的爆炸界限随之缩小，当氧浓度低于12%时，瓦斯混合气体即失去爆炸性，遇火也不会爆炸。这种关系如图9—4所示。

由于井下空气中氧浓度不能低于20%，上述关系似乎没有什么实际意义。在密闭区特别是火区内情况却不同，在那里往往积存大量瓦斯，且有火源存在，但因氧浓度很低，并不会发生爆炸，如一旦有新鲜空气供入，氧浓度达到12%以上，就可能发生爆炸。因此对火区应严加管理；在启封火区时，更应格外慎重，必须在火灾确实熄灭后才可进行。

综上所述，虽然一般说来，在新鲜空气中，瓦斯浓度在5~16%时，遇到650~750℃以上的火源才会爆炸，但它受很多因素的影响而在较大的幅度内变化，加上瓦斯涌出的不稳定性，所以《规程》中对井下各地点的瓦斯浓度和可能产生的火源都作了严格限制，以防爆炸事故的发生，这是十分必要的，必须认真执行。

三、矿井中瓦斯爆炸原因的分析

分析瓦斯爆炸的原因多用统计法。常用的方法是按发生地点和引火原因两类分别进行统计，从中发现规律性，以便有针对性地采取预防措施，杜绝事故的发生。

从爆炸发生的地点看：任何地点瓦斯达到爆炸浓度时，遇到火源就会引起爆炸，例如电气设备附近、放炮地点、火区周围、产生摩擦火花以及可能出现明火的地点等，但大部分发生在瓦斯煤层的采掘工作面附近。其中又以掘进工作面为多。据统计，瓦斯燃烧或爆炸事故发生在掘进工作面的约占三分之一左右。

掘进工作面较易发生爆炸的原因，一方面是这些地点采用局扇供风，如果局扇停止运转、风筒末端距离工作面较远、风筒漏风太大或局扇供风能力不够，送达掘进工作面的有效风量不足，不能将掘进工作面附近产生的瓦斯及时冲淡与排出，导致瓦斯积存而达爆炸浓度；另一方面是煤巷掘进多用电钻打眼、电局扇供风、经常放炮，如果电气设备防爆性能不良，局扇不按规程要求启闭，或放炮不合规定，就容易产生引火源——电火花和爆破火焰。

回采工作面较易发生瓦斯爆炸的地点是工作面的上隅角，如图9—5所示。这是由于采空区内常积聚瓦斯，瓦斯比重小（为0.554），能沿倾斜向上移动，有些瓦斯就从上隅角附近逸散出来；其次，上隅角处往往是采空区漏向工作面的漏风风流的主要出口，漏风中从采空区带出较多的瓦斯；此外，上隅角处风流直角拐弯，靠近采空区边角处的瓦斯不易排出，这就导致瓦斯在上隅角附近较易积存。而上隅角附近往往设置有回柱绞车等机电设备，另外这一带的采煤工作面煤体在集中压力作用下变得酥松，而且自由面较多，放炮时易出虚炮，因此产生火源的机会也较多。

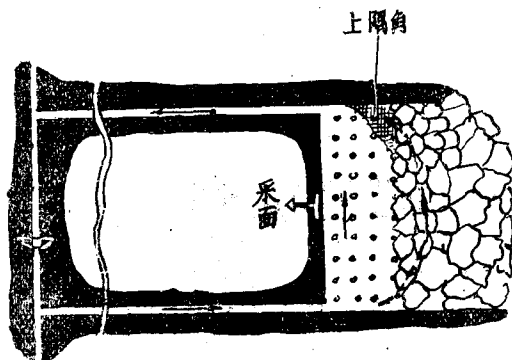


图 9—5

从爆炸的引火原因来看：主要是机电设备不符合要求和放炮、吸烟、火灾等出现的明火。表9—17列出美国煤矿1952~1961年十年间所发生的209次瓦斯爆炸事故的原因统

表 9—17

引 爆 原 因	事故次数 (次)	所占百分 比 (%)
机电设备不良	74	35.4
截齿摩擦火花	41	19.6
放 炮 不 善	37	17.7
明 火 或 吸 烟	35	16.8
火 焰 安 全 灯	8	3.8
井 下 火 灾	4	1.9
固定照明设备	1	0.5
原 因 不 明	9	4.3
总 计	209	100.0

计。

另据统计，瓦斯涌出量小的矿井发生的瓦斯爆炸，往往比瓦斯涌出情况严重的矿井更多些，其原因就是放松了管理、失去警觉所造成。

四、预防瓦斯爆炸的措施

我国广大煤矿职工，在党的安全生产方针指导下，在生产实践中积累了丰富的预防瓦斯爆炸的宝贵经验，有着很多行之有效的措施，归纳起来主要有以下三个方面：防止瓦斯积聚、防止瓦斯引燃和防止瓦斯灾害事故的扩大。

1. 防止瓦斯积聚

1) 通风措施是预防矿井瓦斯爆炸的主要手段。即保证矿井的有效通风，使井下采掘工作面和生产井巷中的瓦斯浓度符合《规程》要求。一方面要保证井下所有工作地点有足以把瓦斯冲淡到

安全浓度的风量；另一方面还必须要有足以驱散涌出瓦斯的风速，防止在顶板形成瓦斯层，英国在1954年曾对过去20年的重大瓦斯煤尘爆炸事故进行了分析，发现这些事故几乎都不是因为风量不足，而是因为风速太小，在巷道顶板附近形成达到爆炸界限的瓦斯层所引起的，这是一个应当引起重视的问题。

2) 及时处理局部积存的瓦斯。生产中易于积存瓦斯的地点常有：回采工作面上隅角、顶板冒落空间、风速不够时巷道的上顶（形成瓦斯层）、停风的盲巷、回采工作面采空区边界处以及截槽中等处。处理局部积存瓦斯，是矿井日常瓦斯管理工作的重要内容，也是预防矿井瓦斯爆炸事故的关键性工作，通常采用的主要方法是向瓦斯积存地点加大送风量或提高风速将瓦斯冲淡并排走，有时也采取局部抽放瓦斯的措施。

(1) 回采工作面上隅角积存瓦斯的处理。图 9—6 至 9—10 介绍一些因地制宜的有效措施。

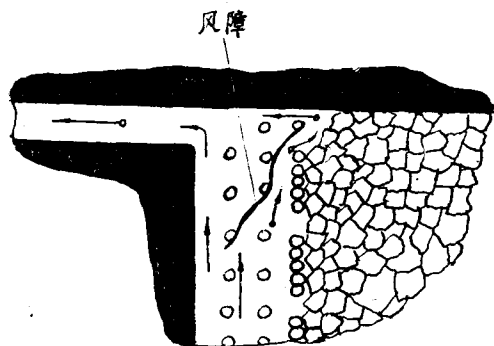


图 9—6

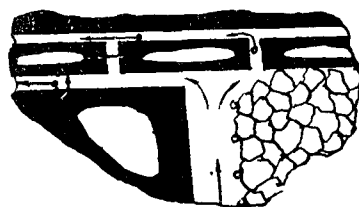


图 9—7