

汪东生 著

采掘工作面瓦斯防治工程

实践及研究

 煤炭工业出版社

采掘工作面瓦斯防治工程 实 践 及 研 究

汪东生 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

采掘工作面瓦斯防治工程实践及研究/汪东生著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2012

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4067 - 3

I. ①采… II. ①汪… III. ①煤矿开采 - 采煤工作面 - 瓦斯
爆破 - 防治 - 研究 IV. ①TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 112874 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 880mm × 1230mm^{1/32} 印张 6^{3/4}

字数 180 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 6890 定价 21.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前言

瓦斯事故是造成我国煤矿人员伤亡最多、经济损失最大的安全事故之一，发生较为频繁，严重威胁着矿井的安全生产。长期以来，煤炭行业的领导、专家、学者和工程技术人员在此方面做了大量的工作、研究和实践，通过不懈努力使瓦斯事故得到了有效遏制。在煤矿瓦斯防治工作中，应当根据煤层以及含煤岩层的瓦斯地质条件，搜集准确可靠的数据，采取切实可行的瓦斯防治措施，并对矿井瓦斯的风流流场及瓦斯分布进行分析研究。

目前，有关煤矿瓦斯防治技术的专著多见于煤矿生产技术及管理人员、院校教师的案头，其中很多都专注于瓦斯防治理论及成熟技术的论述，如煤与瓦斯突出危险性鉴定、防治煤与瓦斯突出技术、防止瓦斯爆炸技术、瓦斯抽采达标技术、进行瓦斯抽采计量管理、建立矿井避难避险设施等。笔者长期从事煤矿瓦斯、火灾、通风方面的研究，在学习借鉴前人理论和经验的基础上大胆探索，勇于实践，在矿井瓦斯综合防治、深部开采瓦斯涌出规律及防治、矿井监测监控预警、大倾角井巷揭煤防突实践、近距离煤层群立体瓦斯抽采防突实践、小矿区瓦斯抽采利用实践等方面积累了一些经验。结合多年来的工作实践，萌发了编写一本煤矿采掘工作面瓦斯防治专著的想法，经梳理后，现将这些经验、想法汇集成册，以供同行共同学习交流。

由于时间及能力有限，书中疏漏及不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

著 者

2012 年 5 月

目 次

第一章 概述	1
第二章 煤矿瓦斯赋存及涌出规律	5
第一节 煤矿瓦斯赋存规律	5
第二节 煤矿瓦斯涌出规律	11
第三节 煤矿瓦斯赋存及涌出规律实例研究	23
第三章 掘进工作面瓦斯防治	30
第一节 采用通风方式疏排瓦斯	30
第二节 采用区域综合抽采防突措施	33
第三节 采用五步揭煤法穿越煤层	37
第四节 利用高位瓦斯抽采巷预抽煤层瓦斯	52
第四章 采煤工作面瓦斯防治	59
第一节 采用均压调节技术抑制采空区瓦斯渗透	59
第二节 采用瓦斯抽排技术治理采空区瓦斯涌出	66
第三节 采用瓦斯立体抽采防突技术	72
第四节 近距离保护层采煤工作面瓦斯治理技术	80
第五节 采用立体综合防突措施	89
第五章 近距离煤层群瓦斯立体抽采流动规律模拟	94
第一节 近距离煤层群瓦斯立体抽采认证方程	94
第二节 采场瓦斯流动过程的模拟	98
第三节 近距离煤层群瓦斯立体抽采模拟	104

第六章 掘进工作面应力分布规律及突出特点模拟 ·····	122
第一节 掘进工作面力学模型建立·····	122
第二节 煤岩体内应力分布数值模拟结果及分析·····	127
第七章 瓦斯监测监控及预测预报 ·····	141
第一节 瓦斯监测状态的影响因素分析及控制·····	141
第二节 高瓦斯矿井瓦斯超限报警的原因分析 及对策·····	144
第八章 煤矿瓦斯抽采利用——以贵州小矿区为例 ·····	151
第一节 瓦斯赋存情况及抽采可行性分析·····	151
第二节 瓦斯抽采利用存在的问题及对策·····	156
第九章 煤矿瓦斯防治安全管理 ·····	163
第一节 煤矿瓦斯抽采防突管理体系·····	163
第二节 采煤工作面瓦斯防治安全管理·····	170
第三节 掘进工作面瓦斯防治安全管理·····	191
第四节 煤矿瓦斯管理制度·····	203
参考文献 ·····	208

第一章 概 述

在煤矿生产过程中，当采掘活动破坏或扰动了原始地层中的气体平衡时，煤层中的瓦斯就会解吸，向气压较低的空间运移，并进入采空区。瓦斯在运移过程中不仅可能发生煤与瓦斯突出动力现象，而且进入采掘作业空间后，在具备爆炸或燃烧条件时还会发生爆炸或火灾。不仅如此，瓦斯爆炸过程中，往往还会卷扬煤尘混合瓦斯一起爆炸，爆炸强度更大。

如何摸清楚煤矿瓦斯赋存及流动规律，是采取各类瓦斯防治措施的前提和基础，在煤矿采掘过程中，加强通风、完善通风系统是处理瓦斯最有效的方法之一，采取综合防治措施进行瓦斯抽采是防治瓦斯突出的有效手段。具体到采掘工作面瓦斯防治，为防止在生产活动中发生瓦斯突出事故，必须采取加强通风、开采保护层、预抽煤层瓦斯、煤层预先注水等区域性防突措施或采掘工作面瓦斯抽采、钻孔卸压等局部防突措施。为了有效防治采掘工作面瓦斯灾害，国内在加大工作面供风量、研究工作面瓦斯涌出和分布规律以及有效进行瓦斯抽采等方面进行了大量的研究。一般采用加大风量与瓦斯抽采相结合的方法解决工作面瓦斯超限及瓦斯突出问题，并在工作面采用了E、U、W、Y、Y+L及U+L型等多种通风方式。对于高瓦斯综采工作面，国内主要采用3条巷道布置方式，其中两条为工作面巷道，一般沿底板布置；一条为工作面瓦斯尾巷，用于排放瓦斯，一般沿煤层顶板布置。国外发达采煤国家，如美国、澳大利亚，由于一般采用连续采煤机采煤，工作面至少布置4条巷道，对于高瓦斯工作面也主要通过加大供风量和瓦斯抽采保证工作面的高产高效。为安全有效地解决高瓦斯工作面影响生产的问题，必须将巷道布置、加大风量及瓦斯抽排相结合，对工作面瓦斯进行综合治理。

尽管人们对矿井瓦斯赋存、涌出规律，瓦斯灾害危险性及其防治技术等方面进行了长期的研究，这方面的研究成果也颇多。但是，不同矿区、不同煤层的瓦斯赋存状态及分布规律也有各自的特殊性。因此，对不同矿区各开采煤层进行专门的研究，对指导各煤层的进一步延深开采和提高煤炭产量具有十分重要的意义。依据瓦斯赋存规律，随着采深的增加，煤层原始瓦斯含量逐渐增加，相应采掘工作面瓦斯涌出量也会增大。因此，提前进行瓦斯涌出规律和瓦斯防治技术的研究，对将来采掘作业的瓦斯治理也会提供有益的指导。本书在阐述煤矿瓦斯赋存及涌出规律的基础上，探讨了煤矿采掘工作面瓦斯防治的工程实践。

本书第五章建立了近距离煤层群瓦斯立体抽采认证方程，通过建立“以抽为本，立体消突”的防突框架，实现以抽为主要手段，在立体上采取综合防突措施，由“单一平面抽采”变为“立体综合抽采”，从而克服单一防突措施的不足，使得整个煤层群（保护层和被保护层）瓦斯压力与瓦斯含量下降，突出煤层地应力下降，煤层群得到高效安全开采。在煤矿井下，地应力场的作用具有普遍性，无论是突出煤层还是非突出煤层，其上都有地应力作用。研究掘进过程中掘进工作面前方应力场的动态分布，对于预防煤与瓦斯突出事故具有现实的意义，关于此专题的论述见本书第六章。第七章阐述了瓦斯监测监控及预测预报的相关内容。

瓦斯集利害于一身，是煤矿所特有的宝贵资源。在进行瓦斯综合防治的同时，瓦斯还可以作为一种气体能源加以利用，其高热、清洁和环保性等优点是其他能源所无法比拟的。随着煤层瓦斯抽采技术的不断发展，瓦斯抽采已成为工作面瓦斯治理的重要途径。抽采方法已由单一的采前预抽发展为边采边抽、强化抽采、邻近层卸压抽采、采空区抽采等多种方法。实现煤与瓦斯的安全共采，可以充分利用地下资源，减少因瓦斯排放造成的环境污染，从而实现企业的安全生产、新能源供应和环境保护三重效应，获得显著的经济效益和社会效益。我国煤矿企业应从采掘部

署上把瓦斯抽采与利用纳入正规的生产工艺流程，促进煤层气的开发达到规模生产。本书在分析小矿区瓦斯赋存情况的基础上，探讨了煤与瓦斯共采的可行性和技术路线，如图 1-1 所示。

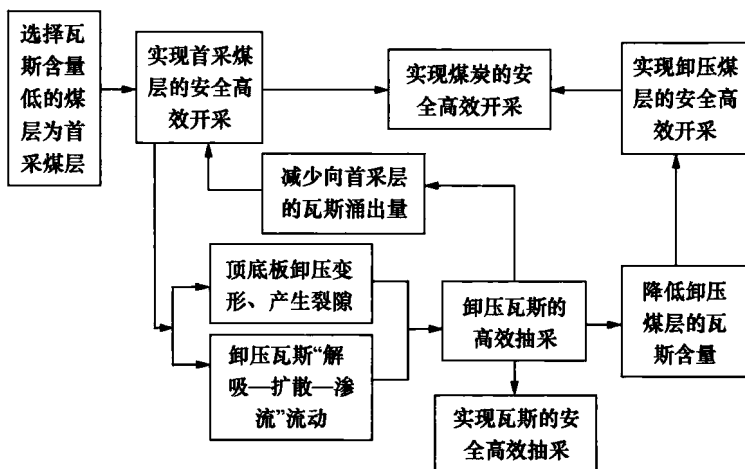


图 1-1 煤与瓦斯共采的技术路线

本书最后介绍了煤矿瓦斯防止安全管理的有关规定，论述的采掘工作面瓦斯防治工程实践及研究包含以下几个方面的内容：

- (1) 根据煤层以及含煤岩层的瓦斯地质条件，研究煤层瓦斯赋存规律、采掘过程中瓦斯涌出源和瓦斯涌出规律。
- (2) 介绍采掘工作面瓦斯防治工程的若干实践。
- (3) 近距离煤层群开采瓦斯立体抽采流动规律模拟。
- (4) 掘进工作面应力分布规律及突出特点数值分析。
- (5) 对瓦斯传感器监测状态的影响因素和瓦斯报警原因进行分析，提出相应对策。
- (6) 以贵州小矿区为例，对煤矿瓦斯抽采利用的可行性进行探讨。
- (7) 建立健全采掘工作面瓦斯抽采综合治理的安全管理措

施。遵循“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位、隐患排除、综合利用”的瓦斯治理原则，建立健全一套煤矿瓦斯立体抽采防突管理体系。

第二章 煤矿瓦斯赋存及涌出规律

第一节 煤矿瓦斯赋存规律

在煤层中赋存的瓦斯总量中，吸附瓦斯量占 80% ~ 90%，游离瓦斯量占 10% ~ 20%，在吸附瓦斯量中又以煤体表面附着的瓦斯量占多数。在外界条件发生变化时，煤体中瓦斯吸附分子与游离分子是在不断地交换之中。在瓦斯缓慢的流动过程中，不存在游离瓦斯易放散、吸附瓦斯不易放散的问题。但是，在突出过程的短暂时间内，游离瓦斯会首先放散，然后吸附瓦斯迅速加以补充。

一、煤的吸附理论及煤层瓦斯含量

煤是天然吸附体，对瓦斯有很强的吸附能力。在目前煤矿开采的一些高瓦斯含量煤层中，煤中所含瓦斯体积可为煤本身体积的 30 ~ 40 倍，这些瓦斯主要以吸附状态存在于煤中。

吸附是物理吸附、化学吸附和吸收的总称。物理吸附指瓦斯集中在煤孔隙的表面，即在瓦斯—煤界面处，瓦斯密度较其他地点高。物理吸附时，固体表面与气体之间无特殊的相互作用，吸附力即范德华分子吸引力。物理吸附与气体液化、水蒸气凝结相似，吸附时放出的吸附热较小，一般为每吸附 1 mol 瓦斯放出 10 ~ 20 kJ 的热量，这与气体液化时放出的热量相似。化学吸附时，在固体表面上固体分子与气体分子之间形成化学联系，即在它们之间有电子传递。化学吸附与物理吸附的主要区别在于：物理吸附是可逆的，而化学吸附是不可逆的，化学吸附的吸附热近似于化学反应的热效应，一般比物理吸附热大十倍甚至几十倍。对煤

吸附瓦斯的大量实验测定表明,煤吸附瓦斯是可逆过程,充瓦斯时煤吸附的瓦斯量和脱附时解吸的瓦斯量基本相同,实验测出的吸附热为 12.6 ~ 20.9 kJ/mol,近似于甲烷液化放出的热量,由此可知,煤对瓦斯的吸附同物理吸附。

除煤表面吸附瓦斯外,还存在吸收状态的瓦斯。所谓吸收是指瓦斯分子更深入地进入煤的微孔中,进入煤分子品格之中,形成固溶体状态。吸收与吸附的宏观差别仅在于前者的平衡时间较长,吸收时吸附体的膨胀变形量较大。

煤的吸附性通常用煤的吸附等温线表示。吸附等温线是指在某一固定温度下,煤的吸附瓦斯量随瓦斯压力变化的曲线。国内外大量的实验表明,煤吸附瓦斯时,吸附等温线符合朗格缪尔方程式:

$$X = \frac{abp}{1 + bp} \quad (2-1)$$

式中 X ——在某一温度下,瓦斯压力为 p 时,单位质量(或体积)纯煤(去水和灰分)吸附的瓦斯量, m^3/t (或 m^3/m^3);

p ——瓦斯压力, MPa;

a ——吸附常数,标志纯煤的极限吸附瓦斯量,即在某一温度下当瓦斯压力趋近于无穷大时的最大吸附瓦斯量, m^3/t 或 m^3/m^3 ;

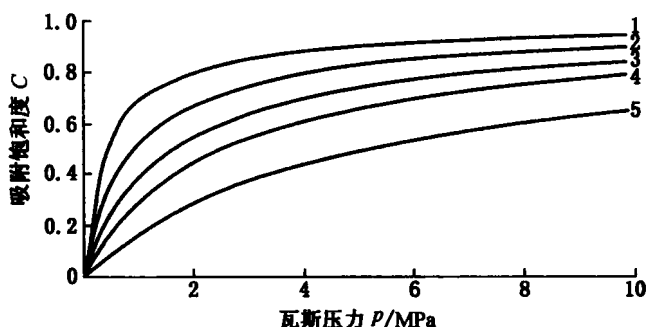
b ——吸附常数, MPa^{-1} 。

煤的吸附饱和度是吸附瓦斯量与煤极限吸附瓦斯量之比。由于煤的极限吸附瓦斯量为 a ,则按式(2-1),煤的吸附饱和度为

$$C = \frac{X}{a} = \frac{bp}{1 + bp} \quad (2-2)$$

显然,式(2-2)所表征的曲线与吸附等温线具有完全相同的形式,随着瓦斯压力的增大,吸附饱和度增大,但增大率逐渐减小;当瓦斯压力趋于无穷大时,吸附饱和度趋于1。煤的吸附饱和度除取决于瓦斯压力外,还同吸附常数 b 有密切关系,常

数 b 为曲线起始点 ($p=0$) 的斜率, b 值越大, 曲线上升速度越快, 越易趋近于极限饱和值 1。图 2-1 所示为根据式 (2-2) 绘出的不同常数 b 值时吸附饱和度 C 随瓦斯压力的变化。



1— $b=2 \text{ MPa}^{-1}$; 2— $b=1 \text{ MPa}^{-1}$; 3— $b=0.6 \text{ MPa}^{-1}$;
4— $b=0.4 \text{ MPa}^{-1}$; 5— $b=0.2 \text{ MPa}^{-1}$

图 2-1 不同常数 b 值时吸附饱和度随瓦斯压力的变化

由图 2-1 可以看出, 在同一瓦斯压力下, 常数 b 值越大, 则吸附饱和度越大。当瓦斯压力为 1 MPa 时, 如吸附常数 b 由 0.2 MPa^{-1} 增至 2 MPa^{-1} , 则吸附饱和度由 0.17 增至 0.67。

如以吸附饱和度为 0.5 时的瓦斯压力为特征瓦斯压力, 则由式 (2-2) 求得吸附特征瓦斯压力为

$$p_c = \frac{1}{b} \quad (2-3)$$

由式 (2-3) 可以看出, 吸附特征瓦斯压力是吸附常数 b 的倒数, 吸附特征瓦斯压力越小, 煤吸附瓦斯量就越容易达到饱和。我国煤的吸附常数 b 一般为 $0.2 \sim 2 \text{ MPa}^{-1}$, 故吸附特征压力 p_c 为 $0.5 \sim 5 \text{ MPa}$ 。

煤的温度对煤的吸附能力有显著影响。在同一瓦斯压力下, 温度越高, 煤的吸附瓦斯量越小。为了确定温度对吸附瓦斯的影响, 可用以下经验公式进行计算:

$$X_t = X_0 e^{-at} \quad (2-4)$$

$$n = \frac{0.02}{0.993 + 0.07p} \quad (2-5)$$

式中 X_t ——温度为 t °C 时煤的吸附瓦斯量, m^3/t ;

X_0 ——温度为 0 °C 时煤的吸附瓦斯量, m^3/t ;

t ——煤的温度, °C;

n ——与瓦斯压力有关的常数;

p ——瓦斯压力, MPa。

为了免除因温度换算确定煤吸附瓦斯量所带来的误差, 在实验室测定煤吸附等温线所取的恒定温度应等于煤层的温度。如实验温度与煤层温度不同, 则可用式 (2-6) 进行换算:

$$X_t = X_{t_1} e^{n(t_1 - t)} \quad (2-6)$$

式中 X_t ——煤层温度为 t °C 时的吸附瓦斯量, m^3/t ;

X_{t_1} ——煤层温度为 t_1 °C 时实验所得的吸附瓦斯量, m^3/t 。

煤中水分以多种状态 (化合、吸附、毛细和游离等) 存在着, 但对煤吸附性影响最主要的是吸附水。由于煤对水蒸气的吸附能力比对瓦斯的吸附能力大得多, 故煤中含水时, 煤的吸附瓦斯量将明显减小。当前, 煤的吸附等温线测定通常是针对干煤样进行的。为了考虑煤水分对吸附瓦斯量的影响, 有很多表示其关系的经验公式, 当前国内外普遍应用的经验公式为

$$X_w = \frac{X_d}{1 + 0.31W} \quad (2-7)$$

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 ;

W ——煤的水分, %。

式 (2-7) 未考虑不同变质程度煤水分对吸附瓦斯量影响程度的差异。煤炭科学研究总院抚顺分院通过对 3 种不同水分含量煤样吸附等温线的测定, 得出了考虑煤挥发分影响的水分与煤吸附瓦斯量关系的经验公式:

$$X_w = \frac{X_d}{1 + (0.10 + 0.0058V)W} \quad (2-8)$$

式中 V ——煤的挥发分含量, %。

吸附瓦斯量由式(2-8)看出, 当煤的挥发分含量 $V = 36.2\%$ 时, 该式与式(2-7)相同。应当指出, 所有考虑水分对吸附瓦斯量影响的经验公式, 皆有较大的偏差, 这是因为根据实验标准所测定出煤的水分可以处于不同状态, 其对吸附瓦斯量的影响也不一样。煤或煤中矿物质所含的化学结合水对吸附瓦斯量无影响, 处于微孔隙呈吸附状态的结合水对煤吸附性降低起主要作用。毛细水和游离水充塞在大孔隙和毛细管中, 这部分水可溶解少部分瓦斯, 但对吸附瓦斯量无重大影响。由于当前尚无单独确定煤中吸附水含量的方法, 故用煤水分按经验公式确定吸附瓦斯量时, 难免产生较大偏差。为了确定煤的吸附瓦斯量, 应尽量采用含天然水分的煤样进行吸附等温度线测定。

二、煤的渗透特性

1. 地应力对煤体透气性的影响

随着工作面的推进, 井下煤层经历了由原岩应力状态进入应力升高与应力降低状态的过程。通过实验室的模拟实验可知, 当瓦斯压力不变时, 随着围压力(模拟地应力)的增加, 渗透率开始很快下降; 当围压力增至 6 MPa 时, 渗透率下降非常缓慢; 当围压力大于 10 MPa 时, 气体很少渗透过去。

2. 吸附性对煤体透气性的影响

对于同一煤样, 在相同的条件下, 煤吸附气体所呈现的吸附性越强, 煤样渗透率越低。而且, 随着孔隙压力的增大, 这种关系更加明显。高瓦斯压力低渗透率, 会使瓦斯压力梯度增大, 这是造成瓦斯突出的直接原因之一。

3. 瓦斯压力对煤体透气性的影响

经实验表明, 克林伯格效应只发生在 $p < 1 \text{ MPa}$ 范围内, 即克林伯格效应只在低压下呈现; 对于同一煤样, 垂直层理和平行层理时的克林伯格效应区没有明显改变。

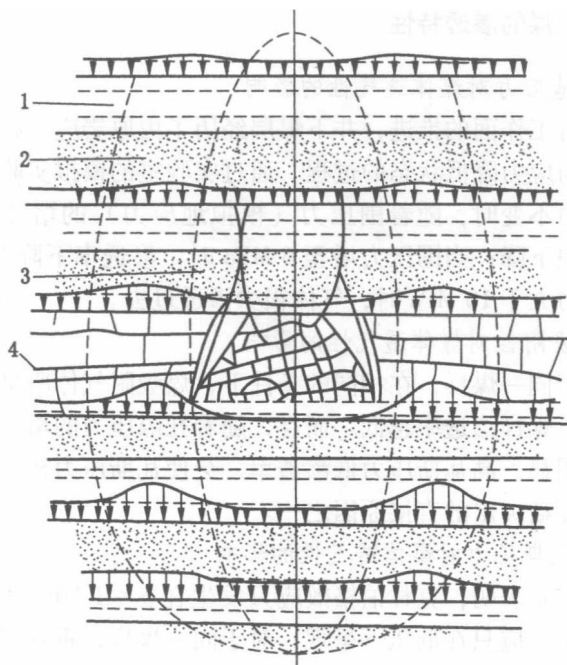
4. 层理对煤体透气性的影响

同一煤层在同样的条件下，平行层理煤样的渗透率大于垂直层理煤样的渗透率。在现场进行瓦斯抽采（特别是顺层抽采钻孔）时，钻孔的布置应结合煤层层理进行，使瓦斯沿着煤层层理或裂隙最大的方向流动，以便提高钻孔抽采率。

三、瓦斯赋存状况

井田煤层顶、底板透气性差，煤的变质程度高，就会给煤层瓦斯赋存量的提高创造条件；煤系地层中的生、储、盖条件越完善，就越有利于储存瓦斯。

采矿工作使煤层瓦斯赋存状态发生变化，在卸压区内透气性增高，集中应力带内透气性降低。开采保护层时，地层应力重新分布如图 2-2 所示。在保护范围内，煤岩体透气性增大，煤体



1—常压带；2—集中应力带；3—卸压带；4—垮落带

图 2-2 保护层开采后地层应力重新分布示意图

中的瓦斯大量释放，导致瓦斯赋存状态发生很大的变化，表现为保护层本身的开采过程中，瓦斯涌出量的增大，而使邻近被保护层中的瓦斯得到释放。

第二节 煤矿瓦斯涌出规律

一、煤矿瓦斯涌出的类型

煤矿瓦斯涌出一般有两种形式，即普通涌出和异常涌出。其中，瓦斯异常涌出包括瓦斯喷出和煤与瓦斯突出。

(一) 瓦斯普通涌出

1. 掘进工作面瓦斯涌出

掘进工作面瓦斯涌出量在时间、空间和工序上均存在着不均匀性。同一时刻，距工作面的距离越远，风流瓦斯浓度越高。与装岩工序和支护工序相比，爆破工序在距工作面相同距离的断面风流中瓦斯浓度明显升高。

2. 采煤工作面瓦斯涌出

采煤工作面瓦斯涌出量的大小与工作面所在的区域有关，受采煤工艺的影响很大，并且随开采工艺的变化采煤工作面瓦斯涌出的来源有所不同，即本煤层、本煤层采空区、邻近采空区和邻近层采空区涌出的瓦斯量不同。

(1) 本煤层与本煤层采空区瓦斯涌出。开采初期，采煤工作面风量充足，工作面瓦斯涌出量比较稳定，瓦斯涌出无异常现象。开采一段时间后，采空区面积增大，煤层和围岩的瓦斯大量涌入采空区，在通风负压的作用下，高浓度瓦斯从采空区涌出到采煤工作面的回风隅角，造成采煤工作面回风流瓦斯浓度超限。

(2) 邻近采空区瓦斯涌出。采煤工作面开采前，位于同一煤层的邻近采煤工作面已经开采结束。开采一段时间后，采煤工作面采空区与邻近采空区之间的煤柱被破碎，保护煤柱和顶板都出现连通的裂隙，于是，在地应力、温度差的热扩散驱动力和瓦