

礦內火災的 預防和處理

蘇聯 勒·恩·貝可夫著

姜 楨譯

燃料工業出版社

礦內火災的預防和處理

蘇聯 勒·恩·貝可夫著

姜 楨譯

蘇聯文化部高等教育管理總局審定
作為採礦專業大學教學參考書

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書闡明了地下火災發生的原因和發展的階段；敘述了各種可燃物質和材料的可燃性和着火性，以及它們的耐火性。

書中指出與礦內火災作鬥爭所應採取的預防措施，以及消滅火災的方法和所需用的器材。

本書可作為採礦大學教材並可供採礦工程技術人員在現場工作中使用。

礦內火災的預防和處理

РУДНИЧНЫЕ ПОЖАРЫ

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)
1953年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯 Л. Н. БЫКОВ 著

姜 楨譯

燃料工業出版社出版

社址：北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版業營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：張伯顏 校對：郭益華 汪立羣

書號312 * 煤123 * 850 × 1092 $\frac{1}{4}$ 開本 * 4 $\frac{1}{4}$ 印張 * 100千字 * 定價8,200元

一九五四年十二月北京第一版第一次印刷(1—3,585冊)

原 序

蘇維埃人民，爲第十九次黨代表大會關於1951—1955年蘇聯發展第五個五年計劃歷史性的指示所鼓舞，正堅定地向着共產主義前進。

在第十九次黨代表大會的指示中，對煤礦工業提出了關於進一步提高煤產量、改善煤礦開採方法和笨重生產過程機械化等偉大而重要的任務。

當開採某些煤礦和硫化礦時，煤、煤質岩石以及含硫多的礦石會發生自燃作用。此種自燃可能發展成爲地下火災，有破壞採礦企業正常活動的危險。

此外，地下火災也可以由於其他原因而發生（如明火，電氣設備發生事故等等）。

〔礦內火災〕這一教程爲教授礦業大學學生的〔礦內通風〕總教程的一部分。

本書原稿經斯闊成斯基（А.А. Скочинский）院士，闊馬洛夫（В.Б. Комаров）、維謝洛夫斯基（В.С. Веселовский）教授，謝列達（Б.К. Середа）、明尼亞耶夫（Б. К. Миняев）工程師，庫茲涅佐夫（И. П. Кузнецов）、康巴涅耶赤（В. П. Компанец）、羅沃熱洛夫（М.Г. Новожилов）、洛薩卡列夫（А.Г. Лошкарев）和巴甫洛夫（А.А. Павлов）等副教授，莫斯科約·維·斯大林礦業大學的礦井通風和保安技術教研室全體同志審閱。原稿的整理出版，蘇伯（Е.Е. Шуб）、耶甫列莫娃（Т.К. Ефремова）和捷里斯卡婭（М. С. Зельская）等工程師曾予以很大的幫助。所有一切重要意見，在整理出版時，作者均曾加以考慮。

對於教研室全體同志以及所有提出意見的同志，作者均表示深切的感謝。

對於今後爲本教材提出批評意見的同志，作者並預致謝意。

目 錄

原 序

第一章 礦內火災概論	5
第1節 礦內火災的概念 及其危險性	5
第2節 地下火災的原因與分類	6
第3節 氧化現象	7
(1) 氧化的種類	7
(2) 氧化反應的主要型式	8
(3) 燃燒現象的分類	9
第二章 關於井下火災的發生與蔓延方面的研究	10
第4節 井下的觀測	10
(1) 地下火災發生的地點	10
(2) 自然火災和煤層厚度與傾角的函數關係。有用礦物的組織 與構造對自然火災的影響	10
(3) 火災蔓延的方向	14
(4) 火區空氣化學成份的變化	15
(5) 礦內地下水化學成份與溫度的變化	16
(6) 岩石溫度的變化	17
(7) 火災氣體的爆炸	17
(8) 礦內火災的階段	18
第5節 試驗室的研究	19
(1) 用氧氣或空氣的煤的氧化法	20
(2) 用氧化劑的煤的氧化法	21
(3) 現代研究煤的自然問題方面的方向	21
(4) 關於硫化礦自然方面的研究	22
第6節 關於煤礦井下自然火災方面的研究結果	22
(1) 井下煤的自然原理	22
(2) 井下的火源	23
(3) 影響井下煤的自然的因素	23

第7節 煤按照自燃傾向程度的分類	29
(1) 全蘇煤礦研究所的分類法	29
(2) 熱力技術研究所的分類法	30
(3) 馬卡耶夫科學研究所的分類法	30
第8節 關於硫化礦自然火災方面的研究結果	31
(1) 硫化礦自燃的原理	31
(2) 影響硫化礦自燃的因素	32
第三章 初發自然火災的識別	35
第9節 初發火災的外表徵兆	35
第10節 憑藉簡單儀器的觀測	36
第11節 鑑定礦井空氣的化學分析方法	37
第12節 礦內地下水的分析	39
第四章 預防礦內火災	39
第13節 防火措施及其任務	39
第14節 為預防發生外源火災的措施	41
(1) 一般措施	41
(2) 預防電流發火的措施	53
(3) 煤礦井下防止因放炮工作、瓦斯與煤塵爆炸等發火所採取 的特別措施	54
(4) 開採硫化礦的井下所採取的措施	54
(5) 對明火的防火措施	55
第15節 為預防地面發生自然火災的措施	56
第16節 為預防井下發生自然火災的措施	58
(1) 盡量將有用礦物採出	58
(2) 加強礦體的回採工作	60
(3) 用單獨隔離區開採	62
(4) 適時地掘進準備巷道(切割巷道)	63
(5) 開採方法與預防措施	63
第17節 通風的特別措施	65
第18節 保衛礦山的防火組織	68
(1) 預防性質的措施	68
(2) 保證有組織地消滅井下火災的措施	69
第五章 消滅礦內火災	70
第19節 發生礦內火災時採取的措施	70
(1) 實行災害預防及處理計劃	70
(2) 撤出和護救人員	71
(3) 偵察火災	73

(4) 通風方式	74
第20節 消滅礦內火災方法的分類	78
第21節 用積極方法與火災作鬥爭	79
(1) 用水滅火法	79
(2) 用滅火器的滅火法	86
(3) 用岩粉和砂子的滅火法	92
(4) 挖除火源	92
第22節 用隔離方法與火災作鬥爭	94
第23節 用聯合方法與火災作鬥爭	94
第24節 對於灌漿材料的要求	95
第25節 攪拌設備和泥漿製造	97
第26節 由中央泥漿站輸送泥漿並分配到各鑽眼	101
第27節 灌漿用水和固體材料的消耗量	102
第28節 灌漿鑽眼的佈置	103
第29節 分層灌漿	105
第30節 用水力充填法與火災作鬥爭	106
第31節 用惰性氣體或水蒸汽滅火	107
(1) 二氧化碳滅火法	108
(2) 爐煙滅火法	109
(3) 二氧化硫氣滅火法	110
(4) 水蒸汽滅火法	110
第32節 防火牆的構造及裝設，打開火區	110
(1) 臨時防火牆	111
(2) 永久性防火牆及其設備	111
(3) 過濾牆	113
(4) 防火牆的地點分佈及其建築方法	114
(5) 移設防火牆縮小隔離區	115
(6) 火滅後打開火區	117
第33節 檢查火區	117
(1) 通過防火牆的觀測	117
(2) 通過檢查鑽眼的觀測	118
第34節 捨場和煤堆的滅火	119
第35節 關於有用礦物礦體的開採及井下與火災作鬥爭的基本方向	120
第36節 礦山火災的發生及其消滅的示例	122

第一章 礦內火災概論

第1節 礦內火災的概念及其危險性

任何發生於井下(礦內)的火災以及來自地面的火災如其氣體產物隨同風流進入井下或從地面傳播到地下巷道的火災，均稱為礦內火災。此類火災的例子是：井口房屋着火，空氣經過着火房屋進入井下；位於進風井筒附近的物料燃燒；由矸石捨場傳給煤層的燃燒等等。井下火災(地下火災)可以發生於現工作區以及通常人所極難進入的採空區。

地下火災與地面火災不同，它可以延續到幾個月、幾年甚至幾十年。

地下火災除了造成物資損害之外，對於井下工作人員，不僅是在火源附近的，甚至距離火源非常遠的，都有巨大的危險性。不僅火焰對人有直接危險性，而隨着風流擴散於井下的有毒的和窒息性的燃燒產物，對人亦有直接危險性。

表1 所載為造成採礦工人重大死亡的一些巨大火災實例。

表1

年 度	國 別	火 災 原 因	死亡人數	礦 別
1869	美國	原因未公佈	179	煤礦
1833	南非	同 上	224	同上
1892	澳洲	同 上	319	同上
1896	德國	磚砌井筒內的鑊木着火	104	同上
1909	美國	進風井筒附近的乾草着火	256	同上
1859	同上	推測係燭火引燃木支架	41	金屬礦
1895	同上	原因不明	30	同上
1917	同上	由於電石燈引燃井下電纜的絕緣	163	同上
1922	同上	推測係由於電路發生短路電弧引燃風井支架	47	同上

第 2 節 地下火災的原因與分類

地下火災的發生可能有各種不同的原因。由於某種外來熱源引起可燃物體的着火就是原因之一，外來熱源如：明火燈，電氣設備出毛病時所發生的短路，吸煙，放炮工作等等。此類火災稱為外源火災。

所謂自然火災，其起因是完全不同的。它們是由於物理化學作用發展的結果而發生的，通常發生於鬆散的煤或硫化礦中。地面(例如煤堆中)和井下都可以發生此類火災。它們多半發生於採空區。自然火災的多寡取決於很多原因：有用礦物的自然性質，採礦工作進行得不正確等等。

井下可以發生外源火災和自然火災。根據統計資料，發生任何火災的次數即使對於某一種礦體都是隨時變動的。因此按其起源性質分析地下火災發生的原因，對某一段時間雖是正確的，但這種分析對於另外一段時間來講就應當加以適當的修正。此類統計資料雖然是有相對性的，但可以指出主要的方向，根據這些方向可以製訂一定時期內的適當的預防措施，因此它們究竟還是有很大的價值的。表 2 所載為各個煤田和地區的地下自然火災與外源火災的資料。

表 2

煤田或地區	火 災 次 數 (%)		礦 別
	外源火災	自然火災	
頓 巴 斯	67	33	煤礦
庫茲巴斯	12	88	同上
中亞細亞	10	90	同上
遠 東	6	94	同上
烏拉爾各礦	54	46	硫化銅礦

由表 2 可見，對於外源火災和自然火災都是需要格外注意和深入研究的。

同時應當注意，外源火災可能蔓延到採空區的深處。這種火災在性質上與自然火災毫無區別，並且消滅外源火災的辦法和自然火災的也完全一樣。因此及時斷定外源火災的發生時間和不讓它進一步地蔓延是極其重要的。

第3節 氧化現象

(1) 氧化的種類

氧化是在物質中增加氧或其他帶負電荷元素(氯、硫等等)的作用和自物質中分離出來氫的作用。

井下所進行的氧化可分為下列各主要種類：

1. 腐爛 是緩慢的氧化作用。它們是在有充足的氧氣(空氣)進入的情況下所發生的。由於這種作用的結果有機物質會全被消滅。氧化的產物大體上是 CO_2 、 CH_4 、 H_2O 、 NH_3 等等。腐爛的發生並有微生物(主要為細菌與黴菌)參加。

2. 燃燒 是物質與氧氣結合，同時發生熱與光的化學反應。燃燒的原因是局部受熱。燃燒的過程可以用如下的形式說明。由於物質的分子與氧分子相結合而發熱，使物體的某一點的溫度升高到一定程度後，物體即着火並開始燃燒。當時所產生的熱量的一部分由於輻射和對流作用而消失，另一部分則耗於加熱燃燒產物與可燃物質的鄰層。如果鄰層物質受熱到一定程度時，則也將着火燃燒而發出熱來。物質的着火燃燒即以此種方式由一層蔓延到另一層。這種形式的反應可以繼續到物質的完全燒盡為止。只有在對還沒有燃的物質中止了加熱，即物質的溫度低於其燃燒溫度的情況下，燃燒過程才能停止。

燃燒分為兩種：有焰的燃燒和無焰的燃燒。

第一種燃燒(有焰的)是由於燃燒的結果從物質內發生出可燃的蒸汽和氣體。火焰的長度，在其他條件相同的情況下是以揮發物含有量為轉移的。含揮發物最多的煤(所謂長焰煤)所發出的火焰最長而貧煤的火焰最短。無煙煤照例是屬於無火焰的煤。

煤的燃燒結果所生成的氣體是： CO_2 、 CO 、 SO_2 、水蒸汽等等。

3. 爆炸 是伴生巨大熱量和氣體產物的一種非常迅速的化學反應。其特徵是爆炸地點內氣體的高溫與高壓作瞬間的發展，因而造成某種機械性的破壞作用。

爆炸的原因是局部受熱和引爆。爆炸時溫度可以達到 2500—3000°。井下爆炸作用所生成的氣體產物為： CO_2 、 CO 、 SO_2 、 N_2 以及水蒸汽。

燃燒根據其在同相介質中進行（例如瓦斯或其他氣體在空氣中的燃燒和爆炸）或在異相介質中進行（例如固體可燃物——煤，硫化礦石在空氣與瓦斯的混合物中的燃燒）的不同，分為同相反應或異相反應。在同相反應情況下，反應通常是劇烈的；在第二種情況之下，燃燒的發生是在兩種不同相（固體——氣體）的表面，氧化反應的速度是比較小的。燃燒與爆炸本質上的區別還在於前者發生擴散作用，即氣體分子與固體分子互相滲入，而後者實際上是不發生擴散作用的。

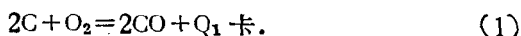
4. 化學風化^① 是有用礦物受大氣作用力（空氣與水溶液）影響所發生的氧化作用。

在化學風化作用下，原物質的化學成份將發生深刻的變化，特別是煤的水份和灰份的增加以及其無灰焦產率的降低。揮發物的含有量也發生變化，通常在這方面是增加的，或者有時在這方面是減少的，例如頓巴斯的Ⅱ種煤與Ⅰ種煤。風化作用是在常溫下進行的。

(2) 氧化反應的主要型式

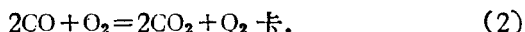
井下所進行的氧化作用是十分複雜的，生成各種不同的氧化產物。其主要的氧化反應如下。

碳素不完全的氧化，或造成低級氧化物的氧化



^① 風化也可能為純粹物理性的作用（機械的作用）。煤（與岩石）受空氣與水的影響可能被破壞甚至變為鬆散的狀態。但一般地風化是既有物理因素也有化學因素的。

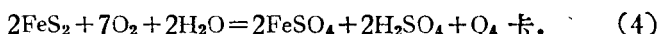
低級氧化物到高級氧化物的氧化



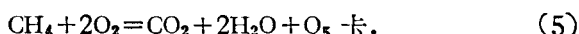
焙燒型式的氧化



黃鐵礦在潮濕介質中的氧化



沼氣的氧化(爆炸)



(3) 燃燒現象的分類

燃燒作用按其進行的性質分爲：閃火，着火，自着和自燃。

閃火 是可燃物質的蒸汽和氧氣(或空氣)的混合物以迅速的、比較無聲的和短暫的一種燃燒，此種混合物的燃燒可能是由於電火花或與燃燒物體(固體、液體、明火)接觸引起局部受熱而發生的。

閃火現象可以同樣發生爆炸，但不同於爆炸的是沒有響聲並且不起破壞作用。發生閃火的最低溫度稱爲閃點。

着火 作用也和閃火一樣，發生於局部受熱。所不同於閃火的是着火作用可以延長到將整個可燃物全部燒完，而且是依靠本身燃燒的熱量來發生蒸汽的。在沒有外熱補充的情況下，能使可燃物發生一定量的蒸汽和氣體足夠維持其繼續燃燒的最低溫度，稱爲着火點。着火與閃火的區別還在於着火需要較長的時間才能使物質燃燒。

自着 是物質不接觸到火焰或灼熱體而自行着火的現象。

自燃 是由於物質本身內氧化反應不斷發展的結果而引起可燃物體的着火燃燒。煤在低溫度下(在 18—75° 範圍內)所進行的初期氧化，通常是吸收氧氣而不發生大量的氧化產物。嗣後，特別是在較高的溫度下，碳與氧照例才化合而發出 CO_2 、 CO 與水蒸汽來。後面這種作用稱爲化學吸收。

各種不同的可燃物質均可以發生自燃現象。在採礦事業中，

煤、硫化礦以及頁岩(煤質頁岩與泥質頁岩)的自然作用具有特殊的意義，與它們作鬥爭是有很大的困難的。

第二章 關於井下火災的發生 與蔓延方面的研究

第4節 井下的觀測

(1) 地下火災發生的地點

井下各個不同地點如工作中的巷道、機器房、井筒和採空區均可發生地下火災。

某些金屬礦中火災發生地點的分佈情況如表3。

表3

外 源 火 災 的 發 生 地 點	火 災 次 數 (%)
回採區	29
井筒附近的巷道	4
井筒與探井	19
爆炸材料庫	1
天橋	1
平峒	2
其他巷道	44
合 計	100

從上表可見，實際上井下就不可能舉出不須注意火災危險的地點。

(2) 自然火災和煤層厚度與傾角的函數關係。有

用礦物的組織與構造對自然火災的影響

根據若干次的觀測已經證明，在其他條件相同的情況下，自

然火災，以在厚煤層內發生的為最多。這點已為東方煤礦工業安全工作科學研究所於 1917—1948 年時期內的資料(表 4)所證明。

表 4

煤 層 厚 度 (公 尺)	火 災 次 數 佔 總 次 數 的 (%)
	庫 茲 巴 斯
1—3	5.9
3—5	29.6
5以上	66.5

這種關係在頓巴斯煤區內所見到的就很小了：

厚度在 1.0 公尺以下的煤層，火災次數佔總次數的 29.8%

厚度在 1.0 到 1.5 公尺的煤層，火災次數佔總次數的 35.5%

厚度在 1.5 到 2.0 公尺的煤層，火災次數佔總次數的 34.9%

煤層傾角對於自然火災的發生具有重大的意義(表 5)，在急傾斜的煤層中所發生的火災次數是比較多的。

表 5

煤 層 傾 角 (度)	火 災 次 數 (%)	
	頓 巴 斯	庫 茲 巴 斯
0—25	34.0	7.8
25—45	5.4	17.2
45—90	60.6	75.0

在開採硫化礦礦體的實際經驗中也證明有類似的情形，即在較厚的礦體內，自然火災的次數就有規律地增長。

礦體厚度(公尺)

火災次數(%)

5—10

23.0

10—20

36.6

大於20

40.4

附註：上列硫化礦礦體都是傾角為 45—80° 的急傾斜。

此種現象主要用下列理由來說明：

1. 開採厚層礦體時，有用礦物的損失較大。

2. 遺棄於採空區的煤或金屬礦石(損失形式)破碎性較大。

3. 由於採空區的煤或礦石(木料—礦石混合體)呈鬆散狀態, 傳熱性不良, 熱量不易向周圍頂底岩石發散。

由於上述各因素合併影響的結果, 就會更迅速地積蓄熱量而發生火災。

相反地, 在薄層礦體中所產生的熱量(而且數量也小)容易向周圍岩石發散, 因此開採薄層礦體時通常在火災方面是比較安全的。

關於逐時積蓄熱量與有用礦物損失率大小的關係, [烏拉爾銅礦設計所] (Унипромедь) 在烏拉爾的一個硫化銅礦中搜集到很好的材料。該礦在 70 公尺水平以上曾經臨時保留了一些礦柱。

他們進行了五個礦柱的觀測, 當觀測時其中兩個礦柱(22 號與 23 號)是在工作中, 而其餘三個(15 號、16 號乙和 28 號)則沒有開採。

在進行觀測的時期內, 通風方式大體上是保持一致的。

礦石損失率計如下數:

22 號礦柱回採損失	8.9%
23 號礦柱回採損失	1.9%

在每一分層上測得逐時溫度的增長如圖 1

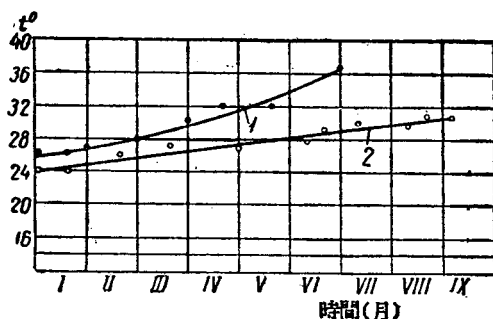


圖 1 礦柱內溫度的增長
1—22 號礦柱; 2—23 號礦柱。

從圖 1 可見, 在 22 號礦柱內(損失為 8.9%)的溫度增長率

是較在 23 號礦柱內(損失為 1.9%)的高些。

在 15 號、16 號乙與 28 號等礦柱中所觀測到的溫度增長就更加劇烈了，各礦柱的埋藏量與地質埋藏量的比例為：

15 號礦柱	46%
16 號乙礦柱	43%
28 號礦柱	39.3%

所有各個時間的溫度，都是在同一地點測得的。逐時溫度的增長如圖 2。

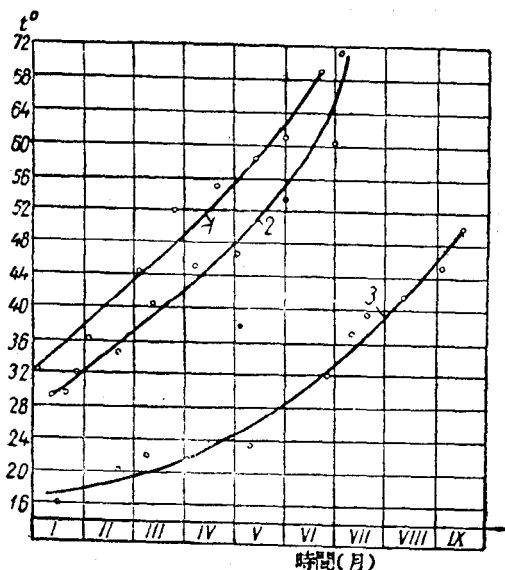


圖 2 礦柱內溫度的增長
1—16 號乙礦柱；2—28 號礦柱；3—15 號礦柱。

如將圖 1 圖 2 的曲線加以比較，即可知道有用礦物損失率的大小對於氧化作用發展速度所起的影響了。

應當指出，在其他條件相同的情況之下，開採距離地表不深的急傾斜礦層(礦體)，因為大氣中的氧氣(和雨水)易於進入到遺棄在採空區的有用礦物內，危險性是極大的。同時，垂直地帶(滲瀝帶與硫化富集帶)對於金屬礦體具有特殊的意義，此種地帶

的礦石，其物理性質與化學礦物特性和所謂原生礦石來比較，是容易更迅速地發展氧化作用的^①。

由於地質構造作用(正斷層、走向斷層等等)所造成的層狀的破壞，與礦層度厚有密切的關係。煤層帶有碎煤的膨脹部分乃是潛藏着最大火災危險的地區。

在很多情況下，礦層的不均勻構造對火災是有很大作用的。已經證明，煤質較疏鬆(軟)的地區以及煤質頁岩夾層或鬆軟雜質煤的地區是最易傾向於自燃的。

(3) 火災蔓延的方向

根據若干次的井下觀測已經證明，發生於採空區的火災通常是逆着風流方向而蔓延的。另一方面，根據實際情況同樣知道火災也有向其他方向發展的趨向——沿走向甚至沿上山。此種情況

在試驗室的條件下已用試驗證實了。當空氣流速在0.5公尺/秒以內時，火焰是逆着進風方向移動的；當空氣流速到0.6—1.7公尺/秒時，可以發生反向蔓延，也可以順着風流蔓延；當空氣流速很大(超過1.7公尺/秒)時，就僅能順着風流蔓延了(圖3)^②。在井下的條件下，由於具有很多不同的因素足以影響蔓延作用的方向和發展，因此井下情形與圖3的資料是不完全相同的。

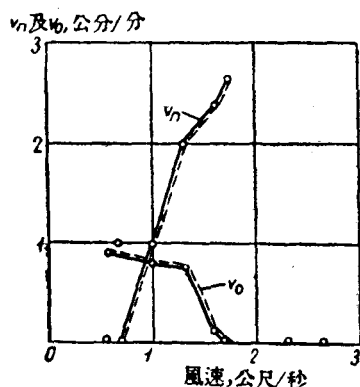


圖3 根據空氣流速，火災的蔓延方向
 v_n —火災順風流的蔓延速度； v_0 —火災逆風流的蔓延速度。

採空區火源蔓延的性質(地

① 在開採金屬礦體時由於大量的巷道已將礦體水份切割，使空氣與水份可以達到較深的水平，上述規律因而變得複雜，因此開採深度對於火災的危險性，在程度上並沒有太明顯的區別。

② 在受到破壞的物體內，空氣的流速是比較高的。