

3F

矿井漏风防治专题资料

矿井漏风防治专题资料

目录

矿井地面漏风的危害及防治	1
国外无煤柱护巷防治漏风发火综述	22
矿井外部漏风的控制分析和测算方法	27
根据矿井漏风的数值模拟研究分析工作面采空区自然与瓦斯涌出规律	32
矿井外部漏风及其能量损耗	53
用气体分析法检测矿井地面漏风	56
浅谈分散性漏风严重的残采正压通风	59
利用微型电子计算机分析各辅助通风系统的漏风	62
无煤柱开采沿空巷道防止漏风的技术措施	65
用袖珍计算机进行风筒漏风分析与局部通风系统设计	70
防止漏风起火的合理采区煤柱尺寸的确定方法	83
无煤柱采场风流状态的物理模拟	86
关于矿井漏风率计算的探讨	90
无煤柱开采中的漏风问题	91
开采特厚易燃煤层回采工作面供风量的探讨	100
矿井地面漏风对井下漏风的影响	102
SF ₆ 示踪气体连续检测矿井漏风技术	108
SF ₆ 示踪气体在煤矿漏风检测中的应用	111
泡沫对采区漏风的影响	115
改进风门处水沟漏风的措施	117
防止风门处水沟漏风的措施	122

矿井地面漏风的危害及防治

新疆煤炭科学研究所 吕昭双

乌鲁木齐煤田为急倾斜煤层，近距离煤层群达33层之多。煤层距地表浅，由于采动影响，地表塌陷严重，因而地面漏风已成为一个突出问题。地面漏风对自然发火的影响将有专文探讨，本文仅就地面漏风造成的经济损失、给通风管理带来的麻烦进行一点研究，最后也谈到了覆盖方法。欢迎批评指正。

一、地面漏风及漏风压

(一) 地面漏风情况

以乌鲁木齐煤田几个主要矿井为例，地面漏风都比较严重。在夏季，原六道湾煤矿从地面漏入风量159.2米³/分；苇湖梁煤矿是73.1米³/分；原立井是918.7米³/分，有时超过1000米³/分。原立井漏风详见表一：

原立井漏风明细

表一

漏风地点	漏风量(米 ³ /分)	占总排%	占总漏风量%
主风门漏风	338	7.2	23.7
其他进风口漏风	242	5.1	16.9
采空区地表漏风	617	13.1	43.1
扇风机装置漏风	85	2.0	6.6
其他漏风	135	2.9	9.7
合 计	1430	30.3	100

由表一可见，地表漏风占总排风4726米³/分的13.1%，占总漏风量的43.1%。平均

每个工作面的漏入风量达100米³/分。而通过每个工作面的有效风量也不过100米³/分，工作面累计有效风量500—550米³/分，只占总入风量的14—16%；开拓掘进累计风量1600—2000米³/分，占矿井总进风量的45—60%。

井下风量的这种自然分配，使工作面风量不足。人们千方百计想改变这种分配，如设控制风门、工作面溜子道设局扇、调节主扇的工况等，都不能使工作面的风量有明显增加。到底是什么原因呢？人们在不断地探索。最近又提出了新的方法，如减小入风道特别是工作面溜子道的风阻，试图增加工作面风量或者干脆更换风机。由于这个问题涉及工程量大、牵涉面广、费用高，在行动之前有必要在理论上进行研究，从而避免盲目性。

应该指出，不少人对地面漏风的危害已有了一定的认识，但偏重于对自然发火的影响方面。正如上述，地面漏风给通风管理和安全方面带来的问题，特别是对边远采区已到了非解决不可的地步。

为了明确、具体地说明问题，计算实例采用了原立井的资料。必须指出，资料的收集和處理都不是很精确的，考虑到计算实例旨在说明分析问题的方法，而不在实例本身，似乎又是许可的。

(二) 漏风压及地面漏风公式的推导

地面绝对压力与相应的井下巷道绝对压力之差称为漏风压。假使地面标高同于井口，对于抽出式通风，漏风压的值就等于井口至某点的压降。

若是串联风路，设从井口至某点的风阻为 R_i ，风量为 Q ，漏风压为 h_i ，则：

$$h_i = R_i Q^2$$

如果是复杂网路，可求井口至某点的各段风压之和

$$h_i = \sum R_i Q^2 \dots \dots \dots (1)$$

井下通风网路的复杂程度一般可用“级”来表示，从井口入风向翼、采区、采面分风，如分一次就是一级网路；分两次就是二级网路；分三次就是三级网路。一般三级网路，即从车场向两翼分一次，一翼又有多个采区，又分一次，一区内有几个采面，进行第三次分风。

对一个矿井，按网路的级别分别以1、2、3……标之如图一，相应各段的 R 、 Q 的脚标亦从此序。最后一次3有从地面漏风风流，以 $R_{漏}$ 、 $Q_{漏}$ 标记。假设地面漏风风流为紊流状态，

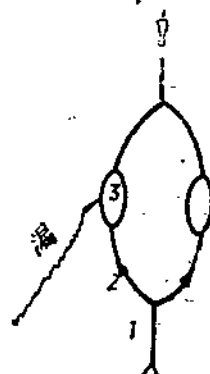
据漏风压的定义 $h_i = R_{漏} Q_{漏}^2$

又据(1)式，得

$$R_{漏} Q_{漏}^2 = R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2 + R_3 Q_3^2 \dots \dots (2)$$

$$\text{令 } \frac{Q_1}{Q_2} = m \quad \frac{Q_3}{Q_2} = n$$

$$\begin{aligned} R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2 &= \left(\frac{R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2}{Q_2^2} \right) Q_2^2 \\ &= (R_1 m^2 + R_2) Q_2^2 \end{aligned}$$



图一

$$\begin{aligned}
 &= m^2 R_1 Q_2^2 + R_2 Q_2^2 \\
 &= \frac{m^2 R_1 Q_2^2 + R_2 Q_2^2}{Q_3^2} Q_3^2 \\
 &= (m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2) Q_3^2 \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

将(3)式代入(2)式

$$\begin{aligned}
 R_{\text{漏}} Q_{\text{漏}}^2 &= (m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2) Q_3^2 + R_3 Q_3^2 \\
 R_{\text{漏}} Q_{\text{漏}}^2 &= (m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2 + R_3) Q_3^2 \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

$$\frac{Q_{\text{漏}}}{Q_3} = \sqrt{\frac{m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2 + R_3}{R_{\text{漏}}}} \dots\dots\dots (5)$$

m 、 n 称风量分配系数。

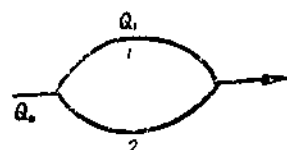
图二为一并联通风网路，由并联通风网路的风量自然分配公式

$$Q_1 = \frac{Q_0}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2} + 1}} \text{ 得到:}$$

$$\frac{Q_0}{Q_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2} + 1} = m \text{ (或 } n \text{)}$$

同样适用于多条并联巷道的风量自然分配

$$m(n) = \frac{Q_0}{Q_1} = 1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} + \sqrt{\frac{R_1}{R_3}} + \dots\dots\dots + \sqrt{\frac{R_1}{R_n}}$$



图二

由上式可见 m 、 n 决定于并联巷道的风阻的大小。

只要并巷风阻一定，风量分配系数也就不变。

(4)式中 $m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2 + R_3 = R'$ ，称为入风风阻，由上面的讨论可知，只要井下网路的风阻不变，入风风阻 R' 就一定。

所以，由(5)式，某一采面的地表漏风量若是紊流它等于入风风阻与漏风风阻之比的平方根与采面入风量之乘积。

(三)地面漏风风流的流动状态

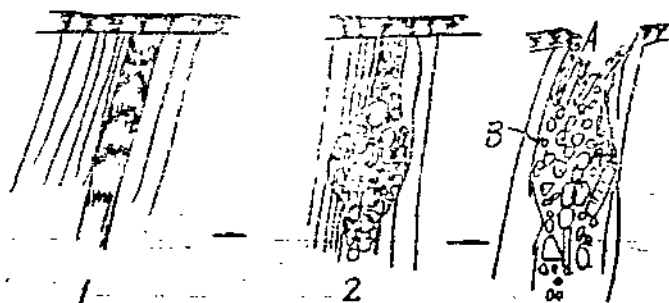
1. 急倾斜煤层采空区的冒落特点

急倾斜煤层采空区的冒落不同于缓倾斜煤层。据对地表塌陷坑的观察，可归纳为如下几个步骤，如图三所示。

I. 煤层采空区上部因失去支持，在重力及顶板压力作用下首先冒落。

II. 顶板一般在煤层冒落区的上部先沿层面离层而后冒落。

由于沿底板的下滑力的作用，煤和岩层的大块皆滚落到顶板处。



图三

Ⅲ. 底板产生大块滑落，类似滑坡。

Ⅳ. 当近地表，矿压作用减小，易形成冒落拱，特别是厚度较薄的煤层。因而能维持较长时间才冒透地表。

Ⅴ. 煤层冒透地表，顶板失去支持，岩层的顶板向漏斗倾倒并下沉。

这种冒落的基本模式，有两点尤其值得注意。第一，煤块和岩块经过较长的距离和滚动分选，聚集顶板的大块有较大的空隙，同时煤与岩块相混；第二，顶板的离层和下沉形成很多张裂隙。因此，地面一旦出现漏斗（如图三中3所示），漏风风流经A、B、C漏入井下。

可以看到冒热气地方主要在A处；井下出明火（尤其在特厚煤层）几乎都在顶板的槽眼C处。这是漏风通道有眼可见的证明。

据理论孔隙度，笔者推导出孔隙的大小与冒落块度的关系式：

$$d = (0.82 - 0.26) D$$

式中：D为岩块球体直径

d为球体间孔隙直径

这是按球体推导的，在实际岩块中，大块之间也有可能被小块充塞，也不可能是圆球。这里只是给我们提供一个近似的数量概念，即冒落的平均块度大，它们之间的孔隙也就较大。据实际观察，靠近顶板的大块平均直径1米左右占多数。

据对立井西翼的观察，基岩的冒落漏斗有7—8米深——属离层沉陷带，往下80—90米深，都是矸石和煤的冒落充填带。由以上分析，我们有理由相信，基岩之上第四系黄土或壤土层复盖，在沉陷、塌落破碎过程中，能自行堵塞上部部分裂隙带。所以无第四系复盖层地面塌陷比有第四系复盖层的漏风严重些。

由以上分析可知，对塌陷地表进行复盖，就是要充填裂隙和复盖漏斗中暴露的基岩。

2. 由雷诺数看流态

根据以上分析，地面漏风有可能是经过孔洞流入井下的，因为漏风量很大，一般在60—100米³/分，有时特大，如东一采区B₂槽，曾有过285米³/分的记录。我们说过，这种漏风是紊流，这只不过是猜想，还缺乏论证。

风流的流态，可用雷诺数的大小来判别。

$$R = \frac{Vd}{\nu} \dots\dots\dots (6)$$

式中：V——风速，米/秒

ν ——空气的运动粘性， 15×10^{-6} 米²/秒

d——管道直径，米。

设单个漏风孔隙的直径为d米，通过该单孔的风量为Q米³/分，

$$Q = VS = V \cdot \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$Vd = \frac{4Q}{\pi d} \dots\dots\dots (7)$$

(7)式代入(6)得：

$$R = \frac{4Q}{\pi d \nu} \dots\dots\dots (8)$$

由紊流摩擦阻力公式

$$h = \frac{\alpha PL}{S^3} Q^3 = \frac{\alpha \pi d L Q^3}{(\pi \frac{1}{4} d^2)^3} = \frac{64 \alpha L}{\pi^2 d^5} Q^3 \dots\dots\dots (9)$$

式中： α ——摩擦阻力系数；

L——孔隙长度，米；

由紊流摩擦阻力公式

$$h = \frac{32 \mu L}{d^3} V \dots\dots\dots (10)$$

式中： μ ——粘性系数，公斤·秒/米²

V——孔隙断面平均风速，米/秒

其余符号同上。

$$\text{由 } V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d^2} = \frac{4Q}{\pi d^2} \dots\dots\dots (11)$$

(11)代入(10)式得：

$$hf = \frac{128\mu LQ}{\pi d^4} \dots\dots\dots (12)$$

(9) 式中 α 只与达西系数有关, 而孔隙的相对粗糙度可能很大, 设 $n = \frac{1}{2}$, 它的相对光滑度 $\frac{1}{n} = 2$, 据尼古拉茨曲线类推, $\lambda = 0.33$ 。

$$\text{故 } \alpha = \frac{\lambda V}{8g} = 0.0153\lambda = 0.005 \dots\dots\dots (13)$$

(13) 代入 (9) 并整理得:

$$Q = 1.77 \sqrt{\frac{hfd}{L}} \pi d^2 \dots\dots\dots (14)$$

(12) 式 $\mu = 1.71 \times 10^{-8}$ 公斤·秒/米², 代入 (12) 式并整理得:

$$Q = \frac{hf\pi d^4}{L} 4.57 \times 10^3 \dots\dots\dots (15)$$

将 (14)、(15) 两式分别代入 (8) 式, 且 $V = 15 \times 10^{-4}$ 米²/秒, 得:

$$R_s = 4.7 \times 10^{-5} \sqrt{\frac{hfd}{L}} d \dots\dots\dots (16)$$

$$R_e = 1.22 \times 10^5 \frac{hfd}{L} \dots\dots\dots (17)$$

(16) 式为紊流漏风时的雷诺数的判别式; (17) 式为层流漏风时的雷诺数判别式。它们与风压、漏风孔道长度因素有关, 三个因素中, 以直径 d 的影响最大。对某一矿井同一地点的漏风来说, 漏风压及风流路程为一定值, 决定流态的是地面漏风孔径的大小。

原立井的漏风压 $h = 40-70$ 毫米水柱; 冒落高度 100 米, 但孔隙是曲折的。可以证明, 对于球体, 水平路程是孔隙竖直路程的 $\frac{1}{3}$ 。因此, $L = 130$ 米; 紊流时, $R_s = 0.5 \times 10^5$; 层流时 $R_s = 2320$; 介于这两者之间的为中间流态。将计算结果列于表二中。

风流流态与影响因素 表二

中间流态正好位于紊流和层流中间, 因影响因素和 R_s 都居中。

看上表二中所列, 不同流态, 孔隙直径和漏风量相差是很大的。在紊流情况下, 只要有三个 0.3 米的直通井下的孔洞就可以达到 60 米³/分的漏风量。这些孔洞, 在地面漏斗上是看不见的, 因为上部露头呈张裂隙出现的, 宽且长, 深度浅, 分布密集, 阻力就小。按 (16)、(17) 式的计算, 除漏斗底部而外, 并不包含上部裂隙带部分。

因 流 态 素	素 流	中 间 流 态	层 流
h 公斤/米 ²	40—70	40—70	40—70
L 米	130	130	130
d 米	0.33—0.27	0.27—0.018	0.018—0.015
Q 米 ³ /秒	0.26~0.12	0.12— 8.1×10^{-4}	8.1×10^{-4} — 2.2×10^{-4}

对我们有意义的是如何改变漏风的现实。只有地面较薄的钻孔可将泥浆送到孔隙带。由于是急倾斜煤层，泥浆不灌满采空区所有相同的空隙，泥浆就不会向空隙的水平方向分布。泥浆不灌到自溜子道直到回风道从而阻塞所有沟通井下的孔道，就不能有效地堵住地面漏风。

地面裂隙稍加充填，就可堵塞入风口，正如现场人们所说的那样：“地面覆盖会收到立竿见影的效果！”

我们认为：紊流状态发生在冒落的漏斗未复盖之前，稍加复盖，就进入中间流态，故而漏风量有显著的减小。

3. 漏风总风阻

由表二，单孔在紊流时，漏风量 $Q_{孔} = 0.18 \sim 0.09$ 米³/秒，如果取漏风压 $h_{漏} =$

40~70毫米水柱，则 $R_{孔} = \frac{h_{漏}}{Q_{孔}^2} = 8641 \sim 2160$ 千缪。可见单孔风阻还是比较大的。

但漏风总风阻却很小，取 $Q_{漏} = 60 \sim 100$ 米³/分，即 $1.67 \sim 1$ 米³/秒。按上式求得 $R_{漏} = 24 \sim 70$ 千缪。

地面漏风风流多个单孔成并联，这是漏风总风阻变小的原因。若把多个单孔 $R_{孔}$ 看

作相等，由 $R_{漏} = \frac{R_{孔}}{n^2}$

$$\text{得 } n = \sqrt{\frac{R_{孔}}{R_{漏}}} = 18 \sim 5 \text{ (条)}$$

可见原立井漏风总风阻太小了。整个百米复盖松散物风阻不过是双层泥抹风墙的风阻或者园木筑的一道风墙而已。

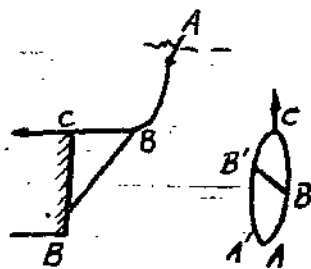
4. 溜子道口出风——地面漏风总风阻小的一个例证

封闭的采空区在一般情况下,溜子道闭进风,回风道闭出风。当地面漏风时,有时溜子道闭也出风。正在回采的工作面也常出现这种情况,不仅回风道有经采空区漏入的风量,中间巷和溜子道也有来自采空区的地面漏风。

图四, $B'C$ 是向左推进的工作面, $A'B'$ 为自井口至工作面下口的入风风路; ABC 是地面至工作面上口的漏风风路, B 点为上、下部采空区与下部采空区冒通口, ABB' 是地面至溜子道漏风风路。

据漏风压的定义, $h_{ABC} = h_{A'B'C'}$ 也就是说 ABC 与 $A'B'C'$ 为一并联风路, $B'B$ 为角联。

据对角风流的判别式,



图四

$$\frac{R_{AB}}{R_{BC}} < \frac{R_{A'B'}}{R_{B'C}}$$

这时对角风流 BB' 风流方向自 B 向 B' , 即溜子道也出风。我们已知道, $R_{A'B'}$ 为至溜子道口入风阻, $R_{B'C}$ 为工作面风阻。对一定的工作面 $R_{A'B'}/R_{B'C}$ 基本为一定值, R_{BC} 为冒落口至工作面上出口风阻, 通常 BC 这段巷道还未冒落, 风阻不是很大的, 因长度不过30多米。欲使上式成立, 也说明 R_{AB} 风阻不大。

如果 R_{AB} 增大, 如地面复盖时, 就有可能

$$\frac{R_{AB}}{R_{BC}} = \frac{R_{A'B'}}{R_{B'C}}$$

$B'B$ 上无风流, 这时溜子道口无来自采空区的地面漏风。如果 R_{AB} 再增大, 就会自

$$\frac{R_{AB}}{R_{BC}} > \frac{R_{A'B'}}{R_{B'C}}$$

$B'B$ 上出现自 B' 至 B 的风流方向, 这就是通常无地面漏风时, 在工作面通风压差作用下, 向老塘的扩散漏风。

以上讨论, 我们发现, 对不同的采区、采面来说, $R_{A'B'}/R_{B'C}$ 的值愈大, 如入风阻较大的边远采区, 如果地面不加复盖, 那么, 不仅回风道, 连中间巷、溜子道等通向采区的一切通道皆为地面漏风的入口。由此可见, 溜子道出风是地面漏风严重的必然结果, 也是地面漏风总风阻相对入风阻太小的一个明显例证。

二 地面漏风的危害

(一) 增加地面漏风耗电

为计算地面漏风压，以原立井资料为例。计算漏风压有两个公式：
 如果已知至工作面的入风系统的各段风阻、风量，可用(2)式计算；
 如果已知工作面的风量和入风风阻，可据(3)式计算。需要说明一下，入风风阻并不是逐段风阻之和，要首先计算出分风系数，才可按(3)式计算之。

计算结果，西翼漏风压等于70毫米水柱，东翼等于40毫米水柱。

我们还对原立井整个网路，在堵绝地面漏风之后的风阻进行了初步计算：

$$R'_{\text{总}} = 0.0256 \text{ 千缪}$$

按现在扇风机的入风量 $77.1 \text{ 米}^3/\text{秒}$ 计，风压 $h = 0.0256 \times 77.1^2 = 152 \text{ 毫米水柱}$ 。

因现在地面漏风，矿井总风阻降低了，据测定，风峒处静压95毫米水柱，动压 $hd = 17.6 \text{ 毫米水柱}$ ，自然风压 $h_{\text{自}} = 10 \text{ 毫米水柱}$ 。

$$h_{\text{扇静}} = h_{\text{静}} - hd = 95 - 17.6 = 77.4 \text{ 毫米水柱}$$

$$h_{\text{阻}} = h_{\text{扇静}} + h_{\text{自}} = 77.4 + 10 = 87.4 \text{ 毫米水柱}$$

$$\therefore R_{\text{总}} = \frac{87.4}{77.1^2} = 0.0147 \text{ 千缪}$$

$R_{\text{总}}$ 的降低原因是很清楚的。由于地面漏风，等于并入了多个并联支路。实际上

$R_{\text{总}}$ 是包含地面漏风风路在内的矿井总风阻。

这个多余的并联支路，给发火和安全带来不利影响，还增加无益电耗。

据矿井地面总漏风量和漏风压，可计算出电耗和费用：

取东西翼地面漏风压的平均值 $(40 + 70) / 2$ ，地面总漏风量 $10.3 \text{ 米}^3/\text{秒}$ 。

$$N = \frac{HQ}{102 \eta_1 \eta_2} = \frac{55 \times 10^3}{102 \times 0.3 \times 0.90} = 20.57 \text{ 千瓦}$$

式中：N——功率(千瓦)

η_1 ——扇风机效率

η_2 ——电动机效率

年费用 $F = 20.57 \times 365 \times 24 \times 0.1 = 1.8 \text{ 万元}$

由于地面漏风和其他漏风的影响，使总风阻降低，使风机的工况不合理，扇风机效率仅0.4左右。

我们又查阅了原立井的设计说明书(西安设计院)，按设计的矿井通风特征，风量 $91 \text{ 米}^3/\text{秒}$ ，风压 $151 \sim 193 \text{ 毫米水柱}$ 。这与上面堵绝地面漏风时相近。原设计选用国产K—06型扇风机，因某种原因，现用的是B—YJ1124型(苏产)扇风机，是不合理的。尤其是地面漏风严重，出现低负压，高风量的工况，使效率更低。对此风机进行改造乃当务之急。据新疆煤炭料研所吴亦浩同志的意见，可将目前的二段级改为一段运行，并

对风机外壳进行适当修正, 其效率可提高10%。

(二) 采面风量不足, 调风困难

由地面漏风公式的推导式 (4)

$$R_{\text{漏}} Q_{\text{漏}}^2 = (m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2 + R_3) Q_3^2$$

令 $R_{\text{入}} = m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2 + R_3$ 这是我们已定义过的, 至工作面上口的入风系统风

阻, 简称工作面入风阻, 这样:

$$R_{\text{漏}} Q_{\text{漏}}^2 = R_{\text{入}} Q_3^2 \dots \dots \dots (18)$$

上式亦为简单并联网路。

一般地, 可用复杂网路各段风阻和分风系数, 将图一那样的网路分解成如下的网路, 如图五。

$R_{1-2-3} = R_{\text{入}}$, 地面漏风风路就与 $R_{\text{入}}$ 呈简单并联。

据并联风量自然分配公式,

$$Q_3 = \frac{Q_0}{\sqrt{\frac{R_{\text{入}}}{R_{\text{漏}}} + 1}}$$

式中: $Q_0 = Q_3 + Q_{\text{漏}}$

由上式可见, 只有当 $R_{\text{漏}} \rightarrow \infty$ 时, $Q_3 = Q_0$, 就是说
要增加工作面的风量, 就要增加漏风风阻。换言之, 堵
漏才能增风。因此, 地面漏风是工作面风量不足的基本
原因。

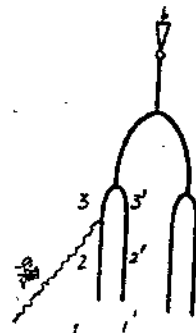
当然, 地面漏风的减小值并不等于工作面风量的增
加值。因为 $R_{\text{漏}}$ 的增加, 引起矿井中总风阻的增加, 改
变了扇风机工况, 使总入风量有所下降, 分配到工作面

的风量增加略小于地面漏风的减小值。对于个别工作面, 这种影响几乎可以忽略。

由公式 (5)

$$\frac{Q_{\text{漏}}}{Q_3} = \sqrt{\frac{m^2 n^2 R_1 + n^2 R_2 + R_3}{R_{\text{漏}}}}$$

当 $R_{\text{漏}}$ 不变时, 入风主干风路愈长, 而 R_1 、 R_2 愈大, 地面漏风也就愈严重。这就是



图五

边远采区风量更加不足的原因。

网路愈复杂，即风量分配系数 m 、 n ……愈多，或者分风数多即 m 、 n ……数值大，如近距离煤层群，往往三、四槽在一个区的同时回采，采区风量尤感不足。另外近距离煤层群因采动影响，往往相互串风，相当若干并联风路，使 $R_{漏}$ 减小，漏风加剧，采面风量相对减少。

为了减少地面漏风，增加采面风量，减小主干风路的风阻，工程量太大，几乎不可能；减小采区和工作面风阻，在理论上是可行的，实际上却很难办到。减少工作面回风系统风阻呢？从公式(5)已经指明，即回风系统风阻的增减，不改变 $Q_{漏}/Q_1$ 的比值。多条回路的各分支巷道中，若无局扇和自然风压的作用，且巷道风阻不变时，总风量变化之比等于各支路风量变化之比。即

$$\frac{Q_0'}{Q_0} = \frac{Q_1'}{Q_1} \quad (19)$$

式中： Q_0 、 Q_0' ——变化前后总风量

Q_1 、 Q_1' ——变化前后某支路风量

据上面的关系，如增加总入风量，各分支 $Q_{漏}$ 、 Q_1 亦按同样比例增加， $Q_{漏}/Q_1$ 比值不变，增加了工作面风量同时也增加了漏风，给防火和安全带来麻烦，并有可能使回风系统风速超限。

(三) 局扇不能解脱困境

为了增加采面的风量，采面大量使用局扇，可是，采面溜子道局扇经常拉循环风，甚至将附近闭内气体抽出。

应该说，局扇对非正规采法的工作面起了一定的作用，那些超前小眼漏风严重，利用风筒这个独立风道将有限的风量送到采面，但采面缺风的局面并未改观。

当井下并联巷道其中一个风阻较大，需要增加该巷道的风量，使用局扇是合适的，但它是以减少其他并联巷道的风量为前提的。

图六是复杂并联网路图解。

当无局扇时， R_1 、 R_2 的风量分别是 a 、 b ；

当 R_1 设局扇Ⅰ后， R_1 的风量由 a 增加至 a' ， R_2 的风量由 b 减至 b' ；

当 R_2 设局扇Ⅱ后， R_2 的风量又从 a' 降至 c ， R_1 的风量又由 b' 增至 d 。

因此，一个并联网路都设上局扇，则是相互抑制的，矿井总风量的增加是很有限的，远不能满足工作面的需要。

更重要的问题是， R_1' 风量的增加不能超过 R_1' 与 I' 的并联转化风机特性曲线 I'' 和横轴 OQ 的交点。换言之，局扇的吸风量不能超过主扇为该巷道所提供的风量。否则就会发生与该巷道相并联的巷道中的风流逆转。如局扇是敞放着的，就拉循环风。

由于地面漏风的缘故，采区的总入风量受到限制。因而局扇的作用就受到限制。尤其是多级复杂网路就更为明显。

局扇重要的作用是提高了工作面的静压，可以抵消部分漏风压。提立井西₂、西₁₂溜子道观测资料，溜子道局扇开、停相比较，溜子道闭内压力可以降低3毫米水柱，对漏风压较大的矿井，其作用也就有限了。如原立井 $h_{漏} = 55$ 毫米水柱， $Q_{漏} = 1$ 米³/秒，

$$R_{漏} = \frac{h_{漏}}{Q_{漏}^2} = \frac{55}{1} = 55 \text{ 千缪}$$

当 $h_{漏} = 55 - 3 = 52$ 毫米水柱时

$$Q_{漏} = \sqrt{\frac{52}{55}} = 0.97 \text{ 米}^3/\text{秒}$$

故漏风量减少或近似于入风量增加： $1 - 0.97 = 0.03$ 米³/秒 = 1.8米³/分。

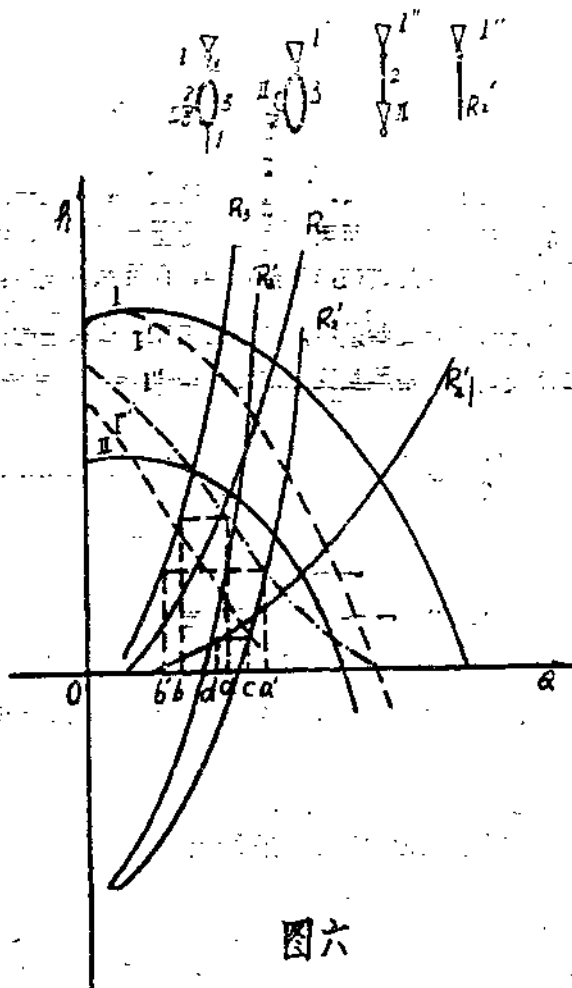
当采空区发火时，火风压抵消大部份漏风压，局扇的作用就明显起来，这正是均压灭火的根据。

(四) 回风系统风速超限

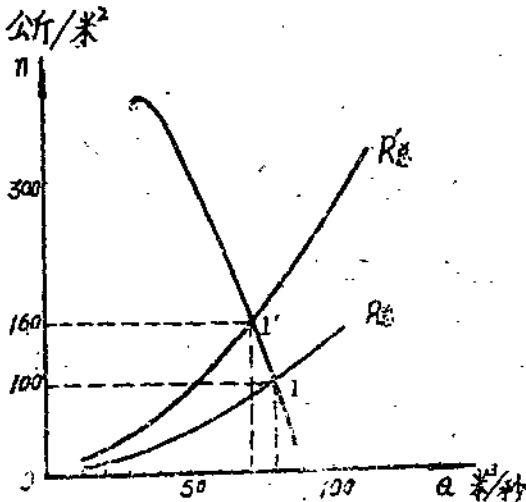
当地面漏风很微弱时，对井下风流系统和扇风机工况没有什么影响；当地面漏风严重，甚至地面漏风对工作面入风系统已成短路风流，就要考虑这种后果。它对矿井的通风设计、通风管理、井下安全都有一定的现实意义。

很明显，像立井那样4、5个工作面变成4、5个漏风通道，对井下通风系统和扇风机工况会带来影响是可想而知的。

立井现状和堵绝地面漏风以后，矿井总风阻和扇风机工况的变化，如图七所示。



图六



按设计, 扇风机工况应在 I' , 由于地面漏风影响而降为 I 。同时; 风量也增加。这种风量增加是从回风系统开始的, 矿井口的总入风量反而减少了。

一般设计并未考虑到这种情况, 即特别加大回风系统的巷道断面。

设巷道的允许风速为 v , 风量为 Q , 设计断面为 S , 并设:

$$\frac{Q_{\text{漏}}}{Q} = a\%, S = \frac{Q}{v},$$

$$S' = \frac{Q + a\%Q}{v} = (1 + a\%) \frac{Q}{v} = (1 + a\%) S$$

$$\Delta S = S' - S = (1 + a\%) S - S = a\% S$$

上式表明, 某巷道增加通过风量的百分之几, 为了不使风速超限, 断面也应随之增加百分之几。如地面总漏入风量占总排风量的13.1%, 那么总排巷道断面也该相应增加原断面的13.1%。

由此可见, 地面漏风严重的矿井, 回风系统相应巷道风速超限在所难免。

此外, 这种地面漏风严重的矿井回风系统的有害气体浓度也较大, 正在回采的或者密闭的采空区的有害气体皆汇集于此。煤油味经常可以闻到。一旦发火, 即威胁到总回风系统。

三、地面漏风及复盖效果的检测

(一) 采面地面漏风的测定

测定地面漏风量很重要, 它是衡量地面漏风情况、检查地面复盖效果的依据之一。

直接测定是很困难的。在生产情况下, 有溜子道与回风道与采空区相通, 有时这两种道都有风漏入。由于断面大, 风速很小, 且邻近采空区断面不规整, 生产干扰等原因, 很难直接测定地面漏风量。但可以用以下间接测定法。

1. 入回风量差

测定工作面溜子道和回风道的风量, 回风量比入风量多出的风量即是地面漏风量。在低沼矿井, 可以不考虑风流经采面的沼气增加量。但要注意, 需同时测定。另外要注意除地面漏风外, 入、回风风流中不让其他风流流进或流出。

此法用于采区, 可测出采区漏入风量, 用于全矿井, 需要考虑有害气体含量、热膨胀的影响。粗略计之, 亦可以不加考虑。

2. 气体测定法

设采空区漏入风量为 $Q_{\text{漏}}$, 含某种气体浓度为 a , 工作面入风 Q , 含有某种气体为 b , 工作面回风道测得回风量为 Q' , 含有某种气体浓度为 C 。

由上假设得工作面入风量 $Q = Q' - Q_{\text{漏}}$, 得

$$a Q_{\text{漏}} + b (Q' - Q_{\text{漏}}) = C Q'$$

$$\text{则得 } Q_{\text{漏}} = \frac{C-b}{a-b} Q' \dots\dots\dots (20)$$

【例】今测工作面上口CO含量 $a=0.01\%$ ，工作面入风CO， $b=0$ ，回风道测得风量 $Q'=160\text{米}^3/\text{分}$ ，CO， $C=0.0032\%$

由(20)式，

$$Q_{\text{漏}} = \frac{0.0032\%}{0.01\%} \times 160 = 51.2 (\text{米}^3/\text{分})$$

采区漏风量亦可用气体测定法。

随着地面复盖的进行，某工作面 $h_{\text{漏}}$ ，深度 l 不变， $Q_{\text{漏}}$ 将由紊流而至层流。据表二中 $Q_{\text{漏}}$ 的变化如图八所示。

虽说表二中是具体指漏风孔隙的变化导致流态的变化，地面复盖只使上层新生的塌陷裂隙被盖或堵塞引起流态变化。据相似原理，紊流与层流状态风量相互关系亦如上图所示。图示表明，在紊流态复盖效果十分惊人，遗憾的是至层流态，风量下降像停滞了一样。

(二) 漏风流态的测定

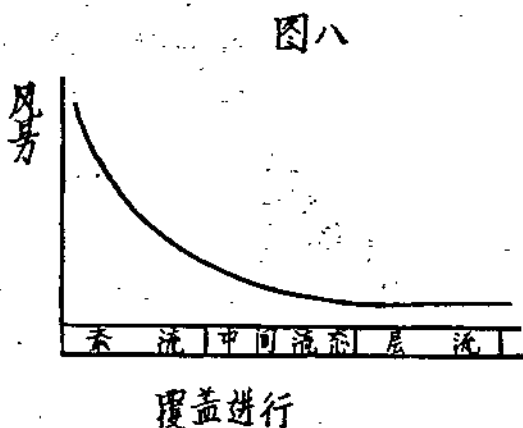
不论紊流或层流，干流(Q_0)与支流(Q_i)的风量变化前后关系如下：

$$\frac{Q'_0}{Q_0} = \frac{Q'_i}{Q_i}$$

$$\text{得 } \left(\frac{Q'_0}{Q_0} \right)^n = \left(\frac{Q'_i}{Q_i} \right)^n$$

$$\frac{R_0 (Q'_0)^n}{R_0 (Q_0)^n} = \frac{R_i (Q'_i)^n}{R_i (Q_i)^n} = \left(\frac{Q'_i}{Q_i} \right)^n$$

$$\frac{H'}{H} = \frac{h_i'}{h_i} = \left(\frac{Q'_i}{Q_i} \right)^n \dots\dots\dots (21)$$



当风压变化时,引起流态的改变,由(16)、(17)式风压对流态的改变较小。
(21)式中 $n=2$ 为紊流, $n=1$ 为层流。

上式表明,在复杂网络中,若无扇风和自然风压的作用,且巷道风阻不变时,总风压变化之比等于各支路或某段风压变化之比。且等于风量变化之比的几次方($n=1\sim 2$)
由(18)式,

$$R_{\text{漏}} Q_{\text{漏}}^n = R_{\text{入}} Q_3^2 = h_{\text{漏}} \dots\dots\dots (a)$$

$$R_{\text{漏}} (Q'_{\text{漏}})^n = R_{\text{入}} (Q'_3)^2 = h'_{\text{漏}} \dots\dots\dots (b)$$

用(a)(b)前两项, $\frac{(b)}{(a)}$,

$$\left(\frac{Q'_{\text{漏}}}{Q_{\text{漏}}}\right)^n = \left(\frac{Q'_3}{Q_3}\right)^2$$

两边取对数,并解出 n

$$n = \frac{(\lg Q'_3 - \lg Q_3)}{\lg Q'_{\text{漏}} - \lg Q_{\text{漏}}} \dots\dots\dots (22)$$

取(a)、(b)式后两项, $\frac{(b)}{(a)}$

$$\frac{h'_{\text{漏}}}{h_{\text{漏}}} = \left(\frac{Q'_3}{Q_3}\right)^2 \dots\dots\dots (23)$$

漏风压随入风压($R_{\text{入}} Q_3^2$)而变,把采空区视作随入风压而变的相对独立的系统,其内包含并、串联的复杂系统。采空区的溜子道密闭和回风道密闭可视为这个系统的支路线段。因而可应用(21)式,

令(21)式 $h_i = h_{\text{闭}}$, $h_{\text{闭}}$ 为闭内外压力差

由(23)和(21)式

$$\frac{h'_{\text{漏}}}{h_{\text{漏}}} = \frac{h'_{\text{闭}}}{h_{\text{闭}}} = \left(\frac{Q'_3}{Q_3}\right)^2$$

$$\text{因此 } \frac{h'_{\text{闭}}}{h_{\text{闭}}} = \left(\frac{Q'_3}{Q_3}\right)^2 \dots\dots\dots (24)$$

同理,取(a)、(b)式两端的两项 $\frac{(b)}{(a)}$