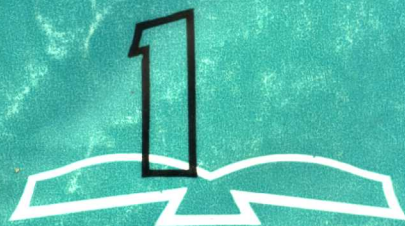


中国煤炭工业劳动保护科学技术学会

矿井通风论文选集



矿井通风专业委员会编

前 言

中国煤炭工业劳动保护科学技术学会矿井通风专业委员会于1985年12月1日正式成立,迄今已近三年。三年来在中国煤炭工业劳动保护科学技术学会的直接领导下,在煤炭部有关部门的大力支持下,专业委员会团结广大会员本着以改善我国煤矿安全生产条件,促进矿井通风科学技术发展为目标,脚踏实地的作了许多工作。其中每年一度的学术讨论会不仅汇集了我国煤矿通风安全战线上的许多知名专家、学者以及青年科技工作者,交流宝贵的通风工作经验,探索新的通风理论,推广新的通风技术,发表了许多水平较高的文章。而且在学术会议上坚持辩证唯物主义和实事求是、理论联系实际的科学态度与作风、遵循“百花齐放、百家争鸣”的方针,相互切磋、相互讨论、集思广益、深化了我们对矿井通风学科新经验、新理论、新技术的认识。为了使更多的矿井通风工作者从中吸取营养,为了使矿井通风领域内的成果与经验尽快转化为生产力,现将1985年在常州召开的第一届学术会议上发表的文章选其内容较好者刊出以飨读者。

中国煤炭工业劳动保护科学技术学会矿井通风专业委员会

中国煤炭工业劳动保护科学技术学会 矿井通风专业委员会顾问名单

魏 同	顾 问	高级工程师	中国矿业学院
戴国权	顾 问	高级工程师	开滦矿务局
李学庆	顾 问	总 工 程 师	煤炭部安监局
黄元平	顾 问	教 授	中国矿业学院北京研究生部
倪福东	顾 问	高级工程师	江苏省煤炭总公司

矿井通风专业委员会常设办公地点:江苏省徐州市中国矿业学院采矿系通风安全教研室。

中国煤炭工业劳动保护科学技术学会

矿井通风专业委员会委员名单

姓 名	学会职务	工作职称(务)	工 作 单 位
王省身	主任委员	教 授	中国矿业学院
卞伯绶	副主任委员	处 长	煤炭部安监局通风处
赵以蕙	副主任委员	副 教 授	中国矿业学院
李春义	副主任委员	高级工程师	江苏省煤炭总公司生产处
张惠忱	秘 书 长	副 教 授	中国矿业学院
王新泉	秘 书	工 程 师	中国矿业学院
马逸吟	委 员	副 教 授	淮南矿业学院
王 冶	委 员	教 授	山西矿业学院
王 云	委 员	高级工程师	抚顺矿务局
王家琛	委 员	高级工程师	中国煤炭科学院合肥研究所
叶汝陵	委 员	高级工程师	中国煤炭科学院重庆研究所
许瑞祯	委 员	副 处 长	徐州矿务局通风处
刘秉钧	委 员	主任工程师	淮南矿务局通风处
张正安	委 员	处 长	兖州矿务局通风处
吴锡君	委 员	副 处 长	鹤岗矿务局通风处
胡 菊	委 员	主任工程师	平顶山矿务局通风处
龚鹏飞	委 员	总 工 程 师	新密矿务局
韩来德	委 员	副 教 授	阜新矿业学院
范明训	委 员	副 教 授	山东矿业学院
刘冠姝	委 员	讲 师	西安矿业学院
郝兵印	委 员	主任工程师	阳泉矿务局通风处
袁本珩	委 员	处 长	开滦矿务局通风处
孙承仁	委 员	副 教 授	北京煤炭管理干部学院
刘家骧	委 员	处 长	焦作矿务局通风处
韩绍文	委 员	高级工程师	东北内蒙古煤炭公司本溪干部管理学院
夏安邦	委 员	工 程 师	煤炭部规划设计总院
吴振国	委 员	工 程 师	沈阳煤矿设计研究院
余心宁	委 员	工 程 师	武汉煤矿设计研究院
张治峰	委 员	党 委 书 记	北京矿务局
朱美丽	委 员	高级工程师	煤炭部安监局通风处

煤矿矿井通风论文集

目 录

绝热管路中水流的温升·····	淮南矿业学院	马逸吟 (1)
注水防止采空区煤炭自燃·····	中国矿业学院 王省身 邱志乾	王 岱 (5)
矿井通风系统模糊综合评判法·····	福州大学地矿系	林香民 (11)
管风与防灭火·····	山西矿业学院	王 治 (18)
矿井主扇性能鉴定的误差分析·····	中国矿业学院	张惠忱 (26)
矿井无风机空气加热的井筒防冻方式中的风量平衡计算 ·····	沈阳煤矿设计院	吴振国 (33)
由压入式过渡为抽出式通风的实践 ·····	平顶山矿务局 赵延绍 康聚鼎 王书庆	胡 菊 (46)
关于矿床极限开采深度的热力学分析·····	抚顺煤炭研究所	杨德源 (53)
台湾煤矿与高温·····	武汉工业大学	侯祺棕 (60)
用气体分析法检测矿井地面漏风·····	大屯煤电公司通风处	吴福根 (68)
水平和缓倾斜运输机巷气温计算方法·····	武汉煤矿设计研究院 余心宁	谭 骏 (72)
平顶山一矿通风系统改进·····	平顶山矿务局一矿 孙国振 薛朝英	王安民 (83)
南方山区小型煤矿通风系统的探讨 ·····	淮南矿业学院、福建煤炭研究所 张国枢执笔	(93)
局部均压通风法在综采工作面的应用·····	铁法矿务局晓南煤矿	孙士和 (100)
矿井区域性远控反风系统的研究·····	中国矿业学院 王省身 李建明	邱志前 (107)
井巷通风摩擦阻力系数的影响因素·····	武汉煤矿设计研究院	王昌映 (113)
心理规律与煤矿安全·····	南京煤炭局安监科	黄 健 (118)
矿井主扇风机性能鉴定的数据处理·····	中国矿业学院	黄平安 (123)

绝热管路中水流的温升

马逸吟

(淮南矿业学院)

一、引言

在矿井空调用冷水的隔热输送工程中, 流行着这样的观点, 即认为水流在管道内向矿井深部流动时, 水流的位能将转化为压能而自行压缩升温, 此温升值 Δt_p 正比于高差 $Z(m)$, 并用下式计算, 即

$$\Delta t_p = Zg/C_w = 2.34 \cdot 10^{-3} Z \text{ (K)} \quad (1)$$

式中 C_w 为水的质量比热, $4187 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

当高差 $Z=1000\text{m}$ 时, 压缩温升 $\Delta t_p=2.342\text{K}$ 。

M.J.Mcpherson在《南非矿井通风协会会志》1984年№5上推荐了R.Ramsden的论文^[1]。Ramsden在论文中提出了新论点, 认为井筒管路中水流“自行压缩”是虚构的, 并不是过去认为的那样, 每千米垂深温升 2.34°C 。

Mcpherson对Ramsden的新观点作了高度评价, 并且“用多少有些不同的方法, 检验了这个观点, 得到了相同的结论”。Mcpherson在其引荐文章的末尾说:“这是否意味着我们过去在计算中, 取水管垂深每千米温升 2.34°C 是错了呢? 我认为不是。错误在于将它归之于压缩温升。Ramsden这样说明这一点: ‘当水从管内流出时, 水压最终降成大气压, ……于是才有 2.34K/km 的焦耳—汤普森效应引起的温升’。”Mcpherson认为, “当水流沿井下管道流动及经过阀门而压力降成大气压时, 以前被称为自行压缩的温升仍将显现, 但宜称之为摩擦温升”; 此温升可用下式计算:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = P_R/(\rho \cdot C_w) \quad (2)$$

式中 P_R ——1、2断面间水流阻力损失, Pa;

ρ ——水的密度, 10^3 kg/m^3 ;

C_w ——同前。

Mcpherson还援引了南非《机械工程师》杂志1967年10月所载Whillier著文《根据温度测量确定泵的效率》内关于水受压缩时等熵温升的近似式, 即温升与水的初温 $t(^{\circ}\text{C})$ 有关, 每升高 1kPa 之温升值为:

$$(0.759t - 0.2) \times 10^{-6} \quad ^{\circ}\text{C/kPa} \quad (3)$$

上列问题受到采矿界的关注, 因为矿井空调用低温水, 在隔热输送过程中, 其标高变化可达数百米甚至数千米, 这种情况在其它工业中是遇不到的。本文从水与空气下行流动时的不同特性, 讨论隔热管路中水流温升的计算方法。

二、流体流动时的能量方程

由热力学第一定律可以推得机械能形式的能量方程^[2](伯努利方程)和热能形式的能量方程(焓值方程)。根据热力学第一定律, 每千克质量流体流经1、2断面时, 设其动能增量

为 $0.5(U_2^2 - U_1^2)$, 位能增量为 $(Z_2 - Z_1)g$, 内能增量为 $(E_2 - E_1)$, 压能增量为 $(P_2V_2 - P_1V_1)$, 流体克服阻力所做的功为 L_R , 则加入流体中的热量 q 为上述动能、位能、内能、压能诸增量与功 L_R 之和, 而且热量 q 为外界给予的热量 q_0 与克服阻力做功转变而成的热量 q_R 之和, 即

$$q = q_0 + q_R = L_R + 0.5(U_2^2 - U_1^2) + (Z_2 - Z_1)g + (E_2 - E_1) + (P_2V_2 - P_1V_1) \quad \text{J/kg} \quad (4)$$

式中 P_1 、 P_2 ——1、2 断面流体的压强, Pa;

V_1 、 V_2 ——1、2 断面流体的比容, m^3/kg 。

当 1、2 断面无限接近时, 可列出 (4) 式的微分式, 即

$$dq = dq_0 + dq_R = dL_R + 0.5dU^2 + gdZ + dE + d(PV) \quad (4a)$$

因为 $d(PV) = PdV + VdP$, 从热力学可知 $dq = dE + PdV$, 代入 (4a) 式可得

$$dL_R + 0.5dU^2 + gdZ + VdP = 0 \quad (4b)$$

将上式积分, 得

$$L_R + 0.5(U_2^2 - U_1^2) + g(Z_2 - Z_1) + \int_1^2 VdP = 0 \quad (5)$$

此式即伯努利方程, 式中不出现热量参数, 这是其特点。

因 q_R 代表流体克服阻力做功所转化的热量, 故 $q_R = L_R$, 代入 (4) 式, 则得

$$q_0 = 0.5(U_2^2 - U_1^2) + (Z_2 - Z_1)g + (E_2 - E_1) + (P_2V_2 - P_1V_1) \quad (6)$$

因为流体的焓 $i = E + PV$, 故 (6) 式可写成

$$i_2 - i_1 = 0.5(U_2^2 - U_1^2) + (Z_2 - Z_1)g + q_0 \quad (7)$$

式 (7) 即焓值方程, 式中不出现阻力损失 L_R 项, 这是其特点。所以用焓值方程计算风流温升时, 不必考虑阻力 L_R 及由之转化而成的 q_R 。

由式 (5) 及 (6) 可得下式

$$\begin{aligned} L_R + \int_1^2 VdP &= 0.5(U_2^2 - U_1^2) + (Z_2 - Z_1)g \\ &= (P_2V_2 - P_1V_1) + (E_2 - E_1) - q_0 \end{aligned} \quad (8)$$

在绝热流动时, $q_0 = 0$, 这时

$$\left. \begin{aligned} L_R + \int_1^2 VdP &= (P_2V_2 - P_1V_1) + (E_2 - E_1) \\ 0.5(U_2^2 - U_1^2) + (Z_2 - Z_1)g &= (P_2V_2 - P_1V_1) + (E_2 - E_1) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

这些方程虽然对水和空气同样适用, 但是由于水和空气的特性不同——空气的压缩性大, 适用气体状态方程, 液态水的压缩性极小, 不能应用气体状态方程, 使用上列方程时, 二者显示其差异性。

三、绝热管道中水流温升的分析

(一) 对于风流

由气体状态方程 $PV = RT$, 可得

$$P_2V_2 - P_1V_1 = R(T_2 - T_1) \quad (10)$$

又因

$$E_2 - E_1 = C_V(T_2 - T_1) \quad (11)$$

$$C_p = C_v + R \quad (12)$$

式中 R ——空气的气体常数;

C_v ——空气的定容比热, $718 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

C_p ——空气的定压比热, $1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

据此, (9)式可改写为

$$0.5 (U_1^2 - U_2^2) + (Z_1 - Z_2)g = C_p(T_2 - T_1) \quad (13)$$

当 $U_1 = U_2$ 时, 上式变为

$$(Z_1 - Z_2)g = C_p(T_2 - T_1)$$

由此可得位能与温升的关系式, 即

$$T_2 - T_1 = (Z_1 - Z_2)g / C_p \quad (14)$$

上式即为在空气的含湿量 d 不变时, 下行压缩温升与垂直高差的关系式。

当 $Z_1 - Z_2 = 100 \text{ m}$ 时, $T_2 - T_1 = 100 \times 9.81 / 1005 = 0.976^\circ\text{C}$ 。

当 $Z_1 = Z_2$ 时, $T_2 = T_1$, 即在隔热条件下, 水平流动的风流沿程温度不变 且 $P_2 V_2 = P_1 V_1$ 。

因为空气的热量由焓值确定, 而焓值方程与阻力无关, 所以下行压缩引起温升, 流动阻力损失并不引起温升。

(二)对于水流

由式(9)可得

$$E_2 - E_1 = L_R + \int_1^2 V dP - (P_2 V_2 - P_1 V_1) = L_R + \int_2^1 P dV \quad (15)$$

水的压缩性极小, 当水温为 20°C , 水压为 $1 \sim 25 \text{ at}$ 时, 水的压缩系数 K 等于 $49.1 \times 10^{-6} \text{ 1/at}^{[3]}$ 。

$$K = \Delta V / (V \cdot \Delta P) \quad 1/\text{at}$$

式中 ΔV ——体积变量; V ——原体积; ΔP ——压强变量, at 。

随着压力和温度的升高, 压缩系数略有减小。在 20°C 时, 水压从 1 at 增至 500 at 体积仅减小 2.12% 。因此, 在工程计算中, 可视水为不可压缩流体。水的比热 C_w 也可视为定值, 等于 $4187 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。水的热量主要由内能 E 来确定, 且

$$E_2 - E_1 = C_w(T_2 - T_1) \quad (16)$$

$$\text{代入(15)式, 得} \quad C_w(T_2 - T_1) = L_R + \int_2^1 P dV \quad (17)$$

上式表明, 这时水的温升是由克服阻力所做功和压缩热两种原因造成的, 其中:

$$\text{阻力温升值} \quad \Delta T_R = L_R / C_w \quad (18)$$

$$\text{压缩温升值} \quad \Delta T_P = (\int_2^1 P dV) / C_w = (\int_1^2 V dP - P_2 V_2 + P_1 V_1) / C_w \quad (19)$$

下面通过算例对两部分温升值作出比较。

算例: 设管内冷水流量为 100 t/h , 水温为 10°C , 管径为 100 mm , 竖井深 1000 m , 分别求其阻力温升和压缩温升。

解: 1. 阻力温升值

由水管阻力计算公式可求得该条件下 1000 m 水管的阻力 $P_R = 19 \text{ at} = 19 \times 9.81 \times 10^4 \text{ Pa}^{[4]}$ 。

设井口水压 $P_1 = 1 \text{ at} = 9.81 \times 10^4 \text{ Pa}$, 则井底水压 $P_2 = P_1 + \rho_m g Z / 10^4 g - P_R \text{ (at)}$ 。

设井口水的比容 $V_1 = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$, 根据压缩系数可求得井底水的比容 $V_2 = 0.996 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$, 故平均比容 $V_m = (V_1 + V_2) / 2 = 0.998 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。

水管中水的平均密度 $\rho_m = 1 / V_m = 1002 \text{ kg/m}^3$ 。

水流摩擦阻力 $L_R = P_R / \rho_m = 19 \times 9.81 \times 10^4 / 1002 = 1860.2 \text{ J/kg}$

由 (18) 式可求得 $\Delta T_R = 1860.2 / 4187 = 0.444 \text{ K}$ 。

2. 压缩温升值

$P_2 = P_1 + \rho_m \cdot Z \cdot 10^{-4} - P_R = 1 + 100.2 - 19 = 82.2 \text{ at} = 82.2 \times 9.81 \times 10^4 \text{ Pa}$

将以上数据代入 (19) 式得:

$\Delta T_P = [V_m(P_2 - P_1) - P_2 V_2 + P_1 V_1] / C_w = 0.0039 \text{ K}$ 。

若按 (3) 式计算, 则

$\Delta T_P = 0.0589 \text{ K}$ 。此值显然偏大。

因水的压缩系数随水温升高而减小, 压缩温升值也随之减小。按 (3) 式计算, 则压缩温升值将随水温升高而升高, 这是不合理的。

由上例可知, 压缩温升值 ΔT_P 远小于阻力温升值 ΔT_R , 故在工程计算中可略去不计。

四、结 论

1. 在井筒管道内水流下行时, 由于水的压缩性极小, 压缩温升值也极小, 每千米垂深升温不到 0.01°C , 工程计算中可以忽略不计。Ramsden 对每千米垂深压缩温升 2.34°C 的否定是正确的。但“自行压缩”却并非虚构, 不过其值很小罢了。

2. 在绝热管道内流动时, 水流的阻力损失引起温升, 其值可按 (18) 式计算。风流的阻力损失并不引起温升, 但由位能转化而来的压缩温升却必须考虑。

3. 管路中水流的重力位能转化为压能后, 并不一定全部消耗于克服管路阻力。众所周知, 它可转化为出口水流的动能, 用于推动矿井水力机械或水力涡轮, 也可用以引射风流或破碎煤体, 也可转化为另一连通管的位能^[5]。因此, 垂深千米必然有摩擦温升 2.34°C 的说法是不能成立的。

4. 在需要计算绝热管路内水流的压缩温升时, 宜采用 (19) 式。

参 考 文 献

- [1] Ramsden R.: The Temperature Rise of Chilled Water Flowing Through Pipes, 'Journal of The Mine Ventilation Society of South Africa', 1984, №5.
- [2] 马逸吟: 关于矿井通风学中的伯努利方程, 《淮南矿业学院学报》, 1983 №. 1.
- [3] 钟仕科、吴大江编: 简明物理手册, 江西人民出版社, 1982年。
- [4] 白铭声等编: 流体力学及流体机械, 煤炭工业出版社, 1980年。
- [5] Шербань А. Н.: Методы регулирования тепловых условий в глубоких шахтах донбасса, «разработка угольных месторождений на больших глубинах», Углетехиздат, 1955.

注水防止采空区煤炭自燃

王省身 邸志乾 王 岱

(中国矿业学院)

一、引言

向采空区灌浆是煤矿防止煤炭自燃的广为应用的方法。但是向采空区单纯注水防止煤炭自燃却使用不多,而且是有争议的。实际上,在适当条件下,即水源充足,煤层及直接顶底板岩层含硫、磷量低,煤层直接顶板岩石冒落后遇水可以形成再生顶板,应用采空区注水防火的方法不仅能防止煤炭自燃,而且还给通风、除尘创造了良好的条件,对土源缺乏的矿区更具有实用意义。

二、关于注水防止煤炭自燃的认识

水份对煤的氧化能力的影响,是一个长期有争议的问题,最普遍的观点是水份对煤只起物理机械作用,直接结果是煤与空气的接触条件发生了变化^[1]

实际上水对煤的作用是两种对立作用的统一。即水对煤的阻化作用与助氧化作用的统一。采空区内破碎的浮煤与空气接触充分有利于其氧化进程,但是,当注入的水浸湿这些碎煤,由于毛细作用,水份进入煤的孔隙和裂隙,水份充足时,还可在煤块的表面形成水膜。这就阻碍了氧在浮煤中的扩散,破坏了煤与空气的接触,因此随水份的增加,煤的氧气吸附能力下降,从而形成了水对煤的阻化作用。据苏联И.О.契尔诺夫等人的研究:经过40天后水份为4.97%的煤的氧吸附速度为 $0.18\text{cm}^3/\text{g}\cdot\text{d}$,水份为9.53%的煤的氧吸附速度为 $0.06\text{cm}^3/\text{g}\cdot\text{d}$,水份含量增加不足一倍,但氧吸附速度却减少了三分之二。

水对煤及岩石有明显的破碎作用。一是水对煤和岩石原有裂隙的扩张作用,二是水的渗透使煤和岩石内部膨胀产生应力,既扩张了原有裂隙,并有可能产生一些新裂隙,图1是大黄山煤矿344工作面煤样浸水前的电子显微镜五万倍放大照片,图2是同一煤样浸水干燥后的电子显微镜五万倍放大照片,通过照片的对比可以看到,浸水后煤样单位面积上的裂隙比浸水前有明显的增加,因此浸水后煤样与空气的接触面积增加了。接触面积的增加将促进煤的氧化,这就是水对煤的助氧化作用。

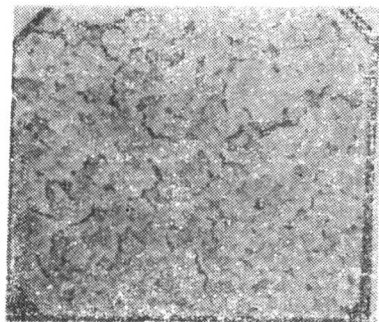


图1 煤样浸水前

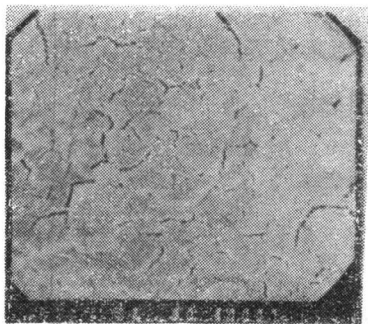


图2 煤样浸水后

水对煤是起阻化还是助氧化作用, 决定于煤中水份含量的多少。未被湿润的煤在其破碎后吸氧速度增加了1.5~2.6倍, 而湿润的煤只增加了0.5倍^[1]。这说明: 若水份充足, 尽管水对煤有破碎作用, 但对氧气扩散与接触的阻碍仍起主要作用, 因此能阻止煤的氧化。

湿润的煤导热性增强, 使氧化过程中产生的热量能够更快地逸散, 因此起着减缓煤的自热自催化过程。一部分散出的热量消耗在水份蒸发上, 使采空区的温度在一定时间内保持相对稳定, 同时氧气因消耗而减少, 水蒸汽却增加, 使得空气的成分改变, 空气惰化, (1L水加热后可蒸发成1700L水蒸汽)。进而减缓煤的自热进程(如1kg的水由20℃上升到100℃, 再汽化成100℃的水蒸汽总共可吸收热量2592kJ)。漏风大的地区, 此作用不明显。

煤吸收水份后其着火温度有所提高, 相对而言煤变得不易自燃。据测定^[2]煤吸收水份与着火温度有如图3所示的关系。

从图3可以看出, 吸收水份增加1%, 着火温度提高1℃左右。

采空区注水防止煤炭自燃的作用还表现在改善了煤与外界的导热条件。当原煤层采用下行分层全部陷落法开采时, 由于注水给尽快形成再生顶板创造了条件, 也就减少了采空区的漏风, 阻碍了空气与采空区内浮煤的接触, 因此, 改善了煤与外界的导热条件, 减缓了煤的氧化速度, 阻止了煤的自燃。通过对大黄山煤矿344工作面顶板岩石(深灰色页岩)浸湿加压实验发现, 浸湿后的岩石强度随时间加长急剧降低, 如图4所示。

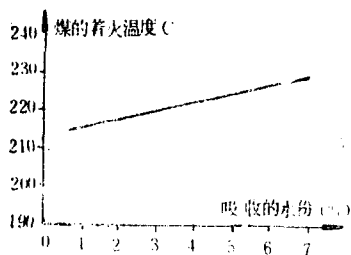


图3 煤吸收水份与着火温度的关系

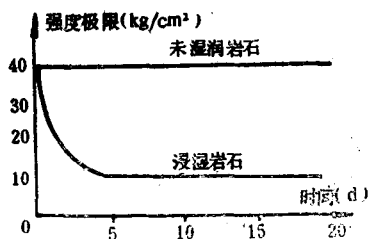


图4 344工作面顶板岩石单向抗压强度极限随时间变化对比曲线

现场观察到, 未浸水的顶板冒落岩石呈松散的破碎状态, 浸水后的顶板冒落岩石呈密实的胶结状态, 构成了再生顶板。另外, 由于注水后岩石强度降低, 在大范围内使冒落岩石的孔隙率大为减少, 进而减少了漏风, 阻止了煤的自燃。

三、水流在采空区内的流动规律和分布状态

(一) 理想条件下点水流的流动规律

在采空区注水时的一个出水点称为点水源, 以点水源为坐标系原点, 自点 (x, y) 引射线 L , 在点 (x, y) 处给定一垂直于 L 的弧线段 ΔS , 设通过 ΔS 的水流强度为 ΔQ_s (m^3/min), 则称极限

$$\lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta Q_s}{\Delta S} = \varphi(S)$$

为水流强度分布函数。根据实测, 对水流运动状态作出合乎实际的化简后, 可以证明在图5中所示的坐标系下水流强度的分布为:

$$\varphi(l, 0) = Q\sqrt{A/\pi l} e^{-A\theta^2 l} \quad (1)$$

其中 $(l, 0)$ 为坐标变量, l 为 L 的模, 即水流流淌距离。 Q 为水流强度, $A=2\sqrt{(1-m)/E(V)}$ 为采空区冒落岩石的块度与孔隙率对水流分布的作用系数。 m 为孔隙率, $E(V)$ 为冒落岩块体积的数学期望, 亦即其平均值。

由(1)式知, 冒落岩石对水流分布的影响反映在系数 A 上。图6是当 $Q=1\text{m}^3/\text{h}$, l 分别取值5、10、11、14m时的 $\varphi(S)$ 图形, 系数 $A=16.68\text{m}^{-1}$ 为大黄山煤矿344工作面的实测值。

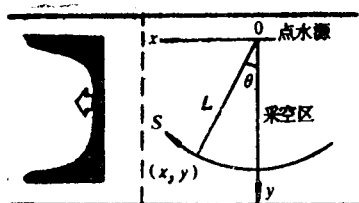


图5 采空区内水流参数坐标系

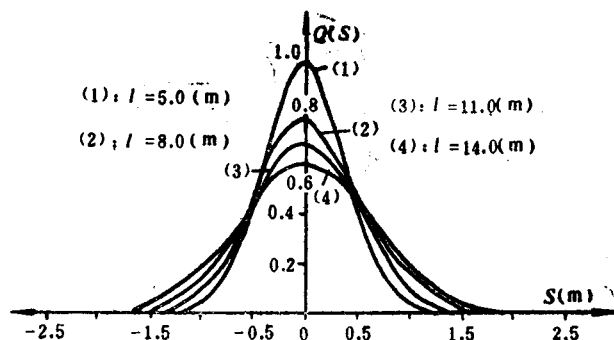


图6 采空区内水流强度分布函数曲线

分析图4可以认为水流所波及的范围只限定在一个扇形区内, 如图7所示。 α 为水流的理论扩散角, 理论扩散角 $\alpha=1/2$ 弧度, 近似等于 29° 。

由水流强度分布可以导出水流在采空区内的流动方程式为:

$$t = \int_0^l \frac{\sqrt{l}}{B} e^{A\theta^2 l} dl \quad (2)$$

式中 t 表示时间, 系数 $B=Q/Q_a \cdot \sqrt{2/\pi} [(1-m)/E(V)]^{1/6}$, Q_a 为采空区单位面积上的存留水量。在 t 值给定的情况下, (2)式描述了该时刻水流对底板的湿润边界曲线。图8绘出了 $Q_a=0.06\text{m}^3/\text{m}^2$, $Q=1.2\text{m}^3/\text{h}$, $(1-m)/E(V)=580\text{块}/\text{m}^3$ 条件下对应不同时刻水流波及范围图形。水流流淌最大距离与时间的关系式为:

$$l = \left(\frac{3B}{2} \right)^{2/3} \cdot t^{2/3} \quad (3)$$

从(3)式知, 采空区的冒落状况对水流流动有极大影响, 若冒落岩块较破碎($E(V)$ 较小), 则 B 与 A 都要相应增大, 其结果是 Y 轴附近的水流外扩速度明显增大, 而在 $\alpha=29^\circ$ 附近区域水流的外扩速度明显减少, 这使得水流波及区域的平均宽度变窄。因此水流将更加集中在 Y 轴附近的狭长区域内。

(二) 实际条件下采空区内点水源水流流动规律和分布状态

在上面的理论推导中, 取点水源的水流流动为各向同性, 但是由埋在采空区内的集水器探测到, 水流的分布状态除受冒落岩块影响外还受其它因素, 如采空区底板上浮煤和沟槽的规则排列的影响, 实际并非各向同性。这些影响带来以下两个方面的变化。

1. 水流扩散角变小。

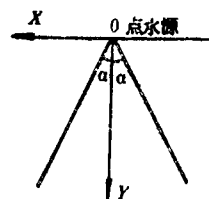


图7 水流扇形区

对大黄山煤矿344工作面观测发现,浮煤堆积是不均匀的,因铺设运煤溜槽而在底板出现规则沟槽,这就使水流扩散角度减小,且小于理论扩散角度(29°),实际只有19°~24°(煤层倾角为15°)。它给水流流淌的范围和速度带来变化,使水流强度分布函数值增大,水流湿润区域内由宽变窄,水流的流淌速度加快。但水流在采空区内的运动规律形式上不变,即有:(1)、(2)式及

$$\text{水流扩散角} \quad \alpha = K_b / 2 \quad (4)$$

$$\text{系数} \quad A = [2 \sqrt[3]{(1-m)/E(V)}] K_b^{2/3} \quad (5)$$

$$B = Q/Q_a \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sqrt[3]{(1-m)/E(V)} / K_b^{1/3} \quad (6)$$

K_b 为综合作用系数,决定于水流的实际扩散角度 α 。 K_b 包括了浮煤沟槽等因素的影响。

2. 水流流淌速度加快。水流流淌最大距离和时间有如下关系式:

$$l = K \cdot t^{2/3} \quad (7)$$

式中 $K = (3B/2)^{2/3}$, B 即为(6)式。

系数 B 中 $(1-m)/E(V)$ 体现了采空区的冒落状况对水流的影响, K_b 也给水流流淌速度带来影响, Q 为人为可控制的量, Q_a 取决于采空区内的浮煤多少及破碎程度,底板的松动状况和煤层倾角等因素。

图9表明水流流淌最大距离 l 与时间 t 的曲线关系,曲线(1)是实测得到的,曲线(2)是按(7)式计算出来的半理论曲线。

344工作面试验时的条件是: $Q = 1.2 \text{ m}^3/\text{h}$, $K_b = 0.804$, $(1-m)/E(V) = 580 \text{ 块}/\text{m}^3$,代入 $K = (3B/2)^{2/3}$ 式可得 $Q_a = 0.075 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 。说明在工作面底板上可存留7.5cm厚的水层。此

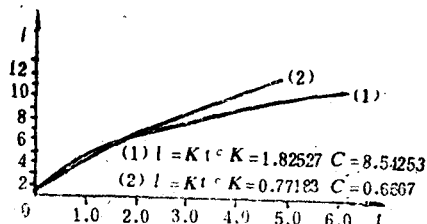


图9 水流流淌最大距离与时间的曲线关系

值与现场观测值相符。

四、有效的注水方法和合理的注水参数

在研究和分析了采空区内的水流流动规律和分布状态后,就可根据具体情况选用有效的注水方法和合理的注水参数。目前采用的注水方法有:插管注水法,工作面埋管注水法,回风道埋管注水法等。无论那种方法都必须保证水量充足。判断水量充足与否,可用下式检验。

$$L \cdot U_a \cdot Q_a \cdot K_p \leq Q \cdot T \quad (8)$$

式中:

L ——工作面倾斜长度(m);

U_a ——工作面日推进距离(m);

Q_a ——采空区单位面积上存留水量(m^3/m^2);

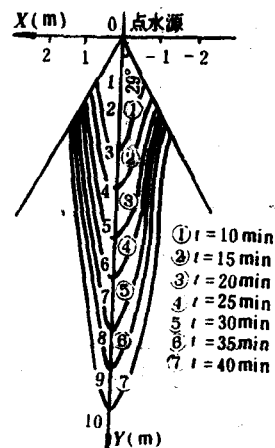


图8 对应不同时刻的水流波及范围图

K_p ——不均匀系数, $K_p=1.3\sim1.5$

Q ——所采用的注水方法提供的平均流量(m^3/h);

T ——注水时间(h)。

(一) 插管注水法

如图10所示, 是利用放顶后采空区内未冒严的自由空间插管注水, 根据实际情况沿倾斜每隔10m左右设一注水点, 水管可伸入采空区内1~3m。此法多用作其它方法的辅助法。

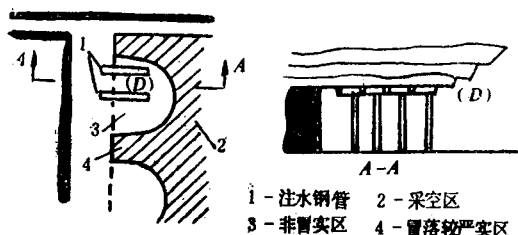


图10 插管注水法

(二) 回风道埋管注水法

如图11所示, 在采空区的原回风道位置埋设注水管, 注水管按特制的柔性注水头, 结构如图12所示。既适应回风道的弯曲与起伏, 又可以分散冒落矸石埋压造成的过大阻力。注水头长度在10m以上。

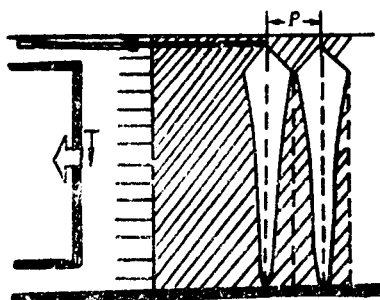


图11 回风道埋管注水法

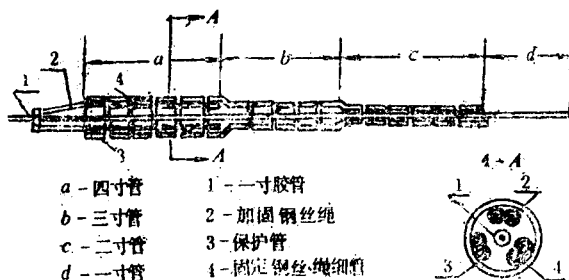


图12 柔性注水头

五、应用注水防止煤炭自燃的必要性判定

一个矿井或工作面是否有必要应用采空区注水防止煤炭自燃, 主要取决于: 煤层的自然发火期, 工作面的推进速度, 采空区冒落岩石遇水后强度减弱程度, 采空区上覆岩石停止沉降的时间, 以及由工作面到采空区底板应力上升到原始应力地点的距离等因素。

在采空区内上覆岩石停止沉降的区域, 接触浮煤的那一层冒落岩石处于压实状态。在岩石松散, 水份较大的条件下可生成再生顶板, 使采空区漏风减少。浮煤与空气的接触受阻, 且与外界的热交换条件得到改善, 因此, 再生顶板覆盖下的浮煤难以发生自燃。根据这一论点提出应用注水防止煤炭自燃的必要性判定式:

$$1. \quad l_f \cdot P > X$$

(9)

不注水采空区自燃的危险性也很小,但注水可以促进再生顶板的形成,有降温防尘的作用。

$$2. \quad \frac{\sigma_h}{\sigma_g} \cdot X \leq t_f \cdot P \leq X \quad (10)$$

注水可以控制采空区自燃的发生并能起到降温、防尘、促进再生顶板的形成,应采用注水防火的措施。

$$3. \quad t_f \cdot P < \frac{\sigma_h}{\sigma_g} \cdot X \quad (11)$$

采用采空区注水也难以防止自燃火灾的发生,若辅以其它防火措施则可能提高注水效果。

式中: t_f ——煤层、自燃发火期(d);

σ_h ——采空区内接触浮煤的冒落岩石浸水后的单向抗压强度(kg/cm²);

σ_g ——注水前采空区内接触浮煤的冒落岩石单向抗压强度(kg/cm²);

P ——工作面日推进速度(m/d);

X ——从工作面到采空区底板应力上升到原始应力地点的距离(m)。

六、结 束 语

向采空区注水防止煤炭自燃是一项工艺简单、经济实用、效果显著的技术措施。徐州矿务局大黄山煤矿以及汾西和轩岗矿务局的部分煤矿应用此措施,取得了成效,并积累了一些经验。应该指出的是:为防止煤自燃,除采用向采空区注水措施外,还应考虑合理的巷道布置和采煤方法以及加强采空区的密闭质量,对开切眼及停采线进行必要的灌浆充填等综合治理,才能提高矿井的防火能力。

参 考 文 献

- 〔1〕 И.О.契尔诺夫:水份对煤炭自燃的影响,《国外矿业安全》,一九八三年,第五期。
- 〔2〕 高桑等:关于煤自燃发火的研究,《采矿与保安》,一九七八年,第二期。

矿井通风系统模糊综合评判法

林 香 民

(福州大学地矿系)

一、引 言

世界上的许多事物,包括人脑的思维和控制作用,都具有模糊(FUZZY)和非定量化的特点。尽管事物的各种表现或内在属性有其确定性,但是由于观测手段和科研水平所限,在科学发展的一定阶段上人们对这些属性的认识常常带来模糊性。长时期以来,人们已经习惯于用模糊的方法来思考和推理,然而在处理客观事物的时候,人们基本上都忽视了这一事实,而仅仅用经典数学的精确方法来对待我们这个弥漫性的、非定量化的世界。在探索自然界和人类社会中的各种模糊事物的工作中,模糊数学诞生了。一九六五年美国自动控制学家扎德(L.A.ZADEN)首先提出了用“模糊集合”(FUZZY SETS)描绘模糊事物的数学模型。二十年来这门学科在自然科学和社会科学中得到广泛的应用。

模糊数学是一种表现和加工模糊信息的数学工具,是一种将模糊现象数量化的手段,是一种借以处理世界上不能给以精确的问题的严谨方法。模糊概念的数学表现是模糊集合,它是模糊数学的理论基础。

在采矿生产中有很多复杂的过程,由于它们所具有的非线性和时变的特性以及对它们的状态测量存在困难等原因,难以对它们实现自动控制。因此在采矿生产中存在着许多典型的模糊性问题,着眼的一些因素常常是些模糊概念,而使得传统的数学方法很难发挥更大的效力,模糊数学恰为处理这类模糊事物提供了合适的数学手段。因为采用近似比倾心于追求精确要容易实现,从而提高了解决问题的效率,降低因力争精确而耗资的资金。一九七二年扎德曾说,“过分地关心和追求精确度,必然使我们变得固步自封”。

矿井通风系统的状态,是由多种因素所决定的,以保证安全生产为主要目的。在煤矿中,通风系统的概念是明确的,单项指标是没有分歧的,可以定量计算。用单项指标来评价一个矿井通风系统是比较好办的。但是有可能一个矿井某单项指标好,而另一单项指标较差或很差。因此问题在于能否找到一个更科学、更客观的综合评判方法。

本文正是基于上述的认识,试图用模糊综合评判法来评价矿井通风系统。深信模糊数学在采矿工程领域内一定和已经取得实际效果的地质、气象、医学、环境、农业、化学等领域一样能发挥很大的作用。

二、模 糊 综 合 评 判

矿井通风系统受诸种因素的影响。一个好的矿井通风系统应能体现既安全可靠又经济合理,这是大家公认的。如果用某些指标来评价矿井通风系统,应该如何摆脱单项指标评价的局限性、片面性,被评价的矿井通风系统彼此如何进行比较,这是一个不易描述的复杂问题。在过去是通过人脑对这些复杂的现象进行识别和判决,这种判决虽然也借助于一定的观察手

段,也具有一定的可靠性,但限于科研水平,因此还是很不够的。模糊数学的发展,对我们描述这些似是而非,模棱两可的东西提供了一种新的数学方法。

(一)综合评判

所谓综合评判,就是要对多种因素所影响的事物或现象进行适当的评价。对单因素问题的评判比较容易,但是一般的评判问题往往涉及多个因素。一般说来,多因素评判的常用方法有以下两种:

1. 总分法

设某对象有 m 个因素,我们对每个因素评定一个分数 S_i ,求出它们的总和:

$$S = \sum_{i=1}^m S_i$$

S 作为对该对象的评判标准。例如,评定五项全能运动员的名次时,我们不能只凭他某一项运动的成绩来评定。一个五项全能冠军,并不一定是每个项目的冠军。必须用他们在各项运动中所得分数的总和 S 来评定。即

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$$

2. 加权平均法

若评判对象有 m 个因素,对每个因素评定所得的分数为 S_i ,鉴于我们对每个因素重视程度的不同,可对每个因素视其重要程度赋以一定的权 ρ_i , ρ_i 表示第 i 个因素在评判中所占的百分比。用和式

$$S = \sum_{i=1}^m \rho_i S_i \quad \left(\text{其中 } \sum_{i=1}^m \rho_i = 1 \right)$$

来作为评判的结果。

假如矿井通风系统的考核指标为矿井气候条件(f_1),风流合格率(f_2),风流的稳定性(f_3),抗灾能力(f_4),吨煤通风电费(f_5),矿井等积孔与风阻(f_6)等六项。这六项构成矿井通风系统评判因素集,用

$$F = (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6)$$

表示。从本矿务局的具体情况出发,认为在评价矿井通风系统时,对风流的稳定性和抗灾能力应格外侧重。因此规定,计算总平均分数时,矿井气候条件占5%,风流合格率占10%,风流的稳定性占30%,抗灾能力占25%,吨煤通风电费占10%,矿井等积孔与风阻占20%。这些百分比,我们称之为权。即因素集中诸因素的权数分配为

$$A = (0.05, 0.10, 0.30, 0.25, 0.1, 0.20)$$

若某矿这六项指标的评分为85分,80分,89分,70分,82分,65分,则对此矿的综合评判可由表1看出:

表1

指 标	气候条件	风流合格率	风流稳定性	抗灾能力	吨煤通风电费	等积孔和风阻
权 ρ_i	0.05	0.10	0.30	0.25	0.10	0.20
得分 S_i	85	80	89	70	82	65
加权平均 S	$S = 85 \times 0.05 + 80 \times 0.1 + 89 \times 0.3 + 70 \times 0.25 + 82 \times 0.1 + 65 \times 0.2 = 77.65$					

表中每一项指标都是一个评判的因素，每一项指标的得分，实质上是对单因素的一个评判。加权平均所得的分数实质上就是综合评判的结果。满分是100分。当

$$\rho_i = \frac{1}{6}$$

时，这种评判结果与总分法一致。

3. 模糊综合评判法

以上两种方法的评判结果是单一的，对每一个因素都有确定的评判——得分，即评判结果用一个数值来表示。但对很多问题的评判并不能用一个简单的分数来加以评判。其评判结果是评判集上的一个模糊子集。例如对某矿的通风系统，由100名专家来进行评判。假定评判等级分为：“很好，较好，一般，较差，很差”五等，则所有评判等级的全体组成评判集：

$$V = \{\text{很好, 较好, 一般, 较差, 很差}\}$$

在评判中，各项单因素的考核结果，可以是 V 中的一个确定因素，也可以是 V 中的一个模糊子集，这取决于究竟是一人评判还是多人评判。假定在100人参加的评判中，分别有50，30，10，5和5人对该矿的气候条件的评价为很好，较好，一般，较差，很差。则对该矿的气候条件的综合评判结果可用模糊集 V 上的模糊子集 $\tilde{V}$ 来表示：

$$\tilde{V} = (0.5, 0.3, 0.1, 0.05, 0.05)$$

我们称 $\tilde{V}$ 为评价集，它的因素，即考核指标的内容，个数和名称均可根据实际问题需要由人们主观规定。这种评判结果显然比单一的分数更为全面地反映了评判信息。一个单因素模糊评判问题的评判结果是评价集 V 这一论域上的一个模糊子集。当然，有时为了清楚起见，我们可以根据最佳隶属原则，得出一个清晰评判。例如，在上例中由于“很好”对 $\tilde{V}$ 的隶属度

$$\mu_{\tilde{V}}(\text{很好}) = 0.5$$

最大，故可以认为对该矿通风系统的气候条件评判是“很好”，但一般没有必要这样做，保持模糊评判的结果 $\tilde{V}$ 往往能更好地反映对该矿通风系统的气候条件的看法。过分的精确反倒模糊，适当地模糊反而精确，正是这个道理。

(二) 模糊综合评判

1. 单因素评判

对于矿井通风系统，专家们往往要从它的各个影响因素进行评价，专家们根据自己的特长及对每一种因素的认识和每一种因素都有关系，如何来评价一个矿井的通风系统，这是一个模糊综合评判问题，评判集为

$$V = \{\text{很好, 较好, 一般, 较差, 很差}\}$$

为了讨论问题方便，我们首先考虑各个单独因素，用前面的方法，我们可以对上述的六个因素的每个因素进行模糊评判。假设甲乙二矿矿井通风系统得到如下二组的单因素评判结果，它们是模糊集。对矿井气候条件的评判结果为 V 上的模糊子集：

$$\tilde{R}_I = (0.5, 0.3, 0.1, 0.05, 0.05)$$

$$\tilde{R}_I'' = (0.5, 0.45, 0.05, 0, 0)$$