

冶金工业部马鞍山矿山研究院
第二届青年学术讨论会

论 文 集



马鞍山矿山研究院技术委员会

一九九〇年

Tf 61-35
M 16

冶金工业部马鞍山矿山研究院
第二届青年学术讨论会
论 文 集

马鞍山矿山研究院技术委员会

一九九〇年

上宫金矿岩体和采场稳固性分析

Analysis To The Stability Of Rock And Stope

In Shang-gong Mine

张志文

Zhang Zhi-Wen

摘 要

本文以应力分析和现场调查相结合的方法,对上宫金矿蚀变型矿体和将要形成的采场的稳定性作了详细分析。认为上宫处在低应力区,不必担心由于高原岩应力带来的种种地压问题。在考虑采场暴露面积时,提出应将其分成两部分,即有效暴露面积和附加暴露面积,并给出相应的计算公式。只要有效暴露面积、不超过矿体最大允许暴露面积,便可认为采场是稳定的。

关键词:地应力、稳固性、有效暴露面积最大允许暴露面积。

张志文,马鞍山矿山研究院工程师,生于1961年,1983年毕业于唐山矿冶学院,1986年获冶金部马鞍山矿山研究院采矿工程专业硕士学位。

上宫金矿位于河南省洛宁县境内。矿区地处熊耳山北麓。金洞沟大断裂是矿体的主要成因构造,并控制了矿体的空间形态。矿体由安山岩蚀变而成,由于处在构造带内,故其稳固性较差。目前,马鞍山矿山研究院和上宫金矿正在进行干式充填法试验。因此,对矿体和即将形成的采场的稳固性作一正确评价、为以后的安全生产提供可靠的依据是非常必要的。

一、矿体初步分类

岩(矿)体稳固性分级的方法是多种多样的,并且在许多矿山都取得过成功的经验。然而针对某一特定矿体,采取特定的分析方法也是值得考虑的。上宫金矿属蚀变型矿体,基本上成矿于断层带内,具有一定的特殊性。通过长期的现场观察分析,可以粗略地将上宫金矿矿体分成三类。

第一类(极不稳固矿体)

这类矿体处在断层破碎带内。在断层错动的作用下,岩体被切割成许多岩块(结构体)。这些岩块又被强大的断层错动力揉错成碎屑,其中粗的为断层角砾,细粒部分便成了糜棱岩。而糜棱岩经长期风化已变成了断层泥。所以矿体的稳固性极差,基本上不允许有暴露空间存在。即使允许,也不能持续较长时间。这类矿体在上宫金矿所占比重较小,约为5~10%。

第二类(不稳固矿体)

这类矿体处在断层影响带的压碎岩带。由于断层的错动作用,其上下盘节理十分发育,岩体破碎程度较大。靠近断层面附近的地段,长期遭受风化作用,使岩块之间的组合作用大大降低,岩体呈不稳固状态。处在此区域内的矿体称为不稳固矿体。这类矿体允许有一定的暴露空间存在,但不能过大。其赋存量约占总储量的 20~25%。

第三类(中等稳固矿体)

这类矿体处在断层影响带碎块岩带。尽管受断层影响,矿体内节理比较发育,但结构体还是完整的,而且结构面呈有序状排列,结构体与结构体之间的组合作用尚未遭到破坏。因而矿体允许有较大的暴露空间。非永久性巷道一般不用支护。这类矿体约占总储量的 70%。

对于中等稳固的矿体,采矿方法的选择比较容易。极不稳固矿体所占比重较小不予考虑。而对于第二类矿体的采矿,则相比对较困难,必须重点研究。

二、矿体稳固性的定量分析

为解决第二类矿体的采矿生产问题,特试验干式充填采矿法。该法要求在空场下采矿,因此必须定量地研究矿体的稳固性、以便为采矿生产提供有价值的参考依据。

1、原岩应力分析

原岩应力的大小和方向,一般是通过各种测量手段来确定的。但由于原岩应力测量费用昂贵,若非岩体处在高应力区,就没有必要进行这项工作。只要认真观察各种地下工程、在开挖后表现出的稳定或非稳定状态,就能大体确定原岩应力的大小。在试验地段内,有一丁字形巷道已开挖近 6 个月的时间,既使在应力集中最高区(巷道交叉口处)也未出现剥离现象。根据这一事实,待研究地段的原岩应力状态便不难确定。

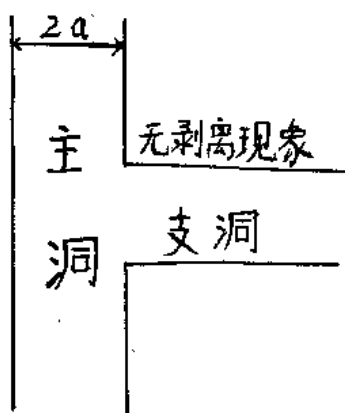


图 1

如图 1 所示,把巷道断面近似看成圆形,且初始应力场视为均匀的。则一次开挖时,在待研究点应力集中形成的切向力为 σ_{θ} 。

$$\sigma_{\theta} = (1 + \frac{a^2}{r^2})P_0 \quad (1)$$

a—巷道半径;

r —待研究点距巷道轴线的距离;

P_0 —原岩应力。

二次开挖时应力场已不是均匀的,但可以简化成图 2 所示的力学模型。根据不均匀应力

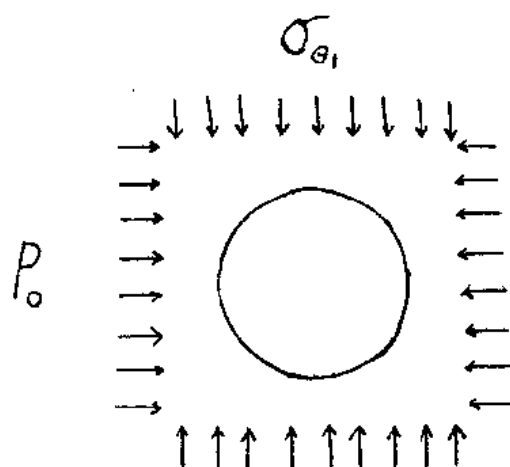


图 2

场内圆形洞壁围岩的应力分布公式,得待研究点二次应力集中形成的切向力为 $\sigma_{\theta 2}$ 。

$$\sigma_{\theta 2} = (3 - \lambda)\sigma_{g1} \quad (2)$$

$$\text{式中 } \lambda = \frac{P_0}{\sigma_{g1}}$$

根据式(1)和式(2)可得巷道交叉口处($r=a$)的切向力(应力最高值) $\sigma_{\theta 2}$ 。

$$\sigma_{\theta 2} = 5P_0 \quad (3)$$

由张破裂判据,得 $\sigma_{\theta} = [\sigma_c]$

即

$$\sigma_{\theta 2} = [\sigma_c] \text{ (抗压强度)} \quad (4)$$

根据岩石力学参数试验结果,知 $\sigma_c = 80\text{MPa}$ 。

将其代入式(3)和式(4)得 $P_0 = 16\text{MPa}$ 。

因为在应力集中最高区未出现剥离现象,故原岩应力 P_0 应小于 16MPa 。说明试验地段处在低应力区。该矿在地质勘探阶段亦未发现岩芯饼化现象,这也为“试验地段处在低应力区”这一结论提供了佐证。因此,在以后采矿生产中就不必担心由于高原岩应力带来的种种地压问题。

2、矿体的最大允许暴露面积

最大允许暴露面积,是反映矿体稳固性的一个综合特征。由前文知,试验地段的矿体节理裂隙十分发育,但处在低应力区。这表明,当矿体中形成一定的暴露空间时,其稳定性在很大程度上将受到结构体之间组合作用的控制。因此,通过现场调查得出的结论将更为可靠。

(1)该矿一直在进行探矿和开拓工作。所打巷道、无论穿过哪一类矿体,在半月内不支护都不会出现问题。即使在第二类岩体中形成的巷道,有的长达一年不支护,也不会发生破坏现象。由此可认为矿体允许有一定的暴露空间存在。

(2)与试验地段相邻有一采空区,其平面尺寸为 14×6 (长 $\times$ 宽) $=84\text{m}^2$ 。该空区从开挖至今已有三年之久,仍完好如初。未发生过冒顶、片帮、剥离等现象。这说明其最大允许暴露面积应在 84m^2 以上。

(3)试验地段有一天井,由于在上下贯通时发生错位现象,恰巧在贯通处又有一条较大裂隙,因而导致塌方,使井筒断面尺寸增至 $9 \times 9\text{m}^2$ 。通过观察,塌方处已经达到稳定状态。说明该地段矿体最大允许暴露面积亦可达 80m^2 以上。

综上所述,可以认为试验地段矿体最大允许暴露面积(S_{lim})为 80m^2 。

三采场稳定性分析

干式充填法试验地段共布置两个矿块。由于地质条件和矿体具体尺寸的限制,两个矿块将要形成的采场的尺寸分别为:

I 矿块: $21 \times 4 \times 4$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) m^3

II 矿块: $27 \times 5.5 \times 4$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) m^3

为使分析结果可靠,选尺寸大的矿块(II 矿块)作为稳定性分析对象。

1、应力分析法

近似地将采场断面看成矩形,其尺寸和形状如图 3 所示。

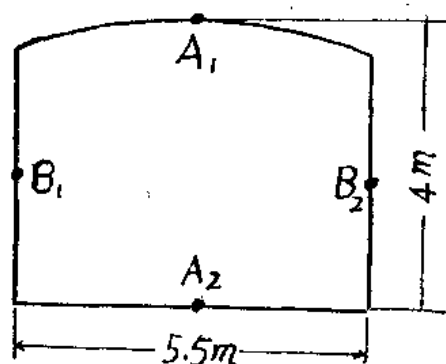


图 3

设原岩应力均匀分布,即 $P_x = P_y = P_z = P$, 则侧压力系数为 $\lambda = 1.0$ 。通过计算,知顶底板中点(A_1, A_2)及两帮中点(B_1, B_2)均为压应力,且其应力集中系数为 K_d 和 K_s 。

A_1, A_2 点 $K_d = 0.36$

B_1, B_2 点 $K_s = 1.37$

前文已分析过,原岩应力 P 的最大值不超过 16MPa 。据此可计算 A_1, A_2, B_1, B_2 四点的应力最高值。

A_1, A_2 点 $P_{\max} = K_d \cdot P = 0.36 \times 16 = 5.8 (\text{MPa})$

B_1, B_2 点 $P_{Bmax} = K_2 P_1 = 1.37 \times 16 = 21.9 (MP_a)$

根据张破裂判据 $\sigma_1 \geq [\sigma_c]$

$$\text{即应有} \begin{cases} P_{Amax} \geq \sigma_c \\ P_{Bmax} \geq \sigma_c \end{cases} \quad (5)$$

式中 σ_c 为矿石单轴抗压强度、 $80 MP_a$ 。

若式(5)成立,则说明 A_1, A_2, B_1, B_2 四点均将发生破坏。但事实上 P_{Amax} ($5.8 MP_a$) 和 P_{Bmax} ($21.9 MP_a$) 均小于 σ_c 。所以,从理论上讲,采场将不会发生破坏失稳现象。可是,如前所述,矿体中有许多结构面存在,其强度远小于矿石试块的自身程度。因此应力分析法得出的结论偏于安全。仅供参考。

2、最大允许暴露面积法

传统的分析方法认为、采场的总暴露面积(S)不允许超过矿体的最大允许暴露面积(S_{lim}),否则采场将发生失稳现象。但有限元分析的结果和许多地下工程的实践表明,这种观点似有不妥,特别对于长条形空场,更显得不合理。大概谁也不会认为 100m 长的巷道比 50m 长的巷道的稳定性更差一些。这说明地下空场的稳定性主要取决于短边的长度。其长边的长度,只要取其一部分参加运算便能说明问题。实际上,任一空场的总暴露面积 S 均可分成两部分。其中一部分能充分反映空场的稳定性特征,称其为有效暴露面积 S_e 。而另一部分,其存在与否对空场的稳定性影响不大或没有影响,称其为附加暴露面积 S_a 。在考虑空场的稳定性问题时,只要其有效暴露面积 S_e 不超过其最大允许暴露面积 S_{lim} ,便可认为空场是稳定的。对任一长条形空场,易见下式成立。

$$\begin{cases} S_e = KB^2 \\ S_a = (L - KB)B \\ S = S_e + S_a \end{cases} \quad (6)$$

S — 空场总暴露面积;

S_e — 空场有效暴露面积;

S_a — 空场附加暴露面积;

L — 空场长边长度;

B — 空场短边长度;

K — 待定系数

待定系数 K 可以通过实验室试验求得,也可从实践经验中获得。通过对地下空场的调查研究,发现 K 值一般不超过 3。即当空场的长边尺寸大于短边尺寸的 3 倍时,在长边方向取短边尺寸的 3 倍参加运算,就足以反映其有效暴露面积 S_e 。

试验采场(Ⅱ矿块)的尺寸为 $27 \times 5.5 m^2$,其长边尺寸大于短边尺寸尺寸的 3 倍,根据式(6)得其有效暴露面积为:

$$S_e = KB^2 = 3 \times 5.5^2 = 91 (m^2)$$

由前文知,矿体最大允许暴露面积 S_{lim} 为 $80 m^2$ 。 $S_e > S_{lim}$ 。这说明采场可能会发生破坏失稳现象。因此,在正常采矿时,应考虑有效的支护措施。

四、结论

上宫金矿干式充填法试验地段属不稳固矿体,其最大允许暴露面积为 80m^2 。正常采矿时采场的有效暴露面积将达到 91m^2 ,超过了矿体的最大允许暴露面积,可能会发生破坏失稳现象。因此,在采矿时必须采取有效的支护措施。应力分析的结果表明,试验地段处在低应力区,故采场的稳定性在很大程度上将受到节理裂隙的控制,但不必担心由于高原岩应力带来的种种地压问题。

主要参考文献

- 1, J. C. Jaeger, N. G. W. Cook, 1979, Fundamentals of Rock Mechanics, Published in London.
- 2 B. H. G. Brady, E. T. Brown, 1985, Rock Mechanics on Underground Mining, Published In London.
- 3, N. R. Barton, R. Lienmand J. Lunde, 1974, Engineering Classification For the Design of Tunnel Support, Rock Mech. 6.
- 4、孙广忠, 1988, 岩体结构力学, 科学出版社。
- 5、徐芝纶, 1980, 弹性力学, 人民教育出版社。
- 6、吴玉忠, 1988, 论小官庄矿区的几个岩石力学问题, 第三次全国重点地下矿山技术讨论会。

并联风机站的运行稳定性分析

The Stability Analysis of Multi-fans Station in Parallel

沈元伟

shen yuan wei

摘 要:

多风机并联运行的稳定性问题一直是人们所担心的。本文应用数学分析方法,建立了风机并联运行的稳定性判别式,并对影响风机并联运行稳定性的其它一些因素进行了分析。

[关键词] 矿井通风、风机并联、稳定性分析。

沈元伟 男、1961 年生,1983 年毕业于东北工学院获采矿工程学士学位,1986 年于冶金部马鞍山矿山研究院获采矿工程(通风安全)硕士学位。

在矿井通风系统中,采用由多台风机并联而成的井下风机站具有很大优点:(1)可以根据生产和通风的需要,采用开动不同风机台数的方法来满足不同的风量、风压要求,做到按需供风;(2)可以增大机站的高效工作区间,节省电耗。因此,近年来在国内外各类矿山得到了较为广泛的应用,尤其是在多级机站通风系统中,更是大量采用了多风机并联机站。但是多台风机在同一机站内并联运行的稳定性问题一直是人们所担心的,目前主要采用图解法和根据经验来评估风机并联的稳定性。本文将采用一种数学分析方法来判断风机并联运行的稳定性问题。

一、风机并联运行的不稳定现象

风机组并联运行产生不稳定现象的原因有的是由于外部偶然因素或风机本身缺陷引起的,有的是由于风机特性曲线有驼峰引起的,这是我要分析的。如图 1 所示,曲线 I(虚线)是风机个体特性曲线,曲线 II 是两台风机按风压相等、风量相加原则确定的并联运行联合曲线,矿井风阻曲线 R 与曲线 II 的交点 M 就是风机组的工况点。如果由于某种原因,矿井风阻增大到 R' 时,那么 R' 曲线与曲线 II 的交点就有两个 M₁、M₂(有时还可能出现三个交点)。这就意味着这两台风机的并联运行是不稳定的。两台风机的实际工作点是在曲线的峰谷部位来回迁移,即(M₁~M₁')和(M₂~M₂'),两台风机的实际风量交替地出现一大一小,各机的风量随时变化,并出现强烈振动和异常声响。

不稳定现象的产生不仅会影响井下通风效果,也容易损坏风机部件,在实际工程中是不允许的。

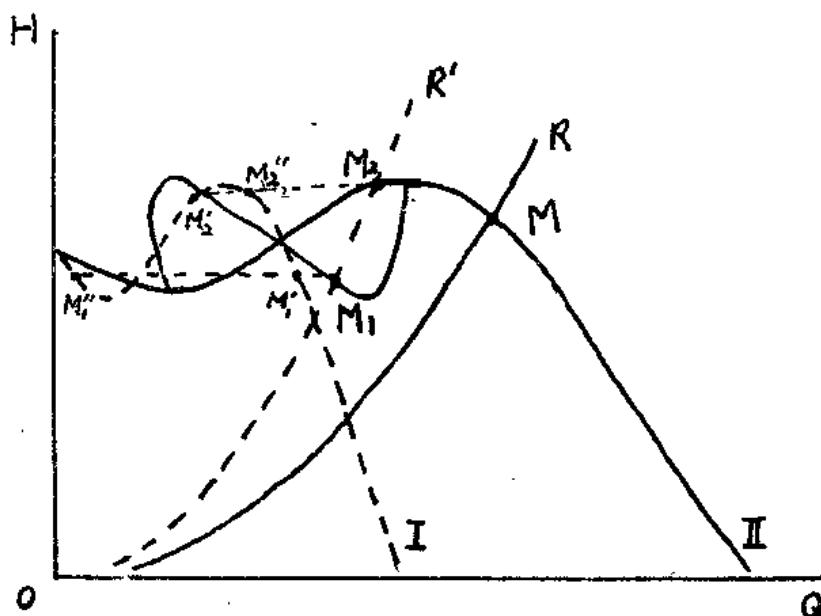


图 1、两台性能相同风机并联运行联合曲线

二、多风机并联运行稳定性数学分析法

用图解法来判别风机运行的稳定性是大家所熟悉的。但这种方法存在以下缺点(1)风机并联台数越多,作图越复杂,容易出错,精度也差;(2)风机性能不一致时,不符合风压相等、风量相加的作图原则,其原因就是由于多台风机在同一机站内并联运行,其出口、进口存在很大的机站局部阻力,而不同性能的风机消耗在机站局阻上的压头损失不相等。风量大、压头高的风机,机站局阻越大,由于机站局阻的影响因素很多,计算也比较复杂,在此不作详述。

图 2、是一个由 N 台风机并联而成的井下风机站。假定断面 1—1 和断面 2—2 是机站进口侧和出口侧的气流均匀断面,即气流的静压、风速均匀。断面 2—2 和 1—1 的全压差我们称为机站风压 H_s ,则:

$$H_s = P_2 - P_1 + \frac{r}{2g} \left(\frac{Q_s}{A_2} \right)^2 - \frac{r}{2g} \left(\frac{Q_s}{A_1} \right)^2 \quad (1)$$

其中:

P_1, P_2 ——断面 1—1 和 2—2 处的静压;

Q_s ——机站风量;

A_1, A_2 ——断面 1—1 和 2—2 的面积。

在不考虑机站漏风时, $Q_s = \sum_{i=1}^N Q_i$, Q_i 为第 i 台风机的风量 ($i=1, 2, \dots, N$)。令第 i 台风机的全

压 H_i , 则在风机站稳定运行时, $(H_i - H_s)$ 不随时间 t 而变化, 即

$$H_{fi} - H_s = h_{fi} = C_i \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

式中 h_{fi} 表示第 i 台风机消耗在机站内部阻力上的压头, 如果忽略断面 1—1 和 2—2 之间的摩阻, 则 h_{fi} 仅表示机站局部阻力。

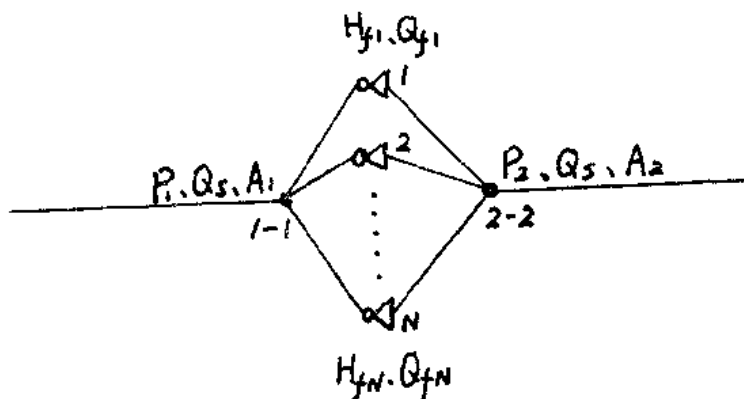


图 2 多风机并联机站示意图

在风机运行不稳定时, 气流出现加速度,

则:

$$H_{fi} - H_s = \varphi \frac{dQ_{fi}}{dt} + C_i \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

而

$$\frac{dQ_{fi}}{dt} = \frac{d(A_i v_{fi})}{dt} = A_i \frac{dv_{fi}}{dt} + v_{fi} \frac{dA_i}{dt}$$

在通常情况下, 断面 A_i 不随时间变化, 则 $\frac{dA_i}{dt} = 0$

所以

$$H_{fi} - H_s = A_i \varphi \frac{dv_{fi}}{dt} + C_i \quad (4)$$

所以风机组稳定运行的条件是气流不产生加速度, 即 $\frac{dv_{fi}}{dt} = 0$ 或 $\frac{dQ_{fi}}{dt} = 0$, 否则如果 $\frac{dQ_{fi}}{dt} \neq 0$ 则运行不稳定。

(3)式对 t 求导:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(H_{fi} - \varphi \frac{dQ_{fi}}{dt}) - \frac{dH_s}{dt} &= 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \\ -\varphi \frac{d^2 Q_{fi}}{dt^2} + \frac{dH_{fi}}{dt} - \frac{dH_s}{dt} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
-\varphi \frac{dQ_{f1}^2}{dt^2} + \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dQ_{f1}}{dt} - \frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{dQ_s}{dt} + \frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{dQ_{f1}}{dt} - \frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{dQ_{f1}}{dt} &= 0 \\
-\varphi \frac{dQ_{f2}^2}{dt^2} + \left(\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) \frac{dQ_{f1}}{dt} - \frac{dH_s}{dQ_s} \left(\frac{dQ_s}{dt} - \frac{dQ_{f1}}{dt} \right) &= 0 \\
-\varphi \frac{dQ_{fN}^2}{dt^2} + \left(\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) \frac{dQ_{f1}}{dt} - \frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{d}{dt} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq N}}^N Q_{fi} \right) &= 0
\end{aligned}$$

在运行不稳定时, $\frac{dQ_{fi}^2}{dt^2}$ 是微小量且 $|\frac{dQ_{fi}^2}{dt^2}| \ll |\frac{dQ_{fi}}{dt}|$, 为了确定区域 ($\frac{dQ_{fi}}{dt} = 0$), 可把它忽略掉, 这样上式可简化为:

$$\left(\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) \frac{dQ_{f1}}{dt} - \frac{dH_s}{dQ_s} \frac{d}{dt} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq N}}^N Q_{fi} \right) = 0$$

用 $i=1, 2, \dots, N$ 代入可得联立方程式:

$$\begin{bmatrix} \left(\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right), & -\frac{dH_s}{dQ_s}, & -\frac{dH_s}{dQ_s}, & \dots, & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ -\frac{dH_s}{dQ_s}, & \left(\frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right), & -\frac{dH_s}{dQ_s}, & \dots, & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{dH_s}{dQ_s}, & -\frac{dH_s}{dQ_s}, & \dots, & \left(\frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{dQ_{f1}}{dt} \\ \frac{dQ_{f2}}{dt} \\ \vdots \\ \vdots \\ \frac{dQ_{fN}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

在这一方程式中, 未知量为 $\frac{dQ_{fi}}{dt}$, 因此 N 个方程式可解出 N 个未知量。在稳定时 $\frac{dQ_{fi}}{dt} = 0$, 从齐次线性代数方程可知, 此方程组为零解必须系数矩阵的行列式 $\Delta \neq 0$, 即

$$\Delta = \begin{vmatrix} \left(\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) & -\frac{dH_s}{dQ_s} & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \dots & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} & \left(\frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \dots & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \dots & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \left(\frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) \end{vmatrix} \neq 0 \quad (6)$$

由行列式加法规则, 分解 $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$, 并进行简化, 其中,

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -\frac{dH_s}{dQ_s} & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \dots & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} & \left(\frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) & \dots & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} & \dots & \left(\frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \right) \end{vmatrix} \quad \text{第 2} \sim \text{N 列减第 1 列}$$

$$= \begin{vmatrix} -\frac{dH_s}{dQ_s} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} & \frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & 0 & \frac{dH_{f3}}{dQ_{f3}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} & 0 & 0 & \cdots & \frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}} \end{vmatrix}$$

$$\therefore \Delta_1 = -\frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} \cdot \frac{dH_{f3}}{dQ_{f3}} \cdots \frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \cdots & -\frac{dH_s}{dQ_{fN}} \\ 0 & (\frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} - \frac{dH_s}{dQ_s}) & \cdots & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ 0 & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \cdots & \frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}} - \frac{dH_s}{dQ_s} \end{vmatrix} \quad \text{按第一列代数余子式展开}$$

$$\Delta_2 = \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \begin{vmatrix} (\frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} - \frac{dH_s}{dQ_s}) & -\frac{dH_s}{dQ_s} & \cdots & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} (\frac{dH_{f3}}{dQ_{f3}} - \frac{dH_s}{dQ_s}) & \cdots & -\frac{dH_s}{dQ_s} \\ \vdots & & \\ -\frac{dH_s}{dQ_s} - \frac{dH_s}{dQ_s} & \cdots & (\frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}} - \frac{dH_s}{dQ_s}) \end{vmatrix}$$

按上述同样的方法可简化 $\Delta_2 = \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} (\Delta_3 + \Delta_4)$ 按此进行下去, 可得:

$$\Delta_2 = -(\frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dH_{f3}}{dQ_{f3}} \cdot \frac{dH_{f4}}{dQ_{f4}} \cdots \frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}}) - (\frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} \cdot \frac{dH_{f4}}{dQ_{f4}} \cdots \frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}}) - \cdots - (\frac{dH_s}{dQ_s} \cdot \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdots \frac{dH_{fN-1}}{dQ_{fN-1}}) + (\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} \cdots \frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}})$$

$$\therefore \Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$= \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} \cdots \frac{dH_{fN}}{dQ_{fN}} \cdot \frac{dH_s}{dQ_s} [\frac{dQ_s}{dH_s} - \sum_{i=1}^N \frac{dQ_{fi}}{dH_{fi}}]$$

$$\Delta = \prod_{i=1}^N \frac{dH_{fi}}{dQ_{fi}} \cdot \frac{dH_s}{dQ_s} \cdot (\frac{dQ_s}{dH_s} - \sum_{i=1}^N \frac{dQ_{fi}}{dH_{fi}}) \quad (7)$$

式(7)中: $\frac{dH_s}{dQ_s}$ (或 $\frac{dQ_s}{dH_s} = 1/\frac{dH_s}{dQ_s}$) 表示通风系统网路特性, 即风阻曲线斜率; $\frac{dH_n}{dQ_n}$ (或 $\frac{dQ_n}{dH_n} = \frac{1}{\frac{dH_n}{dQ_n}}$) 表

示风机特性曲线斜率。

要使风机运转稳定,必须保证式(7)中 $\Delta \neq 0$,即要么大于零,要么小于零。由于在稳定运行时, $\frac{dH_1}{dQ_1}$ 和 $\frac{dH_2}{dQ_2}$ 的变化是连续的,所以对于确定的风机并联台数 N , Δ 只能是正数或负数,不能交替变化,否则将会出现 $\Delta=0$,即出现运行不稳定现象。

对式(7)作如下分析,

1、对于没有驼峰的单斜状风机特性曲线, $\frac{dH_1}{dQ_1}$ (或 $\frac{dQ_2}{dH_2}$) 始终大于零,因此式(7)的 $\Delta \neq 0$ 始终成立,所以单斜状曲线的风机,无论是单独运行,还是多台并联工作,运行始终是稳定的。因此对多风机并联作业的通风系统,尤其象多级机站通风系统,必须优先选用这类不带驼峰的风机,当然还要保证各风机之间相匹配,否则不但达不到增大风量的作用。

2、当 $N=1$ 时,即单台风机运行,则由式(7)可得:

$$\Delta = \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dH_s}{dQ_s} \left(\frac{dQ_s}{dH_s} - \frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} \right) = \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} - \frac{dH_s}{dQ_s}$$

①当工况点落在下降段(bc段)时, $\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} < 0$, 而 $\frac{dH_s}{dQ_s} > 0$, 则 $\Delta < 0$, 风机运行稳定。②当 $\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} > 0$, 但 $\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} < \frac{dH_s}{dQ_s}$ 时, $\Delta < 0$, 风机运行还是稳定的,即整台风机运行时的风量、风压基本上是稳定的,可以维持运行。

但值得注意的是这时风机将出现旋转脱流,叶轮附近的工况有波动,声音有异常。③当 $\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \geq \frac{dH_s}{dQ_s}$ 时,即风机特性曲线的斜率大于网路特性曲线的斜率, $\Delta \geq 0$, 这时风机运行不稳定,风机发生喘振,风量和风压波动幅度很大,振动激烈。因此对马鞍形性曲线的风机,等式 $\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} = \frac{dH_s}{dQ_s}$ 成立点有两处,在两点之间的区域为不稳定区。

3、当 $N=2$ 时,即2台风机并联运行,由(7)式得:

$$\Delta = \frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} \cdot \frac{dH_s}{dQ_s} \left[\frac{dQ_s}{dH_s} - \left(\frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} + \frac{dQ_{f2}}{dH_{f2}} \right) \right]$$

①当 $\frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} < 0$ ($i=1,2$) 时,即2台风机全处在下降段时(bc段)则 $\Delta > 0$ 风运行稳定。

②当 $\frac{dH_{f1}}{dQ_{f1}} \cdot \frac{dH_{f2}}{dQ_{f2}} < 0$ ($i=1,2$) 时,即1台风机处于下降段(bc段),而另一台处于上升段(ab段)时,由前文所述可知,对于确定的风机并联台数 N , Δ 只能是正数或负数,不允许交替出现否则必然会有 $\Delta=0$,从而出现不稳定运行。因此这时运行稳定的条件必须时 $\Delta > 0$,即:

$\frac{dQ_s}{dH_s} < \frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} + \frac{dQ_{f2}}{dH_{f2}}$ 但这时也会出现旋转脱流。反之,如果 $\frac{dQ_s}{dH_s} \geq \frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} + \frac{dQ_{f2}}{dH_{f2}}$, 则风机运行不稳定。

因此在 $\frac{dQ_s}{dH_s} = \frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} + \frac{dQ_{f2}}{dH_{f2}}$ 点以左的区域为不稳定区域,故不用讨论一台在 bc 段或 ab 段而另一台在 ad 段的情况。

③当 $\frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} > 0$ ($i=1,2$) 即2台风机全处在上升段 ab 段,要使 $\Delta > 0$, 其稳定条件可推出

$\frac{dQ_s}{dH_s} > \frac{dQ_{f1}}{dH_{f1}} + \frac{dQ_{f2}}{dH_{f2}}$, 这时同样也会出现旋转脱流,但两风机运行仍是基本稳定的。

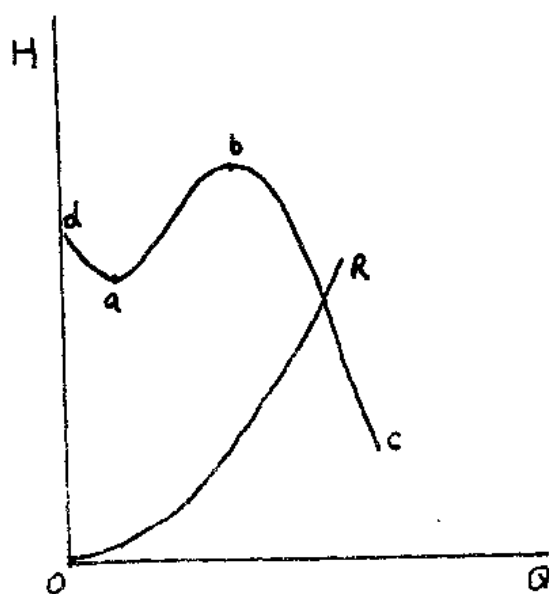


图 3、单风机特性曲线

4、两点推论

①并联风机数 N 是奇数时,多风机并联运行的稳定条件是: $\Delta < 0$ (8)

②并联风机数 N 是偶数时,多风机并联运行的稳定条件是: $\Delta > 0$ (9)

5、根据判别式(7)、(8)、(9)不难对 $N \geq 3$ 时的各种情况作出分析。

三、影响多风机并联运行稳定性 的其它因素分析

对于井下多风机并联机站,下列因素影响机站的运行稳定性。

1、机站漏风,上述分析均没有考虑井下机站的漏风,在实际工程中,机站密闭多少存在漏风,由于漏风存在使风机工况右移,有利于机组运行的稳定性。但是漏风增大将降低风机组的综合性能,故主要机组不允许有太大的漏风。

2、机站进出口局部阻力 研究与实践表明,井下多风机站的进出口存在很大的局部阻力,因此设计多风机并联机站并进行其稳定性分析时一定要考虑局部阻力的影响。由于有关局部阻力的计算很复杂,在此不重复,可参见有关文献资料。

3、机站内各风机的型号 由于机站局部阻力的存在,使得不同性能的风机并联运行时,各风机的工况全压并不相等,这一方面说明传统的风压相等、风量相加原则对不同性能风机在同一机站内并联运行的情况是不合理的,另一方面也表明,在同样外阻条件下,性能高的风机将影响风压低的风机,使其风量减小,这对并联机站的运行稳定性不利,应尽量避免。应尽量采用同一型号的风机并联运行,并使其安装条件也基本相同,以便使各风机局阻损失相似。

四、结 语

1、多风机并联机站在矿井通风领域得到了广泛应用,但是其稳定性问题一直是人们所担心的,本文采用数学分析方法推导了多风机并联运行的稳定性分析判别式。

2、多风机并联运行宜采用单斜状特性曲线的风机,这种风机单台或多台关联运行均是稳定的。

3、对特性曲线有驼峰的或马鞍状的风机,只要保证网路特性和风机特性相匹配,使各风机工况点落在驼峰右侧的下降段,那么也能保证各风机运行稳定,因此也可以用于多机并联机站。虽然在驼峰右侧的上升段也有一部分能符合稳定运行条件,但这时运行中会产生旋转脱流、效果差、功耗大、且长时间运行对风机也有一定的损害作用。故并联运行时,最好使风机的工况落在驼峰以右的下降段。

4、进行井下多风机机站设计且进行稳定性分析时,需对机给漏风、局部阻力、风机型号等因素进行考虑,同一机站内各风机最好选用同一型号的风机。不同型号的风机在同一机站内并联运行易产生不稳定现象。

计算机辅助绘制矿井通风图的新方法

The New Method of Drawing Mining Ventiation Graphes With Computer

李雨林

Li yu lin

摘 要

本文运用 Basic 语言开发的绘图软件,使用新的数据结构形式和灵活的绘图方法,不用复杂的消隐算法就可绘制矿井立体图,既能根据井巷坐标自动绘图,也能运用键盘自由绘图,还能计算有关巷道参数,图形的存取及修改十分方便。在一套主机系统下,绘出的图形既可以在屏幕上显示,又可以通过打印机输出,不仅解决了通风图的绘制问题,还可以为生产和地测使用,是一种值得中小型矿山推广使用的实用绘图软件。

关键词:计算机应用,绘图,矿井通风

Keywords: Computer Application, Plotting, Mining Ventilation

李雨林,马鞍山矿山研究院工程师,1963年生,1984年7月毕业于江西冶金学院获采矿工程学士学位,1987年2月毕业于马鞍山矿山研究院获采矿工程硕士学位。

一、计算机绘图方法及在通风中的应用

矿井通风系统设计及日常通风系统管理中,通常需要绘制一些通风图形,如通风工程在各中段平面上的布置图,通风系统立体图及通风网络解算用的网络示意图等,这些图若是人工绘制,需要花费相当多的人时才能完成,尤其是通风系统立体图和网络示意图,既繁琐又容易出错,但如果采用计算机辅助绘图,并具有一定的人机交互功能的话,将大大方便工程设计人员和通风管理人员,提高工作效率。到目前为止,运用计算机辅助绘图大致有下列三种方法:

1、高级语言的图形功能

如 IBM-PC 的 Basic、True-Basic 和 Fortran 等高级语言都具有图形功能。使用它们的绘图语句编制相应的程序就可以在显示屏幕上绘出各种图形。但它绘出的图形受屏幕分辨率的影响,图形输出不方便。

2、绘图仪的绘图命令

如 MP1000-01(Rx-232-C)型 x-y 平面绘图仪本身具有一套绘图命令,通过计算机高级语言调用,可以在绘图仪上绘出各种图形,但不能在屏幕上显示,用打印机不能输出图形,且图形修改不方便。

3、Auto-CAD 等绘图软件

应用 Auto-CAD 的各种绘图命令可以在显示屏幕上绘制各种图形,并可用命令将它们在