

辽宁省金属学会

一九六二年年会論文选集

(採选专业分册)

辽宁省金属学会

1962. 12.

前 言

辽宁省金属学会 1962 年 10 月在鞍山召开了 1962 年年会。会议期间采矿、选矿、炼铁、炼钢、压力加工、焦化、耐火、有色冶炼、分析化验等九个专业举行了学术报告会，总结了辽宁冶金系统几年来在党的正确领导下，在冶金科学技术方面所取得的主要成就，交流了学术经验，开展了学术讨论，并决定评选优秀论文出版论文选集。

“辽宁省金属学会 1962 年年会论文选集”按专业性质编为六个分册，第一分册（炼铁和焦化专业）、第二分册（炼钢和压力加工专业）委托辽宁人民出版社出版。第三分册（采矿和选矿专业）、第四分册（耐火专业）、第五分册（有色冶炼专业）和第六分册（分析化验专业）委托鞍山市金属学会协助印刷。

选集由内部发行，供有关专业领导干部和工程技术人员参考。由于缺乏编辑经验，论文中不当与错误之处，请读者予以指正。

辽宁省金属学会

1963 年 7 月

目 录

采矿专叶組学术會議記要	(1)
用波动理論来計算凿岩速度	徐小荷 (2)
石咀子銅矿豎井地压活动規律及其維護方法的研究	林韵梅 (12)
露天矿合理爆破方法的研究	孙德新 (34)
对露天矿分期开采过渡問題的初步探討	<u>陈廷芳</u> 、荣 飞 (47)
試論确定露天矿开采境界的几个問題	<u>陈廷芳</u> 、宋彦琦、韓书义 (66)
利用地溫防冻在华銅矿矿井內的应用	李岳森 (84)
羽毛状矿脉采矿方法选择	赵世光 (91)
桓仁鉛矿不規則矿体采矿方法	王介武 (101)
选矿专叶組学术會議記要	(108)
球磨机的工作轉速問題	陈丙辰 (111)
論鉛、鋅、銅矿石混合浮选实践桓仁	田世杰 (123)
某选厂几个主要問題的調查及今后改进方法的同时	李长枕 (136)
銅矿石的选別流程結構	刘 钰 (154)
四种煤焦油型黃药代用品选矿研究	謝 钰 (161)

採矿专业組学术會議記要

辽宁省金属学会1962年年会于10月25日至11月1日在鞍山召开。参加採矿专业学术會議的代表有生产企业、研究設計及高等院校等有关部門的科学技术工作者25名，列席代表若干名。

提交大会的論文計19篇，在大会进行报告及討論的有14篇。其中有关地下採矿方法5篇；地压活动規律2篇，凿岩理論1篇，露天方面有6篇。（凿岩爆破参数3篇，露天境界1篇，分期开采1篇，穿孔机械1篇）。

一、地下开采

在採矿方法方面的論文有楊家杖子矿赵世明同志提出的“中厚傾斜矿体利用定向爆力崩矿法开采的探討”；青城子鉛矿赵世光同志提出的羽毛状矿脉採矿方法选择；桓仁鉛矿王介武同志提出的桓仁鉛矿不規則矿体开采方法；沈阳矿山研究所刘可任同志提出的短壁房柱联合採矿法等。

楊家杖子矿务局介紹了在开采中厚傾斜矿体时試驗爆力运搬的採矿方法。改进了过去单纯採取增加採准工作量来解决該种类型的採矿方法。同时提出了将来回採矿柱的方案，青城子鉛矿，桓仁鉛矿分別介紹了针对矿体具体条件应用留矿法，房柱法等几种联合採矿方法的經驗。沈阳矿山研究所介紹了河北龙煙鉄矿为减少盘压及提高回採率，改长壁工作面为短壁工作面的經驗。

會議认为採用爆力运矿方案，在开采中厚傾斜矿体是一个方向，克服了过去在底盘补漏斗来减少放矿时的損失。但对該报告提出的採用大量崩矿法回採矿柱的方案，有不同意見，有人认为該方案可保持損失在15%左右，有的则认为該种回採矿柱方法損失要大的多，对有色金属矿山不够合适。最后一致认为尚需做进一步的試驗探求合理地矿柱回採方案。以便获得全面的良好的採矿技术經濟指标。

會議对青城子矿，桓仁矿提出的採矿方法感到很大兴趣，可以作为某些矿山开采特殊矿体时的参考。

对鞍鋼矿山处刘光汗同志提出的“对加大漏斗孔有效断面的分析”的报告所作的研究认为很有意义，但需通过进一步試驗研究块度尺寸和漏斗孔长短軸結構的关系。

在矿山地压活动規律方面，东北工学院林韻梅同志提出二篇論文（採空区附近裂縫調查及其应用；石咀矿豎井地压活动規律及其維護方法），在論文中提出了用調查統計方法研究及确定採空区的影响范围，並提出不用精密仪器同样可获得令人滿意結果的可能。並对石咀子岩石崩落角，提出該矿豎井維護方法的改进意見。

會議对这种方法的提出感到很大兴趣，认为值得推广，並建議各矿也能根据此法进行工作积累資料，但认为目前所进行的这一部份工作尚不能做为肯定石咀子銅矿岩石崩落角的依据。

在通风方面的論文有华銅矿李岳森同志提出的。“利用地溫防冻在华銅矿矿井內的应用”主要是根据东北地区冬季矿井需要取暖防冻的需要，提出人工加热在經濟上不合算，井下有大量

温度可利用，采取新的通风方式利用地温解决了矿井冬季防寒，举出华铜矿使用实例。

会议认为该法比较经济合理，对东北地区矿井防寒有重大实际意义，是北方地区矿井防寒的一个方向。但尚缺乏一些理论研究和技術参数。

在凿岩方面：东北工学院徐小荷同志提出“冲击凿入波动理论分析”该论文通过理论分析方法来研究凿入过程，认为用波动理论来解释是最合理的，通过计算分析及国内外试验资料的比较认为作用在凿头上的能量随钎杆长度变化不大，能量损失主要表现在钎杆接头上

会议认为该报告对凿入理论研究有很大贡献，可作为进一步研究凿岩过程的基础，根据这一推论可提供选择钎钢，材质、断面形状，接头形式研究的依据。但论文可研究的仅是一些凿入过程的因素，而不能说明凿岩过程的基础因素，所以还有待于进一步的研究。

二、露天开采方面

本溪钢厂陈益蔚同志报告了“露天深孔爆破参数计算公式的分析”；鞍钢矿山处孙德新同志报告了“露天矿合理凿岩方法及新型鑽机的研究”及“露天合理爆破方法的研究”；本钢南芬矿张忠厚同志报告了“试谈大抵抗綫圆柱爆破。”鞍山矿山设计院宋彦琦同志报告了“试论确定露天开采境界的几个问题；”荣飞同志报告了“对露天矿分期开采过渡问题的初步探讨。”

大家认为现有露天矿的合理爆破参数尚有待改善，最主要的手段是通过经常性试验统计资料来找。体积经验公式还是生产实践中较适用的计算药量方法。另外尚需找出合理凿岩方法来改善爆破质量，尤其是缓坡梯段的露天矿。

对露天矿的境界问题大家也极注意，认为文章论述的很全面，但对矿石的价格决定看法不同，因之也影响着境界的确定。

关于露天矿分期开采问题因时间不够未能讨论。

有关露天开采方面的论文因报告人未能到会，未能进行报告。

会议代表一致认为会议收获很大。金属学会在开展学术活动交流经验方面做了很多工作，但还感到不能满足要求应进一步加强学术活动，金属学会成为科研机关、高等院校和生产单位之间的纽带。

会议最后对1963年学术活动计划做了安排，并选出关绍宗教授等同志，组成第二届专业学术组织组织领导学术活动。

用波动理論来計算凿岩速度

东北工学院 徐小荷

为了掌握凿岩的本质,改进凿岩机械和工具,选取合理的工作参数 提高生产率,必須研究凿岩理論問題。

現有的凿岩理論能解决什么問題

凿岩理論的中心問題,乃是凿刃是如何凿碎岩石的,外力和凿入深度的关系以及后者和凿岩速度的关系。

如所周知,現有凿岩理論的类型很多,但都是把外力当作靜力来看待,这和活塞冲击釵子大不相同,因此很难来用計算凿岩速度。

如果眞的在凿刃上加以靜力,許多实验資料表明,其侵入岩石的深度和外力成正比,和凿刃长度(也就是一字形釵头的直径)成反比。以 k 表示此比例系数,称之为凿(侵)入强度,則可写成下式

$$P = kdu \quad (1)$$

式中 P —外力(公斤)

u —凿入深度(厘米)

d —凿刃长或釵头直径(厘米)

k —凿入强度(公斤/厘米.厘米)

一般岩石的凿入强度在 $(1 \sim 50) \times 10^3$ 公斤/厘米.厘米。它和普氏岩石坚固性系数 f 之間,可以有下面的近似換算关系。

$$k = 2200 (f - 3.6) \text{ 公斤/厘米.厘米} \quad (2) \text{ 厘米}^2$$

諸家凿岩理論虽然类型众多,結果冗繁,但是都可归结成式(1)的形式,即所需之外力正比例于凿入深度及釵头直径,比例系数往往具有異常复杂的形式。其实,系数 K 可以通过試驗測定,直接视为岩石的物理力学常量,就要簡明得多。它和抗压强度、抗剪强度等材料力学常量有同等的地位,而在測定技术上只会更簡便一些。

由此可以得出結論:現有的凿岩理論,只不过論証了可凿刃受力和凿入深度之間的关系,这样一个得到試驗証实的簡單事实。

因此,若知道了凿刃受力的变化,就可以推断凿入深度的相应变化了。但是困难在于,活塞冲击釵尾之后,凿刃受力又将是怎样变化的呢?

冲击力的计算

若将一静力作用在钎尾上，那么会引起整根钎子的均匀变形和整根钎子的等加速运动。但是，在活塞冲击作用下，参考图 1，作用力在极其短促的时间内有极大的变化，以致于不可能从钎尾到钎头同时有着相同的变形和作相同的运动。真实的情况是钎尾受到冲击之后，开始向前运动并发生变形，这种运动和变形是依次由钎尾向钎头传递，最后才波及到凿刃的；于是凿刃就向前运动，这便是凿入岩石的过程。这种变形和运动的传递过程，便是应力波。在传递过程中，每一个钎杆断面的变形和运动都是不同的，并且还是随着时间而有所变化的。为了讨论这种变化的规律，在钎杆上截取一段薄片来分析，其长为 Δx 如图 1 所示。

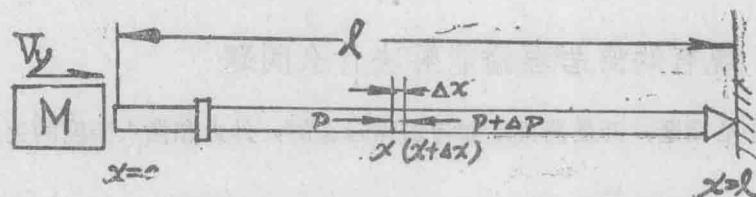


图 1

设时间 $t=0$ 之际，活塞以速度 V_y 冲向钎尾。在时间为 t 时，在钎杆 x 处受力为 P ，位移为 u ；在 $x + \Delta x$ 处，相应的各为 $P + \Delta P$ 和 $u + \Delta u$ （实际上 ΔP 和 Δu 为负值）

按牛顿定律，此薄片的运动方程是

$$\Delta P = \rho \omega \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \Delta x \quad (3)$$

按虎克定律，此薄片的变形方程是

$$\Delta P = -E \omega \Delta \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) = -E \omega \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x \quad (4)$$

上两式中符号的意义是：

P —钎杆某断面所受力（公斤）

u —钎杆该断面的位移（厘米）

ρ —钎杆的密度（公斤·秒²/厘米⁴）

E —钎杆的弹性模数（公斤/厘米²）

ω —钎杆的断面积（厘米²）

因为 P 以压力为正，故式（3），（4）右端取负号。此两式消去 ΔP 得

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (5)$$

式中

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (6)$$

式（5）即应力波的微分方程，由后述可知，式中 a 即为它的波前速度。

式(5)的通解是*

$$u = f(x-at) + F(x+at) \quad (7)$$

$$P = -E\omega \frac{\partial u}{\partial x} = -E\omega [f'(x-at) + F'(x+at)] \quad (8)$$

$$V = \frac{\partial u}{\partial t} = -a[f'(x-at) - F'(x+at)] \quad (9)$$

式中 V 为钎桿任一断面的运动速度。 f 和 F 为两任意待定的函数,其具体形式取决于边界条件。但不问 $f(x-at)$ 或 $f'(x-at)$ 之形式如何,若空间和時間增量之比等于 a ,也即 $\Delta x/\Delta t = a$,則該函数之值仍然保持不变。換而言之,函数 f 或 f' 是以速度 a 向前移动的——故称之前进波。同理可知, F 或 F' 是以速度 a 向后移动的——称之返回波。

只有当前进波传抵钎头时,才能产生返回波。設钎桿长度为 l ,則当 $t < 2l/a$ 时,返回波还没有传到钎尾端面,故这时在 $x=0$ 处, $F'=0$ 。

$$\text{即 } P_0 = -E\omega f'(0-at) \quad (10)$$

$$V_0 = -af'(a-at) \quad (11)$$

上式中註足“0”表示属于钎尾端面($x=0$ 处)的参量。另一方面,钎尾端面既然和活塞相接触,其运动也必然和活塞一样。故有

$$P_0 = -M \frac{\partial^2 u_0}{\partial t^2} = -M \frac{\partial v_0}{\partial t} \quad (12)$$

式中 M —活塞的质量(公斤·秒²/厘米)

将式(10)和(11)消去 $f'(0-at)$ 代入(12)再消去 P_0 后,整理后可得:

$$-\frac{\partial v_0}{\partial t} + \frac{E\omega}{Ma} V_0 = 0 \quad (13)$$

解此微分方程,且以 $t=0$ 时 v_0, V_0 作为初始条件,得

$$v_0 = V_0 e^{-at} = -af'(0-at) \quad (14)$$

式中 V_0 —活塞的冲击速度(厘米/秒)。在 $t=0$ 之际,钎尾端面也以此速度运动。

$$a = m/M \quad (15)$$

$$\text{而 } m = E\omega/a \quad (16)$$

m 称之为波动慣量。将式(14)和(16)代入(10)得

$$P_0 = m v_0 = m V_0 e^{-at} \quad (17)$$

式(17)表达了钎尾端面受活塞冲击之后,所受之力随着時間的变化規律。不过我們更感兴趣的却是钎头刃峯(即 $x=l$ 处)的受力变化。

用式(8)和(9)消去 F' 得

$$-\frac{Pl}{m} + VL = -2af'(l-at) \quad (18)$$

* 只要将式(7)代入式(8)便可得証。

式中註足“ l ”表示属于刃峯之处的参量。

現用 t' 代表 $(t-l/a)$ ，也就是以前进波传抵刃峯之际作为時間的零点。那公式(18)可写成

$$\frac{pe}{m} + Vl = -2av' (0 \rightarrow at') \quad (19)$$

由式(14)可知上式右端等于 $2Vye^{-at'}$ ，即
$$\frac{pL}{m} + vl = 2vy e^{-at'} \quad (20)$$

另一方面，从凿入深度和刃峯受力的关系来看，必符合式(1)。将式(1)对 t' 微分得

$$\frac{dpL}{dt'} = kd \frac{duL}{dt'} = kd vL \quad (21)$$

式(20)和(21)联立解之，消去 ve 並整理后得

$$\frac{dPL}{dt'} + \beta PL = 2\beta nvy e^{-at'} \quad (22)$$

式中
$$\beta = \frac{kd}{m} \quad (23)$$

解微分方程(22)，並以 $t'=0$ 时 $pe=0$ 为初始条件，得

$$PL = 2nvy \frac{e^{-at'} - e^{-\beta t'}}{1-r} \quad (24)$$

式中
$$v = a/\beta = m^2/Mkd \quad (25)$$

为方便起见，令

$$\xi(t') = \frac{e^{-at'} - e^{-\beta t'}}{1-v} \quad (27)$$

于是
$$PL = 2nvy \xi(t') \quad (27)$$

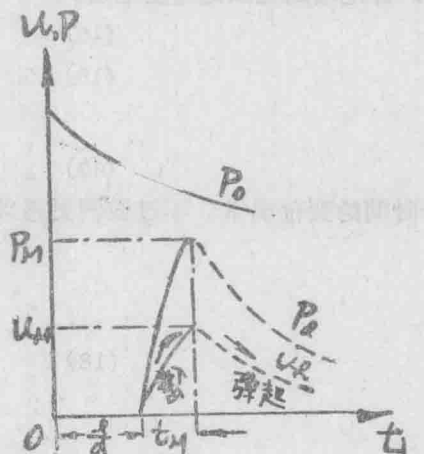
式(27)就是钎尾承受活塞冲击之后，钎头刃峯所受力随時間变化的規律。为了它，很容易推出凿刃在冲击力作用之下，凿入岩石深度(也就是刃峯的位移 uL)随時間的变化規律，如下：

$$uL = \frac{Fl}{kd} = \frac{2nvy}{kd} \xi(t') \quad (28)$$

在图2中繪出了受力和凿深的变化曲线。从图中可以看到，它开始逐渐，上升，到一最大值后，再慢慢减小。后一段过程表示凿刃被岩石弹起。因岩石既被凿碎后，弹起时凿入系数 K 就变为弹起系 k 了，故在图中用表示。

对計算凿岩最有意义的，是最大凿入深度和凿刃所受的最大作用力。为此，将 $\xi(t')$ 对 t' 微分，並令其等于零，便可求得达到最大值所需之時間 t_M 如下

$$t_M = \frac{Lnr}{a-\beta} \quad (29)$$



将 $t' = t_M$ 代入式 (26) 得

$$\xi(t_M) = \frac{1}{\nu - 1} \left(\nu^{\frac{1}{1-\nu}} - \nu^{\frac{\nu}{1-\nu}} \right) \quad (30)$$

因此凿刃所受的最大作用力是

$$P_M = 2n\sqrt{\nu} \xi(t_M) \quad (31)$$

最大凿入深度是

$$u_M = \frac{2n\sqrt{\nu}}{kd} \xi(t_M) \quad (31)$$

式 (32) 就是在冲击力作用下, 计算凿深的公式。式中 $\xi(t_M)$ 仅为 ν 的函数, 可以从附表中查出, 所以实际运用起来是很方便的。

$$\xi(t_M) = \frac{1}{\gamma - 1} \left(\nu^{\frac{1}{1-\gamma}} - \nu^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \right) \text{函数表}$$

ν	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\xi(t_M)$	0.750	0.667	0.594	0.541	0.500	0.467	0.433	0.410	0.386	0.367
ν	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\xi(t_M)$	0.367	0.250	0.193	0.159	0.134	0.116	0.104	0.091	0.083	0.075
ν	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\xi(t_M)$	0.0750	0.0421	0.0296	0.0228	0.0185	0.0155	0.0134	0.0118	0.0105	0.0096

应当指出, 上述计算只在 $t' \leq 2l/a$ 时方为有效, 故须用下式校核之。

$$t_M \leq 2l/a \quad (33)$$

式中 l —钎杆长度 (厘米)

在 $t' > 2l/a$ 时, 因有反射波的干扰, 计算异常复杂, 不过实际上式 (33) 是经常能满足的。

凿 岩 速 度

上面导出了凿入深度的计算式。但凿入深度不一定经常和岩石的破碎深度相等。当用纯的凿刃时, 在刃下产生承压核, 破碎深大于凿入深, 如图之 a; 当凿刃是尖锐的情况下, 因岩石弹性变形的恢复, 故凿入深可大于破碎深, 见图之 b。以 u_M 和 z 各表凿入深和破碎深, 则有

$$z = \varepsilon_1 u_M \quad (34)$$

式中 ε_1 —比例系数, 对于尖钎头 $\varepsilon_1 < 1$; 对于纯钎头, $\varepsilon_1 > 1$ 。

在单次冲击的情况下, 破碎岩石的体积是

$$B_1 = d z^2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (35)$$

式中 B_1 —单次冲击的破碎岩石体积 (厘米³)

d —钎头直径 (厘米) (以一字形钎头为例, 下同)。

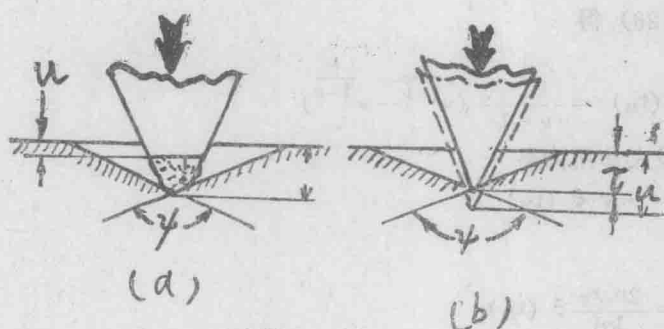


图 3.

a. 锐斜头 $u < r$; b. 钝斜头 $u > r$

r —岩石的破碎深度(厘米),可由式(34)求得。

ϕ —岩石的自然破碎角,一般变化范围很小,在 $120^\circ \sim 150^\circ$ 之間。

但是在凿岩时,每次冲击破碎岩石的体积不同于 B_1 ,这是因为凿岩时,能够剪碎相邻两次冲击之間的扇形面积,並且在反复冲击下,岩石产生疲劳裂縫。此外,眼壁的压制作用也能影响破碎的体积。設 B_2 为凿岩时每次冲击所破碎的岩石体积,它是单次冲击的 ϵ_2 倍,

$$\text{即} \quad B_2 = \epsilon_2 B_1 \quad (36)$$

若凿岩机的冲击频率为 N (次/分);那么凿岩速度 C (厘米/分)和 B_2 之間有下面的关系

$$\frac{\pi}{4} d^2 C = N B_2 = N \epsilon_2 B_1 = N \epsilon_2 d \zeta^2 \tan \frac{\phi}{2} = N \epsilon_2 d \epsilon_1^2 \frac{u^2}{m} \tan \frac{\phi}{2}$$

$$\text{或} \quad C = \epsilon \frac{4u^2}{\pi d} \frac{N \tan \frac{\phi}{2}}{m} \quad (37)$$

式中 $\epsilon = \epsilon_2 \epsilon_1^2$, 实际資料表明 ϵ 值在 $1.5 \sim 2.5$ 之間,或可取其平均值 $\epsilon = 2.0$

将式(32)代入(37)便可得出用波动理論来計算凿岩速度的公式如下:

$$C = \epsilon \frac{16 N m^2 v_v^2 \xi^2 (t_m) \tan \frac{\phi}{2}}{\pi d^3 k^2} \quad (38)$$

估計到波衰減的情况

在上面引用的波动理論中,是把钎桿看作理想彈性体的,波在传递中沒有損失,故其数值完全不变。

如在 $x=0$ 处,时间为 t' 时,前波是 $f'_0(0-at')$,那么在 $x=l$ 处,在时间为 $t=t'+l/a$ 时,前进波是 $f'_1(l-at) = f'_0(0-at') = f'_0(0-at')$ 。在推导式(20)时利用了这个結果。推而广之,若以 t_x 表 $(t+x/a)$,那么有:

$$f(0-at) = f'_x(x-at_x) = f'_1(l-at_1) \quad (39)$$

或簡写成 $f'_0 = f'_x = f'_1$ (39')

或中註足仍表示波所到达的地点

由于钎桿中存在有內摩擦，更由于存在外摩擦，波在传递过程中将逐渐衰减，即

$$f'_0 > f'_x > f'_1 \quad (40)$$

設波 f' 通过单位钎桿长度的衰减率为 η —称之衰减指数。那么在 x 处通过长为 Δx 的薄片时，波的衰减量 $\Delta f'_x$ 如下。

$$\Delta f'_x = -f'\eta\Delta x \quad (41)$$

将式 (41) 积分之，並以 $x=0$ 时 $f'_x = f'_0$ 作为边界条件得

$$f'_x = f'_0 e^{-\eta x} \quad (42)$$

由此可見，在估計到波衰减的情况时，式 (20) 应改变成

$$\begin{aligned} \frac{P_I}{144} + v_1 &= -2af'_1 (0 - at') = -2af'_0 (0 - at') e^{-\eta l} \\ &= 2v_y e^{-at'} e^{-\eta l} \end{aligned} \quad (43)$$

比較式 (20) 和 (43) 可知，当考虑到波衰减的影响时，只用将 V_y 乘以因子 $e^{-\eta l}$ 即可。因此，将波的衰减估計在內，計算凿岩速度的式 (38) 应修正成为

$$C_1 = \varepsilon \frac{16Nn^2 v_v^2 e^{-2\eta l} \xi_s^3(t_m) \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{\pi d^3 k^2} \quad (44)$$

$$\text{即} \quad C_1 = C_0 e^{-2\eta l} \quad (44)$$

衰减指数 η ，当仅存在內摩擦时是不大的，約为 $5 \times 10^{-3} 1/\text{米}$ 。但在凿岩时，包括外摩擦及回轉阻力等等在內，据試驗資料分析， η 在 $(2 \sim 4) \times 10^{-2} 1/\text{米}$ 。此数可以代入式 (45) 中，計算眼深（桿长）对凿岩速度的影响。

在接桿法凿岩时，应力波遇到接头，一部份透射过去，一部份被反射回来。每个接头透过的部份約佔 76~80%。在这种情况下計算凿岩速度，可按下式进行。

$$C'_1 C_1 x^{1/l_0} = C_0 e^{-2\eta l} x^{1/l_0} \quad (46)$$

式中 C'_1 —带接头时的凿岩速度（厘米/分）

C_1 —不带接头时的凿岩速度（厘米/分）

x —接头透射率（包括外摩擦在內） $x=0.76 \sim 0.80$ 。

l —钎桿总长度（米）

η —衰减指数 $0.02 \sim 0.04 1/\text{米}$

l_0 —接头的平均間距（米）

为了方便起见, 式 (46) 也可写成下面的形式

$$C'_1 = C l_0^{-\xi l} = C_0 - (2\eta + \xi) l \quad (47)$$

式中 $\xi = \frac{l_M x}{l_0} \quad (48)$

当 $l_0 = 2$ 米时, 相应于 $x = 0.76 \sim 0.80$ $S = 0.127 \sim 0.112$ 1/米

计算举例

〔例1〕 试求01—30型凿岩机在普氏坚固性系数 f 等于12—14岩石中的理论凿岩速度, 工作时风压为5公斤/厘米², 钎头直径40毫米, 钎杆长1米。

〔解〕 查国产01—30型凿岩机的技术指标知, 其活塞重量 $G = 2.0$ 公斤, 在风压为5公斤/厘米²时, 冲击功 $A = 4.0$ 公斤·米, 冲击频率 $N = 1600$ 次/分, 使用25毫米的六方钎杆。由此可得到下列基本数值:

活塞质量 $M = G/980 = 2.0/980 = 0.00204$ 公斤·秒²/厘米;

冲击速度 $V_y = \sqrt{2A/M} = \sqrt{2 \times 4 \times 100/0.00204} = 630$ 厘米/秒;

钎杆断面积 $\omega = 5.13$ 厘米² (以水孔直径6毫米计);

钢的比重是7.8。弹性模数量 $E = 21 \times 10^5$ 公斤/厘米²;

波前速度 $a = \sqrt{E/l} = \sqrt{21 \times 10^5 \times 980/7.8 \times 10^{-3}} = 51.3 \times 10^4$ 厘米/秒;

波动惯量 $m = E\omega/a = 21 \times 10^5 \times 980 \times 5.13/51.3 \times 10^4 = 21$ 公斤·秒/厘米

凿入强度 $k = 2200 (f - 3.6) = 2200 (13 - 3.6) = 20600$ 公斤/厘米厘米

由上列基本数值可求得下列参数:

$$\alpha = m/M = 21/0.00204 = 10240 \quad 1/\text{秒}$$

$$\beta = kd/m = 20600 \times 4/21 = 3920 \quad 1/\text{秒}$$

$$\nu = \alpha/\beta = 10240/3920 = 2.61$$

从 $\xi(t_M)$ 函数表中查得, 当 $\nu = 2$ 时 $\xi(t_M) = 0.250$; $\nu = 3$ 时 $\xi(t_M) = 0.193$ 用插入法求得 $\nu = 2.61$ 时的 $\xi(t_M)$ 如下:

$$\begin{aligned} \xi(t_M) &= 0.193 + (3 - 2.61)(0.250 - 0.193) = 0.215 \text{ 钎头受力最大值 } F_M = 2\nu V_y \xi(t_M) \\ &= 2 \times 21 \times 630 \times 0.215 = 5700 \text{ 公斤} \end{aligned}$$

最大凿入深度 $U_M = P_M/kd = 5700/20600 \times 4 = 0.069$ 厘米达到最大凿深的時間

$$t_M = \frac{l_M \nu}{\alpha - \beta} = l_M \frac{2.61}{10240 - 3920} = \frac{0.96}{6320} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ 秒}$$

只要钎杆长度 l 大于下值, 上面的计算是有效的。

$$l \geq \frac{\nu t_M}{2} = \frac{1}{2} \times 51.3 \times 10^4 \times 1.5 \times 10^{-4} = 38.5 \text{ 厘米,}$$

平常凿岩时钎杆长度总是大于0.385米的, 故可用式 (37) 来计算凿岩速度。计算时取 $\epsilon = 2.0$, $\phi = 130^\circ$

$$C = \varepsilon \frac{4\mu^2 N \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}}{\pi d} = 2.0 \frac{4 \times (0.069)^2 \times 1600 \times \frac{130^\circ}{2}}{\pi \times 4} = 10.4 \text{ 厘米/分},$$

此即不考虑波之衰减而得到的理论凿岩速度。若考虑到衰减时，可用式 (45) 求得 $l=1$ 米之凿岩速度，取 $\eta=0.03$ 1/米，

$$C_1 = C e^{-2\eta l} = 10.4 e^{-2 \times 0.03 \times 1} = 10.4 e^{-0.06} = 9.8 \text{ 厘米/分}$$

按理论计算结果，在所给定的条件下，凿岩速度是每分钟 9.8 厘米。

[例 2] 在和例 1 相同的情况下，若用来作接杆法凿岩，钎杆长度 5 米，平均每 2 米一个接头，钎头直径 60 毫米，问凿岩速度将可能是多少？

[解] 先利用式 (47) 求得钎头直径如果保持在 40 毫米时的凿岩速度如下，取 $s=0.12$ 1/米

$$C'_5 = C e^{-(2\eta + s)l} = 10.4 e^{-(2 \times 0.03 + 0.12) \times 5} = 10.4 e^{-0.9} = 10.4 \times 0.408 = 4.25 \text{ 厘米/分}$$

即当钎杆接长到 5 米，钎头保持 40 毫米时，凿岩速度是每分钟 4.25 厘米。初看式 (38)，凿岩速度好象是和 d^3 成反比，其实不然，因 ξ 为 (t_M) 也取决于 d 。若钎头直径由 d_0 变为 d_x ，相应的凿岩速度由 C_0 变为 C_x ，其比值如下。

$$\frac{C_x}{C_0} = \frac{d_0^3 \xi^2(t_M)_x}{d_x^3 \xi^2(t_M)_0} \quad (49)$$

现已知 $C_0=4.25$ 厘米/分， $d_0=40$ 毫米， $d_x=60$ 毫米， $\xi(t_M)_0=0.215$ ， $\xi(t_M)_x$ 尚须求得。

因 $v_x = v_0 \frac{d_0}{d_x} = 2.61 \times \frac{4}{6} = 1.44$ ，从 $\xi(t_M)$ 函数表查得 $\xi(t_M)_x = 0.315$ 。于是以式 (49) 求得

$$C_{60} = 4.25 \frac{4^3 \times (0.315)^2}{6^3 \times (0.215)^2} = 4.25 \times 0.635 = 2.69 \text{ 厘米/分},$$

由上面的计算知，在其他条件和例 1 相同的情况下，若钎杆接长到 5 米，钎头增大 60 到毫米，那么凿岩速度将会降到每分钟 2.69 厘米。或为原来的 27.4%。

结 语

本文推导了用波动理论来计算凿岩速度的公式，阐明了实际计算的方法。从这里已经可以看出，它比现有的静力凿岩理论要接近实际一些。这个理论的意义，决不限于计算凿岩速度；更重要的是有可能分析各种因素对凿岩速度的影响，例如活塞的冲击速度、重量、冲击功、钎杆的断面积和材料，钎头的直径，岩石的坚固性等等因素的错综复杂关系。因限于篇幅，在本文中不一一加以讨论，但可以指出，其所得到的结果，和已知的经验关系甚为符合。

石咀子銅矿 豎井地压活动規律及其維護方法的研究

石咀子銅矿

沈阳矿山研究所 林韻梅

东北工学院

石咀子銅矿目前开采深度将近千米，深度增加，豎井的地压現象日益明显，严重地影响生产。为研究豎井地压規律和寻找合理的維護方法，我們自61年9月起对矿山主要的豎井进行了詳細的調查研究，其主要內容有（1）收集一切有关豎井地压的历史資料。（2）实地調查各井筒的地质、水文和围岩破坏情况，統計支架折損率和分析破坏原因，同时进行部分仪器观测，这是最主要的工作。（3）訪問矿山技术人員和老工人。（4）进行木支架模型的受压試驗等。

（一）地质及开拓情况

矿床赋存在石灰岩中，其中夹有絹云母化片岩、綠泥片岩、盼岩、輝綠岩等。石灰岩下为粘板岩。矿床呈脉状，南北走向，向西傾斜，傾角由 80° 到近似垂直。采用豎井和各中段掘进延脉与穿脉平巷的开拓方案（图一）。所有的井筒均为方井。

（二）井筒支架折損統計

为了确定豎井地压值和它与各主要影响因素之間的关系，进行了以下工作：（1）調查和統計支架的变形和折損。（2）在實驗室中做支架的性能試驗，以求得支架的变形和折損与压力值的关系。上述方法实质上是把支架当作观测地压的仪器。其优点是简单和方便。表面上，該法似乎簡陋、粗糙。实质上由于該法能收集到最大量的資料，对于复杂多变的地压現象，它反而比用少数测点测得的資料更能真实地反映問題的实质。故利用此法，並配合以部分仪器观测，将是研究地压的一种极为有效的方法。

研究結果如下。

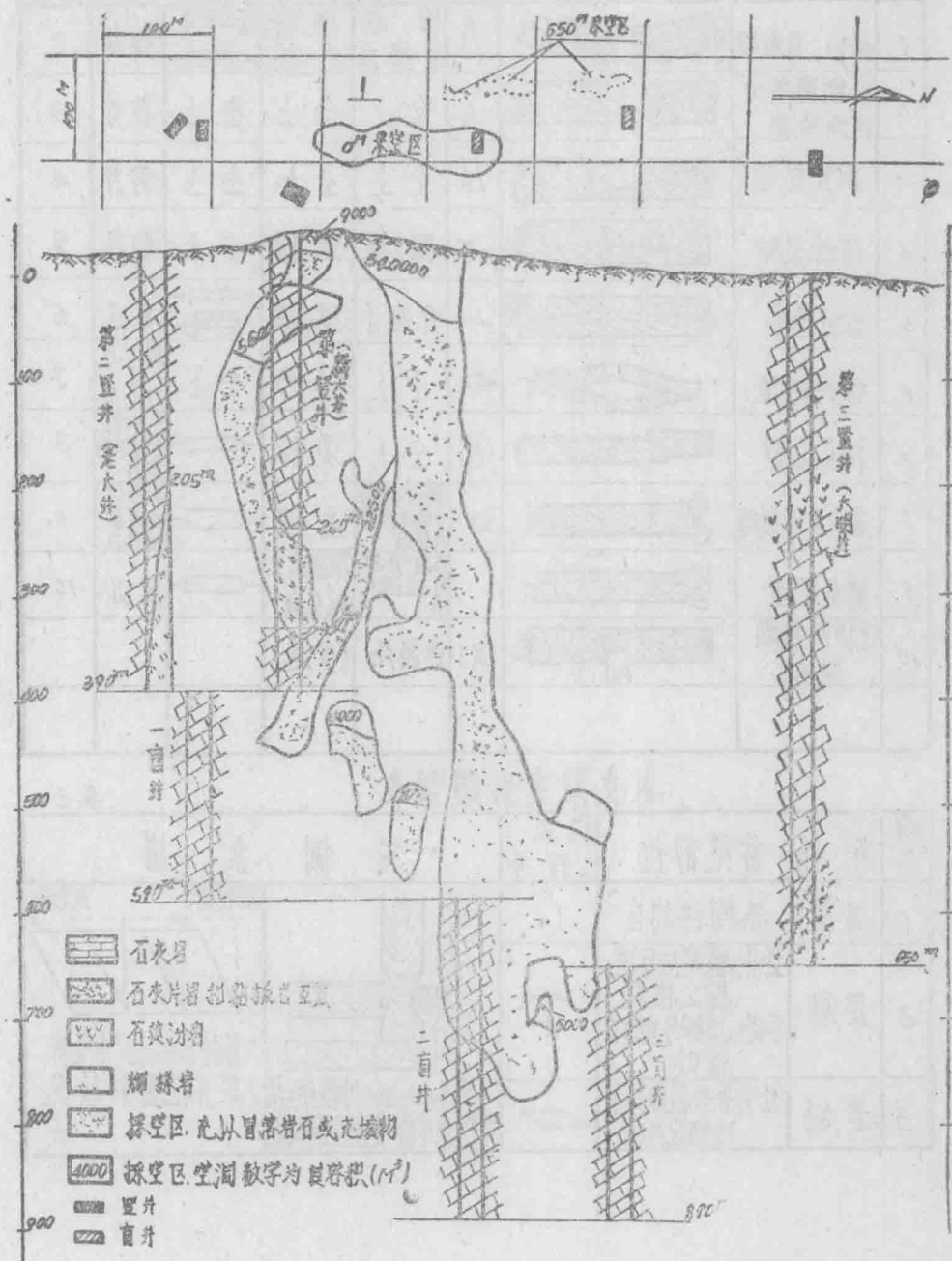
（1）支架受力而变形与破坏时有一定的形式。从該矿大量木支架折損实例中可归納为10种破坏类型和3种变型的类型（1、2）。其实例及照片如图2—10所示。

按上述分类标准对井筒支架折損情况进行統計。所得原始資料按表3的格式登記。將該資料进行整理即得各井筒不同中段的支架折斷率（表4）。

同时，还統計了支架的变形量一樑的挠曲量。表5为二盲井830—890米中段东短樑的挠曲情

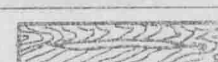
况。

(2) 使井樑折損的主要原因為：(a) 受集中式均勻的岩石壓力。(b) 構件連接處木材有效斷面減少。(c) 受到缶籠的摩擦或撞擊。(d) 木材因年久失修或受潮而腐朽。後二項原因造成的支架折斷量很少，在統計時未列入。



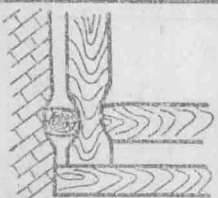
木支架破坏类型表

表1

编号	名称	形状	代表符号	常见部位	受力状态	主要破坏应力	实例图号	
1	横向三角裂縫		Δ	短柱 合框木	顶梁 立柱	拉力	2	
2	全断面横向折斷裂縫		X	全上	全上	全上	拉力	3
3	树皮裂縫		//	全上	全上	全上	剪力	4
4	階梯裂縫			短柱	顶梁	全上	剪力	5
5	纵向通縫			合框木	顶梁	全上	剪力	6
6	纵向周縫		$\diamond$	全上	(少见)	全上	剪力 + 压力	7
7	挤压裂縫		$\otimes$	全上	顶梁	全上	压力 + 剪力	8
8	端角三角裂縫		$\triangleright$	合框木 与中间短梁 交接处	立柱	全上	压力 + 剪力	9
9	端角压潰			合框木 与短梁 交接处	顶梁与立 柱交接处	全上	压力	10
10	连接处剪斷裂縫		IXI	连接处	(少见)			

木支架变形类型表

表2

编号	名称	常见部位	代表符号	实例素描
1	弯曲	各构件均有	$($	
2	压扁	立井、稳定柱与短梁交接处 平巷、顶梁与立柱交接处	$\uparrow$	
3	歪斜	立井各中段平巷井口部位井框	$\square$	

变形前 变形后

二盲井 230-270° 中段第 5 架井框歪斜情况

井框中稳定柱压扁情况