

胀裂剂膨胀压力测试

国营江阳化工厂第一研究所 李日忠
中国科学院力学研究所 王小好

〔摘要〕 本文以实验为依据,分析了目前国内外普遍运用建立在弹性力学理论基础上的公式计算胀裂剂(或称“静力破碎剂”,国外亦称“脆性物体破坏剂”)膨胀压力方法所存在的准确度低,误差大及其原因;介绍了将应变片的应变值直接与“P— $\mu\epsilon$ ”标准曲线相对照的比较准确的膨胀压力测试方法的原理,工作条件及其研究应用情况。

Measurements of the Expansion pressure of the Non—Explosive Demolition Agent

Li Yuezhong (First Institute of Jiang Yang Chemical Factory)
Wang Xiaoyu (Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

〔ABSTRACT〕 Based on the experiments, the causes of low accuracy and large average error existed in the method of applying the formula which is on the basis of the mechanics of the elasticity to calculate the expansion pressure of the non-explosive demolition agent used widely at home and abroad were in more detail described, and the principle, the working conditions and the application of the measurement method of the expansion pressure, in the method directly comparing the strain values from the strain gages with the standard curve “P— $\mu\epsilon$ ”, were also presented.

胀裂剂,或称静力破碎剂,是我国80年代初期发展起来的一种新型控制破碎材料。据有关资料^{〔1〕}介绍,其主要性能——膨胀压力达到30MPa时,即可破碎极其坚硬的岩石。膨胀压力是判断产品质量合格与否、衡量产品性能优劣、指导使用与销售的一项重要技术经济指标。

本文在分析目前国内外普遍采用的膨胀压力测试方法在测试中所存在的问题的基础上,介绍一种经改进后简便、实用而又较为准确的测试方法(简称“对比测压法”),并就该方法的测试原理、工作条件的参数确定以及使用中注意问题等作一些讨论。

1 公式计算测压法的误差分析

查阅国内外有关资料^{〔2〕〔5〕},得知目前普遍采用的测压方法是:将充填有胀裂剂的钢管变形量的应变值,代入建立在弹性力学厚

壁筒理论基础上的数学公式,经计算求出膨胀压力。其公式是:

$$P = \frac{E(b^2 - a^2)}{2a^2(1 - \nu^2)} \cdot (\epsilon_0 - \nu\epsilon_z) \quad (1)$$

式中 P——胀裂剂给予管壁的径向压力,即我们所求的膨胀压力(MPa);

a——金属管内径(mm);

b——金属管外径(mm);

E——金属管材料弹性模量(Pa);

ν ——金属管材料泊桑比;

ϵ_0 ——所测金属管外壁环向应变值($\mu\epsilon$);

ϵ_z ——所测金属管外壁轴向应变值($\mu\epsilon$)。

我们通过大量实验,运用向密闭钢管内注油加压的办法测得相应应变值,再将应变

值代入公式(1)中进行验算,发现存在两个主要问题:

第一,计算值与标定值之差,随着标定压力的增加而逐渐减少,但当达30MPa时计算压力仍未达标定压力的50%,两者差值太大。详见表1。

表1 公式计算值与实际标定值之比较

$P_{\text{标定}}$ (MPa)	5	10	14	20	25	30
$P_{\text{计算}}$ (MPa)	1.5	3.6	5.2	7.6	9.8	12
λ (%)	30	36	37	38	39	40

注:表中 $\lambda = P_{\text{计算}}/P_{\text{标定}}$ 。

第二,不同应变片在同一标定压力下的应变值差距随着压力的增加而加大。这可以从图1中的4条曲线的不同斜率明显看出。

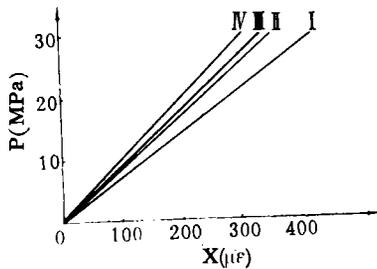


图1 不同应变片 P (压力)— X (应变)关系曲线。

由此可以得出结论:公式计算测压法准确度差、误差大;公式(1)未经标定修正不能直接用于测试胀裂剂膨胀压力的计算。

虽然我们对其误差大的原因还不很清楚,但是,至少有以下几个方面的误差积累可以明显看出:

(1)公式计算法在操作中产生的较大系统误差是测试中不易避免的。表1中的 λ 值很能说明问题。

(2)来自应变片自身工作参数、工作状态的偶然误差是很大的。从图1中可以直观性很强地看出:当标定压力为30MPa时, I*应变片的应变值为410 $\mu\epsilon$,而IV*片则只有290 $\mu\epsilon$ 。

(3)公式(1)中两个带有乘方项的参

数“a”和“b”实际上是与钢管的壁厚有关。目前,国产高精度的冷拔无缝钢管当其壁厚大于3mm时,只能保证 $\pm 10\%$ 的误差(摘自YB231-70)。无论如何精加工,误差也还是排除不了的,而在工业生产检测中对大量使用的钢管进行极高的精加工是很不经济的,技术上也不易保证。

(4)公式(1)中的常数项 E 和 ν 在实际应用中无法分别进行测定,只能根据资料选取大致范围。

2 对比测压法简介

2.1 原理与定义

所谓“对比测压法”,即在应变片电测技术中通常采用的在整个测试系统进行标定的基础上,绘制压力与应变标准关系曲线,再将不同时间测试的应变值与标准曲线进行对比以求得胀裂剂膨胀压力的方法。

膨胀压力也可按公式(2)、(3)经计算求得(参见图2):

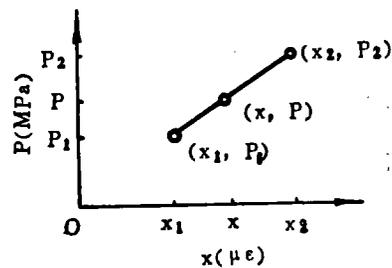


图2 公式计算示意图

$$\begin{cases} P = P_1 + k(X - X_1) & (2) \\ k = \frac{P_2 - P_1}{X_2 - X_1} & (3) \end{cases}$$

式中 P ——胀裂剂给予管壁的径向压力 (MPa);

P_1 ——与某时应变值左侧相毗邻的标定曲线上点的纵座标 (MPa);

P_2 ——与该时应变值右侧相毗邻的标定曲线上点的纵座标 (MPa);

X ——从应变仪上读取的该时应变值 ($\mu\epsilon$);

- X_1 ——与该时应变值左侧相毗邻的标定曲线上的点的横座标($\mu\epsilon$);
- X_2 ——与该时应变值右侧相毗邻的标定曲线上的点的横座标($\mu\epsilon$);
- k ——该时应变值所对应的标准曲线上的点(X, P)所在的那段曲线的斜率(MPa/ $\mu\epsilon$)。

当测试应变值大于最高标定应变值或精度要求不高时,还可以用公式(4)、(5)进行近似计算(参见图3):

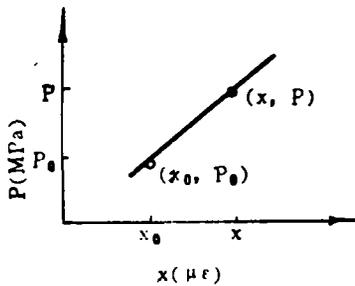


图3 近似计算示意图

$$\begin{cases} P = kX & (4) \\ k = \frac{P - P_0}{X - X_0} & (5) \end{cases}$$

式中 P ——胀裂剂给予管壁的径向压力(MPa);

X ——某时应变值($\mu\epsilon$);

k ——标定曲线横轴上与 X 靠近处的点(X_0)相对应的曲线上的点(X_0, P_0)的纵座标与横座标的比值(MPa/ $\mu\epsilon$)。

2.2 主要参数的确定原则

标定时,钢管密封性要强。其内径大小应与控制破碎施工中的灌胀裂剂的钻孔孔径相当,一般可取 $\phi = 38 \sim 40\text{mm}$;壁厚须保证其在标定和测试状态下处于弹性变形范围内工作,一般可取 $\delta = 3 \sim 4\text{mm}$;应有足够长度(不小于内径的12倍)^[4]。

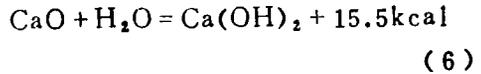
应变片应在钢管有效长度的中部、沿外壁环向粘帖4~6片。

2.3 实验环境条件

实验钢管竖直放入盛有足够量常温水的容器中,通过冷却的方法以控制反应速度。

国内有的单位在测试报告中给出了不同环境温度下恒温1~2天的膨胀压力值。我们的实验结果表明延缓反应速度只影响反应的完成时间,而对膨胀压力的最终值影响不大(参见图4)。

胀裂剂的主要成份由氧化钙(CaO)和无机盐化合物组成,外加少量有机添加剂。我们知道,氧化钙与水作用后生成氢氧化钙,其反应方程式为:



将用水混和后的胀裂剂填充于暴露在空气里的钢管中,反应剧烈时,钢管外部温度可达200~300℃。因此,将实验装置放入水中,较好地解决了应变片正常工作的问题。

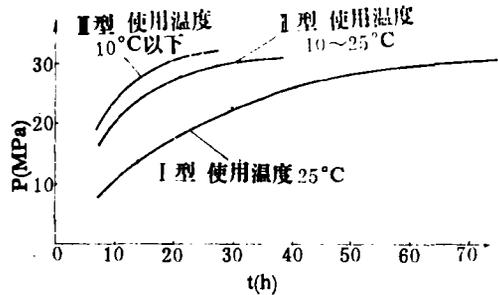


图4 不同型号胀裂剂P-t关系曲线
(试验水温18℃)

注 所用胀裂剂为国营江阳化工厂生产的ZHLJ系列。

图4表明,在水温为常温的实验条件下, I型胀裂剂经3天(72h), II型胀裂剂经2天(48h), III型胀裂剂经1天(24h)曲线趋于平缓,膨胀压力最后趋于一定值。

2.4 准确度与数据处理

由于对整个测试系统实行了标定,系统误差和偶然误差均可基本上消除。本方法所存在的误差只有两项:一是压力表本身误差;二是应变片反复加载时标准曲线的非线性。当使用一级精度压力表时,表的基本误差为±1%。应变片非线性不超过±2%(详见表

2)。二者之和仅为±3%。如果在测试前对测试系统进行3次以上重复标定,其非线性还可以减小^[3];如果采取对重复标定数值进行修正处理,其非线性基本上可以消除。所以,如严格控制,本方法的相对误差可控制在±1%以内。在应变片电测技术中,这个准确度还是比较高的。

我们还可以运用数理统计的方法来分析一下由表2中数据所绘制的相关图中变量 P 与 $\mu\epsilon$ 之间的依存关系和密切程度。计算结果表明:二者呈强正相关。当标定压力在20~30MPa之间时,每次标定的相关系数 γ 均高达0.9995以上(注:完全正相关时 $\gamma=1$)。

数据处理原则:一组应变片多次标定时,数据以最后一次标定为准;多组应变片同时测试时,膨胀压力可取平均值;膨胀压力值的计算精确至0.1MPa即可。

表2 反复加载时应变片的非线性

应变值 ($\mu\epsilon$)	应变片	I#		II#		III#		IV#	
		一次 加载	二次 加载	一次 加载	二次 加载	一次 加载	二次 加载	一次 加载	二次 加载
30		410	414	325	323	335	337	287	289
28		385	384	301	300	311	311	268	270
26		359	359	280	279	289	289	249	251
24		332	333	259	259	268	268	231	232
22		306	306	238	237	246	245	211	212
20		277	278	215	215	223	223	193	194
15		208	206	161	160	167	165	145	144
10		143	142	109	108	114	115	97	98
5		70	70	53	54	57	57	50	48
0		0	0	0	0	0	0	0	0

3 应用对比测压法应注意的问题

应变片电测技术中普遍存在的问题,如粘贴质量、防水技术、仪器零漂以及离群数值取舍的判别原则等共性问题均另有专著。本文不再赘述。

这里谨就实验中出现的多组应变片在同一时间内所测膨胀压力不一致的问题(经数据处理后仍然存在的)提出我们的观点。这种现象主要是由于胀裂剂在化学变化中由粘稠

状态转变为坚硬的固体,而固体的颗粒状态不一致时,就会影响力的均匀传递。此外,钢管内部疵病、壁厚差异较大时,以至于某应变片粘贴部位钢管超出弹性变形极限范围等,也可能出现这一现象。但是,这一问题并不反映本方法的精密程度。测试结果仍可取平均值而不失其代表性。

还需要指出的是,用任何一种测试方法测试胀裂剂的膨胀压力,与其在实际使用中破坏岩石工作状态下的压力之间的准确数量关系,一般不易确定。如若较为精确地解决这一问题,则可利用与岩石刚度较为接近的金属管进行压力测量^[2]。管子刚度值为 K ,用下式表示:

$$K = \frac{E(b^2 - a^2)}{2(1+\nu)b^2 + (3-2\nu)a^2} \quad (7)$$

式中符号意义与前述相同。对于一般应用中岩石炮孔的刚度值,只需在式(7)中令 $b \rightarrow \infty$ 即可。

根据作用力与反作用力的原理来分析,胀裂剂膨胀压力的大小与其所受的约束力大小呈正相关关系。因此我们认为:运用普通无缝钢管装置所测膨胀压力只能略小于,而不会大于其在实际使用中炮孔承受的最大压力。对产品使用追踪考察结果,也没有发现膨胀压力达30MPa以上的产品而破坏不了岩石的现象。所以,本方法实验装置的选材和放入常温水中的实验条件都是比较简便而可靠的。

参 考 文 献

- [1] 刘清荣. 控制爆破. 武汉市:华中工学院出版社, 1986.
- [2] 蒋进军. 静态爆破剂及其在大理石开采中的应用. 武汉建材学院学报, 1985, 2.
- [3] 吉林工业大学, 农业机械科学研究所. 应变片电测技术. 机械工业出版社, 1984.
- [4] 王龙甫. 弹性理论. 科学出版社.
- [5] 河野俊夫等[日]. 脆性物体破坏剂. 公开特许公报, 昭56-67059, 1981.