

有限应变的一种计算方法及其应用

邵济安 王存诚

构造地质分析和矿田构造分析中经常运用变形椭球体,用它形象地表示不同方向上的变形大小和主应变方向,由此进一步判断主应力方向,帮助分析一个地区的受力方式。不过这些椭球体的形态绝大多数是假想的,分析结果也只是定性的。近十几年构造地质学的研究逐渐从定性分析向定向方向发展。岩石有限应变测量引起了广泛的注意,它为人们提供了必要的数字信息,可以使我们了解到:一个区域或某个构造内部应变场的特征,探讨构造变形的历史;也可以获得在同一构造变形过程中,不同岩性应变程度的差异。自然界对应于一定的边界条件必然存在某些特定的应变型式。按一定间隔大量测量岩石的应变,可以得到一幅区域应变图象,称之为应变型式。近年来在一些研究程度比较高的褶皱带上——如阿尔卑斯、阿巴拉契亚等地已经开展了这项工作。

应变测量的基本原理并不难理解,若一任意形状和方位的椭球被三个过球心的截面所切,则应得到三个椭圆。反过来如果在这样三个截面中的椭圆切面参数(长短轴之比,截面方位及长轴在截面上的侧伏角)已知,则可唯一地确定原始椭球的形状和方位。这样就可以给出该测点岩石的主应变方位和相对大小值。

做为应变测量的变形标志体种类是繁多的,分布是广泛的。如变形的砂粒、鲕粒、豆粒、结核、某些化石(如三叶虫,有孔虫、放射虫等)、火山豆、火山角砾、气孔、泥球、还原斑、岩浆岩中的斑晶,重结晶的方解石颗粒、压力影等等。这些标志体不论初始形态是否规则,只要有较明显的变形都可使用。

岩石有限应变测量的方法也很多,目前常见的有十几种,有的方法是着眼于标志体形态变化,有的则是考虑标志体之间距离的变化,还有一些则是策重线应变或者角应变。总之,根据不同的变形情况选择适合的方法,可以得到各个测量面(露头面)上的平面应变椭圆参数。最后可以通过几何作图的方法或者数值计算的方法将几个测量面上获得的那些二维应变椭圆拟合出一个三维应变椭球。后一种算法在微型计算机普遍使用的今天是十分简便的。利用已有的程序几分钟就可得到结果了。

从应变测量的原理中可以知道,如果采用三个主平面的应变测量资料,很容易直接得到应变椭球的参数。然而在野外同时在一个露头面附近找到三个可供测量的相互垂直的平面是一件困难的事情。能不能利用三个互不平行的非主平面来测量呢?Siddans(1980)明确地肯定了这个问题。Milton(1980)和Gendzwill与Stauffer(1981)分别提出了从三个任意互不平行截面上的二维数据直接计算三维应变的方法。所不同的是后者采用了符合地质习惯的地理座标,另外处理相容性的方法也有所不同。

笔者(1984)在前人工作基础上,进一步改进了Gendzwill与Stauffer的方法,提高了效率并能根据三个以上截面中的二维应变测量值来计算三维应变,从而提高了精度。在三维应变计算中一个重要的问题是对相容性问题的处理。从理论上知道椭球的空间曲面方程最一般的形式是:

(下转第124页)

$D_1E^2 + D_2N^2 + D_3V^2 + D_4EN + D_5EV + D_6NV = 1$ 。当已知三个过球心的椭圆截面时,即从已知的三个椭圆长、短轴端点中得到六个相互独立的点。因此,便可获得一个六元联立方程,解这个方程组即可求出上述方程所待定的六个系数。因此椭球方程便完全可以确定了。但是从实际测量中所获得的各轴绝对长度之间未必是相容的,即未必是通过同一椭球中心的截面,尽管通过这样的六个轴的端点,也能唯一地确定一个二次空间曲面,但这个曲面未必是真正的变形椭球,甚至可能是双曲面。因此首先必须调整各截面的轴长比例,使之相容。在这过程中我们建议用小偏差法来进行修正,实际计算表明,当收敛判据适当时,只要三、四次迭代便可收敛,可以提高计算效率。以往利用三个截面来确定椭球,往往可能由于某一轴长,特别是短轴轴长存在测量上的误差导致椭球形态发生极大的变化,尽管通过比例调整使三截面数据相容,却不能保证修正后的数据更接近真实。因此笔者(1984)提出采用多于三个的截面测量数据来提高测量精度。用最小二乘法解决方程组数多于六个所带来的问题。

我们在周口店太平山北坡的砾岩山上复制了石炭系上统底部变形砾石分布图,采用了 Dunete (1969) 的 Rf/ϕ 法确定了各截面中二维变形,然后使用根据前述修正措施编制的计算程序,获得了以下结果:

主轴相对长度	主轴走向	主轴倾角
0.66	9.27	4.71
1.38	279.01	3.17
1.27	155.11	84.31

计算结果的最大扁平面和砾岩中测量的劈理面产状(走向 287° ,倾向南,倾角 83°)符合得很好。与在砾岩山北侧山根奥陶系灰岩采石场中所测到的极其明显的水平拉伸线理(倾向 96° ,倾角 4°)也很接近,二者相差不超过 10° 。

笔者曾利用岩石有限应变测量的方法分析了京西灰峪向斜的应变型式,得到了一幅近水平的南北向挤压和近水平的东西向拉伸的应变图象。通过应变椭球短轴的相对长度的变化可以看到压缩程度是由翼部向核部增加的,在应变测量的基础上还可以利用付林图解表示向斜各部位应变型式的变化,可以看到从向斜接近转折端的翼部向核部,应变型式逐渐从收缩型经平面应变变成压扁型。这种变化规律可以解释在各部分出现的岩石变形的小构造现象。此外在南大寨—八宝山断裂带上笔者选择了断裂带由南北走向突然向东西走向变化的转折部位,用同样方法进行了岩石有限应变测量,测量对象是下二叠系的变形砾岩,测量结果:

主轴相对长度	主轴走向	主轴倾向
0.57	342	9
1.26	242	47
0.90	180	41

可以看出在断层转折部位受到北西—南东向近水平方向的挤压,与该部位断层面产状(倾向南东,倾角 $70^\circ-80^\circ$)联系起来,可以进一步判断砾石压扁的变形是属于断裂早期逆断层这一次压性活动的产物。与该部位见到的垂直断层走向的、放射状张裂隙同属一期变形产物。

以上这些应变测量都是在一些变形历史比较清楚的地区进行的,目的是为了尝试岩石有限应变测量方法,判断它对构造问题分析的可信程度。事实证明岩石有限应变的分析对深入一步的构造变形分析是有效的,对区域地质研究也是有益的。

最后,感谢郑亚东付教授的帮助和指导。