

断层生长指数探讨

赵孟为

(西北大学)

断层生长指数不仅与断层活动速率有关，而且还与沉积速率有关，而后者长期以来为人们所忽视。确定沉积速率得先求出沉积时间，然而已知沉积时间可直接得到断层活动速率并定量地反应断层活动强度，因此，“断层生长指数”一词已无实用价值。

自从C.E.Thorsen于1963年提出断层生长指数(growth index, 缩写为GI)以来,生长指数在国内外,尤其是在我国含油气盆地同生断层的研究中得到了较为广泛的应用,并被许多教科书介绍与引用^①(R.E.Chapman, 1983, 朱世新等, 1987),普遍认为是研究同生断层的有效手段。但是,长期以来,人们在用生长指数研究同生断层时,忽视了一个十分重要的因素——沉积速率。因而得出的结果就不正确,甚至完全错误。

一、断层生长指数简介

C.E.Thorsen将断层生长指数定义为断层两侧同一地层单元的下降盘厚度/上升盘厚度。他认为,在生长指数图上比较不同时代断层生长指数的大小,可以了解断层在不同时代的活动强度(图1)。断层生长指数图一般可以说明:(1)断层开始活动的时

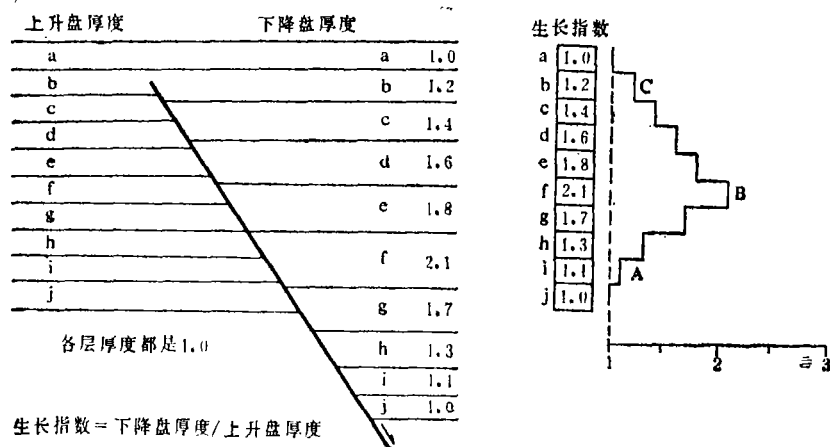


图1 断层生长指数图(据Thorsen, 1963, 简化)

①冯石等, 1982, 《构造地质学》, 石油地质勘探技术培训教材, 石油工业部勘探培训中心。

间，即下降盘地层出现厚度增长的最老时代（图1A）；（2）断层活动最强烈的时期，即下降盘地层增长最大的时代（图1B）；（3）断层活动的末期，即下降盘地层增长的最新时代（图1C）。按照Thorsen的观点，断层生长指数的大小反映断层活动的强弱，生长指数等于1，断层不活动；大于1，断层活动，生长指数越大，断层活动性越强（C.E.Thorsen, 1963, R.E.Chapman, 1983, 朱世新等, 1987）。然而，对断层生长指数的地质意义稍作引伸和分析，就会发现，问题并不这么简单，因为生长指数不仅与断层活动速率有关，还与沉积速率有关。

二、生长指数与断层活动速率及沉积速率的关系

下降盘与上升盘的厚度不同是同生断层的最显著特征和提出断层生长指数的基础。其原因是同生断层在沉积物沉积过程中的活动造成两盘的沉积速率不同。为了讨论问题方便，假定同生断层活动的结果表现为下降盘下降，上升盘相对于下降盘静止，则对于上升盘而言，其沉积速率应当是仅受盆地沉降因素控制的沉积速率（ V_s ，本文中未做说明的沉积速率都是指这个沉积速率，它与断层活动无关）；而对下降盘而言，其沉积速率应为受盆地沉降因素控制的沉积速率（ V_s ）和断层活动而使其下降的速率（ V_f ，即断层活动速率）的迭加，即 $V_s + V_f$ 。设地层沉积时间为 T 。根据断层生长指数的定义，断层生长指数（ GI ）=下降盘厚度（ H_d ）/上升盘厚度（ H_u ），显然应当有下式：

$$GI = H_d/H_u = (V_s + V_f)T/V_sT = 1 + V_f/V_s \tag{1}$$

此式的地质意义在于，它表明断层生长指数是断层活动速率和沉积速率的二元函数，而绝不是断层活动速率的一元函数，它既包含断层活动的信息，又包含沉积作用的信息。断层生长指数与断层活动速率成正比，与沉积速率成反比。由于 $V_s = H_u/T$ ，所以生长指数实际上也是断层活动速率与沉积时间的二元函数。在上述假定下得出的这个结论具有普遍意义，不会由于实际地质情况的复杂而影响结论的正确性。

图2反映在不同沉积速率条件下断层活动速率与生长指数的关系。它是式(1)的直观图示。图2表明，当沉积速率（ V_s ）不同时，生长指数（ GI ）相同，断层活动速率（ V_f ）可能不同；而 V_f 相同， GI 又可以不同；当 GI 很大但 V_s 很小时， V_f 却很小，而当 GI 很小但 V_s 很大时， V_f 则很大。所以单靠生长指数而不考虑沉积速率是根本无法说明断层活动强度的。以图1为例，按照Thorsen的观点，f层 $GI = 2.1$ ，

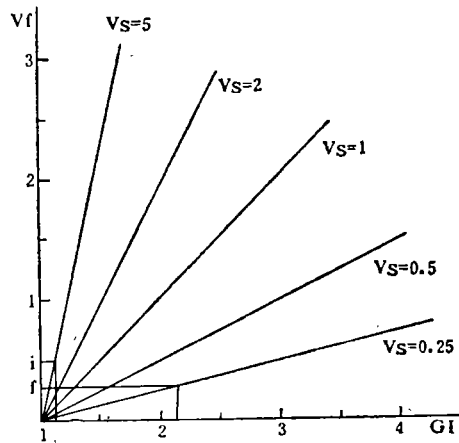


图2 不同沉积速率（ V_s ）条件下断层活动分速率（ V_f ）与生长指数（ GI ）关系图

值最大，断层活动最强烈；i层GI = 1.1，值最小，断层活动最弱。但假如f层 $V_s = 0.25$ 厘米/百年；i层 $V_s = 5$ 厘米/百年，则由图2可以看出，f层 $V_f = 0.27$ 厘米/百年（图2f）；i层 $V_f = 0.5$ 厘米/百年（图2i）。结论是i层断层活动强于f层，与Thorsen得出的结论完全相反，而后者显然是错误的。所以，当各地层单元的沉积速率不同时，其生长指数的大小并不能反映断层在各时代活动的相对强弱，各时代的生长指数之间没有可比性，因而是不能用来相互对比的。

只有在各地层单元沉积速率相等的条件下，才能直接用生长指数判断断层在不同时代的相对强弱，“生长指数越大，断层活动性越强”的关系才成立，所以，各地层单元沉积速率相等是用生长指数判断同生断层活动性的前提条件。然而，这个条件是很难成立的，因为盆地内各时代地层单元沉积速率的大小主要取决于盆地的沉降速率和沉积物充填补偿盆地沉降的程度。而后两个因素又主要依赖于盆地的动力学环境和沉积环境。因此盆地内不同时代地层单元的沉积速率一般是同时而异的，表1和表2能够说明这一点，同时也是因地而异，因为盆地内同一地层单元的厚度不可能处处相等。所以很难有直接用生长指数研究同生断层的条件。由此看来，以往按照Thorsen的生长指数概念对同生断层进行研究所得出的结果很可能是错误的，至少是不可靠的。这是由于人们单凭想当然以为生长指数仅与断层活动有关，而没有考虑沉积作用的因素。

表1 世界上显生代沉积速率表

时 代	沉 积 速 率 (厘米/百年)
古 生 代	1.75
中 生 代	2.44
新 生 代	4.76

据Chapman资料换算

表 2 墨西哥湾沿岸最大沉积速率表

时 代	时间间隔 (百万年)	沉积厚度 (米)	沉积速率 (厘米/百年)
现代及更新世	2	2440	12.2
上新世	10	1830	1.8
中新世	15	12200	8.1
渐新世	10	4880	4.9
古一始新世	35	7320	2.0
白垩纪	40	4120	1.0

据Hardin等

三、沉积速率与断层活动速率的确定

如上所述，使用生长指数必须首先考虑各地层单元的沉积速率。而确定沉积速率的关键是求出各地层单元的沉积时间(T)。方法有两种：一是用地层单元底部和顶部的同位素年龄之差；二是用地层沉积时所经历的绝对地质年代，即地质年代中的时间间隔。求出了沉积时间，用某地层单元的上升盘厚度除以沉积时间，就得到该单元的沉积速率。当然，求沉积时间的方法或经过分析化验，此法费时费钱（第一种方法）；或至

多只能在“统”这一级别的时间间隔内进行研究，此法影响研究精度（第二种方法），从而使研究工作复杂化。但是绝不能因此而不考虑沉积时间这个因素就直接用生长指数研究同生断层，尽管使用生长指数进行研究的确是简便易行。

然而，如果已知沉积时间，就可以直接求出断层活动速率，定量地反映同生断层活动的强弱，而无须再“绕道”生长指数。因为

$V_s = H_u/T$ ，将其代入式（1），则有：

$$GI = H_d/H_u = 1 + V_f/V_s = 1 + V_f / (H_u/T)$$

即有： $H_d/H_u = 1 + V_f T/H_u$ 整理此方程得：

$$V_f = (H_d - H_u) / T = H_d/T - H_u/T \quad (2)$$

此式的地质意义显而易见，即断层活动速率是单位时间内的某地层单元的厚度差，实际上也就是断层两盘的沉积速率差。

由上述可知，由于沉积速率因时因地而异，使得生长指数在纵向上无法反映不同时代断层活动的强度，在横向上也不能比较同一时代不同部位上同一断层或不同断层的活动强度，加之已知沉积时间就可以直接得到断层活动速率，所以，断层生长指数在实践中已无实用价值。

笔者曾用断层生长指数研究过河套盆地的断裂构造（赵孟为，1988），根据本文的思路，用式（1）和式（2）对原先得出的结果进行了比较和分析，发现原有结论有些问题。以河套盆地临河拗陷中的杭后断层为例（见表3），原来根据断层生长指数的分析

表3 河套盆地临河拗陷杭后断层生长指数*与断层活动速率对比表

时 代	H _d (米)	H _u (米)	GI	T** (百万年)	V _s (厘米/百年)	H _d -H _u (米)	V _f (厘米/百年)
Q	1179	1179	1.0	2	5.895	0	0
N ₂	4179	3572	1.17	10	3.572	607	0.607
N ₁	2449	2310	1.06	13	1.777	139	0.107
E ₂₊₃	2141	1784	1.20	35	0.510	357	0.102
K ₁	825	778	1.06	35	0.222	47	0.013

*基础资料来源于长庆石油勘探局

**据李四光，1972，天文地质古生物

认为始—渐新世断层活动最强烈（GI=1.20，为最大值）；早白垩世与中新世断层活动强度一样（GI=1.06）；断层活动的趋势是弱—强—弱—强（表3GI）。然而比较各地层单元的沉积速率，发现它们呈递增的趋势，均不相等（表3V_s）。因此，根据式（1），认为各地层单元的生长指数是不可比的，因而原结论肯定有误。用式（2）求出各时代的断层活动速率（表3V_f），发现原结论都不对：断层强烈活动的时间实际上在上新世，而不在始—渐新世；早白垩世和中新世断层活动强度并不一样，后者大于前者近10倍，倒是生长指数差别较大的始—渐新世和中新世断层活动强度相近，断层活动的总趋势是活动性逐渐增强。

承蒙我校赵重远教授和王定一副教授审阅并提出修改意见，谨此谢意。

（收稿日期：1988年9月16日）

参 考 文 献

- (1) Thorsen, C.E., 1963, Age of growth faulting in southeast Louisiana, Trans., Gulf-Coast ASS.Geol.Socs.V.13, P.103-110.
- (2) Chapman, R.E., 1983, Petroleum Geology, Elsevier Science Publishing Company Inc.
- (3) 朱世新等编, 1987, 《油气田调查勘探与资源评价》, 地质出版社.
- (4) Hardin, E.R. and Hardin, Jr.G.C., 1961, Contemporaneous normal faults of Gulf Coast and their relation to flexures AAPG Bull.V.45, No.2.
- (5) 赵孟为, 1988, 河套盆地断裂活动的特征及其与油气的关系, 西北大学学报, 第18卷, 第2期.

DISCUSSION ON THE GROWTH INDEX OF FAULT

Zhao Mengwei

(Northwest University)

Abstract

The growth index of a fault is related not only to its speed of activity but also to the deposition rate which has been neglected for a long time. The duration of sedimentation has to be established in order to evaluate the sedimentary rate. However, the speed of activity of a fault can be directly obtained from the duration of sedimentation and reflects quantitatively the activity intensity of the fault, thus the terminology of the growth index of fault is practically meaningless.