



Palaeoworld

This is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship.

PALAEOWORLD Editorial Office

State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy

Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences

Beijingdonglu 39, 210008 Nanjing, PR China

e-mail: palaeoworld@nigpas.ac.cn

PALAEOWORLD online submission:

<http://ees.elsevier.com/palwor/>

PALAEOWORLD full-text (Volume 15 –) available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/1871174X>

综合地层学的发展趋势

金玉玕

(中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学开放研究实验室)

李淳

(中国科学院南京地质古生物研究所)

地层学涉及的领域非常广泛。经反复修订的《国际地层指南》(Hedberg, 1976)认为,广义地说,整个地球都是层状的。因此,所有的岩石,包括沉积岩、火成岩及变质岩都属于地层学和地层分类研究的范畴。尹赞勋(1959, 1979)一再强调,“地质学家在一定程度上都是地层学家。”这并非夸大其词。实际上,各类岩石形成的地层体都相互关联,处在统一的时空坐标系中,而地质学家则必须了解地层体的时空位置,才能说明研究对象的性质和发展过程。

然而,就地层学的具体内容而言,概括起来主要为两个方面。一方面是研究地层体的某种客观性质,如沉积岩、化石、同位素年龄、岩石剩余磁性、不整合、古土壤层等及其分类对比的岩石地层学、生物地层学、同位素地层学、磁性地层学、古土壤地层学和旋回地层学等实体地层学。另一方面是综合地层体的各类客观特征,着重解释地质演变和生物历史的年代地层学、生态地层学、事件地层学、序列地层学及定量地层学等解释性综合地层学。

现代地质学的研究往往要求从全球范围观察问题和多学科协同工作。这种发展趋势有力地促进了综合性、解释性地层学的迅速发展。近10多年来,通过综合研究地层体的各种信息,探讨地质演变的过程、事件和生命历史的潮流给地层学带来新的活力,地层学重新成为地质学科各分支依托的基石(Cowie, 1986),而被称为综合地层学(Cisne *et al.*, 1984)、整体地层学(Armentrout, 1987)及新地层学(Gradstein *et al.*, 1987)。随着地球科学的发展,综合地层学的热点也在不断转移。70年代,对古群落和古生态系统的研究推动了生态地层学(ecostratigraphy)(Martinsson, 1979),80年代对地质灾变事件的研究和争论促进了事件地层学(event stratigraphy)(Ager, 1973; Hallam, 1984; Walliser, 1984)的发展。近年来地震地层研究和沉积地质研究的开展,导致序列地层学(sequence stratigraphy)(Vail *et al.*, 1977; Ross, 1987)的兴起。而且每个时期都涌现出一批新的地层学名称,来标志各自的研究范畴和重点或研究方法的特色。例如近期提出的即有定量地层学(quantitative stratigraphy)(Schwarzacher, 1975),概率地层学(probabilistic stratigraphy, Hay, 1972),线形地层学(linear stratigraphy)(Harland *et al.*, 1982),旋回-事件地层学(cycle-event stratigraphy)(ISSC, 1984),以及强调精确进行沉积事件对比的高分辨率事件地层学(high-resolution event stratigraphy)(Kauffman, 1988)。这些研究领域互相交叉,边界分野模糊,研究手段多种多样,有所

侧重但无限制，充分体现了地层学的综合特点。地层学已不再局限于划分和对比地层，而成为信息量十分丰富、应用范围空前广泛的学科。然而，在根据单个或综合地层体客观性质建立的多种层序中，只有年代地层学反映的时间系统普遍适用。因此，优化全球年代地层系统成为多年来推动地层学的关键之一。

一. 全球年代地层系统

地层学的主要任务之一是建立统一的地层系统使其成为地学工作者可接受的共同语言。因此，这一学科具有规范科学的特点，不断追求和提高地层系统的精确性和扩大适用范围。国际地层学界在本世纪后 30 年的主要目标，就是通力合作，使全球年代地层系统规范化，其具体步骤为通过国际合作研究和协商，确立各级年代地层单元的全球界线层型剖面 and 点位。

60 年代对全球性地质研究的兴起，使建立可供全球性精确对比的地层系统成了国际地质界面临的重大课题。1965 年，国际地层委员会正式成为国际地科联下属的最大委员会，担负起指导和推动此项世界规模的合作研究活动。目前已组织起 13 个断代地层分会，8 个系间界线工作组（前寒武系 / 寒武系、奥陶系 / 志留系、志留系 / 泥盆系、泥盆系 / 石炭系、白垩系 / 第三系界线工作组已提出了最终报告，或已经地科联执委会核准，工作组宣告解散）。另有地层分类、地质年代学、磁性地层分会和 3 个地区性地层分会共计 29 个下属组织。1987 年又组成定量地层分会和先寒武纪晚期地层工作组。

一百多年的地层研究实践，证明了建立世界通用的阶的层型对于全球地层系统的必要性。1948 年，伦敦第 18 届国际地质大会上发表了上新统 / 更新统界线的研究成果，首次作出了寻找界线层型剖面的尝试，并促进了全球范围内建立界线层型剖面 and 点位理论和实践的迅速发展。1972 年，蒙特利尔第 24 届国际地质大会通过了第一个成功地解决志留系 / 泥盆系界线层型问题的报告。继 1976 年《国际地层指南》公布后，1986 年国际地层委员会颁布了它的工作方针和章程，着重阐述了界线层型和点位的选择程序、条件及评价标准 (Cowie *et al.*, 1986)。

近几年来，已陆续选定了一批层型剖面 (Bassett, 1985; Klapper *et al.*, 1987; Cowie, 1989 等)，其中包括奥陶系 / 志留系界线、志留系各统、阶及其底界 (Pridoli 统内尚未确立阶的标准)，泥盆系分统及其顶底界，泥盆系下统 Pragian 阶底界，古新统底界，更新统底界等。通过多年科学实践的检验，证明这些“金钉子”确实起到将某些地质时间固定于某一具体层位的作用。同时，使之成为吸引地质学者的注意力，从多方面进一步研究的焦点。但是，有的系间界线层型剖面 and 点位虽已确定，却仍有较大争议。奥陶系 / 志留系的界线层型剖面 and 点位就是一例。部分系间和统间界线和理论定义已经确定，正在选定符合条件的层型剖面，如石炭系中间界线，始新统 / 渐新统界线等。还有的界线工作组虽经多年努力，但未得到满意的结果，各国学者正在进一步深入工作或作新的尝试以寻求最后的统一，如石炭系 / 二叠系界线等。

值得指出的是，至今全球界线层型剖面 and 点位的确定，除先寒武纪和第四纪地层外，都以生物地层学为最基本的依据。岩石地层学、同位素年龄、古地磁和稳定同位素资料等虽是候选剖面推荐报告的必备内容，但其精确性和可比性还不够理想。近二十多年来，同位素年代系统不断得到完善 (Harland *et al.*, 1990; Odin *ed.*, 1982, 1986; Salvador,

1985; Palmer, 1983; Snelling, 1985; Haq *et al.*, 1987), 这主要是因为, 年龄样品和数据的不断增多和积累, 尤其是沉积岩中绿泥石测定技术和裂变径迹法普及, 扩大了测定对象; 对原子衰变常数的修订及对比方法的不断改进; 同位素测年技术手段的不断改进, 使测定结果更臻准确; 磁性地层学, 尤其是中、新生代磁性地层学, 以及显生宙生物地层学精度的提高, 对年代单位界线进行了校正。然而, 由于样品的采集、矿物和岩石的成因及后期改造的影响, 以及测定过程的误差等, 造成同位素年龄测定数据多而不一致, 在使用上易造成混乱。各家地质年代表所选用的年龄数据, 往往因各自采用的不同评价标准和对地球历史发展的理解不同而异。目前, 隐生宙的年龄误差可超过整个显生宙的时限。显生宙侏罗纪以前误差相对较小, 但仍然相当大, 如石炭纪(许同春, 1987)和二叠纪火山岩同位素年龄的系统性误差达 20—30Ma。侏罗纪以来的同位素年龄相当可靠。这在很大程度上是借助了磁性地层学和生物地层学校正的结果(Eicher, 1987)。目前, 分别由地质年代学分会主席 Snelling 为首和 IGCP133、196 项负责人 Odin 为首编制的两个地质年代表是较广泛使用的资料。

二. 重建历史生态系统

70 年代各国古生物学者探索古群落更替和古生态系统的演化, 广泛采用海洋沉积学的最新成就, 兴起了生态地层学。

生态地层学的兴起是生物地层学深入研究并与古群落、古生态系统及海洋沉积学等相结合的结果(金玉珩等, 1983; 戎嘉余, 1986)。它以群落研究为基础, 探讨古群落及其生态学的时空分布和演化规律, 以提高地层划分对比的精度。生态地层学是在 70 年代和 80 年代初受到许多地层学者的重视并相继开展研究的, 除理论探讨外(如 Martinsson, 1979; Hoffman, 1981; Krassilov, 1987), 还应用于盆地分析、提高和改进地层对比、探讨生态系统演化的原因等(如 Cisne *et al.*, 1978; Waterhouse, 1979 等)。尤其是 1969 年 IGCP 生态地层学项目的提出, 对生态地层学的实践及理论探索以很大促进。

近来, 一些学者试图建立独立的生态地层学分类系统, 采用群落为基本单元, 更高的级别为生态区、生态域等。另一方面, 考虑建立地层分类系统应当以地层体的客观特征, 而不是以其解释性特征为依据, 故在地层学分类系统中, 群落、群落带被直接归纳为化石组合、组合带等的演释结果。

三. 大规模的突发性超常生物和环境变化

全社会普遍对人类未来和环境问题的关注, 不仅激发而且强有力地促进了对地球历史上发生的一系列大规模的突发性超常生物和环境变化的研究。事件地层学为此类研究提供了基本的研究途径和地层框架。事件地层学产生的学术基础包括两个方面: 一是对沉积事件的研究, 另一是对生物绝灭, 尤其是对集群灭绝事件研究的兴趣。目前的事件地层学虽在内容上包罗万象, 但重点仍置于上述两个方面。

随着沉积地层学及海洋学的发展, 以及 60 年代后期对一系列超常沉积作用的研究, 如飓风沉积、海啸沉积、洪泛冲积, 使人们认识到, 地质历史中沉积作用并非一直是连续而缓慢的, 而是时有间断, 时有快速的异常堆积作用(如火山、浊流、地震、风暴等引起的)。这些异常作用对盆地及生态环境有重要影响, 且具有一定的区域分布(Ager, 1973),

在地层中反映这些特殊沉积事件的记录即为事件沉积。事件沉积以其突发性、短暂性、广布性和超常性在地层对比,尤其是盆地内对比上具有重要的作用 (Ager, 1973)。其分析对比精度有时超过生物地层学和磁性地层学的精度,因而被称之为高分辨率事件地层学 (Kauffmann, 1988)。

在事件沉积研究发展的同时,古生物学界新思潮如“间断平衡”、“宏演化与微演化”、“集群绝灭”的影响,使地层学家们越来越重视生物在历史中的绝灭事件及其对比意义。古海洋学、沉积地层学、地球化学、天文地质学的飞速发展和对白垩系/第三系界线粘土层中铀含量异常的发现 (Alvarez, 1980),对生物绝灭事件的研究起了促进作用。Walliser (1984) 提出地质事件的研究依赖于生物地层学与岩石地层学的结合,集中探索板块特殊活动、古海洋环境变化、天体碰撞等原发事件,并强调了许多生物和岩石事件的可对比性。近年来,国际合作研究事件地质学和事件地层学的规模较大,除白垩系/第三系界线事件外,还有 IGCP 174 项的始新统/渐新统界线及地质事件 (Pomerol *et al.*, 1987)、IGCP 199 项关于罕见地质事件的研究、IGCP 216 项全球生物事件和 IGCP 272 项晚古生代和早古生代环太平洋事件 (1988—1994) 等。

有必要指出的是,事件地层学是一个很广的概念,其研究对象囊括了种种规模不同的地质事件。因而有必要从级别、成因等方面进行事件分类。只有这样,事件对比才有意义。

四. 三维地质图的地层框架

当各国地面地质图的填制渐臻完成时,探索编制大范围三维地质图成为地学研究中势在必行的课题。油田和矿区勘探工作中编制立体地质图的经验表明,作为此类图象的地层框架,必须采用先进的地球物理方法和微机处理技术,结合沉积地质和古生物研究的新概念才能建立。因此,综合地震地层、测井地层、生物地层与沉积序列等方面资料的序列地层学,不仅在沉积矿体的勘探和开发中继续得到应用,而且在地质研究中可能具有更长远更广泛的意义。同时,着重分析和处理定性资料和定量数据的定量地层学也将得到迅速发展。

地震地层学主要应用于油气勘探,在国外已使用 30 多年。然而地震地层学理论系统的建立则以《地震地层学及其在碳氢化合物勘探中的应用》(Payton *ed.*, 1977) 的发表为标志。它阐明了从分析解释地震序列、地震相和海平面变化入手,推断井下地层划分、对比、沉积环境、埋藏史、非整合面形态和古地理的原理和程序。其中以沉积序列为基本地层单元,以海岸带超覆评估海平面相对变化,进而作出全球海平面变化旋回综合图的尝试,给地层学工作者颇多启发 (Vail *et al.*, 1977)。近年来地震地层学发展为着重研究沉积序列的纵向演化和横向对比,并结合年代地层学、生物地层学分析全球海平面变化机制及同时性,而称为序列地层学 (Nammedal, 1987; Ross, 1987; Ginsburg, 1987) 或海侵地层学 (transgressive stratigraphy) (Nammedal and Dwift, 1987)。其中《地震地层学制导的海平面升降序列的时代与沉积》一书发表了以年代地层学为基础编制的中、新生代及晚古生代的海平面升降旋回图,阐述了标准年代地层、磁性地层、沉积旋回和生物地层带的对比关系 (Haq *et al.*, 1987; Ross *ed.*, 1987)。

序列地层学实际上是“旋回” (cyclothems) 概念和 Sloss (1949), Wheeler (1958,

1959) 以及 Chang (1975) 等研究地层沉积序列成果的发展。随着研究资料的积累, 还扩大到不同性质板块边缘沉积盆地及不同洋盆地的对比以及对海平面升降机制的讨论 (Watts and Thorne, 1984; Hallam, 1981, 1984; Haq *et al.*, 1987)。在全球沉积地质对比项目中, 序列地层学研究成为探索地层中全球沉积韵律和事件的新的主要方法 (Ginsburg, 1987)。国际地层分类分会公布的《以不整合为界的地层单位》(1987), 采用的基本单位为“序” (synthem), 次级和高级单位分别为“亚序” (subsynthem) 和“超序” (supersynthem)。这类单位不同于年代、生物和岩石地层单位而独立使用, 为序列地层研究厘定了分类规范。

五. 地层特性的定量化

作为地质基础之一的地层学延续了近 200 年, 一直以建立生物和岩石地层系统为主体, 在概念上未发生过根本改变。近 20 年来, 地层定性资料和定量数据的日益增多, 计算机技术的发展特别是微机的普及, 以及地质数学家与地层学家的合作研究, 建立了可解决复杂地层问题, 使地层学发生质的变化的定量地层学。地层资料经定量化处理后, 通过计算机数据处理和建立地层模型得到以量表达的结果而进行地质上的各种解释, 这使地层研究不仅能处理分析纷繁复杂的资料, 还能排除或减少由于地层沉积问题、相变、后期改造、化石缺乏或保存不好、不全及放射性年龄测定造成的混乱和矛盾, 使地层对比更臻客观和精确 (Schwarzacher, 1975; Hay, 1972; Blank, 1979)。

IGCP148 项专题——“定量地层对比技术的评价与发展”加快了地层定量研究速度。该专题集结了 25 个国家的 170 位专家与加拿大、印度、美、苏等国家的工作组合作, 研究内容由原来的定量生物地层学对比扩展到定量岩石地层学和定量年代地层学的对比 (Gradstein *et al.*, 1985)。如对生物地层中事件的排序和标度, 生物组合带的多变量分析, 岩石地层及沉积模型的定量对比, 以及对地质历史的综合分析和地质年代表的准确化等。该研究重视理论推导, 更重视在实际应用, 尤其油气勘探和含煤盆地的推广分析上, 并曾先后在印度、我国及巴西等发展中国家中推广交流 (Cubbitt *et al.*, 1983)。

该专题结束后, 于 1987 年成立了国际地层委员会的下属组织——定量地层学分会, 以进一步促进和推广定量地层学的发展和应, 并探求将定量地层学成果和地层规范相结合。地层学研究的定量化, 将是地层学发展的一个新飞跃, 并越来越受到地层学家的重视, 有的称之为“新地层学” (Gradstein *et al.*, 1987)。

定量地层学研究在我国起步于 70 年代后期, 所做的工作大都侧重于岩石地层学的定量研究。

六. 结 语

综合地层学的应用和发展方向相当广泛, 以上仅概述了其中一些已引起普遍注意并且成效卓著的方面。此外, 如着重于盆地分析的构造地层学、广泛应用于第四纪地质研究的气候地层学等也都是富有潜力的发展方向。另一方面, 综合地层学的发展也依赖于各项实体地层学的深入。缺乏坚实的实体地层资料基础的综合地层研究成果, 往往成为经不起检验的空中楼阁。

1988 年秋, 本文的初稿作为南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学开放研究

实验室主要研究方向的论证材料, 提交评审委员会参考, 而后发表于“地球科学进展”。现据近年来的发展情况作了补充修正转载于此, 以便了解本室研究方向。

参 考 文 献

- 尹赞勋, 1959: 中国地层工作的成就和地层学的发展。科学通报, (24) : 805—813。
- , 1979: 二十年来我国地层工作的进展。地层学杂志, 4 (3) : 161—190。
- 金玉珩、张宁, 1983: 生态地层学 (Ecostratigraphy) 述评。地层学杂志, 7 (3) : 235—239。
- 陈友明译, 1987: 全球沉积地质计划。地球科学信息, 2 (1) : 1—11。
- Ager, D.V., 1973: The Nature of the stratigraphic record. MacMillan, London.
- Alvarez, L.W. *et al.*, 1980: Extraterrestrial cause for the Cretaceous—Tertiary extinction. *Sci.*, (298): 1095—1180.
- Armentrout, J., 1987: Intergrated stratigraphic analysis, *Palaaios*, 2(4): 1.
- Bassett, M.G., 1985: Towards a “common language” in stratigraphy. *Episodes*, 8(2): 87—92.
- Blank, R.G., 1979: Applications of probabilistic biostratigraphy to chronostratigraphy. *J. Geol.*, (87): 647—670.
- Chang, K.H., 1975: Unconformity—bounded stratigraphic units. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, (86): 1544—1522.
- Chlupac, I. and W.A. Oliver, Jr., 1989: Decision on the Lochkovian stratotype (Lower Devonian). *Episodes*, 12(2): 109—113.
- Cisne, J.L. and B.D. Rabe, 1978: Coenocorrelation: gradient analysis of fossil communities and its applications in stratigraphy. *Lethaia*, 11(4): 341—364.
- , R. Gildner and B.D. Rabe, 1984: Epeiric sedimentation and sea level: Synthetic ecostratigraphy. *Lethaia*, 17(4): 267—288.
- Cowie, J.W., W. Ziegler, A.J. Boucot, M.G. Bassett and J. Remane, 1986: Guidelines and Statutes of the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Cour. Forsch.—Inst. Senckenberg*, 83.
- , —— and J. Remane, 1989: Stratigraphic Commission accelerates progress, 1984 to 1989. *Episodes*, 12(2): 79—83.
- Cubbitt, J.M. and R.A. Reyment, 1983: Quantitative stratigraphic correlation. John Wiley and Sons, Inc. 301pp.
- Eicher, Don L., 1987: The chronology of the geological record. *Palaaios*, 2(2): 192—196.
- Einsele, G. and A. Seilacher, 1982: Cyclic and event stratification. Springer—Verlag, Berlin. 536pp.
- Gradstein, F.M., F.P. Agterberg, J.C. Brower and W. Schwarzcher, eds., 1985: Quantitative Stratigraphy. Dordrecht, Reidel. 598pp.
- and C.M. Criffiths 1987: New committee on quatitative stratigraphy. *Episodes*, 10(2): 114.
- Hallam, A., 1981: Pre—Quaternary sea level changes. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 12: 205—243.
- , 1984: Relations between biostratigraphy, magnetostratigraphy and event stratigraphy in the Jurassic and Cretaceous. *Proceedings of the 27th IGC.*, (1): 189—212.

- Harland, W.B., R.L. Armstrong, A.V. Cox, L.E. Craig, A.G. Smith and D.G. Smith, 1990: A geologic Time scale. Cambridge Univ. Press. 260p.
- Hay, W.W., 1972: Probabilistic stratigraphy. *Eclogae geologicae Helvetiae*, (65): 255—266.
- Hedberg, H., ed., 1976: International stratigraphic guide: A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure. John Wiley and Sons, Inc. 200p.
- Hoffman, A., 1981: The ecostratigraphic paradigm. *Lethaia*, 14(1): 1—7.
- Kauffman, E.G., 1988: Concepts and methods of high-resolution event stratigraphy. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 16: 605—654.
- Klapper, E., R. Eoist and M.R. House, 1987: Decision on the boundary stratotype for the Middle / Upper Devonian series boundary. *Episodes*, 10(2): 97—101.
- Krassilov, V.A., 1987: Organic evolution and natural stratigraphical classification. *Lethaia*, 11(2): 93—104.
- Martinsson, A., 1979: Ecostratigraphy and project ecostratigraphy. *Izv. Akad. Nauk Kazakh. SSR, Ser. Geol.*, (4 / 5): 11—20.
- Nummedal D. and D.J.P. Swift, 1987: Transgressive stratigraphy at sequence-boundary unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. *SEPM Spe. Publ.*, 41: 241—260.
- Odin, G.S., ed., 1982: Numerical dating in stratigraphy. Pt. 1 and Pt. 2(2). Wiley, Chichester.
- , 1986: Calibration of the Phanerozoic time scale. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, (59): 1—120.
- Palmer, A.R., 1983: The decade of North American geology, 1983 geologic time scale. *Geology*, 11: 503—504.
- Payton, C.E., ed., 1977: Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir* 26: 516p.
- Pomerolch and L. Premoli-Silva, 1987: The Eocene—Oligocene boundary. *Episodes*, 10(1): 53—54.
- Ross, C.A. and D. Haman, eds., 1987: Timing and Depositional history of eustatic sequences: Constraints on Seismic Stratigraphy. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Spe. Publ.*, 1—228.
- Salvador, A., 1985: Chronostratigraphic and geochronometric scales in COSUNA stratigraphic correlation charts of the United States. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 69: 181—189.
- Schindewolf, O.H., 1954: Über einige stratigraphische Grund begreffe. *Rocmeriana-I*, (Dahlfrun Festschrift).
- Schwarzacher, W., 1975: Sedimentation models and quantitative Stratigraphy. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, Oxford, N.Y.
- Sloss, L.L., W.C. Krumbein and E.C. Dapples, 1949: Intergrated facies analysis. In: *Sedimentary facies in geology history* (C.R. Longwell, chairman). *Geol. Soc. Am. Memoir* 39: 91—124.
- Snelling, N.J., ed., 1985: The chronology of the geological record. *Geol. Soc. London., Memoir* 11: 343p.
- Waterhouse, J.B., 1979: The role of fossil communities in the biostratigraphic record and in evolution. In: *Historical biogeography, Plate Tectonics and the Changing Environment*. Oregon State Univ. Press. 249—258.

- Watts, A.B. and J. Throne, 1984: Tectonics, global changes in sea level and their relationship to stratigraphical sequences at the U.S. Atlantic continental margin. *Marine Petrol. Geol.*, 1: 319—339.
- Wheeler, H.E., 1985: Time-stratigraphy. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 42(5): 1047—1063.
- , 1959: Note 24 (of *Am. Com. Strat. Nomen.*)—Unconformity-bounded units in stratigraphy. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 43(8): 1975—1977.
- , 1959: Stratigraphic units in space and time. *Am. J. Sci.*, (257): 692—706.
- Xu Tong-chun and D.H. Tarling, 1989: Radiometric ages for Scottish igneous rocks and geologic time scale. in Jin and Li ed. XIth Inter. Congr. Carb. Strat. Geol., *Compte Rendu*, (2): 144—153.