

周瑶琪 吴智平 著

地层间断面的时间结构研究

*DI CENG JIAN DUAN MIAN DE
SHI JIAN JIE GOU YIAN JIU*



地质出版社

地层间断面的时间结构研究

周瑶琪 吴智平 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书依据地层间断面的形成过程,将间断面所代表的缺失时间细分为剥蚀掉的沉积物沉积所需的时间、将该部分沉积物剥蚀掉所需的时间和无沉积无剥蚀的间断时间三个基本时间结构单元,并确定了不同成因类型的间断面的时间结构单元组成;在对应用声波时差、裂变径迹、镜质体反射率等研究地层剥蚀量的原理和方法进行新的探讨的基础上,将宇宙化学研究方法引入了间断面的研究,论述了运用宇宙尘埃特征元素和宇宙成因核素计算无沉积间断时间、沉积速率、剥蚀速率的方法,建立了一套较完善的研究地层间断面时间结构的理论和方法体系,并对贵州紫云二叠系生物礁剖面中的地层间断面和渤海湾盆地济阳坳陷 N/E 间断面进行了实例研究。

本书可供从事地质、石油地质工作的科研和生产人员及高等院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地层间断面的时间结构研究/周瑶琪,吴智平著. -北京:地质出版社,2000. 4

ISBN 7-116-03062-X

I. 地… I. ①周… ②吴… II. 地层-断面-时间-研究

N. P53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 19726 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:郑长胜

责任校对:田建茹

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:850×1168 $1/32$ 印张:4.875 字数:120000

2000 年 4 月北京第一版·2000 年 4 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:10.00 元

ISBN 7-116-03062-X

P·2115

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

地层间断面是地层中一种常见的、貌似简单的地质现象,但却又具有复杂的地质内涵,它是构造运动、海、湖平面变化、沉积物供应、气候变化等许多复杂地质事件在地层记录中的综合表现形式,代表了一段缺失的时间,缺失的地质历史。在以往的地质研究中,由于认识上的不足,因而对其重视程度不够,或者由于分析测试技术手段的局限,往往在具体分析中,对之采取忽略不计的态度。因此,地层间断面问题一直是地质研究中一个具有重要意义却又遭到忽视的问题。

本书的作者近几年来针对这一地学难题,进行了大量的研究工作。他首先从分析地层间断面的形成过程入手,将间断面所代表的缺失时间细分为三个基本时间结构单元:一是剥蚀掉的沉积物沉积所需的时间,二是这部分沉积物剥蚀掉所需的时间,三是无沉积、无剥蚀的间断时间。利用这种划分,确定了不同成因类型的间断面的时间结构单元组成。在应用声波时差、裂变径迹、镜质体反射率等研究地层剥蚀量的原理和方法的基础上,进行了新的探讨,将宇宙化学研究方法引入了间断面的研究,论述了运用宇宙尘埃特征元素和宇宙成因核素计算无沉积的间断时间、沉积速率及剥蚀速率的方法,建立了一套较完善的研究地层间断面的理论和方法体系,并将其成功地应用于贵州紫云生物礁剖面中的地层间断面和渤海湾

盆地济阳拗陷 N/E 间断面的实例研究。

全书反映了作者在地层间断面研究方面所做的出色工作,有许多观点和认识具有创新性,所建立的理论和方法体系对今后这一方面的研究具有重要的指导作用。特别是实例研究成果对于建立区域地层对比的精确时间坐标、恢复地质历史过程、了解盆地的发育与演化等方面具有重要的理论意义,也为渤海湾盆地的油气勘探实践提供了指导。

据我所知,作者一直对这个问题保持着敏感和兴趣,锲而不舍,深入思考,因而取得了可喜的成绩。我愿在此向广大的地质工作者推荐此书。我希望、也相信作者在地学基础研究领域必能继续有所扩展,有所创新,取得更大的成功。

王鸿祯

1999 年 12 月

前 言

地层是一部记录地质发展过程的“史书”，但是，这种记录具有非常大的不完备性，地层中存在的各种类型的间断面，大到可以进行全球对比的大陆剥蚀面，小到层理面、纹层面，都代表了不同尺度的地质历史时间缺失，达尔文早在 1859 年就指出，可能更多的地质时间为地层间断面所代表，而不是由保留下来的岩层所代表(Charles Darwin, 1859)。另据 D. V. Ager(1989)、周瑶琪等(1997)的推断，缺失的地质历史记录超过全部地质历史记录的 50%。因此，地层间断面一直是地质研究中一个非常重要却又令人困惑和难以解释的问题，对其进行深入研究，对于正确认识和恢复地质发展史具有重要意义。

作为地层中一种常见的、貌似简单的地质现象，间断面实质上具有复杂的地质内涵，它是构造运动、水平面变化、沉积物供给不足等许多复杂地质事件在地层记录中的简单表现形式，体现了由沉积→侵蚀或无沉积→沉积过程的基本转变，不同成因类型的间断面具有特定的时空表现形式。因此，间断面所代表的缺失的地质历史包含了不同的地质过程。

鉴于此，本专著根据各类间断面的形成过程，将间断面所代表的缺失时间划分为三个基本的时间结构单元：即剥蚀掉的沉积物沉积所需的时间(t_s)、将该部分沉积物剥蚀掉所需的时间(t_e)、无沉积无剥蚀的间断时间(即暴露时间段 t_w)。不同成因类型的间断面具有不同的时间结构单元，对某一具体的间断面而言，其时间结构单元的组

合由其形成过程所控制。

地层间断面的时间结构单元研究涉及到地层剥蚀量、沉积速率、剥蚀速率、无沉积间断时间及压实效应等多方面的定量计算。本书在前人成果的基础上,结合笔者多年来的研究实例,分别对声波时差法、镜质体反射率法和磷灰石裂变径迹法计算剥蚀量,宇宙成因核素法计算剥蚀速率和暴露时间,宇宙尘埃特征元素法计算沉积速率和无沉积间断时间等的原理与方法进行了详细介绍和深入探讨;归纳了声波时差-埋深关系曲线和成熟度剖面曲线反映间断面存在的形态类型;提出了能否用声波时差、镜质体反射率资料计算地层剥蚀量的新的判断标准;分析了宇宙成因核素分布特征的影响因素及依据沉积物中宇宙成因核素计算物源区剥蚀速率的可行性;推导了用宇宙尘埃特征元素丰度计算沉积速率的数学公式。在此基础上,建立了一套较完整的地层间断面时间结构研究的理论与方法体系及工作流程。

运用上述原理和方法,本书分别选取了贵州紫云生物礁剖面 and 渤海湾盆地济阳拗陷新老第三纪地层间断面作为海相和陆相地层的研究实例,深入细致地分析了间断面的发育特征、形成过程,估算和恢复了地层剥蚀量和间断面的精细时间结构,并对渤海湾盆地 N/E 间断面形成的动力机制进行了初步探讨。

地层间断面精细时间结构的形成事关地质过程的方方面面,其成因非常复杂,研究也有相当的难度。这里提供给读者的仅仅是我们研究的一项中间成果,还有许多问题尚未解决,在最近进行的国家重大基础研究项目中,叠合盆地转型期形成的地层间断面时间结构问题仍是一

项关键性难题,我们期待此问题能引起广大地学研究人员的广泛关注和重视。

本书是在周瑶琪博士后论文和吴智平博士论文基础上编写完成的,研究工作先后获得了国家攀登项目“中国古大陆边缘层序地层与海平面变化”、中国博士后基金会以及中国石油天然气集团公司“石油科技中青年创新基金”的资助,并得到了中国地质大学王鸿祯院士、李思田教授、陆永潮教授、解习农教授,石油大学张一伟教授、金强教授、查明教授、林承焰教授、钟建华教授以及史卜庆博士等人的热情帮助,笔者在此一并表示感谢。

周瑶琪 吴智平

1999年9月于山东东营

目 录

序 前 言

第一部分 间断面时间结构的理论与方法研究

第一章 间断面的概念及成因类型	(3)
第一节 间断面的概念	(3)
第二节 地层记录中的间断	(5)
第三节 间断面的类型及成因	(7)
第二章 间断面的时间结构单元划分及计算	(14)
第一节 间断面的时间结构单元划分	(14)
第二节 间断面时间结构单元的计算方法	(18)
一、声波时差法研究地层间断面及剥蚀量	(21)
1. 应用声波时差曲线识别地层间断面	(24)
2. 对应用声波时差计算地层剥蚀量方法的新探讨	(28)
二、镜质体反射率(R_o)法研究地层间断面及剥 蚀量	(35)
1. 间断面之下地层的 R_o 记录被改造的门限深度	(38)
2. 成熟度剖面体现地层间断的形态类型	(40)
3. 对应用 R_o 计算地层剥蚀量方法的探讨	(41)
三、磷灰石裂变径迹法计算剥蚀量	(45)

1. 基本原理	(45)
2. 东营凹陷 N/E 间断面剥蚀量的实例研究	(52)
四、宇宙成因核素法计算剥蚀速率和暴露时间	(57)
1. 基本原理	(57)
2. 剥蚀速率的计算	(58)
3. 暴露时间的计算	(62)
五、宇宙尘埃特征元素法计算沉积速率和无沉积间断时间	(62)
1. 沉积地层中的宇宙尘埃特征元素	(63)
2. 计算沉积速率和无沉积间断时间的原理与方法	(65)
3. 实例研究	(71)
六、压实效应及去压实作用处理	(74)
1. 压实效应	(74)
2. 去压实作用	(75)
第三节 间断面时间结构研究的工作流程	(77)

第二部分 间断面时间结构的实例研究

第三章 贵州紫云二叠系生物礁剖面间断面缺失时间的计算	(81)
第一节 区域地质背景	(81)
第二节 礁体生长与海平面变化	(83)
第三节 压实因子与时间缺失因子	(88)
第四节 间断面缺失时间的计算	(90)
第四章 渤海湾盆地济阳坳陷 N/E 间断面研究 ..	(94)
第一节 概述	(94)

第二节	济阳坳陷 N/E 间断面的形成过程	(98)
第三节	济阳坳陷 N/E 间断面地层剥蚀量分析	(103)
第四节	济阳坳陷 N/E 间断面的时间结构 ...	(109)
第五节	渤海湾盆地 N/E 间断面形成的动力学机制	(114)
一、	渤海湾盆地东营运动的地质特征及对盆地 的影响	(116)
1.	在各个坳陷内形成了众多小规模次级断层 ...	(117)
2.	盆地内出现的区域性新老第三系之间的不整合面	(117)
3.	盆地局部存在的反转构造	(117)
二、	渤海湾盆地东营运动的成因分析	(118)
1.	板块作用	(119)
2.	岩石圈的弹性回返	(120)
3.	地壳均衡作用	(121)
三、	渤海湾盆地 N/E 间断面形成的动力过程	(123)
四、	渤海湾盆地东营运动对油气藏的影响 ...	(126)
主要结论和认识		(127)
英文摘要		(134)
主要参考文献		(137)

第一部分

间断面时间结构的理论与方法研究

第一章 间断面的概念及成因类型

第一节 间断面的概念

间断(hiatus)是指地层中保留下来的时间记录存在着可识别的不连续,间断面代表了一段缺失(或无记录)的地质历史,因而使得上下地层之间呈现出一种不谐调的接触关系,即不整合(unconformity)。

最早描述地层不整合现象的是火成论学派的创始人 Hutton,其于 1788 年首先在苏格兰贝里克郡的西卡角(Sicca Point)、苏格兰南部和英格兰北部三处发现了明显的角度不整合现象,其中最著名的是西卡角的泥盆系的老红砂岩覆盖在被掀斜上翘的志留纪地层之上(图 1—1),当时 Hutton 将这种不谐调的地层接触关系称为“垂直地层和水平地层的连接”或“原生地层和次生地层的连接”;水成论学派创始人 Werner 在德国也见到过角度不整合现象,他把这种现象称作“偏离正规的层序”,最后英国的 Jamenson 从宗教用语中得到启发,将这种不谐调的地层关系称为 unconformity,即不整合。显然,当时定义的不整合(unconformity)仅仅是指下伏掀斜地层与上覆水平地层之间的一种地层接触关系,相当于现在所称的角度不整合。

随着人们对地层认识的不断深入,地质学家们又发



图 1—1 苏格兰西卡角的不整合

(转引自张守信, 1989)

现各种不同类型的不整合现象,并给予了不同的术语,如 Grabau(1906)将发育于层理基本平行的两组地层之间的明显而规则的地层接触面或凹凸不平的侵蚀面称为假整合(disconformity), Pirsson(1915)将隔开下伏岩浆岩和上覆沉积岩的侵蚀面称作 nonconformity(非整合),除此之外,与不整合相关的术语还有:不连续(discontinuity)、分散不整合(dispersed unconformity)、化学不整合(chemical unconformity)、平行不整合(parallel unconformity)、平行不连续(leurodiscontinuity)、区域不整合(regional unconformity)、边缘不整合(marginal unconformity)、凹凸不连续(trachydiscontinuity)、同生不整合(contemporaneous unconformity)、地层不整合(stratigraphic unconformity)、地理不整合(geographical unconformity)、异岩不整合(heterolithic unconformity)、沉积不整合(depositional unconformity)、局部不整合(local unconformity)、角度不整合(angular discordance, angular

unconformity, clinounconformity)、层间不整合(interformational unconformity)、构造不整合(structural unconformity, tectonic unconformity)、侵蚀不整合(erosional unconformity)、造山不整合(orogenic unconformity)、造陆不整合(epeirogenic unconformity)、海侵超覆不整合(marine unconformity)、海底侵蚀不整合(marine erosional unconformity)、副整合(paraconformity)、副不整合(paraunconformity)、副连续(paracontinuity)、微不整合(mini-unconformity),等等。据尹赞勋、张守信等人(1978)的统计,先后出现了 50 多个不同的与不整合有关的术语。因此,人们现在所说的不整合已是一个广义的概念,它是各种不整合类型的总称(张守信,1989)。

这些众多的不整合术语实际上是人们从不同角度对各种不同类型不整合现象的描述,但从本质上来讲,不管什么样的不整合都体现了地质历史记录的不连续(或间断)。因此,地层中存在的各种类型的不整合面都是一种时间间断面(temporal break),作为地质历史中的客观存在,其具有固有的时间和空间范围——即时空表现型式。

第二节 地层记录中的间断

地层中存在各种类型的间断面,大到可以进行全球对比的大陆剥蚀面,小到层理面、纹层面,它们代表了不同尺度的地质历史时间缺失。所以,地层记录具有非常大的不完备性,这种不连续或间断也一直是地质记录中令人困惑和难以解释的特征之一(S. Visher, 1984)。

尽管人们都意识到这点,但在许多具体研究工作中却因找不到较好的方法计算间断的精确时间,往往对之采取忽略不计的态度,以至于对一些看似连续的地层沉积速率进行计算时,得到了一些近乎错误的结果。例如,耿良玉对我国上扬子奥陶—志留系界线剖面连续沉积的笔石带的沉积速率进行了研究,得出的结果为 $0.29\sim 0.42\text{m/Ma}$ (中国科学院南京古生物研究所,1984),在苏格兰,奥陶—志留系界线(层型)附近,其平均沉积速率为 4m/Ma (P. Wilde 等,1986),而现代沉积速率研究表明,即使在三角洲相沉积速率最小的前三角洲亚相,其平均沉积速率也有 3100m/Ma (李从先等,1980),即使按照人们的推算,1m厚的未经变质的泥岩或页岩,原始沉积时可能应该是10m左右厚的粘土质沉积物压实而成(张光前等,1991),那么现代前三角洲亚相沉积物经压实作用后,也有 310m/Ma 的地层沉积速率, 310m/Ma 与 $0.29\sim 0.42、4\text{m/Ma}$ 毕竟相差太大。

造成这种现象的原因是人们在计算古代沉积速率($V_s=h/t$)时,没有将地层中各种间断面所代表的缺失时间扣除,人为加大了地质历史过程中有沉积记录的时间。

图1—2表示了海平面升降运动造成的沉积记录和沉积间断的时间值。曲线AA'代表海侵产生的海平面上升的总趋势,两条小曲线(BB'和CC')代表短暂频繁的升降运动(较小的海侵和海退),当海平面上升时,就堆积沉积物,当海平面下降时,不但不堆积沉积物,而且原有的沉积物因风化作用可以被剥蚀掉,保留下来的沉积记录只代表图顶长条阴影部分的地质时间片断。

因此,人们认为地层记录的特点应该是长期的间断