



国家自然科学基金项目

中国古生物研究丛书

Selected Studies of Palaeontology in China

浙江天台恐龙蛋化石群

THE Tiantai Dinosaur Egg Oofauna in Zhejiang

王 强 汪筱林 赵资奎 蒋严根 著



上海科学技术出版社



浙江天台恐龙蛋化石群

The Tiantai Dinosaur Egg Oofauna in Zhejiang



王 强 汪筱林 赵资奎 蒋严根 著



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

浙江天台恐龙蛋化石群/王强等著. —上海: 上海科学技术出版社, 2017. 5
(中国古生物研究丛书)
ISBN 978-7-5478-3497-8

I. ①浙… II. ①王… III. ①恐龙蛋—研究—天台县
IV. ①Q915. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第060428号

丛书策划 季英明

责任编辑 季英明 兰明娟

装帧设计 戚永昌

浙江天台恐龙蛋化石群

王 强 汪筱林 赵资奎 蒋严根 著

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路193号 www. ewen. co

南京展望文化发展有限公司排版

上海中华商务联合印刷有限公司印刷

开本 940×1270 1/16 印张 7 插页 4

字数 170千字

2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-3497-8/Q·49

定价: 185.00元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

内 容 提 要

恐龙蛋是一类非常特殊的化石类型。它不仅保存了恐龙的繁殖行为、生理特征等生物学信息,而且也保存了恐龙生存时期的古环境和古生态等地质学信息,为研究恐龙的生理、繁殖行为及其生存时期的地质环境背景等提供了非常重要的实物材料,具有其他古生物化石所不具备的优势。在近百年的研究过程中,中国多地发现的大量恐龙蛋化石,为恐龙蛋系统古生物学及相关的地层学、古地理学、古环境学、古生态学等研究提供了丰富的材料。

本书是中国科学院古脊椎动物与古人类研究所恐龙蛋研究团队对天台恐龙蛋化石群初步研究的成果总结。包括五部分内容:第一部分介绍恐龙蛋分类研究历史及研究方法;第二部分回顾天台盆地恐龙蛋化石群的发现与研究历史;第三部分是天台盆地含恐龙蛋化石红层的划分与对比;第四部分详细描述天台恐龙蛋化石群的组成;第五部分通过对中国晚白垩世恐龙蛋化石群组合进行对比,初步建立晚白垩世陆相红层框架。

Brief Introduction

Dinosaur egg is a special type of fossils, which provides not only biological information such as reproductive behavior and physiological characteristics, but also geological information such as paleoenvironment and paleoecology of dinosaurs. Compared with other types of fossils, dinosaur egg has its own advantages on the study of dinosaur reproduction, physiology, paleoecology and paleoenvironment. During the nearly-one-century research history, a large number of dinosaur eggs have been found in China, which were abundant materials for the research on systematic paleontology of dinosaur eggs and related stratigraphy, paleogeography, paleoenvironment, and paleoecology, etc.

This book is a summary of the preliminary research of the Tiantai Dinosaur Egg Oofauna executed by dinosaur egg research team of the Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences. The book has five parts: the first part is about the history and research methods of dinosaur egg classification; the second part reviews the discovery and research history of the Tiantai Dinosaur Egg Oofauna; the third part is about the division and comparison of the red layers bearing dinosaur eggs in the Tiantai basin; the fourth part describes the composition of the Tiantai Dinosaur Egg Oofauna; the fifth part compares the Late Cretaceous dinosaur egg fossil assemblages in China, and establishes the framework of the Late Cretaceous terrestrial red layer.

《中国古生物研究丛书》由上海科学技术出版社编辑出版, 今明两年内将陆续与读者见面。这套丛书有选择地登载中国古生物学家近20年来, 根据中国得天独厚的化石材料做出的研究成果, 不仅记录了一些震惊世界的发现, 还涵盖了对一些古生物学和演化生物学关键问题的探讨和思考。出版社盛邀在某些领域里取得突出成绩的多位中青年学者, 以多年工作积累和研究方向为主线, 进行一次阶段性的学术总结。尽管部分内容在国际高端学术刊物上发表过, 但在整理和综合的基础上, 首次全面、系统地编撰成中文学术丛书, 旨在积累专门知识、方便学习研讨。这对中国学者和能阅读中文的外国读者而言, 不失为一套难得的、专业性较强的古生物学研究丛书。

化石是镌刻在石头上的史前生命。形态各异、栩栩如生的化石告诉我们许多隐含无数地质和生命演化的奥秘。中国不愧为世界上研究古生物的最佳地域之一, 因为这片广袤土地拥有重要而丰富的化石材料。它们揭示史前中国曾由很多板块、地体和岛屿组成; 这些大大小小的块体原先分散在不同气候带的各个海域, 经历很长时期的分隔, 才逐渐拼合成现在的地理位置; 这些块体表面, 无论是海洋还是陆地, 都滋养了各时代不同的生物群。结合其生成的地质年代和环境背景, 可以揭示一幕幕悲(生物大灭绝)喜(生物大辐射)交加、波澜壮阔的生命过程。自元古代以来, 大批化石群在中国被发现和采集, 尤其是距今5.2亿年的澄江动物群和1.2亿年的热河生物群最为醒目。中国的古生物学家之所以能做出令世人赞叹的成果, 首先就是得益于这些弥足珍贵的化石材料。

其次, 这些成果的取得也得益于中国古生物研究的悠

久历史和浓厚学术氛围。著名地质学家李四光、黄汲清先生等, 早年都是古生物学家出身, 后来成为地质学界领衔人物。正是中国的化石材料, 造就了以他们为代表的一大批优秀古生物学家群体。这个群体中许多前辈的野外工作能力强、室内研究水平高, 在严密、严格、严谨的学风中沁润成优良的学术氛围, 并代代相传, 在科学界赢得了良好声誉。现今中青年古生物学家继承老一辈的好学风, 视野更宽, 有些已成长为国际权威学者; 他们为寻找掩埋在地下的化石, 奉献了青春。我们知道, 在社会大转型的过程中, 有来自方方面面的诱惑。但凭借着对古生物学的热爱和兴趣, 他们不在乎生活有多奢华、条件有多优越, 而在乎能否找到更好、更多的化石, 能否更深入、精准地研究化石。他们在工作中充满激情, 愿意为此奉献一生。我们深为中国能拥有这一群体感到骄傲和自豪。

同时, 中国古生物学还得益于改革开放带来的大好时光。我们很幸运地得到了国家(如科技部、中国科学院、自然科学基金委、教育部等)的大力支持和资助, 这不仅使科研条件和仪器设备有了全新的提高, 也使中国学者凭借智慧和勤奋, 在更便利和频繁的国际合作交流中创造出优秀的成果。

将要与读者见面的这套丛书, 全彩印刷、装帧精美、图文并茂, 其中不乏化石及其复原的精美图片。这套丛书以从事古生物学及相关研究和学习的本科生、研究生为主要对象。读者可以从作者团队多年工作积累中, 阅读到由系列成果作为铺垫的多种学术思路, 了解到国内外相关专业的研究近况, 寻找到与生命演化相关的概念、理论和假说。凡此种种, 不仅对有志于古生物研究的年轻学子, 对于已经入门的古生物学者也不无裨益。

戎嘉余 周忠和

《中国古生物研究丛书》主编

2015年11月



恐龙蛋是一类非常特殊的化石类型。一般情况下，恐龙蛋仅保存钙质蛋壳，特殊情况下，还可以保存恐龙胚胎，或保留少量的蛋壳壳膜和蛋内容物等。恐龙蛋不仅保存了恐龙繁殖行为、生理特征等信息，而且也保存了恐龙生存时期的古环境和古生态等信息。它为研究恐龙生理、繁殖行为及其生存时期的地质环境背景等提供了非常重要的实物材料，具有其他古生物化石所不具备的优势。

21世纪初，中国多地大量恐龙蛋的发现，为恐龙蛋系统古生物学及相关的地层学、古地理学、古环境学、古生态学等研究提供了丰富的素材，中国恐龙蛋研究也取得了较丰硕的成果。

天台盆地是中国较早发现恐龙蛋化石的产地之一，最早发现于1958年。但直到20世纪90年代初期，在大规模基础设施的建设过程中，大量恐龙蛋及少量恐龙骨骼化石的发现，才揭开了天台盆地恐龙蛋等化石科学研究的序幕。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所恐龙蛋研究团队，自2005年开始对天台盆地恐龙蛋进行野外考察，其后在国家自然科学基金“浙江省天台盆地白垩纪红层的恐龙蛋与生物事件研究”项目资助下，详细考察了天台盆地含恐龙蛋红层（赖家组和赤城山组）以及下伏地层塘上组，实测了多条含恐龙蛋红层剖面，厘定了各种类型恐龙蛋的准确层位，对天台盆地含恐龙蛋红层提出了新的划分方案，明确了天台恐龙蛋化石群的组成，并与中国其他研究程度较深的恐龙蛋化石群进行对比，建立了中国晚白垩世恐龙蛋化石群演化序列，提出了晚白垩世含恐龙蛋陆相红层地层框架。

天台恐龙蛋化石群的研究不仅丰富了恐龙蛋的多样性组成，同时对恐龙蛋分类系统进行了进一步的完善和

修订，建立了大量新的恐龙蛋类型，并对中国已发现的各大类群的分类特征和分类系统，进行了进一步的明确和优化。目前天台恐龙蛋化石群包括7科11属15种，其中新建立石笋蛋科，包括新建的石笋蛋属和珊瑚蛋属，将发现于广东南雄盆地的始兴蛋属归入石笋蛋科；新建似蜂窝蛋科，包括似蜂窝蛋属；长形蛋科中新建副长形蛋属；蜂窝蛋科中新建半蜂窝蛋属；新建蛋科未定的马赛克蛋属等。对巨型长形蛋科的特征进行厘定，包括巨型长形蛋属和新建的巨型纺锤蛋属。对网形蛋科进行修订，新建原网形蛋属和拟网形蛋属。

本书是中国科学院古脊椎动物与古人类研究所恐龙蛋研究团队对天台恐龙蛋化石群研究的初步成果总结。全书包括五部分，第一部分介绍恐龙蛋分类研究历史及研究方法；第二部分回顾天台盆地恐龙蛋化石群的发现与研究历史；第三部分是天台盆地含恐龙蛋化石红层的划分与对比；第四部分详细描述天台恐龙蛋化石群的组成；第五部分对中国晚白垩世恐龙蛋化石群组合进行对比，初步建立了晚白垩世陆相红层框架。

在项目研究和野外考察过程中，得到浙江天台县陈思德的热情帮助，浙江天台县博物馆张健、王桂凤，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所张蜀康、蒋顺兴、张文定、李岩、刘新正、向龙、高伟、李海霞，浙江自然博物馆赵丽君和浙江水文地质工程地质大队俞方明等的大力支持。本书完稿之后，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所蒋顺兴审阅了初稿，并提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。本书相关研究工作得到国家自然科学基金（40772017）、国家重点基础研究发展计划项目（973计划）（2012CB821900）和国家杰出青年科学基金（40825005）等项目的支持。





序

前言

1 恐龙蛋分类学研究概述	1
1.1 中国恐龙蛋研究简史	1
1.2 恐龙蛋的分类系统	2
1.2.1 恐龙蛋分类和命名方法	2
1.2.2 恐龙蛋分类特征	2
2 天台盆地恐龙蛋发现及其研究历史	7
2.1 天台县自然景观与人文历史	7
2.2 天台恐龙蛋发现与研究历史	13
2.3 天台盆地白垩系地层划分对比	19
3 天台盆地晚白垩世陆相地层层序及恐龙蛋层位	25
3.1 天台盆地晚白垩世红层层序	26
3.2 天台盆地恐龙蛋层位	34
3.3 天台盆地含恐龙蛋地层的时代	36
4 天台恐龙蛋化石群	39
4.1 巨型长形蛋科	39
4.1.1 巨型长形蛋科研究概述	39
4.1.2 系统古生物学	39
4.2 长形蛋科	44



4.2.1	长形蛋科研究概述	44
4.2.2	系统古生物学	44
4.3	棱柱形蛋科	47
4.3.1	棱柱形蛋科研究概述	47
4.3.2	系统古生物学	47
4.4	石笋蛋科	50
4.4.1	石笋蛋科研究概述	50
4.4.2	系统古生物学	50
4.5	蜂窝蛋科	57
4.5.1	蜂窝蛋科研究概述	57
4.5.2	系统古生物学	57
4.6	似蜂窝蛋科	69
4.6.1	似蜂窝蛋科研究概述	69
4.6.2	系统古生物学	69
4.7	网形蛋科	72
4.7.1	网形蛋科研究概述	72
4.7.2	系统古生物学	72
4.8	科未定	77



5 中国主要恐龙蛋化石群对比	81
5.1 中国主要恐龙蛋化石群	82
5.1.1 天台恐龙蛋化石群	82
5.1.2 莱阳恐龙蛋化石群	83
5.1.3 南雄恐龙蛋化石群	84
5.1.4 西峡恐龙蛋化石群	85
5.1.5 浙川恐龙蛋化石群	87
5.2 天台盆地恐龙蛋生物地层与相关盆地的初步对比	87
5.3 晚白垩世恐龙蛋群组合序列	89
参考文献	91
索 引	95

1.1 中国恐龙蛋研究简史

中国的恐龙蛋发现与研究已有近百年的历史。早在1923年,美国自然历史博物馆组织的“中亚考察团”在内蒙古二连浩特附近发现了一些破碎蛋壳。这被认为是在中国发现恐龙蛋的首次报道。其实,早在1921年,日本人在辽宁修筑“南满铁路”时,就在昌图的泉头和双庙子之间的白垩系泉头组中发现了1枚圆形的蛋化石,随后于1928年在泉头火车站西南面1 km处又发现了几枚同样大小的蛋化石(这些标本现存放在大连自然博物馆中)。日本学者矢部和尾崎(Yabe & Ozaki, 1929)研究认为这些蛋化石可能是某一种龟鳖类的蛋。但是,直到1954年,这些蛋化石才被确认是恐龙蛋(杨钟健, 1954; 周明镇, 1954; 刘金远等, 2013)。

20世纪50~70年代是中国恐龙蛋发现和研究的奠基阶段。1950年,山东大学地质系师生在山东省莱阳市进行地质调查时,在上白垩统王氏群(原为王氏系)中发现了2枚蛋化石和许多碎蛋壳(Chow, 1951)。根据这一线索,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所的杨钟健、刘东生、王存义等到莱阳地区进行进一步的调查和发掘,结果不仅采集到几窝保存比较完整的蛋化石及大量破碎蛋壳,还发现了闻名于世的棘鼻青岛龙(*Tsintaosaurus spinorhinus*)等完整的恐龙骨架(刘东生, 1951; 杨钟健, 1958)。莱阳恐龙蛋的发现,拉开了中国恐龙蛋研究的序幕。根据蛋化石的形状和蛋壳外表面的纹饰,杨钟健(1954)将莱阳发现的蛋化石分为2种,并采用英国学者Buckman(1859)对蛋化石的命名方法,分别将这2种蛋化石命名为长形蛋(*Oolithes elongatus*)和圆形蛋(*O. spheroides*)。与此同时,周明镇(1954)也研究了这些化石蛋壳的显微结构,证明这2种蛋不但在外形上有很大不同,而且在蛋壳的显微结构上也有显著区别。此后几年,北京自然博物馆和天津自然博物馆等单位在山东省莱阳市上白垩统王氏群地层中又相继发现6个蛋窝,计46枚比较完整的恐龙蛋和许多蛋壳碎片(赵资奎、蒋元凯,

1974),莱阳从而成为中国最早发现的重要恐龙蛋地点(赵资奎等, 2015)。

20世纪60年代初期,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所的地质古生物学者在广东省南雄盆地一带进行调查,发现大量恐龙蛋、龟类及新生代早期哺乳类化石(张玉萍、童永生, 1963; 郑家坚等, 1973)。这里的蛋化石大都成窝保存,且数量很多,可以说是中国发现的第二个恐龙蛋最丰富的地点。经杨钟健(1965)研究,根据蛋化石的大小、形状、蛋壳厚度和蛋壳外表面的纹饰,基本上可以分为粗皮蛋(*O. rugustus*)、长形蛋(*O. elongatus*)、圆形蛋(*O. spheroides*)和南雄蛋(*O. nanhsiungensis*)4种。其中南雄蛋很小,而且蛋壳很薄,被认为是龟类的蛋。

20世纪70年代以来,随着对中国南方中-新生代“红层”进行广泛的调查与研究,中国地质古生物学者先后在多个省、自治区发现许多恐龙蛋地点,其中值得提出的是广东、江西、湖南、湖北、陕西、河南、浙江和山东等省的许多地区,都有大量保存完好的不同类型的恐龙蛋发现。所有这些发现为我们研究白垩纪时期恐龙蛋壳结构的演化、恐龙类的繁殖习性和行为,以及恐龙最后如何灭绝等问题提供了可靠依据。

20世纪70年代初,赵资奎和蒋元凯(1974)采用显微镜技术进一步研究山东莱阳和广东南雄等地发现的恐龙蛋,结果发现它们的蛋壳显微结构有很大的差异。例如,原来被鉴定为圆形蛋的标本,至少还可以分为7个类型;原来被鉴定为长形蛋的标本,至少也可以分为3个类型;原来被鉴定为粗皮蛋的标本也可以分为2个类型,而且按其相似和相异的程度,还可以把它们排列成为一系列有差别的群。在此基础上,赵资奎(1975, 1979a)提出,可以根据蛋化石的形态特征,如蛋的形状、大小、蛋壳外表面的纹饰和蛋壳显微结构等特征差异程度的对比,并按照国际动物命名法规对恐龙蛋化石进行分类和命名,建立新的恐龙蛋化石分类系统。根据这一提议,赵资奎(1975, 1979a)将南雄和莱阳发现的长形蛋和粗皮蛋标本

划分为5个蛋种,并按其形态特征相似和相异的程度分别组成3个蛋属——长形蛋属(*Elongatoolithus*)、巨形蛋属(*Macroolithus*)和南雄蛋属(*Nanhsiungoolithus*),并将该3个属组成一个新的蛋科——长形蛋科(*Elongatoolithidae*);将原来鉴定为圆形蛋的标本划分为3个蛋属7个蛋种,即圆形蛋属(*Spheroolithus*)、副圆形蛋属(*Paraspheroolithus*)和椭圆形蛋属(*Ovalolithus*),并将该3个属组成另一个新的蛋科——圆形蛋科(*Spheroolithidae*)。经过几年的实践,证明采用这一分类方法似乎可以反映出各个恐龙蛋群之间的关系及其演化方向和发展阶段(赵资奎,1979a; Zhao, 1993, 1994; 赵资奎等, 2015)。

20世纪90年代以来,中国的恐龙蛋研究进入全面发展阶段。除分类学研究外,在古环境、古气候、古生态、恐龙生殖生理学和繁殖生态学等方面也开展了广泛的研究工作。赵资奎等(1983, 2000)根据山东莱阳和广东南雄恐龙蛋壳碳、氧同位素组成,探讨了山东莱阳王氏群沉积时期和广东南雄白垩纪-古近纪(K/Pg)过渡时期的古环境和气候变化。赵资奎等(1991, 1998, 2009; Zhao et al., 2002)通过对广东南雄恐龙蛋壳地球化学的研究,探讨了白垩纪-古近纪(K/Pg)过渡时期的古环境变化和恐龙灭绝事件。赵资奎等应用薄壳理论研究恐龙蛋壳的生物力学性质,发现不同类群的恐龙蛋在蛋窝中的不同排列方式是与其蛋壳的抗失稳能力大小密切相关的(赵资奎等, 1994; 马和中、赵资奎, 1994; 马和中等, 1995; 赵资奎、马和中, 1997),首次从科学角度解读和重建不同类群的恐龙筑巢产卵行为(Zhao, 2000; 赵资奎, 2003)。

虽然中国恐龙蛋研究已经取得了丰硕的成果,但是还有很多地方,如河南省西部、湖北省郧县、江西省萍乡和赣州,以及广东省河源等发现的大量恐龙蛋,迫切需要进行客观的描记、鉴定和分类。这对在国际上建立完善的恐龙蛋分类系统并完善其分类学原理,探讨恐龙蛋壳组织结构的起源和演化,含恐龙蛋地层的划分与对比,陆相白垩纪古气候和古环境的变化,白垩纪发生的恐龙多样性事件以及恐龙最后灭绝等方面问题的解决起到特别重要的作用。

1.2 恐龙蛋的分类系统

1.2.1 恐龙蛋分类和命名方法

杨钟健(1954, 1965)在描述中国发现的恐龙蛋时采用Buckman(1859)对化石蛋的命名方法,即用*Oolithes*加上一个种名来表示。所描述的恐龙蛋“种”,是没有

空间和时间向度的,只是为了区别而给不同类型的恐龙蛋化石一个拉丁化的名称而已。随着越来越多恐龙蛋的发现,这一命名方法无法表示已经发现的不同种类的蛋化石之间在形态特征上的差异和相似的程度(赵资奎, 1975, 1979a)。鉴于以上原因,赵资奎(1975, 1979a; Zhao, 1994)提出新的恐龙蛋分类与命名方法,根据恐龙蛋的宏观和微观形态特征的对比,按种、属、科等分类层次划定的方法分类。它们的正式命名采用生物分类的双名法,即学名由属名和种名组成。为了避免与别的分类系统发生混淆,建议属名的后缀一律为-oolithus(oö, 希腊词, 蛋; lith, 希腊词, 石)。这个分类方法在20世纪80年代后期引起国外学者的关注,90年代初,首先被俄罗斯和波兰的学者采用(Mikhailov, 1991; Sabath, 1991),随后,美国、法国、西班牙、加拿大和印度等国的学者也纷纷效用(Carpenter, 1999; Carpenter et al., 1994),并得到多国学者的认可、采用和补充。例如, Carpenter等(1994)和Mikhailov等(1996)建议,在命名“蛋科”“蛋属”和“蛋种”时,不要把基于恐龙建立的分类体系和名称与这一分类系统混在一起; Vianey-Liaud等(1994)提出,有关“蛋种”“蛋属”“蛋科”分别用“oospecies”“oogenus”“oofamily”表示。目前在国际上,以这一方法为基础,已初步建立起一个被广泛接受的恐龙蛋化石分类系统(赵资奎等, 2015)。

1.2.2 恐龙蛋分类特征

蛋壳形成机制是不同类型蛋分类的基础。近代生物矿物学和电镜等新技术的兴起和应用对恐龙蛋分类体系的建立起到了很大的促进作用。由蛋壳的组织化学、生物化学和显微结构分析研究得出了有关蛋壳结构的概念,其理论方法也是研究爬行类和鸟类蛋壳显微结构的基础。现已基本清楚,壳单元是现生鸟类和部分爬行类蛋壳的基本结构单位,它是由方解石微晶和有机质组成的,它的形成是以具有活性的胶原为晶核中心,然后在矿化作用下晶体沿着分枝的单一的轴生长,这一过程与晶体的分枝生长方式相类似。正是在了解了蛋壳形成机制的这一基础上,才能够理解恐龙蛋壳不同层次结构特征的生物学意义,并以此确定不同类型蛋壳的分类地位(赵资奎, 1994)。

恐龙蛋的分类特征主要有宏观形态特征、微观形态特征和行为特征。

宏观形态特征: 蛋的形状、大小、蛋壳厚度和蛋壳外表面纹饰等。恐龙蛋的形状(图1-1)除一般常见的,如圆形、长形以及介于两者之间的形状外,还有某些类群,如

树枝蛋类及部分网形蛋类的形状则为扁圆形。恐龙蛋化石的形状和大小,一般可以通过测量蛋化石的长径(polar axis)、赤道直径(equatorial diameter)和计算蛋化石的形状指数(shape index=equatorial diameter $\times$ 100/polar axis)来确定。形状指数反映蛋化石在长径方向上延伸的程度。形状指数为90~100、80~90、50~80和 ≤ 50 的蛋,可分别表述为圆形(图1-1a)、近圆形、椭圆形(图1-1b)和长形(图1-1d)。扁圆形的蛋化石,其形状指数 >150 (图1-1c),可视为沿椭圆短轴旋转形成的椭球,但其赤道有时为椭圆形,因此赤道直径并不是一个固定的数值,需要分别测量赤道的长轴和短轴的长度;至于蛋的尖端与钝端曲率差异明显的长形蛋类(图1-1d),可近似地将尖端和钝端视为两个球冠,将中部视为1个圆台,两个球冠的底面直径,即蛋化石的尖端直径(pointed end diameter)和钝端直径(blunt end diameter),也是需要测量的参数。

蛋壳厚度的测量最好是在蛋壳径切面上进行,这样可以保证所测得的结果是完整蛋壳的厚度值,同时可以消除包裹在蛋壳内外表面的围岩引起的误差。对于具有纹饰的蛋化石类型,建议蛋壳厚度不包含纹饰的高度,后者单独计算。

蛋壳外表面的纹饰大体可以分为三类:① 蛋壳外表面光滑,不具有任何纹饰,如树枝蛋类;② 蛋壳外表面粗糙,纹饰呈不规则突起状,如圆形蛋类;③ 蛋壳外表面分布有规则的纹饰,如长形蛋属的近平行于蛋化石长轴方向排列的棱脊状纹饰和巨形蛋属瘤点状纹饰等。对于后一种类型,可以引入一些参数对纹饰的分布规律进行量

化表述,便于不同类型蛋化石之间的对比。例如,长形蛋科巨形蛋属的瘤点状纹饰,可以用单位面积内瘤点的数量来表示;长形蛋属的棱脊状纹饰,可以用脊状纹饰的长度和垂直于纹饰延伸方向单位长度内棱脊的数量以及相邻棱脊间的间距等指标来表示。

对一些具有纹饰的蛋化石,要分别观察和描述不同位置纹饰的分布与形态特征,如长形蛋属两端和中间的纹饰就明显不同。

微观形态特征:壳单元的形状、大小、排列形式及气孔道形状等。

根据现有资料,所有鸟类蛋壳的组织结构均由壳单元紧密排列而成,从里向外一般可分为卵壳膜、锥体层(cone layer)、柱状层(columnar layer)和护膜等(图1-2)。柱状层中,由于壳单元紧密相连并且融合,一般很难观察到壳单元柱体之间的界线。在锥体层和柱状层中还分布有形状各异、疏密不一的细管,称为气孔道(pore canal)。除此之外,不同种类的蛋壳还发育了一些辅助性的组织结构,如表面晶体层(surface crystal layer)、网状层(reticulate layer)等(余德伟,1995)。

根据壳单元的排列方式,基本上可以把已发现的不同种类的恐龙蛋壳组织结构归纳为2种结构模式和2种形成机制(Zhao, 1993, 1994),即似鸟蛋壳组织结构及形成机制和网形蛋壳组织结构及形成机制。

似鸟蛋壳组织结构——壳单元的形状比较规则,紧密相连形成锥体层和柱状层。壳单元的这种排列方式与鸟类蛋壳的组织结构模式相似,以长形蛋类、棱柱形蛋

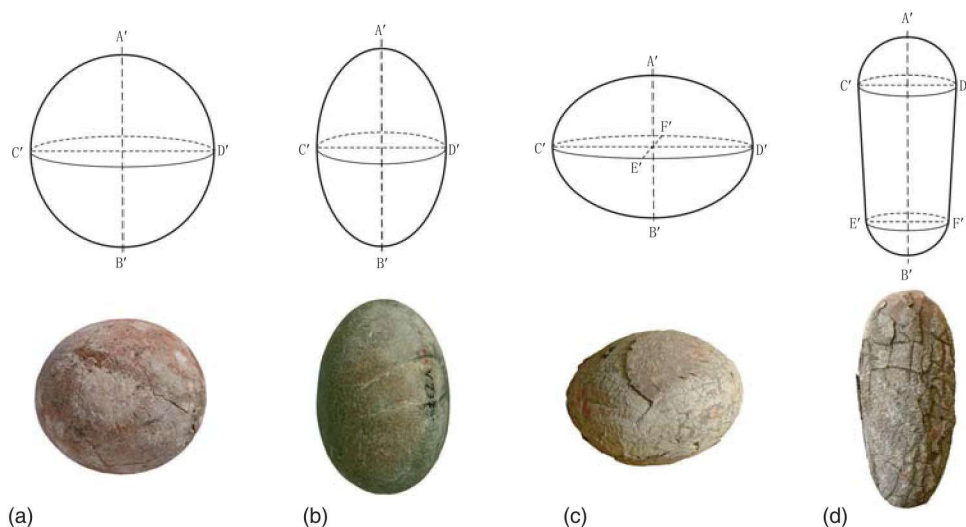


图1-1 蛋化石宏观形态示意图 a. 圆形,线段A'B'、C'D'均为蛋化石的直径; b. 椭圆形,点A'、B'为蛋化石的两极,线段A'B'为长径,线段C'D'为赤道直径; c. 扁圆形,线段A'B'为长径,线段C'D'、E'F'分别为赤道的长轴和短轴; d. 长形,线段A'B'为长径,线段C'D'、E'F'分别为钝端和尖端直径,长形蛋的赤道直径为钝端直径和尖端直径的平均值。

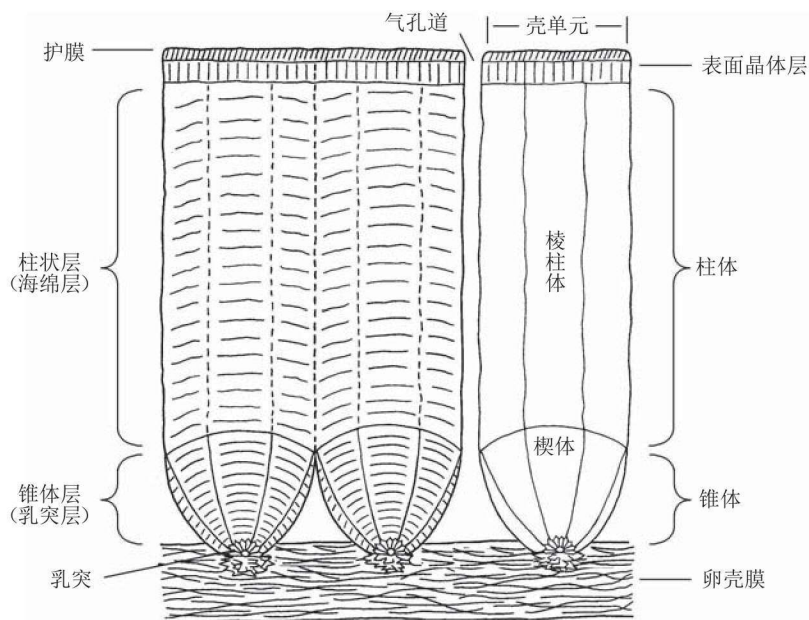


图 1-2 鸟类蛋壳基本结构单元示意图（据 Zhao, 1993 修改）

类、椭圆形蛋类等为代表（图 1-3）（赵资奎等, 2015）。

网形蛋壳组织结构——壳单元的形状不规则，长短不一，排列松散。它们相互重叠，构架成网状或蜂窝状结构。这些类型的恐龙蛋壳组织结构模式从未在现生的鸟类或爬行类的蛋壳中出现过，以网形蛋类、蜂窝蛋类、树枝蛋类等为代表（图 1-4）（赵资奎等, 2015）。

蛋壳是由壳单元组成的三维立体结构，在现有的技术条件下，可以通过光学显微镜和扫描电镜等设备观察蛋壳径切面和弦切面（图 1-5）。

行为特征：不同类型恐龙蛋在蛋窝中的排列方式各不相同，可作为恐龙蛋化石的分类特征。例如，蛋窝的大小、蛋在蛋窝中的排列方式以及蛋化石之间的间距等。这些特征反映出不同种类的恐龙有不同的筑巢产卵行为。

对蛋窝结构的观察包括完整蛋窝中蛋化石的数量（窝卵数）和蛋化石在蛋窝中的排列方式两个方面。其中，蛋化石在蛋窝中的排列情况也可以分为两大类：一类是不规则的无序排列，如圆形蛋类；一类是规则的排列，如长形蛋类和棱柱形蛋类等。对于蛋窝结构的观察，应包括蛋窝的大小、蛋化石的排列及相邻蛋化石之间的间距等。例如，长形蛋类的蛋窝直径一般小于 1 m，蛋化石钝端朝内而尖端朝外，一般以 2 枚一组呈圆形或椭圆形排列，每组蛋化石之间间隔一定的距离，有的由 3~4 层重叠组成一完整蛋窝；而巨型长形蛋类的蛋窝外径可达 3 m，蛋化石 2 枚一组呈圆环状单层排列。

由于非鸟恐龙在中生代结束时就已经灭绝了，对恐龙蛋的研究主要是以现代鸟类和某些爬行类钙质蛋壳的形态学方面知识为依据。因此，根据蛋壳的形态比较进行分类鉴定必须注意以下问题（赵资奎等, 2015）。

(1) 要确立恐龙蛋类的蛋壳结构形态必须有完整的蛋化石标本。对于一个蛋化石或者一窝蛋化石的鉴定，一般说来，一个分类特征在同一个蛋化石类群的所有成员中应当有一定的变异范围。例如，蛋的大小、形状，蛋壳外表面的纹饰，蛋壳厚度，壳单元的大小、形状和排列方式，以及气孔形态等，在同一窝蛋甚至相同的标本中都会有一些变异。因此，研究这些形态特征的变异性是很重要的。

(2) 壳单元是构成蛋壳的基本结构单位，常以不同形式组合形成蛋壳的三维结构。在采用显微镜技术研究蛋壳的组织结构时，只有同时观察蛋壳的径切面和弦切面，才能较为准确地反映蛋壳的真实结构特征。

(3) 光学显微镜和扫描电镜技术是研究蛋壳组织结构的重要手段。使用扫描电镜技术可以清楚地观察到组成壳单元的方解石微晶的形态及其排列方式和在成岩作用下发生的变化；但是蛋壳特有的消光形态以及不同类群的蛋壳柱状层中所具有的颜色条带等方面特征只有在光学显微镜下才能观察到。采用光学显微镜和扫描电镜技术相结合的方法来研究蛋壳组织结构，可以更加客观地确定蛋壳组织结构的分类特征。

(4) 在研究蛋壳的组织结构时，还必须注意不同程度

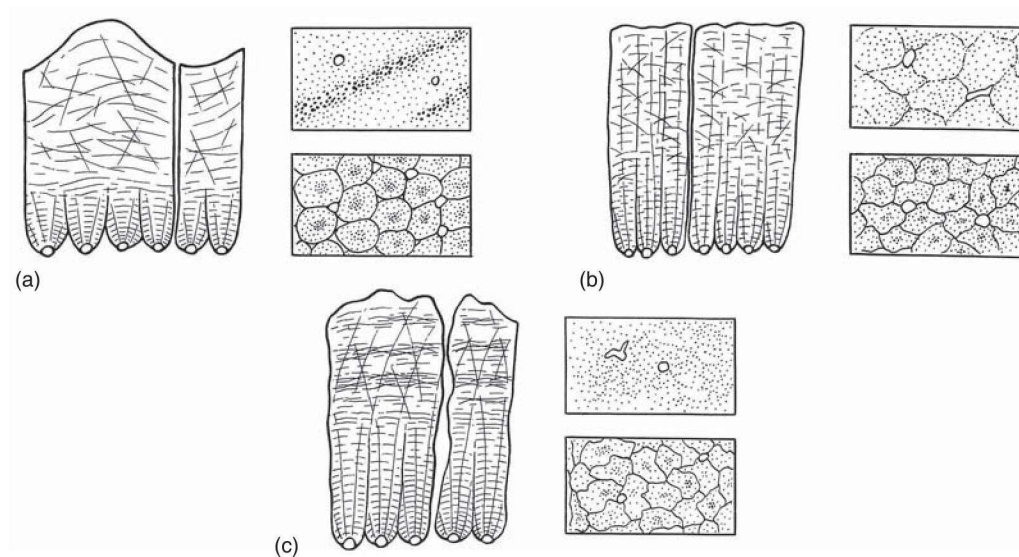


图1-3 似鸟蛋壳组织结构 a. 长形蛋类;b. 棱柱形蛋类;c. 椭圆形蛋类。(赵资奎等, 2015)

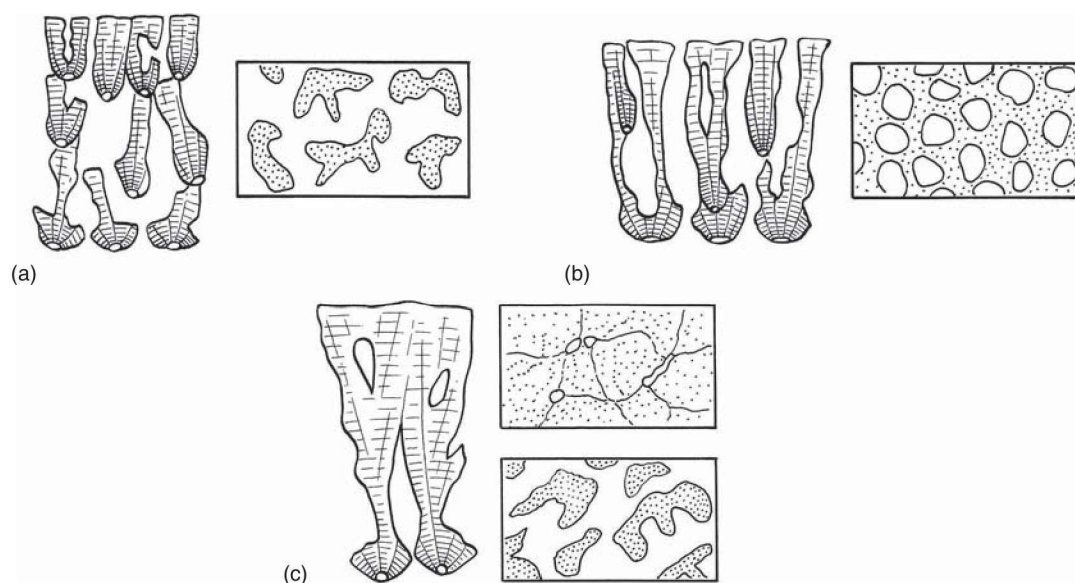


图1-4 网形蛋壳组织结构 a. 网形蛋类;b. 蜂窝蛋类;c. 树枝蛋类。(赵资奎等, 2015)

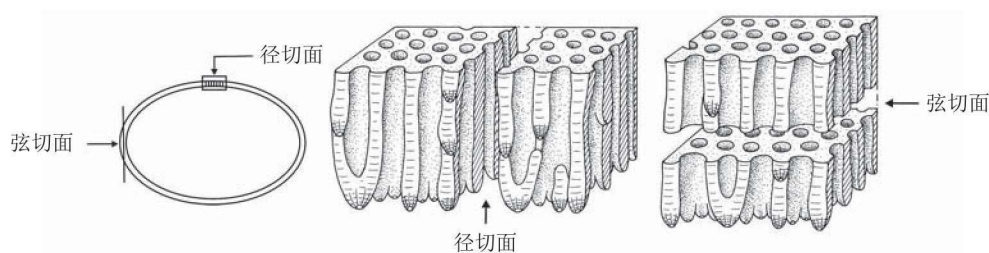


图1-5 蛋壳显微结构切片位置示意图 (赵资奎等, 2015)

的风化作用对蛋壳表面的影响。风化作用往往使蛋壳内表面的锥体层受到不同程度的破坏, 甚至会改变蛋壳外表面纹饰的形态。因此, 应当对每一个恐龙蛋类群的许多蛋壳碎片进行分析。

(5) 由病理或生理障碍引起的蛋壳结构异常, 在现生或化石的鸟类和爬行类(包括恐龙类)蛋壳中已有很多

记录。因此, 以壳单元的形成机制为依据, 区别正常结构和异常结构的蛋壳, 可以更客观地确定蛋化石的分类地位。例如, 在蜂窝蛋类、网形蛋类和树枝蛋类的蛋壳中, 重叠的壳单元是重要的分类依据; 但在长形蛋类和巨型长形蛋类中, 重叠的壳单元却是病态的结构, 不能作为分类依据。