

对徐宿地区寒武纪地层划分的调查

孙博辉¹, 杨闰轲¹, 薛清元¹, 张海涛¹, 王肖明²

¹宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

²安徽省宿州工业学校, 安徽 宿州

收稿日期: 2025年2月28日; 录用日期: 2025年4月19日; 发布日期: 2025年4月29日

摘要

本文旨在阐述对徐宿地区寒武纪地层划分的调查, 及其在对理解地球早期生命演化和地质历史的重要意义。寒武纪是显生宙的开始, 代表着动物的爆发式快速演化过程, 并且见证了地球从微生物为主导的前寒武纪生态系统向复杂多样的生物群落转变。通过新的地层划分方法, 如利用碳同位素地层标准曲线, 可以更精确地确定地质年代, 从而为研究寒武纪生物多样性和环境变化提供重要依据。此外, 对寒武纪地层的研究有助于厘定地质年代界线, 推动全球地质年代表的更新和完善。寒武纪地层划分对于建立高分辨率年代地层系统至关重要。在地质学和古生物学方面, 寒武纪地层划分有助于揭示生物多样性和古地理格局的演变。总之, 寒武纪地层划分及相关研究不仅有助于理解地球生命系统的演化历程, 还对油气地质勘探、古环境重建以及地球化学研究等多个领域具有重要意义。本文归纳了徐宿地区关于寒武系岩石地层划分和古生物, 古气候的讨论。

关键词

古气候, 寒武系, 生物地层, 徐宿地区, 鲕粒灰岩

Investigation on the Division of Cambrian Strata in Xusu Area

Bohui Sun¹, Runke Yang¹, Qingyuan Xue¹, Haitao Zhang¹, Xiaoming Wang²

¹School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

²Suzhou Industrial School of Anhui Province, Suzhou Anhui

Received: Feb. 28th, 2025; accepted: Apr. 19th, 2025; published: Apr. 29th, 2025

Abstract

The purpose of this paper is to discuss the investigation of Cambrian stratigraphy in Xusu area and its significance in understanding the evolution and geological history of early life on Earth. The Cambrian

文章引用: 孙博辉, 杨闰轲, 薛清元, 张海涛, 王肖明. 对徐宿地区寒武纪地层划分的调查[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(4): 633-638. DOI: 10.12677/aep.2025.154073

period, the beginning of the Phanerozoic Eon, represented an explosive and rapid evolution of animals, and witnessed the transformation of the Earth from a Precambrian ecosystem dominated by micro-organisms to a complex and diverse community of organisms. New stratigraphic classification methods, such as the use of carbon isotope stratigraphic standard curve, can more accurately determine the geological age, which provides an important basis for the study of Cambrian biodiversity and environmental changes. In addition, the study of Cambrian strata is helpful to determine the geological time boundary and promote the updating and improvement of the global geological time scale. The division of Cambrian strata is very important for establishing high resolution chronostratigraphic system. In geology and paleontology, the division of Cambrian strata helps to reveal the evolution of biodiversity and paleogeographic patterns. In conclusion, Cambrian stratigraphic classification and related studies are not only helpful to understand the evolution of Earth life systems, but also have important significance for oil and gas geological exploration, paleoenvironment reconstruction and geochemical research. This paper summarizes the discussion on the division of Cambrian lithostratigraphy, paleontology and paleoclimate in Xusu area.

Keywords

Paleoclimate, Cambrian System, Biostratigraphy, Xusu Area, Oolitic Limestone

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是世界上少数几个寒武系发育完好的国家之一，寒武纪地层划分及相关研究的研究背景主要围绕着地球早期生命大爆发的科学问题展开[1]。寒武纪是显生宙的开始，代表了地球从 541 MaB.P.到 485.4 MaB.P.的历史。在这一时期，地球上最复杂的生命动物“爆发式”出现，这一现象被越来越多的化石发现所表明。

寒武纪大爆发相关研究是自改革开放以来中国在地球科学领域取得重大成就以及享有国际盛誉的代表性研究方向之一。中国科学家在华北地区发现了距今约 5.04 亿年的寒武纪特异埋藏化石库，并将其定名为“临沂动物群”[2]。此外，中国科学技术大学的研究团队发现，海水中对早期动物有毒害作用的硫化物和钡离子的移除，促使了寒武纪生命大爆发。寒武纪生物古地理格局与多样性演化的耦合关系也是研究的重点，寒武纪是海洋生物与环境协同演化的关键时期，记录了地质历史中最重要的生物演化事件之一[3]。

江苏徐州 - 安徽宿州地区地处苏、皖、鲁、豫四省交界处，隶属华北区东部的南缘，是华北地区最早接受寒武纪沉积的地区之一。且该区寒武纪早期地层出露良好，剖面完整，化石丰富，除三叶虫化石外，小壳动物也较为繁盛，是研究我国华北类型寒武纪早期地层及所含化石较理想的地区之一。该地区的寒武纪地层主要分布在徐州大北望剖面、宿州曹村剖面和宿州夹沟剖面等地。徐宿地区的寒武纪早期地层不仅在生物化石方面丰富，而且在岩石地层、生物地层、年代地层和沉积相研究方面 also 具有良好的基础。并且徐宿地区的寒武纪早期遗迹化石及其古生态学研究有助于揭示寒武纪早期生物群落的生态结构和演化过程，这对于理解寒武纪生命大爆发期间的生态系统演变具有重要意义。

2. 地层划分方法

寒武纪地层划分的手段多种多样，主要根据大地构造以及古地理分区，并且结合生物群类型，沉积

盆地性质和区域地质史等其他因素[4]。国际地层委员会在 2006 年发布了关于全球寒武系年代地层的最新标准划分框架,它取代了自建系 170 余年以来所采用的 3 统 9 阶的划分,国际地层委员会寒武纪地层分会将寒武系统划分定为国际标准,并且采用 10 阶的划分方案将寒武系进行重新划分[5]。这一新的划分方法得到了各个国家广泛的应用和认可。

在国际上,各个国家的学者们展开了大量的寒武纪碳同位素研究,并且以创建碳同位素地层学方法,来展示碳同位素演化的重要地质事件。在这当中全球中、下寒武统界线的研究进展显著,尤其是在摩洛哥、西班牙等地区取得了重要成果。当然我国在地层调查中也逐渐采用创新型技术,如 GF-2 遥感数据在盖孜河流域典型第四纪地层调查中的应用以及浅地层剖面技术在长江三角洲调查中的应用等。

而我国目前沿用国际上的年代地层划分方案,即纽芬兰统、第二统、苗岭统和芙蓉统[6]。但是,由于我国多个沉积盆地深部寒武系都以白云岩为主,并且缺失相关化石信息,所以如何对这些白云岩地层进行年代地层划分是研究的重点与难点[7]。

我国学者同时也开展了大量的碳同位素研究,并提出了变化型曲线方法,通过分析各个剖面的变化型地层化石,确定每一个变化型代表的地质年代,从而建立寒武纪碳同位素地层标准曲线[8]。

中国的寒武纪地层通常被划分为四个统,即纽芬兰统、第二统、苗岭统和芙蓉统。比如在河北承德的研究中,寒武系自下而上包括第二统(昌平组、馒头组)、第三统(毛庄组、徐庄组、张夏组、崮山组)和芙蓉统(长山组、凤山组)[9]。

中国的寒武纪地层主要分布在南方地区,包括安宁河龙门山大断裂以东、南秦岭以南的广大地区。这些地层分为四个分区:地台区、陆缘区和陆棚斜坡过渡区、中上统和下统。此外,新疆塔里木盆地库鲁克塔格断隆区的寒武系由一系列半深海-浅海沉积物构成,反映了三级不同规模的海平面变化[10]。

徐宿地区的寒武纪地层属于寒武纪第二世,这一时期的地层划分和古生态研究较为复杂,涉及多重地层划分与古生态分析。在这些剖面中,化石丰富,包括三叶虫、腕足类、小壳动物和遗迹化石等门类,共鉴定出 17 属 21 种典型化石[11](包括圆管螺属,帐篷螺属,似海螺属,拉氏锥属,寿县贝属,林纳贝属,神父贝属,莱得利基虫属,大古油栉虫属,许氏盾壳虫属,褚兰油栉虫属,库廷虫属,古藻遗迹属,蠕虫迹属,类沟蠕形迹属,亚叶线迹属,凹槽迹属)。

此外,徐宿地区的地层还包含前寒武纪青白口系和震旦系,早古生代寒武系和奥陶系下-中统,以及晚古生代石炭系上统和二叠系[12]。这些地层在区域构造演化中扮演了重要角色,例如在徐州矿区附近形成了北东向褶皱束的弧形构造格。

在徐宿地区的寒武纪第二世地层划分与古生态研究中,化石分布与生物地层是重要研究内容[13]。这些地层的划分和研究有助于理解寒武纪早期生物多样性的演变及其古生态学意义。

3. 寒武纪古生物及古气候

寒武纪大爆发是地球生命演化史上的一次重大事件,具有深远的意义。这一时期大约发生在 5.4 亿年前,这一时期几乎所有的动物门类接踵而至,并在相对较短的一段时期内发生了快速的生态分化和扩张,奠基了显生宙以来海洋生态系统的发展。寒武纪生命大爆发期间出现了包括节肢动物、软体动物、刺胞动物、腕足动物等在内的 20 多个门类。标志着地球上复杂多样的动物门类在短时间内迅速出现并多样化发展。寒武纪大爆发不仅是生物多样性的一次巨大飞跃,也是生态系统和碳循环等多个方面的重要转折点。

寒武纪大爆发的意义在于它奠定了显生宙动物世界的基础。在不到地球生命发展史 1%的时间里,地球上出现了 90%以上的动物门类。这些动物包括节肢动物、软体动物、腕足动物、环节动物和原始的脊椎动物等,它们的出现显著增加了动物遗迹的分异度和复杂性。

寒武纪的化石库,如中国云南澄江生物群和布尔吉斯页岩型特异埋藏化石库,为研究早期后生动物的起源和演化提供了宝贵的资料。这些化石揭示了寒武纪动物视觉系统、神经系统等特殊保存的形态结构[14],拓展了我们对动物起源和早期演化寒武纪生命大爆发的研究不仅限于化石记录,还包括对古地理格局与多样性演变的耦合关系的研究[15]。

此外,寒武纪生命大爆发的研究还涉及到氧气含量对生物多样性的影响。寒武纪大部分地区的气候比较温暖、干燥。这一时期全球多次发生海侵和海退事件,导致大气中含氧量和海水中的含氧量快速变化。早期海洋分层现象明显,表层海水氧化,而底层水缺氧甚至硫化,深水区缺乏底栖生物。氧气含量的增加被认为是这一时期生物多样性“井喷”的关键因素之一。同时,海洋环境的变化,如氮等营养元素供给过剩导致的海水缺氧事件,也对生物的演化产生了重要影响。新研究发现,氧气含量控制了寒武纪大爆发的过程,这一发现为理解寒武纪生命大爆发提供了新的视角。

寒武纪时期,全球气候总体较为温暖,部分地区甚至出现干燥炎热的气候条件。然而,徐宿地区的具体气候特征可能因地理位置和沉积环境的不同而有所差异。徐宿地区在寒武纪时期的古气候主要表现为温暖、湿润的浅海环境,适合海洋生物的生存和繁衍,同时可能伴随着一定的氧化环境变化[16]。

总之,寒武纪古生物的研究是一个多学科紧密相联的前沿领域,涉及古生物学、演化生物学、地球科学等多个学科。科学家们正在不断揭开寒武纪生命大爆发的神秘面纱,为理解地球生命的起源和演化提供了宝贵的线索。

4. 徐宿地区的鲕粒灰岩

徐宿地区(徐州和宿州地区)的寒武纪张夏组地层具有重要的地质和古生物学意义。张夏组属于中寒武世晚期的地层单位,主要分布于华北及东北南部地区。

张夏组以发育较多的鲕粒灰岩著称,历史上被公认最早对鲕粒进行了系统性研究的学者是古罗马的哲学家、博物学者 Pliny the Elder,他将鲕粒描述成一种形似于鱼卵的颗粒[17]。17 世纪 60 年代, Hooke 对鲕粒进行显微镜下的观察和研究,首次发现鲕粒内部的结构特征,表明鲕粒内部结构是一种类似于鸡蛋拥有的蛋壳、蛋清、蛋黄的同心结构[18]。同时,他认为这些鲕粒颗粒的结构是在流体环境中才可能形成的。这些鲕粒灰岩主要由浅海相碳酸盐沉积形成,具有灰色厚层鲕状灰岩的特点。鲕粒是一种重要的指示性颗粒,通常形成于高能量环境中,如浅海潮汐带、波浪作用活跃的台地边缘,由于潮汐及风暴水流和波浪作用,它们经常呈沙浪状分布。鲕粒的成因目前尚无统一的学术观点,但普遍认为其形成与微生物介导有关,即鲕粒的形成始于一个如贝壳碎片、石英砂粒、生物碎屑或有机颗粒的核心,而光合微生物及硫酸盐还原细菌等建设性微生物群落促进了鲕粒圈层的形成[19]。张夏组鲕粒灰岩的微观结构特征表明,鲕粒粒径在 250~500 μm 之间,主要类型为薄皮鲕,含有少量椭圆形鲕和放射鲕。鲕粒灰岩的形成通常与高能水动力环境相关,鲕粒结构稳定,基质紧密,抗溶蚀能力较强。例如,在龙门石窟的研究中发现,鲕粒灰岩的抗酸溶蚀能力比普通灰岩更强。由于温暖水体可以促进碳酸钙溶解与沉淀,鲕粒灰岩大多形成于热带—亚热带地区。

在寒武纪鲕粒灰岩中,微生物的作用显著。研究表明,微生物在鲕粒灰岩的沉积成岩过程中具有建设性和破坏性作用。例如,在扬子区及华北区寒武系鲕粒灰岩样品中观察到的微生物印迹显示了微生物在鲕粒形成中的重要性。

张夏组鲕粒灰岩的溶蚀特性也得到了广泛研究。实验表明,鲕粒灰岩的单位面积溶蚀质量普遍低于细晶灰岩和斑晶灰岩,表明其抗溶蚀能力更强。溶蚀实验还发现,鲕粒含量越高,岩石表面越粗糙,这与其抗风化能力有关。

寒武纪张夏组鲕粒灰岩的研究揭示了其复杂的沉积环境、独特的岩石学特征、显著的微生物印迹以

及较强的抗溶蚀能力。这些研究不仅有助于理解寒武纪时期地球环境的变化,也为现代碳酸盐岩地层的保护提供了科学依据。

5. 总结

综上所述,徐宿地区跨越苏、鲁、皖三省,寒武纪早期地层出露条件较好,生物化石较为丰富,具有良好的岩石地层、生物地层、年代地层和沉积相研究基础,是华北地台陆表海沉积的典型沉积区域,能够为地层划分提供丰富的实物资料。徐宿地区寒武纪地层的详细划分和研究成果,不仅有助于了解寒武纪时期不同地区地层的时空关系和沉积演化规律,更好地构建区域地层格架,还为研究全球寒武纪地层和古地理格局提供重要参考。并且其蕴含的丰富的古生物化石为研究寒武纪时期生物的演化和生态系统的发展提供了关键证据[20]。通过对化石的种类、形态、分布等方面的研究,可以了解当时生物的多样性、生存方式以及与环境相互作用,进而为地层的划分和对比提供支持。而寒武纪张夏组鲕粒灰岩的研究也揭示了其复杂的沉积环境、独具一格的岩石学特征。这些研究不仅有助于理解寒武纪时期地球环境的变化,也为现代碳酸盐岩地层的保护提供了科学依据。

基金项目

本文受到安徽省大学生创新创业训练计划项目(S202410379174);国家级大学生创新创业训练计划项目:宿州栏杆地区馒头组鲕粒灰岩成因初探(202410379060);宿州学院大学生创新创业训练计划项目(编号:ZCXM24-39 和 ZCXM24-40)的支持。

参考文献

- [1] 沈其韩,耿元生,杨崇辉,等.我国早前寒武纪地层研究的主要新进展[J].地层学杂志,2004,28(4):289-296.
- [2] 张宣.江苏专家发现寒武纪大爆发“临沂动物群”[N].新华日报,2022-04-20(013).
- [3] 张兴亮.寒武纪大爆发的过去、现在与未来[J].古生物学报,2021,60(1):10-24.
- [4] 彭善池.全球寒武系年代地层新划分[J].中国科学院院刊,2006,21(4):325-328.
- [5] 朱茂炎,杨爱华,袁金良,等.中国寒武纪综合地层和时间框架[J].中国科学:地球科学,2019,49(1):26-65.
- [6] 朱茂炎,孙智新,杨爱华,袁金良,李国祥,周志强,张俊明.中国寒武纪岩石地层划分和对比[J].地层学杂志,2021,45(3):223-249.
- [7] 中国各地质时代地层划分与对比[J].海相油气地质,2006(3):63.
- [8] 赵元龙,袁金良,郭庆军,等.全球中、下寒武统界线研究现状及展望[J].自然科学进展,2004,14(12):1383-1388.
- [9] 辛浩,肖恩照,王龙,等.肥城邓家庄剖面寒武系微生物碳酸盐岩沉积序列[J].沉积学报,2020,38(1):64-75.
- [10] 程日辉,王璞琨,刘万洙,等.库鲁克塔格地区寒武系层序地层与发育模式[J].新疆地质,2006,24(4):353-360.
- [11] 冯钰.徐州及其邻区寒武纪早期地层划分对比与沉积环境分析[D]:[硕士学位论文].北京:中国矿业大学,2014.
- [12] 符飞.辽宁凌源郭家店剖面寒武系层序地层划分及相关的沉积学研究[D]:[硕士学位论文].北京:中国地质大学,2017.
- [13] 陈凯.徐宿地区寒武纪第二世多重地层划分与古生态[D]:[硕士学位论文].北京:中国矿业大学,2020.
- [14] 赵方臣.寒武纪大爆发与澄江生物群[C]//中国古生物学会化石藻类专业委员会,中国古生物学会微体学分会,江苏省古生物学会.中国古生物学会化石藻类专业委员会第十九次学术年会、中国古生物学会微体学分会第十一届会员代表大会暨第十八次学术年会、江苏省古生物学会2020年学术年会论文摘要集.2020:99.
- [15] 晓工.寒武纪生物古地理格局与多样性演变的耦合关系[J].科学,2023,75(1):50.
- [16] 仇洪安.徐州-宿县地区下寒武统馒头组的三叶虫[J].中国地质科学院院报,1980:34-64+120-124.
- [17] 李飞,易楚恒,李红,等.微生物成因鲕粒研究进展[J].沉积学报,2022,40(2):319-334.
- [18] Hooke, R., Allestry, J. and Martyn, J. (1665) Micrographia, or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made

by Magnifying Glasses: With Observations and Inquiries Thereupon. The Royal Society.
<https://doi.org/10.5962/bhl.title.904>

- [19] Wethered, E.B. (1895) The Formation of Oolite. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, **51**, 196-209.
<https://doi.org/10.1144/gsl.jgs.1895.051.01-04.18>
- [20] 李江海. 早前寒武纪地质及深成构造作用研究进展[J]. 高校地质学报, 1998, 4(3): 303-312.