

陕西渭北奥陶系放射虫硅质岩与火山凝灰岩的成因环境

李文厚 梅志超 陈景维 卢焕勇

(西北大学地质系 西安 710069)

提 要 通过对层状放射虫硅质岩的岩石学和火山凝灰岩岩石类型的特征研究,认为渭北奥陶系的放射虫硅质岩是由远源的火山喷发物提供了 SiO_2 的来源,造成有利于硅质生物大量繁殖的条件,死后堆积海底,最终转变为层状放射虫硅质岩。从而进一步推断,本区中、上奥陶统的沉积形成于海平面大规模上升的远洋或半远洋的深水环境。火山凝灰岩则是岛弧火山喷发的产物,反映本区曾一度是华北板块活动大陆边缘弧后盆地北部边缘部分。

关键词 奥陶系 放射虫硅质岩 火山凝灰岩 沉积环境 构造环境

在华北地台西南缘的渭北隆起带(图1),中、上奥陶统赵老峪组主要是一套远洋或半远洋的泥晶石灰岩夹重力流的砂屑石灰岩和杂乱角砾石灰岩,其层位可以与西部的中、上奥陶统平凉组—背锅山组对比^[1~2]。赵老峪组自下而上可以分为4段:第一段为深灰色薄板状泥晶灰岩夹黑色薄板状硅质岩,硅质岩中常夹黄色和紫红色凝灰岩,区域上层位比较稳定,是本段的标志层,本段厚95 m。第二段和第三段为深灰色薄板状石灰岩和页状石灰岩夹角砾石灰岩,其中第二段以夹有较多杂乱角砾石灰岩为特征,厚255 m;第三段以夹有较多灰绿色厚层状凝灰岩为特征,厚约155 m。第四段为深灰色薄板状石灰岩和页状石灰岩不等厚互层,厚约300 m。该组第一段发育的黑色层状放射虫硅质岩,西自泾阳,东到蒲城都有分布。在赵老峪组中

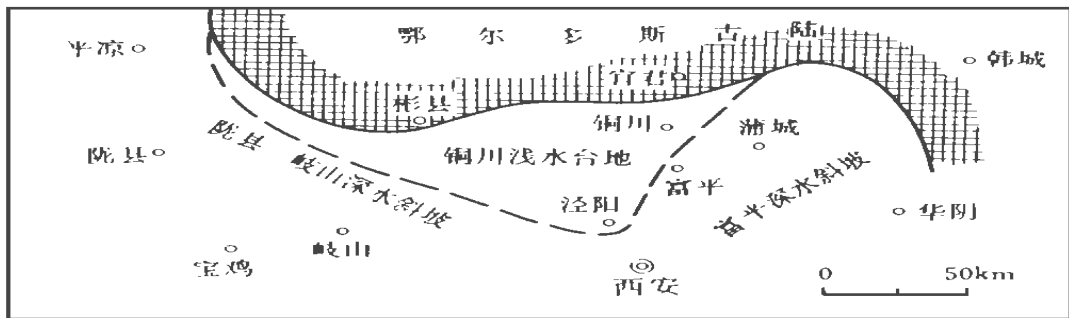


图1 研究区大地构造简图

Fig. 1 Tectonic sketch map of the study area

长庆油田《陕甘宁盆地东南缘下古生界碳酸盐岩沉积相研究》课题资助。

本文于1996年7月19日收到。

作者简介:李文厚,男,1948年生,1975年毕业于西北大学地质系,硕士,副教授,从事沉积学教学与研究工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

还发育有多层单层厚度不等的火山凝灰岩夹层,这套火山凝灰岩西起陇县、岐山,东至富平均有出露。两套岩石均与深水碳酸盐岩共生,成因上既有内在联系,又各具特色。

1 层状放射虫硅质岩的岩石学特征

渭北的层状放射虫硅质岩和地槽区的层状硅质岩比较类似。它们在新鲜露头上呈黑色,风化后呈淡紫红色。韵律层段厚度一般在 50~70 cm 之间,最厚达 2 m。单层厚 3~5 cm,层内毫米级纹层发育,层系界面呈平坦状,或随相邻石灰岩层面形态起伏,有的呈类似于收缩、膨胀的透镜状,层间具薄的硅质页岩夹层。硅质岩的主要生物组分为多壳刺的球形放射虫,可以识别的放射虫残骸一般含量在 5%~10%之间,最高可达 15%。除了在碳酸盐含量较高的硅质层中含有个别介形虫及海绵骨针外,未见其它生物化石。

本区的层状放射虫硅质岩中大多数放射虫因溶解一再沉淀作用仅残留有模孔,其中主要由玉髓充填,少数见亮晶方解石充填。偶见放射虫呈清晰的筛网状构造。放射虫个体多数小于 0.15 mm,个别在 0.2 mm 以上。小型放射虫具多层次髓壳,放射梁和幅射刺;较大的放射虫内部构造比较简单,有的仅发育两层髓壳,放射梁很少,中间有较大空腔。放射虫的壳、梁和刺均已被碳酸盐或磁铁矿交代,空腔为纤维状玉髓充填。岩石基质主要为微晶质玉髓,其间常散布有数量不等的碳酸盐和磁铁矿以及零星的粉砂级水化黑云母片。碳酸盐矿物主要为微晶方解石、亮晶方解石和铁白云石。其中微晶方解石散布在基质中,晶粒 5 μm 左右;亮晶方解石充填硅质生物的溶孔;铁白云石呈自形晶交代其它碳酸盐和氧化硅矿物,晶粒在 0.01~0.05 mm 之间。与其它层状硅质岩相比,本区放射虫硅质岩的碳酸盐含量较高^[3](表 1)。

表 1 层状放射虫硅质岩的化学成分
Table 1 Chemical composition of bedded radiolarian cherts

	陕西富平	陕西南郑	安徽巢县 (据孔庆玉等)	广西钦州 (据王忠诚等)	广西南丹 (据陈克明等)	德国里森 (据 Gressman)
成分(%)	放射虫硅质岩	放射虫硅质岩	放射虫硅质岩	放射虫硅质岩	放射虫硅质岩	放射虫硅质岩
SiO ₂	77.0	90.53	93.75	89.22	86.93	86.9
TiO ₂	0.30	0.18	0.05	0.16	0.15	—
Al ₂ O ₃	3.23	3.79	1.62	3.41	1.04	4.6
FeO	3.18	0.34	1.10	2.94	3.63	—
Fe ₂ O ₃	0.57	1.08	0.36	0.40	1.37	2.7
MnO	0.05	—	0.07	0.02	0.09	0.03
CaO	6.47	0.36	0.30	0.07	3.39	0.1
MgO	1.67	0.42	0.16	0.28	0.44	0.8
K ₂ O	0.40	0.73	0.20	0.81	0.08	1.0
Na ₂ O	0.40	0.07	0.15	0.09	0.02	0.4
P ₂ O ₅	0.06	0.14	0.04	0.07	0.04	0.04
H ₂ O ⁺	1.44	1.68	0.71	—	0.68	2.3
H ₂ O ⁻	—	0.60	—	—	—	0.3

2 火山凝灰岩岩石类型及特征

渭北的火山凝灰岩野外露头大都呈鲜艳的黄绿色或棕黄色、黄灰色,少量呈紫红色;呈层状或块状产出,单层一般厚 10~80 cm,最厚者 2 m 以上;具微细水平层理或平行层理,偶见粒序层理。岩石多已发生蚀变,除少数具霏细结构外,多数尚保持完好的原生凝灰结构。碎屑颗粒由玻屑、晶屑和岩屑组成。玻屑大多已方解石化或蒙脱石化,但外形依然清晰可见,弧面状、鸡骨状、枝叉状玻屑常常交织在一起。晶屑常见的有石英、长石和黑云母,石英呈尖锐棱角状;长石呈板状或不规则破碎状,棱角显著;黑云母边缘参差不齐,呈阶梯状或撕裂状,且多发生水化。岩屑形状不规则,边缘呈破碎状,均已绿泥石化^[4]。填隙物为火山尘,但大部分已硅化或蚀变为水云母。化学成分表明(表 2),渭北一带火山凝灰岩主要为酸性、中一酸性及中一基性火山岩类的特征。其中岐山、富平一带火山凝灰岩主要为中基性和中酸性火山岩类(样品 N-2~N-6),而隆县地区火山凝灰岩则偏酸性岩类(N-7、N-8),它们的里特曼指数均小于 1。除岐山样品 N-2 具拉斑玄武岩成分特征外,其余皆属钙碱质岩系列^[5]。经薄片镜下鉴定,按其碎屑物性质和含量可将火山凝灰岩分为 3 种类型:玻屑凝灰岩、晶屑—玻屑凝灰岩和岩屑—玻屑凝灰岩。

表 2 火山凝灰岩化学成分^[5]

Table 2 Chemical composition of tuffs

	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8
成分(%)	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩
SiO ₂	50.23	55.84	53.44	53.76	60.56	80.51	72.95
TiO ₂	0.26	0.19	0.19	0.18	0.20	0.21	0.53
Al ₂ O ₃	4.63	12.38	11.99	9.56	8.29	10.14	11.95
FeO	0.65	0.43	0.47	0.79	0.47	0.64	2.19
Fe ₂ O ₃	0.88	0.50	0.39	4.20	0.87	0.27	1.17
MnO	0.14	0.008	0.007	0.02	0.04	0.02	0.02
CaO	21.81	10.27	11.76	12.74	12.13	0.56	0.80
MgO	0.97	4.24	4.29	4.34	3.11	0.69	1.78
K ₂ O	1.35	1.70	1.64	1.15	0.37	1.31	1.60
Na ₂ O	0.16	0.21	0.21	0.50	0.26	3.14	2.80
P ₂ O ₅	0.05	0.03	0.03	0.04	0.08	0.07	0.11
CO ₂	/	8.07	/	/	9.25	0.22	0.52
H ₂ O ⁺	/	4.72	/	/	3.88	0.96	2.34
H ₂ O ⁻	0.04	1.54	1.38	1.04	0.58	0.48	1.16

2.1 玻屑凝灰岩

分布较广,颜色多样,大多数为黄绿色,部分呈紫色、灰黄色、灰黑色等。一般呈薄层状夹于碳酸盐岩或硅质岩中,颜色醒目,与围岩界限分明。基本上全由细小玻屑组成,常有程度不等的碳酸盐化,有的甚至已完全方解石化,成分与灰岩无异。但多数仍保留有变余凝灰结构,成分虽为方解石,而玻屑外形依然清晰可见。部分玻屑凝灰岩未发生次生变化,许多细长的弧面状的玻屑交织在一起,构成典型的玻屑凝灰结构。成分相当于流纹岩类,属酸性凝灰岩。

2.2 晶屑—玻屑凝灰岩

较为常见。颜色呈黄绿色或棕黄色。粒度稍粗,可见晶屑。按晶屑矿物成分可分为两种,一种只含石英和长石晶屑,另一种含黑云母晶屑。石英晶屑具尖锐棱角,有的呈骨叉状,十分特征。长石呈板状或不规则破碎状,棱角显著,相当新鲜,无风化磨蚀痕迹,解理和双晶均清晰可见,主要为奥长石。这种石英长石晶屑—玻屑凝灰岩的成分相当于英安岩,故为中—酸性凝灰岩。黑云母晶屑—玻屑凝灰岩呈棕黄色,易风化,露头上剥落出很多黑云母碎片。新鲜标本中黑云母尚完整,镜下多色性显著,矿物边缘参差不齐,成阶梯或撕裂状。除黑云母外,尚有石英和斜长石晶屑。玻屑多呈淡黄色,相当细小。根据矿物成分和玻屑特点应为酸性凝灰岩。

2.3 岩屑—玻屑凝灰岩

较为少见。颜色为鲜绿色,很醒目。粒度较粗,易风化。镜下可见绿色岩屑和纤状玻屑。岩屑形状不规则,边缘呈破碎状,成分主要为绿泥石,可能是次生的。玻屑呈细长状,具弧面形特点。岩石中有少量气孔,为次生绿泥石和方解石填充。此种凝灰岩属中—基性凝灰岩。

3 层状放射虫硅质岩的成因及沉积环境讨论

3.1 层状放射虫硅质岩的成因

一般说来,层状硅质岩中的 SiO_2 主要来源于海底火山作用和生物,由于大多数硅质岩中都含有硅质微体生物,因此生物来源是更重要的^[6]。放射虫是一种远洋或半远洋的单细胞浮游生物,从奥陶纪开始大量出现。通常认为,只有分泌氧化硅的放射虫才能呈化石状态保存下来。本区放射虫硅质岩的形成机理可解释为:由远源的火山喷发物提供了 SiO_2 的来源。火山喷发物在海水碱性条件下转变和分解,析出 SiO_2 ,海水中 SiO_2 含量大增,造成有利于硅质生物大量繁殖的条件^[7],死后堆积海底。这种生物成因的氧化硅,或称蛋白石—A,是含水氧化硅不稳定的非晶态变体。随着时间推移和温度增高,蛋白石—A 逐渐转为石英,在过渡阶段呈无序的低温方石英—鳞石英。在生物成因的蛋白石转变为石英的过程中,都会发生溶解和沉淀作用^[8]。绝大多数放射虫会因蛋白石在水体中溶解而消失,或者因蛋白石—A 转变为蛋白石—CT 和石英的过程中受到更多的破坏,加上硅质的重结晶作用,故而在古生代乃至中生代的硅质岩系中很难见到保存良好的放射虫化石^[9]。从渭北奥陶系的层状硅质岩的沉积特征来看, SiO_2 主要来自放射虫介壳的生物蛋白,而火山灰蚀变提供的自由 SiO_2 数量有限。

3.2 层状放射虫硅质岩沉积环境讨论

现生放射虫是一种远洋或半远洋的浮游生物,其生活水深变化很大,从 50 m 以内到 2 000 m 以下。在现代大洋沉积中放射虫占十分重要的位置。沉积物中放射虫的存在与否主要受到水深、碳酸钙补偿深度(CCD)、古生产力、沉积速度等因素控制^[10]。一般认为,富含放射虫的硅质沉积物大多堆积于远离陆源区的远洋或半远洋的深水环境,而且必定是在碳酸钙补偿深度附近或以下,常与浊积岩、蛇绿岩共生。由于层状放射虫硅质岩主要发育在低纬度的上升洋流区,所以可以作为古纬度和古环境的标志。古地磁资料表明,在奥陶纪时华北、扬子和秦岭古海盆均处于赤道附近^[11],说明本区在当时很可能是有利于放射虫大量繁衍的上升洋流区。这种产在地台上的远洋沉积虽不多见,却是海平面大规模上升及其伴生的重大地质事件的反映。本区中、上奥陶统赵老峪组以远洋或半远洋的深灰色薄板状和页状泥晶灰岩夹重力流的砂屑灰岩和杂乱角砾灰岩为特征。整个地层生物化石稀少,且主要为浮游的介形虫、放射虫、

牙形石和笔石,原地底栖生物化石缺乏,而深水的 *Nerites* 相遗迹化石却十分丰富。根据古水流等资料分析,本区当时曾存在一个向南东倾没的古斜坡,其范围大致西自陇县,经岐山、泾阳,东至富平、蒲城一带^[4]。古斜坡水深大约在 200~2 000 m 之间^[12],其沉积特征与欧洲南阿尔卑斯的侏罗纪大陆边缘极为相似。据此推断,这一古斜坡很可能是在下奥陶统沉积之后,秦岭、祁连山北侧的弧后盆地张裂下沉作用致使本区中、上奥陶统与秦岭海槽成一斜坡过渡。由于其北侧广阔的华北浅水碳酸盐台地有效地抑制了陆源物质的注入,所以在本区为浮游生物堆积提供了一个适宜的场所。

4 火山凝灰岩形成时的构造环境分析

渭北地区在早奥陶世—中奥陶世早期,与华北地台广大地区是一个统一的浅水碳酸盐台地,沉积了一套包括峰峰组在内的浅水碳酸盐岩地层。其后由于秦岭板块开始向华北板块俯冲,才陷落为深水斜坡。中、上奥陶统赵老峪组以夹有较多的火山凝灰岩为特征,凝灰岩的层位及厚度自东而西,自北而南有明显增多、增厚的趋势。至秦岭北缘及祁连山褶皱带东部,开始出现中酸性的火山熔岩。在秦岭商丹断裂带沿线,发育有大量蛇绿岩和混杂岩,这个构造复杂带是华北板块与扬子板块间大洋消失、俯冲和碰撞的标志^[3]。在里特曼—戈蒂尼图解上^[5],全部凝灰岩样品投点都落入 B 区,该区域为岛弧及造山带火山岩区。联系近年来秦岭加里东期中酸性岩体和丹凤群、云架山群某些钙碱性火山岩的研究,它们应该是当时火山岛弧的产物。那么,渭北地区中、上奥陶统发育的火山凝灰岩则为岛弧火山喷发的产物。由于火山凝灰岩的碎屑物质细,以薄层状者为主体,推测这里距岛弧喷发处较远。本区中、上奥陶统的深水碳酸盐沉积和火山凝灰岩夹层的大量发育,反映该区曾一度是华北板块活动大陆边缘弧后盆地北部边缘部分。

参 考 文 献

- 1 安太序,张安泰,徐建民. 陕西耀县、富平奥陶系牙形石及其地层意义. 地质学报, 1985, 59(2): 97~107.
- 2 甘肃省地层表编写组. 西北地区区域地层表(甘肃省分册). 北京:地质出版社, 1980, 124~195.
- 3 梅志超,卢焕勇,李文厚. 渭北奥陶系的放射虫硅质岩. 沉积学报, 1992, 10(2): 9~18.
- 4 李文厚,梅志超,陈景维等. 富平地区中—晚奥陶世沉积的古斜坡与古流向. 西安地质学院学报, 1991, 13(2): 36~41.
- 5 袁卫国. 鄂尔多斯盆地南缘中奥陶统火山凝灰岩的研究与意义. 石油实验地质, 1995, 17(2): 167~170.
- 6 Heim J R, Karl S M. Comparisons between open-ocean and continental margin chert sequences. in: Iijima A et al. (eds). Developments in Sedimentology, 36: Siliceous deposits in the Pacific Region. Elsevier, 1983, 25~40.
- 7 黄志诚,黄钟瑾,陈智娜. 下扬子区五峰组火山碎屑岩与放射虫硅质岩. 沉积学报, 1991, 9(2): 1~15.
- 8 Jones D L, Murchev B. Geologic significance of Paleozoic and Mesozoic radiolarian chert. Ann Rev Earth Planet Sci, 1986, 14.
- 9 吴浩若. 放射虫岩及其地质意义. 国外地质, 1986, (7): 1~4.
- 10 崔智林,孙勇,王学仁. 秦岭丹凤蛇绿岩带放射虫的发现及其地质意义. 科学通报, 1995, 40(18): 1686~1688.
- 11 吴汉宁,常承法,刘椿等. 依据古地磁资料探讨华北和华南块体运动及其对秦岭造山带构造演化的影响. 地质科学, 1990, 25(3): 201~214.
- 12 贾振远. 一个碳酸盐沉积古斜坡的基本特征. 石油与天然气地质, 1988, 9(2): 171~177.

GENETIC ENVIRONMENT OF ORDOVICIAN RADIOLARIAN CHERTS AND VOLCANIC TUFFS IN WEIBEI, SHAANXI PROVINCE

Li Wenhou, Mei Zhichao, Chen Jingwei and Lu Huanyong

(*Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi*)

Abstract Petrological characteristics of bedded radiolarian cherts and different types of volcanic tuffs have been studied in the Ordovician of Weibei, Shaanxi. Distal eruptive materials supplied SiO_2 . Radiolarians thrived largely in this condition, and gradually dead bodies of radiolarians were accumulated on sea bottom and turned finally into bedded radiolarian cherts with sediments. It is inferred further that the Middle-Upper Ordovician were deposited in a pelagic or semipelagic deep-water environment with a greatly rising sea level. Volcanic tuff is the product of island-arc volcanic eruption. This area was once the north margin of a back-arc basin which belonged to an active continental margin of the North China plate.

Key words: Ordovician, radiolarian chert, volcanic tuff, sedimentary environment, tectonic setting

(上接第 409 页)

LATE PERMIAN-EARLY TRIASSIC SEDIMENTARY EVOLUTION AND TECTONIC SETTING OF THE LINXI REGION, INNER MONGOLIA

He Zhengjun, Liu Shuwen, Ren Jishun,

(*Institute of Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources, Beijing*)

and Wang Yu

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing*)

Abstract Early Triassic strata in the southern Da Hinggan Mountains has been evidenced by discovery of fossils of ostracods, conchostracans and bivalves in the Linxi region, Inner Mongolia. The Lower Triassic is of fluvial-lacustrine facies with red-bed features and notably different from its underlying Upper Permian Linxi Formation. Before this work the sedimentary facies of the Linxi Formation was considered as Late Permian non-marine deposits. Sedimentological, paleontological and oxygen-carbon isotope studies suggest that the mid-lower sequences of the Linxi Formation consist mainly of marine deposits with turbidity current deposits, which reflects the existence of a remnant sea basin in the southern Da Hinggan Mountains till the middle Late Permian. This should be the main cause why the Late Permian plants on both sides of the Xar Moron River still maintain the features of different floras. An analysis of Late Permian-Early Triassic sedimentary evolution and tectonic setting in the Linxi region shows that the Late Paleozoic plate-tectonic movement in the southern Da Hinggan Mountains continued till the Indosinian tectonic cycle.

Key words: Linxi region, Inner Mongolia, Late Permian-Early Triassic, sedimentary evolution