

泥河湾层中叠层石的发现及其古环境意义*

夏正楷

(北京大学地理系, 北京 100871)

张 昀 杨德军 陈铁梅 杨 全 胡艳秋

(北京大学地质系, 北京 100871)

(北京大学年代学实验室, 北京 100871)

摘 要

本文描述了泥河湾层中发现的二层叠层石, 指出它们是蓝藻(蓝菌)活动造成的生物沉积结构, 分别形成于距今 13 万年和 9 万年左右, 是末次间冰期温暖气候的产物。

关键词 泥河湾层、叠层石、蓝藻(蓝菌)、席藻、电子自旋共振法(ESR)

泥河湾盆地中广泛分布的第四纪湖积地层, 过去称泥河湾层, 被认为是我国北方早更新世的标准地层。近年来的研究表明^[1], 它不仅包括早更新世地层, 而且也包括中更新世和晚更新世地层。本文所报道的湖相叠层石见于泥河湾层上部, 它的发现对于我国北方第四纪地层的划分及古地理的重建具有重大的意义。

1 叠层石的产出地点及层位

叠层石发现于泥河湾盆地中心的河北省阳原县虎头梁村, 坐标为北纬 $40^{\circ} 10'$, 东经 $114^{\circ} 30'$ 。该地泥河湾层出露厚度 42m, 为一套河湖相沉积。根据岩性特征, 剖面由上而下可以分成五层(图 1)。

5. 灰白色砾石层, 砾石主要由硅质灰岩组成, 直径 2—3cm, 磨圆度 II—III 级, 具大型斜交层理。厚 1.5—2m。属河流相沉积。
4. 灰绿色粉砂质粘土, 具水平层理, 局部夹灰黑色粘土透镜体。厚 8m。属浅湖或湖湾相沉积。
3. 灰黄色细砂, 具小型交错层理, 富含螺化石。厚 2m。属湖滨相沉积。
2. 灰白色砾石层夹灰绿色粉砂质粘土, 砾石层具大型斜交层理。厚 6m。属河湖交互的三

1992-07-24 收稿, 1992-11-24 收修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目。

角洲沉积或入湖冲积扇沉积. 向北西方向, 该层水平相变为厚层的河流相砾石层, 向南东方向, 则相变为湖相的灰绿色粉砂质粘土.

1. 灰色粘土和灰黄色粉砂互层, 夹泥灰岩和石膏层, 产鱼化石. 厚度大于 24m. 属浅湖-半深湖相沉积.

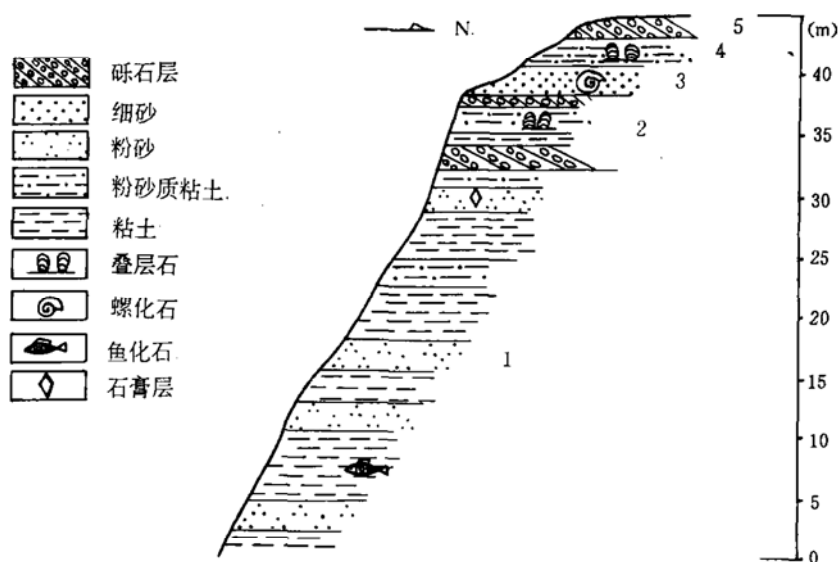


图1 虎头梁剖面及叠层石层位

叠层石共二层, 分别产于第4层和第2层的灰绿色粉砂质粘土之中, 称上叠层石层和下叠层石层, 两者在剖面上大约相隔 10m 左右.

2 叠层石产出状况及结构特征

据野外观察, 上叠层石层厚 10cm, 由紧密排列的基部相连的叠层石柱体组成. 柱体高 0.7—4.6cm, 直径 0.2—2.3cm, 高宽比 2.3. 大体垂直于沉积层面. 柱体顶部曲率大, 呈尖锐状 (图版 I-1). 多数柱体有分枝, 但分枝形态相似, 仅大小不同. 所有的叠层石柱体都生长在一层松散的钙板上, 钙板表面凹凸不平 (图 2). 本层水平延伸约 25m, 自北西向南东方向, 叠层石个体逐渐变大, 并由单层柱体变为二层柱体叠加. 下叠层石层厚 20cm, 亦由紧密

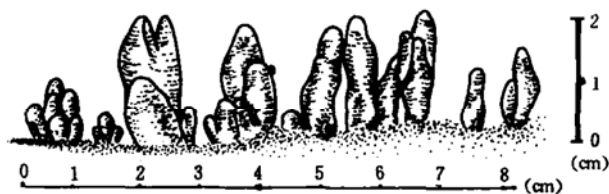


图2 上叠层石层素描

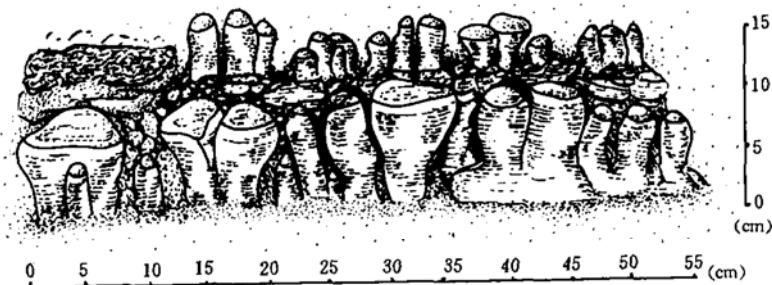


图3 下叠层石层素描

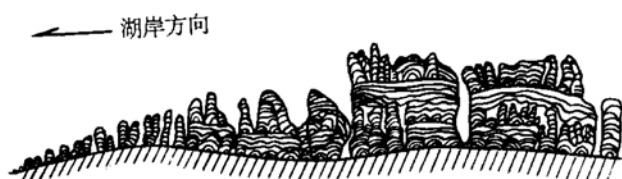


图 4 下叠层石层横向变化示意

之间的界线不易划分(图 3)。本层水平延伸 35m, 自北西向南东方向, 叠层石个体逐渐加大, 并由单层柱体变为二层柱体叠加和三层柱体叠加(图 4)。经茜素红染色和 X 光衍射分析测试, 两层叠层石的主要矿物成分均为文石, 此外还有少量石英(图 5)。

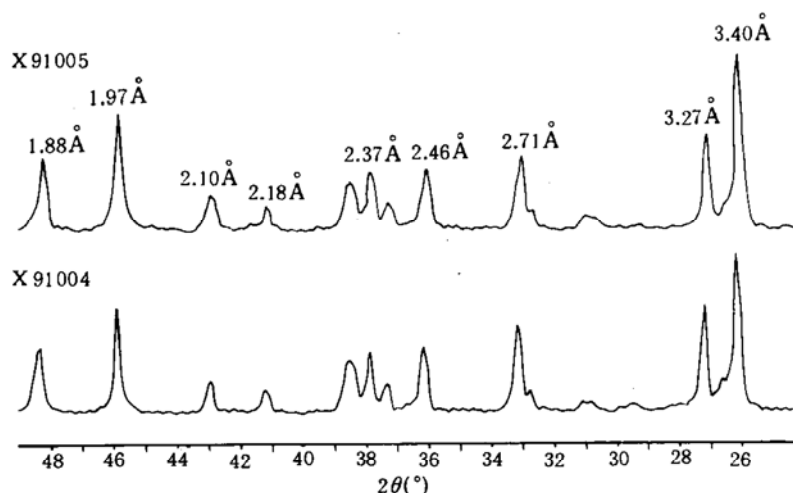


图 5 叠层石样品的 X 光衍射曲线

切片观察表明, 上下两层叠层石的内部结构也非常相近, 它们均以拱形的明暗纹层相间出现为特征(图版 I-3,4), 其中暗层富含有机物, 明层中有机物罕见, 但粒间孔较暗层发育。两者的区别说明暗层是生物作用层, 而明层则是化学沉积层。明暗层有规律地相间出现, 反映了微生物的周期性活动。

镜下可见藻丝遗体, 经鉴定, 属蓝藻(蓝菌)门 Cyanophyta, 蓝殖段纲 Hormogoneae Thuret, 颤藻科 Oscillatoriaceae Kirchner, 席藻属 *Phormidium* Kutzing, 席藻(未定种) *Phormidium* sp. (图版 I -5,6), 是一种广盐性的造席蓝藻(蓝菌)。其特征描述如下: 藻丝体的细胞列(trichomes)为单列丝状, 长 60—140 μ m, 直或略弯曲, 横壁处无显著收缩, 端部不变细。据 30 个细胞统计, 细胞长 3.8—4.0 μ m, 宽 1.0—2.5 μ m, 平均长 3.9 μ m, 宽 1.6 μ m。常见无细胞列的空鞘, 呈管状, 长 50—160 μ m, 宽 1.5—2.0 μ m。藻丝体常竖直生长, 形成平坦的或向上拱起的(穹隆状)藻席层, 重叠的藻席层构成层状或柱状叠层石。

3 叠层石的年代测定

我们采用电子自旋共振法(ESR)对叠层石的年龄进行了测定, 使用的仪器是德国生产的 Bruker ER-200-HRC 顺磁共振测量仪, 测定条件是: X 波段, 微波功率 MR=2mW, 调制频率 MF=100kHz, 调制幅度 MA=2GPP, 中心磁场 CF=3480 $\times 10^{-4}$ T, 扫场宽度 SW=250 $\times 10^{-4}$ T,

时间常数 $TC=200\text{Ms}$, 扫描时间 $ST=200\text{s}$. 叠层石样品经人工辐照后的 ESR 强度值(B 峰)如表1所示, 用指数拟合方式推导的 AD 值如表2所示.

表1 叠层石样品经人工辐照后的 ESR 强度值(B 峰)

单位: kGy

ESR 强度 样号	人工剂量	0	0.381	0.707	1.150	1.531	1.881	3.702	6.337
X91005		3.35	5.10	5.84	7.44	8.65	10.67	12.52	16.50
X91004		3.80	4.55	5.30	6.50	8.25	9.29	11.65	16.08

表2 用指数拟合方式推导的 AD 值

样品号	$I_{\max}$	X	拟合方程	相关系数	AD 值 (kGy)
X91005	19.37	-0.0263	$\ln(1-I/19.37)$ $-0.0263(0.7352+Q)$	0.993	0.7352
X91004	23.15	-0.0158	$-\ln(1-I/23.15)$ $=0.0158(1.0680+Q)$	0.995	1.0680

由所获得的 AD 值, 用计算机的叠合方法求得样品的年龄值(表3). 结果表明下叠层石样品的 ESR 年龄为距今 $12.3^{+1.8}_{-1.6}$ 万年, 上叠层石样品的 ESR 年龄为距今 $9.3^{+1.2}_{-1.1}$ 万年.

表3 叠层石样品的 ESR 年龄

样品号	样品铀量 (ppm)	$\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}}$	样品钍量 (ppm)	样品钾量 (%)	围岩铀量 (ppm)	围岩钍量 (ppm)	围岩钾量 (ppm)	含水量	氦逸失系数	K_a 值	宇宙射线 ($\mu\text{Gy/a}$)	累积剂量 (kGy)	ESR 年龄 (百万年)
X91005	10.02 ± 0.51	1.440 ± 0.057	1.57 ± 0.10	0.15 ± 0.03	7.35 ± 1.47	10.60 ± 2.12	1.95 ± 0.39	0.10 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.30 ± 0.05	130	0.7350	$9.3^{+1.2}_{-1.1}$
X91004	11.89 ± 0.66	1.514 ± 0.059	1.85 ± 0.13	0.15 ± 0.03	2.90 ± 0.58	8.20 ± 1.64	1.95 ± 0.39	0.10 ± 0.05	0.30 ± 0.15	0.30 ± 0.05	130	1.068 ± 0.107	$12.3^{+1.8}_{-1.6}$

为了检验 ESR 测年数据的可靠性, 我们同时又用不平衡铀系法测定了这两个样品的年龄, 结果表明, 下叠层石样品的铀系年龄为距今 $13.2^{+3.8}_{-2.9}$ 万年, 上叠层石样品的铀系年龄为距今 $9.4^{+2.1}_{-1.8}$ 万年(表4).

表4 叠层石样品不平衡铀系法实测数据

样品号	含铀量 (ppm)	$\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}}$	$\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}}$	含钍量 (ppm)	$\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}}$	t (万年)
X91005	10.03 ± 0.51	0.560 ± 0.030	1.440 ± 0.057	1.57 ± 0.10	15.7	$9.4^{+2.1}_{-1.8}$
X91004	11.89 ± 0.66	0.667 ± 0.040	1.514 ± 0.59	1.85 ± 0.13	19.2	$13.2^{+3.8}_{-2.9}$

从两种方法测定的年龄数据来看, 它们在误差范围内吻合良好(表5).

表 5 叠层石样品的年龄数据对比

样品号	采样层位	ESR 法	不平衡 U 系法
X91005	上叠层石层	$9.3^{+1.2}_{-1.1}$ 万年	$9.4^{+2.1}_{-1.8}$ 万年
X91004	下叠层石层	$12.3^{+1.8}_{-1.6}$ 万年	$13.2^{+3.8}_{-2.9}$ 万年

4 叠层石的古环境意义

在第四纪湖相地层中发现叠层石,这在国内尚属首次,在国外也不多见。

显生宙叠层石是蓝藻(蓝菌)、细菌以及少数真核藻类及真菌等组成的微生物群落的生长与沉积矿化过程的产物。由于蓝藻(蓝菌)等低等微生物的生命活动(生长、代谢)引起的周期性矿物沉淀、沉积物的捕获和胶结作用而形成的叠层状生物沉积结构,被视为一种准化石^[2]。它不仅包括了生命演化的信息,而且 also 包括了沉积学的、古生态学的和天文学的信息,因此受到了不同领域的学者们的重视。

建造现代叠层石和藻席的席藻属 *Phormidium* Kutzing 包含若干重要的种,多发现于热带或亚热带地区,生境范围广,从滨海、浅海、泻湖到盐湖及淡水都有分布。例如,建造尖塔状藻席的 *Phormidium hypersalinum* Campbell et Golubic 和 *P. hypolimneticum* Campbell et Golubic 发现于西奈半岛太阳湖和中国海南三亚盐池^[3, 4],建造现代穹隆状叠层石的 *Phormidium hendersonii* Howe 发现于加勒比海岸^[5]。本区发现的叠层石中的席藻未定种在形态上和生长行为特征(竖直生长)上与加勒比海现代叠层石中的 *Phormidium hendersonii* 很相似。推断泥河湾叠层石的形成期间应是温暖环境。

综合以上所述,泥河湾层中叠层石的发现表明,本区在中更新世末—晚更新世初,存在过一段相当温暖的时期,这个温暖时期开始于距今 13 万年左右,结束于距今 9 万年之前。

大量资料业已证明,距今 13—9 万年是一次全球范围的温暖时期,称末次间冰期,相当于深海 $\delta^{18}\text{O}$ 的第 5 阶段。在这个时期,我国在黄土区有 S_1 古土壤的发育,沙漠区有萨拉乌苏湖的出现,北方洞穴中有石灰华的形成,汾河地堑有丽蚌的大量繁衍以及东部地区发生大规模的海侵^[6-8]。叠层石的出现时间上与上述事件相近,应属同一气候条件下的产物。据同期的 S_1 古土壤性状的研究,它属于淋溶褐土,指示当时我国华北的年平均温度为 $11.5-14^\circ\text{C}$,年平均降雨量 600—750mm,相当于现在长江流域的气候状况^[9]。

在洛川秦家寨和西峰陈家庄, S_1 古土壤层由上下两层古土壤组成(S_{1-1} , S_{1-2}),且下层古土壤比上层古土壤发育^[10],这与本区存在两层叠层石,且下叠层石层比上叠层石层发育完全一致,反映在未次间冰期,可能存在过两个高温阶段。

叠层石的发现也证明,在未次间冰期,泥河湾盆地中仍有湖泊分布,古湖的生命历程至少要延续到末次间冰期,这为争论已久的古泥河湾湖的消亡时间提供了可靠的证据。

总之,泥河湾层中叠层石的发现,不仅对泥河湾层,而且对第四纪许多问题的研究都具有重要意义。它为第四纪地层划分、古气候变迁、古地理演化以及天文周期的研究,提供了新的方向。

参 考 文 献

- [1] 刘锡清等, 海洋地质与第四纪地质, 科学出版社, 北京, 1983, 3.
- [2] 张 昀, 前寒武纪生命演化与化石纪录, 北京大学出版社, 北京, 1989, 108—156.
- [3] Campbell, S., Golubic, S., *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 1985, 71(1/2):311—329.
- [4] Zhang Yun, Hoffmann, L., *Precambrian Research*, 1992, 56:275—290.
- [5] Golubic, S., Focke, J. W., *J. of Sedimentary Petrology*, 1978, 48(3):751—764.
- [6] 郑洪汉等, 中国北方晚更新世环境, 重庆出版社, 重庆, 1991, 1—52.
- [7] 梁名胜等, 中国海陆第四纪对比研究, 科学出版社, 北京, 1991, 1—22.
- [8] 赵树森等, 科学通报, 1980, 24(25): 192.
- [9] 刘东生等, 黄土与环境, 科学出版社, 北京, 1985, 293—300.
- [10] 陈明扬, 第四纪研究, 1990, (3):261—269.