

末次间冰期—末次冰期柴达木盆地东部气候演化形式

景民昌¹, 杨革联¹, 孙乃达²

(1. 石油大学 地球科学系, 北京 102249; 2 首都师范大学 地理系, 北京 100083)

[摘要] 柴达木盆地第四系富含介形类化石, 介形类生物组合可以反映古气候变化。以盆地东部达参1井中的两种主要介形类(*Ilyocypris inermis* 和 *Cyprideis torasa*)的丰度特征为气候指标, 对末次间冰期和末次冰期的盆地气候演变形式进行了恢复。认为柴达木盆地东部末次间冰期和末次冰期的气候演化既有着和全球同步的特点, 也有着本区域独自的特征。介形类丰度曲线表明: 末次间冰期(MIS5), 以 *Cyprideis torasa* 为主, 整体上为暖型气候, 依据介形类特征, 又可分为 5e, 5g, 5a 三个暖期和 5d, 5b 两个冷期, 暖期到冷期都以介形类丰度的大幅突降为特征; 末次冰期(MIS4-2)以 *Ilyocypris inermis* 为主, 整体为冷型气候。其中, 早冰阶(MIS4)两种介形类丰度都较低, 而间冰阶(MIS3)介形类丰度明显增高, 并可划分为 3c, 3a 两个暖期和 3b 一个冷期。在间冰阶结束之后, 介形类大量消失, *Ilyocypris inermis* 完全灭绝, 石盐大范围析出, 盆地进入了末次冰期盛冰阶(MIS2)。

[关键词] 末次间冰期; 末次冰期; 气候变化; 介形类; 第四纪; 柴达木盆地

[中图分类号] Q913.5 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)03-0083-05

[作者简介] 景民昌(1972—), 男, 山西永济人, 讲师, 现从事现代地层学与第四纪环境研究工作。

末次间冰期—冰期旋回阶段的气候变化是古气候研究的热点问题, 也是迄今为止研究的最为详尽的古气候阶段^[1]。在末次间冰期和末次冰期的旋回阶段内, 也存在着若干次一级的气候波动阶段。阶段划分常与深海氧同位素^[2]进行比较, 相应的阶段为 MIS2(晚冰阶或盛冰阶), MIS3(间冰阶), MIS4(早冰阶), MIS5(末次间冰期)(表1)。对 MIS5 阶段, 还可划分出若干亚阶段 5a, 5b, 5c, 5d, 5e^[3~6], MIS3 阶段又可分为 3a, 3b, 3c 3个亚阶^[4]。

表1 冰期阶段与深海氧同位素阶段对比

Table 1 Contrast between glaciations and marine oxygen-isotope

冰期阶段	深海氧同位素	
冰后期	MIS1	
末次间冰期	晚冰阶	MIS2
	间冰阶	MIS3
	早冰阶	MIS4
	末次间冰期	MIS5

末次间冰期—冰期旋回的气候演化在多种环境中都有记录。笔者以中国西北内陆盆地——柴

达木盆地丰富的介形类生物为气候指标, 对盆地末次间冰期至末次冰期的气候旋回进行恢复, 探讨盆地在这两个阶段的气候演化形式。

1 柴达木盆地的介形类

柴达木盆地位于青藏高原北部, 是高原的一个大型山间盆地(图1), 盆地内沉积了深厚地新生代湖相地层, 其中, 第四纪沉积厚度大, 沉积序列完整, 保存化石丰富, 是研究第四纪环境变化的理想场所。

盆地第四系含有丰富地介形类化石, 经鉴定公开发表的介形类已超过25个属39个种^[7]。介形类是最常见的湖泊微体生物之一, 其对水深、水温和盐度等环境要素极为敏感。气候变化影响湖面波动和水体参数, 而介形类的分布、组合和生产率受水体参数的控制, 因而, 在对气候较为敏感的湖泊中, 介形类属种和生产率可以为恢复气候环境提供重要地参考^[8]。

达参1井是位于盆地达布逊湖东南岸的一口深井(图1), 深3200m。该井贯穿整个第四系, 有着详尽地岩屑样化石记录, 虽然岩屑样分析不如岩

[收稿日期] 2003-08-20

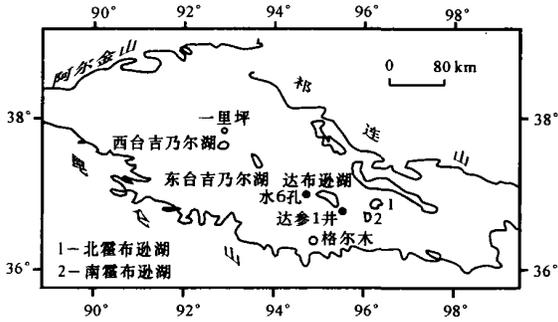


图 1 柴达木盆地及钻孔位置

Fig. 1 Map showing the location of Qaidam Basin and wells

心准确, 难免有少量化石会随着岩屑下掉到下伏地层, 但是通过深入研究岩屑样化石资料, 仍可从中提取出大量有用的信息, 甚至可作精细地层对比, 如原石油部《岩屑微体古生物分析鉴定规范》, 就是油气勘探地层研究不可缺少的操作规程之一。杨藩等根据该井介形类化石所建立的 12 个介形类化石带, 就成为盆地东部地区第四纪地层划分与对比的标准生物地层柱^[7,9]。

在达参 1 井众多的介形类化石中, *Ilyocypris inermis* 和 *Cyprideis torosa* 是其中含量最丰富地两类介形类^[10], 尤其是在上部井段 (46~200 m), *Ilyocypris inermis* 和 *Cyprideis torosa* 占有绝对优势, 丰度达到了介形类总体丰度的 90% 以上, 而 46 m 以上没有二者出现。在第 9 层, 虽然 *Ilyocypris inermis* 和 *Cyprideis torosa* 丰度占总介形类丰度比例也很高, 几近 90%, 但总体个数较少, 在 200 多米的井段长度中, 仅有 300 余个 (表 2)。

表 2 达参 1 井上部 *Cyprideis torosa* 和 *Ilyocypris inermis* 丰度

Table 2 Statistics of the abundances of *Cyprideis torosa* and *Ilyocypris inermis* in upper well Dacan1

生物地层	井深 /m	<i>Cyprideis torosa</i>		<i>Ilyocypris inermis</i>		合计 /%
		总数 / 个	占总介形类丰度 / %	总数 / 个	占总介形类总丰度 / %	
12 层	0~46	0	0	0	0	0
11 层	46~82	83	13.9	461	77.4	91.3
10 层	82~205.5	1 067	66.9	397	24.9	91.8
9 层	205.5~425	72	18.9	269	70.8	89.7

据杨藩. 从介形类化石的分布试论三湖地区第四系的划分与对比. 青海石油管理局勘探开发研究院, 1978.

2 研究方法 with 年代界线的确定

达参 1 井上部井段除 *Ilyocypris inermis* 和 *Cyprideis torosa* 外的其他介形类丰度极低, 介形类的分异度也不高, *Ilyocypris inermis* 和 *Cyprideis torosa* 组合基本代表了该时期介形类的整体生物面貌。

以每米取样 (约为千年尺度), 统计介形类的总体丰度、*Ilyocypris inermis* 丰度和 *Cyprideis torosa* 丰度进行研究。原样品质量大多为 100 g 或 80 g, 但也有少量 50 g, 30 g, 15 g 或 10 g。为了能更好地纵向对比, 统一将样品质量换算为 100 g, 也按比例相应地将各介形类的丰度换算至 100 g 时的丰度。

达参 1 井为早期的石油科探井 (20 世纪 60 年代钻成), 没有绝对测年数据。但柴达木盆地地区地层对比大框架比较清楚^①, 将达参 1 井与其他有详细测年数据的钻井/孔进行综合地层对比之后, 可确定其年代界限。

水 6 孔位于达布逊湖西岸 (见图 1), 是一口有着测年数据的取心井, 其测年采用了 ¹⁴C 法、不平衡铀系法以及古地磁法^[11]。孙镇城等^[13]对水 6 孔和达参 1 井的几个事件界线作了对比, 认为石盐层底是一个具广泛对比意义的界线, 是由湖相夹沼泽相迅速演变为厚层石盐层的分界, 在柴达木盆地东部基本可视为等时界面。该界面在水 6 孔为 32 ka 左右, 井深为 54.87 m, 在达参 1 井为 46 m。

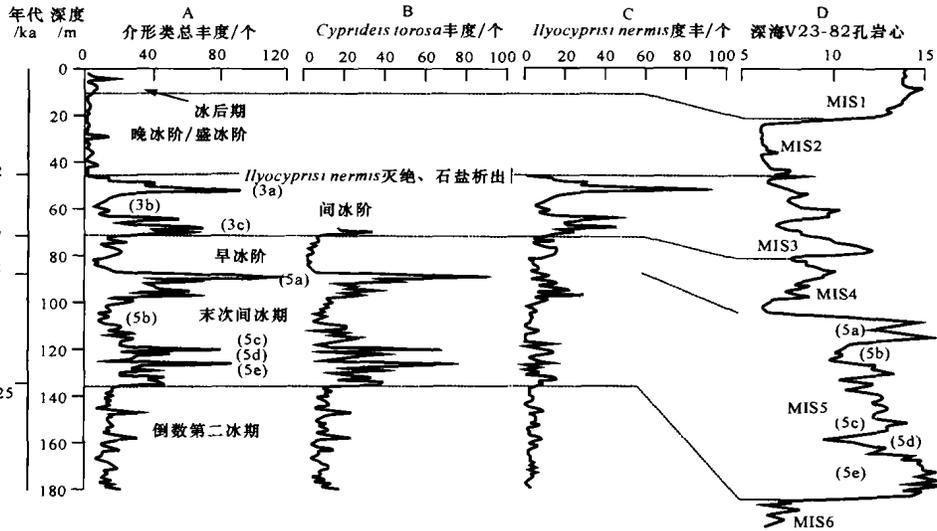
根据地震同相轴追踪、测井曲线对比、古地磁等综合研究, 确定 B/M 界线 (布容正极性底, 即 0.73 Ma, 在水 6 孔为 850 m^[11]) 在达参 1 井为 730 m 左右。由于 46 m 以下为较稳定地浅湖、滨浅湖夹沼泽相沉积^[13], 沉积速率稳定, 因而可由上述界线点用插值方法, 建立达参 1 井上部的年代-深度关系。

在上述年代界线的基础上, 笔者依据介形类丰度特征, 对盆地东部倒数第 2 冰期以来的古气候演化进行了初步恢复 (图 2), 并探讨末次间冰期和末次冰期的气候特征。

3 末次间冰期的气候特征

全球各地不同区域进入末次间冰期的时间存

① 乔子真, 等. 柴达木盆地各构造 (高点) 地层框架图册. 青海油田勘探开发研究院, 2002



注: A, B, C介形类分析 100 g/m 岩屑样; D: 据有孔虫组合估计的北大西洋夏季海洋表面温度/°C(刘东生, 1997)

图2 达参1井末次间冰期和末次冰期的介形类丰度

Fig. 2 Curve of Ostracoda abundance during the last interglacial age and the last glacial age in well Dacan 1

在着差异,即末次间冰期的开始时间是不相同的。如深海沉积物^[2,14]大多在128 ka左右,格陵兰GRIP冰心末次间冰期始于133 ka^[9],而南极Vostok冰心则早在140 ka就进入了末此间冰期^[5]。达参1井介形类记录显示盆地进入末次间冰期为125 ka,与同处青藏高原区域环境的古里雅冰心^[4]更为一致。

在末次间冰期开始前,介形类曾有一较长时段的相对低丰度,该时期应相当于倒数第2冰期。*Ilyocypris inermis*和*Cyprideis torosa*丰度都持续较低,表明了冰期环境气候寒冷,不适宜于生物发育。

末次间冰期,介形类以*Cyprideis torosa*为主体,气候整体上为相对稍暖型气候。介形类丰度变化非常大,表明气候变化剧烈。

依据介形类丰度变化特征,末次间冰期可分为5e,5d,5c,5b,5a 5个次级阶段。5d,5b为低丰度阶段,5e,5c,5a为高丰度阶段,分别对应气候的冷暖波动。从暖阶转为冷阶,都以介形类丰度的大幅突降为特征,尤其是5a到MIS4阶段的转向更为迅速,介形类消亡超过90%,表明从气候暖期向气候冷期的转变是非常快速的,这与全球气候变化特征是一致的。

在末次间冰期内,早期(5e~5c)气候波动强烈,中期(5b)呈现出和缓波动的过程,在5b的中期达到最冷,随后渐渐升温,过渡至晚期(5a),晚期气候波动幅度较早期要小。一个有趣地现象是*Ilyocypris inermis*丰度是逐渐降低的过程,而*Cyprideis torosa*丰度则是一个逐渐升高的过程。因*Cyprideis*

*torosa*丰度远大于*Ilyocypris inermis*丰度,所以介形类整体丰度显现为逐渐增高的过程,说明整体温度在5a是一个不断升高的过程,至末次间冰期末,气温达到最高,随后突然降温,进入了寒冷的末次冰期。

在响应全球气候变化的同时,盆地气候也显现出了一些区域特点。如许多高分辨率记录^[3~5,14]表明,末次间冰期中,5e阶段是一个大暖期,温度要比其他阶段高,而达参1井显示5a比5e有着更高地介形类丰度。另外,5b持续时间较长,约占末次间冰期时间总长的1/3,也是一个区域特点。

4 末次冰期(MIS4-2)的气候特征

全球进入末次冰期的时间几乎一致,约为75 ka,这一过程的标志是突然降温的气候事件。达参1井末次冰期也开始于75 ka左右,经过低介形类丰度的早冰阶(MIS4)、高丰度的间冰阶(MIS3),在30 ka进入末次冰期盛冰阶(MIS2),于10 ka左右结束末次冰期,开始了全新世的冰后期。

末次冰期的早冰阶—间冰阶,介形类以*Ilyocypris inermis*为主体,而*Cyprideis torosa*居于次要地位,盆地气候整体为冷型气候,但在气候总体较冷地大环境下,也有着冷暖波动。

从末次间冰期晚期的高介形类丰度到末次冰期早冰阶低丰度的转变是非常快速的,介形类死亡率达90%以上(见图2),表明末次冰期是突然来临的,降温幅度非常大,以至于大量尚处于暖期的介

形类(主要为 *Cyprideis torosa*)由于不能适应突然来临的极冷气候而死亡。

75~57 ka 为末次冰期早冰阶(MIS4),这一时期,两种介形类的丰度都很低,总体丰度是一个和缓波动升高的过程。早期,即 75~69 ka,介形类丰度很低,然后经过两次的高低波动,至 57 ka 左右,过渡进入间冰阶,历时约 20 ka。

57~32 ka 为末次冰期间冰阶,间冰阶在深海沉积^[2,14]、冰心^[3~5]、黄土^[15]的气候记录中均为一弱暖期,较 2, 4 阶段温暖,但比全新世暖期和末次间冰期显著要低。该阶可划分为两暖(3c, 3a)一冷(3b)3 个亚阶^[4]。达参 1 井的介形类丰度变化在该阶也明显分为两高一低 3 个阶段。早期介形类丰度高,中期降低,晚期又急剧增多,表明了间冰阶的“暖—冷—暖”的气候波动过程。早、中、晚期 3 个阶段分别对应 3c, 3b, 3a。

在间冰阶结束之后(约 32 ka),在柴达木盆地长期占统治地位的介形类 *Ilyocypris inermis* 完全灭绝^[6],石盐层亦在柴达木盆地东部广泛地出现^[17],标志着末次冰期盛冰阶的来临^[10],盆地气候极度寒冷。直至进入现代冰后期,气候才逐渐转暖,出现了与现代介形类特征相同的组合面貌。

5 结论

柴达木盆地第四系富含介形类化石,介形类组合特征可以反映出古气候的演化形式。达参 1 井两种优势介形类的丰度变化特征显示了末次间冰期—末次冰期盆地的气候波动形式。

末次间冰期以 *Cyprideis torosa* 为主体,整体显示了一个稍暖型气候阶段。该阶段内,气候波动强烈,根据介形类丰度,又可分为 5 个亚阶,从暖阶到冷阶的转变,都以介形类丰度的锐减为特征,表明气候从暖到冷的大幅突降。

末次冰期以 *Ilyocypris inermis* 为主,显示为相对冷型气候。早冰阶(MIS4)气候温度较低,是一个和缓波动升温的过程;间冰阶(MIS3)则表现为“暖—冷—暖”的三阶段变化形式;晚冰阶介形类急剧减少,*Ilyocypris inermis* 灭绝,石盐广泛析出,气候极度寒冷,即末次冰期的盛冰阶。

全球气候变化研究已有几十年的历史,越来越多的证据表明,全球各地的气候变化存在着遥相关

性。达参 1 井上部的 *Ilyocypris inermis* 和 *Cyprideis torosa* 组合的丰度变化反映出了柴达木盆地东部末次间冰期和末次冰期的气候演化形式既有着与全球同步的特点,也有着本区域独自的特征。

成文中得到孙镇城教授的指导,在此表示谢意。

[参 考 文 献]

- [1] 王有清,姚檀栋.冰心记录中末次间冰期—冰期旋回气候突变事件的研究进展[J].冰川冻土,2002,24(5):550~558.
- [2] Imbrie J, Hays J D. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of marine $\delta^{18}O$ record[A]. Berger A, Imbrie J, Hays J D, et al. Milankovich and climate[C]. Norwell MA: Reidel press, 1984.
- [3] 姚檀栋, Thompson L G, 施雅风,等. 古里雅冰心中末次间冰期以来气候变化记录研究[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(5): 447~452.
- [4] 施雅风. 中国冰川与环境——现在过去和未来[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] Lonius C, Jouzel J, Ritz C, et al. A 150 000-years climatic record from Antarctic ice[J]. Nature, 1985 316: 591~596.
- [6] Greenland Ice-core project members. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP Ice core[J]. Nature, 1993 364: 203~207.
- [7] 杨藩,孙镇城,马志强,等.柴达木盆地第四系介形类化石带与磁性地层柱[J]. 微体古生物学报, 1997, 14(4): 378~390.
- [8] 曹建廷,沈洁,王苏民,等.内蒙古岱海地区小冰期气候演化特征的地球化学记录[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 231~235.
- [9] 杨藩.从介形类化石的分布试论柴达木盆地东部地区第四系地层的划分与对比[A]. 中国微体古生物学会. 中国微体古生物学会第一次学术会议论文选集[C]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [10] 杨平,孙镇城,李东明,等.柴达木盆地中、新生代介形类暴发与绝灭事件[J]. 古地理学报, 2000 2(3): 69~74.
- [11] 黄麒,陈克造.七十三万年来柴达木盆地察尔汗盐湖古气候波动的形式[J]. 第四纪研究, 1990, (3): 205~212.
- [12] 孙镇城,曹丽,张海泉,等.柴达木盆地全球末次冰期介形类动物群的演变[J]. 古地理学报, 2003 5(3): 365~377.
- [13] 顾树松.柴达木盆地东部地区第四纪天然气形成条件与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [14] Linsley B K. Oxygen— isotope record of sea level and climate variations in the Sulu Sea over past 150 000 years[J]. Nature, 1996 380: 234~237.
- [15] 刘东生. 第四纪环境[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [16] 景民昌,孙镇城,李东明,等.柴达木盆地 3 万年左右 *Ilyocypris inermis* 灭绝事件及其古环境意义[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 49~52.
- [17] 沈振枢,程果,乐昌硕,等.柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

Study on the climatic changes between the last interglacial age and the last glacial age recorded by ostracoda in eastern Qaidam Basin

JING Min-chang¹, YANG Ge-lian¹, SUN Nai-da²

(1. *Dpt. of Earth Sciences, University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

2. *Dpt. of Geography, Capital Normal University, Beijing 100083, China)*

Abstract: The Quaternary deposits of the Qaidam Basin are abundant in Ostracoda whose combination can be used to study the evolution of the climate because of their sensitivity to the climatic changes. There are two main Ostracoda *Ilyocypris inemis* and *Cyprideis torasa* which occupied above 90 percent of total Ostracoda abundance in upper well Dacan1 located in the southeast basin. The abundance curve of these two Ostracoda shows that during the last interglacial age the Qaidam Basin has undergone three warmer periods 5e, 5c and 5a, and two colder periods 5d and 5b, indicated by higher and lower abundances respectively. During the last glacial age the Qaidam Basin has undergone three steps—the early glacial step, the interglacial step and the late glacial step. The interglacial step can be divided into two warmer periods 3c and 3a, and one colder period 3b. These stages can be correlated with other climatic records and demonstrates that the climatic change of the Qaidam Basin has the same characteristics as that of globe.

Key words: last interglacial age; last glacial age; climatic change; quaternary period; ostracoda; Qaidam Basin

[英文审定: 杨家喜]

(上接第 82 页)

Origin and characteristics of salt-water intrusion disaster in the downstream of Weihe River on the south coast of Laizhou Bay

LIU En-feng^{1, 3}, ZHANG Zu-lu², SHEN Ji¹, SONG Jun-feng⁴

(1. *Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;* 2. *Geography Dept. of Shandong Normal University, Jinan 250014, China;* 3. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences,*

Beijing 100039, China; 4. *Institute of Inner Mongolia Geological Survey, Hohhot 010020, China)*

Abstract: As one of the typical environmental disasters at south strand plain in Laizhou Bay, occurrence, development and variation of salt-water intrusion have close relationship with paleo-environmental evolution since Late Pleistocene, and with modern environmental change and human activities. There were three times of sea-level fluctuation corresponding to the paleo-climate evolution, which had formed the sediments of alternative sea and river facies. The alternative changes of paleo-environment favored the formation and imbedding of brine, which is the source of salt-water intrusion; and the paleochannel that formed during regressive of sea level is the path of salt-water intrusion. Large scale salt-water intrusion has been occurred since late 1970's due to freshwater exploitation by human activity. The genesis and variation characteristics are suggested on the basis of the analysis of typical groundwater hydro-chemical section monitoring, geographical prospection data and hydro-chemical analysis from more than 100 geological cores.

Key words: the lower reaches of Weihe River; environmental change; salt-water intrusion; variation characteristics

[英文审定: 苏生瑞]