

环境与资源博士文库



# 末次冰期气候不稳定性的 黄土记录研究

陈一萌 宫辉力 著

STUDY TO LOESS RECORDS OF  
CLIMATIC INSTABILITY DURING  
LAST GLACIAL PERIOD

中国环境科学出版社

环境与资源博士文库

末次冰期气候不稳定性的  
黄土记录研究

陈一

江苏工业学院图书馆  
藏书章

中国环境科学出版社·北京

---

图书在版编目(CIP)数据

末次冰期气候不稳定性的黄土记录研究/陈一萌, 宫辉力  
著. —北京: 中国环境科学出版社, 2007. 8  
(环境与资源博士文库)  
ISBN 978-7-80209-533-5

I. 末… II. ①陈…②宫… III. 更新世—气候—稳定性—黄土—记录—研究 IV. P532

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 040165 号

责任编辑 沈建肖 伊  
责任校对 扣志红  
封面设计 龙文视觉

---

出版发行 中国环境科学出版社  
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.cn>  
联系电话: 010-67112765 (总编室)  
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂  
经 销 各地新华书店  
版 次 2007 年 8 月第一版  
印 次 2007 年 8 月第一次印刷  
开 本 880×1230 1/32  
印 张 7.375  
字 数 155 千字  
定 价 80.00 元 (全套 4 册, 每册 20 元)

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】  
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换



---

陈一萌，女，1967年11月生，博士，博士后，副教授。在兰州大学资源环境学院自然地理专业获理学博士学位，首都师范大学资源环境与旅游学院做博士后，主要研究方向为：第四纪环境变化。其间主持和参加省部级以上科研项目5项，分别在《自然科学进展》、《第四纪研究》、《地理研究》、《干旱区地理》等杂志发表文章10多篇。现在广东省惠州市惠州学院任教。

---

## 内容简介

本书在前人研究的基础上,针对目前国内  
外较为关注的热点问题——气候的不稳定性,以  
受东亚季风控制的厚层黄土为研究载体,运用统  
计分析方法学中时间序列分析中趋势分析方法对  
在黄土记录的气候的不稳定性研究中存在的问题  
进行了较深入的探讨,同时,通过选用相关的剖  
面用孢粉分析的手段,探讨了末次冰期气候的不  
稳定性。鉴于高分辨率定年在古气候研究中的重  
要性,选用合适的节点控制年龄组成不同的节点  
控制年龄模式,对黄土研究中高分辨率定年常用  
的磁化率年龄模型和粒度年龄模型进行了检验,  
认为磁化率年龄模型和粒度年龄模型均存在“缺  
陷”,但在一定程度上都是可靠实用的,尤其是  
在冰期或间冰期内,那种以为此两种年龄模型在  
整个第四纪均可适用的说法与事实有较大出入。  
同时,尝试定义了黄土记录的气候不稳定性事件,  
并将这些事件与高纬冰芯、北大西洋和低纬海洋  
等气候记录进行了对比,得出了末次冰期气候不  
稳定性是全球气候变化的主旋律的结论。本书可  
供高等院校地球科学专业师生和第四纪研究工  
作者参考。

# 内容提要

本书在前人研究的基础上,针对目前国内外较为关注的热点问题——气候的不稳定性,以受东亚季风控制的厚层黄土为研究载体,运用统计分析方法学中时间序列分析的趋势分析方法对在黄土记录的气候的不稳定性研究中存在的问题进行了较深入的探讨。同时,通过选用相关的剖面用孢粉分析的手段,探讨了末次冰期气候的不稳定性。鉴于高分辨率定年在古气候研究中的重要性,选用合适的节点控制年龄组成不同的节点控制年龄模式,对黄土研究中高分辨率定年常用的磁化率年龄模型和粒度年龄模型进行了检验,认为磁化率年龄模型和粒度年龄模型均存在“缺陷”,但在一定程度上都是可靠实用的,尤其是在冰期或间冰期内,那种以为此两种年龄模型在整个第四纪均可适用的说法与事实有较大出入。同时,尝试定义了黄土记录的气候不稳定性事件,并将这些事件与高纬冰芯、北大西洋和低纬海洋等气候记录进行了对比,得出了末次冰期气候不稳定性是全球气候变化的主旋律的结论。本书可供高等院校地球科学专业师生和第四纪研究工作者参考。

---

# 序

地质科学研究要以人为本，从可持续发展出发，开拓地质多样性，有所为有所不为。中国黄土研究经历了发现研究、比较研究和目的研究 3 个层次近 90 年的历史，今后需要加强目的研究。沉积巨厚的黄土是可与深海沉积、南极和格陵兰冰盖相媲美的具有记录全球古气候环境的“秘籍”，对于这本“秘籍”的破译，经历了黄土、古土壤层的发现认识、古地磁应用、冬夏季风指标建立、米兰柯维奇周期启示、青藏高原使亚洲大陆干旱化等六个阶段。时至今日，气候的不稳定性和高分辨率定年方法的确立成为目的研究的热点问题之一，其时段主要集中在末次间冰期以来，尤其是末次冰期的研究。它对于准确认识过去、现在气候环境的变化，预知未来气候环境的演变及气候变化对其他地理因子的影响具有重要意义。

末次冰期气候的不稳定性中外学者基本达成共识，作为陆相沉积中较理想的黄土同样记录了末次冰期气候的不稳定性。但这种不稳定性事件的确定是依据大概的时间据曲线的形似对比所得，与事实存在一定的出入。因此，寻求一种科学的方法提取黄土记录的突发事件，再将确定的突发事件与源于高纬地

区的突发事件进行对比分析,将会确定黄土是否真正记录与高纬北大西洋地区遥相呼应的突发事件,还将克服在一定时间段内据曲线的形似对比确定突发事件的种种弊端,并为研究中高纬区域间这种气候的不稳定性是如何联系的提供科学依据,因而定量化提取突变信息将显得十分重要。然而,末次冰期记录的这种千年尺度的气候不稳定性事件除需高分辨率的分析测试物质作基础外,还需高分辨率的定年与之相匹配。目前,大多数学者使用黄土定年模型磁化率年龄模型和粒度年龄模型来定年以达到高分辨率定年的目的,但对于这两种年龄模型的应用范围和可靠程度的检验至今还未见报道。为此,作者在总结前辈工作的基础上,选用黄土高原西部区临夏塬堡黄土剖面和北京西山东斋堂黄土剖面作为研究重点,对黄土是否真正记录与高纬北大西洋地区遥相呼应的突发事件及磁化率年龄模型和粒度年龄模型的可靠性和适用范围进行了较为深入的研究工作。此工作对于解决中纬度的黄土是否记录能够与高纬北大西洋地区遥相呼应的突发事件、减少在黄土研究中利用两种年龄模型进行高分辨率定年的盲目性具有重要意义。尽管书中有不少欠缺,如所选剖面较为单一,方法还需进一步修订等,相信作者会在下一步的工作中进一步深入,完善。

中国科学院院士

林学钰

2007年5月20日

---

# 前 言

末次冰期气候的不稳定性中外学者基本达成共识，作为陆相沉积中较理想的黄土同样记录了末次冰期气候的不稳定性。但这种不稳定性事件的确定是依据大概的时间据曲线的形式对比所得，与事实存在一定的出入。因此，寻求一种科学的方法提取黄土记录的突发事件，再将确定的突发事件与源于高纬地区的突发事件进行对比分析，将会确定黄土是否真正记录与高纬北大西洋地区遥相呼应的突发事件，还将克服在一定时间段内据曲线的形式对比确定突发事件的种种弊端，并为研究中高纬区域间这种气候的不稳定性是如何联系的提供科学依据，因而定量化提取突变信息将显得十分重要。然而，末次冰期记录的这种千年尺度的气候不稳定性事件除需高分辨率的分析测试物质作基础外，还需高分辨率的定年与之相匹配。目前，大多数学者使用黄土定年模型磁化率年龄模型和粒度年龄模型来定年以达到高分辨率定年的目的，但对于这两种年龄模型的应用范围和可靠程度的检验至今还未见报道。为此，作者在总结前人工作的基础上，选用黄土高原西部区临夏塬堡黄土剖面和北京西山东斋堂黄土剖面作为研究重点，对黄土是否真正记录与

---

高纬北大西洋地区遥相呼应的突发事件及磁化率年龄模型和粒度年龄模型的可靠性和适用范围进行了较为深入的研究工作。

本书共分为 8 章，主要围绕气候不稳定性和两种年龄模型检验的主题进行。在这些问题的解决过程中得到了宫辉力教授、冯兆东教授、魏明建教授、赵文吉副教授、李小娟副教授等的指导和汪海斌、强明瑞等许多学友的热心支持，在此一并表示衷心的感谢！尽管如此，由于笔者水平有限，书中难免有不完善之处，敬请读者批评指正。

本书的出版得到首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室和资源环境与地理信息系统北京市重点实验室的资助，在此深表谢意。

作 者

2007 年 3 月于北京

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一章 概 述.....           | 1  |
| 参考文献.....              | 6  |
| 第二章 黄土分布规律与形成环境.....   | 8  |
| 第一节 黄土的物质来源.....       | 8  |
| 一、黄土的定义.....           | 8  |
| 二、黄土的物质来源.....         | 11 |
| 三、黄土的形成条件.....         | 16 |
| 第二节 全球黄土沉积.....        | 18 |
| 第三节 黄土高原黄土分布规律与环境..... | 26 |
| 一、典型的黄土地貌.....         | 29 |
| 二、气候和水文.....           | 32 |
| 三、土壤和植被.....           | 33 |
| 第四节 黄土与古气候记录.....      | 33 |
| 参考文献.....              | 37 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 第三章 气候不稳定性研究现状 .....                  | 43 |
| 第一节 末次冰期气候不稳定性国际研究进展 .....            | 43 |
| 第二节 中国黄土记录的气候不稳定性问题 .....             | 50 |
| 第三节 高分辨率黄土记录的年龄模型 .....               | 58 |
| 一、磁化率年龄模型 .....                       | 60 |
| 二、粒度年龄模型 .....                        | 61 |
| 第四节 典型剖面概述 .....                      | 64 |
| 参考文献 .....                            | 67 |
| 第四章 研究区与剖面概况 .....                    | 73 |
| 第一节 研究区自然地理概况 .....                   | 73 |
| 一、地貌格局及演化历史 .....                     | 74 |
| 二、大气环流与气候 .....                       | 78 |
| 三、植被状况 .....                          | 83 |
| 第二节 黄土—古土壤序列 .....                    | 83 |
| 一、剖面 A: 包括全新世及 MIS2 阶段的上半部分 .....     | 84 |
| 二、剖面 B: 包括 MIS2 阶段下半部分和 MIS3 阶段 ..... | 85 |
| 三、塬堡剖面及黄土—古土壤序列 .....                 | 88 |
| 第三节 黄土高原末次冰期以来地层对比 .....              | 90 |
| 参考文献 .....                            | 94 |
| 第五章 黄土沉积的气候记录 .....                   | 95 |
| 第一节 粒 度 .....                         | 96 |
| 一、粒度样品的处理测试方法 .....                   | 96 |
| 二、粒度指标的古气候意义 .....                    | 97 |

|                                                  |         |
|--------------------------------------------------|---------|
| · 第二节 磁化率.....                                   | 106     |
| 一、磁化率指标的分析测试.....                                | 106     |
| 二、磁化率指标的古气候意义.....                               | 107     |
| 三、磁化率测试结果分析.....                                 | 111     |
| 第三节 碳酸盐.....                                     | 114     |
| 一、碳酸钙含量的分析测试.....                                | 114     |
| 二、 $\text{CaCO}_3$ 指标的古气候意义.....                 | 114     |
| 三、 $\text{CaCO}_3$ 测试结果分析.....                   | 116     |
| 第四节 色 度.....                                     | 119     |
| 一、色度指标的分析测试.....                                 | 119     |
| 二、色度指标的古气候意义.....                                | 120     |
| 三、色度指标测试结果分析.....                                | 123     |
| 参考文献.....                                        | 126     |
| <br>第六章 黄土记录的年龄模型的检验.....                        | <br>129 |
| 第一节 气候地层和突发事件年龄序列建立.....                         | 132     |
| 一、代用指标的选取.....                                   | 134     |
| 二、黄土记录的末次冰期突发事件的定义.....                          | 135     |
| 三、突变信息的提取.....                                   | 136     |
| 四、Heinrich 事件序列.....                             | 141     |
| 第二节 $\text{AMS}^{14}\text{C}$ 、OSL 年龄测定.....     | 144     |
| 一、 $\text{AMS}^{14}\text{C}$ 测年数据及在剖面中的相应位置..... | 144     |
| 二、OSL 测年数据.....                                  | 147     |
| 第三节 磁化率年龄模型的检验.....                              | 149     |
| 一、磁化率年龄模型.....                                   | 149     |
| 二、节点年龄的选择.....                                   | 150     |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 三、磁化率年龄模型自身检验 .....                       | 152 |
| 四、模型年龄与实测年龄和 Heinrich 事件<br>年龄比较检验 .....  | 154 |
| 第四节 粒度年龄模型的检验 .....                       | 158 |
| 一、粒度年龄模型 .....                            | 158 |
| 二、节点年龄的选择 .....                           | 160 |
| 三、粒度年龄模型自身检验 .....                        | 160 |
| 四、模型年龄与实测年龄和 Heinrich 事件<br>年龄的比较检验 ..... | 163 |
| 第五节 塬堡剖面年代序列的建立 .....                     | 167 |
| 参考文献 .....                                | 169 |
| <br>第七章 末次冰期气候快速变化的黄土记录研究 .....           | 172 |
| 第一节 塬堡黄土剖面记录的突发事件特征 .....                 | 172 |
| 第二节 我国末次冰期气候突发事件的对比 .....                 | 178 |
| 第三节 与高纬地区气候突发事件的对比 .....                  | 182 |
| 第四节 与低纬地区气候突发事件的对比 .....                  | 185 |
| 参考文献 .....                                | 189 |
| <br>第八章 末次冰期西北与华北地区黄土气候记录的对比研究 .....      | 190 |
| 第一节 北京西山地区及斋堂黄土剖面概况 .....                 | 190 |
| 一、北京地区植被和气候概况 .....                       | 190 |
| 二、北京西山和斋堂盆地的地质地理概况 .....                  | 192 |
| 第二节 孢粉分析方法及试验结果 .....                     | 196 |
| 一、孢粉分析流程 .....                            | 196 |
| 二、孢粉鉴定与统计 .....                           | 196 |

---

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 三、年代的测定 .....                                | 199 |
| 四、实验结果 .....                                 | 199 |
| 第三节 末次冰期西北和华北地区气候变化对比 .....                  | 207 |
| 第四节 末次冰期北京西山黄土中植被演化序列<br>与 Heinrich 事件 ..... | 214 |
| 一、北京西山黄土记录的 Heinrich 事件 .....                | 214 |
| 二、对比分析 .....                                 | 217 |
| 三、结 论 .....                                  | 219 |
| 参考文献.....                                    | 220 |

---

# 第一章 概 述

---

最近这些年，高分辨率的过去全球变化已成为国际地球科学界研究的热点，高分辨率的过去全球变化研究是地球科学学科发展所必需，与此同时，弄清过去全球变化的原因、过程和机制又是预测未来全球变化的基础。在过去全球变化研究中，区域环境变化研究是前提，同时，它也是未来环境变化预测的关键。米兰科维奇理论揭示了长周期（轨道）气候变化的规律。随着 15 万年以来气候变化研究的进展，许多学者发现气候系统变化的不稳定性，而这种不稳定性在全球末次冰期表现得尤为突出，这种首先在北半球高纬地区发现的气候变化信号是如何产生的？是通过什么过程传输到南半球？还是仅仅是先在高纬地区存在？不能用米兰科维奇理论直接解释气候系统内这种非轨道事件的起因及传输过程，因而气候不稳定性研究成为当前全球古气候研究的热点问题之一，而较多的研究仍集中在 15 万年以来气候系统不稳定性问题的探讨中。

要探讨未来全球气候环境的变化，就必须了解气候环境变化的规律和成因。现代地球气候系统中大气、海洋、陆地（包括冰雪）和生态系统相互作用的物理—化学—生物过程的研究

揭示了现代条件下的全球气候变化的理论和机制，但尚不足以对未来较长时间尺度的全球气候环境变化进行预测。这就需要立足于地质历史时期长时间尺度的全球气候环境变化研究，只有充分认识了过去全球变化的特点和规律，才能为预测未来提供重要的依据。

在国际地圈—生物圈计划（IGBP）的核心项目之一——过去全球变化（PAGES）中，将最近 15 万年列为重点研究时段，而沉积连续、深厚的中国黄土—古土壤序列又是重点研究对象之一（郭正堂等 1994），那么，黄土高原 15 万年以来研究当中的末次冰期的研究该是重点之中的重点。因末次冰期是距我们人类最近的一个冰期，而我们目前正处在全新世—现代间冰期当中，如若按第四纪冰期—间冰期旋回理论，人类面临的与现代有别的下一个时段将极有可能是另一个新的冰期。因此，对末次冰期气候环境变化的深入研究，无疑是未来气候环境变化的参照系。更重要的是随着 PAGES 计划的实施，人们发现这一时期全球许多地区的气候记录中在千年尺度上存在周期性的快速而大幅度的、不能用米兰科维奇理论直接解释的气候事件（Heinrich 1988；Bond et al. 1992, 1993；Porter et al. 1995；郭正堂等 1996；鹿化煜等 1996；Chen F H et al. 1997）这些事件的发现除使人们认识到气候系统的不稳定性外，还意味着人类对气候变化的某些重要驱动因素和过程还很不清楚，甚至还有许多没有认识到。这样看来，对未来气候的预测也具有很大的不确定性。同时，认识到如果类似的事件再次发生，其速度之快足可危及人类社会，变幅之大足以造成灾难性的后果。这些发现同时给古气候学研究提出一系列重要的科学问题，即这些气候事件发生的背景和原因是什么？与最早在北大西洋钻孔