

中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室

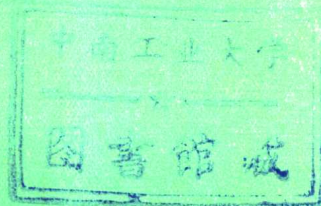
724317

黄土

第四纪地质

全球变化

第二集



(兼 1988-1989 年报)

刘东生 主编



科学出版社

中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室

黄土·第四纪地质·全球变化

第 二 集

(兼 1988—1989 年报)

刘东生 主编

科 学 出 版 社

1990

内 容 简 介

本书是《黄土·第四纪地质·全球变化》论文集的第二集,反映了中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室的国内外客座及固定研究技术人员,在1988—1989年度,进行与第四纪地质有关的全球变化研究成果。

内容包括:最近几百年、几千年、几万年直到250万年我国古环境变迁史及其周期性演变规律;半定量—定量地重建最近13万年的古温度、风尘沉积通量和季风变迁历史;黄土磁化率和环境磁学;陆地生态系统中的沙漠化过程和运用 ^{137}Cs 法研究土壤侵蚀等。

本书可供地质、地理、气象、地层古生物、水文地质与工程地质、水土保持、农业、土壤、生态与环境等科技工作者和有关高等院校师生参考。

中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室

黄土·第四纪地质·全球变化

第二集

(兼 1988—1989 年报)

刘东生 主编

责任编辑 李文范

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100707

江苏省句容排印厂排版

商务印书馆上海印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年5月第一版 开本: 787×1092 1/16

1990年5月第一次印刷 印张: 10

印数: 0001—1710 字数: 212,000

ISBN7-03-001817-6/P:354

定价: 8.60 元

前 言

中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室自1985年3月建立以来,已经有四年了。在这艰苦创业的四年中,在中国科学院和西安分院的领导下,在中国科学院地质研究所和贵阳地球化学研究所等兄弟单位的热情支持下,经过全室同志的共同努力,建立了稳定同位素、 ^{14}C 、热释光、地球化学和沉积物分析等实验室,以及正在建立的环境磁学实验室,于1987年夏成为我院第二批开放研究实验室之一。实验室开放以来,国内外许多从事黄土与第四纪研究的著名专家和年青工作者到我室从事实验和研究工作,其中包括国内客座研究人员117人次,共1531天,国外来访和合作的学者35批,79人次,558天。他们带来了丰富的许多是学科前缘和学科间的知识与信息,改善了我室的研究和实验能力,培养了年青科学工作者,获得了许多有价值的成果,为黄土和第四纪科学的发展做出了各自的贡献,谨此表示深切的感谢。

一个研究集体或者一个开放研究实验室如何选择自己的研究途径和方向,是能否吸引有关学科的专家们进行不同层次的合作研究,是能否取得成功的关键。我室在这方面作了一点摸索,试图在我国黄土和第四纪研究中发挥自己的特点和优势,开展一些与过去有区别的研究工作和开拓新的研究领域。在《黄土·第四纪地质·全球变化》文集的第一集中,已开始摸索黄土、第四纪地质研究与全球变化研究的关系,进行了有关科学动态的调研,初步形成了一个与第四纪有关的全球变化研究方向。而在第二集中,许多文章已经讨论与全球变化研究有关的问题。但这与当今科学发展的要求相比,还远远不够,仍需继续努力,以适应紧迫的研究任务。

当今人类面临的生存环境恶化及相应提出的有关全球变化的研究,是大家关心的重大科学和社会问题。第四纪地质学在全球变化研究中如何发挥应有的作用,中国科学工作者如何根据中国自然条件的实际在这一研究中发挥作用,是大家都应置于议事日程上的问题。

对地球系统近数百万年尤其是最近15万年历史的研究和认识,是全球变化研究中必不可少的组成部分。我国自然环境演变过程和保存的具有特色的黄土、沉积物、冰心、树木年轮以及考古历史记载等,是过去环境从季节到 10^3 年、 10^4 年时间尺度不等的变化记录。从过去记录中可以提取地球系统中生物、物理、化学过程相互作用的信息,提取自然因素和人为因素相互作用的信息,目的在于理解我国现今生存环境在自然环境演变过程中所处的位置和阶段,从而为它的发展趋势和预测研究提供长期背景。它是进行计算机模拟的必不可少的数据,以及可供有关的机制和模式参考、检验。

与传统的第四纪研究有所不同,全球变化研究强调不同过程的相互作用及其动力学机制。在进行这类研究时,以下两个概念比较重要:

首先是关于空间和时间的尺度。第四纪重大事件和环境的变化具有全球空间尺度,甚至与地球外部作用相互联系,但具体到某一研究对象时,则不可避免地涉及到区域的或地区性的不同等级的空间尺度。因此对研究对象空间性的理解应是全球和区域(或地区、地带)尺度的有机结合和联系。在对某一过程或事件进行研究时,时间概念尤其重要,没有

概念就没有各种环境序列和它们的变化历史。我们研究中的时间概念,除了它的顺序性这一大家熟悉的概念外,时间尺度尤需强调。例如是从 10^6 年、 10^4 年尺度考虑问题还是从 10^2 年、 10^1 年考虑问题,所得结果大不一样。这取决于我们研究的记录、测年方法的年代分辨率和环境因子的敏感度,这也说明有针对性地选择具有不同年代和环境变化分辨率的研究对象的重要性。

第二是“过程”研究中的质量和能量的交换(包括传输),例如陆地生态系统中古气候、古植被、古土壤相互作用过程中各种能量和质量的交换,地/气、海/气、海/陆等不同界面上质量和能量的交换,各种物质和生物通量的定量计算等。这类问题比较复杂,因为它们涉及到过去许多我们不熟悉的知识和领域。但有一点是明确的,在研究某一过程时,必需寻找有效的示踪物,例如有碳、氢、氧的稳定同位素、标志性元素或元素对,以及特征性的生物种属等。

这本论文集涉及到不同时间和空间尺度尤其是较短时间尺度的环境变化研究,已注意到诸如黄土、冰心和树轮等高分辨率记录的研究,开始进行一些过程和通量的研究,对人类和自然因素相互作用的问题也有所涉及,并提出了季风对我国古大气动力学研究的重要性。书中还介绍了一些国内外新出现的学科和领域的研究动态,目的在于摸索黄土与第四纪研究及其向全球变化研究靠近的新思路,以便引起国内同行对第四纪研究紧密相关的全球变化研究的注意和重视。

本论文集的撰写和出版过程中得到国内外客座研究人员的大力支持,安芷生和吴锡浩同志做了许多具体组织和编辑工作,孙东怀等协助打字和联络,高万一同志绘制了全部图件,在此一并致谢。

中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室

目 录

前言.....	中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室(v)
最近 2 万年中国古环境变迁的初步研究.....	
.....	安芷生 吴锡浩 卢演侑 张德二 孙湘君 董光荣(1)
^{14}C 、碳循环及全球变化.....	沈承德 易惟熙 周卫健 周明富(27)
祁连山敦德冰帽浅孔冰岩心氧同位素分析及其气候意义.....	
.....	孙福庆 武筱舫 刘荣谟 王立伦 刘 禹(35)
据花粉资料推断吉林金川地区最近 1 万年的植被演化.....	孙湘君 袁绍敏(46)
古土壤和湖相淤泥 ^{14}C 测年中有机质可靠性的讨论.....	周卫健 J. 海德(58)
陕西蓝田晚更新世黄土-古土壤序列的热释光测年.....	
.....	卢演侑 张景昭 谢 军(64)
中国北方黄土氨基酸地层学及古温度讨论.....	
.....	W. D. 麦科伊 R. S. 布雷德利 张光宇(73)
中国黄土地的脆弱性: 研究战略.....	E. 德比希尔 I. J. 斯莫勒(83)
黄土高原小流域土壤侵蚀和泥沙来源的 ^{137}Cs 法研究.....	
.....	张信宝 李少龙 王承华
谭万沛 赵庆昌 张一云 严美琼 刘亚伦 蒋锦江 肖举乐 周 杰(85)	
晚更新世初以来我国陆生生态系统的沙漠化过程及其成因.....	
.....	董光荣 金 炯 申建友 高尚玉 李保生 陈惠忠(91)
最近 13 万年洛川风尘沉积通量的初步研究.....	安芷生 肖举乐(102)
季风与最近 13 万年黄土高原的气候历史.....	
.....	安芷生 肖举乐 张景昭 谢 军 郑洪波 赵 华(108)
中国中部黄土地层学.....	G. 库克拉 安芷生 刘东生(115)
第四纪沉积序列的频谱初析.....	
.....	华英敏 吴守贤 安芷生 G. 库克拉 肖举乐(134)
环境磁学初步研究.....	安芷生 马醒华(143)

Loss, Quaternary Geology and Global Change

Part II

Chief Editor Liu Tungsheng

Xian Laboratory of Loess and Quaternary

Geology, Academia Sinica

Content

Foreword	
...Xian Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Academia Sinica (v)	
A preliminary study on the paleoenvironment change of China during the last 20,000 years.....	An Zhisheng, Wu Xihao, Lu Yanchou, Zhang De'er, Sun Xiangjun, Dong Guangrong (1)
¹⁴ C, carbon cycles and global change	
.....Sheng Chengde, Yi Weixi, Zhou Weijian, Zhou Mingfu (27)	
Oxygen isotope analysis and climatic significance of shallow ice cores from the Dundee Ice Cap, Mt. Qilianshan.....	
.....Sun Fuqing, Wu Xiaoling, Liu Rongmo, Wang Lili, Liu Yu (35)	
The pollen data and studying vegetation evolution during the last 10,000 years in Jinchuan area, Jilin Province.....	Sun Xiangjun, Yuan Shaomin (46)
Discussion of reliability of organism from paleosols and lacustrine deposits for ¹⁴ C dating.....	Zhou Weijian, J. Head (58)
Thermoluminescence dating of the fine grains of loess sections for the last about 120ka in the Lantian County, Shaanxi Province.....	
..... Lu Yanchou, Zhang Jingzhao, Xie Jun (64)	
Aminostratigraphy and geochronology of the upper Lishi and Malan loess-paleosol sequence, north-central China	
.....W. D. McCoy, R. S. Bradley, Zhang Guanyu (73)	
The fragility of China's loess land: A research strategy.....	
..... E. Derbyshire, I.J. Smalley (83)	
An example of study with fallout Caesium-137 on soil erosion and sandy soil resource in a local drainage area of the Loess plateau, China.....	
.....Zhang Xingbao, Li Shiaocong,	

Wang Henghua, Tong Wanpei, Zhao Qingchang, Zhang Yiyan,
Yan Meiqiong, Liu Yalun, Jiang Jinjiang, Xiao Jule, Zhou Jie (85)

- Desertification process and its origin of terrestrial ecologic system in China
since the early Late Pleistocene Dong Guangrong,
Jin Jiong, Shen Jianyou, Gao Shangyu, Liu Baosheng, Cheng Huizhong (91)
- A preliminary study on the eolian flux during the last 130,000 years in
Luochuan, Shaanxi Province..... An Zhisheng, Xiao Jule (102)
- Monsoon and climatic history during the last 130,000 years in Loess plateau,
China..... An Zhisheng,
Xiao Jule, Zhang Jingzhao, Xie Jun, Sheng Hongpo, Zhao Hua (108)
- Loess stratigraphy in Central China
.....G. Kukal, An Zhisheng, Liu Tungsheng (115)
- A preliminary spectrum analysis to the Quaternary sedimentary sequence
.....Hua Yingming, Wu Shouxian, An Zhisheng, G. Kukla, Xiao Jule (134)
- Preliminary research of environmental magnetism.....
.....An Zhisheng, Ma Xinghua (143)

最近 2 万年中国古环境变迁的初步研究

安芷生 吴锡浩* 卢演传* 张德二* 孙湘君* 董光荣*

(中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究实验室)

随着人类和人类社会的发展,人类活动已经作为一种重要的外营力参与了自然环境的变迁过程,并不可避免地在制造自己赖以生存的生存环境的对立面:水循环的某种不平衡。可利用土壤物质的流失、粮食和能源的短缺及环境的污染、以及对自然生态群落正常演化过程的干扰等,尤其是能源无节制地使用,导致大气中 CO_2 和微量气体浓度增加所可能产生的温室效应,将在相当程度上改变全球自然生态系统的面貌。过去 15 万年特别是最近 2 万年自然环境如何演变,人为因素和自然因素的相互作用过程,物理气候动力过程和生物地球化学过程的相互作用,未来 100 年内全球和地区性气候和环境变化的趋势预测等,均是“全球变化”研究的关键问题。

全球气候模型的模拟对于未来气候预测必不可少。随着气候模型的模拟与超级计算机的应用,使现今气候状况与古气候研究密切相关。古气候的研究可为理解气候变迁的原因、机制和效应以及现代气候过程提供可靠的信息,同时又为气候模型提供可靠的输入和必要的检验与改善。这都说明古气候与古环境研究在“全球变化”研究中的必要性。

70 年代的气候制图计划(CLIMAP),以大陆和海洋的地质-生物记录为依据,重建了距今 18000 年晚冰期极盛期地球表面的环境状况^[1],为全球气候模型的模拟提供了宝贵的数据。最近美国的全新世制图合作计划(COHHMAP—Cooperative Holocene Mapping Project)是气候制图计划的继续,它的成员根据地质记录和古气候模拟的结果,模拟了最近 18000 年不同时段的古环境^[2],认为地球轨道变化引起的大气圈顶部太阳辐射,特别是辐射的季节性旋迥对北半球中低纬地带季风形成有重要影响^[3],从而在相当程度上制约着这一地带自然环境的变迁。

李四光^[4]、竺可桢^[5]、刘东生^[6]、施雅凤^[7]、任美锒^[8]、杨怀仁^[9]、严钦尚^[10]、王乃樾^[11]、孙殿卿^[12]、贾兰坡^[13]、安志敏^[14]、张宗祜^[15]、丁国瑜^[16]、徐仁^[17]、王永焱^[18]、业治铮^[19]、张家诚^[20]、王嘉阴^[21]、林观得^[22]、曾昭璇^[23]、崔之久^[24]、刘敏厚^[25]、汪品先^[26]、李吉均^[27]、周昆叔^[28]、赵希涛^[29]、陈承惠^[30]、黄万坡^[31]、赵松龄^[32]、浦庆余^[33]、王富葆^[34]、文启忠^[35]、郑洪汉^[36]、刘泽纯^[37]、孙建中^[38]、谢又予^[39]、周本雄^[40]、段万倜^[41]、吴子荣^[42]、郑本兴^[43]、王强^[44]、袁宝印^[45]、徐钦琦^[46]、孔昭宸^[47]、刘金陵^[48]、李文漪^[49]、裘善文^[50]、王开发^[51]、李平日^[52]、竹淑贞^[53]、黄镇国^[54]、董光荣^[55]、孙湘君^[56]、张德二^[57]、卢演传^[58]、吴锡浩^[59]、安芷生^[60]等,对中国晚更新世、全新世和历史时期的古气候变化、黄土-古土壤序列、海面升降、冰川与沙

* 吴锡浩,地质矿产部地质力学研究所;卢演传,国家地震局地质研究所;张德二,国家气象局气象研究所;孙湘君,中国科学院植物研究所;董光荣,中国科学院兰州沙漠研究所。

漠进退、动植物演变、青藏高原隆升等新构造运动和考古历史记录作了不同程度的研究,为理解最近2万年中国环境变迁的基本特征奠定了基础。

中国大部分地区处于北半球中纬地带,东临太平洋,西近印度洋,从最近2万年的古环境记录来看,它经历了从末次盛冰期到冰后期的环境变迁过程,对古季风变迁十分敏感。

20 kaBP 前中国处于末次冰期极盛期的前驱阶段,气候较冷稍湿。18 000—15 000 aBP,气候相当于冷恶劣,东部海平面下降到-150至-160m,海岸线向东撤退800—1000km,内陆的大陆度急剧增加,沙漠急剧扩张,干旱-半干旱的冻土带和草原地带(以风成粉尘堆积为代表)较现在向东南推进了约8个纬度,现今南部的热带雨林地带消失。

11000—10000 aBP 干冷的冰期气候快速地转变为冰后期的温暖气候。全新世最佳期出现在9000—5000 aBP,可能在9000—8000 aBP达到高峰,这与强化了季风环流有关;大型哺乳动物如披毛犀-猛犸象动物群在中国绝灭,喜暖的四不象鹿开始繁盛;东北的针阔叶混交林及各植被土壤带向北回撤,沙漠和冻土面积收缩,在末次冰期极盛期的荒漠草原-干草原地带普遍出现黑垆土型古土壤,热带雨林北进,海平面回升甚至有时高出当今海面位置。

最近2万年中国古环境变化受制于地球轨道变化所制约的冰期-间冰期的气候变化,同时与太阳辐射季节性旋迥密切相关,表现为地质记录所反映的古季风影响范围的显著变化。东亚海陆位置大幅度的调整、青藏高原隆升及其热效应等加剧了古季风效应。

青藏高原在过去150万年中经历了多次阶段性的隆起(图1),幅度可达2500—3000 m,并且速度有加快的趋势,在最近10000年中可能平均上升了250—300m。研究青藏高原上升速率及其对北半球大气环流的影响,在“全球变化”研究中拥有不可忽视的潜力。

中国黄土分布面积可达60万km²以上,中国黄土堆积为一连续发育的最近250万年的黄土-古土壤序列。最新研究表明,发育着约最近16000年的高分辨率的黄土-古土壤序列。历史时期降尘记录已经初步复原,现代降尘过程至今仍时有发生。鉴于风力过程所控制的粉尘产生、搬运和堆积的范围可达几万甚至百万km²以上,通过黄土记录重建的古风力状况视为大尺度的气流活动,与北半球大气环流休戚相关,进而可与全球冰量相联系。因此,黄土,包括粉尘和部分气溶胶,应视为与深海沉积、湖相沉积和冰心同等重要的具有全球意义的气候记录。

非常丰富的中国考古和历史记载、物候和树木年轮记录,提供了最近几千年尤其是3000年的环境变迁信息,它们与地质-生物记录的相互补充与检验,对于重建10³—10²年尺度的环境变迁序列有着重要意义。

本文将通过最近2万年中国古环境代用记录序列的建立,特征时期古环境和古夏季季风影响范围的重建,研究不同时段环境变迁的特点和现代环境在自然演化过程中的位置,并进行全球性对比,讨论与理解人类与陆地生态系统的相互作用过程,为气候趋势预测服务。

一、环境变迁序列

中国环境变迁记录丰富多采,其中以粉尘、古植被、海面变化和山地冰川记录较为特征。在这些记录中选择了几条具有代表性、年代分辨率较高、记录较完善的代用环境指标

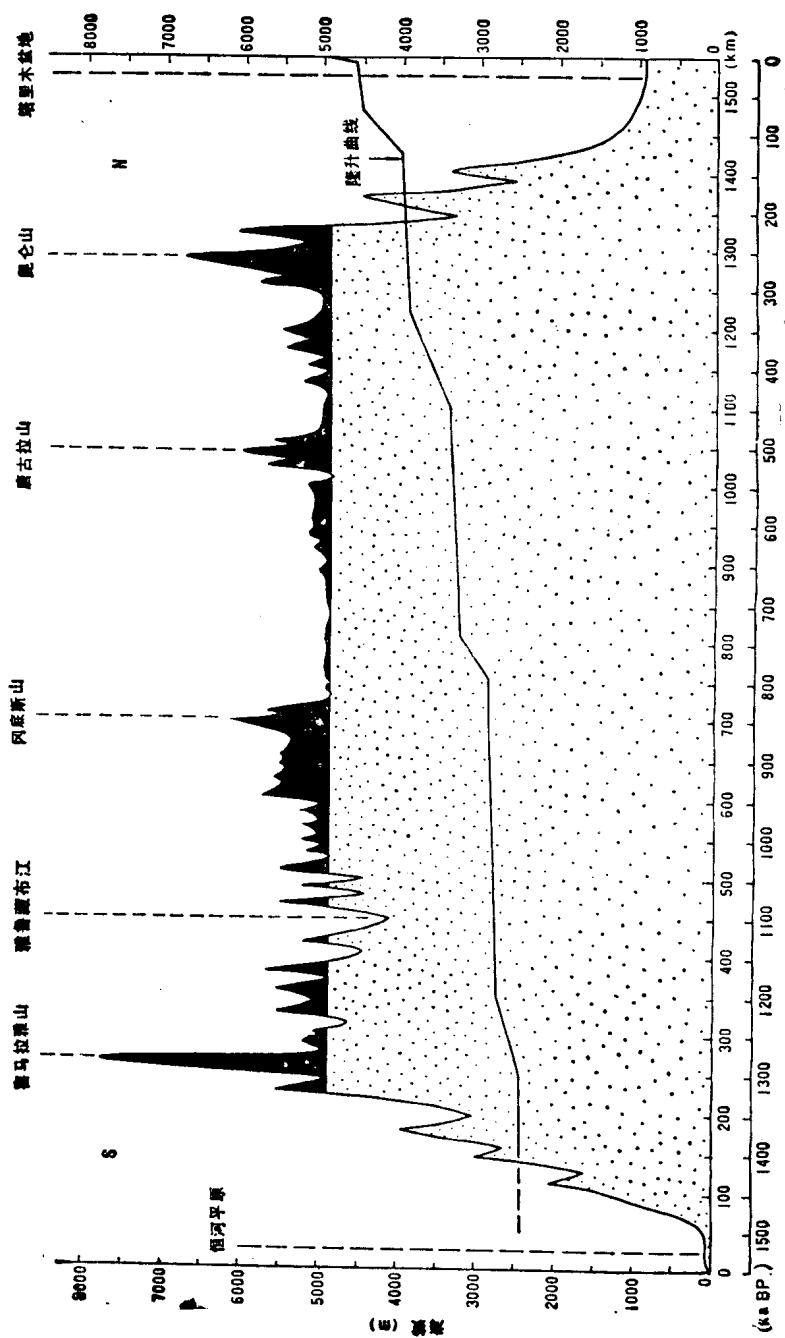


图 1 青藏高原南-北地形剖面 and 隆升曲线

的变化曲线,以说明最近2万年中国的环境变迁特征并重建古环境史。

1. 粉尘堆积序列 中国保存着丰富的最近2000年降尘的历史记录^[61]、降尘的气象记录^[62]以及1988年春中国北方发生的降尘记录。据统计,最近2万年黄土高原40万km²上的降尘量至少可达 $2175 \times 10^9 \text{t}$ ^[61],对中国乃至太平洋地区古环境和现代环境有着深刻的影响^[63,64]。

(1) 最近16000年黄土-古土壤序列和磁化率曲线 黄土和古土壤的磁化率可视作它们在弱磁场被感应的磁性的量值,它反映了黄土和古土壤中磁性矿物的浓度和粒度。已经查明非常细($\leq 1\mu\text{m}$)的磁铁矿或/和磁赤铁矿颗粒对磁化率有着主要的贡献^[65]。这些细颗粒磁性矿物主要来自地质源区,包括沙漠-戈壁地区的土壤物质、森林火灾产生的灰烬、火山灰及高层大气层中混合的气溶胶物质,以及成壤过程中新产生的细颗粒物等。

在黄土演化序列中,是发育黄土还是古土壤取决于粉尘堆积速率与成壤速率的相互消长关系。在干冷气候条件下,粉尘堆积速率较大,其中的粗颗粒含量相对较多,同时成壤速率较小,以发育具有低磁化率值的黄土为主。反之,在温湿气候下,成壤速率较快,有利于较多数量的细粒物质形成,甚至可能产生土壤成因的高磁化率值的极细粒磁铁矿,与此相适应,粉尘堆积速率较慢,运载粉尘的风场强度也较小,来自源区的每次降尘中细颗粒含量也应相对较多,这两种情况的结合致使黄土高原以发育具有较高磁化率值的古土壤为主。因此,对磁化率有着重要贡献的细颗粒含量的多寡最终取决于源区和沉积区的气候状况。所以,黄土高原古土壤的较高磁化率值在一定程度上反映了温湿气候下湿度增大促成的植被密度较大、成壤作用较强的状况;反之,低磁化率值则指示了湿度较小、植被稀疏、发育黄土的干冷气候状况。从 10^3 — 10^4 年尺度上说,黄土和古土壤的磁化率值可视为湿度变化的一种代用指标。

还有另一种可能性也在考虑之列。如果说在气候条件迥然不同的黄土和古土壤发育期,磁性矿物的堆积速率一致则应表明,黄土和古土壤中大部分极细颗粒的磁铁矿主要不是来自于土壤的就地产物,而应视为在 10^3 年尺度上匀速沉积的大气沉降物或气溶胶物质。当粉尘堆积速率较大时,稀释了以大气沉积为主的细粒物质的浓度,所形成的黄土磁化率值偏低;当粉尘堆积速率较小,即成壤速率较大时,细粒物质的浓度相对增大,所发育的古土壤磁化率值偏高。因此,黄土-古土壤序列中某一测量面上磁化率的物理意义可能在于:不仅反映了这一测量面的磁性矿物种类、浓度和粒度特征,更重要的是指示了它与粉尘堆积速率的函数关系,即磁化率高,堆积速率小;反之,堆积速率大。粉尘堆积速率反映了大范围的风力状况,并通过大气环流,可与陆地冰量变化相联系。因此,磁化率与时间和气候有着某种函数关系。换言之,高磁化率记录弱风力状态,反映暖和的气候;低磁化率则反映强风力状态和干冷气候。

尽管黄土磁化率的物理意义仍是一个尚无令人满意回答的问题,但基于黄土-古土壤序列的磁化率曲线与深海 $\delta^{18}\text{O}$ 记录对比良好;同时,无论从哪一种看法来说,古土壤高磁化率指示了温湿的气候,而黄土的低磁化率值指示了干冷的气候,它可以作为一种很有意义的代用气候指标。

在洛川、西峰两地的布容期黄土-古土壤序列中,据深海氧同位素年代学估算,任意相同层段的两个剖面不同时期的单位体积磁化率与深度的乘积,忽略不计允许误差范围内的差异,反映的磁性矿物堆积速率为一常数。这一事实说明,无论是在黄土还是在古土壤

形成时期, $\leq 1\mu\text{m}$ 粒径的磁铁矿等磁性矿物的堆积和/或形成速率, 大体上是相等的。库克拉(Kukla, G. J)等设计了磁化率年龄计算公式^[65], 即用未知时段的剖面段落的磁性矿物代用堆积量(可用该段落每一测量面的单位体积磁化率与它们分别占有的厚度的乘积之和表示)与已知年代的并且包含未知时段的剖面段落在内的较厚剖面段落的磁性矿物代用堆积量的比值, 乘以这一较厚剖面段落的占有年代, 可以获得未知时段的剖面段落的年龄。根据这一方法计算了下述巴谢黄土剖面的磁化率年龄。

最近2万年的黄土序列在黄土高原广泛分布, 以发育马兰黄土(L_1)上部和全新世黑垆土(S_0)为特征。六盘山以西由于黄土堆积速率大, 黄土序列的时间和气候分辨率高。选择的剖面位于甘肃省东乡县撒勒山大滑坡南约1km的巴谢($103.4^\circ\text{E}, 36.7^\circ\text{N}$)。

巴谢黄土剖面底部为20—30 kaBP的河湖相地层。距地表5m的黄土中含有一些细砂薄层和次生黄土层, 在5—10m段落, 黑垆土型古土壤与成壤较弱的浅色土壤层相间出现。剖面下部10—15m段落为灰黄色质地均匀的马兰黄土上部, 其中在12.2—12.7m, 发育一层成壤较弱的黑垆土型古土壤。

以末次冰期向冰后期即 L_1 至 S_0 的估算转折年龄11000年和剖面顶部为现代作为两个年代标定点, 按磁化率年龄计算公式内插和外推求得剖面磁化率曲线的年代序列(图2), 与已知的 ^{14}C 和TL年龄基本吻合。例如深5.25m处古土壤组合顶部的 ^{14}C 年龄为 $5400 \pm 100\text{aBP}$, 其磁化率年龄为5770aBP; 深7.7m的TL年龄为 $10070 \pm 950\text{aBP}$, 其磁化率年龄为10585aBP; 剖面底部深15m处的TL年龄为 $17010 \pm 1260\text{aBP}$, 其磁化率年龄为15784aBP。

从这一磁化率曲线看, 末次冰期极盛期在14500aBP前趋于和缓, 12000aBP前后有一次暖湿的波动, 此后向温暖的冰后期气候快速转变, 转折期不超过1000年。

约9000—5000 aBP为全新世最佳期, 在9000—8000年前达到高峰。5000 aBP后气候向干凉方向变化, 虽然其中仍有多次的暖湿颤动。同时最近10000年来的曲线似存在约1000年的颤动周期。然而, 巴谢黄土剖面上部4m段落, 其中含有次生黄土和细砂沉积, 运用前述风成黄土磁化率的物理意义和年龄计算方法, 对这一段进行详细的年代学和古气候学讨论为时过早, 但终究它反映了5000 aBP后, 气

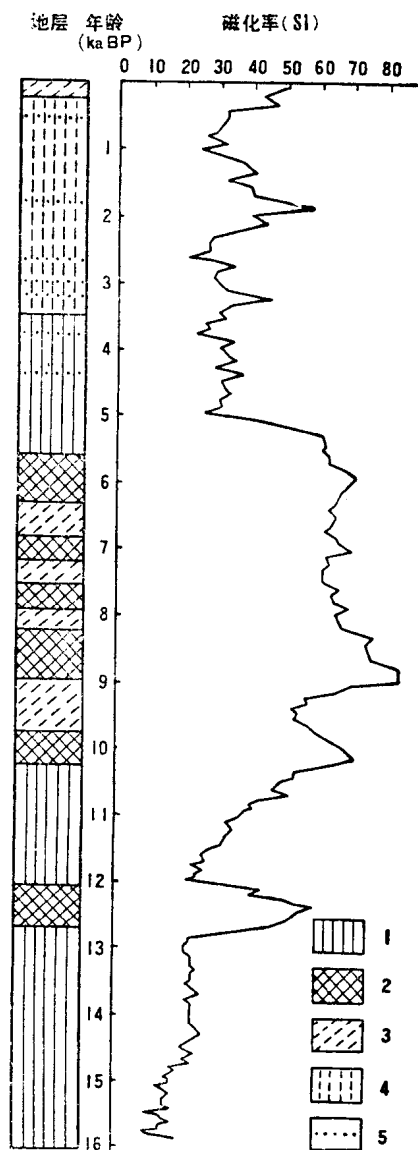


图2 最近16000年的甘肃省东乡县巴谢黄土-古土壤序列和磁化率曲线。

1. 黄土; 2. 古土壤; 3. 微弱发育的古土壤; 4. 次生黄土; 5. 细砂层

候向干凉方向的变化。而从剖面底部 15m 至 4 m 段落发育了风积黄土和古土壤, 这一段落至少可视为 16000—5000aBP 的高分辨率的黄土-古土壤序列。

此外, 黄土高原黑垆土年龄资料^[86]和洛川、渭南全新世土壤年龄表明, 黑垆土年龄分布在 11000—5000 aBP 间, 4500aBP 前后, 3200 aBP 前后以及 2000 aBP 前后, 这都与巴谢磁化率曲线中高磁化率段落一致; 其中只有个别例外。

(2) 历史降尘(最近500年、1000年、1700年) 记录 中国历史资料中有着大量被称作“雨土”的降尘现象。其发生地点西起新疆, 北自内蒙, 南至长江以南, 其分布范围(图3)与黄土分布大致相当^[61], 日本文献记录中“雨土”地点也标于图上, 它显然是我国降尘地带沿西风气流路径向东的自然延伸。

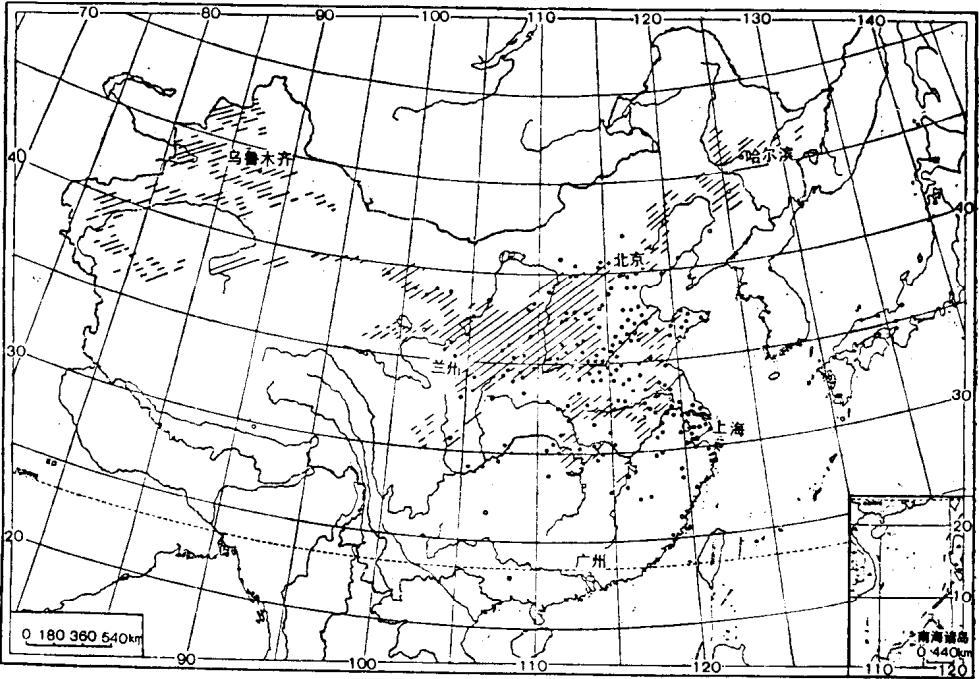


图 3 历史时期降尘地点(·)和黄土分布区(以斜线表示)

降尘曲线与历史温度曲线有着良好的一致性, 即降尘频发期对应于冷期。近500年冬温指数序列与雨土频数序列相比较, 冷期平均频数为3.7次/10年, 暖期平均频数为2.1次/10年, 而上述冷暖期的平均冬温相差0.5℃^[57]。公元300年以来降尘频数曲线是最近1600

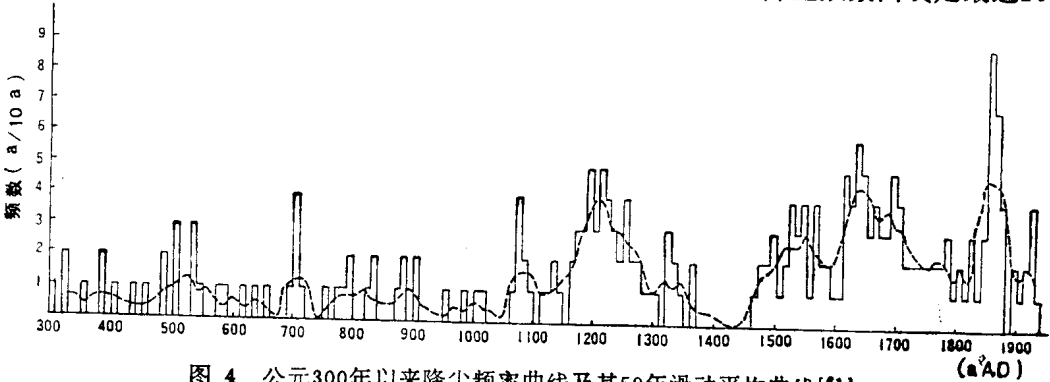


图 4 公元300年以来降尘频率曲线及其50年滑动平均曲线^[61]

年我国历史降尘的良好记录(图4),降尘频数曲线与中国 35° — 40° N, 105° E以东地带的湿润指数曲线对比表明,各雨土频发期大致对应于干旱时期(湿润指数 <1.24)^[61]。

粉尘地质记录、历史记录和气象记录的研究相结合,不但可以重建不同时间尺度的降尘序列,而且为重建不同时期降尘过程和降尘通量变化提供了珍贵资料,这对于认识近地面至高空粉尘和气溶胶的环境效应尤为重要。

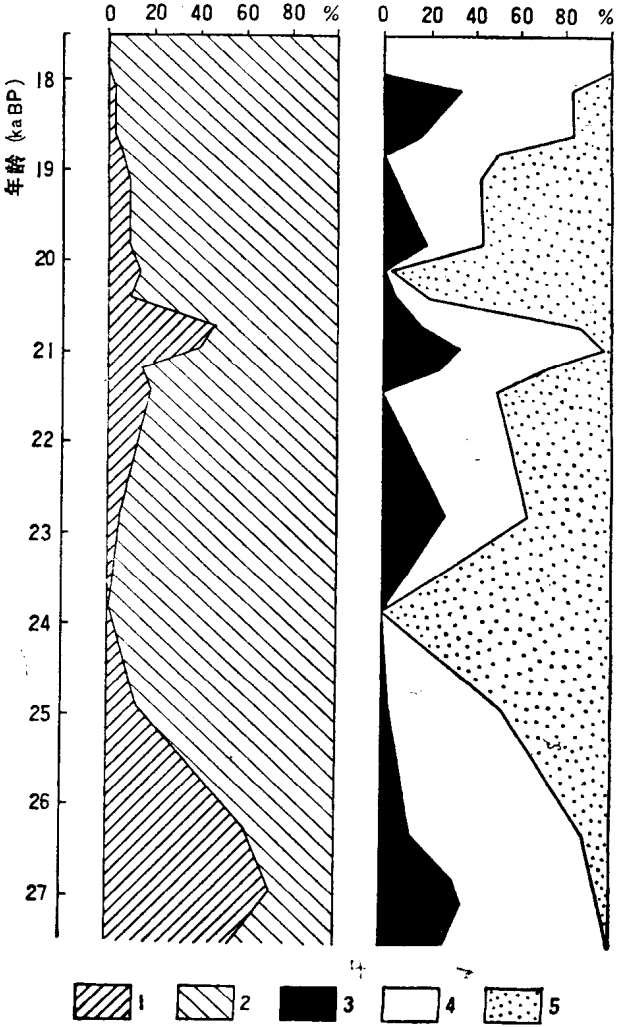
2. 植被演化序列 中国北方植被演化序列拟用3个有代表性的花粉曲线来表示(见图8),它们分别含有多个有机碳 ^{14}C 年龄数据,用在年龄数据点之间内插的方法获得了各花粉曲线的年代序列。每一曲线用两种花粉图式表示:木本与草本、灌木花粉比例的变化;针叶树与阔叶树花粉比例的变化,针叶树图谱中包含了云杉(*Picea*)、冷杉(*Abies*)等花粉的比例。

(1) 陕西省渭南曲线($109^{\circ}29'E, 34^{\circ}20'N$) 剖面位于渭南市杨郭镇东北庄村浊水河二级阶地上,剖面顶部海拔570m。占有时段约为27000—18000aBP。

剖面覆于砂砾层之上,下部5m为湖相灰绿色淤泥及灰绿色、黄灰色粉砂质淤泥;中部3m为灰黄色含砂砾的次生黄土;上部4m为全新世黄土-古土壤层。在湖相沉积物中检出了花粉并绘制了曲线(图5)。

图5 最近3万年的陕西省渭南北庄村花粉图

1. 乔木; 2. 灌木和草本; 3. 云杉和冷杉; 4. 松; 5. 阔叶树



曲线表明,自 27000—20500aBP 该区具有草原和簇状树林相嵌的植被景观,木本花粉中,云杉、冷杉和松(*Pinus*)较为特征;少量阔叶树花粉中栎(*Quercus*)较为特征;草本花粉中,以蒿(*Artemisia*)和菊科(*Compositae*)为主,反映了冷稍湿的气候。但含有两次明显的湿凉气候颤动,即27000—25000aBP和21500—20500aBP间,前一时期颤动幅度大,表现为木本花粉比例高,其中云杉、冷杉比例高,指示了簇状分布的云冷杉林面积的扩大。24000 aBP前后草本花粉占统治地位,仅有个别阔叶树花粉,指示了干冷的气候。20000 aBP后草本花粉迅速增多,针叶树在少量木本花粉中的比例增大指示了干冷气候的再现,至18000aBP草本花粉几乎达100%比例,偶见的木本花粉仅松属,反映了极端干冷的无林环境。

现今云杉、冷杉林在秦岭北坡位于海拔2400—3000m,年平均气温2.5—5.7℃。西安现时年均温为13.3℃。如试图恢复大约距今2—3万年渭南的气候要素值,须进行气温年较差校正。花粉中含有喜温的铁杉(*Tsuga*),现今分布区的年较差最大不超过22℃,这是铁杉过冬的必要条件。虽然现在西安的气温年较差为28℃,但仍应据22℃年较差计算云杉、冷杉林所指示的当时年均温为0.5—4.6℃^[66],估算距今2—3万年较现在的降温值为8.7—12.8℃。根据云杉、冷杉林对降水量要求估算,当时的年降水量大约在500mm以上。依次推算,距今18000年的极端干冷时期的降温值甚至可达13℃以上。

(2) 北京房山曲线(115°50'E, 39°33'N) 剖面位于北京房山县周口店西12km的西坟庄村,地面海拔约50m,孔深20m,由湖相粉砂质粘土与5层泥炭相间构成,占有时段为16500—10000 aBP。根据孔昭宸资料^[47]编制的年代花粉曲线(见图8)表明,16500—15500 aBP草本灌木花粉比例高,少量针叶树中以冷杉、云杉及落叶松为主,反映了干冷气候。14500 aBP后,木本中阔叶树花粉鹅耳枥(*Carpinus*)、栎及榆(*Ulmus*)增加,显示了气候开始和暖。13000—11000 aBP北京平原云杉、冷杉林扩展,显示了末次冰期晚期的凉湿颤动。近11000—10250 aBP,以蒿和藜科为特征的草原面积再次扩大,云杉、冷杉林退缩,干冷气候再现。自10250 aBP始,森林急剧扩展,草原退缩,指示了全新世温暖期的来临。

北京地区现今年均温为11.6℃,北京北部山地云杉、冷杉林出现在海拔1600—2400m,年均温为-1—-3.8℃,考虑到气温年较差与渭南同步降低6℃,23000aBP前北京平原出现云杉、冷杉林^[28]时年均温为-0.5—-3.6℃,当时年平均温度比现在低8—12℃,年降水量大于500mm。

18000—16000 aBP,地层中花粉很少,木本更是缺乏,气温干冷,发育冻融褶曲等冰缘现象^[33],年均温度最高为-1—-2℃,故当时的降温值在12.6—13.6℃之间,估计年降水量约在200mm以下。

(3) 长白山金川曲线(126°29'E, 42°16'N) 剖面位于长白山西麓靖宇县城西30km处,海拔620m。钻孔剖面由湖沼相沉积构成,上部6m为泥炭层,下部7m主要为亚粘土和亚砂土。占有时段为10000aBP至近代。

花粉曲线表明(见图8),9000—8500 aBP间,木本与草本、灌木花粉的比例出现峰值,以栎、榆、椴(*Tilia*)、鹅耳枥及榛(*Corylus*)为特征的阔叶树含量具极大值,未见针叶树,指示了全新世最佳期中的暖峰。6000—5000 aBP后,草本、灌木花粉增加,木本中阔叶树减少而松、云杉、冷杉等针叶树比例增高,尤以松为显著。2000 aBP冷杉、云杉比例

增高,指示气候转冷。最近200—300年,桦(*Betula*)属花粉急剧增多,显示了人类活动的环境效应。

当地年平均气温为2.2℃,在9000—5000 aBP的最佳期中,落叶阔叶树中栎含量高达50—60%,其中又以辽东栎(*Quercus liaotungensis*)为主。当今辽东栎在暖温带北部到北亚热带北部的山地分布,秦岭北坡的辽东栎林分布在海拔1500—2000m,年均温7.8—10.3℃,年较差27℃。在北京地区山地分布在海拔700—1000m,该地年均温7.3—9.5℃,年较差29℃。辽东栎分布最北的冀北高原围场地区,年均温约5℃,年较差34℃。与当今气温比较,5000—9000aBP前,金川年平均气温较今的增温值为2.8—5.1℃,年较差为39.3℃。

花粉记录表明,20kaBP以前北京、西安地区以草原与云杉、冷杉林相嵌分布的植被为主,年平均气温较今降低约8°—12℃。在18000 aBP前,西安地区以荒漠草原甚至冻原植被为主,降温13℃或更多。在东北长白山地区,在9000—5000aBP的最佳期,则以落叶阔叶林为主,年均增温值可达3℃以上甚至5℃,5000 aBP以来则以松占优势的针阔叶混交林植被为主。值得一提的是,东北花粉谱表明,10000 aBP前后,植被的交替是十分迅速的,可能发生在历时不到1000年内。

以往普遍认为,中国东部全新世最佳期出现在7500—2500 aBP。辽南全新世研究也表明^[67],8000 aBP后显著变暖,到5000 aBP后变干凉,最近许多报道都说明自9000aBP前后全新世进入最佳期。

3. 山地冰川序列 中国西部山地末次冰期以来山谷冰川形成的地貌与沉积保存完好,发育多道侧碛和终碛。由于缺乏年龄资料,目前难以建立令人满意的最近2万年山地冰川进退序列。

(1) 大陆性山地冰川序列 以天山乌鲁木齐河源头冰川序列为代表^[68,69](见图8)。15000 aBP冰川开始迅速后退。据冰碛物表面发育的黄土-古土壤¹⁴C测年(9170±400 aBP),约10000 aBP前冰川完全消融,9000—6000 aBP间无冰进记录。约6000 aBP开始的新冰期冰川作用分别在5680、4080和2800aBP前后形成三道终碛,其年龄是根据冰碛物表面的钙膜¹⁴C年龄。最近500年冰川多次前进,普遍保存有400 aBP、210和70 aBP(据地衣测年)等三道终碛,属于小冰期冰进记录。

(2) 海洋性山地冰川序列 川西贡嘎山冰川序列^[70,71](见图8),距今27790年在贡嘎山海螺沟形成高终碛垅,并在19700 aBP前后形成低终碛垅,在17600 aBP前后形成最前一道终碛垅,¹⁴C测年材料皆为冰碛物表面的泉华或碳酸钙胶结物。17600—10000 aBP,冰川迅速后退。

藏东南阿扎冰川谷地^[34,71](见图8),记录了3000和1822 aBP的新冰期冰进,分别形成高侧碛堤和低侧碛堤。贡嘎山区保存着940 aBP冰进形成的侧碛。以上均据冰碛中树木的¹⁴C测年。约250 aBP前再次发生小冰期冰进,在现代冰舌前普遍存在三道侧碛和终碛,其年龄是根据侧碛表面现生树木的年轮推算的。

西部山地冰川序列表明,约10000—6000 aBP期间缺乏冰川记录,与最佳期时段相一致。

4. 海平面变化 中国渤海、黄海、东海和南海沿岸以及黄海、东海大陆架和南海大陆架上保存着丰富的末次冰期以来的古海岸线遗迹,记录了最近2万年海岸线变迁及海