

黄土与环境

刘东生 等著

科学出版社

1985

内 容 简 介

本书是《黄河中游黄土》、《中国的黄土堆积》和《黄土的物质成分和结构》三部专著的续篇。它是近二十年来对中国黄土与环境研究的总结。

用¹⁴C、热释光、古地磁、氨基酸、微体和稀有元素测试、X射线粉晶衍射、微形态学以及生态化石生态分析等方法,在多年实地调查的基础上建立了黄土-古土壤时间序列,研究了黄土的组构及生物遗存等地质事件。从黄土环境系统出发,重建了距今约240万年以来不同尺度的气候变迁序列,讨论了风成黄土堆积的全过程及其与现代粉尘、水土保持、工程地质、农业土壤及地方性疾病等的关系。

本书可供地质、地理、气象、第四纪地质、地层、古生物、水文地质、工程地质、水土保持、农业、土壤及环境等科技工作者及有关高等院校师生参考。

黄 土 与 环 境

刘东生 等著

责任编辑 周文轩 邵正华

科学出版社出版

·北京·

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1585 毫米 16 开本	— 1 版	开本: 787×1092 1/16
1989 年 10 月第 1 次印刷		印张: 28 1/2
印数: 1—14,226		册数: 117 4, 2
印 1—14,560		字数: 719,000

统一书号: 13051·2989

本社书号: 4528·25—34

布面精装 10.30 元

定价: 平 装 8.70 元

科技新书目: 104·精 37 平 38

前 言

八年前，开始考虑把这些年来在黄土区的工作和想法写出来的时候，并没有想到在书的前言里需要写些什么？也想不出来应写些什么！经过了一段很不平常的工作和编写过程，书稿已基本就绪了，也产生了要写一个前言的愿望。很突出的一个感觉就是想说一说这本书出现的历史。回忆起1980年中国科学院地质研究所和中国科学院地球化学研究所第四纪研究室以及西安黄土与第四纪地质研究室的同志们，在陕西洛川进行一次新的黄土工作的情景，那时大家为重聚而欢呼。仅仅用“合作”这个词似乎还不足以表达我们之间的一切。虽然单位不同，人很多，但我们对黄土的认识及工作中的想法，就象一个人一样。这本书的问世，与这样一种合作是分不开的。

当本书出版的时候，蓦然回首，却发现它距离1964年我们完成《黄土的物质成分和结构》书稿的时间，已有二十年了，从1954年我们开始研究黄土，建立第一个第四纪室算起，已整整三十年了。谁也没有想到经过二十年甚至三十年，许多老同志仍在一起继续合著《黄土与环境》。我们在喜悦之中，深深地体会到二十年意味着什么，三十年又意味着什么？科学研究的艰苦性往往就寓于它的连续性之中。

时间加深了我们对黄土的认识和热爱，也加深了我们对自已的认识和不满；时间使我们无法避开对过去应作的检讨；时间也要求我们对未来加以瞻望和憧憬。书中的内容也可以说是对过去黄土工作的一个回顾和对黄土未来工作的设想。

三十年来，我们在共同工作中取得了一些基本的认识，这直接、间接地对黄土工作发挥了一点作用。1954年我们在从事黄土研究的时候，正是三门峡水库工程开始修建的时候，已故的中国科学院竺可桢副院长主持并组织了黄河中游水土保持考察。1955—1958年的考察工作结束后，1958年我们又对黄土高原进行了十条大的路线剖面研究。1959—1961年对山东、青海、河北等黄土高原以外地区进行了调查。那时，许多同志还是未婚的青年，每年几个月在野外奔走。为了工作可以披星戴月，不带任何行李，在黄土高原上走到那里，睡到那里。以至在1962—1964年期间，我们在侯德封（已故）所长、彭会和于仙春（已故）同志的支持下，完成了《黄河中游黄土》和《中国的黄土堆积》这两本书。

时间已过去二十多年了，当时许多走过的地方，很多还没有人再去过。一些原来一起工作的同志，随着事业的发展，去另外开辟新的领域了。当本书出版之际，首先想到的是他们。这本书里包含着当初大家在一起时的许多东西。想不起是在哪一个固定的时间和地点，也无须说明是在野外或室内，是讨论或闲谈，他们的工作和思想，他们的智慧和风貌，毫无疑问的，通过笔者的思维表现于本书之中。

二十多年来，中国的黄土工作，除我们之外还有很多同志，很多单位在做。特别是黄土地区的农业和工程建设部门的同志们，无论是发表的专著或文章，还是互相交流，启发了我们的思想，坚定了我们的信念。他们的工作，使我们更加小心谨慎，避免了可能发生的错误，这些不是感谢所能表达的。

从1954—1966年的一段时期，我们在黄土工作上所能取得的成果：（1）在已故副

院长李四光教授的亲自指导下，于1961年参加在波兰召开的第六届国际第四纪大会前，把中国黄土系列命名为马兰黄土（沿用）、离石黄土和午城黄土。虽然那时我们曾把黄土—古土壤系列代表的气候变化曲线和 Emiliani 对深海沉积物研究取得的第四纪古气候变化曲线相对比，但当时我们还未能把黄土—古土壤系列的变化与冰期和间冰期的气候变化相对比。而李先生却没有因此而减少他对黄土的兴趣。相反，正是他将中国的老黄土命名为离石黄土和午城黄土（杨钟健教授和德日进命名的红色土）。使得这一岩石地层和古生物地层相结合的黄土地层划分和命名，经过了二十多年，已逐渐为地质界所采用。把中国黄土的概念从不到二十米的马兰黄土扩大到超过200米的离石、午城黄土，从仅发育于晚更新世扩大到整个第四纪时期。在工程地质上，马兰黄土是湿陷性强的黄土，而离石和午城黄土基本上不湿陷，这对正确的认识黄土高原及其建设是有一定意义的。欧洲的黄土，这些年来也开始发现较老的或更老的黄土地层。（2）王挺梅、苏联义、朱海之等同志，在大家实地考察的基础上，通过黄土的颗粒分析，显微镜下观察，按黄土的颗粒组成，微结构形态，自西北而东南由粗到细划分为砂黄土、黄土和粘黄土三个带。这三个带的区分，反映了黄土的风力搬运的动力作用，并已查明砂黄土带是黄河中下游泥沙的主要来源地区。（3）对黄土、古土壤系列的不断工作，王克鲁、吴子荣、文启忠、杨理华、郭旭东（金奎）、卢演伟、安花生等在洛川首先划分出第一砂质黄土层，第二砂质黄土层（即上、下粉砂层）以及第三砂质黄土层（底部粉砂层）。虽然粗粒的砂质黄土堆积在气候上代表了当时干冷的环境，但现在粗粒的砂质黄土是黄土塬区的良好储水层。

本书，我们根据1966—1984年以来的工作，试图对以下几个问题做一些论述。

1. 从地层学的角度，运用古地磁和热释光的方法，获得了黄土—古土壤系列沉积层次的时间标尺，开始在本书中部分地采用了第四纪编年系统。自上而下，可以分出下列几个重要的层次（单元）。现代黄土（当代的风尘沉积）及其覆盖的地形和10,000年以来的黄土及其地形（全新世黄土， ^{14}C 年龄测定）；100,000年以来的黄土及其地形（马兰黄土，热释光年龄测定）；500,000年前后的古土壤及地形（第五层古土壤，相当于周口店猿人产地第十层的时间）；800,000年前后的砂质黄土层及地形（相当于上粉砂层，B/M 界限前）；1,150,000年前后的砂质黄土层及地形（相当于下粉砂层，哈拉米洛极性亚期前）；1,800,000年前后的古土壤组合及地形（午城黄土中部古土壤组合，奥尔都维极性亚期）；2,400,000年前开始沉积的黄土（松山/高斯界限后）。这样划分，不仅说明了我国黄土的特点，我国黄土地层的研究已进入半定量阶段；同时标志着我国第四纪地层划分已进入编年的阶段。

2. 有了年代的控制，展示于我们面前的便是240万年以来，黄土是如何开始堆积，而达到200米左右的厚度形成千沟万壑的地形的。自240万年以来，黄土高原的气候是如何变化的，240万年来在这里生活的古人类，古动物（特别是黄土区的麝鼠）和植被是如何演替的。由此可以追溯在一定时间内环境变化的性质和强弱，也可以求出自然界发生变化所需要的时间长短。在这个意义来说，我国黄土高原对于研究第四纪以来的环境变化可以说是举世无双的。

黄土高原的环境评价，黄土高原的治理是当务之急。水土流失的过程如何，千沟万壑地形是如何形成的。当前的草原干旱环境是以前“森林植被”的演替？黄土高原的过去怎样，黄土高原的前途如何？评价黄土高原就需要把黄土高原作为一系统来看，它包括从无

机(组成)到有机(生物及其活动),从宏观(地貌、地层结构等)到微观(常量、微量元素,重矿物和粘土矿物及氨基酸的分布等),从过去到现在(时间),从源区经堆积区到再沉积区(从中国西部到东部)等等子系统。这包含了单一学科的成果,也反映了黄土系统沉积环境的指标。

黄土中的植被、无脊椎动物和脊椎动物化石所反映的生态环境以及生物界如何适应无生物界发展的特征,是黄土系统中十分有意义的指标。

所以本书认为中国的黄土-古土壤系列,比任何一种沉积物所能提供的地质信息要多,它储藏的地质信息丰富,使得我们有可能据之为一个地质系统来研究。本书仅将有关黄土地质系统的材料加以罗列,综合分析是我们下一步的工作。

3. 沉积的全过程。现代尘暴、粉尘搬运和沉积的过程可以为建立黄土风积的吹扬、搬运和沉积模式提供依据。自从拜格诺(Bagnold)对风沙的研究以后,风积物中对粉砂岩的研究比较少。其原因是很难找到一个象海洋、湖泊、河流或是沙丘一样的可以观察到其沉积全过程的合适地区。我国有研究粉砂岩亦即黄土形成全过程的独一无二的场所,有几千年来的历史记录,有现代每年还在发生的尘暴全过程的天气和实地观察记录。

黄土沉积全过程的研究,有可能回答许多有关黄土的还未能解决的问题,例如黄土中高岭石的来源,碳酸钙含量高的原因,以及粉砂粒级的尖角状石英颗粒的形成机制等。同时,黄土粉尘的风力搬运全过程的各部机制的确立,对于正确认识大气中颗粒状物质的传播等当代环境问题有着重要意义。

4. 地质事件。黄土-古土壤系列记录了240万年以来黄土沉积和发育古土壤的地质事件的演变历史。对于黄土-古土壤系列来说,地质和气候事件是不可分割的。发育良好的第五层黄土,午城黄土中的第二层古土壤组合,记录了适宜的气候事件的发生;马兰黄土、第一、二砂质黄土层则记录了突出的干冷气候事件。在地质历史的长河中所发生的这些事件应视为突然发生的事件。本书依据不同年龄的黄土和古土壤所反映的可能的气候要素值,半定量的重建了黄土高原长期气候变迁的历史,并与深海沉积物的氧同位素记录对比。240万年以来的黄土-古土壤系列所提供的全球气候变化的信息,在某种意义上说,比较深海沉积物更完备。通过100万年以来黄土-古土壤系列的多维谱分析,获得了不同的振荡周期成分,这有助于预测黄土高原地质-气候事件和环境变迁的趋势。黄土-古土壤系列不同时间尺度的,尤其是较短时间尺度的周期分析,将是黄土高原环境变迁趋势研究中一项重要任务。

总之,240万年的黄土-古土壤的时间序列,它们所反映的各种环境变化背景值,以及与气候变化紧密联系的黄土沉积过程,似构成一个三维空间的完整的黄土系统,这是我们今后研究黄土的一个新的方向。

书中部分章节对某一问题的看法不尽一致,这也是很自然的。与其为了全书的统一而冒险将一些可能萌发为新突破的幼芽掐去,还不如将它们一起奉献给读者,让读者或者科学的发展本身去得出正确的结论。总之,本书中的一些工作还是探索性的,还有很多问题需要继续做。其中恐难免有错误和不足之处敬请读者给予指正。

有许多人参加了本书的撰写。

前言由刘东生执笔。

第一章由卢演传执笔。

第二章第一节由郑洪汉执笔；第二节由吴子荣、袁宝印执笔。

第三章第一节由刘东生、文启忠、安芷生和韩家懋执笔；第二节由安芷生、刘东生执笔。第三节由乔玉楼、黄宝林、沈承德和周明富执笔；第四节由郑洪汉执笔；第五节由安芷生、刘东生执笔。

第四章第一节由郑绍华、袁宝印、高福清和孙福庆执笔；第二节由陈德牛、高家祥、高福清和刘东生执笔；第三节由周昆叔、林绍孟、刘瑞玲和祝一志执笔。

第五章第一节由胡碧茹、卢演传执笔；第二节由魏兰英执笔；第三节由韩家懋、郑洪汉和顾雄飞执笔；第四节由文启忠、刁桂仪和孙福庆执笔；第五节由文启忠、余素华执笔；第六节由向明菊、孙福庆和文启忠执笔；第七节由安芷生、卢演传执笔。

第六章第一节由陈明扬、刘东生执笔；第二节由安芷生、耿安松和郑洪汉执笔；第三节由刘东生、安芷生、文启忠、郑洪汉和卢演传执笔；第四节由陆龙骅、安芷生执笔；第五节由文启忠、刁桂仪和余素华执笔；第六节由余志诚、高福清执笔；第七节由魏兰英、卢演传执笔；第八节由陈明扬执笔。

第七章 I 由张守信执笔；II 由刘东生、F.赫勒执笔；III 由安芷生执笔；IV 由向明菊执笔；V 由李虎侯执笔；VI 由卢演传执笔。

著者要向在黄土研究方面做出贡献的兄弟单位，如西北大学、中国地质科学院水文地质工程地质研究所、陕西省地质局水文地质一、二队、水利电力部黄河水利委员会、国家气象局气象研究院、建筑科学院地基基础研究所、中国科学院水土保持研究所、南京土壤研究所等给予我们许多支持和帮助表示衷心的感谢。感谢中国科学院地学部、西安分院、地球化学研究所及地质研究所的领导对本书编写所给予的关心和支持。顾雄飞同志生前曾为本书的组稿和材料的收集付出了很大的精力，在本书出版之际，我们对他表示深切的怀念。吴泽霖同志为本书的编辑组织做了大量工作。安芷生、韩家懋为本书的编写做了具体组织工作。邵兴亚、余志成、沈晓东、陈爱华、王之瑜、宫淑华、张斐绘制了全部图件。桂文立、张亚光、胥云、程应良等同志提供照片。周永章同志在整理材料、核对数据等方面付出了不少劳动。崔久旭、巴特尔参加文献的编排。李华梅、王俊达、卢良才、黄仁良、王明亮、李海滨等同志曾在我们的黄土工作中给予协助。朱显谟、王永焱、张宗祐、席承藩、戴英生、丁国瑜、朱海之、王克鲁、张德二、仇士华、马醒华、刘椿、刘承祚、朱炳泉、朱福康、王德潜、陈云等同志给予工作的支持或审阅部分章节，在此一并致谢。

目 录

前言	(i)
第一章 黄土的概念和研究简史	(1)
第二章 风积过程的区域记录	(11)
第一节 黄土的分布	(14)
第二节 黄土沉积盆地的地质结构	(28)
第三章 黄土演化的时间序列	(44)
第一节 洛川黄土-古土壤地层序列	(44)
第二节 黄土磁性地层学	(62)
第三节 黄土 ^{14}C 测年	(81)
第四节 距今 1 万年来的黄土系列	(92)
第五节 距今 240 万年来的黄土时间序列及地质事件	(106)
第四章 黄土中的生物遗存及其生态环境	(113)
第一节 哺乳动物及其演化	(113)
第二节 蜗牛化石与环境	(141)
第三节 孢粉化石与古植被	(176)
第五章 黄土环境演化的地质证据	(191)
第一节 粒度组成	(191)
第二节 重矿物	(208)
第三节 粘土矿物	(219)
第四节 地球化学特征	(238)
第五节 稀土元素	(256)
第六节 氨基酸	(264)
第七节 古土壤与微形态	(277)
第六章 黄土与环境变迁	(303)
第一节 现代尘暴与黄土堆积	(303)
第二节 黄土的堆积量、堆积速率与环境	(322)
第三节 黄土高原长期气候变迁	(336)
第四节 黄土-古土壤系列的谱分析	(348)
第五节 黄土和黄土性土壤的组成与农业生产	(358)
第六节 黄土地球化学环境与地方性疾病	(366)
第七节 黄土工程地质性质与区域稳定性评价	(381)
第八节 黄土环境与水土流失	(400)
第七章 黄土研究的一些问题和方法	(413)
I. 黄土地层序列的划分和命名原则	(413)

II. 中国黄土的磁性特征.....	(423)
III. 关于磁性年表与第四纪磁性地层学的研究方法.....	(434)
IV. 应用氨基酸外消旋测年和古温度.....	(437)
V. 黄土的热释光测年.....	(441)
VI. 关于 1977 年发表的黄土热释光年龄数据的说明	(460)
参考文献.....	(468)
图版 I — XVI.....	(482)

第一章 黄土的概念和研究简史

一、黄土研究的意义

黄土¹⁾覆盖着约 10% 的地球陆地表面,集中分布在温带和沙漠前缘的半干旱地带,亦即分布于现今的北纬 30—55° 左右和南纬 30—40° 左右的世界“小麦带”内。黄土和次生黄土分布区是世界上工农业高度发展和人口集中的地区,黄土与社会生产和发展的密切关系,由此可见一斑。这就不难理解,近 150 年来世界上许多地质、地理、土壤、农业、水利、交通、工程建筑等方面的专家乃至动物、植物、考古、历史学家,都对黄土的研究有着浓厚的兴趣。

在我国,黄土分布面积达 44 万平方公里,尤其在黄河中游地区厚层的黄土连续覆盖面积约 27.3 万平方公里(刘东生等,1965),形成蔚然壮观的黄土高原,为世界所罕见。次生黄土分布面积(不包括华北和黄淮平原)约为 20 万平方公里。若将华北和黄淮平原亦视为次生黄土覆盖区,那么,在我国黄土和次生黄土分布面积便超过一百万平方公里,占全国总面积的 10% 强,拥有全国耕地面积的五分之一以上。而且,在黄土和次生黄土区内居住着二亿多人口,占全国居民的五分之一,他们的衣食住行无不与黄土和次生黄土息息相关。

自古以来,我国的文化发展就与黄土有关。旧石器时代的蓝田猿人、大荔人、丁村人和河套人等,在黄土区内创造了光辉的史前文化;在新石器时代,灿烂的仰韶文化也基本上发展于黄土区。六、七千年前的人类利用了黄土高原独特的自然环境,创造了与两河流域、印度河及尼罗河流域等世界早期农业发祥地完全不同的旱作农业,使黄土高原成为世界农业起源区之一(何炳棣,1969)。商周以次,直至唐宋,三千多年里,我国的政治、经济和文化中心一直位于黄土和次生黄土分布区内并非偶然。黄土疏松多孔,质地均匀,易于耕作和形成肥沃土,十分有利于农业发展,从而影响着社会文化的发展,在生产水平不高的古代社会尤其如此。我国光辉灿烂的古文化之所以能够在几千年内经久不衰,而不象两河流域等地古文化昌盛一时之后而衰落,这在一定程度上是与黄土高原独特的自然环境和人民对农业生产的创造性努力密切相关的。

广泛分布的厚层黄土和次生黄土,既有形成肥沃土壤,利于农业生产的一面,也有不利于生产发展的另一面,那就是黄土十分松散,易被侵蚀,产生水土流失。加之长期存在着一些不合理的开垦和利用方式,致使黄土高原水土流失极为严重,生态平衡遭到破坏,而且严重地危害黄河下游地区。黄河输砂量每年高达 16 亿吨或更多,成为世界上各条大河之冠,其中 80% 以上的泥沙来源于黄土高原。治理黄河,化害为利,历来是我国人民的迫切要求,也是关系我国繁荣昌盛的一件大事。建国以来,党和政府对黄土高原的开发、治理十分重视。已故周恩来总理特别关心和提倡对水土保持和黄土的科学研究。可见治

1) 这里所指的黄土包括:黄土、次生黄土和黄土状土。

理黄河的重要,治理黄河的关键在于黄河中游黄土地区的水土保持。这就涉及对黄土的分布、地层时代、地形条件、物质组成、物理性质、力学性质以及黄土高原形成和演化的历史等的了解。此外,黄土独特的物质组成和结构以及所在的地貌及新构造环境,使得在黄土区进行各项工程建设时,都不同程度地遇到了诸如湿陷、崩塌等一系列工程地质问题。经济而合理地解决这些问题,都不能不进行黄土基本性质的研究。

黄土是地壳发育史上最新阶段的产物。我国的黄土高原,大约在240万年前就已开始堆积(Heller and Liu Tungsheng, 1982),此后几乎连续沉积至今。黄土高原的各个黄土塬区,一百多米厚的黄土地层有着丰富的生物遗存,保存着非常完整的黄土-古土壤系列。它象一部内容丰富的典籍,记录了200多万年来黄土高原地区,乃至欧亚大陆所发生的重大地质事件,如生物气候环境变迁、新构造变动、人类文化的发展历史等等。近年来的研究表明(六章三节),洛川黄土剖面中所保存的生物气候长期变迁的记录可以和第四纪深海沉积物剖面中所保存的记录——通常被认为反映全球气候长期变迁的最好记录(Emiliani, 1955, 1966; Shackleton and Opdyke, 1973, 1976; Hays, et al., 1976)相媲美,而且两者可互相对比和印证。这将为探讨区域性和全球性气候长期变迁的模型、机制和动力提供重要的线索和素材。

R. F. 弗林特(Flint, 1974)曾指出,一个世纪前问世的生物进化论基本上解决了生物圈的演化系统;大陆漂移—海底扩张—板块构造学说的兴起使岩石圈的演化也日趋得到解决;地球科学中未来的一个重大理论课题将是大气圈的演化,其中包括气候长期变迁这样一个重要课题。大气圈的演化,包括大气物理要素(如气温、气压、湿度等)及运动要素(如大气环流的尺度、形式等)的长期变化,都不能在大气圈本身保存下可追溯的记录,只能通过大气圈与生物圈、岩石圈的互相作用而在生物圈和岩石圈里留下它演化的间接记录。广泛覆盖于地球表面的黄土-古土壤系列(它本身就是大气活动的产物)——次生黄土将是探索近二百万年来大气圈,尤其是大气圈和生物圈与岩石圈互相作用演化过程的极有利的研究对象。

近年来许多学者认为,九十年代地球科学的前缘和重大课题将是研究地质圈与生物圈的互相作用和全球变化,更深入地了解人类生活的自然环境和未来的发展趋势。黄土、次生黄土及其他第四纪沉积物,恰好位于生物圈和地质圈互相作用的连接带上。对黄土和次生黄土的深入研究将为揭示上述相互作用的过程和机制提供极有价值的材料。在我国,黄土分布之广,黄土厚度之大,黄土沉积之典型和黄土地层发育之完整,均属世界罕见。这为我们研究上述课题,对地球科学的发展作出应有的贡献,提供了不可多得的条件,从而也要求我们更加发奋去探索。

二、黄土术语的由来和演绎

黄土是我国人民对黄色松散土状堆积物的统称。虽然它与现代地质学中的“黄土——Huangtu” (Loess, Löss, Лёсс) 术语有所差别,但却包含着现代地质学中有关黄土概念的重要内容。我国人民称之为黄土的沉积物必须是黄色的,同时又必须是土,而不是砂石,也不是泥(通常是指比较粘重的、粉面状的物质)。而介于砂和泥之间的土,实质上是粉土或尘土。我国人民习称的黄土主要应当是指黄色的粉尘堆积物。这一点可从我国历史文献中得到验证。

黄土一词，在二千多年前已见于我国文献。例如“元凤三年（公元前78年），天雨黄土，昼夜昏霾”。（见《伏候今古注》）；又如“成帝建始元年（公元前32年）四月壬寅晨，大风从西北起，云气赤黄，四塞天下，终日夜下着地者黄土尘也”。（班固：《前汉书·五行志卷第七下之上》）。类似的记载还很多（王嘉荫，1965；张德二，1982）。特别值得注意的是，“黄土尘”的记载出自伟大的史学家班固（公元32—92年），他是扶风安陵（今陕西咸阳市）人，生在黄土区，长在黄土区，对黄土自然非常熟悉，同时他素来以治学严谨著称于世。因此，他的“黄土尘”记载应当是比较确实地反映了当时人们对黄土与风尘关系的认识。这不仅提供了古人对黄土成因的一些设想，而且提供了古人对黄土性状的理解。把“尘”一词与黄土相联系，十分精确地表述了黄土性状的基本特点，尤其对黄土颗粒粗细是很生动形象的描述。1980年4月18—19日降落在北京地区的风尘，其性状和颗粒组成都与黄土十分相似（Liu Tungsheng, et al., 1981）。这样，有理由推断，我国古代习称的黄土主要是指黄色的尘土堆积物，与现今关于黄土的概念比较相通。

1907年B. 维里斯(Willis)在其《中国之研究》一书中用“Huangtu——黄土”一词，把它作为一个专门术语带到现代地质文献中，但他的“Huangtu”含义较广，包括黄土及其相间的砂、砾石等。从而增加了对黄土认识的困难，使黄土术语应用混乱。

在德语、英语、俄语和法语地质文献中，相当于汉语地质文献中“黄土”(Huangtu)的专用名词分别为“Löss”、“Loess”、“Jlëcc”及“Leuss”。它们都是由德语“Löß”或“Loeß”一词演化而来的。据G. 基伦(Quiring, 1936)考证，K. 伦纳德(Leonard)首先据莱茵河谷地居民称松散土为“Loesch”而用“Loeß”一词，作为黄土的专门术语。在德语中Loesch或Lösch与Loe、Loc或Lösen意义相近，都是疏松、松散结构的意思。由此看来，依照Loess, Löss, Jlëcc和Leuss的原意，它们对黄土概念内涵的表述都不如汉语“黄土”一词来得确切。1834年莱伊尔(Lyell, C.)应用英语“Loess”一词来表述莱茵盆地黄色松散的垆姆状沉积物，并认为是冲积成因的。从此，Loess这一术语就在英语文献中被广泛采用了。

十九世纪中叶以后，随着地质学的发展，对黄土的调查研究逐渐增加、扩大。黄土的概念也就逐渐充实。这一期间德国人F. v. 李希霍芬(Richtofen)于1866—1872年先后在我国进行地质考察，把我国的黄土与莱茵河谷的Löss作了对比，认为两者基本相同，都是浅灰黄色、钙质的垆姆，疏松多孔，厚层状，无层理，含陆生软体化石，具有垂直节理，常呈陡壁。他以此作为黄土(Loess)的定义，并认为是风成的，不同于湖积的黄土状沉积物(Loess-like deposits)。

由于黄土和与它类似的(或相关的)沉积物分布十分广泛，在欧亚大陆和北美大陆这类沉积物分布面积就达1300万平方公里左右(Круреп, 1965)，它与人类的生产活动密切相关。不同地区的不同研究者从不同的目的出发，对不同地区的这类沉积物进行研究，很自然会得出不同的认识，从而给这类沉积物以不同的名称、术语、概念和定义。因此，从本世纪初以来，有关黄土这类沉积物的名词和术语不断出现。例如，强调成因方面的，则提出“风积黄土”、“风积湖积黄土”、“风积洪积黄土”、“湖积黄土”、“冲积黄土”、“洪积黄土”、“洪—冲积黄土”、“冰积黄土”、“坡积黄土”、“冰缘黄土”、“海成黄土”等等，以及“原生黄土”、“次生黄土”、“次生黄土状土”、“次生黄土状岩石”、“黄土状沉积物”、“典型黄土”、“冷黄土”、“热黄土”、“沙漠黄土”、“冰川黄土”等等。从岩石学性质出发的则有“黄土垆姆”、“黄土状亚砂土”、“黄土状亚粘土”、“石质黄土”、“松散灰质土”、“粉土”、“碳酸盐黄土”、

“非碳酸盐黄土”、“腐殖质黄土”、“层状黄土”、“红色土”等等。在工程地质和水文地质方面的文献中还可见到“大孔土”、“湿陷性黄土”、“非湿陷性黄土”、“自重湿陷黄土”等等名词术语。此外,在一些国家的文献中还出现诸如“阶地黄土”、“河漫滩黄土”、“潜育化黄土”、“淋溶性黄土”等等术语。

如此之多的名词术语,一方面反映了黄土或黄土类沉积物研究的广泛性,以及黄土研究不断深入;另一方面也反映了,不同地区、不同行业的不同研究者,对于“什么是黄土?”这样一个基本问题的认识仍然十分不一致。因此,明确概念、统一术语,以利于不同行业、不同地区的黄土研究者之间相互交流,推进黄土的研究,仍是今后黄土研究中值得重视的一个问题。

三、黄土和次生黄土的概念

对于“什么是黄土?”及“如何鉴别黄土类沉积物?”等问题, F. V. 李希霍芬,尤其是 B. A. 奥勃鲁契夫(Обручев, 1933),已作过多方面的讨论。其他研究者,如 J. C. 贝尔格(Берг, 1928, 1946)、R. 纳西尔(Russell, 1944)、R. F. 弗林特(Flint, 1947)、马谔之(1945)、C. C. 莫罗佐夫(Морозов, 1951)、B. B. 波波夫(Попов, 1957)、张宗祐等(1959)、H. И. 克里格(Кригер, 1965)等等,也都从不同角度作过讨论。刘东生等(Liu Tungsheng. et al., 1958; 刘东生等, 1959; Liu Tungsheng and Chang Tsunghu, 1961; 刘东生等, 1964 b, 1965, 1966)曾多次对这些问题作过阐述。

1965年笔者等根据我国各地黄土类沉积物的研究结果及当时国内外的认识,参考了 B. A. 奥勃鲁契夫(Обручев, 1933)的意见,曾指出“以风力搬运堆积未经次生扰动的、无层理的、黄色粉质富含碳酸盐并具有大孔隙的土状沉积物称之为黄土,具体说就是以分布在山西、陕西和甘肃等地构成黄土高原的黄土作为代表。风力搬运堆积之外的其他成因的黄色的,又常常具有层理和砂、砾石层的粉土状沉积物称之为黄土状岩石”(刘东生等, 1965)。黄土状岩石就是一般所称的次生黄土。一般地说,它的成因与黄土有一定联系,多数为黄土经水流等营力再搬运,在干旱和半干旱地区内再沉积而成的,因而在岩性及其他特征上与黄土有某些相似之处。

沉积物的各种性质都与沉积物的形成过程密切相关,不应孤立地分隔这两者。在建立完整的黄土概念时,应考虑黄土形成的全过程,即黄土物质产生、搬运和沉积,以及其后的变化这样一个不可分割的完整过程。

1. 黄土物质的来源

世界各地(如黄河中游、中亚、东欧、西欧和北美等地)的黄土在物质成分上最重要的共同特征是,粉尘颗粒(粒径约 0.05—0.005 毫米)占极大的优势(含量一般在 50—80% 以上)以及富含碳酸盐(CaCO_3 含量通常达 10—15% 左右或更高)。在粉尘颗粒中石英颗粒最多,占半数以上。在表生环境中,石英是坚硬而稳定的矿物,不易风化破碎。大量粉尘大小的石英颗粒是怎样产生的? 碳酸盐物质从哪儿来的? 了解这些问题,对于认识黄土的形成无疑具有重要意义。

J. C. 贝尔格(1932)曾认为,只要有大量 0.001 毫米或更小的微粒,一定量的铝硅酸

盐和相当多的碳酸钙和镁,那么草原型或沙漠型干燥气候的风化作用结果就可以使沉积物具备“尘土”状的颗粒构成,即具有相当多的0.01—0.05毫米粒径的质点并形成松散构造。这就是J. C. 贝尔格著名的“就地”风化成壤形成黄土的“黄土化”假说。黄土中粉砂石英颗粒具有不规则的次棱角状、棱角状(王克鲁、裴静娴,1964)。对它们作扫描电子显微镜观察(Smalley and Vita-Finzi,1968;刘东生等,1978)和透射电子显微镜观察(卢演传等,1976)都表明,这些粉砂石英颗粒都是由机械破碎产生的,具有典型贝壳状断口、尖棱角状及破裂纹等机械破碎的表面结构特征。在黄土堆积区不能“就地”风化成壤而形成这些石英颗粒。

通常认为冰川研磨作用是产生大量粉砂石英颗粒的有利机制(Smalley and Cabrera, 1970)。新近的研究表明,沙漠作用(即温差强烈变化),尤其在有可溶盐(如 Na_2SO_4 等)参与下,同样可使粗粒石英破碎成粉砂状石英,使沙漠、戈壁地区源源不断地产生粉砂石英颗粒。此外,根据E. M. 谢尔盖耶夫(Сергеев,1960)等的研究结果,在温差变化达 60°C (从 30°C 到 -30°C)时,冰碛物与冰川作用有关亚粘土中0.01—0.05毫米的颗粒会增加2.5—4.9%, >0.1 毫米的颗粒相应减少4.5—5%,而 <0.001 毫米的颗粒数量变化不大。

黄土,或者说“典型黄土”(Обычен,1933),在分布上几乎都与沙漠、戈壁的分布有密切联系,如中国的黄土(刘东生、张宗祐,1962)、中亚的黄土、北美内布拉斯加和堪萨斯等地的黄土(Lung and Hickory,1969),或者与第四纪冰川,尤其大陆冰川分布区有联系,如西欧、东欧及北美一些地区的黄土(Flint,1947;Крапер,1965);黄土的碎屑矿物种类多而复杂,与下伏及附近基岩无明显关系,而与沙漠、戈壁沉积物却可对比或者与冰碛物相似;黄土中粘土矿物主要为“碎屑成因”,即由风尘携带而来的(Han Jiamao,1982);我国历史上成千次“雨土”(即粉尘)事件,其尘土多数起源于黄土分布区西北的沙漠、戈壁地区(张德二,1982);1980年4月17—21日华北等地的粉尘事件,粉尘起源于哈密至二连一线的沙漠、戈壁地区(Liu Tungsheng, et al.,1981,1982)。这些事实都表明,黄土物质主要来自沙漠、戈壁地区,或者来自第四纪冰川地区。我国黄土分布区之西北约有150万平方公里的沙漠、戈壁,广泛发育中、新生代碎屑沉积层,完全有可能为我国黄土堆积提供充足的物质来源。

碳酸盐物质是使黄土具有独特的组织结构的重要组成物。它的来源有两:其一,从来源区携带而来。我国黄土中普遍存在粉砂粒级的、滚圆的方解石颗粒,称之为原生方解石,其数量多寡与黄土中 CaCO_3 含量呈正相关(刘东生等,1966)。在干旱区沙漠、戈壁中粉砂石英、长石等颗粒表面附着 CaCO_3 薄膜,颇为常见。当这些颗粒被吹送到黄土堆积区时也带来了一部分 CaCO_3 物质。1972年4月22日和1973年7月21日美国西南部亚利桑那州天皮镇收集到沙漠地区吹来的尘土(约75%的颗粒直径在0.05—0.005毫米之间)含 CaCO_3 达3%(Péwé,1981)。其二,由大气降水、地下水和生物活动带到黄土中的这一部分称为黄土中的次生碳酸盐。黄土堆积在干旱和半干旱地区,蒸发量远大于降水量,如黄河中游地区年均蒸发量约1400—1800毫米,为年均降水量约200—600毫米的3—9倍,利于沉积物富集碳酸盐类。若黄土平均堆积速率为0.1—0.2毫米/年(据现代粉尘资料估计现今约为0.1毫米/年),大气降水含 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 约为0.01克/升,年均降水量200—400毫米的50%被蒸发,其余的成为地表径流和补给地下水。那么,估计在黄土堆积过程中,黄土可从大气降水中获得约3—10%的 CaCO_3 含量。黄土中碳酸盐的上述

两种来源都取决于干旱气候条件,越是干旱, CaCO_3 含量就越高。黄河中游马兰黄土 CaCO_3 含量由东南向西北递增,就是一个实例。黄土颗粒较粗,其 CaCO_3 含量就较高(五章一节)。

2. 黄土物质的搬运和沉积过程

F. v. 李希霍芬(1877)提出,黄土为“subairal deposits”,意指低空搬运、沉积的沉积物。B. A. 奥勃鲁契夫(1954)认为,反气旋活动可把中亚粉尘吹刮到中亚之外,以至很远的地区沉积成黄土。有的学者联系到更新世冰期反气旋活动提出,冰期干风(或称为冰期焚风—*фенам, ледникового периода*)把冰川区粉尘吹扬到远离冰川区沉积成黄土。虽然这些早期研究者提出了极有价值的观察事实和认识,但是对粉尘搬运和堆积的全过程尚不完全了解。

我国几千年来有关“雨土”现象的记载(王嘉荫, 1965; 张德二, 1982)和近年来对 1980 年 4 月 17—21 日华北粉尘事件的研究(Liu Tungsheng, *et al.*, 1981, 1982),为了解黄土粉尘物质搬运和沉积的全过程提供了重要基础。我国黄土粉尘物质的搬运和堆积与不同尺度的大气活动有关,尤其与强冷锋发展过程有着更密切的关系。强冷锋在西伯利亚、蒙古南部出现,伴随发生大风天气,把黄土区之西北的戈壁、沙漠中粉尘扬起,随上升气流卷入高空,在西风气流推动下,随强冷锋向东南移动和逐渐减弱,粉尘也逐渐被搬运到黄河中游、华北,以至更远处沉降。这一过程也与强冷锋过后强大的反气旋系统有关(六章三节)。我国历史上大多数“雨土”(即降尘)的地区大部分正好处于东亚准静止槽的后方,盛行下沉气流,利于粉尘降落,沉积成黄土。这是我国黄土堆积如此之厚,冠于世界其他地区的一个重要条件。

此外,我国历史上和现代粉尘事件大都发生在春季或春末夏初,正是我国北方一年中最干旱的季节,利于粉尘扬起。据张德二研究(1982),东亚大槽发展最深厚的时期,我国气候相应寒冷,“雨土”事件频繁出现。这表明,在寒冷时期干旱季节,粉尘易于扬起,随强冷锋发展而搬运和沉积,利于黄土堆积。

类似的粉尘事件在本世纪三十年代也曾发生在北美(Lung and Hickory 1969)。那时大风把北美大平原西部和落基山东部,尤其是怀俄明州和南达科他州的“尘盆”(dust bowls)的粉尘扬起,吹送到东科罗拉多、西内布拉斯加和堪萨斯州沉积,并向南到达俄克拉何马、得克萨斯及新墨西哥州,横跨 500—700 公里。同时,尘暴还向东发展,吹扬到美国东部和大西洋。美国中西部黄土分布范围和厚度,虽然比我国黄河中游地区的小,但是它也具有明显的自西北向东南厚度变小,颗粒变细的区域分布特征(Olson and Rune, 1980),并与黄河中游黄土的区域分布特征相似。这也反映北美部分黄土的物质搬运和堆积过程可能与我国的类似。

应当指出,各个黄土分布区的地理位置、地形条件及大气活动状况都不尽相同。很自然,各地黄土物质的搬运和堆积过程也必然会有差异。不过凡是黄土,其物质搬运和沉积肯定与某种尺度的大气活动过程直接相关,由一定的天气过程所制约。

3. 成土作用及黄土演变

并不是所有的大气粉尘堆积物都是黄土,只有在干旱和半干旱的荒漠草原、草原或稀

疏森林草原环境中堆积的大气粉尘才能变成黄土。当大气粉尘降落到干旱、半干旱地区的地表时,难免受到雨水、霜雪、生物活动等作用,同时这些作用是在弱碱性介质的氧化环境中进行的,其显著的结果是使粉尘堆积物发生次生碳酸盐化。次生碳酸盐与粉尘中粘粒物质结合构成许多微团聚体或微集合体;次生碳酸盐连结粉尘颗粒之间的接点、接线,乃至接面;次生碳酸盐与粘粒胶体物质一起附着于堆积物内根孔、虫孔等孔隙,形成大孔构造。同时,次生碳酸盐与少量铁、锰质等氧化物一起包裹着粉尘颗粒,使之呈浅灰黄色或浅黄色。这样,次生碳酸盐化就使得粉尘堆积物变成具有浅黄色调的、疏松多孔和具有大孔隙的、质地均一的、具“粒状”或“斑状”结构的黄土。这一过程为粉尘的生物地球化学“成黄土作用”。这里也包括融冻、蒸发等物理作用的贡献。

上述在干旱、半干旱地区大气粉尘堆积物发生次生碳酸盐化,获得“粒状”或“斑状”结构而演变成黄土的过程也称之为“黄土化”。然而,这里的“黄土化”概念与Л. С. 贝尔格(1932)的“黄土化”概念是不相同的。

在干旱、半干旱地区内,大气粉尘堆积物发生次生碳酸盐化的同时,也受到其他风化作用。次生碳酸盐化的程度和受到其他风化作用的程度主要取决于堆积区当时的生物气候状况。在干旱程度高和生物产率低的条件下,粉尘堆积物次生碳酸盐化快而显著,其他风化作用则弱;而在干旱程度相对低和生物产率较高时,次生碳酸盐化缓慢而弱,而其他风化作用却显著,其极端情形则是粉尘堆积物直接受到强烈的成壤作用,形成某种类型的土壤。这就导致同一时期的黄土岩性具有区域分布特征。

黄土形成后,在不同的环境中受到不同的地质营力作用,而产生不同方向的演化。

黄土形成后,在原地无新沉积物覆盖,暴露于地表时,受到物理、化学和生物-化学的风化作用,而成为风化壳或风化层。当生物-化学作用,尤其生物作用,进一步加强,则形成具有一定土壤发生层段剖面结构的某一类型的土壤。如果这些风化层或土壤层被更新的沉积物覆盖,则构成埋藏风化层或埋藏古土壤。在我国黄土高原及其他黄土区黄土剖面中几乎都可见到埋藏古土壤和埋藏风化层。对于它们的形成环境、发展过程、演变趋势、研究方法和意义,作者等都有过阐述和讨论(刘东生等,1964b),并将在本书五章七节里进行较详细的讨论,这里不再赘述。

当黄土形成后迅速被更新的沉积物所覆盖,随上覆地层增厚,在地层自重压力及地温、地下水等的作用下,黄土逐渐被压密,失去大孔和湿陷性,发生退化、变性等成岩过程。

黄土受到各种水流的剥蚀、侵蚀、发生再搬运、再沉积。若被再搬运的黄土物质沉积在干旱、半干旱地区内的河谷、边坡、平川等各种地貌部位上,则成为具有不同成因的次生黄土。这类沉积物在成分上与黄土有联系,具有类似黄土的外貌,但是它们通常具有层理、微层理或无层理,并常有砂、砾石夹层或透镜体,有时还有淤泥、泥炭等夹层和透镜体等。

黄土形成后向何种方向演变,主要取决于黄土所在区的地形、地貌、水文、气象、植被和新构造运动等条件。有史以来,人类活动对黄土的演变也有重要影响。

上述黄土形成和演变过程可简单地归纳成图1。

(2) 水成说主期(约1840—1870年)。C. 莱伊尔(Lyell)将今论古的现实主义研究方法和均变论(又称渐变论)思想给黄土研究带来了新的影响,出现了注重实际材料的比较研究,研究范围由西欧扩展到东欧、北美和中国等地。这个时期普遍认为黄土是水成的,属冲积、洪积或湖积、海积成因。例如认为莱茵盆地黄土与尼罗河、刚果河及密西西比河等大河的泛滥淤泥相似,无层理,含陆生软体贝壳和钙质结核,从而提出,莱茵河谷黄土系阿尔卑斯山冰川融雪水造成河流泛滥淤积形成的。A. 布朗(Braun, 1847)认为,莱茵盆地和多瑙盆地的黄土是深水湖泊沉积物。R. 庞培利(Pumpelly, 1866),认为中国的黄土是大型淡水湖泊成因的。同时还有北美大平原黄土为冰水成因等等意见。

这一时期C. 莱伊尔和A. 布朗等关于黄土中软体动物化石的研究结果,对以后黄土及第四纪研究都有重大的影响。C. 莱伊尔发现,莱茵黄土中水生软体贝壳少,而旱生的多,在185种贝壳中,水生的只有32种;在现代莱茵河冲积物中却相反,146种贝壳中水生的达126种。虽然C. 莱伊尔用冰川融雪使河流泛滥,把旱生软体贝壳冲带到河流成因的黄土沉积物中来解释所观察到的现象,而实际上他观察到黄土中旱生软体贝壳占优势的现象,已反映出黄土是旱地沉积物。

A. 布朗(1847)对黄土中软体动物化石作了相当深入的研究。他从莱茵黄土和多瑙黄土中采集了211,965个软体贝壳,经鉴定表明,主要为*Succinea oblonga* Dran(98,240个)、*Helix hispida* Müll(75,420个)、*Pupa muscorum lam*(24,375个),而水生软体贝壳很少。据他统计,在弗里森海姆(Frizenheim)黄土中采集的131,300个贝壳中,水生的只有56个;在拉皮奈(Rappinai)黄土55,400个贝壳中,水生的只有4个;在艾亨(Aihem)河上游黄土900个贝壳中,水生的只有2个。J. 查彭特(Charpentier)发现,A. 布朗所研究的黄土的主要软体种属现今生活在阿尔卑斯山和侏罗山2100米高程以上的暗色针叶林带中。他们发现,黄土中极少见到喜暖的软体种属。A. 布朗据此指出,黄土中见到的软体动物或者是生活在高山地带的,或者是生活在寒冷气候时期。他还指出,黄土可分为山地黄土和河谷黄土。A. 布朗的研究为黄土风成说及认识黄土形成环境提供了重要基础。

(3) 大气粉尘沉积(风成)说形成和发展期(约1870—1930年),虽然有关黄土成因的各种假说,在此之前,都已相继出现,形成了百家争鸣的局面。但是,F. v. 李希霍芬提出的,并由B. A. 奥勃鲁契夫等人发展了的大气粉尘沉积说,却一直占据主导地位。从这一时期开始,黄土研究的重心已由西欧转移到中国和中亚地区。

1868—1872年,F. v. 李希霍芬先后来我国进行考察。他观察到中国北方广泛分布的黄土与莱茵河谷地区的“Loess”相似。他特别注意到,黄土无层理,黄土中旱生软体化石零散分布,未受水流改造;黄土分布在不同高度的山坡、高原、平川等地貌单元上。同时,他亲身体验了我国北方内蒙古高原上的风暴和尘暴作用。于是,1877年他在地质著作《中国》(China)第一卷中明确提出,黄土是大气沉积物。他认为,黄土是风吹扬起来的砂粒和尘粒由风和雨水沉降在干旱草原植被上或内陆盐沼化湖盆上形成的,并把黄土分为旱地黄土和湖沼黄土。他还认为,黄土高原是一个一个盐沼化内陆湖盆被黄土充填而形成的,并且在内蒙古高原丘陵间的盐沼化盆地里,还可观察到新的黄土形成过程。1886年F. v. 李希霍芬更明确地指出,黄土是草原风积物,是草原土壤(广义的土壤)。他不否认附近高山地带岩石风化产物也参与黄土形成。