

中国黄土的结构特征 及物理力学性质

王永焱 林在贯 等 著

科学出版社

中国黄土的结构特征 及物理力学性质

王永焱 林在贯 等著

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书是作者对我国黄土地区多年研究工作的总结。作者以丰富的研究资料对黄土-古土壤系列的岩性地层、生物地层、气候地层、磁性地层及年代地层作了全面介绍,并提出了黄土地层划分方案;对黄土成因问题以及黄土地区的地貌特征进行了讨论;在大量分析研究和实验室测试的基础上,对黄土结构特征和物理力学性质及其二者之间的相互关系进行了研究,为利用简便的黄土结构研究对黄土工程性质进行预测和初评提供了有价值的资料。

本书可供从事第四纪地质、水文地质、工程地质、地理、土壤等专业的科技人员以及大专院校有关师生参考。

中国黄土的结构特征 及物理力学性质

王永焱 林在贯 等 著

责任编辑 邵正华

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

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



*

1990 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1990 年 3 月第一次印刷 印张: 16 1/4 插页: 16

印数: 001—900 字数: 372 000

ISBN 7-03-001452-9/P·270

定 价: 26.10 元

前 言

中国黄土分布很广,面积约 631 000 平方公里,占我国陆地总面积的 6.6%,主要分布在黄河中游的黄土高原地区。我国黄土最大厚度有 400 米,居世界之冠,地层连续完整,是研究第四纪以来西北地区古气候古环境的变化及其地质事件的标准陆相沉积区。

我国有关黄土的记载由来已久。如在《禹贡》(2300 年前)、《前汉书》(2012 年前)、《水经注》(1400 年前)、《梦溪笔谈》(800 年前)等古典著作中,对我国黄土的分布、土质、地貌及成因等,都作过比较详细的阐述。从地质角度研究中国黄土,是在 110 年前开始的。中国黄土的研究过程,可分为以下三个阶段:

第一阶段——初步阶段(1949 年以前) 这一阶段对我国黄土的分布、成因、地层划分、矿物成分、黄土层中的哺乳动物化石及文化遗物等作了初步探讨。

第二阶段——发展阶段(1949—1975) 建国以来,随着黄土区的工农业发展,从地质、工程地质、地理、土壤、古生物、考古、水土保持等方面,全面开展了我国黄土研究,对黄土的分布面积、地层划分(主要是生物地层划分)、岩石学特征、工程地质性质、地球化学特征、黄土地貌、古土壤类型,不同层位的古生物组合(主要是哺乳类化石)、孢粉所反映的植被与古气候、黄土区的古人类、古文化及水土保持措施等方面,做了大量工作,取得了丰富的资料,发表和出版了不少论著,为黄土区的工农业建设提供了许多有价值的参考资料。

第三阶段——深入阶段(1975—今) 这一阶段最大特点是应用了一些先进的科技手段进行黄土研究。如古地磁测定、热释光法和 ^{14}C 法测年、黄土微结构在扫描电镜下的观察等。其次是研究内容大大增加。例如,黄土中粘土矿物的研究;古生物方面对蜗牛化石及小化石的系统研究;地球化学方面应用黄土中的氧化物及碳酸钙的淋移、微量元素的含量变化及元素演化等来探讨黄土区的古气候变化,还应用了黄土与古土壤的风化指数及磁化强度的差异讨论黄土区的古气候演变历史;工程地质方面结合工程建设,进行了大量的研究和探索,总结了建国以来在黄土地区工程建筑方面的经验,修订出版了新的《湿陷性黄土地区建筑规范》,并在对黄土工程地质性质及其在整个分布区内的变化规律的研究基础上,从浅层黄土进入到了深层黄土。这一阶段随着开放政策的推行,中国黄土研究方面开展了中外合作及学术交流,使外国人了解到中国黄土研究的进展,承认了中国黄土研究的水平。

黄土是农业土壤的母质,是黄土区水库、水渠等农田基本建设的基础,也是黄土区公路、铁道、各种工业及民用建筑的基础和材料。由于黄土的特殊性质,黄土区经常发生水土流失、地基湿陷、水库边坡、路堑及黄土堰边滑坡及崩塌等灾害性地质活动,对工农业建设及人民生活经常造成严重危害,所以黄土的利用和改造是黄土区一项重要研究课题。这种研究分基础理论研究、应用基础研究及应用技术研究。本书内所介绍的属第一阶段、第二阶段的研究范围。

陕西省地处黄土高原,上述灾害性地质活动经常发生。陕西省科学技术委员会认识

到黄土研究的重要性,1976年给西北大学地质系下达了“黄土的结构特征及物理力学性质”的科研任务,到1986年完成了。陕西省综合勘察设计院为协作单位。在1976—1982年间,我们主要进行了地貌、地层及黄土结构的研究,1983—1986年间进行了结构特征与物理力学性质的研究。这本书就是上述研究的总结,其主要内容包括地层、结构特征及物理力学性质三部分,是作者多年来工作成果的综合。

参加本书编写的人员和分工:前言和第一章由王永焱执笔;第二章由滕志宏执笔;第三章由王永焱执笔;第四章由雷祥义执笔;第五章由林在贯、王书洁执笔;第六章和第七章由雷祥义执笔。

研究人员:西北大学地质系黄土研究室的王永焱、滕志宏、雷祥义、岳乐平、赵景波;陕西省综合勘察设计院的林在贯、王书洁、陈梅惠、陈英琪、肖喜祖、李玉芬,以及土工试验室的同志。

本书初稿承蒙张宗祜同志审阅。薛祥煦、李传夔二同志审阅了有关部分章节,并得到刘东生同志的支持。孙卫、苗建宇二同志参加了野外工作。刘映枢、骆正乾、郭旗、袁习琴和李立红等同志帮助清绘图件和清洗照片。在此一并致谢。

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 黄土的含义及分类	1
第二节 黄土的成因问题	4
一、风成说	5
二、水成说	7
三、土壤(残积)说	10
四、多成因说	11
第二章 黄土地貌.....	15
第一节 黄土地貌的基本概念与研究概况	15
一、地貌与黄土地貌的含义	15
二、黄土地貌研究的意义	15
三、黄土地貌研究历史	16
四、黄土地貌的研究内容	17
第二节 黄土地貌的形成条件	17
一、黄土地貌形成的气候条件	18
二、黄土地貌形成的构造条件	19
三、黄土的岩石性质对黄土地貌的影响	20
第三节 黄土地貌的划分原则与类型	21
一、黄土地貌的划分原则问题	21
二、黄土地貌的划分方法与方案	22
第四节 黄土高原地貌的发育历史及其成因组合分析	26
一、黄土高原地貌的基本特征	26
二、现代地貌、古地貌及基底地貌	27
三、成因组合分析与类型	28
第三章 地层.....	30
第一节 中国黄土区第四系下限问题	30
一、欧洲及中亚第四系与第三系界限 (Q/N 界限)讨论现状	31
二、中国黄土区第四系下限问题	33
三、第四系与第三系界限的讨论	38
第二节 中国黄土地层区的划分与地层层序	39
一、梁峁地层区	40
二、塬地层区	42
三、山间盆地地层区	48
四、河谷阶地地层区	48
五、山麓缓倾斜平原地层区	51
第三节 岩性地层	51
一、黄土的矿物成分	51

二、化学特征	60
三、成岩作用及岩性地层的划分	67
第四节 生物地层	69
一、中国黄土区第四纪哺乳动物群	69
二、中国黄土层中发现的哺乳动物化石名单	74
三、几个有代表性的生物地层剖面	78
四、生物地层划分意见	81
第五节 气候地层	81
一、古植被所反映的气候变化	82
二、由黄土与古土壤的风化指数看古气候变化	84
三、磁化强度所显示的黄土与古土壤形成时期的气候差异	86
四、有关古气候的对比、讨论与结论	90
五、气候地层的划分	92
第六节 中国黄土区磁性地层和年代地层	94
一、黄土区磁性地层研究初步阶段所取得的成果	94
二、黄土区磁性地层学及年代地层学成熟阶段所取得的成果	97
第七节 地层总结与对比	99
一、下更新统	99
二、中更新统	101
三、上更新统及全新统	103
第四章 黄土的显微结构特征	105
第一节 碎屑颗粒的结构	107
一、粒度组成	107
二、黄土骨架颗粒的形态	121
三、骨架颗粒接触关系和连结形式	129
第二节 孔隙特征	133
一、黄土孔隙的成因类型	135
二、黄土孔隙的大小类型	140
第三节 胶结物特征及胶结类型	152
一、碳酸钙的存在形式	152
二、光性方位粘土	155
三、胶结物的赋存状态和胶结类型	156
四、黄土的成土类型	158
第四节 黄土的显微结构类型	163
一、黄土的显微结构类型	163
二、黄土显微结构类型在区域上的分布特征	171
第五章 黄土的物理力学性质与湿陷性	173
第一节 历史与现状的概略	174
第二节 黄土的物理力学性质	181
一、黄土的物理性质	181
二、黄土的力学性质	194
第三节 黄土的湿陷性质	201
一、湿陷与压力的关系	204

二、湿陷起始压力与饱和状态下的“前期固结压力”	210
三、饱和状态下的“前期固结压力”与有效土自重压力	212
四、不同地区的自重湿陷性与深度的关系	213
第六章 黄土的微结构特征与物理力学性质的关系	223
第一节 黄土物理力学性质指标与粘粒含量 (M_c) 的关系	223
第二节 黄土和冲积黄土状土的微结构特征及其物理力学性质比较	225
一、地层及微结构特征	225
二、黄土和冲积黄土状土微结构特征及其物理力学性质的比较	229
第三节 黄土湿陷变形过程中微结构的变化特征	231
一、黄土中集粒与湿陷性的关系	232
二、黄土孔隙类型与湿陷性	233
第四节 黄土微结构特征与物理力学性质的关系	237
一、晚更新世黄土微结构类型和其物理力学性质在区域上变化的一致性	238
二、黄土微结构类型和其物理力学性质在剖面中变化的一致性	241
第七章 结论	244
参考文献	245
图版	253

第一章 绪 论

什么是黄土？黄土作为一种沉积岩，它的岩石学分类如何？工程地质分类又如何？以及黄土的成因如何？因此对这些人们所关注的问题，在本书开始时，有略加讨论的必要。

第一节 黄土的含义及分类

由于生成与保存条件不同，不同地点甚至同一地点不同层位，黄土的性质不尽相同，不同性质的黄土，也有着不同的物质成分及工程地质性质，这些成分和性质，决定着黄土的实用意义和理论意义。因之在研究黄土的过程中，对黄土含义必然产生不同的理解。

黄土一词，自古以来就是我国人民对北方广泛分布的淡灰黄色状沉积物的惯有名词，早在我国古代文献中就已出现。在 2300 年前的《禹贡》一书中，曾对中国黄土的土质及分布作了记载。2012 年前，班固在《前汉书》中提出了“黄土尘”一词，并提出黄土是风成的见解。1400 年前，酈道元在《水经注》一书中也论述过黄土。800 年前沈括在《梦溪笔谈》中对黄土地貌特征作过描述。B. Willis 等(1907)在其《中国之研究》一书中，沿用了中国固有的黄土一词。西方国家提出“黄土”一词，是在 19 世纪后半期。C. Lyell (1834) 把德国莱茵河流域的松散土状沉积“Löss”音译为“Loess”。俄国学者把“Löss”音译为“Лёсс”。这样就把“黄土”“Löss”、“Loess”和“Лёсс”等词认为是同义词。

黄土大面积分布于欧亚大陆、北美大陆及南半球一些中纬度地区，它与这一带人类的生产活动密切关联，许多地质学者、地理学者、土壤学者对各地区的黄土从不同角度进行了研究，提出了许多名词和术语，其含义各有差别。

对于“什么是黄土”的讨论，由来已久。现就世界上主要黄土分布地区的研究者的一些看法，举例作简单的介绍。B. A. Обручев (1911) 最先提出把黄土与黄土状岩石分开。他把黄土沉积分为原生黄土与次生黄土；原生者系风成黄土，次生者系其他成因的黄土沉积。他认为典型黄土无层理，颗粒大小随离吹扬区渐远而变小，含陆生化石，偶有水生者。厚度最大者有 400 米，一般为 10—70 米，分布在分水岭上、山坡上、河谷及平原上以及沙漠边缘的干旱草原上，并根据主要风向和地形呈带状分布。而黄土状岩石的上述各项特征并不象黄土那么典型。很清楚，B. A. Обручев 是以成因为主，区别黄土及黄土状岩石。

Л. С. Берг (1916) 从土壤学观点出发，提出了黄土含义：(1) 无层理；(2) 具孔隙；(3) 富含碳酸钙 (10—15% 或更多)；(4) 细粒机械成分之均一性，小于 0.05 毫米者占优势；(5) 灰黄色；(6) 具垂直节理。具有上述特征者为黄土，缺乏其一或更多时为黄土状岩石。

B. B. Попов (1957) 提出的黄土定义中说，黄土是很疏松具湿陷性的粉土状第四纪岩石，富含 0.05—0.005 毫米的颗粒 (>50—57%)，孔隙度高 (42—56%)，具大孔隙，

含碳酸盐,无层理,质地均一,常很厚,并经过荒漠成岩作用的全过程。黄土状岩石不如黄土疏松,弱湿陷性或无湿陷性,含粘粒多,有时含粗粒成分,均一性差,常具层理,孔隙度及大孔隙差,荒漠成岩作用不完全,厚度小,常缺黄土特征之一项或更多。

解放前,我国对黄土的深入研究较差,把各种黄土沉积统称为黄土,风成说占优势,并以马兰黄土为其典型。解放后随着黄土区工农业生产的发展,对黄土的性质进行了深入细致的研究,很多人感到有必要把黄土沉积(广义的黄土)分成黄土与黄土状岩石,在一些文献中常看到黄土与黄土状岩石之术语,但对这两种不同性质的沉积物的含意,认识上还有差别。

下面介绍几位我国黄土研究者,对中国黄土所提出的含意与岩石学分类。

张宗祜(1963)分析了许多黄土资料后,认为在不同地质区域的黄土岩有其共同特征,但也有着明显的区域性差异,而这种地区性的特征,决定于该地区的地质地理环境。他把黄土分为以下五个地质地理类型,在每个地质地理类型中,有各种成因的黄土及黄土状岩石(见下述多成因假说),各种成因所形成的黄土沉积有:黄土、黄土状亚粘土、黄土状亚砂土、黄土状重亚粘土等。

黄土在世界范围内有其通性,但随地区不同又具有特性。因之用一个区域的黄土的特征,来讨论黄土的含义有其局限性,只能达到区域的分类。广泛应用的黄土定义及其分类,要根据世界范围内的黄土的一些通性作依据。王永焱(1963)¹⁾根据这些通性提出了黄土与黄土状岩石含义及岩石学分类。黄土应具有以下各种特征:(1)色淡灰黄或淡灰褐;(2)性疏松;(3)无层理;(4)具大孔隙;(5)粉土成分 $>50\%$;(6)结构均一;(7)垂直节理发育;(8)富含碳酸盐;(9)具湿陷性。黄土状岩石最显著的特征:(1)具层理;(2)含砂砾夹层及凸镜体;(3)具黄土特征之一部分。并从岩石学角度提出把黄土与黄土状岩石合起来称“黄土”岩,石质黄土是黄土状岩石的一种。

刘东生等曾多次(1962, 1964, 1965, 1966)对黄土及次生黄土概念作过阐述。在《黄土与环境》(1985)一书中,他又从黄土物质的来源、黄土物质的搬运与沉积以及成土作用与黄土演变等三方面,详细地阐述了黄土及次生黄土的概念,他们沿用了 В. А. Обручев 的原生黄土与次生黄土的术语。认为黄土的各种性质与其形成过程有密切关系,在建立完整的黄土概念时,应考虑黄土形成的全过程。根据这个原则,提出了黄土形成过程和黄土演变示意图(见图 1-1),图中显示了黄土与次生黄土的含义。

综合以上的简介,不管其成因如何,我们认为黄土的含义可归纳为:黄土(广义)可分为黄土(典型黄土)及黄土状沉积(非典型黄土)两种。典型黄土应具下列特征:(1)色淡灰黄或淡灰褐;(2)疏松多孔,具肉眼能观察到的大孔隙,成岩程度低;(3)无层理;(4)粉土(0.05—0.005 毫米)含量 $>50\%$;(5)结构均一;(6)垂直节理发育;(7)富含碳酸盐,含量 $>10\%$;(8)具湿陷性。凡缺少上述条件之一或更多时,属于黄土状沉积。

黄土的一般岩石学分类有:黄土、黄土状亚粘土、黄土状亚砂土、黄土状重粘土。前二者多为典型黄土,后者多为黄土状沉积。

为了结合黄土区的工农业建设,对黄土进行工程地质分类,具有重要的意义。下面举例简单地介绍几位黄土研究者对黄土的工程地质分类。

1) 王永焱, 1963, 黄土学。

国外主要是苏联人对黄土作过一些工程地质分类。如 В. В. Попов(1957) 以黄土的湿陷性为纲, 根据湿陷性的强弱结合成因类型提出了苏联黄土的工程地质分类: (1) 湿陷性很强的黄土 ($\Delta n_p > 50$ 厘米); (2) 强湿陷性黄土($\Delta n_p = 16 \sim 50$ 厘米); (3) 弱湿陷性黄土 ($\Delta n_p = 5 \sim 15$ 厘米); (4) 湿陷性很弱的黄土 ($\Delta n_p < 5$ 厘米); (5) 不湿陷黄土 ($\Delta n_p < 1$ 厘米)。А. К. Ларионов 等 (1959) 提出的苏联黄土分类表中的工程地质一栏中, 把苏联黄土根据湿陷性分为四种类型, 每种类型又分为两种亚类, 如表 1-1。

表 1-1 苏联黄土的工程地质分类表 (А. К. Ларионов 等, 1959)

专门指标	类型	饱水(液化)黄土 $W > 0.8 W_0$ 或 $K_w > 0.8$ $W > 0.13 W_p$ 或 $\frac{W}{W_p} > 1.3$		湿黄土(能压缩黄土) $0.5 W_0 < W < 0.8 W_0$ 或 $0.5 < K_w < 0.8$ 及 $W > 1.3 W_p$ 或 $\frac{W}{W_p} > 1.3$		稍湿黄土 $W < 0.5 W_0$ 或 $K_w < 0.5$ 及 $W_p < W < 1.3 W_p$ 或 $1 < \frac{W}{W_p} < 1.3$		干黄土 $W < 0.5 W_0$ 或 $K_w < 0.5$ 及 $W < W_p$ 或 $\frac{W}{W_p} < 1$	
		液化黄土	未液化黄土	压缩黄土 $E < 100$	弱压缩黄土 $E > 100$	不湿陷黄土 $\delta_{np} > 0.2$ $< K_d$ > 0.5 $P_{kp} > 1.5$ (公斤/厘米 ²)	弱湿陷黄土 $\delta_{np} > 0.2$ $0 < K_d$ < 0.5 $0.9 < P_{kp}$ (公斤/厘米 ²)	弱湿陷黄土 $\delta_{np} > 0.2$ $0 < K_d$ < 0.5 $0.9 < P_{kp}$ (公斤/厘米 ²)	强湿陷黄土 $\delta_{np} > 0.02$ $K_d < 0$ $P_{kp} < 0.9$ (公斤/厘米 ²)

注: W ——天然湿度; W_0 ——饱和湿度; W_p ——塑限; K_d ——压缩指数; K_w ——饱水程度; δ_{np} ——湿陷系数; P_{kp} ——临界压力; E ——压缩弹性系数。

我国工程地质工作者也提出了中国黄土的工程地质分类, 现举二、三例介绍如下:

地质部水文地质工程地质研究所 (1959) 把中国黄土作了详细的工程地质分类, 提出了“中国黄土及黄土状岩石之工程地质分类表”。表中的地质-地理环境、成因类型及岩石类别和张宗祜的岩石学分类基本一致。表中对主要的物理-力学性质及湿陷性作了如下分类: (1) 山前边缘带黄土, 弱湿陷, 最大相对下沉系数(im)为 0.05—0.019, 最大湿陷之临界压力为 3—5 公斤/厘米²; (2) 黄土高原区, 强烈湿陷, 最大值 im 值为 0.14—0.15, 最大湿陷之临界压力为 3—5 公斤/厘米², 黄土高原个别地点的黄土不湿陷, $im = 0$; (3) 山间盆地的黄土为弱湿陷黄土; (4) 河谷平原黄土为中等湿陷黄土, 最大 im 值为 0.07—0.10, 最大湿陷临界压力为 2 公斤/厘米²; (5) 山区黄土为弱湿陷或不湿陷黄土。

林在贯等(Lin Zaiguan 等, 1982)根据中国不同黄土区的黄土湿陷性, 提出了 7 个中国黄土工程地质分区, 即 I 区——包括六盘山以西的甘肃和青海, 黄土的平均湿陷系数为 0.027—0.110, 平均自重湿陷系数为 0.005—0.059; II 区——包括陇东和陕北, 平均湿陷系数为 0.030—0.084, 自重湿陷系数为 0.005—0.043; III 区——包括黄土高原南部的陕西关中地区, 平均湿陷系数为 0.029—0.078, 平均自重湿陷系数为 0.003—0.034; IV 区——山西, 平均湿陷系数为 0.027—0.089, 自重湿陷系数为 0.007—0.040; V 区——河南, 平均湿陷系数为 0.023—0.045; VI 区——河北、山东, 平均湿陷系数为 0.020—0.048; VII 区——北部邻区, 位于黄土高原北缘到沙漠边缘一带, 平均湿陷系数为 0.029—0.059。

影响工农业建设较大的黄土工程地质问题,主要发生在黄土高原地区及其东西邻区,如山西和青海等地。近年来,我们对上述地区的黄土结构特征及物理力学性质进行了系统地研究,根据黄土区影响工程地质性质的主要因素——湿陷性,及所处的地貌位置、土层的地质时代及结构类型可以提出如下的工程地质分类表,见表 1-2。

表 1-2 中国黄土工程地质分类表

地貌分区		地层时代	湿陷性	微结构类型
梁峁区	西部梁峁区	$Q_3(L_1)$	强湿陷黄土 $\delta_s > 0.07$	支架大孔结构为主,镶嵌微孔结构次之。
		$Q_2(L_2)$	中等湿陷黄土 $\delta_s = 0.03 - 0.07$	支架大孔半胶结结构为主,镶嵌微孔半胶结结构次之。
		$Q_2(L_4 - L_7)$	自重湿陷黄土 $\delta_{zs} = 0.031 - 0.051$	镶嵌微孔半胶结结构为主,支架大孔半胶结结构次之
	北部梁峁(区)	Q_3 黄土	中等湿陷黄土 $\delta_s = 0.03 - 0.07$	支架大孔半胶结结构为主
塬区	塬亚区	$Q_3(L_1)$	强湿陷黄土 $\delta_s > 0.07$	支架大孔结构为主。
		$Q_2(L_2)$	中等湿陷-弱湿陷黄土 $\delta_s = 0.015 - 0.07$	支架大孔半胶结及镶嵌微孔半胶结结构。
		$Q_2(L_4 - L_7)$	自重湿陷黄土 $\delta_{zs} = 0.013 - 0.024$	镶嵌微孔半胶结结构为主 L_7 为凝块胶结
	台塬亚区	$Q_3(L_1)$	中等湿陷黄土 $\delta_s = 0.015 - 0.07$	支架大孔半胶结结构。
河谷区		$Q_2(L_2 - L_7)$	自重湿陷黄土 $\delta_{zs} = 0.009 - 0.087$	支架大孔半胶结,镶嵌微孔半胶结及絮凝胶结
		Q_3 (高阶地上部) Q_2 (二级阶地前缘)	中等湿陷黄土 $\delta_s = 0.015 - 0.07$ 弱湿陷-非湿陷黄土 $\delta_s = 0.016$	支架大孔结构为主,镶嵌微孔结构次之。 镶嵌微孔半胶结结构

第二节 黄土的成因问题

在北半球北纬 30°—60° 之间和南半球南纬 35°—40° 之间,广泛分布着黄土,特别在北半球,分布广、厚度大。黄土沉积对黄土区工业和农业发展有着密切关系,自然地引起了非独地质学者的注意,而且地理、植物、气候、农业、考古及动物等学科的研究者们也有很大的兴趣。黄土沉积虽然引起了不少不同学科的学者们的注意和兴趣,但对黄土是怎样形成的这一问题,经过 130 多年的争论,到现在还未完满地解决。

为了方便读者能全面了解黄土成因假说,下面把一些研究者主要观点,略作介绍。
黄土的成因研究,早在 19 世纪中叶就已开始,到目前为止,综合起来有四种成因假说: (1) 风成说; (2) 水成说,包括冲击说、洪积说、坡积说、冰水说,另外还有人主张黄土的湖泊成因; (3) 土壤说(残积说); (4) 多成因说。

黄土风成见解,早在 2012 年前的《前汉书》中已经提出。解放前我国黄土研究者所提出的成因假说,以风成为主。解放后各种水成说及多成因说逐渐得到发展。西欧及北美目前风成说占统治地位,苏联 20 世纪 30 年代以前也是以风成说为主,30 年代以后水成说有了一定的发展。第二次世界大战以后,多成因说逐渐抬头,特别在工程地质界,其影响较大。下面是上述四种主要成因假说的主要论点。

一、风成说

风成说的基本理论,是 F. v. Richthofen (1877, 1882) 和 В. А. Обручев, 1895—1950) 研究了中国及中亚的黄土后提出的。В. А. Обручев 把前人的风成说加以发展后,提出了比较完整的风成假说,受到世界很多学者的重视,他的风成假说的基本观点:

(1) 在成因上必须把原生的不成层的典型黄土和次生的黄土状岩石区别开来。原生黄土是风从沙漠里带来的粉土形成的,风的主要助手是从土壤表面把粉土吹扬到高空的旋风。

(2) 作为粉土原地的荒漠,可分为具干冷气候冰川前缘荒漠和干燥气候大陆荒漠。前者称冷黄土,后者称热黄土。

(3) 在冰前荒漠中,粉土由冰碛物、冰碛平原、鼓丘和蛇形丘等堆积物的风化形成的。覆盖在平原表面、宽谷的冰水沉积和其他的松散堆积上,供给了粉土的主体。冰川堆积被风吹扬的例子在格陵兰现在也能观察到。从冰川吹来的干燥风,带走了砂和粉土,首先在邻区沉积成新月形沙丘,而粉土沉降在较远的冻土和草原上。

(4) 在大陆荒漠中,粉土在过去和现在都是由基岩、坡积物、山麓冲积物、消失在荒漠中干河床上的冲积物以及干涸了的湖泊或湖岸的湖积物等被风吹扬而来的。被风吹起的粉土沉降在草原地带形成黄土,被风带动在地面跳跃或滚动的砂粒,在盆地中形成沙漠。

(5) 沉积在冻土和草原的粉土,被植物保护下来,逐渐增厚,经过成土作用造成了多孔隙、富含钙及颗粒增大。

(6) 靠近沙漠的黄土比较粗,砂质较多,而离之愈远则粉土含量就愈增大。在远离沙漠的黄土带外缘,粉土成分达到了最高峰。

(7) 在原生黄土中,腐殖质含量不显著,可用气候的干燥性来解释。这种干燥气候阻碍了在冻土和草原地区的有机质堆积。

(8) 黄土的厚度决定于吹扬区的大小,粉土形成的强度,把粉土从沙漠中吹送出来的风力和风的频率以及干旱气候的延续性等。这些条件的综合性,解释了中国西北黄土的特殊厚度。

(9) 黄土的碎石和其他冲积物夹层,以及少量的水生动物的化石,可以用地方性的条件来解释。碎石及冲积夹层是被暴风雨从附近的高地冲来的,水生动物的遗体,是草原上零星水体的产物。

(10) 在沉积区中,沙漠和黄土的不平衡分布,在吹扬区的某一边缘上,缺少其中的一带或两带,这是由于在一年的旱季中的风力和风向,沉积区的气候特点所决定的。例如东蒙、撒哈拉、阿拉伯和智利沙漠的北缘黄土不厚和缺少砂带。

(11) 粉土的堆积和黄土的形成并非产生在间冰期,而是在干旱的有着风的逆气旋动

态的冰期。推进中的冰川把大量的水分凝结为固态,逐渐地脱离了大气降水的循环,冰川增加的愈多,气候变得越干燥。

(12) 在冰期之初和之末,以及在有着温湿气候的间冰期,在黄土草原和沙带上,发生过腐质土的堆积和土壤形成,以及黄土被冲刷搬运,造成了各种各样的次生坡积和洪积黄土,一直延续到现在。这些风成黄土的形成时间及其形成后气候条件的变化,使得黄土沉积的面貌复杂化,形成了黄土状岩石的多样性,同时也是黄土成因不同解释的主要原因。

(13) 亚洲中部在北纬 60° — 62° 以北,同样有过冰盖的发生,在这种纬度以南的山区,也发生过几次冰川作用。这些冰川与黄土物质来源的关系,有待进一步研究。

(14) 亚洲中部按大小来说是地球上第二沙漠区,而且到目前为止仍是一个吹扬区。在周围的山系,水分以冰雪状态大量集中,而且不参与大气降水循环,结果加强了气候的干燥性。冰期更是如此,是草原和山坡上黄土沉积加剧的时期。

上述经 В. А. Обручев 系统化的风成假说,后来曾经过不少人补充。例如 И. И. Трофимов (1945) 从荒漠及半荒漠地带的黄土岩相学的研究中提出黄土中的次生矿物,如石膏及碳酸盐矿物,也有易溶盐类及团粒,还有特殊的孔隙结构,这些都是荒漠成土作用的产物,从而补充了荒漠成土作用的内容。И. Д. Седлецкий (1953) 从矿物学角度提出黄土中的矿物种类之多样以及含有区域性矿物都是风成的证据。还有一些人,研究了黄土中矿物与欧洲大陆冰碛及中亚山地的矿物成分后,也认为这些矿物是风从物源地吹来的。美国黄土研究者多认为北美的黄土是风力成因。A. Swineford 和 I. C. Frye (1951) 指出堪萨斯州黄土,分布在分水岭地段和地形上最高的地点,他们认为除风力之外,不会有任何营力能把这些均一的粉土,沉积在不同高度不同形态的地貌单元之上。风成说也受到很多人的非议,Б. А. Федорович (1950) 为了回答这些非议,提出了如下的反疑问:(1) 如何解释许多地区的黄土物质成分与下伏基岩无关?(2) 如果认为各地的黄土或者是坡积或者冲积的话,那么又如何解释黄土成分之一致性,并在广大地区黄土的变化有惊人的规律性?特别是无碳酸盐的基岩一带,沉积大量含碳酸盐的黄土;(3) 在谷坡和河流阶地上,有足够的地表水可以形成黄土堆积,而黄土厚度不大。但在坡度小的邻近分水地的平坦高原上,即没有由基岩所组成的可以输送堆积黄土的物质之高地,又没有水流,黄土厚度却往往厚得多,从黄土物质水力搬运观点,怎样解释这个事实?(4) 如果认为平坦的分水平原上的黄土不是水积累的,而是借助于基岩的风化残积过程,即这个过程是从岩层表面开始逐渐进入深处。那么,怎样解释整个黄土层都含陆生动物化石、人类文化遗迹和埋藏土这些事实?(5) 怎样解释非黄土地区的高原残积物、坡积物及冲积物在组织结构方面,彼此总是具有相当大的差别,而在黄土中没有较大的差别;(6) 平坦的里海沿岸古老的海滨低地带,广泛分布着深厚的陆上黄土,但这里没有坡积过程,这里的黄土又不能看作是冲积作用形成的,而德聂伯河下游真正分布有冲积物的地方,却没有黄土,怎样解释这些事实?(7) 怎样解释不同河谷的非黄土冲积物的矿物组分具有很大的差别,而河流的“黄土冲积物”或河谷黄土,却往往在很大程度上与真正的冲积物的矿物组分无关,在完全不同的河谷中却是同样的。

中国学者很多主张黄土为风成的,如马溶之(1944)和刘东生等,他们的论点和上述的论点基本相似或部分相同。刘东生等在《黄土与环境》一书中,对黄土的风力作用过程和黄土演变综合为如下模式(图 1-1):

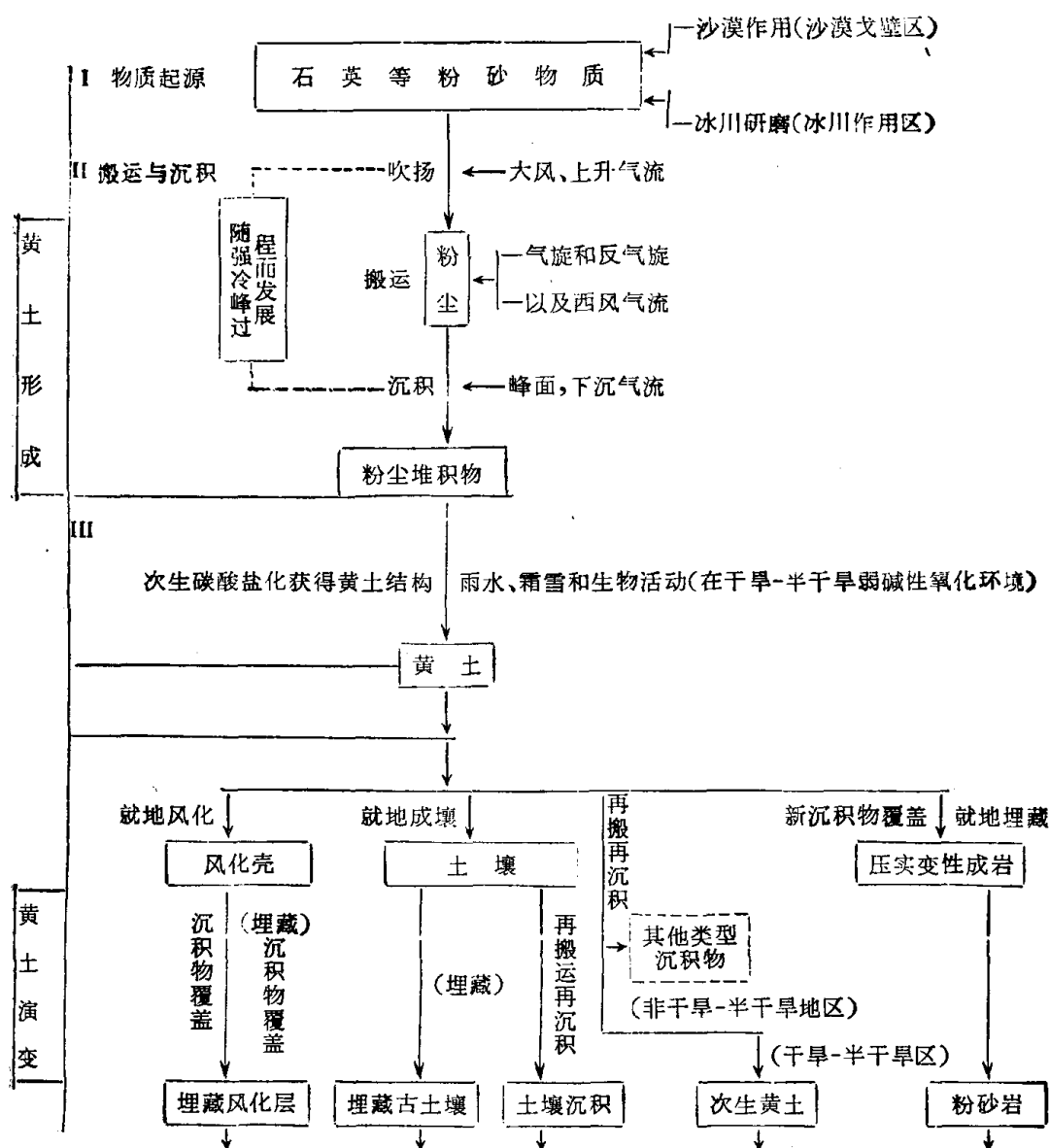


图 1-1 黄土形成过程和黄土演变示意图 (刘东生等, 1985)

二、水成说

黄土的水成说,随地区不同,时代不同,和研究者个人的兴趣和论据不同,所以结论也不一致。水成说可分为冲积说、冰水说、坡积说和洪积说四种。

(一) 冲积说

C. Lyell 是黄土冲积成因说的奠基人,他在《地质学原理》第三册(1834)中描写莱茵河黄土时说,这是含有现代地面软体动物化石的很好的冲积物。C. Lyell 1833 年夏到莱茵河中游的黄土区进行了专门的研究,根据所搜集的资料,他作出如下的结论:在现在莱茵河的冲积层中,也在黄土中有地面软体动物贝壳。在波恩附近的莱茵河右岸的黄土中,他找到的软体动物的贝壳,属陆生的有 185 个,水中的 38 个;在波恩附近莱茵河的拉船路

上,他在河床冲积物中找到的软体动物化石贝壳,属陆生的 147 个,属水中的 196 个。根据这些化石,他认为黄土属冲积成因。C. Lyell 没有对自己隐瞒这个问题的困难性,他说,主要的困难在于如何解释黄土的现代沉积,还认为黄土沉积应当发生在和现在完全不同的自然地理条件下。C. Lyell (1863) 还提出在各地也在各地质时代里,河流在被它们淹没的平原上沉积了细粒淤泥,如象现在尼罗河所进行的。尼罗河淤泥的矿物成分完全和莱茵河流域的黄土中的相似。按矿物成分及地面动物以及淡水软体动物,密西西比河的古老冲积物和莱茵河流域黄土相似。在莱茵河谷中黄土与砂砾层往往呈互层。

Ю. А. Скворцов (1932) 在其《土耳其斯坦黄土问题》中,发展了黄土成因的冲积假说,他提出黄土是由河谷流水作用形成的。他认为洪积、坡积及冲积之间的区别,只是水位变化不同的区别。水位在突变的情况下形成洪积,在水的侵蚀作用很小时,形成冲刷作用很小的坡积物。因之他说:“中亚广泛分布的黄土状岩石……主要是冲积沉积物。”它利用阿里斯和盖里鲁德两河流(相距 900 公里)的阶地对比,分析了这里河谷发育的历史和新构造运动的关系,新构造运动和侵蚀基准面的关系,以及侵蚀基准面的变化与阶地上黄土形成的关系后提出结论说,黄土沉积及下伏沉积是河流沉积。Ю. А. Скворцов 在其 1957 年发表的《评中亚黄土》一文中,又根据侵蚀-堆积和新构造运动关系,对中亚黄土的冲积成因作了补充,他拿中亚庄姆楔形地和丘里一带作例,认为这一带分水地没有黄土覆盖层,而在围绕这些高地的低平原缓坡上有塔什干期的典型的均一黄土,这是流水作用形成的。Ю. А. Скворцов 把他的黄土冲积成因的假说总结为三点:(1) 中亚黄土的颗粒成分含有砂子,平均分布在所有黄土层中,这种砂子颗粒的分布情况,驳斥了黄土由风力形成的可能性,因为风力不可避免地能把粗粒成分分开。风对物质之分选应该是粗者在地面滚动,而细粒高升空中,它们的沉积不是同时,因之风力沉积不可能形成均一的无层理黄土,而应该是粗细相间的层状沉积;(2) 在一切阶地上的黄土,越靠近山区,粗粒物质越粗越多;(3) 塔什干地区的塔什干阶地、饥饿草原阶地及阿巴依阶地等不同时代的阶地上的石质黄土的矿物成分之一致,当然是水流从同一剥蚀区带来的物质组成之结果,同时它们都是阶地上的黄土,理应是河流冲积物。

(二) 冰 水 说

欧洲的黄土,分布在北面的大陆冰盖和南面阿尔卑斯山岳冰川之间,因之欧洲的很多学者主张黄土为冰水成因。冰水说基本上和冲积说类似,只是水流是由冰川中流出的,而纯粹的冲积说,认为黄土是河流沉积的,不仅仅是由冰川融水形成的。冰水说是 Шерпанти¹⁾ (1841) 提出的,后来得到了很多人的支持与补充。冰水说认为,黄土是极细粒的冰川岩泥,沉积在草本植物繁茂的大陆之上形成的。这些草本植物阻碍了层理的形成。无论是阿尔卑斯冰川,还是北方的大陆冰盖,当其夏季融化加大时,从广阔的季节性水流中产生了堆积物;这些水流是没有固定河床的,它到处漫溢,以至淹没了分水地形成了黄土。П. А. Кропоткин (1876) 提出形成黄土的适宜物质是由冰川覆盖层下流出的,是冰缘的流水从冰碛中带来的。他提出当形成厚层黄土时,必须具有以下的条件:(1) 尚未具

1) 转引自王永焱, 1963, 黄土学。

备固定河床的许多细流和河流之存在；(2) 强烈洪水位之可能性；(3) 具有被河水及细流冲刷的冰碛。B. B. Докучаев (1893) 研究了俄罗斯平原南部黄土后认为，这一带的黄土是由冰水沉积在陆地上的冰水淤泥。他说：“黄土具有最细的粒度，波尔塔瓦和尼热高罗州东南部类型的黄土，在全部地层中，结构完全一致，其中含有很多陆地及半沼泽的生物化石，有时含细小的漂砾。黄土占据着全部尼热罗德州，并以斗蓬状覆盖着分水岭及老的山坡。黄土是冰水沉积，它是极细的冰川岩流在地面上沉积而形成的。” В. П. Бондарчук (1946) 由黄土地层结构、机械组分、矿物成分及生物遗体等方面论证了俄罗斯平原黄土的成因，认为这一带黄土是以冰川融水为主的流水沉积。黄土层夹有腐殖质层(古土壤层)，黄土层中的腐殖质层的存在，是黄土沉积条件的最主要的证据，即黄土不是干燥气候下形成的。俄罗斯平原南部的黄土沉积，没有一致的机械组分，常含有较粗的碎屑，越远离河谷，细粒越多，而且夹腐殖质层的典型黄土，仅仅分布在靠近河谷的地方。在靠近德聂伯冰川边缘的黄土中，有 34 种矿物，它们与德聂伯冰碛的矿物成分相似。古生物遗体在黄土中很少发现，但在黄土底部沉积中，找到了大量软体动物及脊椎动物的骨骼化石。他的结论是，不论在黄土搬运区或沉积区，都没有风力活动的证据。黄土在形成过程中，固体的流体的以及气态的水，都起着决定性的作用。只有在潮湿的气候条件下的黄土之水下成因，才能解释黄土层的分布特点、成分、性质及地层结构。

王嘉荫 (1961) 研究了华山山顶上的黄土后，也提出这里的黄土为冰水成因。

(三) 坡积及洪积说

第四纪沉积的坡积和洪积成因是 А. П. Павлов (1903) 提出的，他研究了中亚第四纪沉积物，特别是研究了中亚山麓平原一带的黄土后，提出了中亚的土尔克斯坦和欧洲黄土的坡积成因。他在描述土尔克斯坦的黄土时说，连接科别特达格山向北作缓倾斜的平原，很清楚地表现着沿坡面矿物颗粒的沉积作用。这些颗粒是暴雨及临时水流，从山坡及小沟中冲刷搬运而来的，它们沿平原分布，呈宽广的覆盖层，其宽度和厚度在短距离内随地形而变化，大的碎屑在斜坡的上部形成平行山麓的带状沉积，而细粒碎屑则分布很远，一直到水流在平原上所能达到的地区为止，有时黄土中夹有砂砾凸镜体。他认为这种沉积规律，乌兹别克的萨马尔坎特的黄土以及饥饿草原南部和东南部等地的黄土，都在地形上和沉积物粗细变化上有同样的规律。他认为中亚黄土之形成和欧洲的有区别。欧洲黄土是由沿平原的斜坡所发生的雨水细流所形成的(坡积)。在中亚黄土的形成过程中，暴雨后由沟谷溢出泥质混流(洪积)，对这一带黄土的形成起着重大的作用。

自 А. П. Павлов 提出中亚黄土的坡积洪积成因后，得到中亚黄土研究者广泛的支

(四) 盆地淤积说

张伯声主张中国黄土是流水及湖盆中的湖水作用形成的(冲积-湖积成因)。解放前，他主张黄土是由流水作用形成的，后来他以陕北黄土的形成为例，发展了他的见解。1956 年他从黄土线的存在说明黄河河道发育的过程及黄土的生成。他认为黄土的分布并不是