

李秉成 孙建中 著

# 中国黄土与环境

ZHONGGUO HUANGTU  
YU HUANJING



陕西科学技术出版社

# 中国黄土与环境

李秉成 孙建中 著

陕西科学技术出版社

## 内 容 简 介

本书主要论述中国第四纪黄土的定义、分布、厚度与产状、黄土地貌和黄土地层、黄土的物质成分与结构、黄土随古气候之演化和黄土的成因问题、黄土的性质、黄土边坡、洞室和建筑、黄土中的地下水,探讨了我国黄土第四纪年代地层学的有关测年问题和第四纪下界问题,论证了中国黄土的古气候环境以及第四纪黄土与古植被古气候的关系,特别是对西安地区全新世以来的黄土堆积及其古气候意义作了进一步地阐述。从本书整体结构和内容上,说明了我国第四纪黄土是进行古气候环境演化研究的良好信息载体。

本书可供第四纪地质与环境、环境科学、环境工程、地质、地理、气象、地层、古生物、水文水资源、地质工程、水土保持、农业、公路、土壤等高等院校有关专业师生作为教材和参考书使用,也可供相关专业科技工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国黄土与环境/李秉成,孙建中著. —西安:陕西科学技术出版社,2005.5

ISBN 7-5369-4066-1

I.中... II.①李...②孙... III.黄土地貌—研究—中国 IV.P931.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 157326 号

---

**出版者** 陕西科学技术出版社  
西安北大街 131 号 邮编 710003  
电话(029)87211894 传真(029)87218236  
<http://www.snstp.com>

**发 行 者** 陕西科学技术出版社  
电话(029)87212206 87260001

**印 刷** 长安大学雁塔印刷厂

**规 格** 787 mm×1092 mm 16 开本

**印 张** 12.25

**字 数** 330 千字

**版 次** 2005 年 5 月第 1 版  
2005 年 5 月第 1 次印刷

**定 价** 30.00 元

---

版权所有 翻印必究

## 前 言

全球变化问题研究是国际科学界瞩目的前沿课题,国际科学联合会正在组织实施一个全球变化计划——国际地圈—生物圈计划(IGBP),旨在对全球系统相互作用的物理、化学及生物过程、生态系统变化和人类活动的关系进行多学科研究,其中“对过去全球变化的研究(PAGES)”是国际核心项目之一。现代环境是从第四纪环境演变而来,未来环境将是现代环境在自然因素与人为因素影响下的发展。研究过去气候演变规律,探讨过去人类活动与环境演变的耦合关系已成为目前国际研究的热点。第四纪是地球历史中最新的一页,研究这一时期地球系统变化的规律,是“过去全球变化研究”的最重要的内容。这一问题的研究对世界各国的经济建设和人类活动有着重大和深远的意义。

中国黄土分布面积之广、厚度之大,居全球之冠。千百年来我国人民休养生息于黄土地带,积累了丰富的利用和改造黄土的经验。黄土也向我们提出了广泛而复杂的问题,古气候古环境的研究更对黄土提出了紧迫的任务。20世纪50年代以来,中国科学家们对黄土高原的黄土研究加快了步伐。中国黄土由于包含可以反映气候变化的黄土—古土壤序列,并具有地层连续、完整的特点,使之成为全球变化研究中十分理想的地质记录。它不仅可以与深海沉积记录相对比,而且能够准确可靠地提供时空分辨率较多的全球变化信息,有能力确定和对比不同时间尺度的变化事件,从而认识过去环境演变的特征与机制,以及它们在评价预测未来变化中的作用。因此,中国黄土是最丰富的第四纪时期地质环境演化的信息库,它记录了250万年以来中国大陆的古气候、新构造运动、古地理等多方面的变化过程和重大地质事件。它也记录了与全球性古气候、古环境演变进程同步发展的全过程。它已成为记录全球变化的最佳地质信息标志。由于中国黄土跨越的第四纪地质时代最长(整个第四纪时期),它易于观察、便于取样,为深入研究黄土及古气候提供了便利条件。中国黄土的黄土—古土壤序列,全面地反映了第四纪以来的古气候、古环境的演变过程。同时,它又有广阔的区域性时间上、空间上的分布特点。所以,国内外的研究者,在中国黄土高原对黄土做了大量的工作,使中国黄土的研究不断深入。而且,中国黄土已成为国际上最热点的研究课题。

德国地质学家李希霍芬、俄国地质学家奥布鲁切夫对中国黄土高原的黄土进行过考察,法国科学家德日进神父在宁夏银川水洞沟黄土层中发现了旧石器,他们都为黄土高原及黄土研究和考古科学作出了巨大的贡献。中国人对黄土的研究由来已久。从2300年前开始,中国历代地理、历史书籍如《禹贡》《前汉书》《水经注》《梦溪笔谈》等著作中,对中国黄土的分布、地貌、土质等都作了较详细的叙述。1949年中华人民共和国成立以来,随着黄土区工农业建设的发展,黄土的研究得到了广泛深入的开展,对黄土地貌、地层划分、物质成分及结构特征、工程地质及成因等进行了大量的研究,出版发表了许多专著和论文,积累了不少基础理论和解决生产实际问题的资料。我国的黄土工作者,对黄土高原的黄土进行了多方位的研究,使黄土的定义

在地层学上取得了更为明确的共识。特别是通过对黄土中古土壤的识别及其区域性分布规律的了解,使中国黄土在形成分布和地层学上的意义有了更加深入的认识。通过对黄土地质年代测定的研究,为确定黄土的形成年代提供了比较确切的科学依据。利用黄土推断第四纪古植被古气候是第四纪环境科学工作者有力的手段。这些工作,为近几十年来中国黄土与全球变化的研究奠定了十分重要的科学基础。

鉴于以上所述,了解过去、预测未来是写此书的目的,也为当代环境科学的发展增添新的一页。

由于作者水平有限,书中贻误之处一定不少,敬请读者批评指正。

作 者

2005年3月9日

## 目 录

<b>第 1 章 黄土的定义和研究意义</b> .....	( 1 )
1.1 黄土的定义 .....	( 1 )
1.2 黄土研究的意义和任务 .....	( 5 )
1.3 黄土研究简史 .....	( 6 )
<b>第 2 章 黄土的分布、厚度与产状</b> .....	( 9 )
2.1 黄土的分布 .....	( 9 )
2.2 黄土的厚度 .....	( 11 )
2.3 黄土的产状 .....	( 12 )
<b>第 3 章 黄土地貌和黄土地层</b> .....	( 14 )
3.1 黄土地貌 .....	( 14 )
3.2 黄土地层 .....	( 16 )
<b>第 4 章 黄土的物质成分与结构</b> .....	( 38 )
4.1 黄土的物质成分 .....	( 38 )
4.2 黄土的结构 .....	( 68 )
<b>第 5 章 黄土随古气候之演变和黄土的成因问题</b> .....	( 77 )
5.1 黄土随古气候之演变 .....	( 77 )
5.2 黄土的成因问题 .....	( 81 )
<b>第 6 章 黄土的性质</b> .....	( 92 )
6.1 黄土的物理性质和水理性质 .....	( 92 )
6.2 黄土的力学性质 .....	( 100 )
6.3 黄土的湿陷性 .....	( 107 )
<b>第 7 章 黄土滑坡、洞室和建筑</b> .....	( 123 )
7.1 黄土边坡 .....	( 123 )
7.2 黄土洞室 .....	( 133 )
7.3 黄土建筑 .....	( 134 )
<b>第 8 章 黄土中的地下水</b> .....	( 137 )
<b>第 9 章 黄土研究的一些问题和探讨</b> .....	( 139 )
9.1 中国黄土第四纪年代地层学研究 .....	( 139 )
9.2 中国黄土的古气候环境 .....	( 165 )
<b>参考文献</b> .....	( 185 )

# 第1章 黄土的定义和研究意义

## 1.1 黄土的定义

有关黄土的定义,随着学科发展的历史过程和认识过程,其概念也随之变化。什么是黄土?众说纷纭,争论不休,中外科学家都提出了自己的见解和观点。

自古以来,我国北方劳动人民就把他们居住地方周围广泛分布的黄色粉状土叫作黄土。我国古代《禹贡》一书以及以后许多文献中都有关于黄土的记载。李希霍芬(1868—1872)在我国考察后,认为我国北方的黄土与德国莱茵河流域的 LÖSS 相当。于是人们把德文的 LÖSS、英文的 Loess、俄文的 Лёсс 译为黄土。自从 1823 年德国的梁纳德首先把 LÖSS 一词引入地质文献后,该词便在地质学、地理学、土壤学等学界广泛流行起来。最初的黄土一词的概念是笼统的,泛指地表黄色疏松的粉状沉积物。后来,奥布鲁切夫(1929)在与水成说论战时,为了捍卫风成学说而强调要把黄土与黄土状岩石严格区分开来:把风成的原生的黄土叫作黄土;把经流水次生搬运后的黄土叫次生黄土或黄土状土(黄土状岩石)。为了严格区分黄土和黄土状岩石,当时的分类见表 1.1。

表 1.1 黄土和黄土状岩石综合对比表

名称 特征	黄土	黄土状岩石
物质	风成,主要是外来的,也有从别的地方搬运来的	残积、冲积、洪积、冰川等成因,常常是当地的
结构	原生的,经常无层理	次生的,常常是不完全无层理
颗粒大小	离吹扬区越远而渐小	决定于原始物质的大小
生物化石	陆上的,偶然有水生的或靠近水体岸边的生物	陆上的、水生的、岸边的或混合的
厚度	厚者达 400m,一般为 10~70m	不厚,除少数外,常为 2~3m
一般特征	与地形无关,大面积上是均一的	各种各样的,因地形而急剧改变
产状	到处分布,遍布于分水岭、坡地、谷底和平原上	仅在可能被淹没过的分水岭地方才有
分布	现在或过去的沙漠外缘的干旱草原上	在沙漠中的某些地方,在绿洲中、河岸上、泉水周围
分带	对吹扬区来说,是成带和有规律分布,取决于主要风向和地形	成带,但仅取决于地区内的地质条件及被改造成黄土的原岩细粒成分

但是,直到目前为止,学术界对黄土的理解并未统一。对于同一套地层或同一块标本,有人认为是黄土,有人认为不是黄土。例如,德日进与杨钟健早年(1930年)提出马兰黄土与红

色土二词,认为只有晚更新世的马兰黄土才是黄土,中更新世的红色土不是黄土。后来杨钟健(1957)又提出狭义黄土和广义黄土两个概念。狭义黄土指的是晚更新世的马兰黄土,广义黄土指中、早更新世的红色土以及上新世的三趾马红土。德日进、杨钟健(1930)和安特生(J. G. Andersson, 1934)还认为次生黄土就是全新世黄土,原生黄土属更新世。刘东生(1958)提出新黄土与老黄土两词,新黄土指晚更新世的黄土,老黄土指中、早更新世的黄土。而叶良辅早年(1920)所说的新黄土指全新世的黄土,古黄土相当现在所说的晚更新世的马兰黄土。显然,人们在这里不仅有岩石学上的概念,而且还有地层学上的概念。A. C. 凯斯(1956—1957)研究了我国西北黄土后认为黄土层包括黄土、黄土状亚黏土及黄土状黏土,即她所说的“黄土层”包括了黄土和黄土状土。

铁道部第一设计院将黄土类土分为原生黄土、次生黄土及递降性黄土。原生黄土是风成的,次生黄土是冲积、坡积、洪积的。递降性黄土是残、坡积的。并提出了上述三类黄土的一些物理力学性质指标的范围。

别尔格(1916)从土壤的观点出发,提出了黄土的特征:①无层理;②具孔隙;③含碳酸盐(10%~15%或更多);④细粒成分均一性,小于0.05mm者占优势;⑤灰黄色;⑥具垂直节理。具备上述全部特征者叫黄土,缺少其中之一或更多者叫黄土状岩石。

格拉西莫夫及马尔科夫(1930)提出黄土是大陆成因的岩石,色淡褐带灰红色、咖啡色等,具孔隙,粉状(0.05~0.005mm颗粒占优势)、疏松、富含钙质、具垂直柱状节理,无层理,含陆相化石。他们把黄土类岩石分为四种:①退化黄土;②次生黄土;③石质黄土;④黄土状沉积(黄土状黏土、黄土状砂土、黄土状砂)。

特罗费莫夫(1953)研究了塔吉克斯坦的黄土后认为:黄土是风成的粉土状岩石,具大孔隙、组织疏松、弱胶结,无层理或层理不明显,具垂直节理,易冲刷,具湿陷性,结构均一,矿物成分与下伏基岩无关,覆盖在各种地形之上,而黄土状岩石的成因是多种多样的,颗粒成分是多变的,它具有黄土的外貌和黄土的主要特征。它与黄土的区别在于产出在一定的地貌单元上,地层结构不稳定,矿物成分与附近基岩有关。

罗蒙诺维奇(1955)研究了哈萨克斯坦的黄土类土之后提出与奥布鲁切夫类似的定义,认为黄土状土除具有黄土的一般特征外,其特点是:具层理,颗粒成分不均一,含砂、砾等夹层及沉积在各种低地中。

波波夫(1957)认为:黄土是疏松的具湿陷性的粉土状的第四纪岩石。富含0.05~0.005mm的颗粒(>50%~57%),孔隙度高(42%~56%),具大孔隙,含碳酸盐,均质,无层理,厚度大,经过了荒漠成岩作用的全部过程。黄土状岩石是疏松,弱或无湿陷性,粉粒(0.05~0.005mm)含量>50%,但黏土和砂粒较多,不均一,常具层理,孔隙度及大孔性差,在堆积过程中,荒漠成岩作用不完全,因此常缺乏黄土特征之一部分,厚度小。

阿别列夫、鲁卡舍夫和马弗梁诺夫分别列举了黄土的各种特征。其中后一作者列举最多,达11项,即黄土:①色淡黄灰;②孔隙度高>46%~59%,多见大孔隙;③富含碳酸钙,碳酸镁(>5%);④层理不显,无砂、砾夹层;⑤成分均一,以粉粒为主(≥50%),黏粒10%左右,砂、砾(>0.25mm)基本没有;⑥垂直节理发育;⑦具湿陷性;⑧渗透性强(0.2~0.6m/日左右);⑨黏聚力明显,由盐类胶结而成;⑩遇水迅速崩解;⑪含有大量易溶盐。他们给黄土状岩石的定义都是:与黄土类似但缺少黄土一部分特征者叫黄土状岩石。例如对于马弗梁诺夫这11项来说,他认为具备其中前7项者称黄土,在前7项中缺少其中一部分特征者叫黄土状岩石。



水文地质及工程地质研究所(1959)认为应该综合考虑各方面的特征才能区分黄土与黄土状岩石,按此观点列出表 1.2。

表 1.2 黄土和黄土状岩石区分表

名称		黄土	黄土状岩石
外部特征	颜色	以黄色为主,如灰黄、褐黄等颜色	黄灰、浅棕黄或暗灰褐色
	结构	无理层,大孔直径在 0.5mm 以上者占 50%	有层理,层理由粗砂、砾石或粉土、黏土组成,大孔少,多在 0.5mm 以下
	产状	垂直节理发育,坡陡, $>70^\circ$	垂直节理发育差,坡较缓, $45^\circ\sim 70^\circ$
	组织	均一,较松,易碎	不均,较密,不易碎
成岩程度		较低	较高
物质成分	机械成分	粉粒 $>60\%$ ,粗粉粒 $>50\%$	粉粒 $>60\%$ ,细砂和黏土 20%,粗粉粒 $<50\%$
	矿物成分	石英、长石、云母 $>60\%$ ,黏土矿物有:伊利石、高岭石、蒙脱石、海绿石	石英、长石、云母 $<50\%$ ,黏土矿物以伊利石、蒙脱石、高岭土为主
	化学成分	富含 $\text{CaCO}_3$ 及少量易溶盐	含 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ 等
物理性质	孔隙度	高, $\geq 50\%$	低, $<40\%$
	干容重	较低, $<1.4$	较高,1.4~1.5
	湿陷性	显著, $im\geq 0.07$	小或无,或不均一
	渗透性	大, $K=0.6\sim 0.8\rightarrow 1.0\text{m}/\text{日}$	小,有时实际不透水
塑性指数		10~12	$>12$
地质时代		多为晚更新世,少数为现代沉积	多为中、老第四纪或现代沉积物
成因		风成,洪积,坡—洪积,冲积	洪积,坡—洪积,残积,冲积

刘东生等在研究了黄河中游地区的黄土之后,参照奥布鲁切夫的方案,把风力搬运堆积未经次生搬运、无层理、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。具体地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。风力搬运堆积以外的其他成因的黄色的、常常具有层理和砂、砾层的粉土状沉积物,称之为黄土状岩石。按此观点分类见表 1.3。

总结前人的经验,我们认为给予黄土以下述的定义比较近于公认:

黄土是一种特殊的第四纪大陆疏松堆积物,属于粉砂岩的范畴。典型黄土具有以下特征:①色灰黄,淡黄;②以粉粒成分为主;③结构均匀无层理;④性疏松,具大孔隙;⑤垂直节理发育;⑥富含碳酸盐;⑦具湿陷性。

不需要举出过多的指标来区别黄土与黄土状土。相反的,越举的多矛盾反而会越多,往往在这里适合,到那里就不适合了。例如,原来认为黄土有湿陷性,黄土状土没有湿陷性。但后来发现兰州黄河一级阶地上的冲积成因黄土状土却是有特别强的自重湿陷性。我们认为只要

举出最主要的两点就可以明确地把黄土和黄土状土区别开来。即：黄土状土是与黄土类似的沉积物，但与黄土的区别在于：①层理明显；②成分复杂，常常含有砂、砾、黏土等夹层或包体。

表 1.3 中国黄土和黄土状岩石比较表(据刘东生等)

名称特点	黄土	黄土状岩石
分布与产状	成厚层连续分布,掩覆在低分水岭、山坡、丘陵、剥蚀面、凹地和高阶地上,常于基岩不整合接触	成带状、片状、星散状分布于洪积扇前缘,低阶地与冲积平原上(偶尔在山坡分水岭也有小面积分布),常与松散沉积物接触,并互相过渡
地形与地貌	常为塬、梁等地形,大多波状起伏不平,现代地形起伏常与下伏地形起伏吻合	常为山前洪积平原、冲积平原或现代阶地,地面一般平坦,受古地形影响较小
厚度	一般数米至 200m 左右	一般为数米至 10m 左右,更厚者少见
颜色	以灰黄、棕黄色、区域上和剖面上都变化不大	有层理,很少夹古土壤,柱状节理不发育,不易形成陡壁
组织结构	疏松、易碎、均匀、多大孔隙	坚硬,不易碎,不均匀、具微层理和其他包体,大孔隙少
构造	无层理,常夹古土壤和钙质结核,柱状节理发育,常成近于直立的陡壁	有层理,很少夹古土壤,柱状节理不发育,不易形成陡壁
均匀性	全层上下均一,不含砂、砾夹层(靠近沙漠除外),颗粒、矿物、化学成分在大面积内无显著差异	全层上下不均,常夹砂、砾,颗粒、矿物、化学成分大面积内不均匀,变化显著
颗粒成分	以粉土(0.05~0.005mm)为主,含量大于 50%;大于 0.25mm 和小于 0.005mm 的颗粒含量不大,分选较好	粉土含量少,常小于 50%,大于 0.25mm 的颗粒有时含量很高;小于 0.005mm 的颗粒有时也很多,分选不好
岩相变化	远离沙漠颗粒逐渐变细,Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量逐渐增加	远离山区颗粒变细,矿物、化学成分有显著变化
矿物成分	以石英、长石为主,含大量不稳定矿物,风化微弱,大面积内类似,与附近山地或下伏基岩联系不大	也以石英长石为主,但不稳定矿物含量少,风化强,与基岩有联系,向风水岭和河源有规律变化
湿陷性	湿陷性大,易产生湿陷和潜蚀	湿陷性小,不易产生湿陷,不易发生潜蚀
成因	风成	洪积、坡积、残积、冲积等

如果按照“与黄土相似但缺少典型黄土某些性状的便叫黄土状土”这样一个流行的定义来看,黄河中游地区早、中更新世受到后期成岩变化了的“石质黄土”和“退化黄土”以及由于自然地理环境之不同而与华北黄土性状有异的“成都黄土”“下蜀黄土”和东北的黄土都不属于黄土而应叫作“黄土状土”。但实际资料证明,这些都是或至少部分是真正的风成黄土。

还有一种理解,把所有具有黄土性状的土都叫作黄土状土,甚至连华北最典型的马兰黄土

也叫作黄土状土。这样就没有黄土了：没有黄土又怎能有黄土状土呢？顾名思义，黄土状土是像黄土的土而非真正的或典型的黄土。英文叫作 Loess Like Soil, 是类似黄土之意，译作“类黄土”或“似黄土”就更恰当些。

所以存在着一种把“黄土状土”的概念过于夸大的倾向。其原因可能是由于在工程地质学或岩土工程学中把土按塑性指数或颗粒成分分为亚砂土、亚黏土、黏土。又因其具有黄土的性状，因而冠以“黄土状”，于是就把所有的黄土类土都叫作黄土状土了。

黄土类土(Loessic soil)与黄土状土，很显然不是一个概念。上述混乱部分原因可能是把这两个概念混淆的结果。

实际上，黄土类土是黄土和黄土状土的总称。黄土类岩石、黄土岩、黄土类沉积都是黄土类土的同义语。

黄土可分为典型黄土和一般黄土。如果华北的马兰黄土属于典型黄土，那么，离石黄土和午城黄土以及成都黄土、下蜀黄土和东北松辽平原的一部分黄土都属于一般的黄土。

黄土状土(黄土状岩石、类黄土)是和黄土在同一个等级中的对立物。而典型黄土和一般黄土应置于更低一级的概念之内。黄土之下按颗粒成分分为砂黄土、黄土、黏黄土；黄土状土按颗粒成分分为黄土状黏土、黄土状亚黏土、黄土状亚砂土。

这样正名之后，不但符合奥布鲁切夫的原意，也符合一般沉积岩石学的命名原则。黄土首先是一种沉积物，一种岩石。一种岩石的名称首先要有明确的标志，即层理明显，成分较杂，这就明确地说明了它是黄土状土，具有非风成的标志。它的成因也就不言而喻了，虽不能说就与风成毫无关系了，但至少说明有其他作用的参与，它的成因也就不会是纯粹风成的，或者全然是其他成因的。所以这样的正名是符合成分分类的要求的。

还有一个名词，即次生黄土，它是原生的风成黄土被水流再搬运而成的黄土状土。次生有两层意思，一是再搬运，一是时代较晚。其实再搬运不光是水流，风力也会把沙漠里吹来的尘土反复再搬运。另一方面，长期以来把“次生黄土”一词作为“全新世黄土”的同义语。但实际资料证明，更新世也有黄土状土，全新世也有风成黄土。而且，通常把次生黄土作为黄土状土的同义词。所以，次生黄土实在是一个多余而含糊不清的名词，建议废之。

但是人们还常常将黄土一词作更广义的使用，使之相当于黄土类土而成为“黄土”与黄土状土的总称。

按照学科的范畴，黄土类土的名称有三类：

- 1) 沉积岩石学名词：黄土、黄土状土等。
- 2) 地层学名词：马兰黄土、离石黄土、午城黄土、新黄土、老黄土、古黄土等。
- 3) 工程地质学或岩土工程学名词，如：湿陷性黄土、饱和黄土等。

每一个名词都应属于一定的学科，具有一定的含义，不可混淆，不可随意使用。

## 1.2 黄土研究的意义和任务

黄土在世界上分布很广。而我国黄土面积相当广泛，厚度之大居世界之冠。研究黄土具有一系列重要的理论意义和实际意义。

理论意义有：

- 1) 黄土是一种特殊的沉积物，它的特点和成因的研究必然会充实沉积学的内容。

2)黄土是黄土区最主要的地层,黄土地层划分问题的解决就等于区域地层问题解决了一大半。

3)黄土中含有重要的古人类、古文化和古哺乳动物化石以及孢子花粉化石,因此黄土也是这些学科十分重视的对象。

4)黄土中记录了丰富的古气候和古环境的信息,深入发掘这些信息有助于恢复黄土形成过程中的古气候与古环境。

5)黄土区具有特殊地貌特征,因而成为地貌学研究的重要内容。

实际意义有:

1)黄土区黄土是主要的建筑地基和介质。许多工业、民用建筑、水工建筑(水坝、渠道)和道路都修建在黄土上。隧道和地下建筑要以黄土为介质,路堑要以黄土为边坡。水坝、路堤渡槽等要以黄土为建筑材料。所以黄土就成为工程地质学、土质学或岩土工程学研究的重要对象。特别是黄土具有极其特殊的性质——湿陷性,往往引起建筑物的失事。因而引起人们的特别注意。

2)黄土具有特殊的地貌和含水、排水条件,黄土区一般地下水资源比较贫乏。研究黄土区地下水赋存的规律以满足工、农业和人民生活用水的需要就成为水文地质学的重要任务。

3)黄土区地下水具有特殊的化学成分,使黄土区人民遭受大骨节病、克山病、甲状腺肿大、氟中毒症等地方病的危害。形成了特殊的不利环境因素,有待解决。

4)黄土是农业土壤的母质,甚至黄土本身就是一种特殊的古土壤,是土壤学研究的重要对象。黄土十分易于被冲刷,黄土区水土流失严重,它是水土保持的重点对象。各种农业机械要在黄土中工作,黄土的某些物理力学性质对农业机械的设计和使用时有着重要的意义。

5)黄土是重要的工业原料,如砖、瓦、陶器、水泥等。因而要求对黄土作为这些原料的品质进行研究。

由于黄土研究的重要意义和实际意义,B. A. 奥布鲁切夫早在1948年就提出应该把黄土的研究独立成为一门新的科学分支——黄土学。

我国西北地区黄土十分广泛,黄土研究很自然地成为本区具有特色的课题。所以1961年王永焱教授就在西北大学开出了“黄土学”的专题课程。解放后50余年来我国黄土研究已经积累了十分丰富的材料,黄土学的内容已十分丰富,十分成熟了。

### 1.3 黄土研究简史

我国是世界上黄土发育最典型的地区,黄土地带也正是中华民族文化发祥之地。自古以来,劳动人民就以黄土作为庄稼的土壤,五谷杂粮皆出自黄土。以黄土做器皿用来烹、煮、盛、贮。以黄土做砖瓦修筑房屋,甚至在黄土中挖窑洞以为居室。我国人民利用黄土有着悠久的历史。

早在2300~2400年前,《禹贡》一书就记载了各种土壤,其中包括“黄壤”,即黄土。800多年前北宋著名科学家沈括(1031~1095)在《梦溪笔谈》一书中写道:“予观雁荡诸峰,皆峭拔险怪,上耸千尺,穹崖巨谷,不类他山,皆包在诸谷中,自岭外望之,都无所见;至谷中,则森然于霄。原其理,当是为谷中大水冲激,沙土尽去,唯巨石岿然挺立耳。……自下望之,则高岩峭壁;从上观之,适与地平,以至诸峰之顶,亦低于山顶之地面。世间沟壑中水凿之处,皆有植土

龛岩,亦此类耳。今成皋、陕西大涧中,立土动百尺。迥然耸立,亦雁荡具体而微者,但此土彼石耳。”沈括对于浙江雁荡山流纹岩侵蚀地貌和豫西黄土地貌进行了生动的描述和科学的分析,认为都是流水侵蚀而成。这一科学见解比英人郝登早 700 余年。沈括关于侵蚀作用是从夷平面和黄土原始堆积地面下切的概念比西方人早 800 年。

我国 3000 年来的史书中有大量关于“雨土”,即黄土尘暴的记载。例如,班固所著《前汉书》记载:公元前 32 年 4 月壬寅晨,“大风从西北起,云气赤黄,四塞天下,终日夜下著地者黄土尘也。”说明黄土是从西北方向风吹来的。又如 1287 年“雨土七昼夜,殁死牛畜。雨土深 7~8 尺。”说明一次风尘可能堆积很厚的黄土,给出了黄土沉积速度的概念。

但是,由于我国近 2000 年来的封建统治,严重地阻碍了科学的发展,我国科学家许多先进思想得不到进一步发展。1840 年鸦片战争之后,我国沦为半殖民地,一些西方学者乘机来我国进行研究。

1866 年美国 R. 庞培利(Pumpely)认为我国黄土是流水沉积,后又改为与岩石风化有关。后来德国人李希霍芬(F. V. Rihthofen)于 1868—1872 年先后来我国进行地质考查,著有《中国》一书,认为我国黄土是风和湖水共同作用下形成的,并认为中国的黄土与欧洲的 Loess 基本一样。其后,金斯密尔(T. W. Kingsmill)提出我国黄土是海水形成的。

1892—1894 年俄国地质学家奥布鲁切夫来我国进行地质旅行,先后发表了“鄂尔多斯、陇东和陕北之地形及地质”和“中国西北之黄土区”两文,对黄土地质和地貌进行了详细的研究,极力鼓吹中国黄土的风成学说,并提出原生黄土、次生黄土、退化黄土等名词。同时把欧洲大陆冰盖前缘的黄土叫“冷黄土”,把中国沙漠南缘的黄土叫“热黄土”。而维里斯(b. willis)在其《中国之研究》一书中把中国的黄土直接译为“Huangtu”。但他把黄土中夹的砂砾石层都包括在“Huangtu”一词之内,并主张 Huangtu 是风水综合作用的产物。

20 世纪 20 年代前后我国学者开始注意黄土研究。其中如李学清(1921—1929),不但注意了野外黄土地质特征的一般观察,而且从矿物成分和化学成分做了前所未有的深入研究。

熊毅(1928)在研究黄土区的土壤时也对作为土壤母质的黄土进行了不少研究,提供了不少黄土化学成分和颗粒成分等方面的资料,还认为黄土是风成的。

安特生(J. G. Anderson)最早注意到上新世三趾马红土与相当于现在所说的晚更新世马兰黄土之间还有一套红色黄土。并提出原生黄土有一部分是水成的。

德日进(P. Teilhard de Chardin)和杨钟健在黄土区进行了大量的古生物工作,把黄土地层划分为“真正的黄土”和“红色黄土”(Graud Loess and Rouge Loess),并发展了高地上的黄土和低地中河湖沉积为同时异相的观点。其后杨钟健把红色黄土称为“红色土”,作为一个地层单元。

梭颇(J. Thorp)从土壤学角度对“下蜀黏土”和“成都黏土”及黄土中的埋藏土进行了研究。

马溶之(1944)也是从土壤学的角度研究了黄土的颗粒成分、矿物成分及古土壤,并提出了黄土风成的有力证据。

此外,还有任美镠(1935),李庆远(1934),邓海容(1935)等对黄土已经进行了若干总结。

1937—1945 年八年抗战期间,日本帝国主义的侵略使我国整个社会,其中包括黄土的研究受到了极大的摧残。一些日本人则在侵略者的庇护下来华进行研究。例如富田达(1947)、酒井荣吾、柴田秀贤(1940)等人的工作。

总之,解放前由于我国处于半殖民地半封建的社会地位,科学研究受到很大限制。黄土研

究人数很少,冷冷清清,问题都局限于一般肤浅的探讨。

解放后,在中国共产党的领导下,人民当家作了主,科学研究随着生产的发展而大大发展,黄土研究也进入了新的阶段。

随着第一个五年计划的实施,在黄土区进行了大规模的工程建设,例如黄河流域的规划和开发等。紧密结合生产建设的要求,由地质部、科学院、高等院校及水利、铁道、建筑等生产部门进行了大量的调查研究工作。

20世纪50年代中期可以说是一个百家争鸣的时期。一方面有我国传统的风成学说的影响,另一方面又有许多前苏联学者带来了以水成为主的观点。还有我国学者新提出的一些假说。例如,格拉西莫夫(1957)主要是黄土坡积成因的观点。帕夫林诺夫主要是洪积的观点。张伯声(1956)将黄土与黄河发育联系起来,提出“黄土线”和黄土河流成因的观点。西尼村(1959)则坚持奥布鲁切夫的风成说。王嘉荫(1961)主张华山顶上的黄土是风和冰水联合形成的。张宗祜则提出中国黄土是多成因的。王永焱(1961)主张随地区不同时代不同以某种成因为主的混合成因说,总之几乎所有关于黄土成因的学说都在中国出现了。

20世纪60年代前半期是总结50年代工作的时期。开始出现了一些黄土方面的专著,如刘东生等所著《中国的黄土堆积》(1965),《黄河中游黄土》(1964),《黄土的物质成分和结构》(1966),土木建筑研究所的《黄土基本性质的研究》(1961),张宗祜等所著《中国黄土及黄土状岩石》(1959)等。

这一时期不再更多地停留在黄土成因的一般泛泛争论上,而是深入细致地做了大量实际工作,深入到黄土的化学成分、矿物成分、颗粒成分、物理力学性质,特别是与生产建设密切相关的湿陷性、黄土建筑等方面。使我国黄土研究进入了国际的先进行列。

所谓“文化大革命”期间,黄土研究也与其他各项科学事业一样受到了巨大的冲击,骤然低落下去。20世纪70年代中后期才开始出现一些利用新技术、新方法(如古地磁等)对黄土进行研究的一些新成果。

粉碎四人帮后,党中央拨乱反正,黄土研究才与其他各方面的事业一起重新振作起来。主要是引进了现代化的新技术对黄土进行更深入的研究。例如,利用古地磁、 $^{14}\text{C}$ 、热发光、铀系法等研究黄土的年代,用扫描电镜研究黄土的结构以及对黄土湿陷性机制的研究等。由于这些深入研究的结果,对黄土成因的看法也就趋于深入和一致。争论就不像50年代那样激烈。出现的重要著作有:王永焱的《中国黄土》图册、《黄土与第四纪地质》,刘东生的《中国黄土地质环境》,张宗祜向国际第四纪研究联合会(International Association on quaternary research)11届大会所提出的论文《中国黄土高原黄土剖面岩石和地层分析》,冯连昌、郑晏武的《中国湿陷性黄土》《中国黄土的湿陷性》等。

另一方面就是采用孢粉分析、化学分析、矿物分析结合古土壤和古生物的研究恢复黄土形成时代的古气候和古环境,将黄土研究引向更大的广度和深度。

而在应用方面除传统的水文地质和工程地质研究外,还在向环境地质、农业地质等领域深入渗透。

我国黄土研究的进展已经引起了国际学界的重视。1982年8月INQUA在莫斯科召开的第11届国际第四纪会议上我国代表团所提出的黄土论文和报告引起了代表们的极大兴趣。并且专门组织了“中国黄土讨论会”,对我国黄土研究有重大贡献的刘东生教授被选为国际第四纪研究联合会的副主席。

## 第2章 黄土的分布、厚度与产状

### 2.1 黄土的分布

#### 2.1.1 黄土的平面分布

黄土在全球分布广泛,面积约 $13 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,约占地球陆地总面积的9.8%。黄土主要分布在中纬度的干旱、半干旱地区,包括大陆内部的温带荒漠、半荒漠外缘和第四纪冰川分布区的外围以及沿海地带。特别是在北半球的中纬度干旱及半干旱地带广泛分布。南半球除南美洲外,其他地区很少有黄土分布(图2.1)

亚洲黄土分布最广,最北界达北纬 $74^\circ$ (大里亚赫夫斯基岛),最南抵北纬 $32^\circ$ (南京附近)。欧洲黄土分布最北界为北纬 $62^\circ$ ,南界在北纬 $40^\circ$ 左右。而且,由前苏联欧洲部分开始,向西逐渐变窄。在西欧,只在法国中部和北部,德国中部和北部有黄土分布,其主要在莱茵河流域有分布。在东欧,匈牙利、罗马尼亚和捷克都有零星黄土分布。在北美,黄土主要分布在北纬 $40^\circ$ 附近古代冰川前缘地带。在南半球,黄土主要分布在南纬 $40^\circ$ 附近阿根廷巴姆巴斯草原地区。

黄土分布的特点是:

1)黄土呈不连续的带状,东西延伸,连绵于南北两半球的中纬度地带。

2)欧洲、北美和西伯利亚的黄土都分布于第四纪大陆冰盖的外围,而中亚、中国和南美的黄土分布在沙漠的外围,说明它们的形成与大陆冰盖和沙漠上的高压中心所产生的反气旋风有关。

3)黄土主要分布在中纬度气候温暖地带。该区以干旱、半干旱和温暖少雨、有强烈季节变化为特点。而高纬、低纬度地区少见黄土。这是因为高纬度地区是黄土物质的吹扬区。中纬度地带气候温暖、草原发育、雨量不大及冲刷不强,便于黄土之沉积与保存。低纬度地区距风源已远,黄土风尘来源不多,加之雨量充沛、冲刷强烈及红土化作用盛行,不利于黄土之保存。

据V.台劳估计,在欧洲,黄土覆盖面积占7%,北美5%,南美10%,亚洲3%,全球4%。K.凯哈克估计,大陆面积9.3%(据夏正楷为9.8%)为黄土所覆盖。

中国黄土覆盖面积,不同的研究者所作估计的数字出入很大,如李希霍芬估计为 $63.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,协水铁五郎估计为 $132.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,安特生估计为 $129.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,葛德石(G. B. Cressey)估计为 $30.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,翁文灏估计为 $20.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。郑洪汉估计我国黄土覆盖面积为 $44.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,黄土状岩石面积为 $19.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,二者总和为 $63.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,黄土占我国陆地面积4.4%。黄土状岩石占1.9%。在黄河中游地区,黄土总面积达 $275600 \text{ km}^2$ 。据夏正楷最新估计为中国黄土总面积为 $63.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,约占全球黄土总面积的4.9%,其中原生黄土为 $38.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,黄土状土为 $25.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

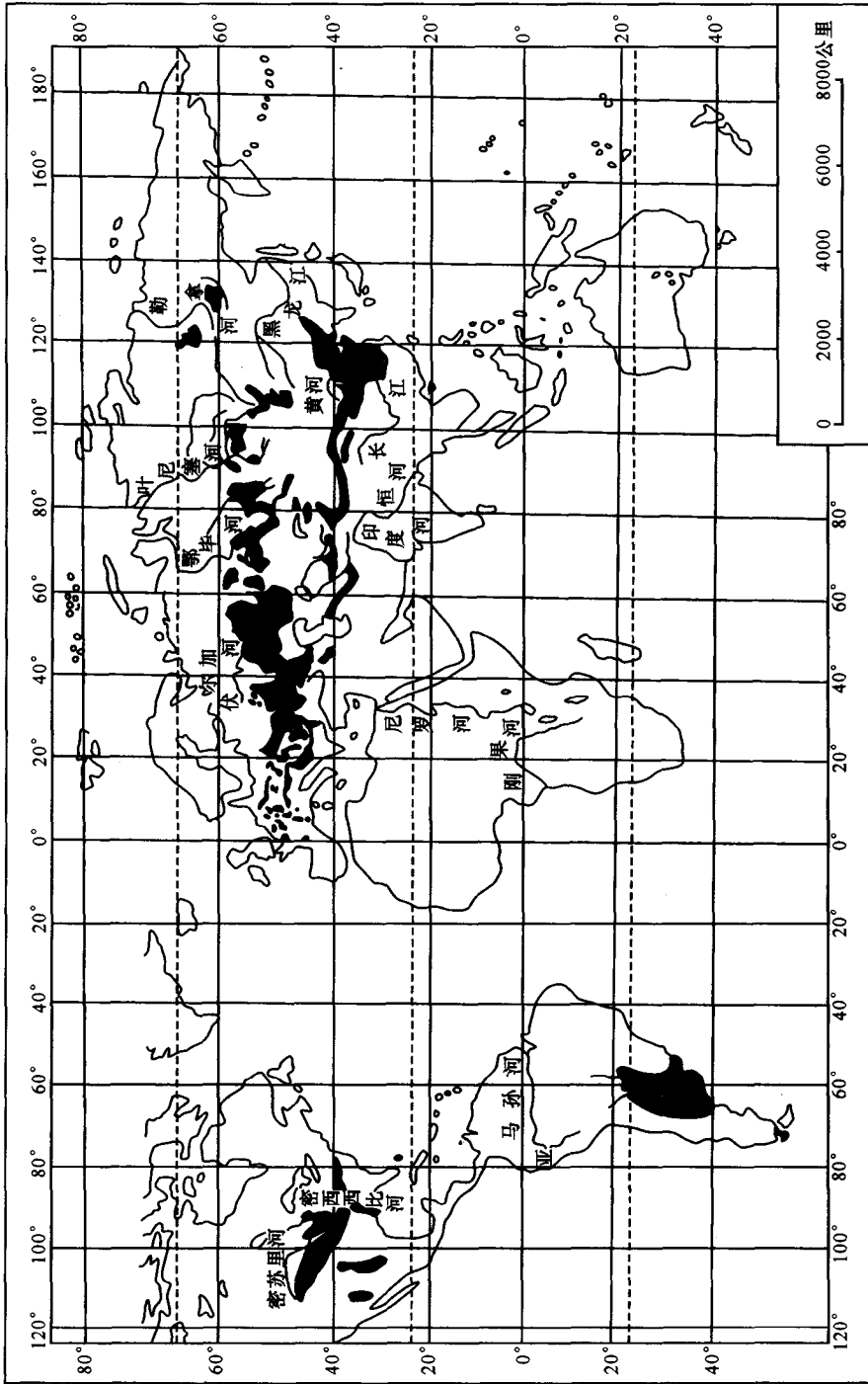


图 2.1 地球上黄土和黄土状岩石分布



### 2.1.2 黄土的高度分布

关于黄土的高度分布见表 2.1。

表 2.1 关于黄土的高度分布

地区	海拔/m	地区	海拔/m
吕梁山北坡	2000	川西哑口山	4200
六盘山西坡	2400	喀尔巴阡山北坡	400~500
六盘山东坡	1800	北高加索	1300~1500
华家岭	2500±	帕米尔(塔吉克斯坦)	4500
天山北坡	2000±	后伊黎山	2000
华山	2000+	东南哈萨克斯坦	2000~2400
西北天山	2000~2300	吉尔吉斯山	2000
塔里木盆地	4020		

黄土分布的高度在新疆和黄河中游地区都发现与风向有关。在向风坡由于山体的阻拦而使黄土上升到较高的位置。例如六盘山北段,北坡黄土分布高度为 2070m,南坡为 1500m。在吕梁山北部西坡为 2000m,东坡为 1800m。

## 2.2 黄土的厚度

关于黄土的厚度,文献中的记载出入很大。例如李希霍芬估计一般厚度为 200~400m,最大可达 1000m。奥布鲁切夫和葛德石估计一般为数十米,最大在陕北可达 400m。马溶之认为六盘山以东黄土厚达 100m。德日进与杨钟健记载陕北、晋西黄土厚度为 10~30m。富田达、增渊坚吉认为黄土最厚在陇东和陕北,最大 50m。梁文郁指出兰州九州台黄土厚为 200~270m,皋兰一带为 200~300m,兰州之西杨庄一带为 400m。

各家估计数字差距很大,原因在于:①各人所说的黄土地层范围不同,李希霍芬所理解的黄土包括了 20 世纪的三趾马红土,所以他的数字偏大。杨钟健所指的黄土只指晚更新世的马兰黄土,故其数字偏小。②对于黄土的幔覆式产状认识不足,在山下山上都见到了黄土就认为山的高度就是黄土的厚度。实际上,黄土往往是在山体的基岩核心表面包了一层皮。故要从剖面上或钻孔中实测才能得到可靠的厚度。

解放后经大量工作证明中国黄土厚度的中心在陇东、陕北、洛河与泾河中下游地区,厚度经常在 100m 以上,最大可达 180~200m。如吴起剖面黄土厚 194m,洛川剖面黄土厚 138m。其他地区也有较厚的黄土地层。如河南三门峡附近张汴塬黄土剖面厚 151m,西安刘家坡剖面黄土厚 108.8m,蓝田水家咀剖面黄土厚 120 余米。天山内部大龙尔都斯谷地黄土厚 120m,川西甘孜南地剖面黄土也厚逾百米。辽西地区黄土厚约百米。松辽平原黄土厚 40m。而目前所知,中国也是世界黄土最厚地点在兰州九州台,黄土厚达 335m。兰州五泉山次之,为 218m。

黄河中游地区黄土厚度变化有以下规律: