



全国高等院校土木工程类系列教材

湿陷性黄土地基

冯志焱 主 编

宋战平 赵治海 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

全国高等院校土木工程类系列教材

湿陷性黄土地基

冯志焱 主编

宋战平 赵治海 副主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分5章,包括:黄土的成因、土层和分布;黄土的基本性质;黄土的湿陷性及其评价;黄土的动力特征及黄土的震害;湿陷性黄土地基及黄土工程等。本书按照国家现行规范,遵循理论联系实际,体现科研与实践最新发展的思路编写。叙述力求由浅入深、突出重点。

本书可作为普通高等院校土木工程专业师生的教学用书,亦可供土木工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

湿陷性黄土地基/冯志焱主编. —北京:科学出版社,2009
(全国高等院校土木工程类系列教材)

ISBN 978-7-03-025956-1

I. 湿… II. 冯… III. 湿陷性黄土-黄土地基-地基处理-高等学校-教材
IV. TU475 TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 200709 号

责任编辑:童安齐 任加林 / 责任校对:耿 耘
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2009年11月第一次印刷 印张:10 1/4
印数:1—2 000 字数:223 700

定价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62132124(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229 010-64034315; 13501151303

全国高等院校土木工程类系列教材 编委会

主 任 白国良

副 主 任 (以姓氏笔画为序)

马建勋 刘伯权 何明胜 邵生俊 陈宗平
杨 勇 童安齐

秘 书 长 贾风云

副秘书长 任加林 陈 迅

委 员 (以姓氏笔画为序)

马 斌	马建勋	王士川	王志骞	王泽军
史庆轩	白国良	冯志焱	任加林	刘伯权
苏明周	杜高潮	李 进	李青宁	李建峰
李惠民	余梁蜀	何明胜	何廷树	邵生俊
张 荫	张 倩	张志政	陈 迅	陈宗平
杨 勇	赵 平	赵树德	赵鸿铁	姚继涛
贾风云	徐 雷	袁伟宁	郭成喜	梁兴文
韩晓雷	童安齐	曾 珂	廖红建	熊仲明
薛建阳				

前 言

本书结合现代土木工程的发展,按照土木工程专业培养高级应用型人才的要求,考虑我国湿陷性黄土区域性的特色编写。

湿陷性黄土在我国有广泛的分布,由于其在土力学和工程建设方面所表现出来的特殊性质,一直是岩土工程界研究的对象。从20世纪50年代开始,特别是我国改革开放以后的西部大开发以来,在黄土地区进行了大规模的工程建设,极大地推动了黄土力学与工程的发展,取得了众多的成果。

湿陷性黄土地基是岩土工程的一个分支,主要阐述这种特殊的区域性土在工程地质、土力学和工程性质等诸多方面的特点,以解决黄土地区的各种实际工程问题为主要目的。通过本课程的学习,学生在具备一般工程地质与土力学知识的基础上,了解湿陷性黄土产生的地质与环境原因,掌握湿陷性和其他特殊性的内在机理,以及常用的黄土性质的土工测试方法,达到能解决实际工程问题的目的,具备在黄土地区从事岩土工程设计、勘察、施工和监理等方面的工作的技能。

全书共分5章,包括黄土的成因、土层和分布,黄土的基本性质,黄土的湿陷性及其评价,黄土的动力特征及黄土的震害,湿陷性黄土地基及黄土工程。本书由冯志焱(西安建筑科技大学)主编,宋战平(西安建筑科技大学)、赵治海(西北综合勘察设计研究院)为副主编,李瑞娥(西安建筑科技大学)、赵红玲(洛阳理工学院)参编。本书编写分工如下:第一章由李瑞娥编写,第二、三章由冯志焱、赵红玲编写,第四章由冯志焱编写,第五章由冯志焱、宋战平、赵治海编写。全书由韩晓雷教授(西安建筑科技大学)主审。

本书编写参阅的相关资料与文献的名称,均在参考文献中列出,在此向有关作者深表感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009年9月

主要参考文献

- Fredlund P G, Rahardjo H. 1997. 非饱和土土力学[M]. 陈仲颐, 张在明等译. 北京: 中国建筑工业出版社
- 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 1994. 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社
- 高国瑞. 1980. 黄土显微结构分类与湿陷性[J]. 中国科学, 12
- 刘东生. 1985. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社
- 刘明振. 1985. 湿陷性黄土间歇性浸水试验[J]. 岩土工程学报, 7(1)
- 刘祖典. 1991. 黄土力学与工程[M]. 西安: 陕西科技出版社
- 骆亚生, 李瑞, 田堪良. 2007. 非饱和黄土动力特性试验方法研究[J]. 地下空间与工程, 12(13)
- 钱鸿缙, 王继堂, 罗宇生等. 1985. 湿陷性黄土地基[M]. 北京: 中国建筑工业出版社
- 王兰民, 张振中, 王峻, 李兰. 1992. 随机地震荷载作用下黄土动本构关系的试验研究[J]. 西北地震学报, (3)
- 王兰民等. 2003. 黄土动力学[M]. 北京: 地震出版社
- 王永焱, 林在贯等. 1990. 中国黄土的结构特征及物理力学性质[M]. 北京: 科学出版社
- 谢定义. 2001. 试论我国黄土力学研究中的若干新趋向[J]. 岩土工程学报, 23(1)
- 谢定义. 2005. 对非饱和土基本特性的学习与思考. 第二届全国非饱和土学术研讨会论文集, 杭州, 4: 1~32
- 张炜, 张苏民. 1992. 非饱和黄土的结构强度特性[J]. 水文地质, 14(1)
- 张宗枯. 1964. 我国黄土显微结构研究[J]. 地质学报, 44(3)
- 中华人民共和国国家标准. 1990. 湿陷性黄土地区建筑规范(GBJ25—90)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社
- 中华人民共和国国家标准. 2004. 湿陷性黄土地区建筑规范(GB50025—2004)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社

目 录

前言

第一章 黄土的成因、土层和分布	1
1.1 黄土及其成因	1
1.1.1 黄土的含义	1
1.1.2 黄土成因	1
1.2 黄土的地貌特征	4
1.2.1 黄土地貌研究的意义及研究内容	4
1.2.2 黄土地貌的划分	5
1.2.3 我国黄土高原地貌的基本特征	6
1.3 黄土的地层	7
1.4 黄土的分布及中国黄土分区	11
1.4.1 黄土分布	11
1.4.2 我国湿陷性黄土的分区	11
第二章 黄土的基本性质	14
2.1 黄土的微结构特征	14
2.1.1 黄土的骨架颗粒及其接触关系	14
2.1.2 黄土的孔隙特征	15
2.1.3 黄土中胶结物类型及胶结类型	18
2.1.4 黄土的微结构分类	19
2.2 黄土的基本物理化学性质	19
2.2.1 粒度成分	19
2.2.2 可塑性	21
2.2.3 孔隙比和干重度	21
2.2.4 含水量	22
2.2.5 黄土的化学性质	22
2.3 黄土的一般力学性质	24
2.3.1 黄土的压缩性	24
2.3.2 黄土的强度	25
2.4 黄土的应力-应变关系	29
2.4.1 原状黄土的应力-应变关系曲线	29
2.4.2 饱和黄土的应力-应变关系曲线	30
2.4.3 挤密黄土的应力-应变关系曲线	32
2.5 非饱和黄土力学与黄土的结构性	33

2.5.1	黄土的非饱和性	33
2.5.2	黄土的结构性	36
2.6	新近堆积黄土	37
第三章	黄土的湿陷性及其评价	38
3.1	黄土的湿陷机理和区域特征	38
3.1.1	黄土的湿陷机理	38
3.1.2	黄土湿陷性的影响因素	39
3.1.3	黄土湿陷的区域特征	41
3.2	湿陷性黄土地基的变形特征	41
3.2.1	黄土湿陷性的评价指标	42
3.2.2	自重应力下黄土湿陷变形的特征	46
3.2.3	总应力下黄土湿陷变形的特征	51
3.3	黄土湿陷性与压力和深度的关系	57
3.3.1	湿陷性与应力的关系	57
3.3.2	湿陷起始压力与饱和状态下的“前期固结压力”及土的自重应力	60
3.3.3	不同地区的自重湿陷性与深度的关系	63
3.3.4	我国黄土湿陷性的总格局	63
3.4	场地和地基的湿陷性评价	63
3.4.1	湿陷性黄土场地的岩土工程勘察	63
3.4.2	黄土场地的湿陷性评价	65
3.4.3	黄土地基的湿陷性评价	66
第四章	黄土的动力特征及黄土的震害	72
4.1	黄土的基本动力特性	72
4.1.1	黄土的动应力-应变关系	73
4.1.2	黄土的动强度	78
4.2	黄土的振陷	80
4.2.1	黄土振陷及其影响因素	81
4.2.2	黄土振陷与黄土湿陷	83
4.2.3	黄土振陷量的估算	83
4.3	黄土液化	84
4.3.1	黄土液化机理	84
4.3.2	黄土液化的判别	86
4.4	黄土地震滑坡	87
4.4.1	黄土地震滑坡的机理、特征与分类	88
4.4.2	黄土斜坡地震稳定性分析	89
4.5	黄土波速及黄土地区地震动特性	90
4.5.1	黄土波速	90
4.5.2	黄土地区地震动特性	92

第五章 湿陷性黄土地基及黄土工程	94
5.1 湿陷性黄土场地上建筑和结构设计	94
5.1.1 黄土地区的场址选择与总平面设计	94
5.1.2 湿陷性黄土场地上建筑设计	97
5.1.3 湿陷性黄土场地上结构设计	99
5.1.4 湿陷性黄土场地防排水设计	100
5.2 湿陷性黄土地基与基础	100
5.2.1 黄土地基的承载力	101
5.2.2 湿陷性黄土地基处理	103
5.2.3 湿陷性黄土场地的桩基础	111
5.3 黄土滑坡工程	113
5.3.1 黄土滑坡的形成条件与特征	113
5.3.2 黄土滑坡的形成机理	116
5.3.3 黄土斜坡稳定性分析	116
5.3.4 黄土滑坡的防治	117
5.4 黄土场地的基坑工程	117
5.4.1 基坑工程设计内容	117
5.4.2 基坑支护体系的设计与施工	118
5.4.3 黄土基坑地下水控制	120
5.5 黄土隧道与地下工程	133
5.5.1 概述	133
5.5.2 黄土隧道与地下工程的设计理论	134
5.5.3 黄土隧道与地下工程山岩压力计算	137
5.5.4 黄土隧道与地下工程设计	141
5.5.5 黄土隧道与地下工程施工	145
主要参考文献	151

第一章 黄土的成因、土层和分布

1.1 黄土及其成因

1.1.1 黄土的含义

在工程地质和土质学中,黄土是一种特殊性土。从颗粒级配上看,以 $0.05\sim 0.01\text{mm}$ 的粒级含量(粉粒)为主,其含量大于 40% ,一般在 $45\%\sim 63\%$ 之间,这是黄土有别于其他沉积物的一个重要特点。一定程度上决定黄土物理力学性质的黏粒($<0.005\text{mm}$)含量在各地层剖面中的变化范围在 $5\%\sim 33\%$ 之间,不同地区黄土的塑性指数 I_p 一般在 $8.37\sim 12.29$ 之间。因此,从颗粒级配上看,黄土一般应属于粉土或粉质黏土。但从土的力学与工程性质上看,黄土又区别于一般的粉土和粉质黏土,如非饱和黄土较强的结构性、可能的湿陷性、液化及振陷等。这些特性决定了黄土的土力学及工程意义和地位,对黄土地区工程建设具有重要影响。

黄土是一种第四纪地质历史时期干旱气候条件下的沉积物。刘东生等在 1965 年指出,“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,又常常有层理和砂、砾石层的粉状沉积物称之为黄土状岩石。”黄土状岩石解释一般所称的次生黄土,其成因与黄土有一定联系,多数为黄土经流水等营力再搬运,在干旱和半干旱地区内再沉积而成的。一般认为黄土应具备以下全部特征:

- 1) 为风力搬运沉积,无层理。
- 2) 颜色以黄色、褐黄色为主,有时呈灰黄色。
- 3) 颗粒组成以粉粒为主,含量一般在 60% 以上,几乎没有粒径大于 0.25mm 的颗粒。
- 4) 富含碳酸钙盐类。
- 5) 垂直节理发育。
- 6) 一般有肉眼可见的大孔隙。

当缺少其中的一项或几项特征时,称为黄土状土或次生黄土,满足前述所有特征的称为原生黄土或典型黄土。一般将原生黄土和次生黄土统称为黄土。

1.1.2 黄土成因

黄土的性质与其成因有很大关系。黄土的成因研究,早在 19 世纪中叶就开始,到目前为止,主要的成因假说有风成说(图 1.1)、水成说、土壤说(残积说)和多成因说。

黄土风成见解,早在两千多年前的《前汉书》中已经提出。中华人民共和国成立前我

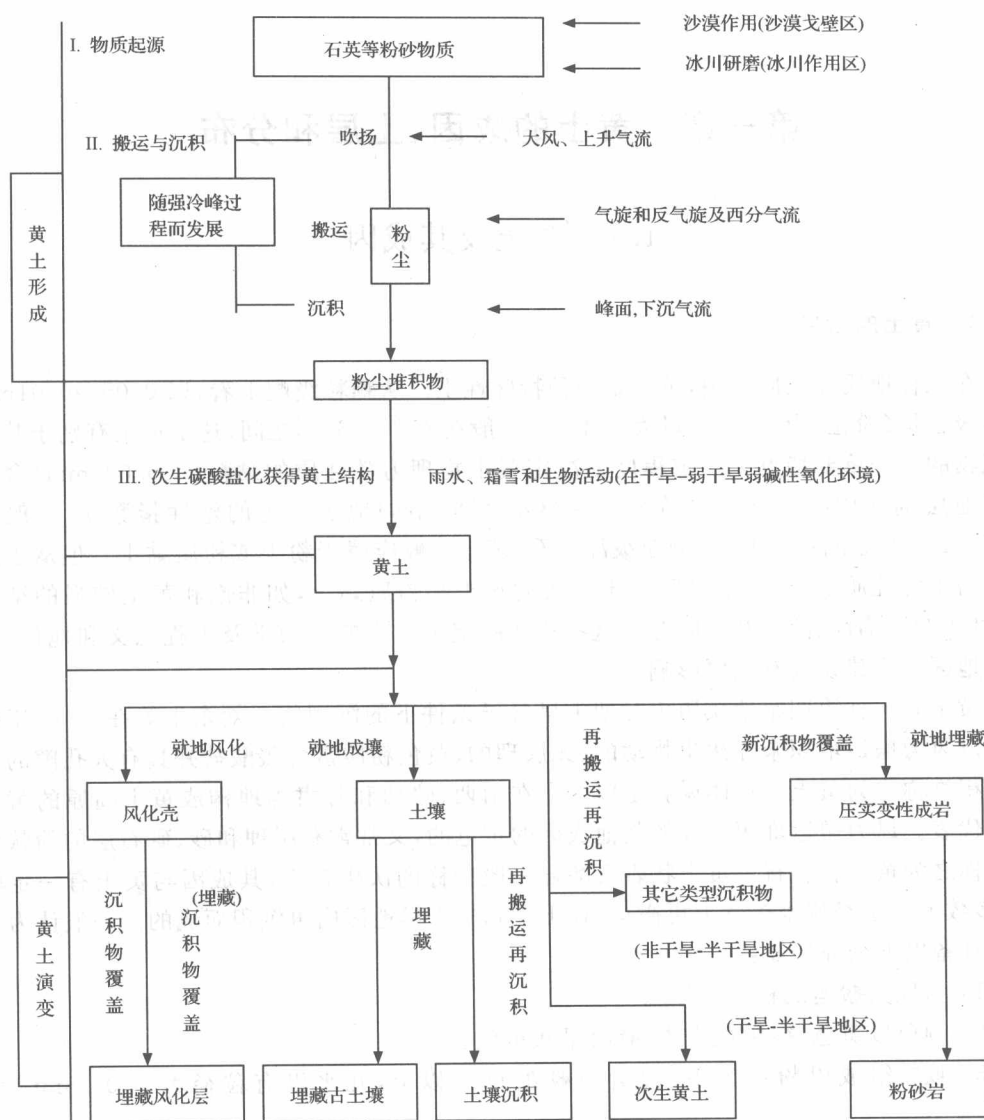


图 1.1 黄土形成过程和黄土演变示意图

国黄土研究者所提出的成因假说,以风成说为主。中华人民共和国成立后各种水成说及多成因说得到发展。西欧及北美以风成说占统治地位。

1. 风成说

风成说,将黄土划分为所谓“原生黄土”和“次生黄土”两类。其观点很明确,凡是由风力吹扬和搬运而成的黄土,就叫“原生黄土”(通常称之为黄土),原生黄土经过二次搬运(冲积、洪积等)形成的黄土叫“次生黄土”,也即“黄土状土”。

风成说认为,在干旱的大陆性气候的作用下,高度风化的黄土物质受到强大的反旋风

从中部呈离心状吹向沙漠的边缘地区,当遇到异向风或降雨时沉落于地面,经风化成土作用而形成黄土。一般认为,我国黄土物质是从中亚细亚搬运而来,形成黄土时的自然环境是干旱或半干旱的荒漠草原。风成说的主要依据可归纳为:①黄土颗粒很细、质地均匀;②黄土的母岩成分与当地原有地层的成分无关,而且成分复杂;③黄土的地形,与其下伏基岩地形有一致性,随地形起伏而起伏;④黄土在山坳里,不论高低,一律有覆盖;在一个区段里,不论高山或低地,均有分布;⑤我国黄土和沙漠、戈壁顺递相连,自北而南,由粗到细,岩相变化颇有规律。⑥我国黄土具坡向性埋藏特征,在迎风面堆积的量,在背风面则堆积的少些;⑦黄土层厚度有时很大,具有多层古土壤,有陆生动、植物化石,且多为干旱草原型动物。此外,在构造上,黄土无层理,柱状节理发育,这与具有层理的洪积、冲积形成的黄土状土有明显差别。中国许多学者主张黄土风成说,刘东生对黄土风力作用过程和黄土演变综合为如图 1.1 所示的模式。

2. 水成说

水成说可分为冲积说、坡积说、洪积说等。比如 1903 年 А. П. ПАВЛОВ 提出的第四纪沉积的坡积和洪积成因,他主要针对中亚山麓平原一带的黄土中的颗粒,是暴雨及临时水流从山坡及小冲沟冲刷搬运而来。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,有时黄土夹有砾砂透镜体。张伯声 1957 年提出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)。1956 年他从黄土线的存在说明黄河河道的发育过程及黄土的形成。他认为黄土的分布并不是漫山遍野地散布在任何高度上,而是分布在一定盆地的一定高度上。在一定高度之上只有残积土和坡积土,而没有黄土。黄土分布在一定高度的界限叫做黄土线或黄土上限。水成说认为陕西高原黄土来自上游大小盆地,晚期在新构造运动上升切割形成的河谷中,黄土沉积物堆积成阶地形状,在大陆性的干旱气候条件下,这些沉积物在风化和成土作用下形成了黄土。

3. 土壤(残积)说

土壤(残积)说认为,黄土是经过空气、水和植物强烈改造了冰川尘土而生成的残积物,这些冰川物质是由冰水带出沉积在宽阔的盆地和河谷中的。黄土可在原地由各种细土(但必须是含碳酸盐的)及岩石在干燥气候条件下由风化作用和成壤作用的结果形成的。该学说提出的“黄土化作用”被普遍接受。黄土的机械成分以 $0.01\sim 0.05\text{mm}$ 的颗粒占优势,黄土的结构(孔隙性、无层理、松散性、垂直节理)是特殊的风化及成土作用的结果。富含钙质是草原与沙漠带土壤的特点。在被钙及钙饱和的土壤中,胶体被集集成更大的团粒,这种类型的团粒质点,胶结性差,形成易透水的松散土壤。因此,黄土的松散性是富含钙质的结果。黄土的形成仅仅一个富含碳酸钙的岩石风化是不够的,必须要在干燥气候中进行风化,还要有成土过程即微生物参与其中。

4. 多成因说

多成因说是 А. М. Жирмунский 提出的,他认为欧洲黄土是综合因素作用的结果。在黄土形成的每一个阶段中,当时的气候条件、自然地理条件及各种形成沉积物的因素,都能影响黄土形成。Г. А. Мавлянов 在研究了中亚黄土之后,根据成因把黄土分为以下两种:黄土组(包括风成黄土和洪积黄土)和黄土状岩石组[包括洪积黄土状沉积、坡积沉积、冲积沉积、残积沉积和风力搬运(经过去黄土作用的风成黄土)]。

张宗祜是我国多成因说的代表,他把中国黄土及黄土状土根据地质-地理环境及其分布特征,做了如下成因类型划分:①山前边缘带——在山前地带的前缘,呈连续狭长分布,黄土厚度不大,一般在 10m 左右。这一带的成因类型有冲积-洪积、洪积。②高原地区——大面积连续分布,高程在 1000m 以上,厚度极大,100~250m。成因类型有坡积-洪积、洪积、坡积、冲积。③山间盆地区——在山间小型盆地,呈连续或断续地分布在盆地边缘,厚度几米到几十米。成因类型有冲积-洪积、冲积。④河谷平原区——在大中型河流的河谷内,呈长条连续分布,构成河谷阶地及河谷冲积平原。成因类型只有冲积。⑤高山坡地——不连续的片状分布,高程在 2000m 左右,厚度 10m 以下。成因类型有残积,残积坡积。这种分类中不包括风力类型。

黄土成因是一个十分复杂的问题,复杂的原因一是黄土本身的复杂性,它的独特的性质(大孔隙、粉土成分占优势等),而这些性质是第四纪其他沉积物所不具备的;二是对黄土含义的理解不同。同一种土体有人认为是黄土,有人认为是黄土状沉积,又有人认为不是黄土而是另一种沉积物;三是研究方法和研究区域的限制,也妨碍对黄土成因的认识。以一个地区甚至一个地点的研究结果推断全部黄土的成因显然是不合适的。

1.2 黄土的地貌特征

1.2.1 黄土地貌研究的意义及研究内容

我国西北地区,特别是黄河中游地区发育着著称于世的第四纪陆相黄土堆积,分布广,厚度大,地层完整。由上述特定地理位置所决定,并由特殊的风的地质作用搬运和堆积的黄土及部分流水地质作用所形成的黄土状沉积所掩盖堆积的地貌泛称为黄土地貌。黄土地貌的概念及其类型划分无疑是以黄土这种特殊物质及其组构为依据,以下伏地貌单元为前提的,如著名的黄土高原就是在高原地形上幔盖以黄土而得以命名的。

黄土地貌与黄土区工程地质性质有着密切的关系,不同的黄土物质、地貌结构及类型,所反映的工程地质性质很不相同,在继承性的梁、峁区,即使其黄土的工程性质较好,但因古地貌(如古剥蚀面)的存在,易诱发新的土体滑坡,也将成为工程地质性质中最不稳定的因素之一。相反,在黄土塬、黄土台塬或河谷阶地区,同样的古地貌对工程性质的影响却较小。

黄土高原水文地质问题的研究,一般集中在地表水土流失和地下水的开发利用两个方面,这是涉及到黄土高原治理及国土整治的重大问题。黄土地貌的不同特征及其类型

与地下水的补给来源、赋存状态、运动规律及开发利用的途径有着极为密切的关系。

在环境地质研究方面,黄土地貌(包括现代地貌、古地貌及基底地貌)是研究黄土高原古环境特征及环境变迁的重要资料,如与黄土诸地貌密切相关的水土流失问题、黄土滑坡、黄土区古构造及史前地震遗址等问题。决定黄土高原土壤侵蚀的主要因素除与黄土的岩性有关外,区域性黄土地貌特征构成了土壤侵蚀作用发生、发展的地质地貌背景,地貌类型的不同直接影响着侵蚀作用的方向、方式及强度。滑坡及崩塌灾害性地貌过程除与自然因素如地震、降雨、河流侧侵及人类活动如灌溉、卸荷、加荷与振动等有直接关系外,地貌的类型与结构也是诱发和使滑坡发展的重要条件。黄土滑坡一般多见于黄土塬、黄土台塬及黄土山麓塬的边缘地带,如西安白鹿塬靠近灞河两侧的边缘是滑坡活动和集中的地区,滑坡面以黄土柱状节理面与下伏地层分界面为滑动带的较多。

黄土地貌研究的内容主要有:①查明黄土的岩性及成因并进行地层划分。②查明黄土堆积前的基底地貌,这是黄土地貌形成的基础和前提,在一定程度上反映了现代黄土地貌的基本类型。③查明新构造运动的性质、幅度和方向。④进行地貌的划分和成因分类。

1.2.2 黄土地貌的划分

中国黄土地貌的形成过程是极其复杂的,诸如地壳运动,特别是新构造运动的方式和强度及其所造成的各种构造形态和地理环境、气候在时间和空间上的变化,以及黄土岩石性质等因素对黄土地貌的形成和发展有很大影响。

黄土地貌的划分原则主要有形态分类原则、成因分类原则及形态-成因的组合分类原则。形态分类原则比较简单,开始于地貌研究的初期,形象感强且易于了解,但它不能很好地反映不同地貌的起源和发展过程,而且不同成因的地貌起源在同一发展阶段会产生相似形态。以成因分类作为黄土地貌划分原则可以体现不同的地质作用、地层结构及其在时间上的演化序列和在横向上的地貌组合特点,进而通过不同类型的地貌成因分析,恢复其古地理环境、新构造运动史及古气候变迁等地质事件。

1. 按形态和规模分类

(1) 大型地貌

大型地貌主要类型有黄土梁峁、黄土塬、黄土覆盖河谷区、黄土覆盖山间盆地及黄土覆盖山麓倾斜平原区等。

1) 黄土梁峁区:其特点是黄土地层厚,黄土颗粒较粗,胶结疏松,主要分布在六盘山以西及延安以北地区。西部黄土最厚,为300~400m,中部靖边一带黄土厚度在200m左右,东部至榆林一带厚度则减到150~200m。

2) 塬地貌区:地形平缓,地层连续性强,分布在陕北甘泉至甘肃庆阳一线以南,六盘山与吕梁山之间秦岭以北的地区,黄土厚度在130~150m之间。

3) 黄土覆盖河谷地貌区:分布在黄土高原的河谷如黄河、渭河等经过的地区,随着新构造运动节奏性上升,形成不同高度的若干级河流阶地,其上覆盖着黄土,阶地越高,黄土地层越厚越全。如渭河河谷阶地有四级阶地,一、二级阶地低而新,地形平坦,三、四级阶地高而老,与高原的丘陵地形差不多。一级阶地黄土的湿陷性一般较弱,一级阶地以下的

河漫滩黄土则往往没有湿陷性。

4) 山间盆地地貌区:在黄土区有些山间盆地如铜川及太原等地,有河流贯穿其中,黄土厚度不大,但不同时代的剥蚀面发育,如铜川灰堆坡剖面。

5) 山麓倾斜平原区:在大的山系如天山、祁连山、昆仑山、阿尔金山等大山系北麓,均有缓倾带状洪积平原,其上有较薄($<50\text{m}$)的黄土覆盖层。

(2) 中型地貌

按形态分有黄土塬、黄土梁、黄土峁及黄土掌地与杖地等。

1) 黄土塬:黄土高原区被黄土覆盖面积较大的平坦地面,是黄土高原特有的保存完好的广阔的平坦地面,塬面宽度不一,大者 10 余 km,小者一般 1~3km,塬面多碟形洼地。典型的黄土塬有陇东的董志塬(西峰)、陕北的洛川塬及晋西的吉县塬。黄土塬按地貌单元和位置可划分为黄土塬(典型塬)和黄土台塬(渭北塬)两种。

2) 黄土梁:黄土高原一种长条状延伸的尖顶或平顶垄岗地形,是黄土堆古梁状地形的继承地貌,也有黄土塬被侵蚀分割的蚀余地貌。由于复杂的剥蚀和侵蚀作用,使黄土梁进一步演化为梳状黄土梁、树枝状黄土梁及平行状黄土梁等。

3) 黄土峁:由黄土覆盖的孤立的或成群的浑圆形地形,大小不等,直径一般数十米或数百米的较多,斜坡较陡,平均为 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。黄土峁和黄土梁往往形成在同一地区,组成梁峁地貌。

(3) 小型地貌

最常见的次一级地貌类型。主要形态有黄土垂直节理受侵后残留的黄土柱;在黄土缓坡的低洼地点,常有黄土漏斗形成;出露于冲沟两侧及沟缘附近常有黄土陷穴及深度较大的黄土井;两个以上的陷穴被流水贯通后的土体构成的黄土桥等。

2. 按成因分类

按黄土地貌形成的地质营力不同,主要有堆积地貌、侵蚀地貌、剥蚀地貌、物理地貌及气候地貌等。

(1) 堆积地貌

堆积地貌指由堆积作用形成的黄土地貌,随外力作用方式不同有风积的和冲、洪积的,如黄土塬,包括台塬等。

(2) 侵蚀地貌

在各类堆积地貌基础之上或者在堆积地貌形成过程中主要由侵蚀作用再改造而成。包括黄土柱、黄土桥等一系列小型地貌均属此类。有人称该类地貌为黄土岩溶(喀斯特)地貌、类岩溶地貌。这与富含碳酸钙的黄土物质属性有关。

(3) 剥蚀地貌

以剥蚀作用为主形成的地貌,是黄土沉积后或在沉积过程中,经受以风为主,有流水、重力作用影响的多种地质作用的产物。黄土梁、黄土峁的大部分均属此类。

1.2.3 我国黄土高原地貌的基本特征

黄土高原的黄土底层发育较好,面积大,地层完整,层序清楚,地貌类型多,构成了黄

土高原地貌的基本特点。黄土高原地势西北高而东西低,最低的侵蚀基准面为高原东侧的黄河与渭河河谷。黄河及其支流横贯其中,形成一系列侵蚀地貌。黄土高原地貌形态可以分为黄土塬、黄土梁、黄土峁、黄土阶地及黄土盆地。根据上述地貌形态和分布区域,可将黄土高原地貌划分以下几个地貌区:六盘山以西梁峁区、六盘山以东梁峁区、黄土高原中部及南部的塬区及台塬区、山间盆地区及河谷阶地区。在华家岭-马衔山一线以南,黄土厚度小于 20m,基岩丘陵山地顶部的黄土厚度不超过 10m,平缓山顶上及大的河谷中,黄土厚度较大。华家岭-马衔山一线以北,为黄土的增厚地区,最厚可达 300~400m,东部为黄土梁分布地区,西部的兰州附近及其以北为峁分布区。六盘山以东、吕梁山以西的广大地区在甘肃庆阳-陕西甘泉-山西吉县一线以北为黄土高原面积最大的梁峁区,该线以南自西向东分布有西峰塬、长武塬、洛川塬及吉县塬等区。延安以北的绥德、吴堡、安塞一带为峁的发育区。汾渭谷地为黄土台塬发育地区。

1.3 黄土的地层

中国黄土形成经历了整个地质年代的第四纪时期,从第四纪早更新世 Q_1 开始,直到现在各个时期都有堆积。六盘山是现代黄河中游气候的分界线,也是黄土形成过程中的古气候分界线。六盘山以西黄土分布最高界线在海拔 2400m 左右,六盘山以东黄土分布最高界限为海拔 1800m 左右,黄河中游黄土分布的最低界限在海拔 400m 左右。六盘山以西由于古气候干燥,成土作用较浅,黄土色浅,胶结疏松,黄土中的古土壤色调浅或不清,无大的碳酸钙结核,哺乳类化石少;六盘山以东黄土色略深,胶结较好,古土壤层清楚,多钙质结核,甚至成层,哺乳类化石多。地层地质时代的划分以动植物化石作为鉴定标志,通过对比待判定的剖面地层特征与标准剖面地层特征来确定。这些宏观地层特征主要有沉积环境、地层构造、颜色、结构和包含物等。

我国黄土地层的典型剖面如图 1.2 所示,各层黄土形成年代和成因见表 1.1,自下而上简述如下。

表 1.1 黄土地层划分和特性

年代		黄土名称			成因		备注
全新世 Q_4	近期	—	新黄土	新近堆积黄土	次生黄土	以水成为主	一般具湿陷性
	早期	—		一般湿陷性黄土			
晚更新世 Q_3		马兰黄土	老黄土	非湿陷性黄土	原生黄土	风成为主	
中更新世 Q_2		离石黄土					
早更新世 Q_1		午城黄土					
							上部部分土层具湿陷性
							不具湿陷性

1. 早更新世 Q_1 黄土(午城黄土)

早更新世 Q_1 黄土(午城黄土)简称 Q_1 黄土,形成于距今 70 万~120 万年之间。其标准剖面首先在山西省隰县午城镇找到,故又称午城黄土。色淡棕,显微红,较离石黄土为深。粒度成分以粉粒为主,粉粒和黏粒含量比后期黄土高。夹 17~18 层密集钙质结核

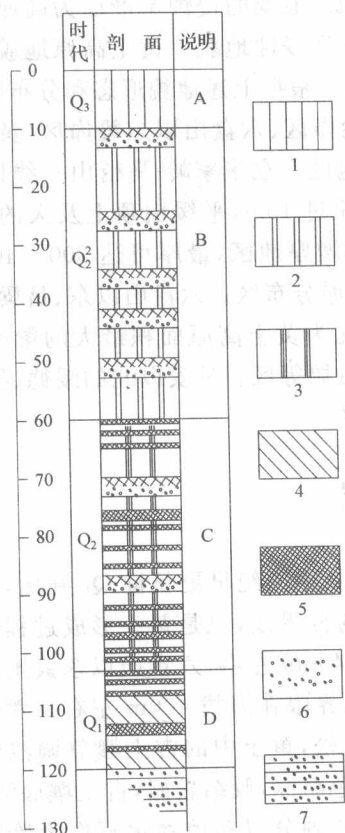


图 1.2 典型黄土地层剖面示意图

1. 马兰黄土; 2. 离石黄土上部; 3. 离石

黄土下部; 4. 午城黄土; 5. 古土壤;

6. 石灰质结核; 7. 砾石

A. 浅黄色黄土, 粉土质, 富含碳酸钙;

B. 灰黄色, 粉土质, 夹有间隔较稀、厚度较大、深红色的古土壤, 其底部具有石灰质结核层;

C. 黄色—淡棕色黄土, 粉土质, 夹有间隔较密的薄层古土壤层(部分为风化层), 具有石灰质结核层;

D. 红黄色黄土, 粉土质, 致密, 较细, 夹有古土壤层和风化层

层,是古土壤钙化的遗物。底部常有砾石层和砂层与较老地层不整合接触。质地较均匀,质密坚实,低压缩性,无湿陷性。分布较少,一般在古地形低洼的地方能见到,共厚40~100m。

2. 中更新世 Q_2 黄土(离石黄土)

中更新世 Q_2 黄土(离石黄土)简称 Q_2 黄土,形成于距今10万~70万年。其标准剖面首先在山西省离石县找到,故又称离石黄土。粒度成分以粉粒为主,粉粒和黏粒含量比马兰黄土高。质地均匀,致密。分上下两部:下部黄土灰褐色,较坚实,无湿陷性,夹有4~8层红褐色古土壤。上部黄土以三层合成其厚约5m的红褐色古土壤为界,与上部黄土整合接触。在这层古土壤之上,还夹有三层红褐色古土壤,其中最上一层一般有两层合成。上部黄土浅灰褐色,无湿陷性或有轻微湿陷性。共厚50~70m,但在黄河中游最后可达170m,并成为该地区黄土地层的主体。

3. 晚更新世 Q_3 黄土(马兰黄土)

晚更新世 Q_3 黄土(马兰黄土)简称 Q_3 黄土,形成于距今0.5万~10万年。其标准剖面首先在北京西柏斋堂村马兰山谷的阶地上找到,故又称马兰黄土。粒度成分以粉粒为主,粉粒和黏粒含量较早期黄土少。质地较均匀,但较疏松,有肉眼可见的大孔,具湿陷性或强烈湿陷性。 Q_3 黄土分上下两部:下部黄土浅灰褐色,疏松。它包括黄土剖面中最上一层厚度大于3m的红褐色古土壤和其下厚约5m的黄土。上部黄土色淡灰黄,疏松,粒粗,夹1~2层厚0.3m的灰棕色古土

壤。晚更新世黄土的厚度比离石黄土薄,约10~30m。

4. 全新世 Q_4 黄土

全新世 Q_4 黄土简称 Q_4 黄土,形成于距今5000年内。一般土质疏松,肉眼可见大孔,具湿陷性。底部有厚0.7~1.3m的黑垆土。厚度多较薄,仅在塬、梁、峁坡脚、山间河谷、狭窄河流的低级阶地上覆盖较厚。分两个亚层:全新世早期堆积黄土,简称 Q_4^1 黄土,其承载力和湿陷性与马兰黄土相近;全新世近期堆积黄土,简称 Q_4^2 黄土,由于形成年代