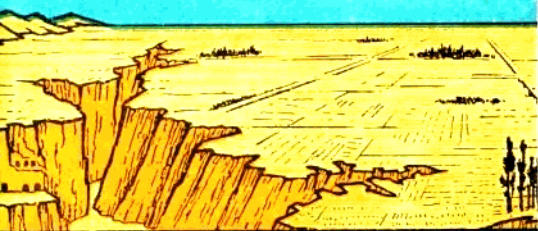


黄土地区工程地质

乔平定 李增钧 主编



水利电力出版社

黄土地区工程地质

乔平定 李增钧 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍了我国黄土的分布规律、地层划分、成因类型及地貌特征；阐述了我国黄土的基本性质及黄土地基的湿陷变形特征；并在此基础上讨论了我国黄土地区水库、坝址、渠道、渠系建筑物的工程地质问题与工程地质评价。对黄土地区水工建筑物的工程地质勘察要求与方法也作了简述。

本书主要读者对象是水利电力系统的工程地质人员、水工、施工及工程管理部门的技术人员。也可供铁道、交通、工业与民用建筑等系统的专业人员及大专院校有关专业的师生参考。

黄土地区工程地质

乔平定 李增钧 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.375印张 253千字

1990年2月第一版 1990年2月北京第一次印刷

印数0001—1340册

ISBN 7-120-00966-4/TV·316

定价7.30元

前 言

我国黄土主要分布在北方13个省(区),就其面积和厚度而言,在世界上是占首位的。黄河中上游是黄土连续沉积的集中分布区,又是中华民族生息繁衍的发祥地。几千年来,我国人民在认识和利用黄土方面有着丰富的经验。特别是建国以来,随着黄土地区水利水电建设的迅速发展,推动了对黄土性质和湿陷特征的试验研究。工程实践中,对各类水工建筑物黄土地基及环境工程地质问题,作过大量勘察评价和工程处理。为了进一步提高黄土地区水利水电建设的工程地质水平,有必要总结建国30多年来黄土工程性质研究成果和工程地质实践经验。

本书内容着眼于专业应用技术,突出水利水电建设中黄土工程地质的特点,总结我国水利水电系统对黄土地基的理论研究与实践经验,引用了大量工程实际资料,并收集了铁道、建筑及其它系统的有关成果,可供黄土地区水利水电系统工程地质、水工和施工人员参考。

本书由陕西省水利电力土木建筑勘测设计院和西北水利科学研究所承担编写。全书共有八章,参加编写的有:王德善(第一章);岳宝蓉、李增钧、张贵发(第二章);李祯祥、张贵发、李章泌(第三章);乔平定(第四、五章);周家谋(第六章);朱人杰(第六、七章);宋海云(第八章)。乔平定、李增钧任主编。在编写过程中,除得到本单位领导关怀外,还得到黄河水利委员会、甘肃、青海等有关水利部门提供资料大力支持;西安地质学院胡广韬教授在审

阅中提出了宝贵的修改意见，在此，一并表示衷心的感谢。
最后，愿望读者对本书的疏漏和错误给予批评指正。

编者

1988年10月

目 录

前言

第一章 我国的黄土堆积	1
第一节 黄土的命名及分布	1
第二节 黄土地层的划分	5
第三节 黄土的成因类型	16
第四节 黄土地貌与自然地质作用	19
第二章 黄土的基本性质	24
第一节 黄土的物理性质	24
第二节 黄土的矿物成份及化学性质	35
第三节 黄土的水理性质	42
第四节 黄土的力学性质	46
第五节 压(击)实黄土的工程性质	60
第三章 黄土地基湿陷变形特征	72
第一节 黄土地基的湿陷变形评价	72
第二节 黄土湿陷机理与变形影响因素	80
第三节 压(击)实黄土的湿陷变形问题	95
第四节 黄土地基湿陷变形量的测定	103
第四章 黄土地区水库区工程地质	115
第一节 黄土地区水库淤积问题	115
第二节 黄土地区水库坍岸问题	122
第三节 黄土地区水库浸没问题	133
第四节 黄土地区库区渗漏	144
第五章 黄土地区坝址工程地质	157
第一节 坝型与坝址选择	157
第二节 黄土坝基湿陷变形问题	163

第三节	黄土地区水库淤积物上加高土坝的工程地质问题	178
第四节	黄土地区坝区渗漏与渗透稳定问题	185
第五节	黄土地区泄洪建筑物的工程地质问题	201
第六章	黄土渠道及渠系建筑物工程地质	207
第一节	黄土渠道系统的工程地质问题	207
第二节	黄土地区渠道线路的方案选择	212
第三节	黄土渠道工程地质评价	217
第四节	黄土地区渠系建筑物地基工程地质评价	233
第五节	黄土地区输水隧洞工程地质评价	249
第七章	黄土斜坡的稳定问题	260
第一节	概述	260
第二节	黄土滑坡	262
第三节	黄土挖方边坡	288
第八章	黄土地区水工建筑物工程地质勘察	310
第一节	工程地质测绘与勘探	311
第二节	工程地质测试	322
第三节	水文地质试验	344
附录		348
主要参考文献		356

第一章 我国的黄土堆积

黄土形成于特殊的自然环境，以位于北半球的欧洲、苏联、北美和中国分布较为普遍。就其分布面积和厚度来说，我国黄土占世界首位。黄河中游的黄土高原，是中华民族的发祥地。几千年来，我国人民在认识、改造和利用黄土方面，有着丰富的经验。建国以来，随着社会主义建设的需要，地学和建筑学等各个领域，都展开了对黄土的研究。而研究黄土的地貌、地质时代、结构构造及成因类型等方面，则是研究黄土的工程性质及工程地质问题的基础。因此，本书在讨论黄土的工程性质和工程地质问题之前，先简述一些我国黄土的地质地理概况。

第一节 黄土的命名及分布

一、黄土的命名

“黄土”一词在地学上是黄土岩的简称，一般是指色调发黄的大孔性土。多年来由于研究者考虑的角度不同，曾提出过各种不同的黄土名称，总计有几十种之多。归纳起来，无非是以黄土单项特征或多项特征作为依据而命名，但以单项特征为据者较多。例如，依据黄土的颜色深浅、颗粒组成、成因类型、地层时代、工程特征等等来命名，常用的黄土名称及它们间的大致关系，见表1-1。

依据黄土的各单项特征的综合考虑命名，即所谓多项特征或综合特征命名，可把黄土分为典型黄土和亚型黄土，或

表 1-1

常用的黄土名称

命名依据		黄 土 名 称		
综合特征		黄 土		
		典型黄土(标准黄土)	亚型黄土(黄土状土)	
单 项 特 征	色 调	灰黄色黄土	灰褐色黄土	灰红色黄土
	颗粒组成	亚砂黄土(砂黄土)	亚粘黄土(粉黄土)	重亚粘黄土(粘黄土)
	岩性结构	大孔性黄土	致密黄土	石质黄土
	时 代	Q ₃ 黄土(新黄土)	Q ₂ 黄土(老黄土)	Q ₁ 黄土(古黄土)
	地 层	马兰黄土	离石黄土	午城黄土
	成 因	风成黄土、次生黄土(洪积、坡积、冲积、湖积…)		
	工程性质	湿陷性黄土		非湿陷性黄土

称标准黄土和黄土状土。一般认为有以下特征的黄土为标准黄土：颜色淡黄至褐黄；结构疏松具大孔隙；通常含有大量盐类，主要是碳酸盐和硫酸盐；具直立节理，破坏时能保持垂直的壁；成分均匀无层理；遇水有湿陷性。如果某种黄土只有其中一部分特征，则称为黄土状土。

根据这些特征，我国只有马兰黄土（包括Q₃风积黄土）可算作标准黄土，其他则为黄土状土。我国不少学者还认为综合特征应主要反映黄土的成因，把黄土堆积中属于原生的（风成的）命名为典型黄土，简称黄土；属次生的（黄土物质或原生黄土通过水流再次迁移堆积的）称为黄土状土。从日前关于黄土成因的认识，就可把包括新、老黄土在内的巨厚黄土层，称为黄土。无论是典型黄土，还是黄土状土，或表1-1中的其他黄土名称，人们习惯上通用“黄土”这一

简单的名词，本书中出现“黄土”一词，如果未加说明，则泛指一切黄土。

二、黄土分布概况

我国黄土分布在北方几个省区，大致位于昆仑山、秦岭、山东半岛一线以北，阿尔泰山、阿拉善、鄂尔多斯、大兴安岭一线之南，即北纬 $30^{\circ}\sim 49^{\circ}$ 之间的广大地区，总面积约63万 km^2 。

我国黄土在区域分布上有较大差异。黄河中游地区的黄土高原，黄土分布最广，厚度最大，一般在百米以上，最大厚度可达250~300m，个别地方甚至大于300m，是我国乃至世界黄土分布的典型地区。该区一般认为是指秦岭、伏牛山以北，长城沿线以南，太行山以西，贺兰山、青藏高原以东，包括山西、豫西、陕北、关中、陇东、陇中及青海东部。黄土高原区除较大山岭和较大河流的河漫滩外，几乎全被黄土堆积所覆盖。其中兰州以东至吕梁山之间，黄土连续分布最为集中，我国的各种黄土问题和黄土研究，多数集中在这一区域。

黄土高原以西黄土，主要分布于一些内陆盆地边缘的山麓地带。例如昆仑山、阿尔金山北麓的英吉沙、和田、塔里木至敦煌一线以南；安西盆地至天山北麓的乌苏、乌鲁木齐、木垒连线一带；其他如河西走廊、柴达木及湟水谷地也有黄土分布。这些山前黄土一般呈条状分布，厚度几米至20m、最大30m。

黄土高原以东的华北区，黄土主要分布在燕山南、太行、山东的黄河下游、海河流域及山东半岛等地，以河北张家口及山东黄土堆积较厚，可达30~60m。东北地区，黄土分布于松辽平原及其外围山前。平原区以齐齐哈尔至沈阳之间的

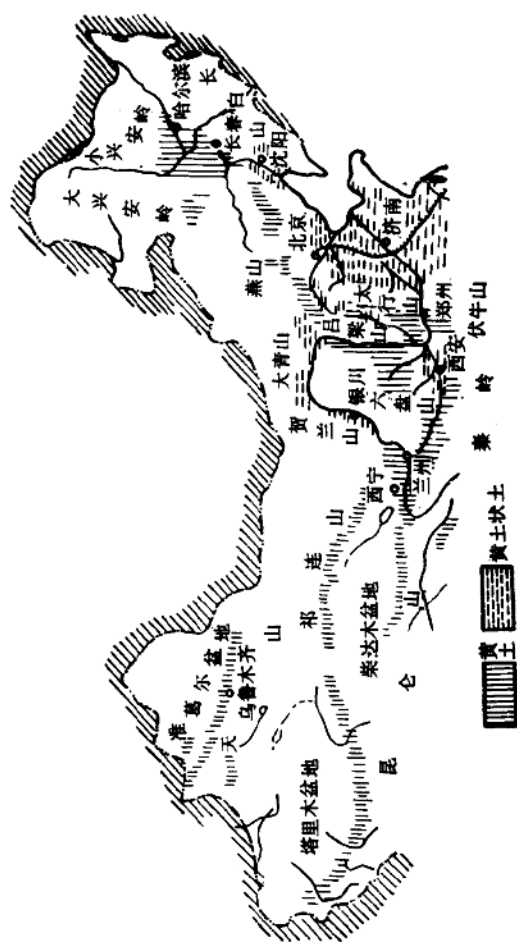


图 1-1 中国黄土分布示意图

广大地区为主；山区则以西部努鲁儿虎山山麓黄土较为典型，厚度可达50~70m。

综上所述，我国黄土主要分布在黄河中游的黄土高原区。其次是西北、华北和东北的山前坡脚地带、河谷平原和山前广阔平原区。我国黄土分布，如图1-1所示。

第二节 黄土地层的划分

黄土沉积于整个第四纪时代，而第四纪不同时期沉积的黄土其工程性质有显著的不同。在工程地质调查中，需要进行黄土地层的时代划分。黄土虽属特殊岩类，仍需用第四纪地质学的方法划分地层时代。由老到新可分为四期：下更新统或早更新世（ Q_1 ）；中更新统或中更新世（ Q_2 ）；上更新统或上更新世（ Q_3 ）；全新统或全新世（ Q_4 ）。进而，常需在各期内再细分2~3层或组。

第四纪地层划分的标志和依据较多，目前主要是用古生物、冰川遗迹、考古研究和测定地层绝对年代的古地磁等方法。在黄土沉积环境中，古生物化石稀少，也很少与冰川有直接牵连，在一个范围有限的水利水电工程区内，确定黄土地层时代比较困难。然而多年来，我国第四纪地质学家和古生物古人类学家，在黄土地区进行过大量研究工作，例如在甘肃的兰州、环县，山西的离石、午城，陕西的乾县、兰田、洛川、渭南、大荔等地，对黄土及其相间地层的研究，为黄河中游黄土地层的时代划分奠定了基础。工程地质工作对黄土地层时代的划分，应充分利用已有的研究成果，即用时代已知的黄土特殊标志，进行地层对比，间接地确定黄土的地层时代。

黄土地区有地层意义的特殊标志，主要有黄土的岩性特征，黄土中古土壤的类型，地层接触关系及地貌结构等，简述如下。

一、岩性特征

黄土的密实程度及颜色深浅具有一定的地层学意义。早更新世（ Q_1 ）黄土，致密坚硬，颜色淡红，一般称为石质黄土。中更新世早期（ Q_2^1 ）为灰褐色黄土，胶结较硬；中更新世晚期（ Q_2^2 ）为淡褐色黄土，结构较松。晚更新世（ Q_3 ）为灰黄色黄土，结构疏松，大孔隙明显；全新世（ Q_4 ）为阶地至黄土原面的表层黄土，其岩性颜色不易与 Q_3 区分，但其底部有一层黑炉土。

二、古土壤类型

黄土中存在十余层至几十层有色条带，一般称为古土壤层。古土壤层的多少、厚薄及色调，反映了黄土堆积时期的古气候环境。它在时代上，区域分布上表现出有规律的差别，这种差别有很大的地层学意义。六盘山以西，黄土中古土壤层少而色淡，有的与黄土层不易区分。而六盘山以东，黄土中古土壤层多而色鲜。因此，这一带黄土地层的划分，古土壤可作为重要标志之一。

Q_1 黄土层上部，有15~18层成层较薄的密集钙质结核层，这些钙质结核层是经过后期地下水作用的影响，变了质的褐红色古土壤层。地下水影响小的地区，像陕北绥德、靖边一带， Q_1 黄土中褐色古土壤明显可辨。

Q_2 黄土层中夹有褐红色古土壤，其中下部 Q_2^1 黄土中古土壤色较淡，各层古土壤底部的钙质结核大。上部 Q_2^2 黄土中古土壤色鲜，结核小。 Q_2 黄土中古土壤厚度相差甚大，一般厚1~2米，最厚者达5~6m，系由三层相互连接的

古土壤组成。

Q_2 黄土中夹一层红褐色古土壤，厚3m。这是黄土剖面中，第一个古土壤层，色鲜厚度大。在六盘山以东的黄土区南部，在所述古土壤上部黄土中，往往夹1~2层灰棕古土壤，厚度30cm左右。

Q_2 黄土，即二级阶地至黄土塬面地表下1~2m厚的黄土，其下有一层厚约1m的黑垆土，这是全新世古土壤的特征。

三、地层接触关系

黄土层中的长期沉积间断和古剥蚀面，构成了地层间的假整合或不整合接触，这种接触关系可以作为黄土地层的划分标志。午城黄土(Q_1)及其底部的砂砾层，与下覆的老地层呈不整合接触。离石黄土上部和下部，即 Q_2^1 与 Q_2^2 间的由三层古土壤组成的厚层古土壤层，代表长期沉积间断，属假整合接触。但在塬坡地带， Q_2^1 黄土及其古土壤常呈倾斜状与 Q_2^2 黄土及古土壤斜交，呈不整合接触(图1-2)。马兰黄土呈斗篷状，波浪形的覆盖在离石黄土之上，它们之间亦属不整合接触。

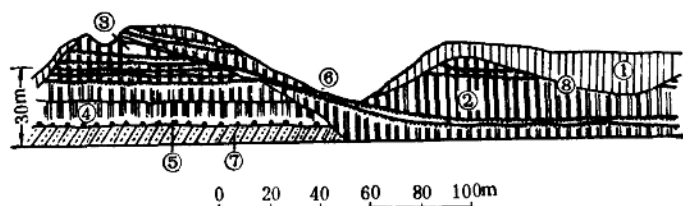


图 1-2 陕西铜川灰堆坡黄土地层不整合关系剖面图

1. 马兰黄土(Q_4)；2. 离石黄土上部(Q_2^1)；3. 离石黄土下部(Q_2^2)；4. 午城黄土；5. 砂砾石层；6. 古土壤；7. 三趾马红土(N_1)；8. 剥蚀面 (据张国典、赵振才剖面)

四、河流阶地与黄土地层

黄土地区的河流阶地，不同时代的风积黄土层，有次序地覆盖在不同级数的阶地冲积层之上，分别与各冲积层呈不整合接触。陇东、晋、陕较大河流一般有四五级阶地，马兰黄土 (Q_1^1) 与二级阶地冲积层相接触；离石黄土 (Q_2) 与三四级阶地冲积层相接触；午城黄土 (Q_3) 与黄土台塬或黄土洪积层相接触。 Q_3 与 Q_2 黄土层均向高一阶地连续上延，直至黄土塬 (图1-3)。据甘肃省水文地质大队资料，陇中及其以西的河流阶地级数较多，一般在八九级。四级阶地上接马兰黄土；五六级阶地上接离石黄土；七级以上各级阶地接午城黄土。

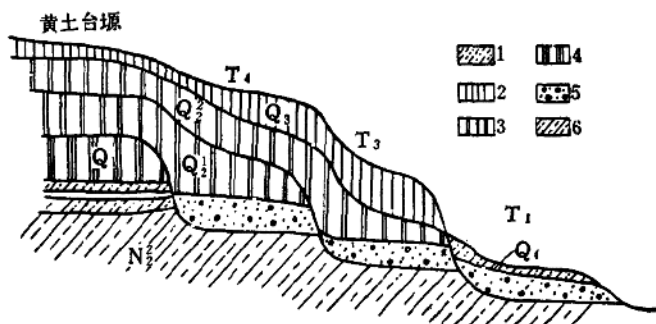


图 1-3 渭河南岸五丈塬基座阶地结构示意图

1. 亚砂土；2. 马兰黄土；3. 离石黄土；4. 午城黄土；
5. 砂砾石层；6. 红粘土

在河谷中，黄土层与其他地层的接触关系，胡广韬教授称其为黄土层的幔覆构造，他把黄土层幔覆构造归纳为 4 种类型 (图1-4)：①逐层幔覆构造，相对上覆黄土层逐次掩盖了相对下伏黄土层，其掩盖范围逐层逐次扩大，现代低处

黄土层较现代高处黄土层逐级减少(图1-4,a); ②缺层慢覆构造, 地形高处比地形低处缺少了若干黄土和古土壤层(图1-4,b), ③封层慢覆构造, 地形中段、有被上覆黄土层和下伏构造层所封闭的中间黄土层(图1-4,c); ④表层慢覆构造, 新黄土层掩盖了较老黄土层或其他黄土地层, 其产状与现代地形一致(图1-4,d)。

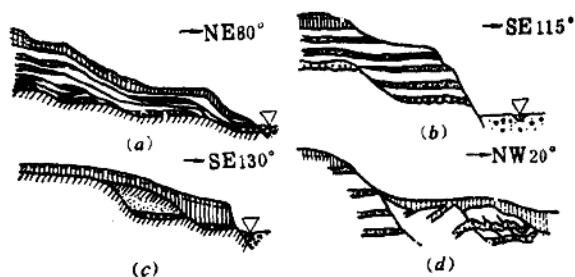


图 1-4 黄土层慢覆构造简图

(a) 逐层慢覆构造(千河); (b) 缺层慢覆构造(县功石嘴); (c) 封层慢覆构造(县功老虎嘴); (d) 表层慢覆构造(西李村)
(据胡广昭)

慢覆构造不同于一般构造变动的原生构造, 主要反映黄土层之间及黄土层与其他地层之间的接触关系。因而对黄土慢覆构造的研究, 有利于黄土时代的划分, 同时有利于新构造运动及古地理环境变迁的研究。

五、地层绝对年代

对于古土壤不显, 又无标准地层剖面对比的地区, 黄土地层的确定可以运用古地磁、同位素等方法。表1-2可作为黄土及古土壤层绝对年龄对比参考。根据甘肃地矿局研究,

表 1-2

黄土及古土壤层绝对年龄表 (据王永炎资料)

地层时代	地 层	年 代 (万年)
全新世	全新世黄土及其下的黑垆土	0~0.5
晚更新世	第一层黄土(马兰黄土)	0.8~3.5
	第一层褐色古土壤	3~6
	第二层黄土	6~10
中更新世	第二层红褐色古土壤	10~11
	第三层黄土	11~13.1
	第三层褐色古土壤	13.1~14
	第四层黄土	14~16.5
	第四层红褐色古土壤	16.5~17.4
	第五层黄土	17.4~19.7
	第五层红褐色古土壤	18~21
	第七层褐色古土壤之下的黄土顶部	40
	最下一层黄土状粉砂层顶部	70
早更新世	胶结较硬的淡棕红色黄土底部含留尼	73~121
	昂正极事件	(240)