

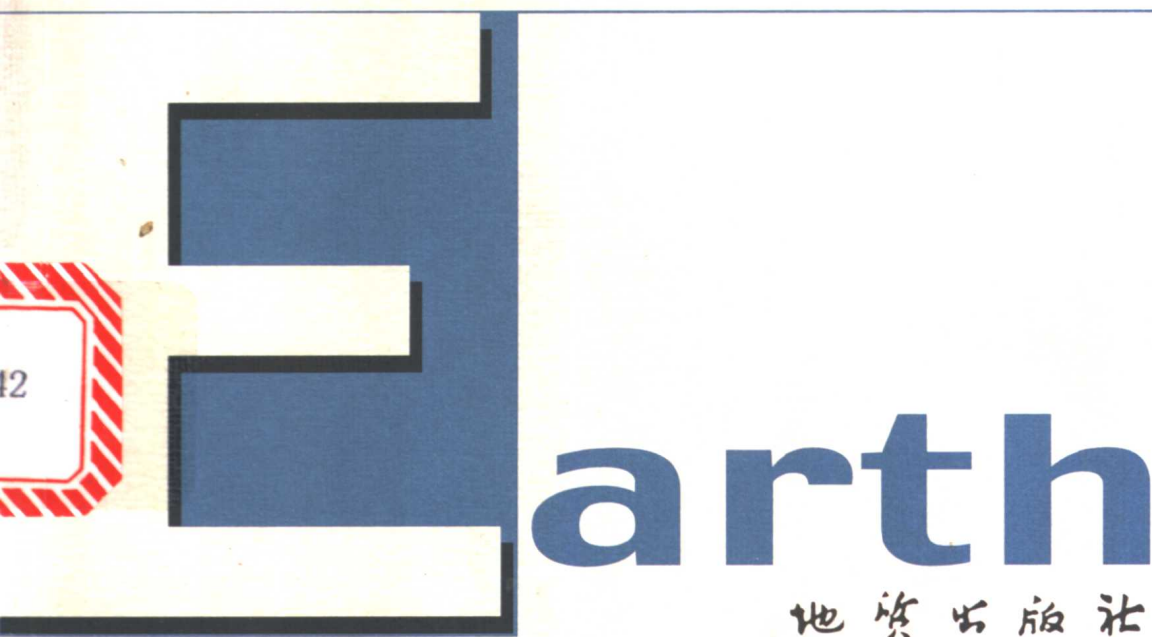


国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



黄土高原地质灾害 与人类活动

雷祥义 著



地质出版社



GEOLOGICAL DISASTERS AND HUMAN ACTIVITIES ON THE LOESS PLATEAU OF CHINA

Lei Xiangyi



地质出版社

ISBN 7-116-03454-4



9 787116 034549 >

GEOLOGICAL PUBLISHING HOUSE
BEIJING, CHINA

ISBN 7-116-03454-4

P · 2206 定价：40.00元





国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



黄土高原地质灾害 与人类活动

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书在论述黄土高原地质地貌环境的基础上,对黄土高原主要的人为地质灾害诸如黄土湿陷、黄土滑坡与崩塌、水土流失、泥流、土壤次生盐渍化、地面沉降及土地沙质荒漠化的形成过程与机制,时空分布规律,分类方案,对人民生命财产的危害等进行了比较全面系统的论述,提出了相应的治理与防御对策;探讨了有关合理利用地质环境与可持续发展方面的问题。书中内容充实,资料丰富,涵盖面广,为减灾防灾,改善环境,协调人-地关系提供了有价值的科学依据。

本书可供地质灾害、环境地质、工程地质、环境保护、水土保持、交通、工矿、水利、农业、林业、牧业、城镇规划等专业的科技工作者,有关高等院校的师生及政府部门的领导和干部参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原地质灾害与人类活动/雷祥义著.-北京:地质出版社,2001.10
ISBN 7-116-03454-4

I.黄… II.雷… III.人类活动影响-地质灾害-研究-黄土高原 IV.P51

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第066147号

责任编辑:蔡卫东 叶 丹

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路29号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787×1092¹/₁₆

印 张:15.5;图版:4页

字 数:354000

印 数:1—600

版 次:2001年10月北京第一版·第一次印刷

定 价:40.00元

ISBN 7-116-03454-4/P·2206

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

黄土高原这片苍茫大地是中华民族的发祥地。千百年来她慈母般地哺育了一代又一代炎黄子孙，创造了灿烂的中华文化。今天，在进行社会主义现代化建设中，这片黄土地又成了重要的工农业建设基地。黄土高原地区拥有丰富的农林牧业和工业自然资源，尤其是有极丰富的能源资源，黄河中、上游，特别是上游，水能资源也很丰富，在中华民族的未来发展中，其战略地位将会越来越重要，在社会主义现代化建设中将起到不可替代的巨大作用。

然而，黄土高原的地质-生态环境是十分脆弱的。随着气候的变化，特别是随着人口的急剧增长，人类过度的农垦、放牧和各种不合理的工程活动，使黄土高原地壳表层系统遭受到严重破坏，环境恶化，水土流失加剧，沙漠化扩大，黄土滑坡、泥石流等灾害频繁发生，严重影响着当地人民的生产和生活，在有的地方生存都受到威胁，经济文化的发展也因此受到极大制约。黄河每年从黄土高原带走 16 亿 t 泥沙，使下游干流河床日益淤高，潜在的洪水灾害严重威胁着黄淮海平原人民生命财产的安全及广大地区的经济建设。因此，在振兴中华的伟大事业中，黄土高原地区的“病态”环境急需治理。否则，不仅我们这一代人不能安生，而且还要殃及子孙后代。

笔者是 20 世纪 70 年代末期受已故恩师王永焱教授启蒙与黄土结下不解之缘的，也是从那个时候起开始接触黄土高原的环境地质问题的。20 多年来笔者在从事黄土高原黄土基础理论研究的同时，调查、搜集和研究了黄土高原有关人类活动对地质环境影响（正负）方面的问题。特别是在完成国家自然科学基金委员会资助项目“秦岭第四纪环境变迁与地质灾害历史研究”（批准号：4947132）期间，对陕西黄土高原区的地质灾害与人类活动的关系进行了比较全面深入的研究，对黄土高原的环境地质问题有了进一步的认识。人口剧增固然加重了资源压力，但人类活动的盲目性以及人类对各种行为的低效和无效管理则是造成当今黄土高原环境破坏、生态失调、资源短缺和灾害频发的根本原因。参考前人研究成果，总结分析 20 多年来积累的资料，于是成就了本书——《黄土高原地质灾害与人类活动》。目的在于揭示人类活动诱发的地质灾害形成、发育、演化的规律和特点，探讨可能采取的治理与防御对策，为协调人-地关系，改善黄土高原生态环境，“再造一个山川秀美的西北”，实现可持续发展战略服务。

本书的主要内容可概括为 3 个方面：

（1）第一章论述了黄土高原地貌特征，黄土地层划分与岩性特征，以及新构造运动等方面的问题。

（2）第二章至第九章探讨了黄土高原地质灾害与人类活动的关系。黄土高原的地质灾害是自然因素（如地形地貌、黄土岩性、地震、植被、气候等）和人为因素（如毁林毁草垦种、过度放牧、过度樵采、不合理利用水资源及不合理的工程活动如开矿、修路、兴建水利、建造房舍等）相互影响、相互作用的产物，是人-地关系矛盾的结果。不过，当今

黄土高原所发生的诸如黄土湿陷、黄土滑坡与崩塌、水土流失、泥流、土壤次生盐渍化、地面沉降、地裂缝及土地沙质荒漠化等地质灾害，主要是由后者造成的，即主要是人为地质灾害。本书对上述各种人为地质灾害的形成过程与机制、时空分布规律、分类方案、致灾特征等进行了比较全面系统的论述，提出了相应的治理与防御对策。

(3) 最后一章(第十章)探讨了有关人-地关系与可持续发展方面的问题。研究结果表明，协调人与自然的关系，即将经济、社会的发展与资源、环境相协调，减轻乃至防止人为地质灾害，走可持续发展之路，是黄土高原亦是我国今后发展的自身需要和必然选择。

本书中的有些问题还有待深入研究，一些观点和结论难免存在错误或不足，敬请读者不吝指教。

在此笔者要特别感谢已故的王永焱教授，他生前带领我们奔波于大漠荒岭，踏遍黄土高原沟沟壑壑(最后一次是1987年7~8月份带领我们在六盘山以西黄土区考察)，笔者在野外期间搜集的有关黄土高原环境地质方面的大量实际资料，为本书奠定了坚实基础。

感谢黄土研究室岳乐平、赵景波、孙卫、苗建宇、屈红军、刘峻峰、黄春长等同志。20余年来，曾多次一起在黄土地上或荒漠之中考察，默契合作，给笔者很大帮助。

在进行陕西黄土高原区地质灾害调查期间，陕西省滑坡工作办公室魏青珂高级工程师曾多次一起赴野外考察，付出了辛勤劳动。工作中还得到了以下单位和同志的帮助：陕西省滑坡工作办公室主任马守信、宋立胜高级工程师，渭南市防汛办张建勃，韩城市防汛办孙明先，澄城县防汛办王仲斌，咸阳市防汛办相德勤，旬邑县防汛办范伯超，彬县滑坡工作办公室刘宪周，宝鸡市滑坡工作办公室林锦魁、张永庆、马延鑫，宝鸡峡引渭管理总站王成天，宝鸡冯家山水库管理局谭应生，延安市防汛办刘宏勤、王炳章，子长县防汛办郝延祥，志丹县防汛办刘振光，吴旗县防汛办张彪、邢义，榆林市防汛办高立爱、尚晓卫，神木县防汛办郝起生，米脂县防汛办申义，靖边县防汛办王宝贵，绥德县防汛办王生辉等。对上述单位和同志给予的支持和资助表示衷心感谢。

西北大学地质系绘图室骆正乾高级工程师清绘了部分图件，照相室李立宏工程师帮助清洗黑白照片，地质系的领导和诸位老师在各方面给予了笔者极大的支持和帮助，借此机会一并深表谢意。

最后，笔者特别感谢国家自然科学基金委员会多年来给予的资助。本书系国家自然科学基金资助项目研究成果。

雷祥义

1999年6月8日

目 录

前 言

第一章 黄土高原的区域环境特征	(1)
第一节 黄土地貌	(1)
第二节 黄土的地层划分与岩性特征	(1)
一、黄土地层的结构	(1)
二、黄土地层划分	(9)
三、黄土的物质成分	(13)
四、黄土的显微结构特征	(17)
五、黄土的物理力学性质特征	(22)
第三节 新构造运动	(24)
一、新构造运动的旋回性	(24)
二、构造运动的区域性	(25)
三、构造运动的环境效应	(28)
第二章 黄土高原的人为地质灾害	(30)
第一节 地质灾害	(30)
第二节 地质灾害的基本特性	(32)
第三节 黄土高原的人为地质灾害	(35)
一、黄土高原人为地质灾害问题	(35)
二、黄土高原人为地质灾害的主要类型	(36)
第三章 黄土湿陷	(38)
第一节 黄土的湿陷性质	(38)
一、黄土的湿陷性质	(38)
二、湿陷性黄土的区域特征	(40)
三、影响黄土湿陷性的因素	(41)
第二节 黄土湿陷灾害	(48)
第三节 黄土湿陷灾害类型	(48)
一、自上而下浸水(地表积水下渗)型黄土湿陷灾害	(49)
二、自下而上浸水(地下水位抬升)型黄土湿陷灾害	(51)
第四节 黄土湿陷灾害的人为因素	(56)
一、基建盲目	(57)
二、勘察不细	(57)
三、设计失误	(58)
四、施工不严	(60)

五、管理维护不善	(60)
第五节 黄土湿陷灾害的研究方法	(61)
一、查清导致湿陷灾害原因, 尽快切断浸水水源	(61)
二、对湿陷灾害变化进行监测	(61)
三、湿陷灾害变化趋势分析	(62)
四、提出湿陷灾害的处理意见	(62)
第六节 黄土湿陷灾害的治理	(63)
一、地基加固	(63)
二、基础和上部结构的加固	(65)
第四章 黄土滑坡与崩塌	(67)
第一节 黄土滑坡、崩塌概述	(67)
一、黄土滑坡	(67)
二、黄土崩塌概况	(71)
第二节 黄土滑坡产生的条件	(71)
一、黄土滑坡产生的基本条件	(71)
二、黄土滑坡产生的诱发因素	(73)
三、黄土滑坡的发展过程	(73)
第三节 黄土高原人为黄土滑坡类型	(76)
一、改变地下水位型黄土滑坡	(77)
二、坡脚挖方型黄土滑坡	(88)
三、坡面毁林毁草垦田型黄土滑坡	(104)
四、坡顶(面)加荷型黄土滑坡	(108)
五、底部采空型黄土滑坡	(109)
第四节 黄土滑坡的前兆现象及其预报	(115)
一、黄土滑坡的前兆现象	(115)
二、黄土滑坡的预测预报	(116)
第五章 水土流失	(120)
第一节 黄土高原的水土流失	(120)
一、黄土高原水土流失现状及其发展趋势	(120)
二、黄土高原水土流失研究的现状	(120)
第二节 黄土高原人为水土流失问题	(121)
一、人为水土流失	(121)
二、人类活动对植被的破坏	(122)
三、植被与水土流失	(124)
第三节 黄土高原人为水土流失的类型	(127)
一、毁林毁草加剧水土流失	(127)
二、工程活动造成的水土流失	(130)
第四节 人为水土流失的危害	(132)
一、制约可持续发展	(133)

二、加剧洪涝灾害	(134)
三、恶化环境	(135)
四、导致贫穷	(135)
第五节 黄土高原人为水土流失防治对策	(136)
一、退耕还林还草, 恢复生态环境	(136)
二、在各项工程活动中应加强水土保持	(137)
第六章 泥流	(138)
第一节 泥流的一般特征	(138)
一、泥流的形成条件	(138)
二、黄土高原泥流的一般特征	(138)
第二节 黄土高原泥流分布特征	(142)
一、泥流在地貌上的分布	(142)
二、泥流在流域上的分布	(142)
第三节 泥流灾害	(145)
一、对居民点的危害	(145)
二、对工厂和矿山的危害	(146)
三、对公路、铁路的危害	(146)
四、对农业的危害	(146)
五、淤填水库	(147)
第四节 黄土高原人为泥流类型	(148)
一、黄土高原人为泥流类型	(148)
二、典型实例分析	(148)
第五节 黄土高原人为泥流的防治对策	(154)
一、预防措施	(154)
二、治理措施	(154)
三、黄土高原人为泥流防治框架	(154)
第七章 土壤次生盐渍化	(156)
第一节 盐渍土的一般特征	(156)
一、盐渍土的概念	(156)
二、盐渍土的形成环境	(156)
三、黄土高原土壤次生盐渍化的类型	(158)
四、土壤盐渍化的发展趋势	(158)
第二节 黄土高原灌溉区土壤次生盐渍化	(158)
一、黄土灌溉区土壤次生盐渍化的原因	(158)
二、黄土高原灌溉区次生盐渍化的分布	(158)
三、黄土灌区土壤次生盐渍化的防治措施	(159)
第三节 黄土高原坝地土壤次生盐渍化及其防治对策	(160)
一、黄土高原的坝地	(160)
二、坝地土壤次生盐渍化及其原因	(162)

三、坝地土壤次生盐渍化的防治	(165)
第八章 地面沉降与地裂缝	(168)
第一节 黄土高原地面沉降与地裂缝灾害状况	(168)
一、地面沉降	(168)
二、地裂缝	(168)
三、西安是黄土高原人为地面沉降与地裂缝的典型发育地区	(174)
第二节 西安地面沉降	(174)
一、西安城区地下水状况	(174)
二、西安城区深层承压水开采动态	(174)
三、地面沉降发展过程及其特征	(176)
四、抽汲地下水对地面沉降的影响	(179)
五、地面沉降的机制	(180)
六、西安地面沉降发展趋势预测	(182)
第三节 西安地裂缝	(182)
一、地裂缝的平面展布特征	(182)
二、地裂缝的活动特征	(186)
三、地裂缝的成因	(189)
第四节 西安地面沉降与地裂缝防治对策	(193)
一、西安地面沉降的防治对策	(193)
二、西安地裂缝的防治对策	(194)
第九章 沙质荒漠化	(196)
第一节 沙质荒漠化危害	(196)
一、沙质荒漠化概念	(196)
二、我国沙质荒漠化类型及其指标	(197)
三、沙质荒漠化的发展与危害	(199)
四、我国北方沙质荒漠化的分布特征与成因类型	(205)
第二节 土地沙质荒漠化的成因	(207)
一、人口增长是土地沙质荒漠化的根源	(207)
二、我国北方土地沙质荒漠化的人为因素	(208)
第三节 我国北方土地沙质荒漠化发展趋势	(212)
一、土地沙质荒漠化逆转	(212)
二、土地沙质荒漠化仍在发展	(212)
第四节 我国北方土地沙质荒漠化的防治	(214)
一、调节产业结构,建立生态农业	(214)
二、完善政策措施和加强科学管理	(215)
第十章 合理利用地质环境,走可持续发展之路	(216)
第一节 地质环境是所有生物的共同家园	(216)
一、地质环境及其特征	(216)
二、地质环境是所有生物的共同家园	(218)

第二节 地质环境在人类活动影响下的变化	(218)
一、人类活动改变着地球表面的形态	(218)
二、人类破坏了地球表面的植被	(219)
三、人类活动改变了地球表层内的地球化学过程	(219)
四、人类活动改变了水的循环途径和物质成分	(220)
五、人类活动改变了大气的物质成分	(220)
六、人类活动使地球上的物种日渐减少	(221)
第三节 合理利用地质环境，走可持续发展之路	(222)
一、人应与自然和谐相处	(222)
二、保护环境，全球性的一致行动	(223)
三、合理利用地质环境，促进可持续发展	(224)
参考文献	(228)
英文摘要	(233)
图 版	(237)

Contents

Foreword

Chapter 1 Characteristics on Areal Environment on the Loess Plateau of China	(1)
Section 1 Loess geomorphology	(1)
Section 2 The stratigraphical division and lithological characteristics of loess	(1)
Section 3 Neotectonic activities on the Loess Plateau of China	(24)
Chapter 2 The Man-made Geological disasters on the Loess Plateau	(30)
Section 1 Geological disasters	(30)
Section 2 General characteristics of geological disasters	(32)
Section 3 The man-made geological disasters on the Loess Plateau	(35)
Chapter 3 Loess Collapsing	(38)
Section 1 Loess collapsing	(38)
Section 2 Loess collapsing disasters	(48)
Section 3 Types of the loess collapsing disasters	(48)
Section 4 The man-made factors of loess collapsing disasters	(56)
Section 5 Research method of loess collapsing disasters	(61)
Section 6 Treatment of loess collapsing disasters	(63)
Chapter 4 Landslip and Landfall of Loess	(67)
Section 1 Characteristics of loess landslip and landfall	(67)
Section 2 Formation cause of loess slide	(71)
Section 3 The types of man-made loess landslip	(76)
Section 4 The foretastes of loess landslip and its forecast	(115)
Chapter 5 The Loss of Water and Soil Erosion	(120)
Section 1 The present situation of the loss of water and soil erosion	(120)
Section 2 Man-made loss of water and soil erosion	(121)
Section 3 The types of the man-made loss if water and soil erosion	(127)
Section 4 Harmfulness of the man-made loss of water and soil erosion	(132)
Section 5 Prevention and control of the man-made loss of water and soil erosion	(136)
Chapter 6 Mud Flow	(138)
Section 1 General characteristics of mud flow	(138)
Section 2 Distribution characteristics of mud flow	(142)
Section 3 Disasters from mud flow	(145)
Section 4 Types of man-made mud flow	(148)

Section 5	Prevention and control of man-made nud flow	(154)
Chapter 7	Secondary Salinization of Soil	(156)
Section 1	General characteristics of saline-alkaline soil	(156)
Section 2	The secondary salinization of soli in irrigation area on the Loess Plateau	(158)
Section 3	The secondary salinization and countermeasure in then dam land on the Loess Plateau	(160)
Chapter 8	Ground Subsidence and Ground Fracture on the Loess Plateau	(168)
Section 1	General condition of damages of ground subsidence and ground fracture on the Loess Plateau	(168)
Section 2	Xi'an ground subsidence	(174)
Section 3	Xi'an ground fracture	(182)
Section 4	The measures of mitigation of ground subsidence and ground fracture on the Xi'an	(193)
Chapter 9	Desertification	(196)
Section 1	Disasters of desertification	(196)
Section 2	The origin of desertification	(207)
Section 3	Developing trend of land desertification on the Loess Plateau of China	(212)
Section 4	The countermeasures of land desertification on the Northern China	(214)
Chapter 10	The Rational Use and Protection of the Geological Environment and Advancing Sustainable Development	(216)
Section 1	Geological environment-basis of existence and multiply of all living beings	(216)
Section 2	Changer of geological environment affected by mankind	(218)
Section 3	The rational use of geological environment and advancing sustainable development	(222)
References		(228)
English Synopsis		(233)
Plates		(237)

第一章 黄土高原的区域环境特征

第一节 黄土地貌

中国西北黄土高原由于其黄土分布广泛，地层完整连续，厚度大，故得以成为独具特色的黄土高原而著名于世界。黄土高原是黄土主要分布区的黄河中游地区黄土地貌的总称。其地貌形态进而可以分为塬、梁、峁、黄土覆盖的河谷阶地与山间盆地等 5 种类型（图 1-1）。这些地貌形态与其下伏基岩的古地貌形态有密切关系。黄土塬是具陡峻边缘的桌状平坦地形，由黄土堆积在广阔平坦的古基岩夷平面上而成。在甘肃庆阳—陕西甘泉一线以南，北山以北为典型黄土塬分布区。最具代表性的黄土塬有陇中白草塬、陇东西峰塬、陕北洛川塬、晋西吉县塬等。黄土堆积在基岩断块上则形成黄土台塬，主要分布在关中盆地，如渭北黄土台塬、阳郭塬、横岭（同仁）塬、白鹿塬、神禾塬、五丈塬等。

黄土梁为长条状垄岗；峁为圆形小丘，形似馒头。梁峁地貌对下伏基岩古地形一般具有承袭性特征，但并不排除在沟谷长期割切作用下，由塬向梁、由梁向峁（即塬→梁→峁）的演变转化过程。梁峁多分布在六盘山以西的会宁、靖远、兰州等地以及六盘山以东，吕梁山以西的广大黄土地区，甘肃庆阳—陕西甘泉—山西吉县一线以北，长城以南是黄土高原面积最大的梁峁区，其中延安以北的绥德、吴堡、安塞等地是峁的典型发育地区。

根据上述地貌形态及分布区域，可将黄土高原地貌划分为以下 5 个亚地貌单元：①六盘山以西梁峁区；②六盘山以东梁峁区；③黄土高原中部及南部的塬区；④山间盆地地区；⑤河谷地区（图 1-1）。

塬、梁、峁是黄土高原的正向地貌形态，称为“沟间地”，而那些将这三大黄土地貌分割开来的沟谷（包括河谷、干沟、冲沟、切沟、浅沟、细沟等）系统都是负地貌形态，称为“沟谷地”或“沟壑系统”。沟间地和沟谷地构成黄土高原的正、负地貌特色。

第二节 黄土的地层划分与岩性特征

一、黄土地层的结构

第四纪期间，黄土高原主要是风成黄土堆积。黄土覆盖在第三纪末期形成的各种古地形骨架之上。这样，黄土地层结构与其所处地貌形态及古气候环境有着密切的联系，即不同的地貌单元，古气候环境不同，黄土地层层序亦不相同。根据上述的地貌分区及地层层序特点，黄土高原黄土地层可以分为 4 个地层区：①塬地层区；②梁峁地层区；③山间盆地地层区；④河谷地层区。

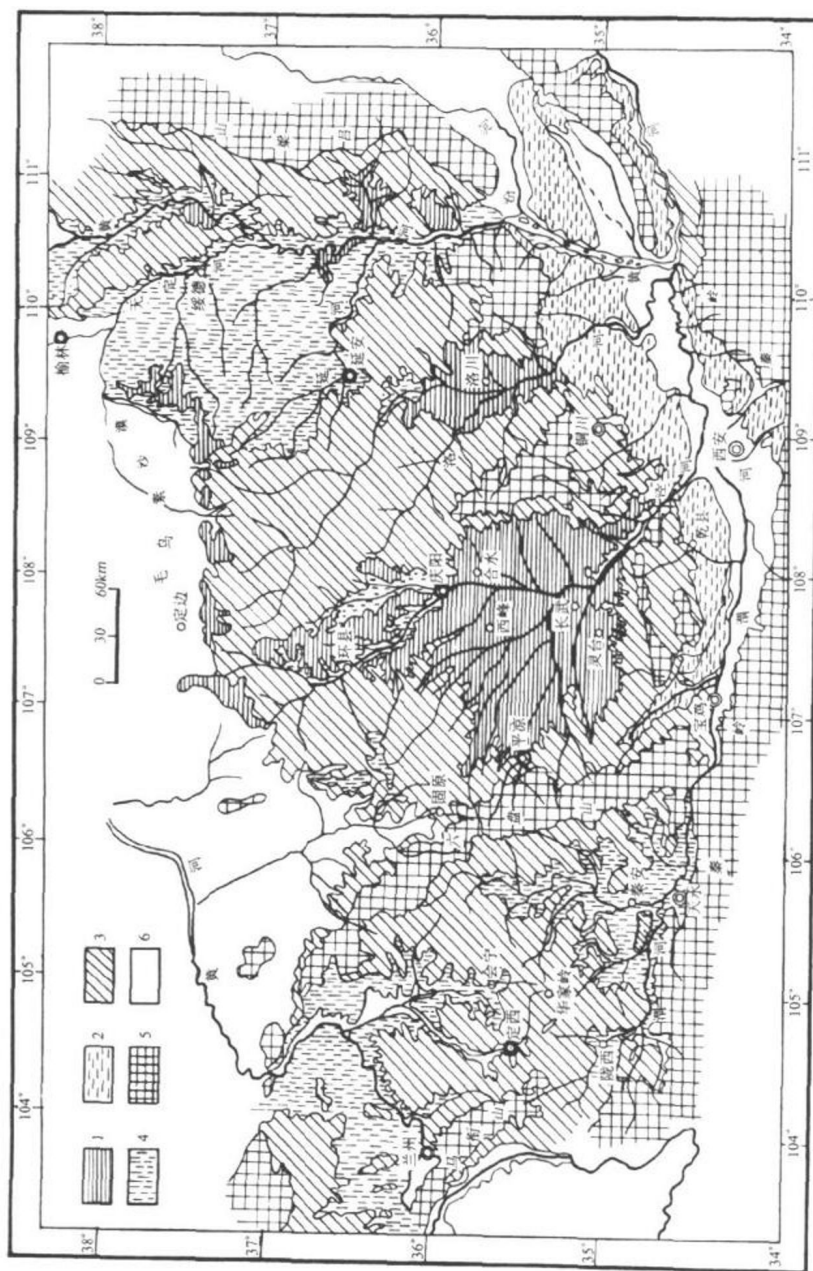


图 1-1 黄土高原地貌

(据张宗祜, 1982, 有修改)

Fig. 1-1 Sketch map of geomorphology on the Loess Plateau of China

1—塬; 2—台塬; 3—梁; 4—峁; 5—山地; 6—河谷

1—Yuan; 2—Taiyuan; 3—Liang; 4—Mao; 5—mountain land; 6—river valley

(一) 塬地层区

本区为甘肃庆阳—陕西甘泉以南，秦岭以北，六盘山以东，吕梁山以西的黄土覆盖地区。区内以北山为界，分为北部塬亚区和南部台塬亚区。总的说来，塬地层区的地层层序完整，是研究黄土地层的理想的地层区。现以台塬亚区的陕西蓝田段家坡黄土剖面(34°11'N, 109°14'E)为例，对塬区黄土地层层序简述如下：

蓝田段家坡黄土剖面(图 1-2)是由 44 层黄土和 44 层古土壤构成的，厚约 132m，下伏新第三纪三趾马红粘土。为了便于地层叙述，把黄土-古土壤系列的层序作如下的地层

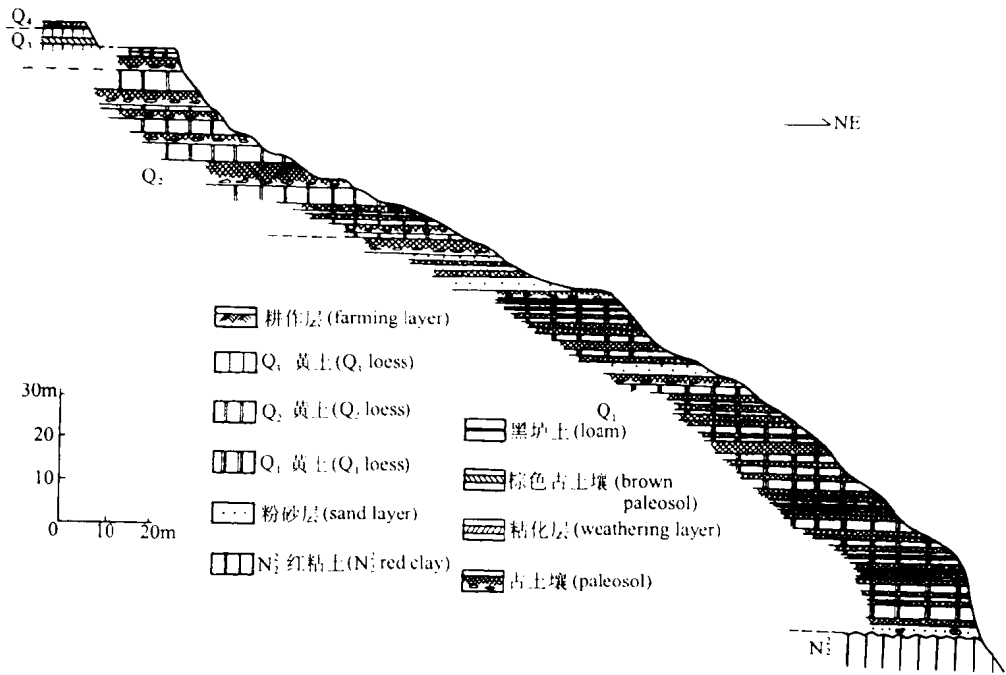


图 1-2 陕西蓝田段家坡黄土剖面

Fig. 1-2 Loess section of Duanjiapo, Lantian, Shaanxi Province

编号：L 代表黄土层；S 代表古土壤层。在剖面中自上而下，L₁、L₂、L₃……代表第一层黄土、第二层黄土、第三层黄土……；S₁、S₂、S₃……等代表第一层红褐色古土壤、第二层红褐色古土壤、第三层红褐色古土壤……；L₀ 为全新世黄土；S₀ 为全新世黑垆土。

蓝田段家坡黄土剖面地层层序由新至老简介如下：

全新世黄土-古土壤，共厚 2.0m。

L₀ 淡灰黄色疏松黄土，富含孔隙 1.0m

S₀ 灰棕色黑垆土，含彩陶碎片等文化遗存 1.0m

晚更新世黄土-古土壤，共厚 7.5m。

L₁ 淡黄褐色疏松黄土，富含孔隙，含 2 层灰棕色古土壤 5.0m

S₁ 鲜红褐色古土壤，棱柱状构造发育，底部钙质结核成层分布 2.5m

中更新世黄土-古土壤，共厚 36.5m。

L₂ 褐黄色疏松黄土，多大孔隙 4.0m

S₂ 红褐色古土壤，由两层古土壤 (S₂₋₁ 和 S₂₋₂) 复合而成，其间夹一薄层

钙质结核，底部具钙质结核层	3.0m
L ₃ 淡褐黄色黄土	1.5m
S ₃ 红褐色古土壤	1.8m
L ₄ 淡褐黄色黄土	3.5m
S ₄ 红褐色古土壤	2.0m
L ₅ 淡褐黄色黄土，较致密坚硬	4.5m
S ₅ 鲜红褐色古土壤，由3层古土壤（S ₅₋₁ 、S ₅₋₂ 和S ₅₋₃ ）构成，具棱柱状构造， 棱面具黑色铁锰质胶膜，每层古土壤底部均有钙质结核层	5.0m
早更新世黄土-古土壤，共厚86.5m。	
S ₆ 红褐色古土壤，底部具钙质结核层	3.0m
L ₆ 淡褐黄色黄土，颗粒较粗，为第一粉砂层	7.9m
S ₇ 红褐色古土壤，底部具钙质结核层	1.3m
L ₁₀ 淡黄褐色黄土，致密坚硬	0.7m
S ₁₀ 红褐色古土壤，底部具钙质结核层	2.0m
L ₁₁ 淡肉黄色石质黄土	1.0m
S ₁₁ 红褐色古土壤，底部具钙质结核层	1.4m
L ₁₂ 淡肉红色石质黄土	0.9m
S ₁₂ 红褐色古土壤，底部具钙质结核层	1.3m
L ₁₃ 淡肉红色石质黄土	1.5m
S ₁₃ 红褐色古土壤，底部具钙质结核层	1.5m
L ₁₄ 淡肉红色石质黄土	1.4m
S ₁₄ 红褐色古土壤	1.5m
L ₁₅ 淡灰黄色黄土，颗粒较粗，为第二粉砂层，含黑色小斑点	2.3m
L ₁₅ 以下到剖面底部包括29层黄土和30层古土壤，共厚58.8m，黄土呈淡肉红色，致	

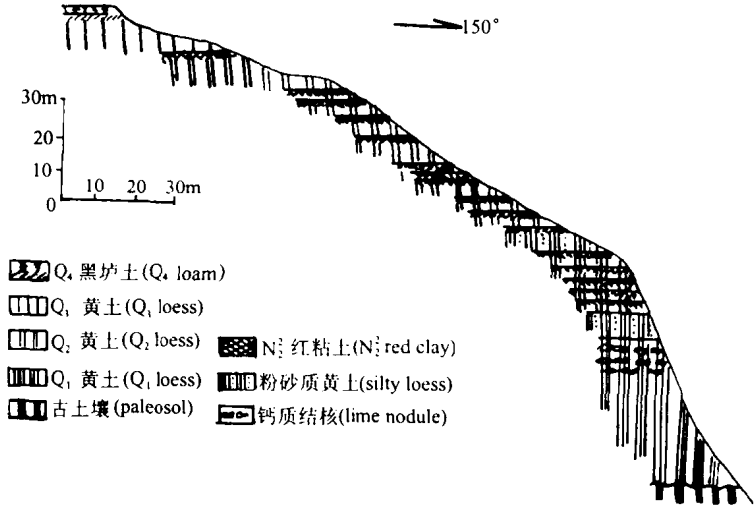


图 1-3 陕西洛川坡头黄土剖面

Fig. 1-3 Loess section of Potou, Luochuan, Shaanxi Province