

HUAPO
QINSHI
YANJIU

滑坡侵蚀研究

郑书彦 李占斌 著



黄河水利出版社

滑坡侵蚀研究

Research on Slide Erosion

郑书彦 李占斌 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书应用土壤侵蚀学、动力滑坡学、地质学、地貌学等理论,给出了滑坡侵蚀的定义、形态要素、分类、灾害链、形成条件、诱发因素及与其他重力侵蚀的区别等;运用多种手段对典型滑坡的地层岩性、物理力学性质进行了现场调查与试验,建立了用于典型滑坡侵蚀计算的地质模型;用数值模拟方法研究了典型滑坡侵蚀体力学机制和运动过程;利用信息量理论对典型区域滑坡侵蚀进行定量评价研究等,初步建立了滑坡侵蚀的分析研究体系。

本书可供土壤侵蚀、水土保持和环境地质等专业的科技、管理人员参阅;也可作为土壤学等各类专业大学生、研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

滑坡侵蚀研究/郑书彦,李占斌著. —郑州:黄河水利出版社,2005.7

ISBN 7-80621-942-0

I.滑… II.①郑…②李… III.滑坡-侵蚀-研究
IV. P642.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 081059 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:9.5

字数:220 千字

印数:1—1 000

版次:2005 年 7 月第 1 版

印次:2005 年 7 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-942-0/P·45

定价:28.00 元

序 一

水土流失是我国黄土高原地区乃至世界面临的最为严重的灾害性生态环境问题,越来越受到人们的关注。滑坡侵蚀则是水土流失的主要形式之一,其侵蚀量在水土流失总量中占有很大比重。因此,滑坡侵蚀等重力侵蚀的治理成为黄土高原地区水土流失治理的迫切任务。

新中国成立以来,国家有关部门曾多次组织涉及水土保持的攻关研究,探寻黄土侵蚀和流失机理,寻找治理对策,并取得了一系列重要成果,但滑坡和崩塌侵蚀方面的研究还比较薄弱。

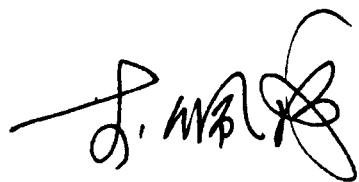
土体大量滑塌,从局部和个体上看,是土工中所说的滑坡,但从宏观和大范围看,则是水土流失的一种方式。由于黄土高原地区沟谷纵横、河道深切、地形复杂、雨量虽少但多暴雨,便为滑坡的多发提供了条件,正因为如此,滑坡侵蚀便成为黄土高原地区水土流失的一种重要方式,是重力侵蚀的主要类型,是黄土高原陡坡侵蚀产沙和沟道侵蚀产沙的主要来源。但是,如前所述,从水土流失机理方面对滑坡侵蚀的研究还比较薄弱,应当加强。值得庆幸的是,郑书彦博士等的研究和本论著《滑坡侵蚀研究》的出版,及时丰富了滑坡侵蚀研究的宝库,推进了滑坡侵蚀的理论和实践研究。

在本书中作者分析了黄土高原典型滑坡侵蚀发生原因、典型地区滑坡侵蚀分布,在此基础上探讨了土壤侵蚀学与滑坡学之间的联系,建立了滑坡侵蚀的分析研究体系,用数值模拟方法研究了典型滑坡侵蚀力学机制和运动过程,并利用信息量理论对典型区域滑坡侵蚀进行了定量评价研究。可贵之处是,这些研究和探索建立在作者对发生现场的调查研究和典型实例的分析的基础上,从而能给人们以新鲜实在的启示。

该书表明作者所进行的研究是揭示滑坡侵蚀机理,并以建立滑坡侵蚀定量评价模型为目标,通过对黄土高原滑坡侵蚀及主要影响因素的分析,揭示滑坡侵蚀的机理,对滑坡侵蚀造成的水土流失量进行定量。这些成果对开拓土壤侵蚀研究新领域,推动土壤侵蚀动力学发展,建立黄土高原土壤侵蚀预报模型,具有重要的学术价值;对预防和治理黄土高原以滑坡侵蚀为主的重力侵蚀所造成的水土流失具有重要的实践意义。在书中作者应用土壤侵蚀学、地质学、地貌学等理论,结合黄土高原滑坡侵蚀的实际,论述了滑坡侵蚀的形态要素、分类、灾害链、形成条件、诱发因素及与其他重力侵蚀的区别等。在研究过程中,作者运用多种手段对典型滑坡的地层岩性、物理力学性质进行了现场调查与试验,建立了用于滑坡侵蚀计算的地质模型,初步建立了滑坡侵蚀的分析研究体系。

另一个值得肯定的方面是,作者将自己的理论研究成果成功地应用于剖析陕西省铜川市量大面广的滑坡侵蚀,进而验证了自己理论研究的实用价值。

面对水土流失研究亟待深化、黄土高原治理亟待强化的形势,我要再次祝贺《滑坡侵蚀研究》一书的问世。

A handwritten signature in black ink, appearing to be '李占斌' (Li Zhanbin), written in a cursive style.

2005 年春

序 二

黄土高原这块神秘、古老、举世瞩目的苍茫大地,是中华民族摇篮,华夏文明的发祥地之一。这片古老的土地孕育了炎黄子孙,创造了灿烂辉煌的农耕文化。长期以来,正是这里独特的自然环境、悠久的历史,造成了黄土高原地区严重的水土流失和风沙危害等生态环境问题。据统计,黄土高原地区共有水土流失面积约 50 万 km^2 ,其中,年土壤侵蚀模数大于 $5\,000\text{ t}/\text{km}^2$ 的严重水土流失区约 14.5 万 km^2 ,是世界上水土流失最严重的地区之一。加之人们对自然资源的不合理利用,毁林毁草开荒,滥挖乱采石矿,进一步加剧了这一地区的生态环境恶化。一方面,脆弱的生态环境,严重地影响了当地的经济发展和人民生活水平的提高;另一方面,水土流失和风蚀沙化使大量泥沙进入黄河,导致黄河下游干流河床逐年淤高,潜在的洪涝灾害已经严重地威胁着黄淮海平原数以万计人民生命财产安全以及广大地区的经济发展。为此,党中央、国务院历来都高度重视对这片黄土地病态环境的综合治理。特别是 20 世纪 90 年代中期,江泽民同志提出了“再造一个山川秀美的西北地区”和“实施西部大开发战略”,再一次将黄土高原的综合治理提到了一个新的高度。

关于黄土高原水土保持的科学研究工作,国家一直十分关注与重视。自 20 世纪 50 年代以来,国家有关部委、各有关省市区和一些大专院校,就在该地区做了大量的科学研究和试验工作,取得了丰硕的科研成果。特别是近些年来,关于水土保持方面的科研成果,更是雨后春笋般呈欣欣向荣、蓬勃发展之势。正是在这样的大背景下,积极探索土壤侵蚀学与滑坡学之间耦合关系的新兴学科——滑坡侵蚀研究应运而生也就成为了时代必然。

郑书彦博士等所著《滑坡侵蚀研究》一书,是从滑坡重力侵蚀的视角来探讨土壤侵蚀的有关问题。该书是在总结大量前人研究的基础上,通过现场考察、数值模拟、案例分析等,构建了滑坡侵蚀分析研究体系,提出了典型滑坡侵蚀体力学机制和运动过程,并对典型区域滑坡侵蚀进行了定量评价研究。

作者创新性地提出了滑坡重力侵蚀的定义、分类、形成条件、诱因,建立了典型滑坡重力侵蚀计算的地质模型;采用有限元数值模拟,建立了典型滑坡重力侵蚀的数学模型,全面系统地求得了滑坡重力侵蚀体不同部位的力学状态;运用离散单元法数值模拟,建立了典型滑坡重力侵蚀的运动模型,经过模拟计算,提出可以将典型滑坡重力侵蚀运动过程划分为启动破坏、剧动加速、高速运动、碰撞减速和停滞缓动五个阶段;利用信息量理论,建立了典型地区滑坡重力侵蚀的定量评价模型,通过对铜川市区滑坡重力侵蚀样本分析,绘制出了铜川市区滑坡重力侵蚀强度分布图。因此,该书既具理论创新,又有实践指导意义。

总之,该书是一部具有鲜明特色、创新性很强的科学专著。其中,书中提到的一些新

观点和新认识,采用的一些新方法,不仅大大地丰富了我国在传统水土保持领域的研究内容,填补了土壤侵蚀学与滑坡学在重力侵蚀方面研究的空白,而且,必将对今后我国进一步开展黄土高原地区综合治理研究产生重大而深远的影响。



2005年3月18日

目 录

序 一	李佩成
序 二	岳亮
摘 要	(1)
Abstract	(3)
第 1 章 绪 论	(5)
§ 1.1 研究的目的和意义	(8)
§ 1.2 国内外研究现状	(9)
§ 1.3 技术路线	(14)
第 2 章 滑坡侵蚀的基本概念	(17)
§ 2.1 滑坡侵蚀的定义	(17)
§ 2.2 滑坡侵蚀的形态要素	(19)
第 3 章 滑坡侵蚀分类	(22)
§ 3.1 土壤侵蚀分类	(22)
§ 3.2 滑坡侵蚀分类	(27)
第 4 章 滑坡侵蚀灾害链	(32)
§ 4.1 滑坡侵蚀与其他重力侵蚀的区别	(32)
§ 4.2 滑坡侵蚀灾害链	(39)
§ 4.3 小 结	(46)
第 5 章 滑坡侵蚀的成因与分布	(47)
§ 5.1 滑坡侵蚀的形成条件	(47)
§ 5.2 滑坡侵蚀的诱发因素	(52)
§ 5.3 黄土高原滑坡侵蚀分布	(53)
第 6 章 滑坡侵蚀数值模拟	(56)
§ 6.1 数值模拟原理	(57)
§ 6.2 滑坡侵蚀弹塑性有限元数值模拟	(70)
§ 6.3 滑坡体运动的离散元分析	(79)
第 7 章 滑坡侵蚀定量评价模型及应用	(83)
§ 7.1 滑坡侵蚀定量评价模型	(83)
§ 7.2 滑坡侵蚀定量评价模型应用	(85)
§ 7.3 铜川市滑坡侵蚀定量评价	(100)
第 8 章 结论与建议	(104)
§ 8.1 主要结论	(104)
§ 8.2 建 议	(105)

附录 A 有限元计算成果图	(106)
附录 B 离散元计算成果图	(112)
参考文献	(129)
后 记	(141)

Content

Preface 1	Li Peicheng
Preface 2	Yue Liang
Abstract	(1)
Chapter 1 Introduction	(5)
§ 1.1 Purpose and meaning of the study	(8)
§ 1.2 Status of study	(9)
§ 1.3 Technical routes	(14)
Chapter 2 Basic concepts of the slope slides erosion	(17)
§ 2.1 Conception of the slope slides erosion	(17)
§ 2.2 Morphology factor of the slope slides erosion	(19)
Chapter 3 Classification of the slope slides erosion	(22)
§ 3.1 Classification of the soil erosion	(22)
§ 3.2 Classification of the slope slides erosion	(27)
Chapter 4 Chains of the slope slides erosion hazards	(32)
§ 4.1 The difference between slope slides erosion and others	(32)
§ 4.2 Chains of the slope slides erosion hazards	(39)
§ 4.3 Conclusions	(46)
Chapter 5 Origin and distribution of the slope slides erosion	(47)
§ 5.1 Advantage conditions for slope slides erosion	(47)
§ 5.2 Inducing factors of slope slides erosion	(52)
§ 5.3 The distribution of slope slides erosion in the loess plateau	(53)
Chapter 6 Numerical simulation of the slope slides erosion	(56)
§ 6.1 Basic principle for the numerical simulation	(57)
§ 6.2 Elastic – plastic finite elements numerical simulation on the slope slides erosion	(70)
§ 6.3 Discrete analysis on the movement of slope slide body	(79)
Chapter 7 Quantitative assessment model and its uses on the slope slides erosion	(83)
§ 7.1 Quantitative assessment model on the slope slides erosion	(83)
§ 7.2 The uses of quantitative assessment model on the slope slides erosion ...	(85)
§ 7.3 The quantitative assessment on the Tong – chuan slope slides erosion	(100)

Chapter 8	Conclusions and suggestions	(104)
§ 8.1	Main conclusions	(104)
§ 8.2	Suggestions	(105)
Appendix A	Figures of the Finite Elements Analysis Results	(106)
Appendix B	Figures of the Discrete Analysis Results	(112)
Reference		(129)
Postscript		(141)

摘 要

中国黄土高原地域广阔,土层深厚,干旱、半干旱气候和黄土的特殊性质导致该地区水土流失非常严重。由于长期的水土流失,形成了沟壑纵横的破碎地貌景观,滑坡、崩塌等重力侵蚀非常活跃。滑坡侵蚀是重力侵蚀的主要类型之一,是黄土高原陡坡侵蚀产沙和沟道侵蚀产沙的主要来源。由于种种原因,重力侵蚀研究相对滞后,很多方面亟待深入的探讨。本书在前人大量研究的基础上,通过现场调查、数值模拟、典型案例剖析等途径,在分析了黄土高原典型滑坡侵蚀成因、典型地区滑坡侵蚀分布的基础上,尝试探索土壤侵蚀学与滑坡学之间的联系,初步建立了滑坡侵蚀分析研究体系;用数值模拟方法研究了典型滑坡侵蚀体力学机制和运动过程;利用信息量理论对典型区域滑坡侵蚀进行定量评价研究等。通过研究取得以下主要结果:

(1)应用土壤侵蚀学、地质学、地貌学等理论,给出了滑坡侵蚀的定义、形态要素、分类、灾害链、形成条件、诱发因素及与其他重力侵蚀的区别等;运用多种手段对典型滑坡的地层岩性、物理力学性质进行了现场调查与试验,建立了用于典型滑坡侵蚀计算的地质模型,初步建立了滑坡侵蚀的分析研究体系。

(2)利用弹塑性力学理论,建立了典型滑坡侵蚀的数学模型。通过有限元数值模拟,计算分析铜川市典型滑坡侵蚀体的网络变形、主应力、主应变、剪应力、安全率、破裂面上应力分布等,得到对典型滑坡侵蚀体不同部位的力学状态全面系统的把握。

(3)利用运动学基本定律,建立了典型滑坡侵蚀的运动学模型。通过离散单元法数值模拟,对滑坡侵蚀实例进行滑坡破坏后的运动过程仿真,得出了边坡破坏后滑坡侵蚀体运动过程中各块体不同时刻的运动状态、移动轨迹、接触力与角-边接触关系、形心平均主应力、形心平均位移、块体力矩、块体作用力、块体转角、块体速度、块体加速度等的历时曲线,模拟仿真滑坡侵蚀体动态运动过程,在此基础上得到了滑坡侵蚀体运动过程主要分为5个阶段的结论,对滑坡侵蚀体的滑动过程有了一个新的认识。

(4)利用信息量理论,建立了典型地区滑坡侵蚀定量评价模型。影响滑坡侵蚀的因素是多方面的,且各因素对滑坡侵蚀的贡献不同。影响滑坡侵蚀的因素状态从大到小为地下水出露在黄土底部的基岩面上、植被盖度小、人类活动强度大、沟谷密度密、地层结构为黄土与基岩、相对高差 $>50\text{ m}$ 、地形坡度 $20^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 、地形坡度 $>45^{\circ}$ 、地震加速度高、地下水出露在黄土坡体中共10个因子状态。

(5)本书通过现场调查和资料分析得出,在铜川市区 82.50 km^2 的面积上,滑坡侵蚀面积 44.50 km^2 ,占市区面积的53.94%;无滑坡侵蚀的面积 38.00 km^2 ,占市区面积的46.06%。铜川市区滑坡剧烈侵蚀区面积 13.00 km^2 ,占市区面积的15.76%;强烈侵蚀区面积 20.00 km^2 ,占市区面积的24.24%;中度侵蚀区面积 25.25 km^2 ,占市区面积的30.61%;轻度侵蚀区面积 6.00 km^2 ,占市区面积的7.27%;微弱侵蚀区面积 18.25 km^2 ,占市区面积的22.12%。铜川市区滑坡侵蚀中等以上强度区面积 58.25 km^2 ,占市区面积

的 70.61%。铜川市区共有滑坡、崩塌、滑塌 451 个,其中,滑坡 127 个(老滑坡 43 个、新滑坡 84 个),占滑坡、崩塌、滑塌总数的 28.16%;滑塌 52 个,占 11.53%;崩塌 272 个,占 60.31%。崩塌的数量很多,但规模较小(崩塌侵蚀量 148.40 万 t,仅占侵蚀总量的 1.19%);滑塌的数量和侵蚀量(740.50 万 t,占侵蚀总量的 5.96%)也较少;滑坡的个数虽少,但侵蚀量却很大(11 542.60 万 t,占侵蚀总量的 92.85%),可见铜川市区滑坡侵蚀程度非常强烈。运用本书建立的典型地区滑坡侵蚀定量评价模型,得出了铜川市区滑坡侵蚀强度分布图,经与实测资料对比,模型计算的可靠性和可信度较高。

Abstract

The loess is thick and widely distributed on Loess Plateau in China. The drought and semi-drought climate and the special properties of loess result in serious soil and water loss in the area. Therefore, the geomorphic landscape is usually characterized by gullies, where the gravity erosion such as slide and collapse are very active. Slide erosion, the main resource of gully sediment yield, is one of the most important types of gravity erosion. However, the gravity erosion, of which many aspects still need further research, has been lagged because of various reasons. In this book, firstly, with the achievements of many predecessors, based on the analysis of the erosion causes of loess plateaus and the distribution of slide erosion in typical areas by methods of field investigation, numeric analysis and typical cases analysis, the slide erosion analyzing system is tentatively founded which can express the relationship between soil and slope erosion. Secondly, the dynamical mechanics and movement of typical slide erosion body is deeply researched by method of numeric analysis. Finally, the regional slide erosion is quantitatively evaluated by method of information quantity theory. The main achievements are as follows:

1. It is put forward that the definition of slide erosion, the shape elements, classification, catastrophic chain, formation condition, inductive factors, the differences between slide erosion and other gravity erosion are suggested, based on the theories of soil erosion, geology, and geomorphology. The geological model to calculate the slide erosion is founded on the basis of many investigation and tests of the lithologic characters and mechanical properties of typical slide, based on which the slide erosion analyzing system is set up.

2. The mathematical-mechanical model of slide erosion is founded on the basis of the elastic-plasticity theory. Through the calculation of the network distortion, principal stress, principal strain, shear stress, safety rate and the stress distribution on the fractured surface of the typical slide in Tongchuan city by finite element method, the mechanical situation of different parts of the typical slide are finally mastered.

3. Based on the principles of kinematics, the kinematics model of slide erosion is founded. After the discrete units simulation of the movement of collapsed slide, the duration curves of motion states, moving pathways, the relationship between contact force and angle-edge contact, mean principle stress, mean displacement, force moment and acting force, striking angles, velocity, accelerated velocity of different parts of the sample slide are obtained, as a result, the process of slide movement is divided into five stages, which is a new achievement to the slide erosion process.

4. The model of quantitatively evaluating slide erosion is founded according to the infor-

mation quantity theory. There are many factors that influence slide erosion, which are groundwater on the bedrock surface, thin plant cover, heavy human activity, high gully density, loess and bedrock layers, difference in elevation (which is bigger than 50 meters), degree of slide (between 20° and 40°), degree of slide (which is bigger than 45°), high - accelerate earthquake, groundwater inside the loess slide, of which the formers contribute much more than the later to slide erosion.

5. Field investigation and numeric analysis shows that the total area of the studied zone in Tong - chuan is 82.50 square kilometers, where slide erosion area is 44.50 square kilometers, occupying 53.94% of the total area, the area without slide erosion is 38.00 square kilometers, occupying 46.06% of the total area, the serious slide erosion area is 13.00 square kilometers, occupying 15.76% of the total area, the drastic erosion area is 20.00 square kilometers, occupying 24.24% of the total area, the middle erosion area is 25.25 square kilometers, occupying 30.61% of the total area, the mild erosion area is 6.00 square kilometers, occupying 7.27% of the total area, the weak erosion area is 18.25 square kilometers, occupying 22.12% of the total area. The slide erosion area which is much more serious than middle - drastic erosion is 58.25 square kilometers, occupying 70.61% of the total area. There are total arealy 451 slides, falls, creeps in Tong - chuan city, where there are 127 slides (43 old slides and 84 new slides), occupying 28.16% of the total area, the 52 creeps occupying 11.53%, and the 272 falls occupying 60.31%. This shows that although the number of slides is at the very most, their scales are small yet (the erosion amount is 1,484 thousand tons, occupying 1.19% of the total area). Still, the number and erosion amount of creeps is also small (the erosion amount is 7,405 thousand tons, occupying 5.96% of the total area). However, although slide is small in number, it caused much serious erosion (the erosion amount is 115,426 thousand tons, occupying 92.85% of the total area). Thus it can be seen that the slide erosion in Tong - chuan city is really very drastic. The distribution maps of slide erosion obtained from the quantitative slide erosion evaluation model are very anastomoses with the measured data, which shows that this model is both reliable and believable.

第1章 绪论

黄土高原地区跨北纬 $33^{\circ}43'$ ~北纬 $40^{\circ}05'$, 东经 $101^{\circ}00'$ ~东经 $114^{\circ}33'$, 南以横贯东西的秦岭山脉为天然屏障, 北以长城为界, 西至日月山、乌鞘岭一线, 东界到达太行山东麓(图 1-1), 总土地面积 45.0 万 km^2 。土壤侵蚀界所说的黄土高原(63.0 万 km^2)其北界已经到了大青山南麓。

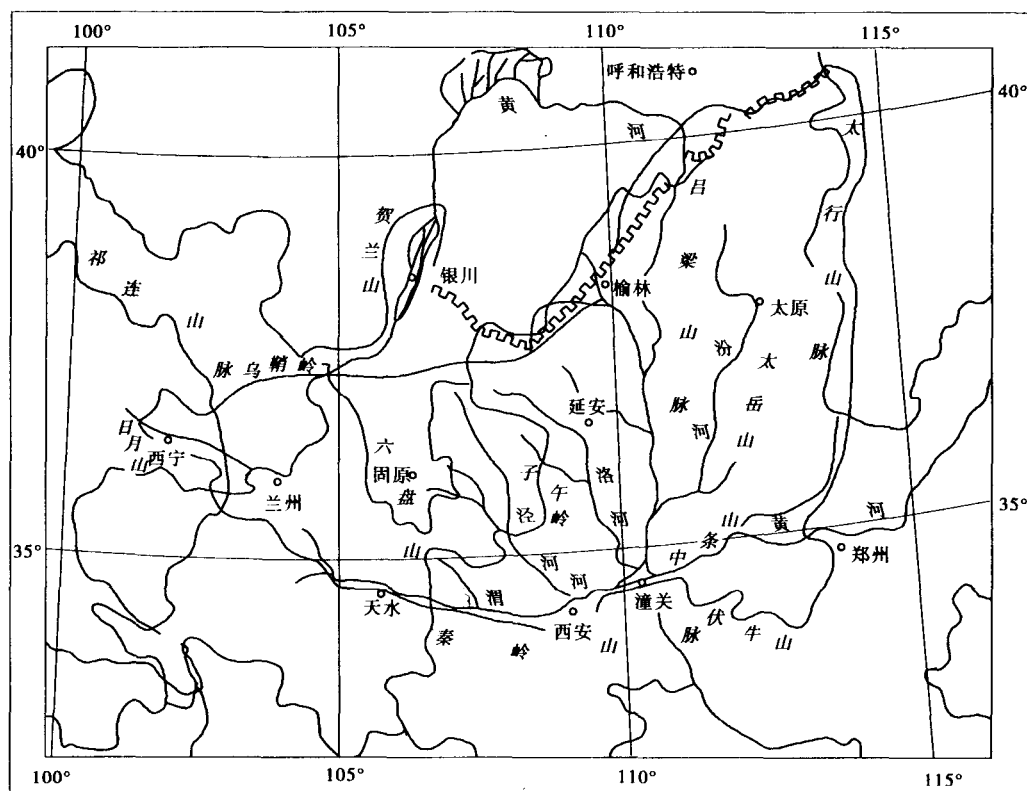
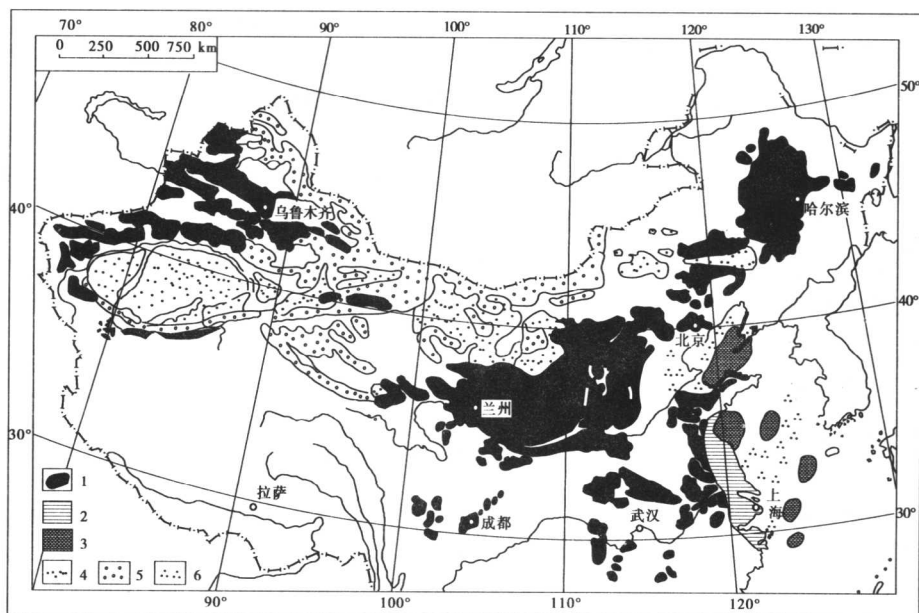


图 1-1 黄土高原界线图(马乃喜,1987)

中国的黄土分布区东以松辽平原为东北翼, 西以新疆的黄土为西北翼, 中以黄土高原为主体, 并向南凸出呈弧形, 总面积 63.0 万 km^2 (图 1-2), 另外, 西藏以及南海海域也有黄土零星分布。黄土自西北至东南分为三个带: 砂黄土带、粉黄土带、黏黄土带(图 1-3)。黄土厚度目前见到的报道最厚达到了 505 m, 实际厚度可能还要大得多(图 1-4)。

黄土地貌按其形态主要由黄土山地、黄土塬、黄土梁峁沟壑、黄土平原四大类组成, 黄土梁峁地形切割深度 $80\sim150$ m; 沟壑发育密度 $0.8\sim2.5$ km/km^2 , 河谷沟壑的岸坡为黄土高陡边坡, 地形坡度一般在 30° 以上。这些高边坡往往是潜在的滑坡体, 在不利条件下会发生突发性滑动。



1. 陆上黄土;2. 陆上埋藏黄土;3. 海下埋藏黄土;4. 沙漠;5. 戈壁;6. 海滨—陆架沙漠

图 1-2 中国黄土分布图(据刘东生 1985 原图修改)

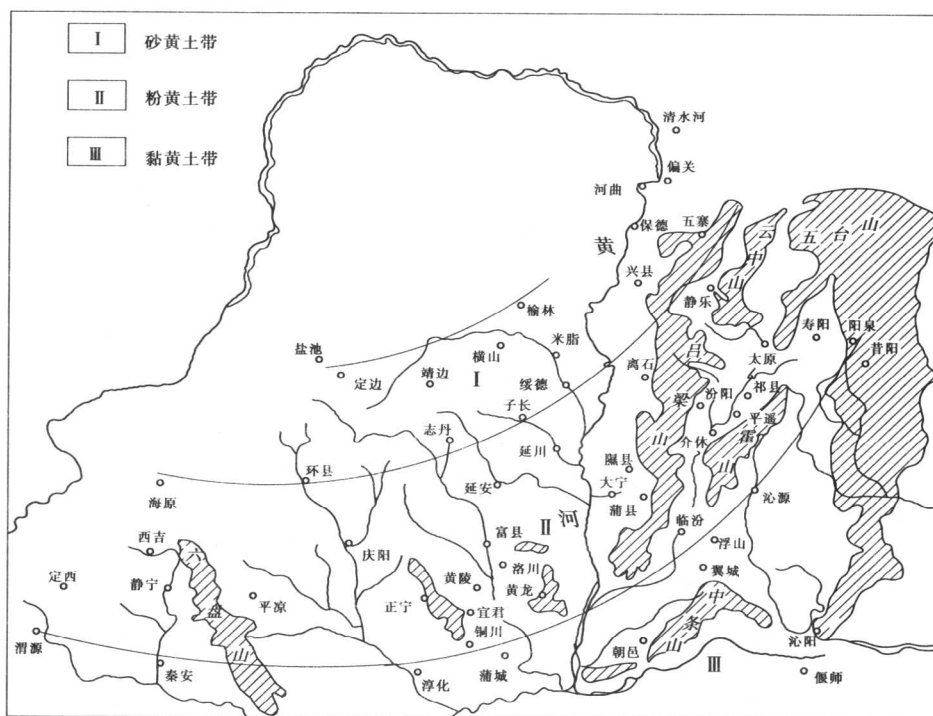


图 1-3 黄土高原马兰黄土粒度水平分带图(刘东生等,1966)