

黄土學

(中篇)

(黄土岩土工程学)

孙建中 王兰民 门玉明 董忠级
易 秀 王 谦 赵晓峰 李珍英
等编著



西安地圖出版社

黄土學

(中篇)

(黄土岩土工程学)

孙建中 王兰民 门玉明 董忠级
易秀 王谦 赵晓峰 李珍英
等编著

资助单位

中国科学院

地球环境研究所

黄土与第四纪地质国家重点实验室

和

武汉华太岩土工程有限公司

西安地图出版社

内 容 简 介

本书是黄土学的第二篇,主要探讨黄土的岩土工程问题。包括黄土的本构关系,黄土的物理、水理、力学性质,黄土的湿陷性,非饱和黄土的工程性能,黄土的震陷性和黄土的液化,湿陷性黄土地基处理,黄土建筑,黄土边坡,黄土硐室,黄土材料。此外,本书末还有附录,详述黄土清除污染物的作用,作为对稍早出版的下篇的一个补充。传统上,都认为黄土的湿陷性及其相关的架空孔隙是在成壤作用过程中形成的,但我们认为黄土的湿陷性及相关的架空孔隙是风尘在空气中降落时形成的,没有经过成壤作用的粉煤灰也具有湿陷性就是一个旁证。

本书可供地质、地理、土木工程、环境等方面的研究人员,工程师,教师,大学生和硕士、博士研究生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

黄土学. 中篇/孙建中等著. - 西安: 西安地图出版社,
2013. 9

ISBN 978 - 7 - 80748 - 960 - 3

I. ①黄… II. ①孙… III. ①黄土 - 研究 IV. ①P642. 13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 219113 号

著作人及著作方式: 孙建中等编著

责任编辑: 王兴华

书 名: 黄土学 (中篇)

出版发行: 西安地图出版社

地址邮编: 西安市友谊东路 334 号 710054

印 刷: 陕西地质印刷厂

规格开本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 29.25 (其中彩插 8 页)

字 数: 735 千字

印 数: 0001 - 1500

版 次: 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 80748 - 960 - 3

定 价: 70.00 元

西安地图出版社通过 ISO9001 国际质量管理体系认证

版权所有 侵权必究

LOESSOLOGY

(Vol. II)

(Loess Geotechnology)

SUN Jianzhong WANG Lanmin MEN Yuming
DONG Zhongji YI Xiu WANG Qian
ZHAO Xiaofeng LI Zhenying
et. al.

Sponsor:

State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology,
Institute of Earth Environment,
Chinese Academy of Sciences
and
Huatai Geotechnological Co. Ltd.
Wuhan, China

Xi'an Cartographic Publishing House

ЛЁССОВЕДЕНИЕ

(ТОМ II)

(Геотехнология Лёсса)

СУНЬ Цзяньчжун ВАН Ланминь МЭНЬ Юймин
ДУН Чжунцэи И Сю ВАН Цянь
ЧЖАО Саофэн ЛИ Чжэньин
и. дрг.

Финансовый Поддерживатель:

Государственная Лаборатория для Лёсса и Четвертичной геологии,

Институт для окружающей среды земли,

Академия Наук Китая

И

Хуатай Геотехнологовое Акционерное Общество,

Ухань, Китай

Си'ань Топокартта Издательство

向慷慨资助本书出版的单位和朋友们
致以衷心的感谢！

孙建中 2013年8月

资助单位：中国科学院地球环境研究所，
黄土与第四纪地质国家重点实验室
武汉华太岩土工程有限公司

资助人士：范士凯 中煤国际工程集团武汉设计
研究院，中国工程勘察大师
强小科 中国科学院地球环境研究
所，研究员
李同录 长安大学，教授

向慷慨资助本系列书出版的单位和朋友们
致以衷心的感谢!

孙建中 2013年8月

资助单位：中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室
南京大学 地理与海洋学院
甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所
甘肃省科学院黄土地质灾害汇总研究项目

资助人土：陈晓东 交通运输部规划研究院 高级工程师
程谦恭 西南交通大学 教授
高玉广 甘肃建筑科学院 高级工程师
李慧琴 甘肃土木工程科学研究院 工程师
张镇洪 中山大学 教授
彭子成 中国科技大学 教授
肖举乐 中国科学院地质与地球物理研究所 研究员
鹿化煜 南京大学 教授
朱长岐 《土工基础》编辑部 教授
郭见扬 《土工基础》编辑部 教授
王 宏 天津地质矿产研究所 研究员
吴玮江 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所 研究员
王得楷 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所 研究员、所长
强小科 中国科学院地球环境研究所 研究员
李同录 长安大学 教授
朱杰君 长安大学 校长助理
李广杰 吉林大学 教授
佺 磊 吉林大学 教授
王 清 吉林大学 教授
陈剑平 吉林大学 教授

序

续“黄土学”上篇和下篇“黄土环境学”出版之后，“黄土岩土工程学”（中篇）终于出版了。至此，孙建中教授的鸿篇巨著《黄土学》全部展现在世人面前。这是自黄土学研究的先驱、苏联学者奥布鲁切夫在1948年提出要建立“黄土学”至今，在我国、乃至世界上关于黄土学研究成果的最全面、最系统、最深入的“黄土学”专著。它第一次向我们展示了“黄土学”所涵盖的三大方面内容，即“黄土地质学”、“黄土岩土工程学”和“黄土环境学”。同时，也以大量确凿的事实证明了黄土主要是一种**风尘堆积**，从而更加明确了“黄土以风成为主的多成因”学说。也确立了“**凡是风尘组成的堆积物都可叫做黄土**”的广义黄土理论，从而肯定了“石质黄土”、“黄土岩”、“水下黄土”以及“红黄土”等名称的正确性。这不仅仅是名称问题，而是更确切地反映这些“黄土”成因特性，也将黄土学研究的领域大大扩展了。这一切无疑具有重大的理论意义和实用价值。

“黄土学”的研究不仅仅限于黄土本身，而是作为第四纪地质研究的重要组成部分。从这部《黄土学》所涵盖的极其丰富的内容来看，它全面应用了第四纪地质学的理论和方法，如地貌学、地层学、生物地层学、测年学、土质学等方法原理，不但使黄土学研究有着传统的和现代的科学方法的强大支撑，从而使其成果具有高度可靠性和权威性，也大大丰富了第四纪地质学的研究方法和内容。可以说，任何地区的第四纪地质研究都可以从“黄土学”这座宝库中“淘宝”。

黄土作为工程对象，对其基本性质、不良特性和各类工程处理措施的论述，几十年都分散在教科书和各类规程、规范和手册中。“黄土岩土工程学”首次从黄土的本构关系、黄土的物理、水理、力学性质、湿陷性、震陷与液化等基本特性，和黄土上的地基、边坡、洞室等类工程的稳定性和处理措施，以及黄土材料类型和特性等等进行了全面、系统、深入的论述。这是迄今针对黄土岩土工程问题的最全面、最系统、最深入的专著。它也是对近几十年来关于黄土岩土工程问题的全面总结。从此我们可以从这部专著理解黄土岩土工程问题的全貌。

要特别指出的是，“黄土岩土工程学”中指出“**黄土湿陷及其相关的架空结构是在风尘缓慢降落过程中风尘颗粒相互搭架而形成的**”，而不是“风尘降落后，经风化成壤作用形成的”。这种观点是应该充分肯定的。粉煤灰和新近堆积黄土没经成壤作用却具有较强的湿陷性，古土壤和老黄土已经过长期成壤作用却无湿陷性，说明**成壤作用过程恰恰是消除湿陷性的过程**。这在逻辑上就否定了湿陷性是风化成壤作用形成的观点。黄土湿陷性成因的这种新观点具有重要的理论意义和实用价值，它让我们能从时空（时代和层位）概念上去初判黄土有无湿陷性。尤其当今勘探质量普遍不高的情况下可以从宏观上鉴别其资料的真伪。

书中指出“**南方红土也是风尘堆积**”的结论也无疑是正确的。近年我在江汉平原、湘江两岸调查“下蜀系网纹红土”时发现，以往人们把这套地层定为冲洪积层，地貌上划分为长江三级阶地是有问题的。因为：其一是下蜀系网纹红土普遍不具备冲积层所应有的“二元结构”（即上部为黏性土、下部为砂、砾、卵石层），而是黏性土直接覆盖在基岩之

上。其二在地貌上也完全不具备河流阶地形态，而是以隆岗、丘陵形态出现，在出露高程上也有高有低。所以，把南方红土定为“红黄土”，成因上属于“风尘堆积”，证据是充分的。

孙建中教授是我的恩师。我在长春地质学院学习期间曾多次聆听他的教诲。特别是1960年他是我毕业实习的指导教师，带领我们小分队在贵州高原上进行三个多月区域工程地质调查测绘。在针对“喀斯特”发育、分布规律问题上，他在地层岩性、地质构造分析的基础上，教我们如何识别、划分夷平面、阶地、进而以地文期、新构造运动规律去分析“喀斯特”的时空分布规律。他的以地貌单元划分、以新构造运动为动力的地貌、地文演变的时代和空间分布分析的思路和方法在我心中深深地扎下了根。自那时起，我在从事工程地质工作的几十年中，凡遇第四纪地质问题时都遵循他的思路和方法去解决问题。直到2006年我提出“地貌（成因）单元、地层时代、地层组合控制各类工程地质条件的《土体工程地质的宏观控制论》（“资源环境与工程”VOL. 20. 2006 增刊）”，虽然我所达到的深度和广度远不及孙教授，但我在文中贯穿的原则、思路和方法，和孙教授是一脉相承的，所以我衷心的称他是我的恩师！

孙教授已八十二岁高龄，仍然孜孜以求、笔耕不辍。这部《黄土学》洋洋220余万字，从1995年动笔历经18年光阴，终于落成。当今城市化浪潮席卷中国，可以说100%的城镇都离不开第四系。《黄土学》的研究成果不仅仅针对黄土，而且对第四系研究也会起到巨大的推动作用。希望众多的地学工作者和岩土工程工作者珍惜这座宝库。

孙教授曾半生坎坷，但他始终秉承中国知识份子的优良传统、忧国忧民、艰苦奋斗，为我们写下了大量无价的著作，他的学术造诣、他的奋斗精神和无私品格是我们的榜样。让我衷心祝他健康长寿！希望他继续以“老骥伏枥，志在千里”的精神，再创辉煌。

中国工程勘察大师

范维

2013年8月于武汉

共产主义是理想，毕生笃信志不爽；
改革开放力量强，与时俱进路途广。
忧国忧民多承当，借分借秒抢时光；
余热散尽无怨悔，此去仙境任翱翔。

前 言

这本《黄土学(中篇)》本是《黄土学》这套系列书中的第二本，但却出版在最后。当我给它写“前言”时，很自然地就想起了全套书的一些情况，于是这个前言就成了全套书的“后语”。

大约一个甲子以前，当苏联学者奥布鲁切夫(1948)提出要建立“黄土学”之时，那时关心黄土的人，主要是少数旅行家、地理学家和地质学家。他们主要讨论的问题是黄土成因问题。第二次世界大战以后，特别是中华人民共和国成立以后，这个世界上黄土发育最厚、分布极广的中国黄土高原区开展了规模空前的建设活动。几乎所有的建筑工程都会遇到黄土湿陷问题，因而引发了对黄土工程性能研究的热潮。从而使黄土的研究大大向工程学方向扩展。我国自1966年编制第一部黄土区建筑规范以来，已经经过1975、1978、1990和2004年4次修改。从如此频繁的修改规范就可看出，黄土工程研究十分活跃，发展速度迅猛。

20世纪80年代以来，由于全球化的发展，特别是中国社会改革开放以来，社会经济发展与生态环境的矛盾日益突出。要求我们的发展是可持续的发展，要求我们的发展是与环境和谐的发展。这就要求我们研究黄土与生态环境有关的问题。于是我们看到，黄土研究的历史大致可分为三个时期：

第一期：黄土地质学研究时期。大致相当于第二次世界大战结束以前的时期。

第二期：黄土地质学研究继续发展，黄土岩土工程研究蓬勃发展时期。

第三期：黄土地质研究与黄土岩土工程研究继续深化，黄土环境研究蓬勃发展时期。这一时期大约是从20世纪80年代开始的。

所以我们的《黄土学》可分为三篇：上篇为《黄土地质学》(Loess Geology)；中篇为《黄土岩土工程学》(Loess Geotechnology)；下篇为黄土高原的地质灾害、生态和环境问题，或可称为《黄土环境学》(Loess Environmentology)。原先设想的是黄土地质学是上篇，黄土岩土工程学和黄土环境学是下篇。编写过程中发现字数相当多，一册难以容纳，就分为两册。现在看来，这三册，也正好是以上所说的三篇，构成了一套系列书。

我们之所以孜孜以求要把这三篇都加以出版，目的就是要全方位地向人们展现黄土研究的现状，使人们建立一个全方位的广阔视野，以便在自己工作的一隅能宏观地了解黄土学的

全貌，从而发展自己的研究领域，例如工程师们如果能掌握年代学的一些知识，他们在确定新近堆积黄土时就可同时使用年代学的方法解决其时代。同样地质学家如能了解工程师的要求他们就能把自己的研究领域扩展到新近堆积黄土中去，就是因为互不往来，使这个问题到现在也没解决。又如地质学家如果能了解工程师应用地质名称的情况，他们在命名时也会考虑工程师们的方便。在此之前我们看到的关于黄土的综合性著作，大多是关于黄土地质学的，少数是关于黄土岩土工程学的，关于黄土环境学研究的就更少了。这次我们把这部分都纳入就更能全面反映黄土研究的现状了。

在研究深度上，按理想和要求，应该反映出目前发展的最高水平，但因水平所限则未必都能够达到，只好向读者表示谦意，也将希望寄托于后来人。

本系列书的编写主要是以文献资料为原料的，其目的在于总结前人的成果，但前人的成果往往都是一个点，我们则可以把几个点连成线，几条线连成面，找出共同的规律。面临众多的观点时，我们则有许多的选择机会，以便达到最佳的选择。所以，在本系列书中，我们也提出许多独特的观点。这些或许也属于现时流行语的“创新”之列，而我们最大的创新也许就是给前人所提出的“黄土学”一词填了个空白。

(一) 黄土成因问题争论了 100 余年，解放前已基本确立了风成说的统治地位。20 世纪 50 年代初来了一批苏联专家突然又提出来各种水成说，如，坡积说、洪积说、冲积说等，于是又掀起了新一轮争论。这个争论却成了我追究解决问题的动力。我通过 1954 年在三门峡坝址的实习和 1955 年在洛阳与栾川间收集研究生论文材料的机会对黄土进行了大量的野外观察，基本上确立了风成的信念，但也看到了一些水成的证据。加上在东北的大量实践，促使我在 70 年代末建立了以风成为主也有流水局部参加的学说。80~90 年代，我国学者又获得了大量的风成证据，我们在书中大量汇集了这些资料，证明在黄土高原的塬、梁、峁和阶地上部，都是纯粹的风成黄土，只有在坡脚下局部有雨水细流形成的坡积黄土。在阶地下部冲积层中有少量冲积黄土，在洪积扇上有时洪积黄土较多，有时大多还是风成黄土，局部是次生黄土。这些有水流参加的黄土都是黄土状土。因为这些黄土的物质来源都是风成黄土，所以其成因之前都应冠以风成。

郑州位于黄土高原东缘，这里黄土本应厚度小，颗粒细，含沙量少，含铁量高。但事实却相反，这里的晚更新世马兰黄土厚达 93m，创造了一项世界纪录，颗粒粗，含沙量高，含铁量低，出现了异常。这是因为郑州位于黄土高原与华北平原的交界处，携带大量泥沙的黄河水，从山陕豫峡谷奔腾而下，出花园口进入平原，流速骤减，卸下大量泥沙，但细粒的黏土多被带走，粗粒的砂多被留下。冬天北风大作，带着大量风沙遇到邙山的阻挡，迅速沉积下来，造成上述异常现象。这里我们看到，黄土高原的原生黄土被河水冲下，到华北平原成为次生黄土。次生黄土又被吹到南岸变成了原生黄土。在黄河干流和支流沿岸也都会有沙粒从河滩上被刮到阶地和塬边上，使那里的黄土含沙量增加。由此也看到了黄土成因问题的复杂性。

人们常常问道，为什么在冲积平原和冲积—湖积盆地中没有或很少有黄土呢？这正说明了黄土是风成的，当阶地面和夷平面形成之后，这些处于分水岭地块区的的地方不受流水作用的影响而是从那时起成为风尘堆积的有利场所。所以夷平面上和阶地上都堆积了从它们形成时期以后的黄土，而冲积平原和盆地中由于水流作用强烈，流水沉积作用旺盛，少量风尘落入水中被稀释而淹没于冲积物之中，不能形成黄土堆积。只在湖中某些部位当河流带来物质

较少时，能有少量水下黄土之形成。所以我们看到汾渭盆地，华北平原这些河湖堆积物发育的处所，很少见到黄土。

(二) 我们从前人给黄土的定义中选择一个定义：**黄土就是风尘堆积**。该定义言简意赅，一针见血，直刺黄土研究百年争论的核心，公然宣布黄土是风成的。因为黄土是大区域上风力分选的结果，所以它的粒度谱是不完整的，缺少中砂以上的成分，而主要由适于远程飘运的粗粉砂颗粒组成，含有相当的微砂，并挟带和黏附了一些黏土颗粒。因为大区域上的充分混合，黄土矿物化学成分十分均匀，从而具有地壳平均的矿物化学成分——花岗岩的平均矿物化学成分。因为从空中飘落而轻轻缓慢降落，搭建成丰富的架空孔隙，造成黄土的湿陷性。

另一方面该定义的逆定理也是成立的，即：凡是风尘组成的堆积物都可叫做黄土，Edwards M. B. (1979) 在挪威斯瓦尔巴群岛发现了前寒武纪的坚硬粉砂岩，称之为黄土岩 (Loessite)。这一命名体现了认识的飞跃，体现了科研的成果，比粉砂岩一词就深刻多了。

第四纪前期比较坚硬的黄土被称为“石质黄土”；产出于湖泊环境的黄土被称为“水下黄土” (夏正凯, 1992)，还有“海下黄土”等等。“红黄土”一词被奥布鲁切夫用来称呼黄土高原区的中新、上新世的黄土。最近的研究显示，南方的红土也是风成的，是不是也要改称红黄土呢？广大科技工作者和群众已习惯用“红土”一词，不必勉强。让“红黄土”一词局限于黄土高原作为一个区域性地层的名称为好。这里“黄土”有黄颜色的土的含意，红黄土似乎有些矛盾，但英文中 Loess 没有颜色的意思，所以叫 Red loess 就很妥当。

(三) 传统上认为黄土只是第四纪的产物，但我们根据西安刘家坡剖面黄土已进入高斯正向时，和东北宁城黄土，含有原鼯鼠化石和处于高斯正向时之中的事实首次提出《黄土还要更老些》(1987) 已进入上新世的观点。后来郭正堂 (2002) 证明黄土的年代已达 22Ma，即已达中新世初期。最近安芷生 (2010) 证明黄土已达 25Ma，即渐新世末期。还有前已述及的前寒武纪的黄土岩，证明黄土可以形成于多个地质时代。

(四) 1.4Ma 以来的黄土在靖远曹砚剖面厚 505m (岳乐平等, 1991)，1.4 ~ 6.2Ma 的黄土在灵台剖面厚 180m (孙东怀等 1997)，6.2 ~ 22Ma 的黄土在秦安剖面厚 253.1m (郭正堂等, 2002)，三者之和为 938m。这便是中国黄土的最大厚度。

(五) 传统的地文期研究在理论和方法都存在着很大的缺陷。(1) 在黄土高原甚至整个中国北方不存在沉积期和侵蚀期交替出现的情况。山区由夷平面构成的阶梯地貌上，一般很少保存沉积物，也很难想象原来都有很厚的沉积物。侵蚀下来的沉积物应该到盆地中去找，那里有侵蚀作用的相关沉积。(2) 从塬区黄土剖面的古地磁测定的结果看，黄土的沉积基本上是连续不断的，只是在间冰期有所减缓，而无间断的情况。河谷区黄土剖面中的侵蚀面大多是局地河流侵蚀的结果，不足以作为划分侵蚀期的依据。(3) 因此，黄土地层就不能作为地文期的代表参加命名。黄土对原始地貌的改变并不太大，它往往只是模拟和修饰了原始地貌，例如，唐县期的断块本身就是一个塬，加盖了黄土以后还是一个塬。(4) 地文期主要指地壳强烈上升河流强烈下切和地壳相对稳定河流横向侵蚀加强并形成夷平面和阶地基座面这个过程，一个夷平面或一个阶地就是一个地文期。(5) 阶地基座上往往有不厚的河流冲积物，当其厚度不大于正常厚度 (河流最高洪水位与河底之高差，在本区估计 10 ~ 20m) 时可视为阶地的相关沉积 (用这种沉积物测得的年龄可代表地文期的年龄)。除非在相当大的区域内河流阶地上普遍有相当厚的冲积物时，才说明有加积的情况，是地壳下降的

结果。从本区情况看，河流阶地冲积层厚度都不算大，系列基座阶地的发育应看做地壳间歇式上升的产物。一个阶地，一个夷平面就是地壳运动的一个旋回。(6) 沿用了一些合理的传统名称，不得已时才增加了一些新名称，在兰州和蓝田地区建立了两个地文期系列，大部分是可以对比的，个别不能对比的代表了地区之间地壳运动韵律之差异。

(六) 1962年刘东生院士根据黄土岩性变化，主要是黄土与古土壤交互成层的情况和哺乳动物化石的情况首次给黄土地层一套正式的地层名称：晚更新世的马兰黄土，只包括第一层黄土 (L_1)，常含有中国晚更新世典型动物群，萨拉乌苏动物群的化石。中更新世的离石黄土包括多层黄土和古土壤，从 $S_1, L_2, S_2, \dots, S_{14}, L_{15}$ ，常含有中国北方中更新世典型动物群，周口店动物群的成分。早更新世的午城黄土，从 S_{15} 向下到 S_{32}, L_{33} 常含有中国早更新世典型动物群，泥河湾动物群的成分。当时看来，这是一套年代地层学，生物地层学和岩石地层学的完美结合的命名。是十分难能可贵的。

但是当时对于晚更新世和中更新世的界线 (Q_3/Q_2 界线) 和中更新世与早更新世的界线 (Q_2/Q_1 界线) 以及第四纪的下界 (Q/N 界线) 学界还没有统一的认识。到了20世纪80年代以后，国际上对这几条界线的认识逐渐明朗。 Q_3/Q_2 界线为末次间冰期的下界，0.128或0.13Ma。 Q_2/Q_1 界线用古地磁年表中的布容正向时和松山反向时的界线 B/M 界线，0.78Ma， Q/N 界线用古地磁年表中的松山反间时与高斯正向时的界线 M/G，2.58或2.6Ma。

大量古地磁成果显示，在黄土高原区 B/M 界线多在 L_8 的中下部，在郑州正好在 L_8 的下界或 S_8 的顶面上，在兰州在 L_8 的中点上，概略的说 L_8 的下界或 S_8 的上界可作为中、下更新统的界线。这样，从 S_8 到 L_{15} 这一段地层应属下更新统，但却在离石黄土之中。含蓝田猿人化石的公王岭动物群产于离石黄土底部 L_{15} (下粉砂层) 中，原先定为中更新世 (胡长康等，1978) 后来被古生物学家订正为早更新世 (计宏祥，1980)。

离石黄土的上界在末次间冰期的产物 S_1 的上界处。这样离石黄土就上跨上更新统，下跨下更新统，而且差不多一半厚度都在下更新统中。工程师和一些学者在图上和文中常常喜欢用一些代号来表示地层，如中更新统用 Q_2 ，下更新统用 Q_1 ，上更新统用 Q_3 ，但是如今上述地层名称与地层时代不相符，就妨碍了这些名称的推广应用。

为了解决这一矛盾，我们在《黄土学 (上篇)》4.2.1 和《黄土学 (下篇)》2.2.1 中曾两次推出了修订方案，概括地说：

(1) 把第一层古土壤 (S_1) 从离石黄土移向马兰黄土，使马兰黄土包括 $L_1 + S_1$ 两层，使离石黄土上界从 S_1 顶面移向 S_1 底面，这样离石黄土的上界就与中更新统的上界一致起来，于是 $Q_3 =$ 上更新统，马兰黄土就等于 $L_1 + S_1$ 。

(2) 把离石黄土的下界移向 L_8 的下界或 S_8 的上界处，使之与中更新统的下界基本一致或接近，于是离石黄土就真正回归为原来意义上的中更新统黄土地层的代表。

(3) 给 S_8 到 L_{15} 这一段地层重新命名为“洛川黄土”，于是下更新统就由两个岩石地层单元构成，即 $Q_1 =$ 洛川黄土 + 午城黄土。或 $Q_1 =$ 洛川 - 午城黄土。

我们这种修订的方法：①符合人类认识由浅入深由粗而精的规律；②保持文献的传承；③充分尊重前人的劳动成果。如果动辄重新命名则容易造成混乱，这种作法反而有利于前人所起的名称的传播与推广。

有人强调多重地层学的原则，反对修订，强调各种方法的独立性，但是他忘掉了一个中

心的目的，就是为了把地层时代划分得更准确。古生物方法给出一个相对的年代，岩石学方法提供了宏观的标志，年代学方法则给各种界线标定了年代，使之定量化、数字化。各种方法都有自己独立的方法，不能互相干扰，但也不能各唱各的调，忘了正确划分时代这个主要目标而是要起到互相配合互相印证的作用。例如古地磁方法它有一套方法，最后划分出自己的“时”，“亚时”，我们不要干涉它，但利用它这些“时”与“亚时”的界线年来给岩石地层界线标定年龄就起到定量化、数字化的作用。

工程技术人员和一般科技工作者是地层学家的用户，地层学家所起的名字是要这些人使用的，只有让他们正确与方便的使用，才能广为传播与推广，才能使这种命名显示出更大的生命力。

(七) 清理了泥河湾盆地地层划分的乱局，建议保留狭义的‘泥河湾组’取消广义的‘泥河湾层’而代之以‘阳原群’。这样，阳原群就包括了上新世的东-稻组，早更新世的辛窑子组、泥河湾组和东谷坨组，以及中更新世的许家窑组，共五个组的湖相地层。类似的情况在榆社盆地是，榆社群包括中新世的任家窑组，上新世的王宁组和张村组，早更新世的楼则峪组。同样，在三门峡盆地，三门群由上新世的游河组，早更新世的张峪组和一段中更新世的，尚未命名的湖相地层组成。

(八) 黄土地层界线穿时性之发现：(1) 黄土地层与河湖相地层的界限之穿时性，如三门群与黄土的界限在陕西华县武家堡为 1.9Ma，在渭南阎村为 1.3Ma，在西安为 0.5 ~ 0.6Ma。(2) 黄土地层与河流相地层界限之穿时性：在阶地内侧河流冲积层首先与较老的古土壤交汇，逾向阶地前缘，逾和较新的古土壤交汇。(3) 同一层古土壤在东部的剖面上时域比在西部的剖面上要长，说明与古土壤相应的湿热气候在西部是晚来早走，在东部是早来晚走。B/M 线 (0.78Ma) 在郑州在 S₈ 顶面上，在兰州，是在 L₈ 的中点就是一例。

(九) 沉积物先前所记录的磁性信息会不会受后期磁性的影响而改变，前些年曾经是一个热议的话题。我们认为，海洋沉积物在沉积之初呈流动状态或流塑状态，其磁性颗粒可以受后期磁场影响而改变其磁性，其影响深度为 40cm。称为锁固 (Lock-in) 深度。但黄土是在地面沉积的，主要处在干燥环境中，磁性颗粒沉积后即被固定下来，不能活动，后期磁性不可能改变前期沉积的磁性。黄土高原区大量古地磁研究的成果是十分宝贵的科学财富。

(十) 20 世纪 70 年代末到 80 年代初年代初，我们在东北，就吉林周家油坊剖面的¹⁴C 和铀子系法及孢粉分析成果将东北的末次冰期分为三个冰阶和两个间冰阶。后来回到西北，结合西北的资料对黄土高原的末次冰期进行了进一步的划分，和欧美都可比较准确的对比。利用孢粉、植物残体等证据对末次冰期不同阶段的气温进行了估计。其中最关键的是末次冰期最大降温值的估计。北京西山末次冰期冰楔假型的发现，证明当时年平均气温在 -5℃，北京现代年均温为 10℃，估计末次冰期最大降温值 13 ~ 15℃，取平均值 14℃。而用眉县温泉氩同位素计算的温度为低于现代 13.28℃。说明上述估计是可以接受的。

对比了黄土中氧化亚铁、游离氧化铁、全氧化铁、FeO/Fe₂O₃ 四种指标发现全氧化铁是最好的气候指标。并发现临夏、洛川、西安三地全氧化铁平均含量在温度坐标上位于一条直线上。体现了一个初步的定量化成果，其相关方程为： $T(\text{年均温}) = 4.85\text{Fe}(\text{全铁含量}) - 8.39$ 。

(十一) 简要地介绍我们对东北黄土研究的情况，在松辽平原分出了马兰黄土、哈尔滨黄土、长春黄土和德惠黄土；在辽西分出马兰黄土、赤峰黄土、库伦黄土和宁城黄土。其

中，宁城黄土经古地磁证据和古生物证据证明属于上新世。

(十二) 传统上，几乎所有的文献都认为湿陷性及其相关的架空孔隙是在风尘降落后，经风化成壤作用而形成的（即，所谓“黄土化”作用）。我们则认为架空孔隙和湿陷性是在风尘缓慢降落的过程中风尘颗粒相互搭架而形成的。粉煤灰也具有湿陷性就是一个有力的旁证。粉煤灰从烟囱中落下或从卷扬机上抛下都和风尘降落的过程十分相似。但没有成壤作用参加，仍然具有湿陷性，说明成壤作用并非湿陷性所必备。相反的，从湿陷系数在剖面上的曲线看，在黄土的层位都是高峰，在古土壤的层位都是低谷，所以，成壤过程主要是一个消灭架空孔隙和湿陷性的过程（中篇，第3章图3.3—3）。又从黄土层位湿陷性的高峰随着深度加深而降低的特点看，重力压密也是消灭湿陷性的重要因素。80万年以前的黄土已经完全失去了湿陷性。所以说湿陷性是地质历史上的一位匆匆过客。传统观念认为，湿陷性是原生黄土所专有的，次生黄土是没有湿陷性的。但我国的情况却相反，次生黄土如，新近堆积黄土不但有湿陷性，而且湿陷性特强。

(十三) 我们给黄土喀斯特水分了带：I带，地表循环带，降雨水以垂直机械侵蚀为主化学作用很弱。II带，淋溶带，地下水垂直下渗，化学溶蚀为主。III带，淀积带，地下水浓缩蒸发，形成钙质结核。IV带，包气带，在塬区厚度可达100~200m。IVa亚带，地表水通过裂缝下渗，以机械侵蚀为主化学为辅，形成垂直洞穴。IVb亚带，地面积水水体以下，地下水从土中垂直下渗，直达地下水水面。IVc亚带，此亚带占据了包气带的绝大部分空间，水在这里主要以气态形式运动。IVd亚带，垂直下渗或下流的水遇相对隔水层时形成上层滞水，水的运动以缓慢的水平运动为主，化学溶蚀作用较强，形成水平洞穴。V带，季节变化带，此带中水平运动与垂直运动交替进行，机械侵蚀与化学溶蚀都较活跃，形成水平洞穴。VI带，潜流带，水流以水平运动为主，化学溶解作用较活跃。VII. 深部循环带（下篇，第5章）。

(十四) 附录一章主要选自易秀教授的博士论文，作者通过室内外试验从静态和动态角度全面系统研究并揭示了黄土对铬、砷的净化机理，净化能力及影响因素。如：黄土中Cr(III)被净化的主要是形成Cr(OH)₃的沉淀作用；对Cr(VI)的净化作用主要是吸附作用和还原作用的综合表现，对Cr(VI)和As(V)的吸附作用主要为专性吸附。影响As(V)净化作用的主要因素有：pH值、有机质、钙、铁、铝化合物、土壤黏粒含量等。

在《黄土学》（下篇）的前言中我们曾因没有列入黄土在清除污染物方面的作用等问题而表示了遗憾，但现在有了机会，所以我特请易秀教授编写了这一章，附在本书之后作为下篇的补遗。

(十五) 1920年海原大地震的破坏性为什么特别大，还有一个重要的原因。那就是它发生在砂黄土带中。这种黄土主要由粉砂和微砂组成，黏土含量很少，因而保留了粉砂的一个重要的特性——震动液化性。在这种情况下黄土体可以以很小的角度，大面积长距离的移动。人们形容说“山走起来了”。滑坡，滑坡，有坡才能滑，这种因流沙而引起的在没有坡度或坡度很小情况下黄土体移动是与滑坡不同的另类土体移动形式。它们叫做“震陷”和“液化”，在第五章中王兰民教授和王谦教授对它们形成的机理和条件进行了深刻的分析。

(十六) 季节冻融是一个重要的促滑因素，这一点并没有引起人们的注意。本区冻结深度虽只有1.5m，但它可以随斜坡地形的变化而起伏，在适当的情况下，它可以堵截地下水，使斜坡黄土体饱水而滑动。

我们的书出版后，读者意见回馈的途径并不畅通，不过有一件事却给了我很大的鼓舞。长安大学公路学院的高江平教授看了我的书后受到了很大的启发，随即制定了一个跨地质学与工程学的研究课题，并约我到野外带他们看剖面采样品，使我看到此书还是有一定的积极社会效应的。

再一次向我的合作者们表示诚恳的敬意与衷心的感谢！他们不图名利，宁愿与我同甘共苦的精神使我感激不尽。

也再一次向那些慷慨解囊，鼎力资助我出书的朋友们表示衷心的感谢！没有你们的资助，这些书是不可能出版的。

王文颖教授审阅了这个前言的英文稿，关文章教授审阅了本书第二、三两章的原稿，范世凯大师为本书撰写了序言，在此一并致以衷心的感谢！

我的夫人侯述贞女士，日日夜夜艰苦的工作着，为我作了后勤服务。我，一个年过 80 的老人，老态龙钟，步履维艰，她还得经常搀扶着我上下公共汽车，去印刷厂、去邮局，帮助我，呵护着我。她为本书（以及 2005 年以后出的几本书）的出版立下了汗马功劳。然而就在本书书稿已基本完成，即将付印之时，她却突然撒手人寰，离我而去，未能看到这本书。啊！苍天呀，你为什么这么不公平啊？！你为什么这么残忍啊？！

光阴荏苒，日月如梭，十八个春秋的日日夜夜与沟沟坎坎，终于过去了，我总算完成了这部《黄土学》，了结了一番心愿。亲爱的读者，十分感谢你对本书的关注！感谢你对黄土研究的厚爱！

孙建中

2013 年 8 月于西安

FOREWORD

Originally, this “Loessology” (Vol. II) is the second book of a series, but it published at the last. When I get to write a foreword for it, spontaneously think about some thing of the whole series. So, this forward changes into a “back word” of the whole series.

It is about 65 years ago, Soviet scholar Obruchev (1948) suggested that we should establish a new discipline on loess called “Loessology”. In that time, only a few tourists, geographers, geologists are interested in loess. The question, they discussed, mainly is on the genesis of the loess. After the Second World War, specially after the establish of the Peoples’ Republic of China, unprecedented construction activity are developed on the vast area of the Loess Plateau in China, and it has the biggest of loess thickness in the world. Almost all the construction program run up against the question of collapsibility of the loess. Therefore a great upsurge in research the engineering behaviors of loess are in the making. And the research of loess are widely spreading on the direction of engineering science. In our country, since the establish of the first code of the construction on loess in 1966, they are revised for four times in 1975, 1978, 1990 and 2004 years. This frequent revision means brisk and quickly developing of the engineering research on loess.

Since the 1980s, owing to the development of globalism, especially, since the reform – open of the Chinese social, the contradictory between the social economic development and the ecological environment are glaring, it claims that our development is sustainable and amiable with the surrounding environment. These require us to research the question between the loess and the ecologic environment. So we have the three stages of the loess research:

The first stage, is of geological studies, probably developed by the end of the Second World War.

The second stage, is continuous development of the geological research on loess, vigorously springing up geotechnological research on loess.

The third stage, the continuous development of the geological and the geotechnological research on loess, and vigorously springing up the environmental research on loess.