

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河中游 侵蚀环境特征和变化趋势

景 可 卢金发 梁季阳 张信宝 韩家楸 等编著



黄河水利出版社



“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河中游侵蚀环境特征和变化趋势

景 可 卢金发 梁季阳 张信宝 韩家楦 等编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书系“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”的第七课题(85-926-07)“黄河流域灾害环境演变趋势及治理对策”的研究成果之一。详细地论述了黄河中游侵蚀环境的形成与特征、暴雨径流的环境效应、不同侵蚀形态类型区的侵蚀产沙量、中游强烈侵蚀产沙中心的侵蚀产沙特征、中游沟谷侵蚀产沙和泥沙输移,并预测了黄河中游侵蚀环境和侵蚀产沙的发展趋势。

本书可供土壤侵蚀、水土保持、地理环境、土地利用及河流泥沙等生产、研究部门和高等院校师生参考。

“八五”国家重点科技攻关项目

“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河中游侵蚀环境特征和变化趋势

景 可 卢金发 梁季阳 张信宝 韩家麒 等编著

责任编辑:胡庆泉

责任校对:赵宏伟

责任印制:常红昕

出 版:黄河水利出版社

(地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼12层)

邮编:450003

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

发 行:黄河水利出版社

开 本:787mm×1092mm 1/16

版 别:1997年9月 第1版

印 次:1997年9月郑州第1次印刷

印 张:10.75

印 数:1-1500

字 数:248千字

ISBN 7-80621-138-1/TV·101

定价:34.40元

**“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著
编 审 委 员 会**

主 任 严克强

副主任 董哲仁 陈效国 庄景林

顾 问 徐乾清 龚时旸 吴致尧

委 员 (以姓氏笔画为序)

龙毓骞 朱兰琴 许红波 祁建华

华绍祖 庄景林 严克强 李文学

李春敏 沈国衣 陆亚洲 陈志恺

陈效国 陈霁巍 张启舜 张良弼

府仁寿 姚传江 徐明权 席家治

董保华 董哲仁 潘贤娣 戴定忠

序

黄河流域是中华民族的发祥地,黄河哺育了中国灿烂的古代文明。黄河流域自然资源十分丰富,是我国最大的能源和重化工基地,宁蒙、汾渭河和黄淮海平原是我国主要的粮棉基地,流域经济发展前景广阔。但是,黄河流域水资源匮乏,人均水资源占有量仅为全国人均的四分之一,耕地亩均水量不足全国亩均水量的五分之一。近几年来,黄河下游在枯水季节常常出现断流,且断流时间逐年加长,断流河段逐年延伸,给下游沿黄地区的工农业生产和生态环境造成了不良影响。据有关部门的调查统计,1991年~1996年年均造成工农业产值损失30多亿元,其中1995年达70多亿元。

黄河流域降雨时空分布极不均匀,全年降雨量的60%~70%集中在6月~9月份,极易产生洪水。黄河又是世界上泥沙含量最高的大河,河道泥沙淤积形成了下游“地上悬河”,洪水灾害十分频繁。据统计,从先秦时期到民国年间的2500多年中,黄河下游决口1600多次,改道26次,基本上是三年两决口,百年一改道,每次决口和改道都给中华民族带来了极其深重的灾难。

新中国成立以来,人民治黄事业取得了举世瞩目的成就,确保了黄河的岁岁安澜,但是由于黄河流域自然地理环境脆弱,黄河的洪水仍是国家的心腹之患,治理开发任务仍十分艰巨。全国人大七届四次会议通过的《国民经济和社会发展“八五”计划和十年规划纲要》,把黄河治理开发和防洪列为重点,体现了中共中央和国务院对治黄的重视。

当前我国改革开放和社会主义现代化建设已进入一个新的发展阶段。黄河的治理开发,事关我国经济发展的大局。为使我国经济发展实现三步走的目标,治黄作为水利工作的重要组成部分,就必须贯彻落实好“科教兴国”、“科教兴水”和可持续发展战略。黄河的出路在于科技进步。

“黄河治理与水资源开发利用”被列为“八五”国家重点科技攻关项目,既表明了国家对治黄工作的高度重视,也显示出黄河问题的高难度和复杂性。这次科技攻关中广大科研人员深入黄河两岸调查研究,收集了大量的实测资料,在认真汲取以往成果和经验的基础上开展科研试验工作,取得了新的进展和突破,科研成果为黄河的治理与开发提供了大量的科学依据和决策支持。应该说这些成果是集此次科技攻关之大成,是治黄几十年经验总结的集中体现,是广大治黄科技工作者智慧的结晶。

这次出版的项目和专题的系列专著,其目的就是把这些成果推荐给读者,并期望得以推广应用,以提高治黄工作的整体水平,加速流域治理和经济发展的步伐,取得更大的经济、社会和环境效益。

毋庸置疑,黄河问题是很复杂的。黄河自身因水沙的变化而处于不断的变化之中,在其发展过程中还会不断出现新情况和新问题,现已取得的成果只是人们现阶段的认识,要彻底解决黄河问题,还有一段很长的路要走,可以说是任重而道远。我们应当继续加强现场观测、试验和研究工作,探索黄河的规律,不断提高科技水平,充分推广应用新的科技成果,使黄河的治理开发工作不断取得新成就。

严 克 强

1997年7月17日

总 前 言

新中国成立以来,对黄河治理开发进行了大量的科学研究工作。50年代,曾组织各方面力量对全流域进行了大规模综合考察和科学试验研究,在此基础上编制了“黄河综合利用规划技术经济报告”,为黄河的全面治理开发做出了贡献。60年代,围绕三门峡水利枢纽工程改建和改变运用方式,开展了水库淤积、河道演变规律、河道整治工程和防洪等方面的试验研究。70年代,开展了三门峡水库运用泥沙问题基本经验总结、高含沙水流特性研究和水坠坝技术试验推广。80年代,开展了黄土高原地区综合治理、黄河流域环境变迁和水沙变化、水资源利用、引黄灌区泥沙处理和黄河防洪工程技术等方面的试验研究工作。几十年来的治黄研究工作,取得了一大批具有国际先进水平的成果,形成了一支多学科、高水平的科研队伍,并广泛开展了国际交流合作。

“七五”后期,水利部和中国科学院提出的关于加强黄河综合治理与开发研究工作的建议,得到国务院主要领导的高度重视,在各方面专家充分论证的基础上,国家科委把《黄河治理与水资源开发利用》列为“八五”国家重点科技攻关项目,由水利部、中国科学院和地质矿产部作为项目主持部门,组织有关科技人员进行跨部门、多学科联合攻关。经过充分论证,项目分解为7个课题、22个专题和92个子专题分别开展工作。经过近4年的卓越工作,取得了辉煌的成绩,经专家鉴定委员会对成果的全面鉴定,22个专题中有2个专题成果总体达到国际领先水平,8个专题成果总体达到国际先进水平、部分达到国际领先水平,9个专题成果总体达到国际先进水平,3个专题成果总体达到国内领先水平、部分达到国际先进水平,项目通过了国家科委组织的验收。攻关成果应用所创造的经济、社会和环境效益是长期的和巨大的,其影响也将是深远的。

为了使已取得的成果在黄河治理和开发中发挥更大的作用,并在实践中不断深化,给后人留下一份宝贵的科学财富,水利部有关部门决定编辑出版这套系列专著,其中包括20册专题专著和1册项目综合专著。专题专著由原专题负责人组织编写,对原专题报告进行提炼和深化,其主要编写人员与专题研究人员不尽相同。综合专著由“黄河治理与水资源开发利用”系列专著编审委员会组织专人编写。本丛书因篇幅较大,编审委员会难以逐篇审定,故责成专著主要编写人分别请部分顾问和委员审稿。

由于编辑出版整个过程时间仓促,加之水平有限,难免有不足和错误之处,敬请批评指正。

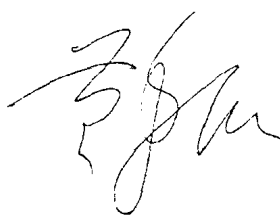
“黄河治理与水资源开发利用”

系列专著编审委员会

1997年9月

序

可持续发展是中国的重大国策。黄河流域以及与之息息相关的黄淮海平原是中国的心腹之区。在全国可持续发展中,这一地区的可持续发展具有举足轻重的份量。中华民族治黄,从传说的禹疏九河起,已有四千年的历史。1950年以来,更集中了巨大的人力物力,从事调查试验、研究、规划、设计,采取了许多兴利除弊的措施,获得了空前的成就。这不但在治黄历史上是空前的,在世界水利史上也是罕见的。但是,黄河问题非常复杂,自然界与社会经济都在变化之中,有关科学技术也日新月异,进展迅速。衡以可持续发展的要求,必须不断地研究探索,将发展战略构筑在健全的基础之上,既要充分认识治黄任务的迫切性和重要性,更要充分认识治黄工作的复杂性和长期性。“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”的用意与上述认识相符,本书是其中一个专题的工作成果。参与工作人员在比较短的时间内,在不添置设备的条件下,采取了一系列比较好的技术和方法,得到了许多新资料 and 认识,作出了一系列的判断和建议。这对于治黄规划和设计有重要价值。由于时间、设备和经费的限制,有不少需做的工作未能进行,而且随着时间迁移,以后还会出现迄今尚未出现的现象和问题,甚盼有关方面能充分认识治黄的艰巨性和长远性,作出必要的安排,在此基础上再进一步开展工作。



1997年4月

前 言

黄河流域是中华民族灿烂文明的摇篮。黄河像母亲一样,哺育着炎黄子孙。然而,黄河流域本身的自然环境十分脆弱,易灾多灾,黄河本身更是历来以害河著称,给人民的生命财产带来巨大损失,极大地制约了黄河流域的资源开发和经济建设的发展。黄河流域的自然资源十分丰富,具有巨大的经济发展潜力,在全国经济的发展中具有举足轻重的地位。因此,改善黄河流域的脆弱环境,治理黄河河道,免除洪涝灾害隐患,无疑是实现黄河流域经济持续发展,加速全国社会主义建设事业十分重要的一环。

“灾害”系指给人类生存带来灾祸的现象和过程。它既受所在环境背景的制约,又反馈于环境,并成为一种特殊的环境现象,称之为灾害环境。就黄河流域而言,灾害环境现象十分突出,最主要有两个方面:一是下游的洪涝灾害。黄河下游是一条强烈堆积性的河道,河床一般高出两岸地面 3m~8m,部分河段高出 10m 以上,并且河床抬高的过程仍在继续,同流量级的水位现已比原来高出了许多,这样不仅大洪水威胁严重,而且中常洪水也有可能出现冲决的危险。黄河一旦决口,将会对两岸广大平原社会、经济造成无可估量的损失。二是黄河中游黄土高原区的强烈土壤侵蚀。强烈的土壤侵蚀一方面使得中游区自身水土大量流失,肥力和生产力水平降低,使本来就脆弱的环境更加恶化;另一方面又将大量泥沙输入黄河下游,造成下游河道不断淤积抬高。通过这两种灾害还可引发出许多其他灾害及环境问题。

造成上述两种灾害环境现象的根本原因有两方面:一是流域本身自然地理环境脆弱,有致灾的环境背景,二是人与自然(或称人与地)之间关系的不协调,人类对自然环境的不合理开发利用,使得本来就相当脆弱的环境遭受更深的破坏。黄河流域的自然环境是一个有机的整体,河道这条“线”与流域这个“面”之间,上、中、下游之间均有密切的联系,无疑这些灾害环境现象之间也有着密切的联系,并且还随着时间的进程和对它们施加影响的各种环境要素,诸如气候、地质构造运动、海平面变化、各种人类活动的变化而变化。

基于为改善黄河流域环境和根治黄河的需要及黄河流域内本身灾害环境现象的实际情况,1987年以后,中国科学院和水利部先后多次向国务院提出了加强黄河整治与流域开发研究工作的报告,李鹏总理和多位副总理迅速作了批示,建议列入“八五”国家科技攻关项目计划。1992年在国家科委制定的“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”(由水利部、中国科学院和地质矿产部共同组织)中,专门设置了编号为 85-926-07 的“黄河流域灾害环境演变趋势及治理对策”课题。本课题研究的要旨是在较大范围和较长时段的宏观尺度上,对黄河流域的灾害环境这一重要问题进行高层次的综合研究。要求在充分研究、查明中游黄土高原区土壤侵蚀和下游地上河环境演变特性的基础上,预测在今后 50 年内它们的可能变化趋势,并提出各项相应的治理对策,从而为治黄的宏观战略决策提供科学依据。

根据这样的宗旨,在本课题中设立了 3 个专题;下设 15 个子专题。专题 1:黄河中游

侵蚀环境特征和变化趋势,其中含5个子专题,分别是:黄河中游不同侵蚀产沙类型区侵蚀产沙量及其趋势预估;黄河中游强烈侵蚀产沙中心的侵蚀特征与发展趋势;黄河中游暴雨径流的环境效应;黄河中游沟谷侵蚀产沙和泥沙输移;黄河中游侵蚀环境形成过程及其变化趋势预测。专题2:黄河下游地上河发展趋势与环境后效研究,其中含4个子专题,分别是:环境因素变化与下游地上河的发展;黄河下游河道泥沙输移堆积特征和淤积量估算;环境因素变化与下游地上河可能决溢改道的关系;干流用水工程开发对黄河下游河床萎缩的环境后效。专题3:黄河流域灾害环境的综合治理对策,其中含6个子专题,分别是:黄河流域灾害环境类型、区域差异和环境质量评估;黄河流域水资源利用的灾害环境评价;黄河中游易灾区灾害环境治理对策;黄河中游资源开发对灾害环境的影响研究;黄河下游地上河灾害环境高危险区调控和治理对策;黄河下游引黄灌溉的环境效应和对策。通过全体科技人员三年多来共同努力,充分发挥多学科、多兵种的优势,协作攻关,取得了一大批高水平的成果,主要有:

(1)首次比较确切地计算出了黄河中游地区侵蚀量,估算为 $14.655 \times 10^8 \text{t}$,其中,有 $3.58 \times 10^8 \text{t}$ 来自黄土高原中部北东—南西向的强烈侵蚀产沙带。预测到下世纪中叶,由于各种影响侵蚀环境因素的变化,估计侵蚀量可能在 $12.29 \times 10^8 \text{t}$ 左右。

(2)首次利用 ^{137}Cs 同位素分析方法,确定了黄河中游地区沟谷地和沟间地的产沙比例,大部分中游地区沟谷地产沙占流域总产沙量的70%~80%,少部分地区大于85%和小于70%。

(3)建立了10 000余年以来黄河下游沉积速率的时间变化曲线和沿程分布曲线,预估了各种环境因素综合变化情况下黄河下游地上河的发展趋势,认为到下世纪中叶,视不同程度的人类活动规模和结果,河道冲淤量从淤积 $5 \times 10^8 \text{t}$ 至冲刷 $0.67 \times 10^8 \text{t}$ 不等。如果上游水利水保工作做得好,地上河发展趋势可以减缓,否则现时已经很严重的河道萎缩现象还将继续加剧。

(4)预估了到下世纪中叶时,黄河下游有7处可能发生决溢的危险河段,并分别估算了决口可能波及的范围和造成的经济损失。

(5)建立了黄河流域灾害环境的评估指标,将黄河流域划分为5个灾害带、14个灾害区,对其中分别位于中游和下游的两个灾害危险区进行了重点剖析,提出了兼及生态、经济和工程效益的调控策略和各项具体措施。

(6)对水资源、能源(煤炭)、土地资源开发造成的灾害环境影响作了评估,提出了适合于各种不同环境类型区的治理对策和生态环境建设模式以及关于黄河上游水资源开发意见,建立了合理引黄的动态模型。

综合这些结果表明:在今后50年内,人类活动对黄河流域环境的影响是巨大的,在某种程度上,甚至超过自然环境因素改变的影响。但是,只要通过合理的治理措施,尽量扩大人类活动所带来的正面影响,减小负面影响,那么改善黄河流域的灾害环境进而对黄河治理的前景还是光明的。

本课题研究工作由中国科学院自然与社会协调发展局主持,陆亚洲同志领导本课题的实施。中国科学院地理研究所作为负责单位,与中国科学院自然资源综合考察委员会、中国科学院成都山地灾害、环境研究所,中国科学院地质研究所及陕西师范大学地理系等

单位一起协作攻关,参加研究的科技工作者共 49 人。工作期间还得到了项目第一组织单位水利部科技司和参加科技攻关人员所在单位领导的支持,项目办公室和课题专家组的指导。黄河水利委员会及其下属的各级单位,黄河流域内各省、区各有关职能部门给予了大力帮助,在此谨向他们致以衷心的感谢。

“黄河流域灾害环境演变趋势及治理对策”课题最终成果的系列专著,共有 3 册:第一册《黄河中游侵蚀环境特征和变化趋势》,由景可、卢金发、梁季阳、张信宝、韩家楦等负责编著;第二册《黄河下游地上河发展趋势与环境后效》,由叶青超、尤联元、许炯心、龚国元、陈志清等负责编著;第三册《黄河流域灾害环境的综合治理对策》,由苏人琼、杨勤业、关志华、唐青蔚、李秀彬、吕昌河、姚治君等负责编著。由尤联元、杨勤业、景可、叶青超、苏人琼等组成的编审组对本系列专著进行全面的审定和编辑。由于攻关时间短促,作者水平有限,文中欠妥和谬误之处,敬希读者批评指正。

编 者
1996 年 8 月

本研究专题承担单位及人员

专 题 名 称 黄河中游侵蚀环境特征及变化趋势

承 担 单 位 中国科学院、国家计划委员会地理研究所

专 题 负 责 人 景 可、梁季阳 卢金发

主要完成人员 李钜章 景 可 李凤新 卢金发 黄秀华

崔书红 梁季阳 付国斌 童丁钊 张信宝

张一云 王玉宽 韩家楸 袁宝印 郭正堂

报 告 执 笔 人 韩家楸 梁季阳 景 可 卢金发 张信宝

本书各章执笔人

第一章 韩家楸，其中第三节“二”为景 可

第二章 童鼎钊 梁季阳

第三章 第一、二、四节景 可；第三节李钜章

第四章 卢金发

第五章 张信宝 张一云 文安邦

第六章 第一节韩家楸；第二节卢金发；第三节童鼎钊、梁季阳；第四节景 可

目 录

第一章 侵蚀环境形成过程与特征.....	(1)
第一节 黄土侵蚀环境形成的背景.....	(1)
第二节 侵蚀环境形成过程的地质记录.....	(8)
第三节 黄土侵蚀环境特征	(24)
第二章 暴雨径流的环境效应	(34)
第一节 暴雨的时空特征	(34)
第二节 暴雨径流输沙估算模型	(41)
第三节 不同时段径流深及输沙特征	(53)
第三章 侵蚀类型区的侵蚀产沙量估算	(60)
第一节 侵蚀类型区划分	(60)
第二节 侵蚀影响因素	(65)
第三节 类型区侵蚀量计算模型	(75)
第四节 形态类型区侵蚀量计算	(84)
第四章 强烈侵蚀产沙中心侵蚀特征	(93)
第一节 中心的范围与环境背景特征	(93)
第二节 侵蚀产沙量及其影响因素之间相互关系分析	(96)
第三节 侵蚀产沙量估算.....	(102)
第五章 沟谷侵蚀产沙与泥沙输移.....	(109)
第一节 沟谷系统、侵蚀方式及区域差异	(109)
第二节 不同侵蚀类型区小流域沟谷侵蚀.....	(111)
第三节 沟间地与沟谷地产沙量.....	(128)
第四节 流域泥沙输移.....	(134)
第六章 侵蚀环境及侵蚀产沙趋势.....	(138)
第一节 侵蚀环境的发展趋势.....	(138)
第二节 强烈侵蚀产沙中心侵蚀产沙趋势.....	(142)
第三节 降雨径流长期变化趋势.....	(144)
第四节 侵蚀量与入黄泥沙趋势.....	(146)

第一章 侵蚀环境形成过程与特征

黄河中游黄土高原是一个特殊的地质与地貌单元，其特定的地质环境条件，在第四纪时期，堆积了巨厚的松散沉积物——黄土。由于黄土本身的属性以及自然条件的特殊性，使黄河中游黄土高原在整个第四纪时期都是严重的侵蚀地区，水土大量流失，至今黄河中游地区的侵蚀面积和强度仍居于世界的首位。

黄河中游地区作为一个独特环境系统，其地质环境具有以下主要特点：

- (1) 覆盖了厚层疏松和易被侵蚀的黄土堆积物；
- (2) 处于青藏高原周边地区，构造上受青藏高原隆起的影响十分明显；
- (3) 气候带属于湿润区与干旱区过渡带，外营力条件多变；
- (4) 黄河中游是华夏文明的主要发祥地，人类活动对原始自然环境破坏严重。

从上述地质环境特征可以看出黄河的强烈侵蚀的产生是多种因素综合影响的结果。研究诸要素之间相互作用的规律性，估算各因素对黄河侵蚀的作用，才能制定科学的治理目标和规划。

黄土高原地区的侵蚀环境的形成，首先是与黄土这个地质体紧密联系在一起的，黄土是侵蚀作用的物质基础。黄土能在这一地区堆积，有其独特的属性，又是全球背景下区域环境演化的必然产物。所以，黄河中游黄土现代侵蚀环境是第四纪时期自然环境演化的过程中逐渐形成的。

第一节 黄土侵蚀环境形成的背景

第四纪时期，气候的极度不稳定代替了它以前数千万年地质历史时期中缓慢、不规则的变冷过程而成为地球环境变化的主旋律。地表环境的这种变化是一系列内外因素共同作用的结果。对第四纪全球环境起决定作用的外因是地球通过大气层接受太阳辐射量的变化。影响地球环境的主要内因是构造运动，以板块运动和大陆漂移为特征的构造运动改变了地表海陆配置和面积比例，进而影响地球的总反照率以及大气和海洋的环流特征。第四纪气候不稳定性主要表现在第四纪时期冷暖和干湿的周期性变化。第四纪气候的不稳定性造成了我国北方大规模的黄土堆积，构成了侵蚀环境的物质基础。以青藏高原强烈隆升为特征的构造运动以及与青藏高原的隆起密切相关的东亚季风的形成，导致我国西北的干旱化，对黄土区侵蚀环境的形成均有重要的影响。黄土区现代侵蚀环境是第四纪环境演化的结果。

一、黄土的形成——侵蚀环境的物质基础

(一) 黄土的形成过程

关于黄土成因有许多观点，这里仅介绍风成学说中的新的黄土成因学说。

新的黄土成因学说包括黄土形成的全过程。这种学说可以概括为下列内容：

- (1)原始的以粉尘颗粒为主的碎屑的形成过程；
- (2)这些碎屑物质的搬运和堆积过程；
- (3)粉尘堆积演变成黄土的过程。

图 1-1 是科学黄土观的概括和图示。黄土的原始物质——粉沙粒级的石英颗粒主要是由冰川研磨和沙漠区强烈的物理风化造成的。从物质来源上说，黄土物质与冰川作用和沙漠作用密切相关。中国黄土的物质来源，似乎与沙漠有着更密切的成因联系。

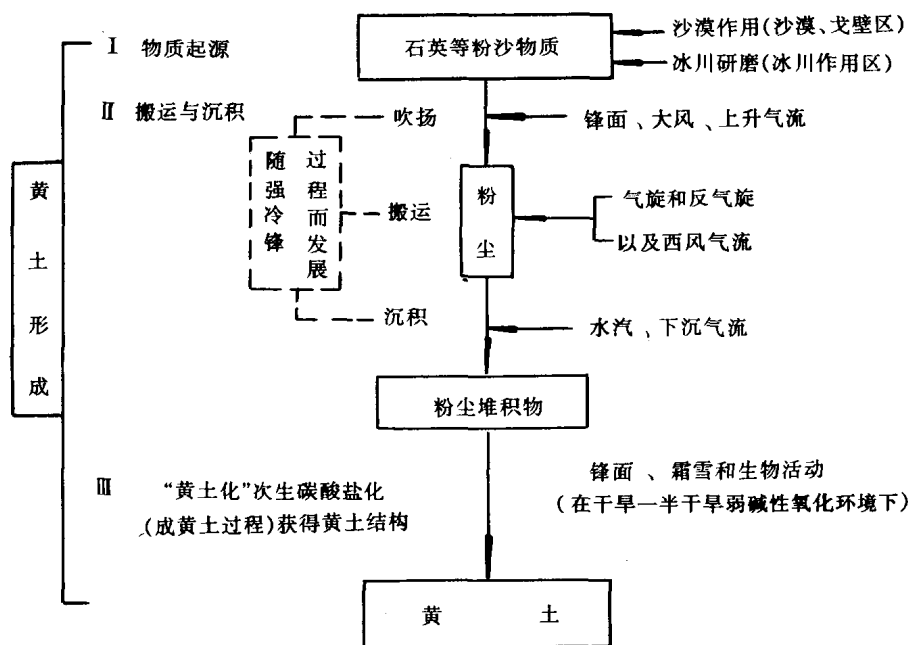


图 1-1 黄土形成过程示意图（根据刘东生等，1985 年）

黄土粉尘物质的搬运和堆积与不同尺度的天气过程相联系。我国黄土的原始物质从源区被风力吹扬，首先与西伯利亚强冷空气有关。强冷空气南下时，冷锋前缘有剧烈的湍流形成，地面出现风速超过 10m/s 的大风，沙尘被扬起至数千米高空。由于西风急流的影响，被带向东南方向。在向东南方向搬运的过程中，由于接触较潮湿的气流，水汽在尘粒表面被吸附后，使尘粒凝聚沉降，成为粉尘堆积，黄土原始粉尘物质扬起、搬运和沉降的过程，已由现代尘暴作用得到证实。

粉尘的堆积还不是黄土，由粉尘变成黄土必须在一定环境条件下发生“黄土化”过程。这里要强调一点：并非所有大气粉尘堆积都能变成黄土，大量降尘在黄土形成过程中已被侵蚀掉了。降尘变成黄土必须有一定的保存和转变的环境条件，一般说来干旱、半干旱区的荒漠草原、干草原环境是比较有利于粉尘堆积的，有限的降雨能保持一定强

度的生物作用，又能使刚堆积下来十分松散的粉尘能免被流水侵蚀殆尽。干旱、半干旱草原环境弱碱性的氧化环境，有较强的生物作用有利于粉尘的次生碳酸盐化并形成微团聚体和微集合体，根孔、虫孔孔壁上形成的次生碳酸盐又起到“支架”的作用。这种在干旱、半干旱条件下特定的生物环境产生次生碳酸盐化和微结构的形成便是“黄土化”。“黄土化”的结果才形成了真正的黄土。

（二）黄土的性质与黄土侵蚀

黄土是由粉尘物质经过表生环境的“黄土化”作用形成的一种沉积物。以碳酸盐为“支架”的微团聚体虽然在干时有一定的结构强度，但遇水时这种结构极易破坏。靠近地表的黄土样品遇水会完全崩解便是结构破坏的证明。初生黄土的这种结构疏松，透水性好，遇水易于崩解的“湿陷”特点，使黄土在整体（相互支撑）的情况下，会由于结构渐趋密实而增加稳定性。不断堆积的黄土物质自身的重量也会对上部的黄土起到压实作用，大大增强抗蚀强度。黄土形成时由于第四纪时期气候波动，由干冷的黄土堆积期向相对湿热的成土时期过渡时，生物作用和风化作用，在土壤剖面中形成淀积层（B_t），这种结构较致密的淀积层也增加了黄土层的强度，有利于提高抵抗坡面侵蚀的能力。但是由于黄土结构疏松、孔隙大，在极小坡度的情况下，片状水流很快集中，在表面上形成细沟，并逐步发育成更高一级沟谷。沟谷的发育，便出现了自然边坡，处于边坡的黄土受剪切应力作用，边坡的崩塌，使沟谷逐渐拓宽加深。

在第四纪时期，整个黄土高原就是在一方面黄土物质的不断加积，另一方面侵蚀作用不断发生的情况下逐渐演变过来的。溯源侵蚀以及由于构造活动和气候变化，沟谷不断下切、延伸，使整个高原变得支离破碎，侵蚀作用不断加强。必须指出，从整个第四纪时期总的发展趋势看，堆积作用远远超过了侵蚀作用，也只有这样，才会有现在所见到的黄土高原。了解这一点对认识黄土高原的侵蚀规律是有用的。黄土的侵蚀作用伴随黄土的堆积作用而出现，也会随黄土继续堆积而存在下去，这是一种不以人们意志为转移的客观规律，除非全球环境从第四纪的不稳定状态再次变成某种稳定状态。

（三）黄土形成过程与黄土侵蚀环境

从上述黄土形成过程可以看出，侵蚀作用伴随着粉尘堆积过程就已经开始出现。由于粉尘搬运和堆积与一定的天气过程相联系，自然，堆积区的大小与这些天气过程影响的范围有关，风力搬运的粉尘其堆积区的范围要远远大于目前所见到的黄土区。堆积作用有一定的中心，远离中心则堆积作用会逐渐减弱，堆积物的厚度也会愈来愈薄，直至尖灭。在堆积区内，即使现在见到的沟谷内，也应有同样厚度的黄土堆积，只是由于不同时期的侵蚀作用，使这些地方的黄土被侵蚀掉了。这表明黄土区的自然过程所造成的侵蚀作用是十分强烈的，如果以整个第四纪来看，侵蚀量也十分可观。

黄土区的侵蚀作用是一个漫长的、连续的自然过程，它始于黄土原始物质粉尘的堆积，一直延续到黄土形成之后的地质时期。现已查明，中国黄土堆积开始于第四纪的初期，也即距今 240 多万年之前，这就是说黄土区的较强侵蚀环境存在已超过 240 万年。

在整个第四纪时期，黄土区的这种侵蚀作用，又因地质环境演化过程中构造运动和气候的周期变化有不同的形式及周期特征。正确理解黄土的形成过程对认识黄土的侵蚀环境的形成与演化以及各阶段的特征是有很大大意义的。

二、构造运动——侵蚀环境形成的内动力

构造运动是一种重要和活跃的地质营力，虽然构造运动有一定的周期性，有强烈活动期和相对稳定期的交替，但一次强烈活动期之后需要较长时间，各种地质作用才能达到新的内外力作用的平衡，故它对地表各种地质过程与地貌的影响在时间上是漫长的，构造运动也是侵蚀环境形成的重要营力。构造运动可以由于抬升或是沉降，通过改变与侵蚀基面高差，决定一个地区是处于侵蚀环境还是堆积环境，从而对侵蚀环境产生直接影响；构造运动也可以通过改变环流形势，导致气候环境的变化而间接影响侵蚀环境的形成和发展。

（一）构造运动对侵蚀环境的直接影响

我国的地貌格局从总体上来说是由构造运动控制的。板块运动造成了我国大的构造体系和地形起伏。在西部，由于印度板块和欧亚板块碰撞，前者以很小的角度斜插在后者之下，使青藏地区地壳厚达 70 km，引起青藏高原的强烈抬升，受印度板块和欧亚板块互相撞击所产生的应力的影响，柔性地块迅速褶皱上升，形成东西向山脉，如喜马拉雅山脉、昆仑山脉、天山山脉等，一些刚性地块则碎裂成为断块盆地，如准噶尔盆地、塔里木盆地和柴达木盆地。在东部，沿我国大陆沿海的边缘弧，则有太平洋板块以较大角度俯冲到亚洲板块之下，由于太平洋板块属海洋板块，厚度较小，俯冲角度又大，因而没在我国东部造成崇山峻岭。但由于这种俯冲作用产生的应力，结合西部青藏高原抬升的应力作用，使我国中部黄土高原地区产生一系列的隆起与凹陷，如高原周边和内部的秦岭山地、太行山、吕梁山、六盘山等的抬升以及华北平原、汾渭地堑的下沉。这种地貌格局，奠定了黄土高原区侵蚀环境的基础。

我国西高东低的地形格局，也决定了我国主要水系如长江、黄河等大河均由西部高山地区发源，向东流入大海。黄河流经黄土高原区，黄河的形成与演化也对黄土高原的侵蚀环境产生了决定性的影响。关于目前所见到的九曲黄河究竟是什么时代才最终串联起来的，已有学者注意到这个问题，这对黄河中游的侵蚀环境的形成和演化无疑是重要的，但过去在这方面重视不够。

对影响侵蚀环境的侵蚀基面的变化问题，除了构造运动的影响之外，正如前面已提到的那样，数十米至一二百米厚的黄土加积，也会大大改变与侵蚀基面之间的高差，造成溯源侵蚀。这也是讨论黄土区侵蚀环境时专门讨论黄土形成过程的理由。

（二）构造运动通过改变气候环境对侵蚀作用的间接影响

构造运动对气候环境可以有不同尺度的影响，如青藏高原的隆起可以改变东亚甚至全球的环流形势，这是大尺度改变气候环境的例子。又如山体上升引起山地两侧降水的差异则是小尺度的变化。从影响黄河中游区的侵蚀环境来说，也会有小尺度的影响，这里只着重讨论大尺度的影响。

对东亚季风的形成，青藏高原引起的动力作用和热力作用的重要性是十分明显的。

高原的动力作用是：冬季西风带南移，控制着中国广大地区上空，青藏高原以其平