

黄土高原沟壑区董志塬沟头溯源侵蚀特征及其防治途径

陈绍宇¹, 许建民², 王文龙¹, 赵安成³, 李怀有³

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
2. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 黄河水土保持西峰治理监督局, 甘肃 庆阳 744500)

摘 要: 黄土高原沟壑区沟头溯源侵蚀非常普遍, 已经对塬面地区的土地、农田、村庄民居、道路和工厂造成了严重的威胁。通过对董志塬的调查发现, 影响溯源侵蚀的因素为自然和人为因素两类。自然因素主要包括降雨径流、地形地貌和土质。总结出溯源侵蚀的发生类型为水力冲刷型、陷穴诱发型、裂缝诱发型和人为诱发型。溯源侵蚀的过程从时间顺序上可分为 3 个阶段, 主要分为水力冲刷阶段、水力和重力共同作用阶段、重力侵蚀阶段。最后, 根据不同类型的沟头侵蚀与活动特点, 提出了沟头的主要防护措施。

关键词: 董志塬; 溯源侵蚀; 影响因素; 发生类型; 防治措施

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2009)04—0037—05

中图分类号: S157.2

Erosion Features of Head-cut and Its Control Measures on Dongzhiyuan of the Loess Plateau

CHEN Shao-yu¹, XU Jina-min², WANG Wen-long¹, ZHAO An-chen³, LI Huai-you³

(1. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy Sciences and Ministry Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Xifeng Governance of the Yellow River Soil and Water Conservation Bureau, Qingyang, Gansu 744500, China)

Abstract: Head-cut is a widespread and serious erosion type on the Loess Plateau and it has already threatened farmlands, local residents, roads, and factories. According to the field investigation on Dongzhiyuan, the influence factors of head-cuts are natural and human factors. The natural factors mainly include runoff, topography, and soil. The genetic types of head-cut are summed up, including flow-induced type, sink hole-induced type, fissure-induced type, and human-induced type. According to the order of time, the development of head-cut can be divided into three stages: water erosion stage, water and gravity erosion stage, and gravity erosion stage. The control measures of gully head are presented based on the characteristics of different erosion types.

Keywords: Dongzhiyuan; head-cut; influence factor; genetic type; protective measure.

黄土高原沟壑区沟头溯源侵蚀严重威胁着当地农业和经济的发展, 致使塬面积不断缩小, 给该区人民的生产、生活带来了极大的不便。据史料记载, 董志塬唐代^[1]时南北长 110 km, 东西平均宽 32 km。而现在南北大致如故, 东西平均宽仅 18 km, 最窄处只有 50 m。马莲河的一级支流火巷沟沟头已经伸入到庆阳市市区腹地, 距市中心不足 1 000 m。其塬面萎缩速度是惊人的, 如不进行塬面保护, 必然导致大量的优质基本农田被破坏, 造成粮食生产的区域性短缺。随着城镇化步伐的加快, 土地资源相对不足的矛

盾也会更加突出。若再不着手及时治理, 不久的将来, “天下黄土第一塬”将不复存在。因此, “固沟保塬”工作已经刻不容缓, 势在必行。

20 世纪 90 年代以前, 朱显谟、唐克丽等人^[2-7]从土壤侵蚀的角度将黄土水蚀进行分类, 指出溯源侵蚀属于沟蚀的范畴, 并且总结了黄土高原现代沟谷侵蚀过程, 提出相应的治理模式和措施。伍永秋、刘宝元^[8]认为溯源侵蚀是切沟发展的主要方式之一, 同时这种溯源侵蚀严重地威胁着沟道的安全。韩鹏^[9]等用实验中降雨前后坡面的地形变化计算了细沟发育过程中溯源

侵蚀和沟壁崩塌的产沙量。计算结果表明,溯源侵蚀是细沟侵蚀的主要产沙类型,其产沙量可占到细沟总侵蚀量的 50% 以上,大小主要受沟头以上汇水区域来水量的控制。20 世纪 90 年代以后,随着“3S”技术的发展^[10-13],人们试图利用这种技术来研究沟蚀,这种方法虽然精度较高,但是也有其局限性,例如费时费力,而且不能进行较大尺度范围研究。总的来说,学者对溯源侵蚀的危害程度都有比较清醒的认识,但关于溯源侵蚀的专门研究还很少。由于塬区周边许多沟头不断向董志塬腹地推进,从而导致塬面逐步萎缩,破坏了地形的完整性。如今董志塬的溯源侵蚀治理已引起了甘肃省政府部门及相关技术部门的高度重视。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

董志塬位于甘肃省东部,庆阳市境内中南部,在泾河北岸、野狐沟以南、马莲河和蒲河两大河流之间,包括庆城县大部及宁县、合水县各一部分。是庆阳市的主要农业区,素有“天下黄土第一塬”的美誉,距今已有 200 万年历史,是黄土高原保存最好、面积最大的黄土塬,塬面面积 910 km²。塬区地貌总的来说有塬面、塬坡和沟谷 3 种类型。成土母质以黄土为主,厚度为 70~150 m,塬地中心较厚,边缘较薄^[14]。其中以黄绵土面积最大,黄绵土的耕地面积占全区耕地面积的 1/2,此类土壤是在黄土上直接耕种熟化形成的,土层深厚,表层含养分较多,疏松,抗蚀性较差,垂直节理发育,孔隙度大,蓄水量大^[15]。该区年平均降水量为 550 mm,但年际变化很大,而且一年中大部分集中于 7—9 月,3 个月的降水量占年降水量的 58.5%。塬区植被大多属森林草原带,是落叶林阔林向草原过渡的地带,广大的荒山荒坡基本是乔灌丛草为主的疏林及荒坡草地植被类型,草种组成主要以禾本科的披碱、针茅等为主,还有衰草、冰草、芨芨草、长芒草等。树种以山杨、白桦、辽东栎、油松等为主,阳坡有侧柏、狼牙刺以及杜梨等。

1.2 研究方法

调查范围包括甘肃省庆阳市的西峰区、宁县以及庆城县。通过当地水保局,对近年来发生前进的 26 个具有代表性沟头前进特征的沟头作详细的调查分析,量测沟头和沟壁滑塌体的长、宽、高,估算流失土方的体积,对沟头周围的地形、地貌、来水情况等作细致的调查和分析,用以查明董志塬地区沟头发生溯源侵蚀的类型和规律。

在调查过程中,访问当地水土保持监督或水利部门,以及群众中年纪较大的、熟悉当地沟头前进情况

和暴雨发生时间的亲历者或目击者,通过他们的描述或者根据明显的地物特征(例如窑洞的位置)确定沟头起始位置和发生溯源侵蚀的年限,然后详细测量在此年限内沟头前进的长、宽、高。得到如表 1 所示具体的沟头溯源侵蚀特征。

由表 1 可以发现,溯源侵蚀造成的沟头前进速度的差别很大,次暴雨降雨径流集中冲刷造成溯源侵蚀更为明显。沟头溯源侵蚀速率主要取决于沟道沟头附近汇水区面积的大小、土壤与地貌地形条件、采取的水土保持措施、次暴雨降雨强度、历时及每年发生的次数等。从表 1 数据可以明显看到近几年发生的沟头前进速度如此惊人,应引起高度重视。由于沟头前进是一个不连续的、非线性状态,只有在发生较大降雨时才能产生足够大的径流造成沟头溯源侵蚀发生。本研究所描述沟头前进速度是指多年平均前进速度,次暴雨径流造成沟头溯源侵蚀只是突发事件,只能引起人们高度警觉,似乎没有多年平均速率更加确切。因此,要确切描述一个地域沟头溯源侵蚀前进速率,必须依靠多年数据积累。通过调查发现沟头形态绝大多数为三面立壁,即沟头后壁以及两个侧壁基本呈垂直状态,且沟底平坦,横剖面呈“U”型。在表中也可以发现,几乎所有的沟头都危害到道路的安全。长年行走形成胡同道路,最终就成为降雨径流的排流汇流通道,由于溯源侵蚀的方向就是向着来水方向的,所以必然会威胁到聚落、人畜安全。

2 董志塬沟头溯源侵蚀影响因素分析

通过对董志塬典型沟头的调查发现,影响沟头前进的主要因素可分为两大类:自然因素和人为因素。前者包括降水径流、地形地貌、土质;后者主要由于在沟边、沟头附近,不合理地建设厂房、居民点以及工程过程中乱挖,特别是在暴雨季节不合理地开沟引排洪水,加剧了沟头溯源侵蚀的发生发展。以上因素并非单独地、孤立地影响沟头溯源侵蚀,而是多种因素相互作用、相互叠加的结果。

2.1 自然因素

2.1.1 降雨径流因素 沟头溯源侵蚀的发生、发展必须具备一定量径流的汇集集中冲刷和下切动力条件。集中连续的暴雨产生的地表径流是沟头前进、塬面萎缩的直接外因。主要与当年的降雨径流情况密切相关,也就是说绝大多数的沟头前进是暴雨或者特大暴雨产流作用的结果,也许一场暴雨就前进十几米,个别的达五十米之多;在没有暴雨或特大暴雨的情况下,沟头也许几年或者几十年甚至更长时间都前进甚微。因此,降雨径流是溯源侵蚀的直接诱因。

表1 董志塬沟头溯源侵蚀特征调查表

编号	地点	规模(长×宽×高)/m	发生年代	前进速度 $V/(m \cdot a^{-1})$	诱发类型	危害状况
1	西峰区董志乡北门村小崆峒沟头	54×14×5.8	2006年7月一次暴雨形成	$V=27$	水力冲刷	威胁公路
2	西峰区陈户乡田畔村北沟沟头1	45.2×11.7×5.6	2006年7月一次暴雨形成	$V=22.6$	水力冲刷	毁坏农田
3	西峰区陈户乡田畔村北沟沟头2	13.2×11.3×8.6	2006年7月一次暴雨形成	$V=6.6$	陷穴诱发	道路向西推移8m
4	西峰区肖金镇三不同村砖瓦厂沟头	18.7×5.6×4.9	2006年7月一次暴雨形成	$V=9.35$	水力冲刷	威胁公路、毁坏农田
5	西峰区肖金镇肖金中学南沟沟头	60×15×20	近40年	$V=1.5$	水力冲刷	毁坏道路、威胁学校
6	西峰区陈户乡显胜铁楼沟头	24.7×4.8×12	近20年	$V=1.2$	陷穴诱发	道路向北推移10.8m
7	西峰区后官寨乡路堡村范家沟沟头	15.8×7.4×9.5	近30年	$V=0.5$	水力冲刷	毁坏农田
8	西峰区彭原乡上何村	16.8×38.4×17.1	近20年	$V=0.8$	陷穴诱发	毁坏道路、农田
9	西峰区寨子乡老成村火巷沟沟头	60×35×30	近20年	$V=3$	水力冲刷	威胁居民小区、工厂、果园
10	西峰区温泉乡新桥村桥子沟沟头	6.8×8.4×7.1	近20年	$V=0.3$	水力冲刷	毁坏道路、农田
11	西峰区温泉乡米堡村湫沟沟头	5.8×6.5×5.5	近10年	$V=0.58$	水力冲刷	毁坏农田
12	西峰区温泉乡齐家楼村庆丰沟沟头	74×20×35	近150年	$V=0.5$	水力冲刷	毁坏道路、农田
13	西峰区什社乡李岭村文家浅沟沟头	23×6×3.5	近40年	$V=0.6$	人为诱发	威胁公路
14	西峰区什社乡永丰村	15×18×30	2006年7月一次暴雨形成	$V=7.5$	水力冲刷	毁坏道路、农田
15	西峰区什社乡文安村白草沟峽	10×3×9	近15年	$V=0.7$	水力冲刷	毁坏道路、农田
16	宁县焦村乡玉村	34×26×15	近25年	$V=1.3$	水力冲刷	威胁道路
17	宁县洪洞张村	54×48×8.5	近20年	$V=2.7$	人为原因	毁坏农田
18	宁县周郭村	30×29×8	近50年	$V=0.6$	裂缝诱发	毁坏农田
19	宁县和盛镇范家村水沟沟头	61.6×12.5×10.5	近40年	$V=1.5$	水力冲刷	毁坏道路、威胁居民
20	宁县和盛镇店子沟沟头	100×3×2.5	近40年	$V=2.5$	水力冲刷	毁坏农田
21	宁县太昌乡上肖村1	13×12.6×12	近10年	$V=1.3$	水力冲刷	毁坏道路、威胁居民
22	宁县太昌乡上肖村2	16×3×8	近10年	$V=1.6$	裂缝诱发	毁坏道路、威胁居民
23	宁县焦村乡西卜村	43×20×8	近30年	$V=1.4$	水力冲刷	毁坏道路
24	庆城县白马乡三里店村安家咀	200×40×60	近100年	$V=2$	水力冲刷	毁坏道路、农田
25	庆城县驿马镇涝池村朱家咀	16×35×16	2007年7月一次暴雨形成	$V=8$	水力冲刷	毁坏农田、威胁公路
26	庆城县驿马镇上关村	21×3×30	近20年	$V=1.1$	水力冲刷	毁坏道路、威胁居民

注:表中沟头规模中的长是指从发生沟头溯源侵蚀时到调查这段时间的沟头前进距离,宽和高是多点测量取的平均值。沟头前进的速度(V)是指从发生沟头溯源侵蚀到调查时的年平均前进速度。

2.1.2 地形地貌因素 沟头溯源侵蚀与沟头附近的地形关系密切。如果降雨所形成的径流比较分散地排到沟道,径流的冲刷力不足以对沟头或者沟壁产生威胁,也不会发生很严重的溯源侵蚀。一般来讲,发生溯源侵蚀严重的沟头上方,一来有非常大的汇水区域,地形多呈两侧较高、中间低的“淌”地,遇到暴雨,径流集中地流到地势低洼的“淌”地形里,湍急的水流通过“淌”流到了沟头,正是因为汇水区域很大而出口集中狭小这样的特殊地形,才使得径流剧烈地冲刷沟头,造成严重的溯源侵蚀。地形地貌因素主要影响因素是地形部位、坡形、坡长、坡度及不同土地利用汇流面积的大小,通常董志塬区发生溯源侵蚀的沟头上方汇水面积是非常巨大的,一般都是一个村庄聚落及周边耕地,或是几村庄聚落、农田连片土地分布格局,所以在调查中汇水面积是非常难测量的,正是巨大的汇水面积产生了很大的径流量,才给沟头造成很大的破坏。汇水区形状除了“淌”地形外,还有簸箕状的地形,沟头处在簸箕中间或者簸箕口位置,在这种地形条件下,径流只能从地势较低的沟头排除。此外,汇水区域的坡度一般小于 5° ,在此范围内,坡度越大,径流势能越大,造成的溯源侵蚀越严重。

2.1.3 土质 董志塬地土壤为黄土,土层深厚,孔隙率大,其垂直节理发育,遇到雨水的浸泡之后,容易形成裂隙,最终会形成裂缝;同时,由于土壤的湿陷性特点,在沟边位置也非常容易形成陷穴及陷穴群,陷穴在一次次的降雨浸泡、浸润之后进一步发育,下陷—崩塌—再下陷—再崩塌—串珠,附近的几个陷穴就会发生串珠现象并联通起来,形成很宽很长的裂缝,当遇到较大暴雨并积聚很大的径流时,就会发生很大的沟边垮塌、崩塌现象。此外,土壤容重的大小也是决定降雨产流产沙及土壤抗冲抗蚀的重要因素。

2.2 人为因素

为了排泄塬面大量的硬地面积水,使厂房、民居以免受洪水的浸泡、冲刷,把这些径流没有任何防护措施人为地全部排到了附近的沟里,在沟壁和沟底没有任何的防护措施,从而导致沟壁发生坍塌等二次侵蚀;另外,不恰当的工厂选址也会影响沟头前进的发生与速度,如宁县洪洞乡张村砖瓦厂、西峰区什社乡任岭村砖瓦厂就是建在了沟头附近,一方面挖掘土方直接使沟头发生前进,另一方面破坏了黄土塬面本身较稳定的构造,造成了更大更多的集水硬化区域,汇集了更多的径流,间接地加速了沟头溯源侵蚀。因此,不合理的排泄工程、工厂选址等人为因素也会加速了沟头的溯源侵蚀。

3 董志塬沟头溯源侵蚀的发生类型及过程分析

3.1 溯源侵蚀的发生类型

3.1.1 水力冲刷型 这是直接由暴雨产流造成的对沟头的冲刷、下切、侧向淘蚀,并伴随着两岸的沟壁坍塌、扩张,形成了非常严重的切沟侵蚀,使得沟头发生迅猛的前进,一般情况下,一次暴雨可前进几米到几十米不等。这种侵蚀形式主要是在水流的冲刷力下造成的沟头溯源侵蚀,也是董志塬区沟头最普遍的溯源侵蚀形式。其发生区域主要集中在主沟或者支沟沟头。

3.1.2 陷穴诱发型 由于董志塬特殊土质的湿陷性,在塬面的沟道周围发育着很多的小水坑,进一步发育就成为陷穴,陷穴在降雨径流的多年连续浸泡、入渗情况下,继续下沉—扩大—再下沉进一步发生串珠—发生连通,就形成一条很明显的、距离主沟不远的深切的沟,遇到暴雨和巨大的径流后,土体会发生整体坍塌、滑塌或者崩塌,造成沟头的前进或沟壁的扩张。同一斜坡上洞穿数个陷穴的“连珠陷穴”,在董志塬非常常见。西峰区陈户乡田畔村北沟沟头 2 就是典型的陷穴诱发型溯源侵蚀,此处既有单个陷穴的侵蚀,也有连珠陷穴的发生。具体地形情况如图 1 所示。

3.1.3 裂缝诱发型 由于董志塬特殊的土质,土壤中垂直节理比较发育,降雨径流后在塬面的沟道周围发育着很多的细小但长度很大的裂隙,每次降雨径流后,雨水会在裂隙处进一步下渗、灌注,裂隙深度会进一步的地往下延伸、扩展,久而久之就发育为宽度 $5\sim 10\text{ mm}$ 的裂缝,遇到暴雨和巨大的径流后,土体会发生整体的坍塌、滑塌或者崩塌,造成沟头的前进或沟壁的扩张。宁县太昌乡上肖村 2 处的沟头是典型的裂缝诱发型溯源侵蚀,径流沿垂直节理下渗,最后促成沟头或沟壁土体的整体坍塌。具体地形情况如图 2 所示。

3.1.4 人为诱发型 除自然因素诱发外,董志塬地区还有相当一部分是由人为诱发的沟头溯源侵蚀。由于庆阳市最近几年城市和乡镇建设的迅猛发展,人们为了排泄非常巨大的城市雨洪,使其在没有任何防护措施的情况下人为地全部排到了附近的沟里,导致沟壁发生坍塌等二次剧烈侵蚀;另外,在董志塬存在着很多不恰当的工厂选址,这些工厂挖掘土方直接造成了的沟头前进,破坏了沟坡稳定性、降低了侵蚀基准面,间接加速了沟头溯源侵蚀;或者由于厂区的硬地面积水造成了沟头的剧烈冲刷发生。

3.2 溯源侵蚀过程分析

3.2.1 水力冲刷阶段 降雨初期,地表径流由沟头流向沟底,沟头上方接塬面处首先发生片状侵蚀,而

后发展成细沟侵蚀进而演变为切沟,随着切沟的形成而发生沟头前进,挟带了大量泥沙的径流继续下切沟床,这一阶段基本上是以水流的冲刷作用为主导。

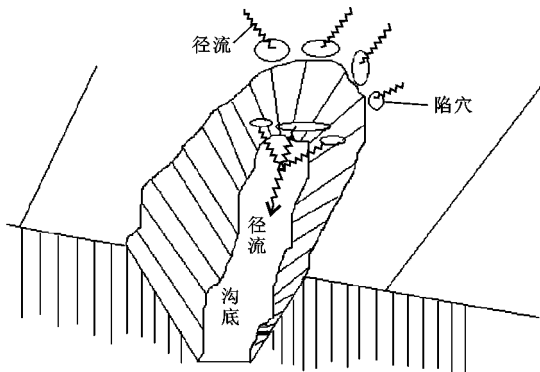


图1 陷穴诱发型沟头地形示意图

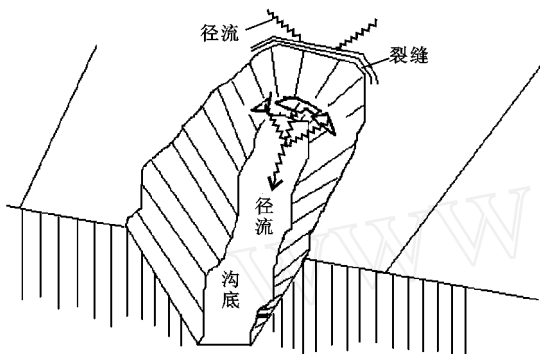


图2 裂缝诱发型沟头地形示意图

3.2.2 水力和重力共同作用阶段 随着径流对沟床的不断下切,沟坡底脚不断被掏蚀,沟壁继而变陡,待沟壁土体不足以支撑自身重力时,便发生了沟壁崩塌和滑塌等重力侵蚀。沟壁崩塌和滑塌的结果,一方面促使沟道拓宽;另一方面促使沟壁坡度平缓而渐趋平衡,水土流失即行减缓。由于径流还在进行中,沟床继续遭受下切、掏蚀,沟床两侧的沟坡再次变得陡直,因此又促成一系列的滑塌、崩塌现象这一阶段是以水流冲刷和重力侵蚀交互作用。

3.2.3 重力侵蚀阶段 洪峰退却径流消失后,沟头和沟壁处的不稳定斜坡或悬空面在黄土受到干湿、冷热、冻融作用下随时可能促发重力侵蚀,且这种重力侵蚀会持续很长一段时间直到沟头处于稳定状态。

4 董志塬沟头溯源侵蚀的防治措施

(1) 塬面措施。塬区水土保持综合治理可以用“拦、蓄、排、引”4字概括。经调查发现,比较简单实用的工程措施是在沟头上方来水方向修筑涝池或涝

池群拦蓄地表径流。然后,通过建立村庄聚落庭院经济、建设拦蓄工程与道路、涝池拦蓄引排工程,削弱塬区硬地面产流产沙动力条件。涝池的修筑要依照地形特征,容积以能容纳设计最大洪水量为准。此外还有蓄水堰、沟边防护埂、防护墙等措施来蓄存或分散径流,达到抬高沟头低洼部分,巩固沟岸的目的。

(2) 沟底措施。当塬面措施不足以切断径流,阻止径流达到沟底、下切沟床时,沟底措施就成为第二道防线。主要方式是修筑沟底谷坊,抬高侵蚀基准面,防止沟床下切。在条件允许、经济可能的情况下,要选取合适的沟底地段安排淤地坝和引洪漫地,使泥沙就地拦蓄,削减洪峰,调节径流。淤地坝的位置以尽量靠近沟头和工程量最小为原则。

[参 考 文 献]

- [1] 史念海. 历史时期黄土高原沟壑的演变[J]. 中国历史地理理论丛, 1987(2): 32-35.
- [2] 朱显谟. 黄土区土壤侵蚀的分类[J]. 土壤学报, 1956, 4(2): 99-115.
- [3] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 陈永宗, 景可, 蔡国强. 黄土高原现代侵蚀过程与治理[J]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-194.
- [5] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [6] 景可. 黄土高原沟谷侵蚀研究[J]. 地理科学, 1986, 6(4): 340-347.
- [7] 程宏, 伍永秋. 切沟侵蚀定量研究进展[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 32-35.
- [8] 伍永秋, 刘宝元. 切沟、切沟侵蚀与预报[J]. 应用基础与工程科学学报, 2000, 8(2): 134-141.
- [9] 倪晋仁, 韩鹏, 李天宏, 等. 细沟发育过程中的溯源侵蚀与沟壁崩塌[J]. 应用基础与工程科学学报, 2002, 10(2): 115-124.
- [10] 傅伯杰, 汪西林. DEM在研究黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀类型和过程中的应用[J]. 水土保持学报, 1994, 8(3): 17-21.
- [11] 胡刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. GPS和GIS进行短期沟蚀研究初探[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 16-19.
- [12] 游智敏, 伍永秋, 刘宝元. 利用GPS进行切沟侵蚀监测研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 91-94.
- [13] 于章涛. 东北黑土地四个小流域切沟侵蚀监测与侵蚀初步研究[J]. 北京: 北京师范大学, 2004.
- [14] 朱显谟. 董志塬区土壤侵蚀及其分类的初步意见[J]. 新黄河, 1953(9): 37-40.
- [15] 朱显谟. 泾河流域土壤侵蚀现象及其演变[J]. 土壤学报, 1954, 2(4): 209-222.