

# 黄土高原水土流失的地质地形背景 及其防治措施

耿 鹤 年

(陕西省地质局第二水文地质队)

黄河中游地区严重的水土流失，既为农业生产的大害，又是黄河泥沙的重要物质来源。防治水土流失，控制入黄泥沙，多年来一直为国内外专家学者和广大人民群众所关注。本文根据在陕北、陇东典型地区的查勘资料，从解剖水土流失发生的地形、地质背景条件入手，探讨水土流失的防治问题。

## 一、水土流失的基本特征

水土流失的实质问题是现代侵蚀问题。侵蚀作用的全过程是地表径流与地形之间相互作用、相互影响的过程。在一定的坡形条件下，地表径流开始产生侵蚀；而侵蚀作用的结果又改变了原来的坡形及相应的地表径流条件，引起了新的侵蚀。如此反复循环，使侵蚀作用逐步向前发展，并导致其发生质的变化。侵蚀作用的结果，一方面产生大量的泥沙；另一方面将地表刻蚀成各种侵蚀形态。

侵蚀作用按其性质及其在地表产生的侵蚀形态，可以分为以下几种类型。

1. **面蚀类型**。系在分散缓慢由散流变为细小股流的面状剥蚀下形成。发生在崩、梁边线以上的崩梁坡面及其它斜坡面。主要形态有细沟（在土壤中刻蚀深 $<0.2$ 米），浅沟（深 $0.2-0.5$ 米）和坡面切沟（深 $0.2-2$ 米）。

2. **潜蚀类型**。在地表水和地下水的渗透、冲刷及溶蚀作用下形成。发生在不同发育

---

## 结 语

氮矿化势与盆栽试验中实测得玉米植株的氮素吸收量之间有高度相关性。

农林牧地土壤的氮矿化势，在一般情况下是人工草地 $>$ 林地和农地，但人工草地若草种选择不当，不能适应其立地条件，则其对土壤的培肥作用较小，其 $N_0$ 值仍低于较好的农地或林地。而草地土壤中沙打旺 $>$ 苜蓿地。豆科牧草对增加土壤有机质和氮素的积累有明显效果，沙打旺最为突出，因此必须大面积种植，通过轮作，使用地与养地结合起来，从而在改土培肥中起积极作用。

阶段沟谷的谷坡上部、坡谷与崩梁坡的交接地带以及其它斜坡面和堆积土体上。主要形态有呈个体和呈群体分布的陷穴、漏斗、串珠洞和潜蚀浅凹等。

3. **沟蚀类型**。在集中的高速线状股流的冲刷作用下形成，主要发生在谷坡的中下部及高阶地的前缘陡坎部位。主要形态为呈群体排列的悬沟和切沟。

4. **重力侵蚀类型**。在外界因素影响下，边坡土体内部强度减小，受重力作用而失去平衡的一种侵蚀现象。以滑坡和崩塌为主，主要发生在沟谷的中上游谷坡以及冲沟部位；其次，局部地区谷坡下部的“红土泻溜”及泥流亦属之。

5. **谷底侵蚀**。暂时性的洪流及常流水冲刷、刻切沟槽及旁蚀，形成土石“跌水”及陡壁，在纵坡降较大的沟谷上游及沟头表现尤为明显。

野外实际观察表明，在一定的集水面积内，侵蚀作用不论在沟谷的横向上和纵向上均呈现一定的展布规律，并具有一定的组合特征。从崩梁顶至谷底常见的侵蚀形态递变关系有：（1）面蚀→潜蚀→沟蚀；（2）面蚀→潜蚀→重力侵蚀；（3）面蚀→潜蚀；（4）全剖面的重力侵蚀。这种递变关系反映出不同侵蚀形态之间的转化过渡关系，通常是前一种侵蚀为后一种侵蚀创造条件。侵蚀形态或其组合在沟谷的纵向上亦呈现明显的转化关系。例如，上述（1）、（2）组合类型主要发生在较大沟谷的中下游谷坡；（3）、（4）组合类型主要发生在各类沟谷的中上游段和沟头部分；而全剖面的甚至沟谷纵向大面积出现的重力侵蚀带，则是在一种特定的地质结构和水文地质条件下发生的。不同的侵蚀形态类型及其组合，是水土流失在地形上的直接表征，反映了现代侵蚀作用的性质和方向；从大范围来说，反映其所处地质环境的区域特征，因而也预示了防治水土流失的方向和途径。

水土流失的强度反映侵蚀速度的相对大小，表征侵蚀强度的直接指标是侵蚀模数（单位面积上的年侵蚀量）。但当前从试验观测获得的侵蚀模数实际上是较大范围内的平均值，并不代表一定地形地质单元的侵蚀强度，而且也不可能所有地区都具有实测的侵蚀模数资料。因此，根据一定的间接指标，定性地确定侵蚀速度，即侵蚀强度的相对大小，仍然是必需的。判定一个地区的侵蚀强度时，应综合考虑以下因素：

1. 地形的切割程度，它标志着接受侵蚀的表土面积的相对大小；
2. 沟谷剖面的稳定程度，常常集中地表现在侵蚀形态的组合特征上；
3. 植被覆盖度，大于70%时对现代侵蚀能产生显著的抑制作用；
4. 新生沟谷的发展速度。

在一般情况下，谷坡部分的侵蚀量远大于其相邻沟间地部分的侵蚀量，但二者的侵蚀有着密切的关联。沟谷的侵蚀促使沟间地的退缩，而沟间地的侵蚀又为沟谷侵蚀提供一定的径流条件，促使沟谷侵蚀的进一步演进。在沟谷的纵向上，一般说来在上段，由于土质松散，沟谷纵坡降大，地形切割强烈，新生沟谷众多，通常侵蚀强度较大；而在下游段，现代侵蚀居于相对平衡阶段，沟道纵坡降小，谷坡稳定，沟台地发育，侵蚀强度较低。

从水土流失产生的地质背景、现代侵蚀作用特点、产沙强度等条件分析，陕北、陇东一带基本上属于黄土崩梁沟壑和黄土塬梁沟谷两种水土流失类型区（图1）。前者分布面积大，大体包括长城以南，宜川、富县、庆阳一线以北的广大黄土丘陵区。沟谷

纵横，梁峁起伏，地形切割密度3—7公里/平方公里（图2），侵蚀模数每年可达3,000—25,000吨/平方公里，大部分属次强至极强水土流失区。后者主要分布在宜川、富县、庆阳一线以南，以著名的董志塬和洛川塬为代表。在深切的河流、沟谷之间镶嵌着大小不等的平坦塬块，地形切割密度在3公里/平方公里以下，侵蚀模数小于3,000吨/平方公里·年。在两大类型区以内，现代侵蚀作用又有明显的分带现象，并各自存在轻度流失或基本不流失地带，它们均密切地受到地形、地质条件的制约。

试以甘肃庆阳黄土塬区和陕北绥德黄土梁沟壑区为例，说明上述两大类型区的特点。

**（一）甘肃庆阳黄土塬区：**

1. 地形切割密度在塬的外围为1.9—20公里/平方公里，沟谷切深可达200—250米，呈对称的树枝状水系，沟谷

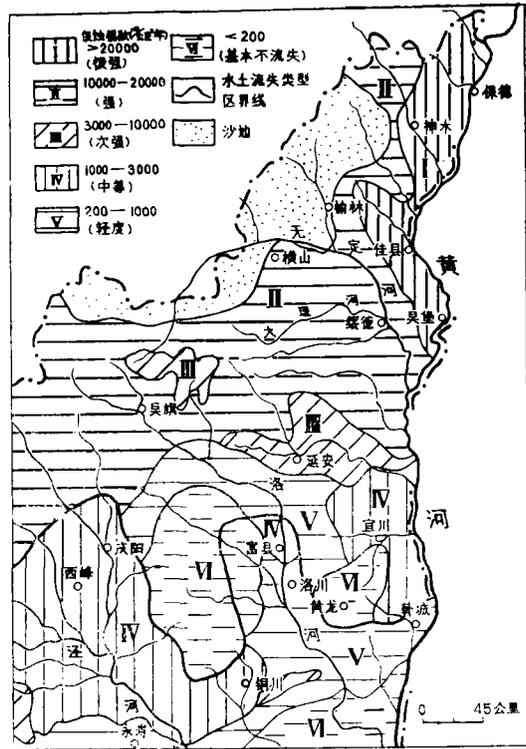


图1 陕北陇东水土流失强度略图

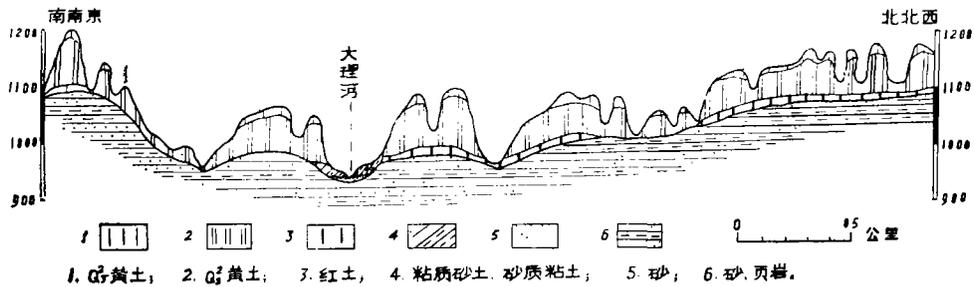


图2 大理河地质剖面略图

较宽大。塬面宽平，由塬边至谷底呈现明显的二级谷坡：上部古代谷坡具宽缓的斜面，坡度26—36°，坡长可达400米；下部近代谷坡位置较低，坡度40—75°，坡长40—90米。

2. 基岩古地形较平坦，黄土厚度可达240米。

3. 塬面侵蚀量不大，但道路“胡同”和塬边斜坡侵蚀不容忽视，且常与沟谷相连，成为显著的汇水区。现代侵蚀集中发育于二级谷坡下部—近代谷坡部分。重力侵蚀发育在沟谷上游，由于地下水普遍泄出，以大型的红黄切层滑坡为主。

4. 主要问题是沟头向塬面快速延伸，使塬面日益缩小，且阻隔交通。

**（二）陕北绥德黄土梁沟壑区：**

1.地形切割密度4.0—6.9公里/平方公里,平均5.3公里/平方公里,沟谷切深一般<150米,呈“非”字型和掌形沟系,沟谷短窄。从崩梁顶至沟底主要为上缓下陡的坡形,有显著的坡折点(崩边线)。上部崩梁坡坡度较小,10—30°,下部谷坡坡度较大,>40°。

2.基岩古地形有起伏,与现代地形总轮廓有一致关系,但其切割程度远较现代崩梁地形为小。黄土堆积厚度较小,一般80—100米。

3.从崩梁顶至沟底,径流连续集中,坡面和坡谷侵蚀均甚强烈。侵蚀形态递变过渡快速,溯源侵蚀强烈,新生沟谷多且发展快。重力侵蚀在沟谷上游和沟头部分比较活跃,形体小,多为单一的黄土滑坡。

4.主要问题是暴雨后普遍形成径流,遭受侵蚀的面积大,谷坡扩展和沟头前进均甚活跃。

显然,不同类型区的现代侵蚀作用有其共性和各自的特性,因而,在防治水土流失的途径和方法上应各有侧重。

至于介于典型的黄土塬和崩梁之间属于过渡类型的地区,在水土流失的特征上则居于二者之间。还可以举出一些特殊的水土流失类型,如陕北的坳地,陇东的掌、坎地,据访问,年沟道延伸速度可逾百米,不能不引起人们的严重关切!

## 二、水土流失的地质地形背景分析

影响和决定水土流失的因素很多,包括地质地形因素、植被和社会经济因素、降水因素等,其中地质地形是最基本的因素。区内特定的地层组合,大面积的黄土覆盖以及蔚为奇观的侵蚀地貌,乃是第三纪以来几次间歇性的堆积和侵蚀作用塑造的结果,而现代侵蚀作用则是在古侵蚀作用的基础上发展起来的。显然,如果没有大面积分布的抗侵蚀微弱的厚层黄土堆积,如果没有新构造上升运动形成的深广的临空面和支离破碎的地形,即使有强劲的暴雨,水土流失是不会如此严重的。

### (一) 地质因素

首先是黄土的抗侵蚀性和厚度。黄土按照堆积时期的新老,可分为上更新统( $Q_3^u$ )、中更新统( $Q_2^u$ )、下更新统( $Q_1^u$ ),它们一般呈上下迭置关系,其抗侵蚀性主要取决于它的粒度组成和结构,集中地表现为在水中的崩解性能。

由表1、表2可知:

- 1.各地区黄土粒度成份比较均一,粘粒含量小,以粉土质为主,崩解性强。
- 2.在垂直方向上,岩性有一定的差异,上部的上更新统黄土最易崩解,抗侵蚀性最低。
- 3.不同时期黄土中夹有多层古土壤层,它们的粘粒含量比其上下层黄土中的粘粒含量大得多,其抗侵蚀性亦大大提高。
- 4.黄土层总厚度塬区比崩梁地区为大,形成几个黄土堆积的中心。

从黄土地区的地质结构分析,岩层上下组合关系本来是差别不大的,多数地方黄土之下依次迭覆新第三系红土和前第三系砂页岩层。但是由于各地区沉积环境的差异和后

表 1

各地区黄土粘聚性与厚度对比表

地 区	粘粒(<0.002mm)平均含量(%)			平均全崩解时间(分)			累计最大厚度(米)
	上更新统	中更新统	下更新统	上更新统	中更新统	下更新统	
绥 德	$\frac{7.08}{42}$	$\frac{8.44}{82}$	$\frac{8.2}{24}$	$\frac{2.0}{80}$	$\frac{3.7}{21}$	$\frac{5.8}{12}$	80-100
洛 川	$\frac{16}{9}$	$\frac{12.7}{33}$	$\frac{13.1}{12}$				150
庆 阳	$\frac{6.97}{73}$	$\frac{6.08}{61}$	$\frac{5.04}{22}$	$\frac{2.0}{40}$	$\frac{4.7}{29}$	$\frac{15}{13}$	240

注: 1. 绥德、庆阳筛分时未加分散剂, 而洛川则加氨水分散;

2. 分母数字系样品测定个数。

表 2

庆阳地区黄土与其中古土壤粘粒含量对比表

类 别	上更新统粘粒含量(%)				中更新统粘粒含量(%)			
	平均	最大	最小	测定数	平均	最大	最小	测定数
黄 土	6.97	17.38	0.52	73	6.08	18.03	0.68	61
古 土 壤	11.03	17.16	4.41	8	10.62	15.64	6.09	7

期切割程度的不同, 出露的地层剖面则有很大差异。同一条沟谷, 在纵向上就出现不同的“剖面结构”, 加上坡形和地下水等条件, 就形成稳定程度很不一致的剖面类型, 而集中地反映在侵蚀类型组合上的多样性。认识这一特征, 有助于人们有根据地采取防治水土流失的措施。可以举出几种常见的剖面结构:

1. 一坡到底的黄土剖面。通常处于沟头和沟谷的上游, 沟谷侧蚀及沟头前进均甚强烈。尤其是在黄土塬区, 临空面大, 而且往往与沟头以上的集水洼地(包括塬边斜坡及“胡同”)相连, 加之地下水泄出, 崩塌和浅层滑坡十分活跃, 沟谷的发展更为快速。

2. 黄土→红土剖面。红土以其粘粒含量高(可达30—45%)、透水性弱显著地区别于黄土, 虽然其本身的崩解性弱于黄土, 但遇水后极易软化, 形成滑面。常发生两种侵蚀现象:

(1) 当红、黄土界面有地下水渗出, 而且红土面(原始沉积面或后期侵蚀面)倾向沟谷, 常发生滑坡群。有的滑坡可推动下伏基岩, 如洛川塬等地, 见图 3。

(2) 当红土出露位置较高、厚度较大时, 受坡面径流的湿润、冲刷和温差变化的影响, 土的表面逐渐与母体分

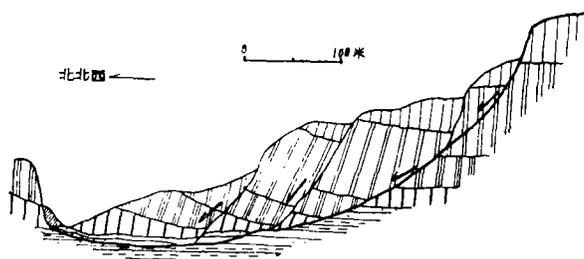


图 8 富县附近滑坡示意图

离，复在剖面径流的作用下，产生鳞片状剥落，形成所谓“红土泻溜”。

3.黄土→红土→前第三系基岩剖面。主要产生在较大沟谷的中下游段，常自上而下出现面蚀→潜蚀→沟蚀的侵蚀类型组合。

4.黄土→前第三系基岩剖面。常出现在较大支流沟谷的下游和河谷，受基岩控制，沟谷下切与侧蚀极其微弱，只在剖面上部黄土部分有面蚀和潜蚀作用，其侵蚀强度还取决于基岩出露的高度和黄土的厚度。

5.垆地侵蚀剖面。主要由上新世—现代松散的冲湖积粘砂土、砂粘土和黄土状土组成。在沟头集水面积大、又不加防护的情况下，沟蚀极其严重，垆地破坏极快。

上述第1、2（1）、5类剖面结构属不稳定的剖面，第4类剖面结构属较稳定的剖面。

## （二）坡形因素

主要是坡度和坡长的组合对坡面径流的控制。坡度和坡长控制着地表径流的运动和性质，因而也直接影响着各种侵蚀作用的发生和发展。在一定的坡度范围内，常产生一定的侵蚀形态；而在一定坡度条件下的坡长，亦对径流强度产生不可忽视的影响。在开展梁峁坡面治理时，尤其应该考虑和重视这一自然特征，并加以改造利用。

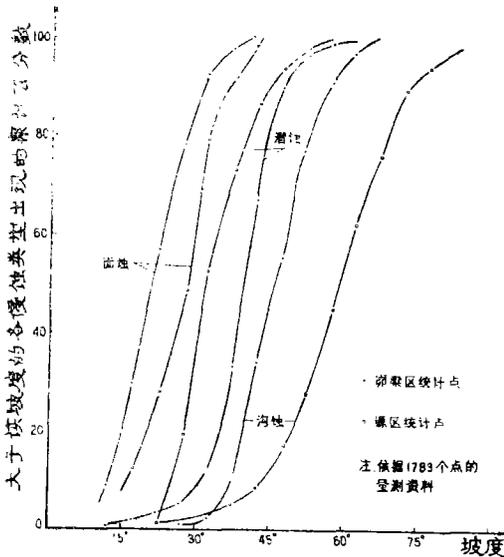


图4 侵蚀形态类型与地形坡度相关图

根据典型地区绥德黄土峁梁沟壑区（1,047个点）和庆阳黄土壩区（691个点）的量测资料，可以获得坡度与侵蚀形态类型的相关关系（图4）。由图4可知，产生面蚀类型的常见坡度（发生频率由10—90%，下同），在绥德地区为12—31°，在庆阳地区为16—37°；产生潜蚀类型的常见坡度，在绥德地区为31—47°，在庆阳地区为16—45°；产生沟蚀类型的常见坡度，在绥德地区为37—57°，在庆阳地区为44—73°。由此还可作出如下推断：

1.发生面蚀、潜蚀和沟蚀所需的坡度依次增加，这是沟谷侵蚀作用在横向上依次递变的一个重要条件。

2.各种侵蚀类型发生的坡度有明显的交叉现象。例如，绥德地区30—40°、庆阳地区40—50°的坡度范围内，可产生上述各种侵蚀类型。这说明各种侵蚀类型的发生除了坡度条件而外，还受到其它条件如坡长、岩性、植被等的影响。而处于上述坡度范围的相应部位（如绥德地区的靠边线附近，庆阳地区近代谷坡部位），各种侵蚀作用的发生、发展和转化过渡，往往是最强烈的，应该引起密切的注意。

3.产生面蚀和沟蚀所需的坡度，庆阳地区大于绥德地区，而产生潜蚀所需的坡度则相反。对于前一种情况，可能取决于两个地区岩性的差异；对于后一种情况，则说明坡

长、岩性条件共同起作用，而坡长条件特别占优势，其原因是庆阳塬区的潜蚀，主要发生在漫长的古代谷坡上，坡长大得多。用同样的理由也可以解释绥德地区在 $10^{\circ}$ 左右的崩梁坡面上尚不显示面蚀，而庆阳地区在 $4-12^{\circ}$ 的塬面斜坡部位却已出现浅沟和陷穴。由此也可以说明，缩短坡长和减小坡度在斜坡面的治理上具有同等重要的理论和实际意义。

### 三、对防治水土流失的一些设想

1. 从防治水土流失的战略出发，以往有关部门曾经提出过“综合治理”、“沟坡兼治”、“层层设防”、“工程措施与生物措施结合”等方针和原则。这些方针和原则，都来自于群众和来自于实践，都是正确的。但是，如何把它们正确地运用到自然条件多样的水土保持实践中去呢？这就需要调查研究。鉴于以往正反两方面的经验教训，应该充分考虑具体的地形、地质条件，分别对待。在现代侵蚀极其严重的崩梁沟壑区，那里黄土岩性松散，沟谷密度极大（可达6—7公里/平方公里），在综合治理中应当首先发挥生物措施的优越性，放弃一部分坡耕地，育林种草；而在川道地区广泛发展水利，实行精耕细作。否则，采取其它的措施，将是防不胜防，治不胜治的。

黄土崩梁区和黄土塬区虽然在水土保持措施方面有许多共同之处，但防治重点应该有所不同。在崩梁区，沟、坡侵蚀均甚活跃，沟间地和沟谷的发展相互促进，关系密切，其重点设防地带：一是崩梁坡下部的地形转折部位；其二是沟谷上游及沟头地段，该处兼有沟谷下切、侧蚀及沟头前进三种作用，应加强以生物措施为主的沟壑治理。在黄土塬区，总的侵蚀模数远小于黄土沟壑区，但沟道向塬面迅速延伸，已构成很大的威胁，“保塬固沟”日益显得刻不容缓。防治途径应是割断塬边集水洼地与沟头的联系，限制径流下塬。为此要把塬面斜坡作为防治水土流失的前沿阵地，在该处采取横坡耕作、修地埂等措施，节节拦蓄塬面径流，严禁在沟头部分开挖窑洞和垦殖；同时在一些沟段大力开展滑坡防治。

2. 开展全面规划、综合治理。不论是规划还是治理，都要以一定的流域作为单元。因为一定的流域是一定的自然集水区，是径流和泥沙的产地和输送通道；同时，在一个流域范围内，地形、地质，水文地质条件及与此有关的侵蚀类型和侵蚀强度都会呈现有规律的变化，在防治工作中也有一定的规律可循。应以大流域为单元作规划，而以小流域为单位开展水土流失的防治。

在一个流域范围内，常见有三种沟道类型，即“黄土沟道”、“红、黄土沟道”和“土石沟道”。每一种沟道类型都要根据它的地形、剖面结构、侵蚀类型以及水土资源配置水土保持措施，同时要兼顾到沟、坡之间和上下段之间的相互联系和影响。

3. 根据各地段具体的侵蚀类型、坡形和岩性等条件，考虑治理方法和措施。滑坡发育地段通常要为防止谷底冲刷，加大谷底淤积，分散和截止谷坡以上部分的径流而采取沟坡综合治理措施；同时，对已形成的滑塌土体要防止进一步冲刷破坏，进而改造利用它们。沟蚀、潜蚀发育地带，地形坡度较大，应在限制谷坡以上坡面径流的基础上，采取种植灌木、牧草和堵塞洞穴等防护措施。面蚀发育带坡度较为平缓，其本身的侵蚀量

# 洞庭湖水系河流泥沙量的初步研究

王铁生

(湖南省水利厅)

## 提 要

洞庭湖水系的河历年输沙量约为4,059.3万吨。淤积严重,湖面日渐缩小。现在,我国第一大淡水湖洞庭湖,按水域规模已退居于鄱阳湖之后。解放以来,河流泥沙的变化趋势是逐渐增多;在七十年代其总量比五十年代增加了将近1倍。小流域综合治理,是控制河流泥沙的根本措施。

洞庭湖是长江中游的“吞吐型”淡水湖泊。纳湘、资、沅、澧四水及湖滨中小河流,并“吞吐”长江分流。洞庭湖水系的流域面积为24,388万平方公里(不包括黄盖湖水系的湖北境内部分),其中湖南省属洞庭湖水系的流域面积有20.54万平方公里,约占全省土地总面积的96.97%。

洞庭湖水系的多年平均含沙量约为0.211公斤/立方米,比黄河花园口站低127.4倍,比长江宜昌站低4.6倍,比淮河蚌埠站、珠江梧州站分别低1.20及0.64倍。但洞庭湖水系降雨丰沛,暴雨集中,河川径流量大,其河流输沙量相对较大。平均土壤侵蚀模数166.4吨/平方公里,大于淮河,略低于珠江,约为黄河的1/11,长江的1/3。虽然洞庭湖水系河流泥沙不及黄河那样严重,但由于泥沙的淤积,洞庭湖水面日趋缩小,由全国第

不大,但关系到大片耕地直接受到破坏,同时还将为沟谷发展提供径流条件,应积极防治,可视不同情况,采取修梯田、改进耕作方法、筑地埂等措施,以达到减小坡度、缩短坡长、分散径流、保土保肥的目的。应该指出,水平梯田应尽量避免在面蚀的强度发育带(切沟带)修筑,而塍区和岗梁区发生切沟的坡度又不尽一致,在具体实施时,除参照统一规定的坡度标准(例如25°)外,主要应该考虑当地的侵蚀形态。

在具体布设水土保持措施时,还应防止控制了一种侵蚀作用而强化了另一种侵蚀作用。如在沟边修地埂,有可能引起边埂附近的潜蚀作用,为此要采取林草防护。

黄土中间多层出现的古土壤层,其抗侵蚀性远大于其相邻的黄土层,应在布置治理措施时注意利用这一特性。

**4.有计划地布设谷底工程措施。**除注意合理地进行坝系规划、坡面措施与谷底工程紧密配合、提高防洪标准、增加控制性的骨干工程、防止在特大洪水条件下连锁性的毁坝外,要在坝系内留有充分的排水出路,防止坝地盐渍化和沼泽化;选择在地形、地质条件有利的地段筑坝,防止坝体不均匀沉陷、坝肩和库周边岸坍塌、水库漏水等可能存在的工程地质问题的产生。