

## 黄土高原水土保持中的淤地坝

陆中臣<sup>1</sup>, 陈常优<sup>2</sup>, 陈劭锋<sup>3</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;

2 河南大学环境与规划学院, 开封 475001; 3 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100080)

**摘要:** 淤地坝是防止黄土高原水土流失、实现该区经济可持续发展以及减少入黄泥沙的重要措施。而黄土高原在淤地坝建设中已获得了巨大成绩。但在建坝过程中仍有不少教训需要总结, 除了工程建设缓慢、标准低和现有工程老化失修等存在问题外, 还必须注意以下问题: (1) 地质地貌条件是建坝的基础, 要根据其条件布设; (2) 根据沟谷系统发育的地貌实体及演变规律, 构建完整的淤地坝体系; (3) 必须了解淤地坝所在地区的地貌发育阶段; (4) 区分建坝区的自然侵蚀和加速侵蚀。

**关键词:** 黄土高原; 水土保持; 淤地坝

**中图分类号:** S157.31

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006)02-0108-04

## The Silt Dam for Water and Soil Conservation in the Loess Plateau

LU Zhong-chen<sup>1</sup>, CHEN Chang-you<sup>2</sup>, CHEN Shao-feng<sup>3</sup>

(1. Research Center for Eco-environment, CAS, Beijing 100085, China;

2 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China;

3 Institute of Policy and Management Science, CAS, Beijing 100080, China)

**Abstract:** The building of silt dam is of significance to prevent the Loess Plateau from water and soil loss, to reduce the sediment amount flowed into the Yellow River and realize economic sustainable development in this area. Although the construction of silt dam has gained great achievement, the following questions on the planning and construction of silt dam besides the such questions as slow construction process, under-standard and shabby conditions of existing facilities should be paid more attention: (1) It should be in accordance with reality in the building area; (2) the integral silt dam system must be constructed according to the geomorphic entity's valley system developed and their evolutionary law; (3) the geomorphic development stage of the situation where the silt dam lies in should not be neglected; and (4) the natural erosion and human-induced accelerating erosion distinguished.

**Key words:** Loess Plateau; water and soil conservation; silt dam

淤地坝是防治黄土高原水土流失的关键措施。大规模的开展淤地坝建设, 除了发挥拦沙蓄水淤地等综合功能, 促进当地农业发展, 农民增收, 农林经济发展, 巩固退耕还林还草成果, 改善生态环境外, 还对有效减少入黄泥沙、确保黄河长治久安具有非常重大的现实意义。

在规划和建设淤地坝时, 必须考虑地质地貌条件, 必须注意到, 为实现拦沙作用的可持续性, 造林种草不能代替淤地坝拦沙。要真正的注意沟谷系统的地貌实体, 及其演变规律, 在此基础上实现完整的坝系体系。

### 1 淤地坝的治黄作用

淤地坝是防治黄土高原水土流失的关键措施。自 1945 年黄委修建第一座淤地坝以来, 经过了 20 世纪 70 年代以前, 淤地坝建设速度加快的第一阶段; 20 世纪 80 年代后, 总结第一阶段淤地坝建设的经验和教训的第二阶段; 以及近年

来为保证淤地坝安全运行和充分发挥整体效益的沟道坝系建设的第三阶段, 黄土高原淤地坝的建设获得了巨大的成绩。

实践证明, 淤地坝确实是实现黄土高原经济社会可持续发展和减少入黄泥沙的重要措施。

自修建淤地坝至今成绩很大, 截止 2002 年底, 黄土高原地区建成淤地坝 11.35 万座 (其中骨干坝 1.480 座, 中小型坝 11.2 万座), 淤地 32 万  $\text{hm}^2$ , 保护川台地 1.87 万  $\text{hm}^2$ 。多沙区分布 10.60 万座, 占总数的 94.4%, 细沙粗沙区分布 8.52 万座, 占总数的 75.1%; 剧烈区 5.7 万座, 占 50.2%, 极强度区 3.7 万座, 占 32.6%, 强度区 1.03 万座, 占 9.1%, 中轻度区 0.92 万座, 占 8.1%<sup>[1]</sup>。

黄土高原的水土保持措施包括梯田、造林、种草和淤地坝等。自上世纪 70 年代以来, 从不同时期看, 河流区间造林、梯田的面积增加十分迅速, 淤地坝形成的坝地面积的增加速

收稿日期: 2005-06-27

基金项目: 国家基金委和黄河水利委员会联合资助重要项目 (50239080)

作者简介: 陆中臣 (1935- ), 男, 研究员, 主要从事流域地貌系统、河床演变、环境地学等领域的研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

率却十分缓慢,增幅呈递减趋势。1969年至1979年,坝地增加量为3.3万 $\text{hm}^2$ ;1979~1989年,增加量为1.9万 $\text{hm}^2$ ;1989~1996年,增至为1.4万 $\text{hm}^2$ ,说明增幅减少了,第二次水沙变化研究完成的科研成果表明,上世纪60、70、80、90年代淤地坝年减沙量分别为3318.5万t、11663.2万t、8846.6万t和8044万t。可见,70年代中游淤地坝减沙达到高峰,此后则不断衰减,为制约细沙粗沙区水土保持减沙效益持续发挥的重要因素。<sup>[1,2]</sup>

淤地坝在水土保持措施中,对减少入黄泥沙的贡献率最大,已为多家的研究成果所证明。而许炯心又依据黄河水利科学研究院1999年6月关于黄河中游水土保持减水减沙作用分析的成果,研究了不同措施的减沙量和对于水土保持减沙量的贡献率(以各措施减沙量占4项水土保持措施减沙量之和的百分比来表示),并对20世纪80年代和90年代之间进行了比较,淤地坝对于入黄泥沙减少的贡献率远远高于其他措施,20世纪80年代高达90.7%,90年代有所下降,但仍占70.8%。造林的贡献率居第二位,梯田的贡献率居第三位,种草的贡献率最小。就多种措施的减沙量而言,从80~90年代有所变化,淤地坝拦沙量由每年0.97亿t下降为每年0.695亿t;造林减少量由70年代的年0.046亿t,增加为每年0.171亿t。由此看出,淤地坝在减少入黄沙量的作用。由于淤地坝成为制约粗沙多沙区水土保持减沙效益持续发挥的重要因素,为了实现淤地坝拦沙效益的可持续性,除了重视淤地坝的施工质量与后期保护外,在淤地坝规划时,要尽量考虑完善、合理,特别要全面的注意淤地坝建设的各种条件。

## 2 淤地坝建设的地质地貌条件

淤地坝是黄土高原地区人民利用自然、改造自然、实现经济社会可持续发展的重要措施,是一个重要发明。

在淤地坝规划建设中,除考虑降雨、植被的特点和人为活动外,还必须考虑地质地貌条件。

### 2.1 黄土高原淤地坝的地质条件

淤地坝的地质条件,本文主要指的是黄土的厚度及物质组成。

黄土的厚度:黄土高原地区大部分为黄土覆盖,是世界上黄土分布最集中、覆盖厚度最大的区域。此区的土壤侵蚀所以居世界之最,其重要原因之一是与黄土分布广、厚度大、质地疏松、抗蚀性弱等特点分不开的。

黄河中游地区黄土总面积为275600 $\text{km}^2$ ,占该区总面积的76%以上。黄土高原黄土的分布特点是集中连片,主要与自然地带性有关,即西北部干旱荒漠草原带、中部温带干旱草原——森林草原带和东南部暖温带半湿润落叶阔叶林带。由黄土堆积带可以明显看出,由我国西北戈壁、沙漠向东南,黄土堆积的分带依次为:黄土堆积转换带、黄土稳定堆积带和黄土堆积消减带(如图1)<sup>[3]</sup>,由于黄土的分带性,因此地表物质组成依次为砂黄土、黄土和黏黄土,形成了黄土区不同的抗蚀性。同时也说明,我国黄土物资主要来自西北部沙漠地区。

黄土的厚度中心集中在陇东、陕北和泾河、洛河中游地区,代表着当地黄土最大的堆积速度。如吴旗的黄土厚度194米;兰州地区,最厚达300多米;白草原黄土厚280m;西峰地区180m;洛川135m;到山西翼城一带,黄土厚100m,

洛阳地区60m(图2)<sup>[3,4]</sup>。

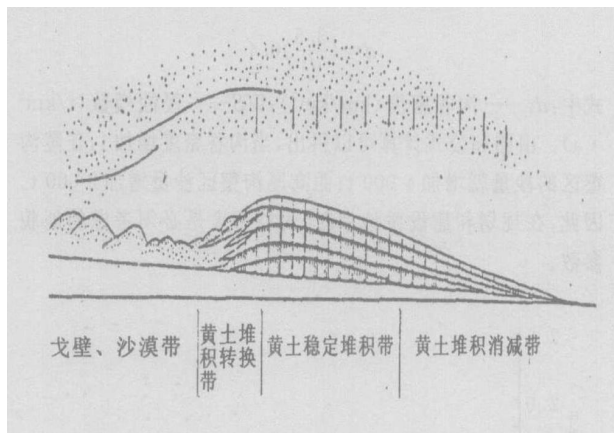


图1 黄土高原地区黄土堆积分带

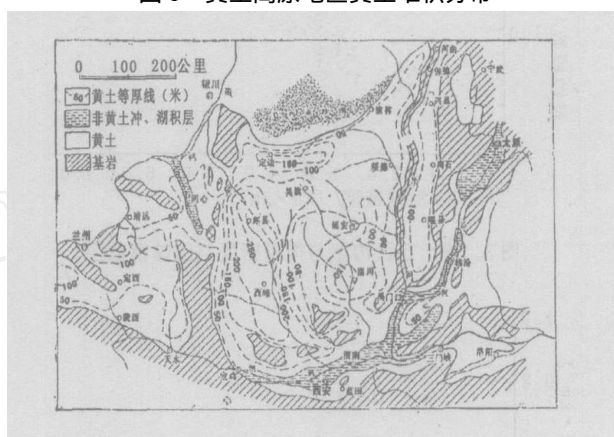


图2 黄河中游地区黄土高原厚度等直线图(据文献4)

疏松的厚层黄土,在水流作用和重力的过程中,一方面体现了千沟万壑、支离破碎、沟深谷狭、高差悬殊、梁峁起伏、坡度陡峻的黄土地貌形成过程和不同的侵蚀强度;另一方面也为淤地坝提供了丰富的泥沙来源,黄土实为黄土高原可持续发展的宝贵资源。

### 2.2 淤地坝的地貌条件

为了延长淤地坝的使用寿命,除了高度重视淤地坝的施工质量与后期保护,实现“接力式”的可持续的拦沙效益外<sup>[5]</sup>,还必须注意淤地坝的地貌条件,因为它关系到选址和坝系布设。

### 2.3 沟谷密度

沟谷系统是坡地系统与河道系统之间的纽带,是流域地貌系统中最活跃的部分,它不仅把坡地系统中产生的水流和泥沙输送到河道系统中;其自身还产生大量的泥沙和流水,常常是河道系统中水流和泥沙的主要来源。如黄土高原沟谷侵蚀产生的泥沙约占高原总侵蚀量的80%左右。

沟谷密度是沟谷系统发育的重要指标,也是反映侵蚀的很重要的地貌因素指标。沟谷密度的大小与侵蚀量成正相关,我们将黄土高原丘陵沟壑区和高原沟壑区分别点绘了沟谷密度与产沙量的关系曲线(图3和图4)。

其拟合方程分别为:

黄土丘陵沟壑区:

$$WS = 3334.27ds^{0.945a} \quad V = 0.95 \quad (1)$$

$$a = \left(\frac{dS}{3}\right)^{0.03}$$

黄土高原沟壑区:

$$WS = 59.84d_s^{3.353a} \quad V = 0.90 \quad (2)$$

$$d = \left(\frac{3.5}{d_s}\right)^{0.4}$$

式中:  $d_s$ ——沟谷密度 ( $\text{km}/\text{km}^2$ );  $WS$ ——侵蚀模数 ( $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ )。由图和公式计算可以得出, 当沟谷密度增加 1, 丘陵沟壑区的沙量就增加 4 000 t; 而高厚沟壑区沙量增加 2 000 t。因此, 在规划和建设淤地坝时, 沟谷密度是必须考虑的地貌参数。

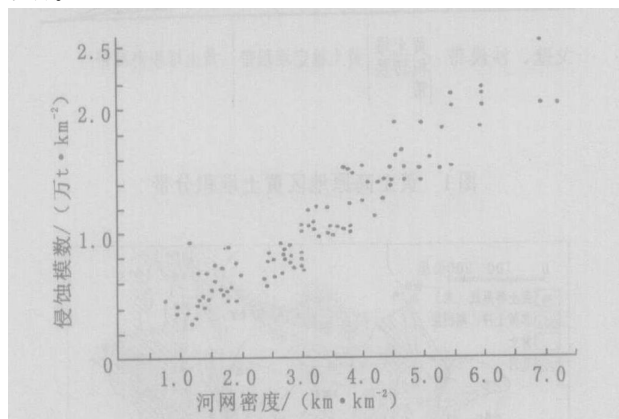


图 3 黄土丘陵沟壑与沟谷密度与侵蚀模数图

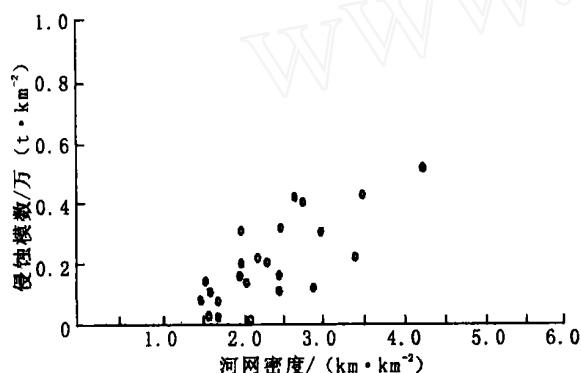


图 4 黄土高原沟壑区沟谷密度与侵蚀模数图

从沟谷系统的发育与产沙关系, 还可为淤地坝坝址的选择提供科学依据。众所周知, 沟谷系统是流域的中枢, 是流域侵蚀物质的发生源地、转运路径或停积场所。随着沟谷系统的发展, 流域是逐渐扩大的, 流域内部的侵蚀强度也随着时间的推移而变化。本文用夏姆的资料<sup>[5]</sup>加以说明: 夏姆在珀思安特伊劣地流域, 从第五级河的河口到源头, 按顺序选择 10 个 2 级小流域, 以空间代替时间的办法, 来说明水系发育, 以及与产沙的关系。最靠近该系统河口的流域的年龄最老, 发育得最充分; 而处于干流河源部分的支流最年轻, 为方便起见, 用图 5 面积——高程曲线说明水系和流域发育。

图框上方的边线表示水系发育开始的初始地面, 其高程以 100% 表示, 即上面未受切割的地面; 图框底线代表(第五级河流)河口基准面。图中各曲线的右端表示河道与其汇入更高级河道的交汇点(河口)所在, 而左端为流域的分水岭。所以每条曲线代表处于不同发育阶段的沟道纵剖面, 其河口的位置受到它所汇入的最高级别的控制, 于是图中一系列曲线, 自上而下反映了流域发育过程中物质迁移的一个垂直剖面。

图中曲线自上而下的变化表明, 在流域侵蚀发育过程中, 最强的侵蚀作用带, 自河口向流域的源头方向迁移。也就是说, 在流域发育的初期, 两条曲线的垂直距离, 靠近流域源头地区为最大。此外, 曲线的形态随着时间而发生变化, 即先由上凸, 发展至基本顺直, 然后发展到上凹。这则说明, 随着时间的推移, 流域的最大产沙带由下游向上游移动, 于是河流的纵剖面形态, 坡度和流域产沙量也发生明显的变化。

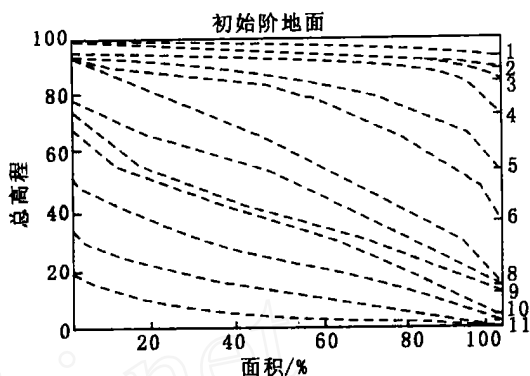


图 5 流域面积——高程曲线

因此, 在水系发育的初期, 大部分泥沙产于流域的出口处, 随着水系进一步发展, 最大侵蚀带向河源移动(图 5), 于是流域的上游成为主要产沙区。也说明了水系发育的结果, 最大的起伏和最大的切割, 最终都处在产沙最大的源头附近地区。黄土高原沟谷系统的发育证实了这一规律。如何在高原淤地坝的建设中适应这一规律呢? 大家知道, 在黄土高原地区由于黄土土质疏松, 易于侵蚀, 发育了典型的沟谷系统, 它们由切沟、冲沟、坳沟、河沟等地貌实体组成。切沟的宽度和深度都可达 3~5 m, 长度十几米和数十米。切沟纵剖面的坡度与坡地完全不同, 常由几个陡坎组成。切沟大多出现在冲沟沟沿部位或浅沟的下端。切沟进一步发展便成为冲沟, 沟底纵剖面呈下凹曲线, 沟深几十米, 有的可达 100 多米。沟坡较陡, 多有滑坡、崩塌发生。沟头上方常有很深的陷穴, 促使沟头迅速向前延伸。冲沟长度可达数公里和数十公里, 随着沟底的下切, 沟床纵剖面趋于稳定, 平坦部分还可堆积较厚的冲积物, 这时成为坳沟。坳沟的下切已很缓慢, 并且大多已下切到潜水层, 接受地下水补给。坳沟再进一步发育, 便形成河沟, 横断面可以划分出谷坡、沟阶地、深窄沟床等, 纵剖面上仍有陡坎、跌水等。河沟只有在暴雨时期塑造沟底剖面。河沟与典型河流的区别在于横剖面不完善, 缺乏典型的河流阶地, 它所形成的沟阶地面倾斜大, 常被坡积物完全覆盖。由此可见, 在黄土高原进行淤地坝规划时, 首先要遵循沟谷系统演化的侵蚀产沙规律; 第二, 切沟的以上只适宜建单坝, 不适宜建骨干坝; 第三, 在冲沟沟道上, 可建个别的骨干坝, 坳沟和河沟是建设骨干坝的最好地方; 第四, 根据上述思路规划, 以骨干坝为重点, 大、中、小相配套, 形成的完整的坝系, 从地貌发育看, 应该是合理的。

## 2.4 淤地坝规划和建设的坡度指标

坡度与侵蚀产沙的关系密切; 流域的侵蚀产沙是通过坡度而实现的, 因为坡度是坡面固有的总有效能量分配到整个景观的媒介。随着坡度的增加, 土粒的内摩擦角减小, 坡面物质的静止稳定性降低, 水流的动能随之增加, 因此冲刷能力加强。但要说明的是: 坡度对水流侵蚀的影响并不是无限地

成正比增加,而是有一个侵蚀临界坡度,即地貌临界。超过这个临界坡度,水流的侵蚀能力将不再继续增加。在黄土高原地区,临界坡度大致为 30 左右<sup>[6]</sup>。从甘枝茂<sup>[4]</sup>点绘的各种侵蚀方式分布的坡度范围也可看出,坡度对侵蚀强度的影响,例如,流水侵蚀主要分布在 6~ 60 之间,而且在 30 左右侵蚀达到峰值。陈浩、陆中臣等<sup>[7]</sup>,对黄土高原流域坡降、干流河道比降与侵蚀产沙量间的关系也作过分析,结果表明,输沙模数随着流域坡降和干流比降的增加不断增大,也出现临界现象,当超过某一临界值后,侵蚀模数则呈明显下降趋势。输沙模数分别与流域坡降( $G_p$ )和干流比降( $G_i$ )在图形(图略)上呈上凸型左偏不对称的 S 形累积函数直线和 2 次抛物线变化关系:

$$P = - 0.005 + 5.4071G_p \quad r = 0.987 \quad n = 29 \quad (3)$$
$$P = - 0.3824 + 0.6373G_i - 0.056G_i^2 \quad r = 0.59 \quad n = 23 \quad (4)$$

根据流域坡降和干流比降与输沙模数的对应关系,其临界地貌特征值可分别用(3)式的正态累积函数和(4)式 2 次抛物线关系式定量得出(表 1)。由表 1 所示,影响流域输沙模数的临界流域坡降和临界干流比降分别为 8.43% 和 4.69%。

表 1 临界流域坡降和干流平均比降特征值

项目	流域坡降/%	干流平均比降/%
初峰值	5.49	
高峰值(临界值)	8.43	5.69
峰末值	12.9	

由此可见,从淤地坝泥沙来源的角度,规划和建设淤地坝时,坡度是重要的地貌指标之一;尤其是河谷系统的临界流域坡降和临界干流比降,在规划淤地坝时必须考虑的。

3 规划淤地坝必须注意的问题

(1) 许炯心据陕西省水土保持局 1993 年对陕北淤地坝的数量和质量系统的调查研究结果表明,从 50~ 70 年代,陕北大中小型淤地坝数量迅速增多,70 年代达到最高峰;由于从 70~ 80 年代,新修的淤地坝数量锐减,其拦沙寿命仅为 10 年左右。70 年代大量修建的淤地坝,70 年代和 80 年代发挥了巨大效益。然而,由于 80 年代修建的淤地坝甚少,70 年代所建的淤地坝,到 90 年代初库容淤损率达 77%,大部分已被淤满或成为病险坝,其数量达 75.8%,完好的坝不足 1/4,由此可见,淤地坝的拦沙效益是随时间衰减的。为此,他提出了合乎客观实际的对策建议,即要重视淤地坝的后续建设,实现拦沙作用的可持续性;造林种草,不能代替淤地坝拦沙<sup>[1]</sup>。

此外,本文认为在规划淤地坝时,要注意沟谷系统的地貌实体,及其演规律,在此基础上实现完整的坝系体系。

参考文献:

[1] 许炯心 黄河中游多沙粗沙区水土保持减沙的近期趋势、成因及对策建议[J] 泥沙研究, 2004, (6): 7.  
[2] 汪岗, 范昭 黄河水沙变化研究[C] 郑州: 黄河水利出版社, 2002 1- 106  
[3] 陆中臣, 等 流域地貌系统[M] 大连: 大连出版社, 1991 64  
[4] 齐鑫齐 黄土高原侵蚀地貌与水土流失关系研究[M] 西安: 陕西人民教育出版社, 1991 150- 151.  
[5] Schumm, S.N. The System in Geomorphology, 1983 890  
[6] 陈永宗 黄河中游黄土丘陵地区坡地的侵蚀发育[A] 地理集刊, 地貌 10[M] 北京: 科学出版社, 1976  
[7] 陈浩, 陆中臣, 等 流域产沙中的地理环境要素临界[J] 中国科学, 2003, 33(10): 10- 10

(2) 还要特别提出的是: 规划淤地坝时, 一定要做到客观实际, 如黄河水利委员会, 在黄河流域黄土高原地区水土保持淤地坝建设规划(送审稿)报告中, 提出了淤地坝的建设总数为 33.4 万座, 其中剧烈侵蚀区为 9.8 万座; 极强烈侵蚀为 7.7 万座; 强烈侵蚀区为 9.8 万座; 中轻度侵蚀地区为 10.2 万座。以及骨干坝和中小型淤地坝的数量为: 骨干坝数至为 6.2 万座, 中小型淤地坝为 8.6 万座; 极强度侵蚀区 1.4 万座, 中小型淤地坝为 6.3 万座; 强度侵蚀地区骨干坝为 1.2 万座, 中小型淤地坝 4.5 万座; 中轻度侵蚀区骨干坝为 2.4 万座, 中小型淤地坝 7.8 万座。按照减少入黄泥沙的目标, 黄土高原地区共需建设淤地坝 14.7 万座, 其中骨干坝为 2.48 万座, 中小型淤地坝为 12.22 万座。有以下问题需要讨论:

(1) 有无适宜的建坝坝址, 论据不足; (2) 根据实际资料, 淤地坝的拦沙寿命仅为 10 年左右, 而骨干坝 20 年中的正常拦沙量, 按中小淤地坝的拦沙库容计算, 据此建设淤地坝时, 应按实际资料作进一步核实。

(3) 根据黄土高原用侵蚀积分值划分的地貌发育阶段<sup>[3]</sup>, 目前黄土高原已发育了两个阶段, 即丘陵沟壑区已发育到壮年期阶段, 也就是说, 侵蚀产沙最盛行的阶段, 在此区修建淤地坝, 主要是淤地造田, 即因势利导的利用自然资源; 高原沟壑区仍是幼年期阶段, 在此区修建淤地坝, 主要抬高侵蚀基准面, 加之治理沟头延伸措施, 使侵蚀的泥沙就地拦在坡面上, 从而减缓过渡到地貌发育的壮年期阶段。

(4) 还必须强调, 在修建淤地坝时, 一定要考虑自然侵蚀及加速侵蚀。前者是在自然生态环境平衡条件发生的, 没有人类活动参与的地质过程, 它受自然演变规律的支配, 就是淤地坝将其拦住, 其演变过程是改变不了的。当自然侵蚀过程受到了人类活动影响而加速发展, 达到了对土地利用产生不良影响时, 才变成了加速侵蚀。即加速侵蚀是在自然侵蚀的基础上, 参与了人类活动的延续和发展。而淤地坝只能拦住这部分侵蚀产生的泥沙。

4 结 论

淤地坝是防止黄土高原水土流失、实现该区经济可持续发展, 以及减少入黄泥沙的重要措施。黄土高原在淤地坝建设中已获得了巨大成绩, 但在今后的规划和建设中应注意以下问题。

从地貌发育的角度, 丘陵沟壑区应是今后淤地坝建设的重点区, 因为那里的坡陡、沟谷密度大, 覆盖的黄土为砂和粉砂, 且厚度大, 极易侵蚀, 所以侵蚀产沙量大, 可为淤地坝提供丰富的沙源和良好的地貌条件。为了防止黄土高原沟壑区沟头的侵蚀, 延缓地貌演化速度, 淤地坝的建设也是不可忽视的。不管哪个地区的淤地坝, 都应重视后续建设, 只有如此, 才能真正实现拦沙作用的可持续性; 但要特别提醒的是: 造林种草不能代替淤地坝拦沙。