

陕北黄河中游淤地坝拦沙功能失效的判断标准

高云飞¹, 郭玉涛¹, 刘晓燕², 何兴照¹

(1. 黄河水利委员会黄河上中游管理局, 西安 710021;

2. 黄河水利委员会, 郑州 450003)

摘要: 利用2011年第一次全国水利普查中4157座骨干坝数据、1989年陕北淤地坝调查中1640座中小坝数据, 分别计算了1950-2011年期间骨干坝、1956-1989年期间中小坝的逐年平均淤积比例, 得到截至2011年, 1980年前修建骨干坝的平均淤积比例基本稳定, 平均值为0.77, 1980年后开始逐渐下降; 截至1989年, 1980年前修建中小坝的平均淤积比例基本稳定, 平均值为0.88, 1980年后开始逐渐下降的变化趋势, 确定平均淤积比例0.77、0.88分别为骨干坝、中小坝拦沙能力失效的判断标准。利用陕北淤地坝调查数据计算得到的骨干坝拦沙功能失效判断一致; 在永定河、延河流域, 水文站输沙数据的变化趋势与淤地坝是否拦沙显著相关。最后从淤地坝工程结构的角度, 剖析了排水排沙位置的改变是判断标准形成的原因。

关键词: 黄土高原; 淤地坝; 淤积比例; 拦沙

DOI: 10.11821/dlxb201401007

1 引言

淤地坝是减少泥沙入黄的重要水土保持措施。已有研究成果表明, 每淤积形成1 hm²坝地, 可拦截泥沙5.15~13.08万t^[1]; 1970-1996年, 河龙区间淤地坝的减沙比例高达人类活动总减沙量的63%~68%^[2]。同时淤地坝还具有滞洪减灾、淤地造田、稳定沟坡等作用, 几十年来淤地坝一直受到有关方面的高度重视和大力推进。

淤地坝按库容可以划分为骨干坝(≥ 50 万m³)和中小坝(1~50万m³)^[3-4]。按建设时期大致分为三个阶段, 第一阶段60-70年代, 开展了大量淤地坝建设, 仅陕北地区25个县即修建约3万座, 现存淤地坝多数系该时期修建^[5]。第二阶段80年代-2002年, 淤地坝的建设数量相对较少, 主要开展了淤地坝建设方向和技术的研究; 第三阶段2003至今, 开展了大量以坝系为单元的淤地坝建设。截至2011年, 黄土高原共有骨干坝58446座, 淤地面积927.57 km², 其中骨干坝5655座, 中小坝52791座^[6]。

淤地坝拦沙功能的实现主要依靠库容, 当泥沙淤积达到可淤积库容的最大值后, 即失去拦沙能力, 具有明显的时效性特点。在几十年运行中, 早期修建的淤地坝逐渐失去拦沙作用, 分析淤地坝在何种状态下不再拦沙, 确定黄土高原淤地坝拦沙功能失效的判断标准, 对准确评估不同时期淤地坝的拦沙能力, 具有非常重要的意义。

淤地坝拦沙能力通常按淤地坝设计库容计算。按淤地坝设计要求, 总库容由拦泥库容和滞洪库容构成, 拦泥库容相当于水库工程的死库容, 是理论上可淤积库容的最大值, 主要用于拦泥淤地。当淤地坝淤积达到拦泥库容后, 来水来沙通过溢洪道或卧管、放水涵洞等设施排出坝外, 保留滞洪库容用于防汛, 不再发挥拦沙作用。然而, 2009年水利部开

收稿日期: 2013-10-09; 修订日期: 2013-11-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB02B05) [Foundation: National Key Technologies R&D Program, No.2012BAB02B05]

作者简介: 高云飞(1978-), 男, 博士, 工程师, 主要从事遥感、水土保持监测和规划研究。

E-mail: gyfcsdn@mail.bnu.edu.cn

展了黄土高原淤地坝安全大检查，从检查结果中发现，各省（区）均存在较多淤地坝的已淤库容超过拦泥库容的现象，即很多淤地坝在淤积达到拦泥库容后，仍在发挥拦沙作用。以往研究对该现象也有提及，如在1986-1996年的无定河流域，修建于60年代末-80年代初的淤地坝已经相继淤满失效^[7]。在1992年大理河等5条支流的淤地坝调查数据中，均存在部分淤地坝淤满的现象^[8]。因此，如根据设计资料，直接将拦泥库容作为淤地坝拦沙功能失效的判断标准，与现实情况存在偏差，会导致淤地坝滞洪减灾，以及淤地造田等计算误差加大。所以要准确评估现存淤地坝的拦沙作用，必须进一步研究现状淤地坝拦沙功能失效的判断标准。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

研究区为黄河中游（103°59′00″~113°30′30″E，33°38′08″~40°32′50″N），东以吕梁山为界，南邻秦岭，主要包括河龙（河口镇—龙门）区间和泾河、北洛河、渭河、汾河等流域，总面积27万km²（图1）。属干旱向半干旱半湿润气候过渡区，大陆性季风气候，降水空间分异较大，暴雨频次高、强度大、历时短，时间多集中在6-10月。地形起伏较大，主要有黄土丘陵沟壑区、残塬区、西北风沙区、黄土阶地区、河谷冲击平原区、土石山区等地貌类型。植被由北向南依次由草原植被向温带、暖温带落叶阔叶林过渡。土壤以黄土为主，土层深厚，土质疏松，抗侵蚀、抗冲性差。水土流失问题突出，属国家级水土保持重点治理区，是黄河中下游泥沙的主要来源区，黄土高原的淤地坝主要集中在该地区。

2.2 基础数据

淤地坝调查数据：包括陕北淤地坝调查数据和第一次全国水利普查数据。陕北淤地坝调查由陕西省水土保持局组织开展，以乡（镇）为单元上报，共涉及陕北25个县（市），调查时点截至1989年，淤地坝共31797座。由于调查时间较早，全部指标均为手工填写。第一次全国水利普查骨干坝普查由水利部组织实施，以县（市、区、旗）为单元上报，覆盖研究区，普查时点截至2011年，骨干坝共4157座。以上两项数据均包括淤地坝的坝名、建坝时间、总库容、已淤库容、所在流域、所属行政区、经纬度等指标。

流域卡口站数据包括无定河白家川、延河甘谷驿水文站1980-1996年逐年输沙数据。

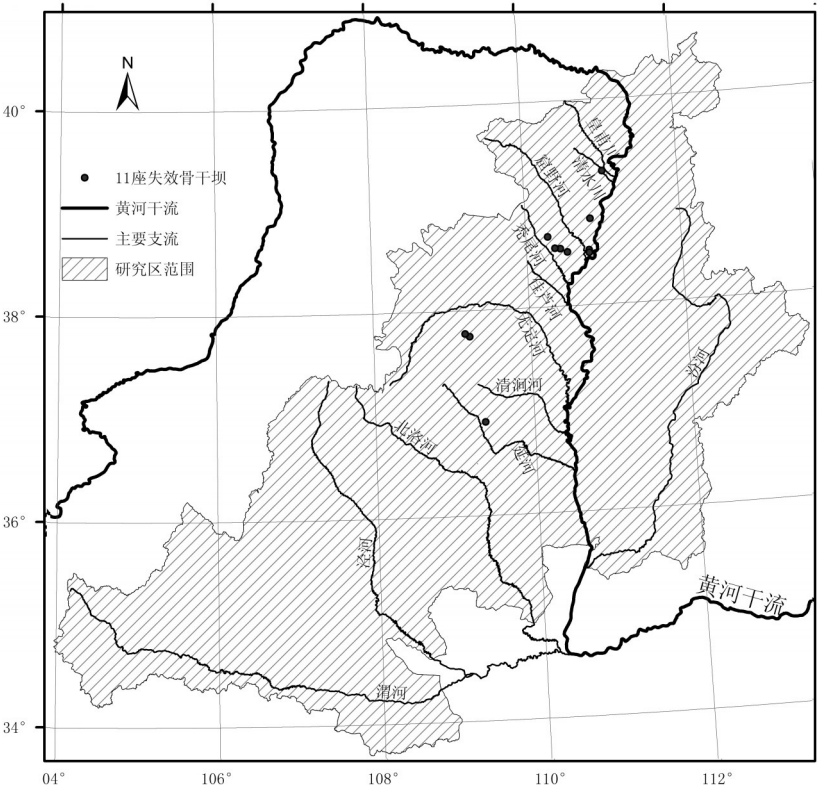


图1 研究区位置

Fig. 1 The location of the study area

3 分析方法

3.1 早期修建的淤地坝已失去拦沙作用

确定淤地坝拦沙功能失效判断标准的前提是存在早期修建的淤地坝拦沙功能失效的现象。在陕北淤地坝调查数据中选取窟野河、秃尾河、清水川、延河、无定河等5条流域内70年代前建设的骨干坝11座,与普查数据中对应的淤地坝进行对比(表1)。

仅选取11座骨干坝的主要原因:(1)对比的目的是要说明存在早期修建的淤地坝拦沙功能已经失效的现象,不必对两期数据中淤地坝进行逐一对比;(2)中小坝的淤积年限通常小于骨干坝,如存在早期修建的骨干坝拦沙失效的现象,一定存在早期修建的中小坝拦沙失效的现象;(3)陕北淤地坝调查数据全部为纸质手工填写,全部数字化工作量较大;(4)受到损毁、加高加固等因素影响,很多陕北淤地坝调查数据中淤地坝,在普查数据中已不存在。剔除测量误差等因素影响,这些骨干坝的已淤库容基本没有变化(表1),表明在1989-2011年期间已失去拦沙作用。

3.2 淤地坝逐年平均淤积比例

利用普查数据,按式(1)分别计算起始年(1950)-截止年(2011)年逐年修建骨干坝的平均淤积比例 $\alpha(1950, 2011)$, $\alpha(1951, 2011)$, \cdots , $\alpha(m, 2011)$, \cdots , $\alpha(2011, 2011)$:

$$\alpha(y1,y2)=\frac{1}{n}\sum_{m=1}^n\frac{V_{淤,m}}{V_{总,m}}$$

(1)

式中: $\alpha(y1, y2)$ 为在第 $y1$ 年修建的骨干坝截至 $y2$ 年的平均淤积比例; n 为第 $y1$ 年修建的骨干坝数量; m 为第 $y1$ 年修建的第 m 座骨干坝; $y1$ 为计算淤积比例的年份; $y2$ 为计算淤积比例的截止年份; $V_{淤,m}$ 为在第 $y1$ 年修建的第 m 座骨干坝截至 $y2$ 年的已淤库容; $V_{总,m}$ 为在第 $y1$ 年修建的第 m 座骨干坝的总库容。

在陕北淤地坝调查数据中随机选取12个县(59个乡镇),共1640座中小坝,按式(1)分别计算起始年(1956)-截止年(1989)逐年修建中小坝的平均淤积比例 $\alpha(1956, 1989)$, $\alpha(1957, 1989)$, \cdots , $\alpha(m, 1989)$, \cdots , $\alpha(1989, 1989)$ 。

3.3 现状淤地坝拦沙功能失效时间序列分析

通过分析骨干坝、中小坝逐年平均淤积比例的变化趋势,确定在截止年失去拦沙作用骨干坝、中小坝的修建时段,分别统计该时段内全部骨干坝、中小坝已淤库容与总库容的比值,将该比值作为截止年骨干坝、中小坝拦沙功能失效的判断标准。

表1 部分骨干坝1989年与2011年已淤库容对比
Tab. 1 Comparison of some major dams' deposition capacity between 1989 and 2011

支流	行政区划	坝名	建坝时间	总库容 (万m³)	已淤库容(万m³)		
					1991年	2011年	误差(%)
窟野河	神木县沙峁镇	西状沟	1974	108	85	85	0
窟野河	神木县沙峁镇	大会沟	1976	88	71	71	0
窟野河	神木县沙峁镇	大会沟1#	1976	163	128	128	0
窟野河	神木县沙峁镇	大会沟2#	1978	137	125	125	0
秃尾河	神木县高家堡镇	阳畔2#	1968	87	80	80	0
秃尾河	神木县高家堡镇	十里界3#	1974	102	64	64	0
秃尾河	神木县高家堡镇	白家山	1976	51	48	48	0
清水川	府谷县清水镇	甘沟	1973	292	185	180	-2.7
延河	安塞县真武洞镇	中咀峁	1972	67	44	40	-9.1
无定河	横山县塔湾镇	党家沟	1967	110	104	104	0
无定河	横山县塔湾镇	红梁沟	1971	202	192	192	0

表2 1950–2011年逐年修建的骨干坝截至2011年的平均淤积比例

Tab. 2 Annual average deposition ratio up to 2011 for major dams constructed from 1950 to 2011									
y1	a(y1, 2011)	y1	a(y1, 2011)	y1	a(y1, 2011)	y1	a(y1, 2011)	y1	a(y1, 2011)
1950	0.93	1964	0.77	1976	0.79	1988	0.55	2000	0.31
1953	0.95	1965	0.84	1977	0.81	1989	0.45	2001	0.29
1954	0.82	1966	0.8	1978	0.8	1990	0.46	2002	0.24
1955	0.8	1967	0.77	1979	0.77	1991	0.47	2003	0.23
1956	0.68	1968	0.83	1980	0.76	1992	0.5	2004	0.18
1957	0.78	1969	0.82	1981	0.77	1993	0.42	2005	0.18
1958	0.87	1970	0.81	1982	0.71	1994	0.37	2006	0.14
1959	0.75	1971	0.82	1983	0.77	1995	0.48	2007	0.13
1960	0.73	1972	0.78	1984	0.73	1996	0.47	2008	0.1
1961	0.79	1973	0.79	1985	0.65	1997	0.41	2009	0.07
1962	0.83	1974	0.74	1986	0.69	1998	0.35	2010	0.1
1963	0.82	1975	0.77	1987	0.52	1999	0.29	2011	0.06

4 计算结果

4.1 骨干坝拦沙功能失效计算结果

1950-2011年逐年修建骨干坝的平均淤积比例计算结果见表2。

从周期为5年的简单移动平均趋势线可知(图2),修建年份早的骨干坝,平均淤积比例高;修建年份晚的骨干坝,平均淤积比例低。在1980年附近开始下降,1980年以前修建骨干坝的平均淤积比例基本稳定。由于骨干坝在建成以后的总库容不会增加或减少,表明该时段修建骨干坝的已淤库容保持基本稳定,在2011年时已不再发挥拦沙作用。在1980年后修建骨干坝的平均淤积比例开始逐渐下降,表明该时段修建骨干坝的已淤库容尚未达到稳定状态,剩余有可淤积库容,仍在发挥拦沙作用。1950-1980年期间共建设骨干坝1145座,已淤库容为10.04亿m³,总库容为12.95亿m³,二者的比值为0.77。因此,将平均淤积比例0.77作为骨干坝拦沙功能是否生效的判断标准。

4.2 中小型淤地坝拦沙功能失效计算结果

1956-1989年逐年修建中小坝的平均淤积比例计算结果见表3。从周期为5年的简单移动平均趋势线可知(图3),修建年份早的中小坝,平均淤积比例高;修建年份晚的中小坝,平均淤积比例低。在1980年附近开始下降,1980年以前修建中小坝的平均淤积比例基本稳定。由于中小坝在建成以后的总库容不会增加或减少,表明该时段修建中小坝的已

表3 1956–1989年逐年修建的中小坝截至1989年的平均淤积比例

Tab. 3 Annual average deposition ratio up to 1989 for small and medium-sized dams constructed from 1956 to 1989

y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)
1956	0.88	1963	0.95	1970	0.88	1977	0.83	1985	0.38
1957	0.88	1964	0.93	1971	0.90	1978	0.83	1986	0.67
1958	0.93	1965	0.86	1972	0.90	1979	0.82	1987	0.56
1959	0.84	1966	0.84	1973	0.86	1980	0.84	1988	0.55
1960	0.96	1967	0.90	1974	0.87	1981	0.80	1989	0.52
1961	0.87	1968	0.86	1975	0.80	1982	0.75		
1962	0.96	1969	0.88	1976	0.84	1984	0.65		

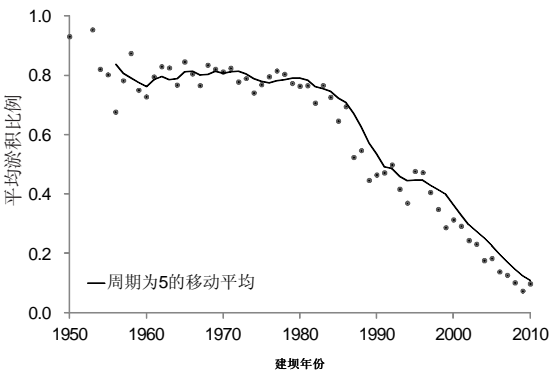


图2 1950-2011年逐年修建的骨干坝截至2011年的平均淤积比例
Fig. 2 Annual average deposition ratio up to 2011 for major dams constructed from 1950 to 2011

淤库容保持基本稳定, 在1989年时已不再发挥拦沙作用。在1980年后修建中小坝的平均淤积比例开始逐渐下降, 表明该时段修建中小坝的已淤库容尚未达到稳定状态, 剩余有可淤积库容, 仍在发挥拦沙作用。1956-1980年期间共建设中小坝1411座, 已淤库容为1.28亿 m³, 总库容为1.45亿 m³, 二者的比值为0.88。因此, 将平均淤积比例0.88作为中小坝拦沙功能是否生效的判断标准。

5 结果验证与分析

5.1 调查数据检验

利用陕北淤地坝调查数据对骨干坝拦沙功能是否生效的判断标准进行检验。选取窟野河、延河、无定河、秃尾河、清涧河、佳芦河、清水川等7条主要支流内的173座骨干坝, 按3.2节方法计算起始年(1954)-截止年(1989)年逐年修建骨干坝的平均淤积比例(表4)。从周期为5的简单移动平均趋势线可知(图4), 其整体趋势与图2一致, 但在1976年附近开始下降。陕北淤地坝调查数据的时间截止至1989年, 1977年后修建的骨干坝(未失去拦沙作用的)在1989-2011年期间继续淤积, 是导致图2中骨干坝平均淤积比例开始下降的年份较图4晚的主要原因。图2中1976年以前修建骨干坝的平均淤积比例基本稳定。1954-1976年期间共建设骨干坝134座, 已淤库容为1.34亿 m³, 总库容为1.74亿 m³, 二者的比值同样为0.77。不同数据源在平均淤积比例达到稳定状态时已淤库容与总库容的比值一致, 表明可使用平均淤积比例0.77作为骨干坝拦沙功能是否生效的判断标准。

5.2 水文站输沙数据检验

选取无定河、延河2条支流作为检验区, 1980-1989、1990-1996年作为对比期。根据已有研究成果^[9], 结合白家川、甘谷驿水文站逐年实测输沙数据(表5)可知, 1980-1989与1990-1996年2个时期的年均降雨基本一致, 变化最大的延河仅为5.83%。降雨是产沙的主要动力, 2条支流在2个时期的产沙量无明显差异。在1990-1996年期间, 梯田、林草等水土保持措施年均减沙量较1980-1989年期间均有所增加, 2条支流的增幅分别为54.87%和10.56%; 水库、灌溉等水利措施年均拦(减)沙量也均有所增加, 增幅分别为24.9%、103.35%。输沙量受到产沙、减(拦)沙因素的共同影响, 与产沙量成正比, 与减(拦)沙量成反比。在产沙量基本不变, 减(拦)沙量增加时, 输沙量应相对减少, 但实测的输沙量分别增加84.63%、67.40%。

从淤地坝的发展历程上看, 在1996年前, 淤地坝主要修建于60-70年代。在1989年, 1976年前修建的骨干坝与1980年前修建的中小坝已失去拦沙作用(图3、图4)。统计普查数据, 1977-1979年期间, 无定河和延河仅分别修建骨干坝30、3座, 80年代-1996年淤地坝的建设数量较少。因此, 大量早期修建的淤地坝在90年代初期失去拦沙作用, 拦沙量的大幅度减少, 是实测输沙数据未少反增的主要原因。

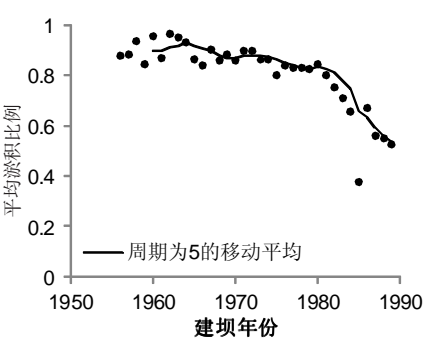


图3 1956-1989年逐年修建的中小坝截至1989年的平均淤积比例

Fig. 3 Annual average deposition ratio up to 1989 for small and medium-sized dams constructed from 1956 to 1989

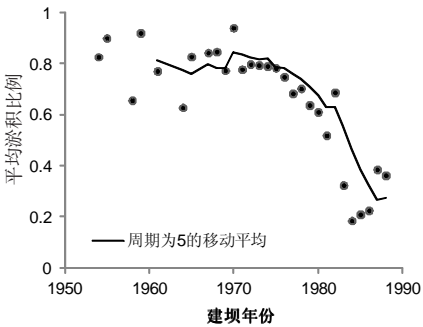


图4 1954-1989年逐年修建骨干坝截至1989年的平均淤积比例

Fig. 4 Annual average deposition ratio up to 1989 for major dams constructed from 1954 to 1989

表 4 1954–1989 年逐年修建的骨干坝截至 1989 年的平均淤积比例

Tab. 4 Annual average deposition ratio up to 1989 for major dams constructed from 1954 to 1989

y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)	y1	a(y1, 1989)
1954	0.83	1965	0.83	1972	0.80	1978	0.70	1984	0.19
1955	0.90	1967	0.84	1973	0.79	1979	0.64	1985	0.21
1958	0.66	1968	0.84	1974	0.79	1980	0.61	1986	0.23
1959	0.92	1969	0.77	1975	0.78	1981	0.52	1987	0.39
1961	0.77	1970	0.94	1976	0.75	1982	0.69	1988	0.36
1964	0.63	1971	0.78	1977	0.68	1983	0.32		

5.3 判断标准成因分析

2003 年前，黄土高原大多数淤地坝是 60、70 年代由群众自建，工程质量差^[8]，大多数淤地坝没有布设排水、排洪设施，多为“闷葫芦”坝^[5]。在淤地坝运行过程中，当泥沙淤积达到拦泥库容后，来水来沙不能通过排水、排洪设施顺利排到坝外，仍继续淤积，形成已淤库容明显高于淤泥库容的现象。当坝内淤泥面接近滞洪库容的最高水位线时，来水来沙通过坝顶洪水冲击或人为挖开的溢流口排出，此时淤地坝已失去滞洪拦沙的功能，达到基本稳定状态(图 5)。通过统计早期已失去拦沙功能淤地坝的平均淤积比例作为淤地坝拦沙功能失效的判断标准是可行的。骨干坝的工程质量和防洪标准通常高于中小坝，部分具有较好的排水、排洪设施，在已淤库容达到拦泥库容时即不再拦沙，其平均淤积比例将略低于中小坝。因此，将 0.77、0.88 作为现状骨干坝、中小坝拦沙功能失效与否的判断标准是合适的。2003 年后，淤地坝作为水利部“亮点工程”实施，淤地坝在坝系规划、设计标准、工程质量等方面有明显提高，多数包含排水、排洪设施^[10]。随着淤地坝工程结构改变，未来拦沙作用失效判断标准也会随之变化。

表 5 无定河、延河输沙相关情况统计

Tab. 5 Statistics of sediment transportation of Wuding River and Yanhe River

支流	因子	单位	1980-1989	1990-1996	变化幅度%
无定河	降雨	(mm)	358.5	361.1	0.73
	梯田、林草		1648.2	2611.9	58.47
	水库、灌溉	万 t	2683.7	3352.0	24.90
	输沙	kg/m ³	0.527	0.973	84.63
	降雨	(mm)	517.7	487.5	-5.83
延河	梯田、林草		567.4	627.3	10.56
	水库、灌溉	万 t	502.0	1020.8	103.35
	输沙	kg/m ³	0.319	0.534	67.40

6 结论

(1) 在黄土高原，可将平均淤积比例(已淤库容/总库容) 0.77、0.88 分别作为现状骨干坝、中小坝拦沙功能失效的判断标准。通过分析水利普查数据，早期修建的骨干坝、中小坝的平均淤积比例分别为 0.77、0.88 时保持稳定，已淤库容不再变化，已失去拦沙作用。利用陕北淤地坝调查数据进行结果检验，骨干坝拦沙作用失效时的平均淤积比例同样为 0.77，结果一致。

(2) 1980 年为现状骨干坝失去拦沙作用的时间节点。当以 1989 年为现状年时，骨干坝、中小坝失去拦沙作用的时间节点分别为 1976、1980 年。以无定河、延河为检验区，80 年代至 90 年代前期，产沙无明显变化，梯田、林草水保措施，水库、灌溉水利措施的减(拦)沙的均有明显增加，把口站输沙量未少反增，原因是大量 70 年代修建的淤地坝在 90 年代前期失去拦沙作用，拦沙量的大幅度减少。

(3) 利用平均淤积比例对淤地坝拦沙作用失效标准进行判断，是淤地坝的工程结构造成的。大多数淤地坝缺少排水、排洪设施，当泥沙淤积达到淤泥库容后，来水来沙不能排出坝外，致使淤泥面接近于最高水位线。

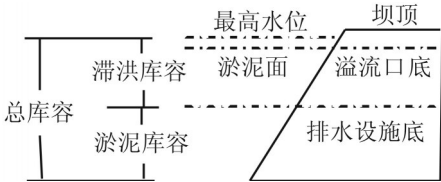


图 5 淤地坝横断面示意图

Fig. 5 Sketch of warping dams' cross section

参考文献 (References)

- [1] Upper and Middle Reaches of the Yellow River Administrative Bureau. Introduction to the Yellow River Basin. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2011. [黄河上中游管理局. 黄河流域水土保持概论. 郑州: 黄河水利出版社, 2011.]
- [2] Wang Gang, Fan Zhao. Changes of the Yellow River Water and Sediment (Vol II). Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2002. [汪岗, 范昭. 黄河水沙变化研究 (第二卷). 郑州: 黄河水利出版社, 2002.]
- [3] Ministry of Water Resources. Engineering and Technical Specifications of Soil and Water Conservation Gully (SL 289-2003), 2003. [中华人民共和国水利部. 水土保持沟谷骨干工程技术规范 (SL 289-2003), 2003.]
- [4] State Bureau of Technical Supervision. Technical Specifications of Comprehensive Management of Soil and Water Conservation (GB/T 16453.3-1996), 1996. [国家技术监督局. 水土保持综合治理技术规范 (GB/T 16453.3-1996), 1996.]
- [5] Upper and Middle Reaches of the Yellow River Administrative Bureau. Introduction to Warping Dams. Beijing: China Planning Press, 2005. [黄河上中游管理局. 淤地坝概论. 北京: 中国计划出版社, 2005.]
- [6] Ministry of Water Resources. The Bulletin of the Water Census. Beijing: China Water Power Press, 2013. [中华人民共和国水利部. 第一次全国水利普查公报. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.]
- [7] Xu Jiongxin, Sun Ji. Study of temporal variation of check dam construction in Wudinghe River Basin and some suggestions for some countermeasure. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 26-30. [许炯心, 孙季. 无定河淤地坝拦沙措施时间变化的分析与对策. 水土保持学报, 2006, 20(2): 26-30.]
- [8] Jiao Juyin, Wang Wanzhong, Li Jing et al. Silting land and sediment blocking benefit of check dam in hilly and gully region on the Loess Plateau. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(6): 302-306. [焦菊英, 王万忠, 李靖 等. 黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的淤地拦沙效益分析. 农业工程学报, 2003, 19(6): 302-306.]
- [9] Ran Dachuan, Liu Linwang, Zhao Liyi et al. Soil and Water Conservation and Water and Sediment Change of Hekouzhen to Longmen Region in the Middle Yellow River. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2000. [冉大川, 柳林旺, 赵力仪 等. 黄河中游河口镇至龙门区水土保持与水沙变化. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.]
- [10] Upper and Middle Reaches of the Yellow River Administrative Bureau. The Warping Dams Design. Beijing: China Planning Press, 2004. [黄河上中游管理局. 淤地坝设计. 北京: 中国计划出版社, 2004.]

Failure criteria of the warping dams on sediment interception in the Middle Yellow River in northern Shaanxi

GAO Yunfei¹, GUO Yutao¹, LIU Xiaoyan², HE Xingzhao¹

(1. Upper and Middle Reaches of the Yellow River Administrative Bureau of Yellow River Conservancy Commission, Xi'an 710021, China;

2. Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In this paper, we tried to set up a new criterion. First of all, the average deposition ratio of the key dams was calculated year by year from 1950 to 2011 using 4157 key dams data in Water Census. The results showed that the average deposition ratio was around 0.77 as of the year 1980 and then decreased; the average deposition ratio of the small and medium-sized dams was calculated year by year from 1956 to 1989 using survey data for 1640 warping dams in northern Shaanxi. The results showed that the average deposition ratio was around 0.88 before 1980 and decreased gradually afterwards. Therefore, 0.77 and 0.88 were considered as the block sediments criterion for key and mid-small sized warping dams respectively. And then, the survey data for warping dams in northern Shaanxi were used for validation for the criterion of key dams and the results are consistent, which confirmed the applicability of the new criterion. With Wuding and Yanhe river basins as an example, the variation trend of the sediment transportation at hydrological stations is highly correlated with that of the warping dams. This paper also explains the formation of the criterion for the engineering structure of the warping dams, indicating that the spatial movement of water and sand drain point is the main reason.

Key words: Loess Plateau; warping dams; deposition ratio; block sediments