

考虑水土保持拦沙效益的水库设计输沙量分析

刘任远¹, 李怀恩¹, 吴胜德²

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 延安市水利水土保持局, 陕西 延安 716000)

摘要: 陕北黄土高原的水土流失严重地制约着当地经济和社会的发展。为此, 人们开展了一系列的水土保持治理工作, 并取得了明显的拦沙效果。然而, 在水利工程设计, 特别是无资料流域水库设计输沙量的确定等方面, 如何考虑这种拦沙作用, 目前尚缺乏成熟的方法。结合水库设计实例, 综合分析了相似流域的水库实测泥沙淤积资料及水文站的实测泥沙资料。考虑水土保持与生态建设拦沙效益对水库设计输沙量的影响, 探讨了水库设计输沙量的合理确定途径。

关键词: 黄土高原; 水土保持; 水库; 输沙量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)03-0033-04

中图分类号: TV 222; P333.4

Designed Sediment Discharge of Reservoir Considering Soil and Water Conservation Benefit

LIU Ren-yuan¹, LI Huai-en¹, WU Sheng-de²

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi Province, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Yan'an 716003, Shaanxi Province, China)

Abstract: The water loss and soil erosion on the Loess Plateau severely hampers the development of local economy and society. Therefore, a lot of measures of soil and water conservation are carried, and obvious benefits of sediment deduction are achieved. However, there are no reasonable methods considering the effect of soil and water conservation on the design of water conservancy projects, especially on the determination of mean annual sediment discharge for reservoir design. With two cases of reservoir design, considering the effect of soil and water conservation as well as ecological construction, the reasonable calculation ways of reservoir mean annual sediment discharge are discussed by means of comprehensively analyzing measured sediment deposition data in building reservoirs and sediment discharge records from hydrologic stations in similar watersheds.

Keywords: the Loess Plateau; soil and water conservation; reservoir; sediment runoff

1 问题的提出

黄土高原总面积约 $6.4 \times 10^5 \text{ km}^2$, 其中水土流失面积 $4.3 \times 10^5 \text{ km}^2$, 约占黄土高原总面积的 67%。严重的水土流失, 给当地人民生产和生活带来很大困难, 而且由于大量泥沙下泄, 淤塞水库与下游河床, 使下游洪灾威胁逐年增长, 防洪负担日益加重。引起水土流失的原因有人为与自然 2 个方面。自然因素是水土流失发生和发展的内在条件, 人为因素指不合理的人类活动加剧了土壤侵蚀。人为因素主要有 4 点: (1) 长期人为收集柴薪及过度放牧; (2) 毁林毁草开荒, 陡坡开垦^[1]; (3) 开矿、采石、修路、建筑等工程性建设; (4) 城镇的迅速发展等。自然因素主要包括气候、土壤、地形、地貌、地质、植被等方面^[1], 如黄

土高原降水量年际变化大, 降水主要集中在汛期且多以暴雨形式出现; 黄土丘陵沟壑区, 现代侵蚀作用强烈, 梁峁起伏, 沟壑纵横, 地形破碎等。

黄河中游开展了大规模的水保工作。随着水保措施的不断实施, 水土流失状况得到了控制, 流域下垫面发生了较大的变化, 河流的径流量、输沙量也随之发生着变化。研究表明, 河—龙区间水沙来量 70 年代以来减少, 80 年代大幅度减少, 90 年代继续减少^[3]; 70 年代以来延河流域减水拦沙趋势明显^[4]。显然, 减水拦沙将对水利工程的设计产生多方面的影响, 如水库的输沙量、库容及坝高等。因此, 在大规模水保措施实施后新的流域环境条件下, 应当如何考虑水保效益对水利工程的影响, 已经成为一个黄土高原水利建设必须面对的新问题。

众所周知,水文手册是无资料流域中小型水利工程水文计算的主要依据。《延安地区实用水文手册》于 1987 年编制完成,采用资料距今已 20 a 多,随着水保治理拦沙效益的日益突出,该《手册》中的侵蚀模数等已不能反映治理后流域的输沙量,这也对水利水保工程的设计带来了很大的困难。

为了合理确定水库工程的建设规模,须充分考虑水保拦沙效益,使泥沙设计更加符合实际。本文结合水库设计实例,以水文手册为基础,充分利用相似流域的水库实测泥沙淤积资料及水文站的实测泥沙资料,考虑水土保持与生态建设拦沙效益对水库设计输沙量的影响,探讨水库设计输沙量的合理确定途径。

2 水库设计中多年平均输沙量的分析

以延安市岳屯沟水库与红庄水库为例,探讨考虑水土保持拦沙效益的无资料流域水库多年平均输沙量的确定问题。

2.1 岳屯沟水库输沙计算

岳屯沟位于甘泉县境内洛河一级支流,流域面积 103.9 km²,沟道全长 24.2 km,沟道比降 16.1%。地貌属黄土丘陵梁峁状沟壑区,植被以疏林、草灌为主。岳屯沟水库流域面积 81.5 km²,该流域面积内林区占 60%,区域输沙模数 500~1 000 t/km²;塬区占 40%,区域输沙模数为 2 500~3 000 t/km²。

2.1.1 利用水文手册进行计算

多年平均输沙量的计算公式为:

$$G = \sum M_{si} F_i \quad (1)$$

式中: G ——多年平均输沙量(10⁴t); M_{si} ——分区输沙模数[10⁴t/(km²·a)]; F_i ——分区面积(km²)。

由水文手册知,全市水保效益 1971 年后日趋明显,洛河流域每 10 a 的拦沙效益约在 10%左右。取林区和塬区的输沙模数分别为 5.00×10⁶ 和 2.50×10⁷ t/(km²·a),由(1)式可得 1970—1980 年的年均来沙量为(取泥沙的容重为 1.4 t/m³):

$$G = G_{林} + G_{塬} = 1.08 \times 10^5 \text{ t} = 7.7 \times 10^4 \text{ m}^3$$

则 1970—1980 年的总来沙量为:

$$G = 7.7 \times 10^4 \times 10 \text{ m}^3 = 7.7 \times 10^5 \text{ m}^3$$

每 10 a 的拦沙效益按 10%控制,则类推得岳屯沟水库 2000 年到 2020 年 20 a 的总来沙量为:

$$G = 77 \times [(1-10\%)^3 + (1-10\%)^4] \\ = 1.07 \times 10^6 \text{ m}^3$$

则年均输沙模数为:

$$M = G / (20F) = 1.07 \times 10^6 / (20 \times 81.5) = \\ 6.54 \times 10^6 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a}) = 9.16 \times 10^4 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$$

2.1.2 实际工程求证

(1) 甘泉凉台水库求证。凉台水库位于洛河一级支流府村川,该川河长 36.4 km,平均比降 8.9%,流域面积 395.7 km²,与岳屯沟相邻,也属黄土丘陵梁峁状沟谷区,植被以疏林、草灌为主,输沙模数为 200~500 [t/(km²·a)]。凉台水库控制流域面积 61 km²,建于 1973 年。按(1)式计算其年均输沙量为:

$$G = MF = 200 \times 61 = 1.22 \times 10^4 \text{ t} = 8.7 \times 10^3 \text{ m}^3 \\ 1973-2000 \text{ 年总来沙量为:}$$

$$G = (0.87 \times 7) + 0.87 \times 10 \times [(1-10\%) + \\ (1-10\%)^2] = 2.1 \times 10^5 \text{ m}^3$$

而凉台水库自建成到 2000 年底实测淤积 5.0×10⁴ m³,远小于上述计算值,多年平均输沙模数仅为 42.56 t/(km²·a),以此计算岳屯沟 20 a 的输沙量为:

$$G = 81.5 \times 42.56 \times 20 / 1.4 = 5.0 \times 10^4 \text{ m}^3$$

(2) 黄陵郑家河水库求证。郑家河水库位于黄陵县隆坊镇,沮河一级支流淤泥河上,建于 1970 年,控制流域面积 73 km²,查《延安地区实用水文手册》,属黄土丘陵梁峁状沟谷和黄土塬沟谷区,林区占 53%,年输沙模数 500~1 000 t/km²(取 500 t/km²);塬区占 47%,输沙模数 2 000~2 500 t/km²(取 2 000 t/km²)。按(1)式计算其年均输沙量为:

$$G = G_1 + G_2 = (M_1 F_1 + M_2 F_2) = 8.82 \times 10^4 \text{ t} \\ = 6.3 \times 10^4 \text{ m}^3$$

1970—2000 年总来沙量为:

$$G = 6.3 \times 10^4 \times [1 + (1-10\%) + (1-10\%)^2] \\ = 1.71 \times 10^6 \text{ m}^3$$

而郑家河水库到 2000 年底,实测水库 30 a 共淤积 2.5×10⁵ m³,同样小于计算值,年均输沙模数为 159.88 t/(km²·a),以此计算岳屯沟水库 20 a 的淤积总量为:

$$G = MF = 159.88 \times 81.5 \times 20 = 2.60 \times 10^5 \text{ t} \\ = 1.86 \times 10^5 \text{ m}^3$$

(3) 岳屯沟水库来沙量确定。凉台水库、郑家河水库 2000 年底实际淤积分别为 5.00×10⁴ m³ 和 2.50×10⁵ m³,按水文手册计算应淤积 2.1×10⁵ m³ 和 1.71×10⁶ m³,显然水文手册输沙模数偏大太多,不宜采用。

据实地调查,总体上凉台水库植被好于岳屯沟水库,但岳屯沟水库林区与凉台水库库区相当。郑家河水库植被与岳屯沟水库相似,流域面积也相当,同时塬区面积相近(岳 32.6 km²,郑 34.3 km²),故采用分区输沙模数来计算岳屯沟水库输沙量。

① 求郑家河水库塬区输沙模数。郑家河水库林区输沙模数 M_1 采用凉台水库值,则有以下关系:

$$MF = M_1F_1 + M_2F_2 \quad (2)$$

式中: M ——郑家河年均输沙模数; M_1 ——凉水水库年均输沙模数; M_2 ——水库塬区输沙模数。

则由(2)式得:

$$\begin{aligned} M_2 &= (159.88/1.4 - 30.4 \times 0.53)/0.47 \\ &= 208.7 [\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})] \\ &= 292.18 [\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})] \end{aligned}$$

② 求岳屯沟水库输沙量。林区采用凉水水库输沙模数, 塬区采用郑家河水库塬区输沙模数, 则岳屯沟水库 20 a 来沙量为:

$$\begin{aligned} G &= 81.5 \times 20 \times (0.6 \times 30.4 + 0.4 \times 208.7) \\ &= 1.66 \times 10^5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

该值大于采用凉水水库输沙模数计算值 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3$, 小于采用郑家河水库输沙模数计算值 $1.86 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。但考虑林区、塬区划分上的误差, 上下游流域地形、地貌及降雨差异, 以及郑家河水库已建成 30 a, 及对库区封育的拦沙效益, 采用值不宜小于利用郑家河水库输沙模数计算值 $1.86 \times 10^5 \text{ m}^3$, 但也要考虑岳屯沟水库建成后 20 a 的封育拦沙效益。

由水文手册知, 洛河流域每 10 a 的拦沙效益为 10%, 可据此反算郑家河水库建库前的年侵蚀模数 M_3 。因有

$$10 \times M_3 \times [1 + (1 - 10\%) + (1 - 10\%)^2] = 114.2 \times 30$$

则 $M_3 = 126.4 [\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})] = 176.96 [\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$

近似认为岳屯沟水库流域输沙模数与郑家河建坝前的输沙模数相等, 则有: 2000—2010 年的总来沙量为:

$$G = FM_3T = 81.5 \times 126.4 \times 10 = 1.03 \times 10^5 \text{ m}^3$$

2000—2020 年的总来沙量为: $G = 10.3 + 10.3 \times (1 - 10\%) = 1.96 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。此值综合考虑了地形、地貌、植被等因素, 比较合理, 故确定岳屯沟水库 20 a 的来沙量为 $1.96 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。

2.1.3 岳屯沟水库实际运行情况

岳屯沟水库设计总库容 $2.18 \times 10^6 \text{ m}^3$, 死库容 $1.8 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。2000 年 10 月开始清基, 2001 年 3 月截流, 到 2003 年 9 月水库总淤积量 $5.4 \times 10^4 \text{ m}^3$, 其中包括施工期弃渣、修建进库公路弃土计 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3$, 实际淤积仅 $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。由于近年属于丰水丰沙期, 来沙较设计值偏大 15%, 比采用郑家河输沙模数计算值偏大 22%, 较水文手册计算值小 79%。该值与设计值基本吻合。

2.2 红庄调蓄水库输沙计算

红庄水库位于延河一级支流万庄沟沟口, 距延安市 15 km。全流域面积 32.4 km^2 , 主河道长 12.5 km,

坝址以上控制流域面积 31.4 km^2 。由于该流域无实测水文资料, 为了考虑水土保持拦沙效益的影响, 其泥沙计算不能仅依赖水文手册, 还要依据邻近的幸福水库、王瑶水库实测泥沙资料, 并综合考虑延安、枣园、杏河等水文站的实测泥沙资料。

2.2.1 参证站分析

① 王瑶水库, 位于延河流域上游杏子河支流, 控制面积为 820 km^2 , 于 1972 年建成, 1973 年截流, 总库容量为 $2.03 \times 10^8 \text{ m}^3$, 泄洪排沙洞最大下泄流量为 $79 \text{ m}^3/\text{s}$, 有 1973—2001 年 29 a 实测入库泥沙资料, 总来沙量为 $2.40 \times 10^8 \text{ t}$, 平均年输沙量为 $8.72 \times 10^6 \text{ t}$, 侵蚀模数 $1.01 \times 10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。经过分析得出: 20 世纪 70 年代平均年来沙量为 $7.70 \times 10^6 \text{ t}$, 相对 70 年代, 70—90 年代平均 10 a 拦沙 30%~36%。但是, 进入 80 年代末特别是 90 年代以来由于库区流域大规模开采石油, 人为造成植被破坏, 致使输沙量增高 8%左右, 2000—2001 年植被开始恢复, 输沙量减少 6%左右(见表 1)。

表 1 王瑶水库输沙量

年份	1973—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2001
总输沙量	7 724.00	7 110.00	7 701.00	1 442.00
均输沙量	1 103.40	7 11.00	770.10	721.00
侵蚀模数	1.35	0.87	0.94	0.88
拦沙/%	相对 70 年代	36	30	35
	相对 80 年代	—	—8	—1
	相对 90 年代	—	—	6

注: 总输沙量和年平均输沙量单位均为 10^4 t ; 侵蚀模数单位为 $10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$; 下表同。

② 延安水文站, 控制流域面积 $3 208 \text{ km}^2$, 有 1959—2001 年 42 a 实测泥沙资料(1969 年缺测)。由于 1973 年上游杏子河流域修建王瑶水库(流域面积占延安水文站流域面积的 25.56%), 使延安站 1973 年以后泥沙缺乏一致性, 因此对该站 1975—2001 年的泥沙资料进行还原计算。将 1973—2001 年水文站实测年输沙量减去王瑶实测出库泥沙, 再加上王瑶水库实测入库泥沙, 还原到建库前的年输沙量同步系列。建站以来, 总输沙量 $1.53 \times 10^9 \text{ t}$, 平均年输沙量 $3.65 \times 10^7 \text{ t}$, 侵蚀模数 $1.14 \times 10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。经分析: 60, 70, 80, 90 年代平均输沙量分别为 4.54×10^7 , 4.18×10^7 , 2.35×10^7 , $3.90 \times 10^7 \text{ t}$ 。相对 70 年代, 80—90 年代拦沙 7%~44%; 相对 80 年代, 90 年代王瑶水库同样输沙量有所增加; 2000—2001 年植被逐步开始恢复, 平均年输沙量 $1.81 \times 10^7 \text{ t}$, 相对 60—80 年代输沙量减少 23%~60%, 相对 90 年代输沙量减少 54%(见表 2)。

表 2 延安水文站输沙量

年份	1959—1969	1970—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2001
总输沙量	45 400	41 806	23 475	38 994	3 622
均输沙量	4 540	4 181	2 348	3 899	1 811
侵蚀模数	1.42	1.30	0.73	1.22	0.56
拦沙 %	相对 60 年代	8	48	14	60
	相对 70 年代	—	44	7	57
	相对 80 年代	—	—	-66	23
	相对 90 年代	—	—	—	54

③ 杏河水文站, 位于延河流域上游杏子河川, 控制流域面积 479 km², 有 1980—2001 年 22 a 实测泥沙资料, 总输沙量 1.14 × 10⁸ t, 多年平均输沙量 5.17 × 10⁶ t, 平均侵蚀模数 1.08 × 10⁴ t/(km²·a)。相对 80 年代, 90 年代输沙量有所增加, 2000—2001 年拦沙 17% ~ 34% (见表 3)。

表 3 杏河水文站输沙量

年份	1980—1989	1990—1999	2000—2001
拦沙率 / %	相对 90 年代	—	34
	相对 80 年代	-25	17
侵蚀模数	0.98	1.23	0.81
年均输沙量	470.40	588.90	389
合计输沙量	4 704	5 889	778

④ 枣园水文站, 位于延河流域延安水文站下游的延河支流西川河, 控制流域面积 719 km², 有 1971—2001 年 31 a 实测泥沙资料, 总输沙量 1.15 × 10⁸ t, 多年平均输沙量 3.72 × 10⁶ t, 侵蚀模数 5 180 t/(km²·a)。相对 70—80 年代输沙量增加 29%, 90 年代输沙量减少 3%; 相对 80—90 年代输沙量减少 25%, 2000—2001 年输沙量减少 38% ~ 53% (表 4)。

表 4 枣园水文站输沙量

年份	1971—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2001
合计输沙量	3 170	4 546	3 405	423
年平均输沙量	352.2	454.6	340.5	211.5
侵蚀模数	0.49	0.63	0.47	0.29
拦沙 / %	相对 70 年代	-29	3	40

注: 合计输沙量单位为 10⁴t; 年平均输沙量为 10⁴t/a。

⑤ 幸福水库建于 1976 年, 控制流域面积 14.3 km², 1985 年水库已淤满, 10 a 总淤积量 1.33 × 10⁶ t, 平均侵蚀模数 9 300 t/(km²·a)。查《水文手册》该流域侵蚀模数为 8.0 × 10³ ~ 1.0 × 10⁴ t/(km²·a), 70—80 年代采取水利水保措施后延河流域的拦沙效益一般在 25% 左右^[2]。

2.2.2 红庄水库输沙量确定

延安水文站 20 世纪 90 年代泥沙侵蚀模数比 80 年代有所增长, 我们认为其主要原因是由于 90 年代水利事业主导方向以工程管理为主; 水土保持由淤地坝转为农田基本建设, 加之流域内石油开采等人为因素造成了侵蚀模数有所增长。而红庄水库将在建库后, 全面实施退耕还林还草, 治理程度将达到 70% 以上, 并在流域治理范围内长期禁止人为破坏, 以达到拦沙的目的。

据延河世行贷款项目监测评估报告显示, 截止 2001 年底, 8 a 来延河流域水土保持治理由原来的 19.3% 提高到 57.90%, 林草覆盖程度由 16.3% 提高到 46.8%, 土壤侵蚀量减少 56.16%。

经过综合分析和比较, 本次侵蚀模数计算采用 1.0 × 10⁴ t/(km²·a), 按水库淤积年限 30 a, 从 20 世纪 70 年代至今, 每 10 a 拦沙效益按 10% 计算 (分析以上 2 个水库及 3 个水文站资料, 不考虑 20 世纪 90 年代的特殊性, 则平均拦沙效益每 10 a 为 16.8%, 并且考虑水库的安全使用状况采用较小的每 10 a 为 10% 的拦沙效益)。

则年均输沙量为:

$$G = MF = 1 \times 31.4 / 1.4 = 2.24 \times 10^5 \text{ m}^3$$

1970—1980 年来沙量为:

$$G_1 = MFT = 2.24 \times 10^6 \text{ m}^3$$

1980—1990 年来沙量为:

$$G_2 = G_1 \times (1 - 10\%) = 2.02 \times 10^6 \text{ m}^3$$

则红庄水库流域 30 a 输沙量为:

$$G = G_1 [(1 - 10\%)^3 + (1 - 10\%)^4 + (1 - 10\%)^5] \\ = 4.43 \times 10^6 \text{ m}^3$$

3 结论与建议

(1) 《延安地区实用水文手册》编著于 20 世纪 80 年代初期, 所用资料多为 60—70 年代采集, 系列短、参证站少, 代表性差。

(下转第 40 页)

4 讨论

4.1 植被恢复与土壤肥力

在植被的重建与恢复过程中, 每年都有大量枯枝落叶进入土壤, 经微生物腐解后形成较多腐殖质, 使土壤有机质增加, 并将大气中的氮素固定, 导入土壤, 使土壤质量不断提高^[5]。其中, 油松林由于恢复时间较长, 人为破坏较轻, 对表层土壤肥力的提高效果最为明显。油松耐寒、耐旱、耐瘠薄, 生长较慢, 为维持正常生长, 需要大量吸收土壤中的速效养分, 但成年油松林培肥效应极显著已得到证实^[9]。植树造林、恢复植被生长虽然不能增加土壤磷库中磷的绝对含量, 但林木、杂草生长、根际微生物活动及有机残体腐解等会形成大量的有机酸、酚类物质和无机酸, 这些物质能加速难溶性磷转化为速效磷, 使土壤中的速效磷含量有所增加。特别是由于研究区土壤富含磷酸钙, 造林后林木、草屑凋落物分解时形成有机酸、酚类物质, 根系和微生物也分泌有机酸, 同时释放出一定量的 CO_2 , 促进 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaHPO}_4 + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 平衡右移, 进而使难溶性磷酸钙转化为溶解性较高的磷酸氢钙和磷酸二氢钙, 所以土壤中速效磷含量会有所增加^[5]。

4.2 不同植被恢复效应差异

本研究区经过 20 a 余的植被恢复与重建, 土壤肥力有所改善和提高, 产生了明显的生态和社会效益。但是不同恢复措施对土壤肥力质量提高差异明显, 油松林对土壤表层有机质含量的提高效果最好, 锦鸡儿灌丛的效果稍差。这是由于处于中龄期的油松林生长较为旺盛, 生物量较大, 每年都有大量枯枝落叶归还给土壤, 经过腐殖化作用形成土壤有机质, 矿化分解释放出速效养分; 而锦鸡儿灌丛, 由于受到当地农牧业生产活动的影响, 每年返还给土壤的枯枝

落叶较少, 所以土壤有机质含量较低, 但由于其固氮作用较强, 其土壤中灰分物质总是能维持较高水平。这一点与张俊华等(2003)的研究结果有所不同^[5]。因此在本研究区草原改良过程中, 应尽量减轻灌丛林的人为破坏, 合理利用草场资源, 维持并促进土壤肥力的全面提高。此外, 本研究区地带性植被本氏针茅草原的土壤肥力普遍较低, 这主要是由于当地残留的本氏针茅草原大多分布于沟沿残丘, 强烈的水土流失必然伴随着土壤有机质和灰分物质的流失, 因而使得其含量有所降低。

[参 考 文 献]

- [1] 金争平, 史培军, 侯福昌, 等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M]. 北京: 海洋出版社, 1992. 1—114.
- [2] 杨劼, 高清竹, 李国强, 等. 内蒙古皇甫川流域植被空间动态变化分析[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 41—43.
- [3] 杨劼, 高清竹, 李国强, 等. 皇甫川流域主要人工灌木水分生态的研究[J]. 自然资源学报, 2002, 16(1): 87—94.
- [4] 黄和平, 杨劼. 皇甫川流域治理区与原生植被区植物多样性比较研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 125—128.
- [5] 张俊华, 常庆瑞, 贾科利, 等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 38—41.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所编, 土壤理化分析[M]. 上海: 科学技术出版社, 1978.
- [7] 胡斌, 段昌群, 王震洪, 等. 植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 604—608.
- [8] 朱祖祥, 土壤学(上册)[M]. 北京: 农业出版社, 1983. 202—213.
- [9] 李瑞雪, 等. 不同林龄油松、刺槐人工林土壤化学性质研究[A]. 黄土高原渭北生态经济型防护林体系建设模式研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 165—169.

(上接第 36 页)

随着水保治理的进一步深入, 对无资料地区输沙量计算偏差越来越大, 难以准确指导工程实践。在今后水利工程设计和运用中, 应充分利用现有实测和参证资料对其进行修正, 不能照抄沿用。

(2) 工程实践中应充分考虑几十年来水保治理的拦沙效益, 利用相邻或相近工程实测资料进行参证, 合理确定工程建设规模。岳屯沟水库水文手册计算 20 a 输沙量是 $1.07 \times 10^6 \text{ m}^3$, 考虑水保效益的设计确认值 $1.96 \times 10^5 \text{ m}^3$, 减少死库容 $8.71 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。按 1 m^3 库容 6 元计, 可节约工程费用 5.23×10^6 元。

(3) 目前的研究在水土保持减水拦沙效益的定性、定量分析方面开展的工作较多, 而对于水利工程

设计与运行管理中如何定量考虑水保措施的拦水拦沙效益则研究得较少, 满足不了工程实践的需要。今后应加强这方面的研究与资料积累。

[参 考 文 献]

- [1] 吴风声. 黄土高原水土流失因素分析及治理展望[J]. 重庆工学院学报, 2001, 5(2): 115—118.
- [2] 陕西省延安地区水利水土保持局[M]. 延安地区实用水文手册. 1987. 267—275.
- [3] 冉大川, 柳林旺, 赵力仪, 等. 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M]. 黄河水利出版社, 2000. 1—2.
- [4] 戴明英, 闫蕾. 延河水沙变化的分析研究[M]. 黄河水沙变化研究. 黄河水利出版社. 第一卷(下册), 2002. 623—643.