

青海省境内黄河干流水沙量变化历史分析

李万寿¹, 高小平², 孙胜利³

(1. 青海省乐都县水利局, 青海 乐都 810700; 2. 黄河水土保持天水治理监督局, 甘肃 天水 741000;
3. 黄委会黄河上游水文水资源局, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 青海省境内黄河干流主要控制站唐乃亥水文站多年平均年径流量 $2.07 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 占黄河流域年径流量 $5.80 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的 34.5%, 占青海境内黄河干流年径流量的 91.0%。唐乃亥以上是黄河水量的主要供给地和水源涵养区之一。统计分析唐乃亥站 1919—1999 年 81 a 来径流量和输沙量的变化特征, 结果表明, 年径流枯水年和偏枯水年出现最多的年份是 20 年代和 90 年代, 丰水年和偏丰水年出现最多的年份是 40、60 年代和 80 年代。境内年输沙量的变化主要取决于年径流量的变化, 水沙量变化是同步的, 相关关系显著。90 年代青海境内黄河干流来水来沙减少主要是由于年径流丰、平、枯的周期性变化引起的。90 年代属偏枯水期, 与历史上丰、枯水程度对比分析, 90 年代偏枯水期属正常, 境内年径流量的变化没有向减少趋势发展, 水沙量的变化是稳定的。

关键词: 青海; 黄河干流; 80 a; 水沙变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)02-0018-05

中图分类号: P333.1

Changes of Runoff and Sediment on Mainstream of Yellow River in Qinghai Province

LI Wan-shou¹, GAO Xiao-ping², SUN Sheng-li³

(1. Bureau of Water Resources in Ledou County, Ledou 810700, Qinghai Province, PRC; 2. Tianshui Management and Supervision of Soil and Water Conservation of Yellow River, Tianshui 741000, Gansu Province, PRC; 3. Bureau of Hydrology and Water Resources on the Upper Reaches of Yellow River, Water Resources Committee of the Yellow River, Lanzhou 730030, PRC)

Abstract: Tangnaihe hydro-station is one of major controlling station of the Yellow river in Qinghai province. The average annual runoff through the hydro-station is $2.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$, with 34.5% of the annual runoff $5.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ of Yellow river and 91.0% of the runoff in the main aspect among the Qinghai province. The place beyond Tangnaihe is one of the major water supply and conserving area for the Yellow river. Through analyzing statical character of runoff and sediment across the station from 1919 to 1999, the years that low and partial low flow year appeared frequently were in the 1920's and 1990's, and the years that high and partial high flow year appeared frequently were in the 1940's, 1960's and 1980's. Changes of annual sediment mainly depended on annual runoff, they changed synchronously and were significantly related with each other. The decrease of runoff and sediment on the mainstream of the Yellow river in 1980's was mainly due to periodic changes of annual runoff. And 1990's belong to a partial high flow period. Compared with low and high flow degrees in history, the partial low flow period in 1990's is normal. Changes of annual runoff on the Yellow river in Qinghai province have not developed towards decline, and changes of runoff and sediment were stable.

Keywords: Qinghai province; mainstream of the Yellow river; 80 years; changes of runoff and sediment

为了促进西部地区社会、经济持续发展, 国家把西部地区生态环境建设作为西部大开发战略的切入点和西部地区实现可持续发展的基本要求。水资源作为人类生存和发展的基本资源和构成环境基本要素, 在西部生态环境建设中, 应成为自然资源和生态环境保护研究的主要对象和任务。随着西部大开发战略实施, 作为黄河水量主要供给地之一的青海省境

内生态环境保护 and 建设已引起了全社会广泛关注。进入 20 世纪 90 年代, 青海省境内黄河干流区来水量减少, 已引起人们的重视, 在这一问题上也一直存在着不同认识, 因此正确认识和揭示青海省境内黄河干流区水沙变化, 对研究青藏高原生态环境的演变和制定黄河上游水资源可持续开发利用及生态环境保护对策具有重要意义。

黄河流域天然年径流的变化具有同步性^[1, 2], 唐乃亥以上是青海境内黄河干流区水量主要来源区, 占青海省境内黄河干流年径流量的 91.0%^[3], 唐乃亥水沙量及水文要素的变化上代表和反映了青海省境内黄河干流水沙量及水文要素的变化。唐乃亥以上受人类活动的影响小, 工农业用水几乎没有, 水沙量变化主要受自然地理条件和气候因素的制约, 实测径流量和输沙量的变化代表了天然水沙量的变化, 可直接采用实测水文资料分析水沙变化。

1 青海省境内黄河干流年径流特征

青海省境内黄河干流区代表站唐乃亥站水文资料始于 1956 年。为了全面分析青海省境内黄河干流年径流特征和水沙变化, 将唐乃亥年径流延长至 1919 年。青海省境内黄河干流最早的水文站循化站实测水文资料始于 1946 年。黄河上游兰州水文站实测资料始于 1934 年。50 年代初国家编制黄河技术经济报告时, 以陕县站资料为基础, 将兰州站的年径流插补延长至 1919 年⁴。唐乃亥站资料延长分 2 步: (1) 利用唐乃亥站与下游循化站 1956—1985 年径流量资料(1986 年循化站上游龙羊峡水库蓄水)建立年径流量相关关系, 将唐乃亥站年径流延长至 1946 年。(2) 利用唐乃亥站与兰州站 1946—1968 年径流量资料(1969 年兰州站上游刘家峡水库蓄水)建立年径流量相关关系, 将唐乃亥站年径流延长至 1919 年。

1.1 循化站与唐乃亥站年径流相关分析

黄河循化站是黄河干流在青海境内的控制站, 位于唐乃亥站以下 355 km, 唐乃亥站的控制面积占循化站控制面积的 83.9%。2 站区间无大的支流汇入, 产水量不多, 产沙量较多, 唐乃亥站的来水量占循化站来水量的 91.0%。经对 2 站年径流量作相关分析, 相关关系显著(见图 1), 相关系数 $r=0.98$, 2 站年径流量存在如下关系:

$$W_{唐乃亥} = 1.02 W_{循化} - 23.5$$

$$W_{唐乃亥} \text{ —— 唐乃亥站径流量}(10^8 \text{ m}^3);$$

$$W_{循化} \text{ —— 循化站径流量}(10^8 \text{ m}^3)$$

利用上式将唐乃亥年流系列由 1956 年延长至 1946 年。

1.2 兰州站与唐乃亥站年径流量相关分析

黄河兰州站与唐乃亥站同处黄河上游, 唐乃亥站的多年平均径流量占兰州站多年平均径流量 $3.46 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的 57.8%^[5], 兰州站水量主要来源于唐乃亥以上的地区, 这就使得二者之间存在一定的相关关系

(见图 2)。经分析, 2 站年径流量相关关系较为显著, $r = 0.92$, 站年径流量存在如下关系:

$$W_{唐乃亥} = 0.627 W_{兰州} - 5.15;$$

$$W_{唐乃亥} \text{ —— 唐乃亥站径流量}(10^8 \text{ m}^3);$$

$$W_{兰州} \text{ —— 兰州站径流量}(10^8 \text{ m}^3)。$$

利用上式将唐乃亥站年径流系列由 1946 年延长至 1919 年。

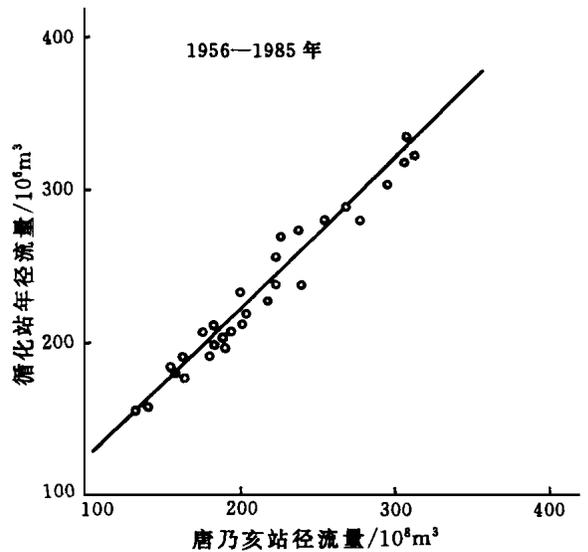


图 1 黄河唐乃亥站与循化站年径流量关系

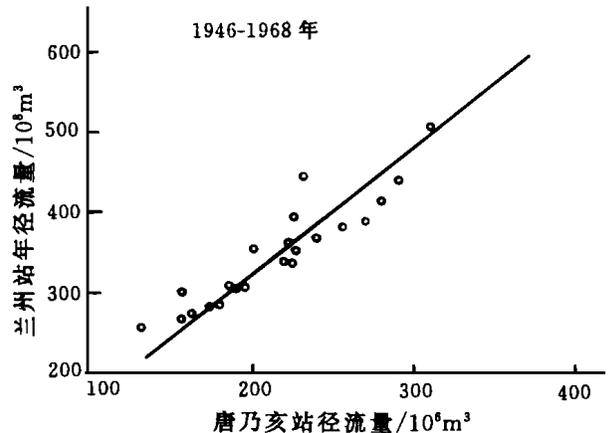


图 2 黄河唐乃亥站与兰州站年径流量关系

1.3 唐乃亥站年径流的特征

利用唐乃亥站 1919—1955 年 37 a 年径流量延长资料和 1956—1999 年 44 a 年径流量实测资料, 进行设计年径流计算, 经分析, 多年平均径流量 $2.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 丰水年 ($P = 25\%$), 平水年 ($P = 50\%$), 枯水年 ($P = 75\%$), 特枯年 ($P = 95\%$) 的年径流量分别为 2.32×10^{10} , 1.96×10^{10} , 1.64×10^{10} , $1.26 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。黄河唐乃亥站年径流特征及年内变化分别见表 1, 2 和表 3。

表 1 青海省境内黄河干流年径流量多年变化特征(唐乃亥站, 1919—1999 年)

 10^8 m^3

项目	多年平均	变差系数/ C_V	最大年径流			最小年径流			最大与最小 年径流量比
			年份	年径流量	与多年平均比	年份	年径流量	与多年平均比	
特征量	199.97	0.25	1989	327.70	1.64	1928	94.90	0.47	3.45

表 2 青海省境内黄河干流不同设计频率年径流量(唐乃亥站, 1919—1999 年)

 10^8 m^3

$P/\%$	1	2	5	10	20	25	50	75	90	95	99
K_P	1.67	1.58	1.45	1.32	1.20	1.16	0.98	0.82	0.70	0.63	0.52
W_P	333.50	315.30	289.60	263.60	239.60	231.70	195.70	163.80	139.80	125.80	103.80

注: $W=2.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$; $C_V=0.25$; $C_S=2C_V$ 。

表 3 青海省境内黄河干流径流量年内分配(唐乃亥站, 1956—1999 年)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	171.0	166.0	223.0	364.0	601.0	895.0	1314.0	1094.0	254.0	982.0	478.0	227.0	650.0
径流量/ 10^8 m^3	4.6	4.0	6.0	9.4	16.1	23.2	35.2	29.3	32.5	26.3	12.4	6.1	205.1
比例/%	2.2	2.0	2.9	4.6	7.8	11.3	17.2	14.3	15.8	12.8	6.1	3.0	100.0

2 青海省境内黄河干流区水沙量变化

2.1 年径流的变化

黄河上游唐乃亥以上人类活动的影响较小,年径流量的变化由于受气候等因素的影响仍十分剧烈。80 a 来水沙量变化过程和不同年代的水沙变化见图 3 和表 4。

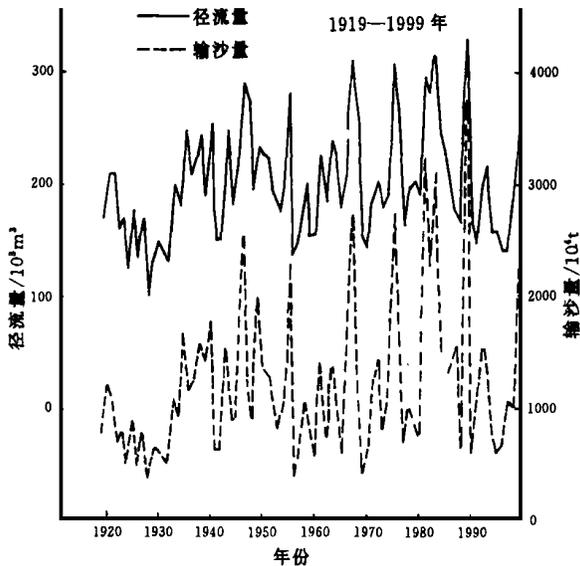


图 3 流量、年输沙量变化过程图

黄河上游唐乃亥以上地处青藏高原腹地,是青藏高原的重要组成部分。除源头黄河沿以上为高寒半干旱区外,其余地区气候相对湿润,年降水在 600~800 mm 之间,其水量主要是由连阴雨及融雪补给,年内分配较为集中,最大连续 4 个月(7—10 月)的径流量占全年径流量的 60.1%。径流年际变化也较大,

径流量最大 $3.28 \times 10^{10} \text{ m}^3$ (1989 年),为多年平均径流量的 1.64 倍;最小 $9.49 \times 10^9 \text{ m}^3$ (1928 年),为多年平均径流量的 47.0%;最大最小年径流量的比值为 3.45,变差系数 C_V 值为 0.25。从表 4 可看出,时段平均最大径流量出现在 80 年代,比多年平均偏大 20.7%;时段平均最小径流量出现在 20 年代和 90 年代,分别比多年平均偏小 19.6% 和 12.0%;1956—1999 年 44 a 实测平均径流量 $2.05 \times 10^{10} \text{ m}^3$,比多年平均偏大 2.55%。

表 4 青海省境内黄河干流区不同时段水沙量及变率

时段	径流量/ 10^8 m^3	输沙量/ 10^4 t	$[(I-II) \cdot II^{-1}] / \%$	
			径流	泥沙
1920—1929 I	160.80	753	-19.60	-37.50
1930—1939 I	192.60	1042	-3.70	-13.50
1940—1949 I	217.70	1361	8.85	12.90
1950—1959 I	193.90	1053	-3.05	-12.60
1960—1969 I	216.40	1179	8.20	-2.16
1970—1979 I	203.90	1217	1.95	1.00
1980—1989 I	241.30	1983	20.70	64.60
1990—1999 I	176.00	1088	-12.00	-9.71
1956—1999 I	205.10	1308	2.55	8.55
1919—1999 II	199.97	1205		

注: 唐乃亥站, 1919—1999 年。

利用唐乃亥站年径流频率曲线和以下划分年径流丰、枯变化级别的标准^[6],统计划分各年代丰、枯出现的情况(见表 5)。

丰水年 $P \leq 12.5\%$, $W_i \geq 2.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

偏丰水年 $12.5\% < P \leq 37.5\%$, 相应 $2.10 \times 10^{10} \text{ m}^3 \leq W_i < 2.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

平水年 $37.5\% < P \leq 62.5\%$, 相应 $1.80 \times 10^{10} \text{ m}^3 \leq W_i < 2.10 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

偏枯水年 $62.5\% < P \leq 87.5\%$, 相应 $1.43 \times 10^{10} \text{ m}^3 \leq W_i < 1.80 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

枯水年 $P > 87.5\%$, $W_i < 1.43 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

式中: W_i ——逐年径流量 (10^8 m^3); P ——保证率 (%)。

表 5 唐乃亥站年径流丰、平、枯年份统计(1919—1999 年)

年 代	丰、平、枯年数量/a				
	丰	偏丰	平	偏枯	枯
10				1	
20		2	1	3	4
30		4	3	1	2
40	2	4	2	2	
50	1	2	3	3	1
60	1	5	1	3	
70	2		4	3	1
80	4	2	2	2	
90		2	2	4	2
合 计	10	21	18	22	10

从表 5 看出, 年径流丰水年、偏丰年出现最多的年份是 40 年代, 60 年代和 80 年代, 80 年代丰水年最多, 出现了 4 a; 枯水年和偏枯年出现最多的年份是 20 年代和 90 年代, 20 年代偏枯水年和枯水年出现了 7 a, 90 年代出现了 6 a。

为了揭示年径流的丰、平、枯变化, 绘制了年径流的差积曲线(见图 4), 该曲线的变化过程揭示了年径流丰、枯时段的变化规律。

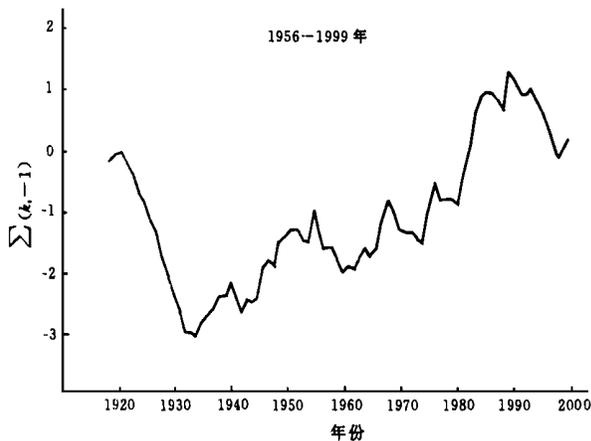


图 4 模比系数差积曲线

1932 年以前曲线持续下降, 为明显枯水段; 1933—1955 年曲线虽然有小的波动但仍为偏丰年份; 1956—1960 年为偏枯年份; 1961—1968 年为偏丰年份; 1969—1974 年 6 a 连续出现了偏枯年; 1975—1989 年曲线虽有波动, 仍然持续上升, 为连续偏丰年; 1990—1998 年曲线持续下降, 为偏枯年份, 1999 年为偏丰水年。

黄河上游唐乃亥站年径流变化主要是由气候的波动引起的, 从整个年径流变化过程来看, 年径流虽有丰、枯交替变化, 连续枯水, 连续偏丰的特点, 周期变化不明显, 但平水年、偏丰年与偏枯年、丰水年与枯水年出现次数基本上是均等的。1919—1999 年的 81 a 中, 丰水年出现 10 次, 枯水年出现 10 次, 偏丰水年出现 21 次, 偏枯年出现 22 次, 平水年出现 18 次。这表明 80 a 来年径流变化没有明显的趋向偏丰或偏枯现象。

从整个年径流差积曲线变化来看, 黄河上游唐乃亥站年径流量有增大趋势, 这一点也可以从整个年径流系列前后 2 个时段比较中反映出来, 前一时段 1920—1959 年 40 a 平均径流量为 $1.91 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 后一时段 1960—1999 年 40 a 平均径流量为 $2.09 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 与多年平均比较, 后一时段较前一时段年径流量增加了 9.10%; 将实测系列分为 2 个时段, 前一时段 1956—1977 年 22 a 平均年径流量为 $2.02 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 后一时段 1978—1999 年 22 a 平均年径流量为 $2.71 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 与多年平均比较, 实测系列后一时段较前一时段的年径流量增加了 2.75%。因此, 认为青海境内黄河干流的水量变化是稳定的。

2.2 输沙量的变化

经对唐乃亥站 1919—1999 年输沙量统计, 多年平均输沙量 $1.21 \times 10^7 \text{ t}$, 多年平均含沙量 0.60 kg/m^3 。1956—1998 年实测输沙量统计, 多年平均输沙量 $1.31 \times 10^7 \text{ t}$, 连续最大 4 个月输沙量发生在 6—9 月份, 占全年输沙量的 83.4%(见表 6), 输沙量的年际变幅大于年径流的年际变幅。实测最大年输沙量 $4.10 \times 10^7 \text{ t}$ (1989 年), 实测最小年输沙量 $3.54 \times 10^6 \text{ t}$ (1956 年), 最大最小相差 11.6 倍。

表 6 青海省境内黄河干流区输沙量年内分配(唐乃亥站, 1956—1999 年)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
输沙率/ $(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	3.43	6.48	21.00	73.30	325.00	849.00	1520.00	904.00	854.00	329.00	50.90	7.80	415
输沙量/ 10^4 t	0.92	1.57	5.62	19.00	87.00	220.10	407.00	242.00	221.40	88.00	13.20	2.09	1308
所占比例/%	0.07	0.12	0.43	1.45	6.65	16.83	31.12	18.5	16.93	6.73	1.01	0.16	100

对 1956—1999 年唐乃亥站实测输沙量与年径流量相关分析(见图 5), 二变量相关关系显著, 相关系数 $r=0.91$, 存在如下关系:

$$W_s = 150 e^{0.01 W}$$

式中: W_s ——年输沙量 (10^4 t); W ——年径流量 (10^8 m^3)。

利用以上唐乃亥站年径流量与年输沙量的指数回归方程, 将唐乃亥站输沙量从 1956 年延长至 1919 年, 1919—1999 年多年平均输沙量为 1.21×10^7 t。

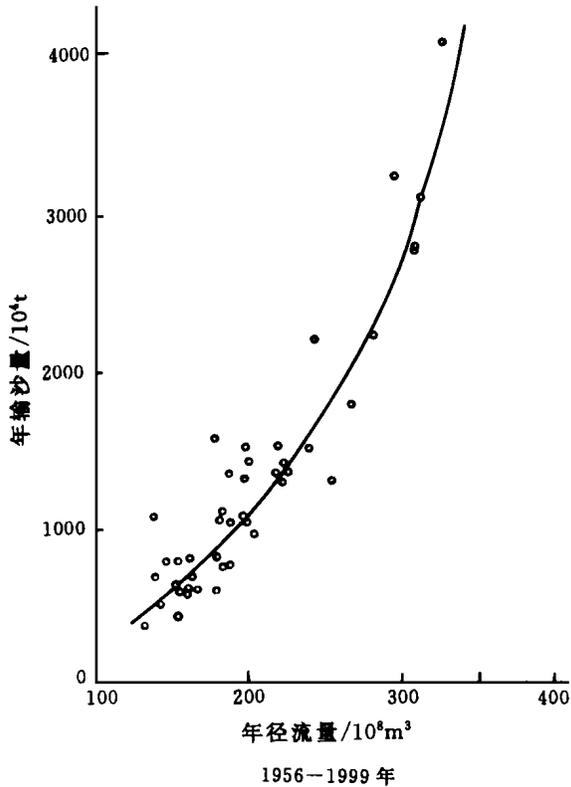


图 5 黄河唐乃亥站年径流量、年输沙量关系

另外, 从表 4 和图 3 也可以看出, 黄河唐乃亥站输沙量变化与年径流相似, 时段输沙量与多年平均比较, 增减与径流量增减基本上是同步的, 但输沙量的增减幅度大于径流量。1956—1999 年实测径流量比多年平均增加了 2.55%, 输沙量增加了 8.55%; 80 年代径流量比多年平均增大了 20.7%, 输沙量增大了 64.6%。

从图 5 可以看出, 当唐乃亥站年径流量大于 2.40×10^{10} m^3 , 输沙量增加幅度大于年径流量, 说明了产沙量的增强, 这点从年径流量与输沙量是指数回归可以证实。黄河上游唐乃亥站输沙量的变化, 主要取决于年径流量的变化, 年径流变化代表和反映了输沙量的变化。

3 20 世纪 90 年代枯水段与历史上枯水段、丰水段对比分析

进入 20 世纪 90 年代, 随着黄河下游断流的加剧和江河源头生态环境保护问题的提出, 一些研究者将青海省境内黄河干流区来水量比多年平均减少这一现象, 看成是生态环境恶化表征, 认为径流量减少是水土流失和荒漠化结果^[7,8]。

青海省境内黄河干流区 90 年代进入偏枯水期, 来水量减少, 唐乃亥站 1990—1998 年偏枯水段平均径流量、输沙量为 1.69×10^{10} m^3 和 9.65×10^6 t, 分别比多年平均减少 15.7% 和 19.9%。在 1990—1998 年偏枯水段的 9 a 中, 出现枯水年 2 a, 偏枯水年 4 a, 平水年 2 a, 偏丰年 1 a, 而 1922—1932 年出现 11 a 枯水段, 出现 6 个枯水年, 4 个偏枯年, 1 个平水年, 该段平均径流量 1.45×10^{10} m^3 , 比多年平均偏小 27.5%。把 2 个枯水段比较, 90 年代枯水段不仅枯水年份少, 且枯水程度不及 20 年代枯水段, 90 年代枯水段平均径流量也大于 20 年代枯水段。1981—1989 年青海境内黄河干流为偏丰期, 唐乃亥站平均径流量 2.47×10^{10} m^3 , 比多年平均偏大 23.6%, 80 年代丰水程度也大于 90 年代的枯水程度。通过 90 年代偏枯水期与有资料以来发生的偏丰、偏枯段比较, 认为 90 年代青海境内黄河干流来水量减少属正常。90 年代唐乃亥站径流量和输水量与多年平均比较, 水沙量减少是同步的, 二者减少的变率相差不大, 相对于产流, 产沙并没有增强, 90 年代青海境内黄河干流来水来沙减少是以自然因素为主的结果。

[参 考 文 献]

- [1] 陈先德主编, 黄河水文[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. 461—487.
- [2] 史辅成, 慕平, 等. 黄河上游 1922 年至 1932 年连续枯水时段的探讨[J]. 人民黄河, 1989(4): 15—18.
- [3] 李万寿, 吴国祥. 青海境内黄河上游区水沙来源及组成的分析[J]. 水土保持通报, 1999, 19(6): 6—10.
- [4] 黄委会水文局. 黄河水文志[M]. 郑州: 河南人民出版社, 1996. 709—720.
- [5] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京: 水利出版社, 1987. 88—89.
- [6] 席家治主编, 黄河水资源[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. 31—32.
- [7] 玉鸣. 长江黄河源头地区正在荒漠化[N]. 青海日报, 1999. 12. 1.
- [8] 王维岳. 黄河源区生态建设与保护[J]. 青海环境, 1998, 8(2): 89—91.