

# 疏勒河流域昌马水库坝址处水沙关系特性研究

张鹏举<sup>1</sup> 赵国荣<sup>2</sup>

- (1. 甘肃省疏勒河流域水资源管理局,甘肃 玉门 735200;  
2. 甘肃水务节水科技发展有限公司,甘肃 兰州 730000)

**【摘要】** 昌马水库库区淤积情况严重,影响水库的使用效益。为了实现水库的减淤调度优化,从昌马水库径流泥沙特性和洪水特性入手,在分析疏勒河流域的径流特性和洪水特性的基础上,依据昌马水库坝址处设计年径流及年内分配,对典型年水沙关系和1957—2014年期间全年逐日和7—8月水沙关系进行计算、研究,建立了数学模型,初步确定了疏勒河流域昌马水库坝址处水沙关系,为水库减淤调度提出排沙分级流量提供技术保障。

**【关键词】** 昌马水库;水沙关系;减淤调度

中图分类号: TV145+.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)04-030-05

## Study on the water sand relationship characteristics at the dam site of Changma Reservoir in Shule River

ZHANG Pengju<sup>1</sup>, ZHAO Guorong<sup>2</sup>

- (1. Gansu Shule River Basin Water Resources Administration, Yumen 735200, China;  
2. Gansu Water Conservation Technology Development Co., Ltd., Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The sedimentation of Changma Reservoir is serious, which affects the utilization efficiency of the reservoir. Mathematical method is adopted to calculate and study the typical year water sand relationship, whole-year daily water sand relationship and July-August water sand relationship from 1957 to 2014 in order to realize reservoir siltation reduction scheduling optimization from the aspects of Changma Reservoir runoff sediment characteristics and flood characteristics on the basis of analyzing Shule River basin runoff characteristics and flood characteristics according to dam designed annual runoff and annual distribution of Changma Reservoir. A mathematical model is established for preliminarily determining the water sand relationship in Changma Reservoir dam site of Shule River, thereby providing technical support for reservoir siltation reduction scheduling and proposal of desilting fractional flow.

**Key words:** Changma Reservoir; water sand relationship; siltation reduction scheduling

疏勒河流域的开发历史可追溯到汉武帝时期,自公元前2世纪以来,疏勒河就是丝绸之路的必经之地,是敦煌的母亲河。如今的疏勒河承担着疏勒河灌区8.96hm<sup>2</sup>农田灌溉和工业供水等任务。而昌马水库作为疏勒河的龙头工程,是疏勒河灌区的命脉工程,直接

关系着灌区的生死存亡。昌马水库工程自1997年开工,2001年12月下闸蓄水,2003年11月正式建成,设计总库容1.934亿m<sup>3</sup>。由于昌马水库建成后,大坝抬高了水位,形成了在水库大坝至库尾的回水曲线,使水库沿水流方向,随着水深的增加,水面比降平缓、流速

减小、泥沙沉淀,最终在库区形成淤积。据2015年4月实测数据,在汛限水位1993.30m时,淤积量为1763.89万 $m^3$ ,相比初设库容11586万 $m^3$ ,库容损失15.22%。严重影响水库使用效益,甚至将可能导致水库失效报废。而初设提出的昌马水库排沙方式为7月份畅泄排沙,这与灌区的灌溉用水高峰期时间相同,无法按设计执行排沙调度,故在实际调度过程中每隔2~3年在汛期选取2~3d进行排沙,但排沙效果不明显。所以,对昌马水库进行减淤调度优化研究就显得尤为重要,直接影响着疏勒河灌区耕地的灌溉保障和23万灌区人民的生存权。本文从昌马水库坝址处的水沙关系入手,理清水沙关系,建立数学模型,为下一步水库的减淤调度提供数据支撑。

## 1 昌马水库坝址处水文气象特征

### 1.1 径流

#### 1.1.1 径流特性

疏勒河径流主要补给靠上游降水和冰雪融化,因此,径流在年内分配极其不均匀。4—5月主要由积雪

融化和河水补充,水量占全年的11.30%;6—9月,径流主要由高山的积雪融化和降水来补充,占全年河道来水的68.90%,而其中7、8两月,水量占全年河道来水的48.30%;10月—来年3月,径流主要依靠地下水进行补给,全年最小的来水流量一般发生在这一时期的1—2月。

#### 1.1.2 昌马水库设计年径流

昌马水库坝址上游18.50km处设有昌马堡水文站,观测至今,控制流域面积10961 $km^2$ ,水库坝址以下2.50km处设有昌马峡专用站,有五年(1964—1968年)不完整的水文实测资料。1995年进行《昌马水库枢纽工程初步设计》时,利用这些资料与上游昌马堡水文站相应月份的平均流量进行相关联,关系良好,由此插补出昌马峡1952—1989年年径流系列资料,为水库调节计算方便,资料系列采用(7—6月)调节年度统计,经频率分析计算,通过适线得: $W_0 = 10.31$ 亿 $m^3$ 、 $C_v = 0.24$ 、 $C_s = 2C_v$ ( $W_0$ 为年际平均流量, $C_v$ 、 $C_s$ 分别为变差系数和偏态系数)(见表1)。

表1 昌马水库入库设计年径流成果

项 目	统计 参 数			设计 频 率				备 注
	均值	$C_v$	$C_s$	25%	50%	75%	90%	
$W_0/10^8 m^3$	10.31	0.24	$2.0 C_v$	11.85	10.12	8.55	7.29	初设成果
$Q_0/(m^3/s)$	32.7	0.24	$2.0 C_v$	37.6	32.1	27.1	23.1	

#### 1.1.3 设计径流年内分配

昌马水库设计径流年内分配采用典型年法,由于年径流实测资料系列较长,代表性好,包含了丰、平、枯变化周期。根据选择典型年的原则,并考虑4—6月灌溉高峰期的具体情况,分别选定丰水年( $P = 25%$ )典

型为2004年7月—2005年6月、平水年( $P = 50%$ )典型为1979年7月—1980年6月、枯水年( $P = 75%$ )典型为1961年7月—1962年6月、特枯水年( $P = 90%$ )典型为1965年7月—1966年6月。昌马水库不同设计频率入库年径流,通过典型年进行年内分配(见表2)。

表2 昌马水库入库设计年径流年内分配成果

频率 $P$	各 月 分 配 成 果 / 亿 $m^3$												年/ 亿 $m^3$	备 注
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6		
25%	2.252	2.965	0.906	0.601	0.478	0.416	0.416	0.402	0.458	0.632	0.983	1.339	11.85	初设 成果
50%	1.779	2.82	0.824	0.561	0.42	0.361	0.312	0.307	0.361	0.564	0.765	1.047	10.12	
75%	1.941	2.325	0.534	0.428	0.355	0.265	0.284	0.266	0.292	0.503	0.649	0.708	8.55	
90%	1.814	1.065	0.728	0.507	0.386	0.257	0.25	0.232	0.295	0.479	0.671	0.606	7.29	

## 1.2 洪水

疏勒河汛期主要集中在7、8、9这三个月,洪水主要由上游山区的强降雨形成,规模较大的洪水一般历时7~15d左右。由于在昌马峡出山口至双塔水库之间分

布着大量的戈壁滩,每当洪水下泄后,洪水的三分之二左右损失在这一段。昌马水库自2001年末开始蓄水,水库防洪标准按百年一遇设计,二千年一遇校核,其洪峰流量分别为: $Q_{1\%} = 1620\text{m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{0.05\%} = 2960\text{m}^3/\text{s}$ (见表3)。

表3 昌马水库断面设计洪水

项 目	统计参数			各 频 率 设 计 成 果 $Q/(\text{m}^3/\text{s})$					
	均值/ $(\text{m}^3/\text{s})$	$C_v$	$C_s/C_v$	1%	2%	5%	10%	20%	50%
昌马堡水文站	310	0.92	3.5	1456	1196	867	633	419	198
初设成果	338	0.92	3.5	1620	1330	957	693	455	212

## 2 昌马水库坝址水沙关系

### 2.1 昌马水库泥沙特征

疏勒河流域干旱少雨,多年平均降水量94mm。多年平均悬移质输沙量359万t,推移质输沙量90万t(按照悬移质的25%估算),多年平均总输沙量449万t,多年平均含沙量 $3.49\text{kg}/\text{m}^3$ ,实测最大断面平均含沙量 $99.30\text{kg}/\text{m}^3$ 。来沙量年际变化大,年最大输沙量880万t(1972年实测),年最小输沙量43.70万t(1956年实测)。年内来沙极不均匀,汛期(6—9月)来沙量占全年的94.30%,且主要集中在7、8两月,分别占全年沙量的44.40%和37.60%,而7、8月来水分别占全年的20%左右(见图1)。

### 2.2 昌马水库泥沙关系分析

#### 2.2.1 昌马水库典型年7—8月泥沙关系分析(一元线性回归分析)

可利用一元线性回归分析法对水沙关系数据进行处理和分析。以典型年7—8月份来水流量为 $x$ ,含沙量为 $y$ ,进行线性回归分析计算,其理论计算如下:

①一元线性方程公式:

$$b = \frac{\sum x_i y_i - \bar{x} \sum y_i}{\sum x_i^2 - \bar{x} \sum x_i} \quad (1)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2)$$

②对得到的方程进行相关系数检验

$$R^2 = \frac{\sum (y'_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

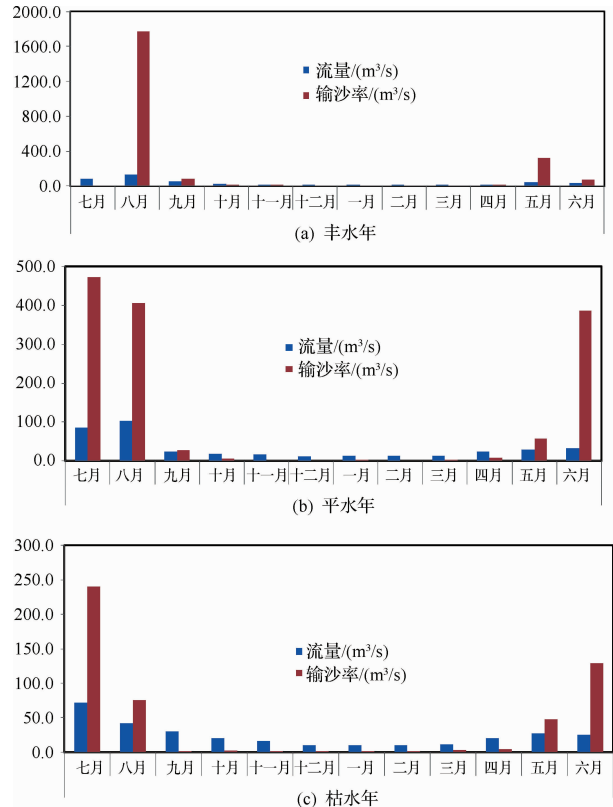


图1 昌马水库坝址典型年月平均流量、输沙率

在 $\alpha = 0.05$ 时,自由度 $= n - 2$ ,查相关系数表,只要 $R > 0.3175$ ,则存在相关系数合理。通过分析得出:在丰、平、枯三个典型代表年下,昌马水库水沙关系存在线性关系(见表4、图2)。

表4 昌马水库水沙关系初步分析

项 目	丰 水 年		平 水 年		枯 水 年	
	b	a	b	a	b	a
方程 检验	0.099	-5.432	0.062	1.329	0.086	-3.778
R 检验	$R^2$	R	$R^2$	R	$R^2$	R
	0.8798	0.938	0.5974	0.7729	0.9145	0.956

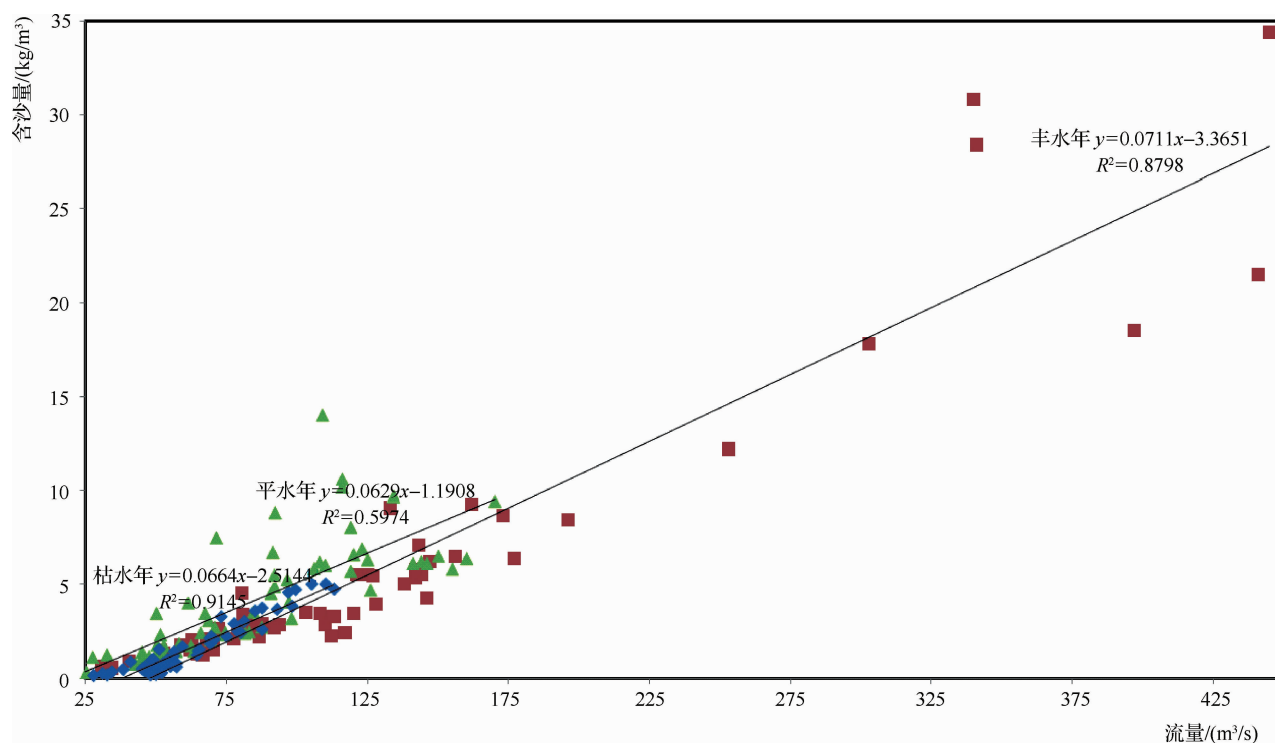


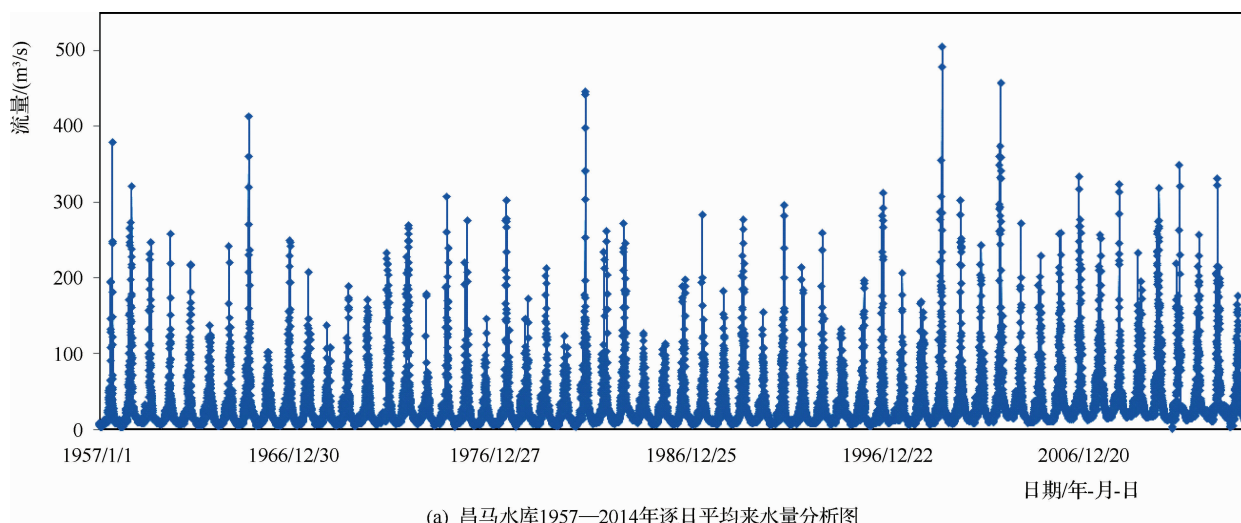
图2 坝址处7—8月丰、平、枯水年日平均流量、含沙量线性回归图

### 2.2.2 昌马水库系列年水沙关系分析

根据昌马堡水文站1957年1月1日—2014年12月31日的逐日流量和逐日来沙量数据,逐日来水量在年度变化上呈现规律性周期变化,在每年的年中达到峰值,在每年的年初和年尾进入低谷(见图3(a)),这与疏勒河流域的水文特性有关。根据对1957年1月1

日—2014年12月31日的逐日平均来沙量进行分析,发现其含沙量变化规律与来水量相同,也是在年来沙极不均匀(见图3(b))。

来水来沙作为河床塑造的主要因素,对昌马水库的冲淤和淤积形态具有直接影响。水库的水沙关系实际上就是昌马水库疏勒河流域上段的来水量和来沙量



(a) 昌马水库1957—2014年逐日平均来水量分析图

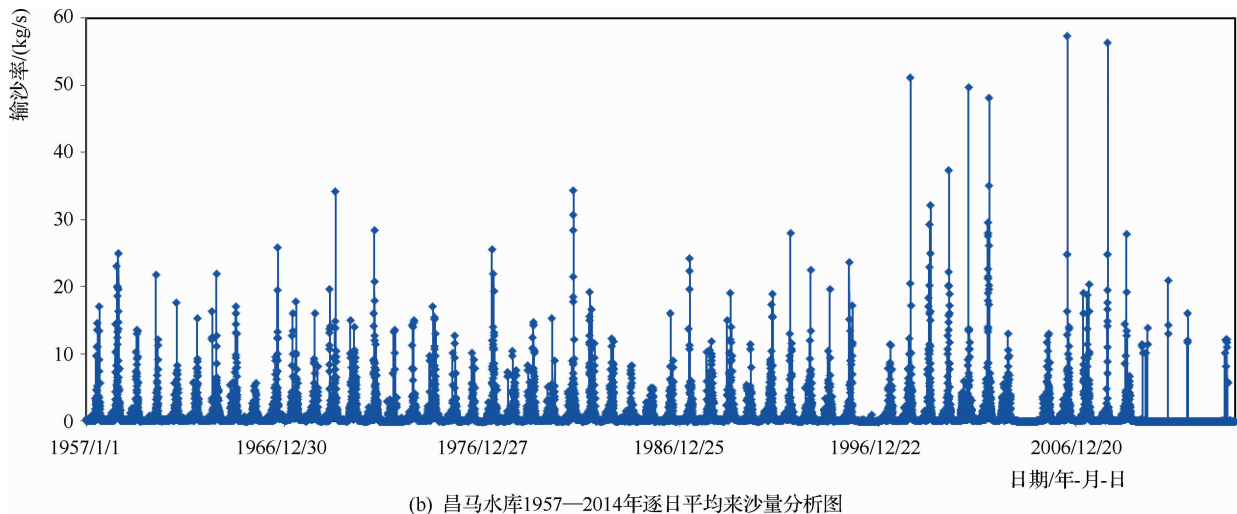


图3 昌马水库1957—2014年逐日平均来水量与来沙量

的关系。根据常用的泥沙和流量关系,该关系的水沙关系方程可表达为:

$$Q_s = aQ^b$$

式中  $Q_s$ ——悬移质含沙量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$Q$ ——流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$a$ ——系数;

$b$ ——指数。

通过对上式进行对数变化和一元线性回归,可知含沙量和来水量变化显著性不明显。故对公式进行修订,将  $Q_s$  调整为输沙率,单位  $\text{kg}/\text{s}$ ,  $Q$  为流量,单位  $\text{m}^3/\text{s}$ 。令  $y = \ln(Q_s)$ ,  $x = \ln(Q)$ , 代入水文泥沙数据(剔除河道流量为0的数据),采用线性回归进行分析。通

过采用指数变换,利用一元线性回归分析,计算得  $\ln(Q_s) = 0.3983\ln(Q) + 3.5494$ , 相关度  $R^2 = 0.5532$ ,  $R = 0.743$ 。故得  $a = e^{3.5494} = 34.79$ ,  $b = 0.3983$ , 故水沙数学模型初步可表达为:

$$Q_s = 34.79Q^{0.3983}$$

由于疏勒河流域来水集中在7—8月之间,而昌马水库主汛期为7月上旬—8月中旬,故选取7—8月的来水量和输沙量,利用上述步骤进行线性回归,计算得  $\ln(Q_s) = 0.4632\ln(Q) + 3.9886$ , 相关度  $R^2 = 0.7112$ ,  $R = 0.834$ , 详见图4。故得  $a = e^{3.9886} = 53.98$ ,  $b = 0.4632$ , 故水沙数学模型确定为:

$$Q_s = 53.98Q^{0.4632}$$

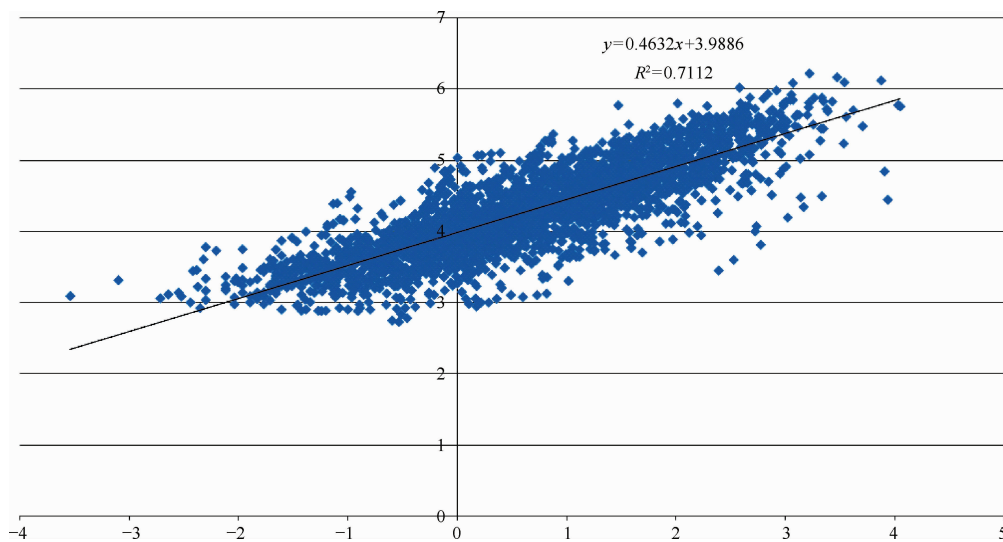


图4 坝址处7—8月逐日平均流量、含沙量线性回归分析图

(下转第26页)