

# 泥沙粒配对水流挟沙力影响的试验研究\*

刘峰 李义天

(武汉水利电力大学 河流工程系, 武汉 430072)

**摘 要** 通过水槽试验研究和实测资料分析, 证明泥沙粒径级配确实是影响水流挟沙力计算的重要因素。级配越宽, 细颗粒泥沙所占的比重越大, 则在同等水力条件下水流挟沙力越大。

**关键词** 水槽试验; 泥沙级配; 水流挟沙力

## 0 引言

一个河段的输沙能力与本河段的水力因子、河床边界条件及泥沙特性有关, 河段的冲淤情况正是取决于本河段的输沙能力与来沙条件的对比关系。因此, 河段的水流挟沙力计算是否准确, 直接关系到一个河流数学模型的计算成败, 是一个为广大河流数值模拟工作者十分关心的问题, 也是他们十分敏感的问题。

从理论上说, 应该有可能通过系统的力学关系来建立水流挟沙力公式, 但是, 限于当前的研究水平, 人们对水流挟带泥沙的力学机理还没有完全认识, 特别是对于: (1) 冲泻质对床沙质水流挟沙力的影响问题, (2) 高含沙水流挟沙力计算问题, (3) 泥沙组成对水流挟沙力的影响问题, (4) 不同粒径泥沙的分组水流挟沙力计算问题, (5) 粘性细颗粒泥沙水流挟沙力问题等, 人们尚未能完全掌握。因此, 对于水流挟沙力计算问题, 人们还不能不借助于一些半经验半理论性的, 或者甚至纯经验性的法则和方法来研究解决。

## 1 问题的提出

在我国, 目前用得比较多的水流挟沙力公式是武汉水利电力大学公式, 即  $S_{vm} = k \left( \frac{U^3}{ghw} \right)^m$ , 与此相同类型的水流挟沙力公式还有很多。这些公式都不能回避泥沙代表粒径的选取问题。由于悬移质颗

粒组成往往比较复杂, 粒径粗细很不均匀, 用一个  $d_{50}$  或  $d_{pj}$  去代表一组悬移质的粗细, 并且把它作为计算水流挟沙力的一个重要物理量, 其准确度值得进一步研究。

本文作者对促使泥沙悬浮的紊流悬浮功进行了系统的分析, 认为不同尺寸的漩涡, 其搬运泥沙的能力是不同的, 它们携带泥沙的限制粒径也是不相同的: 大尺寸的漩涡, 其挟带泥沙的限制粒径比较大; 小尺寸的漩涡, 其挟带泥沙的限制粒径也比较小。这就意味着紊流悬浮功与非均匀沙级配有一定的联系: 泥沙级配越宽, 细颗粒泥沙成份所占的比重越大, 泥沙级配越符合非均匀沙不同粒径颗粒最佳组成比率, 则悬浮功越大, 亦即水流挟沙力越大。关于对紊流悬浮功的详细分析, 作者已在参考文献[5]中作了具体介绍。

水流挟沙力与泥沙级配的关系, 必须用水槽试验来研究, 才能得到证实。

## 2 试验装置

为研究与水流挟沙力有关的问题, 作者研制了一种自循环式明流小玻璃水槽, 用来研究泥沙级配对水流挟沙力的影响。现将这种试验装置扼要介绍如下。

该水槽长 4m, 宽 0.2m, 高 0.25m。水槽进水段、工作段和退水段的尺寸比例为 3:10:2。水槽最大工作水深为 0.20m。

该装置蓄水池半径  $r=0.3m$ , 高  $h=1.5m$ , 体

收稿日期: 1995-09-19

\* 国家教委博士点基金资助项目, 基金号: 9249302

积  $V=0.423\text{ m}^3$ 。水槽和水管充水后,水库水深  $h'=0.721\text{ m}$ 。在蓄水池的旁边,做一个调节水池,其边壁有一排小孔与蓄水池相连,供调节泥沙浓度之用。

进、回水管路用内径  $10\text{ cm}$  的铸铁管制造。选用水泵型号为  $3\text{B}33$ , 转速  $2\ 900\text{ r/min}$ , 扬程  $32.6\text{ m}$ , 允许吸上真空度  $5\text{ m}$ , 流量  $45\text{ m}^3/\text{h}$ , 功效  $71.5\%$ , 轴功率  $5.56\text{ kW}$ , 要求配用电机功率  $7.5\text{ kW}$ , 选用电机型号为  $\text{Y}132\text{S}_2-2$ , 功率  $7.5\text{ kW}$ , 电压  $380\text{ V}$ , 电流  $15\text{ A}$ , 频率  $50\text{ Hz}$ , 转速  $2\ 900\text{ r/min}$ 。

该装置用固定底坐测针量测比降,用体积法量测流量,用相对密度法量测泥沙浓度。该装置的示意图如图1所示。

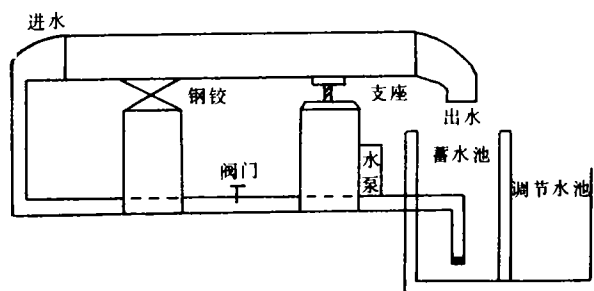


图1 自循环水槽示意图

### 3 试验成果

本试验用筛分法从精煤粉 ( $\gamma_s=1.33\text{ g/cm}^3$ ) 中提出6组均匀模型沙,其平均粒径分别为  $d_1=1.0\text{ mm}$ ,  $d_2=0.75\text{ mm}$ ,  $d_3=0.55\text{ mm}$ ,  $d_4=0.39\text{ mm}$ ,  $d_5=0.25\text{ mm}$ ,  $d_6=0.11\text{ mm}$ 。

将蓄水池加满清水,取  $d_3=0.55\text{ mm}$  粒径的均匀模型沙  $18\text{ kg}$ ,将一部分加于水槽底面,另一部分加入蓄水池,起动动力设备,则水沙自动循环往复,好似均匀沙在无限长河道中不断下泄。

试验开始时,以大流速水流挟带起全部沙粒。然后将流速和水深固定起来,随着水流的不断循环,泥沙不断落淤在河床中,悬移质与河床质不断发生交换,河床最终达到冲淤平衡。当冲淤平衡状况到达以后,泥沙浓度不再发生变化,而是趋近一个稳定值。我们通过监测这个稳定值来判断泥沙落淤是否已达到平衡状态。

当河床底沙交换到达平衡时刻,测量水面比降  $J$ ,水深  $h$ ,河道流量  $Q$  及泥沙平衡浓度  $S_{*1}$ 。 $S_{*1}$  用相对密度法测量,流量用体积法测量。然后计算

河道断面平均流速  $V$  及佛汝德数的平方  $\frac{V^2}{gh}$ 。不断调节水槽水深及流量,重复以上试验,继续测量泥沙平衡浓度和比降,可得到泥沙平衡浓度 ( $S_{*1}$ ) 随佛汝德数平方 ( $\frac{V^2}{gh}$ ) 连续变化的关系,如图2所示。

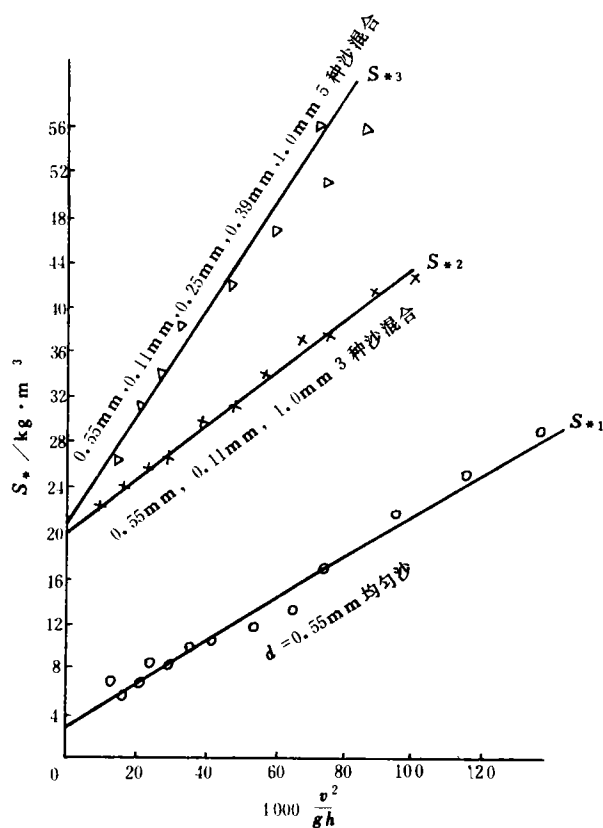


图2 泥沙级配对水流挟沙力的影响

上面的步骤完成以后,向水槽中加入  $3.75\text{ kg}$ ,  $0.11\text{ mm}$  粒径的细沙和  $3.65\text{ kg}$ ,  $1.0\text{ mm}$  粒径的粗沙,原来  $18\text{ kg}$ ,  $0.55\text{ mm}$  粒径的均匀沙仍旧保留在水槽及蓄水池中,以保持全沙平均粒径  $d=0.55\text{ mm}$  不变。开动水泵重新进行类似的落淤试验,待达到冲淤平衡状态后量测全沙水流挟沙力  $S_{*2}$  与佛汝德数平方  $\frac{V^2}{gh}$  的关系,得到另一条水流挟沙力曲线,试验过程中随时监测悬移质的泥沙级配和河床质的泥沙级配,以保证悬移质的平均粒径不变。很明显,在同等水力条件下,尽管泥沙平均粒径保持不变,  $S_{*2}$  还是大于  $S_{*1}$ ,原因是泥沙级配发生了变化。

为了进一步证实上述试验结论,我们继续向水槽中加入  $2.5\text{ kg}$ ,  $0.25\text{ mm}$  粒径和  $2.5\text{ kg}$ ,  $0.39\text{ mm}$  粒径及  $2.55\text{ kg}$ ,  $1.0\text{ mm}$  粒径的均匀沙,上组试验所用的混合沙依然保留在水槽及蓄水池中,保持混合

沙平均粒径  $d=0.55\text{mm}$  不变。这样,混合沙中有 5 种粒径的均匀沙,即  $d_1=1.0\text{mm}$ ,  $d_3=0.55\text{mm}$ ,  $d_4=0.39\text{mm}$ ,  $d_5=0.25\text{mm}$ ,  $d_6=0.11\text{mm}$  的 5 种不同粒径的均匀沙,但混合沙的平均粒径没有改变,为  $d=0.55\text{mm}$ 。

浑水配制好以后,开动水泵,重复以上类似的落淤试验步骤,则水沙沿槽下泄,循环往复。待落淤试验达到冲淤平衡以后,量测混合沙的水流挟沙力  $S_{*3}$  与佛汝德数平方的关系。不断改变水深和流速,重复以上试验步骤,则可得到混合沙水流挟沙力  $S_{*3}$  与  $\frac{V^2}{gh}$  的关系曲线,如图 2 所示。试验过程中保证悬移质平均粒径不变。该图表明:在同样的水力条件下,尽管平均粒径  $d=0.55\text{mm}$  保持不变,但  $S_{*3}>S_{*2}>S_{*1}$ ,这就说明:在同等水力条件下,尽管混合沙平均粒径保持不变,但混合沙的水流挟沙力随着泥沙级配的变宽、细颗粒泥沙含量的增多而明显增大。

通过对河床质的颗粒分析试验,证明上述试验中配制的混合沙中的 5 种均匀沙在河床质中均可找到,它们都参与了河床交换和造床作用,属于床沙质。

## 4 实测资料验证

为了用实测资料验证上面的试验结论,作者采用了龙毓骞建立的黄河输沙资料数据库,选用其中 4 000 组实测资料(每组包括水流挟沙力、泥沙级配、流量、断面尺寸、比降等),进行水力因子运算,并且将实测资料按照佛汝德数平方  $\frac{V^2}{gh}$  递减的顺序进行排序。选出那些水力因子相同(即佛汝德数平方相等),泥沙代表粒径近似相等(即  $d_{50}$  近似相等)的实测数组进行比较,结果表明:在河流水动力条件完全相同的情况下,泥沙代表粒径相同,则随着泥沙级配的变宽,细颗粒泥沙成分增多,水流挟沙力增大。例如:有两组实测数组,其佛汝德数平方  $\frac{V^2}{gh}$  均为 0.246 2,泥沙中值粒径均近似等于 0.026 5,其泥沙粒配曲线如图 3 所示。其中曲线(1)所示的泥沙级配分布范围较广,细颗粒含量较多,水流挟沙力也较大。其它实测数组的比较情况也与上例相同。

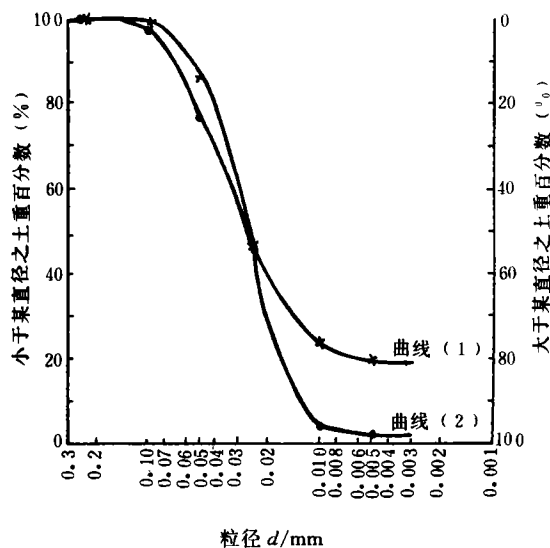


图 3 泥沙粒径级配比较曲线

## 5 结 论

通过对不同尺寸漩涡的悬浮功分析以及对本文水槽试验成果总结和对天然实测资料的分析,可以证明:保持非均匀沙平均粒径不变,在同等水力条件下,改变泥沙级配,则水流挟沙力(非均匀沙床沙质)随着泥沙级配的变宽和细颗粒泥沙成份所占比重的增加而不断增大。泥沙级配越接近非均匀沙的最佳组成,则非均匀沙的水流挟沙力越大。

## 致 谢

本文的试验成果分析及写作,自始至终得到了谢鉴衡教授的悉心指导,在此深表谢意。

## 参 考 文 献

- 1 张瑞瑾,谢鉴衡等. 河流泥沙动力学. 北京:水利电力出版社,1989. 6
- 2 钱宁,万北惠. 泥沙运动力学. 北京:科学出版社,1983
- 3 谢鉴衡. 谢鉴衡论文选集. 武汉:武汉水利电力大学,1995
- 4 石油化学工业部石油化工规划设计院. 泵和电动机的选用. 北京:石油化学工业出版社,1976. 10
- 5 刘峰. 水流挟沙力机理探讨和试验研究. 武汉水利电力大学博士论文,1995. 8
- 6 龙毓骞,梁国亭. 黄河输沙资料数据库. 黄委会水利科学研究院,1994. 11

# Experimental Study on Influence of Sand Graduation Upon Sand Carrying Capacity of Flow

Liu Feng, Li Yitian

(Department of River Engineering, Wuhan University of Hydraulic  
and Electric Engineering, Wuhan 430072)

**Abstract** Through series of flume experiments and the analysis of natural river data, it was proved that the sand graduation is really an important factor which effects the computation of sand carrying capacity of flow. The wider the sand graduation and the bigger the weight ratio of the fine sands, the bigger the sand carrying capacity of flow in the same hydraulic dynamic condition.

**Keywords** flume experiment; sand graduation; sand carrying capacity of flow

## 《长江科学院院报》首批入编 《中国学术期刊(光盘版)》

《中国学术期刊(光盘版)》是我国第一个具有权威性、集成化、多功能的电子学术期刊。它将对我国科学研究、技术开发及其管理手段的高度信息化,和促进我国学术期刊国际地位的提高产生重大影响。

经周光召(中国科学院院长)、朱光亚(中国工程院院长、中国科协主席)、王大中(清华大学校长、中科院院士)、朱丽兰(国家科委副主任)、徐端颐(光盘国家工程研究中心主任)等 22 位著名院士、专家组成的《中国学术期刊(光盘版)》顾问委员会遴选,《长江科学院院报》被推荐为首批入编光盘版的学术期刊。

这是继本刊评为湖北省一级期刊暨 1994~1995 年度湖北省优秀期刊后的又一重大荣誉。这对进一步扩大我刊在国内外的影响,具有重大意义。

本刊编辑部