

水温对水力泥沙因子影响的研究现状

邵琦¹, 江恩惠², 郑春梅²

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450008; 2. 水利部黄河泥沙重点实验室, 河南 郑州 450003)

摘要 针对水力泥沙因子受温度影响的复杂性, 通过介绍现有的研究成果, 按各水力泥沙因子分别评述了温度的作用, 分析了影响水流挟沙能力的因素, 并分别讨论了水温对水流黏滞性、水流阻力、泥沙沉速等主要挟沙能力因子的影响, 系统总结了国内外有关水温对水流挟沙能力因子影响的研究成果。指出由于水温对水力泥沙因子的影响不易观测, 使得水温的作用显得很微妙, 不易扑捉准确, 研究得也不够深入。

关键词 水温 水力泥沙因子 水流挟沙力 水流阻力 能坡 水流黏滞性 泥沙沉速
中图分类号 TV141+.1 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2006)S1-0164-03

水流挟沙能力作为河流泥沙动力学尤其是高含沙水流中的基本问题而备受重视。北方河流冬夏季温差极大, 温度变化对河流输沙能力的影响早已引起人们的关注。黄河水少沙多, 水沙不平衡, 以及特有的高含沙水流输水输沙特性和造床规律, 决定了黄河问题研究的复杂性、艰巨性, 因而长期以来实体模型试验都是治黄科研的重要研究手段之一。然而, 受模型试验周期的限制, 科研人员不得不在冬夏季温度对比显著的情况下开展反季节试验, 水温对试验精度的影响有多大, 一直困扰着科研人员。

水温对水流挟沙能力影响的研究始于 20 世纪 30 年代, 当时贺邦荣在水槽中研究了水温对于泥沙输移的影响, 由于在资料的处理中没有考虑边壁的作用, 论文中的许多结论并不能成立^[1]。受贺邦荣等老一代专家学者的影响, 以后各国学者从不同角度入手, 开展了水温对水力泥沙因子的影响研究, 以期揭示水温对水流挟沙能力影响的微观规律。不过, 因研究者面对的研究对象(河流)特性各异, 因而研究着眼点也各有不同。同时, 受研究者所具备的研究(试验)条件、认知程度的制约, 研究成果的深度、方向都存在明显的个性。

1 水温对挟沙能力影响因素分析

水流挟沙力 S_* ^[2] 是指在一定的水流和泥沙综合条件下, 水流能够挟带和输送的悬移质中的床沙

质的临界含沙量。

水流挟沙力是反映河床处于冲淤平衡状态下, 水流挟带泥沙能力的综合性指标, 是介于冲淤之间的相对平衡状态的断面平均含沙量。影响水流挟沙力的主要因素有: 水流总流的平均流速 U 、过水断面面积 A 、水力半径 R 、水流的比降 J 、浑水水流的比降 J_s 、泥沙沉速 ω 、水的密度 ρ 、泥沙的密度 ρ_s 和床面组成等边界条件, 可写成如下函数形式

$$S_* = f(U, A, R, J, J_s, \omega, \rho, \rho_s, \gamma, \gamma_s - \gamma, g) \quad (1)$$

在对挟沙能力的影响中, 温度变化的影响通常考虑得不是很多, 基本是在一个稳定的温度下来研究的。

长期以来, 国内外工程界和学术界的许多专家学者, 或从理论出发, 或根据不同的河渠测验资料和试验室资料, 提出了不少理论的、半经验的或经验的水流挟沙力公式。远在 2 000 多年前, 我国西汉时期的张戎就开始从水流对泥沙作用的角度分析河床冲淤规律, 由此提出以水攻沙的治河主张, 并对水流挟沙能力随水流大小而变化的关系有所认识; 1914 年西方学者吉尔贝特通过室内水槽试验, 对水流输沙能力进行了系统的研究; 20 世纪 40 年代末出现了著名的扎马林公式, 主要用于渠系挟沙力的计算问题; 在 50 年代和 60 年代前期, 出于河道建筑物的规划设计和理论分析的需要, 国内许多学者对水流挟沙力开展了大规模的研究工作, 近十几年来, 关于水流挟沙力的研究成果和推出的挟沙力公式更是层出

不穷^[3-5],但多是武汉水利水电学院基于一维挟沙水流的能量平衡原理导出的仅考虑全断面或全垂线的平均水流挟沙力半理论公式的引申。江恩惠等曾就几个代表性的计算公式进行过详细的对比分析^[6],目前在黄河等多沙河流广泛采用、且适应性较强的当属张红武公式。水温对水流挟沙能力的影响,主要是通过水温对水流黏滞性、泥沙沉速、浑水相对体积质量等因子实现的。或者说,受水温的影响,这些因子的变化将改变挟沙力。

2 水温对挟沙能力相关水力泥沙因子影响的研究现状

2.1 水温对水流黏滞性的影响

水温的改变直接影响水流的黏滞性。水流的黏滞性是温度的一个函数。水的黏度随温度而变化,温度上升其黏度减小。水温引起水的黏滞性的改变,其影响随着紊动的增强而逐渐减弱,当进入充分紊动状态后,黏滞性的作用即水温的影响则可不计^[7]。

Colby 等研究认为^[8] 液体的黏性变化远大于相对体积质量的变化,占主要作用。由黏性变化带来的输沙量的变化很大,影响作用不可忽视,尤其对某些粒径而言更为显著。水温变化引起的水体黏性变化对输沙量产生 3 种效果:①对黏性底层厚度的影响。这种影响是 3 种作用形式中最微小的。②作用于悬移质泥沙沉降速度,因而引起紊流中悬移质泥沙垂向分布变化。这种影响作用是 3 种作用中最为持续和可预见的。③作用于河床形态的变化,并对河流综合阻力(特别是河床形态阻力)变化产生影响。另外,在水深及流速保持稳定时,随着温度的下降,底坡坡度会有所增大。

Hong 等^[9]指出,结冰层附近水流黏滞性随温度变化非常快,在结冰层附近温度作用非常大。Straub 实验^[10]观测到:在通常的河流水温条件下,尤其是更低的水温情况下,温度每变化 10℃,黏性将有 25% 的变化幅度。

2.2 水温对水流阻力及能坡的影响

Cunha^[11]在自然河流中的观测显示出,随温度的升高水流阻力也增大。此外,Colby 等^[8]引用的密苏里河、Middle Loop 河以及其他一些河流数据,也证实了这一观点。张海燕在《河流演变工程学》^[12]一书中指出:当处于低水流区和过渡水流区之间的临界状态附近时,沉降粒径随温度的变化将导致床面形态阻力的巨大改变。

对天然河流而言,Colby 等^[8]发现水温对中罗泊河的影响十分可观:夏天的床面形态比冬天更为显著,摩擦系数明显地受水温的影响。美国陆军工程

兵团奥马哈分部进行的大量研究表明,秋季温度下降,在流量不变的情况下,沙垄被逐渐冲蚀,床面变得平坦,同时,由于摩阻减小,水位下降。

Franco^[13]调查分析后认为在一些条件下,河床形态受河床质颗粒大小和水温的作用。Hong 等^[9]试验发现,温度降低产生一些相应的次生物,如河床形态的高度和陡峭显著增加。对此,Abou-Seida 等^[14]在河床质几何平均粒径为 0.514 mm 的多组模型试验中,考虑温度单因素作用,温度范围从 14.5℃到 50.5℃时,发现水温的增加能减小河床阻力、河床形态阻力以及降低总能坡线。这种降低程度取决于相关的平均水深和河床质泥沙中值粒径。同时,水温的升高还能消减河床陡峭形态直到接近平坦为止。

Straub 等^[15]在对密苏里河的观测研究后认为:在水深及流速保持稳定时,随着温度的下降,河床形态发生变化,能坡增大。同时又在一定程上影响到河床形态再塑造。

丁新求等^[16]在实测资料的基础上,对水流阻力的变化及水温对其影响的初步分析后得出:水温及冬季形成的冰盖也是影响水流阻力变化的因素。在一定的水流范围及特定的床面条件下,水温对沙波阻力的影响表现为水温下降,河流阻力减小。

然而,其他一些研究结果显示,温度的升高有时能增大水流阻力,有时又削弱水流阻力。例如,Franco^[13]用粒径为 0.23 mm 的泥沙做试验可得出随温度升高水流阻力降低,而采用相对体积质量为 1.3、平均粒径为 2.2 mm 的泥沙做试验则出现相反的现象。此外,Hubbell 等^[17]陈述了随温度的增高水流阻力的增大或减小依赖于河床特性。目前,Taylor 等^[18]在一些低输沙量的试验中也发现类似现象,认为温度的影响只产生在水力光滑水流中。

综合上述研究成果可见,影响冲积河流阻力的各种变量之间的相互作用,如悬移质和推移质级配、水深、河床形态,以及水温的变化,都是造成不同研究者结果差异的原因。

2.3 水温对泥沙沉速的影响

温度对沉速的影响,主要是通过黏滞系数随温度的变化而起作用。在同一种液体中,动力黏滞系数 ν 和运动黏滞系数 μ 均随温度和压力而变,但随压力变化很小,而对温度变化较为敏感。

Hong 等^[9]在试验研究中发现,河床底部泥沙浓度和浓度分布均匀性的增加是由于颗粒沉速降低所引起的。水温的降低能够使泥沙浓度分布的均匀性显著增大。Straub^[9]实验观测到:水温的降低会使冲积河床质沉降率降低,尤其对粒径在 0.062 5 ~

0.5 mm的泥沙沉降率产生的影响最大。

张海燕^[12]认为:温度较高时,沙粒的沉降速度及沉降粒径都较大。钱宁^[19]指出,水温对泥沙沉速的影响,对于细颗粒的影响要比粗颗粒大得多。泥沙沉速因水温的下降而减小以后,悬移质在垂线的分布将变得更为均匀。

3 水温对其他因素的影响

水温的变化还能够对浑水的相对体积质量、密度、水流流速、水深以及水流的紊动形式等因素产生一定的影响,从而影响到泥沙输移量。然而各种影响效果和程度不尽相同,总结现有的成果分析如下:

①对浑水相对体积质量的影响。在天然河流的温度变化范围内,浑水相对体积质量的变化很小。温度变化引起的相对体积质量变化而产生的对输沙量的改变是微小的,可以忽略不计。②对水流流速的影响。在自然条件下,由温度的变化而引起的水流流速变化造成的河床质输沙量变化很微小,可以忽略不计。③对水深的影响。由水深造成的输沙量变化相对比较明显,在水深增加时,输沙量随之有一定的增加。与流速相比,温度对水深的变化造成的河床质输沙量变化比较大。随着水温的增加,水深也会有很微小的升高。④对糙率的影响。随着水温的增高,糙率会有所增加。⑤对水流紊动形式的影响。实验和野外观测表明,水温的改变对流动状态有很大程度的影响,而对河流的紊动形式不能产生强烈的影响。⑥对断面的水位-流量率定曲线的影响。钱宁以实测资料分析出水温的升降只要不引起冰冻现象,则对断面的水位-流量率定曲线无影响。

4 结 语

上述国内外研究均表明,温度对水力泥沙因子的影响是客观存在的,但其影响程度一般地也比较小。总体分析来看,低温时各因子基本都趋向有利于输沙的方向发展。根据现有的研究成果来看,随着水温的升高,水流黏滞性减小,水流阻力减小,而河床形态及其阻力会增大,从而影响到水流挟沙能力,使得低温时输沙量要比高温时大。综合分析来看,水温的降低能够增加水流挟沙能力。同时,水温对水力泥沙因子的微观影响,还需在今后进一步研究中探索、检验和修正。

水温对水力泥沙因子影响的分析,将进一步深化我们对泥沙运动基本规律的认识,完善对水流挟沙力的理论研究。同时,针对黄河高含沙浑水的特性,来研究试验过程中水温对水流输沙能力的影响,对于黄河治理开发中的水力输沙、引黄灌溉等工程

实践也有重要意义。

参考文献:

- [1] JOHNSON J W. The importance of considering side-wall friction in bed-load investigations[J]. Civil Engine, 1942, 12(6): 329-331.
- [2] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [3] 窦国仁, 王国兵. 黄河小浪底水利枢纽泥沙研究(报告汇编)[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1993: 91-133.
- [4] 曹文洪, 张启舜. 潮流和波浪作用下悬移质挟沙能力的研究[J]. 泥沙研究, 2000(5): 16-21.
- [5] 余明辉, 杨国录, 刘高峰. 非均匀沙水流挟沙力公式的初步研究[J]. 泥沙研究, 2001(3): 25-29.
- [6] 江恩惠. 黄河水流挟沙力计算方法的研究现状[C]. //黄河水利科学研究院. 黄科院第四届青年学术讨论会文集, 郑州: 黄河水利科学研究院, 1992.
- [7] 段红东, 何华松, 朱辰华. 河流输沙力学[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [8] COLBY B R, SCOTT C H. Effects of water temperature on the discharge of bed material[C]. //U. S. Geological Survey Professional Paper 462-G, Washington D. C.: United States Government Printing Office, 1965: G1-G25.
- [9] HONG Rou-jai, KARIM M F, KENNEDY J F. Low-temperature effects on flow in sand-bed streams[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1984, 110(2): 109-125.
- [10] STRAUB L G. Effect of water temperature on suspended sediment load in an alluvial River[C]. //Proceeding of 6th Meeting of IAHR, Vol. 4, The Hague, 1955: D25-1-D25-5.
- [11] CUNHA L V. The influence of water temperature on the roughness of alluvial flows[C]. //Proceedings of 15th IAHR, Istanbul, Vol. 1, 1973: 15-20.
- [12] 张海燕. 河流演变工程学[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [13] FRANCO J J. Effect of water temperature on bed load movement[J]. Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE, 1968, 94(WW3): 343-352.
- [14] ABOU-SEIDA M M, ARAFA F. Effect of temoerature on channel resistance[J]. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1977, 103(HY3): 251-263.
- [15] STRAUB L G, ANDERSON A G, FLAMMER G H. Experiments on the influence of temperature on the sediment load[J]. M R D Sediment Series, 1958(10): 36.
- [16] 丁新求, 王二平, 吴怀礼, 等. 库区河道河相关系特性与糙率研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2003, 24(4): 5-7.
- [17] HUBBELL D W, ALI K A. Qualitative effects of temperature on flow phenomena in alluvial channels[C]. //U. S. Geological Survey Professional Paper 424-D. Washington D. C.: United States Government Printing Office, 1961: D21-D23.
- [18] TAYLOR B D, VANONI V A. Temperature effects in low-transport flat-bed flows[C]. //Proc ASCE, 98, New York, 1972: 1427-1445.
- [19] 钱宁. 泥沙运动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

(收稿日期: 2006-06-22 编辑: 熊水斌)