

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.02.018

淮河中游造床流量计算

虞邦义^{1,2},郁玉锁³,赵 凯³

(1.安徽省·水利部淮河水利委员会水利科学研究院,安徽 蚌埠 233000;

2.安徽省水利水资源重点实验室,安徽 蚌埠 233000;3.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:根据 1950~2007 年实测水文资料,分别采用马卡维也夫法和平滩流量法对淮河中游干流河道造床流量进行计算.通过对 2 种方法计算结果的综合分析,推荐了淮河中游各站及相应河段造床流量值,并通过回归分析建立了造床流量与多年平均流量以及多年汛期平均流量的经验公式.

关键词:淮河干流 造床流量 马卡维也夫法 平滩流量法

中图分类号:TV143 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2010)02-0210-05

河道来水量及其过程和与之相应的来沙量及其过程是决定河床形态最主要的因素,这两者都因时而变.为建立河相关系,必须找到 1 个代表流量,该流量对塑造河床形态所起的作用最大.最大洪水流量的造床作用剧烈,但时间过短.枯水流量作用时间较长,但流量过小,所以这些流量的造床作用都不是最大.由此可见,造床流量应该是一个比较大但又并非最大的洪水流量.造床流量决定了河流的平均状态,因此工程中常常依据该流量来设计河流常年的断面和平面形态.目前确定造床流量的方法在理论上还不成熟,在实际工作中一般采用马卡维也夫法,并参考平滩流量值^[1-5].除此以外还有一些经验方法,如黄河水利委员会水利科学研究所研究得出的造床流量与多年汛期平均流量关系式^[6].陈建国等^[7]建立的黄河下游平滩流量与花园口全年或汛期水量连续 5a 滑动平均值和当年最大洪峰流量的关系式,以及用马卡维也夫方法计算出黄河下游造床流量与平滩流量之间的关系式.吴保生等^[8]指出,平滩流量不能简单等同于造床流量,需要将两者分开来.而对于少沙河流,平滩流量与造床流量虽然不能等同,但比较接近^[1],如长江中下游各河段造床流量与平滩流量基本一致^[9].

淮河发源于河南省境内桐柏山区,自西向东流经豫皖苏三省,全长 1 000 km,流域面积 18.7 万 km².从洪河口到洪泽湖出口中渡为中游,长 490 km,落差 16 m,河床比降 0.3×10^{-4} .淮河五大支流均从中游汇入淮河.表 1 为 1985~2005 年淮河中游主要测站水文特征值的变化情况.从表 1 可以看出,淮河中游沿程集水面积、径流量和输沙量变化较大.且从空间分布上看这种沿程变化呈现阶梯式的变化特征,即在主要支流入汇处发生突变.王家坝、润河集、鲁台子、吴家渡 4 个水文站基本控制了淮河中游入汇水量突变的几个河段.此外淮河中游河床基本稳定,纵横断面变化较小,水位-流量关系相对稳定,输沙量与流量和径流量相关关系较好,因此采用马卡维也夫法确定各站及相应河段的造床流量是合适的.本文以马卡维也夫法和平滩流量法为基础,采用 1950~2007 年实测水文资料,确定淮河中游干流各测站及相应河段的造床流量值.

表 1 淮河中游主要测站水文特征值

Table 1 Hydrological characteristic values at main hydrological stations in the middle reaches of Huaihe River

站名	集水面积/ km ²	多年平均径 流量/亿 m ³	多年平均 输沙量/万 t
王家坝	30 630	73.76	232.18
润河集	40 360	121.59	
鲁台子	88 630	201.44	309.28
吴家渡	121 330	251.31	458.84
小柳巷	123 950	258.57	468.55

1 淮河中游各河段造床流量计算

1.1 马卡维也夫法

马卡维也夫法的具体步骤是^[10]把分析时段内的流量(日流量)全部划分成一系列的相等区间,确定落

入每一区间的流量次数占整个分析时段内观测流量次数的频率 P ,并计算落入每一区间的所有流量的平均值 Q 由每一区间的 Q ,根据水位流量关系反推水位,再参考断面平滩水位,确定各流量区间相应的滩地作用系数 σ 值^[3] 绘制流量与比降的关系曲线,由流量平均值查其相应的比降平均值 J ,计算每一流量区间的造床流量作用值 $\sigma Q^m J P$;点绘每一流量区间的 Q 和 $\sigma Q^m J P$ 关系图,拟合曲线,曲线峰值对应的流量即造床流量.

马卡维也夫在计算造床流量作用值时引入了滩地作用系数 σ ^[3].他认为,当水位上升漫过滩地时,下垫面糙率增大,平均水深减少,导致平均流速及输沙率减小,这种现象称之为“运动学效应”.水位继续升高,水深增大,相对粗糙高度减小,流速重新增大. σ 取值如下:无滩地或水流上滩前, $\sigma=1$;上滩后,滩地宽度小于 2 倍主槽宽, $\sigma=0.9$;滩地宽度大于 10 倍主槽宽, $\sigma=0.5$;滩地宽度大于 2 倍主槽宽,小于 10 倍主槽宽, $\sigma=0.5 \sim 0.9$.

由以上计算步骤可知,马卡维也夫法较全面地考虑了冲积河流造床的作用:既考虑了所计算时段的整个水沙过程,又考虑了河床边界条件(河流冲积性,水位、比降的关系);既考虑了水流大小(即强度)的作用,又考虑了水流随持续时间的作用.

1.1.1 资料的选取

由造床流量的定义可知,造床流量具有时间的概念,选取不同的时段资料,计算出的造床流量也不相同.如何选取资料,主要取决于河流的具体情况以及研究目的.本文旨在分析水流河床相互作用达到稳定状态下的造床流量,以建立河相关系,故尽可能选取长系列资料,但必须考虑资料系列的一致性.淮河中游各测站 50 多年来的流量系列较稳定,并未出现连续单向偏丰或偏枯,故本文计算选取 1950~2007 年淮河中游各测站长期日平均流量系列.

与文献[1]计算比较,本文计算增加了小柳巷站,资料系列延长了 15 a,能反映近 15 a 河道来水来沙、洪水调度、河道整治及可能的人类活动对造床流量的综合影响.计算保留了 $1000\text{ m}^3/\text{s}$ 以下流量级资料,充分考虑了该流量级长期造床结果,能更全面反映真实情况.

1.1.2 m 值的确定

马卡维也夫法中的 m 值源于水流输沙率 Q_s 和流量 Q 、水面比降 J 关系,即 $Q_s \sim Q^m J$.通常 Q_s 随水面比降的变化相对较小,因此可以忽略水面比降 J 变化对其的影响^[9-10],建立 $Q_s \sim Q^m$ 关系.选取日平均 $Q_s \sim Q$ 进行相关分析,发现相关性较差,难以确定 m 值.因此,马卡维也夫法中推荐^[9-10]平原河流取 $m=2$.根据有关研究^[11],可采用多年月均流量与多年月均输沙率关系确定 m 值.统计分析表明,淮河干流各主要测站多年月均 $Q_s \sim Q$ 之间相关关系较好,图 1 为吴家渡站多年月均输沙率与多年月均径流量的关系曲线.由此计算各站 m 值如下:王家坝站 1.867,润河集站 1.337,鲁台子站 1.557,吴家渡站 1.576,小柳巷站 1.892.由实测资料统计分析的 m 值接近马卡维也夫法的推荐值 2,因此,在本文的计算中各站 m 值均采用上述计算的结果.目前工程计算也多采用该方法^[9-10].

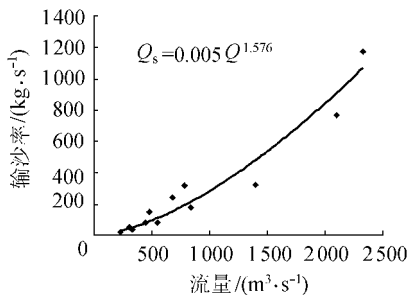


图 1 吴家渡站流量-输沙率关系曲线
Fig. 1 Relationship between discharge and sediment discharge rate at Wujiadu hydrological station

1.1.3 流量比降关系确定

平原河道水位-流量关系曲线为绳套曲线,即呈多值函数关系,导致流量-比降函数关系也是多值的.根据马卡维也夫法定义,为反映河道长期的平均造床效果,本文以 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 为 1 个流量级,将典型洪水年实测流量进行分级,然后计算每个流量级对应的平均流量和平均比降,再点绘 $Q \sim J$ 关系.计算结果表明,该计算方法可有效减少水面比降 J 的变化幅度,减少比降确定的误差(如图 2 所示).

1.1.4 马卡维也夫法计算结果

王家坝、润河集、鲁台子、吴家渡、小柳巷 5 个测站

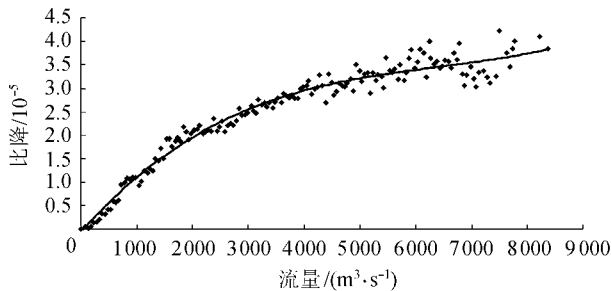


图 2 吴家渡站流量比降关系曲线
Fig. 2 Relationship between discharge and water surface gradient at Wujiadu hydrological station

$\sigma Q^m JP \sim Q$ 曲线均呈现 1 个峰值范围,图 3 为吴家渡站计算结果曲线.

按照马卡维也夫法定义,峰值范围内对应流量的均值即为造床流量.王家坝、润河集、鲁台子、吴家渡 4 站 $\sigma Q^m JP \sim Q$ 曲线变化趋势基本一致,小柳巷站有所差别.分析其原因:(a)前 4 站的时间系列为 1950(1951 或 1952)~2007 年,小柳巷站于 1981 年设站,选用系列为 1982~2007 年,期间 1989 年 6 月 23 日~1993 年 3 月 31 日缺测,系列资料较短,短系列资料难以全面反映天然河道的造床过程.(b)小柳巷站位于浮山以下 7 km 处,已明显受洪泽湖蓄水顶托影响,河床演变由浮山以上的缓慢下切过渡到洪山头以下的缓慢淤积,其水流造床作用规律有别于浮山以上各站.由马卡维也夫法计算各站造床流量,取值范围如下:王家坝 1 200~1 400 m³/s,润河集 1 600~2 000 m³/s,鲁台子 2 900~3 300 m³/s,吴家渡 3 200~4 000 m³/s,小柳巷 4 400~4 600 m³/s.

1.2 平滩流量法

平滩流量法^[1-5]认为,当河道水位达到河漫滩滩缘高度(即平滩水位)时水流造床作用最强,相应的流量为造床流量,也称为平滩流量.该方法简单直观,多为工程上应用.其缺点在于有时河段的滩地高程起伏较大,平滩水位不易确定.此外,如果断面的水位流量关系不稳定,也给确定平滩流量造成困难.

自 1965 年以来,各断面滩唇高程有所淤高,但总体上基本稳定.根据历年实测断面平均滩地高程,并参考各测站上下游 10 km 河段 1992 年实测断面确定的滩唇高程,综合考虑选取各断面平滩水位,如表 2 所示.

各站水位-流量关系是多值关系,这是由水位-流量关系绳套曲线的特性决定的.平滩水位确定的流量也是一个范围,是根据水位-流量关系的上包线 and 下包线确定的^[12],流量变化值较马卡维也夫法范围更大.由平滩流量法推求的各站造床流量见表 2.

2 造床流量计算结果分析

由于平原河道水位-流量关系是绳套曲线关系, $Q \sim H$, $Q \sim J$ 为多值函数.在马卡维也夫法中流量 Q_i 对应的 J_i 是这个流量范围内的比降平均值 $J_{i平均}$, $J_{i平均}$ 的确定会给造床流量带来一定的误差.在平滩流量法中,首先平滩水位的确定有一定的误差.其二,即使同一平滩水位,对应平滩流量的范围值也很大,比 J_i 带来的敏感度更大,误差相应增大.2 种方法计算结果比较见表 3.

表 3 淮干各站造床流量与平滩流量

站名	马卡维也夫法		平滩流量法		推荐结果		
	造床流量/(m ³ ·s ⁻¹)	保证率/%	平滩水位/m	平滩流量/(m ³ ·s ⁻¹)	平滩水位/m	造床流量/(m ³ ·s ⁻¹)	保证率/%
王家坝	1 200~1 400	2.6~3.8	27.0	800~1 800	27.0	1 300	3.2
润河集	1 600~2 000	4.1~5.8	23.0	600~2 500	23.0	1 900	4.5
鲁台子	2 900~3 300	3.7~4.8	22.5	2 000~4 200	22.5	3 200	4.0
吴家渡	3 200~4 000	3.8~6.9	17.0	2 000~3 600	17.0	3 500	5.5
小柳巷	4 400~4 600	3.1~3.4	15.0	3 000~4 200	15.0	3 600	6.0

由表 3 可以看出,这 2 组值比较接近,并且流量变化范围也有重合部分.综合分析,王家坝、润河集、鲁台子、吴家渡 4 站以马卡维也夫法计算结果为主,小柳巷站以平滩流量法计算结果为主,推荐的中游各段造床

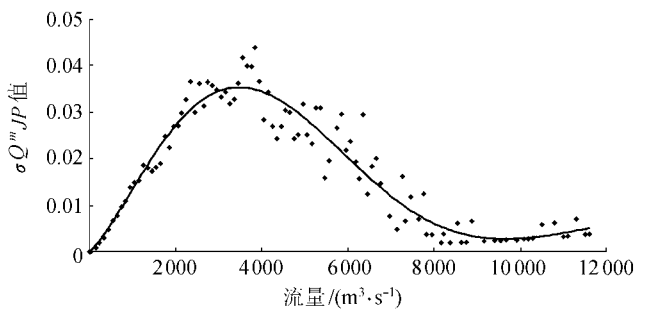


图 3 吴家渡站 $\sigma Q^m JP \sim Q$ 关系

Fig. 3 Relationship between $\sigma Q^m JP$ and discharge at Wujiaodu hydrological station

表 2 淮干中游各水文测站平滩水位高程和平滩流量

Table 2 Bankfull stages and discharges at various hydrological stations in the middle reaches of Huaihe River

站名	平滩水位/m	平滩流量/(m ³ ·s ⁻¹)
王家坝	27	800~1 800
润河集	23	600~2 500
鲁台子	22.5	2 000~4 200
吴家渡	17	2 000~3 600
小柳巷	15	3 000~4 200

流量为王家坝站(王家坝—润河集之间河段)1 300 m³/s,润河集站(润河集—正阳关之间河段)1 900 m³/s,鲁台子站(正阳关—涡河口之间河段)3 200 m³/s,吴家渡站(涡河口—浮山之间河段)3 500 m³/s,小柳巷站(浮山—洪山头之间河段)3 600 m³/s.此外,从各站推荐的造床流量来看,总体上呈沿程增大的趋势,特别是润河集—鲁台子造床流量增加较多,这是由于淮河中游来水主要集中在鲁台子附近汇入,流量增幅较大所致.

3 淮干中游河道造床流量特性分析

河道来水来沙过程、输水输沙特性、河床边界条件及其对水沙过程的响应等内外因素共同决定河道纵横断面特性,造床流量是综合反映河道来水来沙过程及输水输沙特性长期影响的一个特征流量.对于某一具体的河流,输水输沙是紧密相连的,反映河道来水来沙的特征参数能间接反映输水输沙的综合作用状况.反映河道来水来沙的主要水力参数有年平均流量(或径流总量)、汛期平均流量(或 30 d,60 d,90 d 总洪量)、最大洪峰流量等.从造床流量的定义及内涵分析,这些特征参数与造床流量间必然存在一定的联系.

表 4 为造床流量与特征流量的比值,其中 $\bar{Q}_{\text{年}}$ 为多年年平均流量, $\bar{Q}_{\text{汛}}$ 为多年汛期平均流量(汛期为 6~9 月), $\bar{Q}_{\text{max}}$ 为多年最大流量平均值, Q_f 是本文推荐的造床流量.进一步分析造床流量与各河段特征流量值关系,采用多元线性回归得

$$Q_f = 0.92\bar{Q}_{\text{汛}} + 1.75\bar{Q}_{\text{年}} + 528$$

(1)

式(1)反映了汛期、非汛期造床流量的综合作用,更符合造床流量的定义和内涵.利用式(1),可以推求淮河干流中游各河段造床流量.

4 结 论

- a. 根据 1950~2007 年实测水文资料系列,采用马卡维也夫法和平滩流量法对对淮河中游干流河道造床流量进行计算,推荐各河段造床流量值为:王家坝—润河集河段 1 300 m³/s,润河集—正阳关河段 1 900 m³/s;正阳关—涡河口河段 3 200 m³/s,涡河口—浮山河段 3 500 m³/s,浮山—洪山头河段为 3 600 m³/s.
- b. 本文计算中,保留了 1 000 m³/s 流量级以下实测水沙资料,利用全部实测资料进行计算,能反映各流量级的综合造床作用.在马卡维也夫法中, m 值取各站实测计算值,能反映该河段的输沙特性; j 取各站流量级对应均值,减少了由 Q 确定 j 带来的误差.
- c. 对淮河中游各河段造床流量的特性和统一规律进行了初步探讨,造床流量与年平均流量和汛期平均流量相关性良好,归纳出中游河段造床流量经验公式,可供中游河道整治规划设计参考.

参考文献:

[1] 金正越,杨兴菊. 淮河中游河床演变与整治研究,造床流量和河相关系[R]. 蚌埠:安徽省·水利部淮河水利委员会水利科学研究院,1998.

[2] 邵学军,王兴奎. 河流动力学概论[M]. 北京:清华大学出版社,2005:131-149.

[3] 马卡维也夫 Н И,夏洛夫 Р С. 河床演变学[M]. 莫斯科:莫斯科大学出版社,1986.

[4] 韩其为. 黄河下游输沙及冲淤的若干规律[J]. 泥沙研究,2004(3):1-13. (HAN Qi-wei. Some rules of sediment transportation and deposition-scouring in the lower Yellow River[J]. Journal of Sediment Research,2004(3):1-13. (in Chinese))

[5] 陈绪坚,韩其为,方春明. 黄河下游造床流量的变化及其对河槽的影响[J]. 水利学报,2007,38(1):15-22. (CHEN Xu-jian, HAN Qi-wei, FANG Chun-ming. Variation of dominant discharge in lower Yellow River and its influence on river channel[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2007,38(1):15-22. (in Chinese))

[6] 钱宁,谢鉴衡,黄胜,等. 泥沙手册[M]//中国水利学会泥沙专业委员会. 北京:中国环境科学出版社,1992.

[7] 陈建国,胡春宏,董占地,等. 黄河下游河道平滩流量与造床流量的变化过程研究[J]. 泥沙研究,2006(5):10-16. (CHEN Jian-guo, HU Chun-hong, DONG Zhan-di, et al. Change of bankfull and bed-forming discharges in the lower Yellow River[J]. Journal of Sediment Research,2006(5):10-16. (in Chinese))

- [8] 吴保生,夏军强,张原锋.黄河下游平滩流量对来水来沙变化的响应[J].水利学报,2007,38(7):886-891.(WU Bao-sheng, XIA Jun-qiang,ZHANG Yuan-feng. Response of bankfull discharge to variation of flow discharge and sediment load in lower reaches of Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2007,38(7):886-891.(in Chinese))
- [9] 余文畴,卢金友.长江河道演变与整治[M].北京:中国水利水电出版社,2005:86-87.
- [10] 谢鉴衡,丁君松,王运辉,等.河床演变及整治[M].北京:水利电力出版社,1990.
- [11] 尹学良,陈金荣.黄河下游河性的形成[J].人民黄河,1995(1):59-60.(YIN Xue-liang,CHEN Jin-rong. The formation of the lower reaches of the Yellow River[J]. Yellow River,1995(1):59-60.(in Chinese))
- [12] 韩宝坤,佟彦军,王志成.应用 AutoCAD、Excel 进行水位流量关系定线与推流[J].黑龙江水利科技,2007,35(6):160-161.(HAN Bao-kun,TONG Yan-jun,WANG Zhi-cheng. Application of AutoCAD, Excel for stage-discharge relations as well as lines and plug-flow[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy,2007,35(6):160-161.(in Chinese))

Calculation of dominant discharge in the middle reaches of Huaihe River

YU Bang-yi^{1, 2}, YU Yu-suo³, ZHAO Kai³

(1. Water Resources Research Institute of Anhui Province and
Huaihe River Water Resources Commission of Ministry of Water Resource,
P. R. China, Bengbu 233000, China;

2. Key Laboratory of Water Conservancy and Water Resources of Anhui Province, Bengbu 233000, China;

3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to build river regime, regulate river and adjust flood-storage district, dominant discharge on the middle reaches of Huaihe River is calculated. According to the observed hydrological data from 1950 to 2007, the dominant discharge in the middle reaches of Huaihe River was calculated by use of the Makoviev method and the bankfull discharge method. Based on the comprehensive analysis of the results of the above two methods, the values of the dominant discharge at various stations and of each reach were proposed. An empirical formula to calculate the dominant discharge, mean annual discharge and mean annual flood season discharge was established through the regression analysis.

Key words: Huaihe River; dominant discharge; Makoviev method; bankfull discharge method