

112-116

洞庭湖城陵矶水道水力几何形态的研究

黎明

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

p 343-3

p 33.2.3

摘要 根据 1951—1988 年洞庭湖城陵矶(七里山)站的水文测验资料, 运用 L. B. Leopold 河床水力几何形态原理, 建立洞庭湖出口——城陵矶水道的河相关系式, 研究该水道水力几何形态的特点及变化。研究表明, 与河流水道相比, 洞庭湖出口水道河宽指数 b 随流量的变化较小, 而水深指数 f 及流速指数 m 随流量的变化较大, 河床横断面具有窄深的特点。主要原因在于洞庭湖对泥沙的分选沉积作用而使城陵矶水道水流挟沙力得以增强, 而河流的冲刷作用却主要发生在河底。近 40 年来, 由于荆江三口分流水道的自然淤积和 1967—1972 年下荆江系统裁弯工程的影响, m 值与 m/f 值均逐期增大, 以及城陵矶水道输沙量显著减小, 均促使该水道水流挟沙力增大, 河床冲刷增强, 导致该水道横断面窄深的特点逐渐加强。

关键词 洞庭湖, 水力几何形态, 洞庭湖城陵矶水道

湖, 水流

冲积河流处于平衡或准平衡状态时, 河床形态与流域的来水, 来沙及河床边界组成之间存在某种定量关系, 称为河相关系^[1,2]。目前我国冲积河流的河相关系有一定的研究成果^[1-3], 但对大湖出口水道的河相关系研究甚少^[3], 洞庭湖出口水道的水力几何形态尚未开展研究。水力几何形态关系是河相关系研究中重要的一部分。1951 年以来, 由于洞庭湖四水、三(四)口水沙的变化及大型水利工程的修建, 对洞庭湖流量与沙量均产生了较大的影响, 同时也影响到其出湖城陵矶水道的水沙变化^[4]。本文根据 1951—1988 年近 40 年来洞庭湖城陵矶七里山水文站的水文测验资料, 建立水力几何形态关系式, 研究城陵矶水道的河相关系; 根据 1951 年以来实测资料, 研究了洞庭湖水沙变化对城陵矶水道水力几何形态关系的影响。

1 洞庭湖水沙特性及变化

1.1 洞庭湖与城陵矶水道的水沙特性

洞庭湖湖泊面积 2 691 km², 容蓄湘、资、沅、澧四水及松滋、虎渡、藕池和调弦(1959 年堵口建闸)三(四)口的来水, 经城陵矶汇入长江(图 1)。城陵矶水道是洞庭湖的唯一出湖水道。

洞庭湖的径流主要来自四水, 其多年平均径流量 $3\ 019 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 平均流量 $9\ 573.19 \text{ m}^3/\text{s}$ 。其中来自四水的径流占 54.6%, 三(四)口分流占 37.1%。在四水径流量中以沅江、湘江最大, 分别占 38.5% 和 38.6%, 其次是资水, 占 13.4%, 澧水最少, 占 9.1%。三口径流量中以松滋口最大, 占 44.5%。三口分流占荆江(枝江站)总径流量的 24.4%^[4]。洞庭湖多年平均入湖沙量为 $193 \times 10^6 \text{ t/a}$, 其中三口分流入湖沙量占 82.3%, 远大于四水的入湖沙量。洞庭

• 国家自然科学基金资助项目(编号:49271010)。

收稿日期:1996-10-05;收到修改稿日期:1996-11-14。

作者简介:黎明,男,1971年生。现为南京大学城市与资源学系地貌与第四纪专业硕士研究生,主要从事泥沙与河床演变研究工作。

湖泥沙自城陵矶水道输入长江,其多年平均出湖沙量为 $49.6 \times 10^6 \text{t/a}$, 只占入湖总量的 1/4 左右^[4]. 入湖泥沙经洞庭湖分选后,含沙量与泥沙粒径均明显减小,城陵矶水道含沙量为 0.176kg/m^3 , 只有荆江枝江站的 14.7%, 平均粒径为 0.027mm , 也只有荆江枝江站平均泥沙粒径的 58%^[4].

1.2 城陵矶水道水沙的变化

近 40 年来由于三(四)口河床泥沙的淤积与水利工程的修建导致了洞庭湖与城陵矶水道水沙的变化. 根据 1951—1988 年的实测资料, 将洞庭湖城陵矶水道的水沙变化分为 5 期: 1951—1958 年(第 I 期), 1959—1965 年(第 II 期), 1966—1972 年(第 III 期), 1973—1980 年(第 IV 期), 1981—1988 年(第 V 期)^[4].

近 40 年来城陵矶水道的水沙变化均呈递减趋势, 以 1981—1988 年与 1951—1958 年相比, 径流量和输沙量分别减少 29.2%、51.3%^[4].

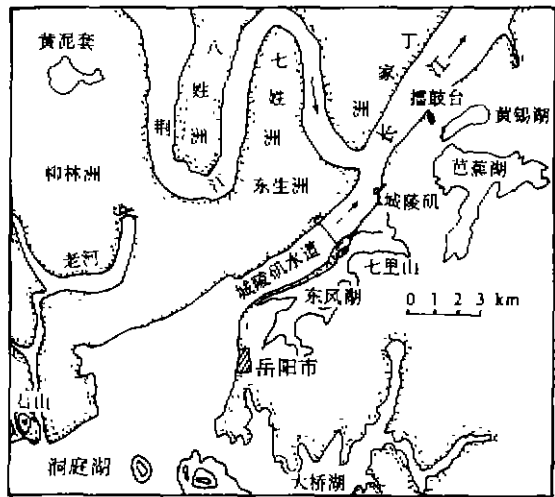


图 1 洞庭湖口城陵矶水道形势
Fig. 1 Distribution of mouth and Chenglingji channel in Dongting Lake

2 城陵矶水道水力几何形态关系

2.1 城陵矶水道水力几何形态关系的特性

L. B. Leopold 与 T. Maddock 认为, 处在准平衡状态的天然河流, 河宽(B)、水深(H)、流速(U)与流量(Q)之间, 存在下列的关系^[5]:

$$B = aQ^b, \quad H = cQ^f, \quad U = kQ^m \quad (1)$$

根据水流连续方程 $Q = UBH$, 可以得出 $b + f + m = 1, a \cdot c \cdot k = 1$.

根据 1951—1988 年城陵矶水道七里山站(图 1)的 3072 组水文测验资料^①, 拟合出城陵矶水道的河宽、水深、流速与流量的关系(图 2), 并计算出城陵矶水道的水力几何形态关系式为:

$$B = 731.592Q^{0.054}, \quad H = 0.326Q^{0.387}, \quad U = 0.004Q^{0.558} \quad (2)$$

(2)式中 $B-Q$ 、 $H-Q$ 、 $U-Q$ 三个关系式的相关系数分别为 0.87、0.88、0.92.

为了解城陵矶水道的水力几何形态特性, 笔者收集了国内外一些河流的水力几何形态指数(表 1), 以资比较. 从城陵矶水道与国内外一些河流的比较中可以得出下列结论:

(1) 城陵矶水道的 b 值与 b/f 值均为最小, 分别只有国内外河流的 13.0%—38% 与 8.2%—34.5%. 说明城陵矶水道河床的河宽较小, 横断面窄深; 其 $f > b$, 表明城陵矶水道河床横断面水深随着流量的增加要比河宽的增加大得多. 主要原因是城陵矶水道是洞庭湖唯一出口水道, 入湖泥沙经洞庭湖分选后, 含沙量与平均粒径较一般河流显著减小, 泥沙不易沉积. 城

① 湖南省水文总站. 长江流域水文资料(洞庭湖区), 第 6 卷第 13 分册(1951—1988).

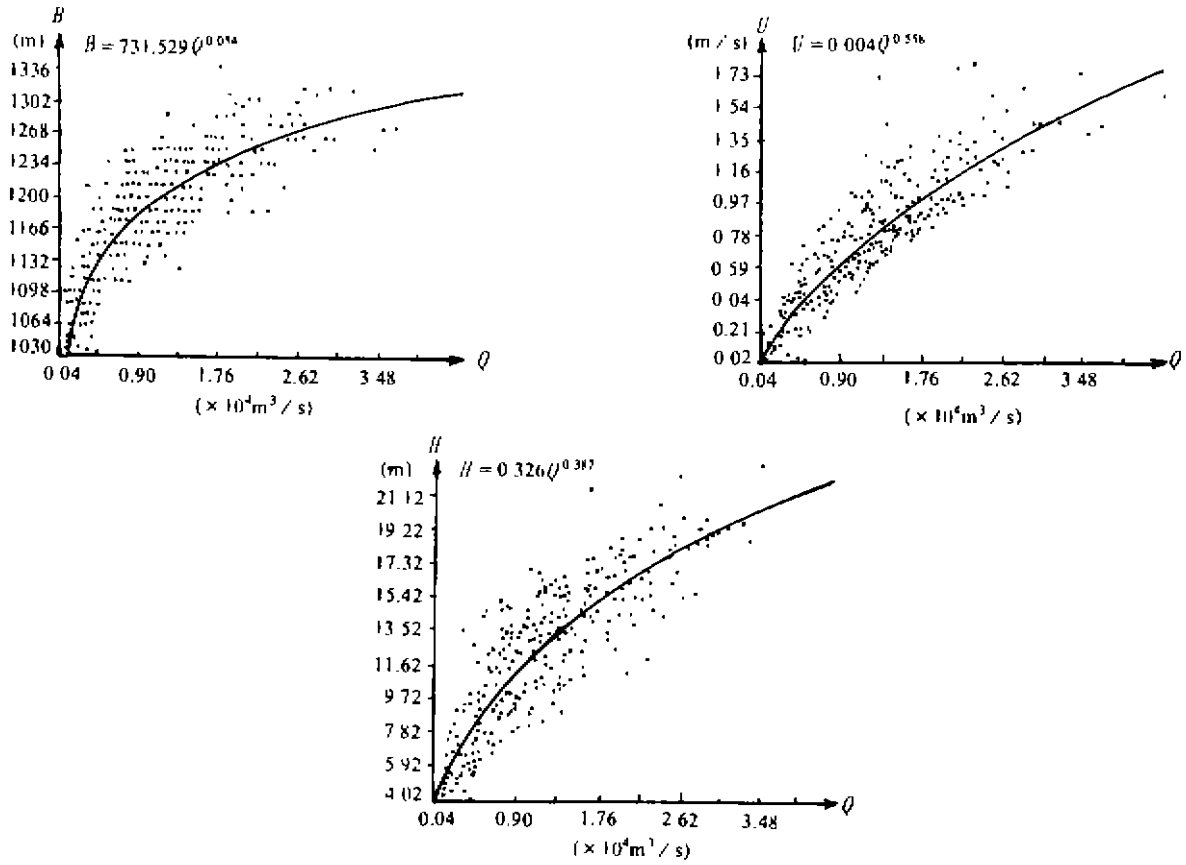


图 2 城陵矶水道河宽、流速、水深与流量关系曲线

Fig. 2 Currelines of the relationships among width velocity, dcepth and discharge in Chenglingji Channel

陵矶水道属顺直河床, 根据 D. D. Rhodes 对各种河型 46 个断面资料的研究表明, 顺直河型 $b < 0.15$ 的占 83% (b 的最大值为 0.23^[2]), 在各类河型中为最小的, 说明顺直河床河岸抗冲性

表 1 城陵矶水道与世界上一些河流水力几何形态关系指数值的比较^[2,3]

Tab. 1 Comparison of hydraulic geometry exponent in Chenglingji channel, Dongting Lake and some other channels of the world

河 流 名 称	b	f	m	b/f	m/f
城陵矶水道	0.05	0.39	0.56	0.128	1.436
美国中西部常流性河流	0.26	0.40	0.34	0.650	0.850
美国半干燥地区季节性河流	0.29	0.36	0.34	0.805	0.944
美国怀特河	0.38	0.33	0.27	1.050	0.819
欧洲莱茵河(10 个断面)	0.13	0.41	0.43	0.371	1.049
黄河下游(弯曲河床)	0.16	0.30	0.54	0.533	1.800
黄河下游(游荡河床)	0.28	0.18	0.54	1.556	3.00
长江张家洲河段(进口) ^[3]	0.20	0.51	0.30	0.392	0.588

较大,城陵矶水道具有顺直河床的这一特点,加上该水道向北汇入长江,受科氏力作用,使主流线偏向右岸.但由于受城陵矶矶头的制约^[6],河床横向摆动较小,所以城陵矶水道的河床宽度较小.城陵矶水道泥沙的平均粒径较小,水流挟沙力较大,并受抗冲性较大的河岸制约,因此,在相同的流量频率下,水流的下蚀作用要比旁蚀作用强,使之形成窄深的河床横断面.

(2) 城陵矶水道的 m 值较大,说明在同一流量频率下该水道的流速增加比河流水道为大.城陵矶水道的 m/f 值大于 1,随着流量的增加,其流速增加才会水深增加.而表 2 除黄河外多数河流水道的 m/f 值均小于 1,少数接近于 1.黄河下游是泥沙堆积强度极大的河流,不论是游荡性河段还是弯曲性河段,因受泥沙堆积抬高形成了极为宽浅的河床^[1],所以其 f 值较小,而 m/f 值则较大.另外,城陵矶水道的 b/f 值较小,而 m/f 值与 m 值较大,说明该水道的水流流速较大.且随着流量的增加,流速的增加比水深与河宽的增加来得更快.

城陵矶水流具有较高的流速,因此,水道水流对河床的冲刷作用较强.而河岸抗冲性较强,水流又主要以下蚀作用为主,故城陵矶水道横断面具有窄深的特点.

2.2 城陵矶水道水力几何形态关系的变化

采用前述分期,根据式(1),可计算出城陵矶水道五个时期水力几何形态关系的指数与系数(表 2).可见,第 I 期至第 V 期,城陵矶水道的 b 值和 b/f 值均只有第 I 期的 66.1%.从第 II 期至第 V 期 f 值也呈减变化,但递减速率比 b 值小.从第 I 期至第 V 期城陵矶水道在相同的流量频率下河宽显著减小,河床横断面窄的特点有所发展.主要原因是从第 I 期至第 V 期城陵矶水道的 m 值与 m/f 值分别比第 I 期增加 3.6% 与 25.9%.说明在相同的流量频率下城陵矶水道的流速比水深变化得更快,而 m 值与 m/f 值的增加均会促使水流的挟沙力增大.此外,第 I 期到第 V 期,三(四)口分流水道的严重淤积及 1967—1972 年下荆江系统裁弯工程的兴建,使洞庭湖出入湖径流量与输沙量均逐期减少,但减少的速率不尽相同.

表 2 城陵矶水道水力几何形态关系指数与系数的变化¹⁾

Tab.2 Changes of hydraulic geometry exponent and coefficient in Chenglingji channel

时 段	资料数	h	f	m	b/f	m/f	a	c	k	r_1	r_2	r_3
1951—1958 年	600	0.065	0.374	0.559	0.174	1.149	659.157	0.379	0.004	0.89	0.92	0.95
1959—1965 年	540	0.061	0.424	0.515	0.140	1.215	677.512	0.218	0.007	0.90	0.89	0.91
1966—1972 年	577	0.054	0.390	0.556	0.139	1.426	728.749	0.310	0.004	0.9	0.9	0.93
1973—1980 年	841	0.048	0.373	0.579	0.129	1.552	779.449	0.38	0.003	0.88	0.87	0.92
1981—1988 年	514	0.043	0.374	0.58	0.115	1.551	815.58	0.372	0.003	0.83	0.83	0.9

1) $b, f, m, b/f, m/f$ 为指数, a, c, k 为系数, r_1, r_2, r_3 为相关系数

城陵矶水道输沙量减少的速率明显大于径流量,如第 V 期与第 I 期相比,径流量减少了 29.2%,而输沙量却减少了 51.3%^[4],上述原因使城陵矶水道水流挟沙力有增大的趋势,其水流冲刷力增加,经长时间的水流作用后,该水道河床横断面窄深的特点更为突出.

3 结语

(1) 洞庭湖出湖水道的水力几何形态关系尚未开展研究,本文工作对丰富这一领域的研究成果有一定有实践意义.

(2) 大量实测资料的计算表明,洞庭湖出口城陵矶水道河床水力几何形态极具特性,其 b 值与 b/f 值极小,而 m 值与 m/f 值较大,该水道河床横断面具有窄深的特点.

(3) 由于近 40 年来城陵矶水道的 m 值与 m/f 值呈逐期递增的趋势, 及三(四)口分流水道的自然淤积和 1967—1972 年下荆江系统裁弯工程导致城陵矶水道的输沙量显著减少, 均导致该水道水流挟沙力的增大, 促使该水道遭受侵蚀, 河床横断面窄深的特点逐渐得以加强。

致谢 本文在研究过程中得到了导师林承坤教授的精心指导, 谨此致诚挚的谢意!

参 考 文 献

- 1 林承坤. 泥沙与河流地貌学. 南京: 南京大学出版社, 1992
- 2 钱 宁, 张仁, 周仁德. 河床演变学. 北京: 科学出版社, 1987
- 3 林承坤, 杨佳木. 从河床特性与演变角度评长江中下游张家洲水航道的开发与整治. 中国航海, 1995, (1)
- 4 林承坤, 高锡珍. 水利工程兴建后洞庭湖径流与泥沙的变化. 湖泊科学, 1994, 6(1): 33-39
- 5 L. B. 里奥普, T. 麦杜克著. 河槽的水力几何形态及其在地文学上和意义. 北京: 水利出版社, 1957
- 6 林承坤. 长江中下游河谷、河床的形成与演变, 见: 中国地理学会编. 1960 年全国地理学术会议论文选集. 北京: 科学出版社, 1960

THE HYDRAULIC GEOMETRY OF CHENGLINGJI OUTLET, DONGTING LAKE

Li Ming

(Department of Urban and Resource Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract

Based on the hydrologic data from Chenglingji (Qilishan) Hydrologic Station, Dongting Lake from 1951 to 1988, the formula of hydraulic geometry in the section of Chenglingji - Dongting Lake mouth - are constructed according to L. B. Leopold's principle on hydraulic geometry of stream channels. In addition, the characteristics and changes of hydraulic geometry of stream channels are also studied. As a result, the stream channel width exponent b of Chenglingji outlet changes little with the discharge, whereas the depth exponent f and the velocity exponent m change greatly with the discharge. Moreover, the cross section of the Chenglingji outlet is getting narrow and deep. The main reason is that the deposition processes of the Dongting Lake leads to an increase in the sediment transport capacity of Chenglingji outlet, while the eroding processes take place in the channel bottom mainly. In the past 40 years, because of the natural depositions of flood diversion in 3 waterways of the Jingjiang River as well as the influences of the curve cut-off of the Low Jingjiang River in 1967 - 1972, the values of m and m/f are increasing with each passing way and the sediment transport rate is decreasing obviously in Chenglingji outlet. All of these make sediment transport capacity increase and the eroding processes of the stream channel strong, resulting a deep and narrow cross section of the outlet.

Key Words Dongting Lake, hydraulic geometry of stream channels