

doi:10.3799/dqkx.2013.041

嘉陵江古河道的河曲特征

江华军¹, 李长安^{1,2*}, 张玉芬³, 姜端午⁴, 王节涛¹, 黄树春⁴

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074

4. 湖南省地质环境监测总站, 湖南长沙 410007

摘要: 基于遥感信息和野外实地调查, 查明了嘉陵江古河道的分布; 共发现古河道 13 处, 主要分布在嘉陵江中游的阆中—南充段. 河曲参数统计表明, 13 处古河道的单个河曲的曲折率 C 值都在 3.00 以上, 平均值为 7.80; 4 段河曲带的 C 值在 2.20 以上; 整个中游段的 C 值为 2.75, 远远高于弯曲性河型临界值的 1.50, 表明嘉陵江古河道具有蜿蜒性河型的特征. 此外, 通过将古今河道参数进行对比发现, 古河流的 C 值要比现代河道的 C 值大(分析认为较大的 C 值, 可能与较低缓的坡降 J 有关), 即有更大的弯曲度. 表明嘉陵江曾发生过一次自然截弯取直过程.

关键词: 嘉陵江; 古河道; 遥感; 河曲参数; 曲折率; 地貌学.

中图分类号: P931.1

文章编号: 1000-2383(2013)02-0417-06

收稿日期: 2012-03-16

Meander Characteristics of the Jialing River's Old Channels

JIANG Hua-jun¹, LI Chang-an^{1,2*}, ZHANG Yu-fen³, JIANG Duan-wu⁴, WANG Jie-tao¹, HUANG Shu-chun⁴

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Biogeology and Environment Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. Geological Environment Monitoring Center of Hunan Province, Changsha 410007, China

Abstract: Based on data of the remote sensing and field surveys, the distribution of old channels in the Jialing River is explored. A total of 13 old channels are found and determined. They are distributed mainly in the reach of Langzhong-Nanchong of the Jialing River. Statistical meander parameters indicate that their meander ratio C values are all larger than 3.00, with an average value of 7.80. C values of 4 meander belts are larger than 2.20, and the C value of the whole middle reach of ancient Jialing River is 2.75. All these values are much larger than 1.50, the critical value of meandering rivers, suggesting that the ancient Jialing River has characteristics of meandering river pattern. In addition, it is found that the C value of the ancient river is larger than that of modern channel (It is believed that the larger C value may be associated with the lower gradient value J), indicating a larger degree of curve. It can be concluded that a process of natural cutoff of river has once occurred in the Jialing River.

Key words: Jialing River; old channels; remote sensing; meander parameters; meander ratio; geomorphology.

由于古河道对河流演变历史研究具有重要的意义, 古河道研究早已引起国内外学者的关注. 苏联学者根据古河道带上的鬃岗地形, 开始了河流的演变历史研究(Popov, 1957); 此后, 国内有关学者随即对古河道进行了系统的研究(孙仲明, 1984; 吴忱等,

1991; 吴忱, 2002, 2008). 刘东生在《华北平原古河道研究》一书的序言中提出“古河道学科”一词, 并认为“它在不久的将来会作为一门新兴的学科而诞生, 并不断地兴起、发展和走向成熟”(吴忱等, 1991). 嘉陵江是长江的第二大支流, 其曲流河型极具典型

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40971008); 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(No. SKLLQG0908).

作者简介: 江华军(1987-), 男, 硕士研究生, 地貌与第四纪地质学专业. E-mail: junjin0312@163.com

* **通讯作者:** 李长安, E-mail: chanli@cug.edu.cn

意义。但关于嘉陵江古河道的研究则很少,自“嘉陵江古河道”一词首次被提出之后,一直缺少系统的研究(李承三等, 1946)。本文基于遥感影像数据和野外调查资料,对嘉陵江古河道的空间分布、古河道几何特征及河道有关参数等方面进行了调研和统计。

1 研究区概况

嘉陵江是长江的重要支流,干流全长 1 120 km,流域面积 16 万 km²,占整个长江流域面积的 8.85%。其正源,又称东源,发源于陕西凤县东北的秦岭山地。地势北西高,南东低,自北向南依次流经略阳、阳平关、广元、苍溪、阆中、南部、仪陇、蓬安、南充、武胜等县市,在合川汇渠江和涪江两江,于重庆朝天门汇入长江。源头至四川广元市昭化镇为上游,长 360 km,穿行于秦岭、米仓山山区,河谷深切,坡陡流急,地质构造极为复杂,褶皱断层广泛分布,河谷形态表现为“V”型。昭化镇至重庆合川市为中游,长 620 km,流经四川盆地向斜,出露侏罗系、白垩系紫色砂、页岩互层,倾角平缓,比降较小,约为 0.44 m/km,岩石近水平产状,构造简单,江面开阔,河曲十分发育,有“九曲回肠”之称。特别是自第三纪以来,受新构造运动间歇性抬升的作用,河曲下蚀嵌入基岩,形成世界上最典型的深切河曲和多级河流阶地。合川区以下至重庆朝天门为下游,长 130 km,流

经川东褶皱带的平行谷岭区,横切华蓥山伸向西南的三条支脉,地质构造属背斜,形成沥鼻峡、温塘峡和观音峡,号称“小三峡”。峡、沱、碛、滩相间成串是嘉陵江下游河谷地貌的突出特征(张斌等, 2007)。本次调查所发现的古河道,主要分布在嘉陵江中游,尤其是阆中—南充段是古河道分布的集中区。

2 嘉陵江古河道的发现与空间分布

遥感是地貌研究的重要手段,影像的色调、颜色、形状、大小、纹理、位置等特征是地貌类型、特征和地貌演化的重要判识标志(梅安新等, 2001; 宋志瑞等, 2005; 秦磊等, 2008)。本次调查所采用的遥感影像是 EARTH SAT 公司的 NaturalVue 15 m 模拟真彩色 LANDSAT 卫星照片,精度及分辨率较高,完全满足本研究中对古河道河曲参数计算的要求,而且河曲参数统计的意义在于体现古河道的一种河型信息,是一种宏观上的表达。因此,对于精度及分辨率的问题是完全可以接受的,参数误差统计也在所要表达的信息之外,可以忽略不计。嘉陵江古河道在影像上十分清晰,易于识别,可直接目视判读。通过解译和野外实地调查验证,共发现典型的古河道 13 处,主要分布在嘉陵江中游,尤以阆中—南充段最为发育(图 1)。

野外调查发现,嘉陵江古河道高悬于现代河流

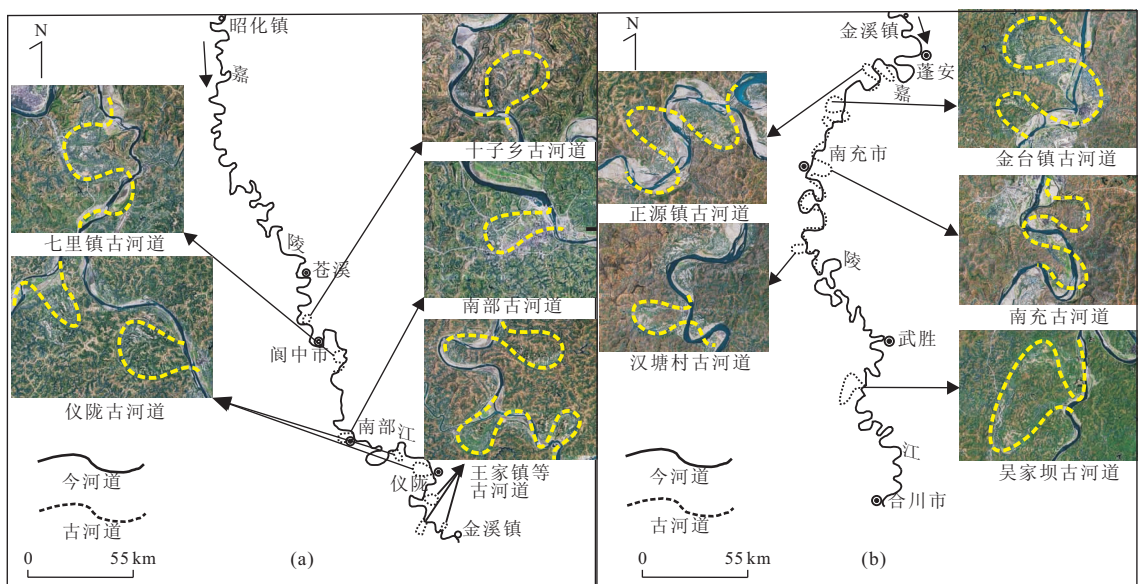


图 1 嘉陵江中游古河道遥感影像及解译

Fig. 1 Remote sensing imagery and interpretation of the old channel in the middle reach of Jialing River

a. 嘉陵江中游上段(昭化镇—金溪镇)古河道遥感影像及解译图; b. 嘉陵江中游下段(金溪镇—合川市)古河道遥感影像及解译图

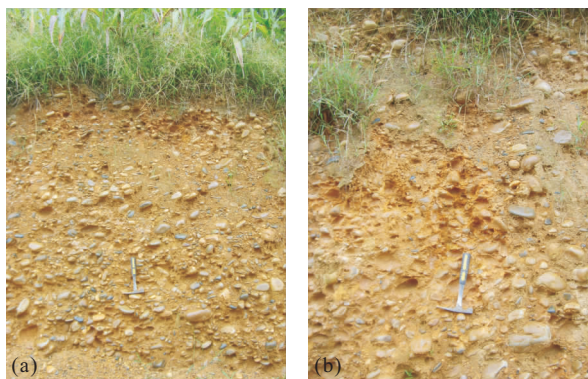


图2 嘉陵江古河道砾石层剖面(烈面镇)

Fig. 2 Section of gravel layer in Jialing River's old channels

的两岸,且分布高程基本一致.经实测古河道谷底高出现代河面均在29~33 m之间.且野外发现较多砾石层剖面中的砾石特征亦可以断定其属河流相沉积物,初步分析认为属同期河流改道后所遗留的古河道遗迹(图2).

3 嘉陵江古河道的河曲参数及与现代河流对比

笔者首先将解译出来的嘉陵江古河道的河曲参数进行了统计,在此基础上,将其与临近的现代河道的河曲参数进行了对比,以突出嘉陵江古河道的河曲特征.

3.1 嘉陵江古河道的河曲参数

河曲参数是表征河曲弯曲程度及其几何形态特征的重要指标.一般的河曲参数有2种:一种是单个河曲的参数;一种是河曲带的参数.前者是描述单个河曲弯曲程度的参数,后者是描述多个河曲或河曲段弯曲程度的参数.根据国外多数学者(Leopold and Wolman, 1957; Dury, 1964, 1965; Hasfurther, 1985)对弯曲性河流河曲参数的定义和计算公式,笔者对嘉陵江古河道的参数进行了统计.

3.1.1 单个河曲的参数 嘉陵江古河道单个河曲参数结果如表1所示.

从表1可知,自上游往下游所恢复出的13处典型单个古河曲的曲折率 C 值都在3.00以上,远远高于蜿蜒性河型曲折率的1.50.其中,最小的七里镇古河道的 C 值也达3.18,最大的吴家坝古河道的 C 值甚至高达19.14,平均值为7.80.封闭率 e 与曲折率 C 呈正相关关系, C 值大的,其 e 值也必然大.表1中古河道河曲的 e 值都在0.70以上,其中最小的七里镇

古河道河曲的 e 值率也达0.76,最大的吴家坝古河道河曲的 e 值可高达0.95,几乎接近全封闭的1,平均值为0.86.一般情况下, M 值与 L 值呈反比, L 较小时 M 可能大,反映的河曲越弯曲;但某些情况下当 L 较小时, M 可能要比实际理论所得值偏小,反映河曲的弯曲程度偏小.表1中最小的石梁乡古河道的 M 值为2.42 km,但其 L 值仅为0.66 km, S 值为5.58 km,这样,它的 e 值也可达8.86,其 M 值所反映的河道的弯曲程度要比 M 值最大达7.61的正源镇古河道反映的弯曲程度高得多.因此,对 M 、 L 这两者之间的关系要综合考虑,切不可妄下结论,除此之外,其他的某些典型单个古河道也呈现出这种情况.从表1可以得出其 M 值与 C 、 e 值表达的河曲特征一致.综上 C 、 e 、 M 值可得出,以上的单个古河道表现出了弯曲程度很高的蜿蜒性河型的特征.

3.1.2 河曲带的参数 从中游段古河道,共解译出4段河曲带,并分别计算解译段及中游整河段的河曲带参数,统计结果如表2所示.

从表2可看出,解译出的4个古河段河曲带的 C 值都在2.20以上,最小的阆中至南部段为2.28,最大的金溪至南充段,可以达到3.44,古河道发育的中游整个河段的河曲带系数为2.75,完全符合蜿蜒性河型的标准.

3.2 古今河道的河曲带参数对比

将嘉陵江古今河道的河曲带参数进行了对比,对比结果分别如表3和图3所示.

据表3可知,4个分段古今河道的 C 值差异明显:阆中—南部今河道的 C 值为1.68,而古河道的 C 值达2.28;南部—金溪镇段今河道的 C 值为2.22,而古河道的 C 值达3.37;金溪镇—南充段今河道的 C 值为2.11,而古河道的 C 值达3.44;南充—李渡镇段今河道的 C 值为1.88,而古河道的 C 值达2.46.通过对比得知,该4个分段的古河道的 C 值都明显要大于今河道的 C 值.由上文已知 λ 一定, W 越大; W 一定 λ 越小,则河型表现越为弯曲,表3中4个分段的古今河道的 W_1 、 W_2 值大体一致,变化甚小,可以近似地视为同一 W 值,即 $W_1=W_2$;而 λ 值表现为古河道的 λ 值要比其今河道的 λ 值显著偏小,符合上述 W 与 λ 的关系.表中 J 值与 C 值存在因果联系,前人在研究不同河型的成因条件时,提出不同的河谷比降则形成不同的河型,较陡的河谷比降,多易形成游荡型河流,较小的河谷比降则易形成多叉型和弯曲型河流(钱宁, 1985);此外,从纵比降上考虑,认为当 $J>J_0$,即比降偏大,易形成游荡

表 1 嘉陵江古河道单个河曲参数统计

Table 1 Statistics of single meander parameters of the Jialing River's old channel

单个河曲名称	单个河曲参数				
	河道长度 $S(\text{km})$	曲流颈长度 $L(\text{km})$	曲折率 C	封闭率 e	河曲轴长 $M(\text{km})$
十字乡古河道	10.28	1.48	6.95	0.87	3.77
七里镇古河道	7.98	2.51	3.18	0.76	3.17
南部县古河道	7.26	1.02	7.12	0.88	3.12
玉台村古河道	8.94	1.95	4.58	0.82	3.57
仪陇县古河道	11.25	1.52	7.40	0.88	4.02
平头乡古河道	10.85	0.78	13.91	0.93	4.61
王家镇古河道	8.64	1.38	6.26	0.86	3.31
石梁乡古河道	5.85	0.66	8.86	0.90	2.42
正源镇古河道	15.54	3.27	4.75	0.83	7.61
金台镇古河道	15.33	1.62	9.59	0.91	6.29
南充市古河道	6.65	1.73	3.84	0.79	2.72
汉塘村古河道	9.18	1.57	5.85	0.85	4.21
吴家坝古河道	18.37	0.96	19.14	0.95	5.21

表 2 嘉陵江古河道河曲带参数统计

Table 2 Statistics of the meander belt parameters of the Jialing River's old channel

河曲带名称	河曲带参数				
	河道长度 $S(\text{km})$	河曲带轴长 $L(\text{km})$	曲折率 C	波幅 $W(\text{km})$	波长 $\lambda(\text{km})$
阆中—南部	96.81	42.38	2.28	3.36~12.94	5.30
南部—金溪镇	118.51	35.52	3.37	3.96~16.46	5.07
金溪镇—南充	132.65	38.58	3.44	4.26~17.68	6.43
南充—李渡镇	85.91	34.89	2.46	3.34~10.42	6.98
广元市昭化镇—合川市	744.43	271.17	2.75	—	—

表 3 嘉陵江中游古今河道河曲带参数对比统计

Table 3 Statistics of the meander belt parameters compared Jialing River's old channel with modern channel

河曲带名称		河曲带参数					
		河道长度 $S(\text{km})$	河曲带轴长 $L(\text{km})$	曲折率 C	振幅 $W(\text{km})$	波长 $\lambda(\text{km})$	比降 $J(\text{m}/\text{km})$
阆中—南部	今河道	71.29	42.38	1.68	3.38~12.92	7.06	0.38
	古河道	96.81	42.38	2.28	3.36~12.94	5.30	0.28
南部—金溪镇	今河道	78.83	35.52	2.22	4.02~16.38	7.10	0.38
	古河道	118.51	35.52	3.37	3.96~16.46	5.07	0.25
金溪镇—南充	今河道	81.32	38.58	2.11	4.48~17.58	9.65	0.31
	古河道	132.65	38.58	3.44	4.26~17.68	6.43	0.19
南充—李渡镇	今河道	65.59	34.89	1.88	2.22~9.16	8.72	0.32
	古河道	85.91	34.89	2.46	3.34~10.42	6.98	0.24
广元市昭化镇—合川市	今河道	619.20	271.17	2.28	—	—	0.44
	古河道	744.43	271.17	2.75	—	—	0.36

性河流;相反, $J < J_0$, 即比降较小, 则易形成弯曲性河流 (Schumm, 2005); 据熵概念的最小能耗理论 (Yang, 1971; 徐国宾, 1994) 和对南运河弯曲河型成因的探究认为 (许炯心, 1989), 当河流较顺直时, 损耗河流能量的阻力较小, 因此, 河流的动能较强, 其携沙能力也较强; 而随着 J 的减小, 河流动能下降. 最小能耗理论的核心就是满足流速 V 与比降 J

的乘积达到最小, 即 $(VJ)_{\min}$. 因此, J 值的减小, 最终必然会导致 V 的减小, 从而符合最小能耗理论的观点. 为了使能耗达到最小, 只有通过降低 J 值的方法, 即在单位距离比降上增加河长, 使得河流向蜿蜒性河型发展. 表中各分段古河道 J 值均在 0.30 以下, 较相应的今河道的 J 值要小, 体现 J 值对古河道蜿蜒性河型的影响. 综上所述, 结合 C 、 λ 及 J 值

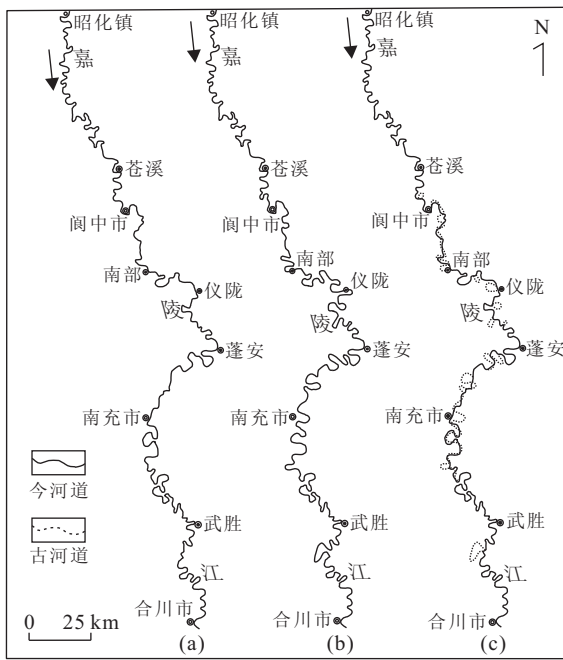


图3 嘉陵江中游古今河道对比

Fig. 3 Comparison of the old channel with modern channel in the middle reach of Jialing River

a. 中游现代河道形态; b. 中游古嘉陵江河道形态; c. 嘉陵江中游古今河道形态

结果,表明各分段的古河道较今河道有一个更大的弯曲. 中游河段广元昭化镇—合川市的古今河道的对比结果与上述分析结果一致.

4 结论与展望

野外实地调查中,在嘉陵江两岸笔者发现多处古河道遗迹,在遥感目视解译方法的基础上,对嘉陵江古河道的空间分布进行了恢复和解译;同时对古河道及其与现代河道形态参数的对比做了分析. 对比结果显示,无论是从古河道的单个河曲还是从典型河曲带,或是整个中游的河流参数统计值及对比出发,古嘉陵江在平面几何形态上都要比现代嘉陵江弯曲得多,即古嘉陵江呈现典型蜿蜒性河型的特征.

基于该研究处在一个初期阶段,今后将围绕如下几个方面开展工作:(1)从河流地貌演化角度出发,嘉陵江古河道的研究,是了解嘉陵江演化尤其是由古嘉陵江自由河曲向现代深切河曲转化的一项基础的、必备的工作,是地球科学研究中“将今论古”方法的重要体现. 同时,古河道与现代深切河曲研究的结合,有利于嘉陵江河流地貌演化史的有序衔接,从而为整个嘉陵江河流的地貌演化提供一个很好的反

演例子.(2)从大地动力学角度来看,嘉陵江古河道的研究及其现代深切河曲的形成与嘉陵江流域构造演化史密切相关,这对该流域的区域构造运动研究具有重要的意义,也对中国西南部新生代构造运动演化研究具有一定的意义.(3)从水系演化角度来看,古河道的研究及嘉陵江的演化同长江的形成与演化密切相关,这有利于长江形成与演化研究工作的进一步开展.

References

Dury, G. H., 1964. Principles of Underfit Streams. US Geological Survey Professional Paper, 452-A.

Dury, G. H., 1965. Theoretical Implications of Underfit Streams. US Geol. Surv. Prof. Pap., 452-C.

Hasfurther, V. R., 1985. The Use of Meander Parameters in Restoring Hydrologic Balance to Reclaimed Stream Beds. The Restoration of Rivers and Streams; Theories and Experience. Butterworth Publishers, Boston, 21-40.

Leopold, L. B., Wolman, M. G., 1957. River Channel Patterns; Braided, Meandering, and Straight. US Geological Survey Professional.

Li, C. S., Zhou, T. R., Guo, L. Z., et al., 1946. Report of Geographical Investigation of the Jialing River Basin (Volume: Terrain). *Geographic Magazine*, (1): 68-72 (in Chinese).

Mei, A. X., Peng, W. L., Qin, Q. M., 2001. Introduction to Remote Sensing. Higher Education Press, Beijing (in Chinese).

Popov, I. B., 1957. The Life of Riverbed. Translated by Yang, Y. L., Scientific and Technical Publishers, Shanghai (in Chinese).

Qian, N., 1985. On the Discussion of River Classification and Causes Problem. *Acta Geographica Sinica*, 40(1): 1-10 (in Chinese with English abstract).

Qin, L., Zhan, H. M., Song, X. J., et al., 2008. Research on the Distribution and Characteristic of the Shallow Buried Ancient Channel in Jinghai County. *Geological Survey and Research*, 31(4): 321-327 (in Chinese with English abstract).

Schumm, S. A., 2005. River Variability and Complexity. Mussetter Engineering, Inc., Cambridge University Press.

Song, Z. R., Ma, Y. L., Tang, C. H., 2005. Remote-Sensing Explanation of the Yangtze River Channel in Jiangxi Province. *Remote Sensing Technology and Application*, 20(4): 415-419 (in Chinese with English abstract).

Sun, Z. M., 1984. Ancient Channel Types, Causes and Re-

- search Significance. *Irrigation and Drainage*, 3(2): 42—45 (in Chinese).
- Wu, C., et al., 1991. Study of the North China Plain's Old Channel. China Science and Technology Press, Beijing (in Chinese).
- Wu, C., 2002. The Object, Content and Methods of Studying Cultural "Ancient River Science". *Geography and Territorial Research*, 18(4): 82—85 (in Chinese with English abstract).
- Wu, C., 2008. New Problems and Countermeasures in Utilizing the Ancient River Channels of North China Plain. *Geography and Geo-Information Science*, 24(3): 83—85 (in Chinese with English abstract).
- Xu, G. B., 1994. Principle of the Minimum Rate of Energy Dissipation and the Application in the River Dynamics. *Northwest Water Resources and Water Engine*, 5(4): 50—58 (in Chinese).
- Xu, J. X., 1989. The Causes of Bending River-Ttype in South Canal. *Geography and Territorial Research*, 5: 54—59 (in Chinese).
- Yang, C. T., 1971. Potential Energy and Stream Morphology. *Water Resource Research*, 7(2): 311—322. doi: 10.1029/WR007i002p00311
- Zhang, B., Ai, N. S., Huang, Z. W., et al., 2007. Meanders of the Jialing River in China: Morphology and Formation. *Chinese Science Bulletin*, 52(27): 2671—2682 (in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 李承三, 周廷儒, 郭令智, 等, 1946. 嘉陵江流域地理考察报告 (上卷: 地形). 地理专刊, (1): 68—72.
- 梅安新, 彭望录, 秦其明, 等, 2001. 遥感导论. 北京: 高等教育出版社.
- 波波夫, И. B., 1957. 河床的生命. 杨逸龙, 译. 上海: 科学技术出版社.
- 钱宁, 1985. 关于河流分类及成因问题的讨论. 地理学报, 40(1): 1—10.
- 秦磊, 詹华明, 宋小军, 等, 2008. 基于遥感技术的静海县浅埋古河道分析. 地质调查与研究, 31(4): 321—327.
- 宋志瑞, 马逸麟, 唐春花, 2005. 江西长江河道演变遥感解译. 遥感技术与应用, 20(4): 415—419.
- 孙仲明, 1984. 古河道的类别、成因与研究意义. 灌溉排水, 3(2): 42—45.
- 吴忱等, 1991. 华北平原古河道研究. 北京: 中国科学技术出版社.
- 吴忱, 2002. 论“古河道学”的研究对象、内容与方法. 地理学与国土研究, 18(4): 82—85.
- 吴忱, 2008. 华北平原古河道开发利用面临的新问题及对策. 地理与地理信息科学, 24(3): 83—85.
- 徐国宾, 1994. 最小能耗率原理及其在河流动力学中的应用. 西北水资源与水工程, 5(4): 50—58.
- 许炯心, 1989. 南运河弯曲河型的成因. 地理学与国土研究, 5: 54—59.
- 张斌, 艾南山, 黄正文, 等, 2007. 中国嘉陵江河曲的形态与成因. 科学通报, 52(27): 2671—2682.