

闽江口分汊河床的特征、类型及其成因

祝永康

(杭州大学河口港湾研究室)

摘要

本文将分汊河床分为构造型和冲积型两类，其中除阐明冲积型分汊河床的特征和成因外，尚着重分析地质构造和河口发育阶段对分汊河床的影响。

一、河口分汊的基本特征

闽江自川石岛以上的感潮河段，长约73 km，潮区界的上限一般在白头村〔1〕。近年来，由于河口整治建筑物的增多，进潮量的上溯受到影响，一般潮区界的上限有所下移。

闽江口除中段大屿至亭江长6.26 km为峡谷单一河床（称闽安峡谷）外，其余均属分汊型河床（图1）。上段侯官至大屿长35.1 km的分汊河床，除部分因山丘阻隔迫使河床分汊外，主要是由于福州盆地地势相对开阔，河床水流分散所致；下段亭江至川尺岛长19.97 km的分汊河床，主要是由于岩岛分割、河口径流由各分割的输水通道入海所致；川石岛以下的广大水域因属水下沉积状态，出露在低潮位以上的冲积型沙洲不多，岩岛分割亦不发育，河口开阔单一。

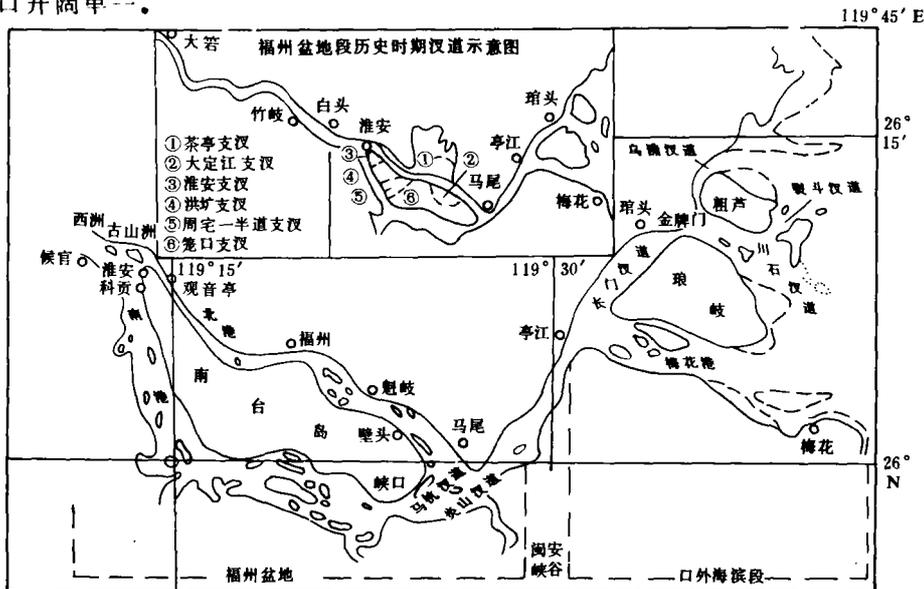


图1 闽江河口分汊河床示意图

以上河口区分汉总长55 km, 占河口全长75%以上, 故闽江河口属“分汉型河口”。

闽江口分汉特点列于表1。

由表可知, 分汉程度即分汉系数远较我国长江中下游典型的分汉河床为高。与单一河床比较, 汉道内总水面较单一河段为宽, 而水深却较小, 河床呈现为汉道段多淤积而床底抬高, 单一段少淤积或冲刷而床底刷深, 河口纵剖面沿程呈折线起伏(图2), 与长江中下游的分汉段比较, 有相似之处。

表1 闽江口分汉河床的主要特征

项目		分汉系数	河底平均高程(m)
闽江口	福州盆地分汉段	3.26	0.93
	闽安峡谷单一段	1.09	18.8
	口外海滨分汉段	3.26	3.15
长江中下游	弯曲分汉段	1.09	
	微弯分汉段	2.60	

·长江中下游资料系摘自钱宁著《河床演变》, 1978。

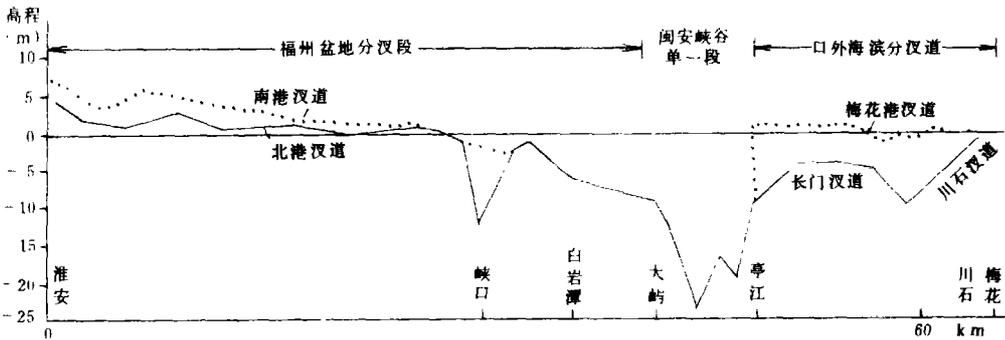


图2 闽江口河床纵剖面

构成本区河口分汉的条件较复杂, 除河口水流(包括径流、潮流)、泥沙诸因素外, 尚与地质构造因素和河口发育过程有关。为此, 本文除讨论冲积型分汉的特点外, 着重从构造因素和河口发育阶段等方面, 探讨河口分汉的原因和特征, 以期完善对本区河口分汉的认识。

二、地质构造对河床分汉的作用

从宏观地质背景讨论, 本区属华南褶皱系的浙闽沿海中生代断陷带(简称闽江断裂)和呈北东向的长乐—南澳断裂带¹⁾, 前者控制闽江中、下游的发育和流向, 后者控制海岸走向, 并在闽江口外与闽江断裂带交汇, 使得河口口门山体破碎, 岩岛林立, 构成闽江出口区的多汉河床。

1) 地质部南京地质矿产研究所, 华东地区地质概况, 1970。

从河口区沿构造区发育讨论,它位于“福州山字型构造”单元之上,其范围为西弧翼起自河口上端的甘蔗、白头村一带,东弧翼位于河口口外的川石岛附近,东西长70 km+,南北宽约35 km。弧顶位于福州盆地南缘峡口附近的乌龙江大桥一带,脊柱在盆地北侧的鼓岭之中。整个构造区包括福州盆地、闽安峡谷和亭江以下的口外海滨区大部等三个地貌单元。与图1比较可知,它与河口区的现范围大致相当。

据研究,地质构造对河口分汊的作用表现在:

1. 河床沿地质断裂构造线发育:它所构成的河床分汊称“构造型分汊”构造型分汊受东北和北西向的构造断裂影响居多,一般分流交角大,河床呈强制性分汊。演变特点是主、支汊并非互为兴衰和交替性变化。

位于福州盆地的南、北港分汊,是直接受构造断裂控制的典型分汊河段,它们的分流口位于淮安村,此处为山字型构造的西弧翼,二分汊河床受北西向构造线控制,并受包括鬼洞、妙峰诸山丘在内的分割的影响。

位于亭江以下的河床分汊,亦为直接受构造断裂控制的典型分汊河段,它们受山字型构造的东弧翼影响,河床发育是沿着构造弧的北东向和北西向的反弧翼控制,更兼长乐—南澳断裂带的发育,河床基本上顺断裂线发育,在交错断裂处形成强制性的分汊。各分汊河床依次为:亭江分流口的长门主汊和梅花港支汊;金牌门以下的川石主汊和乌漕支汊;川石岛附近的川石主汊和熨斗支汊等。

2. 河床宽度沿程不均引起的河床分汊:它们分布在福州盆地和亭江以下的广大水域,存在众多的孤丘和岩岛,其外缘是河床的河岸线,由于其成因是构造所致,故沿程外缘参差不齐,河岸线并不归顺,突入河床的山丘构成河岸的节点(矾头)使河床宽窄相间,从而造就河床局部水流的改变,结果在放宽段的上部和束窄段的顶端,容易使泥沙落淤,形成众多的“冲积型沙洲”河床再次被分割、分汊。冲积型分汊的演变特点,与一般冲积型河床分汊类同,我国的许多学者对它均有较多的研究成果²⁾。〔3-7〕。具上述特点的河床分汊,在福州盆地的南港河段发育最为典型。经量测,河宽最窄的峡口仅400 m左右,港内最宽约4.5 km,汊道内大小不等的沙洲多达数十个,从而形成众多的次级小支汊。此外,在北港河段的福州、魁岐、壁头诸河段,亦有类似的分汊河床的发育。属本类河床分汊,在亭江以下的口外海滨地段并不发育,追其原因,与河口发育的阶段有关。

3. 小型孤丘、岩礁引起的河床分汊:由于孤丘、岩礁体积尚小,它们对分汊水流的影响亦小,因此,汊道演变基本上处于长期稳定状态,该分汊河段见于长门—川石河段和马尾—闽安河段。

反映地质构造因素对河床分汊的影响程度,尚可从定量角度加以统计。现就岩体岸线作为边界条件对河床水流的抗拒作用,以分汊变动幅度作为分汊河床的变化结果,参照文献〔3〕的统计方法,获闽江口分汊河床最大摆幅 B_B 与基岩节点间距 L 存在下列关系:

$$B_B = 0.29L^{1.12} \quad (1)$$

2) 罗海超等,长江中下游分汊河型成因研究,1980。

式(1)和图3是反映地质构造对河床分汜的影响,具有半定量的物理意义。
与长江中下游的统计方程式比较,即

$$B_B = 0.1 L^{1.46} \quad (2)$$

显然,作为矾头节点对分汜河床影响的边界条件,闽江口较长江中下游要深刻。

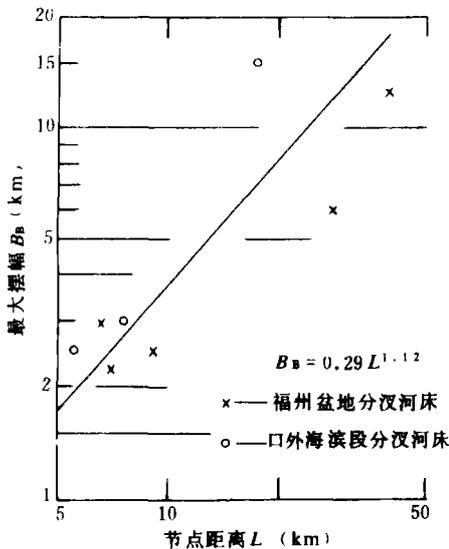


图3 闽江口汉道段节点间距(L)与汉道最大振幅(B_B)关系

三、河口发育阶段对河床分汜的影响

根据有关文献和笔者研究^{[8][11]},在6 ka B. P.±,福州盆地实为海水淹没的海湾,包括福州盆地及其广大水域,曾经历过由海而陆的沧海桑田的变化过程。确切地说,由水下三角洲向水上三角洲演化的过程,当水上三角洲向陆上平原过渡时,河床经历分汜、兴衰和部分支汜淤废,此时河床分汜和演化比比皆是。

据文物考古资料证实^[9],春秋战国期间,古福州湾内各毗连的岩岛岸线发育了较好的滩涂,各滩涂间的潮汐通道,随着闽江上游来沙的充填,逐渐向河口泄水通道、成型河道主、支汜方向发展。到了秦汉年间,凡顺闽江入海流向的逐渐发展为纵向汉道,凡与纵向汉道几

乎垂直的各岩体间,又发展为横向汉道。据统计,纵向的有南港、北港、茶亭、大定诸汉,横向的有淮安、洪塘、笼口、周宅一半道和白湖塘、螺州等支汜(见图1)等。自秦汉以来,各纵向、横向支汜逐渐淤废的有据可查的有晋朝年间的茶亭汉道、清道光年间大定江支汜;淮安、周宅一半道支汜约淤废于1927年;笼口、洪塘支汜一直保留到本世纪50年代。

人为作用,对汉道的兴衰亦有明显的作用。目前福州城区的原护城河,实是茶亭纵向支汜的古汉道,为了护城和沟通大江的需要,淤废时间一直延续到本世纪50年代。又南台岛上的各横向支汜,之所以未被淤废,亦是灌溉和航运的需要,历代王朝均有详细的疏浚记载。本世纪20年代,对福州一魁岐汉道曾进行过整治^[12]。

亭江以下的广大水域,目前尚处在水下三角洲发育阶段,故冲积型分汜河床发育不明显,除梅花港汉道有少量沙洲发育而构成分汜河型外,其余均以构造型分汜居多,主、支汜互换的变化不显著。

四、水沙条件对冲积型分汊河床的影响

冲积型分汊河床的形成与演变, 主要取决于河口的水流、泥沙诸动力条件和边界条件, 其主要表现是:

1. 径流和潮流作为动力条件, 对分汊河床有着不同的作用。表 2 是表明流域的来水和来沙概况, 其中径流特征值是说明流域来水存在山溪性和洪枯相差悬殊的特点, 洪水径流将挟带大量的砂性物质汇聚于福州盆地和河流的开阔地段。表 3 和图 4 是表明径流和潮流的沿程特征值。通过分析证实河口造床泥沙虽大部分来自流域下泄分异为主, 但在河口下段, 特别是上游枯水期间, 潮流可成为河口区的造床动力, 它们可引起床底泥沙的再搬运和再沉积, 特别对冲积型的分汊河床, 能使深槽加深、滩地、沙洲加高, 有效地起着修饰和改造的作用。

2. 泥沙和河床、河岸的边界条件对分汊河床的影响, 主要是福州盆地上端的突然拓宽和下端的突然收束, 以及闽安峡谷的沿程阻洪作用和亭江以下河段的放宽, 均使河口径流、潮流沿程下泄、上溯并起着改变局部水流流态的作用, 它们有利于泥沙的落淤和沙洲的发

表 2 闽江口流域来水来沙特征值

项目	径流特征				输沙特征 (悬移质)		
	多年平均径流总量 (10^8 m^3)	多年平均径流量 (m^3/s)	最大洪峰流量 (m^3/s)	最小枯水流量 (m^3/s)	多年平均输沙量 (10^4 t)	最大年输沙量 (10^4 t)	最小年输沙量 (10^4 t)
竹岐	553.5	1 750	29 400	196	715.5	2 000	272

注: 径流资料系 1933—1973 年, 沙量资料系 1954—1978 年。

育。据估算, 表层沉积的砂性物质, 在福州盆地约 $208 \times 10^8 \text{ t}$, 亭江以下的出口区约 $180 \times 10^8 \text{ t}$, 这些巨量的可冲易动的砂性物质, 是造成河床分汊的基础。

3. 根据调查和分析, 冲积型河床分汊的沙洲群, 存在明显的两种类型, 即高滩高洲和低滩低洲。高滩高洲的形成,

与潮波属“驻波”的性质有关, 即一个全潮过程中, 最大流速出现于中潮位附近, 最小流速恰恰在高潮位和低潮位附近。当河床发育的沙洲相对稳定并有利于涨潮优势流场结构时, 大量由潮流挟运的悬浮物在高平潮时落淤于中细砂组成的低滩、低洲顶上, 它一直可以淤至中潮位到高潮位的整个空间, 最后形成稳定的高滩高洲。低滩低洲是由落潮优势条件下形成的, 这是因为落淤物在中潮位受高流速挟运所致, 它们仅能在低潮位附近留有较粗的物质, 所以低滩低洲高程低、物质粗、易位移。

高滩高洲发育的分汊河段, 因沙洲粘性物质居多, 抗冲性能强, 主、支汊变化相对较小, 河段比较稳定。低滩低洲形成的分汊河段, 因沙洲粘性物质少、抗冲性能差而不稳定,

表 3 上游径流多年平均条件下闽江口涨潮量、流量沿程变化

站	项目	潮差 (m)	潮量 (10^6 m^3)	流量 (m^3/s)	河段概况
梅花		4.46	1 545	9 432	梅花支汊
琯头		4.05	1 177.5	9 102	长门支汊
亭江		4.0	1 674.1	12 735	闽安峡谷出口
白岩潭		3.75	949	7 105	福州盆地出口
马江 (北港)		3.70	304	2 300	北港汊道出口
峡口 (南港)		3.66	602	4 700	南港汊道出口
科贡 (南港)		0.24	0	0	南港汊道入口
观音亭 (北港)		0.29	0	0	北港汊道入口

亭江以下河段, 系采用潮棱柱体计算。

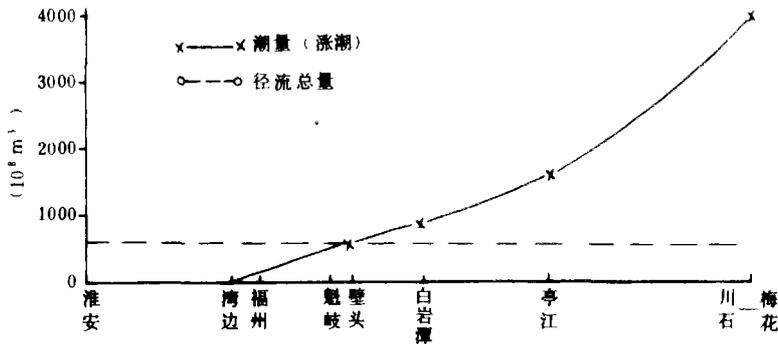


图4 闽江口多年平均条件下径流总量和潮量沿程变化

(梅花—川石断面系以潮棱柱体估算,它包括马礁、梨斗断面进潮量,故数值偏大)

特别是在泄洪期间,沙洲徙移,主、支汉极不稳定。

低滩低洲常对稳定的分汉河床有深刻的影响。当滩地或低洲下移并堵塞下游某一汉口或位于分汉口的上方时,它会影响下段分汉河床的分水、分沙比,从而导致原有的主、支汉发生逆向变化。例如,进入福州盆地的淮安分流口,当北港上口的古山、西洲群扩大时,进入北港的分流比减小,航道淤浅恶化;反之,航道改善。又如,地处南北港出口处的马尾合流口段,冲积型分汉河段比较发育,当炎山汉口上方洲滩出峡口后水流扩散下移时,炎山汉道萎缩、马杭汉道发展,反之,炎山汉道发展,马杭汉道缩小,这种演化规律导致马尾港的港深良好和恶化,马尾港区的整治工程,就是根据该演化规律而实施的,工程获得了成功¹²。

研究、判别各主、支汉的发展和演变规律,一般包括:

1. 判别各主、支汉的地位和顺序,是采用水力要素各分汉比来表达,如分流比 $\frac{Q_m}{Q_0}$,分沙比 $\frac{G_m}{G_0}$ 、流速比 $\frac{U_m}{U_0}$ 、单宽流量比 $\frac{q_m}{q_0}$ 、福氏数比 $\frac{F_m}{F_0}$,以及各分汉河床与单一河床的断面尺寸比,即河宽比 $\frac{B_m}{B_0}$ 、水深比 $\frac{H_m}{H_0}$ 和断面面积比 $\frac{\omega_m}{\omega_0}$ 表示,符号是标“m”和“0”分别为汉道与单一河床号,丁君松在分析各要素时曾提出下列方程作为主、支汉的顺序标准⁶,即

$$\frac{\text{主汉}}{\text{单一汉}} = \frac{F_m}{F_0} \cdot \frac{U_m}{U_0} \cdot \frac{H_m}{H_0} \cdot \frac{q_m}{q_0} \cdot \frac{B_m}{B_0} \cdot \frac{\omega_m}{\omega_0} \cdot \frac{Q_m}{Q_0} \quad (3)$$

式(3)表明在相同条件下,流量、断面积、河宽等比减小较多,福氏数、流速、水深、单宽流量等比减小较少,亦即前者反应较灵敏,后者反应较迟钝。

判别主支汉顺序的标准是取其主要的和忽略次要的为原则,即取其反应灵敏的、忽略

反应迟钝为原则。有水力要素的，根据以上原则 应该多采用分流比 $\frac{Q_m}{Q_0}$ 表示，其他则较少采用为好；无水力要素的而只有地形要素时，拟以断面面积比 $\frac{\omega_m}{\omega_0}$ 表示为好，也可用河宽比 $\frac{B_m}{B_0}$ 表示。按该原则判别，根据淮安分流口的实测资料，汛期南港属主汊、北港为支汊；反之，枯季南港是支汊、北港是主汊。

2. 判别各主、支汊的发展、衰亡及互换时，应注重分流比和分沙比结合使用，目的是比较主支汊的输沙能力与实有输沙状况对比关系。当输沙能力 $>$ 实有输沙时，汊道发展；反之，属衰亡。表 4 表明淮安分流口在泄洪时实有南港分沙比 $<$ 分流比，则南港刷深，北港分沙比 $>$ 分流比，则淤浅；枯水或平水期，则反之。

在缺失水力要素的条件下，可利用地形测量资料进行判别，即当了解各个时期的断面面积比或河宽比后，可分析它们随时间的变化值。如果发现量值递增，表明它们趋向发展；反之，则衰亡或萎缩。图 5 说明南北港出口处的马尾合流河段，据百年来的地形测量资料证明〔9〕，炎山和马杭两汊道的断面面积比，随时间呈周期性的起伏，说明两汊道在历史上曾有互为消长的变化规律。

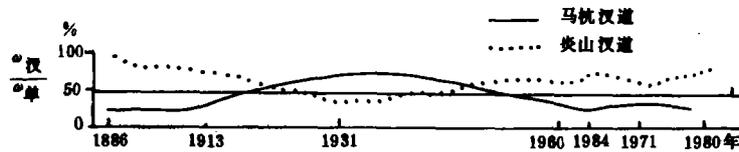


图 5 闽江口马尾合流段炎山、马杭汊道断面面积比随时间变化

表 4 淮安分流口水力要素与断面比值统计

项目 汊道	分流分沙比				断面面积比		
	平均		洪水		平均	洪水 ($>14\ 000\text{m}^3/\text{s}$)	最小
	分流比	分沙比	分流比	分沙比			
南港(科贡)	57.4	60.7	68.6	51.5	62.8	85.2	38.7
北港(观音亭)	42.6	39.3	31.4	48.5	37.1	14.7	62.3

注：1. 分流分沙比系根据1951—1953年资料。 2. 面积比系平均潮位下面积。

五、结 束 语

闽江口的河床分汊不同于长江、黄河和珠江口，追其原因，主要是地质构造影响深刻和河口发育阶段有关。本文将河口分汊分成构造型和冲积型两类，并从成因上作了探讨，其主要论述为：

1. 构造分汊主要是受地质断裂构造线影响所致,分汊河床基本上沿构造线发育,所构成的汊道因分流角大而基本保持不变,主、支汊互相不发生易位,但它们的形态在数量上仍有变化.分汊形态的空间分布和规模,在区内属一级分汊.在一级分汊的主支汊内,还存在次一级的小型岩岛、暗礁构成的分汊。

2. 冲积型分汊河床,除了一般共有的影响因素外,尚具备福州盆地和口外海滨段突开阔、收束的特殊地形条件,以及在“驻波”型潮流和暴涨暴落的山区径流作用下,构成了高滩高洲和低滩低洲组成的冲积型分汊河床,前者分汊型汊道变化缓慢;反之,后者变化迅速.同时,低滩低洲的下移会影响下段汊道的互相变化。

3. 冲积型分汊河床的发育,尚与河口三角洲发育过程有关.福州盆地经历了由水下三角洲向水上三角洲和陆上平原过渡的变化过程,该阶段冲积型汊道比较发育.亭江以下的口外海滨段,目前尚处在水下三角洲向水上三角洲过渡,冲积型分汊河床并不发育。

4. 冲积型分汊的规模属二级分汊,对主支汊顺序的判别和发育趋势的预估,可以根据水力要素比或汊道形态比来表示。

参 考 文 献

- [1] 祝永康, 闽江口福州段河床演变与航道整治, 杭州大学学报(自然科学版), **3** (1981), 4: 441—450.
- [2] 武汉水电学院河流泥沙工程教研室编, 河流泥沙工程学, 水利出版社, 1980, 263—265.
- [3] 李昌华等, 河道类型与港址选择, 泥沙研究, 1982, 4: 1—12.
- [4] 尤联元, 长江中下游分汊河型成因研究, 地理研究, **3** (1984), 1: 12—23.
- [5] 尹学良, 黄河口的大型并汊改造, 泥沙研究, 1982, 2: 13—25.
- [6] 丁君松等, 分汊河段若干问题的探讨, 泥沙研究, 1982, 4: 29—38.
- [7] 钟修成, 长江口南北港分汊口与汊道演变及其相互影响, 地理学报, **40** (1985), 1: 51—59.
- [8] 王绍鸿, 福州湾的演变与台湾海峡西岸的陆架海侵, 海洋与湖沼, **15** (1984), 4: 380—387.
- [9] 祝永康, 闽江口历史时期河床变迁, 台湾海峡, **4** (1985), 2: 161—170.
- [10] 林观得, 福建海岸变化的新观察, 中国第四纪研究, **2** (1959), 1: 47—60.
- [11] 祝永康, 闽江口外海滨段三角洲沉积特征, 东海海洋, **3** (1985), 2: 8—14.
- [12] 祝永康, 关于河口演变预测问题的若干探讨, 泥沙研究, 1988, 3: 16—18.