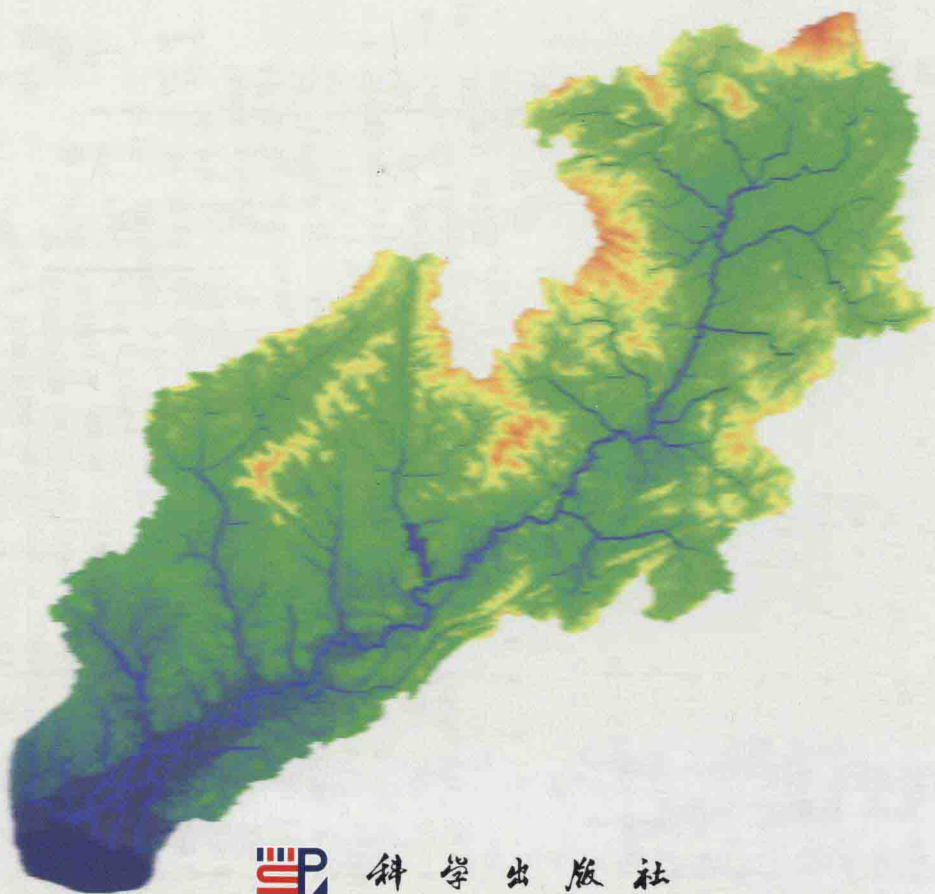


南流江

现代水文—地貌过程

黎树式 戴志军 著



科学出版社

南流江现代水文-地貌过程

黎树式 戴志军 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

水是生命之源,沙是沉积性地貌之本。河流水沙作为地球生物化学循环的重要载体,是全球陆海物质和能量交换的基本组成。沉积地貌是水沙变化过程的产物,河流水沙过程尤其是河流水沙-地貌的连接过程研究被列为国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)的核心内容。由于全球气候变化和高强度人类活动的耦合与叠加作用,独流入海的亚热带山区型中小河流水沙-地貌过程的研究相对匮乏。此类河流具有分布广、面积小、流程短、流速急、受热带气旋影响明显等特征,其水沙-地貌条件的变化对区域生态、经济与社会的影响更具有突发性、直接性和深远性。本书以广西沿海注入北部湾最大的独流入海河流——南流江为例,基于所采集的河流悬沙与河床泥沙、河川地形变化数据以及河口沉积物柱心,结合南流江近50年来的流域降雨、热带气旋、水土流失、土地利用变化以及河流采砂等自然和人类活动作用的分析,全面而系统地阐明了南流江水文-地貌变化过程,并与岛屿型河流(台湾河流)作了对比研究。

本书可供海洋、河流、资源、环境等相关部门政府人员、所涉研究领域的科研人员及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

南流江现代水文-地貌过程 / 黎树式, 戴志军著. —北京: 科学出版社, 2018. 4

ISBN 978-7-03-057066-6

I. ①南… II. ①黎… ②戴… III. ①河流-区域水文学-广西 IV. ①P343.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 063844 号

责任编辑: 王 运 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 铭轩堂

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年4月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018年4月第一次印刷 印张: 8 1/2

字数: 180 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

河流的水和沙是地球生物化学循环的重要载体，是陆海物质和能量交换的重要组成部分，河流入海水沙变化研究是未来地球海岸计划（Future Earth Coast, FEC）的重要内容。我国是世界上水沙资源最丰富的国家之一，由于全球气候变化和人类活动的干扰，河流入海水沙条件变化剧烈。地处南亚热带季风区的南流江是北部湾北部最大的独流入海河流，位于其河口三角洲的合浦是古海上丝绸之路始发港，是“一带一路”有机衔接的重要门户。

南流江是广西沿海水沙最丰的河流，随着《广西北部湾经济区发展规划》、《北部湾城市群发展规划》和“一带一路”重大倡议的逐步实施，河流入海水沙资源的保护和利用面临巨大挑战和机遇。《南流江现代水文-地貌过程》一书是对近一个时期南流江水沙变化现状的系统性总结，该书资料翔实，收集了近 50 年南流江水沙、气候变化和人类活动的相关数据；内容丰富，涉及水沙变化特征、驱动因素及管理对策；提出的南流江水沙通量呈现顺时针“先沙后水”变化特征、河槽对水沙变化的“洪季冲刷，枯季淤积，整体冲刷”响应特征，以及“流域-河口海岸-海湾”集成管理理念，观点独到，科学合理，具有较强的可行性和可操作性。

这是我国第一本关于独流入北部湾河流问题的学术研究专著，是对我国中小河流-河口-海洋陆海相互作用研究的一项有意义的贡献，它对揭示我国西南地区山区河流入海水沙输运特征很有帮助，期望该书的出版对其他独流入北部湾河流，乃至我国西南地区中小河流的保护与开发有一定的借鉴价值。

李春初

2018 年元月 1 日

前 言

地球主要由大陆和海洋两大系统组成,陆海物质及能量的交换是连接大陆和海洋的纽带,是全球变化研究的重要内容。河流入海物质是海岸带地质地貌以及生物地球化学过程的基础,入海物质传输是地球生物化学循环的重要途径(Walling and Fang, 2003; Newton and Icely, 2008; Xu and Milliman, 2009; Milliman and Farnsworth, 2011; Wang et al., 2011; Dai et al., 2011b, 2014, 2016)。地球上大约 85% 的陆地表面物质是通过河流水沙输送入海(Bianchi and Allison, 2009)。河流水沙的基本变化来自水文和地貌的互馈机制。河流水文过程塑造河川地貌,地貌的形成演化亦控制了水文环境的动态变化。二者的相互影响在很大程度上控制了河流水沙的变化。因而,河流水文-地貌过程的研究对河流物质循环、物质迁移以及流域-河口地貌环境效应皆具有重要价值。

然而,随着近几十年来流域-海岸带高度城市化和社会经济活动的扩张,在全球气候变化、海平面上升的情景下,河流水文-地貌过程发生变异,入海水沙通量趋于减少(Milliman and Farnsworth, 2011; Dai et al., 2011b; 任惠茹等, 2014),流域-海岸-海湾生态系统压力明显增大(黎树式等, 2014)。河流水文-地貌过程对人类的生存环境和经济社会活动有着深远的影响。鉴于此,国际科学界组织了 4 个大型全球变化研究计划:①世界气候研究计划(World Climate Research Programme, WCRP);②国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP);③全球环境变化的人文因素计划(International Human Dimension Programme on Global Environmental Change, IHDP);④生物多样性计划(DIVERSITAS)。其重点或关键内容均涉及流域水文-地貌的变化。

然而,对全球流域水文-地貌过程的研究甚少,且多集中于河流物质通量

的研究。河流物质通量变化,特别是入海水沙通量变化的研究,持续受到较多学者关注(胡敦欣,1996;沈焕庭和朱建荣,1999;李春初和雷亚平,1999; Dai et al., 2011; 任惠茹等, 2014)。由于地理位置、河流类型和人类活动干预强度的不同,河流入海水沙通量变化情况也不尽相同。学者们对全球典型江河的研究表明,入海水沙通量锐减趋势明显。典型的江河有密西西比河(Wiegel, 1996)、科罗拉多河(Vörösmarty et al., 2003)、多瑙河(Humborg et al., 1997; Walling, 2006)、黄河(许炯心, 2003; 尚红霞等, 2015)、长江(沈焕庭等, 2009; Dai et al., 2011a, 2014, 2016; Yang et al., 2011, 2015)和珠江(任惠茹等, 2014; 吴创收等, 2014)等。但中小河流,尤其是独流入海河流物质通量的研究仍有待进一步深入,其研究成果主要集中在典型岛屿型河流——台湾河流的泥沙输运研究(刘恩宝等, 1981; Galewsky et al., 2006; Milliman and Kao, 2006; Kao et al., 2008; Liu et al., 2008; Chen, 2012; Chueh, 2012; Wu et al., 2016),系统研究我国西南地区独流入海河流的水沙成果甚少,更毋庸说河流的水文-地貌过程分析。

有关资料表明,我国流域面积 100 km^2 以上的中小河流就有 5 万多条,包括七大江河干流及主要支流以外的三、四级支流、独流入海河流、内陆河流、跨国河流和平原区排涝(洪)河流等(张晓兰, 2005)。这些河流流程短、河面窄、坡降大、流域面积小,对气候变化和人类活动的响应更快速、更直接,其中以岛屿型和山区型中小型河流最为典型。比如,位于亚热带沿海地区的中小河流,受热带气旋等极端天气影响大,热带气旋及其带来的暴雨和洪水导致河流流量和含沙量变化明显的同时,常常对河床与河岸地貌造成严重破坏。与此同时,建坝、建水库、修河堤和采砂等人类活动可能造成入海泥沙的进一步减少,导致下游及河口泥沙供应不足,河口三角洲遭受侵蚀(Darby et al., 2016; Wu et al., 2016)。因此中小河流的水文-地貌变化研究有重要的科学意义和应用价值。

北部湾是南海北部半封闭海湾,为中越两国陆地与中国海南岛所环抱。注入北部湾的独流入海河流流域面积大于 100 km^2 的有 16 条,其中大于 1000 km^2 的较大河流有南流江、大风江、钦江、茅岭江、防城河和北仑河(广西壮族

自治区地方志编纂委员会, 1998)。自 20 世纪 50 年代以来, 特别是近十年来气候变化和愈演愈烈的人类活动可能导致这些河流的水文-地貌发生大的变异。相关研究表明, 广西沿海自 20 世纪 80 年代以来, 因入海河流域土地利用、城镇化、修建大坝水库及沿海港口建设等人类活动, 海岸侵蚀加重, 滨海湿地损失严重 (黄鹄等, 2015; 黎树式等, 2014)。南流江是我国西南最大的独流入海河流, 研究其水文-地貌的变化过程及其对河槽和河口沉积的影响, 有助于揭示我国西南独流入海河流水文机制、地貌演化格局及其对河口沉积环境的影响效应。

本书的顺利出版, 得到了华东师范大学河口海岸学国家重点实验室、广西沿海水文水资源局、钦州市海洋局和钦州学院等单位的大力支持, 同时也得到了国家自然科学基金项目 (41376097, 41666003)、广西自然科学基金项目 (2015GXNSFBA139207)、广西高等学校科学研究人文社科重点项目 (KY2015ZD133)、广西北部湾海洋灾害研究重点实验室自主课题 (编号: 2017TS08) 以及广西北部湾海岸工程实验室自主课题 (编号: 2016ZZD01、2016ZZD02、2016ZYB01) 的大力资助。梅雪菲、魏稳、高近娟、葛振鹏、庞文鸿参与本书的部分图件绘制和文字处理工作, 梁铭忠、劳燕玲、欧业宁等参与了部分室内与野外工作, 在此一并感谢!

目 录

序

前言

第 1 章 南流江流域概况	1
1.1 地质与地貌	2
1.2 植被与土壤特征	5
1.3 气象气候特征	5
1.4 水文特征	5
1.5 经济社会概况	8
第 2 章 南流江水文过程	9
2.1 水沙月、季节变化	9
2.2 水沙年变化特征	21
2.3 流量-泥沙比率曲线变化	29
2.4 小结	33
第 3 章 气候变化对南流江水文过程的影响	35
3.1 气温与降水量	35
3.2 热带气旋	42
3.3 小结	53
第 4 章 人类活动对南流江水文过程的影响	54
4.1 水利工程	54
4.2 用水量	56
4.3 水土流失与土地覆被变化	57
4.4 采砂	61
4.5 自然和人为因素的综合影响	64

第5章 南流江河槽地貌变化过程	67
5.1 河槽形态变化过程	67
5.2 河槽的冲淤过程	71
5.3 河槽断面形态对水沙变化的响应	72
5.4 河槽地貌形态变化格局	74
5.5 小结	79
第6章 南流江水文-地貌过程关联分析	80
6.1 基于流域地貌演化阶段的水沙变化	80
6.2 流域地貌演化动态与水沙变化的关系	81
第7章 南流江入海水沙变化对河口三角洲的影响	84
7.1 河口沉积环境对水沙通量变化的响应	85
7.2 河口岸线与水沙通量变化的关联分析	97
7.3 南流江入海水沙变化与河口三角洲的演变	101
7.4 小结	102
第8章 山区型河流与岛屿型河流水文过程的比较研究	103
第9章 南流江保护与治理	113
9.1 创新流域管理理念：“流域-河口海岸-海湾”集成管理	113
9.2 南流江保护与治理对策	115
参考文献	117

第1章 南流江流域概况

南流江流域地处我国南部沿海，其东面是雷州半岛，南濒北部湾，西南与越南相邻，西北为十万大山，东北是云开大山和六万大山，形成近似马蹄形（门）区域（图 1-1）。南流江从广西北海市合浦县入海，注入北部湾。广西北部湾海岸线位于我国海岸线的西端，东与广东省廉江市交界于英罗港洗米河口，地理坐标为 107°29′ E、20°54′ N，西与越南交界于北仑河口，地理坐标为 109°46′ E、22°28′ N。北部湾海域总面积达 $12.93\times10^4\text{ km}^2$ ，大陆岸线总长 1628.59 km，沿海滩涂面积 1005 km^2 。该流域地处华南经济圈、西南经济圈和东盟经济圈的结合部，经济区位优势明显，战略地位突出。作为我国

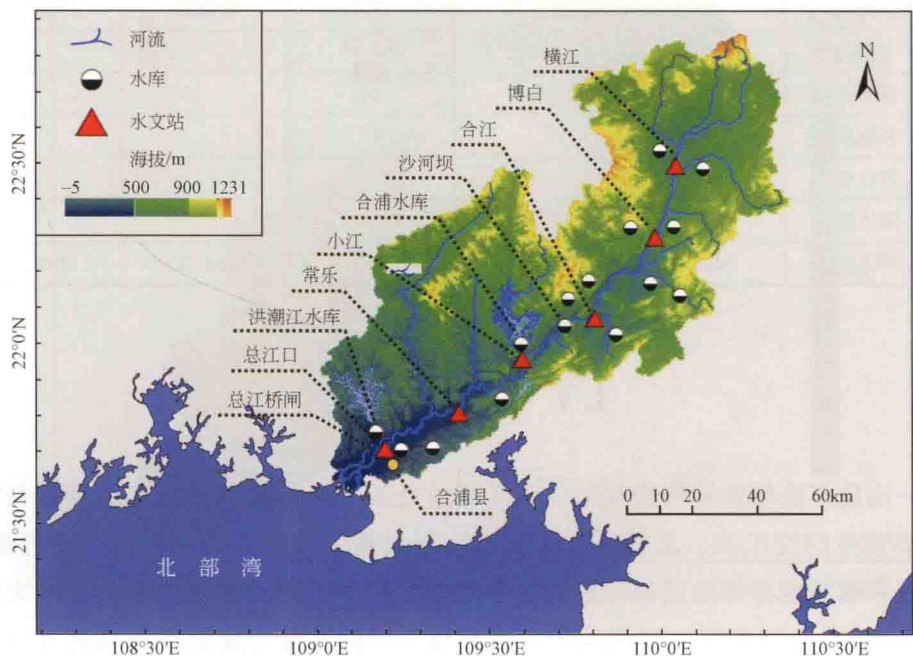


图 1-1 南流江区位图

西部大开发地区唯一的沿海区域，南流江流域是广西北部湾经济区和北部湾城市群的重要组成部分，同时也是我国与东盟国家既有海上通道，又有陆地接壤的区域，是“一带一路”有机衔接的重要门户。

南流江发源于广西玉林市大容山，流域范围 $109^{\circ}00'03'' \sim 110^{\circ}23'12''\text{E}$ ， $21^{\circ}35'54'' \sim 22^{\circ}52'32''\text{N}$ ，是环北部湾独流入海诸河中，流程最长、流域面积最广、水量最丰富、多年入海悬沙质泥沙最大的河流（赵焕庭等，1999）。南流江干流地跨北流市、玉林市区（含玉州区、福绵区）、博白县、浦北县和合浦县，另有支流流经钦州市钦南区、灵山县、兴业县和陆川县，涉及广西玉林、钦州、北海3个地级市10个县（市、区）。干流全长287 km，流域面积9507 km²，平均坡降0.35‰。流域流经的各县（市、区）的面积如表1-1。

表 1-1 南流江流域在各行政区境内面积

地名	面积/km ²	地名	面积/km ²	地名	面积/km ²
北流市	750.2	浦北县	1807	合浦县	1381.2
玉州区	464	灵山县	869.43		
福绵区	787	钦南区	24		
兴业县	560				
博白县	2361.5				
陆川县	503				
玉林市合计	5425.7	钦州市合计	2700.43	北海市合计	1381.2

1.1 地质与地貌

南流江流域地质构造复杂。该区域地处新华夏构造体系第二沉降带与华南褶皱带的交汇点，志留系、泥盆系、石炭系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系等地层都有发育，分布有花岗岩、砂岩和页岩等。合浦大断裂（北流-合浦断裂）经北流市、玉林市、博白县至合浦县南西端进入北部湾海域，长350 km以上，深约22 km。南流江流域水下受其控制（马胜中，2011），是该流域较大的基本构造单元（唐昌韩等，1995）。南流江三角洲所

属的北部湾湾内海底地形平坦,水深多在 20 ~ 80 m,最大水深 106 m,平均深度 38 m。湾内矿质沉积物有粗砂、中砂、粉砂和细砂,北部湾北部以粉砂为主(吴敏兰,2014)。

南流江流域地势西北高、东南低,北部有发源地大容山,东部是云开大山,西北部是六万大山。近岸浅海属半封闭性大陆架海域,海底地形坡度平缓,等深线基本与岸线平行,大致呈纬向分布(图 1-2)。一般而言,海岸地貌类型有三角洲型海岸、溺谷海岸、山地型海岸和台地型海岸(马胜中,2011)。华南海岸类型主要有沙坝(堡岛)-潟湖型、溺谷港湾型、台地侵蚀型和河口三角洲型四种(戴志军和李春初,2008),其中广西海岸主要分布溺谷港湾型(如钦州湾、铁山港、防城港等)、沙坝(堡岛)-潟湖型(金滩、外沙岛)和河口三角洲型,其中南流江入海口属于河口三角洲型海岸。

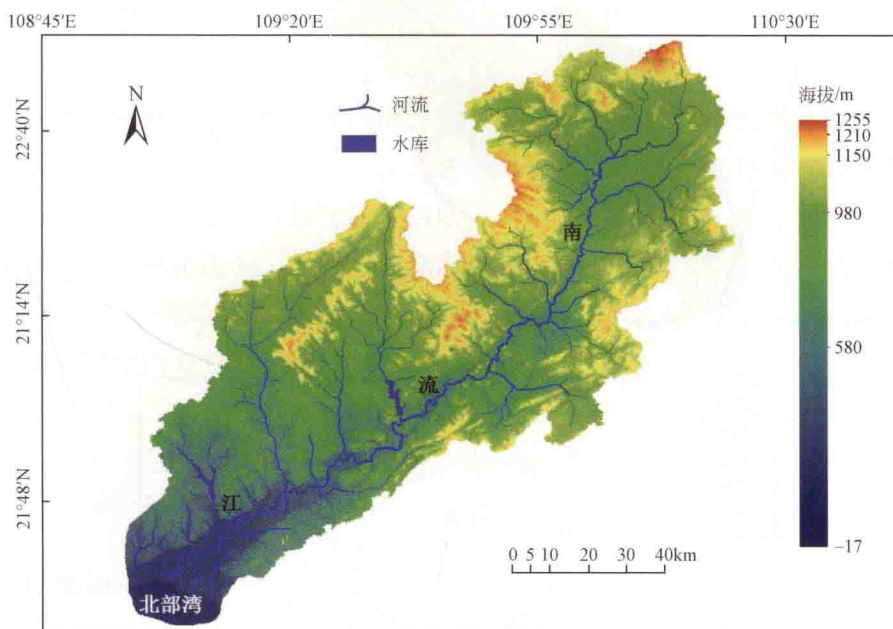


图 1-2 南流江流域地貌图

为便于分析南流江水文-地貌过程,依据流域地貌和水文特征,结合河流的纵剖面变化情况,划分南流江上、中和下游(图 1-3)。上游位于大容山

区，主要为玉林市辖区，行政区上可将博白县的沙田镇为分界点。上游位于大容山区，属于山区河流河段，一般海拔较高，植被覆盖好，代表水文站为横江站。因横江站水沙数据缺乏，本研究选择离横江站最近的水文站——博白站为上游最典型站点。中游主要为钦州市和玉林市共同管辖区，行政区上可将玉林市博白县沙田镇到钦州市浦北县石埇镇河段划为南流江中游区域。中游人为干预流域程度较高，属低丘陵区域，有小江站、合江站等代表水文站。下游则包括石埇镇及以下的河段，地势较平坦，泥沙以堆积为主，是流域人类活动最密集区域，控制水文站为常乐站。

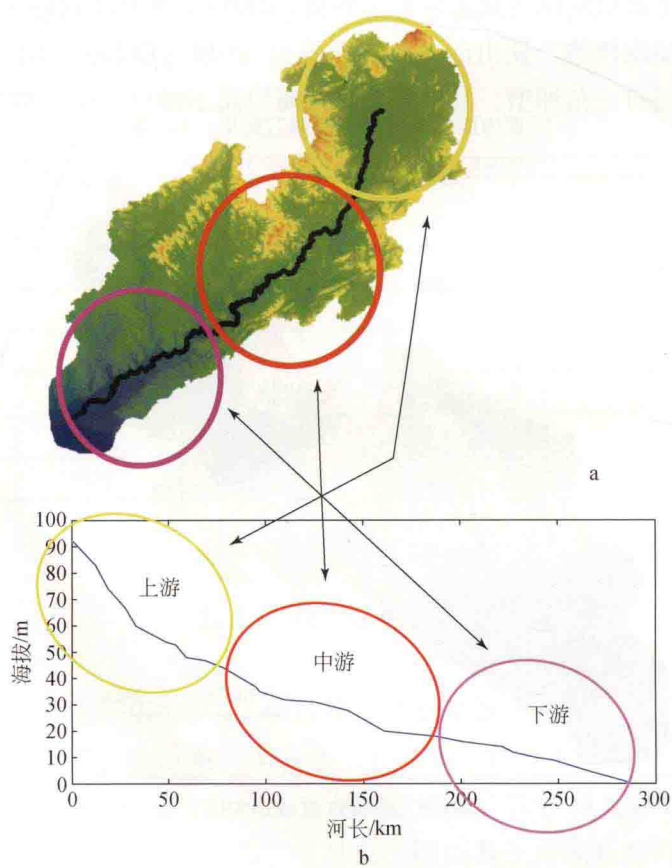


图 1-3 南流江上、中及下游区域的界定

a. 地势图；b. 纵剖面图

1.2 植被与土壤特征

南流江流域自然植被类型有亚热带针叶林、亚热带常绿-落叶阔叶混交林、亚热带常绿阔叶林、亚热带竹林及竹丛、亚热带常绿阔叶、落叶阔叶灌丛以及红树林（车良革等，2012）。流域以亚热带针叶林为主，树种以马尾松林、杉木林和湿地松林居多。红树林主要分布在南流江入海口，常见的红树林植物种类有桐花树和秋茄。流域主要土壤类型为滨海盐土、潮土、赤红壤、红壤、黄壤、石灰土、水稻土、新积土、砖红壤和紫色土。赤红壤在流域分布最广，占流域面积的50%以上，其次是水稻土和砖红壤。

1.3 气象气候特征

南流江流域位于北回归线以南的低纬度区，属亚热带海洋性季风气候区，具有季风明显、海洋性强、干湿分明、冬暖夏凉、灾害性天气较多等气候特点。每年5~11月热带气旋较活跃。冬季盛行偏北风，夏季盛行南风 and 东南风。最大风速达36 m/s，台风期间阵风可达40 m/s以上。年平均气温约为22.0℃，年均降水量为2000 mm左右，自然蒸发量为1000~1400 mm，年平均相对湿度约为80%。

1.4 水文特征

1. 陆地水文

广西境内直接流入南海北部湾的河流很多，独流入海的中小型河流有120余条，其中95%为季节性小河流，流域面积大于100 km²小于1000 km²的有12条。南流江、大风江、钦江、茅岭江、防城河、北仑河6条河流是流域面积较大的北部湾北部常年性河流（广西壮族自治区地方志编纂委员会，

1998) (表 1-2)。

表 1-2 广西主要入海河流基本信息

河流名称	河流长度/km	流域面积/km ²	河口所在地
南流江	287	9507	北海市
大风江	185	1927	北海市
			钦州市
钦江	179	2457	钦州市
茅岭江	123	2909	钦州市
			防城港市
防城河	100	750	防城港市
北仑河	107	1187	防城港市与越南界河

南流江有 61 条支流,其中南流江一级支流面积 50 km² 以上的有 32 条,集雨面积大于 100 km² 的支流有清湾江、定川江、新桥江、沙田江、旺老江、绿珠江、水鸣河、亚山江、合江、小江、张黄江、武利江和洪潮江等 13 条(表 1-3)。

表 1-3 南流江面积在 100 km² 以上支流的基本特征

序号	河流名称	河流等级	集水面积/km ²	河长/km	起点	终点
1	南流江	干流	9232	285	北流兴业交界莲花顶	合浦党江镇木案村
2	清湾江	右一级	367	40	北流大里镇高垌村	福绵区福绵镇新江村
3	定川江	右一级	683	59	兴业葵阳镇四新村	福绵区福绵镇船埠圩
4	丽江	左一级	537	61	北流六麻镇六美村	玉州区新桥镇田横村
5	旺老江	右一级	102	27	玉州区樟木镇三塘村	玉州区樟木镇旺老村
6	沙田河	左一级	213	40	陆川大桥镇瓜头村	陆川沙田镇大江村
7	绿珠江	右一级	350	44	玉州区樟木镇六答村	博白绿珠镇珠江村
8	鸦山江	左一级	241	42	兴业小平山乡金华村	福绵区福绵镇中坡村

续表

序号	河流名称	河流等级	集水面积/km ²	河长/km	起点	终点
9	水鸣河	右一级	176	33	博白永安镇新祥村	博白大利镇龙利村
10	合江	左一级	581	51	博白新田镇亭子村	博白合江镇新郑村
11	小江	右一级	905	87	浦北福旺镇大双村	博白菱角镇小马口村
12	张黄江	右一级	424	52	浦北龙门镇赵村坪	博白泉水镇上塘村
13	武利江	右一级	1223	127	浦北福旺镇坪铺村	合浦石康镇筏埠村
14	洪潮江	右一级	472	46	灵山伯劳镇菱塘村	合浦石湾镇永康村

2. 海洋水文

南流江从北部湾北部的廉州湾入海。廉州湾是北海冠头岭西南嘴至大风江东岸窑头嘴连线与沿岸围成近似半圆海湾,经纬度为 $108^{\circ}57' \sim 109^{\circ}10' \text{ E}$, $21^{\circ}27' \sim 21^{\circ}36' \text{ N}$,口门宽约17 km,水域面积237 km²。廉州湾潮汐作用较强,潮流是主要的水动力因素。湾内潮汐主要由太平洋潮波传入南海,然后进入北部湾。近岸平均潮差2.54 m,属中等潮控制的岸段,潮流性质比值一般为2.6~3.3,是不正规全日潮流(蒋磊明等,2008)。潮流运动方式以往复流为主,涨潮时,潮流流向主要为N—NE;落潮时,则以S—SW向为主。潮流平均流速为20~60 cm/s,落潮流大于涨潮流,表层流速大于底层。湾内海流主要受风场影响,冬春季为逆时针方向环流,夏秋季以顺时针方向环流为主。据1983年短期观测资料,南流江河口各汊道平均潮差3.24 m,最大潮差达4.5 m。流速总体趋势涨潮大于落潮,涨潮平均流速0.62 m/s,落潮平均0.58 m/s,但南流江主要干流——南干江的落潮流速大于涨潮流速(赵焕庭等,1999)。湾内波浪以风浪为主,其次是纯涌浪和混合浪。波浪随季节变化十分明显,全年中有两个常向浪,其中N—NE为主浪向,出现频率占36%;另外SW—WSW为次浪向,出现频率占19.2%。最大波高2.0 m,平均波高0.28 m(蒋磊明等,2008)。湾内径流作用相对较小,夏季强冬季弱(邱绍芳和赖廷和,2004)。

1.5 经济社会概况

南流江流域是北部湾城市群和广西北部湾经济区的重要区域,流域 2013 年末总人口 1122.02 万人,人口密度为 414.49 人/km²,是广西人口密度 199 人/km²的 2 倍多。2013 年地区生产总值 1731.83 亿元,人均 GDP 1.54 万元,约为广西人均 GDP 3.06 万元的 1/2。20 世纪 60 年代以来,流域内展现出不同类型的人类开发方式,这主要包括:水利工程、水土保持、围填海、海水养殖和采砂等。