



海洋科学书系

冯士筴 王 辉 主编

中国物理海洋学 现状与展望

ZHONGGUO
WULIHAIYANGXUE
XIANZHUANG YU
ZHANWANG

中国海洋大学出版社

物理海洋学 现状与展望

冯士筭 王 辉 主编



中国海洋大学出版社

· 青 岛 ·

图书在版编目(CIP)数据

中国物理海洋学现状与展望/冯士筭,王辉主编. —青岛:中国海洋大学出版社,2004.9

ISBN 7-81067-607-5

I. 中… II. ①冯…②王… III. 海洋物理学-研究-中国
IV. P733

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 054052 号

中国海洋大学出版社出版发行

(青岛市鱼山路5号 邮政编码:266003)

出版人:王曙光

日照报业印刷有限公司印刷

新华书店经销

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:19 字数:345 千字

2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

印数:1~1 100 册 定价:29.80 元

序

物理海洋学研究海水各种空间和时间尺度的运动。由于海洋中的物理、化学、生物、地质等过程出现于运动着的海水,故海洋科学各分支相互交叉,其中物理海洋学处于某种基础地位,它在探索本学科的同时,还参与其他学科的研究。国家自然科学基金委员会制定的海洋科学“‘十五’计划和2015年远景规划”(2001年出版)中,有关物理海洋学的内容是全面而系统的,它导向此学科的发展,但这些计划和规划在实施中需要进一步细化和优化。为此,国家基金委于2003年4月在青岛主办了“中国物理海洋学进展与展望战略学术研讨会”。

研讨会上有7名专家(包括外籍)作特邀报告,13名专家作大会报告。这些专家是我国物理海洋学界的学术带头人,他们组织和参与我国的重大科研项目,还组织了8名年轻博士作另一场报告。博士们和他们所代表的群体是目前我国科研第一线的骨干,也是学科发展的希望。因此,研讨会在学术上有权威性,在研究课题覆盖面上有代表性,在调动各层次力量上有全面性。

备受关心的气候、资源、环境问题和海洋密切相关,故本次研讨会会有针对性地设置了三个主题。

第一个主题是海洋环流与海-气相互作用。大尺度海-气相互作用的探讨在气候中的重要性,在学术界早已成共识,至今方兴未艾,也是我国物理海洋学家研究的重点之一。可喜的是,有一部分大气科学的专家参加了这次研讨会,他们介入海洋有关的研究,将有助于我国物理海洋学的发展。另一个可喜的是,小尺度海-气相互作用在会上也得到重视。事实上,大尺度过程的深入探讨有赖于小尺度过程的了解。我国科学家注意到对这两种相互作用间的关系早期重视不够,这将为我国物理海洋学的发展提供更大的空间。

第二个主题为浅海环流动力学。浅海以其提供的资源和环境而

受到重视。通过各界面上的相互作用,浅海中存在许多复杂的中小尺度动力过程,并以环流为主轴。专家们的报告不仅包括这些过程的机制和变化规律,还展现了它们为我国发展海洋生态系统动力学、河口海岸动力学、军事海洋学等的支撑作用。

第三个主题为海洋观测与数值模拟。像其他地球科学一样,以上两主题涉及的物理海洋学探索需要现场观测来检验和引导,还需要在计算机上做模拟实验。由于海洋自然条件的特殊性,观测工作愈来愈依靠新技术;由于海洋中各过程的交叉和复杂性,增加了数值模拟的难度。专家们对这些问题所作的回顾和展望,有助于将来从加大投入和改善管理等方面来加强我国物理海洋学发展中这些重要的薄弱环节。

研讨会还组织了内容广泛、图文并茂的墙报,其制作的认真精美,反映了专家们对发展我国物理海洋学的热情和期望。就研讨会上的报告和墙报,专家们分组围绕三个主题进行总结,其中简述国内外研究动态后,较系统和具体地提出了我国物理海洋学今后应研究的课题和学科发展所需措施。

虽然由于时间的限制,许多到会专家未能报告他们的研究成果,对会上报告的内容,有的讨论还不充分,特别是有的专家由于种种原因没有到会,但在我国物理海洋学界,这次研讨会的规模是前所未有的,展示的研究成果是最集中的一次,提出的建议是很具体的。研讨会的收获集中反映在本论文集集中,它对实施我国物理海洋学发展近期计划和远景规划提供了有益的参考。

文圣常

2004年5月

前 言

物理海洋学是海洋科学的核心与基础学科之一,物理海洋学的研究对于揭示海洋变化的自然规律、气候系统研究、海洋环境演变与资源开发和利用以及维护国防安全、国家权益等都具有重要意义。物理海洋学研究的内容包括:(1)描述海洋中温度、盐度和密度的时空分布以及影响其分布的过程;(2)研究海水的运动(如海浪、潮汐和海流等)及其动力机制和物质输运过程;(3)研究能量、动量、物质在海洋和大气等界面间的传输;(4)海水的特殊性质和海洋中声和光的传播。

近年来中国物理海洋学研究取得许多重要进展,与其他学科的交叉日益增多。近海物理海洋学研究不断加强的同时,大尺度问题研究正逐步展开。随着国家对海洋科学研究越来越重视,中国物理海洋学面临着很好的发展机遇,但同时应该看到,其发展也会面临着很大的挑战。目前的发展现状和研究实力还有待进一步加强。具体表现在中国物理海洋学研究的原始创新的成果还不够多,大面积覆盖、长时间序列的观测资料缺乏,大型系统数值模式和模拟能力弱,与气候变化的结合不够等。此外,由于受观测数据等多种因素的制约,对许多中国近海特有的物理海洋学现象和过程的认识,如水团分布和环流结构、变异等,至今难有统一和公认的认识,这在一定程度上制约着中国物理海洋学的发展。还有,由于多学科交叉研究的需要,很多重要研究课题和领域,需要物理海洋学提供科学、准确的基本场和交叉研究的知识,有时这方面也难以满足需要。高水平优秀中青年科学家的相对缺乏也是影响该学科发展的重要因素之一。因此,中国物理海洋学的发展速度还应该加快,以适应学科自身发展的需要和国家的需要。为此,我们认为有必要认真总结一下中国物理海洋学取得的主要进展,研讨未来的发展战略和发展方向,这正是组织召开“中国物理海洋学的进展与展望战略学术研讨会”的主要目的。

其次,召开“中国物理海洋学的进展与展望战略学术研讨会”也是国家自然科学基金委员会地球科学部海洋科学领域在2003年和2004年计划召开的海洋科学四大分支学科领域的学科发展研讨会系列活动之一,随后将组织“中国海洋化学的进展与展望战略学术研讨会”、“中国海洋生物学的进展与展望战略学术研讨会”、“中国海洋地质与地球物理学的进展与展望战略学术研讨会”。通过这些研讨,希望为国家自然科学基金“十一五”优先资助领域中海洋科学优先发展方向打下基础。还有,2003年国家开始制定科技发展中长期发展规划,希望有些内容也能够引起国家科技发展中长期发展规划的重视。

“中国物理海洋学的进展与展望战略学术研讨会”由国家自然科学基金委员会地球科学部主办,中国海洋大学承办,于2003年4月21~22日在青岛黄海饭店举行。会议共收到论文50余篇,特邀7名专家与会作学术报告、13名专家作大会报告。会议期间还举办了墙展和博士论坛。会议采取开放式研讨,邀请海外学者参加,还有不少研究生参加会议。学术报告和交流结束后,对会前调研的关于发展方向的报告初稿进行了分组讨论,根据讨论结果和专家的建议,会后又对这部分内容作了进一步充实,本书除收录了报告的论文外,也收录了这部分内容。但由于时间关系,关于发展方向的报告,只能说是初步的,还要广泛吸收专家意见,进一步完善。

本书的出版得到了全国物理海洋界专家学者的积极参与,研讨会两位顾问——中国科学院资深院士文圣常和中国科学院海洋研究所研究员管秉贤在百忙之中分别为本书作序和对中国海流研究进行了回顾与展望,中国海洋大学给予了大力支持,魏皓教授在该书的统稿和整理工作中付出了大量的心血,在此一并表示由衷的感谢。

王 辉

2004年5月

目 录

大尺度海洋环流与海气相互作用

中国海流研究回顾与展望	管秉贤 (3)
Energetics of the Oceanic General Circulation	Huagn Ruixin(16)
国际南大洋物理海洋学的研究概况和发展趋势	董兆乾 (18)
Physical Oceanography and Global Climate: A Personal View	Liu Zhengyu (20)
黑潮及琉球海流研究的一些重要问题探讨	袁耀初 (21)
Effects of Wind Waves on Large Scale Motion—Some Contributions to Thermohaline Circulation	Fu Sun (28)
北太平洋副热带海洋环流气候变化研究进展和问题	刘秦玉 (36)
印度尼西亚贯通流变化特征与机制	孟祥凤 吴德星 胡瑞金等 (50)
海-气界面二氧化碳通量的估计	赵栋梁 (70)
台湾以东黑潮流量的变化	黄大吉 樊孝鹏 许东峰 (76)
南海环流的动力过程对于季风及其转变的响应	蔡树群 苏纪兰 龙小敏 (85)
南海海洋环流变化的年际尺度特征研究	施 平 杜 岩 王东晓 (100)
LASG/IAP 的全球海洋环流模式在耦合气候系统模式中应用	俞永强 张学洪 郭裕福等 (102)
太平洋低纬度西边界流研究的进展和问题	王 凡 (103)
南海物理海洋学进展与发现	王东晓 杜 岩 王卫强 (105)
台湾岛以东的黑潮变异	靖春生 李 立 (108)
海洋表面非线性波动研究进展和存在的问题	宋金宝 (109)

中国多金属结核开辟区近底低频流动及底边界层特征	梁楚进 (110)
LASG/IAP 气候海洋模式(LICOM)的发展	
..... 刘海龙 俞永强 刘喜迎等 (111)	
黄海春季海雾形成的气候特征	周发琇 王 鑫 鲍献文 (113)
一个确定海-气界面气体交换率的理论途径	管玉平 (114)
吕宋海峡处反气旋涡从黑潮弯曲中的脱落	贾英来 刘秦玉 (117)
浅谈南海上层海洋层结与环流场的关系	
..... 杜 岩 王东晓 施 平等 (118)	
用高度计资料研究南海多涡结构及其运动规律	王桂华 苏纪兰 (120)
Summer Upwelling in the South China Sea and Its Role in Climatic Variations	
..... Xie Qiang Xie Shang-Ping Xu Haiming et al (121)	
海-气界面通量交换研究中的若干问题	张书文 (124)

浅海环流动力学

论近海-河口物质长期输运动力学	冯士筭 王 辉 江文胜 (135)
近海环境流体动力学数值模型的研制	孙文心 魏 皓 江文胜等 (138)
东中国海应重点研究的几个科学问题	吴德星 鲍献文 (140)
潮流和环流耦合情况下黄海、东海环流的数值模拟	
..... 朱建荣 吴 辉 张 衡 (149)	
海洋生态系统对气候-海洋变动的响应研究	
..... 商少凌 张彩云 洪华生 (161)	
黄海中部秋季垂直涡动混合特征	魏 皓 田 天 李庆吉 (171)
未来军事海洋学研究与应用展望	李 磊 孙文心 冯士筭 (181)
一种三维物理与生物耦合模型在渤海的应用研究	
..... 刘桂梅 孙 松 王 辉等 (186)	
悬浮颗粒物输运动力学模式研究及在渤海的应用	
..... 江文胜 孙文心 冯士筭 (206)	

Simulation of Water Exchange in Jiaozhou Bay with Half-life Time Concept	Liu Zhe Wei Hao Liu Guangshan et al(208)
2000 年夏末和次年初冬渤海水文特征	鲍献文 万修全 吴德星等(210)
渤海夏季潮致-风生-热盐余流的数值诊断计算	万修全 鲍献文 吴德星等(211)
近 50 年渤海夏季环流的变异分析	万修全 吴德星 鲍献文等(212)

海洋观测与数值模拟

海洋数值模式的发展及应用	方国洪(217)
Development of a Coastal Observing System Using the Lagrangian Drifter Platform	Zhou Meng(219)
Global Flux of M_2 Internal Tides and Latitudinal Distribution of Mixing Rate Caused by M_2 Internal Tide	Tian Jiwei Zhou Lei Zhang Xiaoqian et al(221)
新一代海洋实时观测系统(ARGO)——大洋观测网试验	许东峰 许建平(228)
遥感军事海洋学述评	崔茂常 胡敦欣(234)
渤、黄、东海的底摩擦系数	吕咸青 陈满春 徐 青(241)
渤、黄、东海内潮的数值模拟	苗春葆 吕咸青 徐 青(254)
适合二类水体的水面之上水色光谱测量方法	周良明 刘玉光 郭佩芳等(275)
海洋资料同化:目前的进展和今后的发展	朱 江(285)
海水黄色物质光学特性初步研究	陈楚群 施 平(288)
附录:中国物理海洋学的进展与展望战略学术研讨会日程安排(2003 年 4 月 20 日至 22 日)	(290)

大尺度海洋环流 与 海气相互作用

中国海流研究回顾与展望^①

管秉贤

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘 要 本文对中国学者 50 余年来在(1)渤海黄海东海和南海近海海流、(2)黑潮及其分支、(3)邻近大洋海流和(4)海流理论及数值模拟研究等方面的研究成果中一些具有先驱性和创造性的观点和结果择要作了简略回顾,并对有待进一步研究的问题和可采取的途径提出了建议。

我国海流的调查研究是由近海向黑潮区域及邻近大洋逐步开展起来的。建国 50 多年来,各方面都取得了显著进展和很大成就。现将其中一些具有先驱性和创造性的观点及结果择要综述如下。

1 近海海流

通过在赫崇本和毛汉礼指导下开展的渤海及北黄海西部多船同步观测(1957, 1958)及全国海洋综合调查(1958~1960),取得了大量中国近海海流昼夜连续观测资料。1960 年代初,管秉贤和陈上及(1964)据此撰写的报告《中国近海的海流系统》给出了渤、黄、东海及南海北部近海海流结构的粗线条框架,并发现广东和闽浙近海在沿岸流外侧存在着流向终年偏北(冬季逆风)的二支海流,分别称为“南海暖流”和“台湾暖流”。

渤海为一半封闭内海,其环流有独特性,因而研究得也比较多(如山广林, 1985; 窦振兴, 1987; 匡国瑞等, 1991)。随着渤海石油平台上海流长期观测的开展,对渤海环流也有了进一步的认识。赵保仁等(1995)提出较细致的渤海环流示意图,论证了辽东湾环流终年为顺时针向流动;并指出渤海湾的环流北部为逆时针向、南部为顺时针向回转的双环结构。冯士筭(Feng, 1987)首先引进潮

^① 本文回顾部分于 1998 年编入《中国海洋志》第 15 篇第 3 章第 2 节,收入本书时作者对内容作了增补。

致拉格朗日余流研究了渤海环流,开拓了浅海潮致环流研究新领域。

黄海冷水团是中国陆架浅海最突出和重要的现象之一。夏季环绕黄海冷水团存在着气旋式密度环流,即“热成流”的概念(管秉贤,1963)为大家所接受。袁业立(1979)首先对黄海冷水团的径向环流进行了理论研究。苏纪兰和黄大吉(1995)运用数值模拟也探讨了黄海冷水团的环流结构。通过中美南黄海联合调查,夏季南黄海上层存在环绕冷水团的气旋环流已为1986年夏季的漂流浮标轨迹所证实(赵保仁等,1991)。王凯(1996)指出潮致余流是黄海环流的重要组成部分,环绕黄海冷水团的环流不仅含有“热成流”成分,也含有“潮成流”成分。

全国海洋综合调查在南黄海观测到冬季逆风北上的黄海暖流的存在(管秉贤和陈上及,1964)。后来主要通过数值模拟对它进行研究。黄海暖流冬季可深入到北黄海,它具有半封闭海区风生环流的一般特性(Yuan & Su,1983; Wang & Yuan,1988),偏北风松弛时黄海暖流会更强些(Liu & Su,1993)。夏季黄海暖流是由台湾暖流分离出来的弱斜压性流,只能入侵到济州岛以北不远处(Yuan & Su,1983)。实际上,黄海暖流的成因包括正压和斜压两部分的贡献(乐肯堂,1992;Le,1993;Le et al,1993)。

长江冲淡水夏季转向东北是中国陆架浅海的又一突出现象。自毛汉礼等(1963)研究这一转向机制以来,已有许多学者(乐肯堂,1984;顾玉荷,1985;袁耀初等,1983,1987)探讨了这一现象,提出各自的转向机制观点。比较集中的看法是径流量增大、西南风的输送和台湾暖流的顶托作用可能是其主要的转向机制。最近朱建荣、沈焕庭(1997)撰写的《长江冲淡水扩展机制》一书较系统地探讨和总结了这一问题。

我国近海常出现一些不同尺度的涡旋,使环流结构更为复杂多变。其中气旋式涡旋较稳定,主要有:台湾以北彭佳屿附近海域有一较小冷涡(Yin,1973;管秉贤,1978b;Fan,1980);济州岛西南海域有一较大冷涡,专题调查表明,它可能是由于黄海暖流和黄海沿岸流之间的切变效应所引起而长年存在(胡敦欣等,1979)。东沙群岛西南几乎终年存在着一个中尺度冷涡(中国科学院南海海洋研究所,1985)。反气旋涡旋如东海西南部海域出现过尺度较大的暖涡(管秉贤,1983;邢成军,1983);海南岛以东外海也出现过暖涡(管秉贤和陈上及,1964)。最近,1994年9月在南海东北部第一次捕捉到陆坡外侧出现一个自黑潮分离出来的反气旋流环(李立等,1997)。

我国沿岸存在着多处由不同机制形成的上升流现象,特别是在夏季偏南风季节更为显著。1960年代初管秉贤和陈上及(1964)曾报道在琼东沿岸、广州湾、粤东汕头沿岸及浙东沿岸出现上升流。1970年代底开始,胡敦欣等(1979),

曹欣中(1985),潘玉球(1985)等对浙东沿岸上升流开展了专题调查,上升流的动力机制有进一步的阐明。夏综万和郭炳火(1983)指出夏季山东半岛和辽东半岛顶端附近水域的冷水现象,认为是绕半岛潮流诱导的上升流。1990年代以来,乐肯堂(Le,1990)和赵保仁(1993)发现了长江口附近存在着冷水上升现象;韩舞鹰等(1990)进一步研究了琼东沿岸上升流,认为这里是我国近海夏季最低表层水温区。李立(Li,1993)对南海北部陆架区夏季上升流系统的物理特性也作了细致研究。

经过长期研究,中国学者先后提出约 20 幅中国近海流系格局示意图。管秉贤等(1977)出版了我国首册《渤海东海表层海流图》。比较表明,对流系大格局的看法相当一致,但对局部地区流态,如渤海夏季环流、台湾海峡冬季海流以及台湾东北黑潮分支与闽浙近海台湾暖流的关系等,观点不尽相同。这些有待今后加强研究。

关于南海环流,徐锡祯等(1982)根据 1921~1970 年间的温、盐度历史资料,用动力计算方法,首次给出了整个南海海域四季表层及 500 m 层的平均地转流分布图。南海北部环流研究也取得了较大进展。1970 年代底,管秉贤(1978a)发现广东外海冬季存在一支狭窄而较强的东北向流,认为它是早年发现的南海暖流的主干。中国科学院南海海洋研究所 1982 年 2 月的深海锚碇浮标测流结果证实了这支海流的存在(郭忠信等,1983;1985)。国家海洋局南海分局南海北部陆架邻近水域十年水文断面调查也证明南海暖流终年存在(钟欢良,1990)。管秉贤(1984)进一步推测冬季在台湾海峡西、中部也可能存在着类似的逆风海流,并通过它把南海暖流和台湾暖流连接起来,提出一支贯穿东、南海中国近海冬季逆风北上海流的证据(并见管秉贤,2002)。台湾学者庄文思(Chuang,1985,1986)及王胄和陈庆生(1989;Wang 和 Chern,1988)在台湾海峡东部完成的长期锚碇浮标测流结果(这里终年存在稳定的北向流)证实了南海、东海的逆风海流经由台湾海峡相连接的假说(汪东平,1985,个人交流)。孙湘平等(1996)也认为南海暖流、台湾海峡暖流和台湾暖流三者为一脉相联,构成一个体系,并称之为“东、南海陆架暖流”。20 世纪 80 年代初,仇德忠等(1984)及郭忠信等(1985)根据 1979~1982 年海流观测及水文资料的分析,提出在南海暖流右侧即陆坡外侧终年存在一支西南向流,认为它是黑潮通过巴士海峡进入南海的一个分支,称为“黑潮南海分支”。钟欢良(1990)进一步认为黑潮南海分支从深海向西入侵时,遇到陆坡后发生右偏形成流向东北的南海暖流。最近,袁耀初等(2002)于 2000 年 8 月至 2001 年 3 月期间,在南海东北部水深 2 474 m 处,成功地取得了锚碇测流站 450 m 以浅水层长达 77 天以及 2 000 m 及 2 300 m 深层长达 7 个月的海流资料。与卫星高度计资料对比表明,测流大部

分时间内锚碇站位于气旋式涡范围内,这与上层流在大部分时间内按逆时针方向旋转变化相符合。这项长期的测流结果为南海北半部以波动的气旋涡占优势这一推断提供了有力的例证。

关于南海南部环流,方文东和方国洪(1998)指出,因南沙群岛的存在,使其具有与南海北部环流不同的特点。南部环流结构以气旋和反气旋式环流为主而同时呈现多涡结构。近年,刘勇刚等(2000)基于1998年6~7月开展的几乎遍及整个南海的CTD和风场调查资料,计算了南海夏季的环流分布,也显示了南海环流具有复杂的多涡结构特征。

黑潮流经巴士海峡时确有水体入侵南海,但它究竟是黑潮的一个分支,还是属于南海环流的一部分,这点有争议。王卫和苏纪兰(1987)的正压模式计算结果表明,东沙群岛附近的西南向流是由黑潮诱生的南海环流的一部分。苏纪兰和刘先炳(1992)的约化模式计算结果得到类似的结论,即这支西南向流是南海东北部环流的西北侧部分,提出称“巴士海流”为宜,最近又称其为东沙海流(Su,1998)。

20世纪90年代以来,海峡两岸海洋学家合作进行的两次南海东北部环流“配合性”调查(1992年3月,1994年8~9月)结果的分析表明,无论是冬季或是夏末秋初,虽都有黑潮水穿越巴士海峡进入南海,但黑潮并无直接分支深入南海(许建平等,1996;许建平和苏纪兰,1997)。

关于中国近海的暖流系统,管秉贤(Guan,1983;1986)指出,在我国东南近海存在着自海南岛以东向东北流经台湾海峡,穿过东海陆架流向对马海峡的海流,它在夏季更为明显。方国洪等(1992;Fang et al,1989)提出存在台湾—对马—津轻暖流系统。李荣凤和曾庆存(1993)的数值实验结果也显示了这支海流。他们还把海南至台湾海峡的暖流同上述流系连接起来,称为海南—台湾—对马—津轻暖流。最近,方国洪(1995)将黑潮对中国近海的影响归纳为三处入侵和连接这些入侵海流的一支从吕宋海峡起,经海南岛东侧、台湾海峡、对马海峡和津轻/宗谷海峡进入太平洋的海流,他称后者为“吕宋—海南—台湾—对马—津轻流系”。这支跨越南海、东海和日本海的流系虽在数值计算结果中得到显示,但进一步开展包括应用漂流浮标等的Lagrange海流观测来验证这支流系的连续性很有必要。

2 黑潮及其分支

黑潮是流经台湾东岸、东海和日本南岸的世界强流。台湾海洋学家于1965~1969年间参加黑潮及邻域合作调查(CSK),对台湾以东的黑潮主干作了较系统的调查研究,朱祖佑(1971,1972,1974,1976)给出了台湾附近海域的表层流

系图;阐明了源区域黑潮的流场结构及变异特征;指出基隆及石垣岛的水位资料可用来监测黑潮流量的变化;以及南海海盆中低于 13°C 的深层冷水来自通过巴士海峡的黑潮水。台湾学者还于1975年首次在苏澳以东陆架边缘黑潮流经海域施放锚碇测流浮标,长达78天(Cheng & Chu, 1976)。

台湾东北海域是黑潮入侵东海陆架的要冲。台湾学者20世纪80年代开始长达8年的“黑潮边缘交换过程”(KEEP-I, 1989~1994; KEEP-II, 1994~1997)计划以先进的观测方法详细研究了黑潮入侵东海陆架的过程,取得不少优秀成果,共出版《黑潮边缘交换作用论文集》三册,对台湾以北的黑潮与东海陆架的交互作用有较深入的认识,指出黑潮逆流、涌升、入侵对东海陆架的水文、化学及生物都有重要影响,而海底地形与这些物理过程又有密切关系,并认为台湾以北海域极有可能是东海陆架物质向深海输运的重要途径(刘康克和庄文思, 1994)。

大陆学者研究黑潮始于20世纪60年代初。苏育嵩(1963)对台湾附近海区的水文特征及环流作过探讨,其中涉及黑潮。管秉贤(1964)引用日本观测资料分析了东海黑潮流速流量的分布变化及其与地形的关系,提出东海黑潮流轴的偏东南现象(即流量随之增大)可能是日本以南黑潮出现大弯曲的一个征兆。后更引用长时间序列资料,指出东海黑潮流量、日本以南黑潮出现大弯曲与北太平洋副热带中心区域的海面风应力涡度之间存在正相关关系(管秉贤, 1979; Guan, 1983)。刘举平和管秉贤(1986)还发现日本以南黑潮大弯曲常在El-Niño事件后期开始出现。管秉贤(1985)还指出,由于受海脊阻塞,台湾以东黑潮深层可能出现南向逆流。

我国大规模的黑潮调查研究是在20世纪80年代中期开始的。在苏纪兰指导下首次开展的“黑潮及其对东海海洋环境影响研究”(1984~1985)及接着开展的为期7年的“中日黑潮合作调查研究”(JRK, 1986~1992)取得了大批珍贵资料和许多重要成果,共发表《黑潮调查研究论文选》五册,为我国黑潮调查研究作出了重要贡献。主要进展有(国家海洋局科技司, 1995):

(1)较系统地分析和计算了1987~1991年东海黑潮的流速结构、流量与热量的变化,指出东海黑潮除来自台湾以东入流外,1987年和1988年春季皆有相当大流量自宫古岛与奄美大岛之间进入东海。PN断面上中层出现的低盐核可能来自琉球群岛以东的中层水,即是证据。实测与理论计算均表明,东海黑潮深层常存在南向逆流。

(2)进一步论证了台湾暖流由内、外两个分支组成;阐明了台湾暖流的形成、结构与北上的动力机制;明确了台湾暖流水的两个来源、两种流态及它们的季节变化特征;提出台湾东北海域黑潮水入侵陆架的两种方式与途径以及与台