

近20年来中国古河道研究进展

赵艳霞,徐全洪,刘芳圆,秦彦杰,吴 忱,陈利江,崔俊辉

(河北省科学院地理科学研究所,石家庄 050011)

摘 要:近20年来,我国在嫩江大安古河道、莱州湾南岸平原古河道、长江南京以下段古河道及古深槽、海底古河道等区域的研究,获得了大量研究成果,深化了理论认识,拓展了应用领域。这些新成果与新认识进一步表明,中国各外流大河均有末次盛冰期埋藏古河道,该期古河流深切于末次冰期间冰阶的陆地及浅海大陆架,形成切割谷和谷底部的深槽,谷内堆积了末次盛冰期和早全新世的河流相滞留物质和粗颗粒物,上部被中全新世海相、海陆交互相或陆相细粒物质覆盖,构成了埋深约20~50 m的浅埋古河道带。古河道中蕴藏着比较丰富的地下淡水,是洪冲积平原及浅海陆架地区的重要水源。

关 键 词: 研究进展;末次盛冰期;浅埋古河道;地下淡水

doi: 10.3724/SP.J.1033.2013.00003

1 引言

古河道是在自然因素(构造运动、气候变化等)或人为因素(拦河筑坝、裁弯取直、人工决口等)影响下的河道变化(河流袭夺、改道等)过程中产生的废弃河道的形态物质体(袁文英等, 1991)。古河道形态、结构、构造特征、形成时代及分布规律研究,不仅可以为国民经济建设提供基础数据,而且可以重建古水文网,复原古河型、古水文,进而复原古地貌环境,为地理环境演变提供重要的科学依据。近20年来,在20世纪七八十年代黄淮海平原古河道研究的基础上(吴忱等, 1991a; 中国科学院遥感应用研究所, 1988),许多学者又在更广的地区、更多的领域、采用新的方法开展了古河道研究。研究进一步表明,中国各外流大河均有末次盛冰期埋藏古河道,而且其形成时代、埋藏深度、物质结构、构造特征及其与上、下地层的关系基本上都可以对比;古河道研究成果已广泛应用于多个领域。

2 古河道研究的新地区

近20年来,我国的古河道研究取得很多成果,除西藏地区以外各地均在古河道复原及应用方面

开展广泛研究,其中较为集中的为以下几个地区。

2.1 平原地区古河道研究

2.1.1 嫩江大安古河道

大安位于吉林省西北部嫩江右岸,地处松嫩平原西部。大安古河道是该地区已识别出的24条古河道中较大的一条(孙广友等, 1993)。自1989年开始,中国科学院东北地理与农业生态研究所开展了“应用遥感技术调查吉林西部古河道及农业开发对策研究”,确定大安古河道长约240 km,宽4~5 km,底板埋深约5~6 m,其形成时代始于25 ka BP,结束于晚全新世初期,经历了末次冰期第一副间冰期(40-20 ka BP)的草原景观、盛冰期(20-12 ka BP)的半荒漠景观至冰后期(12 ka BP)的半干旱草原景观。古河道中的沉积物主要为粒径0.25~0.063 mm的细砂,自下而上砂粒含量自36%上升到70%又降至50%左右,表明了水动力条件由弱而强再弱的一个反旋回和一个正旋回的沉积程序,属于浅部埋藏与地面出露的复合型古河道。地面古河道的坡降与现代嫩江一致,构成了嫩江的低河漫滩,两侧则为第一级阶地。得出了“地壳大面积缓慢下沉下古河道发育的广域性、多期性、结构完整性和沿主控断裂带的群聚性”的结论(马建平, 1994; 马建平, 2007; 孙广友, 2007);并对古河道区湖泊湿地

收稿日期:2012-07; 修订日期:2012-09.

基金项目:河北省自然科学基金项目(D2008001160);河北省科学院科技计划项目(11104)。

作者简介:赵艳霞(1972-),女,高级工程师,研究方向为自然地理学。E-mail: zhyx8698@163.com

通讯作者:徐全洪(1963-),男,研究员,主要研究方向为地理学与国土资源研究。E-mail: xuquanhong@vip.sina.com

的生态环境、土地潜力和生态工程地质地貌环境进行了评价(罗新正等, 1997, 2003b; 王权等, 1999), 研究了大安古河道草地生物多样性、渔业和植物资源的调查与开发利用, 对古河道的湿地进行了恢复与重建(罗新正等, 2003a; 杨富亿, 1998; 易富科, 1996; 易晓煜等, 2000)。开展了“大安古河道农业开发万亩试验”项目, 建立了亚洲最大的古河道盐碱地开发万亩试验区, 完成了苏打盐碱土种稻等 16 项科学试验(罗金明等, 2008; 罗新正等, 2000, 2007); 构建了大安古河道农业系统动力学模型, 创造了古河道碱性浅湖高效水田, 并基于不同盐碱土类型采取多种开发利用模式(李秀军等, 2002, 2006)。

2.1.2 华北平原古河道

吴忱等(1991b, 2000)在华北平原渤海湾西岸发现黄河孟村古三角洲, 对古河道带粒度特征进行分析计算, 并确认其为主流亚相、边滩亚相、自然堤亚相、决口扇亚相等河流沉积亚相, 模拟绘制了纵贯华北平原中部, 从河北省大名县向北经清河、景县至青县的古黄河水系。此后秦磊等(2008)将黄河浅埋古河道带继续向北延伸 30 多 km, 至天津市静海县境内。在古河道的理论研究上, 吴忱等人将华北平原古河道与中国东部乃至全球洪—冲积平原和浅海大陆架古河道进行对比, 发现均有末次盛冰期—早全新世埋藏古河道, 并论述了古河流与古河道形成的关系(Wu et al, 1996a, 1996b; Xu et al, 1996b), 复原华北平原古河道不同发育阶段古环境及地貌演变(吴忱等, 1993a, 2001; Xu et al, 1996a, 1996c), 并将前人用文献记载复原的黄河历史上五大变迁的流路, 用古河道加以印证、修订。吕金波(2000)、彭晓梅(2003)、岳升阳等(2008)就永定河古水系开展研究, 对古漯河、古浑河、古无定河、古长河和唐代蓟城城南古河道等进行复原。杨国顺(1991)对东汉黄河下游河道进行研究, 复原了两岸的古人工堤。

2.2 沿海地区古河道研究

2.2.1 莱州湾南岸平原古河道

莱州湾南岸平原位于山东省潍坊市北部和烟台市西部, 为淄河、弥河、潍河、胶莱河、白浪河等河流下游洪—冲积扇形平原与滨海地区的海积—冲积平原, 古河道比较发育。首先, 依据 2100 余个钻孔资料, 结合大比例尺地形图、航片、卫片判读分析, 以及野外实地考察和沉积物样品的粒度分析、岩相分析、 ^{14}C 测年, 对古河道的各种特征进行了研

究(韩美等, 1999)。该地区自地表至埋深 60 m 有四期古河道发育, 由地面古河道和浅部埋藏古河道带组成。在垂向上, 早期沉积以中、细砂为主, 粒度变化比较大, 为玉木早冰期和主冰期古河道, 晚期沉积物以粉砂为主, 为早—中全新世和历史时期古河道; 在横向上, 潍河以东古河道砂层厚 30~50 m, 连续性好, 潍河以西古河道砂层厚度小于 20 m, 连续性较差(李道高等, 1999; 孟庆海等, 1999; 聂晓红等, 2001)。其形成与发育是新构造运动和古气候环境演变的结果(李道高等, 2000)。通过野外实地调查和水化学监测, 可将莱州湾南岸平原浅埋古河道带及冲洪积扇浅层地下水水化学环境分为 3 大区域, 即北部的全咸水区、中部的咸淡水过渡区和南部的全淡水区(赵明华等, 2000)。

2.2.2 长江南京以下段古河道与古深槽研究

自嵊泗海域打出淡水, 证实了长江古河道的存在后(王瑞久, 1994), 长江古河道研究逐渐引起学者的关注。长江南京以下段古河道与古深槽较发育, 且具典型性, 近 20 年来, 不少学者就此开展研究。

李从先等(1995)指出长江三角洲地区存在自镇江、扬州向东南延伸至海的古河谷, 其中的充填物为河流相、浅海相和三角洲相, 沉积时间为冰后期, 古河谷当形成于末次冰期低海面期。研究地区巨大古河谷的存在说明末次冰期低海面时长江仍为入海河流。但夏东兴等(2001)持不同观点, 认为, 东海陆架研究区内未发现末次盛冰期时古长江沉积和古河谷, 前人所称长江古河谷实际上是现代潮流水道, 当时长江很可能未曾由研究区流经东海陆架入冲绳海槽。

其后的研究中, 多数人认为长江有末次盛冰期古河道。上海陆域地区有 4 条主要古河道, 均为溺谷相沉积(高大铭等, 1998)。长江三角洲的发育是以古长江河口湾的充填来实现的(朱玉荣, 1999)。古河谷中的充填物可以分为 3 期, 明显由粗到细, 沉积规律符合深切古河谷形成—古河谷充填—三角洲发育的河床演变过程特征(曹光杰等, 2006a, 2006b)。在长江三角洲的镇江—江都河段, 末次盛冰期时, 由于全球性海面下降形成下切河谷; 晚更新世晚期为辫状河道沉积; 冰后期海平面上升引发的海侵造成古河谷的充填, 依次形成河床相、河漫滩相、河口湾相及三角洲相, 古河谷中部冰后期与末次盛冰期地层具有连续沉积的特征, 表明末次冰期低海面时长江仍为入海河流(杨献忠等, 2010)。

长江古河道分别为晚更新世末期古河道、全新世晚期吴淞江古河道和近代古河道(史玉金, 2011)。

学者们对南京段长江及其支流秦淮河古河道也进行了研究。南京主河床部分末次盛冰期以来至少经历了3个沉积旋回,具有4期不同的河床特征:I旋回的沉积物为卵砾石层—圆砾石层—砾砂层—粗砂层,位于埋藏古深槽内,这一时期的河床特性是河床窄,流量小,比降大,流速大,河流的动力作用强,沉积时间是末次盛冰期;II旋回的沉积物为卵砾石层—砾砂层—粗砂层—中砂层,分布宽度明显增大,这一时期河床比较开阔,河流的流速大,比降大,动力作用强,根据古气候分析,沉积时期为晚冰期和全新世早期;III旋回的沉积物为砾砂层—中砂层—细砂层—粉砂层,部分地段上部有一层砂质粘土层,这一时期河床特性是河床宽,比降小,流量大,流速小,河流的沉积作用比较强,沉积时期为海平面较高、气候比较温暖湿润的全新世中期(熊万英, 2005)。南京秦淮河下切形成深达至少42 m的古河谷,古河谷内的沉积是不连续的,分别是下半部15-14 ka BP的末次盛冰期和上半部7.9-6.6 ka BP的早全新世晚期至中全新世早期(刘进峰等, 2009)。

长江南京段古深槽比较发育,学者们对此也进行了研究。例如,古深槽是在末次盛冰期时,因基面强烈下降引起水流强大的切割作用形成的(熊万英, 2005)。长江南京段古深槽比较发育,约-60~-90 m的深槽为末次盛冰期时的长江河槽,钻孔揭示,南京段长江古河槽狭窄陡峭,呈V型,在南京长江大桥附近形成局部深切,槽中充填了一个从粗到细的沉积旋回。根据流量—流速—过水断面之间的关系式计算得出末次盛冰期时长江的流量约为 $(12\sim16)\times10^3\text{ m}^3/\text{s}$ (曹光杰等, 2009a, 2009b, 2011)。研究表明古河槽与末次盛冰期的深切河谷有密切关系。

2.3 海底古河道研究

我国拥有南海、东海、黄海和渤海等广大海域。海底遗留有众多的条带状洼地。对于这些洼地的成因,20世纪末期以前,有学者认为是海水形成的潮流通带,有学者认为是末次盛冰期古河道。经过近20年来的深入研究和钻探,新的资料和研究成果不断问世,现在,学者们多数认为是末次盛冰期古河道。

2.3.1 南海海底古河道

南海是海底古河道研究成果最多的区域之一。从南海北部陆架、南部陆架、珠江口陆架、海南岛东部外陆架到珠江口、广西钦州湾等地均有研究成果发表,研究表明这些古河道均形成于晚更新世晚期末次盛冰期至早全新世的低海平面时期,其形成时代、组成物质、形态特征,与上下层位的接触关系等,几乎完全可以对比(鲍才旺, 1995;寇养琦等, 1994; 马胜中等, 2009; 唐诚等, 2007; 肖尚斌等, 2006)。埋深自大陆架北部的0~30 m,到大陆架南部100~150 m处的陆架外侧,以下则为水下埋藏古三角洲沉积,埋藏古河道为下切河谷,谷内为充填堆积,构成了纵横交错的网状水系(鲍才旺, 1995; 范奉鑫等, 1999; 寇养琦等, 1994)。

汕头市南部近海埋藏有古河曲,曲率半径为6~7 km,并发育有主河道和主、支汉道。主河道宽2~3 km,最深约25 m;汉道宽200~1500 m,深4~5 m,古河曲形成在14 ka BP之后。随着晚第四纪末次海面上升,约12.3-11 ka BP古河曲的远岸被淤平而消失,随后古河曲的近岸部分被韩江现代水下三角洲掩埋(刘阿成等, 2005)。

在广西钦州湾海底埋深6 m处,古河道呈北东—南西向,谷型不对称,主河道宽2~9 km。其河岸两侧的强反射界面,将古河道内外的上、下沉积层分开,构成明显的侵蚀不整合或假整合接触,为本区最晚的侵蚀面。据 ^{14}C 年龄资料,该侵蚀面及以上的粗粒沉积物为全新世冰后期海侵以来逐渐堆积而成,为全新世浅海相沉积(马胜中等, 2009)。

南海北部大陆架的大河河口外常有沉溺的古河谷存在,如珠江口外。水深小于40 m处,古河谷往往为现代水下三角洲沉积物覆盖;大于40 m处,古河谷才出露海底,其形态随水深增加而逐渐明显。南部大陆架的湄公河出口处,有一条海底河谷,向海延伸约300 km收敛于巽他盆地,最后聚集到南海海盆(王颖, 1996)。

2.3.2 东海海底古河道

东海陆架平原及其所辖的长江口外陆架、杭州湾和舟山群岛海底都有古河道分布,是海底古河道研究中最深入的地区。

王颖(1996)提出,东海陆架平原上有两条古河谷:一条是从长江口水下三角洲向外延伸,在马鞍列岛与嵎泗列岛之间为一深谷,到浪岗山列岛一带逐渐向东南扩展,谷形宽浅,至水深100 m附近稍

转向东,至大陆架前缘以急坡峡谷形式进入冲绳海槽,是海平面上升而淹没的长江古河道;另一条大约在(31°15'N, 124°E)处,沿地形低洼处向东南至(33°30'N, 127°45'E)处,洼地内有分选极好的厚层砂,夹薄层粉砂、黏土,有的地方还夹有小砾石,具有植物碎屑富集层和牡蛎层,富含片状矿物等河流相特征,推测为一古河道。刘振夏等(2000)研究认为,在东海陆架平原,晚更新世以来较大的古河道多发育在末次冰期中的亚间冰期。李广雪等(2005)结合前人研究成果,利用GIS技术,通过空间联系,认为长江口外有6条大型古河道系统,是末次冰期长江在东海陆架平原上的主要流路,古河道分布与现在海底带状高地地形有较好的对应关系。

长江口外的广大海域分布着大量埋藏古河道。依据区域浅层地质及地震相特征,可把研究区埋藏古河道断面划分为对称、不对称和复式3种类型;河道内充填的沉积物复杂多样;古河道主要存在于晚更新世晚期沉积层中。60个古河道断面串联成长180 km的古长江水系以及长64 km的古舟山河、长近100 km的古钱塘江两条支流水系,按比降—河宽法判别,当时古长江河道为辫状分汉河型(刘奎等, 2009a, 2009b)。应用高分辨率地球物理方法,揭示出舟山群岛和长江口邻近海域分布有大量埋藏古河道,对埋藏古河道断面特征参数进行统计分析,利用河流计算公式得出,晚更新世末次盛冰期和冰消期,古河道的宽深比(F)为22.22、悬移质含量(M)为10.10%、河道弯曲率(P)为1.52、河曲波长(L)为1647 m,为辫状型河道(刘奎等, 2010)。

杨桂甲等(1995)根据沉积作用和沉积相组合,将钱塘江河口湾的形成和发育分为4个阶段:①末次冰期(20-15 ka BP)形成下切河谷;②冰后期早期海侵(15-7.5 ka BP)充填河口湾;③最大海侵(7.5-6 ka BP)形成海湾;④海面相对稳定期(6 ka BP至今)河口湾发育。其间形成了一套完整的海退—海侵沉积旋回。下切河谷底部厚度异常的河床相砂砾石层,从形成阶段上看,可以分为两个阶段,早期是河流下切的滞留沉积,晚期是基面抬升的河流加积。

林春明等(2005)研究提出,末次冰期以来,随着海平面变化,杭州湾地区下切河谷演化经历了深切、快速充填和埋藏3个阶段。末次冰盛期,海平面下降的幅度大,增加了河流梯度、加强了下切作用,形成了钱塘江和太湖下切河谷,随后在冰后期

被充填和埋藏,下切河谷的两侧为暴露地表的古河间地。根据岩石学、沉积结构和沉积构造特征,本区下切河谷充填沉积物具有向上变细的沉积层序,可以划分出4个沉积亚相:河床滞留沉积亚相、部分曲流河沉积体系的边滩沉积亚相、河漫滩—河口湾沉积亚相、河口湾沉积亚相。

2.3.3 黄、渤海海底古河道研究

黄、渤海古河道研究成果是海底古河道研究成果中最早报导的。早在20世纪60年代就有学者论述了辽东湾古河道(郑永良等, 1964)。如今不但该古河道已被越来越多的资料证实,而且又在其他地区发现了更多的古河道。

辽东湾内有数条水下河谷。其中以大凌河—辽河口外的水下河谷最为明显,长可达100 km以上,两条河谷共宽16~18 km,谷形明显。在滦河口三角洲外有长约112 km的古河道。在渤海湾的海河口、蓟运河口外,也有较小的海底古河道残留(王颖, 1996)。

晚更新世以来,我国北方陆架海区受冰川气候变化的影响,曾经发生过多处沧桑变化及陆海变迁。黄海、渤海陆架区在冰期多次裸露成陆。当时陆架区发育的河流受后期海平面上升的影响而淹没在海底,进而埋藏于不同厚度的海相沉积物之下,成为陆架区的埋藏古河道(韩桂荣等, 1998)。

南黄海海底存在许多埋藏古河道、古湖泊、古三角洲,组成一个完整的水系。其中,北部的古河道为古黄河水系,南部的为古长江水系,二者有可能在25-9 ka BP的低海面时期一度汇合于南黄海中部。成山角东部的下部地层中发现更老的古河道,中更新世古黄河河床。在南黄海中部80 m水深处发现了低海面时期的古黄河、古长江三角洲,该处为约25 ka BP的古海岸线(李凡等, 1991)。

应用高分辨浅层地球物理测量方法,在黄海海底发现了100多处理藏古河道断面。断面的许多特征说明,它们是晚更新世末期的黄河埋藏古河道带,在黄海海底呈NNW-SSE走向分布。上游承接由渤海海峡方向流来的古黄河水系,穿过北黄海,经南黄海中部向济州岛南部流去(李凡等, 1998b)。在南黄海中部深水处测量,发现大面积埋藏三角洲地层。经过岩芯沉积成份分析、有孔虫组合、 ^{14}C 年龄测定,证明是晚更新世晚期海退时期的古黄河三角洲沉积。结合华北平原与陆架区埋藏古河道的研究证明,晚更新世晚期低海面时期已经形成了黄

河,并且流进了渤、黄海陆架海区(李凡等, 1998a)。

王明田等(2000)以大量钻孔资料总结出辽东湾中、北部全新世 8.5 ka BP 以来沉积了第一海相层,与下伏盛冰期的陆相层之间构成不整合界面(R1)。界面以下的 B 层中发育大量埋藏古河道,古河道 NE 向展布,宽 20~800 m,埋深 2~13 m,按其埋深位置可分为 4 种古河道,按其充填方式又可分为 5 种古河道。

陈正新等(2009)通过 1561 km 的高分辨率浅地层测量剖面解译,青岛近海研究区存在多期发育的古河道,虽然保存较完整的地层不多,但大部分河流亚相地层被保存。测年资料表明,这些河流多形成在 37-11 ka BP 之间,河流床底最大埋深(海底起算)约-32 m,一般在-20~-28 m,最大单个河面宽约 1500 m。根据现在所见河道的轮廓形态,可分为六种类型:即发育有滩心洲的河道、平底河道、不对称河道、连续多期发育的河道、窄陡型河道和对称型河道。

晚更新世南黄海古三角洲可分为 4 个较大的期次。根据沉积物特征分析判断,4 期古三角洲均为古长江形成。各期三角洲相互叠置,范围、厚度及扩建方向均有不同(陶倩倩等, 2009)。23 ka BP 之后海水退出渤海,全新世海侵前的盛冰期和冰消期渤海湾长期裸露成陆,北部以河湖沉积为主。海底形成一个流向呈 SW-NE 的古河道系统,河宽大,汉道频,流量较大(胡广元, 2010)。

南黄海琼港岸外发育着中国海域最大、最典型的潮流沙脊,但在全新世高海平面之前它也是古河道沙地。对南黄海辐射沙洲中心沿岸地区两个钻孔采用高密度、定量采样方法进行了有孔虫和沉积学分析。结果表明,该地区晚更新世晚期可能发育了古长江河道、河口、河流边滩或河漫滩以及泛滥平原乃至泛滥湖沼等陆相沉积环境。进入全新世,则先后依次出现了潮滩、河口、潮滩、潮流沙体和潮滩,及至最终成陆(朱晓东, 1999)。南黄海琼港岸外辐射沙脊的主体是低海面时的陆源沉积物,主要是古长江的细砂质沉积,冰后期海平面上升过程中受潮流与波浪的侵蚀塑造形成。其形态既反映了辐射潮流场的水流分布方式,也反映出原始地貌的承袭特点(王颖, 2002)。

李从先等(2008)讨论了中国沿海滦河扇三角洲、长江三角洲、珠江三角洲及钱塘江河口湾 4 个地区的下切河谷体系。这些丰沙河流形成的河口三角洲的下切河谷为长形或扇形,长数十至数百

km,宽数十 km,深 40~90 m。河口三角洲地区的下切河谷相序可分为 4 种类型,将这 4 类相序自海向陆排成一个理想序列,显示海的影响逐渐减弱,陆相作用逐渐增强。

除上述重点地区外,其他地区也开展了古河道的研究工作,如楼兰古河道(李江风, 1991)、东太湖全新世水下河道(汪永进等, 1996)、淮南地区淮河故道(傅先兰等, 1998)、杭州河坊街古河道(阙维民, 1999)、兰州东盆地黄河古河道(何启明, 2002)、太湖平原西北部全新世古河道(舒军武等, 2008)、黄河上游若尔盖盆地黄河古河道(盛海洋等, 2008)、苏州澄湖湖底古河道(周晶, 2009),以及青海湖由外流湖转变为内陆湖的古河道(张焜等, 2010)等。

3 古河道应用研究领域

20 世纪七八十年代的古河道应用研究主要涉及地质矿产、工程规划设计和水资源评价开发等少数领域。近 20 年以来的古河道应用研究,除上述领域外,又涉及不少新的领域。

3.1 地质矿产领域

地质矿产领域是古河道应用研究开展最早、成果最多的领域。这是因为许多矿产的储藏都与河流相的沙砾石或砂砾岩有关,如石油、天然气、铀矿、砂金矿等矿藏。

赵霞飞等(1995)通过岩心、钻井和地质资料研究,发现松辽盆地东北部泉三、四段的沉积作用符合三角洲平原相模式;利用古河流趋向分析法勾绘出多级古河道带,发现了泉头期的古松花江;沉积系统的配置表明,泉三、四期松辽盆地北部为古嫩江、古松花江及其支流形成的冲积—湖积平原;古松花江平行并靠近今日松花江延伸,经王江盆地而汇入古黑龙江。这一系统的发现,对石油勘探布置和油气田开发有重要意义。

古河道型砂岩铀矿产于中新世代松散陆相粗碎屑岩中,明显受古河道控制。中蒙边境的蒙古人民共和国一侧发现了一些古河道型砂岩铀矿床,为我国寻找此类型铀矿提供了可以借鉴的经验(冯明月, 1999)。

不同时代的含金刚石金伯利岩或超基性岩带,经风化、剥蚀、搬运,形成含金刚石砂矿中间储存体,在水系中下游形成不同类型,如阶地、河谷、河床砂矿(涂怀奎, 2001)。

3.2 工程规划设计领域

工程规划设计领域也是古河道应用研究成果最集中的领域之一。如厂、矿、海洋采油平台选址,水利、交通、管线选线,包括房屋建筑,都与古河道密切相关(高大铭等, 1998; 李江海, 2005; 史玉金, 2011; 王明田等, 2000; 王子惠等, 1991)。古河道沙砾石层虽然在饱水条件下是较好的持力层,但若不饱水或是古河道细粉砂层则是不良的地基,而溺谷河道、弯曲河道及其古牛轭湖中的粉砂—黏土层则更是不良地基,工程规划设计时要对古河道进行避让或进行地基加固工程。

孙莉(2000)通过对莘庄—闵行地区一完整的古河道剖面内的溺谷相沉积物的特征分析,论述了研究区内古河道溺谷相沉积物的沉积过程、年代及分层依据,指出本区中全新世古溺谷沉积具有阶段性,沉积环境具有继承性,并按沉积相的层序组合分成二个区域,分别对其桩基持力层选择进行了分析与评价。

赵洪鹏(2011)通过大量高分辨率浅地层剖面调查资料,结合地质钻探资料,对辽东湾浅海油气资源开发区内浅埋古河道的声学地层反射特征、沉积特征及规模、区域分布和埋藏深度作了描述和研究后认为,浅埋古河道作为该区分布较广的潜在灾害地质体,对油气资源开发具有重要的影响。埋藏古河道构成了海底表面工程—油、气管道、通讯线路的障碍因素,工程设计施工一定要避开古河道(李凡等, 1998a)。

3.3 地下水资源领域

古河道水资源评价与开发领域的研究起步较晚,但研究成果较多。如在承压古河道淡水、浅层古河道淡水、海底古河道淡水等方面,都开展了大量研究,生产上也取得了实效。

塔克拉玛干沙漠是世界第二大沙漠,面积约 $33.76 \times 10^4 \text{ km}^2$,进入第四纪以来,在新构造运动作用下,帕米尔高原和盆地南北两侧山地强烈上升,而盆地内部相对下降,故在盆地中堆积了巨厚的第四纪松散沉积物。塔里木河、和田河、克里雅河等在流经山前戈壁平原至沙漠边缘时,可渗入地下直接形成沙漠地下水。其中很大一部分沿古河道呈潜流形式向沙漠腹地运动,成为沙漠地区地下水的主要补给源之一(张鸿义等, 1994)。

浙江省舟山市嵊泗海域存在更新世时期长江古河道,在下更新统地层中存在 5 个承压含水层,其中 4 个含水层为淡水,总厚度可达 60 m,日出水

量约 3000 t,初步估算海底淡水总资源量约 $38 \times 10^8 \text{ m}^3$ (王振宇, 2005; 张志忠, 2011)。

我国北方水资源短缺,而且年内分配不均,水量调蓄是解决水资源短缺的重要措施之一,古河道为水量调蓄提供了理想的场所,尤其是地面古河道与浅埋古河道重叠的地段,更是理想的调蓄库容之所在(吕霞等, 2011; 王洪斌等, 2010; 徐建国等, 2004; 由懋正, 1991; Zhao et al, 1999)。20 世纪 80 年代至 90 年代初,河北地理研究所开展了 8 县古河道开发利用调查,初步圈定黑龙港地区有这样的调蓄库容 30 个,面积 3856 km^2 , 2 m 水位变幅内调蓄水量 5.41 亿 m^3 (吴忱等, 1991d)。徐建国等(2004)将山东省地下水库划分为山间河谷型、滨海平原型、冲洪积扇型和冲积平原古河道型 4 类,根据地下水库库址选取的 6 个基本条件选出了 26 处地下水库库址,总库容达 $65.17 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大调节库容为 $28.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.4 农业领域

过去视古河道沙地为灾害之地,多是种树固定以减少沙地流动,少数发展了园艺业。科学研究也多从水土保持的角度对沙地的固定进行研究。现在,古河道沙地则变成了农业生产的宝地,实现了农、林、牧、副、渔业的综合开发(吴忱等, 1993b; 张义丰等, 1997)。华北平原古河道沙荒地,现在基本都已开发利用。河北省龙华镇古河道带沙荒地种植业高效益规模开发为我国沙荒地资源的高效益规模开发提供了范本(郝德有等, 1992)。黑龙港流域古河道细质沙土有效微量元素锌、铁和硼含量均低于临界浓度,施用锌、铁、硼和钼肥后,花生分别增产 13.9%、12.0%、8.0% 和 3.0%,小麦喷施锌、锰肥分别增产 16.2% 和 4.8% (江荣风等, 1995)。

大安古河道的农业综合开发研究是我国具有开创性的古河道应用研究,其农业资源综合开发利用是一个复杂的系统工程。它包括 6 个子系统工程:①古河道的发现与研究;②初步开发方案设计与开发利用;③大面积试验田的科学试验研究;④拟定水利工程与农林牧副渔业综合开发规划;⑤依据规划进行工程设计;⑥工程实施。其目的是使环境更加优化,更适合人类生存;其机制是调控环境中的物质、能量和信息流,改变其流向和强度,以满足人类的需求,在获得最佳经济效益的同时,也获得了最佳社会效益和生态效益(孙广友, 2007)。

3.5 生态环境领域

古河道是生态环境的组成部分之一。近年来,

古河道的研究内容与成果也逐渐地触及到了生态环境领域,诸如古河道的水环境复原,环境变化、河道变迁对环境的影响(吴忱, 1999),以及古河道环境的重建、整治与持续发展等。

河道变迁对环境的影响是多方面的。它使地面坡降和地势高差加大,地貌类型复杂;沙化面积增加,土壤质地粗化;地表水量减少,地下水量增加;盐碱地重新分异,总面积有所减少(舒军武等, 2008; 吴忱, 1999; 尹同梅等, 2004)。

3.6 国土资源领域

近年来,古河道研究也延伸到了国土资源领域。如土地资源、生物资源、古文化资源等。古河道是国土资源的组成部分,尤其是华北平原土地资源中的沙化地,都是古河道形成的沙地,过去认为是不毛之地,现已开发利用成为富地(郝德等有, 1992; 雷勤, 1991)。古河道上的植被资源也是多种多样的,既有沙生—旱生植被,又有湿生—沼泽植被,在内陆和滨海平原还有盐生、碱生植被。泛滥平原上的古河道一般都是高地,地势高可以防止水淹,地下水较丰富,可以打井取水,因此又是搜寻古文化资源,如古城、古墓的理想场所(段清波等, 1991; 姚鲁烽, 1992);末次盛冰期的古河道砂砾石中蕴藏着丰富的披毛犀、纳玛象等哺乳动物化石,是环境变迁的直接见证,也构成了古文化资源的组成部分(徐海鹏等, 1999)。

3.7 旅游领域

泛滥平原地区的古河道地形地貌、土壤质地较复杂,植物的多样性较好,古文化遗址较丰富,因而成为休闲度假旅游的好去处,已有学者对古河道在旅游方面的开发利用提出了具体建议(陈锦屏等, 2010; 钟国庆等, 2011)。

秦淮河是南京的母亲河,内秦淮河沿岸建筑遗产是南京历史文化的杰出代表。马晓等(2011)以南京内秦淮河城南段为例,深入调查遗产资源,总结了其文化价值及传承意义,探讨了我国历史文化名城中古河道景观的保护与发展,并有针对性地提出了复兴、改造计划与措施。陈锦屏等(2010)以肇庆古河道为例,针对古河道存在的问题对其进行植物造景规划,以春、夏、秋、冬为主题分别进行树种选择,从而营造出4个特色主题景区。

3.8 灾害预测与防治领域

古河道主要由不同砾径的砂砾石组成,沙质土高地古河道与壤质土洼地古河间相间分布,地下水

位深浅不一,有的古河槽洼地地势较低,容易积水,使古河道地区出现不少灾害。学者们在该领域也做了不少研究工作。

地震在洪、冲积平原地区造成的房屋倒塌、人畜伤亡、农田沙压、机井堵塞、道路变形等灾害,主要是砂基液化引起地裂缝、喷水冒沙形成,而地裂缝、喷水冒沙最严重的地区就是古河道带上及古河道密集分布的冲积泛滥平原地区(刘兆存等, 2008; 吴忱等, 1991c)。吴淞江古河道由饱和、呈松散一稍密状态亚砂土夹轻亚粘土、粉细砂等组成,地震烈度在7°时极易液化。产生严重液化的深度主要在埋深3~10 m,埋深10 m以下仅轻微液化。故于古河道内拟建建筑物,应重视地基土的液化判别工作,以利于地基处理(戴荣良等, 1990)。

古河滩地和古河槽洼地地势较低,地下水位高,滋生了各种类型的盐碱地,不利于农业生产,李秀军(2006)、罗金明等(2008)对盐渍土的微域特征和积盐机理进行了长期科学试验和开发利用,形成了一套完整的开发利用模式。沿海地区古河道是海(咸)水入侵的主要通道,是灾情最严重、入侵变化最复杂的地貌单元,但只要采取措施提高其地下淡水的水位埋深,使其高于海平面,可将古河道变成防止海(咸)水的入侵的天然工程(刘恩峰等, 2003; 韩美等, 1999)。

滨海地区末次盛冰期至早全新世的古河道砂体,一般都埋藏在地下8~10 m以下,并与海底古河道相连通。如果超采古河道中的地下水,使地下水位低于海平面,则会发生海水沿古河道入侵,而破坏当地生态环境。若防止海水入侵,必须控制开采古河道地下水,或人工补给地下水,使地下水位高于海平面(韩美等, 1999; 李道高等, 1999; 刘恩峰等, 2003)。

4 古河道研究方法

随着古河道在各个领域的应用,我国古河道的研究方法也在不断地创新。20世纪50年代以前以历史文献查阅、地形图判读、野外考察、访问核对的研究方法为主;50-80年代采用了航片图、遥感图判读,物探、钻探取芯,室内分析、测试等新方法;近20年来,古河道研究中采用了多种新方法、新技术,大大提高了研究精度和深度,拓展了研究成果的应用领域。主要的新技术新方法见表1。

表 1 20 年来古河道研究的主要新技术方法

Table 1 New technology and methods in palaeochannel studies in the past 20 years			文献
技术方法	研究内容		
1 地球物理勘探法	基于海拉尔盆地贝尔凹陷西北部高精度三维地震资料,通过对时间域、频率域地震属性的分析,研究了河道砂体的变化及分布规律,总结出了一套利用时间域、频率域地震属性识别古河道的方法。		李清仁等, 2006
2 对称四极电阻率测深法	采用了对称四极电阻率测深法,通过分析曲线,准确划分了勘探区古河道带与河间带及咸淡水界面。实践证明这一方法经济、直观、可靠。		付新建, 2008
3 瞬变电磁法	通过对云南腾冲地区古河道型铀矿床的瞬变电磁法效果探测实例,探讨了瞬变电磁法的理论基础、野外工作方法、资料处理,研究表明瞬变电磁法勘探可在复杂地形条件下工作,有良好的空间分辨性,该方法探测古河道空间位置效果很好。		方根显等, 2003
4 地震映像法	针对古河道与覆盖层之间存在较明显弹性差异的特点,采用地震映像法探测潜在古河道,分析了典型测线的地震波剖面图,通过钻孔数据验证地震映像法确定的古河道的走向,证明了该法对古河道探测的有效性。		张赓等, 2011
5 地震沉积学法	运用地震沉积学基本原理,借助高分辨率三维地震数据,综合使用三维可视化、相干体解释、地层切片技术、地震分频与 RGB 混频等技术手段对古河道进行识别和刻画。		姜华等, 2011
6 综合物探法	利用综合物探法在河北省磨窝煤矿成功地探测出隐伏的富水古河道,确定了古河道的走向及边界位置,所得结果与实际地质层位比较吻合,解决了矿区水源问题。		李焕春, 1991
7 CSAMT 法	在内蒙古某沉积古河道砂岩型铀矿床上,选择 CSAMT 法进行了试验性应用。通过与钻探资料的对比分析,认为 CSAMT 法对古河道的空间定位具有较好的探测能力,是探测古河道可能的有效方法之一。		李茂等, 2009
8 RS 法	利用 RS 技术运用灰阶统计特征分析和主成分分析、TM741 多波段融合、线性卷积增强、模型提取等一系列遥感解译分析方法,分析了断裂构造、河流地貌及悬浮物的影像特征,使河道演变分析从定性向定量评价发展,揭示了河道演变的影响因素;并尝试利用环境遥感寻找地下遗迹。试验证明遥感技术可以在古河道调查中发挥一定作用。		齐跃明, 2003; 吴爱琴等, 2002
9 航天成像雷达法	在内蒙古阿拉善地区,通过对美国航天飞机成像雷达图像和加拿大雷达卫星 ScanSAR 图像的分析,结合 Landsat MSS/TM 图像判读以及野外调查,识别出风沙覆盖下的古河道和古湖盆,揭示了此区流沙带主要是以古河道作为通道移动的规律,初步建立了自第三纪以来该区的水系演化模式。		郭华东等, 2000
10 电性特征技术	从电性、电测深曲线类型和地电结构研究入手,利用电测深技术对江苏东北部阴平、华冲地区第四纪古河道进行了推断解译,指出区内第四纪古河道发育在朱墩—桑墟以东地区,埋深 25~50 m,尤其是 50 m 左右古河道内砂层颗粒粗、层厚且富水。		金永念等, 2004
11 多属性识别技术	利用高精度三维地震资料,通过对时间域、频率域的地震属性分析,结合测井、钻井等资料分析了河道砂体变化及分布规律,总结出一套在薄互层条件下利用频率域地震属性识别古河道的方法。在实际应用中,选取合适的属性参数能够较清晰直观的显示河道的展布特征,为河道的识别提供有力的手段。多属性交汇对薄层古河道砂体进行识别,揭示了在古河道的局部区域出现不同厚度砂体的叠置。		陈守田等, 2004; 胡金祥等, 2007; 刘丽薇等, 2006
12 地震储层预测技术	从长春岭地区泉四段实际地质情况出发,应用地震属性分析、分频扫描、特征反演、地震相分析、可视化雕刻等多种储层预测技术手段联合作业,对古河道识别方法进行仔细研究和筛选,精确预测和有效识别主力储层分布规律,探索出适合于吉林探区古河道识别方法的工作流程,为高效开发这部分地下水储量提供了地质依据。		孙亚涛等, 2009
13 高密度电法测试技术	结合工程古河道探测的实例,分析了工程概况、剖面布设、参数选择和勘探结果,结合探测实例认为,在苏州平原地区,高密度电法测试与钻孔结合运用,可以快速、有效地判别地下古河道、洞穴等不良地质隐患。		邓建梅等, 2010
14 三维可视透视技术和波形分析技术	应用三维可视透视技术和波形分析技术,细致地刻画出多期古河道展布特征,对井间和井控程度较低地区的沉积相划分,取得了较好的成果,为油层探井部署提供了可靠的科学依据,提高了钻探成功率。		王雅峰等, 2004

5 结论

(1) 近20年来,我国的古河道研究工作取得了巨大的进展。研究表明,在中国东部洪—冲积泛滥平原与浅海大陆架的不同深度内埋藏着第四纪不同时期的古河道,其形成时代、埋藏深度、物质结构、构造特征及其与上、下地层的关系基本上都可以对比。其中以末次盛冰期至早全新世古河道最为发育,发现地点较多,研究也较深入。该时期的河流切入末次冰期间冰阶地层中,形成切割谷及谷底局部地区的深槽;中、晚期切割谷中填充了河床滞留物质和河床亚相的砂砾石、粗砂、中细砂;早全新世又有河流相砂体——粗砂、中细砂、细粉砂覆盖其上,共同构成了河道砂带;随着冰后期海平面的回升,河道砂带被中全新世海相、海陆交互相或湖沼相地层掩埋,形成了埋藏古河道带。

(2) 末次盛冰期至早全新世古河道的大量发现,表明了末次盛冰期低海平面时期,中国各外流大河均通过已露出陆地的浅海大陆架汇入西太平洋。当时的水系呈辫状或辫状—顺直状,河流流量不大,但流量变率大、流速急、挟砂能力强;发育初期以强烈切割作用为主,形成切割谷;中、晚期快速堆积,形成河道砂带;纵贯华北平原中部的黄河浅埋古河道带是其中的典型一例。

(3) 新的技术方法促进了古河道研究的发展,也拓宽了其成果应用领域,近年的研究为不同的应用领域提供了科学依据。

参考文献(References)

Bao C W. 1995. Buried ancient channels and deltas in the Zhujiang River mouth shelf area. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 15(2): 25-34. [鲍才旺. 1995. 珠江口陆架区埋藏古河道与古三角洲. *海洋地质与第四纪地质*, 15(2): 25-34.]

Cao G J, Wang J, Qu G X. 2006a. An overview of the research on channel evolution in the Yangtze River mouth region since the Last Glacial Maximum. *Advances in Earth Science*, 21(10): 1039-1045. [曹光杰, 王建, 屈贵贤. 2006a. 末次盛冰期以来长江河口段河道演变研究综述. *地球科学进展*, 21(10): 1039-1045.]

Cao G J, Wang J, Xiong W Y, et al. 2006b. Sedimentary characteristics of the Yangtze River's paleovalley in Nanjing since the Last Glacial Maximum. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 26(1): 23-28. [曹光杰, 王建, 熊万英, 等. 2006b. 长江南京段末次盛冰期以来的古河谷沉

积. *海洋地质与第四纪地质*, 26(1): 23-28.]

Cao G J, Li Y Y. 2009a. Characteristics of Nanjing paleovalley section of the Yangtze River during the Last Glacial Maximum. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 29(3): 39-42. [曹光杰, 李彦彦. 2009a. 末次盛冰期长江南京段古河槽特征. *海洋地质与第四纪地质*, 29(3): 39-42.]

Cao G J, Wang J, Zhang X Q, et al. 2009b. Characteristics and run off volume of the Yangtze River paleovalley at Nanjing reach in the Last Glacial Maximum. *Geographica Sinica*, 64(3): 331-338. [曹光杰, 王建, 张学勤, 等. 2009b. 末次盛冰期长江南京段河槽特征及古流量. *地理学报*, 64(3): 331-338.]

Cao G J, Zhang Y L, Li Y Y. 2011. The paleovalley in Xiaogan-Qixia Mountain of Nanjing reach of the Yangtze River during the Last Glacial Maximum. *Journal of Mountain Science*, 29(2): 183-187. [曹光杰, 张玉兰, 李彦彦. 2011. 末次盛冰期长江南京下关—栖霞山段的古河槽. *山地学报*, 29(2): 183-187.]

Chen J P, Zhang A F, Cui T C. 2010. Analysis on planting the landscape for the bank of the ancient canal in Zhaoqing. *Advances in Ornamental Horticulture of China/Chinese Society for Horticultural Science*. Beijing: China, Forestry Publishing House: 551-554. [陈锦屏, 张爱芳, 崔铁成. 2010. 浅谈肇庆古河道植物造景规划设计//中国园艺学会. 北京: 中国林业出版社: 551-554.]

Chen S T, Zhang C, Li Q R. 2004. Methods and effects of the application along the layer attribute analysis techniques to identify the ancient river//Geological Society of China. The 8th of palaeogeography and sedimentology conference abstracts sets. Daqing, China: 127-128. [陈守田, 张财, 李清仁. 2004. 应用沿层属性分析技术识别古河道的方法及效果//中国地质学会. 第八届古地理学与沉积学学术会议论文摘要集. 大庆: 127-128.]

Chen Z X, Cao X Q, Huang H Y, et al. 2009. Relationship between river cross section character sand change of ancient geography of offshore in Qingdao Bay. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(1): 109-110. [陈正新, 曹雪晴, 黄海燕, 等. 2009. 青岛近海古河道断面特征与古地理变迁关系研究. *沉积学报*, 27(1): 109-110.]

Dai R L, Zhu J R, Cao H B. 1990. Evaluation of the liquefaction ancient stream channel of the foundation soil of the Wu-song river. *Shanghai Geology*, 11(1): 32-44. [戴荣良, 朱金荣, 曹惠宾. 1990. 吴淞江古河道地基土液化的评价. *上海地质*, 11(1): 32-44.]

Deng J M, Qiu D Y, Shen X S. 2010. The application of high-density resistivity prospecting in engineering investigation in Suzhou. *Earthquake Research in Shanxi*, (3): 27-30. [邓建梅, 邱道友, 沈晓松. 2010. 高密度电法测试在苏州地区工程勘察中的应用. *山西地震*, (3):

- 27-30.]
- Duan Q B, Zhou K S. 1991. Realation of the river near Chang'an city changes and ancient cultural distribution// Zhou K S. Environmental Archaeology Series. Beijing, China: Science Press: 47-55. [段清波, 周昆叔, 1991. 长安附近河道变迁与古文化分布//周昆叔. 环境考古研究第一辑. 北京: 科学出版社: 47-55.]
- Fan F X, Lin M H, Jiang R H, et al. 1999. The submarine buried paleo-delta in the east outer continental shelf of Hainan Island. Marine Sciences, 23(6): 55-57. [范奉鑫, 林美华, 江荣华, 等. 1999. 海南岛东部外陆架水下埋藏古三角洲. 海洋科学, 23(6): 55-57.]
- Fang G X, Yang J C, Yang Y X. 2003. A effect discussion of transient electromagnetic sounding technique in paleochannel-type sandstone-hosted uranium deposit. Journal of East China Geological Institute, 26(4): 361-363. [方根显, 杨建春, 杨亚新. 2003. 瞬变电磁法在古河道型砂岩铀矿找矿中的应用. 华东地质学院学报, 26(4): 361-363.]
- Feng M Y. 1999. Analysis on metallogenic conditions of paleochannel sandstone type uranium deposits in kelulun region. Uranium Geology, 15(4): 198-203. [冯明月. 1999. 克鲁伦盆地及其邻区古河道型砂岩铀矿成矿条件分析. 铀矿地质, 15(4): 198-203.]
- Fu X J, Liu K Y, Li G M. 2008. Symmetric quadrupole resistivity sounding curves with the electrical characteristics of the ancient river with Hejian. Ground Water, 30(5): 107. [付新建, 刘克宇, 李改梅. 2008. 对称四极电阻率测深曲线在古河道带及河间带的电性特征. 地下水, 30(5): 107.]
- Fu X L, Li R Q. 1998. A preliminary study on the paleochannel of the Huaihe River in the Huainan area. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 34(2): 276-279. [傅先兰, 李容全, 1998. 淮南地区淮河故道的初步研究. 北京师范大学学报: 自然科学版, 34(2): 276-279.]
- Gao D M, Chen Z R, Lu Q R. 1998. Engineering geological feature study of paleochannel drowned-valley facies straitain the Shanghai Land Area. Shanghai Geology, 19(4): 11-21. [高大铭, 陈振荣, 吕全荣. 1998. 上海陆域地区古河道溺谷相沉积层工程地质特征研究. 上海地质, 19(4): 11-21.]
- Guo H D, Liu H, Wang X Y, et al. 2000. Spaceborne imaging radar and paleoenvironment the alashan plateau of forested ancient water system to detect. Science China: Series D, 30(1): 88-96. [郭华东, 刘浩, 王心源, 等. 2000. 航天成像雷达对阿拉善高原次地表古水系探测与古环境分析. 中国科学: D辑, 30(1): 88-96.]
- Han G R, Xu S S, Xin C Y. 1998. Geochemical characteristics of the sediment in buried paleoriver channel area in the Huanghai Sea and Bohai Sea//Institute of China Oceanography. Bulletin of Marine Science. Beijing, China: Science Press: 79-87. [韩桂荣, 徐孝诗, 辛春英. 1998. 黄海、渤海埋藏古河道区沉积物的地球化学特征//中国海洋研究所. 海洋科学集刊. 北京: 科学出版社: 79-87.]
- Han M, Li D G, Zhao M H, et al. 1999. The study of the surface emerging ancient channels on the south coast plain of laizhou bay. Scientia Geographica Sinica, 14(5): 451-456. [韩美, 李道高, 赵明华, 等. 1999. 莱州湾南岸平原地面古河道研究. 地理科学, 14(5): 451-456.]
- Han M, Zhao M H, Li D G, et al. 1999. Study on the ancient channels and the relationship between the ancient channels and the sea(salt) water intrusion of the south coastal plain of laizhou bay. Journal of Natural Disasters, 8(2): 73-80. [韩美, 赵明华, 李道高, 等. 1999. 莱州湾南岸平原古河道及其与海(咸)水入侵关系研究. 自然灾害学报, 8(2): 73-80.]
- Hao D Y, Liu G B, Yang Z L, et al. 1992. The high-effective development mode of sandy wasteland farming at Hebei Longhua Town palaeochannel. Erritory & Natural Resources Stuty, 1992(1): 30-32. [郝德有, 刘贵波, 杨宗利, 等. 1992. 河北省龙乡镇古河道带沙荒地种植业高效益规模开发模式. 国土与自然资源研究, (1): 30-32.]
- He Q M. 2002. Lanzhou east basin in the paleochannel change research. Lanzhou Institute of Education, 2002(4): 22-28. [何启明. 2002. 兰州东盆地黄河古河道变迁研究. 兰州教育学院学报, (4): 22-28.]
- Hu G Y. 2010. The paleoenvironment before the Bohai Bay holocene transgression [D]. Qingdao, China: Ocean University of China. [胡广元. 2010. 渤海湾全新世海侵前的古环境[D]. 青岛: 中国海洋大学.]
- Hu J X, Li Z J, Zhang Y S. 2007. Multi-attribute recognition technology in a thin layer of sand bodies of the ancient river//Chinese Geophysical Society. Annual Meeting Proceedings of the twenty-third of the Chinese Geophysical Society. Qingdao: China Ocean University Press: 138. [胡金祥, 李宗杰, 张永升. 2007. 多属性识别技术在古河道薄层砂体中的应用//中国地球物理学会, 中国地球物理学会第二十三届年会论文集. 青岛: 中国海洋大学出版社: 138.]
- Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences. 1988. Remote sensing research of waters dynamic evolution at Huang-Huai-Hai Plain. Beijing: Science Press. [中国科学院遥感应用研究所. 1988. 黄淮海平原水域动态演变遥感研究. 北京: 科学出版社.]
- Jiang H, Wang Z C, Wang H, et al. 2011. Recognizing palae-channels in Halaha tang area, North tarim by seismic-dimentology. Journal of Central South University: Science and Technology, 42(12): 135-142. [姜华, 汪泽成, 王华, 等. 2011. 地震沉积学在塔北哈拉哈塘地区古河

- 道识别中的应用. 中南大学学报: 自然科学版, 42(12): 135-142.]
- Jiang R F, Tao Y S, Zhang Q G. 1995. Study on the availability of the micronutrient application in fine sandy soils in Heilonggang district. *Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis*, 21(S2): 81-83. [江荣风, 陶益寿, 张起刚. 1995. 黑龙江流域古河道细质沙土微肥有效性的研究. 北京农业大学学报, 21(S2): 81-83.]
- Jin Y N, Ji K Q, Qiu S P, et al. 2004. Electrical property of quaternary ancient water course of Yinping and Huachong area, Jiangsu Province. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 31(3): 99-101. [金永念, 季克其, 仇慎平, 等. 2004. 江苏阴平、华冲地区第四纪古河道电性特征研究. 水文地质工程地质, 31(3): 99-101.]
- Kou Y Q, Du D L. 1994. Sedimentary features of shallow ancient river channels on the northern shelf of the South China Sea. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 268-277. [寇养琦, 杜德莉. 1994. 南海北部陆架第四纪古河道的沉积特征. 地质学报, 78(3): 268-277.]
- Lei Q. 1991. Governance sandy waste sandy raise three benefits. *Hebei Agricultural Ecology*, (2): 21-26. [雷勤. 1991. 治理沙荒地提高三大效益. 河北农业生态, (2): 21-26.]
- Li C X, Fan D D, Yang S Y, et al. 2008. Characteristics and formation of the late quaternary in cised-valleys equenestuary and delta areas in China. *Journal of Palaeogeography*, 10(1): 87-97. [李从先, 范代读, 杨守业, 等. 2008. 中国河口三角洲地区晚第四纪下切河谷层序特征和形成. 古地理学报, 10(1): 87-97.]
- Li C X, Zhang G J. 1995. A sea-running Changjiang River during the Last Glaciation? *Geographica Sinica*, 50(5): 459-463. [李从先, 张桂甲. 1995. 末次冰期时存在入海的长江吗? 地理学报, 50(5): 459-463.]
- Li D G, Han M, Zhao M H, et al. 1999. A study of the shallow-buried paleochannel zones and their relations with Sea(salt)-water intrusion on the south coast plain of Laizhou bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 21(6): 64-71. [李道高, 韩美, 赵明华, 等. 1999. 渤海莱州湾南岸平原浅埋古河道带及其与海(咸)水入侵关系研究. 海洋学报, 21(6): 64-71.]
- Li D G, Zhao M H, Han M, et al. 2000. A study of the shallowly-buried paleochannel zones in the south coast plain of the Laizhou bay. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 20(1): 23-29. [李道高, 赵明华, 韩美, 等. 2000. 莱州湾南岸平原浅埋古河道带研究. 海洋地质与第四纪地质, 20(1): 23-29.]
- Li J F. 1991. The discover of the ancient river channel in Loulan and the estimate of wind erosion rate of wind erosion landform. *Geographical Research*, 10(1): 86-94. [李江风. 1991. 楼兰古河道的发现和风蚀地貌吹蚀速率的测算. 地理研究, 10(1): 86-94.]
- Li F, Yu J J, Jiang X H, et al. 1991. Study on buried Palaeo-channel system in the south Yellow Sea. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 22(6): 501-508. [李凡, 于建军, 姜秀珩, 等. 1991. 南黄海埋藏古河系研究. 海洋与湖沼, 22(6): 501-508.]
- Li F, Zhang X R, Li Y Z, et al. 1998a. Buried paleo delta in the south Yellow Sea. *Geographica Sinica*, 53(3): 238-244. [李凡, 张秀荣, 李永植, 等. 1998a. 南黄海埋藏古三角洲. 地理学报, 53(3): 238-244.]
- Li F, Zhang X R, Tang B Y. 1998b. Atlas of Yellow Sea Buried Paleochannels and Geological Hazards. Jinan, China: Jinan press. [李凡, 张秀荣, 唐宝钰. 1998b. 黄海埋藏古河道及灾害地质图集. 济南: 济南出版社.]
- Li G X, Liu Y, Yang Z G, et al. 2005. The Yangtze River paleochannel at East China Sea shelf plain during the Last Glacial Period. *Science in China: Ser. D*, 35(3): 284-289. [李广雪, 刘勇, 杨子赓, 等. 2005. 末次冰期东海陆架平原上的长江古河道. 中国科学: D辑, 35(3): 284-289.]
- Li H C. 1991. Buried water-rich palaeochannel exploration using integrated geophysical survey. *Geology and Prospecting*, (7): 43-47. [李焕春. 1991. 利用综合物探方法寻找隐伏的富水古河道. 地质与勘探, (7): 43-47.]
- Li J H. 2005. Analysis on percolation through ancient channel located in left bank of dam of Hengquan Reservoir. *Shanxi Hydrotechnics*, (4): 11-12. [李江海. 2005. 横泉水库左岸古河道绕坝渗漏分析. 山西水利科技, (4): 11-12.]
- Li M, Qiu C T, Guan S B. 2009. Application test of CSAMT method to the exploration of paleo-channel sandstone type uranium deposit in Inner Mongolia. *Uranium Geology*, 25(3): 173-178. [李茂, 丘崇涛, 管少斌. 2009. CSAMT法在内蒙古某古河道砂岩型铀矿勘查中的试验应用. 铀矿地质, 25(3): 173-178.]
- Li Q R, Chen S T, Zhang C. 2006. Identified approach of palaeochannel sand body in Haila'er basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 41(4): 60-62. [李清仁, 陈守田, 张财. 2006. 海拉尔盆地的古河道砂体识别方法. 石油地球物理勘探, 41(4): 60-62.]
- Li X J. 2006. Research on the types and exploitation models of saline soil in Da'an Ancient Riverway. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 14(3): 111-113. [李秀军. 2006. 大安古河道盐碱土类型与开发利用模式研究. 中国生态农业学报, 14(3): 111-113.]
- Li X J, Sun G Y. 2002. Dynamic model of agricultural system exploitation in Daan ancient river course. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 18(1): 30-34. [李秀军, 孙广友. 2002. 大安古河道农业系统动力学模型. 农业系统科学与综合研究, 18(1): 30-34.]

- Lin C M, Li G Y, Zhuo H C, et al. 2005. Sedimentary facies of incised valley fillings of the Late Quaternary in Hangzhou Bay area and shallow biogenic gas exploration. *Journal of Palaeogeography*, 7(1): 12-24. [林春明, 李广月, 卓弘春, 等. 2005. 杭州湾地区晚第四纪下切河谷充填物沉积相与浅层生物气勘探. *古地理学报*, 7(1): 12-24.]
- Liu A C, Lü W Y, Cai F. 2005. A buried meandering river of late quaternary off shantou city Guangdong province. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 36(2): 104-110. [刘阿成, 吕文英, 蔡峰. 2005. 广东汕头南部近海晚第四纪埋藏古河曲的研究. *海洋与湖沼*, 36(2): 104-110.]
- Liu E F, Zhang Z L, Shen J, et al. 2003. Sedimentary characteristics of Weihe palaeochannel since late pleistocene and their control to modern salt-water intrusion. *Geological Journal of China Universities*, 9(1): 47-53. [刘恩峰, 张祖陆, 沈吉, 等. 2003. 晚更新世以来淮河古河道沉积及其对现代咸水入侵的控制. *高校地质学报*, 9(1): 47-53.]
- Liu J F, Chen J, Lei S X, et al. 2009. Preliminary dating results for Qinhuai palaeochannel sediments in Nanjing city. *Quaternary Sciences*, 29(4): 837-844. [刘进峰, 陈杰, 雷生学, 等. 2009. 南京市埋藏古河道沉积物的年代. *第四纪研究*, 29(4): 837-844.]
- Liu K, Zhuang Z Y, Liu D Y, et al. 2009a. Study of the buried ancient channels in the continental shelf area out of the mouth of the Changjiang River in China. *Acta Oceanologica Sinica*, 31(5): 80-88. [刘奎, 庄振业, 刘东雁, 等. 2009a. 长江口外陆架区埋藏古河道研究. *海洋学报*, 31(5): 80-88.]
- Liu K, Zhuang Z Y, Liu D Y, et al. 2009b. Pattern discrimination and characteristic analysis of the buried ancient channels in the inner continental shelf out of Yangtze River. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2009(1): 79-87. [刘奎, 庄振业, 刘东雁, 等. 2009b. 长江口内外陆架埋藏古河谷的河型判别方法探讨. *海洋湖沼通报*, (1): 79-87.]
- Liu K, Zhuang Z Y, Liu D Y, et al. 2010. Hydrology environment characteristics of buried ancient channels near Zhoushan islands and Yangtze River estuary. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 40(1): 140-147. [刘奎, 庄振业, 刘东雁, 等. 2010. 舟山群岛和长江口邻近海域埋藏古河道水文环境特征. *吉林大学学报: 地球科学版*, 40(1): 140-147.]
- Liu L W, Hao X G, Zhao W, et al. 2006. Application of multi-attribute analysis to the identification of river palaeochannel in the thin interbedded reservoir. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 30(4): 4-6. [刘丽薇, 郝兴国, 赵伟, 等. 2006. 多属性分析技术在薄互层条件下识别古河道的应用. *大庆石油学院学报*, 30(4): 4-6.]
- Liu Z C, Qin Y C, Jin S. 2008. Study in treatment of Lower Yellow River Channel and its beach area's problem. *Progress in Geography*, 27(2): 32-38. [刘兆存, 秦耀辰, 金生. 2008. 黄河下游河道治理及滩区问题研究. *地理科学进展*, 27(2): 32-38.]
- Liu Z X, Berne S. 2000. Paleochannels and paleodeltas in the continental shelf of the East China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 20(1): 9-14. [刘振夏, Berne S. 2000. 东海陆架的古河道和古三角洲. *海洋地质与第四纪地质*, 20(1): 9-14.]
- Luo J M, Yang F. 2008. Micro scale feature of sodic saline soil and salt accumulation mechanism in surface layer: taking alkaline floodplain in Da'an County of Jilin province as an example. *Journal of Soil and Water Conservation*, 22(2): 88-92. [罗金明, 杨帆, 邓伟, 等. 2008. 苏打盐渍土的微域特征及土壤表层积盐机理探讨: 以吉林省大安地区嫩江古河道盐滩地为例. *水土保持学报*, 22(2): 88-92.]
- Luo X Z, Liu N Y. 1997. Da'an Palaeochannel area lakes and wetlands, the ecological environment and sustainable development of agriculture. *Areal Research and Development*, 16(2): 22-24. [罗新正, 刘宁豫. 1997. 大安古河道区湖泊湿地的生态环境与农业可持续发展. *地域研究与开发*, 16(2): 22-24.]
- Luo X Z, Sun G Y. 2007. Desalting experiment of intensely salt-affected soil by planting rice in the Da'an paleochannel of the Songnen plain. *Chinese Journal of Soil Science*, 38(1): 72-76. [罗新正, 孙广友. 2007. 松嫩平原大安古河道强度盐渍土种稻脱盐试验. *土壤通报*, 38(1): 72-76.]
- Luo X Z, Yi F K, Sun G Y. 2000. Characteristics of alkaline lake wetland in Songnen plain and discussion about its agricultural development: taking Yaopao Lake of Da'an palaeochannel area for example. *Scientia Geographica Sinica*, 20(5): 483-486. [罗新正, 易富科, 孙广友. 2000. 松嫩平原弱碱性湖泊湿地特征及其农业开发的探讨: 以大安古河道区腰泡为例. *地理科学*, 20(5): 483-486.]
- Luo X Z, Zhu T, Sun G Y. 2003a. Wetland restoration and reconstruction in Da'an Paleochannel of Songnen Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 23(2): 244-250. [罗新正, 朱坦, 孙广友. 2003a. 松嫩平原大安古河道湿地的恢复与重建. *生态学报*, 23(2): 244-250.]
- Luo X Z, Zhu T, Sun G Y, et al. 2003b. Demonstrating feasibility of geologic-landform environment for synthetically-developing ecologic engineerings in Da'an palaeochannels. *Scientia Geographica Sinica*, 26(3): 348-353. [罗新正, 朱坦, 孙广友, 等. 2003b. 大安古河道综合开发生态工程地质地貌环境可行性论证. *地理科学*, 26(3): 348-353.]
- Lv J B. 2000. 1: 50000 regional geology and resources envi-

- ronment through field of the south of Beijing deep coverage area acceptance survey. *Regional Geology of China*, 19(4): 112. [吕金波. 2000. 北京城南深覆盖区 1:5 万区域地质与资源环境调查通过野外验收. *中国区域地质*, 19(4): 112.]
- Lv X, Chen L, Han F, et al. 2011. Using paleochannel to building plain reservoirs at Laiwu Muwen-river. *China Water Transport*, 11(8): 188-189. [吕霞, 陈蕾, 韩锋, 等. 2011. 莱芜市牟汶河利用古河道兴建平原水库工程. *中国水运*, 11(8): 188-189.]
- Ma J P. 1994. Formation and evolution of Da'an palaeochannels at Nenjiang River right bank downstream. *Scientia Geographica Sinica*, 14(2): 194-196. [马建平. 1994. 嫩江下游右岸大安古河道的形成与演化. *地理科学*, 14(2): 194-196.]
- Ma J P, Sun G Y, Xia Y M. 2007. The formation period of Nenjiang downstream Da'an palaeochannel and depositional environment reconstruction//Sun G Y. 2000. *The Agricultural Engineering Research of Songnen Plain palaeochannel*. Changchun, China: Jilin science and Technology Press: 135-141. [马建平, 孙广友, 夏玉梅. 2007. 嫩江下游大安古河道的形成时代与沉积环境重建//孙广友. 松嫩平原古河道农业工程研究. 长春: 吉林科学技术出版社: 135-141.]
- Ma S Z, Liang K, Chen T H. 2009. Guangxi Qinzhou Bay shallow sedimentary characteristics of buried ancient river//Chinese Ocean Engineering Society. *Chinese Ocean Engineering Society Symposium Proceedings of the 14th China marine (offshore) engineering*. Beijing: Ocean Press: 1225-1229. [马胜中, 梁开, 陈太浩. 2009. 广西钦州湾浅层埋藏古河道沉积特征//中国海洋工程学会. 第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社: 1225-1229.]
- Ma X, Zhou X Y. 2011. Preservation of riverway landscape in historic and cultural city: A case of south inner Qinhuai River, Nanjing. *Huazhong Architecture*, 29(4): 147-149. [马晓, 周学鹰. 2011. 历史文化名城中古河道景观的认识与保护: 以南京内秦淮河城南段为例. *华中建筑*, 29(4): 147-149.]
- Meng Q H, Han M, Zhao M H, et al. 1999. A preliminary study of the Mihe River alluvial diluvial fan and the palaeochannels. *Journal Of Shandong Normal University: Natural Science*, 14(1): 47-51. [孟庆海, 韩美, 赵明华, 等. 1999. 弥河冲洪积扇和古河道初步研究. *山东师范大学学报: 自然科学版*, 14(1): 47-51.]
- Nie X H, Liu E F, Zhang Z L. 2001. Shallowly buried ancient channels and quaternary strata division in the lower reaches of the Weihe River. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 21(4): 89-94. [聂晓红, 刘恩峰, 张祖陆. 2001. 渭河下游地区浅埋古河道沉积与第四系地层划分. *海洋地质与第四纪地质*, 21(4): 89-94.]
- Peng X M. 2003. Palaeochannel of the capital: Chang river. *Beijing Archives*, (3): 48-49. [彭晓梅. 2003. 京城古河道: 长河. *北京档案*, (3): 48-49.]
- Qi Y M. 2003. The application of RS technique on studying influence factors of the riverway evolvement in Anhui reach of Yangtze River [D]. Wuhan, China: China University of Geosciences. [齐跃明. 2003. RS 在长江安徽段河道演变影响因素分析中的应用[D]. 武汉: 中国地质大学.]
- 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. [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.]
- Que W M. 1999. Research of "paleochannel" at Hangzhou Hefangjie street. *Zhejiang Archives*, (11): 38-39. [阙维民. 1999. 杭州河坊街“古河道”考. *浙江档案*, (11): 38-39.]
- Sheng H Y, Wang L. 2008. Study on the Yellow River palaeochannel in Zoige Basin of Yellow River upper reaches. *Yellow River*, 30(12): 6-8. [盛海洋, 王丽. 2008. 黄河上游若尔盖盆地黄河古河道研究. *人民黄河*, 30(12): 6-8.]
- Shi Y J. 2011. Ancient river bed distribution and its effect on construction in land area of Shanghai. *Journal of Engineering Geology*, 2011(2): 277-283. [史玉金. 2011. 上海陆域古河道分布及对工程建设影响研究. *工程地质学报*, 2011(2): 277-283.]
- Shu J W, Wang W M, Chen Y. 2008. Sedimentary characteristics of the palaeochannel and environment evolution during the Holocene in the NW Taihu Plain, Yangtze River Delta. *Journal of Stratigraphy*, 32(2): 389-393. [舒军武, 王伟铭, 陈晔. 2008. 太湖平原西北部全新世古河道沉积特征及环境演变. *地层学杂志*, 32(2): 389-393.]
- Sun G Y, Hua R K, Deng W, et al. 1993. Relationship of the geomorphic processes and environment. Beijing: Earthquake Press: 40-49. [孙广友, 华润葵, 邓伟, 等. 1993. 地貌过程与环境. 北京: 地震出版社: 40-49.]
- Sun G Y. 2007. The agricultural engineering research of Songnen plain palaeochannel. Changchun, China: Jilin science and Technology Press. [孙广友. 2007. 松嫩平原古河道农业工程研究. 长春: 吉林科学技术出版社.]
- Sun L. 2000. Distribution of drowned-valley facies sediments in area of Xinzhuang-Minhang and characteristic of its engineering geological conditions. *Shanghai Geology*, 21(4): 25-29. [孙莉. 2000. 莘闵线沿线溺谷相沉积物的分布及工程地质特征. *上海地质*, 21(4): 25-29.]
- Sun Y T, Sheng G J, Hu J. 2009. Application of seismic reservoir predicting technology to old channel identification

- in the fourth member of Quantougou Group in Changchunling region. *China Petroleum Exploration*, 14(2): 70-75. [孙亚涛, 盛国军, 胡佳. 2009. 地震储层预测技术在长春岭地区泉四段古河道识别中的有效应用. *中国石油勘探*, 14(2): 70-75.]
- Tang C, Zhou D, Zhan W H, et al. 2007. Late pleistocene buried paleo-channel sedimentary history in the pearl river estuary//*Journal of Engineering Geology* editorial board. Engineering Geology of the Geological Society of China Committee of the 2007 Annual Conference of the Ecological Environment Vulnerable Area Engineering Geology Academic Forum. Beijing: Science Press: 447-452. [唐诚, 周蒂, 詹文欢, 等. 晚更新世珠江口埋藏古河道沉积过程研究//《工程地质学报》编委会. 中国地质学会工程地质专业委员会2007年学术年会暨“生态环境脆弱区工程地质”学术论坛论文集. 北京: 科学出版社: 447-452.]
- Tao Q Q, Liu B H, Li X S, et al. 2009. Late pleistocene evolution of the paleo Yangtze delta in the south Yellow Sea, *Marine Geology & Quaternary Geology*, 29(2): 19-28. [陶倩倩, 刘保华, 李西双, 等. 2009. 晚更新世南黄海西部陆架的古长江三角洲. *海洋地质与第四纪地质*, 29(2): 19-28.]
- Tu H K. 2001. Discussion of alluvial tyoe placer of diamono andIt's metalogenic model. *Geology of Chemical Minerals*, 23(4): 239-244. [涂怀奎. 2001. 冲积型金刚石砂矿与其成矿模式的讨论. *化工矿产地质*, 23(4): 239-244.]
- Wang H B, Xu C S. 2010. The rearch build plain reservoir by palaerchannel. *Shandong Water Resources*, (8): 40-41. [王洪斌, 许从森. 2010. 利用古河道兴建平原水库的探讨. *山东水利*, (8): 40-41.]
- Wang M T, Zhuang Z Y, Ge S L, et al. 2000. Sediment characteristics of the shallow buried paleo-channels in the north-central Liaodong Bay and their negative effects on nautical engineering. *Journal of Oceanograpgy of Huanghai & Bohai Seas*, 18(2): 18-24. [王明田, 庄振业, 葛淑兰, 等. 2000. 辽东湾中北部浅层埋藏古河道沉积特征及对海上工程的影响. *黄渤海海洋*, 18(2): 18-24.]
- Wang Q, Sun G Y. 1999. The Evaluation of Bandscape Capability in the Paieochannel Region of Da'an. *Areal Research and Development*, 18(1): 66-68. [王权, 孙广友. 1999. 大安古河道试区土地潜力性评价. *地域研究与开发*, 18(1): 66-68.]
- Wang R J. 1994. The Shengsi waters investigation of freshwater aquifers. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 21(3): 5-9. [王瑞久. 1994. 嵎泗海域淡水含水层的调查. *水文地质工程地质*, 21(3): 5-9.]
- Wang Y. 1996. *China Ocean-geography*. Beijing: Science Press, 15-58. [王颖. 1996. 中国海洋地理. 北京: 科学出版社, 15-58.]
- Wang Y. 2002. *Radial Sand Ridges of the Yellow Sea Shelf*. Beijing: China Environmental Science Press, 229-374. [王颖. 2002. 黄海陆架辐射沙脊群. 北京: 中国环境科学出版社, 229-374.]
- Wang Y F, Wang G, Yang H. 2004. Application of 3D visualization perspective technology of Fu-yang formation in sedimentary facies research//*Geological Society of China. Eighth palaeogeography and sedimentology conference abstracts*. Beijing: Petroleum Industry Press: 126. [王雅峰, 王革, 杨辉. 2004. 应用三维可视透视技术进行临江地区扶杨油层沉积相研究//中国地质学会. 第八届古地理学与沉积学学术会议论文摘要集. 北京: 石油工业出版社: 126.]
- Wang Y J, Wang J, Liu J L. 1996. Evolution of sedimentary wnvvironment of a holocene river channel in east Taihu Lake, 35(2): 224-233. [汪永进, 王建, 刘金陵. 1996. 东太湖全新世水下河道沉积特征及环境演变. *古生物学报*, 35(2): 224-233.]
- Wang Z H, Xu Q H. 1991. Pale Channel and the Engineering Construction//Wu C. *Paleochannel Proceedings of the North China Plain*. Beijing: China Science and Technology Press: 372-380. [王子惠, 许清海. 1991. 古河道与工程建筑//吴忱. 华北平原古河道研究论文集. 北京: 中国科学技术出版社: 372-380.]
- Wang Z Y. 2005. The off shore fresh water exploration in Chengsi, Zhejiang Province. *Shanghai Geology*, 26(3): 16-21. [王振宇. 2005. 浙江嵎泗海域海底淡水资源初探. *上海地质*, 26(3): 16-21.]
- Wu A Q, Zhao H J, Yang R X, et al. 2002. Test study on remote sensing archaeology of ancient river course and city in Kaifeng. *Areal Researchand Development*, 21(3): 85-88. [吴爱琴, 赵红杰, 杨瑞霞, 等. 2002. 开封市古城址和古河道遥感考古试验研究. *地域研究与开发*, 21(3): 85-88.]
- Wu C, Zhu X Q, He N H, et al. 1991a. *Paleochannel Proceedings of the North China Plain*. Beijing: China Science and Technology Press. [吴忱, 朱宣清, 何乃华, 等. 1991a. 华北平原古河道研究. 北京: 中国科学技术出版社.]
- Wu C, Chen X, Xu Q H, et al. 1991b. The Yellow River ancient delta discovery and the relationship with Changes of the River Water System//Wu C. *Paleochannel Proceedings of the North China Plain*. Beijing: China Science and Technology Press: 235-255. [吴忱, 陈萱, 许清海, 等. 1991b. 黄河古三角洲的发现及其与水系变迁的关系//吴忱. 华北平原古河道研究论文集. 北京: 中国科学技术出版社: 235-255.]
- Wu C, Zhu X Q. 1991c. Investigation of landform ground crack and water spewing sand at Tangshan seismic area, //Wu C. *Paleochannel Proceedings of the North China*

- Plain. Beijing: China Science and Technology Press: 381-402. [吴忱, 朱宣清. 1991c. 唐山地震区地貌地裂缝与喷水冒沙的调查研究//吴忱. 华北平原古河道研究论文集. 北京: 中国科学技术出版社: 381-402.]
- Wu C, Zhu X Q, He N H, et al. 1991d. Palaeochannel and shallow freshwater resources//Wu C. Paleochannel Proceedings of the North China Plain. Beijing: China Science and Technology Press: 229-241. [吴忱, 朱宣清, 何乃华, 等. 1991d. 古河道与浅层淡水资源//吴忱. 华北平原古河道研究. 北京: 中国科学技术出版社: 229-241.]
- Wu C, Zhao M X. 1993a. Juma downstream channel change and geomorphic evolution. *Geography and territorial research*, 9(4): 42-47. [吴忱, 赵明轩. 1993a. 拒马河下游的河道变迁与地貌演变. *地理学与国土研究*, 9(4): 42-47.]
- Wu C, Zhao M X. 1993b. On exploitation and utilization of ancient channel resources and relevant policies: A case study on the north China plain. *Resource Development & Conservation*, 9(1): 21-24. [吴忱, 赵明轩. 1993b. 论古河道资源的开发利用与对策: 以华北平原为例. *资源开发与保护*, 9(1): 21-24.]
- Wu C, Xu Q H, Zhang X Q, et al. 1996a. Palaeochannels on the north China plain: Types and distributions. *Geomorphology*, 18(1): 5-14.
- Wu C, Zhu X Q, Ma Y H. 1996b. Compiling the map of shallowburied Palaeochannels on the north China plain. *Geomorphology*, 18(1): 47-52.
- Wu C. 1999. The North China Plain channel change on Soil and soil salinization influence. *Geography and territorial research*, 15(4): 70-75. [吴忱. 1999. 华北平原河道变迁对土壤及土壤盐渍化的影响. *地理学与国土研究*, 15(4): 70-75.]
- Wu C, Xu Q H, Yang X L. 2000. Ancient drainage system of the Yellow River on north China plain. *Journal of Geomechanics*, 6(4): 1-9. [吴忱, 许清海, 阳小兰. 2000. 论华北平原的黄河古水系. *地质力学学报*, 6(4): 1-9.]
- Wu C, Ma Y H. 2001. The ancient flow direction of Sanggan River in the landform evolution for northern Shanxi province. *Geography and Territorial Research*, 17(1): 82-86. [吴忱, 马永红. 2001. 从晋北地区的地貌演化看桑干河的古流向. *地理学与国土研究*, 17(1): 82-86.]
- Xia D X, Liu Z X. 2001. Tracing the Changjiang River's flowing route entering the sea during the last ice age maximum. *Acta Oceanologica Sinica*, 23(5): 87-94. [夏东兴, 刘振夏. 2001. 末次冰期盛期长江入海流路探讨. *海洋学报*, 23(5): 87-94.]
- Xiao S B, Chen M H, Lu J, et al. 2006. New evidence for remnant deposits recorded by columnar sediments in the shelf of the northern south China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 26(3): 1-5. [肖尚斌, 陈木宏, 陆钧, 等. 2006. 南海北部陆架柱状沉积物记录的残留沉积. *海洋地质与第四纪地质*, 26(3): 1-5.]
- Xiong W Y. Characteristics and Evolution of the Yangtze River channel after Nanjing since the Last Glacial Maximum [D]. Nanjing, China: Nanjing Normal University, 2005. [熊万英. 2005. 末次盛冰期以来南京以下长江河道的特征及演变 [D]. 南京: 南京师范大学.]
- Xu H P, Mo D W, Yue S Y. 1999. The ancient geomorphological research of Beijing Oriental Plaza Wangfujing cultural relic. *Quaternary Sciences*, 19(2): 188-189. [徐海鹏, 莫多闻, 岳升阳. 1999. 北京王府井东方广场文化遗址的古地貌研究. *第四纪研究*, 19(2): 188-189.]
- Xu J G, Wei Z R, Zhang T, et al. 2004. Construction condition analysis for groundwater reservoir in the Shandong sector of the Circum-Bohai-Sea region. *Geological Survey and Research*, 27(3): 197-202. [徐建国, 卫政润, 张涛, 等. 2004. 环渤海山东地区地下水库建设条件分析. *地质调查与研究*, 27(3): 197-202.]
- Xu Q H, Wu C. 1996a. Palaeochannels on the north China plain: stagedivision and palae-environments. *Geomorphology*, 18(1): 15-26.
- Xu Q H, Wu C. 1996b. Palaeochannels on the north China plain: relationships between their development and tectonics. *Geomorphology*, 18(1): 27-36.
- Xu Q H, Y X L, Wu C. 1996c. Alluvial pollen on the North China Plain. *Quaternary research*, 46: 270-280.
- Yang F Y. 1998. Fishery exploitation of the Da'an old river course areain the western Jilin province. *Resource Development & Market*, (3): 119-121. [杨富亿. 1998. 大安吉河道区的渔业开发利用. *资源开发与市场*, (3): 119-121.]
- Yang G J, Li C X. 1995. The Infilling of the incised Qiantang River paleovalley and its sequence stratigraphic characteristics. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 15(4): 57-68. [杨桂甲, 李从先. 1995. 钱塘江下切河谷充填及其层序地层学特征. *海洋地质与第四纪地质*, 15(4): 57-68.]
- Yang G S. 1991. Research on the lower Yellow River channel at Eastern Han dynasty.//Zuo D K. Collection of researches on environmental changes of the yellow river basin and laws of water and sediment transportation. Beijing: Geological Press, 27-34. [杨国顺. 1991. 东汉黄河下游河道研究//左大康. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集. 北京: 地质出版社, 27-34.]
- Yang X Z, Wei N Y, Wang Q, et al. 2010. Sedimentary characteristics of an ancient river channel in Zhenjiang-jiangdu segment of Yangtze River delta, *Marine Geology & Quaternary Geology*, 30(5): 11-18. [杨献忠, 魏乃颐, 王强, 等. 2010. 长江三角洲镇江—江都河段古河谷沉积特征. *海洋地质与第四纪地质*, 30(5): 11-18.]

- Yao L F. 1992. Hydrological changes in research of the history of the ancient ruins of the Hexi area//Yin Z S. Holocene environmental changes and human civilization, the rise and fall of the northwest arid regions. Beijing: Geological Press: 91-97. [姚鲁烽. 1992. 河西地区古代遗址的历史水文变化考证//尹泽生. 西北干旱地区全新世环境变迁与人类文明兴衰. 北京: 地质出版社: 91-97.]
- Yi F K. 1996. The characteristics and protection of the biodiversity in the grassland of Da'an old channel in Nenjiang region//Chinese Grassland Society. Progress fourth second Annual Conference and Symposium anthology. Beijing: China Agricultural University Press: 136-139. [易富科. 1996. 嫩江大安古河道草地区域生物多样性特点及开发利用//中国草原学会. 中国草地科学进展第四届第二次年会暨学术讨论会文集. 北京: 中国农业大学出版社: 136-139.]
- Yi X Y, Yi F K. 2000. Initial report of investigation about plant resources in Daan paleochannels of Nenjiang valley. Territory & Natural Resources Study, (4): 66-68. [易晓煜, 易富科. 2000. 嫩江大安古河道区植物资源调查初报. 国土与自然资源研究, (4): 66-68.]
- Yin T M, Zhang L H, Luo X, et al. 2004. Effect of neotectonic movement and old river variance on ecological environment in the economic circle of guangzhou-foshan area. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 15(2): 63-67. [尹同梅, 张丽红, 罗鑫, 等. 2004. 新构造运动与古河道变迁对广佛经济圈生态环境的影响. 地质灾害与环境保护, 15(2): 63-67.]
- You M Z. 1991. Shallow groundwater regulation and storage capacity: regulation and storage capacity of the of Cangzhou ancient river//You M Z. Haihe Low Plain Land and Water Resources and Agricultural Development Research. Beijing: Science Press: 33-34. [由懋正. 1991. 浅层地下水的调蓄能力: 沧州地区古河道调蓄能力//由懋正. 海河低平原水土资源与农业发展研究. 北京: 科学出版社: 33-34.]
- Yuan W Y, Wu C. 1991. The meaning of Palaeochannel and the mark in the North China Plain//Wu C. Paleochannel Proceedings of the North China Plain. Beijing: China Science and Technology Press: 37-48. [袁文英, 吴忱. 1991. 古河道的含义及其在华北平原的标志//吴忱. 华北平原古河道研究论文集. 北京: 中国科学技术出版社: 37-48.]
- Yue S Y, Miao S. 2008. The ancient riverbeds of Tang dynasty in southern Beijing. Social Science of Beijing, (3): 95-100. [岳升阳, 苗水. 2008. 北京城南的唐代古河道. 北京社会科学, (3): 95-100.]
- Zhang G, Tuo X G, Ge B, et al. 2011. Application of seismic-imaging method to exploration of old channels. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 38(1): 38-41. [张赓, 唐先国, 葛宝, 等. 2011. 地震映像法在古河道探测中的应用. 成都理工大学学报: 自然科学版, 38(1): 38-41.]
- Zhang H Y, Xu F L. 1994. Ancient river courses and ground water in Tanlimanan desert. Xinjiang Geology, 12(3): 249-258. [张鸿义, 许凤林. 1994. 塔克拉玛干沙漠中的古河道与地下水. 新疆地质, 12(3): 249-258.]
- Zhang K, Sun Y G, Ju S C, et al. 2010. The geotectonic process causing the conversion of the Qinghai lake from an outflow lake in to an interior lake. Remote Sensing for Land & Resources, 22(S1): 77-81. [张焜, 孙延贵, 巨生成, 等. 2010. 青海湖由外流湖转变为内陆湖的新构造过程. 国土资源遥感, 22(S1): 77-81.]
- Zhang Y F, Ning Y. 1997. Utilization and development of the ancient course of the Yellow River. Progress in Geography, 16(1): 37-43. [张义丰, 宁远. 1997. 黄河故道的开发利用与发展前景. 地理科学进展, 16(1): 37-43.]
- Zhang Z Z, Zou L, Han Y. 2011. Primary study on submarine freshwater resources in north Zhoushan sea area. Geological Review, 47(1): 81-88. [张志忠, 邹亮, 韩月. 2011. 舟山北部海域海底淡水资源研究. 地质评论, 47(1): 81-88.]
- Zhao H P. 2011. Buried paleo-channels in the shallow-sea oil-gas development area of Liaodong bay and engineering geologic significance [D]. Qingdao, China: The First Institute of Oceanography, SOA. [赵洪鹏. 2011. 辽东湾浅海油气资源开发区浅埋古河道及其工程地质评价 [D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所.]
- Zhao M H, Jiang A X, Han M, et al. 2000. The groundwater environment of the shallow buried paleochannel zone and the alluvial diluvial fans on the south coast plain of Laizhou bay. Chinese Journal Of Environmental Science, 21(1): 57-61. [赵明华, 姜爱霞, 韩美, 等. 2000. 莱州湾南岸平原浅埋古河道带及冲洪积扇地下水水环境. 环境科学, 21(1): 57-61.]
- Zhao X F, Ding G M, Wang H J, et al. 1995. An analysis of paleochannel of Quantou formation in Songliao basin. Acta Petrolei Sinica, 16(4): 32-39. [赵霞飞, 丁贵明, 王衡鉴, 等. 1995. 松辽盆地扶扬油层古河流分析. 石油学报, 16(4): 32-39.]
- Zhao Y K, Wu C, Zhang X Q. 1999. Palaeochannels and ground-water storage on the North China Plain. Geological Society Special Publications, 163: 231-239.
- Zheng Y L, Lin M H. 1964. Preliminary study of Liaodong bay underwater Palaeochannel//Institute of China Oceanology and Limnology. Ocean Society Annual Meeting abstracts compilation. Beijing: Science Press. [郑永良, 林美华. 1964. 辽东湾水下古河道的初步探讨//中国海洋湖沼学会. 中国海洋湖沼学会 1963 年学术年会论文摘要汇编. 北京: 科学出版社.]
- Zhong G Q, Chen X N. 2011. The planning research of Zhaoq-

- ing city water system and water landscape based on respecting nature and history: An example from Zhaoqing ancient river to the "Sapphire Necklace". *Chinese Landscape Architecture*, 27(2): 59-61. [钟国庆, 陈学年, 2011. 基于尊重自然和历史的肇庆市城市水系与水景观规划研究: 从肇庆的古河道到“蓝宝石项链”. *中国园林*, 27(2): 59-61.]
- Zhou J. 2009. Environmental change re-constructed from the paleo-channel sedimentary records in Lake Chenghu [D]. Shanghai: East China Normal University. [周晶, 2009. 苏州澄湖湖底古河道充填沉积记录与环境变化研究 [D]. 上海: 华东师范大学.]
- Zhu X D, Ren M E, Zhu D K. 1999. Changes in depositional environments in the area near the center of the north Jiangsu radial banks since the Late Pleistocene. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 30(4): 427-434. [朱晓东, 任美镔, 朱大奎, 1999. 南黄海辐射沙洲中心沿岸晚更新世以来的沉积环境演变. *海洋与湖沼*, 30(4): 427-434.]
- Zhu Y R. 1999. Preliminary study on the role of tidal current in the filling of the paleo-Changjiang River Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 21(3): 73-82. [朱玉荣, 1999. 古长江河口湾充填潮流作用机制的初步探讨. *海洋学报*, 21(3): 73-82.]

Progresses of palaeochannel studies in China in the past 20 years

ZHAO Yanxia, XU Quanhong, LIU Fangyuan, QIN Yanjie, WU Chen, CHEN Lijiang, CUI Junhui
(Institute of Geographical Sciences, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: The last 20 years have seen new progresses in palaeochannel studies in China, including the investigations on palaeochannels in Nenjiang Daan, palaeochannels in the plain south of Laizhou bay, and palaeochannels, deep ancient grooves and submarine palaeochannels in the Yangtze river downstream of Nanjing, and so on. As a result, a large number of achievements have been accomplished, and new theories proposed; the research achievements have found new applications as well. The new knowledge and new theories indicate that buried palaeochannels exist in all of large outflowing rivers in China since the LGM (Last Glacial Maximum). The palaeochannel runs deep into the stadial terrestrial and the sea bed of the continental shelf from the Last Glacial Epoch, forming a cutting valley with deep grooves at the bottom, stacked with fluvial carryover and coarse particulate material from the LGM and early Holocene. The upper part of the valley is covered with marine, paralic, and continental fine-grained material from the Holocene, which frames the shallow-buried palaeochannel with 20 m to 50 m depth. Palaeochannels are rich in underground water, and an important water source for the areas of alluvial plain and shallow continental shelf.

Key words: study progress; the Last Glacial Maximum (LGM); shallow-buried palaeochannel; underground water