

黑龙江流域水文地理研究综述

戴长雷^{1,2}, 王思聪^{1,2}, 李治军^{1,2}, 张一丁¹, 高 宇^{1,2}, 李 冲¹

(1. 黑龙江大学水利电力学院, 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江大学寒区地下水研究所, 哈尔滨 150080)

摘要: 本文主要从地理环境、地表水、地下水和水环境4个方面集中对黑龙江流域水文地理研究进行综述。地理环境的研究从气候变化、湖泊湿地、流域区划和流域开发进行说明, 近年来该流域气候呈现变暖的趋势, 湖泊湿地资源丰富, 中俄两侧有众多的保护区和保护对象, 水库对其水资源开发利用起到了关键作用。地表水的研究从径流特征和洪水特征进行说明, 该流域可以划分为7条支流和1条干流, 大气环流异常是2013年其干流出现连续暴雨的直接原因。地下水的研究从水文地质、地下水位和跨国界含水层进行说明, 该流域可以划分为9个水文地质分区, 地下水位动态变化特征有其特殊性, 跨国界含水层问题有待于研究。水环境的研究从地表水环境和地下水环境进行说明, 加强流域污水防治工作, 提出流域地下水防治措施及应急处理方案。最后对寒区特色水问题等热点问题进行了简要探讨。

关键词: 水文地理; 地理环境; 地表水; 地下水; 水环境; 黑龙江

DOI: 10.11821/dlxb201511011

黑龙江流域位于亚洲东北部。其有南北两源, 南源为额尔古纳河, 北源为石勒喀河, 南北两源在中国黑龙江省漠河以西的洛古河附近汇合后称黑龙江。沿途接纳左岸的结雅河、布列亚河、阿姆贡河和右岸的松花江、乌苏里江等支流, 在俄罗斯的尼古拉耶夫斯克(庙街)注入鞑靼海峡。按南源额尔古纳河上源的克鲁伦河为正源, 总长度为5498 km, 居世界第六; 流域面积为184.3万 km², 比长江流域面积还要大, 居世界第十; 入海口多年平均径流量为3550亿 m³, 居世界第八。黑龙江是一条重要的国际河流, 流经中国、俄罗斯和蒙古3个国家的14个一级行政区。其作为中俄国际界河共分为3段, 分别为额尔古纳河界河段、黑龙江干流界河段和乌苏里江界河段, 界河长近4000 km, 为世界第一界河^[1]。与其直接相邻的流域主要可分为8部分: 位于流域东北面为哈巴罗夫斯克边疆区鄂霍次克海诸小河流域; 隔外兴安岭而位于流域正北面的是勒拿河流域; 隔雅布洛诺夫山脉而位于流域西北面的是叶尼塞河流域; 隔肯特山脉而位于流域正西面和西南面的是蒙古内流区; 隔松辽分水岭而位于流域正南面的是辽河流域; 隔长白山脉而位于流域东南面的是鸭绿江流域和图们江流域; 隔锡霍特山脉而位于流域正东面的是滨海边疆区沿日本海诸小河流域。

黑龙江流域地貌类型多样, 有大兴安岭、小兴安岭、外兴安岭和长白山等山脉, 内蒙古高原(延伸到国外又称蒙古高原、达乌尔草原高原), 松嫩平原和三江平原, 以及兴凯湖(中俄界湖)、贝尔湖(中蒙界湖)等。目前中国关于国际河流的研究已取得一定进

收稿日期: 2015-10-05; 修订日期: 2015-10-30

基金项目: 黑龙江省水文局科技项目(2014230101000811); 黑龙江省水利厅科技项目(HSKY201317) [Foundation: Science and Technology Project of Heilongjiang Province Hydrological Bureau, No.2014230101000811; Science and Technology Project of Heilongjiang Province Water Resources Department, No.HSKY201317]

作者简介: 戴长雷(1978-), 男, 山东郓城人, 博士, 副教授, 主要从事国际河流相关方向的教学与科研工作。

E-mail: daichanglei@126.com

展^[2-5],但涉及黑龙江的研究相对不足,本文从地理环境、地表水、地下水和水环境4个方面集中对黑龙江流域水文地理研究进行综述。

1 黑龙江流域地理环境的研究

1.1 气候变化

在气候变化研究方面,P. V. Novorotskii对阿穆尔河流域近115年来的气候变化进行了研究,表明该流域近115年以来平均气温不断升高^[6]。易卿等研究了黑龙江—阿穆尔河流域气候变化对生态环境的影响。表明由于气候变暖,黑龙江—阿穆尔河流域生态环境发生变化^[7]。潘华盛等使用黑龙江流域近100年来气温、降水资料,采用趋势分析、阶段分析、周期分析、数值模拟等方法,对气温、降水进行年际、年代际变化、趋势预报及气候转型等预测^[8]。高永刚等利用黑龙江省1961-2003年逐日气象资料,分析了近43年来黑龙江省各主要作物产量变化趋势和气候变化趋势,讨论了气候变化对主要粮食作物产量变化趋势的影响^[9]。潘华盛等利用观测资料,分析了黑龙江近120年来气候变暖的特征,表明黑龙江在近年气温变化过程中成为全国增暖中心,同时又与北半球全球气温变化同步^[10]。轩玮等应用预置白处理后的曼—肯德尔非参数检验方法及小波分析方法分析了额尔古纳河流域20个水文气象站点近50年水文气象要素的变化趋势及典型站点降雨量、径流量的多时间尺度特征^[11]。顾润源等利用额尔古纳河流域1960-2008年近50年的气象资料,分析了流域年、四季平均气温、降水量、蒸发量变化特征^[12]。总之,气象要素观测表明,黑龙江流域呈现出气候变暖的趋势。

1.2 湖泊湿地

在湖泊湿地研究方面,程实等运用层次分析法从生态环境等五个方面入手建立综合评价指标体系,对兴凯湖湿地自然保护区资源进行综合评价,提出相应对策^[13]。余晓等通过一维非恒定流水动力学模型MIKE11数值模拟获得了额尔古纳河年最大洪水淹没面积,并将TM遥感图像提取的湿地范围同该模型模拟的同年最大洪水淹没范围进行比较,二者吻合程度较高,表明洪水是改善流域湿地植被的一个正向驱动力^[14]。满卫东以GIS为研究平台,采用定量分析、统计分析、对比分析等方法对分类结果进行分析,得出研究区内湿地动态变化特征^[15]。金志民等通过取水样分别监测透明度、COD、TN、TP等水质指标,依据地表水水域环境功能和保护目标进行水质分析,表明镜泊湖水水质类别属于V类,水质较差,属严重富营养化^[16]。张杰通过对黑龙江省湿地及其旅游资源的调查,阐述了湿地及其旅游资源的分布;分析了黑龙江省湿地旅游资源文化的多样性、景观多样性和生物多样性等特点;总结了湿地旅游资源开发中的问题,并提出了开发对策^[17]。黑龙江流域孕育了数量众多的湖泊和岛屿,如兴凯湖、长白山天池、呼伦湖、贝尔湖、镜泊湖、五大连池、松花湖、博隆湖、乌德利湖、奥列利湖、黑瞎子岛、珍宝岛等。

1.3 流域区划

在流域区划研究方面,黑龙江大学寒区地下水研究所根据相关资料梳理出黑龙江流域行政区划(图1)。其中,中国的黑龙江省、吉林省的绝大部分、内蒙古自治区的东北部,以及辽宁省的一小部分属于黑龙江流域;俄罗斯的滨海边疆区、哈巴罗夫斯克边疆区、犹太自治州、阿穆尔州和外贝加尔边疆区的大部分属于黑龙江流域;黑龙江流域还包括蒙古东方省、苏赫巴特尔省、肯特省、东戈壁省和中央省。于灵雪等利用双星数据对黑龙江流域积雪覆盖面积进行提取,表明黑龙江流域积雪覆盖面积季节变化显著^[18]。张九辰等论述了20世纪五六十年代中苏双方对黑龙江流域的合作考察,其中除编写考察

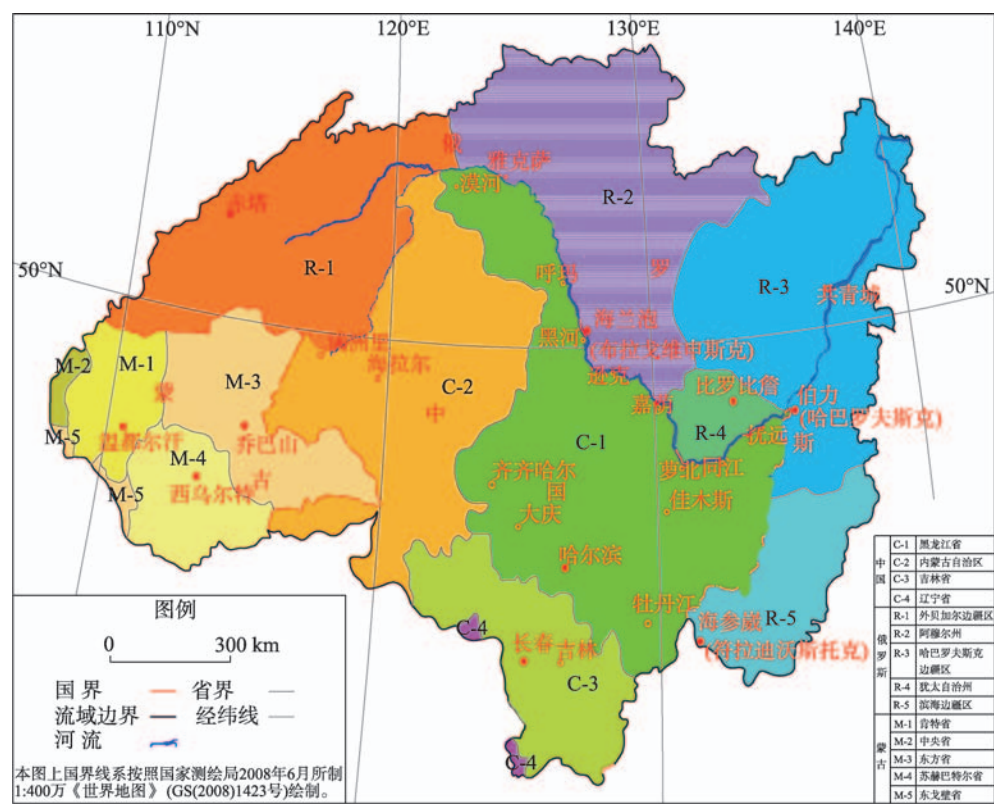


图1 黑龙江流域行政区划

Fig. 1 Administrative divisions of the Heilongjiang River Basin

报告等成果外，也有地质等方面的学术论著^[19]。戴长雷等结合所收集的资料与考察经历，以鄂毕河、勒拿河和叶尼塞河所在的流域为主体，对黑龙江流域以北情况作了介绍，为审视黑龙江提供另一个视角^[20]。汪凌峰等分析了黑龙江中俄两侧的保护区类型、保护对象，表明黑龙江流域中俄两侧的众多保护区具有共同的类型和保护对象^[21]。世界自然基金会阿穆尔河分支机构设有黑龙江流域信息中心网站，主要介绍黑龙江流域的自然地理情况。该网站内容包括黑龙江（阿穆尔河）流域的简介、地图、照片集和GIS数据库^[22]。

1.4 流域开发

在流域开发研究方面，邹春燕等首先从黑龙江出现水质污染、流域内森林资源植被遭到破坏、野生鱼类资源减少等方面说明黑龙江生态环境出现恶化的现状不容忽视；然后分析指出黑龙江生态环境保护与治理存在缺少整体规划指挥与协调的专门机构、两国联合的生态环境监测治理体系、界河部分江段堤防滞洪设施等问题；最后提出加强中俄界河黑龙江生态环境保护与治理的建议^[23]。孙汝岳通过对黑龙江省境内主要流域水资源状况和水能资源状况进行分析，详细地研究黑龙江省已有水能资源勘测设计成果^[24]。孙冬等指出结雅水库有巨大的调洪能力，除减轻结雅河和黑龙江中游的洪水灾害外，也改变了黑龙江中游的水文情势，有利于黑龙江流域的水资源综合利用^[25]。高文华指出要在认识河流自然规律的基础上做好黑龙江河道治理规划^[26]。曹文发等论述了黑龙江左岸支流的规划及其开发利用情况，主要包括泽亚河电站、布列亚枢纽等水利设施^[27]。黑龙江流域左岸有结雅水库和布列亚水库，右岸有大顶子山水库、尼尔基水库、丰满水库，对水资源开发有非常重要的作用。

2 黑龙江流域地表水研究

2.1 径流特征

在径流特征研究方面，黑龙江大学寒区地下水研究所根据相关资料梳理出黑龙江流域水系分区（图2）。其流域水系可以划分为黑龙江干流以及石勒喀河、额尔古纳河、结雅河、布列亚河、松花江、乌苏里江和阿姆贡河七条主要支流^[28-34]。郭敬辉结合黑龙江流域的地质、地形、气候、植被等来论述黑龙江干流及其重要支流的水道网分布和分段特征，径流的年变化规律和多年变化的规律，对于洪水、干旱、冰凌等水文现象作出了科学的分析，并从综合利用的观点对于黑龙江水系的水文情况作出经济评价，特别是关于黑龙江的防洪、灌溉、发电、航运、联络运河等问题^[35]。罗凤莲论述了黑龙江流域中国部分的水文要素时空变化特性，包括自然地理概况、水文观测、降水与蒸发等方面。同时汲取并发展了大量有关黑龙江流域的水文研究成果，如气候变化、冻土对产流方式的影响以及冰凌输沙等^[36]。肖迪芳等根据中苏水文年鉴和中苏水文资料交换成果，对黑龙江流域水文水资源特性作了分析^[37]。孙思淼等对黑龙江（阿穆尔河）流域冰、雪、冻、融等寒区特色水问题进行了探讨，黑龙江流域地处高纬度寒冷地区，其地理位置决定其具有寒区特有的自然现象^[38]。彭程等概述了黑龙江（阿穆尔河）流域内的主要水系，并分析了各河流的河长、河宽、水量等要素，总结了各河流的主要特征^[39]。鄢波等以黑龙江哈巴罗夫斯克站 1897-2005 年共 109 年年径流时间序列和 1897-1985 年共 89 年月径流时间序列为基础，应用累积距平法和曼—肯德尔法等，分析哈巴罗夫斯克站年径流丰枯特

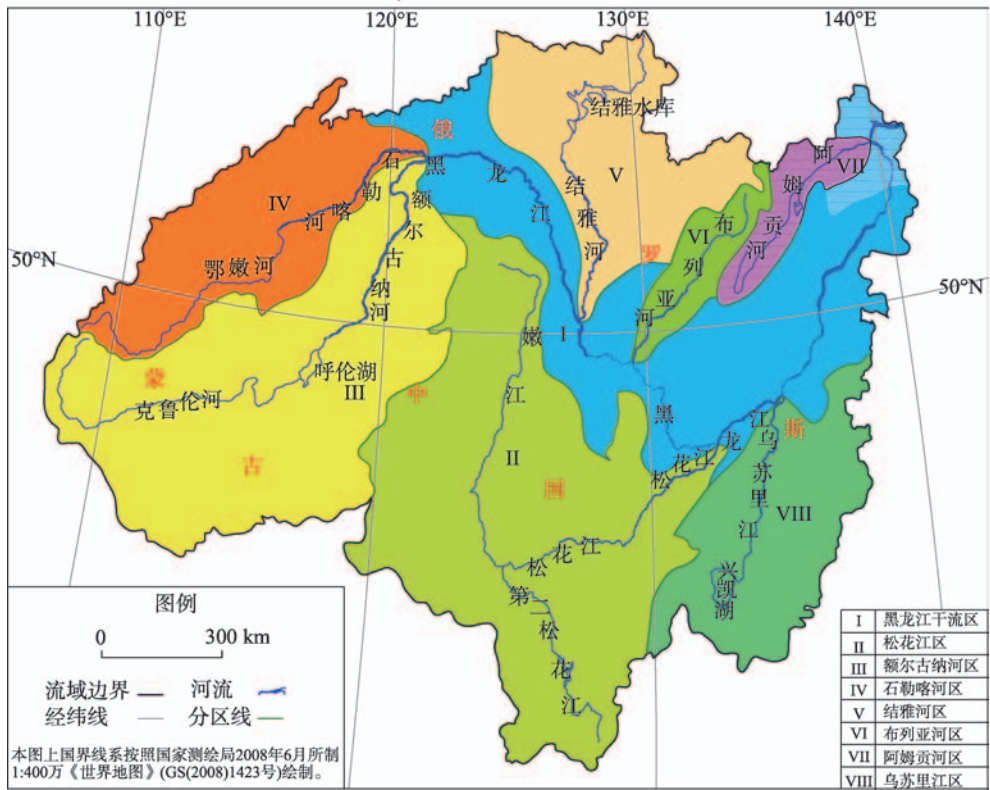


图2 黑龙江流域水系分区
Fig. 2 River system partition of the Heilongjiang River Basin

征及其阶段性、径流年内分配不均匀性、集中度等径流特征^[40]。尹广升等分析了结雅河对黑龙江的顶托影响,为黑龙江流域水文测验资料整编提供了依据^[41]。靳铭钦等对黑龙江、结雅河汇合口区落差变化特性进行分析,从而对汇合口堤防设计、水文预报及汇合口区资料整编等都具有重要的现实意义^[42]。衣起超等在分析总结乌苏里江自然地理特性、径流组成及径流分布特性的基础上,根据水文资料采用有效方法插补延长乌苏里江干流水文站流量资料,通过地区综合方法推求乌苏里江年径流,为充分开发利用国境界河水资源提供参考^[43]。黑龙江径流主要以雨水补给为主、积雪融水补给为辅,水系大部分位于森林区,河水含沙量仅为长江的1/4,黄河的1/300。

2.2 洪水特征

在洪水特征研究方面,孙庆伯等通过搜集整理等方式描述了黑龙江、乌苏里江1872、1897、1950年等大洪水的珍贵资料,为水文工作者提供了第一手的参考资料^[44]。刘昌军等在分析黑龙江干流洪水灾害情况和防汛抢险工作开展情况的基础上,总结了防汛抗洪工作经验,为各地防汛抗洪提供借鉴^[45]。王春雷等通过论述2013年8月黑龙江干流暴雨洪水的雨情、水情和灾情,指出大气环流异常是出现连续暴雨的直接原因,支流洪水汇合叠加形成黑河以下黑龙江干流中游江段20年一遇至100年一遇洪水是出现连续暴雨的根本原因^[46]。赵锡山以2013年8月黑龙江干流洪水为研究对象分析造成洪水的原因,并运用马斯京根法分别计算结雅水库、布列亚水库对黑龙江中下游洪水的影响程度。通过相关分析,2013年结雅河、布列亚河洪水是黑龙江干流中游洪水的主要来源,结雅河、布列亚河洪水汇入提高黑龙江干流中下游洪水量级。但结雅、布列亚水库减灾作用巨大,将黑河至萝北段洪水由50年一遇降低为20年一遇^[47]。E.贝尔连基尔等重点介绍了结雅和布列亚两座水电站在减轻洪水灾害中发挥的作用,同时说明了洪水预警系统在挽救人民生命财产方面所起的重要作用^[48]。刘宗瑞等指出要在中俄两国合作战略的指导下,从防洪组织层次与洪灾历时阶段两个维度在黑龙江流域构建跨时段多层次的跨境洪灾治理机制,以适应流域社会经济发展,最大限度地减少跨境洪灾所带来的危害^[49]。王思聪等将中俄水情交流的影响因素识别为交流信息、交流意愿和交流细节三个因素,以2013年黑龙江干流洪水背景下的中俄水情交流为例对各项影响因素依次进行分析,对中俄两国实现水情交流信息机制进行探讨并提出相关建议^[50]。黑龙江省暴雨洪水多发生在7、8月份的汛期。而且洪峰流量和洪水过程特征主要与暴雨强度、暴雨位置等相关。

3 黑龙江流域地下水的研究

3.1 水文地质

在水文地质研究方面,常龙艳等对黑龙江(阿穆尔河)流域水文地质区划进行分析并进行探讨,参考中国水文地质分区图的编制原则以及亚洲水文地质图的地下水赋存分布信息,将黑龙江(阿穆尔河)流域划分为蒙古高原干旱气候带水文地质区、西北山区冻层带水文地质区、外兴安岭冻层带水文地质区、结雅河平原湿润气候带水文地质区、松嫩平原湿润气候带水文地质区、长白山湿润气候带水文地质区、布列亚山地湿润气候带水文地质区、中下游平原海洋气候带水文地质区和阿姆贡河平原海洋气候带水文地质区9个水文地质区(图3)^[51]。杨湘奎等对1960年以来黑龙江省地下水开采量持续增加、可采资源量不断减少、地下水位持续下降、地下水污染严重、地下水资源浪费突出问题进行总结,提出松嫩、三江两大平原及丘陵山区的地下水可持续利用方案^[52]。莫应隆对将黑龙江省划分为5个水文地质区和12个水文地质亚区^[53]。周宇渤对三江平原地下水循

合作、开展多学科综合研究的结论^[61]。韩再生等在标定亚洲跨界含水层的基础上完成了亚洲跨界含水层图,并且对涉及中国的两个实例——黑龙江—阿穆尔河中游盆地和澜沧江—湄公河流域跨界含水层进行了研究,同时提出了跨界含水层评估指标体系^[62]。李尧以中国地质调查局中国水文地质环境地质研究所2010年最新编制的亚洲地下水资源图为基础,编制详细的亚洲跨界含水层图,从而更新联合国教科文组织在2008年发布的首份跨界含水层详细地图。同时确定了100个具有供水意义的跨界含水层,并对主要的跨界含水层的水文地质条件进行了分析与总结^[63]。Kozlov S A根据收集到的资料,对地下水系统进行分析,圈定了黑龙江—阿穆尔河中游盆地中俄跨界含水层^[64]。

4 黑龙江流域水环境的研究

4.1 地表水环境

在地表水环境研究方面,田坤对黑龙江流域生态环境可持续发展战略进行了研究,指出应加强黑龙江流域环境方面的法制建设^[65]。董华等运用GIS和RS解译获取数据,为研究区的生态环境治理提供相关依据^[66]。张波等通过构建一维水质模拟的系统动力学模型,结合松花江特大水污染事故的现场监测数据进行参数率定和模型验证^[67]。李玮等在自然水循环和社会水循环两大层面七个方面的基础上建立完整的松花江流域水量控制及水质保障系统,并提出进行综合管理的体制和机制保障措施以及注重水污染的风险管理与应急机制建设的对策建议^[68]。郭锐等采用有机污染综合评价法对黑龙江干流水质进行分析,表明黑龙江水质总体较好,主要污染物为高锰酸钾指数^[69]。周洪涛在分析松花江流域水环境的基础上指出,流域水环境直接关系到两岸居民的饮水安全,中俄两国要加强水污染防治合作^[70]。谢永刚等以2005年松花江水污染造成跨境污染为案例,从中俄地缘条件、双边合作基础等方面对中俄跨境河流水资源管理的基本原则、合作机制的法律基础、跨国污染的解决措施等方面进行了探讨^[71]。王博等应用模糊数学原理,以松花江流域15个国家控制断面的监测资料为依据,选择13种污染物为评价参数,运用模糊综合评价方法进行运算,最终得出综合评价结果^[72]。俄罗斯科学院远东分院水资源与生态问题研究所的V.I.Kim与A.N.Makhinov进行了关于黑龙江(阿穆尔河)冰蚀的研究^[73],V.P.Shersterkin教授开展了黑龙江与松花江冰化学成分的分析^[74]。德国Dan Habershon-Butcher拍摄的纪录片《野性俄罗斯》的第六集《乌苏里兰》介绍了乌苏里江流域的水生态环境。

4.2 地下水环境

在地下水环境研究方面,王禹对黑龙江省地下水资源保护法律问题进行了研究,指出目前黑龙江省地下水资源保护的相关制度比较滞后,要通过健全水权制度、完善水资源管理制度等办法来不断进行调整^[75]。尤春峰等提出要加强法制观念、完善法律制度、合理配置水资源等手段来保护黑龙江省地下水资源^[76]。韩守江等对黑龙江省水环境问题进行了研究,并提出相应的水环境保护对策^[77]。此外,由韩国广播公司(KBS)拍摄的纪录片《东亚生态大勘探—黑龙江》全景展示了黑龙江流域的生态景观。

5 结语

本文从地理环境、地表水、地下水和环境水4个方面对黑龙江流域水文地理研究进行综述,从中梳理出一个完整的黑龙江流域水文地理研究概况。

目前国内外关于黑龙江流域水文地理方面的研究逐渐由单纯的地理环境研究转向更

深层次的地表水、地下水和水环境研究。关于黑龙江流域水文地理研究还有一些热点问题有待于解决。比如黑龙江流域地处高纬度寒冷地区,普遍存在着5~8个月的年内冬季。因此,对黑龙江流域冰情、雪情、冻土等问题的研究尤为必要。另外,要对黑龙江的中俄跨国界含水层地下水与地表水交换量进行研究。

作为世界大河和中俄界河的黑龙江同时还是一条孕育亚洲文明的母亲河,从这个流域曾崛起过许多在中国乃至东亚历史上大有影响的王朝,如北魏王朝、金王朝、蒙元王朝等。但长期以来,黑龙江一直没有受到与其大河地位相称的关注。目前除20世纪50年代以竺可桢院士为中方负责人的中苏综合考察队对黑龙江流域进行过调查外,当前涉及黑龙江国际河流方面的研究较少。从目前国内关于黑龙江流域水文的研究看,关于石勒喀河、布列亚河和阿姆贡河的研究还不够丰富。另外,对俄罗斯、蒙古对于黑龙江流域水文地理研究相关资料的梳理程度还不够。今后应推动对黑龙江流域的水文地理研究。

参考文献(References)

- [1] Dai Changlei, Li Zhijun, Lin Lan, et al. Probing for water problems in the basin of Heilongjiang (Amur) River. Harbin: Heilongjiang Education Press, 2014. [戴长雷, 李治军, 林岚, 等. 黑龙江(阿穆尔河)流域水势研究. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 2014.]
- [2] Feng Yan, He Daming, Li Yungang. Key indicators and the characteristics of trans-boundary water allocation based on international treaties. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(3): 357-364. [冯彦, 何大明, 李运刚. 基于国际法的跨境水分配关键指标及其特征. *地理学报*, 2013, 68(3): 357-364.]
- [3] Guo Lidan, Zhou Haiwei, Xiaziqiang, et al. Water resources security and its countermeasure suggestions in building Silk Road Economic Belt. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(5): 114-121. [郭利丹, 周海炜, 夏自强, 等. 丝绸之路经济带建设中的水资源安全问题及对策. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(5): 114-121.]
- [4] Feng Yan, He Daming, Wang Wenling. Key indicators and thresholds of trans-boundary water allocation based on river health and international treaties. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(1): 121-130. [冯彦, 何大明, 王文玲. 基于河流健康及国际法的跨境水分配关键指标及阈值. *地理学报*, 2015, 70(1): 121-130.]
- [5] He Daming, Liu Changming, Feng Yan, et al. Progress and perspective of international river researches in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1284-1294. [何大明, 刘昌明, 冯彦, 等. 中国国际河流研究进展及展望. *地理学报*, 2014, 69(9): 1284-1294.]
- [6] Novorotskii P V. Climate changes in the Amur River Basin in the last 115 years. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2007, 32(2): 102-103.
- [7] Yi Qing, Cheng Yanpei, Zhang Jiankang. Impact of climate change on ecological environment of Heilongjiang-Amur River Basin. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2014, 12(5): 90-95, 103. [易卿, 程彦培, 张健康. 气候变化对黑龙江—阿穆尔河流域的生态环境影响. *南水北调与水利科技*, 2014, 12(5): 90-95, 103.]
- [8] Pan Huasheng, Wang Yong, Zou Bin, et al. Climate change from warm dry to warm wet after 2012 and the climate forecast in Heilongjiang Province. *Journal of Engineering of Heilongjiang University*, 2013, 4(3): 45-50. [潘华盛, 王勇, 邹斌, 等. 黑龙江省2012年后由暖干转暖湿型气候变化及预测分析. *黑龙江大学学报*, 2013, 4(3): 45-50.]
- [9] Gao Yonggang, Gu Hong, Ji Juzhi, et al. Simulation study of climate change impact on crop yield in Heilongjiang Province from 1961 to 2003. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2007, 18(4): 532-538. [高永刚, 顾红, 姬菊枝, 等. 近43年来黑龙江气候变化对农作物严重影响的模拟研究. *应用气象学报*, 2007, 18(4): 532-538.]
- [10] Pan Huasheng, Zhang Guihua, Xu Nanping. A preliminary analysis of climate warming in Heilongjiang Province since the 1980s. *Climatic and Environmental Research*, 2003, 8(3): 348-355. [潘华盛, 张桂华, 徐南平. 20世纪80年代以来黑龙江气候变暖的初步分析. *气候与环境研究*, 2003, 8(3): 348-355.]
- [11] Xuan Wei, Li Chong, Zhao Huiying, et al. Analysis of the meteorological and hydrological change of Argun River Basin in recent 50 years. *Journal of China Hydrology*, 2011, 31(5): 80-87. [轩玮, 李翀, 赵慧颖, 等. 额尔古纳河流域近50年水文气象要素变化分析. *水文*, 2011, 31(5): 80-87.]
- [12] Gu Runyuan, Zhao Huiying, Li Chong, et al. Characteristics of climate change in the Argun Drainage Basin during 1960-2008. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, 33(6): 1310-1315. [顾润源, 赵慧颖, 李翀, 等. 1960-2008年额尔古纳河流域气候变化特征. *冰川冻土*, 2011, 33(6): 1310-1315.]

- [13] Cheng Shi, Zhang Huaqing. Study on the integrated assessment for wetland resource in Xinkai Lake. *Forest Research*, 2008, 21: 85-90. [程实, 张怀清. 兴凯湖湿地资源综合评价研究. *林业科学研究*, 2008, 21: 85-90.]
- [14] Xu Xiao, Li Chong. Simulation of flood inundation and analysis on dynamic variation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2011, 42(11): 1308-1315. [余晓, 李翀. 额尔古纳河洪水淹没模拟及湿地植被变化分析. *水利学报*, 2011, 42(11): 1308-1315.]
- [15] Man Weidong. Study on dynamic change of wetlands in the trans-boundary regions between China and Russia in Ussuri River Basin [D]. Yanji: Yanbian University, 2014. [满卫东. 乌苏里江流域中俄跨境地区湿地动态变化研究[D]. 延吉: 延边大学, 2014.]
- [16] Jin Zhiming. A status investigation of water quality and eutrophication in Jingbo Lake. *Water Resources Protection*, 2009, 25(6): 56-57, 75. [金志民. 镜泊湖水水质及富营养化现状调查. *水资源保护*, 2009, 25(6): 56-57, 75.]
- [17] Zhang Jie. Strategy of wetland ecotourism development in Heilongjiang Province. *Wetland Science & Management*, 2007, 3(1): 48-51. [张杰. 黑龙江省湿地生态旅游资源开发对策. *湿地科学与管理*, 2007, 3(1): 48-51.]
- [18] Yu Lingxue, Zhang Shuwen, Guan Cong. Monitoring on spatial and temporal changes of snow cover in the Heilongjiang Basin based on remote sensing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(9): 2521-2528. [于灵雪, 张树文, 贯丛, 等. 黑龙江流域积雪覆盖时空变化遥感监测. *应用生态学报*, 2014, 25(9): 2521-2528.]
- [19] Zhang Jiuchen. Cooperation study between China and Russia in Heilongjiang River Basin in the 1950s and 1960s. *Contemporary China History Studies*, 2006, 13(5): 66-68. [张九辰. 20世纪五六十年代中苏双方对黑龙江流域的合作考察. *当代中国史研究*, 2006, 13(5): 66-68.]
- [20] Dai Changlei, Wang Jiliang, Wang Kun. Heilongjiang (Amur River) Basin in the North. 6th Conference on Water in Cold Region, 2013: 122-131. [戴长雷, 王吉良, 王琨. 黑龙江(阿穆尔河)流域以北的地方. 第六届寒区水资源及可持续利用学术研讨会文集, 2013: 122-131.]
- [21] Wang Lingfeng, Shi Ronghong, Zhang Minghai. Present status and prospect of Chinese and Russian nature reserves in the drainage of Heilongjiang River. *Chinese Wildlife*, 2006, 27(6): 11-13. [汪凌峰, 史蓉红, 张明海. 黑龙江流域中俄保护区现状及展望. *野生动物*, 2006, 27(6): 11-13.]
- [22] <http://amur-heilong.net>.
- [23] Zou Chunyan, Ding Li, Huang Qing. A study on countermeasures for ecological environment protection and management of Sino-Russian border river Heilongjiang. *Issues of Forestry Economics*, 2014, 34(3): 193-199, 204. [邹春燕, 丁丽, 黄清. 中俄界河黑龙江生态环境保护与治理的对策研究. *林业经济问题*, 2014, 34(3): 193-199, 204.]
- [24] Sun Ruyue. Energy resource exploitation research in Heilongjiang Province. Harbin: Master Dissertation in Northeast Agricultural University, 2003. [孙汝岳. 黑龙江省水能资源开发与利用研究. 哈尔滨: 东北农业大学硕士学位论文, 2003.]
- [25] Zhao Xishan. Influence of Zeya Water Conservancy Project on the hydrological situation of the Zeya River and the Heilong River middle reaches. Harbin: Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2002(4): 23-24. [孙冬, 孙晓俊. 结雅水利枢纽对结雅河及黑龙江中游水文情势的影响. *黑龙江水利科技*, 2002(4): 23-24.]
- [26] Gao Wenhua. Views on the upper reaches of the Heilongjiang River regulation. *Science & Technology Association Forum*, 2007(3): 131. [高文华. 对黑龙江上中游干流河道治理的几点看法. *科协论坛*, 2007(3): 131.]
- [27] Cao Wenfa. Planning, exploitation and utilization in the left bank tributaries of the Heilong River. *Water Resources & Hydropower of Northeast China*, 1986(6): 20-24. [曹文发. 黑龙江左岸支流的规划及开发利用情况. *东北水利水电*, 1986(6): 20-24.]
- [28] Map of Russia. Ltd. CPI Design Information Mapping Press, 2009. [АТЛАС РОССИИ. ОООИПЦ Дизайн Информация Картография, 2009.]
- [29] Map of Far Eastern Federal District- Amur. DV AGP Press, 2014. [ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ. ОАО ДВ АГП, 2014.]
- [30] Map of Far Eastern Federal District-Khabarovsk Krai. DV AGP Press, 2015. [ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ. ОАО ДВ АГП, 2015.]
- [31] Map of Far Eastern Federal District-Jewish Autonomous Region. DV AGP Press, 2015. [ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ ЕВРЕЙСКАЯ АВТОНОМНАЯ ОБЛАСТЬ. ОАО ДВ АГП, 2015.]
- [32] Map of Far Eastern Federal District-Sakhalin Region. DV AGP Press, 2014. [ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ САХАЛНСКАЯ ОБЛАСТЬ. ОАО ДВ АГП, 2014.]
- [33] Lshaev V L. Historical geography atlas of Khabarovsk Krai. FSUE DV AGP Press, 2008. [В. И. Ишаев. ИСТОРИКО-

- ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АТЛАС ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ. ФГУП ДВ АГП, 2008.]
- [34] Atlas of Khabarovsk Krai. Far Aerogeodesic Enterprise Press, 2014. [АТЛАС ХАБАРОВСКОГО КРАЯ. Дальневосточное аэрогеодезическое предприятие, 2014.]
- [35] Guo Jinghui. Heilongjiang River Basin hydrological geography. Shanghai, New Knowledge Press, 1958. [郭敬辉. 黑龙江流域水文地理. 上海, 新知识出版社, 1958.]
- [36] Luo Fenglian. An Introduction to Hydrology of Heilongjiang River Basin. Beijing: Xueyuan Press, 1996. [罗凤莲. 黑龙江流域水文概论. 北京, 学苑出版社, 1996.]
- [37] Xiao Difang, Zhang Xuefeng. Characteristic analysis of the Heilong River Basin hydrology and water resources. Hydrology, 1992, (1): 51-55. [肖迪芳, 张雪峰. 黑龙江流域水文水资源特性初析. 水文, 1992, (1): 51-55.]
- [38] Sun Simiao, Fan Qiaoming, Li Wenwen. Discussion on cold region's featured water questions in Heilongjiang (Amur River) Basin//6th Conference on Water in Cold Region, 2013: 85-93. [孙思淼, 樊乔铭, 李文文. 黑龙江(阿穆尔河)流域寒区特色水问题探讨//第六届寒区水资源及可持续利用学术研讨会文集, 2013: 85-93.]
- [39] Peng Cheng, Lin Lan, Xie Yonggang, et al. Water system feature analysis of Heilongjiang (Amur) Basin//6th Conference on Water in Cold Region, 2013: 94-121. [彭程, 林岚, 谢永刚, 等. 黑龙江(阿穆尔河)流域水系特征分析. 第六届寒区水资源及可持续利用学术研讨会文集, 2013: 94-121.]
- [40] Yan Bo, Xia Ziqiang, Zhou Yanxian, et al. Variation of runoff at Khabarovsk Station on Heilongjiang River. Water Resources Protection, 2013, 29(3): 29-33. [鄢波, 夏自强, 周艳先, 等. 黑龙江哈巴罗夫斯克站径流变化规律. 水资源保护, 2013, 29(3): 29-33.]
- [41] Yin Guangsheng, Wu Gaozhuang, Liu Yangming. Analysis of jacking influence of Zeya River to Heilongjiang River. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2007, 25(1): 3-4. [尹广升, 吴高庄, 刘阳明. 结雅河对黑龙江顶托影响分析. 东北水利水电, 2007, 25(1): 3-4.]
- [42] Jin Mingxin. Characteristic analysis of drop change in the confluence area of Heilong River and Zeya River. Hydrology, 1996(3): 47-49, 64. [靳铭钦. 黑龙江、结雅河汇合口区落差变化特性分析. 水文, 1996(3): 47-49, 64.]
- [43] Yi Qichao, Li Zhi, Li Yanjie, et al. Analysis on annual runoff of main stream of Ussuri River as frontier boundary river. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2007, 5(3): 86-88. [衣起超, 李智, 李艳杰, 等. 国境界河乌苏里江干流年径流分析. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(3): 86-88.]
- [44] Sun Qingbo, Liu Bingyi, Ma Xun, et al. Historical flood in Heilongjiang Province. Harbin: Heilongjiang People's Publishing House, 1999. [孙庆伯, 刘秉泽, 马训, 等. 黑龙江省历史大洪水. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1999.]
- [45] Liu Changjun, Zhang Shunfu, Zu Leiming, et al. Brief introduction of Heilongjiang main stream extraordinary flood disaster situation in 2013. China Flood & Drought Management, 2013, 23(5): 4-6. [刘昌军, 张顺福, 祖雷鸣, 等. 2013年黑龙江干流特大洪水灾情简述. 中国防汛抗旱, 2013, 23(5): 4-6.]
- [46] Wang Chunlei, Zhou Shaofei, Qiu Hailong, et al. Flood of the upper and middle reaches of Heilongjiang River in 2013 August. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 2014, 5(2): 23-32. [王春雷, 周绍飞, 邱海龙, 等. 2013年8月黑龙江干流洪水. 黑龙江大学学报, 2014, 5(2): 23-32.]
- [47] Zhao Xishan. Analysis on the influence of Zeya and Bureya Reservoir on Heilongjiang main stream flood. Harbin: Heilongjiang University, 2015. [赵锡山. 俄罗斯结雅水库、布列亚水库对黑龙江干流洪水影响程度分析. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2015.]
- [48] Bellevenkiel E, Zuo Zhian, Zhao Qiuyun. The role of Russian two hydropower stations in the flood of 2013. Express Water Resources & Hydropower Information, 2014, 35(8): 23-27. [E. 贝尔连基尔, 左志安, 赵秋云. 俄罗斯两座水电站在2013年洪灾中的作用. 水利水电快报, 2014, 35(8): 23-27.]
- [49] Liu Zongrui, Zhou Haiwei, Hu Xingqiu. Multi-period and multi-layer cooperation mechanism of cross-border flood prevention in Heilongjiang Basin. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(3): 163-168. [刘宗瑞, 周海炜, 胡兴球. 黑龙江流域跨境洪灾防治的跨时段多层次合作机制研究. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3): 163-168.]
- [50] Wang Sicong, Dai Changlei, Zhao Xishan. Influence factor analysis of China and Russia's hydrological communication under the background of Heilongjiang main stream flood. Journal of Water Resources Research, 2015, 4(1): 55-61. [王思聪, 戴长雷, 赵锡山. 黑龙江干流洪水背景下中俄水情交流的影响因素分析. 水资源研究, 2015, 4(1): 55-61.]
- [51] Chang Longyan, Li Wenwen, Dai Changlei, et al. Analysis and discussion of the Heilong River Basin hydrogeology regionalization. Journal of Water Resources Research, 2012, 1(1): 398-401. [常龙艳, 李文文, 戴长雷, 等. 黑龙江(阿穆尔河)流域水文地质区划分析与探讨. 水资源研究, 2012, 1(1): 398-401.]
- [52] Yang Xiangkui, Chen Jiayin, Qi Fuli, et al. Research of several problems of groundwater in Heilongjiang Province.

- Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2008, 35(4): 102-106. [杨湘奎, 陈佳音, 祁福利, 等. 黑龙江省地下水若干问题研究. 黑龙江水专学报, 2008, 35(4): 102-106.]
- [53] Mo Yinglong. Brief introduction of hydrogeology regionalization in Heilongjiang Province. Natural Resources Research, 1985(1): 55-60. [莫应隆. 黑龙江省水文地质区划简介. 自然资源研究, 1985(1): 55-60.]
- [54] Zhou Yubo. Research on evolution of groundwater circulation environment in Sanjiang Plain [D]. Changchun: Jilin University, 2011. [周宇渤. 三江平原地下水循环环境演化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.]
- [55] He Yu. Groundwater dynamic analysis in Heilongjiang Province. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2009, 15(3): 227-228. [何宇. 黑龙江省地下水动态分析. 水利科学与经济, 2009, 15(3): 227-228.]
- [56] Sun Xiangtai, Liu Wenliang, Wu Yifan. Dynamic character and information analysis on groundwater in Heilongjiang Province. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 1999, 26(2): 5-7. [孙香太, 刘文良, 吴一凡. 黑龙江省地下水位动态特征及动态资料分析. 黑龙江水专学报, 1999, 26(2): 5-7.]
- [57] Xiao Difang, Zhang Pengyuan, Liao Houchu. Analysis of groundwater dynamic rule in cold area. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2008, 35(3): 120-122, 128. [肖迪芳, 张鹏远, 廖厚初. 寒冷地区地下水动态规律分析. 黑龙江水专学报, 2008, 35(3): 120-122, 128.]
- [58] Han Zaisheng, Wang Hao, Chai Rui. Transboundary aquifers on the Sino-Russia border. Geology in China, 2007, 34(4): 697-701. [韩再生, 王皓, 柴蕊. 中、俄跨界含水层研究. 中国地质, 2007, 34(4): 697-701.]
- [59] Han Z, Jayakumar R, Wang H, et al. Review on transboundary aquifers in the People's Republic of China with case study of Heilongjiang-Amur River Basin. Environmental Geology, 2008, 54(7): 1411-1422.
- [60] Wang Hao. Research on transboundary aquifers based on Asia Part of World Groundwater Resource Map [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2007. [王皓. 基于世界地下水资源图亚洲部分的跨界含水层研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.]
- [61] Niu Lei. Research on transboundary aquifers based on Map of Groundwater Resources and Environment in Asia. Beijing: China University of Geosciences, 2011. [牛磊. 基于亚洲地下水资源与环境地质图的跨界含水层研究. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.]
- [62] Han Zaisheng, Li Yao, Wang Hao, et al. Research on transboundary aquifers: international development progress and their practice in Asia. Science Technology & Review, 2012, 30(5): 57-66. [韩再生, 李尧, 王皓, 等. 跨界含水层研究: 世界进展和亚洲实践. 科技导报, 2012, 30(5): 57-66.]
- [63] Li Yao. Research on transboundary aquifers based on Maps of Groundwater Resources in Asia [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013. [李尧. 基于亚洲地下水资源图的跨界含水层研究. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.]
- [64] Kozlov S A. Quality of groundwater of the Middle-Amur artesian basin. 34th IAH Congress Paper, 2006, 10.
- [65] Tian Kun. Studies on bio-environmental sustainable development strategy of Amur Basin [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2006. [田坤. 黑龙江流域生态环境可持续发展战略研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.]
- [66] Dong Hua, Gao Jiping. Analysis of ecological environment under the variations of water environment in the Amur River Basin. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(5): 46-50, 71. [董华, 高继平. 阿穆尔河流域水环境变化条件下的生态环境分析. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 46-50, 71.]
- [67] Zhang Bo, Wang Qiao, Li Shun. Simulation of water quality for Songhua River water pollution accident using a one-dimensional water quality simulation model based system dynamics. China Environmental Science, 2007, 27(6): 811-815. [张波, 王桥, 李顺. 基于系统动力学模型的松花江水污染事故水质模拟. 中国环境科学, 2007, 27(6): 811-815.]
- [68] Li Wei, Chu Junying, Qin Dayong et al. The water pollution features of Songhua River Basin and the regulation strategy. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2010, 8(3): 229-232. [李玮, 褚俊英, 秦大庸, 等. 松花江流域水污染及其调控对策. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(3): 229-232.]
- [69] Guo Rui, Chen Siyu, Wei Jincheng. Sino-Russian border-analysis and evaluation of Heilongjiang water environment. Arid Environmental Monitoring, 2005, 19(3): 139-141. [郭锐, 陈思宇, 魏金城. 中俄界河—黑龙江水环境分析与评价. 干旱环境监测, 2005, 19(3): 139-141.]
- [70] Zhou Hongtao. Analysis of water environment management and water pollution prevention. Siberian Studies, 2007, 34(2): 68-70. [周洪涛. 浅析黑龙江流域水环境管理与水污染的防治. 西伯利亚研究, 2007, 34(2): 68-70.]
- [71] Xie Yongyang, Wang Jianli, Pan Juan. Study on China and Russia's trans-boundary water pollution disaster and regional disaster reduction cooperation mechanism. Northeast Asia Forum, 2013(4): 82-91. [谢永刚, 王建丽, 潘娟. 中俄跨境水污染灾害及区域减灾合作机制探讨. 东北亚论坛, 2013(4): 82-91.]
- [72] Wang Bo, Yang Zhiqiang, Li Huiying et al. Identification of the Songhua River water quality using fuzzy synthetic

- evaluation and GIS approach. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(6): 124-129. [王博, 杨志强, 李慧颖, 等. 基于模糊数学和GIS的松花江流域水环境质量评价研究. *环境科学研究*, 2008, 21(6): 124-129.]
- [73] Kim V I, Makhinov A N. Ice Erosion of the Amur River Banks. 21st International Symposium on Ice: Ice Research for a Sustainable Environment, 2012: 150-159.
- [74] Shesterkin V P. Specifics of Chemical Composition of Amur and Songhua River Ice. 21st International Symposium on Ice-Ice Research for a Sustainable Environment. 2012: 212-217.
- [75] Wang Yu. The study on the legislation problem of the groundwater of Heilongjiang Province [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013. [王禹. 黑龙江省地下水资源保护法律问题研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.]
- [76] You Chunfeng, Zhang Huanzhi. Groundwater development, protection and management suggestions in Heilongjiang Province. *Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy*, 2012, 40(2): 237-238. [尤春峰, 张焕智. 黑龙江省地下水开发、保护与管理措施建议. *黑龙江水利科技*, 2012, 40(2): 237-238.]
- [77] Han Shoujiang, Peng Hui, Deng Guoli. The major water environment problems and protection measures for water environment in Heilongjiang Province. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, 2000, 16(4): 105-107. [韩守江, 彭卉, 邓国立. 黑龙江省水环境问题及水环境保护对策. *哈尔滨师范大学自然科学学报*, 2000, 16(4): 105-107.]

Review on hydrological geography in Heilongjiang River Basin

DAI Changlei^{1,2}, WANG Sicong^{1,2}, LI Zhijun^{1,2}, ZHANG Yiding¹, GAO Yu^{1,2}, LI Chong¹

(1. School of Hydraulic and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin 150080, China;

2. Institute of Groundwater in Cold Region, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: This article reviews the hydrological geography in the Heilongjiang River Basin from four aspects: geographical environment, surface water, groundwater and the water quality. Studies on geographical environment can be illustrated on climate change, lakes and wetlands, watershed regionalization and watershed development. In recent years, the Heilongjiang River Basin has witnessed warming climate, its river basin has abundant lakes and wetland resources, its river basin has numerous protected areas and protected objects on both sides, its reservoirs play a key role for its water resources development and utilization. Studies on surface water can be made on runoff characteristics and flood characteristics. The Heilongjiang River can be divided into seven tributaries and one main stream. Atmospheric circulation anomalies are the direct cause for consecutive torrential rain over the main stream in 2013. Studies on groundwater can be conducted on hydrogeology, groundwater level and trans-boundary aquifers. The Heilongjiang River Basin can be divided into nine hydrogeological zones. The change of the groundwater level has its unique characteristics. Thus, trans-boundary aquifers need to be studied in the future. Studies on water quality can be illustrated on surface water quality and groundwater quality. Prevention and cure work against the polluted water need to be strengthened, groundwater control measures and emergency treatment programs need to be put forward as soon as possible. Finally, hot topics related to surface water quality and groundwater quality are discussed.

Keywords: hydrological geography; geographical environment; surface water; groundwater; water quality; Heilongjiang River