

中国东北平原及毗邻地区古水文网变迁研究综述

裘善文¹, 王锡魁², MAKHINOV A.N.³, 阎百兴¹, 廉 毅⁴, 朱金花¹, 张凤礼⁵, 张振卿¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102;

2. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061;

3. 俄罗斯科学院远东分院水和生态问题研究所, 哈巴罗夫斯克 680000;

4. 中高纬环流系统与东亚季风研究开放实验室, 长春 130062;

5. 大庆博物馆第四纪哺乳动物研究中心, 大庆 163316)

摘要: 本文论述东北平原及毗邻地区黑龙江中游的第四纪水文网变迁与时代。首次完整、系统提出下松花江溯源侵蚀切穿佳~依分水岭, 袭夺了上松花江、牡丹江形成松花江的袭夺水系。黑龙江中游由于三江平原平均每年以1~6 mm速度下沉, 下黑龙江溯源侵蚀, 切穿了中俄境内的小兴安岭, 形成萝北—嘉荫峡谷, 袭夺了上黑龙江、结雅河和布列亚河, 形成黑龙江袭夺水系。根据依兰达连河煤矿钻孔岩芯岩相分析, 发现在古近纪和新近纪时在达连河—样顺地区有一古大湖, 上松花江和牡丹江流向该大湖, 沉积了厚700~1000多米的湖河相碎屑岩含煤地层。后因伊通—依兰裂谷上升, 下松花江溯源侵蚀, 袭夺了流向该大湖的上松花江和牡丹江。所以松花江和牡丹江从来没有向西流向松嫩平原。松花江和黑龙江袭夺水系的形成时期是在上新世末—早更新世初。此后, 松辽平原偏西区域从早更新世至中更新世末形成古大湖, 周围河流流向该大湖, 呈向心状水系, 从松辽平原湖相黏土层分布和古地磁测年确定, 至中更新世末该古大湖衰亡。晚更新世以来松辽平原进入河流发展时期, 松辽分水岭缓慢上升, 并不断北移。黄、渤海在20年内下沉了60 mm, 辽河溯源侵蚀, 袭夺了东、西辽河。从此形成了辽河与松花江水系的基本格局。

关键词: 袭夺水系; 向心状水系; 古水文网变迁; 东北平原

DOI: 10.11821/dlxb201411002

松辽平原俗称东北平原, 平原北部称松嫩平原, 南部称辽河平原, 位于东北地区的中心, 面积约 $32 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国最大的平原。现在松辽平原分布着松花江和辽河两大水系。但是在地质历史时期, 松辽平原的古环境也曾发生了沧桑巨变。平原古水文网发生了重大变迁, 曾有过各种不同见解, 有学者认为上黑龙江(黑河以上的黑龙江)、结雅河、松花江和嫩江等河流曾向南流经辽河, 入渤海与黄河汇合流向黄海^[1]。松花江与牡丹江流向松辽平原^[2]。另有学者认为松花江, 东、西辽河为松嫩盆地的向心水系, 流向松辽古大湖^[3-5]。虽然各家观点不同, 但都认为松辽平原古水文网发生了重大变迁。此外, 各家都没有提出古水文网变迁的遗迹、论据和时代。

自20世纪50年代末以来, 结合国家科技攻关项目、国家自然科学基金课题、中澳、中俄国际合作研究项目, 断断续续对这一问题进行考察和研究, 获得大量的调查研究成果和钻孔资料, 以及分析、测试数据。尤其近年来与俄罗斯科学院地貌学者的合作, 对黑龙江中游河谷的形成与变迁, 取得了共识。对东北平原松花江及毗邻地区黑龙江中游的古水文网变迁研究, 取得了新进展。

收稿日期: 2014-06-30; 修订日期: 2014-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(41175083); 水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07201004); 中俄国际合作项目(4947-1013) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41175083; Major Science and Technology Program for Water Pollution Control and Treatment, No.2012ZX07201004; Sino-Russian Cooperation Project, No.4947-1013]

作者简介: 裘善文, 研究员, 原中国地理学会地貌专业委员会委员, 中国第四纪专业委员会委员, 主要从事东北地貌与第四纪研究。E-mail: qswen@neigae.ac.cn

通讯作者: 阎百兴, 研究员, E-mail: yanbx@iga.ac.cn

研究它不仅对研究东北平原形成、古环境演变有重大意义。而且对寻找松辽平原地下水形成、富集规律,对黑龙江、松花江水资源开发具有重要作用。

1 松辽平原古水文网变迁的构造地貌背景

东北平原及毗邻地区地貌与主要水文网格局受地质构造控制^[6],尤其受大陆裂谷系的制约,自中生代以来,在东北形成了BXSJR裂谷系[(渤海裂谷(BHR) — 下辽河裂谷(XLR)^[8]—松辽地堑(SLG)^[9]—孙吴地堑(SWG)—结雅—布列亚裂谷(JBR)]系^[10];YYR伊通—依兰裂谷;FMR抚顺—密山裂谷^[10-12]等三大裂谷系(图1)。该区松辽地堑和下辽河裂谷、渤海裂谷连为一体,向南伸入华北,与郯庐裂谷相连,向北进入俄罗斯境内与结雅—布列亚裂谷相连,构成一条大的裂谷带^[10]。

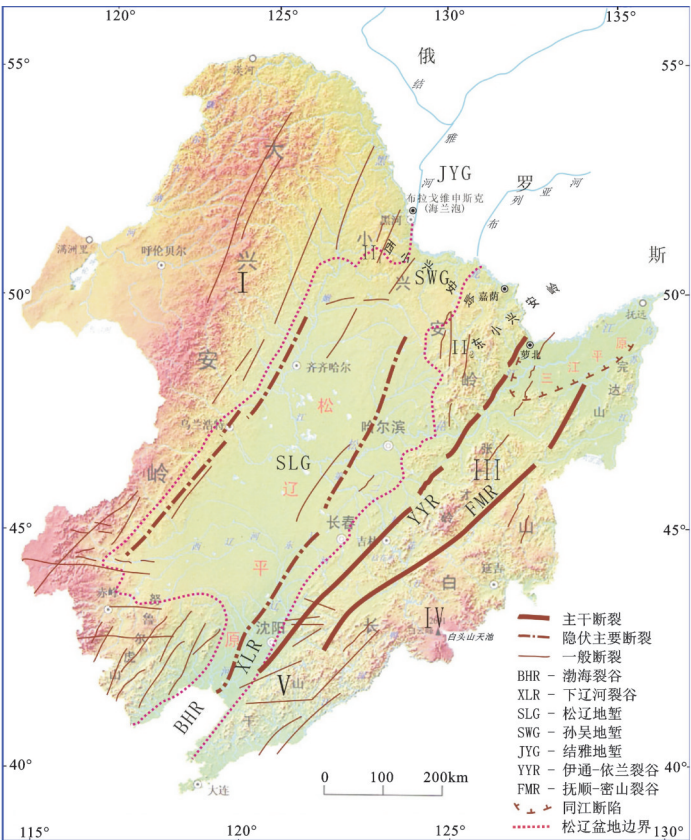
所以,东北平原及毗邻地区古水文网的变迁,主要受这些裂谷带,以及隐伏主断裂和断层的控制^[10, 12-14]。上黑龙江、结雅河南流经孙吴地堑^[10]、松辽地堑^[9]、辽河裂谷^[8],至渤海裂谷^[7],称之为新近纪黑龙江南流水系。俄罗斯地貌学家Makhinov A N在其《Present Relief Formation in the Conditions of Alluvial Accmulation》一书中作了论述^[1],我们与其所见略同。

2 新近纪末—第四纪初形成黑龙江袭夺水系

下黑龙江(萝北延兴以下黑龙江)溯源侵蚀,切穿小兴安岭,袭夺了上黑龙江、结雅河、布列亚河,形成黑龙江袭夺水系(图2A)。

2.1 袭夺水系形成的依据

(1) 新近纪末的构造运动使小兴安岭中、西段西南部沿着北西向的深断裂上升,并伴随着强烈的火山喷



I 大兴安岭褶皱断块山地 II₁ 东小兴安岭褶皱断块山地 II₂ 西小兴安岭熔岩丘状山地 III 张广才岭褶皱断块山地 IV 长白山火山熔岩地 V 千山断块山地

图1 中国东北平原及毗邻地区遥感影像构造地貌略图
(据文献[10]、[11]、[12]资料编制)

Fig. 1 Sketch of the structural landforms shown in remote sensing images in the Northeast China Plain and its neighboring areas

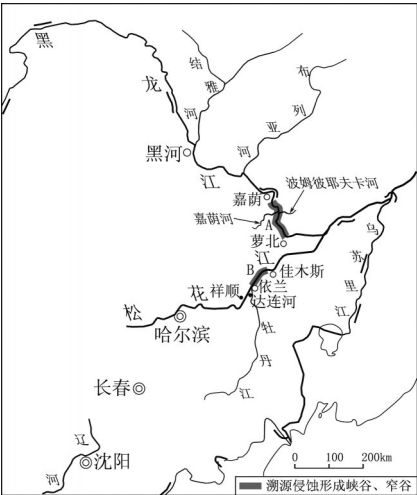


图2 黑龙江(A)、松花江(B)袭夺水系
Fig. 2 The capture systems of the Heilong River and Songhua River from the end of Neogene to the early Quaternary

发,结束了新生代裂陷而成的孙吴地堑,上升为北西向的由古近纪乌云组和新近纪孙吴组地层,以及上新世大熊山玄武岩组成的台地缓丘状的中、西段小兴安岭^[15-18]。隔断了结雅—布列亚盆地与松辽盆地的联通,从此结束了新近纪黑龙江南流水系的历史,迫使上黑龙江水流沿着小兴安岭北麓而东流。

(2) 第四纪以来的新构造运动使小兴安岭以每年 0.5~1.5 mm 的速度上升,三江平原平均每年以 1~6 mm 的速度下沉^①,下黑龙江在萝北县延兴以上沿 NNW 向和 SN 向断裂破碎带强烈溯源侵蚀,切穿了中、俄境内的小兴安岭,形成嘉荫—萝北峡谷。在俄境内称巴恩科沃—萨尤兹诺峡谷^[15]。根据俄罗斯学者 Makhinov A.N. 的研究^[1],下黑龙江溯源侵蚀可以在小兴安岭的峡谷地貌中找到遗迹(图 3)。在嘉荫—萝北峡谷段的下游,河谷谷坡为凸形,河谷底部狭窄。而峡谷地段的上游河谷较宽阔,因为这些地方的下切侵蚀较微弱。在 Pompeevka 河口的下游,现今的黑龙江河床底部坡度是峡谷地段上游河床坡度的 2 倍。这说明黑龙江的溯源侵蚀现在依然在进行。此外,在俄罗斯帕什科夫村(Pashkovo)新近纪的萨赞科夫斯卡亚组(Sazankovskaya)和别劳格斯卡亚组的沉积物远远高于现今的黑龙江水水面,而这些沉积物在小兴安岭的东段缺失,说明在小兴安岭被下黑龙江切割以前,东、西两侧河网的高度截然不同^[19]。下黑龙江袭夺了上黑龙江、结雅河、布列亚河,从此形成了黑龙江袭夺水系。

2.2 黑龙江袭夺水系的形成时代

(1) 古近纪与新近纪时,松辽盆地与结雅—布列亚盆地由孙吴地堑连接,互相沟通,上黑龙江、结雅河等通过孙吴地堑向松辽地堑南流,沉积下来的新近纪孙吴组地层与松辽地堑泰康组地层均为冲积相砂岩和砂砾岩,完全可以对比,证明至上新世上黑龙江、结雅河仍然流经孙吴地堑,流向松辽地堑^[1]。

(2) 新近纪末的喜马拉雅运动和火山喷发,使孙吴地堑上升为由新近纪孙吴组地层和上新世大熊山玄武岩组成的小兴安岭中、西段山地,阻隔了黑龙江、结雅河南流而沿小兴安岭北麓的断裂带向东流去,时间是在上新世末。

(3) 新近纪末—第四纪初,贯穿中俄境内的小兴安岭山地,以及东北北部山地总体上升。而三江平原、松辽平原和结雅—布列亚平原下沉,尤其三江平原每年以 1~6 mm 的平均速度下沉^[20],下黑龙江自萝北的延兴以上,沿北西西、南北向断裂破碎带溯源侵蚀,切穿了分布在中、俄境内的小兴安岭,袭夺了南流的上黑龙江、结雅河以及分布在结雅—布列亚盆地的所有河流,形成了完整的黑龙江袭夺水系。遗留下来嘉荫—萝北峡谷,就是下黑龙江溯源侵蚀的遗迹,时代是在上新世末与第四纪初。

(4) 从黑龙江中游的阶地发育来看,可看到三级阶地^[21-22],有学者观察到三级阶地以上还有一广阔平坦面,可能为四级阶地,抑或新近纪的布西期夷平面^[23]。在三级阶地上发现玄武岩砾石,这种砾石来自新近纪上新世大熊山玄武岩。据此第三级阶地的形成应在新近纪大熊山玄武岩之后。同时从东北北部黑龙江、松花江的阶地发育、分布规律看,一般发

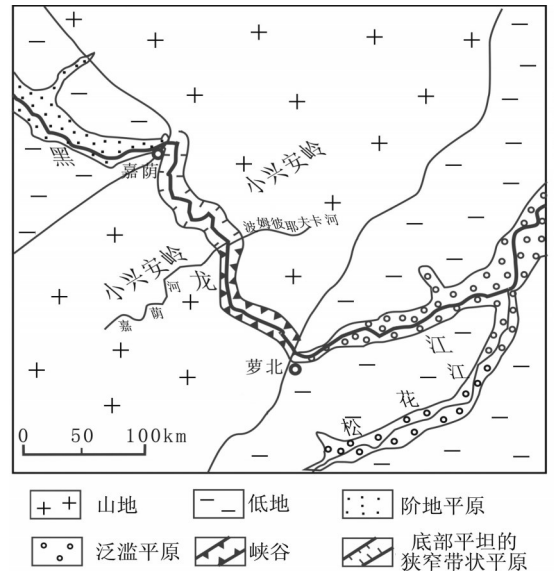


图3 黑龙江袭夺河谷地貌图 (Makhinov A.N., 2012)

Fig. 3 The geomorphological map of the Amur capture valley cutting the Lesser Khingan Range

① Makhinov A.N. 俄黑龙江中游平原的形成与发展. 俄罗斯科学院远东分院水与生态问题研究所, 2012.

育有三级阶地,而且第三级阶地形成于早、中更新世^[6]。1957年中苏黑龙江考察时苏联地质地貌学者也曾肯定这些玄武岩的生成是在第三级阶地形成以前^[21]。由此可见,上黑龙江、结雅河等向南流转为东流是在新近纪末—第四纪初。

(5) 俄罗斯地貌学者也认为在上新世末—第四纪初,上黑龙江从中、西小兴安岭北麓自西向东流,大量冲积物在结雅—布列亚平原沉积^[1]。下黑龙江溯源侵蚀,切穿小兴安岭后,袭夺了上黑龙江及结雅—布列亚平原的河流。同时黑龙江中东北平原的冲积砂砾石层与俄罗斯Sazanhkovskaya、Belogorskaya、结雅河流域和上黑龙江流域中的冲积砂砾石层相似^②。

3 新近纪末—第四纪初松花江袭夺水系

第四纪初,下松花江(佳木斯以下松花江)溯源侵蚀,切穿佳木斯—依兰分水岭,袭夺了上松花江(依兰以上松花江)、牡丹江形成松花江袭夺水系(图2B)。

3.1 袭夺水系形成的依据

根据依兰达连河煤田精查勘探(图4),可知煤田基底为海西期花岗岩(γ_4),其上覆地层为古近纪达连河组湖河相煤系地层,厚748.40 m,其上有新近纪道台桥组地层分布,厚约60 m^③,中生代地层缺失。说明伊通—依兰裂谷方正—依兰段是在中生代末断陷下沉,在依兰县达连河—通河县的祥顺、清河地区,古近纪时裂谷稳定沉陷,沉积了厚达700~1000 m的达连河组湖河相的煤系地层。那时沿南北向断裂破碎带发育的牡丹江和自西南向东北流的上松花江,都流向伊通—依兰裂谷中的达连河—祥顺古大湖。上新世末以来,由于强烈的火山活动和玄武岩喷发,地壳明显上升,裂谷中达连河—祥顺古大湖衰亡。而三江平原明显下沉^[20],下松花江溯源侵蚀,切穿佳—依分水岭,袭夺了上松花江和牡丹江,形成松花江袭夺水系。

3.2 松花江袭夺水系的形成时代

(1) 伊通—依兰裂谷中的达连河—祥顺古大湖,在沉积了古近纪达连河组湖河相含煤地层,新近纪道台桥组地层以后,并有火山喷发形成的上新世大罗密玄武岩覆盖在道台组砂砾岩层之上,达连河—祥顺古大湖消亡。在三江平原平均每年以1~6 mm明显下沉,下松花江明显地溯源侵蚀,切穿佳—依分水岭,袭夺了上松花江、牡丹江,形成松花江袭夺水系。由此可见,松花江袭夺水系是在新近纪末—第四纪初形成的。

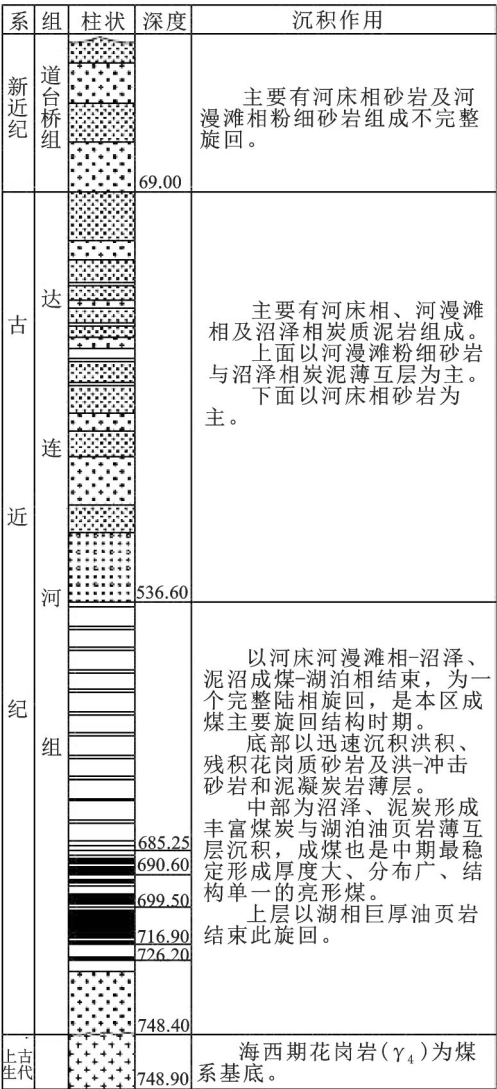


图4 依兰达连河煤矿区钻孔柱状图
Fig. 4 The core section from Dalianhe Opencast Coal Mine

② Makhinov A.N. 黑龙江中游平原的形成与发展.俄罗斯科学院远东分院水与生态问题研究所, 2012.
③ 黑龙江省二〇四煤田地质勘探队. 黑龙江省依兰煤田达连河露天煤矿扩大区精查勘探地质报告, 1981.

表 1 富锦地区与哈尔滨地区松花江阶地及其沉积物对比表

Tab. 1 Comparison of the Songhua River terraces and their sediments in Fujin and Harbin

地层与时代	中更新世 (Q ₂)		晚更新世 (Q ₃)	
	三江平原富锦向阳川组	哈尔滨荒山组	三江平原别拉洪河组	哈尔滨顺乡屯组
地貌	松花江二级阶地	松花江二级阶地	松花江一级阶地	松花江一级阶地
沉积物	上部:黄土状亚砂土	上部:黄土状亚砂土		
	下部:浅黄—深黄色中细砂、砂砾石层,交错层理、融冻构造发育	下部:浅黄—深黄色中细砂、砂砾石层,交错层理、融冻构造发育	上部:黄土状亚黏土	上部:黄土状亚黏土
动、植物化石		梅氏犀		猛犸象 (<i>Mammuthus</i>
	植物干、枝、叶化石。孢粉组合:木本植物花粉有柳 (<i>Salix</i>)、杨 (<i>Populus</i>)、桦 (<i>Betula</i>) 等,占 22%,草本植物花粉有百合科 (<i>Liliaceae</i>)、眼子菜 (<i>Potamogeton</i>)、睡莲科 (<i>Nymphaeaceae</i>) 等,占 77%。	(<i>Rhinocerosmerkii</i>), 啮齿动物化石, 年龄 17.5KaB.P.。孢粉组合:木本植物花粉有柳 (<i>Salix</i>)、杨 (<i>Populus</i>)、桦 (<i>Betula</i>)、鹅尔栎 (<i>Carpinus</i>)、松 (<i>Pinus</i>) 等。草本植物以蔷薇科 (<i>Rosaceae</i>)、百合科 (<i>Liliaceae</i>) 为主。地层中有树干、枝、叶化石。	猛犸象 (<i>Mammuthus primigenius</i>)—披毛犀 (<i>Coelodonta antiquitatis</i>) 动物群化石。木本植物花粉占 45.2%,以松 (<i>Pinus</i>)、冷杉 (<i>Abies</i>)、云杉 (<i>Picea</i>)、桦 (<i>Betula</i>) 等为主。草本植物花粉占 54.2%。地层中有桦的朽木。	<i>primigenius</i>)—披毛犀 (<i>Coelodonta antiquitatis</i>) 动物群化石。孢粉组合:木本植物花粉有云杉 (<i>Picea</i>)、冷杉 (<i>Abies</i>)、桦 (<i>Betula</i>)、松 (<i>Pinus</i>)、栎 (<i>Quercus</i>)、榆 (<i>Ulmus</i>) 等。草本植物花粉有蒿属 (<i>Artemisia</i>)、藜科 (<i>Cheno-podiaceae</i>) 和菊科 (<i>Compositae</i>)。地层中埋有云杉树干, ¹⁴ C 年龄 30000±700 aBP

(2) 在三江平原佳木斯市桦川县地区钻孔岩芯中发现, 在早、中更新世砂砾石沉积物中, 含有玄武岩砾石, 这种砾石为上新世大罗密玄武岩被松花江袭夺水系搬运而来的结果。可见松花江袭夺水系形成时间是在上新世玄武岩形成以后, 即上新世末开始形成的。

(3) 在哈尔滨松花江阶地的荒山组地层埋藏有梅氏犀化石^[24], 在相同地貌单元洞穴中梅氏犀化石年龄为 15.4~26.6 MaBP^[25]④。说明松花江袭夺水系是在距今 266 万年前形成的。

(4) 松花江袭夺水系的形成时代可以从哈尔滨地区松花江阶地及其沉积物^[26]⑤与三江平原富锦地区松花江阶地及其沉积物的对比来确定^[27] (表 1)。两地均属松花江堆积阶地, 其沉积物上部为黄土状亚砂土, 下部为中细砂、砂砾石层, 厚 80 m 以上, 主要地层为中更新世荒山组或称向阳川组, 由松花江搬运沉积而成 (图 5a)。而且在富锦向阳川松花江二级阶地剖面中发现大型斜交层理, 在 1 m 厚的冲积物中有三个斜交层理 (图 5b), 上层厚 40 cm, 中层厚 33 cm, 下层厚 27 cm。斜交层理中各个分层的倾斜度 15°~20°, 厚度变化较大, 几厘米至十几厘米, 层理呈线状分布, 无明显的顶层和底层。斜交层理由细砂组成, 细砂有分选, 有磨圆, 表面光滑。砂粒以石英 (SiO₂) 为主, 属于典型的平原型河流斜交层理。说明在早更新世时松花江已形成, 到中更新世时松花江已是平原型大河了。根据前述证据分析, 表明松花江是在上新世末受构造运动影响, 伊通—依兰裂谷上升成为河谷平原, 而三江平原下沉, 下松花江溯源侵蚀, 切穿佳—依分水岭, 袭夺依兰以上松花江和牡丹江, 形成松花江袭夺水系, 据此松花江袭夺水系是在上新世末—第四纪初形成的。

4 松辽平原早、中更新世向心状水系

上新世末—第四纪初以来, 大、小兴安岭继续缓慢上升, 松辽平原缓慢下沉, 在松辽平原西部沉降带, 形成松辽古大湖。自早更新世中期, 大约距今 200 多万年前至中更新世末, 大湖分布范围大致北自林甸—齐齐哈尔—坦途—白城东—洮南东—瞻榆—太平川—科左中旗—长岭北—前郭尔罗斯—肇源—安达—林甸, 形成面积约 50 000 km² 的松辽古大

④ 陈铁梅. 根据梅氏犀化石牙齿进行铀系法年龄测定, 距今 17.5ka, 2012.

⑤ 叶啟晓. 哈尔滨地区第四系. 黑龙江省第二水文地质大队, 1991.

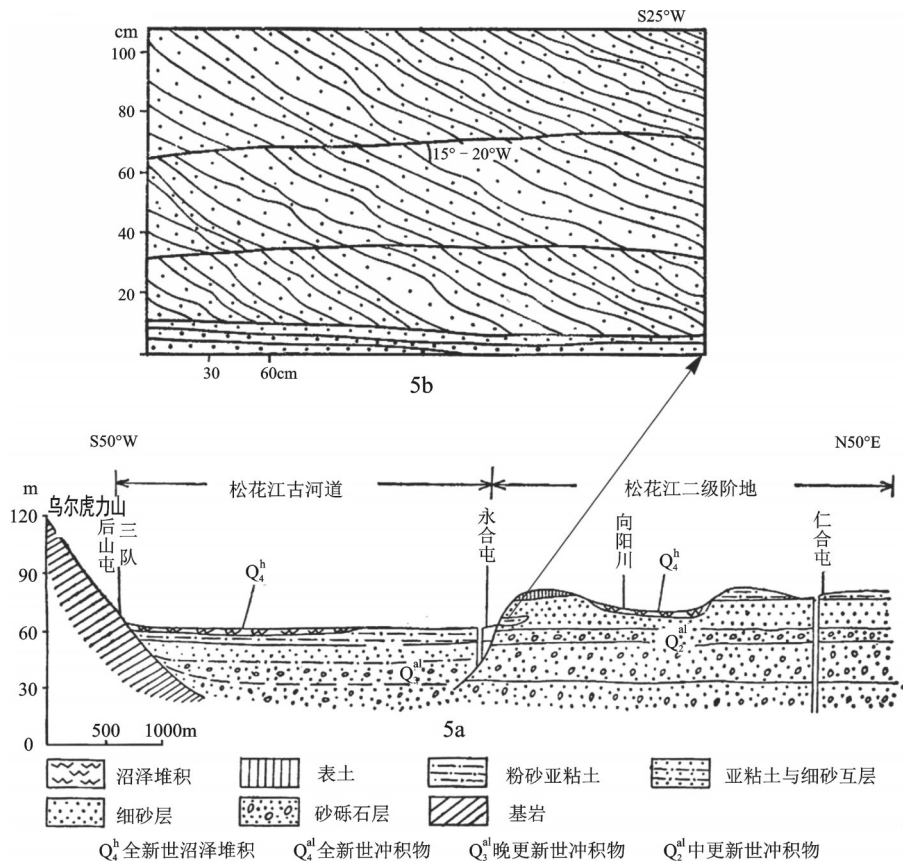


图5 三江平原富锦乌拉虎力山—仁合屯地貌综合剖面图 (a) 及其斜交层理素描图 (b)

Fig. 5 The comprehensive geomorphological cross section from Wurhuli mountain to Renhetun in Fujin, Sanjiang Plain (a) and the outline of oblique beddings (b)

湖^[3-4, 28]。大湖中沉积了早更新世令字井组和中更新世林甸组的淤泥质亚黏土，黏土间夹薄层砂层，厚约20~50 m。此时，松辽平原北部以大湖为中心，西辽河、新开河、乌力吉木仁河、东辽河、第二松花江、大兴安岭东坡和小兴安岭西南坡的大、小河流从不同方向流向松辽大湖，形成向心状水系 (图6)。唯有第一松花江从大湖东北岸向NE方向流经哈尔滨—依兰—佳木斯，在三江平原与黑龙江汇合，形成了黑龙江水系。

松辽平原在早、中更新世呈向心状水系流向松辽古大湖，是根据松辽平原500多个钻孔 (图6) 岩芯地层对比，以及乾安水字井孔、乾安令字井孔、大庆7901孔、大安CAD01孔等钻孔岩芯古地磁测年 (图7)，以及钻孔地层孢粉分析^[29]、黏土矿物分析等确定的。所以，松辽古水系在早更新世和中更新世就呈向心状水系，流向古大湖。只有在古大湖的东北有一出口，流向哈尔滨、依兰、佳木斯、三江平原^[28]。

5 晚更新世以来形成现代水文网基本格局

随着松辽古大湖的消亡，自晚更新世以来，松辽分水岭不断上升和形成^[30-31]，致使松辽平原的古水文网再次发生重大变迁。下辽河平原新构造运动不断下沉，第四纪沉积了厚达400多 m的地层，而且现在还在沉降之中，据1937-1958年间的重复水准测量，营口比庄河相对下沉了60 mm^[32]，使许多通向平原的山地河流河口呈溺谷状态^[32]。由于下辽河的不断下沉，以及晚更新世末次冰期黄、渤海海平面下降到现在海平面以下130~160 m^[33]，

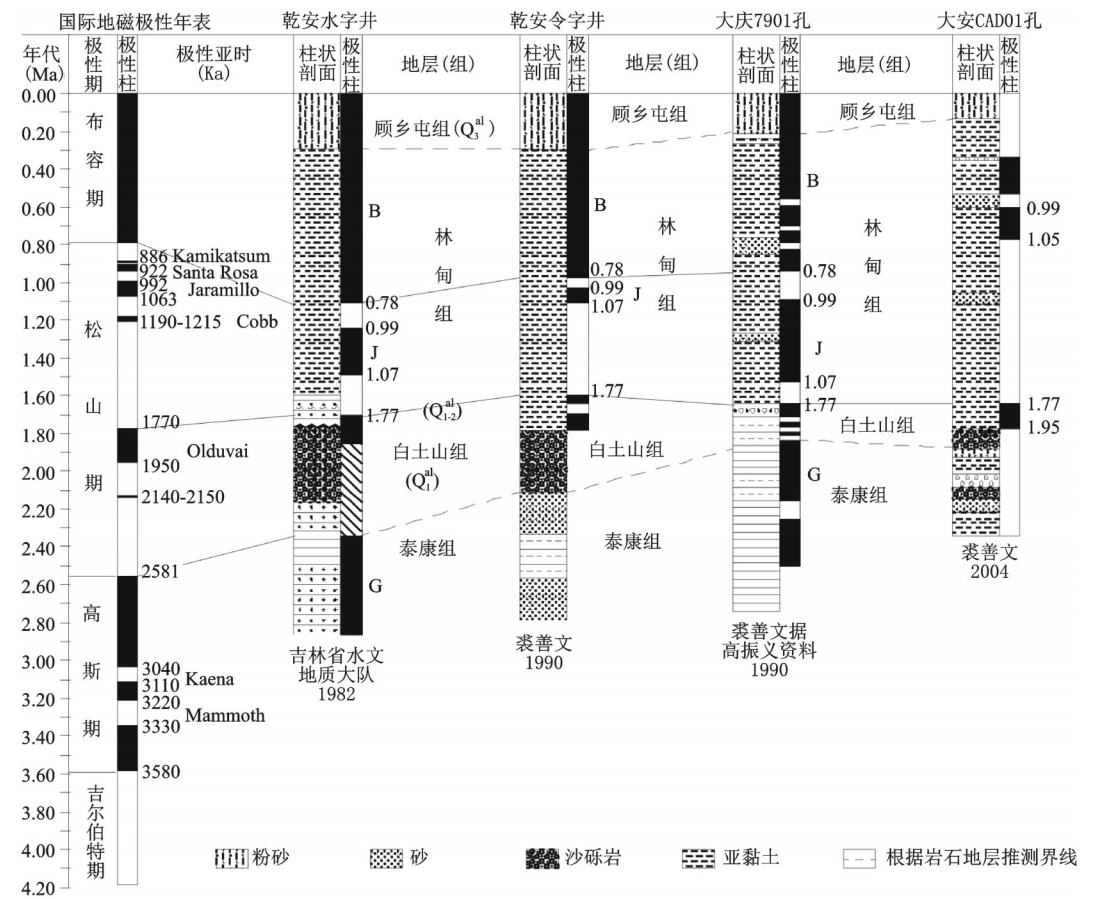


图7 松辽平原第四纪钻孔极性柱对比图

Fig. 7 A comparison sketch of paleomagnetic columns from bores in Songliao Plain
(承担古地磁测试分析报告的人员和单位: ① 刘椿. 乾安令字井孔古地磁测试报告. 1986. ② 中国地科院地质力学所古地磁实验室. 大庆7901孔古地磁测试报告. 1987. ③ 杨振宇. 大安CAD01孔古地磁测试报告. 2004.)

辽大湖的所有河流,以第二松花江、嫩江为干流,流经松嫩平原,注入第一松花江,向东北方向流经哈尔滨—依兰—佳木斯—三江平原与黑龙江汇合。从此松辽平原形成了现代松花江、辽河两大水系的基本格局(图8)。此外,在大兴安岭东麓和小兴安岭南麓,努鲁尔虎山北麓与松辽平原的过渡地带,由于气候干旱化和水资源不合理利用,导致该地带形成数以百计的瞎尾河(无尾河)^[35]。

6 结论

(1) 新近纪末—第四纪初的喜马拉雅运动和火山喷发,使孙吴地堑上升为小兴安岭西北段的台地丘陵状的山地,隔断了上黑龙江、结雅河南流。同时下黑龙江的三江平原,每年平均以1~6 mm速度下沉。下黑龙江溯源侵蚀,切穿中、俄境内的小兴安岭,在萝北以上袭夺了上黑龙江、结雅河,形成黑龙江袭夺水系,溯源侵蚀遗留有嘉荫—萝北峡谷。同时,位于三江平原的下松花江溯源侵蚀,切穿了佳—依分水岭,袭夺了流到达连河—祥顺古大湖的上松花江、牡丹江,形成了松花江袭夺水系。溯源侵蚀遗留有佳木斯—依兰窄谷。时限是在上新世末—第四纪初。

(2) 根据依兰达连河煤矿钻孔岩芯岩相分析,发现在古近纪和新近纪时在达连河—祥

- Blocks in North China. Beijing: Science Press, 1980: 200-220. [李继亮, 从柏林. 试论渤海的形成与演化//华北断块区的形成与发展. 北京: 科学出版社, 1980: 200-220.]
- [9] Tong Chongguang. The petroleum geological characteristics of the rift basin systems in East China. *Journal of Petroleum*, 1980, 1(4): 19-26. [童崇光. 中国东部裂谷系盆地的石油地质特征. *石油学报*, 1980, 1(4): 19-26.]
- [10] Liu Jiaqi. On the origin and evolution of continental rift system in Northeast China. *Chinese Journal of Geology*, 1989, (3): 209-319. [刘嘉麒. 论中国东北大陆裂谷的形成与演化. *地质科学*, 1989, (3): 209-319.]
- [11] Wang Xikui, Qiu Shanwen, Song Changchun et al. Cenozoic volcanism and geothermal resources in Northeast China. *Geological Review*, 1999, 45(Suppl.): 190-195. [王锡魁, 裘善文, 宋长春等. 中国东北新生代火山活动与地热资源. *地质论评*, 1999, 45(增刊): 190-195.]
- [12] Yang Jingchun, Li Youli. *Active Structural Geomorphology*. Peking: Peking University Press, 2011: 20-61. [杨景春, 李有利. *活动构造地貌学*. 北京: 北京大学出版社, 2011: 20-61.]
- [13] Gao Ruiqi. The characteristics of Cretaceous continental deposits in Songliao Basin. *Acta Geologica Sinica*, 1980, (1): 9-22. [高瑞祺. 松辽盆地陆相沉积物特征. *地质学报*, 1980, (1): 9-22.]
- [14] Zhai Hailing, Deng Jinfu, Chen Fajing et al. The Mesozoic volcanic rocks in the southeast boundary of Songliao Basin and the structural setting of the basin formation. *Earth Sciences*, 1996, 21: 421-427. [赵海玲, 邓晋福, 陈发景等. 松辽盆地东南缘中生代火山岩及其盆地形成的构造背景. *地球科学*, 1996, 21: 421-427.]
- [15] Alekseev M N et al. New data on the stratigraphy of middle Priamurje Tertiary deposits//*Nauka M. Paleomagnetic Analysis in the Studies of Tertiary Deposits and Volcanites*, 1973: 76-84.
- [16] Editorial Group of Heilongjiang Regional Stratigraphic Scale. Northeast Regional Stratigraphic Scale: Heilongjiang Branch. Beijing: Geological Publishing House, 1979: 103-169. [黑龙江省区域地层表编写组. 东北地区区域地层表: 黑龙江分册. 北京: 地质出版社, 1979: 103-169.]
- [17] Editorial Group of Jilin Regional Stratigraphic Scale. Northeast Regional Stratigraphic Scale: Jilin Branch. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 31-85. [吉林省区域地层表编写组. 东北地区区域地层表吉林省分册. 北京: 地质出版社, 1978: 31-85.]
- [18] Zhang Yong, Wang Xikui. Research on Neotectonic Movement in the Manzhouli-Suifenhe Geoscience Transect. Changchun: Jilin University Press, 1995: 73-74. [张庸, 王锡魁. 满洲里—绥芬河地学断面域及邻区新构造运动. 长春: 吉林大学出版社, 1995: 73-74.]
- [19] Varnavsky V G et al. Paleogene and Neogene of Priamurje and Primorje. *FEB USSR AC*, 1988: 184.
- [20] Sun Guangyou. The preliminary discussion of quaternary crustal movement of Sanjiang Plain. *Scientia Geographica Sinica*, 1983, 3(4): 353-359. [孙广友. 初论三江平原第四纪地壳运动. *地理科学*, 1983, 3(4): 353-359.]
- [21] Ding Xizhi, Sun Zhaochun, Yang Binggeng et al. Landforms in the middle Amur River (right bank)//*The Comprehensive Investigation Report in the Amur Drainage Basin. Second Collection*. 1959: 100-107. [丁锡祉, 孙肇春, 杨秉庚等. 黑龙江中游(右岸)地貌//黑龙江流域综合考察学术报告. 第二集. 1959: 100-107.]
- [22] Team of Comprehensive Investigating along the Middle Amur River, Chinese Academy of Sciences. *The Natural Conditions of the Amur River Drainage Basin and Its Neighboring Areas*. Beijing: Science Press, 1961: 1-91. [中国科学院黑龙江流域综合考察队. 黑龙江流域及其毗邻地区自然条件. 北京: 科学出版社, 1961: 1-91.]
- [23] Feng Jinglan. The preliminary investigation on geology and engineering geology along the Amur River//*The Comprehensive Investigation Report in the Amur Drainage Basin. First Collection*. 1958: 18-21. [冯景兰. 黑龙江水系地质及工程地质的初步观察//黑龙江流域综合考察学术报告. 第一集. 1958: 18-21.]
- [24] Qiu Shanwen. A study on Pleistocene strata and their depositional environment on the Songliao Plain of Northeast China//Liu Tungsheng. *Quaternary Geology and Environment in China*. Beijing: Science Press, 1991: 371-380.
- [25] Yu Huili, Dong Wei. The Mammalian fauna in the cave at the conjunction area between the Heilong River and Acheng. *Quaternary Sciences*, 2011, 31(4): 676-688. [于汇历, 董为. 黑龙江阿城交界洞穴遗址的哺乳动物群. *第四纪研究*, 2011, 31(4): 676-688.]
- [26] Wang Jinglu. Study on terraces of Songhua River at Harbin section. *Scientia Geographica Sinica*, 1993, 13(1): 87-90. [王璟璐. 松花江哈尔滨段阶地的研究. *地理科学*, 1993, 13(1): 87-90.]
- [27] Qiu Shanwen, Sun Guangyou, Li Weidong et al. The finding of palaeodrainage pattern traces of the Songhua River in Sanjiang Plain. *Acta Geographica Sinica*, 1979, 34(3): 265-273. [裘善文, 孙广友, 李卫东等. 三江平原松花江古水文网遗迹的发现. *地理学报*, 1979, 34(3): 265-273.]
- [28] Qiu Shanwen, Wang Xikui, Zhang Shuqin et al. The evolution of the large paleolane in Songliao Plain and its formation. *Quaternary Sciences*, 2012, 32(5): 1011-1021. [裘善文, 王锡魁, 张淑琴等. 松辽平原古大湖演变及其平原的形成. *第四纪研究*, 2012, 32(5): 1011-1021.]
- [29] Xia Yumei, Wang Peifang. Research on Late Tertiary-Pleistocene sporopollen assemblages, paleoflora and paleoclimate in Songnen Plain. *Acta Geographica Sinica*, 1987, 42(2): 165-178. [夏玉梅, 汪佩芳. 松嫩平原晚第三纪—更新世孢粉

- 组合及古植被与古气候的研究. 地理学报, 1987, 42(2): 165-178.]
- [30] Zhang Qingyun. The formation and evolution of Songliao divide//Qiu Shanwen. The Formation and Evolution of Quaternary Natural Environments of Northeast China Plain. Harbin: Harbin Cartographic Publishing House, 1990: 30-33. [张庆云. 松辽分水岭的形成及其演化//裘善文. 中国东北平原第四纪自然环境形成与演化. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 1990: 30-33.]
- [31] Sun Guangyou. The Quaternary crustal movement and the plain development in the central part of the Songliao plain, In Qiu Shanwen. The Formation and Evolution of Quaternary Natural Environments of Northeast China Plain. Harbin: Harbin Cartographic Publishing House, 1990: 44-50. [孙广友. 松辽平原中部第四地壳运动与平原发育//裘善文. 中国东北平原第四纪自然环境形成与演化. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 1990: 44-50.]
- [32] Yang Wencai. The Quaternary changes of sea and land in lower Liaohe River Plain//Qiu Shanwen. The Formation and Evolvment of Quaternary Environment of Northeast Plain, China. Harbin: Harbin Cartographic Publishing, 1990: 164-172. [杨文才. 下辽河平原第四纪海、陆变迁//裘善文. 中国东北平原第四纪自然环境形成与演化. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 1990: 164-172.]
- [33] Qiu Shanwen, Jiang Peng, Xia Yumei et al. The study of the environment changes since the Late Glacial Period in northeastern China. Acta Geographica Sinica, 1981, 36(3): 315-327. [裘善文, 姜鹏, 夏玉梅 等. 中国东北晚冰期以来自然环境演变的初步探讨. 地理学报, 1981, 36(3): 315-327.]
- [34] Institute of Geography Chinese Academy of Sciences. Geomorphic Division of China. Beijing: Science Press, 1959: 65-71. [中国科学院地理研究所. 中国地貌区划. 北京: 科学出版社, 1959: 65-71.]
- [35] Zhou Chenghu. Dictionary of Geomorphology. Beijing: China Water-Power Press, 2006: 81. [周成虎. 地貌学辞典. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 81.]

Summary of the paleodrainage pattern changes in the Northeast China Plain and its neighboring areas

QIU Shanwen¹, WANG Xikui², MAKHINOV A.N.³, YAN Baixing¹,
LIAN Yi⁴, ZHU Jinhua¹, ZHANG Fengli⁵, ZHANG Zhenqing¹

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China;

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

3. Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk 680000, Russia;

4. Laboratory for Middle-High Latitude Circufluence System and East Asia Monsoon Study, Changchun 130062, China;

5. Research Center of Quaternary Mammal of Daqing Museum, Daqing 163316, Heilongjiang, China)

Abstract: The evolutions of Quaternary drainage pattern in the Northeast China Plain are discussed in the paper. According to analytical results of core samples, we found that during Paleogene and Neogene periods there was a large paleolake in Dalianhe-Xiangshun region that deposited more than 700 m of lacustrine-aluvial coal-bearing fragmental rocks, and proved that the upper Songhua River and the Mudan River flowed into the large paleolake at that time. Because of the rising of Yitong-Yilan rift, the lower Songhua River eroded headwards and captured upper Songhua River and Mudan River; for this reason, we believe, that the Songhua River and Mudan River had never been able to flow westwards to the Songnen Plain. The capture river systems of the Songhua River and Heilong River were formed between the end of Pliocene and beginning of the Early Pleistocene. After that period, another large paleolake was formed in the western Northeast China Plain during the Early and Middle Pleistocene, thus the surrounding rivers to flow into the paleolake to form a centripetal drainage.

Key words: capture river system; centripetal water system; paleodrainage pattern; Northeast China Plain and its neighboring regions