

## 分水对额济纳绿洲浅层地下水水化学性质的影响

席海洋,冯 起,司建华,苏永红,常宗强

(中国科学院 寒区与旱区环境工程研究所,兰州 730000)

**摘 要:**2000年7月开始,实施了黑河下游应急生态输水工程,水流于2002年7月17日流进黑河尾间端的东、西居延海。针对以上情况,根据2001年和2003年所采集的浅层地下水水样,进行了水化学性质分析。根据分析结果,得出分水后的主要离子变化,并分别从时空变化的角度,来说明额济纳绿洲浅层地下水水化学在分水过程中的响应。结果表明:全区的各种离子均含量在分水前后有明显变化,水的矿化度、总硬度和碱度在分水后整体上大幅度地降低,水化学变化对分水的响应程度较为明显,分水具有十分重要的意义。

**关键词:**分水;水化学;额济纳绿洲

**中图分类号:**P342

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)05-0135-03

## Hydrochemistry of Shallow Groundwater Changes in Ejina Oasis of the Lower Reaches of the Heihe River After Its Water Import

XI Hai-yang, FENG Qi, SI Jian-hua, SU Yong-hong, CHANG Zong-qiang

(Cold and Arid Region Environmental and Engineering Research Institute,  
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Since July of 2000, the ecological water-conveyance project was carried out, and water conveyed by the project flowed into the West and East Juyanhai Lakes on July 17, 2002 located at the lower end of the Heihe River. Against the situation, the water samples were collected from the shallow groundwater of Ejina oasis in 2001 and 2003 respectively. Through a chemical analysis, getting the main ions' changes after its water import and at the same time the hydrochemistry of shallow groundwater in Ejina Oasis was greatly responded with water import with temporal and spatial variation. Results show the average content of all kinds of ions changes obviously; mineral content of water, total hardness and alkalinity fell wide-range down; the hydrochemistry changes are responded with water import. So there is significance about water import.

**Key words:** water import; hydrochemistry; Ejina oasis

水资源在西北地区的重要性是十分突出的,随着西部大开发在西北地区的全面实施,干旱区内陆河流域的水资源开发利用也在不断的提高<sup>[1]</sup>。在人类经济、社会活动的强大作用下,流域自然生态过程发生了显著变化,水资源在全流域的不合理利用,中游大量用水,致使下游水资源短缺、生态环境恶化、天然植被衰退、荒漠化加剧,引发一系列问题<sup>[2,3]</sup>。为了恢复和重建受损的下游生态系统,2000年7月开始,实施了黑河下游应急生态输水工程,水流于2002年7月17日流进黑河尾间端的东、西居延海,使干涸10a的居延海重新受到水的滋润。由于分水将会对下游的环境带来一定程度的影响,本文针对分水对水化学性质的影响展开讨论,分析浅层地下水水化学离子及矿化度、硬度等主要特征要素在黑河下游额济纳绿洲的变化,并探讨浅层地下水化学变化对分水的响应。

### 1 研究区概况

#### 1.1 自然地理概况

额济纳旗位于黑河下游,总面积约为11.6万km<sup>2</sup>,绿洲

面积3116km<sup>2</sup>,约占流域总面积的5%<sup>[4]</sup>。本研究区是从黑河下游的狼心山水文站到尾间端东、西居延海区,属于典型的荒漠极端干旱亚区,具有降水量稀少,蒸发强烈,冬春干冷而漫长,夏秋酷热而短促,日照长、风沙大等特点。据额济纳旗气象站1957~2003年观测资料,多年平均蒸发量为3755mm,最高达4035mm;多年平均降水量42mm,年最大降水量103mm,最小为7mm,蒸发量约为降水量的89倍。降水多集中在6~9月,约占全年降水量值的70%~80%。一次降水量≥10mm的降水十分稀少,因此,天然降水对地下水的直接补给作用较小<sup>[5]</sup>。

#### 1.2 水文地质条件

研究区域地表水主要以河流和湖泊两种形式存在,地下水补给额济纳旗东部的古日乃湖,河水补给北部的居延海。黑河是进入本区惟一的河流,由于中上游用水量的增加,近几十年来黑河断流,已成为季节性河流。

额济纳旗冲积洪积平原属阿拉善高原,由一系列剥蚀

收稿日期:2006-06-12

基金项目:中国科学院“引进杰出人才”课题(2003401);国家自然科学基金(40501012)资助

作者简介:席海洋(1982—),男,黑龙江人,硕士生,主要从事干旱区水文资源研究。

中、低山和干三角洲、盆地组成,包括古日乃湖、古居延泽、东、西居延海等湖盆洼地和广阔的戈壁、沙漠<sup>[7]</sup>。在平原区上部,广泛分布着砂、砂砾石层,具有良好的储水空间,是潜水的主要含水岩层。地质构造上呈北—北东走向的断裂凹陷盆地,第四纪地层在额济纳旗广泛分布。盆地内巨厚的第四纪松散沉积物,构成了良好的储水空间。盆地内的前第四纪地层主要分布于盆地外围的西部、北部及东北部的山区,在盆地内构成盆地的基底,出露者仅见于南部的狼心山、青头山等很小的残山。盆地内第四纪地层发育较为齐全,是组成额济纳盆地的主体地层,具有重要的水文地质意义<sup>[8]</sup>。

### 1.3 地下水水化学特征

黑河流域通过河水与地下水之间的频繁转化,使流域上、中、下游联接成为统一的河流—含水层系统。流域空间格局、气候特征和水文循环特征决定了流域水化学成分多样性的分带性<sup>[9]</sup>。而额济纳旗绿洲区受径流蒸发和溶滤作用的制约,地下水自沿河主要补给带至蒸发排泄区具有明显的水文地球化学分带性。总体来看,研究区的浅层地下水矿化度普遍比较高,该区浅层地下水遵循干旱半干旱区地下水的运移规律<sup>[10]</sup>。浅层地下水的水化学成分与天然水离子平衡有着密切关系。化学成分的形成作用主要是溶滤作用、蒸发、浓缩作用以及混合作用。

## 2 研究材料与方法

### 2.1 水样的采集

所取地下水水样点的范围是沿东西向从西戈壁—中戈壁—达来库布镇—东戈壁,南北向从黑河下游的狼心山至东、西居延海(图1),纬度范围是北纬 $41^{\circ}24.62'$ ~ $42^{\circ}21.45'$ ,经度范围是东经 $100^{\circ}29.31'$ ~ $101^{\circ}14.83'$ 。取样时间为2001年9月和2003年4~5月。

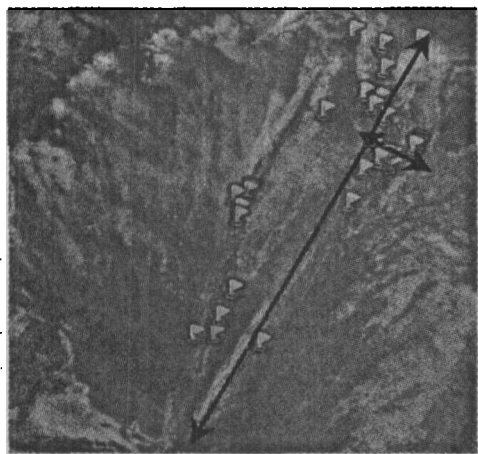


图1 研究区域及采样点位置以及选取断面示意图

### 2.2 水化学成分分析方法

所采样品在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所水土实验室进行样品测定。 $\text{pH}$ 值,PHS23C型酸度计; $\text{CO}_3^{2-}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ 含量用双指示剂中和滴定法测定; $\text{Cl}^-$ 含量用铬酸钾为指示剂,用硝酸汞容量法测定; $\text{SO}_4^{2-}$ 含量用EDTA间接滴定法测定; $\text{Ca}^{2+}$ 含量采用钙指示剂,用EDTA(乙二胺四乙酸二钠)滴定; $\text{Mg}^{2+}$ 含量以铬蓝黑为指示剂,EDTA滴定; $\text{K}^+$ 和 $\text{Na}^+$ 含量用410火焰光度计法。

## 3 结果分析

### 3.1 分水后主要离子特征变化

如图2所示:2001年(少量放水)所取水样中,整体样点的非碳酸盐硬度超过了50%,阴离子 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 中, $\text{SO}_4^{2-}$ 占60%~80%,而 $\text{Cl}^-$ 占20%~40%; $\text{Cl}^-$ 与 $\text{HCO}_3^-$ 相比较, $\text{HCO}_3^-$ 浓度含量不超过20%,而 $\text{Cl}^-$ 的含量超过了80%,这说明在阴离子中以 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度含量占绝对优势;在阳离子中, $\text{Ca}^{2+}$ 浓度含量与 $\text{Mg}^{2+}$ 相比较,二者基本相同,均占40%~60%,而 $\text{Na}^+$ 浓度含量与它们相比较,含量在20%~40%之间,略低于 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量。2003年(放水后),全区的各种离子含量均有明显变化,阴离子中, $\text{SO}_4^{2-}$ 的含量与 $\text{Cl}^-$ 含量相比较,两种离子的含量相当,均在40%~60%之间,而 $\text{HCO}_3^-$ 与 $\text{Cl}^-$ 相比较, $\text{HCO}_3^-$ 占20%~40%,其相对含量明显高于放水前含量;阳离子中, $\text{Na}^+$ 相对含量略有增加, $\text{Ca}^{2+}$ 含量略有减少,与2001年相比,三者的相对含量均没有太大幅度变化。

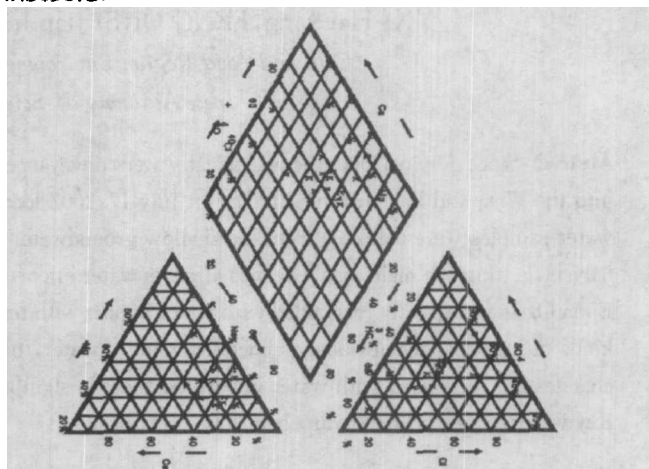


图2 2001年、2003年同一地点地下水化学成分皮伯三线图

### 3.2 分水前后水化学特性分析

从所取水样中,根据采样点的位置,从中分别选取垂直于河道方向上和沿东河方向上的样带(图1黑线),进行水化学的时空分析。垂直河道方向上的点是从狼心山、二道桥、一号山、策克村到东居延海;沿东河河道方向上是从二道桥、三道桥、四道桥、五道桥、到七道桥。

#### 3.2.1 空间变化

从2001年沿河道方向上的水化学分析结果(图3)可以看出,从狼心山到东居延海,水的矿化度、总硬度、碱度总体上表现为增加的趋势;而分水后(2003年)的矿化度、硬度仍然保持增加的趋势,而碱度是从狼心山到策克村仍然表现为增加,只是东居延海略有有所减小。

从2001年垂直河道方向上的水化学分析结果(图4)可以看出,水的矿化度、总硬度、碱度总体上从二道桥到七道桥逐渐增加。这说明距离主河道越远,水的矿化度和总硬度越大。但由于受人为因素的控制,有的河道大量放水,有的河道从未放水的缘故,2003年水的矿化度、总硬度和碱度并未表现出此规律。

#### 3.2.2 时间变化

不论从沿河道方向还是垂直河道方向上,普遍表现为

2003 年水的矿化度、总硬度和碱度比 2001 年大幅度的降低(图 4)。以矿化度、硬度为例说明,纵向上,2001 年狼心山、二道桥、一号山、策克村、东居延海的矿化度分别为 744. 4, 1 384. 2, 1 761. 5, 1 951. 4, 32 050. 0 mg/L; 2003 年分别为 512. 6, 953. 2, 1 443. 0, 1 392. 0, 5 106. 2 mg/L。2003 年比 2001 年分别降低了 231. 8, 431, 318. 5, 559. 4, 26 943. 8 mg/L。降低比率分别为 31%, 31%, 18%, 29%, 84%。可以

看出放水对干涸已久的居延海地下水化学响应非常明显。硬度的变化也是如此。

垂直河道方向上,分水后地下水矿化度有较明显的变化,除五道桥一直没有放水外,从二道桥到七道桥按距离河道远近表现为 2003 年比 2001 年分别降低了 431, 892. 1, 479. 6, 2 384. 9 mg/L。降低比率分别为 31%, 56%, 17%, 76%(图 4)。

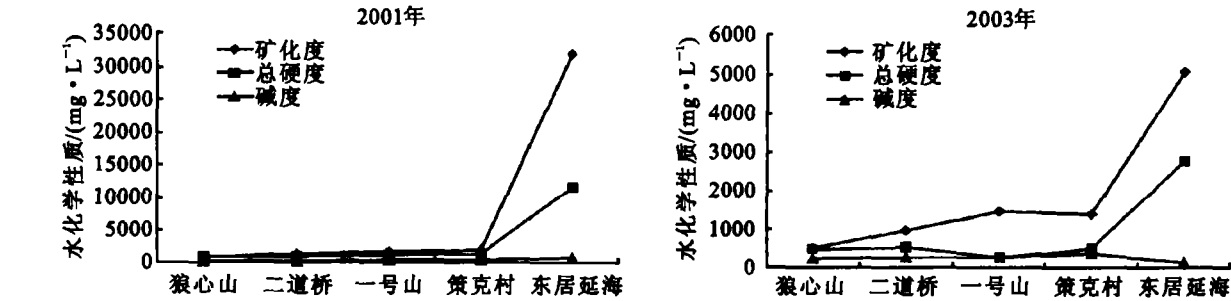


图 3 2001 年、2003 年沿河道方向水化学主要特征要素变化

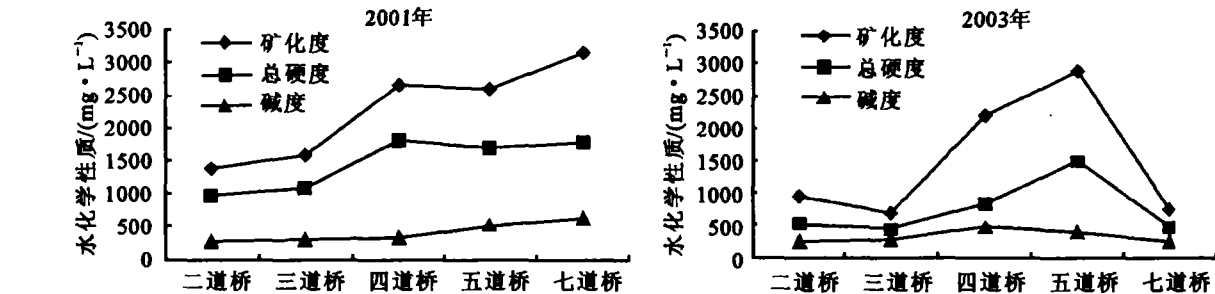


图 4 2001 年、2003 年垂直河道方向水化学主要特征要素变化

从水化学类型来看,2003 年水化学类型中  $\text{Cl}^-$  比重增加,这是由于黑河下游地处腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠之间,地势低洼,上、中游的易溶性盐类被地表和地下水流携带到下游,使其成为流域的聚盐地。因此,造成黑河下游地下水的含盐量较高,当水位升高时,地下水在迁移补给过程中将大量盐分淋溶并携带析出。

通过对 2001 年和 2003 年各种离子成分以及总矿化度分析可以看出,2001 以前该区的浅层水主要受长期蒸发浓缩作用,水的矿化度很大,而在 2003 年,连续 3 a 的上游向下游分水的过程中,由于水流速度快,冲刷强烈,与沿途盐土接触时间较短,使得下游浅层地下水直接接受上游河水补给,因而水质较好,矿化度普遍降低。

4 结论与讨论

(1)自 2000 年 7 月开始,实施了黑河下游应急生态输水

工程,本文从 2001 年和 2003 年取水样进行水化学分析,从分析中可以看出,全区的各种离子含量均有明显变化,阴离子中, $\text{SO}_4^{2-}$  的含量与  $\text{Cl}^-$  含量相比较,两种离子的含量相当,而  $\text{HCO}_3^-$  与  $\text{Cl}^-$  相比较, $\text{HCO}_3^-$  相对含量明显高于放水前含量;阳离子中, $\text{Na}^+$  相对含量略有增加, $\text{Ca}^{2+}$  含量略有减少,与 2001 年相比,三者的相对含量均没有大幅度变化。

(2)空间上:少量分水时,从狼心山到东居延海,水的矿化度、总硬度、碱度总体上表现为增加的趋势。分水后的矿化度、硬度仍然保持增加的趋势;从二道桥到七道桥,水的矿化度、总硬度、碱度总体上仍呈增加趋势。这说明距离主河道越远,水的矿化度和总硬度越大。这与河流补给,以及自身蒸发排泄有关。

(3)时间上:沿河道方向及垂直河道方向都表现为 2003 年水的矿化度、总硬度和碱度比 2001 年大幅度的降低。

表 1 水化学类型变化表

观测点	沿河道方向		观测点	垂直与河道方向	
	2001	2003		2001	2003
狼心山	Na—Mg—Ca—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>	Na—Mg—Ca—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>	二道桥	Mg—Ca—Na—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>	Mg—Na—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub> —Cl
二道桥	Mg—Ca—Na—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>	Mg—Na—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub> —Cl	三道桥	Mg—Ca—Na—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>	Mg—Na—Ca—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>
一号山	Mg—Ca—Na—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>	Mg—Na—Ca—SO <sub>4</sub> —Cl	四道桥	Mg—Ca—SO <sub>4</sub>	Na—Mg—SO <sub>4</sub> —Cl—HCO <sub>3</sub>
策克村	Mg—Ca—Na—SO <sub>4</sub>	Na—Mg—SO <sub>4</sub> —Cl	五道桥	Mg—Na—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub>	Mg—Na—SO <sub>4</sub> —Cl
东居延海	Mg—Na—Ca—SO <sub>4</sub> —Cl	Mg—Na—Ca—SO <sub>4</sub>	七道桥	Mg—Na—SO <sub>4</sub> —Cl—HCO <sub>3</sub>	Mg—Na—Ca—SO <sub>4</sub> —HCO <sub>3</sub> —Cl

(4)额济纳绿洲浅层地下水水化学特性变化,受分水影响十分显著,影响幅度随空间和时间上变化明显,而且水化学特征要素也对分水的响应程度较强。并且分水使得额济纳绿洲地下水的硬度和矿化度减小明显,这对当地的水化学

环境有很大程度的改善,因此,分水在很大程度上改善了额济纳旗绿洲的水化学环境,有十分现实的意义。

(下转第 152 页)

游洪水主要污染因素来源于华侨城开发项目,洪水入库通道主要为两条库尾狭长沟道,目前水土流失严重、施工污染物众多,后期伴随旅游区的开放,人为活动频繁,各类污染物增加,对水体污染程度势必增大。

(2)改造措施。三洲田水库面源污染潜在危害大,威胁饮用水源安全,应对主要的受污雨水入库滩涂地营造水生植物过滤带,根据滩涂水位变化规律布设三带植物过滤系统,其中浅水位滩涂地设置水生乔木缓冲带、低水位滩涂地设置挺水植物带、深水位滩涂地设置沉水植物带,逐级发挥植物拦截、吸收受污水体中污染物颗粒的长效功效。同时,在各植物带间设置透水围堰,保持雨水平流、增加污染物颗粒沉淀时间。围堰中央设置水质检测取样点。

在不同的植物带中,配置不同的建群种和伴生种。其中,水生乔木缓冲带选用耐水淹乔木树种,如落羽杉、水松、水杉、白千层、池杉、水榕、海南蒲桃、乌桕等亲水植物,配合形成四季常青植物美化景观。岸坡植香根草、铺地黍。挺水植物带种植成活率高、水污染处理性能好的水生植物(如芦苇等),形成一个独特的动植物生态环境,对污染进行处理。植物品种以石菖蒲、花叶菖蒲、水生鸢尾、芦苇、再力花、纸莎草、埃及纸莎草、水葱、水生美人蕉、千屈菜、风车草、睡莲、芡实、雨久花、黄花蔺、复序飘拂草、牛毛毡、银鳞荸荠为主。挺水植物带宽度为50 m,两岸植耐水湿的乔(水杉等)、灌木(岗松等),形成岸坡缓冲林。沉水植物带布设在水位较深的滩涂湿地,在填料床表面种植各类沉水植物,品种主要选用轮叶黑藻、聚草、光叶眼子菜、金鱼藻、马来眼子菜、微齿眼子菜和篦齿眼子菜、苦草、台湾水韭、水蕴草、萍蓬草、菱等。

#### 4 结论与讨论

根据自然地理特征、植被现状、水土流失类型和主要生态问题,结合实地调查结果,将三洲田水库水源保护区分为7个区,从水源保护林林相改造、水土流失治理、面源污染防治等方面,提出水源保护林建设总体思路和措施布置,对这一地区水资源保护和生态环境建设具有重要的指导意义。

由于水源保护林建设是一项系统、复杂、长期的实施工程,同时也是深圳市整个供水水源水质安全保证的一个重要环节,因此在今后的规划和工程实施过程中,对于以下问题还需要做更深入细致的工作:

(1)水源保护林建设涉及水利、林业等多个部门,还涉及很多社会经济问题,因此,应加强部门间的协作,以保证规划目标的实现。

(2)三洲田水库土地利用规划特殊,实施过程中需主动与华侨城集团协商,解决环库道路改造、茶园侧库岸涨落带造林整治及滩涂水生植物过滤带等方面的实施方式,解决用地、景观衔接等问题。

(3)在工程实施过程中,建设方应委托有资质的林业监测和水土保持监测机构,对每一块治理地块实施过程进行全程监督、监测,实施后进行验收、评估,以保证各项措施到位,并发挥有效的功能。

(4)水库消涨带是困扰水库生态建设的老大难问题。三洲田水库消涨带面积较大,为了进一步优化涨落区治理模式,减少投资,建议在涨落区工程建设中开展试点研究,以保证实施效果。

#### 参考文献:

- [1] 高甲荣. 北京密云水库水源保护林建设与发展对策[J]. 水土保持通报, 1999, 19(5): 1-6.
- [2] 深圳市水源保护林建设专题研究报告[R]. 2005.
- [3] 陈丽华, 谢宝元, 等. 密云水库三级水源保护区水源保护林分类研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 76-82.
- [4] 刘大根, 秦永胜. 官厅水库上游二级保护区水源保护林建设规划研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 72-75.
- [5] 付奇峰, 林素彬. 深圳市水源保护林建设探讨[J]. 福建水土保持, 2004, 16(3): 44-48.
- [6] 阿里木·吐尔逊, 木塔力甫·依明尼亚孜. 断流河道间断输水两岸地下水的运动模型及其解法[J]. 石河子大学学报, 2003, 7(2): 131-135.
- [7] 齐善忠, 王涛, 等. 黑河流域水资源可持续利用对策[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(6): 58-61.
- [8] 冯尔兴, 李新文. 黑河流域水资源短缺与生态环境问题辩证研究[J]. 内蒙古石油化工, 2005, (3): 1-4.
- [9] 高前兆, 等. 黑河流域水资源合理开发利用[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990. 3-5.
- [5] 司建华, 冯起, 张小由, 等. 黑河下游分水后的植被变化初步研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(4): 631-640.
- [6] 李卫红, 陈亚鹏, 张宏峰, 等. 塔里木河下游断流河道应急输水与地表植被响应[J]. 中国沙漠, 2004, 24(3): 301-305.
- [7] 潘启民, 田水利. 黑河流域水资源[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001. 1-13.
- [8] 武选民, 史生胜, 等. 西北黑河下游额济纳盆地地下水系统研究[J]. 水文地质工程地质, 2002, (1): 16-20.
- [9] 温小虎, 仵彦卿, 等. 黑河流域水化学空间分异特征分析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(1): 1-6.
- [10] 苏永红, 冯起, 等. 额济纳旗浅层地下水环境分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(2): 297-303.

(上接第137页)

#### 参考文献: