

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放 何吉成(1)

北京上甸子站气相色谱法大气 CH₄ 和 CO 在线观测方法研究 汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)

2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)

广东东江流域多氯萘的大气沉降研究 王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)

塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征 段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)

紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究 王灿,席劲瑛,胡洪管,姚远(32)

春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征 丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)

春季胶州湾海水汞的形态研究 许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)

丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素 蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)

塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化 陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)

某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟 马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)

北京市城市降雨径流水质评价研究 侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)

重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)

沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究 陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)

Pd/TiO₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究 张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)

pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响 冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)

给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究 陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)

安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 宋大平,庄大方,陈巍(110)

染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析 曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)

间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究 谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)

pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响 庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)

硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究 吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)

农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用 徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)

高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究 廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)

活性污泥对四环素的吸附性能研究 陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)

加油站油类污染物自然衰减现场试验研究 贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)

生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法 宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)

利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数 王晓玲,尹军,高尚(175)

数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响 董峰,张捍民,杨凤林(181)

不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响 刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)

间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究 曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)

鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究 陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)

北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估 陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)

外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究 杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)

赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建 朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究 别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)

纳米 TiO₂ 对短裸甲藻的毒性效应 李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)

苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险 李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)

电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析 王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)

洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险 刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)

湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价 刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)

广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律 项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)

缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究 吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)

可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复 付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)

胡敏酸对汞还原能力的测定和表征 江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)

Zn(II)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响 黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)

油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究 张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)

利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地表微生物群落结构 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)

黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究 封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)

鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析 张健,关连珠,颜丽(323)

杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响 赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

《环境科学》征稿简则(7) 《环境科学》征订启事(19) 信息(47,70,202,304)

塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化

陈永金¹, 李卫红², 董杰¹, 刘加珍¹

(1. 聊城大学环境与规划学院, 聊城 252059; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲生态与荒漠环境国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 基于适时监测资料, 对塔里木河下游 2006 年 11 月第 11 次输水停止后地下水埋深和地下水化学特征时空变化进行分析总结, 结果发现, 塔里木河下游上段地下水埋深自 2007 年 3 月~2009 年 9 月呈增加变化, 地下水主要离子含量以增加变化为主; 中段地下水埋深呈增加变化, 但主要离子的含量以下降变化为主要特征; 下段地下水埋深从 2008 年 8 月起呈减小变化趋势, 地下水中主要离子含量随地下水位的上升而增加. 在各断面距离输水河道远处, 地下水埋深变化首先与断面距离水源地大西海子水库的远近有关, 距离大西海子水库较近的英苏断面在输水间歇地下水埋深呈增加变化, 但变化幅度不大; 喀尔达伊断面地下水埋深在输水间歇以增加变化为主; 阿拉干和考干断面地下水埋深在 2008 年 8 月以后才开始受到输水的影响, 地下水化学特征的变化则表现出较复杂的变化.

关键词: 地下水埋深; 地下水化学特征; 生态输水; 输水间歇; 塔里木河

中图分类号: X523 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)01-0055-09

Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River

CHEN Yong-jin¹, LI Wei-hong², DONG Jie¹, LIU Jia-zhen¹

(1. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: Variations in groundwater depth and groundwater chemistry influenced by ecological water delivery in the lower Tarim River result in ecological changes. Based on the monitoring data during March, 2007 to September, 2009, the changes of both depths and chemistry of groundwater were studied. It is found that the depth of groundwater at the upper section of lower reaches increased, the major ions, such as Cl^- , Na^+ , showed an increased change. The variations in groundwater depth in groundwater at middle section of lower Tarim River increased, and the concentrations of the major ions showed an opposite trend after the 11th water delivery. At lower section, the depths of groundwater decreased from August, 2008 till September, 2009. At the same time, the major ions in groundwater increased gradually. The groundwater depth and groundwater chemistry far away from the watercourse had a complex change.

Key words: groundwater depth; groundwater chemistry; ecological water delivery; interval of water delivery; Tarim River

水是陆地生态系统稳定和发展的关键因子^[1], 水量与水质状况及其变化分析是流域水资源管理与生态保育的重要内容^[2]. 从事生态学、景观生态学、环境科学和地理学研究的专家学者对水质、水位变化及其影响因素、水质变化与植被生态的关系进行了大量研究, 取得了系列成果^[3~10]. 始自 2000 年的塔里木河下游生态输水工程为人工干预条件下生态因子变化和生态恢复研究提供了一个露天实验室, 也为地下水化学研究提供了极佳环境, 学者围绕水化学与地下水埋深的关系、地下水盐分含量变化特点与过程, 水盐变化与生态恢复的关系进行了探讨, 发表了系列研究成果^[4~16]. 塔里木河下游的输水是间歇性的, 2006 年 12 月第 8 次输水停止后, 一直到 2009 年近 3 a 的时间没有再进行输水. 本研究希望通过长达 3 a 的输水间歇地下水埋深与地下水化

学特征空间变化特征的分析, 以期为塔里木河下游输水和生态恢复提供科学依据.

1 研究区概况

塔里木河位于新疆南部, 全长 1 321 km, 是我国最长, 也是世界著名的内陆河. 其上游为肖夹克至英巴扎段, 中游为英巴扎至卡拉水库段, 下游为卡拉水库至台特玛湖段. 由于流域处于塔克拉玛干沙漠, 气候极其干旱, 水是塔河流域生态环境最敏感的因子^[17], 自过去半个世纪以来, 人们对土地的过度开

收稿日期: 2011-02-15; 修订日期: 2011-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871239, 40871059, 40901276); 中国科学院“西部之光”项目(RCPY200801); 山东省优秀中青年科学家奖励基金项目(2011BSB01256)

作者简介: 陈永金(1968~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为生态水文学, E-mail: yongjinchen2004@yahoo.com.cn

垦和水资源的无序开发和过度浪费,使流域水资源的自然配置被严重异化,导致下游来水量急剧减少,依靠河道径流补给的地下水位日渐下降^[18,19],地下水矿化度升高,水质恶化.流域生态系统退化,下游地区的绿色走廊濒临消失的边缘.

研究区地势起伏和缓,平均海拔 825 m,主要地貌类型有冲洪积、冲积、风积和河湖积地貌^[18,19],地层结构简单,主要为第四系上更新统、全新统地层,地表岩性以砂、亚砂土和黏土为主.研究区发布有第四系孔隙水,含水层主要是粉砂,间有亚砂土和亚黏土.受沉积环境、含水层介质及补给源少等因素作用,区内潜水含水层富水性较差.由于本区干旱少雨,年降水量 40 mm,降水对地下水补给意义不大,地下水的补给主要靠河道径流和水库入渗及田间水的入渗.地下水在向下游缓慢运移过程中溶滤了河湖相地层中的盐分,使得化学组分含量沿径流方向逐渐增加,地下水水质变差,矿化度升高.

该区属于典型的暖温带大陆性干旱气候区^[20],根据铁干里克气象站的观测资料,年均气温 10.5℃,平均年降水量 17.4~42.0 mm,年潜在蒸发量 2 500~3 000 mm,沙尘暴日数 8.2 d,风沙危害严重.由于多年断流,地下水位大都下降到 8~12 m,地下水含盐量及矿化度都很高.

2 数据采集与分析

沿输水河道设置了 9 个监测断面(A~I),见图 1.用于监测生态输水后地下水位,水质以及植被的响应,在每个监测断面分别设置了 3~8 眼监测井,共计 40 眼监测井.对每眼监测井进行定期的地下水埋深和地下水采样测定,其测定方法为导线法,同时采集地下水水样,水样采集后当场密封,送入中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲环境国家重点实验室分析.分析内容包括:矿化度(TDS)、pH 值、总碱度、总硬度、电导率、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 等 13 项指标.分析方法是,矿化度:重量法; HCO_3^- 、 CO_3^{2-} :双指示剂滴定法; Cl^- :硝酸银滴定法; SO_4^{2-} :EDTA 容量法和铬酸钡光度法;总硬度:EDTA 容量法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} :EDTA 容量法和原子吸收光度法; K^+ 、 Na^+ :火焰光度法和原子吸收光度法;PH 值:PHS-2C 型数字式酸度计测定;电导率:DDS-307 型电导率仪测定.塔里木河下游生态输水开始于 2000 年 5 月,到 2006 年 11 月共实施了 11 次,第 11 次输水开始于 2006 年 9 月 25 日,2006 年 11 月 29 日结束,持

续时间 74 d,输水量 $2.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,输水到达台特玛湖,本研究所采用的数据资料取自 2007 年 3 月~2009 年 9 月.根据下游监测断面的空间位置和地下水埋深以及地下水化学特征变化特点将 9 个监测断面划分为上中下 3 段,由于交通不便,阿克敦断面地下水监测资料的连续性不好,故本研究没有选取该断面的资料.每个断面距离河道远处地下水埋深及水化学变化与距河道近处也不同,故对 8 个断面代表性样井地下水变化情况进行分析.

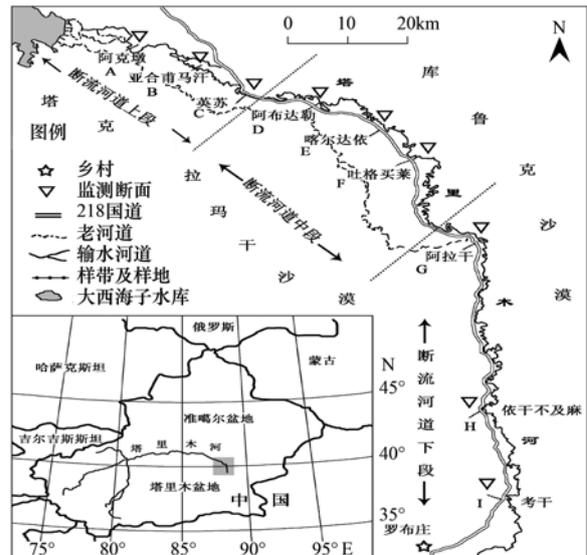


图 1 塔里木河下游植物样地与地下水监测布设示意

Fig. 1 Distributions of transects and investigated sections in the lower reaches of the Tarim River

3 结果

3.1 上段

塔里木河下游上段从 2006 年 12 月停止输水后亚合甫马汗断面地下水埋深从 2007 年的 2.90 m 变成 2009 年 9 月的 5.44 m,地下水位下降 2.54 m.地下水化学组分中 HCO_3^- 、 K^+ 和 Mg^{2+} 表现为小幅增加变化, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 含量为下降变化.作为地下水化学特征总代表的矿化度从 $2.05 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,下降为 $1.94 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ [图 2(a)亚合甫马汗断面].

英苏断面距离河道 50 m 处的 C2 监测井地下水埋深从 3.49 m,下降为 5.7 m,埋深增加了 2.21 m.地下水各化学组分中, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 以及 HCO_3^- 含量发生了较为明显的升降变化, Cl^- 含量从 2007 年 3 月~2008 年 8 月以上升变化为主,从 2008 年 9~12 月发生了较大幅度的下降,在 2009 年继续上升至峰值; SO_4^{2-} 含量则表现出与 Cl^- 相反的变化趋势,只有 2009 年 9 月有所上升; Na^+ 含量的变化趋

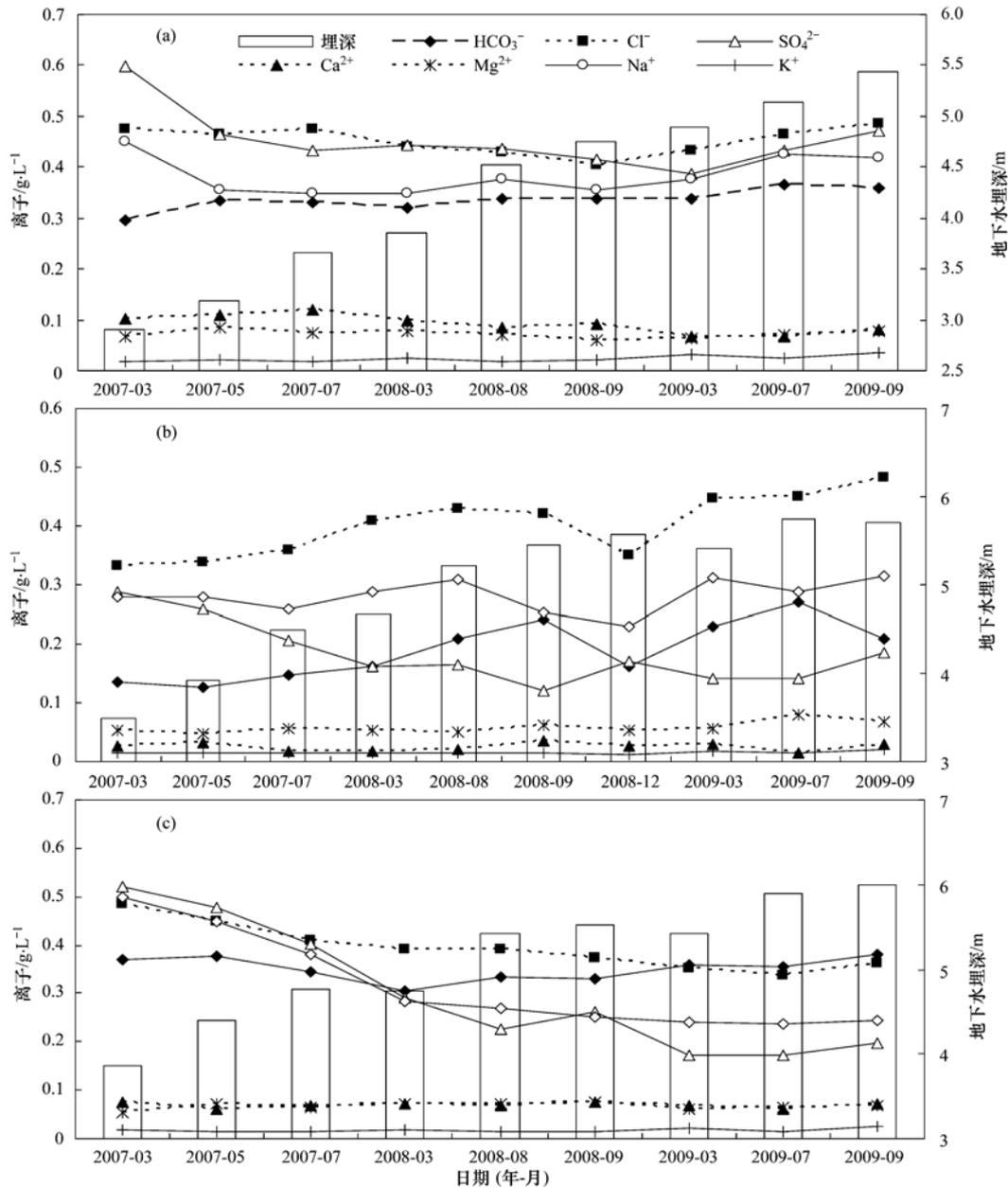


图2 塔里木河下游上段地下水埋深及主要离子含量在输水间歇的变化

Fig. 2 Variations in groundwater depth and the major ions in the upper section of lower Tarim River at the interval of water transferring

势与 Cl^- 基本一致; HCO_3^- 含量的变化趋势与 SO_4^{2-} 完全相反; 其他组分多为增加或不变[图 2(b) 英苏断面].

阿布达勒断面距离河道 50 m 的 D1 监测井地下水埋深从 2007 年 3 月 ~2009 年 9 月增加了 2.13 m. 地下水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 这 3 种主要离子含量一致表现为下降变化, 其中下降幅度最大的是 SO_4^{2-} , 2007 年 3 月 SO_4^{2-} 的含量是 $0.476 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 2009 年 7 月下降为 $0.172 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 下降幅度为 63.8%; Na^+ 含量下降幅度也超过 50%; Cl^- 含量在 2007 年

下降幅度较明显, 2008 年和 2009 年变化越来越小; HCO_3^- 含量在 2008 年 3 月有一较明显的下降, 其他时间几乎没有大的变化, 但是由于其它离子主要以下降变化为主, 从 2009 年 3 月 HCO_3^- 成为最主要离子, 反映出水质的改善; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ 含量较少的离子变化较小[图 2(c) 阿布达勒断面].

3.2 中段

喀尔达伊断面距离输水河道 150 m 的 E2 监测井地下水埋深从 2007 年 3 月的 5.38 m 增加到 2009 年 9 月的 7.4 m, 地下水位下降了 2 m 多, 但从 2007

年3~5月地下水埋深呈减小变化,说明2006年底结束的输水对喀尔达伊断面距离河道150 m左右处的影响到2007年5月才结束。 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 这3种离子含量表现出随地下水埋深的减小而下降随埋深的增加而上升的变化特点;其他离子如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 也呈上升变化,但绝对变化量不大; HCO_3^- 含量则表现为逐渐下降的变化趋势[图3(a)喀尔达伊断面]。

吐格买莱断面F1监测井地下水埋深从2007年3月的不到4 m变成2009年9月的接近6 m,水位下降了近2 m,各主要离子中 SO_4^{2-} 含量下降幅度显著,其它离子升降变化不明显[图3(b)吐格买莱断面]。

阿拉干断面距离河道50 m处的G1监测井地

下水埋深2007年3月为3.84 m,2009年9月为6.34 m,埋深增加2.5 m。地下水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 这3种离子含量从2007年3~7月呈线性增加,在2008年3月急剧下降,2008年8月又有大幅度增加,之后, Cl^- 含量在经过2008年9月的小幅度增加后在整个2009年度呈下降变化; SO_4^{2-} 、 Na^+ 含量在2008年9月呈小幅度下降,然后在2009年3月和7月呈增加变化,最后在2009年9月又转而下降; HCO_3^- 含量则是从2007年3月~2008年3月一直呈上升变化,经过2008年8月的下降变化后从2008年9月到2009年9月一直上升。其他离子含量变化不大。与其它监测井区别最大之处是该井地下水中 Na^+ 含量超过 Cl^- 、 SO_4^{2-} 成为含量最高的离子[图3(c)阿拉干断面]。

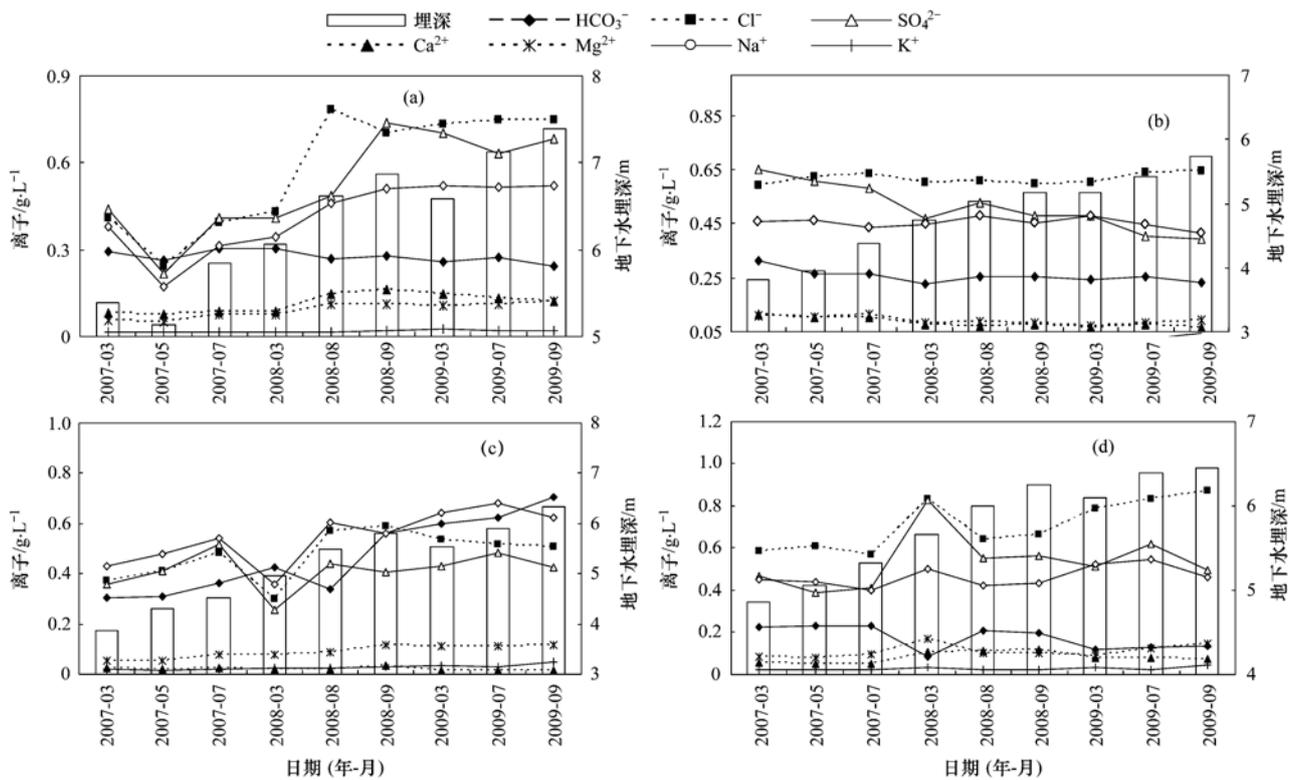


图3 塔里木河下游中下段地下水埋深及主要离子含量在输水间歇的变化

Fig. 3 Variations in groundwater depth and the major ions in the middle and lower section of lower Tarim River at the interval of water transferring

依干不及麻断面地下水埋深从4.86 m变为6.45 m,地下水位下降了1.59 m。各主要离子中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 这3种离子含量具有较大幅度的升降变化, Cl^- 含量从2007年3月的 $0.588 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 升至5月的 $0.606 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,2007年7月又降至 $0.570 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,2008年3月跃升至 $0.831 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,上升幅度超过45%。2008年8月迅速跌至 $0.64 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,然后又逐渐上升,2009年9月到达最高值 $0.875 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$;

SO_4^{2-} 含量与 Cl^- 一样在2008年3月突然升高,并达到极值,然后表现出与 Cl^- 相反的变化趋势;总体下降的态势; Na^+ 含量的变化与 Cl^- 的变化趋势较为相似。 HCO_3^- 含量总体呈下降变化;其他离子以上升变化为主,但幅度不是太大[图3(d)依干不及麻断面]。

3.3 下段

考干断面远离输水源地大西海子水库,与塔里

木河断流前的尾间湖、台特玛湖最近,其地下水的变化与前面几个断面都不同。距离河道 150 m 处 I2 监测井 2007 年 3 月地下水埋深为 9.8 m,2007 年 5 月~2008 年 3 月分别为 10.4、10.8、10.6 m,2008 年 8 月的埋深为 8.58 m,从 2008 年 3~8 月地下水埋深减小了 2 m。地下水埋深在输水间歇呈减少变化,在前面几个断面极为少见,这说明 2006 年的输水对考干断面距离河道 150 m 处的影响开始于 2008 年 8 月持续至 2009 年 9 月。随着地下水埋深的减小,地下水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 这 3 种离子含量都呈增加变化,但这种增加变化是从 2009 年 3 月而不是 2008 年 8 月开始的; HCO_3^- 含量则呈下降变化; 其它离子变化微弱(图 4)。

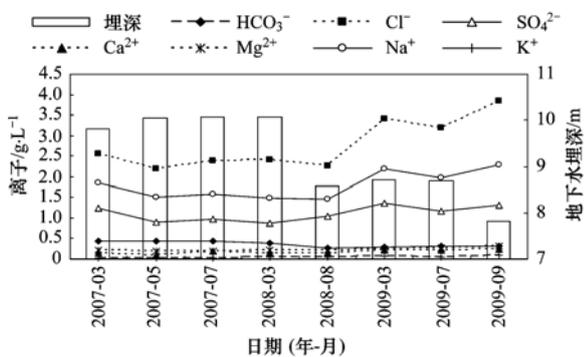


图 4 塔里木河下游考干断面地下水埋深及主要离子含量在输水间歇的变化

Fig. 4 Variations in groundwater depth and the major ions at Kaogan section of lower Tarim River at the interval of water transferring

由于远离大西海子水库接近台特玛湖,考干断面在输水停止 1 a 多才由输水带来的地下水埋深的变化,埋深从 2008 年 3 月前的 10 m 多减小至 2009 年 9 月的不足 8 m,水位上升 2 m 多。由于考干断面处于塔里木河的尾间端,是整个下游段的盐分排泄区,所以,地下水中主要离子如 Cl^- 、 Na^+ 等都有较大幅度的上升。与前面几个断面不同的是,考干断面 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 的最低含量都在 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等微量离子的含量也都大于前面断面 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 的含量,其作为流域盐库的作用十分明显。

3.4 距离河道远处

英苏断面距离输水河道最远处的 C8 监测井地下水埋深在 2006 年 10 月为 7.6 m,12 月变成 6.16 m,2007 年 3 月的地下水埋深是 5.98 m,2009 年 5 月的埋深是 5.95 m,2008 年 7 月开始埋深超过 6 m 并持续增加。C8 井地下水中 Cl^- 含量 2007 年 3 月是 $7.039 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,2007 年 5 月稍有下降,2007 年 7 月增

加到 $7.307 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,在经过 2008 年 3 月和 8 月的升降变化后,2008 年 9 月达到 $7.544 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的峰值,最后保持在 $7.42 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水平; Na^+ 含量从 2007 年 3 月的 $4.969 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 到 2009 年 9 月的 $5.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,虽然期间有小幅升降,但总体没有发生大的变化; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 HCO_3^- 的含量几乎没有发生变化; SO_4^{2-} 含量则是经历了下降-上升-下降-上升的变化过程,是各种离子中变化幅度最大的,最高值 $6.271 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,最低值 $4.525 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,变化幅度超过 38% [图 5(a)英苏断面]。

喀尔达伊断面距离河道 850 m 处 E5 监测井地下水埋深在 2006 年 11 月为 11.16 m,此后埋深逐渐变小,2007 年 3 月是 9.85 m,到 2009 年 3 月埋深为 8.2 m,此后埋深逐渐增加。与地下水埋深的大幅度变化相比,地下水中 Cl^- 、 Na^+ 基本没有发生变化; SO_4^{2-} 含量则呈现下降变化; 其它离子含量没有发生明显变化 [图 5(b)喀尔达伊断面]。

阿拉干断面距离河道 800 m 的 G4 监测井地下水埋深 2008 年 3 月为 9.04 m,8 月变成 7.48 m,水位抬升了 1.56 m,此后埋深继续增加。2008 年 3 月及以前尚未受到输水的影响,此后属于受输水影响及其减退期。 Cl^- 含量在受输水影响前以上升变化为主,但 2008 年 3 月的含量为 $0.258 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,比 2007 年 7 月的 $0.307 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降了 20%。从 2008 年 8 月开始, Cl^- 含量呈现较大幅度的上升。 SO_4^{2-} 含量在输水影响前后变化更为明显,受输水影响前以上升为主,输水影响后则一路下降; Na^+ 含量在输水影响前高于影响后; HCO_3^- 含量则是从 2007~2009 年都呈下降变化; Ca^{2+} 含量在输水影响后呈增加变化; 其它离子含量变化微弱 [图 5(c)阿拉干断面]。

考干断面距离河道 250 m 的 I3 监测井 2007 年 3 月地下水埋深是 11.03 m 减小至 2008 年 3 月的 11.84 m,地下水埋深呈增加变化,2008 年 8 月埋深变成 7.44 m,水位抬升了 4.4 m。地下水中 Cl^- 、 Na^+ 含量在水位发生迅速抬升的 2008 年 8 月都表现为下降变化,然后又呈增加变化; SO_4^{2-} 含量则是在 2009 年 3 月有一个下降变化,然后又有所增加; 矿化度的变化则是在 2008 年 8 月发生一次下降变化后一路呈上升变化 [图 5(d)考干断面]。

4 分析与讨论

断流河道输水条件下地下水位、水质变化研究受到广泛关注^[11~19],输水间歇地下水埋深变化地下水化学特征变化的研究却少有报道,而输水对塔里

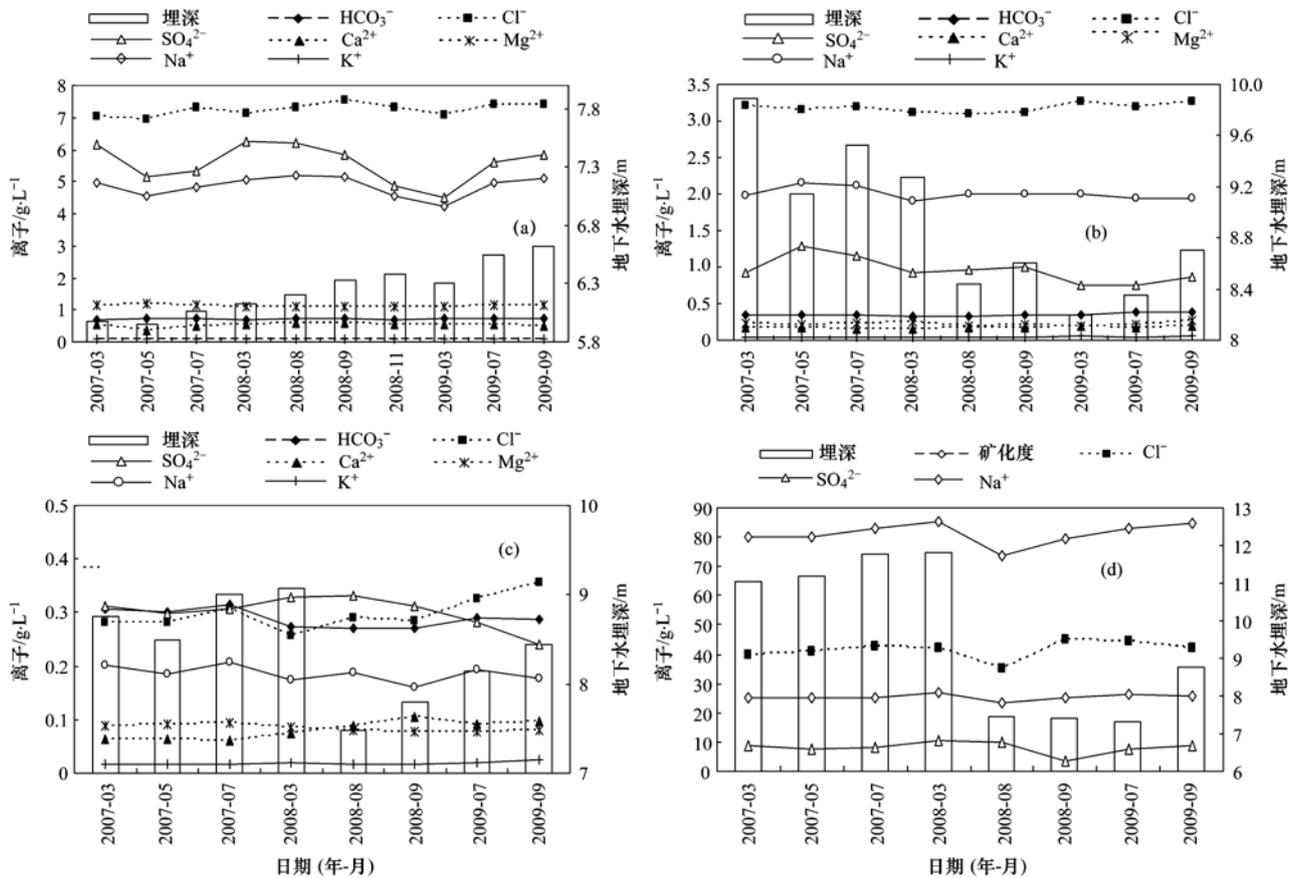


图5 塔里木河下游远离河道处地下水埋深及主要离子含量在输水间歇的变化

Fig. 5 Variations in groundwater depth and the major ions far away from the river at the lower Tarim River at the interval of water transferring

木下游退化生态系统的影响主要表现在输水间歇,所以该研究意义重大.2007年3月,塔里木河下游上段地下水埋深在2.90~4.97 m之间,2009年9月埋深在5.44~7.28 m之间,平均埋深从4.197 m变成6.206 m,平均埋深增加2.009 m.表1是塔里木河下游上段地下水埋深与地下水化学组分之间Spearman非参数相关分析的结果,可以看出,随着

地下水埋深的增加,地下水化学组分除 HCO_3^- 外都呈增加变化.下游上段在第8次输水停止后,地下水埋深多在3~4 m之间,植被覆盖度也较高,较浅的埋深为蒸发损耗带来了便利,较高的植被覆盖度也使得植物蒸腾耗水量较大,二者的叠加作用使得地下水埋深下降幅度大于中段监测断面.地下水的蒸发使水中的盐分得到浓缩,一些拒盐植物吸收

表1 塔里木河下游上段地下水埋深与地下水化学组分非参数相关分析¹⁾

Table 1 Spearman's correlations between the depths of groundwater and chemical properties in groundwater at the upper section of lower Tarim River

	TDS	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
HCO_3^-	0.449 **							
Cl^-	0.892 **	0.306 **						
SO_4^{2-}	0.923 **	0.377 **	0.764 **					
Ca^{2+}	0.789 **	0.347 **	0.622 **	0.777 **				
Mg^{2+}	0.888 **	0.302 **	0.871 **	0.795 **	0.701 **			
Na^+	0.880 **	0.433 **	0.852 **	0.851 **	0.518 **	0.697 **		
K^+	0.598 **	0.376 **	0.523 **	0.509 **	0.657 **	0.540 **	0.395 **	
埋深	0.315 **	-0.034	0.439 **	0.245 *	0.183	0.480 **	0.217 *	0.362 **

1) *为 $P < 0.05$, **为 $P < 0.01$,下同

水分过程中把盐分阻挡在外,也提高了水中盐分的含量,因此,随着地下水埋深的增加,地下水中化学组分以增加为主。

下游中段输水刚停止后的 2007 年 3 月地下水埋深在 3.81 ~ 6.16 m 之间,2009 年 9 月埋深在 5.74 ~ 7.4 m 之间,平均埋深从 4.894 m 增加到 6.571 m,平均增加了 1.677 m。下游中段地下水埋深与地下水中各主要组分相关性分析表明,随着埋深的增加,盐分含量呈下降变化的趋势,这是由于地下水埋深较大,蒸发损耗相对较小。该段植被覆盖度

相比上段也较低,植物蒸腾耗水量也较小,所以地下水水位下降幅度小于上段。塔里木下游生态输水停止并不意味着地下水的静止,距离水源地较近的断面,由于获得了相对充裕的水分补充而水位抬升较大,输水停止后,这些水分在水势梯度的作用下会向距离水源地较远的断面运动。塔里木河下游中段处在上段与下段之间,是水分运动的必经之地,水分运动带动盐分的运动,在盐随水去规律的作用下,地下水中各主要离子含量随埋深的增加而向相反方向变化。

表 2 塔里木河下游中段地下水埋深与地下水化学组分非参数相关分析

Table 2 Kendall's correlations between the depths of groundwater and chemical properties in groundwater at the middle section of lower Tarim River

	TDS	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
HCO ₃ ⁻	0.098							
Cl ⁻	0.723 **	-0.093						
SO ₄ ²⁻	0.761 **	-0.001	0.627 **					
Ca ²⁺	0.176 *	-0.221 **	0.208 **	0.290 **				
Mg ²⁺	0.607 **	-0.067	0.558 **	0.609 **	0.259 **			
Na ⁺	0.753 **	0.187 **	0.626 **	0.570 **	-0.042	0.401 **		
K ⁺	0.447 **	0.001	0.464 **	0.290 **	-0.073	0.422 **	0.444 **	
埋深	-0.112	-0.142 *	-0.061	-0.150 *	0.149 *	0.008	-0.222 **	-0.065

下游下段和各断面中距离河道远处(700 ~ 1100 m)地下水埋深则从平均 8.183 m 变成 7.768 m,埋深减小了 0.415 m,即水位抬升了 0.4 m,这是输水间歇特有的现象。由于塔里木河下游地势平缓,空间距离较长,从大西海子水库到尾间台特玛湖长 321 km,所以一次输水停止后,河道水渗入地下后会缓慢向尾间方向运动,其结果是距离水源地较远的断面地下水出现不降反升现象。同样道理,在各断面距离河道远处的监测井地下

水埋深也往往是输水停止后一段时间才受到输水的影响。当然,英苏断面虽然距离水源地较近,该断面有几口监测井在距离河道 700 ~ 1200 m 之间,但输水期间地下水埋深就有较明显的变化,输水停止后埋深以下降为主。由于地下水盐运移规律是盐随水来,盐随水去,处于下游末端的断面海拔相对最低,是地下水运动的方向所在,也是盐分的集聚地,因此,地下水埋深变化与各化学组分含量呈负相关(表 3)。

表 3 塔里木河下游下段与距河道远处地下水埋深与地下水化学组分非参数相关分析

Table 3 Kendall's correlations between the depths of groundwater and chemical properties in groundwater at the lower section of lower Tarim River

	TDS	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
HCO ₃ ⁻	-0.071							
Cl ⁻	0.828 **	-0.019						
SO ₄ ²⁻	0.744 **	-0.094	0.628 **					
Ca ²⁺	0.825 **	-0.065	0.795 **	0.699 **				
Mg ²⁺	0.709 **	-0.034	0.725 **	0.630 **	0.616 **			
Na ⁺	0.877 **	-0.105	0.830 **	0.783 **	0.768 **	0.676 **		
K ⁺	0.703 **	-0.120	0.722 **	0.595 **	0.683 **	0.669 **	0.670 **	
DEP	-0.202	-0.342 **	-0.236 *	-0.207	-0.216 *	-0.245 *	-0.247 *	-0.176

沿河淡化带是干旱内陆河流域所特有的现象,沿河淡化带地下水和土壤中盐分含量相对较低,水分相对充足,可以满足荒漠河岸林植被的生长。塔里木河下游的生态输水就是希望通过河道将水分补给

给干涸的土壤,通过提高地下水位,为植物生存繁衍提供必要的环境条件。淡化带的宽窄与河道水流量有密切关系,在人工输水条件下,由于河道径流较小,所以其影响下的淡化带多窄于自然河道形成的

宽度.从塔里木河下游不同断面距离河道远近的地下水中主要离子含量,可以看出淡化带的不同:在英苏断面大约距离河道 750 m 处,喀尔达伊断面大约距离河道 850 m,阿拉干断面大约距离河道 800 m,在考干断面则急剧萎缩至距离河道 250 m 左右的地方.沿河淡化带的宽窄直接影响塔里木河下游植被分布的空间格局,进而影响塔里木河下游生态系统的稳定性,要维持较宽的淡化带则需要增加生态输水的规模和持续时间.盐分是影响干旱内陆区植被生理生态一个重要环境因子,盐分含量过高多数植物物种无法生存,导致荒漠化扩大,如塔里木河下游的考干断面以及英苏断面距离输水河道 750 m、1 050 m 处的 C7、C8 监测井地下水矿化度在 20 ~ 90 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,作为塔里木河下游耐盐性极强的怪柳也几乎无法生存.所以,为了降低地下水中过高的盐分,就需要通过增加下游河道来水量,使盐分向河流的更末端和距离河道更远处运移.

与盐分含量变化相比,地下水埋深变化在输水间歇变化更大,而塔里木河下游当前环境下地下水埋深的变化对植被的影响超过盐分因素.第 8 次输水停止后的 2 a 多时间里,下游上段地下水平均埋深从 4 m 增加到 6 m 多,这对成年胡杨和怪柳够不成胁迫,但已经不能满足胡杨和怪柳幼苗以及大多数草本植物生存的需要.野外植物样地调查发现,大量草本植物死亡,很多怪柳植株枯死;下游中段地下水平均埋深从 4.894 m 增加到 6.571 m,虽然下降幅度没有上段大,但变化后的平均埋深比上段多 0.5 m,使得该地段几乎没有几个物种可以幸存,仅有的怪柳胡杨覆盖度也不断下降;下游下段和距离河道远处的情形比中段更劣.

由此可见,虽然塔里木河从 2000 年开始的生态输水对提高地下水位,促进植被恢复起到了非常显著的作用,但 7 a 的人工输水仍无法使下游脆弱的环境得到根本好转,该区域生态系统尚无法自维持,一旦输水停止,生态系统会重新跌入退化状态.

5 结论

(1)根据塔里木河下游输水间歇地下水埋深和水化学特征的变化特点,将下游监测断面划分为上中下 3 段,以及距离河道远近 4 部分.上段由于距离大西海子水库较近,受输水影响早,输水结束后,地下水埋深和主要离子反应也较迅速.地下水埋深在输水停止后呈增加变化,主要离子含量则以增加变化为主;中段,地下水埋深呈增加变化,主要离子含

量以下降为主;下段,在 2008 年 8 月开始受到输水的影响,地下水埋深呈减小变化,地下水中主要离子呈增加变化.

(2)距离河道远处地下水埋深与所处断面距离河道远近有关,英苏断面距离大西海子水库较近,地下水埋深在输水间歇呈小幅度增加变化,地下水中化学组分变化微弱;喀尔达伊断面远离河道处地下水埋深先是呈减小变化,到 2008 年 9 月后呈增加变化,说明输水的影响对远离河道地方的迟滞性,地下水中化学组分以下降变化为主;阿拉干断面距离河道 800 m 处 2008 年 8 月埋深发生大幅度减小变化,随后逐步增加.地下水中化学组分变化复杂, Cl^{-} 含量在受输水影响前以上升变化为主,但 2008 年 3 月的含量为 0.258 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,比 2007 年 7 月的 0.307 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 下降了 20%.从 2008 年 8 月开始, Cl^{-} 含量呈现较大幅度的上升. SO_4^{2-} 含量在输水影响前后变化更为明显,受输水影响前以上升为主,输水影响后则一路下降; Na^{+} 含量在输水影响前高于影响后; HCO_3^{-} 含量则是从 2007 ~ 2009 年都呈下降变化; Ca^{2+} 含量在输水影响后呈增加变化;其它离子含量变化微弱.考干断面距离河道 250 m 处地下水埋深先是呈增加变化,直到 2008 年 8 月才受到输水的影响埋深大幅度减小,然后呈逐渐增加变化.地下水中主要离子含量呈明显增加变化.

参考文献:

- [1] 陈亚宁,陈亚鹏,李卫红,等.塔里木河下游胡杨脯氨酸累积对地下水位变化的响应[J].科学通报,2003,48(9):958-961.
- [2] 温小虎,仵彦卿,常娟,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.
- [3] 陈利顶,李俊然,郭旭东,等.蓟运河流域地表水质时空变化特征分析[J].环境科学,2000,21(6):61-64.
- [4] 张胜利.秦岭火地塘森林水质的季节性变化特征[J].环境科学,2008,29(2):316-321.
- [5] Han S Y, Kwak S J, Yoo S H. Valuing environmental impacts of large dam construction in Korea: an application of choice experiments [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2008, 28(4-5): 256-266.
- [6] Bombino G, Tamburino V, Zimbone S M. Assessment of the effects of check-dams on riparian vegetation in the mediterranean environment: a methodological approach and example application [J]. Ecological Engineering, 2006, 27(2): 134-144.
- [7] Mumba M, Thompson J R. Hydrological and ecological impacts of dams on the Kafue Flats floodplain system, southern Zambia [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005, 30(6-7): 442-447.

- [8] 王锦旗, 郑有飞, 王国祥. 菹草种群对湖泊水质空间分布的影响 [J]. 环境科学, 2011, **32**(2): 416-422.
- [9] 张大伟, 李扬帆, 孙翔, 等. 入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析 [J]. 环境科学, 2010, **31**(8): 1775-1783.
- [10] 李婉, 张娜, 吴芳芳. 北京转河河岸带生态修复对河流水质的影响 [J]. 环境科学, 2011, **32**(1): 80-87.
- [11] 张宏锋, 李卫红, 葛洪涛, 等. 塔里木河下游地下水水位与水化学成分关联度排序分析 [J]. 干旱区地理, 2003, **26**(3): 260-263.
- [12] Chen Y J, Chen Y N, Liu J Z, *et al.* Dynamical variations in groundwater chemistry influenced by intermittent water delivery at the lower reaches of the Tarim River [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2005, **15**(1): 13-19.
- [13] Chen Y J, Zhou K F, Chen Y N, *et al.* Response of groundwater chemistry to water deliveries in the lower reaches of Tarim River, Northwest China [J]. *Environmental Geology*, 2008, **53**(6): 1365-1373.
- [14] Chen Y J, Chen Y N, Liu J J, *et al.* Influence of intermittent water releases on groundwater chemistry at the lower reaches of the Tarim River, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **158**(1-4): 251-264.
- [15] 陈永金, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游地下水化学特征对输水响应的阶段性研究 [J]. 环境科学, 2006, **27**(7): 1299-1304.
- [16] 陈永金, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游间歇性输水对土壤水化学的影响 [J]. 地理学报, 2007, **62**(9): 970-980.
- [17] 徐海量, 叶茂, 李吉玫. 塔里木河下游输水后地下水动态变化及天然植被的生态响应 [J]. 自然科学进展, 2007, **17**(4): 460-470.
- [18] 叶朝霞, 陈亚宁, 李卫红. 基于生态水文过程的塔里木河下游植被生态需水量研究 [J]. 地理学报, 2007, **62**(5): 451-461.
- [19] 陈亚宁, 张小雷, 祝向民, 等. 新疆塔里木河下游断流河道输水的生态效应分析 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, **34**(5): 475-482.
- [20] 海米提·依米提, 杨川德. 塔里木河水资源利用所产生的水文效应分析 [A]. 见: 毛德华. 塔里木河流域水资源、环境与管理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 84-91.
- [21] 刘培君, 朱峰. 塔里木河两岸的自然地理条件 [A]. 见: 塔里木河两岸资源与环境遥感研究 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1990. 13-16.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊