



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.05.020

魏兴, 贾瑞亮, 周金龙, 等. 新疆玛纳斯河流域典型剖面地下水位动态分析[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(5): 127-133. WEI Xing, JIA Rui liang, ZHOU Jir long, et al. Analysis of groundwater level dynamics along typical profile of the Manas River Basin, Xinjiang[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(5): 127-133. (in Chinese)

新疆玛纳斯河流域典型剖面地下水位动态分析

魏兴^{1,2}, 贾瑞亮^{1,2}, 周金龙^{1,2}, 王新中³

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆水文水资源工程技术研究中心, 乌鲁木齐 830052; 3. 新疆昌吉回族自治州地质环境监测站, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 新疆玛纳斯河流域是水资源开发力度较大、经济发展水平较高的地区。对玛纳斯河流域13眼监测井组成典型剖面的2010年-2014年监测数据进行趋势性分析得出, 整个监测剖面地下水位呈持续下降趋势, 上部冲洪积平原单一潜水区地下水位下降速率为0.65~0.83 m/a(平均0.74 m/a); 中部潜水溢出带地下水位下降速率为1.12 m/a; 冲积细土平原区上部、下部地下水位下降速率分别为0.59~3.07 m/a(平均1.77 m/a)和0.35~3.98 m/a(平均2.41 m/a); 地下水位年下降速率由上游至下游呈增大趋势。在年内变化上, 冲洪积平原单一潜水区埋深变化为“降-升-降”; 潜水溢出带及以北区域为“升-降-升”。地下水动态类型除上部冲洪积平原单一潜水区为入渗-径流型外, 潜水溢出带至冲积细土平原区均为开采型。区域地下水位持续下降使现状地下水埋深(5.89~67.46 m)远大于6.0 m荒漠化临界埋深, 生态环境面临恶化。通过对石河子市、玛纳斯县水资源利用分析得出, 地下水位持续下降的因素是地下水超采、区域水资源高效利用使地下水补给量减小双重作用下形成的。提出必须科学规划用水, 缩减灌溉面积和地下水开采量, 开展生态补偿机制, 使流域经济社会可持续发展。

关键词: 玛纳斯河流域; 地下水位动态; 地下水位持续下降; 地下水超采

中图分类号: P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)05-0127-07

Analysis of groundwater level dynamics along typical profile of the Manas River Basin, Xinjiang

WEI Xing^{1,2}, JIA Rui liang^{1,2}, ZHOU Jir long^{1,2}, WANG Xir zhong³

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Hydrology and Water Resources Engineering Research Center, Urumqi 830052, China;

3. Geological Environmental Monitoring Station of Changji Hui Autonomous Prefecture in Xinjiang, Changji 831100, China)

Abstract: Manas River Basin of Xinjiang is a region with a high exploitation level of water resources and a high level of economic development. Based on the trend analysis of the monitoring data of a typical profile constituted by 13 monitoring wells from 2010 to 2014 in Manas River Basin, we found that the groundwater level of the entire profile showed continual declination. The decreasing rate of groundwater level in the single unconfined groundwater area of the upper alluvial plain was 0.65~0.83 m/a (averaging 0.74 m/a); the decreasing rate of groundwater level in the middle overflow zone was 1.12 m/a; the decreasing rates of groundwater level in the upper part and lower part of the alluvial fine soil plain area were 0.59~3.07 m/a (averaging 1.77 m/a) and 0.35~3.98 m/a respectively (averaging 2.41 m/a). The annual decreasing rate of groundwater level tended to increase from upstream to downstream. In terms of the annual variance of groundwater level, the change of groundwater depth in the alluvial plain was down up down; the change in the overflow zone and its northern area was up down up. The groundwater dy-

收稿日期: 2016-08-15 修回日期: 2017-05-19 网络出版时间: 2017-08-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170829.1920.007.html>

基金项目: 国家自然科学基金新疆联合基金重点支持项目“干旱内陆盆地地下水流系统模式与地下水补给排泄研究”(U14032)

Fund: NSFC-Xinjiang project "Study on groundwater flow system and groundwater recharge and discharge in arid inland basins (U14032)"

作者简介: 魏兴(1993), 男, 安徽阜阳县人, 主要从事干旱区地下水资源评价。E-mail: 1035027480@qq.com

通讯作者: 贾瑞亮(1988), 男, 山西绛县人, 讲师, 博士, 硕士生导师, 主要从事地下水数值模拟和灌区土壤水-盐运移监测与模拟研究。

E-mail: jiarui liang8595@163.com

dynamic type in the single unconfined groundwater area of the upper alluvial plain was infiltration runoff type, while in the overflow zone and the alluvial fine soil plain area was exploitation type. Because the regional groundwater level continued to decline, the present groundwater depth (5.89 67.46 m) was much larger than the critical depth of desertification (6.0 m). The ecological environment was deteriorating. Based on the analysis of water resources utilization in Shihezi City and Manas County, the continual declination of groundwater level was caused by both groundwater overexploitation and effective utilization of regional water resources which reduced the groundwater recharge. Finally, we proposed that water resources utilization must be scientifically planned and the area of irrigation and groundwater exploitation quantity must be reduced, while the mechanism of ecological compensation must be carried out, so as to ensure sustainable economic and social development in the basin.

Key words: Manas River Basin; groundwater level dynamics; continual declination of groundwater level; groundwater overexploitation

玛纳斯河流域地处新疆维吾尔自治区(以下简称“新疆”)天山北坡经济开发区核心地带,已成为国家重要的粮棉生产基地、工业加工基地和能源基地,是新疆经济发展水平较高的地区^[1-2]。玛纳斯河流域面积 1.98 万 km²,灌溉面积 27.33 万 hm²(410 万亩),包括石河子市、昌吉州玛纳斯县、塔城地区沙湾县、兵团第八师石河子垦区、第六师新湖总场以及克拉玛依市小拐乡。其水资源在生活、生产和生态供水发挥着不可替代的作用。在水资源供需矛盾日益突出的情况下,流域水资源朝着高效利用方向发展,主要表现在渠道防渗、农田节水灌溉面积大规模增大,水资源开发利用趋于极限,特别是地下水超采利用,直接影响着流域地下水补、排环境^[3-6]。地下水动态变化是一个复杂的水文过程,尤其是在干旱区,受人类活动和自然条件的共同影响极为显著^[7-8]。随着人口增长、灌溉面积扩大和经济发展^[9],该流域灌区农业生产和生态安全与水资源可持续利用和经济社会可持续发展存在水资源危机^[10]。本文对玛纳斯河流域典型剖面地下水位动态进行分析,揭示该区域地下水位的变化趋势及影响因素,为该区域地下水资源的合理开发利用与生态环境的保护提供参考依据。

1 研究区概况

玛纳斯河流域位于新疆天山北坡中部、准噶尔盆地南缘,属于典型的大陆性气候,夏季炎热冬季寒冷,年均气温 6.8℃,平原区年均降水量 110~200 mm。流域水系较发育,由东到西分别为塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河、大南沟、小南沟河和巴音沟河等河流。流域地势南高北低,南部为山区,中部为广阔的冲洪积平原,北部为古尔班通古特沙漠^[11-12]。玛纳斯河流域各河流出口后,在山前形成较平缓的冲洪积扇,扇区为潜水分布区,岩性以粗颗粒的卵、砾、砂石为主,富水性和透水性较好^[13-14]。冲洪

积扇以北是一条狭长的潜水溢出带,东西长约 70 km,南北宽 3~5 km,面积约 300 km²,潜水溢出带建有一定数量的大中型水库;潜水溢出带以北是广阔平坦的冲积细土平原。经过多年开发建设,玛纳斯流域灌区渠系网络密布,形成灌渠灌溉、地下水灌溉的农业体系,是新疆水资源利用率较高的农业灌区之一^[15]。目前流域地表水利用率为 96.2%^[16],农业开发改变了流域水资源自然分配格局,玛纳斯河作为准噶尔盆地水量最大、流程曾经最长(400 余 km)的内陆河流,现自然河道仅见于山区,河水在出山口被人工渠网所代替,天然河道不复存在,早在 20 世纪 60 年代后河流尾间玛纳斯湖已干枯^[17]。

玛纳斯河流域具有干旱半干旱地区山前冲洪积平原一般的水文地质规律。地下水补给主要由河道、渠系、平原水库渗漏及田间灌溉入渗等组成;地下水径流从南向北由强变弱,本次监测区上游至下游距离 68.3 km,多年平均地下水位由上游 424.97 m 递减至下游 315.17 m,地下水平均水力坡度约为 1.61‰,冲洪积细土平原地下水主要来自上游地下水的侧向补给;流域地下水排泄主要以人工开采为主,其次是地下水侧向排泄于北部沙漠。

2 地下水位监测剖面布设

本次 13 眼地下水位监测井主要布设于玛纳斯河流域冲洪积平原区(图 1)。由图可见,监测井分别布设于流域冲洪积平原上游单一潜水区(监测井 G1、G2),中部潜水溢出带(监测井 G3)以及流域下游冲积细土平原区(监测井 G4~G13 监测井)。监测井沿着水文地质条件变化最大的剖面方向布置,能较全面监测区域地下水位的动态特征。

3 地下水位动态变化特征

3.1 地下水位年际变化特征

地下水位动态变化是反映含水层中地下水资源

土平原区上、下部地下水位下降速率分别为 0.59~3.07 m/a(平均 1.77 m/a)和 0.35~3.98 m/a(平均 2.41 m/a);监测剖面地下水年下降速率上游至下游呈增大趋势,上游潜水区平均下降速率为 0.74 m/a,至冲积细土平原区下部增大到 2.41 m/a,下游地下水位年平均下降速率是上游潜水区的 3.25 倍,是中部潜水溢出带的 2.15 倍。参照《地下水超采区评价导则》(SL 286-2003)对地下水位动态评价,孔隙水水位年均下降速率大于 1.0 m/a 时,可划为严重超采区,小于 1.0 m/a 为一般超采区。监测区冲洪积平原上游单一潜水区为一般超采区;中部潜水溢出带、冲积细土平原区主要为严重超采区。

表 1 监测期地下水位年下降速率
Tab. 1 Annual decreasing rate of groundwater level in the monitoring period

监测井号	水文地质单元	年下降速率 /(m·a ⁻¹)	年平均下降速率 /(m·a ⁻¹)	地下水位变化 状态评价
G1	冲洪积平原单一潜水区	- 0.83	- 0.74	一般超采区
G2	冲洪积平原单一潜水区	- 0.65		一般超采区
G3	中部潜水溢出带	- 1.12	- 1.12	严重超采区
G4	冲积细土平原区上部	- 0.69	- 1.77	一般超采区
G5	冲积细土平原区上部	- 2.73		严重超采区
G6	冲积细土平原区上部	- 0.59		一般超采区
G13	冲积细土平原区上部	- 3.07		严重超采区
G7	冲积细土平原区下部	- 3.98	- 2.41	严重超采区
G8	冲积细土平原区下部	- 3.58		严重超采区
G9	冲积细土平原区下部	- 2.00		严重超采区
G10	冲积细土平原区下部	- 1.70		严重超采区
G11	冲积细土平原区下部	- 2.87		严重超采区
G12	冲积细土平原区下部	- 0.35		一般超采区

监测井地下水埋深以及水位变化见表 2。监测区冲洪积平原单一潜水区年平均埋深范围为 29.10~50.09 m;潜水溢出带承压水位年平均埋深为 5.62 m;冲积细土平原区承压水年平均埋深范围为 8.96~38.07 m;开采型区域地下水埋深在灌溉期会进一步增大,降水、渠系水及田间灌溉水等入渗难以与开采达到采补平衡。干旱区天然植被主要靠地下水存活,樊自立等人将地下水埋深大于 6.0 m 定义为荒漠化地下水埋深^[9],地下水位下降造成土壤含水率降低,天然植被根系利用地下水困难,植物生命活动受到限制,面临退化衰败或死亡,天然植被生态环境趋于恶化之中。

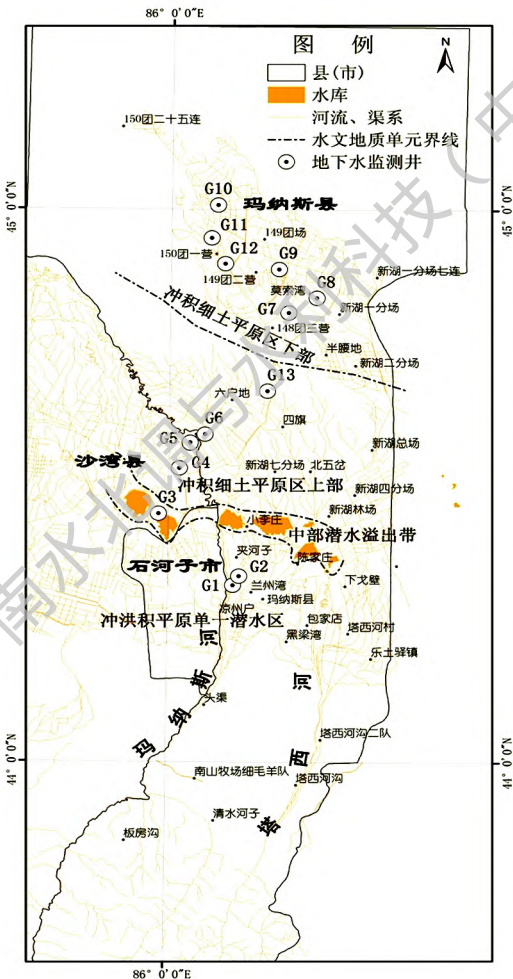


图 1 地下水监测井分布

Fig. 1 Distribution of groundwater monitoring wells

量变化的一个指征,地下水位的上升或下降,直接反映了地下水补给与消耗量的变化^[8]。本次地下水监测持续时间为 60 个月(2010 年 1 月-2014 年 12 月),以流域地下水位逐月实际观测序列作为离散随机序列,即:

$$x(t) = f(t) + \eta(t) + p(t) + \varepsilon(t) \quad (1)$$

式中: $x(t)$ 为实际观测序列; $f(t)$ 为长期变化趋势项; $\eta(t)$ 为平稳时间序列项; $p(t)$ 为周期变化项; $\varepsilon(t)$ 为随机变化项,也称“噪声”; t 为时间(月)。在这里主要关注是长期变化趋势项 $f(t)$ 。利用一元线性回归方程拟合得到长期变化趋势项直线方程 $f(t) = at + b$,式中直线方程斜率系数 a 可作为解释实际观测序列变化趋势的速率,斜率 a 系数的正负号则分别对应上升和下降趋势的月变化速率,年变化速率 = 月变化速率 × 12。

通过线性趋势分析,所有监测井地下水位呈现持续下降趋势,不同水文地质单元差异明显(见表 1)。上部冲洪积平原单一潜水区地下水位下降速率为 0.65~0.83 m/a(平均 0.74 m/a);中部潜水溢出带地下水位下降速率为 1.12 m/a;冲积细

表 2 监测井地下水位变化统计

Tab. 2 Statistics of groundwater level changes at monitoring wells

监测井号	位置	2010年-2014年埋深范围 /m	2010年-2014年水位范围 /m	2010年-2014年多年平均埋深 /m	2010年-2014年多年平均水位 /m	2010年-2014年水位变幅 /m	地下水动态类型
G1	玛纳斯发电厂	46.99~ 54.32	419.91~ 427.24	50.09	424.14	1.33~ 4.03	渗入-径流型
G2	玛纳斯县兰州湾乡二道树窝子	25.92~ 32.00	422.07~ 428.15	29.10	424.97	1.95~ 4.30	渗入-径流型
G3	石河子市大泉沟设计院	- 0.40~ 20.20	367.80~ 388.40	5.62	382.38	7.10~ 18.43	开采型
G4	石总场六分场五连	5.89~ 13.14	360.86~ 368.11	8.96	365.04	1.30~ 4.63	开采型
G5	石莫路与呼克路交叉路口	6.54~ 40.66	329.84~ 363.96	17.92	352.58	8.26~ 32.44	开采型
G6	147团七连	8.19~ 23.62	348.38~ 363.81	12.98	359.02	1.19~ 14.72	开采型
G13	玛纳斯县六户地梁干村	10.65~ 44.62	326.88~ 360.85	29.54	341.96	11.26~ 19.35	开采型
G7	148团砖厂	22.34~ 66.04	294.96~ 338.66	37.70	323.30	10.26~ 34.12	开采型
G8	148团团部	25.58~ 55.40	301.60~ 331.42	38.07	318.93	12.47~ 23.80	开采型
G9	149团九连	21.09~ 38.92	316.58~ 334.41	29.81	325.69	9.37~ 14.57	开采型
G10	150团团部	- 14.32~ 36.82	308.48~ 359.62	16.79	328.51	6.58~ 51.14	开采型
G11	150团四连	14.79~ 67.46	278.54~ 331.21	30.83	315.17	21.80~ 48.21	开采型
G12	150团一连	17.94~ 49.82	301.68~ 333.56	29.98	321.52	20.70~ 31.88	开采型

3.2 地下水位年内动态特征

典型监测井动态曲线(图 2)表明冲洪积平原单一潜水区监测井 G1、G2 年内埋深变化为“降-升-降”形式,高水位期一般在 3 月前和 9 月,低水位期一般出现在 6 月-8 月,区内地下水年内变幅为 1.33~ 4.30 m,年平均变幅为 2.85~ 2.88 m。流域机井主要分布在潜水溢出带及以北区域,受灌溉开采影响,年内地下水埋深(监测井 G3- G13)变化均表现为“升-降-升”形式,高水位期一般出现在 3 月-4 月,低水位期一般在 8 月前后。地下水埋深年内平均变幅为 2.80~ 34.34 m。显然流域潜水溢出带及以北冲洪积细土区域地下水年变幅远高于单一潜水区,除地下水含水层岩性差异外,另一重要因素就是农业灌溉期高强度的开采地下水,使流域中下游表现为开采型地下水动态特征。

同一水文地质单元监测井具有相同的动态特征。冲洪积平原上游单一潜水区监测井 G1 地下水上升期为 7 月-8 月,之后为下降期,年内低水位期在 6 月-7 月,年内水位上升期短,说明地下水在丰水期获得了补给,但补给有限,地下水动态类型为渗入-径流型。潜水溢出带及以北区域为农业灌区,为开采型动态,一般在春季 3 月-4 月为高水位期。灌溉期机井大量开采导致地下水位下降,低水位期 8 月前后。灌溉期末作物需水量减少,机井抽水减小或停抽后,地下水位迅速回升,一般在 10 月后开始缓慢回升至下一年的高点。潜水溢出带监测井 G3 年内地下水变幅为 7.10~ 18.43 m,冲积细土平

原区上部监测井 G5 与下部监测井 G11 地下水位年内变幅分别为 8.26~ 32.44 m 和 21.80~ 48.21 m,地下水位年内变幅上游至下游由小到大。

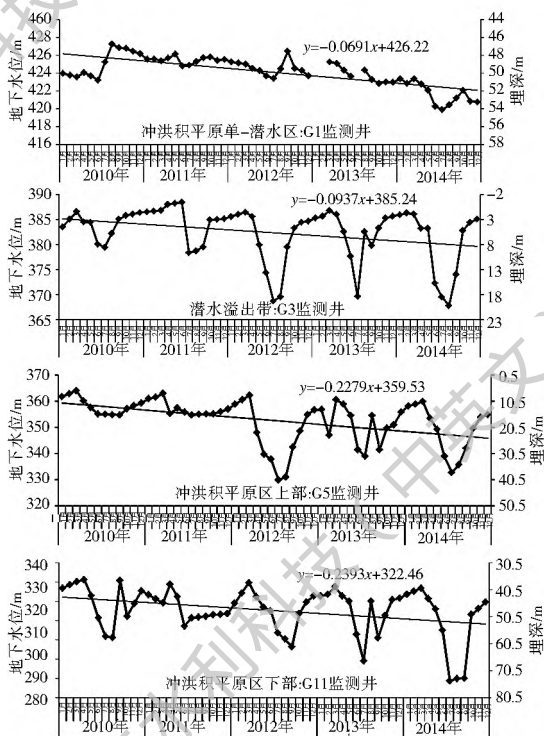


图 2 不同水文地质单元典型监测井地下水位动态曲线及趋势变化

Fig. 2 Dynamic curve and trend change of groundwater level at typical monitoring wells in different hydrogeological units

4 流域地下水位动态成因分析

监测区地下水位呈持续下降状态,是现状监测

区地下水补给量小于排泄量的结果。玛纳斯河流域是新疆水、土资源利用率最高的地区之一。根据《石河子市用水总量控制方案》(新疆兵团勘测设计院研究院(集团)有限责任公司, 2015年), 2009年-2013年石河子市年总用水量为5.06~5.78亿 m^3 , 农业年平均用水量4.42亿 m^3 , 其用水比重较大的农业用水量逐年减小, 而生活和工业用水呈增大趋势, 分别由2009年的0.31亿 m^3 和0.58亿 m^3 增加到2013年的0.39亿 m^3 和0.80亿 m^3 ; 2013年石河子市高新节水灌溉面积占总灌溉面积的85.3%; 另据《昌吉州用水总量控制方案》(昌吉州方汇水电设计院, 2015年), 玛纳斯县2014年已累计完成高效节水灌溉面积5.11万 hm^2 (76.65万亩), 约占总灌溉面积的79.4%。高新技术节水成为维持农业可持续发展的主要措施之一。

根据2009年-2014年《昌吉州水资源公报》, 玛纳斯县水资源利用总量由2009年的4.45亿 m^3 增加到2014年的5.09亿 m^3 ; 农田有效灌溉面积由98.83万亩增加到107.84万亩, 表明玛纳斯县水土资源开发力度在加强。区域利用节水措施节出的水资源又用于新的耕地开垦^[20], 总用水量并未减少。

干旱区平原区地下水补给主要为河道渗漏及引水渠系、田间灌溉的入渗^[21]。地表水利用量增大意味着天然河道中的水量减少, 使河道渗漏显著减小; 同时大量进入渠系中的地表水在渠系水利用系数提高的背景下, 更多的水进入面积不断扩大的耕地, 水资源大量消耗于田间蒸发蒸腾, 减小了对地下水的补给。为了使灌溉水资源高效利用, 各种防渗技术和节水灌溉技术逐渐被推广, 从而有效提高单位面积上水的利用率而减少了农田输水过程渗漏量。新疆的节水灌溉绝大多数采用的是膜下滴灌, 膜下滴灌每次给作物灌溉的水量往往只能入渗到作物根部区域, 一般不会对地下水形成补给水量, 故节水灌溉对地下水的补给可以忽略不计^[22]。流域水利工程建设、渠道防渗和田间节水技术的推广, 将严重影响对地下水的补给。流域农业节水措施会显著减小对地下水的补给量, 在地下水埋深过大条件下, 冲积细土平原区降水、渠系及田间入渗对地下水的补给近乎为零; 仅在上游单一潜水区, 主要受近山前河道7月-8月丰水期少量下泄水量形成的渗漏补给使地下水位有短暂的回升外, 其余时间则处于下降状态, 表现为入渗-径流型动态。玛纳斯河流域潜水溢出带及以北冲积细土平原分布有大量机井, 由南向北农用机井的开采深度由150 m增大到400~500 m, 这一区域的地下水动态受灌溉期地下水开

采影响, 表现为开采型动态。一般下游深层承压水难以获得补给, 区域地下水开采量实际是消耗地下水静储量获得的, 故地下水位持续下降。从2015年3月31日《玛纳斯县整治非法打井开荒退出荒地13万多亩》的新闻报道可以看出区内地下水无序开发严重^[23]。因此, 可以认为监测剖面地下水位持续下降的原因是在流域地下水补给量趋于减小、地下水开采量增加双重作用下形成的。

5 结论与建议

5.1 结论

(1) 5年的地下水位监测表明, 玛纳斯河流域典型监测剖面地下水位呈持续下降趋势, 且地下水位年均下降速率向下游呈增大趋势。冲洪积平原单一潜水区为一般超采区, 地下水位年平均下降速率为0.74 m/a, 地下水动态类型为入渗-径流型; 潜水溢出带及以北大部为严重超采区, 地下水位年平均下降速率为1.12~2.41 m/a, 地下水动态类型为开采型。

(2) 玛纳斯河流域地下水埋深普遍大于荒漠化潜水临界埋深(6.0 m), 其土壤含水率降低, 天然生态植被难以利用地下水存活, 导致天然植被衰退, 生态环境面临恶化。

(3) 玛纳斯河流域是新疆水、土资源利用率最高的地区之一, 水资源高效利用的同时, 总用水量并未减少。农业高新节水极大地减少了对地下水的补给, 区域地下水补给主要来自上游的侧向补给, 区域地下水开采量主要是消耗地下水静储量获得的, 监测区地下水位持续下降是流域地下水补给量趋于减小、地下水超采双重作用下形成的。

5.2 建议

玛纳斯河流域地处天山北坡经济带, 是新疆绿洲开发的典范。水资源开发利用使整个监测区成为地下水超采区, 特别是2012年潜水溢出带与冲积细土平原区和2014年上游单一潜水区仍有明显的水位下降, 表明影响地下水持续下降的因素还在加剧。针对流域现状地下水动态变化趋势, 必须科学规划用水, 缩减灌溉面积和地下水开采量, 进一步打击非法地下水开采, 实施生态补偿机制, 防止生态环境恶化, 使流域经济社会可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 赵江涛, 周金龙, 高业新, 等. 新疆天山北坡平原区地下水质量与污染评价[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(5): 888-894.
(ZHAO Jiang-tao, ZHOU Jir-long, GAO Ye-xin, et al. Assess-

- ment of groundwater quality and pollution in the plain area of northern slope of Tianshan Mountains in Xinjiang[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(5): 888-894. (in Chinese) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2015.05.015
- [2] 张添右, 王玲, 罗冲, 等. 玛纳斯河流域土壤盐渍化时空动态变化[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 228-233. (ZHANG Tianyou, WANG Ling, LUO Chong, et al. Study on spatial and temporal changing of soil salinization in Manasi River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(1): 228-233. (in Chinese) DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.20151210.011
- [3] 姜凌峰, 薛联青, 刘远洪, 等. 基于 MIKE SHE 模型的干旱区节水灌溉对地下水的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(2): 59-65. (JIANG Lingfeng, XUE Lianqing, LIU Yuanhong, et al. Effects of Water-saving Irrigation on Groundwater in Arid Basin on MIKE SHE Model[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(2): 59-65. (in Chinese) DOI: 10.13522/j.cnki.ggps.2016.02.011
- [4] 贾绍凤, 李媛媛, 吕爱峰. 海河流域平原区浅层地下水超采估算[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(4): 26-32. (JIA Shaofeng, LI Yuan yuan, LY Ai feng. Estimation of excess pumping of shallow groundwater aquifer in Haihe Plain[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(4): 26-32. (in Chinese) DOI: 10.13476/j.cnki.nslrdqk.2016.04.001
- [5] 姜姗姗, 占车生, 王会肖, 等. 地下水开采对海河流域水循环过程影响的模拟[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(4): 54-60. (JIANG Shanshan, ZHAN Chesheng, WANG Huixiao, et al. Simulation of the impacts on water cycle by groundwater exploitation in the Haihe River Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(4): 54-60. (in Chinese) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2016.04.009
- [6] 李培月. 人类活动影响下的地下水环境及其研究的方法体系[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(1): 18-23. (LI Peiyue. Groundwater environment under human intervention and the methodological system for research in this field[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(1): 18-23. (in Chinese) DOI: 10.13476/j.cnki.nslrdqk.2016.01.003
- [7] 吉磊, 刘兵, 何新林, 等. 玛纳斯河下游灌区地下水埋深变化特征及成因分析[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(9): 59-65. (JI Lei, LIU Bing, HE Xinlin, et al. Changing Characteristics and Influencing Causes of Groundwater Depth in Irrigation Areas in the Lower Reaches of the Manas River[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(9): 59-65. (in Chinese) DOI: 10.135222/j.cnki.ggps.2015.09.012
- [8] 魏光辉, 马亮. 基于自记忆方程的干旱区地下水水位动态模拟[J]. 节水灌溉, 2016, (3): 58-64. (WEI Guanghui, MA Liang. Prediction of Groundwater Depth with Periodical Fluctuation Based on Self memory Equation in Arid Zone[J]. Water Saving Irrigation, 2016(3): 58-64. (in Chinese)).
- [9] Kushwaha K, Goyal R. Methodology for the estimation of groundwater flux across simplified boundary using GIS and groundwater levels[J]. Current Science, 2016, 110(6): 1050-1058.
- [10] Tao W X, Zhang J, Wang J Y. Cause Analysis and Prediction of the Groundwater Level in Jinghuiqu Irrigation District, China[J]. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2015, 3: 85-89.
- [11] 程凡, 李巧, 周金龙, 等. 玛纳斯河流域典型地区地下水质量现状评价与变化趋势分析[J]. 新疆农业大学学报, 2014, 37(3): 254-258. (CHENG Fan, LI Qiao, ZHOU Jirong, et al. Analysis on Current Situation of Groundwater Quality and Change Trends in the typical Area of Manas River Basin[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2014, 37(3): 254-258. (in Chinese))
- [12] 王渊刚, 罗格平, 冯异星, 等. 近 50 a 玛纳斯河流域土地利用/覆被变化对碳储量的影响[J]. 自然资源学报, 2013, 28(6): 994-1006. (WANG Yuan gang, LUO Geping, FENG Yixing, et al. Effects of Use/Land Cover Change on Carbon Storage in Manas River Watershed over the Past 50 years[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(6): 994-1006. (in Chinese) DOI: 10.11849/zrzyxb.2013.06.010
- [13] 刘志明, 刘少玉, 陈德华, 等. 新疆玛纳斯河流域平原区水资源组成和水循环[J]. 水利学报, 2006, 37(9): 1102-1107. (LIU Zhiming, LIU Shaoyu, CHEN Dehua, et al. Water resources composition and water circulation in plain of Manasi River Basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(9): 1102-1107. (in Chinese) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2006.09.012
- [14] 李巧, 周金龙, 高业新, 等. 新疆玛纳斯河流域平原区地下水水文地球化学特征研究[J]. 现代地质, 2015, 29(2): 238-244. (LI Qiao, ZHOU Jirong, GAO Yexin, et al. Groundwater Hydrogeochemistry in Plain of Manasi River Basin, Xinjiang[J]. Geoscience, 2015, 29(2): 238-244. (in Chinese))
- [15] 包安明, 刘海隆, 陈曦, 等. 气候变化与人类活动对新疆玛纳斯河流域水文生态过程影响研究[M]. 北京: 气象出版社, 2013: 64-80. (BAO Anming, LIU Hairong, CHEN Xi, et al. Effects of climate change and human activities on hydrological process of Manasi River Basin in Xinjiang[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2013: 64-80. (in Chinese))
- [16] 李玉义, 逢焕成, 陈阜, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉水资源保证程度及提升策略[J]. 自然资源学报, 2010, 25(1): 32-42. (LI Yuyi, PANG Huan cheng, CHEN Fu, et al. Analysis on the Groundwater Degree of Irrigation Water Resources and Its Promotion Strategies in Manas River Valley, Xinjiang[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(1): 32-42. (in Chinese))
- [17] 姚永慧, 汪小钦, 周成虎, 等. 新疆玛纳斯湖近 50 年来的变迁[J]. 水科学进展, 2007, 18(1): 17-23. (YAO Yonghui, WANG Xiaochin, ZHOU Chenghu, et al. Changes of Manas lakes in the past 50 years in Xinjiang province[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(1): 17-23. (in Chinese) DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2007.01.003
- [18] 陶虹, 陶福平, 刘文波. 关中城市群 50 年地下水动态变化及影

- 响因素研究[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(6): 37-61. (TAO Hong, TAO Fur ping, LIU Werb o. Characteristics and influencing factors of groundwater dynamics in Guanzhong urban agglomeration during the last 50 years[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2013, 40(6): 37-61. (in Chinese)) DOI: 16030/j.cnki.issn.10003665.2013.06.017
- [19] 樊自立, 马英杰, 张宏, 等. 塔里木河流域生态地下水水位及其合理深度确定[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 8-13. (FAN Zi li, MA Ying jie, ZHANG Hong, et al. Research of Eco water Table and Rational Depth of Groundwater of Tarim River Drainage Basin[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(1): 8-13. (in Chinese)) DOI: 10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2004.01.002
- [20] 刘金巍, 靳甜甜, 刘国华, 等. 新疆玛纳斯河流域 2000-2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素[J]. 生态学报, 2014 34(12): 3211-3223. (LIU Jin wei, JIN Tian tian, LIU Guo hua, et al. Analysis of land use/cover change from 2000 to 2010 and its driving forces in Manas River, Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3211-3223. (in Chinese)) DOI: 10.5846/stxb201304230781
- [21] 张鸿义, 曾凡江, 安海棠. 中国干旱区浅层地下水的形成、分布与运移[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 67-73. (ZHANG Hong yi, ZENG Fan jiang, AN Hai tang. Formation, Distribution and Transport of shallow Groundwater in Arid Areas, China [J]. Arid Zone Research, 2011, 28(1): 67-73. (in Chinese)) DOI: 10.13866/j.azr.2011.01.019
- [22] 郑昊安. 节水灌溉对地下水补给的影响研究[D]. 新疆: 新疆农业大学, 2013. (ZHENG Hao an. The Characteristics of Water-saving Irrigation Effects on Groundwater Recharge [D]. Xinjiang: Xinjiang Agricultural University, 2013. (in Chinese))
- [23] 盖有军. 玛纳斯整治非法打井开荒退出荒地 13 万多亩[N]. 新疆日报, <http://www.xinjiangnet.com.cn/2015/0331/1382034.shtml> (GAI You jun. Manas County Government punishes illegal well digging and restores more than 8667 hectares of wasteland[N]. Xinjiang Daily, <http://www.xinjiangnet.com.cn/2015/0331/1382034.shtml>. (in Chinese))
- (上接第 81 页)
- [29] Richter B D. Rethinking environmental flows: From allocations and reserves to sustainability boundaries[J]. Rivers Research and Applications, 2010, 26(8): 1052-1063.
- [30] Richter B D, Davis M M, Apse C, Konrad C. A presumptive standard for environmental flow protection[J]. River Research and Applications. Published online, 2011.
- [31] Gippel C J, Bond N R, James C, et al. An asset based, holistic, environmental flows assessment approach[J]. International Journal of Water Resources Development, 2009, 25(2): 301-330.
- [32] 张洪波, 王义民, 蒋晓辉, 等. 基于生态流量恢复的黄河干流水库生态调度研究[J]. 水力发电学报, 2011, 30(3): 15-21. (ZHANG Hong bo, WANG Yi min, JIANG Xiao hui, et al. Ecological regulation of reservoirs on the Yellow River main stream oriented to ecological flow restoration[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 30(3): 15-21. (in Chinese))
- [33] 潘扎荣, 阮晓红, 徐静. 河道基本生态需水的年内展布计算法[J]. 水利学报, 2013, 44(1): 119-126. (PAN Zha rong, RUAN Xiao hong, XU Jing. A new calculation method of in stream basic ecological water demand[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(1): 119-126. (in Chinese)) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2013.01.005
- [34] 徐志侠, 陈敏建, 董增川. 基于生态系统分析的河道最小生态需水计算方法研究(Ⅱ)[J]. 水利水电技术, 2004, 35(12): 15-18. (XU Zhi xia, CHEN Min jian, DONG Zeng chuan. Research on methods of minimum ecological water requirements in river based on analysis of ecosystem (Ⅱ)[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(12): 15-18. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2004.12.004
- [35] 徐志侠, 王浩, 陈敏建, 等. 基于生态系统分析的河道最小生态需水计算方法研究(Ⅰ)[J]. 水利水电技术, 2005, 01: 31-34. (XU Zhi xia, WANG Hao, CHEN Min jian, et al. Research on methods of minimum ecological water requirements in river based on analysis of ecosystem (Ⅰ)[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 01: 31-34. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2005.01.009
- [36] 佚名. 淮河青、草、鲢、鳙及鳊鱼产卵场的调查[J]. 水产学报, 1981(4): 361-367. (Anonymity. A survey on the spawning grounds of black carp, grass carp, silver carp, bighead carp and bream in Huai He[J]. Journal of Fisheries of China, 1981(4): 361-367. (in Chinese))
- [37] 孟钰, 张翔, 夏军, 等. 水文变异下淮长河长吻鲢生境变化与适宜流量组合推荐[J]. 水利学报, 2016(5): 626-634. (MENG Yu, ZHANG Xiang, XIA Jun, et al. Definition of environmental flow components for Leiocassis Longirostris in the Huai River considering habitat change and hydrological change[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016(5): 626-634. (in Chinese)) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.20150525
- [38] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[J]. Fisheries Management & Ecology, 1976, 1(4): 6-10.
- [39] Skinner J. R2CROSS efficient for quantifying instream flows. Website: http://cwdb.state.co.us/isf/V2IS1_R2CROSS.htm
- [40] Espegren G D. Development of instream flow recommendations in Colorado using R2CROSS[M]. Colorado Water Conservation Board, 1996.
- [41] Hydraulic engineering center of USACE. HEGRAS: river analysis system hydraulic reference manual version 4.0[M]. Davis CA: US Army Corps of Engineers, 2008.