

干旱地区高盐度水面蒸发试验研究

李 阳^{1,2}, 贾瑞亮^{1,2}, 周金龙^{1,2,3}, 李 巧^{1,2}, 高业新³

(1.新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆 乌鲁木齐 830052;
2.新疆水文水资源工程技术研究中心,新疆 乌鲁木齐 830052;
3.中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050061)

摘 要:通过新疆昌吉地下水均衡试验场中的不同矿化度 $E_{\phi 20}$ 蒸发器水面蒸发试验研究,得出高盐度水面蒸发的一般规律。通过数据对比分析,表明在外部环境条件相同时,高盐度水面蒸发量与矿化度之间呈显著负相关关系,即矿化度越高,水面蒸发越微弱,反之则蒸发越强烈,这主要是由于水体中的盐分子对水分子的吸引力作用造成的。根据实测数据拟合出水面蒸发量与矿化度之间的函数关系,并计算出高盐度水面蒸发折算系数。

关键词:干旱地区;高盐度水体;水面蒸发;拟合曲线;高盐度水面蒸发折算系数

中图分类号:P332.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)06-0024-04

水面蒸发作为四水转化中的重要环节,对地表水体水量损失研究具有十分重要的意义,并且为区域土壤蒸发及潜水蒸发研究提供基础依据。国内众多学者在水面蒸发研究的试验方法、影响因素及蒸发量的计算等方面做了大量研究^[1-3],但大多数以矿化度在10g/L以下的淡水或微咸水为研究对象。2010~2012年第一次全国水利普查结果显示:我国湖泊水面总面积 $7.80 \times 10^4 \text{ km}^2$ (不含跨国界湖泊境外面积),其中咸水湖945个,盐湖166个,占全国湖泊总数的三分之一以上^[4]。新疆维吾尔自治区(以下简称“新疆”)境内湖泊总面积为 $12\,414 \text{ km}^2$,其中咸水湖面积超过 $3\,400 \text{ km}^2$,大多数高盐度湖泊矿化度在100g/L以上,甚至很多盐湖矿化度在200g/L以上^[5]。因此,研究高盐度水面蒸发规律无论对于水科学发展还是水资源开发利用都具有重要的意义。本文利用新疆地矿局昌吉地下水均衡试验场(以下简称“昌吉试验场”)2011年9月~2014年4月 $E_{\phi 20}$ 蒸发器不同矿化度水面蒸发试验观测数据,针对2012年1月1日至2013年12月31日期间试验观测数据进行具体分析,探讨干旱地区高矿化度水面蒸发一般规律。

1 试验场概况及试验设备与方法

昌吉试验场位于新疆昌吉回族自治州昌吉市北门村,属于典型大陆性干旱气候,具有冬季寒冷、夏季炎热、昼夜温差大的特点。年均蒸发量1787mm;年均降水量为190mm,夏季降水量明显多于冬季;年无霜期为160~190d;每年11月~次年3月为冻结期,4~10月为非冻结期。

昌吉试验场地处头屯河冲积扇前缘的西侧,地理坐标为东经 $87^\circ 17' 51''$,北纬 $44^\circ 02' 19''$,试验场内地形平坦开阔,远离高层建筑物,具有良好的自然环境条件^[6],试验场内建立有地中渗透计观测系统、太阳辐射观测系统及大型水面蒸发观测系统等多种试验项目。本研究依据昌吉试验场中的 $E_{\phi 20}$ 蒸发器所观测的数据进行处理分析。

试验场中 $E_{\phi 20}$ 蒸发器呈环形布设,放置于专用铁架上,距离地面70cm,相邻蒸发器之间相隔3m,共设0.8g/L(淡水)、10g/L、30g/L、50g/L、100g/L、250g/L 6种不同矿化度水体蒸发器,6个蒸发器所处外部环境条件(环境因素主要包括日照、降水、温度及风速等)相

收稿日期:2015-10-10

基金项目:国家自然科学基金委员会-新疆维吾尔自治区人民政府联合基金重点支持项目(U1403282);国家自然科学基金项目(51069016);新疆维吾尔自治区水文学及水资源重点学科基金项目(xjswszzyzdxk20101202)

作者简介:李阳(1988-),男,四川绵阳人,在读硕士研究生,主要从事土壤水盐运移及地下水监测井网优化研究。E-mail:350541077@qq.com

通讯作者:周金龙(1964-),男,浙江衢州人,博士,教授,博导,主要从事干旱区地下水资源评价与保护、灌区土壤水-盐运移监测与模拟研究。

E-mail:zjzhoujl@163.com

同。在我国西部干旱区,Cl-Na型水是高盐度水体较为常见的水化学类型,故本试验用工业盐(NaCl)配制不同浓度的NaCl溶液来模拟不同矿化度的野外水类型,不同矿化度水体密度见表1。

表1 不同矿化度水体密度

Table1 The density of the different salinity water

矿化度/g·L ⁻¹	0.8	10	30	50	100	250
密度/g·cm ⁻³	0.999	1.008	1.018	1.031	1.065	1.162

为了试验数据的稳定性及连续性,将2011年与2014年的试验数据作为后备参考,本文研究采用2012年1月1日至2013年12月31日期间试验数据进行处理分析,数据时长共计2a。蒸发器观测换水时间为每日的北京时间20:00(期间每月有数天北京时间8:00加密观测数据,并据此分析昼夜水面蒸发差异),非冻结期记录24h蒸发量,冻结期采用称重法记录蒸发量。所得数据经过蒸发量计算公式计算得出日蒸发量,蒸发量单位均为mm。

蒸发量计算公式:

$$E_{非} = W_1 - W_2 + J \quad (1)$$

$$E_{冻} = (M_1 - M_2) \times 10 / \rho \pi r^2 + J \quad (2)$$

式中: $E_{非}$ 为非冻结期水面蒸发量(mm); W_1 为蒸发器原水量(mm); W_2 为蒸发器剩余水量(mm); J 为降水量(mm); $E_{冻}$ 为冻结期水面蒸发量(mm); M_1 为蒸发器和原水量的总质量(g); M_2 为蒸发器和剩余水量的总质量(g); ρ 为蒸发到空气中的水的密度(g/cm³),取1g/cm³; r 为蒸发器半径,为10cm。

2 试验数据结果分析

2.1 $E_{\Phi 20}$ 蒸发器日均蒸发量变化动态

对比2012年和2013年不同矿化度 $E_{\Phi 20}$ 蒸发器各月日均蒸发量(图1),可以直观地看出年内不同时段自然条件下高盐度水面蒸发的一般规律。

由图1可以明显看出:当矿化度相同时,非冻结期内的日均蒸发量大于冻结期内的日均蒸发量,说明非冻结期内水面蒸发强度大于冻结期内水面蒸发强度;而对比不同矿化度水面蒸发数据可以看出,随着矿化度的升高,相同条件下水面蒸发量随之减小。这种现象在蒸发量较大的非冻结期内尤为明显。2012年7月数据异常是因为这个月降水量偏大,对水体的蒸发量产生了一定影响。

由图1还可以看到,0.8g/L水体和10g/L水体之

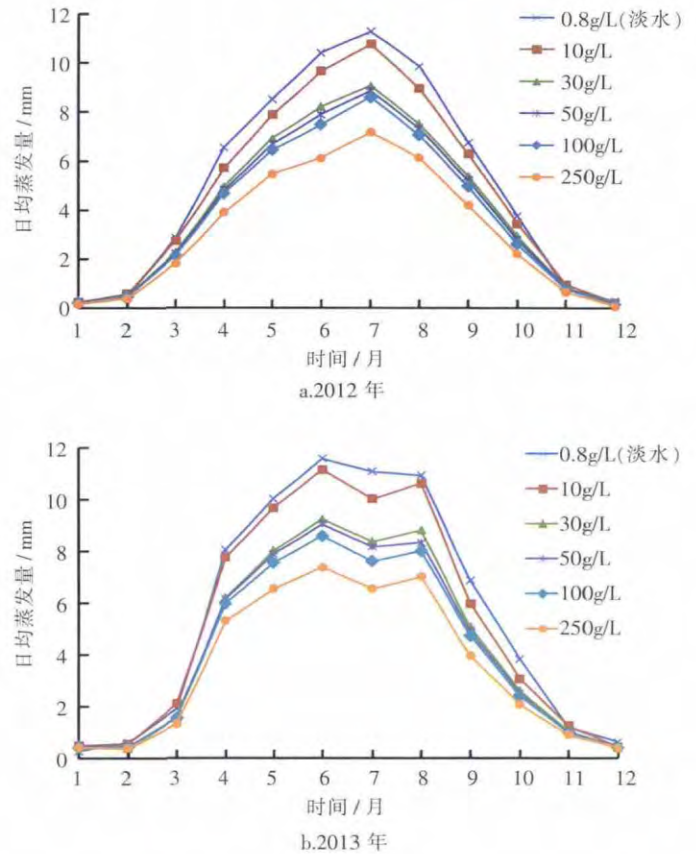


图1 2012年和2013年不同矿化度各月日均水面蒸发量

Fig.1 The average daily water surface evaporation of different salinity in various months of 2012 and 2013

间蒸发量相差较小,而10g/L水体与30g/L水体之间蒸发量相差较大,说明当水体矿化度在0.8g/L(淡水)~10g/L范围时矿化度对水体蒸发量影响较小,而水体矿化度在10g/L~30g/L范围时矿化度对水体蒸发量影响较大;水体矿化度在30g/L~100g/L范围内水面蒸发量变化较小,说明水面蒸发量在此时进入一段平稳变化时期,随着矿化度的增大水面蒸发量缓慢减少;水体矿化度在100g/L~250g/L范围内水面蒸发量变化较大,说明此时矿化度对水面蒸发量的影响作用增大,随着矿化度的增大水面蒸发量大幅减少。这种现象可以理解为当水体矿化度达到10g/L~30g/L范围内时,存在一个矿化度对水面蒸发量的影响作用由小变大的临界点,到达这个临界点后,矿化度对水面蒸发量影响大幅增强,在30g/L~100g/L范围附近影响作用趋于稳定;同时在水体矿化度达到100g/L~250g/L范围内时,也存在一个矿化度对水面蒸发量的影响作用由小变大的临界点,矿化度达到这个临界点后会增强对水面蒸发量的影响作用。

2.2 不同矿化度 $E_{\phi 20}$ 蒸发器昼夜平均蒸发量对比

为了研究水体昼夜蒸发量的变化,本文从 2013 年 5~8 月选出气象条件稳定的连续时段,记录昼夜平均蒸发量,对白天与夜间平均蒸发量变化进行对比研究。未选择冻结期内日蒸发量变化是因为冻结期内蒸发量变化较小,多数日蒸发量在 0.1mm 左右,不便于比较,故选择非冻结期内蒸发强烈时段进行昼夜蒸发量对比观测。不同矿化度水面昼夜平均蒸发量对比如图 2 所示。

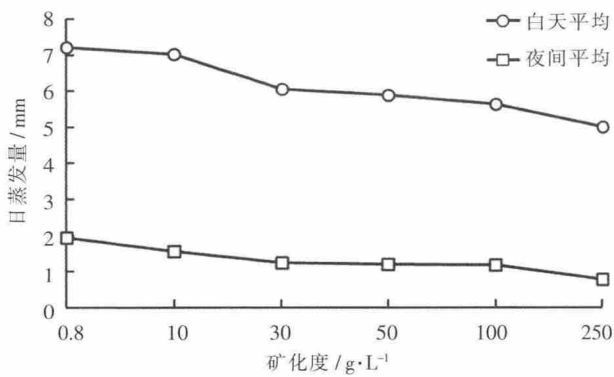


图2 不同矿化度水面昼夜平均蒸发量对比

Fig.2 Comparison of the average water surface evaporation of different salinity water between day and night

如图 2 所示,相同矿化度水面蒸发在较为稳定的气象环境条件下,白天平均蒸发量明显大于夜间平均蒸发量,6 种矿化度水体白天平均蒸发量基本大于 5mm,而相对应的夜间平均蒸发量均小于 2mm,二者平均相差两倍之多。由于非冻结期水面蒸发直接受到太阳辐射的影响,几乎没有蒸发滞后现象,因此说明白天水面蒸发强度明显大于夜间水面蒸发强度。对比不同矿化度水面昼夜平均蒸发量还可以看出随着水体矿化度的升高,水面蒸发量逐渐减小,且白天与夜间蒸发均呈现这种趋势。

2.3 不同矿化度水面累积蒸发量变化动态

在外部环境条件相同的情况下,针对不同矿化度 $E_{\phi 20}$ 蒸发器年累积蒸发量数据进行对比分析(图 3),探究矿化度对水面蒸发强度的影响机制。

由图 3 可以看出随着水体矿化度的逐渐增加,水面累积蒸发量逐渐减小,即在一定范围内水面蒸发量与矿化度呈负相关。2012 年和 2013 年淡水累积蒸发量均大于 1800mm,10g/L 水体年累积蒸发量也在 1600mm 以上,而当水体矿化度超过 30g/L 时年累积蒸发量均小于 1600mm。

由以上现象可以说明在外部环境条件相同时,矿化度是影响高盐度水面蒸发量的主要因素,且在一定

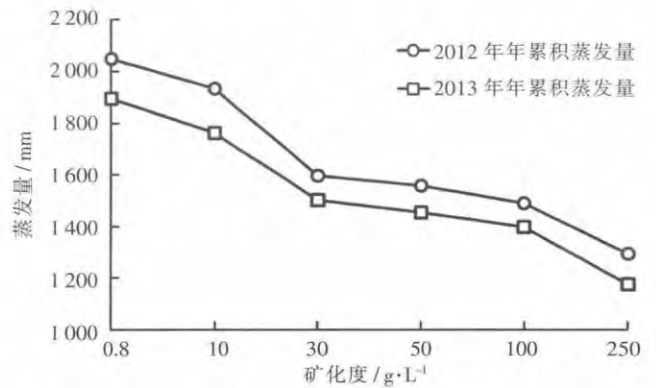


图3 不同矿化度年累积水面蒸发量

Fig.3 The cumulative water surface evaporation of the different salinity

范围内二者呈负相关关系。产生这种现象的原因是水中的盐分子会增加分子之间的吸力,使水分子的自由能减少,从而使水分子更难蒸发逃逸^[7],水中盐分含量越高,这种现象越明显;同时因本次研究的高盐度水体中的盐分主要为 NaCl,Na⁺对水有极强的吸附性,随着 Na⁺的增加,对水的蒸发抑制作用就越强。综合以上原因,干旱地区高盐度水面蒸发直观地表现为水体矿化度越高,水面蒸发量越小,反之亦然。

2.4 日均蒸发量回归方程的建立

为了研究水面蒸发量与水体矿化度之间更深层的数量关系,本文根据试验中两年平均日水面蒸发量与矿化度进行相关性分析,见表 2 和图 4,

表2 水面蒸发量与矿化度相关关系分析表

Table2 The correlation between the water surface evaporation and salinity

方程	相关系数	模型概述			参数估计		
		统计量	自由度 1	自由度 2	显著性水平	常数项估计值	参数 b1 估计值
对数模型	-0.9099	40.41	1	4	0.003	5.5104	-0.352

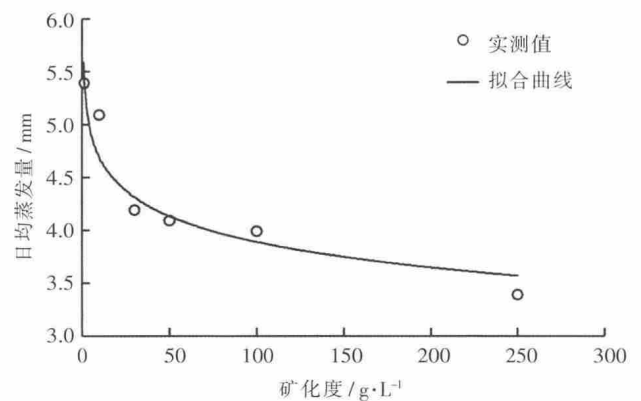


图4 平均日水面蒸发量与矿化度拟合图

Fig.4 Fitting chart between the average daily water surface evaporation and salinity

由表 2 和图 4 可以看出:在显著性水平 $=0.003 < 0.01 (P=0.01)$ 情况下两年平均日水面蒸发量与矿化度呈现对数曲线关系,其回归方程为 $y = -0.352 \ln x + 5.5104$ (y 为日均水面蒸发量, mm; x 为水体矿化度, g/L), 回归曲线的相关系数为 -0.9099^{**} (** 说明相关关系显著), 因为 6 个蒸发器所处外部环境相同, 说明在温度、日照时长、风速及降水等常规外部环境因素相同的情况下, 水面蒸发量的大小与水体矿化度之间呈显著负相关关系, 即随着水体矿化度的升高, 水面蒸发量相应减小, 反之亦然。同时相关关系显著也说明水体矿化度时刻影响着水面蒸发量, 而且这种作用效果十分明显。

2.5 高盐度水面蒸发折算系数的确定

对于水面折算系数的研究, 以前的学者大多是对不同规格的蒸发器(皿)之间的折算系数进行研究^[8-9]。为研究高盐度水体水面蒸发量与淡水水体水面蒸发量之间的关系, 本文引入高盐度水面蒸发折算系数(K_s)的概念。本文定义高盐度水面蒸发折算系数(K_s)为高矿化度水体蒸发量与淡水水体蒸发量比值。根据 K_s 我们可以在拥有淡水水面蒸发资料或某一矿化度水面蒸发资料时较为方便快捷地折算出该地区其他不同矿化度水面蒸发量, 这对于干旱地区高盐度湖泊水面蒸发量的计算具有一定的实用意义。

对观测期内高盐度水面蒸发量数据进行整理, 计算得出研究区高盐度水面蒸发折算系数见表 3。

表3 不同矿化度年水面蒸发量折算系数

Table3 The conversion coefficient of the water surface evaporation with different salinity

矿化度/g·L ⁻¹	2012年蒸发量	2013年蒸发量	多年蒸发量 平均折算系数
	折算系数	折算系数	
10	0.981	0.922	0.952
30	0.766	0.791	0.778
50	0.749	0.763	0.756
100	0.717	0.736	0.726
250	0.620	0.616	0.618

由表 3 可以看出, 当水体矿化度为 10g/L 时, 两年的折算系数均大于 0.9, 较为接近淡水水面蒸发量; 当水体矿化度升高到 30g/L 时两年折算系数均小于 0.8; 当矿化度为 250g/L 时, 其折算系数均小于 0.7, 这说明当温度、日照及风速等外部环境条件相同时, 水体自身矿化度的高低是影响水面蒸发的重要因素, 水面蒸发量随着水体矿化度的升高而逐渐减少。

3 结论

本试验在确保温度、日照、降水及风速等外部环境条件相同的情况下研究水体矿化度对水面蒸发量的影响作用。研究结果表明, 在其他外部条件相同的情况下, 水体矿化度是影响水面蒸发量的重要因素, 水面蒸发量与水体矿化度呈显著负相关关系, 具体表现为随矿化度的升高, 水面蒸发量随之减小, 反之水面蒸发量增大。水面蒸发量与水体矿化度呈对数相关关系, 其拟合方程为 $y = -0.352 \ln x + 5.5104$, 相关系数为 -0.9099^{**} 。

本次试验研究分析了干旱地区不同矿化度水面蒸发一般规律, 拟合出水面蒸发量与水体矿化度的回归方程, 提出并计算得到高盐度水面蒸发折算系数 K_s , 可以根据测得的水体矿化度方便快捷的折算出相应的水面蒸发量。上述结论为今后深入研究干旱地区高盐度水面蒸发与水体矿化度的关系奠定了一定的理论基础。

参考文献:

- [1] 胡顺军, 郭谨, 王举林, 等. 应用常规气象观测资料估算塔里木盆地水面蒸发量[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 212-215. (HU Shunjun, GUO Jin, WANG Julin, et al. Estimation of water surface evaporation in Tarim River basin using routine meteorological data observed in Aksu water balance experimental station [J]. Arid Land Geography, 2004, 27(2): 212-215. (in Chinese))
- [2] 胡安焱, 郭西万. 新疆平原地区水面蒸发量预测模型研究[J]. 水文, 2006, 26(1): 24-27, 41. (HU Anyan, GUO Xiwan. A model of water surface evaporation forecasting for Xinjiang plain area [J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26(1): 24-27, 41. (in Chinese))
- [3] 邓丽娟. 新疆车尔臣河流域近 50 余年来主要水文要素变化研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012. (DENG Lijuan. Study on the Change of Major Hydrological Factors during the Past 50 Years in Che'erchen River Basin [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012. (in Chinese))
- [4] 水利部, 国家统计局. 第一次全国水利普查公报[R]. 2012. (Ministry of Water Resources, National Bureau of Statistics. Bulletin of first national census for water [R]. 2012. (in Chinese))
- [5] 王世江, 章曙明, 邓铭江, 等. 中国新疆河湖全书[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (WANG Shijiang, ZHANG Shuming, DENG Mingjiang, et al. The Rivers in Xinjiang of China [M]. Beijing: China Water Power Press, 2010. (in Chinese))
- [6] 栗现文, 周金龙, 靳孟贵, 等. 干旱区高盐度潜水蒸发试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(5): 6-10. (LI Xianwen, ZHOU Jinlong, JIN Menggui, et al. Experiment on evaporation of high-TDS phreatic water in arid area [J]. Journal of Water (下转第 6 页))

- Journal of Hydrologic Engineering, 2011,16(5):421-433.
- [10] Singh, V.P. Entropy-Based Parameter Estimation Hydrology [M]. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 1998.
- [11] Burr, I.W. Cumulative frequency functions[J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1942,13(2):215-232.
- [12] Hao, Z., Singh V.P. Entropy-based parameter estimation for extended Burr XII distribution [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2008,23:1113-1122.

Application of Generalized Beta Distribution of Second Kind for Flood Frequency Analysis

CHEN Lu¹, HE Diancan¹, ZHOU Jianzhong¹, LU Weiwei¹, GUO Shenglian²

- (1. College of Hydropower & Information Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;
2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: T-year flood estimation at a given location in mountainous areas is a crucial task for design of hydraulic and civil infrastructure facilities. One of the key steps in flood frequency analysis (FFA) is the selection of a suitable distribution. More than one distribution is often found to be adequate for FFA, and choosing the best one is often less than objective. In order to overcome this difficulty, generalized beta distribution of the second kind (GB2 distribution) was introduced in this study. And the principle of maximum entropy method (POME) was employed to derive this distribution with its parameters to be estimated. The Colorado River was selected as a case study. The maximum stream flow data from the sites, Steamboat Springs, Near Colorado-Utah and Hoover Dam, were considered to test the performances of GB2 distribution. Finally, the fitting results of GB2 distribution at Hoover Dam were compared with those of common used distributions in hydrology. The results indicate that GB2 distribution is an appealing option for FFA, since it has four parameters and include some well-known distributions. Compared with the widely used distribution in hydrology, the performances of Gb2 distribution is comparable.

Key words: entropy theory; principle of maximum entropy (POME); GB2 distribution; flood frequency analysis

—————
(上接第 27 页)

- Resources & Water Engineering, 2012,23(5):6-10. (in Chinese))
- [7] 陈宝群,李晓宁,李艳花. 微型水面蒸发器原理与实验设计[J]. 气象水文海洋仪器, 2010,(1):1-5. (CHEN Baoqun, LI Xiaoning, LI Yanhua. Principle and experimental design of micro water surface evaporator [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2010,(1):1-5. (in Chinese))
- [8] 谢万银,陈英,徐彬. 甘肃民勤小型与 E-601 型蒸发器蒸发量折算系数分析 [J]. 干旱气象, 2014,(3):481-486. (XIE Wanyin, CHEN Yin, XU Bin. Analysis on small type and E-601 type evaporation conversion coefficient in Minqin of Gansu province [J]. Journal of Arid Meteorology, 2014,(3):481-486. (in Chinese))
- [9] 夏依木拉提·艾依达尔艾力, 黄梅. 天山西部地区 E-601 型蒸发器与 20cm 口径蒸发器观测资料对比分析[J]. 水文, 2011,31(4):76-80. (Xaymurat Aydaraili, HUANG Mei. Comparative analysis of observed data between E-601 evaporator and 20cm pan in Tianshan River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2011,31(4):76-80. (in Chinese))

Experimental Study on High Salinity Water Surface Evaporation in Arid Areas

LI Yang^{1,2}, JIA Ruiliang^{1,2}, ZHOU Jinlong^{1,2,3}, LI Qiao^{1,2}, GAO Yexin³

- (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. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: The general law of the high salinity water surface evaporation was obtained by water surface evaporation experiments of different salinity E₆₀₁ evaporator at the Changji Groundwater Balance Test Station, Xinjiang. By comparatively analyzing the data, we found that under the same external environment condition, there is a negative correlation between high salinity water surface evaporation and salinity, that is to say, the higher the salinity, the more weaker water surface evaporation, on the Contrary the more stronger water surface evaporation. This is mainly due to the attraction effect of salt molecules to water molecules in the salt water. According to the experimental data, functional relationship between the water evaporation and the salinity was fitted out, and the conversion coefficient of high salinity water surface evaporation was calculated.

Key words: arid area; high salinity water; water surface evaporation; fitting curve; conversion coefficient of high salinity water surface evaporation