

44-50

10332.2

叶尔羌河流域潜水蒸发规律试验分析

毛晓敏 李 民 沈言俐

(清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

何长德 周 凯 艾尼瓦尔·阿不都热依木

(新疆叶尔羌河流域管理处, 莎车 844000)

提 要 本文根据新疆叶尔羌河流域地下水均衡场的潜水蒸发试验资料, 探讨了潜水蒸发的影响因素, 对潜水蒸发量进行了公式拟合。结果表明, 指数型公式、阿维里扬诺夫公式和清华公式比较适合于该地区潜水蒸发量的估算, 幂函数型公式的拟合结果较差, 简化的指数型公式有一定的适用范围。

关键词 潜水 蒸发 潜水蒸发系数 经验公式 叶尔羌河流域

潜水蒸发是浅层地下水向土壤水和大气水自然转化的一种主要形式^[1], 四水转化中重要的一环。国内对潜水蒸发的研究已有很长的历史。在本世纪50年代初, 潜水蒸发作为土壤盐碱化的重要成因, 曾成为当时研究的重点。中科院土壤所及地理所、中国水科院、中国农科院和一些高等院校等单位在各地建立起地中蒸渗仪试验站, 并进行了理论和试验的研究。自80年代初, 为了正确评价地下水资源, 潜水蒸发有了新的进展, 并逐渐由试验分析^[2~5]转向机理研究^[6,7]及数值模拟^[8,9]。

叶尔羌河流域位于新疆南部, 属大陆干旱区气候, 降水稀少, 蒸发强烈。农业以河水灌溉为主, 地下水以垂向消耗为主, 土壤盐渍化严重, 水资源紧缺。为了解本地区土壤的潜水蒸发规律, 正确评价流域地下水资源状况, 在该流域的莎车县建立了地下水均衡场, 并于1993年开始了潜水蒸发试验的观测工作。现将1994年5月至1995年10月间(不包括冬季)的观测资料按旬进行整理分析, 初步研究了不同土质、潜水埋深下裸土的潜水蒸发规律, 并提出了适合该地区的潜水蒸发经验公式, 供水资源评价及有关工作参考。

1 概 述

新疆叶尔羌河流域地下水均衡场, 位于新疆莎车县西南3km处, 占地面积约0.7hm²。它是配合世行贷款项目“塔里木灌排与环保”一期工程中的“叶尔羌河流域水盐监测”任务而建的, 其主要内容是进行潜水蒸发试验和作物需水量试验。潜水蒸发试验共设置了54个测

▪ 国家自然科学基金资助项目(编号59579010)。本文的试验与分析工作得到了雷志栋教授、杨诗秀教授、墨继龙高工的指导, 特此致谢!
收稿日期: 98-01-10

筒,进行不同土质、不同潜水埋深的 54 组潜水蒸发试验(表 1)。

表 1 潜水蒸发试验分组情况

Tab.1 The experimental design for phreatic evaporation

潜水埋深(m)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.50	4.00
中 壤	1	1	1	1	1	1	1	1	2
轻 壤	1	1	1	1	1	1	1	2	1
砂 壤	1	1	1	1	1	1	2	1	1
粉砂土	1	1	1	1	1	1	1	1	1
粉 砂	1	1	1	1	1	1	1	1	1
砂卵石	1	1	1	1	1				

潜水蒸发试验采用改进的马氏瓶装置,通过马氏瓶补水并控制试筒内的水位,入渗水量通过平衡瓶流入量杯测定。每天早晨 8 点进行观测,场内设有简易气象站,同时对水面蒸发、日照时间、风速、大气温度和湿度等进行观测。

2 潜水蒸发影响因素分析

对于裸土的蒸发,在无灌溉或降水补给的条件下,蒸发耗水主要来源于潜水的补给,因此忽略土壤水蓄变量和侧渗量,较长时间段内的地表蒸发量等于潜水蒸发量。地表蒸发量的大小受制于大气蒸发能力和土壤的供水能力,而土壤的供水能力与土质和潜水埋深有关。因此认为潜水蒸发的影响因素主要为大气蒸发能力、土质和潜水埋深。

2.1 日潜水蒸发量随时间的变化关系

通过对不同土质不同潜水埋深下的日潜水蒸发过程进行分析,可以看出,夏季的蒸发量为年内高峰期,春季和秋季蒸发较弱(由于冬季潜水蒸发机制比较复杂,本文未作讨论)。潜水蒸发的变化趋势与大气蒸发能力的变化基本一致,只是在 1994 年 9 月和 1995 年的 3 月,各种土壤的潜水蒸发突然下降,而大气蒸发能力并无此变化。这是因为在这两段时间内,分别有较大的灌水洗盐过程。

2.2 累积潜水蒸发量与埋深的关系

图 1 表示了 6 种土壤在 1995 年 3 月~1995 年 10 月间的累计潜水蒸发量与埋深的关系曲线。结果表明,一般情况下潜水蒸发量随埋深的增大而减少,最终趋近于零。而且从轻壤的 E~H 关系图中,可明显的看到两个转折。第一个转折在 0.5m 附近,它反映了潜水蒸发由大气蒸发能力控制转向大气蒸发能力和埋深的双重控制;第二个转折发生在 2.5m 附近,在潜水埋深大于该深度后,潜水蒸发趋向于零。它反映了大气蒸发能力对潜水蒸发的影响减弱,潜水蒸发的大小由双重控制转向由埋深控制。

2.3 土质对潜水蒸发的影响

图 2 绘出了等埋深下 1994 年 3 月~1995 年 10 月间(不包括冬季)潜水蒸发总量随土质的变化曲线。X 轴依次为粉砂、粉砂土、砂壤、轻壤、中壤,其特点是由左向右土壤颗粒逐渐变细,土质由砂性变为粘性。从图中看出,当埋深较浅时,随着土壤颗粒变细,土质变粘,

累积潜水蒸发量逐渐减小;而当埋深较大时,随着土壤颗粒变细,土质变粘,累积潜水蒸发量反而逐渐增大。这与不同土质的导水率、扩散率随土壤含水率的变化规律是一致的。

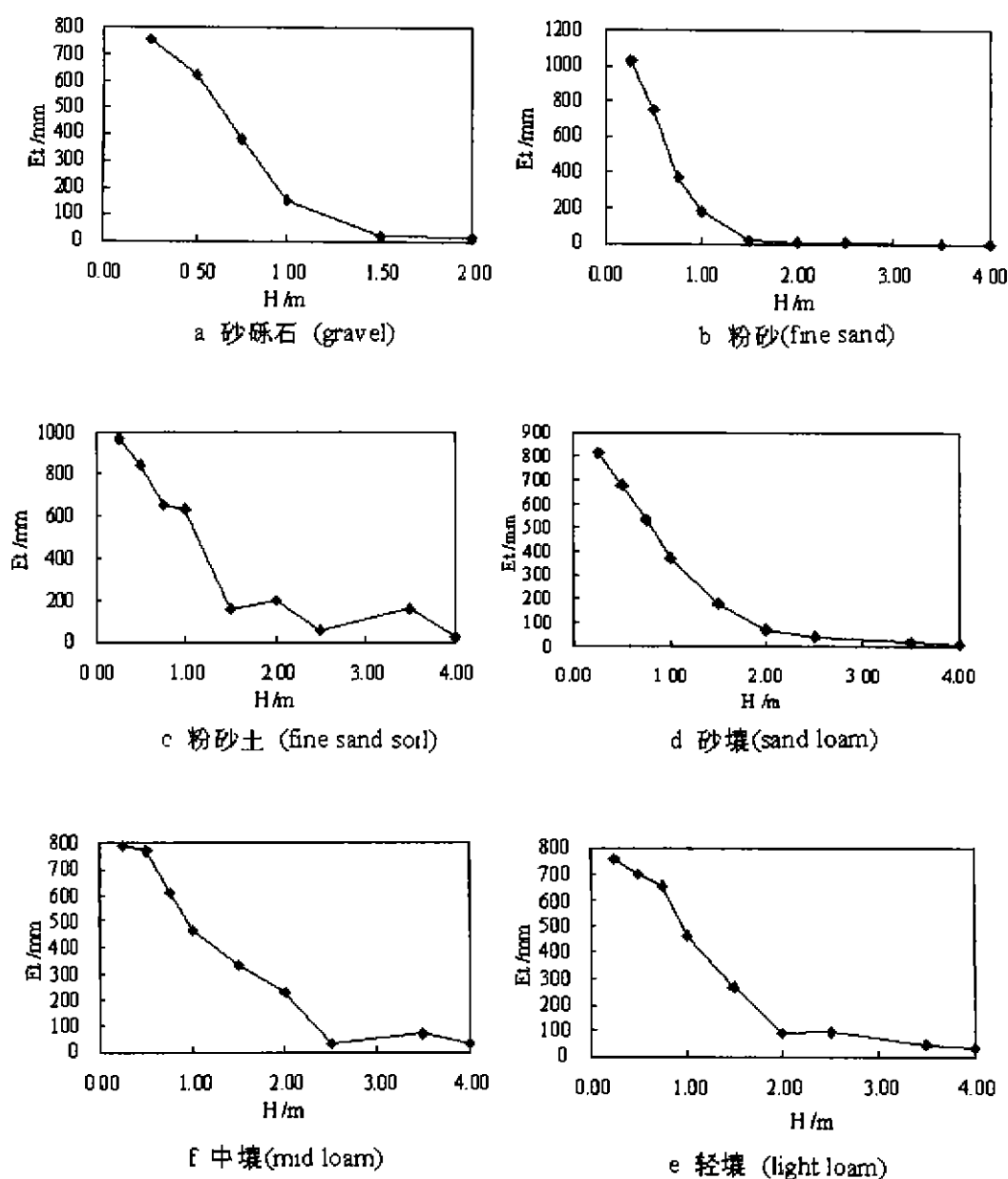


图1 不同土质的累积潜水蒸发量 E_t 与埋深 H 的关系

Fig. 1 The relation of accumulate phreatic evaporation E_t and the phreatic dept H

2.4 大气蒸发能力对潜水蒸发的影响

本文采用了莎车气象站直径 20cm 蒸发皿的水面蒸发量 E_{20} 来反映大气蒸发能力, 点绘了不同潜水埋深句潜水蒸发量与 E_{20} 的关系。大气蒸发能力对潜水蒸发的影响与潜水埋深

密切相关。当埋深较小且大气蒸发能力不很大时,随着 E_{20} 的增加,潜水蒸发线性递增。在较大埋深的情况下,随着 E_{20} 的增加,潜水蒸发呈非线性递增,且受到该埋深下最大潜水蒸发的限制。在埋深增大到 2.5m 左右时,潜水蒸发不受大气蒸发能力的影响且随着埋深的增加逐渐趋近于零。它反映了潜水蒸发在一定埋深范围以内,受大气蒸发能力影响较大,当埋深超过一定范围时,大气蒸发能力的影响逐渐减小。

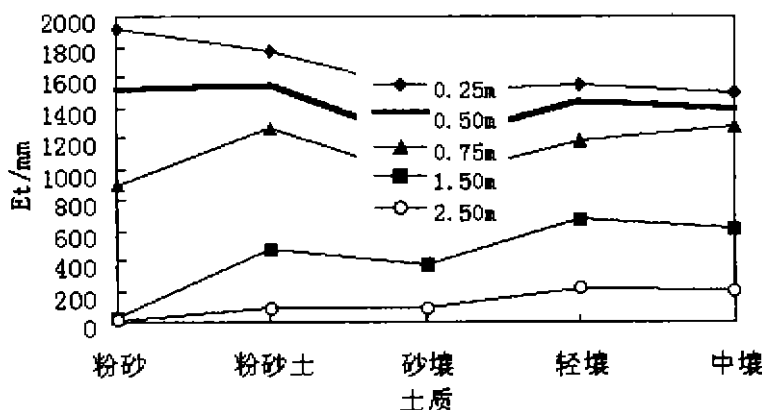


图 2 等埋深下潜水蒸发总量 E_t 随土质的变化

Fig. 2 The changes of phreatic evaporation with the soil texture in the same phreatic depth

3 潜水蒸发量的估算

3.1 考虑潜水蒸发系数与埋深的关系进行拟合

因为对于同一种埋深,在一定范围内,潜水蒸发量与大气蒸发能力间呈一定的线性关系,这种线形关系可用两者之比:潜水蒸发系数来表示。通过点绘每种土壤各旬的潜水蒸发系数(采用 E/E_{20} 表示)与埋深的关系表明,同一土质同埋深下不同时期的潜水蒸发系数在一定范围内波动,总的趋势是随着埋深的增加,潜水蒸发系数均逐渐减小。对各旬的潜水蒸发系数在同埋深下进行了平均,并采用较常用的阿维里扬诺夫、指数型、幂函数型公式对平均潜水蒸发系数与埋深的关系进行了公式拟合。结果表明,幂函数型公式在埋深较小时误差较大;阿维里扬诺夫公式和指数型公式的拟合结果与实际情况较吻合,适用于该地区的潜水蒸发估算。

3.2 简化的指数型公式

对某种土壤在一定埋深下,在一定大气蒸发能力范围内,潜水蒸发与大气蒸发能力呈现出线性关系。但当大气蒸发能力增加到一定数值时,潜水蒸发基本保持不变,不会有太大的变化。因此,按照上述潜水蒸发系数与埋深的关系得到的公式求解潜水蒸发量时,在大气蒸发能力较大时可能高估潜水蒸发量,这在夏季就可能产生较大的误差。因此在大气蒸发能力较大时也可以忽略大气蒸发能力的影响,采用主要以埋深作为计算潜水蒸发量大小的方法,即简化的指数型公式:

$$E = ae^{-bH}$$

其中 E 为当大气蒸发能力较大时的潜水蒸发量, H 为潜水埋深, a 、 b 为拟合系数。这种方法对于夏季较为适合, 因为夏季的大气蒸发能力较大, 避免了过高估计夏季的潜水蒸发量; 但对于冬季来说, 计算的潜水蒸发量偏大, 需要通过折算系数等进行调整。

3.3 清华公式

从以上的潜水蒸发估算中可以看出, 考虑潜水蒸发系数与埋深的关系进行潜水蒸发量的估算, 可能会高估夏季的潜水蒸发量, 如果单纯考虑潜水蒸发与埋深的关系而忽略大气蒸发能力, 在大气蒸发能力较小时, 又会产生较大的误差。因此, 清华大学雷志栋等(1988)提出了综合考虑大气蒸发能力和埋深影响的清华公式:

$$E = E_{\max}(1 - e^{-\eta E_{20}/E_{\max}})$$

其中, η 为经验常数; E_{20} 反映了大气蒸发能力; E_{\max} 为特定土质和潜水埋深下, 潜水蒸发可能达到的最大值。经过拟合, 发现对试验中的各种情况, 取 $\eta = 0.85$ 时均较为合适。本文取用 1994.05~1994.10 期间各旬的潜水蒸发量进行了拟合, 拟合结果证明该公式综合考虑了大气蒸发能力和埋深的影响, 较真实的反映出该地区的潜水蒸发量的变化。

3.4 各种经验公式的拟合结果

以下列出不同土质几种经验公式的拟合结果:

表 2 不同土质经验公式的拟合结果

Tab.2 The regression results of empirical formulae for different soil texture

名称	幂函数 公 式		指数型 公 式		阿维里扬诺夫 公 式			简化指数型 公 式			清 华 公 式			
形 式	$\frac{E}{E_{20}} = aH^{-b}$		$\frac{E}{E_{20}} = ae^{-bH}$		$\frac{E}{E_{20}} = a(1 - \frac{H}{H_{max}})^b$			$E = ae^{-bH}$			$E = E_{max}(1 - e^{-\eta E_{20}/E_{max}})$			
系数	a	b	a	b	a	b	H _{max}	a	b	η	E _{max} (mm/旬)			
											0.25m	0.50m	0.75m	1.0m
砂砾石	0.06	2.00	0.62	1.55	0.62	2.2	2.0	172.21	2.640	0.85	90	75	35	12
粉 砂	0.06	2.40	0.62	1.5	0.62	2.6	2.58	228.58	2.948	0.85	85	70	40	18
粉砂土	0.20	1.13	0.62	0.8	0.62	2.8	4.5	120.85	1.443	0.85	80	65	45	40
砂壤土	0.12	1.57	0.62	1.1	0.62	3.1	3.5	118.23	2.064	0.85	75	65	35	15
轻壤土	0.20	1.01	0.62	0.8	0.62	3.2	5.0	76.664	0.778	0.85	75	60	45	35
中壤土	0.17	1.24	0.62	0.9	0.62	3.6	5.5	105.48	1.048	0.85	75	65	55	50

注: 由于清华公式中 E_{\max} 与埋深 H 的关系不太明显, 故未做拟合。

4 试验初步结论

新疆叶尔羌河流域地处我国西北内陆, 干旱少雨, 水资源极为短缺。掌握该地区的潜水蒸发规律, 对于研究干旱区地下水的消耗, 进一步研究作物生长期的潜水补给和裸地的蒸发具有一定的作用。叶尔羌河流域地下水均衡试验场经过几年的试验, 取得了大量的试验资料, 经分析已初步掌握了该地区潜水蒸发的规律, 为水资源评价和生产应用奠定了基础。

试验证明, 裸地潜水蒸发量的大小与大气蒸发能力、土壤质地和潜水埋深等因素有关。

潜水蒸发随大气蒸发能力的变化而变化,且潜水埋深越浅,受其影响越明显。潜水蒸发随潜水埋深的增加而减少,在某一埋深以下其潜水蒸发接近于零。不同的土质其潜水蒸发量不同,一般情况下,在潜水埋深较小时,土质较粗、偏砂性的土壤的潜水蒸发较大,当潜水埋深较大时,土质较细、偏粘性的土壤的潜水蒸发较大。这与不同土质的非饱和导水率随土壤含水率的变化规律是一致的,也反映出了土壤水分运动参数对潜水蒸发的影响。

对于裸地的潜水蒸发计算,经试验分析,推荐采用指数型、阿维里扬诺夫型和清华公式,对于夏季的蒸散发,也可以忽略大气蒸发能力的影响采用简化的指数型公式,其中以清华公式效果最好,但该公式中参数的估计困难,在生产实践中不易被采用。

参 考 文 献

- [1] 沈振荣. 水资源科学实验与研究 - 大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 213~231.
- [2] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 潜水稳定蒸发的分析与经验公式. 水利学报, 1984, (8): 60~64.
- [3] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [4] 程先军. 有作物生长影响和无作物时潜水蒸发关系的研究. 水利学报 1993, 6: 37~42.
- [5] 张书函, 康绍忠, 刘晓明, 熊运章. 农田潜水蒸发的变化规律及其计算方法研究. 西北水资源与水工程, 1995, 6(1): 55~61.
- [6] 邱胜彬, 张江辉, 刘诚明. 土壤质地及结构影响潜水蒸发的势能分析. 新疆水利, 1995, (3): 22~27.
- [7] 孔凡哲, 王晓赞. 利用土壤水吸力计算潜水蒸发初探. 水文, 1997, (4): 44~47.
- [8] 尚松浩. 越冬期土壤冻结融化过程中水热迁移规律及其应用研究. [博士学位论文]. 北京: 清华大学, 1997.
- [9] 毛晓敏, 杨诗秀, 雷志栋. 叶尔羌河流域裸地潜水蒸发的数值模拟研究. 水科学进展, 1997, 8(4): 313~320.

ANALYSIS OF THE PHREATIC EVAPORATION IN YARKANT RIVER BASIN, XINJIANG

Mao Xiaomin Li Min Shen Yanli

(Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

He Changde Zhou Kai Ainiwaer Abudureyimu

(Management Office of Yarkant River Basin, Shache, Xinjiang 844000)

Abstract

As the main water consumption way in the vertical direction of the groundwater in arid area in Northwest China, phreatic evaporation is one of the main reason for water resources deficiency and soil salinization. The research on influence factor to phreatic evaporation and the calculation method is very important to the evaluation of groundwater resources. In order to find out the rule of phreatic evaporation and evaluate the groundwater resources exactly in

Yarkant River Basin in Xinjiang, groundwater balance station was founded in Shache County. Phreatic water evaporation experiment has been carried out since 1993. The experiment includes 54 survey canister for 54 treatments with different soil textures and different phreatic water depth. The modified Mariotte Bottle is applied for water supply and groundwater level control in the canister. The infiltration water flows into the measuring glass through balance bottle. The phreatic evaporation of six different soil textures, including gravel, fine sand, fine sand soil, sand loam, light loam and mid loam in different phreatic depth is measured daily. Moreover, meteorological observation is carried out at the station. Based on the observation, factors influencing phreatic evaporation are discussed and empirical formulae for estimating phreatic evaporation are regressed. It shows that the main factors influencing the phreatic evaporation are soil texture, phreatic water depth and the atmosphere evaporation capacity. The phreatic evaporation varies with the atmosphere evaporation capacity. The smaller the phreatic water depth, the greater the influence of the atmosphere evaporation capacity to the phreatic evaporation. The phreatic evaporation decreases with the increase of phreatic depth. When the phreatic depth is larger than a critical value, the phreatic evaporation is close to zero. The phreatic evaporation also varies with the soil texture. Generally, when the phreatic depth is small, the phreatic evaporation is greater as the soil texture is coarser. However, when the phreatic depth is large, the phreatic evaporation is greater as the soil texture is finer. This is in accord with the variation of unsaturated water conductivity with the soil water content for different soil texture, which also reflects the effect of soil hydraulic properties to the phreatic evaporation. The regression to the phreatic evaporation or the phreatic evaporation coefficient shows that the results of Tsinghua Formula [with the form: $E = E_{\max}(1 - e^{-\eta E_{20}/E_{\max}})$] is the best. But it requires more parameters that are not easy to obtain. The Exponential Type Formula (with the form: $E/E_{20} = ae^{-bH}$) and Аверьянов Formula [with the form: $E/E_{20} = a(1 - H/H_{\max})^b$] are suitable for the phreatic evaporation estimation of this region. The result of Power Type Formula (with the form: $E/E_{20} = aH^{-b}$) is the worst. The Simplified Exponential Type Formula (with the form: $E = ae^{-bH}$) can only be used in a certain period. The coefficient a and b in the Exponential Type Formula from regression is 0.62, 1.55 (gravel), 0.62, 1.5 (fine sand), 0.62, 0.8 (fine sand soil), 0.62, 1.1 (sand loam), 0.62, 0.8 (light loam) and 0.62, 0.9 (mid loam). The coefficient a , b and H_{\max} in the Аверьянов Formula is 0.62, 2.2, 2.0 (gravel), 0.62, 2.6, 2.58 (fine sand), 0.62, 2.8, 4.5 (fine sand soil), 0.62, 3.1, 3.5 (sand loam), 0.62, 3.2, 5.0 (light loam) and 0.62, 3.6, 5.5 (mid loam).

Key words: phreatic evaporation, phreatic evaporation coefficient, empirical formula, Yarkant River Basin,