

浅析土壤质地及结构对潜水蒸发的影响

邱胜彬 张江辉

(新疆水利水电研究所·乌鲁木齐·830049)

刘诚明

(新疆水利厅世行项目办·乌鲁木齐·830000)

摘 要 根据土壤水动力学的基本原理,结合试验观测资料,分析了土壤不同质地及结构对潜水蒸发的影响,特别是砂土夹层对潜水的阻碍作用的结论,对实际工作有一定的实用价值。

关键词 潜水蒸发 土壤夹层 土壤质地

Preliminary Analysis on Effect of Soil Texture and Structure upon Groundwater Evaporation

Qiu Shengbin Zhang Jianghui

(Xinjiang Institute of Water Resources and Hydro-electric Power .Urumqi. 830049)

Liu Chengming

(Xinjiang Water Conservancy Agency Project Offices. Urumqi. 830000)

Abstract According to soil-water dynamics of basic principle and combined with experiment observation data, the influence of soil texture and structure upon groundwater evaporation was analysed. Particularly, the conclusion of obstruction of sand layer upon evaporation has some utility value in practical task.

Key words groundwater evaporation soil layer soil texture

1 前 言

潜水蒸发作为地下水的主要消耗项,在盐碱地改良及田间水分状况的调控等方面都是十分重要的。影响潜水蒸发的主要因素有两个方面。一个方面是气象因素,如太阳辐射、气温、地温、湿度和风速等,综合起来称为大气蒸发能力;另一方面是土壤物理特性因素,也即是土壤本身的输水能力。在大气蒸发能力一定时,潜水蒸发的大小主要取决于土壤的输水能力。以往的论述中一般对均质土潜水蒸发的变化规律研究较多,而在实际生产应用中,均质土是不常见的,因此,研究不同土壤质地及土层结构对潜水蒸发的影响更具有实用价值。

本文将以新疆水科所昌吉地下水蒸发试验站的7年实际观测成果来探讨土壤质地及结构对潜水蒸发的影响,并运用近代土壤水动力学的势能理论对其机理进行分析,并作出合理的解释。

昌吉地下水蒸发试验站设置了6种土样的潜水蒸发的观测。其中均质土样3种,分别为3#粗砂、4#砾石和2#粉壤土。非均质土样(层状)也有3种,分别为1#、5#、6#土样。

2 土壤质地对潜水蒸发的影响

经过对多年的实际观测资料分析,土壤质地对潜水蒸发有显著的影响。在相同埋深情况下,土壤质地愈粗其蒸发量愈小。当埋深增至一定深度时,其蒸发量很小,且不同质地蒸发量接近于相同数据。表1列出3种典型土样粉壤土、粗砂、砾石的日均蒸发量。

表1 不同质地日均蒸发量对比表 (单位:mm/d)

埋深(m)	2#粉壤土	3#粗砂	4#砾石
0.00	3.34	3.83	2.32
0.25	2.39	2.56	0.67
0.50	1.87	0.64	0.13
0.75	1.15	0.32	0.06
1.00	0.85	0.14	0.04
1.50	0.63	0.12	0.02
2.00	0.50	0.09	0.02
2.50	0.31	0.05	0.01
3.00	0.07	0.05	0.01
3.50	0.02	0.04	0.01
4.50	0.01	0.01	0.01

从表1中可明显地看出,在相同埋深下,粉壤土潜水蒸发量最大,粗砂次之,砾石潜水蒸发量最小。另一方面,当潜水平埋深大于3m以上时,3种土质的日均蒸发量变得很接近,为0.05~0.01mm/d,而埋深越浅,其差异越明显。从图1还可以看出,3种土质蒸发量大小随埋深变化幅度也有明显的不同,即粉壤土曲线变化较缓,而粗砂及砾石曲线变化较陡。

有关方面资料也曾提出了粘性较重土质的潜水蒸发量比砾石大的结论^[1]。土壤质地对潜水蒸发的影响可以用土壤水动力学的基础原理进行分析。从微观上来说,实际发生的潜水蒸发都是非稳定蒸发,但在一定条件下,可以用稳定蒸发近似替代实际发生的情况^[2]。

设有一均质土壤,其潜水平埋深为 H , 当处于稳定蒸发时,地表处的蒸发强度与任一断面处的土壤水通量相等,此通量也即潜水的蒸发强度,如图2所示, Z 坐标原点在潜水面处,其定解问题可写为:

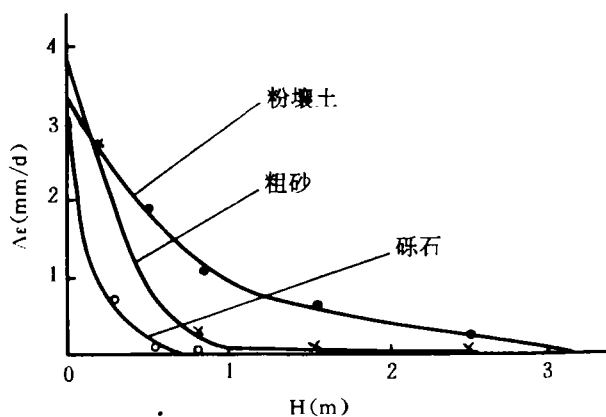


图1 不同土质 $\Delta\epsilon$ 与 H 的关系

$\Delta\epsilon$ —— 日均蒸发量(mm/d) H —— 潜水平埋深(m)

$$\begin{cases} E = q = -k(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} = k(s) \left(\frac{ds}{dz} - 1 \right) \\ s = 0, \quad Z = 0 \end{cases} \quad (1)$$

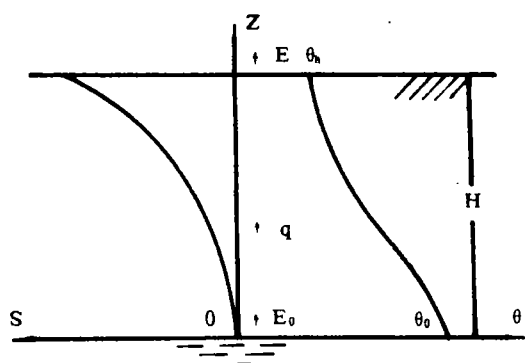


图2 均质土稳定蒸发时含水率
和吸力分布示意图

表达式中,表土的蒸发强度 E 与土壤水通量 q 及潜水蒸发强度 E_0 是等同的。潜水蒸发强度的大小取决于导水率 $k(\theta)$ 和势梯度 $\frac{ds}{dz}$ 的大小。在稳定蒸发条件下,表土含水量 θ_h 较低,因此表土吸力 S 很大(见图3)。一般情况下,砂性土壤的导水率比粘性土壤的要大,但当吸力值较高时,由于砂性土壤中绝大多数孔隙中的水被排空,成为不导水的孔隙,此时砂性土壤的导水率反而会比粘性土壤的导水率为低。另一方面,如图3所示,由于表土含水率 θ_h 较小,可近似设 θ_h 相同,这样砂性土壤的吸力也比壤土类吸力小的多,即砂性土壤的表土势梯度 $\frac{ds}{dz}$ 比壤土类表土

势梯度 $\frac{ds}{dz}$ 要小。由(1)式可知,砂性土壤的潜水蒸发量 E 要比壤土类小。这一分析与实验结果是一致的。当然,由前分析可知,在稳定蒸发条件下,潜水蒸发量的大小取决于导水率 $k(\theta)$ 与势梯度 $\frac{ds}{dz}$ 两个变量的综合结果,在一定条件下(壤土类土壤粘性逐渐变重),可能随着土壤的粘性加重,蒸发量逐渐变小的结果^[3,4]。本文主要对砾石→粗砂→粉壤土的蒸发量的变化进行分析,而对壤土→粘土的蒸发量变化规律有待进一步研究。

3 土壤剖面结构对潜水蒸发的影响

土壤剖面结构对潜水蒸发也有显著的影响,有关文献^[3,4,5]也多有论述,但主要有粘性夹层的情况下。本文以下结合试验资料对有砂质夹层和有粘性夹层的两种典型层状结构分别加以分析。

试验站采用的四种土样,只有2#样为均质的粉壤土,1#,5#,6#土样为有不同质地夹层的粉壤土。

试验结果表明,四组土样虽都以粉壤土为主,但是有夹层的情况下其蒸发量都受到一定程度的影响,无论是砂性夹层还是粘性夹层,与均质土样相对比,其蒸发量变小。

3.1 砂性夹层对蒸发的影响

从表2可见,1#土样在埋深0.6~0.8m处为砂砾,0.8~0.9m处为粗砂,其余部分皆为粉壤土。而5#土样在1.5m以上均为粉壤土。1#土样在砂性夹层以上埋深时的蒸发量与5#土样蒸发量接近一致(同埋深情况下),而埋深在1.0m以下时,有砂性夹层的1#土样其蒸发量明显小于5#土样,其蒸发量只占5#土样的45%~84%。

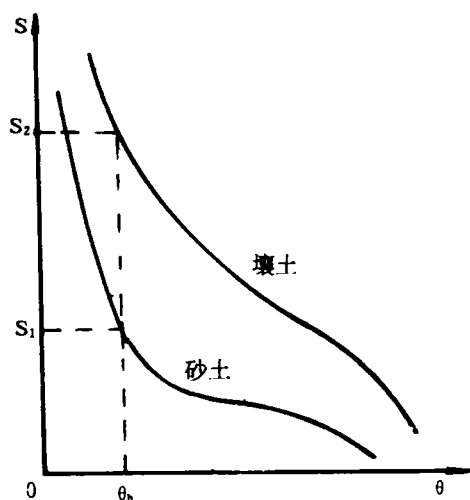







图3 不同土壤的水分特征曲线示意图





表2 有砂性夹层时对蒸发的影响对照表

1# 土样					5# 土样							
地层		埋深 (m)		日均蒸发量 (mm)	地层		埋深 (m)		日均蒸发量 (mm)			
	粉壤土	0.80	0.25	1.91		粉壤土	1.50	0.25	2.00			
			0.50	1.52				0.50	1.48			
			0.75	0.97				0.75	0.92			
	砂砾	0.80	1.00					1.00	0.70			
	粗砂	0.90						1.00	0.58			
	粉壤土	1.50	1.50	0.26							1.50	0.57

3.2 粘性夹层对蒸发的影响

6#土样在埋深0.8~1.30m处有一粘壤土层,其透水性很差。6#土样与5#土样在1.5m以下埋深时的日均蒸发量列于表3。

表3 有粘性夹层时对蒸发的影响对照表

5# (无夹层)					6# (有隔水夹层)				
地层		埋深 (m)		日均蒸发量 (mm)	地层		埋深 (m)		日均蒸发量 (mm)
	粉壤土	1.50	0.50	1.48		粉壤土	0.80	0.50	1.29
			1.00	0.59				1.00	0.33
				1.50	0.57		粘壤土	1.30	1.50
						粉壤土	1.50		

由表3所示,在粘性夹层以上时,两种土样其蒸发量较为接近。在粘性夹层之中及夹层以下时,潜水蒸发量明显小于无夹层的土样。其中6#土样1.0m埋深处已在粘性夹层之中,它的日均蒸发量仅相当于5#土样同埋深时的47.1%,而在粘性夹层以下的1.5m埋深处,6#土样的潜水蒸发量仅相当于5#土样的24.5%。由此可见,粘性夹层对蒸发量的影响是很显著的。

3.3 夹层结构土壤蒸发性质的理论分析

对于层状土壤水分运动规律,许多学者已做了不少研究^[5-6-7],但主要是关于有粘土夹层情况下土壤蒸发规律的研究。一般认为,粘土夹层厚度越大,阻水作用也越大,其蒸发量越小。同时,粘土层越靠近地表蒸发越小^[6]。这一结果与试验结果是一致的。而对于砂性夹层对蒸发的影响还未见报道。因此,在此主要针对砂性夹层对蒸发的阻碍作用进行分析。

在地下水埋深一定的情况下,非均质层状土壤的稳定蒸发问题据 Willis(1960)研究,其分析方法基本上同均质土壤稳定蒸发问题。如图4所示。

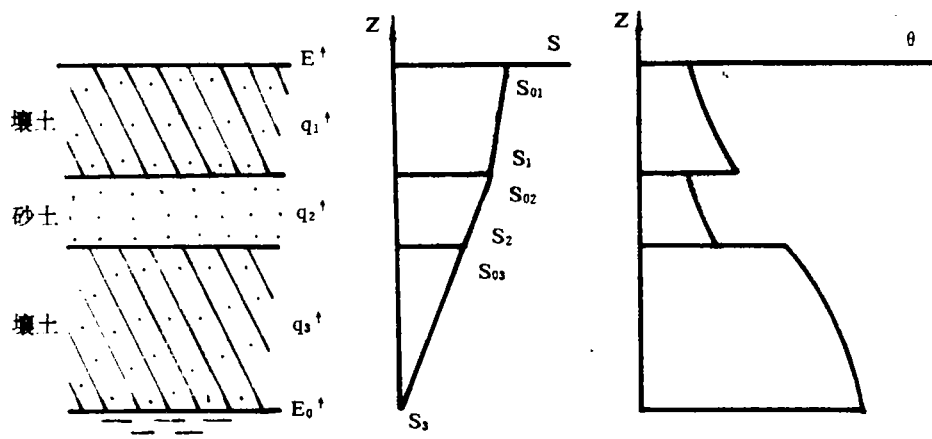


图4 层状土壤稳定蒸发时的吸力 S 和含水率 θ 分布(砂性夹层)

图4所示土壤结构为壤土夹砂,在大气蒸发能力足够大时,蒸发主要受土壤输水能力控制,潜水蒸发强度、各层的土壤水分运动通量和地表蒸发强度相等,即

$$E = E_0 = q_1 = q_2 = q_3 \quad (2)$$

层间界面处土壤水吸力 S 是连续的,即

$$S_1 = S_{02}, S_2 = S_{03} \quad (3)$$

但含水率及导水率等在界面处可以是不连续的。

根据土壤水动力学的原理,土壤水分从能量高处向低处运动(吸力低处向吸力高处运动)。如图3所示,对于含有砂性夹层的壤土,当下层壤土水分运动至砂土界面时,在同一含水量时,壤土的吸力 S_{03} 高于砂土层吸力 S_2 ,因此水流在界面处受到阻抗作用,不再上升,而在砂层以下壤土层中聚积,随着水分的聚积,壤土含水量不断增大,其吸力值 S_{03} 也不断降低(能量增大),直至吸力值 S_{03} 与砂层吸力 S_2 相等时,水流才开始向上运动。又如图4所示,对于稳定蒸发的土壤,势能在界面处是连续的,土壤含水量是变化的。对含有砂土夹层的壤土,砂土层的含水率较壤土减小,在单位水势梯度作用下,水分将在较小的孔隙中流动,也就是说,孔隙的实际过水面积减少,土壤水分绕过大孔隙通过小孔隙运动,流程愈加弯曲而实际的梯度愈小,土壤水通量较壤土情况下减小。

4 结 语

(1)潜水蒸发在水资源评价及田间土壤水分调控等方面有十分重要的作用,特别是研究不同质地及土壤结构对潜水蒸发的影响,将对实际工作有着直接指导意义。

(2)通过实际观测试验成果分析,不同土壤质地的潜水蒸发有显著的差异。在潜水埋深小于 3.0m 以内,粗颗粒土样的潜水蒸发明显小于粉壤土。

(3)无论是粘性夹层或砂性夹层,都明显地阻碍潜水蒸发。本文对砂性夹层阻碍潜水蒸发的机理进行了初步分析。至于夹层的厚度以及夹层所在的位置对潜水蒸发机理的影响,还有待进一步深入研究。

(下转第41页)

(2)土壤入渗能力的变化导致农业灌溉水效果的明显变化。随着土壤入渗能力的降低田间灌溉水有效利用程度呈增加趋势,而储水效率呈减小趋势;土壤入渗特性的变化对灌水均匀度的影响较小,但土壤入渗过程对灌水均匀度有较大影响。

(3)具有良好灌水效果的灌溉应同时获得较高的灌水效率、储水效率和灌水均匀度。但本研究结果表明:由于一定条件下灌水效率与储水效率的互斥性,在土壤入渗特性随季节变化的条件下同时获得较高的灌水效率、储水效率较为困难。本文仅从宏观的角度揭示了土壤入渗特性对灌水效果的影响,并提出了几项提高灌水效果的措施,但农业生产周期内变土壤入渗特性条件下灌水效果的提高措施这一问题还有待进一步深入研究。

参考文献

- 1 姚贤良等. 土壤物理学. 农业出版社, 北京: 1986
- 2 波涌灌地面水流运动的零惯量模型及数值模拟. 水利学报, 1994, (4) 66~73
- 3 Wynn R Walker and Gaglord V Skogerboe. Surface Irrigation Theory and Practice. Americe Printice-hall. INC: 1987

(上接第34页)

参考文献

- 1 王积强. 中国北方地区若干蒸发试验研究. 科学出版社, 1992
- 2 雷志栋等. 土壤水动力学. 清华大学出版社, 1988
- 3 罗家雄. 新疆垦区盐碱地改良. 水利电力出版社, 1985
- 4 谢承陶. 盐渍土改良原理与作物抗性. 中国农业科技出版社, 1992
- 5 石元春等. 盐渍土的水盐运动. 北京: 农业大学出版社, 1986
- 6 王金平. 蒸发条件下层状土壤水分运动的数值模拟. 水利学报, 1989(5)
- 7 张瑜芳. 均质和非均质土壤的稳定蒸发. 全国地下水情报网首届科技情报交流会议论文选编, 地下水增刊, 1989
- 8 王文焰. 土壤水研究在农业发展中的应用. 西安水资源研究所, 1992