

零通量面法计算土壤水分腾发量研究^{*}

胡安焱¹, 董新光², 刘 燕¹, 周金龙²

(1. 长安大学环境工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 土壤水分腾发量的确定是土壤水分运动研究的难点问题。零通量面法是利用零通量面存在时段计算土壤水分腾发量的方法。在计算时段内, 根据零通量面发育状态不同可分为零通量面稳定条件下的计算公式和零通量面移动条件下的计算公式。选择不同水位埋深、不同作物类型的土壤剖面对计算公式进行了验证, 结果表明, 零通量面法计算土壤水分腾发量精度较高, 简单易行。本方法适用于计算潜水埋深在3~10 m 的干旱半干旱的平原地区计算土壤水分腾发量。

关键词: 零通量面; 土壤水分; 腾发量

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2006) 02-0119-03

土壤水分腾发量包括棵间土壤水分蒸发量和作物蒸腾量两部分。土壤水分腾发过程受到多种因素的综合影响, 它取决于农业生态系统的大气环境和地质环境, 也取决于其所处的外部环境^[1]。土壤水分腾发首先要具备能量条件和水汽输送条件, 它主要取决于辐射、气温、温度、风速等气象要素; 二是要具备蒸发蒸腾的水分供给条件, 主要取决于土壤结构、地下水埋深、土壤含水量的大小及其分布、土壤的能量状态及其分布等^[2]; 三是植物的生理特性, 植物通过根系吸收土壤水分, 并由叶面向大气散发, 蒸腾强度与作物根系吸水能力以及叶面指数等有着密切的关系^[3]。因此, 土壤水分腾发量的计算是非常困难的。

目前国内确定土壤水分腾发量主要是采用彭曼法, 该法计算需要的气象资料和参数在实际工作中往往较难获得, 影响了该方法的应用, 本文探讨利用零通量面法确定土壤水分腾发量。

1 基本原理及计算公式

非饱和带任一位置的土壤水分通量可由达西定律给出, 即 $q = -k(\theta) \frac{\partial \Psi}{\partial Z}$ 。当某一位置的土壤水势梯度 $\frac{\partial \Psi}{\partial Z} = 0$ 时, $q = 0$, 称此点为零通量点, 由零通量点构成的面称为零通量面, 该位置记作 Z_0 。一般情况下, 在非饱和带的土壤水势分布是深度的连续函数。因此, 在土壤水势分布曲线上满足 $\frac{\partial \Psi}{\partial Z} = 0$ 的点为极值点, 这些极值点的位置就是零通量面的位置。由于

土壤水势分布曲线的极值点分为极大值点和极小值点两种类型, 所以零通量面也分为两种类型。一类是位于非饱和带土壤水势分布曲线除两个端点(地表和潜水面)外的极大值点位置, 在此位置以上 $\frac{\partial \Psi}{\partial Z} < 0$, 土壤水分向上运动, 在此位置以下 $\frac{\partial \Psi}{\partial Z} > 0$, 土壤水分向下运动, 故称这类零通量面为发散型零通量面, (土壤水分通量计算中使用的是这类零通量面, 下文中如不特别说明均指发散型零通量面)。另一类是零通量面位于非饱和带土壤水势分布曲线除两个端点(地表和潜水面)外的极小值点位置, 在此位置以上 $\frac{\partial \Psi}{\partial Z} > 0$, 土壤水分自上而下向此位置运动。在此位置以下 $\frac{\partial \Psi}{\partial Z} < 0$, 土壤水分自下而上向此位置运动, 称这类零通量面为收敛型零通量面。

应用零通量面法计算土壤水分通量时, 在计算时段内, 根据零通量面的发育状态不同, 分两种情况处理^[4]。

(1) 零通量面稳定条件下的计算公式

一般情况下, 零通量面的位置 Z_0 是随时间而变化的, 记为 $Z_0(t)$ 。当在一个计算时段内的位置移动很小或者测量不到其位移时, 可近似把零通量面看作是稳定不变的。这时土壤水分腾发量的计算公式可以表达为

$$E = \int_{Z_0}^{\infty} \theta(Z, t_1) dZ - \int_{Z_0}^{\infty} \theta(Z, t_2) dZ \quad (1)$$

当在 t_1 至 t_2 时段内发生过降雨(或灌溉), 同时可能

^{*} 收稿日期: 2005-07-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(69869001)

作者简介: 胡安焱(1970-), 男, 四川泸县人, 博士, 主要从事水资源与生态环境研究。E-mail: huanyan97@163.com

产生地表径流,并且降雨(或灌溉)入渗未影响到原来零通量面时,这部分水量应当考虑在零通量面以上土壤水分的腾发损耗量中,公式(1)应改为:

$$E = P - R_s + \int_{Z_0} \theta(Z, t_1) dZ - \int_{Z_0} \theta(Z, t_2) dZ \quad (2)$$

式中, E —土壤水分腾发量; P — t_1 至 t_2 时段内降雨量; R_s — t_1 至 t_2 时段内,降雨期间产生的地表径流量; $\theta(Z, t_1)$, $\theta(Z, t_2)$: 分别为 t_1 和 t_2 时刻土壤剖面含水量分布; Z_0 —零通量面所在的位置。

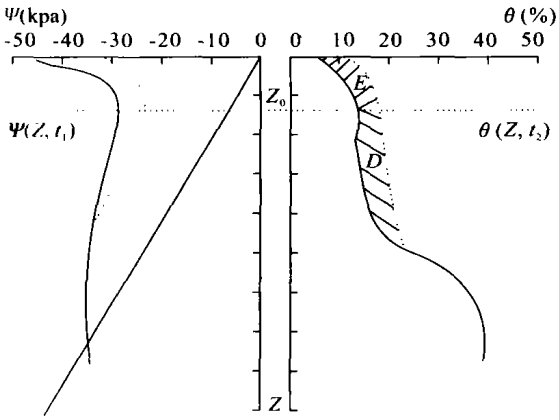


图 1 零通量面稳定时土壤剖面示意图

Fig. 1 Sketch map of soil profile under steady condition of zero flux plane

图 1 给出了零通量面稳定条件下,计算土壤水分腾发量(由 E 表示的阴影部分)和土壤剖面处的下渗量(由 D 表示的阴影部分)的示意图。图中虚线表示 t_1 时刻土壤剖面水势分布曲线 $\Psi(Z, t_1)$ 或含水量分布曲线 $\theta(Z, t_1)$ 。实线表示 t_2 时刻土壤剖面水势分布曲线 $\Psi(Z, t_2)$ 或含水量分布曲线 $\theta(Z, t_2)$ 。

(2) 零通量面移动条件下的计算公式

当零通量面的位置随时间不断变化时,土壤水分腾发量的计算公式为:

$$E = P - R_s + \int_{Z_0(t_1)} \theta(Z, t_1) dZ - \int_{Z_0(t_2)} \theta(Z, t_2) dZ + \int_{Z_0(t_2)}^{Z_0(t_1)} \theta(Z, t(Z_0)) dZ \quad (3)$$

式中, $Z_0(t_1)$, $Z_0(t_2)$ —分别表示时段始末 t_1 , t_2 时刻的零通量面的位置; $t(Z_0)$ —表示零通量面位置在 Z_0 时的时间; $\theta(Z, t(Z_0))$ —表示 t_1 和 t_2 时刻土壤剖面含水量分布。

图 2 给出了零通量面移动条件下,计算土壤水分腾发量(由 E 表示的阴影部分)和土壤剖面处的下渗量(由 D 表示的阴影部分)的示意图。图中虚线表示 t_1 时刻土壤剖面水势分布曲线 $\Psi(Z, t_1)$ 或含水量分布曲线 $\theta(Z, t_1)$ 。实线表示 t_2 时刻土壤剖面水势分

布曲线 $\Psi(Z, t_2)$ 或含水量分布曲线 $\theta(Z, t_2)$ 。

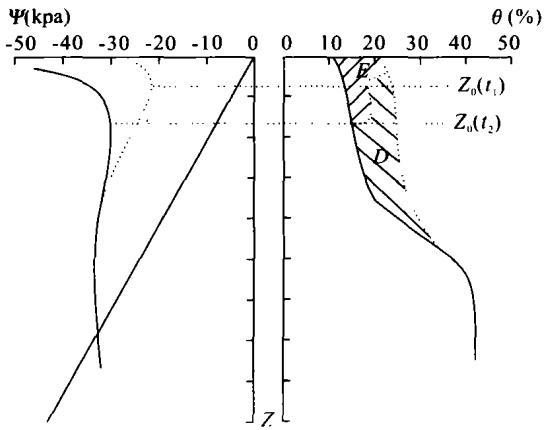


图 2 零通量面移动时土壤剖面示意图

Fig. 2 Sketch map of soil profile under variation condition of zero flux plane

2 零通量面法的验证

本文中的土壤剖面取自于新疆昌吉市北门村新疆第二水文地质大队水均衡试验场内,试验场在天山北麓头屯河冲洪积扇前缘西侧,地形平坦开阔,远离高层建筑物。选择不同埋深的 4 个土壤剖面为例,作物类型有玉米和冬小麦,计算时段选择零通量面存在的时段。土壤剖面的岩性为:埋深 2 m 以内为粉质粘土,2~3 m 为粉细砂,3~4.2 m 为粉质亚粘土,4.2~5 m 为中细砂,5 m 以下为砂砾石。中子仪为英国沃灵福水文所研制的 IH-III 型中子水分测定仪,读数精度为 1 counts/s;负压计为原地质矿产部水文地质工程地质研究所研制的 WM-1 型负压计,读数精度为 1 mmHg 柱。新疆春玉米生长期为 4~9 月,夏玉米为 8~11 月,本文中的玉米为春玉米。用 1999 年观测土壤剖面资料,采用零通量面法计算土壤水分腾发量值,计算结果见表 1。采用地中渗透仪所测的数据结合实际观测到的降雨量和灌溉量值得出土壤水分腾发量值作为实测值,见表 1。由计算结果可知,用零通量面法计算土壤水分腾发量时,当潜水埋深小时,计算误差较大;潜水埋深大时,相对误差较小。

3 零通量面法的适用性分析

3.1 零通量面法计算土壤水分腾发量的优点

(1) 零通量面法与数字模拟方法相比避开了精确测定非饱和导水率的难点。同时,适当加密负压计和中子仪测点,可以减少土壤的非均质性带来的影响,有利于提高定量评价的质量。

表1 土壤水分腾发量计算
Table 1 Computation of evapotran spiration

剖面 Profile	水位埋深 Depth of water line (m)	作物 Crop	计算时段(月-日) Period (M-d)	计算值 Calcu lated value (mm)	实测值 Measured value (mm)	绝对误差 Error (mm)	相对误差 Relative error (%)
1	1.0	玉米 Maize	9-11~10-1	39.60	33.52	6.08	18.1
2	3.0	玉米 Maize	6-5~6-11	30.5	42.1	11.6	-27.6
3	6.0	冬小麦 Wheat	5-6~5-11	83.65	85.25	-1.6	-1.9
3	6.0	冬小麦 Wheat	5-11~5-31	22.60	21.37	1.23	5.4
4	7.0	玉米 Maize	4-30~5-11	30.35	32.44	-2.09	-6.4
4	7.0	玉米 Maize	6-30~7-16	42.6	42.46	0.14	0.3

(2) 零通量面法与地中渗透仪法相比,它所需要的土壤剖面水势资料和含水量分布资料都是在现场取得的,在不破坏自然条件下非饱和带土壤的水分运动状态,最大限度地排除了人为因素对观测资料的影响^[5]。

(3) 零通量面法所需的基本仪器是中子水分仪和负压计。中子水分仪和负压计的安装比较简单,与地中渗透仪相比,建立零通量面法研究非饱和带水均衡试验场要经济,易于推广。

3.2 零通量面法的局限性及其应用条件

(1) 用零通量面法必须在零通量面法有效的时期,在零通量面消失或失效时必须要用别的方法计算土壤水分腾发量。

(2) 当潜水位埋深小于3 m时,零通量面从形成、发育到消失的过程很快,使用零通量面法计算误差较大。当潜水位埋深大于10 m时,安装中子仪测管困难,标定中子仪工作更困难,难以保证土壤剖面含水量分布资料的精度。

(3) 降雨量大、雨量比较集中的季节,零通量面从形成、发育到消失的过程加快,因此,难以用零通量面法计算土壤水分腾发量。

零通量面法是干旱、半干旱地区计算土壤水分腾发量的简单易行的方法。该方法所需的基本仪器

安装简单,投资少;土壤剖面水势资料和含水量分布资料都是在现场取得的,减少了人为因素带来的影响;避开了精确测定非饱和导水率的难点,减少了土壤的非均质性的影响,有利于提高定量评价的精度。零通量面法计算土壤水分腾发量有一定的适用条件,要根据具体情况采用该方法。

综上所述,零通量面法计算土壤水分腾发量适用于干旱、半干旱的平原地区;其潜水埋深既不是太小也不是过大的地区;并且有利于中子仪测管的安装、中子仪标定以及负压计的安装和使用的地区。

参考文献:

[1] 周金龙, 虎胆吐马尔拜, 董新光, 等. 新疆平原区大气降水、灌溉水、土壤水与地下水水量转化关系实验研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2002: 57-71.

[2] 周金龙, 董新光, 艾克木阿不都拉. 天山北坡平原区零通量面形成发育规律研究[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(1): 62-65.

[3] 王政友, 陈建峰. 利用零通量面方法计算土壤水均衡要素的探讨[J]. 地下水, 2002, 24(3): 141-142.

[4] 陈喜, 姜丹. 不同气候区月蒸散发能力计算模式适用性分析[J]. 水文, 2004, 24(5): 1-4.

[5] 张妙仙, 毛任钊. 蒸散发条件下农田土壤水盐动态简化模型[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 102-105.

Calculation of soil evapotranspiration with zero flux plane method

HU An-yan¹, DONG Xin-guang², LIU Yan¹, ZHOU Jin-long²

(¹ College of Environmental Engineering and Sciences, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

² College of Hydraulic and Hydroelectric Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The calculation of soil evapotranspiration is a difficulty in studying soil water movement. Zero flux plane method is a method of calculating soil evapotranspiration by zero flux plane during certain period. According to the development condition of zero flux plane, it can be divided into steady condition equation and variation condition equation. These equations are tested by soil profile with different depth of water line and different crops. The results indicate that the zero flux plane method is feasible and its accuracy is favorable. This method is suitable for calculating soil evapotranspiration in arid and semi-arid plain areas where the depth of water line is between 3 m to 10 m.

Key words: zero flux plane; soil water; evapotranspiration