

人工环境下无覆盖土壤散湿量计算

广州市设计院 胡晨炯[☆] 邓辉炼

摘要 针对广州某遗址保护大厅内多为裸露土壤的情况,借鉴水利科学中潜水蒸发量的计算方法及成熟的相关经验公式,提出了人工环境下无覆盖土壤散湿量的计算方法。在该计算方法中,用暴露水面的蒸发量来表征外界蒸发能力,用潜水蒸发系数来表征土壤的输水能力。设计效果表明,该方法的计算精度能满足工程实际的需要。

关键词 遗址 土壤散湿量 水面蒸发 潜水蒸发系数 潜水埋深

Uncovered soil moisture gain calculation in artificial environment

By Hu Chenjiong[★] and Deng Huilian

Abstract Considering the situation of a ruins protection hall with a large floor proportion of uncovered soil in Guangzhou and borrowing some ideas from the calculation method and well-developed empirical formula of groundwater evaporation rate in hydro science, puts forward a method for calculating the uncovered soil moisture gain in artificial environment. In this method, outside evaporation capacity is characterized with the evaporation of exposed water surface and the water supply capacity of soil is characterized with groundwater evaporation coefficient. The design effect of the project indicates that the precision of the calculation method can meet the demand of engineering.

Keywords ruins, soil moisture gain, water surface evaporation, groundwater evaporation coefficient, groundwater depth

[★] Guangzhou Design Institute, Guangzhou, China

①

1 工程概况

某宫署遗址位于广州市中山四路,保护面积约 5.3 万 m²,是发现年代最早、保存较完好的秦汉王家园林遗址,也是广东省唯一被列入国家“十一五”期间重点保护的大遗址项目。该遗址保护博物馆总建筑面积 7 524.7 m²,主体高度 12.5 m。室内主要是由地下挖掘出土的一座大型石构小池(藩池)和一道长约 160 m 的曲流石渠构成的园林景观,遗址上设置人行栈道,其主要平面布置图如图 1 所示。

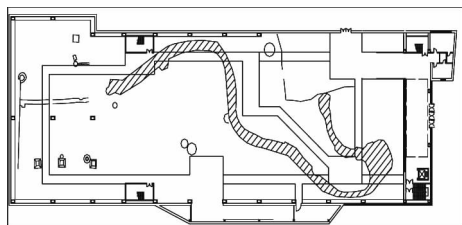


图 1 遗址保护大厅平面图

计算空调区域内的热湿负荷是空调系统设计的第一步。只有准确掌握室内热湿负荷的变化规律,才能使空调系统在满足室内人工环境控制要求

的基础上,合理优化系统设计和配置,降低运行费用和初投资,提高能源的利用效率。该项目是一个新型的非常规建筑。保护大厅内的遗址多为无覆盖裸露土壤,不同于常规建筑的防水防潮的混凝土地面。另外根据现场均匀分布的多个水井来看,该区域地下水较为丰富。因此,必须准确计算遗址保护大厅内裸露土壤的散湿量,以控制室内环境。

2 人工环境下土壤散湿量的计算方法

2.1 潜水蒸发

2.1.1 定义

通过收集并查阅相关资料,笔者引入水利科学中的潜水蒸发^[1]这一概念来计算无覆盖裸露土壤的蒸发量。在水利科学中,潜水蒸发是指地表

[☆] 胡晨炯,女,1968 年 11 月生,大学,高级工程师

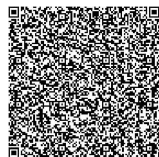
510620 广东省广州市天河区体育东路体育东横街 3 号设计大厦 9 楼

(020) 87513133

E-mail: huchenjiong@gzdi.com

收稿日期:2012-02-21

①修回日期:2012-04-12



蒸发和作物蒸腾所消耗的土壤水分中来自地下水的那部分水量。潜水蒸发是自然界水循环的组成部分,是地下水向土壤水和大气水转化的主要形式。假设在室内设计工况下,遗址大厅的室内散湿量与空调系统的除湿量达到平衡,室内除土壤外其他散湿量处于稳定状态,则土壤的散湿量应为土壤的潜水蒸发量。

2.1.2 影响因素

潜水蒸发主要受土壤输水能力和外界蒸发能力的影响,而且受两者中较小者的控制。其中,外界蒸发能力主要受光照、风速、气温、水蒸气分压力、空气流通情况等气象因素影响,通常通过潜水埋深为 0 m 时的潜水蒸发强度来表征。土壤输水能力主要受地下水埋深、土壤质地、植被状况等因素的影响,通常采用潜水蒸发系数 C 来表征。当土壤处于室内人工环境时,由于有外围护结构遮蔽,且室内空气环境温湿度均处于可控状态,其蒸发过程比处于室外环境时稳定。土壤输水能力则与土壤处于室内或室外状态无明显关系。综上所述,在室内人工环境中的土壤散湿量 E_g 计算中,外界蒸发能力可通过室内暴露水面的蒸发量 E_0 来表征,土壤输水能力可通过潜水蒸发系数 C 来表征。因此,水利学中土壤潜水蒸发量的计算方法亦可适用于人工环境下土壤散湿量的计算。土壤散湿量可按式(1)计算^[1]:

$$E_g = CE_0 \quad (1)$$

2.2 外界蒸发能力的确定

外界蒸发能力是通过潜水埋深为 0 m 时的潜水蒸发量来表征的。当潜水埋深为 0 m 时,即相当于暴露水面的蒸发量。室内暴露水面的蒸发量 E_0 可按式(2)计算^[2]:

$$E_0 = (\alpha + 0.00013v)(p_{qb} - p_q)A \frac{B}{B'} \quad (2)$$

式中 α 为不同水温下的扩散系数, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$; v 为蒸发表面的空气流速, m/s ; p_{qb} 为对应于水面温度下的饱和空气的水蒸气分压力, Pa ; p_q 为室内空气的水蒸气分压力, Pa ; A 为敞露水面的面积, m^2 ; B 为标准大气压, Pa ; B' 为当地实际大气压, Pa 。

2.3 潜水蒸发系数的确定

2.3.1 潜水蒸发系数的影响因素

影响潜水蒸发系数 C 的主要因素包括地下水埋深 Z 、土壤质地和植被状况等。地下水埋深是影响

响潜水蒸发的最主要因素,决定了潜水蒸发水分输送的距离。随着埋深的增加,水分输送距离加大,大气蒸发影响和非饱和带毛细管输送水分能力减弱,因而潜水蒸发量越来越小。对于质地不同的土壤,其粗细颗粒组成及含量不同,从而构成了不同的土壤毛细管分布特征,并决定着土壤持水性及导水性。另外与裸露地面相比,不同地表覆盖物会对潜水蒸发产生明显影响,研究表明作物根系强烈的吸水作用会使潜水蒸发能力大幅度提高。

2.3.2 潜水蒸发系数研究方法

目前国内外对潜水蒸发问题的研究主要有两种方法,一种是根据土壤水动力学原理,将潜水蒸发能力看作大气蒸发作用下的一个非饱和土壤水运动问题来进行理论分析求解,包括求其解析解和数值模拟;另一种是根据室内或现场试验,通过整理分析实测资料,找出潜水蒸发的规律或得出经验公式。

比较典型的潜水蒸发量经验公式如阿维里扬诺夫公式^[3]:

$$E_g = E_0 \left(\frac{1-H}{H_{\max}} \right)^n \quad (3)$$

式中 H 为地下水平均埋深, m ; $H_{\max}$ 为极限埋深, m ,即潜水停止蒸发时的地下水埋深,主要受土壤质地的影响; n 为经验常数,与土壤质地、地下水埋深有关。

在试验条件下,可根据在水均衡试验场地用渗透仪测得的不同岩性、地下水埋深、植被状况下潜水蒸发量 E 的数据与相应的水面蒸发量 E_0 计算潜水蒸发系数 C 。

在水利部水利水电规划设计总院提供的关于平原区地下水资源评价中,潜水蒸发系数参考取值如表 1 所示。

3 遗址大厅土壤散湿量的计算

该项目遗址保护大厅土壤面积约 4 000 m^2 ,夏季供冷,冬季不供暖。夏季空调室内设计温度 t 为 26 $^{\circ}\text{C}$,设计相对湿度 $\varphi \leq 65\%$,工作区风速 $v < 0.3 \text{ m/s}$ 。土壤温度可根据广州地区地表面全年逐月平均温度确定,查《地下建筑暖通空调设计手册》^[4]得到广州地区地表面年平均温度 $t_p = 24.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$,根据室内的湿空气状态点参数查得 $p_q = 2186.1 \text{ Pa}$, $p_{qb} = 3094.5 \text{ Pa}$,扩散系数 $\alpha = 0.00017 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$ 。根据以上参数,由式(2)可计算出室内暴露水面的蒸发量 $E_0 = 767.3 \text{ kg/h}$ 。

表 1 潜水蒸发系数的取值

包气带 岩性	植被 情况	年均浅层地下水埋深 Z							
		0<Z≤0.5 m	0.5 m<Z≤1.0 m	1.0 m<Z≤1.5 m	1.5 m<Z≤2 m	2 m<Z≤3 m	3 m<Z≤4 m	4 m<Z≤5 m	Z>5 m
亚砂土	有	1.15~0.65	0.65~0.40	0.40~0.20	0.20~0.15	0.15~0.05	0.05~0.01	0	0
	无	1.00~0.50	0.50~0.20	0.20~0.10	0.10~0.05	0.05~0.01	0	0	0
亚黏土	有	1.10~0.55	0.55~0.30	0.30~0.15	0.15~0.10	0.10~0.05	0.05~0.01	0.01~0	0
	无	1.00~0.45	0.45~0.20	0.20~0.10	0.10~0.05	0.05~0.02	0.02~0.01	0	0
黏土	有	1.05~0.50	0.50~0.20	0.20~0.15	0.15~0.10	0.10~0.05	0.05~0.02	0.02~0.01	0
	无	1.00~0.40	0.40~0.15	0.15~0.10	0.10~0.05	0.05~0.02	0.05~0.01	0.01~0	0

注:水面蒸发量采用 E601 蒸发器的监测值。

根据该项目的地质报告,钻孔探测结果表明该区域的土质构成从上到下依次为杂填土、黏土、砂岩等。地下水主要分布在杂填土层下部及与黏土

层交接处。遗址大厅内分布较为均匀的 15 个有水水井的水埋深测量结果见表 2,计算得出大厅内平均潜水埋深为 1.4 m。

表 2 遗址大厅水井埋深

	井编号														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
水埋深/m	1.0	0.4	0.9	0.5	0.8	2.3	2.7	2.7	1.7	1.3	2.4	3.1	1.0	0.7	0.4

根据该项目的土壤质地状况,参考相近的土壤质地的潜水蒸发系数取值范围,取潜水蒸发系数设计值为 0.2。

由此可得室内土壤的潜水蒸发量,即土壤的散湿量为 767.3 kg/h×0.2=153.46 kg/h。

4 结语

借鉴水利科学中潜水蒸发量的计算方法及成熟的相关经验公式,提出了人工环境下无覆盖土壤的散湿量计算公式。从设计效果来看,该计算公式的精度能较好地满足工程实际的需求。由于室内土壤的复杂性,其土壤质地未能完全符合相关经验数据的实际测量情况。若需得出更高精度的结果,则必须进行实际测量,并通过相关公式求得实际土壤的潜水蒸发系数。另外,由于潜水埋深受多方面

因素的影响,有必要对全年的土壤潜水埋深进行监测,以提供更详细的计算依据。本文所提出的人工环境下室内裸露土壤的散湿量计算方法可供类似工程借鉴。

参考文献:

[1] 薛明霞,王立琴. 潜水蒸发系数与影响因素分析[J]. 地下水,2002(4):206-207

[2] 建设部工程质量安全监督与行业发展司,中国建筑标准设计研究所. 全国民用建筑工程设计技术措施 暖通空调·动力[M]. 北京:中国计划出版社,2003:106

[3] 刘予伟,金栋梁. 平原区地下水资源评价方法综述[J]. 水资源研究,2004(6):11-19

[4] 《地下建筑暖通空调设计手册》编写组. 地下建筑暖通空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1983