排灌机械工程学报 第28卷 第3期
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering Vol. 28 No. 3

轻小型喷灌机组能耗计算与评价方法

王新坤，袁寿其，刘建瑞，涂 琴
（江苏大学 流体机械工程技术研究中心，江苏 镇江 212013）

摘 要：为客观评价轻小型喷灌机组的能量消耗，应用水力机械能效计算基本方法，根据喷灌机组构成特点与运行特性，推导出喷灌机组与水泵的能耗计算公式，确定喷灌机组能耗评价指标与方法．借鉴多孔出流管道水力计算方法，采用退步法进行输水管道水力计算，应用迭代法求解喷头的流量和压力，提出喷灌机组水力计算步骤与方法．实例分析表明计算与评价方法简单实用、计算方便，进行喷灌机组能耗分析与评价具有可比性、可操作性和可靠性强的特点，计算与评价结果符合喷灌机组工程实际．研究结果能够为水泵的合理选型、管路装置优化配置与设计及喷灌机组产品的开发提供理论依据，对于提高喷灌机组装置效率、降低运行能耗，具有重要的理论意义和实用价值．

关键词：喷灌机组；能耗；评价指标；水力计算；效率
中图分类号：S277.9 **文献标志码**：A **文章编号**：1674－8530(2010)03－0247－04

Energy consumption calculation and evaluation methods for light and small unit sprinkler system

Wang Xinkun, *Yuan Shouqi*, *Liu Jianrui*, *Tu Qin*
(Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: In order to evaluate energy consumption of the light and small unit sprinkler system objectively, the calculating methods and evaluation indicator of unit sprinkler system were deduced based on the hydraulic machinery energy basic approach and unit sprinkler system structure and operating characteristics. By borrowing ideas of hydraulic computating methods of pipeline with multiple outlets, the hydraulic procedure and methods for unit sprinkler system pipeline were put forward by using back step method to handle the hydraulic calculation of pipeline and applying iteration method to solve the flow and head of sprinkler. Example analysis shows that the calculating and evaluating methods have the advantages of simple to use, easy to calculation, comparability, maneuverability, reliability and meeting practice projects. The calculating and evaluating methods will provide the theory basis for reasonable selection of pump, optimizing configuration and design of pipe installation and product development of unit sprinkler system, and have important theoretical significance and practical value for improving efficiency and reducing energy consumption of unit sprinkler system installation.

Key words: unit sprinkler system; energy consumption; evaluation indicator; hydraulic calculation; efficiency

收稿日期：2010－02－01
基金项目：国家863计划项目(2006AA100211)；江苏省自然科学基金资助项目(BK2008246)；江苏省科技支撑计划项目(BE2008381)
作者简介：王新坤(1966—)，男，陕西临潼人，研究员(xjwxk@126.com)，主要从事节水灌溉理论与新技术研究．
袁寿其(1963—)，男，上海金山人，研究员，博士生导师(shouqiy@ujs.edu.cn)，主要从事流体机械及排灌机械研究．

万方数据

喷灌作为一种高效节水灌溉技术，在我国得到广泛发展与应用. 随着我国能源短缺危机的加剧，节能降耗也将是喷灌行业发展的必然趋势[1]. 国内在注重喷灌技术高效节水的同时，通过开发低压与低能耗喷灌设备[2]、优化喷灌工程设计[3-6]、改善设备水力性能、灌水技术指标与工作参数[7]等致力于降低喷灌系统的运行能耗. 但对于喷灌系统能耗计算方法与评价指标的研究相对不足，仅有少数学者对喷灌工程的能源消耗[8]、节能效果与管路效率[9]、喷灌节能临界扬程[10]等进行了分析研究，但未能形成系统的能耗计算与评价方法. 能源是制约国民经济发展的瓶颈，也是我国总体发展战略的核心组成部分. 在我国能源面临严峻挑战的局势下，研究喷灌机组的能耗评价指标与方法，科学评价轻小型喷灌机组能量消耗，为合理选择及优化配置喷灌机组提供理论依据，开发低能耗、高效率的喷灌机组，对于节能降耗、提高喷灌机组的经济效益，促进喷灌技术的发展与推广应用都有非常重要的理论与现实意义.

1 轻小型喷灌机组能耗计算方法

轻小型喷灌机组主要由泵机组（由水泵与动力机组成）与管路装置（由喷头、配套管路、连接管件等组成）构成，泵机组的能耗、效率与管路装置配套的优劣都将影响轻小型喷灌机组运行能耗与效率.

1.1 泵机组能耗计算方法

在轻小型喷灌机组设计与实际工程运用过程中，需要对泵机组运行效率及其运行时所消耗的能量进行考核.

水泵运行时的轴功率

$$N = \frac{QH}{367\eta_b}, \tag{1}$$

式中 N 为水泵运行时的轴功率，kW；Q 为水泵流量，m^3/h；H 为水泵扬程，m；η_b 为水泵运行效率.

动力机输入功率

$$P = \frac{N}{\eta_d} = \frac{QH}{367\eta_b\eta_d}, \tag{2}$$

式中 P 为动力机输入功率，kW；η_d 为动力机的运行效率.

水泵运行 t 小时的能量消耗

$$W_b = Pt = \frac{QH}{367\eta_b\eta_d}t, \tag{3}$$

式中 W_b 为水泵机组运行能耗，kW·h.

1.2 喷灌机组能耗计算方法

计算喷灌机组的能量消耗，首先要确定喷灌机组的运行工况，喷灌机组的运行工况为水泵扬程－流量曲线与管路特性曲线的交点，水泵扬程－流量曲线由生产厂家提供，管路特性曲线则需要通过水力计算获得.

1.2.1 管路水力计算方法

将管路按图 1 方式进行编号，按照以下的步骤与方法进行水力计算.

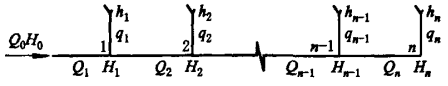


图 1 管路装置水力计算示意图

Fig. 1 Illustration for hydraulic calculation of pipe installation

（1）假定一系列末端喷头压力 h_n 的值，利用式（4）－（6）计算末端竖管流量和输水管道末端的压力与流量.

$$q_n = \mu\frac{\pi d_p^2}{4}\sqrt{2gh_n} = 0.012\,52\mu d_p^2 h_n^{0.5}, \tag{4}$$

$$H_n = h_n + f\frac{q_n^m}{d^b}(l + le_n) + l, \tag{5}$$

$$Q_n = q_n. \tag{6}$$

（2）利用式（7）－（10）计算 $n-1$ 管段至 1 管段的管道和喷头的压力与流量.

$$H_i = H_{i+1} + f\frac{Q_{i+1}^m}{D_{i+1}^b}(a + Le_{i+1}) + aI_i, \tag{7}$$

$$h_i = H_i - f\frac{q_i^m}{d^b}(l + le_i) - l, \tag{8}$$

$$q_i = \mu\frac{\pi d_p^2}{4}\sqrt{2gh_i} = 0.012\,52\mu d_p^2 h_i^{0.5}, \tag{9}$$

式（8），（9）应用迭代法进行求解.

$$Q_i = Q_{i+1} + q_i. \tag{10}$$

（3）利用式（11），（12）计算管路进口的压力与流量.

$$H_0 = H_1 + f\frac{Q_1^m}{D_1^b}(a + Le_1) + aI_1, \tag{11}$$

$$Q_0 = Q_1, \tag{12}$$

式中 n 为喷头个数；H_i 为输水管第 i 节点压力，m；Q_i 为输水管第 i 管段流量，m^3/h；h_i 为第 i 节点处喷头工作压力，m；q_i 为第 i 节点处喷头流量，m^3/h；a，l 分别为喷头间距和竖管长度，m；D_i，d 分别为输水管道和竖管的内径，mm；Le_i，le_i 分别为输水管和竖管管件局部水头损失的当量长度，m；I_i 为地形坡度；μ 为流量系数，$\mu = 79.87q_p d_p^{-2} h_p^{-0.5}$；$h_p$ 为喷头

万方数据

额定工作压力,m; q_p 为喷头额定流量,m^3/h; d_p 为喷嘴直径,mm; f,m,b 为与管材有关的水头损失计算系数.

(4)根据管路计算出的一系列进口流量与扬程绘制管路特性曲线.

1.2.2 喷灌机组能耗计算方法

根据管路特性曲线与水泵扬程 - 流量曲线交点,确定喷灌机组的运行工况,在该运行工况下机组的能耗为

$$W_p = \frac{QHT}{367\eta_b\eta_d}, \quad T = \frac{10MS}{Q\eta_p}. \tag{13}$$

对于具有 N_p 个喷洒位置的喷灌机组,$S = N_pA/2$, $A = 2(n-1)ab/10\,000$,则有

$$W_p = \frac{QH}{367\eta_b\eta_d} \times \frac{10MN_pA}{2Q\eta_p} = \frac{N_pMAH}{73.4\eta_b\eta_d\eta_p}, \tag{14}$$

式中 W_p 为喷灌机组的能耗,kW·h; T 为喷灌机组运行时间,h; S 为机组灌溉面积,hm^2; M 为灌溉定额,mm; η_p 为田间喷洒水利用系数; N_p 为机组工作位置数; A 为机组一个工作位置的喷洒面积,hm^2; b 为输水管移动间距,m.

2 轻小型喷灌机组能耗评价指标

水泵机组与喷灌机组能耗评价指标的计算方法要建立在科学的基础上,遵循可行性、可操作性和简单实用的原则,指标所涉及的数据比较容易得到和计算,具有量化和统一的衡量标准及可比性.考虑水泵机组与喷灌机组的能耗特性,选取单位能耗作为其能耗评价指标.

2.1 泵机组能耗评价指标

水泵机组单位能耗为水泵将单位水量提升单位高度所消耗的能量,由式(3)可得

$$E_b = \frac{1}{367\eta_b\eta_d}, \tag{15}$$

式中 E_b 为水泵机组单位能耗,kW·h/(m^3·m).

2.2 喷灌机组能耗评价指标

喷灌机组单位能耗为单位面积灌溉单位水量所消耗的能量,由式(13)可得

$$E_p = \frac{QH}{367\eta_b\eta_d} \times \frac{10 \times 1 \times 1}{Q\eta_p} = \frac{H}{36.7\eta_b\eta_d\eta_p}, \tag{16}$$

式中 E_p 为喷灌机组单位能耗,kW·h/(mm·hm^2).

式(15),(16)只需要已知效率与扬程参数即可以进行能耗的评价与对比分析,公式简洁、计算方便,符合作为评价指标所要求的原则.

3 实例分析

以配备型号为 65ZB - 40C 水泵的喷灌机组为例进行分析,原喷灌机组中水泵的额定效率为 61.5%,配备 10 个 20PY 型喷头.现水泵经过改进设计,泵额定效率为 66.75%,比原额定效率提高了 8.54%,配备 13 个 20PY 型喷头.按照 1.2.1 方法进行水力计算,得到水泵改进前后机组实际工况点的相关参数见表 1.

表 1 喷灌机组运行工况

Tab.1 Unit sprinkler system working conditions

机组编号	喷头		运行工况			A/hm^2
	型号	数量/个	$Q/(m^3/h)$	H/m	$\eta_b/\%$	
1	20PY	10	27.20	41.30	60.50	10.8
2	20PY	13	35.83	40.98	66.81	14.4

若动力机的效率未变,则由式(15)计算出改进设计前后水泵机组额定工况时的能耗增减率为

$$\Delta E_b = \frac{E_{b2} - E_{b1}}{E_{b1}} = \frac{\dfrac{1}{367\eta_{b2}\eta_d} - \dfrac{1}{367\eta_{b1}\eta_d}}{\dfrac{1}{367\eta_{b1}\eta_d}} = \frac{\eta_{b1}}{\eta_{b2}} - 1 = -7.9\%.$$

由式(16)计算出喷灌机组实际工作时的能耗增减率为

$$\Delta E_p = \frac{E_{p2} - E_{p1}}{E_{p1}} = \frac{\dfrac{H_2}{36.7\eta_{b2}\eta_d\eta_p} - \dfrac{H_1}{36.7\eta_{b1}\eta_d\eta_p}}{\dfrac{H_1}{36.7\eta_{b1}\eta_d\eta_p}} = \frac{\eta_{b1}H_2}{\eta_{b2}H_1} - 1 = -10.1\%.$$

计算结果说明水泵改进设计后,水泵机组额定工况时的能耗降低 7.9%,喷灌机组实际工作时的能耗降低 10.1%.实例计算过程与结果进一步说明,应用式(15),(16)进行喷灌机组能耗的分析与评价所需计算参数少,易于进行量化计算,采用单位能量消耗作为统一的衡量标准,具有可比性、可操作性和简单实用的特点.

4 结 论

(1)根据喷灌机组构成特点与工作特性,应用

万方数据

水力机械能效计算基本公式推导出喷灌机组与水泵机组的能耗计算方法,提出喷灌机组能耗评价指标.

(2)借鉴多孔出流管道水力计算方法,采用逆递推法进行输水管道水力计算,应用迭代法求解喷头的流量和压力,提出喷灌机组水力计算步骤与方法.

(3)所提出的能耗计算与评价方法表达形式简单,所需计算参数少,易于进行量化计算,采用单位能量消耗作为统一的衡量标准,具有可比性、可操作性和简便实用的特点.

(4)实例分析中,改进设计后的水泵效率提高8.54%,水泵机组额定工况时的能耗降低7.9%,喷头数量由10个增加至13个,喷灌机组实际工作时的能耗降低了10.1%,说明提高水泵效率与合理配置管路都能够降低机组能耗.

(5)喷灌机组能耗计算与评价方法的提出,能够为水泵机组的合理选型、管路装置的优化配置与设计及喷灌机组产品的开发提供理论依据,有益于提高喷灌机组的装置效率,降低运行能耗.

参考文献(References)

[1] 兰才有,仪修堂,薛桂宁,等. 我国喷灌设备的研发现状及发展方向[J]. 排灌机械,2005, 23(1):1-6.
Lan Caiyou, Yi Xiutang, Xue Guining, et al. Research state and development of sprinkler irrigation equipments in China [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2005, 23(1):1-6. (in Chinese)

[2] 李英能. 浅论我国喷灌设备技术创新[J]. 排灌机械, 2001,19(2):3-7.
Li Yingneng. Discussion about the technological innovations of sprinkler irrigation equipment in China [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2001,19(2):3-7. (in Chinese)

[3] 林中卉,丘传忻. 喷灌系统加压泵的优化选型[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4):118-122.
Lin Zhonghui, Qiu Chuanxin. Optimization and selection of pressure increasing pump for sprinkle irrigation system[J]. *Transactions of the CSAE*, 1996, 12(4): 118-122. (in Chinese)

[4] Bai Dan, Luo Wan, Yang Jiucheng. Fuzzy linear programming model for optimal design of main pipeline network in pump pressurized sprinkler irrigation system [J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(5):110-114.

[5] 万年华,胡铁松, 尹正杰. 基于遗传算法的喷灌管网优化设计[J]. 节水灌溉, 2005, 30(4):1-3.
Wan Nianhua, Hu Tiesong, Yin Zhengjie. Genetic algorithms for optimal design of sprinkler pipe network[J]. *Water Saving Irrigation*, 2005, 30(4):1-3. (in Chinese)

[6] 侯永胜. 多喷头轻小型移动式喷灌机组优化配套研究[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院, 2007.

[7] 韩文霆,吴普特,杨 青,等. 喷灌水量分布均匀性评价指标比较及研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9):172-177.
Han Wenting, Wu Pute, Yang Qing, et al. Advances and comparisons of uniformity evaluation index of sprinkle irrigation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005,21(9):172-177. (in Chinese)

[8] 刘柱国. 喷灌能源消耗对比分析[J]. 节水灌溉, 2000,25(1):15-17.
Liu Zhuguo. Comparatively analyses with energy consuming in sprinkler irrigation [J]. *Water Saving Irrigation*, 2000,25(1): 15-17. (in Chinese)

[9] 高传昌,冯跃志. 井灌区喷灌管路系统的效率分析[J]. 灌溉排水, 2000, 19(3):38-41.
Gao Chuanchang, Feng Yuezhi. Efficiency of pipeline system for sprinkler irrigation in well irrigation areas [J]. *Irrigation and Drainage*, 2000, 19(3):38-41. (*in Chinese*)

[10] 徐征和,孙吉刚. 关于喷灌工程节能问题的探讨[J]. 中国农村水利水电, 2000,40(2):28-29.
Xu Zhenghe, Sun Jigang. Discussion on problem of energy saving for sprinkler irrigation projects[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2000,40(2):28-29. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)

万方数据