

软管卷盘式自动喷灌机特性分析

许 一 飞^①

(水利与土木工程学院)

摘 要 介绍了软管卷盘式自动喷灌机的发展概况、工作原理及特点,认为这种喷灌机的喷灌均匀度、强度等能满足实际需要,其投资和操作要求适合我国的自然和经济条件。分析了这种喷灌机的工作性能、调速性能和能耗等,以期尽快在我国推广使用。

关键词 软管卷盘式自动喷灌机; 能耗; 喷灌均匀度; 性能

中图分类号 S277.94

Analysis of Characteristics of Hose Type Wheel-Driven Automatic Sprinkler

Xu Yifei

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU)

Abstract The development of hose type wheel-driven automatic sprinkler, its operating principles and characteristics are described. It is found that the sprinkling uniformity and efficiency for this type of machine can meet the practical requirements. It is also found that the cost and operation requirements for the machine are suitable for the natural and present economic conditions of China. The working performance, moving speed adjustment and energy consumption are analyzed so that this type of machine can be extended in China as soon as possible.

Key words hose wheel-driven type automatic sprinkler; energy consumption; sprinkler irrigation uniformity; performance

软管卷盘式喷灌机出现在钢索绞盘式喷灌机之后,约在1970年首先在法国等国家研制出,1972年起由法国灌溉公司(Irrifrance Co.)开始销售,1973年后被不少国家使用,仅法国灌溉公司1975年就使用了1000余台,灌溉面积达2.5万hm²。近年来,这类喷灌机的性能不断完善提高,受到广泛欢迎,如法国灌溉公司的产品已在84个国家和地区使用。目前这种喷灌机被国外公认为是最好的灌溉机械之一。我国1983年试制出J90-300型软管卷盘式喷灌机,1987年该机通过鉴定。

软管卷盘式自动喷灌机又称绞盘式或卷筒式喷灌机,它的聚乙烯软管缠绕在卷盘上,软管

收稿日期:1996-03-19

①许一飞,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)58信箱,100083

末端装一远射程喷头。进行喷灌作业时,软管被拉铺在被灌地面上,利用喷灌压力水驱动卷盘转动,缠绕软管,牵引喷头缓慢移向卷盘并进行喷洒作业。这种喷灌机结构紧凑,构件结实,使用寿命一般可达 10 a 以上。操作简便,可自动化运行,只需 1~2 人管理。可昼夜工作,每天只需移动一两次,安装一次只需 20 多 min。每台喷灌机可控制 3~50 hm² 土地(轮灌周期约 5 d)。型号、规格多,可适应不同地区、作物、土壤和水源。被灌地面不需任何工程设施,也不受田间树木、电杆等障碍的影响,只要有水源,接上压力水就可进行移动喷灌,灌完即可将整机入库保管。喷灌均匀度可达 85% 以上,喷灌水深在 8~60 mm 范围内可调,喷灌强度为 6~10 mm·h⁻¹,喷灌质量完全可满足要求。投资较少,平均约 3 750~5 250 元·hm⁻²,一般 2~4 a 即可全部收回投资。

由以上概况可见,这种喷灌机较适合我国的自然和经济条件及农民素质,可以在我国推广使用。为了很好地认识这种喷灌机,现将该机的主要性能及特点分析如下。

1 运行性能

使用软管卷盘式喷灌机进行喷灌作业时,无论被灌地块形状规则与否,都应根据卷管的长度和喷头射程(必需考虑两边有重叠)进行规划,将土地划分成条带(图 1)。输压力水的干管

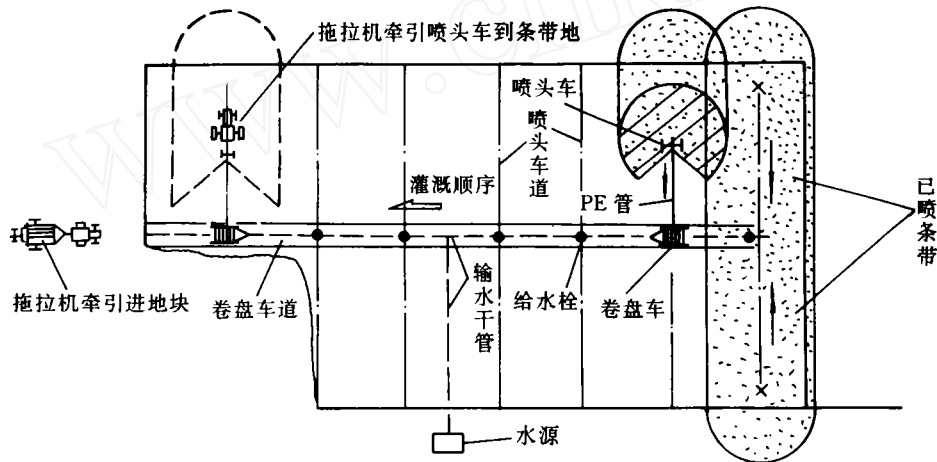


图 1 软管卷盘式喷灌机的田间运行方案

(或其他提供压力水的设施)最好敷设在地块的中间,并在干管上相应每个条带的中间设一给水栓。喷灌时首先用拖拉机(或其他动力)将喷灌机牵引至第 1 条带的给水栓处,然后将喷头车拉至条带的端头,卸下拖拉机,接上压力水源即可喷灌。喷灌时卷盘缓慢转动,缠绕软管,带动喷头车向卷盘车方向移动。喷完一条带时喷头车移动至卷盘车旁,自动停机,这时可更换工作位置继续作业。新工作位置可以是平行的相邻条带,也可以是原条带的另一端。

为了给喷头车留出后退时的干路,喷头喷水形状一般为约 210° 的扇形,这样喷出的湿润外周的轨迹就是一个 2 种运动合成的有缺口圆螺旋形的重叠区域^[1]。如图 2 所示,喷头车由点 O 开始移动喷洒至位置 D,湿润区为 ABCDA,然后快速反转至 DE,此短暂时间内喷头车后退移动距离很小,可以忽略。接着喷头开始第 2 次正转,所形成的湿润周为 DEFC₁D₁D,喷头车由

点 D 移至点 D_1 , $DD_1 = 2DO = 2l$ 。如此循环,即构成了喷头车纵向移动喷洒重叠区域。

对于软管卷盘式喷灌机的这种湿周情况,要计算它的平均喷灌强度及组合均匀度系数都较麻烦,只能用近似算法或实测得到。

2 调速特性

由运行特性不难看出,影响喷洒效果和机械性能的关键因素是喷头车的移动速度。引起喷头车移动速度变化的原因较多,其中最主要的有以下 2 个^[1]。

1) 卷盘上软管盘直径的变化。在每个条带上,喷灌开始时喷头车处于条带的末端,软管几乎全铺展在地面上。喷头车愈靠近卷盘车,被牵引的 PE 软管长度愈短,缠绕在卷盘上的愈多,即缠绕在卷盘上的 PE 软管盘的直径愈大,如果卷盘转动角速度 ω 不变,喷头车移动速度就会愈来愈快,因而造成地面上降水量愈来愈少(图 3)。

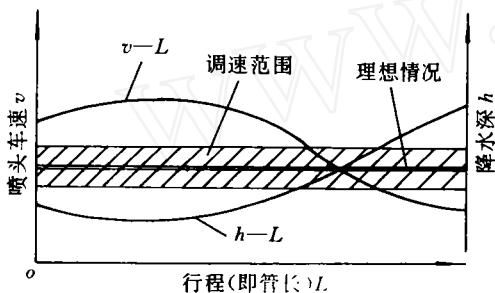


图 3 喷洒均匀度的变化及调整

这就需设计驱动动力的流量控制器以调整变速比。

从图 3 可知,不调整速度时软管在行程首末两端的移动速度相差 1 倍以上,行程首端的降水量相当于末端时的 1/2;通过调速可以将降水深度 h 的变化限制在一定范围内(图中阴影部分)。这个范围是综合考虑卷盘角速度的变化率 δ_ω 与负载(牵引力)的变化率 δ_F 而定的^[1]。

$$\delta_\omega = \frac{\sum |\omega_i| / n}{\omega} \times 100\%$$

式中: ω_i 为卷盘上软管内、外层与中间层的角速度偏差值; n 为软管缠绕层数; ω 为中间层的角速度, $\omega = v/R_2, \text{rad} \cdot \text{min}^{-1}$, 其中 v 为喷头车移动速度, $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, R_2 为中间层的半径。

$$\delta_F = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max}} \times 100\%$$

式中: F_{\max} 为卷盘最大牵引力, $F = Gf$, G 为软管带水时的重量, f 为滑动摩擦因数, $f = 0.4 \sim 0.6$; F_{\min} 为卷盘最小牵引力,即快喷完时管道在地面拖动最短时的牵引力。

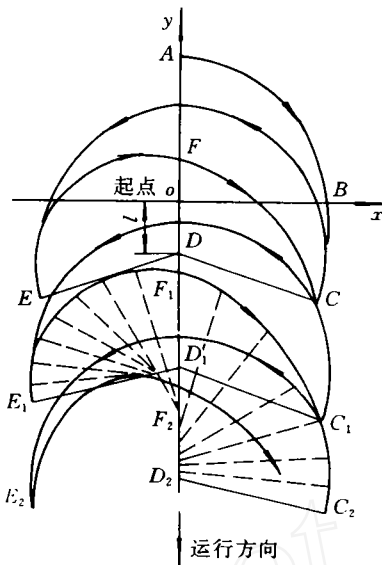


图 2 喷头车纵向移动时的喷洒重叠区示意图

2) 卷盘上软管(及其中水体)质量的变化。

卷盘上软管缠绕层数增多,使卷盘质量不断增大;而软管由拖在地面上逐渐变为完全缠绕在卷盘上,它与地面的摩擦力逐渐减小,直至为零。如果驱动功率不变,喷头车移动速度就会愈来愈快,使地面降水量愈来愈少。

如果以上 2 个因素得不到控制,灌水质量特别是均匀度会变得很差,以致使这种喷灌机不能使用^[2]。有效的解决办法是随时调整驱动功率,将降水量的变化限制在允许的范围内,

由试验得知, $\delta_\omega - \delta_F$ 在 40% 左右时调速效果较好, 这就是应达到的速度变化范围。

3 能 耗

根据试验, 采用卷盘式喷灌机喷灌要比地面畦灌节约能源, 但比其他喷灌机的能耗稍多一些, 这是由于这种喷灌机的软管缠绕在转盘上, 使输水损失增加。这种喷灌机采用远射程大喷头灌溉方式, 输出流量大, 流速较高, 而管径又不能太大, 因此沿程水力损失 h_f 增大; 加之软管缠绕在卷盘上, 压力水在圆环形流道中流动(图 4), 局部损失 h_j 也增大。实测知 $h_j = 0.2h_f$ 。

局部损失的计算公式为

$$h_j = 4[0.131 + 0.159(d/2R_n)^{3.5}v^2/2g]$$

h_j 与卷盘最内层直径 $\phi_n (=2R_n)$ 成反比。一般从结构需要和减小 h_j 考虑, 规定 $\phi_n \geq 20d^{1.2}$, d 为软管直径。 ϕ_n 越大, 对改善卷盘缠管性能及减少局部损失越有利, 但这样会增大卷盘的结构尺寸。

据实测^①, 管径 $d = 110$ mm、长为 300 m 的机组, 其卷盘直径为 2.8 m, 当软管全部缠绕在卷盘上时水力损失可达 490 kPa, 平均每流过 100 m 的水力损失为 163 kPa, 管的输水损失可达到管进口压力的约 30%; 但这个时间很短, 大多数时间软管全部或部分放开, 平铺在被灌地表, 这时的输水损失即与其他喷灌机的相差不多。

近年来, 新型的软管卷盘式喷灌机中缠绕软管的内圈直径加大, 缠绕层数减少(3 层), 对管径、管长进行了合理匹配, 因此输水损失降低了很多。例如 $\phi 70 \times 265$ 型(管径 70 mm、管长 265 m)机组, 流量 $15.3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 入机压力 460 kPa, 喷头处的工作压力为 400 kPa, 管道输水损失只有入机压力的 13%^②。

4 软 管

卷盘式喷灌机的聚乙烯(PE)软管, 其使用条件是很不利的, 它不仅承受着弯曲、拉伸应力及内水压力等的交替和综合作用, 而且还受到地面摩擦、日晒雨淋、冷热交替等综合作用。对于这些较恶劣的使用环境, 一般的高压低密度 PE 管或低压高密度 PE 管很容易破裂, 特别是在低温情况下。经过反复试验研究, 1974 年德国研制出中密度 PE 管, 这是一种流动指数较高而相对分子质量、弹性模数及密度均较低的 PE 管^[2]。经过 20 余 a 的不断改进、完善, 包括采用精确的添加剂配方, 这种管道用于卷盘式喷灌机较为理想。

中密度 PE 管是一种半软管, 卷成盘后管截面总能保持圆形。它的力学性能较优良, 与高密度和低密度的 PE 管相比, 其拉伸强度要大得多(表 1); 断裂强度可达 13.3~15.6 MPa, 管

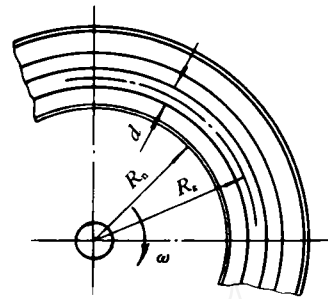


图 4 卷盘软管水力计算示意图

① 农机部北京农业机械化研究所编, 引进国外农机试验资料选编(第一集), 北京: 农机部北京农业机械化研究所, 1982. 272~293

② Irrifrance Co. The Irrifrance Bellow Drive Range of Hose Reel Machines, 1995

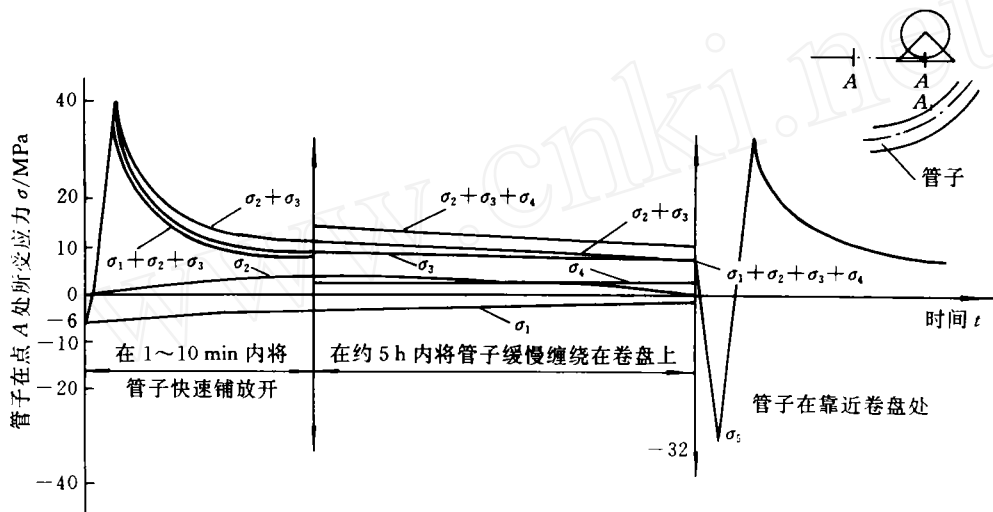
子重复卷放达约 1 万次才会出现裂纹^[2]。

在卷盘式喷灌机上使用时中密度 PE 管短时间内全部放展开,然后缓慢收缠在卷盘上,最

表 1 不同 PE 管在同等条件下的拉伸强度比较

管材种类	最大屈服拉力 F_s /kN	断裂拉力 F_r /kN	F_r 下的拉伸率 / %
高密度 PE 硬管	2.50	1.58	190
低密度 PE 软管	1.35	1.30	147
中密度 PE 半软管	2.22	2.30	>500

后全部收完被缠绕在卷盘上,各时段管壁所受的动应力是变化的(图 5)^[2]。由图中可知管子在点 A 处所受的应力。起始时有贮存的剩余压应力会达到最大值(约 40.0 MPa),然后逐渐变小,管子全部铺展在地表面时,张应力降到 10.0 MPa 左右(而不是 0);喷洒作业开始后,管子逐渐缓慢地往卷盘上缠绕,管子所受的张应力从 14.0 MPa 降到 10.0 MPa 左右;在靠近卷盘处,管子卷起时的压应力(32.0 MPa)变化成张应力并达到最大值 40.0 MPa,然后逐渐变小。



σ_1 为残余应力; σ_2 为管子卷起与放开时的张应力; σ_3 为管子放开时靠近卷盘处的张应力;
 σ_4 为因内压力引起的平均张应力; σ_5 为管子卷起时靠近卷盘处的压应力

图 5 3 种工况下中密度 PE 管点 A 处所受应力变化示意图

中密度 PE 管的抗冲击强度为 15.0 MPa;摩擦因数 0.29,牵引阻力较小,如直径 $d=110$ mm 的管子,展开长度 $L=250$ m 时,牵引阻力为 17.0 kN,而管子实际能承受的牵引阻力可达 50 kN^[2],所以用于小坡地及不平整地时强度完全可满足要求。这种管子抗老化性能优良,实际应用寿命可达 10 a 以上。

5 水力驱动机

卷盘式喷灌机上均装有水力驱动机,带动卷盘缓慢旋转,缠绕 PE 管,牵引喷头车移动。水力驱动机的动力源即是喷灌的压力水。

水力驱动机主要有 4 种型式,即旋转喷嘴式、水涡轮式、水压缸式和伸缩皮囊式,前 2 种为

动水压驱动,后 2 种为静水压驱动。目前常用的是水涡轮式和伸缩皮囊式。

5.1 水涡轮式

水涡轮式驱动机的结构及工作原理与水斗式水轮机类似,它的体积较小,转轮直径约 500 mm,其上均布有 20 余个水斗。它的过水断面大,运行可靠,控制喷嘴流量即可调速。转速较低,约为 $400 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,工作平稳。分流式水涡轮机的水力损失约为 $150\sim 200 \text{ kPa}$ (与进入涡轮的流量、压力、转速和负荷等有关)。用过的水无需另加处理即可流入喷灌 PE 管中。

5.2 伸缩皮囊式

伸缩皮囊式驱动机被认为是目前最优秀的一种水力驱动机,其工作原理如图 6 所示。

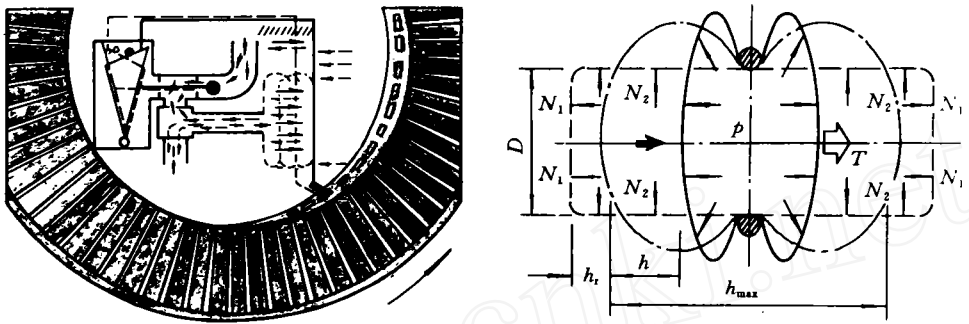


图 6 伸缩皮囊式水力驱动机的工作原理及计算示意图

伸缩皮囊用橡胶制成,可看作是能被压缩的封闭圆筒。伸缩皮囊工作时推动卷盘内圈棘轮缓慢转动。皮囊工作的轴向力

$$T = N_1 - N_2 = Dp(\pi D/4 - Kh)$$

式中: N_1 为工作水作用在圆筒两端面上的力, $N_1 = p\pi D^2/4$; N_2 为工作水作用在圆筒侧壁上的力, $N_2 = p\pi D^2/h_r$, $h_r = Kh$; D 为皮囊直径; p 为工作水的压强; h 为伸缩行程长; K 为形状修正因数,考虑圆筒与皮囊的差异,此处 $K = 0.55$ 。

皮囊伸展最大行程长(即当 $T = 0$ 时的行程长)应为 $h = \pi D/4K = 1.43D^{0.1}$ 。

伸缩皮囊式驱动机结构较简单,体积较小,水量消耗很少,一般只占总喷灌流量的 $1.0\% \sim 1.5\%$;水力损失很小,只有水涡轮式机的 20% 左右;无机械摩擦,性能稳定;对水质要求不高,含泥沙量可达 5% ,但一般仍在入口处装设过滤器;作功后的水可就近洒在地里。这种水力驱动机在 1976 年就被法国灌溉公司首先采用^①。

6 结束语

以上介绍的是决定软管卷盘式喷灌机工作性能的几个主要因素。实践证明,这种喷灌机的喷洒均匀性、组合喷灌强度及节能性能均能较好地满足使用要求。

软管卷盘式自动喷灌机及其技术在 70 年代引进我国,但是由于当时引进的样机和技术不甚完善,对它的性能的研究也不够,加之使用不当、缺少配套件、价格较贵等原因,尽管在样机

① Irrifrance Co. The Irrifrance Bellow Drive Range of Hose Reel Machines. 1995

性能测试时对该类机型得出了基本肯定的结论,但实际使用效果不好。随着世界喷灌机技术的发展,这种喷灌机的使用面积比例越来越大,因此,我国应寻找以往这类喷灌机使用不好的原因,学习国外先进技术,重新认识这个机型的特点,以使尽快在我国推广使用。

参 考 文 献

- 1 许一飞,许炳华. 喷灌机械原理·设计·应用. 北京:中国农业机械出版社,1989. 380~386
- 2 里昂·罗朗. 机械化喷灌. 罗马:联合国粮食及农业组织,1982. 181~186

www.cnki.net