喷水带的设计参数

朱宠莲，吴涤非，王立宏，汤万龙，卢德梅
（北京工业大学，北京 100022）

摘 要：研究了喷水带的工作原理和设计技术参数，分析了灌溉设计中喷水带的设计方法，提出了喷水带的设计参数如孔间距，单位长度流量，布置间距以及最大铺设长度等的计算方法。采用水头损失控制喷水带最大铺设长度的设计方法，将首末端的水头损失限定在30%以内。利用水头损失与铺设长度的关系，确定喷水带的最大铺设长度，并分成平地和坡地两种情况进行了研究，就喷水带最大铺设长度的计算，讨论了画图法及计算机处理法，为喷水带的设计提供参考。

关键词：节水灌溉；喷水带；设计参数；灌溉设计；铺设长度

中图分类号：S275 **文献标识码**：A **文章编号**：1005－6254(2007)01－0042－03

Study on parameters of punched thin-soft spray tape

ZHU Chong-lian, WU Di-fei, WANG Li-hong, TANG Wan-long; LU De-mei
(Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: The irrigation design parameters of punched thin-soft spray tape are studied, such as the hole interval l, flow rate q_m, layout interval B and the maximal laying length L_{max}. The design method of controlling the maximal laying length by using the head loss is discussed. Since the head loss has been defined within 30%, the maximal laying length could be determined by the relationship between head loss and maximal laying length. Two situations are discussed: the flat land and the land on slopes. Finally, two methods, drawing and computerizing, are discussed for the calculation of the maximal laying length.

Key words: water-saving irrigation; punched thin-soft spray tape; technical parameter; irrigation design; laying length

喷水带灌溉技术是我国近年来才发展起来的一种微灌的新类型技术。采用这一设备普遍能取得节水40%，增产20%，省工50%以上的经济和社会效益[1]，而且他具有加工制造及安装使用简单的特点。

微喷灌中，微喷头的结构性能和质量决定了喷灌系统的喷洒质量，但是微喷头的加工工艺复杂，维护相对困难[2]。而喷水带不存在灌水器，只是在毛管上打孔，直接喷出水，因而使用管理非常简单，而且灌水效果很直观。由于毛管平均出水量大于一般微灌，故特别适用于需水量较大喜湿的经济作物，如香蕉、茶叶、蔬菜等的灌溉。目前在国内南方诸省使用较多，且呈上升趋势，在北方一些省市也已开始使用。

喷水带的灌溉过程十分简单，是将压力水通过输水管和喷水带送到田间，通过喷水带上的小孔实施喷洒灌溉。一定压力水进入喷水带中经出水小孔喷出，在重力和空气阻力的共同作用下，形成类似下雨的微喷灌效果[3]。一般采用多孔分组的方式，如每组2孔、3孔、5孔、6孔、7孔等。

喷水带的基本工作原理见图1（此喷水带每组6孔）。喷水带的出水孔按一定距离和一定规律布设，小孔的加工一般采用热针刺孔、钻孔和激光打孔等方法，孔径0.5～1.2 mm，孔呈圆形，注水后喷水

收稿日期：2006－10－17
基金项目：水利部“948”资助项目(200543)
作者简介：朱宠莲(1981－)，女，上海浦东人，硕士研究生，主要从事水资源综合利用方面的研究。
吴涤非(1946－)，男，四川长宁人，教授，主要从事水资源综合利用方面的研究。

带上的小孔出水呈射流状，将水均匀连续地喷洒到喷水带两边的作物和土壤中[4]。

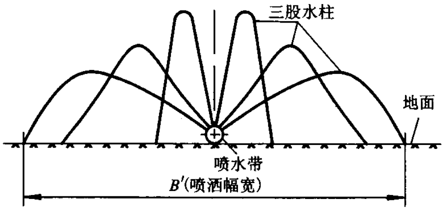

图 1　喷水带工作原理

由于喷水带灌溉发展较晚，目前产品、规划、设计等方面均不规范，相应的国家标准尚未制定，因而设计只是凭经验和现行相关的微灌标准来进行。目前国内市场上的多孔式喷水带形式多样，水力学性能有很大差别；由于缺乏相关的理论研究，设计参数的选用没有依据，给实际选用带来了不便[5]。笔者对喷水带的设计参数作了有关的探讨，可为喷水带的规范化设计提供参考。

1　相关设计参数

1.1　喷水带的孔间距

喷水带是水通过孔喷洒出来实施灌溉的一种灌水形式。一般毛管设计工作压力为 0.05 ~ 0.1 MPa，流量 10 ~ 30 m^3/h[6]。喷水带的孔间距是指喷水孔在喷水带上沿带长方向的平均布置间距。目前喷水孔的布置形式一般有以下 3 种。

1.1.1　单列直布置

即在一列均匀布孔，如图 2 所示。

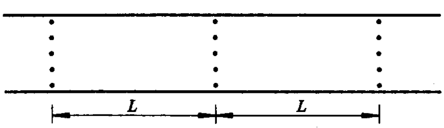

图 2　单列直布置

其孔间距 l 的计算公式为

$$l = L/n \qquad (1)$$

式中 L 为列距；n 为单列孔数。

1.1.2　单列斜布置

单列斜布置的形式如图 3 所示。

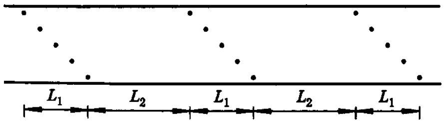

图 3　单列斜布置

孔间距的计算公式为

$$l = (L_1 + L_2)/n \qquad (2)$$

式中 L_1 为列布置宽；L_2 为列净距；n 为单列孔数。

1.1.3　均匀布置

布置形式如图 4 所示，此种情况出水孔均匀布置，孔距即为 L。

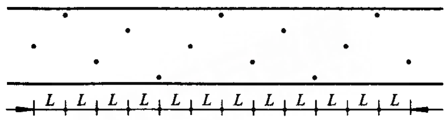

图 4　均匀布置

从受力的角度看，以上 3 种布置中单列直布置最差，最容易造成应力集中破坏；均匀布置方式最好，但在制造加工时较复杂。从喷洒效果看三者差不多，但仍属均匀布置稍好，其灌水均匀性较另两者好。

1.2　单位长度流量

1.2.1　单孔流量

查产品样本确定单孔流量，但一般产品未给出单孔流量，则应通过计算得出单孔流量。计算公式为

$$q = 0.003\,6\mu\omega\sqrt{2gH_k} \qquad (3)$$

式中 q 为单孔流量，m^3/h；μ 为孔口出流流量系数，一般 $\mu = 0.50 \sim 0.65$；ω 为孔口面积，$\omega = \pi d^2/4$；d 为孔径，mm；g 为重力加速度，9.8 m/s^2；H_k 为孔口压力，即设计工作压力，m。

1.2.2　单位长度流量

根据孔距计算单位长度喷水带流量：

$$q_m = 1\,000\,q/l \qquad (4)$$

式中 q_m 为单位长度喷水带流量，$m^3/(h \cdot m)$；l 为孔距，mm。

1.3　布置间距

根据产品样本，确定喷洒幅宽 B'，定喷水带间距 B。考虑风影响、压力变化、喷洒水量均匀性，B 取 $(0.6 \sim 0.8)B'$，不宜过宽，以免水量分布不均匀甚至漏灌。

1.4　铺设长度

如果喷水带铺设过长，水头损失也会不断增加，带中的压力逐步降低，喷水量逐渐减少，造成灌水不均匀。为了保证灌水均匀性，《喷灌工程技术规范》中规定，喷灌同一支管上任意两个喷头之间的工作压力差应在设计喷头工作压力的 20% 以内[7]，微灌同一支管上任意两个喷头之间的工作压力差应在设计喷头工作压力的 40% 以内。

目前喷水带的研究没有相关规范可查，又鉴于

喷水带的单孔出水流量介于喷灌和微灌之间，所以在研究中暂时取一中间值，即一条喷水带上任意两个喷水孔之间的压力差应小于设计工作压力的30%，这就可以决定喷水带的铺设长度。下面分平地和坡地两种情况讨论。

1.4.1 平地情况

在平地的情况下，末端压力最小，首端压力最大，即喷水带首末端两个喷水孔的压力差最大，其压力差即整条带的水头损失，则有

$$H_f \leqslant 0.3\ H_p \tag{5}$$

式中 H_f 为喷水带的水头损失，m；H_p 为喷水带的设计工作压力，m。

喷水带是塑料管，但由于软管壁薄，质软，不顺直，充水后过水断面不是规则的圆形，水头损失大于同直径的硬管，计算时应当乘以一个放大系数，系数一般取值为1.1～1.5，即有下式：

$$H_f = F'Ff\frac{LQ_p^{1.77}}{D^{4.77}} \tag{6}$$

式中 F' 为软管系数，一般取1.1～1.5，本研究中取1.2；F 为多口系数，由于喷水带孔口数大于100，查文献[8]的表4－7(塑料管或铝管的多口系数表)取 $F=0.36$；f为沿程水头损失，查文献[8]的表4－6(沿程水头损失公式中的f,m,b值)，取塑料管$f=94\ 800$[3]；L 为喷水带长，m；Q_p 为喷水带流量，m^3/h；D 为喷水带内径，mm。

由于 $Q_p = Lq_m$，则有

$$H_f = F'Ff\frac{L(Lq_m)^{1.77}}{D^{4.77}} = 4.10\times10^4\frac{L^{2.77}q_m^{1.77}}{D^{4.77}} \tag{7}$$

代入式(5)，即可得到最大铺设长度L_{max}的计算公式为

$$L_{max} = \sqrt[2.77]{\frac{0.3H_pD^{4.77}}{4.10\times10^4q_m^{1.77}}} = \frac{0.014H_p^{0.36}D^{1.72}}{q_m^{0.64}} \tag{8}$$

1.4.2 坡地情况

上坡时，由于地形逐渐升高，管带内的压力较平地降低更快，最大压力差仍是首末端，有

$$H_f \leqslant 0.3H_p - \Delta Z \tag{9}$$

式中 ΔZ 为首末端的地形高差。

则 $H_f + \Delta Z \leqslant 0.3\ H_p$

因 $\Delta Z = iL$（i 为坡度）

即

$$4.10\times10^4\frac{L^{2.77}q_m^{1.77}}{D^{4.77}} + iL \leqslant 0.3H_p$$

下坡情况与上坡情况类似，即

$$H_f - \Delta Z \leqslant 0.3\ H_p$$

即

$$4.10\times10^4\frac{L^{2.77}q_m^{1.77}}{D^{4.77}} - iL \leqslant 0.3H_p$$

1.4.3 计算方法

在确定喷水带最大铺设长度的方法上讨论以下两种方法。

(1) 画图法

将式(7)转换为 $H_f = KL^{2.77}$ 的形式；画出损失线及坡面线，如图5所示；将两者叠加后，如图6所示；找出0.3H_p对应的L的点即为最大铺设长度。对于上坡情况如图5，图6所示；下坡情况的确定方法与此类似。

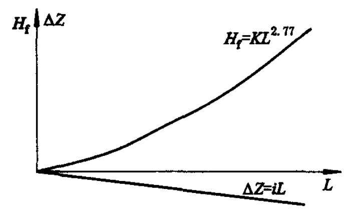

图5 叠加前

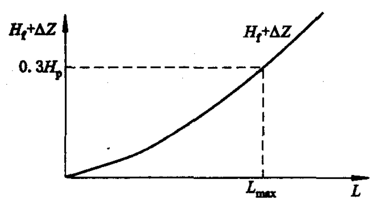

图6 叠加后

(2)利用计算机进行数据处理

通过有关的数据处理软件如Excel等进行数据的计算，具体过程从略。此两种方法可以结合使用来进行数据的处理。另外，文章中提出的最大铺设长度的确定方法也可用于滴灌毛管的设计中。

2 结 论

研究了喷水带的部分参数，包括：喷水带孔间距的布置，单位长度流量和铺设长度的计算。在喷水带的设计及使用中要注意以下几点问题：

(1)在决定喷水带的布孔间距时，要在顾及到喷洒均匀度的前提下，尽量拉大孔与孔之间的距离，避免喷水带在工作时由于应力集中，造成在组孔连线方向发生破裂，尤其是单列直布置情况。

(下转第49页)

图 9 是变压供水和恒压供水在百吨水能耗上的比较图，显然，两种方式的趋势有着截然不同的特征，恒压供水随着流量减小，能耗由大到小又快速增大，小流量段的品质不佳；变压供水随着流量减小，能耗一直向节能方向发展。

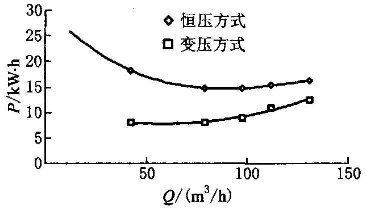

图 9　变压供水和恒压供水在百吨水能耗上的比较图

4　结　论

(1) 恒压供水恒压线需根据泵站实际认真设置，设置高了会减小调速范围和调流范围；

(2) 恒压供水在流量低谷时不但不节能，反而浪费能源；

(3) 变压供水调速范围和调流范围都比恒压时宽；

(4) 变压供水比恒压供水要节能 20% 以上。

参考文献(References)

[1] 黄秉政. 调速泵供水设计几个问题的讨论[J]. 给水排水，1994(4)：10－13.

[2] 崔福义，陈　卫. 恒压给水系统压力控制点的优选[J]. 中国给水排水，1996，12(1)：20－22.

[3] 王荣涛，王新江. 变频调速变压变量供水及数据采集系统的设计研究[J]. 山东建材学院学报，1995，9(1)：9－12.

[4] 何政斌，金海城，周炳强，等. 变频调速变压变流量供水设备的研制及运行效果分析[J]. 给水排水，1998，24(10)：59－63.

[5] 王利平，刘　欢，郑天恒. 变压变量供水技术实现的探讨[J]. 冶金能源，2002，21(6)：45－47.

[6] 马桂梅，谭光仪，陈次昌. 泵变频调速的节能方案讨论[J]. 四川工业学院学报，2003，22(3)：5－7.

[7] 金明山，马桂梅. 神经网络在泵的变频调速模型建立中的应用[J]. 节能，2003(3)：16－17.

[8] 袁　云，俞赛峰，林　磊，等. 排水泵站变频节能的工程实践和机理初探[J]. 排灌机械，2006，24(5)：25－28.

(责任编辑　贾国方)

(上接第 44 页)

(2) 在喷水带的规划设计中要合理规划喷水带的铺设方向，尽量避免喷水带逆坡布置，以减少水头损失对喷水带铺设长度的影响。在合理范围内，喷水带铺设长度越大，则上级支管的布置间距越长，支管长度可以相应减小，这样可降低整个规划的成本。

参考文献(References)

[1] 张学军. 新型节水灌溉设备推介[J]. 中国农村水利水电，2000(1)：61－62.

[2] 周卫平，宋广程，绍　思. 微灌工程技术[M]. 北京：中国水利水电出版社，1999：31－33.

[3] 张学军. 利用低压管道灌溉系统实施高效微喷灌技术[J]. 农村实用工程技术，2001(7)：14－15.

[4] 张　芳，周世峰，吴涤非，等. 喷水带应用初步研究[J]. 排灌机械，2005，23(4)：40－43.

[5] 张学军，吴政文，沈雪民. 多孔式微喷带的研究与应用[J]. 节水灌溉，2000(3)：32－35.

[6] 张　芳. 喷水带的应用和技术参数研究[D]. 北京：北京工业大学建工学院，2005.

[7] 水利部农村水利司. 节水灌溉技术标准选编[M]. 北京：中国水利水电出版社，1998：37.

[8] 周世峰. 喷灌工程学[M]. 北京：北京工业大学出版社，2004：119－120.

(责任编辑　张文涛)