旱坡地微喷灌系统规划设计方法

邹 战 强

(广东省水利水电科学研究院，广东 广州 510610)

摘要：为节约水资源，推广应用节水灌溉技术，旱坡地越来越多地应用微喷灌节水技术。结合茂名市名阁果场微喷灌系统的应用情况，讨论了旱坡地微喷灌系统的规划设计方法，对各细节的设计作了研究和探索。该果场经采用该设计方法进行施工安装，达到了原设计要求，喷洒效果比较理想；也达到了节约灌溉水资源、提高荔枝产量和质量的目的。

关键词：旱坡地；微喷灌；规划；设计；方法

中图分类号：S277　　文献标识码：A　　文章编号：1005-6254(2006)02-0035-04

0 前 言

微喷灌是利用微喷灌设备组装成微喷灌系统，将有压水输送分配到地表，通过灌水器以微小的流量湿润作物根部附近土壤的一种局部灌水技术。它通过低压管道系统，以小的流量将水喷洒到土壤表面进行局部灌溉。微喷灌的特点是灌水流量小，一次灌水延续时间较长，灌溉周期短，需要的工作压力较低，能够较精确地控制灌水量，能把水和养分直接输送到作物根部附近的土壤中去。

进行微喷灌试验的旱坡地位于广东省电白县大衙镇茂名市名阁果场内，种植荔枝，树龄在 10 年左右。规划 13.3 hm^2 的微灌工程，于 1996 年 10 月建成。果园最高处高程为 94.91 m，旱坡地坡面比较均匀，高差在 8~21 m 之间，土壤为砂壤土，含有机质少，透水性较大，保水保肥能力较差。水源利用 1996 年初打的一口深 25 m 的水井，流量为 25 m^3/h，可连续抽水 4~6 h，果场已有 380 V 动力线，变压器容量为 10 kVA。

1 旱坡地微喷灌系统规划设计方案

荔枝基本沿等高线种植，每行树布置一条毛管，毛管沿等高线布置，毛管间距等于果树行距，即 6.0 m。沿毛管在每两棵树中间布置一个微喷头，微喷头间距与荔枝树株距相等，即 4.5 m，微喷头用 Φ4 mm 微管与毛管连接，微管长 1.0 m，用插杆固定在地面上。

见图 1，根据旱坡地地形条件，干管沿山丘的脊线布置，由首部枢纽 A 点起沿山脊向北布置 APS 干管和向南布置 AFL 干管，支管沿山坡垂直于等高线布置，并尽量向两侧毛管供水，毛管平行等高线布置。

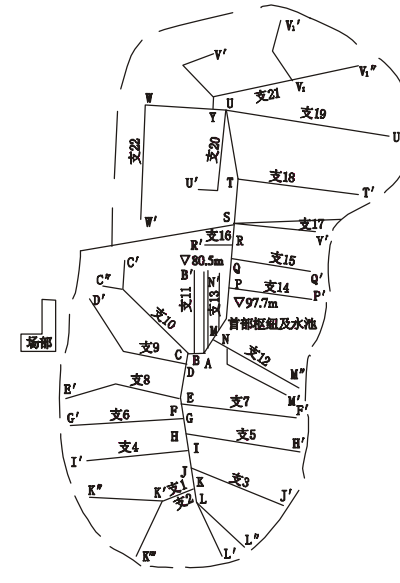


图1　微喷灌系统规划布置图

规划设计参数为：

南方果树的湿润比 $P \geqslant 0.35$，

设计灌水均匀度 C_u=95%，

灌水有效利用系数 η=0.9，

设计日耗水强度 E_a=2.71 mm/d。

作者简介：邹战强(1965-)，男，高级工程师；主要从事农田水利、水土保持试验研究工作。

万方数据

2 微喷灌溉制度设计计算

2.1 一次灌水量计算

$$M=0.1rh(W_d-W_o)P \quad (1)$$

式中，M 为灌水定额，mm；r 为土壤容重，砂质壤土 r=1.37 g/cm³；h 为灌水湿润深度，取 h=0.5 m；W_d 为土壤田间最大持水量，W_d=22%；W_o 为设计含水量下限，W_o=0.6W_d=13.2%；P 为土壤温润比，P=2×5/(4.5×6)=0.37。

则 M=0.1×1.37×50×(22−13.2)×0.37=22.3(mm)

2.2 设计灌水周期

$$T=M/E_a \quad (2)$$

则 T=22.3/2.71=8.23(d)，取 T=8 d

2.3 一次灌水延续时间

$$t=MS_tS_r/(\eta_{水} nq_d) \quad (3)$$

式中，t 为一次灌水延续时间，h；S_t 为果树株距，m；S_r 为果树行距，m；$\eta_{水}$ 为灌水有效利用率，取 $\eta_{水}$=0.9；q_d 为微喷头流量，q_d=60 L/h；n 为灌水器数量，n=1 个/株。

则 t=22.3×4.5×6/(0.9×1×60)=11.15(h)，取 t=11 h。

2.4 轮灌组数目

每天工作时间取 C=8 h，则轮灌组数目 N=CT/t=8×8/11=5.8(组)，取 N=6 组。

为了使每个轮灌组灌水时水泵出水量基本相等，压力比较均匀，缩小管径，降低工程投资，根据实际支管情况，将各轮灌组的分组情况划分见表 1。

3 微喷灌系统水力计算

3.1 毛管水力计算

3.1.1 计算参数

本系统采用全圆折射式微喷头，已知灌水器流态指数 X=0.5，微灌系统设计流量偏差 q_v=0.2，灌水器设计工作水头 h_d=0.1 MPa，设计流量 q=60 L/h。

3.1.2 灌水器设计允许工作水头偏差率

$$H_v=\frac{1}{X}q_v\left(1+0.12\frac{1-X}{X}q_v\right)$$

$$=\frac{1}{0.5}\times0.2\times\left(1+0.12\times\frac{1-0.5}{0.5}\times0.2\right)$$

$$=0.4$$

3.1.3 毛管最大出水孔数

$$N_m=\left(\frac{5.533D^{4.75}h_dH_v}{KSq_d^{1.75}}\right)^{0.3636}+0.52$$

式中，K=1.1，则：

$$N_m=\left(\frac{5.533\times12^{4.75}\times10\times0.4}{1.1\times4.5\times60^{1.75}}\right)^{0.3636}+0.52$$

=9.83(孔)

取 N_m=10 孔。

表 1 轮灌分组表　　单位：m³/h

轮灌组	支管	流量	合计
1	支 1	12.36	39.54
	支 2	7.2	
	支 14	8.58	
	支 22	11.4	
2	支 3	9.1	38.58
	支 4	10.62	
	支 16	6.54	
	支 20	12.24	
3	支 5	6.24	37.02
	支 6	9.66	
	支 15	9.66	
	支 17	11.16	
4	支 7	9.24	31.62
	支 8	6.0	
	支 18	16.38	
5	支 10	14.52	37.26
	支 11	13.14	
	支 19	9.6	
6	支 9	7.86	38.46
	支 12	11.40	
	支 13	4.74	
	支 21	14.46	

3.1.4 毛管设计最大长度

$L_{max}=N_mS+S_0$=10×4.5+4.5/2=47.25(m)

根据管道布置情况，实际最大毛管长度

L=42.5 m<L_{max}=47.25 m

满足设计要求。

3.1.5 毛管进口压力 h_0 计算

毛管沿等高线布置，灌水器最大工作压力水头在毛管进口处第一个出水口处。

$$h_0=h_1+ka(Nq_d)^mS_0-JS_0 \quad (4)$$

$h_1=(1+0.62\times0.2)^{1/5}\times10+8.4\times10^{-4}\times601.696\times2+$

$+1.34\times10^{-5}\times60^2=14.43$(m)

$a=1.006\times10^{-5}\times1.2^{-0.123}Lg(1.2+4.88)=4.1\times10^{-6}$

$m=1.753(D/2.5)^{0.018}=1.753\times(1.2/2.5)^{0.018}=1.73$

则 h_0=14.43+1.1×4.1×10⁻⁶×(10×60)$^{1.73}$×2−0×4.5/2

=15.01(m)≈15 m

万方数据

3.2 干管、支管水力计算

3.2.1 干管 ASW 水力计算[1]

根据地形条件和管网布置情况，第一轮灌组离首部枢纽二级加压泵最远，流量 Q_{12}=11.4 m³/h，W 点地面高程为 94 m。如果支管进口水头等于毛管进口设计水头，那么只要在 W 点管道内有满足毛管进口水头 h_0 的工作水头，其它毛管的进口水头均能满足要求。干管 ASW 沿程水头损失按勃拉休斯公式计算。

$$h_{f\mathrm{AW}}=8.4\times10^4\times Q^{1.74}L/D^{4.75}$$
$$=8.4\times10^4\times[(19.98^{1.75}\times84+11.4^{1.75}\times64)/50^{4.75}+$$
$$+11.4^{1.75}\times192/65^{4.75}]=17.36(\mathrm{m})$$

3.2.2 干管 AFL 水力计算

在第一轮灌组中，向支 1、支 2 两条支管同时供水，其流量为 Q=19.56 m³/h，干管 AFL 全长 L_{a1}=205 m，A 点与 L 点地面高程差为

$$\Delta H_{地}=Z_{\mathrm{A}}-Z_{\mathrm{L}}=97.7-83.1=14.6\mathrm{m}$$

干管 AFL 管径为

$$D_{\mathrm{AL}}=(KQ^{1.75}L/\Delta H_{地})^{-4.75}$$
$$=(8.4\times10^4\times19.56^{1.75}\times205/14.6)^{-4.75}=56.7(\mathrm{mm})$$

由于干管 ASW 和干管 AFL 所需要的工作水头有差别，而且两条干管在 A 处平衡，所以 A 点处提供的工作水头远远超过干管 AFL 的沿程水头损失，所以选用干管 AFL 的管径 D=50 mm，满足要求。

$$h_{f\mathrm{AL}}=8.4\times10^4D^{1.75}L/Q^{4.75}$$
$$=8.4\times10^4\times19.56^{1.75}\times205/50^{4.75}=26.7(\mathrm{m})$$

3.2.3 首部二级加压泵扬程计算

首部地面高程 Z_{A}=97.7 m，W 点地面高程 Z_{W}=94.0 m，干管 ASW 沿程水头损失 $h_{f\mathrm{AW}}$=17.36 m，毛管进口水头 h_0=15.0 m，考虑首部枢纽中各种管道、管件和过滤器水头损失 Σh_j=8.0 m，首部枢纽水泵扬程为

$$H_{\mathrm{AW}}=h_0+\Sigma h_j+h_{f\mathrm{AW}}-\Delta Z$$
$$=15+8+17.36-(97.7-94)=36.66(\mathrm{m})$$

干管 AL 沿程水头损失 $h_{f\mathrm{AL}}$=26.7 m，L 点地面高程为 Z_{L}=83.1 m，首部枢纽水泵扬程为

$$H_{\mathrm{AL}}=h_0+\Sigma h_j+h_{f\mathrm{AL}}-\Delta Z$$
$$=15+8+26.7-(97.7-83.1)=35.1(\mathrm{m})$$

可见，第一组最大扬程为 36.66 m，就能满足要求；其它各轮灌组所需的扬程和流量经过计算，结果见表 2。

从表 2 计算结果中可知，最大流量为第 1 轮灌组，最大扬程为第 2 轮灌组。因此满足第 1 轮灌组的流量和第 2 轮灌组的压力，即可满足其它轮灌组的要求。

表 2　各轮灌组设计扬程计算结果表

轮灌组	1	2	3	4	5	6
流量/m³•h⁻¹	39.54	38.58	37.02	31.62	37.26	38.46
扬程/m	36.66	37.08	32.85	32.64	26.60	30.55

3.2.4 首部枢纽水泵电机选择

根据轮灌组最大流量 Q=39.54 m³/h，扬程 H=37.08 m，选择型号为 IS80-65-160 型节能单级单吸清水离心泵，H=32~45 m，Q=50~25 m³/h，由安微宁国工业泵厂生产。电机为三相异步电动机，型号为 Y132-2″，功率 N=7.5 kW，由西安电机厂生产。

3.2.5 支管进口工作水头计算

由于轮灌时各组的流量大小不相同，水泵扬程也不同，各支管的进口工作水头需按水泵扬程进行复核计算，确定是否需要在支管进口设置调压装置。

首部枢纽出水口 A 点工作水头的确定：蓄水池平均设计水位为 97 m，水泵轴线安装高程为 98 m，首部枢纽地面高程为 97.7 m，轮灌组的流量在 31.62~39.54 m³/h 之间，由水泵性能曲线可知，水泵的扬程在 39~42.5 m 之间变化，现以 39 m 为各次轮灌时水泵的计算扬程。

A 点处的水头为：

$$H_{\mathrm{A}}=H_{扬}-\Delta h_{首}-\Delta Z$$
$$=39-8-(98-97)=30(\mathrm{m})$$

灌水时各支管进口工作水头计算：轮灌时各支管进口的工作水头与轮灌组的输水流量、管道沿程水头损失及地面高程有差别，关系较大，现均以 A 点为计算起点，各支管进口的工作水头为 $H_{支}=H_{\mathrm{A}}-\Sigma\Delta H\pm\Delta H_{地}$，$\Delta H=h_f+h_j$，取 $h_j=0.1h_f$。

现计算第 1 轮灌组，干管 AL 同时向支 1、支 2 供水。

管段水头损失：

$$H_{f\mathrm{kL}}=8.4\times10^4\times7.2^{1.75}\times5/50^{4.75}=0.1(\mathrm{m})$$
$$\Delta H_{k\mathrm{L}}=1.1H_{f\mathrm{kL}}=1.1\times0.1=0.1(\mathrm{m})$$

支管 2 进口处的工作水头为

$$H_{支2}=H_{\mathrm{A}}-\Sigma\Delta H\pm\Delta H_{地}$$
$$=39-(29.32+0.1)+(98-82.5)=25.08(\mathrm{m})$$

其它支管进口工作水头计算方法相同，计算结果见表 3。

万方数据

表 3 支管进口工作水头计算结果(单位:m)

管段	AK	KL	AP	PW	AI	IJ	AR	RU	AG	GH	AQ
工作水头/$H_{支}$	24.58	25.08	41.82	24.46	25.72	27.77	32.03	23.34	37.04	36.84	45.37
管段	QS	AE	EP	AT	AB	BC	AU	AD	AM	HN	NV
工作水头/$H_{支}$	39.87	38.66	47.60	31.37	47.60	35.37	36.95	38.43	47.14	40.77	22.25

表 4 支管水力管径计算结果 (单位:mm)

管段	KK′	K′K″	K′K	KL	LL′	LL″	JJ′	II′	HH′	GG′	FF′
计算管径	26.02	28.29	26.16	19.39	13.32	29.83	25.99	27.76	21.72	23.85	23.99
选用管径	32	32	32	25	25	32	32	32	25	25	25
管段	EE′	DD′	CC′	C′C″	C′C	BB′	MM′	M′M″	M′M	NN′	PP′
计算管径	21.98	22.46	36.33	18.31	30.40	28	20.1	14.1	22.1	16.7	23.3
选用管径	25	25	40	25	32	32	25	25	25	25	25
管段	QQ′	RR′	SS′	TT′	UU″	UU′	VV′	VV_1	V_1V_1'	V_1V_1''	VW′
计算管径	25.8	21.6	27.4	31.64	16.03	32.15	16.15	26.4	9.9	19.89	29.4
选用管径	32	25	32	32	25	40	25	32	25	25	32

3.2.6 支管管径计算

根据地形条件及实际情况，干管沿山脊布置，支管垂直于等高线布置，此时支管水力计算应满足支管上各毛管进口的工作水头要求，因此，支管的水头损失应根据地面高差和支管进口工作水头大小确定，并根据确定支管管径。

$$\Delta h=H_{支}\pm\Delta H_{地}=h_0(\text{顺坡为+，逆坡为−}) \quad (5)$$

$$D_{支}=KQ_{支}^{1.75}LF/\Delta h^{4.75} \quad (6)$$

现计算支管 3 管径：根据表 2 可知 $H_{支3}$=32.85 m，毛管进口工作水头 h_0=15.0 m，$Q_{支3}$=9.18 m^3/h，$\Delta H_{支}$=85.5−72=3.5 m，分水孔数 N=15，多孔系数 F=0.377，支管长 $L_{支3}$=90 m，Δh=23.77+13.5−15=22.27 (m)；$D_{支3}=(8.4\times10^4\times9.18^{1.75}\times90\times0.377/26.27)^{-4.75}$=25.99(mm)，取 $D_{支3}$=32.00 mm。

其它各支管管径计算结果见表 4。

4 结 语

采用上述规划设计方法直观，比传统设计方法简单，计算准确，果场采用该设计方法进行施工安装，达到了原来设计要求，喷洒效果比较理想。目前，我省大力发展旱坡地经济作物的种植，需要推广应用微喷灌等节水灌溉技术，抓好规划设计工作是关键，才能保证节水灌溉工程达到设计要求。

参考文献：

[1] 傅琳，董文楚，郑瑶泉. 微灌工程技术指南[M]. 北京：水利电力出版社，1988：152~153.

[2] 陈大雕，林中卉. 喷灌技术[M]. 北京：科学出版社，1992.

[3] SL103-95，微灌工程技术规范[S].

[4] 喷灌工程设计手册编写组. 喷灌工程设计手册[M]. 北京：水利电力出版社，1989.

[5] 李百军，毛罕平，李凯. 并联文丘里管吸肥装置的研究及其参数选择[J]. 排灌机械，2001，19(1)：42~45.

[6] 王文元，董玉云. 温室大棚滴灌系统设计与管理中值得注意的问题[J]. 节水灌溉，2000(3)：15~16.

Design Layout of Micro Sprinkling Irrigation System for Dry Contoured Land

ZOU Zhan-qiang

(Guangdong province, research institute of water conservancy and hydroelectric power, Guangzhou 510610, China)

Abstract: In order to save water and promote the application of sprinkling irrigation, the technique was applied in dry contoured land more and more. Combining with the real application in Maoming Mingge fruit garden, the design method was discussed, which result in good irrigation, effective water saving and increasing the output and quality of litchi.

Key words: Dry contoured land; Micro sprinkling irrigation; Layout; Design; Method

万方数据