

玉米膜下滴灌典型设计案例剖析

(中国农业大学 李光永)

1.1.1 膜下滴灌

以第四片区的先源乡红墨乡友谊村地块为例详述膜下滴灌的设计过程。

1.1.1.1 基本资料

该地块位地区，土壤容重为 1.3g/cm^3 ，田间持水量 23%。地块面积 205 亩，东西约 307m，南北约 453m。主要种植作物为玉米，南北向种植。**(资料不全：水源、种植模式、管理等等。)**

1.1.1.2 基本参数选取

1、灌溉保证率

根据《微灌工程技术规范》(GB/T50485-2009) 确定地下水滴灌设计保证率为 90%。**(国家标准规定为 85%以上 ;相应的灌溉制度与需水量也应该与之对应)**

2、灌溉水利用系数

根据《微灌工程技术规范》(GB/T50485-2009)，灌溉水利用系数取 0.95。

3、设计耗水强度

根据当地研究资料膜下滴灌设计耗水强度为 3.5mm/d 。**(要有依据：实验或根据作物耗水过程与降雨过程计算)**

4、土壤湿润比

设计土壤湿润比 $p=65\%$

5、灌水小区流量偏差率 q_v

灌水小区灌水器流量偏差率 $q_v=20\%$

1.1.1.3 水量平衡计算

根据水源供水流量和设计耗水强度，确定微灌面积：

$$A = \frac{\eta Q_s t_d}{10/a}$$

式中：A——可灌溉面积， hm^2 ；

Q_s ——水源可供流量， m^3/h ，根据水力计算，该地块的设计流量为 $29.28m^3/h$ (小于机井的出水量 $40m^3/h$)。 (此处还得不出设计流量为 $29.28m^3/h$)

I_a ——设计耗水量， mm/d ；取 $3.5mm$ ；

t_d ——水源每日供水时间， $22h/d$ ；

η ——灌溉水利用系数， 0.95 。

经计算得： $A=262$ 亩。 $Q=A*10*I_a/(n*t_d)=(205/15)*10*3.5/(0.95*22)=22.9 m^3/h$

地块面积 205 亩，所以，供水量满足灌溉要求。(由流量计算面积只是校核，应该计算 205 亩灌溉面积所需的流量，再根据水井出水量以及灌溉情况、轮灌组划分得出水泵流量，水泵流量应大于等于 $22.9 m^3/h$)

1.1.1.4 灌水器选择与毛管布置方式

根据工程区实际情况，选用内镶式滴灌带，公称直径 $16mm$ ，壁厚 $0.2mm$ 。滴头额定工作压力 $h_a=0.1MPa$ ，额定流量 $2.5L/h$ ，滴头间距 $0.3m$ 。(说明滴灌带的内径、流态指数，种植株行距与滴灌带间距；应分析湿润比是否满足要求；给出布置图)

1.1.1.5 灌溉制度设计

(1) 设计净灌水定额 $m_{净}$

$$m_{净}=0.1 \gamma_s p h (\beta_1 - \beta_2)$$

式中： $m_{净}$ ——设计净灌水定额， mm ；

γ_s ——计划湿润层土壤干容重， g/cm^3 ，为 $1.3g/cm^3$ ；

p ——设计土壤湿润比，%，取 65% ；

h ——土壤计划湿润层深度， m ，取 $0.4m$ ；

β_1 ——适宜土壤含水率上限（占干土重量的百分比），%，取田间持水率 $\theta_{田}=23\%$ 的 90% ；

β_2 ——适宜土壤含水率下限（占干土重量的百分比），%，取田间持水率 $\theta_{田}=23\%$ 的 70% ；

η ——灌溉水利用系数，取 0.95 。

经计算得： $m_{净}=15.5mm=10.4m^3/亩$ 。(这是根据最大灌水定额，可以根据作物特性，采用比此值小的定额)

(2) 设计毛灌水定额 $m_{毛}$

毛灌水定额为：

$$m_{毛} = \frac{m_{净}}{\eta} = \frac{15.5}{0.95} = 16.4mm = 10.9m^3 / 亩$$

(3) 设计灌水周期 T

$$T = m_{净} / I_a$$

式中：T——设计灌水周期，d；

I_a ——设计日耗水量，mm/d，取 3.5mm/d。

其余符号意义同前。

经计算得：T=15.5/3.5=4.44d，取 4d。

(4) 一次灌水延续时间 t

$$t = m_{毛} S_e S_l / q$$

式中：t——一次灌水延续时间，h；

S_e ——滴头间距，m，取 0.3m；

S_l ——毛管间距，m，取 1.3m；

q——设计的滴头流量，L/h，取 2.5L/h。

其余符号意义同前。

经计算得：t=2.5h。

灌溉制度设计参数及计算结果汇总表

序号	内容	单位	参数
1	计划湿润土层深度 h	m	0.4
2	土壤容重 γ_s	g/cm ³	1.3
3	设计土壤湿润比 p	%	65
4	田间持水率 $\theta_{田}$	%	23
5	适宜土壤含水率上限 β_1	%	20.7
6	适宜土壤含水率下限 β_2	%	16.1
7	设计日耗水量 I_a	mm/d	3.5
8	灌溉水利用系数 η		0.95
9	设计净灌水定额 $m_{净}$	mm	15.5
10	设计净灌水定额 $m_{净}$	m ³ /亩	10.4
11	设计毛灌水定额 $m_{毛}$	mm	16.4
12	设计毛灌水定额 $m_{毛}$	m ³ /亩	10.9
13	计算灌水周期 T	d	4.44

序号	内容	单位	参数
14	设计灌水周期 T	d	4.00
15	灌水器间距 Se	m	0.3
16	毛管间距 Si	m	1.3
17	灌水器流量 q	L/h	2.5
18	计算一次灌水延续时间 t	h	2.55
19	一次灌水延续时间 t	h	2.50

1.1.1.6 支、毛管水头差分配与毛管极限长度确定

当 $q_v=20\%$ 时，灌水小区允许水头差：

$$h_{\max} = h_a \left[(1 + 0.65q_v)^{\frac{1}{x}} \right] = 10 \times \left[(1 + 0.65 \times 0.2)^{\frac{1}{0.5}} \right] = 12.77m$$

$$h_{\min} = h_a \left[(1 + 0.35q_v)^{\frac{1}{x}} \right] = 10 \times \left[(1 + 0.35 \times 0.2)^{\frac{1}{0.5}} \right] = 8.65m$$

$$\Delta H_s = h_{\max} - h_{\min} = 12.77 - 8.65 = 4.12m$$

支、毛管水头差分配比分别为 0.45、0.55，所以：**(可以按照 50%分配)**

$$\Delta H_{\text{毛}} = 0.55\Delta H_s = 0.55 \times 4.12 = 2.26m$$

$$\Delta H_{\text{支}} = 0.45\Delta H_s = 0.45 \times 4.12 = 1.84m$$

毛管允许的极限长度为：

$$L_m = INT \left(\frac{5.446\Delta H_{\text{毛}} D^{4.75}}{KSq_a^{1.75}} \right)^{0.364} S$$

式中： L_m ——毛管允许的极限长度，m；

q_a ——滴头设计流量，L/h，为 2.5L/h；

S ——毛管上出水孔间距，m，为 0.3m；

D ——毛管内径，mm，为 16mm；

K ——毛管局部水头损失加大系数，取 1.1。

经计算得： $L_m=75.45m$ 。

1.1.1.7 管网系统布置与轮灌组划分

地块的灌溉系统共布置四级管道，即干管、分干管、支管和毛管（滴灌带）。干管南北向布置，分干管东西向布置，支管和毛管都选择双向分水。

说明毛管实际采用的长度，支管长度，灌水小区面积，灌水小区流量、轮灌组划分（表格；影响到后面的水力计算）

整个地块拟划分 28 个轮灌组，一个轮灌组大小约为 $110 \times 43\text{m}$ ，每个轮灌组有两个灌水单元。每个灌水单元灌水需开启 2.5h，每次灌水时开启地块两侧的一个灌水单元。2 个轮灌组完成灌水需要 5h，每天灌溉 8 个轮灌组，3 天半灌完。



1.1.1.8 水力计算

位于地块右下侧的区域为灌溉最不利点，以到达最不利点的管线为最不利管线，对右下侧的区域进行水力计算。

1、毛管（滴灌带）水头损失计算

（1）毛管水头损失计算

毛管为等距多孔管，采用双向分水，单侧毛管长 55m，毛管进口流量为毛管

上的各滴头流量之和，毛管末端滴头工作水头按 10.0m 计算。按下式计算毛管水头损失：**(毛管末端滴头工作水头应采用灌水小区的最小水头 $h_{\min} = 8.65m$)**

$$h_{\text{毛}} = Fh_f + h_j$$

$$h_f = f \frac{Q^m}{D^b} L$$

$$F = \frac{N \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right) - 1 + x}{N - 1 + x}$$

$$h_j = 0.1h_f$$

式中： $h_{\text{毛}}$ ——毛管水头损失，m；

F ——多孔系数；

h_f ——无旁孔出流时的沿程水头损失，m；

h_j ——毛管局部水头损失取毛管沿程水头损失的 10%；

Q ——流量， m^3/h ，为 $2.5 \times 183 / 1000 = 0.46m^3/h$ ；**($Q = 55 / 0.3 * 2.5 / 1000 = 0.46$)**

D ——管道内径，mm，16mm；**(应采用实际内径，而不是名义直径)**

L ——管道长度，m，55m；

N ——出口数目，个，183 个；

f ——摩阻系数，0.505；

m ——流量指数，1.75；

b ——管径指数，4.75；

x ——进口端至第一个出水口的距离与孔口间距之比，为 0.5。

经计算得： $h_{\text{毛}} = 0.96m$ 。

(2) 毛管进口工作压力 $h_{0\text{毛}}$ 计算

滴头的设计工作水头为 10.0m，所以毛管进口工作压力 $h_{0\text{毛}}$ 为：

$$h_{0\text{毛}} = 10.0 + 0.96 = 10.96m \text{ (应为 } h_{\min} + 0.96 = 8.65 + 0.96 = 9.61m \text{)}$$

2、支管水力计算

支管为等距多孔管，采用双向分水，单侧支管长（即一个灌水单元毛管长）

21m，进口流量为支管上的各毛管进口流量之和，按下式计算支管水头损失：

$$h_{\text{支}} = Fh_f + h_j$$

$$h_f = f \frac{Q^m}{D^b} L$$

$$F = \frac{N \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right) - 1 + x}{N - 1 + x}$$

$$h_j = 0.1h_f$$

式中： $h_{支}$ ——支管水头损失，m；

F——多孔系数；

h_f ——无旁孔出流时的沿程水头损失，m；

h_j ——支管局部水头损失取支管沿程水头损失的 10%；

Q——流量， m^3/h ，（因支管采用双向分水，所以支管计算流量为 $0.46 \times 16 \times 2 = 14.64 m^3/h$ ）；

D——管道内径，mm， $50 - 2.3 \times 2 = 45.4 mm$ ；

L——管道长度，m，21m；

N——出水口数量，个，16个；

f——摩阻系数，0.505；

m——流量指数，1.75；

b——管径指数，4.75；

x——进口端至第一个出水口的距离与孔口间距之比，为 0.5。

经计算得： $h_{支} = 1.16 m$

(2) 支管进口工作压力 $h_{0支}$ 计算

所以，支管进口工作压力 $h_{0支}$ 为：

$$h_{0支} = 10.96 + 1.16 = 12.12 m \quad (= 9.61 + 1.16 = 10.77 m)$$

3、出地管水力计算

(1) 出地管水头损失计算

出地管的局部水头损失按沿程水头损失的 10% 计算，计算流量按灌溉 1 个灌溉单元考虑，出地管的水头损失按下列公式计算：

$$h_{出地管} = h_f + h_j$$

$$h_f = f \frac{Q^{1.77}}{D^{4.77}} L$$

$$h_j = 0.1h_f$$

式中： $h_{\text{出地管}}$ ——出地管水头损失，m；

h_f ——出地管沿程水头损失，m；

h_j ——出地管局部水头损失取沿程损失的 10%，m；

k ——水头损失扩大系数，取 1.1；

Q ——流量， m^3/h ，为 $14.64\text{m}^3/\text{h}$ ；

D ——管道内径，mm， $50-2.3 \times 2=45.4\text{mm}$ ；

f ——摩阻系数，0.464；

L ——管道长度，m，1m。

经计算得： $h_{\text{出地管}}=0.15\text{m}$

(2) 出地管进口工作压力计算

出地管进口工作压力为：

$$h_0_{\text{出地管}}=12.12+0.15=12.27\text{m} (=10.77+0.15=10.92\text{m})$$

4、分干管水力计算

(1) 分干管水头损失计算

分干管的局部水头损失按沿程水头损失的 10%计算（分干管出水孔数很少，拟为 5%），计算流量按灌溉 1 个灌溉单元考虑，分干管的水头损失按下列公式计算：即一个轮灌组中两个灌水单元在不同的分干管上）

$$h_{\text{分干管}} = h_f + h_j$$

$$h_f = f \frac{Q^{1.77}}{D^{4.77}} L$$

$$h_j = 0.1h_f$$

式中： $h_{\text{分干}}$ ——分干管水头损失，m；

h_f ——分干管沿程水头损失，m；

h_j ——分干管局部水头损失取沿程损失的 10%，m；

Q ——流量， m^3/h ，为 $14.64\text{m}^3/\text{h}$ ；

D——管道内径，mm， $75-2.9\times 2=69.2\text{mm}$ ；

f——摩阻系数，0.464；

L——管道长度，m，134m。

经计算得： $h_{\text{分干}}=2.70\text{m}$

(2) 分干管进口工作压力计算

分干管进口工作压力为：

$$h_{0\text{分干}}=12.27+2.70=14.97\text{m} \quad (=10.92+2.7=13.62\text{m})$$

5、干管水力计算

(1) 干管水头损失计算

干管的局部水头损失按沿程水头损失的 10%计算 (拟为 5%)，计算流量按同时为两条分干管供水计算，干管的水头损失按下列公式计算：

$$h_{\text{干管}} = h_f + h_j$$

$$h_f = f \frac{Q^{1.77}}{D^{4.77}} L$$

$$h_j = 0.1h_f$$

式中： $h_{\text{干}}$ ——干管水头损失，m；

h_f ——干管沿程水头损失，m；

h_j ——干管局部水头损失取沿程损失的 10%，m；

Q——流量， m^3/h ，为 $14.64\times 2=29.28\text{m}^3/\text{h}$ ；

D——管道内径，mm， $90-3.5\times 2=83\text{mm}$ ；

f——摩阻系数，0.464；

L——管道长度，m，410m。

经计算得： $h_{\text{干}}=11.81\text{m}$

(2) 干管进口工作压力计算

干管进口工作压力为：

$$h_{0\text{干}}=14.97+11.81=26.78\text{m} \quad (=13.62+11.81=25.43\text{m})$$

6、泵管水力计算

机井水泵管道的局部水头损失按沿程水头损失的 10%计算，机井水泵管道的沿程水头损失按下列公式计算：

$$h_{\text{泵管}} = h_f + h_j$$

$$h_f = fL \frac{Q^{1.9}}{d^{5.1}}$$

$$h_j = 0.1h_f$$

式中： $h_{\text{泵管}}$ ——机井水泵管道的水头损失，m；

h_f ——机井水泵管道的沿程水头损失，m；

h_j ——机井水泵管道的局部水头损失，m；

f ——摩阻系数，取 6.25×10^{-5} ；

Q ——流量，L/h，为 $29.28 \text{m}^3/\text{h}$ ；

d ——管道内径，mm，为 80mm；

L ——管长，m，为 22。

经计算得： $h_{\text{泵管}}=1.82\text{m}$ 。

1.1.1.9 水泵及动力选型

系统首部水头损失按 10m 计，机井动水位 22m，地形高差为 0m。所以，水泵的设计扬程为：

$$H=26.78+1.82+10+22=63.60\text{m}$$

设计流量为 $29.28 \text{m}^3/\text{h}$ 。

选择井用潜水泵，水泵型号为：200QJ32-52/4。

水泵选型表

地块名称	型号	流量 Q	扬程	额定功率	额定电流	出水管直径
		m^3/h	m	KW	A	寸
	200QJ32-52/4	32	52	7.5	18.0	2.5

水力计算表

项目	内容	单位	计算结果
设计参数	灌水器设计流量	l/h	2.5
	灌水器设计压力	m	10
	轮灌组		
	轮灌区		右下侧
毛管水力计算	管道材质		PE
	流量偏差率		0.2
	流态系数		0.5

项目	内容	单位	计算结果
	工作水头偏差率		0.41
	允许水头偏差	m	4.10
	毛管允许水头差	m	2.26
	支管允许水头差	m	1.85
	毛管的极限分流孔数		251
	毛管实际铺设孔数		183
	长度	m	55
	管道内径	mm	16.00
	流量	m ³ /h	0.46
	摩阻系数 f		0.505
	流量指数 m		1.75
	管径指数 b		4.75
	毛管计算沿程水头损失	m	2.40
	多口系数 F		0.37
	毛管沿程水头损失	m	0.88
	毛管局部水头损失	m	0.09
	与允许水头差的关系		满足要求
	毛管进口流量	m ³ /h	0.46
	毛管进口压力	m	10.96
	支管水力计算	管道材质	
长度		m	21
管道内径		mm	45.4
摩阻系数 f			0.505
流量指数 m			1.75
管径指数 b			4.75
支管计算流量		m ³ /h	14.64
支管计算沿程水头损失		m	2.78
多口系数 F			0.38
支管沿程水头损失		m	1.05
支管局部水头损失		m	0.11
与允许水头差的关系			满足要求
支管进口流量		m ³ /h	14.64
支管进口压力		m	12.12
出地管水力计算	管道材质		PE
	管道标识		
	长度	m	1
	管道内径	mm	45.4
	计算流量	m ³ /h	14.64
	摩阻系数 f		0.464
	流量指数 m		1.77
	管径指数 b		4.77
	出地管沿程水头损失	m	0.14

项目	内容	单位	计算结果
	出地管局部水头损失	m	0.01
	出水口水头损失	m	
	出地管进口流量	m ³ /h	14.64
	出地管进口压力	m	12.27
分干管水力计算	管道材质		PE
	管道标识		
	长度	m	134
	管道内径	mm	69.2
	计算流量	m ³ /h	14.64
	摩阻系数 f		0.464
	流量指数 m		1.77
	管径指数 b		4.77
	分干管沿程水头损失	m	2.45
	分干管局部水头损失	m	0.25
	分干管进口流量	m ³ /h	14.64
	分干管进口压力	m	14.97
干管水力计算	管道材质		PE
	管道标识		
	长度	m	410
	管道内径	mm	83
	计算流量	m ³ /h	29.28
	摩阻系数 f		0.464
	流量指数 m		1.77
	管径指数 b		4.77
	干管沿程水头损失	m	10.74
	干管局部水头损失	m	1.07
	干管进口流量	m ³ /h	29.28
	干管进口压力	m	26.78
泵管水力计算	长度 L	m	22
	管道内径 d	mm	80
	计算流量 Q	m ³ /h	29.28
	摩阻系数 f		625000
	流量指数 m		1.9
	管径指数 b		5.1
	水头损失扩大系数	k	1.1
水泵管道水头损失 h	m	1.82	
系统设计流量及设计扬程	系统首部水头损失	m	10.00
	动水位	m	25.00
	设计扬程	m	63.60
	设计流量	m ³ /h	29.28
	水泵型号		200QJ32-52/4

水泵的扬程是根据最不利轮灌组计算，其他轮灌组的入口压力远大于轮灌组需要的压力，应进行节点压力平衡计算，分析干管直径是否选用的合适或计算其他分干管的直径或提出压力调节措施

图纸案例分析

1.1.1.10 主要设备材料及工程量

大田玉米膜下滴灌工程量清单

序号	名称	规格型号	单位	数量
地块规模	200 亩			
一	首部			
1	水泵	200QJ32-52/4	台	1
2	控制柜	10kw	台	1
3	过滤器	离心+网式 4"/120 目/30m ³	个	1
4	压力表	1Mpa	个	1
5	出水闸阀	铁蝶阀 Φ90	个	1
6	排气阀	1"	个	1
7	施肥罐	卧式/80L	个	1
8	施肥阀	铁蝶阀 Φ90	个	1
9	逆止阀	蝶式/4"	个	3
10	弯头	Φ90 铁弯头	个	2
11	法兰	铁 Φ90	个	1
12	首部配件	钢管及连接件	套	1
二	输水管道			
13	干管 PE	Φ90	m	500
14	支管 PE	Φ75/0.6MPa	m	920
15	辅管 PE 软管	Φ50	m	1040
16	竖管	50	m	38.4
17	滴灌带	Φ 6WΦF/2.5—100	m	110000
三	附件			
17	弯头	Φ90	个	1
18	异径四通	Φ90×Φ75	个	32
19	异径三通	Φ90×Φ75	个	3
20	异径三通	Φ75×Φ50	个	1
21	等径三通	Φ75	个	32
22	按扣三通	Φ16	个	32
23	球阀	Φ50	个	800

序号	名称	规格型号	单位	数量
24	阳螺纹直通	Φ50	个	32
25	钢卡	Φ50	个	64
26	直通	Φ90	个	128
27	直通	Φ75	个	15
28	直通	Φ50	个	100
29	直通	Φ16	个	100
30	打孔器		个	15
31	生胶带		卷	40
32	堵头	90		8
33	堵头	75		64
34	堵头	50		1