

局 部 灌 溉



联合国粮食及农业组织 罗马

局部灌溉—— 设计、安装、操作、评价

I·维尔米林

(粮农组织土地及水利
开发处灌溉科学专家)

G·A·乔伯林

(粮农组织顾问, 澳大利亚
昆士兰灌溉和供水委员会)

合 著

联合国粮食及农业组织
1980年 罗马

前 言

本书的编写，目的在于促进迅速发展起来的局部灌溉范围中新灌溉技术的发展。关于这个课题，在世界各地已进行了许多积极的研究。由于新的情报资料的出现，过去十年中已经发展的技术有待更新和改进，新的技术正在发展中。因此，不能将此书看作是有关局部灌溉各个方面的一部十分完善的论文。但是，此书确实力求为局部灌溉技术在田间实际应用提供指南。

本书第一版的出版，目的是抛砖引玉，希望能得到专家们的评论和更多的稿件，以期将这些评论和稿件补充进去，形成一本最新和更为完善的专著。希望本书成为成员国专家、同行、政府职员和其他有关人员在项目的规划、设计、操作中应用灌溉新技术的指导手册。

对为这本书的编写和提出建议的所有个人和团体给予的支持，表示衷心感谢。特别感谢：G.A. 乔伯林博士 (Dr. G.A. Jobling of Australia)；M. 戴克卢克斯夫人 (Mrs. M. Decroix, CTGREF Aix-en-Provence, France)；J. 凯勒先生 (Mr. J. Keller, University of California)；吴义白先生 (Mr. I. Pai Wu, University of Hawaii)；和编辑 I. 康斯坦丁尼斯克先生 (Mr. I. Constantinosco of England)。

欢迎对本书提出改进意见和建议。来函请寄：

意大利 罗马 00100

联合国粮食及农业组织

土地及水利开发处

水资源开发及管理科

科 长

目 录

页 数

前 言	III
目 录	V
插图目录	X
表格目录	XIII
主要符号的缩写及说明/换算系数。	XV
第 1 章 绪 论	1
1 . 1 配水系统的分类	1
1 . 2 局部灌溉的定义	1
1 . 3 局部灌溉的发展简史	2
1 . 4 局部灌溉系统的实例	3
1 . 5 局部灌溉的优点和问题	5
1 . 5 . 1 优 点	5
1 . 5 . 2 问 题	6
1 . 6 结 论	7
第 2 章 设计程序	8
2 . 1 作物需水量	8
2 . 1 . 1 定 义	8
2 . 1 . 2 作物需水量的确定	8
2 . 2 与局部灌溉系统有关的作物需水量	9
2 . 2 . 1 地面覆盖的影响	9
2 . 2 . 2 使用 A 级蒸发皿的算例	10
2 . 3 灌溉用水量	11
2 . 3 . 1 定 义	11
2 . 3 . 2 局部灌溉的灌溉效率	11
2 . 3 . 3 灌溉用水量和作物需水量的关系 — 结论	12
2 . 4 高峰 (最大) 和逐日灌溉用水量	13
2 . 4 . 1 高峰灌溉用水量 (PIR)	13
2 . 4 . 2 逐日灌溉用水量	15
2 . 4 . 3 PIR 的计算实例	16

2.5	对于作物的水分分配	16
2.5.1	土壤的水分分布和浸润模式	16
2.5.2	灌溉间隔	23
2.5.3	灌溉历时	26
2.5.4	单一或一组分配器的流量	26
2.5.5	实例	27
2.6	系统的过水能力	28
2.6.1	轮灌系统的过水能力	29
2.6.2	实例	29
2.6.3	每周运行六日的系统过水能力	29
2.6.4	按需供水的系统过水能力	30
2.7	与流态有关的基本水力概念	33
2.7.1	雷诺数	33
2.7.2	达西 — 韦斯巴赫公式	33
2.7.3	不同流态下的达西 — 韦斯巴赫公式	34
2.7.4	哈森 — 威廉斯公式	36
2.8	分配器的特性	36
2.8.1	概述	36
2.8.2	分配器的水力特性	37
2.8.3	分配器的制造特点	39
2.9	灌溉均匀性和效率	40
2.9.1	概述	40
2.9.2	均匀性参数	42
2.10	管路设计	43
2.10.1	管路的布置	43
2.10.2	管中水头损失	43
2.10.3	毛管	44
2.10.4	支管	68
2.10.5	亚单元系统管路的压力分布和出水均匀度	69
2.10.6	干管	74
2.10.7	干、支管的局部水头损失	74
2.10.8	灌溉系统中管路的水锤考虑	74

第3章	局部灌溉设备	82
3.1	分配器	82
3.1.1	长流道分配器	82
3.1.2	孔口分配器	99
3.1.3	涡流分配器	101
3.1.4	其他类型的分配器	104
3.1.5	结 论	111
3.2	管 道	113
3.2.1	毛 管	114
3.2.2	支 管	116
3.2.3	干 管	116
3.3	堵塞和渗漏	116
3.3.1	堵塞原因	116
3.3.2	堵塞的防止	117
3.4	肥料注施机	128
3.4.1	压力差动系统	128
3.4.2	泵注入器	129
3.5	泵设备	129
3.5.1	泵功率	129
3.5.2	泵和发动机需要的动力	130
3.5.3	泵和发动机的选择	131
3.6	管路中的压力和流量调节器	131
3.7	典型的控制装置	133
3.8	局部灌溉中的自动化	133
3.8.1	引 言	133
3.8.2	自动指令序列系统	135
3.8.3	非顺序操作系统	136
第4章	系统安装	141
4.1	分配器	141
4.1.1	截取微管	141
4.1.2	分配器插入毛管	141
4.2	毛管与支管连接	147

4.2.1	聚乙烯支管	147
4.2.2	聚氯乙烯支管	147
4.3	毛管	147
4.4	支管	151
4.5	干管	151
4.6	辅助设备	151
4.6.1	阀	151
4.6.2	土壤水分张力计	151
第5章	系统的运行	153
5.1	初次运行	153
5.1.1	冲洗	153
5.1.2	初期湿润	153
5.2	日常运行	153
5.2.1	正常灌水	153
5.2.2	过滤器的冲洗与反冲洗	153
5.2.3	管路冲洗	154
5.2.4	防止产生水锤	154
5.2.5	施肥	155
第6章	水质	161
6.1	有关水质问题	161
6.1.1	含盐量	161
6.1.2	渗透性	161
6.1.3	毒害性问题	162
6.1.4	其他多方面的问题	162
6.2	盐分的分布形式	162
6.3	用局部灌溉系统实行盐分管理	166
第7章	实地评价	169
7.1	应用效率(灌溉效率)	169
7.1.1	灌水均匀度 E_u	169
7.1.2	供贮效率 K_s	170
7.2	土壤浸润百分比 P	173
7.3	一个实地评价的实例	173

附录 I	177
I . A 总 则	177
I . B 局部灌溉系统设计需要的数据	177
I . C 基本资料 and 设备的详细目录举例	181
I . D 准备合同的资料举例	188
 参考书	 198

插图目录

		页 次
1	局部灌溉系统的基本组成部分	4
2	渗透模式的类型	17
3	确定湿润区直径的近似值图线	19
4	确定湿润区深度的近似值图线	19
5	开发地区线路图	32
6	分配器的水流特征举例	41
7	聚氯乙烯软管的水头损失 — 不同外径 (4 个大气压)	45
8	聚氯乙烯软管的水头损失 — 不同外径 (6 个大气压)	46
9	聚氯乙烯管 (B 级) 的水头损失	47
10	石棉纤维水泥管 (B 级) 的水头损失	48
11	水头损失列线图聚氯乙烯硬管— 布莱休斯公式	49
12	沿毛管的压力分布曲线	54
13	$E(L)$ 或 $E(M)$ 值	56
14	额定流量曲线	57
15	压力分布曲线: 平坦地形 P_1 , 倾斜地形 P_2 , 起伏地形 P_3	59
16	流量均匀递减至零的管路图解设计	61
17	管路的图解设计 — 实例 1	66
18	管路的图解设计 — 实例 2	66
19	管路的图解设计 — 实例 3	67
20	支管的图解设计 — 实例 2	71
21	系统亚单元	72
22	X 和 $\Delta H / \bar{H}$ 的函数 X / X	73
23	不同直径和流量下的流速值	76
24	不同直径和流量下的流速值	77
25	精巧的自制微管设备	83
26	微管 $q = 0.5$ 升/小时, 关系 $\lambda = f(H)$	87
27	微管 $q = 1$ 升/小时, 关系 $\lambda = f(H)$	87
28	微管 $q = 2$ 升/小时, 关系 $\lambda = f(H)$	88

29	微管 $q = 3$ 升/小时, 关系 $l = f(H)$	88
30	微管 $q = 4$ 升/小时, 关系 $l = f(H)$	89
31	微管 $q = 6$ 升/小时, 关系 $l = f(H)$	89
32	微管 $q = 8$ 升/小时, 关系 $l = f(H)$	90
33	微管 $q = 10$ 升/小时, 关系 $l = f(H)$	90
34	微管 $q = 12$ 升/小时, 关系 $l = f(H)$	91
35	螺旋微管	91
36	内螺纹 — 管式分配器	92
37	内螺纹 — 侧向分配器	92
38	迷宫管式分配器	92
39	平面内螺纹 — 侧向分配器	92
40	管式侧向分配器	92
41	管式分配器	93
42	侧向安装分配器	93
43	不同牌号各种长流道分配器的 $q = f(H)$ 曲线	95
44	不同调整位置的管式分配器的 $q = f(H)$ 曲线	96
45	补偿长流道分配器	96
46	补偿长流道分配器工作特性	97
47	孔口型分配器	98
48	孔口冲洗 — 补偿分配器	98
49	一个自动冲洗补偿分配器的 $q = f(H)$ 曲线	100
50	涡流式分配器	102
51	涡流式分配器的 $q = f(H)$ 曲线	103
52	双壁系统	104
53	大标定孔口用于套管系统	108
54	CNABRL 标定孔口用于套管的 $q = f(H)$ 曲线 (果园类型)	109
55	微型喷嘴	112
56	喷射器	112
57	聚氯乙烯管园周应力的衰减 $S = 2000$ 磅/吋	115
58	使用弹性筛网的滤网过滤器的配件	119
59	滤网过滤器	120
60	大型过滤器 — 水流由底部通过水平的滤垫到达顶部	120

61	过滤器的流量特性	121
62	自动清洗吸水管过滤器	122
63	具有自动清洗过滤器的浮动吸水管	122
64	砂/砾过滤器	125
65	压差式注施机	129
66	支管和毛管使用的压力调节器	131
67	毛管或支管的流量调节器	132
68	主干线压力调节器	132
69	典型的控制装置	134
70	顺序液压操作系统	135
71	自动系统中采用的器皿式蒸发计	138
72	自动系统的电极接法	139
73	在自动滴灌系统中采用的进入皿式蒸发计的反馈	140
74	截取微管	142
75	在打插微管用的孔	142
76	锥形打孔器	142
77	过分挤压聚乙烯管在接头处产生纵向开裂之二例	144
78	分配器插入毛管的几种方法与工具	145
79	地下毛管连接	146
80	几种管路布置示意图, 其出水口已经率定	146
81	聚乙烯支管直接连接	148
82	聚氯乙烯支管与聚乙烯毛管连接之几例	149
83	毛管固定在棚架上的二例	150
84	不同K值对应的 $K_t = 2.31 \log \frac{1}{C_t/C_0}$ 曲线	158
85	灌溉水含盐量同产量变化的关系	163
86	不同含水程度的盐分分配特性	164
87	盐分分配特性——不同供水点的间距	165
A. 1	果园试验区总平面图	184
A. 2	西红柿试验区设计方案布置图	185
A. 3	支管和侧向线管连接细部详图	186
A. 4	工作总图	196

表格目录

	页次
1 专用术语	2
2 不同作者推荐的 K_r 值	10
3 各类土壤的 K_s 值	12
4 PIR 值的确定	16
5 P 值的确定指南	21
6 不同作物的最大/最小 Z 值	23
7 一些土壤的物理特性	24
8 土壤吸力的极限值	25
9 灌溉间隔参考	26
10 扩大系数 K 值	29
11 参数 U 值	31
12 C 值	36
13 系数 F 值	51
14 局部水头损失 Δh (米)	52
15 不同内径的 ΔH	55
16 H (L) 压力分布曲线	58
17 层流的大致范围 — 不同管径和流量	62
18 干管最佳尺寸和种类的经济确定	75
19 水头损失 (突然扩大/收缩)	78
20 弯头的水头损失	79
21 三通的水头损失	80
22 闸门和阀门的水头损失	81
23 微管均匀流量的实例	85
24 相应于不同 D 值的系数 a , b , c , d 的值	86
25 微管的流动状态	86
26 不同管径不同温度时的平均流速指数	86
27 一些长流道分配器的特性	94
28 自动冲洗补偿孔口分配器的特性	100

29	几种涡流分配器的性能	101
30	双壁软管的特性 18" × 180" 直径 0.02" (N = 10)	106
31	双壁软管的特性 24" × 144" 直径 0.02" (N = 6)	107
32	标准孔口的特性 (果园型)	110
33	聚氯乙烯管和聚乙烯管的设计标准和最大工作压力	115
34	土壤粒径级别	117
35	筛网数量与筛孔尺寸的比较	119
36	过滤物质的颗粒尺寸	123
37	典型的氯气用量	127
38	在不同的张力情况下可利用水耗尽的百分数 (巴)	137
39	关闭 / 开启阀门时间推荐值	155
40	几种常用化肥的溶水性及养分分析	157
41	建议的资料表	171
42	资料表	175

第 1 章 绪 论

1 · 1 配水系统的分类

田间配水系统，大体可分为以下两类：

(1) 不管怎样种植（撒播或行播），能使田间全部土壤或多或少地均匀受湿的配水系统。

这种系统又可分为：

① 地下配水系统，能够控制和调节地下水位。

② 地表配水系统，可以是重力自流（如漫流灌溉或畦灌），或者是利用压力管道（如同喷灌那样）。

(2) 使田间土壤局部湿润的局部配水系统，它们也有以下的区分：

① 使用出水量较小的地下管道灌溉系统（渗灌）。

② 地面灌水系统，一种是重力水类型（象畦灌或沟灌）。另一种是压力管道式。

1 · 2 局部灌溉的定义

局部灌溉属于仅使田间土壤部分湿润的系统，但这个名词专门指仅仅湿润作物基部（作物根系层）那部分土壤的灌水系统。

本文涉及的是十五年来发展起来的局部灌溉的一些特定系统。这些系统的基本特性是水、肥供应缓慢和量小，而且都局限于根系层，是通过滴头、喷咀、毛管、渗管等各种配水设施由地上或者是地下进行的。

在表 1 列出在本文采用的术语和各国广泛使用的局部灌溉各组成部分各种不同术语的对照。

表 1

专 用 术 语

组 成	本文使用的术语	其他使用的术语
方法和各种系统	局部灌溉	滴灌 (Trickle irrigation; drip irrigation, drop irrigation, sip irrigation) 微型灌溉 (Micro-irrigation) 逐日灌溉 (Daily irrigation, diuturnal irrigation)*
系统相似,采用的分配器和支渠都在地下	地下灌溉	地下灌溉 (Sub-irrigation) 滴灌 (Trickle irrigation, drip, drop irrigation)
安置在向植物基部按一定速率供给水的一个出口的部件	分配器	滴头 Whisker or spaghetti(for microtube) 分散器,滴头 (Dripper, dropper) 出水管,滴水器
沿着植物种植株行铺设,按一定间隔装设分配器的细管	毛 管	毛管 (Dripper line, drip irrigation line, application pipe)
向一组毛管供水的管道	支 管	集水管,叉管,支管 (manifold)
从水源通向支管的输水管道	干 管	
将溶解的肥料注入水源的罐	营养罐	肥料罐

* 本书中使用的是“局部灌溉”一词。但是,国际灌排委员会推荐的名词为“微型灌溉”而美国农业工程师协会选择的名词是“滴灌”。

1.3 局部灌溉的发展简史

局部灌溉最早于四十年代后期,在英国用于温室。五十年代在以色列开始用于大田作业。随着局部灌溉在以色列的发展和廉价的塑料管的利用,局部灌溉于六十年代发展为具有商业价值。

早期的田间作业集中在沙漠地区,由于砂性土和含盐的水,采用常规的地面灌溉和喷灌系统不能满足要求,在这种情况下,局部灌溉方法和地面灌溉、喷灌相对照比较,显出令人鼓舞的结果。随后,局部灌溉方法就以它自己的优点,引起了人们想用局部灌溉代替常规灌溉的兴趣。

局部灌溉的面积,迅速地有了增长。1975年¹的一次世界性调查指出,局部灌溉总面积

¹ 合作农业推广,加里佛尼亚大学,圣迭戈县,1975年。

达到了270,297英亩(109,389公顷),在这以前1974年的一次调查得出局部灌溉积只有143,006英亩(57,874公顷)。估计到1980年大约可发展到860,000英亩(348,042公顷)。

十五年的研究和田间试验表明,局部灌溉是能代替长期形成的地面灌溉和喷灌的常用的灌溉方法。在采取了适当的设计和管理时,局部灌溉在用水和配水方面,灌溉效率可能是最高的。同时,又是一种向植物输送营养物的理想方法。但是,局部灌溉的优缺点,应在各种特定情况下同常规的地面灌溉和喷灌相权衡,最后的决定,看来要取决于净利润同总安装和经营费用的比较。

1.4 局部灌溉系统的实例

图1表示局部灌溉系统的基本组成部分,主要有以下几个方面:

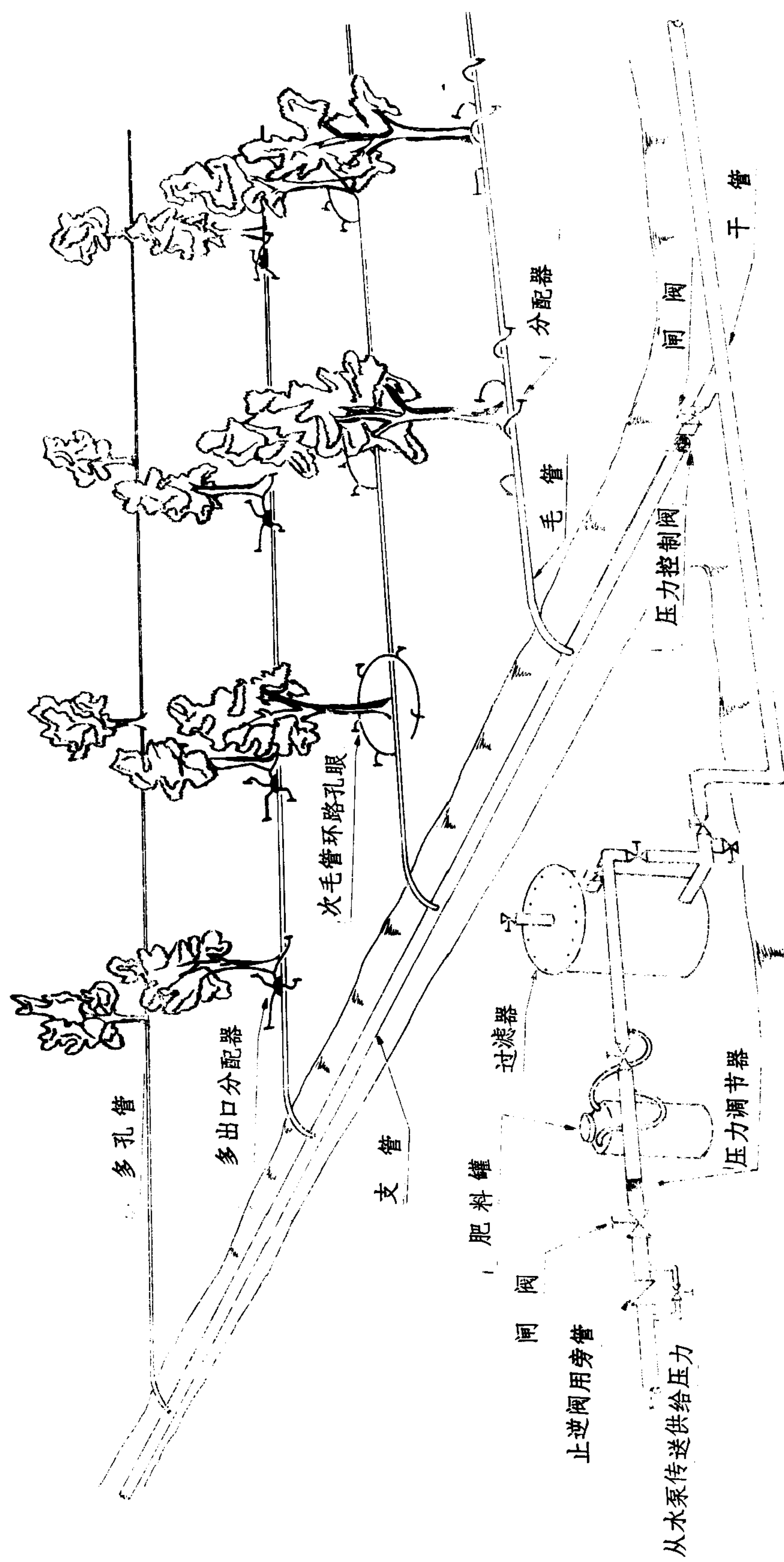
- (1) 在适当压力下的供水。对于从农庄蓄水库或河道引的水源,由于有其他物体和有机物质,需要设置过滤器。如果是比较干净的水,则不必设置。水泵一般是离心式,对于一个小的系统,有活塞水泵就足够了。水也可以由公用配水网提供。
- (2) “控制中心”,用于连接水源,调节压力和供水量,滤清用水和注入营养物质。有时还有加压控制和二级过滤装置装在毛管或支管的进水口处。

通常用肥料罐来注入营养液,特别是氮素肥料。肥料罐是一个很小的加压容器,有一个入口和出口。管道中水流的一小股进入肥料罐,水带上营养液回到干管里。在所有的“控制中心”的装置里,必须要有优质的初级过滤器。带阀门的砂/卵石过滤器对反冲刷是最好的。但对洁净的水源,有过滤网就够了。当水中有特别高的含沙量时,应安装专门的顶式过滤器。

- (3) 干管把各支管同水源连接起来。管材有石棉水泥,硬质聚氯乙烯或者是镀锌钢管等。同通常喷灌系统中的干管所用的材料相同。在小的装置上,也能用高强度的聚乙烯管¹。
- (4) 支管向一侧或两侧伸出毛管,它们可以是中强度聚乙烯管或者是硬质聚氯乙烯管。
- (5) 毛管差不多都是低强度的聚乙烯。但是有些系统,用细的硬质聚氯乙烯管。分配器按照一定的间距安装在毛管上。在果园里,则安装在果树附近。另外,有些类型的毛管,既用来输水又用来配水。这些毛管包括透水管和多孔管(单层或双层管壁)。
- (6) 分配器是整个系统的核心,灌溉的水量是经过分配器,在大气压力下以不变的小流量滴出或渗出,它的出水口可以是滴头、微管、喷咀或者任何一种市场上出售的出水装置。

大多数局部灌溉系统的配水系统是固定式装置。但是,有些系统,或是为某季作物需要服务,或为了在大的种植面积上使用少量有限的设备,可以是移动式的。

¹ PE_h: 高强度聚乙烯, PE_b: 低强度聚乙烯。



局部灌溉系统的基本组成部分

图 1