

[新西兰] G·乔伯林著

滴灌设计指导

农业出版社

05

滴 灌 设 计 指 导

〔新西兰〕 G. 乔伯林 著

李 大 林
付 振 铎 译
张 娟 校订

农 业 出 版 社

2638/11

G. JOBLING
TRICKLE IRRIGATION
DESIGN MANUAL
New Zealand, 1974

滴灌设计指导
〔新西兰〕G. 乔伯林 著
李大林 付振铎 译
张 娴 校订

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 西安新华印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 3.25 印张 66千字
1981 年 1 月第 1 版 1981 年 1 月北京第 1 次印刷
印数 1—3,400 册

统一书号 15144·592 定价 0.36 元

译 者 的 话

虽然本书作者指出滴灌已发展到可与一般灌水方法相竞争的程度，但是应用效果最好的仍是那些水、土条件比较差，一般灌水方法难以采用的农业地区（菜园、果园和大田作物）。

作者根据各国现有研究成果及实践经验，写成了这本滴灌系统设计的参考书，具有简明扼要、逻辑性强的特点。在当前资料很缺的情况下，读者按本书介绍的程序，有可能科学地分析各种必须考虑的因素，作出正确的系统设计。

本书分为两个部分。第一部分讨论了有关滴灌所涉及土壤、土壤水的运动，以及灌溉农作物的生物学特性。在此基础上叙述了滴灌系统的设计方法及其方案选择。读者阅读了第一部分之后，再读第二部分，这部分是设计者实际工作程序的简明指导，而不是第一部分的简单重复，这一点我们与作者的认识是相同的。译文时我们对第二部分的图表作了某些精减。

目 录

第 一 部 分

1. 引言	(1)
2. 灌溉用水量	(5)
2—1 作物需水量	(6)
2—2 灌溉用水量(IR)	(8)
2—3 灌溉最大用水量	(9)
2—4 灌溉最大用水量(PIR)综述	(10)
2—5 特殊灌溉用水量	(11)
2—6 滴灌耗水量的田间试验结果	(13)
3. 灌水间隔期	(16)
3—1 蒸腾率与土壤水分	(16)
3—2 按预定水分差灌水	(20)
3—3 按固定间隔期灌水	(20)
3—4 研究成果	(21)
3—5 灌水间隔期综述	(28)
4. 作物灌水参数及其选择	(29)
4—1 灌水历时	(29)
4—2 湿润模式	(30)
4—3 作物的滴头数	(35)
4—4 滴头流量	(37)
4—5 某些田间实验示例	(37)
5. 滴灌用水	(41)
5—1 水量	(41)

5—2 水质	(45)
5—3 咸水滴灌	(47)
6. 滴灌系统的设计与讨论	(52)
6—1 工作压力	(52)
6—2 滴头	(53)
6—3 毛管	(58)
6—4 支管	(62)
6—5 干管	(62)
6—6 过滤	(64)
6—7 肥料罐	(70)
6—8 控制器	(72)
6—9 供水压力	(72)
6—10 空气阻塞	(73)
7. 滴灌的优点和缺点	(74)
7—1 优点	(75)
7—2 滴灌的缺点及存在的问题	(78)

第 二 部 分

引言	(80)
1. 灌溉用水量	(80)
2. 灌水间隔期	(81)
3. 灌水历时	(81)
4. 作物的滴头数	(82)
5. 湿润模式	(82)
6. 水质	(83)
7. 工作压力	(84)

8. 滴头	(84)
9. 毛管	(85)
10. 支管	(92)
11. 干管	(92)
12. 过滤	(92)
13. 施肥	(94)
14. 压力供给	(95)
15. 空气阻塞	(95)

图 表 目 录

第 一 部 分

图 1—1 滴灌系统的基本组成部分	(5)
图 3—1 土壤吸力在不同蒸发情况下对相对蒸腾率的影响	(17)
图 3—2 保持不同可能蒸腾率百分比的土壤吸力范围	(17)
图 3—3 土壤吸力随含水量变化的关系	(18)
图 3—4 水力传导率随土壤吸力变化的关系	(18)
图 4—1 确定湿润区直径的近似值图线	(33)
图 4—2 确定湿润区深度的近似值图线	(34)
图 4—3 苹果幼树根部湿润体与蒸腾率的关系曲线	(36)
图 5—1 产量随灌溉水含盐量的变化	(50)
图 6—1 微管的压力—流量—长度关系曲线	(54)
图 6—2 尼塔费姆或德里波莱克斯型滴头	(55)
图 6—3 德里波莱克斯型滴头	(56)
图 6—4 毛管上的两种小孔滴头	(57)

图 6—5	流量均匀递减到零的管路设计图解	(60)
图 6—6	砂砾过滤器	(65)
图 6—7	反冲洗过滤器阀门的布置	(66)
图 6—8	阿姆凯尔砂砾过滤器(直径14英寸)的流量特性 曲线	(66)
图 6—9	自净式网眼过滤器	(67)
图 6—10	泡沫塑料过滤器	(69)
图 6—11	聚氨酯泡沫过滤器的流量特性曲线	(70)
图 6—12	肥料罐	(71)
图 6—13	空气阻塞的临界条件	(73)

表 1--1	本书所用名称	(4)
表 2—1	不同植物的作物系数	(7)
表 2—2	渗漏损失系数	(8)
表 2—3	用水量与蒸发量的关系 (A级蒸发皿)	(13)
表 3—1	关于几种作物不同灌水间隔期的研究资料	(21)
表 3—2	推荐的灌水间隔期	(29)
表 4—1	湿润模式	(35)
表 4—2	滴头流量及间距示例	(38)
表 5—1	滴灌、喷灌和沟灌的产量和用水量的比较	(42)
表 5—2	利用咸水进行滴灌、喷灌和沟灌的产量比较	(48)
表 5—3	滴灌 (用咸水) 灌水间隔期对产量相对值的 影响	(49)
表 6—1	干管最佳尺寸的经济核算	(63)
表 6—2	驱除气泡的冲洗速度	(74)

第 二 部 分

图 9—1	流量均匀递减至零的管路图解设计	(87)
图 9—2	微管的压力—流量—长度曲线	(91)

第 一 部 分

1. 引 言

在滴灌系统中，水与肥料是从水源处经管道直接输送到作物根系周围的土壤里。这种灌水方式的特点是流量小，供水频繁，以保持根系周围的土壤达到或接近于田间持水量。因而，滴灌能够克服由于水分不足而影响作物产量的问题，同时也提供了一种最有效的供水与施肥的方法。

在五十年代，滴灌首先用于温室。只是在制造出便宜耐用的塑料管道以后，滴灌用于大田作物才比较经济可行。然而，即使有了这些技术上的改进，在一般灌水方法行之有效的地区，滴灌与沟灌或喷灌相比，投资仍显得大一些。

因此，滴灌应用到大田，不是作为一般灌水技术来供选择的，而主要是在那些一般灌水方法不适用的地区选用。以色列的阿拉瓦(Arava)沙漠就是这样的地区，那里的气候非常适合于冬令蔬菜（淡季高价作物）的生长，但是土地为砂质土壤，灌溉水质为咸水（导电率近似3000微姆欧/厘米）。在这种条件下，沟灌与喷灌都不适合，于是采用了一种早期形式的滴灌方法。由于冬季蔬菜的经济价值很高，因而抵偿了滴灌昂贵的成本。

这样，滴灌就首先在以色列发展起来。六十年代初期的滴灌集中在沙漠地区，这些工作也包括地下滴灌（地下灌溉），但是一般认为，在地面上应用更为简便而优越。以色列所取得的令人鼓舞的成果，引起了很多国家对滴灌的兴趣。

最近几年在澳大利亚与新西兰这样的国家及以色列，滴灌技术的发展，已经打破了那种只是在一般灌水方法不适用时才采用滴灌的老框框。对条播作物和果园来说，现在也将它看作是可以与沟灌和喷灌一同供选择的方法了。

上面关于滴灌发展情况的简述，有一个明确的目的：就是要使读者了解，早期的滴灌与一般灌水方法相比较，显示出滴灌具有十分突出的优点，但是实验工作是在那些一般灌水方法效果很差的地区进行的。所以，认为在一般灌水方法行之有效的地区，采用滴灌技术也能取得同样良好的效果，就不一定是正确的了。

六十年代，从以色列的滴灌工作开始，滴灌的应用有了发展。现在滴灌已引用到所有的农业国家。在澳大利亚、美国、新西兰和南非、以色列等地区都有相当可观的滴灌面积。现今滴灌总面积可能有30,000到50,000公顷，与全世界的地面灌溉和喷灌面积比较，面积还是很小的。但应当看到，滴灌才刚刚开始成为一种可供选择的灌溉技术。但是我们也不能接受以色列滴灌创始人的所谓“一种新的滴灌原理”的全部含意。作物生长需要水、肥和太阳的能量。许多农业区，特别是灌溉地区，通常是位于土壤条件良好的地带，而这些地区全年中有半年的时间日照较弱。在热带与亚热带，由于土壤贫瘠，致使农业生产的发展受到阻碍，如果滴灌的有效使用

在这些地区得到验证，就可以使强烈的日照得到充分利用。

虽然滴灌有很大发展，它仍然处于初期阶段。研究工作将帮助我们获得那些至今了解不够的关于土壤、水、作物综合体的有关问题，这对充分了解滴灌原理是很必要的。该综合体内部相互之间的关系，比如水和作物相互关系的知识，已由植物生理学家提供了，土壤学家也阐述了关于水和土壤相互关系的知识，但是关于水—土—作物相互作用方面，还有很多留待解答的问题。

有人可能觉得在现阶段编写关于滴灌指导为时过早。但是，这种新型灌溉系统的安装、验收已经如此迅速地走在前面，因此有必要尽可能地将已有的知识汇集起来，提供给工程师与农艺师进行规划设计时使用。

作者希望通过本书提供现有知识的一个摘要，以此作为指导设计滴灌系统之用。丝毫不奢望由本书写出所有问题的解答。有关章节中讨论了某些基本物理学问题，这并不是为了使本书成为科学论文，而主要是将可能涉及的所有过程合理化。据此，设计者在没有现成的研究结果时，有一个合乎逻辑的设计步骤以供遵循。

滴灌系统与喷灌系统在水力学方面并无显著差异，只不过是其流量较小（系统的某些部分为层流），压力也较低。本书叙述了某些新的设计图解技术，可以使管道的大量设计计算简便易行。

由于滴灌系统在水力学方面很少有新的或尚未被了解的问题，这就意味着本书在阐明设计中必须进行的各种抉择方面有一定作用。因此我们用了相当的篇幅来讨论这些设计方

案的抉择。书中介绍的意见仅供设计者在缺乏充分研究材料时参考。如果设计者拥有关于作物、土壤及气候的第一手材料，他就应当依据自己的详细资料进行设计。

图1—1为滴灌系统组成示意图。不同的国家和各商品厂家对系统部件使用了不同的名称，本书使用的名称如下：

表1—1 本书所用名称

部 件	本书所用名称	其 它 名 称
系 统 与 方 法	滴 灌	点滴灌、微量灌、每日供水灌
类似系统，但其毛管与滴头均设置在地下	地 下 灌	滴灌、点滴灌、微量灌
按一定流量给作物根部供水的出流部件	滴 头	微管型、放射头、点滴器、出水口、细流器
沿作物行分布的聚乙烯管，管上按要求的间隔装有滴头	毛 管	滴 头 管
向一组毛管供水的管线	支 管	头 管
从水源向管道供水的管线	干 管	
用来将溶解肥料注入水中的装置	肥 料 罐	施 肥 罐

本书没有包括所有滴灌系统安装方面的详细叙述。新西兰农业工程学院正着手编著专门的《滴灌安装手册》，将对

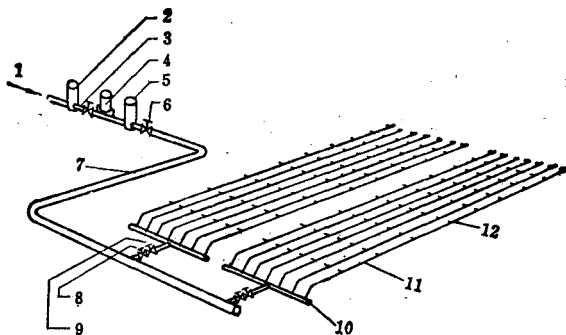


图 1—1 滴灌系统的基本组成部分

- 1.水源 2.初级过滤器 3.流量控制阀 4.肥料罐 5.二次过滤器 6.流量控制阀 7.干管 8.开(关)控制阀 9.流量—压力调节阀 10.支管 11.毛管 12.滴头

这个重要的方面加以适当的说明。

2. 灌溉用水量

在本章开始时，有必要弄清楚作物需水量及通过系统供给的灌溉用水量(也有称灌溉需水量——译者注)的定义。作物需水量是指作物细胞生长及其蒸发所需的水量，而灌溉用水量是指灌溉系统供给作物生育期田间所需的总水量。如果灌溉是作物唯一的供水来源，则灌溉用水量至少要等于该作物的需水量，而且通常应稍大一些，这是考虑到灌溉系统效率的缘故。另一种情况，如果作物从其它方面(降雨、土壤水、地下水)获得部分水量，那么灌溉用水量就小于作物需水量。

还必须弄清楚灌溉最大用水量与每日灌溉用水量之间的明显差别，前者是在计算管路尺寸时必须使用的；后者则与

系统运行有关。设计者主要关心的是最大用水量，它会影响到系统的运行和水力学特性。只是在必须确定年度用水分配，或者需要设计给滴灌系统供水的蓄水池时，设计者才会关心季节灌溉用水总量。

2—1 作物需水量

作物所需的水量随多种因素而变化，但通常是取决于作物种类、气候以及水和肥料的利用效益。

2—1—1 可能蒸腾量

当供给作物的水和肥料充足时，它们所用掉和蒸发掉的总水量称为可能蒸腾量 E_t 。在滴灌时，作物应获得充足的水和肥料(除非是审慎地保持水分差)，因此日用水量(WR)将大约等于日可能蒸腾量。

日可能蒸腾量与日自由水面蒸发量 E_o 成正比，可由下式求得：

$$WR = E_t = f_1 E_o \quad (2-1)$$

式中 f_1 是一个系数，通常称为作物系数，它具体地反映了作物的植物生理学特性。其值随作物的不同生育阶段而变化，它对供水的充裕程度表现很敏感。表 2—1 列出某些作物的作物系数，但这只是用作确定变量 f_1 的参考。

灌溉设计中取作物系数 $f_1 = 1.0$ 时，是否对于所有情况都足够准确，这仍是个疑问。对柑桔可能例外，它具有比其它植物更小一些的 f_1 值。

2—1—2 蒸发皿与自由水面蒸发之间的关系

由于用蒸发皿测定蒸发量，有必要将式 2—1 的每日蒸

表 2—1 不同植物的作物系数

(伯顿, 1965 年)

作物名称	作物系数 f_1	
	适宜气候	干燥气候
香蕉	1.1	—
柑桔	0.75	0.85
棉花	0.85	1.0
落叶性果园	0.85	1.0
谷类、高粱	1.0	1.2
紫花苜蓿	1.15	1.2
玉米	1.0	1.2
燕麦、大麦、小麦	1.0	1.1
牧草	1.0	1.0
土豆	1.0	1.15
水稻	1.2	1.35
甘蔗	1.35	—
烟草	1.0	1.2
番茄	1.0	1.2
蔬菜	1.0	1.15

注：适宜气候是指该处天然降雨能满足作物绝大部分的需水量，同时被灌溉的作物，不但具有正常的蒸腾，而且通过蒸发—蒸腾保持其能量平衡。

发量用蒸发皿读数 E_{pan} 表示。公制国家使用了几种不同的蒸发皿。大概最通用的是美国的A级蒸发皿，其深度为0.25米，直径1.22米，放置在一木质平台上，使皿底距地面为0.15米。本文中以美国A级蒸发皿作为标准。

已知每日自由水面蒸发量约为美国A级蒸发皿每日蒸发量的80%。因此，为使滴灌用水量与可能蒸腾量相等，以

$0.8E_{pan}$ 代替 E_s , 式 2—1 变为:

$$WR = f_1 0.8E_{pan} \quad (2-2)$$

某些地区, 可能使用与美国 A 级蒸发皿不同的其它蒸发皿的数据, 应将这些数据变换成美国 A 级蒸发皿的数据。

2—2 灌溉用水量 (IR)

现在, 假设灌溉是水的唯一来源, 一个滴灌设计方案的日灌溉用水量 (IR) 可从式 2—2 推导得出, 此时应考虑土壤的渗漏损失及地面的蒸发损失, 于是:

$$IR = 0.8E_{pan} f_1 f_2 f_3 \quad (2-3)$$

式中 f_2 、 f_3 分别为反映渗漏损失和蒸发损失的两个系数。

2—2—1 土壤中水的损失

滴灌系统中水分的损失, 仅发生在输送水分到根的周围土壤中, 以供作物体吸收的这一过程中。对于管理良好的滴灌系统, 小量而经常地供水, 水在土壤中的损失几乎可以略而不计。对于不同土壤也可给出不同土壤持水能力参考数据, 如表 2—2 所示。

表 2—2 渗漏损失系数

土 壤 类 型	f_2
粗砂土或带有砂砾石底土的轻质表土	1.15
砂 土	1.10
粉 砂 土	1.05
壤 土 和 粘 土	1.0

2—2—2 土壤表面蒸发

当果园及条播作物采用滴灌时, 作物并不占据全部土壤

表面。必须对土壤表面本身的蒸发加以考虑。弗里曼(Freeman)和加卓里(Garzoli)提出 f_s 的估算值为:

$$f_s = GC + 1/2(1 - GC) \quad (2-4)$$

式中 GC 是作物的覆盖面积与种植面积的比值, 所以也称为作物的覆盖面积。该式基于这样一种简单的估计, 即未被作物覆盖的那部分面积, 其蒸发量等于作物覆盖面积下的蒸发量的一半。若作物覆盖全部面积, 则 $f_s = 1.0$ 。

作物覆盖面积较小时 (GC 稍小于 0.5), 建议取 f_s 之值等于 GC, 因为未遮蔽的土壤表面的蒸发量很小。

2-3 灌溉最大用水量

由上述各节可知, 对于某种具体的作物及土壤而言, 每日灌溉用水量与地面覆盖的情况 (GC) 及蒸发皿蒸发值有关。滴灌系统的液压及系统运行取决于日灌溉最大用水量 (PIR), 而这又取决于每日最大的 GC 值及 E_{pan} 值。

2-3-1 地面覆盖

设计工作中通常采用作物成熟期的 GC 值。滴灌系统应按这个时期的需要来进行设计。而在作物还处于早期时, 则减少系统的运行时间。但果树例外, 因为它需要一个很长的成熟期。设计安装一个将来长期使用的滴灌系统, 就意味着要投入大量的资金, 而在多年内又只能发挥部分运行能力。这就不如在近期装置一个较小的系统, 也许会更为经济一些。这个系统如何选择, 取决于具体的设计及经济核算。

2-3-2 最大蒸发量

选取用来计算灌溉最大用水量的 E_{pan} 值时, 必须从两个