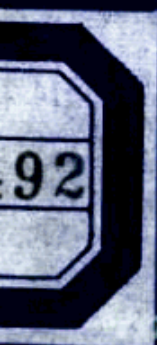


滴灌设计

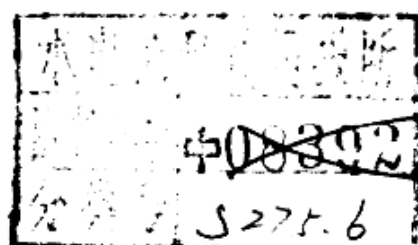
【美】J. 凯勒 D. 喀麦隆 著
中国农业科学院农田灌溉研究所



$$q = \frac{d \sqrt{q_m}}{\sqrt{q}} = d \sqrt{m}$$

$$P = \frac{100 n S_{ep} S_w}{S_t S_r}$$

水利出版社



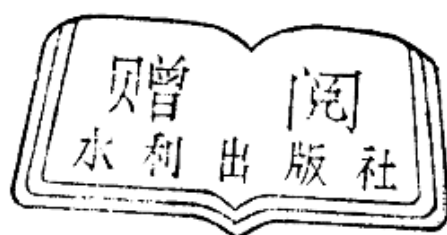
滴 灌 设 计



[美] J. 凯勒 D. 喀麦利著

006053 水利部信息所

中国农业科学院农田灌溉研究所 罗远培译



水利出版社

ZW 62/56

J. Keller D. Karmeli
TRICKIE IRRIGATION DESIGN
Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation
U.S.A. 1975.

滴 灌 设 计

[美] J. 凯勒 D. 喀麦利著

中国农业科学院农田灌溉研究所 罗远培译

*

水利出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4 $\frac{1}{2}$ 印张 95千字
1980年12月第一版 1980年12月北京第一次印刷
印数 0001—4310 册 定价 0.60 元
书号 15047·4099

出版者的话

滴水灌溉简称滴灌，是目前一种新的灌溉方法之一。它是利用低压管道系统，将水直接输送到田间，再经过滴头的滴水口，使水慢慢地、一滴一滴地滴到作物根系层土壤中，使作物根系最发达区的土壤经常保持适宜的湿度，使土壤的水、肥、气、热、微生物活动，始终处于良好状况，为作物高产稳产创造有利条件。

滴灌在现有的各种灌溉方法中，它具有用水省、效率高的特点，在水源不足的山丘、坡地和沙漠地区，对节约用水，扩大灌溉效益，提高农作物产量都有一定意义。

1974年我国开始引进滴灌新技术，经过几年来在各地开展试验研究，效果很好。为了进一步介绍和推广滴灌这一新技术，贯彻洋为中用的方针，我们组织翻译出版了美国1975年雨鸟喷灌机制造公司的《滴灌设计》一书，并由栗宗嵩所长对译文进行校阅。

本书比较详细地介绍了滴灌各方面的问题，为滴灌设计提供了一个完整的概念。本书着重介绍了由滴头到控制首部的水力学设计的方法，并在每章附有例题，在本书最后一章还专门介绍了一个滴灌系统设计的完整算例。本书可供从事农业、农田水利的科技人员阅读。

前 言

本书对滴灌做了相当完整的评述，它具备足够的手册性材料并能指导滴灌设计。它既是为工程师、研究人员和顾问们写的，也是为现有的和可能的用户们写的。为扩大其应用范围，本书采用了公制和英制两种测量单位^①。

滴灌对用户和科学工作者都是比较新的。我们相信，需要做进一步的研究以使滴灌系统的设计更精细。但是，我们已尽力弥补了现有的有用知识之间的空白，为滴灌的设计提供了一个完整的概念。我们希望，不久即可做出所需的研究，以进一步完善现有的设计。

我们作为研究人员和教师有机会在一道工作，并且认为把我们在滴灌方面进行探索的努力结合起来是最高成果的。虽然我们共同工作的结果大部分已在别处发表，但我们感到，有必要把这些单项的报告加以归纳和扩展，成为一本统一的有用的关于设计的教科书。

我们谨向S.H.哈马德先生、G.皮里博士和K.索洛蒙先生致谢，为使本书得以出版，他们做出了许多贡献。

① 原书图、表中的英制单位大部分已略去。——译者

目 录

出版者的话

前 言

第一章 什么是滴灌	1
1-1 滴灌系统的布置和组成部分	1
1-2 滴灌湿润土壤的形式	4
1-3 滴灌的优点	6
1-4 滴灌可能发生的问题	8
1-5 滴灌的发展	9
1-6 滴灌面积的发展	11
第二章 滴头的构造和特点	12
2-1 对滴头的基本要求	12
2-2 滴头的类型	13
2-3 滴头流态理论	18
2-4 多出水口滴头的流量	22
2-5 补偿滴头的流量	24
2-6 涡流滴头的流量	24
2-7 压力水头与滴头流量的关系	24
第三章 初步设计	27
3-1 灌水深度	27
3-2 用水量	36
3-3 灌水周期和灌水深度	37
3-4 滴头流量和灌水时间	38
3-5 系统流量	39
3-6 年度灌溉需水量	40
3-7 系统流量列线图	44

第四章	滴头的选择和效率	46
4-1	滴头选择	46
4-2	土壤水分分布	48
4-3	滴灌系统的质量和安全性	49
4-4	灌溉效率	49
4-5	滴头流量	57
4-6	滴头流量列线图	60
第五章	滴头毛管管路设计	62
5-1	毛管流量和长度	62
5-2	允许水头损失	63
5-3	毛管水头损失计算	64
5-4	毛管设计列线图	71
5-5	毛管压力和流量的关系	75
第六章	支管和干管设计	84
6-1	支管的设置	84
6-2	支管和干管管路	86
6-3	支管的水力学性质	87
6-4	小区的出水均匀性	93
第七章	滴灌系统的设计和运行	97
7-1	小区的数目、大小和布置	97
7-2	小区的形状	98
7-3	水力设计	100
7-4	自动化运行	102
第八章	过滤、施肥和滴灌系统的养护	105
8-1	过滤	105
8-2	施肥	109
8-3	滴灌系统的养护	115
第九章	滴灌系统设计算例	120
9-1	资料数据	120
9-2	设计	122

第一章 什么是滴灌

滴灌是一种供水系统，它将过滤水（和肥料）直接施于土壤表面或土壤中。它无需喷洒施水，也无需用垄沟或渠道输水，而是使水在低压下以一种预先确定的精确方式散布到土壤中。通过一个广泛分布的管路网把水输送给每棵作物。能把水滴入土壤的出水装置称为滴头。或者采用小直径孔口的方法，或者采用加长水流流程的方法，使滴头消散配水管路网中的水压力，得到一个每小时只有数升的流量。水流出滴头以后，按着它的正常运动规律分布于土壤剖面中。因此，作为一个点水源的每个滴头所能湿润的面积，仅限于水在土壤中水平流动所及的范围。

1-1 滴灌系统的布置和组成部分

毛管或滴头管路网一般是敷设在地面上。虽然也有地下滴灌系统，不过从技术和经济方面考虑，还是地面设施有利。地面系统通常是固定的（图 1-1），即毛管连同安装在它上面的滴头，在各次灌水之间是不移动的。但是，当湿润土壤的位置或面积改变的时候，也可以增加或拆除一些毛管管路。

控制滴灌系统运行的方法很多，从完全的手工操作到全自动化运行都有。实现自动系统控制的基本方法是：时间控制、体积控制和反馈控制。时间控制系统是按照预先规定的

时间放水和停水。体积控制系统是根据输送过去的水的体积放水和停水。反馈控制系统是接受埋设在灌溉土地中的水分传感器的信号而放水和停水。

图 1-1 是一个典型的滴灌系统，除滴头外，它包括如下组成部分：

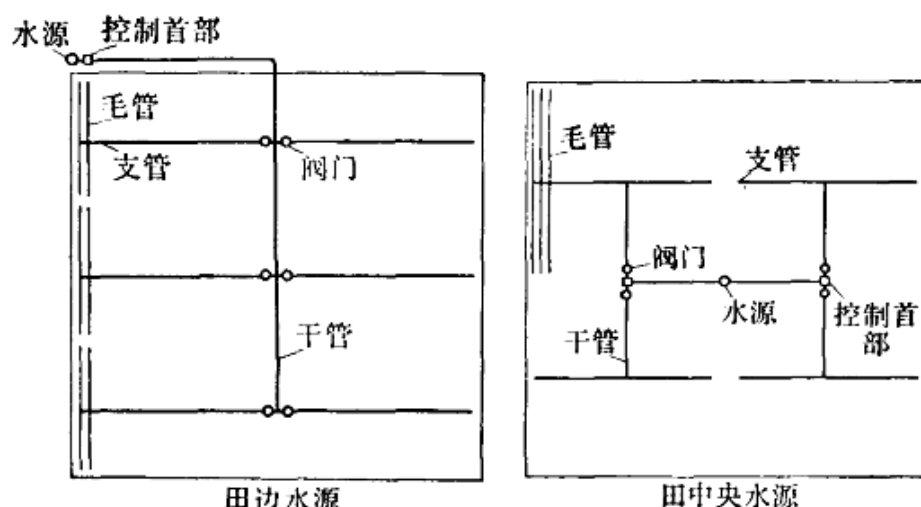


图 1-1 典型滴灌系统布置图

毛管管路 毛管管路一般是由直径12~30毫米的聚氯乙烯或聚乙烯软管构成的，硬聚乙烯管一般只用作地下毛管管路。滴头按预先确定的间距固定在毛管上，它和毛管的连接方式是多种多样的（图 1-2）。现在，处于不同研制阶段的其他一些类型的毛管是将管路和滴头的作用结合在一起，包括双壁管、多孔管和带有极小孔眼的管子。

支管 支管通过单向或双向接头向毛管供水。如果敷设于地面，支管可以是软管；如果埋在地下，则为硬管。

干管 供水干管管路将各个支管管路与水源连接起来。干管管路可由下列任何一种材料构成：聚乙烯管、硬聚乙烯

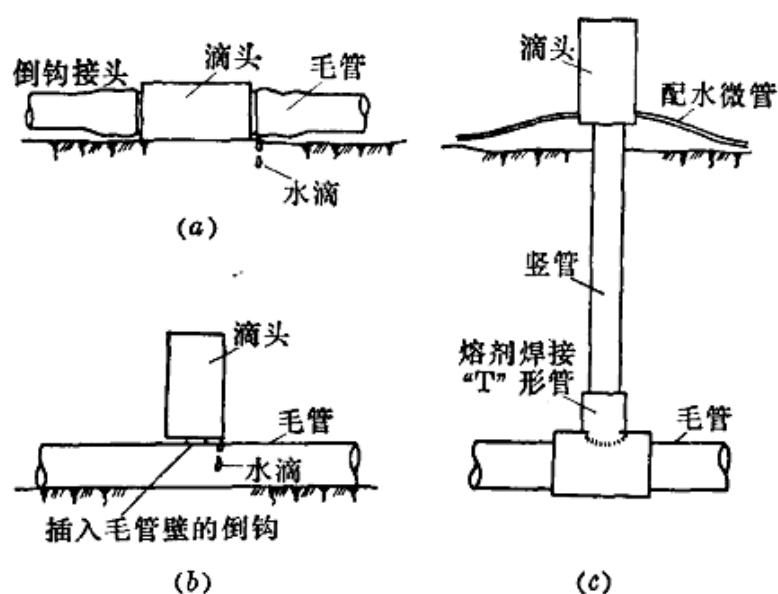


图 1-2 滴头与毛管的几种典型连接方式

(a) 管间接头(连接分段毛管的装有倒钩的接头);

(b) 管外接头(插入连续毛管管路的倒钩接头);

(c) 管外竖管滴头(有熔剂焊接“T”形管的地下毛管)

管、镀锌钢管或石棉水泥管。无论采用哪种材料，都应当是耐腐蚀和不剥落的，以免在管路系统内造成污染问题。

控制首部 控制首部一般设在供水水源处，由管路顺利行水所需要的量水设备、阀门、注入器、自动控制设备、压力调节器以及过滤器等构成。附加的压力调节器和二次过滤器常常安装在支管或毛管管路的进口处，这是采取的一种安全措施，以便从水中除去外来的物质，并为系统提供一些备用的压力调节点。

图 1-3 是用于供水井的典型控制首部，包括压力调节与流量控制阀门、一个涡流砂粒分离器、自动过滤装置和一套肥料注入设备。

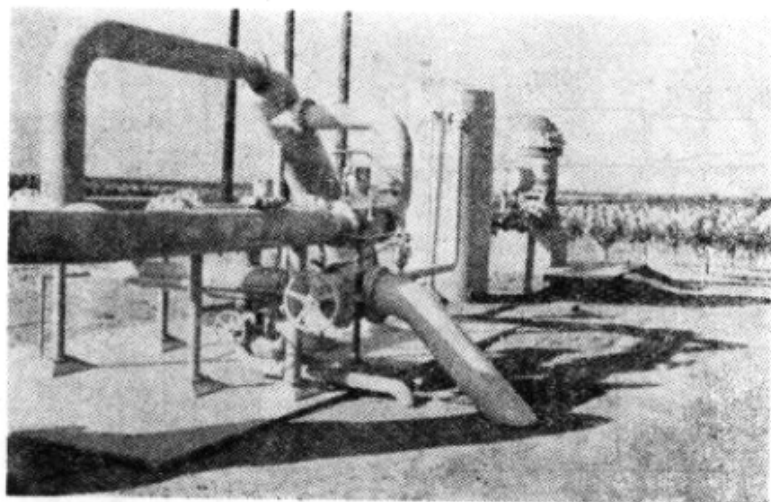


图 1-3 一个典型的控制首部

过滤器能够除去水中的悬浮固体，但不能做化学过滤。通过砾石滤层、网筛和砂粒分离器实现对固体颗粒的过滤。在遇有体积大含量低的固体颗粒的情况时，砾石滤层是理想的；象极细砂这样的小颗粒，则需要涡流砂粒分离器或具有极小孔眼的网筛。除非装有自动清淤或冲洗设备，否则过滤器需要常常清洗。压力计是用来检查水流穿过过滤器所产生的压差的。知道这个压差对于估计过滤器堵塞的程度和是否需要清洗是很重要的。可以把肥料溶液倒进一个小池子，由一个小泵把它注入系统，或者设一个压力罐，通过一个孔口或文托管^①之间的压差使肥料溶液流入系统。

1-2 滴灌湿润土壤的形式

典型的情况是，滴灌系统只能湿润象葡萄园和果园那样的宽间距播行中的一部分地面，这种只能部分湿润的情况带

① 文托管是一种呈腰形，具有一定规格的短管。将它接于管路中，利用短管中流速变化所产生的水压力差，来计算过流流量。——译者

来许多好处，但也产生一些问题。图 1-4 即为一个每行只有一条毛管的幼树果园。

由于重力和毛细管作用力使滴头流出的水进入土壤剖面。图 1-5 的等湿度线指出了等含水量带，而由滴头发生的

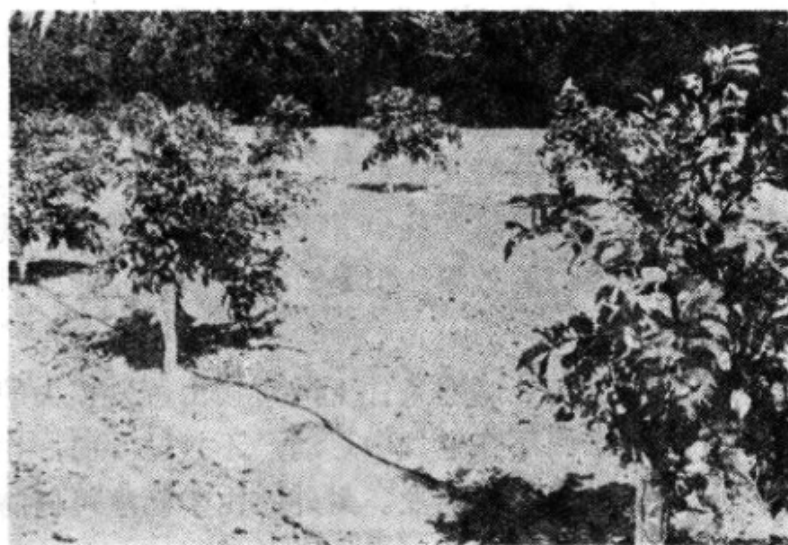


图 1-4 每行只有一条毛管的幼树果园

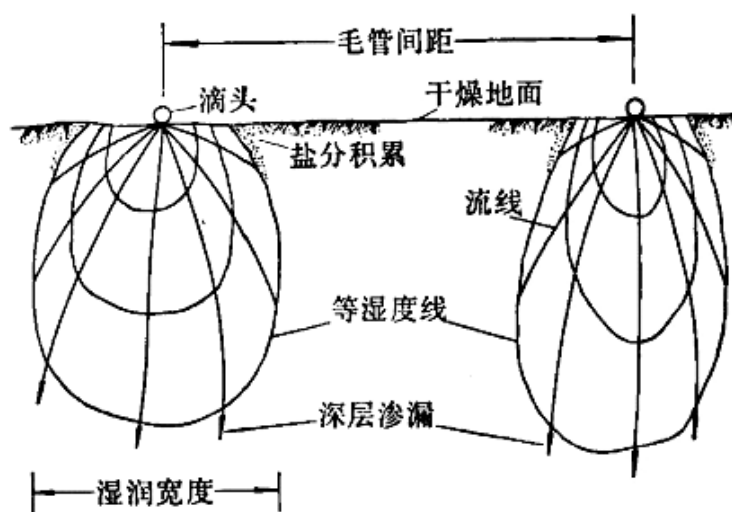


图 1-5 滴灌条件下典型的土壤水分分布形式

发射线则画出了水分运动的方向。一般说来，作物根系趋向于集中在吸收水的条件最好的地方（例如水分充足、通气良好、盐分较低）。

1-3 滴 灌 的 优 点

滴灌在水的有效利用、作物反应、耕作方法以及工程和经济等方面提供了一些潜在的好处，其中可以通过对滴灌系统的良好管理来实现。这些优点并不是滴灌独有的，其他灌溉系统也能得到类似的效果。但是，只有滴灌才能同时得到下列这些优点。

水的有效利用 在滴灌条件下，直接由蒸发损失的水量是最小的。因为水滴不在空气中运动，不打湿叶面，也没有湿润面积以外的土壤表面蒸发。另外，由于滴灌可以防止杂草的生长，也就防止了杂草对水的无益消耗。

设计和管理得当的滴灌系统不产生地面径流，并且能够灌溉整个地块直到地边，但却不湿润种植面积以外的地方。由于易于掌握精确的施水深度，所以用水很省。

作物反应 作物对滴灌系统的反应显得比对其他灌溉系统的好一些。在进行滴灌系统的实验或示范时，有时获得了较高的产量、较好的质量，而且产品质量均匀，这一点在蔬菜地特别明显，在果园次之。

1. 根系环境 一个管理良好的滴灌系统可以造成良好的土壤通透条件，通过注入水中的肥料，可以提供充足的养分，并且使土壤水分稳定地处于低张力状况。

2. 病虫害 由于土壤表面和叶面的湿润是最小的，所以滴灌系统可以减少许多病虫害发生的问题；另外，滴灌还提

高了施洒农药的效率。

3. 盐渍化 在必须利用含盐量较高的水的时候，一般是用喷灌或滴灌勤浇的办法，连续维持一个较高的土壤水分，这样就可使土壤中的盐分浓度低于过分有害的水准。但是，对于盐分敏感的作物来说，必须防止降落的喷灌水在叶面上积聚盐分，造成叶片枯萎。

4. 杂草 在干旱地区，采用滴灌的果园已经免去了杂草的危害，因为杂草在果树行间干燥的表层土壤上不能正常生长，在滴头毛管附近比较湿润的树荫下的杂草也生长缓慢，不过，根除这些杂草是比较困难的。

农业效益 有几种好处是由滴灌能保持一部分地面干燥得到的。首先，滴灌对诸如耕作、喷药、采摘、拖运等田间工作并没有多大妨碍。事实上，滴灌使耕作活动减少了，因为杂草不多，土壤板结较轻，压实问题也较小。滴灌还把产生地面径流的可能性降低到最小，它是水土保持的一种重要方法。

另一个农业效益是，可以通过滴灌系统施肥。不过这个优点并不是滴灌独有的。由于把施撒在土壤表面的肥料移到作物的根部是有一定限制的，所以，施肥应当成为滴灌系统的一个组成部分。就劳动力和肥料利用两方面来说，肥料注入法都是高效率的。

工程和经济效益 对灌溉间距宽的作物来说（例如果树），正确设计的滴灌系统的成本比其他固定装置或永久性灌溉系统的成本要低。在果园，滴灌系统的成本比有同样自动化水平的固定装置或常设式喷灌系统的成本低；另外，如果没有堵塞问题，滴头管路的养护费也很小。这样，整个滴灌系统的运行和养护成本一般是很低的。但是，对于行播作

物或葡萄来说，滴头管路的间距不得超过3米，这时滴灌的成本是比较高的。

滴灌是灌溉生长在塑料薄膜下的作物的一种理想方法。因为滴头管路可以安装在薄膜下面；另外，灌溉的运行不受风的影响，这是胜于喷灌的一个明显优点。滴灌比地面灌溉更容易适应不平坦的地形。

滴灌只需要较低的压力和稳定的流量，但施水效率比较高，这就进一步减小了管路尺寸和使用的动力。

1-4 滴灌可能发生的問題

滴灌可能遇到三个方面的问题：堵塞、盐分积累和土壤水分分布不均匀。

易于堵塞 滴头中很小的水流通道的堵塞是最严重的问题，它妨碍滴灌的运行。最常见的堵塞原因是砂质颗粒和有机物的生长。由于检测一个堵塞了的滴头是困难而费钱的，所以将灌溉水过滤是防止发生这种情况的最好措施。滴头中化学物质或粘土的沉积，以及滴头管路中的淤泥积累可以造成缓慢的堵塞。堵塞使毛管管路分水不均；如果滴头一直堵塞而未能发现和修理，则会严重损害作物。

盐分积累 所有的灌溉水都含有一定的溶解盐，当作物吸收水分时，大部分盐分没有被吸收。这些盐分在整个灌溉季节内通常被推向湿润土体的边缘。如果灌溉水多于作物的耗水量，则大部分盐分会被移运或淋溶到根层以下；但是要避免盐分的积累是不可能的。

最主要的盐分积累带是在湿润面的边缘（图1-5）。小雨会把这些积累的盐分移到广泛的根系活动层而严重损害作

物。为将这种损害减至最少，在降雨期间进行滴灌时，可把盐分向下淋洗。

在年降雨量小于 250 毫米的地方，为了防止盐分积累到临界值，还需要辅以喷灌或地面灌溉；这一点在采用含盐量较高的水的地方特别重要。

水分分布 在正常情况下，滴灌只湿润作物根系所在土体的一部分，这样，作物根系的发育只能限制在每个滴头周围的湿润面积范围内，这种情况对作物和产量的影响怎样尚不清楚。虽然作物能在只湿润一部分土层的情况下生长，但是，作物的最佳生长表示需要一个最小湿润范围。湿润土体的大小是滴头流量、滴头间距和土壤类型的一个函数。因此，土壤的水分分布是设计时要考虑的一个重要问题，因为一旦系统建成，再改变就困难了。

在多风的地区，会出现一种独特的现象，即风能把播行之间耕作条带的干土吹起来埋住作物，足以使之受害。

1-5 滴 灌 的 发 展

滴灌最初是作为一种地下灌溉方法而发展起来的。1860 年在德国首次实验，当时是将灌溉与一个暗管排水系统结合在一起搞的。该实验采用带有明接头的陶土短管，管间距 5 米，埋深约 0.8 米，管上有 0.3~0.5 米厚的过滤层。在这次实验中，作物产量成倍增加，即使在贫瘠的土壤上也是这样。

这个用排水瓦管来灌溉的实验被继续进行下去，从设置以后，正常工作了 20 多年。1920 年，德国在水的出流方面实现了一项重要的突破，采用了穿孔管，水由穿孔的管壁流进土壤。

大约在 1935 年以后，围绕着研制出一套用不同材料制成

的穿孔管路系统，进行了许多实验，其目的是想知道，能否不用系统中的水压力，而用土壤水分张力来决定管路流入土壤的水的流量。

继德国的地下灌溉实验之后，在苏联（1923年）和法国也搞了类似的实验。这些实验的目的，是研制出一种穿孔管路系统和一种较好的水量控制方法。通过关于地下灌溉的实验，产生一种想法，即利用地下水位的变化进行灌溉。这种灌溉形式在包括美国、荷兰、英国在内的许多国家实行了。方法是在间距紧密的渠道中放水，使地下水位上升到接近根层的高度，起到灌溉的作用。

随着穿孔塑料管的发展，这方面的工作发生了向类似于今天采用的滴灌系统的转变；易于穿孔和连接的廉价塑料软管的出现，促进了这种发展。有两个问题妨碍这些小直径的（有些孔眼小至0.1毫米）穿孔管更广泛的应用。第一个问题，不管过滤器如何精细，小孔还是会堵塞；第二个问题，即使没有堵塞，孔眼大小不均匀和孔眼随着时间而发生变化，都会在管路上造成超过规定的流量差。虽然有这两个缺点，作物产量还是提高了，并且促进了今天所使用的滴头的出现；安装在管路上的各种各样滴头代替了凿在管壁上的简单孔口。

四十年代初，英国出现了今天采用的这种滴灌系统，主要是应用在温室中，以使用一套系统同时达到灌溉和施肥两个目的。最初的滴头很简单，是绕在圆筒上的一些细管。这种滴头造成了相对较长的水流流程，但又保持附件尺寸较小，同时水流通路又大到足以减少堵塞。

五十年代后期，以色列对长流道滴头的研制，在滴灌的演变中迈出了有意义的一步。六十年代以来，滴灌则已发展成