

第 1 章 绪 论

1.1 概述

我国灌溉历史悠久，早在战国初期至中期，已开始修建灌溉工程。如最早有文字记载的魏国漳水渠。魏文侯至魏襄工时代（公元前 446 年至前 296 年）西门豹与史起引漳水灌邺田。其后 2000 多年的农业发展进程中，修建了众多著名的灌溉工程，如陕西较大规模的引泾水灌溉的郑国渠（公元前 246 年），有 2200 多年历史的四川引岷江水的都江堰灌溉工程、广西灵渠，宁夏引黄河水灌溉的秦渠、汉渠和唐徕渠。这些古老灌溉工程历经岁月沧桑，至今绝大部分仍发挥着重要作用，体现出古代水利设施的科学性以及巧夺天工的灌溉技艺（中国农业遗产研究室，1996）。

灌溉在我国农业生产中历来占有着特殊重要地位。中华人民共和国成立以来，灌溉事业得到了高速发展。建国前我国耕地约为 1.07 亿 hm^2 当时的灌溉面积为 1600 万 hm^2 灌溉面积占耕地面积的比例不到 15%。目前我国的灌溉面积已增加到 5533 万 hm^2 ，约占全国总耕地面积近一半，为新中国成立前的 3.4 倍多。我国人口由新中国成立前的 4.5 亿增加到 13 亿，增加近 2 倍 灌溉在解决好人民吃饭穿衣问题中发挥了重要作用。我国灌溉土地每年提供的主要农产品中粮食占全国总产量的 70%，棉花、油料占 80%，蔬菜、水果占 90%。在我国这样一个农业大国，灌溉用水约占全国用水总量的 70%，是第一用水大户。

随着我国农业的发展，灌溉面积的扩大以及对水需求的不断增加，要求继续开发利用新的水源，但是水资源的过度开发已引发了水量再分配和环境恶化等一系列问题。从 20 世纪 70 年代开始，北方地区出现持续干旱，对农业生产构成威胁，通过大面积

的抗旱打井，虽然缓解了北方旱情，但大量提取地下水，出现了大面积的地下水漏斗。此外，一些流域上游地区超量引水灌溉，削减了下游地区的供水量，从而带来流域内部分配失衡，造成下游土地干涸、沙化，生态环境严重破坏。无节制地进行水资源的开发利用给人们深刻的教训，使人们认识到，对于人均水资源占有量只有世界平均水平 1/4 的我国来说，如今可再开发的水资源已极为有限。灌溉的可持续发展要求必须大力推行节水灌溉，走提高灌溉水利用率的道路。

在以往还没有出现用水竞争的年代，传统的灌溉水的利用率较低，有的只有 20% 左右。由于用水环境宽松，对水的利用率并无苛求，或者是限于当时条件而无力提高。随着工农业生产、城镇生活用水量快速增长，水资源短缺日益凸现。从 20 世纪 70 年代中期开始，在政府和水利部门的大力推动下，在节水灌溉方面进行了大量的科学试验和工程实践，并引进和借鉴了国外的先进节水灌溉经验，因地制宜地采取了多种节水措施，灌溉水利用率得到显著得提高，但就全国总体上来说只达到 0.43 ~ 0.45。在全国范围内全面提升灌溉水利用率成为摆在我们面前的一项艰巨复杂的工作。也正是由于灌溉用水效率目前基数比较低，因此可以预期，通过大力改革原有的灌溉习惯，采用先进节水灌溉技术措施，灌溉水的利用率将有较大的提升潜力。

实现节水灌溉的核心是要减少灌溉过程中的水量浪费，现有多种技术途径和措施可供选用。各地条件不同，要因地制宜地选用当地适用的灌溉设施和技术。“微灌”是一项节水高效的先进灌溉技术。滴灌是微灌的一种形式，利用低压系统输水，在根系边缘滴水灌溉作物。

1.2 滴灌技术的特点

滴灌技术具有下述特点：

(1) 用水效率最高 滴灌的用水效率高有两方面原因：一方面是从田间来看，滴灌将水一滴一滴地滴进土壤，名副其实地滴水入土。滴水的流量不大，灌水时地面不出现径流，灌水后地面干爽，只能看到滴水湿润的斑点，灌水全都渗入到作物根系层内，大大减少了作物的棵间蒸发；同时，灌水后土壤水深层渗漏很少，因此能最大限度地减少无效的田间水量损失。在所有的灌溉技术中，滴灌的田间水利用率最高。第二方面是从滴灌输水系统来看，从水源引水开始，灌溉水就进入了一个全程封闭的输水系统，经过多级管道传输，将水送到作物根系附近。整个滴灌系统可以做到滴水不漏，输水效率最高。滴灌的灌溉水利用率可达 0.9~0.95。

(2) 使农产品高产优质高效 一般常规地面灌溉轮灌周期长，每次灌水量大，而在轮灌期内，根系层内土壤含水量变化幅度大，在一定程度上影响作物生长。而滴灌能根据作物各生育阶段需水要求，做到准确及时灌水，根系层土壤水分变幅小，土壤具有良好的通气条件，有利于作物吸收水分和养分，给作物提供优良的生长发育环境，减少作物的能量消耗。因此，滴灌各类作物，特别是果树、蔬菜等多种经济作物，都能取得优质高产高效的效果。

(3) 节省用工和方便田间管理 地面灌溉在灌水前，一般都需要进行平田整地、开沟、筑畦等一系列地表工程准备工作，用工较多，而滴灌一般可省去平整土地，也无需作地表工程，简化了灌水前的准备工作。灌水时亦不需要人工进入田间操作。滴灌系统容易实现灌水自动化管理，从而可较大幅度地提高劳动生产效率。

(4) 适用性广 滴灌对土壤、地形和作物具有广泛的适用性，既可用于入渗较强的砂质土，又可用于弱入渗的粘性土；既可用于平原地区，也可用于地面起伏的丘陵坡地；既可用于大田作物，也可用于林果和多种经济作物；既适用于露地种植，又适用于保

护地和覆膜种植。温室大棚内采用滴灌，其保温、节水、降温、减少病虫害、结合施肥施药、优质高产的效果十分突出。滴灌除了可用于农田灌溉外，也可用于环境景观美化工程、苗圃和植树造林等。

(5) 减轻盐碱对作物的危害 滴灌可以用于含盐量较高的土壤上，也可以用微咸水灌溉，盐分对作物产量影响较小。其原因：一是滴灌的灌水间歇期短，根系层内含水量高，土壤盐分被稀释；二是盐分向根系周围低含水率边缘集聚，减轻盐分对作物根系的危害。这对于干旱缺水、水质较差的土地或滨海含盐较高的土壤的垦殖利用有着重要意义。

(6) 滴灌施肥提高肥效 滴灌可配合施肥，灌水时将肥料注入滴灌管道系统，肥料随水滴入作物根系附近。水肥施用同时到位，防止浪费，且由于肥液的分布集中在根系层内，防止肥料深层流失，既提高了肥效，又免除了地下水遭受肥料、化学药剂污染。滴灌施肥的另一个重要优点是便于在作物生育期内施用追肥，不需人和机械进入田间作业，节省劳力，且能达到较高的施肥均匀度。

1.3 国外滴灌发展概况

20 世纪 50 年代中期，以色列发明了近代滴灌技术。半个世纪以来，滴灌技术取得了突飞猛进的进展。在全球性水资源普遍紧缺的今天，在世界性的优质出口农产品激烈竞争的形势下，在追求种植业效益最大化目标的驱动下，滴灌技术的应用在全球得到快速发展。欧洲很多国家，亚洲的中国、印度等国，南美洲一些国家以及一些阿拉伯国家和南非等国，都有滴灌推广应用的信息报道。这里仅就有一定代表性的 3 个国家和地区滴灌发展情况，作简要介绍。

1.3.1 以色列滴灌技术的应用

以色列地处中东地区，西岸临地中海，属地中海气候，冬季暖和，夏日阳光充足，炎热少雨。除了北部降雨稍多外，全国水资源严重短缺，人均水资源占有量仅为 340m^3 。以色列用水管理严格，在全国建成了统一的压力管网，供应工农业生产及生活用水，杜绝了输水损失。灌溉用水户从管网上取水，直接用于喷灌或微灌。以色列已摒弃了地面灌溉，全部采用喷灌和微灌。因此，其灌溉用水的特点之一是无输水损失，田间用水效率高；特点之二是水资源利用的高效性，可充分利用当地的气热资源，发展优质高产出口水果、反季节蔬菜、花卉等经济作物。以色列境内平原有限，多丘陵坡地，微灌对地形适应性强的特点得以发挥。在水土资源都极为有限的条件下，全国 500 多万人口中，只有 4% 为农业人口，除了粮食依赖进口外，绝大部分农产品做到自给有余。大宗的出口农产品，如水果、蔬菜、花卉等构成了出口创汇农业的支柱，每年出口额约 20 亿美元。滴灌的发展也带动了微灌设备制造产业的成长，其产品质量享有较高声誉。以色列节水高效农业的成就，已引起世界各国的广泛关注。

1.3.2 其它一些沿地中海国家的滴灌发展（Anonyms, 2001；Hackley, 2001）

除了以色列以外，无独有偶的是其它一些沿地中海的国家，如意大利、西班牙、希腊等国家的部分地区从 20 世纪 70 年代开始，也相继发展了蔬菜、水果以及当地传统优势农产品的滴灌。意大利南半部地区的葡萄、柑橘、油橄榄果园面积大，滴灌的发展解决了干旱问题的同时，也繁荣了当地农村经济。西班牙的南方地处亚热带，气候干燥少雨，土地贫瘠，水资源不足，历来农业发展滞缓。滴灌用于柑橘、葡萄、油橄榄等，取得较好的效益。此外借助温室和滴灌技术的应用，种植蔬菜和花卉等作物，已取得了规模种植效益，温室面积现已达到 5万 hm^2 对当地农业经

济的发展起到了重要推动作用。希腊的滴灌发展也类似于前两个国家。从地中海沿岸国家的滴灌发展可以看出, 在一些气热条件较好而水资源条件较差的地区, 利用滴灌发展当地优势农产品, 是改变当地农村经济面貌的一条重要途径。

1.3.3 美国滴灌的发展 (Anonyms, 2001; Hackley, 2001)

1982 年美国微灌面积尚不足全国总灌溉面积 2 500 万 hm^2 的 1%, 到 1991 年已增长到 3%。根据 2000 年的统计, 微灌面积占全国总灌溉面积 2 553.6 万 hm^2 的 5%。滴灌主要用于葡萄园、果树、蔬菜、棉花、温室、园艺等方面。微灌在气热条件较好的南加里福尼亚州面积最大 占到该州灌溉面积的 17% 其中 25% 即 32 万 hm^2 用于滴灌葡萄。由于滴灌可节水 50% 左右, 特别是在砂质土地地区, 节水效果更为显著 因此 1970~1980 年间的水价上涨促进了滴灌的发展。此外, 滴灌的其它一些优点也推动了滴灌的发展, 如: 作物行间杂草少 省工 方便频繁施药 加州葡萄的主要病害是白粉菌, 每周或每 2 周要通过滴灌施用 1 次药剂) 滴灌施肥定位准确 并且氮磷钾和微量元素用肥量少, 可节约肥料 50% 左右; 使用滴灌可以严格控制灌水量, 易于进行调亏灌溉; 对某些餐用品种, 可改进果实颜色, 对某些制酒品种可提高酒的品质。

加州还是美国地下滴灌使用最多的一个州, 2000 年地下滴灌面积已达到 7.04 万 hm^2 , 占全美地下滴灌面积的 40%。地下滴灌水的利用率可达 98%, 还可以延缓管材老化, 且节约大量每年用于铺放回收管材的劳力。

滴灌在美国其它一些州也用于棉花、温室蔬菜和多种园艺经济作物, 如在夏威夷州使用一次性滴灌带灌溉甘蔗, 而在盛产柑橘及其它水果、蔬菜的佛罗里达州, 微喷灌用得较多。

1.4 滴灌技术在我国的应用

我国在 20 世纪 70 年代中期, 从墨西哥引进滴灌技术。经过

多年的消化吸收、试验研究以及推广应用，已积累了一定得实践经验，使滴灌技术不断得以完善提高，并在一些地区已取得较好的使用效果。

1.4.1 果树的滴灌

果树滴灌在我国运用得比较早，应用面积也比较大，主要用于苹果、梨、葡萄、柑橘等作物。果树滴灌的优势主要体现在以下几方面：

(1) 节水 果树用地面灌溉水量浪费严重，滴灌果树只使局部根系受水，可以大幅度提高水的利用率。

(2) 滴灌系统投资较低 果树株行距较大，间距一般为3~5m，田间毛管相对于密植作物来说用量较少，因而毛管资金投入较低。

(3) 滴灌对土壤和地形的适应性强 种植在丘陵坡地、梯田或砂质土壤上的果树和其他一些经济作物，如采用常规自流灌溉方式，工程设施复杂，资金投入较高，管理困难较多，而滴灌对地形起伏变化和土质都有广泛的适用性。

(4) 节省用工 滴灌与地面灌溉相比，节省灌水用工，易于实现自动化管理。滴灌结合施肥，肥效高且省工。滴灌株间土壤干爽，杂草少。灌水对田间作业干扰少。

1.4.2 蔬菜瓜果花卉及设施农业的滴灌

保护地种植蔬菜、瓜果、花卉在我国使用滴灌已有多多年，之所以能持续地在各地发展，除了具有节水的优点外，主要还是因为滴灌作物高产质优，经济收益好。滴灌用于温室大棚体现出以下优点：

(1) 节约灌溉用水约 50%左右，灌水均匀度高，可达 90%以上。

(2) 降低温室大棚内的空气湿度，减少病虫害的发生，并抑制杂草生长，有利于减少农药施用量。

(3) 有利于维持温室大棚内的地温和气温，促进早熟上市。

(4) 滴灌结合施肥，施肥量较常规灌溉施肥大幅度的减少，化肥利用率高。

(5) 减轻土壤退化，如土壤 pH 值的降低，减轻土壤盐渍化的危害等；

(6) 节省田间管理用工，如灌水、施肥、施药用工，且灌水同时可以进行田间作业。

1.4.3 西北地区的滴灌（严以绥，2003）

在我国西北干旱缺水地区，近年来滴灌的应用发展较快，主要用于果树、葡萄、啤酒花、瓜果、棉花、加工番茄、温室种植作物、苗圃、园艺以及防风林网的灌溉等，其中，尤以新疆生产建设兵团为代表的膜下滴灌发展最快。全兵团目前已推广 11.4 万 hm^2 ，不仅发展面积大、发展势头猛，而且取得规模性的节水效果。与滴灌大面积推广相适应，已形成一套完整的农艺技术，包括播种、覆膜、铺滴灌带一次完成的机械化作业技术以及模式化的生育期田间管理和施肥作业等。兵团滴灌的大面积发展还有着更深远的意义，它展示出在西北或类似地区采用滴灌技术，合理利用有限水资源，发展高效节水现代化农业的巨大潜力。

建设兵团在实践中体会到，膜下滴灌具有以下 3 方面重要优点：

(1) 节水抑盐淡化根系层 膜下铺设滴灌带进行滴灌，可以大大减少棵间蒸发损失 棉花需水量从 $5\ 000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 降到 $3\ 000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。节水的同时，缓解了由于灌溉引起的地下水位的上升，也减轻了产生次生盐渍化的危险。滴灌水进入土壤后溶解淡化盐分，并使盐分向湿润锋边缘转移，在根系层内营造一个水、肥、气、热、光等都适宜于作物生长的淡化区。

(2) 自动化灌水，适应规模化现代化经营 膜下滴灌结合现代农业技术（如机械化铺膜、模式化种植等），已构成现代化的生

产管理模式，水、肥和化学药剂都可以随水滴入，有些地方已实现自动化管理，提高了劳动生产率，有利于实现田间作业的机械化。适应集约化、规模化、现代化经营。

(3) 有利于绿洲农业的可持续发展与生态建设 在干旱的西北地区使用滴灌技术，也是保证绿洲农业可持续发展的需要。只有强化节约灌溉用水，才能节余出必要的生态环境用水，维持自然植被，进行绿洲生态建设。

参 考 文 献

- 1 中国农业遗产研究室. 1959. 中国农学史 初稿 上册. 北京：科学出版社
- 2 薛克宗. 2003. 国外压力管道灌溉发展概况节水灌溉 (1): 35-36, 40
- 3 Anonyms. 2001. 2000 Annual irrigation survey: continuous steady growth. Irrigation Journal 51(1): 12-30, 40-41
- 4 Hackley C. 2001. Gravity flow, mechanical move, and SDI, What is store for th enext decade? Irrigation Journal 51(2): 8-12
- 5 严以绥. 2003. 膜下滴灌系统规划设计与应用. 北京：中国农业出版社

第 2 章 滴灌施肥灌溉系统的组成

2.1 滴灌施肥概述

2.1.1 滴灌施肥的优点

通过灌溉水施用农用化学制品，包括杀虫剂、熏剂、化肥、土壤改良剂等，总称为“施化灌溉”。在施化灌溉中最常见的是“施肥灌溉”。施肥灌溉可用于地面灌溉、喷灌、微喷灌、滴灌。这里重点介绍滴灌施肥。滴灌施肥的优点可概括为：

(1) 简化田间施肥作业，减少施肥用工

①施肥时人不进入田间操作，避免人工施肥或机具活动压实土壤。

避免作物生长期常规方法施肥造成的根茎叶的损伤，特别是对于大棚内栽培的作物，田间管理工作繁多，其好处更为明显。

滴灌施肥仅需增添一些必要设备，就可以做到自动化施肥，可溶性肥料随水滴入土壤，所需操作用工极少。

(2) 节约用肥，提高施肥效果

水肥同步输送到根系发达的部位，有利于作物吸收，且肥料供应集中在根系发达区域内，养分在根系层内的土壤剖面上分布均匀，防止肥料深层淋失而造成的浪费。多项资料报道，一般可节约化肥用量 25%~30%。

可以按作物生育阶段的需求，及时补充营养，做到准确配置肥料，实现灵活、方便地递增供应。

(3) 滴灌施肥可用于多种作物栽培条件

在砂质土壤地区或沙漠地区，由于土壤保持水肥能力很差，作物很难生长。国外已有利用滴灌施肥开发沙漠，进行商品化种

植的成功经验。

在温室大棚条件下，作物种植在栽培基上，国外采用滴灌和滴灌施肥比较普遍。

膜下滴灌施肥。干旱地区，如新疆和甘肃等地，在露天条件下种植棉花、加工番茄等经济作物，采用膜下滴灌发展很快。滴灌施肥解决了追肥的困难。

(4) 施用农药 随着滴灌的发展，有的国家和地区把化肥、杀真菌剂、除草剂、杀虫剂注入到滴灌系统中，实现了滴灌施用农药。

(5) 防止土壤和环境的污染 严格控制灌溉用水量及施用化肥剂量，可避免将化肥淋洗到深层土壤，造成土壤和地下水的污染。

2.1.2 滴灌施肥灌溉的发展

在我国黄河流域，古代引浑水灌溉培肥地力的做法，就总结出了“既粪且溉”的经验。在古埃及的尼罗河流域，古巴比伦的底格里斯河和幼法拉底河流域，也都有利用洪水淤地肥田的历史，人类很早就认识到灌溉施肥的益处。直到今天，黄河下游有条件的地区还在采用淤地改良低产田，而且我国南北方不少地方都有伴随灌水施用粪肥的习惯。

通过灌溉施用化肥的历史相对来说很短，最早通过压力管道喷灌施肥的报道见于 1958 年，而用于滴灌只有 15~20 年的时间。随着水资源供需矛盾日益突出和水费、能源费用的上涨，伴随滴灌的发展，滴灌施肥在美国、以色列等国家得到普及，还扩展到注入杀线虫剂、除草剂等化学制剂。滴灌施肥是给多年生作物进行根区施肥的惟一良方，是获取经济作物高产出、优质高效的重要手段。据美国加州理工学院灌溉培训研究中心的调研分析，使用滴灌施肥，正常情况下可节省用肥 25%；同时，节省用工和机械能耗；偏保守的估计，产量可增加 10%(Burt 等，1998)。

滴灌施肥在我国主要用于果树、蔬菜、园艺等经济作物，虽然不够普及，但经过多年的实践，在很多地区得到推广应用。下面举两类效益突出的应用实例。

(1) 温室大棚的滴灌施肥自 20 世纪 80 年代以来，温室大棚种植面积迅速增长，重茬、连作导致蔬菜病虫害加重，每年因此造成的产量损失达 20% 以上。为了防治蔬菜病虫害，大量使用化学农药。据有关单位调查，有机磷超标严重；施肥不合理，化肥用量太多，尤以无机氮过量，植物体内硝酸盐大量积累，瓜菜质量下降；硝酸盐过多引起土壤酸化，破坏土壤结构，也污染了地下水，致使饮用水不符合标准。这些负面效应，已引起了人们普遍关注。进入 21 世纪，随着人们保健意识的进一步增强，生产无污染蔬菜，将更加受到全社会的重视。

我国南北方一些温室大棚使用滴灌施肥的试验研究表明，滴灌用肥量可减少 30% 左右；土壤传播的病害明显减轻，农药有的可以减少 50% 的用量，有效地防止了土壤恶化和地下水污染；改善了产品品质，产量提高 15%~20%；节约用工 10% 左右。

(2) 西北地区的膜下滴灌施肥 据新疆生产建设兵团农垦科学院的测定，当地形坡面较陡（6%~8%）时，沟灌会造成土壤冲刷、水土流失，不利于作物对养分的吸收。在常规灌溉种植条件下，每 hm^2 需施化肥 900kg，油渣 750kg，肥料利用率为 30%~40%。采用膜下滴灌，水、肥、农药及其它微量元素配置成混合溶液施入，并根据作物不同生育期的需要，加以灵活调控，肥料通过扩散和离子交换能及时被作物吸收，避免了地面灌溉开沟追肥造成的冲刷、挥发、深层渗漏等损失。膜下滴灌每 hm^2 化肥施入量仅为 420kg，比常规施肥灌溉节约省 53.3%。此外，由于膜下滴灌为作物提供了良好的水、肥、气、热等环境，提高了棉花产量和品质，并且棉花生育进程加快，植株健壮，这对于热量相对不足的新疆棉区来说十分有利。

2.2 滴灌施肥的安全保护设施

滴灌施肥是在一定的压力下，将肥料溶液或其它化学制剂（酸类或农药）注入滴灌管道，随滴灌水被带到田间而实现的。当灌水结束，或因突然事故停泵时，管路中的肥液（或其它化学制剂）有可能返流到水源，造成水源的化学污染。特别是当灌溉与人饮工程共用一水源时，对人身健康会造成严重危害。此外，在操作和设置上要防止化学制剂溢出溶液罐以及向空管网内注入化学制剂的意外事故发生。在工作条件上，要保持注入设施范围内环境整洁，有利于化学制剂的处置，及时发现渗漏和溢出。当需要混合化学制剂时，须慎重对待，要严格按产品说明进行操作，在注入前可进行少量的混合试验，有疑问时向有关专业人士咨询。

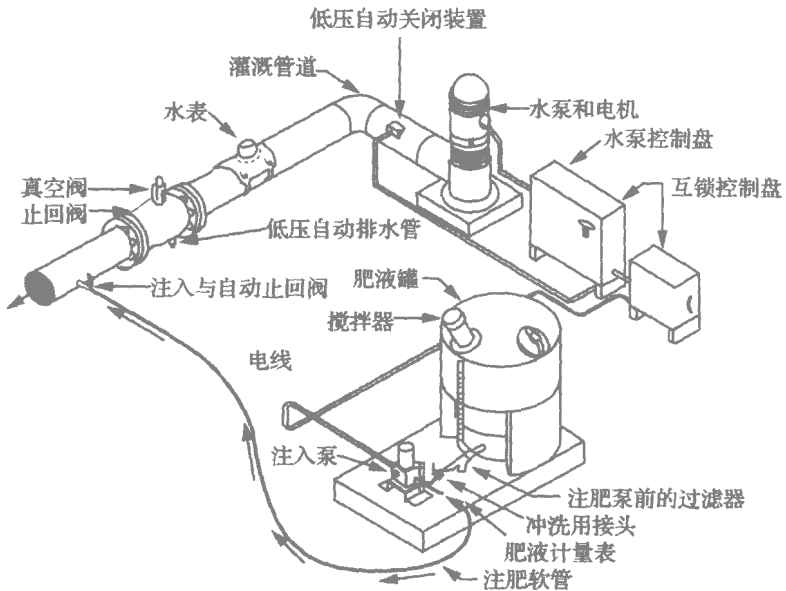


图 2-1 施用化学剂的设备配置（来源：Burt 等，1998）

为保障安全，在滴灌施肥系统中需安装必要的安全保护装置。不同的滴灌系统和不同的注肥方式，采用的防护设施也不一样，但最基本的要求是：设置止回阀，防止化学剂回流进入水源，造成污染；设置进排气阀保障管道安全运行；闸阀齐全，便于操作控制。图 2-1 给出的是美国加州理工学院灌溉培训研究中心提供的配置，适用于以机泵为动力，严格防范污染井水的较大面积的施肥系统。该系统配置全面，符合美国环保局的要求。

表 2-1 列出了美国环保局推荐的地下水为水源时的安全保护装置配置。当无水源污染的威胁（如注肥点距水源较远）时，所需装备可适当简化。

表 2-1 滴灌施肥的安全保护装置¹⁾

装置	安装位置	目的说明
止回阀	水源与施肥注入点之间	防止肥料或其它化学剂回流进入水源
注肥管止回阀	装在施肥点上的单向阀，装有荷载为 14kPa 的弹簧，无压时关闭	防止回流水进入化肥罐，致使化学制剂溢出
真空破坏阀	止回阀与水源之间	关泵后，进入空气，破坏真空。防止回流
低压切断装置	灌溉管道上	当灌溉水压降到一定限度时切断注肥装置的动力源
低压排水阀	水源与灌溉管道的止回阀之间	关泵后排干止回阀可能渗出的水
常规电磁常关阀	注肥泵与化肥罐之间	关泵后防止化肥罐还继续排出肥液
互锁装置	注肥泵与灌溉泵互锁	水泵关掉后，防止注肥泵仍继续注入的事故发生

¹⁾ 资料来源：Burt 等，1998

2.3 施肥操作安全

2.3.1 人身安全

施用液态肥料时不需要搅动或混合，而固态肥料则需要与水混合搅拌成液肥。大多数氮肥在施用中不存在人身安全问题，但当注入酸或农药时需要特别小心，防止发生危险反应。施用农药时要严格按农药使用说明进行，注意保护人身安全。

2.3.2 剂量控制

施肥时要掌握剂量，如注入肥液的适宜强度大约为灌溉流量的 0.1%，例如灌溉流量为 $50\text{m}^3/\text{h}$ ，则注入肥液大约为 $50\text{L}/\text{h}$ 。除草剂、杀虫剂要以非常低的速度注入，一般要小于注入肥料强度的 10%。每次施用肥料要掌握好用量。由于设备和操作人员失误，造成过量施用，可能使作物致死以及环境污染。

2.3.3 安全施用

注肥过程最好经历 3 个阶段。第一阶段，土地先用不含肥的水湿润；第二阶段，施用肥料溶液滴灌；第三阶段，用不含肥的水进行清洗。

2.3.4 过滤水肥防止滴头堵塞

滴灌灌水器出水口很小，一般直径仅有 1mm 左右，滴水滴肥时容易出现堵塞现象。为保障系统安全，对灌溉水和肥液进行过滤极为重要。一般滴灌系统常用的过滤器的筛网规格为 150 目。往管道注入肥液的地点应放在过滤器的上游，使灌溉水和肥液都经过过滤，从而使灌溉系统能够安全运行。当注入酸时，这种方式会损坏过滤器，且冲洗过滤器的水含有化学制剂。为解决这一矛盾，可在过滤器下游注入酸，在过滤器前投放化学制剂，但在过滤器冲洗过程的前一段时间停止投放化学制剂。

2.3.5 环境安全

施用农药应有对人身健康的有害期以及再进入田间的时间，安全着装等规定说明。在施用农药之前应出示警示牌，告知正在

滴灌施药，不能饮用灌溉系统的水等事项。

2.4 注肥设施

将肥液注入到滴灌管道有多种方法可供选用，可根据动力（电源、柴油等）、注肥装置是否需要移动使用、施肥规模、投资能力等条件来决定，常见的注肥设施有以下几种。

2.4.1 自压注入

这种注入方法比较简单，不需要额外的加压设备，而肥液只依靠重力作用自压进入管道。如在位于日光温室大棚的进水一侧，在高出地面 1m 的高度上修建容积为 2m^3 左右的蓄水池，滴灌用水先存贮在蓄水池内，以利于提高水温，蓄水池与滴灌的管道连通，在连接处安装过滤设施。施肥时，将化肥倒入蓄水池进行搅拌，待充分溶解后，即可进行滴灌施肥。又例如在丘陵坡地滴灌系统的高处，选择适宜高度修建化肥池用来制备肥液，化肥池与滴灌系统用管道相连接，肥液可自压进入滴灌管道系统。这种简易方法的缺点是水位变动幅度较大，滴水滴肥流量前后不均一。

2.4.2 文丘里注肥装置

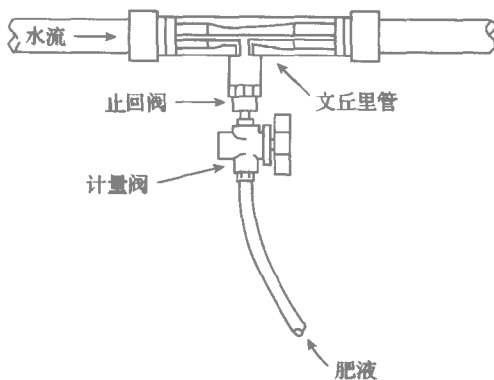


图 2-2 文丘里注肥装置（来源：Burt 等，1998）

文丘里装置的工作原理是液体流经缩小过流断面的喉部时流速加大 利用在喉部处的负压吸入肥液。文丘里注肥装置如图 2-2 所示。

利用文丘里管注肥的优点是装置简单，没有运动部件，不需要额外动力，成本低廉。肥料溶液存放在开敞容器中，通过软管与文丘里喉部连接，即可将肥液吸入到滴灌管道。缺点是在吸肥过程中压力水头损失较大，只有当文丘里管的进、出口压力的差值($P_{进}-P_{出}$) 达到一定值时才能吸肥，一般要损失1/3的进口压力；工作时对压力和流量的变化较为敏感，其运行工况的波动会造成水肥混合比的波动。因此，这种吸肥方式适用于管道中的水压力较充足，经过文丘里管后，余压足以维持滴灌系统正常运行及压力和流量能保持恒定的场合。为防止停止供水后主管道中的水进入肥液罐，设有止回阀。文丘里注肥装置配有流量阀，以便率定和监测肥液流量。

针对文丘里注肥装置存在的缺点，实践中通过应用多种组合方式，在一定程度上达到克服其缺点的目的。

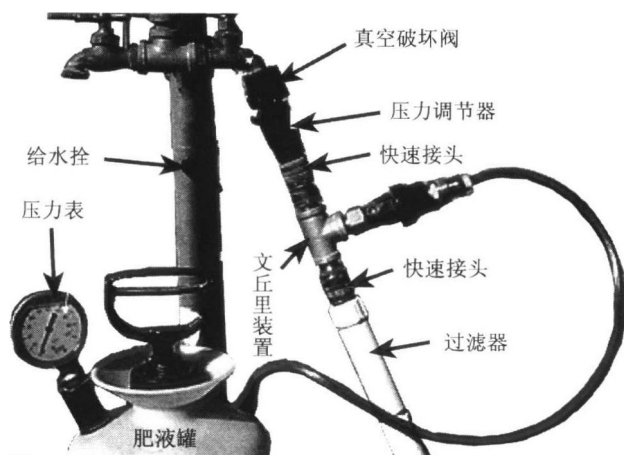


图 2-3 文丘里注肥装置与管道的串联联接方式