

# 经济型喷滴灌设计和推广

奕永庆<sup>1</sup>,周水高<sup>2</sup>

(1.浙江省余姚市水利局,浙江 余姚 315400; 2.浙江省余姚市泗门镇水利站,浙江 余姚 315400)

**摘要:**余姚市从2000年开始创新研究和推广经济型喷滴灌技术,经济型喷滴灌技术比传统型喷滴灌技术降低造价50%以上,现已推广面积0.37万hm<sup>2</sup>,其中山区竹笋、杨梅、红枫等占近60%,还创新应用于畜禽场降温和防疫10万m<sup>2</sup>,成为我国南方喷滴灌面积最大县。计划到2011年喷滴灌面积达到0.67万hm<sup>2</sup>,养殖场喷灌面积20万m<sup>2</sup>。

**关键词:**经济型喷滴灌;喷滴灌工程设计;余姚水利

**中图分类号:**S275.5 **文献标识码:**B

## 1 技术背景

喷滴灌是先进的灌溉技术,余姚市早在1975-1984年间就建设固定喷灌85.8hm<sup>2</sup>,但此后15年间却滞发展,其主要原因是造价过高而阻碍了这项新技术的推广。从2000年开始,余姚以政府补得起、农民有效益为出发点,运用发明创新思维,根据技术经济学原理,采用优化设计方法,应用新材料、设计新模式,形成了“经济型喷滴灌”模式。

## 2 经济型喷滴灌特点

### 2.1 造价不足常规设计的50%

喷滴灌工程造价为1.8~2.4万元/hm<sup>2</sup>,有的甚至高达3.0~4.5万元/hm<sup>2</sup>,造价高而效益低下,这正是至今未能大面积推广的症结所在。经济型喷滴灌是在每个环节精打细算、降低成本,造价降到0.9~1.2万元/hm<sup>2</sup>,不足常规设计的50%,参见表1、表2。

表1 经济型喷滴灌设计造价表

序号	名称	规格	数量	单位	单价/元	复价/万元	构成/(元·hm <sup>-2</sup> )	备注
1	PE 塑管	DN75	850	m	15.0	1.275 0	4 485	分干管,90(m·hm <sup>-2</sup> )
		DN50	2 880	m	5.9	1.669 2		
		DN40	1 150	m	4.6	0.529 0		支管,510(m·hm <sup>-2</sup> )
		DN32	1 150	m	3.7	0.425 5		
	管道配件	308 987 ×15 %			0.584 8		管材合价 ×15 %	
2	钢管	D20	600	m	10.0	0.600 0	1 200	竖管,60(m·hm <sup>-2</sup> )
	塑料喷头	PY <sub>2</sub> -15	300	个	15.0	0.450 0		射程 14.5 m
	镇墩	0.2 ×0.2 ×0.2	300	个	5.0	0.150 0		流量 1.8(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
3	安装费	5.6835 ×25 %			1.420 9	1 425	材料费 ×25 %	
4	水泵机组	65BP-55	1	套	5 000.0	0.500 0	525	36 m <sup>3</sup> /h,55 m,11 kW
	进水栓	D63	1	个	100.0	0.010 0		
	过滤网箱	0.8 m ×0.8 m	1	个	200.0	0.020 0		
	直接费小计				7.634 4	7 635		
5	设计费					0.229 0	3 %	
	建管费					0.381 7	5 %	
	预备费					0.763 4	10 %	
	独立费小计				1.374 2	1 365		
	合计				9.008 6	9 000		

说明:灌溉单元面积10hm<sup>2</sup>,轮灌面积0.67hm<sup>2</sup>;本设计为沟渠代替干管,如田头没有沟渠,则需增加DN90干管750~1000m,相应增加造价1950~3000元/hm<sup>2</sup>,即造价为0.9~1.2万元/hm<sup>2</sup>。

收稿日期:2009-08-14

作者简介:奕永庆(1951-),男,硕士,教授级高级工程师,长期从事节水灌溉技术研究和推广。

表2 喷灌常规设计造价表

序号	名称	规格	数量	单位	单价/ 元	复价/ 万元	分类组价/ (元·hm <sup>-2</sup> )	备注
1	PE 塑管	DN200	2 500	m	85	21.250 0	14 205	干管,75(m·hm <sup>-2</sup> )
		DN75	3 000	m	15	4.500 0		分干管,90(m·hm <sup>-2</sup> )
		DN63	14 000	m	11	15.400 0		支管,420(m·hm <sup>-2</sup> )
	管道配件	41.15 万元 ×15 %				6.172 5		管价 ×15 %
2	钢管	D25	1 380	m	13	1.794 0		
	金属喷头	UY2-20	690	只	55	3.295 0	1 785	射程 18 m
	镇墩	0.2 ×0.2 ×0.2	690	个	5	0.345 0		流量 3 (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
3	安装费	55.2565 ×25 %				13.314 1	3 990	材料费 ×25 %
4	水泵机组	ISW/160-250A	1	套		1.560 0		180(m <sup>3</sup> ·70 m <sup>-1</sup> ),55 kW
	配电柜	55 kW				2.000 0	1 725	
	泵房	4 m ×5 m	20	m <sup>2</sup>	800	1.600 0		
	机电配件					0.600 0		包括水管 0.2 万元
5	闸阀	2.5	50	只	280	1.400 0	420	
	直接费小计					73.730 6	22 125	
6	设计费					2.211 9		3 %
	建管费					3.686 5	2 865	5 %
	预备费					3.686 5		5 %
	独立费小计					9.585 0		
	合 计					83.315 4	24 990	

说明:灌溉单元面积 33.33 hm<sup>2</sup>,轮灌面积 3.33 hm<sup>2</sup>。

## 2.2 大面积应用于山林作物

山区坡地不能进行常规灌溉,历来是“靠天山”。余姚经济型喷滴灌 58 %在山区,竹笋、杨梅、板栗、红枫、樱花等作物都实

现了喷滴灌,“喷灌上山”成为山区经济新的增长点,不同作物面积分布见表 3。

表3 经济型喷滴灌作物面积表

区域	山 区								平 原			
	竹笋	杨梅	花卉	茶叶	红枫樱花	板栗	西瓜	水果	蔬菜	蜜梨	西瓜	葡萄
面积	773.33	366.67	246.67	320.00	166.67	100.00	100.00	53.33	1 006.67	206.67	60.00	273.33
合计	2 126.67(58 %)								1 546.67(42 %)			

注:水果包括果桑、桃子、樱桃、青梅。

## 2.3 应用于畜禽场降温防疫

经济型喷滴灌创新应用于畜禽场喷水降温、喷药消毒,到 2008 年底面积达到近 11 万余 m<sup>2</sup>,参见表 4。

表4 畜禽场微喷灌种类分布状况

种类	猪场	鸡场	鸭场	獭兔场	合计
面积	5.5	1.97	2.4	1.02	10.9

## 3 创新设计的主要内容

经济型喷滴灌围绕“廉价、实用”目标,每个环节作价值分析,追求在满足科学灌溉功能的前提下,使成本最省,可概括如下。

### 3.1 灌溉单元小型化

这里把灌溉单元定义为:一套喷灌机组或一座喷灌泵站所控制的面积。灌区的大小是客观存在的,但灌溉单元可以根据

水源条件划分。管道成本占总造价的 50 %~60 %,故降低造价必须抓住“降低管道成本”这个主要矛盾。支管的直径决定于其喷头的个数,采用变径设计可以节约 1 500~3 000 元/hm<sup>2</sup>,而干管的直径决定于轮灌面积,对喷灌工程造价的影响更大,参见表 5。

表5 轮灌面积、干管直径与造价关系

轮流面积/hm <sup>2</sup>	0.33	0.67	1.33	2.00	2.67	3.33
干管流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	18	36	72	108	144	180
干管外径/mm	75	90	125	160	180	200
干管单价/(元·m <sup>-1</sup> )	15	20	40	60	77	85
干管投资/(元·hm <sup>-2</sup> )	1 575	2 100	4 200	6 300	8 100	8 925

注:干管单价以工作压力 0.6 MPa 管计,长度以 105 m/hm<sup>2</sup> 计。

从上表看出,轮灌面积与干管投资线性增长,即轮灌面积是决定干管直径,同时也决定水泵的功率,是降低投资最活跃

的因素。轮灌面积是降低造价的关键,简而言之是“轮灌面积决定论”。而灌溉单元是轮灌面积的基础,所以“灌溉单元小型化”是经济型的关键。笔者建议:灌溉单元 3.33~10 hm<sup>2</sup>,轮灌面积 0.33~0.67 hm<sup>2</sup> 是经济的。

### 3.2 首部设备精简化

首部枢纽节省工程投资的潜力在施肥装置和过滤器。微喷灌和滴灌可以结合施肥和喷药,是农民接受微灌的重要原因之一。

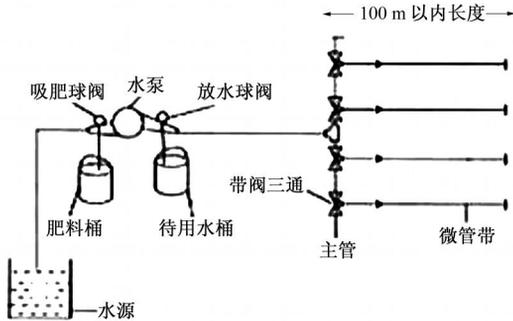


图1 水泵负压式肥药装置示意图

#### 3.2.2 自制过滤网箱

不论是喷灌还是微喷灌、滴灌,把水泵或自压喷灌的进水管口放入过滤网箱,作为第一级过滤,成本低廉,且纳污容量大,清洗方便,这是最经济实惠的过滤器。网箱制作很简单,用 D15~20 的钢管焊接圆形或方形的网箱框架,直径 0.5~0.8 m,高 0.6~1.0 m,四周和底用塑料或不锈钢滤网包裹,网孔大小根据用途而定:喷灌用 80 目,微喷灌 100 目,滴灌 120 目。有了这种网箱过滤器,根据水质状况可以不用或少用网式,叠片式或砂式过滤器,即使用了也可以延长使用寿命。

### 3.3 泵站移动化

泵房及其配套设备的成本是水泵电机的 3 倍还多,而且泵站设备易遭盗窃,用移动水泵机组代替固定泵站可节约成本 1 500~4 500 元/hm<sup>2</sup>。

比较成熟的喷灌移动机组见表 6。

表 6 喷灌机组性能表

型号	流量 Q/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	扬程 H/ m	配套功率 N/ (kW·hP <sup>-1</sup> )	参考价格/ 元	适用性
50ZB3Z-28	12.5	28	2.2/3	1 750	滴灌
50BPZ4Z-35	15.0	35	2.9/4	2 100	微喷灌
50BPZ6Z-45	20.0	45	4.4/6	2 800	平原喷灌
65BPZ-55	36.0	55	8.8/12	5 000	平原喷灌
80SZB-75	40.0	75	13.2/18	8 300	山区喷灌

注:本表参数由浙江省萧山水泵总厂提供。

### 3.4 管道塑料化

管道的种类很多,经济喷滴灌设计灌溉单元小,轮灌面积仅 0.67 hm<sup>2</sup> 左右,故所用管径一般在 110 之内,所以只涉及塑料管道和钢管。塑料管有重量轻、价格低、耐腐蚀、安装方便、寿命长等综合优点,常见的塑料管分述如下。

(1) 聚乙烯(PE)管,是近十几年中成熟的新管材,具有“柔韧性”的优点,且价格适中,是目前最为理想的管材,经济型喷

#### 3.2.1 水泵进水管吸肥

施肥装置可以简单的“水泵吸入法”代替。水泵进水管是呈负压的,在进水管钻上 1~2 个 15 mm 的小孔,焊上相应口径的接头,接上球阀、软管,软管进口水配上过滤网罩,放入肥药桶内,就可以方便吸入,流量大小由球阀控制。

在出水管上也打小孔接软管,为肥药桶加水。图 1 为示意图,这个方法“精简”了一只肥料泵,简单实用。



滴灌工程中地下管道全部采用 PE 管。

(2) 聚氯乙烯(PVC-U)管,尽管价格最低,但由于存在“脆性”,且管路中接头多,运行中破损概率高,已逐渐淡出城乡供水系统,也将淡出喷滴灌系统。

(3) 聚丙烯(PP-R)管,具有“耐热性”,适用于作热水管,又具有“冷脆性”却价格高,故不适宜于喷滴灌。

(4) 钢管,由于其锈蚀引起的寿命短,过水断面变小、水质差等致命弱点,且价格高,故在经济型喷灌中尽量不用,仅在受外力较大或无法埋入地下的局部地段才用。

(5) 几种管材的价格比较。一般印象中,PVC 管很便宜,PP-R 和钢管很贵,究竟 PE 管的价格处什么地位呢,现把同样口径、压力等级接近(0.6 MPa)的 4 种管材的参考价格列于表 7,作一对比。

以 PE 的基价为 1,4 种管材,8 种口径平均价格比较结果如下:PE PVC PP-R:钢管=1 0.65 1.65 2.1。

从以上看出:PVC-U 管材的价格随着管径增大呈现优势,但实践中 PVC-U 管道的接头费用和安装费用高,综合造价并没有优势,而 PE 管综合性能很好,是喷滴灌工程最理想的管材。

### 3.5 干管网化

南方河网密布,特别是农田标准化以后田头一般都有灌水渠或排水沟。如沿着河道、沟渠铺设干管是很大的浪费。河网代替干管,沿着河网设进水栓,由移动水泵机组与进水栓连接,向分干管及支管供水,可节约成本 2 250~9 000 元/hm<sup>2</sup>(参见表 5)。

### 3.6 微喷水带化

即用微喷水带代替微喷头,投资仅 3 000~9 000 元/hm<sup>2</sup>。微喷水带又称薄壁多孔管,是在可压成平带的薄壁塑料管上打小孔,当管道充满水时,水从小孔喷出,喷洒两边作物,常用水带性能见表 8。

表7 PE管与常见管材的价格比较

公称 外径/ mm	HD PE管			PVC-U管			PP-R管			普通 钢管/ (元·m <sup>-1</sup> )
	壁厚/ mm	重量/ (kg·m <sup>-1</sup> )	参考价/ (元·m <sup>-1</sup> )	壁厚/ mm	重量/ (kg·m <sup>-1</sup> )	参考价/ (元·m <sup>-1</sup> )	壁厚/ mm	重量/ (kg·m <sup>-1</sup> )	参考价/ (元·m <sup>-1</sup> )	
25	2.0	0.16	2.9	2.0	0.23	2.8	1.8	0.13	3.5	8.20
32	2.0	0.20	3.6	2.0	0.29	3.5	1.9	0.18	4.9	12.15
40	2.0	0.25	4.5	2.0	0.36	4.4	2.4	0.28	7.6	16.70
50	2.4	0.32	5.8	2.0	0.45	5.5	3.0	0.44	11.9	20.00
63	3.0	0.57	10.3	2.0	0.59	7.2	3.8	0.70	18.9	25.40
75	3.1	0.82	14.8	2.2	0.77	9.4	4.5	0.99	26.7	34.50
90	4.3	1.20	21.6	2.7	1.14	13.9	5.4	1.42	38.3	42.80
110	5.3	1.80	32.4	3.2	1.65	20.1	6.6	2.12	57.2	55.80

表8 微喷水带性能表

型号	规格				
	内径/ mm	壁厚/ mm	使用压 力/kPa	喷洒宽 度/m	参考价/ (元·m <sup>-1</sup> )
微滴带	N35 异二孔	22.3	0.16	1.0~1.5	0.25
	N45 异二孔	28.6	0.19	1.5	0.25
微喷带	N50 斜五孔	31.8	0.20	30~50	0.35
	N60 斜五孔	38.2	0.20	2.5~3.0	0.45
	N70 斜五孔	44.6	0.20	3.0	0.55
加厚 微喷带	H65 平三孔	41.4	0.35	50~80	1.20
	H65 斜五孔	41.4	0.35	80~100	1.20
	H80 斜七孔	50.9	0.40	8.0	1.50

注:以上参数由浙江天台县农宝植物塑料滴管厂提供。

微灌水带与其他微灌设备相比,有以下优点。

(1)投资较低,是现有各种微灌设备中投资最低的一种。移动式投资仅3 000元/hm<sup>2</sup>左右,半固定模式成本仅6 000~9 000元/hm<sup>2</sup>。

(2)抗堵塞性能好。堵塞是微灌系统的致命伤,而水带出水小孔的流道短,不易附着杂质,即使小孔堵塞也可以冲水排除。

(3)工作压力低、耗能少。采用滴头或微喷头的微灌系统运行压力为100~200 kPa。水带工作压力为10~100 kPa,且流量大、灌水时间短,因此耗能少、运行费用低。

(4)规模可大可小,安装使用方便。平原地区采用“一泵一带”模式,即一只口径40 mm,流量为10 m<sup>3</sup>/h左右,扬程为10~20 m,功率为2 kW左右的小水泵,连接到50 mm的喷水带,喷洒宽度5~6 m,带长100~140 m,一次灌0.067 hm<sup>2</sup>左右,成本不足6 000元/hm<sup>2</sup>。这种模式非常适合于0.33 hm<sup>2</sup>左右家庭小规模灌溉,余姚应用这一模式的已有1万户,拥有水带约200万m,灌溉榨菜面积2 000 hm<sup>2</sup>,余姚不同微喷灌型式应用面积见表9,唯有经济才能大面积推广。

(5)能够实现滴灌与微喷灌的转换 将水带置于地膜与地表之间,小孔出流射到地膜后,经地膜反射后可形成滴灌效果;如果去掉地膜,适当增加供水压力,小孔出流直射空中,就是微喷灌,从而实现了滴灌与微喷灌的转换。

表9 微喷灌工程造价对比

类 型	面积/ hm <sup>2</sup>	投资/ (万元·hm <sup>-2</sup> )	说 明
微喷水带	2 000.00	0.300	一泵一带式,露地蔬菜,小户经营
	53.30	0.675	半固定式,露地蔬菜,大户经营
微喷头	4.00	3.600	固定式,蔬菜大棚,大户经营
	0.27	4.500	固定式,育苗大棚,适宜推广
自动行走式	示范农机局	46.500	固定式,育苗大棚,难以推广

注:微喷头还应用于畜禽降温消毒10.9万m<sup>2</sup>。

### 3.7 管壁、管径精准化

(1)经济管壁。喷滴灌系统的工作压力0.6 MPa以内,管道工作压力也应选择0.6 MPa。管材的价格与壁厚成正比,超过实际需要,大材小用就是浪费,以常用的DN63管为例,参见表10。

表10 DN63 PE管材壁厚与价格比较

压力/MPa	0.60	0.80	1.00	1.25	1.60
壁厚/mm	3.0	3.7	4.7	5.8	5.8
价格/(元·m <sup>-1</sup> )	10.7	12.2	16.0	19.6	23.8
材料级别	80	80	80	80	100

(2)经济管径。一般推荐的经济流速在1.0~3.0 m/s之间,范围很大,是个模糊范畴,笔者从力学上“允许应力”的概念延伸,提出“允许水力损失”新概念,根据某管道的许用水头损失精确计算管径,例如在平原灌区,主管道水力损失应控制在20 m以内,则不同流量及长度下得出的管径见表11。

从表中可看出:干管长度500~1 000 m时,相应经济流速在1.5~2.5 m/s之间,每百米管长水头损失在2.0~5.0之间。

### 3.8 滴灌薄壁化

滴灌管的价格也与管壁厚度成正比,但影响滴灌管寿命的主要是滴头的堵塞问题而非壁厚,所以选择薄壁管是经济的,参见表12。

表 11 不同流量、长度下管径选择

流量/ ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	管径/ mm	百米管水头 损失/m	流速/ ( $m \cdot s^{-1}$ )	适宜干 管长/m
18	75	3.5	1.40	600
36	90	4.8	1.90	400
	110	1.9	1.30	1 000
72	125	3.4	2.00	600
	140	2.0	1.60	1 000
108	140	4.1	2.40	500
	160	2.2	1.84	900
144	160	3.6	2.50	600
	180	2.1	1.90	900
180	180	3.1	2.43	600
	200	1.9	2.00	1 000

表 12 滴灌管价格对比表

口径/ mm	壁厚/ mm	价格/ (元 $\cdot m^{-1}$ )	备注
16	1.00	1.60	内镶式圆形滴头
16	0.60	1.20	内镶式条形滴头
16	0.30	0.55	内镶式条形滴头
16	0.18	0.30	单翼迷宫式滴灌带

注:参考价格由浙江金华雨润喷灌公司提供。

农民使用的结果是喜欢薄壁的后二者,特别单翼迷宫式滴灌带,尽管使用寿命只有一年,但已在我国新疆推广近千万亩,说明只有“经济型”才有生命力。

(上接第 80 页) 组试验分别进行 10 次,取 10 次监测值的均值作为分析样本。在各土柱中 1 号和 2 号柱 10 cm 处含 ABS 均值分别为 115 mg/kg 和 205 mg/kg,其余土层中,ABS 残留量比较少,这一深度土壤中 ABS 含量均大于别的深度的含量,ABS 在 10~40 cm 处累积性非常强,试验溶液浓度大的土柱 ABS 累积比溶液浓度小的累积量大,基本是浓度越大累积增加。

## 2 田间试验

田间试验在中国农科院农田灌溉研究所作物灌溉实验场进行,上有移动式防雨棚,采用桶栽方式。桶栽采用面积为 0.16 m<sup>2</sup>,高度为 1.2m 的铁桶。选择冬小麦为试验作物,A 组试验灌入污水,B 组试验灌入将污水和清水按体积 1:1 稀释后的污水。污水取农田灌溉研究所污水池的生活污水,ABS 浓度为 2.15 ppm。灌水水平为每次灌水量 1 200 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,各设置 10 个重复。各生育阶段的灌水日期为:返青水 3 月 25 日,拔节水 4 月 20 日,孕穗水 5 月 5 日,灌浆水 5 月 20 日。6 月 24 日冬小麦收割后,对土样进行分析,分别取 10 个重复的平均值。试验结果如图 5。

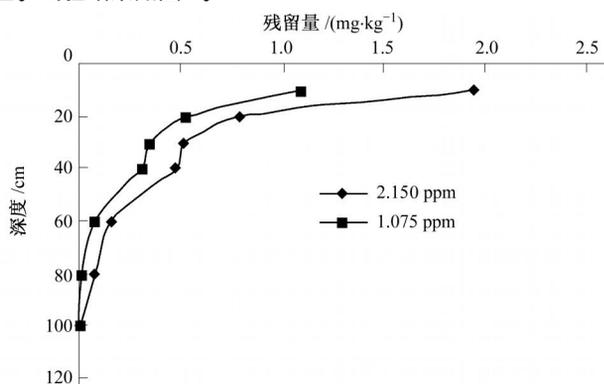


图 5 小区试验土壤中 ABS 残留量图

试验取从各组测桶中提取的土壤溶液,用分光光度计测得不同深度土层土壤溶液中 ABS 的浓度,然后依据前述吸附参数结果,计算得各土层中 ABS 的残留量。试验测得 A、B 两种水质灌溉情况下 10 cm 处 ABS 的残留量分别为 1.94 mg/kg 和 1.09 mg/kg。ABS 含量在 10~40 cm 之间含量占总含量的 90% 以上,40 cm 以下土层含量基本可以忽略。灌溉用水中 ABS 浓度高的,土壤中残留量大;ABS 浓度低的残留量小。但残留量与灌溉用水中 ABS 含量不成严格的正比关系。这一结果与土柱模拟试验结果完全吻合。

## 3 结 语

实际生产过程中,污水灌溉是长期进行的,一次灌水污染物含量不大,但长期累积效果会很明显,而实验室内的土柱模拟试验不容易模拟长时间的污染物累积状况,因此人为加大污染物含量,以此模拟其吸附累积状况。本文研究表明,污水灌溉中土壤对合成洗涤剂(主要成分烷基苯磺酸钠,即 ABS)具有较强的吸附能力,吸附量是随着浓度增加而增大,主要吸附于土壤表层 40 cm 以上土层,40 cm 以下土层吸附量较少。污水中含 ABS 浓度越大,其在土壤中入渗速率越快,在土壤中残留累积量也越大。

### 参考文献:

- [1] 王 超. 土壤及地下水污染研究综述[J]. 水利水电科学进展, 1996,16(6):1-4.
- [2] 冯绍元,张瑜芳. 粉砂壤土对铵离子的吸附特性[J]. 中国农业大学学报,1996,1(6):11-13.
- [3] 甘 露. 污水灌溉与施肥条件下氮素在土壤中迁移转化动态的初步研究[D]. 北京:中国农业大学,2002.
- [4] 冯绍元. 排水条件下饱和-非饱和土壤中氮素运移与转化规律的研究[D]. 武汉:武汉水利水电大学,1993.