

文章编号:0559-9350(2009)05-0556-08

基于田间定位观测的地下滴灌毛管性能评价

作 峰^{1,2}, 吴普特¹, 宰松梅^{1,2}, 段守明³

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003;
3. 新疆生产建设兵团 农五师九十团, 新疆 博乐 833400)

摘要:以新疆大田棉花地下滴灌系统(SDI)为研究对象,采用定量计时法对使用1~7年的SDI毛管的压力和流量进行了定位观测,研究了毛管水力性能的年内和年际变化规律。结果表明,在同一使用年限(灌水季节)内,随着灌水次数的增加和灌水时间的延长,毛管的流量降低率增加。毛管的性能变化与其所在的位置有关,靠近小区进口(支管首部)处毛管的流量降低率较小,随着距小区进口距离的增加,毛管流量降低率增大。毛管的流量降低率随使用年限的增加而增大。对设计使用寿命为3年的SDI毛管,使用3~4年时,毛管的流量降低率均未超过20%;使用6年时,80%以上毛管的流量降低率超过20%,1/3的毛管流量降低率超过25%,最大降低率为29.13%,此时,应加强系统运行管理,尽可能恢复SDI毛管水力性能,提高系统运行效率。

关键词:地下滴灌;毛管性能;毛管流量;降低率;使用寿命;评价

中图分类号:S275.6

文献标识码:A

1 研究背景

地下滴灌是一种高效的节水灌溉技术,可以大幅度提高灌溉水、肥的利用率^[1-3]。由于地下滴灌的毛管和灌水器埋设于地表以下,不能像地表滴灌那样,直接进行观测,进而评定系统的运行状况。一旦发生问题,如灌水器堵塞或毛管破裂,需要经过长时间的运行,待作物或地表有所反映后方能发觉,而此时系统的性能,尤其是灌水均匀性已远远偏离设计值。能否适时、正确的监测地下滴灌系统的运行状况,成为正确使用地下滴灌系统的一个技术难题。

正确评价地下滴灌系统的性能和运行状况,离不开系统压力和流量监测。其中,田间管网—尤其是毛管和滴头流量是监测的难点。为了评价地下滴灌系统的运行状况,国内外众多学者进行了不懈的努力。目前,对地下滴灌毛管(或滴头)流量的监测,所采用的方法可分为直接和间接监测两类、四种方法。(1)通过水量平衡计算推求灌水器的流量。如Mimolawa等^[4]、Warrick等^[5]在分析地下滴灌条件下土壤水分动态变化规律时,通过测量土壤水分含量,利用水量平衡计算出灌水器灌入土壤的水量,再除以灌水时间,间接地计算出地下滴灌灌水器的流量;(2)挖开直接量测法。如作峰等^[6]、李久生等^[7]在评价地下滴灌灌水器堵塞时,是将灌水器挖出,在现场直接量测其流量变化,作为评价地下滴灌灌水器的性能参数。从严格意义上讲,此时的评价已不能完全反映地下滴灌灌水器的实际运行状况。针对挖开与埋设两种状态下灌水器流量的变化情况,Sadler等^[8]进行了较为深入的研究,他们认为,挖开后地下滴灌灌水器的流量将增加2.8%~4.0%;(3)采用模拟法。如Gil等^[9]、白丹等^[10]、王晓愚等^[11]分别利用自行研发的地下滴灌模拟系统,在室内用土柱试验模拟地下滴灌滴头或毛管的运行状况,都是利用称重法确定灌水器灌入土体的水量,研究地下滴灌灌水器或毛管的水力性能,更进一步接近了地下滴灌的生产实际,取

收稿日期:2009-01-08

基金项目:国家863计划重点项目(2006AA100213);国家自然科学基金项目(50309016)

作者简介:作峰(1969—),男,河南镇平人,博士生,副研究员,主要从事节水灌溉技术与相关理论研究。

E-mail:ntggswf@yahoo.com.cn

得了一定的成果;(4)采用长期定位观测法。如 Mitchell 在 1981 年^[12]对已经使用 5 年的地下滴灌系统进行了评价,是以支管为单元进行的监测。Lamm 等^[13]在研究美国堪萨斯州玉米地下滴灌灌水器的流量变化情况时,是把灌水小区作为研究对象,通过长期观测小区的灌水量,作为分析灌水器流量变化的依据。Berkowitz^[14]在研究污水地下滴灌系统性能时,是在灌水小区的进口和排水管出口前设立长期定位监测点。研究系统性能的变化。由以上分析可以看出,目前的研究方法,基于不同的研究目的,各有侧重点,从总体上来看,间接法无法直观地反映毛管或灌水器的性能,一些研究不同程度地脱离或改变了地下滴灌系统的运行环境;而现行的长期定位观测法,虽然克服了前 3 种测试方法所引起的灌水器水力性能的变化,但以小区为单元,难以直接反映地下滴灌条件下灌水器或毛管的水力性能,所得出的结论能否准确描述地下滴灌毛管和滴头的实际运行状态,还有待论证。监测小区的运行状态,虽然对地下滴灌的运行管理会有一些的指导作用,但有些笼统,无法用于指导地下滴灌的详细设计。如果对每个滴头进行观测,不仅投入大,而且由于土壤的变异性,小批量的试验结果能否反映地下滴灌的真实情况,也有待进一步探讨。因此,有必要寻求一种基于田间实地观测的研究方法,真实地反映地下滴灌毛管(或灌水器)的运行状况。

本文的研究目的在于:通过对运行多年的地下滴灌系统的毛管水力性能进行定位田间观测,寻找一种基于生产实际的地下滴灌毛管运行状况的实时监测方法,同时兼顾系统后评估和理论设计的需要,定量地评价地下滴灌毛管水力性能的变化情况,进而找出地下滴灌毛管流量的变化规律,以期指导地下滴灌系统的运行与管理。

2 材料与方法

2.1 试验地与地下滴灌系统概况 试验于 2004—2008 年进行。试验地选在新疆生产建设兵团农五师九十团九连。该连地处欧亚大陆之腹地—新疆阿拉山口地区,常年多风,干旱少雨,属于典型的内陆干旱荒漠气候。年平均气温 5.8℃,平均降水量 187.4mm,平均蒸发量 1558.5mm,全年日照时数 2515.8h,积温 3116℃,无霜期 150—180d,年平均风速为 1.9m/s,风向多为西北风。土壤为砂壤土,以种植棉花为主,种植方式多采用三膜十二行,播种行距为 30~50~30~60cm,棉花品种为新陆早 12,于 4 月下旬覆膜直播,定苗株数 $2.25 \times 10^5 \sim 2.8 \times 10^5$ 株 hm^2 ,9 月份收获。属纯灌溉农业区。

从 2002 年开始大田棉花地下滴灌的试验和示范,到 2006 年,九连棉花地下滴灌的总面积已接近 200 hm^2 ,至今最长已运行 7 年。该连的地下滴灌系统采用井水作为水源,管网由干、支、毛三级管道组成,其中田间供水管网采用标准化设计,即支管为 $\Phi 110$ PVC 管,排水管采用 $\Phi 75$ PVC 管,毛管内径均为 $\Phi 16$,铺设长度控制在 100m 左右,铺设间距 1.00m,埋深为 0.35m。滴灌带(毛管)包括 2 种类型、3 个规格,一种类型为内镶式滴灌带,壁厚分为厚、薄两种,其中厚壁毛管记作 A,薄壁毛管记作 B;另一种为内压条式滴灌带(记作 C)。通过室内实测,在 10m 水头下,3 种滴灌带的水力性能参数见表 1。

表 1 滴灌带灌水器水力性能室内测定结果

毛管类型	壁厚/mm	滴头间距/m	额定流量(L/h)	流量系数 k	流态指数 α	相关系数 R^2
A	0.30	0.40	1.09	0.383	0.445	0.984
B	0.15	0.40	1.71	0.612	0.441	0.987
C	0.13	0.30	1.35	0.437	0.471	0.957

根据当地农田土壤情况与天气特点,多年来,棉花生产多采用喷灌出苗、滴灌灌水的模式。从棉花播种到采摘,需要灌播前水、出苗水、苗期水、蕾期水、花铃期水、吐絮期水等,其中播前水、出苗水以喷灌为主,其余全部采用地下滴灌,全生育期共灌水 13~15 次,灌水定额为 225~450 m^3/hm^2 ,灌溉定额控制在 3 600~3 900 m^3/hm^2 。

2.2 定位点的布设与观测 从 2004 年起,分别选择不同使用年限的地下滴灌地块各 6.67 hm^2 ,定位观测滴灌带水力性能的变化。以供水支管为单元划定观测区域。为了尽可能减小对棉花生产的影响,定位观测点一般设在靠近田间道路的一侧,并与田间灌水控制设施相结合,即选择沿支管方向的首、中、尾

部的3条毛管作为研究对象,规定与支管相连处为毛管的首部,毛管尾端与排水管相连或直接封闭。在需要对毛管冲洗时才打开毛管尾部或排水阀。

观测区具体布置见图1,各地块的主要尺寸及地形高差见表2。

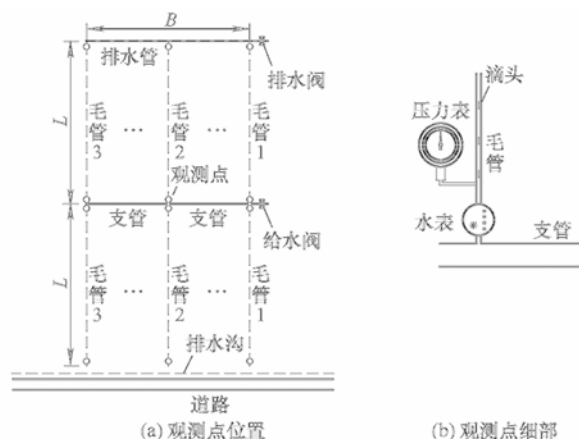


图1 地下滴灌田间定位观测点布置示意及细部

表2 试验地块主要参数

井号	毛管编号	毛管埋深 m	毛管长度 D m	地形高差 h m	毛管类型	系统建成年份
1	1	0.35	85.5	0.36	A	2002
	3	0.35	85.5	0.61	B	
2	1	0.35	95.9	-0.22	C	2003
	2	0.35	97.0	-0.16	C	
	3	0.35	96.0	-0.52	C	
18	1	0.35	101.7	0.15	C	2006
	2	0.35	101.6	0.22	C	
	3	0.35	110.4	0.31	C	

注:地形高差沿毛管方向顺坡为正,逆坡为负。

试验前,在图1的每个观测点安装好测压管和水表,与毛管串联并固定在相应位置处,为防止耕作时水表损坏或冬季冻坏,在灌溉季节结束后,取回保存;第2年开灌前,检修并埋设在原位。压力表采用0.4级精密压力表,最小刻度为0.1m,水表为16mm湿翼式水表,最小刻度为0.1L。每次观测时,均在开始灌溉0.5h左右,待系统压力稳定以后开始观测。用秒表计时,水表读取通过各毛管的水量。在同一工作压力下,取3次读数的平均值,用于毛管流量计算。

2.3 毛管流量观测与评价

2.3.1 观测方法 毛管流量的观测主要采用两种方法,即定量计时法和累计流量法。所谓定量计时法,就是以通过毛管的水量达到设定水量时所需要的时间,来推求毛管实际过流量的方法。累计流量法,则是根据灌水过程中不同时间对应的水表读数,通过累计时间和毛管累计过水量,来计算地下滴灌毛管的实际过水量。

采用定量计时法观测时,水量设定应结合考虑地下滴灌灌水器流量、毛管长度、灌水器间距、水表的测试精度和测试时间等因素来确定。在观测时,可采用不同的时间段进行量测。理论上,时间段越长,观测值越精确。实际上,一个大田地下滴灌系统同时滴灌面积 $6\sim 8\text{hm}^2$,在工作时,由于水源水位、电压、电流等的随时变化,系统的压力、流量等运行参数并不是一个定值,加上施肥、施农药等措施也会对系统的稳定性产生一定的影响,缩短量测时间段,可以减少系统波动对观测值的影响。在实际观测过程中,为避免由于系统故障、停电等不可控因素对观测结果的影响,在保证一定精度的前提下,量测时宜尽量缩短观测时间段。目前地下滴灌系统(SDI)中滴头流量多在 1L/h 左右,毛管铺设长度 $80\sim 100\text{m}$,因而,毛管流量约为 250L/h ,按每次观测30s计,毛管过水量应在 2L 左右。因此,应用定量计时法观测SDI毛管运行状态时,可设定毛管过水量为 2L ,对应的定量计时法简称为 2L 计时法。

2.3.2 毛管流量降低率计算 地下滴灌毛管的水力性能体现在其压力—流量关系上,毛管性能的变化主要反映在相同工作压力下毛管流量的变化情况。这里以毛管流量降低率来表示。

实际通过毛管的流量与毛管理论流量相比,其流量降低程度即为毛管流量降低率,计算公式为:

$$R_q = 100(Q_0 - Q_a) / Q_0 \quad (1)$$

式中: R_q 为毛管流量降低率,%; Q_0 为 SDI 毛管理论流量, L h^{-1} ; Q_a 为 SDI 毛管实际流量, L h^{-1} 。

已有研究表明^[10,15-16],灌水器埋入土壤后流量一般会有所下降,下降幅度与灌水器的额定流量、工作压力、土壤等有关。白丹等^[10]试验表明,地下滴灌灌水器流量减小 5%~20%;Shami 等^[15]提出以 SDI 灌水器进、出口压力差作为灌水器的工作压力,进行 SDI 灌水器流量计算;仵峰等^[16]则建议用流量折减系数对灌水器埋入土壤后的流量进行估算。鉴于影响 SDI 灌水器流量的因素众多,到目前为止尚无统一的计算方法,这里暂不考虑灌水器埋入地下后流量的降低。这时,SDI 毛管理论流量 Q_0 ,可近似用灌水器的流量乘以毛管上灌水器的个数,作为毛管的理论流量。即

$$Q_0 = nq_c = nkH_a^x \quad (2)$$

式中: n 为毛管上灌水器个数; q_c 为灌水器的理论流量, L h^{-1} ; k 、 x 分别为灌水器的流量系数和流态指数; H_a 为毛管上灌水器的平均工作压力, m 。

计算毛管自由出流条件下的理论流量时,采用对应毛管首、尾处实测压力的平均值作为灌水器的工作压力,计算式为:

$$H_a = (H_0 + H_n + \Delta Z) / 2 \quad (3)$$

式中: H_0 、 H_n 分别为毛管首、尾部的实测压力, m ; ΔZ 为毛管首、尾部的地形高差,约定毛管顺坡为正,逆坡为负, m 。

3 试验结果与分析

3.1 定位观测数据分析

3.1.1 不同毛管流量观测方法的比较 图 2 为 2008 年 7 月 22 日,对 18 号井的 1 号毛管,采用两种方法的测量结果与理论毛管流量的关系。

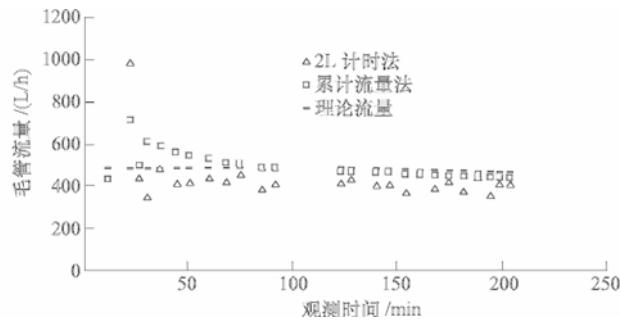


图 2 2L 计时法与累计流量法对比(18 号井 1 号毛管)

从图 2 可以看出,两种毛管流量测定方法,所测的流量值均与理论值接近。在不同程度上,两种方法都可以间接地反映毛管的工作状况。比较而言,累计流量法在测量精度上要高于 2L 计时法,可以更好地反映地下滴灌毛管的过流情况。但从图 2 中可以看出,累计流量法所需时间较长,观测时间一般要达到 2h 以上,才能保证所测的毛管流量与理论流量值相一致。地下滴灌运行时,受水源水位、电压等因素的影响,系统所谓的稳定状态并不是一个定值,而是在一定范围内围绕设计工作点波动,这也是累计流量法在短时间内难以稳定的主要原因之一。在所有的观测毛管中,本例的毛管流量最大(达 478 L h^{-1}),采用 2L 计时法平均观测时间仅为 15s 左右,由于所测时段内系统的工作状态稳定,测量时受系统正常波动影响较小,观测结果与累计流量法达到 200min 时基本相当。

从生产实际和应用两方面考虑,累计流量法观测耗时较长,受不可控因素的影响较大,可以在详细

测试系统性能时或在研究中应用;而 2L 计时法相对简单,耗时较少,可在农事之余进行监测,不需专人管理,更符合生产要求。为体现地下滴灌的生产实际,以下除特别声明外,毛管流量测定均采用 2L 计时法。

3.1.2 毛管流量降低率 观测资料共 4 年,2007 年因故没有试验资料。虽然影响观测的因素众多,但每次观测的结果存在一定的规律性。由于篇幅所限,以 2006 年 7 月 18—20 日的田间实测数据为例,计算毛管流量降低率,结果见表 3。从表 3 可以看出,通常情况下,毛管埋入地下后流量都有不同程度的降低。从大量的田间观测数据可知,采用 2L 计时法进行长期定位观测时,若毛管流量降低率在 10% 以内,系统工作状况和作物长势都不会受到明显影响。

表 3 地下滴灌毛管流量定点观测结果与理论值对比

井号	毛管编号	毛管压力 m		通过 2L 水 所需时间 s	毛管流量 (Eh)		流量降低率 $R_Q\%$	运行时间 ? 年
		首部 H_0	尾部 H_n		折算值 Q_n	理论值 Q_0		
1	1	11.78	11.66	28.20	255.32	243.88	-4.69	5
	3	12.19	11.91	20.60	349.51	390.63	10.53	
2	1	8.22	6.28	21.23	339.14	355.39	4.57	4
	2	7.97	6.35	24.48	294.12	353.31	16.75	
	3	7.25	5.59	24.16	298.01	335.60	11.20	
18	1	11.31	9.30	16.47	437.29	483.29	9.52	1
	2	10.37	7.90	17.49	411.78	456.62	9.82	
	3	10.08	8.10	17.50	411.43	455.56	9.69	

在此次观测中,1 号井中 1 号毛管的流量降低率为负值,即毛管实测流量高于理论计算流量,说明此条毛管可能存在漏水现象。这一实事在此后的多次量测中也得到了证实。因而,2L 流量也可以作为判断毛管工作状态的依据,当毛管的流量远大于(或小于)理论值时,则相应的毛管可能漏水(或堵塞),应及时进行检查和维护。

3.2 地下滴灌毛管流量变化规律

3.2.1 毛管流量的年内变化 以 2005 年度地下滴灌系统毛管流量监测结果为例,计算毛管流量降低率,结果见图 3。

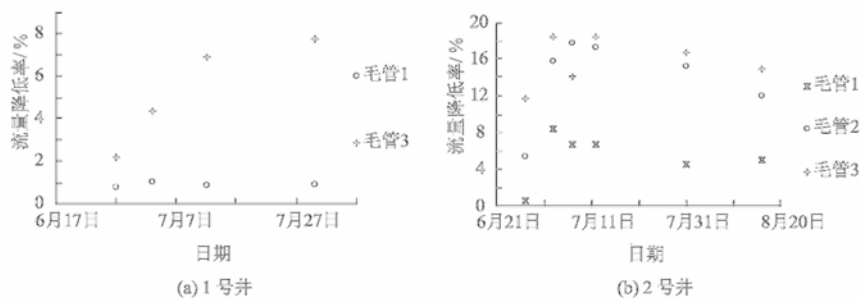


图 3 地下滴灌毛管流量年内变化状况(2005 年)

图 3 表明,同一条毛管的流量降低率在整个灌溉季节内并不是一成不变的。一般地,在灌水季节初期,毛管的流量降低率较小;随着灌水次数的增加和灌水时间的延长,毛管实际流量与理论流量的偏差变大,说明可能由于毛管的变形、灌水器的堵塞等,影响了毛管的水力性能。在同一灌溉季节内,不同毛管间的流量降低率差别也较大,最高可达 18.5%,最小仅为 0.55%;但同一条毛管的流量降低率相对保持稳定。2 号井所测的 3 条毛管比较,1 号毛管的流量降低率在 6 次测量中均最小,而 3 号毛管的流量降低率一直最大。说明毛管的性能变化与其所在的位置存在一定的相关关系,一般而言,靠近小区进口(支管首部)的毛管流量降低率较小,随着距小区进口距离的增加,毛管流量降低率呈增加趋势。这可能与小区内不同位置处毛管的工作压力有关,小区进口处毛管平均工作压力最高,毛管中水流速度最大,一方面微小颗粒不易沉积,另一方面即使有所堵塞,在冲洗时,也最易冲洗干净。

不同类型的滴灌带作为 SDI 毛管,其运行状态各不相同。1 号井毛管 1 为 A 型滴灌带,毛管 3 为 B

型滴灌带,2号井和18号井毛管全部为C型滴灌带。分析图3和图4,结合4年的观测数据,总体上,滴灌带A性能最好,毛管流量降低率最小、流量最稳定;滴灌带B次之,其流量降低率明显大于前者,原因可能是由于后者的额定流量大,作为地下滴灌毛管,当埋入土壤后,其流量的变化率也较大;三者当中,滴灌带C表现较差,其流量介于滴灌带A和滴灌带B之间。产生该偏差的主要原因,可能是由于该滴灌带与前一系列相比,毛管壁较薄,毛管的硬度低,抵抗变形能力差;试验地土壤为砂壤土,停灌后易于塌陷,将滴灌带压扁,局部塌陷压实后,阻断了毛管的连通性;再次灌水时,在正常工作压力下,水流不畅,甚至不能过水,从而影响了其后部毛管的过流能力和灌水器的出水状况。

此外,从毛管流量降低率的年内变化趋势看,1号井的毛管降低率稳定增加,2号井的毛管流量降低率出现了先升后降的现象,这与采取了一定的管理措施有关。2005年7月上旬,同一系统中,相邻地块的棉花长势良好,而试验区2号井的棉花明显呈带状生长,可以看到地下滴灌毛管上方的棉花行生长茂盛,而两条毛管间的棉花则生长矮小。因而,自7月11日以后,每次开灌前和停灌前,打开毛管尾部的堵头,并关闭一条支管,提高系统的工作压力,对毛管进行冲洗,直到毛管出水变清后,再持续2~3min。其后,棉花生长逐渐恢复,最终当年产量也达到了5 967.75kg hm²。其左右相邻的4块地下滴灌棉田产量分别为5 224.35、6 375.00、5 604.90、5 308.65kg hm²,测试地块的产量排第2,仍属当年的高产田。因而,地下滴灌毛管的实际流量一旦小于设计流量,系统就将远离设计工作状态,若不采用一定的措施,毛管乃至系统的性能就将越来越偏离设计工况,最终使系统报废。这时,必需采取正确的运行管理措施,使毛管恢复其性能,达到设计要求。地下滴灌系统毛管运行状态监测结果表明,正确的运行管理,不仅能够改善地下滴灌毛管的运行状况,而且关系到系统的成败;同时也显示,对于易堵塞的毛管,更应加强运行管理,如增加冲洗次数、加大冲洗压力等,保证系统运行在设计工况。

3.2.2 毛管流量的年际变化 受试验周期的限制,缺乏地下滴灌毛管流量多年变化的资料。鉴于2号井与18号井所用的毛管规格型号完全相同,且自然、地理和农作物等方面基本一致,只是建设年份不同,两系统分别于2003年、2006年铺设,设计使用年限均为3年,因而可以作为一个系列,进行比较,探索地下滴灌毛管流量随运行时间的变化规律。

图4为2号井和18号井地下滴灌系统毛管的流量变化情况。第1、2年为在18号井控制地块内所实测的资料,第3、4、6年为在2号井控制地块内所测的资料。从图4中可以发现,地下滴灌毛管的流量偏差随运行时间的增加而增大。在第1年内,毛管的流量偏差均在10%以内,由前分析知,这可能是由于2L计时法所引起的测量误差。在运行时间不超过4年时,毛管的流量降低率一般在20%以内,其中,在6次测量中,第2年,流量降低率超过10%的毛管出现了2条次,占量测毛管总次数的33.3%;第3年,出现了4条次,占66.7%;第4年为4条次,占66.7%。第6年,流量降低率超过20%的毛管出现5条次,占量测毛管总次数的83.3%,其中有2条次的毛管流量降低率为23%,2条次超过25%,最高值为29.13%,说明地下滴灌毛管的工作状态已严重偏离设计值。

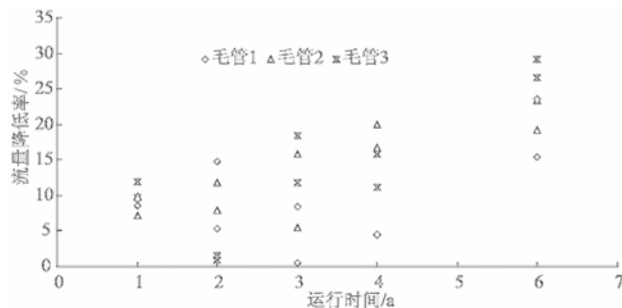


图4 地下滴灌毛管流量降低率随运行时间的变化

4 结论

从新疆棉花地下滴灌的生产实践出发,采用定位观测法对地下滴灌系统的运行状况进行了5年的

观测,对比了不同观测方法与地下滴灌毛管流量变化率之间的关系,分析了滴灌带类型和运行时间对地下滴灌毛管流量变化率的影响,得到如下结论:(1)采用定位观测法是监测地下滴灌系统运行状况的一种行之有效的办法。生产中,可采用操作相对简单、省时省工的2L计时法;在测试或评估系统运行状况时,可采用精度较高的累计流量法进行定点观测;(2)同一使用年限内,毛管的性能变化与其所在的位置存在一定的关系。一般而言,靠近小区进口(支管首部)处,毛管的流量降低率较小;随着距小区进口距离的增加,毛管流量降低率增加;(3)地下滴灌系统毛管的流量降低率随使用年限的增加而增大。设计使用年限为3年时,第1年毛管的流量降低率均在10%以内;第2年,有30%以上的毛管流量降低率超过10%;第3~4年,60%以上的毛管流量降低率超过10%;在使用4年内,毛管流量降低率均不超过20%。使用第6年时,有83.3%的毛管流量降低率超过20%,最高降低率为29.13%;(4)不同类型的滴灌带用于地下滴灌时,表现不一。从试验的3个规格的滴灌带来看,滴头流量1.09L/h、壁厚0.30mm的滴灌带流量最稳定,毛管流量降低率最小,适宜用做地下滴灌毛管。而流量过大、壁薄、抗变形能力较弱的滴灌带,在用于地下滴灌时表现次之。

影响地下滴灌毛管水力性能的因素众多,关系复杂。这里仅就运行了1~7年的地下滴灌系统的毛管流量变化情况进行了分析和评价,如何进一步研究影响地下滴灌毛管流量变化的因素及其对系统的影响,提出相应毛管运行状况判别标准,完善地下滴灌的运行管理技术等,需要进一步研究。

致谢:参加该项研究工作的还有彭贵芳研究员、刘杨、范永申、张天举、颜廷熠、许海涛、韩启彪、贾艳辉等。在试验测试期间,新疆生产建设兵团农五师九十团团部及该团九连的干部和职工也给予了大力支持,在此表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] 黄兴达,李光永. 地下滴灌技术的研究现状与发展[J]. 农业工程学报,2002,18(2):176—181.
- [2] Camp C R. Subsurface drip irrigation: a review[J]. Transactions of the ASAE,1998,41(5):1353—1367.
- [3] Ayars J E, Phene C J, Hutmacher R B, et al. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory[J]. Agricultural Water Management,1999,42:1—27.
- [4] Khumoetsile Mmolawa, Dani Or. Experimental and numerical evaluation of analytical volume balance model for soil water dynamics under drip irrigation[J]. Soil Sci Soc Am J,2003,67(11—12):1657—1671.
- [5] Warrick A W, Shani U. Soil-limiting flow from subsurface emitters. II. Effects on uniformity[J]. J Irrigation Drainage Engineering,1996,122(5):296—300.
- [6] 仵峰,范永申,李辉,等. 地下滴灌灌水器堵塞研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):80—83.
- [7] 李久生,陈磊,栗岩峰. 地下滴灌灌水器堵塞特性田间评估[J]. 水利学报,2008,39(10):1272—1278.
- [8] Sadler E John, Carl R Camp, Warren J Busscher. Emitter flow rate changes caused by excavating subsurface microirrigation tubing[C]. Proc. 5th Int. Micro irrigation Congress,1995:763—768.
- [9] Gil M, Rodriguez-Sinobas L, Juana L, et al. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity[J]. Irrig Sci,2008,26:451—458.
- [10] 白丹,宋立勋,王晓愚. 地下滴灌灌水器流量和压力关系的试验[J]. 农业机械学报,2008,39(8):189—191.
- [11] 王晓愚,白丹,李占斌,等. 地下滴灌田间管网室内试验测试系统[J]. 农业工程学报,2008,24(4):88—90.
- [12] Mitchell A Battam, Bruce G Sutton, David G Boughton. Soil pits as a simple design aid for subsurface drip irrigation systems[J]. Irrig Sci,2003,22:135—141.
- [13] Freddie R Lamm, Todd P Troien. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas[J]. Irrig Sci,2003,22:195—200.
- [14] Berkowitz S J. Hydraulic Performance of Subsurface Wastewater Drip Systems[C]? K Mancl, St Joseph, Mich. On-Site Wastewater Treatment, Proc. Ninth Natl. Symp. On Individual and Small Community Sewage Systems,2001, Fort Worth, Texas, USA:583—592.
- [15] 仵峰,李王成,李金山,等. 地下滴灌灌水器水力性能试验研究[J]. 农业工程学报,2003,19(2):85—88.
- [16] Shani U, Xue S, Gordin-Katz R, et al. Soil-limiting flow from subsurface emitters. I: pressure measurements[J]. Irrig Drain Eng ASCE,1996,122(5):291—295.

Field investigation and evaluation of drip line performance in subsurface drip irrigation system

WU Feng^{1,2}, WU Pu-te¹, ZAI Song-mei², DUAN Shou-ming³

(1. Northwest Agricultural and Forestry university, Yangling 712100, China; 2. Farmland Irrigation Research institute, CAAS, Xinxiang 453003, China; 3. Xinjiang Production and Construction Corps, Bole 833400, China)

Abstract: The observation of drip line performance in subsurface drip irrigation system (SDI), serviced for 1 to 7 years, was carried out at fixed positions in cotton field of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. The duration of given water volume were used to calculate the flux of drip line. The discharge of drip lines was surveyed under different pressure to evaluate the annual and inter-annual variation of performance. The results show that the drip line flux reduction rate increases with irrigation times and service hours of the SDI system in the same irrigation season or the same service year. The reduction rate varies with locations of line, it is smaller when the drip line is located closer to the inlet of sub-main and increases with service years. For the design life of a 3-year SDI system lateral, the reduction rate is within 10% and 20% from 1 to 4 years of service duration. After 6 years reduction rate of about 1/3 of total lines will be higher than 25%. Management should be enhanced to recover the hydraulic performance of the drip lines on time for improving the efficiency of the irrigation system.

Key words: subsurface drip irrigation (SDI) system; performance of drip line; variation of flux reduction rate; service duration; evaluation

(责任编辑:吕斌秀)

(上接第 555 页)

Modification of wetted perimeter method for determining the ecological flow requirement

WANG Qing-guo, LI Jia, LI Ke-feng, LI Ran

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The ecological flow requirement obtained from the current method is determined by the inflection point on relationship between relative flow and relative perimeter with slope equal to 1. But this method is not suitable to rivers with standard parabolic cross section, since the ratios of flow requirement for cross sections with different curvature are approximately the same. The characteristics of river section can not be reflected. Based on the analysis on the causes inducing this problem, a new method adopting the square root of the ratio of mean annual flow discharge to corresponding wet perimeter as the slope of curve deflection point is suggested. The application example shows that the proportions of ecological flow requirement to mean annual flow increase with the increase of river section's width-to-depth ratios, whereas the proportion decreases with the increase of mean annual flow. The hydraulic parameters obtained by the proposed method approximately agree with that obtained from R2CROSS method.

Key words: wetted perimeter method; ecological flow requirement; inflection point; slope; discharge-wet perimeter relationship curve

(责任编辑:韩 昆)