

# 考虑三偏差因素的滴灌系统流量总偏差率

张国祥

(北京中水新华灌排技术有限公司, 北京 100053)

**摘要:** 中国微灌行业规范规定滴灌系统设计中的流量偏差率, 只考虑水力偏差一个因素, 导致设计偏离实际。随着生产发展与技术进步, 为提高设计精度, 有必要研究考虑再计入滴头制造偏差及滴头高程偏差的影响。鉴于已有文献[4]在推导过程中有诸多问题, 结论不可信, 再次研究了考虑三偏差因素的流量总偏差率。该文在已有高差流量偏差率的基础上, 定义了滴头的制造流量偏差率、导出了 3 个流量偏差率最不利组合——流量总偏差率计算式, 并提出了流量总偏差率允许值的建议。

**关键词:** 滴灌系统; 流量总偏差率; 水力流量偏差率; 制造流量偏差率; 高差流量偏差率

**中图分类号:** S274.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006)11-0027-03

张国祥. 考虑三偏差因素的滴灌系统流量总偏差率[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 27-29.

Zhang Guoxiang. Calculating the total flow deviation rate of drip-irrigation system based on three deviation rates[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 27-29. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

众所周知, 滴灌系统的灌水均匀度是在设计中通过限定滴头流量偏差率来保证的。影响系统流量偏差率的因素比较多, 如水力偏差、灌水器制造偏差、实际高程与设计高程的偏差(即田面高差<sup>[1]</sup>)、滴头堵塞状况、计算公式的精度等等。其中滴头堵塞状况, 目前还没有成熟的计算方法, 因此还难于考虑; 而公式精度的影响相对较小。现行滴灌系统因滴头设计水头取高值, 田面高差的影响常可忽略<sup>[1]</sup>。因此, 国外在设计中有考虑水力与制造两个偏差因素的均匀度公式<sup>[2]</sup>; 国内于 1995 年首次颁布微灌的行业标准:《微灌工程技术规范》<sup>[3]</sup>, 由于当时中国灌水器产品种类少、厂家还提不出灌水器制造偏差等原因, 所以该规范规定: 微灌系统设计中只考虑水力偏差一项。

经过近十年的快速发展, 中国微灌灌水器产品种类大为增加, 国外厂商也在中国建厂, 使市场上微灌设备更加多样; 水利部设立了两家灌排设备检测中心, 可以满足所需要的检测任务。因此, 有必要和可能在设计中把灌水器制造偏差也考虑进去, 以便使设计更加接近实际, 并有利于激励厂家制造高质量的灌水器。鉴于文献[4]在推导过程中存在诸多问题, 结论不可信, 本文将对相关问题的研究。

与此同时, 根据文献[1]建立的滴头设计水头取值依据, 在灌区田面比较平整的场合, 滴头设计水头可以大为降低, 从而有可能实现滴灌系统的廉价与节能; 而且由田面高差形成的流量偏差率(高差流量偏差率)已可计算。

上述进步给微灌发展提出了一个问题: 即在系统设计

中, 如何计入上述 3 项偏差的影响? 本文的任务, 就是要提出考虑 3 个偏差因素的流量总偏差率计算式、提出流量总偏差率允许值的建议, 以便试用于滴灌系统设计。

## 1 三因素流量偏差率表达式

### 1.1 水力流量偏差率

因管道水流水力比降和设计地形而形成的小区灌水器工作水头最大偏差称为水头偏差, 记作  $\Delta h$

$$\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$$

式中  $h_{\max}$ 、 $h_{\min}$ ——分别为小区内灌水器最大、最小工作水头, m。

水头偏差除以滴头设计水头( $h_d$ )称为水头偏差率  $h_{hr}$ ,  $h_{hr} = \Delta h/h_d$ ; 因水头偏差而形成的流量偏差率称水力流量偏差率, 以  $q_{hr}$  表示。按行业规范<sup>[3]</sup>对流量、水头偏差率的定义, 二者的关系<sup>[5]</sup>为

$$h_{hr} = \frac{q_{hr}}{x} \left[ 1 + 0.15q_{hr} \left( \frac{1-x}{x} \right) \right] \quad (1)$$

式中  $x$ ——滴头流态指数。

### 1.2 制造流量偏差率

众所周知, 滴头的水力关系为

$$q = k_p h^x \quad (2)$$

式中  $h$ ——滴头工作水头, m;  $q$ ——滴头流量, L/h;  $k_p$ ——系数; 其余同前。

因滴头制造偏差而形成的流量偏差率, 称为制造流量偏差率, 记作  $q_{mr}$ ; 是指由于制造原因造成在同一水头下各滴头出流量不同。本文定义: 制造流量偏差率为滴头样本(规定为 25 个)水力试验中的最大、最小流量之差, 除以平均流量, 即

$$q_{mr} = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_p} = \frac{(k_{\max} - k_{\min}) h_d^x}{k_p h_d^x} = \frac{k_{\max} - k_{\min}}{k_p} \quad (3)$$

式中  $k_{\max}$ 、 $k_{\min}$ 、 $k_p$ ——按滴头水力关系( $k = q/h^x$ )推算得与滴头样本水力试验资料中最大、最小、平均流量

收稿日期: 2005-05-23 修订日期: 2006-10-20

作者简介: 张国祥(1941-), 男, 浙江衢州人, 教授级高级工程师, 主要从事节水灌溉及管材技术研究与产品开发。北京崇文区天坛路金鱼缸西区 7 号楼 4 门 102, 100050

相对应的系数值。需要指出,这里的制造流量偏差率与以往所提制造偏差(25个滴头流量的标准差除以平均流量<sup>[6]</sup>)定义是不同的,不能混淆。企业提供这个指标并不需要增加试验工作量,由产品标准<sup>[7]</sup>规定的水力试验资料便可算得。

### 1.3 高差流量偏差率

滴头高程偏离引起的流量偏差率——高差流量偏差率( $q_{zv}$ ),已由文献[1]导出,即

$$q_{zv} = x \Delta Z / h_d \quad (4)$$

式中  $\Delta Z$ ——田面高差<sup>[1]</sup>, m。

## 2 流量总偏差率上限计算式

流量总偏差率是上述3项流量偏差率的组合结果。不难理解,一个滴灌系统在设计完成后,上述3项流量偏差率均是确定的;但是,由于安装中具有不同制造偏差的各滴头分布于哪个位置是随机的、田面高差的分布是既不可能完全了解且每年耕地后还会有所变化;因此,3项流量偏差率在灌区的组合结果是随机的。因此,不可能在设计时对每个滴灌系统的实际流量总偏差率加以确定。但实际系统可通过田间运行的实测资料,用克里斯琴森公式<sup>[3,6,8]</sup>算出均匀系数来评价。然而,3项流量偏差率的最不利组合结果——即流量总偏差率上限却是确定的、可算的。

流量总偏差率上限只能在这样的情况下出现:当水头最大的滴头位置,恰在田面高程比设计高程偏低最大处(偏低为正偏差,反之为负偏差),且安装的是同一水头下流量最大的滴头;水头最小的滴头位置,恰在田面高程比设计高程偏高最大处(若无偏高处,则为偏低最小处),且安装的是同一水头下流量最小的滴头。流量总偏差率上限应由下式表达

$$q_v = \frac{k_{\max}(h_{\max} + \Delta Z_1)^x - k_{\min}(h_{\min} + \Delta Z_2)^x}{k_p h_d^x} \quad (5)$$

式中  $\Delta Z_1$ ——灌水小区内滴头高程的最大偏差,  $\Delta Z_1 = \alpha_1 \Delta Z$ , m;  $\Delta Z_2$ ——灌水小区内滴头高程的最小偏差,  $\Delta Z_2 = \alpha_2 \Delta Z$ , m;  $\alpha_1, \alpha_2$ ——偏差系数。

引用文献[4]提出的经验公式

$$h_{\max} = (1 + 0.65q_{hv})^{1/x} h_d \quad (6)$$

$$h_{\min} = (1 - 0.35q_{hv})^{1/x} h_d \quad (7)$$

将二式代入流量总偏差率上限表达式,可得

$$q_v = \frac{k_{\max}}{k_p} \left[ (1 + 0.65q_{hv})^{1/x} + \frac{\alpha_1 \Delta Z}{h_d} \right]^x - \frac{k_{\min}}{k_p} \left[ (1 - 0.35q_{hv})^{1/x} + \frac{\alpha_2 \Delta Z}{h_d} \right]^x \quad (8)$$

式中 符号意义同前。几种情况下按式(8)计算结果列于表1。

表1 流量总偏差率上限计算参数与结果

Table 1 Calculated parameters of the upper limit of the total flow deviation and their results

| 基本数据     |                |          |                |                |            |            | $x$ | $q_v$ 按式(8) | $q_v$ 按式(9) |
|----------|----------------|----------|----------------|----------------|------------|------------|-----|-------------|-------------|
| $q_{hv}$ | $\Delta Z/h_d$ | $q_{mv}$ | $k_{\max}/k_p$ | $k_{\min}/k_p$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ |     |             |             |
| 0.20     | 0.10           | 0.10     | 1.050          | 0.950          | 0.60       | -0.40      | 1.0 | 0.404       | 0.400       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.7 | 0.372       | 0.370       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.5 | 0.351       | 0.350       |
| 0.15     | 0.07           | 0.05     | 1.025          | 0.975          | 0.60       | -0.40      | 1.0 | 0.271       | 0.270       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.7 | 0.250       | 0.249       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.5 | 0.235       | 0.235       |
| 0.25     | 0.10           | 0.15     | 1.075          | 0.925          | 0.60       | -0.40      | 1.0 | 0.507       | 0.500       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.7 | 0.475       | 0.470       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.5 | 0.454       | 0.450       |
| 0.15     | 0.05           | 0.07     | 1.035          | 0.965          | 0.50       | -0.50      | 1.0 | 0.272       | 0.270       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.7 | 0.256       | 0.255       |
|          |                |          |                |                |            |            | 0.5 | 0.246       | 0.245       |

另外,按本文给出的三项流量偏差率表达式,其分母相同,可直接相加,得

$$q_v = q_{hv} + q_{mv} + q_{zv} = q_{hv} + q_{mv} + x \frac{\Delta Z}{h_d} \quad (9)$$

式中符号意义同前。按式(9)计算结果也列于表1。从表中可见:二式计算结果差别很小,故以后可用式(9)来计算流量总偏差率上限值 $q_v$ 。需要指出:流量总偏差率上限(或称流量总偏差率最大值)是三项流量偏差率所有组合中的最大值,是最为不利的组合,是个极端的小概率事件;实际出现的流量总偏差率绝大多数要比上限小得多。为简化,后文所称流量总偏差率即指流量总偏差率上限。

如规定了流量总偏差率允许值 $[q_v]$ ,则可由式(10)算得允许的水力流量偏差率 $[q_{hv}]$

$$[q_{hv}] = [q_v] - q_{mv} - x \frac{\Delta Z}{h_d} \quad (10)$$

算得 $[q_{hv}]$ 后,按 $q_{hv} \leq [q_{hv}]$ 进行系统水力设计,便与中国现行规范规定的做法没有区别。

当田面高差与 $h_d$ 的比值很小,以至可以忽略时,式(9)与式(10)分别简化为式(11)与(12),这就是考虑水力偏差与制造偏差时的流量总偏差率上限计算式。

$$q_v = \frac{k_{\max}}{k_p} (1 + 0.65q_{hv}) - \frac{k_{\min}}{k_p} (1 - 0.35q_{hv}) \quad (11)$$

$$q_v = q_{hv} + q_{mv} \quad (12)$$

### 3 流量总偏差率允许值建议

按式(10)来设计滴灌系统,与现行规范<sup>[3]</sup>相比,滴头制造偏差和田面状况得到体现,考虑因素更为全面。但是,需要规定流量总偏差率允许值 $[q_r]$ ;而允许的水力流量偏差率 $[q_{hr}]$ ,可由式(10)计算而不再需要规定。为此,初步提出流量总偏差率允许值 $[q_r]$ 的建议,供新滴灌系统田间考核中试用,并不断修改完善。

考虑到现行滴灌系统设计中忽略了滴头制造偏差的影响,也没有考虑经济效益不同的作物应有不同要求;建议的流量总偏差率允许值 $[q_r]$ 分为3档:0.25、0.28、0.32;其中0.25与现行规范(仅考虑水力偏差)规定的0.2相当。设计者根据业主对灌水质量的要求及作物种类、种植水平,选择 $[q_r]$ ;经济效益高、种植精细、对灌水质量要求高的选小值,反之选大值。

### 4 结 语

中国现行微灌工程技术规范,限于制订时微灌设备生产与测试条件,设计中只考虑水力流量偏差率一项因素。近年来,微灌设备产品发展很快,测试条件也大为改善,有必要和可能把滴头制造偏差也考虑进去;以便使设计更接近实际,也有利于滴头产品的优质优价,激励厂家生产质量更好的微灌设备。另外,按文献[1]:按滴灌系统适应地形的能力与灌区田面状况相匹配,来确定

滴头设计水头,需要估计田面高差对流量偏差率的影响。因此本文在文献[1]的基础上,定义了滴头的制造流量偏差率,研究提出了水力偏差、滴头制造偏差及高程偏离三因素最不利组合的结果——流量总偏差率的计算式,并提出允许流量总偏差率的建议值,供试用;以便在实践考核中不断改进与完善;为滴灌系统的大幅降价和更为节能提供技术准备。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张国祥,吴普特.滴灌系统滴头设计水头的取值依据[J].农业工程学报,2005,21(9):20-22.
- [2] I 维尔米林,G A 侨伯林.局部灌溉——设计、安装、操作、评价[M].联合国粮食及农业组织,罗马.中译本,1980:43(47).
- [3] SL103—95.水利行业规范:微灌工程技术规范[S].
- [4] 牛文全,吴普特,范兴科.微灌综合流量偏差率的计算方法[J].农业工程学报,2004,20(6):85-88.
- [5] 张国祥.微灌毛管水力设计的经验系数法 微灌水力设计计算方法探讨之三[J].节水灌溉,1991,(1):6-10,66.
- [6] 傅琳,董文楚,郑耀泉,等.微灌工程技术指南[M].北京:水利电力出版社,1988,P24.
- [7] GB/T17187—1997.国家标准:农业灌溉设备 滴头技术规范 and 试验方法[S].
- [8] 张志新.滴灌[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992:47.

## Calculating the total flow deviation rate of drip-irrigation system based on three deviation rates

Zhang Guoxiang

(Beijing Zhongshui Xinhua Company Ltd for Irrigation and Drainage, Beijing 100053, China)

**Abstract:** According to China Irrigation Industry Technological Specifications, in the design of drip-irrigation system the total flow deviation rate was calculated considering only one factor of hydraulic deviation rate, resulting in failing to meet the actual conditions. With the production development and technology progress, in order to improve the design accuracy, it is necessary to take into consideration the effects of manufacture flow deviation rate and elevation flow deviation rate on the total flow deviation rate. Since there existed some questions and incredible results in the previous literature, the total flow deviation rate of drip-irrigation system was studied considering the three deviation rate factors. On the basis of the elevation flow deviation rate, the manufacture flow deviation rate of dripper was defined, the formula for calculating total flow deviation rate was derived under the condition of the most unfavorable combination of the three factors, i. e. hydraulic flow deviation rate, manufacture flow deviation rate and elevation flow deviation rate. Finally, the permitted values of the total flow deviation rate were recommended.

**Key words:** drip-irrigation system; total flow deviation rate; hydraulic flow deviation rate; manufacture flow deviation rate; elevation flow deviation rate