

T/SDMT

# 团 体 标 准

T/SDMT XXXX-2024

压力补偿式纽扣滴头设计方法

Pressure-compensated button drip tip  
design method

(征求意见稿)

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

山东省机械工业科学技术协会 发布

1

# 目 次

前 言 .....	3
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 标记 .....	4
5 技术要求 .....	4
6 压力补偿式纽扣滴头结构设计 .....	5
7 评价指标 .....	7

## 前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省机械工业科学技术协会提出并归口。

本文件起草单位：西北农林科技大学、山东农业工程学院、山东春雨节水灌溉设备有限公司。

本文件主要起草人：杜娅丹、牛文全、董爱红、李震、张亮。



# 压力补偿式纽扣滴头设计方法

## 1 范围

本文件规定了压力补偿式纽扣滴头的术语和定义、标记、材料、要求、试样和设计方法等方面内容。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 15819-2006 灌溉用聚乙烯(PE)管材

GB/T 15820-1995 聚乙烯压力管材与管件连接的耐拉拔试验

GB/T 17187-1997 农业灌溉设备 滴头技术规范和试验方法

GB/T 17187-2009 农业灌溉设备 滴头和滴灌管 技术规范和试验方法

GB/T 17188-1997 农业灌溉设备 滴灌管 技术规范和试验方法

GB/T 19812.2-2017 塑料节水灌溉器材 第2部分:压力补偿式滴头及滴灌管

GB/T 2828.1-2012 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划

GB/T 2918-2018 塑料 试样状态调节和试验的标准环境

ISO 9261-2010 农业灌溉设备 滴头和滴灌管 技术规范和试验方法

SL 571-2017 节水灌溉设备水力基本参数测试方法

SL/T 67.2-1994 微灌灌水器-微灌管、微灌带

SL/T 67.3-1994 微灌灌水器-滴头

## 3 术语和定义

### 3.1 压力补偿式纽扣滴头

用于直接嵌装在灌溉毛管管壁上且具有压力补偿特征的一种滴头形式。该压力补偿滴头由迷宫流道主体、弹性片、塑胶外壳三部分组成,其中滴头主体上有压力补偿腔、出水环形槽、副流道、迷宫流道、出水口等。

### 3.2 压力补偿特征

进水口压力在制造厂规定的范围内变化时,滴头流量随压力变化波动较小且趋于平稳的特点,滴头流量偏差  $Q_f$  最大不应大于 7%。

$$Q_f = \left| \frac{Q - Q_0}{Q_0} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$Q$ ——补偿区间内的最大或者最小流量: L/h;

$Q_0$ ——额定流量：L/h。

### 3.3 流态指数

反映滴头流量随压力变化的敏感性，体现滴灌产品的流态特征及流量与压力的关系，流态指数为0-1（绝对值），流态指数越大，滴头流量对压力的变化越敏感。

当流态指数为0时，为完全补偿滴头，当流态指数小于0.5时，为强制紊流滴头。

### 3.4 起调压力

将流量明显出现拐点时的压力作为压力补偿式纽扣滴头的起调压力，一般不应大于100kPa。

### 3.5 补偿区间

当压力超过某一压力后，按照式（1）计算该压力下压力补偿式扁平滴头的流量偏差超过20%时，起调压力与该压力之间的范围定义为滴头的补偿区间。

## 4 标记

每个压力补偿式纽扣滴头应有清晰耐久的标记，并包括下列内容：

——额定流量：L/h；

——压力补偿范围，工作压力除以100 kPa得到的倍数。

## 5 技术要求

### 5.1 材料

制造滴头（含弹性膜片）所用的材料应能耐受农业灌溉用肥料和农药的腐蚀，并能在水温不超过45℃的条件下使用。应耐紫外线辐射，并尽可能不利于藻类和细菌的生长。不应使用医用废弃物和有毒有害的化学品包装物所产生的回收料。按本部分生产滴头所产生的洁净回用料，可掺入新料中回用，性能应符合本部分的要求。

### 5.2 外观

滴头色泽应均匀一致，表面光滑无毛刺，不应有气泡、裂口、溢边、缺损、变形。滴头应安装准确、镶嵌牢固、平整，不应有滴头漏嵌、翘曲及镶嵌不到位的缺陷。

### 5.3 耐拉拔性能

滴头应能承载规定的荷载，在试验中不应从管道中脱出。

### 5.4 耐水压性能

滴头与管道连接的组合体应能承受1.8倍的额定工作压力，保持该压力1h，试样不应出现损坏现象。试验前后每个滴头的流量偏差率应在±7%的范围内。

### 5.5 流量均匀性

额定工作压力下，滴头的平均流量相对于额定流量的偏差和流量偏差系数应不大于 7%。

## 5.6 滴头流量与进水口压力关系

### 5.7.1 压力与流量关系曲线

压力补偿范围内，流量与进水口压力关系曲线应与设计值一致，二者流量的最大偏差应不大于 7%。

### 5.7.2 流态指数

滴头流态指数应在  $\pm 0.20$  范围内。流态指数实测值与设计值的偏差应不大于 15%。

### 5.7.3 压力补偿区间

压力补偿范围内最大与最小工作压力值得差值应不小于 150kPa。

## 6 压力补偿式纽扣滴头结构设计

### 6.1 滴头结构

滴头由外壳、弹性片和滴头主体三部分构成（图1），其中弹性片与凸台、副流道等结构共同组成补偿腔。图中1为副流道，2为凸台，3为水流出口，4为补偿腔，5为迷宫流道，6为滴头基座，7为上外壳，8为滴头进水口，9为弹性片，10为滴头长度，11为滴头外壳高度。压力补偿滴头补偿腔的结构示意图如图2所示，图2中d1表示凸台直径，d2表示副流道宽度，d3表示出口直径，d4表示补偿腔直径，h1表示凸台高度，h2表示副流道的深度，h3表示弹性片到凸台表面的高度，t表示弹性片的厚度，弹性片材料为硅橡胶。

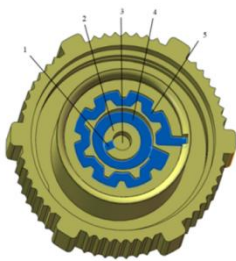


图1 压力补偿式纽扣滴头三维结构示意图

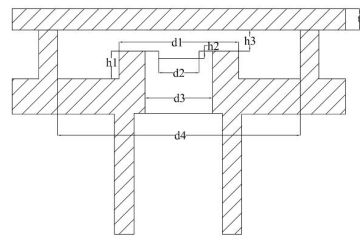
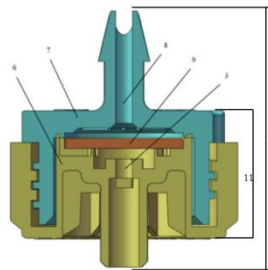


图2 补偿腔结构

### 6.2 外形尺寸的确定

外形尺寸根据用户要求确定，主要考虑结构紧凑，需要的材料用量较少的原则确定。外径一般为 19-21mm、内径（补偿腔直径）为 17-19mm，外壳高度为 10-15mm，滴头长度为 23-30mm。

### 6.3 设计流量、起调压力和补偿区间

由用户给定所需的滴头流量（设计流量）、起调压力及补偿区间。

一般滴头设计流量取值为 2-8.0L/h，起调压力范围在 70-100kPa 之间，补偿区间应为 200-250kPa。

### 6.4 迷宫流道结构和出水孔孔径的确定

#### 6.4.1 迷宫流道结构的确定

将弹性体预设为刚体，确定迷宫流道深度、宽度和齿个数和出水孔孔径。建议初始取值范围分别为 0.9-1.4mm、0.9-1.5mm、10-13 个和 1.0mm。

在初步确定迷宫流道结构参数后，采用 CFD 模拟计算确定该结构迷宫流道的在起调压力下的流量是否为设计流量的 105%-110%。

模拟计算的流量与设计流量偏差不大于 3%时，即为合格，固定迷宫流道结构。如果模拟计算的流量小于设计流量，则优先单纯增加流道深度，如果模拟计算的流量大于设计流量，则优先单纯减小流道深度，然后再模拟计算，通过多次调整—模拟计算，直到流道达标为止。

#### 6.4.2 出水孔孔径的确定

在确定迷宫流道后，以 0.05mm 的步长逐渐缩小出水孔直径，并采用 CFD 模拟计算出水孔直径调整后在起调压力下的流量，当流量发生变化，但模拟计算的流量与设计流量偏差不大于 3%时，即为合格，固定出水孔孔径。

#### 6.4.3 凸台高度的确定

凸台高度的确定应保证进口压力达到起调压力时，弹性片的变形已经接触凸台并开始变形进入副流道，即压力补偿滴头的流量曲线出现拐点并开始趋于稳定。压力补偿滴头凸台高度取值范围为 0.3-0.5mm，凸台直径取值范围为 3.0-4.5mm。

采用 Fluent 软件模拟不同凸台高度下压力补偿滴头的流量（考虑弹性片的作用），通过压力流量曲线确定凸台高度，凸台高度与流量呈负相关关系。

### 6.5 弹性材料厚度和硬度的确定

将弹性体从刚体结构修改为弹性体，弹性材料厚度一般在 0.8-1.1mm 之间选择确定。弹性材料硬度一般在 30-60 邵氏硬度之间选择确定。

弹性材料的初始值可以采用下列公式，初步试算确定。

$$q = -0.441 + 0.046A + 1.340T \quad (2)$$

$$x = 0.217 - 0.001A - 0.040T \quad (3)$$

$$H_0 = -41.588 + 1.218A + 34.375T \quad (4)$$

$$Pr = 11.775 + 1.520A + 56.250T \quad (5)$$

$q$ ——滴头流量；

$x$ ——流态指数；

$H_0$ ——起调压力；

$Pr$ ——补偿区间；

$A$ ——弹性片硬度和  $T$  为厚度。

初步给出弹性材料硬度和厚度后，与确定的迷宫流道进行 CFD 流固耦合计算，分别计算从起调压力开始，每隔 10kPa 的压力间隔，整个设定的补偿区间内的滴头流量。

如果实际计算确定的起调压力太大或者补偿区间太小，优先调整弹性材料的硬度，建议每次调整幅度为 5 邵氏硬度，并进行 CFD 流固耦合计算，通过反复调整—模拟计算，实际起调压力不高于给定值的 105%，且实际补偿区间与给定值的偏差不大于 5%时，即认为合格。

### 6.6 出口副流道的确定

出口副流道由深度和宽度两个参数确定，通过调整这两个参数，使补偿区间内的流态指数不大于 0.20，推荐设计要求达到 0.03 以下。副流道深度和宽度在 0.1-0.7mm 之间调整，每次调整幅度为 0.05mm。反复调整，并进行 CFD 流固耦合计算，求解流态指数，直到达标为止。

### 6.7 CFD 数值模拟

#### 6.7.1 滴头内部流体与结构模型



构建压力补偿式纽扣滴头流体-结构模型，运用 Solidworks 软件建立滴头流体几何模型和弹性体几何模型；将模型导入 CAE 软件 ANSYS 中。

#### 6.7.2 模型、边界条件和基本参数的确定

将流体视为不可压缩粘性流体，密度为  $1000\text{kg/m}^3$ 。弹性体选用 Neo-Hookean M-R 橡胶材料模型，材料的密度为  $1078.5/\text{m}^3$ ，材料系数 C1 等于剪切模量的一半，C2 等于零。

选用 SST  $k-\omega$  湍流模型，采用非定常的压力速度耦合 SIMPLEC 算法。

应用 Transient structure 软件模拟弹性体的变形；采用 System coupling 软件创建流体区域和结构区域的数据传输，位移和力的双收敛精度为 0.01。

#### 6.7.3 网格划分

采用 Fluent mesh 进行网格划分，无关性检验，以保证计算精度及适当的计算时间。采用 Transient structure mesh 对弹性体模型进行网格划分，弹性片与流体接触面的网格尺寸与流体域网格尺寸一致，以保证流固耦合交界面数据传输的精确性。网格为四面体网格，最大网格尺寸为 0.15mm。

对于迷宫流道转角、凸台上小槽等狭小的几何结构，采用网格自适应方法对其局部细化，此外在划分网格时开启曲率捕捉和狭缝捕捉，适当减小网格生成的增长率，以使得划分的网格过度自然，保证网格具有较好的质量。

#### 6.7.4 其他设定

将流体入口设置为压力入口，采用逐步增量加载方式，加载量由时间步长的函数和步数综合控制。流体出口设置为大气压。

流体与弹性片的接触面设为流固耦合面，其余流体边界均为壁面；在流固耦合面与流体壁面之间设置一定的接触间隙，使流体域最下面一层网格连续，以保证流体域网格变形过程中数值正常传递。

结构分析中在弹性片上表面设置压力荷载，压力值与流体入口压力值相同，采用逐步增量的方式加载。在弹性片下表面边缘设置固定约束。弹性片与压力补偿腔流体接触面设为流固耦合面；弹性片下表面与壁面设置为接触约束，两面之间设置容差偏移量，偏移量与流体接触间隙保持一致。

在凸台底面添加固定约束，在分析设置中开启大变形 Large Deflection。

## 7 评价指标

### 7.1 额定流量

额定流量  $Q_n$  是压力补偿滴头设计的关键指标，滴头的流量与滴灌系统的工作压力有关，通常取 100kPa 时滴头的流量作为评价压力补偿滴头流量大小的参数，又称标称流量。

### 7.2 流态指数

将试验所得多组流量与压力数值进行回归计算，求得流量常数  $k$ 、滴头流态指数：

$$\bar{q} \cong kp^m \quad (6)$$

$\bar{q}$ ——平均流量：L/h；

$k$ ——流量常数；

$p$ ——工作压力：kPa；

$m$ ——滴头流态指数。

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (\lg p_i) (\lg \bar{q}_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lg p_i) \left( \sum_{i=1}^n \lg \bar{q}_i \right)}{\sum_{i=1}^n (\lg p_i)^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n \lg p_i \right)^2} \quad (7)$$

$i$ ——1,2,3,..., $n$ ;

$n$ ——试验中采用压力点的个数;

$\bar{q}$ ——试样在第  $i$  个压力点的平均流量: L/h;

$p$ ——滴头进水口工作压力: kPa。

### 7.3 起调压力与补偿区间

理想的压力补偿滴头的压力~流量曲线呈现先上升,后趋于平缓的趋势。在压力-流量曲线上,将流量明显出现拐点时的压力作用该压力补偿滴头的起调压力。以不超过额定流量  $Q_n$  的 10% 的压力范围作为滴头的补偿区间,并且用小于额定流量 10% 时所对应的压力作为滴头的起调压力。

### 7.4 耐水压试验

#### 7.4.1 23℃ 下耐水压

a) 将含有 25 个滴头试验组件,水平悬吊在试验装置上,堵上末端,向试验组件内充水,排尽空气,使水压保持在压力补偿调节范围的中值上稳定出水至少 3min 后进行测试,测试时间应不少于 5min (保压 3 min, 测量 5min), 测量每个滴头或滴水孔的出水量并计算成流量。

b) 然后逐渐 (至少 10s) 增加水压至 1.8 倍的最大工作压力,并保持 1h。再将压力降至压力补偿调节范围的中值上稳定出水至少 3min 后进行测试,测试时间应不少于 5min, 测量每个滴头或滴水孔的出水量并计算成流量。与加压前的流量相比较, 计算每个滴头或滴水孔的流量变化率。

#### 7.4.2 45℃ 下耐水压

a) 将含有 25 个滴头的试验组件,水平悬吊在试验装置上,堵上末端,向试验组件中充水,排尽空气,使水压保持在压力补偿调节范围的中值上稳定出水至少 3min 后进行测试,测试时间应不少于 5min (保压 3min, 测量 5min), 测量每个滴头或滴水孔的出水量并计算成流量。

b) 然后将试样浸没在温度为  $45 \pm 3^\circ\text{C}$  的水中,逐渐 (至少 10s) 增加水压至最大工作压力,并保持 1h。泄压后将试样从水中取出,在环境温度下放置 30min 后,给试样逐渐 (至少 10s) 增加压力补偿调节范围的中值上稳定出水至少 3min 后进行测试,测试时间应不少于 5min, 测量每个滴头或滴水孔的出水量并计算成流量。与高温试验前的流量相比较, 计算每个滴头或滴水孔的流量变化率。

### 7.5 流量均匀性试验

#### 7.5.1 试样和方法

随机抽取至少包含 25 个滴头的滴灌管或滴灌带一段作为试样,干路排布试样,堵上试样末端,称为“闭路法”;也可随机抽取 5 段滴灌管或滴灌带,每段至少有 5 个滴头作为试样,环路排布试样,称为“环路法”。仲裁检验时使用环路法。

#### 7.5.2 试验装置

“闭路法”的试验装置按 GB/T 19812.1-2017 的规定执行,“环路法”的试验装置按 SL 571-2013 的规定执行。

#### 7.5.3 试验步骤

- a) 将 25 个试样按生产厂提供的配置管道及装配方法组装在试验台上。
- b) 调节滴头的入口水压至最大工作压力（由生产厂提供，否则按 115kPa 试验），保压 3min 后卸压 1min，反复 3 次。
- c) 调节滴头的入口水压至最小工作压力（由生产厂提供，否则按 85kPa 试验），保压 3min 后卸压 1min，反复 3 次。
- d) 调节滴头的入口水压至上述工作压力范围的中间值，保压 60min。
- e) 不改变入口压力，分别测量 25 个滴头的出水量，试验时间应相同并不少于 2min，记录室温、水温、水压、试验时间、滴头出水量。重复上述试验，两次测得水量之差不得大于 2%，取平均值，并计算出各试样的流量（L/h）。

#### 7.5.4 试验结果计算

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (8)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (9)$$

$$C_V = \frac{S}{\bar{q}} \times 100\% \quad (10)$$

$$C = \left| \frac{\bar{q} - q_0}{q_0} \right| \times 100\% \quad (11)$$

$\bar{q}$ ——25 个滴头的平均流量：L/h；

$q_i$ ——第 i 个滴头的流量：L/h；

$n$ ——试样个数（25 个）；

$C_V$ ——滴头流量偏差系数；

$S$ ——滴头流量标准偏差；

$q_0$ ——额定流量：L/h；

$C$ ——平均流量相对于额定流量的偏差。

## 7.6 压力与流量关系试验

### 7.6.1 试验步骤

- a) 完成 7.5 规定的试验后，确定进水口压力与流量的关系。
- b) 以每阶段增压不大于 50kPa 的幅度，将压力从零增加到 1.8 倍的最大工作压力（至少分布 9 个压力点）。测量 25 个试样在每一个压力点的出水量，试验时间不少于 3min；然后在将压力以每阶段降低不大于 50kPa 的幅度，将压力从 1.8 倍的最大工作压力降至零（压力分布点与升压时相同），量取 25 个滴头在每一个压力点的出水量，试验时间与升压时相同，并计算成流量（L/h），去平均值。
- c) 在压力补偿调节范围内，进水口压力增加和降低过程中试验压力至少保持 3min 后在量取出水量。记录室温、水温、试验时间、滴头出水量。
- d) 每个试样两次测得出量之差应不大于 2%，若试样在某个压力点下两次测得出水量大于 2%，重新测量此压力点下的出水量均值，并计算成流量（L/h）。

e) 如在增压或降压期间，进水口压力超过预定压力值 10kPa 以上，则应将压力回零，重新进行该实验。

#### 7.6.2 绘制流量与工作压力关系曲线

计算两次测得的 25 头在工作压力由小到大情况下每一个压力点对应的平均流量，以压力为横坐标，流量为纵坐标，绘制工作压力与流量关系曲线，并与生产厂给出的曲线相比较。

---