

T/SDMT

# 团 体 标 准

T/SDMT XXXX-2024

压力补偿式圆柱滴头设计方法

Pressure-compensated cylindrical 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 压力补偿式圆柱滴头结构设计 .....	5
7 压力补偿式圆柱滴头评价指标 .....	8

## 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。



# 压力补偿式圆柱滴头设计方法

## 1 范围

本文件规定了压力补偿式圆柱滴头的术语和定义、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 87.2-1994 微灌滴头-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

将滴头直接内镶在毛管内壁的一体化滴灌管,且具有压力补偿特征的圆柱滴头。压力补偿式圆柱滴头由迷宫流道、压力补偿腔和弹性片构成,迷宫流道一般为锯齿状的曲折流道,压力补偿腔内有凸台和副流道结构,弹性片结构由补偿腔形状和尺寸决定,硬度和厚度可以改变。

### 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圆柱滴头的起调压力，一般不应大于100 kPa。

### 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 尺寸

#### 5.3.1 规格尺寸及其极限偏差

a) 滴灌带的公称外径及其极限偏差应符合表1规定。

表1 滴灌带公称外径及其极限偏差				单位：mm
公称外径	12	16	18	20
极限偏差		+0.3		
		0		

b) 滴灌带的公称壁厚及其极限偏差应符合表2规定。

表 2 滴灌带公称壁厚及其极限偏差

单位: mm

公称壁厚	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
极限偏差	+0.06	+0.08	+0.15		+0.30		
	-0.03	-0.05	-0.06		-0.10		

### 5.3.2 滴头间距偏差率

滴灌带滴头间距偏差率应在 $\pm 5\%$ 的范围内。

### 5.3.3 每卷段数、每段长度及每卷长度偏差率

a) 每卷段数、每段长度及每卷长度偏差率应符合表 3 规定。

表 3 每卷段数、每段长度及每卷长度偏差率

项目	每卷段数/个		每段长度	每卷长度偏
	$\leq 1000\text{m}$	$> 1000\text{m}$	/m	差率/%
指标	$\leq 2$	$\leq 3$	$\geq 200$	$\pm 1.5$

b) 一般情况下, 卷中的接头应接通, 未接通时应有明显标识。

## 5.4 耐拉拔性能

滴头应能承受规定的荷载, 滴头与 PE 管连接的组合体在试验拉力下应不出现裂纹且不脱离。滴灌管试样在  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  的试验温度下, 应能承受规定的载荷而不出现断裂现象, 试验前后标线间距的变化量应不大于  $5\%$ , 试验前后流量偏差率应在  $\pm 5\%$  的范围内。

## 5.5 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  $\pm 7\%$  的范围内。

## 5.6 流量均匀性

在额定工作压力下, 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  $7\%$ 。

## 5.7 滴头流量与进水口压力关系

### 5.7.1 压力与流量关系曲线

在压力补偿区间, 流量与进水口压力关系曲线。

### 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要求的偏差应不大于  $15\%$ 。

### 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  $150\text{ kPa}$ 。

## 6 压力补偿式圆柱滴头结构设计

### 6.1 压力补偿式圆柱滴头结构

压力补偿式圆柱滴头结构如图 1 所示。1 为迷宫流道, 2 为出水口, 3 为压力补偿腔进水口, 4 为压盖, 5 为弹性片, 6 为压力补偿腔, 7 为副流道, 8 为凸台。图中  $L$  表示压力补偿腔长度,  $W$  表示压力补偿腔宽度,  $w$  表示副流道宽度。

压力补偿滴头由外壳、弹性片和滴头主体构成，滴头主体上有迷宫流道、压力补偿腔、凸台、副流道和出水口等，迷宫流道结构和压力补偿腔结构如图 2 所示。图中  $a$  表示迷宫流道深度， $b$  表示迷宫流道宽度， $\theta$  表示齿夹角， $n$  表示迷宫流道单元个数， $H$  表示压力补偿腔高度， $h$  表示副流道深度， $m$  表示凸台高度， $d_1$  表示凸台直径， $d_2$  表示出水口直径， $d_3$  表示压力补偿腔进水口直径。

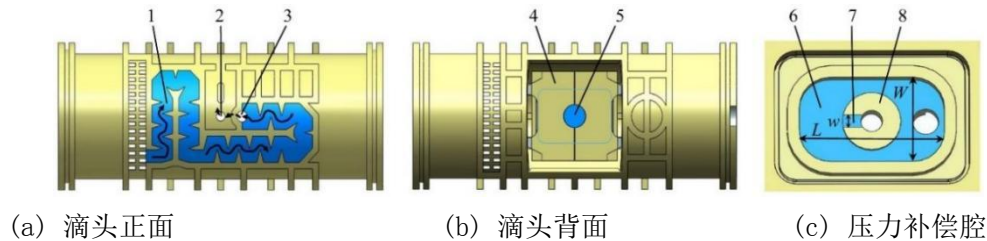


图 1 压力补偿式圆柱滴头结构示意图

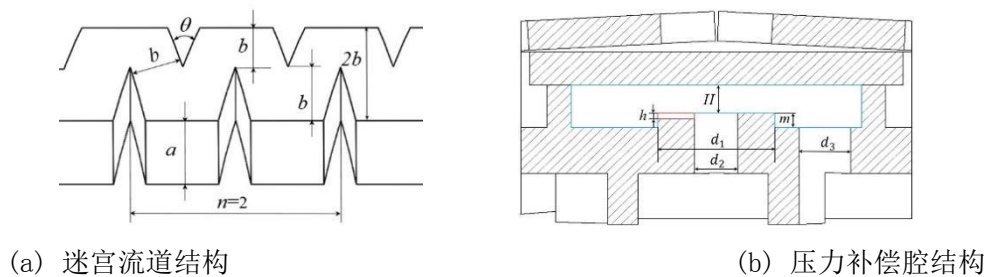


图 2 压力补偿滴头二维结构示意图

## 6.2 压力补偿式圆柱滴头外形尺寸的确定

由用户给定所需要设计滴头的外形尺寸，包括长度、外径。对于特殊要求的，在尽量满足用户需求的基础上，先试算确定流道结构布置的可行性。

压力补偿式圆柱滴头外径一般为 16mm，长度为 30-40mm。

## 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。如果外形尺寸和滴头流量无法同时满足，建议用户调整滴头长度或者设计流量。

一般滴头设计流量取值为 1.6-4.0L/h，起调压力在 20-100kPa 之间，补偿区间应为 150-250kPa。

## 6.4 迷宫流道结构的确定

### 6.4.1 迷宫流道长度的确定

设计时根据滴头的外形尺寸和设计流量优先确定迷宫流道的长度，迷宫流道长度一般为 30-40 mm。

### 6.4.2 迷宫流道齿形确定

如果用户没有特别要求，迷宫流道齿形状一般选择三角形齿，齿尖角在 30-38° 范围内选择，齿高在 0.2-0.8mm 之间选择，齿个数为 26-37 个。

### 6.4.3 流道断面面积确定

断面面积一般在 0.5-1.0mm<sup>2</sup> 之间选择确定，通过调整齿间距确定流道宽度，并与流道深度共同确定流道断面面积，流道宽度和深度的比尽可能接近，大概为 0.9-1.5。

### 6.4.4 迷宫流道结构的确定和试算



在迷宫流道长度、齿形状、断面积确定后，即确定了初始的迷宫流道，将弹性体假定为刚体，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%。

试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。如果试算的流量小于设计流量，则优先增大断面面积或者单纯增加流道深度，如果试算的流量大于设计流量，则优先减小断面面积或者单纯减小流道深度（不建议调整迷宫流道的其他结构），然后再试算，通过多次调整一试算，直到流道达标为止。

## 6.5 凸台高度的确定

凸台高度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一般为 0.3-0.5mm。

## 6.6 弹性体硬度与厚度的确定

弹性材料厚度一般在 0.5-0.8mm 之间选择确定。弹性材料硬度一般在 25-60 邵氏硬度之间选择确定。

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，分别计算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，通过反复调整一试算，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。

## 6.7 副流道结构的确定

压力补偿式圆柱滴头的副流道结构由深度和宽度组成，深度一般为 0.1-0.25mm，宽度一般为 0.4-0.7mm。

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 以下为止。

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。

## 6.8 CFD 数值模拟

### 6.8.1 滴头内部流体与结构模型

构建压力补偿式圆柱滴头流体-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 软件中。

### 6.8.2 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  $1078.5\text{kg/m}^3$ ，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。

### 6.8.3 网格划分

采用 Fluent mesh 进行网格划分，并进行无关性检验，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。

#### 6.8.4 进出口设定

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。

#### 6.8.5 数据传输设定

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。

#### 6.8.6 其他设定

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 压力补偿式圆柱滴头评价指标

### 7.1 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。

### 7.2 流量均匀性试验

#### 7.2.1 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。

## 7.2.2 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。

## 7.2.3 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）。

## 7.2.4 试验结果计算

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (5)$$

$$C_V = \frac{S}{\bar{q}} \times 100\% \quad (6)$$

$$C = \left| \frac{\bar{q} - q_0}{q_0} \right| \times 100\% \quad (7)$$

$\bar{q}$ ——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。

## 7.3 压力与流量关系

### 7.3.1 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。

### 7.3.2 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。

## 7.4 压力补偿范围与起调压力

滴头压力补偿区间的起调压力及补偿区间与地形坡度的相适应情况是确定滴头灌溉适宜性的指标之一, 根据 GB/T1982.2-2005 中规定: 在工作压力范围内, 平均流量相对于额定流量的偏差, A 类应不大于 5%, B 类应不大于 10%, 且压力补偿范围应不小于 150KPa; 中华人民共和国行业标准 SL/T87.2-1994 中规定: 补偿式滴灌管、带在压力补偿范围内的平均流量应与额定流量的偏差应不大于 15%。由于压力补偿滴头的实际压力-流量曲线在起调压力点之后会出现上下波动情况, 综合考虑, 本规范起调压力和补偿区间的确定方法为: 将滴头  $H-Q$  曲线上流量进入压力补偿区间时存在的明显拐点 (滴头流量开始保持恒定的压力) 作为滴头补偿区间的起调压力, 起调压力后的流量平顺区段为滴头的压力补偿区间。

## 7.5 额定流量

滴头在补偿区间内和水温为 23℃时的流量, 称为额定流量, 单位为 L/h。本文额定流量的确定方法为: 补偿区间内所测压力点的平均流量定义为滴头的额定流量。

## 7.6 滴灌管滴水孔间距偏差率

a) 用精度不低于 1mm 的量具测定应不少于 3 个滴水孔间距, 结果精确到 1.0mm。

b) 按下式计算滴水孔偏差率。

$$R_d = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (8)$$

$R_d$ ——滴水孔间距偏差率;

$l$ ——实测滴水孔间距: mm;

$l_0$ ——滴水孔间距的标称值: mm。

## 7.7 耐拉拔试验

a) 将 3 个滴头与 4 段配套管道组成的组合体固定于拉力试验机上。

b) 在 30s 内逐渐给组合体的两端施加纵向拉力  $F$ ,  $F$  的大小用下式计算

$$F = 1.5\{[\sigma] + K(20 - t)\}\pi / 4(d_e^4 - d^2) \quad (9)$$

$F$ ——纵向拉拔力: N;

$[\sigma]$ ——20℃时管材的允许拉应力: MPa;

PE 管——3.2 MPa;

$K$ ——温度修正系数 MPa/deg;

PE 管——0.18 MPa/deg;

$t$ ——试验温度：℃；

$d_e$ ——管道公称外径：mm；

$d$ ——管道内径：mm。

c) 保持拉力 60 min，试样组合体应不分离。

---