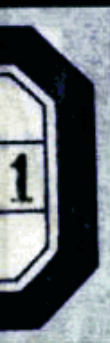


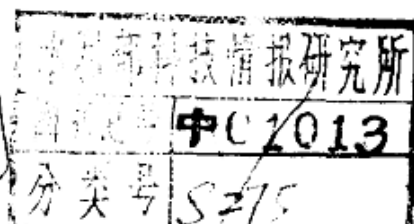


蒋定生 金兆森

摇臂式喷头 设计原理

水利出版社





前言



006102 水利部信息所

摇臂式喷头由于结构简单, 工作可靠, 制作容易, 因而它是目前国内外应用最为广泛的一种喷洒器。

近年来, 随着工农业生产的发展, 我国在喷灌基础理论研究方面, 喷头的制造方面, 以及喷灌技术的推广使用方面都有了较大的进展, 积累了宝贵的经验。但是, 也应该看到, 价格贵、寿命短、运转可靠性差、喷洒质量不稳仍是我国多数喷头的通病。材质较差固然是一个原因, 但主要还是没有完善的设计。我国喷头研制工作的历史并不长, 但道路是曲折的, 吃过不少苦头, 也取得不少成绩。因此将各单位在这方面的成功经验加以总结, 借以提高喷头的质量, 减少生产中的盲目性, 就是我们编写本书的目的。

本书以中国科学院西北水土保持研究所喷灌组近几年来的大量试验研究^①为基础, 吸取了华北地区喷灌机具联合设计组、黑龙江省水利科学研究所、全国喷头联合设计组以及国外的最新研究成果。全书共分七章, 内容大体包括下列几个方面: 喷头质量指标评价, 喷嘴和流道设计, 驱动机构设计, 换向机构设计, 机组工况调节等。第三章、第六章和第七章由金兆森执笔, 其余章节由蒋定生执笔。完稿之后, 承蒙施钧亮、李蔼铿等同志对全书进行了认真的审查, 提出了

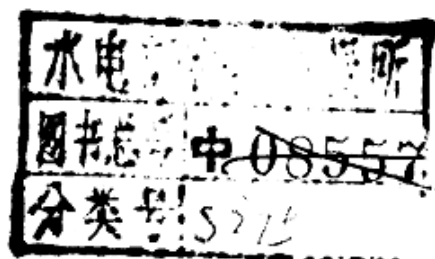
^① 参加试验工作的有: 黄国俊、王万忠、刘乐融、田虎旗、李菊莺等同志。

许多宝贵意见，提高了书稿的质量，笔者特在此表示感谢。

喷灌是一门正在发展的科学，理论还不很完善，生产实践中尚存在不少问题，这些都有待我们进一步研究解决；我国地域辽阔，许多先进单位积累有宝贵的经验，我们还没有来得及学习、消化和总结；加之我们水平所限，书中如有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

一九八〇年一月

210/10/10



目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 喷灌技术的发展和展望	1
第二节 喷灌用喷头简述	7
第二章 喷头质量评价指标	12
第一节 喷头水力性能指标	12
第二节 喷头运转的合理指标	28
第三节 喷头的经济效益指标	35
第三章 喷嘴设计	39
第一节 喷嘴的结构型式	39
第二节 喷嘴直径的确定	41
第三节 喷嘴内腔结构参数	51
第四章 流道设计	59
第一节 概述	59
第二节 弯头	60
第三节 喷管	63
第四节 稳流器	66
第五节 喷射仰角	71
第五章 驱动机构设计	77
第一节 摇臂运动原理	77
第二节 水射流在导流器上的运动	79
第三节 导流器结构参数的计算	86
第四节 导流器结构参数的试验研究	95
第五节 摇臂和喷头运动参数的计算理论	117

第六节 摇臂弹簧	137
第七节 摇臂轴	139
第八节 摇臂式塑料喷头转动机构设计的特点	140
第六章 换向机构设计	146
第一节 种类和特点	146
第二节 换向机构主要部件的受力和运动分析	152
第三节 换向机构参数对喷头水力性能的影响	157
第四节 换向机构的设计方法	159
第七章 喷头结构参数和喷灌机工作状况调节的关系	164
参考文献	170

第一章 绪 论

第一节 喷灌技术的发展和展望

一、国外喷灌技术发展概况

喷灌是一种先进的灌水技术。它是利用专门的设备将有压水喷射到空中并碎裂成水滴，类似天然降雨洒落地面进行灌溉的。

喷灌产生于十九世纪末。当时有人利用水源的地形落差，将水引进铸铁输水管，经折射式喷洒器喷出，浇灌农田。1930～1935年期间，出现了能旋转的摇臂式喷头。到1939年，喷灌技术已在许多国家应用，但喷灌面积还很小，估计全世界只有约150万亩。

第二次世界大战后，由于铝管和快速接头制造技术不断提高，以及摇臂式喷头技术性能不断完善，促进了喷灌的发展。到1960年，全世界喷灌面积共计约3750万亩。随着农业生产过程诸如耕翻、播种、中耕、施肥、除草、收获，几乎全部机械化，也促使人们对灌水效率低、耗水量大的地面灌水方式进行改革，从而推动了喷灌事业的发展。据1977年统计，全世界喷灌面积已达2.5亿亩。近年来，全世界每年正以2000多万亩的速度增长。美国是喷灌面积最大的国家，1978年为1.15亿亩，占其总灌溉面积的31%。苏联居次，1975年有0.76亿亩。在西欧和西北欧一些国家中（如瑞典、丹麦、奥地利、英国、法国等），喷灌已占全部灌溉面积的90%左右。

喷头是喷灌设备的主要组成部件。由于摇臂式喷头结构简单，工作可靠，喷洒质量好，因而被广泛采用。美国雨鸟公司1979年刊布的产品目录中，共有喷头49种，其中摇臂式喷头有41种，占总数的83.7%。

国外的摇臂式喷头口径档次密度大，使用的工作压力范围广、变型多，因而同一种喷头可提供选择的参数也多，用户可根据具体条件选择符合要求的喷头。

近年来，在喷灌设备和喷灌技术方面，许多国家都在不断研究改进，提高喷灌质量。例如，大量实践表明，低仰角喷头的抗风能力强，美国雨鸟公司的喷头就增加了低仰角系列的品种（采用的仰角有 5° 、 7° 、 11° 、 12° 、 15° 、 20° 和 23° ）。澳大利亚南十字架公司生产的喷头仰角不超过 25° 。西德佩罗特公司也增加了仰角为 $22\frac{1}{2}^{\circ}$ 的喷头。

在喷头材质和制造工艺方面，国外也很重视。目前选用的材料多为高档金属，如青铜、黄铜等。各种弹簧都用不锈钢制作。铸件铸造也比较精密，因而喷头质量高，使用寿命长，水力性能也很好。例如，喷头的流量系数一般均在0.90以上，有的甚至达到0.97。

国外对喷头的雾化程度大多比较重视。如美国的喷头，由于工作压力较高或附加了粉碎装置，所以不仅中、小型雾化很好，雨炮的最大雨滴直径也能保持在3毫米左右。此外美国对喷头组合已应用了电子计算机，根据需要的喷灌强度进行组合计算，其均匀度一般可达0.9以上。提高喷灌质量，主要是指降低喷灌强度，提高喷洒均匀度和雾化程度。为此，已采用了慢喷灌，以及间歇喷灌，脉冲喷灌，雾灌（或称细滴喷灌），微型喷头喷灌和掺气喷灌等设备和技術。苏

自1972年以来一直进行雾灌研究。试验表明，这种灌水方法比常规喷灌技术要省水得多，而且增产显著。

美国、日本、苏联等国多年来一直在进行喷灌基础理论的研究，并取得了一些有价值的成果，其中有一部分已运用于生产实际。这些研究内容包括有：（1）中压摇臂式喷头的摇臂运动原理，摇臂结构参数的数值范围和选配；（2）射流裂变理论，控制射流裂变（增加射程）或增加射流强度（缩小雨滴粒径）的途径；（3）水滴运动参数方程；（4）喷灌机最优工况的调节；（5）喷头最优结构参数的选择；（6）喷洒雨滴的能量及其对土壤的打击效应；（7）坡地喷灌理论及其喷灌技术；（8）喷灌条件下的土壤入渗理论及提高土壤允许喷灌强度的措施；（9）喷灌灌溉制度的研究。

二、我国喷灌发展概况

我国喷灌技术的发展，经历了从无到有的过程。试点推广喷灌，还是七十年代的事。根据1979年初步统计，已建成的喷灌面积累积已达800万亩。在机具中，喷头有国家系列、地方系列和各地单一品种共约一百余种。以中压为主，绝大部分是摇臂式喷头。喷灌专用泵也有国家系列和地方系列约20种。

六十年代后期，我国开始生产摇臂式喷头。辽宁省昌图县傅家林场修配厂生产的红雨型喷头，是我国批量生产最早的一种摇臂式喷头。该喷头具有结构简单、体积小、重量轻等特点。进入七十年代后，我国的喷灌事业有了迅速的发展。许多单位相继研制成功一批性能较好，效率较高的摇臂式喷头。诸如京喷-1型，龙江101型，Z10-1型，Z20-1型，延河2.40型（见图1），雁喷33型，榆次1型等。

由于经验不足，这个时期我国喷头研制中存在的问题，

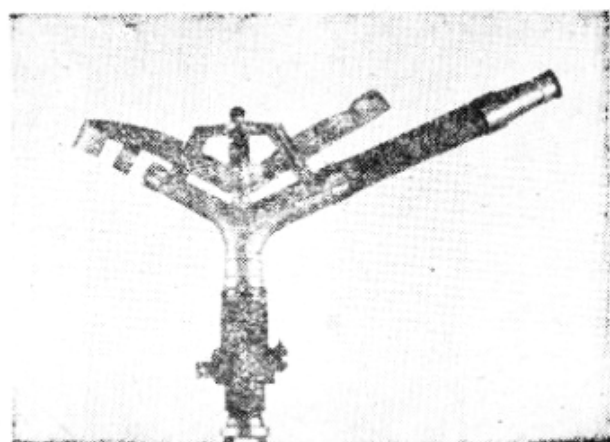


图 1 延河2.40型喷头

大致有三：（1）没有重视喷头基本理论的研究，摇臂导流器结构参数选择不合理，可靠性较差；（2）扇形作业换向器毛病多，突变动作不灵，或者易损坏；（3）各地偏重于提高喷头射程的研究，而对喷灌质量的研究重视不够。

宁夏银河仪表厂等单位参照国外样机生产的宁夏8Y型喷头（8YY-9型、8YY-80型、8YY-45型），结构比较合理，水力性能良好，对我国喷灌事业的发展起了促进作用。

华北地区喷灌机具联合设计组在分析国内外摇臂式喷头换向器的优缺点之后，于1976年首次在华北PY-50型喷头上采用了摆块式换向器。该种换向器结构简单，受力合理，灵活可靠。全国PY₁系列喷头已采用这种换向机构。

全国喷头联合设计小组，在认真总结各地群众科学实验的基础上，对国内外多种优良机具进行了测试比较分析，经过短时间的努力，提出了喷头系列型谱。现在，PY₁型系列喷头（10种）均已鉴定定型，全国大多数省、市、自治区安排了批量生产。

PY₁系列喷头性能较好。它是我国喷灌设备中首先实现“三化”的一种类别。有利于组织专业化生产，也方便用户。其缺点是喷嘴挡次密度小，系列短，雾化指标较低，需要改进补充。

目前，我国喷灌机具发展有这样几个特点：第一，经过了几年生产实践考验、筛选，绝大部分摇臂喷头的导流器结构形式趋于统一（图2）；第二，为了适应喷灌机械移动作业、启动频繁的要求，加压水泵多采用自吸泵，或者是离心泵附设手压泵排气、废气自吸、进气自吸等装置，大大提高

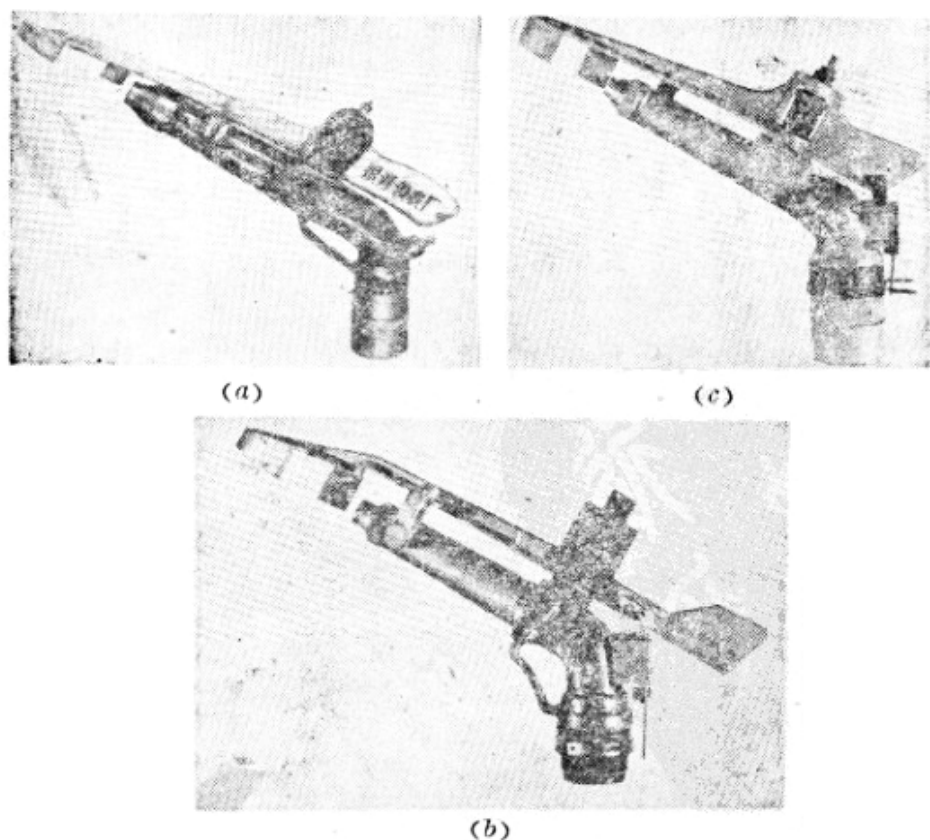


图2 几种喷头外貌

(a)宁夏8YY-80型喷头(b)华北PY-50型喷头(c)PY₁₄₀型喷头(江苏省金坛县喷灌机厂)

了喷灌机作业时的时间利用系数；第三，大型喷灌机（如时针式、平移式、绞盘式、悬臂式等）有所发展。

经过多年的努力，我国不论在喷头的设计研究方面，或是在加工制造方面，都有很大的进步；但另一方面，也应该看到，我国在发展喷灌的道路上尚有不少问题，诸如：（1）喷头品种单调，系列短，质量不够过关。和国外同类型的先进产品相比，在可靠性、雾化程度、使用寿命、抗风能力等方面还有较大差距；（2）缺乏合适的配套管道。目前薄壁轻金属管道、管件很少，而塑料管质量又差，使用寿命短。从而使适应性强、喷灌质量和生产效率比较高的管道式喷灌系统的发展受到了限制；（3）对喷灌系统规划设计重视不够，不少地方常因规划设计不合理而造成喷灌质量低劣。这些都要求我们继续努力，尽快解决。

三、我国发展喷灌的前景

我国地域辽阔，土壤、气候、水文条件差别很大。

就土壤而言，资源是丰富的，类型也比较多。大体说来，由于北方气候寒冷少雨，风化较弱，土壤中砂粒、粉粒含量较多，而粘粒含量较少（局部河流泛滥沉积除外）。南方气候温暖，雨量充沛，风化较强，土壤质地粘重，但透水能力较弱。所以各地土壤的允许喷灌强度也就很不一样，每种喷头的适应性也就受到一定的限制。

我国的气候有明显的季风特点。一般说冬季受西北气流控制，寒冷干燥；夏季受东南与西南季风影响，温暖湿润。水资源在地区上的分布很不均匀。东南各省多水；西北则降雨稀少（年降雨量约为100~200毫米），蒸发量极大（多年平均值达1000~2000毫米），干旱使灌溉在农牧业生产中占据了极重要的地位，绝大部分地区没有灌溉就很难保证农牧

业生产的正常进行。

我国的降雨，径流的年际变化很大，在季节上也分配不均，因而在南北方，都常有干旱发生。必需辅以灌溉，调节土壤水分，保证作物正常生长。

我国的地下水资源，无论松辽平原、淮北平原、华北平原，还是晋中盆地，关中平原以及河西走廊都有极丰富的储量。但是，地下水并不是“取之不尽，用之不竭”的。由于工农业用水开采量大，机井数目大量增多，井距很密，许多地方已形成“漏斗”，水井年淘汰率高。因此必须大力开源节流，采用喷滴灌及其它先进灌水技术，节约用水。

我国现有水浇地面积7亿多亩，尚有8亿多亩耕地没有灌溉设施。这些耕地主要分布在山区、丘陵区、水源缺乏的旱源及边远地区，其中坡耕地占60%。这些地方自然条件虽然较差，但发展农业却有巨大的潜力。

另外，在我国的40亿亩草原中，干旱缺水草原的面积很大。近几年来，由于气候干旱和载畜量过大，草场退化也很严重，亟待灌水改良。国内外经验证明，发展喷灌，是解决缺水草原饲草饲料基地问题的重要途径。

我国地处寒、温、热三带，经济作物资源丰富，品种繁多，如水果、花生、桑、麻、甘蔗、茶叶、烟草、木耳等。几年来实践证明，对这类作物施用喷灌，增产幅度很大。

综上所述，发展喷灌技术在我国有极为广阔的前景。

第二节 喷灌用喷头简述

一、喷头的种类和结构

喷头是喷灌系统的主要组成部分，喷头的优劣关系到喷

灌的质量，生产效率及经济效益。

喷头的分类可以按许多特征进行。目前广泛采用的是按射程的远近分成三种类型：近射程，中射程和远射程（如表1）。

表 1 喷头按工作压力和射程分类表

项 目	低 压 喷 头	中 压 喷 头	高 压 喷 头
	近射程喷头	中射程喷头	远射程喷头
工作压力(公斤/厘米 ²)	1.0~2.0	2~5	5~8
射程(米)	10~14	13.5~41.5	42.5~68.0
喷水量(米 ³ /小时)	0.3~1.2	0.8~31	31~114

从水力学角度来看，如若依照水流自喷洒器中喷射出来的形式加以分类则更为恰当。这时所有喷头可以归并为两类：散水式及射流式。这样的分类最全面地反映了所形成水流的性质，也符合喷头的结构特征。

（1）散水式喷头。喷出膜状扇形（或空心圆锥形）水流喷头属于散水式喷头。环向折射式、单向折射式和缝隙式、离心式皆属此类（图3）。

该类喷头的特点是在喷灌过程中所有部件都固定不动，而喷射水流依圆锥形或扇形方式射出。这类喷头射程近（5~10米），喷灌强度大（15~20毫米/小时），降雨分布不甚理想，近处喷灌强度比平均喷灌强度高得多。其优点是结构简单，雨点小，单位喷灌面积上功率消耗低。它们常装在进行喷式喷灌机或固定式喷灌系统的管路上使用。

（2）射流式喷头。这类喷头国内外应用得最为广泛。它一般由喷嘴、喷管、喷头体（或称弯头）、空心轴、衬

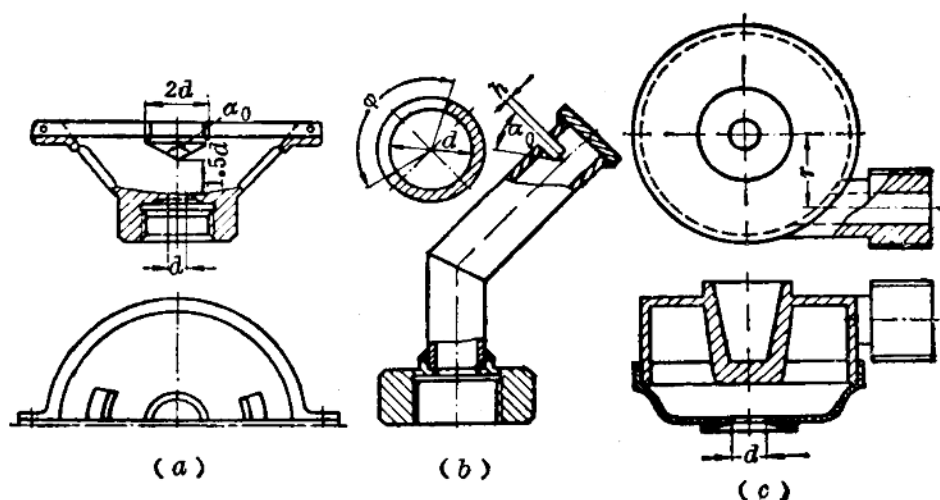


图 3 散水式喷头
(a)环向折射式；(b)缝隙式；(c)离心式

套、粉碎机构、转动机构和扇形机构等组成。这种喷头是使压力水流通过喷管及喷嘴形成一股（或多股）集中的水流向一个方向（或两个方向）射出，在空气阻力与粉碎机构作用下被粉碎成细小的水滴，由于转动机构的作用，喷头绕竖轴缓慢地旋转，雨幕也随之转动，撒落地面，形成一个半径等于射程的圆形（或扇形）的湿润面积。由于水流密致集中，所以射程较远。

图 4 所示的喷头其驱使喷头旋转体转动的装置是一倾斜摇臂，故又称摇臂式喷头。摇臂的前端为导流器，由偏流板和导水板构成。摇臂在水射流作用之下，周期性地撞击喷管，推动喷头转动。

除此而外，尚有其它形式的旋转机构。譬如，采用水流冲击叶轮及涡轮蜗杆传动装置；利用水流对弯曲喷筒式射流元件反作用力的反冲装置等。由于上述内容已超出本书的研究范围，此处也就不再一一赘述了。

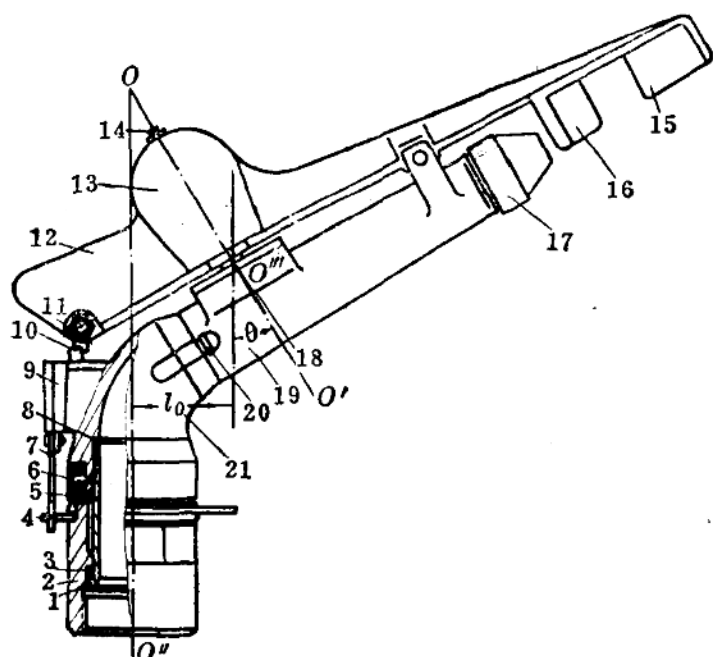


图 4 摇臂式喷头结构图

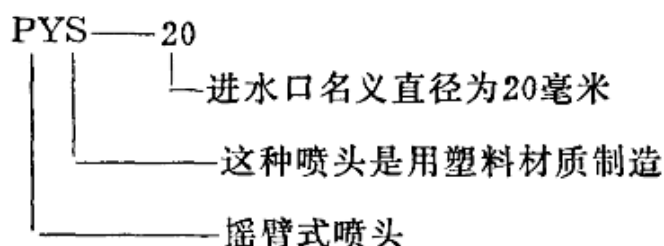
1—空心轴；2—空心轴套；3—减磨密封圈；4—挡杆；5—防沙弹簧；
6—减磨垫圈及弹簧罩；7—换向器拨杆；8—密封圈；9—换向器座；
10—摆块；11—反转钩组件；12—摇臂；13—防水罩；14—调节螺钉；
15—导水板；16—偏流板；17—喷嘴；18—摇臂轴；19—喷管；20—
螺帽；21—喷体； OO' —摇臂旋转轴线； OO'' —喷头旋转体转动轴线

二、喷头的型号

喷头的型号，以前比较混乱。1975年12月，在河南省洛阳市召开的全国喷灌技术讨论会上，提出了喷头统一命名问题。经商议，建议在喷头型号中依次写出进水口直径（毫米）、旋转方式（用汉语拼音第一个字母表示，如摇臂式用“Y”表示）、喷水量（米³/小时）和射程（米）。这种命名方法列出了二项性能参数，也表示了喷头的驱动方式。

因为喷头是一种农业机具，为了和其他机具区分，需要将其在型号中反映出来；同时又考虑到喷头的标准工况和使用参数都随具体条件改变，在喷头的型号中仅仅标出一两个

参数意义不大，所以全国喷灌机具系列型谱起草小组在1976年山西省曲沃县会议上提出：喷头的型号应依次写出喷头、驱动方式（或传动方式）和进水口名义直径。此后经多次讨论，都认为比较合理（其中摇臂式喷头的命名方法已经农业机械部批准实行）。因此，目前各种喷头都按此法命名型号。如摇臂式喷头首部用“PY”、蜗轮蜗杆式用“PW”、折射式用“PZ”、全射流式用“PS”等，而对非金属材料质的喷头，则在其后再加汉语拼音的第一个字母（这个字母有时亦用以表示其他特征）。如：



第二章 喷头质量评价指标

一个好的喷头，应该保证射流有最大的射程，雨量分布均匀，允许的喷灌强度，适宜的雨滴粒径和较低的能量消耗，使用寿命长，且运转必须稳定，灵活可靠。前四项属于水力学性能指标，后三项属于工艺性能指标和经济效益指标。这些指标实质上是评价喷头质量的客观标准。

本章着重阐述这些指标的计算方法，影响因素以及它们的适宜范围。

第一节 喷头水力性能指标

一、射程

射程是评价任何一种喷头结构是否合理的一项重要参数。在国外，一般射程是指喷头在无风情况下喷出的水滴所能达到的最远距离。显然这一概念仅适于固定式喷头（如折射式）射程。我国过去也沿用这一概念。但是，实际喷灌时，喷头是慢慢转动的，这时的射程与不动情况下相比略有缩短。此外，为使喷头旋转，或者为了保证所需要的雨量分布，常采用各式各样的机械装置伸进水柱，使水柱的紧密性遭到破坏，也会缩短射程。在我国，有人提议射程的定义为：在无风的情况下，喷头正常工作时的湿润圆半径，即喷射水所能达到的最远距离。鉴于这种定义对摇臂式喷头有不便测量的缺点，因此农业机械部1979年颁发的《喷头试验方