

我国摇臂式喷头的发展研究

严海军¹ 刘竹青¹ 王福星² 杨小刚³ 王敏¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 黑龙江省水利科学研究所, 哈尔滨 150080;
3. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要 综述了国内外摇臂式喷头的发展历程和未来趋势,详细分析了近期摇臂式喷头的新型结构与适用特点,结合我国实际情况论述了我国在摇臂式喷头的研究与生产中存在的单一研究手段、研究力量单薄、企业缺乏产业化等问题,提出要应用新发展的计算流体力学(CFD)、计算结构动力学(CSD)和粒子成像速度场仪(PIV)等技术进行喷头基础理论研究,加强联合攻关,建立质量监督体系等发展摇臂式喷头的对策和建议。

关键词 摇臂式喷头; 喷灌设备; 节水灌溉; 综述

中图分类号 S 277.94

文章编号 1007-4333(2007)01-0077-04

文献标识码 A

Research and development of impact sprinklers in China

Yan Haijun¹, Liu Zhuqing¹, Wang Fuxing², Yang Xiaogang³, Wang Min¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. Heilongjiang Provincial Hydraulic Research Institute, Harbin 150080, China;
3. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract The developing history and trend of impact sprinklers were summarized and the latest popular structures and corresponding characteristics of impact sprinklers were introduced. The main problems existed in research and manufacture of impact sprinklers in China were analyzed. Some proposals, such as application of new technologies in computational fluid dynamics, computational structure dynamics and particle image velocimetry, strengthening academic cooperation and building up system of quality supervision, were suggested, which would promote the development of impact sprinklers in China.

Key words impact sprinkler; sprinkling irrigation equipment; water saving irrigation; review

当前,推广以喷灌、微灌为代表的先进节水灌溉技术是发展节水农业、提高水利用系数的重要举措。截止到2002年底,我国的喷微灌技术推广面积已达273万hm²[1]。摇臂式喷头是喷灌系统和喷灌机组中最重要的设备之一,对其基础理论、设计方法和喷洒性能等的研究一直是关注热点。近几年,新发展的理论与技术在摇臂式喷头(包括垂直摇臂式喷头)中的应用显著提高了喷头的总体技术水平。

1 发展历史

1.1 国外

发明于1933年的摇臂式喷头,最早由美国的

Rainbird公司和Nelson公司生产。“二战”以后,由于发达国家劳动力日益紧张,摇臂式喷头得到广泛应用,促进了现代农业灌溉技术的快速普及和发展。美国、前苏联和以色列等国家发展尤为迅速。20世纪60年代中后期,随着行走式喷灌机的推广,出现了垂直摇臂式喷头,其典型产品有美国Nelson公司的BIG GUN系列、Rainbird公司的RAIN GUN系列、前苏联生产的型等[2]。同时,摇臂式喷头的导流器出现了新型结构,由活动的楔形(或称“人”字形)结构代替了固定叶片,上下摆动的摇臂也改成了框架结构,喷头正反转速度几乎相等,驱动平稳,被称为SR系列喷头。20世纪90年代以后,美国

收稿日期: 2006-03-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50509024); 中国农业大学科研启动基金资助项目(2005031)

作者简介: 严海军, 副教授, 博士, 主要从事灌溉装备技术及应用的研究, E-mail: water220@cau.edu.cn

Nelson 公司和意大利 Komet 公司又分别推出了水动阀与喷头一体化和远程遥控调节喷洒角度的新型喷头。

伴随着喷头技术与结构的发展,相关的喷头试验标准也不断修订和完善,如 ASAE 标准 S398.1 首次颁布于 1979 年,而现行标准已历经 12 次修订^[3]。

1.2 国内

我国于 1954 年开始引进、推广喷灌技术。20 世纪 70 年代后期至 80 年代初期,成立了大、中、小和轻型喷灌机联合设计组,在总结前期研究成果的基础上,开发成功 PY 系列摇臂式喷头和 PYS 系列塑料喷头,产品主要以小型低压喷头为主^[4-5]。同期,我国又引进美国 Nelson 公司、Rainbird 公司及奥地利 Bauer 公司的垂直摇臂式喷头进行仿制和研究,于 1981 年开发成功 PYC40 和 PYC60 垂直摇臂式喷头^[2]。目前国内大田喷灌喷头的主要产品是 1987 年引进奥地利鲍尔公司生产线生产的 ZY 系列金属摇臂式喷头及其改进形式,如 DY 系列喷头、ZPY 组合式长喷管金属摇臂式喷头等,产品以锌基合金和铜为主要材料^[6-7]。“十五”期间,我国开发成功进口直径 80 和 100 mm 2 种大流量远射程摇臂式喷头,并首次应用新型的弹珠摆块式换向器,解决了长期以来我国大中型旋转式喷头换向器工作不可靠的技术难题。

同时,我国也积极进行喷头试验标准的制定工作。1979 年农机部颁发《喷头试验方法》;1985 又颁布了 3 个旋转式喷头的国家标准:《旋转式喷头型式基本参数》(GB5670.1—85)、《旋转式喷头技术条件》(GB5670.2—85)和《旋转式喷头试验方法》(GB5670.3—85);1997 年根据国际标准又修订并颁布了标准《旋转式喷头》(JB/T7867—1997)^[8]。

2 新型结构与发展趋势

自摇臂式喷头问世以来,对其理论设计、性能试验和推广应用的研究一直在进行,推出了不同结构的系列产品。在众多农业灌溉喷头中,摇臂式喷头的工作性能适应范围最宽,规格型号最多,覆盖了从低压(近射程)到高压(远射程)的工作范围,在全世界广泛应用^[4-5]。近几年,随着全球能源的日益紧张和精准农业的发展,摇臂式喷头朝着“低能耗、多用途”的方向发展,一批新理论与新技术的应用使喷头的整体性能大大提高。近期国内外摇臂式喷头的发展主要呈以下变化趋势:

1) 优化喷头设计,改善喷头水力性能,提高喷头工作稳定性。将中高压喷头的固定导流器改为可活动的楔形结构,大大改善了摇臂的受力条件,喷头转动平稳、可靠;为降低喷头流道内部水力损失,提高喷头射程,在中高压喷头中采用副喷嘴驱动和增加主喷管长度的方法,并利用整体铸造成型技术在喷头内部加设隔板或稳流栅。对于单喷嘴喷头或单向双喷嘴喷头,采用在喷体后侧安装平衡器的方法,解决了因主喷管过长导致的喷头重心不稳的问题。对于小型低压喷头,为提高喷头的雾化特性,增加近喷头处水量,常采用喷嘴外侧安装碎水机构,安装异形喷嘴或将喷嘴处斜开切口等形式,而且入水深度可调。美国的 Ohayon 在摇臂式喷头的入口处安装流量调节阀,实现了变化工作压力下喷头的均匀出流^[9]。

2) 由传统的圆形喷洒向非圆形喷洒方向发展。在传统摇臂式喷头结构上增设非圆形喷洒域和变量喷水机构,实现了对喷头射程和喷水量的调节,克服了非圆形面积灌溉不均匀和浪费水的缺点。如郝培业等^[10]研制的六方(四方)摇臂式喷头,在喷头进水管处安装了由喷头空心轴控制的周期性水流调节阀;孟秦倩等^[11]在喷头竖管和喷体之间加装一水平转杆(管),喷头在摇臂作用下自转的同时,随水平转杆(管)绕竖管公转,通过喷嘴射流的复合圆周运动实现各种形状区域的喷洒;李久生等^[12]在摇臂式喷头基座上安装凸轮盘,通过凸轮传动使碎水螺钉随喷头旋转而上下运动,周期性碎水改变喷头射程,实现非圆形喷洒域的喷洒。

3) 由传统的机械与水力控制技术向机械、水力与微电子技术集成的方向发展。美国 Nelson 公司的 SRNV100 水动阀与喷头一体化喷头,在喷头入口处安装了水力主阀,一旦工作压力下降到某设定值时,与主阀相连的导阀动作,锥形喷盘迅速封堵喷嘴,克服了启停瞬间喷头出水不均匀现象,还大大提高喷头的工作稳定性,有效防止了管道系统水击的产生;意大利 Komet 公司 2005 年推出的电子控制换向的新型喷头 Vector Control A280,集机械、水力与微电子控制技术的完美结合,可预设或远程遥控喷头喷洒角度,被认为是喷头发展史上一个新的起点。

4) 开发满足特殊用途和场合的喷头。为降低喷洒过程中水滴的蒸发漂移损失,提高抗风能力,或满足特殊场合如树冠下灌溉的需要,出现了低仰角

($7^{\circ} \sim 14^{\circ}$)或超低仰角($< 7^{\circ}$,甚至无仰角)的喷头。为提高除尘灌溉效果,出现了高仰角($> 30^{\circ}$)喷头;美国 Nelson 公司甚至还推出了仰角可调的喷头。

3 研究现状与存在问题

我国摇臂式喷头的研究历程主要可分以下 3 个阶段:20 世纪 60—70 年代、80 年代及“九五”开始至今。早期对喷头的研究重点集中在喷头的外形结构、喷洒均匀性、转动均匀性等方面,如 20 多年前成立的全国联合设计组在较短时间内推出的 PY 系列喷头。“九五”以来,国家加大对新型节能喷灌喷头的资金投入,对摇臂式喷头的某些局部结构和技术进行了重点研究,尽管某些关键技术也有了突破,但与国外相比,喷头的总体研究水平还较低,主要存在以下问题:

1) 研究手段单一,基础理论研究欠深入。

目前仍沿用传统的研究方法,如水力与结构设计采用半经验半理论方法,试验以外特性试验为主,缺乏对喷头的基础理论进行深入、系统的研究,某些关键问题,如喷头内部过水流道的流动理论、摇臂导流器几何参数与喷嘴出口自由射流之间的能量转换特性、摇臂结构与撞击动力学等还有待解决;另外,对于喷头的新材料与新工艺的研究应用也较薄弱。

近年来发展的计算流体动力学(CFD)理论、计算结构动力学(CSD)理论和粒子成像速度场仪(PIV)技术已在许多复杂流体结构与流体工程中得到了广泛应用^[12-19],解决了传统理论与试验难以完成的技术难题,为喷头基础理论研究提供了新的途径,对于揭示喷头流场特性与结构动力特性之间的复杂关系与机理,具有潜在优势。

2) 研究力量单薄,缺乏技术交流,成果转化率低。

目前主要研究单位以科研院所和高校为主,当年参加全国联合设计组的技术人员大都已退休或转行,研究力量单薄,尤其是年轻科技人员匮乏;因技术保密研究成果不公开,研究单位间、与企业间缺乏技术交流与合作或新产品不具备产业化条件等,导致研究成果转化速度缓慢,转化率低;另外,国内企业大多缺乏产品试验基地,新产品使用后反馈效果差,严重影响了其完善与推广。

4 生产现状与存在问题

根据目前我国喷灌面积增长速度估算,每年需

要购置数百万支摇臂式喷头,巨大的市场需求促进了国内喷头生产企业的迅速发展,数量已超过 100 家。当前,我国摇臂式喷头的生产现状与存在问题具有以下特点:

1) 初步形成 2 类生产基地。一是以原国家水利部定点企业为核心的河南、吉林、河北等区域,二是新发展的江浙沿海等区域。前者的产品以 PY、PYS 和 ZY 系列喷头为主,在原国有定点企业或乡镇企业基础上发展起来,技术资料基本相同;后者由纯粹国外订单加工企业逐渐转变而成,其主要产品具有多样化特点,既仿制生产国外进口产品,也生产 PY、PYS 和 ZY 系列喷头。

2) 生产规模小而分散,缺乏产业化能力。喷头生产企业固定资产过小,有的仅为几百万元甚至几十万元。如生产 ZY 型喷头的厂家全国超过 30 家,有些只是手工式生产作坊,生产规模小而分散。大多数企业缺乏自身发展能力,生产工艺落后,专业化程度低,缺乏产业化能力。由于缺乏专业技术人员,多数厂家仅仅拆卸产品,测绘图纸,进行仿制,对产品原理、各部件配合要求、原料配方等都不甚了解,仿制产品质量远不及原件。如某企业生产的 ZY 型喷头材料用铜替代锌基合金,使喷头运动特性、喷洒特性及各部件的配合发生了很大改变,无法达到原有喷头质量。

3) 喷头耐久性和可靠性差,执行标准要求低,质检体系不健全。喷头主要零部件不按要求选用合格原料,或偷工减料,耐久性和可靠性差,主要表现为弹簧易损坏,摇臂易断裂,扇形转动机构耐久性差,轴套易磨损等。现行标准(JB/T 7867—1997)要求低也一定程度导致了产品性能降低。如喷头密封性能和转动均匀性指标主要是对 20 世纪 80 年代的产品提出的,明显低于 ASAE 标准,不适合引进国外技术生产的喷头。绝大多数企业缺乏产品试验装置和检验人员,不能严格按标准生产,或检验指标不全,最终影响了灌溉工程质量。

5 对策与建议

1) 加强喷头的基础理论研究,应用最新的 CFD、CSD 和 PIV 技术,由过去以喷头外特性试验为主向内外特性结合、系统化研究方向发展,重点进行喷头湍流流场特性、结构动力特性及其耦合作用的复杂关系研究,研究对象以低压和高压摇臂式喷头为主,完善喷头设计理论和方法。

2)大力推进科研单位、大专院校与企业的一体化,联合攻关、优势互补,建立企业产品试验基地,加快科研成果的产业化转化速度;及时制定和修订相关喷头技术标准,提高产品质量。

3)改变小生产制造方式,建立行业自律机制和设备质量监督体系,规范喷头市场。企业应逐步实现生产专业化、规模化,并将喷头的生产、销售及服务全过程纳入产业化轨道,促进科研与生产的紧密结合,加强对喷头的质量监督检测工作。

参 考 文 献

- [1] 姜开鹏. 大力发展节水灌溉,保障国家粮食安全和农业可持续发展. 节水高层论坛 [EB/OL]. [http: www. cnhydro. com/ jieshui. zhanhui/ index. 08. html](http://www.cnhydro.com/jieshui_zhanhui/index_08.html), 2004-06-08
- [2] 陈雷. 垂直摇臂式喷头运动原理的研究[D]. 北京:华北水利水电学院北京研究生部, 1985
- [3] The American Society of Agricultural Engineers. ASAE S398.1 Procedure for Sprinkler Testing and Performance Reporting[S]. St. Joseph, 2001
- [4] 李世英. 喷灌喷头理论与设计[M]. 北京:兵器工业出版社, 1995: 37-39
- [5] 许一飞,许炳华. 喷灌机械原理、设计与应用[M]. 北京:中国农业机械出版社, 1989:97-99
- [6] 赵竞成. 我国节水灌溉材料设备现状及发展方向[EB/OL]. [2002-04-21]. [http: www. hwcc. com. cn/ newsdisplay/ newsdisplay. asp ? Id = 33057](http://www.hwcc.com.cn/newsdisplay/newsdisplay.asp?Id=33057)
- [7] 许炳华,曹万健,郭荣良. 中灌 ZPY 组合式长喷管金属摇臂式喷头的设计特点和性能[J]. 喷灌技术, 1994(2):52-54
- [8] JB/ T7867—1997 旋转式喷头[S]
- [9] Ohayon S. Automatic adjustable sprinkler for precision irrigation[P]. Patent number: US6079637. United States Patent Office, 2000
- [10] 郝培业. 新型摇臂式喷头:中国,00215392.0[P]. 2001
- [11] 孟秦倩. 非圆形喷洒液喷头的实现性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 1999
- [12] Frobenius, Moritz, Schilling, et al. Numerical and experimental investigations of the cavitating flow in a centrifugal pump impeller[J]. American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division, 2002, 257(1):361-368
- [13] Guo B, Langrish T A G, Fletcher D F. CFD simulation of precession in sudden pipe expansion flows with low inlet swirl[J]. Applied Mathematical Modelling, 2002, 26(1):1-15
- [14] Maksic S, Mewes D. CFD-calculation of the flashing flow in pipes and nozzles[J]. American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication), 2002, 257(1):511-516
- [15] Baum J D, Mestreau E L, Luo H, et al. Development and applications of an embedded CSD approach for coupled CFD/ CSD modeling of blast/ structure interactions [J]. Advances in Fluid Mechanics, Fluid Structure Interaction, 2003, 36:263-272
- [16] 李永欣,李光永,邱象玉,等. 迷宫滴头水力特性的计算流体力学模拟[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3):12-16
- [17] 袁寿其,朱兴业,李红,等. 全射流喷头内部流场计算流体力学数值模拟[J]. 农业机械学报, 2005, 36(10):46-49
- [18] 熊霖,姚朝晖,郝鹏飞,等. 冲击射流的 PIV 实验研究[J]. 流体力学实验与测量, 2004, 18(3):68-72
- [19] 李根生,宋剑. 双射流流动特性数值模拟与 PIV 实验研究[J]. 自然科学进展, 2004, 14(12):1464-1468