

农业建筑蒸发降温技术研究 与应用的现状及展望*

马承伟^① 黄之栋 李保明 崔引安
(北京农业工程大学)

提 要 农业建筑中夏季蒸发降温技术已开发与研究的有湿垫风机、细雾、喷淋与雾帘等方式。该文评述了国内外研究与应用的现状与发展趋势。湿垫风机发展较成熟,应用广泛,应继续完善,同时应开展对细雾降温等其它方式的研究。

关键词 农业建筑 蒸发降温 研究现状

The Development of Evaporative Cooling Technology for Farm Buildings

Ma Chengwei Huang Zhidong Li Baoming Cui Yinan
(Beijing Agricultural Engineering University)

Abstract The ways of evaporative cooling for farm buildings in summer have been developed in the world, including fan-pad, mist-fog, sprinkler and spray-curtain, etc. The recent development of them in application and study is reviewed and evaluated in this paper. The fan and evaporative pad cooling system is regarded as the best one, and is widely used, but it should be improved further. Simultaneously, other ways such as mist-fog system should be studied in China, too.

Key words Farm building Evaporative cooling Status

利用水蒸发吸热实现冷却的蒸发降温技术已在农业建筑夏季生产环境控制中广泛运用。蒸发降温具有效果显著、省能经济、运行可靠及维护方便等优点。理论分析与实践结果均表明,蒸发降温不仅适用于我国气候干燥的北方地区,也适合于夏季炎热的南方大多数地区^[1,2]。是一项广泛适用的很有利用前景的实用技术。

从水与空气的热质交换方式看,蒸发降温有直接蒸发降温(Direct Evaporative Cooling)与间接蒸发降温(Indirect Evaporative Cooling)二种方式。前者是空气与水直接接触,空气冷却的同时也被加湿。后者要降温的空气不与水直接接触,而是通过热交换器与直接蒸发降温后的水或空气热交换而得冷却,空气经冷却后含湿量不增加。但间接蒸发降温设备投资大。目

收稿日期:1994-11-29 1995-03-30 修订

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目

① 马承伟,副教授,博士生,北京海淀区清华东路 北京农业工程大学 67 信箱,100083

前农业建筑领域主要采用直接蒸发降温。

蒸发降温的效果取决于水与空气间热质交换强度,关键是要尽力扩大与空气的接触界面,这是所有蒸发降温方式必须首先解决的核心问题。对此问题解决方法的形成蒸发降温技术的二大类方式:湿垫(湿帘)方式与雾化方式。具体的实现方法则较多样化。现从不同形式的蒸发降温技术研究与应用现状及存在的问题探讨其发展方向。

1 湿垫风机降温系统(Evaporative Pad and Fan System)

自50年代美国的研究者开始研究开发以来,湿垫装置逐步实用和成熟并得到推广。尤其是波纹纸材料的湿垫出现后,推广到日本、欧美及中东许多国家。在对湿垫材料,结构形式及运行和应用等方面大量研究的基础上,美、日等国已制订了相应的标准或规范^[3,4]。

湿垫降温装置效果显著、运行可靠。合理设计与运行的湿垫,其蒸发降温效率可达75%~90%,通过阻力损失约为10~40 Pa^[5~8]。

我国在80年代初引进美国的湿垫降温装置,对该技术消化吸收,进一步从结构优化、设计方法以及应用等方面进行了深入的研究^[1,2,8~14]。1988年北京农业大学研制成功了适合我国条件的湿垫与风机,通过了农业部新产品鉴定并投入批量生产^[15]。湿垫降温系统与近年推广应用的纵向通风技术相结合,已成为目前农业建筑夏季通风降温的最佳组合模式在国内外得到广泛应用^[1,2,10,16,17]。

湿垫还存在一些有待研究改进的问题。空气中尘垢的附着与水中盐类的沉积会使效率降低,阻力损失增大以至产生堵塞。盐类与尘污在水中不断积聚使循环水水质变差,水需经常更换,使耗水量增加,纸垫不用时保存中易受损坏。纸质湿垫使用后产生收缩与变形,产品寿命短、价格较贵。此外湿垫还难以用于开放的或自然通风的场所。

针对尘垢与盐类沉积等问题,开始注意研究湿垫的运行与维护方法^[18,19];有人提出采用湿垫外建回廊防止沙尘以及循环水净化等完善湿垫的装置与措施^[20]。

开发耐用不易变形、价廉的湿垫材料是湿垫研究的一个重要方面。国内有采用麻纱、塑料窗纱^[21],棉或化纤织物^[22]制成湿帘代替湿垫的实验,据称化纤湿帘的降温效果与耐久性较好。北京农业大学农业生物环境工程重点开放实验室即将开发成功一种耐久的亲水性塑料波纹湿垫。国外曾开发成功用塑料与水泥材料的湿垫,有耐久、坚固不易变形的优点,但价格较高^[23]。法国一家公司采用多孔空心砖砌成的“湿墙”代替湿垫,有较好的效果^[24]。总之,开发一种主要性能指标超过纸垫的新材料湿垫还有待进一步研究。

为使湿垫能适用于开放与半开放场所,有湿垫冷风机问世^[25]。已有多种商品,但应进一步研究改进。

2 细雾蒸发降温系统(Evaporative Mist-Fog System)

多采用水力或气力雾化的方法向要降温的空间直接喷入细雾使之蒸发冷却空气。为使雾滴有尽可能大的总表面和以加速蒸发,同时防止粗雾滴不能完全蒸发时落下淋湿动植物体表或在地面积水,造成病害及管理不便,要求雾滴高度细化,一般应使雾滴直径在50~80 μm以下。这往往需要采用较高的喷雾压力。

细雾降温的蒸发降温效率比湿垫低。Timmons 和 Baughman 在水压 275~1380 kPa 时测得降温效率为 10%~37%^[26]。提高水压至 2760 kPa 时测得降温率为 50%；Buttcher 等采用气力雾化获得 24.7%~69%的降温效率^[27]。但提高水压与气力喷雾都会增加设备与运行费用。降温效率低主要是因为雾滴分布不均匀,部分空间因分布雾滴少而未得充分降温。

农业建筑内蒸发降温所需雾量是受很多因素(如热负荷、空气湿度及通风量等)的影响,在不同情况下变化范围很大。但雾化设备难以随之相应变化调节。所以即使雾化较好,也难以保证任何情况下都不淋湿动植物体表与地面,容易造成室内湿度过高^[28~31]。

细雾降温系统投资较低(在美国仅相当于湿垫降温系统的一半左右^[6]),且适应性广,密闭与开放舍、机械自然通风均可采用,使用灵活,在现有房舍中加装容易^[27,34];喷雾设施耐用而且可兼用于消毒。因此,它在美国等发达国家的温室与鸡舍等农业建筑中广泛应用^[26,27,32,33]。且研究也十分活跃,研究内容涉及细雾降温效果、特性与评价、优化设计与运行控制等方面^[26~38]。

国内有关细雾蒸发降温的研究与应用较少。科研与生产部门开发过一些喷雾降温设施,但由于喷头质量、降温效果等问题,没有广泛推广使用。对引进温室采用的细雾降温系统的研究表明,这种系统可以在我国成功地运用^[28,38]。

值得注意的是近年在空调界出现的一些加湿设备,如用作细雾降温的雾化设备具有很好的效果。如超声波加湿器与离心加湿器,雾化质量极佳(雾粒直径小于 10 μm),消耗功率很小,使用灵活方便^[39,40],但价格很贵。如能大幅度降低其生产成本,可成为很理想的细雾降温设备。

3 喷淋降温系统(Evaporative Sprinkler System)

与细雾系统不同的是,喷淋系统主要靠淋湿动物体表,水在动物体表上蒸发直接带走体热。这种方式降温直接,效果显著,简便易行,但使用范围有限,主要应用于猪舍与牛舍^[6,41~45]。喷淋系统能适用于机械或自然通风舍,房舍中采用水泥地面或漏缝地板以利排水,很容易在现有房舍中加装。水滴不要求很细,故对喷淋设备要求很低,喷水压力 70~250 kPa 即可,自来水压力足够时甚至可省去水泵。因此喷淋系统投资与运行费用都较低。

对单个动物降温时可采用滴水降温法(Drip Cooling),这常在分娩猪舍中采用,水滴只滴在母猪体表面而不沾湿仔猪,以满足二者不同的温度要求。

4 雾帘降温系统(Spray-Curtain System)

雾帘降温是在温室中试验的一种新蒸发降温方式。图 1 即林真纪夫的试验所采用的方案^[46]。它主要由喷雾装置与水膜构成。喷出的雾滴限制于屋面与水帘之间的夹层空间中。空气由天窗吸入,在夹层中经水蒸发降温后进入温室。未蒸发的水滴由水膜承接并汇入水槽回收,这完全防止了水滴淋湿作用与地面,被水湿润的水膜表面还是一个很大的蒸发表面。夹层

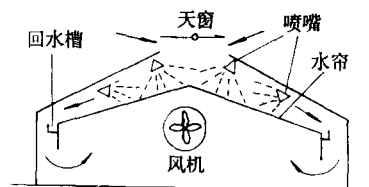


图 1 雾帘降温系统示意图

具有阻挡辐射热进入的作用。苗香雯等在自然通风温室中进行了雾帘降温的试验^[4],使夹层中吸热后水汽靠对流通风散出室外,可防止室内湿度过高。Giacomelli 采用另一种构造^[48],在喷雾装置下平铺聚酯毯状材料,可兼有夏季遮荫的作用。

雾帘降温具有降温效果好,能避免高湿度的产生,对各部分装置无特殊要求因而有设备简单投资较低等优点,但该水膜材料冬季也会对植物挡光,应进一步研究使之实用化。

5 集中式雾化降温系统(Centralized Spray Cooling System)

集中式雾化降温系统是在农业建筑通风的进风口处集中布置喷雾装置,如图 2 所示。未蒸发完的雾滴可落入水池循环使用,避免了在室内直接喷雾时雾滴淋湿动植物与地面的问题,对泵与喷雾装置的要求大为降低。进入室内的空气经过均一而完全的蒸发降温处理,能取得

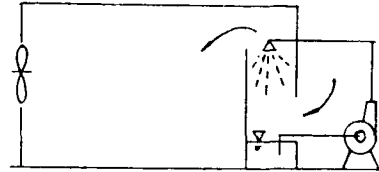


图 2 集中式雾化降温系统示意图

高效而稳定的降温效果。在入口的气流组织上,该系统使气流与雾滴的喷出呈相反方向,以增大雾滴与气流相对速度,提高热质交换效率。进风口气流呈垂直向上的方向,对雾滴产生向上托升的作用,未蒸发的雾滴在下落过程中可由上升的气流挟带向上运动,至其运动速度降低时又重新回落。如此反复,类似沸腾炉中粉粒的运动。这种雾滴“沸腾”般的运动可有效延长雾滴与空气接触时间,增强热质交换,达到良好的蒸发降温效果。

本文作者对此已进行了实验室阶段的试验,对新风速与水滴大小的配合及喷雾室的结构等进行了优化,获得了肯定的效果,并研究了实用化系统的设计与运行参数的确定等问题(试验结果另文介绍)。

国外 K. Lüchow 进行了类似的试验^[49],在水与气顺流、逆流及顺逆结合三种情况下试验,结果以逆流式效果最佳,降温效率可接近 100%。

6 结 语

在夏季各种降温的手段中,蒸发降温是最经济的,不足之处是在降温的同时也会使湿度增加,这是由其降温原理决定的、难以克服的缺陷。同时直接降温的降温幅度还受到不能使气温降到湿球温度以下的限制,因此湿度较大的天气不能达到好的降温效果。要在这些限制以内尽量发挥蒸发降温的潜力,也是蒸发降温技术之难点所在。

蒸发降温尽管有其局限性,但由于能解决农业建筑夏季生产中高温这个主要矛盾,而且经济性好,因此仍然不失为农业建筑夏季生产的有效降温手段。

各种蒸发降温方式中,目前湿垫风机系统发展最成熟,应用最多,在今后相当长的时期内将作为主要蒸发降温技术而广泛采用。针对其存在的问题,应继续研究改进。同时也应积极开展对细雾降温等其它蒸发降温方式的研究,大力开发新的蒸发降温技术。

参 考 文 献

- 1 李保明,黄之栋.我国南方炎热地区开放式鸡舍的夏季降温问题.北京农业工程大学学报,1992,12(2):42~47
- 2 黄之栋.纵向通风与湿帘风机降温原理与应用.农业工程学报,1993,9(增刊):209
- 3 三原义秋著,王志刚等译.设施园艺环境控制标准资料.北京市科技情报所,1980
- 4 ASAE. ASAE Standards 1992. Michigan, USA: ASAE,1992. 503~504
- 5 ASHRAS. 1991 ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications. Atlanta, USA: ASHRAS,1991. 21. 3
- 6 Hellickson M A, Walker J N 著,贺致存译.农业生产建筑的蒸发冷却系统.农业工程学报,1987,3(4):99~109
- 7 Timmons M B, Baughman G R. A plenum concept applied to evaporative pad cooling for broiler housing. Trans of the ASAE,1984,27(6):1877~1881
- 8 周长吉.蜂窝纸湿帘结构的实验优化.农业工程学报,1988,4(2):37~47
- 9 金羽周,黄之栋,崔引安.温室蒸发湿帘风机降温系统热环境的研究.农业工程学报,1987,3(1):47~57
- 10 周允将.鸡舍湿垫—风机降温系统的应用与设计.农业工程学报,1988,4(4):38~46
- 11 周长吉,崔引安.蒸发降温湿垫的动态参数设计法.北京农业工程大学学报,1989,9(2):59~64
- 12 吴锦康,唐鸿彪.鸡舍降温湿垫系统的特性与参数设计.上海农学院学报,1993,11(3):182~189
- 13 吴锦康,唐鸿彪.鸡舍通风降温系统的比较与选择.上海农学院学报,1993,11(4):266~272
- 14 常景畲,赵洁,王顺清等.北京市东沙鸡场夏季湿帘降温效果观测报告.当代畜牧,1988(1):45~47
- 15 北京农业工程大学,石家庄风机厂,焦作农业工程设备厂.DDZ-1250型湿帘风机 ZB-120 湿帘鉴定文件汇编.1988,5
- 16 李保明,周允将,崔引安.夏季鸡舍纵向通风系统的应用与研究.农业工程学报,1992,8(4):83~89
- 17 Czarick M, Tyson B L. Design considerations for tunnel-ventilated broiler houses. ASAE Paper No. 89~4527
- 18 司建林,王云龙,李洪发.现代畜禽舍通风控制技术.农业工程学报,1993,9(增刊):65~71
- 19 Thomas P, 陈志诚译.蒸发降温湿帘系统的保养.国外畜牧学—猪与禽,1993(2):56~58
- 20 Qureshi A A, 刘汉光译.采用蒸发降温系统应注意哪些问题.国外畜牧学—猪与禽,1992(2):49~51
- 21 徐少华,陈维宽,黎寿丰等.鸡舍湿帘防暑降温应用的研究.中国家禽,1994(3):4~6
- 22 刘序祥.鸡舍的降温.中国家禽,1994(1):19
- 23 ドナルド ベル.ヒートストレスに対応した飼育管理.鸡の研究,1992,67(8):98~100
- 24 刘建成译.猪舍湿墙降温.国外畜牧学—猪与禽,1994(3):47
- 25 北京农业工程大学农业生物环境工程研究所.SLF系统湿帘冷风机产品说明书.1991
- 26 Timmons M B, Boughman G R. Experimental evaluation of poultry mist-fog systems. Trans of the ASAE, 1983, 26(1):207~210
- 27 Bottcher R W, Baughman G R, Kesler D J. Evaporative cooling Using a pneumatic misting system. Trans of the ASAE, 1989. 32(2):671~676
- 28 徐刚毅.日本产温室设施的性能测定.农业工程学报,1994,10(3):156~160
- 29 佐藤惠一.高温下における细雾冷房.施設园艺,1994(7):13~16
- 30 Bottcher R W, Baughman G R. Analysis of misting and ventilation cycling for broiler housing. Trans of

- the ASAE, 1990, 33(3): 925~932
- 31 武富猛. ハウスの噴霧冷房による夏季高温対策. 农业および园艺, 1979, 54(5): 648~652
- 32 Gates R A, Usry J L, Nienaber J A et al. An optimal misting method for cooling livestock housing. Trans of the ASAE, 1991, 34(5): 2199~2206
- 33 Gates R S, Overhults D G, Bottcher R W et al. Field calibration of a transient model for broiler misting. Trans of the ASAE, 1992, 35(5): 1623~1631
- 34 Bottcher R W, Baughman G R, Gates R S et al. Characterizing efficiency of misting systems for poultry. Trans of the ASAE, 1991, 34(2): 586~590
- 35 Wilson J L, Hughes H A, Weaver W D et al. Evaporative cooling with fogging nozzles in broiler houses. Trans of the ASAE, 1983, 26(2): 557~561
- 36 Gates R S, Timmons M B, Bottcher R W. Numerical optimization of evaporative misting systems. Trans of the ASAE, 1991, 34(1): 275~280
- 37 Gates R S, Timmons M B, Stochastic and deterministic analysis of evaporative cooling benefits for laying hens. Trans of the ASAE, 1988, 31(3): 904~909
- 38 徐刚毅, 田东风. 温室细雾风机系统的参数设计与调节. 农业工程学报, 1991, 7(4): 48~54
- 39 王成. 谈加湿技术的发展和利用. 建筑技术通讯—暖通空调, 1991(5): 24~26
- 40 上海航海仪器厂. LJ 系列离心加湿器产品说明书
- 41 Strickland J T, Bucklin R A, Nordstent R A et al. Sprinkling and fan evaporative cooling for dairy cattle in Florida. ASAE Paper, 1988, No. 88~4042
- 42 温书斋. 奶牛舍喷淋防暑效果的初步观察. 全国畜禽饲养管理工程学术讨论会论文, 1986, 10
- 43 宋项光, 董青. 奶牛舍喷淋防暑装置安装的某些基本参数的探讨. 全国畜禽饲养管理工程学术讨论会论文, 1986, 10
- 44 张春贤译. 一种有效的猪舍降温系统. 北京农机, 1989(2): 29~33
- 45 简华林. 现代养猪场自动喷淋滴水降温系统. 广东农机, 1991(4): 24~26
- 46 林真纪夫, 古在丰树, 新古忠之等. 园艺环境工学における最近の話題[9]ウオ-タ-カ-テン方式を併用しに細霧冷房方式. 农业および园艺, 1986, 61(10): 97~102
- 47 苗香雯, 崔绍荣, 王绍金. 温室喷雾—水膜降温系统研究. 农业工程学报, 1990, 6(2): 38~42
- 48 Giacomelli G A, Giniger M S, Krass A E. Utilization of the energy blanket for evaporative cooling of the greenhouse. ASAE Paper, 1985, No. B5-4047
- 49 Lüchow K, von Zabeltitz C. Investigation of a spray cooling system in a plastic-film greenhouse. J Agric Engng Res, 1992, 52: 1~10