

中国干燥技术现状及发展趋势

史勇春, 柴本银

(中国化工学会化学工程专业委员会干燥技术专业组, 山东 济南 250014)

摘要:对中国干燥技术、干燥理论研究及技术创新的发展现状作了评述;对干燥技术在各行业的应用现状作了全面介绍;对干燥技术的可持续发展道路与发展趋势作了分析与探讨。

关键词:干燥技术;理论研究;技术创新;应用现状;发展道路

中图分类号: K 206.6

文献标识码: A

文章编号: 1727—308Q 2006) 03—0122—09

1 干燥技术现状

第一届全国干燥会议于1975年6月23日至30日在南京召开,至今已30年了。

30多年来,我国干燥技术研究队伍不断壮大。目前我国从事干燥技术研究的大专院校、科研院所大约有50多家,领域涉及化工、医药、染料、轻工、林业、食品、粮食、造纸、硅酸盐、水产等行业。全国共有设备制造厂600多家,企业自身也已拥有一支强有力的干燥科研开发队伍。通过广泛开展干燥技术基础研究、工艺研究及工业化应用研究,使得我国干燥技术正在走近国际先进水平,而在某些技术领域已经达到国际先进水平。

30多年来,我国干燥技术学术交流活跃。中国化工学会化学工程委员会干燥技术专业组主办的全国干燥技术会议已举办10届,共发表论文665篇。这是我国规模最大、涉及行业最广的干燥技术交流盛会。除此之外,中国农业机械学会加工机械分会干燥技术专业委员会举办过农产品干燥技术研讨会9届;中国林学会木材工业分会木材干燥学组举办过全国木材干燥学术讨论会10届,共发表论文537篇;中国制冷学会举办过全国真空冷冻学术讨论会10届,冻干技术交流活跃;全国微波能应用学术会议由中国电子学会微波分会、中国电子学会真空电子学分会主办,也已达10届,微波干燥是会议内容之一。

30年来,中国的许多干燥技术已得到了工业化应用,主要有喷雾干燥、流态化干燥(普通流化床,振动流化床,内加热流化床,流化床喷雾造粒干燥)、蒸汽回转干燥、气流干燥、回转圆筒干燥、旋转快速干燥、圆盘干燥、带式干燥、双锥回转真空干燥、桨叶式干燥、冷冻干燥、微波及远红外干燥、粮食干燥等。常规干燥设备基本可以满足生产需要,有部分机型已达到国际当代水平并出口到国外。

干燥单元的重要性不仅在于它对产品生产效率的效率和总能耗有较大的影响,还在于它往往是生产过程的最后工序,操作的好坏直接影响产品质量,从而影响市场竞争力和经济效益。我国有许多产品,就纯度而言已经达到甚至超过国外产品,只是因为干燥技术不如国外,堆积密度、粒度、色泽等物性指标上不去,在国际市场竞争中处于劣势,有的售价仅为国外同类产品的三分之一。目前我国某些大型石化干燥装备还依赖进口。据估计,我国生产的干燥设备种类仅为国外的30%~40%。由此可见,我国干燥技术研究仍然是任重而道远。

2 干燥理论研究及技术创新

2.1 基础理论与实用工程技术研究

近30年,我国学者在干燥技术领域取得了许多成果,以下是部分实例。

中国科学院工程热物理研究所刘登瀛研究员的《在微时间尺度和高热流密度作用下的超急速传热传质》一文,用实验验证了非傅立叶导热(非平衡)效应的存在,首次提出了非傅立叶热效应和非费克扩散效应对干燥过程的影响趋势,并对多层

收稿日期: 2006-07-06

作者简介: 史勇春, 中国化工学会干燥技术专业组组长。

执笔: 柴本银, 中国化工学会干燥技术专业组秘书长。

流化床干燥机和碰撞流干燥机中非稳态干燥过程作了全面研究。

中国农业大学刘相东教授在“多孔介质内部水分迁移过程的孔道网络模拟及分形网络模拟”研究中,对物料和干燥介质之间的质热传递过程作出了新的解释,为干燥技术提供了理论支持。他还对“脉动燃烧干燥”技术作了深入研究。

中国农业大学曹崇文教授是中国的谷物干燥专家,他在谷物干燥过程的计算机模拟方面开发了多种软件,研究开发的 5HG-4,5 粮食干燥成套设备已推广百余台。

中国林业大学张璧光教授在木材干燥领域研发了“木材除湿干燥机”和“多功能热泵干燥机”,在太阳能木材干燥过程的传热传质研究方面也取得多项研究成果。

中国林业科学院林化所的王宗濂研究员与课题组的同志一起在上世纪 80 年代就开发了 10 万厘泊高粘度物料的喷雾干燥技术,在离心喷雾雾化器的研究中以三支点力学模型解决了挠性轴系的一系列理论问题。还研制了生产能力 50t/d 的能生产 0.3~0.5mm 粒径的分散染料高压喷雾干燥设备。

大连理工大学王喜忠教授和同事王宝和教授、于才渊教授对中国的喷雾干燥设备进行了广泛研究,设计了年产万吨的大型干燥装置。在磷脂油脚和番茄红素的微胶囊化技术、静电雾化技术、超临界干燥和纳米粉体干燥研究方面也都处于国内领先地位。

香港科技大学化工系的陈国华博士对纸的热风冲击、穿透及冲击穿透干燥方面作了深入研究,并首次发现有二次升速阶段。

天津科技大学的潘永康教授在研究生物活性物料和蔬果动态干燥时发现,有些生物物料干燥时如果进风的湿球温度接近于生物物料的发酵温度,则可最大限度地保存生物产品的活性(90%以上)。蔬果切片的动态快速干燥可在 0.5 小时内将湿含量从 90%降至 10%,其有效营养成分损失甚少。还对流化床的工业应用作了开发研究。

东北大学徐成海教授近年来研制成功了“连续真空干燥设备”和“连续真空冷冻干燥设备”,可冷冻干燥活菌、活毒、皮肤、骨骼、角膜等生物制品,在医学上有重要意义。

山东省科学院史勇春研究员及其团队在流态

化干燥技术、蒸汽回转干燥技术研究方面,在国内位处前列。研究的内加热流化干燥机在纯碱干燥、煅烧、精制盐干燥中替代了传统产品和进口产品。在国内首次研究出 PTA 干燥工业模型。

2.2 技术创新

企业是技术创新的主体,我国干燥技术的产业化走了一条产学研相结合的路子。目前我国干燥机类型有 20 多个系列 250 多种规格品种。有些产品已达到国际水平,可替代进口。以下是国内生产的部分干燥设备与技术现状。

带式干燥机:有穿流气流带式干燥机和多层带式干燥机,生产厂家较多,有六七个型号,广泛用于化工、食品、医药等行业。国外有 240m² 大型带式干燥机,我国现有设备的最大干燥面积为 140m²。大型设备开发是今后的主要任务。

箱式干燥机:生产厂家较多,国内有热风循环、药用 GMP 烘箱和隧道式结构,三类烘箱型号有 20 多种。

喷雾干燥机:生产厂家较多,雾化器仍然是压力式、离心式和气流式三种。型号近 30 种。喷雾干燥技术已比较成熟,干燥机的质量和综合性能已接近丹麦尼鲁公司水平。近 20 年来喷雾干燥技术与设备的进步主要体现在:解决了粘壁问题,改善了产品物性,生产了喷雾与其他操作单元相结合的一体化干燥机,开发了喷雾和其他干燥装置结合的组合干燥工艺。

流态化干燥设备:包括普通流化床干燥机、振动流化床干燥机(卧式振动流化床干燥机,立式振动流化床干燥机,双质体振动流化床干燥机)、内加热流化床干燥机、搅拌流化床干燥机、惰性粒子流化床干燥机。型号近 50 种。其中普通流化床干燥机、振动流化床干燥机为常规产品,生产厂家很多,有几百家。内加热流化床干燥机近年来技术进步很快,达到了国际先进水平,可替代德国苏尔寿产品。

气流干燥机:有直管气流、脉冲气流、强化气流、旋风气流、蜗旋气流等型式,是我国散粒状物料干燥的实用技术。生产厂家很多,型号近 40 种。

闪蒸干燥机:国内生产厂家很多,自上世纪 80 年引进以来,已发展到第四代,在技术水平上已可以替代安海达诺干燥机。型号近 10 种。

桨叶式干燥机:是在吸收日本奈良机技术基础上发展起来的,主要用于精细化工、石油化工产品的干燥。大型的桨叶式干燥机主要用于城市的污

泥干燥。目前国内已有多家企业能制造这种设备,型号有七八种,但仅限于双轴式,四轴以上的大型设备未见有制造的报道。最近我国又引进了日本栗本铁工所桨叶技术。

盘式干燥机:上世纪80年代初期,上海化工装备研究所开始开发此项技术,近几年国内多家干燥企业开始开发此类产品,目前技术已基本成熟,用于化工、医药、食品的干燥。规格有近20种。

管束干燥机:热效率高,总传热效率可达80%~90%,特别适用于干燥温度在150℃以下的物料。国外较有代表性的企业是日本大川原化机株式会社。国内生产厂家较多,主要用于槽渣和矿物的干燥,型号有五六种。

直接换热回转圆筒干燥机:有普通回转圆筒干燥机、自清理回转圆筒干燥机、打散回转圆筒干燥机、穿流回转圆筒干燥机等,是最古老的干燥设备之一。经过对回转圆筒内抄板形式的改进,使其具有更广阔的应用空间,广泛用于化工、建材、饲料和冶金等领域。型号有近20种。

蒸汽干燥机:属间接传热式干燥机,与普通回转干燥机的差别在于在筒内安装有贯穿于整个干燥机的蒸汽加热管,适用于连续干燥大批量物料,广泛应用于化工、石化、冶金、饲料、环保等行业。该干燥机用于PTA干燥,属于重大干燥装备的国产化项目,型号有十一二种。

制药造粒包衣设备:生产厂家以常州地区最为集中,主要有喷雾干燥制粒机、一步制粒机、高效沸腾制粒机,以小型制药设备为主,机型有20多种,已出口到国外。

冷冻干燥机:主要有医药类和食品类冻干设备,型号近20种,部分产品出口到国外。

真空干燥设备:有真空耙式干燥机、双锥回转真空干燥机、真空干燥机,用于制药、化工、食品等行业,有20多种机型。

微波干燥设备:有箱式微波干燥机、隧道式微波干燥机、平板式微波干燥机,用于食品工业、医药工业的干燥灭菌和化工、冶金、电子、陶瓷等行业的微波干燥。设备型号有近20种。

组合干燥技术:组合干燥有利于节约能源和保证产品质量,操作更灵活。常用的组合干燥有气流—流化床干燥系统、转筒—振动流化床干燥系统、双级气流干燥系统、桨叶—闪蒸干燥系统、喷雾—带式干燥系统等十几种。

部分具有特色的成套技术:江苏宜兴格兰特干燥浓缩设备有限公司生产的淀粉成套设备,郑州中原干燥设备有限公司聚酯切片成套生产装置,东台食品机械厂生产的变性淀粉成套设备,山东天力干燥设备有限公司生产的大型氯化胆碱成套设备、用脱硫石膏生产石膏板的成套装置和纯碱煅烧、干燥成套装置,沈阳新阳速冻设备制造有限公司生产的食品速冻成套装置,天水花园公司生产的微波真空干燥中药浸膏成套装置,石家庄工大化工设备公司研制的碳酸钙生产成套装置等。

3 干燥技术在各行各业的应用

3.1 化工

化工行业需要处理的物料种类繁多,大量的无机盐与有机物特性各异,达数千种。它们性状差异极大,质量要求各不相同。就形态而言,有溶液、悬浮体、淤浆、粘膏、粉体、颗粒、块状体、纤维、不定形状的散乱物料等;就性质而言,有松散和粘结性的,有耐热和高热敏性的,受热脱水时有不变形和易开裂变形的;物料中的水分也有表面水、孔隙水和结晶水等不同的贮存形态。干燥产物的质量除了湿含量这一最基本的要求外,一般还要求化学、生化甚至电、磁性质保持不变;有许多产品对堆积密度、粒度和色泽等物理性质有特定的要求;某些物料还要求干燥过程中不发生变形、断裂等。显然,不同类型的物料要求用不同的技术和设备解决其干燥问题。

化工生产中,常用的干燥设备有十几种,有近百个规格。常用的干燥机类型有:厢式、洞道式、带式、气流、喷雾、流化床及振动流化床、内加热流化床、流化床喷雾造粒、回转、滚筒、真空耙式、真空双锥回转、桨叶式、闪蒸、微波及远红外干燥机等,以及上述这些干燥方式的两种以上的组合。

经过20多年发展,大多数干燥设备我国都能制造,扭转了干燥设备靠进口的局面,有的已达到国际先进水平。但是,我国干燥技术在基础理论研究、加工质量、自控水平、实验条件和能力、特殊物料干燥工艺的研究及设备的大型化、成套化、标准化方面与国外仍有差距。

我国化工行业对干燥设备需求量巨大,已成为世界主要精细化工产品生产国之一,染料产量已稳居世界第一位,农药也居第一位,涂料居第四位。各类精细化工产品不仅能基本满足国民经济发展的需要,而且许多产品在国际市场上已占有相当份额,有的甚至具有举足轻重的地位。作为终端环节,干

燥设备需求量大。在无机盐化工行业,许多产品需要干燥处理,如硫酸钾、元明粉、氯化钠、硫酸镁、硫酸钡、精制盐等。

目前,化工行业干燥设备正在向大型化方向发展。如我国生产的闪蒸干燥设备,直径可达 2.4m,桨叶干燥机的传热面积可达 160m²,盘式干燥机最大传热面积已达到 180m²。机械离心式喷雾干燥机的处理量可达 45t/h,机电一体的离心雾化器的处理量也已达 5t/h 的规模,离心喷雾干燥机直径已达 10m 以上。压力式喷雾干燥机可以达到直径 8m、总高约 50m,处理能力 4t/h。回转圆筒干燥机直径可达 3m、长 30m。带式干燥机面积也达到 140 m²。蒸汽回转干燥机直径可以达到 4m、长 48m。换热面积达 2400 m² 的内加热流化床干燥机、24 m² 的普通流化床干燥机也实现了工业化应用。

20 多年来,在化工领域有关干燥理论和技术的研究与开发主要集中在以下几方面:提高效率,降低能耗;提高干燥速率,使设备紧凑;提高控制水平,优化干燥机性能,改善产品质量;安全操作和控制环境污染;增强灵活性,开发可用于多种产品的干燥系统;开发多目标加工系统,使干燥与化学反应、烧结、加热或冷却、涂布、混合、分级等过程中的二种或几种结合在同一装置中进行。

在化工行业,成套装备是明确的发展目标,即以干燥为核心,向上下游发展,形成成套技术,从而实现行业突破。

3.2 石化

自上世纪 80 年代以来,我国石油化工重大技术装备研制和国产化取得了很大的成绩。炼油设备国产化率已达到 90%以上,化工设备国产化率已达到 70%左右,一批重大装备已达到或接近国际先进水平,石化装备行业的综合实力有了很大提高。

石化装备的特点是技术先进、研制难度大、成套性强、关联度大,是知识密集、技术密集和资本密集型产品。

在石化行业,流化床干燥机(普通床、振动床、双质体振动床、内加热流化床)、闪蒸干燥机、桨叶干燥机、蒸汽回转干燥机、转鼓结片干燥机应用广泛,很多产品已替代进口。

石化装备制造业是我国大型装备国产化重点支持领域。目前某些装备已实现了国产化。如内加热流化床用于乙二酸的干燥,已替代了进口产品。

20 万吨 / 年 HD PE 蒸汽管回转干燥机及 40 万吨 /

年 TA 装置蒸汽管回转干燥机已实现了国产化。差距主要表现在设备大型化方面,在即将建设的 40~50 万吨 / 年聚乙烯和聚丙烯装置以及 60 万吨 / 年聚酯装置的大型干燥机有待开发。

PTA(精对苯二甲酸)干燥装置是重大国产化项目,目前我国一些科研院所、企业单位已作了一些卓有成效的开发、设计和产业化工作。已研究出大型蒸汽干燥机的工业模型,正在研制直径 4m、长 48m 的用于 PTA 干燥的蒸汽干燥机。

为适应石油化学工业日益激烈的国际竞争,降本增效和提高产品的竞争能力,建设大型化装置、发展规模经营是实现这一目标的有效途径。石化装备将向着大型化、高效化、节能降耗方向发展。在这个过程中,干燥设备厂家应积极参与新工艺新技术的研究与开发,新工艺需要新设备去实现。装备的新设计、新材料和新制造技术是在化工工艺的新要求下发展起来的。要摆脱依赖引进的落后局面,逐步提高自主开发能力,开创先进的工艺流程,也需要干燥装备企业的参与配合。

干燥单元在石化工程设计中,常被视为辅助性单元而被忽略。实际上它是降低能耗的重要环节。在繁杂的化工工程设计中,工程设计单位常缺少精力去改善这些单元的性能。然而这些恰恰是装备制造企业的技术专长。同时,装备制造企业具有利用和综合各行各业用户同类共性技术的条件,企业又有较强的专业性产品的设计开发人才,因此有能力为用户提供所需的模块式先进操作单元。这不但扩展了市场,提高了自身的经济效益,也可在石化行业找到自己的定位。因此石化行业是干燥装备企业大有可为的市场领域。

3.3 医药

干燥设备在制药行业的应用,已有相当长的历史,从 20 世纪六七十年代就已大量使用的箱式烘房或热风循环烘房,到 20 世纪 80 年代的真空干燥设备,再到 20 世纪 90 年代沸腾床与喷雾干燥、包衣、造粒设备的广泛应用,20 世纪末期真空冷冻干燥机、微波干燥机也能自己生产,基本能满足制药行业要求,特别是本世纪初医药行业实行的 GMP 认证。

一台合格的制药干燥设备,不仅需满足干燥操作要求,还应满足 GMP 要求;既要满足设备强度、精度、表面粗糙度及运转可靠性等要求,还要考虑结构可拆卸、易清洗、无死角,避免污染物渗入。设

计时要消除难以清洗和检查的部位,采用可靠的密封。制造时设备内壁光洁度要高,所有转角要圆滑过渡。

沸腾制粒干燥和喷雾沸腾制粒干燥于上世纪90年代在国内制药工业开始应用。现在传统的多单元干燥装置已完全被符合GMP要求的一步制粒干燥机所取代,在一台设备中同时完成混合、制粒和干燥。我国制粒干燥技术装备已接近国际水平。

冷冻干燥技术是将湿物料冻结到冰点以下,然后使水分由固态直接升华成气态水蒸汽,从而使物料中水分含量降低得到干物料要求的一种干燥技术。生产流程有四步:前处理、速冻、脱水和后处理。医药用冻干机主要用于血清、血浆、疫苗、酶、抗生素等的生产和药品保存。药品冻干包括西药和中药两部分。西药冻干在国内已经开展起来,较大型的制药厂都有冻干设备。今后研究的方向是在保证产品质量的前提下,如何提高冻干效率、缩短干燥时间、节约能源。中药冻干在国内还没完全展开,目前局限于人参、鹿茸、山药、冬虫夏草等少量药材,大量中成药还没有冻干工艺。我国中药冻干工艺的研究很有潜力。

微波具有穿透非金属、被金属反射、被水或含水物质吸收的特性。微波能量直接辐射到物料层内部,使料层内部温度升高,生产压力,蒸发的湿分向表面转移并被热气带走,干燥时间缩短2/3,同时具有消毒作用。微波干燥主要用于中药,干燥速度快,能源利用率高,干燥灭菌效果好、品质优,且可以进行连续化、自动化生产,生产环境符合GMP要求,值得推广应用。但微波技术不适于热敏性物料的干燥。此外,是否会影响药物的稳定性、疗效等,尚需深入研究和探讨。

3.4 食品

食品冷冻干燥技术

冻干产品能够维持原有的形状,保持原由的色香味及营养成分,保质期长,因而在果蔬类、调味品、糖料类、固体饮料类、牛初乳、方便食品类、香精类干制中应用广泛。

食品冻干设备约于1943年出现在丹麦。发展至今,各工业发达国家几乎都生产食品用冻干机。以冻干面积分,有小到0.1m²的实验冻干机和大到200m²的生产用冻干机;从冻干箱形状看,有方形、圆形和隧道式;从自动化程度看,可手动、半自动和全自动;从工作方式看,有间歇式、半连续式和连续

式;从冷冻方式看,有冻干合一型和冻干分离型,冻干合一型又可分直冷直热式、直冷间热式、间冷直热式和间冷间热式等几种类型。食品冻干设备的生产厂家在世界上较有影响的有丹麦Atlas公司和日本共和真空株式会社。

我国第一台冻干机是1951年由上海葛学煊工程师设计的,当时主要是仿制。以后20多年间发展很慢,80年代开始才有了较大发展。目前国内生产的食品冻干机其性能指标完全可以达到国际同类产品的水平,价格仅为引进设备的1/2~1/4。

食品冻干技术今后的发展方向是提高产品质量,降低产品成本。冻干工艺研究方向应该是建立最佳冻干工艺和寻求冻干产品质量的检查方法。

冻干理论的研究包括三部分内容:被冻干物料在预冻和干燥过程中传热传质的理论研究;冻干机内非稳态温度场和稀薄气体流动的理论研究;预冻过程中物料内水分的液—固相变,干燥过程中物料内水分的固—汽相变,捕水器内水蒸气的汽—固相变的理论研究。

果蔬干燥技术

果蔬干燥技术是一个非常活跃的研究方向。果蔬通过脱水干燥,可提高原料可溶性物质的浓度,阻碍微生物繁殖,抑制蔬菜中酶的活性,从而使脱水后的蔬菜能够在常温下较久保存,且便于运输和携带。

果蔬可采用常压热风干燥(如网带式干燥机)、真空冷冻干燥、微波干燥、远红外干燥、渗透干燥和过热蒸汽干燥。近年来新开发的干燥设备有喷射泵式真空冻干设备、真空油炸果蔬脆片设备、氮气干燥器、太阳能成套干燥设备、微波真空干燥机、振动流化床干燥机等。

我国目前生产果蔬的主流干燥设备普遍存在干燥速度慢、能耗大、成本高、产品复水性能差、品质保存率低等缺陷,导致了果蔬制品在国际市场的价格滑坡、国内市场打不开销路的严峻局面。果蔬干燥研究存在的问题:一是对各种脱水果蔬的复水性能缺乏研究,较少了解某些干制品改善复原性常用的手段;二是选择合适干制手段的能力较弱。近年来有过分夸大某种干燥方式的优点,而忽略其缺点的趋势。如一味强调冻干产品品质的优点,而忽略其易吸潮、易碎、设备投资大、操作费用高等缺点。

果蔬干燥研究方向:

在保证品质方面,开发选用不同干制技术以适应不同果蔬的干制特性,从而保障干制品的品质。如真空冷冻干燥、过热蒸汽干燥分别适用于热敏性和过敏性物料的干燥;微波加热均匀,可以避免一般加热干燥过程由于内外加热不均而引起的品质下降,能充分保持新鲜蔬菜原有的营养成分,并具有反应灵敏、便于控制、热效率高、无余热、无污染等显著特点;远红外干燥可使干燥效率和干燥质量显著提高;连续冷冻干燥则是一种发展趋势。

微波干燥、远红外干燥和声波干燥是国际上应用较为普及的三种高效节能新技术。国际趋势是将微波或远红外与真空低温技术结合,避免内部升温失控。热泵和太阳能干燥是近年才应用在果蔬干燥中的节能新技术,但干制温度低、干燥时间较长。

3.5 粮食

国外现在使用的粮食干燥机按其结构及干燥原理分主要有顺流式、横流式、混流式、逆流式和内循环移动式几种。我国目前使用的干燥机按其结构及干燥原理分主要有:

(1) 塔式干燥机 塔体采用砖钢混合结构,处理量大,一次降水不低于10%,主要用于玉米、小麦的烘干。

(2) 滚筒式干燥机 干燥段的筒体为钢筒,缓苏、冷却段为砖混结构,主要用于水稻、小麦的烘干。

(3) 流化床干燥机 结构简单,主要用于水稻、小麦和油菜籽的烘干。

(4) 网柱式干燥机 粮食在双层网状板间流动,形成的粮柱与干燥介质成错流运动,主要用于玉米、水稻、小麦的烘干。

(5) 顺逆流干燥机 粮食与热风同方向运动,干燥均匀,热效率较高;冷风与粮食反方向运动,干燥后粮食品质好。

(6) 蒸汽干燥机 利用一定压力的蒸汽,通过换热器间接烘干粮食。

(7) 顺流式干燥机 它可以使用较高的风温而不降低粮食品质。

(8) 循环式干燥机 属批式干燥机,湿粮喂入干燥机后,在机内循环,同时受热风的作用使水分蒸发,达到要求的终水分后,停机卸粮。

(9) 顺混流式干燥机 综合了顺逆干燥适合湿粮的特点和混流干燥均匀及干后水分低的特点。一次干燥流程即达到安全水分。

据统计我国农用粮食干燥机的拥有量为1万余台,而日本仅水稻干燥机的拥有量就有150万台。另外,我国粮食干燥技术与国外的差距主要表现为以下几个方面:干燥机的自动控制水平低,缺乏先进的传感器和测试仪器,粮食水分在线测试装置的精度和可靠性差,出机粮食水分不能准确控制;供热系统是粮食干燥机的重要组成部分,我国由于石油资源不丰富,粮食干燥机主要用煤作为热源,而燃煤热风炉寿命短、热效率低(一般不超过75%)、钢材消耗量大、制造成本高、对气流的阻力大;我国干燥机生产和热风炉生产脱离,造成干燥机和热源匹配性差;粮食干燥对环境的污染严重;通用化、标准化、系列化程度低。

在干燥机理、应用基础研究方面,中国农大、东北农学院、华南农大、江苏理工大学作了大量的研究工作,分别建立了谷物热特性、水分扩散特性、干燥速率等实验测定装置。中国农大率先开展了谷物干燥的计算机模拟研究,使国内谷物干燥技术研究接近和达到了国际先进水平。

3.6 木材

木材干燥方法

已实现工业化的常用人工木材干燥方法包括:常规干燥、高温干燥、除湿干燥、太阳能干燥、真空干燥、高频干燥,微波干燥及烟气干燥等。

常规干燥以常压湿空气作为干燥介质,以蒸汽、热水、炉气或热油作热源,间接加热空气,干燥介质温度在100℃以下。

高温干燥的干燥介质温度在100℃以上,其干燥介质可以是常压过热蒸汽,也可以是湿空气,但以常压过热蒸汽居多。常规炉气干燥和烟气干燥都配有燃烧木废料(或其它燃料)的燃烧炉,以燃烧产生的烟气作热源。烟气干燥一般指土法建造的干燥窑,以燃料燃烧生成的烟气直接或间接加热干燥木材。

除湿干燥(又称热泵干燥)与常规干燥的干燥介质相同,都是湿空气,二者区别在于空气的降湿方式。常规干燥空气采用开式循环,即定期从干燥室排出一部分湿度大的热空气,同时从外界吸入等量的冷空气,故常规干燥的换气热损失比较大。除湿干燥时,湿空气经过除湿机的制冷系统,冷却脱湿并经再加热后回到干燥室,进行空气的闭式循环。它与蒸汽干燥相比,其节能率一般在40%以上。

高频和微波干燥是以木材湿分作电介质,在交变电磁场的作用下使木材中的水分子高速频繁的转动,水分子之间发生摩擦而生热,使木材从内到外同时加热干燥。这两种干燥方法的特点是干燥速度快,木材内温度场均匀,残余应力小,干燥质量较好。高频与微波干燥的区别是前者的频率低、波长较长,对木材的穿透深度较深,适于大断面的厚木材。微波干燥的频率比高频更高(又称超高频),但波长较短,其干燥效率比高频高,但穿透木材的深度不及高频方式。

木材真空干燥时,木材内外的水蒸汽压差增大,加快木材内水分迁移速度,故其干燥速度明显高于常规干燥;同时由于真空状态下水的沸点低,它可在不高的干燥温度(如70左右)下达到较高的干燥速率,干燥周期短、应力小、质量好。

木材太阳能干燥一般是利用太阳能直接加热空气,依靠风机使空气在太阳能集热器和干燥室材堆之间循环。一般有温室(暖房)型和集热器型两种。太阳能干燥由于受气候条件限制,常与炉气、蒸汽、热泵等联合使用。

木材干燥理论研究

我国现有2000多种木材。实施天然林保护工程后,木材干燥的对象有所变化,主要是速生材、小径材、进口材等,木材干燥研究的任务十分艰巨。目前理论研究方向是:木材干燥的数学模型与数值模拟,木材干燥过程的传热传质,干燥新技术与新工艺,干燥过程的检测与控制,木材干燥室的优化设计,木材干燥对环境的影响。

木材干燥技术的发展趋势

常规蒸汽干燥仍占主导地位,除湿、真空、微波及高频干燥将呈增长趋势,组合干燥技术是今后发展的重点,如除湿和微波联合干燥等。

4 干燥技术的可持续发展道路

干燥操作涉及的领域极为广泛,在化工、医药、食品、造纸、木材、粮食与农副产品加工、建材、环保等领域,干燥操作常常成为其生产过程的主要耗能环节;同时,干燥单元对环境的污染也相当严重。按照国家“十一五”规划要求,干燥技术必须走绿色可持续发展道路。

4.1 改进干燥工艺,改变单一粗放型干燥方式

目前,我国多数产品的干燥操作是在单一干燥设备内在一种干燥参数下完成的。从物料干燥动力学特性可以看出,物料在不同的干燥阶段,其最优

干燥参数是不同的。采用单一干燥设备和单一干燥参数,不仅造成能源与资源的浪费,还会影响干燥质量与产量。因此,首先必须从干燥工艺上进行改进,例如采用组合干燥方式,即在物料的不同干燥阶段,采用不同干燥参数和干燥方式,可实现对干燥过程的优化控制。同时吸收绿色设计的理念,改变粗放型的干燥方式,逐步向循环经济的方向发展,即实现无废弃物、零污染排放、高效优化用能和优质生产。

4.2 进行全面节能技术改造,实现装备的升级换代

全面节能应包括过程节能、系统节能和单元设备节能几个方面,其根本目的是提高能源的利用效率,以降低一次能源消耗和提高单位能耗产值。

过程节能指生产过程的节能。对整个工业生产而言,是争取实现循环经济,即上游生产的产品或副产品可作为下游生产的原料或燃料。在循环经济理念中是没有废物,而只是处于不同生产环节中的资源。如对干燥尾气的循环利用,既达到了节能目的,又防止了废气物的排放。

系统节能是指对干燥系统进行总能系统分析,以实现系统中各单元设备的优化配置,实现能源的对口合理梯级利用。

单元设备节能包括干燥器和热源设备的节能改造。目前,在我国的干燥设备中,低效高污染的老式设备仍占大多数,低水平重复的现象相当严重。除了采用经济和行业标准手段,逐渐淘汰这些落后设备以外,应当加大开发先进节能干燥设备的技术投入和推广力度,重视干燥基础理论研究,加快引进其它领域的科研成果,如热管技术、超临界流体技术、热泵技术、计算机智能技术、脉动燃烧技术等。干燥单元操作可以采取下列节能措施:提高入口空气温度;降低出口空气温度;降低蒸发负荷;预热料液;减少空气从联接处漏入;用废气预热干燥介质;采用组合干燥;利用内换热器;废气循环;改变热源;干燥区域保温,防止干燥过度。要采用先进的制造技术理念,如绿色制造、智能设计、并行设计技术,以实现干燥装备的升级换代。

4.3 大力发展应用新能源与工业余热的干燥技术

大力调整和优化能源结构,是我国实施中长期能源发展规划的主要战略措施之一。我国有丰富的太阳能资源,生物能资源、风能和地热能,这些都是宝贵的新能源。国内外专家学者已对太阳能干燥技术进行了大量研究工作并取得了一些成果,譬如利

用太阳能作为补充热力的热源已获成功。另外可采用先进节能技术如热管技术和热泵技术对余热进行回收,以达到节能的目的。

5 干燥技术发展趋势

5.1 干燥技术理论研究

上世纪70年代-2000年:

在全球能源危机的促动下,研究及应用的侧重点是提高能源的利用率。

理论研究的热点集中在干燥动力学、干燥器操作机理方面。

随着全球经济的发展、国民消费水平的提高,提高产品品质和研究产品质量降解动力学,在食品及农产品加工领域成了热门课题。

在全球计算机技术的普及推动下,干燥过程的模型、模拟等研究也渐成热点。

关注产品质量,研究内容放在干燥器的自动控制上。

追求干燥过程的整体效益,进行复合干燥条件、组合干燥器与自动控制操作方面的研究。

对新型干燥技术与设备进行探索研究,力图在干燥领域进行干燥技术革命。

针对工程领域出现的新材料的干燥要求(如纳米材料,生物技术材料),开发专用干燥工艺及设备。

2000年-未来趋势:

在相关学科领域(如新能源、材料、工程热物理、生物、计算机等)新成果、新技术的推动下,进行新技术、新能源、新工艺、新设备的开发研究。

深入模型、模拟领域的研究(如微孔级模型的建立、多相流的模拟、CFD模拟、激光检测技术),探究复杂过程干燥器(如喷雾干燥、冲击流干燥等)的干燥机理。

在基础学科研究成果的推动下,进行干燥机理、干燥传递过程机理的基础研究,以改变干燥过程理论滞后于应用的现状。

用于特殊干燥对象的组合、优化专门干燥工艺及设备的理论研究。

各种生物工程产品及食品质量在干燥过程的降解机理及保护措施的研究。

5.2 干燥应用技术研究

干燥应用技术发展应与我国经济发展相结合,如高效节能、绿色环保、重大装备的国产化;干燥技术发展趋势将沿着有效利用能源、提高产品质量和

产量、减少环境影响、安全操作、易于控制、一机多用、大型化等方向发展。具体地讲,干燥技术的未来发展将侧重于:

在直接干燥器中使用过热蒸汽作为干燥介质;

大量使用间接加热(传导)式干燥;

使用组合式传热方式(对流、传导与热辐射或介电等的组合);

在特殊情况下,使用容积式加热(微波或高频场);

不同类型干燥器或常规干燥技术的组合使用;

运用新型或更有效的供热方法(如脉冲燃烧、感应加热等);

使用新型气固接触技术(如二维喷动床、旋转喷动床等);

设计灵活、多用途的干燥器;

使用模糊逻辑、神经网络、专家系统等实现过程的控制;

产品质量及湿含量的在线测量等;

大型干燥装备向专业化、大型化、成套化方向发展。

6 结束语

本文引用了专业组部分专家及国内部分干燥专家的观点与研究成果,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 潘永康.中国现代干燥技术发展概况[C].第十届全国干燥会论文集,2005.10.
- [2] 刘登瀛,曹崇文.探索我国干燥技术的新型发展道路[C].第十届全国干燥大会论文集,2005.10.
- [3] 张璧光,谢拥群.木材干燥的国内外现状和发展趋势[C].第十届全国干燥大会论文集,2005.10.
- [4] 张璧光,常建民.21世纪我国木材干燥技术发展趋势的探讨[J].林业科技开发,2000,14(1):46.
- [5] 刘相东.干燥技术讲座[A].
- [6] 徐成海,等.真空冷冻干燥食品的技术与设备[J].真空,1996,8(4):1~5.
- [7] 张愨.我国果蔬速冻及干燥加工的现状与发展[J].食品与机械,2000,(6).
- [8] 张海红,等.蔬菜干燥技术与理论研究动态[J].宁夏工程技术,2005,(1).
- [9] 刘广文.我国干燥设备的技术现状和未来趋势[C].第十届全国干燥会议论文集,2005.10.
- [10] 伍沅.干燥技术的进展和应用[J].化学工程,1995,23(3).
- [11] 曹恒武,等.干燥技术及其工业应用[M].北京:中国石化出版社,2004.4.

[12] 史美锋.医药工业干燥技术发展历程[J].通用机械, 2005,(8).
 [13] 刘兴利,等.微波技术在药物研究领域中的应用[J].西南民族大学学报, 2006,3(1):88 ~ 92.
 [14] 曹崇文.国际粮食干燥设备[J].通用机械, 2005,(8).
 [15] 中国机械联合会重大技术装备办公室.提升我国石化装备制造
 业竞争力的研究[J].通用机械, 2005,(7).
 [16] 王廷俊.化学工业装备技术发展趋势[J].化工管理, 2004, (2).
 [17] 吴晓云.浅谈入世后的石化装备国产化问题[J].中国化工装备, 2002.
 [18] 刘广文.干燥设备选型及采购指南[M].北京: 中国石化出版社.

Present situation and development tendency of chinese drying technology

SHI Yong- chun, CHAI Ben- yin

(Drying Group, Institute of Chemical Engineering, China ICEC, Jinan 250014, China)

Abstract: This thesis narrates and comments on the present development of Chinese drying technology, the research of drying theory and the technical innovation; gives a complete introduction of the drying technology's present application in various professions; analyses and discusses the permanent development path and the development tendency of drying technology.

Key words: drying technology; theory research; technical innovation; present application; development path

会议信息

根据《中国通用机械工业协会干燥行业分会章程》和上级协会的批复,干燥行业协会于2006年6月26日在山东省济南市召开了第四届会员代表大会,并圆满完成会议既定议程。

一、会议听取了中通协隋永滨会长、黄鹂副会长、张雨豹副会长兼秘书长的讲话和所作的‘国家产业形势’报告,听取了有关专家所作的‘关于干燥技术和干燥产业发展’的报告。

二、会员大会

1、会议听取并通过了理事长史勇春同志代表第三届理事会所作的工作报告。

2、会议听取第三届理事会副理事长查国才同志所作的关于《章程》、《组织工作条例》、《经费管理办法》3个文件的修改说明,所作的关于成立技术委员会的情况说明和对“全国干燥专业标准化委员会”的介绍,以及关于推荐第四届理事会成员的报告。

3、会议经审议通过了关于《章程》修改说明等3个文件,并选举山东天力干燥设备有限公司等38家单位组成干燥协会第四届理事会。

三、召开了干燥协会第四届理事会第一次会议

1、经上级协会会长推荐和第四届理事会民主选举,推选山东天力干燥设备有限公司为干燥协会理事长单位,史勇春同志任理事长;选举常州一步干燥设备厂等16家单位为副理事长单位,选举江苏正昌干燥设备有限公司等8家单位为常务理事单位。

2、由史勇春理事长提名,经理事会通过,山东天力干燥设备有限公司柴本银副总经理任干燥协会秘书长,杨怀宇任副秘书长。

四、召开了干燥协会技术委员会会议和全国干燥专业标准化委员会调整后的第一次会议。