

风机顶置和直对式隧道干燥机对比试验研究

张晓和¹, 戴 斌², 范宏珍³

(1. 山西农业大学; 2 山西四建集团有限公司; 3 山西大学)

摘 要: 人们普遍使用传统隧道式干燥机生产脱水菜。它的热风机在顶部或侧面。研究表明, 风机顶置式隧道干燥机的风速分布很不均匀, 并且在干燥室的上部有两个相对风速很小的区域, 导致干燥不均匀和霉变发生。该文采用风机放置在(干燥室)前面的结构形式, 使空气流动均匀。干燥胡萝卜粒的结果表明, 含水率由原来的 11% ~ 20% 变为 11% ~ 13%。脱每千克水降低能耗 2 25 MJ。干燥时间缩短 13%。但是占地面积要比风机顶置式大 19%。

关键词: 隧道; 干燥机; 脱水菜

中图分类号: S226 6

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2003)02-0102-03

1 引 言

我国是生产和出口脱水菜的主要国家之一, 已有 40 年的历史, 产品在国际市场上有一定的信誉, 主要销往西欧、美国、日本、韩国、澳大利亚、新加坡等国家。目前大部分地区规模较大地生产脱水菜、干果和食用菌使用的干燥设备, 广泛采用风机顶置式隧道干燥机, 还有少部分采用风机侧置式^[1,2]。这种形式最早见于前苏联^[3]。在国内的各种重要专著、教材中都是介绍风机顶置式隧道干燥机^[4~7]。台湾和美国等地也仍在使用这种方式^[8,9]。从发展趋势看, 冷冻干燥、微波干燥、远红外干燥、减压干燥等干燥方式, 各具独特的优点, 但从技术、设备、特别是从经济效益考虑, 隧道式干燥机这种在常压下的热风对流干燥方式, 还会在相当长的时间内在生产中占重要地位, 因此增加产量, 降低能耗, 提高经济效益仍是研究的重要课题。近几年对北方地区的用户采访和实践, 发现最集中反映出的问题是干燥过程不均匀, 下层干的快, 上层干的慢, 在干燥条件控制不好的情况下, 时有上层物料局部酸腐, 有异味现象发生的。另外, 耗能大, 脱水时间长, 不能一次完成等问题也比较突出。为了解决这些问题, 采取了很多补救措施, 但未能从根本上解决。一般来讲, 这种干燥机的测试, 只测风道的平均风速^[10], 远不能反映气流的实际情况。本文对风机顶置式和经改造的风机直对式的两种隧道干燥机进行了测试和对比研究。做出了两种干燥室纵铅垂面流谱图。

2 测试仪器、方法与试验物料

测试仪器: EY3—2B 型电子微风仪; EY1—1 型风向风速遥测仪; WHY1—1 型湿度遥测仪; 热敏电阻温度计。

测试方法: 由于风速和风向在干燥室上部变化大,

而在下部变化较缓, 所以在干燥室纵垂面上部测点比下部多, 方法见文献[10]。在竖直方向上部测点间距 0.15 m, 下部为 0.25 m, 纵向测点间距为 0.5 m。然后根据测定的数据, 在干燥室各纵垂面做出一组流谱图。为了增加做图的准确性, 适当增加了纵向测点, 特别是局部风向与主风向垂直的测点。为了增加对比性, 分别做了空道(无料车)、空载(有车无料)和满载测试。

试验物料: 陕西柿子红胡萝卜, 切成 1 cm 边长的方块, 初始湿基含水率为 83%, 盘装湿料 6 kg/m², 厚度 2.5~3.5 cm。每车 13 层, 层距 13 cm。

3 风机顶置和直对式隧道干燥机干燥室流谱图与分析

所测的干燥机如图 1 所示, 料车右进左出。对于风机顶置式隧道干燥机, 气流经风机, 散热器后在导风板的作用下转向 180°, 由左进入干燥室。而风机直对式隧道干燥机的气流经风机、散热器、导风板后直接向左进入干燥室。图 2 是在中纵垂面作出的两种情况下满载流谱图。从图中可以看出风机直对式干燥室, 导风板的调风作用有效, 流线均匀, 风速分布合理。对于风机顶置式干燥机, 则可以看出以下特点:

1) 热风在干燥室上部出现 A、B 两点空气完全静止的全静压点(无动压点)。A、B 周围风速很小, 称为微风区, 其中 A 处周围形成旋流微风区。在 A、B 的下方, 流线密、流速大, 最大速度可达 7.2 m/s, 是进风速的 1.5 倍(见表 1)。形成这种现象是由于风机顶置, 风向急转 180°; 下冲力大造成的。为了使热风流速均匀, 风机对面常设置 3 片导风板, 导风板只能在干燥室顶部水平位置以上, 不得影响料车进出, 因此导风能力有限, 致使整个干燥室风速极不均匀, 在实测现场经过多次调整, 都无法从根本上改变这种状况。这种调风方法可以减小风的转向阻力, 导风的主趋势向下, 没有匀风的能力。

2) 对于干燥室有车无料和无料车两种状况也做了测试, 最重要的特点是 A、B 两个微风区发生相应的左移, 占据的高度位置增大, 长度位置减小, 也就是说, 图

收稿日期: 2002-06-26

基金项目: 山西省科技发展基金资助项目(012034)

作者简介: 张晓和, 副教授, 山西省太谷县 山西农业大学工程技术学院, 030801

示的满载是气流不均匀段最长的状态。我们知道, 物料是从右边进来的, 右边气流温度低, 湿度大, 微风区长对干燥极不利。经测定有些较短的干燥室在 B 区中心部位相对湿度高达 85%, 而在同一横截面的下部只有 42%。12 m 长的干燥室, 满载时 B 区的中心在从左算起 4 m 处, 同高度位置上 3 m 和 5 m 处的风速仅有 0.3 m/s。由于干燥速度随气流速度的降低呈指数规律减小^[11], 所以在较长的低风速时间里, 水分活度和空气相对湿度将达到平衡, 水分活度大, 适宜微生物繁殖, 导致酸腐现象发生。

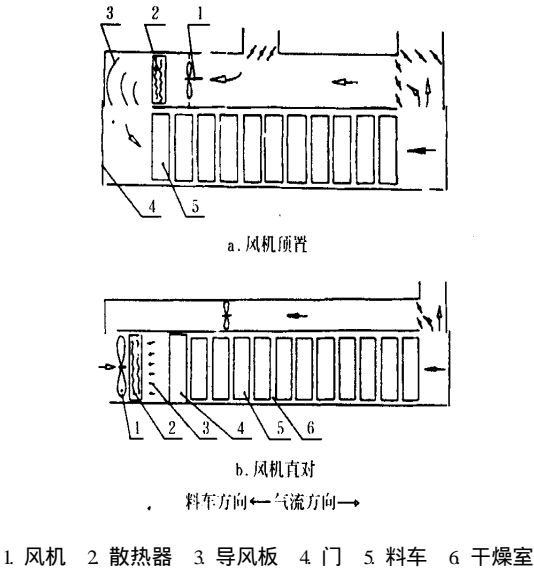


图 1 隧道式干燥机
Fig 1 Tunnel dryers

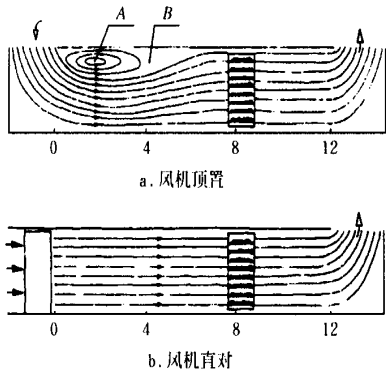


图 2 干燥室满载流谱图
Fig 2 Stream spectra of the tunnel drying chamber at full load

3) 图中微风区占据干燥室左段, 而在右段风速分布较均匀。在干燥时左边的不均匀段, 长度相对比较稳定, 干燥室上部达不到最低风速要求(1 m/s)的地方在 5.5 m 以内, 这段长度, 应使物料处在第一临界含水率以下, 即处在降速干燥阶段。一般地, 干燥室较长时, 容易满足这项要求, 干燥效果好。实际生产中, 有的干燥室仅有 8 m 长, 酸腐现象易发生, 而 12 m 以上的基本不发生。

4) 这种干燥机的实测温度是干燥室微风区温度比同截面下部温度高。例如, A、B 两点温度分别为 72 和 69 时, 其正下方, 流线最密, 风速最大的地方, 温度约低 5 至 7°。据此, 现场技术人员常误认为料车应当上层盘

距小, 下层盘距大。这样做会使下部风速更大, 而上部的微风区会拉长, 温度虽高, 但湿度也大, 脱水更慢。

5) 对逆流干燥, 最后阶段是完成降速干燥的重要阶段, 对成品含水率起关键作用。经过 A 区的物料从 B 区过来时湿度就比较大, A 处干燥能力差, 致使产品含水率降不到要求。现实操作中常采取在出料前上下倒盘的办法, 可以解决一些问题, 但毕竟为时已晚。

6) 上述干燥过程产生的综合结果是时间短烘不干, 时间长易变质, 只好采取二次干燥的办法。物料出来以后, 进行水分的平衡, 约需 10~ 30 h, 再用固定床式干燥机。

7) 实测结果表明, 流谱图与物料的品种关系不大, 与料盘上物料多少关系大, 物料多微风区向右偏移多, 这是由于物料阻挡了风的穿流。

8) 在其它的纵垂面上情况类似, 靠近两侧, A、B 位置变化不大, 微风区的面积略有增大, 这里不在详述。

4 风机直对式隧道干燥机的设计要点和效果

为了克服顶置式隧道干燥机的缺陷, 我们在 3 个示范点上改造和设计了风机直对式机型, 设计要点是强化风速一致, 采取了以下措施:

1) 风机由顶置式的 1 个大风机改为直对式的 4 个小风机, 加强送风均匀度。如果在顶置风机上改用多个小风机, 因为风向还要转 180°, 对匀风是不起作用的。

2) 空气经过散热器后, 再经过可单独调也可同时调的 6 片百叶窗式导风板, 使空气流速分布均匀。实测表明, 无论空道, 还是满载测试, 风速分布合理, 符合一般风道规律^[10]。这一设计解决了调风的办法。

3) 料车上做某些改进设计, 如车下部设挡风板, 料车中层距离减小, 可使风道风速相当均匀。

4) 设计的干燥机从侧面开门出车, 干燥室成对使用, 公用出货车道。

5 两种干燥机的技术经济指标对比分析

在示范点上改造的直对式隧道干燥机和顶置式具有相同的干燥室有效长度和断面尺寸, 风机总流量相同, 料车尺寸相同, 因此测试数据可比性强。测试物料如前述。对于两种干燥机, 分别随机取相同 5 d 的生产指标, 用样本平均值计算日产量、干燥时间、能耗等。产品含水率的测定, 则按每日取 5 组共取 25 组数据进行统计计算^[12]。测试条件见表 1, 测试结果见表 2。

表 1 对比测试条件		
Table 1 Comparative conditions of the test		
	直对式	顶置式
进气温度/	75 ± 1	74 ± 1
废气温度/	43 ± 1	45 ± 1
进气相对湿度/%	45.2	45.5
废气相对湿度/%	60	54
进气平均风速/m · s ⁻¹	5.2	4.8

表 2 风机直对和顶置两种隧道干燥机技术经济指标对比

Table 2 Technical and economic parameters of direct and bypass blowing of tunnel dryers

指 标	直对式	顶置式	直对式 /顶置式
日产量/kg	577	499	1.156
干燥时间/h	5.2	6	0.867
出机均湿基含水率/%	12	16	
含水率范围/%	11~13	11~20	
原料平均每小时水分蒸发量 /kg·h ⁻¹	79.25	64.6	1.227
每千克产品蒸汽耗/kg	8.8	9.7	0.91
脱每千克水热耗/MJ·kg ⁻¹	10.90	13.15	0.83
占地面积/m ²	37.2	31.2	1.19

风机下移后技术经济指标明显提高。脱水均匀,产品要求含水率小于 13%,可一次完成。脱每千克水降低能耗 2.25 MJ,节能 17%。缩短了生产时间。

由于加长了 3.6 m 的进风段和出货车道,增加了占地面积。单纯计算干燥机占地面积,面积增大到 1.52 倍,考虑到大部分产品一次可出成品,省去了出货后平衡水分和二次干燥等隧道干燥机以外所占用的面积,实际占地面积为原占地面积的 1.19 倍。

现有大部分企业可进行现场改造,小部分企业受条件限制,改造困难。

6 结 论

1) 做出了风机顶置式隧道干燥机的流谱图,证明和找出了此种干燥机常发生物料局部酸腐,干燥不均匀,需进行水分平衡后,二次流化床干燥的根本原因。

2) 提供了风机直对式隧道干燥机的通用设计要点,可供现场技术人员参考。

3) 对两种机型进行的技术经济指标对比表明,风

机改成直对式后,干燥胡萝卜粒可节能约 17%,干燥均匀,时间短,但改造后占地面积增加 19%。建议在可能的情况下,企业应把顶置式风机改造成直对式,新建企业不宜再用顶置式风机。

4) 在蔬菜干制上进行的测试,可供果品、茶叶、菇类、中药干制的同类干燥机参考。

[参 考 文 献]

[1] 田呈瑞 蔬菜加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000, 40~44

[2] 郝利平. 果品蔬菜加工学[M]. 山西: 高教联合出版社, 1994, 68~69

[3] M·B 东安诺夫, N·N 夫拉索夫, M·K 乌萨秋克 马铃薯蔬菜及水果干制工艺学[M]. 北京: 轻工业出版社, 1957, 146~148

[4] 沈再春. 农产品加工机械与设备[M]. 北京: 农业出版社, 1993, 198~201

[5] 高福成. 食品工程原理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998, 618~620, 608~614

[6] 杨同舟. 食品工程原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001, 274~276

[7] 邓桂森. 蔬菜贮藏加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999, 208~210

[8] 林耕年. 园产加工[M]. 台南: 复文书局, 1984, 138~141

[9] Dennis R. Heldman, Richard W. Hartel. 食品加工原理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001, 132~133

[10] 达式奎. 食品工程测试[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987, 228~232

[11] A·C 金兹布尔格. 食品干燥原理与技术基础[M]. 北京: 轻工业出版社, 1986, 338~347

[12] 葛新权. 应用数理统计[M]. 北京: 中国铁道出版社, 150~158

Comparative study on direct/bypass blowing of tunnel dryers

Zhang Xiaohe¹, Dai Bin², Fan Hongzhen³

(1. College of Polytechnic, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China;
2. The Forth Construction Company of Shanxi, Taiyuan 030006, China;
3. College of Chemical Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract The most common way to make dehydrated vegetables in China now is tunnel drying. In this process, the hot air blower is set on top of or beside the tunnel. A study on the hot air flow pattern (blower positioned on top) indicated that the wind speed distribution was uneven and there were two relatively static air zones on the top of the inside of the tunnel, resulting in uneven drying and in extreme mildew. Authors of this paper developed a new structure in which the blower is set in front of the tunnel to improve air flow pattern. Results of drying carrot granules showed: a) moisture contents of the granule were more even (11%~13%) than that of the bypass model (11%~20%); b) 2.25 MJ energy consumption was reduced for 1 kg of water dehydrated; c) drying time was shortened by 13%. However, the new structure takes up 19% more land than that of positioning the blower on the top of the tunnel.

Key words: tunnel; dryer; dehydrated vegetable