

· 研究报告 ·

喷雾干燥节能技术研究

黄立新, 王宗濂, 唐金鑫, 韩磊

(中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 通过从喷雾干燥所涉及的操作工艺参数和喷雾干燥工艺流程调整等方面进行探索, 深入研究了影响喷雾干燥能耗的主要因素和相应的结果, 并提出了针对性的解决喷雾干燥能耗高的方法, 使得采用喷雾干燥达到理想的效果。

关键词: 喷雾; 干燥; 节能技术

中图分类号: TQ028.6+72

文献标识码: A

文章编号: 1005-3433(2001)01-0003-05

喷雾干燥是典型的热风对流干燥技术之一, 由于为了确保产品的最终含水率及整个干燥时间短等原因, 干燥后的出风温度较高, 使得干燥过程的单位能耗增加, 一定程度上影响了喷雾干燥技术的发展和设备的市场销售。据统计, 废气带走的热量约占总热量的15%~40%^[1], 关于这部分能量的利用引起了很多学者的重视与研究。Mujumdar^[1]介绍了采用换热器、热泵等方法从排放的废气中回收热量。丹麦 NiRo 公司^[2]、唐金鑫^[3]等先后开发研制了多级干燥技术来降低干燥的能耗。但对于喷雾干燥节能技术的系统研究很少^[4,5], 所以, 笔者根据近几年在喷雾干燥节能技术方面进行的探索, 从喷雾干燥所涉及的操作工艺参数和喷雾干燥工艺流程调整等方面, 深入研究了影响喷雾干燥能耗的主要因素和影响结果, 并提出了相应的解决方法。

1 原理

喷雾干燥的节能即减少喷雾干燥过程中的热量消耗 Q_i , 包括蒸发所必须的热量 Q_e 及热损失 Q_L , 直接影响 Q_e 的是单位时间内的蒸发量及料液的吸热量, 热损失 Q_L 的大小表明了干燥效率的高低。

干燥的热效率直接体现了喷雾干燥的性

能, 实践中关系到生产单位产品所需的热能输入。干燥的热效率可以表达为:

$$\eta = Q_e / Q_i \times 100\% \quad (1)$$

其中 η 为干燥的热效率, %; Q_e 为蒸发所需的热量, kJ/h; Q_i 为输入热量, kJ/h。

$$Q_L = Q_i - Q_e \quad (2)$$

Q_L 为热损失量 (kJ/h), 有效蒸发热量 Q_e 主要用于料液的加热、溶剂的蒸发, Q_L 主要是喷雾干燥系统的散热及干燥后废气的排热。为简化计算, 计算热效率也可近似地表达为:

$$\eta_0 = (T_1 - T_2) / (T_1 - T_0) \times 100\% \quad (3)$$

其中 η_0 为计算热效率, %; T_1 为进喷雾干燥器的热风温度, °C; T_2 为出喷雾干燥器的干燥后的温度, °C; T_0 为环境大气温度, °C。

2 实验及理论分析

从原理中的热效率公式不难发现, 影响热效率有诸多因素, 如料液的含固量、料液的温度、干燥的进出口温度等。

2.1 料液含固量

喷雾干燥的生产、试验中, 单位时间的产量一定时, 料液的原始含固量越高, 意味着单位时间内的蒸发量越小, 即表明在同样的干

燥工艺条件下,蒸发所需的热量减少。表1提供了产量为100 kg/h时不同料液含固量下的蒸发量,其他条件产品比热为:2.09 kJ/(kg·℃),料液温度为40℃,环境空气温度为20℃,热风进口温度为350℃,干燥后出口温度110℃,残余水分为5%,计算所需热量时仅考虑蒸发热量及料液加温。表1表明了料液的含固量越高,单位产品的热消耗越少。当料液含固量从50%增加到60%时,热量消耗减少了近1/3。由此可见,喷雾干燥时应尽量提高料液的含固量,当然料液含固量不能无限增加,首先要满足干燥工艺性,例如,高含固量时料液泵必须能输送;必须满足物料特性,不能出现物料粘壁等非正常喷雾干燥。因此很多喷雾干燥采用的料液含固量较低。

表1 产量为100 kg/h时不同料液含固量下的蒸发量

料液含固量(%)	蒸发量(kg/h)	需热量*(kJ/kg)
10	850	30108
20	375	13284
30	217	7687
40	138	4890
50	90	3189
60	58	2056
70	36	1275
80	19	673

注:需热量以每kg产品计

2.2 进风温度

根据式(3)可见,提高喷雾干燥的进热风温度,对于一定的产量、其它工艺条件不变时可以提高热效率。不同的进热风温度和热效率列于表2,计算基于出口温度为100℃,环

表2 进热风温度和热效率的关系

进风温度(℃)	热效率(%)
150	38.5
200	55.5
250	65.2
300	71.4
350	75.7
400	79.0
500	83.3
600	86.2
700	88.2

万方数据

境空气温度为20℃。由表2可见,当进热风温度从150℃提高到350℃,增加200℃时,热效率提高接近1倍。

2.3 出风温度

同样根据式(3)可见,降低喷雾干燥的出风温度,对于一定的产量、其他工艺条件不变时可以提高热效率。不同的出风温度和热效率列于表3,计算基于进热风温度为350℃,环境空气温度为20℃。由表2可见,当出风温度从150℃降至100℃,热效率提高接近1/4倍。

表3 出风温度和热效率的关系

出风温度(℃)	热效率(%)
150	60.6
140	63.6
130	66.7
120	69.7
110	72.7
100	75.7
90	78.9
80	81.8
70	84.8

2.4 料液温度

喷雾干燥的生产、试验中,虽然料液温度提高提供的热量相对于蒸发所需的热量较少,一般也不用提高料液温度来提高热效率,但对于节能还是可观的。表4列出的不同料液温度下的蒸发1kg水的能耗,计算基于进风温度为350℃,出风温度为100℃,料液浓度50%,产品含水5%,计算所需热量时仅考虑蒸发热量及料液加温。

表4 不同料液温度时的单位水蒸发需热量

料液温度(℃)	需热量(kJ/kg)
10	2629
20	2587
30	2546
40	2504
50	2462
60	2420
70	2378
80	2337

由表4可见,料液的温度越高,蒸发单位

水的热消耗越少。例如当料液的温度从 10℃ 增加到 80℃ 时, 热量消耗减少了近 11%, 因此, 喷雾干燥时应尽量提高料液的温度, 不仅可以节能, 还可以降低料液的粘度提高雾化效果, 还可以减小料液的结晶趋势和雾化器堵塞的可能。

2.5 出风废热利用

出风的废热利用主要有两种形式,第一种是通过换热器、热泵等把废热回收,另一种是利用排出的废热空气来浓缩、加热料液。

据 Masters^[6]介绍,当 90℃ 的排出气体进入光管换热器把料液从 20℃ 加热到 75℃,或者排出气体温度从 90℃ 降为 45℃,把干燥空气从 15℃ 预热至 65℃。这种热回收大约可以节能 27%。

2.6 多级干燥

最初为了能达到最终产品的低含水量, 制造商在喷雾干燥机外另设置一流化床干燥器, 即在表面水蒸发时利用喷雾干燥完成, 降速干燥阶段由流化床来完成, 两级或多级组合干燥有效地降低了喷雾干燥的蒸发热负

荷,节约了热能。

笔者等和锡山市林洲干燥机厂联合开发的三级干燥机,其流程如图 1,即经过滤的常温空气经鼓风机鼓进翅片式空气加热器,加热到 150℃用直通式热风分配器均匀进入干燥塔。浓缩成 50% 含固量的乳液均质后以 15 MPa 的压力,送入位于干燥塔顶的喷嘴,在干燥塔内被雾化成液滴后与热空气接触,成为第一级干燥。干燥塔的尾气从位于干燥塔周围的袋滤器经过滤后被引风机抽出,温度为 80℃左右。在干燥塔的底部设有一内部固定流化床,用少量的 100~120℃热空气使含水 8%~10% 的乳粉流态化,并进一步干燥,使乳粉含水达到 4%~6% 进入振动流化床,这就是第二级干燥。振动流化床前半部进 90℃左右的热空气进一步干燥,后半部进除湿并加热到 50℃的空气,最后出来的成品温度为 50℃左右。振动流化床内乳粉的静止高度约为 200 mm,乳粉在流化床内约运行 2~3 min,从而在振动流化床内完成第三级干燥、冷却,见图 1。

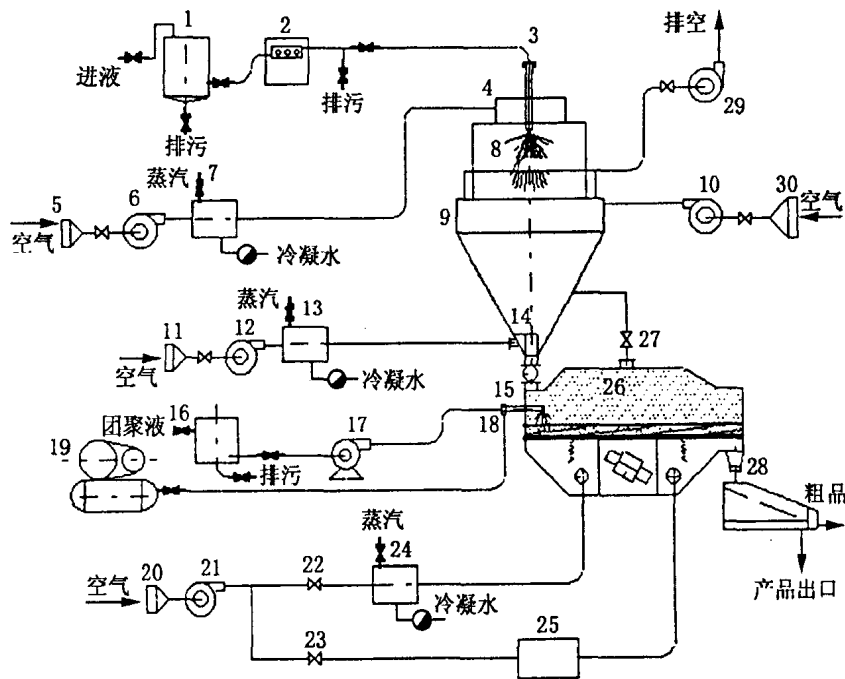


图 1 大型三级组合干燥流程图

2.6.1 主要技术参数 产品含固量50%,最终成品含水量 < 3%。蒸发量: 第一级 450 kg/h, 第二级 35 kg/h, 第三级 15 kg/h。

2.6.2 操作条件 操作条件见表5。

表5 三级干燥操作条件

	进风温度(℃)	出风温度(℃)	混合温度(℃)
第一级	150	80	80
第二级	100~120	80	
第三级	90	57	
冷风段	50	57	60

该流程是在上述小试、小型、中型工业化装置的基础上进一步完善发展起来的,已成功用于乳粉、粉末油脂的三级干燥。对于500 kg/h 蒸发量的多级干燥装置2年来的实际运行证明,三级干燥装置比单级喷雾干燥

装置节能20%,且产品质量优于单级喷雾干燥。

2.7 热气返回

所谓的“热气返回”指把喷雾干燥后的废热气体部分重新返回前面的热空气中再进入喷雾干燥系统。美国专利 5248387^[7]中介绍运用喷雾干燥后的部分废气来回入前面的热空气中代替吸入冷空气,另一部分的废气用于换热浓缩料液,达到了显著的效果,结果如表6,结果基于高岭土料液,料液温度50℃,产量20000 kg/h,环境空气温度10℃,湿含量0.0070 kg/kg,空气比热0.921 kJ/kg,热风进口温度550℃,从表6不难发现,当循环气量占整个干燥气体量的62%时,其单位水分的热消耗仅为没有气体循环时热消耗的90%。

表6 部分空气返回试验表

项目	试验一	试验二	试验三	试验四	试验五
料液含量(%)	60	70	70	70	70
蒸发量(kg/h)	13313	8551	8551	8551	8551
炉子出口干空气量(kg/h)	73171	48052	30012	22591	9198
炉出口气体湿含(kg/kg)	0.0328	0.0328	0.0474	0.0602	0.1400
炉子气体温度(℃)	550	550	800	1000	1915
进口干空气量(kg/h)	73171	48052	42462	38291	24199
进口气体温度(℃)	550	550	550	550	550
进口气体湿含量(kg/kg)	0.0328	0.0328	0.1309	0.2154	0.7162
出口温度(℃)	120	120	130	135	150
出口气体湿含量(kg/kg)	0.2147	0.2107	0.3323	0.4387	1.0696
循环废气量(kg/h)	0	0	12450	15699	15000
废气湿含量(kg/kg)	0.2147	0.2107	0.3323	0.4387	1.0696
循环气占干燥气比例(%)	0	0	29.3	43.7	62.0
每 kg 水热消耗 kJ/kg	3287	3362	3220	3151	3060

2.8 其它

为了达到节能或更好的喷雾干燥目的,还可从下面两个方面加以考虑:a. 提高喷雾干燥设备本身的保温隔热效果,减少不必要的热损失;b. 把喷雾干燥的进口的环境空气进行除湿,使得最终喷雾干燥的出口温度降低,同时不对喷雾干燥产生不利的影响,当然,空气的除湿本身需要消耗能量,处理适当可以达到理想的效果^[6]。

3 结论

喷雾干燥是个较高耗能的干燥过程,为了节能或达到较理想的喷雾干燥,根据以上分析可以得出以下结论:

3.1) 从调整喷雾干燥操作参数达到节能效果,可以采取提高干燥的进口温度、降低出口温度、适当提高料液原始含量及温度、降低进口环境空气的相对湿度。

3.2) 从喷雾干燥工艺流程调整达到节能目

的,可以采用喷雾干燥后排出空气废热回收,例如换热回收、浓缩料液等,也可以采取把部分干燥后排出空气返回干燥空气进口段或直接采用组合干燥。

3.3) 从喷雾干燥设备本身考虑,加强设备保温、隔热,减少不必要的散热。

3.4) 对于不同的物料,采取上述组合运用可能得到更好的节能效果。

参考文献:

[1] Mujumdar, A. S. Handbook of Industrial Drying[M]. 2th Edi-

tion Revised and Expanded, 1995.

[2] Ashizawa N., Masters K. 4th International Drying Symposium [C]. 1984.

[3] 唐金鑫,王宗濂,黄立新,等.三级干燥及其在乳品干燥中的应用[J].南京林业大学学报,1997,121.

[4] 黄立新,唐金鑫,王宗濂.喷雾干燥的经济分析[J].林产化工通讯,1996,30(3):19-23.

[5] 王维,严红,王喜忠.喷雾干燥的最新进展[J].南京林业大学学报,1997,121

[6] Masters K. [M] Handbook of Spray Drying, 1990.

[7] Hansen Ove E. Process for producing concentrated aqueous slurries and spray dried particulate products[P]. U.S. Patent 5248387.

STUDY ON ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF SPRAY DRYING

HUANG Li-xin, WANG Zong-lian, TANG Jin-xin, HAN Lei

(Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF, Nanjing 210042, China)

Abstract: Operating variables of spray drying and adjustment of spray drying technical flow are discussed in this paper. The influence factors and results from them on spray drying heat Consumption are studied. The solving ways to improve thermal efficiency and save energy are given in order to reach the best spray drying.

Key words: spray; drying; energy-saving

(收稿日期:2000-11-08)

对 外 测 试 信 息

林科院林化所孔径-孔容分布、比表面积测定仪对外开放,接受测试服务,测试收费仍按80年代收费标准,每个样品500元。并对外接受四氯化碳、苯、环己烷、汽油、氯氟烃及其它有机溶剂的活性炭或吸附剂的吸附率、吸附等温线测试。吸附等温线每个样品300元,吸附率每个样品200元。

此外,应用户要求,我们还接受丁烷活性、工作容量、半脱氯值、余氯、丙酮吸附、银含量等指标的测试。

联系人:刘军利 施荫锐

联系电话:(025) 5412131-2259(2408)

寻 呼:191-3505376

联系地址:中国林业科学研究院林产化学工业研究所

南京市锁金五村16号(210042)

万方数据