

混流式谷物干燥机结构与性能分析

戴天红^① 曹崇文

(北京农业工程大学)

提 要 通过综合国内外混流式谷物干燥机产品的有关信息数据,对混流式谷物干燥机产品的结构与性能进行了分析总结,为设计提供参考依据。内容包括角状管的结构、尺寸、角状管布置密度、单位角状管生产率;标准单元段的总体尺寸、标准单元段中角状管层数、每层角状管数目以及角状管总数;干燥塔截面尺寸;整机结构与性能的关系;国外混流式干燥机的设计特点等。

关键词 谷物干燥机 混流式 角状管

Structure and Performance Analysis on Mixed-Flow Grain Dryers

Dai Tianhong Cao Chongwen

(Beijing Agricultural Engineering University)

Abstract Structure and performance analysis on mixed-flow grain dryers were conducted based on the information of various kinds of domestic and abroad products of mixed-flow grain dryers. The contents were as follows; the structure, size, horizontal distance, vertical distance and distribution density of the air ducts; the capacity per duct; the overall size of a modular section; the number of layers of air duct per modular section; the number of ducts per layer and the number of ducts per modular section; the area of the cross-section of the dryer tower; the relations between the structure and performance; the design characteristics of the abroad products of the mixed-flow grain dryers.

Key words Grain dryer Mixed-flow Duct

混流式干燥机又称塔式干燥机。其结构特点是干燥塔中成排交替布置着进气角状管与排气角状管。它具有热耗低,谷层较薄,气流阻力小,电耗少,可采用积木式结构,易于实现系列化,可干燥小颗粒物料,清理方便和干燥均匀性好等优点。因此,混流式干燥机在国内外,都得到广泛应用。

本文通过综合已收集到的国内外十几种混流式谷物干燥机有关信息数据,对混流式谷物干燥机产品的结构、性能进行了分析总结,为该式谷物干燥机的设计提供参考依据。

1 混流式谷物干燥机角状管结构

1.1 角状管结构

收稿日期:1995-01-06

^① 戴天红,博士生,北京海淀区清华东路 北京农业工程大学 50 信箱,100083

按角状管截面沿其长度方向的变化情况可分为等截面角状管和变截面角状管。等截面即角状管截面积在长度方向上保持不变,如加拿大的 VERTEC、美国的 NECO 以及 L. S. U.、英国的 BENTALL—SIMPLEX、德国的 SIROCCO、法国的 FAO 等。变截面角状管是在等截面角状管基础上的改进,角状管截面从开口至闭端逐渐变小,总体上成一锥形,使得气流压力沿角状管长度方向保持恒定,以得到均匀分布的气流,如丹麦的 CIMBRIA、法国的 LAW、瑞典的 SVEGMA 等。英国 LAW—DENIS 的角状管结构则又有其特点,它是在等截面角状管内设置了导流板。等截面,使得谷物在干燥塔中流速均匀,而导流板作用类似于变截面,使得气流压力恒定。

按角状管截面形状的不同主要可分为五角形、五角菱形和三角形(见图 1),其中又以五角形为最多,三角形次之。五角形的产品有丹麦的 CIMBRIA、加拿大的 VERTEC、德国的 SIROCCO 以及 STELA、英国的 CARIER、法国的 FAO、前苏联的 3C、BTI 以及 3CI 等。而美国的 NECO 以及 L. S. U.、英国的 BENTALL—SIMPLEX、前苏联的 C3II 以及 COM 的角状管截面形状则都为三角形。角状管截面形状为五角菱形的有英国的 LAW、波兰的 M—819、我国黑龙江省农业机械化研究所研制的 5HTB 等。

1.2 角状管尺寸

1.2.1 角状管长度

不同牌号的产品其角状管长度差异很大。角状管长度与干燥机的生产率有关,生产率大的机型,角状管长度一般较大。较长的可达 2000mm 左右。如 SIROCCO (2000mm)、CIMBRIA (2000mm)、SVEGMA (1980mm)。大多数角状管长度不大于 1000mm,如 VERTEC (762mm)、BENTALL—SIMPLEX (762mm)、3CI (600mm)、3CII (700mm)、C3C (800mm)、5HTB (700mm)、华丰 (762mm)、迎春 (754mm)、5HG (1000mm) 等。有的角状管长度处于 1000mm ~ 1500mm 之间,如 BTI (1115mm)、Успех (1400mm)、L. S. U. (1200mm)。一般干燥塔为单塔干燥机,角状管长度也相对较长,如 CIMBRIA、SVEGMA 均为单塔干燥机。

1.2.2 角状管顶角

角状管顶角的大小主要影响谷物的流动性以及角状管的截面面积。多数角状管顶角为 75°左右,如迎春 (75°)、5HTB (74°)、ДСИ (75°)、C3III—16 (76°)。处于 60°~70°之间的有 C3III—16M (61°)、5HG (64°)、华丰 (70°)、SIROCCO (47°)、L. S. U. (90°)。

1.2.3 角状管底部开口宽度

前苏联绝大多数牌号的产品角状管底部开口宽度为 100mm~125mm 之间,如 C3II (100mm)、BTI (100mm)、3CII (100mm)、C3C (104mm)、COM (125mm)、ДСИ (100mm)、C3III (125mm) 等。角状管底部开口宽度小于 100mm 的有 M—819 (80mm),大于 125mm 的有 3CI (150mm)、C3III—16M (184mm) 等。而美国的 L. S. U.、我国的华丰、迎春,分别为 240mm、224mm、200mm。

1.2.4 角状管截面面积

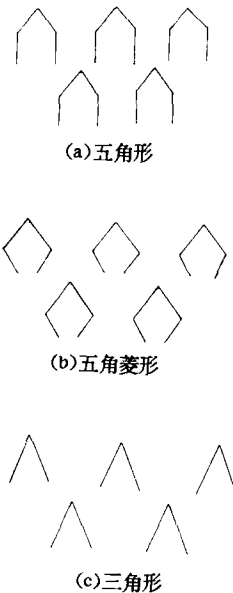


图 1 角状管截面形状

欧美国家的产品角状管截面面积一般都较大,如加拿大的 VERTEC 为 0.03m^2 左右,丹麦的 CIMBRIA 为 0.045m^2 。而前苏联的产品,一般都在 0.02m^2 以下。

2 角状管的布置

2.1 横向间距

绝大多数角状管横向间距都在 200mm 以上。较大的可达 400mm 以上,如 BENTALL—SIMPLEX(426mm)、CIMBRIA(426mm)、L. S. U(400mm)、华丰(410mm)、迎春(410mm)。前苏联的产品角状管横向间距一般在 200mm 至 250mm 之间,如 C3Π(200mm)、C3C(200mm)、3CΠ(200mm)、COM(250mm)等。

2.2 纵向间距

纵向间距一般欧美国家产品较大,如 BENTALL—SIMPLEX(305mm)、CIMBRIA(316mm)、我国的华丰(297mm)、迎春(300mm)。前苏联的产品都不大于 250mm,如 C3Π(125mm)、C3C(200mm)、3CΠ(170mm)、BΠИ(250mm)等。

2.3 角状管布置密度

角状管布置密度即指在与角状管垂直截面上单位面积里含角状管的个数。总的来说,欧美国家的产品角状管布置密度值较低,且一般都在 $7\sim 8$ 个/ m^2 之间。如 CIMBRIA 为 $7.25\sim 7.53$ 个/ m^2 、ALLMET 为 7.27 个/ m^2 、VERTEC 为 $7.17\sim 7.40$ 个/ m^2 、BENTALL—SIMPLEX 为 7.69 个/ m^2 。另外,L. S. U. 为 12.5 个/ m^2 。而前苏联的产品相应的数目值则较高,且一般都在 $20\sim 30$ 个/ m^2 之间。如 C3Π 为 28.0 个/ m^2 、3CΠ 为 21.0 个/ m^2 、3CΠ 为 23.5 个/ m^2 、COM 为 26.6 个/ m^2 。

3 单位角状管生产率

单位角状管生产率与角状管布置密度是密切相关的,因而一般欧美国家的单位角状管生产率较高。如 CIMBRIA 为 $210\text{kg}/\text{h}\cdot\text{个}$,(降水 $19\%\rightarrow 15\%$)、LAW—DENIS 为 $194\sim 244\text{kg}/\text{h}\cdot\text{个}$ (降水 $20\%\rightarrow 15\%$)、ALLMET 为 $177\sim 197\text{kg}/\text{h}\cdot\text{个}$ (降水 $20\%\rightarrow 15\%$)。与欧美国家相比,前苏联的产品单位角状管生产率相对较低,如 ДСΠ 系列为 $18.2\sim 36.4\text{kg}/\text{h}\cdot\text{个}$ (降水 $20\%\rightarrow 14\%$)、我国 5HG—4.5 为 $19.2\text{kg}/\text{h}\cdot\text{个}$ (降水 $20\%\rightarrow 15\%$)。

综合角状管截面尺寸、角状管布置等方面的情况,可知:当生产率相近时,欧美国家的产品一般采用大管(大截面)、疏布置(大间距),前苏联的产品一般采用小管、密布置。

4 标准单元段

混流式谷物干燥机一个显著的特点就是由标准单元段组成的积木式结构。不同牌号的产品其标准单元段的总体尺寸、角状管层数、每层角状管个数和角状管总数都各不相同。

4.1 标准单元段总体尺寸(长×宽×高)

表 1 为国内外几种牌号的混流式谷物干燥机的标准单元段总体尺寸(括号中数值为体积):

表 1 混流式谷物干燥机标准单元段总体尺寸 (mm)

BENTALL—SIMPLEX	VERTEC	CIMBRIA	SIROCCO
	762×3658×610(1.70m ³)	2000×1310×1264(3.31m ³)	2000×2000×1430(5.72m ³)
762×4267×1219(3.69m ³)	762×4877×610(2.67m ³)	2000×2130×1264(5.38m ³)	
	762×7316×610(3.40m ³)	2000×3360×1264(8.49m ³)	2000×3000×1430(8.58m ³)
L. S. U.	迎春	5HTB	5HG
1200×1200×1200(1.73m ³)	754×3690×600(1.67m ³)	700×2750×500(0.962m ³)	1000×1800×800(1.44m ³)

从标准单元段体积来看,最大的可达 8.58m³(SIROCCO),最小的则为 0.962m³(5HTB);从标准单元段宽度来看,最大的为 7316mm(VERTEC 的 VT8 系列),而最小的为 1200mm(L. S. U.);高度最大的为 1430mm(SIROCCO),最小的为 500mm(5HTB)。

标准单元段的总体尺寸与干燥机的生产率有一定的关系,大型的干燥机其标准单元段总体尺寸一般也较大,如 SIROCCO 4700 系列(双塔)生产率为 25~73t/h,而 5HTB 系列生产率为 5~12t/h。

4.2 标准单元段中角状管层数

一般标准单元段中角状管层数有 2、3、4、6 几种。其中以 2 层和 4 层的居多。2 层的有 VERTEC、SVEGMA、NECO、ALLMET、华丰、迎春和 5HTB 等;4 层的有 CIMBRIA、CARIER、LAW—DENIS、LAW、BENTALL—SIMPLEX、FAO 以及 5HG 等;3 层的有 5HG;6 层的有 L. S. U.、SIROCCO 等。

4.3 标准单元段每层角状管数目

表 2 是几种牌号的混流式谷物干燥机标准单元段中每层角状管数目:

表 2 标准单元段中每层角状管数目

VERTEC	CIMBRIA	L. S. U.	SVEGMA	ALLMET	SIROCCO
8	3		6	4	10(9)
11	5	3			
16	8		8	8	15(14)
BENTALL	LAW	5HG	迎春	5HTB	NECO
10	8(7)	9	9	12	12

由表 2 可见,大部分牌号的产品标准单元段中每层角状管个数为 10 以下。最多的为 VERTEC 中的 VT8 系列,每层 16 个,最少的为 CIMBRIA 的 CKN 系列和 L. S. U.,每层均为 3 个。标准单元段中角状管层数相对较少的干燥机产品,每层角状管数则相对较多。

5 干燥塔横截面尺寸

不同牌号的混流式谷物干燥机干燥塔截面尺寸差异也较大。如 BENTALL—SIMPLEX 为 6.50m²(3.25×2);VERTEC 系列则有三个截面尺寸:5.57m²(2.79×2)(如 VT—5600)、7.43m²(3.71×2)(如 VT—6600)、11.15m²(5.57×2)(如 VT8—600);CIMBRIA 系列也有三个截面尺寸:2.62m²(CKN)、4.26m²(BHM)、6.72m²(AGL);SIROCCO 系列有四个截面尺寸:

4m²(4300系列)、6m²(4400系列)、8m²(4×2)(4600系列)、12m²(6×2)(4700系列);华丰和迎春均为5.57m²(2.78×2);DCPI为3.25m²;5HG为1.8m²;5HTB为3.85m²(1.925×2)。

干燥机的生产率与干燥塔截面尺寸有着密切的关系。对于系列式产品来说,提高生产率,一是增加干燥塔高度,二是增加干燥截面尺寸。增加高度,会受到一定限制;增加截面尺寸,又使占地面积变大。CIMBRIA系列混流式干燥机,生产率由3.5t/h增至10t/h时,截面尺寸(2.62m²)不变,仅增加干燥塔高度,即CKN系列。生产率达10t/h时,截面尺寸由2.62m²增至4.26m²,在10t/h~25t/h间,截面尺寸又保持4.26m²不变,仅增加干燥塔高度,即BHM系列,当生产率达26.5t/h时,截面尺寸又增至6.72m²,即AGL系列。以变化干燥塔高度为主,变化其截面尺寸为辅,形成了系列化。VERTEC、SIROCCO的情形也类似。变化干燥塔高度与变化其面积相结合,使混流式谷物干燥机能适应于更大生产率范围。

无论是CIMBRIA、VERTEC还是SIROCCO,在截面尺寸发生变化时,截面长度(亦即角状管长度)始终保持不变,所变化的仅仅是截面的宽度。

6 结构与性能关系

通过综合产品样本的原始数据以及有关计算,本文对部分牌号的混流式谷物干燥机的结构与性能的关系进行了分析。

1) BENTALL SIMPLEX 干燥机

该机干燥塔为双塔,每增加一层,即两个标准单元段,干燥机生产率增加4t/h,即每个标准单元段生产率合2t/h(去水118kg/h)。同时,每增加一层,干燥机装粮容量增加4t,配套热源增加 83.7×10^4 kJ/h,配套功率增加约5.2kW,16988m³/h风量的风机增加一个,则每一标准单元段容纳粮食量为2t,热耗为 41.8×10^4 kJ/h,所需功率为2.6kW,所需风量为8494m³/h。

再以单个角状管为研究对象,该机每一标准单元段中角状管数为40,所以每一个角状管生产率为50kg/h(去水2.95kg/h),热耗为 1.05×10^4 kJ/h,所需功率为0.065kW,所需风量为212m³/h。BENTALL SIMPLEX性能数据参考条件为:热风温度100℃,进机谷物含水率20%(w. b.),出机谷物含水率15%(w. b.),环境温度15℃,环境相对湿度80%。

2) CIMBRIA 干燥机

此干燥机每一标准单元段的性能参数见表3,性能数据参考条件为:热风温度95℃,进机谷物含水率19%(w. b.),出机谷物含水率15%(w. b.),环境温度15℃,环境相对湿度75%,谷物种类为小麦。

表3 CIMBRIA 干燥机每一标准单元段性能参数

系列	生产率 /t·h ⁻¹	谷物容量 /t	去水量 /kg·h ⁻¹	热耗 /10 ⁴ kJ·h ⁻¹	所需风机功率 /kW	所需风量 /m ³ ·h ⁻¹
AGL	6.7	4.8	315	129.8	8.71	13500
BHM	4.2	3.0	197	81.6	5.46	8400
CKN	2.5	1.8	118	48.1	3.25	5100

这种干燥机的三个系列单个角状管的性能指标均相同。经计算具体数据为:

生产率为 0.21 t/h, 去水量 9.84kg/h, 热耗 4.06×10^4 kJ/h, 所需风机功率 0.27kW, 所需风量 422 m³/h。

7 国外混流式谷物干燥机的设计特点

1) 脉动式卸粮机构(Pulse discharge system):

因谷物中的杂质及谷物与干燥塔壁、角状管壁的摩擦等影响,卸粮时谷物不能正常流动,解决这一问题的唯一途径是使流动加快,以摆脱不规则的停顿,使整个运动变为类似于液体的流动,获得较均匀的谷物运动。为此,欧美一些国家的混流式干燥机上出现了脉动式卸粮机构。通过这种机构,能够在短时间内卸出大量的谷物。另外,采用液压技术,使卸粮机构简单、消除堵塞。LAW、CIMBRIA、SVEGMA 以及 LAW-DENIs 均采用了。

2) 变风温干燥

欧美国家多都采用变风温干燥的方法。如法国的 LAW,在干燥过程中,谷物由高温区逐渐向低温区流动,使得谷物不易损伤。同时由于待蒸发水分量逐渐降低,谷物沿干燥塔流动时,受热也逐渐减少。在谷物从干燥塔卸出之前,则用外界空气进行冷却,以保证安全储藏。英国的 BENTALL-SIMPLEX、德国的 STELA 的情况也类似,通过每一层干燥段的风温都各不相同,最顶层是一个高温区,以下各层风温逐层递减,最低层为冷却区。

3) 可变的冷却段

SVEGMA、LAW、CIMBRIA 以及 SIROCCO 等都具有可变的冷却段。处于干燥塔较低层的标准单元段具有双重作用。通过调节气流控制阀可使某一标准单元段成为干燥段或冷却段。当谷物在干燥机中停留时间较长时,可使冷却段达到最大;当冷却在干燥机外部进行时,则可取消冷却段,这样所有各层均作为干燥段,干燥机的生产率可得到提高。象对水稻这样在进一步干燥之前需缓苏的谷物尤为重要。

4) 余热回收

欧美国家都采取了余热回收措施,使得热能得以更充分地利用,如 SVEGMA、LAW 以及 STELA 等。在干燥过程中,把从较低层干燥段和冷却段排出的较热、较干燥的气体加以回收,通过余热回收区(Recycling zone)与热风炉出来的热气流混合,再送入较高层的干燥段,可降低能耗和所需风量。

参 考 文 献

- 1 Ф. Д. ПОНОМАРЕВ. Влияние конструктивных параметров коробов на газораспределение в зерносушилках. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1962, (5)
- 2 Olesen H T 著,王喜忠等译. 谷物干燥. 大连理工大学出版社, 1991, 352
- 3 Brook D B, Bekker-Arkema F W, Hall C W. Drying and storage of grains and oilseeds. In: *Handbook of Grain Processing*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1992, 1~450