

## 气力输送设备综述\*

罗驹华<sup>1</sup>, 张颖<sup>2</sup>

(1. 盐城工学院 材料工程系, 江苏 盐城 224003; 2. 盐城工学院 建筑工程系, 江苏 盐城 224003)

**摘要:**对气力输送设备—仓式泵的应用与研究进行了探讨, 针对仓式泵的缺点, 介绍了一种能连续供料的新型气力输送设备。稳流仓式泵由三个串联的仓组成, 具有供料连续、料流均匀、脉动现象小等优点。该泵不仅适用于高浓度气力输送, 也适用于稀相气力输送。

**关键词:**气力输送; 仓式泵; 稳流

**分类号:** TQ172

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-5092(2000)03-0037-04

### 1 气力输送技术的发展

物料的气力输送技术, 至今已有近 200 年的历史。早在 1810 年, Medhurst 就提出了邮件气力输送的方案<sup>[1]</sup>; 1818 年, 有人用蒸气喷射泵来输送液体<sup>[2]</sup>; 1824 年, Vallance 最先建立了气力输送的实验装置<sup>[1]</sup>; 1853 年, Clark 首先研制了直径 38.1 mm、长 205.74 m 的气力输送系统; 1858 年, 他又制成了直径 57.15 mm、长 1225 m 的气力输送系统<sup>[1]</sup>; 1861 年, Rammell 在宽 7.62 m、高 8.382 m、长 413 m 的管道里, 建成了轨距 0.5581 m 的筒车气力输送系统<sup>[1]</sup>; 1866 年就有输送棉花和砂子等固体的例子<sup>[3]</sup>; 1891 年, 英国的多克哈姆经过艰苦的改造工作, 从根本上改造了原来的装置, 成功地制造出了负压式气力输送装置, 广泛用于港口等处。当时这种气力输送装置在粮食输入国, 如英国、荷兰和德国等应用相当普及。1924 年德国的 Gasterstädt 对小麦做了气力输送实验, 发表了许多实验的和理论的研究结果。之后, 丹麦赛克公司(Seck Co.)的弗勒克骚式运输机及美国福勒公司的螺旋泵(昆尼翁泵)等正压输送装置相继发明成功, 这标志着高压空气输送理论趋于完善。这些正压输送方式主要是用来输送粉体。这样, 气力输送就不再局限于港口等处的装卸作业, 也适用于一般工厂生产过程中的粉体输送。气力输送设备便逐渐普及于生产的各个方面。早期的气

力输送均采用稀相输送。稀相输送存在能耗高、压损大的缺点。为了克服传统稀相输送的缺点, 满足现代化大生产的要求, 许多国家现在正致力于发展高料气比的密相气力输送技术。连续、稳定供料设备的开发成了把这一技术应用于实践的关键。

### 2 仓式泵的应用与研究

粉体输送是个既经典又新兴的课题。从发展之初到现在已经出现了多种输送装置, 主要有机械输送和气力输送两种。机械输送装置包括: 皮(链)带输送机、斗式提升机和螺旋输送机等; 气力输送装置包括: 空气斜槽、气力提升机、仓式泵和富勒泵等。同机械输送装置比起来, 气力输送装置有其独特的优点: 输送线路敷设自由, 运行可靠, 无粉尘飞扬, 输送距离长, 没有复杂和昂贵的传动装置, 检修时间和费用也较少。因此, 气力输送得到了广泛的应用。19 世纪初, 气力输送就已经用于港口的谷物装卸。随着气力输送理论研究的不断深入, 气力输送装置也在一代代更新。现在用于气力输送的装置主要有仓式泵、空气输送斜槽、气力提升泵、富勒泵等。仓式泵主要包括单仓泵和双仓泵两种。

单仓泵有代表性的是丹麦的 F. S. Smidth 公司研制的 Fluxo 泵(上送料式)和德国的 Polysius 公司研制的 Cera 泵(下送料式)两种。

\* 收稿日期: 2000-03-06

作者简介: 罗驹华(1972-), 男, 湖北天门市人, 硕士, 盐城工学院助教。

单仓泵在生产中得到了广泛的应用。山东省博山水泥厂在水泥磨磨尾安装了单仓气力输送泵,代替了检修量大的螺旋泵,既降低了能耗,又节约了费用。陕西省耀县水泥厂用的输送泵全都是单仓泵,主要用来输送煤粉、生料和水泥。河北邢台地区隆尧水泥二厂、山东济南市水泥厂、浙江长兴水泥厂等许多水泥厂都使用了单仓泵,均曾为厂家带来了良好的经济效益。但是,在使用过程中,发现单仓泵也存在许多缺点:

下料速度太慢,其主要原因是中间仓四壁有局部成拱或出现洞穴状现象;

有“放炮”和中间仓冒灰现象;

中间仓水泥外溢;

水泥从开始输送到仓内和管道内水泥被全部送净的输送周期太长。

双仓泵的应用也比较广泛。在宁国水泥厂胜利分厂、无锡市散装水泥中转站等单位都得到了很好的使用,为企业带来了较好的效益。但是,双仓泵在生产中常出现配件被吹坏,仓内水泥送不出去,水泥装不进仓,水泥输送管道堵塞,停止工作时,水泥倒流回仓中等异常现象,严重影响了主机的运转。据统计,由于双仓泵的故障导致水泥磨停机的时间,占总停机时间的 50% ~ 70%。而且双仓泵在输送过程中发生故障较其它输送设备难判断和排除。因为导致事故的因素较多,如输送时高压气源的压力变化,双仓泵本身配件好坏,被输送水泥中是否有杂物,输送管道有无漏气,排气、供气管道是否容易堵塞,以及操作是否正确均会导致其不能正常输送。

鉴于单、双仓泵的上述缺点,很多学者提出了自己的改进方案。瞿旭东<sup>[4]</sup>对无锡市散装水泥中转站所用的带流态化充气箱的双仓泵(输送能力为 60 t/h)作了改进,优化了泵体和自控部分的设计,改进后的泵生产能力达到 110 ~ 130 t/h。乍一看,半连续送料的双仓泵比断续送料的单仓泵效率要高,但唐来永和熊长庆<sup>[5]</sup>证明了带流化式中间仓的单仓泵和双仓泵等效。在实际应用中,单仓泵寿命较双仓泵长,操作也简单。于是有关单仓泵的研究改进资料也多了。金芹初<sup>[6]</sup>对单仓泵输送水泥存在的问题作了较为全面的论述。白增辰<sup>[7]</sup>论述了国产 CP20 型单仓泵的使用和维修。王世忱<sup>[8]</sup>发表了有关单仓泵自动控制方面问题的改进经验。

无论怎么说,单、双仓泵主要用于实现稀相输

送,因而也具有稀相输送的缺点:

空气流动速度高,物料浓度低。而且,固气比小,耗气量大;

物料流速快使管壁易磨损,物料易破碎,降低了物料的质量;

空气与物料混合均匀,因而尾端除尘难,装置复杂;

不适用于粒径大,比重大的物料输送,因为这些物料难以悬浮。

可见,气流速度、料气比、适用范围、自动化控制等问题已成为仓式泵改进焦点。国内外已有公司从研究开发低速、低压、连续、密相栓流新技术着手,来从根本上解决这些问题。这是一种在管道内输送散状固体物料的新技术,可在输送过程中同时加热、冷却和烘干。它的主要优点在于:当速度减少或粉料流量增大时,它比低的料气比输送具有较高程度的系统稳定性。只要物料颗粒的内摩擦角大于壁摩擦角,均可采用这种输送技术<sup>[1]</sup>。满足这种条件的物料是十分广泛的。国外把这种技术用于对药品、谷物、水泥和砂糖等几十种物品的输送。这种技术特别适用于输送直径不大于 8 mm 的颗粒状物料或粉状物料。对于脆性大的粉体(如磷酸盐)要实施气力输送就必须采用这种技术。

日本电气化工程技术公司(DCE)曾开发出了省能型高浓度空气输送系统<sup>[9]</sup>。此系统比单仓泵可省电 20%,建设费节约 10%。

脉冲气刀式气力输送是近些年才发展起来的技术。这项技术属于低速、低压、密相栓流输送。当物料加入发送罐后,向罐内充入气体。物料在压力和重力的双重作用下进入输料管。进入输料管的物料达到一定量时,随即向管内喷入脉冲气流。这样物料在输送管中被割成一段料柱、一段气柱间隔状。各段料柱借助前后气柱静压差推动滑移至卸料点。该装置由贮气罐、发送系统、控制系统及附件等组成。我国河北省辛集市建材机械厂制造的 CMB 型脉冲泵比单仓泵省电 50%。我国湖南省湘潭电工机械厂制造的 MQ 系列脉冲气刀式输送装置比单仓泵省电 50%,但在华中特种水泥厂应用时发现该装置不能满足连续生产的要求。

### 3 一种新型仓式泵

当今水泥装备的趋势就是向大型化、自动化、

节能方向发展。随着输送量和输送距离范围的进一步扩大,原有的这些气力输送装置已不能满足现代化大生产的要求。在我国,水泥行业是耗电大户。水泥厂中除了窑和磨大量耗电以外,输送设备耗电也是不容忽视的问题。现有气力输送设备的动力消耗量大是一大缺点。气力输送的能量消耗是斗式提升机的2~4倍,是皮带输送机的15~40倍。再说,我国相当一部分水泥厂因输送设备事故太多,致使主机(窑和磨)不能长期稳定的运行,系统无法达产,造成了巨大损失。为了节约能源,降低水泥成本,向建设绿色环保型水泥厂进军,必需要克服现有仓式泵存在的输送料气比低、能耗高和输送过程不稳定等缺点。因此,开发一种新的气力输送装置已经成为了一个迫切需要解决的问题。

几种气力输送装置的料气比比较<sup>[10]</sup>(输送距离为100 m):

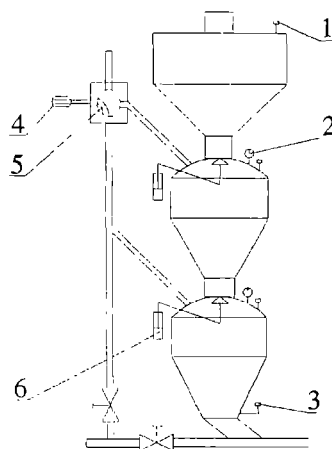
表1 不同气力输送装置的料气比

Table 1 The ratio of solid to air of varying pneumatic transport equipments

| 输送装置  | 料气比(kg料/kg气) |
|-------|--------------|
| 富勒泵   | 60           |
| 仓式泵   | 45           |
| 仓式脉冲泵 | 100          |
| 气力提升机 | 19.6         |

由表1可知,富勒泵的料气比比仓式泵要高,而且能实现连续供料,那么为什么不用富勒泵来做稳流输送装置呢?因为它的电耗较高(富勒泵<sup>[8]</sup>的单位电耗是仓式泵的1.3倍),输送粉体时所需的功率就达到空气压缩机额定功率的40%~80%,而这仅仅是把粉体送入高压管内消耗的功率。再说,在使用过程中螺旋轴磨损太快,所以用富勒泵作为密相气力输送系统的供料装置不是最佳的。仓式脉冲泵的电耗较小(仓式脉冲泵的单位电耗是仓式泵的0.5倍),料气比也最高。但是仓式脉冲泵不能实现连续供料,所以,用仓式脉冲泵作为密相气力输送系统的供料装置也不是最佳的。但是,以仓式脉冲泵为突破口,紧紧抓住仓式脉冲泵和富勒泵的优点,进行低电耗、高浓度和连续供料研究是可取的。

现拟定开发一种新型的气力输送设备,用稳流仓式泵来实现连续稳定供料。该泵由3个仓串联组成,顶部仓是一个普通的贮料仓,中间仓和底部仓是压力仓,如图1所示。



1. 上料位计 2. 电接点压力表 3. 底料位计  
4. 气缸 5. 三通球阀 6. 步进电机

图1 稳流仓式泵

Fig.1 A string of three blow tanks with stable flow

当底部仓将要卸空时(由料位计探测),三通球阀转动一定角度,使底部仓和中间仓相通。当底部仓和中间仓压力相等时,两仓间的阀门将被打开。中间仓的贮料流将底部仓装满,然后关闭两仓间的钟阀。三通球阀转到另一位置,使顶部仓和中间仓相通。当顶部仓与中间仓压力相等时,两仓间的阀门打开,物料从顶部仓流入中间仓。当中间仓装满料后,两仓间的钟阀关闭。一个循环结束,重复以上过程,实现连续供料。

以上流程设计考虑到:仅当上下两仓压力相等时,物料才会顺利地由上部仓流向下部仓。这就不象单、双仓泵那样物料通过时对阀门造成很大磨损。另外,在单、双仓泵中有排气阀,这种阀容易损坏,严重影响输送,而稳流仓式泵不用排气阀,这样停机检修的时间也就少了。为了防止结拱或形成漏斗流,使下料通畅,该泵每个仓下部都装有流化棒助流装置。

稳流仓式泵应用范围比单双仓泵广,对必需连续供料的地方,只能用稳流仓式泵。该泵输送量大,对节约能源来说是得天独厚的。

#### 4 前景展望

以水泥的生产输送为例,各主机间过渡设施的研制开发,已成为我国干法水泥生产中的当务之急。为解决输送过程中粉体安全流动问题,稳流仓式泵是一个很有希望的解决方案。

目前尚未见到关于稳流仓式泵的工业应用开发报道,也未见发表有关其理论研究方面的力作。用于密相气力输送的仍然是单仓泵,送料不连续,

系统易发生故障,难以全面推广。鉴于此,澳大利亚、挪威、丹麦、日本等国正在开发这方面的气力输送装置。

这类装置开发成功后,可取代能耗高、效率低的悬浮气力输送设备。因为能实现连续输送,能源消耗将降低,从而也可保证水泥生产的主机长

期稳定运行,水泥的产、质量也将提高。高浓度气力输送是输送设备发展的趋势,而稳流仓式泵是实现高浓度气力输送的关键技术之一。

本课题被列为国家“九五”攻关项目,属于前沿课题。一旦突破,将为高浓度气力输送设备的开发奠定基础并提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 黄标. 气力输送[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984.
- [2] Zimmer G F. Cassiers Engineering and Industrial Mang[M]. 1919.
- [3] Zimmer G F. Chem Age[M]. 1920, 11.
- [4] 翟旭东. 两米直径的流化式双仓泵[J]. 水泥, 1980, (1): 14 ~ 17.
- [5] 唐来永, 熊长庆. 带流化式中间仓的单仓泵和双仓泵等效[J]. 水泥, 1978, (5): 5 ~ 8.
- [6] 金芹初. 对单仓泵输送水泥存在问题的浅议[J]. 水泥, 1983, (8): 21 ~ 24.
- [7] 白增辰. CP20 型单仓泵的使用维修[J]. 水泥, 1989, (3): 11 ~ 13.
- [8] 王世忱. 单仓泵的改进经验[J]. 水泥, 1980, (7): 9 ~ 11.
- [9] 省能型空气输送系统[J]. 孙家治译. 建材技术(水泥), 1979, (1): 57 ~ 59.
- [10] 白礼懋. 水泥厂工艺设计实用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

## A Summary of Pneumatic Transport Equipment

LUO Ju-hua<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>

(1. Department of Material Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC; 2. Department of Construction Engineering of Yancheng Institute of technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC)

**Abstract:** This paper discusses the application and research of pneumatic transport equipment-blow tank, the author introduces a new pneumatic transport unit with continuous material supply, in accordance with weakness of blow tank, a string of three blow tanks with stable flow, which consisted of a string of three blow tanks, has the advantages of continuous material supply, even flow of solids and minor pulsation. It is suitable for dense phase pneumatic transportation, and for dilute density pneumatic conveying as well.

**Keywords:** pneumatic transport; blow tank; stable flow

(上接第 33 页)杂性,软件测试的理论还不完善,测试的可靠度、效率还需要进一步提高。因此,一方面要提高人们对软件测试的认识和重视程度,

另一方面要加强有关测试理论、测试方法的研究和测试工具的研制。

#### 参考文献:

- [1] 李芳芸, 些跃廷. CIMS 环境下——集成化管理信息系统的分析、设计与实施. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [2] 何克清. 计算机软工工程学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1983.
- [3] G. J. Myers. 计算机软件测试技巧[M]. 北京: 清华大学出版社, 1985.
- [4] 郑人杰. 计算机软件测试技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.

## Testing Techniques in Software Developing

XIN Qing - song, WU Jin, CHEN Qing

(Department of Mechanical Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC)

**Abstract:** This paper analyzes importance of software testing, advances its five basic principles, and discusses reasonable selection of testing tactics. It is pointed out that the content and steps of software testing base on its whole living cycle. By analysis about testing time and cost and reliability of software, the authors propose the method which determines optimal testing time. In the end, reliability! of testing work is explored valuably.

**Keywords:** software testing; tactics; testing time; reliability