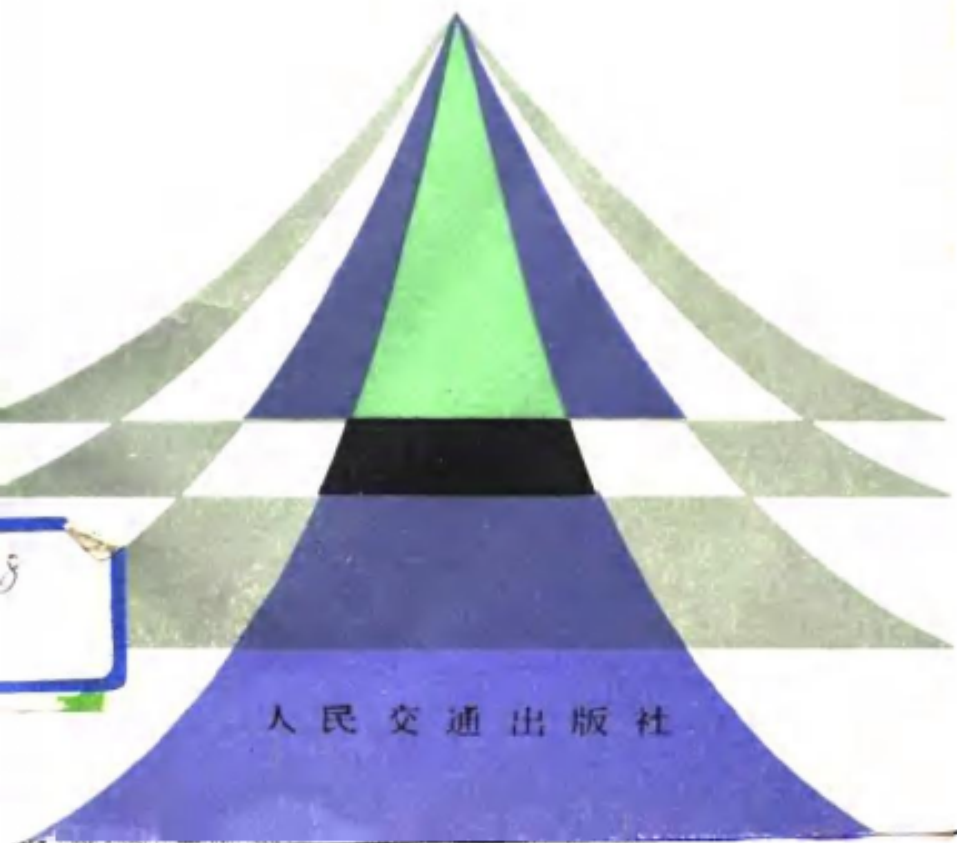


# 气力输送及其应用

余洲生 编译



人民交通出版社



数据加载失败，请稍后重试！

**气力输送及其应用**

**Qilishusong Jiqi Yingyong**

余洲生 编译

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$  印张: 8.375 字数: 183千

1989年2月 第1版

1989年2月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—1,900册 定价: 5.15元

## 内 容 简 介

本书是以美国斯托伊斯 (H.A.Stoess) 著的《气力输送》一书为基础编译的。

全书共分五章。第一、二章概述了气力输送的发展和特点,介绍了气力输送粉粒料的主要装置型式;第三章主要介绍了气力输送装置的设计计算和主要部件,提供了吸送、低压压送装置的实用设计方法和计算示例;第四章以较大的篇幅介绍了气力输送在水泥、酿酒、塑料、橡胶、造纸、饲料、水净化处理、电力工业以及港口中的广泛应用;第五章列举了约100种物料的气力输送特性。

本书可供从事输送设备选型和气力输送装置设计、管理、操作人员及有关专业的师生参考。

## 前 言

气力输送技术经过近几十年的发展，其应用领域不断扩大。从粮食、水泥、塑料、造纸、建材、化工、铸造、水产等部门直至城市的水净化和垃圾废物运输处理都有应用。随着近年来对环境保护要求的提高，在管道内密闭进行的气力输送更加受到重视。

目前，气力输送在我国各部门的应用已日益增多，但有关的技术书籍却很少，迄今还没有一本英文版气力输送技术书的译本。

斯托伊斯 (H. A. Stoess) 著的《气力输送》是美国关于气力输送的一本专著，反映了作者在这方面丰富的实际经验。本书以该书1983年第二版为基础，并补充了美国《加工工业中的气固处理》一书的有关内容和一些国内外发展动态编译而成。全书共分五章，内容包括气力输送粉粒状物料的装置特点，主要型式和部件、实用设计方法和计算示例、气力输送在各部门的广泛应用以及近百种物料的气力输送特性。可供从事输送设备选型以及气力输送装置设计、管理、操作人员和有关专业的师生参考。

在本书编译过程中，得到一些单位和个人的热情支持和帮助，在此表示深切的谢意。

由于编译者水平有限，书中一定会有不少缺点和错误，衷心希望读者给予批评指正。

编译者

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
第一节 气力输送概述.....	1
第二节 气力输送的优缺点和使用范围.....	3
<b>第二章 气力输送装置的型式</b> .....	<b>7</b>
第一节 真空吸送装置.....	8
第二节 低压压送装置.....	14
第三节 中压压送装置.....	20
第四节 高压压送装置.....	23
第五节 脉冲栓流气力输送装置.....	26
第六节 文丘里供料式低压压送装置.....	31
第七节 吸-压送组合式装置.....	32
第八节 循环输送装置.....	35
第九节 空气槽.....	37
<b>第三章 气力输送装置的设计</b> .....	<b>43</b>
第一节 设计的原始条件.....	43
一、物料特性.....	44
二、输送量和操作频繁程度.....	55
三、输送起点和终点的情况.....	55
四、输送距离和路线.....	56
五、安装地点的海拔高度.....	57
六、有关的现场情况.....	57
第二节 设计程序.....	58

一、吸送装置的设计计算	65
二、吸送装置设计计算示例	74
三、低压压送装置的设计计算	80
四、低压压送装置设计计算示例	85
五、采用变径输料管的设计计算	96
<b>第三节 主要部件</b>	<b>100</b>
一、风机	101
二、袋式分离器	105
三、旋风分离器	113
四、旋转供(卸)料器	115
五、螺旋泵	124
六、输料管及管件	127
<b>第四章 气力输送的应用</b>	<b>136</b>
<b>第一节 气力输送在水泥工业中的应用</b>	<b>136</b>
一、气力输送在水泥厂内的应用	136
二、气力输送在散装水泥运输中的应用	141
<b>第二节 气力输送在烘烤工业中的应用</b>	<b>144</b>
<b>第三节 气力输送在酿造和酒精工业中的应用</b>	<b>148</b>
<b>第四节 气力输送在塑料工业中的应用</b>	<b>157</b>
一、输送塑料允许的温度	158
二、容积式鼓风机排气温度计算	160
三、冷却器的使用	165
四、气力输送聚乙烯	167
五、气力输送聚氯乙烯	173
六、气力输送酚醛树脂	173
七、气力输送木粉	174
<b>第五节 气力输送在橡胶工业中的应用</b>	<b>177</b>

一、气力输送橡胶粒·····	178
二、气力输送橡胶充填剂·····	179
第六节 气力输送在造纸工业中的应用·····	180
一、气力输送造纸浆的木料·····	181
二、气力输送造纸浆的化学药品·····	188
三、造纸厂的气力输送应用·····	202
第七节 气力输送在饲料工业中的应用·····	213
第八节 气力输送在水净化处理中的应用·····	217
第九节 气力输送在电力工业中的应用·····	219
第十节 气力输送在水运和港口中的应用·····	223
一、散粮吸送卸船装置（吸粮机）·····	223
二、装卸水运散装水泥的气力输送装置·····	229
三、流动性差的物料的气力卸船机·····	234
第五章 物料的气力输送特性·····	237
参考文献·····	257



# 第一章 绪 论

## 第一节 气力输送概述

气力输送可定义为借助负压或正压气流通过管道输送物料的技术。气力输送的发展及其在各行各业中的应用，为解决大批散货的密闭输送问题提供了一个有效的途径。

过去，在工业生产和产品运输过程中，要把散货、特别是易扬尘的粉粒状物料，从一个地方运输到另一个地方，这无论在设计、建造以及后来在设备的操作上都是令人烦恼且费用昂贵的。对于气体和液体，很容易从一处流到另一处，而粉粒状的固体却难运得多，因为固体不易克服惰性，缺少从一个地方流到另一个地方的内在能力。

人们早已观察到大风把物体吹走的现象。高速气流具有极大的能量，这可从飓风、龙卷风的破坏事件中得到证明。几百年前，人们就已利用风力来航行或转动风车，一百多年前又开始了气力输送的试验和应用。

最简单的气力输送不过是由管子引导和夹带物料的小型飓风而已。这种简单的早期装置虽然能够利用高速气流来运移和提升散粒状物料，但其设计简陋，效率是很低的。

为使空气在管内流动并沿着流动线路携带物料，可采用压送或吸送方式。前者提高输送管路始端的空气压力，使其高于外界大气压力（标准大气压力等于 101.325kPa）；后者降低输送管路末端的空气压力，使其低于外界大气压力。

在这两种情况下，输送管路的始末两端都因存在压差而形成气流，因而有可能实现物料输送。

空气的密度是随温湿度和压力而变化的。工程上常把在标准大气压力和温度 $20^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度50%状态下的空气称为标准状态的空气，其密度为 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。按照气体容积与压力变化关系的定律，当输送管内的压力降低时，空气因膨胀而容积增大，空气的密度将减小，使其附着和携带物料的能力也随之减小；相反，如果管中空气压力升高，则空气的密度将增大，并具有较大的粘附和携带物料的能力，同样数量的空气就能携带较多的物料。这是在气力输送设计中需要考虑的基本问题。

粉粒状物料气力输送装置的发展始于1866年斯特蒂文特(Sturtevant)对除尘器的研制。1886年，阿林顿(Allington)进行了长距离气力压送纤维的研究。1890年，英国的一个总工程师多克哈姆(F.E.Duckham)发明了套筒式吸嘴并经过艰苦的研究，建造了吸送谷物的卸船机，为现代吸粮机的发展奠定了基础<sup>[1][2]</sup>。1906年，米切尔(Mitchell)研制了输料管逐段改变断面尺寸的谷物卸船机。1919年，美国的昆尼翁(A.G.Kinyon)成功地发明了压送粉末状物料的螺旋泵。1924年，德国的加斯特斯塔特(Gasterstadt)研究了输送小麦的压力损失计算公式。1958年，德国的 Barth 进一步发展了加斯特斯塔特的研究成果。

最近几十年来，通过气力输送在卸船、卸车和其他许多场合下输送物料的成功经验的积累，通过研制改进气力输送装置的大量试验和实践，随着对气固双相流理论研究的不断深入和现代工业技术水平的不断提高，目前，气力输送装置已日趋完善，设计水平和工艺技术也越来越先进。但是，与

其他输送技术相比，气力输送所受的影响因素更为复杂。要获得成功的设计，使装置达到简单、经济，不仅需要运用有关气力输送的一般综合知识，掌握所输送物料的特性和操作条件，而且还应注意学习和积累实际经验。必须看到，尽管过去已作过许多努力，试图通过关联各种资料数据来达到利用计算公式进行设计，但往往由于物料性质和设备布置等实际条件变化太多，致使设计计算得不到可靠的理想结果。

物料在空气作用下的性质与气力输送的关系十分密切。值得注意的是，有的物料具有同样的名称和普通的外观，但其输送特性却差异很大。例如，有些同样名称的物料其堆积密度、含水率等却相差甚多。如碳酸钙沉淀物的堆积密度变化范围为 $300\sim 800\text{kg}/\text{m}^3$ ，它的含水率可能从 $0\sim 1\%$ 增大到由于含水率过高而不能进行气力输送的程度。再以另一种物料（芒硝）为例，其堆积密度可能从 $1120\text{kg}/\text{m}^3$ 变化到 $1740\text{kg}/\text{m}^3$ 。此外，物料中所含的游离二氧化硅的含量将决定其对设备的磨琢特性，要求设备采用不同的材料和结构型式；在空气作用下的物料流动性也与设备的选型密切相关；对于脆性的、易碎的和因破碎而造成物料质量降级的物料，则必须在选择输送风速等方面给予特别的考虑。总之，适于输送所有物料的通用气力输送装置是不存在的。为了满足各种应用的需要，目前已研制和发展了多种气力输送装置型式，见第二章和第四章。

## 第二节 气力输送的优缺点 和使用范围

在一个工厂中，连续式的操作往往比间歇式的操作要优

越得多。同时，由于粉末状物料每单位质量的表面反应面积较大，因此，小颗粒和粉末状的物料较适合于进一步加工。而在所有可用的物料搬运设备中，气力输送不仅是一种很适于连续地输送粉粒状物料的方法，而且还可与加工过程中的多种工艺操作相结合。对于大量分批地搬运的散粒物料，例如将船舶或车辆运来的物料卸往贮存仓，气力输送装置也能很好地适应。

在讨论使用空气或其他气体来输送固体颗粒的优缺点的时候，人们一定会很自然地拿这种方法与其他的输送方式去进行比较，例如与带式输送机或螺旋输送机等机械式输送进行比较。

气力输送优于其他输送方式的一个主要优点是：它的输送管路占用空间小且线路布置非常灵活。一台带式输送机或螺旋输送机主要在一个方向上输送物料，如果物料搬运路线的方向有大的改变或者要变为提升的话，往往需要第二台独立的输送机。对气力输送机来说，只要成功地设计出适当的弯管和没有很大流动阻力区段的输送管路，输送线路就可从建筑物或大的机械设备和其他障碍物的上方、下方通过，或者绕过它们来输送物料，输送管线也可敷设在不影响其他操作的室内空间的高处。由于可以使用灵活的软管和快速接头，很容易改变和由人工控制物料的进出口位置，从而可以灵活地装卸车、船，特别适于卸船的清舱作业，软管可以伸至舱内，伸至其他机械不易到达的地方将物料吸出。由于气力输送管路系统与液压输送系统在操作上十分相似，大多数气力输送装置能在中心控制室自动操纵控制，从而大大改善操作人员的工作条件，提高劳动生产率和降低成本。

在安全方面，气力输送装置与其他物料搬运机械相比具

有明显的优点。据报导，目前美国每年在物料搬运的事故中，由工伤造成的工资、医疗、保险等直接、间接开支约达5.75亿美元。统计数字表明：机械式输送物料设备比气力输送物料所发生的事故要多得多，以一个水泥厂的具体情况为例，用气力输送装置代替了螺旋输送机和斗式提升机后，消除了由螺旋输送机和斗式提升机所引起的所有造成时间损失的那些事故的52%〔1〕。气力输送机的正确设计不仅能免除工伤，而且还能减少由火灾或爆炸引起的危险。一项为确定输送管内高速气流与醋酸纤维素粉末混合物的燃烧特性所进行的试验表明：局部的燃烧不会通过输送机支架蔓延，同时，高速紊流的空气改变了燃烧的特性，致使燃烧速度放慢，爆炸压力减小。由于一些面粉厂、饲料厂和谷物贮运加工行业在各工序中采用气力输送而减少了火灾，赢得了保险部门的信任，使这些厂获得了降低保险费率的优惠，节约了保险费开支。

一台正确设计并合理操作的气力输送机也在保持环境清洁和免于污染被输送的物料方面显示其优越性。就吸送式气力输送装置而言，任何的空气损漏都是向内的，粉尘不会向外飞扬。无论吸送或压送式装置都能相当容易地被设计成全封闭式装置，这样，产品污染可减至最低限度。主要的控制灰尘点将位于供料器入口和在卸出物料处，然而，精心的设计能使这些地点实际上无尘。

过去，气力输送与其他散货搬运装置相比，其主要缺点是能量消耗较大。然而，现在由于人们对固气双相流机理有了较清楚的了解，这些现代设备的改进已经可观地降低了功率消耗。气力输送的稍微高一点的能量消耗，可由其他较多人力操作的物料搬运方法所遇到的急剧上涨的劳动力费用得

到补偿。

被运物料的种类对于是否能采用气力输送有很大的关系。虽然气力输送能应用于很多固体物料的输送，但这些物料必须是比较干燥和流动性好的。在第三章第一节和第五章将要提到的有关粉粒料性质对于气力输送是很重要的。物料的物理性质如物料和堆积密度、粒度和粒度分布、硬度、安息角、磨琢性、爆炸的可能性等在设计气力输送装置中是很关键的，这些将在有关气力输送的设计和应用的讨论中可以看到。

通常，如加工最终产品不允许破碎的话，那些脆而易碎的物料不宜采用气力输送。吸湿的或会结块的物料也不容易用气力输送，除非有专门设计的设备。当然，容易氧化的物料不能采用空气输送，但是可以设计一种具有气体循环回路的情性气体输送装置。在输送过程中磨琢性很大的颗粒物料要求在选择用于气力输送机及其附件结构的金属材料时格外小心。对那些难输送的物料，在设计中运用有关试验研究和生产实践所积累的经验就变得特别重要。

气力输送适用于较短的输送距离，但随着气力输送技术的发展，输送距离也有所增加，到目前为止，吸送的最长距离达548m，而低压压送已达到和超过1600m，高压压送则可达3000m。

## 第二章 气力输送装置的型式

气力输送装置分为吸送式和压送式两大类，取决于输送管路系统内部的压力状态，视管路内部压力低于还是高于外界大气压力而加以区分。在吸送式装置中，用于吸送抽气的风机安装在管路系统末端，管内压力低于大气压力，吸入的空气形成气流，随空气吸入的物料被悬浮在气流中吸送至卸料点。在压送式装置中，产生压缩空气的鼓风机或空压机安装在管路系统始端，管内压力高于大气压力，物料由供料器送入管内，靠压缩空气膨胀的能量使物料充气或流态化，沿管路系统压送至卸料点。

根据气力输送装置的特征、所需风量和压力等的不同，这两类装置可分为多种不同的型式，它们所需的风量从每分钟几分之一立方米到几百立方米，压力则从低于大气压力 $20\sim 60\text{kPa}$ 到高于大气压力 $860\text{kPa}$ 。

用于输送散装粉粒状物料的气力输送装置主要有以下的9种型式：

### 1. 真空吸送式

通常以 $20\sim 40\text{m/s}$ 的高速气流在管路系统内悬浮输送物料，最高真空度可达 $60\text{kPa}$ 。

### 2. 低压压送式

用中速气流在管路系统中悬浮输送物料，操作表压一般在 $82\text{kPa}$ 以下，最高约达 $100\text{kPa}$ 。

### 3. 中压压送式

采用低速气流，操作表压可达 310kPa。

#### 4. 高压压送式

采用低速气流，操作表压可达 860kPa。

#### 5. 脉冲栓流式

采用很低速的气流，操作表压往往在 200kPa 以下。

#### 6. 文丘里装置供料的低压压送式

采用中速到高速气流，但操作表压很低，仅为 7~14kPa。

#### 7. 吸-压送组合式

采用真空吸送与低压、中压或高压压送相结合的组合型式。

#### 8. 循环输送式

采用低、中速和低、中操作压力在密闭回路中输送。

#### 9. 空气槽

采用很低压（一般在表压 5kPa 以下）的气流使粉状物料充气而流态化，借助重力作用向下流动输送。

## 第一节 真空吸送装置

在需要从几个供料点将物料送往一个卸料点时，最宜采用真空吸送装置。无论供料点如何分布，物料进入处于负压状态的管道内总是比较容易的。真空吸送装置也很适于从火车、汽车和船舶中卸货。吸送的物料包括各种干燥的粉末状、碎粒状物料，在某些情况下，物料块度达 50mm，甚至更大。据目前所知，业已安装了输送距离约 550m 的真空吸送系统，并已成功地操作运转。

真空吸送装置酷似家用的真空吸尘器。它主要包括进气



口、进料口或二者的组合件、输料管、分离器和动力装置。在由多处供料的吸送装置（图 2-1）中，由料仓下方向输料管供料时，需采用供料器限制物料的流量。为使进入管路的

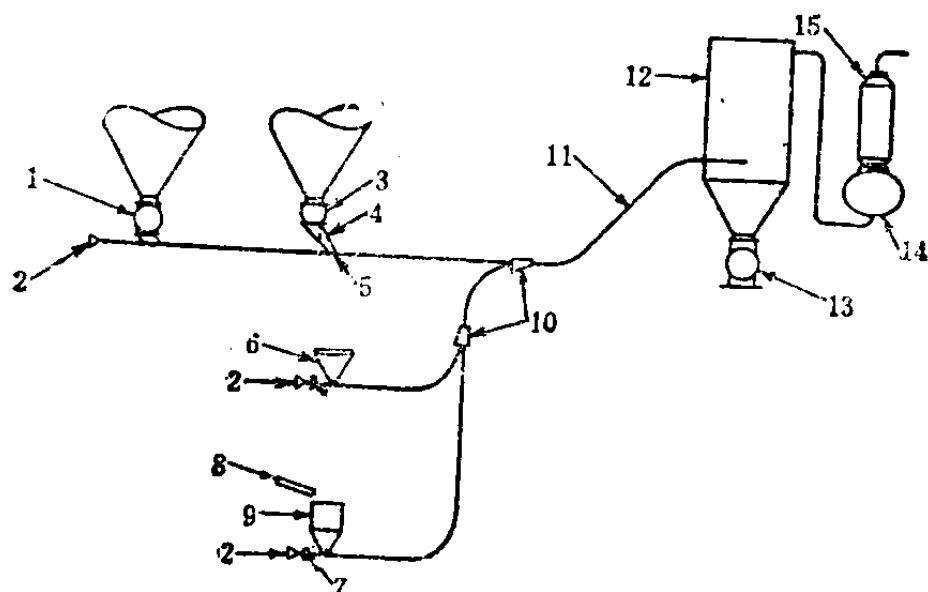


图2-1 真空吸送装置

1-旋转供料器；2-进气口；3-旋转式料仓阀；4-物流量调节阀；5-进料口；6-袋物接收斗；7-进气调节阀；8-限量装置；9-磨粉机；10-管道换向器；11-输料管；12-分离器；13-卸料器；14-风机；15-消声器

漏气量最小，供料器必须是相对气密的，特别是在不只一个供料器向一根管路供料的情况下，如果允许大量空气漏入，那么，为维持输送所需的风量将要增加，会造成管路系统下游的设备尺寸加大，大于单个或多个供料点的正常输送需要。

最常用的供料器是旋转供料器。它有一个封闭式的外壳，壳内有一个与壳壁间隙很小的星形叶轮。叶轮通常由低速电动机通过滚子链传动而旋转，使供入管内的物料受到限量的控制。