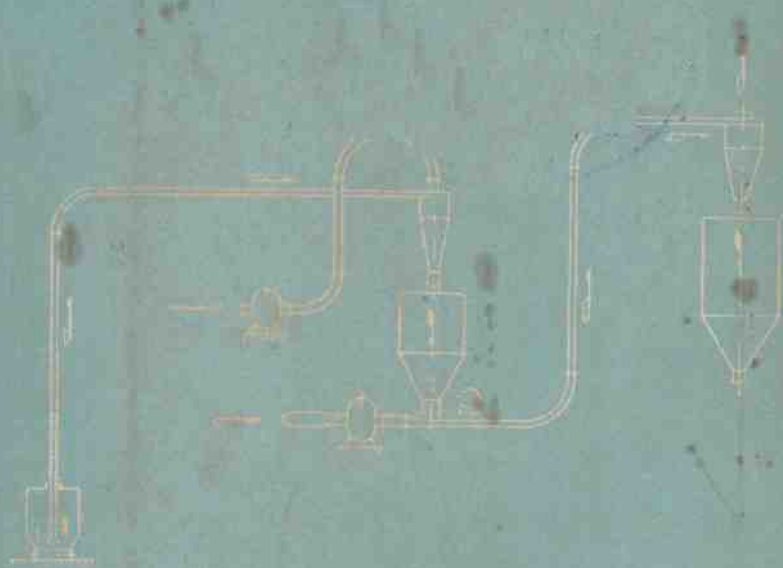


87.5721
RJC

粉粒状物料的气力输送



人 民 交 通 出 版 社

内 容 简 介

本书是由日文翻译的，内容分为二篇。第一篇理论部分，从气体动力学和物料的物理特性阐明气力输送的基本原理。第二篇装备与构造部分，叙述各种气力输送装置的结构和特点、各种装备的构造以及设计方法。

粉 粒 体 の 空 气 输 送

本书根据日刊新闻社 1961 年 2 月日文版本译出

粉粒状物料的气力输送

人民交通出版社出版 (北京安定门内和平里)

北京市书刊出版业营业登记证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张：7 $\frac{1}{8}$ 全书 160,000 字 印数 1—4,200 册

1970 年 8 月北京第一版

1970 年 8 月北京第一次印刷

统一书号：15044·626

定价：1.00 元

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期把我国建设成为一个社会主义的现代化的国家。

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间困难总是可以解决的。

出版说明

伟大领袖毛主席教导我们：“中国应该大量吸收外国的进步文化，作为自己文化食粮的原料，这种工作过去还做得很不够。……但是一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”在毛主席光辉思想的指引下，我们审查了在无产阶级的文化大革命前组织翻释的《粉粒状物料的气力输送》一书，觉得尚有一定参考价值，现予以出版。这本书来自资本主义国家，广大读者在阅读时，遵照毛主席“排泄其糟粕，吸收其精华”的教导，对其内容要批判地吸收，如发现问题和错误，请及时告诉我们，以便修订更正。

人民交通出版社革命委员会

一九七〇年六月

目 录

第一篇 理论部分

第一章 概論	3
§ 1 气力輸送机的結構	3
§ 2 气力輸送机的特点	7
§ 3 气力輸送机的分类	10
第二章 基本理論	13
§ 1 物料的物理特性	13
§ 2 輸料管內的气流	21
§ 3 平行气流中的顆粒运动	30
§ 4 管道內的顆粒群运动	41
§ 5 最終速度 v_x	55
§ 6 弯管的顆粒体运动方程	57
第三章 顆粒羣的实际运动	59
§ 1 混合比	59
§ 2 顆粒群的流动形式	61
§ 3 顆粒体在水平管道內的悬浮	68
§ 4 顆粒体在管道內的实际速度	72
第四章 輸料管道的压力損失	77
§ 1 压力損失的基本方程式	77
§ 2 压損比	81
§ 3 压力損失最小的空气速度 (最适风速)	92
§ 4 輸料管道的压損实验式	93

第二篇 装备与构造部分

第五章 結構和特点	103
§ 1 供料裝置	103
§ 2 輸料管	130

§ 3 分离装置	137
§ 4 空气压缩机	153
§ 5 气力输送机的附属机械	165
第六章 气力输送机的设计方法	177
§ 1 设计准备	177
§ 2 设计方法	178
第七章 真空式气力输送机	184
§ 1 真空式气力输送机的特点	185
§ 2 真空式气力输送机的种类	186
§ 3 灰处理用的真空式气力输送机	187
§ 4 卸货车用的真空式气力输送机	196
§ 5 卸驳船物料用的真空式气力输送机	201
§ 6 卸货轮物料用的真空式气力输送机	203
第八章 压气式气力输送机	207
§ 1 特点	207
§ 2 系统	207
§ 3 散装水泥的输送	208
§ 4 粉煤灰的输送	211
第九章 空气槽	217
§ 1 原理	217
§ 2 结构	217
§ 3 特点	218
§ 4 设计	219
§ 5 用途	220

第一篇 理論部分

第一章 概 論

§ 1 气力輸送机的結構

使粉粒状物料悬浮在气流中进行输送的装置，通常称为气力输送装置。它是由下列四种机器和部件组成的：

①. 供料器：这是安装在输送装置的最前部，借助于气流使颗粒体悬浮并将其输送到输料管内的一种供料装置。

②. 输料管：这是输送装置的主要部分，它是由输送空气和颗粒物料混合物的管道及其附属零件组成的。

③. 分离器：这是将颗粒物料从气流中分离并排于管外用的一种装置。通常在其下面安装排料机，它虽然是由两个装置组成的，但从外表看完全是一个整体，所以这里统称其为分离器。

④. 空气泵或空气压缩机：这是制造用于输送物料的高压气体或空气的机器。

气力输送机的上述四种装置的配置及其结构，是以输料管道的压力高于或低于大气压的情况来决定。

输料管道的压力低于大气压的称为吸气（真空）式气力输送机，普通采用图 1-1 所示的结构布置。该机空气泵（真空泵）即安装于输送机尾部，用以抽吸空气，其压力愈接近真空泵则愈变小（见图 1-1 下方）。由于输料管道起点附近接近大气压，故容易使颗粒物料吸进管内，其结构简单。输料管道尾部的物料和空气的分离处，在整个输送装置中是压力最低的地方，当颗粒体在这里向管外排出时，极易从外部漏进空气，为防止发生这种现象，必须采用特殊结构。

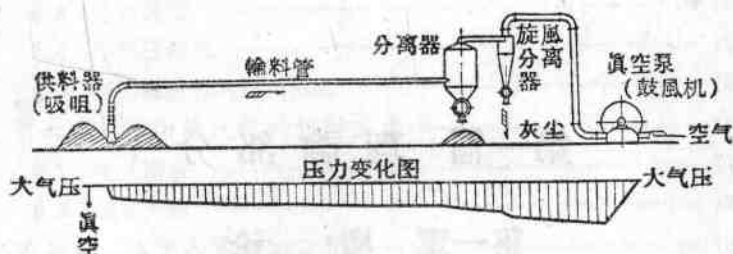


图1-1 真空式气力输送装置

输料管道的压力高于大气压的称为压气式气力输送机。这种输送机的空气泵（压缩机）如图 1-2 所示，安装在输送机的最前部，用它将压缩空气输进供料器。输送物料的起点的压力为最大，终点附近的压力为最小，几乎接近大气压。在此情况下必须在输料管道的高压处将颗粒物料输进输料管。为防止空气倒流也需加装特殊装置。但在空气和物料分离处的压力是接近大气压的，而且又是向压力较低的管外排出，所以容易排料。

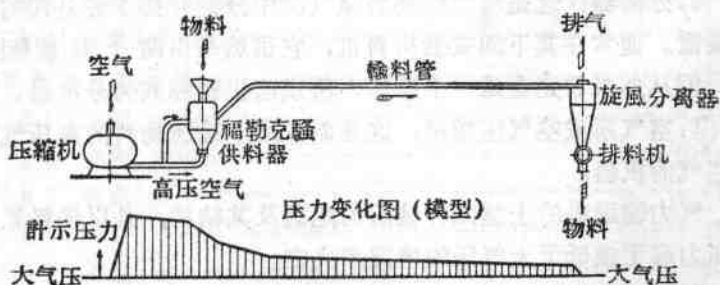


图1-2 压气式气力输送装置

总之，吸气式气力输送机是一面要防止从压力最低处的分离器漏进空气，一面要排卸颗粒物料；而压气式气力输送机则是在控制供料处的高压空气的同时，还要往管内输送物料，这两种输送操作都比较麻烦。

用空气输送的物料，只要颗粒彼此不粘结，而且不粘貼管壁，即可进行输送。至于形状与比重大小对输送影响不大。但如

粒径过大，則需加大气流速度，这样必会消耗更多的动力，因而不经济。此外，顆粒物料在输送过程中会遭到一定程度的破碎，因此，怕碎的物料不适于用气力输送。在输送某些对管道及其零件磨損大的顆粒物料时，应在弯管等易磨損部位加上衬垫或采取其他适当措施。

在十九世紀初（1818年）就曾将固体或液体物质混在气体中进行过输送試驗，那时用蒸汽喷射器输送液体；在1866~1867年又输送过棉花和砂子等固体物料。自从吸气式气力输送机出現后，气力输送才有了很大的发展。近来，在灰处理等方面采用的新型气力输送装置上使用了水力喷射器，从結構上看，这种装置又恢复到古老的形态，这种现象很值得我們研究。图1-3 为当初使用的一种有代表性的气力输送装置。当时称为“Körting 喷射器”，也就是現在的吸咀。

1882~1887年又出現了如图1-4 所示的压气咀，此后才制成

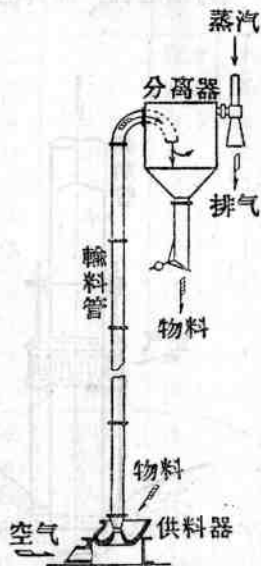


图1-3 “Körting 喷射器”气力输送装置

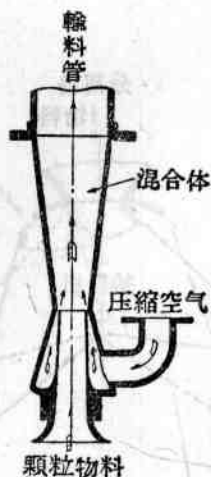


图1-4 压气咀

了压气式气力输送机。

气力输送机（真空式）能得到今日的发展并能用来输送谷物，是经过多年研究的，开始研究这种机械时，主要是为了解决码头装卸作业的迟缓问题，经过两年多的实验研究，从根本上改进了原来的装置，而给现在的真空式气力输送机打下了良好的基础。当时研究这种机械的人在进行设计时，首先将效率不高的喷射器改制成备有鼓风机和压缩机的压气式装置。但后来因感到压气式装置使用不便和效率不高，才又采用了真空式装置。

在设计真空式气力输送机时，最困难的是上述分离器排料机的结构，后来经研究终于设计出如图1-5所示的防止漏气的摆动式卸料装置。这样，就能使谷物连续进行排卸。此外，还设计了如图1-6所示，安装在管道外侧的气筒，用它来调节谷物同空气的混合比。如今在码头等处装卸谷物用的真空式气力输送机大部是用这种改进的设计方案而制成的。经常进口粮食的国家，如英、西德等国已广泛地使用了气力输送机。继真空式气力

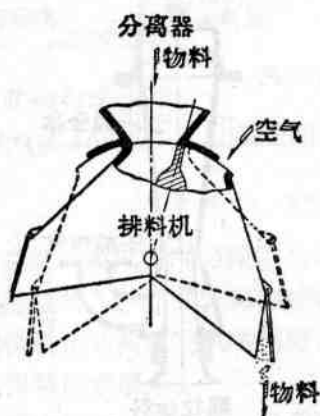


图1-5 达凯姆气力输送机闭风器

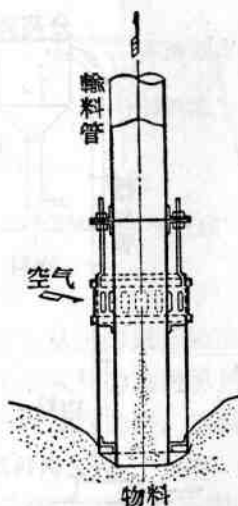


图1-6 达凯姆吸咀

输送机的发展，以后又制成了福勒克颚输送机式和昆尼翁泵式的压气供料器。因而给利用高压空气来进行输送开辟了新途径。同时压气式气力输送机在输送粉状物料方面也开始得到应用。由于气力输送装置不仅能进行装卸，而且也能用于一般工厂内的输送搬运，因而在全世界得到了广泛地发展。

表1-1所列为日本目前使用的有代表性的输送各种物料的真空式和压气式气力输送机的技术性能。

§ 2 气力输送机的特点

气力输送机具有许多特点，但与其他输送机完全不同的特点有两点：一是利用管道输送；二是无回程装置。特别是无回程装置是气力输送机的最大特点。车辆和各种输送机在连续输送物料时，其盛物料的容器须送回运输起点，而气力输送机的输送容器，亦即气力，通常是沒有必要再返回起运点的。因此，这种无回程装置的气力输送机的设备和动力装置所占的面积比其他输送机至少能节约1/2。此外，气力输送机有下列10项优点：

△(1)输料管道占的面积小，无需特殊空间位置，因此，其设备费用，尤其是基础费比其他输送装置便宜；

△(2)输送速度快，输送量大，能缩短装卸作业时间，提高车辆周转率；

(3)以极少的人员，能输送大量的物料；

△(4)天气及其他外部条件对输送作业毫无影响，怕潮物料也能在雨天进行露天作业。即使在灰尘多的地方进行作业，灰尘也不会混进物料内；

△(5)因可移动部分少，所以消耗品少，维修费用低。输料管道无噪音，且安全；

△(6)物料在输送中，不会洩漏，故经济且卫生；

(7)不稳定的化学制品，可用特殊气体输送，既安全又可靠；

(8) 在输送谷物时，能同时进行通风和除尘或适当的选料；

(9) 输料管内能经常保持清洁，在输送某种物料后，立即能继续输送其他物料；

(10) 不会发生意外事故，故无需专管安全的人员。

真空式气力输送机除上述优点外，还有下述几个特点：

(1) 真空式气力输送机的原理与真空吸尘器相同，故用它输送物料时，不会有剩余物料现象；

(2) 真空式气力输送机的主要部件安装在分离器后面，前方的供料器只是一个结构简单的吸咀，所以容易移动，也可以增加输料管道长度。这种输送机的工作面积较广，适于将几处的物料往一处集中输送；

(3) 吸咀小型轻便，如船舶、貯仓的出入口虽然狭窄，但只要能放进输料管道，就能进行输送作业。

因此，真空式气力输送机多用于卸料和集料的输送作业。

压气式气力输送机除具有气力输送机的上述优点外，也有下列一些特点：

(1) 压气式气力输送装置（见图1-2）的主要部件安装在供料器前方开始进行输送的地方，其分离和排料等结构简单，便于安装，适用于将成品由一处分送数处配合装载物料；

(2) 能使用高压空气，输送能力大，故能进行大量或远距离输送。

因此，压气式气力输送机多用于工厂内固定位置之间的远距离输送和厂内成品分配或装载物料。

气力输送机虽具有上述特点，但也存在一些缺点，这也是应该研究解决的。其主要缺点如下：

(1) 动力消耗大。气力输送机的单位输送（每小时每个单位距离的输送重量）所需动力 $k \left(\text{馬力} / \frac{\text{吨}}{\text{小时}} \cdot \text{米} \right)$ 为其他输送机的 2~40 倍（见表1-2）。这种现象输送距离愈近愈明显；

各种输送机的性能比较

表1-2

性能 型式	输送量 (吨/时)	输送距离 (米)	所需动力 (馬力)	馬力 吨/小时·米	输送速度 米/分
真空式气力输送机	150	50	280	0.037	500~1,000
压气式气力输送机	50	180	300	0.033	500~1,000
皮带输送机	300	65	41	0.002	60~120
鏈条输送机	300	18	79	0.015	10~50
循环供料机	100	33	7.5	0.023	30~40
斗式升降机	30	12.5	7.5	0.020	

(输送距离为垂直与水平段之总长)

(2) 被输送物料有一定限制。一般限于输送直径20~30毫米以下的顆粒状物料，至于带有粘性的物料，除在个别情况下，一般输送是有困难的；

(3) 当水平输送管道过长，則易形成脉动流，致使输送不稳而造成管道堵塞；

(4) 输送机有一处发生故障，就能使整个输送系統失灵。

总之，动力消耗大是气力输送机的主要缺点。如表1-2所示气力输送机的动力消耗率 k 为鏈斗式提升机的2~4倍，为皮带输送机的15~40倍。

如上所述，气力输送机是一种无回程裝置的連續输送裝置，因而其动力消耗率 k 应该有所减少，但实际并不如此，其主要原因是：

(1) 普通空气压缩机的效率低；

(2) 在送料、分离器等处动力损失大；

(3) 粉状物料和空气运动是一种滑动接触，因而摩擦损失大，这些动力损失絕大部分都是因結構上的关系而难以避免的。例如，空气和顆粒物料与管道的接触所产生的动力损失即使能有所减少，但并不能达到象其他输送机所减少的程度。

因此降低上面第二項所提的供料器和分离器排料机的压損(它占全部压力損失的50%以上)，是减少 k 值的主要关键。而輸

送管道的风速和混合比即使得到改进，但对减少压损所起的作用并不大，因此說管道对整个功率的影响不大。

虽然气力输送机有这些缺点，但由于操作人员和消耗部件都較其他输送机为少，因此按整个維修費和每吨輸送費来看，都未必高于其他输送机，且在装卸作业中由于輸送量大，故能縮短装卸時間，从而能提高車船周转率。由此可見，其动力消耗虽略大，但从经济观点看仍为有利。在輸送化学制品时，如采用其他输送机，还需設置产品安全、卫生等設備，而管道輸送本身已具有这种安全、卫生条件，从这方面来看，采用气力输送机更为有利。

§ 3 气力輸送机的分类

如前所述，气力输送机一般除分为吸气式和压气式两种外，用时按压力大小又可分为若干种（見表1-3）。

从表1-3看出，高真空式气力输送机根据往管道內供料时的顆粒运动方向，又分为顆粒下降的吸入式和顆粒上升的吸入式两种。前者大多为固定式的，后者为移动式的。低真空式气力输送机一般很少用于輸送粉粒状物料，大多用于清扫或除尘。

供料器是压气式气力输送机的主要部件，其种类很多，根据各制造厂所制造的有：昆尼翁(Kinyon)、福勒克騷(Fluxo)、赛勒(Cera)等型。現通称为气力输送机供料器。

輸送压力的大小是取决于供料器的结构的。表1-3所列的各种气力输送机是按压力由小而大的順序排列的。噴射供料器的压力因低于大气压，故当顆粒物料一接近此供料器时，就能很順暢地被吸进管內。但此时起着輸送作用的压力仅仅是此处噴射流速能量的一部分而已，因此，这种供料器不适于远距离輸送。回转式供料器因叶片和壳体之間气密不良，所以只能用于压力为0.8~0.6公斤/平方厘米（指示压力）的輸送。

用福勒克騷式和赛勒式供料器供料，通常被称为容器吹送法。这是在容器內裝滿顆粒物料后进行密封，然后送入压缩空

气力输送机的分类及其性能

表1-3

机 型		供 料 器	(普通) 最大性能			主 要 用 途
			輸 送 量 (吨/小时)	距 离 (米)	所需压力 (毫米水 銀柱)	
吸 气 式	高 真 空	固定吸入式	50	200	-400	厂内輸送(主要用于集料工程)
		移动吸入式	150	50	-400	車船装卸、集料入倉
	低 真 空	管端直接吸入		(500)	-100	除尘、清扫、少量輸送
压 气 式	低	回轉供料器	20	100	0.8 (公斤/平方厘米)	在固定位置之間少量輸送或由一处将物料輸送至数处
	压	噴射供料器	30	30	2.0(")	短距离輸送(少量輸送)
	高	昆尼翁泵	100	500	2.0(")	在固定位置之間少量輸送或由一处将物料輸送至数处
		福勒克騷容器	150	1,000	2~4(")	远距离大量輸送, 分配輸送
		賽 勒 泵	150	1,000	2~7(")	远距离大量輸送, 分配輸送
		重型容器		500	(2~3)(")	在固定位置之間少量輸送或由一处将物料輸送至数处
混 合 式	低 压	輸送管—鼓風机—輸送管	30	50	100 (毫米水銀柱)	粉状物料小混合比輸送粉状物料厂等使用)
	高 压	吸气式—(分离供料器) —压气式	100	(500)		远距离大量輸送(集料、分配)

气, 顆粒物料即与空气混合并随着空气被輸送出去。从理論上来看其压力应无限制, 但空气压缩机所供給的压力通常为 7 公斤/平方厘米, 所以使用的压力也只能在 7 公斤/平方厘米以下, 一般約为 2~4 公斤/平方厘米。

混合式气力输送机的輸送方式分为两个过程: 真空式輸料管—→分离器; 供料器—→压气式輸料管(见图1-7)。这种輸送机的分离器和供料器是形成一个整体的, 在輸送时先用真空式輸

料管，将分散在各处的颗粒物料收集一起，然后再用压气式输料管将收集的物料分送到各处。如图1-7所示，通常真空泵和压缩机分别设置在两处，两个机器同时运转进行连续输送的机会并不多；在不考虑输送速度的情况下，也可以用一台压缩机进行两种工作。在输料管中间因设有鼓风机，故常以输料管（真空）→鼓风机→输料管（压送）的组配形式在压碎煤炭的装置上来应用。

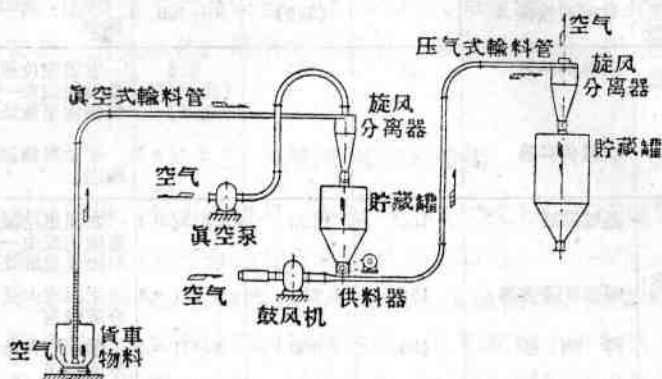


图1-7 混合式气力输送装置

这种形式的供料、卸料等处因接近大气压，所以结构简单，但颗粒物料会随空气一起流进鼓风机，这就产生了鼓风机的叶片磨损大和必须减小粉状物料浓度的缺点。以上所述各式气力输送机大多为固定式的，但也有把真空式的或图1-7所示的混合式的气力输送机制成移动式的（见图1-8），而安装在车船上使用。

各种低压的气力输送装置，由于其输料管道内的颗粒物料浓度小，故能形成浮动的均匀流，因而操作容易，理论也很简单。而高压

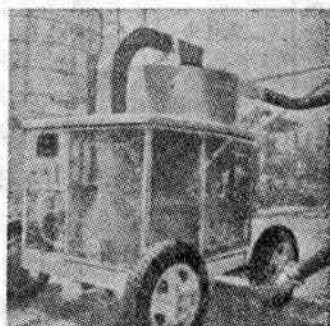


图1-3 混合式气力输送机的分离器（真空式）与供料器（压气式）

输送装置，通常输送的颗粒物料浓度大，输送距离也长，输料管内的颗粒物料很难为气流所悬浮。正如以下所要叙述的，在管道内常出现部分沉滞或凝聚的输送流，在这种情况下颗粒群与气流即形成复杂的脉动流。这种现象在水平管道过长或混合比过大，气流速度缓慢的情况下最为明显。有关这种脉动流现象及理论分析目前还都不很清楚，直到今天对气力输送的研究大多是在颗粒物料与空气均匀混合状态下的输送流来进行的。在颗粒物料流速和管道压损等理论计算值和实测值之间经常发生误差，估计其主要原因不外乎是由于颗粒物料流动状态的不同所致。

第二章 基本理论

§ 1 物料的物理特性

在管道中流动的物质有两种：空气（或代替空气的气体）和被输送的粉粒状物料。为了研究这两种物质在管道内的运动，就必须先要了解其主要物理性质和基本运动规律。

空气的物理特性

悬浮颗粒物料通常是用空气来进行的。对于不稳定的化学制品，则用特殊气体（如氮等）。这种气体在常温时密度小，可以不考虑分子间的引力，通常可当作理想气体，其状态特性方程可用 $p\nu = RT$ 表示。因管道内一般接近等温，所以大多认为 $p\nu =$ 常数。此外，在空气即大气中含有0.03%左右的二氧化碳和若干水蒸汽，这同平常所说的纯干燥空气是有区别的。

1. 干燥空气

干燥空气系指大气中不含有水蒸汽和灰尘，而含有氮78.1%、氧21.0%（容积比）左右的混合气体。根据气体成分的分子量及其组成求得平均分子量为 $m = 28.962$ 公斤/千克分子，所以空