

气力输送

黄 标 编著

上海科学技术出版社

气力输送

黄标 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22.5 字数 548,000

1984 年 2 月第 1 版 1984 年 2 月第 1 次印刷

印数 1-6,500

统一书号: 15119·2296 定价: (科五) 2.55 元

内 容 提 要

本书围绕着各类气力输送装置的合理设计,从理论和实际装置两方面给予叙述。书中系统地综合了近年来国内外在气力输送方面的研究成果,并将理论研究成果应用于实际装置的设计计算。

全书共分八章;各类气力输送装置的选型、共同性基本理论及共同性部件各设一章,另有四章分别叙述稀相、密相动压、密相栓流和筒式气力输送装置的理论和独有的部件,最后一章为上述各章理论的实际应用。除密相栓流输送由于目前国内实际装置测定数据尚不足验证因而未作算例外,其余各类装置均作了算例,并用实际测定数据进行验证。

本书可供从事气力输送及固气两相流方面的理论研究、设计工作的工程技术人员使用,也可供大专院校有关专业的师生参考。

序 言

在实现工业化过程中,节约劳动力、降低能量消耗、防止公害发生,已经成为必须解决的实际问题。特别在目前我国工业生产中,用于生产原料和工序之间在制品搬运的劳动力,占相当大的比例。因此,解决工序之间的连接运输设备,实现生产工艺过程的连续化,是提高劳动生产率的重要措施之一。

工序间的连接运输设备,对于整个工艺过程的流水线生产,起着犹如人体动脉一样的职能。如果这些设备选择不当,就会使整个流水线生产处于“动脉硬化”状态,甚至不能正常运转。

如何从种类繁多的连续运输设备中进行正确的选择,除了首先要满足工艺过程的要求之外,就输送方式本身来说,还应该具有布置灵活、使用可靠、结构简单、造价低廉、自动化程度高、劳动力省、管理方便、能量消耗低和没有公害等优点。

理论和实践证明:气力输送具有机械输送所不具备的优越性能,因而越来越受到各行各业的重视,成为实际应用中较理想的输送方式。

近年来,我国在交通运输、建筑材料、电力、化学、冶金、采矿、铸造、食品、轻纺等工业部门中,气力输送的应用已日益增多。在国外,应用气力输送的广泛性大大超过了人们的预料,已涉及城市卫生和公用事业方面,如用来输送邮件、票证、试样、图书、资料、城市垃圾等,展望今后还可代替载重卡车和输送旅客的工具。

随着气力输送实际应用的发展,对理论研究提出了不少新的课题。迄今为止,无论在理论研究方面还是实际应用方面,许多问题远未得到很好解决。因而,可以说气力输送还是一门比较年轻的技术科学。

随着我国工业化现代化的迅速发展,生产过程中采用气力输送的方式愈来愈多,并且逐渐成为势在必行的选择。因而,对气力输送技术提出了迅速普及和进一步提高的要求,有关科技人员迫切需要充实气力输送的基本理论、设计计算、部件结构和应用技术方面的知识。目前,国外图书、文献、专利,琳琅满目;而国内,有关气力输送技术的书籍的出版,尚寥若晨星,与现代化建设很不适应。“临渊羡鱼,不如退而结网”,这便是促使作者编写本书的动力。

本书围绕着装置系统的合理设计,广泛收集了国内、外的理论研究和实验数据,按各类气力输送装置的选型、理论研究、部件结构、设计实例等方面加以阐述。

本书是在作者于《科学画报》上发表题为:《用途广泛的气力输送》一组科普文章后,在编辑部和全国广大读者的热情支持下编写的。数以百计的读者来信、来访给编写工作以巨大鞭策。许多从事这一课题工作的同志,如程克勤、杨伦、王忠德、曾耀先、于洲生、周乃如、周成业、赵联城、黄国昌、黄晶等曾先后热情赠送论文、译文集和他们编写的书籍。本书编写

过程中蒙华东化工学院杨伦同志提供了不少帮助和建议,调整了节题,对本书第二章作了补充整理,最后审阅并修改了全稿。因此,本书是所有从事这一课题工作的同志共同培育的花朵,作者对他们深深表示谢意。

上海科学技术出版社的工作同志给了作者以巨大帮助,谢谢。

把发展中的固气两相流理论,从大量分散的理论研究中给予系统地综合,并使之应用于实际装置的设计是件十分艰苦的工作。多年来,由于工作的需要,时断时续地接触到这方面的理论,在工作和学习过程中,曾尽力关注着理论研究的进展,并付诸实践。虽有数年愚勤,仍不免陋巷多怪,贻笑大方。谬误之处,敬请同志们指正。

黄 标 1982年12月

常用符号表

A ——管道截面积	ΔG_s ——管长 ΔL 内所含物料的重量
A_b ——床层截面积	H ——铅垂高度
A_p ——料栓截面积, 传输筒最大截面积	I ——惯性力
A_s ——物料颗粒的投影面积	J ——热的功当量
C_o ——流体绕颗粒流动时的粘性摩擦阻力系数	j ——离心力
c_p ——定压比热	K ——压损比系数、动力系数、系数
c_v ——定容比热	k ——阻力法则指数
D ——管径	K_o ——颗粒的形状校正系数
d ——球形直径	K_p ——侧压系数
D_e ——当量管径	K_T ——传输筒速度系数
d_e ——当量球径	L ——管长
d_s ——颗粒直径	dL ——微小单元管长
E ——能量	ΔL ——管段长
F ——空气动力, 作用力	L_b ——床层高度
f ——比例系数	L_e ——当量水平管长
F' ——粘性剪力	L_o ——床层通过长度
f' ——压差合力	l_p ——料栓长
F_1 ——空气推力	L_s ——颗粒的跳跃长度
f_c ——料层自重的剪切强度	M ——单位功率的输送量
F_g ——重力的空气阻力	m ——质量
f_t ——粉体的内摩擦系数	n ——指数
F_K ——空气透过料栓的摩擦阻力	P ——绝对压力
f_K ——密相动压输送比例系数	P_1, P_2 ——静压
F_p ——传输筒前后压力差所产生的空气推力	P_a ——总压
F_R ——气流对颗粒的粘性摩擦阻力	ΔP ——纯空气流动压损
Fr ——弗鲁德准数	ΔP_b ——弯管纯空气流动压损
f_r ——空气透过料栓的摩擦阻力系数	ΔP_d ——多孔板压损
F_s ——气流的壁摩擦阻力	ΔP_g ——物料重力所引起的压损
f_w ——物料的壁摩擦系数	ΔP_h ——提升物料的压损
G ——空气的重量或质量流率	ΔP_K ——空气透过料栓的压损
G_b ——两重管输送时输送管道内的空气流量	ΔP_m ——等速运动管段固气两相流压损
G_c ——两重管输送时内管内的空气流量	ΔP_{mb} ——弯管固气两相流压损
G_s ——物料的重量或质量流率, 输送量	ΔP_{mt} ——输送管道总压损
dG_s —— dt 时间内的输送量	ΔP_N ——吸嘴压损
	ΔP_p ——单一料栓流压损
	ΔP_{sa} ——物料的加速压损
	ΔP_{sf} ——物料对管壁冲击和摩擦的压损

ΔP_{ss} ——颗粒彼此摩擦和碰撞的压损
 ΔP_s ——物料运动附加压损
 ΔP_{zb} ——弯管物料运动附加压损
 Q ——空气流量
 q ——1米管道长度上的空气重量
 q_s ——1米管道长度上的物料重量
 R ——气体常数
 Re ——雷诺准数
 S ——圆球表面积, 管道截面周长
 S_s ——不规则颗粒表面积
 S_v ——单位体积料层比表面积
 S'_v ——单一颗粒体积比表面积
 T ——标准状态温度
 t ——时间
 t_p ——料栓、传输筒运动时间
 U ——流体与壁面接触周长
 u ——料速
 u_h ——噎塞速度时的料速
 u_m ——物料最大理论速度
 u_t ——颗粒的沉降速度
 V ——料层的空隙体积
 v ——气流速度, 比容
 V_b ——堆积料层的总体积
 v_c ——经济速度
 v_d ——空气穿过多孔板的气流速度
 v_f ——流化临界速度
 v_h ——噎塞速度
 v_{mf} ——起始流化速度
 v_0 ——气流透过料层的相对速度
 V_s ——物料的体积
 v_t ——颗粒的悬浮速度
 v_{te} ——料层等效悬浮速度
 W ——重力
 w ——功
 x ——湿含量
 α ——水平倾角
 β ——系数
 γ ——空气比重
 γ_{as} ——固气两相流比重或管内物料比重
 γ_b ——物料容重(堆积比重)
 γ_s ——物料真实比重
 δ ——管壁粗糙度值

Δ ——传输筒表面粗糙度值
 ε ——空隙率
 ε_h ——噎塞速度下的空隙率
 ε_{mf} ——起始流化速度时的空隙率
 ζ ——局部阻力系数或压损系数
 η ——输送效率或动力利用率
 η_L ——水平输送效率
 η_N ——吸嘴效率
 η_h ——铅垂输送效率
 θ ——弯管转角
 λ ——空气的摩擦压损系数
 λ_d ——多孔板压损系数
 λ_g ——重力压损系数
 λ_{gu} ——以料速计的重力压损系数
 λ_{gv} ——以气速计的重力压损系数
 λ_s ——物料对管壁冲击和摩擦上的压损系数
 λ_{sa} ——物料加速压损系数
 λ_{ss} ——颗粒彼此摩擦和碰撞上的压损系数
 λ_{su} ——以料速计的与管壁冲击和摩擦上的压损系数
 λ_{sv} ——以气速计的与管壁冲击和摩擦上的压损系数
 λ_z ——气流速度计的附加压损系数
 λ'_z ——以料速计的附加压损系数
 μ ——料气输送比
 ν ——流体的运动粘度
 ξ ——空气的壁摩擦剪应力系数
 π ——圆周率
 ρ ——空气密度
 ρ_{as} ——管内物料密度
 ρ_s ——物料密度
 σ ——料气容积输送比
 τ_0 ——空气的壁摩擦剪应力
 Φ ——料气速度比
 $\bar{\Phi}$ ——料气平均速度比
 φ ——料栓节距率
 Φ_m ——料气最大速度比
 φ_t ——粉体的内摩擦角
 φ_w ——粉体的壁摩擦角
 Ψ ——颗粒的形状系数

目 录

序 言

常用符号表

第一章 气力输送装置的分类和选择	1
§ 1-1 概 述	1
一、气力输送的发展简史	1
二、气力输送的特点	2
三、气力输送装置的一般型式	4
§ 1-2 气力输送装置分类	6
一、分类方法	6
二、铅垂气送系统状态相图	6
三、水平气送系统状态相图	9
四、按状态相图分类	11
§ 1-3 气力输送装置的类型选择	13
一、按物料的输送特性考虑	13
二、按装置的技术经济性能考虑	15
三、按生产过程的工艺特征考虑	17
四、按多种类型的组合考虑	18
参考文献	21
第二章 气力输送理论基础	23
§ 2-1 固气两相流的研究方法——模型法和相似理论	23
一、模型法	23
二、相似理论	25
§ 2-2 空气的性质	29
一、空气的状态方程和物理性质	29
二、空气的状态变化	32
三、不可压缩的空气的能量和流动	34
四、可压缩空气的能量和流动	37
§ 2-3 粉体的性质	40
一、悬浮速度(沉降速度)	40
二、粒径和粒度分布	47
三、空隙率	49
四、摩擦角和粘结强度	51
五、粉体物料在料罐内的流动和压力	52
六、磨损能力	55
§ 2-4 流态化理论	58
一、理想流化过程	58
二、实际流化过程	59
三、固定床中的空气流动	60

§ 2-5 气力输送的工艺参量	62
一、料气输送比	62
二、管内气流速度	63
三、管内混合物的比重和空隙率	63
参考文献	65
第三章 稀相气力输送	67
§ 3-1 有关压损计算的一般分析	67
一、均布理论	67
二、重力理论	68
三、能量理论	68
§ 3-2 平行气流中单一颗粒的运动	68
一、单一颗粒的水平运动	69
二、单一颗粒的铅垂运动	69
§ 3-3 直管中物料的运动	70
一、水平直管中物料颗粒的悬浮机理	70
二、直管中物料的悬浮运动方程	71
三、直管中物料的最大理论速度 u_m	73
§ 3-4 弯管中物料的运动	77
一、由水平转为铅垂向上(VS_1)和由水平转为铅垂向下(VS_2)的弯管中物料的运动	78
二、由铅垂向上转为水平(S_1V)和由铅垂向下转为水平(S_2V)的弯管中物料的运动	80
三、水平弯管(VV)中物料的运动	81
四、不同转向弯管中 θ_0 对 $\frac{u_2}{u_1}$ 的影响	82
§ 3-5 物料在管道中运动时的压力损失	84
一、沿管道长度上的压力变化	84
二、直线管段压损	85
§ 3-6 物料等速运动管段压损	86
一、粒料附加压损的理论式	87
二、非粒料附加压损的计算	104
§ 3-7 加速运动管段压损	106
一、加速压损计算式	106
二、影响加速压损系数的因素	107
§ 3-8 弯管压损	108
一、纯空气弯管的压损	108
二、输送物料时弯管的附加压损	109
三、弯管的总压损	112
§ 3-9 动力消耗和动力利用率	112
一、铅垂输送效率	113
二、水平输送效率	113
参考文献	115
第四章 密相动压气力输送	117
§ 4-1 高真空吸送和螺旋泵式气力输送	118
一、高真空吸送式气力输送	118

二、螺旋泵式气力输送	119
§ 4-2 发送罐式气力输送	120
一、装置型式	120
二、上送料式发送罐的运转性能	122
三、下送料式发送罐的运转性能	126
四、增压器	128
§ 4-3 流化罐式气力输送	129
一、装置型式	130
二、流化罐中粉体的流动特性	131
三、流化罐的运转特性	132
四、流化罐的结构特性	138
§ 4-4 密相动压气力输送的计算	143
一、稀相向密相输送转变的临界条件	143
二、密相动压输送的压损计算	145
三、附加压损系数 λ_w	146
四、弯管的当量水平管长	148
五、堵塞条件和疏通压力	149
§ 4-5 空气槽气力输送	151
一、概述	151
二、空气槽的布置	153
三、空气槽的输送量	154
四、系统压损计算	157
五、空气消耗量计算	159
参考文献	160
第五章 密相静压气力输送	162
§ 5-1 柱流气力输送	162
§ 5-2 机械成栓法栓流气力输送	165
一、挤压式栓流压送	165
二、挤压式栓流吸送	166
三、微料罐式栓流气力输送	166
四、阶梯管成栓器式栓流气力输送	167
五、旋转成栓器式栓流气力输送	168
六、球式栓流气力输送	168
七、料栓再生管	169
§ 5-3 气力成栓法栓流气力输送	170
一、内重管式栓流气力输送	170
二、外重管式栓流气力输送	173
三、螺旋外重管式栓流气力输送	176
四、脉冲气刀式栓流气力输送	178
§ 5-4 栓流气力输送的实验研究和理论计算	182
一、料气速度比	183
二、料栓的形成模式	185
三、单管栓流压损的理论和实验	186

四、内重管式栓流压损的理论和实验	197
五、外重管式栓流压损的理论和实验	199
六、连续稳定栓流	200
§ 5-5 栓流气力输送的测试技术	203
一、测试项目	203
二、测试方法	203
三、波线图的测定数据处理	207
参考文献	209
第六章 筒式气力输送	211
§ 6-1 筒式气力输送系统线路	212
一、系统的线路设计	213
二、线路布置的选择	216
§ 6-2 筒式气力输送的基本理论	217
一、传输筒在直管中的运动方程	217
二、阻力系数和压损系数	220
三、直管压损	223
四、传输筒在弯管中的运动方程	224
五、系统的功率计算	228
§ 6-3 筒式气力输送的主要部件	229
一、传输筒	229
二、收发站	231
三、岔道	233
§ 6-4 筒式气力输送的实际应用	235
一、电报单的气力输送	235
二、钢试样的气力输送	235
三、纺织筒管的气力输送	237
§ 6-5 物件自拟传输筒的气力输送	241
一、条状物件压送	241
二、塑料瓶压送	242
§ 6-6 传输筒车气力输送	244
一、筒车气力输送系统的特点	245
二、筒车气力输送系统	246
参考文献	248
第七章 气力输送系统主要部件	249
§ 7-1 供料装置	249
一、供料装置分类	249
二、固定式吸料装置	250
三、移动式吸料装置	251
四、文丘里供料器	255
五、喷射供料器	257
六、旋转供料器	260
七、双阀门供料器	263
八、强制气密性供料器	263

§ 7-2 输送管道和阀件	265
一、直管	265
二、弯管	265
三、分支管和换向阀	266
四、截止阀	268
五、伸缩管	268
六、回转管和挠性管	270
§ 7-3 分离器	270
一、离心和惯性分离的理论基础	270
二、旋风分离器	273
三、惯性式分离器	278
四、重力式分离器	281
五、滤网式分离器	282
§ 7-4 压气机械	283
一、压气机械的选择要点	283
二、稀相气力输送用压气机械	285
三、密相气力输送用压气机械	285
§ 7-5 除尘和消声	285
一、除尘装置的种类和选择	285
二、旋风除尘器和袋式除尘器	288
三、噪声防治	290
参考文献	293
第八章 气力输送装置设计	295
§ 8-1 气力输送装置设计的一般准则	295
一、铅垂管内物料流动的类型	295
二、气力输送装置的设计程序	299
三、一些工业实际用气力输送装置的调查	300
§ 8-2 稀相气力输送装置设计	301
一、主要参量的选择	301
二、吸送式气力输送装置计算示例	320
三、压送式气力输送装置计算示例	329
§ 8-3 密相动压气力输送装置设计	336
一、粒料密相动压输送主要参量的选择	336
二、粉料流态化输送主要参量的选择	337
三、密相动压气力输送装置计算示例	338
§ 8-4 筒式气力输送装置设计	343
一、设计计算步骤	343
二、计算示例	345
参考文献	347

第一章 气力输送装置的分类和选择

§ 1-1 概 述

古往今来,人们对于空气动力的应用是十分广泛的,有关空气动力移送物料过程的描述也是大量的。“一瞬时,狂风大作,忽然飞沙走石”,这些在古典小说中经常用来描写空气动力威力的词句,真是一言道破了石子随气流速度的变化而从流化^①到输送的过程机理,构成了气力输送的原始模型。不过,目前工业上应用的气力输送装置,已不再是飞沙走石的现象了,而是在管道中借空气的能量(动能或静压能)使物料按指定的路线进行输送的方式。

随着工农业生产的发展,物料的流动日趋频繁,迫切需要寻找一些合理的搬运方式。由于制造工艺的进步,气力输送技术有了新的发展。近些年来,不仅在工厂车间内部和建筑、铁路、船舶的运输作业中,对各种粉末状、颗粒状、纤维状和叶片状的物料,如面粉、水泥、谷物、煤、石灰、化肥、型砂、棉花、羊毛、烟丝、茶叶等,越来越广泛地采用了气力输送的方式;而且在邮电局、商店、旅馆、图书馆等搬运频繁的场所,对于信件、票证、帐册、图书、药剂等也已有采用气力来输送的。此外,滤嘴卷烟滤棒、小包卷烟、塑料瓶装食品、金属零件等成件货物,气力输送也已成为可供选用的搬运方式之一。

总之,人们对于空气动力用作输送的技术已有了巨大的发展。随着输送对象的范围不断扩大,装置的结构愈来愈完善,装置的形式更是层出不穷。

由于近代气力输送突飞猛进的发展,促使理论研究不断深入,逐渐形成了初步完整的气力输送体系。

一、气力输送的发展简史

物料的管道气力输送技术,早在1810年,梅德赫斯特(Medhurst)提出了邮件气力输送的方案。1824年,凡兰斯(Vallance)最先建立了气力输送的实验装置。1853年,克拉克(Clark)首先制成了直径 $1\frac{1}{2}$ 英寸、长675英尺的气力输送系统;1858年,他又制成了直径 $2\frac{1}{4}$ 英寸、长4020英尺的气力输送系统。1861年,雷麦尔(Rammell)在宽30英寸、高33英寸、长1356英尺的管道里建成了轨距22英寸的筒车气力输送系统^[1]。

气力输送技术始自成件货物的输送,直至1866年,才正式用来输送棉花和砂等散装物料。限于当时的工艺技术水平,气力输送技术在较长的一段时间内几乎没有多大发展。最初,气力输送仅仅用于码头上的装卸,直到本世纪初才用于车间内部的物料输送。到30年代左右,在车间内部已被广泛使用^[2]。

近十数年来,气力输送技术发展异常迅速。其特点之一就是新的低速、高浓度输送装置(例如栓流气力输送装置)形式不断出现^[3,4,5]。如1962年西德葛泰(Gattys)公司的内重管式气力输送装置,同年瑞士比勒(Bühler)公司的外重管式装置,1969年英国瓦伦-斯普林

① 参阅第二章§2-4。

(Warren-Spring)实验室的脉冲气刀式气力输送装置。这些引人注目的研究成果,受到了世界各国的普遍重视,使散装物料的气力输送技术进入了一个崭新的阶段。以后又相继出现了如日本日曹公司的成栓器脉冲式、小松制造公司的球式等装置,使气力输送技术日臻完善。

目前,由于各种装置形式的应用愈来愈广泛,已有专门成批制造气力输送装置的工厂。例如,仅美国的这类工厂,据不完全统计,就有30多家,其中主要的有8家^[6]。此外,象西德、英国、日本、苏联等国家气力输送技术也非常发达。

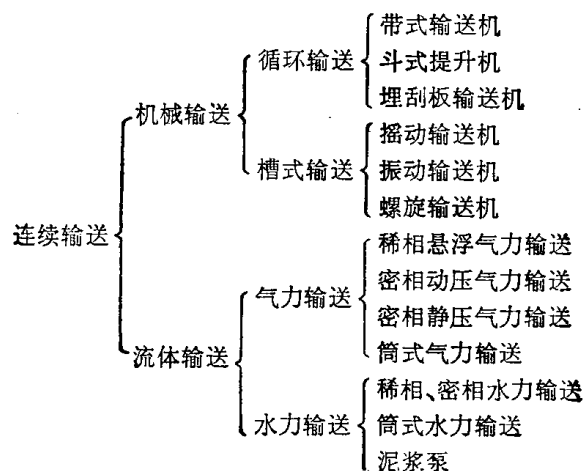
由于成件货物的集装化气力输送的应用及其显著的优越性,使气力输送技术又有了新的发展。特别是60年代初,西德汉堡建造了邮政总局与分局之间运送邮件的有轮筒车气力输送系统,于1967年投产以来,世界各国竞相采用。该系统管径0.45米,输送距离1.8公里,集装用筒车长1.6米,时速30~36公里,每天可运送100万件邮件。苏联现有这类装置的管线最长50公里,用压缩空气来推动矿车,每年输送矿石200万吨。还计划建造几条更大的矿产品输送线,最大管径为1220毫米。日本在1973年投产的试验系统,管径914.4毫米,输送距离1.5公里。英国在流体力学研究会的建议下,正在建造一条大型的这种气力输送系统。美国在设计长达640公里、用来输送旅客和货物的气力输送系统。传输筒车的气力输送装置,越来越显示出它的生命力。小型的气力传输和形状固定的物件的气力输送的应用,其广泛性远远超出人们的预料。而且推动筒车用的空气压力也不大,据苏联实际应用的资料,在水平管径为1220毫米、输送65吨筒车所需的压缩空气的压力降约0.15公斤力/厘米²,在倾斜段水平升角3°时为0.45公斤力/厘米²。通常,在压送时使用压力不超过1公斤力/厘米²。因此,可以预见,这种型式的装置将成为气力输送技术的一个重要分支,有待于大力发展。

气力输送技术虽然已有近百年的历史,但只是近十数年来的卓越研究成就,才使它的优越性得到充分的发挥。因此,可以毫无夸张地说,气力输送技术方兴未艾,正焕发着青春的活力,前景未可限量。

二、气力输送的特点

散装物料的搬运方式种类很多,一般可分为间歇输送和连续输送两类。间歇输送是指用车、船或专用容器输送,本书不予叙述了。连续输送方式,又可以分为机械输送和流体输送两类,如表1-1所示。

表 1-1 连续输送方式



机械输送系指由特定的机械装置来运载物料的输送方式。按机械装置的结构型式，机械输送可分为循环输送和槽式输送两种。

循环输送，由载体机械部件组成环状系统，如带、链等。当物料被输送到排料端后，空链或带等再返回加料端，周而复始，循环输送。这些返回部分不仅消耗了额外的动力，而且要占据较大的空间。

槽式输送是指物料放在槽(或管)中，通过槽体的往复振动，使物料受到抛掷力的作用而向前运动；螺旋输送机是槽身固定的槽式输送机，利用螺旋叶片的推力来送料，输送距离较近，输送效率不高。

流体输送是使用空气(或其他气体)或水(或其他液体)在管道内的流动，将物料沿着指定的路线进行输送。它的特点是装置简单而占地小，输送方向便于任意布置，输送距离较远，水力输送由于水源的耗水费用和末端排水处理等问题都难于妥善解决，所以受到一定限制。

各类连续输送机的性能比较见表 1-2。

表 1-2 连续输送机的性能比较^[7]

输送装置		线路自由度			污染程度		保 养		输 送 能 力						运动特性					
		方 向			弯 曲			环 境 污 染	粉 料 污 染	检 查 点 数 量	部 件 损 耗	长 度 (米)			输 送 量 (吨/时)			输 送 速 度	动 力 消 耗	
		水 平	斜 向 上	铅 垂 向 上	水 平 面	铅 垂 面	弯 曲 数					3~30	30~300	300~3000	0.3~3	3~30	30~300			
机 械 输 送	循 环 输 送	带 式 输 送	1	3	4	4	4	4	3	2	4	2	2	1	2	3	2	1	2	1
		斗 式 提 升	4	4	1	4	4	4	2	4	4	3	1	3	4	3	2	1	3	2
		埋 刮 板 输 送	1	3	4	4	3	3	3	4	4	3	1	2	3	3	2	1	3	3
	槽 式 输 送	螺 旋 输 送	1	2	3	4	4	4	2	2	2	3	2	4	4	3	2	3	3	3
		振 动 输 送	1	3	3	4	4	4	3	1	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3
流 体 输 送	气 力 输 送	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	2	1	2	2	1	1	1	1	4
	水 力 输 送	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	3	2	1	2	2	

注：性能比较等级：1—好；2—可；3—差；4—不能。

气力输送技术的理论和实践都证明，它具有一系列的优点：生产率高，设备的构造简单，管理方便，自动化程度高，劳动力省，装卸容易，有利于环境保护等。特别是在车间内部应用时，可以将输送过程和工艺过程相结合，简化工艺过程和设备。所以采用气力输送可以大大提高劳动生产率和降低成本。

例如，水泥由袋装改为散装，使用气力输送罐车后，据调查，某水泥厂原需装卸工人 103 人，改用气力罐车后仅需 5 人；采用气力散装专用列车，可提高劳动生产率 20 多倍；同时，大量节约了包装用纸袋，每散装 1 千万吨水泥，可节约 6 万吨包装纸，约合 8 千万元，另外还避免了袋中残留水泥损失，约合 690~1440 万元^[8]。

又如粮食工业中采用气力输送后，可在输送系统内同时进行物料的清理、冷却、分级和设备的吸风冷却，气力清理器可以除去 90% 以上的轻杂质。这样就可以使车间的除尘分离设备大为简化。据统计，采用气力输送的面粉厂的建筑容积要比采用机械输送的、同样产量

的面粉厂减少 30~50%^[3]。

再如卷烟工业中,烟叶、烟丝、烟梗、烟末、滤嘴棒、卷烟和条烟采用气力输送后,不仅提高输送效率,还能明显地提高质量。例如,滚筒式烟丝干燥机干燥后的烟丝,采用气力输送,据某烟厂测定,能提高烟丝松散度 30~50%,去除烟丝中杂物 0.1%,降低烟丝水分 0.5~1.2%,降低烟丝温度 8~10°C,车间的含尘量也有显著降低^[3]。

概括起来,气力输送有如下优点:

- (1) 输送物料可以散装,操作效率高,包装和装卸费用低;
- (2) 设备简单,占地面积小,可充分利用空间,设备的投资和维修费用少;
- (3) 输送量范围较大,需要的操作人员少,还可以实现无人操作和管理自动化,因此,需要的人工费用少;
- (4) 输送管能灵活地布置,从而使工厂设备的配置合理化;
- (5) 输送物料不受气候和管道周围环境条件的限制,生产车间的布置也比较容易;
- (6) 能够避免物料受潮、污损或混入其他杂物,可以保证输送物料的质量;
- (7) 在输送过程中可以实现多种工艺操作,如混和、粉碎、分级、干燥、冷却、除尘和其他化学反应;
- (8) 可以进行由数点集中送往一处,或由一处分散送往数点的远距离操作;
- (9) 对于化学性能不稳定的物料,可以采用惰性气体输送。

然而,与其他输送形式相比,其缺点是动力消耗大,稀相气力输送的动力消耗率为斗式提升机的 2~4 倍,为带式输送机的 15~40 倍。而且,输送距离愈近,这种现象愈明显。

新发展起来的密相栓流气力输送方式,已经克服了上述功率消耗大的缺点。气力输送与其他输送装置的单位功率消耗比较见表 1-3。

表 1-3 连续输送机的单位功率消耗^[9]

输送方式	气 力 输 送			机 械 输 送			
	稀 相		密相栓流	带 式 输 送 机	振 动 输 送 机	斗 式 提 升 机	埋刮板、螺 旋输送机
	压 送 式	吸 送 式					
功 率 消 耗 (千瓦·时/吨·米)	0.002~0.3	0.03~1.0	0.001~0.02	0.0003~0.006	0.002~0.8	0.003~0.03	0.01~0.1

从表 1-2 可以看出,气力输送在各种连续输送机中优点较突出。即使稀相气力输送装置,除了部件的磨损和动力消耗大以外,都比其他输送机来得优越。从表 1-3 的数值比较可以看出,密相栓流输送的功率消耗已降低到仅高于带式输送机的程度,部件的磨损也不显著。正因为气力输送具有上述优点,所以其应用日益广泛。

三、气力输送装置的一般型式

一般所说的气力输送装置型式,就是按空气在管道中的压力状态来区分,分为吸送式和压送式两类。

1. 吸送式 图 1-1 所示为吸送式的典型装置。引风机械装在系统的末端。当风机运转后,整个系统形成负压。这时,在管道内外存在压差,空气被吸入管道。与此同时,物料也被空气带入管道,并被输送至分离器。在分离器中,物料与空气分离。被分离的物料,由分离器底部的旋转出料器卸出。空气被送到除尘器净化,净化后的空气经风机排入大气或循环使用。

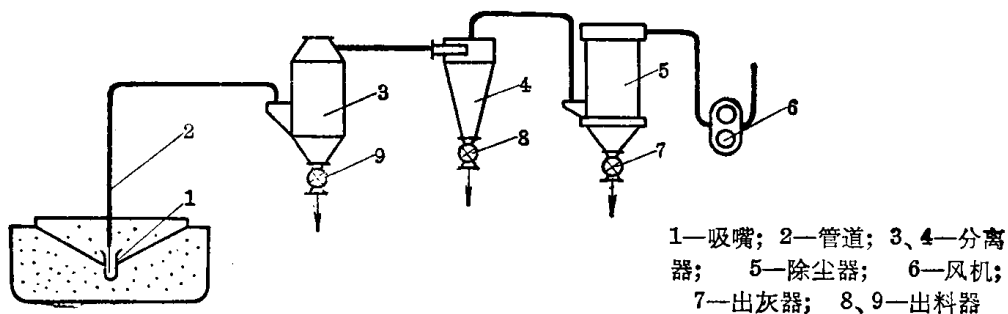


图 1-1 吸送式气力输送装置系统

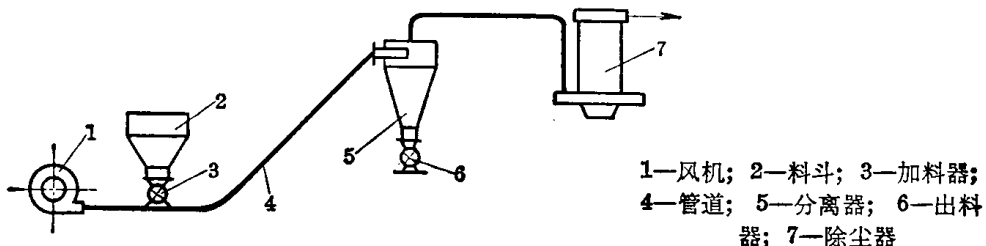


图 1-2 压送式气力输送装置系统

表 1-4 吸气式与压气式性能对比

比较项目	吸 送 式	压 送 式
输 送 量	较 小	大 小 均 可
输 送 距 离	适 宜 于 短 距 离	适 宜 于 长 距 离
加 料 方 式	(1) 适宜于加料地位受到限制而不能安装压送式加料装置的情况 (2) 加料器结构简单,加料口可以敞开,能连续加料和输送 (3) 吸料嘴可以移动,特别适用于运载或装卸在仓库内、宽广场地上或散装在货车、船舱内的堆积物料	(1) 加料装置占有一定的高度 (2) 加料器结构较复杂,需要在密闭条件下加料
管 道 布 置	(1) 由于加料装置比较简单,适宜于将分散物料集中起来进行输送 (2) 输送空气中无其他杂质混入 (3) 料管直径较大 (4) 由于在真空管道中送料,装置有渗漏时会吸入空气和水分 (5) 由于系统处于真空状态,物料水分容易挥发,输送水分高的物料时比压送式容易	(1) 由于出料装置比较简单,适宜于将某一集中点的物料分送至若干卸料点 (2) 压缩空气中易混入空压机的油质和水分,从而沾污物料 (3) 料管直径较小 (4) 由于设备和管道处于正压状态,装置有渗漏时会使管道内的粉尘外逸 (5) 输送系统的阻力允许到达风机的最大排气压力,因而,如果输送条件改变(如输送量增加),也能保持一定程度的适应性,还可向有压力容器输送
分 离 器	(1) 较大 (2) 结构比较复杂,要有气密装置	(1) 较小 (2) 结构较简单,无需气密装置
工 艺 要 求	(1) 在输送产品的同时,可以降低车间或生产设备的热量和粉尘 (2) 输送过程中可以进行物料的干燥和冷却 (3) 不致逸出粉尘而污染周围环境	(1) 在输送过程中需要进行间接加热或冷却时,由于压送管径较细,便于采用水套 (2) 输送物料不能接触氧气时,可用惰性气体密闭循环压送