

高等學校教學用書

氣力運輸裝置

蘇聯科學技術副博士 H.K. 納列姆斯基 編

武漢水運工程學院
港口機械教研室 譯

31.01 人民交通出版社

高等學校教學用書

气力运输装置

(管道运输专业和起重运输机械专业用)

苏联科学技术副博士 H.K. 納列姆斯基 編

武汉水运工程学院
港口机械教研室 譯

人民交通出版社

高等学校教学用书

气 力 运 输 装 置

苏联科学技术副博士 H.K. 納列姆斯基 編

武 汉 水 运 工 程 学 院

港 口 机 械 教 研 組 譯

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號

新华书店科技发行所发行 全国新华书店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

1961年7月北京第一版 1961年7月北京第一次印刷

开本: 850×1168_{毫米} 印張: 8 張 插頁5

全書: 192,000 字 印數: 1—525 册

統一書号: 15044·6214

定价(10): 1.60元

內 容 提 要

本書系苏联科学技术副博士 H. K. 納列姆斯基在武漢水运工程学院講授“气力运输”課程时的講义，全書內容包括：空气动力学基本概念；气流中速度和压力的測量；物体在气流中的运动規律；輸料管中的压力損失及其組成部分；气力运输裝置各元件的型式、工作原理及其計算方法；移动、浮游及固定式气力运输裝置；压气式和吸气式气力运输裝置的計算实例。

本書作为高等学校管道运输专业教学用書，亦可供交通部門有关专业人員工作或业余学习的参考。

希望使用本書的单位或个人多多提出改進意見，逕寄武漢水运工程学院，以便再版时修改。

譯 者 的 話

本書系苏联科学技术副博士H·K·納列姆斯基在武汉水运工程学院講授“气力运输”課程时的講义。

全書內容包括了：空气动力学基本概念；气流中速度和压力的測量；物体在气流中的运动規律（在这里引入了相似原理的基本概念）；輸料管中的压力損失及其組成部份；气力运输裝置各元件的型式、工作原理及其計算方法；移动、浮游及固定式气力运输裝置；压气式和吸气式气力运输裝置的計算实例。

鉴于到目前为止，国内气力运输方面的教材或参考書非常缺乏，而有关的学校、科学研究机关及企业部門又非常需要，所以在取得苏联专家本人的同意后决定将其出版。本書最后一章“空气槽”原系苏联专家在“連續运输机”課程中講授的，考虑到現有連續运输机教材中有关这部份的内容較少，所以一併列入出版。

本書系武汉水运工程学院专家工作組翻譯，起重运输机教研組校。

本書可供高等学校管道运输专业、起重运输机专业教师和学生參攷，亦可供科学研究机关和企业部門工作人員作參攷之用。

目 录

緒 論	6
§ 1 气力运输装置的分类	7
§ 2 物料的特性对气力运输装置工作的影响	11
第一章 空气动力学基本概念	14
§ 1 空气的物理性质	14
§ 2 质量守恒定律和连续方程式	17
§ 3 液流和气流的伯努利方程式	18
§ 4 管路中纯空气流动时的压力损失	21
§ 5 液(气)流状态及其特点	23
§ 6 断面上的速度分布和压力损失	25
§ 7 局部阻力	34
管路进口的阻力	37
收缩连接管(渐缩管)中的压力损失	38
扩大连接管(渐扩管)中的压力损失	39
出风口渐扩管中的压力损失	39
弯管中的压力损失	41
§ 8 气流速度压力和风量的测量	44
静压力的测量	44
全压力的测量	45
管路中动压力和平均速度的测量	47
根据集风管后之静压力求风量和平均速度	50
根据压差测量风量	51
第二章 物体在气流中的运动	56
§ 1 迎面阻力和升力	58

§ 2 气流相似定律.....	90
§ 3 因次分析.....	66
§ 4 悬浮速度和运移速度.....	67
§ 5 起动速度和吹揚速度.....	74
§ 6 物体在气力运输装置水平輸料管和垂直輸料管 中的运移速度.....	77
第三章 輸料管中的压力损失及其組成部分	84
§ 1 垂直輸料管中的压力损失.....	89
§ 2 物料起动的压力损失.....	90
§ 3 弯管中的压力损失.....	92
第四章 气力运输装置参数	94
§ 1 技术生产率.....	94
§ 2 重量混合比.....	96
§ 3 气流在輸料管中的运动速度.....	97
§ 4 单位功率消耗.....	98
第五章 气力运输装置工作构件的构造和計算	99
§ 1 装料装置.....	99
吸气式气力装置的装料装置	99
压气式气力装置的装料装置	105
§ 2 輸料管及其元件.....	117
軟管	119
伸縮管	120
弯管和鉸接弯管	120
换向开关	124
§ 3 物料分离器.....	125
容积式分离器	125
容积式分离器主要尺寸的确定	128
离心式分离器	129
离心分离器主要尺寸的決定	130
慣性分离器	133

慣性离心式分离器	133
§ 4 物料分离器和除尘器用的閉鎖器	135
鼓輪閉鎖器	135
摆动閉鎖器	138
閘門閉鎖器	139
§ 5 空气除尘設備	140
袋式过滤器	140
袋式过滤器的尺寸和阻力計算	145
湿滤器	146
湿滤器和分水器的主要尺寸	150
离心式除尘器(旋风除尘器)	151
§ 6 风管及其部件	158
§ 7 鼓风机	161
离心式鼓风机	162
渦輪鼓风机	170
迴轉式鼓风机	175
叶片式压气机	179
水环式真空泵	181
活塞式鼓风机	184
鼓风机工作的自动調整	188
第六章 气力運輸裝置的結構舉例	192
§ 1 安在挂車上的移动式气力運輸裝置	192
§ 2 海船用的浮式气力裝卸机	193
§ 3 岸上的固定式气力裝置	194
第七章 气力運輸裝置計算	196
§ 1 計算的基本公式	196
§ 2 計算示例	200
吸气式气力運輸裝置的計算	200
压气式气力裝置的計算	217
第八章 空气槽	224

附 录	234
一、求气流压力损耗用的局部阻力系数表(表 I 至 XII)...	234
二、测量用收缩装置的计算步骤	238
三、附图部分(图 1 至图 12)	239
四、附表部分(表 1 至表 5)	248

緒 論

很久以前，人們在自然界中就觀察到气流能够把灰尘、細砂、甚至个别物件吹到很远的地方去，而这些东西的比重要比空气大得多。暴风天，陣风能够折断树木，吹走屋頂，把沉重的物品吹到高空。分析了这样一些自然現象后，人們便作出結論：認為可以用气流在管子中运输物料。

气力运输装置最初是在邮局用以运送信件（1853年）的。在将第一台气力运输装置用来运输信件、紙币、小件包裹之后，它的数目增加得非常快。

稍晚，在工业上出现了运输輕的纖維材料的气力运输装置。

1883年在彼得堡港口粮食中出现了第一台卸船用的气力运粮装置。

不久（1893年）在英国出现了固定式气力运输装置，以后又出现了在海船上装卸粮食的浮式气力运输装置。

把第一批气力运输装置用来卸海船之后，在水运部門卸粮食的机械化中广泛地采用了这种装置。例如，1925~26年在鹿特丹和汉堡由海上运来的粮食中将近90%是由气力运输装置卸出的。

在苏联由船上卸散貨时普遍地采用了气力运输的方法。

在苏联几乎所有的大型港口的粮仓，都装有固定式气力装置，用来由船上卸粮食。

在海港和河港中，有装卸粮食用的浮式气力装置。

在最近一、二十年中，气力运输发展得很快。人們用气力装置来运输粮食、水泥、砂、灰、煤粉、化学藥品等貨物。

許多散貨貨流很大的工业企业都已經完全采用了或正在逐漸采用气力运输。

气力运输能够得到这样普遍采用，其主要原因是：

1. 能縮短卸船時間。

例如，7500 吨的船用人工卸需 16 天，用船艙斗式提升机需 6.5 天，而用气力装置仅 3 天就够了。尽管气力装置所消耗的能量比斗式提升机多数倍，但用气力装置卸船的总成本要低許多。

2. 能减少劳动力的需要量，因为不需要把集粮食，因此也提高了装卸工人的劳动生产率。

3. 气力运输装置能够在水位变化很大，大风和坏天气情况下工作。

4. 由于气力运输装置的輸料管有弹性，所以它能够很容易卸各种艙口位置不同的船。很容易由船艙中难于到达的地方将貨物吸出。

5. 在卸貨的时候，在船艙中不会揚起灰尘，能給在艙中的装卸工人造成良好的工作条件。

6. 气力运输装置結構簡單，使用方便。

7. 运移物料的部件不运转，在工作中非常可靠。

8. 气力运输装置很容易实现自动化。

气力运输装置的缺点是較机械运输装置的能量消耗多。

气力运输装置的能量消耗要比机械运输装置的能量消耗多 1 ~ 2 倍。

§1 气力运输装置的分类

根据所运输的貨物的状态不同，气力运输装置分为：

1. 散貨的气力运输。

2. 件貨的气力运输。

第二种型式的装置就是气力传送，气力传送分帶套筒的和不帶套筒的两种。帶套筒的气力传送是将被运输的貨物装在一些專門的容器——套筒中来运输的。套筒在导管中借其兩側空气的压力差而移动。空气的压力差用送风机造成。

无套筒的气力传送是将件貨直接放在导管内来运输。因此这种气力传送导管的断面应作成与被运输的物件的断面相同。

本課程的研究對象是散貨的氣力運輸，因此不涉及與件貨氣力運輸有關的問題。

散貨的氣力運輸裝置根據管系中空氣的狀態不同分為：

1. 吸氣式氣力運輸裝置，它用低於大氣壓力的空氣工作；

2. 壓氣式氣力運輸裝置，它用高於大氣壓力的壓縮空氣工作；

3. 混合式（吸氣-壓氣式）氣力運輸裝置，即其一部分管系以抽氣方式工作，另一部分管系則以壓氣方式工作。

根據所造成的空氣壓力或真空度的不同，氣力運輸裝置又分為：

1. 低壓氣力運輸裝置。在低壓氣力運輸裝置中空氣的最大表壓力或真空度不超過 200 公斤/米²。在這樣的壓力損失情況下，空氣的熱力變化非常小，並且對計算的準確性影響很小，因此在計算低壓裝置時，可以不考慮空氣的熱力變化。在這種氣力裝置上，採用通風機來作送風機。

2. 中壓氣力運輸裝置。中壓氣力運輸裝置在表壓力或真空度由 200 到 1000 公斤/米² 下工作。對這種裝置來說，計算時可以不考慮熱力變化，這時差誤只有 5%，這在技術計算上是完全允許的。在這種裝置上採用高壓通風機作送風機。

3. 高壓氣力運輸裝置。它是在表壓力或真空度在 1000 公斤/米² 以上進行工作的。在計算高壓裝置時，必須考慮空氣的熱力變化，因為忽略熱力變化會使計算發生很大的差誤。在這種裝置上採用表壓力或真空度很高的通風機。例如，渦輪泵、迴轉泵、渦輪壓氣機等。

讓我們來研究一下氣力運輸裝置的原理示意圖並講講它們的優缺點。

吸氣式氣力運輸裝置的示意圖見圖 1。

我們來研究一下這種裝置的工作。鼓風機 1 由整個管系中抽氣，因此大氣經過供料裝置 2（吸咀）跑入管系中。若把吸咀埋在貨物中，則由貨物中間經過的空氣便將被運貨物帶入輸料管

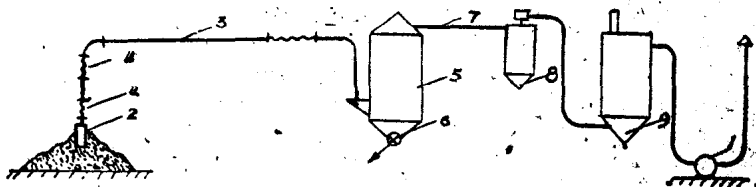


图1 吸气式气力运输装置的示意图

3 中。在輸料管末端裝有軟管 4，以使輸料管能作必要的擺動。

被運輸的貨物沿輸料管送到分離器 5 中，在分離器中空氣和貨物分离開來。貨物通過閉鎖器 6 由分離器中卸出，而空氣為了清除灰塵沿導管 7 先進入旋風除塵器 8 然後進入布袋除塵器 9 中。在這以後，去掉灰塵的空氣進入鼓風機 1，由鼓風機排於大氣中。

吸气裝置的優點有：

1. 能够從數地或一堆貨物的數點上同時卸貨；
2. 供料方法簡單——貨物被吸入裝置中；

缺點：

1. 運輸距離不能過大。隨運輸距離的增加，當生產率不變時，空氣的真空度有所增加。當真空度超過 5000 公斤/米² 時，攜帶能力（在懸浮狀態下攜帶物料的能力）顯著地降低，因此常常發生阻塞，造成工作停歇；

2. 管系必須非常嚴密；

3. 需要仔細清除空氣中的灰塵。這是因為鼓風機裝在系統的最末端，帶灰塵的空氣通過它時會使其摩擦部分的磨損增大。為了降低鼓風機零件的磨損，需要在空氣進入鼓風機前將其中的灰塵除淨。

在壓氣式氣力運輸裝置（見圖 2）上，鼓風機 1 一般裝在管系的前端，而將空氣壓入輸料管 2 中，物料借專門的供料裝置 3 裝入輸料管中，它隨氣流呈懸浮狀態被送至物料分離器 4 中。在分離器中物料和氣流分開，並由分離器中卸出，而空氣則通過風管 5 進入除塵器 6 中除塵。除塵後的空氣沿風管 7 排於大氣中。

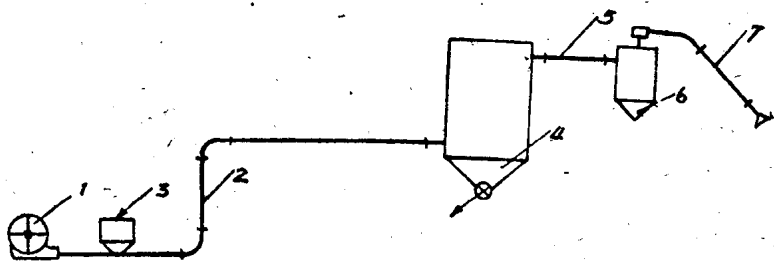


图2 压气式气力运输装置的示意图

压气式装置的优点有：

1. 运输距离长，因为随着运输距离的增加，空气密度亦增加，因而能够保证足够可靠的运输。实际上运输距离取决于鼓风机的性能。有在一个管路中运输距离长达2公里的气力运输装置；

2. 混合比^①大 ($\mu = \frac{G_{物}}{G_{气}}$)。近来在工业部门出现了运输粉状货物（水泥、面粉等）的高浓度气力运输装置，在这种装置中混合比达到300~400。而吸气式装置是在混合比不超过 $\mu = 22 \sim 25$ 的数值下工作的；

3. 不必彻底清除空气中的灰尘，而在某些情况下则完全不需要二次除尘；

4. 管路上不严密处的漏气对压气式装置影响不大。在压气式装置上根据漏气处喷射出来的灰尘很容易发现漏气地点。

缺点：

1. 由于必须由低压区往高压区供料，所以供料装置较复杂；

2. 一台装置不能同时由数地运取物料。

在需用气力运输装置由数地运输物料，并且运输距离很长时，需采用混合式气力运输装置。这种气力运输装置（见图3）是由被鼓风机1分开的两个分支组成的。第一个分支是吸气分

^① 在某段时间内由装置中通过的物料重量与在该时间内通过装置的空气重量之比称为混合比。

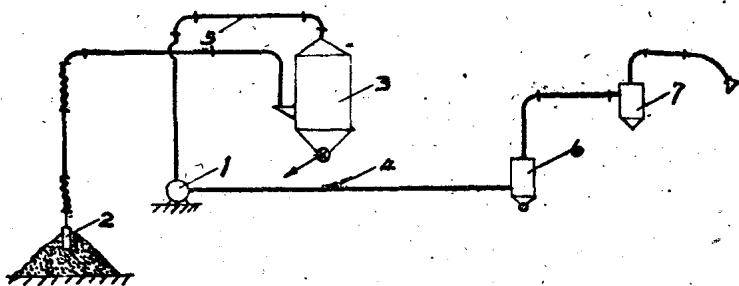


图3 混合式气力运输装置的示意图

支，它将貨物由貨堆上經過吸咀2吸入并送入卸料器3中。貨物由卸料器（分离器）中进入压气分支4，而空气則沿风管5进入鼓风机中。空气在鼓风机中被压缩后，进入輸料管4，沿輸料管将貨物运至卸料器6中。貨物在这里由装置中卸出，或送进仓库，或送去加工。而空气則送到除尘器1中除尘，然后排至大气中。

在必須利用吸气式和压气式装置的优点时，才采用混合式装置。根据混合式系统的原理建立起的运输粮食的气力运输装置，說明在实际中采用这种运输系统是可能的。

鼓风机在这种装置中的工作条件不好，因为带有灰尘的空气，需由它經過。采用彻底的除尘设备会使装置复杂化，增加装置的成本，为避免这种系统过于复杂和庞大，最好不使用怕灰尘的鼓风机（旋轉活塞式鼓风机、水环泵及其它）。

§2 物料的特性对气力运输装置工作的影响

被运物料的比重 在很大程度上影响着气力运输装置的参数。因为随着比重的增加必須提高輸料管中气流速度，因而便增加了单位能量消耗。

但是物料速度过高容易造成物料破碎。因此对气流速度要有所限制，超过这个限制物料便会破碎。运输粮食时气流速度最好不超过25~27米/秒。

物料的湿度对气力运输装置的不間断工作有着重要的意义。

如果物料的湿度很大，散貨的特性使被破坏，物料便会堵塞在存仓中和閉鎖器的出口处，粘附在輸料管和分离器的內壁上，这都将使运输工作复杂化，有时不能繼續运输。物料的极限湿度（超过該极限便不能用气力运输）：小粒状的煤炭不超过6%；大粒状煤炭不超过26%；粮食不超过30%。

物料顆粒的粒度 大块的物料用气力运输装置运输有困难，因为在装料装置中会产生堵塞，并且装料装置的尺寸要求較大，因此用气力运输装置运块状貨时物料的顆粒不得大于50毫米，但是有的气力装置可运输最大顆粒达80毫米的物料。

用气力装置运输物料时物料的最小粒度不受限制，在运昂貴的粉末状物料时常常需用二次除尘的复杂设备，使空气净化，以减少物料的損失。运输粉状物料时采用高浓度的气力装置（混合比大的运输装置）較为經濟与可靠，該装置的單位能量消耗接近于机械运输的能量消耗，并且完全不需用物料分离器和空气二次除尘设备。

被运物料的温度 采用气力装置运输时，物料的温度不得超过400°C。如果被运输的物料与空气相遇能够造成爆炸性的混合物，那么在高溫运输时就必须使用惰性气体。这时采用帶封閉旋风除尘器的装置是合适的。在这种装置中气体可能由不严密的地方漏出，因此应及时补充新鮮的气体。

在气力运输装置中运输粮食时必须注意保持粮食的播种質量。当粮食是用于啤酒酿造业和麦芽工业时此点尤为重要。如粮食用于食用的目的（磨碎、加工），保持播种質量的問題就較为次要了。

气力运输装置运输粮食时下列因素可能影响粮食的質量。

1. 輸料管中的气流速度；
2. 輸料管直径；
3. 混合比“ μ ”；
4. 粮食的物理化学性質；
5. 粮食的湿度。

气流速度 是影响粮食质量的最重要因素之一。实验研究表明,随着气流运动速度的增加粮食破碎的百分比也增加。运输速度大的情况下粮食的胚便受损害。乍看起来,这种胚受损害的粮食与好的粮食毫无区别,但其发芽能力很小,因之被认为是适合于播种的粮食。

所以如果气力装置的气流速度过高可能损害粮食。反之,气流运动速度过小便会使工作状态不稳定,并且常常造成堵塞。因此设计装置时要将气流速度选得恰当,使它处于下限(堵塞)与上限(粮食破损)之间。

图4中画出随着气流速度增加豌豆破碎百分比的变化曲线图。

从曲线图中可以看出,气流速度超过20米/秒时,粮食的破碎百分比显著上升。因此对湿度为15.4%的豌豆来说,气流速度最好不高于20米/秒。

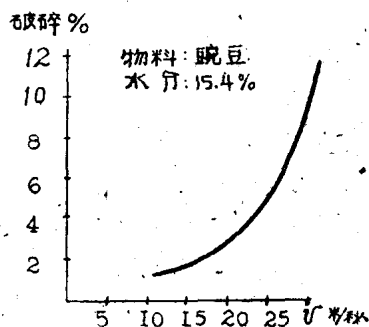


图 4

输料管的直径在运输时对粮食的质量也有影响。随着输料管直径的增大,粮食受损害的程度就有所减轻,根据泽格列尔的数据,用直径为46毫米的输料管比用直径为264毫米的输料管豌豆破碎百分比要大1~2倍。运输稞麦和小麦时,输料管直径对物料破碎百分比的影响要小得多。

混合比对用气力运输装置所运粮食的质量影响很大。随着混合比的增加,破碎百分比便降低,这是由于被运输的粮食与管壁接触的机会较少的缘故。沿管壁运动的粮食好像受从气流中心向管壁运动的物料颗粒的冲击一样,在混合比不大的条件下物料颗粒与管壁接触的可能性是很大的。

经验证明,用气力运输装置运豌豆时,当生产率为7.2吨/小时,物料破碎0.38%,生产率为3.6吨/小时——0.56%。

粮食的物理化学性质 粮食表皮的强度在运输时对其破碎的