

高等学校试用教材

# 连续运输机

武汉水运工程学院 蒋琼珠 主编

人民交通出版社



高等学校试用教材

**连续运输机**

武汉水运工程学院 蒋琼珠主编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$  印张：17.5 字数：426 千

1986年12月 第1版

1986年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,500 册 定价：2.90元

---

## 内 容 简 介

本书阐述了连续运输机的基本原理、设计计算方法和构造特征，其机型选择和设计计算着重反映现代化港口装卸工作的需要和水平。本书用一定篇幅介绍新型港口连续卸船机的应用实例。为便于自学，本书结合专业实际，提供了内容完整的计算实例。此外，编者结合近年来的设计计算实践，对有关问题的电算程序作了扼要的介绍。

本书作为高等学校“起重运输及工程机械”专业的教材，也可供从事这方面工作的工程技术人员参考。

编 者 王 学 勤 王 学 勤

主 任 委 员 会 委 员 王

王 学 勤  
王 学 勤  
王 学 勤

# 前 言

本书是根据1983年12月在武汉召开的“交通部对口专业教材座谈会”的精神，由武汉水运工程学院和上海海运学院共同讨论制定的《连续运输机》教材编写大纲编写而成。

全书共分八章。主要叙述港口常用的具有挠性牵引构件的输送机、无挠性牵引构件输送机、斗轮堆取料机及辅助装置的基本理论、设计计算及构造原理。为便于应用，本书还列举了若干计算实例。

根据编写大纲精神，结合港口装卸工作的实际需要，在内容安排方面，针对性强，重点突出。全书不仅论述了输送机的原理、参数、性能和结构，而且还详细地阐述了有关的基础理论和设计计算，选用了大量图表，为设计使用和维修输送机提供了较全面的理论知识。本书还用一定的篇幅介绍了新型港口连续卸船机的应用实例。

本书作为高等学校“起重运输及工程机械”专业的教材，也可供从事这方面工作的工程技术人员参考。

本书由武汉水运工程学院蒋琼珠副教授主编，在统稿过程中对全稿进行了必要的修改和删减。参加编写的有上海海运学院余洲生（第二章第一、二、三节，第三章和第六章第一、二、三节），赵联成（第二章第四、五节，第六章第四、五节）和武汉水运工程学院蒋琼珠（绪论，第一章，第四章），罗德润（第二章第六节，第五章，第七章）。

本书由太原重型机械学院黄松元副教授担任主审，对全稿进行了认真审阅并提出了宝贵意见。在本书编写过程中，许多单位和个人给予了大力支持和帮助，浙江工学院刘雁同志并提供了资料，在此一并表示感谢。

限于水平和时间，书中可能会有很多不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1986年2月

# 目 录

绪论	1
第一节 连续运输机的特点及分类	1
第二节 连续运输机在港口装卸工作中的作用	3
第三节 连续运输机所输送物料的基本性质	5
一、粒度和粒度组成	5
二、堆积密度及堆积重度	6
三、湿度	6
四、堆积角	7
五、外摩擦系数	7
第四节 散货力学简述	8
一、力学模型	8
二、散粒介质的极限平衡理论	10
三、散粒物料力学性质的测量方法	13
四、侧压力系数	15
五、散粒体在交变力作用下的应力状态	20
第五节 连续运输机生产率的确定	23
一、使用国际单位制的换算	23
二、生产率的计算	24
第一章 带式输送机	26
第一节 概述	26
第二节 带式输送机的主要部件	28
一、输送带	28
二、支承托辊	33
三、驱动装置	36
四、制动装置	39
五、张紧装置	40
六、改向装置	43
七、装料装置	44
八、卸料装置	45
九、清扫装置	47
第三节 带式输送机生产率的计算	48
一、物料在带条上的堆积面积的计算	48
二、带速的选择	51
第四节 带式输送机的牵引计算	51

一、牵引力、功率的近似计算.....	52
二、详细的牵引计算.....	54
第五节 带式输送机起动和制动的验算.....	60
一、带式输送机起动工况的验算.....	61
二、带式输送机制动工况的验算.....	62
第六节 张力图解和驱动装置有利位置的选择.....	63
一、牵引构件张力的图解法.....	63
二、驱动装置最有利位置的选择.....	64
第七节 多滚筒驱动.....	65
一、头部双滚筒驱动.....	66
二、头尾单滚筒驱动.....	67
第八节 特种型式带式输送机.....	68
一、气垫带式输送机.....	68
二、双带式输送机.....	69
三、大倾角带式输送机.....	70
四、钢绳牵引带式输送机.....	72
五、中间带条驱动带式输送机.....	73
例题: 带式输送机牵引计算.....	73
<b>第二章 斗式提升机</b> .....	<b>77</b>
第一节 概述.....	77
一、主要部件.....	77
二、特点及应用.....	79
三、有关斗式提升机粉尘爆炸的防治问题.....	80
第二节 啮合驱动.....	82
一、链条的运动速度和加速度.....	82
二、链条动力载荷计算.....	84
第三节 斗式提升机的装料和卸料.....	85
一、装料.....	85
二、卸料.....	85
第四节 斗式提升机头部罩壳设计.....	88
一、料斗的瞬间装载量和标准装填.....	88
二、物料在料斗内的运动方程式.....	90
三、物料颗粒沿平面相对滑移路程 $S$ 和相对滑移速度 $v_r$ 的确定.....	92
四、物料颗粒抛出的运动轨迹及头部罩壳的绘制.....	98
第五节 斗式提升机的主要参数及计算.....	99
一、生产率计算.....	100
二、料斗型式及尺寸确定.....	100
三、驱动轮直径选择.....	101
四、斗式提升机的运动阻力、张力及驱动功率.....	101
第六节 链斗卸船机.....	105

一、结构型式及其特点	105
二、悬链式链斗卸船机链斗机构的设计计算	107
例题：斗式提升机物料卸载轨迹	113
<b>第三章 埋刮板输送机</b>	<b>118</b>
第一节 概述	118
一、主要部件	118
二、布置形式	121
三、工作原理	122
四、特点及应用	123
第二节 基本参数和设计计算	124
一、生产率和机槽宽度的计算	124
二、链条速度的选择	125
三、刮板间距的确定	125
四、刮板与机槽之间间隙的选择	125
五、链条张力和驱动功率的计算	125
<b>第四章 螺旋输送机</b>	<b>129</b>
第一节 概述	129
第二节 水平螺旋输送机	130
一、主要部件	130
二、水平螺旋输送机的计算	134
第三节 垂直螺旋输送机	139
一、结构型式	139
二、物料输送机理分析	139
三、垂直螺旋输送机的基本计算	148
第四节 港口螺旋式装卸机械	149
一、螺旋式卸车机	149
二、垂直螺旋卸船机	149
<b>第五章 斗轮堆取料机</b>	<b>152</b>
第一节 概述	152
一、发展概况	152
二、工作原理及分类	152
第二节 斗轮装置	154
一、铲斗	154
二、斗轮	154
三、斗轮的卸料方式及卸料装置	156
四、过载安全保护装置	157
五、斗轮基本参数的确定	158
第三节 挖掘阻力和斗轮驱动功率的计算	159
一、斗轮挖掘阻力的计算	159
二、取料方式对斗轮工作的影响	162

三、斗轮功率的计算.....	163
例题：斗轮基本参数的确定及驱动功率计算.....	164
<b>第六章 气力输送机.....</b>	<b>166</b>
<b>第一节 概述.....</b>	<b>166</b>
一、气力输送机的分类.....	166
二、气力输送的特点.....	167
<b>第二节 悬浮气力输送的基本理论.....</b>	<b>168</b>
一、气固双相流的流动型态.....	168
二、悬浮速度.....	170
三、输料直管内的压力损失.....	181
<b>第三节 气力输送机的主要部件.....</b>	<b>188</b>
一、供料器.....	189
二、输料管.....	194
三、分离器.....	198
四、除尘器.....	199
五、卸料器.....	201
六、风管.....	202
七、气源机械.....	204
八、消声设备.....	206
<b>第四节 悬浮气力输送机的设计计算.....</b>	<b>209</b>
一、原始资料.....	209
二、设计步骤.....	209
三、主要参数计算.....	210
<b>第五节 其它型式的气力输送机.....</b>	<b>214</b>
一、空气槽输送机.....	214
二、充气罐式输送装置.....	216
三、栓状气力输送装置.....	218
四、容器式气力输送装置.....	224
例题：吸粮机主要参数设计计算.....	234
<b>第七章 辅助装置.....</b>	<b>242</b>
<b>第一节 存仓.....</b>	<b>242</b>
一、存仓的分类及应用.....	242
二、物料由存仓卸出的物理过程.....	243
三、物料作用于存仓壁上的压力计算.....	244
四、成拱理论、防拱及破拱措施.....	246
五、存仓的设计计算.....	252
<b>第二节 存仓闭锁器.....</b>	<b>252</b>
一、料槽式闭锁器.....	253
二、平面式闭锁器.....	253
三、扇形闭锁器.....	253



四、存仓闭锁器的计算.....	254
第三节 供料器.....	255
一、有挠性牵引构件的供料器.....	256
二、转动式供料器.....	256
三、振动式供料器.....	258
第四节 自动称量装置.....	262
一、电子皮带秤.....	262
二、核子输送机秤.....	264
三、料斗秤.....	265
参考文献.....	267
主要通用符号.....	268

# 绪 论

## 第一节 连续运输机的特点及分类

连续运输机是物料搬运机械的基本组成部分，是其中的一大类别。连续运输机被广泛地应用于国民经济各部门，在冶金、采矿、动力、建材等重工业部门及交通运输部门主要用来运送大宗散货如煤、矿石、粮食、砂、化肥等。在机械制造部门，连续运输机是组成现代化流水作业线的必不可少的设备，随着生产的节奏输送各种机械零部件、成品、半成品和小件的包装物料。在粮食、轻纺、化工、食品等轻工业部门，采用连续运输机输送物料的同时，往往还伴随进行某些工艺处理。此外，在机场、港口，连续运输机还用来输送旅客和行李，例如自动扶梯，自动人行道等。

采用连续运输机可以沿一定的输送路线从装料点到卸料点均匀连续地输送物料，与间歇动作的起重机械相比，它具有以下的特点：

(1) 连续运输机的装料和卸料是在输送过程不停顿的情况下进行的，输送机一经启动，就以稳定的输送速度沿着一定路线输送物料，所以可采取很高的输送速度，连续而高速的物流使输送机可以获得很高的生产率，远非间歇式的起重机所能比拟的。

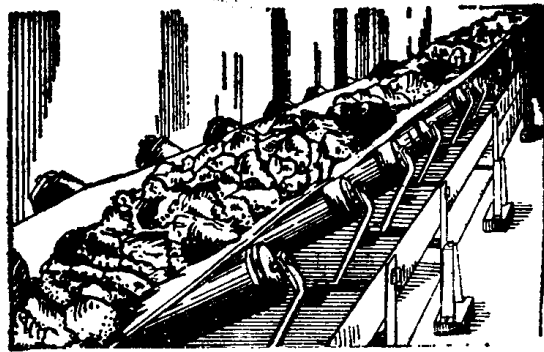
(2) 连续运输机必须沿整条输送路线布置。在工业企业内部使用的输送机其输送路线一般都是固定不变的。在港口，大宗散货专业码头的装卸船作业及散货堆场堆取料作业中常需改变装料点及卸料点，因而连续运输机一般不全部装设在固定的机架上，有一部分绕过沿轨道移动的门架及其悬臂上，伴随着门架的移动、悬臂的旋转及俯仰来改变装料点或卸料点。按各种不同的结构与功能就有了装船机、卸船机、堆取料机等各种机型。这时输送物料的输送机大部分采用带式输送机。由连续输送机作为基调所组成的物流机械化系统，其工作的可靠性、安全性、及经济效果不仅由输送机性能的好坏来决定，也在相当大的程度上依赖于各种辅助装置、自控装置及安全保护装置的密切配合。其中某一环节出现故障，就会使整个系统停顿，而起重机则具有相对的独立性。

(3) 连续运输机一般不宜运送重量很大的单件物品或集装箱器。

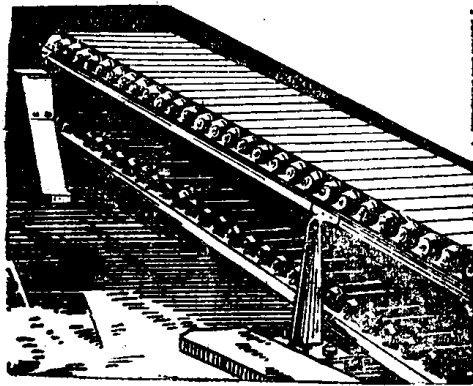
连续运输机的类型很多，由于作业环境及输送对象的不同，相同类型的输送机也有不同的结构特点。因此，要对应于各个部门的众多的连续运输机作一个统一的综合分类是很困难的。

本书仅对在港口装卸工作中常用的连续运输机进行分类。常用的连续运输机按其结构形式的不同，可分为两大类：具有挠性牵引构件的和无挠性牵引构件的连续运输机。按其用途的不同分为输送机、专用机械和辅助装置。各种类型的港口连续运输机详见表0-1。

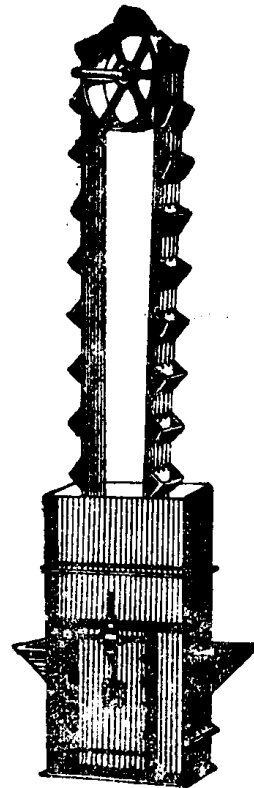
有挠性牵引构件输送机的特点是：物料放在与牵引构件或与牵引构件固接的承载构件上，利用牵引构件的连续运动来运送物料。图0-1示出几种具有挠性牵引构件的输送机。图0-1a)为港口用得最普遍的带式输送机，是大型专用散货进出口码头必不可少的输送设备。带式输送机的主要部件——输送带既是牵引构件而同时又兼具承载构件的功能，物料放在输



a)



c)



b)

图0-1 有挠性牵引构件连续输送机  
a)带式输送机；b)斗式提升机；c)链式输送机

送带上可以沿水平或倾斜方向运送，由于是以连续流的方式输送物料，带式输送机可以具有任何其他型式输送机达不到的高生产率。图0-1b)所示为斗式提升机，用来垂直提升或沿很陡的方向运送物料。斗式提升机的牵引构件可以是链条或输送带，承载物料的料斗能自动从料堆或船舱中挖取物料，在港口常用作卸船机。图0-1c)所示为链式输送机，其牵引构件常为各种形式的链条，承载构件可以是与牵引构件固接的刮板（刮板输送机）、轮廓刮板（埋刮板输送机）或承载小车等，港口的旅客自动扶梯实质上也是一种链式输送机，其载人的小车工作面可以在整个输送过程中保持水平，工作面做成梳齿形，小车在下水平段与固接在地面的梳形板交叉，使旅客能安全地登上自动扶梯。在倾斜爬坡段由于小车工作面始终保持水平，使旅客有着如同踏在楼梯台阶上的舒适安全感。在上水平段，运载小车的梳形表面又与固接在地面的梳形板交叉，使旅客安全下自动扶梯。埋刮板输送机，可以用来沿垂直和水平方向输送物料，与链条固接的刮板可以沿封闭料槽运动，在料槽的开口处，运动着的刮板可以从料堆自动取料，在港口常用作卸船机。

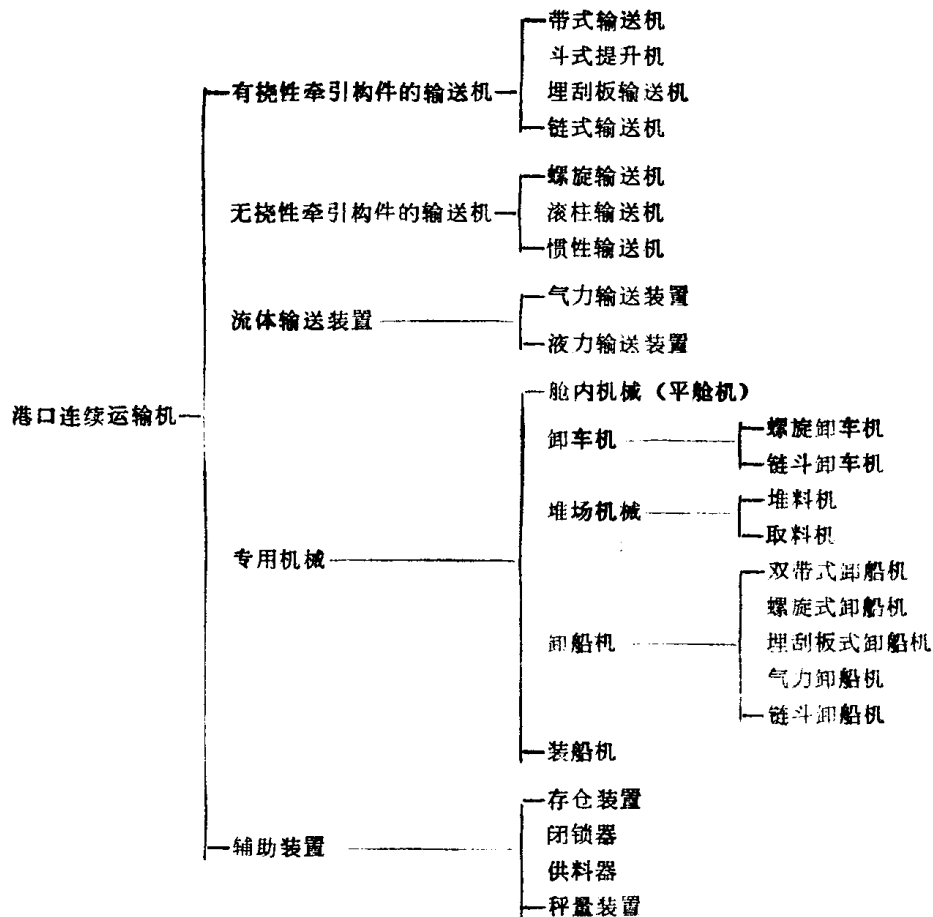
无挠性牵引构件的输送机系利用工作构件的旋转运动或往复运动使物料沿封闭的管道或料槽移动，它们输送物料的工作原理往往极不相同，且共性的零部件很少，有时常被用来作为供料器、存仓闭锁器或筛分装置等。气力输送装置是流体输送装置的一种，主要利用空气动力或压力在管道中输送物料。吸送式气力输送装置具有自动从船舱或料堆取料的优点，在港口装卸工作中常用作粮食这类物料的卸船机。

辅助装置是输送机系统正常工作必不可少的设备，主要用于存放物料和输送机之间的衔

接装置等，其中自动秤量装置对于有外贸进出口任务的港口尤为重要。

港口连续运输机分类

表0-1



## 第二节 连续运输机在港口装卸工作中的作用

我国是一个具有一万八千多公里大陆海岸线的国家，同时又是一个具有世界第三大河的内陆水域的国家，随着我国四化建设事业的迅速发展，国内和国际贸易的不断扩大，给水运事业带来了极为广阔的发展前景。港口是交通运输的枢纽，水陆联运的咽喉，对外贸易的门户。摆在港口工程技术人员面前的任务是：吸收和利用国内外先进装卸工艺和装卸机械，提高港口装卸效率，降低工人劳动强度，缩短船舶和车辆在港的装卸停泊时间，加速车船周转，降低运输成本，为活跃城乡物资交流，发展国际贸易贡献力量。

在港口总货运量中，散货运输约占总运量的50~70%以上。大宗干散货中煤炭、矿石、粮食等占主要地位，这一类散货具有运量大、流向较稳定的特点，适合建造大型的专业化码头。在散货专业化码头中，连续运输机是用得最广泛的装卸设备，无论在装船、卸船、进出堆场或仓库、装车、卸车等各种作业中都是不可缺少的重要机械设备。以我国主要的煤炭出口、煤炭进口、散粮进口码头为例就可以看得十分清楚。

我国北方主要的煤炭出口港——秦皇岛港是世界第一流的煤炭专业化海港，煤炭年吞吐能力（包括二期工程）为3000万吨。物料流向为铁路→海港→船。秦皇岛港的二期工程（图0-2）于1985年完成，建成投产后年吞吐量为2000万吨，有两个可停靠5万~7万吨级的专业化码头。该码头具有现代化的物流装卸系统，配备了达到国际先进水平的装卸机械。由铁

路运来的煤炭到港后，采用两台一次翻两列车皮，效率为33次/时的翻车机将煤卸下，经过两条带宽为1800mm，生产率为3600t/h的带式输送机送至堆场，由三台生产率为3600t/h的堆料机进行堆料。在装船时，由四台生产率为3600t/h的斗轮取料机从堆场取料，经带宽为2200mm、生产率为6000t/h的两条带式输送机送至码头前沿，由生产率为6000t/h的移动式装船机进行装船作业，该装卸系统配有完善的堆场和道路洒水设备，在整条带式输送系统中，物料转载处有金属检测及检出设备，有除尘装置及电子秤。整个物流系统配有工业电视监测系统。

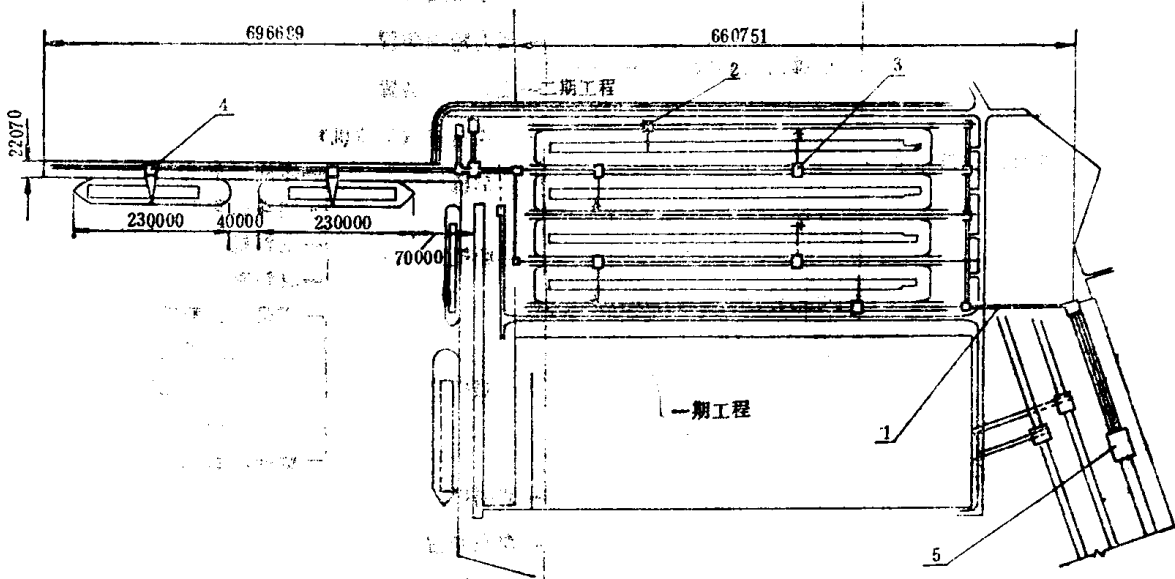


图0-2 秦皇岛港二期工程装卸工艺示意图  
1-带式输送机；2-堆料机；3-斗轮取料机；4-装船机；5-翻车机

我国最大的海港——上海港是大宗散货的主要进口港之一。图0-3所示为上海港六区八泊位煤码头，其年通过量为400万吨，物料流向为船→海港→车。码头前沿配备有桥式抓斗卸船机进行卸船作业，卸下的煤经高架带式输送机系统送到堆场，由生产率为900t/h的堆煤机将煤均匀卸入堆场，然后用装载机将煤装上汽车运至各用户。堆场之所以采用高架皮带机系统，是为了保证汽车能在场内通行无阻。

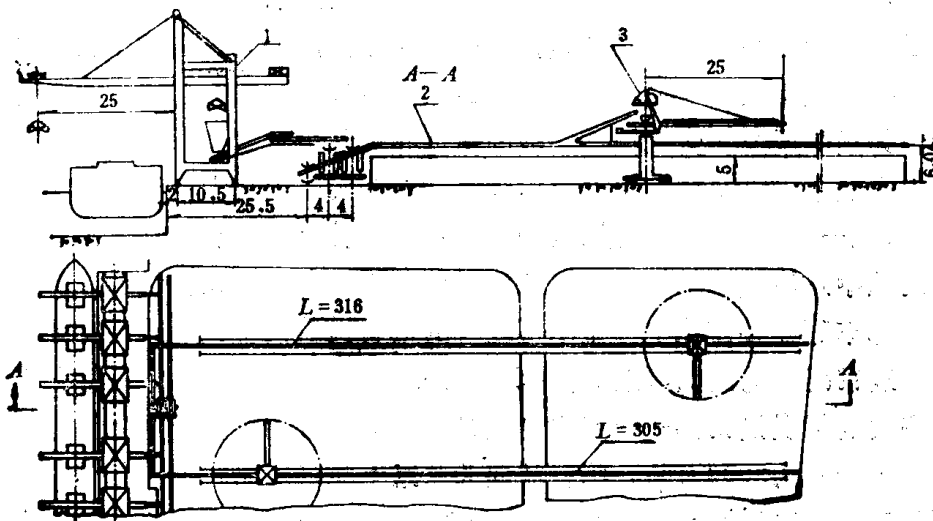


图0-3 上海港六区八泊位煤炭进口装卸工艺示意图  
1-装卸桥；2-带式输送机；3-堆煤机

上海港二区为散粮进口专业化码头，前方配有吸送式气力输送装置（吸粮机）五台，对海船进行卸船作业，卸下的粮食经带式输送机系统、自动定量秤、斗式提升机、仓顶带式输送机卸至圆筒仓，散粮可以经过圆筒仓底卸出，经带式输送机装载内河驳船，也可以经带式输送机送到灌包漏斗进行灌包作业，以袋粮供应用户。

### 第三节 连续运输机所输送物料的基本性质

通过港口装卸的货物可分为件货和散货两大类。件货有箱装、袋装、单件、托盘和集装箱等多种包装形式，件货的主要特征参数是重量和外形尺寸。在港口，除了袋装物料采用连续运输机进行装卸以外，其它件货极少采用。

连续运输机主要用来装卸和输送散粒物料，散粒物料的物理力学特性对连续运输机的选型、主要技术参数的确定影响很大，其中最基本的特性有：

#### 一、粒度和粒度组成

大多数散粒物料均含有不同大小和形状的颗粒（料块），为了可靠地确定连续输送设备的各项特性，有必要相当精确地了解物料中颗粒的极限尺寸及其相对比例。

物料单个颗粒的最大尺寸用能将其包容在内的最小长方体的最长边  $d$  来表示，如图 0-4 所示。

组成物料的不同粒度大小的颗粒（料块）的质量分布及搭配状况叫做物料的粒度组成。粒度均大于 0.05mm 的物料可以用筛分法来测定粒度组成，即取物料试样依次通过一系列不同孔径的筛子进行筛分，然后称量留在各筛子上的物料重量进行测定。粒度均小于 0.05mm 的物料用空气分类法测定，即将平均试样放在垂直管中以不同速度的气流吹运来确定。

物料的粒度组成可以用粒度级配百分率和典型颗粒粒度来表示，粒度级配百分率有分计级配百分率和累计级配百分率两种表示方法。例如测得某抽样物料的粒度分布为：80~51mm 的物料占试样的 9%；50~30mm 的物料占 65%；29~10mm 占 20%；9~2mm 占 4%；小于 2mm 占 2%。对这种物料的粒度组成分别用分计级配百分率和累计级配百分率表示的结果示于表 0-2。

物料粒度组成的表示方法 表 0-2

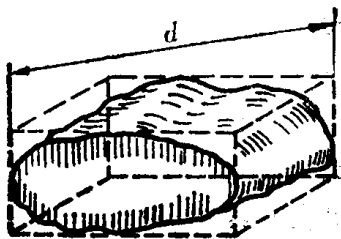


图 0-4 颗粒的计算尺寸

粒径级(mm)	分计级配百分率	累计级配百分率
80~51	$a_{80-51} = 9\%$	$A_{80} = 9\%$
50~30	$a_{50-30} = 65\%$	$A_{50} = 74\%$
29~10	$a_{29-10} = 20\%$	$A_{29} = 94\%$
9~2	$a_{9-2} = 4\%$	$A_9 = 98\%$
2以下	$a_{<2} = 2\%$	

根据粒度组成的均匀程度，散粒物料分为筛分的和未筛分的两种。筛分的物料是指最大料块的尺寸与最小料块尺寸之比小于或等于 2.5，即  $d_{max}/d_{min} \leq 2.5$ ；未筛分物料其比值大于 2.5，即  $d_{max}/d_{min} > 2.5$ 。

散粒物料的粒度特征用典型颗粒粒度的大小来表示。对于筛分物料其典型颗粒粒度用平均料块尺寸来表示，即

$$d_0 = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

对于未筛分物料，其典型颗粒粒度用最大料块尺寸来表示，即  $d_0 = d_{\max}$ 。如果最大粒径级  $(0.8 \sim 1)d_{\max}$  的物料质量小于抽样物料质量的10%时，可以采用  $d_0 = 0.8d_{\max}$ 。

根据物料的粒度，物料分为特大块、大块、中块、小块、颗粒状、粉状、细粉状等七类。其相应的粒度范围见表0-3。

散粒物料按粒度分类

表0-3

粒度类别	典型物料名称	粒度范围	粒度类别	典型物料名称	粒度范围
特大块	岩石	>500mm	粒状	谷物	0.5~9mm
大块	矿石	200~500mm	粉状	细砂	0.05~0.49mm
中块	煤	61~199mm	细粉状	水泥	<0.05mm
小块	碎石	10~60mm			

## 二、堆积密度及堆积重度

散粒物料在自然堆放（松散）状态下占据单位体积的物料质量称为该物料的堆积密度用  $\rho$  表示，单位为  $\text{kg}/\text{dm}^3$  或  $\text{t}/\text{m}^3$ 。由于物料颗粒（料块）之间存在间隙，处于松散状态下的物料经过振动和压实（这种情况是经常会出现的，例如存储装置中上层物料对下层物料的压实作用，输送过程中的振动和颠簸等）后，所测得的堆积密度  $\rho_v$  显然大于  $\rho$ ，二者之比可以用压实系数  $K$  表示。

$$K = \frac{\rho_v}{\rho} > 1$$

对于砂， $K = 1.12$ ；煤， $K = 1.4$ ；矿石， $K = 1.6$ 。对于其余各种不同物料的压实系数大致在  $K = 1.05 \sim 1.52$  之间。

一般来说，物料的堆积密度还与该物料的粒度大小及湿度有关，对于块状和颗粒状的物料，随着粒度的减小，其堆积密度也相应有所减小，这是因为颗粒间的空隙增加了的缘故，根据堆积密度的不同，散粒物料可分为下列几类：

轻级散粒物料： $\rho \leq 0.6 \text{ t}/\text{m}^3$

中级散粒物料： $0.6 < \rho \leq 1.6 \text{ t}/\text{m}^3$

重级散粒物料： $1.6 < \rho \leq 2.0 \text{ t}/\text{m}^3$

特重级散粒物料： $2.0 < \rho \leq 4.0 \text{ t}/\text{m}^3$

散粒物料的堆积密度、堆积角及对钢材的摩擦系数见表0-4。

散粒物料在松散状态下占据单位体积的重量称为堆积重度，用  $\gamma$  表示，它的单位为  $\text{N}/\text{dm}^3$  或  $\text{kN}/\text{m}^3$ 。

## 三、湿度（含水率）

散粒物料中的水分有几种形式存在：与物料颗粒以化学方式形成化合物的结构水；物料颗粒从周围空气中吸收的湿存水；在物料颗粒表面形成的薄膜水（分子水）和充填在颗粒间空隙的重力水，这二者之和统称为表面水。

被输送物料的特性参数

表0-4

物 料 名 称	堆 积 密 度 [t/m <sup>3</sup> ]	堆 积 角 (静) [°]	对 钢 的 摩 擦 系 数 (静)
小块干燥无烟煤	0.80~0.95	45	0.84
铁矿石烧结矿	1.7~2.0	45	0.9
干燥磷灰石	1.3~1.7	30~40	0.58
小块石膏	1.2~1.4	40	0.78
干燥、小块的粘土	1.0~1.5	50	0.75
块度均匀的圆砾石	1.6~1.9	30~45	0.8
炉灰(干)	0.4~0.6	40~50	0.84
中等块度焦炭	0.48~0.53	35~50	1.0
面粉	0.45~0.66	50~55	0.65
木屑	0.16~0.32	39	0.8
砂(干)	1.40~1.65	30~35	0.8
小麦	0.65~0.83	25~35	0.6
稻谷	0.55~0.57	35~45	0.57
各种块度的铁矿石	2.1~3.5	30~50	1.2
水泥(干)	1.0~1.3	40	0.65
碎石(干)	1.5~1.8	35~45	0.74
砂糖	0.72~0.88	51	0.85
细盐	0.9~1.3	48	0.7
玉米	0.7~0.8	35	0.58
大米	0.8~0.82	23~28	0.58

含有表面水的物料统称为潮湿的物料。当经过长期露天存放，其表面水蒸发，仅留下结构水和湿存水，称为风干的或自然潮湿状态的物料。仅含有结构水的散货称为干燥的物料。

散粒物料所含水分的多少用湿度来表示，湿度是抽样物料中所含湿存水和表面水的质量与该抽样物料经烘干后的质量之比来表示，即

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \times 100\% \quad (0-1)$$

式中： $G_1$ ——一份试样在烘干前的质量；

$G_2$ ——一份试样在105℃温度下烘2~4h后的质量。

#### 四、堆积角（自然坡度角）

自然堆放的料堆表面与水平面之间的最大夹角称为堆积角用 $\rho$ 表示，堆积角的大小取决于物料颗粒的活动性，颗粒活动性愈大，堆积角愈小。颗粒的活动性与颗粒之间的粘性和内摩擦力有关。对于同一种物料，由于其状态不同（湿度、温度、粒度），堆积角的大小也不同。堆积角有静态和动态之分，在静止平面上自然形成的叫静堆积角，在作振动的平面上测得的叫动堆积角 $\rho_d$ ，对于连续运输机输送物料的振动范围，动堆积角 $\rho_d$ 大致是静堆积角的0.65~0.80，或取 $\rho_d = 0.7\rho$ 。

#### 五、外摩擦系数

散粒物料与支承表面（木材、钢板、胶带等）之间的摩擦力与法向正压力之比叫做该物料对某种支承表面的摩擦系数，用 $\mu$ 来表示。散粒物料的外摩擦系数不仅与支承表面的材料有关，而且与表面的形状和粗糙度有关，一般外摩擦系数是指物料对具有一定形状和粗糙度



的某种材料的固体表面而言。

外摩擦系数有动态和静态之分。物料与固体表面相对静止状态下测得的外摩擦系数叫静态外摩擦系数。物料和与之接触的某种材料的固体表面之间以一定速度相对滑移时接触面上的摩擦力与法向正压力之比叫做动态外摩擦系数。根据大量试验表明，动摩擦系数值大致为静摩擦系数的70%~90%。

以上所列举的散粒物料的基本物理性能，它们直接影响到输送机和辅助装置的尺寸及构造。除此之外，在研究具体的设计任务时，有时还要考虑对装置的计算虽没有直接影响，但对结构型式的选择有重要意义的物理特征与性质。属于这些特征和性质的有：磨蚀性，爆炸危险性，火灾危险性，腐蚀性，毒性，吸湿性和脆性等。

## 第四节 散货力学简述

### 一、力学模型

港口连续输送机主要用来输送散粒物料（散货），而散货在一般情况下是由不同形状和大小的颗粒（料块）所组成的机械混合物，各个固体颗粒之间有水和空气（对于干燥物料则只有空气）。要解决固体、液体和气体混合的介质中的内力分布问题是相当困难的。为此，在散货力学中常采用简化了的模型，即在保持实际散粒体基本性质的前提下，抛弃某些在所讨论的问题中不起本质作用的东西，将散货看作为连续的均匀的介质。这样做是可以允许的，因为在大多数情况下组成散货的颗粒粒度与容器相比是很小的，而且根据大量试验表明，散货的力学性质介于固体与液体之间。这种抽象化了的散货在散货力学中统称之为散粒介质。

为了研究问题方便起见，引入了理想散粒介质和粘性散粒介质二种计算模型。对那些颗粒之间无粘聚力而只有内摩擦力的物料称为理想散粒介质。理想散粒介质的计算模型与某些实际散粒物料的特性极其符合，例如谷物、面粉、水泥等。同时对于颗粒之间仅有接触联系的砂土和碎石土的性质也十分相符。对于颗粒之间除存在内摩擦力外尚有粘聚力存在的散粒介质称为粘性散粒介质，粘聚力的大小在许多情况下可以是不变的。粘性散粒介质计算模型适用于那些颗粒之间不仅有接触联系而且还有产生粘聚力的胶结物体的联系，例如粘土。

连续散粒介质模型的优点在于它能够利用把应力看作为内力强度的概念，并能够采用微分平衡方程式，其形式与工程上所惯用的一致。所不同的是对于理想散粒介质，它只具有抵抗压力和剪力的能力，而对于粘性散粒介质，则还具有抵抗拉力的能力，但不能超过内摩擦力和粘聚力的极限。

从散粒介质中分割出来的平行六面单元体，可以建立六个平衡方程式：

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x + \sum \sigma_x + \sum \tau_x &= 0 \\ \sum F_y + \sum \sigma_y + \sum \tau_y &= 0 \\ \sum F_z + \sum \sigma_z + \sum \tau_z &= 0 \\ \sum M_x &= 0 \\ \sum M_y &= 0 \\ \sum M_z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (0-2)$$

式中： $F_x, F_y, F_z$ ——作用在散粒体上的质量力在任一坐标轴  $x, y$  和  $z$  上的投影；