

连续输送机械

余洲生 编

上海海运学院学报丛书

一九八一年五月

上海海运学院

学报丛书

内 部 发 行 (沪刊 065 号)

出版: 上海海运学院

编辑: 上海海运学院学报编辑部

发行: 上海海运学院印刷厂

一九八一年五月出版

前 言

本书根据上海海运学院港口机械专业连续输送机课程的教学大纲编写，主要阐述港口常用连续输送机的工作原理、组成部件、基本理论和设计计算方法。内容共分为五个部分：一、概论；二、带式输送机；三、斗式提升机；四、气力输送机；五、由连续输送机作为主要工作部分并用于船舶、堆场、车厢装卸的港口专用散货连续装卸机械。并附有设计计算示例。

本书为我院港机专业使用的教材，也可供港口及有关机械工业部门的技术人员参考。

本书由上海海运学院港机教研室余洲生编写，肖乾信主审。在编写过程中曾得到本教研室的同志们和有关高等院校、科研单位、港区、工厂的支持和帮助，谨在此表示感谢。

限于时间和编者的水平，错误和缺点在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

1980年12月

目 录

前言	
概论	(1)
第一章 带式输送机	(13)
第一节 概述	(13)
第二节 带式输送机的主要部件	(19)
第三节 带式输送机的设计计算	(32)
第二章 斗式提升机	(67)
第一节 概述	(67)
第二节 链斗提升机中的链条动载荷	(70)
第三节 斗式提升机的装料和卸料	(72)
第四节 斗式提升机头部罩壳的设计	(75)
第五节 斗式提升机的主要参数及计算	(90)
第三章 气力输送机	(94)
第一节 概述	(94)
第二节 气力输送机的主要部件	(99)
第三节 气力输送机的基本理论和设计计算	(142)
第四节 风压、风速、风量的基本测定方法	(168)
第四章 港口专用散货连续装卸机	(184)
第一节 散货连续装卸船机械	(184)
第二节 散货货场连续堆取料机械	(192)
第三节 散货连续装卸车机械	(197)
附. 设计计算举例	(199)
一、上海港七区装船机的悬臂胶带机计算	(199)
二、斗式提升机物料卸载运动轨迹	(201)
三、黄埔港XL400型吸粮机主要参数计算	(204)

概 论

一、连续输送机械的主要特点和类型

连续输送机械是起重运输机械的主要组成类别之一。它和起重机械一样被用来装卸和输送货物，在国民经济各个部门都得到极为广泛的应用，但和周期性动作的起重机械相比，连续输送机械具有以下特点：

(一)以连续动作的方式不间断地搬运货物，即装货、输送、卸货均连续进行，不必因空载回程而引起运货间断，同时由于不必经常起动和制动而可采用较高的工作速度。连续高速的输送使连续输送机械能够达到很高的生产率。

(二)沿固定的路线输送货物，动作单一，故结构简单。在同样生产率的条件下，连续输送机械比起重机械结构紧凑、重量轻、造价低、输送距离长。但当输送路线改变时，必须重新布置机器。

(三)通用性较差，每种机型只能适用于一定类型的货种。

连续输送机的型式与构造多种多样。由于生产发展的要求，新的式样、品种正在不断增加。在港口装卸工作中，常见的连续输送机类型有：带式输送机（俗称皮带机，固定式见图1—1、移动式见图0—1）、斗式提升机（图2—1）、气力输送机（图4—5）、链板输送机（图0—2）、螺旋输送机（图0—3）、埋刮板输送机（图0—4）等。其中带式输送机、斗式提升机和气力输送机应用更广和具有典型性，是本教材所要介绍的主要内容。链板输送机的结构和工作原理与带式输送机相似，其主要区别在于带式输送机用胶带牵引并以胶带承载货物，而链板输送机则用链条牵引、用板条来承载货物。链板输送机主要用于部分内河港口，它们的应用远不如带式输送机广泛。螺旋输送机（图0—3）借助原地旋转的螺旋叶片将物料推移而进行输送。由于物料自身重量和机壳对物料的摩擦阻力的作用，使物料不与螺旋叶片一起旋转。螺旋输送机可用于短距离（一般小于40米）输送各种粉状、粒状、小块状物料，可为其他输送机供料或作为螺旋卸车机的主要组成部分。螺旋输送机的结构简单，横截面尺寸小，密封性能好，便于中间装料和卸料，操作安全方便，制造成本低，但输送过程中物料易破碎，零件磨损和消耗功率均较大。埋刮板输送机见图0—4，在无端带条上相隔一定距离固定一块刮板，链条和刮板在封闭的矩形断面的管子内运动，由加料口供入管内的物料被刮板带动，用来水平和垂直输送粒状和粉末状物料。工作时，刮板和链条全埋在物料之中。埋刮板输送机设备较简单，尺寸、重量也较小，输送线路布置灵活，但对所输送的物料有一定要求，不宜输送大粒的、容重较大的、粘结性和磨擦性较大而又不允许破碎的物料。目前在港口中应用尚不普遍。

以上各种连续输送机根据有无牵引构件的特点可分类为有牵引构件的和无牵引构件的连续输送机。有牵引构件的如带式输送机、链板输送机、埋刮板输送机、斗式提升机等，无牵引构件的如气力输送机、螺旋输送机等。

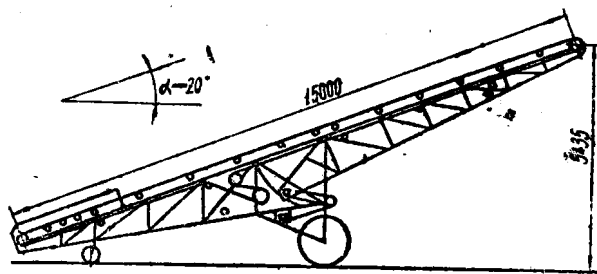


图 0-1 800毫米移动式胶带输送机

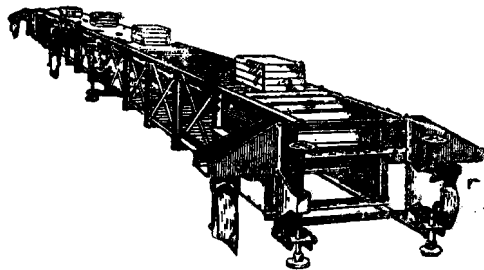


图 0-2 链板输送机

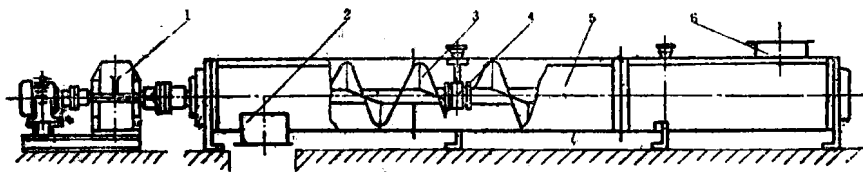


图 0-3 螺旋输送机

- | | |
|---------|----------|
| 1-驱动装置 | 2-出料口 |
| 3-旋转螺旋轴 | 4-中间吊挂轴承 |
| 5-壳体 | 6-进料口 |

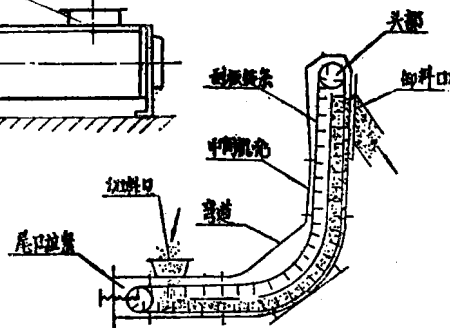


图 0-4 埋刮板输送机

二、连续输送机械与我国港口装卸工作的关系

随着我国四化建设事业和对外贸易的发展，港口货运量日益增长，迫切要求提高港口装卸效率，大力发展港口装卸工作机械化。在货物运输过程中，装卸作业时间占有很大比重，因此，采用高生产率的机械进行装卸，不仅能减轻工人的劳动强度、提高劳动生产率，而且可以加快装卸工作，从而缩短船舶、车辆在港停泊时间、加速车船周转，降低运输成本。港口装卸工作机械化对于搞好运输、加速四化建设具有重大的意义。

为了实现港口装卸工作机械化，必须合理的配备各种港口装卸机械。目前，连续输送机在港口各个搬运和装卸操作环节中都得到极其广泛的应用，在我国港口装卸机械化中起着重大作用。特别是在散货专业化码头中，连续输送机械台数在装卸机械总台数中占有很大比重，无论在装船、卸船、进出堆场或仓库、装车、卸车等各种操作中都是不可缺少的重要机械设备。以我国煤炭出口、煤炭进口、散粮进口等码头为例，就可看得十分清楚。表0—1列出了我国部分港口散货专业化码头采用的主要装卸机械，图0—5至图0—10分别为我国秦皇岛港、青岛港、南京港浦口第三作业区、芜湖港裕溪口作业区煤炭出口、上海港六区煤炭进口、上海港二区散粮进口装卸工艺示意图。从表0—1和以上装卸工艺示意图中可见，这些码头泊位的主要装卸机械大部分是带式输送机、斗式提升机、气力输送机以及由带式输送机为主要工作部分组成的装船机、堆煤机、堆取料机和以斗式提升机、螺旋输送机为主要工作部分组成的链斗卸车机、螺旋卸车机。由此可见，连续输送机械与港口装卸工作有着极其密切的关系。

表 0—1 我国部分港口散货码头采用的主要装卸机械

港 名	货种 流向	装卸车机械	进出堆场(仓库)机械	装卸船机械
秦皇岛港 九泊位	煤炭 出口	链斗卸车机 螺旋卸车机	皮带机系统 斗轮堆取料机	移动式装船机
青岛港	煤炭 出口	螺旋卸车机	皮带机系统 双臂堆煤机 双臂螺旋喂料机	固定式装船机
连云港	煤炭 出口	螺旋卸车机	皮带机系统 皮带堆煤机	移动式装船机
南京港 浦口	煤炭 出口	翻车机	皮带机系统 双臂堆煤机	固定式装船机
芜湖港 裕溪口	煤炭 出口	底开门自卸车 螺旋卸车机	皮带机系统 双臂堆煤机	固定式装船机
重庆港 九龙坡	煤炭 出口	装卸桥	装卸桥 皮带机系统	围船皮带机
上海港 七区	煤炭 出口		皮带机系统 斗轮堆取料机	移动式装船机
上海港 七区	煤炭 进口	单斗装载机	皮带机系统 斗轮堆取料机	带斗门座起重机
上海港 六区	煤炭 进口	单斗铲车或 滑溜化装车	皮带机系统 旋臂堆煤机	装卸桥卸船
上海港 二区	散粮 进口	皮带机装车	皮带机系统 斗式提升机	吸粮机卸船 皮带机装驳船
广州 黄埔新港	散粮 进口	皮带机装车	皮带机系统 斗式提升机	装卸桥、吸粮机卸船 皮带机装驳船

今后，随着我国水运生产的发展，船舶日益大型化和码头渐趋专业化，更加需要对某一货种在某一路线上进行高生产率的装卸输送，而连续输送机则比其他装卸机械更容易满足这个要求，而且较易实现程序化、自动化操作。因此，可以预料，连续输送机将为我国港口装卸工作机械化、现代化作出越来越大的贡献。

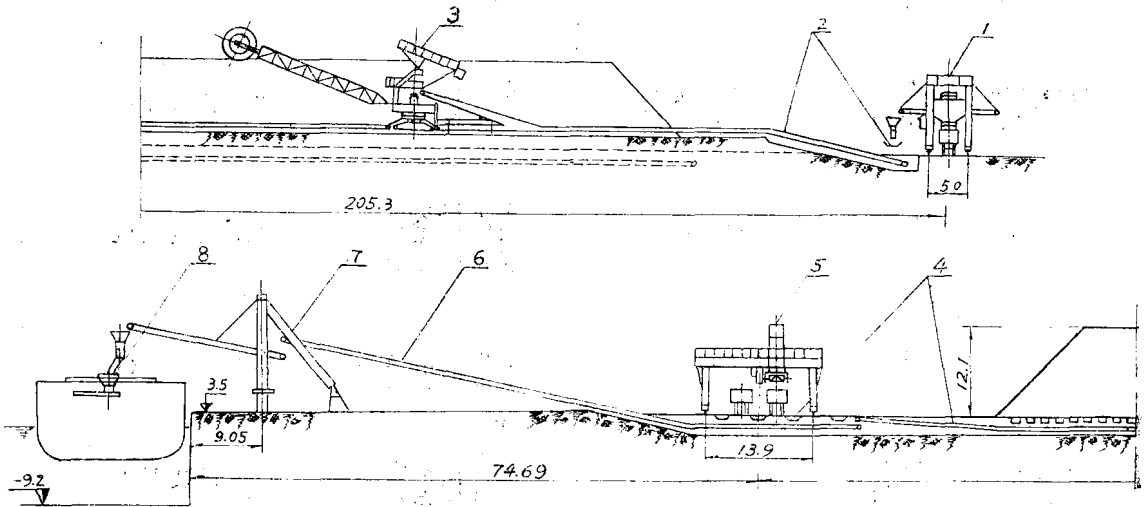


图 0-5 秦皇岛港煤炭出口码头装卸机械化系统示意图
(图内尺寸单位:米)

1-链斗卸车机 2-皮带机 3-斗轮堆取料机 4-坑道皮带机 5-螺旋卸车机 6-皮带机 7-装船机 8-平舱机

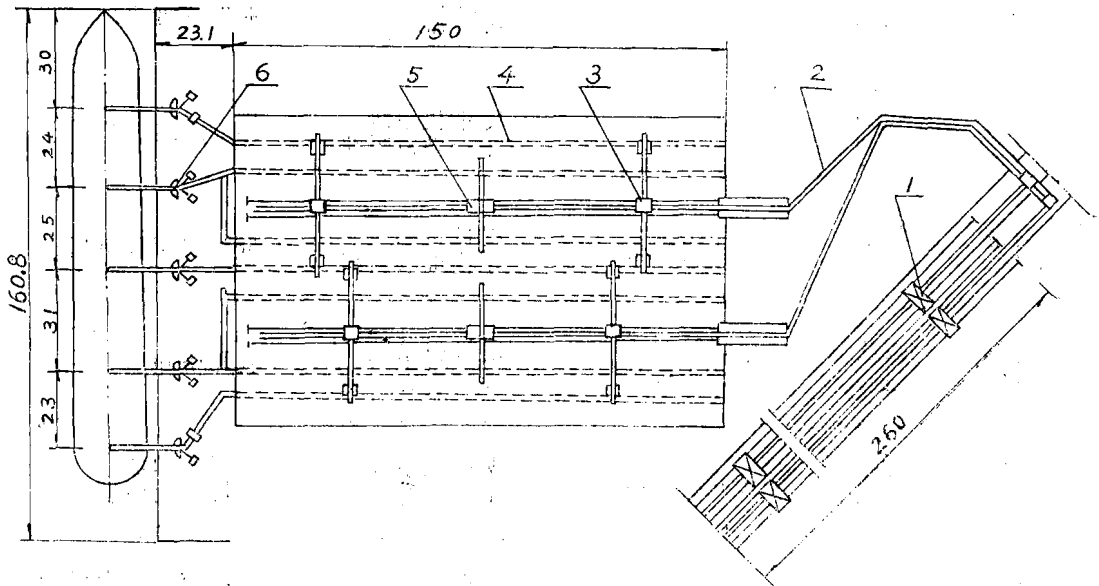


图 0-6 青岛港煤炭出口码头装卸工艺示意图
(图内尺寸单位:米)

1-螺旋卸车机 2-进场皮带机 3-螺旋喂料机 4-坑道皮带机 5-堆煤机 6-装船机

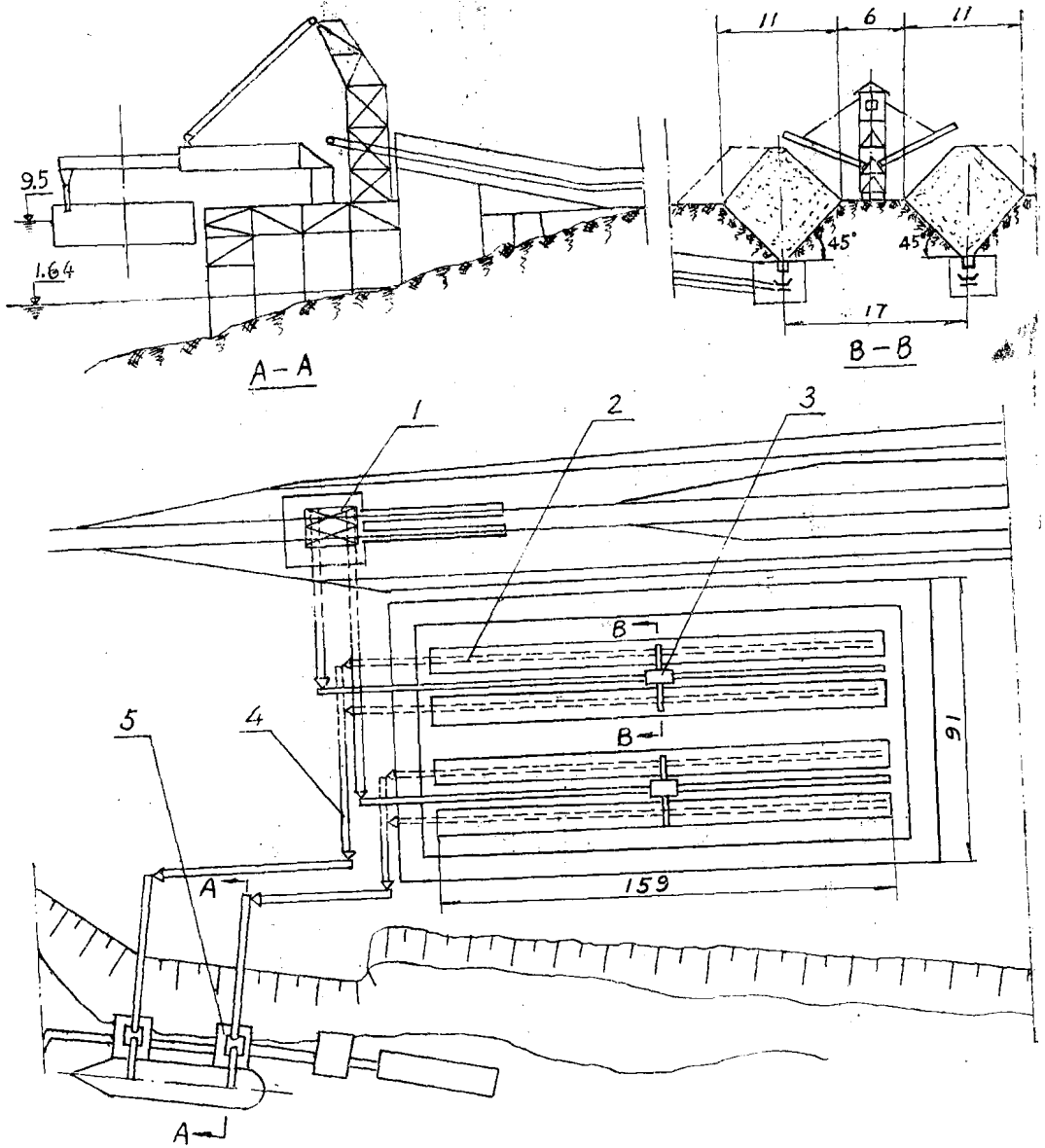


图 0-7 南京港三区煤炭出口码头(图中尺寸单位:米)
 1-翻车机 2-坑道皮带机 3-堆煤机 4-皮带机 5-装船机

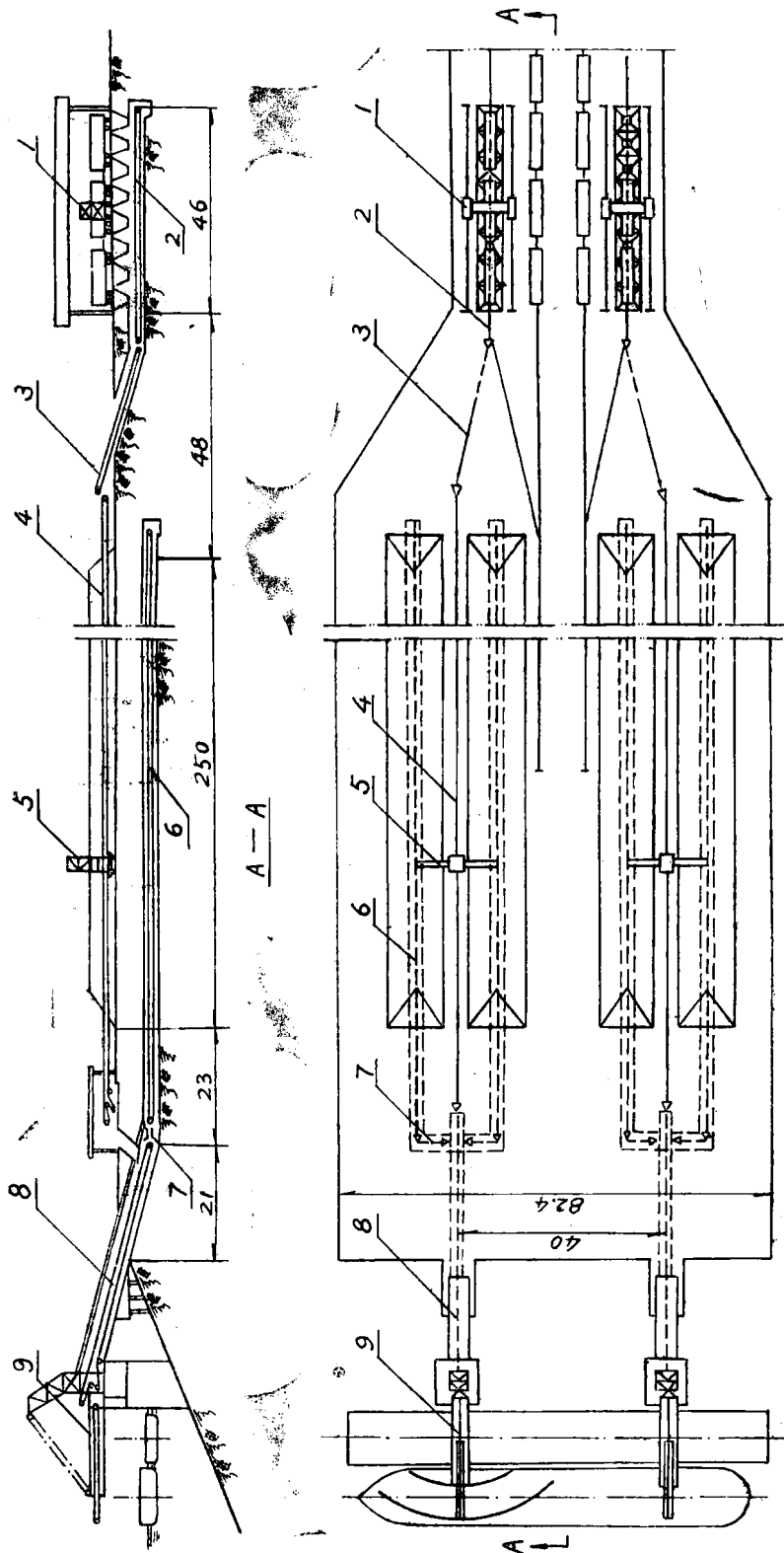


图 0-8 裕溪口煤炭出口码头(图中尺寸单位:米)
 1-螺旋卸车机 2-卸车坑道皮带机 3-进场皮带机 4-货场皮带机 5-堆煤机 6-货场坑道皮带机 7-坑道转接皮带机 8-出场皮带机 9-装船机

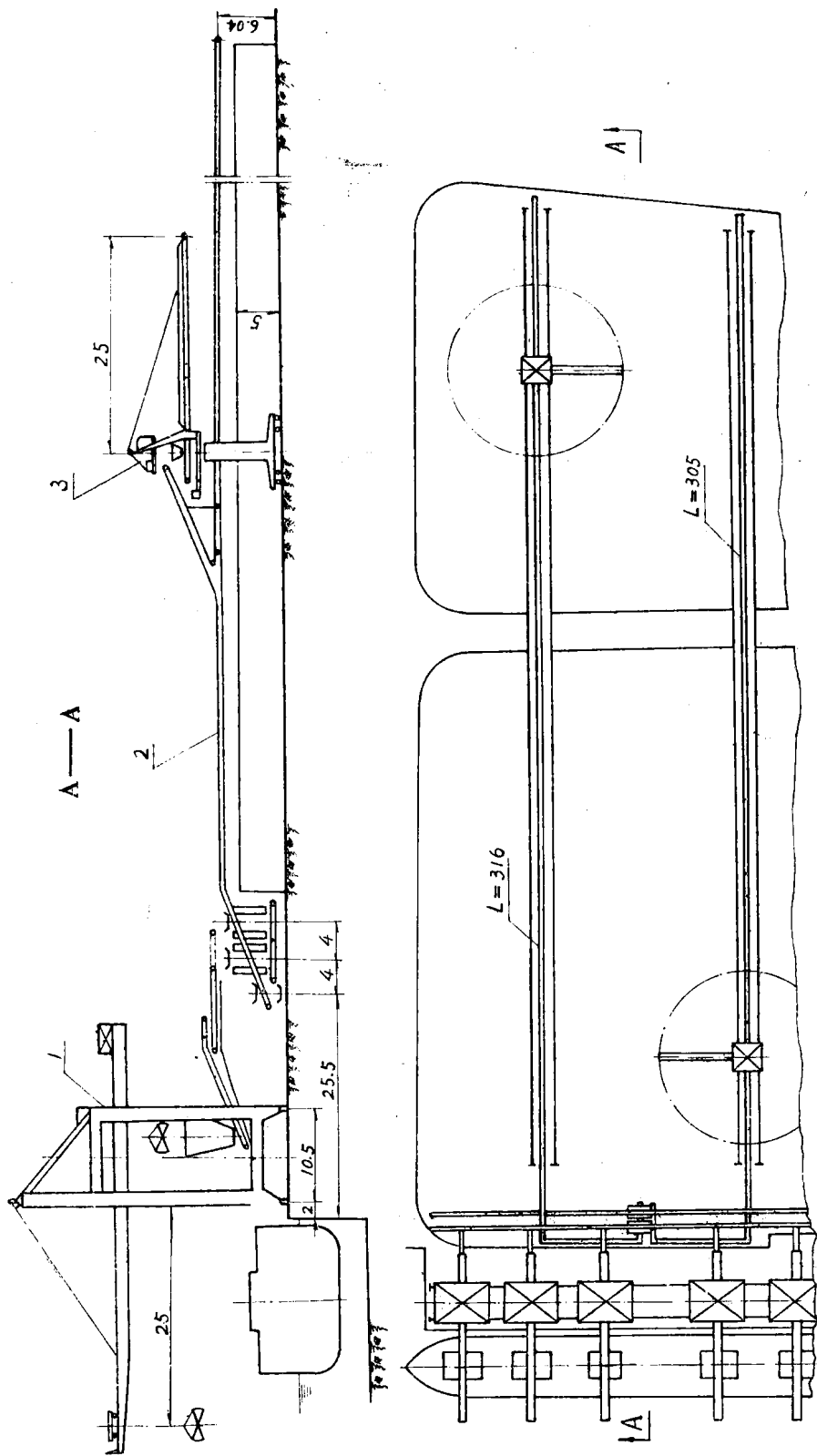


图0-9 上海港六区8泊位煤炭进口装卸工艺示意图(图中尺寸单位:米)

1-装卸桥 2-皮带机 3-堆煤机

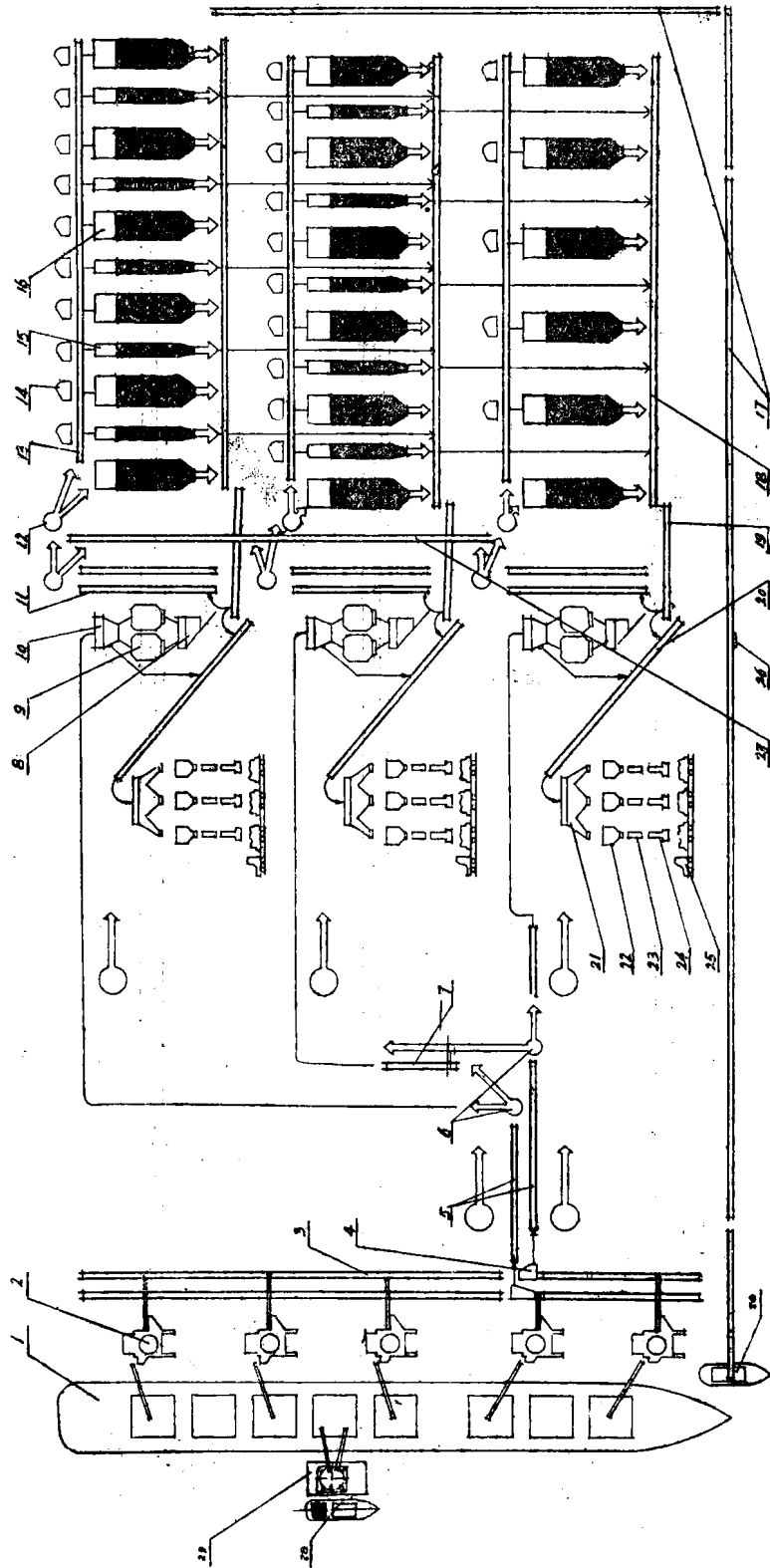


图 0-10 上海港二区机械化粮仓装卸工艺流程图

- 1-船 2-门座吸粮机 3-顺岸皮带机 4-料斗 5-纵向皮带机 6-转换阀门 7-纵向加长皮带机 8-秤下漏斗 9-自动秤 10-秤上漏斗 11-斗式提升机
- 12-转换阀门 13-仓顶皮带机 14-卸料小车 15-星仓 16-大仓 17-落驳皮带机 18-仓底皮带机 19-仓底转接皮带机 20-灌包皮带机
- 21-灌包漏斗 22-灌包自动秤 23-缝包机 24-自动装车皮带机 25-拖头平车 26-皮带秤 27-横向可逆皮带机 28-驳船 29-浮动吸粮机

三、连续输送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。件货有袋装、箱装、单件、托盘和集装箱等，件货搬运的主要特征是重量和外形尺寸(长×宽×高)；散料的特性较多，若干散料的常用特性见表0—2。

连续输送机大多用于输送散粒物料。被输送的散粒物料性质对连续输送机械的工作情况影响很大，它关系着连续输送机主要技术参数的确定、结构的设计和材料的选择。因此，在设计连续输送机的时候，首先要调查和测定被运物料的性质。最基本的几何物理性质有：

(一) 粒度和粒度分布

连续输送机所运送的散料颗粒大小差异很大，小至粒度为0.1微米左右的碳黑，大至长度超过200毫米的煤块。如果被输送物料的颗粒是大小均匀的球形，可以取其直径作为粒径。但是，被运物料的颗粒往往是大小不均匀、形状不规则的。表示散粒物料的粒度及其组成的方法有多种。下面介绍比较简单而误差较小的实用方法：

1. 块状和大颗粒物料

对于较大而形状不规则的块状和大颗粒物料，可以测量其长径、短径和高度来表示其块度大小。有时(如气力输送计算中)，则以当量直径来确定其大小。当量直径是把被研究的不规则物料颗粒视为圆球看待，此圆球的重量等于被研究的不规则物料颗粒的重量。

$$G = \frac{\pi}{6} d_{\text{当}}^3 \gamma_{\text{物}}$$

$$\therefore d_{\text{当}} = \sqrt[3]{\frac{6G}{\pi\gamma_{\text{物}}}} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{G}{\gamma_{\text{物}}}} \quad (0-1)$$

式中：G——物料颗粒的重量；

$d_{\text{当}}$ ——物料颗粒当量直径；

$\gamma_{\text{物}}$ ——物料重度。

2. 小颗粒物料

对于粒子大小为可以一粒一粒拣集的小颗粒(例如大豆、小麦等)，可以把所有粒子看作等体积的球形粒子而求其平均粒径。其方法是从试样中任意地广泛采集n个(一般在200粒以上)粒子，用普通天平测定其总重量 G_n ，则平均粒径d可按式计算：

$$G_n = n \frac{\pi}{6} d^3 \gamma_{\text{物}}$$

$$\therefore d = \sqrt[3]{\frac{6G_n}{\pi\gamma_{\text{物}}n}} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{G_n}{\gamma_{\text{物}}n}} \quad (0-2)$$

3. 粉料

对于细小的无法一粒一粒拣集的粉料，可用筛分法确定全部粒子的粒度分布，即全部粒子中每种粒度范围的颗粒重量占全部重量的百分数，然后用加权算术平均法计算出粒子的平均粒径。这种方法是先选择一套筛孔自大至小、筛孔尺寸分别为 d_1' 、 d_2' 、……、 d_m' 毫米的m个筛子，把它们按顺序叠置起来，然后将一定量的干燥粉料(大约100~200克)放在上层最大筛孔的筛面上，将这套筛子簸振一定时间(约10分钟)，进行筛分，最后将每一层筛面上的粉料进行称量，得：

第一组(粒度为 d_1' 至 d_2' 毫米)的粉料重量占总重量的百分比为 X_1 ;

第二组(粒度为 d_2' 至 d_3' 毫米)的粉料重量占总重量的百分比为 X_2 ;

.....

第 $m-1$ 组(粒度为 d'_{m-1} 至 d'_m 毫米)的粉料重量占总重量的百分比为 X_{m-1} ;

第 m 组(底盘上粒度 $< d'_m$ 毫米)的粉料重量占总重量的百分比为 X_m

实用上,一般采用加权算术平均值按下式求得全部粒子的加权平均粒径 d ,

$$d = \sum_{i=1}^m d_i X_i \quad (0-3)$$

上式中 d_i 为第 i 组粉料颗粒的平均粒径,可用下式计算:

$$d_1 = \sqrt{d_1' d_2'}; \quad d_2 = \sqrt{d_2' d_3'}; \quad \dots \dots d_{m-1} = \sqrt{d'_{m-1} d'_m}; \quad d_m = \frac{d'_m}{2} \quad (0-4)$$

4. 粒度分布

反映物料颗粒组成的粒度分布可如上述用筛分法求得各种粒径 d_i 与它所占重量的百分数 X_i ,用列表的方法加以表示。此外,也可用重量分布曲线(图0-11)或累积重量曲线(图0-12)表示。在重量分布曲线中,横坐标表示物料粒径,纵坐标表示所占重量百分数,曲线的高峰所对应的粒度表示占重量比例最大的颗粒所具有的粒径。累积重量曲线的横坐标表示粒径,纵坐标表示比该粒径小的颗粒重量占总重量的百分数。

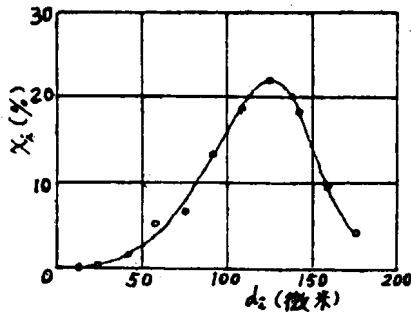


图 0-11 重量分布曲线

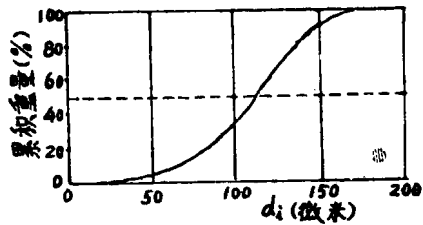


图 0-12 累积重量曲线

(二) 重度、容重和比重

物料的重度(真实重度) $\gamma_{物}$ 是指单位体积的物料(不包括物料颗粒间的空隙)所具有的重量。物料重度的单位一般为公斤力/米³、克力/厘米³或吨力/米³,即:

$$\gamma_{物} = \frac{G}{V} \quad (0-5)$$

式中: G ——物料颗粒的重量;

V ——物料颗粒的体积。

物料的重度可用比重瓶和天平测定。

物料的容重(又称堆积重度、假比重) $\gamma_{物}'$ 是指单位体积自由堆积状态的物料所具有的重量,其单位与重度相同,可用容量器进行测定。对于按物料堆存容积考虑的装置如存仓、卸料器等的设计均需知道物料的容重。

物料的重量与同体积的 1 物理大气压、4°C 下的纯水的重量之比称为比重,它是无因次

量。其数值可取以吨力/米³或克力/厘米³为单位的物料重度值。

(三)物料含水率(湿度)

散料中除本身的结晶水外,还有散料颗粒自周围空气中吸入的收湿水和充满于散料颗粒间的表面水。工程上一般采用总重量含水率来表示物料的水分,即物料中所含收湿水和表面水的重量对含水物料总重量之比,称为湿量基准水分W,即

$$W = \frac{G_{\text{水}}}{G_{\text{水}} + G_{\text{物}}} \times 100\% \quad (0-6)$$

式中: $G_{\text{水}}$ ——水分的重量;

$G_{\text{物}}$ ——干物料的重量。

通常用天平和烘箱或红外线干燥器等来测定物料含水率。具体方法要根据物料的种类和测定的目的来选择。物料含水率过高将会影响物料的松散程度,不利于正常输送。

(四)摩擦角

摩擦角是表示粉粒状物料静止及运动的力学特性的物理量。例如,物料的流动性、在固体壁面的摩擦特性及滑落特性等。通常用到的有堆积角(又称安息角、休止角、自然坡度角)、壁面摩擦角(外摩擦角)、内摩擦角等。

1. 堆积角

自然形成的散料堆的表面与水平面的最大夹角叫堆积角。堆积角有静动态之分,在静止平面上自然形成的叫静堆积角 ρ ,在运动的平面上形成的叫动堆积角 ρ_d ,两者均由实测得出,一般

$$\rho_d = (0.65 \sim 0.80)\rho, \text{常取 } \rho_d = \frac{2}{3}\rho.$$

测定堆积角的方法之一如图0-13所示,被测定的物料从漏斗1下方小孔徐徐下落,自然堆积在平板2上,随即用活动指针3在量角器4上测得料堆锥体母线与水平面的夹角,即为所求的静堆积角。

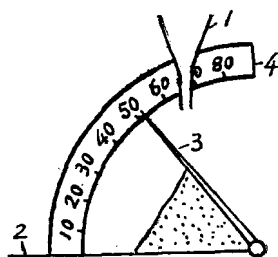


图0-13

对同一种物料,粒径越小则堆积角越大,这是由于微细粒子相互之间的粘附性增大的缘故。一般粒子越接近球形,堆积角越小。对一般物料进行振动或对粉料通入压缩空气时,安息角显著地减小,流动性增加。这可作为解决从存仓难以下料的措施。

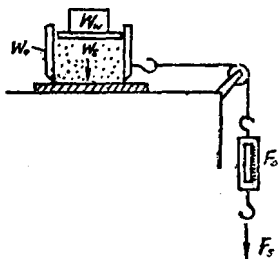


图0-14

壁面摩擦角通常以其正切函数即壁面摩擦系数(外摩擦系数)来表示,它表示散料与各种固体材料壁面直接接触以及相对运动时物料层与固体壁面之间的摩擦,对于散料存仓、料槽、静压气力输送装置等的设计来说,它是个重要的物理量。

壁面摩擦系数可由实测而得,测定方法如图0-14所示,根据物料在板面上缓慢滑动时的弹簧秤读数,可按下式算出壁面摩擦系数 $\mu_{\text{外}}$ 及外摩擦角 $\rho_{\text{外}}$:

$$\mu_{\text{外}} = \frac{\text{水平力总和} \Sigma F}{\text{垂直力总和} \Sigma W} = \frac{F_s + F_v}{W_0 + W_w + W_s} \quad (0-7)$$

$$\rho_{\text{外}} = \text{tg}^{-1} \mu_{\text{外}} \quad (0-8)$$

式中： F_0 ——弹簧秤自重；
 F_s ——弹簧秤读数；
 W_0 ——框的重量；
 W_w ——压块的重量；
 W_s ——物料的重量。

3. 内摩擦角

内摩擦角通常亦以其正切函数即内摩擦系数来表示，内摩擦系数是将物料层切断产生滑动时，作用于此面的剪切力与垂直力之比，它受到粒子表面的不平度、附着的水分和粒度分布等因素影响，对同一种物料，内摩擦角一般随空隙率(粒子之间的空隙体积与包含空隙的物料总体积之比)的增大大致成线性关系减小。

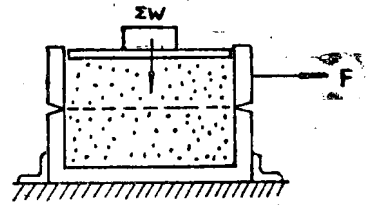


图 0-15

内摩擦系数 $\mu_{内}$ 可由图 0-15 所示的装置用直接剪切法测定，即将料层切断，测定产生滑动时的切断力 F 和垂直方向的总作用力 ΣW ，得：

$$\mu_{内} = \frac{F}{\Sigma W} \quad (0-9)$$

内摩擦角为：

$$\rho_{内} = \text{tg}^{-1} \mu_{内} \quad (0-10)$$

表 0-2 散料常用特性

物料名称	容重 吨力/米 ³	堆积角 (度)		对钢的摩擦系数	
		动	静	动	静
稻谷	0.55~0.57	35~45		0.33	0.57
大米	0.8~0.82	23~28		0.37	0.58
小麦	0.7~0.83	25	35	0.36	0.58
大麦	0.65~0.75	27	35	0.37	0.58
玉米	0.7~0.8	28	35	0.36	0.58
面粉	0.56~0.67		56	1.0	2.77
砂糖	0.72~0.88		51	0.85	1.0
细盐	0.9~1.3	42	47.7	0.49	0.7
陶土	0.32~0.49		54	0.45	0.73
石英砂	1.3~1.5		40		0.75
细砂(干)	1.4~1.9	30	45	0.58	1.0
型砂	0.8~1.3	30	45		0.71
水泥	0.9~1.7	35	40~45		0.73
焦炭	0.36~0.53	30	50	0.57	1.0
烟煤(统煤)	0.8~1.0		35~40		0.4~0.65
无烟煤(统煤)	1.0~1.25		35~40		0.3~0.45
褐煤	0.65~0.78	35	50	0.5~0.7	1.0
炉灰(干)	0.4~0.6	40	50	0.47	0.84

第一章 带式输送机

第一节 概 述

带式输送机是用连续运动的无端输送带输送货物的机械。用胶带作为输送带的带式输送机称胶带输送机，简称胶带机，俗称皮带机。图 1—1 所示的是一台通用胶带输送机，其输送带绕过传动滚筒和改向滚筒，并支承在许多托辊上。其中，输送带载货的分支称有载分支，空返的分支称无载分支。输送带既是带式输送机的牵引构件，同时又是承载货物的承载构件。工作时，由电动机通过减速装置驱动传动滚筒，依靠传动滚筒与输送带之间的摩擦力使输送带运动，货物随输送带运送到卸载地点。根据工作的需要，带式输送机可制成工作位置固定不变的固定带式输送机；装有轮子而可以移动的移动带式输送机；输送方向可改变的可逆式带式输送机；通过机架伸缩改变输送距离的伸缩带式输送机等。TD 75 型通用固定式带式输送机为我国的系列产品。

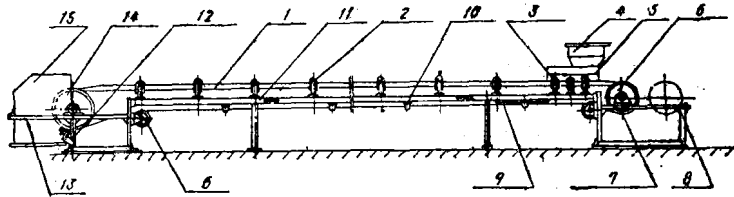


图 1-1 带式输送机总体结构

- 1—输送带 2—上托辊 3—缓冲托辊 4—漏斗 5—导料拦板 6—改向滚筒 7—螺旋拉紧装置 8—尾架
9—空段清扫器 10—下托辊 11—中间架 12—弹簧清扫器 13—头架 14—传动滚筒 15—头罩

带式输送机是最典型的连续运输机，也是一种生产技术比较成熟、使用极为广泛和近年发展很快的现代搬运设备。从露天矿山到地下矿井，从工厂车间内部到大规模的移山填海工地，带式输送机都被广泛地采用。高强度的带式输送机甚至代替汽车和火车在百公里以上的长距离连续高速地搬运货物。带式输送机最适于在水平或接近水平的倾斜方向上连续输送散货和小型件货，其应用场合遍及各个工农业运输部门。

在我国港口中，带式输送机对于装卸工作的机械化正起着极其重要的作用。它可以完成多种搬运作业，包括在码头前沿配合起重机卸船，向后方仓库、堆场输送货物、进行堆垛或者从库场到车船进行装载，在库场中进行货物倒垛以及在船舱内进行平舱、清舱等舱内作业。特别是在煤炭、矿石、散粮等散货专业码头中，采用了许多长距离的固定带式输送机和大量的移动带式输送机，还有以带式输送机为其主要组成部分的装船机、堆料机、抛料机、平舱机等等。