

环保型连续输送设备——圆管状带式输送机*

王 鹰

(太原重型机械学院机械工程系 太原 030024)

杜群贵 韩 刚 韩刚华

(华南理工大学) (太原重型机械学院)

摘要: 介绍了一种无公害化的输送设备——圆管带式输送机的特点、工作原理及组成, 同时也阐述了它的设计和计算方法以及防止扭转等措施, 并为物流行业的工程技术人员提供有益的参考。

关键词: 环保型 圆管状 带式输送机

中图分类号: TH22

0 前言

随着现代化发展的要求, 环保已成为当今时代一个日趋重要的问题, 并在世界范围内引起了广泛的重视。散状物料输送系统在工作过程中产生的粉尘和撒料, 对环境的污染已经引起世界各国输送机设计、制造、使用及行政管理等部门越来越多的关注, 为了减少输送过程产生的污染, 提倡环保和无公害化输送散状物料。目前各国工程技术人员研制出多种形式的封闭型带式输送机。按其截面形状大致可归纳为两大类: 第一大类为圆管形带式输送机, 第二类为异形管状带式输送机。

在上述两大类封闭型带式输送机中, 其中第一类中的圆管带式输送机(常用的是正六边形托辊组)是众多封闭型带式输送机中开发最早、发展最快、应用最广泛。它是由日本管状带式输送机株式会社 1964 年首先提出, 并经过十余年的研究和试验, 于 1979 年才进入实际应用阶段, 并在矿山、发电厂、港口、化工、冶金及建材等行业得到广泛的应用。根据日本普利司通(Bridgestone)公司 1997 年的统计数据^[1], 该公司及其代理在世界范围内共提供了 750 多台圆管带式输送机, 其中在日本本国使用的就有 500 多台, 日本普利司通公司的圆管带式输送机技术在当前是代表了世界先进水平, 已基本形成了设计理论和产品系列, 并在 32 个国家和地区获得专利, 并向 12 个国家和地区转让了此项技术, 形成了国际性的管状带式输送机的学术团体, 并且每年由普利司通公司主办一次圆管带式输送机技术研讨会。目前世界范围内使用的圆管带式输送机, 按管径、输送量和输送长度的统计, 见图 1 所示。运行

输送量和输送长度的统计, 见图 1 所示。运行中有代表性的圆管带式输送机主要技术参数^[2]见表 1。

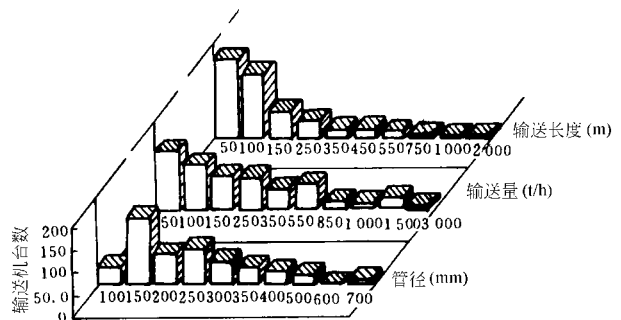


图 1 世界范围内使用的圆管带式输送机统计

表 1 运行中代表性的圆管带式输送机主要参数

序号	特点	其他参数
1	机长最大 $L=5\ 029\ \text{m}$	$d_p=300\ \text{mm}$, $q_m=340\ \text{t/h}$, $v=3\ \text{m/s}$, $\beta=0^\circ$, 输送物料为石油焦, 1993 年在委内瑞拉投入使用
2	输送量最大 $q_m=3\ 000\ \text{t/h}$	$b=2550\ \text{mm}$, $v=3.3\ \text{m/s}$, $L=508.5\ \text{m}$, $\beta=9.5^\circ$, 在垂直面内呈 S 形弯曲。输送物料为煤矿、石油产品, 1986 年 8 月在日本投入使用
3	水平弯曲 最大 90°	$q_m=8\ \text{t/h}$, $d_p=100\ \text{mm}$, $v=0.5\ \text{m/s}$, $L=47.9\ \text{m}$, $\beta=5.1^\circ$, 输送物料为垃圾, 1986 年在日本投入使用
4	空间弯曲 次数最多 12 段	$q_m=317.5\ \text{t/h}$, $v=2.67\ \text{m/s}$, $L=2\ 005\ \text{m}$, $\beta=16^\circ$, 1992 年投入使用, ANO CONSTRUCTOIRS 公司制造, 用于南非, 输送物料为金矿石
5	带速最大 $v=4.17\ \text{m/s}$	$L=3\ 414\ \text{m}$, $\beta=10^\circ$, 输送物料为砂石, ANO CONSTRUCTOIRS 公司制造, 1992 年投入使用
6	倾角最大 $\beta=30^\circ$ 和 29.5°	分别用于南非和荷兰, 输送物料为矿物和页岩

随着我国国民经济的发展, 进入 21 世纪, 对环保要求越来越高, 无公害输送早已引起了广泛的重视。2001 年 10 月在贵阳召开了第一次全国性的“环保型输送设备——圆管带式输送机”专题研讨会,

* 山西省重大科技攻关项目(021142)。20020401 收到初稿, 20020630 收到修改稿

参加会议的有高等院校、设计院所、制造厂家及用户等共计 80 余人, 大家对此产生浓厚的兴趣并给予了极大的关注, 相信不久的将来圆管带式输送机将会在各行各业得到广泛的应用。

1 圆管带式输送机的主要特点

圆管带式输送机除了具有普通带式输送机的特点外还具有以下特点^[3]。

(1) 可密闭输送散状物料

在输送过程中, 不洒落、不飞扬、不泄漏。因回程分支输送带也成封闭圆管状, 所以不必担心粘附在输送机带上的物料洒落。同时也防止了管外物料的混入。因此实现了无公害化输送, 净化了环境, 无需普通带式输送机的皮带长廊或加罩, 减少了基建等费用。

(2) 可空间弯曲布置输送线路

因为在输送线路上, 输送带成圆管结构, 使输送机可实现垂直面和水平面转弯, 可绕过各种障碍和设施, 跨过公路、铁路和河流等, 不需要中间转载。因此设计出非常经济的总体布置方案, 以较小的曲率半径实现空间弯曲布置线路, 且可以 90° 弯曲, 见图 2。



图 2 90° 水平弯曲布置

(3) 可提高输送倾角

物料被包在输送带里增加了物料与输送带内表面之间的相互摩擦, 因而提高了带式输送机的倾角, 一般 $\beta=30^\circ$, 如果加隔板, 倾角 β 可达 $45^\circ\sim 90^\circ$, 可缩短整机长度、降低成本。

(4) 无跑偏现象

因其结构原理决定, 圆管带式输送机不会产生输送带跑偏的现象, 从而可减少维护费用。但是允许圆管带式输送机输送带产生一定的扭转。

(5) 可双向输送物料

圆管带式输送机在特殊的工艺要求下, 其下分支也可输送物料, 见图 3 所示。

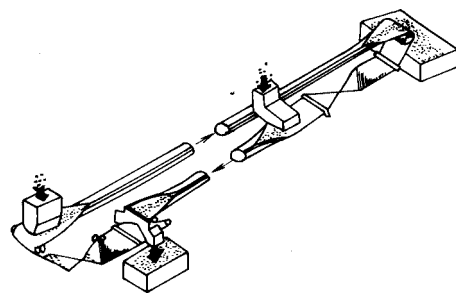


图 3 下分支输送物料示意图

2 圆管带式输送机的组成及工作原理

圆管带式输送机的工作原理与普通带式输送机相同, 都是靠摩擦驱动使输送带及其上的物料移动。大多数的部件与普通带式输送机可通用, 不同之处是输送带要卷成圆管状, 因而需要采用多边形托辊组(最常用的是六边形托辊组); 过渡段的长度及其托辊的布置形式不同, 图 4 为圆管带式输送机的结构简图。六边形托辊组的支撑结构有不同形式, 其截面见图 5 所示。

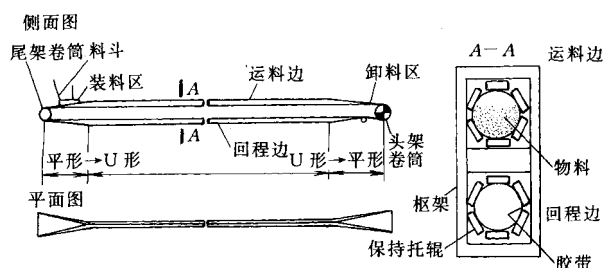


图 4 圆管状带式输送机的结构简图

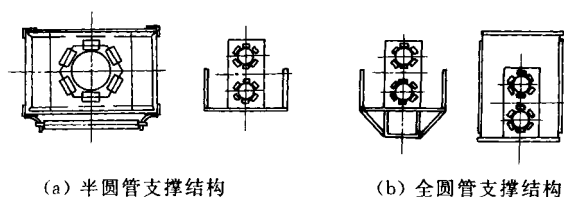


图 5 托辊支撑结构

3 圆管带式输送机的主要技术参数及其确定

(1) 规格

圆管带式输送机按管径共有 11 个规格。其相应的带宽见表 2。

表2 圆管带式输送机的规格

规格	100	150	200	250	300	
管径 d/mm	100	150	200	250	300	
带宽 b/mm	(430)	(600)	(750)	(1 000)	(1 100)	
	430	550	750	950	1 100	
规格	350	400	500	600	700	850
管径 d/mm	350	400	500	600	700	850
带宽 b/mm	(1 300)	(1 600)	(1 900)	(2 250)	(2 550)	(3 100)
	1 300	1 500	1 850	2 200	2 550	3 100

注：() 为日本普利司通公司资料

(2) 充填系数

圆管带式输送机可以输送粉状、颗粒状和块状物料；以及水分较大的粘稠状物料。而物料在圆管带式输送带中的充填系数 ψ 一般为 75%，最大不应超过 80%。充填系数在 75% 时，最大粒度 a_{max} 应小于或等于 d_p 的三分之一，即 $a_{max} \leq d_p/3$ 。但是，当管径相同时，降低充填系数可增大输送物料的粒度，所以圆管带式输送机所允许输送的物料粒度的大小与管径和充填系数有关，见图 6 所示。

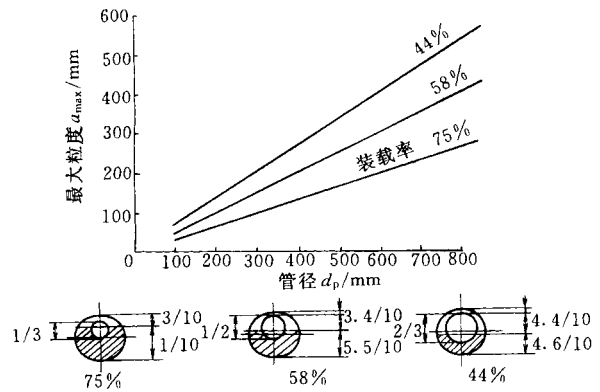


图6 最大粒度与充填系数的关系

圆管带式输送机所允许的输送物料的最大粒度与其他参数的关系见表 3。

(3) 带速

圆管带式输送机的带速一般为 0.8~5.0 m/s。带速、带宽与输送量的匹配关系见表 4。如果需要提高带速的话，可以增大托辊的直径或者提高托辊的许用转速指标。

表3 输送物料粒度与其他参数关系

管径 d_p/mm	(75%)截面积 A/m^2	带速 $v/(m \cdot min^{-1})$	输送量 $q_v/(m^3 \cdot h^{-1})$	最大粒度 a_{max}/mm	最小水平机长 L/m	与普通带式输送机宽度的比较
150	0.013	120	95	30~50	18	300~450
200	0.023	130	180	50~70	20	500~600
250	0.041	140	344	70~90	23	600~750
300	0.049	150	441	90~100	25	750~900
350	0.066	175	693	100~120	30	900~1 050
400	0.109	200	1 296	120~150	35	1 050~1 200
500	0.155	225	2 093	150~200	40	1 200~1 500
600	0.216	250	3 240	200~250	50	1 500~1 800
700	0.280	275	4 620	250~300	60	1 800~2 000
850	0.404	300	7 272	300~400	70	2 000~2 400

表4 圆管状带式输送机输送量与带速的关系

管径 d_p/mm	带宽 b/mm	带速 $v/(m \cdot s^{-1})$									
		0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4	(4.5)	5
100	430	17.0	21.2	26.5	33.9	—	—	—	—	—	—
150	600	38.0	47.5	59.4	76.0	95.0	118.8	—	—	—	—
200	750	66.5	83.1	103.9	133.0	166.2	207.8	—	—	—	—
250	1 000	117.9	147.4	184.3	235.8	294.8	368.5	464.3	—	—	—
300	1 100	141.1	176.4	211.7	282.2	352.8	441.0	555.7	705.6	—	—
350	1 300	—	237.6	297.0	380.2	497.2	594.0	748.4	950.4	1 069.2	1 188.0
400	1 600	—	388.8	486.0	622.1	777.6	972.0	1 224.7	1 555.2	1 749.6	1 944.0
500	1 900	—	558.1	697.6	893.0	1 116.2	1 395.3	1 758.0	2 232.4	2 511.5	2 790.5
600	2 250	—	777.6	972.0	1 244.2	1 555.2	1 944.0	2 449.4	3 110.4	3 499.2	3 888.0
700	2 550	—	1 008.0	1 260.0	1 612.8	2 016.0	2 520.0	3 175.2	4 032.0	4 536.2	5 040.2
850	3 100	—	1 454.4	1 818.0	2 327.0	2 908.8	3 636.0	4 547.6	5 817.6	6 544.8	7 272.0

注：体积输送量按水平面输送， $\psi = 75\%$

(4) 圆管带式输送机的线路布置

圆管带式输送机输送带由六边形托辊组围成而强制成圆管状，可空间弯曲布置线路，因此与普通带式输送机相比尚有许多需要特殊讨论和确定的问题。

1) 过渡段长度及其托辊的布置^[4]圆管带式输

送机的头部和尾部过渡段的长度，由输送带的管径和输送带的类型来决定，同时也取决于输送带所允许的伸长率。图 7a、b，分别为尾部和头部过渡段。如果过渡段太短，则输送带边缘将产生较大的附加张力，使其过早的疲劳损坏，严重时边缘产生撕裂；如果过渡段长度太长，则将减小整个输送线路的密

封长度。过渡段长度及最小输送长度见表 5。尾部过渡段托辊组的布置如图 8 所示。缓冲托辊的间距一般为 300~500 mm，均为槽形托辊，其槽角由 A_1-A_1 断面至 A_4-A_4 截面逐步增加，可分别为 15° 、 20° 、 30° 、 45° ；在 $B-B$ 断面处设置一组 5 托辊组，其中最上方的 2 个托辊的倾角，应根据输送带两边的搭接方向分别为 60° 和 55° 的倾角，用于将一边带压下，使其低于另一边带，目的是使输送带能顺利地过渡成圆管状，并减少边缘部分的磨损，有时还可在 $B-B$ 截面前方设置一个压带辊，同样也是用来将一带边压下使其低于另一带边，见图 9。在 $C-C$ 截面，除采用标准六边形托辊以外，还可由 12 个托辊组成十二边形，实际上是在支承板两侧各形成正六边形，相互错开 30° 角度，十二边形托辊组成的圆管形比标准六边形托辊组更接近圆形，可在密封处承受很高的载荷压力。头部过渡段有时也需要设置压带辊(后面将详细阐述)。

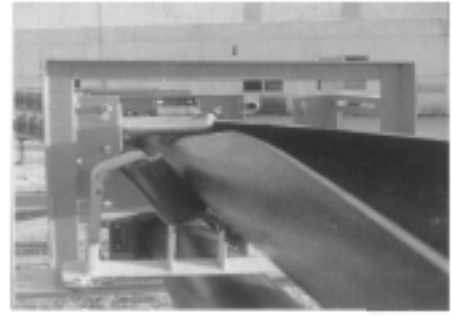


图 9 过渡段加压辊

当被输送物料的粒度较大时，在过渡段区间内应有意让带上物料摇晃，同时从左右对圆管进行推挤，以使物料块的长径方向能顺应管带的运行方向，较顺利地进入圆管内。对输送带产生左右方向的推挤，是在过渡段区间内在两侧设置相互错开的垂直辊子来实现的，但也要防止输送带向左右方向被推出(跑偏)见图 10。当然被输送物料的长径超过圆管输送带的直径时，应该修正充填系数或者增大圆管输送带直径，这时要重新匹配带速，以保证所要求的输送量。

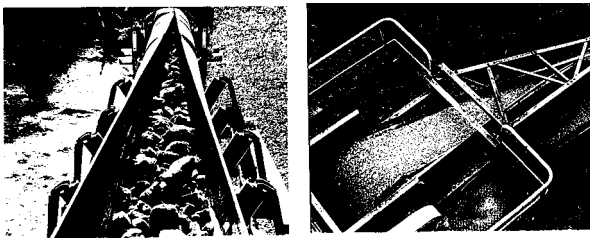


图 7 尾部和头部过渡段

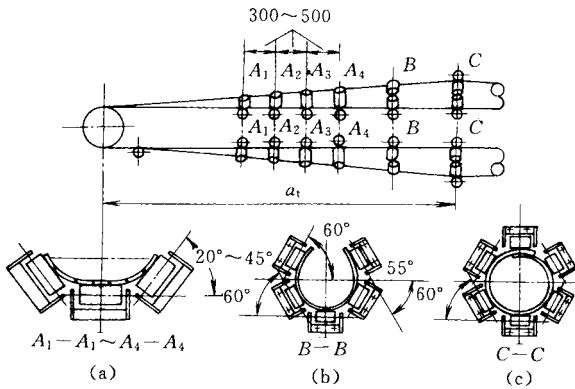


图 8 尾部过渡段托辊布置图

表 5 过渡段长度及最小输送长度

管径 d_p /mm	织物带		钢丝绳带	
	过渡段长度 L_1 /m	最小输送长度 L_2 /m	过渡段长度 L_1 /m	最小输送长度 L_2 /m
150	3.81	17.10	7.62	36.00
200	5.18	19.80	10.36	39.62
250	6.40	22.86	12.80	45.72
300	7.60	25.00	15.24	50.00
350	8.84	29.87	17.68	59.74
400	10.20	34.74	20.42	69.50
500	12.80	39.92	25.60	79.86
600	15.24	50.00	30.48	100.00
700	17.83	59.74	35.66	119.50
850	21.04	69.80	43.28	139.60

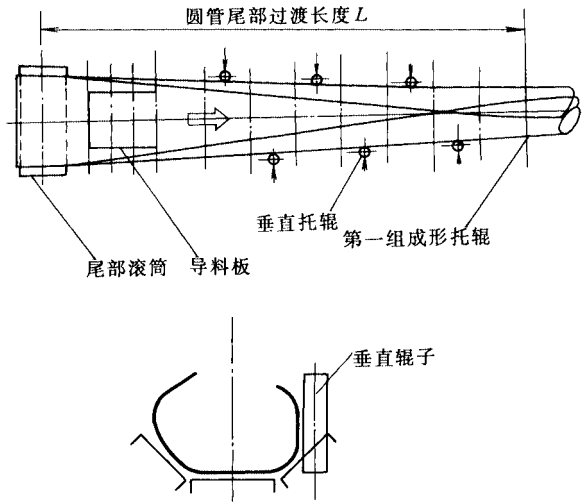


图 10 尾部过渡段两侧交错设置立辊

2) 圆管带式输送机空间弯曲布置及弯曲半径如前所述，圆管带式输送机可以在水平面内或垂直面内或空间弯曲布置，如图 11，可越过障碍物或



图 11 弯曲布置的圆管带式输送机

其他设施，不需要中间转载，实现一机长距离复杂线路输送物料的目的。但是在头尾过渡段必须是直线布置。

弯曲布置的弯曲半径通常由输送带管径、输送带类型及其使用情况等因素决定，曲率半径的大小，影响输送带的最大张力及输送带和托辊的使用寿命，因此，在现场布置条件允许的情况下或弯曲处输送带的张力大的位置应增大弯曲半径。一般推荐的最小弯曲半径为

当水平或凹弧弯曲时，则：

对织物芯带 $R_1 \geq 300d_p$

对钢丝绳芯带 $R_2 \geq 700d_p$

我们称 $R_1=300d_p$ 和 $R_2=700d_p$ 为基本(标准)弯曲半径。

当“S”形、凸弧弯曲或水平和凹弧弯曲综合出现时，则：

对织物芯带 $R_1 \geq 400d_p$

对钢丝绳芯带 $R_2 \geq 800d_p$

当水平弯曲和凸弧同时存在时，则：

对织物芯带 $R_1 \geq 500d_p$

对钢丝绳芯带 $R_2 \geq 900d_p$

基本(标准)弯曲半径的推荐值见表 6。

表 6 基本弯曲半径 (mm)

名称	弯曲半径 R	
水平弯曲	$R = d_p \times 300$	$R = d_p \times 700$
S 形弯曲	$R = d_p \times 400$	$R = d_p \times 800$
凹形弯曲	$R = d_p \times 300$	$R = d_p \times 700$
凸形弯曲	$R = d_p \times 400$	$R = d_p \times 800$
水平+凹弧	$R = d_p \times 400$	$R = d_p \times 800$
水平+凸弧	$R = d_p \times 500$	$R = d_p \times 900$

如果钢丝绳直径配置合理时，钢丝绳芯输送带的曲率半径可为 $600d_p$ 。

弯曲半径还可以由基本弯曲半径乘以经验系数来确定。即对比较复杂的弯曲线路或者一次弯曲圆弧超过 45° 时，弯曲半径为

$$R = KR_b$$

式中 K ——经验系数， $K=1.0\sim 1.7$

K 的取值根据经验确定。以上所介绍的是一般的情况，对所有的情况下弯曲半径的最终确定还要根据圆管带式输送机的静、动态张力情况和整个布置线路情况综合进行考虑。线路布置还应注意当具有较多弯曲段时，最好使弯曲段的数量和弯曲方向在输送机两侧对称布置，以使输送带在运行时张力在其断面上的分布均匀，从而也减少输送带的扭转。

为了在弯曲处校正输送带的扭转错位，输送带除了满足上述弯曲半径的要求外，一般还应满足弯

曲的弧度最好要小于 45° 角，两个弯曲段之间最好有一段直线段，起导行作用。

3) 圆管带式输送机托辊间距的确定。圆管带式输送机除过渡段外，多采用六边形托辊组，在直线段上，下面的托辊起承载作用，而上面的托辊主要是保持输送带成圆管状。托辊组根据配置形状分为平底船型和峰点型。此外托辊可设置在支承板的前后两侧，且有 4 种组合形式，也可安装在一侧见图 12。

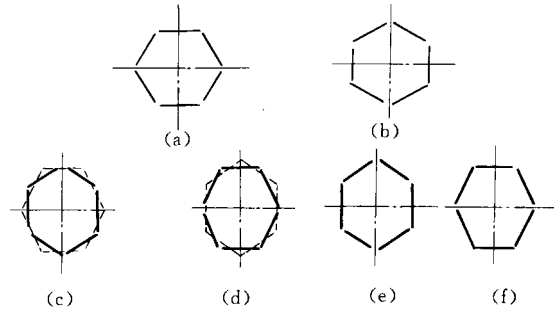


图 12 托辊的布置形式

(a) 平底船型 (b) 峰点型 (c) 峰点型—平底船型
(d) 平底船—峰点型 (e) 峰点型—峰点型 (f) 平底船—平底船型

托辊的间距 a 是由输送带管径和物料的堆积密度及物料粒度决定的。因为输送带成圆管状其刚度增强了，故间距要比普通带式输送机间距大，同时随着管径的增大而增加。其值 a 见表 7。

表 7 直线段托辊间距 (m)

管径 d_p /mm	堆积密度 ρ ($t \cdot m^{-3}$)		
	$a < 0.8$ 标准间距	$a = 0.8 \sim 1.6$ 标准间距	$a > 1.6$ 标准间距
100	1.2	1.0	1.0
150	1.5	1.5	1.3
200	1.6	1.6	1.5
250	1.7	1.7	1.6
300	1.8	1.8	1.7
350	1.9	1.9	1.8
400	2.0	2.0	1.9
500	2.1	2.2	2.0
600	2.2	2.4	2.2
700	2.4	2.5	2.3
850	2.5	2.7	2.4

另外，当输送线路有弯曲时，则托辊间距应小于 a ，一般应为 $a_b < (0.6 \sim 0.8)a$ ，弯曲半径小的取小值，反之取大值；当堆积密度大于 $2.2 t/m^3$ 时，托辊间距也应取小些。

4) 圆管带式输送机输送带的搭接方向对其直线运行和垂直面内的弯曲运行并无影响，也无特殊要求。但是在水平弯曲时，其搭接方向应按图 13 所示的要求实施，否则在弯曲过程中不能保持正常的圆管状且使管径缩小。如果在线路中多次弯曲，

则搭接方向应按第一次弯曲方向来确定输送带的搭接方向。

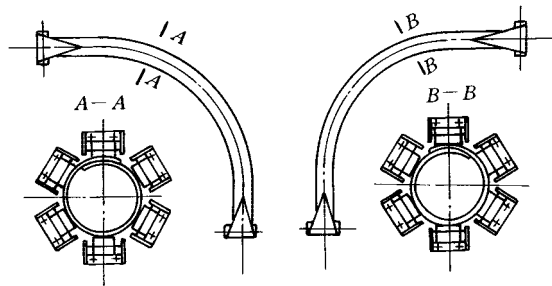


图 13 输送线路弯曲布置时的搭接要求

4 圆管带式输送机的主要零部件

4.1 滚筒

圆管带式输送机的输送带通常会产生左右的扭转状态,因此在头部滚筒处输送带会出现横向移动,因此用于圆管带式输送机的滚筒的宽度要比普通带式输送机的滚筒宽度要大,这样头部卸料槽内部宽度尺寸也应加大。

滚筒的直径与所使用的圆管带式输送机的规格、帆布的层数和种类及中间橡胶的嵌入方法有关,圆管带式输送机滚筒直径的计算方法,表 8 是织物的最小滚筒直径,表中带框的数据用于特殊的帆布带。钢绳芯圆管输送带的标准滚筒直径见表 9。

表 8 织物的最小滚筒直径 mm

	大张力、传动滚筒	尾部拉紧改向滚筒	增面滚筒
150~300	$125 \times (n+2)R'$	$125 \times (n+2)R'$	$125 \times (n+2)R'$
150~300	$125 \times (n+2)R'$	$125 \times (n+2)R'$	$125 \times (n+2)R'$
	<i>n</i>	带强	<i>R'</i>
150	2	NF160	0.8
		250	1.0
		315	1.0
		400	1.3
200	2	NF160,250,315	1.0
		400,500	1.3
		630	1.15
		800	1.15
250/300	2	NF315,400,500	1.3
		630	1.15
		800	1.15
		1000	1.40
350/400	3	NF630	1.15
		800	1.15
		1000	1.15
		1250	1.30
500	5	NF1000	1.15
		1250	1.30

注: *n* 为衬垫层数, *R'* 为系数

表 9 钢丝绳芯管状带式输送带的滚筒直径 mm

	滚筒直径		
	大张力、传动滚筒	尾部拉紧改向滚筒	增面滚筒
ST-630	600	450	350
800	650	500	400
1 000	750	600	450
1 250	800	650	500
1 600	950	750	550
2 000	1 000	800	600
2 500	1 350	1 100	800
3 150	1 450	1 200	900
4 000	1 650	1 350	1 000
5 000	2 050	1 650	1 250

4.2 托辊及托辊组

圆管带式输送机所用的托辊,要求运行阻力小以及更好的防止雨水及粉尘浸入的性能,根据日本托辊的调查结果说明,当调整黄油的充填率时,可以获得更小的回转阻力。关于渗水性的要求问题,对普通带式输送机的槽形托辊组的侧辊槽角一般为 35°左右,而圆管带式输送机的六边形托辊组的侧辊倾角呈 60°乃至 90°,因此如果密封不好,雨水易于浸入,在短时间内可能出现托辊不转。圆管带式输送机对托辊的密封要求更为严格。

(1) 托辊的直径 圆管带式输送机与普通带式输送机比较,可以选用较高的带速。其带速主要受托辊的转速及托辊直径的限制,增大托辊直径或提高托辊许用转速均能达到提高带速的目的。表 10 是输送带管径、托辊间距及直径间关系。

表 10 管径、托辊间距及直径间关系

管径 d_p /mm	标准间距 a /m	托辊直径 d_q /mm
100	1.0	48.6
150	1.5	60.5
200	1.6	60.5
250	1.7	89.1
300	1.8	89.1
350	1.9	89.1
400	2.0	114.3
500	2.2	114.3
600	2.4	139.8
700	2.6	139.8
850	2.7	165.2

注: 日本资料

(2) 六边形托辊组 图 14 所示为六边形托辊组。这里特别提出要注意的是每个托辊的最小间隙应小于输送带厚度,为 4~8 mm,如果过大输送带边缘易塞入而损坏。

4.3 输送带

输送带是圆管带式输送机的承载件,同时也是牵引构件。输送带采用的抗拉体(芯层)有织物芯和

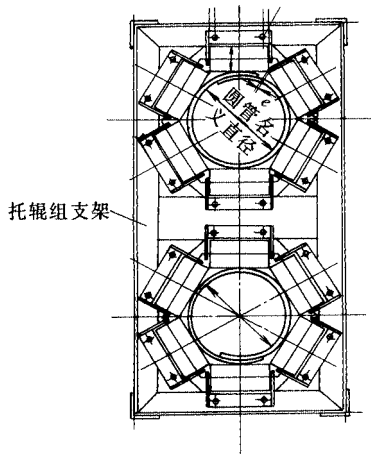


图 14 六边形托辊组结构图

钢丝绳芯两种。

输送带应具有良好的弹性、纵向柔性，一定的横向刚度和柔性及抗疲劳性能^[5]。因此它与普通带式输送机的输送带在结构和橡胶配方上均有不同。织物带的芯层成阶梯状，边缘 A 处芯层薄，从而具有较好的柔性，保证边缘搭接部分有较好的密封性。此处还应具有耐磨损性能，以增加输送带的使用寿命，而中间胶的作用是为了使输送带具有一定的弹性和柔性，以使输送带能保持其成管性，见图 15a。

对于钢丝绳芯带中的钢丝绳直径应采用稍小点，在保证总张力的情况下增加其钢丝绳的根数，这样可减小带厚，使纵向及横向具有一定的柔性，从而使其具有良好的密封性和抗疲劳性能，见图 15b。输送带型号的选择要考虑输送带的最大张力值、输送距离、使用条件及安全系数。输送带两边的搭接长度推荐为管径的 1/2 左右，则带宽与管径的关系为： $b = (\pi + 1/2)d_p$ 。

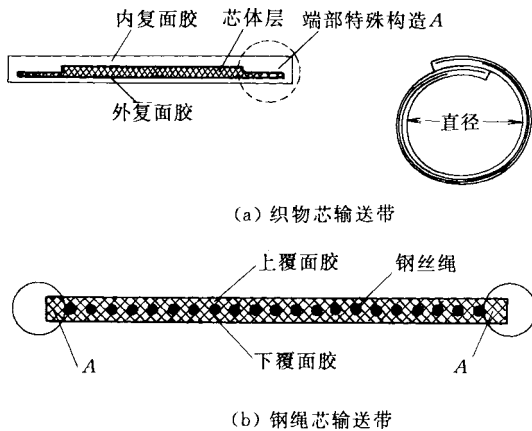


图 15 输送带结构

当输送机长度小于 1 000 m 时，一般多选用 NF 型输送带；当输送机长度等于 1 000~2 000 m，可用 NF 型输送带，也可选用 ST 型输送带；当输送

机长度大于 2 000 m 时，一般多选用 ST 型输送带。

当输送带长度在 1 000~2 000 m 的情况时，应该选用哪一种带，要经过反复的计算再来确定，按照标准当超过 ST1 600 时，就不应考虑使用 NF 型输送带，而必须使用 ST 型输送带。

选用织物输送带时，安全系数最小应取 12，选用钢丝绳输送带时，安全系数应大于 7，耐热输送带的安全系数常取 20。

5 圆管带式输送机设计计算

圆管带式输送机的张力计算、功率计算等许多方面与普通带式输送机的计算方法类同。但是由于结构上的特点，所以其运行阻力系数有所不同，首先托辊组托辊个数增加，因此托辊运行阻力、压陷阻力等增加。另外，由于通过六边形托辊组将输送带卷成圆管状，物料在圆管内充填系数达 75%，当输送带在两托辊组之间时，因无六边形托辊组的约束管径变大，当进入六边形托辊组时，输送带连同其内的物料受到挤搓，好像楔子一样。由于上述原因，故圆管带式输送机的运行阻力较普通带式输送机的运行阻力大。表 11 是圆管带式输送机运行阻力系数的推荐值，仅供参考。

表 11 运行阻力系数 f_p 的推荐值

安 装 工 况	工 作 工 况	f_p
水平、向上倾斜及向下倾斜 输送托辊电动 工况	工作环境良好、制造质量好， 物料内摩擦因数小	0.030~0.035
	按标准设计、制造、调整好， 物料内摩擦因数中等	0.035~0.045
向下倾斜输 送发电工况	多尘、低温、过载、制造安装 质量差，物料内摩擦因数大	0.045~0.055
	设计、制造、安装正常	0.020~0.025

另外，对圆管带式输送机弯曲布置时，必须考虑曲线段的阻力。其大小主要取决于弯曲段的弯曲半径和圆弧角的大小。近似的计算可用张力增大系数来考虑。一般将每个弯曲段折算成直线段，求其终点的张力再乘以 C 值。C 一般取 1.03~1.08，弯曲半径小和转弯角度大时，取大值，反之取小值。

设计计算如下。

(1) 体积输送量的计算

$$q_v = 3\ 600vA\psi = 2\ 827vd_p^2\psi = 2\ 120vd_p^2\psi$$

- 式中 v ——带速(m/s)
 A ——圆管带式输送机输送带成圆管形状横截面积(m²)
 d_p ——输送带管径(m)
 ψ ——充填系数，随输送物料的粒度及输送

倾角的不同而变化, 通常取 $\psi=0.75$

(2) 直线段阻力计算

1) 承载分支的阻力

$$F_{RO} = (\rho_{e1} + \rho_{e2} + \rho_{e3}) f_p L g \cos \delta \pm (q_1 + q_2) L g \sin \delta$$

式中 δ ——输送机倾角

ρ_{e1} ——被输送物料线质量(kg/m)

$$\rho_{e1} = q_v \rho / v$$

ρ_v ——体积输送量(m³/h)

ρ ——物料堆积密度(kg/m³)

v ——带速(m/s)

ρ_{e2} ——输送带线质量(kg/m)

ρ_{e3} ——承载分支托辊转动部分线质量(kg/m)

f_p ——多边形托辊组的运行阻力系数, 由表 11 选取

L ——输送机计算段直线长度(m)

g ——重力加速度

2) 空载分支的阻力计算

$$F_{RI} = (\rho_{e1} + \rho_{e4}) f_p L g \cos \delta \pm \rho_{e2} L g \sin \delta$$

式中 ρ_{e4} ——空载分支托辊转动部分线质量(kg/m)

式中上运取“+”, 下运取“-”。

3) 曲线段阻力计算前面已阐述。

4) 局部阻力计算 局部阻力主要包括加料阻力、卸料阻力和清扫器阻力等, 可参考 DT II 型带式输送机中的有关计算方法计算。

(3) 输送带张力计算

圆管带式输送机的输送带张力计算, 采用张力逐点轮廓计算法计算。

(4) 驱动滚筒功率计算

见图 16 所示为圆管带式输送机的头部驱动滚筒, 圆周力 $F = F_1 - F_2$ 。

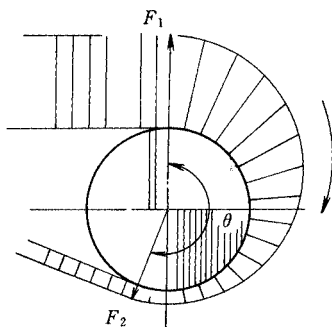


图 16 驱动滚筒处输送带张力分布

$$\frac{F_1}{F_2} = \exp \mu \theta, \quad F = (\exp \mu \theta - 1) F_2, \quad F_1 = F \frac{\exp \mu \theta}{\exp \mu \theta - 1}$$

$$F_2 = F \frac{1}{\exp \mu \theta - 1} = FC, \quad C = \frac{1}{\exp \mu \theta - 1}$$

式中 F_1 ——绕入点张力

F_2 ——绕出点张力

μ ——滚筒与输送带间动摩擦因数

θ ——围包角(弧度)

C ——驱动系数(同普通带式输送机)

(5) 圆管带式输送机线路的确定及驱动功率概算法

作图步骤(见图 17 所示):

① 开始作图 C 或者 B 图(C 图和 B 图分别为线路在水平面和垂直面的投影图)。

② 再作图 B 或者 C。

③ 图 C 上求出 L 。

④ 将 L 做成直线再由图 B 的高差作出图 A。

⑤ 用图 A 及图 C 的数据求出驱动力功率。

⑥ 图 A 的长度为圆管带式输送机的精确长度。

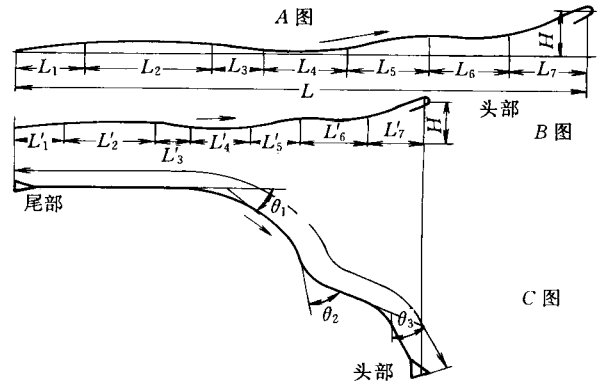


图 17 圆管带式输送机线路确定方法

驱动功率概算

① 水平输送时 $P = P_1 + P_2$ kW

② 向上倾斜输送时 $P = P_1 + P_2 + P_3$ kW

③ 向下倾斜输送时 $P = P_1 + P_2 - P_3$ kW

其中

$$P_1 = \left[\frac{f_p (L + l_0) (\rho_{e4} + \rho_{e3} + 2\rho_{e2}) v}{6120} \right] K_r$$

$$P_2 = \frac{f_p (L + l_0) \rho_{e1} v}{6120} \quad P_3 = \frac{H \rho_{e1} v}{6120}$$

式中 P_1 ——水平空载运行所需功率(kW)

P_2 ——水平有载运行所需功率(kW)

P_3 ——克服提升阻力所需功率(kW)

K_r ——考虑托辊及弯曲等的附加阻力系数,

取 $K_r = 2.5$

L ——水平机长

l_0 ——长度修正系数, 取 $l_0 = 49$ (m)

6 圆管带式输送机输送带的扭转及调整

前面已讲过圆管带式输送机属管状密封运行，没有跑偏问题，但是有扭转问题，其原因由图 18 可见。承载分支为无载状态时，这也是不稳定状态。而当物料进入圆管带式输送机中时，物料的重量克服顶重，而是处于稳定状态不会产生扭转。回程分支的圆管输送带是底重呈稳定状态。所以一般承载分支由无载到有载，根据物料进入圆管输送带中，输送带的搭接部分已渐渐回到上方，而对回程分支，由于仍为底重状态依然是稳定地运行。另外圆管带式输送机的张力在整个截面上的分布往往不是均匀的，特别是在曲线段，其内侧和外侧的张力不同，因此也会产生扭转，管状带的扭转一般不会造成物料外溢及输送带运行异常问题。但是也要尽量避免或限制。在正常输送物料情况下，允许输送带搭接部分的中心左右 20°偏转，此时视为输送带运行正常。

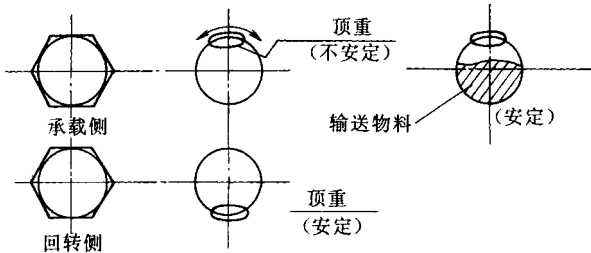


图 18 输送带扭转原因分析

当圆管输送带发生扭转后，在头部滚筒上所产生的左右窜动(即蛇行)现象，见图 19a 所示。

当这种窜动过大，会使带的边缘与卸料槽内壁接触，其结果造成在滚筒上的叠带，图 19b 所示，这种现象一般是在无载运行时发生较多。这时可用导向辊子来防止过分的扭转，同时在过渡段的中间处，将带的两侧左右展开以使输送带由上向下翻，另外在进入滚筒之前，在带的两侧设置压辊。

用于防止输送带折叠的典型系统见图 20。

为了调整输送带的扭转，则每个安装托辊的支承板上都设置两个调整托辊，一般设置在上、下分支的最底下的水平托辊，托辊是通过托辊架上面的长孔(螺栓孔)来调整其偏斜。在水平弯曲时，调整托辊可设置在弯曲段的内侧。当发生扭转时，要先确定发生扭转的源头，即扭转从何处开始再确定调整哪些托辊，一般要在发生扭转源头处的前后至少要调整 3~5 个托辊。图 21 表示出调整托辊偏转后

如何使输送带回转到正常位置^[7]。这种调整输送带扭转的机理与普通带式输送机纠偏的原理是相同的，即托辊前倾原理。

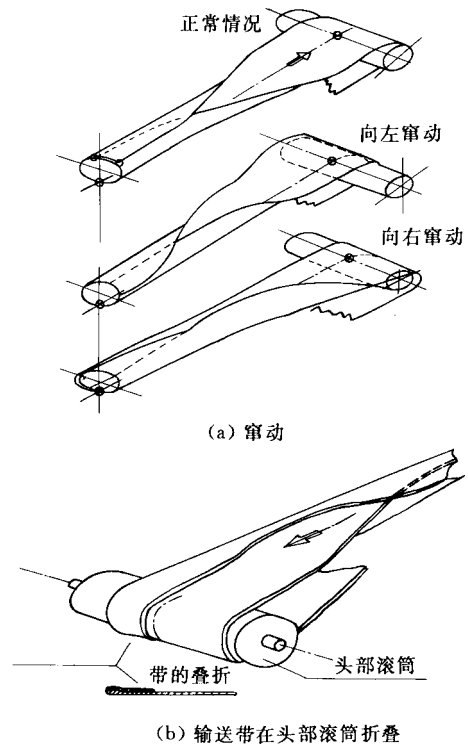


图 19 输送带扭转在头部滚筒产生的现象

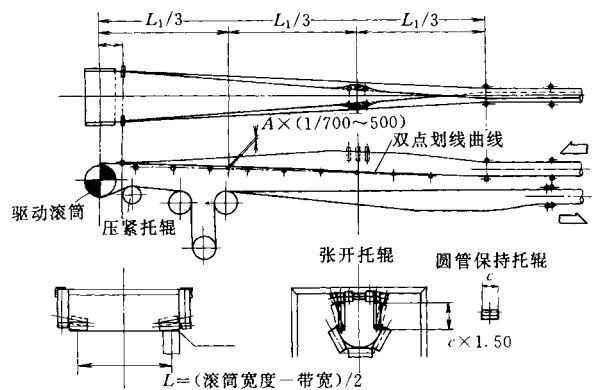


图 20 防止输送带折叠系统

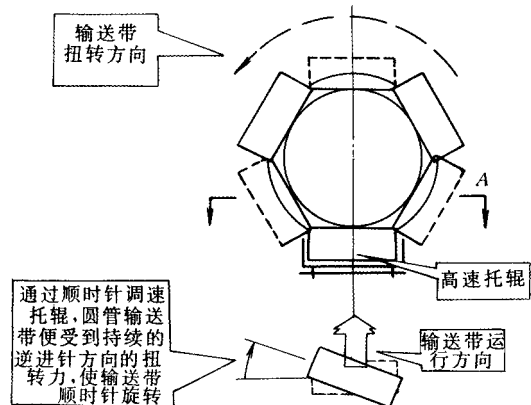


图 21 调整管状带扭转原理

扭转的调整在很大程度上要靠经验的积累，单靠理论分析是不可能完全解决输送带的扭转问题的。

7 结论

提供的内容可供有关工程技术人员在设计圆管带式输送机时参考, 涉及的与普通带式输送机相类的部分未加阐述, 重点是叙述关于圆管带式输送机特殊部分的内容。圆管带式输送机尚有许多问题需要我们共同去探讨, 将在今后开发过程中进一步加以研究、完善。

参 考 文 献

- 1 北京起重运输机械研究所. 国外带式输送机的发展. 见: 中国重型机械工业协会带式输送机分会 1998 年度会议论文, 1998
- 2 王鹰, 孟文俊. 日本石桥公司的圆管带式输送机. 起重运输机械, 1991(1): 17~22
- 3 王鹰. 封闭型带式输送机技术发展概况. 起重运输机械, 2001(3): 1~7
- 4 曾晨. 圆管式胶带输送机过渡段成形分析. 太原重型机械学院学报, 1985(1): 52~59
- 5 孟文俊, 韩刚, 王鹰. 圆管带式输送机用胶带的质量性能测定. 起重运输机械, 1996(11): 24~25
- 6 王鹰, 曾晨. 移动大倾角圆管胶带输送机. 起重运输机械, 1985(3): 28~34

, 1985(3): 28~34

- 7 孟文俊, 王鹰, 吴志方. 管状带式输送机的发展和设计要点. 起重运输机械, 2001(增刊): 29~35

ENVIRONMENT-PROTECTING CONTINUAL CONVEYOR PIPE BELT CONVEYOR

Wang Ying

(Taiyuan Heavy Machinery Institute)

Du Qungui

(South China University of Technology)

Han Gang Han Ganghua

(Taiyuan Heavy Machinery Institute)

Abstract: A kind of conveyor pipe belt conveyor with less social effects of pollution, the traits, work mechanics and construction are explained, moreover, the designing and calculating method and measures to prevent torsion are set forth. These will provide available references for professionals in material handling and logistics systems.

Key words: Environment-protecting Pipe Belt conveyor
 作者简介: 王鹰, 男, 1939 年出生, 教授。主要研究方向是物料搬运, 连续输送技术及控制的教学和科研工作, 承担多项省部级科研项目, 获得部级科技进步奖 5 项, 发表论文 30 余篇, 著作 2 部。