



中华人民共和国国家标准

GB/T 17119—XXXX
代替 GB/T 17119—1997

连续搬运设备 带承载托辊的带式输送机 运行功率和张力的计算

Continuous mechanical handling equipment—
Belt conveyors with carrying idlers—
Calculation of operating power and tensile forces

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和单位	1
5 带式输送机的运行阻力	1
5.1 概述	1
5.2 主要阻力	2
5.3 附加阻力	2
5.4 特种阻力	2
5.5 提升阻力	2
6 圆周力和运行功率	2
6.1 传动滚筒所需的圆周力	2
6.2 输送机所需的运行功率	8
6.3 输送带张力	9
6.4 输送带的共振	12
6.5 逆止与制动	12
7 输送机的输送能力和横截面	13
7.1 输送机的输送能力	13
7.2 通用输送机的横截面面积	14
7.3 管状输送机的横截面面积	15
8 输送带安全系数的校核和选取	15
附录 A (规范性) 符号和单位清单	17
附录 B (资料性) 采用附加阻力系数确定总附加阻力	20
附录 C (资料性) 管状输送机的托辊间距	21
参考文献	22
图 1 作用于输送带的张力示意图	10
图 2 通用输送机托辊布置形式示意图	14
图 3 管状输送机托辊布置形式示意图	15
图 B.1 系数 C 随 L 变化的曲线	20
表 1 基准模拟摩擦系数的适用条件	4
表 2 模拟摩擦系数基准值	5

表 3	带速修正系数 k_v	5
表 4	环境温度修正系数 k_T	5
表 5	输送机弯曲修正系数 k_C	5
表 6	附加阻力 F_N 计算公式	5
表 7	特种阻力 F_S 计算公式	6
表 8	环境温度及海拔高度对电机的热容量影响系数	9
表 9	传动滚筒与橡胶输送带间的摩擦系数 μ	9
表 10	宜选用逆止器和制动器的工况	13
表 A.1	符号和单位	17
表 C.1	管状输送机的基准托辊间距	21

连续搬运设备 带承载托辊的带式输送机 运行功率和张力的计算

1 范围

本文件规定了带式输送机传动滚筒上所需的运行功率和作用在输送带上的张力的计算方法。

本文件适用于带承载托辊的带式输送机,包括以织物芯或钢丝绳芯输送带作为承载件和牵引件的通用带式输送机、曲线带式输送机和管状带式输送机,其他类型的带式输送机可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14521 连续搬运机械术语

GB/T 35017-2018 连续搬运设备 散状物料分类、符号、性能及测试方法

GB/T 36698 带式输送机设计计算方法

GB 50431 带式输送机工程设计规范

3 术语和定义

GB/T 14521和GB/T 35017-2018界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动堆积角(运行堆积角) surcharge angle

物料横截面轮廓线与运动的输送带交点处的切线与水平面的夹角,单位为度。

3.2

静堆积角(自然堆积角) angle of repose

物料从一个规定的高度自由均匀地落下时,形成能稳定保持的锥形料堆的最大坡角(即自然坡度表面与水平面之间的夹角),单位为度。

4 符号和单位

符号和单位见附录A中表A.1。

5 带式输送机的运行阻力

5.1 概述

带式输送机(以下简称“输送机”)的运行总阻力主要包括以下内容:

——主要阻力 F_H (见 5.2);

——附加阻力 F_N (见 5.3);

——特种阻力 F_S (见 5.4);

——提升阻力 F_{St} (见 5.5)。

以上阻力包括所有阻力,即输送机驱动系统应克服的摩擦阻力、线路提升阻力、以及在加料点将输送物料加速到带速的惯性阻力。

主要阻力 F_H 和附加阻力 F_N 出现在所有输送机中,而特种阻力 F_S 仅出现在配备相关部件的输送机中。主要阻力 F_H 沿输送机连续产生,而附加阻力 F_N 仅在局部产生。提升阻力 F_{St} 可为正值、零或负值,取决于输送机的倾角;提升阻力可能以连续的方式沿输送机的全长产生或仅在某些区段上产生。

5.2 主要阻力

主要阻力 F_H 包括以下内容:

- a) 承载分支和回程分支托辊的旋转阻力,由托辊轴承和密封装置的摩擦产生;
- b) 输送带的运行阻力,由输送带经过托辊发生压陷以及输送带和物料反复弯曲产生。

5.3 附加阻力

附加阻力 F_N 包括以下内容:

- a) 物料在加料段加速的惯性阻力和摩擦阻力;
- b) 物料在加料段导料槽栏板侧壁上的摩擦阻力;
- c) 除传动滚筒外的滚筒轴承阻力;
- d) 输送带在滚筒上缠绕的阻力。

5.4 特种阻力

特种阻力 F_S 包括以下内容:

- e) 侧辊在输送带运行方向上向前倾斜引起的摩擦阻力;
- f) 设置导料槽的输送机,存在物料与导料槽栏板的摩擦阻力;
- g) 设置导料槽的输送机,且导料槽栏板与输送带之间设置有裙板,存在输送带与裙板的摩擦阻力;
- h) 输送带与清扫装置的摩擦阻力;
- i) 犁式卸料器的阻力;
- j) 卸料车的阻力;
- k) 缓冲床的阻力;
- l) 输送机转弯的阻力;
- m) 管状输送机的输送带成管状区段,全程存在由于输送带刚性附加的刚性阻力;
- n) 管状输送机的输送带由自然展平状态被强制过渡至圆管状态而产生的成管阻力。

5.5 提升阻力

提升阻力 F_{St} 是指在倾斜输送机上,物料提升或下降的阻力。当承载分支和回程分支均输送物料时,输送机的提升阻力为承载分支和回程分支的提升阻力之和。

6 圆周力和运行功率

6.1 传动滚筒所需的圆周力

6.1.1 一般计算公式

输送机传动滚筒所需的圆周驱动力 F_U 是所有阻力之和,按式(1)计算。

$$F_U = F_H + F_N + F_S + F_{St} \dots \dots \dots (1.)$$

6.1.2 主要阻力

主要阻力主要由物料和输送带在头尾滚筒间移动及输送带驱动托辊旋转产生,包括托辊的旋转阻力、输送带下覆盖层的压陷阻力、输送带在托辊间的弯曲阻力和输送带在托辊间的弯曲引起物料的变形及能量损耗。输送机的主要阻力 F_H 宜按照输送倾角进行分段计算,见式(2)。

$$F_H = \sum_{i=1}^n F_{H,i} = \sum_{i=1}^n F_{H.O,i} + \sum_{i=1}^n F_{H.U,i} \dots \dots \dots (2.)$$

式中:

F_H ——输送机的主要阻力,单位为牛(N);

$F_{H,i}$ ——输送机第*i*区段的主要阻力,单位为牛(N);

$F_{H.O,i}$ ——输送机第*i*区段承载分支的主要阻力,单位为牛(N);

$F_{H.U,i}$ ——输送机第*i*区段回程分支的主要阻力,单位为牛(N)。

主要阻力 F_H 可用模拟摩擦系数 f 进行简化计算。运用库仑摩擦定律,输送机各个区段的主要阻力 $F_{H,i}$ 等于模拟摩擦系数 f 、输送机区段的长度 l_i 和每米长度上所有运动质量产生的总垂直力的乘积。输送机每个区段承载分支和回程分支的主要阻力可由式(3)和式(4)进行计算。

——对于承载分支:

$$F_{H.O,i} = \sum_{i=1}^n f l_i g [q_{R.O,i} + (q_B + q_{G.O,i}) \cos \delta_i] \dots \dots \dots (3.)$$

——对于回程分支:

$$F_{H.U,i} = \sum_{i=1}^n f l_i g [q_{R.U,i} + (q_B + q_{G.U,i}) \cos \delta_i] \dots \dots \dots (4.)$$

式中:

f ——模拟摩擦系数;

l_i ——输送机第*i*区段的长度,单位为米(m);

$q_{R.O,i}$ ——输送机第*i*区段承载分支每米托辊旋转部分的质量,单位为千克每米(kg/m);

$q_{R.U,i}$ ——输送机第*i*区段回程分支每米托辊旋转部分的质量,单位为千克每米(kg/m);

q_B ——输送带每米的质量,单位为千克每米(kg/m);

$q_{G.O,i}$ ——输送机第*i*区段承载分支每米物料的质量,单位为千克每米(kg/m);

$q_{G.U,i}$ ——输送机第*i*区段回程分支每米物料的质量,单位为千克每米(kg/m);

δ_i ——输送机第*i*区段的输送倾角,单位为度(°)。

当回程分支带料时,应分别考虑承载分支物料的每米质量载荷 $q_{G.O}$ 和回程分支物料的每米质量载荷 $q_{G.U}$,当回程分支不带料时, $q_{G.U}$ 为0。当输送机路线复杂时,宜根据输送路线倾角的变化进行分段,分别计算各段承载分支和回程分支的主要阻力。

被输送物料的每米质量载荷 q_G 按式(5)计算,单位为千克每米(kg/m),承载分支和回程分支应根据不同输送能力的要求按式(5)分别计算。

$$q_G = \frac{I_V \rho}{v} \dots \dots \dots (5.)$$

式中:

I_V ——输送能力,单位为立方米每秒(m^3/s);

ρ ——被输送散状物料的堆积密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

v ——输送带速度,单位为米每秒(m/s)。

当输送机采用光滑表面的输送带时,输送机的最大倾角宜参考GB/T 35017中附录C的推荐值选取,通用输送机的上运倾角不宜超过 18° ,管状输送机的上运倾角不宜超过 27° 。下运负功率运行工况时,输送机的下运倾角宜减小。对于更大倾角的输送机,应根据物料特性及其他约束条件进行确定。

6.1.3 模拟摩擦系数

6.1.3.1 模拟摩擦系数的初步确定

模拟摩擦系数 f 主要受托辊旋转阻力和输送带运行阻力的影响。通常，通用输送机和曲线输送机模拟摩擦系数的基准值 f_{base} 取0.020进行计算；管状输送机模拟摩擦系数的基准值 f_{base} 取0.035进行计算。

输送机的安装精度可参考GB 50270和GB 50231的相关要求，对于安装精度符合国家标准的输送机，如果托辊转动灵活，且输送内摩擦小的物料， f_{base} 取值可比基准值降低约20%；如果输送机的安装精度低于国家标准的要求，托辊旋转阻力大，且输送的物料内摩擦较大， f_{base} 取值可超过基准值约100%。用作模拟摩擦系数的基准值仅适用于安装精度符合国家标准的输送机，具体适用的情况详见表1。

表1 基准模拟摩擦系数的适用条件

通用输送机	管状输送机
实际输送能力为额定输送能力的70%~110%	实际输送能力为满断面输送能力的65%~75%
输送内摩擦系数为中等的物料	输送内摩擦系数为中等的物料
承载分支为三辊固定式托辊组	承载/回程分支为六辊固定式托辊组
托辊槽角为25°~35°	托辊沿输送带横截面外接圆圆形阵列布置
输送带速度约为4 m/s~6 m/s	输送带速度约为4 m/s~6 m/s
工作环境温度为15℃~25℃	工作环境温度为15℃~25℃
托辊直径为108 mm~159 mm，采用迷宫式密封	托辊直径为108 mm~159 mm，采用迷宫式密封
承载分支托辊间距为1 m~1.5 m，回程分支托辊间距为2.5 m~3.5 m	承载/回程分支托辊间距可参考表C.1选取

在下列情况时， f 值可超过基准值，直至超过基准值约100%：

- 被输送物料的内摩擦系数：较大；
- 通用输送机的托辊槽角：大于35°；
- 输送带速度：大于6 m/s；
- 托辊直径：小于108 mm；
- 环境温度：低于15℃；
- 输送带张力：较低；
- 输送带：采用软芯层，覆盖层厚而柔软；
- 输送机：安装精度低于国家标准的要求；
- 运行条件：多灰、潮湿和/或物料具有粘性；
- 通用输送机承载分支的托辊间距大于1.5 m时、通用输送机回程分支的托辊间距大于3.5 m时、管状输送机承载/回程分支的托辊间距大于附录C的规定值时。

如果上述a)~j)诸影响因素的条件相反，则模拟摩擦系数 f 值可降到基准值以下。

已考虑上述a)~j)诸影响因素后，可确定模拟摩擦系数的数值。虽然模拟摩擦系数的优选和估算需考虑多种因素对加工制作和安装的影响，但在通常情况下将基准值 f_{base} 代入式(3)和式(4)可确定足够精确的主要阻力。

负功率运行的下运发电输送机，需要用电机制动作为安全措施，宜采用比正功率的输送机低约40%的模拟摩擦系数进行计算。

6.1.3.2 模拟摩擦系数基于运行条件的修正方法

当考虑环境温度和带速对模拟摩擦系数的影响时，应引入带速修正系数 k_v 、环境温度修正系数 k_T 和输送机弯曲修正系数 k_C ，对模拟摩擦系数进行修正。以带速5 m/s、环境温度20℃

时的模拟摩擦系数为基准值，通过选定的带速修正系数、环境温度修正系数和输送机弯曲修正系数按式（6）计算模拟摩擦系数。式（6）中各参数的选取见表2、表3、表4和表5。

$$f = k_v k_T k_C f_{\text{base}} \dots \dots \dots (6.)$$

式中：

k_v ——带速修正系数；

k_T ——环境温度修正系数；

k_C ——输送机弯曲修正系数；

f_{base} ——带速5 m/s、环境温度20°C时的模拟摩擦系数基准值。

表2 模拟摩擦系数基准值

安装情况	工作条件	模拟摩擦系数 f_{base}	
		通用输送机	管状输送机
水平、上运及微下运（正功率）的上运工况	安装条件良好，托辊转动灵活，物料的内摩擦系数低，安装和运维条件良好	0.016~0.017	0.03~0.035
	正常的安装条件，正常的物料条件	0.02	0.035~0.045
	安装条件较差，低温，物料的内摩擦系数高，安装和运维条件较差	0.023~0.030	0.04~0.055
负功率发电工况	具备发电的驱动装置	0.012~0.016	0.025~0.03

表3 带速修正系数 k_v

带速	2	3	4	5	6
系数	0.80	0.85	0.90	1.00	1.10

表4 环境温度修正系数 k_T

温度	20	0	-10	-20	-30
系数	1.00	1.07	1.17	1.28	1.47

表5 输送机弯曲修正系数 k_C

输送机弯曲系数	弯曲段长度占总机长度的比例				
	管状输送机				通用输送机/ 曲线输送机
	≤20%	20%~40%	40%~60%	>60%	
k_C	1.2	1.25	1.3	1.35	1

6.1.4 附加阻力和特种阻力

如需精确计算输送机传动滚筒所需的驱动力和运行功率，应计算附加阻力 F_N 和特种阻力 F_S 。附加阻力 F_N 和特种阻力 F_S 的计算公式见表6和表7，其值可在输送机已知参数的基础上计算。表6所示的附加阻力 F_N 出现在所有的输送机上；而表7所示的特种阻力 F_S 宜具体分析。

附加阻力还可通过附加阻力系数进行估算，适用于计算精度要求不高，输送路线简单的输送机，具体计算方法宜参考附录B。

表6 附加阻力 F_N 计算公式

符号	阻力说明	单位
F_{bA}	在加料点和加速段被输送物料与输送带间的惯性阻力和摩擦阻力： $F_{bA} = I_V \rho (v - v_0)$	N
F_f	在加速段被输送物料与导料槽栏板间的摩擦阻力： $F_f = C_{Schb} C_{Rank} \left[\frac{2I_V}{v + v_0} - (b_1^2 - 1\frac{2}{3}) \frac{\tan \lambda}{4} - b_1^2 \frac{\tan \theta}{6} \right]^2 \frac{\mu_2 \rho g l_b}{b_1^2}$ 式中： C_{Schb} ——受料段加速区内物料扰动引起的附加阻力系数； C_{Rank} ——侧压力系数； $C_{Rank} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\theta}{2} \right)$ l_b ——导料槽加料段的长度； $l_{b.min} = \frac{v^2 - v_0^2}{2g\mu_1}$ μ_1 ——物料与输送带的摩擦系数，宜取 0.5~0.7； μ_2 ——物料与导料槽栏板的摩擦系数，宜取 0.5~0.7。 对于常规设计的输送机，可取 $C_{Schb} C_{Rank} = 1$ 。	N
F_l	输送带绕经滚筒的缠绕阻力： ——纤维芯输送带 $F_l = 9B \left(140 + 0.01 \frac{F}{B} \right) \frac{d}{D}$ ——钢绳芯输送带 $F_l = 12B \left(200 + 0.01 \frac{F}{B} \right) \frac{d}{D}$	N
F_t	滚筒轴承阻力（传动滚筒不计算）： $F_t = 0.005 \frac{d_0}{D} F_T$	N

表7 特种阻力 F_S 计算公式

符号	阻力说明	单位
F_ε	托辊前倾的摩擦阻力： ——装有三等长辊的承载分支托辊 $F_\varepsilon = C_\varepsilon \mu_0 L_\varepsilon (q_B + q_G) g \cos \delta \sin \varepsilon$ ——装有两辊的回程分支托辊 $F_\varepsilon = \mu_0 L_\varepsilon q_B g \cos \delta \sin \varepsilon$ 式中： C_ε ——槽型系数（当槽型托辊组的托辊槽角为30°时 C_ε 取0.4；当托辊槽角为35°时 C_ε 取0.43；当托辊槽角为40°时 C_ε 取0.47；当托辊槽角为45°时 C_ε 取0.5）； μ_0 ——托辊与输送带的摩擦系数，宜取 0.3~0.4。	N
F_{gl}	被输送物料与非加速段导料槽栏板间的摩擦阻力： $F_{gl} = C_{Rank} \left[\frac{I_V}{v} - (b_1^2 - 1\frac{2}{3}) \frac{\tan \lambda}{4} - b_1^2 \frac{\tan \theta}{6} \right]^2 \frac{\mu_2 \rho g (1 - l_b)}{b_1^2}$ 式中： μ_2 ——物料与导料槽栏板的摩擦系数，宜取 0.5~0.7。	N
F_{Sk}	导料槽裙板密封的摩擦阻力： $F_{Sk} = 2\mu_4 p_{Sk} l$ 式中： μ_4 ——输送带和导料槽密封裙板之间的滑动摩擦系数，宜取 1； p_{Sk} ——输送带和导料槽密封裙板之间单位长度的正压力，单位为牛每米（N/m），宜取 45 N/m。	N
F_r	输送带清扫装置的阻力计算为： $F_r = B \cdot C_{bc}$ 式中： C_{bc} ——在清扫装置压力下的运动摩擦阻力，单位为牛每米（N/m）。 当无法准确测定输送带和清扫装置之间的有效正压力时，头部清扫装置 C_{bc} 宜取 900 N/m，回程清扫装置 C_{bc} 宜取 400 N/	N

	<p>m；当可测定输送带和清扫装置之间的有效正压力时，可参考下式对清扫装置的运动摩擦阻力进行精确计算。</p> $C_{bc} = \mu_3 \cdot F_{bc}$ <p>μ_3——输送带和清扫装置刮刀之间的滑动摩擦系数，刮刀材质为聚氨酯时 μ_3 取 0.60~0.67，刮刀材质为碳化钨时 μ_3 取 0.62，刮刀材质为不锈钢时 μ_3 取 0.60~0.67； F_{bc}——输送带和清扫装置之间的有效正压力，单位为牛每米 (N/m)。</p>	
F_a	<p>犁式卸料器的摩擦阻力：</p> $F_a = B \cdot k_a$ <p>式中： k_a——犁式卸料器的阻力系数，宜取 1 400 N/m~1 500 N/m。</p>	N
F_{sbn}	<p>缓冲床摩擦阻力：</p> $F_{sbn} = \mu_5 l_{sbn} g (q_B + q_G)$ <p>式中： μ_5——输送带和缓冲床之间的滑动摩擦系数，缓冲床表面材质为钢时 μ_5 取 0.64~0.84，缓冲床表面材质为聚乙烯时 μ_5 取 0.56，缓冲床表面材质为聚氨酯时 μ_5 取 0.60~0.67； l_{sbn}——缓冲床的长度，单位为米 (m)。</p>	N
F_C	<p>输送机在每个水平/立面转弯段的转弯阻力为：</p> $F_C = f_{F_{CT}} \alpha_C \frac{\pi}{180}$ <p>式中： F_{CT}——输送带在转弯段的平均张力，承载分支和回程分支应分别考虑，单位为牛 (N)； α_C——转弯段的转角，单位为度 (°)。 注：通用输送机的立面凹弧不作考虑。</p>	N
F_R	<p>当输送机为管状输送机时，输送带的刚性阻力为：</p> $F_R = f_{Lp} d_p g / 75$ <p>式中： L_p——输送带在承载段和回程段的成管总长度，单位为米 (m)； d_p——输送带圆管断面的外径，单位为毫米 (mm)。</p>	N
F_P	<p>当输送机为管状输送机时，每个成管过渡段的成管阻力为：</p> $F_P = (0.2d_p + 25)g$	N

6.1.5 提升阻力

输送机的倾斜阻力 F_{St} 宜按照输送倾角进行分段计算，提升高度 H_i 以物料向上输送为正值，以物料向下输送为负值，可由式 (7) 计算。

$$F_{St} = \sum_{n=1}^n F_{St.O.i} + \sum_{n=1}^n F_{St.U.i} \dots\dots\dots(7.)$$

式中：

F_{St} ——输送机的提升阻力，单位为牛 (N)；

$F_{St.O.i}$ ——输送机第 i 区段承载分支的提升阻力，单位为牛 (N)；

$F_{St.U.i}$ ——输送机第 i 区段回程分支的提升阻力，单位为牛 (N)。

其中，输送机每个区段承载分支和回程分支的提升阻力宜由式 (8) 和式 (9) 进行计算。

——对于承载分支：

$$F_{St.O.i} = \sum_{n=1}^n (q_{G.O.i} + q_B) g H_{O.i} \dots\dots\dots(8.)$$

——对于回程分支：

$$F_{St.U.i} = \sum_{n=1}^n (q_{G.U.i} + q_B) g H_{U.i} \dots\dots\dots(9.)$$

式中：

$q_{G.O.i}$ ——输送机第 i 区段承载分支每米物料的质量，单位为千克每米 (kg/m)；

$q_{G.U.i}$ ——输送机第 i 区段回程分支每米物料的质量，单位为千克每米 (kg/m)；

$H_{O.i}$ ——输送机第 i 区段承载分支沿运行方向起止点的高差，单位为米 (m)；

$H_{U.i}$ ——输送机第 i 区段回程分支沿运行方向起止点的高差，单位为米 (m)。

通常，在同一区段内 $H_{O,i}$ 和 $H_{U,i}$ 互为相反数。

6.1.6 设计工况

输送机在坡度起伏时会存在部分区段有载荷的工况，输送机的圆周力和运行功率需同时考虑不同载荷条件的组合工况，包括但不限于以下工况：

- a) 输送机空载；
- b) 输送机全长满载；
- c) 在具有上升、水平或轻微下降（轻微下降区段为正功率，该区段的提升阻力小于摩擦阻力）运行的输送机区段上有载荷，而其余的区段上无载荷，有载荷的区段做正功；
- d) 在具有上升、水平或轻微下降（轻微下降区段为正功率，该区段的提升阻力小于摩擦阻力）运行的输送机区段上无载荷，而其余的区段上有载荷，有载荷的区段做负功。

综合上述不同的载荷工况，确定传动滚筒的最大圆周力作为设计驱动系统的依据。

如果有一种或几种载荷条件下的传动滚筒出现负圆周力，则输送机存在发电工况，驱动系统产生负功率，应引入发电工况的模拟摩擦系数值。在设计驱动系统和制动系统时，应统筹考虑最大电动工况（正功率）驱动力和最大发电工况（负功率）制动力。

6.2 输送机所需的运行功率

6.2.1 输送机传动滚筒的运行功率

输送机传动滚筒的运行功率 P_A 按式（10）计算。

$$P_A = F_U v \dots\dots\dots(10.)$$

式中：

F_U ——圆周驱动力，单位为牛（N）；

v ——输送带速度，单位为米每秒（m/s）。

6.2.2 驱动电机所需的运行功率

驱动电机所需的运行功率 P_M 按式（11）和式（12）计算。

——对需要正功率的输送机：

$$P_M = \frac{P_A}{\eta_1 \eta \eta' \eta''} \dots\dots\dots(11.)$$

——对需要负功率的输送机：

$$P_M = \frac{P_A \eta_2}{\eta \eta' \eta''} \dots\dots\dots(12.)$$

式中：

η_1 ——输送机正功率的传动效率，宜在 0.85~0.95 之间选取；

η_2 ——输送机负功率的传动效率，宜在 0.95~1.0 之间选取；

η' ——电压降系数，特殊地区当电压波动较大，超出电动机的供电电压允许范围时宜考虑电压降的影响，可取 0.90~0.95，其他情况取 1；

η'' ——多机驱动功率不平衡系数，宜取 0.90~0.95，当采用可控软启动装置时宜取 0.96~0.98，单电机驱动时宜取 1；

η''' ——环境温度及海拔高度对电机的热容量影响系数，宜参考表8选取。

注： η_1 和 η_2 的传动效率应考虑驱动装置在各个传动环节的效率。

表8 环境温度及海拔高度对电机的热容量影响系数

环境温度	海拔高度				
	0 m~1 000 m	1 000 m~1 500 m	1 500 m~2 000 m	2 000 m~2 500 m	2 500 m~3 000 m
30℃	100%	100%	100%	98%	95%
35℃	100%	100%	97%	94%	91%
40℃	100%	97%	93%	90%	87%
45℃	95%	92%	88%	85%	83%
50℃	90%	87%	84%	81%	-
55℃	85%	82%	-	-	-
60℃	80%	-	-	-	-

注：“-”表示需由驱动装置制造商确定。

6.3 输送带张力

6.3.1 概述

作用于输送带的张力沿输送机全长是变化的，其大小由以下因素决定：

- 输送机的路线；
- 传动滚筒的数量和布置；
- 驱动和制动系统的特性；
- 输送带拉紧装置的型式和位置；
- 输送机的载荷工况：启动、稳定运行、制动、停车；在此基础上又分为空载、满载或部分有载等工况。

考虑输送带本身强度和受输送带张力作用的其他输送机部件的强度，作用在输送带上的张力应尽可能小。为保证输送机的正常运行，输送带张力应满足以下条件：

- a) 在任何工况下，作用在输送带上的张力应确保全部传动滚筒上的圆周力通过摩擦传递到输送带上，且输送带与传动滚筒之间不打滑；
- b) 作用在输送带上的张力应足够大，确保两组托辊间的输送带不出现过大的垂度。

6.3.2 传动滚筒上圆周力的传递

将圆周力 F_U 从传动滚筒传递到输送带上，如图1所示，应保证输送带在传动滚筒的松边保持张力 F_2 ， F_2 的最小值 $F_{2.min}$ 按式(13)计算。

$$F_{2.min} = |F_{U.max}| \frac{1}{e^{\mu\varphi} - 1} \dots\dots\dots(13.)$$

式中：

$F_{U.max}$ ——输送机在各种工况下可能出现的最大圆周驱动力或制动力，单位为千牛（kN）；

μ ——传动滚筒与输送带间的摩擦系数，见表9；

φ ——传动滚筒的围包角，单位为弧度（rad），可根据几何条件确定，宜为2.8~4.2（160°~240°）。

表9 传动滚筒与橡胶输送带间的摩擦系数 μ

运行条件	光面滚筒	带人字形或菱形沟槽的橡胶覆盖面	带人字形或菱形沟槽的聚酯覆盖面	带人字形或菱形沟槽的陶瓷覆盖面
------	------	-----------------	-----------------	-----------------

干燥	0.35~0.4	0.4~0.45	0.35~0.4	0.4~0.45
清洁和潮湿（有水）	0.1	0.35	0.35	0.35~0.4
污浊和潮湿（粘有泥沙）	0.05~0.1	0.25~0.3	0.2	0.35

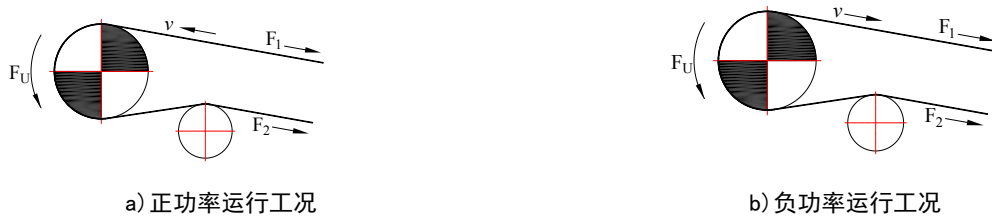


图1 作用于输送带的张力示意图

6.3.3 输送带下垂度的限制

为了限制两组托辊间输送带的下垂度，作用在输送带上的最小张力 F_{min} 应满足式（14）和（15）的要求。

——对于承载分支：

$$F_{min} \geq \frac{a_0(q_B + q_G \cdot \rho)g}{8(h/a)_{adm}} \dots\dots\dots (14.)$$

——对于回程分支：

$$F_{min} \geq \frac{a_U(q_B + q_G \cdot \rho)g}{8(h/a)_{adm}} \dots\dots\dots (15.)$$

输送机任何位置的张力都不应小于最小张力 F_{min} 。最大许用下垂度 $(h/a)_{adm}$ ，宜在0.005~0.02之间确定，输送机稳定运行工况的最大许用下垂度不宜大于0.01，启制动过程的最大许用下垂度不宜大于0.03。

6.3.4 输送带各点的张力计算

输送带各特征点的张力，应根据输送机的布置及各区段的长度和倾角、传动滚筒的数量和布置、驱动和制动特性、拉紧装置的类型和布置及输送机运行工况确定。

输送带在满足最大垂度条件时，输送带相邻两特征点的张力应按式（16）和式（17）计算：

a) 稳定运行工况时：

$$F_i = F_{i-1} + F_{(i-1) \sim i} \dots\dots\dots (16.)$$

式中：

F_i ——输送带运行方向上第*i*点的张力，单位为牛（N）；

F_{i-1} ——输送带运行方向上第*i-1*点的张力，单位为牛（N）；

$F_{(i-1) \sim i}$ ——输送带运行方向上第*i-1*点到第*i*点区段的运行总阻力，单位为牛（N）。

b) 非稳定运行工况时：

$$F_i = F_{i-1} + F_{(i-1) \sim i} \pm m_{(i-1) \sim i} a \dots\dots\dots (17.)$$

式中：

$m_{(i-1) \sim i}$ ——输送带运行方向上第*i-1*点到第*i*点区段的运行体的等效质量，单位为千克（kg）；

a ——输送带平均加（减）速度，单位为米每二次方秒(m/s²)。

其中 $m_{(i-1) \sim i}$ 按式（18）计算：

$$m_{(i-1) \sim i} = m_{L(i-1) \sim i} + m_{D(i-1) \sim i} \dots\dots\dots (18.)$$

式中:

$m_{(i-1) \sim i}$ ——输送带运行方向上第 $i-1$ 点到第 i 点区段的运行体的等效质量, 单位为千克 (kg);

$m_{L(i-1) \sim i}$ ——第 $i-1$ 点到第 i 点区段的运行体直线运动的等效质量, 单位为千克 (kg);

$m_{D(i-1) \sim i}$ ——第 $i-1$ 点到第 i 点区段的转动部件转换到直线运动的等效质量, 单位为千克 (kg)。

对于输送长度小于 500 m 的电动工况 (正功率) 输送机, 输送带平均加 (减) 速度不宜大于 0.3 m/s²; 对于发电工况 (负功率) 输送机和长距离输送机, 输送带平均加 (减) 速度不宜大于 0.1 m/s²。

6.3.5 惯性力

输送机启动加速和减速停机时, 惯性力应按式 (19) 计算:

$$F_A = \pm (m_L + m_D)a \quad (19)$$

式中:

F_A ——输送机运动体的总惯性力, 单位为牛 (N);

m_L ——输送机运动体直线运动的等效质量, 单位为千克 (kg);

m_D ——输送机转动部件转换到输送带上直线运动的等效质量, 单位为千克 (kg);

a ——输送带平均加 (减) 速度, 单位为米每二次方秒 (m/s²)。

输送机启动和停机时, 运动体直线运动的等效质量应按式 (20) 和式 (21) 计算:

——当回程分支不输送物料时:

$$m_L = (2q_B + q_G + q_{R.O} + q_{R.U})L \quad (20)$$

——当承载分支和回程分支均输送物料时, 宜按区段分别计算:

$$m_L = \sum_{i=1}^{n_0} (q_B + q_{G.O.i} + q_{R.O.i})l_i + \sum_{i=1}^{n_u} (q_B + q_{G.U.i} + q_{R.U.i})l_i \quad (21)$$

式中:

$q_{G.O.i}$ ——承载分支区段 i 的输送带上物料单位长度的质量, 单位为千克每米 (kg/m);

$q_{G.U.i}$ ——回程分支区段 i 的输送带上物料单位长度的质量, 单位为千克每米 (kg/m);

$q_{R.O.i}$ ——承载分支区段 i 的托辊转动部分单位长度的质量, 单位为千克每米 (kg/m);

$q_{R.U.i}$ ——回程分支区段 i 的托辊转动部分单位长度的质量, 单位为千克每米 (kg/m);

l_i ——输送机区段 i 的长度, 单位为米 (m)。

输送机转动部件应转换到输送带上直线运动的等效质量, 转动部件总等效质量应按式 (22) 计算:

$$m_D = 4 \sum_{i=1}^{n_D} \frac{J_i \cdot i_i^2}{D_i^2} + 4 \sum_{i=1}^{n_P} \frac{J_i}{D_i^2} \quad (22)$$

式中:

n_D ——输送机的驱动单元数;

n_P ——输送机的滚筒个数;

$J_{D,i}$ ——驱动单元第 i 个转动部件的转动惯量, 单位为千克平方米 (kg·m²), 当驱动单元加装飞轮时, 应包括飞轮的转动惯量;

J_i ——第 i 个滚筒的转动惯量, 单位为千克平方米 (kg·m²)。

i_i ——第 i 个转动部件至传动滚筒的传动比;

$D_{D,i}$ ——第 i 个传动滚筒的直径, 单位为米 (m);

D_i ——第 i 个改向滚筒的直径, 单位为米 (m)。

6.3.6 输送带张力的变化和最大张力

输送机设计过程中, 应根据多种载荷工况组合确定必要的张力及其在输送机长度上的变化; 必要的张力与驱动/制动装置数量、布置及其特性相关, 应根据拉紧装置的类型和位置确定,

其他位置的张力可在输送带最小张力的基础上加或减运行总阻力确定。输送机的最小张力宜根据不同工况传动滚筒传递的圆周力或输送带的允许垂度确定，在此基础上计算不同载荷工况的最大张力。

当输送机水平或小倾角输送（仅存在全长满载和空载两种工况），仅设置一个传动滚筒，且整机所需的制动力矩较小时，最大输送带张力可用式（23）近似估算。

$$F_{max} \approx F_1 \approx F_U \xi \left(\frac{1}{e^{\mu\varphi} - 1} + 1 \right) \dots \dots \dots (23.)$$

惯性力系数 ξ 考虑了输送机在启动时的圆周力比稳定运行时大。根据驱动特性，系数 ξ 在 1.1~2.0 之间确定。

在复杂工况时，宜参照 6.3.4 的计算方法，分别计算不同载荷条件组合工况（见 6.1.6）下的运行张力，分析作用于输送带上的张力及其变化，并取不同工况张力的最大值对设备选型进行校核。

6.4 输送带的共振

输送带与托辊的共振是指输送带横截面的固有振动频率与托辊的转动频率相近而发生共振，从而引起输送机共振，加速托辊和机架的破坏。避免共振设计是使输送带的固有频率与作为振源的托辊转动频率避开， n 阶固有频率与托辊转动频率宜相差15%，见式（24）。

$$\left| \frac{f_r}{f_{pn}} - 1 \right| > 0.15 \dots \dots \dots (24.)$$

式中：

f_r ——托辊的转动频率，单位为赫兹（Hz）；

f_{pn} ——输送带横截面的 n 阶固有频率，单位为赫兹（Hz）。

其中， f_r 按式（25）计算：

$$f_r = \frac{v}{\pi d_R} \dots \dots \dots (25.)$$

其中， f_{pn} 按式（26）计算：

——对于承载分支：

$$f_{pn} = \frac{n}{2a_0} \sqrt{\frac{F_g}{q_B + q_{G.O}}} \dots \dots \dots (26.)$$

——对于回程分支：

$$f_{pn} = \frac{n}{2a_U} \sqrt{\frac{F_g}{q_B + q_{G.U}}} \dots \dots \dots (27.)$$

避免输送带与托辊共振主要针对输送机满载稳定运行工况，个别情况应考虑空载稳定运行工况。当输送机沿线部分区域存在共振隐患时，宜调整该区域的托辊直径、托辊间距或输送机的带速，此后应根据调整后的参数重新计算输送机的张力及功率，并再次进行共振校核。

6.5 逆止与制动

6.5.1 设置逆止器和制动器的可能工况

坡度较大的上运输送机，在满载停机后存在向后倒转的趋势时，宜设置逆止器，防止输送机的反向运动。当上运输送机需控制停机时间或下运发电输送机在满载停机时，输送机宜设置制动器，以确保输送机的安全可靠。逆止器或制动器在输送机不同工况的选用原则见表10。

在复杂工况下，宜分别考虑不同载荷组合工况下的张力情况，确定是否设置逆止器或制动器。

表10 宜选用逆止器和制动器的工况

输送机型式	逆止器	制动器
水平输送机	不需要设置	1.通常不需要设置; 2.当实际停机时间须小于自由停机时间时需要设置。
上输送机	当提升阻力超过主要阻力的一半时需要设置	1.通常不需要设置; 2.当将制动器作为逆止器使用时需要设置。
负功率运行的下运发电输送机	不需要设置	需要设置

6.5.2 逆止力矩和制动力矩的计算方法

上输送机逆止装置的逆止力矩,应满足输送机在额定载荷停机时最大逆止力矩的要求。滚筒轴上逆止装置的额定逆止力矩可由式(28)近似计算:

$$M_n = k_2(F_{St} - k_1 F_H) \frac{D}{2} \dots\dots\dots(28.)$$

式中:

M_n ——逆止装置的额定逆止力矩,单位为牛·米(N·m);

k_1 ——主要阻力的缩减系数,宜取0.5~0.7;

k_2 ——逆止装置的安全系数,宜大于等于1.5。

负功率运行的下运发电输送机制动装置的最大制动力矩,应满足6.1.6中最不利设计工况下输送机停机最大制动力矩的要求。滚筒轴上制动装置的额定制动力矩可由式(29)近似计算:

$$M_B = k_3[F_{St} + (m_L + m_D)a - k_1 F_H] \frac{D}{2} \dots\dots\dots(29.)$$

式中:

M_B ——制动装置的额定制动力矩,单位为牛·米(N·m);

k_1 ——主要阻力的缩减系数,宜取0.5~0.7;

k_3 ——制动装置的安全系数,宜大于等于1.5。

输送机实际所需的制动力矩宜小于制动器的额定制动力矩,实际制动力矩可根据现场的实际需求进行调整。

7 输送机的输送能力和横截面

7.1 输送机的输送能力

输送机最大输送能力 I_v (m^3/s)按式(30)计算。

$$I_v = Sv k \dots\dots\dots(30.)$$

式中:

S ——输送带上物料最大横截面面积,单位为平方米(m^2);

v ——输送带速度,单位为米每秒(m/s);

k ——输送机的倾斜系数。

7.2 通用输送机的横截面面积

输送带上物料最大横截面面积与以下因素有关:

- a) 输送带的可用宽度 b ，是输送带宽度 B 的函数：

a) 槽形，即托辊的数量和尺寸（边辊长度 l_2 ，中间辊长度 l_3 ）以及托辊槽角 λ ；

b) 输送带上物料横截面形状是由动堆积角 θ 所限定的抛物线。

输送带的可用宽度 b 宜由式 (31) 和式 (32) 确定。

——对 $B \leq 2m$ 时：

$$b = 0.9B - 0.05 \dots\dots\dots(31.)$$

——对 $B > 2m$ 时：

$$b = B - 0.25 \dots\dots\dots(32.)$$

对于水平直线运行的输送机，输送带上物料最大横截面面积 S ，可使用动堆积角 θ 计算出上部截面 S_1 与下部截面 S_2 相加来确定，见图2：

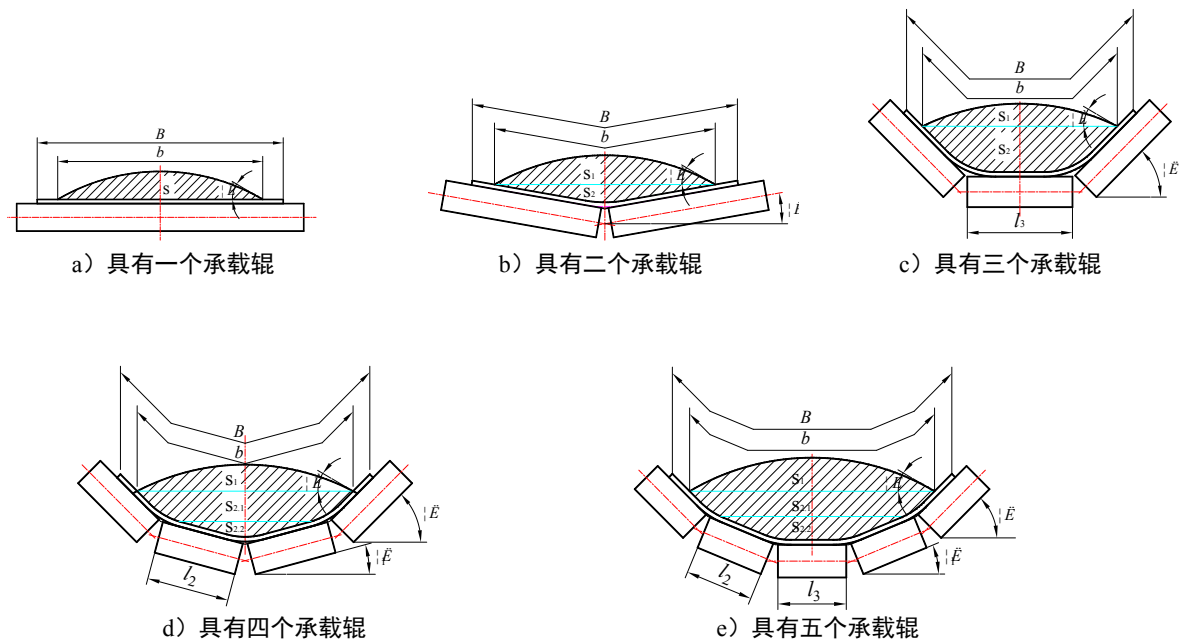


图2 通用输送机托辊布置形式示意图

——对于a)、b)、c)的托辊布置形式， S_1 和 S_2 按式(33)和式(34)计算：

$$S_1 = [l_3 + (b - l_3) \cos \lambda]^2 \frac{\tan \theta}{6} \dots\dots\dots(33.)$$

$$S_2 = (l_3 + \frac{b - l_3}{2} \cos \lambda) (\frac{b - l_3}{2} \sin \lambda) \dots\dots\dots(34.)$$

——对于d)、e)的托辊布置形式， S_1 和 S_2 按式(35)、式(36)、式(37)和式(38)计算。

$$S_1 = [l_3 + 2l_2 \cos \lambda_1 + (b - l_3 - 2l_2) \cos \lambda]^2 \frac{\tan \theta}{6} \dots\dots\dots(35.)$$

$$S_{2.1} = (l_3 + 2l_2 \cos \lambda_1 + \frac{b - l_3 - 2l_2}{2} \cos \lambda) \frac{b - l_3 - 2l_2}{2} \sin \lambda \dots\dots\dots(36.)$$

$$S_{2.2} = (l_3 + l_2 \cos \lambda_1) l_2 \sin \lambda_1 \dots\dots\dots(37.)$$

$$S_2 = S_{2.1} + S_{2.2} \dots\dots\dots(38.)$$

注：当为一个承载辊、二个承载辊和四个承载辊结构时， $l_3=0$ 。

输送带上物料最大横截面面积 S 按式 (39) 计算。

$$S = S_1 + S_2 \dots\dots\dots(39.)$$

动堆积角 θ 取决于被输送物料的特性和输送条件

(如速度、输送带的垂度等)。如果动堆积角未知,可利用静堆积角 α 按 $\theta=0.75\alpha$ 近似计算;如果物料具有特殊的流动性(如很粘或自流动性很好), θ 值偏离此近似值很大。

当输送带存在倾斜段时,应确定倾斜系数 k 并计入截面 S_1 减小的因素。倾斜系数 k 按式(40)计算。

$$k = 1 - \frac{S_1}{S}(1 - k') \quad \dots\dots\dots(40.)$$

式中:

k' ——截面 S_1 的减小系数。

如果被输送的是经过筛分的中等块度的物料,输送机在理想状况下运行, k' 值可用式(41)计算。

$$k' = \sqrt{\frac{\cos^2 \delta - \cos^2 \theta}{1 - \cos^2 \theta}} \quad \dots\dots\dots(41.)$$

式中:

δ ——输送机在运行方向上的倾角,单位为度($^\circ$);

θ ——被输送物料的动堆积角,单位为度($^\circ$)。

当 δ 等于 θ 时,上部截面面积 S_1 不存在,只存在下部截面面积 S_2 。

对于水平转弯的输送机,输送带上所允许的物料最大横截面面积应以转弯段物料最大横截面面积为准。

7.3 管状输送机的横截面面积

管状输送机的理论横截面面积宜根据输送带成圆形的名义管径、输送带厚度、填充系数确定,见式(42)。

$$S \approx \varphi_1 \pi \left(\frac{d_p}{2000} - d \right)^2 \quad \dots\dots\dots(42.)$$

式中:

φ_1 ——管状输送机横截面的填充系数,填充系数不宜超过 75%;

d_p ——输送带圆管断面的外径,单位为毫米(mm);

d ——输送带的厚度,单位为米(m)。

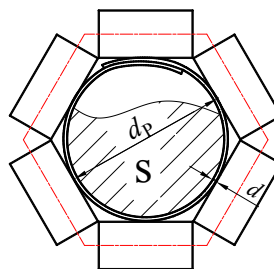


图3 管状输送机托辊布置形式示意图

8 输送带安全系数的校核和选取

输送带的安全系数,应根据输送带类型、工作条件、接头特性以及输送机启动/制动性能确定,并应符合下列规定:

- a) 输送带的安全系数,宜根据输送带名义拉断强度和输送机稳定运行时输送带的最大张力计算,见式(43)。

$$k_N \geq \frac{F_{max}}{1000B} S_N \text{ 或 } \frac{1000k_N B}{F_{max}} \geq S_N \dots\dots\dots(43.)$$

式中：

k_N ——输送带的名义拉断强度或拉伸强度，单位为牛每毫米（N/mm）；

F_{max} ——输送带的最大静张力，单位为牛（N）；

S_N ——输送带的安全系数（为相对于输送带名义拉断强度的安全系数）；

B ——带宽，单位为米（m）。

- c) 钢丝绳芯输送带的安全系数，当输送机采取可控软启动和可控制动措施时，宜取 5~7；其他驱动方式时，可取 7~9。聚酰胺和聚酯织物芯输送带的安全系数，当输送机采取可控软启动和可控制动措施时，宜取 9~10；其他驱动方式时，可取 10~12。其他带芯输送带应综合启动方式及输送带接头测试实验结果确定安全系数。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/365022010044012011>