

宋冠霆,宋伟刚.带式输送机物料截面积计算方法的评述与确定[J].煤炭学报,2017,42(S2):556-561.doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0531  
SONG Guanting,SONG Weigang.Determination and review on calculation method of cross-sectional area of carrying material at belt conveyor[J].Journal of China Coal Society,2017,42(S2):556-561.doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0531

# 带式输送机物料截面积计算方法的评述与确定

宋冠霆<sup>1</sup> 宋伟刚<sup>2</sup>

(1.中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司 辽宁 沈阳 110015; 2.东北大学 机械工程与自动化学院 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 带式输送机承载物料截面积的计算方法是确定输送带宽度的关键因素,直接影响到带式输送机系统的经济性。对带式输送机承载物料截面积计算方法的发展历程进行了回顾与分析。对当前主流的DIN22101、ISO5048和CEMA的截面积计算的物料堆积表面轮廓线和空边距进行了比较分析。通过将截面积计算式级数展开,给出了理论与数值计算的对比分析,证明了当采用相同的结构与物料参数时,承载物料理论截面积从小到大依次为:圆弧计算式、DIN22101计算式、ISO5048计算式;DIN22101承载物料截面积的计算式形式简洁,但需要将动堆积角转换为等效堆积角;CEMA(圆弧计算式)承载物料截面积的计算方法输送量的裕量较大,特别是大带宽情况下,降低了系统的经济性,计算式不够简洁;ISO5048承载物料截面积的计算式具有简洁的形式,建议在制定国家标准时采用。

**关键词:** 截面积; 动堆积角; 带宽

中图分类号: TD528.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-9993(2017)S2-0556-06

## Determination and review on calculation method of cross-sectional area of carrying material at belt conveyor

SONG Guanting<sup>1</sup>, SONG Weigang<sup>2</sup>

(1.CCTEG Shenyang Engineering Company, Shenyang 110015, China; 2.School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** The calculation method of the sectional area of carrying material section is the key factor to determine the width of conveyor belt and it directly affects the belt conveyor system financially. This paper reviews and analyzes the development of the calculation method of the carrying material sectional area of belt conveyor. The authors compare and analyze the surface contours of material accumulation and margins in the calculation method of the sectional area of the carrying material section of the current mainstream DIN22101, ISO5048 and CEMA. By means of calculating the sectional area series expansion analysis theory and numerical calculation are given, proven that when the structure and material parameters are the same, the theory of sectional area of carrying material from small to large is as follows: the arc calculation formula, DIN22101 calculation formula, ISO5048 calculation formula; The calculation formula of DIN22101 carrying material area is simple, but needs to convert the dynamic repose angle to the equivalent angle; the CEMA (arc formula) calculation method of carrying material sectional area has a larger margin, especially in the case of large belt width, the economy of system is reduced, also the calculation formula is not simple enough; the calculation formula of ISO5048 carrying material has a simple cross-sectional area form, which is recommended in the development

收稿日期: 2017-04-20 修回日期: 2017-07-04 责任编辑: 许书阁

基金项目: 辽宁重大装备制造协同创新中心资助项目

作者简介: 宋冠霆(1990—),男,辽宁沈阳人,助理工程师。Tel: 024-24156477, E-mail: tianlangpingyun@163.com。通讯作者: 宋伟刚(1963—),男,辽宁丹东人,教授。Tel: 024-83680596, E-mail: weigangsong@mail.neu.edu.cn

of national standards.

**Key words:** cross-sectional area; dynamic repose angle; belt width

带式输送机的输送物料截面积的确定是带式输送机设计计算的首要问题。自从带式输送机发明以来,通过带式输送机的输送量来确定带宽经过了漫长的发展历程。由于受到计算工具的限制,早期的方法通过估算得出<sup>[1-4]</sup>。当前,现行标准的计算方法存在较大的差异。在“带式输送机设计计算方法”中国国家标准制定过程中,对采用 DIN22101 的计算式还是采用 ISO5048 计算式? 动堆积角与等效堆积角及其数值范围的问题等有争议。本文将通过物料截面面积计算所涉及的参数与计算方法的发展过程进行分析,给出确定计算方法的建议。

### 1 现行标准计算方法

带式输送机的输送量取决于输送机的结构参数(输送带宽度、托辊组的结构与辊子长度、槽角)、物料的参数(堆积密度、堆积角、块度)、带速等。最终反映为承载物料的理论截面积和带速。从历史上看,世界各国及主要生产厂,如前苏联、美国、英国、法国、瑞士、捷克、德国等分别有自己的带式输送机承载物料理论截面积的确定方法。现行标准计算方法主要有 ISO5048<sup>[5]</sup>、DIN22101<sup>[6]</sup>、美国 CEMA(不是正式标准)<sup>[7]</sup>和 MT/T 467-1996<sup>[8]</sup>。

#### 1.1 ISO5048-1989

ISO5048-1989(对 ISO5048-1979 进行了修改)得到了广泛的采用,日本<sup>[9]</sup>、英国<sup>[10]</sup>(2004 年版进行了修改,但计算部分沿用 ISO5048-1979)、中国<sup>[11-12]</sup>、法国、韩国等国的国家标准均等同采用。

承载物料的理论截面积由承载托辊组的中间辊长度  $l_M$ 、槽角  $\lambda$ 、有效输送带宽度  $b$  及动堆积角  $\theta$  确定:

$$b = 0.9B - 50 \quad B \leq 2000 \quad (1)$$

$$b = B - 250 \quad B > 2000 \quad (2)$$

式中  $B$  为带宽, mm;  $b$  为有效输送带宽度(理论承载物料的输送带宽度), mm。

水平布置的带式输送机的 3 辊托辊组支撑输送带承载物料的理论截面积  $A_{th}$ , 可用截面积  $A_{1,th}$  与  $A_{2,th}$  之和来确定(图 1(a)), 即

$$A_{1,th} = [l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \frac{\tan \theta}{6} \quad (3)$$

$$A_{2,th} = \left( l_M + \frac{b - l_M}{2} \cos \lambda \right) \frac{b - l_M}{2} \sin \lambda \quad (4)$$

$$A_{th} = A_{1,th} + A_{2,th} \quad (5)$$

式中  $A_{th}$  为承载物料的理论截面积, mm<sup>2</sup>;  $A_{1,th}$  为承载物料的上部的理论截面积, mm<sup>2</sup>;  $A_{2,th}$  为当  $\theta = 0^\circ$  时的承载物料理论截面积(承载物料的下部的截面积), mm<sup>2</sup>;  $l_M$  为 3 辊托辊组的中间辊的长度, mm;  $\theta$  为物料的动堆积角 ( $^\circ$ );  $\lambda$  为托辊组槽角 ( $^\circ$ )。

需要指出的是: ISO5048<sup>[5]</sup> 计算式物料上表面已经从圆弧轮廓线更改为抛物线。国内的大多数文献采用圆弧轮廓线是沿用旧 ISO5048 所致。

#### 1.2 DIN22101-1982

从 DIN22101-1982 开始,德国有关承载物料截面的计算方法的规定一直保持不变,只是改变了条文说明中的解释。这里,为符号统一,未采用原标准的符号。

DIN22101 为将承载物料理论截面积  $A_{1,th}$  部分的简化为三角形计算(图 1(b)), 以等效堆积角  $\rho$  替换动堆积角, 其他部分与 ISO5048 相同。即

$$A_{1,th} = [l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \frac{\tan \rho}{4} \quad (6)$$

式中  $\rho$  为等效堆积角 ( $^\circ$ )。

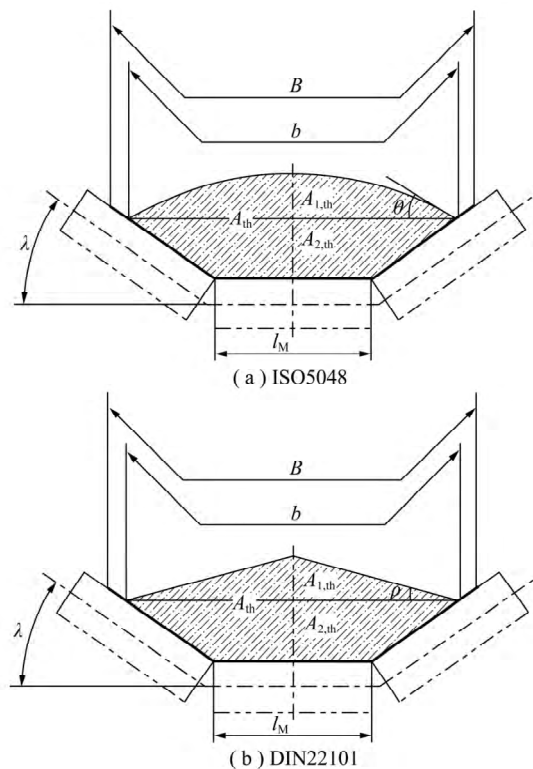


图 1 3 辊托辊组水平输送承载物料的理论截面  
Fig. 1 Theoretical cross section of fill in the case of horizontal conveyance and a 3 roller idler set

DIN22101-1982 的条文说明指出,当  $\theta = 1.5\rho$  [5-6] 时,ISO5048 的计算结果与 DIN 计算方法的结果相近。

对于标准流散物料,取  $\rho = 20^\circ$ ; 对于次流散或近似于流散物料,则取  $\rho = 20^\circ$  以下至  $\rho = 0^\circ$ 。只有输送物料具有一个高内摩擦因数情况下,才能够将数值  $\rho > 20^\circ$  的等效堆积角。

### 1.3 CEMA 和 MT/T 467-1996

CEMA 和 MT/T 467-1996 的计算方法完全采用物料的上表面为圆弧假设,即

$$A_{1,th} = [l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \frac{1}{4 \sin^2 \theta} \left( \theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right) \quad (7)$$

CEMA 的各种版本表达式与式(7)不同,但是计算依据是相同的。

MT/T 467-1996 的有效输送带宽度为

$$b = 0.9B - 0.05 \quad (8)$$

CEMA 的输送带空边距为

$$b_{we} = 0.055B + 0.0229 \quad (9)$$

有效输送带宽度为

$$b = 0.89B - 0.0457 \quad (10)$$

其他部分与 ISO5048 相同。

## 2 截面积计算方法的演变与分析

### 2.1 截面形状与空边距

#### 2.1.1 截面形状

现代的观点认为输送带与物料在经过托辊时所受的振动与冲击也使得截面发生改变,输送带上物料堆积截面的表面轮廓大多成为椭圆的、圆的或抛物线的弓形线段,此线段与输送带接触点上的切线和水平线所成之夹角,与物料的堆积角有关。

在电子计算器和个人计算机出现之前,由于受到计算工具的限制,带式输送机的设计计算大多是通过估算或简化为简单的计算式查表确定带宽或理论物料承载截面积。确定截面积时,采用三角形逼近上部的弓形面积 [1-4]。VIERLING [4] 提出的 DIN 标准的计算方法是通过三角形逼近弓形面积,如图 2 所示。在物料堆积角为  $30^\circ$  情况下,内切的三角形的底部的角度为  $15^\circ$ 。其有效输送带宽度为  $b = 0.9B - 0.05$  m。这仅适用某些特定的物料,不同的物料,在不同的环境与条件下的动堆积也会有较大的差异。当采用三角形截面进行承载物料截面积进行计算时,必然需要使用一个不同于动堆积角的角度。德国标准从给定一个角度值逐渐演变为等效堆积角。值得注意的是,尽管 DIN 计算方法是给出等效堆积角计算承载物料

截面积,并通过工程实践检验了其正确性,但等效堆积角并不是可以直接测量的参数。

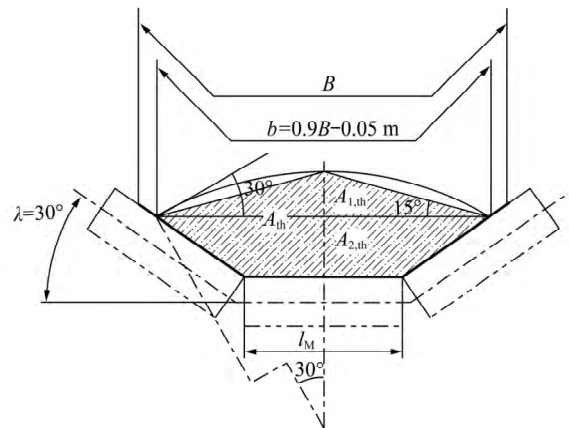


图 2 早期 DIN 标准的截面积计算

Fig. 2 Formerly cross-sectional area calculation of DIN Standard

捷克斯洛伐克的国家标准 ČSN 263102 以抛物线的弓形作为截面形状,进入了用曲线轮廓计算截面阶段 [2]。ISO 的承载物料截面的假设上表面为抛物线,可以通过抛物线方程导出 ISO 的计算式(3) [13-14]。

#### 2.1.2 DIN22101 计算方法条文说明的分析

##### (1) DIN22101-1982

DIN22101 与 ISO 的最大差别是上部截面积的计算式(6)。DIN22101-1982 的条文说明认为,当  $\theta = 1.5\rho$  时, DIN 的计算结果与 ISO 的计算结果相近,计算等效三角形面积比由弦长和切线角来确定等效弓形面积简单。然而,修改后的 ISO 计算方法具有简洁的形式,且可代入动堆积角直接计算。

##### (2) DIN22101-2002(2011)

DIN22101-2002 的条文说明中解释不采用 ISO5048 方法的原因是:

— The latest editions of international and German standards use a triangular cross section as a basis (see ISO 7189 or DIN 22200). 最新版本的国际和德国标准都是基于三角形截面积的(见 ISO 7189 或 DIN 22200);

— ISO 3435 uses the “angle of repose” instead of referring to the “surcharge angle” (as mentioned in ISO5048). ISO3435 用“堆积角”代替“休止角”(如同 ISO5048 所述)。

上述提法所存在的问题在于:

(1) ISO 中采用的术语“Surcharge angle”应看作动堆积角,即 Surcharge angle 与 Dynamic angle of repose 的含义是相同的; CEMA 5 [15] 给出的物料流动性(动堆积角(Angle of surcharge)和堆积角(Angle of

repose) ) 见表 1。可见 ,实际动堆积角的取值范围是很宽的 ,CEMA 的新版本建议通过试验的方法确定物料的动堆积角<sup>[7]</sup>。采用 ISO 计算方法可以直接将动堆积角代入式(3) 计算 ,不应( 也不会) 采用堆积角直接进行计算 ,DIN22101-1982 的说明中对 ISO5048 的

分析就用的“surcharge angle”( 安息角或动堆积角) ; 采用 DIN 计算方法时 ,需要将动堆积角换算为等效动堆积角 ,再代入式(6) 中计算。此关系也可以从文献 [16]中找到。

表 1 物料流动性( 动堆积角和堆积角)

Table 1 Flowability-angle of surcharge-angle of repose

物料的特性	流动性	堆积角/( °)	动堆积角 θ/( °)
粒度均匀、非常小的圆颗粒、非常湿或非常干的物料。如砂、混凝土浆等	非常好	10~19	5
中等质量的圆、干燥光滑的颗粒。如整粒的谷物和豆类等	好	20~25	10
规则、粒状物料。如化肥、砂石、洗过的砾石等		26~29	15
不规则、中等质量的颗粒状或块状物料。如无烟煤、棉籽饼、黏土等	一般	30~34	20
典型的普通物料 ,如大多数矿石、烟煤、石块等		35~39	25
不规则、黏性、纤维状 ,互相交错的物料 ,如木屑、甘蔗渣、用过的铸造砂型等	差	>40	30

(2) ISO 7189 采用三角形面积的计算式<sup>[17]</sup> 为

$$A_{th} = \frac{b^2}{4} \tan \theta \quad (11)$$

其中 θ 为物料的动堆积角 ,这与 DIN22101 中的情况不同 ,若直接采用动堆积角来计算三角形部分的面积 ,所得结果会比实际在动堆积角下形成的截面大得多 ,特别是对于长距离输送机。

2.2 输送带有效宽度与空边距

输送带的有效宽度是指为在设计计算中采用的承载物料与输送带的接触宽度; 空边距是指在输送带边缘留有不接触物料的输送带宽度 ,在保证输送带对物料的支撑同时避免撒料 ,并留有输送能力裕量。输送带宽度与有效宽度和空边距的关系为

$$B = b + 2b_{we} \quad (12)$$

在传统的计算过程中会存在舍入误差。例如 ,当有效宽度按  $b = 0.9B - 50$  mm 计算时 ,输送带宽度的计算式为  $B = 1.11b + 56$  mm。其空边距为:  $b_{we} = 0.055b + 28$  mm( 即类似于 CEMA 的式(9) )。而直接计算的结果为  $b_{we} = 0.05B + 25$  mm。

捷克斯洛伐克的国家标准 CSN 263102 的有效输

送带宽度为  $b = 0.8B$  mm ,即空边距为  $0.1B$ 。DIN22101 早期版本的效输送带宽度为  $b = 0.9B - 50$  mm( BS 8438-2004 ,ISO5048-1979 也采用这种方法) 。DIN22101-1982 将输送带的有效宽度确定为式(1) ,(2) 的分段函数的形式给出。ISO5048-1989 采用了 DIN 的有效输送带宽度确定方法。日本标准 JIS8805-1992 也修改了 JISB8805-1976<sup>[18]</sup> ,改为 ISO 确定方法。

应用式(1) ,(2) 和式(9) 计算出 CEMA 计算式变换单位后与 ISO 的对比见表 2。可见 ,CEMA 计算式的空边距在带宽 2 000 mm 以下与 ISO 计算方法大致相同 ,所存在的差异来自于英制单位与国际单位制之间的换算。而在 2 200 mm 以上大致与早期的 DIN 标准的参数相当。因而 ,可以认为 ,CEMA 计算方法的空边距尚待进一步改善。另一方面 ,CEMA7<sup>[7]</sup> 中有关圆管带式输送机的输送带搭接宽度已经修改为欧洲的做法 ,在大管径情况下的搭接宽度与早期的日本普利斯顿公司所推荐的搭接宽度<sup>[19]</sup> 有明显的降低。这从另一个角度说明 ,CEMA 的空边距确定方法滞后于时代的发展 ,在大带宽条件下输送量的裕量较大。

表 2 CEMA 计算式变换单位后与 ISO 的空边距数值对比

Table 2 Comparison of numerical for CEMA and ISO

mm

计算式	带宽/mm												
	500	650	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600	2 800
ISO	50	57.5	65	75	85	95	105	115	125	125	125	125	125
CEMA	50.4	58.65	66.9	77.9	88.9	99.9	110.9	121.9	132.9	143.9	154.9	165.9	176.9
早期 DIN ,ISO	50	57.5	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165

### 3 截面积计算方法的对比

这里,首先通过面积计算的表达式比较各种计算方法的数值结果,进而给出数值计算的结果对比。注意到:

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\theta}{\tan \theta} = 1$$

从而,当  $\rho = 2\theta/3$  时,有

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\tan \rho}{\tan \theta} = \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\tan(2\theta/3)}{\tan \theta} = \frac{2}{3}$$

因而,可得出 ISO 计算方法与 DIN 计算方法的动堆积角与等效堆积角的关系。当  $\theta \rightarrow 0$  时,  $\tan \theta > \sin \theta > \theta$ , 即

$$\frac{\tan \rho}{4} = \frac{\tan(2\theta/3)}{4} < \frac{\tan \theta}{6}$$

从而有:

$$A_{1,DIN} < A_{1,ISO} \quad (13)$$

其中,脚标 DIN 和 ISO 分别表示 DIN 和 ISO 的计算式。

分别将 ISO 计算式(3),DIN 计算式(6)和圆弧计算式(7)对动堆积角展开级数,可分别得到:

$$A_{1,ISO} = [l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \frac{\tan \theta}{6} =$$

$$[l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \left( \frac{\theta}{6} + \frac{\theta^3}{18} + \frac{\theta^5}{45} + \dots \right) \quad (14)$$

$$A_{1,DIN} = [l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \frac{\tan \beta}{4} =$$

$$[l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \frac{\tan(\theta/1.5)}{4} =$$

$$[l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \left( \frac{\theta}{6} + \frac{\theta^3}{40.5} + \frac{\theta^5}{243.25} + \dots \right) \quad (15)$$

$$A_{1,ARC} = [l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \frac{1}{4 \sin^2 \theta} \left( \theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right) =$$

$$[l_M + (b - l_M) \cos \lambda]^2 \left[ \frac{\theta}{6} + \frac{\theta^3}{45} + \frac{\theta^5}{315} + \dots \right] \quad (16)$$

其中,脚标 ARC 表示圆弧计算式。式(16)与式(14)和式(15)相比,关于  $\theta$  的 1 次项相同,3 次项的系数圆弧计算式最小,可以得出:

$$A_{1,ISO} > A_{1,DIN} > A_{1,ARC} \quad (17)$$

表 3 和 4 分别为对 3 辊等长托辊组的计算结果。表 3 为归一化的物料截面积对比,即在相同托辊组结构和物料动堆积角时的相对于 DIN 计算式的截面积比。槽角为  $0^\circ$  时为承载托辊组为单个平托辊 ( $A_{2,ph} =$

0) 的情况。可见,当槽角为  $35^\circ$ 、物料动堆积角为  $35^\circ$  时,ISO 计算式相对于 DIN 计算式增加了 3.7%;即使对于平托辊,增加量为 8.2%;而圆弧计算式与 DIN 计算式的结果更加接近。在工程上,物料的充填率为 70%~110%,可以认为:3 种计算结果在实际应用中均可采用,但 ISO 计算方法更为可靠。表 4 为槽角  $35^\circ$ 、带宽 1 000 m,中间辊子长度 380 mm 时的截面积,可以看到截面积的具体的绝对数值是接近的。

表 3 归一化的承载物料截面积对比

Table 3 Normalized cross-sectional area of the carrying material  $\text{mm}^2$

堆积角/ ( $^\circ$ )	DIN 计算式		圆弧计算式		ISO 计算式	
	$0^\circ$	$35^\circ$	$0^\circ$	$35^\circ$	$0^\circ$	$35^\circ$
5	1		0.999 8	0.999 9	1.001 4	1.000 1
10	1		0.999 5	0.999 9	1.005 7	1.001 0
15	1		0.999 0	0.999 7	1.013 0	1.003 3
20	1		0.998 0	0.999 4	1.023 8	1.007 4
25	1		0.997 0	0.998 9	1.038 4	1.014 0
30	1		0.995 5	0.998 2	1.057 5	1.023 5
35	1		0.993 7	0.997 0	1.082 0	1.037 0

表 4 截面积(槽角  $35^\circ$ 、带宽 1 000 m,中间辊子长度 380 mm)

Table 4 Cross-sectional area (Troughing angle  $35^\circ$ , Belt width 1 000 m, Length of the central roller 380 mm)

堆积角/( $^\circ$ )	$\text{mm}^2$		
	DIN 计算式	圆弧计算式	ISO 计算式
5	85 688	85 688	85 701
10	94 268	94 260	94 366
15	102 965	102 938	103 302
20	111 842	111 777	112 668
25	120 836	120 968	122 650
30	130 418	130 180	133 481
35	140 278	139 880	145 464

### 4 结 论

(1) 当采用相同的结构参数与物料参数时,将物料上表面简化为三角形的 DIN22101 计算式、看作抛物线的 ISO 计算式和圆弧形计算式的数值结果差异不大。理论分析和计算结果证明了承载物料理论截面积从小到大依次为:圆弧计算式、DIN22101 计算式、ISO5048 计算式。

(2) DIN22101 承载物料截面积的计算式形式简洁,但要特别注意:需要将动堆积角转换为等效堆积角才能应用。

(3) CEMA(圆弧计算式)承载物料截面积的计算方法输送量的裕量较大、特别是大带宽情况下,降低

了系统的经济性,且计算式不够简洁。

(4) ISO5048 承载物料截面积的计算式具有简洁的形式,在设计计算中应采用物料的动堆积角而不是堆积角,建议在制定国家标准时采用。

#### 参考文献(References):

- [1] HETZEL F V. Belt conveyor and belt elevators [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 2011: 143-149.
- [2] 李不维特 W. 评论带式输送机的计算 [J]. 起重运输机械译丛, 1964(4): 17-30.  
LIBUWIETH W. Review for calculation of belt conveyor [J]. Hoisting and Conveying Machinery, 1964(4): 17-30.
- [3] SPIVAKOVSKY A O, DYACHKOV V K. Conveying machines [M]. Moscow: Mir Publishers, 1985: 129-132.
- [4] VIERLING A. Quantitative folgerungenaus förderbandmessungen-ergänzung der berechnungsgrundlagen [J]. Braunkohle Wärme und Energie, 1959(7): 253-259.
- [5] ISO /TC 101. ISO 5048-1989, Continuous mechanical handling equipment-Belt conveyors with carrying idlers-Calculation of operating power and tensile forces [S].
- [6] Mining Standards Committee( FABERG). DIN22101-2011( 1933, 1942, 1982, 2002), Stetigförderer—Gurttförderer für Schüttgüter Grundlagen für die Berechnung und Auslegung [S].
- [7] CEMA. Belt conveyors for bulk materials( Seventh Edition) [M]. Florida: The Conveyor Manufacturers Association, 2014: 50-401.
- [8] MT/T 467-1996 煤矿用带式输送机设计计算 [S].
- [9] MHE/9.BS 8438-2004, Troughed belt conveyor—specification [S].
- [10] JIS B8805-1992, ゴムベルトコンベヤの計算式 [S].
- [11] GB50431-2008, 带式输送机工程设计规范 [S].
- [12] 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 [S].
- [13] 张振文, 宋伟刚. 带式输送机工程设计与应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2015: 172-175.  
ZHANG Zhenwen, SONG Weigang. Engineering design and application for belt conveyors [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2015: 172-175.
- [14] MULANI I G. Engineering science and application design for belt conveyor [M]. Lawns: 2002: 142-166.
- [15] CEMA. Belt conveyors for bulk materials( Fifth Edition) [M]. Florida: The Conveyor Manufacturers Association, 1997: 29-51.
- [16] GOLKA K, BOLLIGER G, VASILIC C. Belt conveyors: Principles for calculation and design [M]. Sydney: Southwood Press Pty Ltd, Australia: 49-53.
- [17] ISO /TC 101. ISO 7189-1983, Continuous mechanical handling equipment-Apron conveyors-Design rules [S].
- [18] JIS B8805-1976. ゴムコンベヤの計算式と性能試験方法 [S].
- [19] 王鹰, 杜群贵, 韩刚, 等. 环保型连续输送设备—圆管状带式输送机 [J]. 机械工程学报, 2003, 39(1): 149-158.  
WANG Ying, DU Qungui, HAN Gang, et al. Environment-protecting continual conveyor-pipe belt conveyor [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(1): 149-158.