

螺旋输送机设计

张莹莹

沈阳沈飞民品工业有限公司民机机加厂, 辽宁 沈阳 110034

[摘要]螺旋输送机的设计,是采用国际标准的LS型螺旋输送机。首先是对螺旋输送机的历史、国内外研究现状、研究前景以及课题的研究线路进行了一个阐述,接着分析了螺旋输送机的布局结构,针对所输送物料的特性对各个部件进行分析选择,接着对需要校核部位进行计算来确定部件型号选择最佳,接着对输送机尺寸进行选择,最后详细讲解螺旋输送机的安装需求、操作细节以及日常维护。目前,螺旋输送机正在朝着长距、高效率、可弯曲、低摩擦的输送方向进行发展。在螺旋输送机的设计、制作和应用方面在目前来看与国外的先进技术水平依旧有一定的差距,我国在设计和制造的输送机的过程中需要进行改造,改正不足的方面。

[关键词]螺旋输送机;输送机;输送;运输;建模

DOI: 10.33142/ec.v6i1.7722

中图分类号: TQ172.687

文献标识码: A

Design of Screw Conveyor

ZHANG Yingying

Civil Aircraft Processing Plant of Shenyang Aircraft Civil Products Industry Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110034, China

Abstract: The design of screw conveyor is based on the international standard LS screw conveyor. Firstly, the history of screw conveyor, domestic and foreign research status, research prospects and the research route of the subject are described. Then, the layout structure of screw conveyor is analyzed, and various components are analyzed and selected according to the characteristics of the conveyed materials. Then, the parts that need to be checked are calculated to determine the best component model selection, and then the conveyor size is selected. Finally, the installation requirements, operation details and daily maintenance of the screw conveyor are explained in detail. At present, screw conveyor is developing in the direction of long distance, high efficiency, bendability and low friction. At present, there is still a certain gap between the design, manufacture and application of screw conveyor and the advanced technical level of foreign countries. Our country needs to reform and correct the deficiencies in the process of designing and manufacturing the conveyor.

Keywords: screw conveyor; conveyor; delivery; transportation; modeling

1 绪论

1.1 研究背景与意义

螺旋输送机是一种日常生活和工作常用的可以持续性输送的设备。它的运行原理主要是利用工作部位螺旋体的持续螺旋运动推动需要被运输的东西轴向运动从而进行输送货物。螺旋输送机是现代化生产的标志之一也是不可或缺的重要机械装置。^[1-2]



图1 螺旋输送机

螺旋输送机结构组成主要由槽体、轴体、轴承、动力

驱动装置和传动装置。螺旋输送机可以根据有无内管轴来区分成两种类型。其中有轴螺旋输送机由绞龙, U型或O型物料槽, 盖板, 进、出料口和驱动装置组成, 一般还有水平式, 倾斜式和垂直式三种^[3]; 只不过无轴输送机与有轴输送机所最大不同在于是采用的是有无内管轴设计, 无轴输送机的抗缠绕能力强。随着物料进入输送机后, 由螺旋轴转动从而推动物料进行输送, 往往物料输送过程在一个密封的槽中运行。

另外, LS型螺旋输送机为针对不同工作进行改进出多种不同类型。这LSS类型水平螺旋输送机也是在LS螺旋输送机的基础上进行升级改造的一种具有固定装备的机械输送设备。而LSY型输送机于与LSS型输送机类似但是与之不同的是一种非基础固定式装备的螺旋输送设备, 它是可以实现水平或其它角度输送的持续输送设备。LSF系列螺旋输送机结构更为简洁单, 其技术水平更高。综合以上机型, 将螺旋输送机的机器头端和尾端的轴承部位转移到机器壳体的外部进行安装, 这种改进可以消除了由于密封不严而导致的漏料问题, 从而消除了轴承因这些问题

而导致使用寿命缩短的可能。螺旋轴的叶片表面涂上抗磨材料层，可以有效增强螺旋轴叶片的耐磨性能；而 TLSS 系列的螺旋输送机具有密封性能好、噪声影响小等特点，主要用于运送粉末状和颗粒状类型的物料。

LS 螺旋输送机被针对不同的问题所开发出了一些其它系列的螺旋输送机。再如 JT 型螺旋输送机是一种全密封类型的输送机，它的优点有结构更为简单，密封性能更加突出等特点，运送中进行加热或者冷却处理的一般选用此类输送机，该类型输送机也可以进行那种易挥发、有腐蚀、有污染和有害物料的运输。采用国际标准可进行焦距变化的 MLG 管式螺旋输送机输送效率就更加稳定，通常采用倾斜的方式布置，此螺旋输送机的用途一般是进行煤粉或水泥等物料输送和近距离输送。

YS 系列圆筒型螺旋输送机根据工作需求可以进行水平式、倾斜式和垂直式三种不同角度的安装。还有螺旋管输送机、输送微粉的螺旋输送、对转螺旋输送机、复式螺旋输送机，双向螺旋输送机、变螺距螺旋输送机^[4]。

1.2 螺旋输送机的设备特点

拥有较为简单的结构、维修保养较为简单、运输中的密封性能更好、输送能力稳定可靠、运输成本价格综合比较下更低，安装方式简单，输送方向容易调节，可同时单向或反向输料。物料输送的同时也可以进行对物料搅拌、混合、加热和冷却等伴随式加工。通过控制电机转动速率来间接控制输送机的输送效率。缺点是不宜输送稳定性低的、粘连性强的、易结连块的和立方大的物料，物料被破损一般会在输送过程中，螺旋叶片与机壳送料槽容易被磨损，功率的消耗较多，输送量也略低。

1.3 该论题的国内外研究现状

常用的一种不具有挠性牵引构件的连续输送机器被称为螺旋输送机。

因为当时国外对于这方面的研究比国内相对较早，所以发展也领先国内，在 1960 年，GX 型螺旋输送机在我国得到了广泛的使用，主要用于运输物料等。但是在运输过程中容易发生磨损，且容易发生堵塞，会消耗使用寿命且影响输送机的输送性能。

后直至上世纪 80 年代中期，LS 型的研发，因其拥有多种型号，使得其应用行业广泛。

1.4 设备使用的日常维护

在使用输送机设备时，要定期对输送机设备进行检修，这样可以最大限度的保证使用寿命，提高工作效率

(1) 输送机启动时必须是无负载的状态，需要输送机运行稳定后再进行物料输送作业。

(2) 等到输送机启动至运行稳定之后，才可以进行给料，输送时先是从少量开始并逐渐递加到额定的输送功率，防止因过载而导致的输送管道堵塞造成设备的损坏。

(3) 为使机器启动时处于无负载启动状态，停车前

应停止给料直至机器内物料无残留。

(4) 要确保物料中无大块物料，避免输送机螺旋体卡住损坏零件。

(5) 应当定期检查输送机各个部件的情况，及时对有问题部件进行维修，确保机器的稳定运行。

(6) 应当注意螺旋管与联接轴的螺钉松动问题，及时矫正。

(7) 输送机运行时不应打开机盖，避免事故的发生。

(8) 当机器出现不正常现象，不可强制进行工作，及时解决问题。

(9) 及时检查滑油的量，并按照要求加注润。

(10) 通过表面强化处理在叶片上加装耐磨片或则者涂抹耐磨材料等方法可以增加蛟龙的抗耐磨能力

1.5 螺旋输送机的研究前景

根据螺旋输送机的结构特性以及其缺点问题可以确定机器的发展前景：

- (1) 持续型输入、更高的输送效率高且使用寿命长。
- (2) 更高的能源利用率
- (3) 在空间上可以多方位输送
- (4) 多种设备联合式作业
- (5) 符合更多种类的工作要求
- (6) 遵循环保的设计理念

2 螺旋输送机的计算细节

2.1 螺旋体的相关设计计算

2.1.1 螺旋轴的计算

螺旋输送机中最重要的部位就是螺旋轴体。它是螺旋叶片通过焊接技术装在螺旋轴上的。输送机工作能力体现最为重要的一个参数是输送量。其中螺旋体中螺旋轴所占比例对输送量的影响也至关重要。

通过之前制定的螺旋直径可以查询得知，所选的是螺旋直径为 200mm，长度为 2000mm 的螺旋体。

实体叶片类型的螺旋轴结构更为简单、运送能力稳定，更为适合输送那些散落性大、干燥的颗粒类或粉末类型的物料，使用的叶片形式是目前是最广泛。所以综合考虑选实体类型螺旋叶片。

根据 $D = 200\text{mm}$ ，则螺旋轴对应的直径是：

$$d = (0.2 \sim 0.35) \cdot D \quad (1)$$

系数选取为 0.2，计算得 $d = 40\text{mm}$ 。

根据输送机的结构形式，物料的特性以及螺旋直径来选取螺旋叶片的螺距 S ，通常情况下选用标准的数值。则经计算：

$$S = (0.8 \sim 1.2) \cdot D \quad (2)$$

所以，螺距 S 可以改写成通用公式 $S = K \times D$ ，其中取 $k = 1.0$ ，经计算得 $S = 200\text{mm}$ 。

螺旋法线是叶片上任意一点的法线与螺旋轴法向的夹角。

螺旋升角的位置是螺旋叶片上的一个点的法线与螺旋线的夹角。螺旋升角 α 由下式确定。

$$\alpha = \tan^{-1}(S/D_1 \pi) \quad (3)$$

式中: S ——螺距 (m)

D_1 ——该点所在螺旋线的直径 (m)

所以,螺旋叶片的外侧升角 $\alpha_{外}$ 和内侧升角 $\alpha_{内}$ 分别为 15.1° 和 52.2° 。

因为 $D > d$, 故 $\alpha_{内} > \alpha_{外}$, 即螺旋叶片的外侧升角 $\alpha_{外}$ 最小, 内侧升角 $\alpha_{内}$ 最大。

螺旋输送机在工业中运用时所选择的叶片的厚度范围为 $2\text{mm} \sim 12\text{mm}$, 螺旋在叶片与壳体的摩擦随着输送机运行时间的增加, 在螺旋输送机工作中往往磨损作为严重的部位是螺旋叶片的工作面, 尤为严重的是叶片的外圈边缘位置。热处理工艺对螺旋叶片进行处理, 目的是使硬化叶片表面, 为加强螺旋叶片的耐磨能力。

首先将钢板制作成一定间距的螺旋片, 最后再将这些螺旋片缠绕在螺旋管上并用焊接技术固定在螺旋管上形成螺旋体。通常螺旋体的制作方法主要有: 缠绕焊接法、冷轧制作法、拉制成形法。

2.1.2 螺旋轴管的计算

一般使用空心管来制作螺旋输送机的轴。因为在承受相同扭矩的情况下空心管所制作的轴较实心的轴的质量轻的多, 使用的材料也更少, 且连接起来更加方便。螺旋轴的直径 d 受所需传递的扭矩影响。一般采用实体式螺旋输送机进行输送颗粒类或粉末类物料, 其中螺旋轴的直径的计算公式:

$$d = (0.2 \sim 0.35) \cdot D \quad (4)$$

公式中, D ——螺旋直径 (mm)

螺旋输送机的取值范围与螺旋直径相关。螺旋直径较大时选用给出范围的下限, 较小时取上限。选取后仍需进行校核。

表1 螺旋轴直径

| | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 螺旋体直径 D(mm) | 100 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| 螺旋轴直径 d(mm) | 30 | 36 | 42 | 48 | 60 | 70 | 100 |

在正常情况下选取冷轧钢就可以满足性能需求, 在输送具有腐蚀性或有污染的物料时可以选取不锈钢轴进行制作。

2.2 螺旋输送机驱动功率

螺旋输送机驱动功率为:

$$P = P_h + P_n \quad (5)$$

式中: P_h ——物料输送时所需要的功率 kw

P_n ——输送机在空载时的输送功率 kw

2.3 输送过程中所需要功率 P_h

螺旋输送机长度 L , 功率 P_h 是由输送量 Q , 长度 L 和

输送阻力系数 λ 的积。

$$P_h = \frac{I_m L}{3600} \lambda g = \frac{I_m L \lambda}{367.3} \quad (6)$$

公式中的阻力系数查表可得 $\lambda = 3$, 代入上式可得:

$$P_h = \frac{10 \times 2 \times 3}{367.3} = 0.16 \text{KW} \quad (7)$$

2.4 空转的螺旋输送机驱动功率 P_n

空转的输送功率 P_n 比输送物料时所需要更小的功率, 此值与螺旋直径 D 与长度 L 成正比:

$$P_n = \frac{DL}{20} = \frac{0.2 \times 2}{20} = 0.02 \text{KW} \quad (8)$$

螺旋输送机的驱动功率为:

$$P = P_h + P_n = 0.16 + 0.02 = 0.18 \text{KW} \quad (9)$$

2.5 电动机功率 P_m

$$P_m = \frac{KP}{\eta} \quad (10)$$

公式中: η ——驱动装置的总效率;

K ——功率储备系数;

P ——螺旋输送机的驱动功率;

驱动装置的总效率 η 取值范围为 $0.85 \sim 0.9$, 取值为 $\eta = 0.9$. K 功率储备系数取值范围 $1.2 \sim 1.4$, 取值 $K = 1.4$, 代入上式可得:

$$P_m = \frac{KP}{\eta} = \frac{0.18 \times 1.4}{0.9} = 0.28 \text{KW} \quad (11)$$

2.6 联轴器选用的校核

根据螺旋输送机选取的减速器类型与螺旋体的头端来决定选用的联轴器的类型。

联轴器转矩的计算:

$$T = 9550 \frac{P_w}{n} K_w K K_z K_t \leq T_N \quad (12)$$

其中: T ——理论转矩, $N \cdot m$;

P_w ——驱动功率, kw;

n ——工作转速, r/min;

K_w ——动力机系数, $K_w = 1$;

K ——工况系数, $K = 1.25$;

K_z ——启动系数, $K_z = 1.0$;

K_t ——温度系数, $K_t = 1.1$;

T_N ——公称转矩。

经过计算 $T_c = 50.1 \text{KN} \cdot \text{m} < 10887 \text{N} \cdot \text{mm}$ 因此选用的联轴器合格。

2.7 螺旋体转速的校核

由于实际情况中螺旋体的转速不可以大于轴的临界转速, 所以可以根据螺旋体的直径来计算临界转速:

临界转速的转速的计算公式:

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (12)$$

式中: A ——物料的综合特性系数, 由《运输机械设

计选用手册（下）》p335 表中查询 A=75

D——螺旋体的直径。

将所得数据代入

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}} = \frac{75}{\sqrt{0.2}} = 166 \quad (13)$$

设计的螺旋输送机转速 $80 \text{ r/min} < 166 \text{ r/min}$ ，所以螺旋体的转速符合设计要求 3 螺旋输送机的布局形式

3.1 螺旋输送机的结构组成

由电动机驱动部件，机器壳体，料口三大主要部件组成。而螺旋机的机体也是由不停的螺旋节组装起来的，因输送问题而对安装有要求时，可以根据输送要求灵活组装。而没有要求时，按照一般的组装要求先安装第一节，然后按照每节的长度，由长到短依此安装。这样使得设备可以应对更多的问题，安装也更为简单。

3.2 螺旋输送机的工作原理

在电动机启动后，由减速器、连轴器等传递装置传送，使得螺旋轴转动，而物料在入料口被放入后，由于输送过程中物料自身的重力可以克制物料伴随螺旋轴转动的力，所以在螺旋叶片的带动下，推动物料向出料口移动，从而源源不断的完成物料的输送。

3.3 电动机类型的选择

3.3.1 电动机的选型

根据电流的种类可以分为两种电动机分别为直流电动机或交流电动机。

电动机被选择条件除了这电源的电流种类外有工作时的环境问题（如工作的温度，湿度，空间环境等问题），承受载荷的特点（如变化频率，过载或不满载荷的问题等），启停、正反合高低速的转换频率程度，性能的调节等种种原因。

交流电动机的种类繁多，选取是应该从其稳定性、价格、维护的难易程度、更换的复杂程度等方面进行考虑。由于螺旋输送机的所需要的电动机稳定的速度调节性能，而且在安装时要按照不同要求进行安装。此为电动机的壳体也应安装防护装置起到互相保护的作用。

3.3.2 电动机容量的选择

选择电动机的容量时应当满足使用要求，只有合适的选择才可以保证稳定的输送效率，获取最大的经济效益。

通过电动机工作时的发热条件来决定电动机的容量。而电动机的发热被电动机的运行状态所决定。而运行有三种不同的状态（持续工作型、短时间工作型、反复间歇式工作性）它们的容量计算应该按照等效功率的方法进行计算并且验证超载能力和启动的转矩。

表 2 Y90L-4 主要性能参数

| 型号 | 额定功率 KW | 满载时 | | | | 启动电流 | 启动转矩 | 最大转矩 |
|---------|---------|----------|-------------|------|------|------|------|------|
| | | 转速 r/min | 电流 (380V) A | 效率 % | 功率应数 | | | |
| Y100L-4 | 1.5 | 1400 | 3.7 | 79.0 | 0.79 | 6.5 | 2.3 | 2.3 |



图 2 电动机

3.4 减速器的选择

电动机和工作部位中间部位一般会安置减速器，减速器主要起到一个降低电动机的转速和传递转矩的作用，减速器是一个齿轮在刚体内做精密传动的装置。

表 3 减速器的划分

| 划分依据 | 种类 |
|------|-----------------------------|
| 传动级数 | 单级、多级 |
| 齿轮形状 | 圆柱齿轮减速器、圆锥齿轮减速器、圆锥-圆柱齿引轮减速器 |
| 传动布置 | 展开式、分流式、同进式 |
| 安装方式 | 有轴装式减速器、组装式减速器、联体式减速器 |

减速器的结构比较紧密，传递的扭矩较大，使用时间长，用途广泛。而现在由电动机和减速器联系组合构成的独立部件称为联体式减速器，其结构更为紧密、所占空间较小、价格便宜，使用广泛，联体式减速器种类较多，有齿轮减速器、蜗杆减速器、齿轮-蜗杆减速器等，也有单级和多级。

根据设备的各个因素综合考虑输出轴的要求和所需承担的转矩来决定选用的型号。

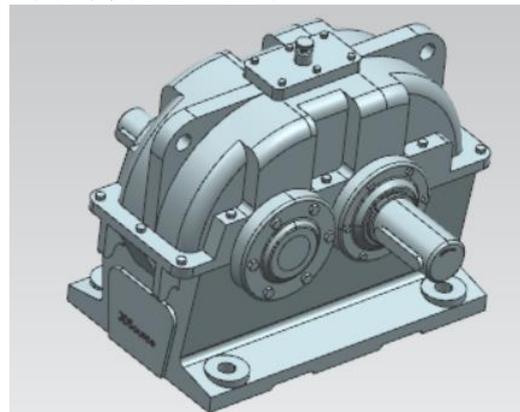


图 3 减速器

3.5 联轴器的选择

连接两个不同的机构轴正常情况下所使用的设备是联轴器，其作用是让他们固定在一起作旋转运动来传递扭矩。联轴器可以通过添加预紧来实现没有空回传的传递扭

矩作用，这使得轴的连接不会发生空回现象，而且拥有更强的柔韧性和抵抗冲击的功能，可以抵抗轴的偏移，可以隔绝电源，可以使轴在旋转中可以更加稳定和较高的工作量。联轴器是由两半组合而成，这两半分别被安装在主动轴和从动轴上，起到减振、缓冲、提高稳定性的作用。

表4 联轴器分类

| | |
|-------|--------------------------------------|
| 联轴器种类 | 弹性联轴器、膜片联轴器、波纹管联轴器、滑块联轴器、梅花联轴器、刚性联轴器 |
|-------|--------------------------------------|

经过对整体装置的尺寸、大小、承载能力和转速等问题最终选择了鼓形齿式联轴器，此联轴器的承载能力大和径向尺寸小，更加适合低转速重载的传动，适合电动机和工作部位直接连接。

联轴器的维护保养

- (1) 联轴器使用中不可以出现规定以外的径向的位移。
- (2) 注意螺母的松动情况，及时维护。
- (3) 及时加注润滑油。
- (4) 键的配合要紧密，不可以出现松动的迹象。
- (5) 注意弹性圈、密封圈的老化问题。

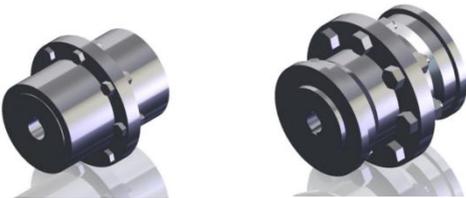


图4 联轴器

3.6 输送机轴轴承选择

表5 LS型螺旋输送机采用滚动轴承表

| 部件 | 标准件 | 数量 | 代号 | | | | | |
|------|----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | LS100 | LS160 | LS200 | LS250 | LS315 | LS400 |
| 头部轴承 | GB297-64 | 2 | 7307 | 7308 | 7311 | 7312 | 7314 | 7318 |
| 尾部轴承 | GB281-64 | 1 | 1206 | 1207 | 1208 | 1210 | 1212 | 1212 |

故LS200 头部轴承为 7311，尾部轴承为 1208

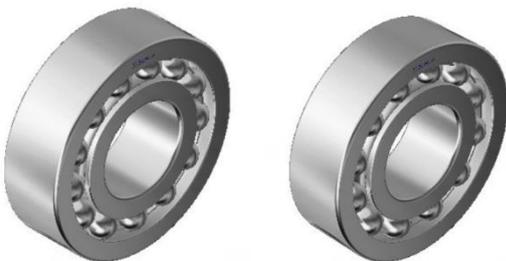


图5 轴承

3.7 螺旋体的设计

绞龙最重要的部分就是螺旋轴，它一般是将螺旋叶片通过焊接在轴上形成的。作为螺旋输送机中最重要的部件，

它的选择至关重要。一般可选择的叶片就实体型和带状型两种。而且又有左右旋转两种旋向。输送机的给料方向是由叶片的旋转方向和轴的转动方向所决定的，我们根据叶片的旋向通过用相应的左右手法则(叶片左旋要用右手法则，反之相反)判断物料的输送方向。大多数螺旋输送机叶片选用实体型，这种类型的输送能力强、叶片结构简单，使用广泛。此外，由直线形成的曲面是等轴正螺旋曲面。

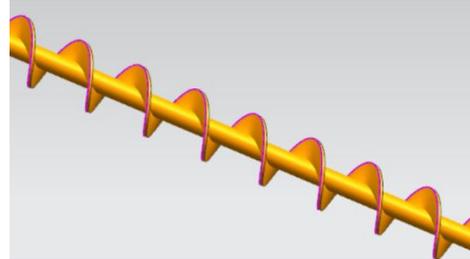


图6 螺旋轴

地脚螺栓安排尺寸见表：

表6 地脚螺栓安排尺寸

| 规格 | 100 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| A | 160 | 180 | 200 | 250 | 300 | 320 | 400 | 500 | 630 | 710 | 800 |

4 螺旋输送机的三维建模以及虚拟装配

经过前面的研究以及分析，在充分了解各个设备的结构与作用，最后运用三维软件 UG 对具体的各个零件进行建模分析。

4.1 各个部件的三位建模

4.1.1 电动机的建模

功能所对应的是：动力功能的提供

在所设计的螺旋输送机中，该零连是提供输送机的全部动力来源。它通过键将动力传送到下一级设备。它的三维建模如下图：

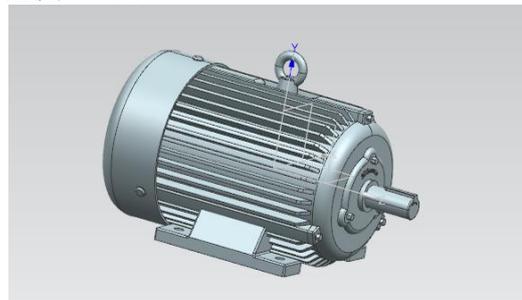


图7 驱动部位电动机的三维建模

4.1.2 传递结构的建模

(1) 减速器的建模

功能所对应的是：降低驱动转速和传递扭矩

用于电动机和工作部位中间的部位一般会安置减速器，速器主要的是起到一个降低电动机的转速和传递转矩的作用。以保证作业部位的工作转速。它的三维建模如图：

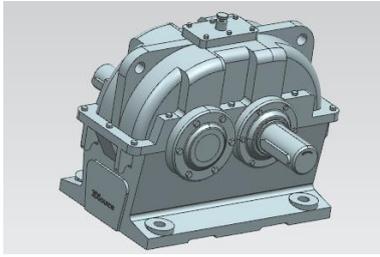


图8 减速器的三维建模

(2) 联轴器的建模

功能所对应的是：轴的连接和传递扭矩

连接两个不同的机构轴正常情况下所使用的设备是联轴器，其作用是让他们固定在一起作旋转运动来传递扭矩。它的三位建模如图：

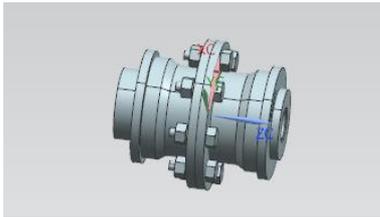


图9 电动机与减速器之间的联轴器三维图

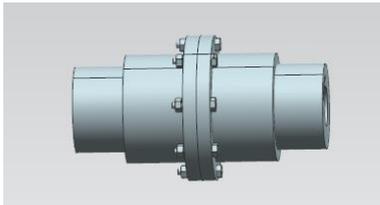


图10 减速器与工作部位之间的联轴器三维图

(3) 轴承的建模

功能所对应的是：支撑旋转和降低摩擦

当一个轴在壳体内部旋转时，需要在轴的支撑位置安置轴承来降低摩擦，确保精度回转。它的三维建模如图：



图11 轴承的三维图

4.1.3 工作部位的建模

(1) 机器壳体的三维建模

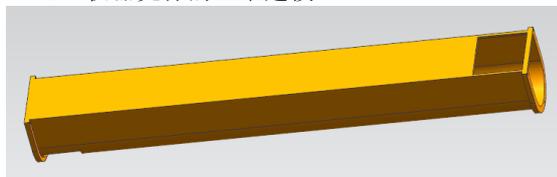


图12 机器壳体的三维图

(2) 螺旋体的三维建模

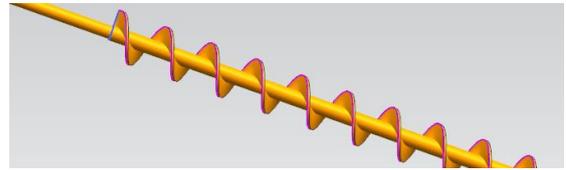


图13 螺旋轴的三维图

4.1.4 密封部位的建模

(1) 输送机的头部三维建模

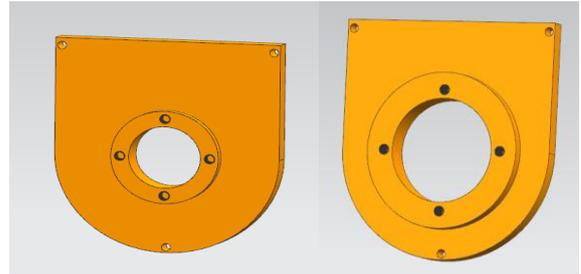


图14 端部的三维图

(2) 端盖

端盖的目的是为了密封和固定轴承的，可以稳定的确保轴承的干净和位置准确。通过螺栓将端盖固定，定位轴承，防止轴承位移。它的三维建模如图：

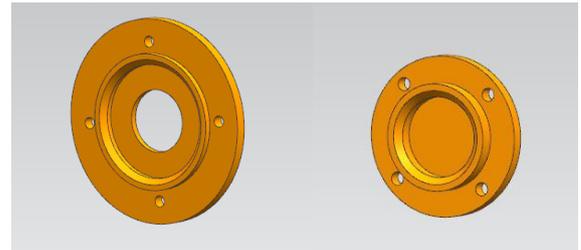


图15 端盖的三维图

4.2 螺旋输送机的虚拟装配

螺旋输送机的各个配件经过三维软件的建模后，在进行装配体的装配过程中应当严格按照各个零件之间的配合关系进行装配，同时也要保证运动仿真的分析，所以一定要保证要求活动的零件的自由度在运动仿真时不可以受到限制。

螺旋输送机的装配过程按照从内而外的顺序，先驱动部位接着传动部位，最后连接工作部位。这样按照思路更加清晰的完成对螺旋输送机的整体结构的安装，避免了错误的出现。

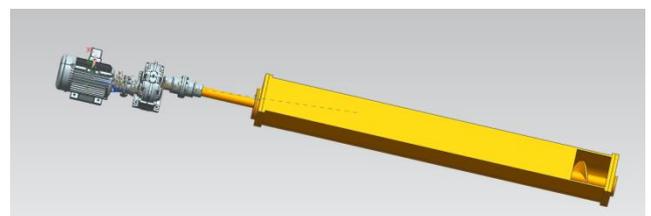


图16 螺旋输送机装配图

[参考文献]

- [1]倪建东. 浅谈机械密封的腐蚀类型与防护措施[J]. 价值工程, 2010, 29(1): 54-55.
- [2]伊国红. 机械密封的腐蚀与防护[J]. 价值工程, 2010, 29(12): 251-252.
- [3]严建华. 倾斜式螺旋输送机[J]. 水利电力施工机械, 1986, 13(1): 46-47.
- [4]符文静, 胡继云, 刘志鹏. 水平螺旋输送机槽体的模态分析与优化[J]. 科技创新与生产力, 2017, 23(8): 72-74.

作者简介: 张莹莹(1987.12-), 女, 沈阳工业大学, 本科, 机械设计制造及其自动化, 沈阳沈飞民品工业有限公司民机机加厂质检室主任, 就职5年, 机械工程师(中级)