

## 目 录

摘 要.....	I
<b>Abstract</b> .....	II
引 言.....	1
1 X1500 型双轴撕碎机.....	3
1.1 研究的目的及意义.....	3
1.2 国内外研究现状及未来发展方向.....	4
1.3 双轴撕碎机的特点.....	4
1.4 研究内容.....	5
2 X1500 型双轴撕碎机总体设计.....	6
2.1 机架.....	6
2.2 转子.....	7
2.2.1 主轴.....	8
2.2.2 刀具.....	8
2.3 托板和衬板.....	10
2.4 篦条.....	12
2.5 过载保护.....	12
2.6 密封防尘装置.....	12
3 X1500 型双轴撕碎机的结构参数和工作参数的选择和计算.....	14
3.1 结构参数的选择和计算.....	14
3.1.1 转子的直径和参数.....	14
3.1.2 基本结构尺寸的确定.....	14
3.2 主要工作参数的计算.....	15
3.2.1 转子速度.....	15
3.2.2 生产率.....	15
3.2.3 电机功率.....	16
3.3 传动方案的选择.....	17
4 X1500 型双轴撕碎机主要零件的设计计算.....	19
4.1 主轴的相关设计、计算与校核.....	19

4.1.1 主轴的设计 .....	19
4.1.2 主轴的强度校核 .....	21
4.1.3 键的强度校核 .....	23
4.1.4 主轴的临界转速 .....	24
4.2 刀具的平衡计算 .....	27
4.3 篦条的计算与设计 .....	30
4.4 轴承计算与选择 .....	31
结    论 .....	34
参考文献 .....	35
致    谢 .....	37

## 摘 要

在当今社会，随着我国经济的高速发展，我国的房地产和基础设施建设都得到了突飞猛进的发展，因此产生了大量的建筑垃圾，已经有越来越多的城市被建筑垃圾所包围，土地和环境的问题变得越来越严重，本课题在充分调研双轴撕碎机的发展现状及趋势，结合专业实习企业背景，针对现阶段撕碎机存在的缺点，设计了 X1500 型双轴撕碎机。

本文主要分析了双轴撕碎机的工作原理，并进行了整体设计。对 X1500 型双轴撕碎机的主要部件，包括机架、电机、撕碎机主体等，完成了结构设计、工艺分析和选材，并完成了传动部分设计。运用计算机辅助设计软件 AutoCAD、Solidworks 等，对 X1500 型双轴撕碎机进行了数字化设计。

本产品解决了传统撕碎机撕碎效率低，噪音大，粉尘多，型号不足，性能不稳等缺点。本产品采用双轴结构，可以有效提高撕碎效率，延长使用寿命，降低维修费用，抵抗较高的扭矩。动力来源主要由三相异步电机，产生大功率电动力通过减速箱带动轴和刀具相对转动，以达到将物料挤压、撕碎和剪切的作用。提高了废品的利用率，减少了环境污染。

**关键词：**双轴撕碎机；撕碎；结构设计；效率

## Abstract

In today's society, with the rapid development of China's economy, China's real estate and infrastructure construction has made rapid progress, resulting in a large number of construction waste. More and more cities have been surrounded by construction waste, and the problems of land and environment have become more and more serious. This subject is fully investigating the development status and trend of the double axis shredder, combining with the specialty In view of the shortcomings of the shredder at this stage, the X1500 double axis shredder is designed.

This paper mainly analyzes the working principle of the double axis shredder, and carries out the overall design. For the main parts of X1500 double axis shredder, including frame, motor, main body of shredder, the structure design, process analysis and material selection are completed. And completed the transmission part design. By using CAD software AutoCAD and SolidWorks, the digital design of X1500 double axis shredder is carried out.

The product solves the shortcomings of traditional crusher, such as low crushing efficiency, large noise, more dust, insufficient model, unstable performance, etc. This product adopts double axle structure, which can effectively improve crushing efficiency, prolong service life, reduce maintenance cost and resist high torque. The power source is mainly three-phase asynchronous motor, which produces high-power electric power to drive shaft and cutter to rotate mutually through reducer, so as to achieve the function of squeezing, tearing and shearing materials. It improves the utilization rate of waste products and reduces environmental pollution.

**Key words:** double shaft shredder; destroy; structure design; efficiency

## 引 言

随着当今社会的发展，工程上和生活中的废弃物不断增多，为了减少废弃物的污染，提高废物利用的水平，执行党领导的绿色化生产，本文设计了一种 X1500 型双轴撕碎机。

X 系列双轴撕碎机适用于各行业的废料回收要求，例如：电子垃圾、塑料、金属、木材、废旧橡胶、包装桶、托板等。回收材料种类繁多，经撕碎后的物料可直接回收使用或根据要求进一步细化处理<sup>[1]</sup>。该系列双轴撕碎机拥有低转速、大扭矩、低噪音等特点。本次设计的机器采用电脑 PLC 编程控制系统，可以自动控制设备的启停，反转以及超载后自动反转控制。

双轴撕碎机正如其名，双轴就是指采用双轴低速转动，利用主轴的旋转带动刀具进行切、割、撕来撕碎物料。双轴撕碎机的撕碎效率很高，并且应用范围也较广，因此双轴撕碎机受到了大量的欢迎，越来越多的人开始研究双轴撕碎机。双轴撕碎机的重要作用就是将废旧物料撕碎，从而减少物料的占地面积，节约空间，使得运输更加方便，更便于废旧物料的回收处理和二次利用<sup>[2]</sup>。

现阶段，对于双轴撕碎机来说，它还有一种叫法是剪切式撕碎机。机如其名，它在工作时，主要是依靠剪切的作用来撕碎物料。除了剪切外，为了保证撕碎机撕碎的物料符合要求，还需对物料进行压缩的处理，这样不仅可以减小物料的尺寸，节省空间，还能提高机器的使用寿命。对于大型的废弃物料，例如废弃塑料、废弃管路、废弃橡胶、以及使用过的木材等，常常使用双轴撕碎机对其进行撕碎，已达到二次利用的作用。

我国的撕碎机行业之所以可以发展起来，主要还是因为从外国的撕碎机行业中吸取了经验。正是因为我国将吸取的经验与实际制造水平相结合，才推动了我国撕碎机行业的发展，也正是在这基础上，我国的撕碎机行业得以突破瓶颈迅猛发展。撕碎机行业的飞速发展，极大地提高了我国二次利用的水平，减少了我国环境的污染<sup>[3]</sup>并且提高了我国的 GDP。除此之外，双轴撕碎机与传统撕碎机相比，它的特点是它的动刀比较沉重，因此撕碎效率高，它的定刀采用合金制成，使用寿命长；撕碎机的框架也都采用厚铁制成，不仅坚固而且稳定性好；它的造价成本也比较低，经济性好。

在 X1500 型双轴撕碎机工作时，它主要采用双轴低速转动，并通过刀盘对物料进行搅碎。一般会在它的框架上直连一个蜗轮蜗杆减速电动机，并直接通过它带动主轴旋转然后在通过齿轮的转动带动从动轴的旋转，因此安装在主轴上的刀具会在主轴的带动下与壳体上的刀盘形成相对运动。故可达到撕碎物料的作用。

据最新统计，我国的双轴撕碎机研发正在走绿色高效节能的新道路。随着科技的飞速发展，越来越多的人开始意识到绿色发展的重要性。因此，越来越多的人尝试将绿色发展的理念应用到双轴撕碎机中，这不仅会加速它的发展，还能为环境保护作出突出贡献。所以，现阶段研发节能环保，低碳，低噪音的双轴撕碎机是非常符合人类发展要求的。

# 1 X1500 型双轴撕碎机

## 1.1 研究的目的及意义

随着社会的发展，在工业和生活中产生的废旧物品越来越多，这些废旧物品不仅占据我们的生存空间而且还对环境造成一定的影响，为了解决这些废旧物品，并且使得这些物品能够进行再次回收利用，本文设计了一种 X1500 型双轴撕碎机。常见的双轴撕碎机如图 1.1 所示。



图 1.1 双轴撕碎机

双轴撕碎机应用较为广泛，主要应用在塑料回收再生行业，经常用于大口径塑料管材的撕碎、成捆塑料薄膜的撕碎。事实上，撕碎机在多个方面都有广泛的应用，例如橡胶、铁桶、废弃家电、工业边角料等都可以用撕碎机来撕碎。

双轴撕碎机有许多优点，与传统的单轴撕碎机相比，双轴的撕碎机产生的噪音较小、能量消耗比较小、刀轴的转速低。粗碎一般选择双轴撕碎机，对于那些未经加工的边角料，可以用双轴撕碎机去处理，这样会使撕碎的物料变得更加细小。对于塑料这种材质来说，它在撕碎后可以作为熔融的原材料，这是我们最常见的例子之一，制作的原材料可以用做制造灯管、轮胎等可回收的原料<sup>[1]</sup>。

双轴撕碎机正如其名，双轴就是指采用双轴低速转动，利用主轴的旋转带动刀具进行切、割、撕来撕碎物料。双轴撕碎机的撕碎效率很高，并且应用范围也较广，因此双轴撕碎机受到了大量的欢迎，越来越多的人开始研究双轴撕碎机。双轴撕碎机的重要作用就是将废旧物料撕碎，从而减少物料的占地面积，节约空间，使得运输更加方便，更便于废旧物料的回收处理和二次利用。

## 1.2 国内外研究现状及未来发展方向

目前，国内双轴撕碎机的填料方式多为机械填料和人工填料，未完全实现一体化，严重影响了撕碎效率和撕碎质量。英美等多个国家的撕碎机以基本实现一体化，具有较高的撕碎效率<sup>[2]</sup>。

双轴撕碎机未来行业的发展趋势：通过高新技术的不断应用和推动，双轴撕碎机行业的整体水平得到了提高。不断通过技术的提升和优化，提高我国国产撕碎机设备的生产质量。并进一步加快大型企业的设备更新，提高创新和自主研发能力，大力发展实体工业，提高现阶段国产撕碎机的水平，让传统工业突破约束“展翅高飞”，提高我国的经济发展活力，实现经济持续稳定增大，具有重要意义。

双轴撕碎机和传统通撕碎机相差不大，X1500型双轴撕碎机主要是由主刀、副刀、主轴转子、篦条、进料系统、支架组成。双轴撕碎机一般转速较低、扭矩大，适用于撕碎较为坚硬或体积比较大的物料。如金属、木材、轮胎橡胶、电路板、废旧家电等。双轴撕碎机未来发展方向如表 1.1 所示：

表 1.1 双轴撕碎机未来发展方向

发展方向	具体内容
有色金属分选	一方面来说，此设备主要依靠进口；然而另一方面，如何与单轴撕碎机的运行相互配合，有待细化开发。
风力分选	国外最常用的是“Z”箱，效果非常好，然而国内目前欠缺。
大型化	市场需求将扩大。
标准化	减少噪声污染。

## 1.3 双轴撕碎机的特点

刀具硬度和强度高，撕碎效率高，刀具材料一般为合金钢，硬度高使用寿命长。支架板一般较厚，稳定性好，可以抵抗高扭矩。现阶段的创新



为一般使用微电脑（PC）自动控制。该本次设计的设备具有大转矩、噪音低、转速低的特点，并且粉尘颗粒可以达到国家的环保标准<sup>[3]</sup>。

对于双轴撕碎机来说，调整方便、经济耐用、维修费用低是非常重要的特点。并且针对不同的物料，一般选择不同的刀具，这不仅能提高撕碎效率还可以起到保护刀具的作用。

#### 1.4 研究内容

- (1) 设计合理的主轴结构，进行强度校核；
- (2) 设计合理的机械结构，完成预期的动作；
- (3) 合理选择刀具，使其具有足够的强度和硬度；
- (4) 优化设计，更大幅度的降低成本。

## 2 X1500 型双轴撕碎机总体设计

此处设计的是 X1500 型双轴撕碎机，回转直径  $\Phi 800$ ，转速 5.5~10rpm，刀片数量 30/20，出料高度 1400mm 的双轴撕碎机。产品主要特点是速度低，扭矩大，噪音低，几乎看不到粉尘，主要用于剪切各种强度比较高的物料，这种装置主要是由主刀、副刀、转子、传动装置等几部分组成。X1500 型双轴撕碎机总体结构如图 2.1 所示。

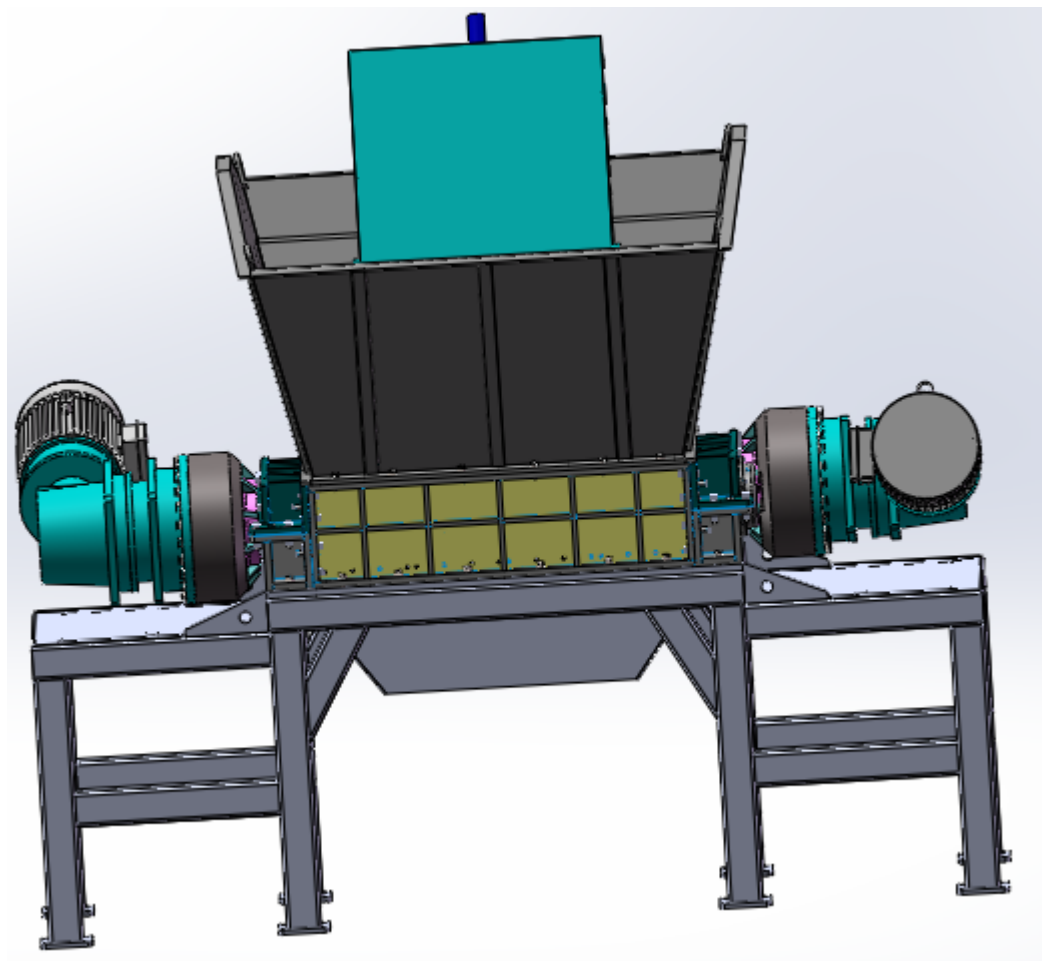


图 2.1 X1500 型双轴撕碎机总体结构

### 2.1 机架

双轴撕碎机的外壳由以下几部分组成：后上盖、左右侧板、下机体，各部分用焊接或螺栓联接而成。双轴撕碎机上部设置一个加料口，在机壳的内部应添加一层衬板，衬板材料为高锰钢，一般衬板出现磨损后需要更换。对于下机体来说，一般是由 20-40mm

的普通碳素钢焊接，为了使转子正常工作，需要在转子两端安放一对轴承，并且在轴承下端焊接支座。如果轴和机壳之间没有有效的防护措施，经常会使机器出现漏灰现象。如果想要很好的防止漏灰，可以设计一个轴封装置，该装置通常安装在机壳上。机壳一般放在水泥地上，下部一般用地脚螺栓进行固定<sup>[4]</sup>。一般我们会在下机体的前后面开一个检修孔，以便于检修调整。机壳的侧壁和上盖，一般是用钢板焊接而成的。在两个侧壁设置轴封装置，可以有效的阻止灰尘的进入，就像下机体的一样。机架的结构如图 2.2 所示。

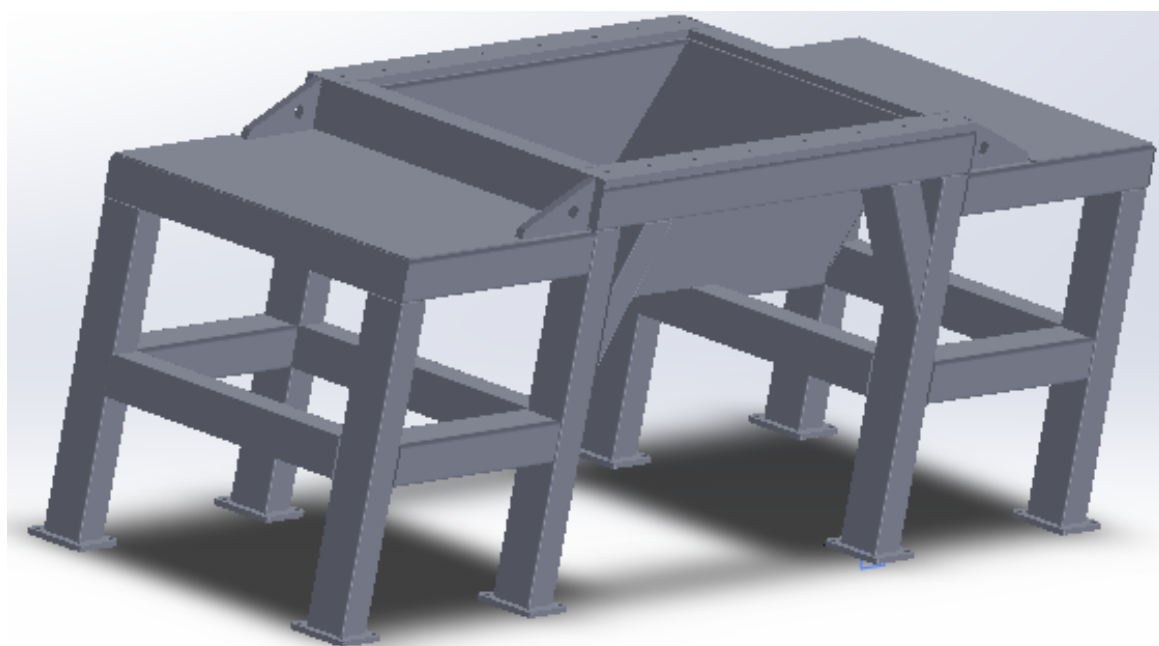


图 2.2 机架结构图

## 2.2 转子

转子对 X1500 型双轴撕碎机来说，是双轴撕碎机必不可少的部件，它主要是由刀具（主刀和副刀）、主轴组成。主轴采用光轴，光轴中心部位为正方形，为了方便安装和更换刀具，一般在光轴的两端处添加压紧盘和锁紧螺母进行固定。除了使用螺栓外，固定轴承的中心距可以用两个相同的定位销来固定。转子的结构如图 2.3 所示。下面对转子主要部件的材质、构造和用途进行介绍：

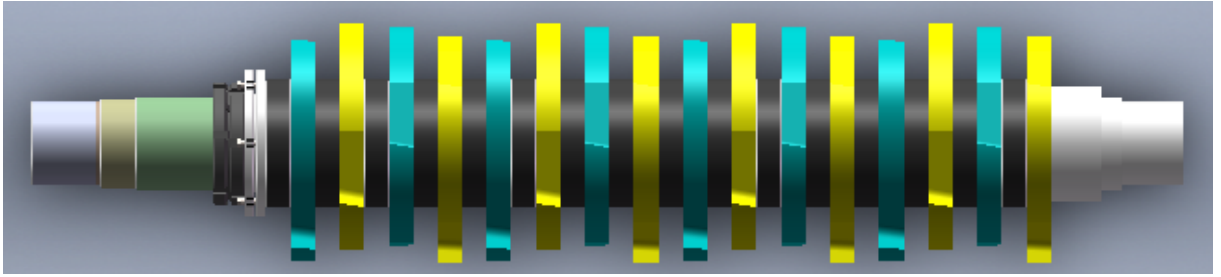


图 2.3 转子的结构图

### 2.2.1 主轴

主轴是双轴撕碎机的主要部位。主轴的材料一般要求具有较高的强度和韧性，因为主轴不仅需要承受转子和刀具本身的重量，还需要承受刀具带来的冲击力。因此，根据设计要求，此次设计主轴的材料选用 45 号钢，并且把主轴的端面设计成圆形，最大的直径为 800 毫米。其前主轴的形状如图 2.4 所示，后主轴的形状如图 2.5 所示。

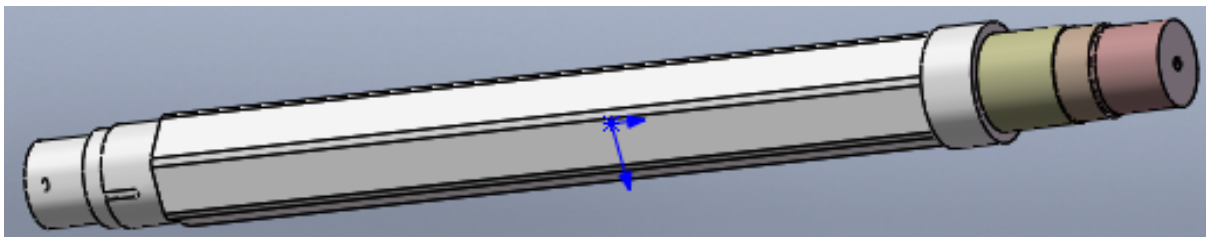


图 2.4 前主轴形状图



图 2.5 后主轴形状图

### 2.2.2 刀具

双轴撕碎机的刀具主要包括主刀和副刀，二者都是双轴撕碎机的主要部件。刀具的转速、形状和材质对撕碎机的生产能力有很大的影响。刀具动能的大小与光轴转速的平方成正比，即转速越大、刀具的动能越大、撕碎率越高。但转速过大，会加剧双轴撕碎机转子的其它零件磨损。因此，光轴转速应控制在一定范围内。

刀具的材料对于撕碎效率来说有很大的影响，选择适当的刀具材料是非常重要的，当用碳素钢制作的刀具来撕碎大理石等材料时，一星期之内刀具就会产生大量的磨损，而用高锰钢制造的刀具，在经过热处理后，刀具表面的硬度可以得到明显的提高，则将很大程度的延长刀具寿命。因此本次设计选择的刀具材料为 ZGMn13 的高锰钢，高锰钢具有很强大的抗冲击能力，以及一定的耐磨性和耐腐蚀性。该种材料非常适合用作刀具，它的化学成分如下：

碳 (%) 0.9-1.3

锰 (%)	11.0-14.0
硅 (%)	0.3-0.8
磷 (%)	≤0.10
硫 (%)	≤0.05

机械性能:

抗拉强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	≥56
屈服强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	≥30
延伸率 (%)	≥15
伸缩率 (%)	≥15
布氏硬度	179-229 HBS
冲击值 (kg.m/mm <sup>2</sup> )	3

刀具包括主刀和副刀两部分，主刀刀具的轴孔如图 2.6 所示。因为高锰钢的特殊性，机械加工性能较差，所以在制造的时候，一般用 5 根直径为 30mm 的无缝钢管铸造，如果一切顺利的话，不需要加工就可以安置在机架上。若偏差较大，可以经过加工在使用，一般不需要再加工<sup>[5-7]</sup>。

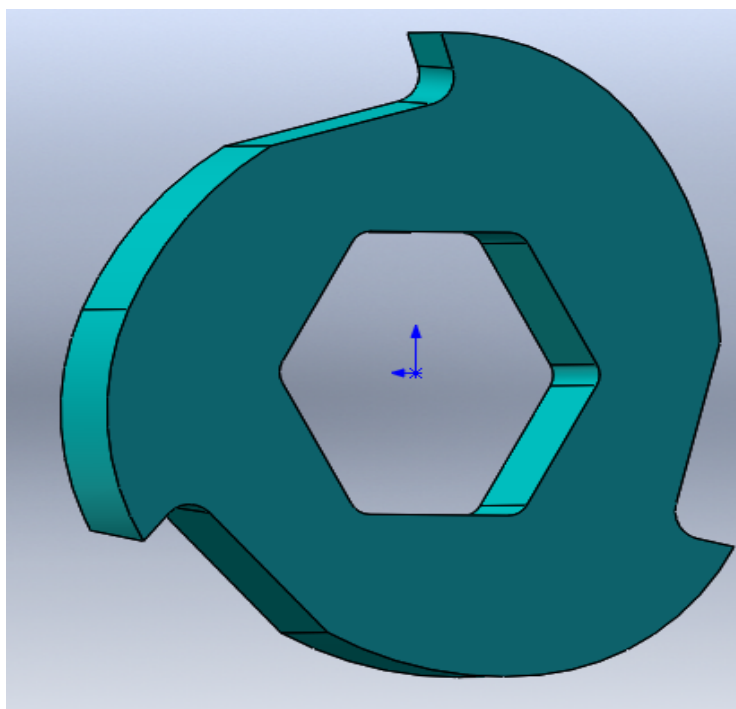


图 2.6 刀具示意图

本次设计的刀具数量较多，所以当部分刀具磨损之后，仍可继续使用。

虽然可以继续使用，但是当磨损到一定程度时，机器也不能正常运转了，因此需采用用新刀替换磨损刀具的方式来保证机器正常工作。除此之外，如果转子上的某个刀具磨损非常严重，转子会失去平衡，严重影响撕碎机的工作，可能会导致轴承磨损。因此，在机器工作中应该密切关注刀具本身的磨损情况，定期检查，并更换新刀具。为了防止刀具处漏油，需在刀轴处添加一个油封装置如图 2.7 所示。

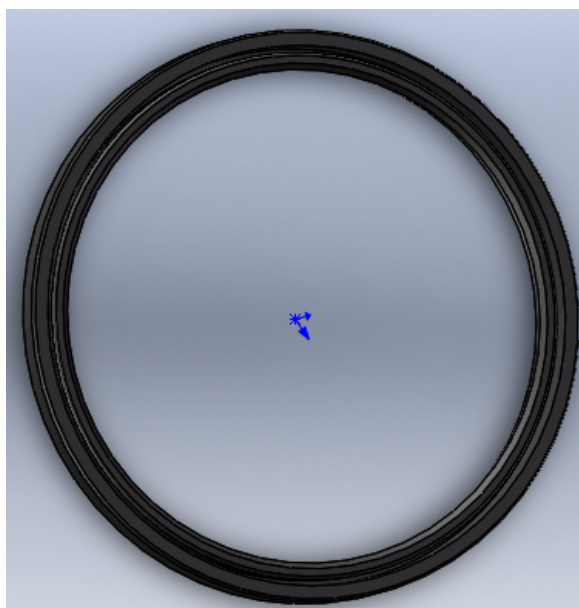


图 2.7 密封圈

### 2.3 托板和衬板

当使用 X1500 双轴撕碎机撕碎物料时，在撕碎时会在瞬间用极大的动能撕碎物料，为了保护机器正常工作，一般在机架的内部装锰钢衬板和隔板。隔板示意图如图 2.9 所示。

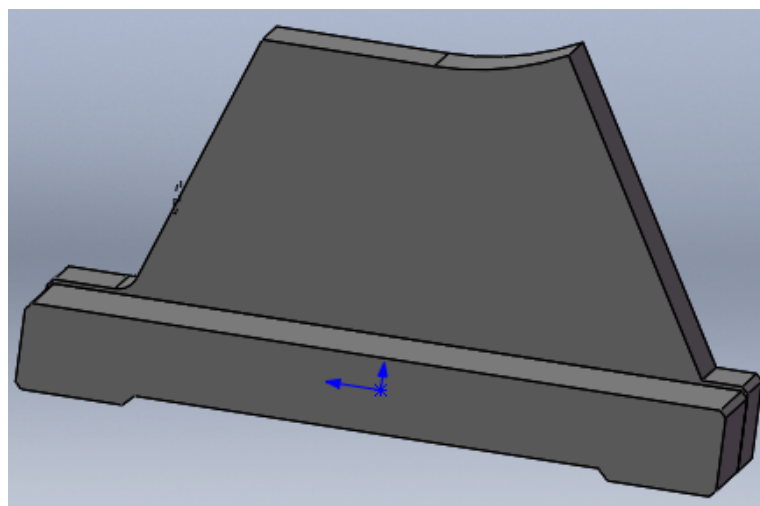




图 2.9 隔板示意图

打击板是由托板和衬板等部件共同组成的。在此次设计中，衬板选用的材料为高锰钢铸件，普通的钢板是由上面的托板焊接而成的，托板的材料和刀具的材料是相同的。在衬板和托板安装好之后，用两根轴架于撕碎机的架体上，对于进料斗的角度来说，一般用调整丝杠进行调整，磨损严重时可更换，以保证产品质量。因此，查得合金钢的成分及热处理如表 2.1 所示。

对于只含 2% 钼的高锰钢来说，它的屈服强度比较高，并且韧性也比较好。如果护板初次损坏后，对于含钼 2% 的高锰钢来说，在经过弥散处理后，会产生较高的韧性，并且会延长它的寿命，一般要比常规的高 25% 左右。但现阶段来说，弥散处理所需要花费的费用比较高，因此不经常使用。通过网络调研，可知含钼 1%，含碳 0.8~1.0% 的高锰钢的强度和韧性都不低。相对于弥散处理来说，正火加工和淬火加工的成本较低。所以为了提高表面硬度可以使用正火加工表面淬火的热处理。因此，本次设计衬板的材料选用的是高猛钢。左上内衬板结构如图 2.10 所示。

表 2.1 合金钢的成分及热处理

	C	Mn	Si	P	Mo	Cr	热处理
A	1.1~1.40	5.0~7.0	<0.8	<0.4	0.8~1.2	—	正火、表面淬火
B	0.90~1.1	13.0~15.0	<1.0	<0.05	—	—	正火、表面淬火
C	1.1~1.25	12.0~14.0	—	—	—	—	—
D	1.1~1.30	12.0~14.0	—	—	—	1.6~2.1	—
E	0.8~1.00	12.0~14.0	—	—	0.9~1.1	—	—
F	1.1~1.25	12.0~14.0	<1.0	—	1.8~2.2	—	—
G	1.2~1.35	12.0~14.0	<1.0	—	—	—	—
H	1.2~1.4.0	12.0~15.5	<1.0	—	—	—	弥散硬化

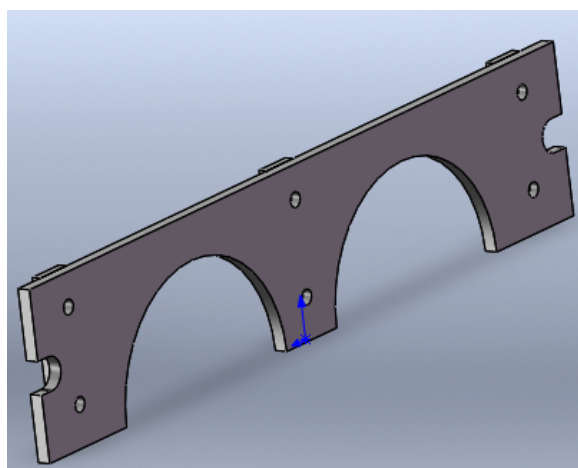


图 2.10 左上内衬板结构图

## 2.4 篦条

对于双轴撕碎机来说，我们需要考虑它的排列方式，一般来说，它的排列方式与刀具的运动方式正交，它和转子的回转半径之间有一定的间隙，且为圆弧状。正常来说，只有符合条件的物料才可以通过篦条缝，当物料比篦条缝大的时候，物料不能通过篦条，它会再次受到刀具的冲击和切削而被再次撕碎，如此循环直到所有物料都可以通过篦条缝。篦条和刀具一样，如图 2.11 所示为 X1500 型双轴撕碎机的篦条示意图，其形状基本是梯形截面，本次设计选择的材料为 ZGMn13 的高锰钢。上文说过，高锰钢具有较高的抗冲击能力和耐磨性，因此，篦条的材料为高锰钢。所谓篦条缝就是指篦凸出部分形成的缝隙。

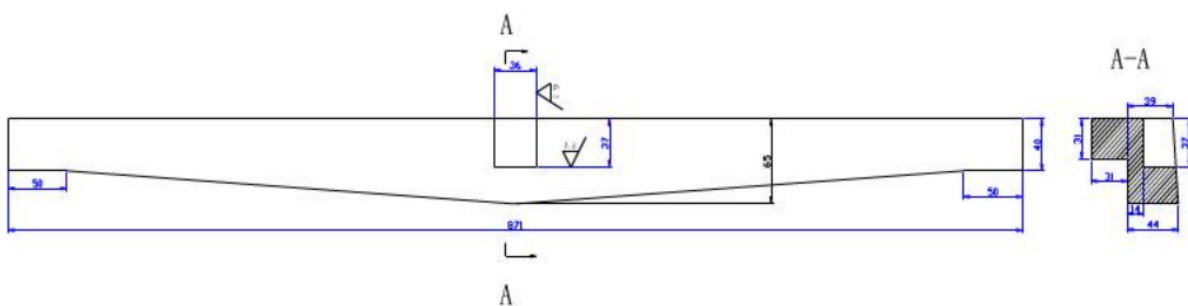


图 2.11 篦条示意图

## 2.5 过载保护

金属碎片对双轴撕碎机来说是极大的威胁，为了防止工作过程中金属碎片进入撕碎机内部，损坏机器。本次设计在双轴撕碎机上装有安全保护装置。在双轴撕碎机的主轴上装有安全铜套，如果有杂质进入双轴撕碎机，或者双轴撕碎机过负载，安全铜套都会起到保护作用。在本次设计中所用的联轴器是剪切销安全联轴器，当双轴撕碎机工作且载荷过大时，会严重影响工作性能，导致联轴器上的销钉被剪断，因此可以起到保护作用。

## 2.6 密封防尘装置

密封装置的主要作用是防止灰尘等杂质进入主轴或轴承，如果灰尘进入轴承会严重影响双轴撕碎机的正常工作。密封装置还有一个重要的作用是防止润滑油的流失。密封装置设计的好与不好，会严重影响滚子轴承和齿轮滚子的使用寿命，进一步会影响到整个机器的寿命。

双轴撕碎机一般应用在恶劣的环境下，所以必须选择一个密封好的密封装置。对于传统的密封装置来说，一般选用毛毡式密封装置，但在恶劣环境下会影响正常的工作。因此，本次设计选用的是迷宫式密封，径向间隙为 0.5 毫米，轴向间隙为 2.5 毫米，为提高密封效果，最好的方式是将油脂压入迷宫腔内。迷宫式密封原理图如图 2.12 所示。

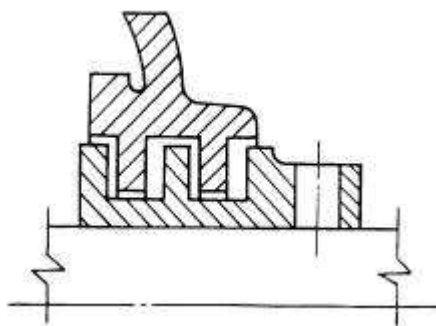


图 2.12 迷宫式密封原理图

### 3 X1500 型双轴撕碎机的结构参数和工作参数的选择和计算

#### 3.1 结构参数的选择和计算

##### 3.1.1 转子的直径和参数

(1) 对于转子来说,它的直径一般是由物料的尺寸来决定。大多数情况,转子的直径一般是物料尺寸的 4~8 倍,一般大型撕碎机取 4。由于本次设计的为中型撕碎机,所以本次取 6,加工物料度 $\leq 120$  毫米<sup>[8]</sup>。所以转子直径  $D = 6 \times 120 = 720\text{mm}$ , 取  $D = 800\text{mm}$ 。

(2) 转子的长度,主要是依据机器的生产能力来确定的。转子长度与直径的比值一般为 0.67~1.43,对于抗冲击力强的物料来说,一般选取较大比值。由于本次设计的双轴撕碎机加工物料为建筑材料,所以比值取 1.1。转子长度  $L = D \times 1.1 = 800 \times 1.1 = 880$ , 取  $L = 900\text{mm}$ 。

##### 3.1.2 基本结构尺寸的确定

(1) 给料口的尺寸:主要包括长度和宽度,用  $d_m$  表示最大给料口的尺寸,双轴撕碎机的给料口宽度  $B > 3d_m$ 。  $B > 3d_m \Rightarrow 4 \times 120 = 480\text{mm}$ , 取  $B = 500\text{mm}$ , 而转子长度与进料口长度相同,故取进料口长度为  $L_1 = 900\text{mm}$ 。

(2) 出料口尺寸(排料口):双轴撕碎机的排料口一般按入磨粒度要求来确定,因为排料口由钢板间隙尺寸控制。

(3) 给料方式与进料口的仰角:双轴撕碎机要求给物料有一定的垂直下落速度,故进料口设置在机架上方。进料斗如图 3.1 所示。

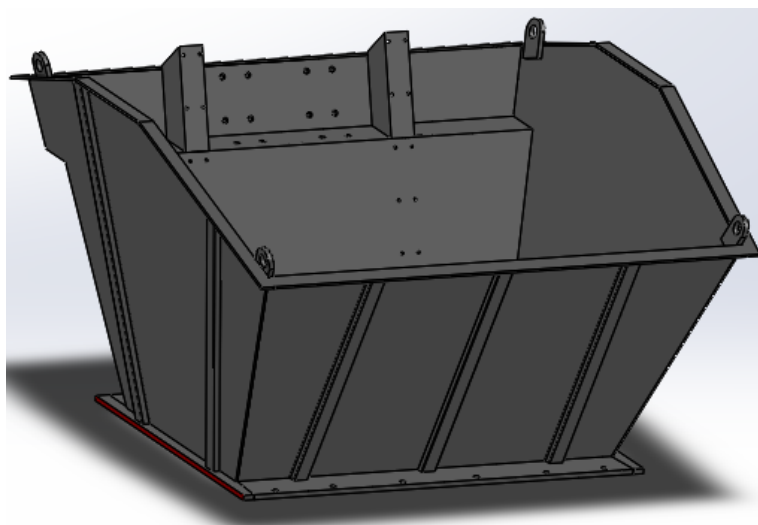


图 3.1 进料斗结构图

## 3.2 主要工作参数的计算

### 3.2.1 转子速度

为了机器正常运行，双轴撕碎机设有减速装置。因此双轴撕碎机的速度不超过所安装的电动机的额定转速。转子转速用刀具的圆周速度来控制。转子的转速是双轴撕碎机的重要参数，转子的转速可按下式进行计算<sup>[8]</sup>：

$$n = 60v/3.14D \quad (3-1)$$

式中：  $v$ —转子的圆周速度；

$D$ —转子的直径；

可根据待碎物料的性质来计算转子的圆周速度  $v$ ；

$$v = 0.01 \times (9.8/r)^{0.5} G_0^{5.6} / E^{1/3} \text{m/s} \quad (3-2)$$

式中：  $g$ —重力加速度，  $g=9.81\text{cm/s}^2$ ；

$R$ —物料比重，  $\text{kg/cm}^3$ ；

$G$ —物料的抗压强度，  $\text{kg/cm}^2$ ；

$E$ —物料的弹性模数，  $\text{kg/cm}^2$ ；

由上式（3-2）没有反映出撕碎比这一因素，因此上式公式得出计算只能作为转子转速的参考。现阶段，双轴撕碎机转子的圆周转速的范围是  $0.15\sim 0.80\text{m/s}$ 。对于传统的撕碎机来说，粗碎时的范围为  $0.15\sim 0.40\text{m/s}$ ，细碎时的范围为  $0.40\sim 0.80\text{m/s}$ 。转子的转速越高，撕碎比也就越大，但是同时也会加剧刀具的磨损，需要很大的功率。因此，在机器正常工作的过程中，应控制转子的圆周速度使其不至于过高。综上所述可知：

$$\begin{aligned} n &= 60v/3.14D \\ &= 60 \times 0.4/3.14 \times 0.8 = 9.55r/min \end{aligned}$$

为了减少磨损和功耗，取

$$n = 9.55r/min$$

### 3.2.2 生产率

所谓生产率，即一小时内撕碎物料的吨数，它反映了双轴撕碎机的效率。目前，双轴撕碎机还没有一个合适的理论计算公式，因此，在本次设计中只能用常规的经验公式来计算。X1500型双轴撕碎机的生产率主要是通过撕碎中等硬度物料来计算的，经验公式如下：

$$Q = (30 - 45)DLE \quad (3-3)$$

式中：D—转子的直径，单位：m；  
L—转子的长度，单位：m；  
E—物料的松散比重，单位：t/m<sup>3</sup>；

由于本次设计中 D=800mm=0.8m；

L=900mm=0.9m；

物料的松散比重 E 取 1.62；

公式中的系数取中间值 38；

则  $Q=38 \times 0.8 \times 0.8 \times 1.62=44.324$  吨/小时。

根据计算结果，我们可以确定出 X1500 型双轴撕碎机的生产率为 44 吨每小时左右。

### 3.2.3 电机功率

双轴撕碎机电机的功率需要考虑许多因素，最主要考虑的是撕碎比，其次是转子的速度，最后是物料的性质。

目前，双轴撕碎机的电动机功率和双轴撕碎机的生产率一样，还没有一个完整的理论计算公式。所以，一般根据实验数据和生产经验，利用经验公式来计算电动机的功率。

根据生产的实践来选择电动机的功率，计算公式如下<sup>[9]</sup>：

$$P = KQ \quad (3-4)$$

式中：Q—机器的生产能力，吨/小时；

K—比功耗，千瓦/吨，比功率主要取决于待撕碎物品的性质、撕碎比和机器的结构特点来决定。对于撕碎机撕碎中等硬度的物料时一般 K=1.4~2。当撕碎为粗碎时一般取偏大值，细碎时一般取偏小值。

本次设计的机器是 X1500 型双轴撕碎机，主要功能是将物料细碎，因此 K 值应该取偏小值（取 K=1.7 千瓦/吨），Q=40 吨/小时。则：

$$P = KQ = 40 \times 1.7 = 68kW$$

故可取电动机的功率为 75 千瓦。

参考电动机功率的计算结果，并按照设计的要求，查表选 Y 系列（IP23）三相异步电动机（JB/T 5271—1991、5272—1991）。型号为 Y280S-6。电动机效率 92%，额定电流为 143A。

### 3.3 传动方案的选择

为了方便双轴撕碎机转子在工作中储存一定的动能，帮助减小刀具的速度损失和电动机的负荷，进一步加强撕碎机撕碎大型物料的能力，所以我们可以选择在主轴的一端配置一个飞轮，也可以选择用带轮与电动机相连。故在本次设计中，考虑了三种设计方案，如下所示：

（1）由三角皮带传动作为减速的传动系统：这种传动系统的优点是传动件制造容易、价格便宜、维护简单、维护费用少。但缺点是传动效率较低，并且占用空间较大。

（2）由齿轮减速器作为减速的传动系统：这种传动系统的优点是传动可靠、结构紧凑。但缺点是减速器价格比较贵，维护费用大、消耗金属多、且制作麻烦。

（3）利用低速电动机作为减速的传动系统：这种传动系统的优点是整个传动系统非常紧凑，传动效率高，消耗金属少。本次设计选择的电机为异步电动机，可以有效的提高电机的功率因数。且电动机价格便宜，体积较小，维护也较为较小简单。如图 3.2 所示。

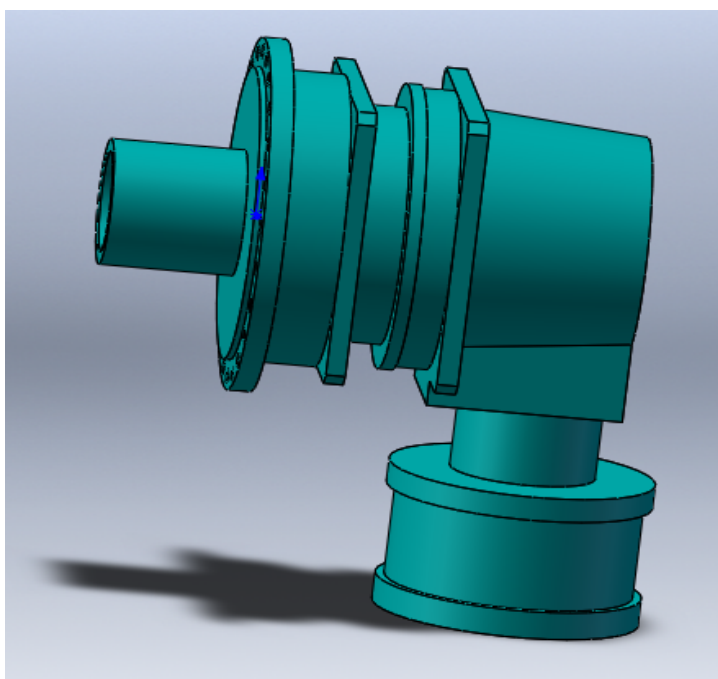


图 3.2 减速机

综上所述，本次设计的传动方案共有三种，现对这三种方法进行比较，由于本次设计为 X1500



型双轴撕碎机，根据它的工作条件来说，它的占地空间不是很大，并且储存的动能也不需太多。所以首先应放弃第一种方案。那么现在来对比第二种方案和第三种方案。

第二种方案需设计齿轮减速器，设计过程较为复杂，并且该减速器制造费用较低，维护便捷。最重要的一点是与方案三相比，方案二的优点方案三都可以满足，因此本次设计选择方案三。

## 4 X1500 型双轴撕碎机主要零件的设计计算

### 4.1 主轴的相关设计、计算与校核

#### 4.1.1 主轴的设计

对于只传递转矩的圆截面轴，其强度条件为：

$$\tau = T/Z_p = [(9.55 \times 10^6 P)/0.2d^3 n] \leq [\tau] N/mm^2 \quad (4-1)$$

式中： $\tau$ —轴的转切实力， $N/mm^2$ ；

$T$ —转矩， $N \cdot mm^2$ ；

$Z_p$ —为极截面系数， $d^3$ 对圆截面轴 $Z_p = \pi d^3/16 \approx 0.2d^3$ ；

$P$ —传递的功率， $kW$ ；

$n$ —主轴转速， $r/min$ ；

$[\tau]$ —许用扭切应力， $N/mm^2$ ；

$$T_1 = 9550000 \times \frac{P_1}{n_1} = 9550000 \times \frac{75}{980} = 730867 N/mm$$

本次设计的轴为转轴，即既可以承受转矩也可以承受弯矩的轴，对于转轴来说，可以用公式（4-1）来进行轴直径的估算。为了进一步对轴所受的弯矩进行补偿，需要适当的较小轴的许用扭切应力。当许用应力被降低后，将许用应力带入上述公式，并将设计公式改为：

$$d \geq \sqrt{\frac{9.55 \times 10^3}{0.2[\tau]}} \times \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = A \times \sqrt[3]{\frac{P}{n}} mm \quad (4-2)$$

公式 4-2 中， $A$  的取值范围为 98~107。因为本次设计的主轴材料为硅锰钢，且工作过程中主轴承承受的弯矩和载荷比较大，故  $A$  取 107。又因为  $P=75kw$ ， $n=9.55r/min$ 。所以：

$$d \geq 107 \times \sqrt[3]{\frac{75}{9.55}} = 140mm$$

对于轴来说，应取轴的最细处进行分析，主轴的最细处为 $d_{min}$ 处，所以 $d_{min}$ 处的强度条件为：

$$\tau = \frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2d^3 n} = \frac{9.55 \times 10^6 \times 75}{0.2 \times 50^3 \times 980} = 29.2 N/mm^2$$

轴材料 35SiMn 的许用扭切应力 $[\tau] = 40 \sim 52 N/mm^2$ 。因 $d_{min}$ 处的强度小于许用应力。所以 $d_{min}$ 处的强度符合要求。

主轴的结构方案如图 4.1 所示：

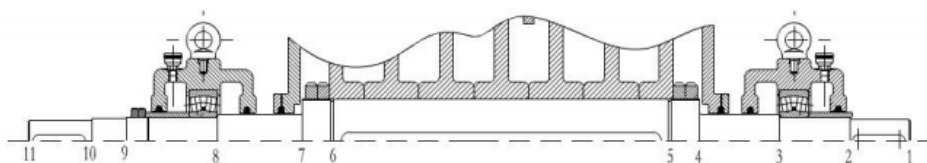


图 4.1 主轴的结构方案

图 4.1 中，主轴的最小直径处是 $d_{10-11}$ 。合适的选择联轴器型号，可以保证很好的配合，计算联轴器的转矩 $T_{ca} = K_A T$ ，取 $K_A = 2.3$ ，则 $T_{ca} = 2.3 \times 730867 = 1589994 N/mm^2$ 。

本次设计的联轴器需要满足一个条件，即公称转矩大于计算转矩，对于联轴器的选择，需查手册或者标准 GB/T 5843-86 进行选择，查得适合本次设计的联轴器为剪切销安全联轴器。半联轴器的长度为 132mm，孔径 $d_1 = 50mm$ ，故取 $d_{1-2} = 104mm$ ，联轴器的毂孔长度 $L_1 = 106mm$ 。为了更好的定位联轴器，使其满足轴向定位，在轴的 1-2 段设置一个轴肩，所以 2-3 段轴的直径是 80mm，即 $d_{2-3} = 80mm$ ， $L_{1-2} = 104mm$ 。

轴承一般会同时承受两个力的作用，一个是轴向力，一个是径向力。因为撕碎机在工作过程中，它的主轴会承受较大的冲击，所以本次设计选用的轴承为调心滚子轴承。根据轴的强度要求选取 2-3 段的直径为 $d_{2-3} = 80mm$ ，轴承的型号为调心滚子轴承 22316， $d \times D \times B = 80 \times 170 \times 58$ ，此时在轴承的左端采用轴肩定位，在此处取轴肩 $h = 5mm$ ，故 $d_{3-4} = 90mm$ ，右端与联轴器采用套筒进行定位，联轴器的长度取 48mm。轴承的宽度为 $B = 33mm$ ，当轴承被套筒压紧时取 $L_{2-3} = 79mm$ ，机壳的壁厚为 20mm，120mm 是箱体的密度，箱体和外壁的距离是 35mm，制造误差为 $s = 120mm$ ，故取 $L_{3-4} = 133mm$ 。用轴套对转子圆盘进行定位，去此处轴肩的高度为 10mm，则 $d_{5-6} = 130mm$ 。为了保证圆盘被有效的固定，取 $L_{5-6} = 896mm$ 。

因为主轴是对称布置的，所以取 $L_{6-7} = 40mm$ ， $d_{6-7} = 110mm$ ， $L_{7-8} = 133mm$ ， $d_{7-8} = 90mm$ ，对于轴承的定位，本次设计选择用套筒和挡圈定位，由于 $d_{10-11}$ 为主轴轴径最小处，所以取轮毂长度为 130mm，故取 $L_{9-10} = 120mm$ ， $d_{9-10} = 76mm$ ，根据轴的设计要求取 $d_{10-11} = 70mm$ ， $L_{10-11} = 125mm$ 。轴与轴端齿轮采用的周向定位，由于齿轮轮毂的长度大于 500mm，故需要按 GB/T321-2005 《优先数和优先数系》<sup>[10]</sup>的 R20 系列进行选择，选取 $L=810mm$ ，取 $b \times h=20 \times 12mm$ ；联轴器

与轴的联接，选用平键为  $b \times h \times L = 20 \times 12 \times 110 \text{mm}$ 。

#### 4.1.2 主轴的强度校核

首先依据主轴的结构简图可以作出轴的计算简图，对于双轴撕碎机来说，他在工作过程中会产生一定的冲击，这种冲击主要产生在撕碎物料时的刀具上。为了计算强度校核，现对强度校核进行简化，假设载荷均为均布载荷作用于转子上。假设物料以角  $\alpha = 30^\circ$  与刀具接触，则有圆周力、径向力、轴向力计算公式如下<sup>[11-12]</sup>：

$$F_t = 2T_1/d_1 \quad (4-3)$$

$$F_r = F_t \tan \alpha \quad (4-4)$$

$$F_a = F_t / \cos \alpha \quad (4-5)$$

式中： $T_1 = 9550000 \times \frac{P_1}{n_1} = 9550000 \times \frac{75}{980} = 730867 \text{N} / \text{mm}$

故主轴的圆周力为  $F_t = 2T_1/d_1 = 2 \times 730867/50 = 29235 \text{N}$ ；

主轴的径向力为  $F_r = F_t \tan \alpha = 29235 \times \tan 60^\circ = 16879 \text{N}$ ；

主轴的轴向力为  $F_a = F_t / \cos \alpha = 29235 / \cos 30^\circ = 33758 \text{N}$ 。

设使用应力的余裕系数为  $e = 1.5$ 。

则作用于每个刀具上的力分别为：

$$F'_t = eF_t = 1.5 \times 29235 = 49853 \text{N}；$$

$$F'_r = eF_r = 1.5 \times 16879 = 25319 \text{N}；$$

$$F'_a = eF_a = 1.5 \times 33758 = 50637 \text{N}；$$

作用于转子上的圆周力合力大约为刀具上圆周力的一半，故：

$$F_{t\text{合}} = 21926.4 \text{N}；$$

将  $F_{t\text{合}}$  简化为一作用于转子上的均布载荷，其支反力为：

水平面内支反力： $R_{H1} = R_{H2} = 10.9 \text{kN}$ ；

垂直面内支反力： $R_{V1} = R_{V2} = 1.9 \text{kN}$ ；

依据上述的简图，可以求出水平面内各力产生的弯矩和垂直面内各力产生的弯矩分别为： $M_H = 4.53 \text{kN} \cdot \text{m}$ ， $M_V = 0.78 \text{kN} \cdot \text{m}$ 。

并按结果分别作出水面上的弯矩图  $M_H$  如图 4.2 (c)

) 和垂直面上的弯矩图 $M_V$ 如图 4.2 (e) 所示:

按公式 (4-6) 可以计算出弯矩的大小, 并画出总弯矩图, 并且作出弯矩图 4.2 (f) 和扭矩图如图 4.2 (g) 所示, 根据已知的扭矩图和弯矩图, 可以作出计算弯矩图 $M_{ca}$ 如图 4.2 (h) 所示。轴的载荷分析图如图 4.2 所示:

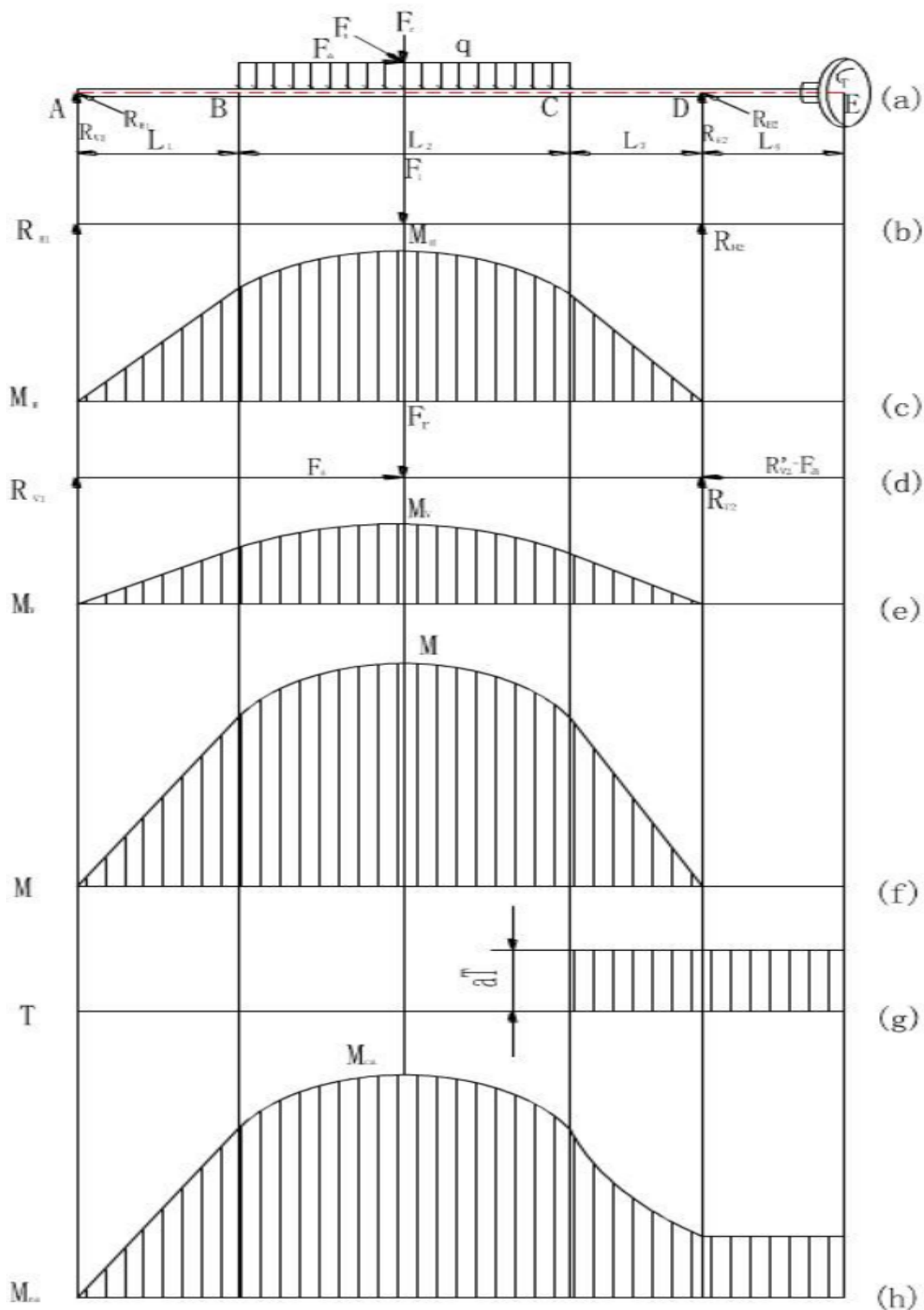


图 4.2 轴的载荷分析图

$$M = \sqrt{M_H^2 + M_V^2} = \sqrt{4.53^2 + 0.78^2} = 4.6kN \cdot m \quad (4-6)$$

$$M_{ca} = \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2} = 4.68kN \cdot m \quad (4-7)$$

$$\delta_{ca} = \frac{M_{ca}}{W} \quad (4-8)$$

对于轴的计算弯矩来说，一些危险截面需要进行强度校核计算，即弯矩特别大或直径不足的截面。对于危险截面转子，通常只需要校核中间截面（最大计算弯矩的截面）的强度。因此根据上文轴的载荷分布和公式（4-8）可得出下列条件：

$$\delta_{ca} = \frac{4.68 \times 10^3}{\frac{\pi}{32} (130 \times 10^{-3})^3} = 23.4MPa < [\sigma_{-1}] = 75MPa$$

由上面的论述可知，所进行的计算是完全符合要求，所以符合要求。当瞬时过载非常大或者应力循环严重不对称时，必须对主轴安装过载保护装置，该装置可以很好的保护主轴正常工作，所以此处不需要考虑静强度校核。

#### 4.1.3 键的强度校核

压溃和磨损是平键联接最易发生的失效形式，故此处针对耐磨性条件和挤压强度条件进行校核。

挤压强度条件公式为：

$$\frac{4T}{dhl} \leq [\sigma_p] \quad (4-9)$$

耐磨性条件（动联接）公式为：

$$\frac{4T}{dhl} \leq [p]$$

(4-10)

式中：T—转矩，N.mm；

d—轴颈，mm；

h—键的高度，mm；

l—键的工作长度，mm；对A型键l=L-b；

$[\sigma_p]$ —许用挤压应力，MPa（此处为60-90）；

$[p]$ —许用压强，MPa（此处为30）。

对 $d_1$ 处平键的的挤压强度进行计算，取 $d_1$ 处键的型号为B10×25 GB/T 1096-2003。故挤压强度条件为：

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/218070054033006052>