

景德镇陶瓷学院

科技艺术学院

本科生毕业设计（论文）

中文题目： 小型球磨机的结构设计及三维造型

英文题目： SMALL BALL MILL DESIGN AND THREE DIMENSIONAL
MODELLING

院 系： 工 程 系

专 业： 机械设计制造及其自动化

姓 名： 张曙光

学 号： 201030454138

指导教师： 郭童军

完成时间： 2014-04-30

摘 要

球磨机是一种经过转动筒体上的研磨体来研磨物料的一种机械，是一种考验研磨各种材料的机械用具。被普遍用在建材，化工等陶瓷行业。

球磨机的能量利用率相当低，此和物料在筒体磨内分布的情况有很大的关系。越接近筒体的外层的运动轨迹，研磨作用越好。当球磨机真实的生产时候，材料进去球磨机体内就会直接受到重力的作用，落入桶底，在内层贴覆筒体运动消耗大量的工作为摩擦生热消耗掉只有极小一部分研磨材料做功。

此次设计的课题是小型球磨机的设计及三维造型，通过对大量参考资料的参数总结，研发出一种可以再先前基础上加大生产量，噪音小，产量高，低能耗的小型球磨机。此球磨机有操作简单安全，转速相对低下，噪声小等多种优点。具体的设计方法和详细的结构设计，研究方案，计算结果和材料选择方法过程见说明书。

关键词：球磨机，回转部分主要零件，回转部分的设计

ABSTRACT

Ball mill is a kind of after grinding medium on the cylinder rotates to a mechanical grinding materials, grinding is a kind of test of various materials of machine tool is widely used in building materials, chemical and other ceramic industry

Ball mill energy utilization rate is low, the distribution and material within the cylinder grinding condition has a lot to do The closer the barrel outer trajectory, the better grinding effect When the ball mill of real production, materials in ball mill in the body will be directly affected by gravity, fall into the bottom of inner cylinder on sports consumes a lot of work for the friction heat production consume only a tiny fraction of grinding materials to do work

This design topic is the design and the three-dimensional modelling of small ball mill, based on a large number of resources for the parameters of the summary, the development of a kind of can be based on the previous increase production, low noise, high output, low energy consumption, small ball mill The ball mill is simple and safe operation, paraphrased is relatively low, low noise, and other advantages Specific design method and the detailed structure design, study plan, see manual calculation and material selection method process

KEYWORDS: The design of ball mill , Specific methods process see instructions, he ball mill rotary body design

目 录

1 引言 1

1.1 球磨机的介绍 1

1.2 球磨机的种类 1

1.3 球磨机使用范围及结构特点 3

1.4 本文研究内容 4

2 球磨机总体设计 6

2.1 球磨机的主要计算参数 6

2.1.1 球磨机的临界转速 6

2.2 磨机的功率 7

2.3 研磨体的装填量 7

2.4 磨机生产能力 9

3 球磨机的回转体的部分设计 10

3.1 筒体部分设计 10

3.1.1 筒体的结构设 10

3.1.2 筒体与端盖的联接方式 10

3.1.3 磨门与人孔 10

3.1.4 筒体的基本技术要求和规定 11

3.1.5 筒体的计算 12

3.2 磨头部分设计 15

3.2.1 磨头的结构设计 15

3.2.2 实心轴的结构设计 15

3.3 衬板的选型设计 17

3.3.1 衬板作用 17

3.3.2 衬板材料 17

3.3.3 衬板种类 17

3.3.4 衬板的安装方式 18

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）

4 进料装置的设计 19

 4.1 常用球磨机进料方式 19

5 球磨机三维造型设计 20

结论 24

经济分析报告 25

致谢 26

参考文献 27

附件(球磨机筒体实体图) 28

1. 引言

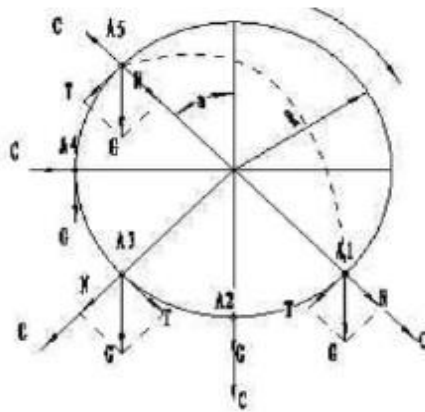
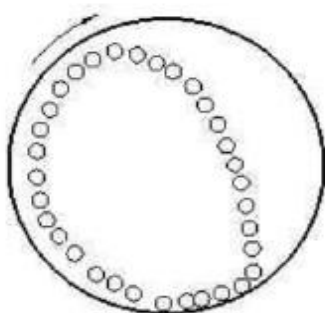
球磨机是一种经过转动筒体上的研磨体来研磨物料的一种机械，是一种考验研磨各种材料的机械用具。被普遍用在建材，化工等陶瓷行业。

球磨机的能量利用率相当低，此和物料在筒体磨内分布的情况有很大的关系。越接近筒体的外层的运动轨迹，研磨作用越好。当球磨机真实的生产时候，材料进去球磨机体内就会直接受到重力的作用，落入桶底，在内层贴覆筒体运动消耗大量的工作为摩擦生热消耗掉只有极小一部分研磨材料做功。

随着现代科技发展，提高能量的利用效率成了机械行业追求的目标。所以对机械设备的优化改进就变得相当重要。

1.1 球磨机的简介

球磨机是材料被初步破碎之后，在进行粉磨的主要设备，是现在建材陶瓷行业普遍使用的机器之一。广泛使用在水泥行业，建筑材料行业，矿产工业，耐火材料等。对各样矿石和其它可磨性物料进行干式或湿式粉磨，其特点是极其坚固，破碎比例大，材料的适应性能强。



介质运动状态与球的运动轨迹

1.2 球磨机的种类

- 1、按所装研磨介质球磨机 球磨机
 棒磨机
 砾石磨

(1)球磨机 筒内装入的研磨介质主要是钢球或钢段。这种磨机使用最广泛。

(2)棒磨机 磨内装入直径为 50—100mm 的钢棒作为研磨介质。棒磨机的长

度与直径之比一般为 1.5—2。

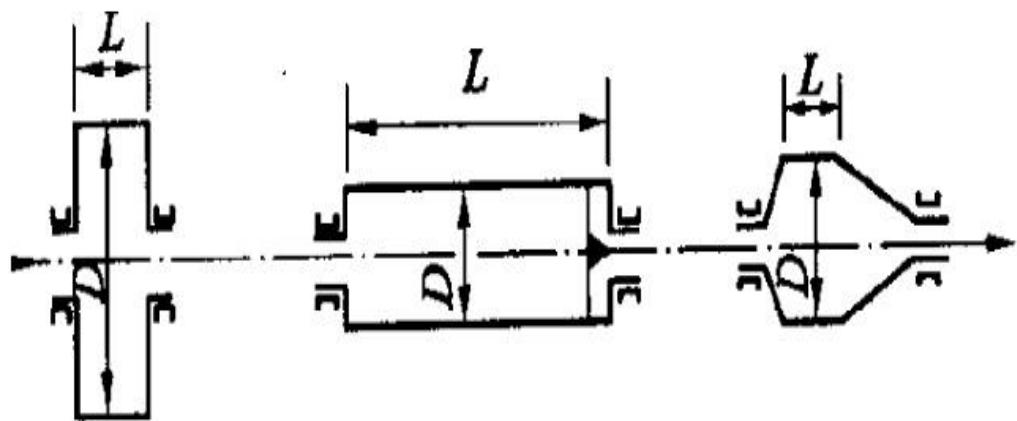
棒球磨机 一般有 2 到 4 个仓组成，在第一仓内装入圆柱形钢棒作为研磨介质，其他的仓就装入钢球或钢段， 棒球磨机的长径比在 5 左右最合适，棒仓长度与磨机有效直径之比控制在 1.2—1.5 之间，棒长比棒仓短 100mm 为宜，行适合钢棒平行排列，防止交叉乱棒的现象。

(3) 砾石磨 磨内装入的研磨介质为砾石、卵石、瓷球等。用花岗岩、瓷料做衬板。用于白色或彩色水泥以及陶瓷原料的生产。

短筒磨机: $L/D \leq 1.5$

2、按筒体的形状分 长筒形磨机: $L/D > 1.5$

圆锥形磨机: $L/D = 0.25$ 到 1.0

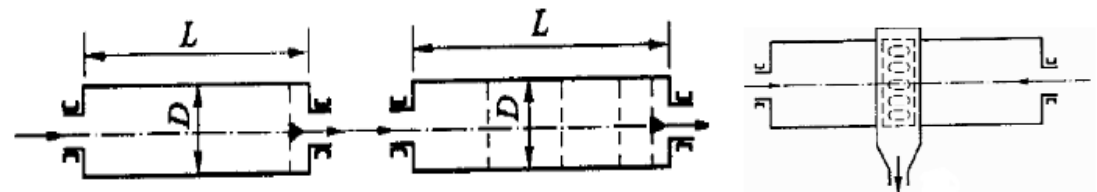


(1) 短筒磨机 长度和直径比例在 1.5 以下的称为短磨机，或称球磨机。一般的单仓，用于粗磨或一级磨，也可以将 2—3 台球磨机串联一起使用。

(2) 长筒形磨机 长度和直径比在 1.5 以上为长磨机或叫管磨机。中长磨和长磨，此内部一般分为 2 到 4 个仓，在水泥厂普遍用。

(3) 圆锥形磨机 长度与直径比在 0.25~1.0 之间。出料端使用锥体设计，迫使锥体端的物料和钢球分级，愈靠近出口，钢球直径越小，增加了反复研磨加强作用。

3、按卸料方式分 中心卸料
中部卸料

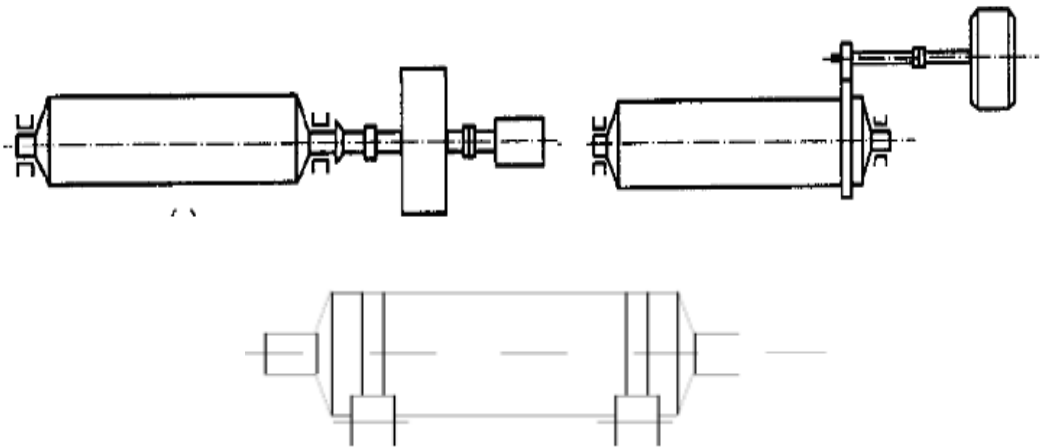


(1) 中心卸料式磨机 欲磨物料由磨机的一端喂入，由另一端卸出，称为

尾卸式磨机

(2) 中卸料式磨机 物料由磨机的两端放入，在磨机筒体中部卸出材料，称中卸式磨机。该类磨机相当两台球磨机并联使用，这样设备紧凑，简化流程排料，有格子排料、溢流排料、周边排料和风力排料方式等多种类型的排料方式。

- 4、按传动方式分
- 中心传动
- 边缘传动
- 摩擦传动



(1) 中心传动磨机 电动机通过减速机带动磨机卸料端空心轴，从而驱动磨机回转。减速机的出料轴与磨机的中心线在同一条直线上。

(2) 边缘传动磨机 电动机通过减速机带动固定在卸料端筒体上的大齿轮，从而驱动磨机筒体回转运动。

(3)摩擦传动。依然属边缘传动磨机，它是在安装在筒体上的轮带与主动轴上的拖轮相摩擦而传动的。

1.3 球磨机的使用范围及结构特点

- 1、球磨机用途和使用范围：
- 球磨机是材料被初步破碎之后，在进行粉磨的主要设备，是现在建材陶瓷行业普遍使用的机器之一。广泛使用在水泥行业，建筑材料行业，矿产工业，耐火材料等。对各样矿石和其它可磨性物料进行干式或湿式粉磨。
- 2、球磨机的优缺点：
- 由于球磨机有诸多优点，所以在许多部门中受到相当大的重视，得到了普遍的使用，它的主要特点如下：
- （一）优点

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）

1. 各种材料都能相对适应，连续生产的能力大，可以满足大规模生产化。
2. 粉碎比例大可达 300 以上值域，且容易调节产品的颗粒细度。
3. 可以再各种特殊环境下工作，能干法生产，也可湿法生产，还可以把干燥的粉磨合并在一起同时进行工序。
4. 此设备操作安全可靠，能长时间运转。
5. 维护管理起来相对方便。
6. 有很好的密封装置，防止粉尘飞扬

（二）缺点

1. 工作效率低：

生产过程中，能量消耗量大，约占整体粉磨作业的 2/3，有理论依据说，每次产一吨水泥电量不会低于 70kw/h，但是这里只有极小一部分做有用功，约占去 5%到 7%，而相对于大部分的能量消耗都转变为了热能和声能消耗掉了。这是极大的浪费我们可以利用。

2. 体型笨重：

大型的球磨机长度很大，体型也大，这样投资必然会很大。。

3. 配置昂贵：

因为磨机筒体转速会很低(每分钟一般 15~25 转)，如使用普通电动机驱动，则要配置价格昂贵的减速装置来达到要求。

4. 生产成本低：

研磨体和物料在研磨的同时，自身也会消耗。筒体内的衬板和其他零件也会自身消耗，因此在整个生产的过程中，粉碎作业（生料制备、磨水泥）所消耗的铁量也是极其多的，据报告，大约每生产一吨水泥的钢铁消耗为 1 公斤上下。

1.4 本文研究内容

本文主要研究的是球磨机筒体的结构，并对其进行优化设计改进。筒体是球磨机不可或缺的一部分，如何做到回转适当降低功耗提高效率，因此它的结构设计对磨机整体十分重要。

此次通过对球磨机的身体结构的理解和设计思路的探索，总结出筒体结构的可行方案和影响因素避免，通过对以前设计思路的整理和前辈们的资料详解，研究出磨机的部分问题所在，最后通过参考文献和资料详细的设计数据，完成磨机筒体部分的改进设计。

球磨机回转筒体的改进将大大的提高物料的研磨率，从而提高效率。

2 球磨机的总体设计

2.1 球磨机的主要计算参数

2.1.1 球磨机的临界转速

当球磨机的转速达到一定的数值时，研磨体自身的重力值等价其产生的离心力，所以使研磨体提升到脱离角 0° ，此时研磨体会紧贴附在筒体上，跟着筒体一起做回转而不会掉落下来，这个转速就称为临界转速。当研磨体处于极限位置时，脱离角 $=0^\circ$ ，将上式值带入公式计算，可得临界转速。

筒体的基础直径减去衬板的厚度所得到的实际内径就是为筒体的有效内径，计算方式如下：

$$D_0 = D - 2h$$

将 $D=1.3\text{m}$ ， $h=0.05\text{m}$ 计算 $D_0=1.2\text{m}$

D_0 —磨机筒体有效直径

h —衬板平均厚度

$$n_0 = \frac{29.9}{\sqrt{R}} = \frac{42.4}{\sqrt{D_0}} = 38.7 \text{ r/min}$$

n_0 —临界转速 r/min;

R —筒体有效半径 m;

D_0 —磨机筒体有效直径 m;

球磨机的理论适宜转速：

研磨体最大功效研磨材料的时候的转速称为理论适宜转速。当靠近筒壁的最外层研磨体的脱离角 $=54^\circ 44'$ 时，研磨体才有最大的降落高度，对物料产生粉碎功最大。

将 $=54^\circ 44'$ 代入式 $\cos \alpha \geq \frac{Rn^2}{900}$ ，可推出理论适宜转速：

$$n = \frac{22.8}{\sqrt{R}} \approx \frac{32.2}{\sqrt{D_0}}$$

将 $D_0=1.2$ 代入计算得：

$$n = \frac{22.8}{\sqrt{R}} \approx \frac{32.2}{\sqrt{D_0}} = 29.4 \text{ r/min}$$

转速比：

球磨机的理论适宜转速与临界转速之比，简称为转速比，即

$$\phi = \frac{n}{n_0} = \frac{\frac{32.2}{\sqrt{D_0}}}{\frac{42.4}{\sqrt{D_0}}} = 0.76$$

一般情况下磨机的实际转速为临界转速的 70~80%。

2.2 磨机的功率

研究表明，影响磨机的因素很多，有磨机自身的直径，长度，转速，装填量以及方式的不同（粉磨，传动）。

2.3 研磨体的装填量

提高磨机的产量，减少无用功的消耗量它们的装填量一直是值得注意的问题。但在这一方面的研究都是更具理论实践来得出的结果

研磨体的装填量，可按下式计算：

$$m = \frac{\pi}{4} D_0^2 \times L \times \phi \times P_n$$

式中：

m-磨内研磨体装填量，t；

L-磨机筒体有效长度，m；

ϕ -磨内研磨体填充系数；

P_n -研磨体容积密度（容重）。

研磨体的密度，一般取 $p_n = 4.5t/m^3$

填充率是球磨机的重要参数，它不仅仅直接影响工艺过程中的冲击次数和研磨面积的大小，而且还直接影响研磨体的研磨高度，就是物料的冲击力。据国内各大生产厂的生产经验，填充率的选择一般可按以下原则：

当无聊的粒度很大，硬度很大，这个时候要的破碎功率就变得很大，填充率会相对高些。假如这个仓排料少，粒度比小，那么料较多时就不行过分地去增加填充率，因为过高填充率会导致仓内使用空间变小，研磨体高度大大的降低。那么粉磨效率降低；

如果物料的物理性质好研磨适合，可提高填充率。但物料物理性差时，就不能为了提高产量去增加填充率，尤其是时段仓，这样会大大降低粉磨效率；

当产品细度要求不是那么高时，而产量又要求过大时候，需增加喂料量，仓

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）

内料球比减小，就要增加填充率；磨机转速很高时，衬板对研磨体的外在能力加强，研磨体可以带的很高，这时填充率可选低些；对于一，二仓间用了单层隔仓板的球磨机，因第一仓排料会受到第二仓的影响，第一仓的填充率不能少与第二仓。根据生产经验对于开流多仓磨机的平均填充率为 $\phi = 25\% \sim 28\%$ ；对圈流球磨： $\phi = 40\%$ ；对圈流中长磨： $\phi = 30\% \sim 32\%$ ；对烘干兼粉磨的磨机要兼顾烘干容积的要求，一般填充率均小于 $25\% \sim 28\%$ 。各仓之间的关系，则为适当递减或基本相等。

根据参考资料提示研磨体的研磨仓数：

$$S=L/D$$

S--研磨仓数

L--筒体长度

D--筒体直径

一仓 $S=1$

二仓 $S=3$

三仓 $S=4.5$

代入公式，得知，这里选取一仓。

研磨体的填充率 ϕ 的确定

本文选取一仓填充率 $\phi=0.25$

设端盖衬板的厚度为 200mm

$$L_1=1.5-0.2m=1.3m$$

所以，

$$\text{一仓有效容积 } V_1 = \frac{\pi D_0^2}{4} L_1 = 1.47m^3$$

$$\text{磨机总有效容积 } V = V_1 = 1.47m^3$$

所以，

$$\begin{aligned} m &= \frac{\pi D_0^2}{4} \times L \times \phi \times P_n \\ &= 1.65t \end{aligned}$$

磨机的功率

研究球磨机功率计算的目的是为了合理的选用合适的电动机，在最大利益化的节约成本的情况下，做到能量最大化利用，同时使其更好地磨碎物料，达到机械的最好要求。第一部分是用来让研磨体达到一定的高度值，研磨物料。第二部分则是克服机械摩擦阻力做功，可用机械效率 η 来考虑，则球磨机所需功率 N_0 为：

$$N_0 = 0.2 D n V (G/V)^{0.8} / \eta = 12.65 \text{ Kw}$$

式中 N_0 ——球磨机使用功率，kW；

G ——球磨机筒体内研磨体的重量，t；

η ——球磨机的机械效率。这里取 0.9

D ——球磨机有效圆直径。

n ——球磨机理论转速。

中心传动球磨机， $\eta = 0.92-0.94$ ；边缘传动球磨机， $\eta = 0.86-0.90$ 。球磨机电动机功率 N_q 要在所需功率 N_0 的基础上再放大 10%-15%，这个情况是用来球磨机启动时，研磨体的惯性力何在正常工作情况下的过载导致影响。

考虑 5%的余度：

$$12.65 \times 1.05 = 13.3 \text{ kw}$$

在确定电动机安装时，还要考虑 10%~15%的储备系数。

$$13.3 \text{ kw} \times 1.15 = 15.3 \text{ kw}$$

2.4 磨机的生产能力

磨机小时生产能力的计算

影响磨机使用功率的因素有很多，这里由于因素过多我们不一一介绍，我们取常用磨机生产能力经验计算式为，

$$Q = 0.2 D n V (G/V)^{0.8} K$$

式中： Q ——磨机的生产能力，t/h；

D ——球磨机有效圆直径 m；

K ——单位功率生产能力， $kg/kW \cdot h$ ；(干法磨粉 0.06)

n ——球磨机理论转速。r/min

G ——球磨机筒体内研磨体的总重量，t

代入式中，计算得

$$Q = 0.2 D n V (G/V)^{0.8} K = 0.68 \text{ t/h}$$

3 球磨机的回转体设计

3.1. 筒体部分设计

3.1.1 筒体的结构设计

大部分情况下我们都是设计成整体结构的，一是这样制造的相对偏差会小些。二相对成本也会降低很多。

大规模的磨机往往尺寸相对很大和制造能力有所限制，不得不去考虑单独来设计，筒体段节的地方普遍采用带定位置口的法兰联接结构。筒体分段的设计采用现场焊接，一般都要用大型货车运输进去，由现厂师傅当场焊接结构，这种情况设计结构合理，现场焊接比较经济，否则是不经济的

3.1.2 筒体与端盖的联接方式

1、外接型法兰联接

磨机在大型化之前，筒体蚕蛹外界法兰型号与端盖连接的结构被普遍使用。组装方便。但是筒体的尺寸过大，切削加工和材料消耗也很大

内接法兰型联接是大型中型磨机普遍采用的结构。材料利用高，结构也合理

2、无法兰联接

无法兰联接是筒体和摸头端盖焊接在一起的结构，从整体发展来看，这种形式，将通过各种规格的磨体其结构合理制造简单和使用可靠。

本磨机选用的是无兰联接和外接型法兰联接（考虑零件的更换，维修，等）

3.1.3 磨门与人孔

磨门是为封闭人孔设计的，要求装卸方便、固定牢固。

人孔的作用主要是方便维修人员进去维修换零件等。

一、磨门

磨门分“内提式”和“外盖式”两种类型。

1、内提式磨门

内提式磨门有两种结构：一种是把磨门衬板和磨门铸造成一体结构，只用于韧性高的耐磨材料，因其造型大而复杂，脆性材料做容易断裂。

另一种是把磨门衬板和磨门单独分开制造。磨门衬板用螺栓固定在型钢铸钢制造的磨门上，然后用弓形架再把磨门固定在筒体上。

2、外盖式磨门

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）

外盖式磨门的突出优点是磨门衬板和筒体衬板完全一样。

（本磨机选用的是外盖式磨门。）

二、人孔

1、内提式磨门的人孔

内提式磨门的. 人孔有带补强板和不带补强板两种

2、外盖式磨门的人孔

外盖式磨门的人孔，要设置固定在磨门上的“人孔框”。筒体的联接都采用铆钉铆接。人孔口倒棱、孔面粗糙，孔的尺寸、和四个孔角的圆角半径等，基本要求和内提式磨门的人孔都相似。

3.1.4 筒体的技术要求和规定

一、钢板材质和厚度的选择

球磨机同理属于不更换主要零件，要保证其长期使用安全可靠，所以这种材料一定要符合所要求，这里我们选用普通结构钢 Q235，因为这种钢的各种性质都符合相对设计要求。且容易够到。这里选用 20mm 钢板。

二、筒体的有效内径和有效长度

1、筒体的有效内径：

$$D=Da+2p$$

式中：

D—筒体的规格直径，m；

Da—筒体的有效直径，m；

p—衬板平均厚度

代入上式

$$1.3=Da+2\times 0.05 \quad Da=1.2m$$

2、筒体的有效长度

$$L=L_0+\delta_1+\delta_2+\delta_3$$

式中：

L—筒体的规定长度，m；

L_0 —筒体的有效长度，m；

分别为隔仓板、端盖衬板、扬料装置的厚度, 取 0.28

代入公式

$$1.5=L_0+0.28 \quad L_0=1.22 \text{ m}$$

3、筒体钢板的排列原则

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）

（1）焊缝距孔边的最小距离

焊缝不准通过任何的开孔焊缝坡口边到孔边的最小距离为筒体厚度的 2 倍且不小于 35mm 为宜。当焊缝有必要通过人孔加强板时，该焊缝要全长磨平，磨平表面的粗糙度不低于钢板表面的对应值

3.1.5 筒体的计算

一、作用于筒体的总载荷 Q

磨机运转时，作用在筒体的总载荷 Q 包含两部分，一部分是磨机回转部分的重力，另一部分是动态研磨体(包括物料)所产生的力 P。

1、磨机回转部分的重力 G_m

$$G_m = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$$

式中：

G_m —磨机回转体部分的重力，N；

G_1 —磨机的筒体的重力，N；

G_2 —磨机的磨头的重力，N；

G_3 —磨机的磨尾的重力，N；

G_4 —磨机衬板的重力，N

$$G = mg = \rho V g$$

代入上式得

$$G_1 = \rho V_1 g = 7.8 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times [(1.34^2 - 1.3^2) \times 1.22 + (1.38^2 - 1.34^2) \times 0.02] \times 9.8 = 0.08 \times 10^5 \text{ N}$$

$$G_2 = \rho V_2 g = 7.8 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times [(1.38^2 + 1.2^2 - 1.2^2) \times 0.02 + (0.255^2 - 0.235^2) \times 0.12] \times 9.86 = 0.03 \times 10^5 \text{ N}$$

$$G_3 = \rho V_3 g = 7.8 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times (1.34^2 + 1.2^2 - 1.2^2) \times 0.02 \times 9.86 = 0.027 \times 10^5 \text{ N}$$

$$G_4 = m_4 g = \rho V_4 g = 7.8 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times (1.3^2 - 1.2^2) \times 1.22 \times 9.86 = 0.18 \times 10^5 \text{ N}$$

$$G_m = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = 0.317 \times 10^5 \text{ N}$$

2、动态研磨体所产生的力 P

磨机内研磨体在抛落状态工作时，研磨体所产生的力的作用，主要有抛落部分而积累的冲击力部分的离心力和泻落部分而积累的重力这三等部分，一般请款下都是这三种情形。只比静态研磨体的自重 G 大 2%，即：

$$P = 1.02G$$

式中：

P—动态研磨体产生的力 N

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）

代入上公式

$$P=1.02 \times 4.5 \times 10^3 \times 0.3675 \times 9.86=0.17 \times 10^5 \text{N}$$

3. 粉磨物料的重力 G 。

工作时物料和研磨体是搭在一起的，这部分重量约为研磨体重量的 14%。

即：

$$G_0=1.14G$$

式中： G_0 —粉磨物料的重力，N

代入上式

$$G_0=1.14 \times 4.5 \times 10^3 \times 0.3675 \times 9.86=0.186 \times 10^5 \text{N}$$

4、磨机运转时，作用于筒体上的总载荷 Q

$$Q = G_m + 1.14P$$

代入公式

$$Q=0.317 \times 10^5 + 1.14 \times 0.18 \times 10^5 = 0.522 \times 10^5 \text{N}$$

B. 边缘传动时皮带传动的圆周力 F

$$F = \frac{1000P}{V} \quad V = \frac{\pi d}{60 \times 1000}$$

式中： F —圆周力 N

P —磨机需要的功率，kw

V —磨机筒体的转速，m/s；

d —球磨机筒体外径直径，m

代入公式

$$F = \frac{1000P}{V} = \frac{1000 \times 12.65}{0.0025} = 50.6 \times 10^5 \text{N}$$

二、筒体作用力的分布

1、计算作用在筒体上的弯矩时，筒体上的作用力分布。

$$q = \frac{G1 + G4}{l}$$

式中： q —单位长度上受力，N/m；

l —筒体长度，m.

代入公式

$$q = \frac{G1 + G4}{l} = 0.213 \times 10^5 \text{N/m}$$

2、动态研磨体产生力 $1.14P$ ，都是沿筒体长度均匀分布。

所以，

$$q = \frac{1.14P}{l}$$

3、磨机筒体所受最大弯矩力 M_{\max} （式中： q —为单仓单位长度上受的力，N/m；）

p —为单仓动态研磨体的作用力，N；

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计（论文）

1 一为单仓的长度，m

$$P=G=mg$$

代入公式

$$P=G=m_1g=0.17 \times 10^5 \text{N} \quad l=1.22\text{m}$$

代入上式得

$$q=0.16 \times 10^5 \text{N}$$

4、最大扭矩

$$\begin{aligned} M_k &= 9550P/N \quad \text{N} \cdot \text{m} \\ &= 9550 \times 12.65/30 = 4026.9 \text{N} \end{aligned}$$

（两端固定，全长受均布载荷） $M=ql^2/12$

$$M_x = ql^2/12 = 0.16 \times 10^5 \times 1.26/12 = 0.017 \times 10^5 \text{N} \cdot \text{m}$$

5、弯曲应力计算

在横截面上距离中性轴最远的点处，弯曲正应力最大

磨机筒体抗弯断面模数 W_z

$$W_z = \pi D^3 (1-a^4)/32 = 0.084 \text{m}^3$$

D_1 —筒体外径

D_2 —筒体内径

$a=D_2/D_1$

6、磨机筒体所受的弯曲应力 σ

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{CW} \\ &= M_x/CW_z = 0.017 \times 10^5 / 0.9 \times 0.084 \\ &= 0.225 \times 10^5 \text{Pa} \end{aligned}$$

式中：

σ —筒体受到的弯曲应力，Pa；

M —筒体所受的当量弯矩，N·m；

W —筒体抗弯断面模数， m^3 ；

C —筒体断面削弱系数，是由人孔和衬板螺栓孔所引起的，一

般取 $C=0.8-0.9$ （这里取值 0.9）

7、磨机筒体的许用弯曲应力

磨机筒体是在匀载荷作用下长期连续运作，所以筒体断面许用应力应按照筒

体材料的疲劳极限来选定。

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{n}$$

$$\sigma_{-1} = 0.27(\sigma_s + \sigma_b)$$

式中：

σ —用弯曲应力，Pa；

σ_{-1} —筒体材料的疲劳极限，Pa；

σ_s —筒体材料的屈服极限，Pa；

σ_b —筒体材料抗拉强度极限，Pa；

n —安全系数， $n > 26$ 。（ n 取值 1000）

代入上式得：

普遍情况下材料的弯曲疲劳极限是当下其静强度极限的 0.4~0.5 倍。拉压的疲劳极限是当下其静强度极限的 0.33~0.59 倍，扭转的疲劳极限是当下其静强度的 0.23~0.29 倍（这里取值 0.27）

$$\sigma_{-1} = 0.27(3.375 \times 10^8 + 0.375 \times 10^8) = 1.01 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\delta = 0.225 \times 10^5 \text{ Pa} < [\delta] = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

3.2 磨头部分设计

3.2.1 磨头的结构设计

磨头是中空轴和筒体端盖的统称。承受着研磨体和整个磨体和运动载荷，如果选用实心浇筑，那么内部出现毛孔或者汽贸我们前期是看不到的，在加工的时候看出，那么这块材料就报废了，如果选用法兰连接式的，那么会加大工程量。同时也会加大使用成本。（这里为实心轴）

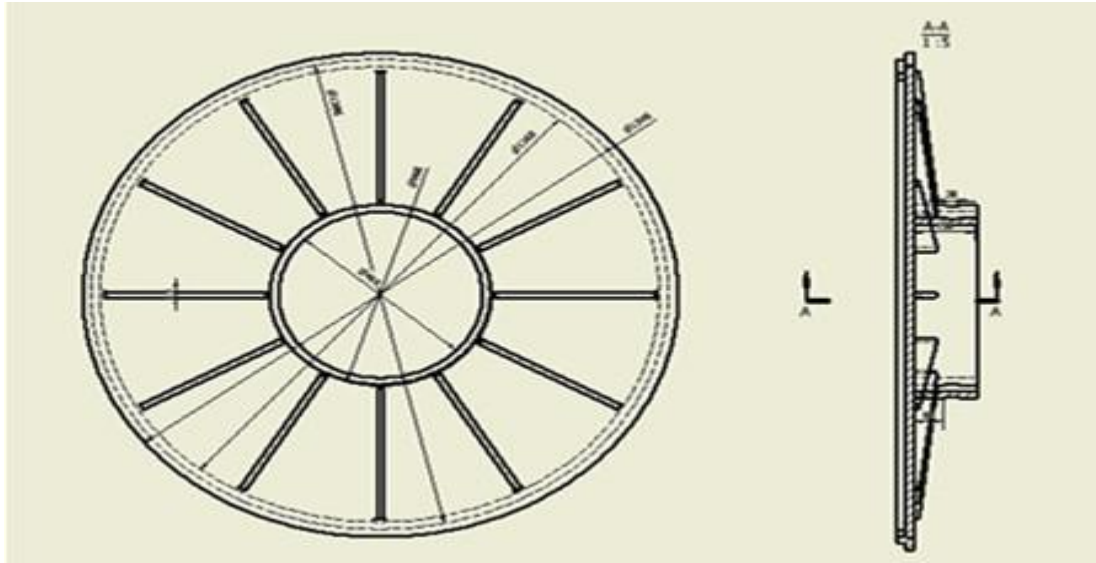
3.2.2 实心轴的结构设计

中空轴的结构和相关尺寸如图所示：

一、实心轴轴颈部位的直径，根据磨筒体内筒体载荷负重的最大装载量和研磨体来确定，必须满足轴承不会受到弯矩而大量扭曲变形。实心轴直径 d 与磨机筒体的直径 D_0 之比，约为 0.3~0.55。

$$\text{已知 } D_0 = 1200 \text{ mm 则}$$

$$d = 1.2 \times 0.3 = 360 \text{ mm}$$



二、实心轴轴颈宽

根据支座反力 R 、主轴瓦的许用压力 $[p]$ 和轴瓦包角通过计算确定：

磨头的结构形式和尺寸如图所示支座反力 $R_a = 0.1 \times 10^5 \text{N}$ ，筒体转速 $n = 30 \text{r/min}$ ，传动需用功率 $N_s = 15.3 \text{kW}$ ，

支承中心至法兰端面的距离 $L = 140 \text{mm}$

筒体材料为 Q235，当钢板厚度为 16 — 40mm 时，其应力 $\sigma = 4.5 \times 1000 \text{N/m}$ ，
 $\sigma = 2.25 \times 10 \text{N} \cdot \text{m}$ ， $E = 2 \times 10 \text{N/m}$ ， $u = 0.28$ 端盖材料应与筒体相同。

端盖外径 $D = 1380 \text{mm}$ ，补强板外径 $d_k = 1280 \text{mm}$ ，端盖法兰直径 $d = 1360 \text{mm}$ ，

端盖钢板厚度 $h = 20 \text{mm}$ ，补强板厚度 $h = 10 \text{mm}$ 。

1、系数 k 的计算：

$$K_0 = \frac{D}{dk} \approx 1.06, k = \frac{D}{d} = 1.01, a = 1.2/1.34 = 0.9$$

2、端盖轴线转角的计算

$\delta = Gp\varphi$ 故可以知道应力最大在外圆的表面，

$$\varphi = \frac{\delta}{G\rho} = 4026.9/2 \times 10^8 \times 0.68 = 0.3 \times 10^{-4} \text{rad} = 0.0054$$

此值为满载运转时的全转角。

3、端盖外径 D 的应力计算

$$\tau = \frac{M_{\max}}{W_z} = \frac{16M_x}{\pi d^3} = 0.0078 \text{Mpa}$$

$$\tau < [\delta] = 225 \text{Mpa}$$

3.3 衬板的选型设计

3.3.1 衬板的作用

衬板的作用是保护筒体使它免受研磨体的作用，使它免受研磨体和物料的直接冲击和研磨，同时也起到调整研磨体的运动状态。全仓装有提升能力强的衬板，以增强冲击能量，更加有力的利用击碎物品。

3.3.2 衬板的材料

在粉碎仓，研磨体以冲击作用为主，要求衬板具有抗冲击和耐磨特性。广泛采用高锰钢（ZGMn13）作衬板材料。它具有一定的抗冲击韧性，并且在受到一定的冲击时，它的表面产生冷作硬化，表面变得坚硬耐磨，一般硬度在 HB300 — 350。

3.3.3 衬板的种类

衬板的种类按工作表面形状分类比较直观，有以下类型：

一、平衬板表面平整或铸有花纹的衬板均称平衬板。对研磨体摩擦力小，研磨体在表面滑动厉害，其研磨作用强，多与波纹衬板配合用于细磨仓。

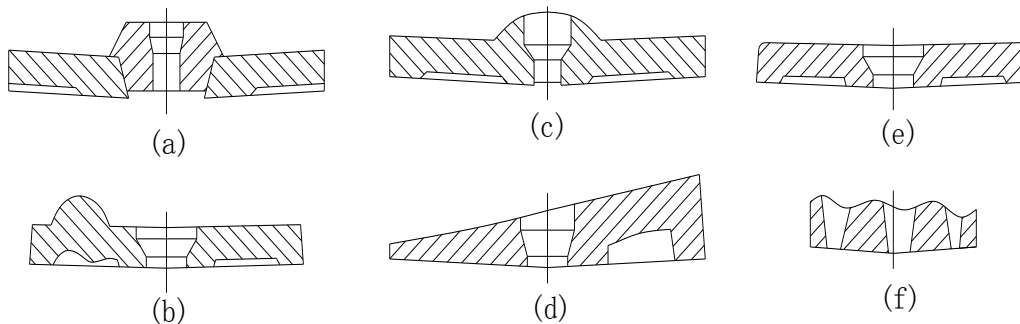
二、压条衬板是压条衬板和平衬板组合而成。压条上有螺栓孔，螺栓穿过螺栓压条和衬板固定在筒体内壁上。

三、阶梯衬板的上表面呈一倾角，安装后会出现很多阶梯，可以增大对研磨体的推力。对同一层钢球的提升高度均匀一致，衬板表面磨损均匀，即磨损后表面形状改变不明显。

四、小波纹衬板 小波纹衬板有较小的波峰和节距，提升系数小，开有锥形孔。

五、端盖衬板 衬板表面是光滑的，用螺栓固定在磨机端盖上，保护端盖免受研磨体和物料的磨损。

六、锥型分级衬板 主要特点是沿轴向有一定的斜度。在磨内安装方向是大端向着磨尾，也就是接近料端直径大，出料端直径小。因为分级衬板沿轴向具有斜度，能自动的使磨内钢球在粉磨过程中按物料粉磨规律发挥作用。因此可减少磨机仓数，增加有效容积，减少通风阻力，提高产量，降低电耗。



这里选用阶梯衬板

3.3.4 衬板的安装

一、螺栓固定法

在固定衬板时候，要加双螺母或防松垫圈，防止在工作情况下的松动，在垫圈和筒体之间有锥形面的垫圈。用麻丝填满了，用来防止物料从螺栓孔流出。此固定方法有抗冲击、耐振动的特点。

二、镶砌法

镶砌衬板的要在他们之间铺垫一层 1:2 的水泥浆或者其他物质。在衬板的环向缝隙中用铁板楔紧，再用水泥浆替补那些缝隙。将衬板互相交错地镶砌在筒体内。

这里选用镶砌法

4 进料装置的设计

磨机的进料装置是磨机整体中的一个组成部分。

球磨机的进料部分主要有支架、进料斗、观察门等。进料斗部分没有衬板，采用物料做衬板的，这样会减少物料零件的磨损，支架与进料斗间装有垫片。这样可以调节中心高度，进料装置的上部装有测温孔，不使用时要用螺塞拧紧。

4.1 常用球磨机进料方式

一. 穿溜管进料方法

物料经过溜管(或称进料漏斗)进入在磨机中空轴颈内的锥形套筒，沿着旋转的筒壁自动滑入磨内。溜管断面呈现椭圆形。溜管的倾角必须大于物料的休止角，以确保物料的畅通。溜管进料相对简单，缺点是喂料过少，仅仅适合中空径较大较短的情况。

二. 螺旋进料方法

物料经过勺后直接滑入，旋转的勺轮将物料给提升到一定位置，再由轮叶直接带入位于中空轴的位置，内螺旋叶片螺旋将物料送到磨内。为了防止有漏料现象产生，要求勺轮入口半径与勺轮半径的差值要大于物料的堆积高度，并且在环形间隙处用毛毡片或浸油麻绳密封。同时为了避免热的物料和气流传热给轴让轴过热，在中空轴和螺旋套筒之间都留有一定间隙，这样会形成空气隔热层。螺旋进料装置是强制原理，但是结构很复杂。焊接钢板容易磨损，适用于中空轴的直径较小，长度较大喂料量大的情况

三. 勺轮进料方法

物料有装载料斗的带送入料斗后，料斗提升一定高度后倾翻，倒入磨内。为避免物料从进料漏斗与勺轮之间的缝隙漏出，同样要求勺轮入口半径与勺轮半径之差值必须大于物料的堆积高度，并在环形间隙处加设密封。同样为了保护进料口不会被物料给相对磨损，我们在底部也要堆积部分物料来防止其磨损部件。由于锥形套可使物料有较大落差，所以在规格相同时其喂料量比溜管大。采用铸件结构因而较耐磨。

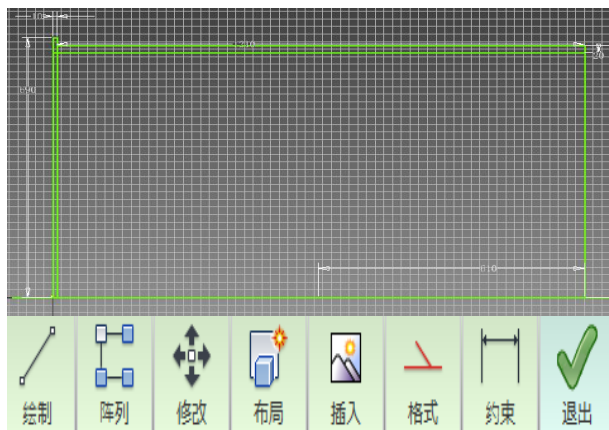
因为设计的陶瓷球磨机过于狭小，此处我们以料斗进料方式（全为人工），由人孔进入料，待粉磨后又人孔出料。

5 球磨机三维造型设计

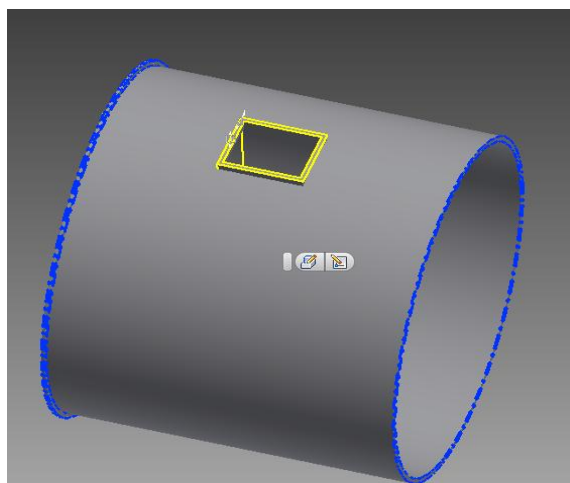
本次设计应为选题是小型球磨机，相对于市场上那些大产量的球磨机而言，结构简单，造型相对简单，于是本人用了本专业另一个设计软件 Auto desk inventor2014 版设计出本次课题的图，相对于 auto cad 而言，此款软件大大的缩短了你在绘图时候的时间，相对 cad 和其他的软件，只要设计者头脑中可以构思出实体图，那么其他的三维视图，局部视图等零件解剖图，就不用在和 cad 一样麻烦要自己一个个画出来，直接投影即可。此款软件最大的好处在于线条是根据设计者限定的尺寸的变化而变化的。不像 cad 出图的时候有些局部会显小，要设计者最后通过缩放来调整达到美观的效果。而且最好的是，实体图的改变那么三维投影出来的图也会跟着改变。比起 cad 而言真的简单很多。

本次设计选定为 $\Phi 1.3 \times 1.5M$ 闭路陶瓷原料磨（筒体及进料口）设计，在通过设计计算后得出筒体的长·宽厚度后，我们画出了 2 个矩形，通过对壁厚矩形的旋转命令，得出了筒体结构，

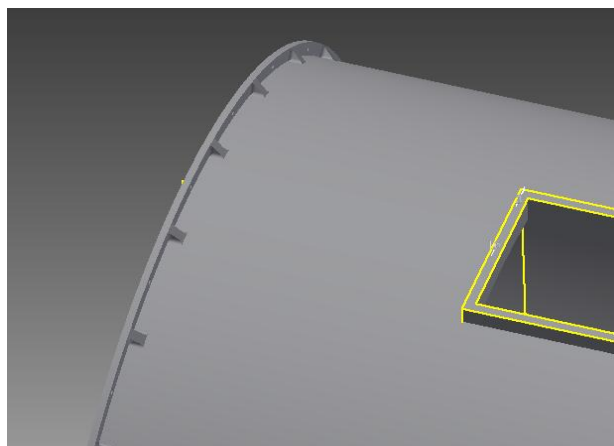
(1) 通过此软件的草图绘图图命令画出
如图所示



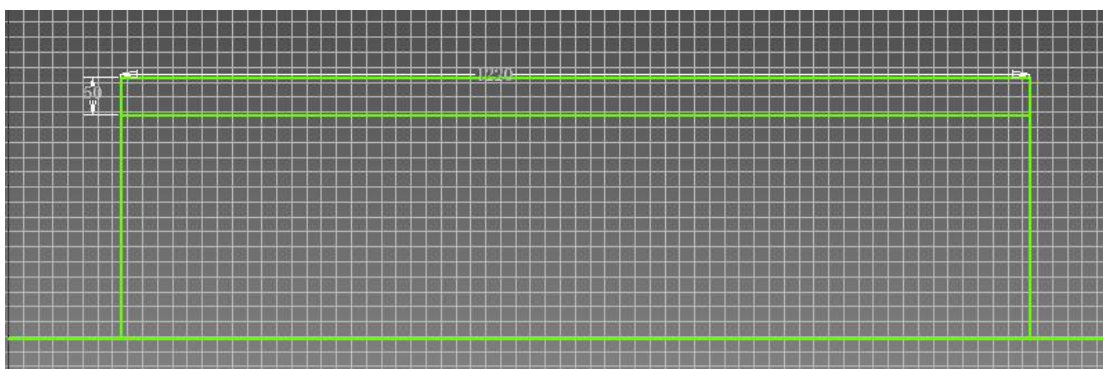
(2) 通过旋转命令得到如下图



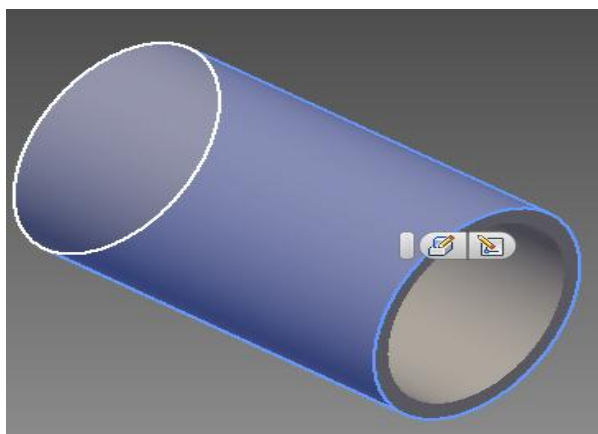
(3) 接着做出筒体外表面法兰联接口的肋板和孔（这里已近倒了圆角 R2）



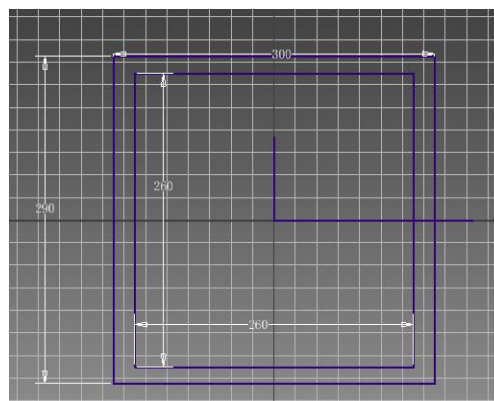
(4) 接着做衬板。如上图所示做出下列图形



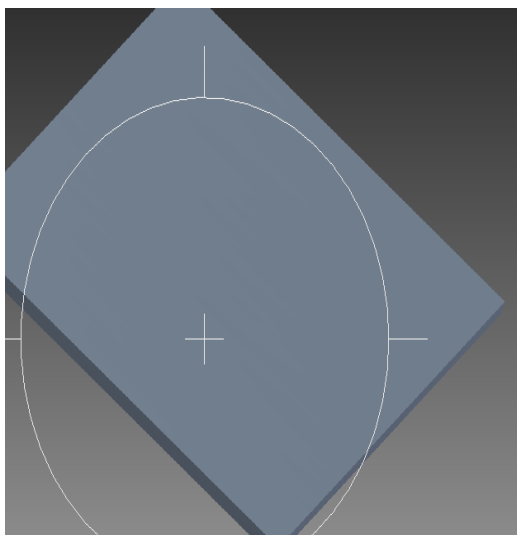
(5) 通过旋转命令得到如下图
(这里边也做了 R2 倒圆角)



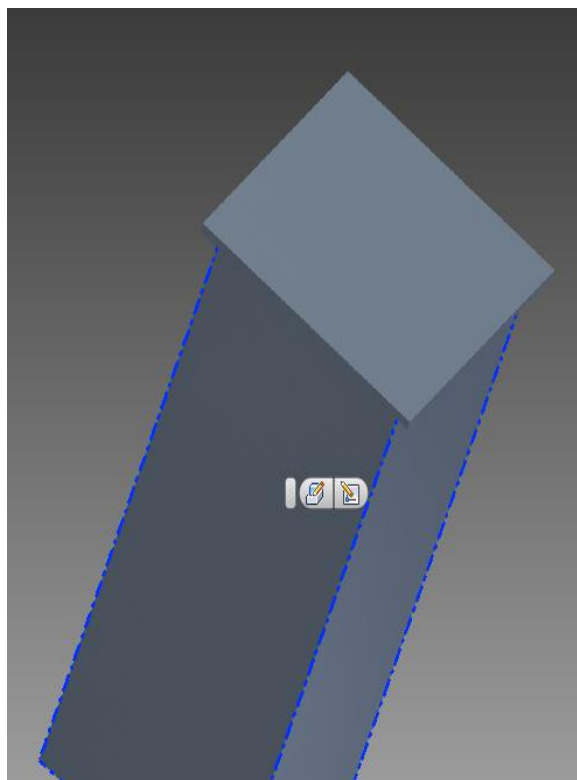
(6) 接着磨门，通过草图绘制
如图



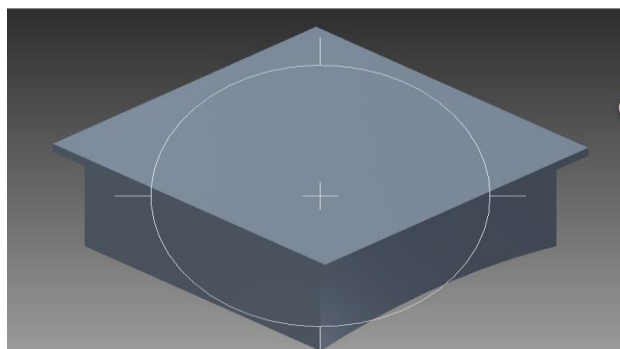
(7) 通过拉伸命令得出图



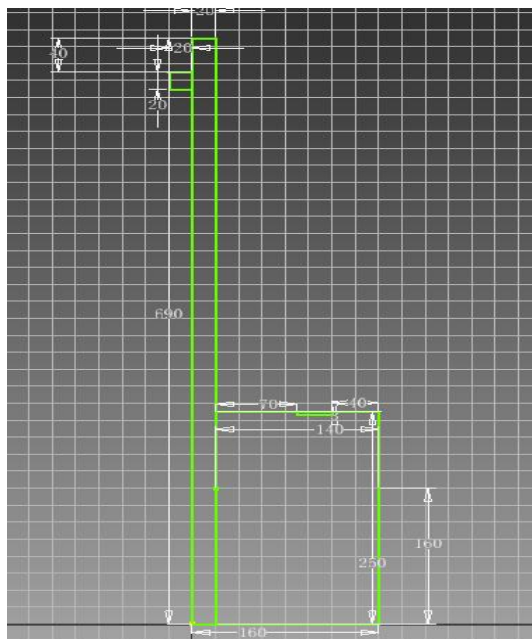
(8) 同样的计算出拉伸距离在刚刚
建立的平面上拉伸如下图



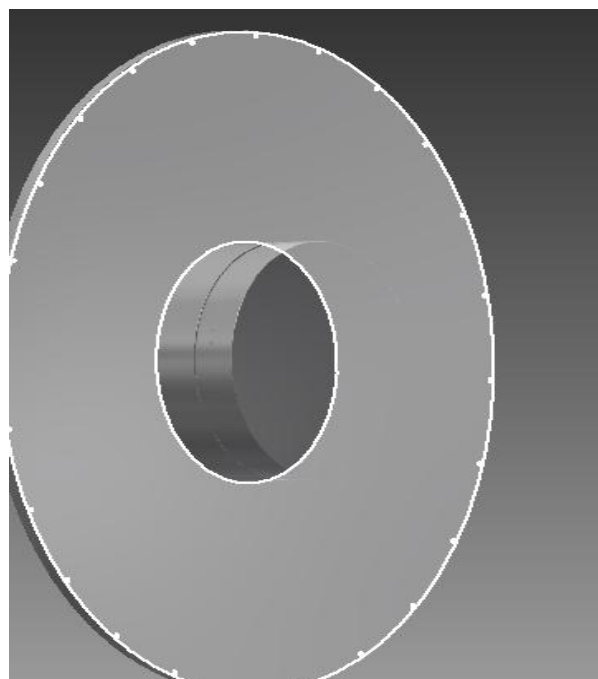
(9) 通过在拉伸面上作图再次拉伸求差得出下图



(10) 现在做端盖设计。做出如图的草图

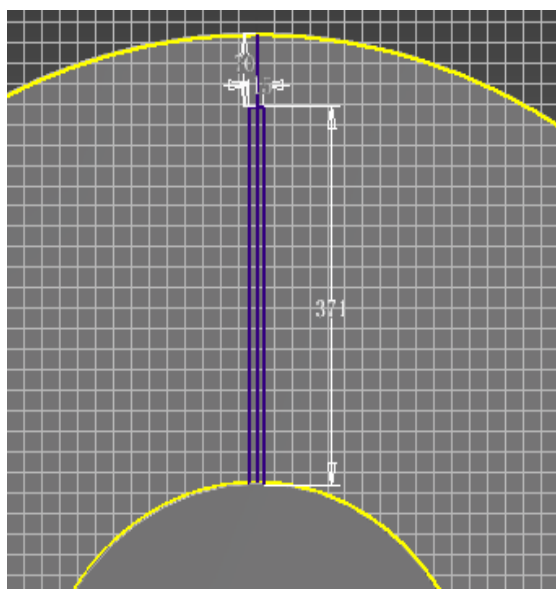


得出如下

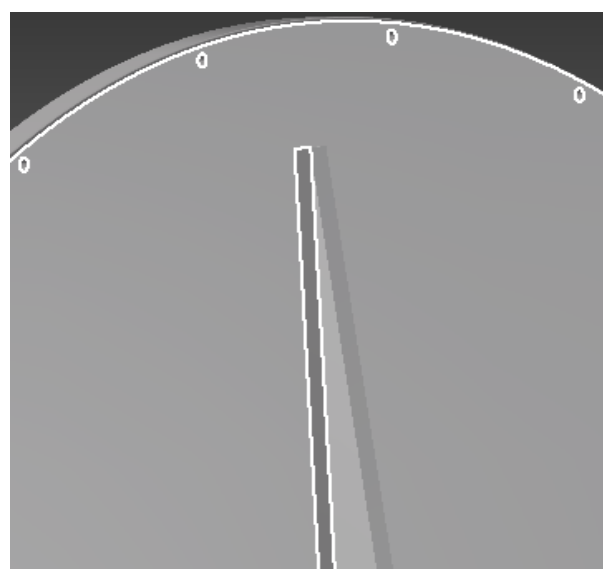


(12) 然后在做出的平面上做出如下图

(13) 通过拉伸命令在拉伸如

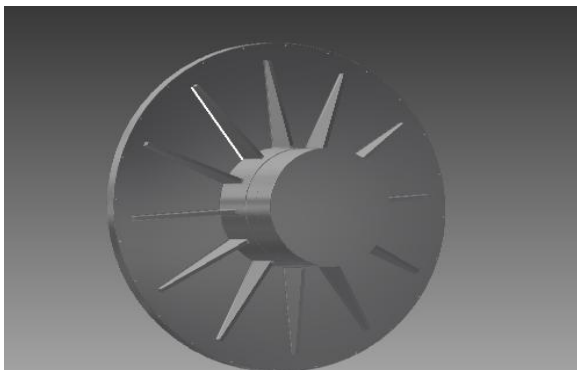


下图



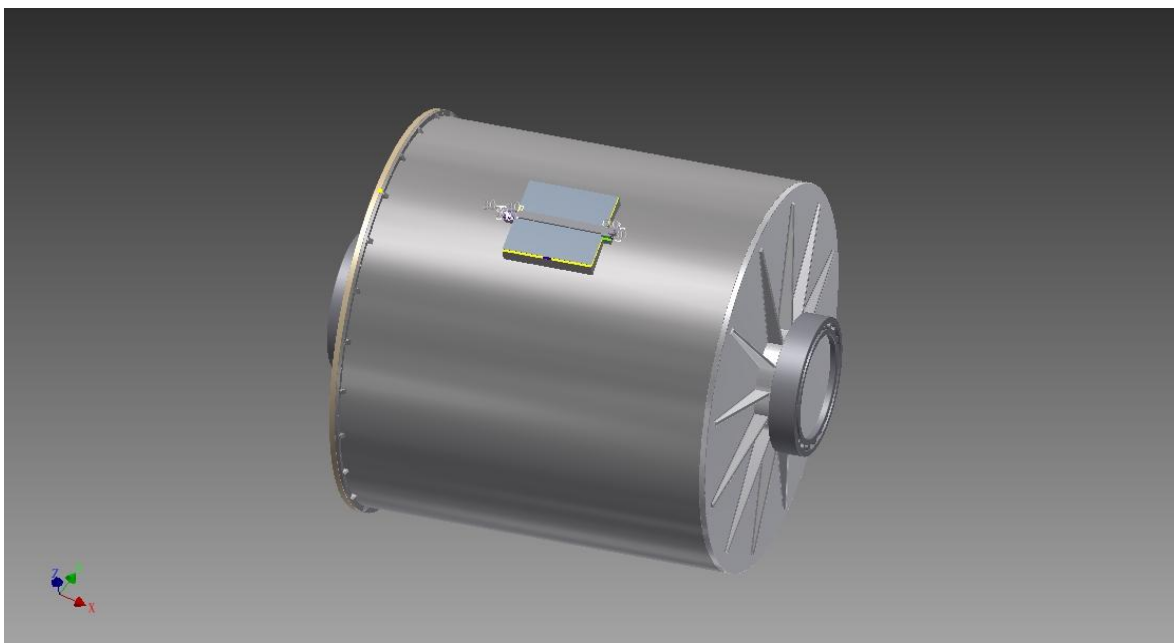
(14) 通过环形阵列命令得出如下图

(15) 如上所示右面端盖也是如此做



法。

（16）接着是配合，通过新建一个部件图，通过约束命令将筒体和衬板配合在一块，接着是磨门，和筒体，筒体和端盖，端盖和滚动轴承 如图



这款软件最好的效果可以受理分析找出最大问题所在，通过这款软件分析发现此次设计无风险地方，是安全可行的。

结论

本课题是 $\Phi 1.3 \times 1.5\text{M}$ 闭路陶瓷原料磨（筒体及进料口）设计，通过对传动效率和电耗的大小，使用和维修等多方面进行综合分析和对比，制定了设计方案。根据国内外磨机的发展情况及对工厂现实状况的研究，本设计采用了边缘传动的传动形式。随着磨机的大型化，采用边缘传动在安装方面较方便，在耗资方面较经济。该方案保证了人员在施工上的安全性同时也保证了机械的可靠性能。在技术上我们也不会落后于其他的国外机械，设备就具有了横好的可靠性和操作性能，更具相对参数设计的磨机产量消耗上也相对有所提高和减少。合理的选用电动机驱动，优化部分设计改动，满足工艺和生产纲领要求。同时也解决了部分球磨机的缺点问题。

经过这次毕业设计的历练也让我深刻认识到作为一名设计人员的本分严谨所在，在这次设计中我充分的认识到设计的严谨·工艺的严谨安排，在材料上的技术划算，工艺安排。流程安排等一系列的技术问题，同时也要做到机械的可靠性验证，对于每一台机器而言从开始做到左后得出机械成果的每一步，都必须要小心翼翼才可以了。同时此次设计也加深了我对本专业的深刻认解。由于本人平时阅历较浅，对某些构件的认识还不够清晰，以至于无法进行精确的分析和设计，故此设计中存在错误在所难免。

经济分析报告

对于目前的机械形式分析，大部分企业投资者认为，机械是一个不会断链的有型链条，在当今社会的局势下，就算知识一时的回落，最后也会有大局之时。所以宏观观看，机械发展行情，是有升值价值的。

同比例来看看近几年的经济发展状况，相对于前一年确实有不少的跌落吗，也许是受到金融风暴的影响，但是从长远去考虑，这也只是一时之局，大部分企业在近几年也开始了回升的情况，这足以说明当局的机械发展行情还是有利可循的，相对于国外我们也许会差些，不过相关技术人员也在这一块做了很大的努力。

考虑到企业的经营模式存在差异，收支的指标幅度值域可以直观的放映企业的状况。2012 年一季度，三一重工应收款项余额为 205.02 亿元，一季度应收款项周转率为 0.898 次，处于行业领先水平。

这点点滴滴都意在说明我们机械行业的苗头在增长，幅度虽然不大但是还是可观的！只是过多的机械现在开始走自动化生产加工的道路曲线，在这点情况下，作为机械产业的企业适合的要开始考虑有更高质量的产品，自动一体化优先的设计思路，无形中材料，设计等产品的价格也开始抬高（但毕竟是机器，都会有个时间年限之久）。所以，我们再走新发展思路的同时！产品的设计思路，经济可观性还是要考虑的。

致谢

到此为止，目前的4年大学生涯也将结束在这4年中，我深感到自己的知识不足在这次实践中也同时体会到了自己的落处，大学是半个社会，只有学好深刻的知识才有可能成为有用之才。

本次设计主要经过三个阶段。第一阶段是实习即资料考察收集阶段，第二阶段是整理资料，第三阶段是正式设计阶段。在第一阶段我们去了图书馆翻阅查阅各种机械设计类资料，主要是为了解本课题的具体情况，对课题有一个感性的认识，明白专业的真谛，并取得本课题的第一手资料。第二阶段重点是整理自己所分析的资料结果，了解下此类设计的发展状况，

设计中本人系统的复习了相关所学习的专业知识，学会了如何根据相关参数构思具体的设计方案，并对方案进行理论上的论证，又根据总体方案设计绘制出零件图。除了本次设计的相关内容和知识外，特别值得一提的是，本次设计的完成，大大的锻炼了自己的思维能力和动手能力。包括机械设计的基本步骤，方案的确定，图书的查找，机械制图能力的强化，计算机绘图能力的加强等等。

感谢我的指点教师郭童军老师，郭老师给了我充分的发挥空间，在我设计中有困难的时候指明了方向，给予了极大的帮助、关心，也感谢我的同学们帮助我顺利完成了设计。

参考文献

- 1 伟昌主编. 机械课程及自动化简明设计手册(上册)[M]. 北京:机械工业出版社,
- 2 伟昌主编. 机械课程及自动化简明设计手册(下册)[M]. 北京:机械工业出版社,
- 3 胡家秀主编. 机械零件设计实用手册[M]. 北京:机械工业出版社,
- 4 李益民主编. 机械制造工艺设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,
- 5 江旭昌主编. 管磨机[M], 北京:中国建材工业出版社,
- 6 许林发主编. 建筑材料机械设计 (M) . 武汉:武汉工业大学出版社,
- 7 侯镇冰主编. 机械设计制图手册 (M). 上海:同济大学出版社,
- 8 周开勤主编. 机械零件手册. 北京:高等教育出版社,
- 9 成大先主编. 机械设计手册. 北京:化学工业出版社,
- 10 褚瑞卿主编. 建材通用机械与设备, 武汉:武汉工业大学出版社, 1995
- 11 刘平成 杨晓红 水中和. 管磨机与球磨机粉碎机理研究[J]矿山设备 第 16 卷 第 5 期
- 14 王海瑞. 高效技能球磨机的特点及应用[J]新疆有色金属 1998, 20~24.
- 15 董洪涛. 球磨机设备技术的最新发展[J]四川水泥, 1997, 54~55.
- 16 孙振邦. 球磨机的功率计算[J]沈阳黄金学院院报, 149~153.
- 17 褚瑞卿. 建材通用机械与设备[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 1996.
- 18 母福生. 破碎粉磨技术进展[J]矿山机械, 2003. 04, 6~8.
19. Optical properties of sol-gel derived ZrO₂-TiO₂ composite films 2007, 515
20. Photocatalytic degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 2,4,6-trichlorophenol with ZrO₂ and Mn/ZrO₂ sol-gel materials 2006, 37
21. Phase evolution of sol-gel CaO-ZrO₂ using sulfuric acid as hydrolysis catalyst 2006, 37

附件（球磨机筒体实体图）如下



