

内蒙古科技大学  
本科生毕业设计说明书(毕业论文)

题 目：变速器齿轮的有限元分析

学生姓名：

学 号：

专 业：过程装备与控制工程

班 级：装备12-2 班

指导教师：

## 摘要

变速器齿轮通常在高转速、高负荷，不断交变的情况下工作。齿轮除了由于正常磨损外，还会由于润滑油品质、润滑条件不良、驾驶操作不当、维修时齿轮装配相互啮合位置不当等原因，均会造成齿轮冲击，轮齿啮合得不好以及起步抖动等，都会加速齿轮的磨损。齿轮通常是依靠本身的结构尺寸和材料强度来承受外载荷的，这就要求材料具有较高强度韧性和耐磨性；由于齿轮形状比较复杂，齿轮精度要求高，还要求材料工艺性好，变速器齿轮常用材料为45钢。

选定两啮合齿轮类型、精度等级、材料和齿数

材料类型：已经给定：标准圆柱直齿轮，压力角为 $20^\circ$ ；

精度等级：综合考虑轻型汽车和载重汽车等级范围，选用7级精度，参考表所示；

材料选择：由材料选择表选择小齿轮材料为45钢，齿面硬度为240HBS，大齿轮材料为45钢，齿面硬度为240HBS。

选取小齿轮齿数  $z_1=24$ （已给定），大齿轮齿数  $z_2=45$ （已给定），则齿数比为  $u=45/24=1.875$ 。

热处理方法是常化处理，处理起来简单方便，经济性好；

相互啮合的两个齿轮的尺寸较小，形状简单，常用的是含碳量在0.15%–0.6%碳钢或合金钢。

本设计运用Pro/E 三维软件，应用圆柱标准齿轮参数，实现标准直齿轮齿轮零件实体模型构造，建立了三维实体直齿轮。

然后通过Pro/E 中建立 workbench 接口，将建立好的标准直齿轮模型，完整地导入ANSYS 软件中。在ANSYS 软件中对齿轮模型进行网格划分并且控制网格的大小，然后再通过设置将相互啮合的轮齿，再对模型施加约束和载荷，最后加载求解查看分析结果，完成整个的分析过程。本文通过ANSYS 软件对齿轮进行接触应力分析，为变速器齿轮的强度校核提供很有效的途径。

**关键词：** 变速器齿轮， Pro/E 建模， 实体零件装配， ANSYS 约束及载荷分析；

## Abstract

Transmission gear often at high speed, high load, speed and load under the condition of constant alternating work. Gear besides due to normal wear, also due to the lubricating oil quality, bad lubrication condition, improper operation and maintenance of driving gear assembly when inappropriate position of eating each other strength of the gear is rely on to withstand the load, which require her and wait for a reason, all can gear impact, tooth mesh well and started shaking, will accelerate the abrasion of gear. Structure size and matters the material with high strength toughness and wear resistance; Due to the complexity of the gear shape, gear accuracy requirement is high, also requires a material good manufacturability. Gears are commonly used material for 45 steel.

Selected two meshing gear type, precision grade, material and the number of teeth.

Material type: it's a given: standard cylindrical spur gear, the pressure Angle of 20 degree.

Precision level: comprehensive consider light car and truck level range, choose level 7 precision, reference shown in the table;

Materials selection: choose by table 10-1 small gear material is 45 steel (conditioning), tooth surface hardness is 240 HBS, big gear material is 45 steel (conditioning), tooth surface hardness is 240 HBS.

Selection of pinion gear  $z_1=24$  (given), big gear teeth  $z_2=45$  (given), the gear ratio for  $u=45/24 = 1.875$ .

Heat treatment is often treated, simple and convenient to handle, good economy;

Two meshing gear size is small, simple shape, commonly used are carbon content from 0.15% to 0.6% of carbon steel or alloy steel.

This design using 3 d software Pro/Engineer,the application of standard cylindrical gear parameters,implement standard spur gear gear parts entity model structure,established a three-dimensional entity spur gear.

And then through the corresponding format conversion between (IEGS)with ANSYS,will establish a good standard spur gear model,fully imported into ANSYS software.Meshing gear model in ANSYS software and control the size of the grid, and then by setting the mutually meshing gear teeth,and impose constraints on the model and load,the load to solve view the results of the analysis,the analysis of the complete the whole process.Based on the ANSYS software was carried out on the gear contact stress analysis,for the intensity of transmission gear provides very effective way.

**Keywords:** transmission gear,Pro/e model,entity parts assembly,ANSYS constraint and load analysis;

# 目录

摘要 .....	2
Abstract .....	1
绪论 .....	1
第一章 圆柱齿轮的选材 .....	4
1.1 毛坯的选择 .....	4
1.2 材料的选择 .....	4
第二章 应用软件介绍 .....	6
2.1 Pro/E 软件介绍 .....	6
2.2 Pro/E 软件特点 .....	7
第三章 渐开线标准圆柱直齿轮的参数化建模 .....	8
3.1 变速器圆柱直齿轮的基本参数 .....	8
3.2 基于Pro/ Engineer5.0参数化建模 .....	9
3.2.1 建立基本尺寸圆 .....	9
3.2.2 建立渐开线及其轮廓截面 .....	10
3.2.3 创建所有齿轮 .....	15
3.2.4 拉伸齿根圆 .....	16
3.2.5 创建齿轮中心孔 .....	16
第四章 Pro/E模型导入ANSYS 软件 .....	18
第五章 利用有限元ANSYS 软件分析 .....	19
5.1 有限单元法概述 .....	19
5.1.1 有限元法的基本思想 .....	19
5.1.2 有限元法的特点 .....	20
5.2 有限元分析步骤 .....	20
5.3 ANSYS软件简介 .....	21
5.4 ANSYS 的特点 .....	23
5.5 有限单元法的优点 .....	23

5.6 有限单元法的缺点 .....	24
--------------------	----

5.7	有限单元法在机械工程中的应用 .....	24
<b>5.8</b>	<b>ANSYS 的主要功能 .....</b>	<b>25</b>
5.9	分析过程 .....	25
<b>5.10</b>	<b>ANSYS WORKBENCH 简介 .....</b>	<b>26</b>
<b>5.10.1</b>	<b>ANSYS WORKBENCH 特点 .....</b>	<b>26</b>
<b>第六章</b>	<b>基于ANSYS 的齿轮接触分析 .....</b>	<b>27</b>
6.1	预处理.....	27
<b>6.1.1</b>	<b>定义齿轮材料特性 .....</b>	<b>27</b>
6.1.2	划分网格 .....	29
6.1.3	施加约束和负载 .....	30
6.1.4	接触分析 .....	32
6-2	求解、后处理 .....	33
6.2.1	应变云图与切片图 .....	33
6.2.2	应力云图与切片图.....	34
6.3	静力学结果分析.....	35
6.4	校核 .....	35
6.4.1	塑、脆性材料 .....	35
6.4.2	结果分析及结论.....	36
<b>第七章</b>	<b>总结 .....</b>	<b>37</b>
7.1	本文分析方法的优点 .....	38
7.2	本文的缺点及今后的改进方向 .....	38
	结束语.....	40
	参考文献.....	42

## 绪论

齿轮是机械传动中的最主要部件之一，一般是电机通过带或链传动在大、小齿轮间传递力矩以及调整好转速，最后达到所需要应用的转速。各齿轮间相互齿合相互传递力矩，齿轮与筒体啮合，齿轮的精度决定传递的准确性，而齿轮的热处理工艺---加工工艺，决定了齿轮的使用的寿命和承载的最大力矩。齿轮传动在很早以前就已经出现了，随着科学技术的进步，出现了一系列的齿轮传动形式，并形成了相应的齿轮啮合理论、设计、加工方法，这些工作都丰富和发展了齿轮传动理论的体系。

### 1.1 发达国际齿轮加工的发展史

工业革命以来，齿轮的需求量已成线性函数式猛增，齿轮加工工艺也水涨船高随之迅速发展。航空、舰艇工业等重工业对齿轮传动提出了高速、重载、大功率的需求，随需求而产生的以磨齿加工为代表的硬齿面加工技术开始出现。齿轮机械都是欧美人先发明，日本人在欧美的基础上也创造了许多新的齿轮技术。目前中国在齿轮方面紧追欧美等发达国家，到为止欧美发达国家在齿轮研究方面一直远远领先于中国

### 1.2 国内齿轮加工工艺研究以及发展

新中国成立以来我们对齿轮的研究主要集中在螺旋锥齿轮加工的研究中的“格里森”机床方面，而且起步较晚，从70年代才开始引进美国格里森公司的齿轮机床，对格里森公司的计算公式进行了逆向推导和改进并制造出来我国自己的车床。我国把“格里森成套技术研究”列为重点科研项目，组织许多高等院校和科研机构进行攻关。经过“七五”、“八五”，基本上摸清了格里森齿轮的理论基础和加工原理，并根据我们所掌握的，做出了自己的东西，但是总体未能摆脱格里森齿轮体系。

### 1.3 齿轮加工技术的现状及未来发展趋势

虽然全球齿轮加工工艺日新月异，但当前最广泛被应用的齿轮加工工艺方法依然是滚齿加工。在汽车行业迅速发展拉动下，国内汽车齿轮制造业水平虽然不高，但是总体上还是呈现出持续高速增长的气势。汽车是衡量一个国家工业水平



的一个重要标准，目前我国汽车齿轮加工工艺方面也顺势迈入了快速发展的通道，开始向世界制造强国这条路发展，我国虽然已成为真正的汽车齿轮生产大国，但是汽车工业整体上与欧美发达国家相比差距仍然很大。为了使齿轮加工行业有生产质量水平、高生产效率、高制造精度以及绿色制造的高标准，滚齿加工设备和加工技术在不断向前推进。下面我们谈谈未来的滚齿技术以及滚齿机的发展趋势。

### 1.3.1 全数控化

所谓全数控化，顾名思义是指滚齿机的所有运动全部实现数控化，机床展成运动链和差动运动链挂轮的调整也是通过数控完成。滚齿机实现全数控化后，为滚齿加工技术创造了很多优点和方便，具有革命性的突破。

#### a、机床结构发生了根本性变化

机床传动系统结构会发生根本变化，这样可以大大缩短了机床的传动链，各轴间的机械传动联系也会随着减少，各轴承之间的摩擦也会相对减少。

#### b、齿轮精度会有大的提高

基于机床的各条传动链完全被电主轴取代或者因为采用电主轴而变短，因此可以用对刀具的磨损进行自动补偿，智能控制技术的日新月异，以及计算机技术的广泛运用与快速提高，会大大提高使滚齿机床的工艺能力指数及加工精度。

#### c、齿轮加工效率会有大的跃升

机床数控化的实现，完全有可能取消交换齿轮的调整工序，至少明显可以节约很多时间，而且可以在不经过任何调整，只需要进行一次安装下即可进行多联齿轮的加工。

### 1.3.2 直接驱动

随着电机技术和计算机控制技术迈入高速发展轨道，取消了所有的机械传动环节，使机床可以由电机直接驱动主轴、工作台及垂直进给系统，实现了动力源直接驱动机床工作部件，即直接驱动。数控滚齿机的主轴通常是由一对斜齿轮和交流变频电机组成；变频电机直接驱动工作台，机床的分度常用特殊齿形的大尺寸齿轮副、多头双蜗轮副或高精度蜗轮副；各轴间由旋转运动向直线运动的转换机构依然采用滚珠丝杠副。

### 1.3.3 高速传动、高精度生产

滚齿机的主轴转速和工作台转速是影响切削效率的主要指标，滚齿机切削加工的高速化，主要是使机床拥有高的主轴转速、高的工作台转速以及高的进给速度。传统机械滚齿机的主轴最高转速比较低，工作台转速也不高。在数控化运用到滚齿机上以后，影响齿轮加工精度的因素很多，像电气方面、刀具磨损等诸多因素。这些因素都可以采用数控化系统和建模进行补偿，随着数控技术的快速发展，车床处理各种问题的能力越来越强了，也大大提高了加工精度。

#### 1.3.4 环保节能化

随着制造技术向绿色方向发展，对制造业的环保要求和节能要求的呼声也不断地提高。齿轮制造的企业在提高生产质量和经济效益的时候必须将寿命的设计纳入重要议题，从产品的环保和回收利用等角度思考。现在新研制的新技术能够满足绿色环保的要求能力。

#### 1.3.5 多种工艺集成化

大型齿轮机床(特别是高速数控齿轮机床)的发展趋势是集多种工艺于一体。这种机床在一次安装中加工不同齿数、不同模数、不同螺旋方向和螺旋角的多联齿轮，并配备工件自动上下料装置、自动对齿机构、去除齿轮端面毛刺装置等。集成化的大型齿轮能加工的齿轮也越来越多。

## 第一章 圆柱齿轮的选材

### 1.1 毛坯的选择

齿轮毛坯的形式主要有棒料，锻件和铸件。棒料用于小尺寸、结构简单且对强度要求低的齿轮。当齿轮要求强度较高、耐磨和耐冲击时，多用锻件。对于直径大于400到600mm的齿轮，常用的铸造方法铸造齿坯。为了减少机械加工量，对大尺寸、低精度齿轮，可以直接铸出轮齿；压力铸造、精密锻造、粉末冶金、热轧和冷剂技术的新工艺，可制造出具有轮齿的齿坯，以提高劳动生产率，节约原材料。

### 1.2 材料的选择

轮齿的材料的选择对轮齿的加工性能和使用寿命有直接的影响。一般来讲，对于低速重载的传力齿轮，其齿面受压产生的塑性变形或者磨损，且轮齿容易折

断，应该用机械强度，硬度等综合力学性能好的材料，经渗碳淬火，心部具有良好的韧性，齿面硬度可达56到62HRC；线速度高的传力齿轮，齿面易产生疲劳点蚀，所以齿面硬度要高，可用CrMoAlA 渗氮钢，这种材料经渗氮处理后表面可得到一层硬度很高的渗氮层，而且热处理变形小；非传力齿轮可以用非

淬火钢、  
铸铁、夹布胶木或尼龙等材料。

下材料选择表为常用材料及其机械性能表。

材料牌号	处理方法	强度极限	屈服极限	硬度		
				芯部	齿面	
HT250	不处理	250			145-235	
HT350		350			182-273	
QT500-5	常化	500		320	170-230	
QT600-2		600		370	190-270	
ZG310-570		580	320	310	162-197	
ZG340-640		650	350	340	179-207	
45		580	290		169-217	
45		650	360		229-286	
30CrMnSi		调质	1100	900		56-62HRC
35SiMn			750	450		229-286
38SiMnMo	735		588		235-298	
40Cr	700		500		241-286	
45	647		373		40-50HRC	
20Cr	735		400	300		

### \*直齿圆柱齿轮传动的受力分析

为了计算齿轮强度，需要知道齿轮上所受的力。另外，齿轮传动的力分析也是计算安装齿轮的轴及轴承所必须的。

齿轮传动一般都加以润滑，啮合齿轮间的摩擦力通常很小，甲酸轮齿受力时，可以不考虑这些次要因素。

{

——小齿轮传递的转矩,  $N \cdot mm$

$\alpha$ ----- 压力角

## 第二章 应用软件介绍

### 2.1 Pro/E 软件介绍:

美国PTC公司 (Parametric Technology Corporation, 参数技术公司)与1985年在美国波士顿成立,自1989年公式上市伊始,即引起机械CAD/CAE/CAM界的极大震动,其销售额及净利润连续50个季度递增,每年以翻番的速度增长。PTC公司已占全球CAID/CAD/CAE/CAM/PDM市场份额的43%以上成为CAID/CAD/CAE/CAM/PDM领域最具代表性软件公司,其Pro/Engineering软件产品的设计思想体现了机械CAD软件多个专用模块。

Pro/Engineer (简称Pro/E)操作软件是美国参数技术公司(PTC)旗下的CAD/CAM/CAE一体化的三维软件,其内容涵盖了产品从概念设计、工业造型设计、三维模型设计、分析设计、动态模拟与仿真、工程图输出到生产加工成产品的全过程,其中还包含了大量的电缆及管道布线、模具设计与分析实用模块,应用范围涉及航空航天、汽车、机械、数控(NC)加工及电子等诸多领域。Pro/Engineer软件以参数化著称,是参数化技术的最早应用者,在目前的三维造型软件领域中占有着重要地位。Pro/Engineer作为当今世界机械CAD/CAE/CAM领域的新标准而得到业界的认可和推广,是现今主流的CAD/CAM/CAE软件之一,特别是在国内产品设计领域占据重要位置。

Pro/Engineer和WildFire是PTC官方使用的软件名称,但在中国用户所使用的名称中,并存着多个说法,比如Pro/E、破衣、野火等等都是指Pro/Engineer软件,proe2001、proe2.0、proe3.0、proe4.0、proe5.0、creol.0\creo2.0等等都是指软件的版本。

Pro/e是软件包,并非模块,他是该系统的基本部分其中功能包括参数化功能定义,实体零件及组装造型,三维上色实体或线框造型完整工程图产生及不同视图(三维造型还可移动,放大或缩小或旋转)。Pro\e是一个功能定义系统,即造型是通过各种不同的设计专用功能来实现,采用这种手段来建立形体,其中包括:筋(ribs)、槽(slots)、倒角(chamfers)和抽空(shells)等,采用这种手段来建立形体,对于工程师来讲,更是自然、直观,任何一个参数的变化,其他相关的特征也会自动修正,这种功能使得修改根伟方便和可令设计优化更趋

完美。造型不但可以在屏幕上显示，还可以传送到绘图机上或一些支持 Postscript 格式的彩色打印机。Pro/e 还可以输出三维和二维设计图，他不但可以应用于工作站，而且也可以应用到单机上。

## 2.2 Pro/E 软件特点：

PTC 公司提出的单一数据库参数化、基于特征、全相关及工程数据再利用等概念改变了机械CAD 的传统观念，这种全新的概念已成为世界机械CAD 领域的新标准。利用此概念写成的第三代机械CAD 产品——Pro/E 软件能将产品从设计至生产的过程集成在一起，让所有的用户进行同一产品的设计制造工作，即所谓的并行工程。

Pro\ENGINEER 是基于特征的全参数化软件，该软件所创建的三维模型是一种全参数化得三维模型。“全参数化”有三个层面的含义，即特征截面几何的全参数化、零件模型的全参数化以及装配模型的全参数化。如腔、壳、倒角和圆角，您可以随意勾画草图，轻易改变模型，这一功能特性个设计者提供了从设计上前所未有的简易和灵活。



### 第三章 渐开线标准圆柱直齿轮的参数化建模

#### 3.1 变速器圆柱直齿轮的基本参数：

名称	参数	数值	单位
法面压力角	$\alpha$	20	°
法面模数	$m$	3	
螺旋角	$\beta$	0	°
法面齿顶高系数	$h^*$	1	
法面顶隙系数	$c^*$	0.25	
小齿轮齿数	$z_1$	24	
大齿轮齿数	$z_2$	45	
齿宽	$b$	20	mm
小齿轮中心孔半径	$kr_1$	15	mm
大齿轮中心孔半径	$kr_2$	35	mm

(1) 小齿轮分度圆直径：

$$d_1 = z_1 \times m = 24 \times 3 = 72 \text{ mm}$$

小齿轮齿顶圆直径：

$$d_{a1} = (z_1 + 2h^*) \times m = (24 + 2 \times 1) \times 3 = 78 \text{ mm}$$

小齿轮齿根圆直径：

$$d_{f1} = m \times (z_1 - 2h^* - 2c^*) = 3 \times (24 - 2 - 0.5) = 64.5 \text{ mm}$$

小齿轮基圆直径：

$$d_{b1} = d_1 \times \cos 20^\circ = 72 \times \cos 20^\circ = 67.66 \text{ mm}$$

(2) 大齿轮分度圆直径：

$$d_2 = z_2 \times m = 45 \times 3 = 135 \text{ mm}$$

大齿轮齿顶圆直径：

$$d_{a2} = (z_2 + 2h^*) \times m = (45 + 2 \times 1) \times 3 = 141 \text{ mm}$$

大齿轮齿根圆直径：

$$d_{f2} = m \times (z_2 - 2h^* - 2c^*) = 3 \times (45 - 2 - 0.5) = 127.5 \text{ mm}$$

大齿轮基圆直径:

$$db_2 = d_2 \times \cos 20 = 135 \times \cos 20 = 126.86 \text{ mm}$$

小齿轮分度圆半径	$D_1 = z_1 \times m$	<b>72 mm</b>
大齿轮分度圆半径	$d_2 = z_2 \times m$	135 mm
小齿轮齿根圆半径	$D_{f1} = m \times (z_1 - 2h^* - 2c^*)$	<b>64.5 mm</b>
大齿轮齿根圆半径	$D_{f2} = m \times (z_2 - 2h^* - 2c^*)$	127.5 mm
小齿轮齿顶圆直径	$D_{a1} = (z_1 + 2h^*) \times m$	<b>78 mm</b>
大齿轮齿顶圆直径	$d_{a2} = (z_2 + 2h^*) \times m$	141 mm
小齿轮基圆直径	$db_1 = d_1 \times \cos 20$	67.66 mm
大齿轮基圆直径	$db_2 = d_2 \times \cos 20$	126.86 mm

## 3.2 基于 Pro/Engineer4.0 参数化建模

### 3.2.1 建立基本尺寸圆

(1) 启动软件 Pro Engineer Wild Fire5.0, 点击[文件]→[设置工作目录]→给自己工作目录起名我起名为: gear。

(2) [新建]→文件类型为“零件”, 子类型为“实体”, 不使用缺省模板, 选择mmns\_part\_solid, 点击确定。

(3) 点击“草绘”按钮, 弹出“草绘”对话框, 选择草绘平面为“TOP”平面, 参照平面为Right 平面, 其他选项默认, 点击确定, 进入草绘平面。

(4) 点击绘制圆按钮, 画出相交的中心线, 分别绘制圆心与基准中心重合的4个圆, 再进行尺寸修改, 修改直径尺寸依次为78mm (齿顶圆直径), 72mm (分度圆直径), 67.66mm (基圆直径), 64.5mm (齿根圆直径), 并把光标指向分度圆上, 点击右键, 点击属性, 选择选项为“虚线”, 打“√”确定。

(5) 绘制如图3-1所示的草绘图。

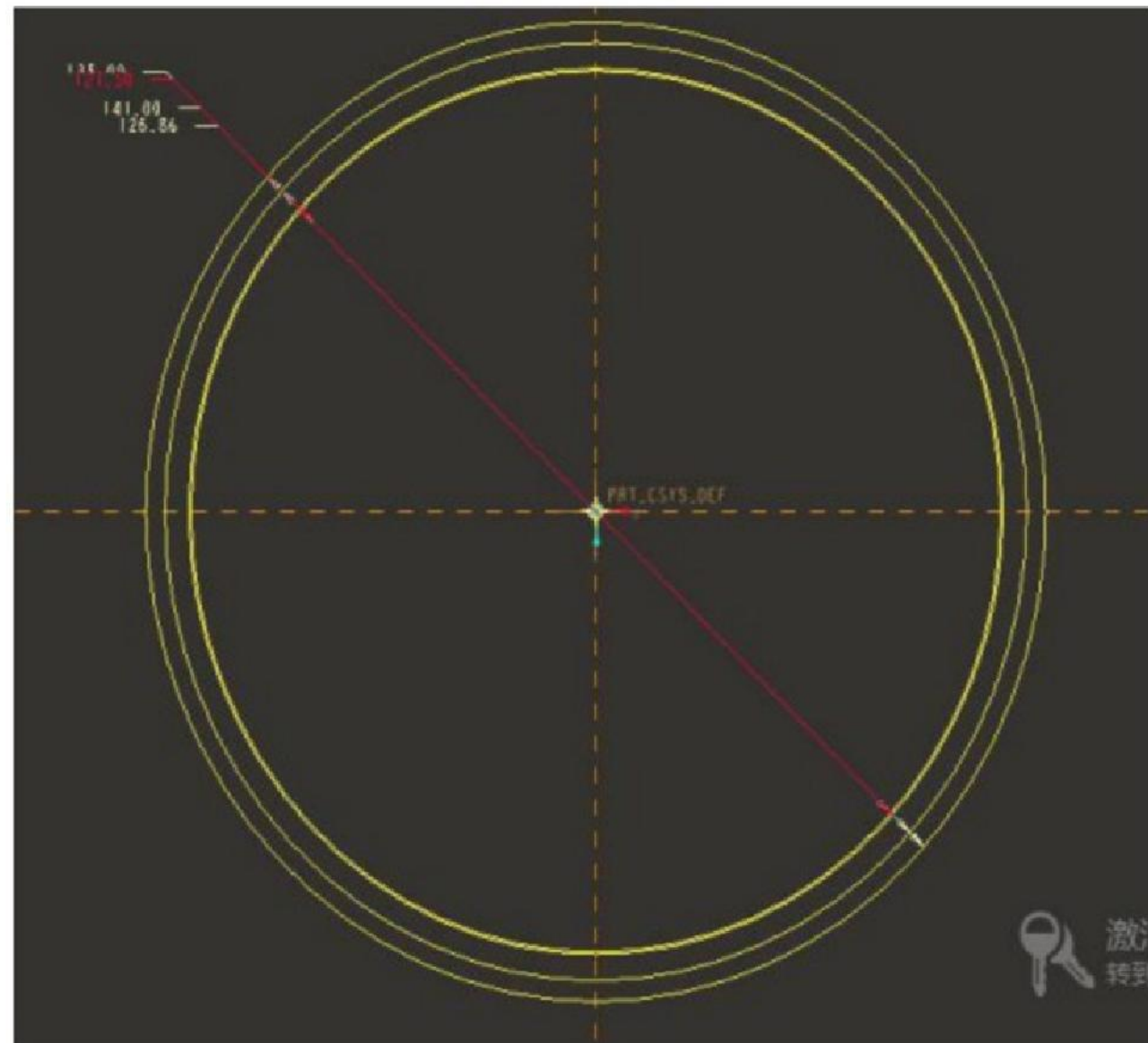


图3-1

### 3.2.2 建立渐开线及其轮廓截面

(1) 点击“曲线”（插入基本曲线）→ [从方程] → [完成] → [选取坐标系] → 在草绘平面选取[RPT\_CSYS\_DEF]坐标系 → 再选取[笛卡尔坐标系], 弹出一个记事本对话框, 如图 3-2。

(2) 写入渐开线方程:

在记事本对话框中依次写入方程如下:

$$r=126.86/2;$$

$$\theta=t*90;$$

$$x=r*\cos(\theta)+r*\sin(\theta)*\theta*(\pi/180);$$

$$y=0;$$

$$z=r*\sin(\theta)-r*\cos(\theta)*\theta*(\pi/180);$$

点击文本框中的保存, 再退出;

```
rel.ptd -记事本
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
V*, 为笛卡儿坐标系输入参数方程
/*根据t (将从0变到1)对x,y 和z
/*”例如: 对在xy 平面的一个圆, 中心在 origin
/* 半径=4, 参数方程将是:
-----
x = 4*cos(t*360)
y = 0
z = 0
t = 126.86/2
theta = t*90
```

图3-2

(3) 则绘制出的曲线如图3-3所示。

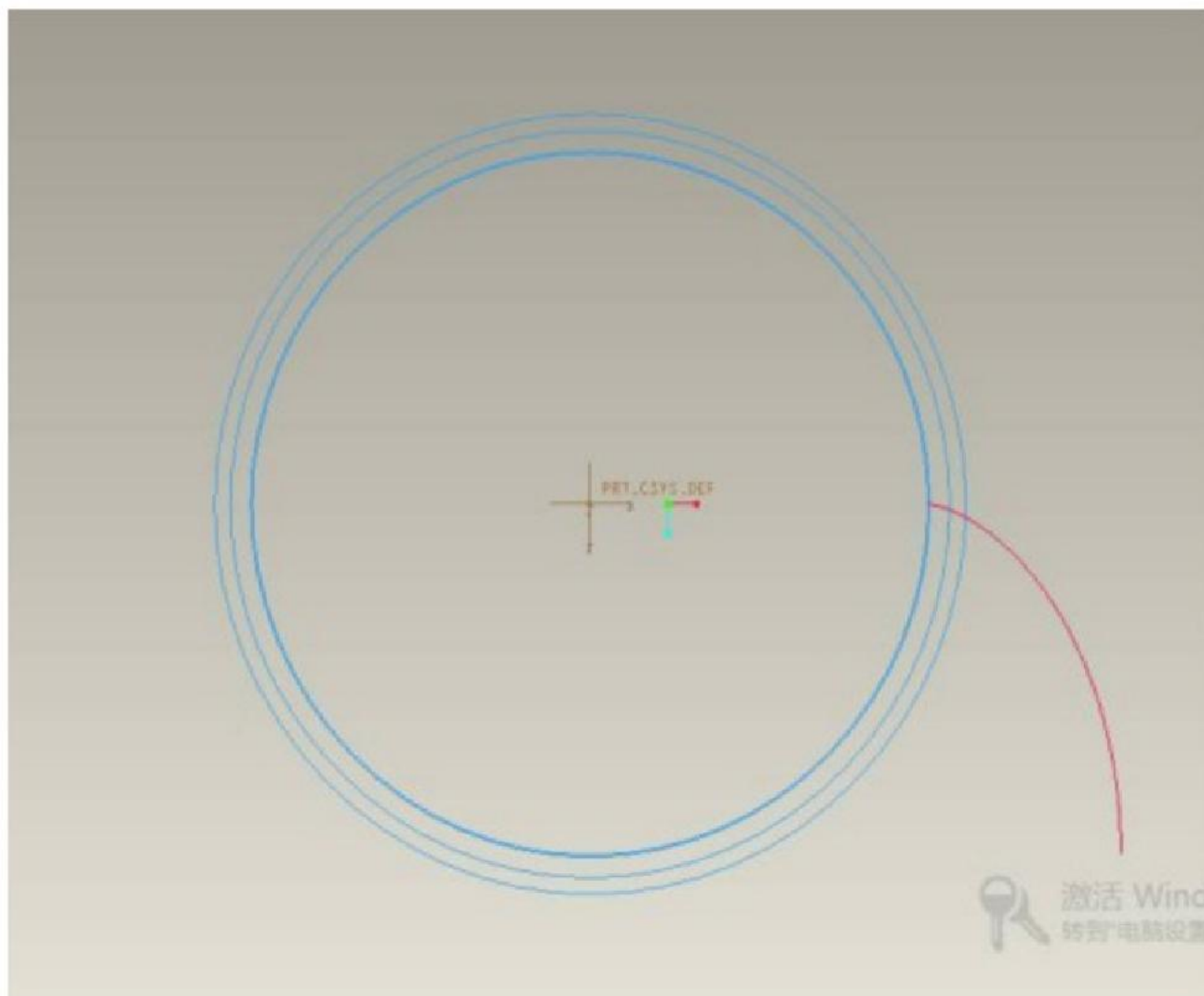


图3-3 绘制渐开线

(4) 点击右侧特征工具栏中的“基准点”工具按钮，系统弹出“基准点”对话框，选择所绘制的渐开线，再按住“Ctrl”键选择分度圆曲线，创建基准点“PNT0”，如图3-4。

(5) 点击特征工具栏中的基准轴工具按钮，系统弹出“基准轴”对话框，选择平面RIGHT和FRONT面作为参照，以此平面RIGHT和FRONT面作交线创建基准轴A\_1，如图3-5。

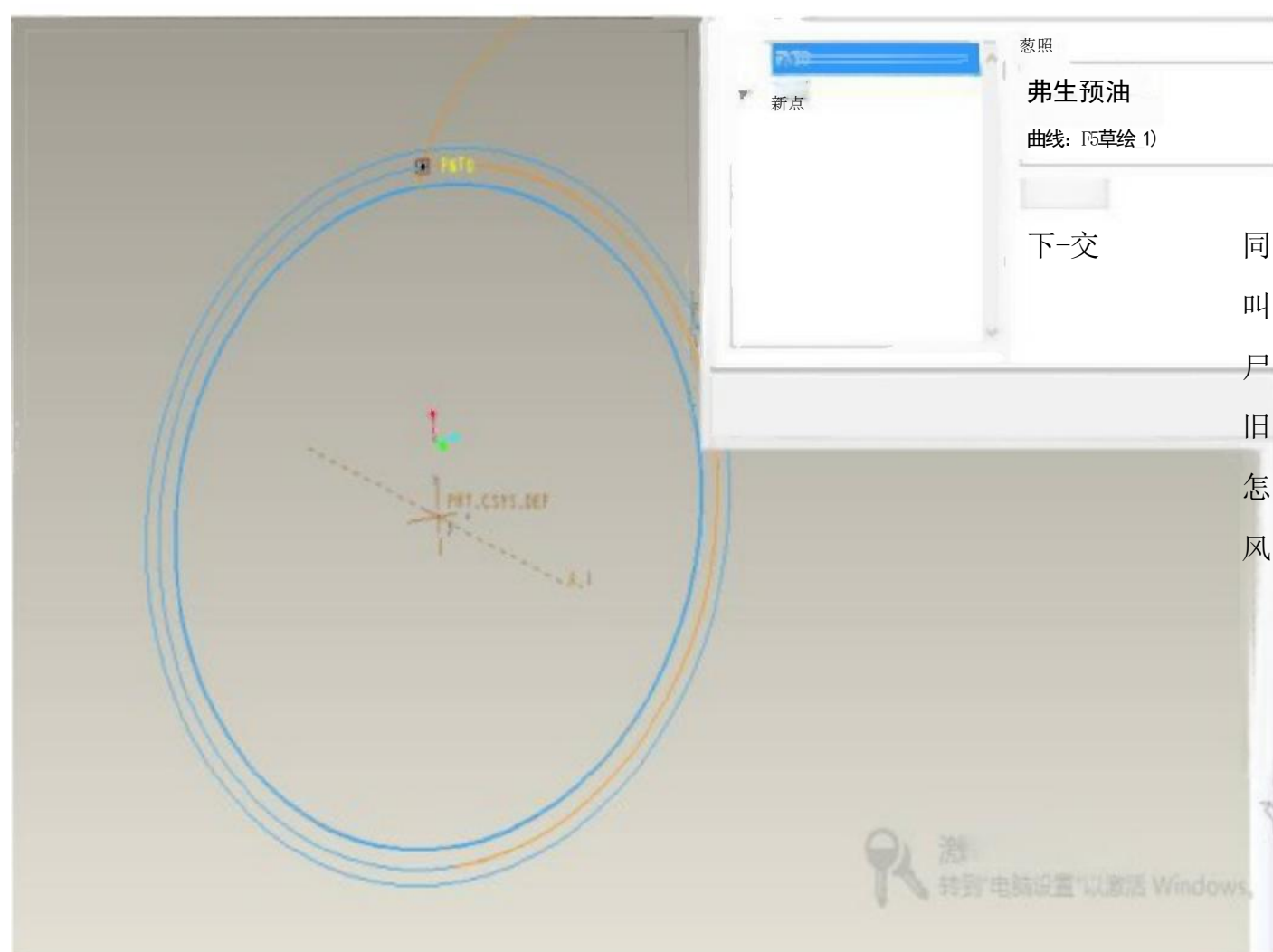


图3-4 创建基准点 PNT0

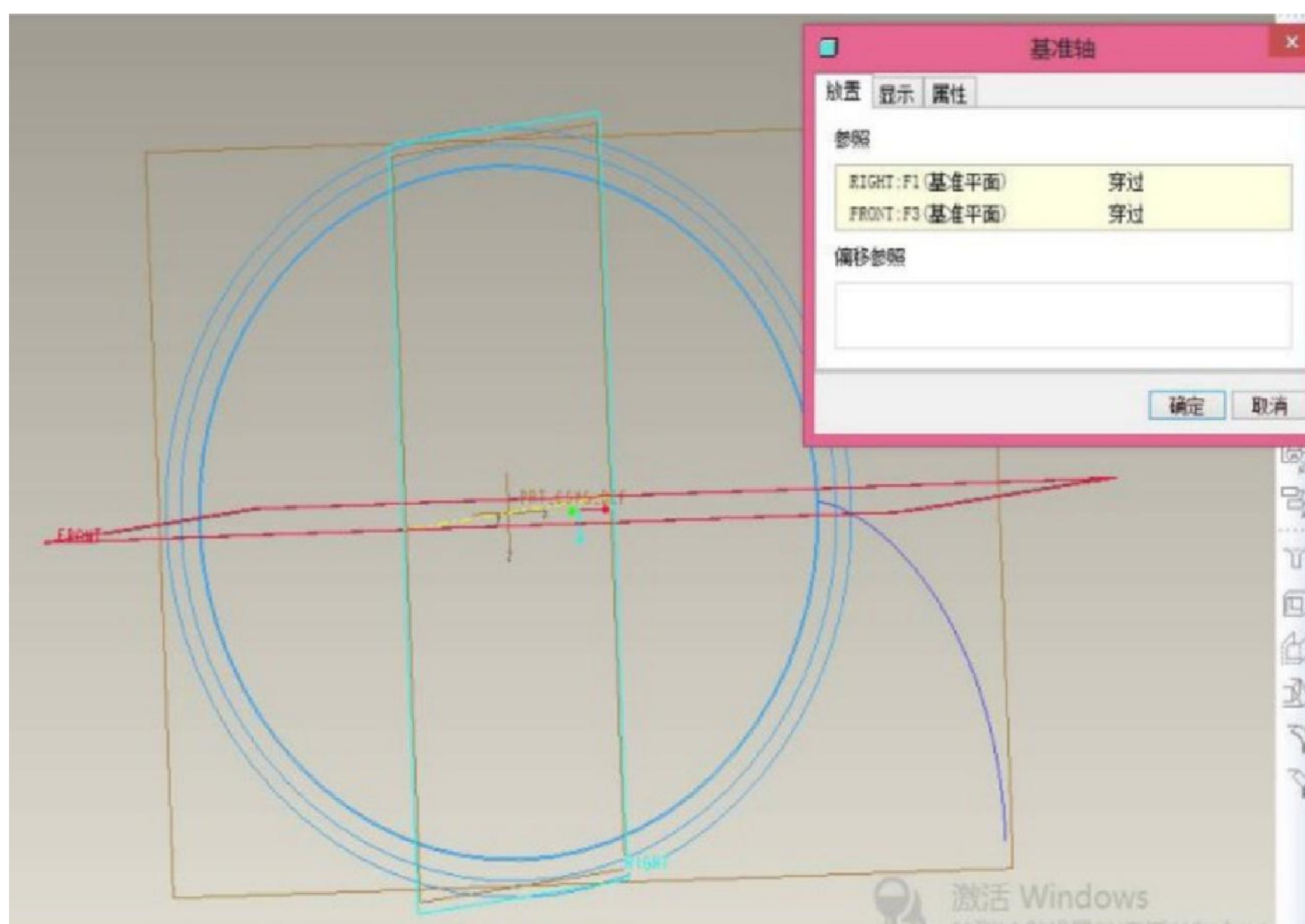


图 3 - 5 创建基准轴A\_1

(6) 点击特征工具栏中的基准平面工具按钮，系统弹出“基准平面”对话框，依次选择基准点“PNO”和基准轴“A 1”作为参照，穿件基准平面“DTM1”，

再点击基准平面工具按钮，系统弹出“基准面”对话框，选择基准平面“DTM1”和基准轴“A\_1”，作为参照，系统弹出默认角度“45”，同时，默认方向偏向渐开线内侧，输入角度值为“ $360/(z2*4)$ ”，作为特征关系，创建基准平面“DTM2”，

如图3-6。



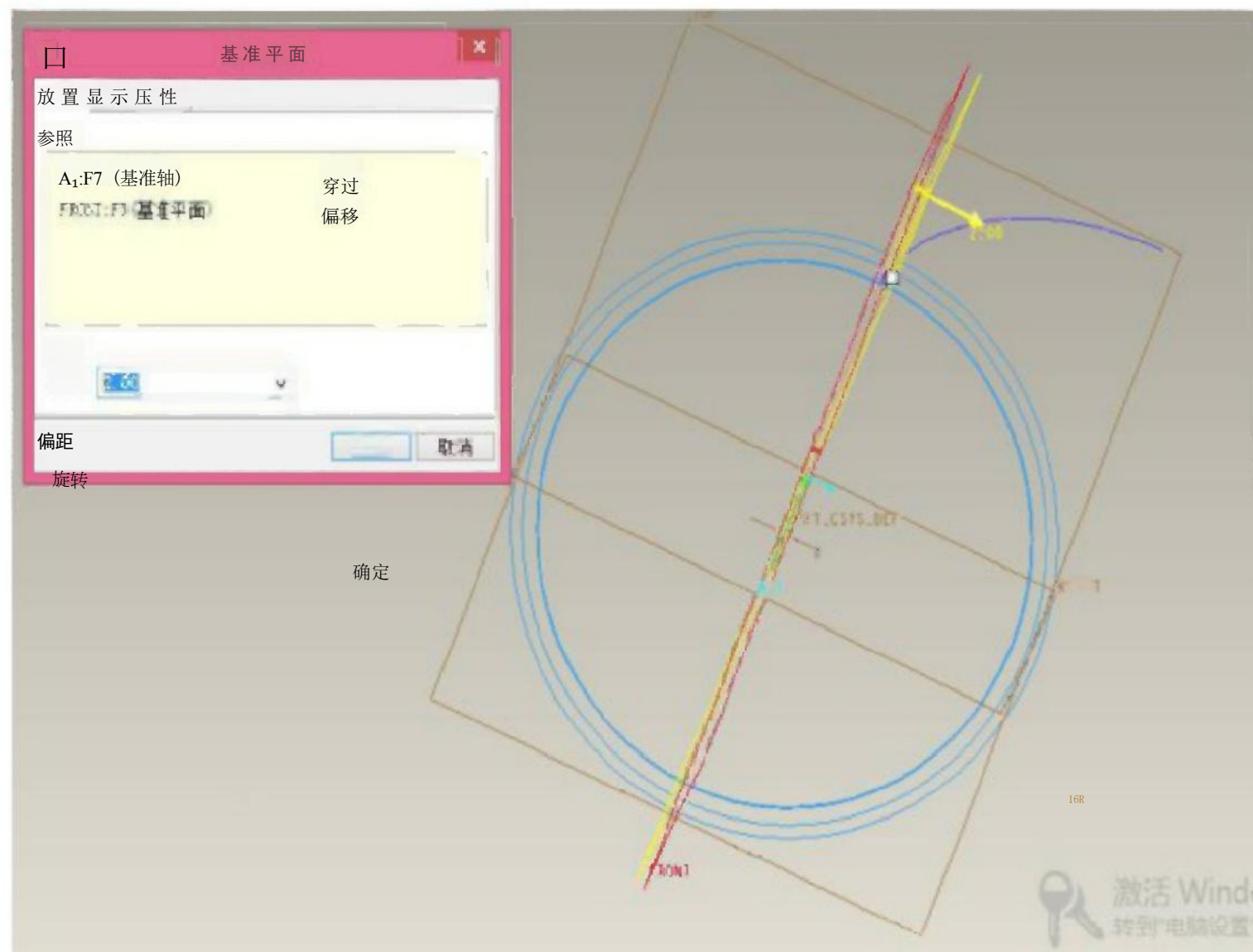


图3-6 创建平面 DTM2

(7) 点击特征工具栏中的镜像特征工具按钮，系统打开镜像特征操控板，选择所创建的“DTM2”基准平面作为参照平面，镜像所创建的渐开线，完成如图3-7所示。

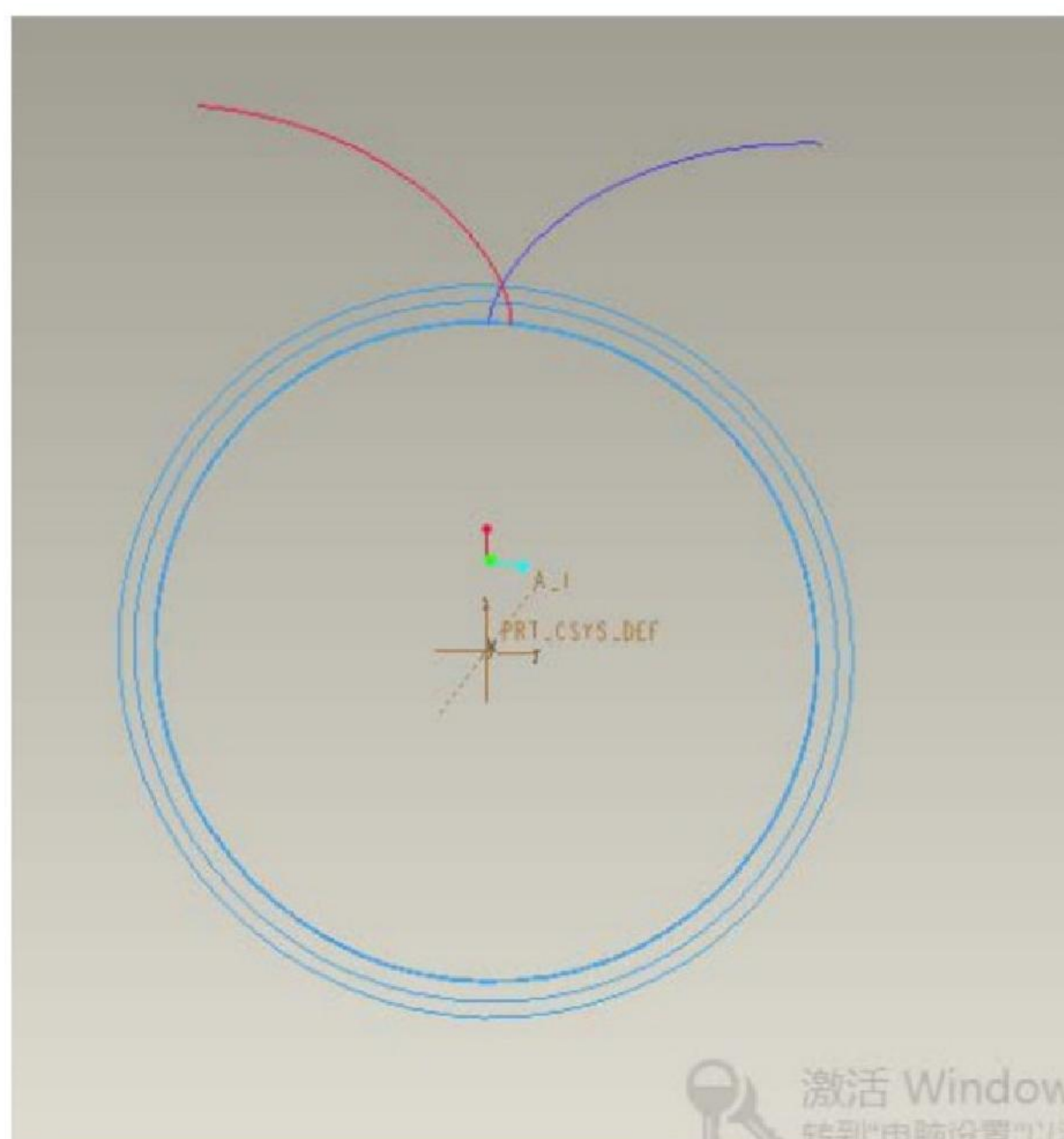


图3-7 镜像渐开线

(8) 点击桌面右侧特征工具栏中的“拉伸特征工具”按钮，系统打开拉伸特征操控板，点击“放置”，下滑面板中的“定义”按钮，系统弹出“草绘”对话框，选择“TOP”作为草绘平面，并选择“RIGHT”基准平面作为右参照，其他

默认即可，进入草绘环境，点击工具栏中的“使用边”工具按钮，选择 RIGHT 基准平面作为右参照，选择齿轮的齿根圆曲线、两条渐开线、齿顶圆作为拉伸图元，如图3-8, 约束两圆角相等，双击半径尺寸为修改其为“ $0.38*m=1.14\text{mm}$ ”，按回车键结束，并使用动态修剪工具剪掉多余线，截面如图3-9所示，完成打“√”，输入拉伸高度为： $b=20$  拉伸，如图3-10。

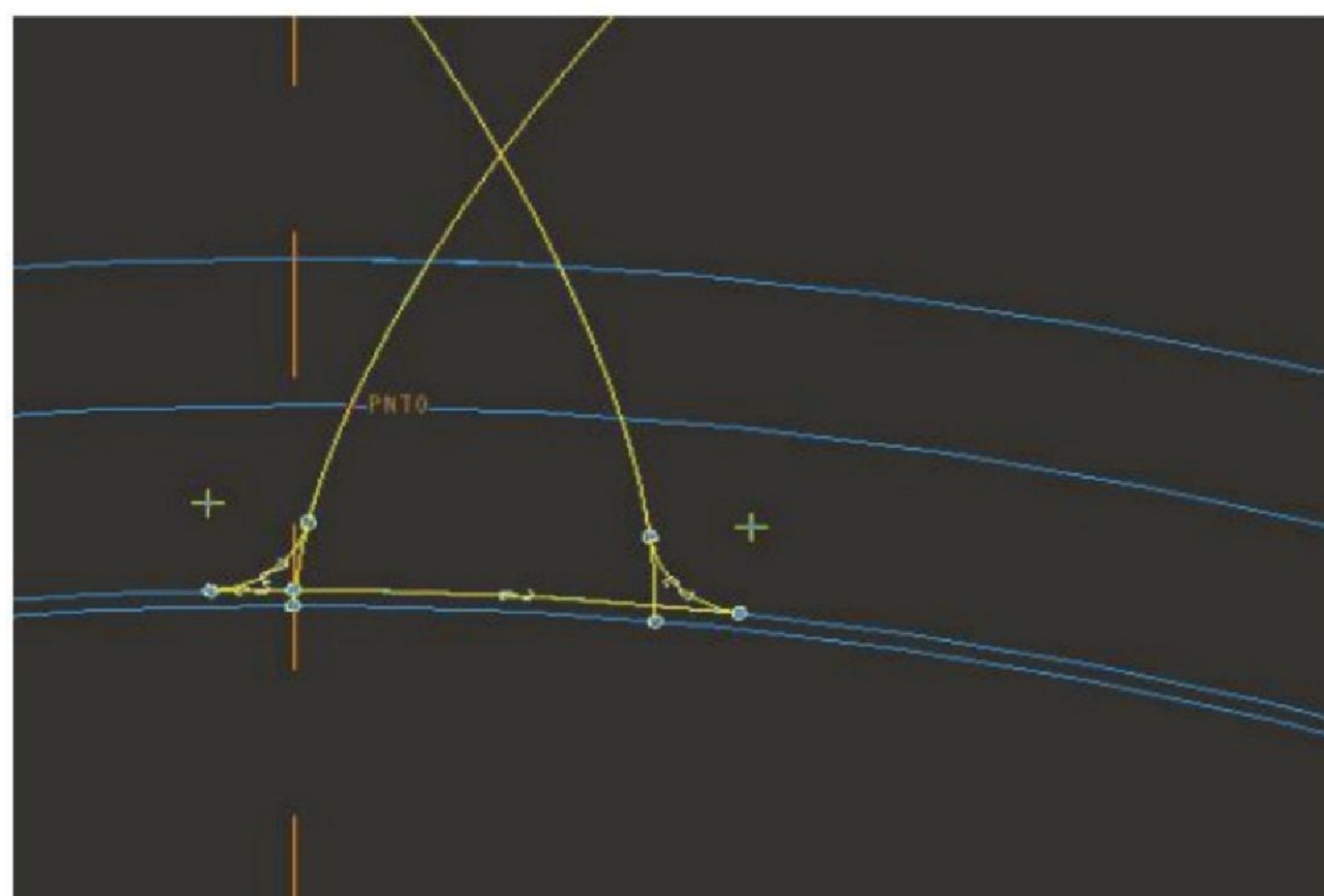


图3-8选择所需要的线

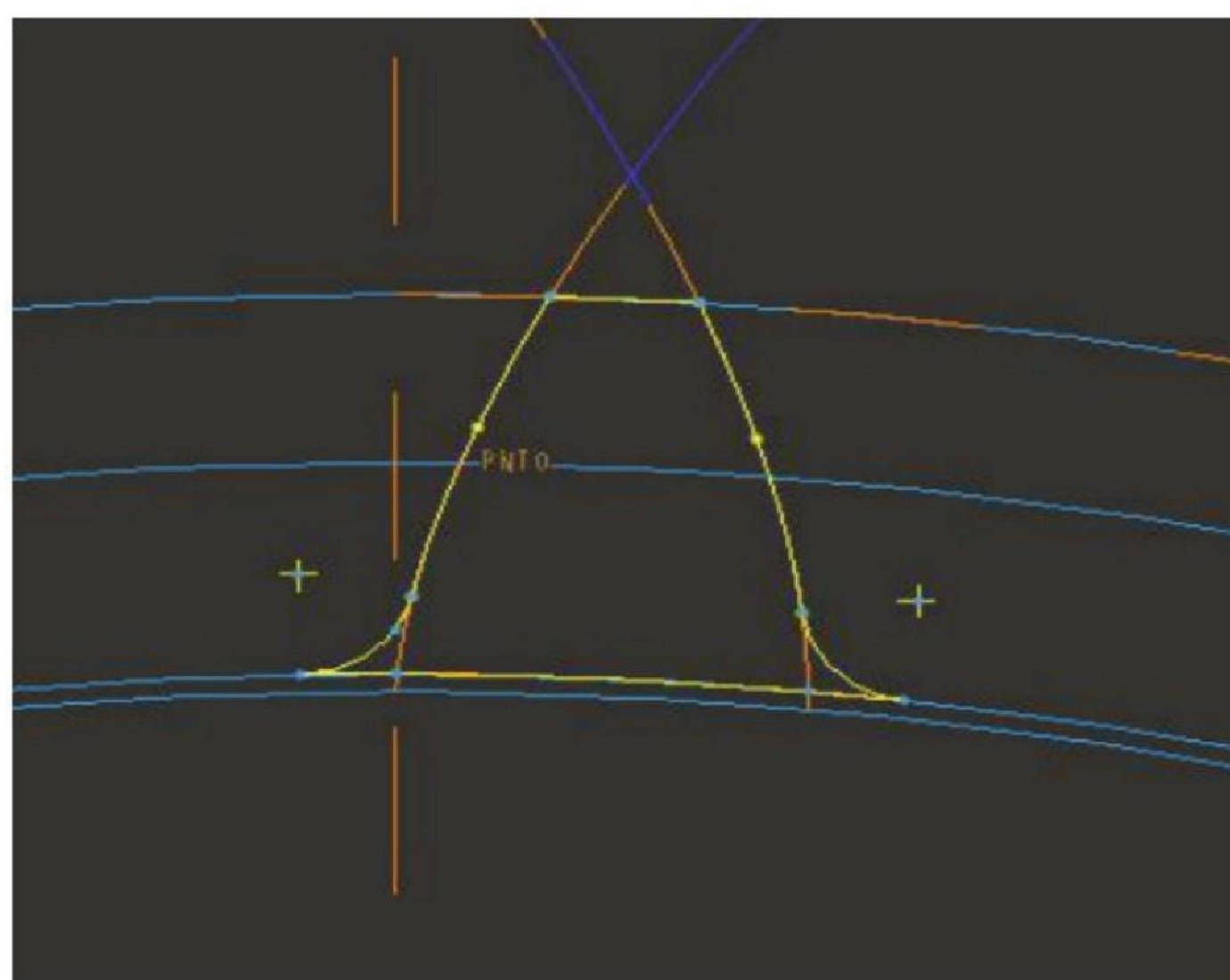


图3-9 修剪不需要的线

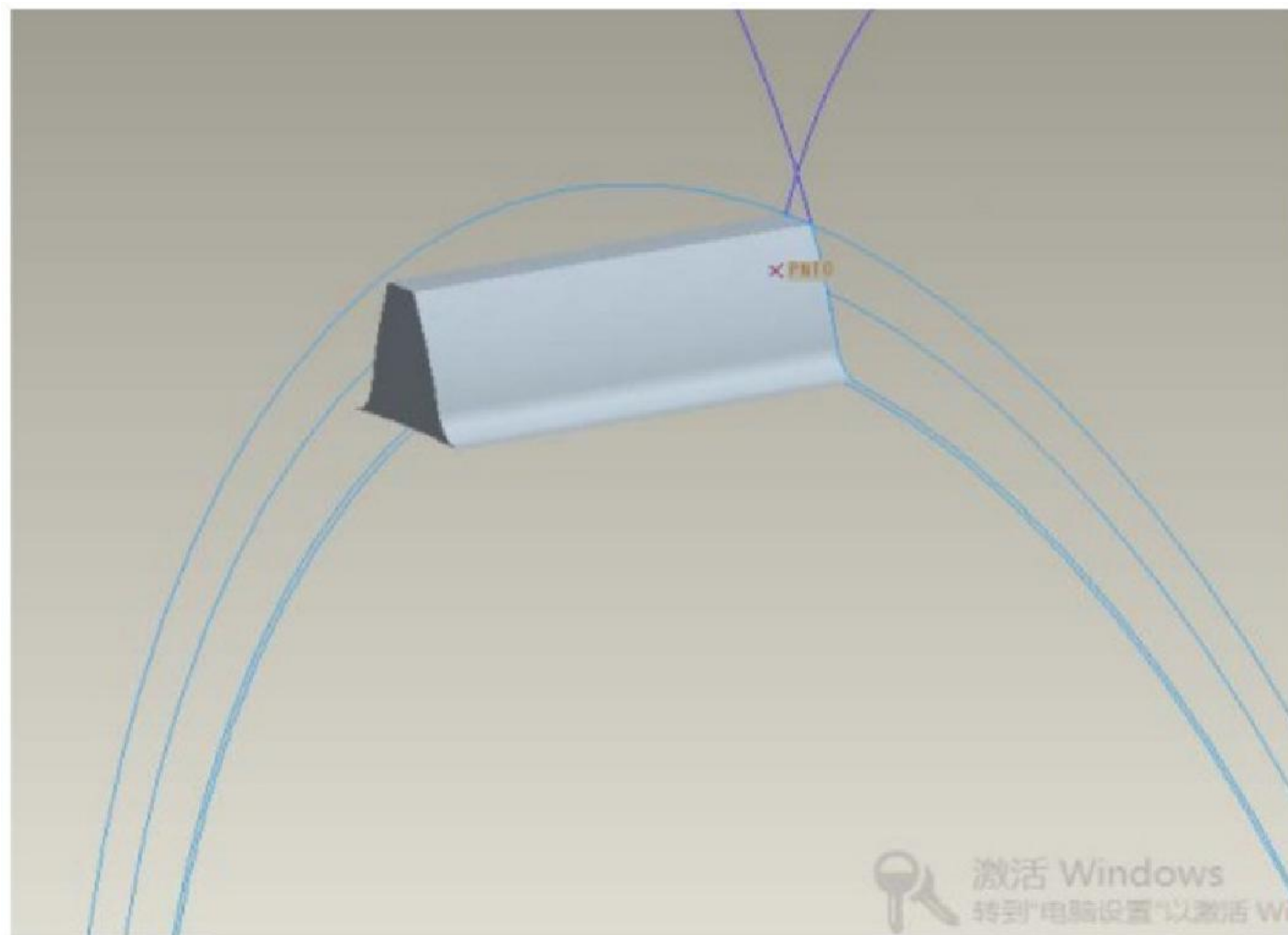


图3-10创建第一个齿模型

### 3.2.3 创建所有齿轮

- (1) 选取刚才创建的轮齿。
- (2) 选择[编辑特征]工具栏中的阵列，出现[阵列]操控板。
- (3) 在阵列方式列表中选择[轴]。
- (4) 在图形区中选择“A\_1”轴线为阵列轴线。依次输入齿数45, 增量角为8, 点击“√”即可，如图3-11所示。

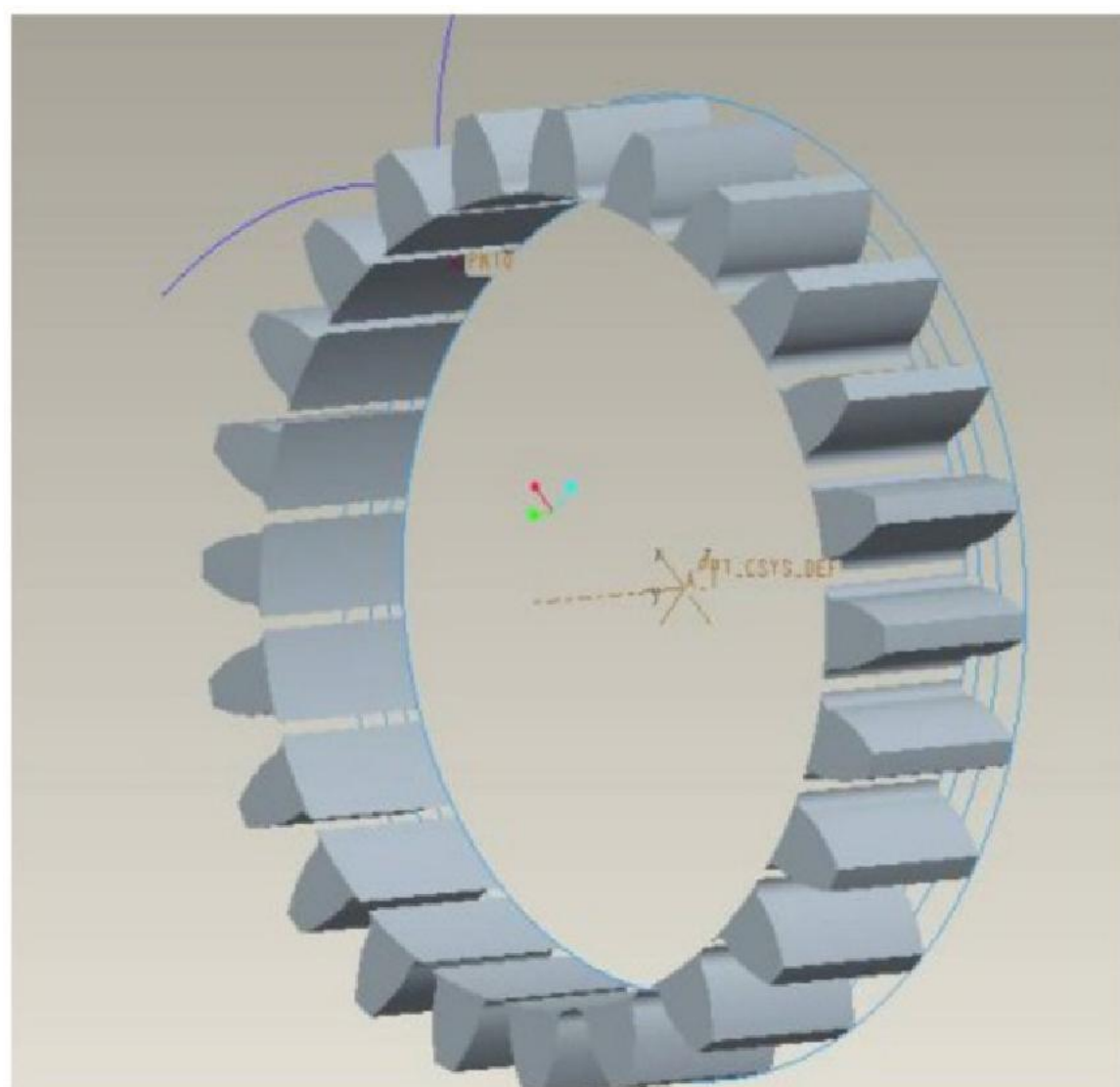


图3-11 完成所有齿的创建

图3-11的放大图

### 3.2.4 拉伸齿根圆

(1) 点击“拉伸”工具按钮，打开拉伸操作面板，选择拉伸为实体，拉伸尺寸为20。

(2) 点击“放置”面板中的“定义”，打开草绘对话框，选择“TOP”平面，进行草图绘制。

(3) 绘制齿根圆作为拉伸截面。确定返回拉伸操作面板，确定完成拉伸特征的建立，点击“√”，完成如图3-12所示。

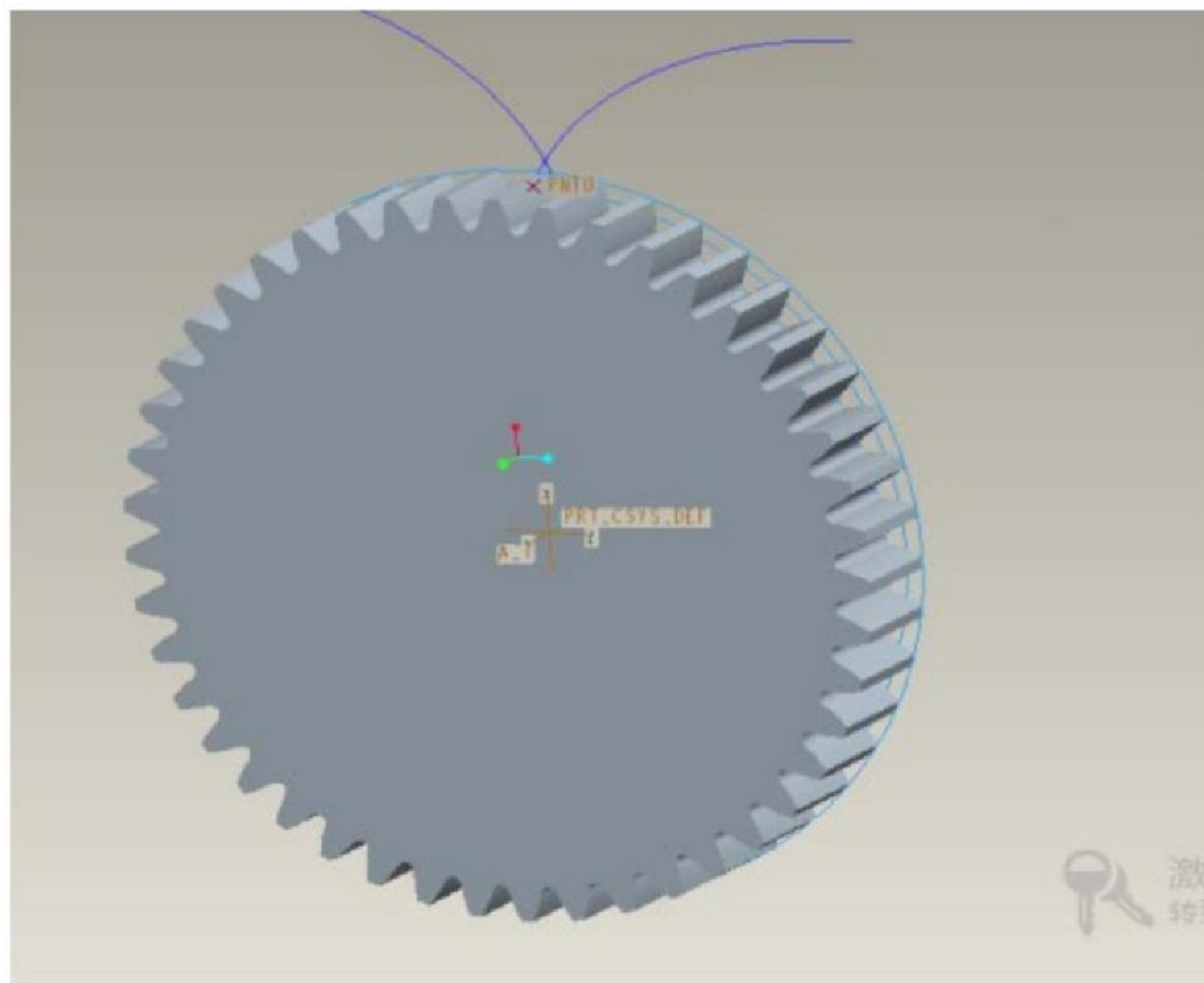


图3-12 齿轮实体轮廓创建完成

### 3.2.5 创建齿轮中心孔

(1) 点击[拉伸]按钮，选取 TOP 面进行，查文献得到中心孔的标准尺寸为如图中所示进行拉伸除料，如图3-13所示。

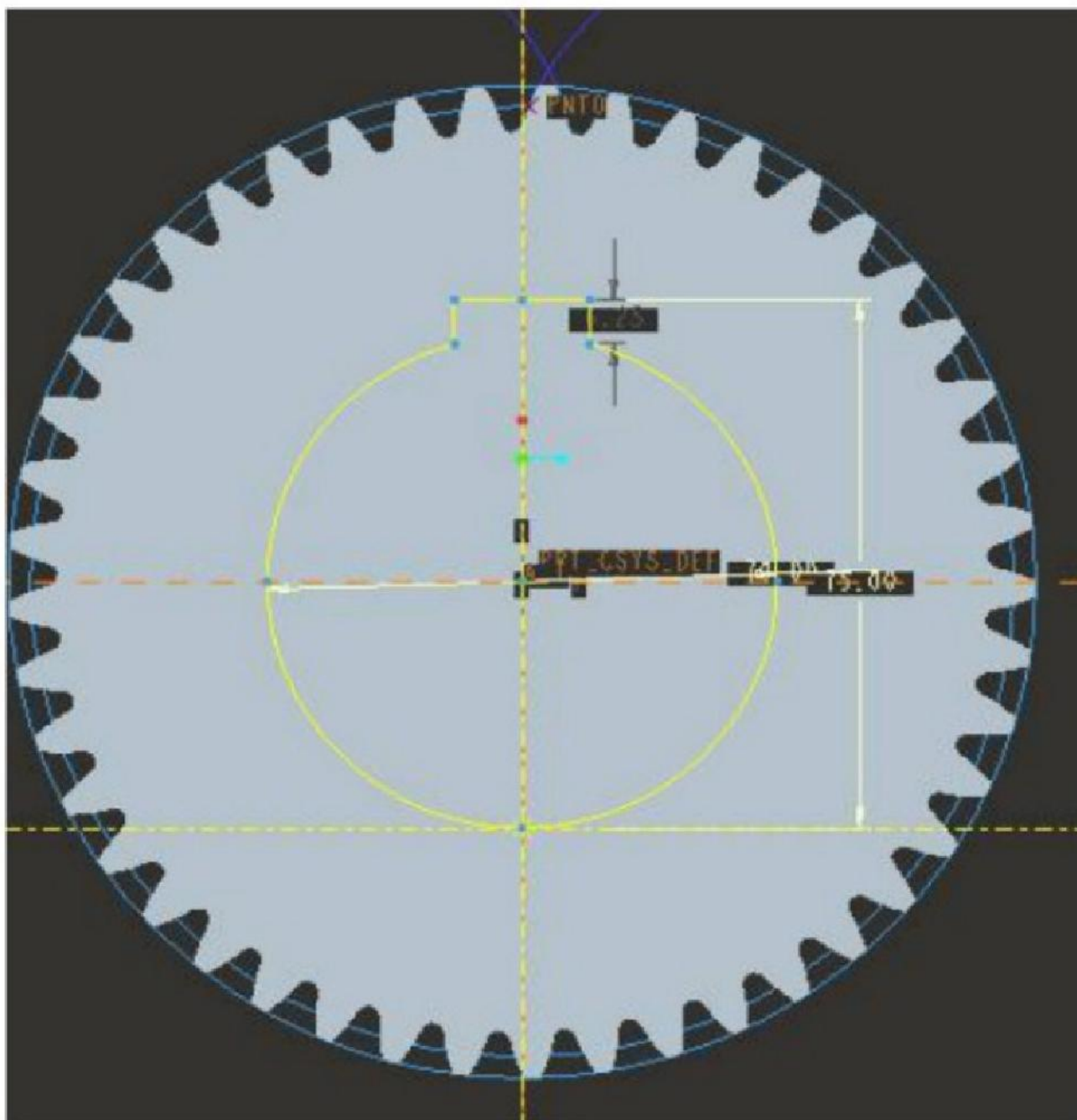


图3-13 模型轮廓建立完成

(2) 拉伸除料完成如图3-14所示。

图3-14 齿轮拉伸除料

(3) 以上操作便完成了大齿轮的三维模型的创建，同理，根据参数，完成小齿轮的参数化建模，图形和图3-14形状相似，只是大小和齿数不同，对两个三维齿轮分别进行保存到相应的文件夹。

(4) 打开[新建]--[文件]--保存到相应的“gear”文件夹，依次选择[组件]--[设计]---[缺省模板]---[mmns\_asm\_design]， 点击“确定”即可。

(5) 建立中心轴，选取“Right”和“Top”面，则建立第一个轴“A\_1”，再将此轴A\_1进行偏移103.5 mm,点击“√”确定，即可完成轴“A\_2”的创建，再点击“将元件添加组件”按钮，选择小齿轮文件夹，点击添加小齿轮，选择约束为“对齐”按钮，点击“√”确定，完成第一个齿轮的装配，再继续添加第二个大齿轮，选择“对齐”约束，再选择A\_2轴，则添加到一个新的装配，但是两个齿并没有啮合，则继续添加约束，先选取齿轮的第一曲面，再添加相切“约束”，再选取齿轮的第二个曲面，则约束则完成，到如图所示的界面中，在选择如图3-15。

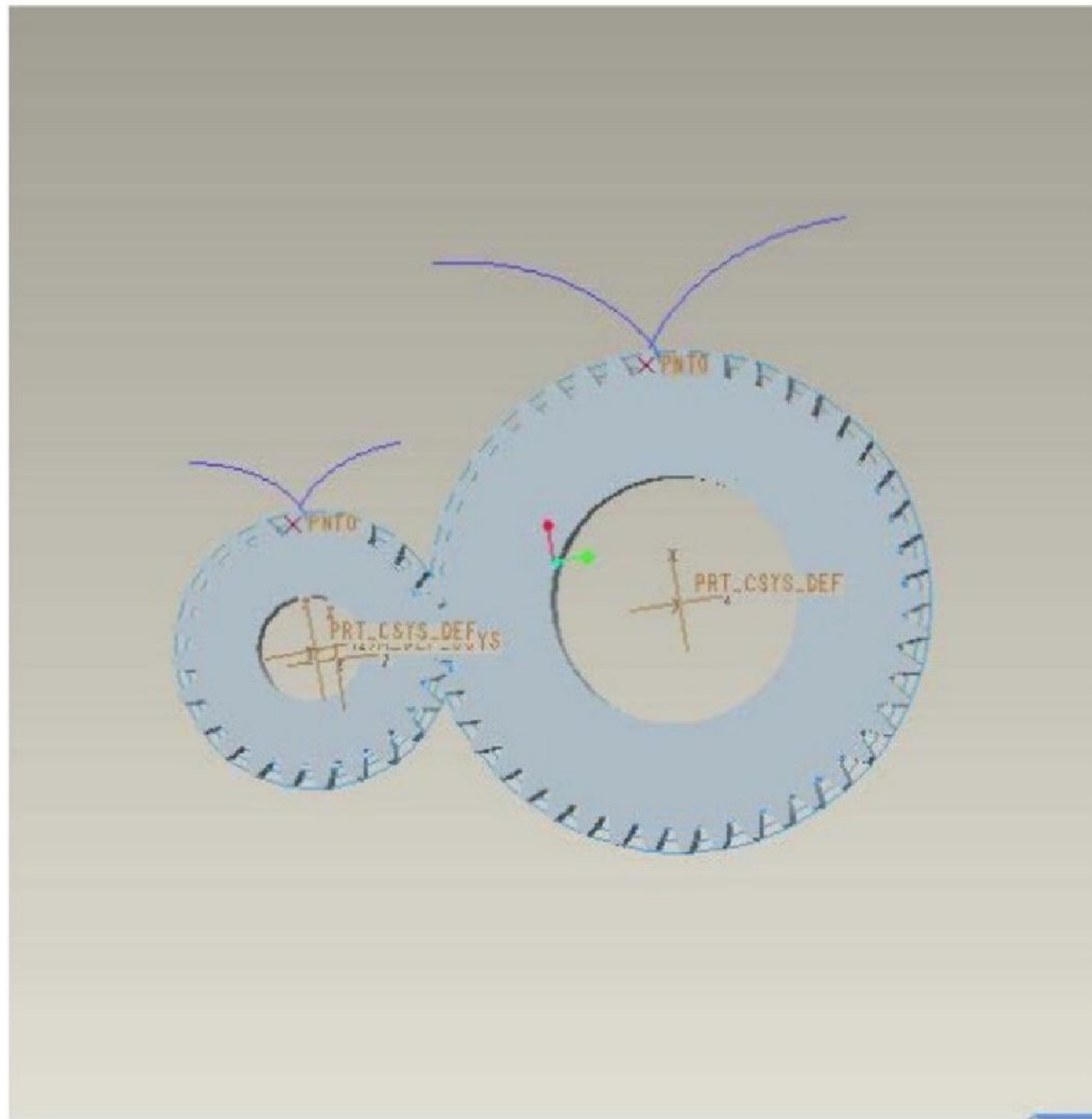


图3-15 装配齿轮完成

图3-16 装配放大图

## 第四章 pro模型导入ANSYS 软件

将先前装好 ANSYS 软件与 Pro/E 软件连接起来，再通过 Pro/E 与 ANSYS WORKBENCH 的接口把装配图导入有限元软件 ANSYS 中，如图4-1 所示，点击“workbench”按钮，导入之前建好的装配模型，如图4-2。

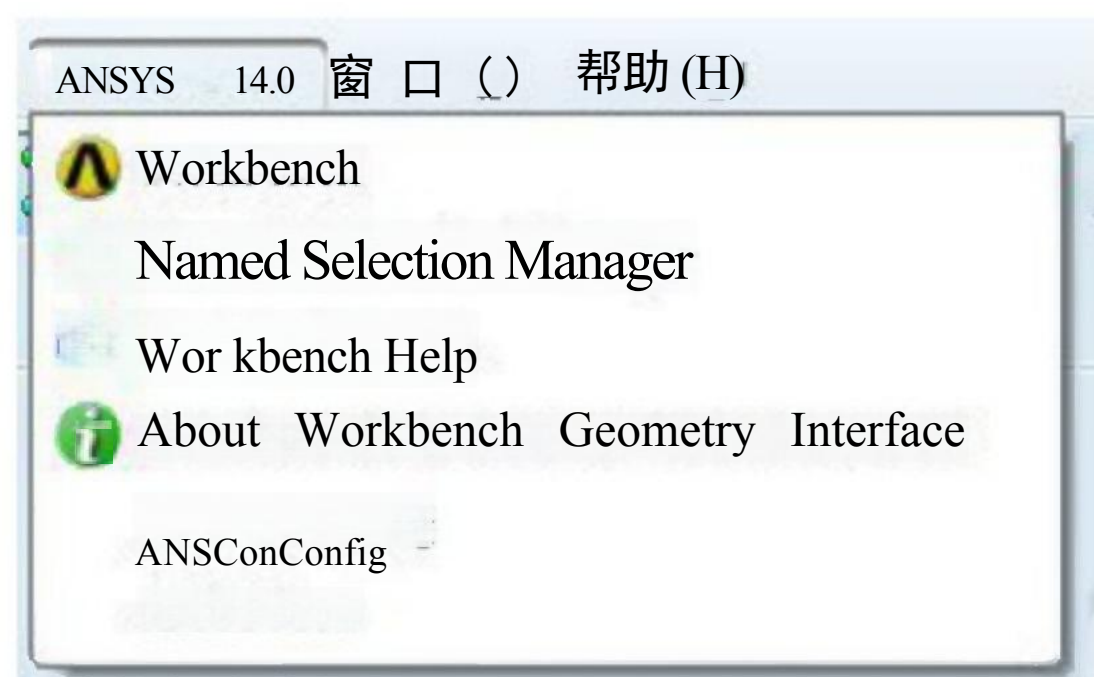


图4-1 Pro/E 中的 ANSYS 接口

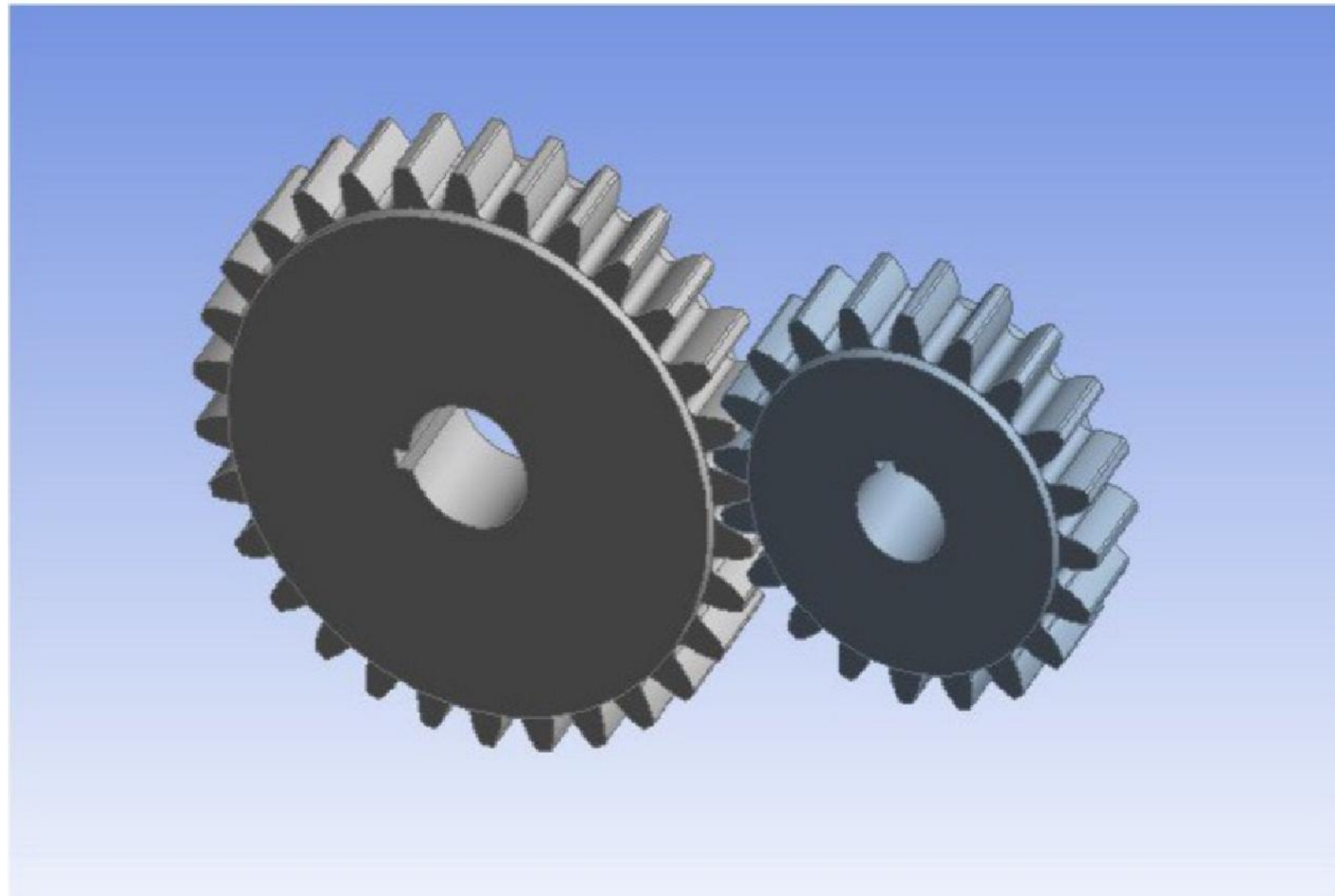


图4-2 模型导入work bench 中

## 第五章利用有限元ANSYS 软件分析

### 5.1 有限单元法概述

#### 5.1.1有限元法的基本思想

在工程或物理问题的数学模型(基本变量、基本方程、求解域和边界条件等)确定以后,有限元法作为对其进行分析的数值计算方法的基本思想可简单概括为如下3点:

将一个表示结构或连续体的求解域离散为若干个子域(单元),并通过它们边界上的结点相互连结为一个组合体。

用每个单元内所假设的近似函数来分片地表示求解域内待求解的未知场变量。而每个单元内的近似函数(或其导数)在单元各个节点上的数值和与其对应



的插值函数来表达。由于在联结相邻单元的结点上，场函数具有相同的数值，因而将它们作为数值求解的基本未知量。这样一来，求解原待求场函数的无穷多自

由度问题转换为求解场函数结点值的有限自由度问题。

通过和原问题数学模型(例如基本方程、边界条件等)等效的变分原理或加权余量法,建立求解基本未知量(场函数结点值)的代数方程组或常微分方程组。此方程组成为有限元求解方程,并表示成规范化的矩阵形式,接着用相应的数值方法求解该方程,从而得到原问题的解答。

### 5.1.2有限元法的特点

(1)对于复杂几何构形的适应性:由于单元在空间上可以适一维、二维或三维的,而且每一种单元可以有不同的形状,同时各单元可以采用不同的连接方式,所以,工程实际中遇到的非常复杂的结构或构造都可以离散为由单元组合体表示的有限元模型。

(2)对于各种物理问题的适用性:由于用单元内近似函数分片地表示全求解域的未知函数,并未限制场函数所满足的方程形式,也未限制各个单元所对应的方程必须有相同的形式,因此它使用于各种物理问题,例如线弹性问题、弹塑性问题、粘弹性问题、动力问题、屈曲问题、流体力学问题、热传导问题、声学问题、电磁场问题等,而且还可以用于各种物理现象相互耦合的问题。

(3)建立于严格理论基础上的可靠性:因为用于建立有限元方程的变分原理或加权余量法在数学上已证明适微分方程和边界条件的等效积分形式,所以只要原问题的数学模型是正确的,同时用来求解有限元方程的数值算法是稳定可靠的,则随着单元数目的增加(即单元尺寸的缩小)或者是随着单元自由度数的增加(即插值函数阶次的提高),有限元求解的近似程度不断的被改进。如果单元是满足收敛准则的,则近似解最后原数学模型的精确解。

(4)适合计算机实现的高效性:由于有限元分析的各个步骤可以表达成规范化得矩阵形式,最后导致求解方程可以统一为标准的矩阵代数问题,特别适合计算机的编程和执行。随着计算机硬件技术的高速发展以及新的数值算法的不断出现,大型复杂问题的有限元分析已成为工程技术领域的常规工作。

### 5.2有限元分析步骤

对于不同物理性质和数学模型的问题,有限元求解法的基本步骤是相同的,只是具体公式推导和运算求解不同。有限元求解问题的基本步骤通常为:

第一步:问题及求解域定义:根据实际问题近似确定求解域的物理性质和几

何区域。

第二步：求解域离散化：将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组成的离散域，习惯上称为有限元网络划分。显然单元越小(网格越细)则离散域的近似程度越好，计算结果也越精确，但计算量将增大，因此求解域的离散化是有限元法的核心技术之一。

第三步：确定状态变量及控制方法：一个具体的物理问题通常可以用一组包含问题状态变量边界条件的微分方程式表示，为适合有限元求解，通常将微分方程化为等价的泛函形式。

第四步：单元推导：对单元构造一个适合的近似解，即推导有限单元的列式，其中包括选择合理的单元坐标系，建立单元式函数，以某种方法给出单元各状态变量的离散关系，从而形成单元矩阵(结构力学中称刚度阵或柔度阵)。

为保证问题求解的收敛性，单元推导有许多原则要遵循。对工程应用而言，重要的是应注意每一种单元的解题性能与约束。例如，单元形状应以规则为好，畸形时不仅精度低，而且有缺失的危险，将导致无法求解。

第五步：总装求解：将单元总装形成离散域的总矩阵方程(联合方程组)，反映对近似求解域的离散域的要求，即单元函数的连续性要满足一定的连续条件。

第六步：联立方程组求解和结果解释：有限元法最终导致联立方程组。联立方程组的求解可用直接法、迭代法和随机法。求解结果是单元结点处状态变量的近似值。对于计算结果的质量，将通过与设计准则提供的允许值比较来评价并确定是否需要重复计算。

简言之，有限元分析可分成三个阶段，前置处理、处理(求解)和后置处理。前置处理是建立有限元模型，完成单元网格划分；后置处理则是采集处理分析结果，使用户能简便提取信息，了解计算结果。

### 5.3 ANSYS 软件简介

ANSYS 软件是一个功能强大而灵活的大型通用商业化的工程分析软件，能够进行包括结构、热、流体、电场等多学科的研究，广泛应用于核工业、铁道、航天、石油化工、机械制造、能源、汽车交通、航空航天、轻工、地矿、水利、家

用电器等工业和科学研究领域，是世界上拥有用户最多、最成功的有限元分析软

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/198132024017006056>