

## **KISSsoft 03/2013 – 教程 9**

### 圆柱齿轮粗细选型

**KISSsoft AG**

Rosengartenstrasse 4  
8608 Bubikon  
Switzerland

Phone: +41 55 254 20 50  
Fax: +41 55 254 20 51  
info@KISSsoft.AG  
www.KISSsoft.AG

# 目录

1	任务	3
1.1	任务	3
1.2	齿轮计算模块的启动（圆柱齿轮副）	3
2	圆柱齿轮副的粗略选型	5
2.1	前期计算的准备	5
2.2	开启“粗略选型”功能	6
2.3	数据修正	8
3	精细选型	10
3.1	开启“精细选型”功能	10
3.2	“精细选型”的分析结果	13
3.3	细长齿的选型	15
3.4	齿轮强度分析的细节选项	18

# 1 任务

## 1.1 任务

本章将对某斜齿轮副案例进行设计、分析，已知基本数据为：工作寿命 5000 h，传递功率为 5 kW，输入转速为 400 rpm（应用系数=1.25）。传动比为 1:4（减速），齿轮材料使用 18CrNiMo7-6。通过对斜齿轮副的优化，希望达到最佳重合度和降低噪声的目的。另外，强度计算将依据 ISO6336 方法 B 完成。

## 1.2 齿轮计算模块的启动（圆柱齿轮副）

一旦 KISSsoft 安装和激活后，用户可依次点击“开始→程序→KISSsoft 03-2013→KISSsoft”打开程序。进入用户操作界面，如下图所示：

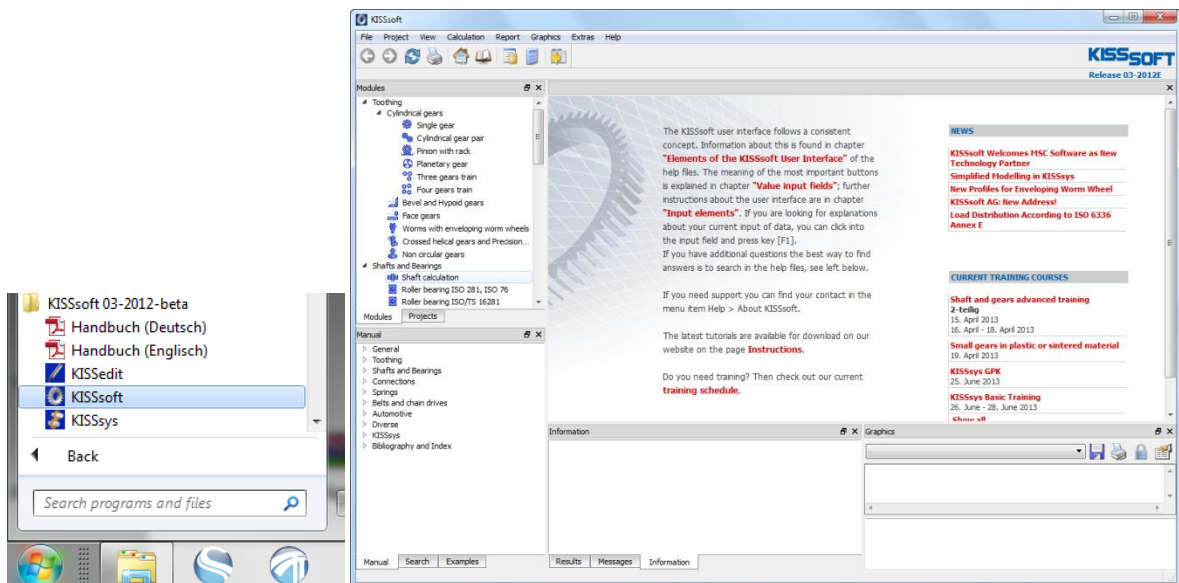


图 1 程序打开时的初始界面

在“**Modules** 模块”栏中，对模块树窗口中的“Cylindrical gear pair 圆柱齿轮副”模块双击，激活该计算程序。

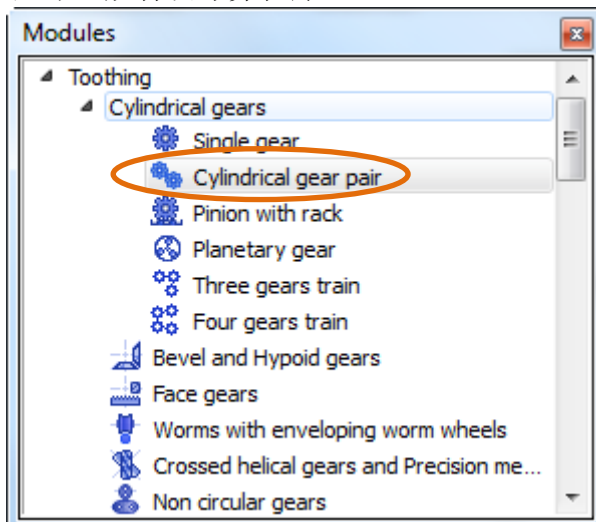


图 2 圆柱齿轮副计算程序的激活

若需要实时打开该教程中某阶段的案例文件，可通过点击“File/Open”并选择“Tutorial-009-step1”（直到“Tutorial-009-step5”为止）完成，或直接从“Example 案例”菜单栏中直接选中打开，下面教程中描述的几部分章节都和步骤文件一一对应（如下图 3 所示）。

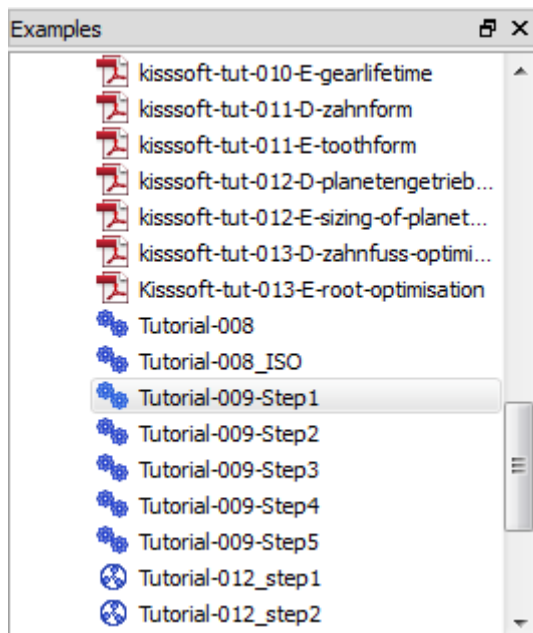
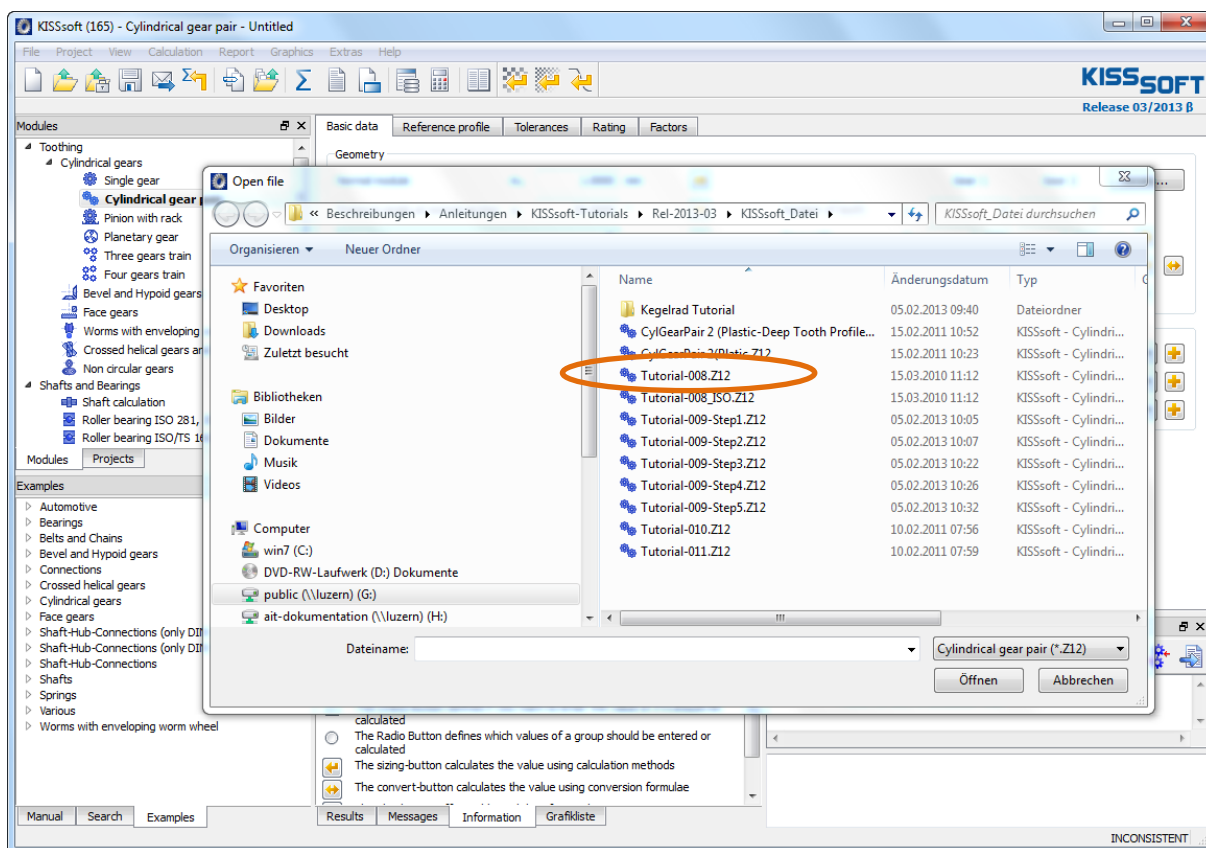


图 3 本教程中不同阶段的操作步骤都可在“Example”窗口中打开

## 2 圆柱齿轮副的粗略选型

### 2.1 前期计算的准备

在启动“粗略选型”功能后，要求将齿轮的参数输入到“Basic data 基本数据”和“Rating 校核”栏中。在“Basic data”基本界面栏中，将齿轮材料 18CrNiMo7-6 和润滑情况的选项输入到指定位置。

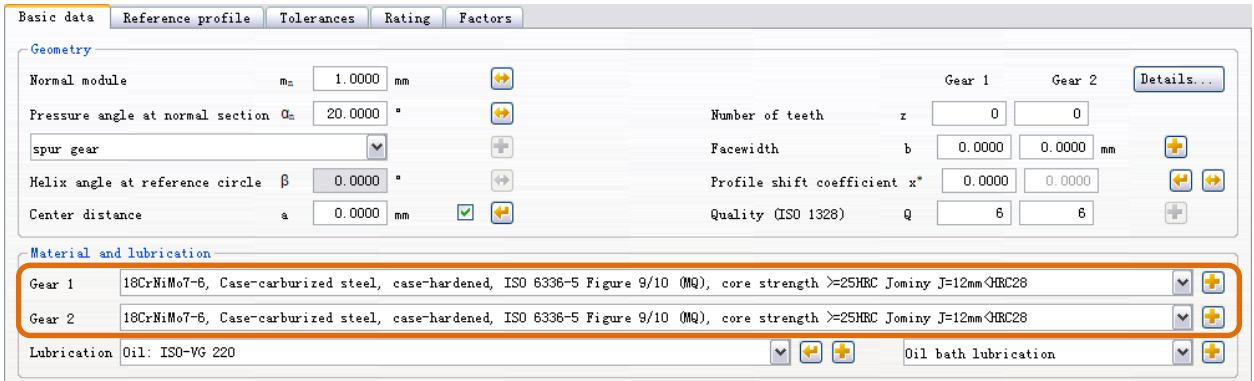


图 4 在“Basic data”栏中的材料选择栏

点击“Calculation”→“Rating”，打开“Rating”栏界面输入齿轮副的服役寿命、功率、输入转速和应用系数，同时选择强度校核标准。

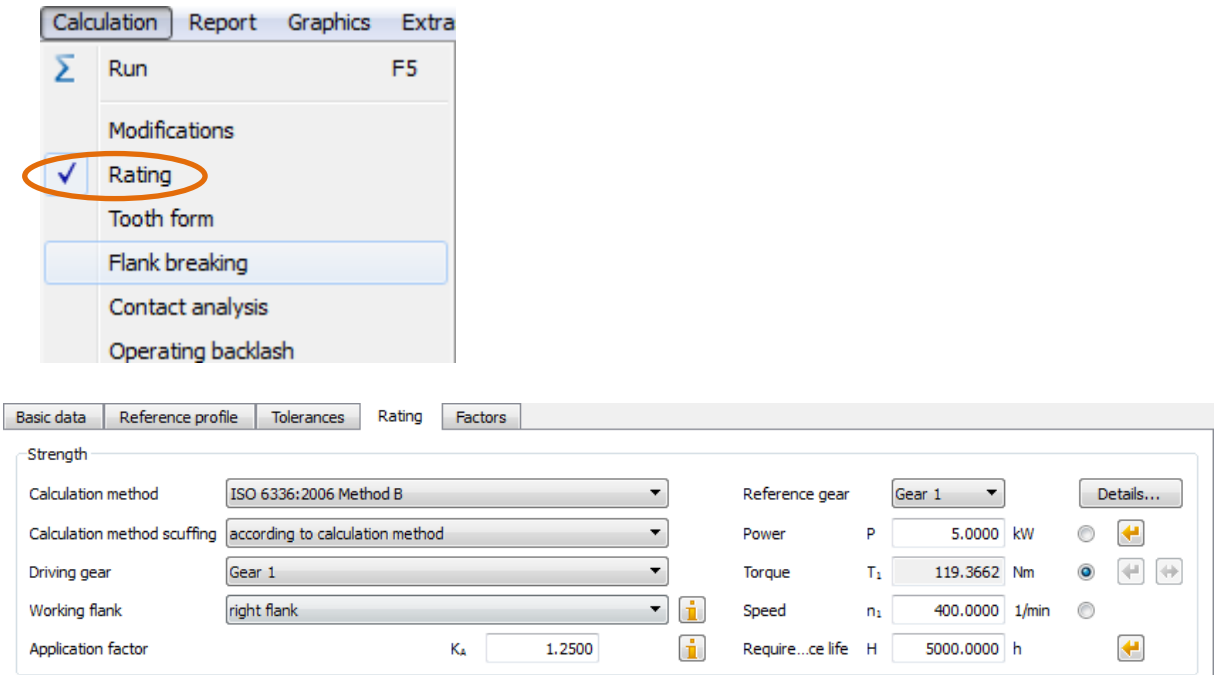


图 5 在“Rating”栏中的齿轮“工况”数据设置

用户可以打开“Tutorial-009-Step1”文件，直接进入对应的操作步骤。

## 2.2 开启“粗略选型”功能

使用 KISSsoft 的粗略选型功能，建立好圆柱齿轮初始设计阶段的数据。为完成该任务，需首先输入几个关键的约束条件，之后激活粗细选型功能。具体步骤为：点击“**Calculation**” → “**Rough sizing** 粗略选型”，将自动弹出“粗细选型”的对话框。

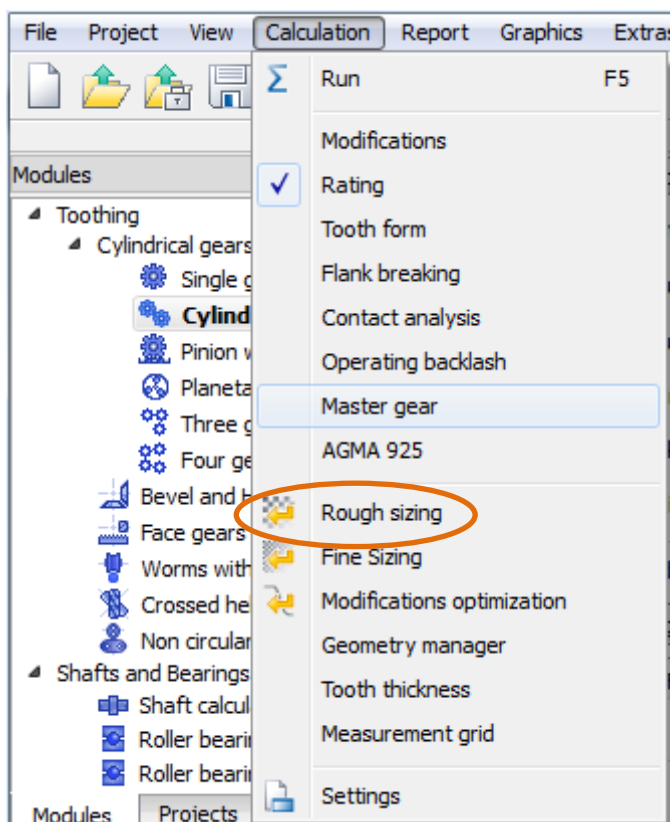


图 6 开启“粗略选型”功能

下一步，定义目标重合度值范围（规定许可的变量值范围在 **5%**之间浮动），同样的方法也可用于定义目标螺旋角和中心距。螺旋角的大小主要取决于轴上使用轴承的类型。螺旋角可取大或取小，主要取决于轴承能够承受轴向力的大小。螺旋角可在后面的“精细选型”中进一步优化。这里，在“粗略选型”功能中，只能输入大概的螺旋角值，或者先设为“零”，暂定为直齿轮。在“粗略选型”对话框下半部分，可输入一些约束条件，比如小齿轮齿数范围、几何属性值或中心距范围等。

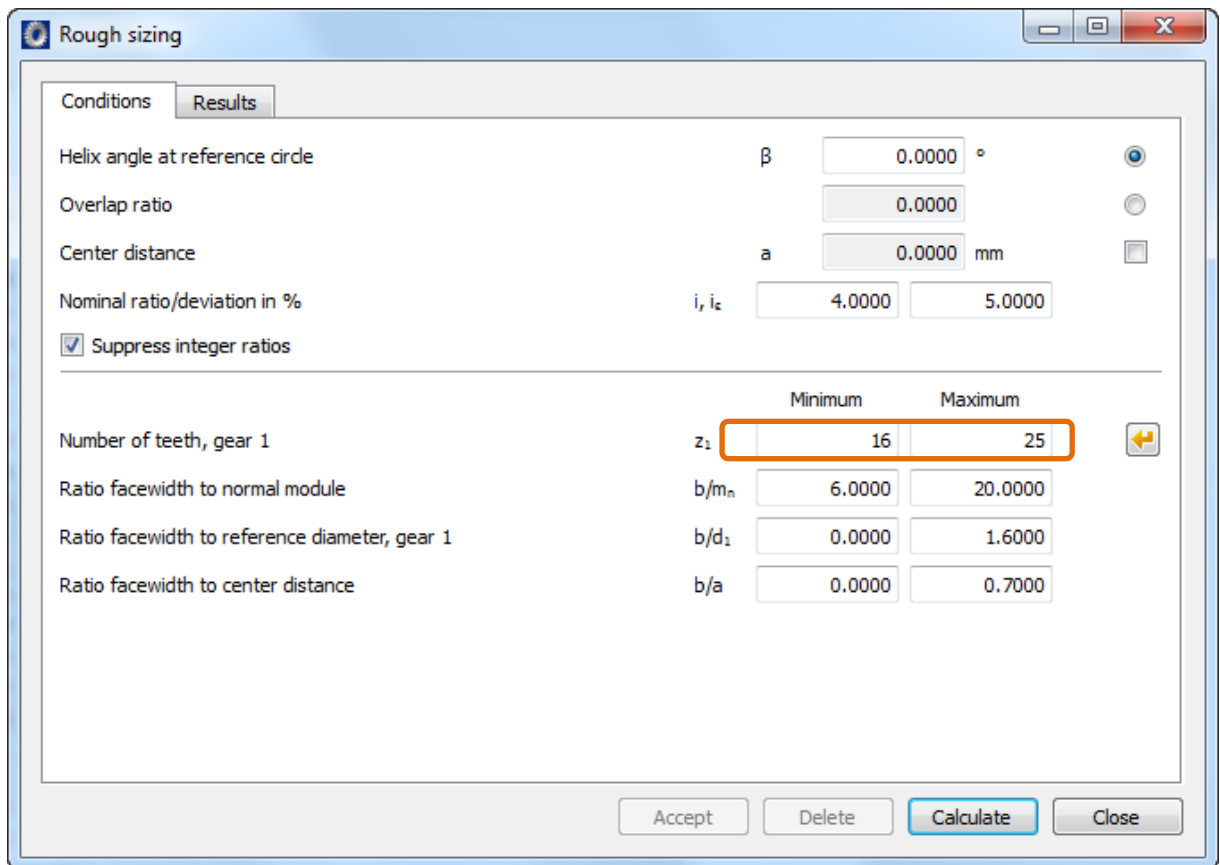


图7 “粗略选型”输入窗口规定“齿数1”的范围

此外，在“**Module specific setting** 特定选项设置”窗口中定义许用安全系数值，如下图所示，在对应“**Required safeties** 许用安全系数”栏中完成。

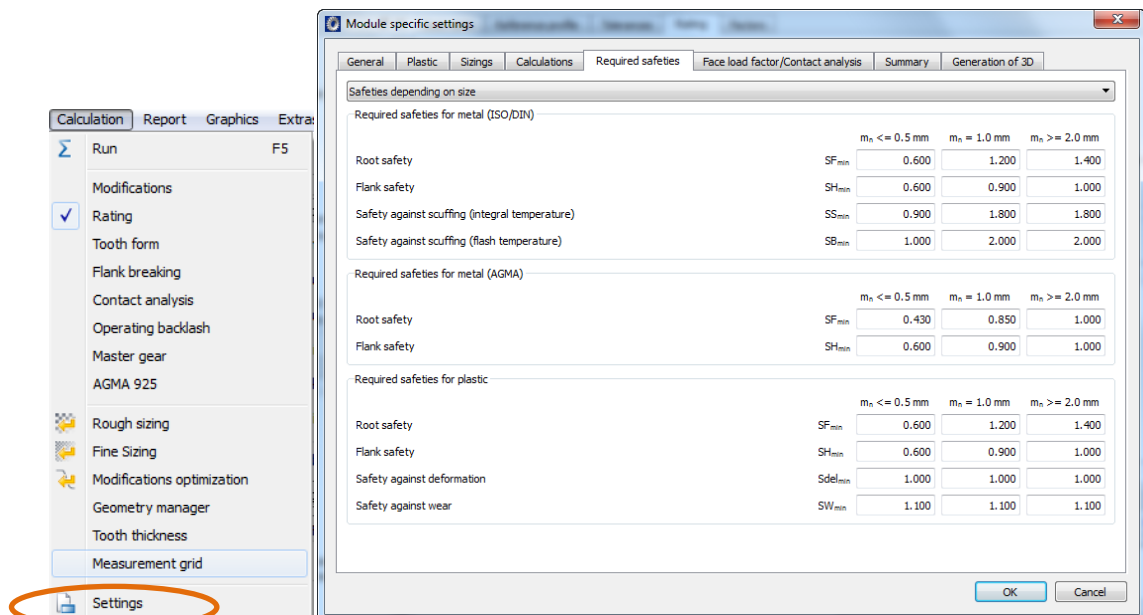


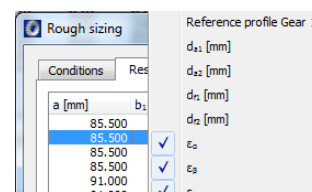
图8 特定选项设置→许用安全系数

最后点击计算按钮，生成如图9所示的界面，其中包含很多种严格遵循齿轮规范而生成的符合用户设定条件的齿轮副多款方案。

a [mm]	b <sub>1</sub> [mm]	b <sub>2</sub> [mm]	m <sub>n</sub> [mm]	β [°]	z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> *	x <sub>2</sub> *
85.500	38.353	38.353	2.000	0.000	17	66	0.579	
85.500	37.710	37.710	2.000	0.000	17	67	0.489	
85.500	37.613	37.613	2.000	0.000	17	68	0.421	
85.500	39.591	39.591	2.000	0.000	17	69	0.274	
91.000	32.211	32.211	1.750	0.000	20	82	0.501	
91.000	31.992	31.992	1.750	0.000	20	83	0.420	
91.000	29.304	29.304	1.750	0.000	21	81	0.496	
91.000	29.136	29.136	1.750	0.000	21	82	0.409	
91.000	29.373	29.373	1.750	0.000	21	83	0.339	
91.000	32.185	32.185	1.750	0.000	21	84	0.087	
91.000	32.953	32.953	2.000	0.000	18	71	0.521	
91.000	32.618	32.618	2.000	0.000	18	72	0.441	
91.000	32.855	32.855	2.000	0.000	18	73	0.381	
91.000	32.887	32.887	2.000	0.000	19	73	0.112	
91.000	34.514	34.514	2.250	0.000	16	62	0.629	
91.000	33.584	33.584	2.250	0.000	16	63	0.532	
91.000	33.169	33.169	2.250	0.000	16	64	0.458	
91.000	33.501	33.501	2.250	0.000	16	65	0.405	
96.000	29.778	29.778	1.500	0.000	25	101	0.463	
96.000	29.095	29.095	1.500	0.000	25	102	0.376	
96.000	27.868	27.868	1.500	0.000	25	103	0.302	
96.000	28.234	28.234	1.500	0.000	25	104	0.042	
96.000	29.210	29.210	1.750	0.000	21	86	0.560	
96.000	28.827	28.827	1.750	0.000	21	87	0.467	

图 9 圆柱齿轮粗略选型运行后的结果

在结果栏里右击鼠标键显示诸如中心距、齿宽等重要指标，并根据需要进行选择。



用户在提供的一系列方案中选择跟用户相近的齿轮副方案（本案例中心距为 91），然后点击“Accept 接受”，自动返回到主界面栏中，如下图 10 所示。

Basic data | Reference profile | Tolerances | Rating | Factors

Geometry

Normal module  $m_n$  1.7500 mm

Pressure angle at normal section  $\alpha_n$  20.0000 °

spur gear

Helix angle at reference circle  $\beta$  0.0000 °

Center distance a 91.0000 mm

Number of teeth z Gear 1: 21, Gear 2: 84

Facewidth b 32.1850 mm

Profile shift coefficient  $x^*$  0.0868, -0.5682

Quality (ISO 1328) Q 6, 6

Material and lubrication

Gear 1: 18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm <HRC28

Gear 2: 18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm <HRC28

Lubrication: Oil: ISO-VG 220

图 10 “错略选型”推荐的初始数据反馈到 Basic data 主界面当中

用户可通过打开“Tutorial-009-Step2”文件直接进入对应操作步骤中。

## 2.3 数据修正

可通过修改“粗略选型”筛选出来的方案，比如小齿轮的原始齿宽数据为 28mm，可修改成 27mm（无限靠近估计的范围内）。

用户还可在“Reference Profile 基准齿廓”选项栏中对齿廓进行修改。



图 11 “基准齿廓”选项栏中关于齿廓相关的信息



也可通过调整齿轮 1 的变位系数完成齿形的优化（齿轮 2 将被自动筛选出来），操作步骤如下所示：点击如下所示的选型按钮 , 弹出“Sizing of profile shift coefficient 变位系数的选型”对话框，帮助推荐最佳方案。

图 12 筛选最优变位系数的对话框

- 各种方法帮助筛选变位系数；
- 变位系数的最佳推荐值；
- 最大及最小值（不考虑根切的最小齿顶宽）

KISSsoft 会根据不同的指标选项推荐合适的变位系数方案。在本案例中，需要平衡滑动比并保证在合理区间内。为此，激活右边的单选按钮，并点击“OK”接受。

推荐出的变位系数  $x$  将被直接传送到主界面的几何输入窗口中，紧接着点击  或者按“F5”完成程序运行，获得的结果将包括：齿根及齿面的安全系数、抗胶合安全系数以及重合度值（如下图 13 所示）。软件计算后的界面如下图所示（有较小的变动或差异可以接受，比如通过推荐获得的变位系数值）。

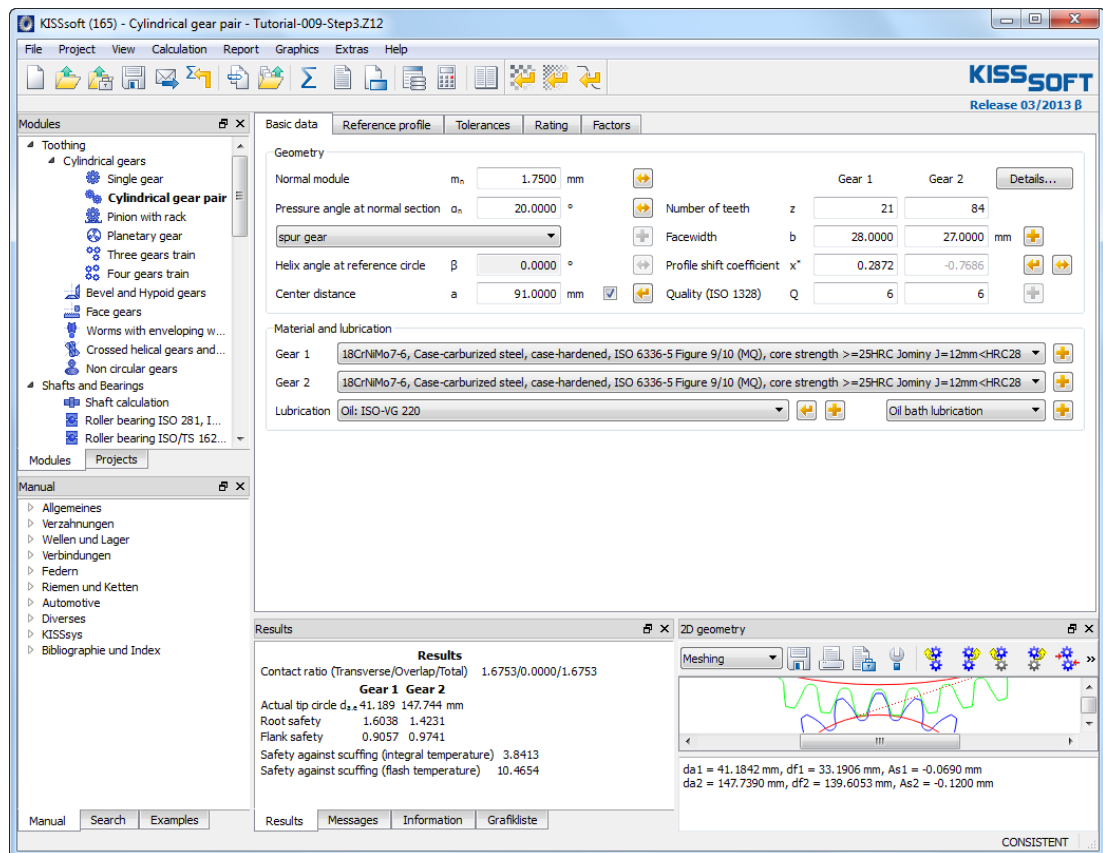


图 13 修正后的变位系数-运行程序后得到的结果

用户可以打开“Tutorial-009-Step3”文件，可直接进入对应的软件操作步骤。

## 3 精细选型

### 3.1 开启“精细选型”功能

通过“粗略选型”推荐出了一组能传动指定功率的齿轮副方案，用户可依据一些设计目标，比如“噪音”和“承载能力”等进一步优化方案。和之前“粗略选型”的操作步骤一致，选择“**Calculation**”下拉菜单中的“**Fine Sizing** 精细选型”功能，如下图所示。

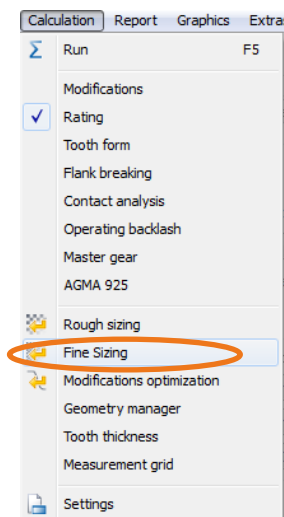


图 14 “精细选型”的打开方式

在该对话框中设定参数的范围，KISSsoft 将会在该区间内找出尽可能多的方案，辅助用户找出最优解。

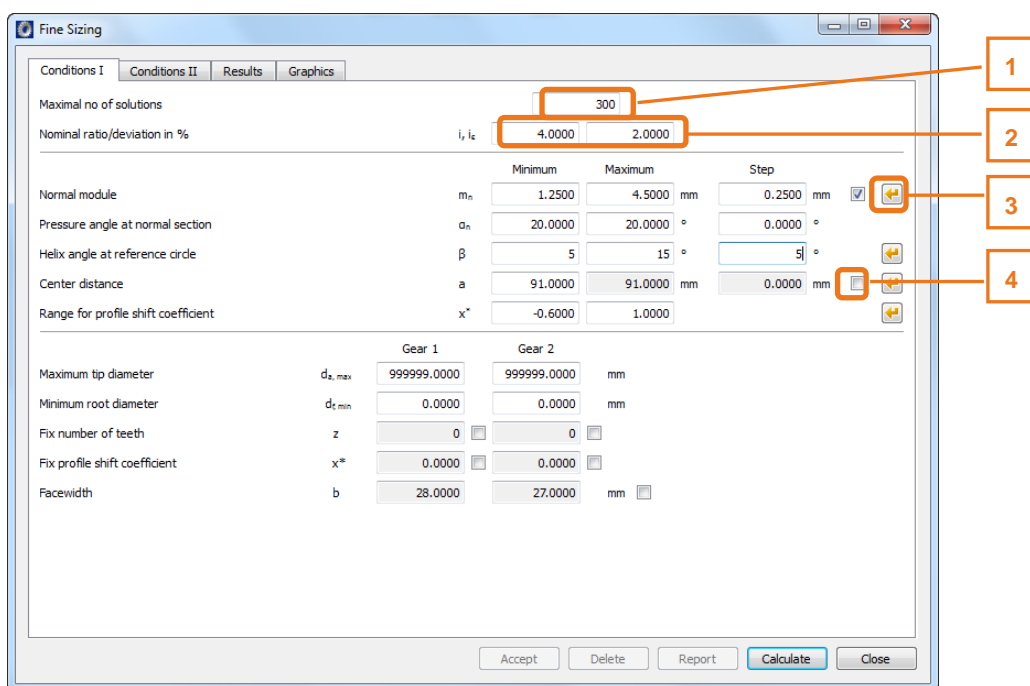



图 15 “精细选型”的输入窗口-参数范围的设置

- (1) 设定 300 组备选方案；
- (2) 定义传动比及范围区间；
- (3) 可以点击“选型按钮”，要求 KISSsoft 推荐合适的区间范围，主要参数包括：“法向模数”、“螺旋角”、“中心距”和“变位系数的范围”等。
- (4) 是否中心距为固定值或设置浮动区间；
  - 法向模数范围；
  - 螺旋角范围；
  - 中心距的范围（选择右边单选框变为“中心距变量”）；
 （该中心距数据在“粗略选型”步骤中已经被当成输出结果供用户筛选过。）

同时还可将下面的参数选定为约束条件，比如：

- 齿顶圆直径的上限；
- 有效齿根直径的下限；
- 齿轮副的齿数（如果都为 0 并且不在选项框内激活，那么该齿数是根据其它边界条件自动选型）；
- 设定两个齿轮的变位系数（需激活右边的单选框）。

按照图 15 所示的界面设置，点击下方的“**Calculate**”按钮来激活软件的选型程序，软件按照用户设定的边界条件作为计算准则，推荐出的尽可能多的齿轮组合方案。

一旦计算过成功，用户就会获得一系列推荐的方案（如下图 16 所示）。在本案例中，“最低噪音”指标将是选择方案的主要目标。用户根据窗口中列举的评价指标作为（比如  $\varepsilon_\alpha$ ,  $\varepsilon_\beta$  或  $\varepsilon_\gamma$ ）做第一层筛选，并获得最佳方案（比如将法向或端面的重合度  $\varepsilon_\alpha$  和  $\varepsilon_\beta$  作为评选策略，或将  $\varepsilon_\gamma$  作为筛选策略）。双击其中某一方案，或者点击“**Accept**”按钮，即可反馈到主界面并计算出结果。如果生成的这组方案并非最优解，用户还可以选择其它方案，直到获得最理想结果。

Nr.	a [mm]	m <sub>n</sub> [mm]	$\alpha$ [°]	$\beta$ [°]	$z_1$	$z_2$	$x_1^*$	$x_2^*$	$\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma$
34	91.000	1.500	20.000	5.000	24	95	0.358	0.634	1.522	0.499	
35	91.000	1.500	20.000	5.000	24	95	0.458	0.534	1.504	0.499	
36	91.000	1.500	20.000	5.000	24	96	0.171	0.278	1.627	0.499	
37	91.000	1.500	20.000	5.000	24	96	0.271	0.178	1.607	0.499	
38	91.000	1.500	20.000	5.000	24	96	0.371	0.078	1.586	0.499	
39	91.000	1.500	20.000	5.000	24	97	0.099	-0.163	1.701	0.499	
40	91.000	1.500	20.000	5.000	24	97	0.199	-0.263	1.679	0.499	
41	91.000	1.500	20.000	5.000	24	97	0.299	-0.363	1.653	0.499	
42	91.000	1.500	20.000	10.000	24	95	0.134	0.118	1.630	0.995	
43	91.000	1.500	20.000	10.000	24	95	0.234	0.018	1.610	0.995	
44	91.000	1.500	20.000	10.000	24	95	0.334	-0.082	1.588	0.995	
45	91.000	1.500	20.000	10.000	24	96	0.065	-0.319	1.699	0.995	
46	91.000	1.500	20.000	10.000	24	96	0.165	-0.419	1.676	0.995	
47	91.000	1.500	20.000	10.000	24	96	0.265	-0.519	1.650	0.995	
48	91.000	1.500	20.000	15.000	23	92	0.288	0.922	1.440	1.483	
49	91.000	1.500	20.000	15.000	23	92	0.388	0.822	1.425	1.483	
50	91.000	1.500	20.000	15.000	23	92	0.488	0.722	1.409	1.483	
51	91.000	1.500	20.000	15.000	23	93	0.193	0.450	1.526	1.483	
52	91.000	1.500	20.000	15.000	23	93	0.293	0.350	1.509	1.483	
53	91.000	1.500	20.000	15.000	23	93	0.393	0.250	1.490	1.483	
54	91.000	1.750	20.000	5.000	20	81	0.458	0.966	1.394	0.428	
55	91.000	1.750	20.000	5.000	20	81	0.558	0.866	1.377	0.428	
56	91.000	1.750	20.000	5.000	21	83	0.113	-0.309	1.689	0.428	
57	91.000	1.750	20.000	5.000	21	83	0.213	-0.409	1.663	0.428	
58	91.000	1.750	20.000	5.000	21	83	0.313	-0.509	1.635	0.428	
59	91.000	1.750	20.000	10.000	20	80	0.338	0.992	1.409	0.853	
60	91.000	1.750	20.000	10.000	20	80	0.438	0.892	1.393	0.853	
61	91.000	1.750	20.000	10.000	20	80	0.538	0.792	1.376	0.853	
62	91.000	1.750	20.000	10.000	20	81	0.246	0.511	1.507	0.853	
63	91.000	1.750	20.000	10.000	20	81	0.346	0.411	1.489	0.853	
64	91.000	1.750	20.000	10.000	20	81	0.446	0.311	1.468	0.853	
65	91.000	1.750	20.000	15.000	20	79	0.241	0.550	1.466	1.271	
66	91.000	1.750	20.000	15.000	20	79	0.341	0.450	1.449	1.271	
67	91.000	1.750	20.000	15.000	20	79	0.441	0.350	1.430	1.271	

图 16 在设定的参数范围内筛选尽可能多的方案

当全部方案选择完后，用户点击“**Report 报告**”按钮即可生成一份针对性的报告。

Analysis of the results (Assessment of important characteristics)									
Comment:									
No.	= Number of the variant								
diff_i	= Deviation from the nominal ratio in %								
kg	= Weight in kg								
Slide	= Specific sliding (maximum value)								
v.Slide	= Sliding velocity (m/s, maximum value)								
AC/AE	= Begin working depth AC / working depth AE								
	(Friction)								
del_cg	= Variant on the stiffness during rolling (N/mm/mym)								
1-eta	= Losses in % (1.0-total efficiency)								
Safety	= Safety (Tooth root and flank, 0 = high, 1 = medium, 2 = low)								
	(SF-min: 0.60/ 1.20/ 1.40 SH-min: 0.60/ 0.90/ 1.00)								
Summary	= Overall assessment (weighted)								
	(50.0%:del_cg	20.0%:diff_i	100.0%:kg	35.0%:Slide	0.0%:v.Slide				
	0.0%:AC/AE	10.0%:1-eta	100.0%:Safety						
(For this table it can be said in general: the smaller the value the better!)									
No.	diff_i	kg	Slide	v.Slide	AC/AE	del_cg	1-eta	Safety	Summary

1	-1.724	3.879	0.975	0.160	0.521	1.201	1.107	1.504	0.701
2	-1.724	3.870	0.815	0.160	0.473	1.250	1.095	1.514	0.704
3	-1.724	3.862	0.675	0.173	0.425	1.256	1.119	1.523	0.707
...									
51	1.087	3.937	1.331	0.184	0.503	0.312	1.372	1.223	0.579
52	1.087	3.926	1.076	0.196	0.457	0.307	1.371	1.245	0.587
...									
Analysis of the results (with the variant index in decreasing order)									
Best variants for accurate ratio: 7            8            9            27            28            29            36            37            38...									
Best solutions for weight:            23            3            19            22            2            18            6            26            21									
9 ...									
Best variants relative to friction (AC/AE):            157            158            159            154            155            156            127									
...									
Best solutions for stiffness:            46            47            42            43            101            103            44            45...									
Best variants for strength:            68            65            69            71            66            70            72            67            73...									
Best overall variants (summary) :            68            69            70            65            66            67            71....									

图 17 根据重要指标评估出的结果报告

**重要提示：**上面表述的方法已经将各评价指标以很简短的方式列举出来。但实际操作中，建议可通过“精细选型”生成的“**Analysis of result** 分析报告”来仔细查阅方案之间的评比情况，有很多情况某些指标最优的方案并不是最好的，可能排第二或三的方案会在其它指标上表现得更合适（比如噪音指标）。用户还可以通过“**Graphics** 统计图表”直观查看各方案组之间的排列关系，辅助工程师做出最佳选择。

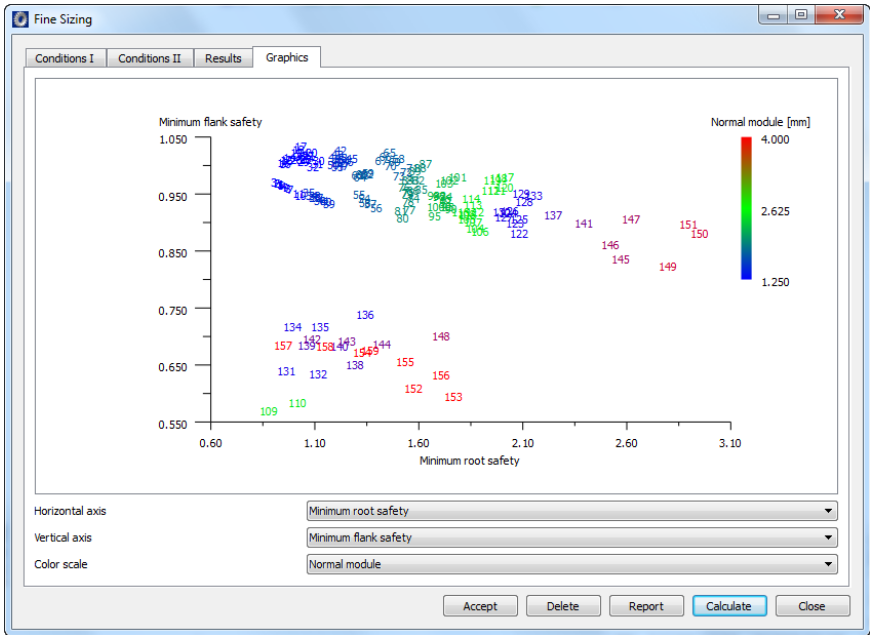


图 18 在统计图表中直观显示出所有可能的方案

该统计图将可以帮助用户快速、轻松地找到最优解（在本案例中，将依据齿根及齿面的安全系数评比）。

### 3.2 “精细选型”的分析结果

总重合度将如果无限接近于 2.99，其表现出的刚度变化波动趋势将非常小（如图 19 所示）。根据经验，齿轮将产生非常小的波动值。因此，可在“结果 Result”栏中选择合适的方案并输出到主界面中。

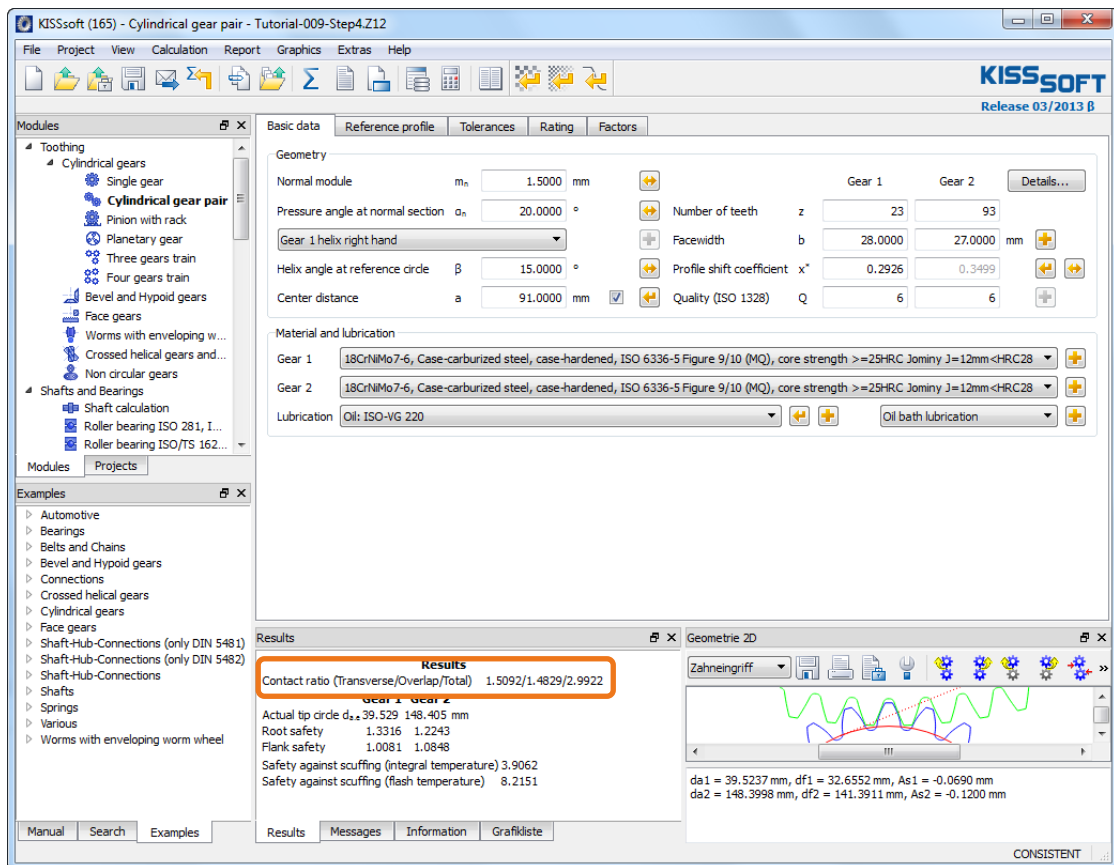



图 19 通过“精细选型”得到的变位系数、螺旋角和齿数

用户可以通过打开“Tutorial-009-Step4”文件进入对应的操作步骤中。

在图 20 生成的几何编辑窗口中可查看齿轮“2D 几何”的啮合状态，为使该窗口处于浮动或放大状态，可单击或在灰色区域双击鼠标左键得到。

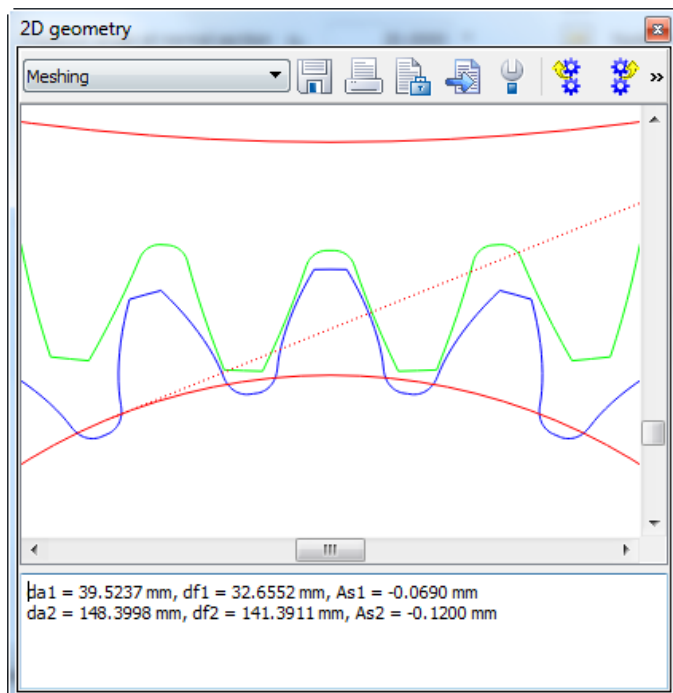


图 20 最终生成的齿形图（基圆以及啮合轨迹为红色）

为生成齿轮啮合刚度曲线，点击“**Graphics 图像**”→“**Evaluation Theoretical Contact Stiffness** 理论接触刚度的评估曲线”，操作步骤如图 21 所示，可查看刚度曲线的变化情况。

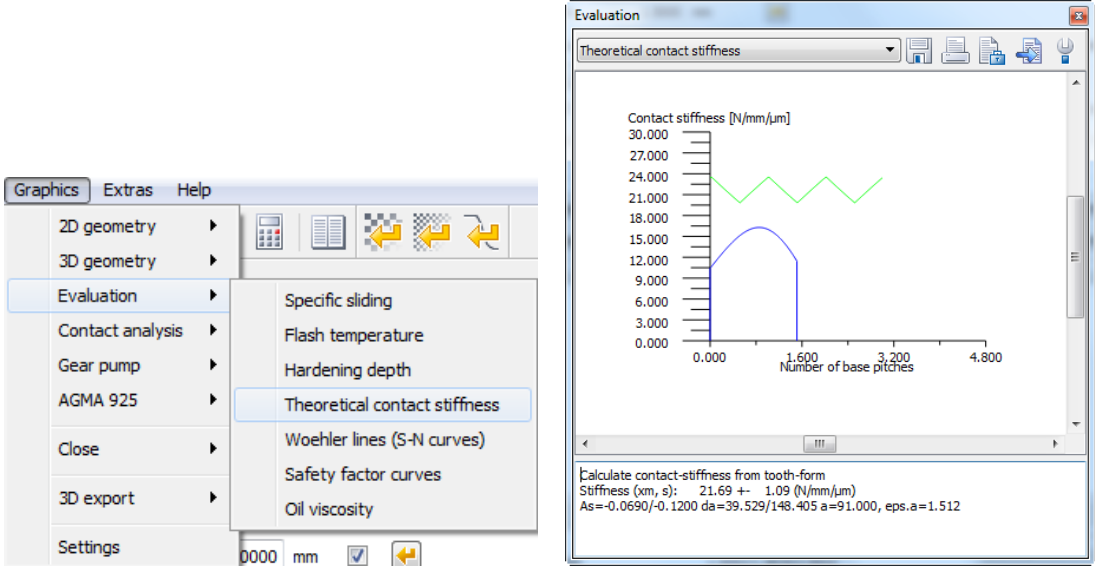


图 21 理论接触刚度曲线的生成方法

### 3.3 细长齿的选型

在下面的步骤中，用户仍可以在现有的基础上进一步优化。如图 22 所示将端面重合度 $\varepsilon_\alpha$ 提高到 2 左右，若后续还希望加上齿顶修形部分，端面的重合度将不可避免地小幅降低。因此，应该需采用细长齿来提高端面重合度值。

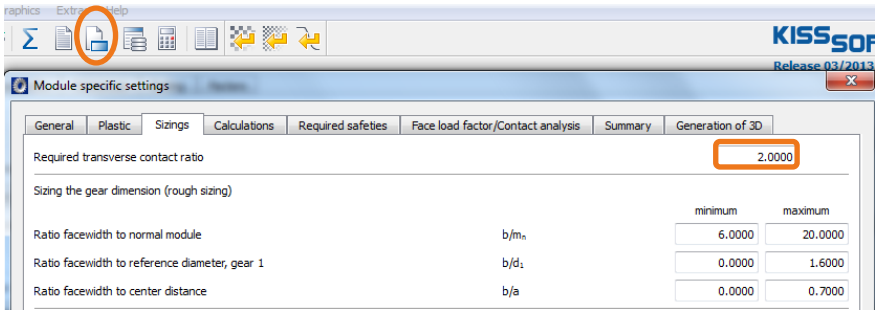


图 22 Module specific settings 特定边界条件设置

为获得细长齿类型的多款齿轮方案，仍需重新打开“精细选型”功能，在“**Condition II**”中激活“**Sizing of deep tooth** 细长齿”选项，如下图 23 所示，并点击“**Calculation** 计算”获得新一轮方案组。



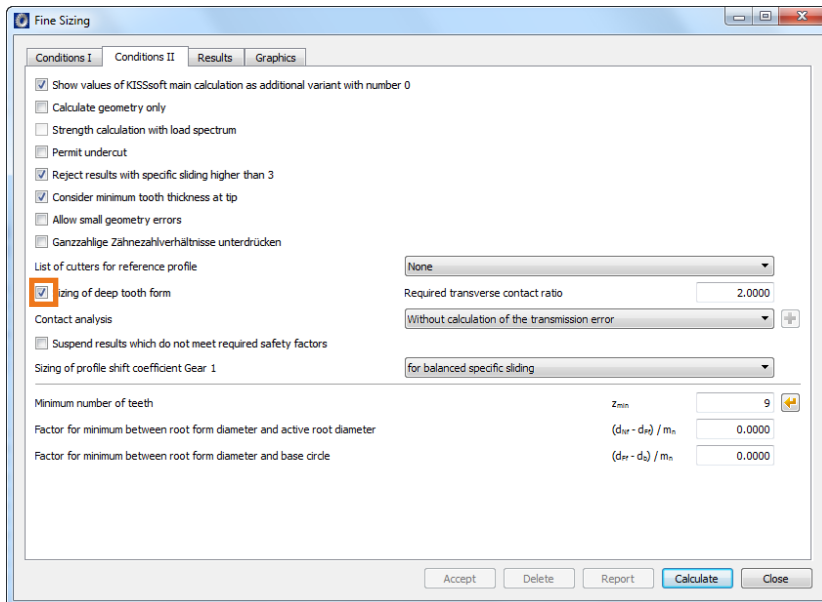


图 23 “精细选型”窗口中关于“细长齿选型”的设置选项

依据“噪音指标”筛选出一组最佳方案，解决方案的序号为 44。可选择该方案组并点击“**Accept** 接受”将数据传递到主界面当中。当然采用细长齿选型时，其齿廓形状也会发生改变。

齿轮副方案反馈到主界面当中（其中齿数、螺旋角以及变位系数都发生了变动），最新的结果被计算出后立即被接受。

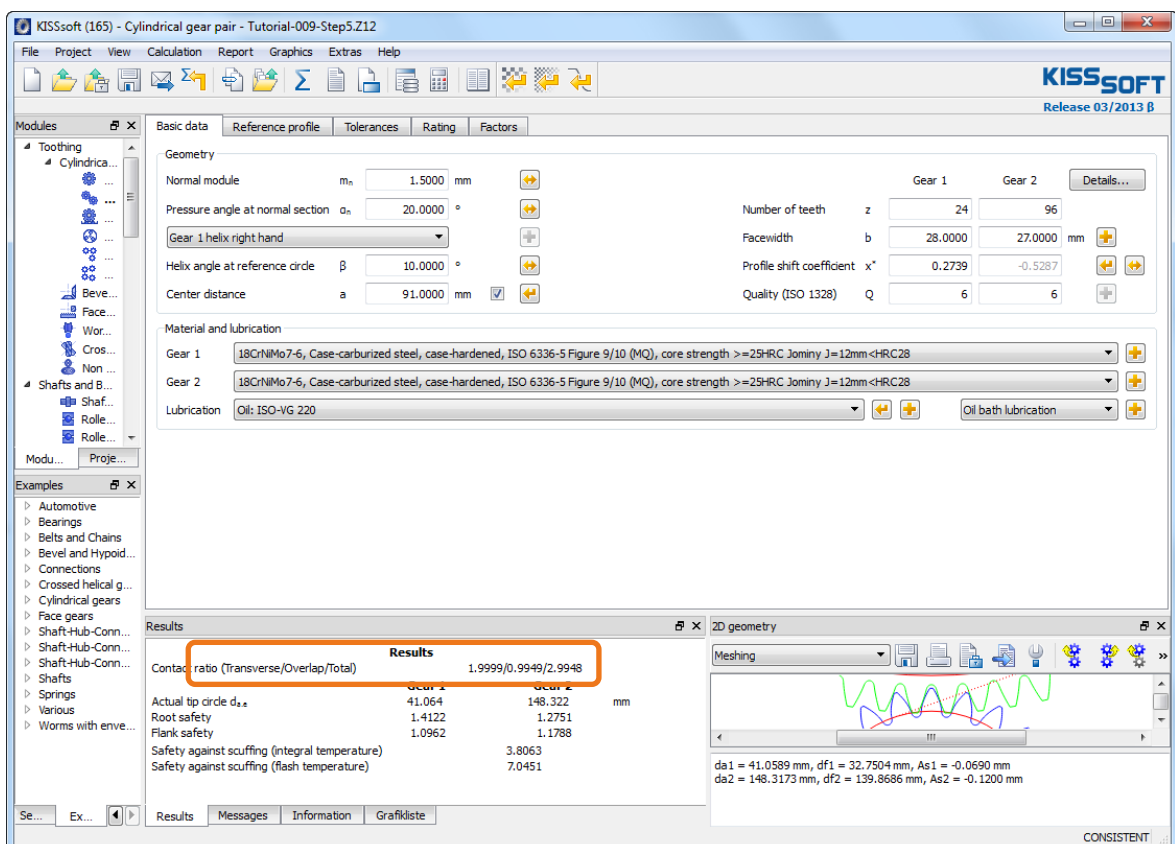



图 24 新齿轮数据和结果，请尤其注意重合度的变化情况



为保证和教案同步，可打开“Tutorial-009-Step3”直接进入对应的软件操作步骤。

和前面一样，在图 25 中生成的 2D 几何编辑窗口可查看齿轮的啮合状态，为使该窗口处于浮动或放大状态，可单击或在灰色区域双击鼠标左键得到。

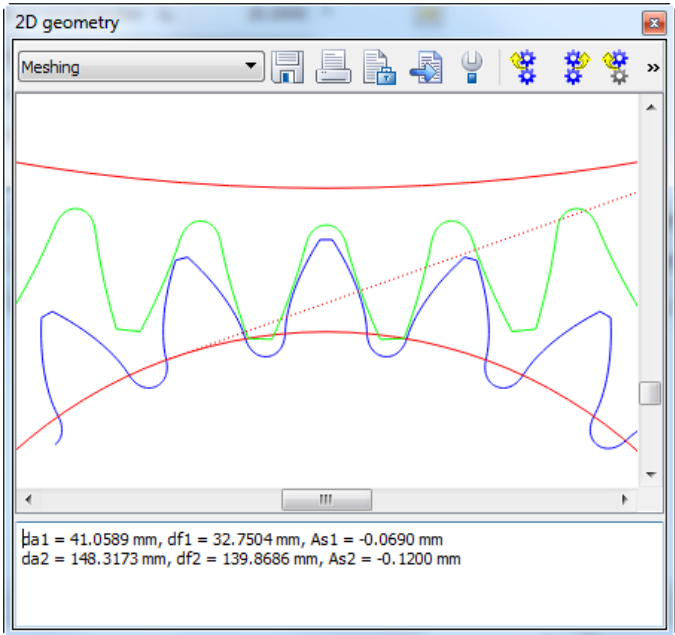


图 25 “细长齿”齿制的几何形状的显示

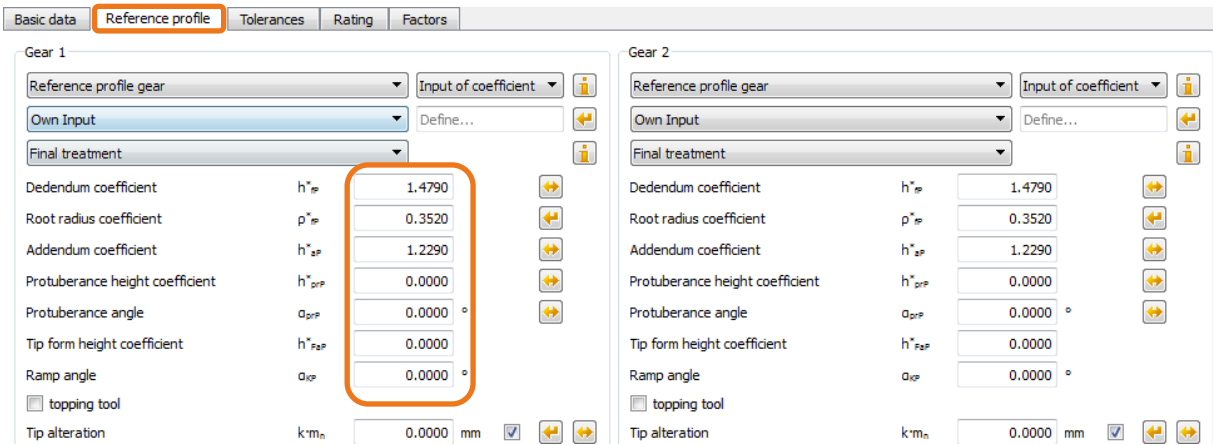
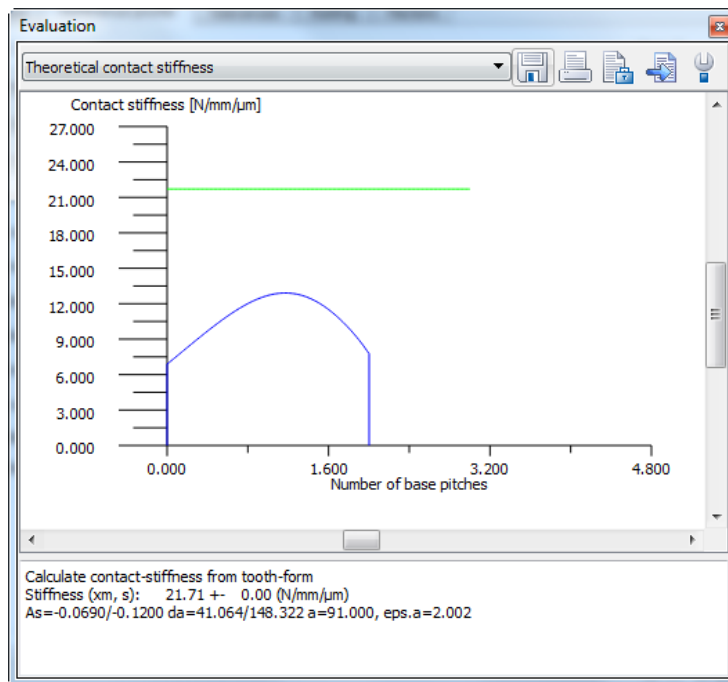


图 26 在“基准齿廓”栏中查看细长齿齿廓

该方案将使总重合度接近 3 左右，其刚度变化曲线趋近于水平，如下图所示。



### 3.4 齿轮强度分析的细节选项

在最后的强度校核部分，需仔细设置和润滑相关的选项，主要与后面“齿向载荷分布系数  $K_{H\beta}$ ”的计算有关。

Basic data		Reference profile	Tolerances	Rating	Factors
<b>Geometry</b>					
Normal module	$m_n$	1.5000 mm	[↔]	Gear 1	Gear 2 [Details...]
Pressure angle at normal section	$\alpha_n$	20.0000 °	[↔] Number of teeth z	24	96
Gear 1 helix right hand ▾		+ Facewidth b	28.0000	27.0000 mm	[+]
Helix angle at reference circle	$\beta$	10.0000 °	[↔] Profile shift coefficient x*	0.2739	-0.5287 [↔] [↔]
Center distance	a	91.0000 mm ✓ [↔]	Quality (ISO 1328) Q	6	6 [+]
<b>Material and lubrication</b>					
Gear 1	18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28 [+]				
Gear 2	18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28 [+]				
Lubrication	Oil: ISO-VG 220 [↔] [+]	Oil bath lubrication [+]			

图 28 定义润滑方式以便为齿间载荷分布系数  $K_{H\beta}$  做准备

用户可直接在下拉菜单中选择指定的油品类型和润滑方式（分别在上图的左边和右边部分），同时也可以数据库中自定义润滑油的类型。

点击附加按钮 （在材料和润滑选型右手的按钮，如图 28 所示），窗口激活后设置润滑油温度。

图 29 运动游隙

齿向载荷分布系数可以分别使用方法 A、B、C 获得；可以从 KISSsoft 官方获取“kisssoft-anl-072-E-Contact Analysis-cylindrical gear calculation”该官方教程，可以帮助用户从中获得更多信息。

然而，对本案该处并不需要太多的变动。

图 30 输入其它参数，尤其定义齿向载荷分布系数的参数

**重要提醒：**若希望通过“精细选型”获得质量较高的推荐方案，尤其若强度校核及寿命计算的结果影响最后判断的情况下，建议用户对上面的输入条件反复确认好。