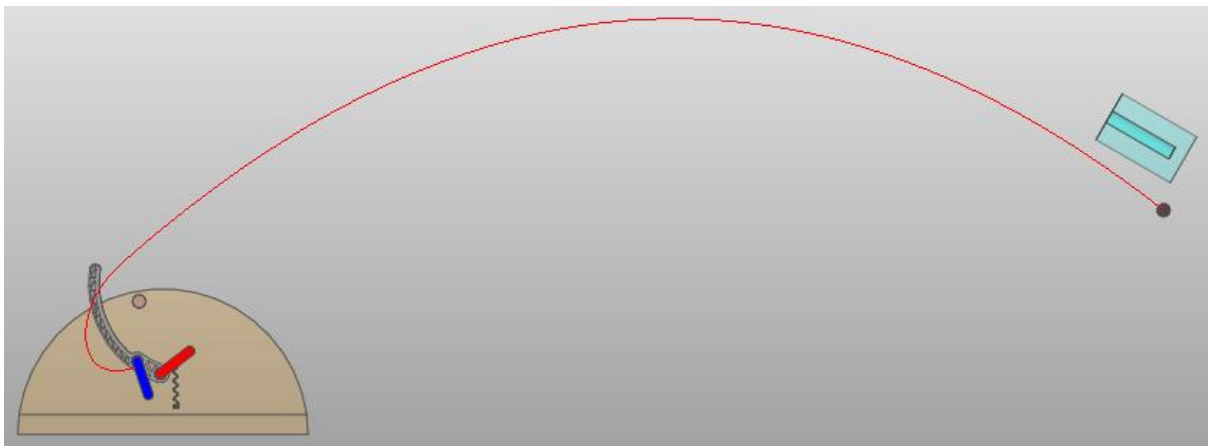




## 弹射系统教程 (AutoDesign)



Copyright © 2017 FunctionBay, Inc. All rights reserved

User and training documentation from FunctionBay, Inc. is subjected to the copyright laws of the Republic of Korea and other countries and is provided under a license agreement that restricts copying, disclosure, and use of such documentation. FunctionBay, Inc. hereby grants to the licensed user the right to make copies in printed form of this documentation if provided on software media, but only for internal/personal use and in accordance with the license agreement under which the applicable software is licensed. Any copy made shall include the FunctionBay, Inc. copyright notice and any other proprietary notice provided by FunctionBay, Inc. This documentation may not be disclosed, transferred, modified, or reduced to any form, including electronic media, or transmitted or made publicly available by any means without the prior written consent of FunctionBay, Inc. and no authorization is granted to make copies for such purpose.

Information described herein is furnished for general information only, is subjected to change without notice, and should not be construed as a warranty or commitment by FunctionBay, Inc. FunctionBay, Inc. assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies that may appear in this document.

The software described in this document is provided under written license agreement, contains valuable trade secrets and proprietary information, and is protected by the copyright laws of the Republic of Korea and other countries. UNAUTHORIZED USE OF SOFTWARE OR ITS DOCUMENTATION CAN RESULT IN CIVIL DAMAGES AND CRIMINAL PROSECUTION.

## **Registered Trademarks of FunctionBay, Inc. or Subsidiary**

*RecurDyn*<sup>™</sup> is a registered trademark of FunctionBay, Inc.

*RecurDyn*<sup>™</sup>/SOLVER, *RecurDyn*<sup>™</sup>/MODELER, *RecurDyn*<sup>™</sup>/PROCESSNET, *RecurDyn*<sup>™</sup>/AUTODESIGN, *RecurDyn*<sup>™</sup>/COLINK, *RecurDyn*<sup>™</sup>/DURABILITY, *RecurDyn*<sup>™</sup>/FFLEX, *RecurDyn*<sup>™</sup>/RFLEX, *RecurDyn*<sup>™</sup>/RFLEXGEN, *RecurDyn*<sup>™</sup>/LINEAR, *RecurDyn*<sup>™</sup>/EHD(Styret), *RecurDyn*<sup>™</sup>/ECFD\_EHD, *RecurDyn*<sup>™</sup>/CONTROL, *RecurDyn*<sup>™</sup>/MESHINTERFACE, *RecurDyn*<sup>™</sup>/PARTICLES, *RecurDyn*<sup>™</sup>/PARTICLEWORKS, *RecurDyn*<sup>™</sup>/ETEMPLATE, *RecurDyn*<sup>™</sup>/BEARING, *RecurDyn*<sup>™</sup>/SPRING, *RecurDyn*<sup>™</sup>/TIRE, *RecurDyn*<sup>™</sup>/TRACK\_HM, *RecurDyn*<sup>™</sup>/TRACK\_LM, *RecurDyn*<sup>™</sup>/CHAIN, *RecurDyn*<sup>™</sup>/MIT2D, *RecurDyn*<sup>™</sup>/MIT3D, *RecurDyn*<sup>™</sup>/BELT, *RecurDyn*<sup>™</sup>/R2R2D, *RecurDyn*<sup>™</sup>/HAT, *RecurDyn*<sup>™</sup>/曲柄, *RecurDyn*<sup>™</sup>/PISTON, *RecurDyn*<sup>™</sup>/VALVE, *RecurDyn*<sup>™</sup>/TIMINGCHAIN, *RecurDyn*<sup>™</sup>/ENGINE, *RecurDyn*<sup>™</sup>/GEAR are trademarks of FunctionBay, Inc.

## **Third-Party Trademarks**

Windows and Windows NT are registered trademarks of Microsoft Corporation.

ProENGINEER and ProMECHANICA are registered trademarks of PTC Corp. Unigraphics and I-DEAS are registered trademark of UGS Corp. SolidWorks is a registered trademark of SolidWorks Corp. AutoCAD is a registered trademark of Autodesk, Inc.

CADAM and CATIA are registered trademark of Dassault Systems. FLEX<sup>lm</sup> is a registered trademark of GLOBEtrrotter Software, Inc. All other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

## **Edition Note**

These documents describe the release information of *RecurDyn*<sup>™</sup> V9R1.

# 目录

教程Sample B概述.....	4
弹射系统设计问题.....	5
加载模型和观看动画.....	6
设计变量.....	7
练习模型.....	7
定义设计变量.....	10
定义Performance Indexes.....	13
设计优化.....	17
目标和约束.....	17
AutoDesign的设计优化过程.....	18
运行设计优化.....	18
生成优化模型动画.....	22

## 教程 Sample B 概述

Model	Description
Sample_B	<p>弹射系统的设计问题： 设计目标是使弹射系统抛出的球，通过一个紧凑的圆筒。这个问题比较有难度，因为动态分析会有噪声响应，这也是动态响应优化的典型特征。这个案例表明，<b>AutoDesign</b> 是动态系统优化的不错选择。</p> <p>关键点：当球通过目标位置时，学习定义速度和位置误差的变量方程和表达式。</p>

---

**注：**

在 **RecurDyn V8** 中，求解器只编译 **IF (Intel Fortran)** 11.0。因此，优化结果可能与老版本有差别。

---

## Sample

## B

## 弹射系统设计问题

图 B-1 为曲臂弹射器，使用触发机构来抛球。更改弹射器的某些参数，如前连杆开始位置的角度和其主弹簧的安装位置，可校准弹射器。控制目标是改变这些参数，使得球不仅能到达目标，还要以正确的角度进入圆筒内部。

本教程中提供的模型已完成所有的几何和运动副建模，但还不能用于优化。本教程中的案例学习如何设置模型以用于设计优化。

Open files related in Sample-B	
<b>Sample</b>	<Install Dir>\Help\Tutorial\AutoDesign\CatapultSystem\Examples\ Sample_B.rdyn
<b>Solution</b>	<Install Dir>\Help\Tutorial\AutoDesign\CatapultSystem\Solutions\ Sample_B.rdyn

**注：**如果想自行更改文件路径，那么文件可以放在任何指定的文件夹内。

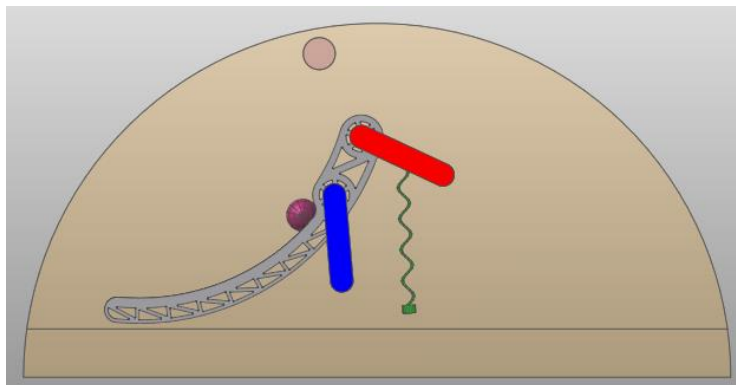


Figure B-1 弹射系统

## Chapter

## 1

## 加载模型和观看动画

加载基础模型，观看动画：



1. 双击桌面上的 **RecurDyn** 图标。

启动 **RecurDyn**，弹出 **Start RecurDyn** 对话框。

2. 关闭 **Start RecurDyn** 对话框。使用现有的模型。



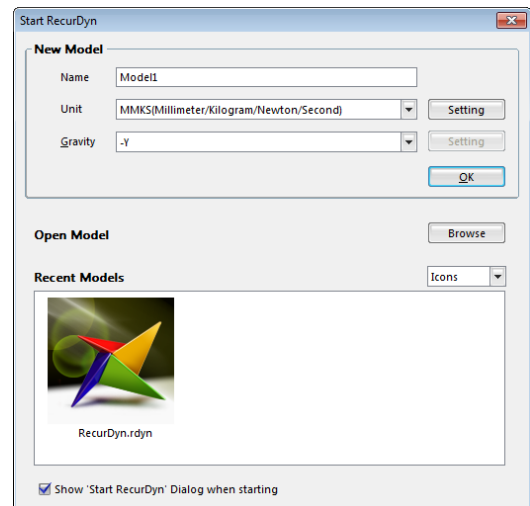
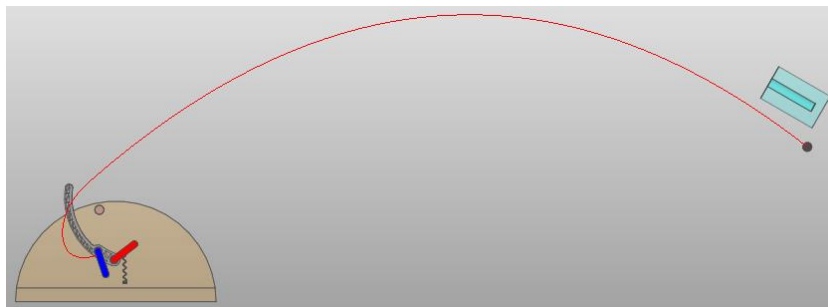
3. 在工具栏，点击 **Open** 工具，并在与 **Tutorial** 相同的目录下，选择 ‘**Sample\_B. rdyn**’。

弹射系统出现在模型窗口。



4. 点击 **Play**。

球的轨迹应如下所示。为了不影响设计优化结果，球与目标之间的接触已被失活。此外，**Inplane** 运动副用来消除球在 **Z** 方向的运动，使得其仅能在平面运动。由于弹射臂轨道表面的网格化，这种微小运动误差不可避免。本模型主要关注球在 **X** 和 **Y** 方向的运动。

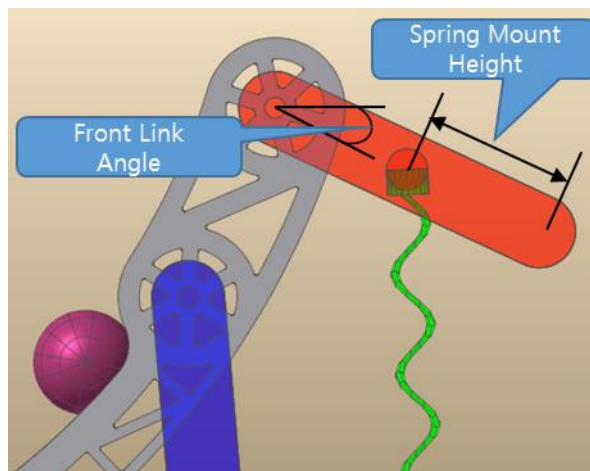


## Chapter

## 2

## 设计变量

设计变量是可控的模型因子，图 B-2-1 显示此模型中可控因子。



图B-2-1 两个设计变量

前连杆角度定义为前连杆与水平方向的夹角，其定点为后支点。当前连杆角度变化时，后支点不动，而通过移动前支点来调节角度变化。

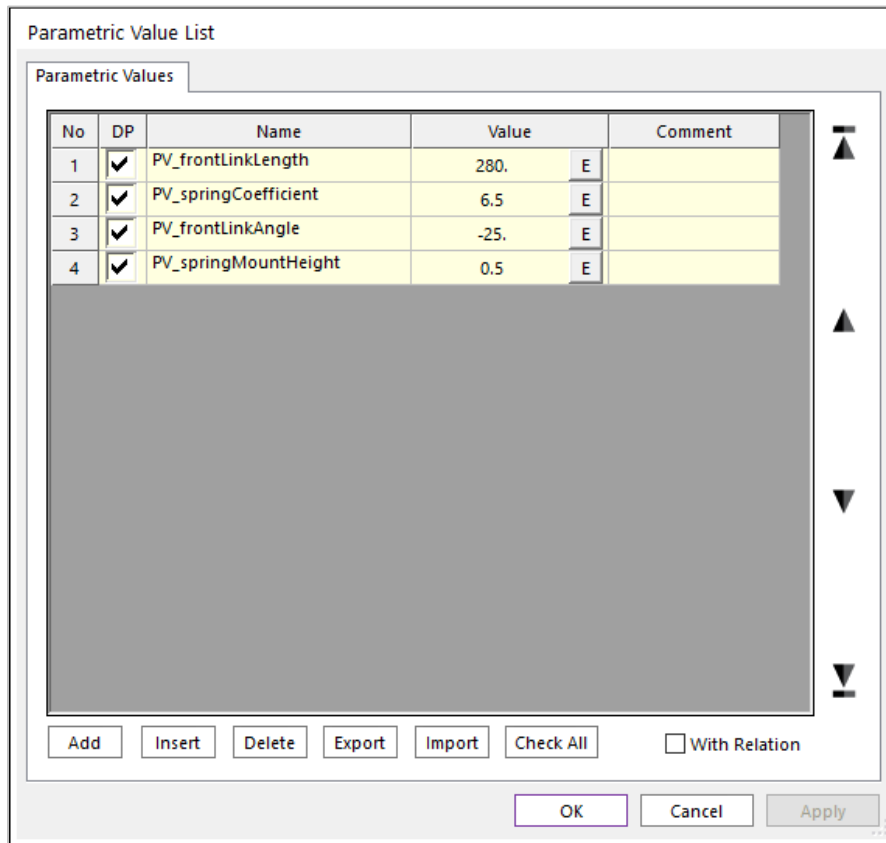
弹簧安装高度是弹簧安装点和前支点的距离，表示为整个连接长度（前支点和后支点的距离）的一小部分。

## 练习模型

下面探讨如何改变设计变量来影响球的轨迹。本模型中，设计变量与参数值关联，因此，实际上是改变参数值。

### 练习模型

1. 在 **Database** 窗口，双击图 B-2. 1-1 所示的 **ParametricValues** 下的任意项。



图B-2.1-1 参数值列表

- 单击或双击 **PV\_frontLinkAngle** 旁边的值，并更改为-40。
- 单击 **OK**，你可以看到这些改动如何影响弹射装置的实际结构。



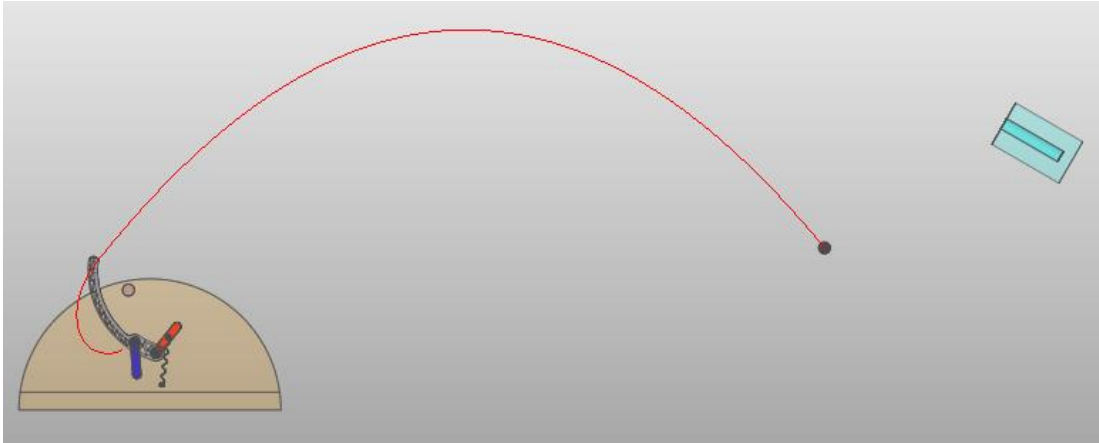
- 单击 **Dynamic/Kinematic** 按钮。
- 单击 **Simulate**。



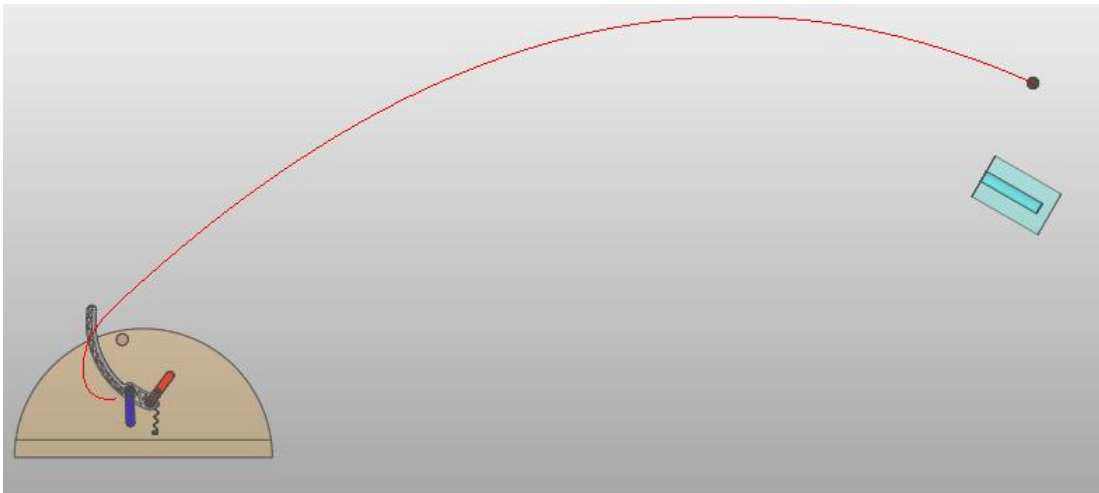
- 当仿真停止时，单击 **Play**，并查看结果。
- 重复上述步骤，在下面的范围内，用不同的 **PV\_frontLinkAngle** 值和 **PV\_springMountHeight** 值的组合。
  - $-40 \leq \text{PV\_frontLinkAngle} \leq -10$
  - $0.4 \leq \text{PV\_springMountHeight} \leq 0.6$

如果不想运行多次仿真，图 B-2.1-2 到图 B-2.1-5 是两个设计变量在取值范围上、下限的四个仿真结果。

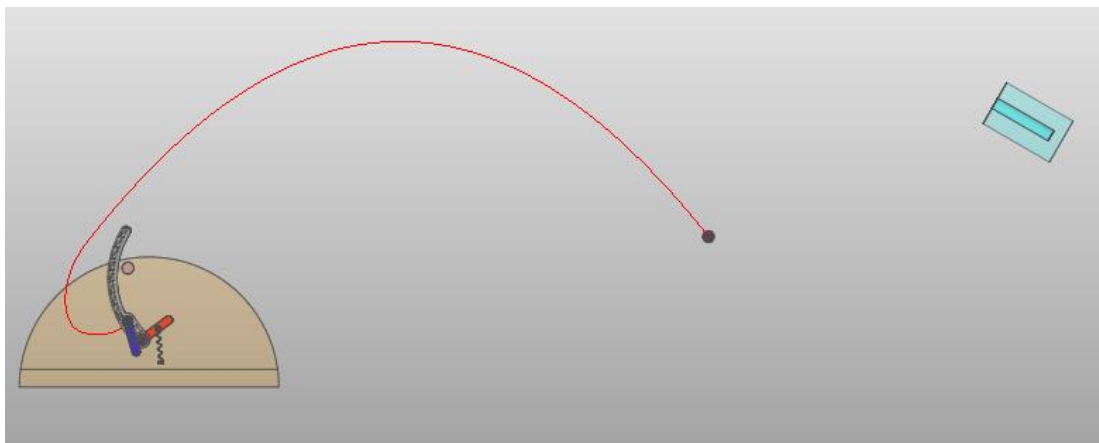




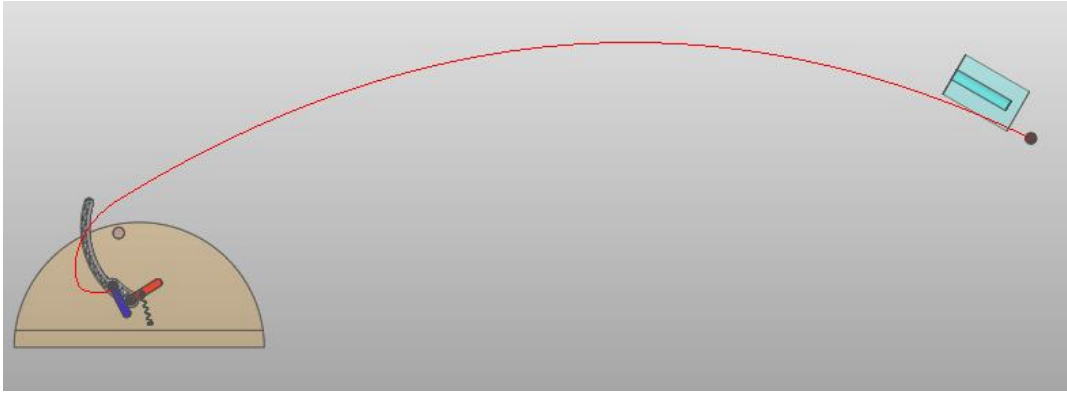
图B-2.1-2  
前连杆角= -10, 弹簧安装高度= 0.4的分析结果



图B-2.1-3  
前连杆角= -10, 弹簧安装高度= 0.6的分析结果



图B-2.1-4  
前连杆角= -40, 弹簧安装高度= 0.4的分析结果



图B-2.1-5  
前连杆角= -40，弹簧安装高度= 0.6的分析结果

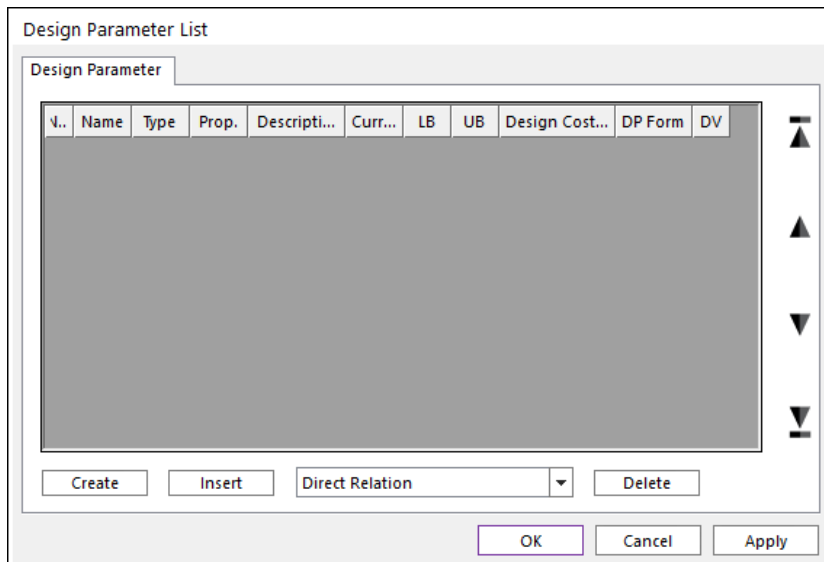
8. 模型研究完成后，重新开始教程之前，将参数值重新设置为原始值（**PV\_frontLinkAngle** = -25，**PV\_springMountHeight** = 0.5）。

## 定义设计变量

创建设计参数：

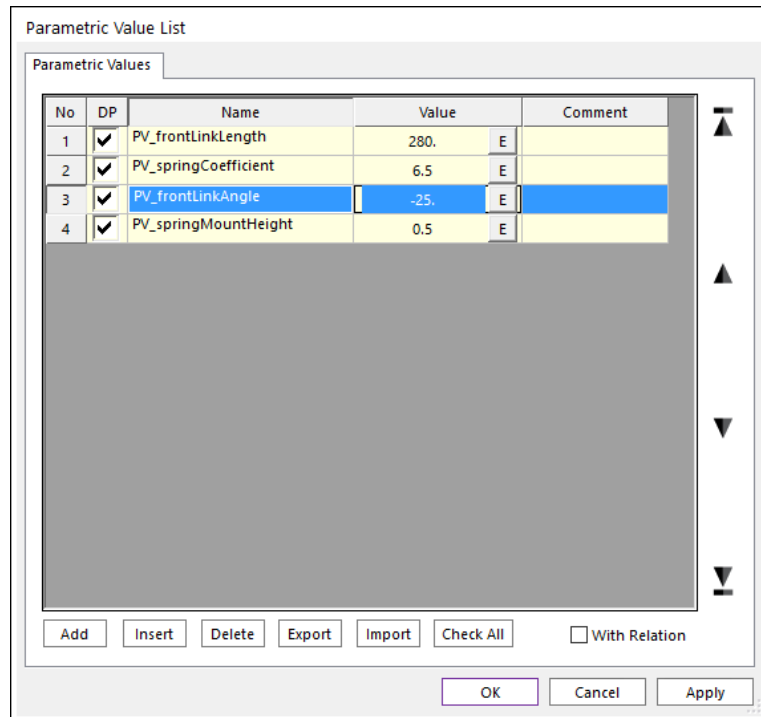


1. 在 **AutoDesign** 菜单，点击 **DesignParameter**。会弹出如下所示的 **DesignParameterList** 对话框。

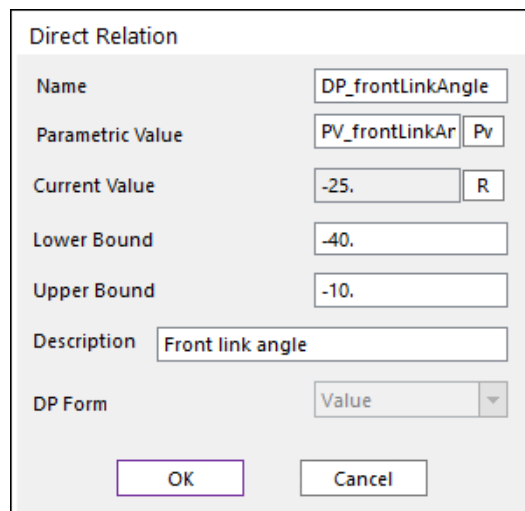


2. 点击 **Create**，创建新的设计参数。
3. 在弹出的 **DirectRelation** 对话框，更改 **DP1** 命名为 **DP\_frontLinkAngle**。

4. 点击 **Pv**，弹出 **ParametricValueList** 对话框。选择 **PV\_frontLinkAngle** 参数值通过点击它的名字。选中后，应该高亮显示为蓝色，如下图所示。



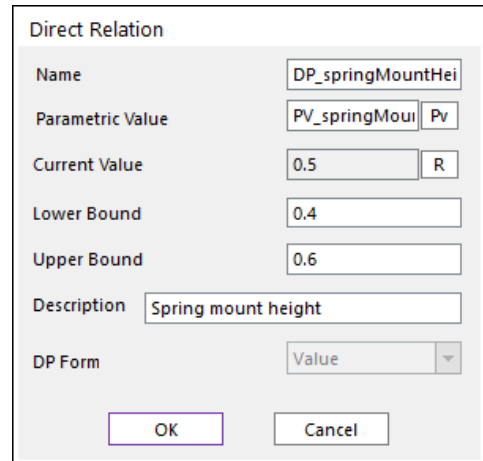
5. 点击 **OK**，选择它作为设计参数。
6. 返回到 **Direct Relation** 对话框，定义上限和下限（-40，-10）。在 **Description** 域，输入“**Front link angle**”。完成后，对话框如下图所示。



7. 点击 **OK**，返回到 **Design Parameter List** 对话框。

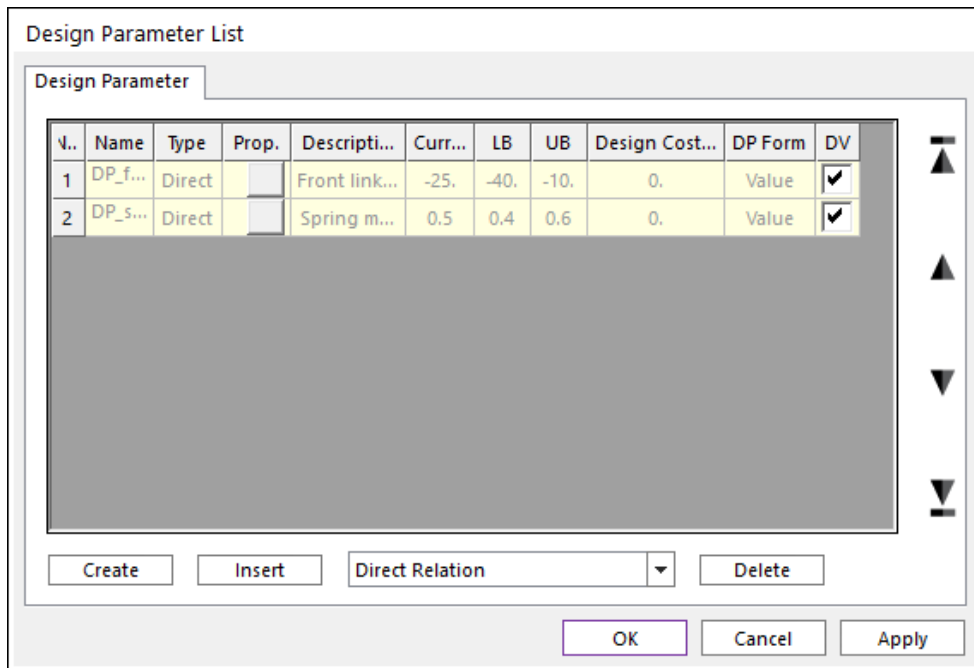
8. 创建弹簧安装高度的设计参数，同样，使用如下设置：

- **Name:** DP\_springMountHeight
- **ParametricValue:** PV\_springMountHeight
- **LowerBound:** 0.4
- **UpperBound:** 0.6
- **Description:** Spring mount height



9. 返回到 **Design Parameter List** 对话框，在 **DV** 列下勾选刚创建的两个设计参数，设置成设计变量，将用于 **DesignStudy** 和 **Design Optimizations**。完成后，**Design Parameter List** 对话框如下图所示。

**注：** 点击 **Prop** 列下的按钮，返回和编辑设计参数。



10. 点击 **OK**，关闭 **Design Parameter List** 对话框。

## 定义 Performance Indexes

**Performance Indexes** 表明模型实现目标的好坏程度。本例中, **Performance Indexes** 是球进入角的误差及其接近目标的程度。为了获得好的优化结果, 目标方案如下所示:

球的位置和速度相对于目标的参考坐标系测量。当球穿过靶面, 测量 **Y** 方向的球速度, 以此估算球的角度误差。**Y** 方向的速度小表明角度误差小。当球穿过目标面时, 如图 **B-3-1** 所示, 测量在 **Y** 方向球和目标之间的距离来估算球的位置误差。

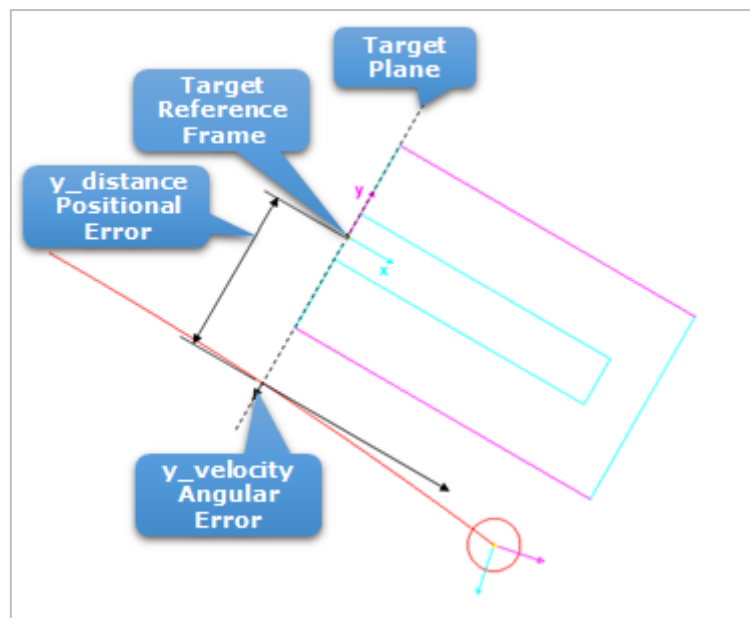
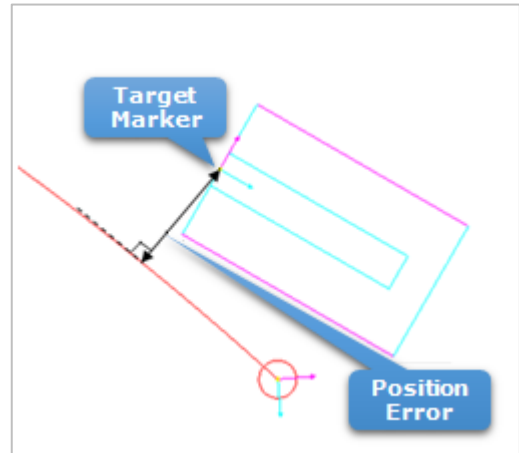


图 B-3-1 优化设计 Performance indexes

此外，第 3 个 Performance Index 简单地取为球到目标的最近距离。

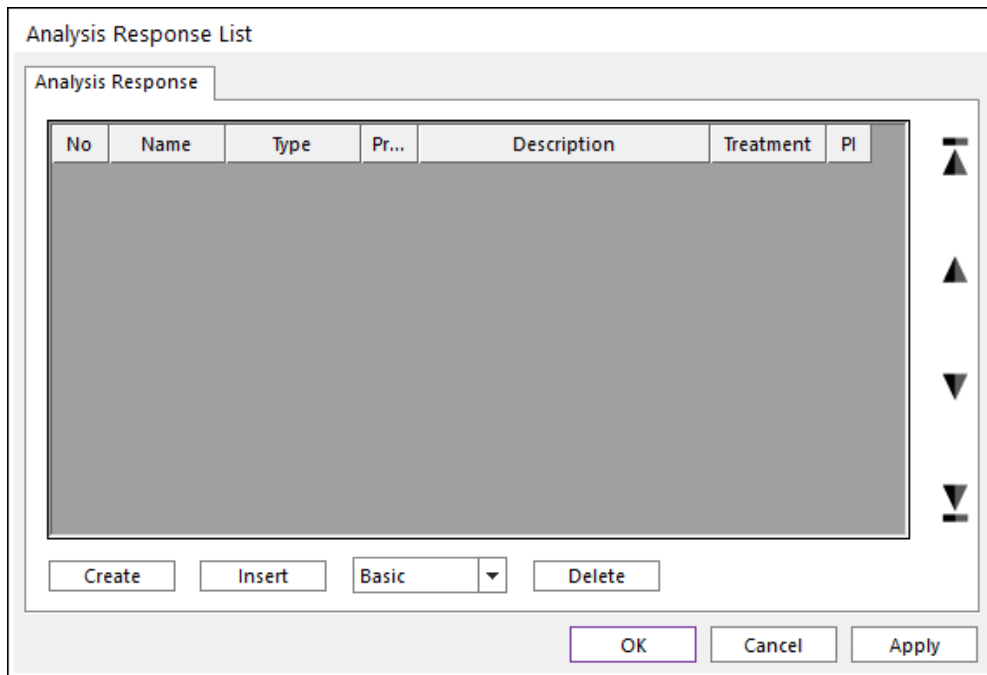
这个 performance indexes 的方案可能不是最直观的一个，但它提供的结果是对数值噪声敏感度最小的一个。



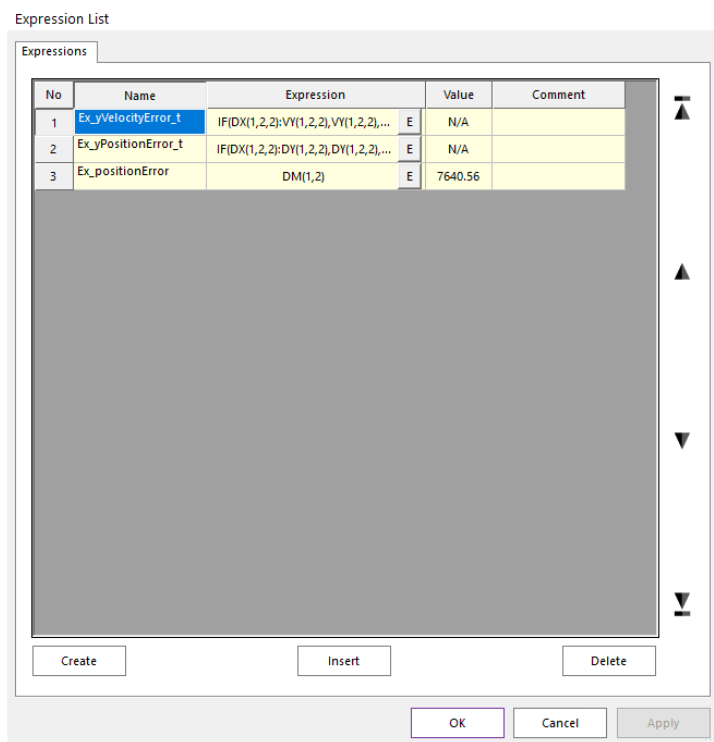
创建 Analysis Response:



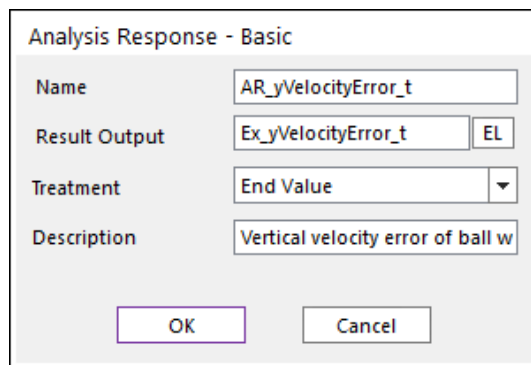
1. 在 **AutoDesign** 菜单下，点击 **Analysis Response**。弹出的 **Design Parameter List** 对话框，如下所示。



2. 点击 **Create**，创建新的 Analysis Response。
3. 在弹出的 **Analysis Response - Basic** 对话框，将 **AR1** 的命名更改为 **AR\_yVelocityError\_t**。
4. 点击 **EL**，弹出 **Expression List** 对话框。通过点击它的命名，选择 **Ex\_yVelocityError\_t** 表达式。选好后，高亮显示如下图所示。



5. 点击 **OK**，选择要用的表达式。
6. 返回到 **Analysis Response - Basic** 对话框，对 **Treatment**，在下拉菜单中选择 **End Value**，在描述场中，输入表达式（“**Vertical velocity error of ball w. r. t. target.**”）。完成后，对话框显示如下所示。



7. 点击 **OK**。

---

注：点击 Prop. 列下的按钮，返回和编辑 Analysis Response。

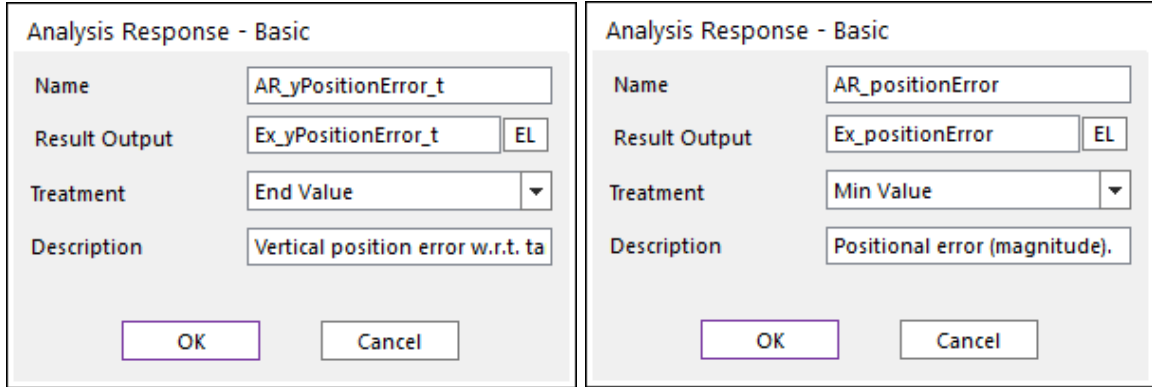
---

8. 用下面的值再创建两个 **Analysis Response**：

<b>Name</b>	AR_yPositionError_t	AR_positionError
<b>Result Output</b>	Ex_yPositionError_t	Ex_positionError
<b>Treatment</b>	End Value	Min Value

<b>Description</b>	Vertical position error w.r.t. target.	Positional error (magnitude).
--------------------	--	-------------------------------

The treatment parameter 用来控制如何从一个随时间变化的曲线中提取数值。例如，将 Treatment 设置为 EndValue，那么取仿真的结束的最终结果，而设置为 Min Value 则分配仿真过程中曲线所达到的最小值。



9. 返回到 AnalysisResponseList 窗口，勾选 PI 列下，与刚刚创建的 Analysis Response 相对应的复选框。激活它们作为 PerformanceIndexes，用于设计研究和设计优化。完成后， AnalysisResponseList 窗口应如图 B-3-2 所示。

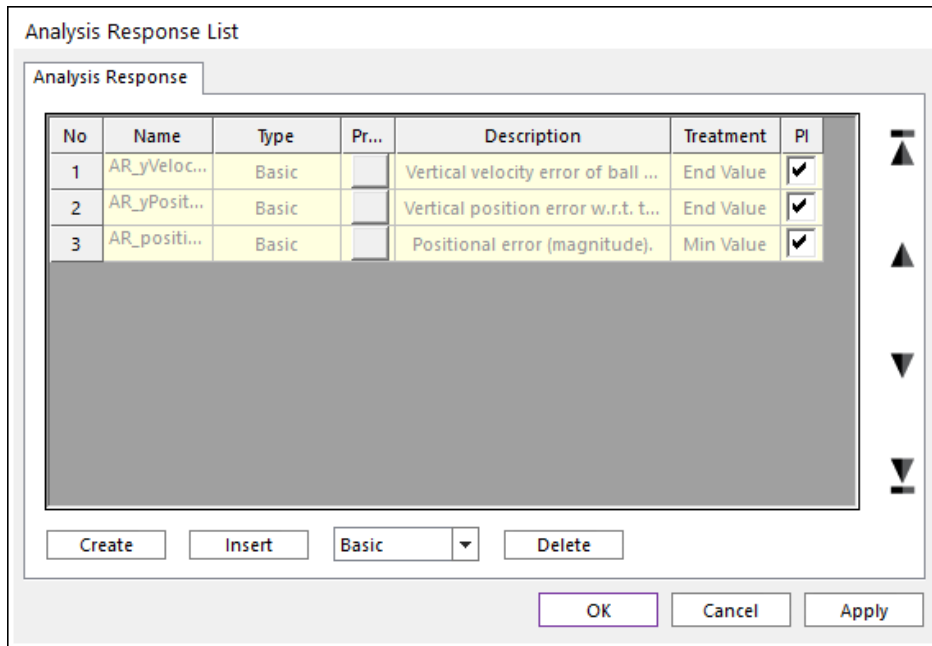


图 B-3-2 Analysis response 列表

10. 点击 OK，关闭 Analysis Response List 对话框。
11. 保存模型。



## Chapter

## 4

## 设计优化

### 目标和约束

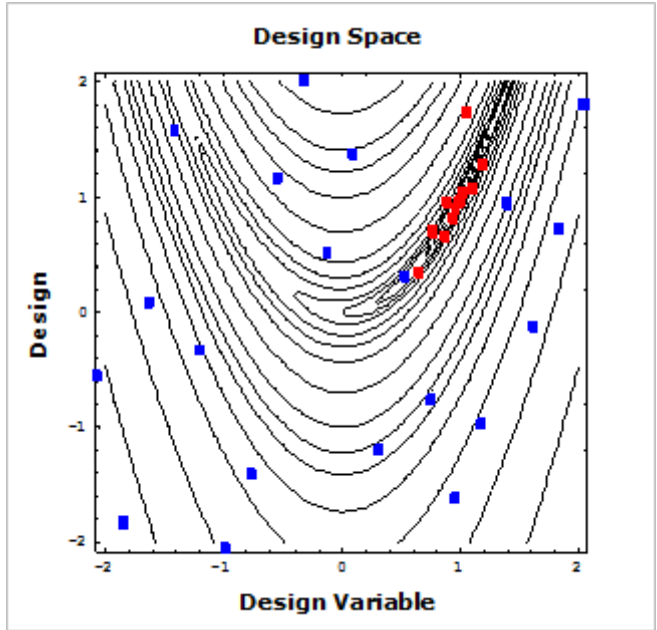
进行优化时，可以定义目标和约束，来引导优化从而得到预期的解决方案。当达到想要的最小或最大化 **performance indexes** 时，则采用目标。模型有 3 个 **performance indexes**，其中一个使用目标最小值。对其它模型，可能有多个目标。根据其重要性，为每个目标分配不同的权重。另一方面，为保证方案成功，当必须满足特定要求时，需要使用约束。

对于本问题，确定 **Y** 方向的速度误差小于  $5\text{mm/s}$ ，或者 **Y** 方向的位置误差小于  $5\text{mm}$ 。从理想方案的角度来看，这些值应该等于 0。然而，数值分析无法给出如此精确的结果。因此，这些限制的数值完全取决于数值求解器的精度。

## AutoDesign 的设计优化过程

当 AutoDesign 进行优化时，先是进行试验设计 (DOE)。在这个过程中，在样本空间采样几个点，在给定设计变量的不同组合后，直接评估性能设计。这些点由下图中的蓝色方块表示。

其次，AutoDesign 应用上述点拟合分析表面，称为元模型。利用此元模型，AutoDesign 寻找最佳的解决方案，确定设计空间中的最佳点。然后，对所选的最佳点进行精确分析。如果新的设计无法满足收敛准则，将分析结果和设计点添加到原来的 DOE 表中，并重构元模型。然后，优化器会解决新的元模型产生的优化问题。这一步重复进行直至完成所有的收敛。图中显示的红色方块，是优化器选择的优化点。此优化过程称为 **Sequential Approximate Optimization with Meta-Models (SAOM)**。对采样算法的更多信息，请参考 AutoDesign 理论手册。



## 运行设计优化

运行优化的目标是减小位置误差，并限制 Y 方向速度和位置误差。

运行设计优化



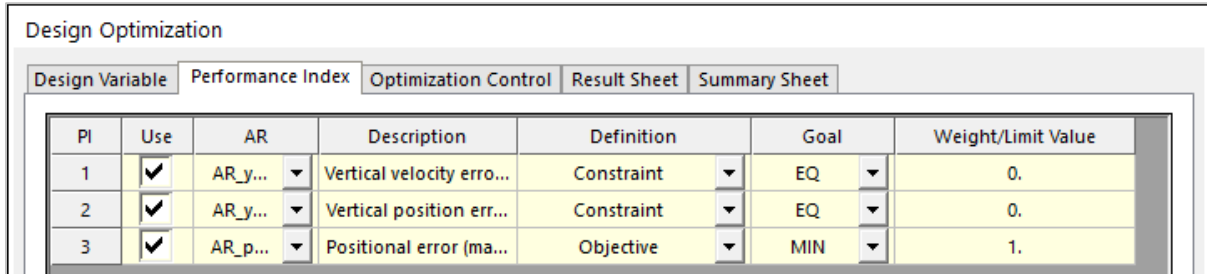
1. 在 AutoDesign 菜单下，选择 **Design Optimization**。Design Variable 对话框如下所示。

Design Optimization							
Design Variable		Performance Index	Optimization Control	Result Sheet	Summary Sheet		
DV	DP	Description	Current	LB	UB	Type	Value
1	DP_frontLinkAngle	Front link angle	-25.	-40.	-10.	Variable	0.
2	DP_springMount...	Spring mount hei...	0.5	0.4	0.6	Variable	0.

2. 点击 **Performance Index** 标签。
3. 根据下表，更改目标函数。

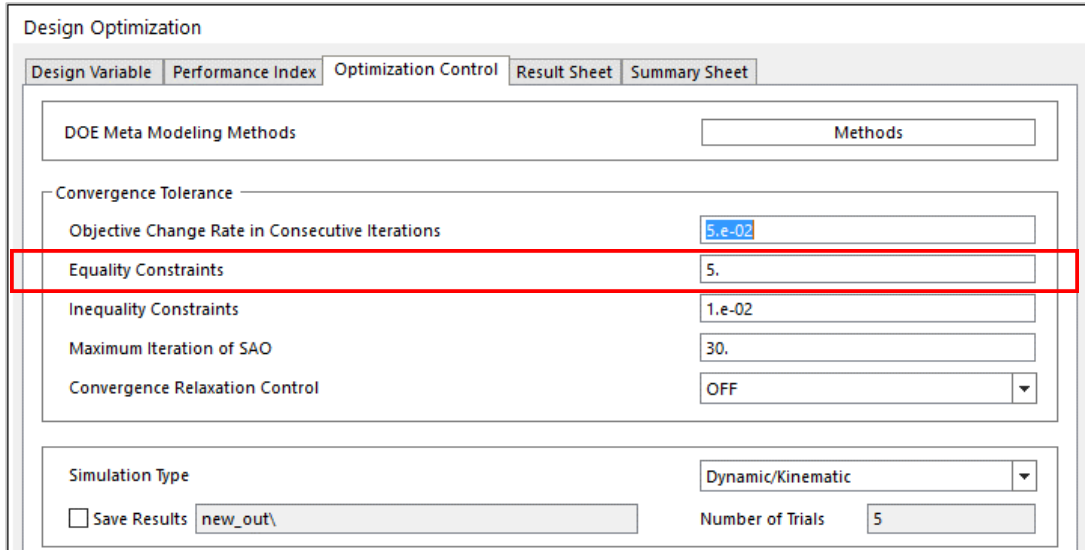
Performance Index	Definition	Goal	Weight/Limit Value
AR_yVelocityError_t	Constraint	EQ	0
AR_yPositionError_t	Constraint	EQ	0
AR_positionError	Objective	MIN	1

完成更改后，对话框如下所示。

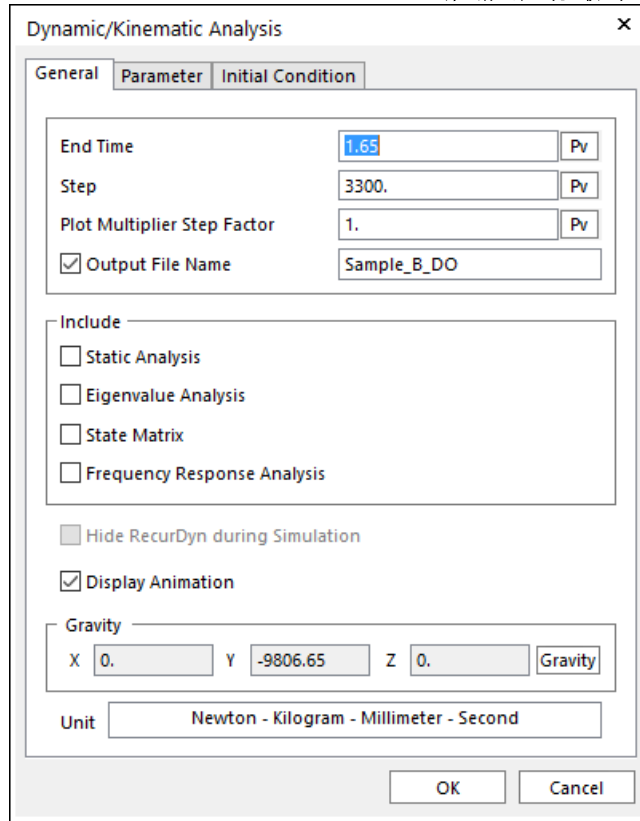


这里，定义误差的目标值为 0。同时，要尽量减小位置误差。

4. 点击 **Optimization Control** 标签。
5. 更改设置，使它们显示如下。如第 4 章所介绍的，力图满足条件 **AR1** 和 **AR2**。定义它们为 **Equality Constraints**，设置收敛容差为 **5.0**。这种限制完全取决于动态分析结果的分辨率。



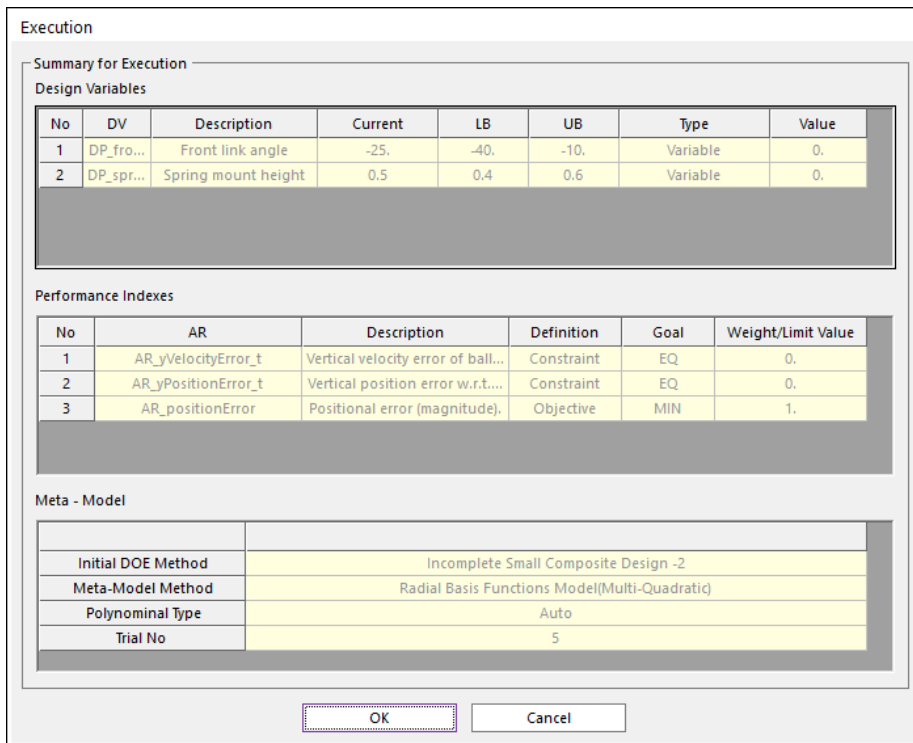
6. 点击 **Analysis Setting** 按钮查看 **analysis setting**。为减小数值误差，增加下图所示的时间步数。如果想要增加优化解决方案的分辨率，就增加步数。为使设计优化更精确，可通过增加这个值，来显示更精确的设计。



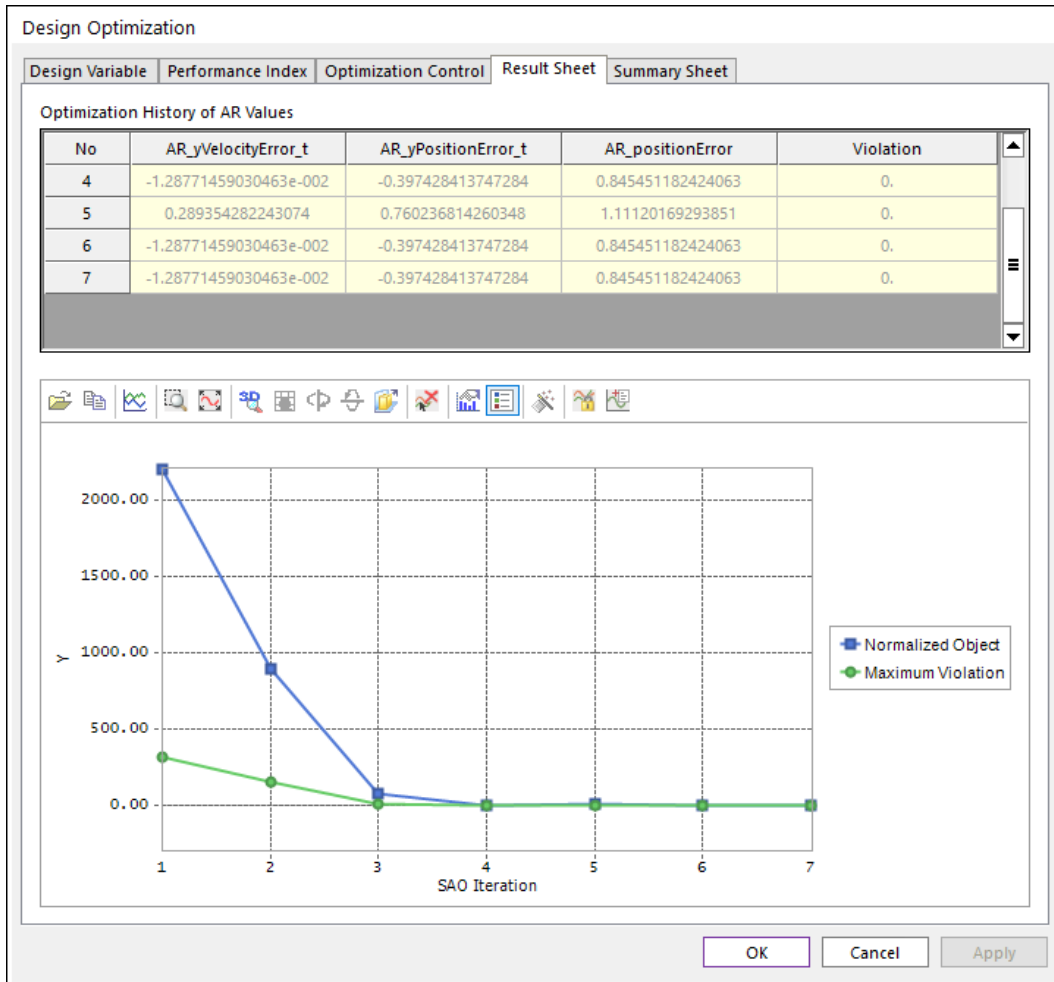
7. 点击 **Execution** 按钮，运行刚刚完成设置的优化。

可以看到如下所示的优化公式。

点击 **OK**，进行优化。



8. 在完成优化后，查看设计优化的结果，点击 **Result Sheet** 标签。优化迭代的 **Performance indexes**，如对话框顶部所示。可以看到最后垂直速度误差是 **0.0129mm/s**，最后的垂直位置误差是 **-0.397mm**，并且最后的位置误差是 **0.845mm**。优化需 8 个迭代步完成收敛得到这些结果。



9. **summary sheet** 显示了设计变量和分析结果的最后值。在 **SAOs** 概述，包括 **initial DOE** 的分析总次数是 12。

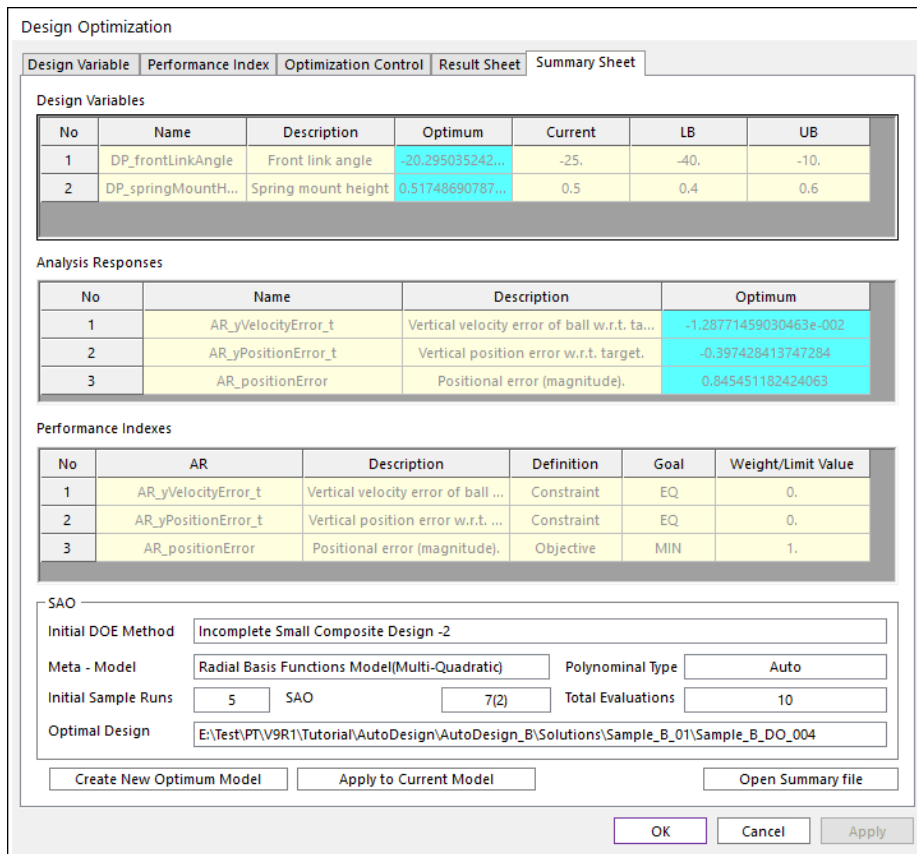
Chapter  
5

## 生成优化模型动画

为播放优化模型的动画，先更新带有优化设计变量的模型。

更新带有优化设计变量的模型：

1. 在 **AutoDesign** 菜单下，选择 **Summary Sheet**，如下图所示。



2. 点击 **Create new Optimum Model** 复选框，如上图所示。
3. 设置新文件名为 **Sample\_B\_Opt**。
4. 点击 **Confirm**。

该模型参数已被更新（通过选择 **SubEntity** 的 **Parametric Value**，弹出该窗口）

5. 在 **Database** 窗口，**Contacts** 下，右键点击 **SphereToSurface\_ballToTarget**，不勾选 **Inactive** 选项。



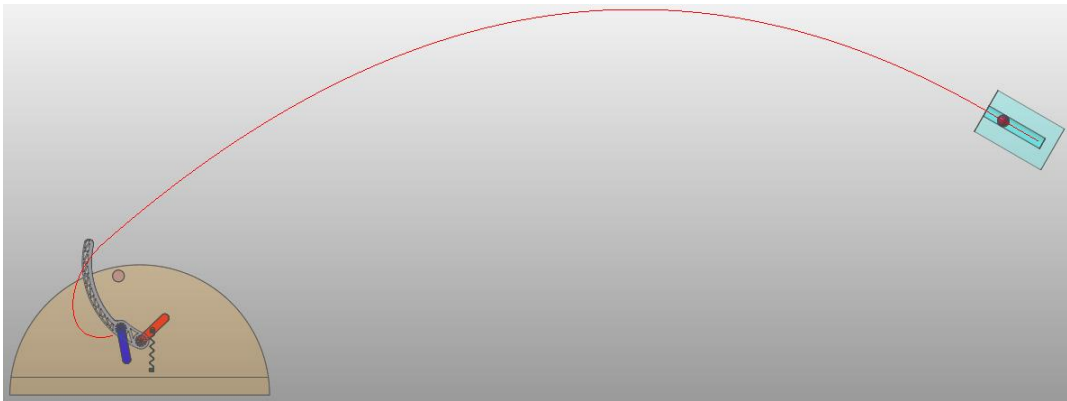
6. 点击 **Analysis** 标签下的 **Dynamic/Kinematic Analysis** 图标。

7. 不勾选 **Output File Name**。

8. 点击 **Simulate**，当仿真结束时，点击 **Play**。

球成功进入套筒，如下图所示。

现在需要为下次优化重置模型。



为下次优化，重置模型：

1. 阻止球与套筒之间的接触。
2. 将参数值更改为初始值：
  - **PV\_frontLinkAngle = -25**
  - **PV\_springMountHeight = 0.5**
3. 保存模型。

*感谢学习本教程!*