# universal mechanism

## 多体系统动力学仿真

## UM 软件强基训练系列教程 (07)

四川同算科技有限公司

2022年6月

《UM软件强基训练系列教程》面向具有 UM 软件使 用基础的用户,作为对《UM 软件入门系列教程》和《UM 培训教程》的补充和强化,教程中使用的部分例子取自 UM 软件自带的模型。

希望读者重视基础, 勤加练习, 多多思考, 相信通过 每一次练习都能有所收获。

本例模型路径: C:\Users\Public\Documents\UM Software Lab\Universal Mechanism\9\SAMPLES\Education\balloon

### 目录

11	JM INPUT 建模过程	4
1.1	建立几何模型	4
1.2	定义刚体参数	7
1.3	描述铰	9
1.4	调用运动学变量 1	4
1.5	添加力元1	7
21	JM SIMULATION 仿真过程1	9
2. 1	创建风速控制面板 1	9
2. 2	仿真计算 2	21





#### 1 UM Input 建模过程

- 1.1 建立几何模型
- GO1: 由一个 Ellipsoid 组成,颜色为红色。

### Ellipsoid Parameters: a=b=c=r=1.5 (m).

	Name: GO1 🖋 🕂 🕩 🛍	
	Comments/Text attribute C	1
	Description COnservice	
	Ellipsoid	
	Segregate Test etter to C	
	Comments/Text attribute C	
	Parameters Colors GE position Material	
	Semi-axes	
	a: r C	
_		
	Discretization Slices: 25	
$//\lambda$	Stacks: 40	
$\mathbf{X}$		
E		
Ź		
	H H H H H H H H H H H H H H H H H H H	
	Flan	





GO2: 由1个Cone和1个Box组成,颜色分别为绿色和棕色。

**Cone Parameters:** R2=R1=r1=0.1 (m), h=l=2 (m).

GE Position: 先沿 Y 轴移动 *l\*0.5* (m),再绕 X 轴旋转 90 (°)。

Name: GO2 🖋 🕂 🖬	
Comments/Text attribute C	Name: GO2 💉 🕂 🚺
Comments/rext attribute C	Comments/Text attribute C
Description GO position	Description on ut
Cone	GO position
	Cone
Type: 🛕 Cone 🗸 🛨 🔲	Type: 🔺 Cope
Comments/Text attribute C	
	Comments/Text attribute C
Parameters Colors GE position Material	
	Parameters Colors GE position Material
Radius (R2): F1	Translation
Radius (R1):	x:C
Height (h):	y: [*0.5
Number of points	z: C
Bottom circle: 20	Rotation
Generatrix: 2	X ~ 90 C
Angles: 0.00 1000	
Closing: (none) ~	
	$\prec$
	$\rightarrow$
\	





Box Parameters: A=B=C=l\*0.1.

GE Position: 先沿 Y 轴移动-*l\*0.5*,再沿 Z 轴移动-*l\*0.05*。

Name: GO2 🔗 🕂 💽	ti N	Name: GO2 🖋 🕂 📑 🗊
Comments/Text attribute C		Comments/Text attribute C
	- I	
Description GO position Cone Box Type: Box  +  ( Comments/Text attribute C		Description GO position Cone Box Type: Box  Comments/Text attribute C
Parameters Colors GE position Material		Parameters Colors GE position Material
A:   *0.1	С	ranslation x: C
B: 1*0.1	C	v: J*0 5
C: 1*0.1	C	z: -1*0.05





#### 1.2 定义刚体参数

balloon: 选择几何 GO1, Mass=m1=5 (kg), 转动惯量 ix=iy=iz=1 (kg·m<sup>2</sup>)。



**Rope1**:选择几何 **GO2**,质量 *m2=0.1* (kg),转动惯量 *ix2=m2\*l\*l/12* (kg·m<sup>2</sup>),*iy2=1* (kg·m<sup>2</sup>),*iz2=1* (kg·m<sup>2</sup>)。(注:创建 *ix2* 时,先保持缺省值 0,再到参数列表定义 *ix2* 的表达式)



Universal Mechanism 9

强基训练





		-		
m1	5	Edit identifier		хI
ix	1			
iy	1	Name:	ix2	
iz	1	Expression:	m2취취/12	С
m2	0.1			_1
ix2	0	Comment:		
iy2	1		Apply	
iz2	1		Apply Cancel	

复制 9 次 Rope1,分别改名为 Rope2, Rope3, Rope4, Rope5, Rope6, Rope7, Rope8, Rope9, Rope10。







#### 1.3 描述铰

**jBase0\_balloon**:选择 **Base0** 作为 1 号物体,选择 **balloon** 作为 2 号物体,类型为 **Generalized**,依次添加如下 3 个分量:

TVy: 定义沿 Y 轴平动自由度,即 axis Y: (0, 1, 0),初始移动距离 x0=5(m);
TVz: 定义沿 Z 轴平动自由度,即 axis Z: (0, 0, 1),初始移动距离 x0=5(m);
RVx: 定义绕 X 轴转动自由度,即 axis X: (1, 0, 0)。

Name: jBase0_balloon + 💽 🗑	$\bigtriangledown$	Name: jBase0_balloon 🕂 💽 🗑	$\bigtriangledown$
Body1: Body2:		Body1: Body2:	
Base0 💌 balloon	-	Base0 🗾 balloon	-
Type: 器 Generalized	$\sim$	Type: 😤 Generalized	~
TVy		TVy TVz	
Enabled + +	1	Enabled + +	١.
ET type: 놀 tv (translational d.o.f)	$\sim$	ET type: 🏊 tv (translational d.o.f)	$\sim$
Comments/Text attribute C		Comments/Text attribute C	
Transformation vector		Transformation vector	
axis Y : (0,1,0)	$\sim$	axis Z : (0,0,1)	$\sim$
ex: 0	n	ex: 0	n
ev: 1	n	ev: 0	n
	n		
22: 0		ez: 1	<u>n</u>
Coordinate Force/Torque		Coordinate Force/Torque	
Value of coordinate		Value of coordinate	
x0: 5.0000000000	1	x0: 5.00000000000	1
		4	-











jballoon\_Rope1:选择 balloon 作为 1 号物体, Rope1 作为 2 号物体, 类型为 Generalized, 依次添加如下 3 个分量:

**TCy:** 沿 Y 轴移动 Rope1 的局部坐标系, **ey=-r**, 以确定转动铰的位置;

**RVx**: 定义绕 X 轴的转动自由度,即 axis X: (1, 0, 0);

**Force/Torque:** 定义绕 X 轴的转动阻力矩,选择 **Expression** 类型,定义表达式 **F=-***dc*\**v*,其中 *dc*=*1*。

TCy: 沿 Y 轴移动 Ropel 的局部坐标系, ey=-l\*0.5, 以确定最终相对位置。

		Name: jballoon_Rope1 🕂 🖬 🗑	$\bigtriangledown$
		Body1: Body2:	
		balloon   Rope1	•
		Type: 🎇 Generalized	$\sim$
		TCy RVx	
			Ì
Name: jballoon_Rope1 🕂 🕩 🗑	▽	ET type: > rv (rotational d.o.f) Comments/Text attribute C	~
Body1: Body2:			
balloon 💽 Rope 1	-	Transformation vector	
Type: 器 Generalized	~	axis X : (1,0,0)	$\sim$
ТСу		ex: 1	n
⊡Enabled + + ≣ 🖡	Î	ey: 0	n
ET type: The (translation constant)		ez: 0	n
Comments/Text attribute C		Coordinate Force/Torque	
		a-b Expression	~
Translation vector		Description of force/moment	
ex:	C	Pascal/C expression: F=F(x,v,t)	
ey: -r	С	-cstiff*(x-x0)-cdiss*v+ampl*sin(om*t)	
ez:	C	F= -dc*v	2





Ν	lame: jballoon_Rope1 🕂 🖬 🐨	7
F	Rody1: Body2:	
b	valloon VIRope1	•
T	ype: Seneralized	~
F	TCy RVx TCy	
E	⊡Enabled + + 1 🕞 🛅	1
E	T type: 🔄 tc (translation constant)	~
	Comments/Text attribute C	
	Translation vector	
	ex:	
	ey: -1*0.5	
	ez:	
Object balloon		- 🗆 X
✓ · O Object	(interpretation of the second	
✓☆ Object		Name: jballoon_Rope1 + + 🗑 🗸 🗸
F(> Variables		Body1: Body2:
Subsystems		
> Timages		
V R Joints		
> (R) jBase0_balloon		
Bipolar forces		ET type: 🔄 tc (translation constant) 🛛 🗸
		Comments/Text attribute C
T-Forces		Translation vector
		ey: 110.5
👄 🖻 🕇 🛍 🖻 🎰 🚌		E2.
Whole list		l
Name Expression Value A		
r 1.5		
r1 0.1		
2007 C		
1 2		





复制铰 jballoon\_Rope1,生成铰 jRope1\_Rope2,修改 1 号物体为 Rope1,2 号物体为 Rope2,修改第一个 TCy 的移动为 ey=-*l\*0.5*。



复制 8 次铰 jRope1\_Rope2,分别生成铰 jRope2\_Rope3, jRope3\_Rope4, jRope4\_Rope5, jRope5\_Rope6, jRope6\_Rope7, jRope7\_Rope8, jRope8\_Rope9, jRope9\_Rope10,并修改对应的 1 号物体和 2 号物体。

Name: jRope1	_Rope2 +	•	j ~	Name: jRo	pe2_Rope3	+	Ð	Ĩ	$\bigtriangledown$
Body 1:	Body2:			Body 1:		Body2:			
Rope 1	▼ Rope2		-	Rope2	-	Rope3			-





#### 1.4 调用运动学变量

本例我们将采用 T-Forces 类型的力元来模拟气球在风力作用下的漂浮运动,并通过 风速和气球相对空气(风)的速度来定义气球在 Y 方向和 Z 方向的受力。UM 软件允许 用户在建模时调用刚体之间的运动学变量(如相对位移、相对速度和相对加速度等),来 创建复杂的力元。

本例操作如下:

(1) 首先在刚体 balloon 上添加一个标记点 *Point (0, 0, 0)*。

ame: balloon	+	<b>t</b> ₀ 💽 🗓	
Comments/Text a	ttribute C Vectors	3D Contact	57
Parameters	Position	Points	
Name X	Y	Z	
Point			

个标识符 vu=6 (m/s),作为风速 (wind velocity)。 2) 在参数列表添加-

X	Whole list			
	Name	Expression	Value	^
	ix	1		
	iy	1		
	iz	1		
	m2	0.1		
	ix2	m2쀠쀠/12	0.03333333	
	iy2	1		
	iz2	1		
	dc	1		
	k	0.5		
	cground	10		
	dground	10		
	vu	6		~
	<		>	





 先在左侧模型树选中 Object,然后右侧交互界面选择 Variables。点击加号图标, 添加一个变量,重命名为 bal\_vy。

General Variables		Options Curves		Sensors/LSC Attributes		
+ +	1					
Туре	Name		Expressi	on		
number bal_vy						

 双击 Expression 对应的单元格,打开函数表达式编辑器,如下图所示,调出运 动学变量 vy (横向相对速度)。

Edit expression		_		×
■ + - × / (·) sin cos abs pow sign in exp ½ sqrt	sqr π			
vy( _to_point , [_from_point] , [_SC_component] , [_SC_deriv] )	Kinemat Identifie Standar Bodies Kinemat Variable Points Oriented Joints	ic function of d function ic function s d points	ns ns	
OK Check Cancel				

5) 删除 vy 变量括号中的默认参数,保持鼠标光标位于括号中间,从下拉菜单列表选择 Points 类型,展开刚体 balloon,双击"balloon.Point",得到表达式 vy("Balloon.Point"),这表示气球上点(0,0,0)相对 Base0 的横向速度。

×
- ~
^
*





6) 接着在上述表达式后添加-vu,得到表达式 vy("Balloon.Point")-vu,表示气球相 对空气(风)的横向速度,点击 OK。

Edit expression	_	×
$\blacksquare$ + - × / (·) sin cos abs pow sign in exp $\chi$ sqrt	sqr π	
vy("balloon.Point")-vu	Identifier	~
	iy2	^
	iz2	
	cground	
	dground	
	···· vu	
		 ¥
OK Check Cancel		

此时,变量类型由 number (常量)自动变为 var (变量)。

Ge	neral	Options	Sensors/LSC
Va	riables	Curves	Attributes
+	+- 🗊		
Туре	Name	Expressio	n
var	bal_vy	vy("balloor	n.Point" )-vu

采用与上述相同的方法创建其他变量 *bal\_vz、bal\_v、fry* 和 *frz*,请务必注意变量的 先后顺序。其中标识符 k 的值设置为 0.5。

Ger	neral	Options	Sensors/LSC
Var	iables	Curves	Attributes
+ +	1		
Туре	Name	Expression	
var	bal_vy	vy("balloon.l	Point" )-vu
var	bal_vz	vz("balloon.F	Point")
var	bal_v	sqrt(bal_vy*	ˈbal_vy+bal_vz*bal_vz)
var	fry	-k*bal_v*ba	l_vy
var	frz	-k*bal_v*ba	_vz





Name	Expression
bal_vy	vy("balloon. Point")-vu
bal_vz	vz("balloon. Point")
Bal_v	sqrt(bal_vy*bal_vy+bal_vz*bal_vz)
fry	-k*bal_v*bal_vy
frz	-k*bal_v*bal_vz

#### 1.5 添加力元

**Contact Forces:**选择 **Rope1** 作为 1 号物体,选择 **Base0** 作为 2 号物体,接触力元 类型: **Points-Plane**。

**Parameters**: 静摩擦系数 **f0=***k*,动摩擦系数 **f=0.85**\**k*,接触刚度系数 **c=***cground*=10,接触阻尼系数 **d=***dground*=10;

Geometry: 添加 Rope1 上的点(0, -0.5\*1, 0),保持缺省的 Z=0 平面作为接触 平面,即:经过 Base0 的原点(0, 0, 0),法向为 Z 轴正向(0, 0, 1)。

Name: CFrc1	+ 🕩	Û	Name: CFrc	1	+	<b>•</b>
Comments/Text attribute (	C		Comments/T	ext attribute	C	
Body1:	Body2:		Body1:		Body2:	
Rope1 🔹	Base0	-	Rope1	•	Base0	-
Type: 🞽 Points-Plane		$\sim$	Type: 볼 Poir	nts-Plane		~
Parameters Geometry			Parameters	Geometry		
Sliding parameters			Poir	nts (Rope 1)		
Friction coef. (f):	0.85*k	C	+ 🗊	₿ 🖻		
Friction coef. (f0):	k	C		-0.5쀡		
Velocity (vs):		C				
Stribeck coef. (delta):	1	C	< Plane (Basel	)		>
Friction coef. (nu):		C	Point:			Ъ
Parameters of normal	contact		0	0	0	<u>C</u>
Stiffness coef. (c):	cground	C	External nor	mal:	n la	
Damping coef. (d):	dground	C	0	<u> </u>	1	





复制 9 次接触力元 CFrc1,分别生成接触力元 CFrc2, CFrc3, CFrc4, CFrc5, CFrc6, CFrc7, CFrc8, CFrc9, CFrc10,并修改 1 号物体为相对应的刚体。

T-forces:选择 Base0 作为1 号物体,选择 balloon 作为2 号物体,参考系选择 Base0。

时变力元作用点为缺省的局部坐标系原点(0,0,0)。

选择 Expression 表达式类型,定义横向作用力为 *fry*,垂向作用力为 *mv\*g+frz*, 其中 *mv=6* (kg), *g=9.81* (m/s<sup>2</sup>)。

	Name: GFrc1	+ 🕩	Û	Хл
	Comments/Text attribute C			
	Body1:	Body2:		
	Base0 👤	balloon	-	
	Reference frame	Base0	-	
	Reduction point : balloon			
	C	C	С	
	Type of description	_		
	Expression	○ File		
	Force:			
			P	
_	fry		P	
	mv*g+frz		P	
	Moment:			
			P	
			P	
			P	
	T = 10 dT = 0.0	1		

注: fry 和 frz 是前面调用运动学变量定义的函数表达式。

#### 完成建模,保存模型。





#### 2 UM Simulation 仿真过程

#### 2.1 创建风速控制面板

本例模型通过控制面板工具(UM Base/Control Panel 模块)创建一个控制条,用于 在仿真过程中随时随意调整风速大小,操作过程如下:

- 1) 运行 UM Simulation 程序,加载模型。
- 选择主菜单 Tools | Control Panel editor,打开控制面板编辑器,可自由调节窗 体大小。
- 3) 点击 A 字按钮,在窗体上添加一个标签控件,修改为 Wind velocity。
- 4) 点击滑动条按钮, 创建风速控制条, 调节控件大小和位置。

🝰 Control panel editor			
🖙 🖰 🔁 🔛 🕨 A 1231		<b>i</b>	
	-	Element prope	rties
Wind velocity _ /	1	Left	94
		Тор	8
		Width	150
		Height	40
		Access	Always 🗸 🗸
		Identifiers	(none) ···

- 5) 选中风速控制条控件,点击右侧属性界面 Identifiers 处的 ···· 按钮,从下拉菜单选择标识符 vu 作为控制参数,依次点击 Add 和 OK。
- 6) 设置 vu 参数即风速的取值范围[-6, 6] (m/s),步长为 1 (m/s),保存在模型文件 夹下,默认文件名 Default.cp。





	Element prope	rues	
	Left	94	
	Тор	8	1
dit identifiers X	Width	150	
Identifier name	Height	40	
Add 🗾	Access	Always	$\sim$
Identifiers Delete	Identifiers	vu _	•••
	Position	0.00000	4
	Minimum	-6.00000	4
	Maximum	6.00000	
	Increment	1.00000	
	Reaction	Always	~
OK Cancel	Increase		~
文件名(N): Default.cp			~
保存米刑(T)(Control papel (* cn)			~
保存类型(T): Control panel (*.cp)			~
保存类型(T): Control panel (*.cp)			~
保存类型(T): Control panel (*.cp) > 浏览文件夹(B)	保存	(S) 取消	~
保存类型(T): Control panel (*.cp) > 浏览文件夹(B)	保存	(S) 取消	





#### 2.2 仿真计算

打开变量向导,创建刚体 Rope10 在 Y 方向上的速度变量,并显示在一个绘图窗口。

		C T-Forces		loint forces	Angular variables
II forces	id Identifiers	记 Contact fo	rces 🛛 🚼	Contact forces for bodie	es F(X) Variables
💒 Linear variables	a-b Expression	User variables	👫 Reactions	Coordinates	Solver variables
balloon	Sele	cted			
balloon	Rop	e 10			
Rope1	Co	ordinates of point in	the body-fixed fra	me of reference	
Rope2			0	0	0
	Tyr O Co Re Ba	pe Coordinate Velocity Acceleration mponent X	Oz	Bipolar vector Bipolar velocity Bipolar accelerati	on O V
y(Rope 10)	Velocity o	of point (0,0,0) of bo	dy Rope 10 relative	e to Base0, SC Base0, p	projection Y

接着,创建刚体 Rope10 在 Z 方向的位移变量,并显示在一个绘图窗口。

Variables for group of bodies		U T-Forces			Soint forces		🛕 Angular variables		
II forces	id Identifiers	ers 🔐 Contact forces ssion User variables 💔		ntifiers 🛛 👯 Contact forces 🛛 🚼 Contact forces for boo		r bodies F(X) Varia		es	
💒 Linear variables	a-b Expressio			10	Reactions Coordinates		es	Solver variat	
balloon		Selected							
balloon Rope1		Rope 10							
		Coordinates	of point in	the body	-fixed frame	of reference			
Rope2				0		0		0	1
Rope4		Type				6.00			
Rope5		Coordinate     O Bipolar vector							
Rope6		O Velocity O Bipolar velocity							
Rope7		O Acceleration O Bipolar acceleration							
Rope9		Component							
Rope 10		Ox	OY		⊙z	OIVI		OV	
		Resolved in SC of body							
		Base0						•	]
(Rope 10)	Coor	dinates of poi	nt (0,0,0) a	f body R	ope 10 relativ	e to Base0, SC B	ase0, pr	ojection Z 🛛 👼	[
					•			0	Ľ





选择主菜单 Tools | Open Control Panel,打开上一步创建的 Default.cp 文件。

🕹 Control panel 📃								x				
Wind velocity	Ш										_	-6
	Ύι	• •	1	'	'	'	'	'	'	'	ľ	

打开时域仿真控制界面,设置仿真时长为100s,点击 Integration 开始仿真。

仿真过程中可在风速控制面板随意调节风速大小,两个绘图分别显示 Rope10 在 Y 方向速度变化曲线和 Z 方向位移变化曲线。



在动画窗口,可以直观地看到气球的运动状态。