猎人射猴问题在运动仿真中的实现

撰文 /Dassault Systems SolidWorks 刘红政 宋昂

一、概述

猎人射猴是一个古老的命题：猎人在瞄准猴子扣动扳机的同时，猴子受到惊吓从树上自由下落，猴子是否会被射中（如图 1 所示）？

图 1 猎人射猴示意图

有人认为子弹出膛后在空中会飞行一段时间，无法射中猴子，因此猴子会幸免于难。当然，也有很多人论证了猴子会被子弹射中。下面我们通过多种方式来更深入地解读这个问题。

二、现有的论证方式

1. 公式推导

我们先画出简化的运动学示意图，如图 2 所示。

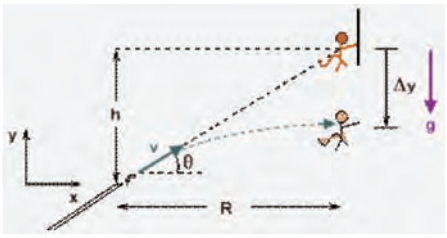

图 2 运动学示意图

按照猴子的竖直位置，可以列出公式：

$$vsin(\theta)t-1/2gt^2=h-1/2gt^2 \quad (1)$$

该公式简化为：

$$vsin(\theta)t=h \quad (2)$$

水平方向可以列出：

$$vcos(\theta)t=R \quad (3)$$

由公式（2）和（3）可以得出：

$$tan(\theta) = h/R \quad (4)$$

因此，只要子弹可以在猴子掉落到地面之前飞行 R 距离，猴子就一定会被猎人射杀。当然，这是以猎人的视角求解所得结果。如果以猴子的视角看待这个问题，则所列公式会有所区别，但得到的结论是一致的。

2. 物理试验

很多高校的教授也在各种场合验证了猎人射猴的问题，如 MIT 的著名教授 Walter Lewin 在公开课上的实验（详见视频 https://www.youtube.com/watch?v=ej1paFRZUS0；台湾大学周祥顺教授所做的实验，见视频 https://www.youtube.com/watch?v=BCkVY1PJwDQ）。这些实验得到了和理论一致的结果。

三、使用 SOLIDWORKS MOTION 进行猎人射猴的仿真

首先，我们在 SOLIDWORKS MOTION 中建立一个简化的模型，使用球体代表猴子，使用圆柱椎体代表子弹（图 3）。下面我们通过设置不同的运动边界条件，来模拟这个问题。

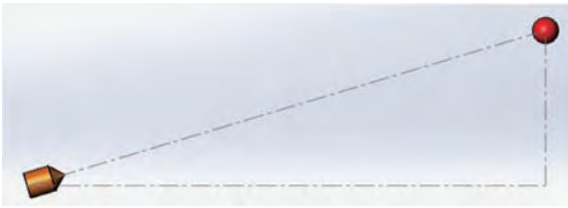

图 3 SOLIDWORKS 中的简化模型

1. 加速度法

模拟子弹在枪膛中先做直线加速运动，出膛后在重力作用下做抛物线运动，如图 4 所示。可以按照表中给出的参数给定加速度大小及经历的时间。

表　出膛后加速度参数

起点 x	终点 x	值	分段类型
–	–	0.00mm/ 秒 ^{2}	初始
0s	0.01s	300000.00m	Linear(Defa
0.01s	0.02s	300000.00m	Linear(Defa
0.02s	0.03s	0.00mm/ 秒 ^{2}	Linear(Defa
0.03s	1s	0.00mm/ 秒 ^{2}	Linear(Defa

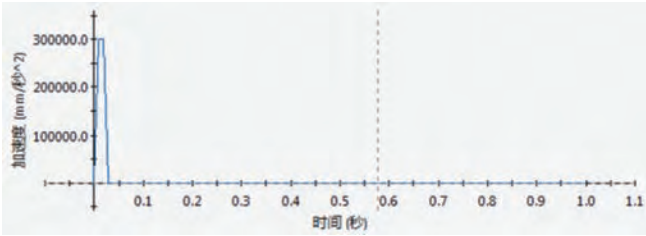

图 4 加速度法

2. 线性马达法

模拟子弹沿瞄准线做线性等速运动，指定子弹运行的初始方向及速度，如图 5 所示。

3. 初始速度法

设置子弹的初始速度，指定方向及速度大小，如图 6 所示。

图 5 线性马达法

图 6 初始速度法

当然，这三种方法在 SOLIDWORKS MOTION 中都需要给定重力环境及 3D 接触的条件，这里做统一说明。最终，我们都能够在猴子下落的方向，得到子弹与猴子接触的位置，而且也可以使用 SOLIDWORKS MOTION 的结果图解功能，绘制子弹的跟踪路径，如图 7 所示。

图 7 子弹射杀轨迹

四、结语

本文通过使用 SOLIDWORKS MOTION 的运动仿真功能，验证了猎人射猴这一经典运动学案例。在软件中尝试了不同的运动学边界条件，都可以得到相同的计算结果。使用 SOLIDWORKS MOTION 进行运动学仿真，具有很好的操作界面，并能生成可视化的动画及图解。学校老师在介绍这一案例时，也可以尝试使用 SOLIDWORKS MOTION 这一工具，为学生带来更多的物理体验。