

# Centrifugation Force and the Law of Circumferential Motion

Chunxing Du

Fangezhuang Circular Movement Research Center, Luannan County, Tangshan City, Hebei Province, Tangshan, Hebei, 063500, China

## Abstract

It is deduced through experiments that the object produces centrifugal force in the circular motion. The centrifugal force is the reaction force of the centripetal force, and it is an indispensable physical quantity to explain the circular motion of the object. It also explained how the centrifugal force is generated by the step-by-step reasoning method, and summarized the basic laws of the object in circular motion through experimental analysis, namely the centrifugal force and the law of circular motion.

## Keywords

circumferential movement; centripetal force; centrifugal force; momentum

# 离心力与圆周运动定律

杜春兴

河北省唐山市滦南县方各庄圆周运动研究中心, 中国·河北唐山 063500

## 摘要

经过实验推理出物体在圆周运动中产生离心力, 离心力是向心力的反作用力, 它是解释物体的圆周运动不可缺少的一个物理量。又用逐步推理的方法解释了离心力是怎样产生的, 并且通过实验分析总结出了物体在圆周运动中的基本规律, 即离心力与圆周运动定律。

## 关键词

圆周运动; 向心力; 离心力; 动量

## 1 引言

目前解释圆周运动的理论是做匀速圆周运动的物体受到一个拉力作用。这个拉力的方向虽然不断变化, 但总是沿着半径指向圆心, 所以这个力叫做向心力。向心力的方向总与物体运动的方向垂直, 物体在运动方向上不受力, 向心力的作用只是改变速度的方向, 速度的大小不会改变。

## 2 向心力

圆周运动是一种自然现象, 用物理理论描述这种自然现象的时候, 必须做到理论符合实际。向心力的作用只是改变速度的方向, 速度的大小不会改变<sup>[1]</sup>。这个解释圆周运动的理论不符合实际情况。例如, 一个人用自己最大的努力在半径1米的环形跑道上跑一百米, 休息一段时间后, 再到直线跑道上跑一百米, 其结果是在直线跑道上奔跑的速度大于在环形跑道上奔跑的速度, 这个实验做上万次都是这样的结果。如果改变环形跑道的半径, 就会发现环形跑道的半径越大, 人奔跑的速度就也大。环形跑道的半径越小, 人奔跑的

速度就越小, 人奔跑速度的增大和减小与摩擦阻力毫无关系。这个简单的实验证明了人在直线跑道上跑步只会受到摩擦阻力的阻碍, 人在环形跑道上跑步除了受到摩擦阻力的影响之外, 还受到其他阻力的阻碍。事实证明物体的运动方向发生改变时, 速度减小了, 这是不可争辩的事实。

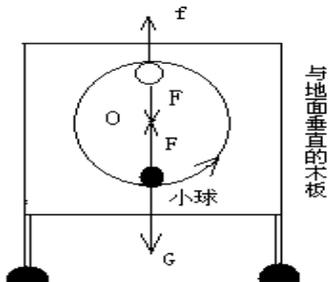
物体的运动方向发生改变时, 速度的大小不会改变, 这个理论不符合实际情况。物体的圆周运动还有物理学未知的理论, 为了正确合理地解释物体的圆周运动, 本文经过很多年的实验和研究, 结合目前的圆周运动理论, 总结出了离心力与圆周运动定律<sup>[2]</sup>。

## 3 离心力

图1的实验是把一块木板垂直固定在地面上, 中心的O点固定一根钉子, 把绳的一端套在钉子上, 另一端系个小球。当小球静止的时候, 小球受到地球引力的吸引产生重力G, 小球的重力竖直向下。绳子为小球提供竖直向上的拉力F, 小球的重力把绳子拉得很紧, 拉力与重力就是一对作用力和反作用力<sup>[3]</sup>。拨动小球让小球围绕O点做圆周运动, 绳子为小球做圆周运动提供向心力F, 向心力F的方向指向圆心。当小球旋转180°到达O点顶端的时候如图1所示。这时小球并没有因为重力作用而掉落下来, 而是把绳子拉得很紧,

【作者简介】杜春兴(1965-), 男, 中国河北唐山人, 从事物体的圆周运动研究。

这就证明小球在圆周运动中产生了一个力  $f$ ，这个力沿半径指向远离圆心的方向作用在小球上，使小球向着远离圆心的方向运动，并且拉紧绳子。这个拉力  $f$  与向心力  $F$  的方向相反，作用在同一直线上，它们是一对作用力和反作用力。



O- 圆心; F- 向心力 (拉力); G- 重力; f- 离心力

图1 小球在与地面垂直木板上的圆周运动

经过以上实验分析总结出：做圆周运动的物体能够产生远离圆心的力，力的方向虽然不断变化，但总是沿着半径指向远离圆心的方向，这个力是向心力的反作用力叫做离心力。

#### 4 离心力形成过程的推理分析

下面用逐步推理的方法论述离心力是怎样产生的。

##### 4.1 小球在两个斜面上的滚动实验

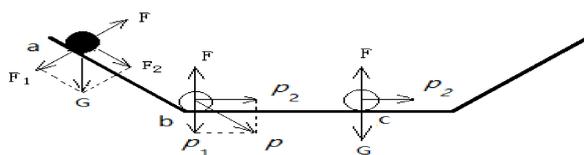
目前物理学界一致认可的一个理想实验：小球在两个斜面上的滚动实验如图2所示。在这个实验中，让小球沿着左侧斜面从静止滚落下来，小球将滚上另一斜面。伽利略推论说过，如果没有摩擦阻力，小球将上升到原来的高度。



图2 小球在两个斜面上的滚动实验

这个推论不符合实际情况是不正确的，如果没有摩擦阻力的影响，小球也不能升高到原来的高度，请看下面的分析。

在图3的实验中，小球在这两个斜面上滚动时，在不同的位置小球对斜面和水平面产生的压力不相等。在a点小球受到竖直向下的重力  $G$ ，但它并不能竖直下落，因为斜面对小球产生一个支持力  $F$ ，支持力  $F$  的方向与重力  $G$  方向形成大于  $90^\circ$  小于  $180^\circ$  的夹角，两个力的相互作用使重力  $G$  被分解。根据平行四边形定则，重力  $G$  被分解成两个方向的分力：垂直于斜面使小球紧压斜面的分力  $F_1$ ，平行与斜面使小球沿斜面向下滚动的分力  $F_2$ 。小球对斜面产生的压力  $F_1$  与支持力  $F$  大小相等，方向相反，作用在同一直线上，这两个力是一对作用力和反作用力。小球在斜面上滚动时，由于重力持续作用在小球上，因此压力并没有被抵消。



G- 重力; F- 支持力;  $F_1$ - 分力使小球紧压斜面的压力;  $F_2$ - 使小球沿斜面向下滑的分力;  $p$ - 小球的动量;  $p_1$ - 小球的动量转变成紧压斜面的压力;  $p_2$ - 使小球沿水平板运动的动量; a、b、c 分别表示小球的三个位置

图3 小球在两个斜面上滚动时重力的分解与动量的分解对比图

在这个实验中斜面对小球产生的支持力迫使小球的重力被分解，小球在分力  $F_2$  的作用下沿着斜面向下滚动，它的速度比竖直下落的速度小了很多，小球速度的减小主要是由于它在分力  $F_2$  的作用下产生的运动，这个分力  $F_2$  比原来的重力  $G$  减小了许多。

当小球滚动到b点与水平板相撞时，如图3的b点所示。小球由于惯性还要保持原来的匀速直线运动状态，因此小球的动量  $p$  保持原来的运动方向撞击水平板，水平板对小球产生支持力  $F$ ，这个支持力  $F$  的方向与水平板面垂直。小球的动量  $p$  的方向与支持力  $F$  的方向形成大于  $90^\circ$  小于  $180^\circ$  的夹角，它们的相互作用使小球的动量  $p$  被分解成两个方向的分动量：方向垂直于水平板使小球紧压水平板的分动量  $p_1$ ，平行于水平板使小球沿水平板运动的分动量  $p_2$ 。由于分动量  $p_1$  转变成紧压水平板的压力，压力与支持力大小相等，方向相反，作用在同一直线上，两个力被相互抵消了。这是由于小球的动量  $p$  被分解后保持很短的时间就消失了，因此这个压力也不能持续存在。小球在分动量  $p_2$  的作用下沿着水平板继续运动，这时候小球的分动量  $p_2$  小于原来的动量  $p$ ，因此小球的速度比原来减小了，在这里小球速度的减小与摩擦阻力无关（动量  $p = \text{质量} m \times \text{速度} v$ ，动量也是矢量，它的分解运算要按照平行四边形定则进行）。

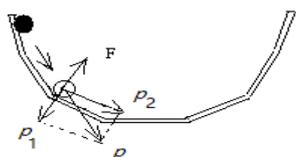
小球沿着水平板作直线运动，这时水平板的支持力与小球的重力方向相反，作用在同一直线上，小球的重力没有被分解，因此小球在水平板上产生的压力等于它的重力，如图3的c点所示。

小球在两个斜面的滑道上滚动一次，它的运动方向两次发生改变。小球每改变一次运动方向，它的动量就被分解消耗掉一部分，因此如果没有摩擦阻力的影响，小球也不能升高到原来的高度，这就是小球在两个斜面上滚动的实际情况。

##### 4.2 小球在多边形滑道上的滚动实验与分析

图4的实验是制作一个多边形滑道，让小球从滑道左侧最高处由静止滚落下来，小球沿着滑道的一个边做直线运动。当小球与另一边相撞的时候，如图4所示。小球的动量  $p$  与支持力  $F$  相互作用被分解成分动量  $p_1$  和分动量  $p_2$ ，分解过程同上。分动量  $p_1$  转变成压紧滑道面的压力。压力

与支持力  $F$  是一对作用力和反作用力，两个力相互作用被抵消了（由于动量  $p$  被分解以后就消失为  $0$ ，因此分动量  $p_1$  也只能保持很短的时间就消失为  $0$ ）。小球在分动量  $p_2$  的作用下沿着滑道继续作直线运动，当它的方向再次发生改变的时候它的分动量  $p_2$  再次被分解。小球在这个多边形的滑道上滚动的时候，它的方向多次发生改变，小球每改变一次运动方向就被消耗掉一部分动量，使小球的动量逐步减小到  $0$  停止运动。

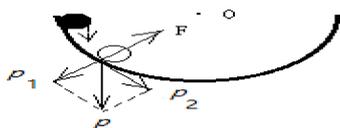


F-支持力； $p$ -动量； $p_1$ -分动量 小球紧压斜面的压力； $p_2$ -小球沿斜面运动的动分量

图4 小球在 polygon 滑道上滚动动量分解图

### 4.3 小球在半圆滑道上滚动分析与离心力的产生

图5是一个半圆形的滑道，这个滑道是由图4 多边形滑道演变而来，可以把半圆形的滑道看作是由  $n$  个多边形组成的滑道，便于人们理解。小球在这个滑道上滚动时，滑道面对小球产生的支持力  $F$  就是向心力。小球在这个滑道上沿切线方向做直线运动，当小球的位置发生移动的时候，支持力  $F$  也就是向心力  $F$  迫使小球改变运动方向。由于惯性要使小球保持原来的匀速直线运动状态，因此小球的动量  $p$  还保持着原来的运动方向与向心力  $F$  的方向形成大于  $90^\circ$  小于  $180^\circ$  的夹角。小球的动量  $p$  与向心力  $F$  的相互作用，使小球的动量  $p$  被分解成分动量  $p_1$  和分动量  $p_2$ ，如图5所示。分动量  $p_1$  转变成了紧压滑道面的压力也就是离心力（小球的重力产生的压力忽略不计）。离心力与向心力大小相等方向相反，作用在同一直线上，它们是一对作用力和反作用力。没有离心力就没有向心力，两者相辅相成，缺一不可。分动量  $p_2$  使小球沿切线方向继续做直线运动，当向心力再次迫使小球改变运动方向的时候，它的分动量  $p_2$  就会再次被分解，如此反复进行下去小球的动量就会逐渐减小为  $0$  停止运动，这就是小球在半圆滑道上滚动的实际情况。



O-圆心；F-支持力（向心力）； $p$ -动量； $p_1$ -使小球紧压滑道面的分动量（离心力）； $p_2$ -使小球沿斜线方向运动的动分量

图5 小球在半圆轨道上滚动动量分解图

## 5 离心力与圆周运动定律

根据以上的实验和推理分析得出下面的结论：

物体在圆周运动中总是沿切线方向做直线运动。当物体从一个质点运动到另一个临近质点时，向心力迫使物体改变运动方向，物体由于惯性还要保持原来的匀速直线运动状态，因此物体的动量还保持着原来的运动方向与向心力的方向形成大于  $90^\circ$  小于  $180^\circ$  的夹角。物体的动量与向心力的相互作用，使物体的动量被分解成两个方向的分动量：与向心力方向相反作用在同一直线上的分动量  $1$ ，垂直于向心力使物体沿切线方向运动的分动量  $2$ 。分动量  $1$  转变成离心力，离心力与向心力相互作用被抵消了。物体在分动量  $2$  的作用下沿切线方向继续作直线运动，向心力迫使物体再次改变运动方向，物体的分动量  $2$  再次被分解，离心力再次产生……。如此反复进行下去，直到物体的动量减小到零停止圆周运动。这就是物体在圆周运动中的基本规律。这个规律被称为离心力与圆周运动定律。

## 6 结语

离心力与圆周运动定律是否正确，每一个人都可以通过一个简单的实验来验证。例如坐在高速行驶的汽车里，当汽车直线行驶的时候，人以及车体的动量方向与汽车的运动方向相同，并且作用在同一直线上。汽车在运动中能够把这些动量百分之百利用起来（摩擦阻力忽略不计），因此汽车的发动机很省力也很省油。

当汽车转弯的时候，人以及车体由于惯性还要保持原来的匀速直线运动状态，因此人与车体的动量方向与汽车的运动方向发生分离。人向着与汽车运动方向垂直的方向运动，使人的身体挤压外侧车厢，车体也在向着外侧倾斜，这就是人与车体在圆周运动中产生了离心力，离心力与向心力相互作用被抵消了。汽车在转弯的过程中消耗掉一部分动量，因此汽车的速度减小了，这就是物体在圆周运动中的实际情况。

离心力与圆周运动定律描述了物体在圆周运动中的实际情况，它与当前的物理理论有所不同，希望读到这篇文章的人在坐汽车的时候体验一下，汽车在转弯的过程中是否能够把惯性势能百分之百利用起来，动量是否有消耗。

### 参考文献

- [1] 邢江勇. 关于向心力与离心力的分析 [J]. 技术物理教学, 1994 (S1):99-100.
- [2] 曹彦霞. 利用离心力巧解圆周运动问题 [J]. 小作家选刊: 教学交流旬刊, 2011(4):106.
- [3] 吴禄保. 曲线外轨超高受力分析 [J]. 铁道运营技术, 2000(4): 172-173.