

漫话陀螺

翟羽健 编

新 时 代 出 版 社

漫 话 陀 螺

翟羽健 编

新 时 代 出 版 社

内 容 简 介

这本小册子是一本科学普及读物。作者从玩具陀螺谈起，对陀螺效应和自然界存在的陀螺各种现象做了通俗易懂的介绍，并从科技应用的角度，进一步叙述了陀螺在航空与航海、火炮与导弹、车辆与运输，以及矿山与勘探中应用的成效。作者试图通过这些介绍，强调说明在自然界和人类生活中所呈现的陀螺现象和效应的普遍性及其对人类的意义，从而使广大读者增长对有关陀螺的科学知识。

本书供中等文化水平的读者，特别是青少年学生和从事陀螺仪器生产的工人，以及一般科技人员阅读。

漫 话 陀 螺

翟羽健 编

责任编辑 高润琴

*

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 4.25印张 89千字

1985年1月第1版 1985年1月北京第1次印刷

印数：0001—3150册

统一书号：15241·45定价：0.45元

前 言

陀螺效应是自然界中十分常见的物理现象，它和摩擦一样，对某种要求是有益的，而对另一种要求又是有害的。

陀螺现象的发现渊源已久，然而，只是到本世纪，科学家们才利用这一现象——陀螺效应研制成各类陀螺仪器设备，形成一门科学技术。这种仪器设备对航海、航空和航天技术的发展起着重要的作用，近代在采矿、交通等领域也得到广泛地应用。陀螺效应还被文艺、体育领域用来创造出使人感到奇妙的运动技术和光彩夺目的表演。目前三大战略武器的发展对陀螺仪器的研制提出越来越高的要求，进而已成为一项多学科的综合性尖端技术。

尽管如此，人们对陀螺还是陌生的。在科学发展一日千里的今天，为了陀螺知识的普及，并提醒人们重视陀螺现象的存在和利用，编写了这本小册子，期望在我国更广泛地开拓陀螺技术应用领域。本书的特点是文图并茂、通俗易懂、内容比较丰富。

本书在编写中得到万德钧同志的指导和协助，谨致谢意。

编 者

目 录

第一章 陀螺技术的摇篮	1
§ 1 旋转的启发	1
§ 2 最初的尝试	9
§ 3 奇异的特性	13
第二章 陀螺现象千姿百态	19
§ 1 自然界的奇迹	19
§ 2 生物体的本能	27
§ 3 运行体的异常	35
第三章 陀螺应用卓有成效	44
§ 1 航空与航海	44
§ 2 火炮与导弹	68
§ 3 车辆与运输	82
§ 4 矿山与勘探	93
§ 5 生产与生活	99
第四章 陀螺技术现状及展望	108
§ 1 现代陀螺及展望	108
§ 2 惯性导航一瞥	122

第一章 陀螺技术的摇篮

§ 1 旋转的启发

人们对陀螺既熟悉而又陌生。陀螺作为一种喜闻乐见的孩童玩具，早已家喻户晓。然而，作为一门科学，一门技术，无论是陀螺现象在宇宙中存在的普遍性，还是它在当今世界对舰船、飞机、火箭、兵器、矿山、车辆以及体育运动发展中所发挥的举足轻重的作用，往往仅为寥寥无几的专业工作者所研究探讨。

陀螺玩具的出现渊源已久。能动的，尤其是能转的东西，总是在婴儿幼小而好奇的心灵中，激发起极大的兴趣。陀螺恰是能够促进婴幼儿动作、语言、观察力、想象力等智能发育和发展的一种简便而有效的玩具。也许，这就是为什么早在远古时期，人类的祖先就制出这种趣物的原因吧！

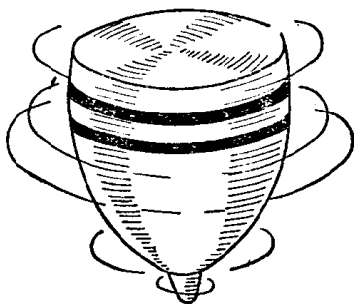


图1-1 玩具陀螺

我国在四世纪就有了这种陀螺，并观察到了它的奇异现象。“陀螺者，木制，如小空钟，中实而无柄。绕以鞭之绳，卓于地。急掣其鞭。一掣，陀螺则转，无声也。视其缓而鞭之。转之疾，正如卓立地上，顶光旋旋影不动”。

陀螺形状千姿百态，制作用料也五花八门。在我国，陀螺多为木制，常称作不倒翁；印尼人用粘土拌马毛制作；澳大利亚人把蜗牛壳作陀螺；菲律宾人常用可可果；而在俄国格鲁吉亚和白俄罗斯等地使用了一些坚果，芜菁、土豆和葱头。在日本，陀螺以木制，并装一金属环，称为醉翁。

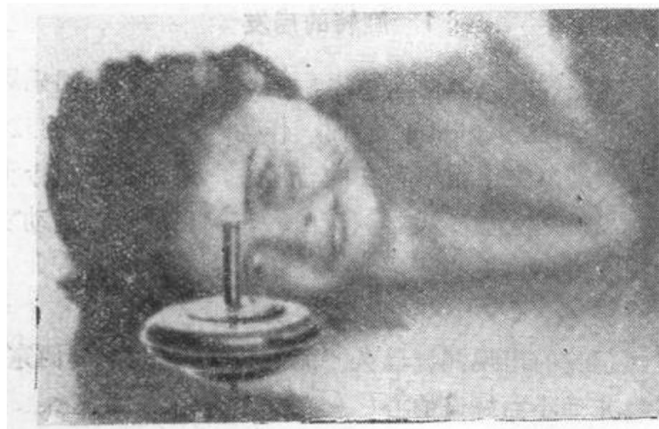


图 1-2

如今，陀螺仍为儿童所喜爱，而且它已机械化大批生产，结构精巧，外形美观，色彩鲜艳，并能发声（图1-3）。往复压动手柄，陀螺即快速旋转，光彩夺目，发出悦耳的声响。

陀螺旋转后，产生奇特的性能。它不仅不会倾倒，而且还有保持旋转轴在空间位置不变的能力。这种陀螺现象吸引了儿童，同时也引起古代狩猎者的重视。

狩猎者投掷木棒猎取飞鸟和野兽时，发现旋转着的木棒投的更远更准。因此，在弓箭尚未出现之前，制成了所谓的飞旋镖，被澳洲土著、印第安人、印度山区部落和其它许多地区的民族所广泛使用。

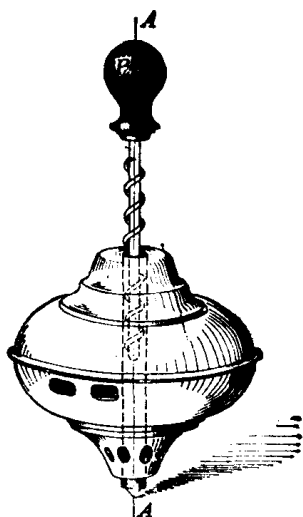


图1-3 现代玩具陀螺



图1-4 飞旋镖

飞旋镖是一根弯成 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 的木条，厚约1厘米，长达半米（图1-4）。这种飞镖具有惊人的性能：它在击中飞禽后，可以自动返回原地。原来，飞旋镖不仅沿斜面直线飞行，而且还绕镖面垂直轴旋转，形成陀螺体，保持在飞行中的稳定位置。

由于空气阻力或击撞飞鸟使前进速度消失时，飞旋镖在重力作用下旋转着开始沿稳定的斜面下滑。如果狩猎者手法熟练，掌握好投出时的斜角，那么飞旋镖又会稳定地飞回猎人身边。一个飞旋镖可以不停地连续使用，而又不必浪费时间在草丛中寻找投出去的武器。

今天，飞旋镖已由狩猎武器，变成运动器械，深为澳大利亚人所喜爱。

在俄国，居住在叶尼塞河和塔兹河下游的尤拉克人把陀

螺作为日用品，供照明用。这种木制带尖脚的陀螺放在一个酒杯形的容器里（图1-5），容器壁有一通孔，并把篝火里的一些木炭投入容器。然后转动陀螺，空气由侧孔进入容器，木炭燃烧而发光。尤拉克人观赏着这绚丽而明亮的光环，在昏暗的帐篷里消磨着那漫长的极夜。

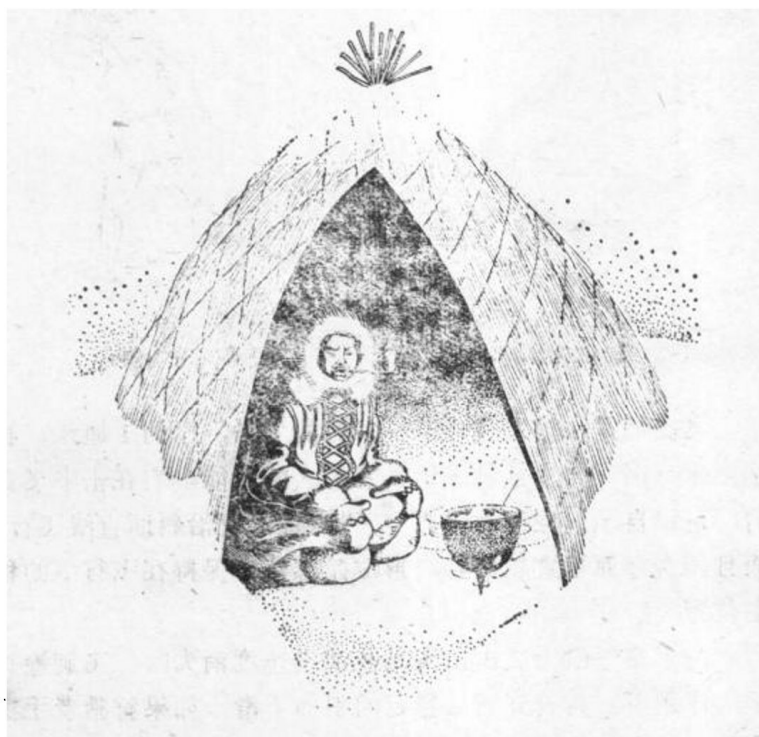


图 1-5

我国杂技艺术具有悠久的历史，一向以精湛的技艺驰名于世。杂技演员依靠熟练的技巧，利用陀螺稳定性能作出了各种脍炙人口、丰富多彩的表演。

甚至最有才华的演员，也难于同时把两个以上的瓷碟用

细杆停在空中。然而,却能自如地表演十个或更多的转碟,并可作出各种惊人的动作。人们也常常看到,表演者把草帽抛向大厅上空,绕场一周后又平稳地落在演员头上。这和澳大利亚土人所使用的飞旋镖(澳大利亚人把它叫作飞去来器)具有同样的道理。北方流行的空竹,南方所喜爱的竹蜻蜓,都具有典型的陀螺现象。

竹蜻蜓是一千四百年前我国发明的一种民间玩具,它是一个削成扭曲形状的竹片,并在中间位置装一垂直的细棒。用手使劲搓动细棒,竹蜻蜓便直窜天空。竹片的形状保证竹蜻蜓获得足够的升空力,而旋转后竹片形成陀螺体,使其始终保持竖直的位置。



图1-6 转碟

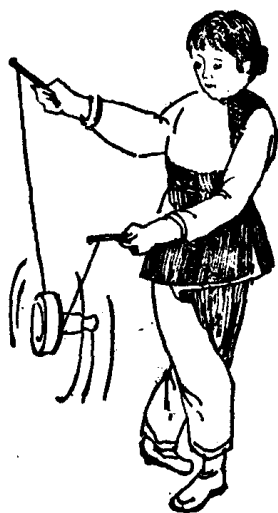


图1-7 空竹

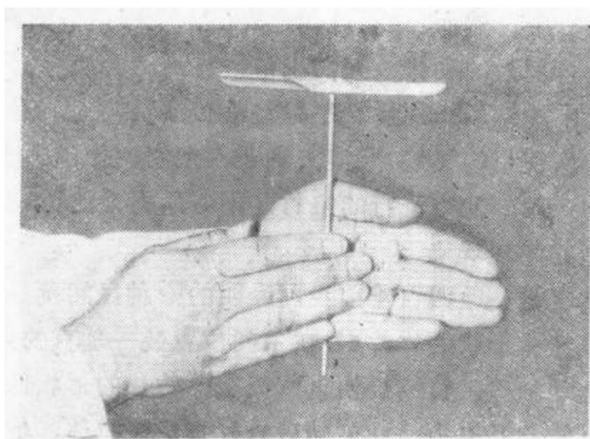


图1-8 竹蜻蜓

在体育运动中，陀螺现象也是不胜枚举的，不过，往往被人们所忽视罢了。

铁饼，它早在 708 年就定为古希腊奥林匹克运动项目，陀螺效应在铁饼投掷中起着十分重要的作用。铁饼在飞行中，象炮弹一样要受到空气的阻力，气流动力总是力图翻转铁饼，使其端面垂直于飞行方向，严重影响投掷距离。

为了消除这种翻转现象，在投出瞬间，不仅使铁饼具有直线速度 V ，并且让它绕对称轴旋转，其角速度 Ω 通常为每秒 5~8 转。这时铁饼变成一个陀螺体，转轴位置稳定不变，使铁饼保持最小受力姿态，借此以提高投掷距离。

在花样滑冰、跳水、艺术体操和许多其它类似的运动项目中，运动员普遍地利用陀螺稳定特性完成一系列高难度的动作。排球运动员所发出的，令对方难以对付的各种“怪球”；足球运动员踢出的能够越过人墙，直接入网的弧线球，以及近年来在乒乓球比赛中出现的，令人眼花缭乱的旋转球，无一不是利用陀螺特性而获得成功的。

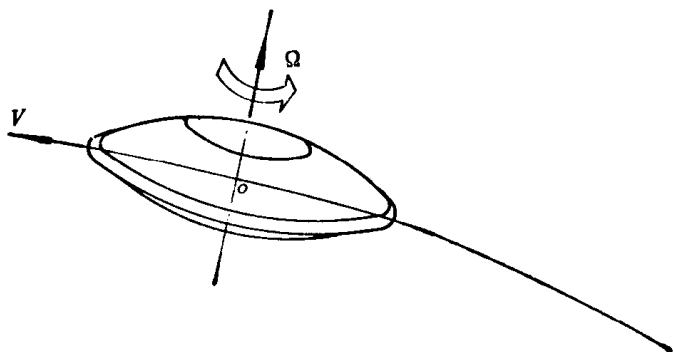


图1-9 铁饼



图 1-10

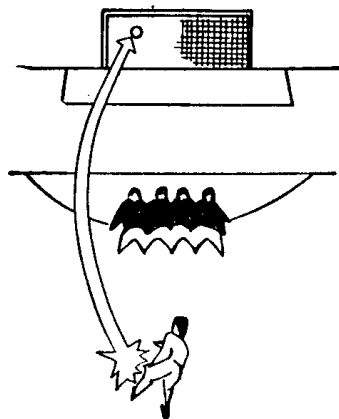


图 1-11

不转的球体被抛出后，总是要按照大家所熟悉的抛物线轨迹下落，同时，这个飞行轨迹必定位于同一垂直平面内。人们在生活中对于这种下落规律习以为常，所以容易接住扔过来的任何物体，对于运动员来说，更是易如反掌，即使球速

再高，也不难对付。当前各种球类竞技水平日新月异，提高很快，在比赛中，使用各种出奇制胜的“怪球”，诱使对方判断错误而失误。

这些“怪球”主要怪在球的飞行轨迹变化多端，使足球守门员判断失误，措手不及；球接触台面或人手以后，会出现异常反弹现象，使乒乓球运动员忙于应付；使排球运动员不能一传到位立即组织进攻。

球的飞行轨迹虽然千差万别，然而，都是利用球的各样不同方向的旋转而得到的。

当球旋转时，形成陀螺体，它的转轴方向在空间保持稳定不变。这种旋转的球在空中运行过程中，球体周围的空气也随着球的表面而转动，因而形成环流，并对球产生一定的压力。压力的大小是循着流体力学中“流速越大，压力越小；流速越小，压力越大”的规律而运动。由于球旋转的性质不同，所产生的空气压力也有差异。如果球向前下方回旋（图1-12 a），那么球体下部的空气流速大，压力小；球体上部空气流速小，压力大，因此其压力差将迫使在空气中飞行的球

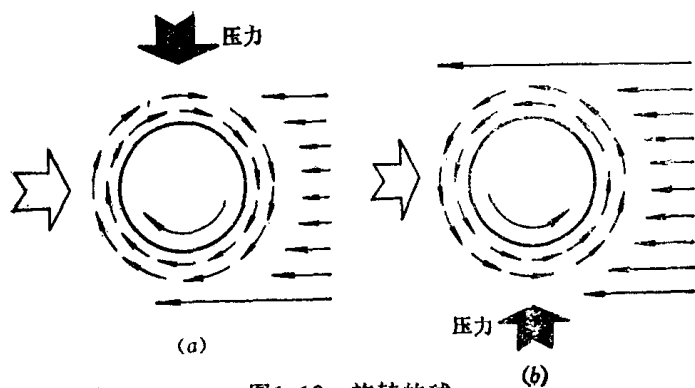


图1-12 旋转的球

急速地向前下方坠落，从而改变了运行轨迹，缩短了运行距离。当球向前上方回旋时（图1-12 b），情况恰好相反，其压力差方向朝上，空气给予球体一个浮举力，使球缓缓下落，延长了运行轨迹。

如果球体向左侧或右侧旋转（图1-13），这时会由于转轴的稳定性和球体旋转而形成的压力差，迫使球体向左侧或右侧沿弧线运行。这种弧线球在足球和排球比赛中是经常被运用的（图1-11）。

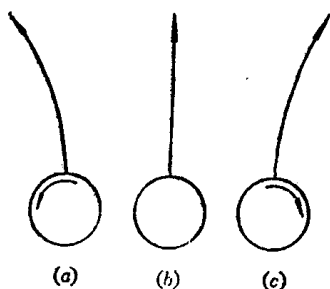


图1-13 弧线球

旋转是宇宙间物质运动的主要形式，无论是巨大的天体，还是微小的电子都在不停地旋转。从广义角度讲，凡是能产生较大动量矩的旋转物体就称为陀螺。动量矩等于物体转动惯量 J 与物体旋转角速度 Ω 之积 $H = J\Omega$ ，其方向与角速度 Ω 方向相同。陀螺具有保持自转轴位置在空间稳定不变的能力，这种稳定现象只是陀螺特性之一，专业行话称之为定轴性。

§2 最初的尝试

虽然人类的祖先早就发现了陀螺现象，并且依靠他们的智慧在那原始的生活和劳动中也或多或少地应用了陀螺的特

殊性能，他们的璀璨业绩，至今还为人们所赞叹不已。然而，陀螺成为一门技术和一种科学仪器，那只是十九世纪以后的事情。

一门新兴科学技术的诞生和发展，显然不是少数人的聪明才智所能成就的。在把自然界存在的，朴实的陀螺现象上升为严格的力学规律，在把孩童玩具陀螺演变成精密科学仪器的过程中，无数专家学者历尽艰辛，并取得了光辉的成果，其中具有代表性的人物，为著名的法国科学家傅科（Foucault Léon）。

地球是旋转的，这已是尽人皆知的普通常识。然而十九世纪以前，不少学者曾为此呕心沥血，壮志未酬。究竟是太阳和其它天体绕地球旋转呢，还是地球自转又同时绕着太阳旋转呢？当时有两种截然不同的说法：一种是地球中心说，其代表是脱勒玫；一种是太阳中心说，其代表是哥白尼。当时支持哥白尼太阳中心说的许多学者都在不同程度上受到了教会的迫害，著名的伽利略就是其中一个。他几乎整个一生都遭到宗教裁判所的打击。在审判时，他虽讲不出很多道理，但一直坚持：“不管怎么说，反正地球在旋转”。伽利略的见解和结论显然是正确的，但还缺乏充分的科学根据。因此，多少年来，科学家们都在寻求实验的方法来证明地球在旋转。后来，还是陀螺帮了大忙。

傅科利用高速旋转刚体的空间稳性设计并制成了最早的陀螺仪模型，试图利用它来证明地球的自转运动，所以人们把傅科所定义的陀螺又称《转动指示器》。

傅科陀螺如图1-14所示，它有一个对称的转子，转子轴——在技术上称为主轴，安装在一个水平环——内环（内框架）轴承上，由细绳拉动轴（驱动力矩）使转子旋转。水平

环外再装一垂直环——外环（外框架），内环通过轴承与外环相连，外环又通过轴承与运动体（基座）相连，使转子相对基座具有三个角运动自由度。

这种陀螺的主轴可以绕水平轴和垂直轴自由转动，所以叫作双自由度陀螺，简称两度陀螺。

傅科陀螺的结构，在现今看来，似乎简陋不堪，然而在当时，是一个了不起的成就。同时，傅科也正是利用这个看来简陋的陀螺仪，实现了自己的宏愿——证明地球转动的事实，并于1852年9月27日，在法国科学院发表了他著名于世的论文，给陀螺技术的发展打下了坚实的基础。

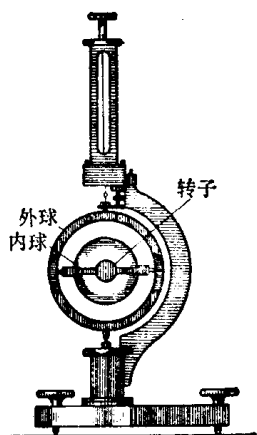


图1-14 傅科陀螺模型

可以把地球近似地看作是一个转动的球体，它的运动由好几种转动组成，其中主要是地球自转的昼夜转动，这个转动的矢量 ω_e 沿着从地心到北极点的地轴方向，其模为

$$\omega_e = \frac{2\pi}{86164.1} = 7.29212 \cdot 10^{-5} \text{秒}^{-1}$$

式中的分母为恒星日的秒数。除了这个转动外，还有地球的进动、地球的章动和地球的移动。但这些运动的角速度远远小于 ω_e 。这些附加转动造成的误差，在方向上不过弧度秒的几分之一，在数量上也只是在十位小数以下。地球表面的任何一点的转动角速度又可用 ω_e 的两个分量来表示：一个是地球自转水平分量 $\omega_1 = \omega_e \cos \phi$ （ ϕ ——所在地理纬度）；一个是地球自转垂直分量 $\omega_2 = \omega_e \sin \phi$ （图1-15）。

由于陀螺主轴具有相对空间的稳定性，所以利用陀螺可以很方便地证明地球的转动现象。可以想象，假设我们站在宇宙空间，从地球北极N方向观看这个巨大的天体。如在初始时，陀螺位于赤道上的 B_0 处（图1-16），主轴 AA 从西到东水平放置。地球的转动使 B_0 点的位置不断改变：3小时后移到 B_3 点；6小时后移到 B_6 点；12小时后移到 B_{12} 点等，经24小时后回到原处。

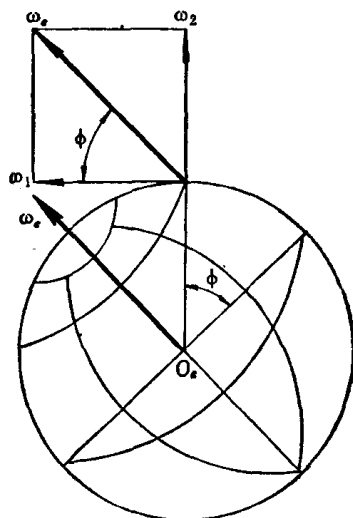


图1-15 地球自转角速度分量

地球表面任何一点的水平面，都垂直于通过这一点的地球直径。因此，从宇宙空间观看时，赤道上各点的水平面是一组切线： b_0b_0 、 b_3b_3 、 b_6b_6 …。可见，水平面的位置也在空间不断地变化。

陀螺放置在 B_0 点，将随地球一起转动，但是，主轴 AA 将始终保持相对宇宙空间稳定，而逐渐偏离水平面，同时这个偏离角就是地球转动的角度。