

PHILOSCIENTIA

看世界

翱翔天空

FLYING

动物飞行起源探究

张福成 周忠和 著

上海科学技术出版社

华北水利水电学院图书馆



207358278

飞翔

Q44

Z100

资助项目

翔



动物飞行起源探究

图书

天

张福成 周忠和 著

QA94/04

空

上海科学技术出版社

735327

图书在版编目(CIP)数据

翱翔天空: 动物飞行起源探究/张福成, 周忠和著.
--上海: 上海科学技术出版社, 2003.10

(看世界)

ISBN 7 5323-7137-9

I. 翱... II. ①张... ②周... III. 动物-飞翔-起源-研究 IV. Q44

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第053295号

责任编辑: 彭江杰

版式设计: 赵 峻

电脑制作: 黄 宁

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号 邮政编码200020)

上海精英彩色印务有限公司印刷

新华书店上海发行所经销

开本787×1092 1/32 印张5 字数115千

2003年10月第1版 2003年10月第1次印刷

印数 1 5200

定价: 20.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

内

容

提

要



千百年来，人类一直对在天空翱翔的鸟类仰慕不已，并在最近 100 年内借助航空器实现了他们的飞行梦想。然而，早在 3 亿年前，昆虫就成功地飞向天空；在 1.5 亿年前，鸟类借助长有羽毛的翅膀也飞上了蓝天；在 5 000 万年前，蝙蝠利用由四枚延长的手指形成的翅膀也飞了起来；更有翼龙曾利用它们高超的飞行能力称雄地球天空达 1.5 亿年之久，而它的翅膀只是由一枚手指极度延长构成的……飞行的世界如此多姿多彩，引人入胜。

指
导
委
员
会
名
单

CONTEMPORARY
CHINESE
ART

尚 勇

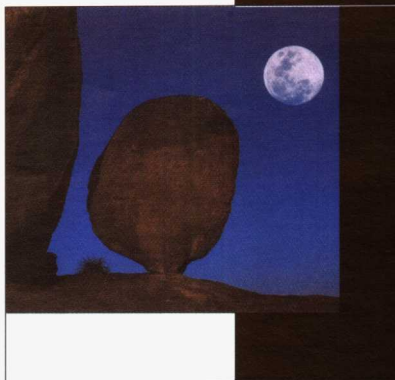
姜伟新

刘燕华

张景安

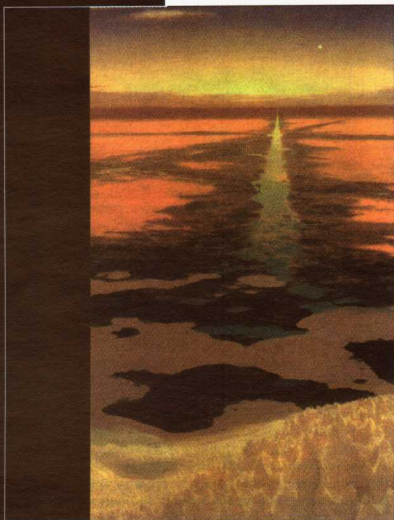
朱传柏

张晓原



编
委
会
名
单

CHINESE
LITERATURE



主任

董光璧

副主任

田 洺 吴智仁 李 普

委员

(以汉语拼音为序)

江晓原
林 新
刘 兵
田 松
王一方
吴国盛
赵慧君

在近代科学诞生的17世纪初

期，整个世界的人口才区区 5 亿，即使到了 1940 年时，人类的总数也不过才 20 亿，在耕地面积没有明显增加和人类的基本粮食种类没有根本改变的条件下，到了 2000 年的时候，这个世界已经可以存活 60 亿人。奇迹的产生就源自科学技术的高速发展。然而，科学技术改善的并不只是人类的物质生活。它的另一个重要的作用就是改变了我们对世界的看法。

在过去的400多年里,科学技术对人类生活和思想的方方面面都产生了极大的影响。科学技术的进步得益于它是一项需要不断有所发明、发现、创造和创新的工作,也得益于科学领域的不断拓展,其结果则是科学技术的快速发展要求人们必须跟上它的步伐,否则,谁都难以在现在和未来的社会中很好地生活下去。因此,了解科学技术的发展,对于公众,尤其是成年人来说,不仅是消遣或者增加见识,而且是生活的必需。

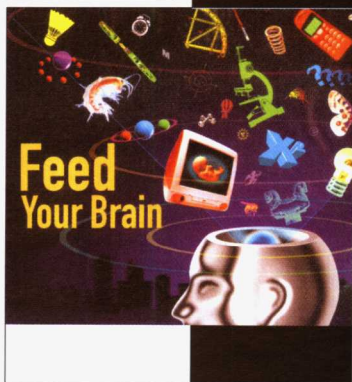
这就是我们组织、策划和编撰这套丛书的目的。

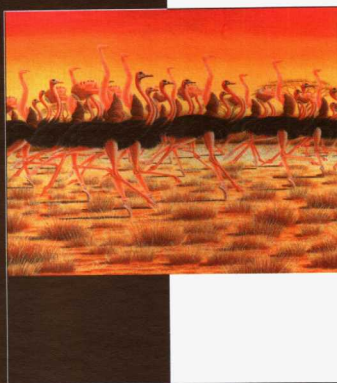
《看世界丛书》编委会

2001 年 12 月

总

序





- | | |
|-----|----------------------|
| 1 | 第1章 飞行的世界 |
| 15 | 第2章 昆虫的飞行 |
| 31 | 第3章 灭绝的飞行动物——翼龙 |
| 47 | 第4章 翼龙身体结构 |
| 63 | 第5章 飞行的精灵——鸟类 |
| 79 | 第6章 鸟类飞行地栖起源学说 |
| 91 | 第7章 鸟类飞行树栖起源学说 |
| 107 | 第8章 夜空的主宰——蝙蝠 |
| 123 | 第9章 蝙蝠飞行的演化 |
| 139 | 第10章 航空器——人类飞行梦想的承载者 |

第 1 章 飞行的世界

迄今为止，生存在地球上的生物还没有谁能成功地摆脱地球引力的束缚。为数不多的宇航员即使是乘宇宙飞船遨游太空，也是在地球引力的操纵之下。N. 阿姆斯特朗和他的同事也仅仅是登上了地球的卫星——月球，仍然没有真正脱离地球。但是，地球上的生命向天空发展的努力从来就没有停止过，他们甚至还通过多种途径取得了不小的成功。

各种飞行动物的起源

现在地球上三分之二的物种具有飞行的能力，这些物种绝

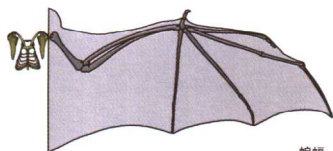
物种是生物界发展的连续性和间断性统一的基本间断形式。对有性生物，物种呈现为统一的繁殖群体，由占有一定空间、具有实际或潜在繁殖能力的种群所组成，而且与其他这样的群体是隔离的。



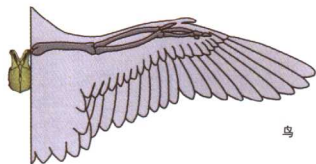
会飞的文鳐鱼可以在水上滑翔几十米

大多数属于昆虫。昆虫也是最早飞向天空的种类，早在3亿年前就能翱翔蓝天，并且在今天仍然延续着它们的飞行史；如果仅从数量和种类而言，说昆虫是地球上最成功的一个类群并不过分。

在无脊椎动物王国中，能



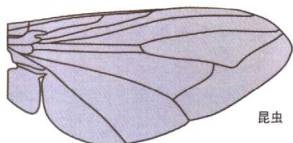
蝙蝠



鸟



翼龙



昆虫

尽管昆虫、翼龙、鸟和蝙蝠同为具有主动飞行能力的动物，但是它们的翅膀是各不相同的

在空中飞行的仅有昆虫这一支；而在脊椎动物这个大的类群中至少有 3 个成功飞上天空的种类，它们是翼龙、鸟和蝙蝠。这三类脊椎动物和昆虫都各自独立地解决了克服重力这个难题。

大约在 2.2 亿年前，脊椎动物中的最早飞行动物、爬行动

物的一支——翼龙凭借它们的第四手指形成的翅膀飞上了天空。在 1.5 亿年前，另一种脊椎动物——鸟类凭借长有羽毛的翅膀飞上了蓝天。在 6 500 万年前的白垩纪末期，翼龙和恐龙一起灭绝了，从此爬行动物中只残存下四大类：鳄鱼类、蛇类和蜥蜴类、龟类以及楔齿蜥类。随后哺乳动物和鸟类成为脊椎动物演化史的主角，分别成为陆地和天空的主宰。在 5 000 万年前，哺乳动物中的一支——翼手目动物蝙蝠利用由四枚手指延长形成的翅膀也飞上了蓝天。

动物获得飞行能力后，收获是巨大的。飞行动物既具有了空前的取食能力，同时也具有了空前的躲避敌害的能力；既可以最大限度地适应恶劣的生存环境，又可以大大扩展其



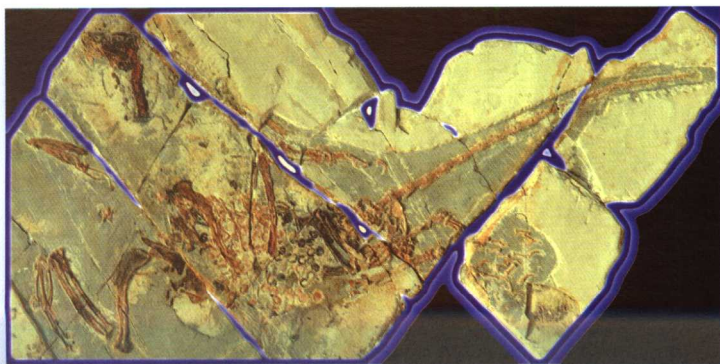
失去飞行能力的鸵鸟还有重返蓝天的梦想吗？

领地范围。同时，为了适应飞行，所有具有主动飞行能力的脊椎动物——翼龙、鸟和蝙蝠都付出了极大的代价：牺牲前肢。可见翅膀的获得并不是大自然的奢侈赐予。而在这点上飞行的昆虫显然获得了大自然的偏爱，除了具有“六肢”外，它们中的绝大多数还额外获得了两对翅膀，在这点上它们是大自然的宠儿。

在距今约200万年前出现了另一类奇特的哺乳动物——人，并在7000多年前进化成现代人类，他们假借非自身的“器官”，在100多年前也飞上了天空，并且在30多年前成功地穿

过大气层，登上了地球的卫星——月球，这是其他飞行动物——昆虫、翼龙、鸟和蝙蝠等永远也不能做到的。

为了对各种飞行动物的起源和持续的时间有个比较感性的认识，P. 韦尔恩霍费尔等科学家形象地把从地球诞生到现在的46亿年换算成我们熟知的一个昼夜——24小时的时间，即46亿年前的地球就相当于一天的开始00:00，而现在相当于一天的结束24:00；这样每小时代表了19 166.66 67万年，每分钟代表了319.44 44万年，而每秒相当于5.32 41万年，那么地球生命的“一天”就是这样的：



长尾巴的热河鸟展示了它的最后一顿晚餐

原羽鸟化石究竟能折射出多少飞行的光芒?

四种飞行方式

实际上除了我们熟知的蜻蜓、麻雀等拍动翅膀的鼓翼飞行方式外,还存在着其他的飞行方式。如果按着K. 帕迪恩等人的观点,脊椎动物的空中运动一般可以划分为四种不同水平的方式,由低到高依次为:降落、滑翔、鼓翼飞行、翱翔。任何一种具有“较高水平”空中运动能力的脊椎动物,都应同时具有“较低水平”的飞行能力。

降落 一种最简单的空中运动方式。如果按最基本或最广义的飞行定义，任何动物都应该具有降落的能力，一般而言从高处向低处的运动都属于降落。但在研究飞行时，我们一般只把降落方向与水平线的夹

角大于45度的下降称为降落。具有较好降落能力的动物一般可以在空中以较慢的速度运行,并且可以进行相对较短距离的水平位移,因为相对于重量它们一般都具有较大的表面积,所以也具有较大的阻力,可以减慢动物的运行速度,并可以借助空气阻力产生一定的水平位移。猫在降落时张开后肢以增加阻力,人类也正是利用这种方式进行跳伞等运动。

滑翔 一种更加精巧的降落,可以简单表述为“下降角小于45度的降落”,这意味着具有更长的水平运动距离。具有滑翔能力的动物一般具有可以产生升力的翼状结构,使之能在空中停留更长的时间、滑行更长的距离。它们一般也都具有

流线型的外表,以减少空中运行的阻力。滑翔在脊椎动物中广泛存在,在一些爬行动物、哺乳动物乃至鱼类中,都存在这种运动方式。事实上,在绝大多数的脊椎动物类群中,都存在或曾经存在可以滑翔的种类。人类可能也是受滑翔动物的启发,发明了滑翔机。

鼓翼飞行 最常见的一种空中运动方式,因为我们周围有那么多运用这种飞行方式的昆虫、鸟和蝙蝠。降落和滑翔时,动物只是在空气被动地下降,并不拍动它们的“翼”,所以也没有肌肉能量的有效输出,它们向下运动和水平运动的能量都来自它们所在高处的势能,也就是地球的引力。而鼓翼飞行时,动物将拍动翅膀,以产生推力来增加运动速度和飞行高度,动物也因此具有更强的空中控制能力。鼓翼飞行具有飞行肌肉的有效能量输出,所以真正的飞行脊椎动物可以水平运动,甚至能以恒定的速度爬升。

翱翔 飞行的最高境界。表面上看,翱翔似乎是一种非



鳞尾松鼠的翼膜从前肢的肘部一直延伸到体侧、后肢和尾的根部,滑翔距离可达200米

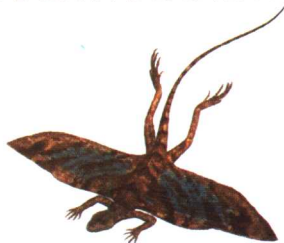
常“原始”的运动方式，几乎等同于滑翔。但实际上，翱翔是一种非常复杂的行为。翱翔动物可以有效地利用周围空气的能量使身体保持恒定的水平高度，有的甚至可以凭借上升的气流翱翔到非常高的高度。翱翔需要特殊的生理和形态适应。除了在起飞、着陆和翱翔中的轻微调整外，一个翱翔的动物是不需要拍打翅膀的，所以这种运动方式的能量损耗非常有限。只有个体较大的动物才可能是成功的翱翔者，在进化过程中也只有为数较少的翼龙和现代鸟类，才进化到了如此“高级”的水平。



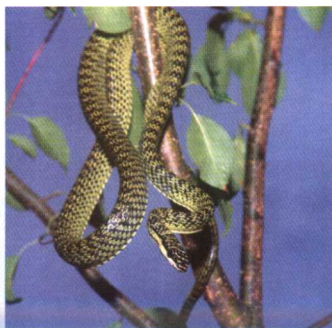
海鸥的翱翔飞行

动物界形形色色的飞行尝试

显然，由于飞行的各种诱惑力要远大于为此可能要付出的代价，所以几乎所有的脊椎动物都做过飞行的尝试，从鱼纲的飞鱼、到两栖纲的树蛙、到爬行纲、哺乳纲的更加繁多的不同种类都对飞行进行了探索。尽管它们中的大多数种类最终



一些现生的爬行动物具有发达的肋骨，支撑体侧的皮肤形成滑行的翅膀



生活在东南亚的天堂金花蛇尽管没有飞行翼膜，但是它们同样具有飞行能力

并没有演化出像蝴蝶、麻雀或者吸血蝙蝠那样灵巧的飞行能力，但这些脊椎动物也不是失败者，它们同样在纷繁的飞行世界中展示着各自优美、华丽、奔放的风采。

飞鱼

飞鱼属于鱼类的辐鳍亚纲，仅就在空中的运动表现，它们似乎处在滑翔与飞行进化的两可之间。这是因为在空中运动时，飞鱼有拍打“翅膀”——胸鳍的动作，这种高超的本领是昆虫、翼龙、鸟和蝙蝠这些具有主动飞行能力动物所特有的。非常遗憾的是，研究发现这种拍动不能给飞鱼以前进的动力，不能增加它们的空中运动距离，所以它的空中运动似乎更应该属于滑翔运动。飞鱼的这种空中滑翔可能是逃脱被猎食危险的一种手段，也可能是在炫耀其本领非凡：飞鱼在水下快速游动，然后通过尾部的有力弹动把自己弹射到空中，进而在空中滑行很长一段距离。

黑点树蛙

黑点树蛙是一种树栖的无



一些树蛙同样具有滑翔能力

尾两栖动物，它的手脚具有有利于爬树的特殊构造。它的指(趾)间蹼状结构非常发达，这种结构不仅有利于它们在水中游泳，同时为其在空中滑翔提供了空气动力学特性。不仅如此，树蛙的体侧皮肤在滑翔时也可扩展，增大了空中运动的表面积。树蛙不仅具有简单的降落本领，而且还能应用一些简单的空中滑翔技巧，例如在空中运动中可以施展转弯等技巧动作。由于具有这些本领，树蛙可以较快地到达盛产食物的池塘、便捷地享受它们的美味佳肴。

飞龙

飞龙属于蜥蜴类爬行动物，主要以蚂蚁等小型昆虫为食。它的肋骨有一定的活动性并大大延长，以支持身体两侧

的皮膜。它具有非常快速的爬树本领，并能在树枝间跳跃和滑翔，身体两侧展开的皮膜就是它滑翔时的翅膀。作为翅膀的皮肤翼膜内部含有许多血管构造，也具有将身体热量散失到外界环境的功能，所以该翅膀也是一个体温调节器官。同时，飞龙也可以利用它们橙黄、红、蓝、黑斑块相间的翅膀向异性展示魅力，进行求偶炫耀。在滑翔方面，飞龙具有很高的本领，它在高10米的树上可以滑翔到40多米外的地点。

实际上在2.5亿年以前的二叠纪，就生活着很多种类似飞龙这样的滑翔动物。这些蜥蜴大小的动物也同样具有非常发达的肋骨，以支撑外部包绕的肌肉和皮肤，共同形成具有空气动力学特性的翅膀。推测这些动物依靠这种特殊的翅膀，也同样可以进行类似于现生动物飞龙一样的滑翔飞行。

沙氏龙 1971年苏联动物学家A.G. 沙罗夫(A.G. Sharov)在现在中亚的吉尔吉斯斯坦发现了一种非常奇特的

飞行动物，后来被命名为“沙氏龙”。沙氏龙这个化石标本保存得非常完好，即使在240万年后的今天仍然可以清晰地辨认出它的皮肤印痕。沙氏龙身体细长，体长约25厘米，脖子相对较长，后肢非常长，但前腿则相当短。沙氏龙的两条长腿和尾巴的前半部附有三角形的翼膜，形成一种真正的、附着在后肢上的翅膀。当然沙氏龙可能并不是用它们后肢上的翼进行鼓翼飞行的，但是沙氏龙可能确实是用这种特殊的翼来进行滑翔的。在飞行中，它的大腿可以略摆向前方，这样小腿和脚部与身体就可以呈大约90度的直



沙氏龙的翅膀主要由后肢支持，
不同于其他动物



生活在两亿多年前的长鳞龙背部有发达的鳞片，应该具有不俗的飞行能力

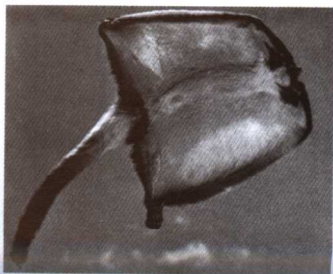
角，扩展了翼展面积。有的人甚至推断沙氏龙的体侧和前肢的后部也可能长有翼膜，可以在滑翔中起平衡作用，所以沙氏龙应该具有较高的空中滑翔能力。

长鳞龙 这是 A.G. 沙罗夫描述的另一飞行动物，也是在沙氏龙的化石产地发现的。长鳞龙属于初龙类爬行动物，体型较小，只有 10~12.5 厘米。背部的附属物比身体还长，分两列依次从前排到后。这些被认为属于鳞片的长鳞可能像蝴蝶一样在背部展开，也可以下降到体侧，成水平展开，此时就可以用来滑翔。有人推测每对这样的附属物都对应着一枚背椎，

这样十对紧密排列的附属物的边缘就可以依次重叠，形成一个完整的、奇特的“翅膀”。不同于其他的滑翔动物，长鳞龙的这种独特构造和现生鸟类羽毛的羽轴、髓帽等微细结构都具有可比性。尽管长鳞龙的皮肤衍生物可能和后来的鸟类羽毛没有什么直接的关系，但是它的空气动力学特性确实使人们相信这种原始的小动物已经具有了滑翔的能力。

袋鼯

在哺乳动物中存在着更多具有滑翔能力的飞行动物。例如袋鼯属于袋鼯科哺乳动物，是有袋类动物中个体较小的种类，杂食性。它的皮膜开始于手部的外边缘，经体侧部延伸到



大袋鼯在飞行时肘部弯曲，前脚抵住下颌，整个身体成为一个整体的翼