

聚焦六角雪花

——回顾400多年前开普勒的冰晶体研究

■ 陈金阳 编译

有人曾收到过比400年前一位德国学者收到的更为精致的新年礼物吗？他收到的这个礼物是他的朋友，行星定律的创立者约翰内斯·开普勒

于1611年写的一本仅有24页的小册子，在这本名为*De nive sexangula*（《六角雪花》）的书中，开普勒用他审视宇宙的智慧眼睛，试图解释为何雪花具有引人注目的六角对称形状。

在开篇介绍中，开普勒写道，当他穿过布拉格的Charles大桥时，他注意到落在他衣服上的一片雪花，并因此思考它不可思议的几何形状。这项有趣迷人的工作从此为所有晶体学的蓬勃发展撒下种子：那就是晶体的几何形状能从其组成粒子的外形来解释。

开普勒对雪花有一段有趣的分析，他将古老的“几何有序宇宙”的柏拉图思想与新兴的机械理念关联在了一起。从这个角度来讲，自然现象可以被一些不易察觉但并不神秘的原因（例如重力）近似地解释。开普勒并不是第一个注意到雪花是六边形的人。远在公元前2世纪的中国史料中已有所记载，西方的哲学家、神学家Albertus Magnus在13世纪注意到雪花的形状“像星星”一样。后来，雪花的形状格局在René Descartes的*Les Météores*（1637）一书和*Micrographia*（1665）记载的Robert Hooke显微研究中得到了进一步探讨。

“雪花的形状之所以是六角星形，其中必有原因”，开普勒在《六角雪花》中写道，“这不可能是巧合。为何总是六角形？这个原因不能通过材质寻找，因为水汽是无形且流动的，原因只能存在于某些机制中”。他猜想，这个机制可能是冰“球”的有序堆积过程，而冰“球”代表了类似水这样的液体的最小自然单位。

受益于英国数学家Thomas Harriot有关球体的紧密接合理论，开普勒声称“六角形排列可能是最紧密的球体接合状态，其他任何排列都不能把更多的球体塞进同一个容器”。这个关于最大化紧密堆积的设想也被称作开普勒猜想。该猜想直到1998年才由美国数学家Thomas C. Hales使用计算方法得到证实，并于7年后出版。开普勒关于晶体是粒子堆积的观点也启发了18世纪René-Just



开普勒注意到落在他衣服上的一片雪花，并因此思考它不可思议的几何形状。

Haüy的矿物学理论，这个理论是今天所有晶体学理论的基础。

尽管少有公认，但开普勒的灵感来源也可能是17世纪的那种对自然界稀有美妙物品和代表宇宙缩影的艺术品的热情与好奇之心。开普勒有特权参观当时拥有藏品最全之一的鲁道夫二世的收藏室。该收藏室堪称博物馆的先驱，虽然很少有人认为这些藏品对那个年代新生的试验科学有任何实际影响，但是开普勒在他的册子中提到，在德累斯顿的宫殿里看到“一块镶嵌银色矿石的面板上，其中有一个十二面体，榛子般大小，大约一半榛子大小的高度，看上去就像开在花里一般。”——这真是金属工匠的匠心之作，这也让开普勒思考晶体多面形状是怎样的一种排序。

然而最终，开普勒被雪花华丽的结构与面板一样的外形所征服。他认识到虽然球体的堆积具有规则的格局，但它们却并不一定是六角形或者平面的，更遑论那些有分支和类似雪花形状的。开普勒未能解释雪花的规则图案这并不奇怪，因为直到20世纪80年代才发现这是由于冰的六角形晶体对称性导致的分枝生长不稳定性结果。

开普勒反而依赖于柏拉图的隐秘力量。他认为上帝使水汽充满一种“造形的本领”来引导它的形状。雪花的形状没有明显的成因，他认为：形成原因必须是纯粹审美的或者是随意的，大自然“具有与逝去的时间嬉戏的习惯”。那令人愉悦的外形，触发了文艺复兴晚期有关大自然独立性的辩论，直到今天，一些复杂格局和生物生长形式的自适应值（或不适应）等这类问题依然会引起人们的共鸣。

开普勒以“需要进行更多研究”将其尚无定论的研究就此搁笔，“当我在写作时，外面又开始下雪了，雪花比前一刻更大。我一直在忙着观察这些可爱的雪花”。而《六角雪花》的影响更进一步。英国晶体学家Alan Mackay将其1981年有关准晶体的精选论文集取名为《五角雪花》，以向开普勒致敬。



开普勒

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）