

专题论坛·议题(二) 科学素质与可持续发展



欧阳自远, 中国科学院地球化学研究所研究员, 中国科学院国家天文台高级顾问, 中国科学院院士, 发展中国家科学院院士, 国际宇航科学院院士, 中国月球探测工程首任首席科学家

小行星撞击地球的“祸”与“福”

欧阳自远

1 小行星与地球的撞击坑

人类赖以生存繁衍的地球和社会的持续发展受到了诸多自然因素和人为因素的潜在威胁。自然因素包括小行星撞击地球、大面积火山爆发和强烈地震与海啸等;人为因素中,如全球性核战争,人类可持续发展的错误行为等。在地球演化的漫长历史中,小行星撞击地球是诱发地球气候环境突变、生态系统完全崩溃和地球生物物种大灭绝的元凶。小行星撞击地球诱发的巨大劫难,涉及地球上全部生物物种和人类社会的持续

发展,也是人类命运共同体如何能够得以有序健康发展的一个重大科学问题。

太阳系中的小行星主要分布在火星与木星轨道之间的小行星带和海王星外的柯伊伯带(图1)。

根据最近的观测与统计,地球附近的近地小行星约有18000个,其中直径大于1 km的近地小行星约800个、直径大于140 m的近地小行星约8000个。它们运行的轨道多种多样,撞击地球的概率也比较高(图2)。

小行星运行速度约为45 km/s,地球围绕太阳公转的速度是30 km/s,假如正面相撞,相对速度可能

达到75 km/s,即使小行星从后面“追”上地球,速度也可达15 km/s。小行星高速冲进地球大气层,压缩前端的大气层分子,形成强大的高温高压冲击波,冲击波撞击地面,诱发强烈的地震和海啸,引发森林大火,使撞击的靶岩气化、熔融、破碎和溅射,挖掘出一个巨大的撞击坑。一个直径1 km左右的小行星撞击地球,大概可以形成直径15 km的撞击坑。撞击过程产生的各种气体、尘埃和森林燃烧的灰烬弥漫充斥整个大气层,遮住阳光,使整年平均温度下降几度。

地球表面保存有180个由小行星撞击形成的巨大的撞击坑,分布

收稿日期:2018-12-14;修回日期:2019-01-16

作者简介:欧阳自远,研究员,中国科学院院士,研究方向为地球化学、天体化学、比较行星学、地外物体撞击地球诱发生态环境灾变与生物灭绝

引用格式:欧阳自远. 小行星撞击地球的“祸”与“福”[J]. 科技导报, 2019, 37(2): 92-97; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.02.021

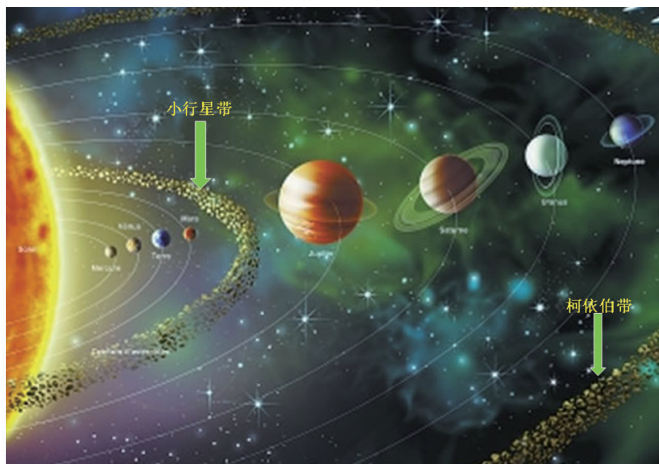


图1 太阳系中的小行星带和柯伊伯带

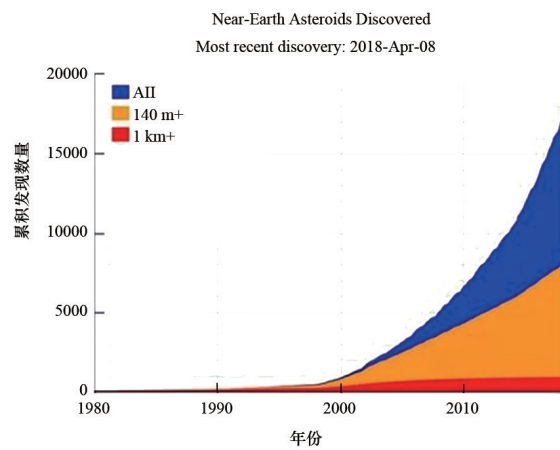


图2 近地小行星的直径、数量和发现时间的统计

在33个国家(图3)。在地球演化的历程中,每一个撞击坑的形成,小行星都曾经扮演过诱发地球气候环境灾变、摧毁地球生态系统的肇

事者。由于地球72%的表面积被海洋覆盖,很难发现海底的撞击坑;地球内力作用产生的板块运动、火山爆发、地震活动及其引发

的海啸,破坏和摧毁了一些撞击坑;地球外力的搬运、沉积等作用掩埋了一些撞击坑,使地球表面残留的撞击坑非常稀少。

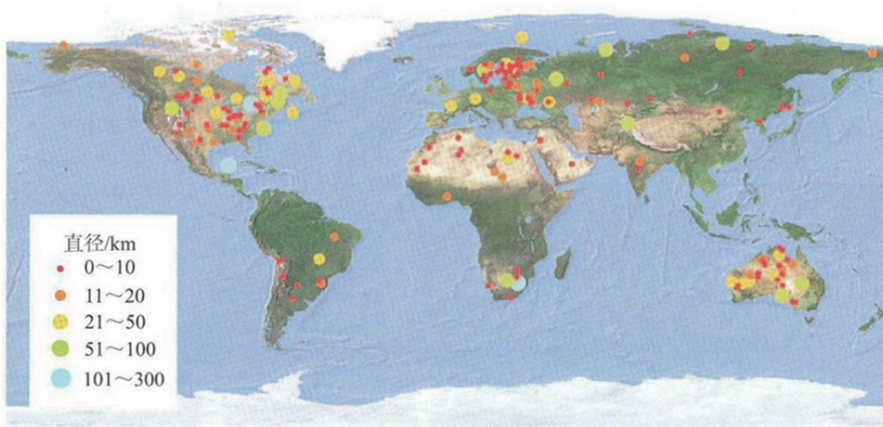


图3 地球上发现的180个由小行星撞击形成的撞击坑分布

月球的内力作用比较微弱,表面没有大气层,属于超高真空,没有任何大气活动,致使月球表面的撞击坑保存完好。月球表面大大小小的撞击坑密集分布,直径大于1 km的撞击坑超过3.3万个,直径大于10 m的撞击坑估计超过10亿个(图4)。水星和火星表面也布满了大大小小的撞击坑。小行星撞击行星和卫星以及小行星与小行星之间的相互碰撞,是太阳系中比较普遍且经常性的相互作用。

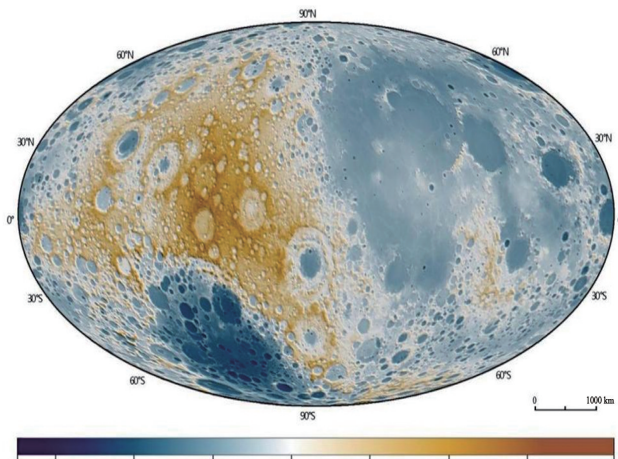


图4 “嫦娥一号”绘制的全月球三维立体地形

2 地球之“祸”,生态环境灾变与物种灭绝

小行星撞击地球,首先小行星以高速冲进地球的大气层,压缩前端的大气,形成超高温、超高压的冲击波(图5)。

强大的冲击波将摧毁前进方向上的一切生命物质,使一切可燃燃烧的物质燃烧,引起森林大火甚至全球大火。燃烧形成的灰烬与二

氧化碳以及撞击靶岩溅射的尘埃、气溶胶和熔融的岩石细小颗粒，弥漫于高层大气中。破碎的岩石碎屑和碎块，溅射散落在撞击坑外围。

超高温高压的冲击波使大气中的氮气形成氧化氮，形成强酸雨的沉降，加速了动植物的死亡和地面的侵蚀。

强大的冲击波撞击地面，挖掘出一个直径几十千米甚至200多千米的撞击坑，相当于撞击体100~200倍的地壳岩石与土壤受到高温高压冲击波的撞击而气化、熔融、破碎、溅射，并产生巨大的海啸与地震，摧残地球的生命。

若撞击靶区是海洋，激起几百米的巨浪和最强烈的海啸与地震，沿岸数千千米的地区将沦为汪洋一片，大量的海水蒸发、溅射并挖掘出大量海底的沉积物与岩石粉尘抛射到平流层中滞留，海洋中大量生物死亡。

平流层弥漫着高浓度的粉尘和烟尘，屏蔽太阳光和热辐射，地球表面接受的太阳辐射将减少90%，地表急剧降温，海平面下降，冰雪覆盖面扩大，植物的光合作用

受到抑制，甚至大批植物死亡，以植物为食的动物因食物链中断而死亡；“黑暗的、寒冷的冬天”突然降临，新的冰期诞生，加剧生物物种的灭绝。

地球经历漫长时期的生态重建，随着温室效应的加剧，气温的升高，海平面上升，使气候逐渐恢复正常。某些生物种属的复苏和大批新的物种滋生、繁衍，地球又恢复了蓬勃生机。

6500万年前，100多万种生物物种在地球上滋生繁衍，万类霜天竞自由，一派欣欣向荣的景象。恐龙是当时地球上形体最大的物种，是地球生物界的霸主。一个直径约10 km的小行星突然冲进地球的大气层，压缩前端的大气，形成高温高压的强大的冲击波撞击地面。小行星撞击地球的一系列后续效应，导致了地球的生态系统彻底崩溃。以恐龙为代表的地球全部生物物种中，70%的物种在这场劫难中灭绝。

1983年，周磊研究白垩系—第三系界面生物大灭绝事件的起因。他在中国西藏拉萨附近岗巴地区的地层中找到了白垩系—第

三系界面的海相沉积的界面层。6500万年前，西藏还没有出现喜马拉雅山脉，属于特提斯海，后期的喜马拉雅运动将海底的沉积层抬升，使白垩系—第三系界面层出露（图6）。根据周磊对3处界面层的精细对比研究，确证是一个10 km大小的小行星撞击地球导致的气候环境灾变与生物物种灭绝事件，有关研究发现如下。

1) 在白垩系—第三系地层剖面的界面层中，发现含有大量由小行星撞击靶岩石气化熔融过程产生的熔融状细小颗粒。通过界线层中沉降熔融球粒的粒度与总量计算，反演撞击体的能量、熔融靶岩的总量，获得了尘埃沉降的持续时间。

2) 在几厘米厚度的界面层黏土中，发现铍、钨、钼、铀、钍、镭、钋、镍、铬、钴等铂族与亲铁元素含量异常高，比上下层位及地壳的平均值高1~3个量级。

3) 界线层中某些元素的相对比值显示出典型的小行星（陨石）物质的特征，与地壳元素的相对比值差异极大，表明了界线层中有地外物质的贡献。计算出造成这一

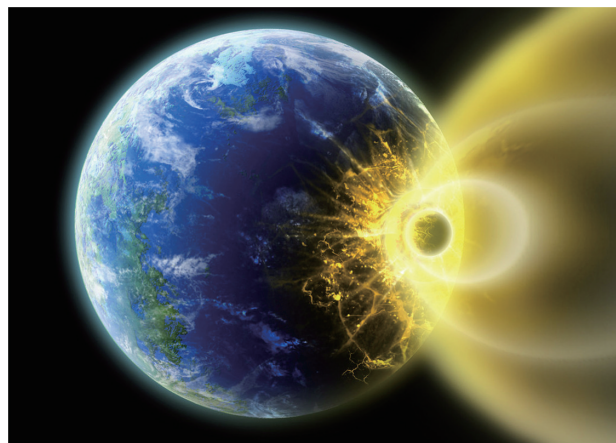


图5 小行星撞击地球示意

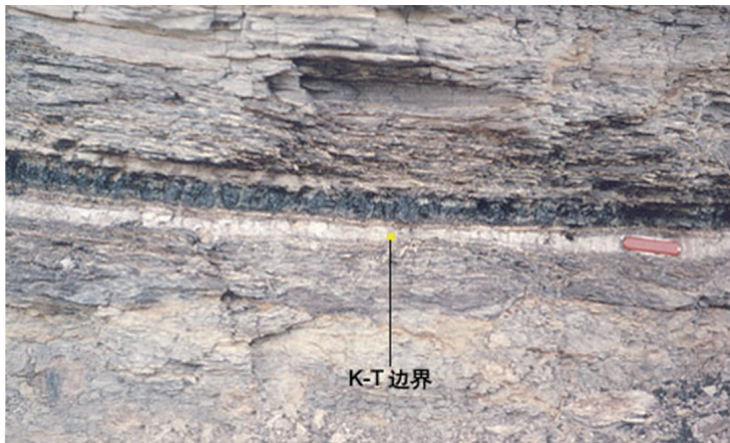


图6 西藏拉萨岗巴地区白垩系和第三系的界面层

次生物物种灭绝事件的元凶是一颗直径约 10 km 的小行星撞击地球。

4) 界线层中发现有极少量的、由植物燃烧形成的炭灰。超强的冲击波使撞击区域的森林燃烧,森林大火引燃大区域甚至全球性大火。国外一些界线层中的炭灰中也发现有森林大火形成的多环芳烃等化合物。

5) 界线层中发现有由超强冲击波使地面某些矿物结构更为致密,形成同质异构的超密矿物,如石英转变为柯石英。

6) 系统测定地层剖面的碳、氧同位素组成,发现界面层的碳、氧同位素组成有明显的突变。氧同位素的系统研究表明,撞击后年平均温度明显下降(12±4)℃。证明有大量森林燃烧的灰烬、撞击靶岩石溅射的粉尘、靶岩石熔融形成的玻璃质细小球粒和气溶胶颗粒等,长期密布和滞留在高层大气中,遮住了70%的阳光,地球变得黑暗和寒冷,植物不能进行光合作用而大批死亡。以植物为食物的动物,由于食物链的中断而大批死亡。碳同位素的系统研究表明有大量生物物种的死亡与灭绝。根据碳、氧同位素组成的研究,经历近万年,逐渐恢复正常。

1990年一次偶然的发现并证实,6500万年前导致以恐龙为代表的70%地球的物种灭绝的肇事者——直径约10 km的小行星撞击在现今的墨西哥尤卡坦半岛的魔鬼角,形成直径180 km的希克苏鲁伯撞击坑(Chixulub Crater)。撞击坑的一部分在半岛的陆地上,另外一部分在近邻半岛的海洋里。图7左下图是艺术家为6500万年前小行星

撞击后形成的希克苏鲁伯撞击坑绘制的重建图。

1990年,在发现墨西哥尤卡坦半岛魔鬼角希克苏鲁伯撞击坑之后,科学家对撞击坑进行了系统的地质勘查,绘制了撞击坑的剖面结

构图,确认是具有典型的撞击坑结构特征。相继在离撞击坑中心不同的距离进行钻孔取样研究,恢复了撞击坑的形成过程,发现小行星撞击后发生过强烈的地震和巨大的海啸记录(图8)。

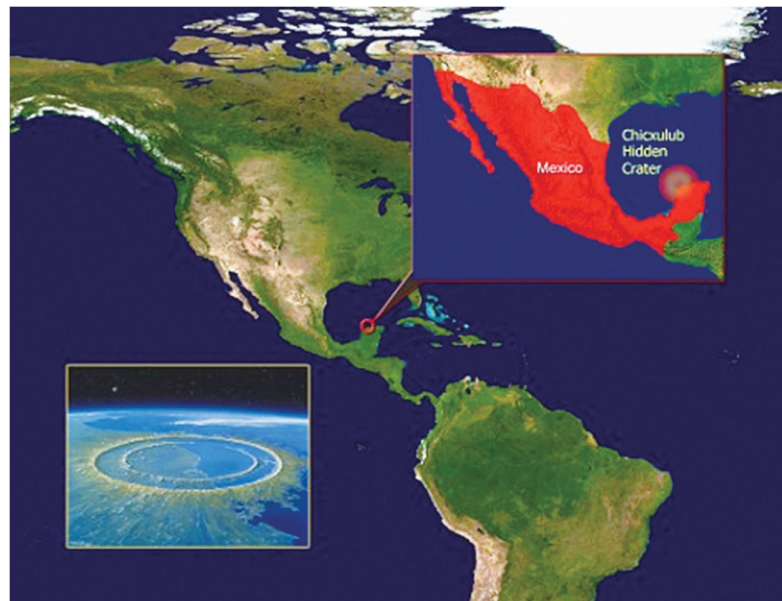


图7 墨西哥尤卡坦半岛的魔鬼角,形成直径180 km的希克苏鲁伯撞击坑

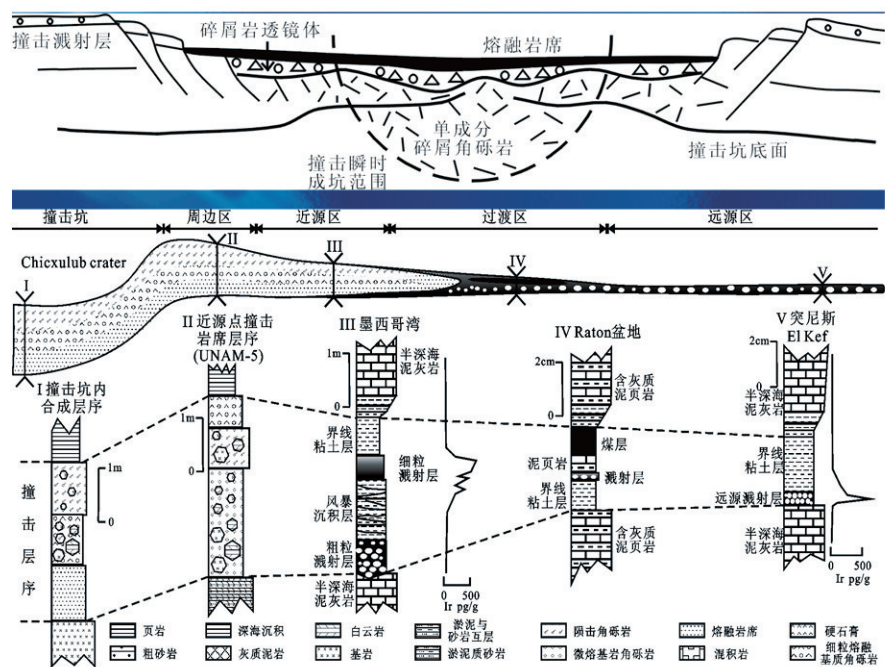


图8 墨西哥尤卡坦半岛魔鬼角希克苏鲁伯撞击坑的地质剖面图和钻孔地质剖面图

3 人类之“福”:天外飞来的“金山银山”

任何一件事情有负面也有正面,小行星撞击带来全球性气候环境的灾变和生物物种的灭绝,但是也会给人类带来福祉。

18.5亿年前有一个小行星撞击加拿大萨德贝里地区,形成了一个直径超过 100 km 的萨德贝里撞击坑。后来这个撞击坑被构造运动挤扁,成为椭圆形。笔者考察过萨德贝里撞击坑的形成过程,由于小行星撞击以后,深部产生了很多的裂缝,引发深部基性岩浆上升,形成了超大型的铜镍矿和铂金族元

素矿,现在在撞击坑的周围建立了很多采矿的矿山,对加拿大的经济发展发挥了重要作用(图9)。

南非盛产黄金和钻石。19亿年前由于小行星撞击南非维特握特斯兰德盆地形成弗里德佛撞击坑,笔者曾对此撞击坑进行过考察。小行星撞击后产生的撞击断裂带热液活动强烈,形成许多大型的金矿床。形成的断裂带并诱发了深部岩浆喷发,形成大量的金伯利型金刚石矿床。现在在南非弗里德佛撞击坑周围分布有众多的黄金和钻石矿床。

在俄罗斯西伯利亚雅库梯地区发现的撞击坑,是一个70万年前

由于小行星撞击而形成的撞击坑。由于受撞击的地层中富含碳,小行星撞击产生的高温和高压使地层中的碳转变成了钻石,现在已经由一个大型钻石矿开采。据俄罗斯科学家估计,这些钻石可以供应全世界使用300年(图10)。

还有科学家设想,能不能“抓”一个小行星来,让它在月球外围运行以便于矿物等资源的开发开采。一个直径1 km、质量20亿t的金属型小行星,可开采3000万t镍,150万t钴和7500t铂金。科学家发现灵神星(16 Psyche)距离地球3.7亿km,这颗直径200 km的金属小行星主要成分是铁、镍、铂和黄金。如果未来人类将灵神星牵引到月球附近进行采矿作业,将有用金属运回地球,其资源价值约为1000亿美元。

地球表面有些撞击坑逐渐形成了湖泊,有些撞击坑在后期的地质作用过程中成为可供开采的煤矿、磷灰石矿和油气盆地等,有些撞击坑成为秀丽的风景区。加拿大有一个撞击坑成为很大的蓄水库。还有一些国家在撞击坑附近建设科普馆,将撞击坑开发为旅游和科普教育的基地(图11)。正如老子所说,“祸兮福所倚,福兮祸所伏”,事物有两面性,要辩证分析和看待。

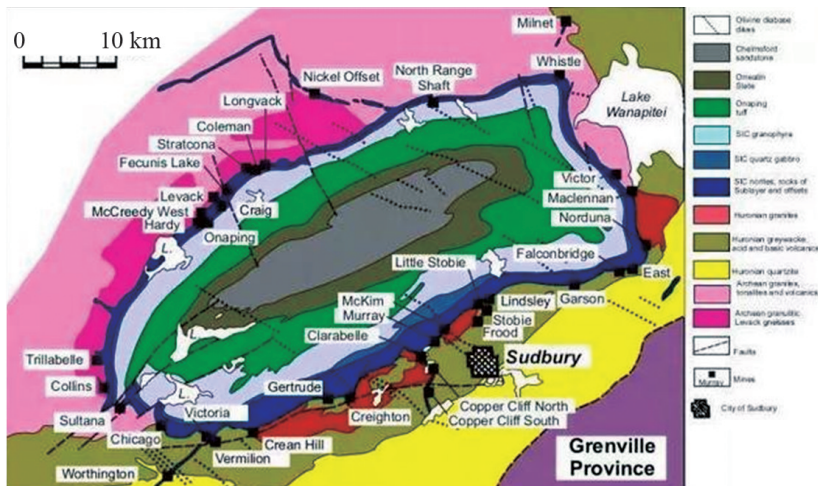


图9 18.5亿年前形成的加拿大萨德贝里撞击坑



图10 正在开采金刚石的俄罗斯西伯利亚雅库梯地区的撞击坑

4 未雨绸缪:人类科技的“神级助攻”

科学家对小行星撞击地球诱发的重大灾难事件进行过概率分析,类似于通古斯大爆炸事件约100年有1次发生概率;对于6500万年前发生的恐龙灭绝事件,约每



图 11 有些撞击坑形成了湖泊,供旅游休闲

1亿年有1次发生概率。人们担心,以后地球还会不会遭到小行星撞击?如何规避小行星撞击地球的灾难?

在人类紧急状态会议中有一项议题就是如何规避小行星撞击地球。现在全世界的科学家联合

采取措施:1) 利用导弹或核装置对小行星进行攻击,使小天体改变轨道;2) 用核装置直接炸毁小行星以减小撞击地球的危害性;3) 在小行星体表面上安装一台大型火箭发动机,或者一个“太阳帆”,把小行

起来监测小行星,精确测定小行星的运行轨道,提前预报或预警小行星撞击地球的概率并提出规避小行星撞击地球有关措施。

如何规避小行星撞击地球,在网络上也成为人们热烈讨论的话题。提出一些实

星从撞击地球的轨道上推开;4) 改变小天体颜色以改变它的反照率和吸热率,使小行星自行改变轨道;5) 发射人造天体,把它调整到和小天体平行,并使两者的相对速度为0,然后用机械力推动小行星,使之改变轨道等。

现在航天技术完全有能力规避小天体撞击地球,在精确计算小行星运行轨道的基础上,可以发射一艘飞船着陆在小行星上,飞船携带有一个发动机,发动机朝某一个方向轻轻加一点作用力,致使小行星的运行轨道与地球擦肩而过,地球将安全规避小行星的撞击。这非常类似于武侠小说中的“四两拨千斤”,只要人类有了准备,一定可以规避小天体的撞击。科学技术应该是地球全部生命的保护神。

(责任编辑 傅雪)