

# 恐龙灭绝，

## 新灾变论与中子活化分析

柴之芳

### 一、从灾变论和均变论之争谈起

在人类社会的发展过程中，对于地球的起源和演化，对自然界生物的诞生、发展、以至绝灭，一直是一个争论不休的问题。

我国南宋时期的朱熹利用化石记录提出，地球每隔十二万九千六百年发生一次灾变，每次灾变时，“海宇变动、山勃川湮、人物消尽、旧迹大灭。”灾后又重开天地，如此轮迴不已。朱熹的这一见解比西方灾变论创始者居维叶 (Cuvier) 的学说早了五百多年。

居维叶学说的要点可概括为：1. 在短暂的、突发性事件中，曾多次出现过剧烈的大变动；2. 地壳的当前形态以及生物的分布情况，是由于五、六千年以前一次强大而突然的变革导致的后果；3. 地球上生物的变化，是反复多次灾变的结果。他的学生进一步发展了灾变论，提出地球上先后发生过二十七次大灾变。这些初期的灾变论者，由于受当时科学水平的限制，不可能正确认识灾变的起因，而不得不求助于神和上帝，最后坠入了“神创论”的泥潭。

与灾变论针锋相对的是莱伊尔 (Lyell) 的均变论，这种学说认为，“现在正在进行着的改变地壳形态的地质作用，也同样以基本相同的强度作用于地质历史的整个时期，以往的事件可以用今天所观测到的现象和作用力来解释”，即“今天是过去的钥匙”。此后，莱伊尔的好友达尔文 (Darwin) 于 1859 年提出了以自然选择、适者生存为核心的进化论。经过反复的较量，居维叶的灾变论被摒弃了，均变论和进化论确立了在科学界的主导地位，至今已有一百余年的历史了。

然后，科学的发展并不是直线前进的。新的观测事实不断向均变论提出了疑问，尤其是古生物在短时间尺度上的大绝灭。

### 二、均变论和进化论无法解释五次生物大绝灭

由放射性衰变方法测得地球的年龄为四十六亿年，根据大自然史册的天然记录者化石的研究，地球上最古老的生物遗迹可追溯到三十五亿年前。在这漫长的岁月中，曾发生过五次古生物大绝灭现象，先后发生在寒武纪末期（距今约 5 亿年）、泥盆纪末期（3 亿 5 千万年）、二叠纪末期（2 亿 3 千万年）、三叠纪末期（1 亿 8 千万年）和白垩纪末期（6 千 5 百万年）。

生物灭绝的主要特点是在很短时间内，许多门类的生物同时灭绝。以白垩纪末恐龙绝灭为例，绝灭时间尺度的估计值大致最短为 100 年，最长也只有几万年，这与均变论以百万年为单位的时间尺度相比，可谓是一弹指一挥间。古生物学家指出，白垩纪末的恐龙在灭绝前似乎没有将要消亡的相应变化，它们没有得到任何事前暗示大难临头的任何信号，生物群的剧烈变化也没有伴随着构造和岩性上的相应变化，这些事实是很难用均变论和进化论来解释的。

人们自然要问，是什么原因导致了生物在短时间内的巨大灭绝。在中子活化分析获得铀异常结果之前，曾有过各种假设，例如火山爆发、海平面变化、气候反常、盐度变化、造山运动等各种地内成因说，以及太阳耀斑和超新星爆发等地球外成因说，然而上述所有假说都缺乏物理的或化学的直接科学证据，从而对生物灭绝原因的探讨，陷入了“山穷水尽疑无路”的困境之中。

### 三、中子活化分析铀异常导致了新灾变论的诞生

正当科学家们为古生物大绝灭而困惑之时，1980 年以老阿尔瓦雷斯 (Alvarez) 为首的贝克莱小组，利用高灵敏度的中子活化分析法，测定了意大利古比奥 (Gubbio) 和丹麦斯特文斯克林 (Stevens Klint) 两地的白垩纪和第三纪界线粘土层中的铀，发现两地虽相隔遥远，但都具有比背景值高 30 到 160 倍的铀含量。

已知地外物质（如陨石）中铀的丰度约比地壳和上地幔中的高  $10^4$  到  $10^5$  量级，这是因为在地球的早期演化过程中，由于化学分馏作用，存在于地球表层的铀都迁移到了以 Fe-Ni 为主要组分的地核中的缘故。因此，地壳中高丰度的铀可作为地外物质的一种指示元素。人们从白垩纪和第三纪界线处的铀异常，自然联想到也许是地外物质撞击了地球，引起了中生代统治地球王国的恐龙的绝灭，同时在界线层留下了异常的铀。于是，在旧灾变论基础上，对灾变原因给出了科学解释的新灾变论诞生了。新灾变论的诞生反过来又促使各国（包括我国）的活化分析家研究更多的白垩纪和第三纪界线，以及伴随有生物灭绝的其它重大界线。中子活化分析法成了各国科学家寻找铀异常的强有力手段。

就地质样品中丰度为  $10^{-9}$  克/克量级的铀的分析

来说,目前唯一使用的只有仪器中高活化分析和放射化学中子活化分析.前者的探测极限约为 $5 \times 10^{-10}$ 克/克,而后者可达 $10^{-12}$ 克/克.这是因为 $^{191}\text{Ir}$ 的中子俘获截面高、且经过活化后生成的放射性核素 $^{192}\text{Ir}$ ,既有比较合适的半衰期(74天),又发射出易于探测,不受干扰的 $\gamma$ 射线.正是中子活化分析这种独特的核工具,开辟了一条新的解释地球演化和生物进化的思路.

自从美国贝克莱小组开创性的工作发表以来,各国的活化分析家已测定了一系列地质界线,发现这种铱异常不是一种偶然的现象,不仅在全世界的五十余处白垩纪和第三纪界线中找到了铱异常,而且在前寒武末、泥盆纪末、二叠纪末、古新世末以及上新世末等界线,也都发现了不同程度的铱异常,从而大大扩展了人们的视界,推动了新灾变论的发展.

#### 四、由中子活化分析铱异常提出的新灾变论的一些论据

##### 1. 灾变的肇事者

在排除了铱异常的地内来源之后,待考虑的引起铱异常的罪魁祸首就是超新星、彗星和小行星了.根据中子活化分析的初步研究,超新星似可排除在外,因为白垩纪末距今六千五百万年,如果是超新星爆发造成铱异常的话,那末我们应能在界线粘土层中测到 $^{244}\text{Pu}$ (半衰期为八千万年左右),因为这个在超新星中通过 $\gamma$ 过程合成的放射性核素的寿命比它所经历过的地质时期要长,然而,用中子活化分析观测不到有意义的 $^{244}\text{Pu}$ 的存在.

另一个验证超新星成因的方法是测定铱的同位素比值.根据宇宙中核素合成的基础知识,由于不同的超新星中的中子能谱、通量、核反应时间以及其它核参数的不同,所以超新星中由不同过程生成的核产物的丰度是不同的.以铱为例,在我们太阳系中,有两个稳定核素 $^{191}\text{Ir}$ 和 $^{193}\text{Ir}$ ,其丰度分别为37.3%和62.7%.如果我们能在界线层中找到不同于太阳系丰度比值的铱的组成,便可断言灾变是由超新星爆发造成的.但是中子活化分析的结果表明,白垩纪末界线粘土样中的 $^{191}\text{Ir}/^{193}\text{Ir}$ 比值与太阳系比值在测量标准偏差内相符.因此,异常的铱看来不是由超新星或其它太阳系外物质提供的,而是由太阳系物质提供的,具体地讲,很可能来源于彗星或小行星.从最近的分析结果以及天文学家的判断,似乎彗星的可能性较大.

##### 2. 撞击物的尺度和能量

由中子活化分析法测得的界线层中铱的含量,可根据下述简化公式计算出撞击物的大小:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot C_{\text{Ir},s} \cdot h \cdot \eta_b \cdot S}{\pi \cdot C_{\text{Ir},\text{Cl}} \cdot \eta_m}} \quad (1)$$

式(1)中的 $d$ 为撞击物的直径(公里)、 $h$ 为界线层厚度; $S$ 为地球表面积( $5 \times 10^{18}$ 厘米<sup>2</sup>); $C_{\text{Ir},s}$ 和 $C_{\text{Ir},\text{Cl}}$ 分别为界线层和Cl型陨石中铱的含量; $\eta_b$ 和 $\eta_m$ 分别为界线层和Cl型陨石的密度.

根据西藏白垩纪和第三纪界线的铱含量,用上式可算出撞击物的直径约为10公里左右,与根据意大利和丹麦的结果计算而得的相符.由此撞击而形成的陨击坑的直径约200到300公里.

人们自然要问,地球上是否存在这类陨击坑?如果有的话,是否有这样大尺度的坑?天文观测和地貌特征表明,对前一个问题的回答是肯定的,因为现已发现月球和其它行星的表面上,布满了大大小小的陨击坑,最大的坑的直径可达上千公里.既然月球和行星都遭受过陨星猛烈的轰击,人类居住的地球也绝不会例外,事实上在地球表面也已找到了许多陨击坑.对后一个问题的答案则尚未定论.因为迄今为止,还没有找到一个年龄为6千5百万年左右、直径达200公里以上的陨击坑.考虑到地球上的风化、蚀变,尤其是强烈的岩浆构造运动,很可能已把原来的坑改造得面目全非了.再考虑到地球表面的十分之七被海洋所覆盖,那末在十分之三的陆地上没有找到想象中的坑,并不能就此否认坑的存在.现在各国科学家正在通过卫星等方法,仔细寻找并设法恢复坑的本来面貌,相信不久的将来,会给出科学的定论.

这样一个直径约为10公里的陨星,以每秒24.6公里的相对速度与地球碰撞时,将会释放出 $7.5 \times 10^{25}$ 尔格的能量,其威力相当于约2亿个百万吨当量级的氢弹,爆炸的后果可使地球大气层的温度上升几十度.

##### 3. 一个假想的生物绝灭的剧情

由上述实验结果和理论分析,我们可以编写出一个描绘地球上恐龙绝灭过程的剧本:

第一幕——时间在距今两亿多年到6千5百万年前的中生代,地球上简直是“龙”的世界,海里有鱼龙,空中有翼龙,陆地上和河湖沼泽中有各式各样的恐龙.

第二幕——发生在距今6千5百万年的某一天,一颗直径为10公里的陨星与地球相撞,由碰撞瞬间产生的高温、冲击波及其爆炸碎片,大量杀伤恐龙及其它生物.

第三幕——时间为碰撞后的几个月到一、二年.由碰撞产生的大量尘埃进入同温层,完全遮蔽了太阳光线,致使地球表面温度大大下降,于是大批无法适应这种低温的动植物,尤其是庞大的变温动物——恐龙,走向死亡.

第四幕——第三幕后的几百年到上万年.由于天灾,导致恐龙赖以生存的食物链中断,少部分躲过第一次和第二次打击的恐龙,无法获得为维持生命所需的大量食物,终于在严酷的环境中全部绝灭,龙的时代宣告终结.侥幸存活下来的只有体裹甲壳且形态很小的

龟鳖类和披着鳞片且能钻入洞穴的蛇类、鳄鱼等。

第五幕——时间为新生代初。“雨过天晴”，处于大气层的尘埃逐渐沉降，地球慢慢恢复到灾变前的自然环境。然而，旧的统治者的覆灭，为新时代的主角——哺乳类，留下了广阔的生存空间。最后，哺乳类

人们进一步要问，这种撞击的几率有多大？有否周期性规律可循？现有的分析结果指出，撞击频度 $\phi$ （单位为年<sup>-1</sup>）和撞击地球的物质的直径D（公里）的平方成反比：

$$\phi = \frac{1}{1.26 \times 10^6 \times D^2} \quad (2)$$

即每1.26百万年，会发生一次直径为1公里的天体物质与地球相撞；而每1.26亿年，则可能有一个直径达10公里的天体与地球相撞。

仔细分析现有资料表明，这种撞击不是随机的，而是有一定的周期性规律，大体上每隔2千6百万年左右，会发生一次相当规模的撞击事件，在过去6亿年显生宙时期中，一共发生了二十五次灾变，规模最大的有五次，其中包括大约5亿年前的寒武纪三叶虫的绝灭，2亿3千万年前二叠纪末百分之九十以上海洋生物的绝灭，以及上面讨论过的白垩纪末恐龙的绝灭。

解释这种周期性的一个重要假说是“太阳伴星说”。根据现有的天文观测结果，宇宙中的恒星大多为双星，那末，太阳也应有一颗伴星。当它周期性地运动到离太阳最近的地方时，在冥王星以外很远的地方绕太阳转的奥尔特彗星云中一些较小的彗星，在太阳伴星的引力作用下纷纷向太阳坠落，其中一部分就会落到地球上，就象摇动苹果树时，一些苹果会落到地上一

中灵长类的一个分支，演化为古猿。再进一步，到第四纪，进化到了人类。从这种意义上说，没有灾变就没有今天的人类，灾变起了摧毁旧事物、产生新世界的助产婆的作用。

### 5. 撞击几率和周期性

样。由于这颗伴星是引起灾变的罪魁祸首，所以科学家们把它称作“死亡之星”或“复仇女神”（Nemesis）。

此外，还有第十颗行星说和太阳跳跃运动说等。

## 五、故事还只是刚刚开头

尽管近五年来，由中子活化分析铀异常提出的新灾变论的研究，已取得了大量的科学证据，但是它所带来的新问题似乎与它所能回答的旧问题一样多。例如，对化学家来说，异常铀的富集机制、6亿多年来铀的背景值以及铀与其它铂族元素在自然界中的迁移规律等，知之甚少，甚至可说几乎一无所知；对矿物学家来说，地层界线粘土层中各种粘土矿物的成因与相互转化、冲击变质矿物的鉴定以及各种单矿物中铀的丰度等，还是一片空白；对地质学家，首要的任务是寻找那个能说明白垩纪末恐龙绝灭的陨击坑；对古生物学家，详细的古生物绝灭统计实为当务之急；对天文学家，则要寻找那颗太阳的伴星并计算它的轨道，进而论证它对奥尔特云的扰动等。

总之，新灾变论是在多种学科联合的怀抱中诞生的，它的成长和发展也离不开化学、地质、生物乃至天文等领域中工作的科学家的共同努力。我们期待着新的、激动人心的成果的出现，我们也应有新灾变论被否定的思想准备，因为科学的发展本来就是波浪式的。