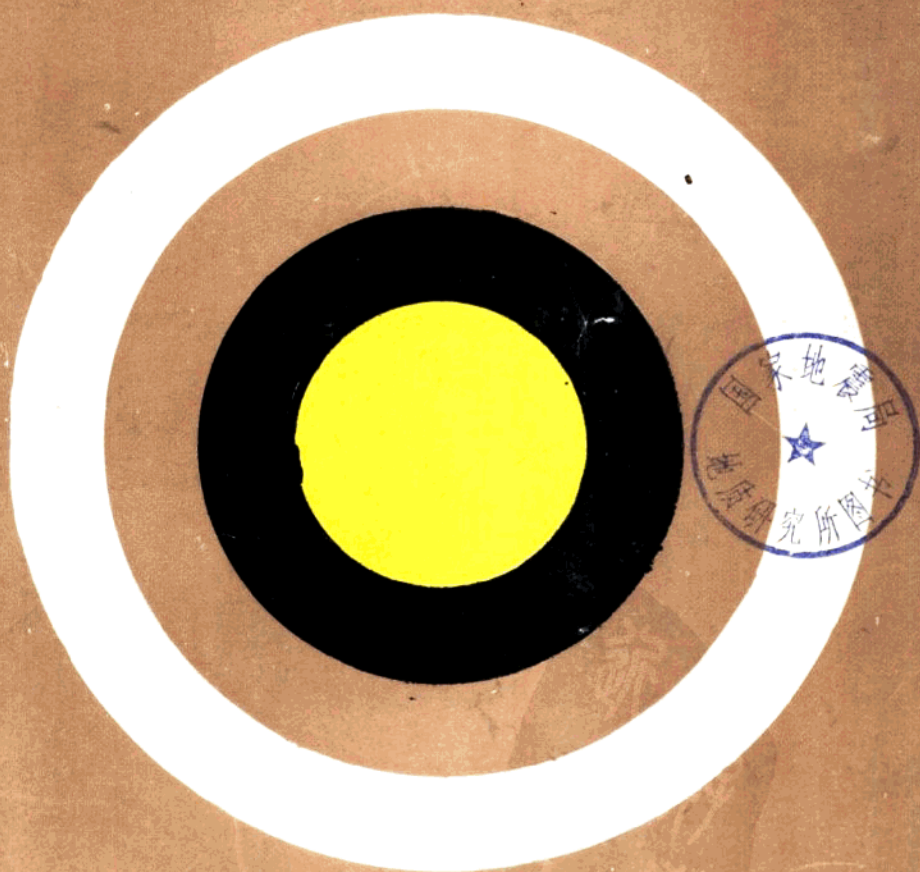


天文地质学进展

张勤文 徐道一 主编

海洋出版社



地质研究所图书馆
PDG

内 容 简 介

天文地质学是用天文学方面的新资料、新成果分析解释地质现象和地球演变史，是最近崛起的新兴学科，发展很快，有人预言可能为七十年代板块构造学说一样，对地球科学的各个分支带来冲击。

本文集包括天文地质学的综述、事件地层、类地行星与地球地质作用的比较、太阳系成因，以及石油等矿产的成因和地学总体理论研究的新见解。可供地质、地震、天文、水文等学科的研究人员、教学人员参考，对哲学研究，特别是自然辩证法工作者也有一定的参考价值。

天文地质学进展

张勤文 徐道一 等著

海洋出版社出版 (北京市复兴门外大街)

海洋出版社发行 五一七印刷厂印刷

开本: 757×1092 1/16 10.875印张 字数: 25千

1986年8月第一版 1986年8月第一次印刷

印数: 1—1500

统一书号: 13193·0882 定价: 2.40元

代 序

——全国“天文、地质、地震、气象相互关系”

学术讨论会开幕词

中国地质学会理事长 黄汲清

我们这个会经过近一年的筹备，在全国科协、中国地质学会、中国地震学会、中国气象学会、北京天文学会、中国石油学会、中国空间学会以及张衡学社的大力支持下，经过全体代表和会议筹备组同志们的共同努力，终于在这风景优美的香山召开了。参加这次会议的正式代表有120人，另外还有特邀代表和列席代表，共提交论文摘要约160篇。

当代自然科学研究的重要趋势之一是各学科之间的相互渗透、相互补充，这是由于任何自然现象的发生和发展过程都不是孤立的，而是与其他自然现象密切相关的。因此，要解决某一自然现象出现的原因及其演化规律，就必需协同作战，才能取得较好的成果，并运用这些成果为经济建设服务。

我们认为在地球上发生的某些重大自然现象是与外层空间事件密切相关的，例如在白垩系和第三系的界线上，存在铀含量的高异常值，很多学者认为这是与“天外飞来”的巨型陨星的轰击作用有关。在这种作用下，地球环境将发生一系列变化：“大气中的 CO_2 含量显著增加，气温普遍升高、陆地生物大量灭绝（特别是恐龙），以及强烈地震的发生等。其他如大陆冰期和造山运动的多旋回性是否可能与天文因素有关，这些都值得认真探讨”。

我国科学工作者，在中国共产党领导下，在天文地质学、天文地震学、天文气象学、地震气象学等新兴学科中，已经作了不少开拓性的工作，并取得了一定的经济效果。如在1982年初根据旱震关系预报了本月7日发生的山东菏泽地震；有关行星运动对气候变迁影响的研究，都引起了国内外研究人员的重视。需特别指出的是，在我国的前寒武-寒武系和二叠-三叠系界线上均发现了可能与天文因素有关的铀含量较高的异常值，而这两个界线恰恰是海相动物群发生突变的时期，这点是值得重视的。因此，我们可以说，在上述边缘学科方面我国正在赶上我们的国际同行。同时，我们认为，这些新兴的边缘学科将是地球科学和天文科学的新的生长点，并且必须有一批新生力量从事这方面的研究，才能取得更好的进展。这次大会的召开就是培养这种生长点的良好开端，由于这次大会讨论的问题，很多是探索性的。因此，不少代表将会提出与传统观点有较大差别的新见解、新理论，这是值得欢迎的。希望代表们充分发表意见，互相启发、深入讨论、共同提高。也可以提出善意的批评，我们既要敢于发表自己的不同认识，又要防止对不同学术观点简单地扣各种政治思想帽子。我们要使每一代表通过会议都有很多收获，并能心情舒畅地回到各自工作岗位上，进一步探索大自然的奥秘。

一九八三年十一月

目 录

天文地质学——

一门新兴的地球科学边缘学科……张勤文 徐道一 杨正宗 孙亦因 柴之芳 (1)

从星球表面构造的对比探讨地球构造运动规律……[张文佑] 张大昌 (14)

地球变动的韵律性和反对称性……马宗晋 张淑媛 傅征祥 (23)

太阳系行星的起源……柳志青 (32)

从太阳系特征看地球的形成……薛善夫 (41)

太阳星云中硫同位素的化学分馏……陈肃中 张淑媛 (51)

地球、月球与类地行星的地质构造比较及其意义……徐道一 (54)

超新星爆发的地质意义……杨正宗 (60)

类地行星的早期陨击作用……胡中为 陈子雄 (68)

从类地天体的比较研究看地球早期演化史……张勤文 徐道一 (80)

天体地质学与石油成因无机说的再兴起……于志钧 (87)

关于沉积岩地层中的古地震信息……宋天锐 (95)

浙江长兴二叠系—三叠系界线粘土中铀异常之发现及其意义

……孙亦因 柴之芳 马淑兰 毛雪瑛 徐道一 张勤文 杨正宗
盛金章 陈楚震 芮琳 梁希洛 赵嘉明 何锦文 (105)

西藏仲巴县白垩系—第三系界线附近铀异常之发现

……孙亦因 柴之芳 毛雪瑛 马淑兰 尹集祥 刘成杰
徐道一 张勤文 杨正宗 (114)

中国南方下寒武统暗色沉积建造及其中铀异常的发现

……范德康 杨瑞英 黄忠祥 (121)

核天文地质学的一些进展……柴之芳 毛雪瑛 马淑兰 徐道一 张勤文
杨正宗 孙亦因 (127)

玻璃陨石、冲击玻璃的裂变径迹年龄和氧同位素问题……严正 (141)

关于哺乳动物早期进化缓慢的原因

——古气候学或古天文学的解释……徐钦琦 (151)

中国第三纪气候及其变迁

——从植物化石探讨古气候……郭双兴 (158)

后记…… (169)

天文地质学

——一门新兴的地球科学边缘学科

张勤文

徐道一

杨正宗

(中国地质科学院地质研究所) (国家地震局地质研究所) (中国科学院北京天文台)

孙亦因

柴之芳

(中国科学院地质研究所) (中国科学院高能物理研究所)

在地质学的研究中有越来越多资料证明:很多地质现象的成因是不可能从地球活动本身来解释,而却取决于地球周围的天文因素。〔1〕

一、概述

1、定义、内容

天文地质学的研究虽有30—40年的历史,但达到学科水平是近十几年的事,而为国际上相当大的一部分学者所重视还是近几年的事(特别是 Alvarez 等提出在 K-R 界线上有 Ir 含量的异常及其与地外因素有关以后)。〔2〕

天文地质学是天文学和地质学的边缘学科,是利用天文学的研究方法、观测资料和研究成果、来探讨地球上各种地质现象成因和演化规律的科学。从定义可知它是立足于地质学,是应用天文学研究成果为地质学服务的。

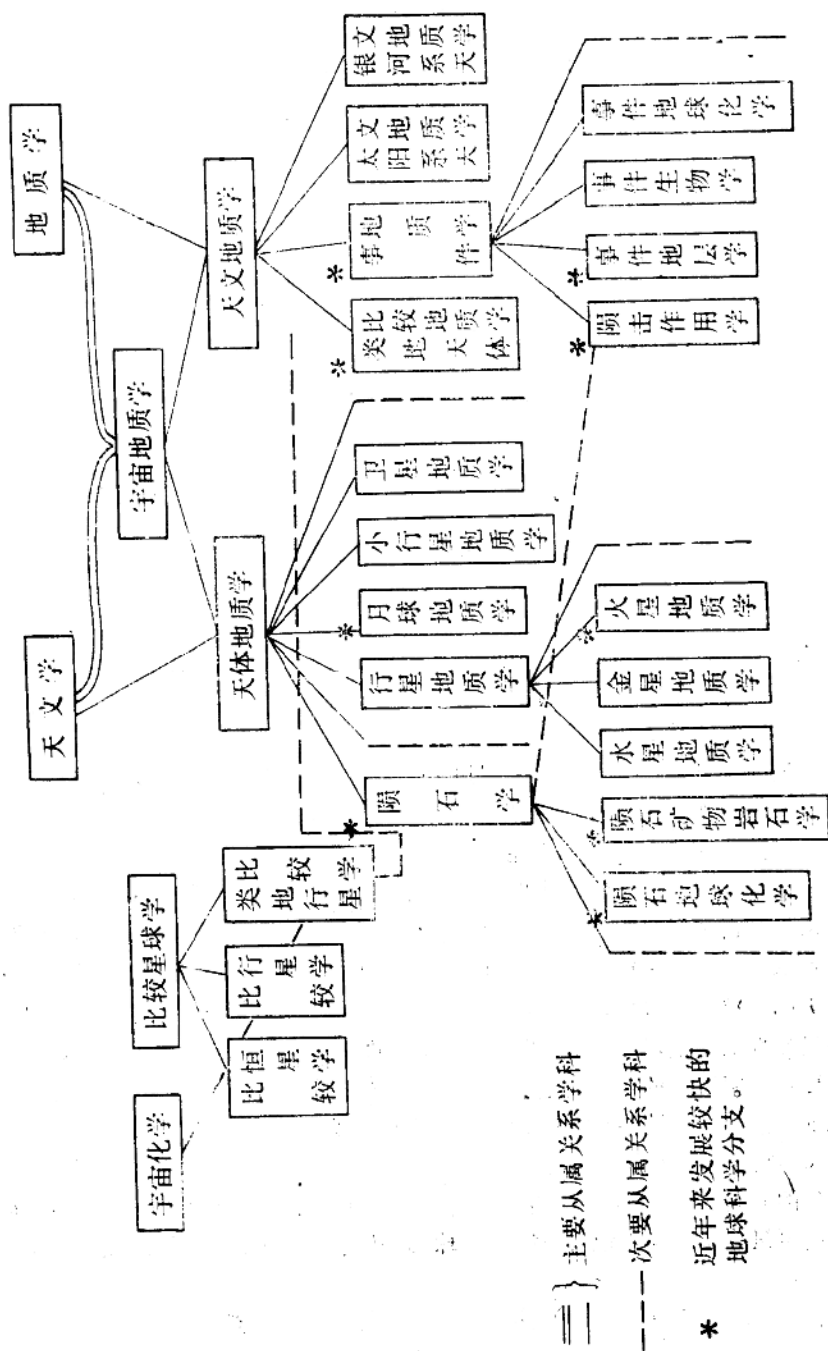
近年来,天文地质学的快速发展的基础是:1、天文学研究的新进展。如射电望远镜的使用,超新星和星际有机分子的新发现、宇宙微波辐射的新认识及宇宙和星球成因方面的新进展;2、宇宙探测的飞速发展。从1957年苏联第一颗人造卫星上天开始,1969年美国阿波罗11号登月,1976年美国海盗1号在火星上的软着陆,直到1978年美国先锋金星号登上金星表面。1973年发射的计划到太阳系外层空间的美国先锋10号,在1983年6月已越过冥王星的运行轨道。从这些宇宙探测器带来了大量的地球周围天体及其空间特征的信息;3、新的高精度、超微量测试手段和实验方法的应用。如中子活化法对一些超微量元素的分析、 ^{26}Al 、 ^{53}Mn 、 ^{22}Na 和 $^{143}\text{Nb}/^{144}\text{Nb}$ 等同位素的分析、稀土元素曲线的研究等,大大提高了对地外物质(天体成份)和演化规律及空间特征的认识。从而也就更进一步了解到地外空间对地球影响的意义,同时也提高了地球与类地天体的比较分析能力。

现在,我们对天文地质学及其有关学科进行了初步的系统分类(见下表)。

天文地质学的根本立足点在于:1、地球是宇宙中,特别是银河系、太阳系中的一个星球,因此,它的形成和演化规律应服从于宇宙间星球演化规律(特别是与地球特征相

• 本文为中国科学院科学基金资助课题

天文地质学及与有关学科分支干系图



近天体的演化规律)；2、地球是在宇宙空间中运动的，因而不可避免地与周围天体要发生相互影响。所以，对地球物质组成、结构、形成、演化和地质作用成因分析是不可能脱离周围宇宙环境的。

现代天文地质学研究主要是从以下几方面进行：1、银河系、超新星、太阳系、太阳、太阳系行星、月球、陨石和可能还有河外星系的运动、演化对地球地质作用的可能影响；^[3,4,5,6]2、地球演化过程中出现了如周期性、定向演化(进化)、古气候演化(特别是冰期)、地质演化过程中阶段性灾变(事件地质学)、古生物发生和灭绝、某些构造活动如板块构造和某些构造盆地的形成和发育及某些矿产的形成和分布等地质现象形成的可能宇宙因素(地外因素)的探讨；^[6]3、地球与其相近天体(类地天体如水星、金星、火星、月球、陨石和大行星的一些卫星等)在形态、物质成分(包括大气圈、水圈、生物圈、固态圈的成分)、内部结构、运动特征、内外营力地质作用特征、热历史及其星球演化历史特征等方面的比较研究。

2、天文地质学研究简史

从本世纪初开始Milankovitch就提出第四纪冰期和间冰期的变化与地球公转轨道要素变化有关^[7]。

本世纪50年代到60年代初苏联对沉积岩系中的韵律特征出现的可能天文因素进行了研究；如其11年和22年周期可能与太阳活动周期有关。60年代开始Steiner^[8]、Максимов^[6]、Царегородский^[9]、Тамразян^[10]对全球性地质作用作了一些综合研究：如地质历史中的海水进退、冰期的出现、古生物灭绝、古地磁极性的变化、岩浆活动的强化等，认为它们的出现与天文因素有关，其地质作用的周期性与天体运动及辐射特征的周期性有关。

1969年阿波罗宇宙飞船11号登月后，人类第一次从宇宙空间取得样品，使对一些类地天体特别是月球的地质和地貌特征的认识有了飞速的发展。

1979年Alvarez等又提出在K-R界线上^[2]，存在着Ir含量的异常提高，这使很多地质学家认识到周围天体活动确实参与了地质演化过程。从而吸引了大量地质学家，把自己从事的专业与天文因素相联系，出现了近年来的事件地层学及地球与类地天体(特别是月球、火星)比较研究的热潮。

80年代的天文地质学将会如70年代的板块构造学说那样冲击着地球科学的各个分支。

我国李四光20年代即已将地球表层构造形成与地球自转速度变化相联系^[11]，黄汲清早就认为地质历史上的巨旋回可能与天文因素有关，王嘉荫认为某些地震与太阳活动有关^[12]。70年代徐道一、郑文振等对地震发生与天文因素关系进行了某些探讨。80年代初徐道一、杨正宗、张勤文、孙亦因又在综合国内外已有资料基础上对天文因素在地球演化和地质作用过程中的可能影响作了较为系统的总结。^[1]

纵观天文地质学的发展主要是由于地质学家对自己从事的地质作用已不能用地球自身发展因素来解释，因此，必然地到地外去找其形成的原因，同时也由于一些天文学家企图用星体演化规律来解释地球演化特征及其规律的形成原因。

二、天体及宇宙空间对地球的影响因素

前已述及，地球是在宇宙空间的天体间运动和演化的。因此，天体的影响是多方面的，越是远的天体影响相对要小一些。周围天体的影响主要反映在：1、运动的影响；2、物质的影响，如陨石冲击等；3、射线和其他物理场的能量的影响，如太阳射线、宇宙射线及其他高能粒子流等影响。

各种影响在地质作用中，首先反映为周期性和灾变这二种特征。后者在一定程度也有以不规则周期形式出现的特点。

1、天体运动的影响

(1) 周期性运动的影响^[13,14,15]。又可分为周期性圆周运动和周期性往复运动。

宇宙中任何稳定天体都有其自转和公转。最近，甚至认为可观测到的宇宙本身也在转动。但任何运动，即使是圆周运动也不是绝对重覆，天体运动时总是存在着岁差、偏心率 and 斜率（相当地球的黄赤夹角）的变化。天体运动的不绝对重覆性是造成地质作用和地质现象出现旋回、韵律、周期变化的原因之一。

宇宙中最常见的作圆周椭圆运动的周期如银河年（太阳系绕银河系银心一周所需时间）、地球年（地球绕太阳一周的时间）、月（月球绕地球一周的时间）、日（地球自转一周的时间）。如现在有人把一个大构造旋回（如加里东、海西、阿尔卑斯大地构造旋回）与银河年（约3亿年）的一半相联系。Wells (1963) 通过对中泥盆世珊瑚古生物钟分析，认为当时一年为400天左右^[16]，即自转速度较现在为快。

太阳系处在近银心点时，地球上重力加速度值就减小，反之则增加，这也会引起一系列地质特征的变化。

天体的往复运动是普遍存在着的，如太阳在银道面上下的摆动周期为8,000万年，可能与构造运动在地质历史上的加强期的4,000万年的周期有关，其他如岁差、偏心率、斜率等运动要素也都是在摆动的。

(2) 运动环境变化的影响。如太阳系在银河系内运动时，有时经过物质稠密的旋臂区、星际云区、或巨星体附近，由于周围环境的变化，必然导致一系列地球环境的变化^[8]。又如太阳光度、宇宙射线强度、太阳风、星际磁场、太阳系运动速度、甚至引力场的变化等，这些都必然导致地球上太阳辐射能吸收的强度，地球表层温度、磁场强度及性质、外来物质冲击的数量、并间接影响到地球的收缩与膨胀、构造运动和表生作用特征等的变化。

地球潮汐作用主要是受月、日的影响。除海洋潮汐外，它们还对地球形成固体潮，这种固体潮对地球的脉动运动及内能的积聚和激发作用的影响是很大的，因而也可能是地壳运动动力之一。

除银河系外的河外星系影响可能也是存在的，如由于大、小麦哲伦星云引力，使银河系一端翘起，形状变得更为不规则，这也会引起地球引力场的变化。

2、辐射及其他能量的影响

辐射的影响如宇宙射线、太阳风、紫外线及其他各种高能粒子流等的变化对地质作

用影响是很大的。但地球由于有磁层、臭氧层等的屏蔽,使得从宇宙空间进入地球表面的辐射能量大大降低。如果,由于银心爆炸、超新星爆发、太阳超级耀斑活动等可使地球磁层和臭氧层破坏、使之减弱或消失,这必然使进入地球表层的辐射线能量大幅度的增加,这就导致地球表层物质同位素比值的变化(如 ^{13}C 的增加……)(29),使一些不稳定矿物和元素分解(散裂),特别是对生物的影响更大,可能导致某些生物大量灭绝。

太阳系黑子和磁场的11年和22年的活动周期,可反映在粘土、盐层及石钟乳的沉积韵律之中。

3、灾变性影响

地球演化过程中,发生着各种不同级别的灾变作用[17],这些大的灾变作用常是地球演化新阶段产生的动力原因,而且这些对地球演化起决定性影响的灾变,大部是宇宙因素造成的。

常见的对地质作用影响较大的有:1、银心爆炸;2、太阳的超级耀斑活动(能量为 10^{32} 尔格)。这时太阳光度变化也是极大的;3、超新星的爆发。能量可达 10^{50} 尔格(为地球全年地震释放能量 10^{24} 尔格的 10^{26} 倍)。但因距离较远,因此对其影响大小尚有争论。超新星的爆发致使地球周围宇宙空间辐射强度急剧增加,并可能使某些物质进入太阳系甚至地球上空,但这方面研究尚未定论仍需加强研究;4、陨石(彗星或小天体)的轰击。陨石研究的意义早为地质学家所重视。以前,曾把地表发现的石陨石、铁陨石和铁陨石来类比地球表层到内部物质成分的变化,并认为地核是Fe、Ni组成的。近年来,陨石及陨击作用在地球演化过程中的作用愈来愈为地质学家所重视。它一方面带来了地外物质,即部份太阳系特征:如原始星云物质特征、宇宙射线特征、太阳系特别是太阳系行星演化特征等信息,从而为地球形成、最早期演化历史带来了很重要的信息;另一方面对地球表层的轰击作用,使地球表层结构、地貌形态、物质组成产生了不同程度的变化,破坏了地球的原始平衡状态。有人认为地球板块构造的产生、有全球性意义的巨型板块的分裂很可能与陨石冲击有关。最近,在南极冰层中还发现有可能由月球(月海玄武岩质)和火星(辉熔长无球粒陨石质)来的陨石物质,但仍需进一步工作。

其他还有如月球可能在某阶段被地球俘获时的震动、较大星体飞临地球时引起的摄动、地球形成后,附属天体逃逸引起的波动、地质历史某阶段中,可能出现光环的破裂等,这些都是宇宙中影响地球演化的灾变因素。

1908年,在苏联西伯利亚通古斯上空发生一次大爆炸,应是人类近百年历史上的一次小型地外因素引起的灾变。

三、地球演化过程中的可能地外因素的影响

现在对地球不同圈层分述于下:

1、大气圈

它的形成、演化除受地球本身因素控制外,如地外陨石进入大气层后,必然产生大

量烧蚀，可导至大气层成份的改变，与大气层的磨擦也可导至气温增高，地表环境的变化又可使生物大量死亡，后者又进一步改变大气 CO_2 、 O_2 的比例关系， CO_2 的增高又可导至“温室效应”，而使气温急剧上升^[18]。

冰期在地质史上有2.8亿年左右的周期（如晚前寒武纪晚期、奥陶纪、石炭-二叠纪和第四纪）^[3,6]。Steiner等认为冰期的形成与太阳系位于近银心点有关，亦可能与太阳系进入银河系的稠密物质的旋臂区而导致太阳光度的减弱所致^[3,8]，而Milankovitch提出的地球公转运动的岁差、偏心率 and 地轴倾角的周期性变化与第四期冰川消长有关的论断^[7]，已为近年来对深海沉积物的研究所证实。

2、水圈

地外因素对水圈的成份、数量、含盐度、地球化学特征、PH值等都可有直接或间接的作用。一般认为水圈主要由地球吸积阶段时分异出来的，后期通过物质分异、火山活动、水热活动等也有一些影响。宇宙因素影响到气温，可使地表形成冰川，造成海水面的急剧下降、海退的发生。

近年来，有人认为在白垩纪存在几期全球性缺氧期（如阿普梯阶和西诺曼阶）^[19]，事实上，寒武纪初期和早二叠世也存在这样缺氧期，形成了高沥青质的灰岩和细碎屑岩。奥陶-志留纪的笔石页岩相的出现，是否与全球性的缺氧期也有关系。这些缺氧沉积环境的形成与洋流的变化和大气中氧的减少有关，而这些又可能与宇宙因素相联系。

3、岩石圈

前已述及，很多沉积层存在着各种不同级别的旋回性，这些旋回的周期长达6亿年、2.8亿年、1.5亿年，8千万年、4千万年、1千2百万年和小到178年、90年、22年、11年都可能与不同宇宙因素的周期性变化有关^[13]。

大地构造旋回和构造运动的加强期则与太阳系在银河系圆周运动和摆动有关⁽⁸⁾。

巨型陨石冲击可破坏岩石圈的原始平衡状态，形成新的沉积盆地及诱发新的构造格局、新的构造运动和岩浆活动的产生，这些在地质历史早期其意义更是重要^[20]。

4、生物圈

宇宙因素对生命的出现、生物属种的变异、演化、灭绝的每个环节都起着直接或间接的作用。

近年来，对生命的起源有了新的认识。由于人们在地外空间中发现了大量较高级的有机物质，如在碳质球粒陨石中发现有氨基酸（如阿连德陨石）、在木星和土卫六大气层中有 CH_4 等有机物质的存在、空间星际云中有57种分子，其中很多是有机物质，Hoyle等通过红外波段谱线的比较分析^[21]，认为星际云中可能还有细菌类物质。同时，天王星和海王星与彗星可能在地球生命起源中分别起了温床和搬运作用。这样地球上生命的出现就不需要走从无机物——简单碳水化合物——高级有机物——DNA——蛋白质到生命出现的道路，这就大大缩短了地球上生命演化过程，这也可解释为什么在这里找到的最古老岩石（37亿年以上）中已有生命物质（菌藻类？）存在迹象。

同时，生物演化过程中，新种新属的出现，可能与地外不断带来的新的影响生命的

因素、甚至是基因的参与有关。

生物的灭绝与宇宙因素的联系更为清楚,通过上述的宇宙灾变因素,从改变大气、水的成份、温度的变化、辐射能的增高等方面,使生物大量灭绝。

地质历史上的大规模生物灭绝期有 e_2 末、O末、S末、D末、P末、K末和 E_2 末等,还可在其中进一步划分小的生物灭绝阶段〔2、17、18〕。

四、地球与类地天体的比较研究^{〔22〕}

类地天体是指太阳系内离地球较近的、物质成份和结构特征与地球近似的天体(包括行星和卫星)。类地天体有水星、金星、火星、月球、土星和木星的部分卫星、小行星、流星体等。

类地天体的研究及与地球在形态、物质组成、内部结构、演化历史等方面的比较,为解释地球历史、特别是其早期历史有极大的意义。也为各类地质作用的成因及在地质历史过程中的演变提供了新的、较为现实的证据。

从广义来讲地外星球可能现在处于不同演化阶段,故通过比较研究可为太阳系过去演化特征及其未来演化方向提供重要线索。

我们已知金星存在比地球稠密90倍的 CO_2 组成的大气圈。除地球外的内行星基本上无液态组成的水圈,但火星的极区可能有冰(CO_2 为主),火星土壤中可能有液态吸附水和简单有机物。更重要的是,所有内行星和月球及绝大部分其他卫星都有大量陨石坑,而地球是由于板块构造活动及大气和水的表生作用,而使其在地质历史中形成的绝大部分陨石坑消灭殆尽,这也就消灭了地球早期历史的记录。最近,一部分学者认为北美可能存在2,800km直径的古老陨石坑的痕迹,可能是地球早期形成的。

迄今已知地球上最古老岩石为37亿多年*,靠这些极稀少的物质记录去分析当时历史已是相当困难的了,何况,从地球形成开始尚有八、九亿年历史是完全空白呢!可是,很多类地行星,由于无水、空气和没有发生过强烈构造运动,而将星球早期演化历史记录保存下来了。同时,我们已知太阳系中包括太阳本身都是在46年前形成的,其行星、卫星等形成时代、环境更为近等似。故临近地球的一些类地天体早期历史是可与地球进行比较的。

从比较类地天体与地球时,现在可得出下面一些主要结论:

1、表层特征

地球历史早期肯定会出现特大型陨石坑,大者可达近大洋规模,因为地球引力比月球大得多,是能吸引比造成月球月海还大的小天体的,因此,这些特大型陨坑在地质历史早期是会影响地球历史发展进程的。

类地行星和月球表面也存在着火山地形、大断裂、自转造成的X型断裂〔1〕、小型褶皱及可能还有流水剥蚀而成的谷地(月球、火星)〔23〕、特别是它们似乎都有“海”和“陆”的超级地形单元之分,但它们成因与地球可能有差别,可能都是40亿年左右小天体轰击的结果〔23〕。

*最近有人认为在澳大利亚Yilgarn地区有锆石的42亿年龄值。

2、外营力作用

大气圈：地球由于在内行星中最大，引力也大，故能吸住大量从固体物质中析出的气体，但并不足以吸住氢气，地球早期大气圈可能以 CH_4 、 NH_3 、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 等为主，后渐变为如现在金星那样的以 CO_2 为主的大气圈，随着生物的发育，在其参与作用下又变为以 O_2 和 N_2 为主的现代大气圈。

水圈：在CI中水含量可达20%，故从太阳原始星云中是可析出大量水而形成水圈的。

生物圈：在类地天体中，至今未见生命物质。火星生命之谜，已为1976年“海盗号”软着陆所揭开，但其上可能有简单有机物质，故太阳系中除地球以外，似乎是不可能高于菌藻类的生命存在（肯定的菌藻生物现在仍未发现）。

3、内营力作用

（1）地球的圈层构造：圈层构造是较大天体普遍存在的特征，但由于地球在类地行星中相对较大，故较为复杂，这可能与早期分异作用不完全有关。

（2）地球内部成份组合：通过陨石分析，有人认为太阳系原始星云物质是近似CI的，而星球成份差别是后期演化的结果。地幔部分可与经过高温分异的无球粒陨石相比，地核中除Fe、Ni外还可能有S、O、Si等存在。

（3）内营力作用强度及岩浆活动：由于地球体积较大，而地壳相对较薄，故活动性（内能积蓄）较大。还可能由于分异作用进行得不完全、表层水渗入到地壳下部等作用、特别是岩石圈的板块构造运动，使至今还有不少火山活动。而其他类地行星和月球，强烈火山活动主要结束在31亿年以前，仅有火星、金星可能到26亿左右，而现在火山活动极为微弱。

类地天体早期强烈岩浆活动主要与小天体轰击诱发作用有关，而地球后期岩浆活动主要与板块构造运动有关。其他星球基本都为基性岩浆活动^[23,24]，而地球则除此之外还有中酸性岩浆喷出。

（4）构造运动：强烈板块构造运动仅在地球上才有，因为金星体积与地球接近，故可怀疑其上可能有较弱的板块活动。

4、物理场的对比

太阳系行星中已知有磁场的除地球外，还有木星和水星，前者为多极磁场，强度为地球10倍；而后者仅为地球磁场的1/100。由于水星旋转很慢（58天多），故对前人认为地磁场产生是由核幔间的流体发电机机制式的成因模式提出了疑问。最近，有人认为天王星也可能有磁场。

在月球表层，特别是在月海区还发现很多重力瘤^[5,23]，对其成因尚需作探讨，是否与深部有含大量重元素的小天体或陨石有关呢？

5、地球的行星演化史

与其他类地天体相比，对地球演化史可分以下几个阶段：I，星球形成期（46亿年

前)；2、全球性熔融期(45亿年—41.5亿年前)；3、小天体轰击期(41.5—38.5亿年前)；4、“微板块”活动期(38.5—25亿年前)；5、板块构造活动期(25亿年前到现在)。前三阶段是临近地球星球体共有的，后二期是地球发展特有的阶段。

五、地球演化史中可能灾变地质作用

前已述及宇宙间的一些主要可能灾变因素。现分几个重点问题分述于下：

1、陨石轰击^[25]

对地球早期演化起重要决定作用，在后期也不断起重要作用，据分析：10公里左右小天体的冲击机率在地球为几千万年到1亿年一次。

现在已发现的陨击坑约100多个，其中可能有一部份是彗星散裂物冲击的。

此外，对玻璃陨石的成因解释仍是争论的。近年来，有些学者认为是陨石冲击地球岩石飞溅出来的物质。

2、事件地层学

近年来，事件地层学的研究是地质学界的一件大事，现在重点是研究古生物灭绝与地层分界。

很多人认为地质历史上的陨石轰击造成的生物大灭绝(见前)构成了地层上各界、系的分界，部分为统的界线。

对白垩-第三纪的事件地层研究是较为详细的。众所周知，在这界线上生物的种属灭绝达50%以上，陆生动物中的恐龙和海相菊石、箭石全部灭绝，有孔虫、超微体种属灭绝率达80%以上，以前都把这归于地球本身演化的结果。自1979年Alvarez等在意大利古比奥地区发现界线层粘土岩中Ir含量异常后，后来在比利时、丹麦、美国等陆续发现，因而这是普遍存在的现象。其异常值较背景值高达数十倍到三百倍。现在大部分学者认为，这是与大约10公里直径的陨石或彗星(许靖华)轰击有关。许靖华等在1982年用 $\delta^{18}O$ 同位素证明界线层升温达 $10^{\circ}C$ ^[18]。大部学者认为温度升高可能与轰击后植物大量死亡，而引起的 CO_2 增高，而后导致“温室效应”有关。可能由于高温、紫外线及各种高能宇宙线的加强、尘埃盖住阳光和可能的CN的毒化等影响造成生物大量死亡。也有人认为温度升高导致某些陆生动物卵的单性化，使种族不能繁衍。但最近美国宇航局M. R. Rampino等认为界线层粘土可能属火山成因(蒙脱石与伊利石矿物的互层)。但如属火山成因，为什么全世界都有这一层呢？问题仍要探讨。

1983年徐道一、柴之芳、张勤文、孙亦因等在中国南方寒武纪底界和P-T界线工作结果认为：1、界线附近普遍存在一层以上粘土层；2、粘土层矿物成分均为伊利石与蒙脱石的间层矿物；3、底界普遍有“Ir”含量的异常；4、界线上、下沉积环境和沉积物变化都很大。因而以上所述可能是寒武纪以来地层界线的普遍规律。

在3'500万年左右的可能为始新世和渐新世界线上，生物有较大的变化，被子植物是在这以后才大量出现的，同时有部分放射虫、哺乳动物的死亡。其他还有如中美加勒比地区玻璃陨石的出现；2、海洋板块运动方向的突然变化；(形成夏威夷群岛的突

然转向)；3、海流特征与海洋环境的变化(从北太平洋深海沉积中发现3,800万年左右有深海环流的大改变)；4、“Ir”含量的增高(Alvarez 1982年)^[26,72]，可能还有古地磁场的倒转。南极最老冰川出现应在其后。这与O’Keefe在1980年提出的3,500万年前地球可能存在光环而后又破裂的时代也大致相当^[28]。Alvarez仍认为属大陨星的坠落的结果。^[26]

3、板块构造的产生和发展

地球上板块构造的产生可能与41.5—38.5亿年前的小天体轰击有关。可能是由于当时地球分异作用进行得不完全、小天体轰击造成地球上层物质和结构上侧向的不均一，再加上水的参与，在地球硬结壳层下之半可塑物质开始了侧向运动，使地球表层岩石圈壳体出现板块活动。同时如二叠纪时地球上的板块格局的变化可能也与大陨石冲击作用有关。

4、沉积盆地的形成

特别在前寒武纪很多含铁石英岩建造的沉积盆地的形成可能与陨石冲击有关。甚至还可提供物质来源。美国北达科他州的威斯顿、苏联乌克兰的博尔提什等成油盆地形成可能也与陨石冲击有关。

5、岩浆活动

前已述及陨石轰击与岩浆活动有关。此外，太阳系运动处银河系中的相位差别、月球和太阳对地球的潮汐作用等也可导致岩浆活动发生。

6、沉积物的变化

宇宙灾变因素在沉积物中是普遍有反映的。已知的如1、前已述及在一些地层界线上存在有薄层粘土层。可能是陨石粉碎和地表岩石粉末的改造产物；2、某些地质时代沉积物中，有机质含量极高，是与地球上缺氧期有关；3、在10,500年前世界上普遍出现一层碳质高的沉积层，其中具异常的¹⁴C值，Brakenridge(1982年)认为可能是与超新星爆发有关^[29]。超新星爆发空气氧减少，而氮增加，引起低等藻类生物的广泛发育。

7、古地磁倒转

古地磁地层学是近年来发展较快的一门地质学分支，但对古地磁倒转原因仍然不清楚，可能是与陨石冲击、地外宇宙线等的冲击突然加强、太阳超级耀斑爆发、或较大飞行星体对地球的摄动等因素有关。

8、矿产

很多矿产直接或间接与地外因素有关。如著名的加拿大Sudbury的Cu、Ni矿，很早有人认为与陨石冲击有关，有些石油盆地的形成可能与这亦有关，地史上的缺氧期与生油期密切相关，某些Fe、Mn矿等的形成可能与陨石冲击也有成因联系，在美国亚利桑

那州的巴林格尔陨击坑底下可能有Fe-Ni陨石存在。有人认为某些超基性岩、科马提岩及其铬矿与陨落物质有关。

六、天文地质学研究中的一些哲学思想

任何科学发展到一定阶段都迫切需要一些正确的哲学思想来指导。

首先是灾变与均变^[17]。我们强调灾变在地质历史上的意义。并认为灾变不是偶然的现象，它的产生有它的必然性。

其次，在天文地质学的研究中比较重视外因的重要作用。

在地质演化历史中，存在着不同级别的旋回性和定向性进化的两种基本演化方式。从地球体形成到消亡过程总的是不可逆的，但是它是通过旋回、周期方式实现的。

我们重视物质及其运动比较法的应用，特别是通过与地球特征相近的天体的比较，地质现象出现的时间与宇宙间的变化时间的比较，从而求出其异同，来解释地球地质作用演化的原因。

七、天文地质学发展的展望^[30,31]

至今为止，天文地质学的研究还是属初级阶段，对宇宙间物质及运动与地球物质及运动的联系研究，大部分情况下，还是属形态上的，在很多问题上内在的本质联系是仍需探索的。随着宇航科学的发展，宇宙空间的较准确的材料愈来愈多，对全球性地质演化的了解也越来越多，这些对发展天文地质学是极为有利的。

天文地质学的发展是地球科学进入成因研究阶段的标志，没有天文地质学在地球科学中的渗入，地球科学是不可能发展到高级成熟阶段的。

现在首先是从以下几方面着手：

(1) 事件地层学的研究是事件地质学的重要基础。它主要是对地质演化历史中主要地层界线进行生物、沉积物成份、沉积环境、微量元素、同位素比值等研究，从而找出其形成与天体活动之间的联系。

(2) 类地天体与地球的比较研究。首先是对太阳系的行星和卫星的研究，特别是与地球相邻近的那些天体的研究，现在除进一步对月球和火星进行研究外，还需开展与地球特征更为近似的金星的研究。

(3) 通过陨石分析，进一步搞清太阳系起源，太阳系原始星云特征、及行星形成的具体过程，为地球早期演化提供更多直接证据。

(4) 古陨击坑的寻找与陨击作用的物理和化学的研究。特别是地质历史上的大型古陨击坑，与某地质事件在时间和空间上的可能联系。对陨击作用的实验室模拟与实际调查的结果相比较，可了解陨击作用的具体过程，从而可了解对地球地质作用具体的影响过程。

(5) 矿产形成分布中的直接和间接地外因素的研究。特别着对Cu、Ni、Fe、Mn、Cr等矿产的研究。其次，在陨石冲击过程中可能会有金刚石的形成，甚至某些金伯利岩的成因与这冲击作用有关，很多陨石冲击坑可能是生油沉积盆地。

天文地质学将以其极强的生命力推动着地球科学前进，并将会把地球科学研究推向

参 考 文 献

- [1] 徐道一、杨正宗、张勤文、孙亦因, 1983, 天文地质学概论。地质出版社。
- [2] Alvarez, W. et al., 1979, Anomalous iridium levels at the Cretaceous/Tertiary boundary at Gubbio, Italy; negative results of tests for a supernova origin. Bull. Geol. Soc. Am, Abstr. Programs, Vol. 11, No. 7.
- [3] 徐道一、张勤文、杨正宗, 1982, 银河系与地质现象关系的探讨。地质评论, 5期。
- [4] 徐道一, 1981, 古生物灭绝与超新星爆发。国外地质, 11期。
- [5] King, E. A. 1976, Space geology; an introduction. N. Y, Wiley.
- [6] Максимов, С.и др., 1977, Цикличность геологических процессов и проблема нефрега-
зонности. М., Недра.
- [7] Berger, A; 1980, The Milankovitch astronomical theory of paleoclimates; a modern
review. Vistas Astron, Vol. 24.
- [8] Steiner, J. et al., 1973, Possible galactic Causes of periodic and episodic glaciation
Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 84.
- [9] Цареградский, В. А., 1964, Закономерные вращения и сопряженные с ними деформа-
ции земной коры. Во кн. "Земля во вселенной".
- [10] Тамразян, Г. П., 1967, Некоторые главнейшие планетарные тектонические закономе-
рности и их причинные связи. Изв. Вузов. Геология и Разведка, В. 11.
- [11] 李四光, 1972, 天文、地质、古生物。科学出版社。
- [12] 黄汲清等, 1962, 从多旋回运动观点初步探讨地壳发展规律。地质学报, 40卷, 1期。
- [13] Williams, G.E., (ed.), 1981, Megacycle. Benchmark Papers in Geology, Vol. 5 T.
- [14] Балуховский, Н. Ф. 1977, Вопросы теории геологической цикличности. Во кн.
"Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза".
- [15] Хайн, В. Е., 1977, Цикличность тектоника. Во кн. "Основные теоретические
вопросы цикличности седиментогенеза".
- [16] Wells, J. W., 1963, Coral growth and geochronometry. Nature, Vol. 197.
- [17] Нсй, К. J., 1983, Actualistic catastrophism. Address of the retiring president
of the International Association of Sedimentologists. Sedimentology, Vol. 30, No. 1.
- [18] 许靖华等, 1982, 白垩纪末期生物大批死亡引起的环境变化及其演化意义。长春地质学院院报, 1期。
- [19] Schopf, T. J. M., 1980, Paleocyanography. Harvard Uni. Press, Cambridge,
London.
- [20] Goodwin, A. M., Giant impacting & the development of continental crust. In
book "the early history of the earth", Ed. by B. F. Windley, London, N. Y.
- [21] Hoyle, F. et al., 1978, Lifecloud. Dent, London.
- [22] Ponnampenuma, C. (ed), 1978, Comparative planetology.
- [23] Glass, B. P., 1982, Introduction to planetary geology. London, Cambridge.
- [24] Lunna & Planetary Science, Conference, 1982, In Houston, Geotimes, Vol. 2 I, No. 6
- [25] Геология астрОблем. 1980, Л., "Недра".
- [26] Alvarez, W. et al., 1982, Iridium anomaly approximately synchronous with terminer
Eocene extinction. Sci. Vol. 216, No. 4548.
- [27] Ganapathy, R., 1982, Evidence for a major meteorite impact on the earth 34 mil
years ago: Implication for Eocene extinction. Sci., Vol 216, No4 548.
- [28] O'keefe, J.A., 1980, The terminal Eocene event; formation of a ring system around the
Earth? Nature, Vol.

- [29] Brakenridge, G. R., 1981, Terrestrial paleoenvironmental effects of a Late Quaternary age Supernova. *Icarus*, Vol. 46.
- [30] Wetherill, G. W. (ed.), 1982, Annual review of Earth and planetary sciences, Vol. 10.
- [31] Moores, E. M. (ed.), 1983, *Geology-Past and Future*, *Geology*, No. 12.