



科学文化工程
公民科学素养系列

Legend of
Biological Evolution

生物进化 传奇

冯伟民 // 编著

基础篇 · 进化篇 · 点评篇

是什么让我们得以了解生命长河中的这些传奇？那就是镶嵌在层层岩石里的化石。化石带给我们地球生命的知识，赋予我们自然和生命的奥秘，给予我们地球生命史演变的一般规律性启示。

BIOLOGICAL EVOLUTION

中国科学技术大学出版社



Legend of
Biological Evolution

生物进化 传奇

冯伟民 // 编著

BIOLOGICAL
EVOLUTION

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书由基础篇、进化篇、点评篇和附录四个部分组成。基础篇介绍了古生物的一般知识,揭示了化石的神奇作用,浅析了化石美学的内涵;进化篇叙述了一系列进化事件,既宏观论述生命进化之旅,也具体论述某个进化事件,特别是对寒武纪生命大爆发及其重大意义做了多角度的剖析和阐述,还对近年来一些古生物重大发现及其意义做了介绍;点评篇着重阐述了生物辐射与灭绝的意义以及天体与地球生命的关系;附录部分收录了三篇地质游记。

图书在版编目(CIP)数据

生物进化传奇/冯伟民编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2019.3
ISBN 978-7-312-04578-3

I. 生… II. 冯… III. 进化论—文集 IV. Q111-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第277523号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路96号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjsdxcbbs.tmall.com>
印刷 安徽联众印刷有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×1000 mm 1/16
印张 17.75
字数 357 千
版次 2019年3月第1版
印次 2019年3月第1次印刷
定价 48.00元

序言

P r e f a c e

在46亿年的地球历史中,流淌着至少38亿年的生命之河。它穿越险滩绝壁,蜿蜒曲折,奔流至今;生命像交响曲,跌宕起伏,高潮迭起;一代又一代的生命前赴后继,创造了一系列惊天动地的进化事件,留下了无数难以忘怀的生命传奇。

是什么让我们得以了解生命长河中的这些传奇?那就是镶嵌在层层岩石里的化石。化石带给我们地球生命的知识,赋予我们自然和生命的奥秘,给予我们地球生命史演变的一般规律性启示。

改革开放以来,我国古生物学获得了极大的发展,古生物学研究成果丰硕,几乎每年都有重大进展,极大地丰富了人类对于地球生命历史的认知,这是我国古生物学发展史上最为光辉灿烂的时期。同样有意义的是,古生物科普也蓬勃兴起。古生物科普创作获得了较好的发展,成为我国科普领域一道亮丽的风景线。

笔者有幸参与了古生物博物馆的建

设和对外开放以及科学传播,因此,关注国内外古生物学研究新成果和新知识,利用闲暇时光写一些科普图书和科普随笔成为笔者生活的一部分。本书汇集了笔者近年来所撰写的33篇文章,内容包括四个部分:基础篇、进化篇、点评篇和附录。基础篇介绍了古生物的基础知识,揭示了古生物化石的神奇作用,并从美学角度剖析了化石之美;进化篇阐述了笔者对于生命进化历史、一些重大生物进化事件和重要生物群的梳理、思考与理解,介绍了许多最新的古生物学知识和成果;点评篇主要是笔者对于生物进化事件和类群带来的启示的理解;附录中的三篇文章是笔者考察途中对当地风情的介绍和对自然与生命现象的感悟。

这些文章有的见诸如“科学大院”与《科普时报》《生物进化》《化石》等杂志和网络公众号,也有的是新鲜出炉。承蒙中国科学院科普基金的支持,笔者将这些文章略加润色,整理出版,以飨读者。

冯伟民

2018年5月1日

目录

C o n t e n t s

001 序言

001 基础篇

- 003 古生物化石一般知识
- 008 化石是神奇的时空指示器
- 018 化石见证青藏高原隆起
- 046 奇妙的古生物钟
- 058 浅议化石美学

067 进化篇

- 069 漫谈生物多样性的历史演变
- 078 蓝藻、恐龙到人——生命演化小史
- 083 生命起源揭秘——漫长的征程
- 091 从原核到真核,漫长的早期生命演化
- 097 “雪球地球”是啥?那时的地球真的全被冰封了吗?
- 102 动物胚胎化石中的细胞核
- 109 原始动物中的老大——贵州始杯海绵
- 115 生命进化史上的奇葩——埃迪卡拉生物群
- 130 寒武纪生命大爆发概念形成与影响
- 137 寒武纪生命大爆发——真相不止一个
- 144 捕食者的出现与金字塔式食物链的形成
- 151 海洋生物多层次生态格局的首次形成
- 158 进化新器官,我只服寒武纪!

- 166 化石见证寒武纪生命大爆发
- 171 史上规模最大的奥陶纪生物大辐射
- 177 远古时代的动物明星——头足类化石
- 196 生物登陆的先锋
- 202 今天的人类为什么要感谢几亿年前的森林
- 209 恐龙蛋的魅力
- 219 人类起源与进化的几个热点

225 点评篇

- 227 天体撞击与地球生命
- 235 极端环境与生命起源
- 238 来自史上生物大灭绝的启示
- 241 来自史上生物大辐射的启示
- 244 恐龙的魅力和启示

247 附录

- 249 新疆鄯善巨龙故乡之行
- 260 德国地质古生物考察——探访侏罗纪时代鱼龙的故乡
- 269 磨盘仙岛之行

276 参考文献

生物进化传奇

基础篇

Basic

古生物化石一般知识

1. 化石如何定义？

化石的英文单词为 fossil，来源于拉丁语 fossilis，意为挖掘或从土里挖出的东西，而按照中文字面意思可以理解为“变为石头的生物”。化石是古生物学的研究对象，即保存在岩石中的远古（一般指一万年以前）生物的遗体、遗迹和死亡后分解的有机物分子。

2. 化石类型有哪些？

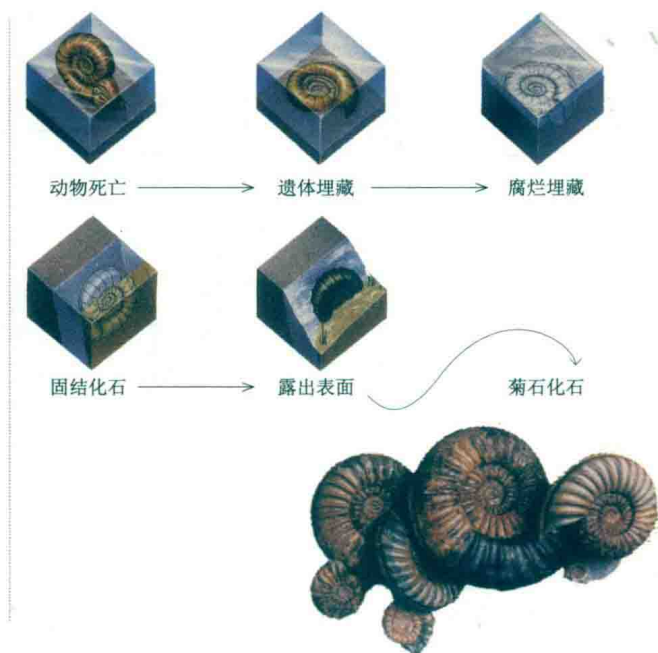
化石分为实体化石、模铸化石、遗迹化石和化学化石（分子化石）四大类。实体化石是指古代生物的遗体全部或部分保存下来的化石。模铸化石是指生物遗体在地层或围堰中留下的印模或复铸物。遗迹化石是指古代生物在生活底质（如沉积物）表面或内部留下的活动痕迹，如足迹、移迹以及粪团、粪粒、卵、珍珠、胃石等生物代谢、排泄和生殖产物。化学化石是指残留在化石和沉积物中的古代生物有机分子，是伴随着新技术的出现所发现的一种新的化石类型。



海百合化石

3. 化石如何形成?

化石形成的过程通常包括五个阶段。以菊石为例，一只菊石死后沉入海底，菊石的旋壳在海底随机被下落的微细沉积物覆盖，在原状固结过程中，旋壳里原有的矿物质逐渐被其他矿物质取代，老的岩层上面又形成了新的岩层，岩层暴露地表，久经风雨侵蚀，露出了化石。



化石形成

在极少数沉积岩石中保存有异常精美的有机质化石和骨骼化石，即保存有一些通常情况下很难被保存下来的生物学特征，它们被称为特异埋葬化石库。例如，节肢动物的附肢及其他软体部分、鱼类的脊索、动植物胚胎、陆生植物维管组织和其他化学成分、早期鸟类的羽毛以及稀少的胚胎。德国索伦霍夫始祖鸟动物群、加拿大布尔吉斯页岩生物群和我国云南澄江动物群、辽西热河生物群、山旺生物群等都属于特异埋葬化石库。

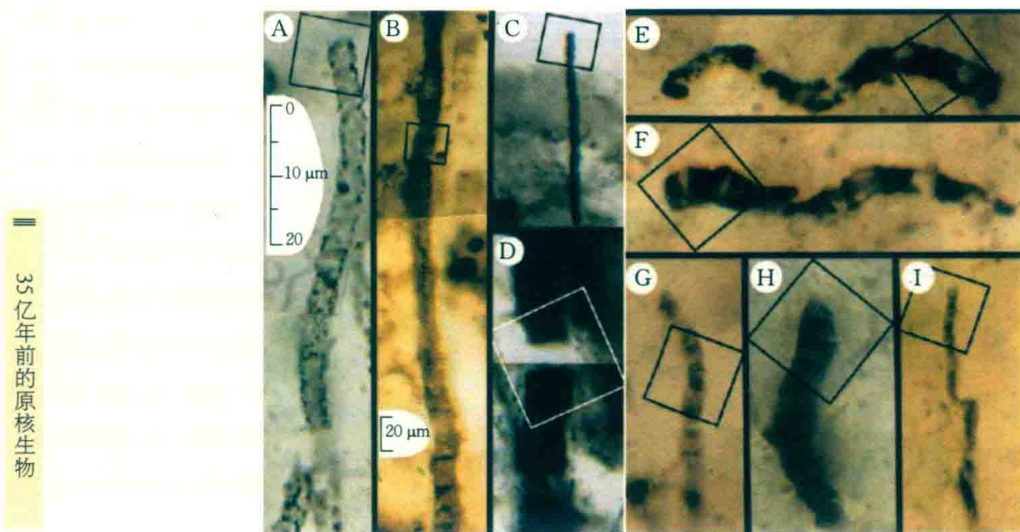
4. 化石分类系统怎样建立?

根据研究，化石可以建立起古生物分类系统，形成与生物学相应的分类阶元，即

域、界、门、纲、目、科、属、种。古生物物种的概念也与生物学物种相同，但由于通过化石不能判断是否存在生殖隔离，故而着重于这样的特征，即共同的形态特征、有规模的居群和居群分布于某一地理范围。由此判定的化石种是自然的生物分类单元，具有客观性。仅依据生物体的某些部分(如植物叶片)的形态确定的种叫作形态种，以区别于自然单元的种。

5. 最古老的化石是什么？

地球已有46亿年的历史，最早的化石记录历史可以追溯到距今35亿年前，它是在澳大利亚西部古老的瓦拉努娜（Warrawoona）群的硅质燧石中发现的丝状原核生物，而最早的与生命有关的碳分子记录历史甚至可以追溯到距今38亿年前。显然，生物至少从38亿年前就已出现并拉开了进化帷幕。

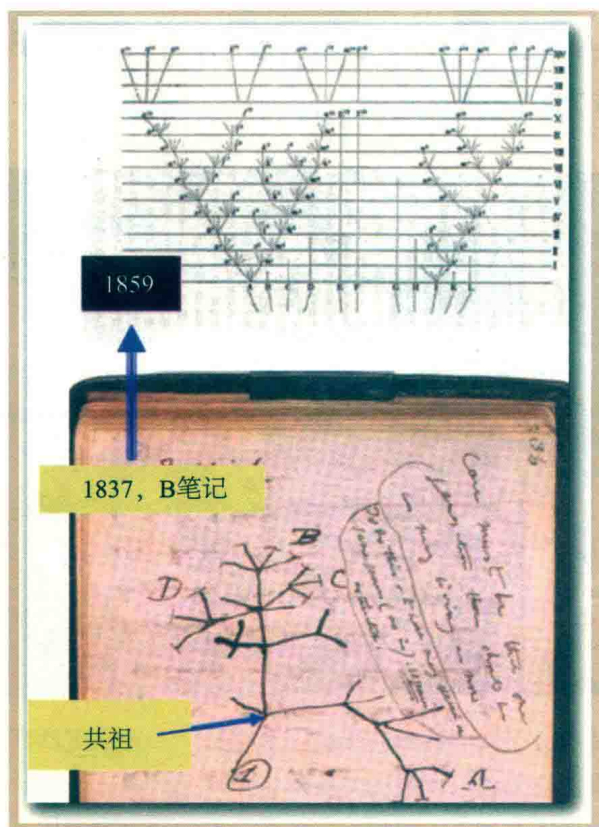


6. 化石有什么科学意义？

化石可以帮助我们了解远古时期林林总总的动植物面貌；化石可以用来确定地球相对地质年代和划分地层，为寻找地下资源及选择建筑地基提供依据；化石可以再造古环境、古地理和古气候；化石可以解释地球演变过程，如青藏高原的隆起。化石还能记载天文轨迹，为地球物理学和天文学研究提供有价值的依据；化石可以解密沉积矿产的成因；化石可以提供生物灭绝的依据，为人类控制生态平衡和保护地球家园提供历史和科学方面的借鉴。

7. 化石有什么社会意义？

化石研究揭示了地球生命演化的一般规律。19世纪达尔文发表了科学巨著《物种起源》，打破了长期以来禁锢人类思想的枷锁，第一次明确宣告地球生命有着漫长的演化过程，它从最初的单细胞生物演化而来，就像一棵大树，逐渐枝繁叶茂，形成当今地球生物的多样性。进化论是19世纪三大自然科学成果之一，至今仍深刻地影响着人类社会。化石研究在培养和激发广大青少年对科学和自然的兴趣，改善和提升公众的科学素养，在全社会营造正确的自然观和人生观方面有着特殊的重要作用。



达尔文进化树

8. 化石有什么经济意义？

化石本身就是一种工业燃料，石油、天然气和煤炭都是化石燃料，由远古生物遗骸被大量埋葬后，经过地下复杂的物理化学反应，在高温高压下形成。因此，化石燃

因为化石属于自然历史类藏品，独特的生物学和地质学特性，使得化石的鉴赏有其独有的科学含义，如化石所在的特殊化石产地、特殊化石埋藏方式和在生物进化中的特殊事件，都将赋予化石特殊的含义，提升化石的鉴赏价值。

化石是神奇的时空指示器

生命像条河，在地球46亿年的历史里流淌，一路穿越险滩绝壁，蜿蜒曲折，奔流至今；生命又像交响曲，跌宕起伏，前赴后继，创造了一系列惊天动地的进化事件，留下了无数难以忘怀的生命故事。是什么让我们怦然心动得以了解这些，充满好奇地注视着地球的过去和现在？那就是镶嵌在层层岩石里的化石。

化石就像文字，书写着地球这本厚重的大书。尽管这本书的文字是那样残缺不全，但已经使当今的人类在相当程度上了解了地球生命曾经有过的辉煌与精彩，认识了地球演变与生命进化的深奥关联，感悟了生命长河不同寻常的历史和规律。

18世纪中期，化石被赋予了科学的定义，其神秘面纱被一层层揭开。英国地质学家威廉·史密斯发现，各类生物的化石在地层中的出现都是有一定顺序的，每一地质时期的地层中都保存着特有的化石。也就是说，化石就像一个“时空指示器”，读懂了化石中的信息，就等于拥有了一台可以重返远古的时光机器！

地质学家根据化石的面貌来鉴别岩石的年龄，为地球历史断代；古生物学家根据化石发现了地球上曾经存在的形形色色的生命形态。因此，化石就好比地球舞台上变化的“模特”。不仅如此，化石还是远古时代地球板块的“拼图大师”、古气候的“温度计”、古环境的“监视器”、生命大灭绝的“记录者”，甚至是地球旋转变化的“天文台”、指示矿产资源的“藏宝图”，对于收藏家而言，化石则是地地道道的科学和艺术兼而有之的鉴赏品。

下面就来探索一下化石诸多的神奇吧！

1. 化石是书写地球历史的“文字”

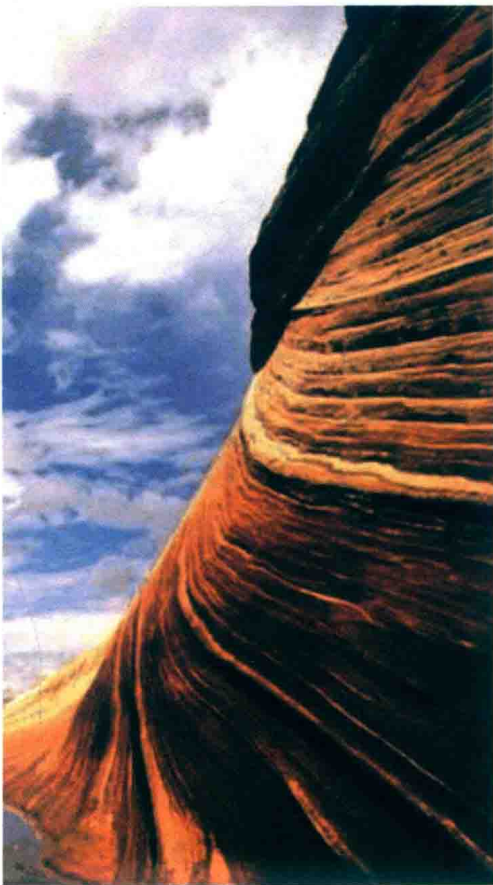
就像人类社会编年史，历代王朝的更替形成了一个个国家的发展历史，每个朝代

都是书页，书里都有文字记述了各王朝的人文景观、经济状况、社会发展等历史事件。地球地质年代的划分则是以岩层为“书页”，化石为“文字”，书写地球这本厚重的大书。

在地球地质时代，生物的起源与演化是整个地球发展演化最重要最精彩的方面。生物界经历了从低级到高级、从简单到复杂、从低等到高等的发展阶段。在此演化过程中，不同类别、不同属种生物的出现，有着一定的先后次序。已出现的生物或演化为新的门类 and 属种，或灭绝而不再延续。这种不可逆的生物发展演化过程，大多以化石的形式记录在从老到新的地层中。每个地层都是不同地质历史时期所形成的产物，它们往往保存着不同的化石类群或组合以及特征的化石，这就是史密斯的“生物层序律”。因此，化石在地层中的分布序列清楚地记述了自有化石记录以来的地球发展历史。

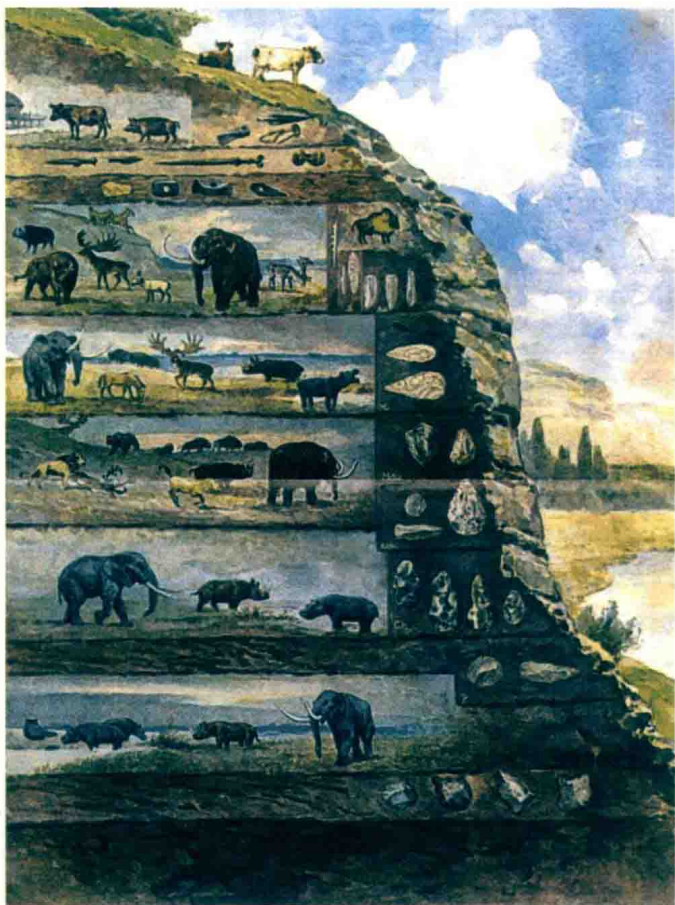
地球生物演化具有阶段性和不可逆性，地球历史由老到新被划分为不同时长的演化阶段，构成了不同等级的地质年代单位。最大的地质年代单位是宙，整个地球地质历史被划分隐生宙、太古宙、元古宙和显生宙。隐生宙是天文时代，是地球遭受大规模陨星撞击并形成内外圈层的阶段。太古宙是化学进化和生命起源的阶段。元古宙是原核生命大发展和进入真核生物初级演化的阶段。显生宙后生物获得极大发展。显生宙被划分为三个代，依次为古生代、中生代和新生代。代以下依次还有纪和世，每个世又被分为若干个期。每个期包括一个或几个化石带，时间跨度为数百万年，是地质年代的基本单位。

每一个地质年代都会形成地层，因此每一个地质年代单位都有相应的年代地层单位。地质年代单位宙、代、纪、世、期所对应的年代地层单位分别为宇、界、系、统、阶。地层是研究地球发展规律的物质基础，地层学就是研究地层在时间和空间上的发展和分布规律的学科。以化石为研究对象的古生物学是研究地层划分和对比行之有效的主要方法。它依据不同年代地



|| 地层

层中保存的不同特征的化石或化石组合，来识别地层的地质时代属性，并据此对比不同地区但时代相当的地层。这种不同地区的地层划分和对比，在寻找地下化石能源和选择建筑地基等方面有着重要的意义。



化石层

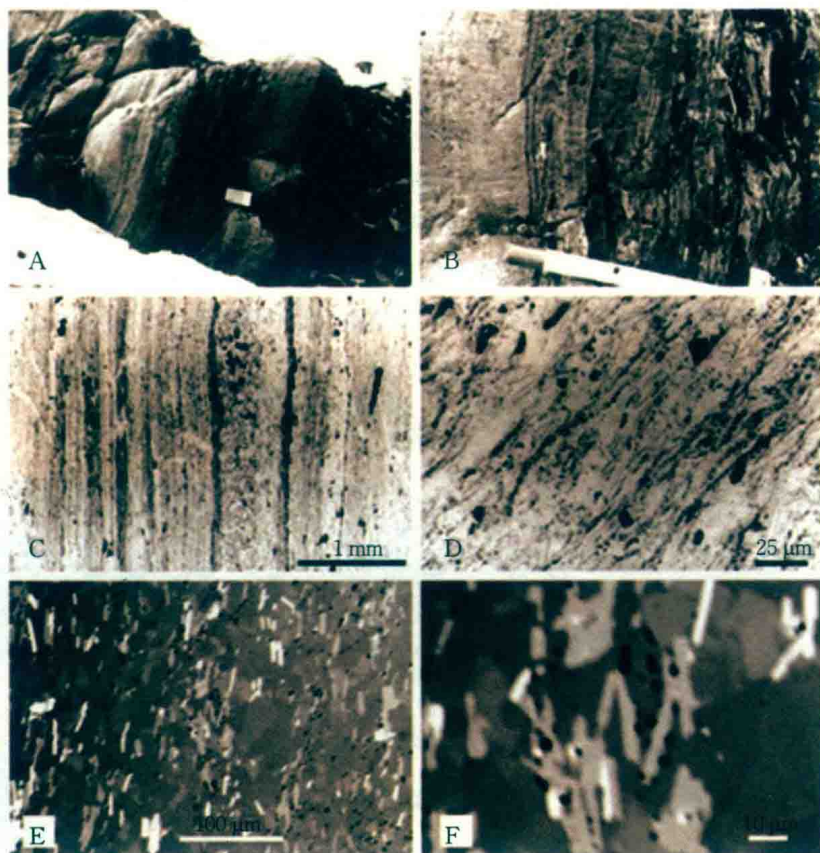
地质历史中形成的岩层，就像一部编年史书，地球生物的演化历史就埋藏在岩石之中，年代越久远的生物化石就保存在岩层的最底层。

以菊石为例，它特征鲜明、容易辨认、演化迅速、分布广泛，所以菊石化石是推算岩石年代有用的化石之一。利用菊石，古生物学家可以将侏罗纪和白垩纪的地质年代划分精确到50万年。要知道地球的年龄有46亿年，对地球历史来说，50万年就相当于一眨眼的工夫。有了菊石化石，就像中生代的大钟上有了刻度线，这对于科学家们来说真是妙极了！

牙形刺在古生代和三叠纪的“深水相区”可以划分出180多个带，如果加上在浅水相区的牙形刺化石带，牙形刺化石带已有200多个。牙形刺实际就是古生代和三叠纪生物地层的主帅。

2. 化石是地球历史的“时空指示器”

化石是远古生命的载体，通过对不同时代和不同地区化石的采集和典藏，运用生物学和地质学知识研究其形态特征、结构构造、化学成分和埋藏情况，进而获得分类学、生态学和演化学等方面的研究进展。



38.5 亿年前的生命痕迹——有机碳

生命起源是科学的基本问题之一。恩格斯早在 19 世纪就指出“生命是蛋白体的存在方式”。因此，认识生命现象的基础就是研究蛋白质和核酸的结构与功能。蛋白质已知由 20 种不同氨基酸组成，大部分氨基酸已在化石中发现。前寒武纪地层中发现的化学化石和微体化石，对于探索生命起源具有特别重大的意义。如科学家在格陵兰的 38.5 亿年的岩石中发现了富含轻碳 (^{12}C) 的碳颗粒，它通常被认为只有通过光合自养生物的分馏作用才能形成。又如南非发现距今 37 亿年的前寒武纪地层中显示非生物演化和生物演化中间阶段性质的有机物，距今 32 亿年的前寒武纪地层中发现有植物色素