

第一部分 追溯时间

第 1 章 化石与地质年代 标度的诞生

苏舍岛上的岩石是什么年代的？我们现在看到的岩石露头，那时候那些绿色的沙石岩和淤泥所富含的化石不是死的而是活的，生存在海底。这海底，终因有机生物体的灭绝而成为动物界的归宿地，那是在多少年以前？多久以前，这些满身鳞片长颈的海生爬虫和现已灭绝的贝壳类软体动物还过着它们各自的好日子？多久以前呢？除非我们先搞清楚它们生活的年代，否则是无法将已经逝去的世界予以复原的。找出或搞清苏舍岛的年龄是我们此行的第一项任务，正像每一个搞地质工作的新手，一上来首先要承担的科学课题就是追溯时间。

地质学家在他们的研究中，也会面临同样的核心问题：正在着手研究的岩石年龄到底有多大？与此相关的，地球的年龄有多大？某一指定的山脉，或一个古海是什么时候形成的？某一特定的引人注意的或重大的进化事件是何时发生的？对于重建过去年代所采取的第一步措施，需要使用从一把最简单的敲石手锤到神秘奥妙的分离原子的质谱仪的多种工具。

我们平日是如何知道时间的呢？可以看手表，或是看挂钟。要是眼前没有时钟或手表呢？那么可以听收音机或者看电视，收

听收看适时的报时。要是这些办法都实现不了呢？比如在野外，则只能依靠更原始、更基本地指明时间的事件，比如日出或日落。你可能会判断出，到正午了。可是大半夜或者阴云密布的傍晚，怎么判断时间呢？可见，没有了技术手段的支持，时间的准确判断将变得非常困难。

没有技术支持，判断时间只能从绝对方式改成相对方式，当没有一个外部标准可供参考时，只能采取一种相对的方式去确定时间。过了夜晚到白天，过了早晨到中午；肚子饿了，吃，吃完了，睡。这种计时状况太粗糙了，在海滩上随意找到一块化石，你想判断它生成的年代、时间，就是这么粗略。大半夜的，醒来，周围一片漆黑，几点了呢？无从判断；在海滩上找到一块化石，境况相当，它年龄有多大了呢？无所适从。没有某种前后连贯的信息作参考，没有技术支持，你会茫然而不知所措。也许你以为，拿刚才的比喻来说，还有办法确定时间，半夜起来，摸摸索索，找找临睡时手表放在何处，找到手表也就有了答案。可是对于海滩上的化石，情况就不一样了，谁也没给你放一个跨越时空的大表，用以判断化石的年龄，也没有那么一架机器帮你准确地指定这块化石就是存在若干年了，所能做到的顶多不过是非常粗略的大约几个或几十个百万年，或者比这还要粗略，大约存在几亿年了。如此看来，早期的地质学家，为了要确切无疑地决定性地把这个问题解决，而不遗余力地拼搏，也就毫不奇怪了。

与其他科学领域相比，地质学如果不与时间概念联系起来，几乎就毫无意义了。地质学本身就是为了判定年代判定时间而建立起来的，就是要把地球上发生过的地质事件一一排好顺序，定出发生的早晚及界定时限，就是在追溯时间。任何一项地质学的研究，随着课题的逐步深入，一种相对时间较为松散的过程性的研究，早早晚晚，将转化为一种与时间密不可分的历史性研究，也就是把在离散的时间片段内发生的事件逐个地排列到过去这个大历程的恰当位置上。对于一位地质学家来说，测定时间几乎是一种宗教般的虔诚信仰。没有任何其他的科学领域需要像地质类

学科那样制定一套时间尺度、年代标尺，专供本学科的专家们使用，这套尺度或标尺在别处好像还真派不上用场。还没听说过有什么特定的生物学时间标尺，或者专用于化学的时间尺度，其实这两大学科所描述的过程也是经常离不开时间这个重要因素的。所有其他学科领域的研究，所引用的时间划分的尺度都是大家比较熟悉的，例如：秒、分、小时、日，等等。可是一到地质学家这里不一样了，他们一讨论问题就说纪 (Periods)、世 (Epochs)、代 (Eras)、层或带 (Zones)、阶 (Stages)、统或段 (Series) 等等。这些就是众所周知的地质年代标度 (时标、时间尺度) 分段的时间间隔单位。事情就这么明摆着，研究地质学不仅绝对摆脱不了时间因素，而且时间因素与地质学密不可分地交织在一起。这也就是说，从这门学科诞生那天起，地质学家就一直被时间和如何测定时间紧紧地缠绕着。

从地质学发展史上看，对“时间问题”赋予如此专注的努力，出于两个几乎截然不同的动机。第一个缘由来自宗教方面，对于信仰来说这是一个至关重要的重大问题，不可能不闻不问的，发展到了 19 世纪末叶演变成为一个至为紧迫的科学问题。有知识的人，最早主要是神学家们总是在琢磨：我们居住的这片大地已经存在有多久了？那些关于造物主创造世界的多如繁星的神话说法怎么跟这个大地的年龄协调一致呢？这第二个驱动力就太世俗化太功利性了。早期从事地质工作的人士发现：如果他们把地球表面的构造搞清楚，那么在寻找富有经济价值的矿物时，就更容易更方便了。他们很快就认识到，必须先设法测定岩石的年龄。

历来不乏各界人士努力寻求该问题的答案。神学家们长久以来就一直把确定地球存在的年龄视为自己责无旁贷的神圣职责，然而他们不是从地壳内存留的记录去寻求，而是求助于关于人类命运的预言家和昭示者们的宗教经典。他们的回答千奇百怪，少的甚至认为只不过几千年，最多的当然就是无限地久远了。按照印度教的传统说法，认为大致将近 20 亿年，而按照某些犹太教和基督教人士的计算结果，认为还不足 1 万年。然而随着技术的发展和进

步，这种渴望解决问题的势头不仅出于宗教信仰，更出于对金属和矿物燃料不断增长的需求，测定的方法和手段愈来愈科学化了。

由于工业革命的推动，急于知道岩石和矿物的年龄已成为勘探矿藏必不可少的前提条件，无论是勘察煤炭燃料，找寻铁矿原料或其他矿物都是如此，如果缺了矿藏原料拿什么去支持 18 世纪、19 世纪的西方的工业大革命呢？正在矿区工作的工程师们，他们迫切需要一套比较合理的方法，用以把杂乱分布在地球表面的各种矿物和岩石加以分类和组织使之系统化。首先采用科学的方法去测定各种岩石的年龄，随之就引出地球本身的年龄问题。他们认识到如果能把各种各样的岩石样品按照它们的相对年龄，即成矿的早晚予以测定，散布在更为广泛地区的岩石之间的相互关系，也就能建立起来了。那么，由此看似杂乱的地壳状况，就能从地质学的角度予以识别和整理成有序的状态。那么这个岩石的年龄到底如何测定呢？

在这方面欧洲的地质学家是先行者，他们最早意识到，首先要辨明岩石的类型，这对确定岩层的年龄大有帮助。而在岩石的各种属性中，某一指定矿物或岩石的硬度是一条强有力的指标或线索。某一种特定类型的岩石假定是在某一种特定的年代形成，依此，最软的岩石形成的年代最近。这种粗略的确定年代的方法，最早用于解释山脉形成的方式。在 18 世纪初，据此认为，欧洲有 3 种不同的山脉，各自具有它们不同类型的岩石，各自形成于不同的年代。按照这套理论，最古老的是阿尔卑斯山，它具有一个坚硬的内核，该内核由结晶型的岩石组成，比如花岗岩、片岩或玄武岩。这样的山脉，称之为原生的（Primitive）山脉。处于原生山脉侧面的是年轻一些的，称之为次生（Secondary）山脉，它是由层状的沉积岩组成，比如石灰岩，该岩层富含化石，岩石硬度为中等硬度。最年轻的，称为第三纪山脉，由较软的泥岩和砂岩构成，也富含化石。这种低矮的小山其实算不上真正的山脉。岩石类型和硬度由此就构成了山脉的类型，因此岩石的类型也成为一种岩石年龄的表达方式或指标。真要是地球就这么一分

为三、各居其位，对于科学家来说太妙了，简直妙极了，太省心了！可是我这个行业绝不是省油的灯，太让人操心了，几乎可以说，灾难重重！真要是这样的话，那么那些一批一伙、兢兢业业、一锤一镐的地质工作者岂不失业了，可是，事实上，如何辨别明岩石的年龄还有成批大量的具体细致的工作等着他们去干呢。

进一步的研究很快就发现早期设想中的重大失误。人们发现，有些非常高的大山是由最软的沉积物构成，而非常硬的火山岩在一些非常低矮的小山周围出现。到了 19 世纪初期，人们明白了岩石类型与山脉的形成和年龄毫无关系，而一个岩石的成分或矿物组成与岩石的年龄是相互独立、并无关联。地质学家们大失所望，直到发现了一种新方法，这才转悲为喜，这种方法至少对某几种类型的岩石如何确定年龄是有效的，这就是借助于化石的一套方法。

化石是一种很奇怪的东西。有好长一段时间，人们只是视之为奇石异宝，后来由于欧洲工业革命大潮涌起，化石变成了一种锋利无比的科学工具，因为人们发现：利用化石可以将地理位置相当分散的某种岩体的相对年龄推导出来。我们中间有很多人都记得小时候对化石的好奇、惊讶和喜悦，那时候绝对想像不到它乃是一种郑重而严肃的工具，即使在今日，古生物学家们（Paleontologists）仍然需要它，甚至有人会觉得，科学仪器仪表如此昌明发达广泛使用的今天，再用这玩意儿，是不是有点与时代不太合拍呀。其实不然，我们中有些人始终把那最初的化石保存着，与儿时引发的另一种惊喜和向往珍藏在一起。

第一次

当斯蒂芬·杰·顾尔德（Stephen Jay Gould）在美国博物馆初次见到巨大无比的霸王龙（*Tyrannosaurus rex*）骨架时，写下关于古生物学的感悟。而我对古生物学最初的感动和倾心是由于一件不

太出众的化石，那是在海边找到的，可惜现在除了在脑海里的记忆之外，那个实物早已不复存在了。

在华盛顿州，最强烈的季节气象特征（比如说最强烈的阳光）来自南方，最猛烈的冬季风暴也是从那个方向拥过来的。海滩，就是由气象或天气造就和培育着的，当然，海滩就形成它所面对的那个方向本身赋予的特征。南部的海滩携带有最大块的失事船只的残骸、最细腻沙子、最大个的卵石。东部和西部海滩较为文静点，然而有时不高兴了，难免也会耍点脾气。北部的海滩面积最小，而且就像北部的光线和冲刷着它的北部海水一样，最为平静、稳定和安详。

一条绵长的砂砾带划定了沃卡斯（Orcas）岛的北部海岸线。向北一望，满目净是绝对荒凉或几乎荒凉的海岛，绝大多数都归加拿大所管辖，有少数例外的就包括苏舍岛（Sucia Island）。我家在沃卡斯（Orcas）岛的北岸有一个度假的小屋，从屋前看苏舍岛简直就像一艘低低的战舰。我们这群孩子都是看着关于第二次世界大战的爱国影片长大的，我们想像着自己在发射威力无比的水雷，发出号令要将这艘战舰击沉，一次又一次、一年又一年地轰击它，它自岿然不动。因为这种轰击只造成一片欢笑。

这片特有的砂砾海滩在退潮时就成了动物享乐的天堂。早晨，天刚一亮，是孩子们最高兴的时候，一起蜂拥到海滩上，进行挖掘和寻宝，我们专找那些被潮水冲到大小卵石下面的海生的活物。如果能在退潮留下的小水洼里发现一条活着的小鳗鲡，就可以说如获至宝了。石头当然排不到优先爱好的名次上，那时候的日子，一天一天就是这样。

可是忽然有那么一天，一块石头引起了我的注意，那是艾森豪威尔（1890—1969）当总统的最后几年，当掀起石头找海蟹窝的时候，发现满处乱爬的海蟹下面有一块石头，像足球那么大，圆鼓隆咚、灰不溜秋，几乎整个都是由蛤蜊壳构成的。发现蛤蜊壳绝对算不上什么新鲜事儿，海滩上到处都是各式各样的贝壳。奇之处在于这些堆积在石头上的贝壳，样子是贝壳，可实际上已

变成石头了。我早就听过人人都知道、广泛流传的、哄小孩的、神仙鬼怪的故事，说妖怪把小孩变成石头，仙人救了小孩又把他变活了，等等。虽然是小孩子，我也不是一点不辨真假的。千真万确，这块石头就是充满了真的贝壳化石，我兴奋得又喊又叫、又笑又闹，我轰轰地让一家人都知道了我的新发现。

一周以后，当地一位石头收藏爱好者证实了这个发现，的确确一点都不掺假的就是一块化石材料，而且对这块变成石头蛤蜊壳的东西做出一番行家的评论。他说：这不仅是化石，而且是古中生代（Old-Mesozoic）的化石。中生代（Mesozoic），一个 8 岁的小孩一听就把它记住了，这是一个关键词，恐龙就生活在中生代。你想想，我发现了一块中间夹着蛤蜊的石头，它从恐龙时代就呆在那片海滩上，仅从这点零星的信息，我就这么漫无边际地神思冥想。可是发现这块化石的那片海滩除了砂砾，根本没有岩石，也不是生成这种化石的源头之处。是不是从北方过来的呢？或许来自苏舍岛，也许跨越国界来自加拿大，是不是 1.2 万年前冰河时期，当初，第一批到达加拿大人正饥饿地吃着最后一只长着长毛的猛犸，那时候有什么海潮或洋流把这块化石带到那片异乡异域的海滩。

这位石头收藏爱好者的蜗居之处是一个新奇的地方。他有一套翻转轮（Tumbling Wheel），有能锯开石头的锯，有抛光打磨的布轮，当然了，还有大大小小形状各异的石头摆放在落满灰尘的架子上。他是一位颇有些知识的人，具有耐心，善于和不耐烦的小家伙们打交道。从我这儿说，我发现了一块化石，自鸣得意，也要提点问题。我还能提什么问题，不过就是有关岩石和化石的最为普通的问题：你怎么会知道这块石头是什么年代的？

可是这样的问题他很难直截了当、干脆利落地回答。他只是说我发现的这种蛤类现在世界上已经灭绝了，可是它曾经生活在中生代。我又问，那么你说的那个“代”离现有多久呢？他不十分肯定地回答说，大约几万年吧。“可是你怎么知道的？是不是把这块石块放到一台什么机器上一试，它就能告诉我们石头的年代

了？”他开始失去了自信，我意识到他的科学知识的根底不是那么深厚，不那么稳固。他对我有点不耐烦了，我父亲赶紧把我领走，离开这个地方。

今天，我懂得了不少常识，从中我还发现了一条非同一般的重要真理：推测一块石头的年龄是一件非常困难的事。此后的几年里，我无数次地问过这同样一个问题，正像我在最初问的那位石头收藏爱好者一样，都不能给出一个简洁而令人满意的答复。因为根本不存在这样简洁的说明和解释，也不存在那么一个法力无边的神箱宝盒，从我们这个地球上乱糟糟的石头中找来一块，不知道是哪个年代多么久远的过去遗存下来的石头，往它上面一放，噼里啪啦，就把年代数字给你显示出来了，没有！倒不是我们没有机器可以显示岩石的年龄。只是这种机器仅仅适用于极少的几种岩石类型，而且前提条件相当苛刻，这几种之中还要限定某些更有限的品类，并且要长期处于不受干扰的稳定的环境之下，才可能有效测定。可是，在这样一个到处不停地在扰动、在折腾的地球表面，你想找一块历经久远年代而依然保持稳定平静的石头，那简直是太罕见了。

机遇和时间

儿时，通常会将化石找个冷僻的角落，往陈旧的架子上放，可是干我们这个行业的从不会这样做。我不能把它们丢弃在无人过问的地方，只不过由于珍奇之物已转换成一种好奇心，久久地留在灵魂深处。

1971年，我做了一名古生物学的研究生。起初，我本想研究鲸类化石，可是一件偶然的事情骤然使我转向更为久远的过去，转向远古时代苏舍岛中生代的生命活动和时间测定。当研究生第一年的课程包括研究地层学（一门关注古老年代的地质学科）和解剖学。由于我在读大学的时候经常配带呼吸器做潜水活动，

学到了很多知识和技能。我了解生活在皮吉特海峡 (Puget Sound) 的有机体群落, 哪种生物是哪种生物的食物, 以及无脊椎动物群落在空间上和在时间上的分布状态。我亲眼见到过死物的贝壳和骨骼如何慢慢地被掩埋起来, 这就是它们变成化石漫长历程的最初几步。每次潜水都是一次向更新领域的开拓, 借助于一次又一次的潜入海底, 我想像着古代各不相同场景及群落, 曾是如何的景象。我把每一次的潜海视为解开遥远过去的一把钥匙。

在 2 月份的一天, 那是个特别寒冷的日子, 我陪着一群潜海的新手去圣胡安岛 (San Juan Island)。具体工作地点在该岛的西海岸之外, 那里可以说是全美洲最优美的水域中的几处之一。这个辽阔的内陆海叫皮吉特海峡 (Puget Straits) 连接着加拿大的乔治海峡 (Straits of George), 该处是地球上最富有变化而多彩的水域之一, 大概也是最冷的一处潜海水域, 其中有多种多样的动物和植物, 还可以看到多种不同形式的地形和岩层。

我们从海滩上涉水而入。这次潜海打算进入约 50 多英尺的岩质扇贝海床。我们在水域边哆嗦着恨不得马上钻到水下去, 因为恰好这些天在水下比在海面上空气中还要暖和一些。我们看起来像一群神情无奈的企鹅, 黑色氯丁橡胶潜水服闪亮着, 配带着大批的潜水装备笨拙地在拖着脚步。当一切准备妥当之后, 浸到水里经受着一下子的寒冷海水的刺激, 把透气管换成调压器的呼吸口罩, 吸一口带点金属味的压缩空气, 一头向下扎去。

顺坡前行, 先是越过砂砾带, 然后越过基岩 (底岩层) 显示出该地区潮涨潮落的明显区分带 (先是藤壶区, 随后是贻贝区), 最后进入潮落以下的海区, 在那里海底生命的多样性更为多姿多彩, 似乎挥动着各色的花饰在问候我们。我们继续下沉, 沿着奇形怪状的岩石基底前行, 通过一簇簇飘摆着的红红绿绿的大型海藻, 在我们激起水波的冲激下, 全副武装的海胆挥动着周身的尖刺向我们示威。终于进入了扇贝地带, 最初是在大约 30 英尺的深处遇到, 我们的脚蹼搅动起波澜, 惊起那些希奇古怪的软体动物随波漂游, 像一幅绘制拙劣的卡通, 龇牙咧嘴地露出高低不

齐、东倒西歪的、用来吓唬人的假牙。海水更清澈了，更凉了，而且更加平静，此时，地面上的、海面上的、空气中的一切诸如此类的生活方式和行为举动均已淡化、微弱并离我而去，我异常兴奋、如鱼得水、畅快自如。我观察着、研究着、思考着，我注意到在海水深度和生存于该层次中的动物之间有一个相对稳定的关系，然而当时并没有意识到，我正在奠定一条弄清古生物学重要原理的基础：在一个沉积层的断面上出现的化石类型与海水深度之间存在着相对应关系。由现在的观察，同理推测到过去，是所有时间机器中最强有力的方法之一，这就是被称之为均变（Uniformitarianism）的原理。

时间过得太快了。呼吸器的存量快耗尽了，潜水小组只得撤退到地面上。上岸之后，谈话间，相互介绍，我说，自己刚开始读研究生，学古生物专业，被安排为研究华盛顿州海岸的鲸骨化石。可是问题在于尽管我艰苦努力不懈搜寻，至今仍一无所获，真让人灰心丧气。一个伙伴告诉我，他是一位业余的古生物爱好者，但从不追寻鲸类，多年来一直搜集苏舍岛的化石，如果我愿意，他可以把他的大批收藏品赠送给我。突然在我工作的生涯上展开了两条道路：一条通向新生代鲸类的研究，另一条是刚刚显现的，通向更久远的过去：中生代，还有那些菊石（Ammonite）、鹦鹉螺类（Nautiloids）和恐龙（Dinosaurs）。我并没有犹豫，毅然选择了这样一条新路线。

这位一面之交的新朋友果然言而有信，说到做到。不到一周，数量巨大的一批化石真的挤进了我那办公室中的小小分隔间里。全部化石一件一件地都仔细清理过，附有颇为在行的编码，并且个个都有标签注有发掘地点，总而言之，一切琐碎、细致而又艰苦的工作都干得妥当齐备。几乎所有的化石都很像当代能见到的鹦鹉螺（Nautilus），只是更为华饰。这些都是菊石（Ammonites）化石，是蜗壳鹦鹉螺的已经灭绝的同宗同祖的亲缘动物。过去念书的时候只见过少数粗糙、劣质、小型的样品，这样吸引人的如此一大批还是第一次见到。这些来自苏舍岛的菊石又

大又漂亮，虹彩闪闪，构造精致。看着这批菊石，我想到，它们和它们这类的化石不是很像远古的石头手表吗？它们会逐个指示它们自己的时间。现在我需要做的就剩下查找参考书的专著，逐个给这批来自苏舍岛的菊石验明正身、确认种属，这样也就把发掘地的沉积岩层的年龄确定下来了。

所有化石都已编码，可以一一将它们标到地图上。然而仅仅知道化石采集地点的地理位置还不够，对我来说，主要的还是能够与年代挂上钩。我所想知道的是它们的地层学的（Stratigraphic）位置。地层学（Stratigraphy）就是研究层状构成的岩石以及相关的地层（Strata）的相对年龄。几乎所有的化石都来自于层状构造的岩石，而且在一个沉积岩替续构造（Sedimentary Succession，沉积演替）中，压在下面的岩层总是比上面一层要古老一些。苏舍岛就有多处这类沉积替续构造，因此我不仅需要知道化石来自哪个岛，而且必须知道它属于哪一个沉积岩层。如果弄不清这些信息，我将重蹈 18 世纪末、19 世纪初欧洲地质学家的覆辙，重犯他们的错误，他们曾首次试图通过化石测定年代，但是失败了。以化石作为时间指征时必须知道在地层中它与其他化石的相对位置：以某种化石为准，要判断比照化石的岩层高度，高于它，低于它，还是与它处于同一层次？最早在 18 世纪初，有的地质学家已经天才地发现：层位愈高意味着愈年轻，层位愈低愈古老，如果化石是处于同一岩层应大约是同时代的。从这种观察得出的结论就是新创的地层科学的奠基的定律，并演化成为化石叠置定律（Law of Superposition of Fossils）。

我必须把这批出自苏舍岛的化石赠品一一对号入座，安排到原地现场的上下相互关照的地层位置上。答案只有一个，毋庸置疑。为此，我去说服本校学古生物专业的其他几位研究生以及我的学科导师，我说：冬季去苏舍岛是一条妙思出众的好主意，一趟妙趣横生的航行，一个妙在其中的勇敢挑战，一次妙绝一时的冒险，一场妙笔惊人的科学考察，绝对紧迫，绝对需要，应当立即实施。我这么一说，旁边几个闲得无聊的人来了兴头。

在雨中，我们从西雅图出发，上了高速公路，黑漆漆的看不到头。白天显得更加短暂，一会儿就天黑了。我们在沃卡斯岛 (Orcas Island) 上一处面朝苏舍岛的村舍小屋里过夜。抢在黎明到来之前，纷纷起床，匆匆吃过早饭，在阴冷和昏暗中，乘上一艘借来的汽艇，我总觉得这台外挂的摩托老不对劲儿，大家催促着向苏舍岛进发，黎明从铁灰色中透出来，汽艇推开了海岸线，沃卡斯岛很快就隐退到背后的雾霭之中，消逝不见。夏季我曾在这些岛屿生活过，冬季的情景竟然如此迥异，简直太让人感到意外。懒洋洋徜徉的闲云飘到何处，湛蓝蓝敞亮的晴空藏于何方，碧绿绿平静的海面消褪容装，开阔荒凉的冬季水域上，只剩下这一只汽艇，肆意猖狂地在船尾搅起一列列的白浪。这艘负担过重的小艇，挤满了狂热到直冒傻气的科学信徒，矢意奔向遥远的海岛去搜寻化石和失落的时间，这就是勇往直前能战胜一切困难的青春年华。高歌唱罢，好事多磨。仅有两英里的海程刚走到一半，摩托艇甩手不干了，为了活命不得不用手划，只不过保持着这条船不至于陷入冰冷的海水而已。人人都可以看得出来，我的导师阴沉着脸，准是在琢磨，怎么让这小子花言巧语说得，大冬天的，竟然上了这么一条破船，为何呢？幸亏有了救命的南风（这个季节，南风是主要风向），把我们安全地送上了苏舍岛。

谢天谢地，终于到达了，我们上了昏暗的海滩浑身湿透、余悸犹存。当务之急，先修后路，必须得把船修好，以保障工作结束后回程的安全和顺畅，尽管湿淋淋的一幅落汤鸡的受罪相，这事儿也得完成。拖着浸透水难受地咯吱咯吱响的靴子、踢踢踏踏地移动在砂砾的小径上。我们这帮学生本以为自己什么都知道，怎么干都知道，读过论文，看过专著，修过课程。可是真的到了这旷野荒郊、山石秃地上，怎么从这些岩石里把想要得到的信息抠出来，我们的知识和技能加到一起不过是零加零，还是零，可以说热情有余而知识不足。我想 18 世纪末，刚刚孵出壳的“地质学家们”也和我们一样，虽然知道化石有极大的科学价值，可是如何从中获得信息呢？束手无策，没了主意。幸好我有远见，邀

请导师同行，他执掌帅印、引经据典，介绍了在天有灵的地质学祖师们的开创性的工作，道出了好多听起来外国味的名字，后来这些名字渐渐熟悉了，其中有：英国人威廉·史密斯 (William Smith 1769—1839)；法国人阿尔塞·迪沃彼格尼 (Alcide D'Orbigny) 和若尔日·居维叶 (Georges Cuvier, 1769—1832)；德国人阿尔伯特·欧珀尔 (Albert Oppel) 和弗里德里赫·昆世泰德 (Friedrich Quenstedt) 他讲到地层替续 (Stratal Succession) 和化石演替 (Fossil Succession)，讲到“岩层叠置律” (the Law of Superposition of Strata)，讲到被称为阶 (Stages) 和带 (Zones) 的时间单位。他在讲述中经常归结到一套口诀上：测量断面一丝不苟，选取化石原样不走，忠实记录亲自动手。他说，首先要测量岩层，然后再从测量过的断层面中搜集化石样品。我们在他指导下走通这座玄机奥妙的石头迷宫。他老是在重复着这句话：“从测量断面开始。”我们一心想马上把化石采集到手，看来那是儿童游戏的作法。“首先，当你们测量岩层厚度的时候，一定要把这些岩石的特征属性记到你们的笔记本上，然后才可以采集化石，一定要严格地记录下它们准确的地理位置，同时记下它们的地层学的位置。将来要是不知道化石的相对位置，那么收集到的不过是一堆废物。”我的这位教授是在欧洲接受的专业训练。他深知要想以化石标定时间或年代，只有事先将它在层序 (Succession of Strata) 中的相对位置确定。

我们开始动手干起来，手里拿着长长的测量卷尺，尽量详细精确地把地层状况描述出来，记到黄色的野外作业笔记本上，记录着最初发现化石时它的位置。“菊石 (Ammonites)，野外作业号 12/27/71-3，类别未知，取自剖面底部以上 25 米处，厚石灰岩层，地理位置，距化石湾出口以北 200 码〔1〕处。我们利用罗盘测出岩床的“方位”，测量岩层的倾斜度；我们还颇为得意地冲着岩石小便，告诉我们，这么干是要观察这股小溜儿是如何沿着

〔1〕1 码 = 0.914 4 米，下同。

岩石的直正倾斜线向下流去，以确定准确的斜度。这可是密不外传的行业诀窍，你知我知不可他知！这个时候，还不到中午，忽然泼下一场大雨，连那一棵棵高耸在头顶上的大杉树都浇得无精打采，夏季采集化石标本的欢乐现在变得有点冷酷无情，这可不是小孩游戏，只能由成年人来承担。午餐是泡过水的花生酱抹面包，每人一罐可口可乐，糖和咖啡当然成了大受欢迎的兴奋剂。我们默无言地干活，目的虽神圣，可现实够严酷的，我真的同情那些几百年前的先驱们，他们怎么琢磨出这么一套方法呢！

随着一分钟、一刻钟的过去，我们的笔记本写下了一栏一列的地层记录，还有那些来自不同岩层的化石，也一一记录在案。可惜其中没有珍品。直到现在，我仍然时常跑到苏舍岛去搜寻化石珍品，除了特别古老的以外，其他都不要。现在岛上每一个陡坡都包含着信息，只要能对化石确认无误，每一块古老年代死去的贝壳的碎片都是一个数据点。在小雨中，泥水污浊的化石一个个从岩层中被凿出来，然后做上标记加以包装。一天飞快地就过去了；该回沃卡斯岛了，那条小船，这趟返航，我真担心。我真想不到整整一天只能干这么一点活儿。我老是听说：整天工作不游戏，弄得孩子冒傻气。我们既冒了傻气也没有游戏，可是仅仅干了一点点工作。然而无论如何，我们的的确确搜集到了数据，而且我第一次懂得了对记录准确无误的责任心。尽管我过去一天到晚都能看到学校的一间办公室的墙上有一条标语“确凿的数据是不朽的”(Good data are immortal)。今天我才体会到它的含意。因为出于人的种种缺点和脆弱，数据有可能是“糟糕”的：标错化石的编号、测量疏忽大意、记录马马虎虎。我们已经对苏舍岛的秘密进行了一次小规模探查测量，已经轻轻地叩问过它长久保持的神秘。为此，我们已经自豪地实施了一场按照精确的科学方法所作的考察。

当天很晚，安然无恙地回到沃卡斯岛那间海岸小屋里，我们共享着笔记，共享着热烈的欢迎晚餐，共享着职业的自豪感。教授先生心满意足地看着这帮徒弟们喝得迷迷糊糊。这也是地质行

业野外工作的传统。

这个周末，我把尚未干透的野外作业笔记本整理一下，把测量过的剖面画成一个地层图，最老的放在底部，最年轻的放在顶部。把早先搜集到的菊石以图形的风格画出它们的位置，也把这次的收获画上。每一种化石都辨明为某一种特定的物种，画到图表上，每一“类别”或物种最初的外观和最后的外观都以粗线条标注出。很快，一系列长长短短的线条排列在地层纵列的旁边。某些化石是由多种样品辨明的，有些依据的样品较少，有的甚至只可能根据一个样品作出判断。当然，有一些菊石是非常普通的，而有些相当稀少。最后鉴别出 10 个各不相同的品种，一切便从这 10 个物种开始了。

化石和“生物年代学”

一位非常务实的英国人，名叫威廉·史密斯 (William Smith)。他第一个指明可以利用化石所提供的信息构成一套系统，用于测定岩石的年龄。在我们去苏舍岛冬季冒险之前 200 年，史密斯首次做成地层学采集系统，这套系统最后被古生物学家们普遍接受并采用。

威廉·史密斯是一位英国的勘测员，18 世纪末，供职于不列颠内陆运河系统开挖现场。当这些巨大运河开凿工作遇到岩石时，他经常在现场亲眼见到大批刚刚出土的化石。他开始进行记录，把他见到的化石类型和有关特征记录成册，他逐渐地认识到，在不同地区，他所看到的是同样一套化石类型的演替 (Succession, 替续)。在史密斯之前，很多博物学家已经认识到，来自较低的岩层替续位置的化石，通常不同于来自覆盖在表层的较年轻岩层内的化石。但是没有人注意到这种岩层内化石的替续，各个不同地区，通常都是一样的。这天才的一挥而就，使得史密斯能把他们国家在地理上离散分布的区域性岩层“联系”到一起。

这套模式稳定的化石演替（替续）如何沉积为地层呢？史密斯是一位工程师，而不是一位科学家；他并不关心他找到的那些化石是如何沉积于岩石之中。对于他来说，这些东西只不过是工具，能使用就可以了。几乎所有的情况下，他所利用的都是岩石化的贝壳，叫做菊石。在他工作的熟人圈子之外，史密斯的重大发现并非马上得以扩散传播。确实，他的发现曾首先在一种出版物上公布过。史密斯并不那么“绅士派”，在他的发现公布之前好多年，关于这项发现的好多说法和谈论早已传播开。史密斯并没有接受过多的正规的学校教育，觉得写成论文有困难，转而寻求其他方式解释和说明他自己的工作成果。他产生了一个新颖的想法，发布一张地质图，而不是地理图。在这幅地质图上，每种年代不同的岩石在地图上标以不同的颜色，直到今天这种作法仍在沿用。在建立这第一幅地质图的过程中，史密斯制造出第一台时间机器，因为他所绘制的地层图是用于研究古代时间的最早和最准确的方法之一。

史密斯的毕生心血，英格兰的第一幅地质图，在 1815 年出版。这是一件革命性的文献，也正像很多这类进步、突破和跨越一样，最初的若干年并没有引起人们的注意。史密斯本人在世时，这项发明也几乎没有得到什么重视。然而，逐渐地有了一些评论，这项新的工具开始得以传播，到 20 世纪的前一二十年间，不少地质学家认识到，史密斯早已懂得这条规律：在地球历史进程中，任何年代都可能生成岩石，而化石则带有明显的时代特征。比如：石灰岩在任何年代都可以生成，但是包含有菊石化石的石灰岩不可能是在中生代以后生成的。即，它的年龄不可能小于中生代，只能更古老一些。

这样一来，就出现了一种新的工具和手段。实际上，不可能真正地确定岩石的年龄，这是说普通意义下所指的年龄。对化石也是如此，你不可能说出来这块岩石是几百年的、几千年的，也不可能说它是几百万年的，从事时间测定的任何集体和个人，谁也无法准确地认定这块岩石就是多少年前生成的，对地球的年龄

估算的状况也是如此。但是如果换一个角度，只要求确定哪类岩石古老些，哪类岩石年轻些，这是可以相当准确地确定下来。这样一来，就有可能搞清楚地球表层的情况并绘制出地球表层的结构图。从中就可以发现地底下的秘密和宝贵的矿藏。

使用化石作为相对时间的指标，这种方法很快为欧洲大陆上所有的地质学家所采用。多数的时间单位基于具有特征的化石聚集。虽然这种时间划分是基于实际的岩体，至此已成为实际的时间单位。例如，一位名叫亚当·赛吉威克(Adam Sedgewick)的地质学家，在19世纪初花费了几个夏天的功夫研究威尔士发现的地层。这些岩石显示出不含化石的较低地层过渡到含有化石的上层覆盖的地层，目前已经知道，这种过渡标志着古生代的开始。赛吉威克按照他自己所下的定义，以在该地层发现的、含于该地层内的、富有特征性的化石，将这类含有化石的岩石命名为寒武纪系统(Cambrian System)，“Cambrian”这个词就是“威尔士”的意思。当时寒武纪定义为一段时间，在此时期该地层（被称为寒武系）形成沉积。按当代的说法，该寒武纪起于53 000万年前，止于50 000万年前。尽管赛吉威克的地层是在威尔士之内有限地区发现的，但是只要通过含有化石的特征或某些其他技术手段，能够证实它们是形成于前53 000万~50 000万年这个时间段，我们就把那些岩石统统归为属于寒武系（在讨论地质年代时，采用不同时间单位是20世纪的一大进步，本章后面将会说明）。

还有一些更大尺度的时间分段，不久也获得了大家的认可。那是以大规模的生物灭绝事件为基准而确定下来的。那突然降临的全球性灾难，致使当时绝大多数的物种归于消失和灭绝。其中有两场特别突然，真不能不让人想到天翻地覆，就像一场欢乐的喜剧，出人意料地以壮烈的悲剧场面结束了。一场是在称为二叠系(Permian System)顶部的地层，还有一场在众所周知的白垩系(Cretaceous System)顶部的一组地层，后者属于更年轻一些的地层。这两处的主要特征都是大批量的动植物化石替换成为截然不同的化石聚集。在地层学的记录中没有任何其他地方是这样