

英格兰湖区沙普花岗岩中的放射光晕

消除对洪水地质学反对意见的证据

抽象的

位于英格兰北部湖区的沙普花岗岩以岩浆侵入周围围岩的形式形成，岩浆在结晶冷却过程中释放出热液。这些高温流体反过来又在侵入体周围形成了异常宽阔的接触变质和交代变质晕。边界处没有证据表明存在原始冷花岗岩体的构造侵位。本研究记录了沙普花岗岩中丰富的钋放射晕。这些钋放射晕必定是在花岗岩中释放的热液促进了花岗岩特有的正长石巨晶的形成之后，以及结晶花岗岩冷却至放射晕退火温度 150°C 以下之后形成的。钋放射晕的丰富性与钋放射晕形成的热液运移模型以及灾难性的快速花岗岩形成过程相符。这些特征表明，沙普花岗岩在 6-10 天内形成，其钋放射晕在花岗岩冷却至 150°C 以下后数小时至数天内形成。覆盖于岩体之上的围岩发生水力压裂，促进了花岗岩的快速剥蚀。随后，持续的快速侵蚀将花岗岩砾石沉积在上覆石灰岩的基底砾岩中。因此，可以推测，沙普花岗岩的形成、剥蚀以及含有花岗岩砾石的基底砾岩的沉积，所有这些过程都发生在洪水年的早期至中期，历时 2-3 周。与该花岗岩相关的钋放射晕和其他证据因此消除了对洪水地质学的质疑，也无需将洪水/后洪水界线置于下石炭纪。

关键词：沙普花岗岩、英格兰北部、接触变质晕、热液、钋放射晕、正长石巨晶、灾变花岗岩形成、水力压裂、快速剥蚀、上覆基底砾岩、洪水/后洪水边界

本文最初发表于第六届国际创造论会议论文集，第389-405页（2008年），经[匹兹堡创造科学协会](#)和[达拉斯创造研究所](#)许可，在此转载。

介绍

一种经常被提及的观点是，熔融花岗岩体的形成和冷却需要一百万年或更长时间，这无疑否定了洪水地质学及其圣经年代框架。¹ 但许多当前的研究正在驳斥这种误导性的观点。^{2, 3, 4, 5} 然而，确实存在^{一些}花岗岩体，其地质背景对其形成和冷却历史的时间限制非常严格，以至于一些洪水地质学家出于这个原因以及其他原因，不得不将洪水结束的时间推至地质记录的更早期，甚至低至所谓的下石炭纪（或密西西比纪）（例如，Robinson⁶）。英国湖区的中泥盆世沙普花岗岩就是这样一个例子。然而，对这种花岗岩中的放射晕的研究提供了证据，进一步驳斥了这些对洪水地质学的反对意见，并减轻了将洪水结束的时间点放在地质记录中如此遥远的必要性。

英格兰湖区的地质情况

英格兰西北部的湖区包含一个由下古生代（奥陶纪和志留纪）沉积岩和火山岩构成的小型穹丘，该穹丘从石炭纪和二叠纪-三叠纪沉积岩覆盖层下突出。图 1 是该地区的概略地质图，图 2 显示了概略的地层序列。

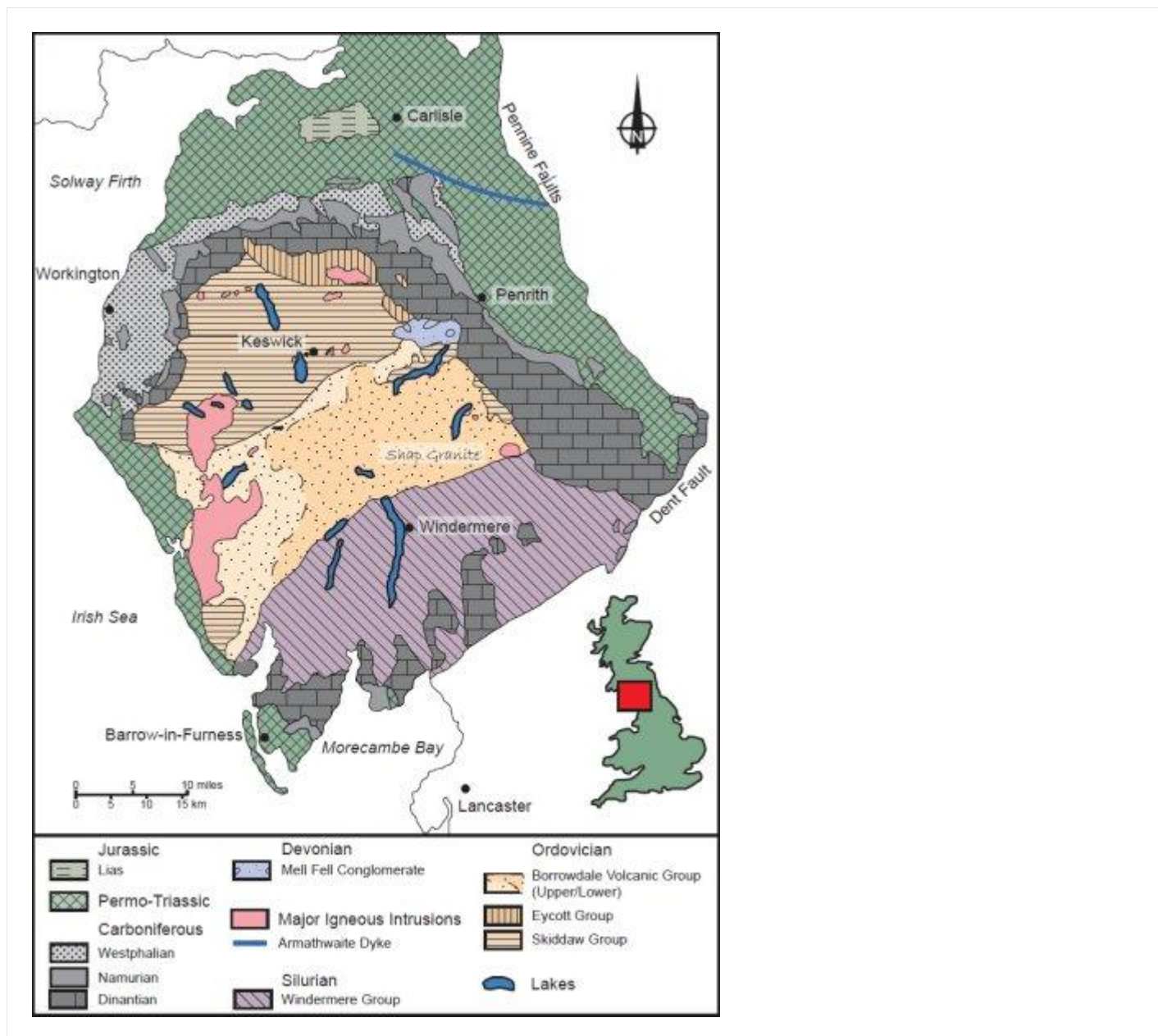


图 1. 英格兰北部湖区的地质情况，显示了沙普花岗岩的位置。

该地区最古老的岩石（暴露地层序列中最下层的岩石）是斯基道群的杂砂岩、粉砂岩和泥岩（部分已变为板岩），以及砂岩。这些岩石似乎几乎完全是由相对较深水域中的浊流沉积而成。尽管这些沉积地层厚度超过 3000 米，但它们通过浊流堆积的过程未必像人们常说的那样耗时数百万年。相反，如此厚的地层序列可能在洪水年份早期就迅速堆积起来，因为灾难性的全球构造运动引发了大量的浊流，其间隔短至几分钟。这种灾难性的沉积环境已得到证实，人们发现了直径数百米的大型岩块，这些岩块在沉积物堆积过程中沿斜坡滑落。⁹ 如此巨大的岩块被掩埋表明，这些浊积岩沉积物的每个旋回都必须有数十米到数百米厚，因此整个 3000 米厚的沉积序列是在洪水期间的几天内沉积完成的。如此厚重的沉积物的一个来源可能是洪水前的海底沉积物。¹⁰ 斯基道群沉积物通常被归为奥陶纪，这主要基于笔石的年代测定，但近年来也开始使用疑源类和其他微体化石。

斯基道群沉积物之上是艾科特群火山岩层。这些火山岩层很可能部分喷发于海底环境，因为斯基道群最后沉积物中的一部分就与它们互层。它们主要由玄武岩和玄武安山岩熔岩组成，这些熔岩先于其上覆的博罗代尔火山群的大规模灾难性爆发式火山活动。博罗代尔火山群占据了湖区超过 800 平方公里的地貌，由约 6000 米厚的钙碱性玄武岩、玄武安山岩和安山岩熔岩

构成，随后发生了灾难性的爆发式喷发，喷发出大量广泛分布的英安岩和流纹岩火山碎屑沉积物（凝灰岩和火山碎屑流）以及熔岩，并伴有火山构造断层活动。

11 Garner 12 讨论了这些火山喷发是水下喷发而非常被认为是水上喷发的证据，并指出洪水期间整个火山序列的快速、灾难性堆积与所有实地数据以及关于爆发式火山活动的已知信息相符。例如，在公元 186 年新西兰陶波火山喷发中，炽热的火山灰流或凝灰岩以 250-300 米/秒的初始速度向各个方向移动了 80 公里，因此在不到 10 分钟的时间内就喷发了 30 立方千米的^流纹岩火山灰！ 13

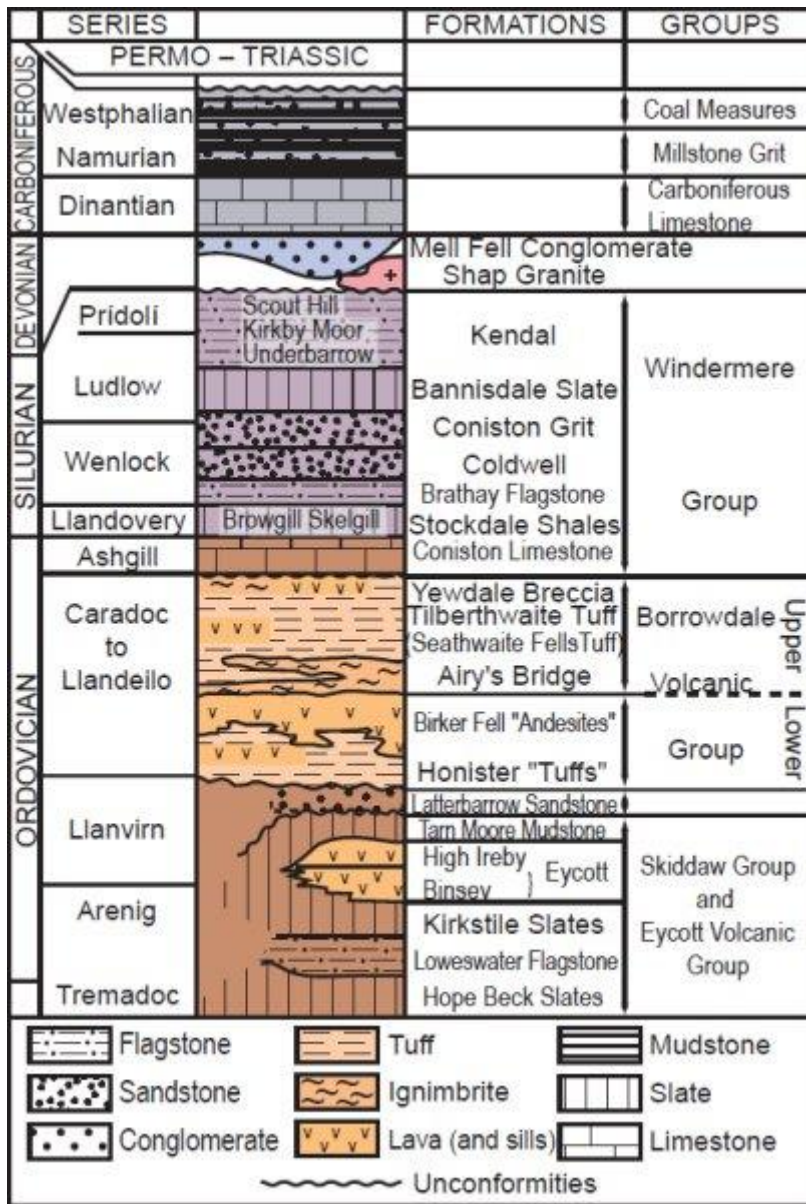


图 2. 时间地层图，显示了英格兰北部湖区的地层序列，包括沙普花岗岩的相对时间位置。

不整合覆盖于斯基道群和博罗代尔火山群地层之上的是厚达 3000 米的温德米尔群，该群主要由沉积岩组成。沉积始于晚奥陶世，以薄层（60-150 米）的康尼斯顿灰岩为代表，其中含有再沉积的火山灰，以及少量腕足类和三叶虫化石。此后，沉积作用持续到所谓的志留纪，沉积了厚层的浊积岩，包括砂岩、板岩（薄而

坚硬的砂岩)、砾岩、泥岩和深色页岩，这些岩层富含化石（三叶虫、笔石、腕足类、介形类）。除了均变论对沉积速率的假设之外，温德米尔群地层中没有任何证据可以排除它们在洪水早期灾难性沉积过程中快速沉积的可能性，尤其是厚层的浊积岩层序。即使是温德米尔群中的黑色页岩，通常被认为是在静止的厌氧深海环境中沉积形成的，也可能是灾难性沉积的。例如，苏格兰的一些海相黑色页岩必定是由海底地震引发的海啸沉积的，因为这些页岩与巨大的砾石相互交错。¹⁴ 此外，近期的实验表明，泥质沉积物确实会快速堆积，其流速足以输送和沉积沙子。^{15, 16}

除了沉积物和喷出火山岩外，还存在大规模的侵入火山活动。早在奥陶纪，大型湖区岩基的侵入就已经开始，如今广袤的埃斯克代尔花岗岩露头便是例证。侵入活动显然一直持续到早泥盆世，以斯基道花岗岩和沙普花岗岩为代表。花岗岩的年代测定基于全岩和矿物 K-Ar、Rb-Sr 和 U-Pb 放射性同位素、模型和等时线法。^{19, 20, 21, 22, 23} 因此，有人认为该岩基可能与博罗代尔火山活动存在成因联系。^{24, 25} 有证据表明，从志留纪到早泥盆世，大量的侵入活动仍在继续。^{26, 27} 东西走向的低重力异常带表明该区域下方是大型花岗岩岩基，其重力最小值与出露的埃斯克代尔 (Eskdale)、斯基道 (Skiddaw) 和沙普 (Shap)

花岗岩岩体相吻合。这些岩体是岩基顶部的一部分，因侵蚀作用而暴露出来。这些花岗岩侵入体产生的热量形成了宽阔的接触变质晕，而来自冷却花岗岩的热液则渗入上覆的斯基道（Skiddaw）、博罗代尔（Borrowdale）和温德米尔群岩层，并在裂隙脉中沉积了铜、铅、钨和铁矿石。²⁸

到了泥盆纪晚期，所有早期形成的岩层都遭受了严重的侵蚀。因此，粗粒、分选性差的梅尔费尔砾岩沉积在被认为是冲积扇的一系列地层中。该砾岩厚度至少为 275 米（一些估计值高达 1500 米），主要由志留纪温德米尔杂砂岩砾石组成，但也包含一些斯基道型和博罗代尔火山砾石。该砾岩中可能存在的交错层理进一步证明了其快速沉积的特征。

这种严重的侵蚀作用在早石炭世或迪南特期（相当于美国的密西西比纪）有所减弱，随后沉积了一系列主要由石灰岩组成的地层，这些地层被解释为旋回层序。³⁰ 然而，这些石灰岩的基底岩层由砾岩和砂岩组成，它们似乎填充了迪南特期之前的侵蚀面的不规则之处，因此厚度变化极大——在西南部超过 200 米，在沙普地区约 10 米，在某些地方则完全缺失。正是在这层下石炭统基底砾岩中，发现了来自沙普花岗岩的砾石和粉红色长石晶体，其位置位于沙普花岗岩露头以东仅一公里多一点的地方。随后在纳

穆尔期（中石炭世），这些石灰岩被典型的旋回层序所覆盖，该旋回层序由砂岩、页岩和砾岩组成，其上覆石灰岩。这些旋回层序又被威斯特伐利亚期（上石炭世，或在美国称为宾夕法尼亚纪）煤系所覆盖，旋回层序厚达 600 多米，由页岩、砂岩和煤组成，其上覆数百米的红色地层。

最后，二叠纪-三叠纪沉积地层出露于湖区西南、北部和东北边缘。最下层的沉积物（二叠纪）为角砾岩，其上覆有彭里斯砂岩，并与之互层，再往上是所谓的蒸发岩沉积（主要成分为石膏和硬石膏）。这些蒸发岩地层通常被解释为代表沙漠环境，但同样可以解释为沉淀岩，即它们是由富含盐分的过饱和水在洪水期间因大量含盐热液涌入寒冷海洋而沉淀形成的。

^{31 ' 32 ' 33}

沙普花岗岩

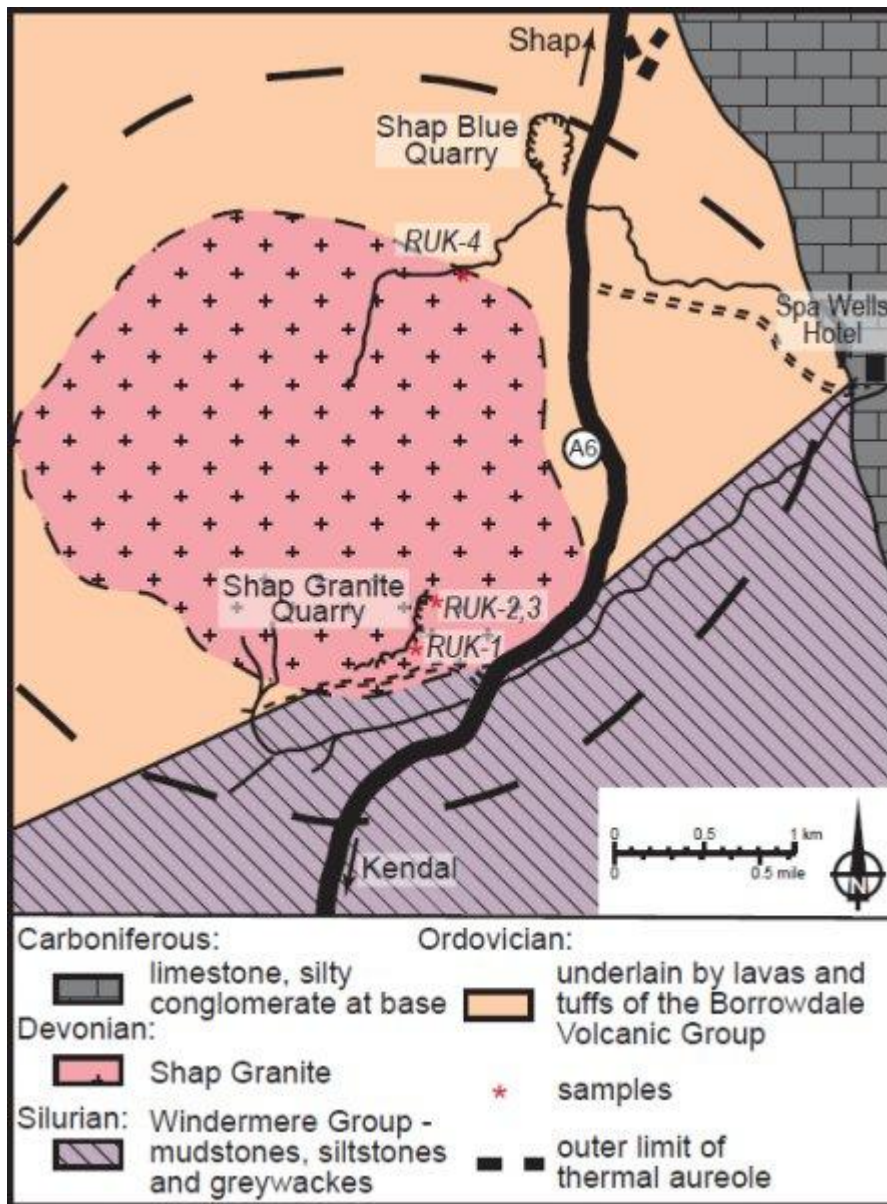


图 3. 沙普花岗岩地质图，显示了花岗岩与其围岩边界周围异常宽阔的接触变质和交代晕。图中标记了样品位置。附近的基底砾岩至石炭纪石灰岩在温泉井酒店附近出露（右）。

沙普花岗岩是英格兰北部最著名、最具特色的岩石类型之一。³⁴ 它具有粗粒斑状结构和大型粉红色正长石巨晶，曾被开采为建筑石材，用于伦敦及其他许多地方。尽管沙普花岗岩的露头面积仅为

5.5 平方公里（图 3），但地球物理勘探和野外证据表明，它是一个陡峭的岩株状侵入体，并向西北方向延伸至地下。³⁵ 该花岗岩^{岩体}侵入于奥陶纪博罗代尔火山群熔岩和凝灰岩与上覆志留纪温德米尔群之间的不整合面附近。结晶花岗岩岩浆冷却过程中释放的热量和热液在其与围岩的接触面周围形成了宽阔（超过 600 米）的变质和交代晕。36、37、38

沙普花岗岩具有典型的斑状结构，主要由粉红色正长石巨晶组成，这些巨晶通常长度超过 3 厘米，呈良好的矩形，并具有平行于其长轴的双晶。³⁹ 基质粗糙，由玻璃质灰色石英、乳白色斜长石和黑色黑云母晶体组成。角闪石偶尔为少量成分，副矿物包括锆石、磷灰石、褐帘石、榍石（钛铁矿）和磁铁矿。⁴⁰

花岗岩中还存在一系列镁铁质微粒包体，本质上是石英微闪长岩，常被误称为捕虏体，通常大小为 10-20 厘米。^{41, 42} 它们可以是棱角分明的，也可以是圆形的，与正常花岗岩的边界可能清晰也可能模糊。此外，它们通常也含有与花岗岩相同的粉红色正长石巨晶，但数量较少，形状也比正常花岗岩中的更圆润。这些观察结果引发了关于这些镁铁质包体成因的争论。

沙普花岗岩最初被绘制成岩层图时，显示为复合侵入体，包含三个主要阶段，每个阶段都含有不同类型的镁铁质包体，其初始阶段为较为原始的岩浆部分，即早期镁铁质包体。^{43, 44}这三个花岗岩阶段相互交错，且颗粒尺寸和正长石巨晶含量均呈逐渐增加的趋势。第二阶段占侵入体的 90%，第三阶段（也是最后一个阶段）含有约 50%的正长石巨晶。

Firman⁴⁵证明全岩地球化学数据⁴⁶与混合假说相符。然而，结构观察⁴⁷、混合趋势⁴⁸、稀土元素模式⁴⁹以及结晶路径⁵⁰均表明，开放体系分异作用的发生程度较低。压力和/或流体含量的变化，以及部分氢化作用，似乎主导了花岗岩岩浆在侵入、结晶和冷却过程中的化学演化。事实上，镁铁质（石英微闪长岩）包体现在被认为是镁铁质岩浆共侵入导致花岗岩氢化的结果。附近相关埃斯克代尔花岗岩的岩床地震反射数据为此提供了有力证据。⁵¹此外，还有充分的观测证据表明，岩浆热液在花岗岩结晶和冷却过程中，于 410° C 和 370° C 的温度下，对正长石巨晶的形成起着重要作用。^{52 , 53 , 54}

Brown 等人⁵⁵总结了之前所有对沙普花岗岩进行年代测定的尝试^{56 , 57 , 58}。对花岗岩中的黑云母

测定的六个 Rb-Sr 模式年龄介于 364 ± 24 Ma 至 403 ± 15 Ma 之间，而对黑云母测定的 15 个 K-Ar 模式年龄介于 381 ± 12 Ma 至 410 Ma 之间。随后对花岗岩中的锆石进行 U-Pb 测定，得到一条不一致线，其上交点年龄为 390 ± 6 Ma⁵⁹。Wadge、Gale、Beckinsdale 和 Rundle⁶⁰对花岗岩中的黑云母进行了三次 K-Ar 模式年龄测定，得到的年龄分别为 394 ± 12 Ma、 394 ± 12 Ma 和 403 ± 12 Ma，平均年龄为 397 ± 7 Ma。然而，他们还在全岩花岗岩样品以及黑云母和正长石巨晶分离物进行了 22 次 Rb-Sr 测量，得到了一条 21 点 Rb-Sr 等时线，其年龄为 394 ± 3 Ma。鉴于三种放射性同位素测年方法（K-Ar、Rb-Sr 和 U-Pb）对 Shap 花岗岩的年龄测定结果具有明显的一致性（一致性），因此得出结论：按照常规定义，该花岗岩属于早泥盆世（埃姆斯期）。

感知到的问题

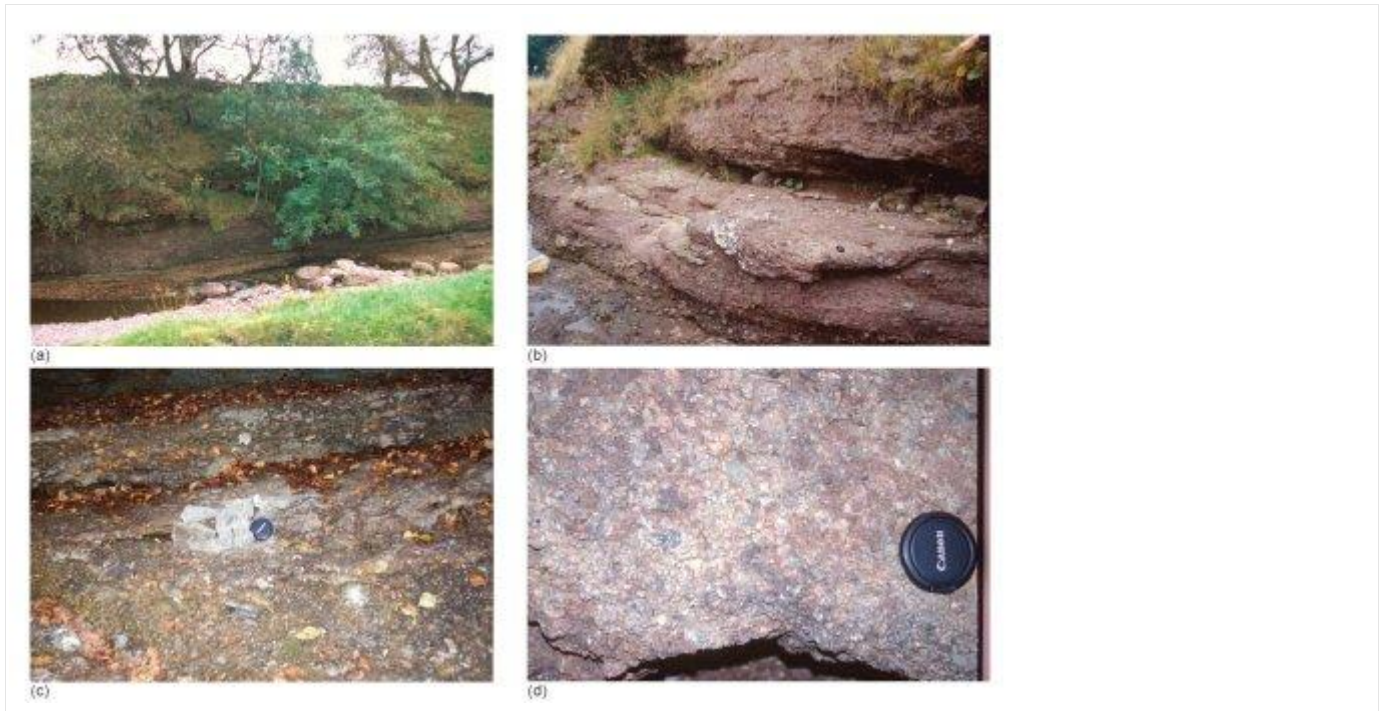


图 4. 位于温泉酒店附近溪岸（图 3）石炭纪（迪南特期）灰岩底部的砾岩露头，其中包含沙普花岗岩砾石和粉红色钾长石晶体。

(a) 砾岩位于溪岸底部。(b) 底部砾岩层的近景，可以

清晰地看到圆形砾石。

(c) 砾岩的更近景，显示粗粒基质中的碎屑。

(d) 砾岩的另一放大图，可以看到花岗岩和钾长石碎屑。

沙普花岗岩的年代测定结果已得到证实，按照传统方法，其年龄为 394 ± 3 百万年，即中泥盆世。然而，在露头花岗岩以东仅一公里多一点的地方，靠近温泉酒店（图 3），有一处下石炭纪基底砾岩露头，其下覆石炭纪石灰岩之上，其中发现了来自沙普花岗岩的砾石和粉红色正长石巨晶（图 4）。因此，如果该砾岩

的年龄约为 354 百万年，那么按照传统方法，只有 4000 万年的时间，足以完成花岗岩的完全冷却、侵蚀掉可能厚达 1-3 公里的变质沉积物以露出花岗岩，以及随后花岗岩的侵蚀作用，最终将这些花岗岩砾石和长石巨晶沉积在附近的砾岩层中。

将这些过程置于洪水年，意味着要将传统地质学意义上的 4000 万年压缩到可能只有 2-3 周的时间！为了解这个问题，一些学者将洪水/洪水后时期的分界线置于这一时间段内，从而在洪水后的早期阶段留出更多时间，使花岗岩得以冷却和剥蚀（Robinson、Tyler 和 Garton，私人交流）。这种观点认为，覆盖在石灰岩及其基底砾岩之上的上石炭统煤系地层形成于洪水之后。它也认为，石炭纪至今的化石是洪水后地球重新被生物占据的结果。由于放射晕研究表明花岗岩必须快速结晶和冷却（62，63），因此对沙普花岗岩进行了放射晕研究。

实地考察

2002 年 10 月初，我们对沙普花岗岩进行了实地考察。考察人员沿着花岗岩与其围岩的边界，对露头进行了多次追踪和检查。共采集了四个花岗岩样品。其中三个样品来自偶尔开采的沙普花岗岩采石场，另一个样品来自花岗岩与其围岩边界处的露头，该露头距离仍

在开采的沙普蓝矿采石场不远（图 3）。图 5 展示了花岗岩及其样品露头的景象。

实验步骤

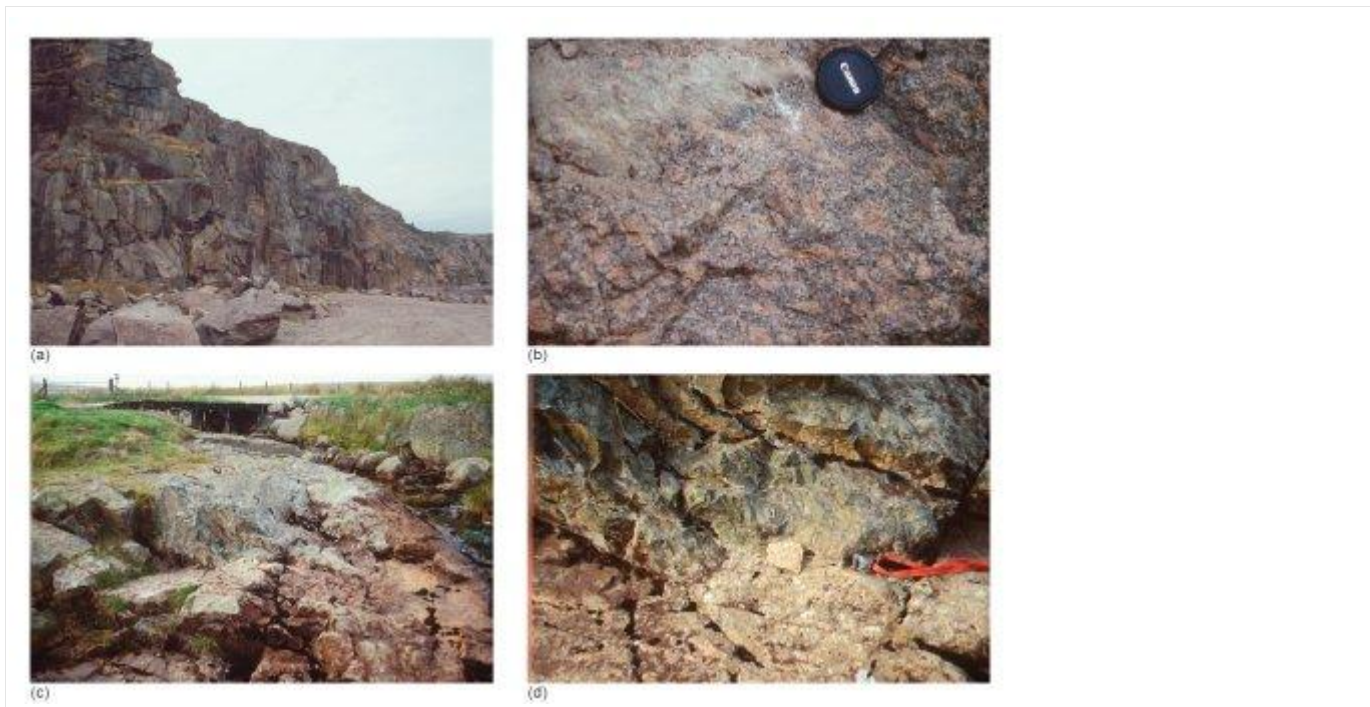


图 5. 本研究中采集的沙普花岗岩露头（位置见图 3）。

（a）沙普花岗岩采石场东侧岩壁北端，靠近 RUK-2 和 RUK-3 样品采集点。

（b）采石场中沙普花岗岩的近景，显示花岗岩中富含粉红色钾长石巨晶。

（c）在 RUK-4 样品采集点，粉红色花岗岩（前景）与上覆灰色接触角岩的边界，该样品取自“干净”区域，朝向溪流方向。红色丝带标示了清晰的花岗岩/角岩边界。（d）

花岗岩/角岩边界的近景，由放大镜和红色丝带标示。边界清晰，没有花岗岩冷构造侵位的迹象。

每个花岗岩样品均制备了标准岩相薄片。在实验室中，使用手术刀和镊子从样品表面剥离黑云母薄片。必要时，将部分样品破碎以释放其组成矿物颗粒。然后手工挑选黑云母薄片，并将其放置在透明 Scotch™胶带的粘性面上。待大量黑云母薄片固定在胶带粘性面上后，再在其上覆盖一层新的透明 Scotch™胶带，并沿其长度方向用力按压，确保两层胶带牢固粘合，黑云母薄片被牢牢地夹在中间。随后，撕下上层的透明 Scotch™胶带，将黑云母薄片分开。最后，将这层粘有薄片黑云母的透明 Scotch™胶带放置在标准玻璃显微镜载玻片上。重复上述步骤，将另一块透明的 Scotch™胶带覆盖在之前粘有黑云母薄片的 Scotch™胶带上。逐步将这些粘着的黑云母薄片剥离并转移到载玻片上。以此方法，每个花岗岩样品制备了数十张载玻片，每张载玻片上都贴有许多（至少 20-30 片）薄黑云母薄片。这与 Gentry 首创的方法类似(Gentry, 个人交流)。每个样品制备 50 张载玻片，以确保良好的代表性采样统计数据。因此，每个样品至少有 1000 片黑云母薄片贴在载玻片上。

随后，将每张花岗岩样品的切片置于岩相显微镜下，在平面偏振光下仔细观察，识别所有存在的放射晕，并记录不同类型放射晕之间的关联以及任何异常特征。通过在视野中前后移动切片，计数每张切片上每种类型放射晕的数量，并将每张切片的计数结果汇总，制

成表格。由于在制备显微镜切片的过程中，许多相同的黑云母薄片逐渐剥落，导致许多放射晕出现在不止一张切片上。因此，仅对放射中心清晰可见的放射晕进行计数，以确保每个放射晕仅被计数一次。

结果

图 6 显示了本研究采集的沙普花岗岩样品在显微镜下的典型矿物组成和结构。所有放射性晕的结果均列于表 1。所有四个样品均含有丰富的²³⁸U、²³²Th 和 Po 放射性晕，其中一些代表性示例见图 7。表 1 不仅列出了每种放射性晕的绝对数量，还显示了每张载玻片上放射性晕的总数和 Po 放射性晕的平均数量，以及各放射性晕类型之间的丰度比。

四个样本平均每张载玻片含有 9 至 16 个放射晕，每张载玻片含有 6 至 12 个钋放射晕。这与其他古生代-中生代花岗岩中类似的放射晕平均数量相当，远高于前寒武纪花岗岩中的放射晕数量（参见 Snelling 64 中的表 1 和表 2 以及图 5 和图 6）。

²¹⁰Po 放射晕的数量是 ²³⁸U 放射晕的 2.3 倍至 8.7 倍，并且远高于 ²¹⁴Po 和 ²¹⁸Po 放射晕的数量，分别为 35 至 227 倍和 48 至 571 倍。这在其他古生代-中生代花岗岩中也很常见。

讨论

在这些沙普花岗岩样品中观测到的如此多的钋放射晕的意义，取决于人们对其形成机制的理解。按照传统观点，它们只是“一个微不足道的谜团”（G. Brent Dalrymple, 引自 Gentry 65），因此可以轻易地被忽略，因为它们似乎意义不大。然而，如果这些钋放射晕的形成机制无法解释，那么它们的意义就无法被充分理解。事实上，钋放射晕之谜之所以被忽视，是因为它对传统观念提出了深刻的挑战。

Gentry ⁶⁶、⁶⁷、⁶⁸、⁶⁹和 Snelling ⁷⁰对这些钋放射性晕的性质及其可能的形成方式进行了全面的综述。已证实，所有观测到的钋放射性晕均完全由²³⁸U 衰变系列中的钋放射性同位素产生，即²¹⁸Po、²¹⁴Po 和²¹⁰Po，而²³⁸U α 衰变链中的其他同位素均未参与其中⁷¹。此外，据估计，与²³⁸U 放射性晕类似，每个可见的钋放射性晕的产生需要 5 亿至 10 亿次 α 衰变⁷²，这相当于每个放射中心都存在相应数量的钋原子。因此，关键问题是，当钋原子的半衰期分别为 3.1 分钟（²¹⁸Po）、164 微秒（²¹⁴Po）和 138 天（²¹⁰Po）时，如此多的钋原子是如何聚集到这些放射性中心以产生钋放射性晕的？

Gentry (73、74、75) 坚持认为，波河必定是原始的，也就是说，它是上帝在花岗岩中黑云母片的放射中心瞬间创造出来的，因此花岗岩也是被创造出来的岩石。换句话说，他认为花岗岩并非由岩浆结晶冷却形成，而是地球被创造出来的基石。此外，Gentry (76) 还坚持认为，在诸如沙普花岗岩 (Shap Granite) 之类的侵入物侵入到富含化石的洪水沉积地层中的地方，这些花岗岩也代表着最初被创造出来的岩石。他认为，在洪水期间，它们作为冷体被构造侵入，而接触变质晕是由构造就位过程中产生的热量和压力造成的，在某些情况下，还受到来自深处的热流体的增强。

这种解释与沙普花岗岩的野外和岩石学证据不符。花岗岩与其侵入的变质含化石（洪水沉积）围岩之间的接触面是清晰的刀刃状边界，没有裂缝、角砾化或糜棱化，而如果花岗岩是作为冷体构造侵入的，则在相邻的花岗岩或围岩中都应该有这些特征(图 5c 和 d)。

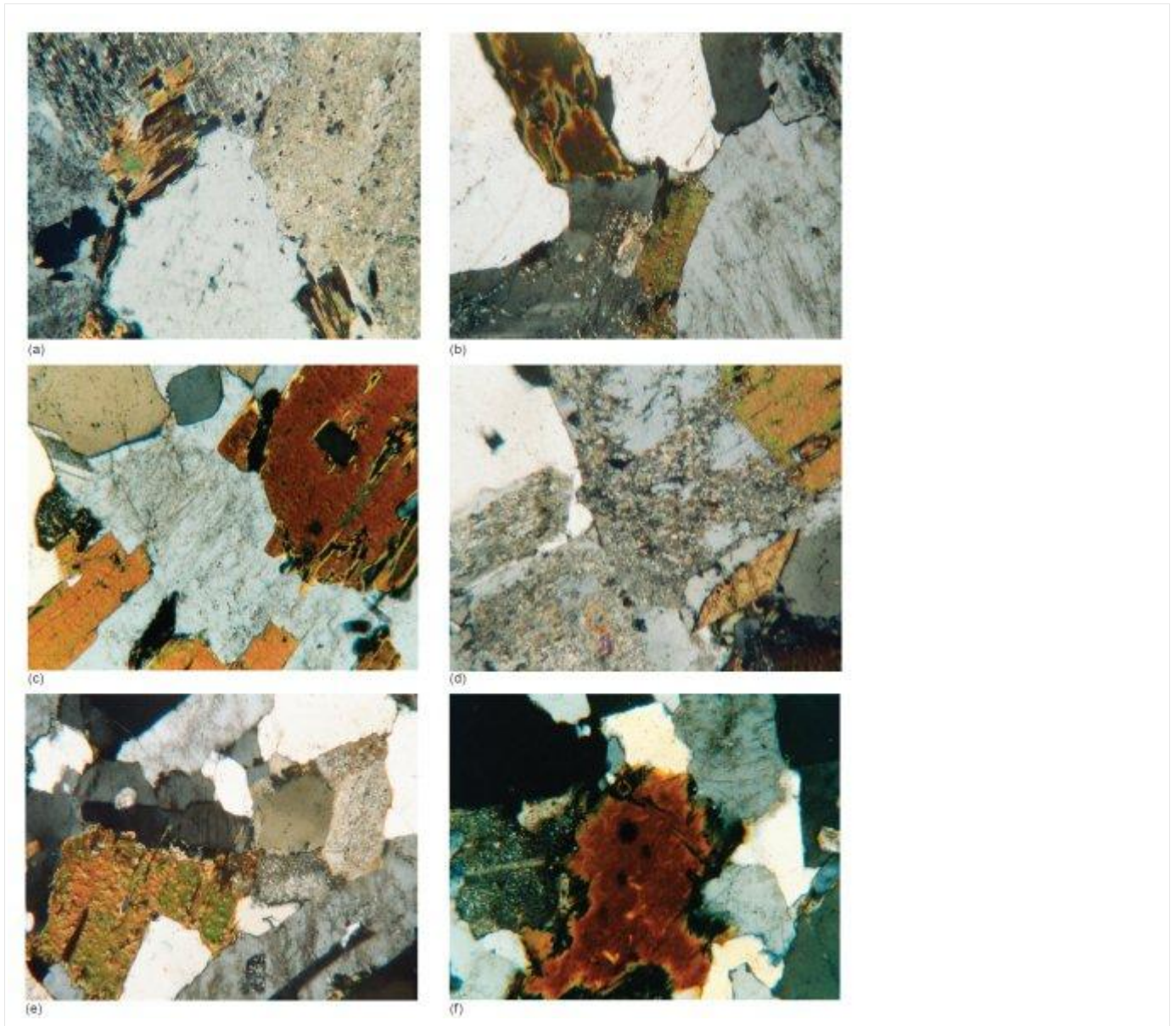


图 6. 本研究中使用的沙普花岗岩样品的代表性显微照片。所有显微照片的比例尺相同（20 倍或 1 毫米 = 40 微米），花岗岩图像是在正交偏光显微镜下观察到的。

- (a) RUK-1: 石英、钾长石、斜长石（含绢云母）、黑云母、磷灰石；
- (b) RUK-2: 石英、钾长石、斜长石、黑云母；
- (c) RUK-2: 石英、钾长石、斜长石、黑云母（带晕圈）；

(d) RUK-3: 石英、钾长石、斜长石（含绢云母）、黑云母、榍石（钛铁矿）；

(e) RUK-4: 石英、钾长石、斜长石（含绢云母）、黑云母；

(f) RUK-4: 石英、钾长石、斜长石（含绢云母）、黑云母（带晕圈）。

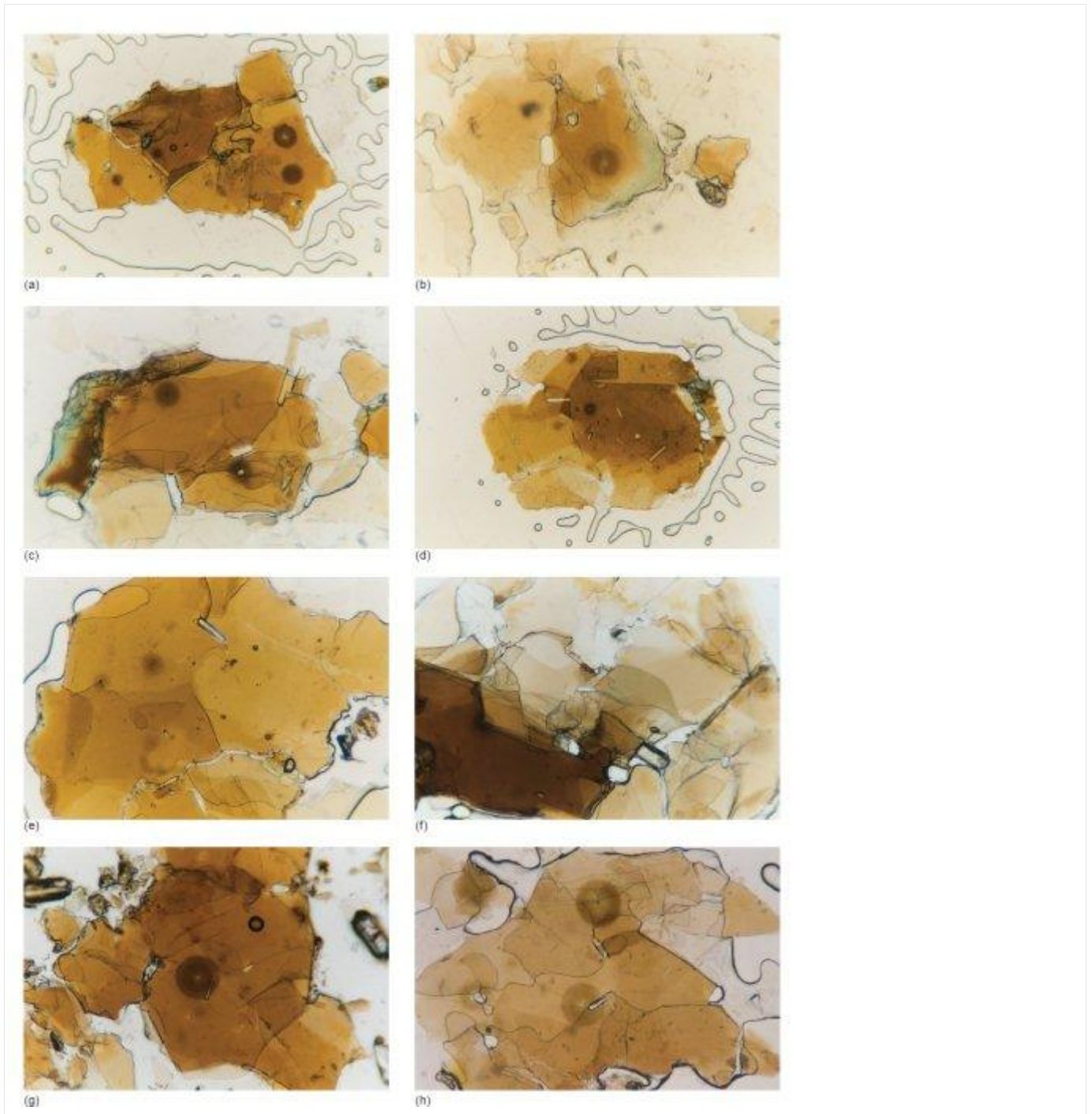


图 7. 本研究中从沙普花岗岩中分离出的黑云母薄片中发现的一些代表性放射晕。所有显微照片的比例尺相同（40 倍或 1 毫米=20 微米），黑云母薄片均在平面偏振光下观察。

(a) RUK-1: 两个过度曝光的 ^{238}U 射电晕和附近有锆石颗粒的 ^{210}Po

Po 射电晕 (b) RUK-1: 过度曝光的 ^{238}U 射电晕，中心有微小的锆石颗粒

(c) RUK-1: 具有微弱外环的 ^{218}Po 射电晕和放大的 ^{210}Po 射电晕

(d) RUK-2: ^{210}Po 射电晕放射晕、可能的 ^{238}U 放射晕和一些流体包裹体

(e) RUK-2: ^{214}Po 放射晕、 ^{210}Po 放射晕和流体包裹体

(f) RUK-4: ^{210}Po 放射晕（左）和大锆石颗粒

(g) RUK-4: 过度曝光的 ^{238}U 放射晕和流体包裹体

(h) RUK-4: 过度曝光^{第 238}话过曝的 ^{238}U 放射晕

表 1. 收集的沙普花岗岩样品中计数的放射晕数量数据表。

样本	幻灯片数量	放射光晕						每张幻灯片上的放射晕总数
		^{210}Po 磅	^{214}Po 波	^{218}Po 磅	^{238}U	^{232}Th		
RUK-1	51	311	9	3	138	18	9.4	

RUK-2	51	454	2	0	52	7	10.1
RUK-3	51	576	5	12	212	7	15.9

RUK-4	51	571	3	1	216	18	15.9
-------	----	-----	---	---	-----	----	------

样本	每张 载玻 片上 的针 放射 晕数 量	比率									
		²¹⁰ Po:	²¹⁰ Po:	²¹⁰ Po:	²¹⁴ Po:	²³⁸ U:	²³⁸ U:	²¹⁴ Po:	²¹⁸ Po:	²¹⁸ Po:	²³² Th:
RUK-1	6.3	2.3:1	34.6:1	104:1	3:1	7.7:1					
RUK-2	8.9	8.7:1	227:1	—	—	7.4:1					
RUK-3	11.6	2.7:1	115:1	48:1	0.4:1	30:1					

RUK-4	11.3	2.6:1	190:1	571:1	3:1	12:1					
-------	------	-------	-------	-------	-----	------	--	--	--	--	--

事实上，花岗岩样品 RUK-4 采集于边界处，但它并未显示出冷构造侵位效应的岩相学特征，与其他采集于

远离边界处的样品并无二致。此外，如果理论上伴随的来自深处的热流体温度高于 150°C (可能性很大)，那么它们应该已经使所有放射晕退火。

⁷⁷事实上，热液流体在 410°C 和 370°C 下形成了花岗岩中的粉红色正长石巨晶；因此，目前在花岗岩中观察到的 Po 放射晕只能是在花岗岩冷却至 150°C 以下之后形成的。因此，Po 放射晕是在花岗岩侵入之后，并且是在花岗岩及其在围岩中的接触变质晕冷却之后形成的。事实上，RUK-4 采样点接触变质晕中的岩石主要由安山岩组成，这些安山岩在侵入岩浆的强烈岩浆热和热液作用下，已广泛重结晶为角岩。⁷⁸此外，还可以看到花岗岩的舌状体和脉状体穿透变质围岩，这证明花岗岩是以岩浆的形式侵入的，因此并非原始岩（即并非人为形成的）。

另一种关于钋放射晕形成的竞争模型是热液流体输送模型。^{79, 80} 该模型假设，钋同位素以及²¹⁸Po 的母体²²²Rn 均来源于锆石中²³⁸U 的衰变，这些锆石是附近²³⁸U 放射晕的放射中心，而这些放射晕与钋放射晕位于同一片黑云母片层中。由结晶冷却的花岗岩浆释放的热液沿着黑云母的解理面流动，并将²²²Rn 和钋同位素从锆石放射中心输送出来。钋同位素，包括由氦⁻²²²α 衰变产生的钋-218（半衰期为 3.8 天），随后沉淀在黑云母解

理面上的晶格缺陷中，这些缺陷处也存在硫、氯和其他与钋具有化学亲和力的原子，距离锆石放射中心约一毫米。这些钋沉淀点成为了钋放射晕的放射中心。随着放射中心中的钋发生 α 衰变，流经黑云母晶格的热液会不断补充新的钋原子。因此，只要钋同位素的供应充足，且热液流动持续快速，放射中心就能获得所需的钋浓度，从而在数小时或数天内产生5亿至10亿次钋 α 衰变，最终形成钋放射晕，这与钋同位素短暂的半衰期相符。

由于热液流动对钋放射晕的形成模型至关重要，因此可以预期，热液的体积和流量越大，产生更多钋放射晕的概率就越高。这一预测已在多种情况下得到证实。首先，在花岗岩中，由于持续大量的热液流动，热液矿床以脉状形式形成，例如康沃尔郡的兰兹角花岗岩，就存在大量的钋放射晕。⁸¹其次，在区域变质作用过程中，当热液在特定的压力-温度边界处由矿物反应产生时，在该特定变质边界处产生的钋放射晕数量是其他情况下的四到五倍。

⁸²、⁸³ 第三，在狭窄剪切带中流动的热液快速变质围岩时，在形成的变质岩中也存在钋放射晕，而这种类型的变质岩通常不含有钋放射晕。⁸⁴ 第四，在一系列依次侵入的嵌套花岗岩岩体中，随着花岗岩中热液含量的相应增加，最后侵入的中心岩体与同时期的爆发式蒸汽驱动火山活动相连，嵌套花

岗岩岩体内部生成的钋放射晕数量也随之增加。85 这些证据证实了热液输送模型对钋放射晕形成的作用机制。

沙普花岗岩结晶冷却过程中产生的热液流体产生了多种效应，表明存在大量持续的流体流动。这些热液流体携带花岗岩结晶释放的热量，并通过对流将其扩散到围岩中。这些流体在花岗岩周围形成了宽度超过 600 米的接触变质和交代变质晕。

⁸⁶、⁸⁷、⁸⁸与其他花岗岩相比，该变质晕的巨大宽度（几乎是裸露的沙普花岗岩岩体半径的一半）极为罕见。如此大的宽度证明了形成该变质晕的热液流体的量巨大。此外，热液流体还沿着围岩中的裂缝渗透到变质晕之外很远的地方，并沉积了铜、铅、钨和铁矿脉。⁸⁹ 随后，在花岗岩内部，岩浆热液在正长石巨晶的形成过程中发挥了作用，这些巨晶是该花岗岩的特征，并主导了其斑状结构。⁹⁰，⁹¹，⁹²因此，沙普花岗岩中大量的钋放射晕与持续的热液流体流经该花岗岩并流出到周围围岩中的其他证据相一致。沙普花岗岩中众多²³⁸U 放射晕中心的微小锆石颗粒可能是热液流体输送的钋同位素的来源，这些钋同位素最终形成了钋放射晕。

限制钋放射晕保存的一个因素是， α 粒子造成的损伤仅在低于 150° C 时才能保留在黑云母薄片。高于此

α 粒子退火温度⁹³时，损伤要么无法记录，要么被完全抹去。因此，目前在沙普花岗岩中观察到的所有放射晕都必须在低于 150° C 的温度下形成，这在花岗岩的冷却历史中相对较晚。花岗岩岩浆侵入时的温度为 650 - 750° C，而热液流体在大部分花岗岩及其组成矿物结晶后，于 370 - 410° C 的温度下释放。然而，含有²³⁸ U 的副锆石颗粒在更高的温度下很早就结晶，甚至可能在岩浆侵入时就已经形成。因此，产生钋同位素的铀⁻²³⁸ 衰变早在花岗岩完全结晶、热液开始流动以及结晶花岗岩冷却至 150° C 之前就已经开始。此外，当花岗岩和热液的温度冷却至 150° C 时，驱动热液对流的热能已经开始减弱，热液流动的强度也会开始下降（图 8）。显而易见的结论是，如果岩浆侵入、结晶和冷却过程需要 10 万至 100 万年，那么当花岗岩和热液冷却至 150° C 时，大量的钋已经衰变并从热液中损失，以至于剩余的钋同位素不足以产生钋放射性晕。⁹⁴

表 1 的数据显示，在沙普花岗岩中，钋 (Po) 放射晕的数量远超^{铀 (238U) 放射晕}。这可能有两个原因。首先，许多铀 (^{238U}) 放射晕呈暗色且过度曝光，内环模糊(图 7)，这表明铀(^{238U}) 的衰变量巨大，远远超过形成具有清晰内环的放射晕所需的 5 亿至 10 亿个原子。这意味着很可能产生了足够的钋，在每个铀(^{238U})放射晕附近形成多个钋放射晕。其次，如上所述，大量证据表明，热液的体积和流量

越大，产生的钋放射晕数量就越多。沙普花岗岩及其晕圈都表明，大量的热液在其内部和外部流动。因此，热液输送钋原子的能力更强，能够为更多的放射中心提供所需的钋原子，从而形成观测到的钋放射晕。

即使是关于花岗岩侵入、结晶和冷却过程时间尺度的传统观点也在发生改变。过去人们认为花岗岩的形成需要一百万年甚至更久的时间，⁹⁵但现在即使在传统观点中，人们也认识到花岗岩的形成是一个快速、动态的过程，其时间尺度短至数千年。^{96, 97}因此，大量证据表明，岩浆的生成、分离、上升、侵位、结晶和冷却过程是灾难性的，^{98, 99, 100, 101}这与创世洪水事件的灾难性板块构造模型相一致。¹⁰²此外，放射性同位素加速衰变的概念¹⁰³使得洪水期间核衰变过程能够以灾难性的速率发生。

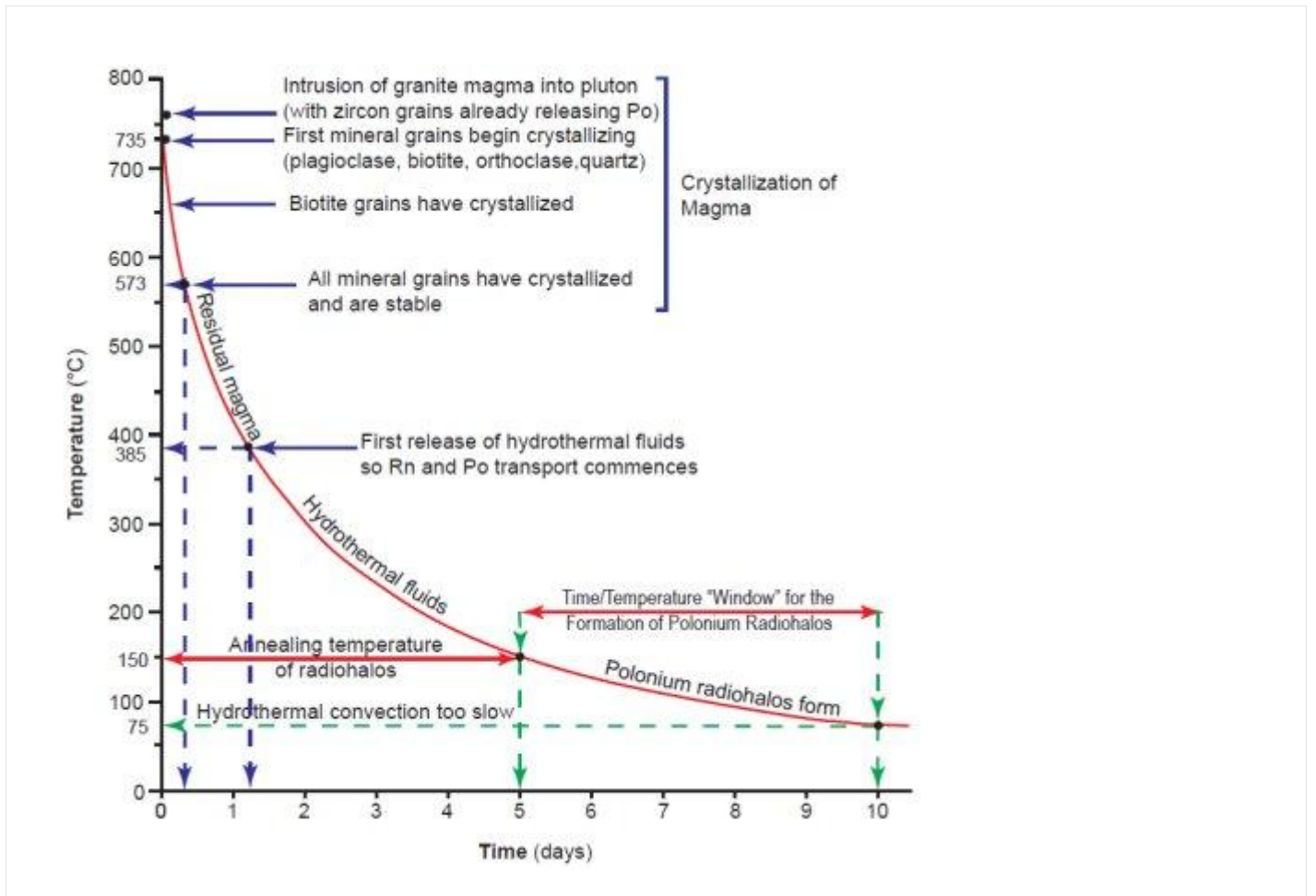


图 8. 示意性概念温度与时间冷却曲线图，显示花岗岩结晶和冷却、热液流体输送以及钋放射性晕形成的时间尺度（根据 Snelling 105）。

灾难性花岗岩形成和放射性同位素加速衰变都与钋放射性晕形成的热液流体输送模型相关。然而，放射晕的形成本身就对这两个过程的速率提出了限制。

¹⁰⁴如果锆石放射中心中的 ²³⁸U 提供了生成钋放射性晕所需的钋同位素浓度，那么 ²³⁸U 和钋放射性晕的形成时间必须相同，即在数小时到数天内，因为钋同位素的半衰期很短。这就要求 ²³⁸U 生成钋的速度大幅加快。生成每个

^{238}U 放射晕所需的 5 亿至 10 亿次 α 衰变（按目前的衰变速率计算，相当于至少 1 亿年的 ^{238}U 衰变量）必须在数小时到数天内完成，才能提供生成相邻钍放射晕所需的钍浓度。然而，由于锆石中 ^{238}U 的加速衰变会在锆石于 650 - 750° C 的岩浆中结晶后立即发生，除非花岗岩岩浆完全结晶并迅速冷却至 150° C 以下，否则锆石中的所有 ^{238}U 及其子体钍同位素都会迅速衰变殆尽，而黑云母片层尚未冷却到足以形成 ^{238}U 和钍放射晕并使其在不发生退火的情况下存活下来。此外，即使在传统框架下，将钍同位素沿黑云母解理面从锆石输送到钍放射中心所需的热液流也无法长期维持，而是会因花岗岩的冷却而迅速减弱（图 8）。¹⁰⁶ 因此，斯内林 ¹⁰⁷ 从所有这些考虑中得出结论，花岗岩侵入、结晶和冷却过程同时发生，时间尺度仅为 6-10 天左右。

该模型的一个明显困难在于，它要求 α 粒子能量（由放射晕半径指示）具有诊断意义，并且在多个数量级范围内与母体衰变率无关。然而，Chaffin ¹⁰⁸ 证明，如果增加 α 衰变势阱的深度，从而相应地增加衰变常数（进而增加衰变率），那么 α 粒子的衰变能量可以保持不变，而核半径仅略微增加，这样放射晕的半径也保持不变，同时 α 衰变率增加。第二个明显且相关的困难是，如果 ^{238}U 的衰变率大幅加快几

个数量级，那么 Po 同位素的衰变也可能以类似的速度加快，因此热液流体没有足够的时间将 Po 原子输送到黑云母薄片内哪怕一毫米的距离。然而，Austin 109 和 Snelling 110 的记录证据表明，在一次加速的 α 衰变事件中，如今衰变速率最慢（因此在相同的岩石样本中测得的年龄最老）的母体同位素的衰变速率加速最为显著。这一观察结果意味着，在一次加速的 α 衰变事件中，那些如今衰变速率极高的母体同位素的衰变速率几乎不会加速。因此，钋同位素的衰变速率几乎没有加速，这与铀⁻²³⁸衰变速率的巨大加速形成了鲜明对比。因此，这将为热液流体输送钋原子（生成钋放射性晕所需的物质）提供足够的时间。

然而，有人可能会问，为什么热液流动的时间间隔必须如此短暂？既然锆石放射中心及其

²³⁸U 放射晕与同一黑云母薄片中的钋放射中心非常接近（通常仅在 1 毫米左右），那么热液流动难道不能在几分钟内将每个钋原子从

²³⁸U 放射中心输送到钋放射中心吗？而热液流动的时间间隔却持续了数千年，在此期间，每个钋放射晕所需的数十亿个钋原子被输送了如此短的距离？在这种情况下，²³⁸U 的衰变和钋原子的生成可以延长到更长的时间间隔内。然而，正如上文所述，当花岗岩体及其热液冷却到 150° C 以下时，驱动热液对流系统和流体流动的大部分能量已经耗散

殆尽。111 热液从结晶花岗岩中喷出，并在 410 至 370° C 之间开始流动（图 8）。因此，除非花岗岩从 400° C 迅速冷却至 150° C 以下，否则热液携带的大部分钋都会在热液对流减弱时被冲出花岗岩。同时，驱动这些流体流动的大部分能量会随着花岗岩温度的下降而迅速耗散。因此，在 150° C 以下（钋放射晕开始形成时），热液流动速度已显著降低，无法维持长时间流动。此外，随着温度降低，热液携带溶解钋的能力也急剧下降。

因此，必须在 150° C 及以下温度下仍有足够能量驱动热液流体快速流动，使钋同位素在衰变前到达沉积点，才能将足够的钋快速输送到钋放射中心形成钋放射晕。这就是图 8 示意性地描绘的时间和温度“窗口”。因此，在当今寒冷花岗岩的地下水温度下，钋放射晕不可能在数千年内缓慢形成。需要高温热液流体来溶解和携带钋原子，还需要热量来驱动快速的热液对流，使携带钋的流体能够快速地向钋放射中心输送钋，从而形成钋放射晕。此外，在 1 亿年或更长时间内，所需的热量无法维持，因为要让足够的铀⁻²³⁸以今天的速率衰变，才能产生每个钋放射晕所需的 5 亿至 10 亿个钋原子。总之，为了在花岗岩冷却至 150° C 后产生足够的钋形成放射性晕，衰变过程和冷却过程的时间尺度都必须与钋同位素的寿命处于同一数量级。因此，热液流动必须非常迅速，因为对流系统持续时间很短，

而花岗岩会在 6-10 天内快速结晶和冷却，并且热液流动必须能够输送足够的钋原子，从而在数小时至数天内产生放射性晕。

沙普花岗岩似乎并非独一无二，而是在矿物组成、化学成分、结构以及其生成的热液方面与其他花岗岩具有典型特征。因此，这种快速形成和冷却的模型可以推广到其他花岗岩体，正如 Snelling^{112, 113}、Snelling 和 Armitage¹¹⁴以及 Snelling 和 Gates¹¹⁵所做的那样。即使是巨大的变质晕也并非沙普花岗岩所独有。许多其他花岗岩周围也存在变质晕，尽管通常较小。几乎所有花岗岩都显示出其在结晶和冷却过程中生成的热液的证据。普遍存在的钋放射晕¹¹⁶也证明了这些热液的存在。即使在那些钋放射晕较少的花岗岩中，这些较少的放射晕可能表明其中产生的热液较少，但钋放射晕的存在仍然表明存在足够的热液使其快速冷却。与它所属的大型湖区岩基相比，沙普花岗岩的体积很小。然而，由于这种快速形成和冷却的模型已成功应用于许多其他花岗岩体，因此有很多理由得出结论：构成该岩基的每个岩体也同样经历了快速形成和冷却。事实上，加利福尼亚州优胜美地国家公园图奥勒米侵入岩套中嵌套的花岗岩岩体的体积与湖区岩基相当，斯内林和盖茨¹¹⁷

已有力地论证了这些体积庞大的岩体也经历了快速形成和冷却。

因此，沙普花岗岩中丰富的²³⁸U 和²⁰Po 放射性晕是强有力的证据，表明该花岗岩仅用了约 6-10 天就形成了。这与其侵入富含化石的洪水沉积的博罗代尔群和温德米尔群沉积物和火山岩相吻合。环绕沙普花岗岩的巨大接触变质和交代晕也证明了花岗岩快速冷却，从而迅速释放热量，将热液强力地从岩体中喷出并注入周围的围岩中。进入围岩后，热液与地下水通过对流混合，分散花岗岩的热量，共同形成晕。晕的大小也与花岗岩产生大量热液和围岩中含有大量地下水的情况相符。洪水期间，花岗岩侵入前几天或几周，地下水是由于沉积物快速沉积造成的。

侵入的花岗岩岩浆的力量不可避免地削弱了周围的围岩，尤其是在形成的岩体上方，因为上升的岩浆向上涌入其中。任何上覆岩层的诱发裂缝都会被上升的岩浆所利用。结晶冷却的岩浆释放的热液也更容易向上而非向侧向流动。高流体压力会导致覆盖花岗岩岩体的顶板岩层发生剧烈的水力压裂，而向上释放的热液则会引起强烈的热液蚀变。这种强烈的水力压裂和热液蚀变共同作用，使得覆盖花岗岩岩体的顶板更容易受到后续的风化和侵蚀，从而迅速被剥离，最终暴露

（或剥蚀）花岗岩岩体的顶部。118 以沙普花岗岩为例，变质/交代晕圈相对于岩体的宽度而言较大（图 3），这可能意味着顶板岩石的水力压裂和热液蚀变非常强烈，导致其更容易受到后续的快速侵蚀和岩体的快速剥落。

关于洪水期间湖区地层序列的相对沉积时间（图 2），在沙普花岗岩侵入时似乎存在一个沉积间断，在后来的石炭纪石灰岩沉积之前，志留纪温德米尔群顶部存在不整合面。这意味着，当沙普花岗岩侵入时，其温德米尔群和博罗代尔群围岩可能正在隆起（或许是上升的岩浆本身造成的），或者洪水水位正在下降，或者两者兼而有之。因此，完全有可能在沙普花岗岩侵入和冷却后的几天内，其上覆的严重破碎和蚀变的顶板岩体从隆起拱起的表面暴露出来，并迅速受到水位下降的影响，导致其快速侵蚀，从而迅速暴露出下方的花岗岩。然而，由于全球洪水潮汐运动的影响，反复的、富含沉积物的涌浪迅速侵蚀了顶板岩石和花岗岩，使得花岗岩中脱落的砾石和正长石巨晶很快沉积在附近的砾岩中。随着水位上升，随后的沉积物迅速转变为石灰岩。

综上所述，沙普花岗岩及其与围岩的清晰边界处存在大量针放射晕，且周围接触变质和交代晕的宽度相对较大，这些都表明花岗岩是以岩浆形式侵入的，并在

6-10 天内冷却，随后在几天内被掀翻。由此可见，对于沙普花岗岩及其邻近的、含有花岗岩砾石和正长石巨晶的基底砾岩的形成时间，目前存在一个合理的解释，没有充分的理由将洪水/后洪水边界设定在泥盆纪沙普花岗岩侵入和基底砾岩沉积到石炭纪灰岩之间。这些观察结果表明，沙普花岗岩很可能是在洪水年的早期到中期形成的，它经历了侵入、冷却、剥蚀、剥落，随后紧接着沉积了石灰岩底部的砾岩。

结论

位于英格兰湖区的泥盆纪沙普花岗岩是由熔融岩浆侵入到较古老的奥陶纪博罗代尔群熔岩和凝灰岩以及其上覆的富含化石的温德米尔群洪水沉积岩中的。如果花岗岩岩株是作为冷体构造侵位，那么在花岗岩/围岩边界处应该存在断裂、角砾化和糜棱化等现象，但此处并未发现这些迹象。相反，结晶岩浆的热量和热液流体形成了一个超过 600 米宽的接触变质和交代晕。因此，目前在花岗岩样品中观察到的大量钋放射晕不可能是由原始钋产生的，因为热液流体在 $370-410^{\circ}\text{C}$ 的温度下也促进了花岗岩中正长石巨晶的形成。花岗岩中任何先前存在的钋放射晕都会在远高于放射晕退火温度 150°C 的温度下发生退火。相反，钋放射晕的大量存在与冷却花岗岩释放的大量热液相一致。这些热液也导致了异常宽阔的接触变质和交代晕的形成。

因此，这些证据支持钋放射晕的热液运移模型以及花岗岩的灾难性快速形成。这些证据表明，沙普花岗岩在 6-10 天内形成，其钋放射晕在花岗岩冷却至 150°C 以下后数小时至数天内形成。花岗岩侵入体上方围岩的水力压裂和热液蚀变也会在数天内促进岩体的快速剥蚀。当时，裹挟着沉积物的洪水涌过裸露的花岗岩，侵蚀了花岗岩砾石和正长石巨晶，并迅速将它们沉积在附近的砾岩层中，随后沉积物很快过渡到石炭纪石灰岩。因此，从泥盆纪沙普花岗岩的形成到其上覆地层石炭纪石灰岩的沉积，这一系列事件完全有可能在洪水年的早期至中期 2-3 周内发生。与该花岗岩相关的钋放射性晕和其他证据因此消除了对洪水地质学的质疑，包括花岗岩形成的时间尺度，以及将洪水/后洪水界线置于下石炭纪的必要性。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，

今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住的地方，寻找一间合适的教会，与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问，或在信仰上需要帮助，欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听，也愿意与你一同前行。