

Study on the Genesis of Geysers in American Yellowstone National Park*

Guanghe Liang

Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing
Key Laboratory of Mineral Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing
Email: lgh@mail.iggcas.ac.cn

Received: Mar. 2nd, 2013; revised: Mar. 17th, 2013; accepted: Apr. 9th, 2013

Copyright © 2013 Guanghe Liang. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Yellowstone geysers is a unique geological landscape, how it was formed? Current explanation about Yellowstone geysers is that it was formed by seafloor spreading and plate tectonics model, but these models cannot explain in many cases and even have contradictory. Combined with the model “source power for continental drifting-plate self-driven mode” by the author, a new genetic model was given in this paper, that is when the continental plates drift, mountains and plateaus were formed in front of the plate motion by Scratching accumulation and extrusion force. It may also whip up some deep-sea water-containing material to the formation of the deep aquifer traps, and the aqueous traps also communicate with the deep magma, it will receive continuous stress changes in the movement of tectonic plates, thus produces geysers. At the same time, deep-sea sediment was formed in its rear. This model fits very well with the Rocky Mountains of North America. The genetic model provides us a new way to rethink the origin model of the North America geographical environment.

Keywords: United States; Yellowstone Park; Geysers; Genesis; Continental Drift

美国黄石公园间歇泉成因机制探讨*

梁光河

中国科学院地质与地球物理研究所, 北京
中国科学院矿产资源研究重点实验室, 北京
Email: lgh@mail.iggcas.ac.cn

收稿日期: 2013年3月2日; 修回日期: 2013年3月17日; 录用日期: 2013年4月9日

摘要: 美国黄石公园内的间歇泉是一个奇特的地质景观, 它们是如何形成的? 目前关于黄石公园的间歇泉成因是用海底扩张和板块构造的模式解释的, 但这种模式在其他地区存在自相矛盾的地方。本文结合作者提出的大陆漂移的源动力——板块自驱动模式, 给出了另外一个全新的成因模式, 该模式说明当大陆板块漂移时, 会在板块运动的前方产生刮蹭堆积及挤压形成山脉高原, 同时也可能刮起一些深海含水物质形成深部含水圈闭, 该含水圈闭还会与深部岩浆连通, 在板块运动中, 不断接受应力变化, 产生间歇泉。同时也会在板块后方形成深海沉积。通过对美国西部落基山脉的对比发现, 该模型与实际情况吻合很好。该成因模型为我们重新认识北美洲地理环境成因提供了一个新的思路。

关键词: 美国; 黄石公园; 间歇泉; 成因; 大陆漂移

*本文是在中国科学院战略性先导科技专项(XDA08060000)资助下完成的。

1. 引言

间歇泉是间断喷发的温泉，多发生于火山运动活跃的区域。有人把它比做“地下的天然锅炉”。在火山活动地区，熔岩使地层水化为水汽，水汽沿裂缝上升，当温度下降到汽化点以下时凝结成为温度很高的水，每间隔一段时间喷发一次，形成间歇泉^[1]。

美国怀俄明州老忠实泉是黄石公园最吸引眼球的明星^[2](图 1)，人们误认为它每小时喷发一次，其实不然。这个间歇泉的爆发时间几乎可以非常准确地预测出来，不过你要知道之前的一次喷发持续的时长：喷发持续的时间越久，下一次喷发出现需要等待的时间就越长。老忠实泉两次喷发之间的间隔最长可达 2 小时，最短可达 35 分钟。该泉喷射的最大高度在 90 到 184 英尺(27.43 到 56.08 米)之间，不过在持续很长的喷发过程中，最后几分钟水柱的高度会变得很矮。

全球已知的大约 1000 个间歇泉中，有近 500 个位于美国黄石国家公园里。其中最与众不同的一个是城堡间歇泉(1870 年)，它因塔状的锥形结构而得名。它曾被认为已有 1.5 万岁，但是最近经检测确定，城堡间歇泉第一次喷发大约发生在 1000 年前。这个间歇泉是一个半正规间歇泉，10 到 12 小时是一个喷发周期。在典型喷发过程中，滚烫的热水会在大约 20 分钟内被喷入高达 90 英尺(27 米)高空。接下来喷出的都是蒸汽，这个过程会持续长达 40 分钟，据说它发出的噪音很大。

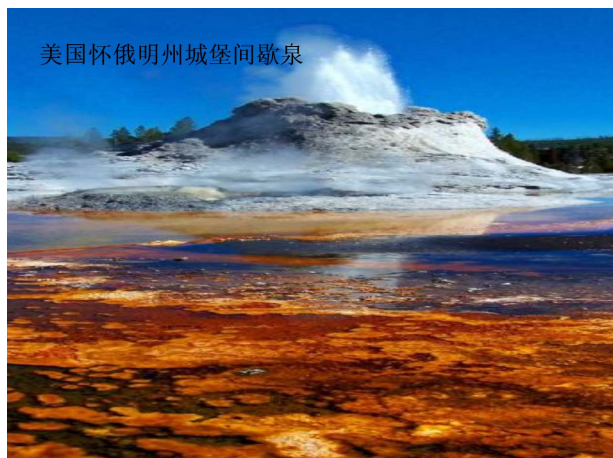
目前关于间歇泉成因的理解是这样的^[1]：在火山活动地区，炽热的熔岩会使周围地层的水温升高，甚

至化为水汽。这些水汽遇到岩石层中的裂隙就沿裂缝上升，当温度下降到汽化点以下时就凝结成为温度很高的水。这些积聚起来的水，还有地层上部的地下水沿地层裂隙上升到地面，每间隔一段时间喷发一次，形成间歇泉。间歇泉喷出的水中往往含有矿物质，当水分蒸发或重新渗入地表时，这些矿物质就会沉积下来。随着时间的推移，日积月累的矿物质能形成各种奇怪的状，像火山锥，像火山口，有时间歇泉还能“制造”出柱形的矿物质沉积物。

间歇泉的形成除了要具备形成一般泉水所需的条件，适宜的地质构造和充足的地下水源是形成间歇泉最根本的因素。比如，充足的地下水源和适宜的地质构造等以外，还要有一些特殊的条件：第一，间歇泉必须具有能源。地壳运动比较活跃地区的炽热的岩浆活动是间歇泉的能源，因而它只能位于地表稍浅的地区。必须是在地壳运动比较活跃的地区，地下要有炽热的岩浆活动，而且距地表又不能太深。这是间歇泉的能源。上面提到的几个地方，都是这种类型的地区。第二，要有一套复杂的供水系统。在这个天然锅炉里，要有一条深深的泉水通道。地下水在通道最下部被炽热的岩浆烤热，却又受到通道上部高压水柱的压力，不能自由翻滚沸腾。狭窄的通道也限制了泉水上下的对流。这样，通道下面的水就不断的被加热，不断地积蓄力量，一直到水柱底部的蒸气压力超过水柱上部的压力的时候，地下高温、高压的热水和热气就把通道中的水全部顶出地表，造成强大的喷发。喷发以后，随着水温下降，压力减低，喷发就会暂时停止，又积蓄力量准备下一次新的喷发。

美国《国家地理杂志》评选出世界 10 大神奇的地理奇观，每一处都让人叹为观止。位于美国内华达州的黑岩沙漠间歇喷泉就是其中之一。在那里你在地球上看到了似乎只能在外星或者科幻大片中才能看到的情景，看着非常像梦幻画面，然而确实真实存在的场景，就在美国内华达州的黑岩沙漠间歇喷泉^[3](图 2)。

目前关于黄石公园的间歇泉成因和造山带的成因是用海底扩张和板块构造的模式解释的(图 3)，但这种模式在其他地区存在自相矛盾的地方。仔细分析图 3 的造山模式作者发现，以非洲为例，山脉和高原(埃塞俄比亚高原、东非高原、南非高原)大都分布在非洲



美国怀俄明州城堡间歇泉

Figure 1. Old Faithful geyser, Wyoming, USA
图1. 美国怀俄明州老忠实泉



Figure 2. Black Rock Desert geyser in Nevada (baidu image, 2013)
图2. 美国内华达州黑岩沙漠间歇喷泉(百度图片, 2013)

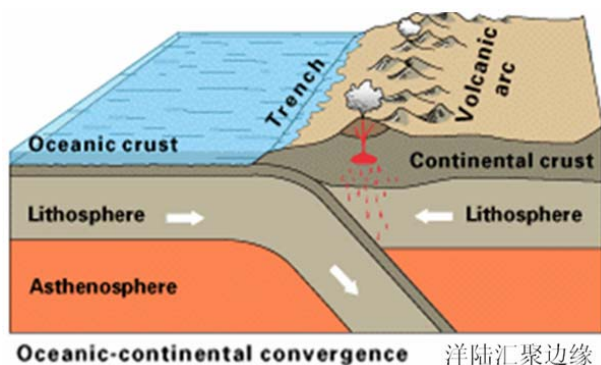


Figure 3. Cross section of earth illustrating an oceanic-continental convergent plate boundary (From Wikipedia & USGS, 2013)
图3. 洋陆汇聚板块边缘剖面模型(据Wikipedia & USGS, 2013)

的东部边缘，西部并没有明显的山脉和高原，这与图3给出的模型相悖，因为按照传统的板块构造理论，众所周知的大西洋裂解的结果，非洲西部正是一个典

型的洋陆汇聚边缘，也应该形成类似的山脉和高原。北美洲也存在同样的情况，落基山脉沿西部呈现近南北向分布，按照传统的海底扩张理论，大西洋裂解的结果也应该在北美洲的东部出现类似落基山脉的山脉和高原。但事实上并没有出现这种情况。南美洲西侧的安第斯山脉按照目前的理论可以解释，但东侧也没有类似规模的山脉，这些例子都说明当前的模型可能是错误的。本文将结合大陆漂移模式给出一个新的间歇泉及山脉高原成因模式，该模式可以解释传统的板块构造模型所无法解释的现象。

2. 著名间歇泉简介

文献[2]的作者将全球十大间歇泉进行了统计描述，它们是：

1) 冰岛大间歇泉: 大间歇泉位于冰岛中西部地区的豪卡道鲁谷地，它是有文字记载的第一个这种现象。尽管有关大间歇泉的最早记录可以上溯到18世纪，但是据地质学家估计，这个间歇泉已经活跃了长达1万年。大间歇泉的强度和爆发频率会随时发生变化，它似乎受到这一地区的地震和火山活动影响。自2003年至今，这个间歇泉每天喷发三次，而且喷发场面异常壮观，水柱可达70米，甚至更高。

2) 美国内华达州的飞翔间歇泉(Fly Geyser): 飞翔间歇泉是人类改造自然创造的独特美景的一个典范。飞翔间歇泉因为含有大量矿物质和几种喜欢生活在热水里的细菌，因此具有非常鲜艳夺目的颜色。飞翔间歇泉位于内华达州黑岩沙漠一片私人土地上，它是人类改造自然创造的独特美景的一个典范。1916年钻的一口井，为地下深处的超热液体涌出地面打开了“方便之门”，这口井因为无法用于灌溉，因此被人遗弃。随着时间推移，不断涌出的富含大量矿物质的水慢慢形成一连串像山的锥形体，并在位于它们下方的广阔地区形成台地和水池。飞翔间歇泉因为含有大量矿物质和几种喜欢生活在热水里的细菌，因此具有非常鲜艳夺目的颜色。这个间歇泉的大小和知名度都在与日俱增：在附近举行燃人节的组织者试图购买飞翔大农场包括这个间歇泉的部分。

3) 新西兰怀芒古间歇泉: 怀芒古间歇泉不仅是新西兰北岛陶波火山带里的最大间歇泉，而且它是世界最高间歇泉，至少短期内它是最高的。怀芒古间歇泉的爆发力非常强，喷涌而出的热水夹杂着泥浆和岩

石，升至 450 米高空。“长得快、死得早”是这个间歇泉的座右铭，尽管蔚为壮观的爆发场面让它成为一个传奇，但是怀芒古间歇泉仅在 1900 年到 1904 年这段时间内活跃过。怀芒古间歇泉的目击者被它的惊人爆发力所折服：1903 年，4 名游客被突如其来的大规模爆发夺去性命。科学家汉弗莱 - 海恩斯的妻子形容 1901 年 1 月的一次喷发时说：“先是小规模喷发，紧接着是一次场面蔚为壮观的爆发，爆发力远远超出以前看到的任何一次。黑色水柱向上喷涌而出，显然像个固体，它似乎停了一会儿，但紧接着它又开始向上升腾，漆黑的水流奔涌而下，很快消失在向上翻涌的水花里。”

4) 美国怀俄明州城堡间歇泉：城堡间歇泉(1870 年)，它因塔状的锥形结构而得名。全球已知的大约 1000 个间歇泉中，有近 500 个位于美国黄石国家公园里。其中最与众不同的一个是城堡间歇泉(1870 年)，它因塔状的锥形结构而得名。它曾被认为已有 1.5 万岁，但是最近经检测确定，城堡间歇泉第一次喷发大约发生在 1000 年前。这个间歇泉是一个半正规间歇泉，10 到 12 小时是一个喷发周期。在典型喷发过程中，滚烫的热水会在大约 20 分钟内被喷入高达 90 英尺(27 米)高空。接下来喷出的都是蒸汽，这个过程会持续长达 40 分钟，据说它发出的噪音很大

5) 俄罗斯威利坎间歇泉(Velikan Geysir)：威利坎间歇泉是该地已命名的 30 个间歇泉中的一个。它每隔 6 到 8 小时喷发一次，每次仅持续大约 1 分钟。欧亚大陆的两个间歇泉聚集地中的一个——间歇泉谷位于俄罗斯堪察加半岛，它是仅次于黄石国家公园的全球第二大间歇泉聚集地。威利坎间歇泉是该地已命名的 30 个间歇泉中的一个。它每隔 6 到 8 小时喷发一次，每次仅持续大约 1 分钟，喷涌而出的超热水柱，高度超过 25 米。2007 年 6 月，地震引发的泥石流，把三分之二的间歇泉谷掩埋在数吨重的碎石和烂泥下。该地的很多令人惊叹的间歇泉被毁，但是威利坎间歇泉并未受到影响。

6) 德国安德纳赫间歇泉：安德纳赫间歇泉并不是常规间歇泉，它是一个冷水泉，而且充满碳酸气体。间歇泉通常对家庭并不友善，但是安德纳赫间歇泉并不是常规间歇泉，它是一个冷水泉，而且充满碳酸气体。这个世界上最高的冷水间歇泉位于德国莱茵兰 - 普法尔茨州西部地区的安德纳赫市附近的纳梅迪尔

- 维斯自然保护区(Namedyer Werth Nature Reserve)。冷水间歇泉由溶解的二氧化碳提供动力。当有井或其他出口时，这种受压的水就会像被摇动的瓶装苏打水一样向上喷涌出来。下面这段视频显示的是安德纳赫间歇泉正在做间歇泉应该做的事情，并伴随一些令人讨厌的噪音。

7) 冰岛史托克间歇泉：史托克间歇泉是冰岛间歇泉的典型代表，它喷发次数频繁，大约每隔 4 到 8 分钟喷发一次。它也是该国最高的间歇泉，对一个宽基间歇泉来说，这是一个显著特征。史托克间歇泉的历史与地震和当地的火山环境有关。1789 年，地震打开它的咽喉，这个间歇泉被首次记录下来。1963 年，冰岛间歇泉委员会建议清除该泉下面管道里的障碍，这次“操作”取得成功，从此史托克间歇泉开始有规律地喷发。

8) 智利地热谷(El Tatio)：地热谷位于智利北部地区，高出海平面大约 4200 米，是全球最高的一个间歇泉聚集地。尽管地热谷的间歇泉的喷发高度很少有超过几英尺的(蒸汽升腾的高度更高)，但是这一地区产生的影响惊人，它形成安第斯山脉的美丽背景，令它看起来犹如另外一个世界。智利政府多次尝试在地热谷建设一座地热电站，但是公众和当地以旅游业为主的企业的强烈反对，一次又一次推翻了这种打算。

9) 新西兰诺克斯夫人间歇泉：添加肥皂的方法目前仍被用来诱使夫人间歇泉喷发。诺克斯夫人间歇泉位于新西兰陶波火山带，是该国为数不多的几个没有毛利名字的地质特征之一，这是因为它直到 20 世纪初才被人发现。被关押在附近监狱的囚犯把肥皂加入这个天然热水源里后，偶然会导致间歇泉喷发，用来清洗衣物。肥皂是一种活性剂，表面张力比水小，添加肥皂的方法目前仍被用来诱使夫人间歇泉喷发。下面是这个间歇泉正在喷发的场面。它的“演出”每天在上午 10 时 15 分开始，夫人间歇泉喷出的水柱在 1 小时内升至 20 米高空，爆发力相对比较温和。

10) 美国怀俄明州老忠实泉：老忠实泉是黄石公园最吸引眼球的明星，如果有谁想在一生中去看一次间歇泉，但是恰巧并不住在间歇泉附近，老忠实泉将是他们的理想之选。它位于美国最古老和最受欢迎的一个国家公园里，这意味着这里已经拥有相当健全的基础设施，可供一代又一代观泉者使用。老忠实泉总是循规蹈矩，不过它从来不会令它的倾慕者失望。不

像游客，老忠实泉不用睡觉，因此要想在不拥挤的环境下观看这个间歇泉，可以在深夜或者早早起床去看。这么做的额外奖励是引人入胜的夜空不会受城市灯光的影响。

间歇泉是地球上最迷人的一种自然现象，但是不要以为只有地球上才有它们的身影。美国宇航局的“航行者”号飞船 1989 年在飞越海王星的最大卫星——海卫一时，拍摄到令人震惊的画面：由氮气形成的高耸入云的间歇泉升入这颗卫星的大气里，氮气携带的尘埃等杂质，在间歇泉上形成深色条纹。这种场景令人震惊，它也是迄今为止看到的最出色的间歇泉，而且也不用添加肥皂。

另文中国的西藏间歇泉也非常壮观(图 4)。

3. 间歇泉和山脉高原的成因模型

图 5 是基于作者提出的大陆漂移原动力模型基础上^[6]，以活动论的观点给出的一个大陆板块运动前和运动后的模型。该图说明了美国黄石公园间歇泉和落基山脉的成因。上图(a)是大陆板块运动前的初始状态，下图(b)是大陆板块向左运动一段距离后的状态。由于大陆板块是漂浮在大洋板块之上的，因此陆块必然要切割一定深度的洋壳板块(浮力原理)，当板块在岩熔热力不平衡驱动下漂移运动后，大陆板块前方会



Figure 4. Tibet geyser (From Baidu Itsmnsn, 2013)
图4. 西藏间歇泉 (据百度Itsmsn, 2013)

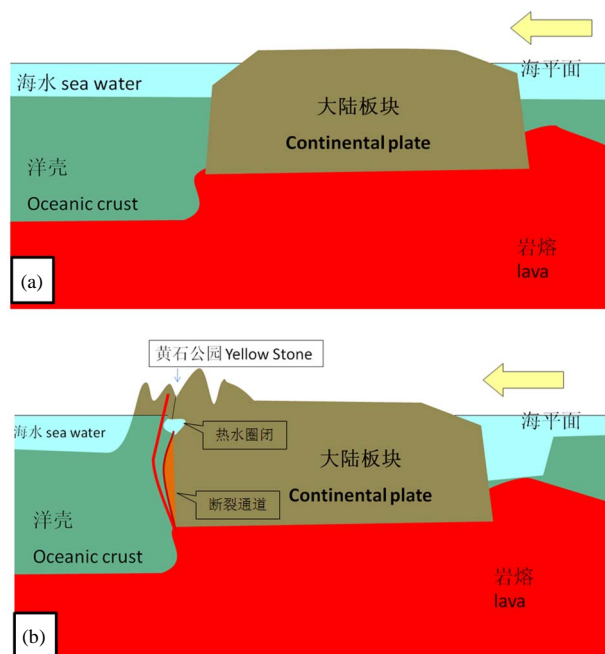


Figure 5. (a) is the initial state before the continental plate movement, (b) is the state after the continental plates moving some distance to the left
图 5. 上图(a)是大陆板块运动前的初始状态，下图(b)是大陆板块向左运动一段距离后的状态。

像推土机一样铲起来部分洋壳板块物质，同时由于挤压作用，陆块本身也将产生褶皱和隆升，这样在大陆板块前端(前进方向上)将形成山脉和高原，部分深部岩熔物质也会随之沿着褶皱构造形成的断裂带上涌引起火山爆发。同时也可能刮起一些深海含水物质形成深部含水圈闭，该含水圈闭还会与深部岩浆连通，在板块运动中，不断接受应力变化，产生间歇泉。另外在大陆板块后面将形成盆地，这些盆地切割深度应该很深，但很快会被新的沉积物充填，形成巨厚的深海沉积。如果本文给出的模式是正确的，那么该模式在现实中必然会存在 2 个明显特征：

1) 在大陆板块漂移的前方形成山脉和高原，并发生火山爆发。同时存在温泉或间歇泉。

2) 在大陆板块漂移的后方形形成巨厚的深海沉积。

本模式也适用于陆陆碰撞的情况，道理很简单，板块运动的前方无论是陆地还是海洋都会产生类似的现象(不同点仅仅是存在一定深度的海水，这个海水深度相对于板块的深度非常小)。

4. 实际例证

现代 GPS 测量已经证实，美洲(包括南美和北美)

大陆板块整体是由东向西漂移的。如果本文给出的大陆板块漂移模式是正确的，那么其必然形成的 2 个特征应该在该板块上能得到体现。

图 6 是作者将新提出的山脉高原成因模型匹配到北美洲和南美洲的地形图上的结果。图中分别给出了两条剖面线，一条 AB 线横跨北美洲，另一条 CD 线横跨南美洲。可以很清楚地看出，该模式与实际情况吻合良好。北美洲的落基山脉与模式中的造山带能够得到很好地匹配。该山脉也是火山活动带及地震带。更重要的存在大量的温泉和著名的黄石公园间歇泉。南美洲的安第斯山脉与模式中的造山带也能够得到很好地匹配，而且存在智利地热谷(El Tatio)，该地区高出海平面大约 4200 米，是全球最高的一个间歇泉聚集地。这符合了本文模型的第 1 条特征。

图 7 显示的是全球现代海洋沉积物厚度分布图，作者也将这两条剖面线的位置投影到该图上。从图中可以清楚地看出北美洲东南部(靠近 B 点)区域有巨厚的海洋沉积物分布(红色部分)，从色标可以估计沉积

厚度可达万米，而靠近 A 端部分则没有巨厚的现代海洋沉积物。南美洲也存在类似的情况，南美洲东南部也存在巨厚的现代海洋沉积物。这符合了本文模型的第 2 条特征。

美国的情况好像并没有那么简单，以上是一些宏观的证据，从图 8 的细节上看美国西部不仅存在落基山脉和大量的火山岩，同时在其东南部还存在一条著名的呈北东向展布的阿巴拉契亚山脉和火山岩带。难道本文给出的模型是错误的？当然不是。仔细分析作者发现，美国东南部的阿巴拉契亚山脉其实是一个地块拼合体，是后期一个不规则的地块拼合到美国大陆上的。图 9 的美国地质简图很清楚地能够看出这个拼合块体的边界。

从 Google-earth 图上也可以很清楚地看出这种块体的拼合(图 10)，图中显示其运动的后面(南面)存在板块运动的一个重要特征，那就是鼓包。

如果作者的推理是正确的，那么在这两个地区必然会在除了火山岩带之外的另外 2 个地质现象，那

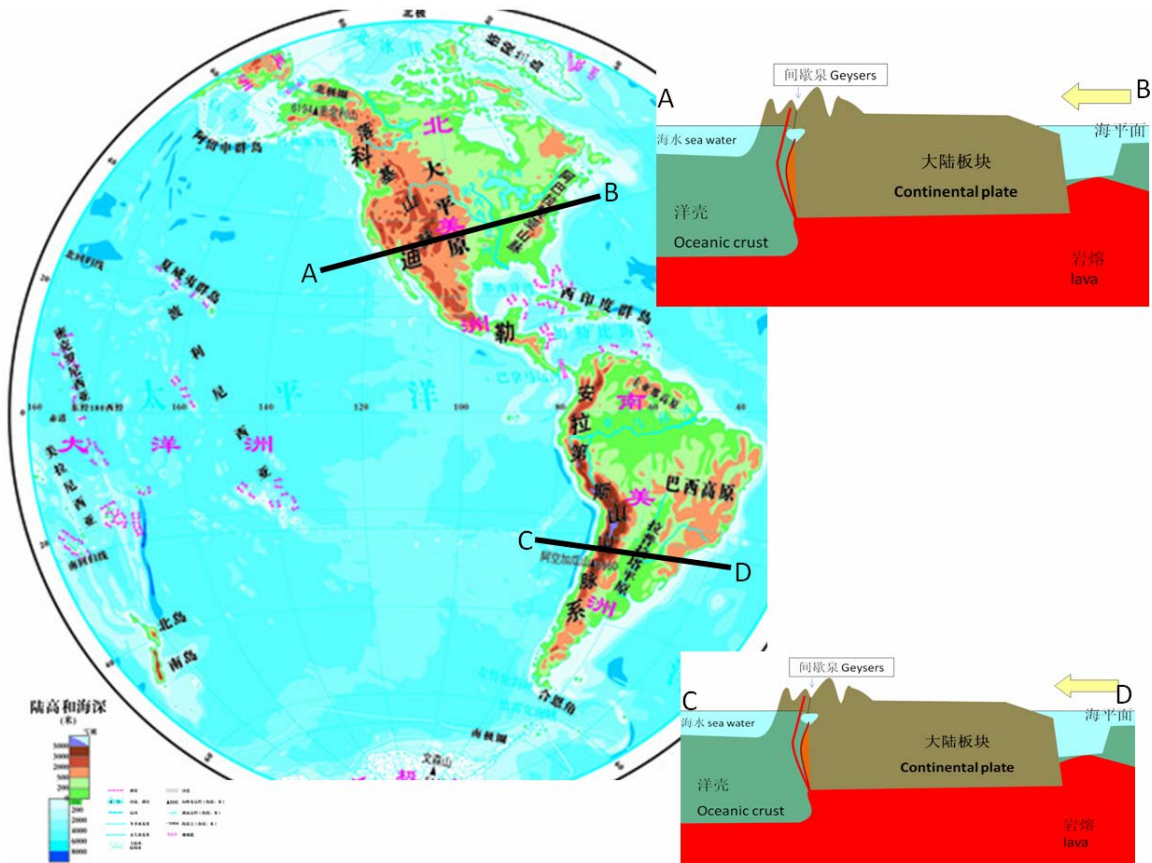


Figure 6. Topographic map of the Americas with Geysers and Mountains genetic model by continental drifting (revised from Baidu, 2013)
图 6. 美洲地形图与大陆漂移间歇泉和山脉成因模式(据百度, 2013 修编)

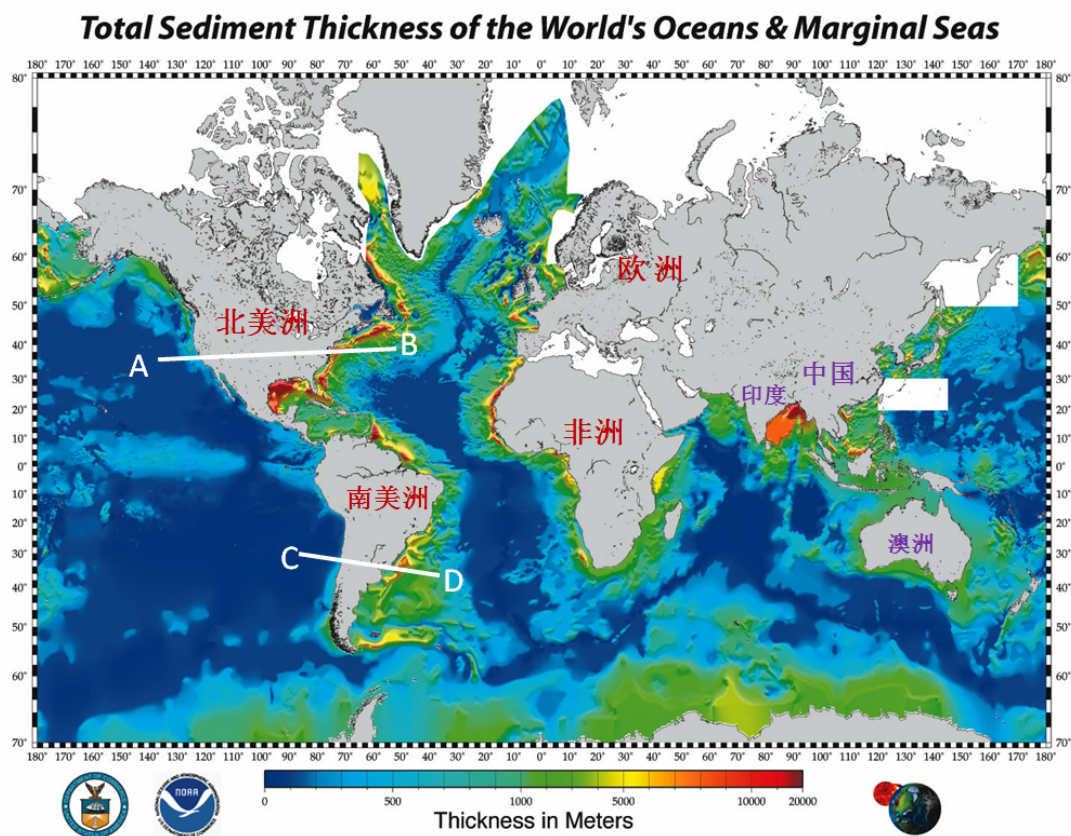


Figure 7. Global Ocean sediment thickness distribution with Geysers and Mountains genetic model by continental drifting (revised from NOAA, 2013)

图7. 全球海洋沉积物厚度分布图与大陆漂移间歇泉和山脉成因模式图(据NOAA, 2013修编)

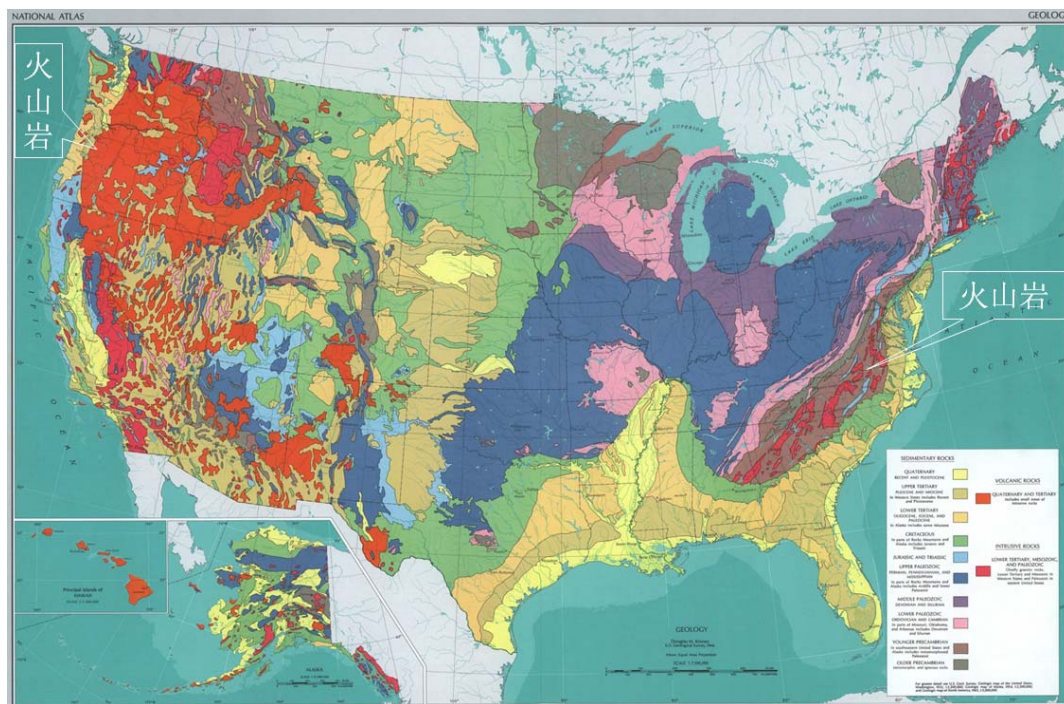


Figure 8. US geological map (www.lib.utexas.edu, 2013)

图8. 美国地质图 (据www.lib.utexas.edu, 2013)

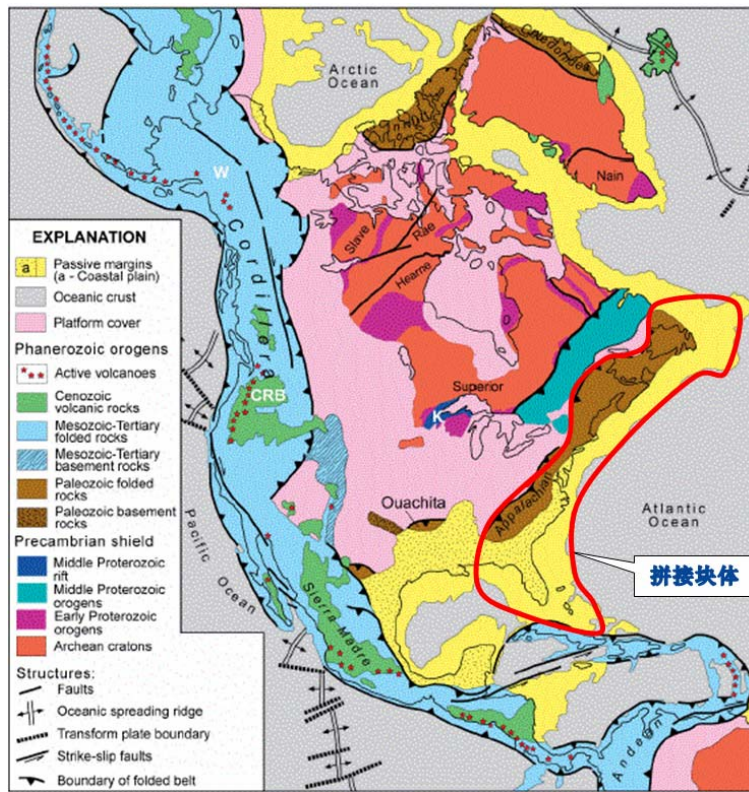


Figure 9. Simplified geologic map of North America (from USGS, 2013)
图9. 美国地质简图(据USGS, 2013)

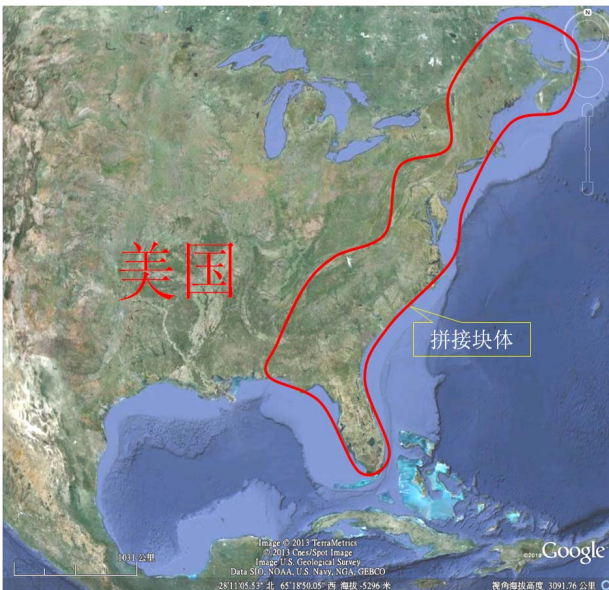


Figure 10. Plates connection pattern in southeastern United States (revised from Google-earth)
图10. 美国东南部地区地块拼接图 (据Google-earth修编)

就算存在温泉分布带和地震活动带。

图 11 是北美洲地区的温泉分布图，图 12 北美洲地区海啸与地质灾害分布图。这 2 个图都非常清晰地

显示了两条温泉带和地震带，这充分说明了本文模式在该地区是适用的。

图 13 全球磁异常条带及年龄分布图，该图说明之所以北美洲温泉和间歇泉存在密集分布，应该还有另外一个因素“叠加复合”在本文的成因模式上了，那就是北美板块正好漂移运动到一个洋中脊上了。图中的黑色线条表示的洋中脊。

如果本文给出的模式是正确的，那么在黄石公园深部的地震波速度上也应该显示出低速特征，因为蓄水圈闭中水的速度是 1500 m/s，而围岩的速度多大于 2500 m/s。

图 14 是美国地质调查局在黄石公园地区所作的结果。图中蓝色箭头是块体 GPS 位移速率，而地图颜色表示的是三维地震波速度特征。图的中部是黄石公园地区，显示深部具有明显的低速特征(蓝色)。

图 15 显示的是位于美国落基山脉范围内的被评为十大地质奇观的照片，这是一个名叫 The Wave 的大自然砂岩雕塑艺术品。具体位于美国犹他州和亚利桑那州交界的狼丘(Coyote Buttes)地区。该图说明了板块运动在其前方形成的造山带的震撼效果。

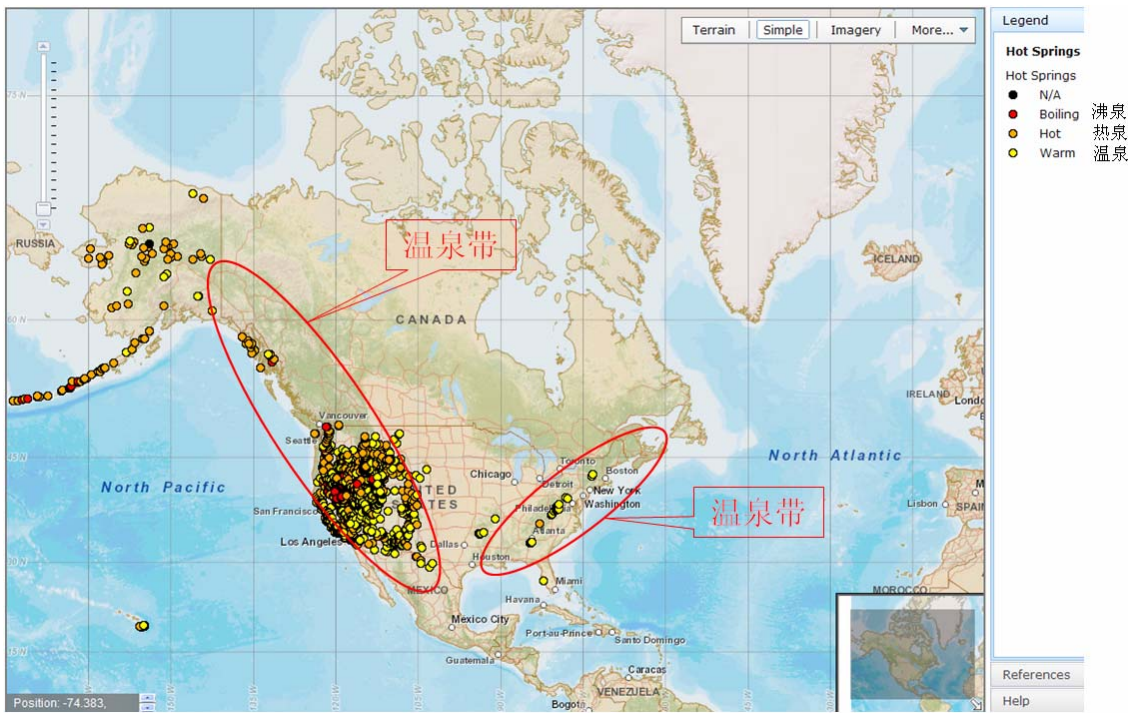


Figure 11. Spa maps of North America (revised from NOAA/NGDC)
图11. 北美洲地区温泉分布图 (据NOAA/NGDC修编)

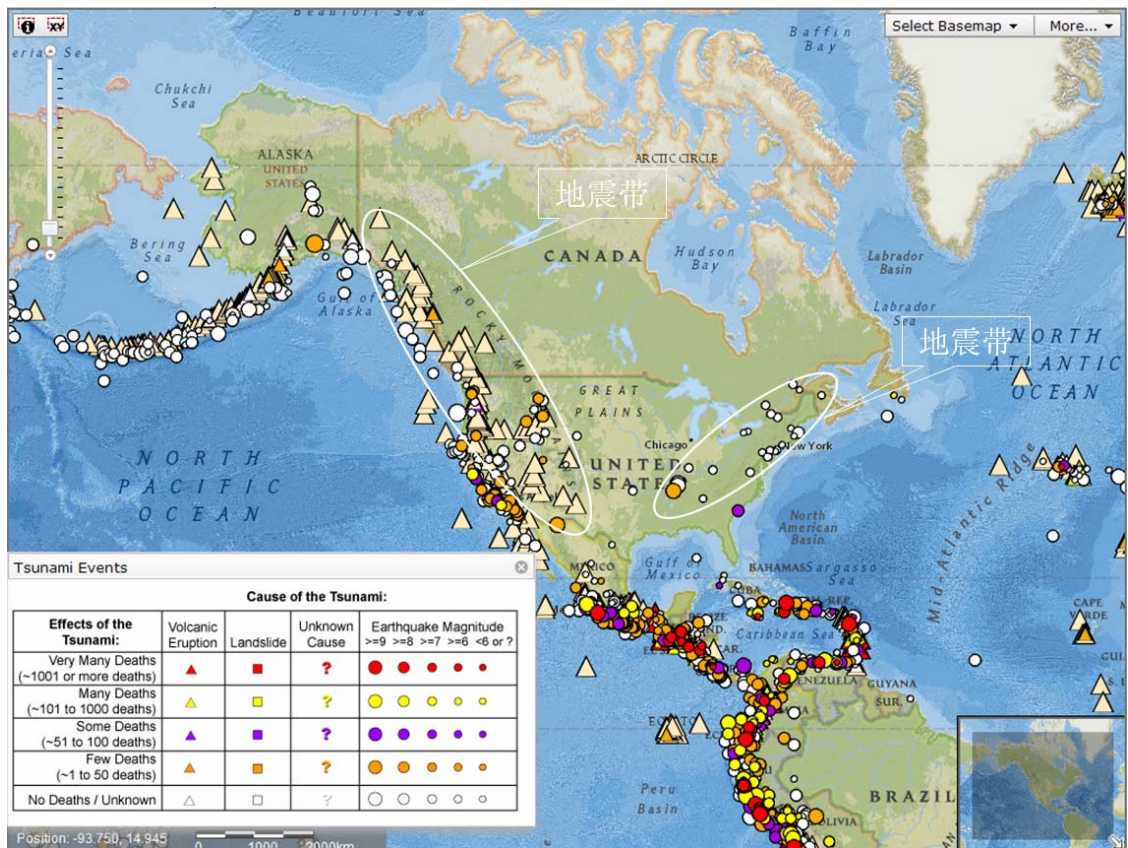


Figure 12. Tsunami and geological hazard map in North America (revised from NOAA/NGDC)
图12. 北美洲地区海啸与地质灾害分布图 (据NOAA/NGDC修编)

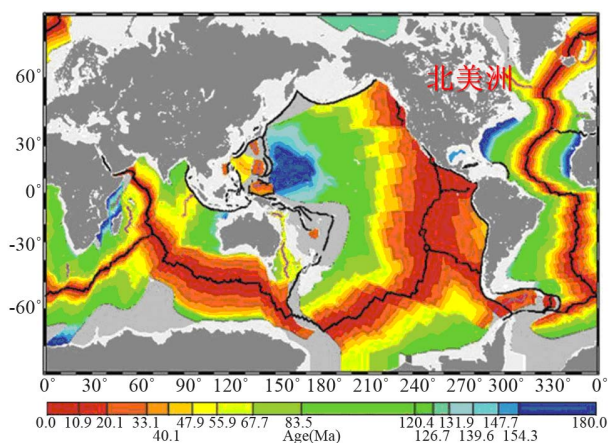


Figure 13. Global magnetic anomaly with age (revised from NOAA/NGDC)
图 13. 全球磁异常条带年龄(据 NOAA/NGDC 修编)

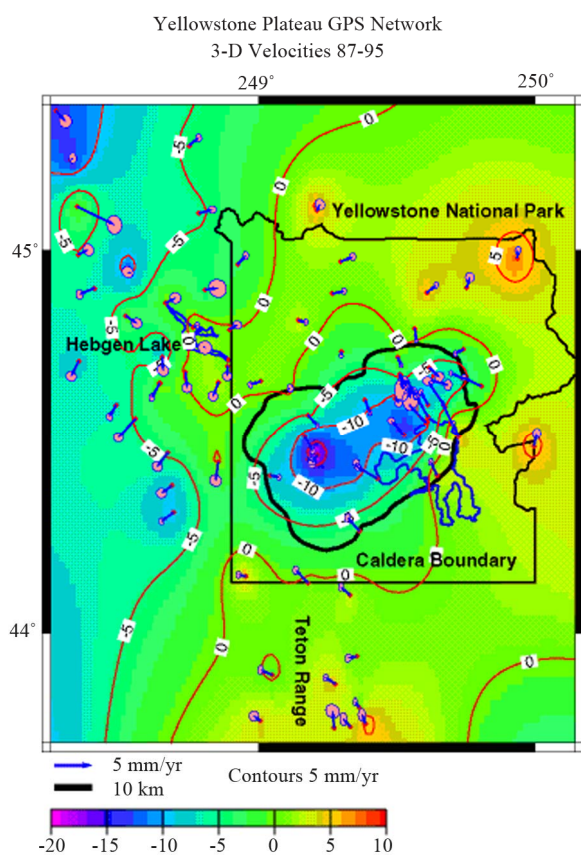


Figure 14. GPS displacement in the region of Yellowstone National Park and underground seismic velocity profile (from NOAA/NGDC)
图 14. 黄石公园地区 GPS 测量位移和地下地震波速度分布图(据 NOAA/NGDC)

5. 结论

1) 当大陆板块漂移时,会在板块运动的前方产生刮蹭堆积及挤压形成山脉高原并引起火山爆发,同时



Figure 15. The Wave nature sandstone sculptures in Utah and Arizona border (Baidu image, 2013)
图 15. 美国犹他州和亚利桑那州交界处的The Wave大自然砂岩雕塑艺术品(百度图片, 2013)

也可能刮起一些深海含水物质形成深部含水圈闭,该含水圈闭还会与深部岩浆连通,在板块运动中,不断接受应力变化,产生间歇泉。同时也会在板块后方形成深海沉积。通过对美国西部落基山脉的对比发现,该模型与实际情况吻合很好。该成因模型完全符合美国黄石公园的间歇泉特征。

2) 该间歇泉和温泉成因模型在南美洲的智利和冰岛及中国的西藏地区等都吻合很好,它们都处于当前板块运动的前方。

3) 该成因模式为全球地热勘探提供了一种新的思路 and 基础勘查理论指导。

6. 致谢

本文是在远在加拿大的祁凤茹老师遥远的不断鼓励下写成的,特此对她表示真诚的感谢!感谢蔡新平教授给予的多方指导!感谢我的妻子华芳女士一直默默的支持和奉献!感谢中国知网、美国 Google 公司、中国百度网络公司提供的快速优质服务。

参考文献 (References)

- [1] silentino. 间歇泉[URL], 2012.
<http://baike.baidu.com/view/85493.htm>
- [2] 1131642149llw. 全球十大惊艳间歇喷泉[URL], 2012.
<http://wenku.baidu.com/view/fbacbfdda58da0116c17498f.html>
- [3] 职业道德 yu 法律. 世界 10 大神奇的地理奇观[URL], 2011.
<http://wenku.baidu.com/view/8bfafb5e312b3169a451a42b.html>
- [4] Wikipedia. Convergent boundary, 2013.
http://en.wikipedia.org/wiki/Convergent_boundary
- [5] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 嵇少丞, 张泽明, 刘焰. 印度 - 亚洲碰撞大地构造[J]. 地质学报, 2011, 85(1): 11-33.
- [6] 梁光河. 大陆漂移的源动力——板块自驱动模式[J]. 地球科学前沿, 2013, 3: 86-96.