

深大断裂对幔源 CO₂ 释放作用研究综述*

张加桂 胡海涛

(国土资源部环境地质研究所,北京 100081)

摘要 介绍了有关深大断裂对幔源 CO₂ 释放作用的理论、国内外研究现状,以及作者在该项研究中取得的一些进展;认为该研究对推动碳循环、岩溶动力学和灾害地质学等多学科向前迅速发展有着重要的意义;提出今后应注重多学科结合等的研究思路。

关键词 幔源 CO₂ δ¹³C 深大断裂 研究综述

0 引言

深大断裂的幔源 CO₂ 释放作用是研究碳循环的一个重要方面。巨大的幔源 CO₂ 释放量和高速的释放速率对地球的岩溶动力系统具有巨大影响。因此深大断裂对幔源 CO₂ 释放作用研究已成为一个越来越重要的课题,并得到了迅速的发展。

1 有关幔源 CO₂ 的理论及研究意义

1.1 有关幔源的 CO₂ 的理论

几千年来人们认为地球只有一个气圈——外层大气圈。据最新研究^①,除外层大气圈外,地球内部至少还存在四个气圈:上地壳气圈、中地壳气圈、上地幔气圈和外地核气圈,而且越深气体越多,上地幔气圈中的气比大气圈中的气至少多 100 倍。上地幔气圈中的气是一种超临界态的 HACO_{NS} 化合物气体(其中:H——氢、卤素、热,A——碱金属 Na、K 等,C——碳,O——氧,N——氮,S——硫)。地幔的“富 CO₂ 幔汁”中,CO₂ 含量大于水^[1];在上地幔软流层,CO₂ 是形成一系列富碱岩浆的不可缺少的催化组分。

碳有两种稳定同位素:¹²C 和¹³C,丰度分别为 98.89%和 1.11%,碳同位素组成通常用 δ¹³C 值来表示^[2]:

* 国土资源部岩溶动力学开放研究实验室资助课题

第一作者简介:张加桂,男,1962年生,高级工程师,1983年毕业于武汉地质学院,现为中国科学院地质研究所在读博士。通讯地址:北京海淀区大慧寺 20 号。

收稿日期:1998-12-07

① 杜乐天. 1998,自然灾害与地球排气作用(1998 第六届国际世界语科技大会发言稿提纲)。

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left[\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{样品}} - \left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{标准}} \right] \times 1000 / \left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{标准}}$$

标准采用 PDB。

不同来源的碳质具有不同的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。但确定幔源碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围是一件困难的事^[3]。大多数人认为,在地幔高温高压条件下,同位素基本上是均一的, $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围为 $-4.7\text{‰} \sim -8.0\text{‰}$ ^[4,5]。实际上,地幔是不均匀的,对幔源碳的实际报道值范围更宽,如金刚石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $0 \sim -30\text{‰}$,但其频率分布主要集中于 -5.5‰ 左右,少量介于 $-19\text{‰} \sim -15\text{‰}$ ^[6];而作为地幔中第二种主要碳样品的碳酸盐的碳同位素组成变化则十分有限, $\delta^{13}\text{C}$ 平均为 -5.4‰ ^[7];地幔 CO_2 流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出更宽广的范围。Pineau et al. (1990)认为^[8],地幔存在大规模的碳同位素组成的不均一性,一种可能性是生物有机碳下沉与均一的原始碳源不同程度的混合的结果。Deines (1992)指出^[7],金刚石中碳同位素组成的变化继承了地球增生过程的特点。他类比了球粒陨石的碳同位素变化后指出,在地幔的更深部位也许存在一个比 -5.5‰ 更贫 ^{13}C 的碳源区,也就是说,在地幔的较深处, $\delta^{13}\text{C}$ 的值可能较低。

深大断裂是地幔物质向地表运移的主要通道。日本学者将与断裂活动有关的从断裂散发出来的气体定义为“断层气”^[9]。它可分为三类:①从断裂逸出在上方土壤中形成的气晕;②在沿断裂分布的泉水中以气泡形式涌出的气体;③断裂带上火山喷发出的大量气体。它们中均含幔源 CO_2 。对幔源 CO_2 释放作用比较直观和便利的观测对象是温泉,可从对泉华、泉水和温泉气体的研究入手。另外便是对火山岩等的地幔岩中含碳矿物和富 CO_2 流体包裹体的研究。

但应该认识到,幔源 CO_2 的研究是相当复杂的。因为 CO_2 在地球各圈层广泛存在,有些来源显然不同的 CO_2 ,有时恰恰具有十分类似的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。因此研究幔源 CO_2 不能孤立地单纯依赖 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,对其释放方式、释放数量、释放点的地质背景和环境特征以及 CO_2 的动态变化等多种因素必须综合加以考虑,伴生组成的化学成分和含量关系也是区分 CO_2 来源的重要依据。

1.2 研究意义

深大断裂对幔源 CO_2 释放作用研究是一项非常重要和有意义的工作^[10,11],它对于确定地球的含碳量,弄清岩溶动力系统、碳的全球地球化学循环过程、大气中 CO_2 含量增加的原因以及近年来多种并发性灾害的成因都是不可缺少的方面。不仅如此,它也是弄清地幔深部特性和地质过程的重要手段。

2 国内外研究现状

国内外对深大断裂的幔源 CO_2 释放作用研究是以研究某些地质灾害的成因为目的开展的,这些灾害主要是地震和火山。

2.1 国外研究现状

国外深大断裂对幔源 CO_2 释放作用研究在一些多地震和火山活动的国家开展较普遍,这主要是环太平洋的美、日、前苏联、新西兰等^[12~14]。在全球范围,特别是在环太平洋及亚欧地震带内,幔源 CO_2 释放点的分布与地震活动断裂带的分布基本一致^[11]。目前收集到世界各地地热水的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围约为 $-2\text{‰} \sim -10\text{‰}$ ^[3]。

国外对地质历史时期产生的地幔岩中含碳矿物及含碳流体包裹体的碳同位素研究较多。从玄武岩和金伯利岩捕获的地幔岩石矿物中发现的地幔碳的化学组成是多种多样的,而分布

最普遍的则是地幔矿物中的 CO₂ 流体包裹体。研究得出金伯利岩中金刚石的 $\delta^{13}\text{C}$ 组成变化很大 (0~ -30‰), 但其频率分布主要集中于 -5.5‰。Pineau et al. (1990)^[8]、Trull et al. (1993)^[15] 和 Nadeau et al. (1990)^[16] 采用分步爆裂法研究了北美大陆和夏威夷火山岩中地幔捕虏体的碳同位素组成。北美大陆火山岩中地幔岩捕虏体中的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围介于 -10‰~-4‰之间; 夏威夷火山岩的变化于 -10.8‰~-1.6‰和 -26‰~-22‰之间。这种变化也出现在洋中脊、弧后和热点玄武岩中^[17]。

2.2 国内研究现状

我国在 1976 年唐山地震前后, 便开始了用 CO₂ 等气体预报地震的研究。中国地震局 1983 年起开展了有计划、有步骤的断层气测量工作^[18]。深大断裂对幔源 CO₂ 释放作用的研究以中国地震局地质研究所开展较多。岩溶地质研究所在西南等地也作了大量研究工作。我所也对长白山火山区做过一些研究。下面分片予以简介。

2.2.1 川滇活动块体的深源 CO₂ 释放作用研究概况

地震局上官志冠等(1993)^[19]考察了川滇活动块体边界断裂沿线及邻近地区近百个 CO₂ 释放点的 CO₂ 释放特征, 测定了这些点的溶解和逸出 CO₂ 的稳定碳、氧同位素组成, 初步讨论了这些 CO₂ 的物质来源及其释放机制。在所有释放点中, CO₂ 泉约占一半。上官志冠等将区内温泉 CO₂ 释放点分为三类: 第一类温泉实测溶解 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值介于 -1.0‰~-3.9‰之间。第二类温泉的溶解 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围为 -4.0‰~-8.9‰。第三类温泉的溶解 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最低, 变化范围从 -9.2‰至 -16.2‰。

其中的第二类与公认的幔源碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围 (-4.7‰~-8.0‰)^[4,5] 类似。因此认为这类 CO₂ 可能源自中下地壳, 有些可能与地幔流体的上涌有关。它们中最具代表性的深源 CO₂ 泉都沿深大断裂分布, 而且深源 CO₂ 泉无论是 CO₂ 释放速率还是释放总量都远远超过热动力变质成因 CO₂ 泉; 其分布也不仅仅局限于沉积岩中, 在古老的变质岩地层, 甚至火山岩地层中都有分布。统计得出第二类温泉点占 55.4%, CO₂ 释放量占三类总量的 95% 以上^[20]。

2.2.2 川西北等地区幔源 CO₂ 释放量的定量化研究概述

岩溶地质研究所刘再华等(1997)^[21]曾对三种不同岩溶动力系统的碳稳定同位素和地球化学特征做过对比研究。所选的三个代表性地区, 一为桂林岩溶试验场, 二为四川黄龙风景区, 三为贵州乌江渡坝区。在对三个地区的地质、地貌、同位素特征和水化学特征进行了充分的分析和对比研究之后, 指出黄龙系统的 CO₂ 可能是深部岩浆起源 CO₂ 及灰岩遇高温分解产生的 CO₂ 的混合物, 并计算出黄龙 CO₂ 中有 77% 来源于岩浆, 其余 23% 来源于灰岩高热分解。同理计算出了松潘二道海地热区两源 CO₂ 的含量分别为 61% 和 39%。

2.2.3 郑庐断裂及胶辽断块区的深源 CO₂ 释放作用研究概况

上官志冠等^[22]研究了大致以郑庐断裂为界的山东、辽宁东部地区的 20 个温泉和冷泉。郑庐断裂是中国大陆东部一条巨型活动断裂。据笔者研究, 在该区存在着三个上地幔挤压流动带^[23]。

研究区内现代地热活动强烈, 热水温度大多在 60℃ 以上, 有的高达沸点。与北西断裂活动有关的三个温泉点的 CO₂ 具有深源 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 但其 CO₂ 释放强度都不高。

区内唯一的碳酸泉(冷泉)位于大连东北约 100km 黄海岸边的皮口镇, 有大量气体从水中逸出, 逸出气体中 CO₂ 约占 97.6%, $\delta^{13}\text{C}$ 值 -4.3‰, 这些 CO₂ 可能来自附近的一个 CO₂ 气藏。类似情况还见于云南云县大兴温泉, 其中释放的大量 CO₂ 可能也来自附近的一个 CO₂ 气

藏^[3]。

另一个有特点的冷泉是辽阳汤河冷泉,逸出 CO₂ 的 δ¹³C 值(-8.3‰)比溶解 CO₂ 的 δ¹³C 值(-9.6‰)高,说明逸出气体来源较深,可能是在离地面不远处才与冷泉相遇。

上官志冠等还利用示温化学元素计算了热水的循环深度;进行了与 CO₂ 相关的逸出气体(N₂、H₂、He、Ar、Ne)的百分含量和稀有气体的同位素比值(³He/⁴He, ⁴He/²⁰Ne, ⁴He/⁴⁰Ar 和 ⁴⁰Ar/³⁶Ar)研究,以进一步证实其来源。

2.2.4 长白火山天池周围地热水中幔源 CO₂ 释放作用研究概述

该区为近代火山活动区^[24],深部存在上地幔挤压流动带^[23],火山锥体受两组断裂控制,北西向断裂控制了火山发育的总体走向^[25]。在天池边缘及外围多处出露温泉,形成以天池为中心向四周散射的地热田。

上官志冠等(1996)^[26]对该区的冷泉、氦泉、温泉和无氦泉 4 类 12 个泉作了多次研究,测定了泉点所释放的水、气体样品的化学组分及其氢、氧、碳、氮、氦、氩等稳定同位素组成,将天池四周 4 类泉水来源层位分为冷水层、浅部、中部和深部热水层,其水中溶解总碳的 δ¹³C 值介于-4.5‰~-2.8‰之间。温泉逸出气体的主要成分是 CO₂,含量平均值约为 90%,δ¹³C 值变化范围从-7.4‰~-6.6‰之间(平均-7.0‰),具典型幔源 CO₂ 的 δ¹³C 值。冷 CO₂ 也具有典型幔源 CO₂ 的 δ¹³C 值。关于外围地区的温泉,上官志冠等认为它们与现代火山区水热活动关系不大。他们最后总结指出:该区现代流体释放中含有大量的幔源成分,这些幔源物质可能源于该处地下不太深的岩浆体。

2.2.5 中国东部地幔 CO₂ 流体包裹体的碳同位素研究概述

为探索中国东部地幔流体的碳同位素组成与演化,樊祺诚等(1996)^[6]挑选了 11 个地点的新生代玄武岩中富 CO₂ 流体包裹体的 13 个地幔岩捕虏体,采用分步加热爆裂法进行了碳同位素组成的研究。结果表明,碳同位素组成(δ¹³C)差别很大,变化范围为-35.7‰~-2.9‰。对于同一温度段(800℃或者 1100℃),δ¹³C 有相对集中的分布。800℃的 δ¹³C 值主要集中于-22‰~-16‰,1100℃的 δ¹³C 主要集中于-29‰~-21‰。这一结果与夏威夷 Hualalai 火山的有关测试结果类似(在 1200℃爆裂的 CO₂ 的 δ¹³C 值为-26‰~-22‰)^[8]。他们获得的 CO₂ 的 δ¹³C 值另一显著特点是,对于同一样品,高温(1100℃)碳的 δ¹³C 普遍低于低温(800℃)碳的 δ¹³C。这意味着地幔演化不同阶段的流体 CO₂ 具有不同的 δ¹³C 的值。

3 本课题研究的新进展

本课题选择了鲜水河断裂带和由断裂控制的长白火山天池周围为研究区。从研究深大断裂对幔源 CO₂ 释放量的要求出发,在野外工作中,注重了地质、地貌,特别是注重了水文地质条件研究,对温泉气体、泉水和泉华三态物质进行了观测和取样测试,根据三态物质的碳质含量与同位素特征,对幔源 CO₂ 释放量作了量化分析。研究结果如下:

3.1 鲜水河断裂带温泉的 CO₂ 释放量的量化研究结果

详细结果将在《水文地质工程地质》上发表,题为《四川省鲜水河断裂带温泉的 CO₂ 释放量的量化研究》^[27],主要结论是:

该带为深大断裂带,沿着断裂带有大量的温泉发育^[28]。温泉的出露具有特殊的构造和地貌位置。特别是南东段断裂的深度大,因此温泉不仅数量多,而且温度高,流量大,三态物质的

碳质含量高。

温泉中有大量的 CO₂ 来源于地幔,通过对钙华、泉水和温泉气体的 $\delta^{13}\text{C}$ 分析,得出在大多数温泉所逸出的 CO₂ 中,幔源 CO₂ 比例超过 60%(表 1)。观测、分析和计算得到定量化数据,即鲜水河断裂带仅部分温泉的 CO₂ 年释放量在 400t/a 以上,其中幔源 CO₂ 释放量在 354t/a 以上。

表 1 温泉中 CO₂ 气体释放量定量化结果统计表

Tab. 1 Quantification values of CO₂ outgassing from the hot springs

	灌顶 温泉	龙头沟 温泉	游泳池 温泉	二道桥 温泉	折多塘 温泉	折多山 温泉	葛卡 温泉	龙普沟 温泉	新江沟 温泉	上居日 温泉	合计
RM(%)	79.0	83.0	少量	88.8	86*	—	66.3	87*	90	少量	
VPA(t/a)	—	20~25	大量	362	—	0.63	15	—	1.7	大量	400
VPAM(t/a)	—	17~21	少量	321	—	—	10	—	1.5	少量	354

注:RM 表示幔源 CO₂ 的比例,VPA 表示 CO₂ 年释放量,VPAM 表示幔源 CO₂ 的年释放量,“—”表示未知。* 表溶解 CO₂ 的幔源 CO₂ 含量。

3.2 长白火山天池周围地热活动中幔源 CO₂ 研究结果

详细结果将在《地质论评》火山岩会议增刊上发表,题为《长白火山天池周围地热活动中 CO₂ 的来源探讨》^[29]。文中得出了以下探讨性认识:

长白火山天池周围温泉水具有深循环的特点,为地表水沿断裂通道循环到地下较深处遇地热活动加热后上升到地表的产物^[30]。天池附近的温泉水与天池水有关,受天池水补给。

地热活动产生的温泉物质中,具有大量的碳质成分。从 $\delta^{13}\text{C}$ 测试结果得出,碳质有其特殊的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,即三态物质中,碳的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值差别非常明显,泉华为 0.7‰,泉水为 -9.8‰~-9.4‰,气体为 -19.6‰~-18.1‰。气体 CO₂ 中 $\delta^{13}\text{C}$ 值(-19.6‰~-18.1‰),与中国东部新生代玄武岩的流体包裹体中 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 测试结果一致^[6],说明气体中 CO₂ 主要是幔源的,而且现今幔源 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与地质历史时期的幔源 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值具有一致性;同时也说明现今释放的幔源 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值具有区域性特点。

三态物质间,碳质的 $\delta^{13}\text{C}$ 差值较大。泉水与气体之间的差值可能是由于幔源 CO₂ 气体在上升过程中未能与泉水中的溶解 CO₂ 达到分馏平衡。

观测和计算得出了温泉气体中幔源 CO₂ 释放的定量化指标,即聚龙泉的幔源 CO₂ 年释放量为 73000m³/a,合 146.0t/a;锦江温泉的幔源 CO₂ 年释放量为 10133m³/a,合 20.3t/a。

幔源 CO₂ 的形成与上地幔深部的挤压流动作用有关,上地幔深部挤压流动导致了地幔碳源区 $\delta^{13}\text{C}$ 值的复杂变化,也促使了大量幔源 CO₂ 的产生和释放。

认为温泉中气体主要来自地幔,这与上官志冠等^[25]的认识一致。的确,这里的测试结果与上官志冠等的测试结果有较大的差别,测值低。目前只能解释为由于取样的时间不同, $\delta^{13}\text{C}$ 值发生了大的改变。

4 今后研究的若干建议

开展深大断裂对幔源 CO₂ 释放作用研究将推动碳循环、岩溶动力学和灾害地质学等多学科向前迅速发展。随着人类生存的需要和科学技术的发展,这项研究将会越来越引起人们的重视,并将给人类认识自然带来更多的方便。因此,开展并注重以下几方面的研究势在必行,即:

(1) 开展全面的研究工作。我国的地质构造非常复杂,深大断裂极其发育,深大断裂对幔源 CO₂ 释放作用强烈。

(2) 与地球动力学的研究密切结合。我国地球动力来源复杂,地幔深部挤压流动作用普遍,地幔的挤压流动需要 CO₂ 气体的助滑,同时地幔在挤压流动时也产生大量的 CO₂ 气体。

(3) 对深大断裂的幔源 CO₂ 释放作用研究不能仅局限于对温泉的研究,应该全面研究整个深大断裂的幔源 CO₂ 释放作用,大力应用遥感监测技术来监测深大断裂的幔源 CO₂ 释放量。

(4) 与地震工作相结合。地震部门将深源 CO₂ 的释放量作为评价断裂规模及活动强度的重要指标,把深源 CO₂ 释放量的变化作为地震前兆异常。因此可利用地震部门的长期监测资料来研究幔源 CO₂ 释放量。地震往往伴随有大量幔源 CO₂ 气体的释放。

(5) 与火山的研究工作相结合。火山喷发必须以深大断裂为通道。现代火山爆发有大量的幔源 CO₂ 释放,历史上的火山喷发留有大量幔源 CO₂ 释放的痕迹。

(6) 加强国际交流与合作,学习国外的先进经验,积累国内外数据,以修正和完善深大断裂对幔源 CO₂ 释放作用的理论。

(7) 研制有关气体测量仪器设备,用于准确测量温泉气体流量和断裂带上其它地段的气体流量。

参 考 文 献

- 1 杜乐天. 幔汁(HACONS 流体)的重大意义(下篇). 大地构造与成矿学, 1989, 13(1): 91~99
- 2 魏菊英, 王关玉. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1988: 144
- 3 上官志冠. 断层气体二氧化碳的物质来源及其在地震前后大的异常释放. 见: 断层气测量在地震科学中的应用. 北京: 地震出版社, 1991: 31~38
- 4 Moore J G, Bachelder J N and Cunningham C G. CO₂-filled vesicles in mid-ocean basalt, J. Volcano. Geothermal Res., 1977, Vol. 2: 309~327
- 5 Pineau F, Javoy M and Bottinga Y. ¹³C/¹²C ratios of rocks and inclusions in popping rocks of the Mid-Atlantic Ridge and their bearing on the problem of isotopic compositions of deep seated carbon, Earth Planet. Sci. Lett., 1976, Vol. 29: 413~412
- 6 樊祺诚等. 中国东部地幔 CO₂ 流体包裹体的碳同位素初步研究. 地球化学, 1996, 25(3): 26469
- 7 Deines P. Mantle carbon, Concentration, mole of occurrence and isotopic composition. In: Early Organic Evolution; Implication for Mineral and Energy Resources. Berlin: Springer-Verlag, 1992: 133~146
- 8 Pineau F, Mathez E A. Carbon isotopes in xenoliths from the Hualalai Volcano, Hawaii, and the generation of isotopic variability. Geochem Acta, 1990, 54: 21727
- 9 吴少武, 丁仁杰. 隐伏新构造断裂的探测及其现今活动性研究的一种简易方法. 见: 断层气测量在地震科学中的应用. 北

- 京:地震出版社,1991:87~96
- 10 袁道先. 碳循环与全球岩溶. 第四纪科学,1993,(1):1~6
 - 11 Janoy M, Pineau F, Allegre C J. Carbon geodynamic cycle. *Nature*,1982,300:171~173
 - 12 Irwin W P. and Bames I. Tectonic relation of carbon dioxide discharges and earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 1980,85(B6): 3115~3121
 - 13 Sugisaki R et al.. Origin of hydrogen and carbon dioxide in fault gases and its relation to fault activity, *Jour. Geol.*, 1983, Vol. (91):239~258
 - 14 Sano Y, Gamo T, Notuu K et al.. Secular variations of helium and carbon isotopes at active volcano, 29th Int. Geol. Congr. Abstracts Vol. 3 of 3, Kyoto, Japan, 1992. 609
 - 15 Trull T, Nadeau S, Pineau F et al.. C-He systematics in hotspot xenoliths: Implications for mantle carbon contents and recycling. *Earth Planet Sci Lett*, 1993, 118:43~64
 - 16 Nadeau S, Peneau F, Javoy M et al.. Carbon concentrations and isotopic ratios in fluid inclusion-bearing upper-mantle xenoliths along the north-west margin of North America. *Chem Geol*, 1990, 81:271~297
 - 17 Exley R A, Matthey D P, Clague D A et al.. Carbon isotope systematics of a mantle otspot A comparison of Loihi Seamount and MORB glasses. *Earth Planet Sci Lett*, 1986, 78:189~199
 - 18 汪成民, 李宜璐. 我国断层气测量在地震科学研究中的应用现状. 见:断层气测量在地震科学中的应用. 北京:地震出版社, 1991:1~16
 - 19 上官志冠, 刘桂芬, 高松升. 川滇块体边界断裂的 CO₂ 释放及其来源. *中国地震*, 1993, 9(2):147~153
 - 20 上官志冠. 深源二氧化碳预报地震研究. *地震地质*, 1995, 17(3):214~217
 - 21 刘再华, 袁道先, 何师意. 不同岩溶动力系统的碳稳定同位素和地球化学特征及其意义. *地质学报*, 1997, 71(3):281~288
 - 22 上官志冠, 都吉夔, 臧伟等. 郟庐断裂及胶辽断块区现代地热流体地球化学. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(2):239
 - 23 Zhang Jiagui. Model of earth quake-pregnancy controlled by deep thrusting under continental rift. Abstracts of 30th IGC, 1996, 3(3):179
 - 24 刘若新, 樊祺诚, 郑祥身等. 长白山天池火山的岩浆演化. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(3):22631
 - 25 李邦良. 白头山区冰川地貌航空卫星照片解译. *地质论评*, 1992, 38(5):43138
 - 26 上官志冠, 孔令昌, 孙凤民等. 长白山天池火山深部流体成分及其稳定同位素组成. *地质科学*, 1996, 31(1):54 m. 64
 - 27 张加桂, 胡海涛. 四川省鲜水河断裂带温泉的 CO₂ 释放量的定量化研究. *水文地质工程地质*, 1999(待刊)
 - 28 四川省地震局. 鲜水河活动断裂带. 成都:四川科学技术出版社, 1989:96
 - 29 张加桂, 胡海涛. 长白山火山天池周围地热活动中 CO₂ 的来源探讨. *地质论评*, 1999, 火山岩会议增刊(待刊)
 - 30 赵继昌, 李励红, 梁静. 长白山火山地热与矿泉同位素地球化学特征. 见:中国同位素水文地质学之进展(第二届全国同位素水文地质方法学术讨论会论文选). 天津:天津大学出版社, 1993:80~84

SUMMARIZATION ON THE RESEARCHES OF THE RELEASING PROCESS OF THE MANTLE-ORIGINATED CO₂ THROUGH DEEP FAULTS

Zhang Jiagui Hu Haitao

(Institute of Environmental Geology, MLR, Beijing 100081)

Abstract

This paper is the brief of a report named "The Research of the Releasing Process of the Mantle-Originated CO₂ Through Deep Faults" written by the authors. Firstly, the theory and significance on the releasing process of the mantle-originated CO₂ through deep faults are introduced; secondly, current research situations at abroad and home are summarized; and then, some progresses on the researches made by the authors are outlined; finally, it is held that this kind of research has an important significance for promoting the progress of carbon cycle research, karst dynamics, hazard geology etc.. It is also necessary to make a further research on the processes and to stress mutidisciplinary researches of different subjects around the releasing processes.

Key words Mantle-originated CO₂ δ¹³C Deep faults Summarization

更 正

《中国岩溶》98年第4期刊出的郑乐平文章第329页第10~11行“由于课题经费条件所限,对于夜间及春季以外的其它季节的CO₂样品没有进行采集,分析中也暂缺少原始资料……”,其中的“缺少原始资料”应为“缺少资料”,特此更正,并向作者致歉。

《中国岩溶》编辑部