

2018资源科学发展研讨会

漫谈地质学学习与研究的体会

陶明信

北师大地理科学学部
自然资源学院

从汇报题目“漫谈地质学学习与研究的体会”说起

本人所从事的与本院绝大多数师生的专业不同，纯学术汇报难以交流，但于情于理，又未能辞脱。经反复考虑并参考有关领导提议，拟了“漫谈”这样一个题目，主要是面向同学交流而不是老师。同时说明，这只是本人一些体会的交流而非“说教”。

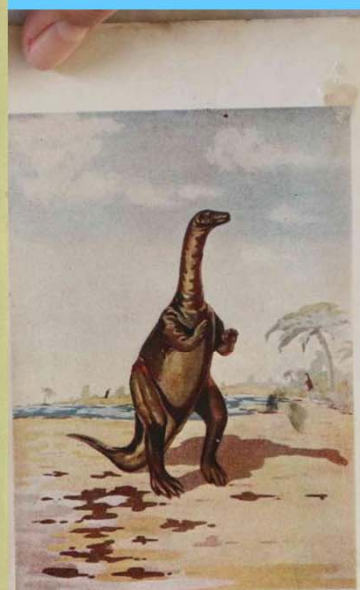
准备过程中，总感其中一些陈年芝麻不宜在此学术殿堂喧哗，撤下后又觉空洞无物，只好如此。

体会一

专业兴趣与热情

兴趣是最好的老师！

神秘感与激情



雲南燒牛腰

孔夫子
www.kongfuzi.com

目次

前言	1
一 一种特别的“文字”	3
“滄海桑田”(3) 連動物和它的家一起給埋了起來(4) 沉積岩里有化石(6)	
二 地球的歷史	8
“代”和“紀”(8) 什么时候起有生命?(9)	
三 三叶虫的时代	11
不出名的“名勝”(11) 現代的海洋和五億年前的海洋(12)	
鰕蟇石、蝴蝶石、豆石(13) 三叶虫时代的其他动物(16)	
四 筆石	17
像羽毛样的动物(17) 筆石与“标准化石”(19)	
五 海里的豆芽	22
三四億年如一日(22) “活化石”(23)	
六 穿着盔甲的“魚”	26
骨头的歷史(26) 穿盔甲的“魚”(27) 裝甲的小魚(29)	
恐怖的魚(30) 水蝎子(34)	
七 石头的小燕子	37
中藥舖里的古动物(37) 石燕也告訴我們哪里曾經是海洋(38)	
八 从水里到陸上	39
从魚类到兩栖类(39) 从兩栖类到爬行类(43)	
九 龍的世界	46
中生代的龍(46) 魚龍和蛇頸龍(48) 飛龍和翼手龍(50)	

[iii]

地质地理系 陶 明 信

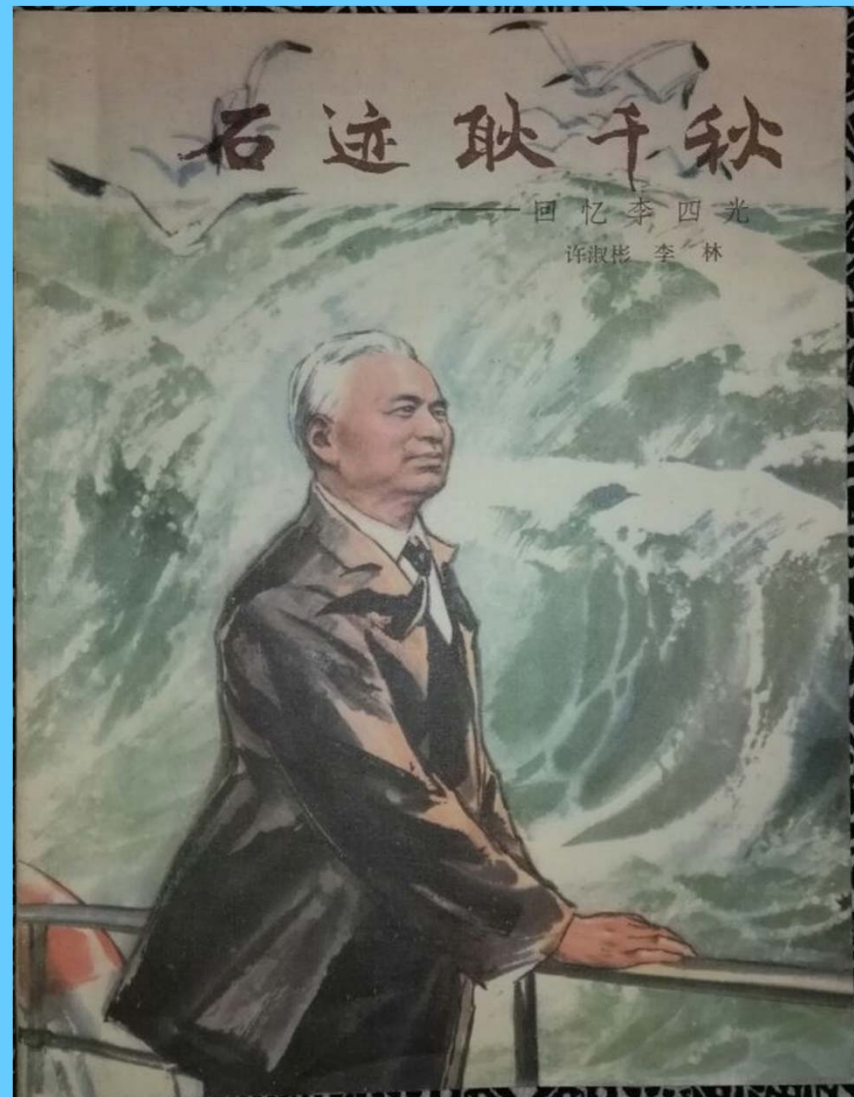
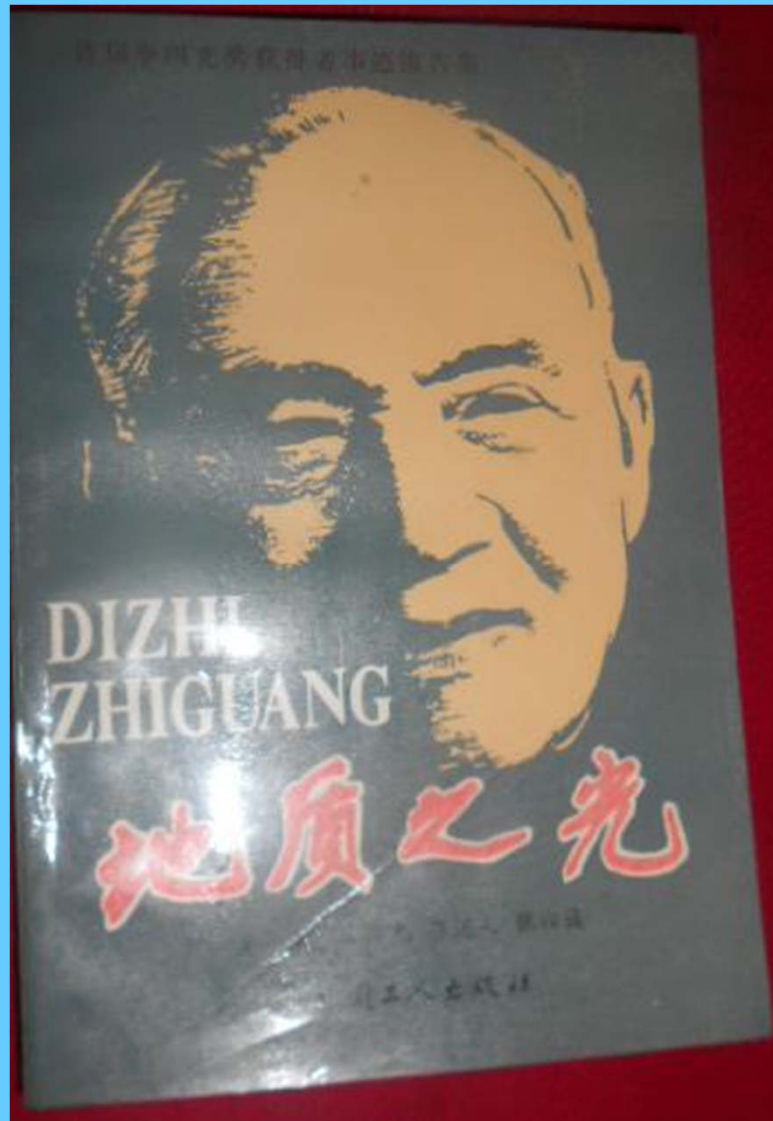
地质学目前的主要研究对象是地球表层的固体岩石圈，并由许多分支学科分别承担着不同方面的研究内容和任务。纵览当代之中国，横观世界五大洲，数以万计的地质工作者都在为探索地球的奥密、造富于人类而不舍昼夜。近二十年来在世界上兴起的板块构造学说、我国地质学家倡导的地质力学等有关地质学的各种理论与学说犹如雨后春笋、恰似春天百花，争芳斗妍。自成一家之说，有力地推动着地质

如果说今天的地质学正面临着一场革命,那么祖国的“四化”建设则向我国的地质研究工作提出了更高的要求,而每个地质工作者则负有光荣而艰巨的使命。地质学因以地球为其研究对象而构成了它的复杂性和很强的实践性,这就不仅需要

当一个地质工作者通过辛勤劳动而为社会做出贡献的时候，他站在云来山如

三次在州大、西冶金西北、陕西机械族学、宁完、员代派代育学海民二十这次各斯邀电了知了学幻套、予了时，西北甘肃会迎接

体会二、尊重知识、敬畏科学



十一月一日 宋威

呼呼的晨风，无情地横扫着近日萧条的黄
菜，将沉睡的燕园捶醒。

啊！六点已过3.0，急起身下袖，奔驶在
燕园的晨雾中——这可能是赔剩的最后一
钱，决不敢再丢。

风来未降，传来了 Good morning, Comrades
的声音，连忙将音量调谐开大。恰如口袋中
的票证俱尽，也气的跑一趟食堂，刮着肚
皮，多装美洋水也好垫垫底。

沈先生来信，曾称余代购法、德词典及
数本，余唯看今天进城去采购，想昨天找沈
北大研宋士，及最大的志子衣，随即借了10元钱，
准备用之，然新粮已好几天了，今晨只够去
买几饭菜票，可剩已无几，还要买些平纸急
用之。奈何？踌躇满怀，四顾茫然——同
室之志，近日也甚是穷，只得先借之去无。
到五道口的书店急一下，改日进城吧！

来到五道口的文书店门口，不料已午休。五道
口为一商场，倒也有几间门面，然力不心。

自知無趣，也懶得去報，只好去送了新華
書展。櫃台上放著一本《哥德巴赫猜想》，為
了這熟悉的名字，生動的情節將我吸引了過去。
翻开這本我讀過千百次的翻開而平穩自孔的
小書，《地心鏡》以平穩的字迹跳進了眼帘……

本書是作者人而以地心鏡為名。作者均名列第一。
被選送日本留學造船。在去之初因十四歲以
下正參加了中山先生的同盟會活動。這樣也很
理所當然的後成是參加了辛亥革命活動的
愛國志士。

好地的心願，而由造船改為地心。在地
心工作中，更是兢兢業業，日披夕澣水，暖風襲
宿。勤耕以成是萬分辛辛，艱苦辛澣。為了三件
多使中華民族為之自豪的說文，由於他研究
解決了中不盡的疑難（你提出）而聞名于世。

在國外，王公侯將不離身，一心以研究地心
事且上，不尚見，不阿貴，對蔣幫的污蔑要詞
拒絕，大義凜然，毅然在回到祖國的懷抱。
為祖國的社會主義革命和建設做了重大貢獻。
這才是又紅又專的種子工作。

現在即是——是將此心讀完，一看表，啊，
已兩三點多了。

一個人的成長，一個人的成功因素，有
着多方面的因素，但條件是人創是心，是轉
現的，更重的是這人的主觀能動性。地
心學領域無比广阔，大有可為，在躊躇
滿懷，四顧茫然的此時此刻，迎着風浪
不覺向前邁進吧！永遠邁進吧！

一九八四年十一月一日
于北大。

论地质力学的学术思想 及其发展中的问题

陶明信

(中国科学院兰州地质研究所)

摘要: 主要论述了地质力学从构造形迹入手, 通过构造体系的划分与研究来探讨地壳运动及动力来源的学术思想, 评述了地质力学的几个基本观点和工作方法; 提出了地质力学发展中存在的若干问题, 希图能达到取长补短、兼收并蓄, 活跃地质力学学术思想的目的。

众所周知, 地质力学是我国著名科学家、已故李四光教授所创立的一门构造地质学与力学相结合的边缘学科。地质力学的学术思想起源于对地层的研究, 自20年代初萌芽到40年代初地质力学问世, 经历了二十多年的实践工作¹。在此后的三十余年间, 地质力学无论在理论上或研究领域及工作方法方面都获得了很大发展, 《地质力学概论》(李四光, 1962)是其集中的表现。70年代后期以来, 地质力学在油田构造研究、模拟实验和数理分析等方面都取得了不同程度的进展, 但其研究状态还很不如意。究其原因, 首先是其自身学术思想不够活跃, 未能及时吸取和借鉴地质学研究领域中出现的新理论和新成果; 从外部来看, 由于60年代末至70年代初借助于行政手段进行独树一帜的推广普及, 结果在我国地质界产生了逆反心理, 出现了近乎彻底否定地质力学的思潮, 甚至把地质力学这一自然科学领域中的学说和“文革”紧密地捆在一起。但是, 做为科学工作者应该科学地、实事求是地来认识、评价一个理论、一个学说, 应该“去粗取精, 去伪存真”。正如张绍宗所说, 地质力学“从构造形迹到构造体系构成了一个完整的演绎系统。这样严谨的演绎思维在地质力学创立以前的几乎所有地质理论中是不多见的。”²只有充分认识其科学部分, 找出其错误或不足之处, 才能推动地质力学自身乃至我国地质研究工作的繁荣和发展。

一、构造形迹是认识地壳运动的主要途径 结构面力学性质的鉴定是地质力学工作的基础

地质力学是运用力学观点和原理来研究地质构造和地壳运动的一门边缘学科, 通过对地质构造和区域构造应力场的研究, 提出对地壳运动和动力起源的解释。所以, 地质力学又是构造地质学和动力地质学之间的桥梁。地质力学的中心任务之一是如何正确认识地壳运动, 这是地质科学中的重大课题。地壳中存在着各种形式的运动, 地质力学则把发生在地壳中的机械运动做为主要研究对象, 亦即把地壳中力的作用与反作用这一矛盾运动的规律作为研究的主要内容。

运动是物质的存在形式和根本属性, 而地壳并非是理想的刚体, 所以在其运动的过程中

1980年2月27日 星期三 第三版

到打碎酒精瓶的时候了!

著名地质学家李四光二三事

陶晓函



“路漫漫其修远兮, 吾将上下而求索……”这是电影《李四光》中引用的屈原名句。借句不多, 但它高度地概括了我国著名地质学家李四光教授勤于学习, 勇于探索, 追求真理的一生。

李四光(1889年—1971年), 字仲揆, 湖北黄冈人。他不迷信权威, 不媚洋人, 尊重科学, 立足实践, 创立了“地质力学”这门具有独特风格的边缘学科。他认为地壳中的变形和破裂都是由于地壳运动的力所造成的, 从而把力学用于地质构造的研究, 成功地解释了许多复杂的地质问题, 并进一步溯源而上, 推论出产生地壳运动的动力起因于地球自转速度的变化, 奠定了“地质力学”的基本思想内容, 人们骄傲地称它为“东方的新崛起”! 新学科的崛起从来都是和科学家的崛起分不开的。一九一九年李四光在英国伯明翰大学结束了学业, 回国后任教于北京大学。当时在北大的一些外国“专家”和“顾问”, 竟目空一切地看待我国的科学和科学家, 他们在李四光面前用讥讽的口气说: “中国在古代有四大发明, 传到欧美后迅速发展起来了, 而你们中国却成了保存胚胎的酒精瓶。”李四光拍案而起, 大义凛然地驳斥道: “现在, 到了打碎酒精瓶的时候了!”

为了打碎“酒精瓶”, 李四光付出了毕生的精力和心血。甚至新婚燕尔, 也没能冲淡他打碎“酒精瓶”的意志。他和女高师音乐教员许淑彬结为秦晋以后, 一天新婚夫妇去



理明白, 能教思路清楚, 不鬼混”。所以他们竭力反对发展科学事业, 反对学习和引



著名地质学家李四光

同游公园, 可那芳香浓郁的花卉、山青水秀的园景, 亦步亦趋的伴侣, 似乎全不存在, 而他专注于地质现象与岩石标本的观察; 晚餐时, 他又聚精会神地在显微镜下鉴定标本, 忘记了他所要享用的酱油, 致使佳肴连同妻子的心一起都有点儿凉了……

解放后, 李四光从他的“地质力学”理论出发, 明确指出我国东部地区有良好的生油和储油条件。其实, 早在一九三四—一九三五年他旅欧讲学时就提出过这种预见, 只是说中国新华夏系的沉降带中“含有有经济价值的沉积物”。而未明说是石油, 他不愿把祖国潜在的石油宝藏说给外国冒险家。可是, 到了五十年代, 却还有那些违反科学的偏见者竟群起而攻之: “苏联专家断言中国贫油, 你却断言有油, 这不是反苏吗? 反苏就是反党……”。李四光并没有被吓倒, 他又正词严地回驳: 假如哥白尼(Nicolaus Copernicus, 1473年—1543年波兰天文学家)生在托勒密(Ptolemy, 约90年—168年间希腊天文学家)时代, 人们还是愿意接受托勒密的“地心说”而不愿接受哥白尼的“日心说”, 那又该怎么办呢? 好在哥白尼时代早已过去了, 在“争鸣”鼓励之下, 即便是“井底之声”, 也无妨试试看吧!

对无知或偏见来说, 科学是无情的。“井底之声”终于发出了震天巨响: 一九五九年国庆十周年之际, 松辽平原传来了振奋人心的消息——大庆有一口油井大量出油了! 接着, 华北和江汉平原相继发现了大油田。中国“贫油”的历史, 一去不复返了。一九六三年底, 毛泽东同志握着李四光的手说: “李老, 你的太极拳打得不错啊!”李四光心想, 太极拳我刚刚学, 主席怎么一下就知道呢。原来这里说的“拳”, 就是根据“地质力学”理论的指引, 象李四光历来所预见的那样找到了一系列油田。而这一“拳”, 打碎了套在中国脖颈上的“贫油”枷锁。这一“拳”, 不也打碎了那个沾着侮辱标签的“酒精瓶”吗?

敬畏是人类对待一切神圣事物的态度。

“敬”是严肃，认真，“畏”指“慎，谨慎，不懈怠”。做事认真严肃，免犯错误；敬畏是在面对权威、崇高或庄严事物时所产生的情绪，带有恐惧、尊敬及惊奇的感受。

现在好像不那么敬畏了，甚至也不那么尊重（知识）了，学术也市场化了

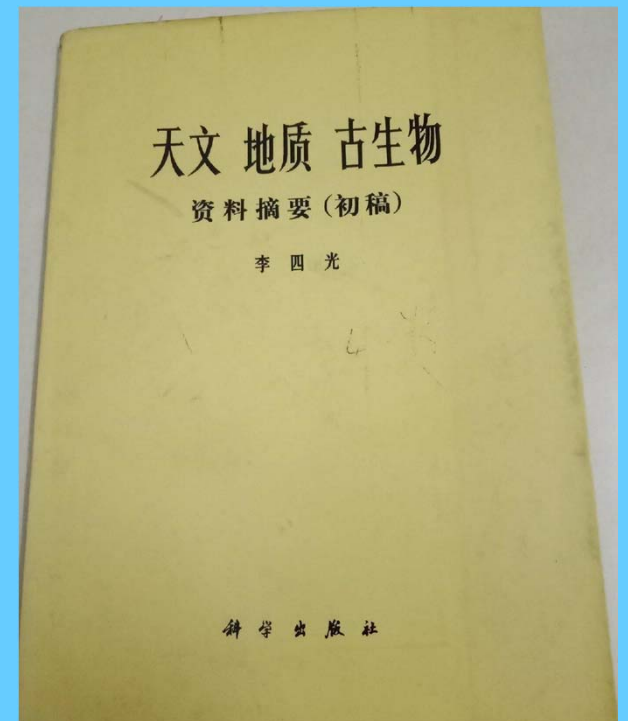
体会三、读万卷书，行万里路

读万卷书：地质学是一门古老的综合性的学科，涉及很多学科，需要多方面的知识，更需大量知识与资料的积累；

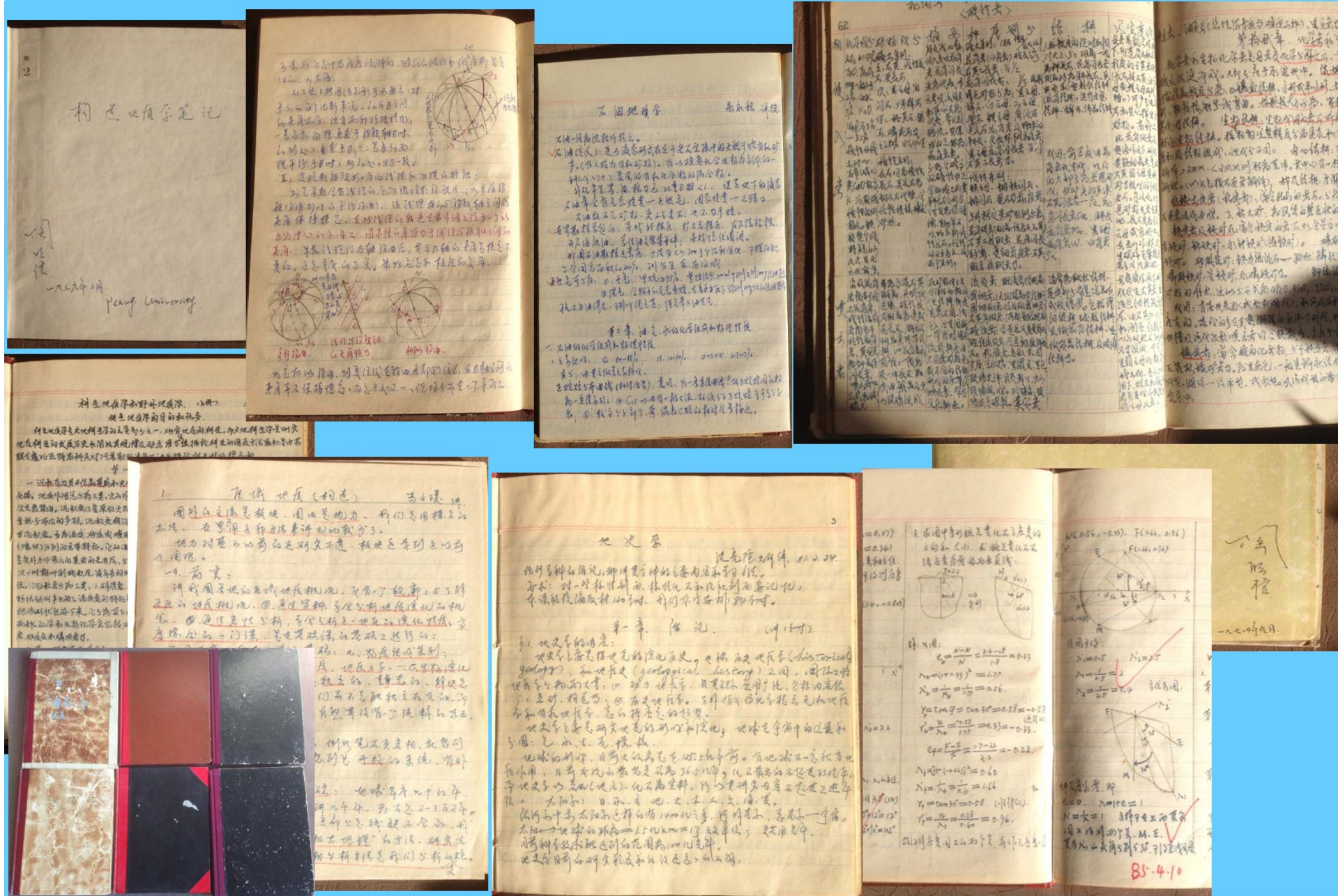
需要系统的知识体系（备课讲课）；

独立开展研究，至少需踏踏实实十年的学习与积累；

拔苗助长，学术透支，效果欠佳！



做笔记，用自己的话归纳总结——可加深理解与记忆



行万里路：

地质学研究的对象在野外，是实践性和实验性均很强的学科，第一手的资料与感性认识来自野外；仅凭读书是难以理解和把握的；只在计算机上来回画图是不够的，甚至是虚的；拿个相机照张相，不等于理解。

地质科学是从“石头”里“读”出来的。野外观察是最基本的，且能培养专业兴趣、陶冶情操和锻炼毅力；

至少不必去挤“黄金周”

是故曰：行万里路更胜于读万卷书！

体会四： 树立地质学的理念与思维方式

将今论古与实验/测试分析；

研究对象固体地球是大尺度的，有不同尺度的研究；

发展与演变观（相对于静止与固定）；

四维时空观；

非均匀观（不同尺度下不同的表现与理解）；

复杂的综合作用与过程：所谓的：地质作用

正确的理论指导与严密的逻辑思维推理

理论或观点对各种数据资料的统帅作用，将各种无序的互不相干的数据资料变为动态相关的演化体系；

严密的逻辑推理：从已知或有限的表层资料推论未知或深部

哲学观和方法论：很重要；

地质学博大精深，对其掌握很有限，理解程度与个人的造诣相关。犹如对人生的体会，不同阶段有不同的理解。

言传与意会； 事例（注意，不是实例！）

事例1: 系统观; 整体的功能大于局部

Dialectics of Nature

address:
817.

自然辩证法 林国英讲

重要: 什么是辩证法, 辩证法是什么?

1. 辩证法是一种科学, 是哲学的一门重要科学。用辩证法研究自然就是自然辩证法, 是哲学的一个分支, 是马克思主义的必修课。

2. 研究对象: 自然界的辩证法, ①: 辩证法自然观。

教师: 自然观, 自然辩证法基础(中)。问题的实质是要弄清自然观, 辩证法在辩证法中的地位。自然辩证法就是自然界的辩证法科学。

3. 辩证法的位置(科学层次): 哲学—自然科学—社会科学。辩证法在哲学中占重要地位, 哲学—自然科学—社会科学。

二. 辩证法和相近的科学的关系: 哲学、自然辩证法、科学辩证法。

与自然科学的关系: 自然科学是研究自然界的一门科学, 辩证法是研究自然界的辩证法, 辩证法是自然科学的哲学基础。

辩证法的作用: 辩证法在自然科学中起着指导作用, 辩证法是自然科学的哲学基础。

与社会科学的关系: 辩证法是社会科学的基础。

三. 产生和发展的过程: 马克思主义、恩格斯、列宁。

恩格斯创立了辩证法, ①: 1858-1873.5. 唯物辩证法。

②: 1873.5-1875.5. 辩证法自然观。

③: 1876.5-1878.6. 辩证法自然观。

④: 1878.6-1883.3. 辩证法自然观。

⑤: 1883.3-1895.8.5. 辩证法自然观。

四. 辩证法的内容: 辩证法是一种科学, 辩证法是一种科学。

辩证法的作用: 辩证法在自然科学中起着指导作用, 辩证法是自然科学的哲学基础。

宿舍: 817. (东院)

①: 辩证法自然观, 辩证法对自然科学的指导作用。

②: 辩证法自然观, 辩证法对自然科学的指导作用。

③: 辩证法自然观, 辩证法对自然科学的指导作用。

第一章: 物质系统观

物质系统观, 辩证法自然观, 辩证法对自然科学的指导作用。

辩证法自然观, 辩证法对自然科学的指导作用。

一. 物质系统观的一般(内容)理论:

①: 物质概念: 辩证法和辩证法。

②: 系统概念: 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法, 辩证法和辩证法。

辩证法和辩证法:

①: 辩证法和辩证法。

②: 辩证法和辩证法。

辩证自然观对地质构造研究的启迪

彭作林 陶明信

辩证唯物主义自然观是人们对自然界本来面目的理解,也是世界观的一部分。本文试图运用物质系统观、层次结构观和发展周期观,结合地质学特别是构造地质学研究中的某些新认识、新观点来探讨地质学中的自然观以及某些问题。

人类对自然界的认识总是同一定的生产力发展水平相适应。在远古时代,中国曾一度有“天倾西北、地陷东南”而女娲补天的传说。这是古代劳动人民直观而又模糊的认识,但反映了人类积极探索的精神。这是一种朴素的自然观。北宋沈括(1031—1095)在实践中发现,悬崖峭壁上有各种贝壳(化石),从而认定“此乃昔之海滨”,提出了沧海桑田之说。随着近代产业革命的兴起与发展,地质学作为一门科学在欧洲诞生。起初,人们常常孤立地、非此即彼地观察和看待地质现象。例如岩石成因方面的“水火”之争,生物演化方面的“灾变”与“渐变”之争等等。然而也正是这些争论,推动了地质学的不断发展。1830年C·Lyell的《地质学原理》的问世,把“将今论古”的原则引入地质学,这在一定程度上为近代地质学奠定了基础。但在其后的一个多世纪中,绝大多数地质学家一直认为在整个地质历史上,大陆和海洋的相对位置基本不变,所谓地壳运动只是以升降运动为主。直到本世纪初叶,人们对地壳水平运动的重要性才逐渐有所认识。自五十年代初,随着现代科学

技术的飞速发展,约占地球表面积71%的海洋的奥秘终于被初步揭开,从而极大地丰富了人们的知识并改变了对某些地质问题的认识。这样就逐渐形成了新全球构造说,即板块构造说。板块构造理论最重要的贡献之一不仅在于它生动地描绘了岩石圈的一幅动态图案,而且在于它给人们以新的思想启迪,即从空间上是运动的、时间上是演变的角度去研究地质问题。其成功的立论而为大多数地质工作者所接受的重要原因之一就是不仅考虑到大陆,而且考虑到大洋,从全球整体着眼去研究和把握地质构造问题。J.T. Wilson之所以称其为地质学中的一场革命并不是没有道理的。板块构造理论虽然深化了认识,给地球科学赋予了新的生机,但它仍然是一种科学假说,许多方面还有待于进一步完善。

一、地球系统

系统一般指由相互作用、相互联系的若干要素(部分)组成的,具有特定功能的有机整体。地球就是一个由小到粒子,大到各圈层的诸要素组成的系统。同时,地球又是更高级系统(如太阳系系统)的一个要素。

地球整体的运动或作用,决定或支配着组成它的诸要素的存在方式与演变特征。例如,由于地球的引力与自转,使其物质发生收缩,加之物质成分的性质差异,从而发生

重力分异,逐渐形成了三个具有不同物化性质的内圈;由于地球的公转以及地球自转轴与其轨道平面成 $23^{\circ}27'$ 交角的特点,从而决定了地球的气候分带与季节的规律变化,当然也就决定着影响着气圈、水圈和生物圈的运动与存在方式。这表明,地球整体的功能大于其各组成部分的功能。由此可见,在研究地球的某一组成部分(要素)时,就必须考虑地球(即该要素所属系统)的作用与影响。

地球按照一定的物化、生物等自然属性,结合研究的对象与范围,又可分为诸如有机界与无机界,地壳、地幔与地核,岩石圈与软流圈、陆壳与洋壳、裂谷系与海沟系等等不同级别的系统。划分系统的意义就在于从整体与相互联系的角度出发客观地把握事物。例如根据地震波速的变化,发现在上地幔中存在一个低速带,称为软流圈(asthenosphere),同时也认识到其上都是固体岩石,故称为岩石圈(Lithosphere)。从构造运动或板块构造的角度来看,软流圈与岩石圈之间的界面是一个比壳—幔间的莫氏面更为重要的界面。岩石的变形、变位不限于地壳,而在整个岩石圈,板块的运动更是如此。这样就更准确、更全面地把握了地质构造的基本特点。所以目前习称的地壳运动实质上应该称为“岩石圈运动”。

从全球裂谷系来看,它是由大陆裂谷、大洋裂谷和陆间裂谷(如红海裂谷)这样一些有一定差别但都是巨大的张裂带的部分组成的统一系统,这体现了系统的集合性。全球裂谷系的组成特征可启发人们,在认识、划分各种地质系统时,既要把握系统各组成部分的基本特征的相同或相似性,同时也要看到它们在表现形式或形态方面的差异性。

目前一般认为,裂谷的形成与软流圈中的热物质的运动,特别是与对流包或热点的位置有较密切的关系。而软流圈的活动与裂谷的活动可能互相影响,同时地幔物质沿裂谷的上升,引起或加速了大陆的分裂、大洋

的诞生和地震的孕育及发生等一系列地质事件,甚至会导致全球构造格局的改变。这体现了系统与系统、系统与要素、要素与要素之间的相关性。

再从全球裂谷系的各组成部分(段)来看,它们都具有不同的方向、规模、构造形态、地貌特征及发育历史。例如:有的裂谷可演化为大洋甚至形成地缝合线,有的则中途夭折而形成所谓的消亡裂谷。同为洋脊,东太平洋洋脊裂谷形态不发育而被称为洋中隆(mid oceanic rise),而大西洋洋脊裂谷形态发育而被称为洋中脊(mid oceanic ridge)。这表明裂谷的发育特征与一定的地质背景或条件相适应,同时也充分体现了“系统”对环境的适应性以及环境本身的作用。这只能说明构造形态方面的差异,而不一定是本质方面的差异。

全球裂谷系和海沟系(包括其它类型的俯冲带)是岩石圈与软流圈之间进行物质、能量等交换的主要通道与场所,显然是自然的、与外界发生关系的动态系统。

可见系统、要素和环境是三个重要的因素,而系统又处于主导地位。研究一个地区的地质问题或考察一个地质现象,除了对研究区或考察对象(要素)进行考察外,还必须考察、研究它所属的整体(系统)以及所处的构造环境对研究区或对象的作用和影响。然而后两个方面常易被忽视,出现孤立地研究地质问题的倾向。例如构造变形分析中的“边界条件”这一十分重要的因素,在实际工作中几乎被遗忘。

二、固体地球上部的层次结构

结构是系统中相互联系、相互作用的诸要素的构成方式。层次则是在发展过程中相继出现并演化为有质的差别的事物及其表现。结构改变时,层次也相应地发生改变,亦即呈现出层次性。

在圈层规模上,地球是由比重自上而下

背景下,地壳演化逐一个格局,大约到17亿年前b)“大原地台”。已知,太古代地壳表面的30亿年前地幔平均温度表总热流值为3.90(现为岩石圈厚度约为现在c)岩石圈热而薄,很难做d)。从构造发育特征看,是在古陆核区,仅发育任何构造性断裂,亦即无当岩石圈固结到能够发e)并足以进行全球性板块可能就已经到了隐生宙

构造理论而未解的一f)认为动力来自地幔热物g)为讨论问题的前提。据h)小于 10^{-3} 泊时允许对i)的视粘度在 10^{21} — 10^{23} j)认为是 10^{24} 泊,Mcdo-k)算出为 10^{28} 泊,故认l)是困难的。由于许多构m)其与地球自转轴之间有n)国许多著名大地构造学o)自转速率变化对全球构p)作用。国外某些人也注q)地球自转轴之间的方位r)实际资料之后,可看出s)存在的,特别在裂谷部t)但地球自转效应在构造u)体现出来。从整体的功

的功能而且居于支配地e)位的这一系统论原理来分析,地球自转及自转速率变化的作用也是不可忽视的。故应从多方面去考察、探索解决这一问题。

三、地壳演化的旋回性特征

周期性是事物演化发展的普遍特征之

的形成;③有足够大的原动力;④三合点形式的边界构造发育;⑤软流圈的温度、粘度达到一定的数值。

一般认为,地球内圈的形成时间大约在距今46—40亿年。根据对中国前寒武纪大陆壳的研究表明,随着热流值的降低,在总体

除了自然界，社会可能也有这些特点

事例2：研究选题与创新

科学前沿、社会需求与热点问题，等：

善于发现与经典理论或传统认识相悖的现象或问题，抓住不放！

裂谷构造系统发育压性断裂与传统理论相悖

第35卷 第4期

地质论评

1989年7月

裂谷模拟实验及其地质意义*

陶明信 黄华芳 陈效玉

(中国科学院兰州地质研究所)



选用多种松散材料模拟了“上涌型”裂谷的形成演化过程。详细描述了裂谷模型的变形特征与演化过程,着重讨论了边缘逆断层和下部陡立断裂的性质及成因机制,表明模型变形是在顶部拉伸、上部两侧挤压、中下部剪切的应力状态下所形成,且整个应力场随模型层的变形与边界条件的改变而演变。对模拟实验的相似问题与实验结果进行对比讨论,表明模型和原型在主要物理条件和变形特征方面极为相似。最后,讨论了本模型实验的地质意义。

模拟实验在构造地质研究中占有重要的位置。从中观察到许多规律性的现象,加深了对地质构造的形成机制及岩石圈的运动学与动力学特征的认识。裂谷是地壳中重要的构造类型之一,对于地壳的演化和矿产的形成均具有重要的地质作用。

一、模型构成

一般认为,裂谷或地堑是由于深部物质上升(地幔底辟)造成上部地壳的拉伸而形成^[1,2,3,4],如东非裂谷。B. Hobbs等人则强调指出,裂谷多位于区域隆起的顶部;拉伸(tension)是描述应力的,而伸长(extension)是描述应变的,而他们更强调垂直裂谷走向的伸长作用^[5]。本实验模型的动力设计就是基于上述认识的,从中小型构造的角度说,相当于横弯曲褶皱作用。

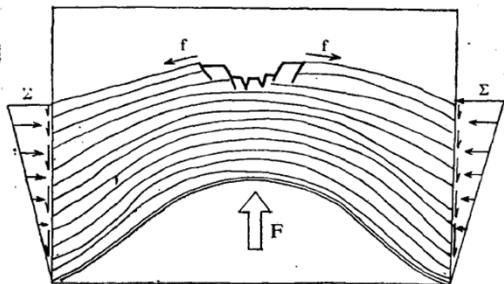


图1 模型层受力示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing the force of the mold

F—载荷; f—顶部拉伸力; Σ—约束反力
F—load f—tension of the top Σ—bind force

* 本文于1987年11月在北京由中国地质学会召开的首届全国青年地质科技工作者学术讨论会上被评为大会优秀论文。本文1987年11月收到,1988年10月改回,王毅编辑。

360

地质论评

35卷

1. 模具 用前后两块玻璃板组成36cm×20cm×2cm的长方形框,两侧开口用框架档封,底部开口处用一薄橡皮带封档,其两端分别固定在两侧的木框上。

2. 模型材料与组成 自底部橡皮层之上依次水平置放若干种不同材料,每层都经压实,共组成长约32cm、高9cm、宽2cm的12层模型层。各层材料与厚度自上而下为:①黄色粉砂,0.55cm;②深灰色粗砂,1cm;③白色石膏,0.55cm;④粒度为0.5mm的金钢砂,0.7cm;⑤粗粒黄砂,1.3cm;⑥黑色炭灰,0.8cm;⑦土黄色粉砂,0.7cm;⑧红色粘土,0.65cm;⑨蓝色石膏粉,0.6cm;⑩浅褐色粘土,0.55cm;⑪白色石膏粉,0.6cm;⑫深灰色粘土粉,0.7cm;⑬为橡皮层(图2)。

3. 加力方式 用一厚度略小于2cm的椭圆形木塞板(短轴直立如图1,2中之F),自模型底部橡皮层之下缓慢而均匀地楔入,顶点在模型层中轴部位。加力时框架的四边均相对固定不动。以此模拟慢隆作用(图1)。

二、模型变形与演化特征

在前述载荷方式作用下,模型出现了一系列构造现象,按演化顺序分阶段描述于下:

1. 首先模型层逐渐上拱弯曲,呈开阔等斜状背斜(或穹形)。
2. 背斜顶部出现细裂纹并逐渐连通裂开,裂隙呈锯齿状。愈近弧顶,裂面愈近于直立。
3. 随继续加力,顶部张性裂隙继续加宽,最上三层模型层被切割为一系列的“断块”,同时还伴有物质的侧向塑性流动或“滑脱”;中下部致层产生“顶薄”,致使顶部塌陷,“断块”掀斜下沉,形成标准的阶梯状对称的地堑构造。第四模型层顶部则出现明显的凹陷。
4. 在“地堑”发育中后期,模型层两翼却出现迥然不同的构造现象。下部各层逐渐被切错开,破裂面平直而紧闭,故在不同颜色的模型层相对错开部位才能明显看出。其核部相对上错,翼部相对下错,形成一系列自轴部向外逐渐降低的台阶状构造,上部地堑两侧的边部则形成一系列的低角度逆断层,断层倾向核部,被切割的上盘岩块明显向外仰冲错开,构成叠瓦状构造。在“阶梯状地堑”与“叠瓦状推覆”构造之间存在一变形不明显的过渡区。

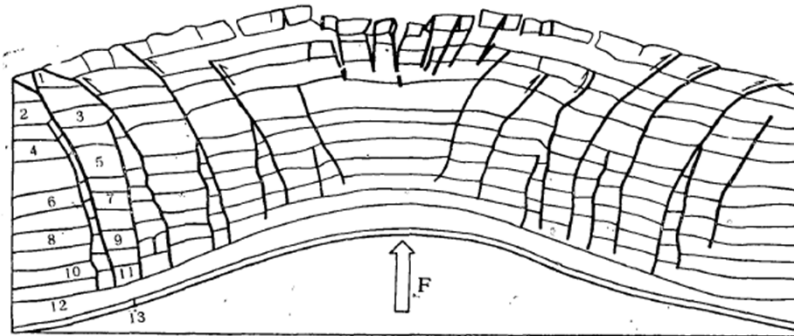


图2 模型层组成与变形构造素描图

Fig. 2 A sketch map showing the composition and the deformation of the mold

1, 2, 3, ...—模型层序号 F—木塞块与加力方向
1, 2, 3, ...—number of the model layers
F—afterburning plug and afterburning direction

列的低角度逆断层,断层倾向核部,被切割的上盘岩块明显向外仰冲错开,构成叠瓦状构造。在“阶梯状地堑”与“叠瓦状推覆”构造之间存在一变形不明显的过渡区。

讨论会的一大特点。良好的会风、学风和高涨的积极性是这次会议的另一大特点。青年同志们对这次大会的召开期待已久,他们积极撰写论文,准备宣讲,在讨论会上,青年人虚心学习,认真探讨问题,遵守纪律,表现了良好的会风和学风。

为了鼓励青年地质工作者早日成才,使优秀人才脱颖而出,这次会议设立了优秀论文奖,聘请了以中国地质学会副理事长李廷栋为首的17位专家,组成了评选委员会,但实际参加评选工作的专家有30位之多。评选采取委员会评选与会议代表推荐相结合的办法进行,最后评出了28篇优秀论文。会议把这些优秀论文推荐给有关的学术刊物发表以扩大影响面和提高青年地质工作者的知名度。同时大会还决定对68篇论文予以表扬。由于这次会议交流论文是经过择优遴选的,因此大会都颁发了论文证书以资鼓励和纪念。地质出版社特为大会优秀论文作者提供了奖品。

为了进一步密切学会与青年地质工作者的联系,更好地倾听他们的意见和要求,中国地质学会常务理事会决定成立青年地质工作委员会。青年地质工作委员会的建立,体现了老一代地质科学家对青年地质工作者的殷切期望,也实现了青年地质科技工作者的迫

齐、孙殿卿等。黄汲清教授的讲话语重心长,他勉励青年们要重视野外实践,更多地与石头交朋友。程裕淇理事长在闭幕式上的讲话中,以亲身感受为青年们指出成才之路,并阐述了对地质工作的认识 and 基本要求,这些讲话使全体青年代表深受教育和鼓舞。许多中年地质学家在百忙中参加了会议大量的组织和论文评选工作,他们既是青年们的老师,又是青年们的朋友,认真负责,积极热情,给予会议以极大的支持。大会邀请了徐道一、许志勤、郑立平等三位在学术上卓有成就的中年科学家作学术报告,使大家思想上受到很大的启迪。这次大会的召开还受到各省(市、区)地质学会和与会代表所在单位的支持,这些都为大会顺利召开和学术活动质量的提高打下了良好的基础。

通过短短五天的会议,在青年朋友之间已经建立起了联系和友谊的桥梁,它在今后的事业中,将起到深远的影响和促进作用。代表们深深地意识到历史所赋予青年们的光荣使命,决心把这次会议体现出来的精神——开拓创新,奋勇前进带回到各自的岗位上去,积极投身全面改革的洪流,努力实现地质找矿的重大突破,在攀登科学高峰的征途上取得新的优异的成绩。

首届全国青年地质工作者学术讨论会优秀论文名单

广西隆林祥播下二叠统生物礁的古生物群落古生态学及沉积岩石学的综合研究

..... 吴亚生 中国科学院地质研究所
古生物化石的自动化鉴定

..... 徐涵秋 福州大学地质系
上荆江马羊洲网状河沉积特征及其形成机理

..... 张昌民 江汉石油学院
裂谷模拟实验及其地质意义..... 陶明言

黄华芳 陈效玉 中国科学院兰州地质研究所
长江中下游矿带地壳物质的构造动力调整作用

..... 董树文 中国地质科学院地质学研究所

所燕山地区中生代地壳运动及构造演化

..... 赵越 中国地质科学院地质力学研究所
云南腾冲地区火成岩系列和锡多金属成矿系列的初步研究

..... 毛景文 中国地质科学院矿床地质研究所
华南层控锡矿的地质特征与形成机制的研究

..... 陈骏 南京大学地球科学系
论有机质在产于坪层控铀矿床成因机制中的作用..... 胡凯 南京大学地球科学系

伊利石 Rb-Sr 粒级等时线定年模式及其在前寒武纪地层上的应用

..... 李云军 中国科学院地质研究所
北京周口店岩株侵位和成分分带的岩浆动力学

机理..... 马昌前 中国地质大学(武汉)

..... 张光辉 中国地质科学院水文地质工程地质研究所

地震地层学解释法在珠江口盆地的应用

..... 邱燕 地质矿产部南海地质调查指挥部第二海洋地质调查大队

孔间地震剖面法中薄层的广角反射地球物理特征..... 程增庆 吴奕峰 于振清

煤炭部地球物理勘探公司

对复杂油气田勘探的思考

..... 张湘宁 石油部勘探司

大口径钻孔灌注桩成孔质量检测

..... 王殿广 冶金部勘察科学技术研究所

“π”型钻架设计中的几个理论问题

..... 张金昌 地质矿产部勘探技术研究所

提高矿山生产经济效益的一项重要技术指标

——谈广东凡口铅锌矿矿石的损失与贫化

..... 马国秋 广东凡口铅锌矿地测处

陕西某低品位金矿细粒金的选冶及尾矿钠长石

综合利用研究..... 孙继寿 陕西省招生办公室

天津滨海地区咸水体分布规律及成因初步探讨

..... 孙铁 天津市地质调查研究大队

古老地壳内部脉状金矿床的形成模式——以冀

东地区金矿为例..... 王安建 长春地质学院

物化探数据与遥感信息综合数字图像处理在找

矿中的应用

..... 张远飞 中国有色工业总公司矿产地质研究院

首届全国青年地质工作者学术讨论会表扬论文名单

贵州西部晚二叠世煤系植物古生态

..... 郭英廷 中国矿业学院北京研究生部

青海西南部海相侏罗纪地层新认识

..... 白生海 青海省区域地质调查综合地质大队



首届全国青年地质工作者学术讨论会 优秀论文证书

论文名称：裂谷模拟实验及其地质意义

论文作者：陶明信、黄华芬、陈效玉

中国地质学会

一九八七年十一月九日



事例3: 透过现象看本质, 去伪存真

12卷4期
1994年12月

沉积学报
ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA

V. 12 N. 4
Dec. 1994

吐-哈盆地大地构造环境分析 ——兼论大陆板内盆地与造山带的成因关系

陶明信

(中国科学院兰州地质研究所, 气体地球化学国家重点实验室 兰州 730000)

提 要 学术界普遍认为吐-哈盆地为板块碰撞作用所形成的压(扭)性盆地。本文研究发现, 吐-哈盆地在沉积演化、构造变形、盆地结构、地球物理场及其所反映的壳幔结构等方面都与中国东部张性伸展盆地具有相似的特征; 盆地自晚二叠世发育起, 经历了两次(P_2-J , $K-R$)持续稳定而漫长的伸(扩)展演化, 其间在侏罗纪末期和第四纪早期, 盆地伸展与沉积受到两次短暂挤压作用的遏制而中断, 同时改造了盆地长期形成的伸展构造。盆地伸展是由于“地幔底辟”作用, 而两次挤压作用(火焰山运动和西域运动)则是由于盆地伸展, 使其南、北邻区遭受挤压变形而长期积累应力, 以至于在短时间发生断裂作用并释放应力而反作用于盆地的结果。从而本文提出吐-哈盆地为张性伸展盆地这一新的观点; 结合有关模拟实验结果, 同时提出“地幔底辟—盆地伸展—两侧挤压变形与应力积累—应力释放—伸展与沉积中断”的大陆板内地球动力学与运动学模式。

关键词 伸展盆地 造山带 地幔底辟 挤压改造 构造反转

第一作者简介 陶明信 男 41岁 博士 研究员 构造地质与气体地球化学

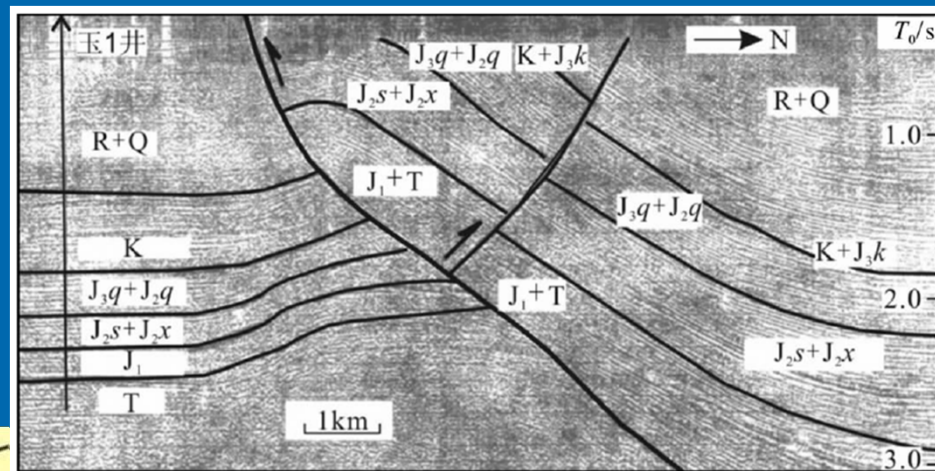
1 研究现状与存在问题

吐-哈盆地位于东天山山脉之间, 其北侧为博格达—哈尔里克造山带, 南侧为觉罗塔克造山带, 以近东西向延伸, 长约700km, 宽60~80km, 面积约50000km², 为一从古生代末开始发育的中、新生代陆相盆地。

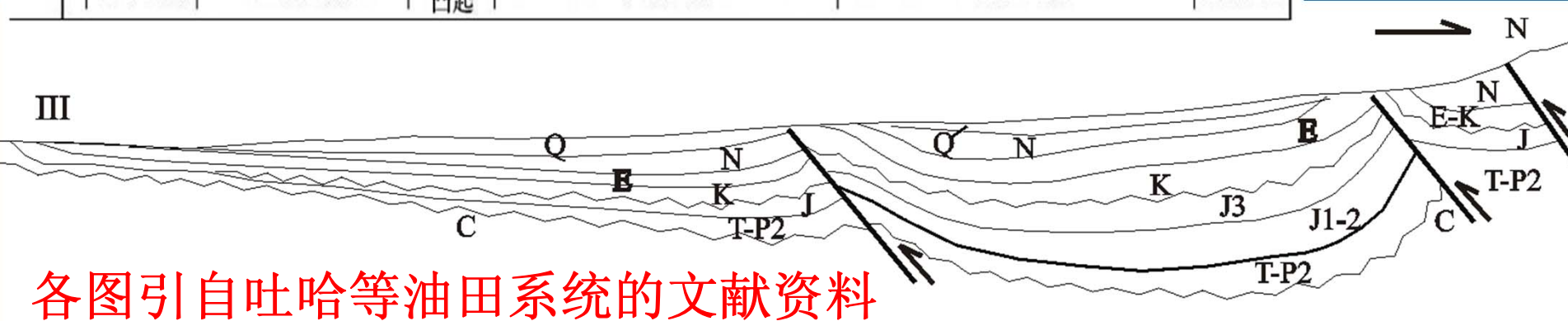
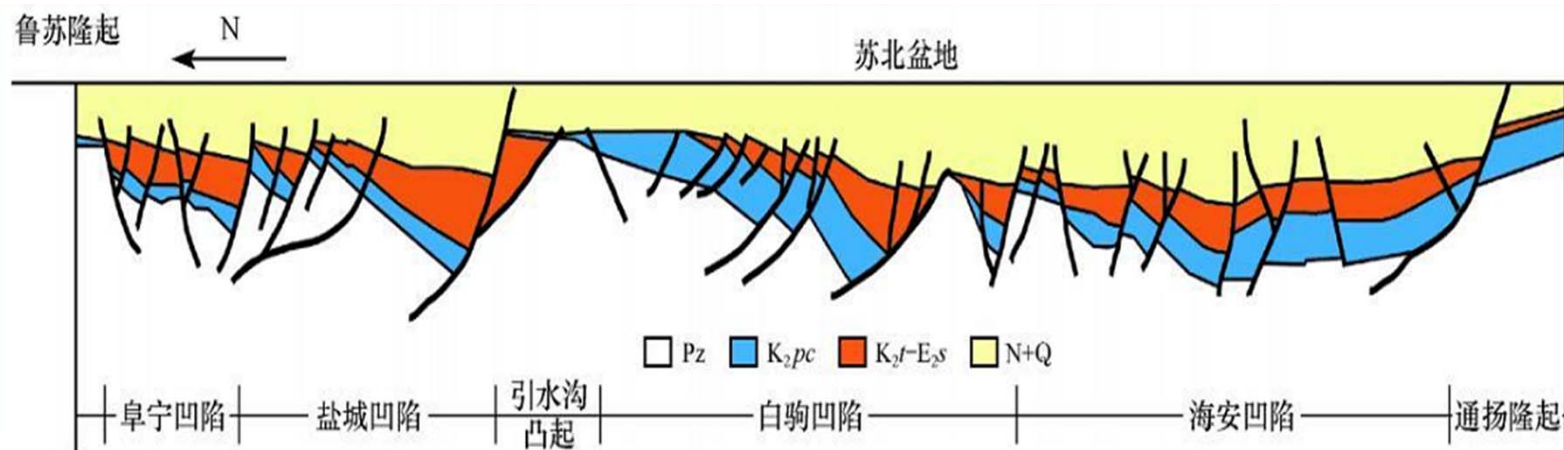
传统地质学理论将吐-哈盆地笼统地划归为“山间盆地”; 其后包括板块构造理论在内的各有关大地构造学派普遍认为, 包括吐-哈盆地在内的中国西北区各大沉积盆地均为压性或压扭性而完全不同于中国东部的裂谷型张性伸展盆地^(1,2)。在近年伴随油气勘探工作而日益增多的各种文献资料中, 仍普遍认为吐-哈盆地为压性或压扭性盆地, 个别文献在此前提下简单提及在盆地形成早期曾经历过一段张性扩展阶段; 绝大多数文献将其动力学原因归结为印度板块的碰撞作用, 少数文献涉及到该区古生代以来的板块构造问题, 认为“从盆地的构造骨架看, 中生代以来, 处在强烈的挤压条件下^{(3,4)①②}。例如《新疆吐鲁番—哈密聚煤盆地形成演化及聚煤规律》注意到吐-哈盆地早期的“超覆扩展”, 并提出“在以挤压为主情况下, 在挤压和挤压间歇交替的应力场中, 基底断层差异活动引起超覆扩展”进行解释。该文还

① 王昌桂, 冷胜荣, 龙道江, 1993, 吐鲁番—哈密盆地侏罗系油气勘探远景, 石油地质, 9(1): 1~16。

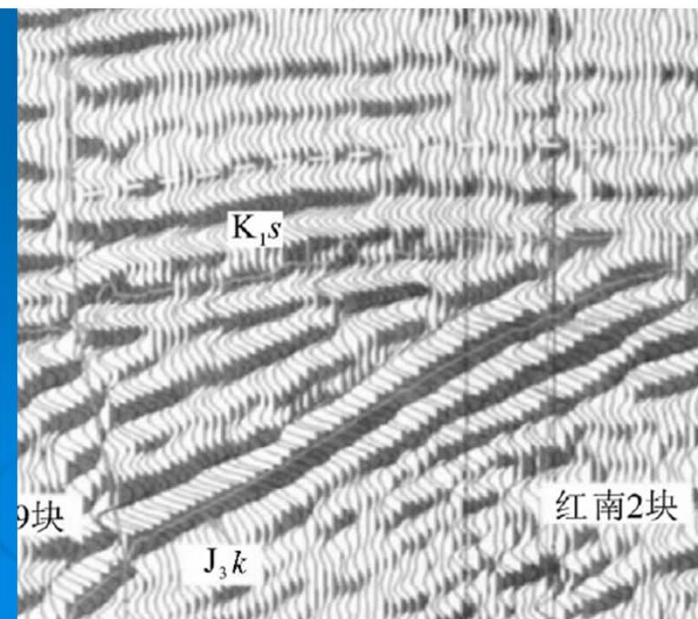
② 吴涛, 袁明生, 王武和, 1992, 吐-哈盆地构造演化与油气聚集, 石油地质, 9(2): 165~174。



上图火焰山背斜,
吐哈油田资料; 图
片来自网络资料

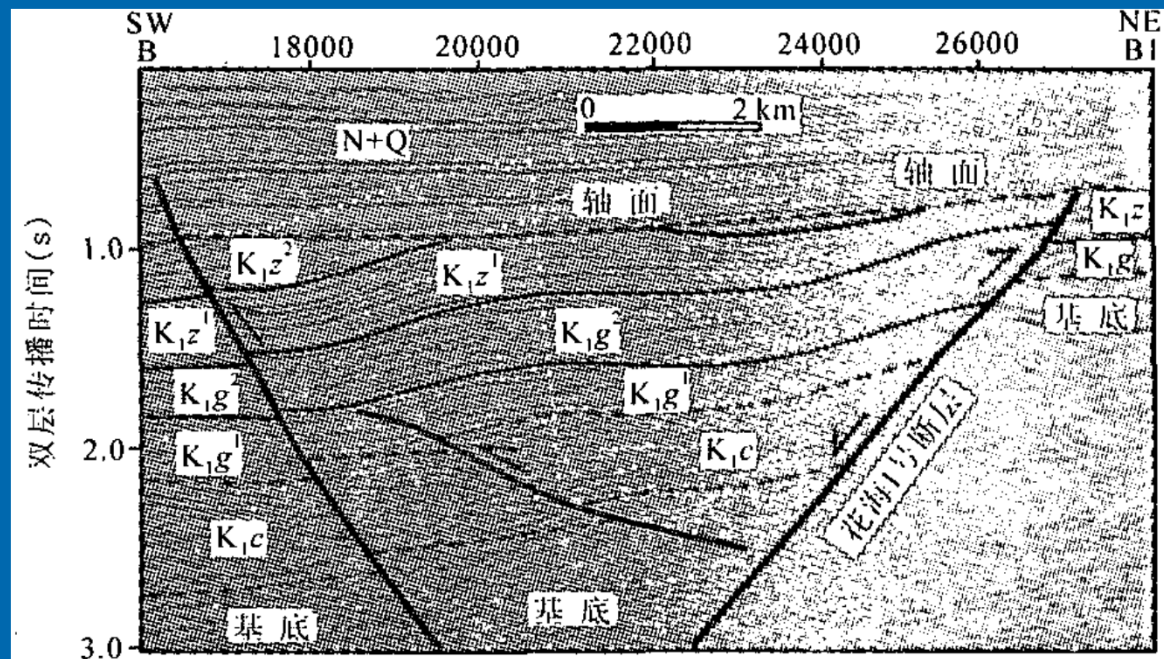


各图引自吐哈等油田系统的文献资料

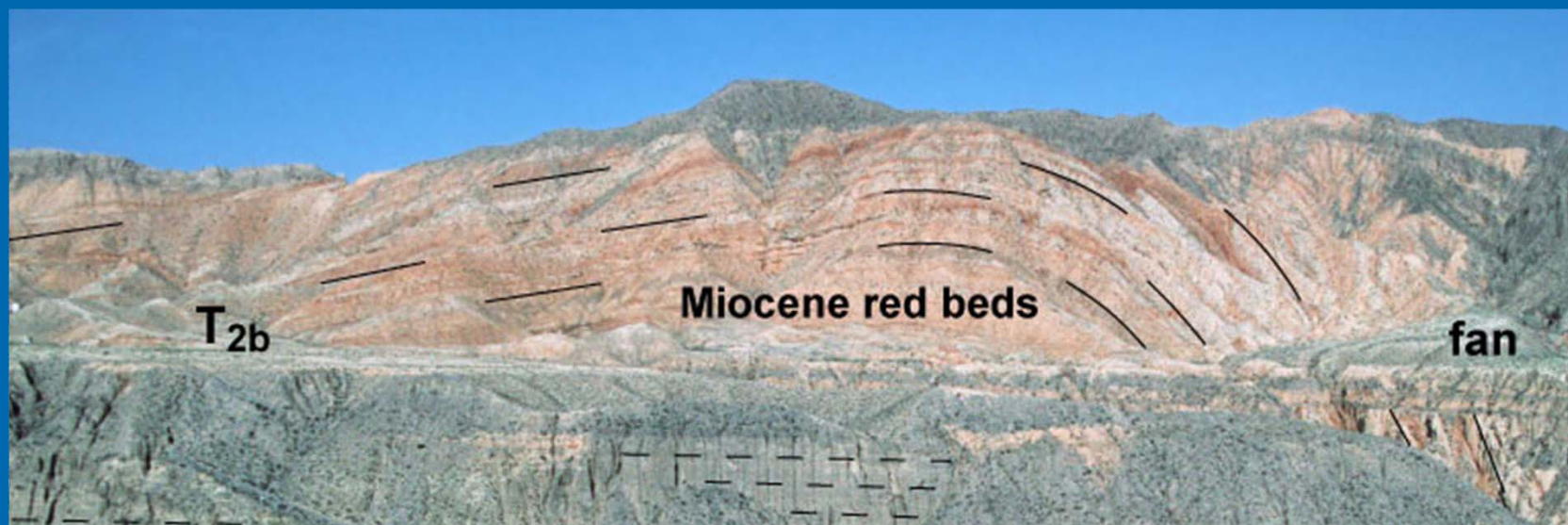


酒西盆地（玉门）
也属反转构造；

照片为老君庙反
转背斜



（酒西盆地剖面，玉门油田资料）



letters to nature

measurements. All hydrogels were prepared by dissolving freeze-dried polypeptide powder in deionized water. To speed up dissolution, vortex mixing was also applied for a few minutes to the samples, although identical samples could be prepared without agitation by letting them stand overnight. Gelatin samples were prepared by dissolving the protein in warm water (60 °C).

Microchemical measurements were performed by dispersing a small amount of monodisperse polystyrene spheres (with amide surface groups) into copolymer solutions of $K_{10}A_{40}$. The brownian motion of the tracer particles was captured by digital video microscopy in a conventional microscope (Nikon) with 100× oil-immersion objective. Image analysis was performed with IDL software. Particle trajectories were extracted and analysed using algorithms developed and kindly provided by the Weitz group (Harvard University)¹⁹.

Microscopy

For LSCM, lipophilic fluorescent dye (DiOC₁₈, Molecular Probes) was dissolved (about 0.001 wt%) in THF. Several drops of this dye solution were added to deionized water that was used to prepare the hydrogels, which were allowed to stand for over 12 h before imaging. Imaging was performed with a Zeiss 510 microscope equipped with an ArKr laser (30 mW) using 488 nm as the excitation line for the dye. For CTEM, a 1.0-wt% sample of $K_{10}A_{40}$ was spread into a thin film on glass, into which a carbon-coated TEM grid was pressed, thus transferring a thin film of sample. The hydrated gel was then vitrified on the grid in liquid ethane with a Leica cryopreparation system. The *in situ* vitrified gel membrane scaffolding was subsequently directly imaged without staining at 200 kV in bright-field mode using a Gatan 626 cryotransfer stage in a JEOL 2000FX microscope.

Received 22 October 2001; accepted 5 April 2002.

- Okano, T. (ed.) *Bioresponsive Polymers and Gels* (Academic, San Diego, 1998).
- Dagani, R. Intelligent gels. *Chem. Eng. News* 75, 23, 26–37 (1997).
- Peppas, N. A., Huang, Y., Torres-Lugo, M., Ward, J. H. & Zhang, J. Physicochemical foundations and structural design of hydrogels in medicine and biology. *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 2, 9–29 (2000).
- Ward, A. G. & Courts, A. (eds) *The Science and Technology of Gelatin* (Academic, London, 1977).
- Peška, W. A., Harden, J. L., McGrath, K. P., Wirtz, D. & Tirrell, D. A. Reversible hydrogels from self-assembling artificial proteins. *Science* 281, 389–392 (1998).
- Wang, C., Stewart, R. J. & Kopeček, J. Hybrid hydrogels assembled from synthetic polymers and coiled-coil protein domains. *Nature* 397, 417–420 (1999).
- Deming, T. J. Facile synthesis of block copolypeptides of defined architecture. *Nature* 390, 386–389 (1997).
- Deming, T. J. Cobalt and iron initiators for the controlled polymerization of alpha-amino acid-N-carboxyanhydrides. *Macromolecules* 32(13), 4500–4502 (1999).
- Katchalski, E. & Sela, M. Synthesis and chemical properties of poly-α-amino acids. *Adv. Protein Chem.* 13, 243–492 (1958).
- Buitenhuis, J. & Forster, S. Block copolymer micelles: viscoelasticity and interaction potential of soft spheres. *J. Chem. Phys.* 107(1), 262–272 (1997).
- Guenoun, P. et al. Polyelectrolyte micelles: self-diffusion and electron microscopy studies. *Langmuir* 16(10), 4436–4440 (2000).
- Hamley, I. W. et al. From hard to soft spheres: the effect of copolymer composition on the structure of micellar cubic phases formed by diblock copolymers in aqueous solution. *Langmuir* 16(6), 2508–2514 (2000).
- Won, Y.-Y., Davis, H. T. & Bates, F. S. Giant wormlike rubber micelles. *Science* 283, 960–963 (1999).
- Moffitt, M., Khoury, K. & Eisenberg, A. Micellization of ionic block copolymers. *Acc. Chem. Res.* 29, 95–102 (1996).
- Tsitsilianis, C., Iliopoulos, I. & Ducouret, G. An associative polyelectrolyte end-capped with short polystyrene chains. Synthesis and rheological behaviour. *Macromolecules* 33(8), 2936–2943 (2000).
- Clark, A. C. & Ross-Murphy, S. B. Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Adv. Polym. Sci.* 83, 57–192 (1987).
- Kavanagh, G. M. & Ross-Murphy, S. B. Rheological characterisation of polymer gels. *Prog. Polym. Sci.* 23(3), 533–562 (1998).
- Yu, M., Nowak, A. P., Pochan, D. P. & Deming, T. J. Methylated mono- and diethyleneglycol functionalized polylysines: nonionic, helical, water soluble polypeptides. *J. Am. Chem. Soc.* 121, 12210–12211 (1999).
- Crocker, J. C. et al. Two-point microtopology of inhomogeneous soft materials. *Phys. Rev. Lett.* 85(4), 888–891 (2000).
- Mason, T. G. & Weitz, D. A. Optical measurements of frequency-dependent linear viscoelastic moduli of complex fluids. *Phys. Rev. Lett.* 74(7), 1250–1253 (1995).
- Liu, L., Li, P. & Asher, S. A. Entropic trapping of macromolecules by mesoscopic periodic voids in a polymer hydrogel. *Nature* 397, 143–144 (1999).
- Lee, K. Y. & Mooney, D. J. Hydrogels for tissue engineering. *Chem. Rev.* 101, 1869–1880 (2001).
- Falini, G., Fermani, S., Gazzano, M. & Ripamonti, A. Polymorphism and architectural crystal assembly of calcium carbonate in biologically inspired polymeric matrices. *J. Chem. Soc. Dalton* 21, 3983–3987 (2000).
- Chia, I. N., Stucky, G. D., Morse, D. E. & Deming, T. J. Biomimetic synthesis of ordered silica structures mediated by block copolypeptides. *Nature* 403, 289–292 (2000).
- Hoffmann, H. & Ulbricht, W. Surfactant gels. *Curr. Opin. Colloid Interf. Sci.* 1, 726–739 (1996).
- Klein, H. F. & Kansch, H. H. Methylcobalt compounds with non-chelating ligands. I. Methyltetraakis(trimethylphosphine) cobalt and its derivatives. *Chem. Ber.* 108(3), 944–955 (1975).
- Kubota, S. & Fasman, G. Conformation and optical properties of poly(L-valine) in aqueous solution. "A single extended β chain". *J. Am. Chem. Soc.* 96, 4684–4686 (1974).
- Adler, A. J., Greenfield, N. I. & Fasman, G. D. Circular dichroism and optical rotary dispersion of proteins and polypeptides. *Methods Enzymol.* 27, 675–735 (1973).

Supplementary Information accompanies the paper on Nature's website (<http://www.nature.com>).

Acknowledgements

This work was supported by grants from the National Science Foundation (Chemical and Transport Systems, and MRSEC Program). V.B. thanks the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO) for a Talent-grant. We thank J. Hu for assistance with NMR experiments.

Competing interests statement

The authors declare that they have no competing financial interests.

Correspondence and requests for materials should be addressed to T.J.D. (e-mail: tdeming@mr.ucsb.edu).

Low slip rates and long-term preservation of geomorphic features in Central Asia

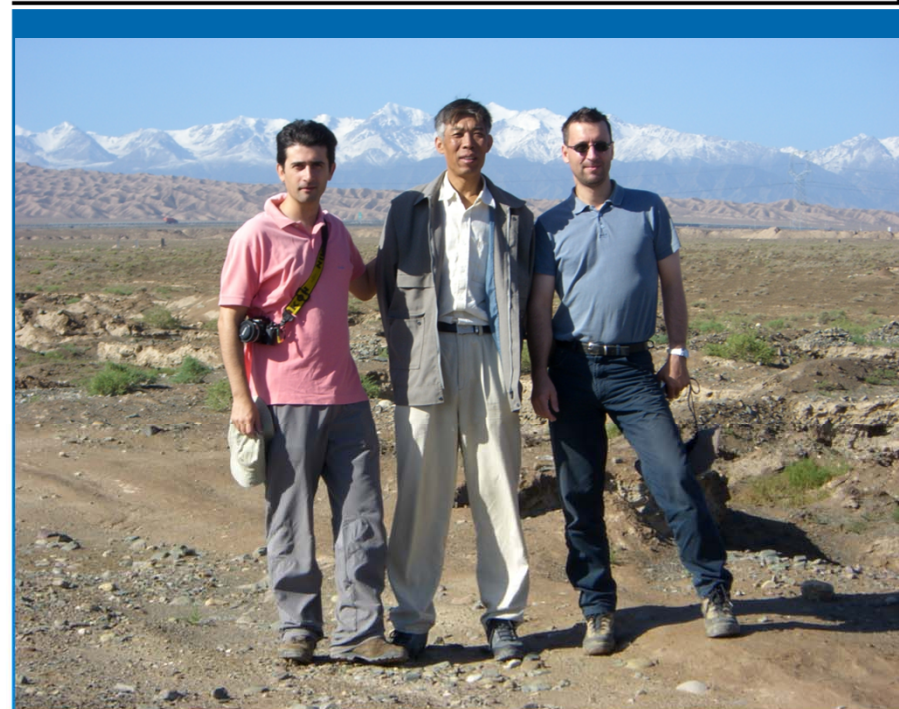
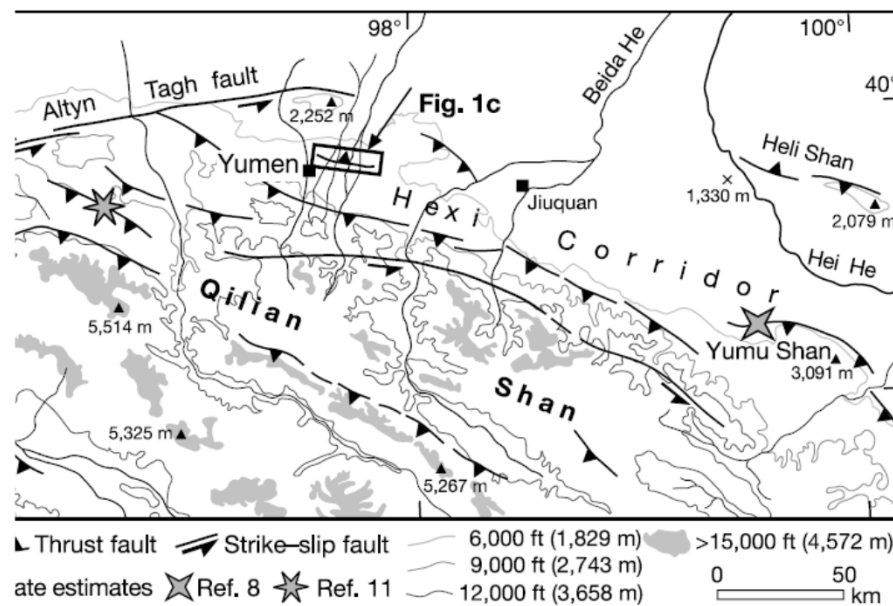
Ralf Hetzel^{1,2}, Samuel Niedermann³, Mingxin Tao⁴, Peter W. Kubik⁵, Susan Ivy-Ochs⁶, Bo Gao⁷ & Manfred R. Strecker¹

¹ GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Germany
² Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, D-14415 Potsdam, Germany

³ The State Key Laboratory of Gas-geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Science, 324 Donggang West Avenue, Lanzhou 730000, China
⁴ Paul Scherrer Institut, c/o the Institute of Particle Physics, and the ⁵ Institute of Particle Physics, ETH Hölgerberg, CH-8093 Zurich, Switzerland

In order to understand the dynamics of the India–Asia collision zone, it is important to know the strain distribution in Central Asia, whose determination relies on the slip rates for active faults^{1–5}. Many previous slip-rate estimates of faults in Central Asia were based on the assumption that offset landforms are younger than the Last Glacial Maximum (~20 kyr ago)^{6–11}. In contrast, here we present surface exposure ages of 40 to 170 kyr, obtained using cosmogenic nuclide dating, for a series of terraces near a thrust at the northern margin of the Tibetan Plateau. Combined with the tectonic offset, the ages imply a long-term slip rate of only about 0.35 mm yr⁻¹ for the active thrust, an order of magnitude lower than rates obtained from the assumption that the terraces formed after the Last Glacial Maximum. Our data demonstrate that the preservation potential of geomorphic features in Central Asia is higher than commonly assumed.

The ongoing collision between India and Eurasia has caused widespread Cenozoic deformation resulting in uplift of the Himalayas, the Tibetan Plateau and other mountain ranges in Central Asia¹² (Fig. 1a). The present rate of convergence between India and Eurasia is of the order of 40–50 mm yr⁻¹ (see ref. 13), with only 18 ± 2 mm yr⁻¹ being accommodated by Himalayan thrusts¹⁴. The remaining 20–30 mm yr⁻¹ of convergence are distributed on faults in actively growing mountain ranges farther north. Ideally, slip rates of active faults are determined by dividing measured tectonic offsets by well constrained ages for the faulted geomorphic markers, as, for example, has been achieved along the Kunlun fault¹⁵. However, many slip rates in Central Asia have been based on offset geomorphic features which were assumed to have formed after the Last Glacial Maximum (~20 kyr ago)^{6–11}. In Central Asia the maximum advance of glaciers apparently occurred well before 20 kyr ago, so tectonically offset landforms may in fact be much older¹⁶. This seems to be the case for the central Altyn Tagh fault at the northern boundary of the Tibetan Plateau, where inferred ages of faulted landforms result in a high slip rate of 20–30 mm yr⁻¹ (ref. 6), while





上图系列阶地的宇宙核素 ^{21}Ne 、 ^{10}Be 和 ^{26}Al 的暴露年龄为4万~17万年,该断层(区)长期垂直滑距的平均速率为0.35mm/年;测得老君庙背斜一带在6~1万年期间的平均隆升速率为1.17mm/y. 研究表明,背斜即反转构造的形成时间很晚。为反转提供了年代数据。

事例4: 运用地壳浅部乃至表层的样品数据研究、探讨地球深部的相关问题

中国科学 D 辑 地球科学 2005, 35 (5): 441~451

441

中国不同类型断裂带的地幔脱气与深部地质构造特征*

陶明信^{①**} 徐永昌^① 史宝光^① 蒋忠惕^② 沈 平^① 李晓斌^① 孙明良^①

(^①中国科学院兰州地质研究所, 气体地球化学重点实验室, 兰州 730000; ^②国土资源部实物地质资料中心, 三河 065201)

摘要 以氦同位素为主, 辅以 $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ 和 $\text{CH}_4/{}^3\text{He}$ 及 ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ 等指标, 结合地质构造等资料, 对中国大陆不同类型断裂带的地幔脱气及其深部地质构造特征进行了综合示踪研究。据此识别并划分出 4 种具代表性的断裂带: (1) 伸展性构造环境中的岩石圈断裂, 地壳厚度小, 具低 $\text{CH}_4/{}^3\text{He}$ -高 R 值和低 $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ -高 R 值体系, 以幔源流体为主, 地幔脱气作用最强, 以郯庐断裂带为代表; (2) 强烈挤压构造环境中的岩石圈断裂或俯冲带, 如班公湖-怒江断裂带, 地壳巨厚, R/Ra 值为 0.43~1.13, 幔源氦约占总氦的 5%~14%, 地幔脱气作用较弱; (3) 造山带山前(盆缘)深断裂带, R 值为 10^{-7} 量级, $\text{CH}_4/{}^3\text{He}$ 值为 $10^9\sim 10^{10}$, $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ 值为 $10^6\sim 10^8$, 具微弱的地幔脱气作用; (4) 造山带内壳层断裂带, 如密街 F_{19} 等断裂带, 具有高 $\text{CH}_4/{}^3\text{He}$ 值-低 R 值(10^{-8})和高 $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ 值-低 R 值体系, 无明显的地幔脱气作用。研究表明: 大型深断裂带是地幔脱气的主要构造通道; 控制地幔脱气强度的主要因素为断裂深度、构造环境性质和地壳厚度; 地幔脱气作用强度可反映断裂带的深度及其深部构造状态, 而气体地球化学示踪则可成为其研究的新的途径; 地球深部热流体上侵活动可能是深大断裂带形成演化的动力源之一; 山前断裂带是深部构造活动方式和壳幔结构转换的部位。对于认识造山带和盆地的形成机理有重要科学意义。

关键词 断裂带 地幔脱气 深部构造 ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ $\text{CH}_4/{}^3\text{He}$

大型断裂带对各种地质作用与过程(如沉积、岩浆、变质、成矿、构造应力场、构造变形乃至地质体的运动与地震等)起着控制与调整作用, 是解决有关地质问题, 特别是区域乃至全球构造的关键所在, 因

之具有特殊的地质构造意义, 故是构造地质学乃至地质学的主要研究领域之一。就断裂构造研究而言, 除其变形、力学性质、运动和成因特征外, 切割深度及其活动性是其另一个重要的研究内容。目前, 研究

442

中国科学 D 辑 地球科学

第 35 卷

断裂带仍然以地表地质方法为主, 对于断裂带切割深度的研究则主要借助于地球物理方法, 但有时也存在多解性。而对于断裂带的深部状态(如开启性、封闭性及活动性等)就更难以了解。因此, 有关断裂带的切割深度与深部状态是一个研究难度较大的课题, 但深部地质与壳幔演化又是地质学向“纵深”发展的必然研究领域, 而这些问题往往与深大断裂带联系在一起。

固体地球内部含有大量气体, 且是最活跃、最易运移的物质组份, 尤其是地幔中的气体或挥发份发生脱气作用而运移到壳内或地表。此种幔源气体不仅包含着丰富的地幔乃至原始地球的地球化学信息, 而且由于其脱气并运移上升是在一定的构造条件下发生的, 故有可能反映深部的地质构造问题, 如断裂深度、开启性、活动性和壳幔的连通性乃至区域地球动力学环境等, 从而可为这一领域的研究提供有科学价值的信息和新的研究途径。目前, 涉及断裂带地幔气体的研究虽有报道, 例如 Kennedy 等对北美圣安德烈斯断裂带的研究^[1], 但从地幔脱气程度研究断裂带深度, 特别是其深部状态尚未见有专题性的文献报道, 是一个新的研究思路与途径。

本文根据这一思路与认识, 从断裂带气体的地球化学组成特征, 特别是从氦同位素示踪的角度, 探讨有关断裂带的深度、深部状态与地幔脱气等相关问题。

地幔气体进入地壳后, 必然被壳源气体混染或复合, 故在近地表采集的气体样品或为壳源气体, 或为壳幔两源的复合气体。因此, 从了解断裂带的深度及其壳幔连通程度等特征的角度, 主要是研究断裂带及其附近的气体样品中是否含幔源气体及其多寡。

壳源和上地幔源氦的 ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 值(样品的 ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 值亦可标示为 R 值, 大气值标示为 Ra 值)相差达 3 个数量级, 其端值分别为 2×10^{-8} 和 1.1×10^{-5} , 下地幔或 OIB 型则较上地幔或 MORB 型更高, 已获得的最高值为 5.18×10^{-5} ^[2,3], 而氦为惰性化学元素, 一般只考虑其物理过程而不涉及复杂的化学过程, 故氦同位素

是判别幔源气体最灵敏的地球化学示踪指标。氦是另一种惰性元素, 就壳源氦而言, 其 ${}^{40}\text{Ar}$ 具有年代积累效应, 即随气源岩时代变老, ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ 值增大^[4], 对上地幔的氦同位素组成尚有不同认识, 但主导性的认识是其具有高 ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ 值, 可达 28000^[5], 代表下地幔(或 OIB 型)样品的 ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ 值多介于 4000~12000^[6], 因之, 地幔与时代较老的地壳岩石中的 ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ 值有一定的重叠范围, 对此需具体分析。综合判识, 特别是结合氦同位素综合判识, 效果更为理想。即上地幔气体一般具有高 ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ - ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ 体系, 而壳源气具有低的 ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 值, ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ 值则随源岩时代而变化。此外, CO_2 是断裂带气体中的主要组分之一, 其碳同位素组成也是判识气体成因与来源的常用地球化学指标, 但影响碳同位素组成与变化的因素很多, 故具有多解性^[7], 与稀有气体同位素等地球化学指标结合进行综合判识则更具科学性^[8]。

地壳上部构造的形态虽然纷繁, 但最基本的是 2 种相互对立发展的构造单元——造山带(正向构造)和构造盆地(负向构造)。就中国大陆而言, 除上述 2 种基本构造单元类型外, 在板块碰撞作用下于中、新生代大范围隆升而形成的青藏高原, 不仅是中国, 而且是全球范围内的一个特殊构造单元。因此, 本文选择青藏高原地质意义重大并具代表性的两条构造缝合带(具体后述)之一的班公湖-怒江断裂带、天山等造山带与相邻盆地(代表 2 种基本构造单元)之间的有关断裂带、东部裂谷盆地地区最重要的郯庐及吴川-四会等断裂带和造山带内部的密街 F_{19} 等断裂带, 代表不同构造单元区不同类型的断裂带, 以氦同位素示踪为主, 结合其它相关地球化学指标, 研究其地幔脱气特征与深部地质构造状态及相关问题。

1 样品采集与测试方法

天然气样品用钢瓶采集, 温泉水样品用盐水瓶采集。氦同位素在 VG-5400 稀有气体质谱计上进行测试, 以大气为标样; 氦同位素用 MAT-271 微量气体质谱计及 ZHT1301 质谱计测试; 气体组分含量用 MAT-271 微量气体质谱计和 HP5890 II 型气相色谱仪进行测试。

2004-02-09 收稿, 2004-08-09 收修稿
* 国家“973”计划(批准号: 2002CB211701)、国家自然科学基金(批准号: 40372065)资助项目
** E-mail: jmtsc@gs.lzb.ac.cn

事例5：从物质转化链条与内在联系的角度，研究其产物、效应及其过程与机理，微生物作用主

科学通报 第50卷 增刊 I 2005年10月

论文

中国部分煤田发现的次生生物成因煤层气

陶明信^① 王万春^① 解光新^② 李晶莹^① 王彦龙^② 张小军^①

张泓^② 史宝光^① 高波^①

(^① 中国科学院地质与地球物理研究所气体地球化学重点实验室, 兰州 730000; ^② 煤炭科学研究总院西安分院, 西安 710054. E-mail: lmtao@ns.lzb.ac.cn)

摘要 在新集、李雅庄和恩洪地区发现次生生物成因煤层气, 是中国煤层气的一种新的成因与资源类型。其基本特征为: 组分以甲烷为主, $C_1/C_{1-5} > 0.99$, 属于干气; $\delta^{13}C_1$ 值为 $-61.7\text{‰} \sim -47.9\text{‰}$, 绝大部分 $< -55\text{‰}$, 比该区煤岩所处热演化阶段(R_o 值为 $0.87\% \sim 1.43\%$) 所产热成因甲烷的 $\delta^{13}C$ 估算值低得多, 显示甲烷具次生生物成因特征; δD_{CH_4} 值为 $-244\text{‰} \sim -196\text{‰}$; $\delta^{13}C_2$ 值为 $-26.7\text{‰} \sim -15.9\text{‰}$, $\delta^{13}C_3$ 值为 $-10.8\text{‰} \sim -25.3\text{‰}$, 重烃属热成因; CO_2 含量极低, $\delta^{13}C$ 值变化很大, 反映出次生变化的特征; $\delta^{15}N_2$ 值主要在 $-1\text{‰} \sim +1\text{‰}$ 之间, 指示 N_2 主要源于大气, 而 N_2 与 CH_4 含量之间具良好的负相关性关系, 反映出含菌地表水渗入煤层的活动。综合示踪指标研究表明, 研究区煤层气为以次生生物气为主, 含有部分残留热成因气的混合气。煤层抬升和断裂发育为次生生物气的形成提供了良好条件。

关键词 煤层气 次生生物气 热成因气 干气 $\delta^{13}C$ δD $\delta^{15}N$ 中国

煤层气(Coalbed gas)指自生自储于煤层中的气体, 在煤矿中称为瓦斯, 其成分主要为甲烷。由于瓦斯在煤矿生产中的极大危害性, 煤层气长期被简单地视为有害气体。美国于 20 世纪 80 年代初对煤层气的地面勘探开发取得重大突破, 形成了一个新兴的煤层气产业, 证明煤层气是一种可进行大规模地面开采的新的洁净能源和优质化工原料, 属于非常规天然气。由此, 煤层气成为一个新兴的研究领域。

煤层气的成因类型是一项重要研究内容。一般将煤层气分为(微)生物成因和热成因两种类型^[1-3]。生物成因气指沉积有机物在埋藏早期, 即 $R_o < 0.5\%$ 或 $< 0.3\%$ 的热演化阶段, 由微生物作用而生成, 其生成途径主要有微生物对 CO_2 的还原作用和醋酸的发酵作用^[4-6]。这种生物气可称为原生生物气。热成因煤层气是煤化作用过程中由于温度升高, 煤中富含氢及氧的官能团受热降解而生成的。

一般认为, 生物气生成时, 泥炭由于埋藏浅而压力低, 且孔隙基本被水所占据, 因此, 没有吸附气体的显著作用, 使原生生物气逸散或溶解在地层水中, 在以后的压实和煤化过程中从煤中析出, 故原生生物气很难在后来的煤层中保留下来^[7]。

生物气相似, 但主要差别在于煤(源)岩的 R_o 值为 $(0.30 \sim 1.50)\%$, 热演化超过了(原生)生物气的形成阶段。其形成条件是煤层被抬升到浅部, 地表水携带细菌渗入煤层而繁殖活动。

Smith 等人^[8]和 Ahmed 等人^[9]研究了澳大利亚 Sydney 和 Bowen 盆地二叠系煤层气, 认为是由 CO_2 经微生物还原而生成, 属于次生生物气。Kotarba^[10]认为波兰 Upper Silesian 和 Lublin 盆地的煤层气也有部分形成于 CO_2 的微生物还原, 即可能也属次生生物气。

以上研究成果显示, 次生生物气是煤层气的一种新的成因类型, 具有重要的资源意义。

由于微生物先降解了已形成的热成因的湿气组分, 使热成因煤层气的组分和部分组分的同位素组成发生变化; 次生生物成因气生成之后, 又改变了煤层甲烷的碳同位素组成。因此使煤层气, 特别是浅层煤层气的成因判识变得复杂。煤层气的成因类型直接影响着煤层气资源量的计算, 因此, 研究煤层中次生生物成因气的生成条件, 阐明其地球化学特征及鉴别依据, 不仅有重要的理论意义, 尤其对煤层气成因判识及资源量计算有重要的实用价值。

本文在中国部分煤田发现具有次生生物成因特征的煤层气, 将其基本特征做一报道。



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com



ScienceDirect

International Journal of Coal Geology 71 (2007) 358–370

International Journal of

COAL
GEOLOGY

www.elsevier.com/locate/ijcoalgeo

Secondary biological coalbed gas in the Xinji area, Anhui province, China: Evidence from the geochemical features and secondary changes

Mingxin Tao^{a,b,*}, Baoguang Shi^b, Jinying Li^c,
Wanchun Wang^b, Xiaobin Li^b, Bo Gao^b

^a Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, College of Resources Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, PR China

^b Key Laboratory of Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, PR China

^c Material and Environment College, Qindao University of Science and Technology, Qindao 266042, PR China

Received 13 May 2006; received in revised form 8 December 2006; accepted 11 December 2006

Available online 19 December 2006

Abstract

In order to ascertain the origin of the coalbed gas in the Xinji area, Anhui Province of China, the paper examined the geochemical features and secondary changes of CH_4 , C_2H_6 , CO_2 and N_2 from the coalbed gas. The related gas composition, carbon isotope and tracer geochemical data are as follows: 0.993 to 1.0 for C_1/C_{1-n} , 188.6 to 2993.7 for C_1/C_2 , $< 2\%$ for CO_2 , 0.64 to 3.06% for $[CO_2/(CO_2+CH_4)]100\%$, -50.7‰ to -61.3‰ for $\delta^{13}C_1$ with the average value of -56.6‰ , -15.9‰ to -26.7‰ for $\delta^{13}C_2$, -10.8‰ to -25.3‰ for $\delta^{13}C_3$, -6.0‰ to -39.0‰ for $\delta^{13}C_{CO_2}$ with the average value of -17.9‰ , 30.7‰ to 43.9‰ for $\Delta\delta^{13}C_{C_2-C_3}$, and 17.2‰ to 50‰ for $\Delta\delta^{13}C_{CO_2-C_3}$, -1‰ to $+1\text{‰}$ for $\delta^{15}N_{N_2}$, 1.13×10^{-7} to 3.20×10^{-7} for $^3He/^4He$ with R/Ra ratios range from 0.08 to 0.23 . The R_o values of the coal range from 0.88% to 0.91% . The trends of the $\delta^{13}C_i$ values and $\delta^{13}C_{C_{1-n}}$ values downward in the stratigraphic profile are opposite: the former appears trend. The $\delta^{13}C_1$ values have a negative correlation $\delta^{13}C_1$ values due to its complicated variation. The generation, but most of the CO_2 and heavy hydrocarbon methane. The coalbed gas is comprised of secondary heavy-hydrocarbons, and nitrogen (mainly derived thermogenic methane is 31.5% to 39.9% while the faults and erosion in the studied area have created fa and the formation of the secondary biogenic methane; secondary biogenic gas and a smaller portion of the

Keywords: Coalbed gas; Secondary biogenic gas; Therm

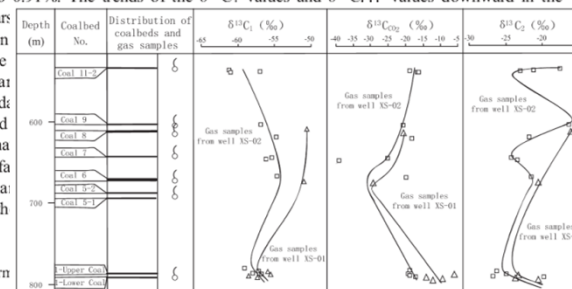


Fig. 4. Vertical variations of $\delta^{13}C$ values of methane, ethane and carbon dioxide in the profile.

开辟新的研究途径, 可获得新的系列标志

Vol. 86 No. 1 pp. 199–208

ACTA GEOLOGICA SINICA

Feb. 2012

New Approaches and Markers for Identifying Secondary Biogenic Coalbed Gas

TAO Mingxin^{1,*}, LI Jing¹, LI Xiaobin^{1,2}, MA Yuzhen¹, LI Zhongping², WANG Zuodong², GAO Zhongliang¹, ZHANG Xiaojun² and WANG Yanlong³

1 College of Resource Science and Technology/ Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

3 Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China

Abstract: According to the adsorption-desorption characteristics of coalbed gas and analysis of various experimental data, this paper proposes that the generation of secondary biogenic gas (SBG) and its mixing of with the residual thermogenic gas at an early stage inevitably lead to secondary changes of the thermogenic gas and various geochemical additive effects. Experimental results also show that the fractionation of the carbon isotope of methane of coal core desorption gas changes very little; the $\delta^{13}\text{C}_1$ value of the mixed gas of biogenic and thermogenic gases is between the $\delta^{13}\text{C}_1$ values of the two "original" gases, and the value is determined by the carbon isotopic compositions and mixing proportions of the two "original" methanes. Therefore this paper proposes that the study on the secondary changes of the thermogenic gas and various additive effects is a new effective way to study and identify SBG. Herein, a systematic example of research on the coalbed gas (Huainan coalbed gas) is further conducted, revealing a series of secondary changes and additive effects, the main characteristics and markers of which are: (1) the contents of CO_2 and heavy-hydrocarbons decrease significantly; (2) the content of CH_4 increases and the gas becomes drier; (3) the $\delta^{13}\text{C}$ and δD values of methane decrease significantly and tend to have biogenetic characteristics; and (4) the values of $\delta^{13}\text{C}_2$ and $\delta^{13}\text{C}\text{CO}_2$ grow higher. These isotopic values also change with the degradation degrees by microbes and mixing proportions of the two kinds of gases in different locations. There exists a negative correlation between the $\delta^{13}\text{C}_1$ vs $\delta^{13}\text{C}\text{CO}_2$ values. The $\Delta\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_2-\text{C}_1}$ values obviously become higher. The distributions of the $\Delta\delta^{13}\text{C}\text{CO}_2-\text{C}_1$ values are within certain limits and show regularity. There exist a positive correlation between the N_2 versus Ar contents, and a negative correlation between the N_2 versus CH_4 contents, indicating the down forward infiltration of the surface water containing air. These are important markers of the generation and existence of SBG.

Key words: secondary biogenic gas, thermogenic coalbed gas, components and isotopes, secondary change, mixing effect, differentiating markers

1 Introduction

The genetic types of coalbed gases and their differentiating markers are important and basic research areas of the coalbed gas geochemistry. They are also of great application values to the resource evaluation, exploration and development of coalbed gas.

In the early stage of research, the genetic types of

coalbed gases are generally divided into two types: biogenic gas (bacterial gas) and thermogenic gas (Rightmire et al., 1984; Rice, 1993).

In a study on coalbed gas in the San Juan Basin, USA, Scott et al. (1994) found secondary biogenic gas (SBG), which is derived from bacterial degradation of wet gas, n-paraffin and other hydrocarbons produced during the coal-forming process after the coalbeds are uplifted to the subsurface. In recent years, this kind of coalbed gas has been found in the Sydney and Bowen basins in Australia

科学通报 2014年 第59卷 第11期: 970–978

论文

www.scichina.com csb.scichina.com



《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

煤层中次生物气的形成途径与母质综合研究

陶明信^{①*}, 王万春^②, 李中平^②, 马玉贞^①, 李晶^①, 李晓斌^②

① 北京师范大学资源学院, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

② 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心, 兰州 730000

* 联系人, E-mail: mxtao@bnu.edu.cn

2013-03-22 收稿, 2013-08-26 接受

国家自然科学基金(41172107)、国家重点基础研究发展计划(2002CB211701)和地表过程与资源生态国家重点实验室项目(2011-zy-04)资助

摘要 微生物究竟利用煤岩中的哪些物质并通过何种具体途径形成次生物气, 煤层中是否含有丰富的此类物质可形成大量的次生物气, 是重要的基础科学问题。在多方面研究的基础上, 运用气体同位素示踪、煤有机地球化学分析与煤热模拟产气实验等方法, 对上述问题进行了系统的综合性研究。结果表明: 次生物气形成的具体途径是微生物还原 CO_2 ; 产次生物气的煤层具有遭受过微生物降解的特征; 热成因气态重烃亦经历了微生物的改造并有可能形成微生物成因 CO_2 ; 煤在热演化过程中可形成大量的 CO_2 、较多的 H_2 和一定量的气态重烃, 加之微生物成因的 CO_2 及煤层气, 都可成为次生物气的直接母源物质。故可溶有机质与气态重烃等组分都可为其他微生物所利用并最终形成次生物气的母源先质。中低热演化程度的煤层中这些组分丰富, 应是形成和寻找次生物气的主力煤层。

关键词

次生物气
形成途径
母质
同位素示踪
煤层气

煤层气(又称煤层甲烷)是一种非常规天然气新资源。关于煤层气的成因, 学术界在早期一般认为, 有成煤物质在早期形成的(原生)生物气和成煤后形成的热成因气 2 类^[1–3], 但认为原生生物气很难在煤层中保留下来, 故煤层气基本都属于热成因气^[2]。1994 年, Scott 等人^[2]提出, 美国圣胡安盆地存在成煤后煤层又被抬升到浅部形成的次生物气。Scott 等人^[2]主要依据该盆地煤层气在空间上出现干气带和湿气带的变化(认为干气带为次生物气的特征), 其次是依据煤系水中溶解碳酸盐的碳同位素组成特征, 并结合煤的热演化程度进行分析。同时, 该文作者认为, 次生物气是由煤化过程中产生的湿气和正烷烃等经细菌作用而形成的^[2]。由于该文没有测试煤层气的同位素组成, 也没有对煤中有关的母源物质进行测试与研究, 缺乏最主要的地球化学资料, 因此是一种推测性认识。

自圣胡安盆地之后, 在波兰的 Upper Silesian 盆

地^[4]和 Lower Silesian 盆地^[5]、土耳其的 Zonguldak 盆地^[6]、加拿大的 Elk Valley 煤田^[7]、德国的 Ruhr 盆地^[8]、新西兰的 Ohai^[9]等地区也陆续发现含有这种煤层气。有的学者将其称为晚期生物气^[4,5]。这些地区煤层气的地球化学组成一般均进行过测试与研究, 而判识其成因类型的地球化学示踪指标主要是 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值与组分比值, 其次是 δDCH_4 值等。

1997–2000 年间, 陶明信等人^[10,11]在研究淮南新集煤层气时, 发现其中含有次生物气。其后在国家重点基础研究发展计划等项目的研究中, 在山西李雅庄、云南恩洪、淮南煤田的潘集和张集等地区又相继发现了次生物气, 并对淮南等地的次生物气进行了进一步的深入研究^[12–17]。

由于煤层中次生物气的发现时间较短, 研究程度还很有限, 目前主要限于其地球化学组成与判识方面的研究^[2–9,12,16,17], 其他方面的研究较少, 还有许多相关问题有待进一步研究。其中存在的一个重

* Corresponding author. E-mail: mxtao@bnu.edu.cn

引用格式: 陶明信, 王万春, 李中平, 等. 煤层中次生物气的形成途径与母质综合研究. 科学通报, 2014, 59: 970–978

英文版见: Tao M X, Wang W C, Li Z P, et al. Comprehensive study on genetic pathways and parent materials of secondary biogenic gas in coalbeds. Chin Sci Bull, 2014, 59: 992–1001, doi: 10.1007/s11434-014-0151-7

体会五：稳定同位素示踪是非常有效的好方法

在全球变化、碳循环、水循环等许多领域广泛应用

energy&fuels

Article
pubs.acs.org/EF

The Isotopic Tracer and Resource Value of Microbial Gas Production in Coalbeds—A Case Study of Coalbed Gas in Enhong, China

Mingxin Tao,[†] Yuzhen Ma,[†] Zhongping Li,[‡] Jing Li,[†] Pengyang Liu,[†] Yanlong Wang,[§] Xiangrui Chen,[†] and Aihua Zhang[†]

[†]College of Resources Science and Technology/Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

[‡]Lanzhou Petroleum Resources Research Center, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

[§]Xi'an Research Institute, CCTEG, Xi'an 710054, China

ABSTRACT: From the new perspective of the dynamic isotopic fractionation of microbes and the mixture of secondary biogenic gas and thermogenic gas in coalbeds, this study evaluates the geochemical characteristics of mixed coalbed gas in Enhong. Additionally, by using isotopes, the study traces the microbial activities and the results of those activities, such as the methane production of bacteria, and reveals the formation mechanism and genetic types of coalbed gas. The measured $\delta^{13}\text{C}_1$ values of the coalbed gas samples are from -54.5‰ to -32.0‰ . Based on the values of R_0 and $\delta^{13}\text{C}_2$, by calculation, the $\delta^{13}\text{C}_1$ values of thermogenic methane range from -30.6‰ to -28.1‰ and from -30.7‰ to -28.3‰ , respectively. The results of the two calculations are highly consistent, and both are approximately 20‰ higher than the measured values. The measured δDCH_4 values are from -217‰ to -196‰ , being between thermogenic methane and microbiogenic methane; the $\delta^{13}\text{CCO}_2$ values are from -30.5‰ to -23.9‰ , growing heavier with respect to the original thermogenic gas; the measured $\delta^{13}\text{C}_2$ values are from -25.7‰ to -22.6‰ , and the estimated $\delta^{13}\text{C}_2$ values are from -21.8‰ to -21.2‰ , also indicating growing heavier. The $\delta^{13}\text{C}_1$ and $\delta^{13}\text{C}_2$ values are negatively correlated; both the $\Delta\delta^{13}\text{CCO}_2-\text{C}_1$ and $\Delta\delta^{13}\text{CCO}_2-\text{C}_2$ values are increasing. All of the above characteristics indicate that CO_2 is reduced into microbial genetic methane by methane-producing bacteria and it mixes with thermogenic gas, which is new evidence showing the existence of secondary biogenic gas. Via calculations using a variety of data, such as the values of $\delta^{13}\text{C}_1$, $\delta^{13}\text{C}_2$, and R_0 , it is found that thermogenic methane accounts for approximately 38% to 58% of the total amount, and microbial genetic methane accounts for approximately 42% to 62%. The proportion of micro-biogenic methane reduced from the top down, which occupied more than 50% of that in the coalbed buried within 1000 m deep. It increased the content of coalbed gas by more than 1 times. Within 1000 m deep, coalbed temperatures are generally lower than 40 °C, which is the most appropriate section for methanogenic bacteria activity and secondary biogenic gas generation. Coalbed uplift to the shallow parts in the late stage is the basic geological condition for the formation of secondary biogenic gas, which has significant resource value.

1. INTRODUCTION

Coalbed gas, featuring self-generating and self-storage in a coal seam, is an unconventional gas. The main component of it is methane. Against the background of the dwindling conventional oil and gas resources worldwide, coalbed gas is not only a practical supplementary resource, but it also has major significance in coal mine disaster reduction and environmental protection. It has become a global research focus.

Generally, based on theories related to conventional gas, early scholars believed that the evolution degree of coal had exceeded the microbial gas generation stage. It was impossible to generate biogas, and the biogas generated before coal formation was difficult to retain and escaped. Therefore, the gas in the coalbed was basically thermogenic gas.^{1–4}

In 1994, Scott et al.² found the spatial distribution of wet gas and dry gas in the San Juan Basin (United States) coalbed gas. According to the features of the isotopic composition of dissolved inorganic carbon in the coalbed water, Scott et al. found that the dry gas was formed by microorganisms when coal was uplifted to the near surface.² The coalbed gas, produced after the coalbed enters the thermal evolution gas

generation stage, is called secondary biogas (Secondary Biogenic Gases), which is also known as late stage biogas.⁵ Since then, many such coalbeds containing coalbed methane have been discovered in basins globally, for example, the Polish Upper Silesian basin⁶ and Lower Silesian basin,⁶ Canada's Elk Valley Coal,³ Sydney and the Bowen Basin in Australia,^{7,8} and China's Huainan and Liyazhuang et al. coalfield area.^{9–11}

Although there are some reports of secondary biogenic gas (SBG), there are still different understandings of how it develops. There are two reasons for these differences: the first reason is the influence of traditional theory, which doubts that coalbed gas in the evolution stage can still generate biogenic gas; the second reason is that the general method of identifying genetic types of natural gas uses the carbon isotopes of components such as methane, but the carbon isotopic compositions of coalbed methane (CBM) and CO_2 usually

Received: November 16, 2014

Revised: February 21, 2015

Published: March 3, 2015

DOI: 10.1021/ef502565g
Energy Fuels 2015, 29, 2134–2142

第 19 卷 第 6 期
2008 年 12 月

天然气地球科学
NATURAL GAS GEOSCIENCE

Vol. 19 No. 6
Dec. 2008

研究简报

“煤层气的形成演化、成因类型及资源贡献”课题研究进展

陶明信^{1,2}, 解光新³

(1. 北京师范大学资源学院, 能源与矿产资源研究所, 北京 100875;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所气体地球化学重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

3. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054)

摘要:扼要介绍了国家“973”煤层气项目所属“煤层气的形成演化、成因类型及资源贡献”课题在煤层气地球化学组成、次生物成因煤层气、煤层气的成因类型与综合示踪指标体系、煤层气动力学等方面的主要成果与研究进展。

关键词:煤层气; 地球化学; 次生物气; 成因类型; 研究进展

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1926(2008)06-0804-03

煤层气是煤层中自生自储的以甲烷为主的气体, 在煤矿中通常称为瓦斯。20 世纪 80 年代, 美国的系统研究与勘探开发实践证明, 煤层气是一种可进行大规模地面开采的新的清洁能源和优质化工原料, 而且资源潜力很大, 属于非常规天然气^[1]。由于各种瓦斯灾害对煤矿生产的危害性极大, 煤层气排入大气, 使得大气中“温室气体”甲烷的含量增加, 加剧了全球大气升温 and 生态环境恶化。因此, 煤层气的研究与开发具有资源利用、煤矿减灾和环境保护 3 方面的重大意义。随着常规油气资源的日益短缺而使得油气供给不足, 煤层气的研究与开发受到各方面的高度重视, 成为全球性的热点领域。

国家科技部于 2002 年设立了国家重点基础研究发展规划项目(“973”)“中国煤层气成藏机制及经济开采基础研究”, 该项目所属第一课题为“煤层气的形成演化、成因类型及资源贡献”(编号: 2002CB211701)。经过近 6 年的研究工作, 该课题于近期通过了国家“973”项目课题验收专家组的验收。现将其主要成果与进展扼要介绍如下。

1 煤层气地球化学组成研究

煤层气地球化学组成研究是整个煤层气研究体

系和气体地球化学领域。有关煤层气或大量的数据资料, 缺乏微量组分数据, 中一般还含有 Ar, 量通常均低于 1%, 然很低, 但包涵很 CO 为有害气体, 且意义。

稳定同位素组成的研究的最重要内容, CH_4 的碳同位素, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值的变化非, 来, 存在许多问题。

通过对各类煤, 并结合以往的, 主体分布范围约, 在整体分布上, $\delta^{13}\text{C}_1$ 高的趋势。但 R_0 中煤层气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 别与变化很大。而

体会五：样品与数据质量是科学研究的生命力

有钱买仪器固然重要，但培养测试技术人才更重要！

样品产出条件、类型与代表性；

同一样品与仪器，不同人员测试，结果可能有明显差异；

仪器的功能开发（建方法），样品前处理装置与前处理，制取需要的样品（例如单组份）；

仪器状态与样品测试：组分含量不同，数据误差不同，微量组分误差大，甚至测不出来，加大进样量或富集。

气相色谱-稳定同位素质谱法测定 溶解无机碳碳同位素

李中平¹ 陶明信^{*2} 李立武¹ 王作栋¹ 杜丽¹ 张明峰¹

¹ (中国科学院地质与地球物理研究所, 气体地球化学重点实验室, 兰州 730000)

² (北京师范大学资源学院, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘 要 选用 NaHCO₃ 配制了浓度分别为 0.24、1.19、2.38 和 4.76 mmol/L 的溶解无机碳 (DIC) 溶液, 经过 1h、4h、8h 和 24h 不同平衡时间, 建立了一种分析 DIC 碳同位素的方法。不同浓度的 DIC 样品与其母质 NaHCO₃ 的 $\delta^{13}C$ 值之间的差值仅为 (0.2~0.5)%。通过对对照组的实验结果和对空气 CO₂ 的碳同位素测试与研究, 证明此方法可有效避免实验过程中大气等物质对样品的污染, 确保实验结果的准确性。

关键词 溶解无机碳, 碳同位素组成, 气相色谱-稳定同位素质谱

1 引言

煤层水或油田水中一般都含有溶解无机碳 (dissolved inorganic carbon, DIC), 其主要以 HCO₃⁻、CO₃²⁻、CO₂ (水溶) 和 H₂CO₃ 等形式存在。DIC 主要来源于有机物演化过程中产生的且溶解于水的 CO₂ 和碳酸盐矿物的溶解。由于碳同位素所具有的地球化学示踪作用, DIC 的碳同位素不仅被广泛引用于环境研究领域^[1~3], 还可以了解有关油气的运移、成藏和油气藏的封存状态及其成因类型等方面的地球化学信息。DIC 的碳同位素也成为研究次生生物成因煤层气的一个新的途径而受到关注^[4,5]。

有关 DIC 碳同位素的分析方法, 国内外多采用沉淀法^[6]。此方法的过程复杂耗时, 产生误差的环节也较多。Bishop^[7]在改进以往工作的基础上提出了一种标准沉淀法, 证明其可以获得精确的 DIC 碳同位素值。但此方法不适用于高浓度硫酸盐水体。在高浓度硫酸盐环境下, 导致 DIC 沉淀不完全并且容易发生同位素分馏。

由于上述分析方法存在的不足, 文献报道了 H₃PO₄ 酸化样品的在线真空脱气法和氦气冲洗法^[8~11]。该方法准确度虽高 ($\delta^{13}C$ 值的测试精度 $\leq \pm 0.15\%$), 但操作过程较复杂。热电公司开发出用于水中 DIC 碳同位素分析的样品前处理装置 (Finnigan Gas Bench), 准确度高, 分析速度也较快, 但仪器价格较高, 目前实验室配置很少。鉴于上述现状, 本实验开展的 DIC 碳同位素测试方法, 不用预抽真空或冷阱富集, 可以有效避免大气对样品的污染, 可方便地离线分析, 从而使实验程序大大简化。本方法适用于不同浓度的 DIC 样品的分析, 以及用于大批量 DIC 碳同位素样品的预处理和测试。

2 实验部分

2.1 仪器与试剂

HP6890 型气相色谱仪 (美国 Agilent 公司); C-2000 型色谱柱 (30 m $\times$ 20 μ m i.d. $\times$ 0.53 mm, 中国科学院兰州化学物理研究所); 载气为氦气, 色谱柱恒温 80 $^{\circ}$ C, 流速 15 mL/min, 进样口压力 68.8 kPa; RMS 为 Finnigan DeltaPlus XP 稳定同位素质谱仪 (美国 Thermo Fisher 公司), 电子轰击 (EI) 离子源, 电子能量 70 eV。本次实验碳同位素的测试精度为 $\leq \pm 0.15\%$ 。采用国际 PDB 标准, 用 $\delta^{13}C$ 值表示, 计算公式为:

$$\delta^{13}C = \left[\frac{R_{\text{样}} - R_{\text{PDB}}}{R_{\text{PDB}}} \right] \times 1000 (\%) \quad (R = {}^{13}C/{}^{12}C) \quad (1)$$

2006-12-14 收稿; 2007-06-11 接受

本文系国家 973 煤层项目 (No. 2002CB211701) 和教育部分重大项目 (No. 307007) 资助

* E-mail: mxiao@ies.cn

体会六：科学研究（选题）像爬山或像剥洋葱，坚持方向或领域，一个山头一个山头向上爬，一层一层的深入做！



近若干年，本人工作集中于煤层气地球化学领域，经6次申请，获得5项面上基金项目：

1. 煤层气生成与解吸过程中碳同位素的分馏机制与示踪研究；
2. 煤层甲烷同系物 δD 值的分布规律、变化机理与示踪指标；
3. 次生生物气生成的地球化学效应与标志；
4. 煤层气中 N_2 、 CO_2 及 H_2 的同位素组成与变化机理及其示踪意义；
5. 煤层水与煤层气主组分 $\delta^{13}C$ 值的分布及 $\delta^{13}C_{DIC}$ 示踪指标的对比研究。

所涉及科学问题由相对简单到复杂，或由研究对象演化链条的初始段到末后段。体会如下：

在一个领域持续做，利于积累资料，了解学术动态，提高样品与数据综合配套的科学价值；项目可相互补充与促进，也为项目申请创造条件，奠定基础。

结束语

虽然准备此稿花费了一些精力，但此过程也是对本
人学习与工作的回顾与扼要总结及思考，且还有一点
感想，算是收获。虽会后个别处又做了一点修补，但
限于水平，本报告有关认识与表述粗浅，谬误与疏漏
不少，请老师同学批评赐教，待后改正，并致谢忱！

陶明信

2018, 11, 15

附：警世（增广）贤文·勤奋篇， 共勉

有田不耕仓禀虚，有书不读子孙愚。

宝剑锋从磨砺出，梅花香自苦寒来。

少壮不经勤学苦，老来方悔读书迟。

书到用时方恨少，事到经过才知难。

板凳要坐十年冷，文章不写一句空。

智慧源于勤奋，伟大出自平凡。

书山有路勤为径，学海无涯苦做舟。

少时不努力，老大徒伤悲。

欲求生富贵，须下死功夫。



gelin@gig.ac.cn

谢谢!
请批评指正!