

中国地质科学院
天津地质矿产研究所刊

第 11 号

地质出版社

中国地质科学院

天津地质矿产研究所刊

第 11 号

地质出版社

中国地质科学院
天津地质矿产研究所所刊
第11号

责任编辑：汪玉麟

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆·印张：15¹/₂·插页：一个·字数：368,000

1985年10月北京第一版·1985年10月北京第一次印刷

印数：1—2,615册 定价：3.45元

统一书号：13038·新157

目 录

燕山地区晚前寒武纪同位素地质年代学的研究.....	于荣炳、 张学祺 (1)
冀东早太古麻粒岩相岩石中钙质闪石的成分特点和形成条件	蒋永年、曹秀兰 (25)
河北小营盘含金石英脉的地质特征和形成的物理化学条件	胡小蝶、赵嘉农 (39)
内蒙地轴前寒武纪铁建造类型及成矿作用分析.....	骆 辉、翟安民 (57)
吕梁地区早元古代含铁岩系区域变质作用.....	李增慧、翟安民 (83)
山西袁家村铁矿黑硬绿泥石的初步研究.....	蒋永年、曹秀兰、陈勇华 (109)
吕梁地区狐姑山、尖山早前寒武纪含铁建造的岩石化学特征及成因探讨	李华芝、沈保丰、宋亮生 (131)
论科马提岩的主要元素鉴别标志.....	金文山 (155)
岩浆岩区域变质作用的特点.....	张翊钧 (173)
金厂峪含金石英脉的几何样式及其形成条件.....	王魁元 (181)
金矿成矿热流体来源深度的判断.....	王魁元 (191)
利用粘土矿物测定燕山地区中晚元古代地层的年龄	张学祺 、刘秀琴、杨芸英、赵志、王汝铮 (201)
同位素地质年龄数据汇编.....	同位素地质研究室 (211)

地质矿产部中国晚前寒武纪地质科研项目研究成果之十三

燕山地区晚前寒武纪同位素 地质年代学的研究

STUDY OF GEOCHRONOLOGY OF LATE PRECAMBRIAN IN THE YANSHAN RANGES

于荣炳 张学祺

摘 要

自1979年以来测定了70多个年龄数据。(1)以K-Ar法和Rb-Sr法用粘土矿物测定了洪水庄组及其以上地层的年龄。(2)以Pb-Pb法用粘土岩全岩测定了串岭沟组和常州沟组的年龄。获得了比较满意的结果,由此得出燕山地区晚前寒武纪同位素地质年表。

一、前 言

上前寒武系在我国分布相当广泛,且富含铜、铁、磷、锰、石油和天然气等矿产。对该段地层的研究在学术上和经济上都有重要意义。自六十年代以来,我国比较广泛地采用了同位素、微古植物、叠层石等新技术、新方法,从而把前寒武系的研究工作推进到一个新的阶段。1975年将南北两个标准剖面的晚前寒武纪地层统称为震旦亚界,内部分四个系,自下而上为长城系、蓟县系、青白口系和震旦系。前三个系以蓟县剖面为层型,震旦系以峡东剖面为层型。1982年全国地层委员会将中国晚前寒武纪地层正式划分为上述四个系,废除了震旦亚界这一级的名称,并认为前二个系属中元古界,后二个系属上元古界。

由于国民经济发展与科学的需要,同位素地质学已迅速地发展成为一门基础学科。它能为地质科研解决许多重大问题。尤其在前寒武地质研究中,同位素地质学已成为不可缺少的方法之一。根据地质部1980—1981年科技计划第45号,地质科学院1980年科研计划第50号项目“中国晚前寒武(震旦亚界)建系与地层对比研究”和地质部地科[1979]229号文规定的“建立中国同位素地质年表”项目的要求,我们自1977年以来,为建立我国燕山地区晚前寒武纪同位素地质年表,以蓟县剖面为基础,开展了研究工作。

蓟县晚前寒武地层剖面自1934年高振西先生发现和建立地层层序以来,我国地质学家作了大量的研究工作,已经公认为我国北方的中、晚元古代地层的典型剖面,其中地质年代学的研究始于1958年(附表1)。1959年第一次全国地层会议对蓟县地层的年龄提出“上部时代界限,可以大致为5亿多年,长城统是至少超过10亿年”的意见。

表 1 燕山地区晚前寒武系地质年表划分意见对比表

Table 1 Subdivision and correlation of geological time scale of Late Precambrian in Yanshan area

地 层 \ 年 表	中国地质科学院 (1973)	中国地质科学院 (1977)	中科院地化所 (1977)	中科院地化所 (1981)	晚前寒武地层 分类命名会议 (1982)
井儿峪组	700	800	850 ± 20	850	
下马岭组					
铁 岭 组	1000 ± 50	1000	1100 ± 50	1100	1000
洪水庄组					
雾迷山组					
杨 庄 组	1400 ± 50		1400 ± 50	1400	1400
高于庄组					
大红峪组			1700 ± 50	1700	
团山子组					
串岭沟组					
常州沟组	1700	1800	1950 ± 50	2000 ± 100	1900

年龄单位: 百万年

1962年后, 天津地质矿产研究所(原华北地质科学研究所)在蓟县剖面上采集了样品并获得了一些结果(附表1)。由于条件所限, 所得的样品全是用钾-氩法测定的, 测定对象是井儿峪组和铁岭组的海绿石, 大红峪组和串岭沟组的火山岩等。根据这些结果得出结论是“井儿峪组的年龄在8亿年左右, 铁岭组的年龄为10.40亿年, 串岭沟组的年龄为18亿年是比较合适的”。

1973年出版的中华人民共和国地质图说明书(1:400万)^[1]中, 提出我国北方型震旦系下统长城群的时限界于17.00—14.00亿年, 中统蓟县群界于14.00—10.00亿年, 上统青白口群界于10.00—8.50亿年。

1977年中国地质科学院亚洲地质编图组将青白口系顶界置于800百万年, 蓟县系和青白口系的分界置于1000百万年, 长城系底界置于1800百万年。同年中国科学院地球化学研究所提出一份比较完整的地质年表^[2], 把青白口群上界置于 850 ± 20 百万年, 青白口群和蓟县系的分界为 1100 ± 50 百万年, 长城系的底界置于 1950 ± 50 百万年。1980年又将长城系底界改为 2000 ± 100 百万年^[3](表1)。

1982年全国地层委员会在北京召开关于“晚前寒武分类命名会议”, 提出参考年龄值: 青白口系上界为800百万年, 青白口系和蓟县系分界为1000百万年, 长城系与蓟县系分界为1400百万年, 长城系底界为1900百万年。

自1979年以来, 我所同位素地质研究室较系统地研究了各组的年龄样品和已有的年龄数据, 在此基础上系统地采集了各组样品, 用各种方法进行了年龄测定。计算年龄值时采用的放射性衰变常数是:

$$\text{钾-氩法: } \lambda_{K^{40}(\alpha)} = 0.581 \times 10^{-10} \text{年}^{-1}$$

$$\lambda_{K^{40}(\beta)} = 4.962 \times 10^{-10} \text{年}^{-1}$$

$$K^{40} = 1.167 \times 10^{-4} K (\text{原子比})$$

$$K^{40} = 1.193 \times 10^{-4} K (\text{重量比})$$

$$\text{铷-锶法: } \lambda_{Rb^{87}} = 1.42 \times 10^{-11} \text{年}^{-1}$$

$$Rb^{87} = 27.85\% \times Rb$$

$$\text{铅-铅法: } \lambda_{U^{238}} = 0.155125 \times 10^{-9} \text{年}^{-1}$$

$$\lambda_{U^{235}} = 0.84850 \times 10^{-9} \text{年}^{-1}$$

$$\text{原子比值 } U^{238}/U^{235} = 137.88 \pm 0.14$$

本文是科研总结报告, 由于荣炳、张学祺、李顺智执笔, 铷-锶法部分由卢伟执笔。年龄样品是由张学祺、王汝铮、许才尧、赵岩奇、于荣炳、殷艳杰、杨春亮等采集, 测定工作由林源贤、刘秀琴、李顺智、卢伟、张学祺、黄承义、周怀志、杨芸英、赵志、王席珍、于荣炳、殷艳杰、张慧英、马彦忠、左义成等完成。

本项研究课题曾得到已故王日伦所长的亲切鼓励与关怀, 在工作中胡维兴、陈晋镛等提供了不少宝贵意见。前寒武纪研究室帮助进行采样工作, 地质实验室协助做了矿物分离、粘土提纯、X光分析等, 化验室帮助进行了一些分析与光谱测定。我所的后勤部门与辅助室都给了我们有力的支持。还有金兴泉、吴淑华、张振江、杨学群等为课题做了大量的辅助工作。在我们的工作中还得到了宜昌地矿所、成都地矿所和地质科学院地质所的帮助, 在此一并致以深切的谢意。

二、地质概况及有关岩石、矿物学的研究

(一) 地质概况

燕山地区中晚元古代地层的典型剖面出露点在天津蓟县。1934年高振西将蓟县剖面划分为三群十组。在随后的工作中, 对这些界限和划分作了各种调整, 划分方案很多。本文采用1980年我所晚前寒武纪地质研究室将其分为四系十一组的方案^[4](图1)。该剖面地层总厚为9200米, 其中沉积岩约占99%, 火山岩约占1%。在沉积岩中碳酸盐岩占73%, 碎屑岩占18%, 粘土质岩石占8%。各类岩石的主要化学成分的氧化物平均值见表2。

蓟县剖面的地层向东北方向经兴隆、平泉到凌源一带, 地层基本层序、岩性、厚度皆

表2 蓟县中上元古界主要岩石类型元素氧化物平均值

Table 2 Average of elemental oxide from major rock type of middle and late Proterozoic in Jixian

成分(%) 岩石	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	资料来源
碎屑岩	88.20	0.25	4.39	1.27	1.27	0.21	0.58	0.16	1.59	(1)
粘土岩	65.76	0.66	16.27	5.17	1.70	1.57	1.17	0.51	4.07	(1)
碳酸盐岩	67.35*	0.23	0.70	0.70	0.53	16.01	24.11	0.20	1.88	(1)
大红峪组火山岩	41.62	1.40	13.79	5.29	3.90	5.86	7.36	0.18	8.90	(2)

注: (1) 录自参考文献[4], (2) 录自“蓟县震旦系现场学术讨论会议论文汇编”, 1965年。

* 原文有误, 应为55.64

可对比。向西经昌平到宣化一带厚度变化较大,但基本层序和岩性仍可对比。再向西则厚度剧变。在其他方向上层序、岩性和厚度的变化极大。

上述的地质特征,使我们的测定对象主要限于沉积岩,且采样工作又要尽可能地在蓟县剖面上进行或沿着古地理环境比较一致、构造格局大致相同、露头发育良好的地区进行,这就给本区的同位素地质年代学的研究工作带来了很多困难。在测定工作中,我们把

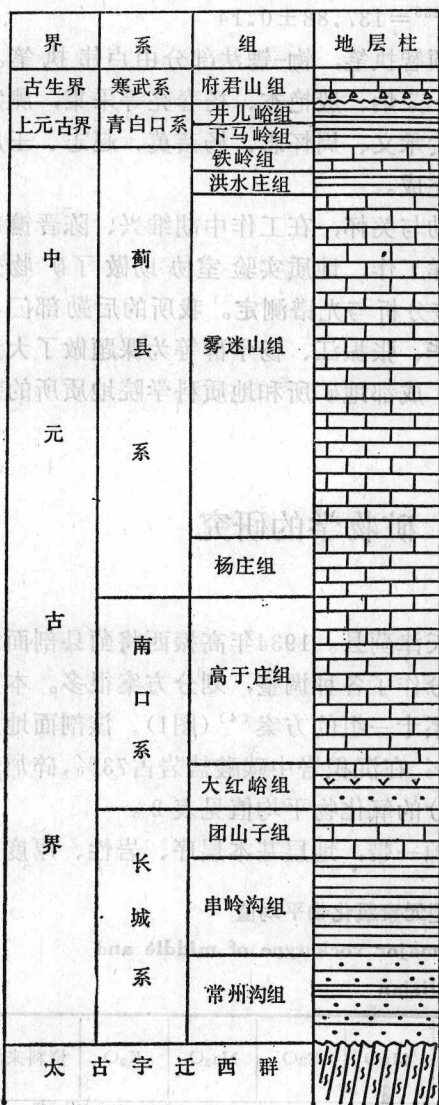


图 1. 蓟县中上元古界柱状图

Fig. 1 The columnar section of middle and upper Proterozoic in Jixian

粘土质岩石和某些粘土类矿物作为工作重点。据文献记载,在蓟县剖面上,串岭沟组的页岩大多混有粉砂,粘土矿物的含量平均为70%,其中第二段属浅海相页岩,粘土矿物含量可达72—75%,洪水庄组的页岩,属浅海相沉积,粘土含量平均占75%,部分样品可达85%。下马岭组页岩样品粘土含量仅59%,粉砂占39.2%,细砂为1.8%。根据它们的化学分析结果(表2、表3)可以看出,在排除各种细砂、粉砂后,完全有可能从页岩中提出足够的粘土进行测年。其氧化钾的含量比较高,有可能对其作钾-氩法年龄和铷-锶法年龄的测定。

选用测试方法主要取决于该地区的地质背景,即地质发展史和测定对象的岩石矿物特点,也要考虑到以往工作的经验。我们首先用钾-氩法对页岩作分粒级初步测试,发现大红峪组、串岭沟组和常州沟组的页岩不适合用钾-氩法测定,主要原因是这些地层受到后期地质事件的影响,所得的年龄值普遍偏低。用铷-锶法对常州沟组个别样品作了测定,其结果和钾-氩法的近似。而洪水庄组及其以上地层用钾-氩

法分粒级测定得到比较好的结果。据此我们把四系十一组分三部分,洪水庄组及其以上地层用钾-氩法及铷-锶法测定,大红峪组以下地层团山子组、串岭沟组、常州沟组用铅-铅法测定,对高于庄组、杨庄组、雾迷山组全部为白云岩组成的地层,限于技术条件

表 3 砂页岩化学成分分析结果

Table 3 Elementary composition of sandstone and shale

岩 石 \ 成分(%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ZrO ₂	Cr ₂ O ₃
串岭沟组砂页岩	60.80	0.71	17.58	5.68	2.03	1.59	0.47	0.74	4.20	0.03	0.008
下马岭组砂页岩	68.83	0.62	14.49	5.03	1.06	0.91	0.27	0.20	3.44	0.04	0.005
串岭沟组二段页岩	59.69	0.65	17.65	5.16	2.34	2.81	5.88	0.64	3.77	0.01	0.008
洪水庄组页岩	66.72	0.51	14.12	2.97	1.46	2.02	0.70	0.33	6.40	0.03	0.008

资料来源:参考文献[4]

只作了初步试探,但未得结果。下面分别介绍。

(二) 粘土矿物研究^[7,8,9]

根据本地区晚前寒武地层中沉积岩约占全部地层厚度99%这一特点,我们选定页岩和组成页岩的粘土矿物作为工作重点。对其作了岩石和矿物学的研究,探讨了页岩和两类粘土矿物——海绿石、伊利石对年龄测定的适应性。

1. 海绿石

海绿石是海相地层中一种比较常见的自生矿物,常用于地质计时,对其年龄的可靠性有不同的看法。海绿石在矿物上属云母族水云母亚族。晶体结构和云母族矿物类似。因而从理论上说应当具有类似云母的较好的氩保存能力。但海绿石的化学成分不大稳定。易于受外界环境变化的影响,因而即使是同一层位的海绿石,也常常会得到差别很大的年龄值。从野外地质观察可知,海绿石出现于砂岩(包括粗砂岩)、页岩和灰岩之中,它们各有自己的特征和成因。燕山地区的海绿石可划分出三种类型。

(1) 砂岩中的海绿石

这类海绿石见于井儿峪组、下马岭组和高于庄组。以蓟县井儿峪组海绿石砂岩为例,在野外可以清楚地看到砂岩中有流水搬运的迹象——交错层理、流动波痕、流水线理和泥裂等。显微镜下海绿石有两种形态:一种呈不规则状,充填于石英颗粒之间,一般小于0.3毫米,数量少。另一种为粒状,其大小形状同石英砂粒差不多,约0.5—1毫米或更大一些。碎屑矿物除海绿石和石英外,还有少量长石。胶结物除硅质外还有部分碳酸盐,它们交代海绿石,使颗粒状的海绿石边缘呈现不规则状。在有上述大量流水搬运和碎屑长石的堆积环境中,海绿石是很难作为一种自生矿物出现的。因此上述海绿石是在别处形成,经搬运而来。在搬运过程中,其钾-氩同位素系统有不同程度的破坏,因而年龄值就会明显不同。这点可以从已测定的井儿峪组的年龄值中看到(表4)。从表中可见,同一地点、同一层位的样品,由同一单位测定仍有明显不同的结果。而同一层位由不同单位测定,结果相差也很悬殊。其最大年龄值和最小年龄值之差,超过了实验室可能出现的误差范围,显然有其他地质原因的,因而对砂岩中海绿石的年龄要十分谨慎。

(2) 和叠层石灰岩共生的海绿石

这种海绿石见于铁岭组和雾迷山组,尤以铁岭组顶部最常见。它呈鲜绿色或暗绿色的

表 4 井儿峪组海绿石石英砂岩中海绿石的钾-氩年龄
Table 4 K-Ar age of glauconite of glauconitic quartz-sandstone
from Jingeryü Formation

样 品 号	采 样 地 点	年 龄 值 (百万年)	测 定 单 位	测定时间 (年)
77028	蓟县东井儿峪村	818	天津地矿所	1977
77038	蓟县东井儿峪村	810	天津地矿所	1977
78054	蓟县东井儿峪村	908	天津地矿所	1978
H-179	蓟县东井儿峪村	732	中科院地化所	1964
ZT-007	蓟县东井儿峪村	926	天津地矿所	1973
8118	蓟县西井儿峪村	761	天津地矿所	1981
Gt 48	昌平县长龙山	571	苏联	1958
Gt 78	唐山市赵各庄	1154	苏联	1958

片状集合体，散布在两个叠层石柱体之间的充填物中，或在叠层石内部两个生长层之间，或附着在叠层石的壁上环绕叠层石生长。从它的产状和叠层石的共生关系可以认为，这种海绿石是在地层沉积时同叠层石的生长同时形成的，它可能和当时的生物地球化学作用有一定的关系。在现代海水中，如我国的黄海，也能见到和生物有关的自生海绿石^①。因此这类海绿石的年龄反映了该地层的沉积年龄。用磁选法很易将这类海绿石从灰岩中分离出来，以它作为测定对象所得的年龄数据应该是可信的。

(3) 粘土岩中的海绿石

粘土岩中的海绿石主要见于铁岭组中部，颗粒很细，有时肉眼不能分辨。从成因类型上，我们把这类海绿石看作是上述两类海绿石的过渡型，即既有碎屑成因的又有自生的海绿石。颗粒愈细，自生成因的可能性就愈大。据此得到的年龄值是可以有条件地应用的。

2. 伊利石

用钾-氩法测定页岩全岩样品时遇到的主要问题是，全岩样品中总有含量不等的陆源碎屑混入，它们带来了陆源区岩石的同位素系统，严重地干扰样品的测定结果。如果陆源碎屑物是不含钾的石英，其样品总的钾含量降低从而使年龄值偏高。如果陆源碎屑物为富钾的长石、云母等矿物，则样品总的含钾量升高，年龄值偏低。所以排除这些继承性的同位素系统的影响是页岩测定中必须首先解决的问题。

X射线衍射分析表明，燕山地区中晚元古代页岩地层中，粘土矿物的组成十分简单，主要是1M型伊利石和1Md型伊利石。在1微米以上的样品中，有大量陆源碎屑如石英、长石、云母等混入，1微米以下的样品看作主要是由1M型或1Md型伊利石组成的单矿物样品，在这类样品中，由陆源碎屑带来的同位素系统继承性的影响已基本排除，其年龄值有可能反映出沉积或成岩作用的年龄。

我们把样品分成四个粒级（即大于2微米，1—2微米，0.4—1微米，小于0.4微米）分别进行了测定。从测定结果中可以看出，随着粒级由大变小，年龄值出现明显变化，其最小粒级的年龄和该样品所在层位的地质推测年龄相符，它反映出该地层成岩作用时的年

① 朱而勤，1981年资料。

龄。粒级愈细, 原地沉积的可能性愈大, 在成岩过程中均一化程度愈高。故我们在年表建立过程中采用最小粒级 (小于0.4微米) 的年龄值。

三、测定年龄的方法和结果

如前所述, 燕山地区的上前寒武系, 是一套基本未受变质的以碳酸盐岩为主的沉积地层。现就测试方法和结果简述如下。

(一) 钾-氩法

这是目前使用得最多的一种方法。样品测定的可靠性主要依靠天09、地质部系统全国标准样和我室工作样来作检查(实验方法已有报道)^①。钾用火焰光度计测定。氩同位素的质谱分析, 1980年7月前, 是在国产ZHT—1301质谱计上进行的, 其后改用无磁质谱计——ZLS—150四极滤质器进行测定。后者应用于氩同位素比值的测定, 在国内尚属首次^②, 在国际上也无文献可稽。我们经过七个多月的调试、试验, 进行了200多次的条件性试验。其中对氩同位素 Ar^{40}/Ar^{36} 比值, 以光谱纯氩做了五、六十次测定, 得其比值为300(表5),

表 5

分析次数	氩量 (pv)	Ar^{40}/Ar^{36}	大多数情况下 Ar^{40}/Ar^{36}
约10	2000—1000	288—300	300
约30	400—100	约300	约300
14	4.56—17.65	300—310	300

注: $1PV = 1.316 \times 10^{-6} ml$

接近于国际上公认的尼尔值 ($^{40}Ar/^{36}Ar = 295.5$), 基本上与国内大多数有磁质谱计所测定的大气氩比值一致。另外, 曾利用经过有磁质谱计 ZHT—1301 测定过的样品 (安瓶) 来进行对照测定, 这些安瓶是同一次析氩分装在两个安瓶里的, 测定结果 (表6) 是基本

表 6

大气校正 正值(%) 仪器型号	安瓶号	79006 (197PV)		79004 (400PV)	
ZLS—150	B—B	2.34	A	2.40	
ZHT—1301	B—A	2.72	B	1.55	

满意的。同时, 经多次测定地矿部系统K-Ar标准样(白云母), 大气校正正值在5.22%(249百万年) — 小于1% (258百万年), 结果也不错。两年多的工作实践, 分析了氩 (体积法) 同位素安瓶 300 多个。从结果、稳定性和丰度灵敏度上看, ZLS-150四极滤质器是可以应

① 1977年《华北地质科技情报》。

② 于荣炳等, 1982年资料。

用于氩同位素比值测定的, 而且具有分析速度快 (比有磁质谱计通常快2—3倍)、灵敏度高的优点。故以它来测定氩同位素比值是可行的。

测定结果见附表2、3及表7。表7列举了我们在年表中应用的年龄值, 附表2、3列举了在年表中没有应用的年龄值。从实验条件上讲, 这些数据是可靠的, 但从地质年表角度讲, 许多数据是不能应用的, 这是因为它们各自的地质意义是不相同的。例如附表2中的Nq. 1和No. 2号样品都是井儿峪组砂岩中经过搬运的海绿石, 因而其年龄值不能代表该地层的沉积年龄, 故没有采用。而对铁岭组叠层石灰岩和粘土岩中的自生矿物海绿石, 所得数据应认为是反映了该地层的沉积年龄。

对于粘土岩中伊利石的测定, 是将同一样品分成不同粒级进行的, 目的是排除陆源碎屑的干扰。从表7上看到, 随粒级的变化, 年龄值也呈规律性的变化。我们选定最小粒级 (小于0.4微米) 矿物的年龄值作为地层沉积或成岩的年龄, 这是因为颗粒越小, 自生成因

表7 井儿峪组—洪水庄组样品测定结果
Table 7 K-Ar age of Jingeryü-Hongshuizhuang Formation

编号	样品号	采样地点	岩组名称	测定对象	粒级 (μm)	K (%)	Ar ⁴⁰ (10^{-6} 克/克)	Ar ⁴⁰ /K ⁴⁰	年龄 (百万年)	选定年龄 (百万年)
81036	同7	凌源老庄户	井儿峪组	伊利石 绿色页岩中的	>2	4.78			999	855
					1—2	5.04			969	
					1—0.4	5.30			908	
					<0.4	5.20	0.3854	0.0635	855	
81104	同16	怀来赵家山	下马岭组	伊利石 粘土岩中的伊	>2	4.14			1298	956
					1—2	4.66			1246	
					1—0.4	5.16			996	
					<0.4	5.31	0.4535	0.0732	956	
78077	78RA —9—6	蓟县 铁岭村	铁岭组	顶部 灰中的海 绿石		6.77	0.6538	0.0824	1046	1046
77034	Sn 77017	蓟县 南桃园		中部 粘土岩中的海 绿石		6.46	0.0905	0.0946	1161	1161
82042	281030—C	蓟县老虎顶	洪水庄组	伊利石 粘土岩中的伊	>2	5.60			1114	1191
					1—2	5.60			1116	
					1<0.4					
					<0.4	4.40	0.5023	0.0980	1191	
82045	281028—II		洪水庄组	伊利石 粘土岩中的伊	>2	5.52			1240	1221
					1—2					
					1—0.4	4.4	0.4737	0.1006	1221	
					<0.4	4.52			(未成功)	

的可能性越大,在成岩过程中同位素系统的均一化程度也越高。但是这种方法只适用于洪水庄组及其以上的地层,而对大红峪组、串岭沟组和常州沟组却不适用。从附表2中可以看出,这些地层中的粘土,无论哪一个粒级的年龄值都远远小于该地层应有的年龄值,而且四个粒级的数据比较接近,特别是样品No. 28, 29, 30, 31,四个粒级的年龄值几乎完全一致。这就充分说明了它们受到过某个地质事件的影响,因而不能代表地层沉积或成岩作用的年龄,但它可能反映出某个地质事件的信息。例如,在蓟县常州沟组底部含砾的粗砂岩中的粘土矿物,经我们采样提纯(编号为76027)用X衍射法鉴定为2M型伊利石,测得年龄为1185百万年(表8),这与地层的沉积年龄显然不符。通常2M型伊利石是一种高温产物,它在沉积岩中出现,不是搬运来的就是受后期热事件影响产生的。经野外观

表 8

样品编号	样品名称	K (%)	Ar (10^{-6} 克/克)	Ar ⁴⁰ /K ⁴⁰	年龄值 (百万年)
*76027	伊利石	7.06	0.8315	0.0965	1185

* 由陆宗斌提供样品

察,在离76027号样采样点不远,见有基性脉岩的侵入,用钾-氩法测得其年龄为1218百万年(附表3No. 5),故推断2M型伊利石的出现,可能是同当时的一次热事件有关。宜昌地矿所也曾测得常州沟组的页岩铷-锶等时年龄为1200百万年。所以这次热事件大致发生在1200百万年左右。这就说明,有些年龄数据初看起来似乎无法解释,但对它的地质背景了解后,再作一些岩石矿物和地球化学的研究工作,就有可能找到它应有的、合理的解释与应用。

(二) 铷-锶法

所测样品是从蓟县剖面洪水庄组采集的黑色、灰色页岩和粉砂质岩中提纯的粘土,一般称样小于30毫克,在加入国产富含Sr⁸⁴(42%)的稳定同位素稀释剂后,将样溶解,并将此样液放入装有国产的强酸性阳离子交换树脂(D033 100—200目)的石英交换柱(柱长270毫米,直径10毫米)内进行交换,用盐酸淋洗去铷及其他造岩元素,收集锶的组份,再通过装有磷酸锆的石英小柱进一步纯化去铷,将接收液蒸干后,送进装有电子倍增器的ZHT—1301质谱计(少数样品送地科院地质所的MAT—260质谱计)测定锶的含量及其比

表 9 洪水庄组铷-锶法分析结果

Table 9 Rb-Sr age of Hongshuizhuang Formation

编 号	样品号	采样地点	样品名称	岩石特征	铷锶比值(原子比)		等时年龄 (百万年)
					Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	
R 81204-1	Z 81028-a	蓟县洪水庄	粘 土	黑色、灰色页岩和粉砂质页岩	9.2751	0.8756	1241 ± 93 136
R 81204-6	Z 81029-b	蓟县洪水庄	粘 土		13.8640	0.9444	
R 81204-8	Z 81032(1A)	蓟县小岭子	粘 土		20.7269	1.0423	
R 81204-9	Z 81033(1A)	蓟县床子岭	粘 土		11.6600	0.9383	
R 81204-11	Z 81051	蓟县小岭子	白云岩		3.2984	0.7275	
R 81204-12	Z 81052	蓟县小岭子	白云岩		1.7560	0.7351	

值。铷的含量是用国产GGX—1型原子吸收光度计测定的。全部实验采用石英器皿、高纯试剂及亚沸蒸馏水。计算年龄是据分析所得的 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 和 $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 的比值,用最小二乘法处理,算出等时线的截距和斜率,从而算出相应的年龄值和误差。参加洪水庄组等时年龄计算的共六个点,其等时线的截距 $a=0.7008$,斜率 $b=0.01747 \pm 0.00165(1\sigma)$,年龄 $t=1241 \pm 93$ 百万年(1σ)。测定结果见表9及图2。从所得数据看,其截距 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 值偏低,年龄误差较大,因而尚需进一步工作,其数值可供参考。

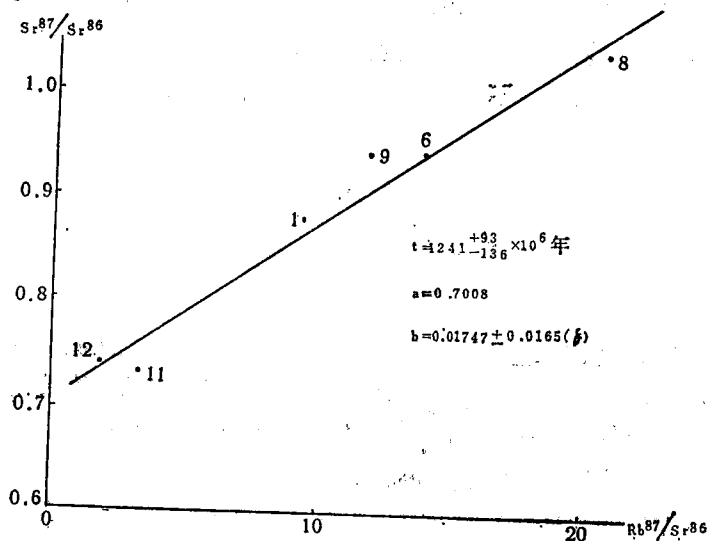


图2 洪水庄组 $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ — $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 等时线图

Fig.2 $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ — $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ isochron for Hongshuizhuang Formation

(三) 铅-铅法

根据前述本区沉积岩的特点,我们采用全岩铅-铅法来测定常州沟组和串岭沟组的等时年龄,测定对象为页岩。铅的分离采用国产多孔型强碱性阴离子树脂一次交换和打萨宗—氯仿溶液两次萃取相结合的分离流程。鉴于样品中含有一定量的铋和铊,干扰铅的测定,故流程中加入了除铋、除铊这一必不可少的环节。样品的制备是在把过滤后的空气送入四周密闭的高纯实验室内进行的,所用器皿是石英的或聚四氟乙烯的,所用化学试剂全是高纯的或再提纯的。分离的铅最后转成硝酸铅的形式,送改革后的ZHT—1301质谱计进行测定。改革后的质谱计离子流通率明显提高,分辨本领由300提高到360,离子流峰形平整。由于绝对灵敏度的提高,在不加电子倍增器的情况下,即使样品量很少(2—5微克),也能获得较强的离子流,噪声明显降低,分析精度可达 $\leq 5 \times 10^{-3}$ 量级。

用改革后的质谱计对NBS—200标准铅进行分析,与国外六个分析者的测定结果比较,其相对偏差仅千分之二(表10)。

所有数据都对质量歧视影响作了校正,使数据标准化。质谱分析采用单带源,硅胶—硼发射剂和窄带,记录峰谱线性良好。

计算年龄是根据质谱分析所得的铅同位素丰度及其比值,用最小二乘法处理并计算误

差,求得等时线的截距、斜率和样品点的相关系数,从而算出等时年龄。

串岭沟组的样品全部采自蓟县串岭沟组出露的标准地点,从层位上看,集中于岩组的第二段。所有样品均为含砂较少的黑色页岩,经测定,得等时线的截距 $a=13.754658$,斜率 $b=0.10749972$,等时年龄值及其误差为 $t=1757_{-117}^{+109}$ (σ) 百万年,相关系数 $r=0.994342$,说明线性关系良好,所得数据是可信的。测定结果见表11及图3。

表 10 NBS—200标准铅测定结果对比表

Table 10 Correlation of measurement of standard lead NBS-200

测 定 者	Pb ²⁰⁴ (%)	Pb ²⁰⁶ (%)	Pb ²⁰⁷ (%)	Pb ²⁰⁸ (%)
国外六个分析者 测定平均值	1.536±0.005	22.541±0.061	22.636±0.045	53.287±0.067
林 源 贤	1.539±0.004	22.552±0.071	22.660±0.061	53.247±0.114

表 11 串岭沟组页岩铅同位素测定结果

Table 11 Isotopic constitution of lead of shale in Chuanlinggou Formation

编 号	样品号	采样地点	样品名称	铅同位素丰度(%)				Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴
				Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸		
P 81314-4	Ch-1	蓟县道古峪	黑色页岩	1.409	23.720	21.930	54.096	16.835	15.564
P 81314-2	Ch-2	蓟县串岭沟	黑色页岩	1.851	24.323	21.194	53.132	18.004	15.688
P 81314-7	Ch-3	蓟县青山岭 —刘庄	黑色页岩	1.285	25.388	20.387	52.941	19.757	15.865
P 81314-6	Ch-4	蓟县青山岭 —刘庄	黑色页岩	1.315	26.224	20.945	51.493	19.942	15.928
P 81314-5	Ch-5	蓟县青山岭 —车道峪	黑色页岩	1.272	26.102	20.284	53.343	20.520	15.947

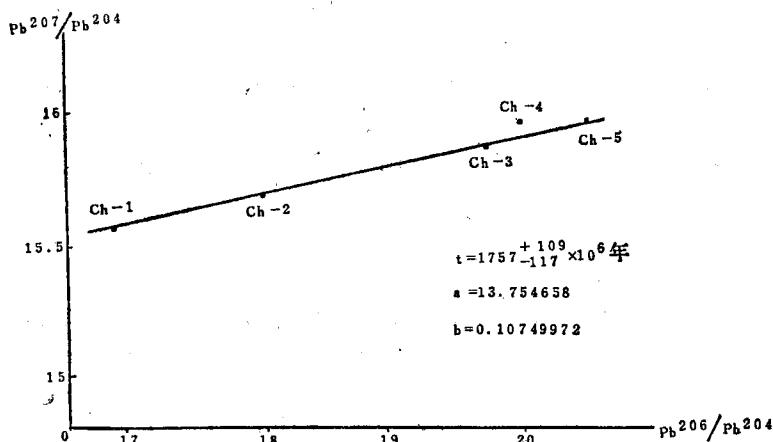


图 3 串岭沟组 Pb^{206}/Pb^{204} — Pb^{207}/Pb^{204} 等时线图

Fig.3 Pb^{206}/Pb^{204} — Pb^{207}/Pb^{204} isochron for chuanlinggou Formation

常州沟组在蓟县出露的主要是石英岩状砂岩、石英砂岩及含砂量很高的页岩凸镜层。因此不可能把样品集中在其标准地点采集,只是在常州沟沟口才找到一层含砂量很少的灰色、灰绿色凸镜层状的页岩。其他样品都在与蓟县相邻的以外地区采集的。由于各样品点相距较远,且采样点的常州沟组的厚度又相差较大,很难把样品控制在一个较小的岩性段内,故只能把整个组视为一个采样单元。样品经测定,得等时线的截距 $a=13.07183$,斜率 $b=0.113011$,等时年龄值及其误差 $t=1848^{+57}_{-58}$ (σ) 百万年,相关系数为 $r=0.998434$,说明线性关系也是良好的。测定结果见表12及图4。

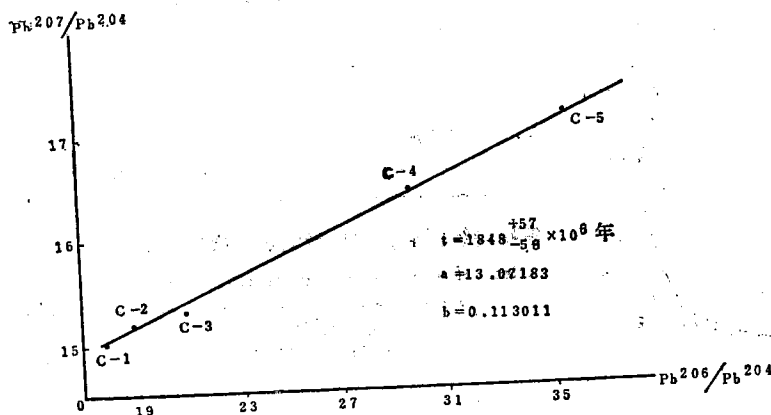


图4 常州沟组 Pb^{206}/Pb^{204} — Pb^{207}/Pb^{204} 等时线图

Fig.4 Pb^{206}/Pb^{204} — Pb^{207}/Pb^{204} isochron for changzhongou Formation

表 12 常州沟组页岩铅同位素测定结果

Table 12 Isotopic constitution of lead of shale in Changzhongou Formation

编号	样品号	采样地点	样名称称	同位素丰度 (%)				Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}
				Pb^{204}	Pb^{206}	Pb^{207}	Pb^{208}		
同2	c-1	迁安杏山	灰色、灰绿色粉砂质页岩	1.373	24.567	20.763	53.297	17.893	15.122
同11	c-2	迁安杏山	黑色粉砂质页岩	1.307	24.384	19.891	54.419	18.656	15.219
同14	c-3	兴隆火道沟	黑色页岩	1.321	27.447	20.260	50.972	20.777	15.337
82001	c-4	蓟县常州沟	灰色、灰绿色粉砂质页岩	1.007	29.440	16.502	53.051	29.253	16.385
同1	c-5	宣化庞家堡	黑色页岩	0.892	31.553	15.230	52.325	35.373	17.074

四、关于年表时限的讨论

据上述各种数据建立起燕山地区晚前寒武纪的地质年表(表13)。下面分别对年表中各

组的界限作一说明。

1. 井儿峪组 顶界不清。上覆地层为下寒武统府君山组, 两者呈不整合接触。

由于府君山组的年龄到目前还没有报道过, 我们曾采集了该组的白云质灰岩和黑色页岩进行铅-铅法和钾-氩法测定, 但结果都不理想。我们还对其底部页岩进行粘土提纯用钾-氩法测定, 却发现样品混有老于府君山组的矿物。为了进行对比, 我们甚至还测定了河南临汝辛集组的海绿石和安徽宿县金山寨寒武系馒头组底部海绿石的年龄。总之, 因为府君山组与井儿峪组之间有地层缺失, 无法直接取样定年。根据样品同7 (小于0.4微米), 采自凌源老庄户井儿峪组的绿色页岩, 距不整合面约100米, 年龄值为855百万年, 推断顶界年龄小于或等于800百万年。因为从铁岭组顶界年龄1000百万年出发, 考虑到下马岭组和铁岭组之间有个间断, 假定下马岭组从1000百万年开始沉积, 则从该组底部到井儿峪组绿色页岩的时间间隔为145百万年, 沉积厚度为250米。按此估计, 从井儿峪组绿色页岩到该组顶部的厚度约100米, 所需时间为40—50百万年, 因此推断井儿峪组顶界时限等于或小于800百万年是合理的。

2. 下马岭组 与上覆地层井儿峪组为整合过渡关系。样品同16 (小于0.4微米) 采自怀来赵家山, 其年龄值为956百万年, 距顶界约300余米, 推断顶界年龄为900百万年。距底界约200余米, 推断底界年龄为1000百万年。

3. 铁岭组 与上覆地层下马岭组之间有一明显间断。其顶部叠层石灰岩中的海绿石样品78RA—9—6, 采自蓟县铁岭村紧靠间断面处, 其年龄值为1046百万年。这个值和推断的下马岭组底界年龄值之间约差50百万年。出现这样的时差原因有二, 一是铁岭组实际顶界的年龄要比1050百万年小, 因为有明显的剥蚀痕迹, 但究竟小多少, 很难估计; 另一个原因是这两个组之间有一间断时间。在年表上, 我们把这个时间差置于间断时间一栏中, 以强调这个运动是不能忽视的。

铁岭组下部的海绿石页岩样品, 采自蓟县桃园村, 距底界不足100米, 测定其年龄值为1161百万年。

4. 洪水庄组 与上覆铁岭组为整合接触。洪水庄组顶部样品Z81030 (小于0.4微米) 采自蓟县老虎顶, 伊利石的年龄值为1191百万年, 结合铁岭组下部海绿石页岩的年龄, 推断顶界时限为1180百万年。洪水庄组底部样品Z81028 (1—0.4微米) 采自蓟县洪水庄, 其年龄值为1221百万年。此样品的最小粒级 (小于0.4微米) 测定没有成功, 据一般规律, 其最小粒级的年龄值应小于1221百万年, 故推断其底界时限为1220百万年左右。

5. 雾迷山组 与上覆洪水庄组为连续过渡接触。雾迷山组顶部叠层石灰岩中有海绿石产出, 但由于数量少, 分选困难, 未能获得结果, 故本组无年龄数据, 现有底界年龄为1400百万年, 系推断值, 在图上以虚线示之。

6. 杨庄组 与上覆雾迷山组呈整合接触。本组亦无实测数据。参考上下地层的年龄和本组的厚度, 推断底界年龄为1500百万年, 图上以虚线示之。

7. 高于庄组 与上覆杨庄组呈整合接触。本组下部有大量方铅矿的模式年龄^①。最大年龄值为1534百万年, 最小年龄值为1201百万年, 相差达300多百万年。由于最大年龄值

① 黄学光, 1983年资料。