

文章编号: 1004—5589 (2016) 04—1027—07

辽宁兴城地区长城系团山子组与大红峪组不整合接触特征及其对兴城运动的意义

张丛, 郭巍, 于松, 刘孟骥, 张庆飞

吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

摘要: 通过野外地质调查, 确定了辽宁兴城地区长城系大红峪组与下伏团山子组为角度不整合接触。夹山地区团山子组三段叠层石白云岩顶部发育有古喀斯特地貌, 大红峪组下部有底砾岩。接触面可见大红峪组砾岩沿溶洞、解理缝或构造裂隙灌入团山子组白云岩中。地球化学分析结果表明, 团山子组为氧化沉积环境, 气候温暖湿润。而大红峪组为贫氧—氧化沉积环境, 气候与团山子组比较变得炎热干燥。由此表明, 兴城运动的存在具有合理性, 并且对于兴城地区具有较大的影响作用。

关键词: 辽宁省; 兴城运动; 长城系; 团山子组; 白云岩; 不整合

中图分类号: P542 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1004-5589.2016.04.012

Unconformity between Tuanshanzi and Dahongyu formations of Changcheng Group in Xingcheng, Liaoning Province and its significance for Xingcheng Movement

ZHANG Cong, GUO Wei, YU Song, LIU Meng-qi, ZHANG Qing-fei

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: Through field geological investigation, it is determined that the unconformity contact between Tuanshanzi and Dahongyu formations of Changcheng Group in Xingcheng, Liaoning Province. In Jiashan, the top of stromatolite dolostone in the 3rd Member of Tuanshanzi Formation develops the ancient karst landform while there are basal conglomerates in the bottom of Dahongyu Formation. On the contact surface, we can see the conglomerates of Dahongyu Formation are filling in the dolomite of Tuanshanzi Formation along the Karst cave, cleavage crack or structural fractures. The geochemical analysis results show that the sedimentation environment of Tuanshanzi Formation is oxidizing and the paleo climate is warm and wet. But the sedimentary environment of Dahongyu Formation is lean oxygen to oxidation, the paleo climate is hot and dry. The results above can prove that it is reasonable for the existence of Xingcheng movement which has a great influence on Xingcheng area.

Key words: Liaoning Province; Xingcheng movement; Changcheng Group; Tuanshanzi Formation; dolomite; unconformity

0 引言

对于中元古界层序内部的不整合面, 已有学者

进行研究和论述, 但对其解释存在不同的观点^[1]。常绍泉等首先在兴城小盖州村西磨盘山中元古界剖面中部发现一层砾岩, 认为这套砾岩指示大红峪组

收稿日期: 2015-11-27; 改回日期: 2016-09-08

基金项目: 国家重大油气专项 (ZP-Y-01)。

通讯作者: 郭巍 (1960—), 男, 教授, 博士, 主要从事沉积学与石油地质研究。E-mail: guoweijldx@163.com

沉积之前发生过一次构造运动，并据此命名了“兴城运动”。然而，陈晋镛等^[2]则认为大红峪组下部的不整合面是沉积盆地扩大而引起的海侵超覆沉积现象，不代表通常含义上的构造运动。刘波等^[3]对“兴城运动”的构造意义也持否定态度。据此，笔者于2014年对兴城夹山和首山两地进行野外调查，并结合地球化学分析测试，详细研究兴城地区团山子组与大红峪组地层接触关系，并讨论兴城运动的存在以及作用强度。

1 区域地质背景

研究区位于辽宁省西部兴城市（图1），大地构造位置位于华北地台（华北板块）北部的燕山褶皱带东段，东南为华北断坳（新生代渤海湾盆地），北邻内蒙地轴^[4]。兴城地区地层发育较为齐全，太古宙形成早期大陆型地壳，之后岩浆侵入并发生区域变质作用，直到古元古代末期发生吕梁运动，形成统一的华北板块。在太古宙基底之上，发

育3套盖层，第一套为中、新元古代陆内裂陷槽沉积盖层；第二套盖层为下古生界典型的稳定浅海碳酸盐岩建造；第三套沉积盖层为上古生界上石炭统、二叠系和下三叠统，由晚石炭世海、陆交互沉积到早二叠世的近海平原沼泽相含煤沉积，再到中、晚二叠世和早三叠世的干旱炎热气候下的大陆河流—荒漠相沉积。其中，中元古界长城系从常州沟组到大红峪组的沉积一直受到以断裂为边界的地堑的控制^[5]，在太古宙片麻状花岗岩之上，由下到上依次发育常州沟组、串岭沟组、团山子组和大红峪组。其中常州沟组—团山子组为整合接触，而团山子组与上覆大红峪组呈不整合接触。

2 岩性特征及沉积环境

2.1 团山子组岩性特征及沉积环境

团山子组岩性为碎屑岩—碳酸盐岩组合。依据其岩性由下到上可进一步划分为三段：第一段为浅粉色薄层含磁铁矿钙质粉砂岩和紫灰色薄层钙质砂

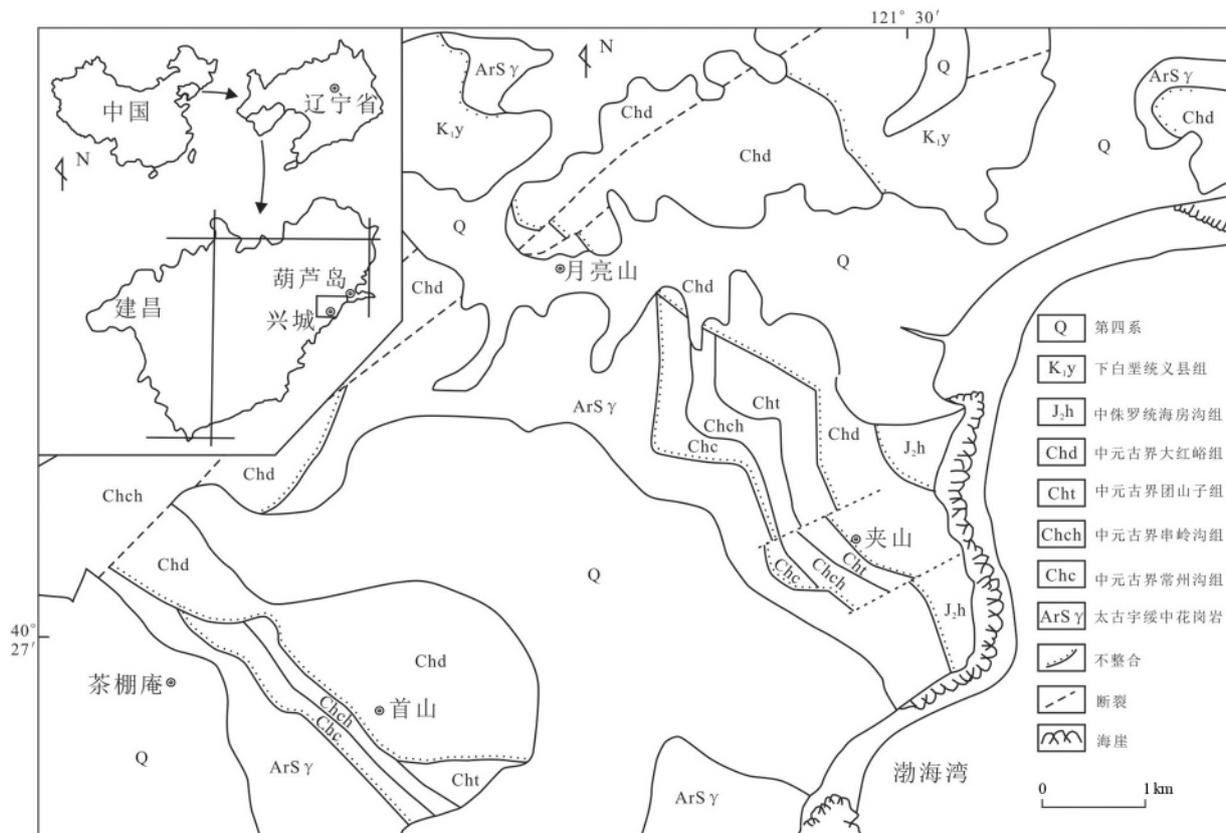


图1 兴城地质简图
Fig.1 Geological map of Xingcheng area

岩; 第二段为浅玫瑰色、灰白色中厚层石英砂岩、长石英砂岩; 第三段为含叠层石白云岩。团山子组为正常的浅海—潮坪相沉积, 而顶部叠层石白云岩沉积环境为海相清水环境的潮坪沉积。

2.2 大红峪组岩性特征及沉积环境

大红峪组岩性也可进一步划分为3个岩性段: 一段底部发育一套灰白色厚层石英砂岩质砾岩, 向上为灰白色石英砂岩和长石英砂岩, 夹薄层灰白色粉细砂岩及凝灰岩; 二段为灰黑色粉砂质页岩夹灰白色长石英砂岩及凝灰质粉砂岩; 三段为灰白色粉砂岩、页岩夹黄褐色岩屑长石英砂岩。大红峪组总体为滨浅海相沉积, 最底部的复成分砾岩在局部地区以撕裂的碎屑、巨砾出现、极差的分选性、再次沉积的下伏地层和侵蚀的基底为特征, 故有学者把该层砾岩定名为海啸岩^[6]。这表明团山子组与大红峪组沉积环境完全不同, 也表明大红峪

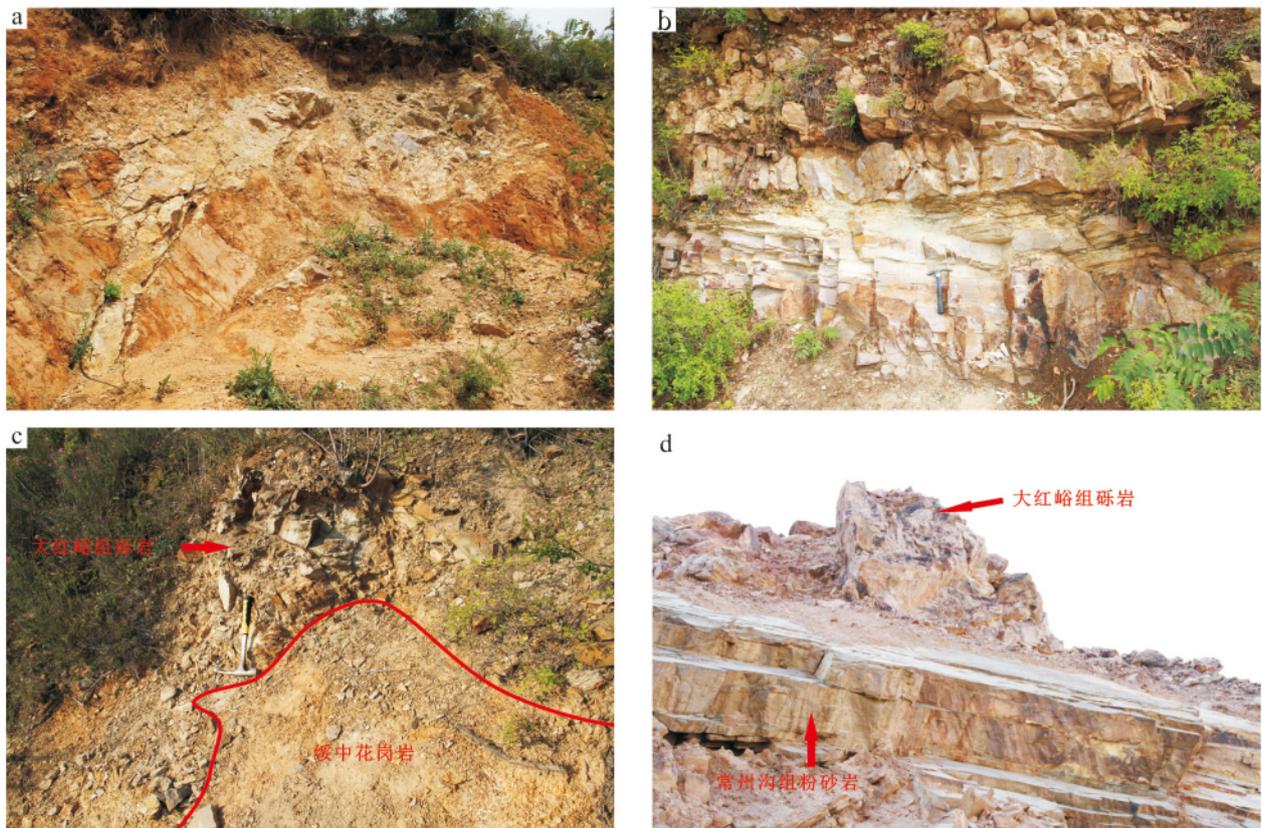
组初期发生过一次海侵事件。

3 接触界面特征

3.1 大红峪组与下伏地层接触特征

夹山地区测得团山子组岩石地层产状为 $46^{\circ} \angle 60^{\circ}$, 大红峪组岩石地层产状为 $12^{\circ} \angle 59^{\circ}$ 。首山地区测得团山子组岩石地层产状为 $44^{\circ} \angle 32^{\circ}$, 大红峪组岩石地层产状为 $332^{\circ} \angle 10^{\circ}$ 。由此表明, 团山子组与大红峪组两组地层的产状有明显差异。

野外观察到大红峪组砾岩在最近的几个地区分别与下伏不同时代的地层接触(图2)。夹山地区大红峪组砾岩覆盖在团山子组三段叠层石白云岩之上; 在首山地区大红峪组砾岩覆盖在团山子组二段石英砂岩之上, 缺失团山子组三段叠层石白云岩, 上下两套岩层接触界限凹凸不平, 呈小角度相交; 在茶棚庵采石场及附近, 大红峪组砾岩分别覆盖在



a. 大红峪组砾岩与团三段叠层石白云岩接触关系; b. 大红峪组砾岩与团二段粉砂岩接触关系; c. 大红峪组砾岩与绥中花岗岩接触关系; d. 大红峪组砾岩与常州沟组粉砂岩接触关系

图2 大红峪组与不同下伏地层的接触关系

Fig. 2 Contact relationships of Dahongyu Formation with different underlying formations

长城系常州沟组三段灰白色粉砂岩和绥中花岗岩之上;这说明大红峪组是超覆不整合沉积,且沉积范围很大,至少应大于常州沟组沉积范围。

3.2 团山子组上部的古喀斯特地貌

在夹山地区团山子组三段叠层石白云岩中可见多处大红峪组砾岩灌入团山子组叠层石白云岩中的现象。其因为在团山子组三段叠层石白云岩沉积后,由于兴城运动发生,海平面下降,岩层出露地表,经长时间风化剥蚀,发育喀斯特地貌,碳酸盐岩中溶孔、溶洞发育。至大红峪组沉积时期,大红峪组砾岩沉积过程中沿着岩溶裂隙灌入团山子组岩层中,并伴有一些局部小型的滑塌沉积,以至于局部可见大红峪组砾岩中包裹团山子组叠层石白云岩现象。

3.3 大红峪组下部的砾岩特征

在夹山、首山以及采石场等地均见大红峪组底部发育一套石英砂岩质砾岩。最底部为复成分砾岩,砾石成分复杂,有常州沟组灰黑色粉砂质泥岩

砾石,串岭沟组灰黑色有层理的粉砂岩砾石、页岩砾石,团山子组紫红色砂岩砾石、砂质白云岩砾石,石英砂岩以及泥砾,说明该岩石形成于一种扰乱状态下。

4 地球化学特征

4.1 稀土元素特征

选取串岭沟组、团山子组以及大红峪组15块泥岩样品进行地球化学分析,稀土元素和微量元素在吉林大学测试科学实验中心完成(表1、2),应用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析方法(Q/JUTC010-2007),分析误差<5%。

三组地层样品的稀土元素分配曲线大致趋势一致,整体表现为左高右低的右倾斜型模式(图3)。表明轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损,且重稀土元素含量稳定。串岭沟组、团山子组以及大红峪组泥岩稀土元素总量平均值分别为 87.43×10^{-6} 、 350.67×10^{-6} 、 170.08×10^{-6} ;

表1 稀土元素含量表

Table 1 REE elements composition

序号	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	CHCH-1	93.19	46.36	25.14	16.47	9.13	9.90	10.52	8.20	7.19	6.66	7.33	7.06	7.46	8.48
2	CHCH-2	52.16	35.38	21.80	16.75	13.12	14.98	20.34	20.20	18.99	17.41	17.15	15.49	15.22	14.58
3	CHCH-3	22.65	17.26	11.02	9.13	6.26	6.40	5.98	5.54	5.12	4.94	5.19	5.35	5.76	5.89
4	CHCH-5	75.39	42.65	24.02	16.27	9.45	10.67	13.19	11.58	9.91	10.11	10.34	9.21	9.05	10.16
5	BSS001	108.97	76.14	53.17	37.03	22.09	14.19	14.72	11.96	9.36	9.14	9.30	8.63	8.45	8.39
6	GJSD-C-02	144.81	117.29	87.05	65.30	35.56	15.14	20.58	16.03	13.68	12.93	13.04	13.25	13.78	14.18
7	GJSD-4-01	275.81	233.91	189.92	146.82	88.77	21.81	58.03	45.34	39.94	37.44	39.35	37.96	38.01	36.40
8	GJSD-4-02	292.90	211.76	147.21	106.25	59.54	29.99	35.66	22.97	15.96	14.08	13.95	13.94	13.57	13.62
9	DHY-1	90.71	80.47	62.48	51.02	30.97	18.99	22.13	18.04	15.80	14.69	15.15	13.81	14.80	14.04
10	DHY-2	121.68	99.46	72.05	56.63	39.03	27.73	35.18	21.39	13.94	11.12	10.59	9.87	10.37	9.11
11	DHY-3	102.39	86.40	66.07	52.93	32.09	20.50	24.69	18.36	14.89	13.47	13.36	12.52	12.85	11.99
12	DHY-4	135.10	109.38	81.17	61.58	33.49	22.08	26.63	20.14	16.40	14.87	14.46	13.25	13.45	13.02
13	DHY-5	64.13	56.75	43.05	34.08	18.79	11.16	12.08	9.22	8.26	7.72	7.85	7.74	7.70	7.32
14	DHY-6	147.39	116.79	90.00	70.85	43.75	26.23	27.81	19.14	15.35	13.06	13.12	12.47	12.63	12.15
15	GJSD-D-02	95.00	73.42	54.71	38.68	20.45	14.68	13.58	11.29	9.42	8.89	8.76	8.95	8.65	8.81

表2 稀土元素分析表

Table 2 REE element analysis table

地层	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	LREE/HREE	La/Sm	Gd/Yb	Dy/Sm	Ce/Ce*	Eu/Eu*
Chch	87.43	74.99	12.44	6.47	6.14	1.40	0.91	1.02	0.94
Chc	350.67	319.87	30.80	11.45	4.03	1.88	0.37	1.03	0.50
Chd	170.08	152.48	17.60	8.78	3.53	2.02	0.44	1.05	0.76

Σ LREE/ Σ HERR 平均值分别为 6.47、11.45、8.78, 均较高; La/Sm = 3.53 ~ 6.41, Gd/Yb = 1.40 ~ 2.02; 从串岭沟组到大红峪组, 轻稀土元素分异逐渐变小、重稀土元素分异逐渐变大。 δ Ce 值

在 0.96 ~ 1.09 之间, Ce 无明显异常; 串岭沟组 δ Eu 平均值为 0.94, 无明显异常, 团山子组和大红峪组 δ Eu 平均值为 0.50、0.76, Eu 为负异常 (表 2)。

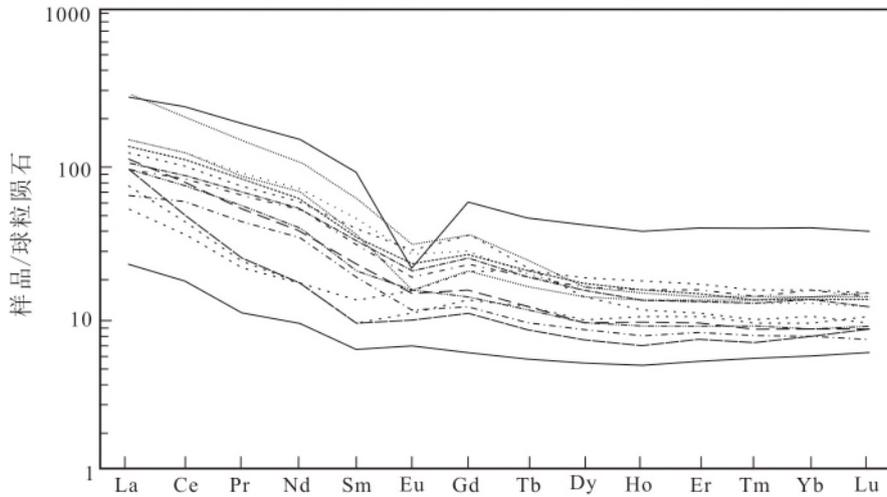


图3 不同地层稀土元素分配曲线

Fig. 3 REE distribution curves of different formations

4.2 微量元素特征

在沉积过程中, 沉积物与介质之间存在着复杂的地球化学平衡, 这种交换或吸附作用除与元素本身的性质有关外, 还受到环境的物理化学条件影

响, 在不同环境中, 元素的分散与聚集的规律也不相同^[7]。因此, 对沉积岩中的元素及其比值进行研究, 可以反应沉积时期的古环境^[8]。

表3 不同地层微量元素含量表

Table 3 Trace elements composition of different formations

序号	样品号	Sc	Cr	Cu	Zn	Sr	Zr	Hf	Th	Tl	U
1	CHCH-1	24.70	50.21	4.37	67.76	34.45	237.90	6.42	2.10	2.89	1.80
2	CHCH-2	25.84	46.39	4.27	115.70	52.70	208.80	5.73	2.13	3.17	6.54
3	CHCH-3	24.45	53.82	3.60	100.20	55.04	208.20	5.54	3.02	3.08	5.75
4	CHCH-5	28.77	52.62	3.32	79.67	53.80	254.50	6.89	4.14	3.13	3.15
5	BSS001	8.26	41.75	22.17	28.22	155.50	152.60	5.07	12.44	0.83	2.30
6	GJSD-C-02	8.83	16.76	42.49	69.54	118.30	188.30	6.95	31.93	1.12	3.96
7	GJSD-t-01	3.22	14.16	959.50	26.74	27.49	393.50	13.38	33.46	0.76	3.12
8	GJSD-t-02	6.19	159.00	8.54	36.62	38.07	154.20	5.50	33.04	0.94	1.74
9	DHY-1	21.22	74.91	26.40	29.14	46.37	217.40	5.94	5.50	1.11	4.29
10	DHY-2	36.57	63.32	20.71	16.63	42.92	132.60	3.72	3.08	1.20	3.58
11	DHY-3	26.88	68.74	28.89	21.33	42.26	165.00	4.56	3.85	1.11	3.73
12	DHY-4	28.28	57.54	39.37	20.54	34.48	242.10	6.38	3.99	1.04	3.03
13	DHY-5	27.87	76.29	17.00	22.94	61.90	153.30	4.10	11.87	1.25	4.03
14	DHY-6	34.21	66.17	40.19	18.87	73.31	141.00	3.86	5.39	1.03	3.34
15	GJSX-D-02	5.52	34.18	37.50	16.36	47.46	217.50	6.58	10.31	0.76	2.05

表4 不同地层微量元素分析结果表

Table 4 Trace element analysis table of different formations

地层	U/Th	Cu/Zn	Sr/cu	ΣREE
Chch	0.18 ~ 3.08	0.04 ~ 0.79	7.01 ~ 16.19	35.95 ~ 141.67
	1.36	0.19	11.75	87.43
Cht	0.05 ~ 0.12	0.23 ~ 35.88	0.03 ~ 4.46	215.44 ~ 456.01
	0.09	12.24	2.42	350.67
Chd	0.20 ~ 1.16	0.74 ~ 2.29	0.88 ~ 3.64	135.67 ~ 224.19
	0.69	1.51	1.84	170.08

4.2.1 古氧化还原条件特征

沉积岩的微量元素和稀土元素分布特征在一定程度上可以反映古水质的氧化-还原条件^[9]。Cu、Zn系铜族元素,在沉积作用过程中,可因介质的氧逸度不同而产生分离,形成随介质氧逸度的降低由Cu向Zn过渡的沉积分带,及Cu/Zn比值随介质氧逸度的升降而变化^[10]。Cu/Zn < 0.21 指示缺氧还原环境, Cu/Zn 比值在 0.21 ~ 0.63 之间指示贫氧的环境, Cu/Zn > 0.63 指示氧化环境。另外, Jones 等通过对西北欧晚侏罗世沉积古岩相地球化学研究后认为, U/Th 比值对富氧与贫氧相界线的判别效果较好, U/Th > 1.25 指示厌氧环境, U/Th 比值介于 0.75 ~ 1.25 指示贫氧环境, U/Th < 0.75 指示富氧环境。通过 U/Th、Cu/Zn 比值综合判别研究区氧化还原条件, 总结出串岭沟组为缺氧还原的沉积环境, 团山子组为氧化环境, 大红峪组为贫氧-氧化的沉积环境。

4.2.2 古气候条件特征

莱辑曼认为湖盆中微量元素 Sr/Cu 的比值可以指示古气候, 即 Sr/Cu 的比值为 1.3 ~ 5.0 时指示温暖潮湿的气候, > 5.0 指示干旱炎热的气候^[11]。对研究区 15 个泥岩样进行分析, 其 Sr/Cu 变化明显, 串岭沟组 Sr/Cu 比值介于 7.01 ~ 16.19 之间, 指示其沉积时期为干旱炎热的气候。团山子组 Sr/Cu 比值介于 0.03 ~ 4.46 之间, 大红峪组 Sr/Cu 比值介于 0.88 ~ 3.64 之间, 指示其沉积时期为温暖潮湿的气候。

另外, 稀土元素 ΣREE 含量与有机质以及黏土碎屑等物质有关, 且有机碳质量分数的高值段指示温暖的气候环境, 低值段指示干燥或干冷的气候环境^[12]。故在暖湿的气候环境下, ΣREE 较高; 相反, 在干旱的气候环境下, ΣREE 较低^[13]。而

从 REE 总量的分析来看, 串岭沟组 ΣREE 介于 35.95 ~ 141.67 之间, 团山子组 ΣREE 介于 215.44 ~ 456.01 之间, 大红峪组 ΣREE 介于 135.67 ~ 224.19 之间。反映出从串岭沟组-大红峪组, 古气候经历了由干旱炎热-温暖湿润, 再变热的过程。综合来看, 串岭沟组时期为炎热干旱气候, 到团山子组气候变成温暖湿润, 大红峪组时期古气候较团山子组时期变热, 变干旱, 但仍然属于温暖湿润的气候条件。

5 兴城运动的意义

辽宁兴城地区大红峪组一段石英砂岩以及有些地区发育的底砾岩在较小的区域内与下伏不同时代地层接触, 上下地层产状不同, 接触界面界线凹凸不平。团山子组三段叠层石白云岩顶部发育古喀斯特地形, 大红峪组砾岩沿溶洞、解理缝或构造裂缝灌入团山子组顶部白云岩中, 两套地层岩性以及沉积环境均有突变, 这说明兴城运动确实存在且由于构造运动使得已经沉积的地层抬升, 出露于地表, 遭受风化剥蚀作用。从地球化学角度考虑, 团山子组为氧化沉积环境, 气候温暖湿润。而大红峪组为贫氧-氧化沉积环境, 气候与团山子组比较变得炎热干燥。由此表明, 兴城运动是存在的, 且在兴城地区产生了强烈的影响。

6 结论

(1) 辽宁兴城地区大红峪组与团山子组为角度不整合接触。团山子组顶部有古喀斯特地貌, 大红峪组下部有底砾岩且在小范围内分别与下伏不同时代的地层接触。接触面见大红峪组砾岩沿溶洞、解理缝或构造裂缝灌入团山子组白云岩中。说明兴城运动在兴城地区影响强烈、使地层发生普遍的构

造抬升、出露于地表遭受风化剥蚀。

(2) 稀土元素分配曲线为左高右低型, 即轻稀土元素富集, 重稀土元素稳定。无明显 Ce 异常; 串岭沟组无明显 Eu 异常, 团山子组和大红峪组 Eu 为负异常。

(3) 微量元素结果表明串岭沟组沉积环境为缺氧还原, 气候炎热干旱; 团山子组为氧化环境, 气候温暖湿润; 大红峪组为贫氧-氧化沉积环境, 气候温暖湿润, 但较团山子组时期变热, 变干旱。

参考文献:

- [1] 曲永强, 孟庆任, 马收先, 等. 华北地块北缘中元古界几个重要不整合面的地质特征及构造意义 [J]. 地质前缘, 2010, 17 (4): 112-127.
QU Yong-qiang, MENG Qing-ren, MA Shou-xian, et al. Geological characteristics of unconformities in Mesoproterozoic successions in the northern margin of North China Block and their tectonic implications [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17 (4): 112-127.
- [2] CHEN Jin-biao, ZHANG Hui-min, ZHU Shi-xing, et al. Jixian Sinian sub-group research [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1980: 55-109.
- [3] 刘波, 孙敬书. 辽宁兴城小盖州地区元古宙火山岩及扇-三角洲沉积 [J]. 辽宁地质, 1994 (1): 21-29.
LIU Bo, SUN Jing-shu. Proterozoic volcanics and fan delta deposit of Xiaogaizhou Area in Xingcheng, Liaoning Province [J]. Liaoning Geology, 1994 (1): 21-29.
- [4] 周晓萍, 郑常青, 徐学纯, 等. 辽宁兴城新立屯地区岩浆杂岩岩石学特征、侵位顺序及地质意义 [J]. 世界地质, 2015, 34 (3): 571-589.
ZHOU Xiao-ping, ZHENG Chang-qing, XU Xue-chun, et al. Petrology, emplacement sequence and geological significance of magmatic complex in Xinlitan of Xingcheng, Liaoning [J]. Global Geology, 2015, 34 (3): 571-589.
- [5] 孙大中, 陆松年. 华北地台的元古宙构造演化 [J]. 中国地质科学院院报, 1987: 55-69.
SUN Da-zhong, LU Song-nian. Proterozoic tectonic evolution of the North China Platform [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1987: 55-69.
- [6] 王旖旎. 辽宁兴城地区中元古界大红峪组古海啸事件及沉积环境: 博士学位论文 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.
WANG Yi-ni. The ancient tsunami event and sedimentary environment of the Mesoproterozoic Dahongyu Formation in the Xingcheng area, Liaoning: doctor's degree thesis [D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [7] 邓平. 微量元素在油气勘探中的应用 [J]. 石油勘探与开发, 1993, 20 (1): 27-32.
DENG Ping. The application of trace amount of elements in the exploration of oil and gas [J]. Petroleum Exploration and Development, 1993, 20 (1): 27-32.
- [8] 于健, 郭巍, 王少华, 等. 饶河地区大岭桥组沉积环境恢复及其地质意义 [J]. 世界地质, 2015, 34 (1): 113-119.
YU Jian, GUO Wei, WANG Shao-hua, et al. Reconstruction of depositional environment of Dalingqiao Formation in Raohe area and its geological significance [J]. Global Geology, 2015, 34 (1): 113-119.
- [9] 程岳宏, 于兴河. 东濮凹陷北部古近系沙三段地球化学特征及地质意义 [J]. 中国地质, 2010, 37 (2): 357-366.
CHENG Yue-hong, YU Xing-he. The geochemical characteristics and geological significance of Paleogene sand three sections in the north of Dongpu sag [J]. Geology of China, 2010, 37 (2): 357-366.
- [10] 熊小辉, 肖加飞. 沉积环境的地球化学示踪 [J]. 地球与环境, 2011, 39 (3): 405-414.
XIONG Xiao-hui, XIAO Jia-fei. Geochemical indicators of sedimentary environments [J]. Earth and Environment, 2011, 39 (3): 405-414.
- [11] 莱辑曼 A. 湖泊的化学地质学和物理学 [M]. 王苏民译. 北京: 地质出版社, 1989: 197-200.
Learman A. Chemical geology and physics in the Lake [M]. WANG Su-min, translated. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 197-200.
- [12] 黄麒, 孟昭强. 干寒地区古气候变化特征之研究: I: 古气候波动模式的有机地球化学方法 [J]. 海洋与湖沼, 1991, 22 (6): 547-552.
HUANG Qi, MENG Zhao-qiang. Study on features of evolution of palaeoclimate in arid and cold region: I. organic geochemistry method for modeling palaeoclimatic fluctuation [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22 (6): 547-552.
- [13] 孟庆涛, 刘招君. 桦甸盆地始新统油页岩稀土元素地球化学特征及其地质意义 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43 (2): 390-399.
MENG Qing-tao, LIU Zhao-jun. Rare earth element geochemical characteristics and geological significance of oil shale of Eocene in Huadian Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science, 2013, 43 (2): 390-399.