

文章编号: 1000-0550(2013)05-0773-09

一类新型沉积岩: 地幔热液喷积岩^① ——以中国新疆三塘湖地区为例

柳益群¹ 周鼎武² 焦鑫¹ 南云¹ 杨晚³ 李红¹ 周小虎¹

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质学系 西安 710069; 2. 山东科技大学地质科学与地质工程学院 山东青岛 266510; 3. Department of Geological Sciences and Engineering, Missouri University of Science and Technology, Rolla, Missouri)

摘要 中国西部新疆三塘湖地区的二叠系芦草沟组是一套以内源碎屑为特征的新型沉积组合—地幔热液喷流沉积岩(简称喷积岩)。该套岩石呈毫米级纹层状,沉积厚度大,岩石类型多样,是地球深部岩浆-热液流体脉动式喷流沉积的累积物,表现出富含幔源热液矿物和岩浆微屑的特点。按物质来源、形成方式和结构构造可划分为:以岩浆喷发爆破的岩浆碎屑为特征的喷爆岩;以岩浆溢流显示岩浆矿物及结构构造为特征的喷溢岩;以热液喷流显示“黑、白烟囱”型矿物组合为特征的喷流岩;以岩浆矿物碎屑、热液喷流物质和湖水均匀混合沉积为特征的喷混岩以及与热液活动相关的嗜热嗜毒生物岩。该套岩石组合形成于陆内裂谷欠补偿深水湖盆中。

关键词 喷积岩 地幔热液 二叠系 三塘湖地区

第一作者简介 柳益群 女 1951年出生 博士 教授 沉积学、油气储层地质学 E-mail: Liu-yiqun@263.net

中图分类号 P588.21⁺1 **文献标识码** A

三塘湖地区位于中国新疆的阿尔泰山系和天山山系之间(东经92°00′~95°30′,北纬43°20′~45°00′),包括三塘湖盆地及其相邻的露头区(图1)。本区的下二叠统芦草沟组(P₁l时代的确定另文讨论)发育一套由深灰色沉凝灰岩(原称凝灰质泥岩)夹灰白色—白色白云岩、灰岩及其岩浆碎屑纹层而成的巨厚纹层状(0.5~3 mm)沉积岩系,目前研究已证实为一套典型

的来自地幔源的湖底热液喷流沉积岩—喷积岩。

1 区域地质背景

根据区域地质、地震、遥感资料和重、磁资料等综合分析,三塘湖地区经历了前晚石炭世基底形成的板块构造作用和晚石炭世以来盆地盖层沉积形成发展的板内构造作用两大重要时期^[1~3]。前晚石炭世

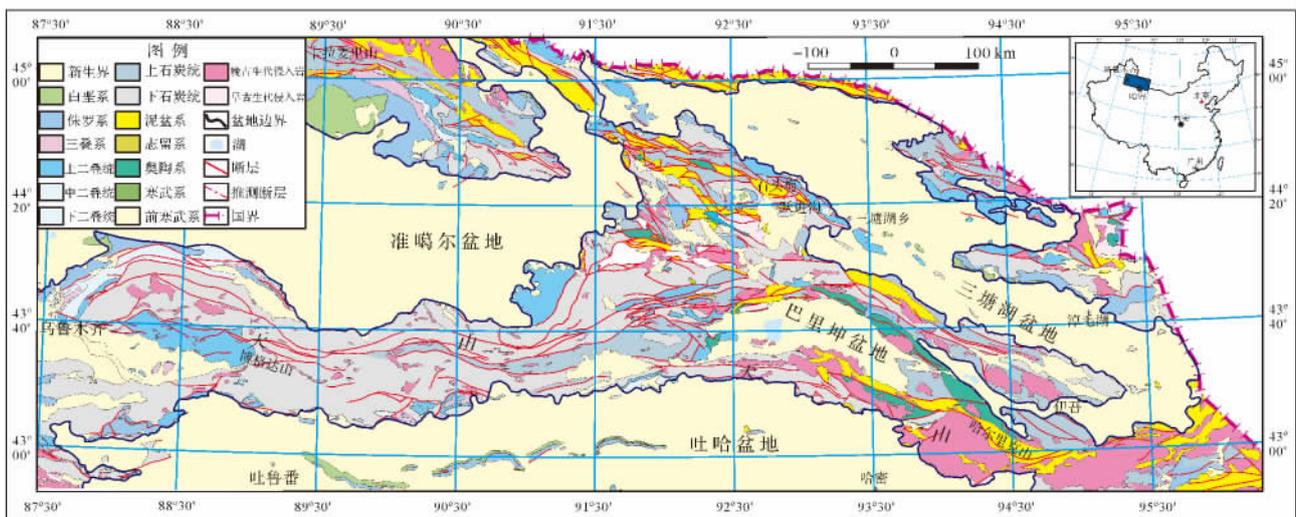


图1 新疆北部地区构造简图及三塘湖位置图

Fig. 1 A tectonic map of northern Xinjiang and reaseruch area

①国家自然科学基金(批准号:41272116)、教育部科技发展中心高等学校博导基金(批准号:20126101110020)、大陆动力学国家重点实验室(西北大学)重点基金(批准号:BJ08133-3)联合资助
收稿日期:2013-07-31

基底形成过程主要受古生代区域古亚洲洋域洋盆俯冲、陆块增生拼贴、板块碰撞造山过程的控制,并直接受控于古准噶尔洋沿克拉麦里俯冲消减带在泥盆纪的俯冲、西伯利亚板块与哈萨克斯坦板块在石炭纪的碰撞造山的构造作用。晚泥盆世—早石炭世,伴随准噶尔—克拉麦里洋盆闭合,三塘湖地区与准噶尔地区、博格达地区以及觉罗塔格地区形成统一大陆;晚石炭世,新疆北部地区进入板内裂谷演化阶段,以形成一系列受正断层控制的断陷—裂谷盆地为特征^[1,2,3],广泛发育海陆过渡相、陆相巨厚的基性、酸性火山岩及碳酸盐岩和局部山麓堆积相沉积;早、中二叠世为裂谷充填阶段,以发育内源碎屑的深水湖泊为特征;晚二叠世北疆地区进入盆地闭合阶段,发育一系列山前粗碎屑堆积,在三塘湖地区普遍缺失。

依据年代地层、古生物地层及岩石地层资料^[4]将三塘湖地区的上石炭统一二叠系自老到新分为上石炭统哈尔加乌组,以发育基性火山岩夹少量薄层深灰色凝灰岩为特征;乌拉泊组与井井子沟组,以发育中酸性火山岩和凝灰岩为特征;下二叠统芦苇沟组,发育厚度介于200~800 m的纹层状深灰色沉凝灰岩夹白云岩、灰岩,富含吐鲁番鳕鱼、介形虫等生物化石,在北疆地区完全可以对比^[5],是新疆北部地区重要的烃源岩层;中二叠统条湖组则以近2 000 m厚度的火山岩,特别是出现苦橄质玄武岩而区别于北疆地区广大地层(乌鲁木齐一带称红雁池组,博格达山一带称塔儿郎组)。三塘湖地表的二叠系仅在跃进沟—石头梅一带见及,在三塘湖盆地内,其乌拉泊组

和井井子沟组均缺失。

2 喷积岩的概念及由来

最先描述现代和古代热泉环境中的热液喷流沉积产物的学者 White 和 Lloyd 提出了喷流岩(exhalite)的概念,后经 R. H. Ridders 于 1973 年重新评述,其后被广泛使用^[6]。喷流岩又称热水沉积岩,是指由地球内部热水流体进入海/湖盆水体,经历热水沉积作用而形成的岩石^[7-12],显然该概念最突出的内涵就是热水沉积作用。现代热液喷流沉积既见于全球不同大洋^[13-15],也见于大陆裂谷盆地(如东非裂谷)^[16]和大陆(如美国黄石公园)^[17],直接表现为洋底、湖底的“黑、白烟囱”,但因现代洋底、湖底获取岩样的困难,该类沉积岩的研究鲜见报道,而地质历史时期的白烟囱型热液喷流岩在我国酒泉盆地的白垩系已得到确认^[18]。近年来,我们发现新疆三塘湖地区的二叠系芦苇沟组实际上是一套形成于陆内裂谷湖相欠补偿深水盆地中由岩浆喷爆、热液喷流与湖水混合而成的一类纹层状沉积岩^[19,20],由毫米级纹层组合而成,沉积厚度大,其岩石类型多样,具有特征的微角砾构造、漩涡状构造、同沉积变形构造等特征,是地球深部岩浆—热液流体脉动式喷流沉积的累积物,突出表现出富含幔源热液矿物和岩浆微屑的特点。该套岩石不仅区别于单纯由热水沉积作用或热液喷流作用形成的喷流岩,而且可建立较完整的成因岩石组合系列(图2),本文初步将其定名为地幔热液喷流沉积岩,简称喷积岩,泛指由深部(幔源、壳源)

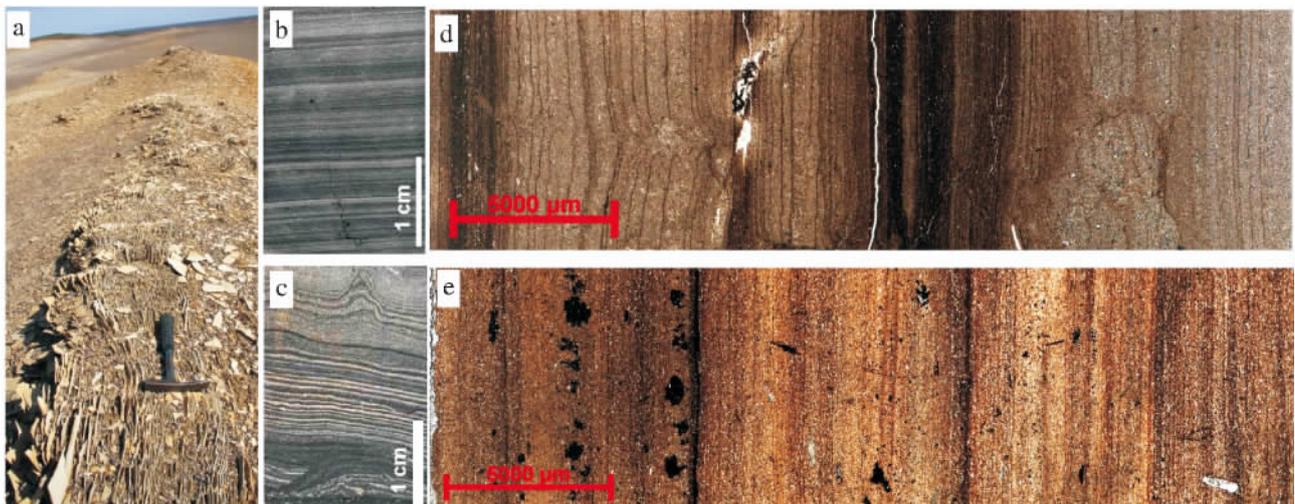


图2 三塘湖地区芦苇沟组的地幔热液喷积岩(纹层状白云岩、硅质岩和黄铁矿岩、碳质碱长石岩)

a. 地表跃进沟剖面,白色纹层岩出露较好,暗色岩系被覆盖;b. c. d. e 显示钻井岩心的纹层状喷积岩。黑色为黄铁矿纹层,深灰色为沉凝灰岩,灰白色和白色为白云岩或硅质岩。

Fig. 2 Mantle-originated hydroclastites and hydrothermal exhalites in the Lucaogou Formation in Santanghu area

岩浆、热物质流与海水或湖水混合后沉积而成的一类新型沉积岩。

3 三塘湖地区的喷积岩及其岩石组合类型

在野外实测剖面和 50 口钻井岩心大量观察研究基础上,通过偏光显微镜、反射光显微镜、薄片染色、电子探针、X 光衍射、扫描电镜、阴极发光等方法对芦苇沟组不同岩类进行了岩石学和矿物学研究,确定了芦苇沟组岩石、矿物组成的特征,分析了矿物成因。按物质来源、形成方式和结构构造可将三塘湖地区的喷积岩划分为:以岩浆喷发爆破的岩浆碎屑为特征的喷爆岩、以岩浆溢流和气化显示岩浆矿物及结构构造为特征的喷溢岩、以热液喷流显示“黑、白烟囱”型矿物组合为特征的喷流岩、以岩浆矿物碎屑、热液喷流物质和湖水均匀混合沉积为特征的喷混岩以及与热液活动相关的嗜热嗜毒生物岩等不同类型的纹层状沉积岩。

3.1 喷爆岩—辉岩(质)喷爆岩

喷爆岩是指深源岩浆上涌进入湖(洋)底喷流通道,在喷出水面时由于压力和温度的骤变所导致的岩浆矿物的爆炸和破碎,其形成的微粒晶质矿物碎屑被含热液流体的湖水(海水)所胶结而形成的纹层状微角砾沉积岩。爆破性喷发时可造成岩浆碎屑呈雾状、粉尘状进入湖水中并沉淀至湖(洋)底,这些喷爆物多呈不规则微角砾状,少数为较大角砾,保留了岩浆

岩的矿物类型和结构,从而反映出岩浆的性质。该类沉积岩出现在喷流口处(纹层不明显)和近喷流口处(具纹层构造)。

岩心观察可见某钻井中几层灰黄色层被夹于厚层的深灰色沉凝灰岩中,接触面平直。在偏光显微镜下可见灰黄色层由于粒度差异而显示出的纹层(图 3a),这些纹层厚度从 2 mm 到 15 mm 不等,在薄纹层中所含的粒状矿物大小介于 0.1~0.5 mm,在厚纹层中粒状矿物大小则介于 0.5~1 mm,少数为 2~3 mm,可作为砂屑和砾屑。粒状矿物也为土黄色,在偏光显微镜下和电子探针下,它们多呈圆形,边缘呈变化幅度较大的港湾状,似有熔蚀痕迹(图 3b,c),干涉色达二级但不鲜艳,电子探针显示透辉石的成分特征(图 3c,表 1)。在透辉石颗粒内部电子探针显示透辉石和硅灰石均匀分布似交生结构(图 3d)。在透辉石周边的基质中,电子探针检测出丰富的透辉石、正长石、钠长石、楣石、磷灰石等矿物(图 3e)。经全岩 X 光衍射分析,该层段的透辉石含量高达 70.6~75.5%,其原岩可能是超基性的侵入岩—透辉岩,喷爆后就地被湖水所胶结。X 光分析还表明透辉石颗粒还见于其他钻井中的纹层岩中,含量介于 7.9~15.5% 之间。

除辉岩喷爆岩外,在其它钻井中还见到方沸石响岩(质)喷爆岩、凝灰岩(质)喷爆岩、碳酸岩(质)喷爆岩等类型。

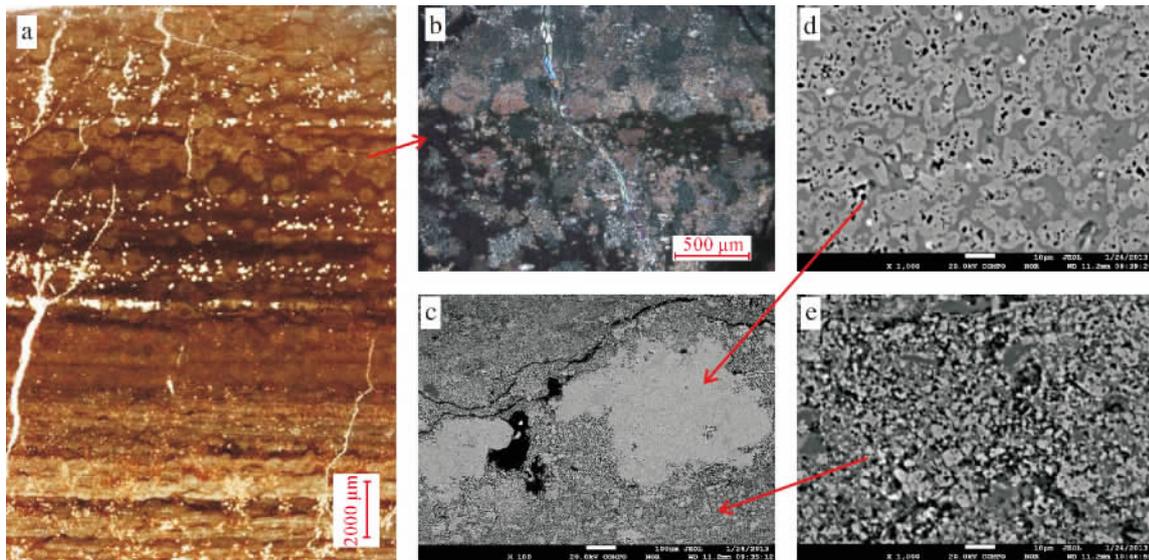


图3 层状辉岩喷爆岩

a. 含“颗粒透辉石”的纹层岩; b. 正交偏光显微镜下的透辉石集合体; c. 电子探针下透辉石“颗粒”形态特征; d. “颗粒”由透辉石(浅色)和硅灰石(深色)组成,硅灰石胶结了具浑圆状边的透辉石; e. 基质中主要为碱性长石与透辉石。

Fig. 3 Laminated pyroxenite fall-out phreato-magmatic hydroclastite

表1 透辉石电子探针成分分析

Table 1 Electron microprobe data of malacolite

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO	P ₂ O ₅	CaO	MnO	TiO ₂	NiO	Total
0.311	16.702	2.001	54.094	0	2.253	0	24.834	0.131	0	0	100.326
0.053	16.438	2.11	53.535	0.011	0.865	0.167	25.697	0.024	0	0	98.9
0.016	17.34	1.655	54.074	0.011	1.528	0	24.704	0.125	0.023	0.001	99.479

3.2 喷溢岩—碳酸岩喷溢岩

喷溢岩是指岩浆在低压下沿喷流通道宁静式溢流进入湖(洋)底冷凝、结晶,或气化后形成粉尘状颗粒(多具同沉积软变形构造)并与湖水混合沉积而成的岩石。此类岩石一般呈薄层—纹层状,矿物为结晶粒状,自形或半自形状,缺乏胶结物,当被热液流体或湖水扰动后会出现胶结物,整体显示岩浆岩结构特征。碳酸岩即为喷溢岩的代表。

碳酸岩是一种过碱性的超基性岩(表2-1 2-2)。该类岩石目前仅在4口钻井中见及。本文所讨论的是位于盆地北部钻井中的方解石碳酸岩,共有5层

(图4a),层厚介于2~4 mm,与上下纹层平直接触,在纹层中,可见规则的等粒的方解石呈镶嵌状(图4b、c),为全晶质粒状结构,显示出碳酸熔岩的特征。在其余层段,可见颗粒状的方解石之间充填了湖相泥晶碳酸盐和沉凝灰岩(图4d),表明碳酸岩溢流出湖底后遭受了热液流体的混合作用。

3.3 喷流岩—“白烟囱”型白云岩(质)及铁白云岩(质)喷流岩

喷流岩是指以热液喷流为特征的“白烟囱”和“黑烟囱”纹层岩,其矿物组合显示来自幔源成分的特征。白云岩(铁白云岩)是研究区典型的代表性岩石^[19,20]。

表2-1 碳酸熔岩主量元素分析(wt%)

Table 2-1 Major element analyses of carbonates(wt%)

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CO ₂	总计
A 3-8	16.74	1.8	0.37	0.71	42.16	2.51	0.24	0.2	0.07	0.056	0.043	34.66	99.62
A 3-3	8.1	1.02	0.23	0.53	49.05	0.97	0.31	0.39	0.11	0.058	0.05	38.8	99.62
A 3-20	5.45	0.82	0.15	0.44	51.1	1.15	0.22	0.24	0.18	0.052	0.045	39.74	99.59
A 3-11	6.53	0.75	0.23	0.4	50.47	1.04	0.16	0.1	0.1	0.05	0.048	39.65	99.53
A 3-9	6.33	0.64	0.3	0.46	50.62	1.25	0.21	0.14	0.064	0.046	0.05	39.4	99.51

注:主量元素在中国科学院地球化学研究所测试。采用湿化学方法测试,即容量法与重量法测试。

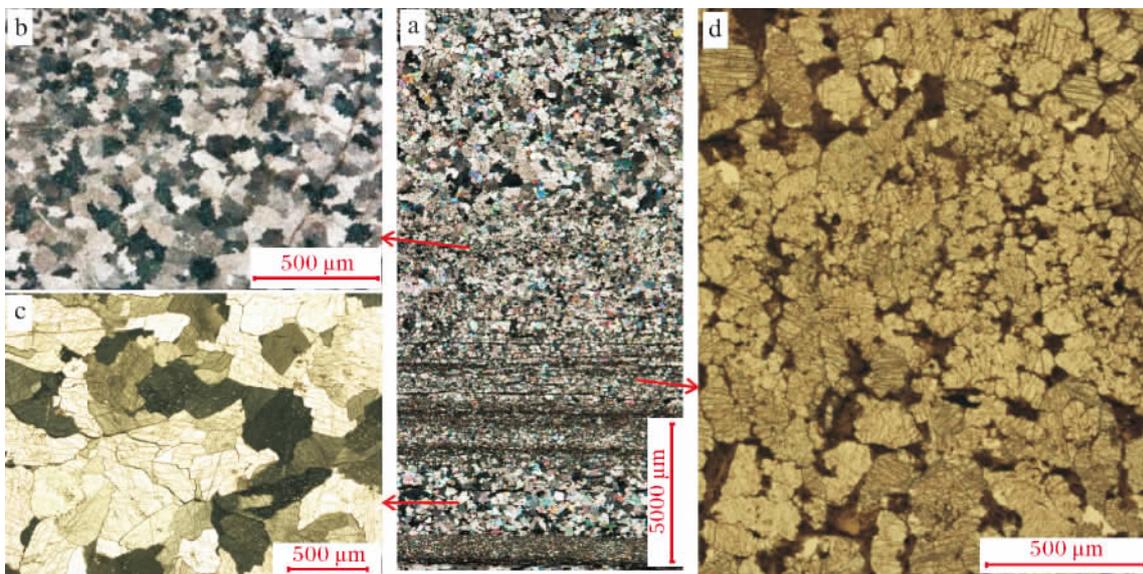


图4 碳酸熔岩喷溢岩

a. 纹层状碳酸盐; b. c. 方解石颗粒呈镶嵌式岩浆结构; d. 碳酸盐颗粒被沉凝灰岩胶结

Fig. 4 Carbonates surge phreato-magmatic hydroclastite

表 2-2 碳酸熔岩微量元素及稀土元素分析(10⁻⁶)
Table 2-2 Trace element and REE analyses of carbonatites(10⁻⁶)

样号	微量元素					样号	稀土元素				
	A3-3	A3-8	A3-9	A3-11	A3-20		A3-3	A3-8	A3-9	A3-11	A3-20
Li	17.9	70.6	27	29.6	23	La	13.6	16.1	11.9	7.3	16.1
Be	0.24	0.68	0.244	0.22	0.098	Ce	21.6	29.9	24.8	11.7	24.1
Sc	2.57	2.96	3.27	1.64	1.7	Pr	2.28	3.24	2.72	1.2	2.4
V	17.6	2.09	6.85	13	9.24	Nd	8.48	11.9	9.55	4.55	8.71
Cr	9.81	1.23	3.26	6.81	3.37	Sm	1.51	2.44	1.63	0.79	1.46
Co	6.17	2.8	3.88	5.6	5.38	Eu	0.35	0.2	0.21	0.22	0.34
Ni	15.9	7.28	11.6	14.1	12.3	Gd	1.41	2.27	1.38	0.76	1.42
Cu	5.88	1.83	2.6	3.62	4.63	Tb	0.21	0.33	0.19	0.11	0.21
Zn	11.5	23.4	12	6.41	8.85	Dy	1.2	1.98	1.1	0.7	1.26
Ga	2.09	4.03	2.36	1.42	1.83	Ho	0.23	0.4	0.21	0.15	0.27
Ge	0.16	0.17	0.14	0.14	0.11	Er	0.66	1.18	0.61	0.44	0.77
Rb	8.13	1.26	1.8	1.58	1.18	Tm	0.09	0.18	0.089	0.066	0.11
Sr	157	177	156	152	131	Yb	0.55	1.15	0.58	0.42	0.66
Y	8.59	14.9	6.37	5.62	11.2	Lu	0.083	0.18	0.085	0.067	0.1
Zr	19.8	83.6	25.7	11.9	15.9						
Nb	1.44	2.62	1.94	0.69	0.45						
Cs	0.31	0.16	0.2	0.13	0.06						
Ba	32.3	40.9	11	10.2	14.2						
Hf	0.5	2.28	0.83	0.25	0.38						
Ta	0.081	0.46	0.18	0.033	0.052						
Pb	2.45	7.89	3.87	11.3	0.93						
Th	0.64	5.72	2.37	0.31	0.19						
U	1.07	0.63	0.6	0.27	0.14						

注: 微量和稀土元素分析在大陆动力学(西北大学)国家重点实验室完成, 利用美国 Perkin Elmer 公司生产的 Elan6100DRC 型 ICP-MS 上分析测试, 经 BHVO-2、AGV-2 和 GSP-1 国际标样监控, 同时做空白样进行质量监控, 测试精度高, 介于 5~10%。

经铁氰化钾和茜素红混合液染色、X 光衍射和电子探针分析, 发现白云岩中白云石和铁白云石并不共存(图 6a), 因此分为白云岩和铁白云岩。在白云岩和铁白云岩中常分布着含量小于 50% 的钾长石和方沸石粉屑(图 6b), 根据其含量又可将其分为钾长方沸石质(铁)白云岩(钾长石、方沸石 30~50%)或方沸石长质(铁)白云岩(以钾长石为主、方沸石为辅)的。钾长石以正长石为多见, 少量为钠长石。该类岩层厚度多介于 0.5~1 mm, 部分达 3 mm 左右。

白云岩中白云石含量一般大于 60%, 粒度大小均匀, 多小于 0.005 mm, 在多数样品中晶形较差, 呈椭圆状、不规则粒状, 少数为菱形。在铁白云岩中, 铁白云石含量多介于 30~50%, 电子探针显示铁白云石的 FeO 含量最高达 31.734%, 最低 4.463%, 12 个样品平均 12.314%。在一层厚约 6 cm 的含方沸石颗粒的铁白云岩中, 纹层厚 2 mm 左右, 方沸石大小多在 0.02×0.04~0.04×0.09 mm 之间, 多呈球粒状、团球粒状和不规则状粒状, 似有塑性变形特征。在方沸石等颗粒的周围包绕着一圈厚 0.001 mm 的

泥晶铁白云石, 它们包绕方沸石等颗粒呈现不规则的晕圈, 在晕圈之外的孔隙处充填了方解石(图 5c a); 另一方面, 在阴极发光下, 这些泥晶铁白云石不发光, 方沸石发暗褐色光, 而发黄色光的亮晶方解石分布于剩余孔隙中, 表明铁白云石的形成早于方解石(图 5d)。铁白云石多具环带结构(图 5e)。磷灰石平均含量为 2%, 石盐含量达 4.3%, 喻示着该白云岩形成在盐度较高、富含 Mg²⁺、Fe²⁺ 离子的强碱性环境中。对包括该铁白云岩在内的跃进沟剖面芦草沟组 12 个白云岩的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 测试结果表明, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 介于 0.704570~0.705775 之间, 平均为 0.705120; 远远低于壳源硅铝质岩^[21]; Sr 同位素平均值 0.720±0.005, 与全球幔源 Sr 同位素 0.70350 的平均值非常接近, 表明造岩热液可能主要为幔源组分但与湖水发生了混合。形成白云岩的 Mg⁺² 和 Fe⁺² 主要来自底劈到下地壳的超基性岩的蛇纹石化^[22]。上述特征表明, 泥晶白云岩和铁白云岩具有原生沉积特征, 属于热液喷流沉积的原生白云岩^[19, 20]。

除白烟型白云岩、铁白云岩喷溢岩外, 研究区

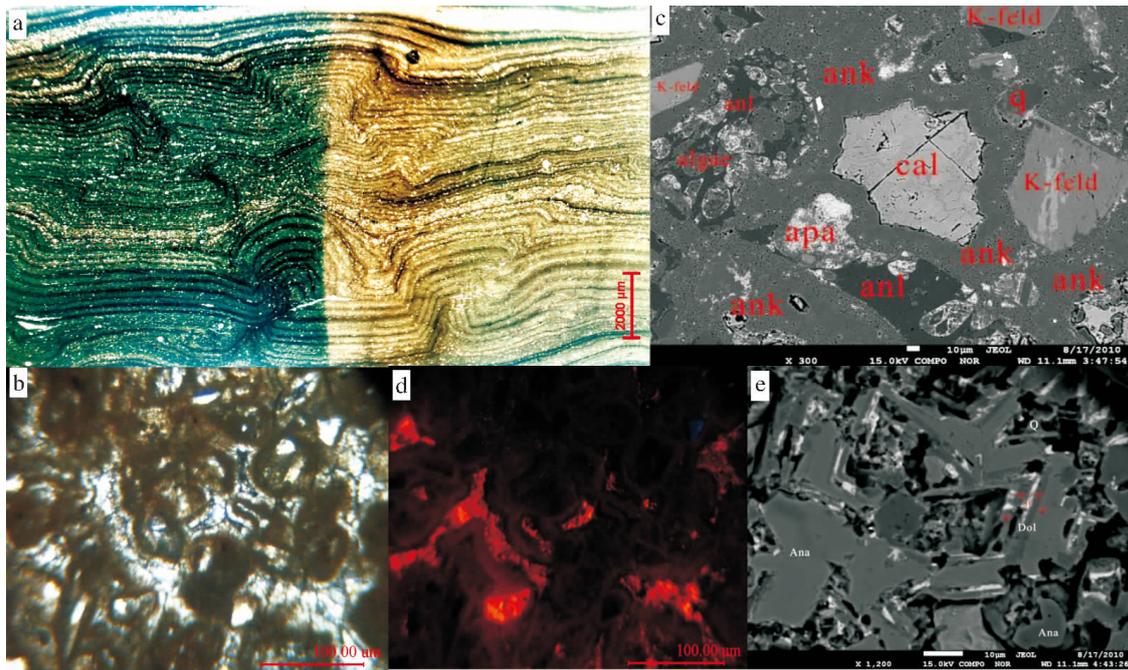


图5 铁白云岩(质)喷流岩

a. 同沉积变形纹层状白云岩(左侧为铁氰化钾+菌素红+盐酸的混合液的染色部分,为绿蓝色的铁白云石); b. 包绕在方沸石周边的薄膜式铁白云石,薄膜之外充填了亮晶方解石; c. 为 b 的电子探针片,显示泥晶铁白云石上分布着规则的小孔,为生物钻孔?方沸石(黑色)中分布着圆形颗粒,被磷灰石(亮色)交代; d. 阴极发光下铁白云石不发光,而方解石发桔黄色光; e. 环带铁白云石,亮色含铁量更高。

Fig. 5 Ankerite hydrothermal exhalite

还存在大量的黑烟囱型纹层状黄铁矿岩及白烟囱型灰岩和硅岩。

3.4 喷混岩—碱长沥青岩(质)喷混岩

喷混岩是指由岩浆喷爆的矿物碎屑、热液喷流物质和湖水较均匀混合沉积为特征的纹层岩。芦草沟组中深灰色沉凝灰岩及灰黑色岩层一直被认为是“泥岩”或“凝灰质泥岩”,是北疆地区主要的生烃层系。本次采用电子探针、X 光衍射和激光拉曼等方法对诸多钻井的全井段的灰黑色纹层岩中的矿物成分进行分析,几乎均为泥晶级的凝灰物质与高温沥青、黄铁矿的混合物或半自形—自形方解石与高温沥青、黄铁矿的混合物,缺乏泥质矿物,部分样品见少量石英、方沸石和白云石颗粒,应属于受岩浆、热液活动影响的生烃岩系列(此类岩石的矿物组合、生烃能力及机理正在研究中)。根据所含的矿物成分,该类岩石可分为富含碱性长石碎屑的碱性凝灰质沥青岩和富含方解石碎屑的碱性碳酸质沥青岩。本文举例的碱长沥青岩几乎均由泥屑—粉屑级的形态好的高温沥青、碱性长石和胶状、莓球状及不规则粒状黄铁矿(图6)组成,碱性长石可能来自与碱性岩浆喷发相关的凝灰物质,而高温沥青则可能为湖相有机质经热液

作用而加氢催化成熟的产物^[23],形成罕见的黑色岩系。

除碱长沥青岩喷混岩外,还可见各种混合成因的碳酸质沥青岩、凝灰质沥青岩等类型。

3.5 嗜热嗜毒生物岩—与热液活动相关的放射虫岩(?)

研究区芦草沟组所见生物主要有放射虫(?)、介形虫、瓣鳃类、硅藻以及丰富的磷酸盐化和黄铁矿化的生物等,它们的数量和分布极不均匀。其中放射虫岩(?)目前仅在一口井中有较大数量发现,约有200多个纹层,电子探针和激光拉曼显示它们是 α -石英。在显微镜下,这些放射虫(?)呈密集的无色的杆形、椭圆形、圆形,正交偏光显微镜下多数呈现六联晶花瓣状(图7a)或不规则粒状(图7b)集合体。它们与高温沥青(碱长沥青岩中)密切共存构成纹层(图7c, d)或呈星散状分布在碱长沥青岩中(图7a)。另一方面,在碱长沥青岩中常含丰富的黄铁矿,对这些黄铁矿初步进行的电子探针成分分析,多数富含Mo、Co、Se和As,推测该类放射虫(?)是一种靠地幔碱性热液喷流供给营养和能量的生活在深水中的嗜热嗜毒的生物种属^[24, 25],其详细的研究正在进行中。

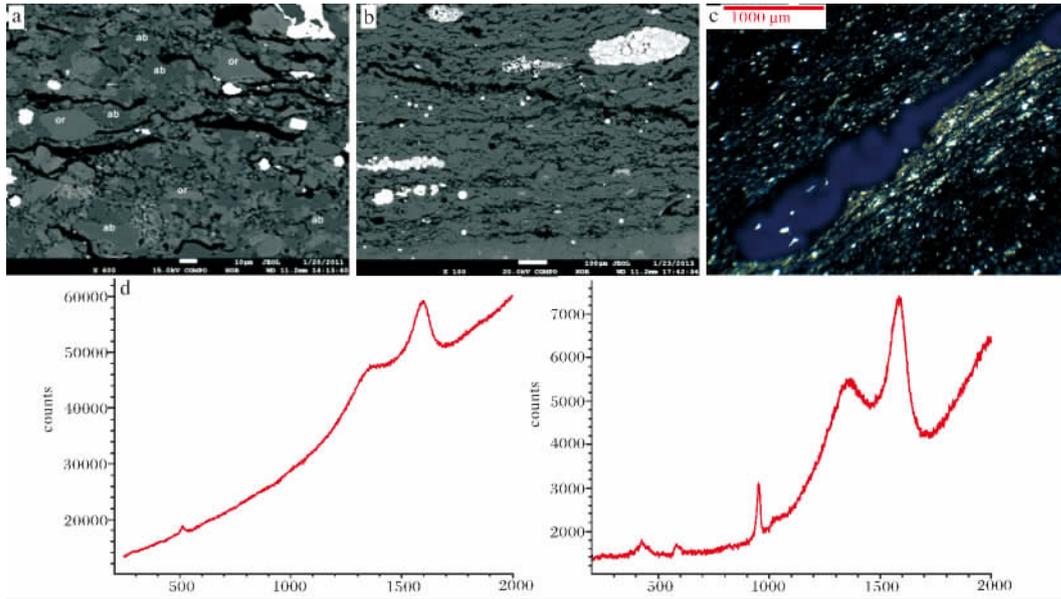


图 6 碱长石沥青岩(质) 喷混岩

a. 电子探针显示碱长石沥青岩中的碱性长石; b. 电子探针显示碱长石沥青岩中的碱性长石和莓球状黄铁矿及沥青; c. 碱长石沥青岩中的碱性长石、沥青和巨型黄铁矿(单偏光); d. 激光拉曼谱图。左图为高温沥青; 右图为高温沥青和磷灰石

Fig. 6 Alkaline feldspar asphalt peperite

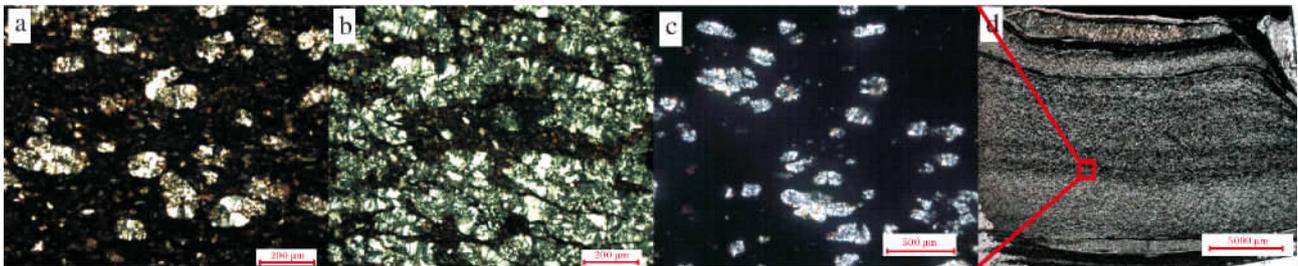


图 7 嗜热放射虫岩(?)

a. 放射虫(?) 具圆形、椭圆形花瓣状联晶结构; b. 放射虫(?) 具椭圆形、长条形粒状联晶结构; c. d. 纹层状放射虫岩(?) 与黄铁矿岩

Fig. 7 Microbialite

4 结论

三塘湖地区二叠系芦草沟组地幔热液喷积岩是一种新型的特殊沉积岩类。它们形成于一个呈北西—南东向展布的以内源碎屑为特征的陆内裂谷型湖盆内。裂谷较深的开裂使岩浆和地幔流体不断上涌,在靠近岩浆通道和热液喷口处,湖水温度高,岩浆微碎屑和岩石同沉积变形等特殊构造发育;而在远离喷口处,湖水温度降低,水动力活动变弱,发育纹层沉积。因此,在盆地的不同深度和不同区段,岩石形成的温度、强度和物质来源可能是不同的,甚至差异较大,由此造成对湖相有机质成熟度及其生物类型有较大的差异性的影响。三塘湖盆地内喷积岩的发现不

仅为地质历史时期幔源岩浆—热液活动产生的成因沉积岩类型的确定提供了依据,而且对于解释北疆地区的地球动力学背景及其与矿产的关系具有重要意义。随着研究程度的不断深入,地幔热液喷积岩的岩石类型、岩石组合、形成机理及其与油气的关系将会得到进一步确定与完善。

参考文献(References)

- 1 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山及邻区石炭纪及早二叠世裂谷火山岩岩石成因[J]. 西北地质, 2008, 41(4): 1-68 [Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Petrogenesis of Carboniferous-Early Permian rift-related volcanic rocks in the Tianshan and its neighboring areas, Northwestern China[J]. Northwest geology, 2008, 41(4): 1-68]
- 2 周鼎武, 柳益群, 邢秀娟, 等. 新疆吐一哈、三塘湖盆地二叠纪玄武

- 岩形成古构造环境恢复及区域构造背景示踪[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2006, 36(2): 143-153 [Zhou Dingwu, Liu Yiqun, Xing Xiujuan, *et al.* The paleotectonic setting reverting and regional tectonic setting tracking of Basalt during Permian in Tu-Ha, Santanghu Basin in Xinjiang[J]. Science in China (Ser. D): Earth Sciences, 2006, 36(2): 143-153]
- 3 李玮, 柳益群, 董云鹏, 等. 新疆三塘湖地区石炭纪火山岩年代学、地球化学及其大地构造意义[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2012, 42(11): 1716-1731 [Li Wei, Liu Yiqun, Dong Yunpeng, *et al.* The geochemical characteristics, geochronology and tectonic significance of the Carboniferous volcanic rocks of the Santanghu area in northeastern Xinjiang, China[J]. Science in China (Ser. D): Earth Sciences, 2012, 42(11): 1716-1731]
 - 4 程政武, 伍绍祖, 方晓思. 新疆准噶尔南缘和吐鲁番盆地二叠-三叠系[J]. 新疆地质, 1997, 15(2): 155-173 [Cheng Zhengwu, Wu Shaozu, Fang Xiaosi. The Permian-Triassic sequences in the Southern margin of the Junggar Basin and the Turpan Basin, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1997, 15(2): 155-173]
 - 5 伍绍祖, 侯静鹏, 沈百花. 新疆晚古生代植物群演替及植物地理分布[J]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995 [Wu Shaozu, Hou Jingpeng, Shen Baihua. Succession and province of flora of late palaeozoic in Xinjiang[M]. Urumchi: Xinjiang science and technology medical publishing house, 1995]
 - 6 张复新. 喷流岩及其识别与找矿[J]. 地质科技情报, 1988, 7(3): 67-73 [Zhang Fuxin. Exhalites: Their recognition and significance in mineral exploration[J]. Geological science and technology information, 1988, 7(3): 67-73]
 - 7 Ridlers R H. The exhalite concept: a new mining exploration tool [M]. North Miner, 1973, 29: 59-61
 - 8 Rona P A. Klinkhammer G, Nelsen T A, *et al.* Black smokers, massive sulphides and vent biota at the Mid-Atlantic Ridge [J]. Nature, 1986, 321: 33-37
 - 9 Rona P A. Mineral deposits from sea-floor hot spring [J]. Scientific American, 1986, 254: 84-92
 - 10 Hekiman R. Petrology of Ocean Floors [M]. Elsevier, Amsterdam, 1982: 1-383
 - 11 陈先沛, 高计元, 陈多福, 等. 热水沉积作用的概念和几个岩石学标志[J]. 沉积学报, 1993, 10(3): 124-131 [Chen Xianpei, Gao Jiuyan, Chen Duofu, *et al.* The concept of hydrothermal sedimentation and its petrological criteria [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 10(3): 124-131]
 - 12 郑荣才, 文华国, 范铭涛, 等. 酒西盆地地下沟组湖相白烟型喷流岩岩石学特征[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 3027-3038 [Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Fan Mingtao, *et al.* Lithological characteristics of sublacustrine white smoke type exhalative rock of the Xigou Formation in Jiuxi Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(12): 3027-3038]
 - 13 曾志刚. 海底热液地质学[M]. 科学出版社, 2011 [Zeng Zhigang. Submarine Hydrothermal Geology[M]. Science Press, 2011]
 - 14 Tiercelin J J, Thouin C, Kalala T. Discovery of sublacustrine hydrothermal activity and associated massive sulfides and hydrocarbons in the north Tanganyika trough, east African Rift [J]. Geology, 1993, 17: 1053-1056
 - 15 Pirajno F. Hydrothermal Processes and mineral Systems. Geological Survey of western Australia: Springer 2008
 - 16 Mark D. Hannington, Cornel E. J. De Ronde, Sven Petersen. Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems [G]. //Hedenquist J W, Thompson J F H, Gblldfarb R J, *et al.* Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume Littleton, Colo: Society of Economic Geologists, 2005: 111-141
 - 17 Pat Shanks W. C, Lisa A. Morgan, Laurie Balistrieri, *et al.* Hydrothermal Vent Fluids, Siliceous Hydrothermal Deposits, and Hydrothermally Altered Sediments in Yellowstone Lake [C] //Geothermal Biology and Geochemistry in Yellowstone National Park. Proceedings of the Thermal Biology Institute Workshop, Yellowstone National Park. 2003: 1-20
 - 18 郑荣才, 王成善, 朱利东, 等. 酒西盆地首例湖相“白烟型”喷流岩—热水沉积白云岩的发现及其意义[J]. 成都理工学院学报(自然科学版), 2003, 30(1): 1-8 [Zheng Rongcai, Wang Chengshan, Zhu Lidong, *et al.* Discovery of the first example of “White smoke type” of exhalative rock (hydrothermal sedimentary dolostone) in Jiuxi Basin and its significance [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(1): 1-8]
 - 19 柳益群, 李红, 朱玉双, 等. 白云岩成因探讨: 新疆三塘湖盆地发现二叠系湖相喷流型热水白云岩[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 861-867 [Liu Yiqun, Li Hong, Zhu Yushuang, *et al.* Permian lacustrine eruptive hydrothermal dolomites, Santanghu Basin, Xinjiang province. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 861-867]
 - 20 柳益群, 焦鑫, 李红, 等. 新疆三塘湖跃进沟二叠系地幔热液喷流型原生白云岩[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2011, 41(12): 1862-1871 [Liu Yiqun, Jiao Xin, Li Hong, *et al.* Primary dolostone formation related to mantle-originated exhalative hydrothermal activities, Permian Yuejingou section, Santanghu area, Xinjiang, NW China [J]. Science in China (Ser. D): Earth Sciences, 2011, 41(12): 1862-1871]
 - 21 Palmer M R, Elderfield H. Sr isotope composition of sea water over the past 75 Myr [J]. Nature, 1985, 314: 526-528
 - 22 张景廉, 曹正林, 于均民. 白云岩成因初探[J]. 海相油气地质, 2003, 8(1-2): 109-115 [Zhang Jinglian, Cao Zhenglin, Yu Junmin. Discussion on the origin of dolomitization [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2003, 8(1-2): 109-115]
 - 23 张景廉, 冯有奎, 李相博. 无机生理理论与21世纪中国油气勘探战略[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 248-251 [Zhang Jinglian, Feng Youkui, Li Xiangbo. Inorganic origin theory of petroleum and its implications for petroleum exploration strategy of the 21st Century in China [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(3): 248-251]
 - 24 Felisa Wolfe-Simon. A bacterium that can grow by using arsenic instead of phosphorus [J]. Science Express, 2010: 1-10
 - 25 Anna Louise Reysenbach, Sherryl Cady. Microbiology of ancient and modern hydrothermal systems [J]. Trends in microbiology, 9: 79-86

A New Type of Sedimentary Rocks: Mantle-Originated Hydroclastites and Hydrothermal Exhalites, Santanghu Area, Xinjiang, NW China

LIU Yi-Qun¹ ZHOU Ding-Wu^{2,1} JIAO Xin¹ NAN Yun¹ YANG Wan³ LI Hong¹ ZHOU Xiao-Hu¹

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Geology Department, Northwest University, Xi'an 710069;

2. College of Geological Science & Engineering, Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266510;

3. Department of Geological Science and Engineering, Missouri University of Science and Technology, Rolla, Missouri 65409, U. S. A.)

Abstract: The Lower Permian Lucaogou Formation in Santanghu area, Xinjiang, NW China contains new types of sedimentary deposits mantle-originated hydroclastites and hydrothermal exhalites, which are characterized by a subsurface source. The rocks occur as mm-laminae with a great total thickness and have a variety of composition, texture, and structures. They contain abundant mantle-originated hydrothermal minerals and microscopic hydroclastic magmatic fragments, and can be classified into five types on the basis of sediment source and grain composition, sedimentary texture and structure, and interpreted forming mechanisms: 1) fall-out phreatomagmatic hydroclastite, formed by fall out of fine magmatic ash generated by hydroclastic explosion; 2) surge phreatomagmatic hydroclastite, formed by base surge of coarse magmatic fragments generated by hydroclastic explosion; 3) hydrothermal exhalite, formed by chemical precipitation from hydrothermal exhalative fluids and containing typical minerals associated with "black and white smokers"; 4) peperite composed of admixtures of hydroclastic, hydrothermal, and normal lacustrine chemical sediments; and 5) microbialite composed of biogenic minerals produced by thermophilic and toxin-loving microbes. All these rocks were deposited in a starved lake in an intracontinental rift basin. The grain composition suggests that hydroclastic and hydrothermal processes were originated from a great depth and related to mantle-derived magmas. The interlamination of these rocks suggests that hydroclastic, hydrothermal, and normal lacustrine processes were alternating and episodic.

Key words: hydroclastites and hydrothermal exhalites; mantle-originated; Permian; Santanghu