

文章编号: 1673-9469 (2019) 02-0064-06

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.02.015

大同煤田太原组9号煤底板高岭岩成因研究

刘钦甫¹, 刘迪¹, 丁述理², 刘霖松¹, 张统军³

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 河北工程大学地球科学与工程学院, 邯郸 056038; 3. 山西省煤炭地质 115 勘查院, 大同 037003)

摘要: 利用偏光显微镜对大同煤田太原组9号煤层底板高岭岩的岩石学特征和成因进行了研究。在显微镜下识别出碎屑(包括陆源碎屑、火山石英晶屑、火山黑云母晶屑、脱玻化的“燧石状”玻屑)、隐晶高岭石团块、高岭石晶屑、高岭石基质四大结构组分; 研究认为组成此层高岭岩的岩石类型主要为凝灰质团块状高岭岩, 在顶部发育有薄层长石假象型晶粒高岭岩和凝灰质隐晶高岭岩, 中间夹薄层凝灰质砂岩; 该层高岭岩是经盆地水流改造的沉凝灰物质蚀变成因。特别是首次提出: 该层高岭岩中大量发育的团块是由硅铝质玻屑蚀变而来的隐晶质高岭石集合体, 由于经受了流水改造作用, 其火山成因证据已经消失殆尽。

关键词: 大同煤田; 太原组; 高岭岩; 沉凝灰物质蚀变

中图分类号: P619.323

文献标识码: A

Origin of kaolinite rocks under Coal No.9 of Taiyuan Formation in Datong coalfield

LIU Qinfu¹, LIU di¹, DING Shuli², LIU Linsong¹, ZHANG Tongjun³

(1.College of Geoscience and Surving Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083;
2.School of Earth Science and Techonlogy, Hebei University of Engineering, Handan 056038;
3. Shanxi Province Coal Geology 115 Exploration Institute, Datong 037003)

Abstract: The petrology and origin of kaolinite rocks under coal No.9 of Taiyuan Formation in Datong coalfield were studied based on the polarized microscope. Four texture components, i.e. clast (including terrigenous clast, volcanic quartz crystal pyroclast, volcanic biotite crystal pyroclast, devitrified “flint-like” vitric clast), cryptocrystalline kaolinite graupe, kaolinite crystal clast and kaolinite matrix, were identified under polarized microscope. The research shows that the main rock types of this bed of kaolinite rock were tuffaceous graupe kaolinite rock with thin feldspar pseudomorphic crystal kaolinite rock on the top, and intercalated with tuffaceous sandstone bed at middle part. This bed of kaolinite rock was originated from the tuffaceous sediments reworked by water current at the basin bottom. Especially, the new formation mechanism of abundant graupe were firstly submitted; that is, the cryptocrystalline kaolinite graupe is the altered products of silica-alumina vitric clast, which was reworked by water current in the basin bottom and show no evidence of volcanic origin.

Key words: Datong coalfield, Taiyuan formation, Kaolinite rock, alteration of tuffaceous sediments

我国煤系高岭岩从晚古生代到新生代各主要聚煤期的煤系地层中均有分布, 其中晚古生代石炭-二叠纪煤系中的高岭岩分布广、厚度大、质量好。我国不少学者对高岭岩的矿物组成、岩石类型、形

成环境、物质来源和地球化学特征等方面进行了广泛而深入的研究, 并对其成因提出了各种见解和假说。张慧将煤系地层中高岭石划分为碎屑状高岭石、胶凝状高岭石、玻屑状高岭石和鳞片状高岭石四种

收稿日期: 2018-12-09

基金项目: 山西省科技重大专项(20181101003)资助项目, 河北省自然科学基金(D2017402150)资助项目

作者简介: 刘钦甫, 男(1964-), 河南许昌人, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向: 无机非金属材料成矿规律与开发利用。

形态^[1]。刘钦甫、张鹏飞认为煤系高岭岩成因主要为正常沉积成因、火山灰蚀变成因，其中生物与有机质及其衍生物对高岭岩的形成影响也较大^[2]。一般认为煤层夹矸中的薄层高岭岩多为火山灰蚀变成因，而煤层底板厚层高岭岩多为陆源搬运沉积成因^[2]。然而，作者在大同煤田 9 煤底板厚达 2 m 的高岭岩中发现了大量火山灰沉积证据。为此，本文主要运用偏光显微镜镜下观察，通过研究分析高岭岩岩石结构特征，来分析判断此层高岭岩的成因。

1 样品

大同煤田位于山西省北部，大地构造位置位于内蒙古 - 阴山构造隆起带的南侧。本论文样品采自大同煤田南阳坡井田，是山西省煤炭地质 115 勘查院的钻孔岩心，孔号 2016-13，岩心柱状图如图 1 所示。

9 号煤底板高岭岩位于太原组下部。对本层高岭岩自上而下采集 9 个样品，样品编号为 32 ~ 40。

2 高岭岩特征

9 号煤底板高岭岩主要分布在小峪 - 吴家窑和大同北勘探区，其它区域零星发育。在大同北勘探区，高岭岩呈大面积连续层状分布，厚度可达 5 ~ 7 m，一般在 1 ~ 3 m；在小峪 - 吴家窑勘探区，矿体呈南北向树枝状分布，一般厚度在 1 ~ 3 m。此外，在左云南部详查区和玉井井田也有分布，高岭岩分布不连续，呈南北向孤立矿体分布，厚度也较薄，一般为 1 ~ 2 m。总体上，9 号煤底板高岭岩具有自北向南，厚度逐渐变薄，分布面积逐渐变小，发育程度逐渐变低的趋势^[3-5]。

地层单位	累积厚度 (m)	分层厚度 (m)	层号	地层柱状	标志层	样品号	岩石名称及分层描述
太原组	256.45	5.49	14	• • •		15	中砂岩，灰白色，中粒砂状结构，分选中等，次圆状
	268.11	11.66	15	■	5 号煤	16 ~ 20	煤，黑色，断口参差状，裂隙发育，含数层高岭岩夹矸
	273.26	5.15	16	— — —		21 ~ 23	泥岩，黑色，泥质结构，平坦状断口
	276.90	3.64	17	• — —		24	粉砂质泥岩，灰色，砂泥质结构
	278.90	2.00	18	• •			含砾粗砂岩，灰白色
	286.10	6.20	19	■	8 号煤	25 ~ 28	煤，黑色，断口参差状，裂隙发育，含数层高岭岩夹矸
	287.82	1.72	20	• — —		29 ~ 30	粉砂质泥岩，灰色，砂泥质结构
	292.90	3.60	21	• • •		31	中砂岩，灰白色，中粒砂状结构
	293.15	0.25	22	■			煤线
	295.57	2.42	23	• — —			粉砂质泥岩，黑色，砂泥质结构
	297.00	0.50	24	■	9 号煤		煤
	300.55	3.55	25	土 — —		32 ~ 40	凝灰质高岭岩，灰黑色，致密块状，含少量植物化石
	304.23	3.68	26	• — —		41 ~ 43	粉砂质泥岩，黑色，砂泥质结构
本溪组	308.13	3.90	27	• • •	K ₂ 砂岩		含砾砂岩，灰白色，含砾砂状结构分选较好，磨圆度低，钙质胶结
			28	— — —			泥岩，黑色，泥质结构，断口平滑

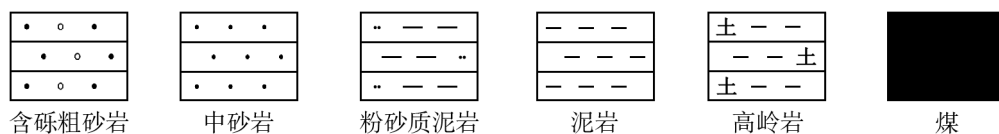


图 1 南阳坡井田 2016-13 钻孔岩心太原组柱状图
 Fig.1 The 2016-13 borehole core of Taiyuan Formation in Nanyangpo coalfield

2.1 岩石宏观特征

9号煤底板高岭岩宏观呈灰黑及棕黑色,外貌极似“粗砂岩”,含有深棕色颗粒,似“砂粒”。层理不发育,厚度大,块状构造,性脆,砂状断口,含植物碎片化石。

2.2 岩石微观特征

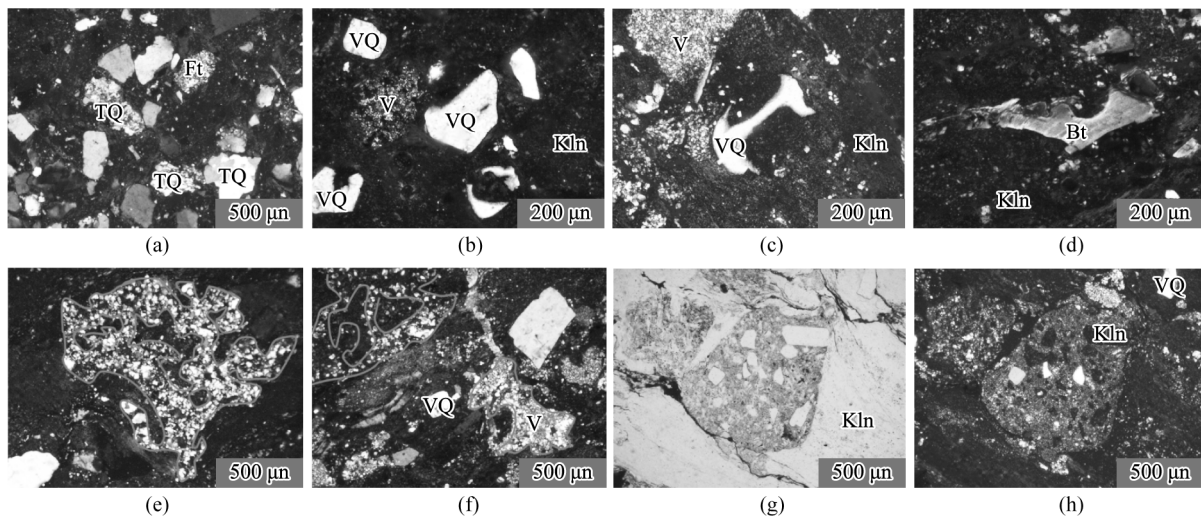
经偏光显微镜下观察,作者将研究区9煤底板高岭岩结构组分划分为:碎屑、团块、高岭石晶粒和基质。

碎屑根据来源可分为陆源碎屑和凝灰质火山碎屑。陆源碎屑可见来源于花岗岩和变质岩的多晶石英(图2a)、磨圆度较好的单晶石英,以及少量的岩屑。陆源碎屑在该层高岭岩下部局部富集成凝灰质砂岩夹层(表1)。凝灰质火山碎屑主要为火山石英、火山黑云母、脱玻化重结晶的隐晶或微晶“燧石状”玻屑、偶见凝灰岩岩屑。火山石英呈自形和半自形(图2b),可见典型的熔蚀港湾现象(图2b),偶见奇形“锚钩状”及尖角状(图2c)。火山黑云母呈黄褐色、撕裂状、可见水化膨胀现象及暗化边(图2d)。值得引起重视和关注的是该层高岭岩中的玻屑,如果不仔细观察,很容易误认为燧石岩屑。因为该层高岭岩中的玻屑全部脱玻化重结晶为隐晶、微晶或细晶石英集合体,与燧石的结构几乎一样。但是如果仔

细观察,会发现一些碎屑具有多孔结构或发育弧形凹边(图2e, f),据此可以判断为脱玻化的重结晶的玻屑。但并非所有的碎屑具有多孔和弧形凹边结构特征,更多的是不规则棱角状或次棱角状甚至次圆状,极易误认为燧石,因此我们称这种玻屑为“燧石状”玻屑(图2c)。有时可见内碎屑状晶屑凝灰岩岩屑(图2g, f),其内部的自形板状长石晶形和火山石英清晰可见,自形长石已经蚀变成隐晶高岭石,这些内碎屑状的凝灰岩岩屑表明当时火山灰沉积下来以后经过了盆地底部水流的剥蚀搬运改造作用。

团块表现为不规则状拉长状、椭圆状、条带状、多数为压扁状的隐晶质高岭石集合体(图3)。有时边缘或因其他碎屑经挤压而弯曲,显示其沉积时较软具塑性(图3a, b)。手标本观察到的深棕色假“砂粒”,或椭圆形碎屑即为此种团块。团块在单偏光镜下为较均一的淡褐-浅黄色,正交光下显示弱光性,在高倍镜下可见模糊的细小晶粒。有时团块内部含有石英晶屑和弱重结晶的玻屑(图3g, h)。有时发现,在单偏光镜下一些外形不规则的团块,在正交偏光镜下为隐晶质具多孔结构的“燧石状”玻屑(图3c, d, e, f)。

高岭石晶粒主要为呈长石假象的板状的高岭石晶体,仅见于顶部(样品32号)。高岭石板状晶体呈平行排列,局部显示粒序性或粗细相间排列,显



(a)陆源多晶石英(TQ),正交光,样品号37;(b)火山石英(VQ),具溶蚀港湾,正交光,样品号33;(c)奇形“锚钩状”火山石英(VQ),样品号38;(d)火山黑云母(Bt),样品号35;(e)多孔状重结晶玻屑(V),样品号36;(f)左上为多孔重结晶玻屑,右下为具弧形凹边的重结晶玻屑,样品号36;(g)内碎屑状的晶屑凝灰岩岩屑,显示盆地底部水流剥蚀再改造作用,单偏光,样品号38;(h)为g照片的正交偏光,显示岩屑中基质为隐晶质高岭石(Kln),自形板状长石已经蚀变为隐晶质高岭石。(照片比例尺长度为500 μm)

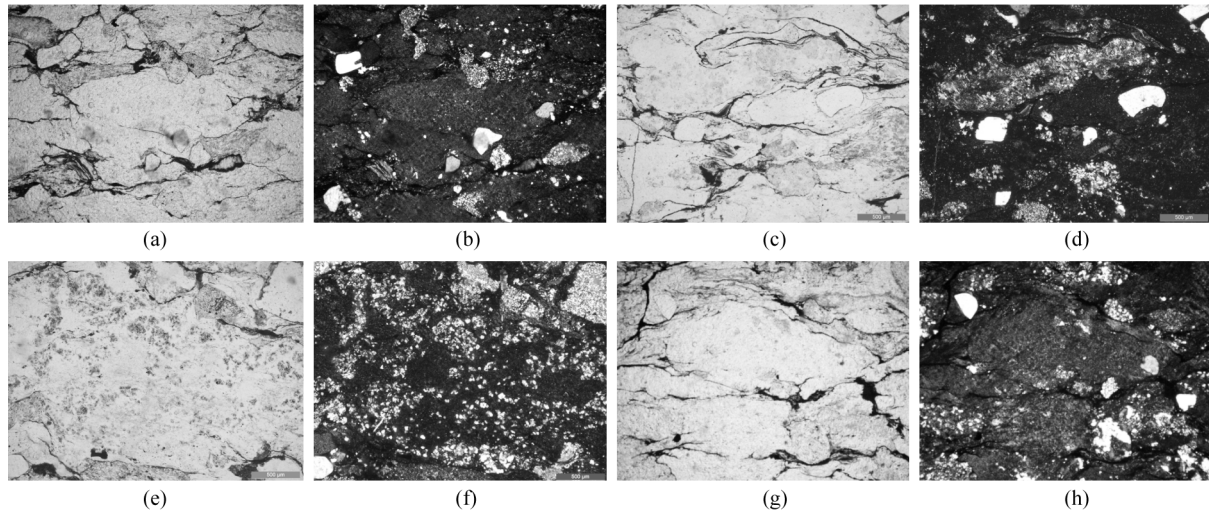
图2 9号煤底板高岭岩中碎屑结构组分镜下特征

Fig.2 Microscopic features of debris structure of No. 9 coal floor kaolinite

示水流作用证据。偶尔见黑云母假象的高岭石晶粒。

基质为微晶-隐晶高岭石，充填在碎屑和团块之间，正交光镜下呈弱光性。

微晶质石英集合体的玻屑，其多孔结构隐约可见(图3c, d, e, f)，说明这些是硅质玻屑。我们知道，火山喷发物中，不能仅有硅质玻屑，还应该有硅铝质



(a)、(b)为样品34的同一视域单偏光与正交光，中间比较大的团块上下被刚性的颗粒所嵌入；
(c)、(d)、(e)、(f)为样品38同一视域单偏光和正交偏光照片，中间团块为重结晶隐晶质具多孔结构玻屑；
(g)、(h)为样品36的同一视域单偏光和正交偏光，可见团块中含有玻屑或晶屑。

图3 团块状隐晶质高岭石镜下照片

Fig.3 Microscopic feature of massive cryptocrystalline kaolinite

2.3 岩石类型及垂向变化

该层高岭岩自上而下划分为五层，垂向组成变化显微特征见表1。可以看出，该层高岭岩主要由凝灰质团块状高岭岩组成，中部夹凝灰质砂岩，显示出水流作用特征。顶部为薄层的长石假象晶粒高岭岩和凝灰质隐晶高岭岩。

3 成因讨论

我国煤系高岭岩已经有多人进行研究^[1-9]，其成因一般认为有两种：一种是火山灰蚀变成因，通常薄的煤层夹矸型的高岭岩多属此种成因；另一种为陆源搬运沉积成因，通常认为煤层底板厚层高岭岩多属此种成因。而研究区9煤底板厚达3m多的高岭岩用陆源搬运成因来解释似乎讲不通，因为岩层中发现了大量的典型的显示火山灰来源的石英、黑云母和玻屑。特别是图2中一些自形火山石英晶屑、以及尖角状的火山石英、黑云母和多孔状玻屑显示空降火山灰特征。然而对于大量的构成高岭岩层主体的团块，由于其内部特征不明显，多数为隐晶质的不规则高岭石团块集合体，其成因一直难以解释。

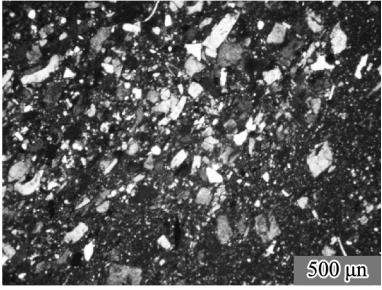
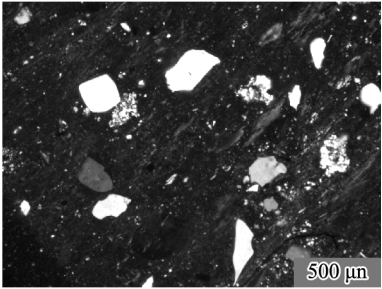
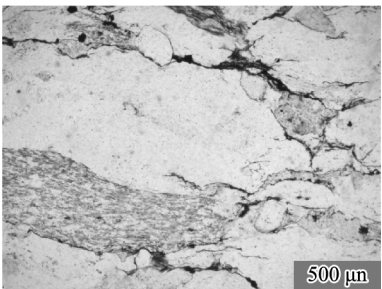
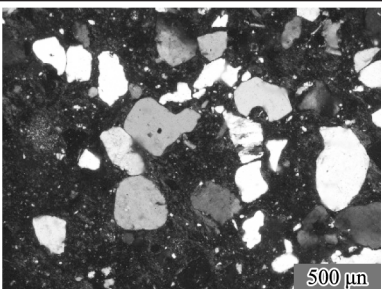
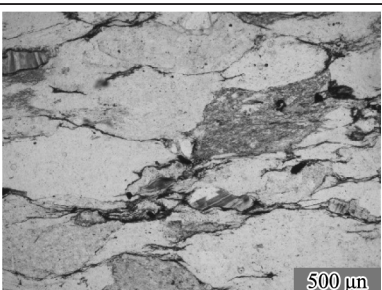
作者发现一些团块就是脱玻化结晶成隐晶质或

玻屑，那么这些硅铝质玻屑到哪里去了呢？由于硅铝质玻屑在酸性条件下最容易蚀变成高岭石，因此我们认为这些隐晶质的高岭石团块可能是硅铝质玻屑蚀变的产物。硅铝质玻屑蚀变成高岭石的过程可能首先形成硅铝凝胶，然后结晶形成隐晶质的高岭石，因此这些玻屑的多孔结构消失殆尽。由于玻屑蚀变的硅铝凝胶物质和隐晶质高岭石具有塑性，因此，此种团块多变形，形成不规则状或压扁状。

此外，一些证据显示这些火山喷发的凝灰物质降落至盆地沉积下来以后，经历过盆地底部水流的改造作用。这些证据包括：较多的边缘磨蚀的“燧石状”玻屑、团块状高岭岩中间的凝灰质砂岩夹层、图2g, h显示的内碎屑状的凝灰岩岩屑。特别是图4a显示的显微流动纹理和图4b显示的石英砂粒的叠瓦状排列现象，进一步说明凝灰物质降落下来以后经过了盆底水流的改造作用。这些水流的改造作用使隐晶质高岭石团块的火山玻璃蚀变证据进一步消失，难以辨认。

综上所述，研究区9煤底板高岭岩是由盆底水流改造过的火山喷发凝灰物质蚀变而来。也可以说是由沉凝灰物质蚀变而来。

表1 9号煤底板高岭岩显微特征
Tab.1 Microscopic feature of No. 9 coal floor kaolinite

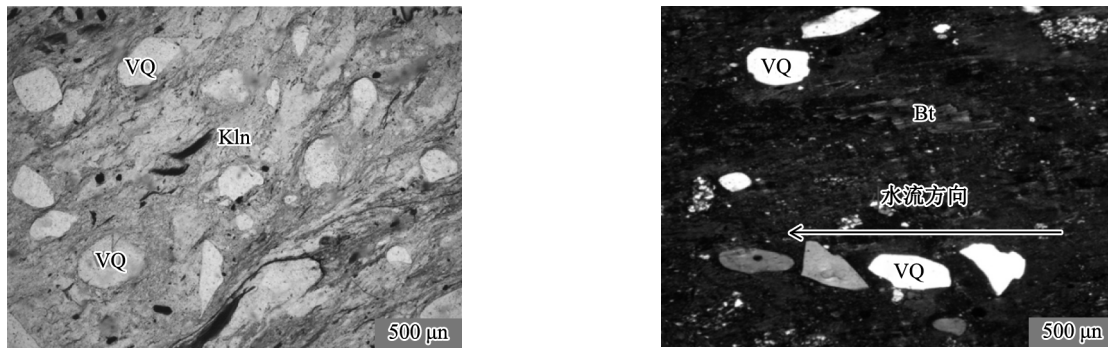
样品编号及层厚	偏光显微镜下照片	显微镜下特征	岩石类型
32 (厚度 20 cm)		岩石主要由晶粒状高岭石和隐晶质高岭石基质组成。晶粒状高岭石大部分呈长石云母假象,长条状,破碎断裂,晶粒定向排列,具粒序性,显示水流作用特征。高岭石晶粒含量65%,基质含量30%,另有5%的石英。	长石假象 晶粒状 高岭岩
33 (厚度 10 cm)		基质主要为隐晶质高岭石。凝灰质碎屑主要是火山石英和经过搬运的被磨蚀的重结晶“燧石状”玻屑,含量分别约为10%和5%。重结晶玻屑结构特征类似燧石。含极少量黑云母晶屑。基质高岭石含量85%。	凝灰质隐晶 高岭岩
34 35 36 (厚度 120 cm)		团块由隐晶质高岭石组成,因挤压呈不规则扁状。凝灰物质主要为经过搬运的被磨蚀的重结晶“燧石状”玻屑,含量约15%,自上而下玻屑逐渐增多。火山石英晶屑含量较少,约3%。团块含量82%。	凝灰质 团块状 高岭岩
37 (厚度 15 cm)		主要物质组分为陆源碎屑,含量55%,多呈次圆至次棱角状,包括石英碎屑、燧石岩屑和变质岩岩屑。凝灰物质主要为火山石英,含量约15%。填隙物主要为粘土杂基,含量30%。	凝灰质 砂岩
38 39 40 (厚度 190 cm)		与34、35和36号样品相似,团块由隐晶质高岭石组成,含量82%。火山黑云母含量<1%,火山石英含量约3%,重结晶“燧石状”玻屑含量约15%。自上而下,玻屑逐渐增多。	凝灰质团块 状高岭岩

4 结论

1) 9号煤底板高岭岩主要由凝灰质团块状高岭岩组成,其结构组分可划分为碎屑、团块、高岭石晶

粒和隐晶高岭石基质。

2) 该层高岭岩成矿物质为凝灰物质。“燧石状”玻屑边缘的磨蚀现象是凝灰物质经过了盆底水流的改造作用的结果。



(a) 碎屑边缘磨蚀现象以及显微流动纹理，单偏光；
 (b) 石英砂粒叠瓦状排列，箭头指示流水方向。VQ：火山石英；Kln：高岭石；Bt：黑云母
 图4 原地沉积与流水搬运特征照片(样品号：33和35)

Fig.4 In-situ deposition and flow handling feature (sample numbers: 33 and 35)

3) 隐晶高岭石团块为硅铝质玻璃屑蚀变产物，由于经受了盆底水流改造作用，其蚀变作用现象已经消失殆尽。

参考文献：

- [1] 张慧. 煤系地层中高岭石的形态 - 成因类型 [J]. 矿物学报, 1992, (1): 53-57.
- [2] 刘钦甫, 张鹏飞. 华北晚古生代煤系高岭岩物质组成及成矿机理研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1997.
- [3] 何仕. 大同塔山煤矿粘土岩的特征及成因 [J]. 中国煤炭地质, 2006, 18(3): 23-25.
- [4] 霍舒婷. 大同矿区煤系高岭岩矿物特性与赋存规律的研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2013.
- [5] 张统军, 刘钦甫, 王国新. 山西 - 大同煤田石炭二叠纪煤系高岭岩资源评价与利用 [M]. 太原: 山西人民出版社, 2015.
- [6] 梁绍暹, 姚改焕, 刘金芳. 华北石炭—二叠纪煤系火山灰蚀变粘土岩夹矸中石英的研究 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 1996, (03): 26-29.
- [7] 王水利, 梁绍暹. 山西大同小峪煤矿煤系粘土岩夹矸地球化学特征 [J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(6): 6-10.
- [8] 常青. 大同煤田石炭 - 二叠系中高岭岩物质组分和形成条件的初步研究 [J]. 地质论评, 1985, 31(5): 437-445.
- [9] 朱如凯, 张运东. 晋北晚古生代煤系高岭岩成因模式研究 [J]. 岩相古地理, 1997, (1): 11-21.
- (责任编辑 李新)
- (上接第 63 页) 科学, 2009, 30(4): 1-4.
- [4] 陈亮, 陈寿根, 张恒, 等. 基于分数阶微积分的非线性黏弹性蠕变模型 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2013, 45(3): 7-11.
- [5] 康永刚, 张秀娥. 岩石蠕变的非定常分数伯格模型 [J]. 岩土力学, 2011, 32(11): 3237-3248.
- [6] 王军保, 刘新荣, 王铁行, 等. 基于改进分数阶黏滞体的岩石非线性蠕变模型 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2015, 46(4): 1461-1467.
- [7] 何志磊, 朱珍德, 朱明礼, 等. 基于分数阶导数的非定常蠕变本构模型研究 [J]. 岩土力学, 2016, 37(3): 737-744.
- [8] 熊德发, 王伟, 杨广雨, 等. 软岩非定常分数阶导数流变模型研究 [J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2018(1): 39-43.
- [9] 何利军, 孔令伟, 吴文军, 等. 采用分数阶导数描述软黏土蠕变的模型 [J]. 岩土力学, 2011, 32(增刊 2): 239-245.
- [10] KOELLER R C. Application of Fractional Calculus to the Theory of Viscoelasticity [J]. Journal of Applied Mechanics, 1984, 51(2): 299-307.
- [11] ADOLFSSON K, ENELUND M, OLSSON P. On the Fractional Order Model of Viscoelasticity [J]. Mechanics of Time-Dependent Materials, 2005, 9(1): 15-34.
- [12] 李栋伟, 汪仁和, 范菊红. 白垩系冻结软岩非线性流变模型试验研究 [J]. 岩土工程学报, 2011, 33(3): 398-403.
- [13] 吴斐, 刘建锋, 武志德, 等. 盐岩的分数阶非线性蠕变本构模型 [J]. 岩土力学, 2014, 35(增刊 2): 162-167.
- [14] 徐卫亚, 杨圣奇, 褚卫江, 等. 岩石非线性黏弹性流变模型 (河海模型) 及其应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(3): 433-447.
- (责任编辑 李新)