

# Weakly Consolidated Sandstone Petrology Characteristics and Geological Significance

## —Taiyuan Formation in Liujiang Basin

Wenjie Yang<sup>1</sup>, Tushun Song<sup>1,2\*</sup>, Zhuang Tian<sup>3</sup>, Shengchan Liu<sup>1</sup>, Siyu Liu<sup>1</sup>, Zejun Gao<sup>1</sup>, Tao Luo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

<sup>2</sup>Mining Development and Safety Technology Key Lab of Hebei Province, Tangshan Hebei

<sup>3</sup>Qinggong College, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Email: \*songtushun@sina.cn

Received: Mar. 10<sup>th</sup>, 2017; accepted: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2017; published: Apr. 26<sup>th</sup>, 2017

### Abstract

Miserably consolidated sandstone widely distributed in China, triggered more environmental and engineering issues. Taking Taiyuan Formation, Liujiang Basin miserably consolidated sandstone top for the study, field geological survey, polarized light microscopy and scanning electron microscopy and energy spectrum are analyzed. The results showed that: (1) poorly consolidated sandstone is located in the upper part of the Taiyuan Formation coal seam roof; thermal metamorphism of poorly consolidated sandstone and coal has a genetic link. (2) The main types of sand fines in an off-white medium fine grained feldspar quartz sandstone, feldspar alkaline feldspar, kaolinite and illite petrochemical development. Clay's minerals are mainly kaolinite and illite, kaolinite content of between 13 to 37%, illite content between 5% - 7%; kaolinite Shiyi Li Shi Reservoir Sensitivity expressed through a combination of strong speed-sensitive. (3) The mineral elements indicate that the K-feldspar is composed of Al, Si, O and K elements, and kaolinite are composed of Al, Si and O elements, and the petrographic observation showed that the dissolution and dissolution of feldspar provide the basis for the formation of kaolinite. (4) The research results will be underground mine engineering design control and provide important geological information coal mining process.

### Keywords

Weakly Consolidated Sandstone, Petrology, Liujiang Basin, Taiyuan Formation

# 弱固结砂岩的岩石学特征及其地质意义

## —以柳江盆地太原组为例

杨文杰<sup>1</sup>, 宋土顺<sup>1,2\*</sup>, 田 壮<sup>3</sup>, 刘胜昌<sup>1</sup>, 刘思宇<sup>1</sup>, 高泽君<sup>1</sup>, 罗 涛<sup>1</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山

<sup>2</sup>河北省矿业开发与安全技术重点实验室, 河北 唐山

<sup>3</sup>华北理工大学轻工学院, 河北 唐山

Email: songtushun@sina.cn

收稿日期: 2017年3月10日; 录用日期: 2017年4月22日; 发布日期: 2017年4月26日

## 摘要

弱固结砂岩在我国分布广泛, 引发了较多的环境问题和工程问题。本文以柳江盆地太原组顶部弱固结砂岩为研究对象, 通过野外地质调查、偏光显微镜和扫描电镜及其能谱进行了分析。结果表明: (1) 弱固结砂岩分布于太原组煤层顶板上部, 砂岩的弱固结化与煤的热变质演化具有成因联系。(2) 砂岩类型主要为灰白色中细粒长石石英砂岩, 长石以碱性长石为主, 发育高岭石化和伊利石化。黏土矿物主要为高岭石和伊利石, 高岭石含量在13%~37%之间, 伊利石含量在5%~7%之间, 高岭石 + 伊利石组合储层敏感性表现为较强的速敏。(3) 矿物元素表明钾长石由Al、Si、O和K元素组成, 高岭石由Al、Si和O元素组成, 结合岩相学观察认为长石的溶蚀溶解作用为高岭石的形成提供了元素基础。(4) 该研究成果将为煤矿开采过程中地下水防治和矿山工程设计提供重要的地质信息。

## 关键词

弱固结砂岩, 岩石学, 柳江盆地, 太原组

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

前人将分布在煤层或油气藏上部弱固结砂岩称为砒砂岩[1]或红色砂岩漂白现象[2], 例如在鄂尔多斯盆地东北部[2] [3]、松辽盆地[4]和美国科罗拉多高原[5]等地区分别进行了报道, 在世界范围内, 美国科罗拉多高原出露的红色和白色砂岩研究程度最高, 其研究成果对“CO<sub>2</sub>地质封存”和“注CO<sub>2</sub>提高石油采收率”等均提供了来自“自然类似物”的有用信息。漂白砂岩形成于“烃类流体”的观点提出于上个世纪二十年代[5], 认为与烃类流体运移有关的漂白砂岩出露于鄂尔多斯盆地[2] [3]、犹他东南部[6]、犹他 Laramide 时期 Uinta 逆掩断层附近[7]和犹他南部[8]。针对以上地质现象, 国内学者曾开展过大量流体-岩石相互作用研究, 例如酸性流体作用下长石的稳定性[9]、屑长石砂岩与CO<sub>2</sub>流体在水热条件下的相互作用[10]和CO<sub>2</sub>驱油后的矿物捕获[11]等。前人研究内容主要集中在通过野外产状分析、地球化学元素测试、实验室试验和包裹体分析的基础上, 对弱固结砂岩的黏土矿物组成和成因进行探索, 通常以平面分布样品为研究对象, 而针对这些弱固结砂岩所引发的环境[12]和工程问题[13]柳江盆地尚未开展深入探索, 相关研究集中在水文、地貌和构造方面。而柳江盆地在大地构造属性、演化和矿产资源条件等方面都与松辽盆地和鄂尔多斯盆地存在差异, 所形成的弱固结砂岩类型也存在较大区别, 例如鄂尔多斯盆地包括蒙皂石为主和高岭石+伊利石为主的砒砂岩, 伴生铀矿; 松辽盆地以伊利石为主的白砂岩, 伴生氧化

铁条带；而柳江盆地的弱固结砂岩以灰白色为主，伴生铝土矿等。因此，查明弱固结砂岩的岩石学特征，将为环境治理和矿山工程设计提供重要的地质信息。

## 2. 地质背景

秦皇岛柳江盆地位于华北地台东北部，系燕山沉降带东段侵蚀构造盆地，东部紧邻渤海湾盆地，盆地南北向受山羊寨 - 王庄 - 拿子峪断裂带控制，东西向受上平山 - 南林子和大花生峪 - 大刘庄断裂带控制[14]。中生代以来岩浆活动强烈，发育北东向较强的酸性、中性和基性岩浆侵入和喷出作用[15] [16]，形成闪长玢岩、正常斑岩、辉绿岩等岩株、岩墙和岩床构造，发育安山岩、英安岩和凝灰安山岩等喷出岩[15]。盆地基底为太古代混合花岗岩[17]，上部为古生代、中生代和第四纪沉积盖层[16]，包括海相、海陆过渡相和陆相沉积环境，地层自下而上包括石炭系本溪组、太原组，二叠系山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组(图 1)。盆地含铝土矿、煤、石灰岩和石英砂岩等沉积矿产[15]，其中老柳江煤矿主要开采煤层分布在太原组和山西组地层，煤类型为无烟煤，变质程度高。

## 3. 研究方法步骤

以柳江盆地煤层顶板石炭系太原组弱固结砂岩为研究对象，以岩石学研究为切入点，在野外地质调查、取样和文献分析的基础上，在连续剖面采集样品 9 件，通过偏光显微镜(Axio Scope A1)、X-射线衍射(TD-3500) 和扫描电镜及其能谱分析(JSM-6700)等技术手段，对若固结砂岩的矿物组成、元素特征和成岩作用等方面进行了研究，测试分析在吉林大学测试科学实验中心和华北理工大学地质系岩矿分析室进行，分析步骤可分为：① 野外新鲜样品采集；② 样品制备，显微镜样品制备成 0.03 mm 的岩石薄片，扫描电镜样品制备成 1 × 1 × 0.2 cm 的小片，X-射线衍射样品制备成 200 目粉末样后制成靶；③ 测试，将制备好的样品放置在相应的测试分析设备上观察和测试；④ 结果分析，将测试分析结果汇总进行综合分析和制图。

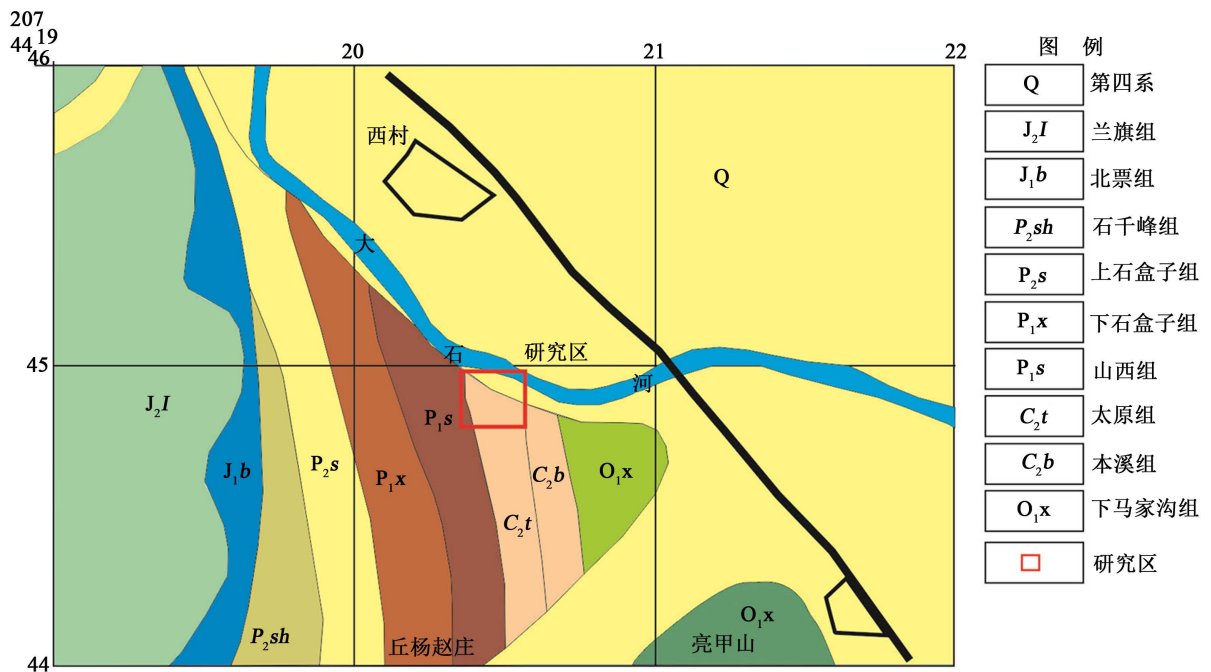


Figure 1. Position area and the basic geological diagram

图 1. 研究区位置及基础地质简图

## 4. 结果

### 4.1. 野外地质特征

野外地质调查表明, 弱固结砂岩地表出露于大石河边太原组煤层顶板上部, 呈灰白色, 其下为太原组煤系地层。在弱固结砂岩中发育大量的裂缝, 裂缝中充填了褐黑色赤铁矿脉, 脉宽在 0.1~0.5 cm 之间, 同时包含部分浅红色砂岩透镜体(图 2(a))。灰白色弱固结砂岩顶部与浅红色砂岩相接触, 界限处分布球状铁质结核和条带状褐黑色赤铁矿脉, 铁质结核直径分布在 0.05~0.15 cm 之间。灰白色弱固结砂岩与浅红色砂岩产状一致, 矿物组成存在差异, 赤铁矿仅在灰白色弱固结砂岩中发育, 这一结果暗示着灰白色弱固结砂岩的形成与太原组煤系地层存在成因联系。

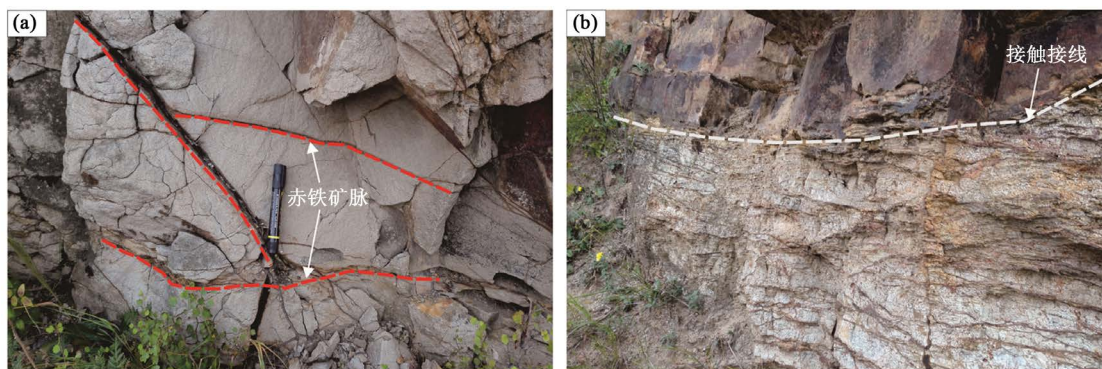
### 4.2. 岩石学特征

#### 4.2.1. 显微岩相学

偏光显微镜观察结果表明, 弱固结砂岩为碎屑结构, 粒度分布在 0.02~0.3 mm 之间, 主要分布在 0.12~0.25 mm 之间, 为中细粒碎屑结构(图 3(a)和图 3(b))。骨架碎屑的分选中等, 磨圆呈次圆状, 骨架碎屑以线接触为主, 其次为点接触(图 3(b)和图 3(d))。骨架碎屑主要由石英、长石和岩屑组成, 其次为云母和高岭石(表 1)。石英以单晶石英为主, 单偏光下无色, 正交偏光下呈一级灰白干涉色, 发育石英次生加大边(图 3(a)-(c)), 含少量的燧石, 含量为 60%~72%。长石以碱性长石为主, 发育高岭石化和伊利石化蚀变(图 3(a); 图 3(e); 图 3(f)), 单偏光下无色, 解理发育, 含量为 4%~7%。岩屑主要为泥质岩和粉砂岩岩屑(图 3(a)和图 3(b)), 其次为少量的火山岩岩屑, 含量为 3%~6%。高岭石单偏光下呈土黄色, 正交偏光呈一级灰-白干涉色(图 3(a)), 扫描电镜下呈板片状或书页状(图 3(f)), 含量为 7%~15%。含少量的云母(图 3(d)), 单偏光下无色, 正交偏光下二级蓝绿干涉色, 近平行消光, 含量为 2%~5%。填隙物中胶结物主要为黏土和硅质, 含量为 4%~6%, 孔隙式胶结, 颗粒支撑。杂基含量为 4%~5%。综上所述, 弱固结砂岩主要的岩石类型为中细粒长石石英砂岩。

#### 4.2.2. X-射线衍射分析

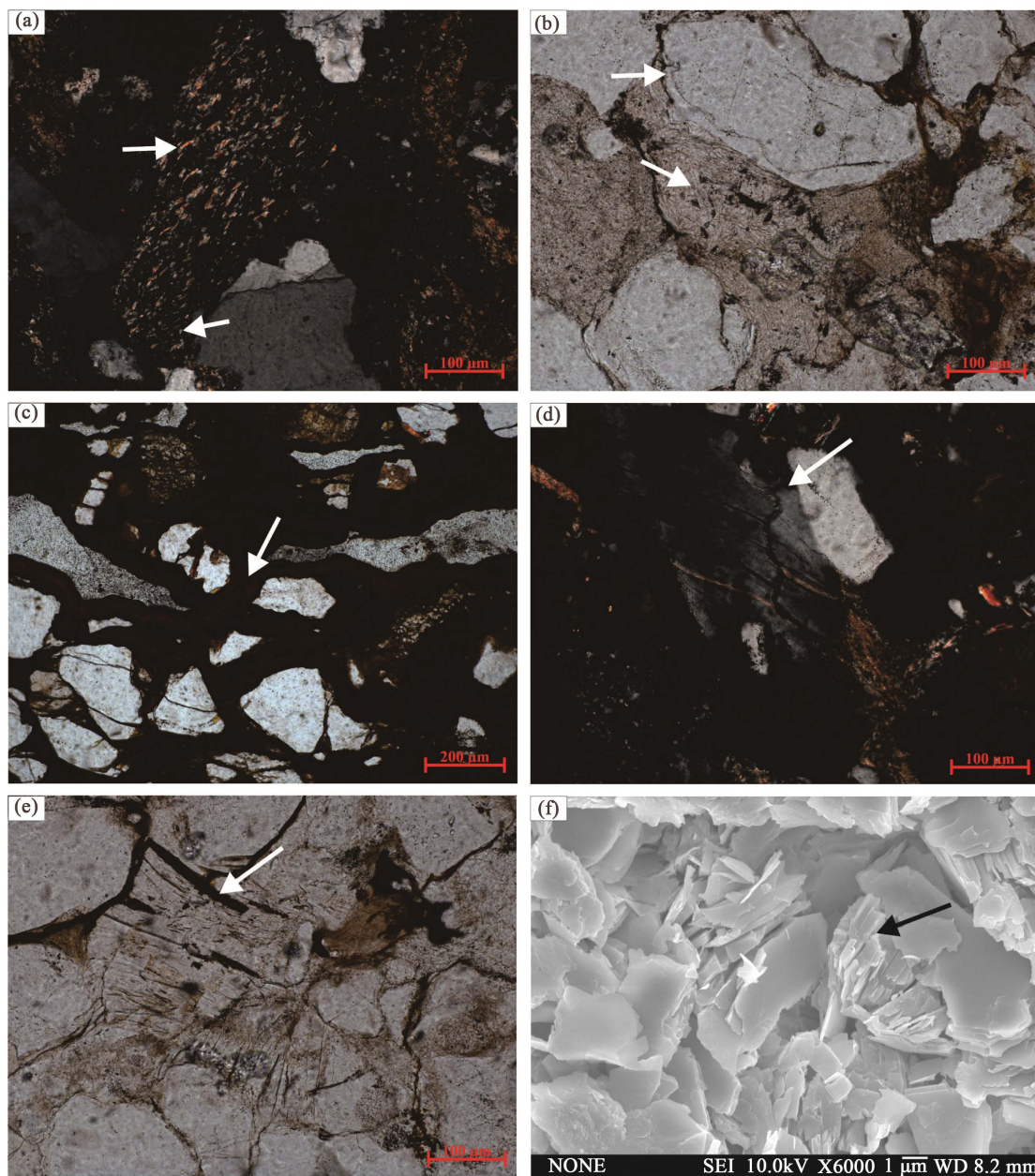
X-射线衍射分析表明, 弱固结砂岩主要由石英和高岭石组成(表 2), 石英含量在 63%~81%之间, 平均含量 76%, 2 $\theta$  角特征峰位 20.8°、26.7°、36.5°和 50.1°(图 4); 高岭石含量在 13%~37%之间, 平均含量



**Figure 2.** Weakly consolidated sandstone field typical pictures. Description: (a) There are a number of black and brown hematite veins in the weakly consolidated sandstone. The pulse width is between 0.1 - 0.5 cm; (b) the gray and weakly consolidated sandstone is in contact with the light red sandstone, and the distribution of globular iron nodules and banded Brown Black Hematite veins is at the boundary.

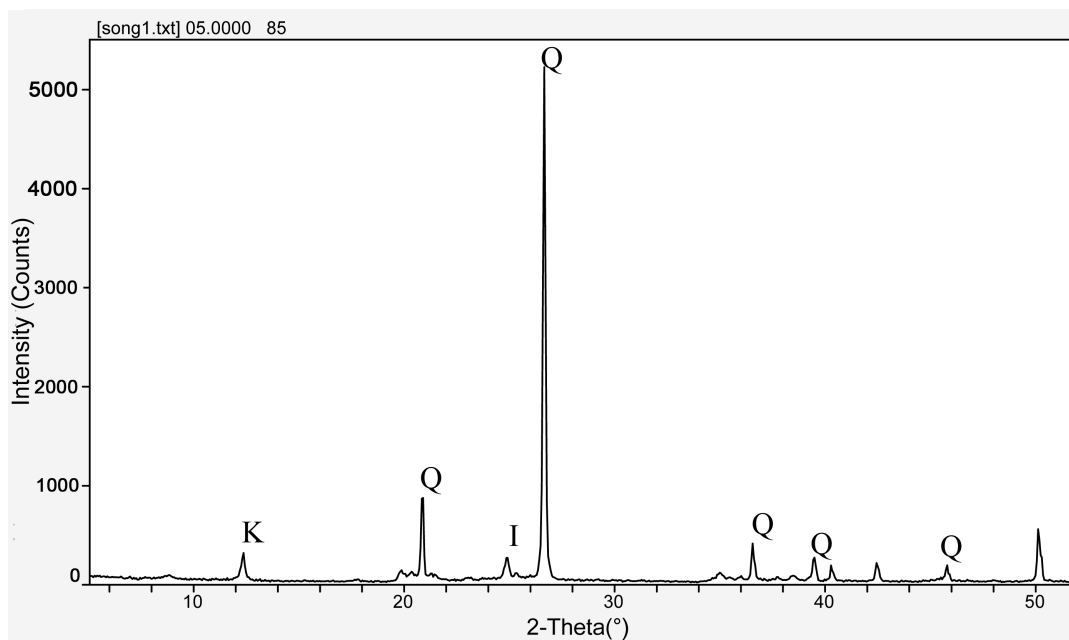
**图 2.** 弱固结砂岩野外典型照片。说明: (a) 灰白色弱固结砂岩中发育多条褐黑色赤铁矿脉, 脉宽在 0.1~0.5 cm 之间; (b) 灰白色弱固结砂岩与浅红色砂岩接触, 界限处分布球状铁质结核和条带状褐黑色赤铁矿脉





**Figure 3.** Typical microscopic the petro-graphic photos. Description: (a) Feldspar has translation illite and kaolinite mineral; kaolinite is a petrochemical, gray-white interference color, nearly parallel extinction, arrow, unimportant polarization, 200 $\times$ ; (b) develops quartz overgrowth, illite, colorless, arrow, remarkable polarization, 200 $\times$ ; (c) black Hematite filling cracks, arrow, quartz cracked development, extraordinary polarization, 100 $\times$ ; (d) alkalic feldspar and quartz are line contact, and were broken, cracks, arrow, alkali feldspar along the cleavage and development of illitization, meaningless polarization, 200 $\times$ ; (e) alkalic feldspar was broken, cracks, at the same time filling Brown-Black Hematite, arrow, alkali feldspar along the cleavage and development of ILLITIZATION, single polarization, 200 $\times$ ; (f) intergranular pore and feldspar grains pored feeling leaf flake kaolinite, arrow, SEM Mirror, 6000 $\times$

**图 3.** 典型显微岩相学照片。说明：(a) 长石发育伊利石化和高岭石化，高岭石呈一级灰 - 白干涉色，伊利石呈二级黄干涉色，近平行消光，箭头所指，正交偏光，200 $\times$ ；(b) 发育石英次生加大边，伊利石无色，箭头所指，单偏光，200 $\times$ ；(c) 褐黑色赤铁矿充填裂缝，箭头所指，石英裂纹发育，单偏光，100 $\times$ ；(d) 碱性长石与石英呈线接触，同时被压断，形成裂缝，箭头所指，碱性长石沿解理发育伊利石化，正交偏光，200 $\times$ ；(e) 碱性长石被压断，形成裂缝，同时充填褐黑色赤铁矿，箭头所指，碱性长石沿解理发育伊利石化，单偏光，200 $\times$ ；(f) 粒间孔隙和长石粒内溶蚀孔隙中充填叶片状高岭石，箭头所指，扫描电镜，6000 $\times$



**Figure 4.** X-ray diffraction figure. Description: Q—quartz, K—kaolinite, I—illite  
**图 4.** X-射线衍射图 1 号样品。说明：Q——石英，K——高岭石，I——伊利石

**Table 1.** Statistical analysis of detrital composition of weakly consolidated sandstone  
**表 1.** 弱固结砂岩骨架碎屑成分统计表

编号	岩性	粒度/mm	石英/%	长石/%	岩屑/%	云母/%	高岭石/%	胶结物/%	杂基/%
1	中细粒长石石英砂岩	0.02~0.25	70	7	3	3	7	5	5
2	中细粒长石石英砂岩	0.02~0.30	72	5	4	2	7	6	4
3	中细粒岩屑石英砂岩	0.02~0.28	69	4	6	4	8	4	5
4	中细粒长石石英砂岩	0.03~0.30	66	7	5	4	8	5	5
5	中细粒长石石英砂岩	0.02~0.20	65	7	5	3	9	6	5
6	中细粒长石石英砂岩	0.02~0.18	67	7	5	5	8	4	4
7	中细粒长石石英砂岩	0.03~0.26	64	7	4	3	12	6	4
8	中细粒长石石英砂岩	0.03~0.20	60	6	5	4	15	5	5

**Table 2.** X-ray diffraction weakly consolidated sandstone mineral relative content data  
**表 2.** 弱固结砂岩 X-射线衍射矿物相对含量数据表

编号	石英/%	赤铁矿/%	伊利石/%	高岭石/%
1	77		5	18
2	78		5	17
3	77	4	6	13
4	81		6	13
5	77		7	16
6	81		6	13
7	63			37
8	72			28

19%，2 $\theta$ 角特征峰位 12.4°；其次为伊利石，含量在 5%~7%之间，平均含量 6%，2 $\theta$ 角特征峰位 24.9°。偏光显微镜观察下，含碱性长石，同时部分发育伊利石和高岭石化蚀变，在 X-射线衍射分析中未分析出，原因可能为粉末样品长石含量未达到检测限或发育蚀变后测试结果显示为伊利石和高岭石。

### 4.3. 元素地球化学

扫描电镜能谱分析表明，主要矿物为石英、高岭石和钾长石(表 3)。石英由 Si 和 O 元素组成，Si 元素重量百分比为 46.74%，O 元素重量百分比为 53.26%，Si 和 O 原子比为 1: 2。高岭石由 Al、Si 和 O 元素组成，重量百分比 Al 元素分布在 5.5%~24.73%之间，Si 元素分布在 24.9%~41.89%之间，O 元素

**Table 3.** Weakly consolidated sandstone mineral spectrum scanning electron microscopy (SEM) analysis data

**表 3.** 弱固结砂岩扫描电镜分析矿物能谱数据表

编号	重量百分比/%				原子百分比/%				矿物
	Al	Si	O	K	Al	Si	O	K	
4-1		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
4-2		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
4-3		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
4-9	22.73	26.67	50.6		17	19.17	63.83		高岭石
4-10	23.53	25.96	50.51		17.61	18.66	63.73		高岭石
4-14		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
4-16	22.73	26.67	50.6		17	19.16	63.83		高岭石
4-17	24.73	24.9	50.37		18.51	17.91	63.58		高岭石
4-18	21.5	27.76	50.74		16.07	19.94	63.99		高岭石
4-22		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
4-23		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
4-29	22.84	26.57	50.59		17.09	19.09	63.82		高岭石
4-30	23.64	25.87	50.49		17.69	18.59	63.72		高岭石
8-4		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
8-5		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
8-6	14.9	33.58	51.51		11.12	24.07	64.81		高岭石
8-7	14.79	33.68	51.53		11.04	24.14	64.83		高岭石
8-9	18.49	26.18	47.81	7.52	14.29	19.43	62.28	4.01	钾长石
8-11	18.73	26.13	47.91	7.24	14.45	19.37	62.33	3.85	钾长石
8-12	18.28	21.84	43.93	4.24	15.51	17.8	62.84	2.48	钾长石
8-15		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
8-16		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
8-17	20.15	26.38	48.91	4.56	15.37	19.33	62.91	2.4	钾长石
8-20	20.14	25.08	47.89	6.89	15.52	18.57	62.25	3.66	钾长石
8-21		46.74	53.26			33.33	66.67		石英
8-31	5.5	41.89	52.61		4.09	29.93	65.99		高岭石

分布在 50.37%~52.61% 之间。钾长石由 Al、Si、O 和 K 元素组成,重量百分比 Al 元素分布在 18.28%~20.15% 之间, Si 元素分布在 21.84%~26.38% 之间, O 元素分布在 43.93%~48.91% 之间, K 元素分布在 4.24%~7.52% 之间。钾长石与高岭石元素成分差别在于是否含 K 元素,结合岩相学观察结果,钾长石溶蚀溶解作用后部分转变为自生片状或书页状高岭石。

## 5. 地质意义

红色砂岩漂白形成于“烃类流体”的观点提出于上个世纪二十年代[5],认为与烃类流体运移有关的漂白砂岩出露于鄂尔多斯盆地[2] [3]、犹他东南部[6]、犹他 Laramide 时期 Uinta 逆掩断层附近[7]和犹他南部[8]。对弱固结砂岩的粘土矿物组成和成因进行分析,通常以平面分布样品为研究对象,而针对这些弱固结砂岩所引发的环境[11]和工程问题[12]柳江盆地尚未开展深入探索,相关研究集中在水文、地貌和构造方面。本文以柳江盆地煤层上部弱固结砂岩为研究对象,以砂岩的岩石学特征为切入点开展研究,查明了本区的弱固结砂岩黏土矿物类型主要为高岭石,其次为伊利石,黏土矿物组合敏感性表现为速敏。砂岩的这种黏土化蚀变导致了砂岩的固结能力变差,抗压能力减低,孔隙度和渗透率增加,对煤矿的开采和矿山安全将造成严重影响,因此在煤矿的开采过程中遇到这类岩性需加固处理。同时这一结果将为煤矿开采过程中地下水防治和矿山工程设计提供重要的地质信息。

## 6. 结论

通过野外地质考察、显微岩相学和地球化学等方法对弱固结砂岩岩石学特征开展了研究,取得以下认识:

- 1) 弱固结砂岩分布于太原组煤层顶板上部,砂岩的弱固结化与煤的热变质演化具有成因联系。
- 2) 砂岩类型主要为灰白色中细粒长石石英砂岩,长石以碱性长石为主,发育高岭石化和伊利石化。黏土矿物主要为高岭石和伊利石,高岭石含量在 13%~37% 之间,伊利石含量在 5%~7% 之间,高岭石+伊利石组合储层敏感性表现为较强的速敏。
- 3) 矿物元素表明钾长石由 Al、Si、O 和 K 元素组成,高岭石由 Al、Si 和 O 元素组成,结合岩相学观察认为长石的溶蚀溶解作用为高岭石的形成提供了元素基础。
- 4) 砂岩的黏土化蚀变导致了固结能力变差,抗压能力减低,孔隙度和渗透率增加,对煤矿的开采和矿山安全将造成严重影响,该研究成果将为煤矿开采过程中地下水防治和矿山工程设计提供重要的地质信息。

## 资助信息

华北理工大学创新创业训练项目(X2016135)、河北省矿业开发与安全技术重点实验室开放基金(2016kykf02)、华北理工大学博士启动项目(28406499)、河北省地质矿产勘查开发局科技项目(2200113)、河北省自然科学基金(E2017209217)、河北省高等学校青年拔尖人才计划项目(BJ2017018)和河北省高层次人才博士后资助项目(B2016003016)联合资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 韩学士,宋日升. 伊克昭盟砒砂岩侵蚀特征及治理对策[J]. 人民黄河, 1996(1):31-33.
- [2] 马艳萍,刘池阳,赵俊峰,等. 鄂尔多斯盆地东北部砂岩漂白现象与天然气逸散的关系[J]. 中国科学: 地球科学, 2007, 37(增 S1): 127-138.
- [3] 宋土顺,刘立,王玉洁,等. 鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 679-684.
- [4] 庞雅庆,向伟东,李田港,等. 钱家店铀矿床漂白砂岩成因探讨[J]. 世界核地质科学, 2007, 24(3): 142-146.



- [5] Moulton, G.F. (1922) Some Features of Redbed Bleaching. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **10**, 304-311.
- [6] Chan, M.A., Parry, W.T. and Bowman, J.R. (2000) Diagenetic Hematite and Manganese Oxides and Fault-Related Fluid Flow in Jurassic Sandstones, Southeastern Utah. *AAPG Bulletin*, **84**, 1281-1310.
- [7] Parry, W.T. and Blamey, N.J.F. (2010) Fault Fluid Composition from Fluid Inclusion Measurements, Laramide Age Uintathrust Fault, Utah. *Chemical Geology*, **278**, 105-119.
- [8] Beitler, B., Parry, W.T. and Chan, M.A. (2005) Fingerprints of Fluid Flow: Chemical Diagenetic history of the Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, **75**, 547-561.  
<https://doi.org/10.2110/jsr.2005.045>
- [9] 宋土顺, 刘立, 刘娜, 周冰. 酸性流体作用下长石的稳定性及数值模拟[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(S1): 1052-1053.
- [10] 宋土顺, 曲希玉, 刘红艳, 刘立, 于志超, 于淼. 岩屑长石砂岩与 CO<sub>2</sub> 流体在水热条件下的相互作用[J]. 矿物岩石, 2012, 32(3): 19-24.
- [11] 于淼, 刘立, 杨会东, 刘娜, 王玉洁, 宋土顺, 明晓冉. CO<sub>2</sub> 驱油后的矿物捕获——以松辽盆地南部为例[J]. 断块油气田, 2015, 22(1): 102-107.
- [12] 田级生. 柳江盆地岩溶水富水规律剖析[J]. 石家庄经济学院学报, 1985(4): 21-24.
- [13] 张德厚, 刘金国. 柳江盆地地貌与新构造运动特征及其对煤矿坑道涌水的影响[J]. 吉林师范大学学报: 自然科学版, 1993(1): 30-35.
- [14] 郝素琴, 曲以秀, 杨洪英. 柳江火山——构造盆地的特征及演化[J]. 材料与冶金学报, 1997(1): 16-22.
- [15] 刘锡文. 从秦皇岛柳江盆地岩浆活动论其大地构造性质及成矿特征[J]. 河北联合大学学报(自然科学版), 1995(1): 76-79.
- [16] 张德厚, 刘金国. 柳江盆地地貌与新构造运动特征及其对煤矿坑道涌水的影响[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 1993(1): 30-35.
- [17] 陈丹玲, 赖绍聪, 刘养杰. 秦皇岛柳江盆地混合花岗岩的锆石 U-Pb 定年[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2007, 37(2): 277-281.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)