

昌都地区晚侏罗世达孜剖面粘土矿物组合特征及其成岩环境意义

翟如一^{1,2,3}, 马海州^{1,2}, 苗卫良^{1,2}, 韩文华^{1,2,3},
海擎宇^{1,2}, 许建新^{1,2}, 程怀德^{1,2}, 李永寿^{1,2}, 秦西伟⁴

- (1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008;
2. 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 青海 西宁 810008;
3. 中国科学院大学, 北京 100049;
4. 青海大学地质工程系, 青海 西宁 810008)

摘要:昌都地区位于西藏自治区东部, 区内有蒸发岩大范围分布。通过对昌都地区晚侏罗世含膏盐达孜剖面粘土矿物类型及其组合特征的深入研究, 对成岩环境进行了分析, 主要得到如下4点认识: 1) 达孜剖面粘土矿物以伊利石为主, 伊利石/蒙脱石混层状之, 高岭石、绿泥石和绿泥石/蒙脱石混层含量均较低; 2) IS II型有序伊/蒙混层矿物中, 每隔9~19个伊利石晶层才有蒙脱石晶层出现, 表明蒙脱石伊利石化程度高, 受成岩作用影响较大; 3) 达孜剖面呈晚成岩阶段的特征, 其成岩温度大于190℃, 沉积环境和成岩环境具有弱碱性的特点, 同时这一时期物源区呈干燥、弱水解作用的特征; 4) 高含量的 Na^+ 、 K^+ 、 Al^{3+} 和低含量的 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 碱性介质对蒙脱石—蒙脱石/伊利石—伊利石这一转化过程有一定的促进作用, 但同时抑制了埋藏过程后期绿泥石的大量生成。以上晚侏罗世含膏盐达孜剖面的成岩环境特征可为进一步探讨蒸发岩对青藏高原演化的响应关系提供一定的线索和依据。

关键词:昌都地区; 粘土矿物; 成岩环境; 含膏盐地层

中图分类号: P578

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2021)01-0010-08

粘土矿物广泛分布于各类沉积物和沉积岩中, 其中大量的粘土矿物形成于地表风化作用中, 在沉积作用和埋藏过程中可发生转变^[1]。粘土矿物的形成和转化与其所处的环境密切相关^[2], 古气候、成岩作用、构造活动、水介质条件等是控制粘土矿物形成和转化的因素。因此, 粘土矿物及其组合对物源、古气候、成岩环境和沉积环境的特征具有一定的指示意义^[3-5]。气候因素所主导的粘土矿物在不容易获取孢粉及氧同位素比值时可作为气候环境指标, 近年来利用粘土矿物进行古气候和古环境的研究已取得了重要的成果^[6-7]。利用粘土矿物组合特征恢复古盐度、古温度、物源探讨、地层的划分和对比、沉积环境等

方面的研究也有一定的进展^[8]。

昌都地区位于西藏自治区东部, 其东部、南部和北部分别与四川、云南和青海三省相接, 其在大地上处于印度板块和欧亚大陆板块结合部位的特提斯构造域东段, 即处于班公湖—怒江缝合带和可可西里—金沙江缝合带所夹持的羌塘—昌都地块之上(图1)。由于受到特提斯洋自晚元古代以来长期的构造—沉积演变, 从而在昌都地区形成的构造格局独特而又复杂^[9]。喜马拉雅—青藏高原造山带是早古生代以来从北向南, 由几个微大陆、复理石杂岩带和岛弧依次增生在欧亚大陆南缘上形成的^[10]。喜马拉雅—青藏高原造山带的古生代和中生代构造历史显著控制着新生

收稿日期: 2019-11-20; 修回日期: 2019-12-11

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目

作者简介: 翟如一(1994-), 男, 硕士生, 主要研究方向含盐系地层沉积成岩环境特征。Email: 1289749006@qq.com。

通信作者: 马海州(1963-), 男, 研究员, 主要从事盐类矿床及地球化学研究。Email: haizhou@isl.ac.cn。

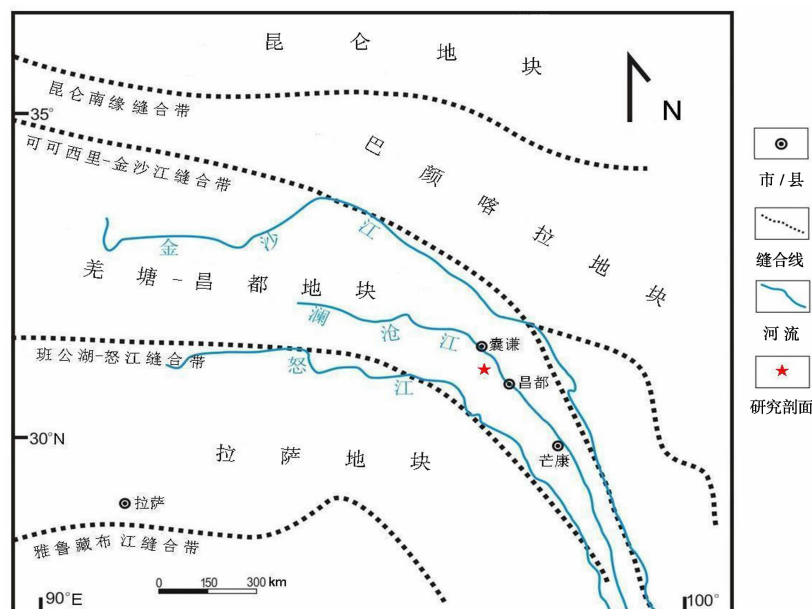
图1 研究区位置及区域构造单元划分图^[12]

Fig. 1 The location and structure unit division of the study area

代变形历史和应变分布^[11],同时从约70Ma印度板块—欧亚板块开始的碰撞也影响着古构造和古地理格局。研究指出,构造的形成和演化对蒸发岩的形成及其分布有着控制作用^[13]。昌都地区出露的地层主要包括前奥陶系、奥陶系、上古生界、中生界和新生界,区内分布有大量的石膏层和浓度较高的盐泉,个别地方也可见到菱镁矿层的出露。本文通过对昌都地区晚侏罗世含膏盐剖面粘土矿物类型及其组合特征进行分析并揭示成岩环境特征,可为进一步探讨蒸发岩对青藏高原演化的响应关系提供一定的线索和依据。

1 材料与方法

昌都地区出露的晚侏罗世达孜剖面厚约85 m,对该剖面进行岩性分层和实测后,对每一个层位进行粘土矿物取样,考虑到粘土矿物提取实验对岩性的要求这一问题^[14],采集的样品岩性主要是泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,共计19件(图2)。样品的制备和测试在北京核工业地质研究所实验中心完成,对每个粒径为200目的30g样品依次进行0.5%的稀盐酸和双氧水处理,以除去其碳酸钙和有机成分,再用蒸馏水反复洗涤至粘粒悬浮,根据Stoke沉积原理所确定的沉积时间^[14],对 $<2\ \mu\text{m}$ 的粘土矿物进行提取。接

下来分别制备成自然条件(N片)、乙二醇条件(EG片)和加热条件(T片)3种类型的测试薄片,用于X射线衍射分析。测试仪器为Panalytical X'Pert PRO X射线衍射仪,其工作电压和电流分别为40 kV和40 mA,采用Ni片滤波器以及Cu靶,扫描范围为 $3^\circ \sim 30^\circ$ 。粘土矿物的鉴定和解释主要通过Jade软件对三种测试条件下的XRD叠加波谱的综合对比,在乙二醇曲线上进行衍射峰半定量计算后得到。伊利石化学指数和结晶度根据乙二醇曲线计算,其中化学指数采用乙二醇曲线上0.5 nm和1.0 nm峰面积之比,结晶度采用乙二醇曲线上1 nm衍射峰处的半峰宽。

2 结果与讨论

XRD分析结果表明(表1),达孜剖面粘土矿物组合类型为伊利石—伊利石/蒙脱石混层—高岭石—绿泥石—绿泥石/蒙脱石混层,其中以伊利石为主,其含量一般在34%~82%之间,平均含量为58.5%;伊利石/蒙脱石混层次之,其含量一般在7%~45%之间,平均含量为25.1%,其伊利石晶层含量在90%~95%之间变化;高岭石、绿泥石和绿泥石/蒙脱石混层含量均较低,其含量范围分别为0%~16%(平均含量为7.2%)、0%~13%(平均含量为6.4%)、0%~10%(平均含量

为 2.9%)。伊利石结晶度在 $0.33^{\circ} \sim 0.54^{\circ}$ 之间, 伊利石化学指数一般变化在 $0.14 \sim 0.29$ 之间。

在地表条件下形成的自生伊利石其化学指数和结晶度都可协同指示气候的干湿变化, 即气候湿热, 伊利石化学指数和结晶度都会较高, 相反则都会较低。然而通过图 3 看到, 达孜剖面中伊利石结晶度和化学指数并没有表现出同增同减的变化趋势, 从图 4 中看到伊利石结晶度和化学指数的相关度也很差, 说明达孜剖面粘土矿物在沉积过程中受到了非气候因素(如成岩作用、介质条件等)的影响。

2.1 粘土矿物对成岩环境的指示

由地表风化作用所形成的粘土矿物, 在沉积作用和埋藏过程中会发生转变, 其形成和转化与所处的环境密切相关。随着岩层埋深的增加, 地温和压力增高, 层间水释放、大部分孔隙水被排出以及层间阳离子的迁移导致粘土矿物发生转变^[4]。在地热系统中, 受成岩作用影响的最重要的粘土矿物反应是蒙脱石的伊利石化, 也称为蒙脱石的成岩作用^[15]。随着埋藏深度和温度的增加, 蒙脱石的伊利石化的程度也随之增强, 其演化

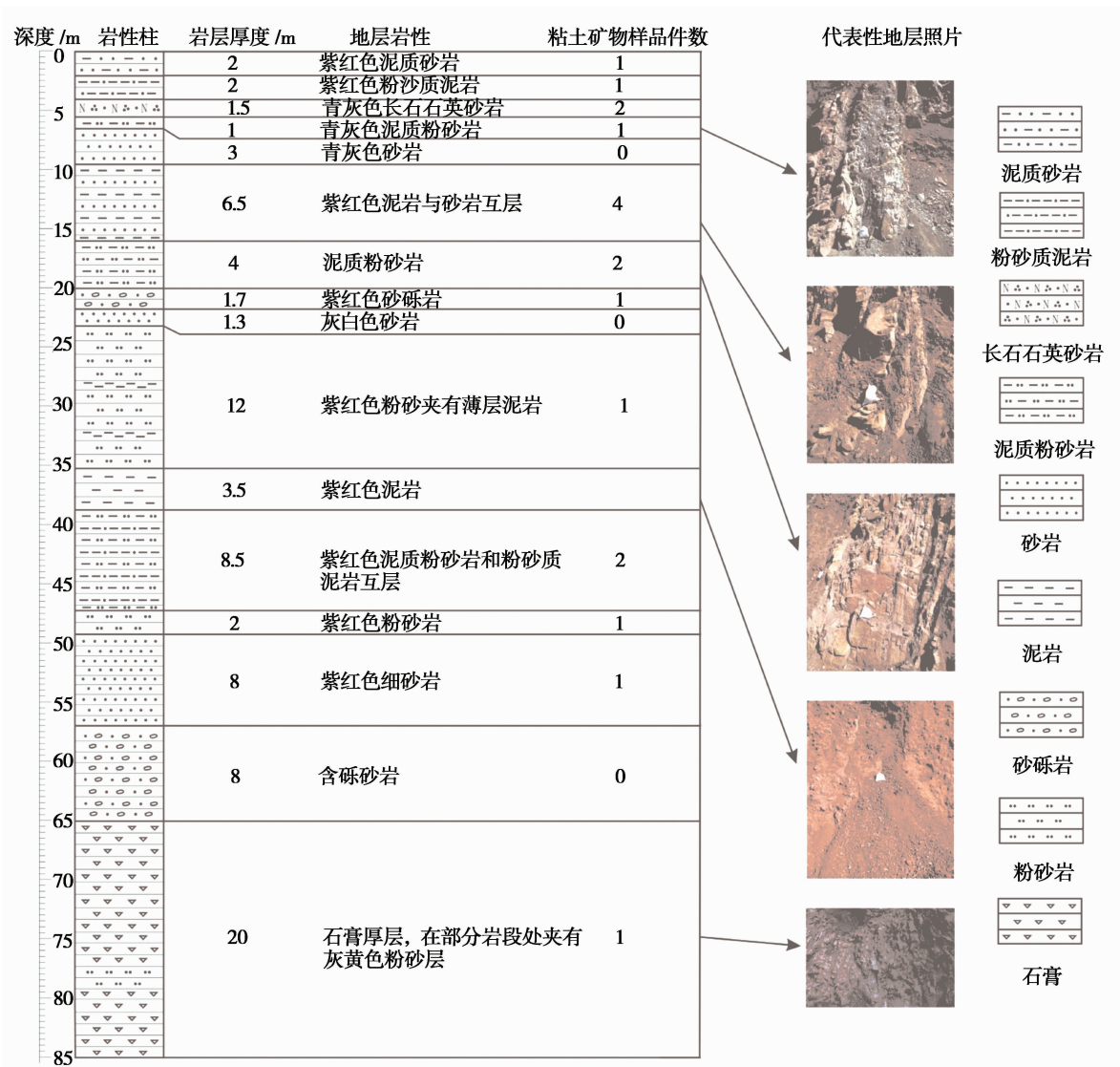


图 2 达孜剖面岩性柱状图

Fig. 2 Lithology map of Dazi section

顺序为:离散的蒙脱石、无序结构的伊/蒙混层、有序结构的伊/蒙混层和最后的离散伊利石^[16]。根据前人对伊/蒙混层矿物分类的研究^[17],研究区伊/蒙混层矿物中伊利石晶层含量大于 85% (表 2),表明了达孜剖面中伊/蒙混层矿物类型为 ISII 型有序伊/蒙混层矿物。此外,通过伊利石晶层间隔层数计算公式 $1/(n+1)=S$ (其中 n 为两个蒙脱石层之间的伊利石晶层数量, S 为蒙脱石晶层含量)^[18] 计算得出,所研究的伊/蒙混层矿物中每隔 9~19 个伊利石晶层才有蒙脱石晶层出现(表 2),显示为伊利石晶层间隔层数高的类型。由此表明达孜剖面伊/蒙混层矿物呈现有序性强、蒙脱石的

伊利石化程度高的特征,受到成岩作用的影响较大。就达孜剖面中粘土矿物此时所处的成岩阶段而言,粘土矿物之间的相互转化真实地记录了沉积物所经历的成岩作用及其可能的热事件^[19]。研究表明,蒙脱石的转化阶段与成岩阶段有着确定的相关性^[20],根据伊利石晶层含量划分为不同的成岩阶段:早成岩阶段(伊利石晶层含量小于 40%)、中成岩阶段(伊利石晶层含量为 40%~60%)、高成岩阶段(伊利石晶层含量为 65%~80%)和晚成岩阶段(伊利石晶层含量大于 85%)。达孜剖面伊/蒙混层中伊利石晶层含量高(90%~95%),表明了晚侏罗世达孜剖面为晚成岩阶段的特征。

表 1 达孜剖面粘土矿物 XRD 分析测试结果
Table 1 XRD analysis of clay minerals in Dazi section

深度/m	百分含量/wt. %						混层比/% S	
	蒙脱石	伊/蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	绿/蒙混层	伊/蒙混层	绿/蒙混层
1	/	13	71	7	9	/	7	/
3	/	19	72	3	6	/	9	/
4	/	23	51	12	6	8	5	40
5	/	32	43	12	7	6	/	42
6	/	37	49	6	5	3	7	34
10.2	/	20	67	4	9	/	10	/
12.3	/	21	65	4	9	1	/	38
13.1	/	29	52	7	7	5	5	30
15.5	/	7	82	3	8	/	10	/
16.5	/	21	60	10	6	3	9	28
17.5	/	35	56	3	6	/	8	/
20.2	/	26	64	2	4	4	9	27
29	/	13	57	16	6	8	/	32
36.5	/	14	73	/	13	/	10	/
39.5	/	38	39	11	6	6	/	38
42.5	/	28	64	2	5	1	8	18
48	/	20	71	5	4	/	8	/
56	/	35	34	15	6	10	/	32
78	/	45	41	14	/	/	7	/

一般认为温度是粘土矿物之间相互转化的主要控制因素。近年来的研究表明伊/蒙混层矿物结构的有序度在地热体系中与温度存在着一定的相关关系^[15],可用来获取地层形成的成岩温度及其盆地热演化的信息。伊利石晶层含量小于 60% 时,稳定温度小于 140℃;伊利石晶层含量为

60%~85% 时,稳定温度在 100~180℃;伊利石晶层含量大于 85% 时,稳定温度则大于 190℃^[19]。达孜剖面伊利石晶层含量为 90%~95%,表明其可能经历了较高的古地温(>190℃)。此外,昌都地区晚侏罗系的埋藏深度超过 6~9 km^[21],如果按照一般地表温度为

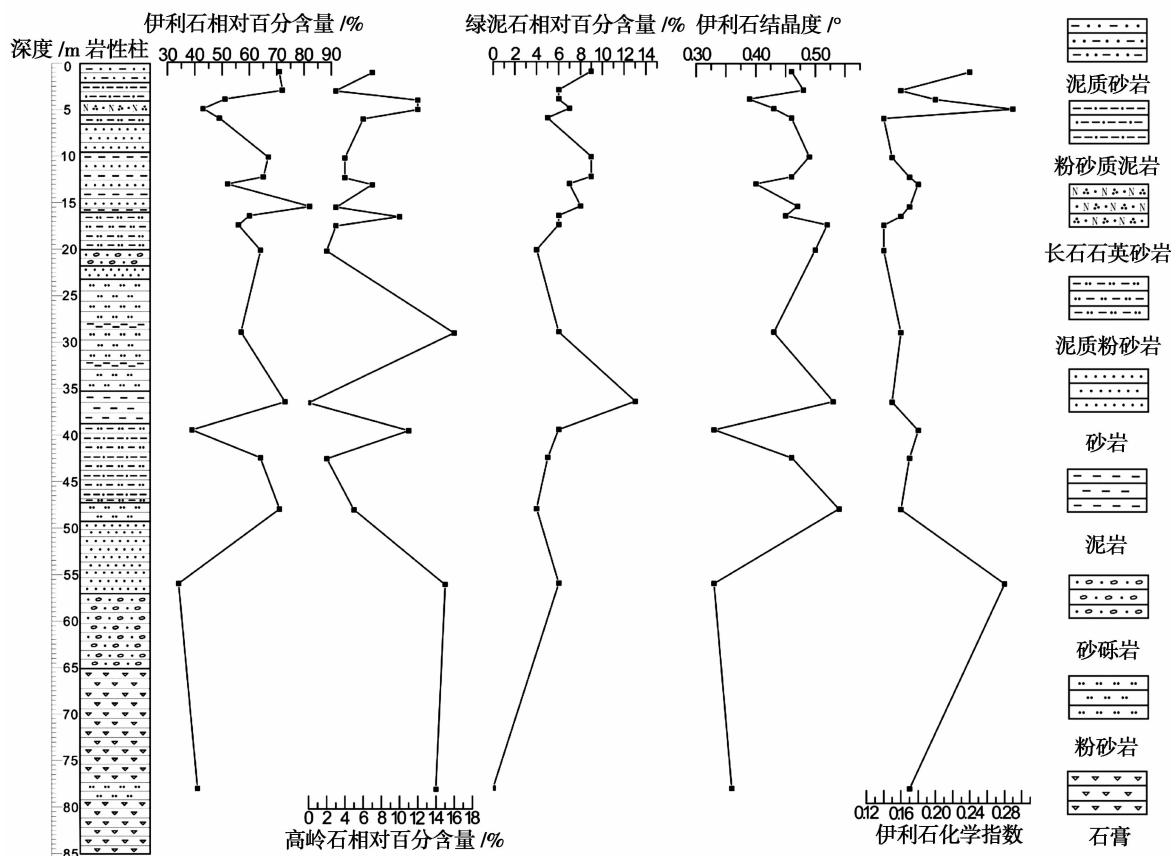


图3 达孜剖面粘土矿物相对百分含量及其它指标的变化情况

Fig. 3 Changes in relative percentages of clay minerals and other indicators in Dazi section

15℃和地温梯度为30℃/km来计算,那么昌都地区晚侏罗系的古地温要大于195~285℃,这与上述达孜剖面伊/蒙混层中伊利石晶层含量所指示的温度相符。

2.2 粘土矿物对环境介质条件的指示

在沉积和成岩过程中,粘土矿物的转变除了与温度和压力有关外,还与介质条件(如离子种类及其浓度、pH值)密切相关。高岭石一般形成于pH值较低的酸性环境中,随着pH值的增大,介质从酸性到碱性,高岭石的稳定性减小^[4]。蒙脱石、伊利石的形成则需要一个pH值较高的碱性环境^[3],蒙脱石伊利石化这一转化过程同样也需要碱性介质条件,尤其是富K⁺的条件。达孜剖面中伊利石和伊/蒙有序混层矿物的平均含量高,且高岭石的平均含量低,表明其沉积环境和成岩环境具有弱碱性的特征;此外,高含量伊利石的出现还表明了这一时期物源区呈干燥、弱水解作用的特征。徐昶^[22]对我国柴达木盆地大别勒湖

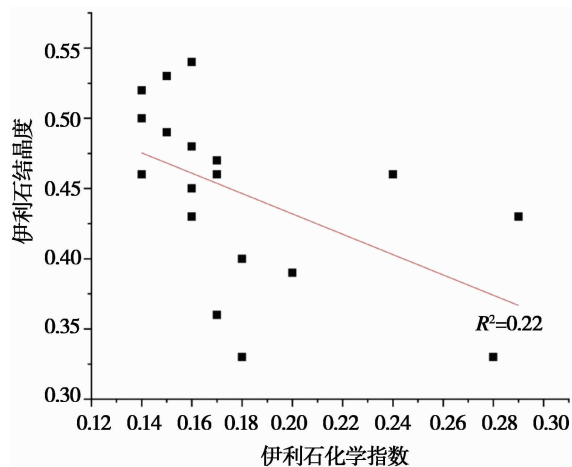


图4 达孜剖面伊利石结晶度和化学指数的相关度分析

Fig. 4 Correlation analysis of crystallinity and chemical index of illite in Dazi section

表 2 达孜剖面伊/蒙混层矿物相对百分含量及其特征

Table 2 Relative percentage of mixed illite/smectite clay minerals and the characteristics in Dazi section

样品编号	伊/蒙混层 含量/wt%	伊利石晶层 含量/%I	伊利石晶层 间隔层数	伊/蒙混层 矿物类型
DZP-1	13	93	$n=13$ 和 $n=14$ 型的混合	Is II 型有序混层
DZP-2	19	91	$n=10$ $n=11$	Is II 型有序混层
DZP-3①	23	95	$n=19$	Is II 型有序混层
DZP-3②	32	/	/	/
DZP-4	37	93	$n=13$ 和 $n=14$ 型的混合	Is II 型有序混层
DZP-7	20	90	$n=9$	Is II 型有序混层
DZP-9	21	/	/	/
DZP-10	29	95	$n=19$	Is II 型有序混层
DZP-11	7	90	$n=9$	Is II 型有序混层
DZP-12	21	91	$n=10$ $n=11$	Is II 型有序混层
DZP-13	35	92	$n=11$ $n=12$	Is II 型有序混层
DZP-15	26	91	$n=10$ $n=11$	Is II 型有序混层
DZP-17	13	/	/	/
DZP-18	14	90	$n=9$	Is II 型有序混层
DZP-19	38	/	/	/
DZP-20	28	92	$n=11$ $n=12$	Is II 型有序混层
DZP-21	20	92	$n=11$ $n=12$	Is II 型有序混层
DZP-22	35	/	/	/
DZP-25	45	93	$n=13$ 和 $n=14$ 型的混合	Is II 型有序混层

不同成盐阶段的粘土矿物研究发现,不同沉积阶段绿泥石和伊利石的含量明显不同,在未成盐阶段伊利石平均含量为 89%,绿泥石平均含量为 9%;而在成盐阶段中,伊利石平均含量减少到 80%,绿泥石平均含量增加到 18%。曲懿华等^[23]对兰坪—思茅盆地钾盐研究发现,在沉积盆地卤水咸化过程中,绿泥石含量会增加,而伊利石相对含量及其结晶度指数却不断减小,随着卤水浓缩程度的增大,尤其是达到钾盐沉积阶段,粘土矿物组合特征会表现出绿泥石和伊利石质量分数之和大于 60%,其中绿泥石含量大于伊利石含量以及绿泥石/钾蒙皂石混层矿物出现的特征。苗卫良等^[24]对兰坪—思茅盆地勐野井钾盐矿床粘土矿物研究表明,随着成盐成钾作用的增强绿泥石呈逐渐增加的趋势,且随着成盐成钾作用的减弱而含量减少。达孜剖面粘土矿物特征或各粘土矿物指标并没有显示出上述对应的变化关系,尤其是绿泥石在矿物组合中含量很低(平均含量 6.4%),远远小于伊利石的含量(平均含量为 58.5%),且随着靠近石膏层,绿泥石含量并没有显示增加的趋势,反而呈现了逐渐减少的趋势。此外,伊利石含量变化波动较大,随着靠近石膏层,在多个部分岩段中甚至出现了增大的趋势。这种情况出现的原因可能是伊利石主要形成于富 Na^+ 、 K^+ 的环境中,而富 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 的环境才有利于绿泥石的形成^[25],曲懿华等^[23]和苗卫良等^[24]所在研究区的绿泥石富镁,并且成盐成钾层段中出现有菱镁矿和自生黄铁矿等矿物,表明此研究区卤水富 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 。再者,成盐阶段的粘土矿物长期处于高矿化度卤水的这一特定的环境中,

会普遍发生粘土矿物的类质同象取代作用,从而发生粘土矿物之间的转变或生成自生粘土矿物^[22]。因此,长期持续的富 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 卤水对粘土矿物的作用是绿泥石含量增高并大于伊利石含量的主要促进因素。同时隆浩等^[4]指出,在含碱性介质的沉积物中,若有 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 存在,蒙脱石会通过绿泥石/蒙脱石混层转化成绿泥石。达孜剖面粘土矿物中绿泥石/蒙脱石混层和绿泥石的平均含量低,表明卤水介质中 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 含量较低,不足以促进绿泥石的大量转化生成。而高度有序的伊/蒙混层矿物的大量存在表明,卤水介质中 K^{+} 和 Al^{3+} 含量较高。对于“伊利石含量变化波动较大,随着靠近石膏层,在多个部分岩段中甚至出现了增大的趋势”这一现象,可以认为这一时期富含 Na^{+} 、 K^{+} 的卤水和成岩作用对蒙脱石—蒙脱石/伊利石—伊利石这一转化过程有一定的促进作用,由于受到自晚侏罗世以来多期构造活动不同程度叠加的影响,从而导致伊利石含量的变化波动较大。

2.3 粘土矿物的古气候意义

通过对粘土矿物所处的成岩环境的探讨,表明成岩作用和卤水介质对粘土矿物的转化有一定的促进作用。从图3中看到,随岩层深度的变化,指示干冷气候环境的伊利石含量和指示温湿环境的高岭石含量表现出了很好镜像对称的变化关系,此外伊利石化学指数的变化趋势与高岭石变化趋势也基本一致,这三者可共同指示气候干冷、温湿的交替变化规律。但这些粘土矿物指标是否仍由气候因素所主导,是否仍保留了古气候信息,还需要通过其它指标(如孢粉、主微量元素含量特征及其特定元素比值)加以综合印证,才可对晚侏罗世达孜剖面气候变化进行全面总结,这一问题今后的研究所需探讨的。

3 结 论

1)达孜剖面粘土矿物组合类型为伊利石—伊利石/蒙脱石混层—高岭石—绿泥石—绿泥石/蒙脱石混层,其中以伊利石为主,伊利石/蒙脱石混层次之,高岭石、绿泥石和绿泥石/蒙脱石混层含量均较低。

2)达孜剖面伊/蒙混层矿物类型为IS II型有序伊/蒙混层矿物,每隔9~19个伊利石晶层才有蒙脱石晶层出现,表明蒙脱石伊利石化程度高,受成岩作用影响较大。

3)达孜剖面呈晚成岩阶段的特征,其成岩温度大于190℃。高含量的伊利石和伊/蒙混层以及低含量的高岭石表明其沉积环境和成岩环境具有弱碱性的特征,同时这一时期物源区呈现干燥、弱水解作用的特征。

4)在含碱性介质的达孜剖面沉积物中,高含量的 Na^{+} 、 K^{+} 、 Al^{3+} 和低含量的 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 这一特征对蒙脱石—蒙脱石/伊利石—伊利石这一转化过程有一定的促进作用,但同时抑制了埋藏过程后期绿泥石的大量生成。

致 谢:论文写作过程中得到了吕爽、赵廷仪同学的指导和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 陈涛,王欢,张祖青,等. 粘土矿物对古气候指示作用浅析[J]. 岩石矿物学杂志,2003,22(4):416-420.
- [2] 张乃娴. 粘土矿物与风化作用[J]. 中国非金属矿工业导刊,1992,(6):2-6.
- [3] 威维尔·普拉德. 粘土矿物化学[M]. 张德玉,译. 北京:地质出版社,1983:1-98.
- [4] 隆浩,王晨华,刘勇平,等. 粘土矿物在过去环境变化研究中的应用[J]. 盐湖研究,2007,15(2):25-29.
- [5] 赵永胜. 云南星云湖断陷湖盆中粘土矿物组合特征与沉积环境关系的初步探讨[J]. 海洋与湖沼,1993,24(5):447-455.
- [6] Liu Z, Colin C, Huang W, et al. Climatic and tectonic controls on weathering in south China and Indochina Peninsula: Clay mineralogical and geochemical investigations from the Pearl, Red, and Mekong drainage basins[J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2013, 8(5):2-16.
- [7] 左俊. 青藏高原东北缘尖扎盆地黏土矿物特征及其古环境意义[D]. 西安:长安大学,2016:46-53.
- [8] 徐昶. 中国盐湖粘土矿物研究[M]. 北京:科学出版社,1993:1-208.
- [9] 李龚健. 三江特提斯复合造山带构造演化与典型矿床成矿过程研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2014:2-5.
- [10] 常承法,郑锡澜. 中国西藏南部珠穆朗玛峰地区构造特征[J]. 地质科学,1973,8(1):1-12.
- [11] 尹安. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化—显生宙亚洲大陆生长[J]. 地球学报,2001,22(3):2-39.
- [12] 祁昭林. 青藏高原东部囊谦—昌都地区烃源岩特征及非常规油气资源前景[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017:13.

- [13] 苗忠英,张震,郑绵平,等.东特提斯构造演化与兰坪—思茅盆地蒸发岩的形成[J].地球学报,2017,(6):40–53.
- [14] 赵杏媛,张有瑜.粘土矿物与粘土矿物分析[M].北京:海洋出版社,1990:5–80.
- [15] Pollastro R M. Considerations and Applications of the Illite/Smectite Geothermometer in Hydrocarbon-Bearing Rocks of Miocene to Mississippian Age[J]. Clay and Clay Minerals,1993,41(2):119–133.
- [16] 雷新荣,刘惠芳.沉积地层中伊/蒙混层粘土矿物的晶体结构晶体化学研究[J].沉积学报,1997,(1):98–103.
- [17] 陆琦,雷新荣.不规则伊/蒙混层粘土矿物成因类型及晶体化学分类[J].矿物学报,1991,(2):97–104.
- [18] Watanabe T. The structural model of illite/smectite interstratified mineral and the diagram for its identification[J]. Clay Science,1988,7:97–114.
- [19] 张哲,陈小明,赵明.利用伊/蒙混层矿物对山东济阳拗陷古地温和剥蚀深度的反演[J].南京大学学报(自然科学),2008,44(6):621–631.
- [20] 赵明,陈小明,季峻峰,等.山东昌潍古近系原型盆地粘土矿物的成岩演化与古地温[J].岩石学报,2006,22(8):85–94.
- [21] 陈红汉.昌都盆地古油藏的流体包裹体证据[J].地质学报,2010,84(10):1457–1469.
- [22] 徐昶.我国盐湖粘土矿物及其意义的初步研究[J].中国科学B辑,1990,(3):303–312.
- [23] 曲懿华.兰坪—思茅盆地钾盐成矿规律及预测[M].北京:地质出版社,1998:1–111.
- [24] 苗卫良,马海州,张西营,等.云南兰坪—思茅盆地勐野井钾盐矿床 SHK4 孔含盐系粘土矿物特征及其成钾环境指示意义[J].地球学报,2013,34(5):537–546.
- [25] Merriman R J. Clay minerals and sedimentary basin history [J]. European Journal of Mineralogy,2005,17(3):7–20.

Characteristics of Clay Minerals and Their Diagenetic Environmental Significance in the Late Jurassic Dazi Section, Changdu

ZHAI Ru-yi^{1,2,3}, MA Hai-zhou^{1,2}, MIAO Wei-liang^{1,2}, HAN Wen-hua^{1,2,3},

HAI Qing-yu^{1,2}, XU Jian-xin^{1,2}, CHENG Huai-de^{1,2}, LI Yong-shou^{1,2}, QIN Xi-wei⁴

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources,

Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. Qinghai Provincial Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes, Xining, 810008, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China;

4. Department of Geological Engineering, Qinghai University, Xining, 810016, China)

Abstract: The Changdu area is located in the eastern part of Tibet Autonomous Region and evaporites are widely distributed here. In this paper, diagenetic environment is discussed through study of the assemblage characteristics of clay minerals in the late Jurassic gypsum-bearing Dazi section in the Changdu area and the main conclusions are gotten as follows: 1) The clay mineral assemblage consists mainly of illite and illite/smectite (I/S) with minor kaolinite, chlorite and chlorite/smectite in Dazi section. 2) Smectite crystal layer appears after 9–19 illite crystal layers in the ISII type ordered I/S mixed layer minerals, which indicates the high degree of illitization of smectite influenced by diagenesis. 3) The Dazi section is characterized by late diagenesis, and its diagenetic temperature is more than 190°C. The sedimentary and diagenetic environment is characterized by weak alkalinity. At the same time, the source region was characterized by dry and weak hydrolysis. 4) High contents of Na⁺, K⁺, Al³⁺ and low content of Fe²⁺, Mg²⁺ alkaline medium can promote the transformation process of S–I/S–I, but in the same time hinder the massive formation of chlorite in the later stage of the burial process. These diagenetic environment characteristics can provide some clues and basis for further investigation of the response relationship of evaporates to the evolution of the Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: Changdu area; Clay mineral; Diagenetic environment; Gypsum-bearing strata