

# 吐哈盆地台北凹陷粘土矿物纵向异常演化与成因分析

刘宝<sup>1</sup>, 李伟<sup>1,2</sup>, 付建奎<sup>2</sup>, 岑晓春<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学沉积所, 四川成都 610059 2. 中国石油勘探开发研究院地质所, 北京 100083)

**摘要:**台北凹陷粘土矿物的成岩演化在纵向上虽然存在伊/蒙混层中蒙脱石层的基本正常成岩变化规律,但是,在各成岩阶段其他粘土矿物组分的变化中却出现了多种异常现象,主要以鄯善构造为例,经分析研究后提出了该区粘土矿物在各成岩阶段出现异常变化的多种原因,如:存在原沉积母岩、沉积水介质、煤系地层成岩产生的酸性流体、暗色泥岩热演化生成的有机酸及油层中有机酸等因素的影响,这些因素不同程度的作用造成了该区各成岩阶段粘土矿物的异常发育特征。

**关键词:**台北凹陷;粘土矿物;异常演化;成因;母岩;煤系地层;水介质。

中图分类号:P571.1618.117 文献标识码:A

文章编号:1000-238X(2002)05-0504-05

**作者简介:**刘宝(1931-),男,中国科学院院士,教授,博士生导师,主要从事构造岩相分析、沉积作用演化、盆地分析以及成岩成矿作用等方面的研究。

## 1 台北凹陷基本地质情况概况

台北凹陷是吐哈盆地最主要的含油气凹陷,其面积将近 10 000 km<sup>2</sup>。由下至上发育有晚石炭—早二叠世含火山岩的海陆交互相地层,晚二叠世—三叠纪的陆相河湖碎屑岩沉积,早中侏罗世较潮湿的陆相河湖含煤碎屑岩沉积,中晚侏罗世较干旱的河湖碎屑岩沉积及干旱环境下的白垩—第三纪河湖碎屑岩沉积<sup>①</sup>。上侏罗统及其以上的地层大都为红色—土黄色的砂、砾、泥岩地层,并在下第三系上部—上第三系下部存在石膏<sup>②</sup>。

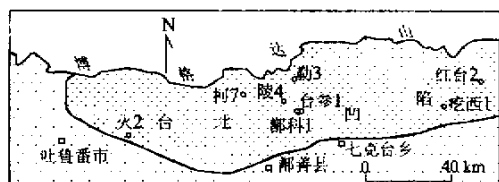


图1 鄯科1井与台参1井在台北凹陷中的位置

Fig.1 Sketch map showing position of Shanke-1 well and Taican-1 well in Taibeidepression

20世纪80年代末期以来,有许多专家对吐哈盆地的沉积、储层及其成岩作用等进行了大量的研究,其成岩作用的阶段划分也有了基本的方案,但是由于粘土矿物的变化在碎屑岩成岩阶段的划分中起着重要的作用,而粘土矿物的存在与演化不仅受成岩作用的影响,而且受物源区岩石类型、沉积环境水介质、地层温度局部异常等复杂因素的综合影响<sup>①</sup>。以前大部分的专家对其中的粘土矿物的成因也做过较多的分析,但是,仍有一些问题有待进一步解决。本文主要以鄯善构造粘土矿物的垂向变化为例来进行论证与说明。

## 2 鄯善构造伊/蒙混层中蒙脱石层质量分数的变化规律与成岩阶段的划分

鄯科1井是台北凹陷中钻探层位最全(P—Q)钻探井深最大(5 500 m)的一口井,因此,也是成岩作用阶段划分较全的一口井(图1)。1989年陈丽华教授<sup>③</sup>对该井邻近的台参1井做过以粘土矿物转化过程中伊/蒙混层中蒙脱石层质量分数变化为主要依据的,且也是较全面的成岩作用阶段的划分。其成岩阶段的划分是:该井上侏罗统—白垩系及其以上地层为成岩期,中侏罗统七克台组为后生早期,

收稿日期:2002-04-22

基金项目:中国石油天然气集团公司“新盆地、新层系、新领域研究和科学探索井的选择与实践”项目(95-81-1C)。

①常承永,施和生.吐鲁番—哈密盆地吐鲁番坳陷台北构造台参1井沉积相研究.石油勘探开发科学研究院,1989.

②赵俭成.吐鲁番—哈密盆地吐鲁番坳陷台北构造台参1井地质综合评价.石油勘探开发科学研究院,1989.

③陈丽华.吐鲁番—哈密盆地吐鲁番坳陷台北构造台参1井储层研究.石油勘探开发科学研究院,1989.

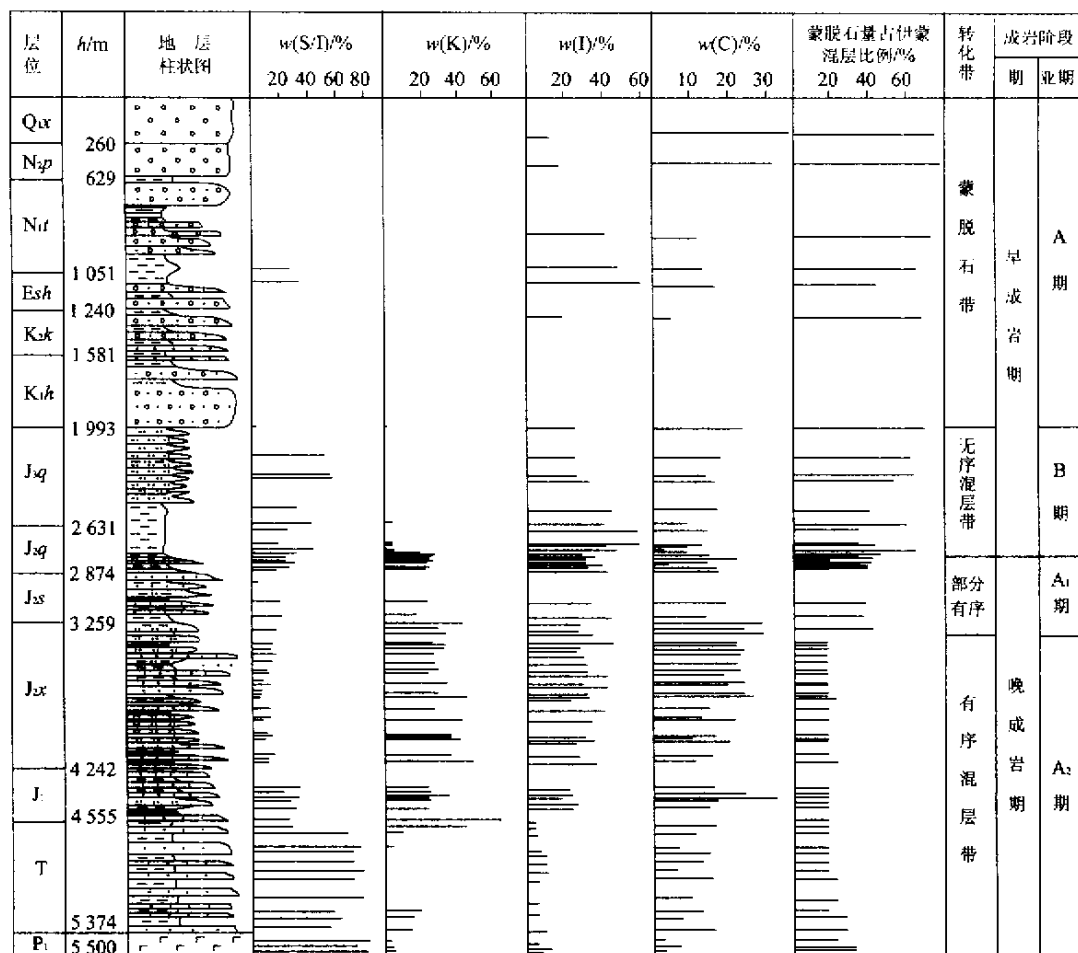


图 2 鄯善构造钻遇地层泥岩粘土矿物转化特征分析

Fig. 2 Characteristic of clay minerals evolution in mudstone of drilling-meet in the Shanshan structure

S/I. 伊蒙混层; K. 高岭石; I. 伊利石; C. 绿泥石

中侏罗统三间房组及其以下钻遇的下侏罗统为后生晚期。20 世纪 90 年代初期,随着新探井的迅速增多,薛叔浩等<sup>④</sup>对部分新探井的粘土矿物转化与成岩作用的关系做了大量研究,发现了成岩作用阶段在不同地区与台参 1 井有或多或少的差别,但基本变化不大。

(1) 以伊/蒙混层中蒙脱石层质量分数为划分成岩阶段的标准。1993 年应凤祥<sup>2]</sup>提出用粘土矿物蒙脱石层在伊/蒙混层中的比例来作为划分成岩阶段的标准,这一标准已得到普遍推广与应用。本文也以这一标准为依据,并结合前人岩矿研究的成果进行了成岩阶段的划分(图 2)。

(2) 台北凹陷成岩阶段的划分及各阶段伊/蒙混层中蒙脱石层质量分数的垂向变化特征。根据上述标准,该区鄯科 1 井存在早成岩 A 期、B 期,晚成岩

A<sub>1</sub> 期、A<sub>2</sub> 期等几个成岩阶段。鄯科 1 井与台参 1 井早成岩 A 期蒙脱石层带为 2 001 m 以上的上侏罗统喀拉扎组顶部、白垩系及第三系,其蒙脱石层质量分数大多为 72%~90%,但是下第三系泥岩样品中伊/蒙混层中蒙脱石层质量分数仅为 67%,砂岩样品伊/蒙混层中蒙脱石层质量分数仅为 52%。早成岩 B 期的无序混层渐变带为 2 001~2 788 m 的上侏罗统喀拉扎组中下部、上侏罗统齐古组及中侏罗统七克台组上部泥岩为主,其蒙脱石层质量分数大多为 55%~67%,但是这一井段中齐古组下部与七克台组部分泥岩样品的蒙脱石层在伊/蒙混层中的比例较低,为 36%~42%。晚成岩 A<sub>1</sub> 期部分有序混层第一迅速转化带为 2 788~3 290 m 的七克台组中下部砂岩为主、中侏罗统三间房组及西山窑组顶部,蒙脱石层质量分数大多为 36%~47%,但是这一井段中部分地层的伊/蒙混层中蒙脱石层质量分数低于 35%,仅为 20%~25%,其砂岩表现

④薛叔浩,应凤祥,唐祥华,等.吐鲁番凹陷台北凹陷侏罗系沉积与储层特征,石油勘探开发科学研究院,1992.

尤为明显.晚成岩 A<sub>2</sub> 期有序混层第二迅速转化带为 3 290~5 500 m 的西山窑组及下侏罗统含煤地层、三叠系与二叠系<sup>⑤</sup>,但是三叠系中下部又出现了较高的蒙混层中蒙脱石层质量分数,可达到 30%~35%.由此可知,这一方案与陈丽华<sup>③</sup>的台参 1 井方案基本相近,但是在分界位置都存在一定的深度与层位差别,并且在各成岩阶段还存在一些局部的异常特征.

### 3 粘土矿物的异常变化特征与成因分析

(1) 早成岩 A 期绿泥石与伊利石的异常出现与母岩成分及沉积水介质有关.早成岩 A 期上第三系葡萄沟组砂岩中的绿泥石质量分数可占粘土矿物的 34%~40%,伊利石质量分数为 13%~17%.桃树园组泥岩中绿泥石质量分数可占粘土矿物的 13%~14%,伊利石质量分数为 42%~49%.下第三系鄯善群中绿泥石质量分数可占粘土矿物的 6%~14%,伊利石质量分数为 59%.下白垩统砂岩中绿泥石质量分数可占粘土矿物的 36%~38%,伊利石质量分数为 12%~18%.而绿泥石主要是成岩变质矿物,按照其成因分析<sup>③</sup>,其较高质量分数的存在不可能是早成岩的结果.伊利石在成岩阶段多由蒙脱石层少量转化过来,其质量分数也不可能在这一时期高达 40%~60%.

根据该区重矿物的分析,下白垩统的不稳定重矿物绿帘石的质量分数为 45.2%,下第三系鄯善群的绿帘石的质量分数为 15.7%,上第三系桃树园组绿帘石的质量分数为 28.9%,上第三系葡萄沟组绿帘石的质量分数为 43%,这一特征与绿泥石质量分数特征有很好的对应关系.而绿帘石的质量分数较多说明是近源沉积,且多存在于变质岩地层中.又根据赵文智等<sup>⑥</sup>对该井沉积相的研究,认为下白垩统与上第三系葡萄沟组多为冲积扇沉积,白垩系与第三系其他地层都为河湖相沉积.而该区近物源的母岩区只能是博格达山,该山脉中存在大量的石炭系变质岩与火山岩.这些火山岩与变质岩中存在较多的不稳定矿物与成岩变质而成的绿泥石,在近源沉积背景下,可以造成沉积岩中较高质量分数的绿泥石再沉积<sup>④</sup>与绿帘石的高质量分数.因此,可以认为早成岩 A 期绿泥石的异常出现首先与火山岩与变

质岩母岩的近源再沉积有关.

上第三系中存在较高的钙质量分数(12%~33%),且普遍富含钙质结核与石膏.下白垩统也普遍见结晶程度较好的方解石与钙质团块,含钙量为 2%~16%.这表明该区的白垩系与第三系为干旱气候下的咸水沉积.而干旱气候下的早期浓缩水介质为碱性水介质,这种水介质如果富含铁、镁,就可以在地层中形成较高质量分数的绿泥石,如果是富钾的水介质就可以在地层中形成较高质量分数的伊利石组分<sup>⑤</sup>.如江汉盆地第三系早成岩时期盐湖沉积中就存在较高质量分数的绿泥石(5%~25%,个别达 95%)与伊利石(80%~100%)组分<sup>⑥</sup>.因此,该区早成岩 A 期绿泥石与伊利石异常高,还与沉积水介质有关.

(2) 晚成岩 A 期出现的低伊/蒙混层质量分数与煤系地层的酸性水活动有关.该区晚成岩 A 期含煤最多的西山窑组地层中伊/蒙混层的质量分数降到了 0~20%,且多为 0~10%,在其上覆晚成岩 A<sub>1</sub> 期七克台组与三间房组砂岩中的伊/蒙混层质量分数也降到了 5%~15%(图 2).而淡水碎屑岩的沉积成岩过程中,晚成岩 A 期应该是伊/蒙混层质量分数较高的时期<sup>⑥</sup>,而这与该区粘土矿物的演化规律恰好相反,表明该井区粘土矿物转化受到了其他因素的强大影响.

根据 E. Stach 等人的研究,煤在成岩过程中产生较多的腐植酸,可以使地层水 pH 值降低到 3.3~6.5[据文献 5].而这种酸性地层水的存在大大地抑制了伊/蒙混层的形成,因为蒙脱石层与伊利石都是碱性水介质的产物.因此,该区晚成岩 A 期中上部地层中低伊/蒙混层的异常应该主要与西山窑组煤系地层产生的酸性地层水的活动有关.

(3) 晚成岩 A<sub>1</sub> 期砂岩中高岭石的高质量分数特征与多来源的酸性地层水强力作用有关.从高岭石的分布来看,在晚成岩 A<sub>1</sub> 期的七克台组砂岩中部分层段高岭石质量分数可以达 60%~70%,如:含油气井段 2 819~2 829 m 砂岩中粘土矿物的高岭石质量分数为 58%~70%.三间房组砂岩的部分层段中高岭石质量分数可以达 58%~89%,如:油层 2 923~2 934 m 砂岩中粘土矿物的高岭石质量分数为 54%~69%,油层 3 236~3 247 m 砂岩中粘土矿物的高岭石质量分数为 77%~89%.而其他非油层的砂岩中粘土矿物中高岭石质量分数多为 25%~50%,明显低于油层中粘土矿物中高岭石的质量分数.

从前面的分析中可知,煤系地层中的煤在成岩

⑤ 岑晓春.吐哈盆地鄯善构造带科 1 井深层储层评价.中国石油勘探开发研究院地质所,2000.

⑥ 赵文智,袁非,李伟,等.吐鲁番-哈密盆地石油地质特征与含油气远景综合评价.石油勘探开发科学研究院,1990.

过程中可以使地层水变为酸性地层水,并向上覆砂岩地层中运聚,而油层地层水中存在的有机酸<sup>⑦</sup>及泥岩成熟过程中生成的有机酸<sup>⑧</sup>,分别可使地层水中的有机酸浓度升高到 200~5 000 mg/L<sup>[7,8]</sup>,甚至达到 4 600 mg/L。因此,这种多来源的酸性流体不仅造成了油层中高岭石质量分数异常高的特征,同时也使油层储层的次生孔隙度增加 2.4%~6.68%<sup>[9]</sup>。

(4)晚成岩 A<sub>2</sub> 后期突然出现的高伊/蒙混层特征与以火山喷发岩为母岩的富蒙脱石层的深层成岩转化有关。高伊/蒙混层存在于三叠系砂泥岩中,在晚成岩 A<sub>2</sub> 后期的 4 683~5 345 m 灰白色泥岩伊/蒙混层的质量分数高达 56%~84%,普遍质量分数在 72% 以上。其砂岩胶结物中伊/蒙混层的质量分数也达 69%~81%。这一现象在晚成岩 A<sub>2</sub> 后期的正常的碎屑岩中是很异常的事件,而晚成岩阶段出现的较高蒙脱石层质量分数异常,常被认为是火山喷出岩的搬运沉积物富含蒙脱石层所造成的。这一现象是否也由火山喷出岩的沉积物所引起呢?笔者认为这不仅是由火山喷出岩的搬运沉积物富含蒙

转化,其主要证据是三叠纪的砂岩中存在 33%~87% 的喷出岩岩屑质量分数(图 3a, 3b),并且喷出岩岩屑的泥化现象较明显。这说明火山喷出岩是这一套沉积的主要母源,其不仅造就了该区富含蒙脱石层的泥岩,而且也使该区砂岩的胶结物中富含蒙脱石层。而这一类地层是强碱性的,成岩阶段的酸性地层水也很难将其全部转化成伊利石与绿泥石等成岩自生矿物。因此,其高伊/蒙混层的特征是在富含蒙脱石层的地层形成碱性地层水的条件下,在深层晚成岩 A<sub>2</sub> 后期的强力成岩作用下粘土矿物的异常转化所造成,不仅泥岩如此,而且也造成了深层 III 级次生加大石英颗粒表面的伊/蒙混层化与绿泥石化(图 3c, 3d)。

## 4 结论

(1)该区郜科 1 井从第四系-三叠系存在早成岩 A 期、B 期、晚成岩 A<sub>1</sub> 期、A<sub>2</sub> 期等成岩阶段,而且各成岩阶段的粘土矿物存在不同程度的异常,易引起错误地划分成岩阶段。(2)早成岩 A 期绿泥石与伊利石的高异常现象不仅与火山岩母岩成分的影响有关,而且还与其地层沉积时富镁、铁和富钾的沉积水介质影响有关。(3)晚成岩 A 期中侏罗统存在的低伊/蒙混层质量分数特征,主要与煤系地层中煤在成岩演化过程中产生的酸性地层水作用有关。(4)煤系地层中煤成岩酸性地层水的形成、烃源岩成烃中有机酸的供给及油藏中有机酸脱出等多来源的酸性地层水的强力作用,不仅造成了晚成岩 A<sub>1</sub> 期七克台组、三间房组砂岩中高岭石的高质量分数特征,而且也是这一井段砂岩次生孔隙大量产生,并改善储层物性的主要原因。(5)晚成岩 A<sub>2</sub> 后期突然出现的高伊/蒙混层特征,是以火山喷发岩为母岩、富蒙脱石层的强碱性地层的深层强力成岩作用转化的结果。

### 参考文献:

- [1] 刘宝. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社,1980.  
LIU B J. Sedimentary rock[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980.
- [2] 应凤祥. 碎屑岩成岩阶段划分规范[M]. 北京:石油工业出版社,1993.  
YING F X. Classification standard of diagenetic stages of detrital rock[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993.
- [3] 应凤祥. 中国陆相碎屑岩中的自生矿物(中国油气储层研究论文集)[M]. 北京:石油工业出版社,1993.  
YING F X. Authigenic mineral of detrital rock in the continental sedimentary Basin of China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993.

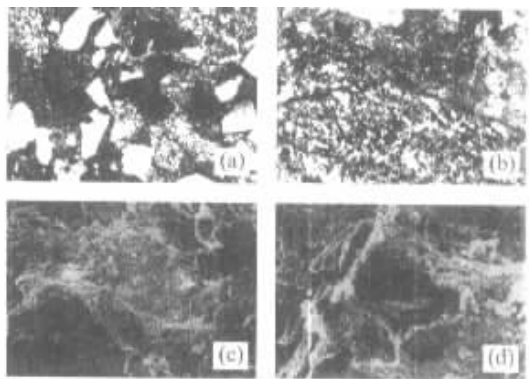


图 3 郜善深层晚成岩作用 A<sub>2</sub> 时期的砂岩的薄片鉴定与电镜扫描

Fig. 3 Thin-section analysis and electron scanning micrograph of sandstone in the middle time of late diagenetic stage at the Shanshan structure

a. 含凝灰质岩屑砂岩(50倍正交), 5 130.43 m; b. 方解石交代喷出岩岩屑(50倍正交), 5 049.80 m; c. 石英加大 III 级, 表面蚀变成 I/S 混层(1 790倍扫描电镜), 4 712.52 m; d. 绿泥石交代石英(5 000倍扫描电镜), 5 279.30 m

脱石层所造成,而且由于在深层晚成岩 A<sub>2</sub> 后期,强力成岩作用使蒙脱石层发生了向伊/蒙混层的异常

⑦李伟. 台北凹陷油田水地球化学特征与油气关系分析. 石油勘探开发科学研究院, 1992.

⑧应凤祥, 张继春. 吐鲁番凹陷台北凹陷温 1 井侏罗系储层特征与评价. 石油勘探开发科学研究院, 1992.

- [4] 胡惟元. 贵州六枝朗岱地区上二叠统玄武岩屑砂岩成岩特征与自生矿物的成因[J]. 沉积学报, 1988, 6(3): 70-77.
- HU W Y. Features of diagenesis and genesis of authigenic minerals in basaltic sandstones (Upper Permian Series) in the Langdai district, Liuzhi County, Guizhou [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6(3): 70-77.
- [5] 裴悻楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- QIU Y N, XUE S H, YING F X. Reservoir of oil and gas in the continental sedimentary basin of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [6] 戴世昭. 江汉盐湖盆地石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- DAI S Z. Petroleum geology of Jianghan salt-lake basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [7] MacGowan D, Surdam R C. Difunctional carboxylic acid anions in oil-field water [J]. Organic Geochemistry, 1988, 12: 245-259.
- [8] 李伟. 塔里木盆地油田水有机地球化学特征分类及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1996, 22: 30-35.
- LI W. Characteristics of organic geochemistry and classification of oil field water in Tarim basin and its petroleum geological significance [J]. Petroleum Exploration and Development, 1996, 22: 30-35.
- [9] 李伟. 影响吐哈盆地储层物性的主要因素[J]. 石油勘探与开发, 1992, 19(增刊): 230-236.
- LI W. Main factors affecting on the petrophysical properties of reservoir rocks in Turpan-Ami basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1992, 19(Suppl): 230-236.

## Genesis of Abnormal Evolution of Clay Minerals at Different Diagenetic Stages in Taipei Depression of Tuha Basin

LIU Bao-jun<sup>1</sup>, LI Wei<sup>1,2</sup>, FU Jian-kui<sup>2</sup>, CEN Xiao-chun<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Chinese Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In Taipei depression, the diagenetic evolution of the clay minerals indicates that the smectite in smectite/illite mixed layer is associated with the basic normal genetic variation with depth. However, the other clay minerals are associated with various anomalous phenomena at different diagenetic stages. The detailed investigation of diagenesis in Shanshan structure indicates that several factors, such as sedimentary provenance, aqueous medium, acidic fluid generated by diagenesis of coal measure strata, organic acid generated in the course of thermal evolution and organic acid existing in oil layer, are responsible for the anomalous variation of the clay minerals at different diagenetic stages. These factors have resulted, to different extents, in anomalous development of the clay minerals at different diagenetic stages in this region.

**Key words:** Taipei depression; clay mineral; anomalous evolution; genesis; provenance; coal measure strata; aqueous medium.