# 柴达木盆地北缘冷湖四—五号地区油气成藏过程*

姜振学[1,2]　庞雄奇[1,2]　罗群[2]　李宏义[1,2]　祝厚勤[1,2]

（1 中国石油大学（北京）盆地与油藏研究中心；
2 中国石油大学（北京）石油天然气成藏机理教育部重点实验室）

**摘要**：油气藏成藏期次与成藏过程是油气成藏机理研究的核心内容。本文综合应用构造分析法及烃源岩主要生排烃期法，并结合流体包裹体分析、自生伊利石 K/Ar 测年法，追索柴达木盆地北缘冷湖地区四号、五号构造油气运移聚集的历史，探讨油藏成藏期次与成藏过程。研究结果表明：冷湖四号、冷湖五号构造主要经历了两期油气充注，第一期油气充注发生在古近纪（$E_3$）末期；第二期油气充注发生在新近纪（$N_2$）初期；冷湖四号、冷湖五号构造油气成藏经历了 3 个阶段：侏罗纪准备阶段，古近纪深层油气藏形成阶段和新近纪浅层油气藏形成阶段。

**关键词**：柴达木　冷湖地区　成藏期次　成藏过程　包裹体　自生伊利石

## 1　地质概况

冷湖四号、冷湖五号油田是柴达木盆地发现最早的油田，1959 年发现并很快投入开发，位于冷湖反 S 构造带中段近南北向断背斜构造带中。冷湖四号油田是一个被西倾大逆断层切割的不对称的狭长背斜。油田内构造长 12km，宽 0.5 ~ 1km，构造北端主高点轴线呈 NW 向，往南轴线转为近南北向。主高点两翼不对称。四号构造南端以狭长的向斜与五号构造相接。冷湖五号构造是一个被西倾大逆断层切割而复杂化的背斜构造。构造长 125km，轴线近南北向。构造上自南而北依次排列的一、二、三、四高点，4 个高点均被大逆断层切割成为上下两盘。冷湖五号油田主要指一高点大逆断层下盘的部位，构造长 6km，宽 4km，面积 24km$^2$。油田断裂发育，断层呈 NE—SW 向，与构造轴线近于平行。四号油田主要储油层为 $E_{1+2}$，冷湖五号油田主要储油层为 $N_1$，$E_3$ 次之。

## 2　成藏条件

### 2.1　油源条件

冷湖四号、冷湖五号构造位于冷西烃源岩发育中心部位，油源条件得天独厚，研究表明，目前冷湖四号、冷湖五号油田的位置正好位于下侏罗统烃源岩的冷西次凹中心部位。冷湖四号、冷湖五号构造为典型的断层反转构造，即早侏罗世为受冷湖东基底断裂控制的沉积沉降中心，后期因构造运动因断裂作用而褶皱反转，形成现今的背斜（隆起）构造。因此，冷湖四号、冷湖五号具有得天独厚的油源条件，构成构造圈闭的地层（下侏罗统）及其周

* 本文为国家自然基金项目（编号 40472078）；国家“十五”天然气（二期）攻关项目（编号 2004BA616A－04）。



© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

边的地层本身就是优质烃源岩，烃源岩生排出的油气就近向构造高点汇集，直接沿断裂和不整合面优先进入构造圈闭，形成油气聚集。

### 2.2 输导体系

冷湖四号、冷湖五号构造不仅油源充足，而且油气运移成藏路途近，通道条件好，切入下侏罗统烃源岩的断裂及下侏罗统烃源岩顶面不整合面为油气纵、横向运移提供了良好通道，其中沿下侏罗统顶不整合面运移的油气在不整合面的高部位圈闭中聚集，形成 $E_{1+2}$ 下部地层不整合原生油气藏，如冷湖四号构造的深86井区 $E_{1+2}$ 下部油气藏，冷四1井区 $E_{1+2}$ 油气藏和深85井 $E_{1+2}$ 油气藏；沿切入烃源岩断裂垂向运移的油气在 $E_3$、$N_1$ 层位的构造圈闭中聚集形成断裂控制的构造油气藏（次生）。其中深、浅层断裂为浅层滑脱断裂下盘的油气聚集提供了良好的通道。

### 2.3 圈闭条件

由于基底生长断裂和后期逆冲断裂存在，历次构造运动在冷湖四号、冷湖五号地区形成多种类型的断裂相关构造圈闭，如冷湖四号、冷湖五号构造总体是受冷湖东侏罗系边界断裂控制下的大型断层反转背斜构造，后期又叠加了受浅层滑脱大断裂（Ⅰ号断裂）控制的浅层断滑背斜构造，并将以往构造进一步加强和定型。每次构造运动派生一系列次生断裂与构造匹配形成丰富的断层相关构造圈闭。

这些圈闭形成大多具有长期、多期生长发育的同生长特征，有利于对油气的聚集。另外，断块背景下的岩性油气圈闭在冷湖四号、冷湖五号地区也很发育。

充足的油源，畅通的运移通道，有利的生储盖组合和良好的圈闭条件，决定了冷湖四号、冷湖五号构造油气聚集成藏的必然结果。

## 3 油气成藏期次与成藏过程

### 3.1 成藏期次

油气藏成藏期次与成藏过程研究是油气成藏机理研究的核心问题。本文在前人研究的基础上，综合应用构造分析法及烃源岩主要生排烃期法，并结合流体包裹体分析、自生伊利石K/Ar测年法，追索油气运移聚集的历史，探讨油藏成藏期次与成藏过程。

#### 3.1.1 构造演化史与生排烃史

冷湖四号油气藏形成演化过程是：早侏罗世在区域拉张环境下受冷湖东基底生长断裂控制，在冷湖四号、冷湖五号构造及其东侧形成冷西次凹，沉积了2500～3000m下侏罗统浅—半深湖相泥质岩沉积，晚期冷湖东断裂不再活动，下侏罗统向东向北超覆。

早侏罗世末至古近系和新近系沉积前随着阿尔金断裂的左行活动和阿尔金山的隆起，以及受来自北部祁连山构造挤压应力作用，冷西次凹抬升导致长期沉积间断，冷湖东基底断裂产状反转，古近纪沉积时期本区与整个柴达木盆地一起沉降接受沉积，到 $N_1$ 沉积末期，冷西次凹东部 $J_1$ 烃源岩开始进入生排烃门限，有少量排出的成熟油气沿断裂和不整合面（基底及 $J_1$ 顶）向东运移，在早期形成的 $E_{1+2}$ 不整合圈闭中聚集形成原生油气藏。到 $N_1$ 末—$N_2$ 时期，烃源岩进入大量生排烃高峰，随着来自东北部挤压进一步增强，受到基底断裂控制的断展背斜（冷湖四号构造）进一步增强。成熟油气沿断裂、不整合面运移在 $E_{1+2}$、$E_3$ 圈闭中大量聚集，进一步形成 $E_{1+2}$、$E_3$ 原生油气藏；到 $N_2$ 末，印度板块向北与欧亚大陆碰撞的远程致应，巨大压力使本区产生强烈的构造运动，地层进一步反转隆起，冷湖四号构造进一



© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

步褶皱定型并在褶皱轴部及两翼产生次生断裂，破坏和调整深层的 $E_{1+2}$ 和 $E_3^1$ 原生油气藏，并在浅层滑脱断层下盘的背斜圈闭中形成 $E_3^2$ 等次生油气藏，需要说明的是冷湖四号的浅层滑脱断裂没有作为其下盘油气藏的遮挡条件（图 1）。

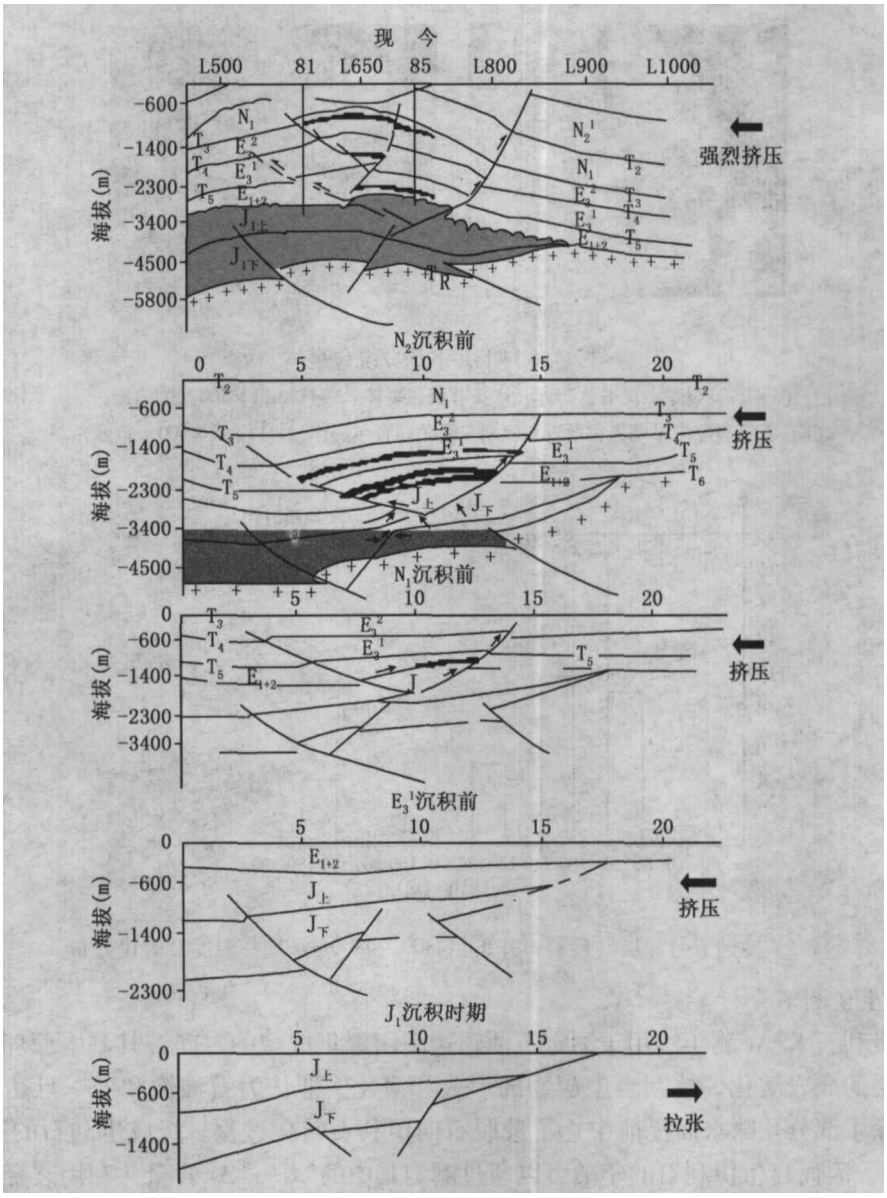


图 1　冷湖四—五号油气藏形成演化剖面

### 3.1.2　流体包裹体分析

流体包裹体忠实地记录了流体当时的物理、化学状况，因而被普遍地用于研究地下流体运聚和成矿作用，烃类流体包裹体记录了油气成藏的主要过程，并不能记录全部过程，且烃类流体包裹体记录的主要是早期成藏过程[7~8]。通过包裹体测温，确定生油岩的成熟度和油气的演化程度，可推断油气运移的时间、方向、成藏期，为勘探提供重要的信息[9]。

冷科 1 井位于冷湖五号构造 2 号高点上，该井 4417m 下侏罗统中细砂岩样品中可见两期有机包裹体，早期为黑褐色干沥青包裹体，均一温度为 70 ~ 130℃，它形次生，串珠状或



© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

群体定向分布（图2），晚期为裂缝中充填的褐色沥青，均一温度为160～190℃。次生它形，包裹体大小为（3×7）$\mu m^2$，沿石英裂隙串珠状分布。两个均一温度高峰区域对应两次油气充注时期，即第一期大致在$E_3$—$N_1$时期，第二次充注期在$N_2$末（图3）。

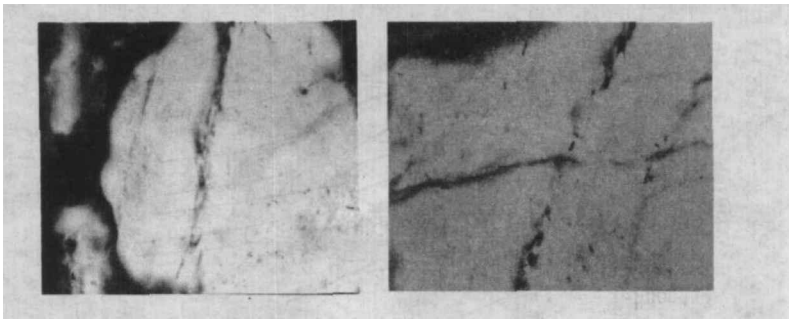

图2　冷科1井下侏罗统包裹体

（a）石英裂隙中灰褐色沥青（广义有机包裹体），4414m，×500，单偏光；

（b）石英裂隙中早期黑色沥青和晚期灰褐色沥青包裹体，4414m，×500，单偏光

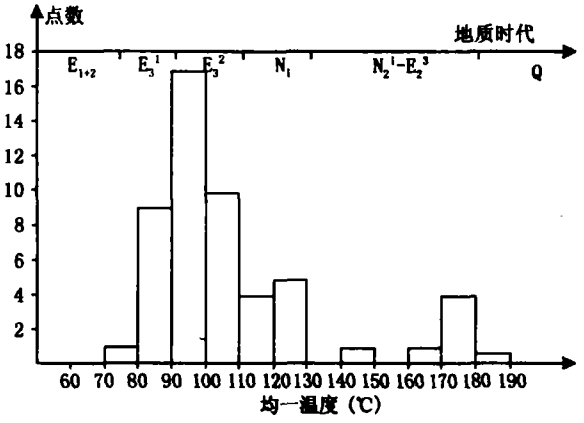


图3　冷湖五号深层（冷科1井$J_1$，4300～4800m）均一温度及时代分布

### 3.1.3　自生伊利石分析

自生伊利石K/Ar测年法用于测定石油到达圈闭聚集成藏的时间，其基本原理：石油侵入影响储层的成岩演化，控制自生矿物的形成和演化，即认为石油饱和度一旦达到一定值时，因排除了部分孔隙水而提前中止了蒙脱石向伊利石转化过程。组成伊利石的$^{40}K$，经衰变生成$^{40}Ar$，因而自生伊利石的年龄可以通过测定其中的$^{40}K$—$^{40}Ar$含量并利用衰变方程来实现[10]。

冷科1井3个含油岩心样，进行自生伊利石K/Ar测年分析（表1）。结果表明：冷科1井深层侏罗系油气充注主要时期为$E_3^2$（由于未形成的构造圈闭，故而无规模性油气藏）。

表1　冷科1井自生伊利石K/Ar稀释法年龄数据表

| 序号 | 井　段 | 样品名称 | $^{40}K$（%（质量分数）） | $^{40}Ar$（$10^{-10}m/g$） | 视年龄（Ma） | 地质年代 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4315.11 | 粘土矿物 | 3.48 | 1.6045 | 26.4 | $E_3^2$ |
| 2 | 4315.60 | 粘土矿物 | 2.80 | 1.7913 | 30.5 | $E_3^1$ |
| 3 | 4316.12 | 粘土矿物 | 3.14 | 1.5916 | 28.9 | $E_3^2$ |



© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

综合上述3个方面的成果，同时结合区域构造运动的主要时期，本文认为冷湖四号、冷湖五号构造主要经历了两期油气充注，第一期油气充注发生在古近纪（$E_3$）末期，该次充注与侏罗系烃源岩生烃期相对应，主要表现为深层油气的形成有限聚集和运移散失；第二期油气充注发生在$N_2$初期，该次充注与喜马拉雅运动晚期该区发生大规模的褶皱和断裂作用相对应。

### 3.2 油气成藏过程

本文通过研究与油气成藏有关的各地质因素和地质作用在时空上的配置关系，动态地恢复油气藏的形成和演化过程（图4）。

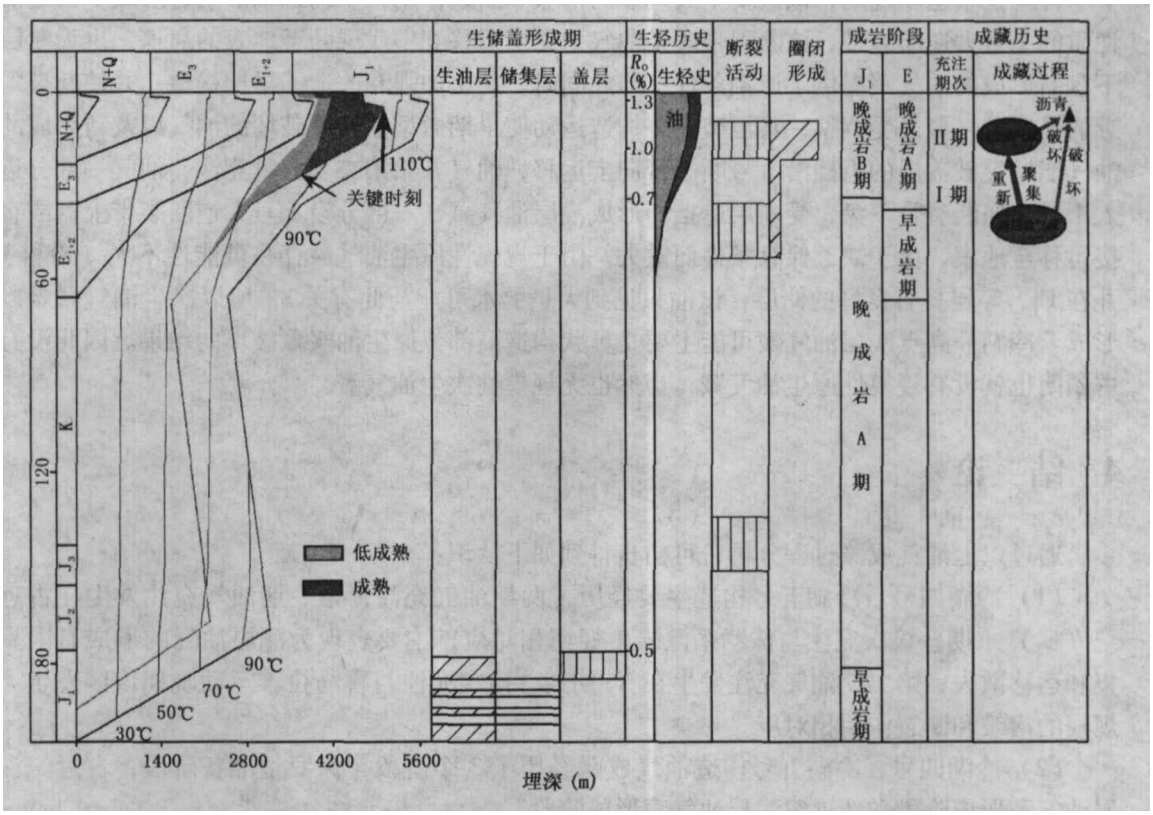


图4 冷湖五号二高点油气成藏与演化过程分析图

#### 3.2.1 侏罗纪沉积与剥蚀阶段

侏罗纪冷湖五号地区温暖湿润，先后接受了一套湖相—扇三角洲—沼泽—半深湖相沉积，具备了一套巨厚的优质烃源岩和良好的盖层条件，储层段主要为下侏罗统下段扇三角洲发育段和小煤沟组含油段，其他层段不够发育；中侏罗世早期，下部烃源岩开始进入生油门限，中侏罗世末，冷湖五号地区抬升剥蚀（但没有四号抬升高），下侏罗统上部含油段砂岩剥蚀殆尽，有机质热演化处于停滞，在燕山运动和喜马拉雅早期运动期间，该区主要生油岩——侏罗系源岩的成熟度仅达到未成熟—低成熟阶段，生成油气的规模有限，一直到渐新世以前很难发生大规模油气生成与过移。此时并未形成独立的构造圈闭，可能向西呈鼻状抬高。

#### 3.2.2 古近纪深层油藏形成阶段

喜马拉雅运动早期，冷湖五号背斜构造出现，此时仍然是向西抬高。古近纪初期沉积了



© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一套河流相的砾状砂岩、砂砾岩。随着地层的快速沉降，渐新世中期，下侏罗统下段主要烃源岩开始进入大量生烃期，并在地层压力的作用下，开始沿着断层、孔隙、裂缝等运移通道发生运移，在生、储、盖组合有利地区可以形成深层岩性或断层遮挡等其他类型（无构造圈闭油气藏）油气藏。侏罗系在 $E_3$ 初期就开始进入晚成岩阶段 B 期，侏罗系储层物性已经变差，难以为油气大量聚集提供运移通道和储集空间，但不排除相对较好的沉积相带形成较好的疏导层。侏罗系基本为与冷湖四号连为一体的鼻状低幅构造，未形成独立的圈闭。油气以向四号及其他方向运移为主。即二高点形成原生油气藏可能性不大。

3.2.3 *新近纪浅层油气藏形成阶段*

喜马拉雅运动晚期，该区发生大规模的褶皱和断裂作用，于构造轴部附近形成了具走滑性质的Ⅰ号大逆断裂带，该断裂带既是油气由深层运移到中浅层乃至地表的通道，也为断层下盘新形成的油气藏提供了遮挡条件；与此同时，此次加强和改造了早期构造，并使断裂附近的早期油气藏遭受调整，甚至破坏。构造运动使早期微型油气藏破坏的油气以及新生成的油气能够突破盖层的阻挡沿Ⅰ号断裂带向上运移，油气开始第二期大量充注，油气一部分进入Ⅰ号大逆断裂带下盘，受断层遮挡而形成浅层油气藏，一部分沿Ⅰ号大逆断裂带上盘或直接运移至地表，由于缺乏保存条件而散失。由于规模性原生油气藏存在可能性不大（冷科 1 井在 $E_{1+2}$ 等层具有良好的储层，试油只见到大量的水可能与此有关），所以次生油气藏难以形成。冷湖一高点浅层油气藏可能主要是鼻状构造高部位原生油气藏破坏的结果。因此没有古圈闭也就没有规模性原生油气藏，当然也无规模性次生油气藏。

## 4 结 论

通过以上油气成藏过程分析，可初步得到如下认识：

（1）冷湖四号、冷湖五号构造主要经历了两期油气充注，第一期油气充注发生在古近纪（$E_3$）末期，该次充注与侏罗系源岩生烃期相对应，主要表现为深层油气的形成有限聚集和运移散失；第二期油气充注发生在 $N_2$ 初期，该次充注与喜马拉雅运动晚期该区发生大规模的褶皱和断裂作用相对应。

（2）冷湖四号、冷湖五号构造油气成藏经历了 3 个阶段，侏罗纪准备阶段，古近纪深层油气藏形成阶段和新近纪浅层油气藏形成阶段。

### 参 考 文 献


[1] 张一伟，党玉琪. 柴达木盆地油气勘探论文集. 北京：石油工业出版社，2004

[2] 王玉华，侯启军，孙德君，等. 柴达木盆地北缘地区中新生代地层油气生成与资源评价. 北京：科学出版社，2003

[3] 汤良杰，金之钧，张明利，等. 柴达木盆地北缘构造演化与油气成藏阶段. 石油勘探与开发，2000，27（2）:36～39

[4] 姜振学，庞雄奇，罗群，张洪，等. 柴北缘西部油气成藏主控因素. 石油与天然气地质，2004，25（6）:692～695

[5] 李宏义，姜振学，庞雄奇，等. 柴北缘油气运移优势通道特征及其控油气作用. 地球科学—中国地质大学学报，2006，31（2）：214～220

[6] 王永卓，徐景桢. 柴北缘中、下侏罗统生、排烃史模拟. 石油勘探与开发，2003，30（1）：49～53

[7] 祝厚勤，庞雄奇，王文军. 苏北盆地盐城凹陷朱家墩气藏成藏期次研究. 煤田地质与勘探，2006，




© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

34 (2):26 ~ 28
[8] 陈建平，查明，周瑶琪. 有机包裹体在油气运移研究中的应用综述. 地质科技情报，2000，19 (1)：61 ~ 64
[9] 曾治平，王敏芳，倪建华. 油气成藏期次研究中有机包裹体方法存在问题探讨. 天然气地球科学，2002，13 (3 ~ 4)：55 ~ 59
[10] 林景晔，杨庆杰，尹大庆，等. 对成藏期定量分析中自生矿物定年的探讨. 大庆石油地质与开发，2005，24 (6)：14 ~ 16



© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net