

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

凝析气藏的成因类型与成藏模式

李小地

(中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院,北京,100083)

内容提要 根据凝析气藏形成过程中相态变化,可将其分为原生凝析气藏和次生凝析气藏。原生凝析气藏是有机质直接生成凝析气,并以气相运移聚集成藏,成藏过程中不存在相态变化。次生凝析气藏是圈闭中轻质油溶解于天然气中形成的凝析气藏,成藏过程中流体相态发生了变化。本文从两类凝析气藏的地质、地球化学特征分析入手,分析了凝析气藏的成藏模式和剖面上的相态分布,最后指出了区分二者的意义。

关键词 凝析气藏 相态特征 成因机制 成藏模式

凝析气是一种特殊的油气资源,是近年来天然气地质学家和地球化学家研究的热点。他们大都侧重于凝析气藏的形成条件和油气的地球化学特征研究^[1~10]。也有一些作者对凝析气藏的成藏模式作了有益探讨^[7]。这些探讨只是从地质角度出发,论述了油气运聚的规律。凝析气是受温度和压力控制,在特定条件下呈气体单相存在的一种准稳定状态。在成藏过程中,温度、压力的变化必然影响着凝析气相态的变化。本文拟从凝析气藏中流体相态变迁的物理化学过程出发,结合油气藏地质、油气地球化学等对凝析气藏进行成因分类和成藏模式探讨。

1 凝析气藏的成因类型及特征

根据凝析气藏形成时圈闭中烃类相态变化,可以将凝析气藏分为原生凝析气藏和次生凝析气藏。它们都具有凝析气藏的一般特征,又各有标志其成因的独特特征。

1.1 原生凝析气藏及其特征

从有机质热演化直接生成凝析气,并以气相运移进入圈闭中聚集形成的凝析气藏是原生凝析气藏。凝析气是在生油层中就生成了,后期没有相态变化。我国已发现的凝析气藏多属此类,如黄骅坳陷的板桥凝析气田,廊房—固安坳陷的刘其营潜山凝析气藏,吐—哈、准噶尔盆地的凝析气藏。仅以塔里木盆地英买7井凝析气藏为例阐述其特征。

英买7井带油环凝析气藏(图1)的圈闭是喜马拉雅运动期间形成的断背斜。凝析油密度 $0.7641\sim 0.7831\text{ g/cm}^3$,粘度 $1.12\sim 1.18\text{ MPa}\cdot\text{s}(50^\circ\text{C})$,凝固点 $9.0\sim 18^\circ\text{C}$,含蜡量 $5.35\%\sim 8.52\%$,含硫量 0.14% ,胶质沥青质含量 $0.47\%\sim 1.51\%$ 。油环油比重 $0.8254\sim 0.8552\text{ g/cm}^3(20^\circ\text{C})$,粘度 $4.74\sim 38.52\text{ MPa}\cdot\text{s}(50^\circ\text{C})$,凝固点 $26\sim 40^\circ\text{C}$,含蜡量 $13.01\%\sim 23.91\%$,含硫 $0.11\%\sim 0.16\%$,胶质沥青质含量 $8.42\%\sim 8.61\%$ 。天然气密度 0.6286 ,甲烷平均含量 87.97% 。凝析气井流体组成为: C_1+N 含量 80.13% 。 $\text{C}_2\sim\text{C}_6+\text{CO}_2$ 含量 9.31% , C_7^+ 含量 2.5% 。临界温度 -72.6°C ,临界压力 4.6 MPa 。露点压力 46.3 MPa ,地层压力 51 MPa ,地层

注:本文是“八五”国家重点攻关课题(编号85-101-01-07)的部分研究成果。

本文1997年9月收到,11月改回,萧品芳编辑。

温度 102℃。该凝析气藏具有原生凝析气藏的基本特征。

(1)凝析气藏中凝析气储层油气显示级别低,一般只有荧光,最高为油迹。油环储层油气显示级别高,一般在荧光级别以上。

(2)一般不带油环(底油),或带轻质油环。

(3)油环油、凝析油和天然气来自同一油源,具有相同的成熟度。英买7井凝析气藏中天然气甲烷碳同位素为 -33.95% ~ -33.02% 、乙烷碳同位素 -22.05% ~ -21.30% 、丙烷碳同位素为 -20.29% ~ -19.67% ,为典型腐殖型气。用沈平、徐永昌^[6]的甲烷同位素与 R_o 的经验公式算出其成熟度相当于 $R_o=0.93\%$ 。凝析油和油环油的姥植比为1.86和1.82,也为腐殖型油。从表1中可以看出凝析油和油环油轻烃的烷基化程度相当,石蜡指数和庚烷值分别为22.23、22.92和4.02、3.64,它们属于成熟到成熟早期的产物。较重组分的成熟度参数 $C_{29}S/(R+S)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 也相近,接近平衡值。甲基萘指数MNR为0.93,相当于 R_o 为0.98%,此值与凝析气的成熟度 R_o 为0.93%相当。

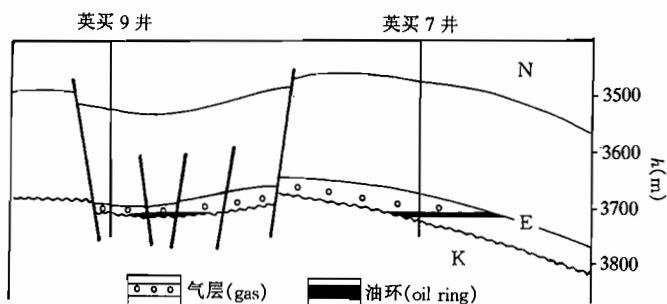


图1 英买7井带油环凝析气藏剖面图

Fig. 1 Cross-section of Yingmai 7 condensate gas pool

K—白垩系;E—下第三系;N—上第三系;h—海拔高度

K—Cretaceous System;E—Eogene System;

N—Neogene System;h—high above sea level

表1 英买7井凝析气藏中凝析油、油环油成熟度

Table 1 Maturation of condensate and Oil in Yingmai 7 pool

	P_r/P_h	$PID1$	$PID2$	$C_{29}S/(R+S)$	$C_{29}\frac{\beta\beta}{\alpha\alpha+\beta\beta}$	MNR	R_o
凝析油	1.86	4.02	22.23	0.56	0.36	0.93	0.98
油环油	1.82	3.64	22.92	0.49	0.43		

注: P_r/P_h —姥植比; $PID1$ —石蜡指数; $PID2$ —庚烷指数;MNR—甲基萘指数; R_o —由MNR换算的反射率值。

1.2 次生凝析气藏及其特征

在适当的地质温度和压力条件下,圈闭中轻质油溶解于天然气中形成的凝析气藏称之为次生凝析气藏。凝析气是在圈闭中通过油溶于气形成的,在此过程中有相态变化。这类凝析气藏比较少见,易于被人们忽视。目前仅发现辽东湾的锦州20-2凝析气田和塔里木海相凝析气藏属于此类。仅以塔里木盆地吉拉克三叠系凝析气藏为例阐述此类凝析气藏的特征。

吉拉克三叠系二油组带油环凝析气藏为主力凝析气藏。该凝析气藏中凝析油比重为 0.75 g/cm^3 ,粘度为 $0.82\text{ MPa}\cdot\text{s}(50\text{ }^\circ\text{C})$,凝固点为 $-27.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。油环油比重为 0.8499 g/cm^3 ,粘度为 $4.36\text{ MPa}\cdot\text{s}(50\text{ }^\circ\text{C})$,胶质沥青质含量为14.8%,含蜡量为3.3%,含硫量为0.36%,凝固点为 $-0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。天然气比重为0.6364,甲烷含量为88.26%。井流体组成: C_1+N_2 含量为88.5%、 $C_2\sim C_6+CO_2$ 含量为8.36%、 C_7^+ 含量为4.16%。油气比为 $2143\text{ m}^3/\text{m}^3$ 。临界压力24.03 MPa,临界温度 $-80.13\text{ }^\circ\text{C}$,露点压力46.71 MPa,地层压力47.6 MPa,地层温度103℃。该类凝析气藏具有以下基本特征:

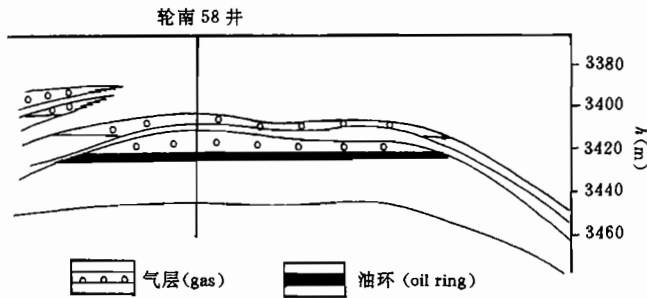


图2 吉拉克凝析气藏剖面图

Fig. 2 Cross-section of Jilake condensate gas pool

成熟度,原油和天然气是同一油源不同热演化阶段的产物。吉拉克凝析气藏中天然气甲烷碳同位素值为 -32.25% ,乙烷碳同位素为 -35.42% ,丙烷碳同位素为 -32.83% ,属腐泥型气。乙烷碳同位素轻于甲烷碳同位素值,是不同成熟度气混合的结果。用油型气公式算出天然气成熟度相当于 $R_2.35\%$,属过成熟阶段产物。油环油和凝析油姥植比为1.05和0.81,也属腐泥型原油,与天然气同源。然而其中凝析油、原油的成熟度却低的多。从表2可以看出凝析油、原油的轻烃和重烃组分的成熟度基本相当。轻烃成熟度相当于高成熟阶段的产物,重组分的成熟度相对较低, $C_{29}S/(S+R)$ 参数只有0.4~0.45,是成熟阶段的产物,相当于 R_1 为1.0%左右。由此看出该凝析气藏中天然气成熟度最高,轻烃成熟度次之,油环油成熟度最低。

表2 吉拉克凝析气藏中凝析油、油环油成熟度

Table 2 Maturation of condensate and oil in Jilake condensate pool

	庚烷值	石蜡指数	Pr/nC_{17}	Ph/nC_{18}	$C_{29} \frac{S}{S+R}$
凝析油	34.64	3.23	0.34	0.45	0.45
油环油	36.67	3.75	0.4	0.43	0.4

2 两类凝析气藏的成藏机理探讨

凝析气藏是在地下高温高压条件下呈气相态,经采至地面后,当温度、压力降低时反凝析出液体,形成油、气两相的烃类矿藏。由此可见凝析气藏既不同于油藏,也不同于气藏。凝析气是由原油和天然气组成的多族组分烃类的混合物,在地下原始状态为单一气相,而采出地面后成为液、气两相,符合反凝析规律。

2.1 凝析气藏中烃类流体相态特征

图3是某种多族组分烃类物系在不同温度和压力下的物理状态。该物系临界温度为 52.8C 。弧线 KK_1 以上的区域为凝析气相区,在此区凝析气是稳定单一的气相(如B点)。但当压力降到弧线 KK_1 (B_1 点)以下时,物系的单一气相态被破坏,液态烃开始析出,物系进入气、液两相共存区。相反,该物系中从气液两相的 B_2 点加压到越过 B_1 点时,物系中液相又将全部汽化,形成单一气相。可见在特定物系中,这是一个可逆的物理过程。这个过程只能在特定条件下实现:即地层温度介于该物系临界温度和临界凝析温度之间。当地层温度小于临界温度时,物系的相态变化符合正常的凝结和蒸发现律;等温加压引起凝结,减压导致蒸发。当地层温度大于临界凝析温度时,为纯气藏。

2.2 凝析气藏的形成机理探讨

原生凝析气藏:从有机质演化直接生成凝析气,并以凝析气相运移进入圈闭聚集而形成的凝析气藏。也就是说这种凝析气一生成就满足了凝析气形成的温度压力条件,相当于图3KK₁线以上的区域。并且凝析气的运移和聚集成藏也是在此条件下进行的。有机地球化学家认为这种凝析气可以是有机质在高成熟阶段($R_o \geq 1.3\%$)时热降解作用下生成^[12],此时烃源岩还处于高温高压环境中;也可以是有机质在较低成熟阶段($R_o: 0.4\% \sim 0.6\%$),由树脂体组分直接生成,这种有机质是含有高等植物的Ⅲ型干酪根^[13-14]。

次生凝析气藏:在圈闭中合适的温度和压力条件下,轻质油反溶解于天然气中而形成的凝析气藏。也就是说圈闭中先聚集有原油,尔后,随烃源岩成熟度增高生成天然气,天然气供给已聚集了原油的油藏,同时圈闭埋深增加,温度、压力升高,油溶解于气中形成凝析气藏。这是同源不同演化阶段的烃源岩生成物互溶而成。也可以是圈闭中先聚集有天然气,尔后,有另一套源岩进入生油门限,生成石油供给圈闭,使油溶解于天然气中形成凝析气藏。这是不同源不同演化阶段的两套源岩生成物互溶而成,这种情况在自然界中比较少见。

从相态转化的物理化学过程来看油溶解于气是可能实现的。它的相态转化轨迹是从图3中沸点线和露点线所包围的范围内任一点,随地层温度增加到介于烃类物系的临界温度和临界凝析温度之间,地层压力大于该物系的露点压力及天然气供给增加时,穿越KK₁弧线而进入凝析气相区。室内实验表明^[15]:液态烃在天然气中的溶解是可行的,液态烃在天然气中溶解的初始温度为50℃,初溶压力5~8MPa;随着压力和温度的增加,天然气的溶解能力增加;并且烷烃比环烷烃和芳烃更易溶于天然气中。这种次生凝析气藏是我们没有从原生凝析气藏中区分出来的一种凝析气藏。在我国一般把两种凝析气藏统称为凝析气藏。

3 凝析气藏的形成分布模式

3.1 原生凝析气藏的形成分布模式

原生凝析气藏是原生凝析气以气相形式运移进入圈闭,若要其在圈闭中维持气相,此圈闭必须满足地层温度介于临界温度和临界凝析温度之间,地层压力大于该烃类物系在该温度时的露点压力(图4)。当凝析气向更浅处圈闭中运移聚集时地层压力降低,逐渐接近该物系的露点压力,液态烃开始析出,此时聚集成藏则为带轻质油环的凝析气藏。凝析气继续向更浅处运

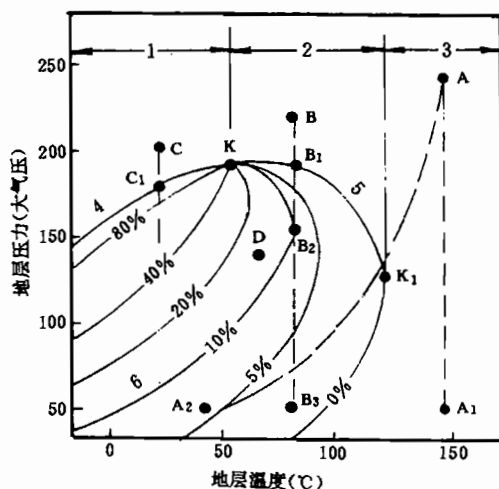


图3 多族组分烃类物系的相图(据张万选等^[11])
Fig. 3 Phase map of complex component hydrocarbon system(after Zhang Wanxuan et al. ^[11])

1—压力超过沸点压力的油藏;2—压力超过露点压力的凝析气藏;3—单相气藏(纯气藏);4—沸点曲线;5—露点曲线;6—物系中流体所占体积百分率;K—临界点($T=52.8\text{C}$);K₁—临界凝析温度;A—纯气藏;B—凝析气藏;C—含溶解气的油藏;D—油气藏
1—Oil pool; 2—condensate pool; 3—gas pool; 4—boiling point curve; 5—dew point curve; 6—percentage of liquid in the system; K—critical point (52.8C); K₁—critical condensation point; A—gas pool; B—condensate pool; C—oil with solution gas; D—oil gas pool

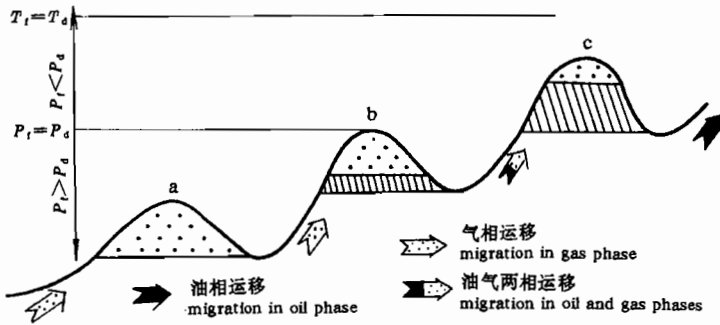


图4 原生凝析气藏形成分布模式

Fig. 4 The model of formation and distribution of primary condensate pool

T_f —地层温度; P_f —地层压力; T_d —临界温度; P_d —临界压力; a—凝析气藏;
 b—带油环凝析气藏; c—带凝析气顶油藏
 T_f —Formation temperature; P_f —formation pressure; T_d —critical temperature;
 P_d —critical pressure; a—condensate pool; b—condensate pool with oil ring; .
 c—oil pool with condensate cap

移,地层压力小于物系原始露点压力,凝析气分离成气液两相运移,此时聚集成藏则可能为带凝析气顶的油藏。凝析气向更浅处运移,地层温度小于物系临界温度,则形成了带气顶的正常油藏。至此,在一个向上变浅的连续圈闭中形成了上油下气式的相态分布模式。黄骅坳陷板桥凝析气田、吐哈盆地温吉桑凝析气田就是依此机理形成。

此外,当原来埋藏较深的凝析气藏由于后来的构造运动使其抬升到较浅处,温度、压力降低,液态烃析出呈油环存在。这是原生凝析气藏相态变化的又一模式。

廊-固凹陷刘其营古潜山带油环的凝析气藏就是如此形成油环的^[8]。

3.2 次生凝析气藏的形成分布模式

早期的油藏,随着地质历史的发展,油藏埋深逐渐增加,地层温度、压力也逐渐增加,烃源岩成熟度也逐步增高进入到高成熟阶段,开始形成天然气。天然气运移进入油藏中最初形成气顶(图5),当地层温度增加到大于该物系临界温度时,随压力继续增加,原油中轻质组分开始溶于气顶中形成凝析气顶。随着天然气供给量的增加和地层压力增大,溶解了的原油越来越

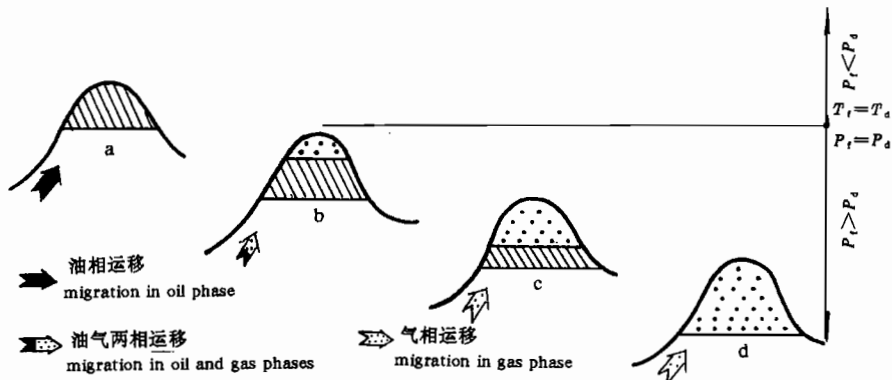


图5 次生凝析气藏形成分布模式

Fig. 5 The model of formation and distribution of secondary condensate pool

T_f —地层温度; P_f —地层压力; T_d —临界温度; P_d —临界压力; a—油藏; b—带凝析气顶油藏;
 c—带油环凝析气藏; d—凝析气藏

T_f —Formation temperature; P_f —formation pressure; T_d —critical temperature; P_d —critical pressure; a—oil pool;
 b—oil pool with condensate cap; c—condensate pool with oil ring; d—condensate

多,凝析气顶越来越大,并把剩余原油推向圈闭底部形成油环。当天然气供给量大到足以溶解了所有原油,或者圈闭幅度不足以保留油环,则形成了纯凝析气藏。这种方式形成的油气藏剖面仍然是上油下气式。只不过这种模式的最深部位可能是干气藏。辽河湾锦州20-2凝析气藏、塔里木盆地轮南油气田就是如此形成。

另外一种次生凝析气藏的形成模式可能是圈闭中也充有早期生成的天然气,随另一套源岩成熟度增加,生成的原油进入此圈闭形成油环。随着圈闭的埋深,地层温度大于临界温度,随着地层压力增加,原油溶于天然气中形成凝析气藏。其机理仍然是圈闭中的相态转化。这种方式形成的凝析气藏目前还没有发现。

4 区分两类凝析气藏的意义

(1)根据不同成因机理建立凝析气藏的形成分布模式,用来预测烃类相态的剖面分布。

(2)判断盆地(坳陷)中油气藏的形成期次,及油藏、气藏的分区分布。次生凝析气藏属于二次成藏类型,据此可以预测盆地(坳陷)中一期形成的油藏的分布及二期形成的天然气、凝析气藏的分布。

(3)指导油气储量计算和油气田开发。次生凝析气藏中残余油显示是不可动油,它占据了储层孔隙的一部分,使凝析气藏的有效孔隙度减少,并影响流体的流动,因此在计算储量时应扣除残余油所占据的孔隙度。凝析气藏开发时应充分考虑残余油对流体流动的影响。

感谢项目办公室允许本文发表。

参 考 文 献

- 程克明,金伟明,何忠华,陈建平,杨忠芳.陆相原油及凝析油的轻烃单体组成特征及地质意义.石油勘探与开发,1987,14(1):34~43.
- 徐永昌,沈平,陈践发,文启彬.凝析油的地球化学特征研究.中国科学(B辑),1988,(6):643~650.
- 王廷栋,蔡开平.生物标志物在凝析气藏、天然气运移和气源对比中的应用.石油学报,1990,11(1):25~31.
- 刘宝泉,蔡冰,李恋,秦建中,张文龙.冀中地区凝析油轻质油源判别.石油勘探与开发,1990,17(1):22~31.
- 王顺玉,王廷栋.四川盆地凝析油的地球化学特征.石油与天然气地质,1990,11(4):454~461.
- 沈平,徐永昌.气源岩和天然气地球化学特征及成气机理研究.兰州:甘肃科学技术出版社,1991.
- 石宝珩.天然气地质研究.北京:石油工业出版社,1992.43~61页.
- 颜婉荪,韩跃文,李绍基,郑永坚.我国凝析气藏的地质与分布特征.天然气工业,1993,13(1):24~31.
- 周兴熙.塔里木盆地凝析气的相态成因.天然气工业,1996,16(2):5~8.
- 周兴熙,李绍基,陈义才.塔里木盆地凝析气的形成.石油勘探与开发,1996,23(6):7~11.
- 张万选,张厚福.石油地质学.北京:石油工业出版社,1981.222~225页.
- Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York,1978.129~131.
- Snowdon L R, Powell T G. Immature oil and condensate—Modification by hydrocarbon generation model for terrestrial organic matter. AAPG Bull., 1982, 66(6): 775~778.
- Nissenbaum A, Goldberg M, Aizenshtat Z. Immature condensate from southeastern Mediterranean coastal plain, Israel. AAPG, 1985, 69(2): 946~949.
- 马克西莫夫C H(苏).深层油气藏的形成与分布.胡征钦译.北京:石油工业出版社,1988.

作 者 简 介

李小地,男,1960年3月生。1988年于北京石油勘探开发科学研究院研究生部获硕士学位。现任石油勘探开发科学研究院地质研究所高级工程师,主要从事石油地质与油气勘探研究。通讯地址:100083,北京910信箱地质研究所。

Genetical Types and Formation Model of Condensate Gas Pools

Li Xiaodi

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC Beijing, 100083)

Abstract

Condensate gas pools can be classified into the primary condensate gas pool and the secondary condensate gas pool. The primary condensate gas pool is formed by generation of condensate by organic material and then migration into a pool as gas phase. During the formation of the primary condensate gas pool there is no phase change in the pool. But the secondary gas condensate pool was formed by solution of light oil in gas in the pool. During the formation of the secondary condensate pool there is phase change in the pool. The paper analyses the mechanism of the formation of the condensate pool and distribution of phase in the section. Finally the paper indicates that the distinction between the two types of condensate gas pool is important.

Key words: condensate gas pool; characteristics of phase; mechanism of condensate formation; model of condensate pool formation

《地质学报》(中、英文版)、《地质论评》征稿简则

《地质学报》《地质论评》是中国地质学会主办的地质科学学术刊物,反映地质科学各分枝学科及边缘学科中最新、最高水平的基础理论研究和基本地质问题研究成果。《地质论评》主要登载新技术、新方法及各种探讨、争鸣、评述类论文。《地质学报》着重基础理论研究和基础地质成果。

1. 《地质学报》、《地质论评》编辑部与作者在投稿方面有如下约定:①作者投稿时请尽量提供用计算机打印的清楚稿件,图件应复印清楚。投稿时请暂不交软盘和清绘图。文稿和图件请作者自留底稿,以防原件丢失。②一般在90日内给出刊用与否的通知。90日内未收到通知时不应将稿件另投他刊。③对决定录用的稿件,作者应根据编辑部提供的修改意见修改后,向编辑部提交载有论文全文的软盘和清绘好的图件。文件用何种系统排版不限,但《地质论评》和《地质学报》(中文版)的稿件以方正(或华光)系统为好,因为最终出版是用方正系统。若非方正(或华光)系统,请在原系统文件之外再拷贝一份纯文本文件。《地质学报》(英文版)则以WORD排版为好。④稿件文责自负,若进行实质性修改,须征得作者同意。⑤稿件刊出后,将按规定支付稿酬。

2. 投向《地质学报》的稿件作者可根据自己的意愿选择将稿件投于中文版或英文版;除非作者特别申明,编辑部有权根据专家和编委意见决定稿件最终登载于中文版或英文版。(就是说,只愿发表于中文版或只愿发表于英文版的稿件需在投稿时申明)。

3. 《地质学报》中文版的征稿简则与1995年第2期《地质学报》刊登的征稿简则基本相同。变化是一般论文均不再全文照译刊于英文版,但将在同卷、期的英文版上登载该文的英文摘要(600~1000汉字)。所以摘要应写成报道式,交代清楚论文的目的,方法,主要证据、结果和结论等。

4. 《地质学报》英文版:①征集6页以下的短文和6~12页的长篇文章。②凡是投向英文版的稿件,请附相应的中文稿,以备审、编、校时准确理解原文含意。最好中、英文稿各两份。③凡是英文版上刊登的论文,请附600~1000字的中文摘要,以备同卷、期中文版刊登(要求用“报道性文摘”书写,包括目的,方法,主要证据、结果和结论等要素)。④长篇学术论文包含下列要素:论文题目;作者姓名;作者单位;英文提要(200汉字长);中文提要(200个汉字);关键词;引言;正文;讨论;结论;致谢;参考文献;作者简介。⑤参考文献的格式在行文中用括号注出,如(Devis et al., 1983)。文后参考文献按作者姓氏拉丁字母顺序排列,注意,需列出全部作者。格式如下:

Symons D. T. A. and Sangster D. F., 1991. Palaeomagnetic age of *Economic Geology*, 86(1):1-12.

原文为中文的需译为英文,并注明“(in Chinese)”字样。原文为中文且附英文摘要的,取原英文摘要题目,注明“(in Chinese with English abstract)”字样。⑥图件用英文标注,但需附中文标注的草图,以备审、校。图件尺寸14×21 cm²以下。⑦图版:大小14×21 cm²(原则上不收彩色版)。

5. 来稿请寄:100037,北京市百万庄26号,中国地质学会《地质学报》或《地质论评》编辑部

《地质学报》《地质论评》编辑部 1998年1月