

# 高温油藏内源微生物及其提高采收率潜力研究

冯庆贤<sup>1\*</sup> 向廷生<sup>2</sup> Nazina TN<sup>3</sup> 王建强<sup>4</sup> 倪方天<sup>1</sup>

(1. 中国石油大港油田采油工艺研究院 天津 300280)

(2. 长江大学 荆州 434023)

(3. 俄罗斯科学院微生物研究所 莫斯科 117811)

(4. 大港油田第六采油厂 黄骅 061100)

**摘要:** 大港孔店油田油藏特征、流体和微生物性质分析结果表明,属于高温生态环境,地层水矿化度较低,氮、磷浓度低,而且缺乏电子受体,主要的有机物来源是油气。油田采用经过除油处理的油藏产出水回注方式开发,油层中存在的微生物类型主要是厌氧嗜热菌,包括发酵菌( $10^2$  个/mL~ $10^5$  个/mL),产甲烷菌( $10^3$  个/mL);好氧菌主要存在于注水井周围。硫酸盐还原菌(SRB)还原速率  $0.002 \mu\text{g S}^{2-}/(\text{L}\cdot\text{d}) \sim 18.9 \mu\text{g S}^{2-}/(\text{L}\cdot\text{d})$ ,产甲烷菌产甲烷速率  $0.012 \mu\text{gCH}_4/(\text{L}\cdot\text{d}) \sim 16.2 \mu\text{gCH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$ 。好氧菌能够氧化油形成生物质,部分氧化产物为挥发性脂肪酸和表面活性剂。产甲烷菌在油氧化菌液体培养基中产生  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  为好氧微生物和厌氧微生物的共同代谢产物。这些产物具有提高原油流动性的作用。用示踪剂研究了注入水渗流方向。通过综合分析,油藏微生物具有较大的潜力,基于激活油层菌的提高采收率方法在该油田是可行的。

**关键词:** 油田,嗜热微生物,硫酸盐还原,代谢产物分析,油氧化

## Potential Investigations of Indigenous Microbiological Properties and Its Enhanced Oil Recovery High-temperature Horizons

FENG Qing-Xian<sup>1\*</sup> XIANG Ting-Sheng<sup>2</sup> Nazina TN<sup>3</sup> WANG Jian-Qiang<sup>4</sup> NI Fang-Tian<sup>1</sup>

(1. Oil Production Technology Institute of Dagang Oilfield, CNPC, Tianjin 300280)

(2. Yangtze University, Jingzhou 434023)

(3. Winogradsky Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Moscow 117811)

(4. No.6 Oil Production Plant of Dagang oilfield, CNPC, Huanghua 061100)

**Abstract:** The analysis results of reservoir characteristics, properties of fluids and microbiological characteristics of the formation waters of the Kongdian oilfield of the Dagang oilfield demonstrated that this oilfield is a high temperature ecosystem with formation waters characterized by low mineralization. The concentrations of nitrogen and phosphorus compounds, as well as of electron acceptors, are low. Oil and oil gas are the main organic matter sources. The oilfield is exploited with produced water-flooding. The oil reservoir was inhabited mostly by anaerobic thermophilic microorganisms, including fermentative bacteria ( $10^2$  cells/mL

\* 通讯作者: Tel: 022-25925047; ✉ feng\_qingxian@126.com  
收稿日期: 2007-09-29; 接受日期: 2008-01-15

$-10^5$  cells/mL) and methanogenic ( $10^3$  cells/mL) microorganisms. Aerobic bacteria were detected mainly in the near-bottom zone of injection wells. The rate of sulfate reduction varied from 0.002 to  $18.9 \mu\text{g S}^{2-}/(\text{L}\cdot\text{d})$ , and the rate of methanogenesis from  $0.012 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$  to  $16.235 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$ . Aerobic thermophilic bacteria were capable of oxidizing oil with formation of biomass, the products of partial oxidation of oil (volatile acids), and surfactants. During growth on the culture liquid of oil-oxidizing bacteria, methanogenic communities produced methane and carbon dioxide, which also had oil releasing capabilities. Using various labeled tracers, the primary filtration flows of injected solutions at the test site were studied. Our comprehensive investigations allowed us to conclude that the method for microbial enhancement of oil recovery based on the activation of the strata microflora can be applied in the Kongdian oilfield.

**Keywords:** Oilfields, Thermophiles, Sulfate Reduction, Methanogenesis, Oil Oxidation

早期和目前采用的微生物采油技术主要是利用糖浆发酵菌液注入油藏, 补充营养物质, 因其菌种来自目标油藏之外, 故称之为外源微生物采油技术<sup>[1-3]</sup>。大港油田于 2000 年与俄罗斯科学院微生物所合作, 在大港孔店油田开展试验研究, 注入的是营养物质, 激活油藏中的内源微生物群落。这有别于常规的注入有机质和菌产生表面活性剂的方法, 该技术在 20 ~45 油藏已规模应用, 而在高温油藏中的应用较少, 在大港油田的成功应用拓宽了微生物采油的应用范围<sup>[4]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 油藏特征

大港孔店油田位于河北黄骅市, 砂岩油藏, 油层深度 1206 m~1435 m, 纵向分布 3 个油层, 孔隙度 33%, 渗透率  $1.878 \mu\text{m}^2$ , 含油饱和度 60%。原油中含油芳香族成分 20%, 胶质沥青含量为 27.2%, 地层水矿化度 5612 mg/L, 平均油层温度 59.4 °C。注入水为油井产出液经过除油过滤处理的水, 温度 40 °C, 水型  $\text{NaHCO}_3$ , 油气比为  $26.5 \text{ m}^3/\text{t}$ , 天然气中甲烷含量 95%~98%,  $\text{C}_2\sim\text{C}_5$  为 0.8%~1.8%。该油田注水开发已 28 年。

### 1.2 取样过程

在注水井取注入水返排样, 返排量分别为  $8 \text{ m}^3$  和  $27 \text{ m}^3$ , 分析注水井周围生态环境; 在油井取产出液, 分离水样, 分析油层深部厌氧带的微生物分布, 取的样品分别接种于厌氧和好氧管, 在 24 h 内处理完成, 放置于地层温度(60 °C)恒温箱中培养。

### 1.3 微生物计数培养基与方法

微生物数量采用 MPN 法分析。好氧腐生菌群的培养基为胰蛋白胨 0.5 g/L, 酵母膏 2.5 g/L, 葡萄糖

1.0 g/L, pH7.0。烃氧化菌计数培养基在矿物培养基组成的基础上添加  $\text{C}_{10}\sim\text{C}_{22}$  正构烷烃混合物。厌氧发酵菌计数培养基为矿物培养基中添加蛋白胨 4 g/L 和葡萄糖 10 g/L。SRB 用稀释系列中  $\text{H}_2\text{S}$  增加方法的计数, 培养基为 Postgate B 培养基<sup>[5]</sup>中添加乳酸钠 4 g/L 和微量元素, 还原剂为  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 。产甲烷菌数量用稀释系列中甲烷增加的方法分析, 培养基<sup>[6]</sup>中添加乙酸盐 2 g/L 或  $\text{H}_2:\text{CO}_2(4:1)$ , 添加微量元素和酵母膏 1 g/L, 培养时间为 30 d。嗜热菌在 60 °C, 嗜中温菌在 30 °C 下培养, 所有培养物在相差显微镜下检测。

### 1.4 分析方法

用气相色谱分析甲烷、氢气和  $\text{CO}_2$ , 用二甲苯二胺比色法分析  $\text{H}_2\text{S}$ 。乳化活性检测用液体石蜡: 产出水(1:1)共计 10 mL 置于试管中密闭, 高强度反复振荡 3 min, 24 h 后观察乳化液的稳定性, 以乳化液占总体积百分数计算。表面张力用 K10-ST 张力仪分析。硫酸盐还原速率和产甲烷速率用  $\text{Na}_2^{35}\text{SO}_4$ ,  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  和  $^{14}\text{CH}_3\text{-COONa}$  放射性同位素法分析。地层水中可溶碳酸盐和伴生气中甲烷稳定碳同位素组成用质谱分析<sup>[7-9]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 油藏的物理化学条件和微生物过程

为研究微生物采油潜力, 对油藏物理化学性质和微生物群落分析。由于注入的是密闭处理的产出水, 因此, 其化学成分与地层水相近, 水中的溶解氧含量较低(小于 0.5 mg/L), 在分离系统中, 氧的介入导致好氧菌增殖, 而厌氧菌在这短时间内没有明显的变化。产出水中  $\text{HCO}_3^-$  为 419 mg/L~642 mg/L; 阴离子  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  未检测出; 注水井近井地带检

测到了  $\text{H}_2\text{S}$ , 小于  $2 \text{ mg/L}$ , 但是在注入水和产出水中没有检测到。乙酸盐浓度在大部分井中低于  $5 \text{ mg/L}$ , 其他的挥发性脂肪酸和低分子醇没有检测出。产出水中  $\text{PO}_4^{3-}$  和  $\text{NH}_4^+$  浓度分别为  $0 \text{ mg/L} \sim 0.8 \text{ mg/L}$  和  $2.3 \text{ mg/L} \sim 7.1 \text{ mg/L}$ 。

近井地带微生物在以原油和其它物质为底物好氧培养产生物表面活性剂的能力如表 1 所示。加入 10% 的营养物底物到 K1098 井地层水(返排  $25 \text{ m}^3$  时)中, 菌株  $\text{DS1}^T$  (从孔店油田分离得到)能以所使用的所有底物合成生物表面活性剂, 从而使原油产生乳化。以原油为底物时, 界面张力降得最低, 达  $12 \text{ mN/m}$ 。从注水井 K1098 井近井地带分离到的微生物也可以降低界面张力和表面张力, 并且以原油为底物时最为显著。结果表明, 孔店油田有大量的好氧嗜热产生物表面活性剂的微生物。大港油田地层水中的微生物对原油的乳化活性可能是提高原油采收率的重要机制。注入水和返排水中的嗜中温和嗜热菌群主要有好氧的腐生菌和厌氧发酵菌、产甲烷菌和 SRB, 注入水中微量的溶解氧刺激了包括油降解菌的好氧菌的生长, 厌氧菌利用这些油氧化产物也快速繁殖。近井地带水样中的微生物菌群在数量上明显高于生产井中的数量(表 2)。

油井产出液中检测到了好氧和厌氧微生物菌群, 但是好氧菌数量低, 部分油井没有检测到菌。油层中生存着适应这个恶劣环境的大量菌群, 如, 嗜热

发酵菌( $10^2$  个/mL  $\sim 10^5$  个/mL)、SRB( $0$  个/mL  $\sim 10^2$  个/mL)和产甲烷菌( $0$  个/mL  $\sim 10^3$  个/mL)。在油井产出液中的微生物也能在  $30^\circ\text{C}$  条件下生长, 但数量比嗜热菌低得多。结果表明油藏中的微生物群落分布广泛, 可以适应不同的温度环境。嗜热 SRB 还原速率为  $0.002 \mu\text{g s}^{-2}/(\text{L}\cdot\text{d}) \sim 18.94 \mu\text{g s}^{-2}/(\text{L}\cdot\text{d})$ , 考虑到在地层水中没有检测到硫酸盐, 这个数值相当高。产出液中利用  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  和  $^{14}\text{CH}_3\text{--COONa}$  的嗜热产甲烷菌产甲烷速率分别不超过  $1.595 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$  和  $5.610 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$  (表 3), 而注水井附近嗜热产甲烷菌产甲烷速率分别达到  $1.505 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$  和  $14.730 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$ 。产出液中嗜中温产甲烷菌速率没有用放射性法检测。注水井附近返排液中产甲烷菌利用碳酸氢钠和乙酸钠标记的产甲烷速率分别为  $0.192 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$  和  $19.5 \mu\text{g CH}_4/(\text{L}\cdot\text{d})$ 。

## 2.2 油藏微生物潜力

菌株在分类学上的位置根据 16S rRNA 序列来分类<sup>[8,9]</sup>。分离出的嗜热菌属于地芽胞菌(*Geobacillus*)和高温放线菌属(*Thermoactinomyces*), 嗜中温菌属于芽胞杆菌(*Bacillus*)、微球菌(*Micrococcus*)、分枝杆菌(*Mycobacterium*)、纤维单胞菌(*Cellulomonas*)、假单胞菌(*Pseudomonas*)、不动杆菌属(*Acinetobacter*)和新菌 $\gamma$ -蛋白菌。在油层的油氧化

表 1 本源菌在不同培养基中培养后的流体性质  
Table 1 The rheological characteristics of the culture media

序号 No.	样品, 菌种, 培养物 Samples, strain, substrate	$OD_{600}$	乳化活性 Emulsifying Activity (%)	表面张力 Surface tension (mN/m)	界面张力 Interfacial Tension (mN/m)
1	菌: 注水井返排 $25\text{m}^3$ 水 Bacteria: flow back $25 \text{ m}^3$ from injection water well				
2	葡萄糖 Glucose	0.46	50	53.1	19.3
3	乙酸盐 Acetate	/	30	51.3	19
4	液体石蜡 Liquid paraffin	0.48	40	51.5	25.1
5	原油 Crude oil	0.39	0	41.9	11.8
1	菌: $\text{DS1}^T$ Bacteria: $\text{DS1}^T$				
2	葡萄糖 Glucose	0.64	30	45.3	15.5
3	乙酸盐 Acetate	0.61	30	47.3	15.3
4	液体石蜡 Liquid paraffin	0.4	5	51.3	22.7
5	原油 Crude oil	/	30	41.9	12.5
1	空白对照样 Control samples				
2	葡萄糖 Glucose	0.05	0	51	19
3	乙酸盐 Acetate	0.05	0	50	20
4	丁酸盐 Butyrate	0.05	0	56	22
5	蒸馏水 Distilled water	0.04	0	72	46

表 2 油井产出水和注入水中嗜热和中温菌的数量(cells/mL)  
Table 2 Thermophilic and mesophilic microorganisms (cells/mL) in the injection and formation water of the oilfield

井号, 返排液体积 Well No., Volume of flow back water (m <sup>3</sup> )	好氧腐生菌 Aerobic organotrophs	烃氧化菌 Hydrocarbon Oxidizing bacteria	发酵菌 Fermentative bacteria	硫酸盐还原菌 Sulfate-reducing bacteria	产甲烷菌 Methanogens	
					H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub>	乙酸盐 Acetate
嗜热微生物 Thermophilic microorganisms (60 )						
注入水 Injection water	100	1000	10000	10000	1000	1
注水井 K1098-18m <sup>3</sup> * Injection water K1098-18 m <sup>3</sup>	100	100	100000	25000	600	1
注水井 K1098-27m <sup>3</sup> * Injection water K1098-27 m <sup>3</sup>	10	10	100000	60000	500	1
油井 Oil wells No.						
K1002-1	10	0	10000	25	100	10
K1012-1	10	600	130	60	6000	0
K1015-1	0	0	1000	25	60	1
K1032-1	1	0	60000	60	2500	0
K1050-1	1	100	200	25	60	0
K1050-2	0	0	100000	100	1000	0
K1050-3	10	10	100000	10	1000	10
K1092	/	1000	120	1	0	0
K1094	0	0	5000	10	100	0
嗜中温微生物 Mesophilic microorganisms (30 )						
注入水 Injection water	10	10000	10000	10	10	1
注水井 K1098-18m <sup>3</sup> Injection water K1098-18m <sup>3</sup>	10000	10000	100000	250	1	10
注水井 K1098-27m <sup>3</sup> Inject-water K1098-27m <sup>3</sup>	250	600	100000	1	25	1
油井 Oil wells No.						
K1032-1	100000	250	/	1	1	1
K1050-3	100000	10	100	0	0	0
K1092	10	10000	/	0	0	0
K1094	10000	0	10000	0	0	0

表 3 地层水性质和微生物代谢速率  
Table 3 Formation water property and metabolite rate of microorganisms

井号, 返排液体积(m <sup>3</sup> ) Well No., Volume of flow back water (m <sup>3</sup> )	矿化度 Salinity of Water (mg/L)	产甲烷速率 Rate of methanogenesis [ μg CH <sub>4</sub> /(L · d) ]		硫酸盐还原速率 Rate of sulfate Reduction [ μg S <sup>2-</sup> /(L · d) ]
		NaH <sup>14</sup> CO <sub>3</sub>	<sup>14</sup> CH <sub>3</sub> -COONa	
注水井	6304	/	/	/
返排 K1098-18m <sup>3</sup>	6256	1.505	14.73	2.85
Back flow-18m <sup>3</sup>				
返排-27m <sup>3</sup>	6282	0.935	13.165	0.36
Back flow-27m <sup>3</sup>				
K1002-1	5876	0.05	0.073	0.164
K1012-1	6309	0.017	0.093	0.715
K1015-1	6333	0	0.021	0.298
K1032-1	6295	0.063	5.61	4.2
K1050-3	6265	0.05	0.011	0.063
K1092	6455	0.171	0.003	0.402
K1094	6590	0.064	0	1.86

群落中, *Geobacillus* (*G. subterraneus* (地下芽胞菌)、*G. stearothermophilus* (嗜热脂肪芽胞杆菌)、*G. thermoglucosidarius* (嗜热葡萄糖酶芽胞杆菌)和 *Geobacillus jurassicus* (侏罗地芽胞菌))属占优势<sup>[10]</sup>。

实验研究了存在于注水井附近的微生物数量以及在好氧以烃和其他有机物氧化菌生长过程中产生表面活性剂的能力。使用不同培养基培养了该油层含菌的返排水。*G. jurassicus* DS1<sup>T</sup> 菌能够合成表面活性剂并能够使原油发生乳化, 也能利用糖、乙酸盐、原油产生表面活性剂, 使油水界面张力降到 12 mN/m。

产甲烷菌的作用发生在生物降解的末端。该油层中的产甲烷菌能够利用乙酸和  $H_2+CO_2$  生长。利用氢气和二氧化碳生长产甲烷菌的数量比利用乙酸盐产甲烷菌的数量高。放射性同位素法检测了用  $NaH^{14}CO_3$  和  $^{14}CH_3-COONa$  做底物的甲烷产物。

为阐明烃降解最后步骤微生物的多样性, 对孔店油田产甲烷菌落用分子生物技术进行了鉴定<sup>[11]</sup>。在地层水中, 甲烷杆菌(*Methanothermobacter*)中的自养嗜热甲烷杆菌(*Methanothermobacter thermautotrophicus*)占优势。鉴定没有检测到利用乙酸盐的产甲烷菌。菌落属于嗜热厌氧杆菌目(*Thermoanaerobacteriales*) [嗜热厌氧杆菌属(*Thermoanaerobacter*), 热脱硫菌属(*Thermovenabulum*), 栖热粪热杆菌(*Coprothermobacter*)和热气单胞菌属(*Thermacetogenium*)], 热袍菌目 (*Thermotogales*), 硝化螺旋菌目(*Nitrospirales*) [嗜热脱硫菌属 (*Thermodesulfobrio*)]和浮霉状菌目(*Planctomycetales*)。与热气单胞菌(*Thermacetogenium phaeum*)有关的细菌在高温油田中第一次被分离鉴定。*T. phaeum* 是已知的和利用  $H_2$  产甲烷菌共同生长过程中氧化乙酸的菌。相信 *T. phaeum* 和脱硫杆菌属(*Desulfotomaculum*)具有类似的代谢过程, 该菌在硫酸盐还原过程中利用乙酸或其他脂肪酸能够控制在缺少作为生物电子受体硫酸盐和利用  $H_2$  产甲烷菌的情况下的共生生长。

从不同的区块采集分离出来的纯培养产甲烷菌可以利用  $H_2$  生长的菌属有甲烷热杆菌(*Methanothermobacter*)、甲烷球菌 (*Methanococcus*) 和甲烷袋形菌 (*Methanoculleus*)。

### 2.3 油层的连通性与微生物的活性

用氡作为放射性示踪剂检测油藏流体的渗流速

度、水驱方向和油层吸水量的强弱。图 1 所示 K1015 井的水驱方向和渗流速度, 由此在连通性好的区域, 注水井和油井之间可以在最短的时间检测到微生物的活性变化。

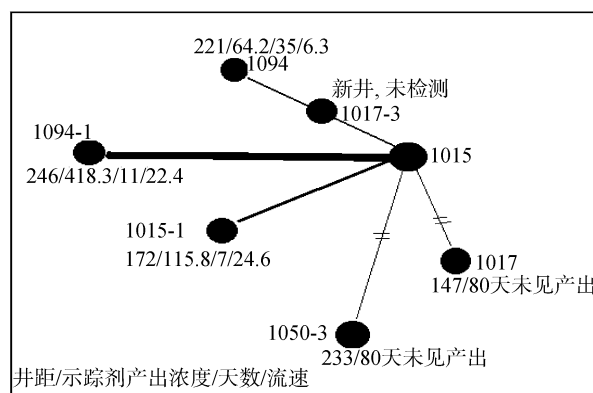


图 1 K1015 井水驱流速示意图

Fig. 1 Water flooding velocity cartogram of injection well K1015

研究表明, 油层的物理化学条件适合于不同的生理群落嗜热菌生长, 在注水井早期注入冷水、现注入产出温水, 在其周围的油藏温度较低的有利条件, 利于嗜中温菌的繁殖。注入水中的氮、磷浓度低, 加上缺乏电子受体, 限制了油层中微生物的生长。原油组分、气体和地层水中可溶有机质可以作为油层菌的营养物质。由于油层中缺少化学电子受体( $SO_4^{2-}$ 、 $Fe^{3+}$ 、 $NO_3^-$ ), 电子传输给生物电子受体(互养生长)就变得非常必要。许多 SRB 可以和利用  $H_2$  的产甲烷菌一起生长。基于这个功能, 两个菌群的生态优势明显高于其他不含硫酸盐的环境。菌的互养能力为菌的生存提供了保障, 不仅是 SRB, 也包括存在于低浓度电子受体油层环境中的各种微生物。SRB 通常出现在产甲烷菌的富集培养基中, 在缺少硫酸盐的含安息香酸盐、乙酸盐或丙酸盐培养基中生长。由于硫酸盐会刺激地层的硫酸盐还原作用, 因此, 要限制硫酸盐进入油层。

### 3 结束语

孔店油藏中存在着能够利用原油生长代谢产表面活性剂的好氧嗜热菌, 利用原油降解产物产生甲烷的产甲烷菌。二氧化碳是好氧微生物和厌氧微生物共同代谢的产物。甲烷和二氧化碳是地层原油有效的释放剂, 孔店油田的微生物可以产生这些释

放剂。

由于发酵菌不直接利用原油生长, 其生态作用可能在于好氧菌氧化原油过程中形成产物的进一步转化方面。这些转化产物是厌氧菌(产甲烷菌和 SRB)的底物。

通过对油藏微生物的研究结果, 结合油藏的地质和开发状况分析、油藏水动力研究, 基于激活油藏内源微生物提高原油采收率的技术在该油田是可行的。

致 谢: 感谢中国石油大学(北京)张忠智教授对本文的指导。参加本项目工作的还有大港油田采油工艺研究院的梁建春、滕克孟、柳敏、李辉和汪娟娟, 大港油田第六采油厂的刘伟等, 作者在此对他们一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 冯庆贤, 陈智宇. 港东二区七断块微生物驱油试验研究. 石油勘探与开发, 1999, 26(6): 68-71.
- [2] 汪卫东. 我国微生物采油技术现状及发展前景. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 87-90.
- [3] 汪卫东, 魏 斌, 谭云贤, 等. 微生物采油需要进一步解决的问题. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 88-91.
- [4] 冯庆贤, 郭海莉, 倪方天. 本源微生物驱油技术研究与应用. 特种油气藏, 2001, 8(4): 84-86.
- [5] Postgate JR. The sulfate-reducing bacteria. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1984, pp.25-60.
- [6] Zeikus JG, Weimer PJ, Nelson DR, *et al.* Bacterial methanogenesis: acetate as a methane precursor in pure culture. *Arch Microbiol*, 1975, 104: 129-134.
- [7] Nazina TN, XUE YF, WANG XY, *et al.* Diversity and activity of microorganism in the Daqing oilfield of China and their potential for biotechnological application. *Resource Environ. Biotechnol*, 2000, 3(1): 121-132.
- [8] Nazina TN, XUE YF, WANG XY, *et al.* Microorganisms of the high-temperature Liaohe Oilfield of China and their potential for MEOR. *Resource Environ. Biotechnol*, 2000, 3(1): 109-120.
- [9] Nazina TN, Shestakova NM, Grigoryan AA, *et al.* Phylogenetic diversity and activity of anaerobic microorganism of high-temperature horizons of the Dagang oilfield. *Mikrobiologiya*, 2006, 75(1): 70-81 ([MICROBIOLOGY (ENGL TRANSL), 75(1): 55-65]).
- [10] Buchanan RE, Gibbons NE. 伯杰氏细菌鉴定手册. 第八版. Williams and Wilkins Public Inc, 1974.
- [11] Nazina, TN, Sokolova DSh, Shestakova NM, *et al.* The Phylogenetic Diversity of Aerobic Organotrophic Bacteria from the Dagang High-Temperature Oilfield, *Mikrobiologiya*, 2005, 74(3): 401-409.

稿件书写规范

## 专论与综述论文的撰写要点

专论与综述是本刊重要栏目之一, 主要反映国内外微生物学各分支学科研究最新成果和进展, 其内容要求新颖丰富, 观点明确, 论述恰当, 最好包含作者自己的工作内容和见解。因此, 作者在动笔之前必须明确选题, 一般原则上应选择在理论和实践中具有重要意义的学科专题进行论述。围绕专题所涉及的各个方面, 在综合分析和评价已有资料基础上提出其演变规律和趋势。即掌握其内在的精髓, 深入到专题研究的本质, 论述其发展前景。作者通过回顾、观察和展望, 提出合乎逻辑并具有启迪性的看法和建议。另外, 作者也可以采用以汇集文献资料为主的写作方法, 辅以注释, 客观而有少量评述, 使读者对该专题的过去、现在和将来有一个全面、足够的认识。

需要特别说明的是: 在专论与综述中引用的文献应该主要是近 5 年国内外正式发表的研究论文, 引用文献数量不限。