

# Study on Corrosion and Scaling Mechanism of Surface Gathering System in the Old District of Youfangzhuang Oilfield

Tao Wang, Yu Zhang, Yongfu Long, Yanli Xu, Wenlai Zhang, Weihua Wang, Xiuhua Liu, Ting Gao

No.3 Oil Production Plant, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Yinchuan Ningxia  
Email: wangtao\_cq@petrochina.com.cn

Received: Dec. 30<sup>th</sup>, 2017; accepted: Feb. 28<sup>th</sup>, 2018; published: Aug. 15<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The old region of Youfangzhuang Oilfield has entered the middle and later stages of oil production. There existed serious corrosion in part of the surface gathering system and water injection system with serious scaling in the block, which affected the normal production of the oilfield. Based on the practical problems of corrosion and scaling occurring in the old region of Youfangzhuang Oilfield, the mechanism of corrosion and scaling was systematically studied. Salinity was high in the produced fluid, and there existed different levels of scaling between different layers and compatibility was poor. When the produced fluids from different layers were mixed in the gathering and transmission system, it was easy to cause scaling in the general station of the gathering system and the scaling in the coiled pipes of the heating furnace. The scaling samples were mainly of calcium sulfate, and contained a small amount of strontium carbonate scale and corrosion products. The oil produced in the old oil region contained high concentration of Cl<sup>-</sup> ions (average 25874 mg/L); it was mainly salt and brine corrosion, and was accompanied by under-scale corrosion. Therefore, the old Fangyouzhuang Region should be mainly anti-sulfate scale and brine corrosion, and the corresponding corrosion and scale inhibitors should be selected and compounded.

## Keywords

Gathering Pipeline, Corrosion, Scaling, Water Quality Analysis, Scaling Sample Analysis

---

# 油房庄油田老区地面集输系统腐蚀与结垢机理研究

王 涛, 张 煜, 龙永福, 徐艳丽, 张文来, 王伟华, 刘秀华, 高 挺

中国石油长庆油田分公司第三采油厂, 宁夏 银川

作者简介: 王涛(1984-), 男, 工程师, 主要从事油田化学技术管理及新工艺技术研究、试验、应用推广等方面工作。

Email: wangtao\_cq@petrochina.com.cn

收稿日期: 2017年12月30日; 录用日期: 2018年2月28日; 发布日期: 2018年8月15日

## 摘 要

油房庄油田老区已进入开采中后期, 区块部分地面集输、注水系统腐蚀、结垢严重, 影响到了油田的正常生产。以油房庄老区腐蚀结垢方面存在的实际问题为重点, 对其腐蚀结垢机理进行了系统的研究。油房庄老区采出液矿化度较高, 不同层系间均存在一定程度的结垢, 配伍性较差, 不同层位的采出液在集输系统混合时, 易导致集输站点总机关及加热炉盘管结垢; 垢样以硫酸钙垢为主, 并含有少量碳酸锶垢和腐蚀产物。油房庄老区采出水中 $\text{Cl}^-$ 质量浓度较高(平均值25874 mg/L), 主要以盐卤腐蚀为主因, 并伴有垢下腐蚀。故油房庄老区应以防硫酸盐垢和盐卤腐蚀为主, 优选和复配相应的缓蚀阻垢药剂。

## 关键词

集输管线, 腐蚀, 结垢, 水质分析, 垢样分析

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

油房庄油田老区已进入开采中后期, 综合含水率达到 80%以上, 部分地面集输、注水系统腐蚀、结垢严重, 导致的故障频率及维护费用逐年上升[1] [2] [3]。2016~2017 年, 油房庄老区由于腐蚀结垢原因更换集输管线 5 条, 进行清垢作业 15 次。油房庄老区共包括 5 个开采区块, 其中结垢腐蚀矛盾较为突出的是定 31、定 62、定 41 区块, 平均含水率 84.7%; 侏罗系、三叠系层位的不配伍性, 导致油四转、定 612 等混输站点结垢问题严重。腐蚀结垢会造成设备的磨损、腐蚀, 影响设备的寿命, 当压力增加时, 很容易造成设备的损坏, 严重影响了油田的正常生产[4] [5] [6]。因此针对油房庄老区腐蚀结垢方面存在的实际问题, 系统地对该区块进行腐蚀结垢原因及机理的研究与分析, 为制定有效的防腐防垢措施提供重要的理论依据。

## 2. 试验方法

### 2.1. 水样分析

根据标准 SY/T 5523—2000《油田水分析方法》，采用离子色谱仪(IC-600 型，美国 WATERS 公司)对水样的离子( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ )组成进行定量测试分析，并对于主要的成垢阳离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ ，采用等离子体原子发射光谱仪(IRIS INTREPID II XSP 型，美国 THERMO 公司)进行组成测定。

### 2.2. 不同层系间配伍性试验

1) 水样预处理。将采集的采出液进行油水分离，分离出的水样用针筒式滤膜过滤器过滤。将处理后的不同层系的水样以不同体积比例(0:10、1:9、3:7、5:5、7:3、9:1、10:0)两两交叉混合，然后转入两组 10 mL 实验具塞试管中密封，其中一组置于室温下，另一组置于 50℃ 水浴锅中 24 h，进行配伍性评价。

2) 结垢量测定。先将微孔过滤膜(PES, 孔径 0.22  $\mu\text{m}$ )放入 50℃ 烘箱中烘干至恒重，编号后称重  $m_1$ ，再将混合水样通过微孔过滤膜抽滤，用去离子水将实验瓶洗净，洗液一并倒入漏斗中抽滤，并用 20 mL 去离子水冲洗滤膜上的离子，最后将滤膜放入 50℃ 烘箱中烘干至恒重，称重  $m_2$ 。计算得出结垢量。

### 2.3. 垢样及其组分定量分析

1) 垢样分析。石油醚萃取除去油类 → 电热鼓风干燥箱除去水分 → 蒸馏水溶解除去水溶性盐 → 盐酸溶解分离碳酸盐垢物 → HF 酸溶解分离硅酸盐垢物 → 剩余为硫酸盐等不溶物。垢样常规分析指标：水分及有机挥发物、水溶物、碳酸盐及铁氧化物、硅酸盐垢物、硫酸钙不溶物[7] [8]。

2) 垢样组分定量分析。采用 X 衍射仪(D8 advance 型，德国 Bruker 公司)、扫描电镜-能谱(SEM-FEI Quanta650 型，美国 THERMO 公司)等仪器进行测定。

## 3. 试验结果与讨论

### 3.1. 油房庄老区水样分析结果与讨论

油田集输系统各节点的工况条件与水质组成均有所不同，而各种采出水组分分析结果对管线、设备腐蚀、结垢的影响较大，分析结果也直接关系到缓蚀、阻垢方案的制定，因此采出水水样离子成分分析的准确性非常重要[9] [10]。水样分析包括油房庄 9 个层位对应的油田水的水质分析，包括：长 1、长 2、长 8、长 9、延 9、延 10 采出水，外输泵出口样品、加热炉出口水样等典型井及集输站点共计 20 个水样。

表 1 为油房庄老区典型水样离子组分分析结果。部分水样矿化度较高，水型以  $\text{CaCl}_2$  型为主，不同井场的采出液矿化度差别较大，最高达 85,133 mg/L， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等成垢阳离子的质量浓度较高，最高质量浓度分别为 2284.80、404.14 mg/L。成垢阴离子中  $\text{HCO}_3^-$  的质量浓度较高， $\text{SO}_4^{2-}$  的质量浓度较高，最高可达 2131.03 mg/L。其中长 9、延 10 储层含一定量的  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ ，可能会产生少量钡/锶垢。来自不同层位的产液在集输系统混合时，由于各水样成垢阳离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  及成垢阴离子  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  的质量浓度较高，易导致集输站点总机关及加热炉盘管结垢严重。

### 3.2. 油房庄老区不同层系水体配伍性分析与讨论

采出水水样共涉及 6 个层位：长 1、长 2、长 8、长 9、延 9、延 10。不同层系间水体配伍性试验结果见表 2。由于各层位采出水均为  $\text{CaCl}_2$ ，混合后水体配伍性均存在一定程度的结垢。其中长 8 层与长 2 层水体配伍性较差，结垢量可达到 500 mg/L 以上。

**Table 1.** The data of water quality analysis for typical water samples in old region of Youfangzhuang Oilfield  
**表 1.** 油房庄油田老区典型水样水质分析数据

层位	井号	水样离子及其质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )							总矿化度 (/mg·L <sup>-1</sup> )	pH 值	水型
		Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup> + Sr <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>			
长 8	定 121-3	4424.31	3257.97	126.13	0.00	98.80	256.65	20404.63	28568.49	5.81	CaCl <sub>2</sub>
	新定 121-8	5978.56	3321.45	139.35	0.00	97.89	228.23	26160.00	39425.48	5.79	CaCl <sub>2</sub>
	定 124-12	1573.21	300.53	402.12	0.00	189.32	1612.30	11489.59	15567.07	6.53	CaCl <sub>2</sub>
延 9	定 123-12	5659.50	256.57	399.32	0.00	195.33	1715.92	16429.94	25656.57	6.56	CaCl <sub>2</sub>
	定 125-10	16682.32	236.55	410.02	0.00	193.67	1595.78	26452.41	35570.75	6.32	CaCl <sub>2</sub>
	定 76-2	1672.63	252.12	404.14	0.00	194.26	1660.19	11436.76	15620.10	6.55	CaCl <sub>2</sub>
长 2	定 44-37	15255.27	1656.76	131.75	0.00	102.06	325.61	67661.16	85132.61	6.07	CaCl <sub>2</sub>
	定 205-16	15236.39	2348.37	129.98	0.00	101.45	390.08	42632.76	65839.04	6.11	CaCl <sub>2</sub>
	新定 41-5	14989.65	1709.62	133.21	0.00	102.27	340.15	37656.32	54931.22	6.06	CaCl <sub>2</sub>
延 10	定 82-4	16189.19	887.82	113.32	161.15	1772.92	192.85	27210.33	46527.58	6.30	CaCl <sub>2</sub>
	定 203-18	11293.98	755.40	132.33	162.14	1729.22	172.28	25303.31	36548.66	6.25	CaCl <sub>2</sub>
	定 204-16	6214.62	853.48	123.88	159.50	1697.29	194.96	15312.56	26556.29	6.28	CaCl <sub>2</sub>
长 9	池 313-319	3519.99	771.06	139.26	42.80	2122.58	176.08	6525.13	13296.90	6.57	CaCl <sub>2</sub>
	池 312-315	3599.19	782.89	126.93	41.68	2096.82	139.08	6634.25	13420.84	6.55	CaCl <sub>2</sub>
	池 312-316	3498.76	744.66	139.38	42.49	2125.41	227.89	6516.85	13295.44	6.56	CaCl <sub>2</sub>
长 1	池 314-315	3539.26	764.45	141.96	42.74	2131.03	203.60	6535.52	13358.56	6.60	CaCl <sub>2</sub>
	定 31-4	8876.49	2159.29	31.12	0.00	85.66	261.00	40102.48	51516.04	5.78	CaCl <sub>2</sub>
	定侧 31-12	4085.99	2234.19	30.45	0.00	87.69	522.19	34839.26	41799.77	5.35	CaCl <sub>2</sub>
长 1	定 121-31	13993.19	2030.43	29.68	0.00	84.27	273.95	45090.92	61502.44	5.18	CaCl <sub>2</sub>
	定 31-21	11991.98	2284.80	30.04	0.00	86.67	272.51	43089.96	56755.96	5.62	CaCl <sub>2</sub>

**Table 2.** The experimental results of compatibility of water samples from different strata in Youfangzhuang Oilfield  
**表 2.** 油房庄不同层位水样配伍性试验结果

层位(油层组)	水型	矿化度/(mg·L <sup>-1</sup> )	结垢量/(mg·L <sup>-1</sup> )
长 1/长 2	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	52476/85133	360
长 1/长 8	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	52476/28768	340
长 1/长 9	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	52476/13048	310
长 1/延 9	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	52476/15620	380
长 1/延 10	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	52476/46366	380
长 2/长 8	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	85133/28768	500
长 2/长 9	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	85133/13048	340
长 2/延 9	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	85133/15620	480
长 2/延 10	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	85133/46366	480
长 8/长 9	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	28768/13048	160
长 8/延 9	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	28768/15620	360
长 8/延 10	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	28768/46366	370
长 9/延 9	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	13048/15620	190
长 9/延 10	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	13048/46366	470
延 9/延 10	CaCl <sub>2</sub> /CaCl <sub>2</sub>	15620/46366	380

### 3.3. 油房庄老区垢样分析与讨论

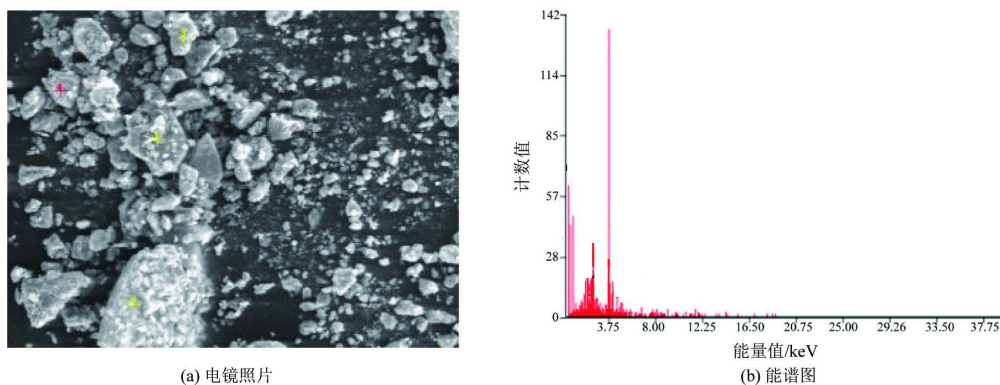
对油房庄老区的 4 个代表性垢样进行溶解试验(表 3), 加入盐酸后均有气泡产生, 而且无气味, 说明垢样中含有碳酸盐垢, 无硫化物; 酸不溶物含量均  $> 70\%$ , 说明除含有碳酸盐垢外, 还含有大量的硫酸盐垢及其他不溶物。

**Table 3.** The data of qualitative sample analysis

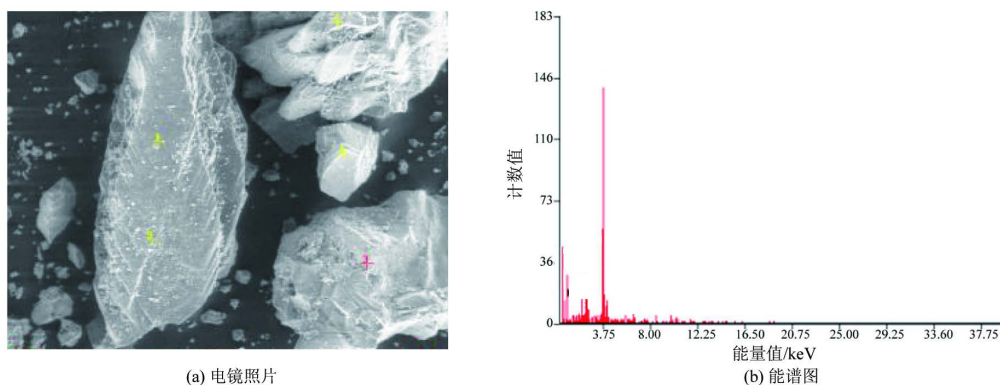
**表 3.** 垢样定性分析数据

垢样名称	有机垢质量分数/%	酸溶物质量分数/%	酸不溶物质量分数/%	气泡	气味	溶液颜色
定 121-18	12.32	6.34	81.34	有气泡产生	无	无色透明
定 592-21	5.16	16.27	78.57	有气泡产生	无	淡绿色
油四转收球筒	10.78	14.39	74.83	有气泡产生	无	黄色
油四转外输泵	13.81	8.28	77.91	有气泡产生	无	黄色

通过扫描电镜(EDS)定量分析(图 1、图 2), 根据测试结果可得出: 定 121-18 垢样组成为硫酸钙 64.01%, 碳酸钡 8.35%, 氯化钠 13.41%, 氧化钼 9.46%, 氧化铜 1.64%, 定 121-18 垢样主要以硫酸钙垢为主, 并含有少量碳酸钡垢和腐蚀产物(氧化物); 定 592-21 垢样组成为硫酸钙 80.6%, 碳酸钡 2.97%, 氧化钼 7.97%, 氧化铁 8.46%, 定 592-21 垢样主要以硫酸钙垢为主, 并含有少量碳酸钡垢和腐蚀产物(氧化物)。



**Figure 1.** The scanning electron microscopy and energy spectrum diagram of Ding 121-18 scale sample  
**图 1.** 定 121-18 垢样扫描电镜照片及能谱图



**Figure 2.** The scanning electron microscopy and energy spectrum diagram of Ding 529-21 scale sample  
**图 2.** 定 592-21 垢样扫描电镜照片及能谱图

## 4. 油房庄老区结垢腐蚀原因分析

### 4.1. 结垢原因分析

油房庄老区不同层位采出液中一部分富含成垢阳离子，一部分富含成垢阴离子，两种水体相遇后即形成沉淀，沉淀物吸附、沉积在集输系统管壁上就形成了垢。腐蚀产物附着于管壁，形成铁盐垢，尤其是腐蚀严重的系统，铁的氧化物是主要垢型。油房庄老区结垢的主要原因如下：

1) 水质不配伍引起结垢。当两种及其以上化学组分不同的水相混时，因为离子组分或水型不同会引起结垢现象。如：地层水含有大量二价阳离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ，当与含大量阴离子  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  地层水混合时，就会产生碳酸钙、碳酸镁、硫酸钙等垢体。

2) 成垢离子在设备、管线表面吸附引起结垢。在集输管道与大地相连的状态下，由于设备接地呈负极性，于是正离子( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ )将受器壁吸引而产生附壁效应，负离子( $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ )又将和固定在器壁上的正离子结合，产生难溶性的垢晶，以其为结晶中心，不断长大，沉积成致密的垢。

3) 热力学条件变化引起结垢。油房庄老区垢样主要是碳酸盐垢、硫酸盐垢等。温度影响成垢物质在水中的溶解度。碳酸钙的溶解度随温度升高而减小；硫酸钙的溶解度随温度升高而增大，当温度达到  $35^\circ\text{C}$  以上时溶解度又随温度的升高而减小。故集输站点加热炉盘管易结垢且更换频繁。

### 4.2. 腐蚀的影响因素

1) 油房庄老区采出水中  $\text{Cl}^-$  质量浓度较高(平均值  $25874 \text{ mg/L}$ )，盐卤腐蚀为主因。腐蚀作用机理为： $\text{Cl}^-$  半径小，容易透过防腐层的缺陷与基体金属原子通过吸附使金属键断裂，形成可溶性氯盐，而可溶性盐溶解进入水中从而形成点蚀坑。

2) 结垢是油房庄老区腐蚀的又一主因，沉积的垢使采出液在金属表面流动和电介质的扩散受到限制，造成被阻塞的空腔内介质化学成分与整体介质有很大的差别，形成腐蚀速差，类似点蚀原理，加速腐蚀速率，同时垢体空隙内也会滋生大量微生物，易导致细菌腐蚀。

## 5. 结论

1) 从采出水组分分析结果解释结果看油房庄老区有形成硫酸盐垢与碳酸盐垢的趋势，容易造成氯根腐蚀，腐蚀后易形成铁氧化物垢；长 2 层与其他层位水体配伍性较差，更加加剧垢体的产生。

2) 从各区块垢样的定性、定量及微观结构分析结果看，油房庄老区由于多层系混合，结垢矛盾较为突出，结垢主要集中在站内总机关汇管和加热炉盘管处，结垢类型有形成硫酸盐垢与碳酸盐垢的趋势，夹杂着少量原油、泥沙、析出盐和有机垢。

3) 针对腐蚀问题，建议分别对油房庄老区的不同层系的采出水进行了缓蚀剂筛选，并进行缓蚀剂药剂复配；针对结垢问题，推荐使用聚环氧琥珀酸 PESA 类阻垢剂(它是一种无磷、非氮的“绿色”环保型缓蚀阻垢剂，对水中的碳酸钙、硫酸钙、硫酸钡有良好的阻垢分散性能)，并将 PESA 与有机磷酸盐复配，提高药剂的协同效果，降低成本。

## 参考文献

- [1] 杨欢, 罗跃, 苑慧莹, 等. 油田集输管道内流动流体结垢动力学研究[J]. 油田化学, 2016, 33(2): 351-356.
- [2] 汤倩倩, 黄金营, 付朝阳. 中原油田油井结垢分析与预测[J]. 油气储运, 2014, 33(3): 327-331.
- [3] 吴清红, 王颖. 油田水结垢腐蚀机理及对策研究[J]. 当代化工, 2016, 45(8): 1827-1830.
- [4] 杨欢, 赵华, 陈腾巍. 油气地面管线内结垢固体颗粒沉积影响因素的实验研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(9): 80-85.

- 
- [5] 谭德坤, 刘莹. 壁面粗糙度效应对微流体流动特性的影响[J]. 中国机械工程, 2015, 26(9): 1210-1214.
- [6] 刘迎斌, 黄兆海, 沈建新. 哈 6 区块腐蚀结垢分析及对策研究[J]. 中外能源, 2017, 22(4): 51-55.
- [7] 杨欢, 苑慧莹, 王尚卫, 等. 高含钡锶离子采出水成垢趋势分析方法研究——以耿 83 区刘六增压站采出水为例[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(13): 103-107+113.
- [8] 崔蕊, 于焕良, 钟广文, 等. 常压塔塔顶循环管线结垢腐蚀的原因分析及解决措施[J]. 石油炼制与化工, 2015, 46(6): 89-94.
- [9] 胡以朋. 油田注水管线结垢腐蚀原因分析及防治研究[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学(华东), 2015.
- [10] 王兵, 李长俊, 廖柯熹, 等. 管道结垢原因分析及常用除垢方法[J]. 油气储运, 2008, 27(2): 59-62+69.

[编辑] 帅群

---

**Hans** 汉斯

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)