

炼油厂循环冷却水系统中有害微生物的研究

吕人豪 刘琦 张英华 肖昌松

(中国科学院微生物研究所, 北京)

调查了我国十六个主要炼油厂循环冷却水系统中主要引起污损、腐蚀的有害微生物——形成粘液异养菌、硫酸盐还原菌、铁细菌、真菌的数量及类型;探讨了菌数量和污损危害的相关性,从而提出了炼油厂循环冷却水有害菌控制指标: 粘液异养菌 $< 10^1/\text{ml}$, 硫酸盐还原菌 $< 10^1/\text{ml}$, 铁细菌 $< 10^3/\text{ml}$, 真菌 $< 10/\text{ml}$ 。统计并鉴定了各厂出现的优势菌,提出了我国炼油厂循环水中有代表性的有害菌种的组成。

关键词 冷却水中微生物;循环水中有害菌;生物污损

炼油厂循环冷却水系统常伴有可作为微生物营养源的原油、石蜡和各种碳氢化合物介质的泄漏^[1],具有比其他循环水更优越的微生物增殖条件,促使冷却塔壁菌藻丛生,热交换器生物污损严重,既降低冷却水流量及热交换效率,又产生垢下腐蚀、穿孔,促使设备报废,造成经济上的重大损失^[2-4]。尤其为节水而采用污水回用以来,问题愈益突出。国际上对循环冷却水系统中有害微生物进行了许多工作^[2,3,5-7],但多数局限于个别企业,对一类企业作全面性有害菌调查的为数不多^[8]。国内 70 年代后期才开始这方面研究,也着重于有害菌的控制^[9],在一个行业进行广泛地调查还是空白。为此,我们在完成药剂控制东方红炼油厂循环水菌、藻危害^[9]之后,继续开展了对我国主要炼油厂循环冷却水系统中主要有害微生物数量、分布、出现频率、代表性有害菌组成及寻找菌危害控制指标等研究,以期在更大范围内有针对性地提供控制循环水系统中微生物危害的依据。

材料和方法

(一) 样品来源和种类

样品采自全国的十六个炼油厂的循环冷却水

系统,包括大庆炼油厂、抚顺炼油厂、大连炼油厂、锦西石油五厂、北京东方红炼油厂、山东胜利炼油厂、南京炼油厂、上海炼油厂、浙江炼油厂、兰州炼油厂、荆门炼油厂、武汉石油化工厂、长岭炼油厂、南充炼油厂、广州石化厂和茂名炼油厂。

样品种类: 来源水、循环冷却水及冷换器中污垢。1982 年 5—9 月间采样。

(二) 有害微生物计量

粘液异养菌在普通肉汁平板进行菌落计数;真菌在马丁、蔡氏琼脂平板菌落计数,铁细菌和硫酸盐还原菌分别在柠檬酸铁铵液体培养基和 Starkey 液体培养基中按最大可能菌量计数法(MPN)测定。为获得不同类型粘液异养菌和真菌出现率,按琼脂平板上出现菌落外表、色泽、显微镜下细胞形态分别做统计。

(三) 菌的分离鉴定

粘液异养细菌,铁细菌及硫酸盐还原菌鉴定按照文献[10—12]进行;真菌参照文献[13—15]进行鉴定。细胞色素、脱硫弧菌素按 Postgate^[12]和 Campbell^[14]等人方法在贝克曼 DU-7HS 分光光度计上测定,菌的电镜形态在 HU-500 型电镜下观察,水质分析按前文^[9]报导方法进行。

结 果

(一) 循环冷却水水质情况

本文于 1987 年 6 月 3 日收到。
孙建民同志参加部分实验工作。

所调查的炼油厂循环水水质范围 (mg/L): 浊度 5—28, 悬浮物 3.2—45; 溶解氧 5.2—7.5; Ca^{2+} 1.3—58; Mg^{2+} 1.5—15.2; HCO_3^- 1.3—8.5; SO_4^{2-} 1.3—110; Cl^- 0.1—97; 总磷 3.1—9.0; 含油 1.2—44; 总硬 2.1—8.0mN/L; 总碱 2.3—22.5mN/L; pH 7.4—8.8。从水质看虽各炼油厂循环水水质有相当差别, 但都属微生物生长繁殖条件范围, 其中悬浮物及含油量都较高, 更利于微生物的生长繁殖。

(二) 十六个炼油厂中有害微生物的数量分布

循环冷却水系统中有害菌的数量将直接影响到系统中腐蚀危害的严重程度。图 1 结果表明形成生物污垢的主要微生物中

粘液异养菌在所调查的四种菌中最高, 次之是铁细菌、硫酸盐还原菌, 真菌数量最低。按水源水、循环水和垢中的菌量分布, 形成粘液异养菌分别为 10^2 — 10^4 /ml、 10^3 — 10^6 /ml 和 10^3 — 10^4 /ml; 铁细菌分别为 10^1 — 10^4 /ml、 10^2 — 10^4 /ml 和 10^3 — 10^7 /ml。硫酸盐还原菌在来源水和循环水中菌量相差不大, 在 10^1 — 10^3 /ml 范围, 这可能与二种水流中都含有饱和氧对此菌起抑制作用有关。在厌氧条件的垢中菌量则明显提高, 多数在 10^4 — 10^6 /ml。真菌除大连、浙江、兰州和茂名在污垢中可高达 10^2 — 10^3 /ml 外, 其他厂的各种样品中的菌量都低于或等于 10/ml。比较三类样品中各类菌分布的结果 (图 2) 表明, 除硫酸盐还原

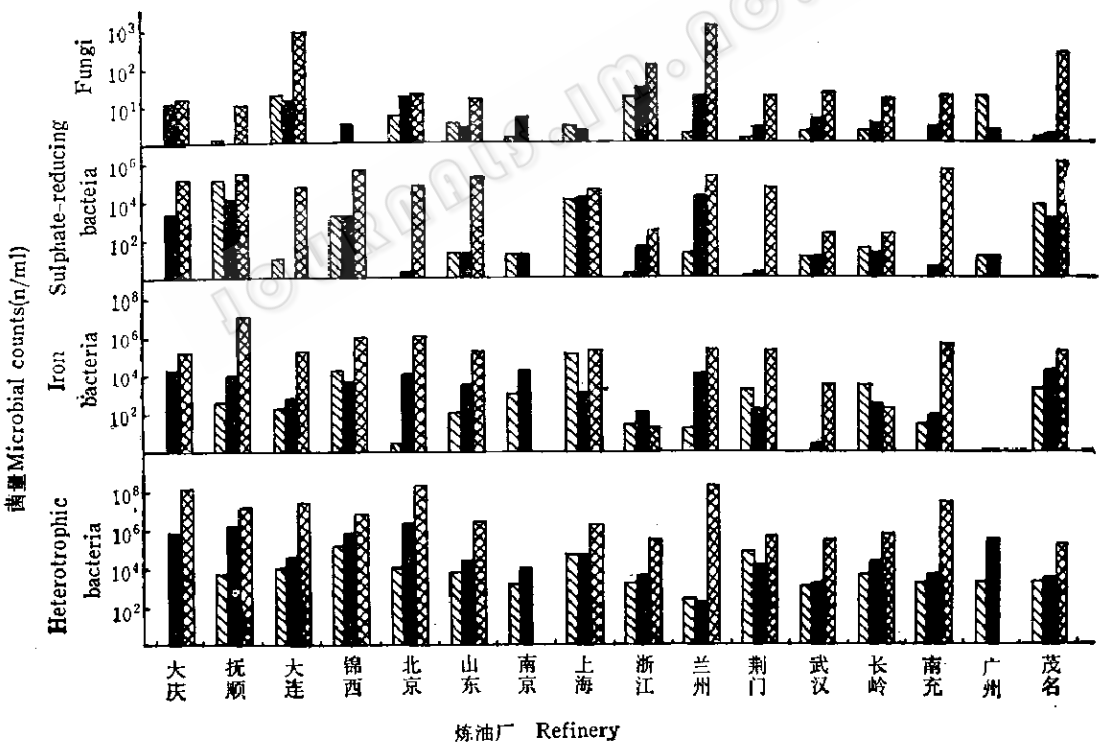


图 1 各炼油厂循环水系统中危害菌数量

Fig. 1 The harmful microbial counts in recirculating cooling water systems of various refineries

- 来源水 Sources water
- 循环水 Recirculating cooling water
- 垢 Biofouling deposits

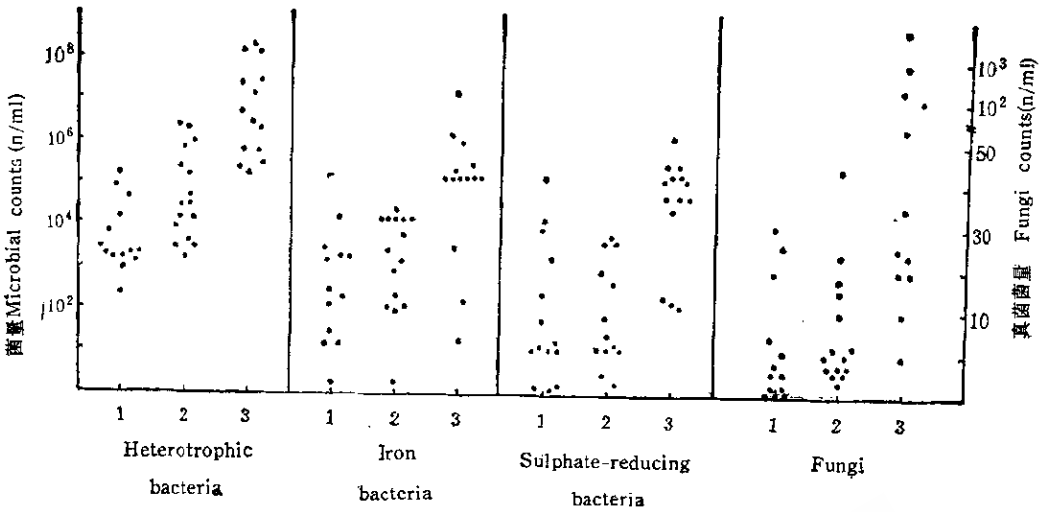


图 2 冷却循环水系统中来源水、循环水、垢中菌量的分布
Fig. 2 The distribution of microbial counts in recirculating cooling water systems of various refineries

- 1.来源水 Sources water
- 2.循环水 Recirculating cooling water
- 3.垢 Biofouling deposits

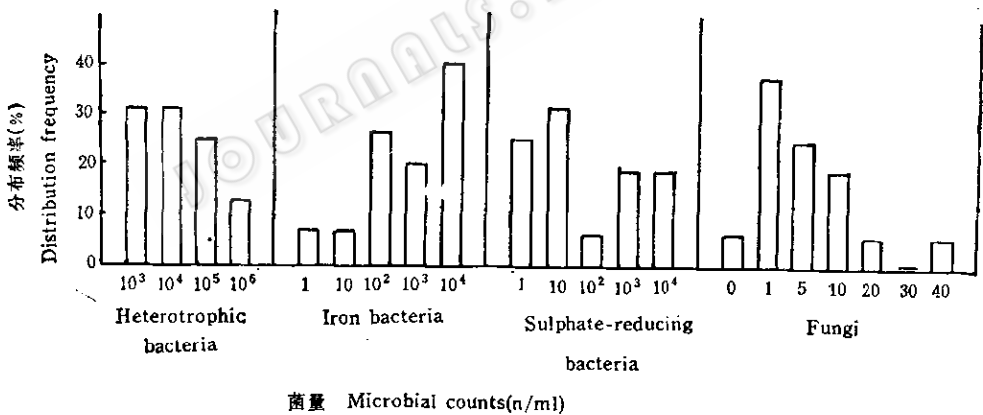


图 3 炼油厂循环水中有害菌菌量分布频率
Fig. 3 The distribution frequency of harmful microbial counts in recirculating cooling water of refineries

菌;真菌从来源水到循环水增殖较缓慢外,其他都随来源水、循环水、垢的顺序菌量呈递增趋势。尤以粘液异养菌最显著,平均约相差 10—100 倍。

从循环冷却水中有害菌分布频率 (图 3)看,所调查的 16 个炼油厂中可能构成粘

液异养菌危害的 (即菌量 $> 10^5$ /ml) 有 6 个厂,占 37.5%;铁细菌 $> 10^4$ /ml,占 40%;引起垢下厌氧菌腐蚀的硫酸盐还原菌 $> 10^3$ /ml,有 6 个厂 (大庆、抚顺、锦西、上海、兰州和茂名炼油厂)占 37.5%;真菌 > 10 /ml 有 5 个厂,占 31.5%。高真菌量

表 1 各炼油厂循环水及垢中粘液异养菌属的出现率

Table 1 The appearing rate of slime forming heterotrophic bacteria in recirculating cooling water of various refineries

属名 Genus of bacteria	炼油厂 Refineries	大 庆	抚 顺	大 连	锦 西	北 东 方 京 红	胜 利	南 京	上 海	浙 江	兰 州	荆 门	武 汉	长 岭	南 充	茂 名	菌的 出现率 (%)
不动杆菌属 <i>Acinetobacter</i>			+	+	+						+	+			+	+	47
葡萄球菌属 <i>Staphylococcus</i>			+		+	+					+		+	+			40
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+		80
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>		+		+	+			+	+	+		+		+	+		60
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>				+	+				+								20
产碱菌属 <i>Alcaligenes</i>		+		+					+			+		+			33
微球菌属 <i>Micrococcus</i>		+	+		+	+	+						+	+			47
棒杆菌属 <i>Corynebacterium</i>		+								+			+				20
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>			+								+						13
芽孢杆菌属 <i>Bacillus</i>		+		+	+	+							+			+	40
布鲁氏菌属 <i>Brucella</i>								+						+			13

的存在对木结构冷却塔将造成威胁。

(三) 循环冷却水系统中粘液异养菌组成及分布

1. 主要粘液异养菌属的组成和出现率： 调查的十六个炼油厂循环冷却水中，形成粘液异养菌除极少数菌株外，经鉴定分属于 11 个细菌属。按各属在炼油厂循环水中出现率(表 1)和相同出现率在垢中占有的百分比由高到低排列顺序如下：假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、气单胞菌属 (*Aeromonas*)、微球菌属 (*Micrococcus*)、芽孢杆菌属 (*Bacillus*)、不动杆菌属 (*Acinetobacter*)、葡萄球菌属 (*Staphylococcus*)、产碱杆菌属 (*Alcaligenes*)、棒状杆菌属 (*Corynebacterium*)、肠杆菌科 (*Enterobacteriaceae*)、黄杆菌属 (*Flavobacterium*) 和布鲁氏菌属 (*Brucella*)。我国炼油厂循环冷却水中出现的这些粘液异养菌同国际上报导^[2,5-7]的虽有区别，但优势菌属基本一致。

从各炼油厂循环冷却水中存在的主要粘液异养菌在循环水和垢中分布比例(表 2)也同样可以观察到由于各厂来源水中菌的组成，营养条件及投加水稳剂的差异而各不相同，但其优势菌仍为假单胞菌、气单胞菌、芽孢杆菌、不动杆菌、微球菌和产碱杆菌等属。其总的分布比例同上述的出现率顺序也基本相符。

2. 主要粘液异养菌代表种的鉴定：循环冷却水中出现的 11 个细菌属中除出现率低于 15% 的黄杆菌属 *Flavobacterium* 和布鲁氏杆菌属 *Brucella* 外,其他各属根据菌株特征及占优势情况选出代表菌株进行种的鉴定。根据细胞形态、培养、生理、生化性状,最终鉴定 9 个属 9 个种(表 3),作为炼油厂循环冷却水系统粘液异养菌占优势的代表菌。

(四) 循环冷却水系统中真菌属种组成及出现率

真菌在循环冷却水系统中不仅破坏木

表 2 各炼油厂循环水系统中主要异养菌分布比例 (%)

Table 2 The distribution percentage (%) of the main slime-forming heterotrophic bacteria in recirculating cooling water system of various refineries

Genus of bacteria 细菌属名	炼油厂 Refineries																													
	大庆		抚顺		大连		锦西		北京东方红		胜利		南京		上海		浙江		兰州		荆门		武汉		长岭		南充		茂名	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
不动杆菌属 <i>Acinetobacter</i>					5	55												80	10									50	30	
葡萄球菌属 <i>Staphylococcus</i>			90		45		1	10		10									50			30	10							
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>				2									10		5	15		5						45	70					
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>																									45					
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>																														
产碱菌属 <i>Alcaligenes</i>																														
微球菌属 <i>Micrococcus</i>																														
棒杆菌属 <i>Corynebacterium</i>																														
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>																														
芽孢杆菌属 <i>Bacillus</i>																														
布鲁氏菌属 <i>Brucella</i>																														
其他 Other																														

A: 循环水 Recirculating cooling water; B: 污垢 Biofouling deposits

表 3 循环水中形成粘液异养菌的代表菌种

Table 3 The representative slime-forming heterotrophic bacteria in recirculating cooling water

菌 名	Species	来 源 Source
铜绿色假单胞菌	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	北京东方红
嗜水气单胞菌	<i>Aeromonas hydrophila</i>	大庆
藤黄微球菌	<i>Micrococcus luteus</i>	大连
枯草芽孢杆菌	<i>Bacillus subtilis</i>	长岭
乙酸钙不动杆菌	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	锦西
腐生葡萄球菌	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	兰州
粪产碱菌	<i>Alcaligenes faecalis</i>	山东胜利
干燥棒状杆菌	<i>Corynebacterium xerosis</i>	武汉
产气肠杆菌	<i>Enterobacter aerogenes</i>	上海

表 4 各炼油厂循环水及塔中主要真菌的出现率
Table 4 The appearing rate of the main fungi in recirculating cooling water of various refineries

Refineries 炼油厂	大庆	抚顺	大连	锦西	北京红	胜利	南京	上海	浙江	兰州	荆门	武汉	长岭	南充	广州	茂名	菌的出现率 (%)
黄曲霉 <i>Asp. flavus</i>			+			+	+					+		+		+	44
黑曲霉 <i>Asp. niger</i>						+	+		+			+	+			+	38
烟曲霉 <i>Asp. fumigatus</i>			+									+		+			25
构巢曲霉 <i>Asp. nidulans</i>			+			+			+								19
土曲霉 <i>Asp. terreus</i>																	19
草酸青霉 <i>Pen. oxalicum</i>	+				+					+		+					25
圆弧青霉 <i>Pen. cyclopium</i>	+									+							13
产黄青霉 <i>Pen. chrysogenum</i>	+				+					+		+					19
腐皮镰孢 <i>Fus. solani</i>						+				+						+	38
尖镰孢 <i>Fus. oxysporum</i>										+		+					19
串珠镰孢 <i>Fus. moniliforme</i>												+					13
多主枝孢 <i>Cla. herbarum</i>								+	+			+					19
细极链格孢 <i>Alt. tenuissima</i>	+			+					+			+					31
康宁木霉 <i>Tri. koningii</i>												+					25
总状毛霉 <i>Muc. racemosus</i>												+		+		+	13
棕黑腐质霉 <i>Hum. lucoostra</i>				+								+					13
丛梗孢属 <i>Monilia</i> sp.																	6
拟青霉 <i>Pae. varioti</i>																	6
茎点霉属 <i>Phoma</i> sp.													+				6
疣状瓶霉 <i>Phi. verrucosa</i>												+					6
米根霉 <i>Rhi. oryzae</i>																	6
脉孢菌属 <i>Neurospora</i> sp.																	6

表 5 各炼油厂循环水系统中主要真菌存在百分比
Table 5 The distribution percentage (%) of the main fungi in recirculating cooling water system of various refineries

Refineries 炼油厂	Species 菌种	大庆		抚顺		大连		锦西		东北 北方 京红		胜利		南京		上海		浙江		兰州		荆门		武汉		长岭		南充		广州		茂名	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
	黄曲霉 <i>Asp. flavus</i>					70	92					5										100	88	69				25	50	5		18	
	黑曲霉 <i>Asp. niger</i>											25	27					3					12	9		40	80					18	
	烟曲霉 <i>Asp. fumigatus</i>							3																9								25	
	构巢曲霉 <i>Asp. nidulans</i>					30	1					3						2	6		14							25	40			25	
	土曲霉 <i>Asp. terreus</i>	13			100																											19	
	草酸青霉 <i>Pen. oxalicum</i>									78	55										5			11	20								
	圆弧青霉 <i>Pen. cycloptium</i>	27	65																														
	产黄青霉 <i>Pen. chrysogenum</i>																																
	腐皮镰孢 <i>Fus. solani</i>	53	35			60				22	36	27											14							25		3	
	尖镰孢 <i>Fus. oxysporum</i>											8								41				29									
	串珠镰孢 <i>Fus. moniliforme</i>																67	5															
	多主枝孢 <i>Cla. herbarum</i>																	17						43				25					
	细极链格孢 <i>Alt. tenuissima</i>																	2															
	康宁木霉 <i>Tri. koningii</i>	7				20				9	25	5	50				33							3									12
	总状毛霉 <i>Muc. racemosus</i>											25	3																				
	棕黑腐质霉 <i>Hum. luscotra</i>																			36													
	丛梗孢属 <i>Monicola</i> sp.					20																											
	拟青霉 <i>Pae. varioti</i>											25	13					90	50														
	茎点霉属 <i>Phoma</i> sp.																																
	疣状瓶霉 <i>Phi. verrucosa</i>																									40	20						
	米根霉 <i>Rhi. oryzae</i>											2												14									
	脉孢菌属 <i>Neurospora</i> sp.											2																					

A: 循环水 Recirculating cooling water; B: 污垢 Biotouling deposits

结构冷却塔设施, 而且参与污垢的形成。

1. 循环冷却水系统中真菌的鉴定: 在调查的 16 个炼油厂循环水系统中共分离到 118 株真菌, 经鉴定分属 14 个属 36 个种, 其中青霉属 (*Penicillium*) 9 个种, 曲霉属 (*Aspergillus*) 8 个种, 镰孢霉 (*Fusarium*) 3 个种, 瓶霉属 (*Phialophora*) 3 个种, 链格孢霉属 (*Alternaria*) 1 个种, 腐质霉属 (*Humicola*) 1 个种, 木霉属 (*Trichoderma*) 2 个种, 枝孢属 (*Cladosporium*) 2 个种, 茎点霉属 (*Phoma*) 2 个种, 拟青霉属 (*Paecilomyces*) 1 个种, 毛霉属 (*Mucor*) 1 个种, 从梗孢霉 (*Monilia*) 一个种, 脉孢菌属 1 个种, 根霉属 1 个种。

2. 循环冷却水系统中真菌优势种及出现率: 从表 4—5 的结果表明: 在炼油厂循环冷却水中真菌出现率由高到低的顺序是: (1) 黄曲霉 (*Aspergillus flavus*), (2) 黑曲霉 (*Aspergillus niger*), (3) 腐皮镰孢 (*Fusarium solani*), (4) 细极链格孢 (*Alternaria tenuissima*), (5) 草酸青霉 (*Penicillium oxalicum*), (6) 康宁木霉 (*Trichoderma koningii*), (7) 烟曲霉 (*Aspergillus fumigatus*), (8) 多主枝孢 (*Cladosporium herbarum*), (9) 尖镰孢 (*Fusarium oxysporum*), (10) 构巢曲霉 (*Aspergillus nidulans*), (11) 土曲霉 (*Aspergillus terreus*), (12) 产黄青霉 (*Penicillium chrysogenum*), (13) 棕黑腐质霉 (*Humicola fuscoatra*), (14) 总状毛霉 (*Mucor racemosus*)。以上 14 株菌出现率都在 15% 以上, 组成循环水中真菌代表菌种。若以占各厂真菌组成的 20% 以上为优势菌统计, 主要集中于三类菌, 曲霉为优势菌的厂约占所调查厂的 50%, 镰孢霉占 20%, 青霉 15%, 其他属占 15%。

(五) 循环冷却水系统中硫酸盐还原菌的分离鉴定

工业循环冷却水系统热交换器出现的垢下腐蚀主要是硫酸盐还原菌的作用。我们所分离的菌 (见表 6) 都属脱硫弧菌属 (*Desulfovibrio*) 根据有关该类菌的鉴定资料^[10, 12], 除在细胞大小及对乙酸盐的利用有差异外, 衡量全面性状、特征, 所分离的菌只有东方红炼油厂的硫酸盐还原菌属普通脱硫弧菌 (*Desulfovibrio vulgaris*), 其他 15 个炼油厂来的菌都属需盐脱硫弧菌 (*Desulfovibrio salexigens*), 但在耐盐上略高于伯杰氏细菌分类手册^[10] 所描述的结果, 这与它们长期适应于在盐浓缩了的循环水环境中生存关系极大。

(六) 炼油厂循环水系统中铁细菌的观察

铁细菌多数偏爱在有机物贫瘠的环境中生长, 是自来水管道的结垢、腐蚀的主要危害菌。富含有机物营养的炼油厂循环水适于粘液异养菌的增殖, 使其首先附着于冷却塔壁和热交换器管内壁表面。虽然循环水及垢中有相当数量的细菌存在, 并参与生物污垢的形成, 但其危害次于粘液异养菌及硫酸盐还原菌。经用亚铁氰化钾染色观察样品中的铁细菌, 发现只有大庆、锦西、兰州、上海和长岭炼油厂循环水或垢中有少量纤发菌 (*Leptothrix*)、嘉利翁氏菌 (*Gallionella*) 及球衣细菌 (*Sphaerotilus*), 而其他厂主要是单细胞铁细菌, 鞘铁细菌属 (*Siderocapsa*) 占优势。

讨 论

为了控制循环冷却水微生物的危害, 水中有害菌量指标一直是人们关注的问题。我们的调查结果表明: 存在微生物粘液危害的大庆、抚顺、锦西、北京东方红、广州石化厂、兰州和南充炼油厂循环水粘液异养菌菌量 $> 10^3/\text{ml}$, 垢中菌量 $> 10^6/\text{ml}$; 存在垢下生物腐蚀的大庆、抚顺、锦西、上

表 6 各炼油厂循环水及垢中硫酸

Table 6 The morphological, physiological and biochemical characteristics of sulfate

炼油厂 Refineries	试验项目 Test item	形 态 特 征 Morphology characters					有机物利用				
		形 状	大 小 (μ)	鞭 毛 排 列	鞭毛 厚度 (nm)	孢 子	乳 酸 盐 + 硫 酸 盐	丙 酮 酸 盐 + 硫 酸 盐	胆 碱 + 硫 酸 盐	胆 碱 + 硫 酸 盐	苹 果 酸 盐 + 硫 酸 盐
大 庆		弧形 Vibrio	1.5—2×0.7—0.8	单根* 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
抚 顺		弧形 Vibrio	1.5—2.5×0.7	单根* 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
大 连		弧形 Vibrio	2—3×0.7—0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
锦 西		弧形 Vibrio	2—3×0.6—0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
北京东方红		弧形 Vibrio	1.5—3×0.7—0.8	单根 极生	20—22	无	+	—	—	—	—
山东胜利		弧形 Vibrio	2.5—3×0.7	单根* 偏端生	21—23	无	+	—	—	—	+
南 京		弧形 Vibrio	2.2×0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
上 海		弧形 Vibrio	2—2.5×1—1.3	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
浙 江		弧形 Vibrio	1—1.5×0.5	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
兰 州		弧形 Vibrio	2—2.5×0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
荆 门		弧形 Vibrio	2—2.5×0.7—0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
武 汉		弧形 Vibrio	2—2.5×0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
长 岭		弧形 Vibrio	2—3×0.6—0.7	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
南 充		弧形 Vibrio	1.5—2×0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+
广 州		弧形 Vibrio	2—2.5×1.1	单根 偏端生	21—23	无	+	—	—	—	+
茂 名		弧形 Vibrio	2—3×0.7—0.8	单根 极生	21—23	无	+	—	—	—	+

+: 阳性 Positive; -: 阴性 Negative; * 单根极生 Single, polar; * 单根,偏端生 Single, Sub-polar

盐还原菌的形态及生理生化特征

reducing bacteria strains from recirculating cooling water system of various refineries

Growth with organism				细胞色素 C ₃	脱硫弧菌素	氯化钠需要 (%)	洗必泰抗性 (mg/L)	嗜热性	种 类 Species
苹果酸盐+硫酸盐	甲酸盐+硫酸盐	乙酸盐+硫酸盐	葡萄糖+硫酸盐						
-	+	-	-	+	+	3	100	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	50	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	50	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	2.5	50	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	1	10	-	普通脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio vulgaris</i>
-	+	-	-	+	+	2.5	50	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	5	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	5	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	30	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	20	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	2.5	20	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	5	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	30	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	30	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	3	10	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>
-	+	-	-	+	+	2.5	15	-	需盐脱硫弧菌 <i>Desulfovibrio salexigens</i>

海、兰州、茂名和南充炼油厂水中硫酸盐还原菌菌量 $> 10^2/\text{ml}$, 垢中 $> 10^3/\text{ml}$ 。上述地方的铁细菌菌量 $> 10^3/\text{ml}$, 垢中 $> 10^5/\text{ml}$ 。真菌 $\geq 10/\text{ml}$, 垢中 $> 10^2/\text{ml}$ 有大连、浙江、兰州和茂名炼油厂, 其中兰州炼油厂木结构冷却塔的破坏最为明显。铃木静夫等^[8]提出水中细菌 $> 10^5/\text{ml}$, 真菌 $\geq 10/\text{ml}$ 就存在冷却水系统粘液危害的可能。Winter^[17]提出冷却水菌控制指标细菌数 $< 5 \times 10^5$, 腐蚀菌(硫酸盐还原菌或铁沉积菌)为零, 真菌 < 100 。根据我们调查结果, 建议我国炼油厂循环水中菌危害控制指标可暂定为粘液异养菌 $< 10^5/\text{ml}$, 硫酸盐还原菌 $< 10^2/\text{ml}$, 铁细菌 $< 10^3/\text{ml}$, 真菌 $< 10/\text{ml}$ 。

循环水中的有害菌多数研究只鉴定到属, 这对工业水中有害菌株进行基础和控制研究缺少代表性, 我们的工作除了铁细菌外, 其他都确定了属、种或代表菌属、种名。从而提出我国炼油厂循环冷却水中代表菌组成。其中粘液异养菌种类与 Bartha^[10] 及 Gould^[18] 等所报导的相当吻合。与一般工业循环冷却水中形成粘液的优势菌的报导^[2,5-8]相比较, 微球菌和枯草杆菌在我国水中出现率明显高, 其他都很类似。硫酸盐还原菌二个代表种也是不久前 Stocker^[7]所指出的主要起腐蚀作用的硫酸盐还原菌。代表性真菌种类同一些国家报导^[5,8]的多数种是一致的。我们认为调查所得的代表性有害菌组成是可以作为目前我国工业循环冷却水方面开展主要有害菌基础研究、菌危害控制及工业水处

理规范、设计中参考的。

参考文献

- [1] Bartha, R.: *Advances in Applied Microbiology*, 22: 225—266, 1977.
- [2] Kempel, E.: *Wasser Luft und Betrieb*, 17(4): 111—114, 1973.
- [3] Characklis, W. G. et al.: *Advances in Applied Microbiology*, 29: 99—138, 1983.
- [4] 吕人豪等: 1979 年腐蚀与防护学术报告会议论文集, 科学出版社, p. 358—369, 1982.
- [5] Anon: *Cooling Water Treatment Manual* TPC. publ., No. 1, NACE, p. 17—20, 1971.
- [6] McCoy, J. W.: *Microbiology of cooling water*, Chemical publishing Co. New York, N. Y. p. 1—18, 1980.
- [7] Stocker, J. G.: *Materials Performance*, 23(8): 48—55, 1984.
- [8] 铃木静夫等: 工业用水处理, 内田老鹤園新社, 东京, 1971.
- [9] 吕人豪等: 微生物学报, 22(1): 79—87, 1982.
- [10] Buchanan, R. E. et al.: *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th edition, The Williams and Wilkins Co., Baltimore, p. 666—672, 1974.
- [11] 长谷川武治: 微生物の分類と同定, 学会出版センター, 日本东京, p. 203—263, 1975.
- [12] Postgate, J. R.: *The sulphate-reducing bacteria*, second edition, Cambridge Univ. Press, p. 9—55, 1984.
- [13] Raper, K. B. et al.: *Manual of Aspergillus*, The Williams and Wilkins Co. London Baltimore, p. 686, 1965.
- [14] Raper, K. B. et al.: *Manual of the Penicillia*, The Williams and Wilkins Co. London Baltimore, p. 875, 1949.
- [15] Booth, C.: *The Genus Fusarium* Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey England, p. 237, 1971.
- [16] Campbell, L. L. et al.: *J. Bacteriology*, 73: 516—521, 1957.
- [17] Winter, M. A.: *Materials performance*, 24(2): 19—26, 1985.
- [18] Gould, H. D. et al.: *Environmental Pollution* (Ser. A), 39(1): 27—37, 1985.

STUDIES ON HARMFUL MICROBES IN RECIRCULATING COOLING WATER SYSTEM OF OIL REFINERY

Lu Renhao Liu Qi Zhang Yinghua Xiao Changsong

(Institute of Microbiology, Academia Sinica, Beijing)

The microbial counts, type, distribution as well as interrelation between microbial counts and biofouling of the main harmful microbes including slimeforming heterotrophic bacteria, sulfate reducing bacteria, iron bacteria and fungi has been studies in 16 oil refineries of China. The control guideline of the harmful microbes for recirculating cooling water system of refinery were suggested, that is slime-forming oacteria $<10^5$ /ml, sulfate reducing bacteria $<10^2$ /ml, iron bacteria $<10^5$ /

ml, fungi <10 /ml. The appearing rate of the predominant strains from cooling water system of various refineries were caculated and identified and the composition of the main harmful representative microbes in cooling water system were determined.

Key words

Microbes of cooling water; Harmful microbes in recirculating water; Biofouling