

汽輪機油系統的清洗

蘇聯 維·斯·伊凡諾夫工程師著
柳 椿 生譯

燃 料 工 業 出 版 社

前 言

本書專門研究化驗室化驗的結果及至現在止所積累的運行經驗，其中包括：

1. 新汽輪機油系統腐銹物的清洗方法，
2. 汽輪機（在運行的）油系統中所發生之有機物及礦物污垢的清洗方法。

油系統的金屬材料，對潤滑油的氧化性有接觸作用的影響。這種影響可能由於各種清洗劑及清洗方法應用的不同而有顯著的變化。經清洗過的金屬材料的表面與油互起作用後，同樣對金屬材料的狀態及油之氧化性要發生變化。

腐銹物被清洗後的油系統，由於外在不利條件的影響可能又重新腐銹。所以在本書中除了介紹直接的清洗方法以外，並在考慮到運行條件和所應用的清洗方法及防止油系統腐銹的方法的情況下，來說明金屬材料對於油之氧化性的接觸作用的影響。

目 錄

前言

汽輪機油系統的金屬材料對於油之氧化性的影響·····	3
新汽輪機油系統的清洗·····	13
汽輪機油系統的防腐保護·····	16
以蒸汽吹洗汽輪機的油系統渣滓·····	21
以氯化物溶劑清洗汽輪機油系統的渣滓·····	24
以磷酸三鈉溶液清洗汽輪機油系統的渣滓·····	32
清洗汽輪機油系統的運行經驗·····	36

汽輪機油系統的金屬材料對於 油之氧化性的影響

關於金屬材料對於礦物油在氧化過程中接觸作用的研究已經做了很多工作。根據研究的結果，許多金屬——鐵、生鐵、鋼、銅及它的合金——無論在酸性的溶解於油的氧化生成物之形成方面或渣滓之形成方面，均能促進其氧化過程。

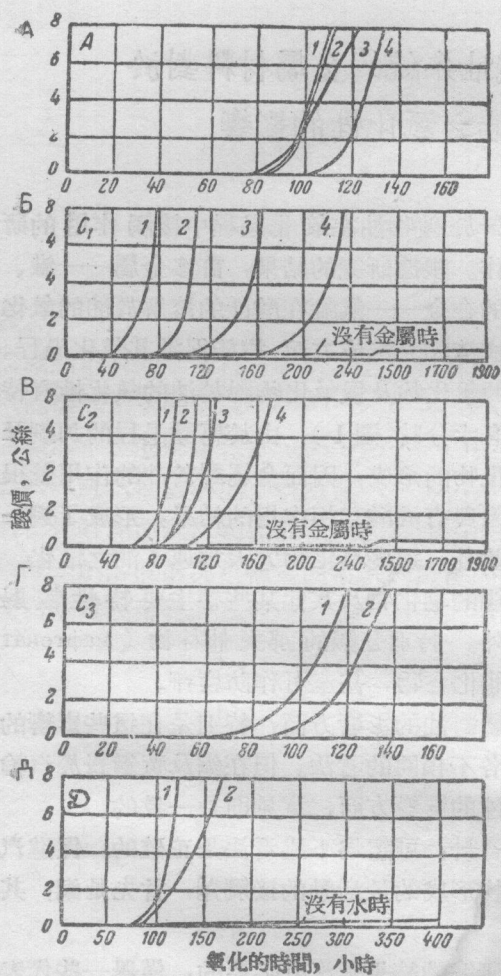
各種不同金屬的氧化物及氫氧化物對於油的氧化性有特別強烈的影響。當有水分時(圖1)，由於腐蝕過程的加劇及金屬氧化物與氫氧化物的形成，因而金屬對於油的作用就很明顯地增加。此時因與有機酸互相作用的結果，形成了銅、鋅、鐵等皂化物，並且，這些皂化物大大加速了油之氧化。

在這一方面，錫的皂化物及其他某些帶主要特性較弱的金屬皂化物則例外。特別是錫的那夫他林物(нафтенатолова)以及它的其他化合物，甚至可作防腐劑。

在各種不同金屬對油的影響方面，特別是在這些影響的深淺程度方面，有各不相同的看法。但在銅及黃銅對於汽輪機油和絕緣油氧化性的影響方面，意見則是一致的。

根據各文獻的資料，可認為下述看法是正確的：促進汽輪機油中酸及沉澱物形成的最活動的接觸劑，首先是銅，其次是黃銅。

詳細敘述許多研究的結果是沒有必要的，僅舉一些代表性的例子就足夠說明這種看法是正確的(見表1—3及圖1—3)。



- A 1) 6 公升/小時
2) 3 公升/小時
3) 9 公升/小時
4) 2 公升/小時

- B 1) 銅(平均每立方公分的油有 0.5 平方公分面積的銅)
2) 鐵(平均每立方公分的油有 0.5 平方公分面積的鐵)及銅(平均每立方公分的油有 0.5 平方公分面積的銅)
3) 鐵(平均每立方公分的油有 0.5 平方公分面積的鐵)
4) 鐵(平均每立方公分的油有 0.5 平方公分面積的鐵)及錫(平均每立方公分的油有 0.5 平方公分面積的錫)

- B 1) 平均每立方公分的油有 1.0 平方公分面積的銅及 1.0 平方公分面積的鐵
2) 平均每立方公分的油有 0.5 平方公分面積的銅及 0.5 平方公分面積的鐵
3) 平均每立方公分的油有 0.25 平方公分面積的銅及 0.25 平方公分面積的鐵
4) 平均每立方公分的油有 0.063 平方公分面積的銅及 0.063 平方公分面積的鐵

- Γ 1) 鐵與銅不相接觸
2) 鐵與銅相接觸

- Д 1) 水位高於分隔板
2) 水位低於分隔板

圖 1 在人工氧化條件下 (96°C) 各種因素對汽輪機油氧化性的影響
A—所吹入的氧氣量的影響; C—金屬材料的影響 (C₁—金屬類; C₂—金屬材料表面積與油量之關係; C₃—傳導電流的影響); Д—水分的影響。

表 1 列舉當油有各種金屬存在及溫度為 120°C 時，其氧化性的試驗資料。

表 1

樣 品 名 稱	酸價,公絲KOH	油中沉澱物	汽油溶液中的沉澱物, %
原油	0.08	無	0.18
原油+表面磨光的銅	0.37	很多	0.51
原油+在空氣中的銅	0.35	很多	0.48
原油+純錫	0.13	無	0.29
原油+碳素鋼	0.20	中等	0.37
原油+鋁	0.07	無	0.18

表 2 列舉當油有各種金屬存在及有些濕分條件下，並在溫度為 120°C 時，其相對氧化性的試驗資料。

表 2

樣 品 名 稱	氧化時間, 小時	酸價, 公絲 KOH
原油	—	0.05
已氧化的油, 無金屬	1344	0.78
鋁合金 I ①	1344	1.35
鋁 ②	1344	1.08
鋁合金 II ③	1344	0.8
銅	117	2.7
鋅	1344	1.05
低炭素鋼	472	2.13
不銹鋼	1344	1.23
錫	1344	1.48

① 鋁合金 I 中加有: 銅—4.4%, 矽—0.8%, 錳—0.8%, 鎂—0.4%。

② 工業用鋁。

③ 鋁合金 II 中加有: 鎂—2.5%, 銅—0.25%。

根據所列舉之資料，許多研究人員建議必須用鍍錫方法以消除銅（或黃銅）對油之影響是合理的。但是這個問題在這裏將以另一種方式去考慮——就我們考慮運行條件所做的試驗而論。

表 3 列舉各種不同金屬在沉澱形成方面對油之影響檢查的資料。

表 3

樣 品 名 稱	油 中 沉 澱, %
純油	0.06
純油+鋁	0.05
純油+銅	0.15
純油+銅	0.29
純油+鉛	0.43

圖 1 表示各種因素對汽輪機油氧化性之影響的資料。

可以看出，當鐵與錫結合時，油之氧化誘導時間較鐵與銅結合時間要多一倍。

為了找出鋁、炭素鋼及不銹鋼對油之比較影響，下面將研究試驗的結果。這些試驗是在一特別循環裝置中進行的，並考慮到油在汽輪機中的工作條件。

這個循環裝置是由各種不同金屬製的油箱所組成。油泵及連接用的管子是鋼製的。油中加入水分 10%，油與水之混合物的溫度保持在 90—93°C 範圍內。油以 10 公升/分鐘的速度進行循環。混合物自油箱底部取出，又回到較油面稍低的油箱上部。

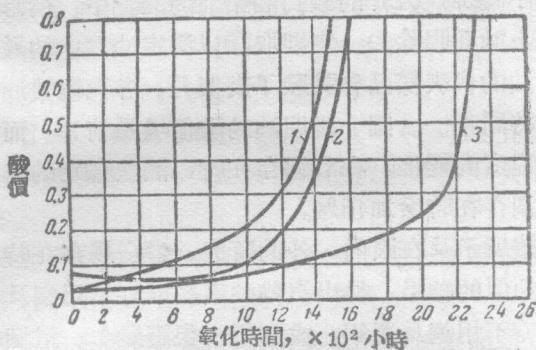


圖 2 當油在各種不同金屬製的油箱中氧化時，
油之酸價的變化。

1—不銹鋼製的油箱；2—鋼製油箱；
3—鋁製油箱。

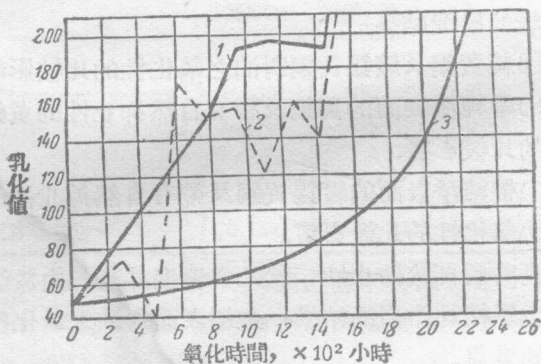


圖 3 油在各種不同金屬製的油箱中氧化時，
油之乳化性的變化

1—鋼製油箱；2—不銹鋼製的油箱；3—鋁製油箱。

每小時加 5 公升的氧到油泵前的油管中，所形成的氣體經過蓋上的孔眼除去。定期取樣以測定油汽中的酸價。許多汽輪機油的代表樣品曾試驗了幾個月。各汽輪機油樣品的連續工作時間不一。圖 2 說明油的酸價增長情形，而圖 3 則為乳化性程度的變化。在有鋁存在時，油之穩定的連續工作時間較有銅存在時增加 46%。

根據所示及在國內、外的研究。當金屬存在時，油氧化的其他類似的結果，得出汽輪油系統最好不用銅及黃銅材料的結論（不用銅及黃銅，或應用一保護層）。這個結論適用於新製造的汽輪機，對於已在運行的汽輪機很難適用。

但是，如上述研究工作中所指出的，在運行條件下，銅及黃銅對油之氧化性的影響與國家電力事業聯合改進局油化驗室試驗結果所確定者相比較是不同的。

下面列舉在這化驗室內按下列順序所做的黃銅對油之氧化性影響的研究結果：

- (1) 純黃銅及鍍錫黃銅對油之氧化性的比較影響；
- (2) 帶純淨表面的黃銅及帶有自然抑止性的黃銅對油之氧化性的比較影響；
- (3) 帶純淨表面的鍍錫黃銅及帶有自然抑止性的鍍錫黃銅對油之氧化性的比較影響。

這裏所謂自然抑止性，就是當溫度升高，由於油中所含物質與金屬相互作用的結果，金屬表面對油之氧化性接觸作用減弱的意思。

應該指出，所有試驗均按照全蘇標準 981-41 油之人工氧化方法做的。所以，所得的結果僅僅從原則性的結論得出一個根據，如考慮到運行的條件，實際應用是可能的。

純黃銅及鍍錫黃銅對油之氧化性的比較影響 表 4 中列舉了關於測定純黃銅及鍍錫的金屬樣品對新汽輪機油之氧化性的比較影響的試驗資料。

可以看出，鍍錫可保證酸價降低，特別是沉澱物的降低。在這個試驗中，一次是酸價降低較大，另一次是沉澱物降低較多。

試驗的佈置與文獻中所述的方法原則上沒有差別；黃銅及錫對油之作用的結果與文獻中的資料相符。

一般在油系統中，錫的使用不會引起什麼問題。油系統中錫的作用，例如含錫的軸瓦烏金，是毫無害處的。

表 4

樣 品 名 稱	油按照全蘇標準 981-41 氧化後			
	酸 價		含 渣 量	
	公絲KOH	比較, %	%	比較, %
試驗 1				
黃銅片.....	0.435	100	0.061	100
鍍錫的黃銅片.....	0.276	63	0.0162	26
試驗 2				
黃銅片.....	0.22	100	0.026	100
白鐵皮片.....	0.158	72	0.002	8

所以，冷油器的黃銅管及銅過濾網等鍍錫是一有效的措施。但是，所得結果僅僅對加到新汽輪機運行中第一批油的工作有效，關於這點以後再談。

所述試驗佈置方法並未考慮到黃銅與油之間隨後的相互作用及其氧化生成物之間的相互作用，這些氧化生成物是複雜的化學結合物，它們用化學作用的方法或由於表面作用力

而引起金屬表面狀態的變化；特別是引起防止金屬腐蝕的抑止薄膜的形成；而對油則係防止金屬之接觸作用的影響。這些薄膜的存在已完全在試驗中發現，試驗的資料將敘述在下列各章中。

帶純淨表面的黃銅及帶自然抑止性的黃銅對油之氧化性的比較影響 爲了發現抑止薄膜的形成及其對油之氧化性的影響，自同一樣品中取出新油試樣及在同一黃銅薄片情形下，連續做了三次新油的氧化試驗。

首先以新的機械擦淨過的黃銅進行油的氧化試驗。

在黃銅片第一次氧化後，以汽油沖洗，以此黃銅片進行新油的第二次氧化試驗；然後將黃銅片樣品重覆清洗後，以此黃銅片進行新油的第三次氧化試驗。幾次類似的試驗資料列如表 5。

表 5

試驗次序	樣品名稱	油按照全蘇標準 981-41 氧化後			
		酸 價		含 渣 量	
		公 絲 KOH	比較, %	%	比較, %
1	黃銅片，機械擦淨後.....	0.625	100	0.104	100
	同一黃銅片，在第一次自然抑止作用發生後.....	0.225	35	0.056	54
	同一黃銅片，在第二次自然抑止作用發生後.....	0.305	48	0.0265	25
2	黃銅片，機械擦淨後.....	0.335	100	0.0505	100
	同一黃銅片，在自然抑止作用發生後.....	0.30	90	痕跡	趨近於零
3	黃銅片，機械擦淨後.....	0.23	100	0.030	100
	同一黃銅片，在自然抑止作用發生後.....	0.165	72	0.013	42

又繼續進行了歷時 230 小時的油的氧化試驗，進行時溫度為 100°C ，並以含 100% 相對濕度的空氣強力通風（以國家電力事業聯合改進局油化驗室所製造的器械做試驗）。

這樣便可看出黃銅對油的負作用隨後減小的現象，這個現象可以用金屬抑止薄膜的形成來解釋。

表 6

樣 品 名 稱	油 在 氧 化 後				
	油的顏色	酸 價		皂 化 值	
		公 絲 KOH	比較, %	公 絲 KOH	比較, %
機械擦淨過的黃銅	暗黑色	0.09	100	0.32	100
同上，但在預先放在 12°C 的油中 8 小時以後	黑色程度 比較好	0.07	78	0.11	35

因此，只要進行了對油系統適當的監視，金屬對油之負作用可能顯著的降低。對油系統的監視，特別對清洗油系統所應用的方法及化學葯劑，應促使保持自然形成的金屬抑止薄膜。

不應使金屬清洗過度；相反，藉助所應用的清洗方法，應盡力保持住金屬由於長時間與熱油接觸所自然產生的晦暗的顏色。同樣，爲了避免抑止薄膜的破壞，除非常必要時，不應過於頻繁的解體油系統及清洗油管。

油系統完全解體清洗應在新油灌入前進行，冷油器的清洗比較頻繁，主要地因爲在冷油器中會發生自油中析出油渣的現象。

就這一方面來考慮，近代用油（在大壓力下打油）清洗油管的方法是合理的。

在新汽輪機參加運行時，金屬抑止薄膜的形成特別重要；在油的適當作用條件下，這是可能達到的。油的適當使用條件以後將繼續敘述。

應用人爲抑止的及防腐的葯劑或防銹物，特別是 B.B. 洛西考夫首先在國內所研究出的 MT-4 防腐劑，可能大大加強油對金屬的抑止影響。在運行不利的條件下應該使用 MT-4 防腐劑。

不帶有及帶有自然抑止作用的鍍錫金屬樣品對油之氧化性的比較影響 黃銅樣品的試驗（其試驗資料在前章中已述及）又重覆一次（準確的按照氧化的方法），同樣鍍錫樣品試驗也重覆一次。試驗資料列如表 7。

表 7

樣 品 名 稱	油按照全蘇標準 981-41 氧化後			
	酸 價		含 渣 量	
	公 絲 KOH	比較, %	%	比較, %
鍍錫薄片.....	0.307	100	0.0173	100
鍍錫薄片在自然抑止作用發生後.....	0.28	91	0.0220	127

從表中可以看出，不帶有及帶有自然抑止作用的鍍錫樣品，對油之氧化性差不多一樣。

表 8 中列有帶有自然抑止作用的純黃銅及鍍錫黃銅對油之氧化性的影響的比較。

從所列資料可以看出（表 7 及表 8），鍍錫黃銅之自然抑止作用較未鍍錫黃銅之自然抑止作用對油的影響爲小。但是帶有自然抑止作用之純黃銅與鍍錫黃銅對油的影響之差，較

不帶自然抑止作用之樣品（表 4）小得多。

所以在運行條件下，不用黃銅或銅可能得到的效果，特別是用鍍錫方法可能得到的效果較文獻中所述的為小。

表 8

樣 品 名 稱	油按照全蘇標準 981-41 氧化後			
	酸 價		含 渣 量	
	公 絲 KOH	比較, %	%	比較, %
帶自然抑止作用的黃銅片.....	0.276	100	0.0412	100
帶自然抑止作用的鍍錫銅片.....	0.25	90	0.0225	55

新汽輪機油系統的清洗

直到現在，在新汽輪機油系統的清洗方面，尚未進行過必要的研究，而所應用的清洗方法是由安裝組織機構確定的。在蘇聯，新汽輪機油系統的清洗方法得到廣泛應用的是機械清洗方法（應用括刀，鋼絲刷等）。

這個方法應用時有下列缺點：由於油垢，厚薄不一，管子表面不平，欲使管子得到很好地清洗是一件困難的工作。在金屬（碳素鋼）清洗後，由於沒有保護薄膜，在汽輪機室相對濕度很高的情況下，特別是在進行清洗後距汽輪機參加運行之日期相隔很長，可能又受到第二次腐蝕，因此，所預期的目的將不能達到。有很多在運行的汽輪機油系統總是蓋了一層腐銹顏色。這種現象的原因可能即是上面所講的情

形。

在油管機械清洗之後，將清洗乾淨的表面塗上汽輪機油是有好處的，此時最好在油中加進防腐劑（可用 MT-4 防腐劑）。然後應該用木塞堵住油管。在長時期放在不利的條件下，可以應用吸濕劑放在管子內作為附加防腐保護（如用有細沙孔的矽膠）。

在美國，根據文獻資料所載，清洗重新安裝的油系統的腐蝕物，以化學方法應用最廣。用加有防止金屬腐蝕的抑止劑的稀釋硫酸或鹽酸腐蝕進行清洗。雖然所述方法能保證金屬上腐蝕物能很好地清洗掉，但是也有缺點，即用酸清洗過的金屬特別易腐蝕。所以，以其所得之效果可能消失很快。因此，美國所採用的方法是不能認為滿意的。

國家電力事業聯合改進局油化驗室，對新汽輪機油管化學清洗方法，在化驗室內及在部分運行中，進行了研究和檢查工作，內容包括下列幾項：

- (1) 去掉清洗表面上的油脂；
- (2) 在稀釋鹽酸（5% 鹽酸溶液）中或硫酸中（5% 硫酸溶液）腐蝕；
- (3) 以凝結水清洗；
- (4) 以熱的5%磷酸三鈉溶液處理 20—30 分鐘；
- (5) 以熱凝結水沖洗，待乾燥後塗上汽輪機油；
- (6) 應用其他上述防止腐蝕現象的措施。

試驗證明，無論在機械清洗後或以酸腐蝕後，由於採用熱磷酸三鈉溶液，碳素鋼的穩定性顯著提高。

在全蘇標準 981-41 方法所規定之條件下關於求出碳素鋼對油之氧化性的影響，已經做了許多研究工作。

表 9 列有在一系列試驗中其中之一試驗的資料。先用鹽酸溶液腐蝕，隨後用熱磷酸三鈉溶液處理的方法，對受腐蝕作用的樣品，進行處理工作。試驗 1 中，新油在有新製作的樣品情形下氧化，並同樣在有未經處理過的校驗樣品情形下氧化，以資比較。試驗 2 中，在有同樣樣品情形下進行新油的第二次氧化，歷時 14 小時；試驗 3——歷時 28 小時。試驗 4——歷時 40 小時。

表 9

試驗次序	樣品名稱	油在氧化後			
		酸價		含渣量	
		公絲 KOH	比較, %	%	比較, %
1	受腐蝕作用的樣品（未經處理過的）.....	0.175	100	0.092	100
	化學清洗過的樣品	0.032	18.3	痕跡	—
2	受腐蝕作用的樣品（未經處理過的）.....	0.155	100	0.05	100
	化學清洗過的樣品	0.072	46.4	痕跡	—
3	受腐蝕作用的樣品（未經處理過的）.....	0.29	100	0.155	100
	化學清洗過的樣品	0.09	31	痕跡	—
4	受腐蝕作用的樣品（未經處理過的）.....	0.335	100	0.035	100
	化學清洗過的樣品	0.22	65.5	0.001	40

但在有化學清洗過的樣品情形下，油的變化如此之好，看來僅僅在溫度較高情形下是可能的。還未做完的試驗之資料證明：在有化學清洗過的樣品情形下，同時溫度較低，所得到的油之氧化性減小的效果也降低了。關於求出油對新金