

П. И. ВОРОПАИ, А. А. ШЛЕНОВ

ПОВЫШЕНИЕ
НАДЕЖНОСТИ
И ЭКОНОМИЧНОСТИ
ПОРШНЕВЫХ
КОМПРЕССОРОВ

提高活塞式压缩机的
可靠性与经济性

〔苏〕

П. И. 伏罗巴伊

А. А. 沙列诺夫

机械工业出版社

前 言

压缩气体广泛应用于苏联各工业部门。油气开采、石油化工、气体和其它工业部门的高速发展，提高了压缩机的作用。压缩机在各工业部门中的耗电量差别很大。例如，在油气开采、石油化工以及页岩精炼工业，约占这些部门总耗电量的12~32%；在机械制造业中为20~30%；在冶金工业中为4~5%。

现在，用得最广的是活塞压缩机和回转压缩机。阻碍活塞与回转压缩机在动力机械领域内进一步发展的問題之一，是现有的外冷却（通过工作室壁面）系统的效率不高。在工作室外冷却压缩气体时，导走的热量不多，因而，降低了压缩机的经济指标，恶化了运转可靠性。

用石油提炼的润滑油的活塞与回转压缩机，在周围空气温度较高的条件下，可能使压缩空气的温度高于许用值，因而导致油积碳沉淀物的爆炸。

压缩页岩气和其它气体的温度过高，使这些气体的组分发生强烈的聚合作用，形成聚合沉淀物，降低压缩机的运转指标。

压缩机工作室外冷却，虽然是很成熟的系统，但在许多情况下，还是采用工质与液体微滴直接接触的蒸发冷却，此时，加强了热交换，增加了导走的热量，降低了沉淀物的数量。所有这些，对提高压缩机的经济性与运转可靠性有着根本的影响。这种情况已为许多部门和本书作者所作的工业实验研究的结果所证实。

译者序

活塞压缩机的应用很广。因此，提高它的可靠性与经济性对国民经济有着十分重要的意义。目前，国内压缩机研究、设计制造与使用部门，都特别注意从各方面来提高压缩机的可靠性与经济性，并已取得显著成效。

苏联 П. И. 伏罗巴伊与 А. А. 沙列诺夫撰写的《提高活塞压缩机可靠性与经济性》一书，着重介绍采用“蒸发冷却”对提高压缩机可靠性与经济性的效益，并指出避免消极作用所应采取的措施。该书总结了作者长期从事这方面的理论分析与实验研究工作的成果，对我们很有启发与参考价值。因此，将它翻译出来献给我国从事活塞压缩机研究、设计与使用工作的同志们。

原书除主要阐述活塞压缩机的“蒸发冷却”的有关问题外，也涉及燃气轮机装置与内燃机中采用“蒸发冷却”的问题，但很不深入。为突出重点，译稿中删去了燃气轮机装置与内燃机的有关问题，即原书第一章中第九节，第二章中第一至第三节以及第十章中第一至第五节。

本书的前言、第一至四章、七章由杨绍侃翻译；第五、六、八章由金光熹、史钊翻译；第九至十一章由金光熹翻译；金光熹对本书加了附录。最后由杨绍侃对全书做了统一工作。汪长根对全书作了认真的校订，在此深表感谢。

1983年7月于西安交通大学

杨绍侃

目 录

译者序

前 言

第一章	压缩机中积碳形成原因的研究	1
第一节	空气压缩机站的着火与爆炸	1
第二节	压缩机装置空气通道中的润滑油	1
第三节	润滑油的蒸气、油雾与油滴	3
第四节	油膜	9
第五节	燃烧源	11
第六节	油积碳沉淀物	15
第七节	油积碳沉淀物自燃的理论基础	27
第八节	燃气摩托压缩机中的爆炸	32
第九节	降低页岩气聚合强度的现状	33
第二章	压缩机中的蒸发冷却	36
第三章	活塞压缩机的润滑与安全运转的保证	39
第一节	对压缩机油的要求与着火、爆炸问题	39
第二节	防止着火与爆炸的措施	43
第四章	燃气摩托压缩机与活塞压缩机中冷却液的雾化 ...	49
第一节	概述	49
第二节	用离心喷雾器使液体雾化	49
第三节	确定被喷液体在雾化谱中的液滴尺寸与分布	52
第四节	用相似理论确定离心喷雾器中液体雾化的特性曲线 ...	57
第五节	气流中液滴碎裂与其它因素对雾化度的影响	61
第六节	离心喷雾器中的液滴尺寸	62

第七节	离心喷雾器喷射时液滴雾化细度的试验研究	64
第五章	燃气摩托压缩机和活塞压缩机中冷却液的蒸发	69
第一节	液体蒸发的动力学原理	69
第二节	液体的不稳定蒸发	77
第三节	液体的流动蒸发性	79
第四节	压缩机中冷却液滴的等温蒸发	81
第六章	压缩机中的各种压缩过程	100
第一节	概述	100
第二节	第一级压缩前气体的预冷却	100
第三节	活塞压缩机的外冷却	104
第四节	级间冷却	105
第五节	实现压缩机外绝热压缩工况的实验	107
第六节	工质蒸发冷却时压缩机工作过程的 热力学初步分析	109
第七节	外绝热压缩和考虑喷液蒸发完善度时蒸发冷却压缩 的热力学关系	115
第八节	活塞压缩机的排气温度	122
第七章	研究活塞压缩机蒸发冷却效率的装置	125
第一节	活塞压缩机空气蒸发冷却的系统	125
第二节	研究的方法	125
第三节	蒸发冷却对压缩机主要指标的影响	127
第四节	活塞压缩机零件的热状态	133
第八章	工业条件下活塞压缩机的蒸发冷却	138
第一节	8ΓK型燃气摩托压缩机的蒸发冷却	138
第二节	活塞压缩机喷水和喷异丁烷酒精时空气蒸发 冷却效率的比较	145
第三节	增压空气蒸发冷却的活塞压缩机的机械增压	149
第四节	5KГ100/13型压缩机采用蒸发冷却的效果	154
第五节	活塞压缩机中蒸发冷却页岩气的工业实验研究	161

VI

第六节	沸石在气体干燥和净化中的应用	184
第七节	蒸发冷却对活塞压缩机磨损的工业研究	190
第九章	改善燃气摩托压缩机动力气缸的供气系统	195
第一节	概述	195
第二节	燃气摩托压缩机工质的蒸发冷却	199
第十章	降低压缩机积碳的有效方法——蒸发冷却	211
第一节	降低活塞压缩机油积碳的理论前提	211
第二节	气流中运动油滴的重力沉淀作用	220
第三节	油积碳性质的实验研究	225
第四节	活塞空气压缩机积碳的工业研究	240
第十一章	提高压缩机站的运转可靠性和经济性	246
第一节	喷水系统的运转特点	246
第二节	自动化	247
第三节	容器的吹洗	250
第四节	压缩机的冷凝液	251
第五节	水的净化	252
第六节	化学化	254
第七节	提高附属设备的可靠性	255
第八节	改善劳动条件	256
第九节	确定维修人员人数的方法	259
第十节	压缩机油积碳沉淀物的清除	260
附录		263
参考文献		264

第一章 压缩机中积碳形成原因的研究

第一节 空气压缩机站的着火与爆炸

随着压缩空气应用的发展，压缩机站、空气管道、容器〔9, 17, 55, 56, 59, 68, 120, 136, 141, 148~151, 154, 159, 160〕以及压缩空气系统〔46, 103〕的着火与爆炸的报导也日益增多。压缩机站与压缩空气系统着火与爆炸的先决条件，是燃烧物（润滑油）、氧化剂（压缩空气中的氧气）以及燃烧源（在一定条件下，压缩空气系统中所发生的高温）的存在。因此，提高压缩机站和压缩空气用户运转的可靠性与安全性，是一个十分紧迫的任务。

空气压缩机装置属于工业设备运转中最危险的设备之一。尽管有压缩机装置的安装与运转规则，仍不断出现着火与爆炸现象。

第二节 压缩机装置空气通道中的润滑油

润滑油是空气压缩机装置中的燃烧物质。油的混合物或空气的油分解物的着火与爆炸特征，根据油的状态（油膜、油雾、油蒸气以及固态组织）有着本质的差别。

压缩机气缸内的润滑油，以油膜、油雾或油蒸气的形式存在。油蒸气是在高温的作用下形成的。在正常的工作温度下，气缸内可能出现局部过热〔137〕。由于活塞、阀片以及工质的运动和压力脉动作用的结果，形成油雾与油滴。

供给气缸的润滑油，大部分由活塞以油膜的形式沿气缸镜面分布。部分润滑油通过活塞杆的填料函被导走，其余的随压缩空气流带入排气管。排气管内，在气体的流动和脉动的作用下，润滑油继续向前运动。油层越厚，粘性越小，越容易流动，因此，油膜被撕破，掉落的油滴被空气流带走。这种情况多半在有急剧收缩的锐边处发生。能吸收润滑油的铁锈与积碳的存在，大大地延缓润滑油的移动过程。润滑油在灼热区存在的任何时候都要蒸发，而在初期特别强烈。

压缩机停车期间，空气中凝结出水分，并落在容器与管道积油的表面上，形成由灰尘与铁锈的硬质微粒组成的稳定的乳浊液。压缩机开车后，乳浊液变热，如果温度达到相应压力的饱和温度，则乳浊液就要强烈飞溅。此时，水蒸气促使液相的润滑油分裂成大量的小油滴。研究表明，这是个异质扩散系统〔159〕。当压力脉动很强烈时，飞溅特别强烈。压力可以很快降低，而温度不能作相应的快速变化。乳浊液中的水分变热并开始自发地蒸发。此时形成的油雾，其油滴较粗。

油蒸气冷凝时形成的油雾，由直径仅为几微米的油滴组成。这种油雾很稳定，很难把它从空气中分离出来。油滴直径很小时，机械的油分离器失去作用，油滴的直径小于4微米时，简直毫无用处〔155〕。由于细微的油雾阻止后面的润滑油沉积在系统的壁面上，在离蒸气源一定距离的低温处，随着时间的延长，空气中油雾的高度冷凝是可以实现的。应该注意到许多着火甚至是爆炸的地点，与压缩机的距离可达500米〔62〕。

在高温与压缩空气中氧气的作用下，系统的壁面上，当有催化剂（如铁锈）存在时，润滑油常常形成坚硬的积碳。

大多数情况下，压缩机装置的积碳内，浸透了润滑油和润滑油的液态分解物。因此，把它称为油积碳沉淀物更为确切。

因此，在压缩机装置的空气通道中，润滑油及其分解物具有三种形态。此时，在给定条件下，蒸气与油雾的浓度以及液态与固态的数量可能逐渐增加。

第三节 润滑油的蒸气、油雾与油滴

许多作者举出压缩空气中各种油蒸气着火浓度的下限值与上限值（表 1）。

表 1

作 者	爆炸浓度极限 （克/米³）	
	下 限	上 限
H. W. 汤尼斯 ^[159]	3	45
A. A. 哈里大 ^[122]	30	42
C. E. 札哈连柯 ^[99]	32	40
N. D. 摩根 ^[140]	39	117 ^①
B. M. 达拉索夫 ^[112]	49	90 ^②

①、② 数值为容积百分比。

含有空气的润滑油蒸气混合物爆炸极限值的差异，是由于没有统一的研究方法造成的。对不同的润滑油进行研究，确定了不同温度下的爆炸浓度。例如，在文献[134]中，用润滑油在汽车型火花塞引燃的密封室中蒸发来确定润滑油的爆炸浓度。各种油的爆炸浓度为：柴油 41.2~110.3克/米³；变压器油 32.3~109.1克/米³；机油 40~105.4克/米³；气缸油 40.3~83.3克/米³ 以及MΘ 号压缩机油 39.4~80.6克/米³。此

Θ 苏联润滑油牌号与我国润滑油牌号的对照参阅附录——译注。

时，柴油与变压器油达 200°C 蒸发；机油达 $200\sim 225^{\circ}\text{C}$ ；气缸油达 $206\sim 300^{\circ}\text{C}$ ；M号压缩机油达 $210\sim 232^{\circ}\text{C}$ 。蒸发时油品的加热速度， 220°C 以前为 $3^{\circ}\text{C}/\text{分}$ ； 220°C 时约为 $1^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 。

尽管作者指出，气缸油与压缩机油形成积碳时有强烈的氧化，但试验后，润滑油的非蒸发部分的化学成分没有检查。根据这样的试验结果，不仅很难对各种润滑油进行比较，而且也不清楚试验后的产物。因为蒸发和氧化过程同时发生，油的分解也是可能的。因此，压缩机装置的空气通道中，除了新的润滑油蒸气、油雾和油滴外，还有不同阶段油分解与氧化产物的蒸气、油雾与油滴，这就使研究工作大为复杂化。

有些作者认为，润滑油氧化产物所形成的蒸气压力，大大地高于新润滑油的蒸气压力^[159]。因此，压缩空气中可燃物质的浓度可能逐渐增加。但是，根据 B. 特特马尔与 M. 威尔逊^[162]的测量，在相同条件下，压缩空气中新润滑油的浓度，比已经用过的润滑油的浓度高。这是由于新油中的最轻最易挥发的馏分，造成最高的蒸气压力，这些馏分在已经用过的旧油中是不存在的。如果在试验之前，事先将润滑油按重量百分比烧去 0.33%，则它的蒸气压力将急剧下降，且可低于已经用过的旧油（图 1）。

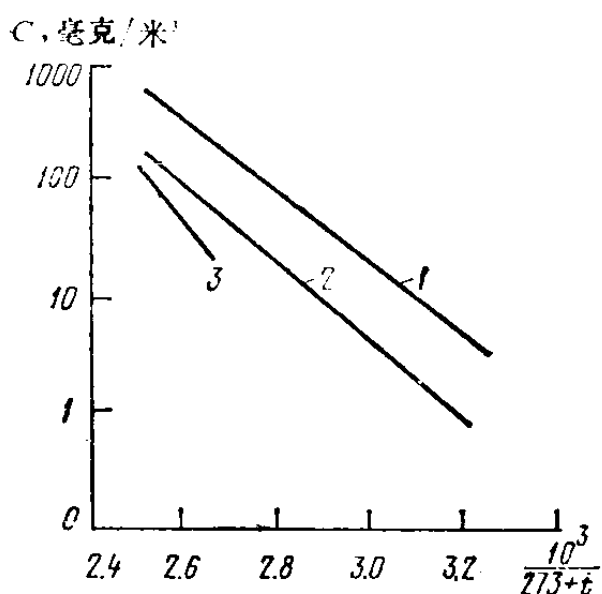


图 1 温度为 100°C ，压力为 1 公斤力/厘米² 空气中润滑油蒸气含量与压缩机气缸出口温度的关系
1—新油 2—旧油 3—烧去 0.33% 重量后的新油

同时, B. 特特马尔与 M. 威尔逊指出, 实际上, 新润滑油的蒸气压力可能大大低于旧油蒸气压力。

必须着重指出, 在活塞压缩机所处的压力和温度范围内, 可能发生润滑油的热分解与氧化分解, 形成特别危险的爆炸产物。例如, 用 MC 航空油润滑压缩机, 其闪点为 $230\sim 240^{\circ}\text{C}$, 压缩机后压缩空气的温度为 180°C , 此时将形成乙炔。改用 Π -28 光亮机油润滑, 其闪点为 $280\sim 286^{\circ}\text{C}$, 乙炔含量降低。

将气缸油与光亮机油的样品, 在温度为 $200\sim 350^{\circ}\text{C}$ 与压力为 $180\sim 200$ 公斤力/厘米² 的压力锅内保温, 并用空气吹扫, 则从压力锅出口处可看到, 空气中含有甲烷、乙烯、丙烯、丙烷和乙炔的痕迹。

把应用最广的一种压缩机润滑油—— Π -28 光亮机油, 在 180 公斤力/厘米² 的压力下加热到 140°C , 油裂解的碳氢化合物由以下成分组成 (按容积%计): 乙烷与乙烯 0.0006 ; 丙烷 0.00038 。在同样的压力下, 将温度升至 180°C , 碳氢化合物急剧增加 (按容积%计): 甲烷 3.2 ; 乙烷与乙烯 1.9 ; 丙烷 0.08 ; 丙烯 1.5 ; 丁烷 0.3 [¹⁰⁹]。

润滑油上述分解物燃烧的浓度极限, 与润滑油本身的这个极限值有明显的不同。由此可见, 分解物的作用是很强烈的。这些极限值[⁶¹] (按容积%计): 乙炔 $2.5\sim 100$; 甲烷 $5.3\sim 14$; 乙烷 $3.0\sim 12.5$; 乙烯 $3.1\sim 32$; 丙烷 $2.2\sim 9.5$; 丁烷 $1.9\sim 8.5$; 丙烯 $2.4\sim 10.3$ 。

直接测量表明[¹⁴⁶]: 回转压缩机喷油之后, 当压力为 6.3 公斤力/厘米² 时, 空气中润滑油的浓度在温度为 35°C 时为 1 毫克/米³; 在温度为 77°C 时为 90 毫克/米³, 这些数值比爆炸极限的下限值低 $2\sim 3$ 数量级。同时, 由这些试验可见, 在压缩机内, 当温度超过 343°C , 供给气缸的全部润滑油均将蒸

发。

下面列出促使空气中润滑油浓度增加的因素：

1. 温度

随着温度的增加，润滑油蒸气压力很快增加。根据文献[146]的数据，压力为6公斤力/厘米²，温度由40℃提高到80℃，压缩机油的蒸气压力增加40~100倍；由80℃升到160℃，蒸气压力增加250~500倍。但根据同一资料说明，在压力为6公斤力/厘米²，温度为80℃时，最轻的压缩机油的浓度约为2.1毫克/米³；当温度升至160℃时，浓度为430毫克/米³，仍然在燃烧的极限浓度以下。但是当温度为180~200℃时，润滑油的蒸气压力显然将与爆炸极限相应。同时必须指出，文献[146]与[162]中给出的数据差别很大，这说明试验确定润滑油蒸汽压力是很复杂的，其结果可能是不精确的。

2. 压缩空气数量减少

当不改变润滑油的供给量而急剧降低压缩机的排气量时（如压缩机转入空转与某些方式的排气量调节工况），压缩空气中润滑油的浓度相应增加。根据文献[162]的数据，压缩机空转，润滑油的浓度增加300~1000倍，当温度为36℃时，达270毫克/米³。此浓度靠油雾的油滴而提高，这油雾在压缩机进行满负荷运转时，可以略去而不予考虑。许多作者[17, 68, 149, 150, 154, 155, 159]指出，无论如何，压缩机的爆炸，多数是机器转入空转或满负荷运转后突然刹车而造成。

3. 油雾与油滴

在大多数压缩机工况下，润滑油不能完全蒸发，从气缸中引出时呈溶胶、油滴与油膜的形式。第一个研究蒸气和油滴可燃性差别的是加倍尔与伏尔夫，他们确定了四氯化苯的蒸汽及其油雾极限浓度的下限。蒸气为41.6克/米³，油雾为

40.9克/米³。油雾的尺寸基本上在1~10微米的范围内波动,大约只有20%的油滴尺寸大于10微米。I. H. 伯戈尼^[138]在壳牌30号压缩机油上重复进行了这套研究。直径为5~20微米的油滴极限浓度的下限值为49克/米³,即与四氯化苯具有相同的数量级。研究表明,细油雾的可燃性,实际与该润滑油蒸气的可燃性没有区别。

油滴在燃烧前变为蒸气。但是,蒸发热从数量级上小于燃烧热,实际上可以忽略。直径大于20微米的细油雾,极限浓度的下限值随油滴直径的增大而很快降低。此关系如图2所示^[138]。

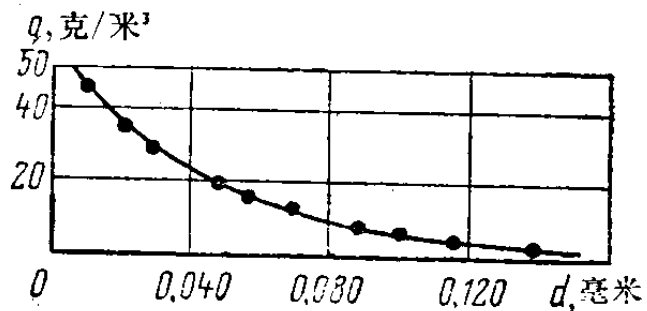


图2 壳牌 Talpa30 号压缩油的
油气混合物的燃烧极限浓度下限
值与油滴直径的关系

细油雾极限浓度上限值为下限值的4~5倍。粗油雾不均匀,比较难确定。当总的浓度超过极限浓度上限时,在局部低浓度的区域内,可能有油膜分布着。粗油雾的极限浓度上限值似乎还不好确定。

可燃性浓度极限与外界条件有关:管径、油膜分布的方向、温度、压力以及其他因素^[159]。但在文献中,上述因素对压缩机润滑油极限可燃性的影响,没有一定的数量关系。结构特殊的空气系统中具有较大值。如果供给压缩机的全部润滑油都能均匀地分布在压缩空气中,则理论计算表明,只要有很好的通风^①(如气缸),无论压缩机在全负荷^[118]还是极低负荷状态^[155],都不可能形成爆炸浓度。压缩空气系统的所有事故中,未曾有过压缩机本身(气缸)爆炸的,而只有排气管、冷却器以及贮气罐的爆炸。这些爆炸是由于空气

中润滑油的浓度局部升高而造成。促使浓度升高的因素之一是通风不良。例如，容器与管道内的死区、死腔、盲管、多支线的管道、管道的控制系统不好、没有吹除或不按时吹除等〔45, 68, 79, 135, 151, 159〕。

П. П. 弗罗洛夫认为，现在生产的工业用贮气罐容积，死腔部分约占贮气器本身容积的25~30%，且可足够正确地表达成〔120〕：

$$V_{г.м} = 0.29V_{в.о.з.д} - 0.04$$

有的作者〔125〕观察到，有些火灾显然是由于操作人员不按时吹除而造成。防止起火的第一个措施是改善吹除系统〔128〕。

4. 着火，爆燃

引起润滑油温度升高与油蒸发量增加的局部燃烧中心，是空气中润滑油浓度增加的根源。爆炸特别危险。此时，不仅在冲击波正面的润滑油的蒸发性急剧增加，而且冲击波还破坏了管系壁面的油膜，使它在空气中雾化和移动。冲击波更是空气中润滑油由爆炸变为爆燃的爆炸浓度的新发源地。

5. 大气中的杂质（污染）

压缩空气中烃增加的根源之一，可能是压缩机站附近大气受到污染。空气中烃的成分取决于许多因素，首先是污染的来源与气象条件。例如有个企业，根据89个数据分析〔109〕，空气中总的轻烃含量平均值为0.04毫克/米³，其中包括了烷-H，异丁烷，丁烷-1，异乙烯，最大的总量可达0.45毫克/米³。重烃的含量，当平均值为0.02毫克/米³时，最大含量达0.3毫克/米³。此外，特别在生产人造纤维和热电站附近的大气中，二硫化碳的含量达0.25~0.4毫克/米³，还有其他形式的杂质〔58〕。

第四节 油 膜

全苏制氧机科学研究所^[91]进行过油膜-氧气或富化空气系统中油膜分布极限的研究。其结果如图3所示。压力升高 $\ominus$ 与氧气浓度增加，在热金属表面上， Π -28号光亮机油膜的临界厚度将减薄。

由于各种润滑油的化学成分有差别，所以它们在氧气中的情况是不同的。但是，所有的润滑油，油膜燃烧的变化特点都决定于压力，油膜越薄，平均压力越高。同时，由图4可明显地看出，BM-4油、

工业油12、碲等，比 Π -28、KC-19、MAC-35、T-加氢等

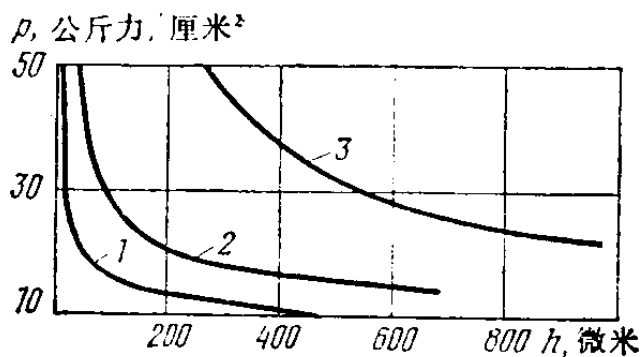


图3 在氧气中，金属表面上润滑油膜着火范围曲线

1—纯氧 2—富化空气（按容积计，氧80%，氮20%） 3—富化空气（按容积计，氧50%，氮50%）

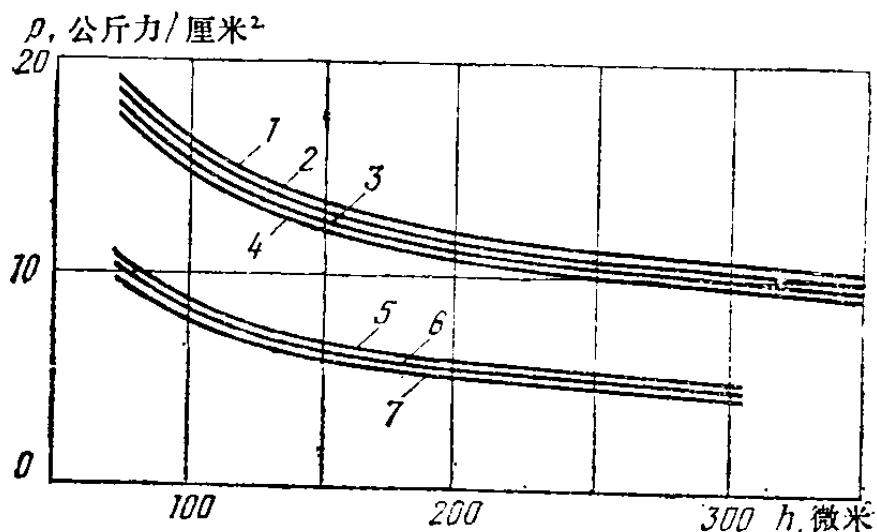


图4 在氧气中，金属表面各种油膜着火范围曲线

1— Π -28 2—KC-19 3—MAC-35 4—T-加氢 5—BM-4
6—工业油-12 7—碲

$\ominus$ 原文是压力降低，有误——译注。

油更容易爆炸。可惜，废油油膜没有进行研究。显然，它们的情况跟油蒸气、油雾的情况一样，比新鲜油膜危险得多。

油积碳沉淀物着火是大家知道的，而且在所有关于压缩机系统的着火与爆炸的文章中都有论述。但是，沉淀物对于加热影响的定量关系，只能间接地表示出来，例如在文献〔62〕中指出，沉淀物的数量增加2~3倍，润滑油的自然温度降至70~80℃。

矿物油在贮运与使用中有相当大的变化：油中积聚了沉淀物，提高了氧化性、粘性以及树脂的含量。这些变化是由引起润滑油氧化的氧气作用的结果。氧气在烃中比在水中更易溶解，很容易被油吸收。随着温度升高，氧气的溶解量逐渐增加。图5示出温度为

120℃与130℃时，1克润滑油溶解的氧气量与时间的关系〔124〕。根据罗尔夫〔124〕的工作，在给定的温度下，100克润滑油中溶解氧气的体积 V （毫升）与时间 τ （小时）的关系，可写成 $V^2 = k\tau\Theta$ ，式中 k = 常数。

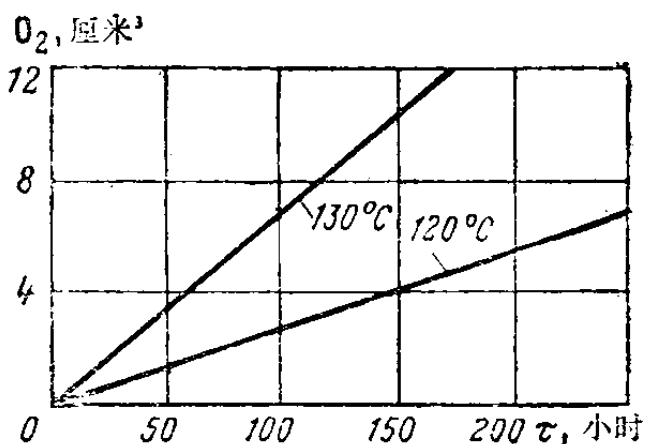


图5 1克润滑油中溶解氧气量与温度、时间 τ 的关系

赫斯林与罗尔夫〔124〕认为，润滑油的氧化强度与氧气的浓度成正比。空气中的氧化速度仅是氧气中的1/5。同时，大气压力下氧气中的氧化速度，与5公斤力/厘米²压力下空气中的氧化速度大体相同〔62〕。由图6可看出，在很宽的压力范围内，氧气与空气中氧化产物形成的关系相同〔124〕。

⊖ 原文为 $V^2 = kt$ ，有误——译注。

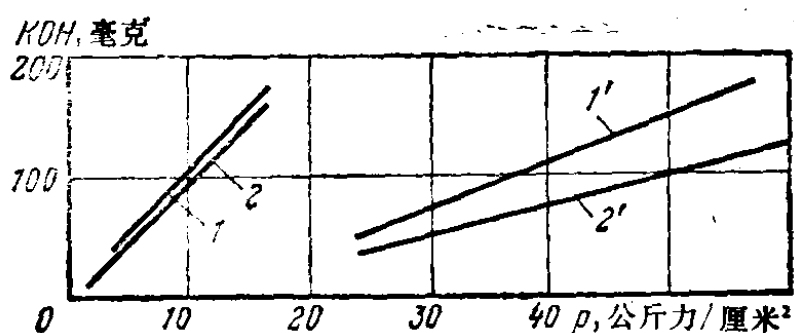


图6 精炼(1, 1')与粗制(2, 2')石油的氧化液态产物洗涤量与压力的关系 (在150°C的温度下氧化3小时, 1, 2在氧气中氧化, 1', 2'在空气中氧化)

氧化速度与氧气分压成直线关系表明, 润滑油容积内, 单纯氧化反应占优势, 表面没有发生相分离。

H. И. 契尔诺儒柯夫指出, 氧化速度与氧气浓度的关系, 可以从粗净化的蒸馏中得出。正常净化条件下, 没有发现润滑油蒸发的这种关系。氧化反应的速度, 不仅取决于氧气的浓度, 还取决于基体活性分子存在与生成的可能性以及反应链的发展。如果润滑油中没有阻止氧化的物质, 即润滑油很纯, 则增加氧气浓度、提高氧化速度, 是靠具有活性分子的基体氧分子碰撞的可能性较大而实现的。同时, 润滑油氧化物内活性分子数量很少, 用于吸收阻止反应物质的能量不多, 氧气的浓度对氧化速度已经没有根本的作用。

前面所作的研究表明, 如果氧化是在润滑油中的氧气还没有充分扩散, 而只在表面进行, 则氧气浓度的影响还要小。

第五节 燃 烧 源

燃烧润滑油蒸汽所需的能量小于总的能量。随着油雾的油滴增大, 极限爆炸浓度的下限值下降, 而燃烧所需的能量