



风力发电机

润滑系统

内蒙古电力科学研究院 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



FENGLI FADIANJI
RUNHUA XITONG

风力发电机

润滑系统

内蒙古电力科学研究院 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

近年来风电行业迅速发展,齿轮箱设计、制造、运行维护水平得到长足进步,但子系统或组件(特别是动力传输系统)故障经常过早发生。因此,提高动力传输系统的可靠性和延长齿轮箱的使用寿命对于降低风电机组运行成本是非常关键的。

润滑油在风机齿轮箱润滑系统中主要起着减少齿轮箱摩擦副之间的摩擦,降低磨损等重要作用,其良好性能是齿轮箱系统可靠工作的重要保证。本书从润滑油基础,风电机组润滑油的选择、使用、检测、评价、设备维护,以及风电场齿轮油检测实例等方面进行阐述,以期能为风电企业提供关于油品选择、运行维护等的建议,为风电企业发展提供全面、翔实的数据支撑。

本书可供风电相关领域的工作人员、高等院校相关专业人员、检测机构试验人员等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

风力发电机润滑系统 / 内蒙古电力科学研究院编著. —北京: 中国电力出版社, 2018. 3
ISBN 978-7-5198-1670-4

I. ①风… II. ①内… III. ①风力发电机—润滑系统 IV. ① TM315

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 323678 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 刘汝青 (010-63412382)

责任校对: 常燕昆

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2018 年 3 月第一版

印 次: 2018 年 3 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 8.25

字 数: 176 千字

印 数: 0001—1500 册

定 价: 40.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

《风力发电机润滑系统》编委会

主 任 张叔禹

副主任 吴集光 刘永江

主 编 张志勇 禾志强 刘 江

副主编 乌日娜 张文耀 阿茹娜 郭江源

刘 焕 关 瑾

前 言

1973 年石油危机后,欧美列国为了寻找新的能量来源研制开发了风力发电机,限于技术能力,产品可靠性、安全性一直没有得到验证,因此并未引起太多关注和支持。直至 19 世纪 90 年代美国出台了一系列政策,才使风电得到迅速发展。而我国 1995 年的“乘风计划”才确立国产大风机进程,到了 21 世纪出台了各项法规,确立风电为重点项目。

风能作为可再生、无污染的绿色新能源,是实现能源生产和消费革命的重要清洁能源,符合国家节能减排政策,发展风电有利于改善生态环境,推动生态文明建设。因此,风力发电得到快速发展。“十二五”期间,我国风电新增装机容量连续五年领跑全球,累计新增 9800 万 kW,占同期全国新增装机总量的 18%,在电源结构中的比重逐年提高。2016 年,全国风电保持健康发展势头,全年新增风电装机 1930 万 kW,累计并网装机容量达到 1.49 亿 kW,占全部发电装机容量的 9%,风电发电量 2410 亿 kWh,占全部发电量的 4%。2016 年,全国风电平均利用小时数 1742h,同比增加 14h,全年弃风电量 497 亿 kWh。《国家能源局关于下达 2016 年全国风电开发建设方案的通知》提出,2016 年全国风电开发建设总规模达到 3083 万 kW,风电已成为我国继煤电、水电之后的第三大电源。国务院发布的《能源发展战略行动计划(2014—2020)》提出,到 2020 年风电装机容量将达到 2 亿 kW;“十三五”风电发展规划也提出,至 2020 年风电装机总容量将超过 2 亿 kW。在风电基地的建设时间表中,内蒙古规划到 2020 年风电装机达到 5830 万 kW,蒙西 3830 万 kW,蒙东 2000 万 kW,风电上网电量约 1300 亿 kWh。

尽管这些年风电行业迅速发展,齿轮箱设计、制造、运行维护水平得到长足进步,但子系统或组件(特别是动力传输系统)故障经常过早发生。因此,提高动力传输系统的可靠性和延长齿轮箱的使用寿命对于降低机组运行成本非常关键。主齿轮箱是风电机组的核心部件,设计寿命一般为 20 年,它可以将叶片的低转速、高转矩转换为用于发电机上的高转速、低转矩。如果齿轮箱发生故障,将对机组安全稳定运行产生巨大影响。由于风机安装地点限制和齿轮箱每次更换或大修耗时、费力,在风机动力传输系统中齿轮箱属于维修费用最高的组件,因此也成为整个系统可靠性运行关注的焦点。

润滑油在齿轮箱润滑系统中主要起着减少齿轮箱摩擦副之间的摩擦,降低磨损等重要作用,其良好性能是齿轮箱系统可靠工作的重要保证。2015 年 12 月 1 日颁布实施的 DL/T 1461—2015《发电厂齿轮用油运行及维护管理导则》对风电场运行齿轮油的质量指标等提出了明确的要求,有利于促进风电企业对油品开展规范化管理。但是目前风机润滑油的相关书籍较少,本书是从润滑油基础、结构组成、检测、设备维护等角度进行阐

述，帮助读者掌握相关知识，以期能为风电企业提供关于油品选择、运行维护等的建议，为风电企业发展提供更全面、翔实的数据支撑。

本书在编写过程中得到了内蒙古电力（集团）有限责任公司相关领导、内蒙古电力科学研究院领导和同事的大力支持、帮助，以及内蒙古电力（集团）有限责任公司科技项目资金的资助（内电生〔2014〕42号）；内蒙古电力科学研究院的乌日娜、张文耀、阿茹娜、郭江源、刘焕、关瑾等同志参与了试验室检测分析工作，在此对他们表示真挚的感谢。

除了本书所列的参考文献外，编者在编写书稿过程中还参阅了大量近年来关于风电发展及润滑油行业等领域专家及专业人员编写的报告、文献、总结资料，恕难一一详列，在此一并向各位专家、同仁致谢。

限于作者水平，书中难免存在疏漏与不足之处，恳请读者批评指正！

编委会

2017年12月

目 录

contents

前言

第一章 /	润滑油基础	1
第一节	润滑油的分组、命名和代号	2
第二节	润滑油基础油	4
第三节	润滑油添加剂	8
第二章 /	摩擦学基础	17
第一节	相对运动中相互作用表面的特性	18
第二节	摩擦、磨损、润滑基本概念及分类	22
第三节	磨损机理	27
第三章 /	润滑设备常见故障	31
第一节	设备故障原因分析	32
第二节	设备故障分类及诊断	33
第三节	润滑油与设备故障诊断	34
第四章 /	风机齿轮箱	43
第一节	齿轮箱的构造	44
第二节	齿轮箱的主要部件	48

第三节	齿轮箱的润滑原理	49
第四节	齿轮材质	50
第五节	齿轮箱的使用与维护	52
第六节	齿轮箱常见故障	54
第七节	齿轮箱的振动监测	59
第五章	齿轮润滑油	63
第一节	齿轮润滑油的性能、影响因素及分类	64
第二节	工业齿轮润滑油	66
第三节	车辆齿轮润滑油	70
第六章	风力发电机齿轮润滑油及监测	75
第一节	风机用齿轮油的发展	76
第二节	齿轮油监测方法	80
第三节	风电机组主要部件的润滑要求	92
第四节	风电机组齿轮油选用与保养	94
第七章	风电场齿轮油检测实例	97
参考文献		120



01 第一章

润滑油基础



18 世纪的工业革命，使人类完成了从工场手工业向机器大工业阶段的转变，人力逐渐被机器所取代，极大地促进了社会生产力的发展，对人类社会的演进产生了深刻而又巨大的影响。

机器设备在逐渐发展的过程中出现了较多的故障，其中有 40%~60% 是润滑不良造成的，因此润滑油得以兴起并且得到了迅速的发展。润滑油工业是我国支柱产业——石油和化工行业的重要组成部分，与国家宏观经济形势以及汽车、机械、交通运输等行业的发展息息相关，被誉为工业快速发展的“催化剂”。随着我国国民经济的快速发展，润滑油产业发生了深刻的变革，形成了产业化发展的模式，进入了全面激烈竞争的时代，出现了新的发展趋势。

润滑油是四大石油产品之一，是关系国计民生的重要产品，也是各炼化企业展示自身形象、技术水平和整体实力的重要标志。润滑油是化学工业和石油工业的重要组成部分，成品润滑油已经发展到 19 大类 600 多种牌号。润滑油是一种技术密集型产品，是复杂碳氢化合物的混合物。润滑油的发展与国民经济的发展密切相关，直接影响相关行业（如汽车、交通、冶金、机械行业等）的进程。

润滑油一般由基础油和添加剂两部分组成。基础油是润滑油的主要成分，占到润滑油的 70% 以上，决定了润滑油的基本性质，添加剂则能够弥补和改善基础油性能方面的不足，赋予其某些新的性能，是润滑油的重要组成部分。

第一节 润滑油的分组、命名和代号

润滑油根据基础油来源可以分为矿物润滑油、合成润滑油和可生物降解润滑油。矿物润滑油的基础油由原油提炼而成；合成润滑油的基础油是小分子物质通过化学反应生成大分子物质制得，因而获得具有特定性能的润滑油；可生物降解润滑油又称为环境友好型或环境兼容型润滑油，它的特点是可以迅速降解为无害的物质而降低对环境的污染。三种类型润滑油的基础油常见分子结构如图 1-1 所示。

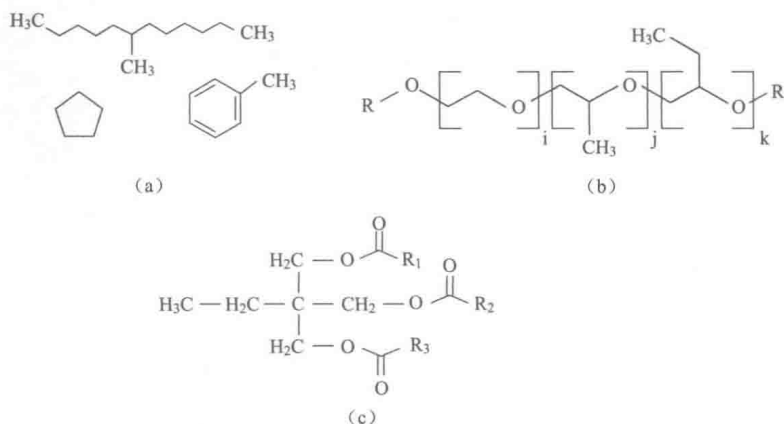


图 1-1 润滑油基础油常见分子结构

(a) 矿物基础油；(b) 合成基础油；(c) 可生物降解基础油

润滑油分类见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 润滑油根据用途分类

类别代号	类别名称
F	燃料
S	溶剂和化工原料
L	润滑剂和有关产品
W	蜡
B	沥青
C	焦

注 资料来源于 GB/T 498—2014《石油产品及润滑剂分类方法和类别的确定》。

表 1-2 润滑油根据应用场合分类

组别	应用场合	组内产品分类标准
A	全损耗系统	GB/T 7631. 13
B	脱模	
C	齿轮	GB/T 7631. 7
D	压缩机	GB/T 7631. 9
E	内燃机	GB/T 7631. 3
F	主轴、轴承和离合器	GB/T 7631. 4
G	导轨	GB/T 7631. 11
H	液压系统	GB/T 7631. 2
M	金属加工	GB/T 7631. 5
N	电气绝缘	GB/T 7631. 15
P	风动工具	GB/T 7631. 16
Q	热传导	GB/T 7631. 12
R	暂时保护防腐蚀	GB/T 7631. 6
T	汽轮机	GB/T 7631. 10
U	热处理	GB/T 7631. 14
X	用润滑脂的场合	GB/T 7631. 8
Y	其他应用场合	
Z	蒸汽气缸	
S	特殊润滑剂应用场合	

注 资料来源于 GB/T 7631. 1—2008《润滑剂工业用油和有关产品（L类）的分类 第一部分：总分组》。

润滑油根据黏度分为单级润滑油和多级润滑油。对-18℃和 100℃所测得的黏度值仅能满足其中之一者称为单级润滑油；能同时满足-18℃和 100℃两方面黏度要求的润滑油称为多级润滑油。



第二节 润滑油基础油

润滑油基础油是润滑油的主体，在润滑油中所占比例随润滑油品种和质量的不同而变化，一般为 70%~99%。基础油质量的好坏直接影响到润滑油产品的质量。基础油按照来源可以分为矿物基础油、合成基础油以及可生物降解基础油三大类。矿物基础油应用广泛，用量很大（约 95%以上），但有些应用场合则必须使用合成基础油和生物油基础油调配的产品，因而使这两种基础油得到迅速发展，近些年出于环保的考虑，可生物降解基础油也得到了良好的发展。

基础油生产过程主要有常减压蒸馏，溶剂脱沥青，溶剂精制，溶剂脱蜡，白土或加氢补充精制。基础油的各类组成成分可以分为极性成分和非极性成分，其中极性成分是指极性化合物，包括胶质、沥青等；非极性成分是指饱和烃，包括链烷烃和环烷烃。基础油的加工过程其实就是将极性成分和非极性成分按照一定比例混合在成品基础油中。

一、美国石油协会（API）基础油分类

20 世纪 90 年代，API 根据基础油的特性、润滑油的特性及润滑油发展的需要，于 1993 年将基础油分成 5 类，具体见表 1-3。

表 1-3 API 基础油分类

API 分类	I	II	III	IV	V
饱和烃（%）	65~85	93~99	95~99	99	99
芳烃（%）	15~35	<1~7	<1~5	<1	<1
硫（mg/kg）	300~3000	5~300	0~30	无	无
黏度指数	95~105	95~118	123~150	125~150	
黏度（100℃，mm ² /s）	4~32	4~12	4~8	4~7	
倾点（℃）	-15	-15	-15	-45	
与过氧基反应活性	1.0	约 0.2	0.1	0.1	

I 类基础油通常是由传统的“老三套”工艺生产制得，从生产工艺来看，I 类基础油的生产过程基本以物理过程为主，不改变烃类结构，生产的基础油质量取决于原料中理想组分的含量和性质。因此，该类基础油在性能上受到限制。

II 类基础油是通过组合工艺（溶剂工艺和加氢工艺结合）制得，使用工艺以化学过程为主，不受原料限制，可以改变原来的烃类结构。因而 II 类基础油杂质少（芳烃含量小于 10%），饱和烃含量高，热安定性和抗氧化性好，低温和烟炱分散性能均优于 I 类基础油。

III 类基础油是用全加氢工艺制得，与 II 类基础油相比，属高黏度指数的加氢基础油，又称非常规基础油（UCBO）。III 类基础油在性能上远远超过 I 类基础油和 II 类基础油，

尤其是具有很高的黏度指数和很低的挥发性。某些Ⅲ类油的性能可与聚α烯烃（PAO）相媲美，其价格却比合成油便宜得多。

Ⅳ类基础油指的是聚α烯烃（PAO）合成油。常用的生产方法有石蜡分解法和乙烯聚合法。PAO依聚合度不同可分为低聚合度、中聚合度、高聚合度，分别用来调制不同的油品。这类基础油与矿物油相比，无S、P和金属，由于不含蜡，所以倾点极低，通常在-40℃以下，黏度指数一般超过140。但PAO边界润滑性差。另外，由于它本身的极性小，溶解极性添加剂的能力差，且对橡胶密封有一定的收缩性，但这些问题都可通过添加一定量的酯类克服。

二、国内基础油分类

我国润滑油基础油标准建立于1983年，为适应调制高档润滑油的需要，1995年对原标准进行了修订，执行润滑油基础油分类方法和规格标准《润滑油基础油》（QSHR001—1995），详见表1-4。这种分类方法与国际上的分类有着本质上的区别。

表 1-4 国内基础油分类

黏度指数	类别	通用基础油
VI≥140	超高黏度指数	UHVI
120≤VI<140	很高黏度指数	VHVI
90≤VI<120	高黏度指数	HVI
40≤VI<90	中黏度指数	MVI
VI<40	低黏度指数	LVI
专用基础油：低凝 UHVIW VHVIW HVIW MVIW		
深度精制基础油：UHVIS VHVIS HVIS MVIS		

该标准按黏度指数把基础油分为低黏度指数（LVI）、中黏度指数（MVI）、高黏度指数（HVI）、很高黏度指数（VHVI）和超高黏度指数（UHVI）基础油5档。按使用范围，把基础油分为通用基础油和专用基础油。专用基础油又分为适用于多级发动机油、低温液压油和液力传动液等产品的低凝基础油（代号加W）和适用于汽轮机油、极压工业齿轮油等产品的深度精制基础油（代号后加S）。其中HVI油和VI>80的MVI油都属于国际分类的Ⅰ类基础油；而VI<80的MVI基础油和LVI基础油根本不入类；VHVI、UHVI按国际分类为Ⅱ类和Ⅲ类基础油，但在硫含量和饱和烃方面都没有明确的规定。

基础油的用户、生产厂商和贸易商对第一基础油的规格标准有着不同的理解，国外进口基础油多称一次加氢油和两次加氢油，国内生产的基础油多按中石化的企业标准生产，而很多用户却参考美国API的分类。对基础油的不同称谓实际上也代表了从不同角度对基础油规格的理解。由于标准不统一，一些企业生产不规范或质量低下的基础油料，给调和带来困难，同时也使一些廉价油料充斥市场，影响润滑油的更新换代。2005年中国石化公司结合API基础油分类规则，增加了基础油组成（饱和硫、硫含量）的限定，



制定了中国石化标准润滑油基础油分类的协议标准，见表 1-5。

表 1-5 中国石化协议标准润滑油基础油分类协议标准

类别	0	Ⅰ			Ⅱ		Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
类型	溶剂精制基础油				加氢基础油			PAO	其他合成油
代号	MVI	HVIⅠa	HVIⅠb	HVIⅠc	HVIⅠ	HVIⅡ	HVIⅢ	—	—
饱和烃（%）	≤90				≥90			—	—
硫含量（%）	≥0.03				＜0.03			—	—
黏度指数	≥60	≥80	≥90	≥95	90≤VI<110	110≤VI<120	≥120	—	—

三、按照基础油来源分类

1. 矿物基础油

矿物基础油由原油提炼而成，碳原子数一般为 20~40 个。矿物型基础油的生产，最重要的是选用优质的原油，好的原油更有利于生产优质的矿物性基础油。矿物基础油的化学成分包括高沸点、高分子量的烃类和非烃类混合物。一般为烷烃（直链、支链、多支链）、环烷烃（单环、双环、多环）、芳烃（单环芳烃、多环芳烃）、环烷基芳烃以及含氧、含氮、含硫有机化合物和胶质、沥青质等非烃类化合物。

矿物基础油因所含烃类化合物的组成和结构不同，性质相差较大。一般情况下，烷烃的黏度较小，芳香烃的黏度中等，环烷烃的黏度最大。

在倾点方面，正构烷烃的倾点较高，异构烷烃的倾点会随分支程度的增多大幅下降，带侧链的环烷烃和芳香烃的倾点也会随侧链及分支的增多而大幅下降。

在氧化安定性方面，烷烃属于饱和烃，比较稳定；而环烷烃的环与侧链联结的叔碳原子易发生氧化；芳烃的氧化速度缓慢，且苯环失去氢原子后易与引发链反应的自由基反应形成稳定的芳烃自由基而终止链反应。矿物基础油中所含的非烃类物质如硫化物、氮化物等虽然很少，但对基础油性质的影响却很大。硫醇、二硫化物等硫化物大多以支链形式或者是环状形式存在，很容易被氧化，而且硫化物在高温下还会发生水解反应生成酸，增强腐蚀性。

从生产工艺上看，高质量的矿物基础油一般要经过蒸馏、精制、脱蜡和补充精制四个工艺过程，首先利用各种组分的沸点差异，通过蒸馏分离出各种普通矿物基础油，然后再通过萃取的方法从中除去黏温性能和抗氧化性能差的非理想组分，通过脱蜡处理除去沥青从而得到深度脱蜡矿物基础油，最后催化加氢以除去其中的硫、氧和氮等杂质，将部分非理想组分转化为理想组分，得到深度精制的矿物基础油。目前世界上深度精制的矿物基础油占润滑油总量的 5%~10%。

由于矿物基础油原料充足、价格便宜，而且质量能够满足一般条件下各种机械设备的使用要求，还可以通过加入各种具有特殊性能的添加剂来提高油品性能，因而得到广泛的应用。目前以矿物基础油制得的润滑油约占全部润滑油的 95%。但矿物基础油受到

本身性能的局限,热安定性和低温流动性差,在高温下容易氧化结焦,并不能完全适应苛刻条件下的润滑需求。另外,随着近年来环保规范的不断严格,矿物基础油中含有硫等杂质,环保性能较差,发展受到了一定的影响。

2. 合成基础油

合成基础油是采用有机合成的方法制备具有一定化学结构和特殊性能的油品。制备合成基础油的原料可以是动植物油脂,也可以是其他化工产品。在化学组成上,矿物基础油是以各种不同化学结构的烃类为主要成分的混合物,而合成基础油的每一个品种都是单一的纯物质或同系物的混合物。构成合成基础油的元素除碳、氢之外,还包括氧、硅、磷和卤素等。在碳氢结构中引入含有氧、硅、磷和卤素等元素的官能团是合成基础油的显著特征之一。

合成基础油是将小分子的物质通过化学反应生成大分子的物质,按照人们的需求进行分子结构设计,以实现良好的性能,从而满足不同环境条件下的使用需求。作为润滑油的基础油组分,以合成基础油为原料生产的合成润滑油比矿物润滑油有许多优点:①具有良好的耐极端温度能力,具有较强的黏温性能、低腐蚀性能以及挥发性能,能够保证设备部件在更加严格的条件下工作。②具有低温性能优异、润滑性能良好和使用寿命长等特点,适用于高负荷、高转速、高真空、高能辐射和强氧化介质等环境。③具有良好的热氧化安定性、低挥发性。在工业润滑油应用领域,由于冷冻压缩机、空气压缩机、化学气体压缩机、重负荷齿轮箱和高温烘箱等设备自身的一些特点和要求,在润滑油的使用上已经很大程度上被合成润滑油所占据,并且成为了一种不可逆转的趋势。特别是对于冷冻压缩机而言,以多元醇酯和聚醚为基础油的冷冻机油被广泛应用。④具有蒸发损失小,使用寿命长,能够达到节约能源的目的。例如对于空气压缩机而言,由于客户越来越关注机件的使用寿命、维修成本和停机损失,目前许多重要的压缩机型均已使用合成润滑油。

3. 可生物降解基础油

矿物润滑油对地下水的污染长达100年之久,微量的矿物油就会阻碍植物的生长和毒害水生物。因此,润滑油对环境的影响受到了人们的重视。为了减少矿物润滑油对环境的影响,欧洲于20世纪70年代开发了可生物降解的润滑油,降低了润滑油对环境的污染程度。可生物降解润滑油,又称“绿色”润滑油,是指性能符合润滑油的要求,废弃后能在短时间内被微生物分解、不污染环境的润滑油。其中构成可生物降解润滑油的主要成分为可生物降解基础油。

常用的可生物降解润滑油的基础油按照物理化学性质可分为聚 α 烯烃、聚二醇、合成双酯、多元醇酯及植物油等。基础油的生物降解性不仅取决于其类型,还取决于结构。同一类型基础油,结构不同,其生物降解性也会有差异。

虽然目前矿物基础油依然垄断着润滑油市场,但是其生物降解性差,环境污染严重,随着对环境保护要求的不断提高,势必会被更加环保的可生物降解基础油所替代。可生



物降解基础油主要来源于植物，由于它可以生物降解而迅速地降低环境污染而越来越受欢迎。当今世界上所有的工业企业都在寻求减少对环境污染的措施，这种“天然”润滑油正拥有这个特点，虽然生物基础油成本较高，但所增加的费用足以抵消使用其他矿物油、合成润滑油所带来的环境治理费用。

第三节 润滑油添加剂

添加剂是近代润滑油发展的核心，正确选用并且合理地加入添加剂，能够有效地改善润滑油的性能，降低润滑油的凝固点，迅速消除润滑油中的泡沫，改善黏温、黏滑特性，增加油膜强度等。因此根据润滑油要求的质量和性能，对添加剂精心选择，仔细平衡，并且进行合理调配，是保证润滑油质量的关键。一般常用的添加剂有清洁分散剂、防腐剂、极压抗磨剂、黏度指数改进剂、油性剂、抗氧化剂、倾点下降剂、抗泡剂、抗乳化剂等。

一、清洁剂

清洁剂是指能够使发动机部件得到清洗并保持干净的化学药品。使用清洁剂的主要目的是使发动机内部保持清洁，使生成的不溶性物质呈胶体悬浮状态，不致进一步形成积炭、涂膜或泥油，清洁剂具有高碱性。

油品的氧化、增稠，油品对所吸附烟炱（直径 $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ 的炭黑）的分散能力的下降，就会在发动机内部形成油泥、积碳，并附着在发动机内部及油道管壁，即便更换新的机油，也不能完全排除，因此需要使用发动机清洗剂进行内部清洗。油泥和积碳

是造成发动机内部早期磨损的重要原因之一，发动机清洗剂

是解决这个问题的最佳途径。清洁剂基本上是由亲油基、极性基和亲水基三部分构成，如图 1-2 所示，根据溶剂的不同，清洗剂可分为水基清洗剂、半水基清洗剂及非水基清洗剂。

因为水具有环保、节能、安全等特点，用水

做溶剂制备清洗剂越来越受到人们的青睐。早期的水基清洗剂主要为碱性清洁剂，其主要成分是 NaOH 、 Na_2SiO_3 、 Na_2CO_3 、 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 等，通常用于清洗黑色金属表面的轻度油污和无机盐等污垢，此类清洁剂清洗能力较差，清洗后零件易生锈。随后人们开发出由表面活性剂、助洗剂、添加剂和水复配而成的水基金属清洁剂。半水基清洁剂是指在有机溶剂中加了水与表面活性剂，主要分为易燃溶剂型和不燃溶剂型。半水基清洁剂融合了水基清洁剂可以洗去无机盐积垢等水溶性杂质以及非水基清洁剂高效清除油溶性杂质的优点。但是，此类清洁剂性质不稳定，对储存条件要求高，大大降低了其实用性。非水基清洁剂以烃类（石油类）、氯代烃、氟代烃、溴代烃、醇类等作为清洗主体。

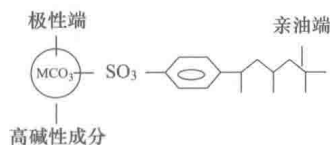


图 1-2 清洁剂添加剂结构

二、分散剂

分散剂是指能够抑制油泥、涂膜和淤渣等物质的沉积，并能使这些沉积物以胶体状态悬浮于油中的化学品。分散剂通过与不溶于润滑油的氧化产物中的羧基、羰基、羟基或硝基相互作用，起到对初期氧化产物在润滑油中溶解的增溶作用，同时又可以与积碳、油泥等形成胶束颗粒后分散在润滑油中。另外，分散剂还可以通过极性端吸附于氧化金属表面上并包围它，而亲油端使之保持溶于油中，进而有效阻止杂质在金属表面的聚集和黏附，如图 1-3 所示。

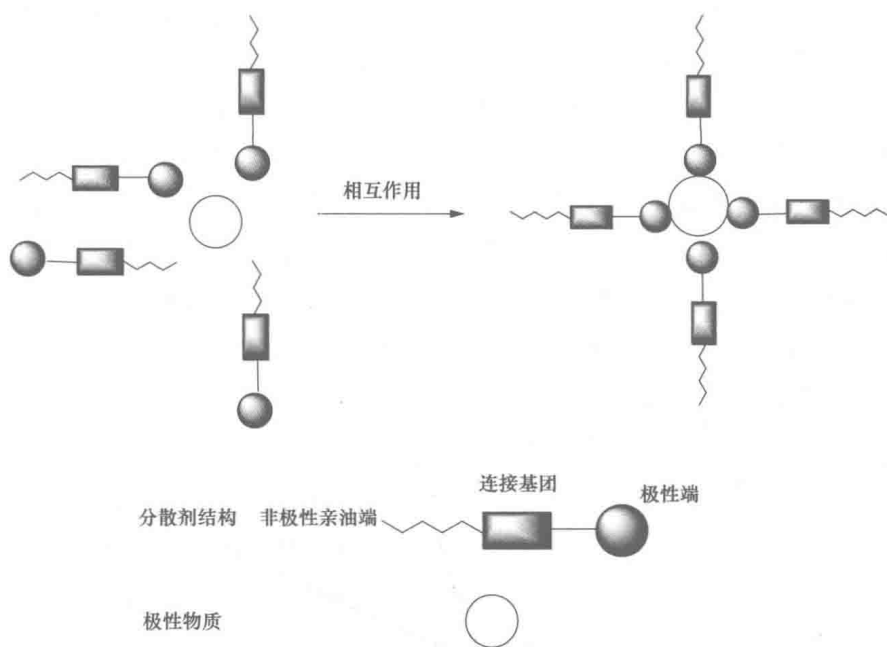


图 1-3 分散剂原理图

发动机使用过程中会产生烟炱进入润滑油体系，导致润滑油性能下降，油路阻塞甚至机械部件损坏。分散剂由亲油基（非极性基）、极性基和连接基团三部分组成。亲油基：相对分子质量为 500~3000 的聚异丁烯（PIB）；连接基：琥珀酸酐、酚和磷酸酯；极性基团：通常是氨或烃类的含氧衍生物，氨基基团是胺的衍生物，通常是碱性的，一般是二乙烯三胺、三乙烯四胺或四乙烯五胺。含氧基团是醇的衍生物，是中性的，一般为多元醇，如季戊四醇。分散剂主要有聚丁烯丁二酰亚胺、聚异丁烯丁二酸酯、苄胺和无灰磷酸酯。

三、抗氧抗腐剂

抗氧抗腐剂是能够抑制油品氧化及保护润滑表面不受水或其他污染物化学侵蚀的化学药品。抗氧机理是抗氧抗腐剂能够在高温条件下发生复杂的化学反应，其产物能捕捉自由基进而终止链式反应的进行，同时还能够分解过氧化物；而抗腐蚀的机理是