



中国石油天然气集团公司统编培训教材

销售业务分册

工业和特种润滑油

《工业和特种润滑油》编委会 编



石油工业出版社

中国石油天然气集团公司统编培训教材

销售业务分册

工业和特种润滑油

《工业和特种润滑油》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

根据中国石油润滑油的业务实际,本书中的特种润滑油是指原材料、加工工艺和用途相对特殊的变压器油、橡胶油和冷冻机油等。全书共分九章,主要内容包括工业齿轮油、液压油、汽轮机油、压缩机油和冷冻机油、变压器油、橡胶油、金属加工润滑剂以及其他润滑油,同时对典型行业润滑组合进行了介绍与分析。

本书适用于工业润滑油和特种润滑油营销、服务人员的培训,也可供生产、研发和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业和特种润滑油/《工业和特种润滑油》编委会编.
北京:石油工业出版社,2011.7

(中国石油天然气集团公司统编培训教材)

ISBN 978-7-5021-8080-5

I. 工…

II. 工…

III. 润滑油

IV. TE626. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 201759 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523612 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 28

字数: 470 千字

定价: 98.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编 审 委 员 会

主任委员：李万余

副主任委员：金 华 白泽生

委 员：王志刚 连建家 胡宝顺 马晓峰

卢丽平 杨大新 吴苏江 杨 果

方朝亮 王同良 刘江宁 卢 宏

周国芳 雷 平 马新华 戴 鑑

上官建新 陈健峰 秦文贵 杨时榜

何 京 张 镇

秘 书：张玉文 王子云

《工业和特种润滑油》编委会

主 任：刘宏斌

副主任：田景惠 上官建新 付 斌 王 波 赵传香

金安耀 杜烈奋 董仁平 孙宗民 廖国勤

许元科 宫伟军 罗贵儒 于文魁

成 员：（按姓氏笔画排序）

王 珺 王子坚 王长江 王伟卫 王泽恩

王彬婷 丛新兴 伏喜胜 关 玲 朱 文

刘 唱 刘 矢 吕东悦 孙树好 师 野

阮晓刚 吴 洋 张 宏 李 炜 李金国

李鸿学 杨 荷 杨俊杰 杨峰亭 陈以新

陈立恒 陈望远 姜卫华 胜秋月 赵 滨

赵坚东 赵剑春 郭 春 强 剑 韩聿波

管軼文 翟月奎

《工业和特种润滑油》编审人员

主 编：上官建新 金安耀 廖国勤 许元科

执行主编：杨俊杰

副 主 编：马书杰 周亚斌 王彬婷

编写人员：（按姓氏笔画排序）

于会民 王 辉 王洪斌 刘 妍 吴 建
吴福丽 张 梅 李久盛 李雁秋 陈 刚
徐 平 潘元青

审定人员：（按姓氏笔画排序）

丁桂玲 马书杰 牛承继 王 宏 王子坚
王东海 王伟卫 王泽恩 王晓华 王彬婷
付 佳 伏喜胜 刘锐铭 刘新平 孙中华
孙春梅 孙树好 吴振寰 张晓燕 李 军
李仁祥 杨 荷 杨峰亭 陈以新 陈立恒
周 丹 周亚斌 周洪澍 姜卫华 赵坚东
秦鹤年 谈家驹 郭 槐 曹 斌 续 景
熊国跃 翟月奎

序

企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，

按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序推进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司首批39门“统编培训教材”已按计划编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培训工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011年4月18日

前言

本教材按照集团公司和销售分公司的统一部署,根据润滑油业务的需求,以工业润滑油和特种润滑油营销、服务人员为主要目标读者,也可供生产、研发和管理人员参考。“特种润滑油”的含义和分类有很多种,教材中的特种润滑油主要根据中国石油润滑油业务实际,指原材料、加工工艺和用途相对特殊的变压器油、橡胶油和冷冻机油等。

本教材由杨俊杰任执行主编,负责审核和统稿;马书杰和周亚斌负责部分章节的审核,润滑油公司研究院相关技术专家负责各个章节的编写。全书共分九章,第一章由潘元青编写,第二章由吴福丽编写,第三章由王辉编写,第四章和第八章由徐平编写,第四章由李雁秋编写,第五章由于会民编写,第六章由刘妍编写,第七章由王洪斌、李久盛编写,第九章由吴建、陈刚、王洪斌和张梅等编写。书稿审查修改过程中,还得到了周洪澍、吴振寰、王东海、续景、秦鹤年、牛承继、郭槐、李军、丁桂玲、谈家驹等的帮助。

本教材的编辑出版,是各位编著者多年构想和经验积累的结晶。编写中力图做到设备与油品相结合、理论与实际相结合,为工业和特种润滑油营销和服务,为生产和研发的广大读者提供一本“科学、适用、可读”的工具书。由于知识、经验所限,难免有不尽人意之处,恳请广大读者给予批评指正。

《工业和特种润滑油》编委会

2011年3月6日

目 录

第一章 工业齿轮油	1
第一节 工业齿轮系统及其对润滑油的要求	1
第二节 工业齿轮油分类及标准	6
第三节 工业齿轮油的选用与更换	15
第四节 蜗轮蜗杆油	24
第五节 开式齿轮油	32
第六节 昆仑工业齿轮油及其应用	37
参考文献	48
第二章 液压油	50
第一节 液压油的性能要求	50
第二节 液压油分类及标准	55
第三节 液压油的选用和更换	75
第四节 昆仑差别化产品及其应用	84
参考文献	92
第三章 汽轮机油	93
第一节 汽轮机油的润滑要求	93
第二节 汽轮机油的分类和标准	99
第三节 汽轮机油的选用	108
第四节 汽轮机油的维护与更换	111
第五节 昆仑汽轮机油产品及其应用	120
参考文献	123
第四章 压缩机油和冷冻机油	124
第一节 压缩机油的分类及其技术要求	125
第二节 压缩机油的性能要求及评定	133
第三节 压缩机油的选用及更换	141
第四节 昆仑压缩机油及其应用	146

第五节 冷冻机油	148
参考文献	180
第五章 变压器油	182
第一节 用油电气设备	182
第二节 变压器油的分类和标准	184
第三节 变压器油的作用及性能要求	194
第四节 变压器油的监测、维护及更换	202
第五节 变压器油的运输及储存	207
第六节 昆仑变压器油产品分类及选用	209
参考文献	211
第六章 橡胶油	212
第一节 橡胶及其分类	212
第二节 橡胶油及其作用	214
第三节 橡胶油的分类及标准	216
第四节 橡胶油的选用	227
第五节 昆仑橡胶油及其应用	242
参考文献	249
第七章 金属加工润滑剂	251
第一节 金属加工润滑剂的作用、分类及其技术要求	251
第二节 金属加工润滑剂现状、发展趋势	255
第三节 金属加工润滑剂的分析评定与管理	266
第四节 昆仑金属加工润滑剂产品及其应用	271
参考文献	295
第八章 其他润滑油	296
第一节 全损耗系统油	296
第二节 导轨油（G组）	303
第三节 防锈油（暂时保护防腐蚀油）	305
第四节 白油	317
第五节 导热油	321
第六节 轴承油	331
第七节 热处理油	348
参考文献	356
第九章 典型行业润滑组合	357
第一节 钢铁行业润滑组合	357

第二节	水泥行业润滑组合	379
第三节	发电行业润滑组合	391
第四节	炼化行业润滑组合	403
第五节	造纸装备及其润滑	408
第六节	风电机组润滑组合	422
参考文献		435

第一章 工业齿轮油

工业齿轮传动设备经常处于高温、高负荷、多水及多灰尘的污染场合，变速比和齿面单位接触压力大，齿面间局部温度可高达几百摄氏度，接触状态与负荷在运动中随时发生非连续性变化。因此，齿面润滑良好是保证其寿命和力矩正常传递的关键。

工业齿轮油用于各种机械设备齿轮及蜗轮蜗杆传动装置的润滑，在使用过程中起到润滑、冷却、清洗及防腐防锈等作用，可分为闭式齿轮油和开式齿轮油两大类。其中，闭式齿轮油是工业齿轮油的主体，用于密闭的齿轮箱，有的齿轮箱本身就是油箱，有的齿轮与油箱分设，通过泵将油供到齿轮部件润滑，然后又回到油箱；蜗轮蜗杆油也属于闭式齿轮油的一种，但由于蜗轮蜗杆及其润滑的特殊性，一般要单独对待；开式齿轮油用于非密闭的齿轮及链条系统的润滑。

第一节 工业齿轮系统及其对润滑油的要求

齿轮和齿轮传动的分类方法很多，按齿轮传动装置的工作条件分类，分为闭式、开式和半开式；按齿轮的齿廓曲线分类，可分为渐开线齿轮、圆弧齿轮和摆线齿轮；按其外形分类，可分为圆柱齿轮、锥齿轮、非圆齿轮、齿条和蜗杆蜗轮；按其齿线形状分类，可分为直齿轮、斜齿轮、人字齿轮等。在工业装置中最常见的是圆柱齿轮、圆锥齿轮和蜗轮蜗杆三种齿轮类型（图 1-1-1）：

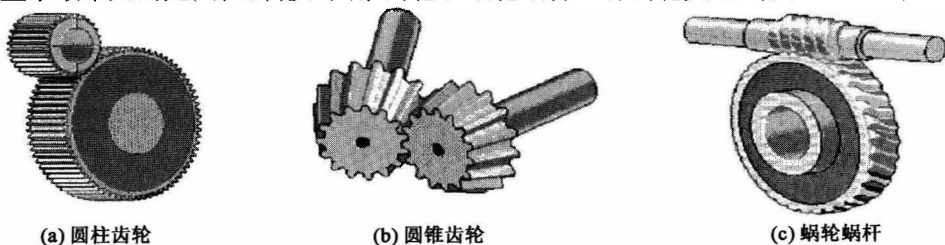


图 1-1-1 主要的工业齿轮形式

(1) 圆柱齿轮, 用于两平行轴间的传动, 包括正齿轮、斜齿轮、双斜齿轮、内啮合齿轮和螺旋齿轮。

(2) 圆锥齿轮, 用于两交叉轴间的传动, 包括直齿锥齿轮、斜齿锥齿轮、螺旋锥齿轮、准双曲线齿轮、双曲线齿轮。

(3) 蜗轮蜗杆, 用于两垂直交叉轴间的传动, 包括圆弧圆柱齿轮、圆环面包络圆柱齿轮。

一、工业齿轮的润滑机制

通常, 根据传递运动和动力的需要选择不同几何学特征和力学特点的传动机构, 工业齿轮一般用于高速轻载、高速重载、低速重载三大类运动和动力的传递。

齿轮曲率半径小、形成油楔的条件差, 每次啮合均必须重新建立油膜; 且啮合表面不相吻合, 有滚动也有滑动, 形成油膜的条件各不相同。其润滑状态有两种: 一种为流体动力润滑和弹性流体动力润滑 通常发生于高速轻载工况, 润滑油的粘度是形成流体动力润滑膜和弹性流体润滑膜的关键; 另一种为边界润滑 通常发生在高速重载、低速重载或有冲击负荷的工况。实际的齿轮润滑, 大多处于混合润滑状态, 即既有流体动力润滑和弹性流体润滑, 又有边界润滑, 其润滑特点集中表现在以下几个方面:

(1) 相对曲率半径小, 表面在相对运动中不易形成油楔。弹性流体动力润滑时, 齿轮油在啮合工作面之间, 避免了金属面的直接接触, 起到防止磨损作用; 进入边界润滑状态时, 齿轮油中的活性元素可与金属发生反应, 并均匀分散, 生成边界润滑膜, 从而减少齿面的磨损。

(2) 齿面以“线”的形式接触。接触面积相对狭小, 导致接触应力大, 啮合过程中同时存在滑动和滚动两种运动形式, 而且滑动速度大小和方向以作用线为界急剧变化; 工业齿轮油应将摩擦产生的大量热量带走, 以防止齿面工作温度的升高。

(3) 润滑是间断性的, 齿轮每次啮合时, 都需要重新建立油膜。油膜的覆盖不但可以减少磨损, 还可以隔绝空气和水, 防止齿面的腐蚀和生锈。

(4) 与轴承相比, 齿面光洁度较差, 在高负荷下, 润滑油膜易遭到破坏, 发生齿面啮合或磨损; 齿轮油无论采用何种润滑方式, 均应起到冲洗齿面磨粒或杂质的作用, 从而减轻齿轮的振动、降低噪声, 使装置平稳运行。

除此之外, 工业齿轮可能处于高温、振动, 有汽、水、尘埃等环境, 这些因素极大地影响着润滑过程, 对工业齿轮油提出了更苛刻的要求。齿轮润

滑的这些特点，要求工业齿轮油既要具有合适的粘度，以保证较轻负荷瞬间（期间）形成流体动力膜和弹性流体动力膜，又要求有合适的添加组分，以保证在较高负荷瞬间（期间）形成边界润滑膜。

二、工业齿轮对润滑油性能的要求

通常，当齿轮装置确定了金属材料、处理工艺及加工技术后，为完成运动和动力的传递，希望齿轮油在以下几方面予以最佳配合：防止和减少齿面间的摩擦磨损，均匀分布载荷；带走摩擦时产生的热量；将齿面与水、空气隔绝，避免生锈、腐蚀及尘袭；冲洗齿面上的磨粒和杂质；减缓齿轮震动，使运动平缓。

因此，为了满足工业齿轮的润滑需要，一般要求齿轮油具有良好的极压抗磨性、良好的热氧化安定性、适当的粘度、良好的抗乳化性、良好的抗腐蚀性及低温性能等。

1. 适宜的粘度

粘度是齿轮油最基本性能指标之一。粘度过低，形成的油膜薄、易破裂，引起摩擦齿面的直接接触，使齿面磨损剧烈、发热，严重时发生烧结。粘度过大，油品的内摩擦力大、流动性差，齿轮在运转中因油品阻力发热，且造成动力损失。

2. 足够的极压抗磨性

具有极压抗磨性的润滑油可在非常苛刻的高温高负荷工作条件下，在摩擦面上形成反应膜，起到降低摩擦阻力、减少磨损的作用。齿轮传动时，在高速、低速重载或冲击负荷情况下，齿轮油应能迅速形成物理吸附膜或化学吸附膜，以防齿面磨损擦伤、胶合，所以良好的极压抗磨性是齿轮油最重要的性能。

3. 良好的热氧化安定性

齿轮油在工作中总是被机件激烈搅拌，与空气、金属、杂质等频繁接触，在使用温度较高的情况下，内部成分容易氧化变质而形成各种氧化产物，失去原有性能，因此齿轮油应具有良好的氧化安定性和热氧化安定性，以保证其正常使用寿命。

4. 良好的抗乳化性

齿轮油在工作中常不可避免与水接触（如轧钢机冷却水混入润滑系统），如果齿轮油的分水能力差，油与水混在一起发生乳化形成乳化液，不仅会降低润

滑性能并增加磨损,而且容易形成油泥,因此齿轮油应具有良好的抗乳化性。

5. 良好的抗泡沫性

齿轮油在循环流动和被搅动中容易产生泡沫。如齿轮油抗泡沫性不好,形成的泡沫不能很快消失,会影响齿轮啮合处油膜形成,还会因夹带泡沫使实际工作油量减少,影响散热,造成齿轮磨损和胶合等事故的发生,因此齿轮油应具有良好的抗泡沫性。

6. 良好的防锈、防腐蚀性

工业齿轮油在使用过程中水的侵入是不可避免的,闭式齿轮箱的呼吸作用产生的水珠也会进入齿轮箱中,在水与氧的作用下,齿轮和油箱会生锈。同时齿轮油中的酸性物和硫化物添加剂,在配伍失调或配方本身配伍不当时,会对齿轮造成腐蚀,而且腐蚀与锈蚀产物还会进一步引起齿轮油的变质,产生恶性循环。因此,齿轮油应具有良好的防锈、防腐蚀性。

7. 良好的剪切安定性

工业齿轮油在齿轮传动过程中会受到机械剪切的作用,油品中的高分子化合物分子链被剪断成为小分子化合物,造成油品粘度下降,油品的粘温性能也随之下降,使齿面得不到充分的润滑,容易发生齿面损坏现象。因此,齿轮油应具有良好的剪切安定性。

8. 适宜的低温性能

在寒冷地区工作的齿轮传动装置所用润滑油必须具有良好的低温性能,我国北方地区冬夏温差大,应该考虑选用通用齿轮油。

近年来,随着齿轮向小体积、高承载、高速方向的发展,齿轮箱尺寸及其润滑油容量在不断减小,导致齿轮油工作温度提高,要求更好的抗氧化性能、粘温性能和热氧化稳定性,同时改进抗微点蚀能力、轴承保护能力、抗乳化性和密封性能。在某些条件下,传统矿物型工业齿轮油已不能满足要求,而低温性能更好、具有优良极压抗磨性、氧化安定性的合成型齿轮油得到了越来越多的应用。

三、工业齿轮油的技术指标

工业齿轮油在出厂和使用过程中必须有一些严格的指标加以控制,判断能否继续使用,如极压抗磨性、粘度、酸值、水分、铁含量、闪点、机械杂质和不溶物等,其中极压抗磨性、抗乳化性、抗泡性和抗点蚀性等是工业齿

轮油区别于其他润滑油品的重要指标。

1. 极压抗磨性

极压抗磨性的测定主要采用四球试验机、梯姆肯 (Timken) 试验机、FZG 齿轮试验机等方法。其中, 四球试验机模拟试验 (Four ball) 可测定润滑油的减摩性、抗磨性和极压性。减摩性用摩擦系数 “ f ” 表示, 抗磨性用磨痕直径 “ D ” 表示, 极压性用最大无卡咬负荷 “ P_B ”、烧结负荷 “ P_D ” 和综合磨损指数 “ZMZ” 表示; 梯姆肯 (Timken) 试验机模拟试验可评定润滑油的抗擦伤能力, 用通过负荷 “OK 值” 作为评定指标; FZG 齿轮试验机用于测定钢对钢直齿轮所用润滑剂的承载能力, 以失效 “级” 表示。

2. 抗乳化性

目前被广泛采用的工业齿轮油抗乳化性测定方法有两个。一是与 ASTM D1401-67 (77) 等效的油和合成液抗乳化性能测定法《石油和合成液水分离性测定法》(GB/T 7305—2003), 适用于测定油、合成液与水分离的能力, 对于 40℃ 时运动粘度为 30 ~ 100 mm²/s 的油品, 试验温度为 54 ± 1℃; 对于粘度大于 100 mm²/s 油品, 试验温度为 82 ± 1℃; 当合成液密度大于水时, 试验步骤不变, 但这时水可能浮在乳化层或合成液上面。二是与 ASTM D2711-74 (79) 方法等同的润滑油抗乳性测定法《润滑油抗乳化性能测定法》(GB 8022—1987), 用于测定中、高粘度润滑油与水互相分离的能力, 多用于易受水污染和可能遇到泵送及循环湍流而产生油包水型乳化液的润滑油抗乳化性能的测定。

3. 抗泡性

抗泡性测定的标准试验方法主要是《润滑油泡沫特性测定法》(GB/T 12579—2002), 分别测定油品在 24℃、93.5℃ 和后 24℃ 经过通空气鼓泡产生的泡沫体积, 适用于加或未加抗泡添加剂的润滑油。

4. 抗点蚀性

齿轮在运转过程中受到周期性变化的接触应力作用, 当接触应力超过材料的接触疲劳强度时, 会在齿轮表面或次表层上产生疲劳裂纹。疲劳裂纹不断扩展、延伸, 最终使小块金属脱落, 形成不同形状的小凹坑, 成为微点蚀。微点蚀出现的初期若得不到有效抑制, 损伤将持续发展为扩展性点蚀, 并将进一步恶化。Flender 的 CLP4 规格增加了工业齿轮油在低速重载工况时对齿面的抗微点蚀能力试验, 为目前世界范围内工业齿轮油最高规格, 主要试验方法为 FVA54/ I-IV 微点蚀试验, 采用标准 FZG 齿轮试验机和 C 型齿轮试验件, 适用于在极压条件下评价工业齿轮油抗微点蚀性能。