



ExxonMobil

合成润滑剂基础油配方指南

动力, 与你同在

目录

1.0 简介 — 使用指南	1	7.2 液压油	64
2.0 润滑油配方设计师常见问题解答	3	7.3 汽轮机油	70
3.0 合成基础油产品牌号摘要	7	7.4 工业齿轮油	76
4.0 行业趋势	11	7.5 造纸机润滑油	81
4.1 能源展望	11	7.6 用于食品机械的润滑油（与食品偶然接触）	84
4.2 润滑油行业趋势	12	7.7 其它润滑油	89
4.3 汽车发展趋势	12	7.7.1 导热油	89
4.3.1 对润滑油和基础油的影响	14	7.7.2 链条润滑油	92
4.4 工业发展趋势	14	8.0 润滑脂	95
4.5 可持续发展趋势	15	9.0 附录	105
5.0 汽车应用	17	9.1 添加剂术语表	105
5.1 乘用车发动机油	17	9.2 缩略词	108
5.2 商用车发动机油	23	9.3 润滑油粘度等级分类	109
5.3 汽车传动油	29	9.3.1 SAE 汽车润滑油粘度等级	109
5.4 小型发动机润滑油	35	9.3.2 ISO 粘度分类 (ISO 3448)	110
6.0 其它发动机应用	41	9.3.3 前 AGMA 齿轮油粘度分类	111
6.1 船用和工业柴油发动机	41	9.3.4 NLGI 润滑脂分类	111
6.2 铁路	43	9.3.5 API 基础油分类	111
6.3 燃气发动机油	44	9.4 粘度换算表	112
7.0 工业应用	51	9.5 粘度分类比较	113
7.1 压缩机油	51	9.6 生物降解性数据	114

1.0 简介

动力, 与你同在



1.0 简介 — 使用指南

合成基础油的配方设计师每天都面临着创造更为尖端的高级润滑油的挑战。本“合成润滑油基础油配方指南”旨在为设计师在开发润滑油配方时提供一个有利的开端，并帮助他们为各种润滑油应用选择最适当的基础油。

本指南为您迅速了解埃克森美孚整个合成基础油产品系列的性能特征提供了一个便捷参考，这些产品包括 SpectraSyn™、SpectraSyn Plus™ 聚 α 烯烃 (PAO) 和 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃 (mPAO)、Synesstic™ 烷基萘 (AN) 和 Esterex™ 合成酯。

本指南除了对合成基础油性能进行评估外，还针对特定的润滑油粘度等级提供了基础油组合建议。这些基础油组合代表了许多核心工业和车用合成润滑油配方，其中包括乘用车发动机、压缩机以及液压系统等。

您可以在本指南中找到所需基础油配方，某些情况下，甚至还可以发现合适的添加剂复合剂。至少，我们相信您会从中找到配方设计的一个起点。无论哪种情况，埃克森美孚化工的销售代表以及市场营销技术支持团队都可为您提供支持。您也可以访问网站 www.exxonmobilsynthetics.com 以获得我们的产品和全球销售办事处的完整列表。**想要节省时间和金钱，并让您的应用开发驶上快车道？那么就请您翻开页面并开始了解吧。**

2.0 润滑油配方设计师常见问题解答

动力,与你同在



2.0 润滑油配方设计师常见问题解答

问：为什么选择埃克森美孚化工及其合成基础油？

答：埃克森美孚化工是第四类和第五类合成基础油的主要生产商，包括全粘度范围的聚 α 烯烃（2–300 cSt, 100°C）、完整的酯类产品线以及新型烷基萘产品。广泛的产品组合使我们全面了解各种合成润滑油配方，进而帮助我们的客户开发出适合市场需求的创新型产品。

问：这份配方指南可为我提供哪些帮助？

答：本指南旨在为配方设计师研制合成润滑油产品时创造一个良好的起点。它可针对润滑油应用中的给定黏度等级提供基础油组合建议，从而减少筛选大量基础油的需要。本指南可缩短您的产品开发周期，从而帮助您尽快进入市场。

问：本指南都包含哪些润滑油应用类型？

答：本指南包含针对大多数核心车用和工业润滑油应用的合成基础油建议。这些建议用于满足各种润滑油应用的标准粘度等级。

问：这些配方建议中存在多少偏差？

答：本指南中列出的基础油组合能够达到特定的粘度等级和性能水平。配方可以根据需要进行调整，以便满足其它粘度等级或性能特性。

问：本指南中列出的配方经过测试验证了吗？

答：所有基础油配方都满足所列出的粘度特性，并已在实验室测试中进行了验证。本指南包含的某些配方给出了具体的添加剂建议，并列举了一些额外的性能测试。这些测试结果也已在实验室测试中进行了验证。但是，对于我们所列的所有配方，您可能需要进行某些调整以满足特定配方要求。

问：本指南中的配方代表的是成品润滑油吗？

答：这些配方旨在以埃克森美孚化工的基础油为基础提供一个配方起点。在某些情况下，我们还在配方中提及和使用了特定的添加剂复合剂，以便在经过适当调配后，测试结果可直接应用于成品润滑油中。在其它一些情况下，我们仅提供特定粘度等级的基础油组合建议，而由配方设计师自行选择添加剂。

问：我能否用我现用的添加剂替换指南中所示的添加剂复合剂？

答：我们提及和使用的特定添加剂都是因为它们很常用且容易购买。我们并没有推荐任何添加剂，实际上使用其它添加剂您也许会获得更好的产品性能。我们所提及的添加剂仅作为举例说明。

问：我能否获得产品样品？

答：我们的所有合成基础油都可提供样品。请与埃克森美孚化工销售代表联系具体事宜。您也可以访问网站 www.exxonmobilsynthetics.cn 来联系我们。

问：产品供应是否存在任何限制？

答：埃克森美孚化工具有遍布全球的生产、配送和销售支持设施。本指南中列出的所有产品均为商用产品，面向全球供应。

问：这些基础油能否用于本指南中未列出的其它应用？

答：我们的合成基础油可用于各种应用，从发动机油到个人护理产品再到纺织用润滑油，范围非常广泛。我们的技术支持人员可提供本指南中未涵盖的配方建议。请联系埃克森美孚化工销售代表以寻求帮助。



问：作为潜在客户，我还可以获得哪些其它服务？

答：埃克森美孚化工为我们的客户提供众多增值服务，其中包括配方帮助、性能测试、产品开发帮助和全球产品注册等。

问：我从哪里可以获得有关这些产品的健康和安全性信息？

答：每种合成基础油产品的安全技术说明书 (SDS) 均可向埃克森美孚化工销售代表索取，还可以从我们的网站 www.exxonmobil synthetics.cn 获取

问：有没有任何基于矿物油的配方？

答：我们的很多合成基础油产品都可与矿物油共同使用，以增强其整体效能。如果您有任何特定需求，我们的技术支持人员可帮助提供半合成基础油配方建议。

问：我的具体应用可能只需要一桶合成基础油。你们能按桶供货吗？

答：我们拥有全球分销商网络。我们非常乐于将您的要求转交给我们的经销商。

问：本指南是否会更新以反映新的信息和技术？

答：我们会不断更新我们的产品数据和技术，因此也会定期更新本指南，这是一定的。



3.0 合成基础油产品牌号摘要

动力, 与你同在



3.0 合成基础油产品牌号摘要

聚 α 烯烃

这些产品为氢化烯烃类低聚物，通过线型 α 烯烃的聚合反应制成。它们具有规整的无蜡，异构烷烃结构，通常可以提供很好的低温特性、高粘度指数 (VI)、低挥发性和更好的热稳定性。这些 API 第四类基础油特别适合于在极端运行条件下需要良好稳定性的所有润滑应用。

茂金属聚 α 烯烃

这些产品使用了茂金属催化剂技术，生产出的聚 α 烯烃具有排列更加一致的梳形结构，具备较窄的分子量分布，相比传统基础油，可以提供高的黏度指数、低温稳定性和剪切稳定性。

烷基萘

这些产品通过萘与线型 α 烯烃的烷基化制备而成。由此得到的 API 第五类润滑油提供了非常好的热稳定性、氧化安定性和水解稳定性。它们具备良好的溶解性，可提高基础油对添加剂和氧化产物的溶解性，从而改进大部分润滑油的性能。

酯

醇与酸的化合反应可用于制备具有各种特性的合成酯，这些特性包括良好的热氧化安定性、低挥发性、润滑性、溶解性和生物降解性取决于特定酯（参见第 9.6 部分）。这些 API 第五类油可作为独立的基础油，也可作为辅助基础油，用于所有类型的润滑油。

表 3.0.A

产品类型	产品名称	产品说明	比重@ 15.6/15.6 °C	运动粘度 @ 100°C cSt	运动粘度 @40°C cSt	运动粘度 @-40°C cSt	粘度 指数	倾点, °C	闪点, COC, °C
聚 α 烯烃 PAO	SpectraSyn™ 2	低粘度 PAO	0.798	1.7	5.0	252	不适用	-66	157
	SpectraSyn™ 2B		0.799	1.8	5.0	不适用	不适用	-54	149
	SpectraSyn™ 2C		0.798	2.0	6.4	不适用	不适用	-57	>150
	SpectraSyn™ 4		0.820	4.1	19	2,900	126	-66	220
	SpectraSyn™ 5		0.824	5.1	25	4,920	138	-57	240
	SpectraSyn™ 6		0.827	5.8	31	7,800	138	-57	246
	SpectraSyn™ 8		0.833	8.0	48	19,000	139	-48	260
	SpectraSyn™ 10	0.835	10	66	39,000	137	-48	266	
	SpectraSyn™ 40	高粘度 PAO	0.850	39	396	不适用	147	-36	281
	SpectraSyn™ 100		0.853	100	1,240	不适用	170	-30	283
茂金属 PAO	SpectraSyn Plus™ 3.6	低粘度 PAO, 改进了挥发和 CCS 低温性	0.816	3.6	15.4	2,000	120	<-65	224
	SpectraSyn Plus™ 4		0.820	3.9	17.2	2,430	126	<-60	228
	SpectraSyn Plus™ 6		0.827	5.9	30.3	7,400	141	<-54	246
	SpectraSyn Elite™ 65		高粘度, 高粘度 指数, 茂金属 PAO	0.846	65	614	不适用	179	-42
SpectraSyn Elite™ 150	0.849	156		1,705	不适用	206	-33	282	
SpectraSyn Elite™ 300	0.849	303		3,358	不适用	241	-33	286	
烷基萘	Synesstic™ 5	烷基萘	0.908	4.7	29.0	不适用	74	-39	222
	Synesstic™ 12		0.887	12.4	109	不适用	105	-36	258
酯	Esterex™ A32	己二酸酯	0.928	2.8	9.5	985	149	-65	207
	Esterex™ A34		0.922	3.2	12	1,970	137	-60	199
	Esterex™ A41		0.921	3.6	14	3,286	144	-57	231
	Esterex™ A51		0.915	5.4	27	16,970	136	-57	247
	Esterex™ P61	邻苯二甲酸酯	0.967	5.4	38	不适用	62	-42	224
	Esterex™ P81		0.955	8.3	84	不适用	52	-33	265
	Esterex™ TM111	偏苯三酸酯	0.978	11.9	124	不适用	81	-33	274
	Esterex™ NP343	多元醇酯	0.945	4.3	19	2,540	136	-48	257
Esterex™ NP451	0.993		5.0	25	7,610	130	-60	255	

典型特性 — 不应解释为产品技术规格

来源: 埃克森美孚数据

表 3.0.B 典型应用

产品名称	汽油和柴油发动机	自动传动系统	工业/汽车齿轮和变速器	液压系统	工业轴承	旋转气锁和气体压缩机	烃类冷冻压缩机	润滑脂	涡轮机	导热油	汽车液压油	油雾润滑
SpectraSyn™ 2		●	●	●			●	●		●	●	
SpectraSyn™ 4	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●
SpectraSyn™ 5	●		●	●	●	●	●	●	●			●
SpectraSyn™ 6	●		●	●	●	●	●	●	●			●
SpectraSyn™ 8	●		●	●	●	●	●	●	●			●
SpectraSyn™ 10			●	●	●	●	●	●	●			●
SpectraSyn™ 40	●		●	●	●	●	●	●	●			●
SpectraSyn™ 100			●	●	●	●		●	●			●
SpectraSyn Plus™ 3.6	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●
SpectraSyn Plus™ 4	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●
SpectraSyn Plus™ 6	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●
SpectraSyn Elite™ 65	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●
SpectraSyn Elite™ 150	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●
SpectraSyn Elite™ 300	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●

- 最常见的应用领域
- 较少见的应用领域

ExxonMobil

4.0 行业趋势

动力, 与你同在



4.0 行业趋势

每年更新，能源展望：埃克森美孚与公众分享的对能源未来的长期展望可延伸至 2040 年。我们每年发布一次展望，评估能源供应、需求和技术的发展趋势，以帮助引导那些支撑我们业务战略的长期投资。

4.1 能源展望

主要研究结果包括：

- 在解决能源挑战方面，将继续以效率为重。
- 发展中国家（非经合组织国家）的能源需求到 2040 年将比 2010 年增加 65%，这体现了经济的持续增长。
- 在这样的增长中，对电力有着更高的需求。
- 伴随着经济增长，商业活动的持续扩张将推动运输领域需求的增长。
- 技术的发展推动了以前难于生产能源的安全开发，显著提升了现有的供应量，从而满足全球不断变化的能源需求。石油仍将是全球的头号燃料，而天然气将取代煤，位列第二。
- 不断变化的供求模式将为不断增长的全球贸易机遇打开大门。

有关详细信息，请访问 www.exxonmobil.com.cn。

4.2 润滑油行业趋势

设备技术上的进步提升了设备的生产效率。这些进步需要设备具有更快的操作速度以及更高的操作温度和压力，这就要求润滑油具有更高性能。

与这些需求随之而来的还有减少维护或免维护生产、增强环保意识水平、更严格的安全规章以及对能效的更多关注。这些趋势将不断挑战润滑技术，推动对基于 API 第四类和第五类基础油的合成润滑油的需求。这也推动了进一步改进这些基础油的研究活动。

受不断增长的生产效率和更好稳定性的推动，设备制造商希望润滑油能够在更恶劣的操作条件下工作。

对于成本性能而言，节能和效率非常重要。

在环保方面，限制排放和管理废物生成/处理也是非常重要的关注点。

为了保持原材料的供应，公司寻求替代的原料来源，以实现更好的生产过程灵活性。

总体而言，随着高质量润滑油需求的增长，API 第一类基础油的使用在减少。在美国，API 第二类基础油占主导地位，这些产品是以生产汽油为目的的炼油厂的衍生物。在亚洲，API 第三类基础油占主导地位，因为这些产品源自主要针对蒸馏产品的炼厂。在欧洲，API 第三类基础油在汽车市场占主导地位，这是由于设备制造商和市场规格的严格要求所致。

API 第四类和第五类基础油的使用在持续增长，以满足延长换油期和设备耐用性等方面更苛刻的规格需求。

4.3 汽车发展趋势

发动机和传动技术不断进步，主要受提升燃油经济性和减少排放等需求的驱动。许多国家/地区已经在落实燃油经济性和排放标准方面的限制，新车必须满足这些目标。

发动机制造商倾向于排量较小、使用增压进气系统的发动机——不论是涡轮增压还是机械增压，以提升车辆的功率密度和燃油经济性。尾气后处理设备的使用也在增加，以减少尾气排放。

自动变速器的使用日趋普遍，档位也在增加（6-、7- 和 8- 档变速）。手动变速器正在减少，被手自一体变速器 (AMT) 或全自动变速器所取代。双离合变速箱(DCT) 正在不断发展，主要用于欧洲车辆，这可帮助提升燃油效率，并推动混合动力车的发展。对于较小的车辆，无级变速器 (CVT) 正在普及。

同时使用传统发动机和电力驱动装置的混合动力车辆的数量开始逐步增长，这是为了满足日益严格的二氧化碳排放要求。在商用车方面，与乘用车相同，燃油经济性和减少排放的需求推动了发展。对于商用车，具有较低高温高剪切 (HTHS) 要求的低粘度油更为普遍。但是，对发动机稳定性和耐久性的需求意味着应采用较保守的方法来降低高温高剪切粘度。

通过越来越多地使用尾气后处理设备，例如柴油颗粒过滤器 (DPF)、选择性催化还原 (SCR) 和废气再循环 (EGR) 设备，对排放的控制不断增强。但是，发展中国家的许多车辆仍未安装尾气处理系统。

在商用车辆上，变速器的电子控制几乎已彻底取代了液压控制，提供了更好的换挡、动力输出和其它优势的集成。自动变速器具有更好的换挡性能，特别是在走走停停的过程中，因此也日趋流行。

在城市驾驶中，正在不断开发适合本地使用的混合动力和电动车，但仍是一个小众市场。

随着政府和城市推出税收、补贴或限制使用传统柴油机等鼓励措施，这些类型的动力设备将不断增长。

在许多国家/地区，政府强制要求运输行业使用生物燃料，以便支持地方农业和满足排放目标。但是，在使用高生物基成分含量的燃料时，发动机制造商和用户都报告过腐蚀、沉积物和过滤问题。

4.3.1 对润滑油和基础油的影响

对更好燃油经济性和更少温室气体 (GHG) 排放的需求，推动了车辆硬件和润滑油方面的技术变革。市场需要的是低粘度和低挥发性的基础油，以帮助达到更好的燃油经济性和排放目标，但在实际中这两个目标往往背道而驰。润滑油的粘度越低，低分子量成分的含量就越高，挥发性也就越高。对基础油的另一个挑战是，以较低的粘度提供更好的燃油经济性，但同时不得影响硬件的耐用性。这些需求一起限制了传统矿物油的使用，并推动了对更高质量基础油的需求，例如聚 α 烯烃和 API 第五类基础油。

此外，随着发动机体积不断缩小的趋势，以及涡轮增压、直喷式和废气再循环的使用日益增长，虽然润滑油箱的体积变小，但仍需在等同或更长的换油期内，保持相应的热氧化安定性。这要求润滑油具有更好的粘度指数、热稳定性和氧化安定性，同时在为处理颗粒而增加添加剂使用的同时，保持润滑油粘度。

此外，面向减轻车辆重量使用或开发的新材料，对于保持耐用性和发动机保护而言，润滑油与材料的持续相容性也很关键。

4.4 工业发展趋势

参考 *我们在能源展望：至 2040 年* 中的报告，在这段预测时期内，工业中的能源需求预计将增长 30%。但是，能源需求的增长速度要远低于经济增长的速度。能效在可维持全球的能源供应中发挥的作用日益增加，即使在经济发展对能源需求增加的形式下也是如此。能效还有助于减少温室气体排放。

工业中的一般趋势是设备规模减小，而完成的工作则增加，即每单位能耗实现更高的产能。对润滑油的压力因而随之增高，这包括较少的油量、更高的温度、更快的速度和/或更大的负载。

润滑油需要实现更长的换油周期。这些因素不仅有助于减少设备停机时间和提升工作效率，还可以降低废油量以及相关的处理成本。

虽然目前仅占一小部分整体能源结构，不过可再生能源领域将持续增长，全球风力发电机的安装数量大幅提升。



风机规模越来越大，而且安装在更偏远的地区，这些地方风力更稳定，可以提升负载系数。许多风机安装在近海区域，其可靠性对于控制维护成本至关重要。由于可能存在极端的负载情况，齿轮箱和轴承故障长久以来都是个问题。随着齿轮箱和轴承设计的改进，它需要与先进的润滑技术结合起来，以提升风机系统的整体可靠性。

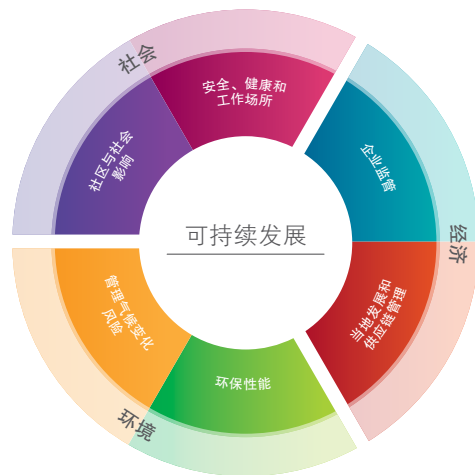
4.5 可持续发展趋势

对与环保相关问题的关注日益增加，促使消费者寻求“绿色”产品。随着一些国家/地区的政府法规强制要求，在车辆中可再生生物燃料的使用也在增长。从可生物降解或可再生基础油制造的润滑油也越来越常见。

在埃克森美孚化工，正如 ISO 14000 标准中规定的，我们在检测产品时应用关注环境的生命周期方法。做出明智的制造决策需要可靠的信息以及科学的方法。因此，我们在产品评估中支持使用生命周期评估 (LCA)。生命周期评估 (LCA) 识别和评估某个产品或工艺从原材料提取一直到最终处置和终结的潜在环境影响。这是广为人知的“从摇篮到坟墓”的方法。通过量化、然后比较产品或工艺的环境影响，使用生命周期评估结果可帮助我们在诸如产品开发、战略规划、营销和影响公共政策等方面做出科学的决策。

我们还注重对环境影响更低的高效制造工艺，以及可推动润滑行业中产品开发的创新技术。例如，创新的 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃 (mPAO) 具有高粘度指数和更好的剪切稳定性，非常适合解决风电行业中面临的润滑油难题，同时还能延长换油期。我们的大部分 Esterex™ 合成酯可降解或具备固有的生物可降解性（参见第 9.6 部分），适用于需要与环境接触的润滑配方。

埃克森美孚化工坚信减量化、再利用、再循环和再回收是可持续业务的重要方面。有关更多信息，请访问 www.exxonmobilchemical.com/sustainability。



ExxonMobil

5.0 汽车应用

动力, 与你同在



5.0 汽车应用

5.1 乘用车发动机油 应用和设备

大部分乘用车使用四冲程内燃机作为主要动力源。这些车辆通常使用汽油或柴油，不过也可以使用其它替代燃料，例如 LPG（液化石油气）、CNG（压缩天然气）、甲醇、乙醇或氢气。无论使用什么燃料，发动机的基本设计均大同小异，即通过活塞来提供动力，而活塞则由发动机汽缸中燃烧气体的膨胀来推动。活塞的运动通过齿轮箱推动车轮，齿轮箱会将发动机的速度与车轮的速度进行匹配。

随着功率密度和效率的提升，发动机日趋精密，所以机油对发动机工作部件的保护至关重要。

发动机润滑油的主要用途是提供一层完整的润滑油分子膜以防止金属间发生接触并减少发动机内部的摩擦。发动机的顶部的润滑通过油泵供油，而下半部分的润滑通过曲轴带动的飞溅润滑来完成。涡轮增压器和机械增压器通常用于提高小型内燃机的功率和效率。发动机油还需要润滑和冷却这些部件，这加大了机油的老化，因为涡轮增压器和机械增压器所产生的温度高于发动机。



润滑油要求

发动机油旨在提供以下关键功效：

- 减少摩擦并防止金属间的接触
- 带走热量和磨损颗粒
- 通过中和燃烧产物以减少腐蚀
- 保持发动机部件清洁
- 为汽缸提供有效密封，以尽可能减少窜气
- 帮助提高燃油经济性并减少排放

发动机油可以采用两种不同方式分类：

- 1) **粘度分类** — 通常根据 SAE J300 (参见附录 9.3.1) 来指定多级油
- 2) **性能规格标准** — 由 API (美国石油协会)、ILSAC、ACEA 或各原始设备制造商 (OEM) 定义，例如奔驰、宝马、通用、福特、大众等。

由于提升燃油经济性的要求，传统的 15W-40 多级油已逐步被低粘度牌号取代。大多数现代化的汽车使用 5W-30 牌号，而 0W 牌号则可用于进一步提升燃油效率。

由于发动机技术改进和排放法规对运行环境要求更为严苛，因此性能规格标准水平的苛刻程度不断提升。为了实现最优的发动机性能，这些硬件变化需要引入特定的润滑油。曲轴箱润滑油的性能要求收录在 API、ILSAC、ACEA、JAMA 和全球润滑油规格中。所有这些都满足了、或者正在开发以满足现代发动机硬件不断变化的润滑需求。

由于尾气后处理系统的存在，金属添加剂的添加量受到限制，而低 SAPS (硫酸盐灰分、磷和硫) 油日趋普及。在提供所需的性能和保护的同时，仍能够满足各种规格的限制，实现了微妙的平衡。



合成油的优点

与矿物油相比，在车用润滑油中使用合成基础油可提高抗磨保护，降低挥发性，并提供更好的热稳定性和氧化安定性。这些性能优势最终转化成比矿物油更长的换油周期以及潜在的燃油经济效益。

使用聚 α 烯烃基础油（例如 SpectraSyn™ 或 SpectraSyn Plus™ 聚 α 烯烃），可满足发动机油的最高性能标准要求。与矿物油基础油相比，这些合成基础油具有以下许多优点：

- 更好的氧化安定性和热稳定性，从而延长使用寿命
- 更好的挥发性，减少发动机油的排放量
- 更高的粘度指数可提供更好的保护和低温流动性
- 本身不含能促进腐蚀或酸性物质生成的污染物
- 更低的倾点改善了低温操作性

使用聚 α 烯烃基础油（例如 SpectraSyn™ 或 SpectraSyn Plus™ 聚 α 烯烃），可满足发动机油的最高性能标准要求。

此外，使用 Synesstic™ 烷基萘基础油或 Esterex™ 合成酯作为调配基础油可以提供以下优点：

- 密封件溶胀和添加剂增溶能力
- 更佳的润滑性
- 更好的清净性
- 更好的热稳定性和氧化安定性

配方数据

下页所述的发动机油配方建议基于埃克森美孚化工的 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃，旨在为各种发动机油等级提供一个基本指导原则。表中说明了发动机油的特许性能要求（即 API SN/ ILSAC GF-5、ACEA A1/B1、A5/B5），但与所用特定添加剂复合剂相关，应与添加剂供应商确认。它们符合 SAE J300 定义的主要物理特性，应当能够为润滑油配方设计师提供一个良好的起点。

表 5.1.A 采用SpectraSyn™ 聚 α 烯烃和 Esterex™ 酯调配的乘用车发动机油

成分	0W-20 (wt.%)	0W-30 (wt.%)	0W-40 (wt.%)	5W-30 (wt.%)	5W-40 (wt.%)	5W-50 (wt.%)	10W-60 (wt.%)	
性能水平	API SN	API SN	API SN	API SN	API SN	API SN	API SN	
SpectraSyn™ 4	16.6	28.7	34.1					
SpectraSyn™ 6	66.5	50.0	40.0	43.1	48.5	42.6		
SpectraSyn™ 8				39.8	28.5	31.5	71.3	
Esterex™ NP343	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Infineum DI	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	
Infineum VM	2.6	7.0	11.6	2.8	8.7	11.6	14.4	
Infineum ppd	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
运动粘度 (100°C) , cSt	ASTM D 445	8.6	10.8	14.0	10.5	14.3	17.3	22.8
运动粘度 (40°C) , cSt	ASTM D 445	47.2	58.9				103.8	
总碱值, mg KOH/g	ASTM D2896	8.5	8.5	8.4	8.3	7.8	8.4	8.4
高温高剪切 (150°C) , mPa-s	CEC L-36-A-90	2.8	3.1	3.6	3.2	3.8	4.2	5.1
MRV, cP @-30°C	ASTM D 4684							16,500
MRV, cP @-35°C	ASTM D 4684				12,000	15,900	19,200	
MRV, cP @-40°C	ASTM D 4684	13,400	15,400	17,600				
CCS, cP @-25°C	ASTM D 5293							5,334
CCS, cP @-30°C	ASTM D 5293				5,770	5,640	6,160	
CCS, cP @-35°C	ASTM D 5293	6,133	5,763	5,830				
Noack 挥发, wt.%	CEC L-40-A-93	8	9	10	6	7	7	6

数据来源：埃克森美孚数据

SpectraSyn Plus™ 3.6 聚 α 烯烃

SpectraSyn Plus™ 3.6 聚 α 烯烃是一种高性能 API 四类基础油，通过专有工艺制造。相比同样黏度的传统聚 α 烯烃，SpectraSyn Plus™ 3.6 聚 α 烯烃 提供了更好的 NOACK 挥发性能与更低的 CCS 黏度。凭借这种低挥发性与低温流动性的完美结合，配方设计师和润滑油调和师可以改进其润滑油的性能。

SpectraSyn Plus™ 3.6 聚 α 烯烃在顶级发动机油应用中，可发挥其低温性能和低挥发性优势，补偿三类或二类加基础油的性能，与其配合使用。SpectraSyn Plus™ 3.6 聚 α 烯烃还可用于调配其它需要优异挥发性和低温性能的领域，如高性能汽车、航空和军事用途润滑油。

Synesstic™ 烷基萘

Synesstic™ 烷基萘基础油是 API 第五类基础油，可用于取代全合成发动机油中的酯。使用 Synesstic™ 烷基萘可在大幅提升氧化安定性的同时，提供密封件溶胀和控制沉积物形成所需的溶解性，帮助改进发动机油的性能在氧化筛选测试中，使用 Synesstic™ 5 烷基萘调配的全合成聚 α 烯烃发动机油在氧化安定性方面表现出了极大的改进，在发动机测试中还能显著减少凸轮磨损。

表 5.1.B 采用 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃和 Synesstic™ 烷基萘调配的轿车发动机油

成分	5W-30 (Mass %)		5W-40 (Mass %)		
SpectraSyn™ 4	17.0				
SpectraSyn™ 6	53.0		45.0		
SpectraSyn™ 8			25.0		
Synesstic™ 5	10.0		10.0		
Infineum DDI*	11.5		11.5		
Infineum VM	8.5		8.5		
特性	规格		规格		
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	11.75	9.3 - <12.5	13.25	12.5 - <16.3
运动粘度 (40°C), cSt	ASTM D445	68.44		81.80	
粘度指数	ASTM 2270	168		164	
倾点, °C	ASTM D097	-45		-42	
CCS (最高 -30°C), cP	ASTM D5293	3,716	最大 6,600	5,324	最大 6,600
CCS (最高 -35°C), cP	ASTM D5293	6,596	最低 6,200	9,901	最低 6,200
MRV (最高 -35°C), cP	ASTM D4684	10,118	最大 60,000	14,658	最大 60,000
高温高剪切 (最低 150°C), cP	ASTM D4683	3.19	最低 2.9	3.55	最低 2.9

*添加剂复合剂符合 API SL/CF、ILSAC GF-3、ACEA A1-96 要求
来源：埃克森美孚数据

SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃

通过采用 SpectraSyn Elite™ 系列茂金属聚 α 烯烃 (mPAO) 可以进一步提升合成发动机油的性能，可提高粘度指数，在高温高剪切 (HTHS) 粘度方面的大幅提升可以带来更好的磨损保护。

在下例中，5W30 和 10W-30 全配方发动机油中分别添加了 2%、5% 和 8% 的 SpectraSyn Elite™ 150。在每种情况下，高温高剪切粘度都有大幅提升，同时成品油的特性仍能满足 SAE J300 粘度要求。在实际调配过程中采用这一方法，可在粘度指数改进剂的使用上进行一定优化。

表 5.1.C 使用 SpectraSyn Elite™ 150 提升高温高剪切 (HTHS) 性能

成分	测试方法	5W-30	5W-30 + 2% SpectraSyn Elite™ 150	5W-30 + 5% SpectraSyn Elite™ 150	规格	
CCS (-30°C), cP	ASTM D5293	4,145	4,418	4,935	<6,600	
MRV (-35°C), cP	ASTM D4684	13,205	14,049	15,252	<60,000	
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	10.55	10.93	11.54	>9.3 <12.5	
高温高剪切 (150°C), cP	ASTM D5481	3.053	3.163 (+3.6%)	3.322 (+8.8%)	>2.9	
成分	测试方法	10W-30	10W-30 + 2% SpectraSyn Elite™ 150	10W-30 + 5% SpectraSyn Elite™ 150	10W-30 + 8% SpectraSyn Elite™ 150	规格
CCS (-25°C), cP	ASTM D5293	4,294	4,554	5,060	5,612	<7,000
MRV (-30°C), cP	ASTM D4684	10,866	11,857	12,411	13,815	<60,000
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	10.37	10.80	11.52	12.29	>9.3 <12.5
高温高剪切 (150°C), cP	ASTM D5481	3.060	3.209 (+4.9%)	3.398 (+11.0%)	3.606 (+17.8%)	>2.9

来源：埃克森美孚数据

添加剂要求

发动机油配方的添加剂复合剂是经过精确筛选的各个组分的均衡组合，其添加量取决于润滑油的具体规格要求。另外配方中通常还需要粘度指数改进剂，具体添加量取决于目标粘度等级和基础油的特性。

发动机油配方中使用的典型添加剂类型：

- 清净剂和分散剂
- 抗凝剂
- 抗氧化剂
- 抗磨添加剂
- 抗腐蚀剂
- 防锈剂
- 金属钝化剂
- 粘度指数改进剂
- 消泡剂
- 摩擦改进剂



5.2 商用车发动机油

应用和设备

大部分商用车（例如卡车和巴士）均使用四冲程内燃机作为主要动力源。这些车辆通常使用柴油，不过也可以使用其它替代燃料，例如LPG（液化石油气）、CNG（压缩天然气）和乙醇。混合动力发动机技术将内燃机与电机结合起来，现在市场上也已有售。

无论使用什么燃料，发动机的基本设计均大同小异，即通过活塞来提供动力，而活塞则由发动机汽缸中燃烧气体的膨胀来推动。活塞的运动通过齿轮箱驱动车轮，齿轮箱将发动机的速度转换为车轮的速度。

随着功率密度和效率的提升，发动机日趋精密，所以机油对发动机工作部件的保护至关重要。

发动机润滑油的主要用途是提供一层完整的润滑油分子膜以防止金属间发生接触并减少发动机内部的摩擦。发动机的顶部的润滑通过油泵供油，而下半部分的润滑通过曲轴带动的飞溅润滑来完成。

涡轮增压器是常用组件，用于提升发动机的功率和效率。发动机油还需要润滑和冷却这些部件，这加速了机油的老化，因为涡轮增压器所产生的温度高于发动机。与乘用车的发动机油相比，商用车的机油必须具有显著提升的性能以最大限度发挥车辆的效率。这意味着更长的换油周期、更好的清净性和磨损保护，从而延长检修周期。

润滑油要求

发动机油旨在提供以下关键功效：

- 减少摩擦并防止金属间的接触
- 带走热量和磨损颗粒
- 通过中和燃烧产物以减少腐蚀
- 保持发动机部件清洁
- 为汽缸提供有效密封，以尽可能减少窜气
- 帮助提高燃油经济性并减少排放

车辆发动机油可以采用两种不同方式分类：

- 1) **粘度分类** — 通常根据 SAE J300 (参见附录 9.3.1) 来指定多级油
- 2) **性能规格标准** — 由 API、ACEA 或各原始设备制造商 (OEM) 定义，例如奔驰、沃尔沃、斯堪尼亚、马克、康明斯、曼等。

对于解决燃油成本和降低排放而言，提高燃油效率是一个关键因素。传统的 15W-40 多级油正逐步被低粘度牌号取代。大多数现代化的商用车现在使用 10W 牌号，而 5W 和 0W 牌号则可用于进一步提升燃油效率。转向低粘度机油最主要的问题是发动机的耐用性，在行驶 100 万英里 (160 万公里) 之前不应出现大型检修。

由于发动机技术改进和排放法规对运行环境要求更为严苛，因此性能规格标准水平的苛刻程度不断提升。曲轴箱润滑油的性能要求收录在 API、ACEA 和全球 OEM 润滑油规格中。所有这些规格都满足了、或者正在开发以满足现代发动机硬件不断变化的润滑需求以及立法规章对特定燃油效率目标的强制要求。

商用柴油发动机油比乘用车的换油周期要长得多。间隔约为 13,000 到 19,000 英里 (20,000 到 30,000 公里) 或更高。因此，强氧化安定性非常重要。与此同时，磨损保护和清净性对于发动机的耐用性也非常重要。

商用柴油发动机中具有更高的烟炱水平，可能会对机油的低温特性产生不利影响，因此需要更高的清净剂/分散剂水平来应对这一情况。对基于 API 第三类基础油的半合成或全合成油而言，可能需要提升聚 α 烯烃 (PAO) 的含量来满足低温性能的要求。

对于重载发动机油而言，另一问题是使用生物柴油，这种燃油可能会在发动机油中聚积。除了影响机油的粘度之外，生物柴油还可能导致氧化稳定性问题，这可能会加快油泥的形成和腐蚀现象。

为了减少尾气排放，现在的许多车辆利用尾气后处理设备，例如选择性催化还原 (SCR) 系统、废气再循环 (EGR) 和柴油颗粒过滤器 (DPF)。所有这些对机油要求都有影响。使用 SCR 时，其影响在于需要限制燃油中硫的含量和润滑油添加剂，以避免催化剂中毒。使用 EGR 时，其影响在于需要处理的烟炷增加及更高的发动机温度，而使用 DPF 的影响是润滑油燃油稀释。



合成油的优点

与矿物油相比，在车用润滑油中使用合成基础油可提高抗磨保护，降低挥发性，提高粘度指数，并提供更好的热稳定性和氧化安定性。这些性能优势最终转化成比矿物油更长的换油周期以及潜在的更高燃油效率。

使用聚 α 烯烃基础油（例如 SpectraSyn™ 或 SpectraSyn Plus™ 聚 α 烯烃），可满足发动机油的最高性能标准要求。与传统矿物基础油相比，这些合成基础油可提供众多性能优势，例如：

- 更佳的热氧化安定性，从而延长使用寿命
- 挥发性好，减少发动机油的排放量
- 更高的粘度指数可提供更好的保护和低温流动性
- 本身不含能促进腐蚀或酸性物质生成的污染物
- 更低的倾点提高了低温操作性

高粘度聚 α 烯烃还可用于大幅提升粘度指数 (VI)，并有可能增加油膜厚度。SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃在低添加量下即可大幅提升高温高剪切 (HTHS) 粘度（参见表 5.1.C）。此外，使用 Synesstic™ 烷基萘或 Esterex™ 合成酯作为调配基础油可以提供以下优点：

- 密封件溶胀和添加剂溶解能力
- 更高的润滑性
- 更好的清净性
- 更好的热稳定性和氧化安定性

配方数据

下页所述的发动机油配方建议基于埃克森美孚化工的 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃，旨在为开发全合成发动机油提供一个基本指导原则。表中说明了发动机油的特许性能要求，但与所用特定添加剂复合剂相关，应与添加剂供应商确认。它们符合 SAE J300 定义的主要物理特性，应当能够为润滑油配方设计师提供一个良好的起点。



表 5.2.A 采用 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃调配的全合成商用车发动机油

成分	SAE 5W-30 (wt.%)	
性能水平	ACEA E4-08 Issue 2 ACEA E7-8 Issue 2	
SpectraSyn™ 6	63.36	
Esterex™ NP343	5.00	
Infineum DI	19.90	
Infineum VM	11.74	
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D 445	12.4
运动粘度 (40°C), cSt	ASTM D 445	76.4
总碱值, mg KOH/g		16.4
高温高剪切 (150°C), mPa-s	ASTM D 4683	3.7
MRV, cP (-20°C)	ASTM D 4684	2,910
MRV, cP (-35°C)	ASTM D 4684	24,300
CCS, cP (-25°C)	ASTM D 5293	3,540
CCS, cP (-30°C)	ASTM D 5293	6,340
CCS, cP (-35°C)	ASTM D 5293	11,340
NOACK 挥发, wt.%	ASTM D 5800	8

来源: Infineum, 授权使用。

Synesstic™ 烷基萘

Synesstic™ 烷基萘是 API 第五类基础油，可用于取代全合成发动机油中的酯。使用 Synesstic™ 烷基萘可在大幅提升氧化安定性的同时，提供密封件溶胀和沉积物形成控制所需的溶解性，帮助改进发动机油的性能。

在氧化筛选测试中，使用 Synesstic™ 5 取代酯调配的全合成聚 α 烯烃发动机油在氧化安定性方面表现出了极大的改进，在发动机测试中还能显著减少凸轮磨损。在下列 Caterpillar 1-K 柴油机测试中，使用 III 类基础油调配的 CI-4 发动机油，通过添加 Synesstic™ 5 还有助于降低活塞沉积物和第一环槽充碳率。

表 5.2.B Synesstic™ 烷基萘的优点

用第三类基础油的 API CI-4 配方 Caterpillar 1-K 柴油发动机测试	无烷基萘	有烷基萘
Synesstic™ 5 重量百分比	0	20
WDK - (沉积物总加权评分)	500	385
TGF - (第一环槽充碳率)	19	12

来源：埃克森美孚数据

SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃

通过采用 SpectraSyn Elite™ 系列茂金属聚 α 烯烃可以提升粘度指数，并能够通过大幅提升高温高剪切 (HTHS) 粘度实现更好的磨损保护。(参见表 5.1.C)

添加剂要求

发动机油配方的添加剂复合剂是经过精选的各个组分的均衡组合，其添加量取决于润滑油的具体规格要求。另外配方中通常还需要粘度指数改进剂，具体添加量取决于目标粘度等级和基础油的特性。

发动机油配方中使用的典型添加剂类型：

- 清净剂和分散剂
- 抗氧化剂
- 抗腐蚀剂
- 金属钝化剂
- 抗磨添加剂
- 消泡剂
- 防锈剂
- 粘度指数改进剂
- 摩擦改进剂

表 5.2.C 采用 SpectraSyn Elite™ 调配的全合成发动机油

成分		5W30	5W30	5W30	5W30	5W30	5W30
SpectraSyn™ 6			59.60%	70.00%	63.40%	70.00%	74.00%
SpectraSyn™ 40			28.40%	--	--	--	--
SpectraSyn™ 100			--	18.00%	--	--	--
SpectraSyn Elite™ 65			--	--	24.60%	--	--
SpectraSyn Elite™ 150			--	--	--	18.00%	--
SpectraSyn Elite™ 300			--	--	--	--	14.00%
低/中灰分添加剂复合剂			12.00%	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%
规格							
运动黏度 (40°C), 厘斯	ASTM D445		64.04	62.21	60.75	60.78	58.33
运动黏度 (100°C), 厘斯	ASTM D445	9.3 – <12.5	10.5	10.5	10.4	10.6	10.6
粘度指数, ASTM D2270			153	160	160	165	173
倾点, °C	ASTM D97		-57	-60	-66	-60	-63
CCS (-30°C), 厘泊	ASTM D5293	<6,600	6,301	5,529	5,078	4,834	3,846
MRV (-35°C), 厘泊	ASTM D4684	<60,000	11,734	10,509	9,417	8,723	7,443
高温高剪切 (150°C), 厘泊	ASTM D5481	>2.9	3.2	3.3	3.2	3.4	3.4
Noack 挥发性 (250°C), 质量损失百分比	ASTM D5200		7.8	9.0	8.6	9.8	8.7

5.3 汽车传动油 应用和设备

汽车需要动力传送系统将发动机的动力传送至驱动轮。为了传送动力，动力系统通常有一系列其它组件，包括离合器机构、齿轮系统和差速器。

离合器机构。动力系统提供了离合器机构用于与传动装置分离，这样车辆可在发动机保持运行的时候停止。手动变速箱通常使用干片离合器，无需润滑。“湿”式离合器通常为多片设备，用于拖拉机或非道路车辆。在这些情况下，润滑油的摩擦特性非常重要，在确保离合器有效操作的同时还须润滑传动系统的其余部分。

最近开发出了双离合变速器(DCT)。实际上，DCT 是两个并行工作的传动装置。一个齿轮箱具有编号为奇数的齿轮，另一个则具有编号为偶数的齿轮。这使得换挡顺序中的下一个齿轮可以预先选中并准备好啮合。因此可获得更快和更平稳的换挡。大部分 DCT 使用湿式离合器，它可以应对高扭矩，具有良好的散热能力，不过在较小的型号上也有干式离合器设计。

齿轮系统。动力系统的齿轮系统用于将驱动轮的速度和扭矩需求与发动机转度相匹配，并提供了倒车的功能。齿轮系统有多种不同类型，但基本上可以分为四类：机械式、半自动式、自动式或液压力。

机械变速器有一系列齿轮，驾驶员可以在主动轴与从动轴之间采用不同的速度比。大部分机械式类型带有斜齿轮组，具有同步啮合装置，这是一种摩擦离合器，可以平稳地从一个齿轮啮合过渡到另一个齿轮啮合。

自动变速器通常通过液力变矩器驱动，这是一种简单的液压泵，其中的流体驱动涡轮。在低发动机速度下，产生的扭矩不足以驱动车辆，因此车辆可以在无需将发动机从动力系统上分离的情况下停止。齿轮箱本身通常是行星齿轮箱，可进一步放大扭矩，以及倒车和空档。行星齿轮非常紧凑，具有良好的承载能力。齿轮始终处于啮合中，通过与齿轮箱中的不同离合器和制动机构的锁止或解锁来实现不同变速比或方向。这些离合器和制动机构通过液压伺服机械来操作。司机选择驱动范围，控制系统从位于齿轮箱输出端的速度传感器获取信号，以控制齿轮自动在该范围内变化。最新的变速器

使用电子控制而非液压。半自动变速器结合了两种类型齿轮箱的优点，使得司机可以在自动模式下操作，或者手动换挡而无需操作离合器。

差速器。动力系统还提供有驱动轴，也称为差速器，使得在通过弯曲路线时两个轮子能够以不同速度行驶。驱动轴通常安装在后驱车上，将发动机和齿轮箱的动力转向 90° 到驱动轮上。齿轮通常为准双曲面齿轮，可在低噪音下实现良好承载，同时还使得传动轴可以与从动轴偏移开（提供车身下较低的驱动轴安装）。

差速器使得车辆在通过弯路时，根据需求，驱动车轮在不同速度下工作。差速器通常包括多个小型锥齿轮，彼此围绕旋转，用于平衡车轮之间的速度差。当车轮处与不同平面并具有不同摩擦力时，就会体现出差速器的一个毛病。低摩擦力表面会导致一个轮子打滑，增加旋转速度。出现这种情况时，系统会将所有动力传向此车轮，而另一个车轮会停止转动。为解决这一问题开发出了限滑差速器

(LSD) 或锁止差速器。这些差速器根据所用扭矩，使用特殊的离合器来对抗差动作用。这可以确保向具有最佳牵引力的车轮提供更多扭矩。此类差速器在运动车型或四驱越野车上更为普遍。

净液压式驱动通常用于拖拉机和建筑机械上。在这种类型的驱动中，发动机驱动变量液压泵，通过流体压力向液压马达提供动力，从而驱动车轮。这一系统的优点在于液压马达可以在不同方向上驱动，使得车辆可以原地旋转。液压系统还可用于提供其它功能，例如驱动液压臂或工具。

润滑油要求

动力系统中润滑油的主要功能是控制移动部件之间的摩擦 — 减少齿轮和轴承中的摩擦，同时为离合器和同步啮合装置提供合适程度的摩擦。传动油同时也可用作液压油，用于传输动力或提供控制功能。润滑油必须有良好的低温流动性，同时在操作温度下仍能保持良好的油膜厚度，因此需要高粘度指数。

在手动变速器中，通常推荐使用符合 API GL-4 或 GL-5 规格的多级油。在一些小型车中，使用自动变速器油 (ATF)。小型机械应用，例如小摩托车或园艺机械，可以使用半流体润滑脂来润滑变速器。

对于自动变速器，液力变矩器、离合器和齿轮使用同一种润滑油。自动变速器油通常为低粘度油，这有利于良好的动力传输效率和散热。摩擦特性必须与用于控制挡位选择的各种离合器和制动器材料相容。自动变速器一般在高温下操作，具有很高的机械剪切程度。润滑产品的通常要求包括良好的氧化安定性、低泡沫和良好的剪切稳定性。

主减速器和差速器通常需要高粘度产品，例如具有高 EP（极压）特性的 75W-140 来应对负载，特别是在商用车传动系统上。

对于液压驱动，系统本质上为高压液压系统，因此流体需要满足该类服务的要求。需要具备良好的氧化安定性、低泡沫和良好抗摩擦特性的高粘度指数产品。在较小的机械中，使用自动变速器油 (ATF)，而大型野外机械上则使用多用途拖拉机油，因为发动机油和液压驱动均在同一个系统中。

合成油的优点

在汽车齿轮中使用合成润滑油可能会带来许多好处，其中包括：

- 更好的低温特性
- 提高高温下的粘度值（高粘度指数）
- 提高热稳定性和氧化安定性
- 更低的挥发性
- 更好的溶解性
- 更高的效率

合成基础油可用于调配各种多级润滑油，如 75W-90 或 75W-140。这些粘度等级中的润滑油通常适用于工作温度范围较宽。

适当调配的聚 α 烯烃 (PAO) 齿轮油可改善低温性能、粘度以及热稳定性和氧化安定性。在聚 α 烯烃中添加一些 Esterex™ 合成酯或 Synesstic™ 烷基萘可以提高添加剂溶解性，并提升整个基础油系统的极性，这可以缓解常见的弹性体密封件的收缩和硬化倾向。与相应的矿物基础油相比，聚 α 烯烃与酯类基础油的倾点要低得多，这是由于后者具有特定的分子结构，并且不含矿物油中常见的石蜡。合成基础油的低倾点特性可确保配方设计师能够确保齿轮油的低温特性得到改善。

使用 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃可以增加粘度指数，并显著提升低温性能。

添加剂要求

成品齿轮润滑油通常由高品质的基础油以及 5% 至 10% 的添加剂组成，具体添加量取决于所需的性能特性。这些添加剂包括：

- 防锈剂
- 抗氧化剂
- 抗腐蚀剂
- 抗磨剂*
- 摩擦改性剂*
- 高分子分散剂*
- 消泡剂

* = 并非始终要求。视具体应用而定。

配方数据

以下配方提供了合适的起点，可用于开发全合成传动油。

表 5.3.A 75W-90 全合成齿轮油

配方	聚 α 烯烃配方	SpectraSyn Elite™ 150	SpectraSyn Elite™ 65	
SpectraSyn™ 6	40.0	41.4	27.5	
SpectraSyn™ 100	32.5			
SpectraSyn Elite™ 150		31.1		
SpectraSyn Elite™ 65			45.0	
Synesstic™ 5	20.0	20.0	20.0	
添加剂复合剂*	7.5	7.5	7.5	

特性	方法	SAE J2360 规格			
粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	15.8	15.5	15.5	13.5 - 24.0
粘度 (40°C), cSt	ASTM D445	111.6	102.3	106.7	
布氏粘度 (-40°C), cSt	ASTM D2983	83,882	55,288	64,486	最大 150,000
粘度指数	ASTM D2270	150	160	154	
闪点, °C	ASTM D92	198	198	198	
倾点, °C	ASTM D97	-48	-51	-54	
剪切稳定性	CEC L45-A-99				
运动粘度 (100°C, 20 hr)	ASTM D445	15.4	15.3	15.5	>13.5 cSt @100°C
运动粘度 (100°C, 100 hr)	ASTM D445	15.3	15.3	15.4	
运动粘度 (100°C, 192 hr)	ASTM D445	15.3	14.9	15.5	
氧化安定性 (192 hr, 160°C)	CEC L-48-A(B)				
运动粘度 (100°C) 增加	ASTM D445	6.3	4.3	2.6	
TAN 总酸值增加	ASTM D664	1.9	-0.1	-1.3	

* 添加剂复合剂符合 API MT-1、API GL-5、MIL PRF-2105E、Mack GO-J 的要求
来源：埃克森美孚数据

表 5.3.B 75W-140 全合成齿轮油

	配方	聚 α 烯烃配方	mPAO formulation	
	SpectraSyn™ 6	19.0	2.3	
	SpectraSyn™ 100	53.5		
	SpectraSyn Elite™ 65		70.2	
	Esterex™ A32	20	20	
	Additive package*	7.5	7.5	
特性	方法			SAE J2360 规格
粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	24.5	24.4	24.0 – 41.0
粘度 (40°C), cSt	ASTM D445	175.7	166.2	
布氏粘度 (-40°C), cSt	ASTM D2983	136,000	88,781	最大 150,000
粘度指数	ASTM D2270	171	179	
闪点, °C	ASTM D92	198	194	
倾点, °C	ASTM D97	-54	-60	
剪切稳定性	CEC L45-A-99			
运动粘度 (100°C, 20 hr)	ASTM D445	24.5	24.2	>24.0 cSt @100°C
运动粘度 (100°C, 100 hr)	ASTM D445	24.2	24.4	
运动粘度 (100°C, 192 hr)	ASTM D445	24.4	24.5	
氧化安定性 (192 hr, 160°C)	CEC L-48-A(B)			
运动粘度 (100°C) 增加	ASTM D445	13.2	4.9	
TAN 总酸值增加	ASTM D664	3.78	0.19	

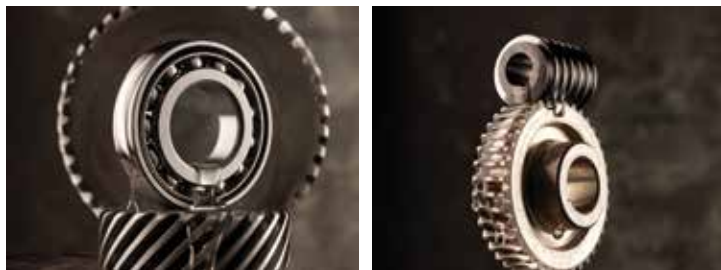
*添加剂复合剂符合 API MT-1、API GL-5、MIL PRF-2105E、Mack GO 的要求
来源：埃克森美孚数据

表 5.3.C 全合成自动变速器油

传动类型		行星齿轮自动变速器	
API/ACC 性能水平		Dexron® IIIH & Allison TES-295	
配方		质量百分比	
Infineum DI		16.0	
SpectraSyn™ 4		79.0	
SpectraSyn™ 6		5.0	
分析检查	测试方法	结果	Dexron IIIH 限制
100°C 下粘度, cSt	ASTM D445	6.8	报告
-40°C 下布氏粘度, mPa·s	ASTM D2983	4,780	最大 20,000

来源: Infineum, 授权使用。

注意 — 用于比较目的, 矿物油基 Dexron® IIIH ATF 在 -40°C 下的布氏粘度约为 18,000 cP



5.4 小型发动机润滑油

小型发动机具有广泛的应用, 其中包括舷外发动机、摩托车、小型摩托车、雪地车以及各种草坪和园艺设备 (如链锯、线式割草机和吹雪机)。

小型发动机通常以汽油为原料, 采用二冲程, 可以在较轻的重量下提供良好的功率密度。

在不太注重重量的车辆应用方面, 发动机通常为四冲程。优点是四冲程发动机具有较低的尾气排放, 可以满足日趋严格的排放目标或法规。

对于二冲程发动机, 润滑油通过与燃料预混或由注油系统添加到发动机中。对于预混燃料与发动机油系统, 产品制造商手册会建议燃料和发动机油比例。根据发动机的速度, 这一比例可在 16:1 到 50:1 之间变动。发动机汽缸中的燃油蒸发会在汽缸壁上沉积油, 从而提供润滑。随着燃油的燃烧, 更多燃料会不断进入汽缸, 替换这些燃油。这种“一次性润滑系统”带来的结果是, 二冲程发动机的排放要更高一些。因此, 传统二冲程发动机越来越多地被缸内直喷二冲程发动机或更高效的四冲程发动机取代。

四冲程发动机有油箱，发动机油通过它在发动机中反复循环以提供润滑。无须有意将燃料和发动机油混合，因此这些发动机的排放要低于传动的二冲程发动机。小型四冲程发动机通常用于为摩托车、发电机、舷外发动机、个人水上运动工具以及割草机等提供动力。

润滑油要求

小型发动机较小的体积、较低的油量以及更高的速度和功率密度意味着发动机润滑的性能要求不同于乘用车。

许多小型发动机采用空冷，因此温度比水冷发动机要高。这意味着要求润滑油具有高温稳定性和良好的抗磨保护。

在许多现代摩托车中，动力通过多片式离合器传递到车轮，通过发动机油进行冷却。这意味着传统发动机油不适用于摩托车应用，因为为了实现更好燃油经济性而使用的摩擦改进剂会妨碍离合器的操作。与此类似，发动机油还要润滑摩托车齿轮箱，这里有极高的速度和负载。这意味着润滑油同时还要具有抗腐蚀和剪切保护能力。

因此，现代四冲程引擎的润滑油必须经过精心调配，用于平衡燃油经济性、离合器摩擦与齿轮箱保护之间的冲突。

二冲程发动机油需要以下特性：

- 在低温下运行时良好的流动性（例如雪地车）
- 与汽油的可混合性
- 高油膜强度，用于防止空冷发动机的活塞擦伤；
- 清洁燃烧，以消除沉积物、排放和烟雾。这种清洁性对于防止积碳至关重要，积碳会导致活塞环卡住和火花塞积碳

根据不同的添加剂化学成分，二冲程发动机油分为两种类型：

低灰：用于 NMMA TC-W3™ 舷外发动机油以及某些雪地车和个人水上运动工具。此规格需要添加剂复合剂，用于减少燃烧室沉积物的积聚，这种积聚可能会导致提前点火。

无灰：用于 NMMA TC-W3® 舷外发动机油以及某些雪地车和个人水上运动工具。此规格需要添加剂复合剂，用于减少燃烧室沉积物的积聚，这种积聚可能会导致提前点火。

由于日本在生产二冲程发动机方面处于领先地位，这一规格通常由日本标准化组织 (JASO) 设立。大多数制造商的最低要求是满足 JASO FC 认证。在美国起主导作用的是 API TC 服务指令，而在欧洲，原始设备制造商已实施了比 JASO FC 更清洁的 ISO EGD 规格。

对于美国的水上运动工具，美国船舶制造商协会 (NMMA) 修改了称为 TC-W3® 的 API TC 规格，旨在减少水污染。

摩托车上的四冲程发动机在比汽车更恶劣的条件下运行：

- 多数为空冷，导致了较高的操作温度
- 功率密度更高（例如，每升 200 马力，对比每升 100 马力）
- 在更高的最大速度下运行（例如，15,000 rpm 相比 6,000 rpm）
- 它们的油箱较小（例如，1.0 到 1.25 升相比 3.5 - 4.0 升）
- 由于油在发动机齿轮箱和离合器之间通用，因此必须很好地控制摩擦特性

虽然各个 OEM 都有自己内部的发动机测试，但对四冲程发动机有两个主要行业规范：

- **JASO 4T 摩托车规范** — 主要关注摩擦性能，其中 JASO MA1 和 MA2 分类定义了不同的摩擦性能水平。JASO MB 分类用于使用无级变速器 (CVT) 的摩托。
- NMMA FC-W® 标准针对汽油燃料的船舶。

合成油的优点

合成润滑油的卓越品质可为小型发动机提供最大限度保护和卓越的性能。此外，合成基础油的优异低温特性还非常适合雪地车和吹雪机的低温需求。

聚 α 烯烃 (PAO) 还提供了卓越的高温稳定性，从而提供了稳定的性能和优秀的润滑油品质。

合成酯或烷基萘与合适的添加剂复合剂结合在一起，加上聚 α 烯烃，可在所有润滑区域带来润滑性能的提高，同时提供优秀的抗磨性能，尤其是对于高升程凸轮轴以及其它重载气门机构组件。合成润滑油优良的低温流动性使其即使在极端寒冷的冬季条件下也能保护阀动装置，并能改进冷启动性能。

二冲程发动机运转时温度较高，而合成发动机油会为其提供最大限度保护。活塞在高温下膨胀，活塞与缸壁之间的间隙将会减小。这会增加发动机的摩擦并可能刮伤活塞，并会最终导致功率下降和/或发动机卡咬现象。薄膜边界润滑状态下合成基础油优秀的润滑保护特性可以分隔活塞与汽缸壁，提供优秀的发动机性能。在这些应用中使用 Synesstic™ 12 烷基萘已取得良好的结果。

在二冲程应用的合成油配方中，酯更常用，可以提供高黏度以及高黏度指数、良好的低温流动性、生物降解性（参见第 9.6 部分）和润滑性。

在一些环境敏感地区，相关法律或客户可能会要求在链锯、雪地车或舷外发动机中使用可生物降解的发动机油。Esterex™ NP451 易于生物降解的特性（参见第 9.6 部分）使其成为这些应用中的二冲程发动机油的理想选择。

Synesstic™ 烷基萘基础油在 JASO 发动机测试中也表现出了良好的润滑性，并且具备内在的生物可降解性（参见第 9.6 部分）。

四冲程发动机所用合成油通常基于聚 α 烯烃/酯，并且最近开始采用聚 α 烯烃/烷基萘组合。与基于矿物油的润滑油相比，它们可提供多种性能优势。在发动机油中使用聚 α 烯烃可降低摩擦和磨损，从而提高功率和性能。

配方数据 二冲程发动机油

下面显示了一个典型的合成酯类二冲程发动机油配方。添加剂之所以范围较大，是因为配方涵盖了二冲程发动机油（低灰和无灰）以及不同的质量级别。

成分	添加量	功能
溶剂	10-20%	机油与燃料的可混合性，低温流动性
聚异丁烯	0-30%	减少烟尘和润滑性
酯	40-85%	一般润滑并向金属表面提供添加剂系统
添加剂	3-20%	抗磨性能和清净性

合成二冲程 JASO FD/API TC 油

JASO FC/API TC 油	添加量
Infineum 添加剂复合剂	2.25% (API TC), 2.5% (JASO FD)*
溶剂	25%
聚异丁烯	25%
Esterex™ NP343 或 NP451	48.5 - 48.75%

*来源：Infineum，授权使用

表 5.4.A 使用 Synesstic 烷基萘的合成两冲程机油

配方	质量百分比			
	Infineum 添加剂复合剂 (符合 JASO FD、ISO-L-EGD、API-TC 要求)	40.0	40.0	40.0
Infineum 降凝剂	0.3	0.3	0.3	
Exxsol™ D80 (溶剂)	23.0	18.7	19.0	
Synesstic™ 5	--	41.0	32.8	
Synesstic™ 12	36.7		8.2	
JASO 发动机测试结果				JASO FD 限制
润滑性指数	111*	91	96	≥95
扭矩指数	99	100	100	≥98
烟雾指数	106	†	†	≥85

* 平均值 105 和 116

† 预计通过

来源: 埃克森美孚数据

添加剂要求

二冲程发动机油添加剂包括清净剂、分散剂、润滑成分与流动性改进剂, 还可能包含防锈剂和抗腐蚀剂以及燃料稳定剂, 具体添加剂配方取决于发动机油的类型。

四冲程发动机油

以下机油为使用 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃的, 代表性四冲程合成小型发动机油配方。它满足 JASO T903 MA2 规格, 设计用于使用湿式离合器的摩托车。此类配方中使用的粘度指数改进剂必须具有非常高的剪切稳定性。



添加剂要求

小型发动机四冲程添加剂包含

- 抗磨剂
- 清净剂
- 分散剂
- 抗氧化剂
- 防锈剂和腐蚀抑制剂。



表 5.4.B 全合成四冲程小型发动机油（符合 Meets API SL、JASO T903 MA2 要求）

配方	5W-40 (weight %)
Infineum DI 复合剂	8.0
Infineum 粘度 指数改进剂	10.0
SpectraSyn™ 6	82.0

测试	测试方法	结果	极限
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	14.6	最低 12.5, <16.3
CCS (-30°C), cP	ASTM D5293	3,920	最大 6,600
MRV (-35°C), cP	ASTM D4684	23,300	最大 60,000
高温高剪切 (150°C), cP	JPI-5S-36	3.7	最低 2.9
JASO 摩擦	JASO T904 MA2		
动态摩擦特性指数, DFI		1.90	≥1.80 且 <2.50
静态摩擦特性指数, SFI		1.95	≥1.70 且 <2.50
停止时间指数, STI		1.82	≥1.90 且 <2.50

来源: Infineum, 授权使用。

6.0 其它发动机应用

动力, 与你同在



gettyimages

Adie Bush

6.0 其它发动机应用

6.1 船用和工业柴油发动机 应用和设备

船用和工业发动机主要为柴油发动机，其大小从小型卡车柴油发动机一直到有史以来最大的柴油发动机，后者的大小超过了一般的两层楼房。

以下信息主要参考船用发动机，但也适用于工业发动机，因为这些发动机经常安装在陆地上用于发电机的驱动系统。

船用发动机可以分为二冲程和四冲程类型。

二冲程发动机

在大型船舶中，例如货柜船，主推进发动机最常见的类型为二冲程发动机。它们通常直接与船只的螺旋桨连接，因此在较低的速度下运行 (50–200 rpm)。由于巨大的体积，这些发动机通常采用十字头设计，以便减少连杆的大小。通过此设计，活塞连杆在汽缸中垂直

运动，连接到十字头轴承，这是一个垂直的滑动轴承。然后，使用短连杆连接曲轴。这种设计的优点之一是，可以从曲轴箱处密封汽缸，防止发动机中常用的燃料残渣在曲轴箱中造成污染。另一个优点是，发动机的上半部分可以采用与曲轴不同的机油来润滑。

注入到汽缸中的汽缸油采用一次性润滑法通过系统，汽缸油在汽缸中燃烧。由于这类发动机需要大量的润滑油，全合成油不够经济高效，通常不会用作汽缸润滑油。

发动机的其余部分，包括曲轴箱轴承和十字头轴承，使用系统油润滑，离心净化器会连续处理这些油以消除污染物。因此，在常规使用中，系统油一般会具有较长的寿命。

这些发动机的涡轮增压器非常大，通常具有自己的润滑系统，由于高温的原因，一般使用全合成油（例如，合成压缩机油）。



四冲程发动机

四冲程发动机可分为中速和高速发动机。中速发动机运行的速度范围在 200–800 rpm 之间。这种发动机通常成组安装，构成一个多发动机系统，为渡轮、邮轮和其它轮船提供推进动力。这些发动机也可用于驱动发电机，在使用二冲程发动机作为主发动机的大型船只中也有应用。它们通常依靠残渣燃料运行，使用 SAE 30 或 40 单级润滑油。

高速发动机与商用车发动机类似，运行在 1,000–5,000 rpm 的速度范围内，通常用于港口船、渡轮、巡逻船、渔船和其它船只。它们

使用馏分油为燃料，并使用多级润滑油。主要考量因素是稳定性，尤其是在高速渡轮市场中，这就使得合成发动机油可以成功用于这一领域。

润滑油要求

二冲程发动机：注入到汽缸中用于润滑活塞环和汽缸衬垫的汽缸油通常为高碱度的 SAE 50 粘度油：总碱值 (TBN) 40–70，具体取决于残渣燃料含硫量。系统油通常为 SAE 30 粘度油，碱度低 (5 TBN)。

四冲程发动机：对于中速四冲程发动机而言，发动机油通常为高碱度的 SAE 30 或 SAE 40 单级发动机油，具体取决于所用燃油类型（例如，含硫水平）。在过去，总碱值 30 或 40 非常常见，但是许多发动机在使用汽缸环刀之后（用于清除活塞顶部积碳），油耗降低，减少了机油补加量。因此，发动机油槽存油的总碱值保持量降低，为了确保安全水平，在一些情况下发动机油的初始总碱值上升到 50。

高速四冲程发动机使用馏分油为燃料运行，润滑需求与商用车辆非常相似。唯一的主要区别在于仍经常使用单级发动机油。

合成油的优点

通常，由于二冲程发动机的一次性润滑操作，船用二冲程发动机汽缸润滑油中不使用合成基础油。油的燃烧会抵销合成油带来的优点。

对于系统油，使用 Synesstic™ 烷基萘可以大幅提升氧化安定性，同时为燃油燃烧提供一定程度的溶解性。

对于使用残渣燃料的中速发动机，大需求量和燃油污染导致使用全合成润滑油的经济性欠佳。同样，使用 Synesstic™ 烷基萘可以大幅提升氧化安定性，同时为燃油污染提供一定程度的溶解性。

对于使用馏分油为燃料的高速发动机，使用全合成发动机油有诸多优点，与矿物油相比可提高抗磨保护，降低挥发性，提高粘度指数，并提供更好的热氧化安定性。这些改进的特性可带来更长的换油周期以及更高的燃油效率。

聚 α 烯烃基础油（例如™ 或 SpectraSyn Plus™ 聚 α 烯烃）可与矿物油（部分合成配方）、Esterex™ 合成酯或 Synesstic™ 烷基萘结合使用。合成酯和烷基萘是非常有用的基础油，可以提供溶解性、密封件溶胀性能和润滑性。

配方数据

有关可用于高速船用油应用的部分商用发动机油配方，请参见第 5.2 部分。

6.2 铁路 应用和设备

由于空间限制，铁路柴油发动机具有非常高的额定功率，以便通过小型发动机实现高功率输出。由于冷却水系统较小，发动机比一般情况要热。此外，长时间空转以及突然的速度/负载变化，使得机车应用面临着非常苛刻的条件。

二冲程和四冲程发动机均有应用，并使用馏分油运行，不过现在也开始逐渐使用生物基柴油共混物。

美国机车维修保养工作人员协会 (LMOA) 针对机车柴油发动机润滑油提出了分类系统。当前的分类为第 5 代（同时还必须满足 API CD），旨在提供更长的换油期，不过换油周期高度依赖于机车的工作周期。

此分类系统为行业指南，发动机生产商通常在现场评估之后才会批准润滑油，然后公布是否遵从 LMOA 要求。美国的两大生产商为 GE（通用电气）和 EMD（美国易安迪公司）。

润滑油要求

常用润滑油为 SAE 30 或 SAE 40 单级发动机油，碱度为总碱值 9 到 17。一家特种发动机生产商 (EMD) 提供了镀银轴承，这些发动机中使用的机油不能含锌和氯，以防止腐蚀。在提升燃油效率方面，多级发动机油更为普遍。

合成油的优点

由于高额定功率以及恶劣的操作条件，合成基础油组合，例如聚 α 烯烃/酯或聚 α 烯烃/烷基萘相比矿物油具有以下优势：

- 更佳的氧化安定性和热稳定性，可以实现较少沉积物的配方
- 低粘度和酸度增长，提供了更长的换油周期
- 低挥发性，减少油耗和油品变稠
- 更高的粘度指数，可在更广泛的温度范围内使用

6.3 燃气发动机油

应用和设备

虽然许多人相信燃气发动机是近代的发明，实际上它源自蒸汽发动机，在年代上早于柴油发动机。现在，先进的燃气发动机广泛用于各种应用。

最常见的燃气发动机类型为火花点火，使用火花塞来点燃燃料与空气的压缩混合气，这与乘用车发动机类似。比较少见的类型为双燃料和柴油-燃气发动机。



燃气发动机可以使用各种气体燃料运行，燃料是燃气发动机一个很重要的参数。液体燃料具有明确的燃料类型规格，燃料质量的变化相对较小。而采用气体燃料，其成分会不断变化，特别是在使用生物基或化学工艺的燃气时。即使使用天然气，也可能出现“尖峰”（添加丙烷或丁烷以提高热值）。这在燃气发动机运行时会导致重大的风险，诸如爆震并可能爆炸。

以下是最常见的燃气来源：

天然气：天然气的主要成分为甲烷（约 88%），同时具有较低浓度的其它烃类和污染物，例如硫和氮。硫含量较低（<10 ppm 硫化氢）的天然气称为低硫气，硫含量较高的气体（最高 7% 硫化氢）称为含硫气。

液化石油气 (LPG) 和压缩天然气 (CNG)：液化石油气和压缩天然气是汽车和机动车发动机应用中最常见的燃料。液化石油气发热量比天然气更高，还具备液体燃料便携性的优点。

沼气（垃圾填埋或污水处理池）：将家庭垃圾倾倒入垃圾填埋场时，垃圾会降解并生成甲烷气。这种气体收集起来可用于发电。气体中的微量污染可能导致严重的问题。最容易导致问题的是硫化氢 (H₂S)、卤代化合物（基于氯、氟和其它）以及气态硅化合物（称为硅氧烷）。这些污染物可能会在燃烧过程中发生反应，在燃气发动机中生成腐蚀性的酸或磨损性的沉积物。

沼气通过污泥、农业垃圾或废弃蔬菜的生物降解得到。生成的甲烷可用于驱动发动机，与热电联产模式别无二致，产生的热量将回馈到降解过程中，以促进细菌活性。

工业废气：化学工艺也会产生废气，这些废气可用于燃气发动机。加上垃圾填埋和沼气，这些燃料特性和污染物各不相同，会影响发动机的整体性能，通常对润滑油的寿命会产生不利影响。

煤气：煤气主要成分为甲烷，从煤矿床中释放。它也可通过蒸馏或在密闭容器中干馏碳得到，例如炼焦炉。

水煤气：这个术语指的是以热方法转换固体废物过程中生产的气体。通过热解工艺，气化炉可以得到残留最少的优质气体。大部分有机产品可用作原料，但适合转换加工的常见废品为塑料、汽车轮胎、动物粪便、包装和木头。

大部分燃气发动机用于热电联产工厂，燃气发动机推动发电机运转，通过从发动机和尾气中回收热量能够进一步补充产生电力。这些系统可以实现 80% 甚至更高的效率。

燃气发动机的另一种常见应用是传统发电，通常用于对热量没有需求的偏远地区垃圾填埋场。燃气发动机还可用于机械驱动应用，例如泵或压缩机驱动。对于输气应用，使用大型二冲程发动机来驱动压缩机，在部分设计中，压缩机与发动机集成。

出于环保考虑，气体发动机在车辆中的应用也日趋普及。对现代化车辆的需求，以及负载和速度的不同，对润滑油性能提出了额外的要求。在不同国家/地区，气体发动机的应用非常广泛，具体情况很大程度上取决于政府法规和举措。

润滑油要求

与大部分内燃机润滑油一样，气体发动机润滑油必须承担一系列任务，主要用于分隔移动表面和减少摩擦。这一部分主要与粘度相关，虽然抗磨添加剂也可用于在边界润滑中提供保护，例如凸轮和活塞环。润滑油必须保持发动机清洁，防止沉积物形成而导致的活塞环卡死、缸套磨损和其它问题。它还必须能够通过形成保护性油膜或者中和酸性成分来提供腐蚀保护。最后，润滑油还必须帮助带走发动机的热量。

由于没有 API 或 ACEA 这样的国际标准来定义燃气发动机润滑油，所以可供选择的主要标准来自各发动机制造商，通常根据粘度、总碱值 (TBN) 和硫酸灰分等级制定。

由于较高的操作温度和不断增长的汽缸压力，SAE 40 油适用于在轴承表面之间保持足够的油膜。最近的趋势是检验 SAE 30- 和 SAE 20- 牌号的油能否提高能效。

成品审批通常基于发动机现场测试的结果。

合成油的优点

燃气发动机相比乘用车发动机，其运行温度和负载都要高。与矿物基础油相比，使用合成基础油进行润滑可带来以下众多优点：

- 更佳的氧化安定性和热稳定性，可以实现较少沉积物的配方
- 更低粘度和酸值增加，提供了更长的换油周期
- 更低挥发性，减少油耗和油品变稠
- 更高的粘度指数，可在更广泛的温度范围内使用

配方数据

针对低、中和高灰分配置的不同发动机和燃气应用，下面表 6.3.A 提供了合适的全合成气体发动机油配方示例。



表 6.3.A 全合成燃气发动机油

配方		低灰分产品 (weight%)	中灰分产品 (weight%)	高灰分产品 (weight%)
SpectraSyn™ 6		60.2	59.5	58.4
SpectraSyn™ 40		30	30	30
Infineum 添加剂复合剂*		9.8	9.7	9.7
Infineum 高碱性清净剂			0.8	1.9
特性	测试方法			
SAE 编号		40	40	40
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	12.7	13.0	13.4
运动粘度 (40°C), cSt	ASTM D445	93.0	95.1	98.8
粘度指数	ASTM D2270	133	134	135
总碱值	ASTM D2896	5.72	8.38	12.44
硫酸灰分	ASTM D874	0.46	0.78	1.27

成品润滑油特性采用基础油和添加剂复合剂的典型值计算。

*Infineum复合剂旨在用作使用天然气、垃圾填埋气和沼气的气体发动机的润滑油。此复合剂同时满足 API CF 性能要求。
来源: Infineum, 授权使用。

Synesstic™ 烷基萘

Synesstic™ 烷基萘基础油是 API 第五类基础油，可用于帮助改进聚 α 烯烃发动机油的性能。Synesstic™ 烷基萘可以大幅提升氧化安定性，同时提供密封件溶胀和沉积物形成控制所需的溶解性。

在抗氧化性能筛选测试中，使用 Synesstic™ 5 取代合成酯调配的全合成聚 α 烯烃乘用车发动机油在氧化安定性方面表现出了极大的改进，在发动机测试中还能显著减少凸轮磨损。

SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃

使用 SpectraSyn Elite™ 系列高粘度茂金属聚 α 烯烃可以进一步改进合成发动机油的性能。SpectraSyn Elite™ 可以改进粘度指数，并能大幅提升高温高剪切 (HTHS) 粘度，从而提高抗磨保护（参见表 5.1.C 和 5.2.C）。

添加剂要求

发动机油配方的添加剂复合剂是经过精确均衡的各个组分的组合，其添加量取决于润滑油的具体规格要求。

燃气发动机油配方中使用的典型添加剂类型：

- 清净剂和分散剂
- 抗氧化剂
- 抗腐蚀剂
- 消泡剂
- 防锈剂

ExxonMobil

7.0 工业应用

动力, 与你同在



7.0 工业应用

7.1 压缩机油 应用和设备

压缩机用于为各行业的许多不同种类的气体增压。为压缩机选择润滑油时，需考虑被压缩的气体类型，因为气体和润滑油之间可能发生反应并对润滑油产生不利影响。

迄今为止，空气压缩机是所有气体压缩机中最常见的。其为气动工具 and 控制系统提供压缩空气。烃类气体的压缩经常用于加工行业中，而天然气的压缩则作为大规模气体输送系统的一部分。制冷剂气体压缩机也是一种重要应用。

压缩机可分为两大类型：容积式压缩机和动力压缩机。

容积式压缩机。容积式压缩机可进一步分为旋转式和往复式。两种类型均移动固定量的气体。例如，当旋转螺杆转动时，其移动固定量的气体，而当活塞移动时，其在每个冲程排出固定量的气体。旋转压缩机可以是螺杆、旋片或凸轮类型，而往复式压缩机通常是活塞类型。不同类型的压缩机对润滑油有不同的要求。

旋转式压缩机可以是干型或湿型（用油冷却的）。对于干型而言，定子内部的转子在没有润滑油的情况下运行，并且有限的冷却和密封导致其限于单级压缩。此类机器的润滑油不暴露在气体中，因此通常可使用通用的循环润滑油。用油冷却的机器将油喷射入定子以提供冷却、密封和润滑。对于这些类型，油在出口处与气体分离，并不断进行回收再利用。

对于往复式压缩机，可从相同的系统润滑气缸和曲轴箱，或从单独系统润滑气缸。除一些小型压缩机采用飞溅润滑外，气缸的润滑一般通过向气缸或吸气阀喷射油来完成。油将随气体流出压缩机，然后在排气管道中汇集。对于飞溅润滑，喷入气缸的油通过安装在活塞上的刮环从气缸衬垫上刮去。刮环可控制气缸上部和阀的油量供应。

轴承通过压缩机底部油箱中的油进行润滑。虽然飞溅润滑可用于较小的机器，但通常使用强制润滑系统，此系统中，泵在压力作用下将油输送到不同的润滑零件。

动力式压缩机。动力压缩机通过使用叶轮提升动能，从而产生压力；这与风扇吹动空气十分类似。此类压缩机是离心式或轴流式。和以上干型压缩机相同，此类机器的润滑油通常不暴露于气体，因此可使用循环型润滑油。

螺杆压缩机是一种可靠的机器，正逐步取代行业传统机器——往复式压缩机。正如其它行业的设备一样，压缩机行业也正在设计和生产具有较高功率尺寸比的较小型紧凑型设备。

由于苛刻的条件和对于较长换油周期的需要，空气压缩机普遍使用合成润滑油。为了解决行业中出现的品质差异问题，压缩机 OEM（原始设备制造商）正日益要求在保修期内使用自己的油。

润滑油要求

气体压缩机的润滑油要求总结如下：

- 与压缩气体良好的相容性
- 适合压缩机类型的正确粘度
- 良好的耐氧化和耐积碳形成性
- 更高的闪点/燃点和自燃点
- 良好的分水性（抗乳化性）
- 良好的耐磨性和腐蚀保护
- 良好的低温性能及清净性（便携式设备）

迄今为止，许多润滑问题都与往复式（活塞式）压缩机和旋转螺杆式或旋片式压缩机遇到的苛刻操作条件相关。事实上，用油冷却的螺杆式压缩机可能遇到任何润滑油可能遇到的最苛刻条件：高油温、热油与高温空气的充分混合、高压表面接触和水凝结。这意味着基础油

的品质对于空压机润滑油非常重要，在可能的情况下推荐使用具有低挥发性和低积炭生成倾向的窄馏分基础油。高工作温度（120°C 至 260°C）要求矿物油的换油周期在 500 至 1,000 小时范围内。使用合成液可将旋转式压缩机的换油周期提高到 8,000 小时，并且可为往复式压缩机提供良好的排气阀清洁性。合成润滑油的较高成本可通过延长换油周期、减少维护成本以及减少设备停机时间得到补偿。

一般而言，建议在旋转式压缩机和往复式压缩机中使用基于聚 α 烯烃 (PAO) 和酯的润滑油。烷基萘可与矿物油或聚 α 烯烃共同使用，以提高润滑油的性能。

建议在旋转式压缩机中使用 ISO VG 32、46 和 68 粘度等级，在往复式压缩机中使用 ISO VG 100 和 150 粘度等级。

加工行业中使用的大型动力压缩机经常在较低压力、很高流速的条件下运行。此类机器使用的润滑油通常是防锈和抗氧化的轴承循环油或汽轮机油，ISO 粘度等级为 32 至 68。通常油不与气体接触。偶尔，

密封件会从主油系统润滑，润滑油在返回主油系统前流到排气箱。这可能成为污染源。

以油润滑的压缩机为源头的压缩空气系统可能会有起火和爆炸的危险。使用时，来自压缩机的润滑油可能会流入排气系统，在此处覆盖管道表面并在系统中汇集。较轻的部分将蒸发并流经整个系统，直到重新凝结为油（通常在储气室）。较重的成分，在管道中的高温空气和氧化铁的氧化状况下将生成碳沉积物。在氧气和温度的综合影响下，这些沉积物在受热条件下可能很不稳定，并可能自燃。如果周围环境中合适的油蒸汽和氧气混合比例，甚至可能发生爆炸。

1963 年发生在原西德 Belecke 的严重爆炸事故导致 19 人死亡。从那时开始，对空气压缩机润滑油的要求变得愈发严格。^[1]

德国安全与技术监督组织 TÜV 为“安全油”的要求作了定义（请参阅以下关于安全的部分），这些要求被纳入了 DIN 规格 51506。此规格允许使用三种基于排气温度的油。

DIN 51506 类别	排气温度
VB 或 VB-L	<140°C
VC 或 VC-L	140°C 至 160°C
VD-L	160°C 至 220°C

L = 含有添加剂的油

参考资料:^[1]Safety Aspects for selection and testing of air compressor lubricants, Hans W. Thoenes, Rheinisch-Westfälischer Technischer Überwachungs-Verein e.V., Essen Germany.

可应用的其它规格如下:

- DIN 51524 HLP
- GM LJ
- SAE MS-1003-2



合成油的优点

合成基础油较高的热稳定性、氧化安定性和化学稳定性可防止润滑油在压缩机严苛的条件下分解。这有助于延长换油周期和过滤器/分离器寿命，从而提高生产效率。

合成基础油具有较高闪点、燃点和自燃点的物理属性可提高操作安全性，而低挥发性有助于减少油耗、油品变稠和沉积物形成。

聚 α 烯烃普遍用于旋转式压缩机润滑油。与矿物油良好的相容性使其成为润滑油升级的简便选择。全合成聚 α 烯烃润滑油提供非常好的氧化安定性、极佳的低温流动性以及高温下增强的油膜厚度。

对于可能与食品偶有接触的润滑油，埃克森美孚化工的所有 SpectraSyn™、SpectraSyn Plus™ 聚 α 烯烃和 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃基础油均符合技术性白矿物油 21 CFR 178.3620(b) 的 FDA 规格，并在 NSF “白皮书” 中（分类码 H1 下）列为与食品偶然接触的润滑油。因此，它可用于生产 NSF H1 压缩机油。

Esterex™ 合成酯的高极性特征可为空气压缩机润滑提供良好的清洁性。经常用于往复式压缩机，对于此类压缩机，低积碳形成趋势和提高的溶解性可减少或防止排气阀上的沉积物形成。由于其消除了点火源，因此可提高操作安全性，并延长了环、气缸和阀的使用寿命。在旋转式压缩机应用中，酯类润滑油提供天然去污力，不生成难溶的漆膜或高聚物。其具有卓越的氧化安定性和热稳定性，并提供良好的润滑和抗磨保护。

酯类配方抗水解作用一般，对于油和空气充分混合的旋转式压缩机尤为如此。聚 α 烯烃/烷基萘可在苛刻应用中提供更好的方案。

烷基萘 (AN) 具有高度稳定性，与其它基础油混合后可为整体氧化安定性提供协同促进作用。与酯相同，其可提供良好的沉积物溶解力和油泥控制，但与大多合成酯不同的是，它具有优异的水解安定性。

埃克森美孚化工的 Synesstic™ 烷基萘基础油也列入了 NSF “白皮书” 中的分类码 H1 和 HX-1（与食品偶然接触的润滑油或润滑油成分）。

合成基础油更好的润滑性或更低的牵引特性有助于减少摩擦并节省能量。例如，如果将气体压缩机的矿物油更改为相等粘度的合成润滑油，可减少 16% 的能量使用^[2]。通常使用齿轮传动的动力压缩机具有大尺寸和高速的特征，聚 α 烯烃的低牵引系数有助于减少内部能量损失并降低油温。

配方数据

酯类压缩机润滑油

以下基础油比率建议用于不同粘度等级的酯类压缩机润滑油的配方。这些比率混合了适当的添加剂成分，组合的物理属性如下所示。这些组合可作为酯类压缩机油配方的指南。

参考资料:^[2] “How Mobil synthetic lubricants can deliver measurable, long-term energy savings to industrial customers” ExxonMobil Lubricants Benefit Report.

表 7.1.A 酯类压缩机油

ISO 粘度等级 (配方)		32 (wt.%)	46 (wt.%)	68 (wt.%)	100 (wt.%)
Esterex™ A51		83.5	53.1	19.7	-
Esterex™ P81		14.7	45.2	78.6	80.6
Esterex™ TM111		-	-	-	17.7
添加剂复合剂*		1.8	1.8	1.8	1.8
运动粘度 (40°C)	ASTM D445	32.7	47.5	70.7	103.2
运动粘度 (100°C)	ASTM D445	5.7	6.6	7.8	9.8
粘度指数	ASTM D2270	105	76	48	62
闪点 COC, °C	ASTM D92	252	254	272	274
倾点, °C	ASTM D97	-45	-42	-39	-33

* 抗氧化剂和腐蚀抑制剂的组合

数据来源: 埃克森美孚数据

添加剂要求

其它典型的合成酯压缩机油配方可包含总量为 1% 至 6% 的以下类型添加剂, 其余部分为表 7.1.A 所示的基础油, 具体比例取决于粘度等级:

- 抗磨剂
- 消泡剂
- 防锈剂和/或腐蚀抑制剂
- 抗氧化剂
- 金属钝化剂
- 破乳剂
- 分散剂[†]

[†]并非始终要求。视具体应用而定。



聚 α 烯烃型压缩机润滑油

所有基于聚 α 烯烃的合成空气压缩机润滑油必须含有适当的添加剂才能提供卓越的性能，并且通常要求使用更具极性的基础油成分（合成酯或烷基萘）以增强添加剂的溶解性和密封件相容性。

在旋转式应用中，聚 α 烯烃型润滑油在各种温度下均可提供卓越的热氧化安定性，并能提高防水性和抗腐蚀性。这对于两类压缩机应用特别有效：采用喷油冷却且具有高最终压缩温度的压缩机，和易产生漆膜和其它系统沉积物的压缩机。聚 α 烯烃型润滑油的换油周期远远长于矿物油。聚 α 烯烃型润滑油卓越的水解稳定性在潮湿环境中尤为重要。

在往复式压缩机应用中，聚 α 烯烃型润滑油用在具有较高排气温度的地方。选择适当的聚 α 烯烃型润滑油可实现较低的挥发性和较低的积碳形成趋势，从而实现压缩机操作环境的清洁性。聚 α 烯烃型润滑油的另一个优点是其可与使用矿物油的老式机器中的弹性体和涂料相容。将 Synesstic™ 烷基萘和聚 α 烯烃配合使用可获得更好的热稳定性和氧化安定性。

在所有应用中，这些润滑油具有较宽的工作温度范围和优良的低温属性。

添加剂要求

典型的聚 α 烯烃型压缩机油配方可含有总量为 0.5% 至 6% 的以下添加剂，其余部分为表 7.1.B 所示的基础油，具体比例取决于粘度等级：

- 抗磨剂
- 防锈剂
- 抗氧化剂
- 消泡剂
- 防锈剂和/或腐蚀抑制剂
- 金属钝化剂
- 破乳剂
- 分散剂*

*并非始终要求。视具体应用而定。

表 7.1 B 聚 α 烯烃/酯类压缩机油 (仅基础油)

ISO 粘度等级 (配方)		32 (wt.%)	46 (wt.%)	68 (wt.%)	100 (wt.%)	150 (wt.%)
SpectraSyn™ 6		84	74	63	53	42
SpectraSyn™ 100		1	11	22	32	43
Esterex™ A51		15	15	15	15	15
特性	测试方法					
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	5.9	7.9	11.1	15	21
运动粘度 (40°C), cSt	ASTM D445	30.5	44.1	67.3	99	151.2
粘度指数	ASTM D2270	140	153	158	159	163
比重 (15.6°C)	ASTM D4052	0.833	0.841	0.844	0.847	0.850
闪点, °C	ASTM D92	236	241	243	253	253
燃点, °C	ASTM D92	269	273	277	277	281
倾点, °C	ASTM D97	-58	-56	-54	-51	-48

数据来源: 埃克森美孚数据

含烷基萘的压缩机油

在空气压缩机润滑剂中, Synesstic™ 烷基萘可取代酯以提高水解稳定性。在使用 API II 类和 III 类矿物油的配方中, 可通过加入 Synesstic™ 烷基萘来提高抗氧化性以及重新引入一定程度的溶解力来增强其性能。

表 7.1.C 显示使用 Synesstic™ 烷基萘的 API III 类油是如何符合现代高性能压缩机油规格的。



表 7.1.C 采用烷基萘和 API III类基础油调和的压缩机油

依据 SAE M1003-2 压缩机规格的性能

粘度等级		ISO VG 32 (wt%)	ISO VG 46 (wt%)		
Petro-Canada VHVI 4		41.1	7.3		
Petro-Canada VHVI 8		41.5	74.8		
HiTEC® 7389 多功能稠化剂		0.5	1.0		
HiTEC® 5200 压缩机油添加剂 (包含 15% 的 Synesstic™ 5)		16.9	16.9		
特性	测试方法	ISO VG 32	ISO VG 46	极限	
运动粘度 (40°C), cSt	ASTM D445	32.7	43.9	ISO VG +/- 10%	
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	6.0	7.3		
粘度指数	IP226	133	130		
倾点, °C	ASTM D97	-42	-39	<-20	
闪点 COC, °C	ASTM D92	232 (>210)	241 (>230)	括号中显示	
总酸值, mgKOH/g	ASTM D974	0.4	0.4	<0.6	
灰分, %	ASTM D 874	<0.05	<0.05		
康氏残炭, %	ASTM D189	0.03	0.05		
空气释放性, min	IP313	1.5	2.5		
TOST, hr	ASTM D943	7,269	6,250	>4,000	
破乳化作用, 至 40-40-0 的时间, min	D1401	4.5	4.8	<30	
破乳化作用	油中水, %	0.1	0.15	<1	
	总游离油, ml	D2711	88.2	87	>60
	乳化层, ml		0.1	0.1	<2
泡沫	程序 1, ml		0/0	<50/0	
	程序 2, ml	ASTM D 892	20/0	0/0	<50/0
	程序 3, ml		10/0	0/0	<50/0
铜片腐蚀, 3 hr (100°C)	ASTM D 130	1b	1b	1b	
液相锈蚀	ASTM D665 B	通过	通过	通过	
RPVOT, min	IP229	1,885	1,956		
CCMA 改性	TAN 变化, mgKOH/g		-0.15	<0.15	
	粘度变化, %		1.5	1.7	<5
	油泥, mg/100 ml		16.2	19.9	<25
	铜棒等级		5	5	≤5
	铜重量损失, mg		3.5	4	≤10
	钢棒等级		1	1	最大 1
FZG (A/8.3ms-1/90°C)	ASTM D5182	12 失败	11 失败	≥11 失败	
四球磨损, ASTM D 4172, mm (40kg/1200rpm/60mins/75°C)	ASTM D 4172	0.34	0.39	≤0.4	

在 III 类基础油中, HiTEC® 5200 压缩机油添加剂符合以下要求: DIN 51506 VDL; DIN51524 HLP; GM LJ; SAE M1003-2 数据由 Afton Chemical Corporation 提供并经过其许可使用。(来源: HiTEC® 5200 压缩机油添加剂技术报告。) 测试结果为典型值, 不应视为标准值。

冷冻机油

冷冻和空调系统遵循蒸发原理。即利用在低温下沸腾的液体，例如，在大气压下 -33°C 时沸腾的氨。为了使制冷剂蒸发，需要从周围区域获取热能，从而降低其温度。选择制冷剂气体的关键特性之一是其沸点及与期望的较冷温度的相关性。

制冷剂压缩机是系统的组成部分，其吸入来自蒸发器（即冷藏室或冷冻室）的较热制冷剂气体。随后气体受到压缩，温度和沸点升高。高温气体随后流经冷凝器（冷却器），此冷凝器去除热量，将气体的温度降到其沸点以下，并将气体还原到高压液体。此液体流经膨胀阀，膨胀阀将压力降低以匹配压缩机的吸入压力。因为此时液体的温度高于其沸点（在较低的压力下），这立即引起制冷剂的一些闪蒸。蒸发所需的热量来自液体本身，因此制冷剂液体的总体温度下降。气体和冷液体的混合物从膨胀阀流经热交换器（蒸发器）。在此时，剩余的液体制冷剂蒸发，带走周围的热量。气体重新进入压缩机，再次开始循环。

与空气压缩机相同，冷冻压缩机可以是往复式、旋转螺杆式或动力离心式。与空气压缩机润滑油类似，适用于制冷剂压缩机的润滑油必须可润滑内部零件，可作为去除热量的冷却剂以及旋转型压缩机的密封剂。

因为制冷循环是全封闭的，因此润滑油必须具有与制冷剂气体良好的相容性。通常，一些油将从压缩机混入制冷剂气体。需要将润滑油从气体中分离，然后使其回流到压缩机。否则，压缩机中的油位将下降，可能导致故障。在冷冻机内您将不会见到传统压缩机中的“油耗”和“补加”。油位完全依靠从冷冻回路回流到压缩机的油。因此，油必须与气体完全分离或完全混合，从而在其流经系统时，不会涂覆和堵塞膨胀阀或涂覆热交换器内侧，降低其热传递效率。

冷冻系统中的水会导致严重问题，例如冻结以及与制冷剂气体发生化学反应，这可能导致沉积或腐蚀。使用聚烷基二醇 (PAG) 和多元醇酯时需要非常小心，因为它们是吸湿的。

随着冷冻和空调系统的广泛使用，行业正面临着提高能源效率的压力。据估计，在美国，一栋现代化建筑物中 15% 的总能耗来自冷冻和空调系统^[3]。正如许多其它类型的设备，制冷系统中的润滑油在减少摩擦和能耗方面起着关键作用。



参考资料^[3] "Lubricants for Sustainable Cooling"， Peter Gibb、Steven Randles、 - Michael Millington 和 Andrew Whittaker， Uniqema Lubricants。

润滑油要求

用于冷冻压缩机的润滑油需具有以下特点：

- 与使用的制冷剂气体有良好的化学相容性
- 低倾点可保持系统低温侧的流动性
- 低絮凝点（蜡状材料从氟里昂 12/油混合物中分离的温度。絮凝点定义这种油可达到的最低温度）
- 良好的粘度保持性能，可在混合制冷剂气体后保持油膜厚度
- 高粘度指数，可在压缩机的低温吸入侧提供良好的流动性，同时在压缩机排气处保持良好的油膜保护
- 低挥发性可减少压缩机排气处的油蒸发
- 低泡沫倾向有助于释放溶解的制冷剂气体
- 良好的热稳定性可防止压缩机排气处形成沉积

典型的油粘度覆盖从针对往复式机器的 ISO VG 10 一直到针对螺杆式压缩机的 ISO VG 220 的范围。此趋势正向节能的低粘度等级发展。

许多矿物压缩机油是基于环烷基的基础油，具有天然的低倾点和低絮凝点。也可使用石蜡油，但需要对其进行深度脱蜡。

使用烃类气体时，需要非常小心。由于与烃类气体不可混合，因此 PAG 是此应用的首选基础油。如果使用矿物、聚 α 烯烃或烷基苯 (AB) 润滑油，气体混合性会导致粘度稀释、起泡和高携油量。需要使用高于标准值的粘度等级。

表 7.1.D 制冷剂的基础油选择

基础油类型	与制冷剂气体类型相容	备注
矿物油—环烷基	<ul style="list-style-type: none"> • 氢氟氯化物 (HCFC)* • 氨 • 碳氢化合物 (HC) 	<ul style="list-style-type: none"> • 天然低倾点 • 低絮凝点 • 不与氨或 CO₂ 混溶
矿物油—石蜡基	<ul style="list-style-type: none"> • HCFC* • 氨 • 碳氢化合物 (HC) 	<ul style="list-style-type: none"> • 需要深度脱蜡 • 不与氨或 CO₂ 混溶
聚 α 烯烃 (PAO)	<ul style="list-style-type: none"> • HCFC* • 氨 • 二氧化碳 (CO₂) • 碳氢化合物 (HC) 	<ul style="list-style-type: none"> • 天然低倾点 • 低絮凝点 • 不与氨或 CO₂ 混溶
多元醇酯 (POE)	<ul style="list-style-type: none"> • 氢氟烃 (HFC) • CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • HFC 气体的默认产品 • 与 CO₂ 的良好混合性
烷基苯 (AB)	<ul style="list-style-type: none"> • HCFC* • 氨 • 碳氢化合物 (HC) 	<ul style="list-style-type: none"> • 不与氨或 CO₂ 混溶
聚二醇 (PAG)	<ul style="list-style-type: none"> • HCFC* • HFC • 碳氢化合物 (HC) 	<ul style="list-style-type: none"> • 经常用于空调系统 • 与氨混合 • 与 CO₂ 的混合性有限 • HC 气体的首选选项

*由于 HCFC 气体可能导致全球变暖，因此正逐渐被淘汰。

合成油的优点

合成基础油（如烷基苯、聚 α 烯烃、酯和聚乙二醇）均已用于制冷剂应用。与矿物基础油相比，这些液体可提供更好的热稳定性以及更低的倾点、低泡沫和絮凝点。不同化学成分的选择可实现最佳的溶解性，从而提高效率和可靠性。

不含蜡的聚 α 烯烃型润滑油具有显著的优点。低倾点使其在低温下保持液态。其它还具有非常高的粘度指数，可在高温下实现增强的抗磨保护。由于具有这些属性，聚 α 烯烃型润滑油可为轴承、气缸和活塞环提供良好的抗磨保护。

由于聚 α 烯烃型润滑油具有与矿物油类似的化学特性，因此通常可与矿物油所采用的密封件和涂料相容。

在螺杆式压缩机中，聚 α 烯烃较低的牵引系数也可实现节能。聚 α 烯烃与烷基苯混合后，可在氨系统中良好工作，如果使用 Synesstic™ 烷基萘基础油也可达到同样的性能。

Synesstic™ 烷基萘基础油属于烷基芳香烃，它和烷基苯相似，可用于类似的制冷剂应用。但是，目前没有数据支持它的此类应用。

多元醇酯是现代许多氢氟烃 (HFC) 制冷剂气体压缩机润滑油基础油的默认选择。由于其会与氨产生化学反应，因此应避免在这些系统中使用。

表 7.1.E 基于聚 α 烯烃的制冷剂润滑油配方（仅基础油，wt.%）

配方	ISO VG 15	ISO VG 22	ISO VG 32	ISO VG 46	ISO VG 68	ISO VG 100	ISO VG 150	ISO VG 220
SpectraSyn™ 2	18							
SpectraSyn™ 4	82	70						
SpectraSyn™ 6		30	100		69	54	38	23
SpectraSyn™ 8				100				
SpectraSyn™ 40					31	46	62	77

添加剂要求

典型聚 α 烯烃型冷冻润滑油可能含有 0.1% 至 2.0% 的以下添加剂，其余部分为表 7.1.E 所示的基础油，具体比例取决于粘度等级。

- 抗磨剂
- 抗氧化剂
- 消泡剂

7.2 液压油

应用和设备

液压系统转换并控制机械作业，用于以灵活和受控制的方式传递和施加较大的力。典型的液压系统除液压油外还包括：

- 用于将机械能转换为液压能的泵
- 用于在压力下输送液压液的管道
- 将液压液的液压能转换为机械作业的设备，例如执行器或液压马达
- 一个控制电路，带有控制流量、压力、运动方向和所施加应力的阀门
- 可在液压油返回系统之前通过过滤器分离任何水或杂质的储液罐

液压泵可视为液压系统的核心，而液压油则是设备的血液。液压油良好的磨损控制对于泵的效率至关重要。磨损会造成内部滑移或泄露，从而降低泵的输出功效，并导致功率损失和工作温度升高。

液压系统既包括简单的执行器系统，也包括可实现设备快速精确控制的复杂控制系统。

在一些情况下，防火性是促使企业的大型部门采用特殊的由合成基础油制成的非矿物油液压油的主要因素。液压油向热区的意外泄露已经引发过火灾。现在人们已经知道，高压液压软管的破裂或穿孔可将液压油以微量油雾形式喷射到十二米以外的地方，这种由矿物油组成的油雾具有高易燃性。

在全球，可生物降解的液压油也变得越来越重要。这种趋势起源于欧洲；但是，大西洋两岸的法律正在积极推广这些类型的液压液的配方。与此同时，对高性能等级的需求依然没有改变。

液压泵变得更小，并可在更高的压力和温度下运行，而系统变得更加小型化，循环所需的油也更少。两种趋势都对润滑油提出了更高的要求。使用具有极细微空隙的复杂控制阀意味着清洁要求非常关键。因此，良好的过滤性（特别是在有水存在的情况下）是非常重要的。带有细微空隙的伺服控制阀也受到漆膜堆积产生的粘结的影响，因此氧化安定性和良好的溶解性是非常重要的。这对于使用高品质基础油提高氧化安定性的油配方而言具有特别的意义。这些基础油通常具有较低的芳烃含量，因此将烷基萘或合成酯与这些基础油搭配使用对于提供溶解性是非常有效的。

随着能量效率的重要性逐渐增长，对高粘度指数液压液的需求日益增加。

虽然液压油有许多不同的规格，但 DIN 和 ISO 规格为液压油的最低属性提供了基准，这具体取决于其应用。（另请参见第 66 页的“液压油规格”）。

DIN 和 ISO 规格基于传统的实验室测试，此外，对于特定类型的液压液，还需要进行机械测试（例如 FZG 或 Vickers V104 C 叶片泵

测试）。这反映了行业要求的性能等级，但并不保证长期使用中的液压性能。

不同的设备制造商也拥有液压油批准规格，这些规格通常基于 DIN 规格，但包括在其特定设备上的测试（例如 Vickers、Bosch Rexroth、Sauer-Danfoss、Poclain Hydraulics、MAG）。同时符合主要制造商规格的有 Denison（HF1、HF2 或 HFO）。

润滑油要求

卓越的抗磨保护对于液压液至关重要。所调配的润滑油还必须能够抗压缩，并在所有工作温度下均能够保持良好的流动性。它还必须能够提供足够的密封件相容性，能够抗腐蚀，并且在再循环之前能够在储液罐中轻松与水 and 杂质分离。

通过有效过滤保持液压液的清洁性是可靠运行的关键——污染和无效过滤是大多数液压系统故障的原因（多达 90%）。^[1]因此，过滤测试是液压液性能要求的必要部分，在有水存在的情况下尤为如此。

参考资料：^[1] “Contamination: hydraulic system enemy #1,” Machine design.com, 2001 年 9 月 13 日

密封件长期相容性对于防止液压系统中许多密封件受损是非常重要的，并且 OEM 规格的要求正变得越来越严格。对于多等级或高粘度指数液压油，剪切稳定性对于防止使用中润滑油减稀是必要的，因为随之而来的粘度降低可能导致过度泄露和液压泵无法保持压力。

对植物油极端温度性能的担忧使得人们对合成酯的兴趣增加。需要较高性能的液压油，并且设备制造商正制定其自己的规格。

液压油分类

ISO 11158 定义了传统液压油（如 ISO L-HH、HL、HM、HR、HV 和 HG 类型）的关键要求。

传统：

- ISO-HH：未加抗氧剂的精炼矿物油，适用于非关键性应用
- ISO-HL：具有抗氧防锈属性的 HH 类型油，适用于不需要抗磨添加剂的非关键性应用（例如，低负荷叶片泵）
- ISO-HM：具有抗磨添加剂的 HL 类型油，通常是使用最广泛的液压油类型，通常用于各种类型设备的大量应用

- ISO-HV：高粘度指数 HM 类型油适用于冷启动条件主导的应用（例如，移动式筑路、海洋、户外要求、寒冷气候地区等）
- 注：HM 和 HV 类型组成了最重要且最广泛使用的类别。除了列出的类别还有其它类别（如 HR、HS、HG）。
- ISO 12922 定义了耐火液压油（如 ISO L-HFAE、HFAS、HFB、HFC、HFDR 和 HFDU 类型）的关键要求。

耐火：

- ISO-HFAE：水包油乳化液
- ISO-HFAS：化学水溶液
- ISO-HFB：油包水乳化液
- ISO-HFC：水/甘油醇/聚乙二醇溶液
- ISO-HFDR：合成磷酸酯
- ISO-HFDS：合成氯化化合物
- ISO-HFDT：HFDR 和 HFDS 液的混合物
- ISO-HFDU：HFDR/ST 类型外的合成液

ISO 15380 定义了环保液压油（如 ISO L-HETG、HEPG、HEES 和 HEPR 类型）的关键要求。

Parker（以前称作 Denison）HF 1：

- 用于抗氧防锈的非抗磨液压油

Parker HF 2:

- 用于抗磨液压油
- (仅)通过叶片泵测试
- 标准实验室测试 (例如, 泡沫测试、防锈测试、TOST 氧化安定性、水解稳定性、过滤性、苯胺点)
- Parker T6 叶片泵

Parker HFO:

- 抗磨液压油
- 通过叶片和柱塞泵测试
- 标准实验室测试
- Parker Hybrid T6H20C 叶片和柱塞泵测试
- 已定义正式的批准程序
- Denison HFO 要求比 DIN 51524 更严格



合成油的优点

一般而言, 聚 α 烯烃 (PAO)、烷基萘 (AN) 和合成酯可用于配制合成或半合成液压油。所有合成液压油应使用适当添加剂以提供卓越的性能。聚 α 烯烃型产品通常需要添加烷基萘或酯以提高添加剂的溶解性和密封件相容性。

聚 α 烯烃和 AN/酯类合成液压油具有更强的耐热和抗氧化能力, 在工作中更加清洁, 并适用于更广泛的工作领域和应用。虽然合成油的初期成本较高, 但将其用于苛刻的氧化或高温环境, 或其低温优点可维持可靠运行的情况下, 可延长润滑油使用寿命, 从而抵消其较高的初期成本。

通过使用合适的抗磨液压油复合剂, 聚 α 烯烃和 AN/酯调配的液压油可推荐用于高压或低压下运转的使用齿轮泵、柱塞泵或叶片泵的系统。

此类润滑油的高粘度指数和无蜡组成, 确保其支持大范围的工作温度。

配方数据

以下表 7.2 基础油配方揭示了调配各种粘度等级的液压液的灵活性。使用 SpectraSyn Elite™ 聚 α 烯烃可提供额外的抗磨保护。聚 α 烯

烃/烷基萘和聚 α 烯烃/酯配方均提供高性能产品，这些产品受益于烷基萘或酯类基础油较高的氧化安定性和热稳定性。但是，Synesstic™ 烷基萘和酯两者之中，更建议使用前者以避免发生水解问题。

表 7.2 聚 α 烯烃/酯和聚 α 烯烃/烷基萘型液压油配方推荐的基础油（重量百分比）

ISO 粘度等级 基础油组合		32		46		68	
		PAO/酯	PAO/烷基萘	PAO/酯	PAO/烷基萘	PAO/酯	PAO/烷基萘
SpectraSyn™ 6		74.2	77.2				
SpectraSyn™ 8				72.2	76.2	54.2	58.2
SpectraSyn™ 40		5	2	7	3	25	21
Esterex™ NP343		20		20		20	
Synesstic™ 5			20		20		20
添加剂复合剂*		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
特性		测试方法					
运动粘度 (100°C), cSt	ASTM D445	6.2	6.0	8.0	7.6	10.7	10.2
运动粘度 (40°C), cSt	ASTM D445	32.0	32.0	45.8	45.3	67.3	67.1
粘度指数	ASTM D2270	146	134	145	134	148	138
密度 (15.6°C), g/cm ³		0.851	0.844	0.855	0.848	0.859	0.851
闪点, °C	ASTM D92	250	238	260	242	254	242
倾点, °C	ASTM D5950	-54	-48	-51	-48	-51	-48
颜色	ASTM D1500	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6

*符合 DIN 51524 的第 2 和第 3 部分 (HLP、HVLP) 以及许多其他规格的多功能添加剂复合剂。

表 7.2 (续) 聚 α 烯烃/酯和聚 α 烯烃/烷基萘型液压油
配方推荐的基础油 (重量百分比)

仅针对 ISO VG 46 的额外数据		PAO/酯	PAO/烷基萘
RPVOT, min	ASTM D2272	352	396
空气释放 (50°C), min	ASTM D3427	1.9	2.6
破乳化性, ml (min)	ASTM D1401	40/40/0 (15)	40/40/40 (15)
泡沫特性, ml (程序 I、II、III) *	ASTM D892	0/0, 0/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0
100°C 下铜腐蚀, 3 hr	ASTM D130	1a	1a
液相锈蚀, 24 hr	ASTM D665	通过	通过
水解稳定性	ASTM D2619		
酸值变化, mg KOH/g		0.15	-0.14
水相的总酸度, mg KOH/g		4.4	3.6
铜片的重量改变, mg/cm ²		0.0	0.0
铜片外观		3B	3B
四球磨斑, mm	ASTM D4172	0.35	0.33
密封件相容性, SRE-NBR, 100°C 下, 168 hr	ASTM D471 modified		
体积变化, %		7.7	6.2
硬度变化, 点		-5	-3
拉伸强度变化, %		-7.7	-9.2
伸长率变化, %		-11.1	-9.8

*采用 0.01% 消泡剂

数据来源: 埃克森美孚数据

添加剂要求

典型的液压油配方可能含有总量为 0.5% 至 6% 的以下添加剂，其余部分为表 7.2 所示的基础油，具体比例取决于粘度等级。

- 抗磨剂
- 消泡剂
- 防锈剂和/或腐蚀抑制剂
- 抗氧化剂
- 破乳剂
- 极压剂，摩擦改性剂[†]

[†]可选；视具体应用而定。

可生物降解的基础油

Esterex™ 合成酯系列包括满足生物降解分类的精选牌号。

Esterex 等级	运动粘度 (40°C)	28 天后生物降解 % OECD 301F	生物可降解性分类
A32	9.5	70.2	易于生物降解
A34	12	80.2	易于生物降解
A41	14	76.5	易于生物降解
A51	27	58.5	固有的生物可降解性
P61	38	72.2	易于生物降解
P81	84	54.5	固有的生物可降解性
NP343	19	65.3 (301B)	固有的生物可降解性
NP451	25	83.2	易于生物降解

数据来源：埃克森美孚数据

7.3 汽轮机油

应用和设备

汽轮机是将在一组转子和固定叶片间移动的气体或液体的力转换成旋转动力的设备。汽轮机分为三种基本类型：蒸汽轮机、燃气轮机和水利轮机。

蒸汽轮机。蒸汽轮机为大型发电机提供动力，从而提供全世界大部分的电力。它是利用在高温和高压下进入汽轮机并在动叶片和静叶片（后者用于引导蒸汽）间膨胀的蒸汽来实现做功的。只有高品质润滑油才能承受与蒸汽轮机操作相关的潮湿环境及相应的温度。因此，汽轮机油成为了品质的象征。传统的蒸汽轮机发电厂拥有非常大的润滑油系统 (>100,000L)，通过小心的监控和处理，油的使用寿命可达到约 20 年以上。这些系统通常使用非常精细的矿物油基润滑油并定期注满新鲜油以保持油的性能。传统意义上，由于成本高，合成油并不用于这些应用，但小规模工厂除外。



燃气轮机。燃气轮机由燃料燃烧生成的压缩气体的膨胀提供动力。因此，生成的一些动力用于驱动空气压缩机，空气压缩机提供燃料燃烧所需的空气。在涡轮喷气式飞机发动机中，汽轮机的唯一功能驱动压缩机；飞机由发动机尾部溢出的膨胀气体的力推进。但是，在其它应用中，转子轴为一些其它机构（如螺旋桨或发电机）提供驱动推力。因此，燃气轮机不仅为涡轮喷气式飞机提供动力，而且为涡轮螺旋桨飞机、火车、轮船、压缩机和中小型发电机提供动力。飞机衍生的燃气轮机对润滑提出苛刻要求，而合成燃气轮机油（通常为酯类）可最好地满足这一要求。工业用燃气轮机没有飞机衍生的燃气轮机所涉及的重量和尺寸问题。因此，它具有更大的油系统、更好的冷却和更低的轴承油温度；和高品质矿物油相同，聚 α 烯烃型油具有卓越的性能。

联合循环燃气轮机 (CCGT)。此设计是许多现代发电厂的典型设计，其使用燃气轮机驱动发电机，并使用燃气轮机的高温废气生成可驱动其它汽轮机和发电机的蒸汽。在一些较新的设计中，汽轮机在相同的轴上，有时候驱动同一台发电机。因此，可将油系统联合，这样一来，油必须要在高温和水污染的条件下工作，其中燃气轮机承受高温，蒸汽轮机承受水污染。



水轮机。动的水击打推动轴的轮边缘的叶片或铲斗；反击式水轮机中，水在压力作用下从轮上的喷嘴冒出，使其发生转动。水轮机适用于以下应用：河流或潮汐系统中的水流或水头（如高山或水坝）。许多机器具有垂直型设计，这可避免使用水平型设计所需的齿轮箱。水轮机油通常必须具有若干功能——润滑主轴承，作为控制系统的液压油以及作为齿轮箱油（若已安装）使用。对于大型机器而言，油的使用寿命通常为 15 年。

由于高等级的水污染，因此通常使用矿物油，而通用的防锈和抗氧化循环油与高品质汽轮机油之间充满竞争。但是，此类型应用中的聚 α 烯烃 (PAO) 型配方已显示出其可通过减少轴承垫处的机械损失实现约 12% 的能量节省[1]。这导致轴承温度降低（后续的冷却要求也随之降低）以及氧化条件降低，从而延长了油品的使用寿命。



参考资料：^[1]A comparative study of mineral and synthetic based Hydro turbine oils, W. Dmochowski, K Brockwell & B. Liko, National Research Council Canada.

发电。现在的趋势是建设较小型的发电站，以天然气作为燃料以减少排放。这通常需要使用如上文所述的 CCGT。它们可以以模块化的方式建在附近，其占地面积较小，并且由于排放减少，可将其建在所需位置的附近，从而减少功率传输损失。虽然小型系统往往由往复式内燃机（而非汽轮机）驱动，但由于热系统和动力系统的联合效率提高，小型系统也受到推崇。由于发展中国家有着巨大的电力需求，因此已开发出基于飞机衍生的燃气轮机的小型汽轮机组 (<50MW)。可模块化这些小型汽轮机组，并将其在需要动力的地点间轻松移动。

油量的减少和轴承温度的增加提高了润滑油的热老化程度。与此同时，最终用户希望延长使用寿命。因此，基于 API II 类和 III 类基础油的汽轮机油的产量增加。这虽然提高了抗氧化性，但由于基础油的溶解性降低，氧化产物无法以溶液形式溶于油中，从而导致漆膜问题产生。而燃气轮机通常的操作模式则使此问题进一步恶化。由于需要保持大型的不灵活的工厂（如核电站或燃煤发电站）不间断运转，许多燃气轮机在高峰需求时段使用，而在高峰需求时段之外定期停机或处于待命状态。加热和冷却循环有助于润滑油中沉积物和漆膜形成物的脱落。

由于联合循环系统使用共同的润滑油系统，因此油必须能承受高温条件和水。为了匹配不同汽轮机的不同速度，齿轮箱的使用日益增加。这意味着对具有极压 (EP) 属性的油的要求提高，要求的提高通常体现在最低 FZG 等级。20 世纪 80 年代曾发生了一些汽轮机故障，据报道故障原因是使用 ZDDP (二烷基二硫代磷酸锌) 时，由于水解分解导致沉积物问题。因此，现在许多汽轮机油均是无锌的。

由于静电火花，对油导电性的关注日益增加。据报道，火花可引起油的局部氧化。现在，Soloar 汽轮机油规格 (ES9-224) 包括 ASTM D4308 导电性测试，0°C 的建议极限值为 50ps/m。

DIN 51515 和 ISO 8068 是影响汽轮机油的主要行业规格。总体而言，是制造商要求推动了润滑油的发展。

主要规格如下：

- Siemens
- General Electric
- Alstom
- Mitsubishi Heavy Industries (MHI)
- MAN Turbo
- Solar

注意：可能有若干不同的 OEM 规格，这具体取决于汽轮机类型以及需要 EP 还是非 EP 油。

由于运行条件日趋苛刻，制造商规格要求变得越来越严格，这体现在更高的 RPVOT (旋转压力容器氧化测试)、改进的 RPVOT 和 TOST (汽轮机油稳定性测试) 值。随着传统测试与性能的关联度降低，汽轮机制造商开始开发自己的测试，这些测试已成为其规格 (如 MHI 干 TOST 加速降解测试) 的一部分。其它规格包括英国标准 BS489、中国国家标准 GB11120-89、日本 JIS K-2213 和俄罗斯 TP-22S。

润滑油要求

所有的汽轮机润滑油必须具有以下功能：

- 润滑
- 去除热量
- 清除污染
- 密封
- 防锈和抗腐蚀

汽轮机油的使用寿命很长。使用大型蒸汽轮机的传统燃煤发电站，矿物油润滑油可获得超过 20 年的使用寿命 (通过大容量、低循环速率和高补给率来实现)。随着 CCGT 工厂的日益普及，减少的润滑油用量、增加的负荷和温度意味着大型机器上的油的预计使用寿命如今在 2 至 5 年之间 (如果使用的是高品质矿物油)，具体取决于汽轮机设计。

因此，汽轮机油的氧化安定性是确保良好粘度控制和防止油泥、沉积物和酸性氧化产物形成的关键特性。

对于蒸汽轮机、CCGT 和水轮机而言，非常好的抗乳化性是解决油箱和大型轴承箱中蒸汽泄漏、油冷却器水泄漏和冷凝引起的水污染问题所必要的。与此同时，防锈和抗腐蚀性也是关键特性。

汽轮机油也必须能进行液压控制（特别是速度控制）。因此，空气释放特性对于防止控制功能的不稳定响应是至关重要的。关键系统有时使用单独的控制油系统。其使用耐火液压油以防止在发生泄漏的情况下，控制油喷射到热表面而起火。

油泥和漆膜控制对防止汽轮机控制系统的堵塞极其重要。较高品质矿物油的使用提高了氧化安定性，但油溶解性降低导致漆膜问题增加。

许多汽轮机轴由滑动轴承支撑，其中一个推力轴承使用流体动力润滑。高轴速度和轻负荷意味着抗磨要求会比较低。但是，一些应用使用需要抗磨或极压特性的齿轮传动。

合成油的优点

聚 α 烯烃 (PAO) 在添加了适当的添加剂后，可满足所有类型的汽轮机润滑要求。通常将酯作为可提供溶解性和密封件溶胀性的辅助基础油使用，但烷基萘 (AN) 在防止水解方面是更好的选择。

在工业用燃气轮机中，适当调配的聚 α 烯烃和烷基萘/酯润滑油可提供卓越的防锈性、低温流动性和高温氧化安定性。

在蒸汽轮机中，适当调配的聚 α 烯烃和烷基萘/酯润滑油可提供出色的化学稳定性、抗氧化性、抗乳化性、防锈和防沉积物的保护。这些润滑油还可有效抵御蒸汽轮机潮湿环境下的水解破坏，特别是在使用烷基萘替代合成酯的情况。酯的选择对于水解稳定性来说至关重要。

在使用 II 类和 III 类矿物油来调配汽轮机油的地方，使用烷基萘将提高溶解力（添加剂和氧化产物），同时提高抗氧化性。



推荐的基础油配方数据

下表显示了可用于生产汽轮机油的基础油的组合。注意：这些仅是基础油组合，还需要使用添加剂。如下所示，添加剂可以是预制的复合剂或下面提及的单剂。

Synesstic™ 烷基萘型配方可提供优于酯类配方的水解稳定性。使用 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃有助于提高粘度指数和油膜厚度，对于需要极压齿轮性能的情况尤为如此。



添加剂要求

典型的汽轮机油配方含有总量为 0.3% 至 2% 的以下添加剂，其余部分为表 7.3.A 和表 7.3.B 中所示的基础油，具体比例取决于粘度等级。

- 抗磨剂
- 防锈剂和/或腐蚀抑制剂
- 抗氧化剂
- 消泡剂
- 金属钝化剂
- 破乳剂
- 极压剂，分散剂和摩擦改进剂*

*可选，视具体应用而定

表 7.3.A 聚 α 烯烃/烷基萘型配方

配方	ISO VG 32	ISO VG 46	ISO VG 68
SpectraSyn™ 6	85	71	55
SpectraSyn™ 40	-	14	30
Synesstic™ 5	15	15	15

表 7.3.B 聚 α 烯烃/酯类配方

配方	ISO VG 32	ISO VG 46	ISO VG 68
SpectraSyn™ 6	83	69	53
SpectraSyn™ 40	2	16	32
Esterex™ A51	15	15	15

7.4 工业齿轮油

应用和设备

早期机器使用木栓制成的齿轮系统。从开始使用金属制造齿轮起，润滑对于减少磨损和延长齿轮使用寿命的重要性日益增强。起初，负荷较轻，速度较慢，植物油或动物油被用作润滑油。

从那时起，齿轮系统已开始变得越来越复杂，具有高度精确的齿面切削和精细的表面。如今，现代齿轮系统应用于从动力传输到需要控制机械运动的各领域。

风力发电机应用的增长以及新的齿轮箱设计、高负荷、高振动和高冲击负荷导致齿轮点蚀更加频繁地出现，表面硬化的齿轮中的微点蚀（也称作灰变）尤为如此。现在使用的新材料可减小齿轮箱尺寸，这对齿轮齿和轴承造成了较高的负荷。由于油温升高，因此需要使用较高品质的润滑油。



ISO 粘度分类 (DIN 51 519) 以及 AGMA 规格 250.02 (适用于工业用封闭式齿轮的润滑油标准规格) 和 AGMA 252.01 (适用于工业用封闭式齿轮的温和极压润滑油标准规格) 涵盖粘度分类。传统上，齿轮油性能由制造商定义。最常用的性能规格如下：

- DIN 规格 51517 (第 3 部分)
- AGMA 900-5-E02
- ISO 12925-1 类型 CKD
- AIST 224 (以前称作 US Steel 224)
- David Brown
- Cincinnati Millacron
- Siemens (Flender)

典型测试

除了普通的物理属性测试 (如粘度、倾点等)，大多数齿轮油还需要进行以下测试：

- 抗磨保护
 - FZG DIN 51 534 部分 1 和 2
 - Timken OK 负荷
 - 四球烧结负荷 — ASTM D2783 或 DIN 51 350 部分 1
 - 四球磨损 — ASTM D4127 或 DIN 51 350 部分 2
- 与弹性体和油漆的相容性
- 剪切稳定性
- 泡沫测试

润滑油要求

滑动轴承具有良好的表面一致性和连续的油膜，与滑动轴承不同，齿轮齿需要在每个齿啮合处形成油膜。在高速齿轮组中，只有非常短的时间用于形成润滑油薄膜。在齿轮齿啮合中，两个齿轮表面间发生显著滑动，且仅在齿轮啮合节点发生滚动。

齿轮应用基本上由弹性流体动力润滑控制。

需要通过恰当的润滑来确保最小磨损、安静操作和长使用寿命。此外，需要使用润滑剂来传输力、减少摩擦、散热和去除磨料颗粒。需要谨慎选择符合使用要求的润滑剂，润滑剂需具有恰当的特性。这些特性如下：

- **需要恰当的粘度**，以确保在所有温度和速度下，所有摩擦面具有足够的油膜厚度。
- **良好的热稳定性和氧化安定性**使润滑油可抵御由于热和氧气作用而引起的分解。齿轮箱中油的不停搅动会导致严重的氧化，因此需要具有高度的化学稳定性。
- 由于油需要减少摩擦和防止油膜破裂，因此在边界润滑条件下需要**高油膜强度和润滑性**。

- 由于许多齿轮箱在长期存在水污染问题的严苛环境中工作，因此需要**良好的抗乳化性**。快速的水分离能力和减少乳化形成风险的能力是非常重要的。
- 由于空气容易进入齿轮系统，而油快速释放空气的能力有助于防止起泡、损失油膜和减少氧化条件，因此**良好的空气释放**是非常重要的。

合成油的优点

虽然基于矿物油的现代齿轮油可提供良好的性能，但合成齿轮油具有许多显著的优点，这些优点如下：

- **增强的热氧化安定性**
 - 显著延长油的使用寿命（在相同温度下，其使用寿命通常是矿物油的3至5倍）
 - 在矿物油可能无法起作用的较高温度下工作
- **通过高粘度指数增强粘温特性**
 - 减小低温下的油粘度，以实现更容易的泵送和启动时更快的循环
 - 在较高温度下保持较高的粘度和较厚的油膜，以防止磨损
- **增强的低温特性**
 - 非常低的倾点，可实现在矿物油为固态的条件下的操作。
 - 启动时更快的油循环，增强抗磨保护并减少搅拌能量损失

- 增强的齿轮效率
 - 较低的牵引力 — 这意味着许多优势，例如降低功率要求、降低油温和延长部件使用寿命
- 较低的挥发性和蒸发损耗
 - 合成产品的低挥发性可降低蒸发损耗和油补加要求
- 降低的易燃性
 - 与矿物油相比，较高的闪点和降低的挥发性可提供增强的安全性
- 提高清洁度
 - 合成基础油更好的耐热性和抗氧化性可减少漆膜和沉积物的形成

虽然蜗轮蜗杆应用中广泛使用聚乙二醇润滑油，但工业用合成齿轮油通常是聚 α 烯烃型。通常会在聚 α 烯烃配方中添加合成酯和烷基萘，以提高添加剂溶解性、改进密封件相容性和油泥控制。要获得其它潜在性能优势（如增强的抗磨保护和通过减少牵引力来节能），可将传统聚 α 烯烃与高粘度指数聚 α 烯烃搭配使用。应用条件的苛刻程度通常会影响到聚 α 烯烃产品等级和成品油粘度的选择。

配方数据

以下表 7.4.A 中合成基础油组合可用于确保苛刻温度范围和负荷下重负荷工业齿轮油的正常工作。建议在添加恰当的添加剂复合剂后，将这些基础油组合用于钢-钢封闭式齿轮传动。

表 7.4.A 推荐的基础油组合（重量百分比）

ISO 粘度等级	100	150	220	320	460	680
SpectraSyn™ 6	53	42	31	21	11	1
SpectraSyn™ 100	32	43	54	64	74	84
Esterex™ A51	15	15	15	15	15	15

添加剂要求

合成齿轮油配方含有总量为 1% 至 5% 的以下添加剂，其余部分为上表 7.4.A 中所示的基础油，具体比例取决于粘度等级。

- 抗磨剂*
- 分散剂*
- 消泡剂
- 极压剂
- 抗腐蚀剂
- 摩擦改进剂*
- 破乳剂
- 抗氧化剂
- 清净剂*
- 防锈剂

*注意：并非始终要求：视具体应用而定。

SpectraSyn Elite™ mPAO

由于能形成较厚的油膜，使用具有较高粘度指数的 SpectraSyn Elite™ mPAO 可提供更强的抗磨性能。更强的低温特性也有助于降低倾点并实现布氏粘度的显著降低（请参见表 7.4.B）。

Synesstic™ 烷基萘

将 Synesstic™ 烷基萘基础油与聚 α 烯烃搭配使用可协同促进氧化安定性的提高。通过将作为助基础油的酯替换为烷基萘以提高溶解性和密封件溶胀性能，可减少水解问题，并且其低极性可增强表面活性添加剂的效果。



表 7.4.B 典型齿轮油配方 (重量百分比添加量)

配方	传统聚 α 烯烃		SpectraSyn Elite™ 65 mPAO		SpectraSyn Elite™ 150 mPAO		SpectraSyn Elite™ 300 mPAO	
	ISO VG 220	ISO VG 320	ISO VG 220	ISO VG 320	ISO VG 220	ISO VG 320	ISO VG 320	
SpectraSyn™ 6	8.5		17.5		35.4		36.7%	
SpectraSyn™ 8		28.2		7.2		29.4		
SpectraSyn™ 40	80							
SpectraSyn Elite™ 65			71	81.3				
SpectraSyn™ 100		60.3						
SpectraSyn Elite™ 150					53.1	59.1		
SpectraSyn Elite™ 300							51.8%	
Synesstic™ 5	10	10	10	10	10	10	10.0%	
添加剂复合剂*	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5%	
运动粘度 (40°C)	ASTM D445	222.8	332.6	220.3	324.9	221.6	326.6	319.6
运动粘度 (100°C)	ASTM D445	25.7	36.8	29.8	40.0	29.0	39.4	42.72
粘度指数	ASTM D2270	147	159	176	176	170	173	190
倾点, °C	ASTM D97/D5950	-48	-45	-54	-51	-54	-51	-54
闪点, °C	ASTM D92	234	232	230	236	230	236	
布氏粘度, -40°C, cP	ASTM D2983	325,000	536,000	147,000	285,000	143,000	281,000	197,000
RPVOT, min	ASTM D2272	353	279	383	330	461	437	353
空气释放 (75°C)	ASTM D3427	10.4	16.4	5.0	5.7	4.8	5.8	
四球磨斑, mm	ASTM D4172	0.48	0.50	0.50	0.48	0.48	0.47	0.52
四球 EP 烧结负荷, kg	ASTM D2783	315	315	315	250	250	250	
四球磨损, LWI	ASTM D2783	58.0	61.0	58.0	49.0	49.0	49.0	

*添加剂复合剂符合或超过以下要求:

- US Steel 224
- AGMA 9005
- EP 齿轮油的 GM LS-2 规格

数据来源: 埃克森美孚数据



7.5 造纸机润滑油

应用和设备

现代造纸机通常分为两个主要部分——“湿部”和“干部”。纸浆准备、纸成型和预压在湿部执行。当纸穿过工艺的此部分，湿度含量从约 99% 下降到挤压后的约 50%。湿部油系统可能含有多达 25,000 L 的油。此区域可能出现严重的油污染。

纸随后经过烘干机部分，在这里使用蒸汽加热的辊子去除剩下的湿度。辊子温度通常达到 130 至 190°C，但最终烘干部分（称作“压

延机”）可达到高达 280°C 并可使用导热油系统来加热辊子。干部的油箱可容纳多达 40,000 L 的油。这些机器有望工作约 10 至 15 年，每年只有一些日子是计划停机。通常，干部的油使用寿命约 4 至 5 年，而湿部的油使用寿命较长。

虽然有使用单一油品等级的尝试，但至少在湿部和干部之间，同一台造纸机上通常需要使用若干等级。滑动轴承、滚柱轴承和齿轮箱的润滑通常使用 ISO VG 220 油；辊子液压装置需要使用 ISO VG 100，而液压控制系统执行器需要使用 ISO VG 46 油。

在干部，较高的温度通常决定了使用具有较高粘度的合成油。因此，主要的润滑系统可使用 ISO VG 220 或 ISO VG 320 油，而液压系统需要使用 ISO VG 68 油。在超级压延机部分中，也需要 ISO VG 1000 油。

对于造纸机而言，油品清洁性十分重要，而防止沉积形成也是关键要求。典型机器上可能有超过 500 个单独的润滑点，在这里通过流量计控制流量。深色氧化油和沉积形成物会影响流量计的读数和正确调整，从而导致轴承故障。

因此，合成润滑油在造纸机的循环系统中特别有效，其在这里的高温下工作良好，这种高温通常出现在造纸机的烘干机部分。在造纸机的湿部，润滑油必须要特别能抵御水、酸性溶剂的污染以及造纸过程中使用的化学物质。

正如许多其它工业应用，生产率和效率的提高使得人们对润滑油的要求越来越高。这包括如下共同的趋势：

- 较高的轴承负荷和工作温度
- 减少的油量
- 因泄漏的减少导致补加的降低
- 增加使用 II 类和 III 类基础油以取代 I 类基础油
- 转而使用无锌油
- 工艺过程中水的回收利用，导致较高的相容性问题
- 提高极压 (EP) 性能，与降低极压添加剂用量之间的冲突要求：
- 更多具有精密过滤的高级液压控制系统

造纸机专用油必须符合主要造纸机制造商提供的规格的最低性能等级。诸如抗磨（或温和 EP）保护，空气释放、泡沫和抗乳化性是关键参数。通常，抗磨性能是由主要轴承制造商（SKF 和 FAG）开发的测试规定的。

两个主要的制造商规格来自 Voith 和 Metso：

- Voith 规格 VN 108
- 湿部：ISO VG 150，CL 150 DIN 51517-2，FAG FE 8 磨损 ≤ 20
- 干部：ISO VG 220，CL 220 DIN 51517-2，SKF PM 油测试，FAG PM 油测试
- NipcoFlex：符合 DIN 51524- 2 的无锌液压油

Metso 的通用规格涵盖造纸机循环油、区域控制辊和实心辊。

润滑油要求

造纸机润滑油为高品质润滑油，需能够在造纸机的湿热降解环境下可靠工作。油必须具有高抗氧化和抗热分解能力、有效的清洁性能，以防止在热的金属表面形成沉积物，以及卓越的抗乳化性和防锈性能。另外还必须能够轻松通过精细程度达六微米的多孔过滤器。

这些特性源自添加剂和高品质基础油的精心组合，其对于延长设备使用寿命和减少代价高昂的意外停机至关重要。

合成油的优点

合成产品是造纸机应用的理想选择，聚 α 烯烃型配方被广泛使用。酯通常与聚 α 烯烃搭配使用以提供添加剂溶解性和密封件溶胀性能。如果用 Synesstic™ 烷基萘替换酯，将提高水解稳定性、整体的氧化安定性和配方的润滑能力。

配方数据

表 7.5 聚 α 烯烃/烷基萘基础油组合（重量百分比）

配方	ISO 粘度等级 68	ISO 粘度等级 100	ISO 粘度等级 150	ISO 粘度等级 220	ISO 粘度等级 320	ISO 粘度等级 460
SpectraSyn™ 6	58	48	37	26	16	6
SpectraSyn™ 100	22	32	43	54	64	74
Synesstic 5™	20	20	20	20	20	20

可使用不同粘度的 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃来优化更高粘度等级的油品，使产品有更高的粘度指数并有助于抗磨保护。Synesstic™ 12 可用于替换 Synesstic™ 5 烷基萘，从而提高粘度，其代价是溶解度降低。

对于矿物油或半合成油配方，使用 Synesstic™ 5 烷基萘有助于提高溶解度、抗氧化能力和抗水解能力。

添加剂要求

典型的造纸机润滑油配方可能含有总量为 0.5 至 6% 的以下添加剂，其余部分为上面表 7.5 中所示的基础油，具体比例取决于粘度等级。

- 抗磨剂
- 抗氧化剂
- 消泡剂
- 破乳剂
- 防锈剂和/或腐蚀抑制剂
- 极压剂，分散剂和摩擦改进剂（可选；视具体应用而定）



7.6 用于食品机械的润滑油 (与食品偶然接触)

应用和设备

食品制作加工中使用的机械可能面临严苛的工作环境，如烤箱与冷藏作业之间的极端温度。该类设备还要进行频繁的冲洗和清洁，因而存在严重的进水和腐蚀威胁。

典型的润滑应用（如液压系统、齿轮箱、使用润滑脂的轴承、空气压缩机、真空泵和导热系统）是食品生产工艺的一部分。此外，特殊应用（如灌装，缝合和烤箱链条）中也有需要润滑的设备。

多数食品加工厂通常都使用“食品级”润滑油。这些润滑油由经过特殊许可的基础油和添加剂制成，因此允许油和食品间任何的意外接触（请参见第 85 页的“NSF 注册分类”），有助于降低对消费者健康带来的风险。

虽然与食品偶然接触的润滑剂的市场正日益扩大，但据估计美国很高比例的食品和饮料公司并没有使用针对与食品偶然接触的情况而

专门设计的润滑剂^[1]。对食品不断增长的需求将催生大量从手工作业转型而来的大型机械化食品加工厂，在亚洲尤为如此。日益严苛的法规、全球一体化以及这些工厂对高性能润滑油的需求均促进了食品级润滑油的使用。

现代的食品级润滑油（特别是基于合成油的润滑油）可提供与普通合成润滑剂相当的性能。良好性能的另一优点是公司可选择在非食品加工设备的大量机械上使用与食品偶然接触的润滑油。这可最大限度减少润滑油的库存并避免交叉污染风险。

随着对食品级润滑油的需求日益增多，越来越多的润滑油制造商开始生产这种类型的润滑油，而该行业可选择的适用添加剂和基础油也不断增加。

1998 年以前，美国农业部 (USDA) 有一个负责审查和批准与食品偶然接触的润滑油的项目，此项目基于美国食品和药物管理局 (FDA) 制定的标准。USDA 项目取消后，各家公司不得不依据 FDA 相关法规检查其产品并对其食品机械产品的有效性进行自我认证。

1999年，USDA项目的活动由NSF International (NSF) 接管。NSF是公认的对产品是否符合公众健康和食品安全标准进行测试和认证的第三方认证机构。NSF为非食品化合物（包括与食品偶然接触的润滑油）提供了一个注册系统。首先，产品符合FDA法规要求的润滑油供应商向NSF注册其产品，随后这些产品将会列在NSF“白皮书”（非食品化合物清单）中。经NSF注册的产品必须在其标签中使用一个官方注册标记、类别码和注册号以表明其符合系统规定。NSF注册已成为全球公认的行业标准。

定义

从法律法规的角度，以下定义适用于食品行业的产品：

直接接触：产品会成为食品的一部分，还可能为食品赋予某种特性以增强其品质（如调味剂或添加剂）。

间接接触：产品将与食品接触，并可能成为其一部分，但不会赋予食品任何可增强其品质的特性（如标签粘合剂）。

偶然接触：不太可能与食品接触，且不会赋予食品任何可增强其品质的特性（如食品加工设备表面的防锈剂，在加工食品之前会将其清除）。

一般来讲，润滑油及其各个组分只会核准用于偶然接触。

NSF 注册分类

对于成品润滑油，有许多可应用的分类：

- H1 和 HX-1：会与食品偶然接触的润滑油 (H1) 及其成分 (HX-1)。
- HT-1 和 HTX1：会与食品偶然接触的导热油 (HT-1) 及其成分 (HTX1)。
- H2 和 HX-2：不可能与食品接触的润滑油 (H2) 及其成分 (HX-2)（大多数的润滑油和添加剂属于此类别）
- HT-2 和 HTX2：不可能与食品接触的导热油 (HT-2) 及其成分 (HTX2)。
- H3：应用于设备的可溶解的油与食品接触，可提供清洁性和防锈保护。

参考资料：^[1]R. Profflet, Lubrizol Corporation, “Finding your way around the food grade lubricants maze”, Tribology and Lubrication Technology, 2007年11月。

润滑油要求

与食品偶然接触的润滑油应为淡色或透明，且没有异常的气味和味道。其需要具有良好的耐水性并能提供良好的抗腐蚀保护。应能在极高温的应用中提供良好的抗氧化性和抗磨保护。

如果高度精炼的“白”矿物油、聚 α 烯烃、烷基萘、酯和聚乙二醇符合适用的法规要求，可将其用作这些润滑剂的基础油。

合成油的优点

建议使用全合成产品以延长使用寿命和扩大工作范围。

除了成品具有更强的氧化安定性之外，聚 α 烯烃型配方还具有两个优于矿物级白油的优点：

- 非常低的倾点和较高的粘度指数，可提供较宽的工作温度范围
- 较低的牵引力有助于节能，对于齿轮箱应用尤为如此

埃克森美孚化工的 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃（参见表 3.0.A）基础油符合工艺用白矿物油 21 CFR 178.3620 (b) 的要求，并列在 NSF “白皮书” 中的分类码 H1 下（与食品偶然接触的润滑剂或润滑剂成分）。

埃克森美孚化工的 Synesstic™ 5 和 12 以及 SpectraSyn Elite™ 65 和 150 茂金属聚 α 烯烃基础油也列入了 NSF “白皮书” 中的分类码 H1 和 HX-1（与食品偶然接触的润滑剂或润滑剂成分）。

配方数据

表 7.6.A 聚 α 烯烃基础油配方（重量百分比）（仅基础油—计算值，无添加剂）

ISO 粘度等级	32	46	68	100	150	220	320	460
SpectraSyn™ 6	100	10		55	38	23	8	
SpectraSyn™ 8		90						
SpectraSyn™ 10			100					
SpectraSyn™ 40				45	62	77	92	88
SpectraSyn™ 100								12

同时也可在聚 α 烯烃配方中添加 5% 左右的 Synesstic™ 烷基萘，以提高添加剂的溶解性以及提供密封件溶胀性能。

使用较高添加量的 Synesstic 烷基萘可提高热稳定性和氧化安定性，并减少使用酯经常遇到的水解稳定性问题。添加剂和氧化产物（油泥的形成）的溶解性也会得以改进。

添加剂要求

典型的食品级配方含有总量为 0.5% 至 5% 的以下添加剂，其余部分为上面表 7.6.A 中所示的基础油，具体比例取决于粘度等级：

- 抗氧化剂
- 防锈剂和/或腐蚀抑制剂
- 消泡剂
- 金属钝化剂和抗磨剂
- 可能会使用增粘剂以减少滴油现象

典型配方

可使用以下配方调配与食品偶然接触的液压油或齿轮油。

表 7.6.B 典型配方

ISO VG 46 H1 液压油	%wt
SpectraSyn™ 6	84
SpectraSyn™ 100	11.5
Lubrizol® 4370FG	4.5
ISO VG 220 H1 齿轮油	%wt
SpectraSyn™ 6	19.5
SpectraSyn™ 40	76
Lubrizol® 4370FG	4.5



Lubrizol® 4370FG 是无灰添加剂复合剂，可用于调配液压力、齿轮油以及可能与食品偶然接触的其他润滑油。

Lubrizol® 4370FG 符合 21CFR 178.3570 所规定的与食品偶然接触的润滑油的要求。其经过 NSF HX-1 注册 (NSF# 138737)。

也可以使用其它一些符合与食品偶然接触的润滑油要求的添加剂复合剂。

这些配方可能的升级包括使用 Synesstic™ 烷基萘以增强水解稳定性和添加剂的溶解性，同时/或者使用 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃以改进油膜厚度和低温特性。

下面表 7.6.C 是相关测试数据。

表 7.6.C 与食品偶然接触的食品级润滑油
使用 4.5% Lubrizol® 的 ISO VG 46 液压油 4370FG

测试	单位	方法	矿物基础油*	聚 α 烯烃基础油*	聚 α 烯烃/ 15% Synesstic™ 5†
粘度 (40°C)	cSt	D445	48.6	45.4	45.9
粘度 (100°C)	cSt	D445	7.2	7.6	8.0
RPVOT	min	D2272	571	1,063	1,218
热稳定性		D2070			
铜/钢外观			8/7	10/10	8/8 ‡
油泥	mg/100ml		34.1	43.6	15.5 ‡
Cincinnati Milacron		程序 A			
铜/铁外观			5/2	10/10	8/8
铜/铁沉积重量	mg		5.9/2.3	8.9/6.5	3.6/3.2
油泥总量	mg		41.1	43.6	9.2
初始/最终粘度	cSt		48.6/50.0/213.8	45.3/46.5	47/47.29
粘度变化百分比			2.84	2.55	0.62
初始/最终总酸值 (TAN)			0.67/0.32	0.50/0.30	0.71/0.41
四球磨损 (167F、1200rpm、40kg)		D4172			
磨斑直径	mm		0.37	0.40	0.35

*矿物油和聚 α 烯烃数据由 Lubrizol Corporation 提供并经其许可使用 (与食品偶然接触应用的 Lubrizol® 4370FG 液压油和齿轮油数据表)。

†埃克森美孚化工测试结果 — 除非特别说明, 均为单一样品测试结果。

‡两个测试结果的平均值。

除非另有说明, 所有方法均为 ASTM 方法并由字母 D 和测试编号注明。

测试结果为典型值, 不应视为标准值。

数据来源: 埃克森美孚数据

7.7 其它润滑油

7.7.1 导热油

应用和设备

导热油通过循环液体来加热和冷却系统。作为一种循环介质，导热油将系统（如太阳能加热系统，或以油为燃料的远程系统）中的热量从一部件传递至另一部件。导热油应当能够满足几乎所有单一站点或多站点受热系统的工作需求。在适当设计的系统中，导热油将能够在其相应温度范围内长期工作而不会出现故障或者腐蚀设备。在超过 260°C (500°F) 的温度条件下使用时，导热油需具有较强的抗热分解（分子链断裂）能力。导热油有多种类型，可应用于各种操作范围，并具有诸多优点，如经济、高效、维护需求少以及温度控制精确等。

导热系统可以是封闭式或敞开式。为防止封闭系统中的氧化，可在膨胀槽（或储液罐）中使用惰性气体以隔绝空气。如果系统是开放的，且在暴露于空气的同时，导热油的环境温度高于 66°C (150°F)，则该导热油还必须具有良好的氧化安定性，因为此时无法使用惰性气体来隔绝空气。

导热系统的基础技术已经有很长时间没有变革。但现在已开发出更加复杂的控制系统以确保导热系统的高效控制，能量效率和与环境规定的相容性也是重要的关注领域。

润滑油要求

导热油分为三种主要类型：

- 矿物油或合成烃类油（通常称为“热油”）是可能含有某种抗氧化添加剂的基础油。几乎可使用任何 API 基础油（I类至 IV类）。此类型是使用最广泛的导热油类别。
- 合成芳烃液体，主要是基于苯的芳烃液体，其分为三种类型：聚苯、烷基苯和二乙基苯。
- 特殊导热油，包括硅酮和碳氟化合物导热油

导热油需要与其应用的特定系统匹配。导热油的特性将决定系统的热效率和安全性。

最重要的参数之一是总体温度等级，在此温度下，导热油可长时间工作而性能不会显著变差。许多应用需要卓越热稳定性的导热油。烃类溶剂的最高使用温度为约 300°C，芳烃产品的最高使用温度为约 350°C（具体取决于类型），而特殊产品可应用于较高的工作温度或具有特定的特点，如绝缘属性或低毒性。

低粘度导热油 (ISO VG 22-32) 通常用于满足冷系统状态下的泵送要求。

低蒸汽压对于防止导热油沸腾是非常重要的。蒸汽会导致随后的泵气蚀。

在整个工作温度范围的比热容和比重属性有助于定义泵的尺寸和流动速率。

ASTM D5372 为测试封闭系统中烃类导热油的质量和状态提供了指南。

合成油的优点

建议使用全合成产品以获得更长的使用寿命和更广泛的工作范围。除了具有更强的氧化安定性之外，聚 α 烯烃型配方还具有两个优于传统矿物油的优点：

- 聚 α 烯烃基础油具有非常低的倾点和较高的粘度指数，因此其可用于冷却和加热。低温下的低粘度可确保合适的泵送流量。
- 聚 α 烯烃基础油可用于需要使用与食品偶然接触的润滑油的情况，因为其符合工艺用白矿物油 21 CFR 178.3620B 的要求，并列在 NSF 白皮书中的分类码 H1 下（与食品偶然接触的润滑油）。

聚 α 烯烃型配方的性能可通过使用一定比例的 Synesstic™ 5 烷基萘（添加量通常是 15-30%）得到增强，从而提高抗氧化性和耐热性。

Synesstic™ 烷基萘是一种具有比聚 α 烯烃更高的热稳定性和氧化安定性的合成芳烃基础油。Synesstic 5 烷基萘可作为基础油与 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃或 Esterex™ 合成酯搭配使用以起到调节粘度的作用。

低蒸汽压对于防止导热油沸腾是非常重要的。蒸汽会导致随后的泵气蚀。在整个工作温度范围的比热容和比重属性有助于定义泵的尺寸和流动速率。ASTM D5372 为测试封闭系统中烃类导热油的质量和状态提供了指南。



配方数据

表 7.7.A 聚 α 烯烃基础油配方 (重量百分比) (仅基础油 — 计算值, 无添加剂)

配方	ISO VG 10	ISO VG 15	ISO VG 22	ISO VG 32	ISO VG 46
SpectraSyn™ 2	50	20			
SpectraSyn™ 4	50	80	70		
SpectraSyn™ 6			30	100	90
SpectraSyn™ 8					10

表 7.7.B 聚 α 烯烃/烷基萘基础油配方 (重量百分比) (仅基础油 — 计算值, 无添加剂)

配方	ISO VG 10	ISO VG 15	ISO VG 22	ISO VG 32	ISO VG 46
SpectraSyn™ 2	59	20			
SpectraSyn™ 4	21	60	60		
SpectraSyn™ 6			20	80	
SpectraSyn™ 8					80
Synesstic™ 5	20	20	20	20	20

表 7.7.C 烷基萘/聚 α 烯烃配方 (重量百分比) (仅基础油 — 计算值, 无添加剂)

配方	ISO VG 10	ISO VG 15	ISO VG 22	ISO VG 32	ISO VG 46
Synesstic™ 5	35	60	85	100	88
SpectraSyn™ 2	65	40	15		
SpectraSyn™ 100					12

添加剂要求

典型的导热油配方含有总量为 0.5%-2% 的以下添加剂，其余部分为上面表 7.7.C 中所示的基础油，具体比例取决于粘度等级。

- 抗氧化剂
- 防锈剂或腐蚀抑制剂
- 消泡剂

7.7.2 链条润滑油

应用和设备

工业链条用于在多种应用中传输功率，并且经常在高温条件下工作。大型链条主要用于输送系统，并应用于许多行业，这其中包括纺织、汽车制造、制陶与玻璃窑炉、塑料薄膜、玻璃纤维绝缘和食品加工炉。

润滑对于维持链条的使用寿命至关重要。如果没有润滑，加速磨损会导致操作不稳定、定时不准确、摩擦增加和能耗增加。最具挑战性的润滑应用是涉及炉的酷热的应用（如高温输送机）。许多此类链条用于食品制作加工，例如烘焙、屠宰场和其它。此类应用中，首选食品级润滑油。

润滑油要求

链条润滑是一种困难的应用，因为在大多数情况下，部件在低速和振荡环境导致的边界条件下连续运行。润滑油需要渗透到组成链条的链节和销之间，形成内部表面间的保护膜。如果是滚子链，润滑油还必须润滑滚子与传动链轮啮合的外部表面。

这对润滑油的要求是相冲突的，因为渗透部件需要低粘度，而油膜生成和 EP 极压特性需要高粘度。因此，经常将固体润滑油（如石墨或二硫化钼）加入链条润滑油。这些添加剂可提供承载功能，并在润滑油供应中断时，提供备用的润滑膜。

对于非常高的温度（260°C 以上），几乎只使用固体薄膜润滑油，因为液体润滑油会通过蒸发迅速消失。在此类情况下，液态载体用于将固体润滑油携带到负荷区。液态载体随后蒸发（首选无烟且无味的产品），留下固体润滑油。根据速度和应用，润滑油的应用方式不同。在低速 (<6 m/s) 条件下，润滑油可使用刷子或采用点滴注油方式。在中速 (6-12 m/s) 条件下，可使用油槽，而在高速 (>12 m/s) 条件下，可将油喷射到链条。

合成油的优点

合成基油通常用于高温应用（例如，高于 120°C），并需要承受高达 260°C 的条件。

聚 α 烯烃、酯和烷基萘型合成油可有效用于“炙热”应用中的工业链条润滑。通常，这些合成液会与聚异丁烯（增稠剂）和添加剂共同调配。添加剂可以是无灰或有灰的（通常是两者兼有）。可用于“炙热”应用的 Esterex™ 合成酯包括己二酸酯和偏苯三酸酯。将其与聚 α 烯烃结合使用，会比使用聚丁烯更稳定。使用 Esterex™ 多元醇酯或 Synesstic™ 烷基萘可获得更好的氧化安定性和热稳定性。

建议在与食品偶然接触的应用中使用 SpectraSyn™、SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃和 Synesstic™ 烷基萘产品 — 请参见 7.6 节。



配方数据

表 7.7.D 添加聚 α 烯烃/酯的基础油配方

配方	ISO VG 68	ISO VG 100	ISO VG 150	ISO VG 150	ISO VG 220	ISO VG 320
Esterex™ TM111			87		52	
Esterex™ NP343	69	60		50		41
SpectraSyn™ 40			13		48	
SpectraSyn™ 100	31	40		50		59

表 7.7.E 添加聚 α 烯烃/烷基萘的基础油配方

配方	ISO VG 68	ISO VG 100	ISO VG 150	ISO VG 150	ISO VG 220	ISO VG 320
Synesstic™ 12	45	90	75	87	45	55
SpectraSyn™ 8	55	10				
SpectraSyn™ 40			25		55	
SpectraSyn™ 100				13		45

添加剂要求

全合成烘炉链条油配方会含有总量为 0.5% 至 6% 的以下添加剂，其余部分为上面表 7.7.E 中所示的基础油，具体比例取决于粘度等级：

- 极压抗磨剂
- 抗氧化剂
- 清净剂
- 抗腐蚀剂
- 摩擦改进剂*
- 消泡剂

*可选；视具体应用而定

ExxonMobil

8.0 润滑脂

动力, 与你同在



8.0 润滑脂

润滑脂源于拉丁语单词“crassus”，是脂肪[1]的意思，它在传统上被描述为稠化剂颗粒的三维体系，其中的空间充满了润滑油，与海绵十分类似。有负荷压缩该体系时，将释放润滑油，从而实现其润滑功能。

不过，现实情况更为复杂。润滑脂实际上是“一个复杂的，物理多相体系”。^[2]将运动表面分隔开的油膜是增稠剂和润滑油的组合，正是因稠化剂和润滑油组合产生的特性使得润滑脂如此有用。

由于添加了稠化剂，润滑脂在应用时通常会保留在原位避免了流失和泄漏。稠化剂起着密封作用，将油和污染挡在外面。这也随之产生了负面影响，会将内部磨损杂质保留在润滑脂体系内部。不过，润滑脂保留在原位这一事实对于帮助减少腐蚀非常重要，特别是油膜逐渐流尽的待机设备。润滑脂润滑还有利于减少噪音，并且能够吸收冲击负荷。

缺乏流动性降低了润滑脂提供冷却的能力，但在多数应用中，温度相对较低，可通过适合的功能设计（例如，电动风扇）来实现冷却。半流润滑脂的作用就像稠润滑油一样。这些材料将在重力作用下流动（下落），将因机械运动而飞溅。此行为有助于进行热交换，并且材料保留了提供密封的功能。

与润滑油相比，润滑脂所需的维护较少，即使在需要补充注脂时也可以自动实现，既可对每个轴承单独补加，也可通过集中泵送系统实现补充。

参考资料：^[1] T. F. Hoad. “grease.” The Concise Oxford Dictionary of English Etymology. 1996.
Retrieved March 19, 2010 from Encyclopedia.com: <http://www.encyclopedia.com/doc/1O27-grease.html>.
^[2]The Chemistry & Physics of Grease, Axel Christiernsson, Lubrisense white paper 04-01, www.axelch.com.

润滑脂的适用温度范围为 -70°C 到 350°C ，可用于润滑各种机器部件，如抗摩轴承和滑动轴承、齿轮、导轨、连接部件及其它装置。润滑脂还可充当密封剂或抗腐蚀保护产品。

总而言之，润滑脂润滑的利远大于弊，由于通用性，它适用于各种工业应用领域，可解决使用润滑油无法解决的润滑问题。因此，现在所有滚动轴承中，有 80%~90% 使用润滑脂润滑，这一结果并不令人惊讶。^[3]

稠化剂

稠化剂用于产生一个三维体系来包住润滑油。可使用不同类型的稠化剂来调整润滑脂的最终性能。有许多不同的方法，其中每种都各有利弊。稠化剂通常分为皂基（例如，锂、钠或钙）或非皂基（黏土或聚合物）。稠化剂需要具有良好的润滑油亲和性，能够为均匀分散的润滑油产生一个稳定的体系。

通常认为稠化剂仅起到“海绵”的作用，但实际上，它发挥了极为困难的平衡作用。稠化剂的必备性能和特性如下：

- 机械和热稳定性。
- 能够在低温下流动
- 能够在其结构中包住润滑油，但在所有温度下都允许渗出一些润滑油
- 具有表面亲和性，能够在高压水喷淋等困难条件下保留在原地
- 能够保护表面免受环境影响，同时不对表面活性添加剂产生干扰
- 能够在弹性流体动力 (EHD) 润滑条件^[4] 下提供部分润滑油膜厚度

对于常规市场，传统的皂基稠化剂仍十分流行。但是，在要求高性能的市场上，已在使用复合锂基、复合钙基、黏土和聚脲等高温稠化剂，后者在电机轴承市场中已十分流行。

尽管普通市场中的大多数润滑脂仍是锂皂基的，但复合锂基稠化剂提供了生产高性能多用途润滑脂的能力，因而十分流行。对于在温度相对较高、负荷较低条件下工作的电动机轴承，针对较长使用寿命的要求，聚脲稠化剂也变得十分流行。随着温度增加，聚脲稠化剂与合成基础油的结合能提供更长的润滑脂寿命^[5]。

参考资料：^[3]A. Begg, “SKF Lubricant grease knowledge and sustainability,” Keynote speech, ELGI 2009. ^[4]P.M. Cann, “The influence of Temperature on the Lubrication Behaviour of Lithium Hydroxystearate Grease,” 5th Annual ELGI Conference Budapest 1994. ^[5]A. Kemble, “Evaluation of Industrial Bearing Grease Performance,” Eurogrease 1998, July/August. ^[6]“Grease Technology,” Mobil Industrial Grease brochure.

随着设备操作条件的日益苛刻（如更高的速度、负荷和温度），设备制造商对性能的要求也越来越严格。因此，需要提高润滑脂的性能才能提供满意的性能。这些润滑脂必须为润滑组件提供较长的使用寿命和延长的再润滑间隔，从而降低维护成本。

除了普通润滑应用之外，润滑脂的配方还需要考虑可生物降解或适合于与食品偶然接触。

润滑要求和润滑脂选择

在选择润滑脂基础油粘度的过程中，必须考虑具体应用中操作温度下的油膜厚度。通常，高速应用要求低粘度润滑油，而高粘度润滑油则用于慢速和高负荷应用。

在高温下，稠化剂结构可能会分解，而润滑脂会变得更像流体，失去了保留在原位的能力。此特性通过润滑脂滴点进行测量。稠化剂的选择通常基于预计使用温度。锂皂基润滑脂的典型最大使用温度为135°C，而复合锂基矿物油润滑脂的工作温度最高可达175°C。^[6]虽然稠化剂可在这些温度下工作，但基础油将受到氧化的影响，再润滑间隔可能会很短。如果将矿物油替代为合成基础油，则将因较好的热氧化安定性而有助于提高最大使用温度或延长再润滑间隔。

另一个重要的特性是机械稳定性。稠化剂结构可能会在使用中受到大幅度的剪切，尤其是在滚动轴承和齿轮中。这会破坏其结构，从而造成润滑脂稠度丧失及润滑脂变软。润滑脂稠化剂应具有良好的机械稳定性，可通过延长润滑脂工作针入度测试 (ASTM D217) 或滚筒稳定性测试 (ASTM D1831) 测量，这些测试旨在设法模拟润滑脂在应用中所经受的应力。

集中配送系统通常用于为应用中的设备提供润滑脂。在这些系统中，流动性和泵送性能是重要因素。当润滑脂的稠度足够低，使润滑脂可下落到其容器或储罐底部并到达泵入口时，即实现了良好的流动性。这样可将润滑脂传输到配送线上。如果润滑脂过于粘稠，它将不会下落并且泵将会空转。泵送性能是润滑脂流速的一项衡量标准。一般来说，较软牌号的润滑脂可提高泵送性能。此外，由于基础油具有良好的低温流动性，基于合成油的润滑脂往往在低温下具有良好的泵送性能。

另一个重要因素是润滑分油性。如果稠化剂无法在配送系统中很好地流动，则润滑油可能会与稠化剂分离，这会导致润滑脂变硬并堵塞配送管道。

在某些应用中，需要良好的抗水性以避免润滑脂被冲洗掉。在此情况下，可使用聚合物添加剂和/或高粘度基础油提供一定的粘着性。

合成油的优点

与润滑脂中的传统矿物基础油相比，合成基础油可提供明显的优势。合成基础油的潜在优势如下：

- 通过更好的高温和低温性能，实现较宽的工作温度范围
- 通过提高高温下的抗氧化性和低挥发性，延长寿命并减少沉积物的形成
- 提高低温下的流动性并降低轴承扭矩
- 通过使用较高粘度指数的基础油或低牵引系数的基础油，实现节能
- 通过较厚的油膜或更好的成膜能力，增强抗磨保护
- 生物降解性/或低毒性
- 能够制造食品级润滑产品

在所有合成基础油中，聚 α 烯烃 (PAO) 用在润滑脂中的历史十分悠久（约 40 年），而且大概是使用最广泛的。这其中的原因有以下几点：

- 较宽的粘度范围（100°C 下，2-150 cSt）
- 工作温度范围较宽
- 使用抗氧化剂时具有良好的氧化安定性
- 低牵引系数可实现节能
- 与矿物油和其它基础油相容
- 对多数涂料、弹性体或塑料的影响很小
- 符合针对工艺用白矿物油的安全要求 (21cFR178.3620[b])

对于润滑脂配方设计师来说，使用聚 α 烯烃和聚合物稠化剂可降低符合欧盟《化学品注册、评估、授权和限制》(REACH) 法规的复杂性，因为聚合物通常不受这些法规的约束。

由于合成酯具有良好的热稳定性、低温性能、润滑性，并且部分酯具备生物降解性，因此它们也得到了广泛使用。此外，酯还具有良好的溶解性，这也是为润滑脂选择基础油的最重要因素之一。这会影响到制造润滑脂的方法以及形成稠化剂结构的方式。并可能会对润滑脂的机械稳定性和润滑能力产生显著影响。不过，酯的高溶解性通常会导致过度的密封件溶胀或材料相容方面的问题。此外，酯在有水存在的情况下可能会发生水解，而水是工业润滑油和润滑脂中常见的污染现象。

在以植物油为基础油的润滑脂中添加合成酯，可以改进该润滑脂低温性能和氧化安定性。

合成酯通常用于聚 α 烯烃的辅助基础油，以提升总体溶解性特性。聚 α 烯烃具有低溶解性的特性，可能导致某些密封材料收缩。添加酯将有助于提高溶解性并且通常会使密封材料溶胀。此外，所增加的溶解性还有助于提高稠化剂效率，从而提升润滑脂制造水平。

烷基萘 (AN) 是另一种合成基础油，它不仅提供良好的溶解性，而且具有热氧化安定性和水解稳定性，可在润滑油配方中取代酯。在与聚 α 烯烃或其它基础油结合使用时，它可协同促进配方的氧化安定性。

由于埃克森美孚化工生产的 Synesstic™ 烷基萘、SpectraSyn™ 聚 α 烯烃和 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃产品在 NSF “白皮书” 中注册为适合偶然食品接触 (H1) 的润滑剂，因此可将其结合起来制造高性能的符合 H1 认可的食品级润滑脂。

此外，还可以使用聚乙二醇、硅油和聚醚等其它合成基础油，但其特定性能限制使得它们仅适用于专用润滑脂。

由于其基础油具有广泛的粘度范围，因此合成润滑脂有多种粘度等级，范围从 ISO VG 15 到 1500。根据等级的不同，这些润滑脂可广泛用于各种应用和工作温度。它们不仅适用于众多工业应用领域，同时也广泛应用于汽车、航海和航空等领域。

合成润滑脂已经成为世界各地众多行业用户的选择。其声誉是建立在其卓越的品质、可靠性、多功能以及诸多性能优势基础上的。以下列举了合成润滑脂的一些具体特性及优点。

配方数据

润滑脂通常由以下成分组合制备：

- 基础油 75-95%
- 稠化剂 5-20%
- 添加剂 0-15%

与液体润滑油一样，可以使用基础油调和物，以及预混添加剂复合剂或添加剂成分。

所采用的典型添加剂包括抗磨、防锈剂和抗氧化剂。根据所涉及的应用不同，可使用金属钝化剂、聚合物（粘度改进剂或增粘剂）和极压添加剂。

在实际工作中，需要大量配方知识和试验才能获得高级润滑脂的所有性能特性。

API 四类聚 α 烯烃润滑脂

所有 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃和 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃牌号都适合在润滑脂中使用。低粘度牌号具有良好的挥发性和低温性能，而较高粘度的牌号具有良好的油膜厚度和增强的抗磨损性。所有 SpectraSyn 牌号都在 NSF 中注册为可与食品偶然接触的润滑剂（H1 分类）。

表 8.0.A 显示了与 API 一类矿物油相比，在低温和高温测试中使用 SpectraSyn™ 聚 α 烯烃基础油的优点。

使用 SpectraSyn Elite™ 茂金属聚 α 烯烃牌号可提高低温流动性，特别是对于较高的粘度等级。表 8.0.B 显示了低温扭矩和美钢流动性数据。



表 8.0.A 聚 α 烯烃与矿物油基润滑脂的高温和低温性能的比较

基础油成分		矿物润滑脂	聚 α 烯烃润滑脂
SpectraSyn™ 100			24.7
SpectraSyn™ 6 600N		82.2	50.2
普通润滑脂添加剂复合剂		约 4%	
目标基础油粘度, cSt (40°C)		110	110
复合锂基稠化剂含量 (计算值)		8.6	13.8
测试	测试方法	结果	
锥入度, 未工作/已工作, 0.1mm	ASTM D217	291/287	269/276
滴点, °C	ASTM D2265	>308	>308
低温性能			
低温扭矩 (-40°C)		ASTM D1478	
启动扭矩, g-cm		14,200	2,321
运转扭矩 (1 hr), g-cm		3,130	306
USS 低温流动性 (-18°C(0°F)), g/min	USS	8.9	25.3
抗氧化性			
PDSC (180°C) 氧化安定性/寿命, min	ASTM D5483	56.5	96.1

来源: 埃克森美孚数据

注: 组分百分比不包括使用稠化剂复合剂或其它增稠剂组分。

表 8.0.B 聚 α 烯烃基与茂金属聚 α 烯烃基润滑脂的低温性能的比较

基础油成分		聚 α 烯烃润滑脂	茂金属聚 α 烯烃润滑脂	茂金属聚 α 烯烃润滑脂
SpectraSyn™ 100		75		
SpectraSyn™ 6		25	28	43
SpectraSyn Elite™ 150			72	
SpectraSyn Elite™ 300				57
普通润滑脂添加剂复合剂		在基础油中占 4% 以上		3%
目标基础油粘度, cSt (40°C)		460	460	460
复合锂基稠化剂含量 (计算值)		14.4	11.9	14
测试	测试方法	结果		
锥入度, 未工作/已工作, 0.1mm	ASTM D217	290/298	274/275	287/282
滴点, °C	ASTM D2265	334	322	271
低温性能				
低温扭矩 (-40°C)	ASTM D1478			
启动扭矩, g-cm		4,220	2,830	2,210
运转扭矩 (1 hr), g-cm		1,330	552	531
US 低温流动性 (-18°C(0°F)), g/min	USS	10.7	13.2	12.6

来源: 埃克森美孚数据

API 五类合成润滑脂

己二酸酯和多元醇酯: Esterex™ A32、A34、A41、A51、NP343 和 NP451。

这些产品适用于低温和高温（-37°C 到 177°C 以上）以及具有易生物降解或具有固有生物降解性酯（参见第 9.6 部分）要求的应用。与聚 α 烯烃结合使用时，由于其更强的极性，可提高添加剂溶解性。使用多元醇酯可获得比己二酸酯更好的热稳定性和氧化安定性。

Synesstic™ 5 和 Synesstic™ 12 烷基萘

与聚 α 烯烃结合使用时，所生产出的润滑脂可具有优良的低温泵送性能和高温特性。此外，Synesstic™ 烷基萘的溶解性可帮助减少稠化剂的添加量并提高添加剂的溶解性，同时提供水解稳定性。Synesstic™ 产品的优良润滑性可帮助提高润滑脂的微动磨损特性。表 8.0.C 对烷基萘型润滑脂与聚 α 烯烃基润滑脂的磨损和高温性能进行了比较。



表 8.0.C 聚 α 烯烃型与烷基萘润滑脂的抗磨和高温性能比较

共混基础油成分		烷基萘润滑脂	聚 α 烯烃润滑脂
SpectraSyn™ 100			24.7
SpectraSyn™ 6			50.2
Synesstic™ 12		81.8	
普通润滑脂添加剂复合剂		约 4%	
目标基础油粘度, cSt (40°C)		110	110
复合锂基稠化剂含量 (计算值)		9.3	13.8
测试	单位		
锥入度, 未工作/已工作, ASTM D217	0.1 mm	280/282	269/276
滴点, ASTM D2265	°C	>308	>308
抗磨/极压性能			
四球磨损测试/极压测试			
磨损, ASTM D2266, 40kg, 120 rpm, 1 hr (75°C)	mm	0.38	0.51
极压, ASTM D2596 LWI 负荷磨损指数	kg	39.4	44.1
极压, ASTM D2596, 烧结负荷	kg	250	315
微动磨损, ASTM D4170	mg	9.2	20.3
抗氧化性			
PDSC (180°C) 氧化安定性/寿命, ASTM D5483	min	87.9	96.1
FE9 轴承测试 (DIN 51821) (140°C), 6000rpm, 1.5kN			
L10 寿命	hr	180.5	36.6
L50 寿命	hr	488.5	62.7

埃克森美孚化工测试结果: 除非特别说明, 所有结果均为单一样品测试结果。除非另有说明, 所有方法均为 ASTM 方法并由字母 D 和测试编号注明。

测试结果为典型值, 不应视为标准值。

注: 组分百分比不包括使用稠化剂复合剂或其它增稠剂组分。

数据来源: 埃克森美孚数据

9.0 附录

动力, 与你同在



9.0 附录

9.1 添加剂术语表

在生产高质量润滑油的过程中会使用多种化学添加剂。它们或者是单一用途添加剂，或者是多用途添加剂。下面列出了一些常用添加剂类型。

防锈剂

多数润滑油都含有防锈剂以增强其防锈性能。防锈剂通常是磺酸钙型或烷基丁二酸衍生物。

分散剂

分散剂有助于将有机老化物质悬浮在润滑油中，防止它们粘合在一起，从而最大限度降低有害物质的沉积。

极压添加剂

极压添加剂比抗磨剂活性更高，通常通过在高温下与金属表面发生反应而形成足够的抗磨保护层，因此可以承受比抗磨剂更高的负荷。例如，汽车准双曲面齿轮要求润滑油含有高活性的极压添加剂。极压添加剂通常是硫化物或重金属盐型。

降凝剂

降凝剂可改进矿物油的低温流动性，并减少低温下蜡的形成。

金属钝化剂

这些材料可帮助最大限度地减少某些金属表面的催化作用，例如，如果没有钝化涂层，铜管可能会氧化润滑油。

抗磨剂

通过吸附或聚积作用，抗磨剂在金属表面形成一层保护膜，以尽可能减少金属之间的直接接触。这种材料旨在增强矿物油的抗磨特性，以便能够承受一倍或两倍于单纯使用矿物基础油的负荷。这些材料不会产生锈迹和腐蚀。它们通常由磷、锌、硫、硼或这些元素的组合制成。在弹性流体 (EHD) 或边界条件下操作的应用通常需要这种添加剂。

抗氧化剂

充当过氧化物分解剂、链终止剂和/或金属减活剂。过氧化物分解剂可将过氧化物转换成无害化合物，从而破坏自由基前体。链终止剂可中断氧和烃自由基之间的链式反应，以防止或减缓酸性物质、链式反应产物和油泥的形成。金属减活剂可抑制润滑系统中金属的氧化催化作用。减活剂将覆盖在金属表面或金属颗粒上，充当防止催化作用的屏障。催化活性最高的金属是铜，其次是铅，再接下来是铁。

密封件溶胀剂

密封件溶胀剂是可帮助改进弹性体的溶胀特性的液体。在使用高浓度的石蜡基础油时通常需要这些材料。合成酯和烷基萘可用于此类应用。

摩擦改进剂

通常为长链极性结构的一类材料，用于改变润滑油的摩擦特性。它们可用于提高润滑性或滑动性（摩擦系数对其有重要影响），或改进燃油经济性/节能性能。

粘度指数改进剂

添加到润滑油中时，这些高分子量聚合物可根据温度条件卷曲和伸展，以改进粘度指数。它们可在低温下降低倾点，而在高温下可提供足够的粘度。它们可在热或机械应力下分解。

破乳剂

加强油、水的分离特性，使油水能够迅速分离，还有利于提高防锈性能。

清净剂

清净剂是金属盐型，添加到润滑油中时，可改善洁净度并帮助减少沉积物形成。中性清净剂用于改善洁净度，而高碱性清净剂可帮助中和润滑油中（例如，在发动机的燃烧过程中）形成的所有酸性物质。

消泡剂

添加到润滑油时，消泡剂可改变液体的表面张力，削弱泡沫之间的油膜强度，从而加速泡沫的破裂。通常为聚硅氧烷或聚丙烯酸酯类，消泡剂在添加量很低的条件下十分有效，但对空气释放性具有不利影响。

增粘剂

粘稠状物质，特别是在水喷淋等恶劣条件下，可以在金属表面形成并保持一层均匀油膜。



9.2 缩略词

在本文中使用了以下缩略词或缩写：

AB	烷基苯	DPF	柴油颗粒过滤器	MSDS	产品安全说明书	SAPS	硫酸盐灰分和磷
ACEA	欧洲汽车制造商协会	EHD	弹性流体动力润滑	MW	分子量	SCR	选择性催化还原
AGMA	美国齿轮制造商协会	EHL	弹性流体动力润滑	NLGI	美国国家润滑脂学会	SG	比重
AIST	铁和铝贸易协会	EP	极压	NMMA	美国船舶制造商协会	SH&E	安全、健康和环境
AAN	烷基萘或酸值	FDA	美国食品和药物管理局	NSF	美国国家卫生基金会	SSI	剪切稳定性指数
AMT	手自一体变速器	FZG	德国齿轮和齿轮箱研究所	OD	外径	SUS	赛氏粘度 (或 SSU)
API	美国石油学会	hp	马力	OECD	经济合作与发展组织	TC-W3	水冷二冲程舷外发动机油 规范
ASTM	美国试验与材料协会	HVI	高粘度指数	OEM	原始设备制造商	TAN	总酸值
ATF	自动变速器油	HTHS	高温高剪切	Pa	帕斯卡	TISI	泰国工业标准协会
CEC	欧洲协调委员会	ILSAC	国际润滑油标准化和认证 委员会	PAG	聚烷基二醇	TMP	三羟甲基丙烷(酯类)
CCR	康氏残炭	in	英寸	PAO	聚 α 烯烃	TÜV	德国安全组织
CCS	冷启动模拟器	ISO	国际标准化组织	PIB	聚异丁烯	USDA	美国农业部
COC	克立夫兰开口杯法	JASO	日本标准化组织	phr	份/百份	VG	粘度等级
cP	厘泊	kg	千克	POE	多元醇酯	VI	粘度指数
CS	压缩永久变形	KV	运动粘度	ppm	份/百万份		
cSt	厘斯	lbs	磅	pt	点		
CVT	无级变速器	LSD	限滑差速器	PVC	聚氯乙烯		
DCT	双离合变速器	MRV	微型旋转粘度计	R&O	抗氧防锈		
DIN	德国标准组织			SAE	美国汽车工程师学会		

9.3 润滑油粘度等级分类

9.3.1 SAE 汽车润滑油粘度等级

SAE J300 发动机油

SAE 粘度等级	低温启动粘度 ^[1] (cP) 最大值 (温度 °C)	低温泵送粘度 ^[2] (cP) 最大值 (温度 °C)	运动粘度 ^[3] (cSt) (100°C)	运动粘度 ^[3] (cSt) (100°C)	高剪切率粘度 ^[4] (cP) (150°C)
			最小值	最大值	最小值
0W	6,200 @-35	60,000 @-40	3.8		
5W	6,600 @-30	60,000 @-35	3.8		
10W	7,000 @-25	60,000 @-30	4.1		
15W	7,000 @-20	60,000 @-25	5.6		
20W	9,500 @-15	60,000 @-20	5.6		
25W	13,000 @-10	60,000 @-15	9.3		
8			4.0	<6.1	1.70
12			5.0	<7.1	2.0
16			6.1	<8.2	2.3
20			5.6	<9.3	2.6
30			9.3	<12.5	2.9
40			12.5	<16.3	2.9 ^[5]
40			12.5	<16.3	3.7 ^[6]
50			16.3	<21.9	3.7
60			21.9	<26.1	3.7

参考资料: ^[1]ASTM D5293. ^[2]ASTM D4684 (无屈服应力) ^[3]ASTM D445. ^[4]ASTM D4683、CEC-L-36-A-90 (ASTM D4741) 或 ASTM D5481 ^[5]0W-40、5W-40 和 10W-40 ^[6]15W-40、20W-20、25W-40 和 40。

来源: 摘自 SAE J300 Jan2009 并获得许可, 版权所有 © SAE International.

SAE J306 汽车齿轮油

SAE 等级	粘度为 150,000 cP 的最高温度 ^[7]	运动粘度 (100°C), 最小值	
		最小值 ^[8]	最大值
70W	-55°C	4.1	
75W	-40°C	4.1	
80W	-26°C	7.0	
85W	-12°C	11.0	
80		7.0	<11.0
85		11.0	<13.5
90		13.5	<18.5
110		18.5	<24.0
140		24	<32.5
190		32.5	<41.0
250		41.0	

参考资料: ^[7]ASTM 2983 布氏粘度 ^[8]同时必须满足 CEC L-45-T-93 方法 C (20 hr) 测试的限值要求

来源: 摘自 SAE J306 Jun2005 并获得许可, 版权所有 © SAE International.

9.3.2 ISO 粘度分类 (ISO 3448)

1975 年，国际标准化组织 (ISO) 根据工业应用中常见的典型温度，制定了一套对各种润滑油的粘度等级进行分类的体系。

该体系定义了 20 个等级，范围包括 40°C 下 2 到 3200 cSt。每个等级由其 40°C 下的中间值粘度确定，其范围为该中间值粘度的 +/- 10%。

等级值增加的规律是下一中间值粘度比上一中间值粘度约高 50%。

经验法则：已知 100°F 下给定产品的赛氏粘度，其对应 ISO 等级可用以下换算公式确定：

$$100^{\circ}\text{F 下的 SUS} \div 5 = 40^{\circ}\text{C 下的 cSt}$$

ISO 粘度等级	运动粘度中间值，cSt (40°C)	运动粘度，cSt (40°C)	
		最小值	最大值
ISO VG 2	2.2	2.0	2.4
ISO VG 3	3.2	2.9	3.5
ISO VG 5	4.6	4.1	5.1
ISO VG 7	6.8	6.1	7.5
ISO VG 10	10	9.0	11.0
ISO VG 15	15	13.5	16.5
ISO VG 22	22	19.8	24.2
ISO VG 32	32	29.8	35.2
ISO VG 46	46	41.4	50.6
ISO VG 68	68	61.2	74.8
ISO VG 100	100	90.0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1,000	900	1,100
ISO VG 1500	1,500	1,350	1,650
ISO VG 2200	2,200	1,980	2,420
ISO VG 3200	3,200	2,880	3,520

来源：ISO

9.3.3 前 AGMA 齿轮油粘度分类

前 AGMA 润滑油号	运动粘度, cSt (40°C)		等效 ISO VG
	最小值	最大值	
0	28.8	35.2	32
1	41.4	50.6	46
2	61.2	74.8	68
3	90	110	100
4	135	165	150
5	198	242	220
6	288	352	320
7	414	506	460
8	612	748	680
8A	900	1,100	1,000
9	1,350	1,650	1,500
10	1,980	2,420	2,200
11	2,880	3,250	3,200

改用 ISO 粘度等级分类时, 不再使用 EP (极压)、R (防锈和抗氧化性) 和 C (复合) 规格

来源: AGMA 9005-E02 (数据使用经美国齿轮制造商协会许可, 1001 N. Fairfax Street - 5th Floor, Alexandria VA 22314)

9.3.4 NLGI 润滑脂分类

NLGI 等级	60 次工作锥入度 (25°C)
NLGI 000 号	445-475
NLGI 00 号	400-430
NLGI 0 号	355-385
NLGI 1 号	310-340
NLGI 2 号	265-295
NLGI 3 号	220-250
NLGI 4 号	175-205
NLGI 5 号	130-160
NLGI 6 号	85-115

润滑脂等级的分类是按照工作锥入度的范围划分的, 并且该锥入度是在 60 次往复工作后测量的, 测量的单位为十分之一毫米, 测试的方法为 ASTM D217 “Cone Penetration of Lubricating Grease” (润滑脂的锥入度)。

来源: NLGI

9.3.5 API 基础油分类

类别	粘度指数	饱和烃含量	硫含量
I	≥80 - <120	<90%	和/或 >0.03%
II	≥80 - <120	≥90%	和 ≤0.03%
III	≥120	≥90%	和 ≤0.03%
IV	聚 α 烯烃		
V	不符合前 4 类要求的所有其它产品		

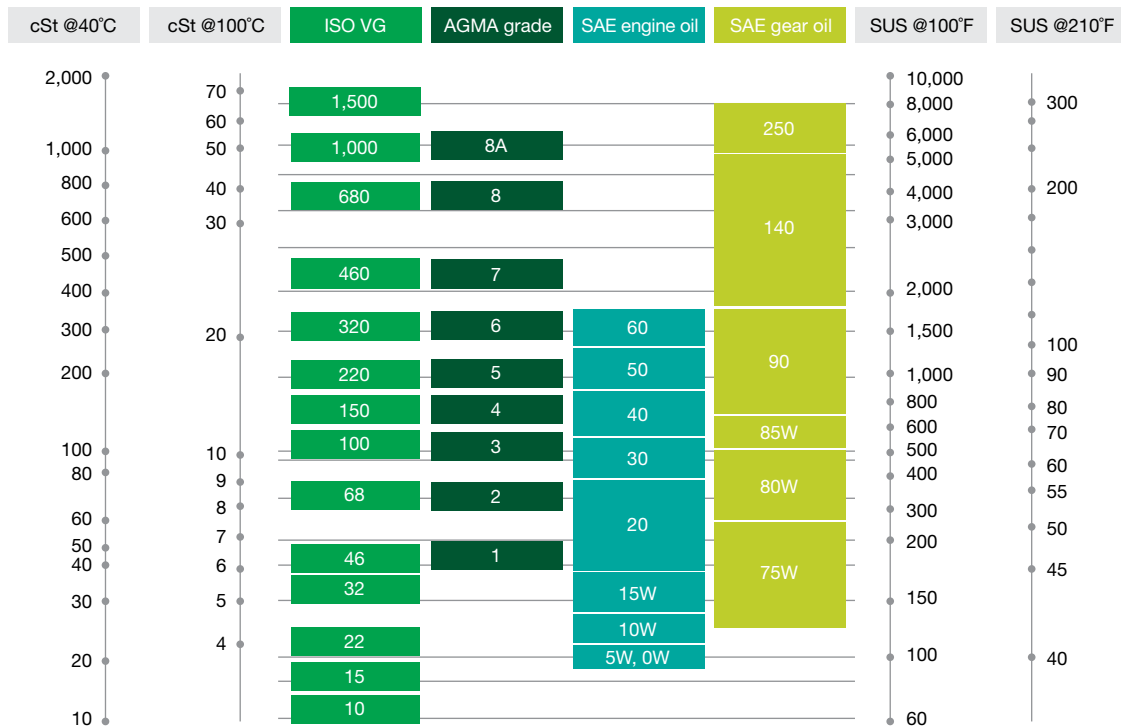
来源: API Base Oil Interchangeability Guidelines for Passenger Car Motor Oils and Diesel Engine Oils (《用于乘用车发动机油和柴油发动机油的 API 基础油互换性指南》), API 1509, 附录 E 再版, 由美国石油协会提供。

API.org Appendix-E-REV-09-01-11

9.4 粘度换算表

运动粘度	赛氏粘度	恩氏粘度	雷氏粘度, 1号, 秒	运动粘度	赛氏粘度	恩氏粘度	雷氏粘度, 1号, 秒
2	32.6	1.1	30.8	110	511	14.5	450
3	36.0	1.2	33.2	120	558	15.8	490
4	39.1	1.3	35.8	130	605	17.1	530
5	42.5	1.4	38.4	140	649	18.4	570
6	45.7	1.5	41	150	695	19.7	620
7	49.0	1.6	43.7	160	742	21.0	660
8	52.0	1.7	46.5	170	788	22.5	700
9	55.7	1.7	49.2	180	834	24.0	740
10	59.0	1.8	52.1	190	881	25.0	780
11	62.5	1.9	55.2	200	927	26.0	820
12	66.2	2.0	58.4	210	973	28.0	860
13	70.0	2.1	61.6	220	1,020	29.0	900
15	77.5	2.3	68.2	230	1,066	30.0	940
17	85.5	2.6	75.2	240	1,112	32	990
19	94	2.8	82.8	250	1,159	33	1,030
21	100	3.0	90.4	260	1,205	34	1,070
23	111	3.2	98	270	1,251	36	1,110
25	120	3.5	106	280	1,297	37	1,150
28	133	3.8	117	290	1,344	38	1,190
30	142	4.1	125	300	1,390	40	1,230
33	155	4.5	137	315	1,460	41	1,300
35	164	4.7	145	330	1,529	43	1,350
38	178	5.1	157	350	1,622	46	1,440
40	187	5.4	166	370	1,715	49	1,520
43	200	5.8	178	390	1,807	51	1,600
46	214	6.2	190	410	1,900	54	1,690
50	233	6.7	207	430	1,990	57	1,770
55	256	7.3	228	450	2,090	59	1,850
60	279	7.9	248	470	2,180	62	1,930
65	302	8.6	268	490	2,270	64	2,010
70	325	9.3	286	500	2,320	66	2,050
75	349	9.9	307	550	2,540	72	2,260
80	372	10.5	329	600	2,780	79	2,460
85	395	11.2	349	650	3,010	86	2,670
90	418	11.8	370	700	3,240	92	2,880
95	442	12.5	390	750	3,470	99	3,080
100	465	12.3	410	800	3,700	1,105	3,280

9.5 粘度分类比较



这是比较不同分类方法下等效粘度的粗略准则。
粘度仅水平关联。

ISO VG 是根据 40°C 粘度进行划分的

AGMA 等级是根据 40°C 粘度进行划分的

SAE 75W、80W 和 5W 及 10W 为低温下定义的粘度。图表中显示了 40°C 及 100°C 条件下的等效粘度。

SAE 20 到 50 及 90 到 250 是 100°C 下划分的粘度等级。

数据来源：埃克森美孚搜集整理

9.6 生物降解性数据

产品	28 天的生物降解率, %		评估
	OECD 301F	OECD 301B	
Esterex™ A32	70	-	易于生物降解
Esterex™ A34	78	-	易于生物降解
Esterex™ A41	76	-	易于生物降解
Esterex™ A51	58	-	固有的生物可降解性
Esterex™ P61	71	-	易于生物降解
Esterex™ P81	55	-	固有的生物可降解性
Esterex™ TM111	<1	-	不具有固有的生物可降解性
Esterex™ NP343	-	76	固有的生物可降解性
Esterex™ NP451	84	-	易于生物降解
Synesstic™ 5	46.4	-	固有的生物可降解性
Synesstic™ 12	24	-	固有的生物可降解性
PAO	<ul style="list-style-type: none"> 一般来说, 较低粘度聚 α 烯烃产品的生物降解性优于较高粘度聚 α 烯烃产品。 没有符合 OECD 易于生物降解分类的聚 α 烯烃产品。 较低粘度聚 α 烯烃 (100°C 下, 2 到 8 cSt) 具有固有的生物可降解性 较高粘度聚 α 烯烃 (100°C 下, > 10 cSt) 不具有固有的生物可降解性。 		

数据来源: 埃克森美孚数据

OECD 分类

易于生物降解

要被划分为“易于生物降解”, 测试材料必须符合两项 OECD 要求: 它必须在 28 天内实现 60% 以上的生物降解, 并且必须通过“10 天”期限条件, 这意味着在获得 10% 可生物降解性标志后, 测试材料必须在随后的 10 天内达到 60% 的生物降解率。

固有的生物可降解性

要被划分为“固有的生物可降解性”, 测试材料必须符合以下 OECD 要求: 生物降解大于 20%。

©2017 埃克森美孚。埃克森美孚 (ExxonMobil)、埃克森美孚徽标 (ExxonMobil logo) 和连接的“X”设计及在本文件中使用的所有其它产品或服务名称，除非另有标明，否则均为埃克森美孚的商标。未经埃克森美孚的事先书面授权，不得分发、展示、复印或改变本文件。使用者可在埃克森美孚授权的范围内，分发、展示和/或复印本文件，但必须毫无改动并保持其完整性，包括所有的页眉、脚注、免责声明及其它信息。使用者不可将本文件全文或部分复制到任何网站。埃克森美孚不保证典型（或其它）数值。本文包含的数据均根据对具有代表性的样品，而非实际运送的产品所作分析得出。本文件所含信息仅是所指明的产品或材料未与任何其它产品或材料结合使用时的相关信息。我们的信息基于收集之日被认为可靠的数据，但是，我们并不明示或暗示地陈述、担保或以其它方式保证此信息或所描述产品、材料或工艺的适销性、适宜于某一特定用途、不侵犯专利权、适用性、准确性、可靠性或完整性。使用者对其感兴趣的领域使用该材料、产品或工艺所做的一切决定负全部责任。我们明确声明将不对由于任何人使用或依赖本文件所含任何信息而导致的或与此相关的直接或间接遭受或者产生的任何损失、损害或伤害承担责任。本文件不应视作我们对任何非埃克森美孚产品或工艺的认可，并且我们明确否认任何相反的含意。“我们”、“我们的”、“埃克森美孚化工”或“埃克森美孚”等词语均为方便而使用，可包括埃克森美孚化工公司、埃克森美孚公司，或由它们直接或间接控制的任何关联公司中的一家或者多家。

更多信息，请访问：

exxonmobilsynthetics.com

N0218-043C50

ExxonMobil

动力,与你我同在™