



第九届内燃机可靠性技术国际研讨会



柴油机润滑油中国标准开发与展望

帅石金

发动机润滑油中国标准开发创新联盟
清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室

2020年10月31日 济南

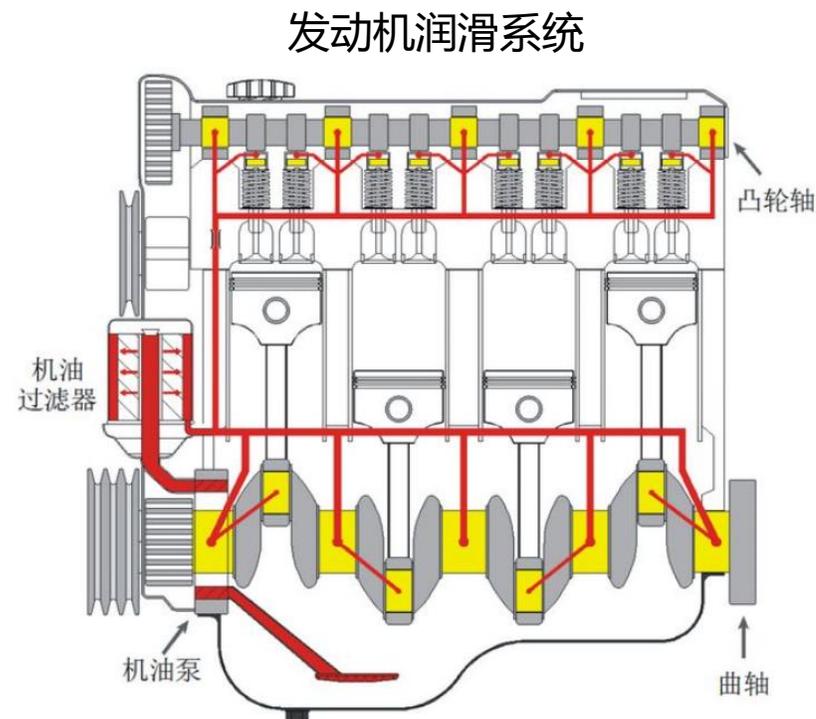
报告提纲

1. 润滑油中国标准制定背景及目标
2. 润滑油台架测试方法开发
3. 总结与展望

润滑油——发动机的“血液”

润滑油，又叫**机油**，作为**汽车发动机的“血液”**，具有以下功能：

- 润滑减摩
- 清洗清洁
- 密封防漏
- 防锈防蚀
- 冷却降温
- 减震缓冲
-



润滑油技术也属于“卡脖子”技术：

- 民用航空和工业用涡轮发动机润滑油 (SAE AS5780D)：禁止给中国公司认证。
- 禁止外销发动机台架标定用标准润滑油。
- 严控新开发润滑油评价发动机台架，国内很难引进新的认证测试平台。

润滑油规格发展的驱动力



01 满足低排放的发动机 硬件设计需求



02 发动机的耐久性 和长换油周期



03 燃油经济性

- 用户需求：环保、节能、延长换油期、降低使用和运营成本。
- OEM：为了满足上述要求，采用新技术，对润滑油提出新要求，推动润滑规格的更新换代。

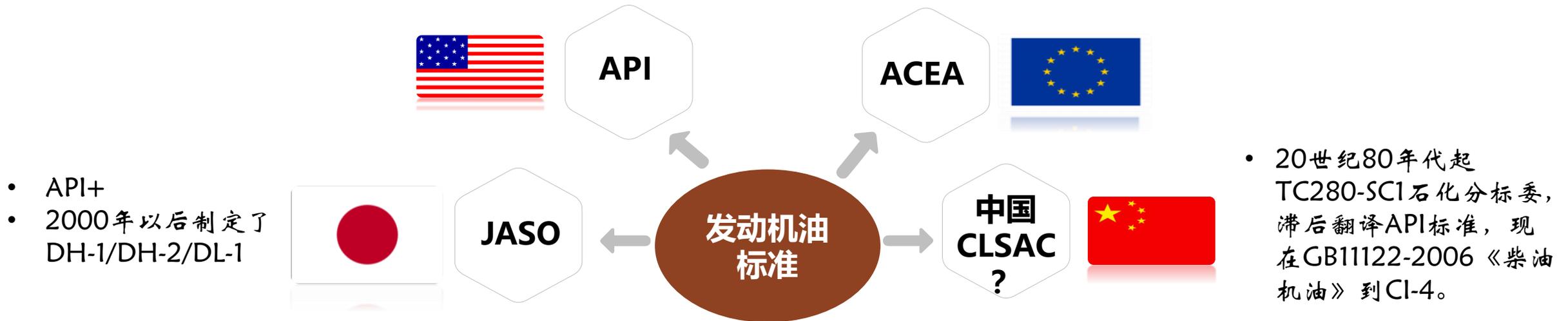
世界发动机润滑油标准体系和我国现状

美国石油协会 (API)

- 20世纪40年代, CA到CJ4/CK-4/FA-4柴油机油
- 理化、模拟+Cat.1N、C13、MackT11/12、Cummins ISM/ISB、RFWT、EOAT和IIIG等台架+OEM台架评定体系

欧洲汽车制造协会 (ACEA)

- 1983年CCMC D1-5, 1995年ACEA A/B、C和E系列发动机油标准
- 理化指标、模拟试验、基本台架+OEM台架评定体系



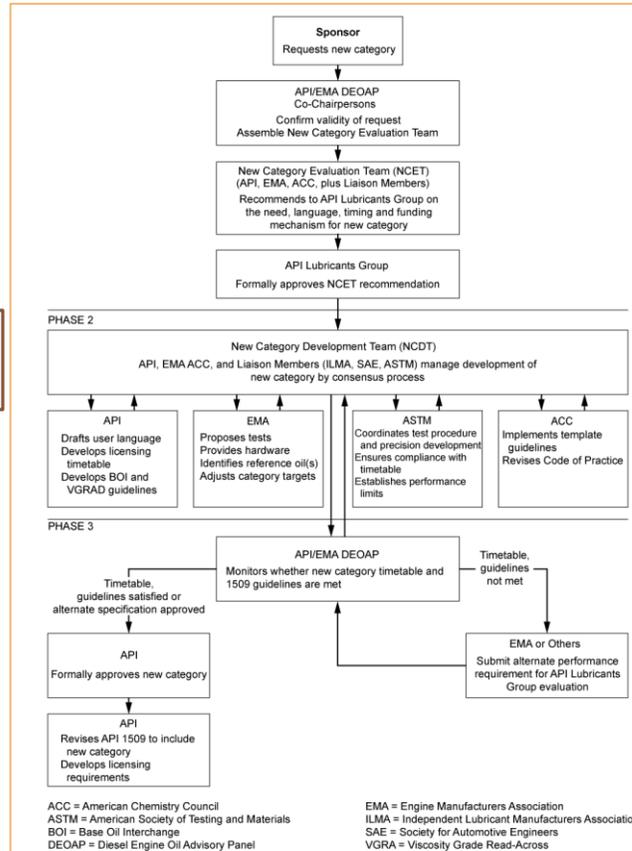
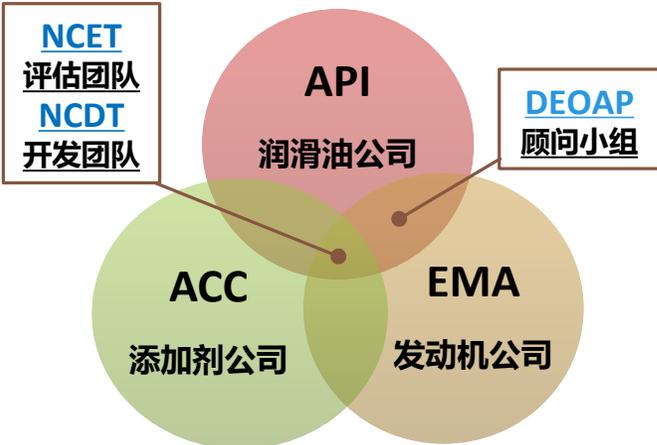
注: 中国润滑油标准和认证委员会 (Chinese Lubricant Standardization and Approval Committee, 简称CLSAC)

现状分析

我国作为汽车产销大国, 但没有自己的润滑油规格和评价体系, 润滑油市场混乱, 产品质量参差不齐。

API 柴油机润滑油标准体系

- 油品性能要求包括**理化限值**、**模拟实验**和**发动机台架试验**三个要求，其中**发动机台架测试方法**是核心。
- 新润滑油产品和测试方法标准由**发动机行业**、**润滑油行业**和**添加剂行业**共同制定。



理化&模拟试验要求

发动机台架试验要求

API CK-4和FA-4机油性能要求

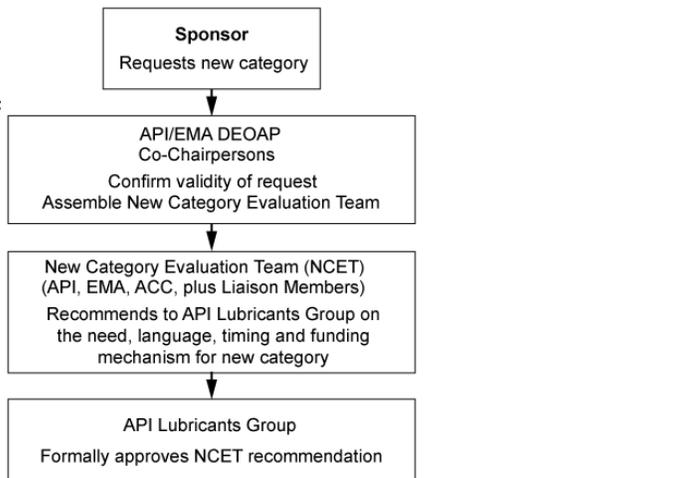
Commercial Vehicle Engine Oil Requirements For API CK-4 and API FA-4 Categories

| Requirements | Test Method | Properties | Unit | Limits | | |
|--|--|--|---|--|--|--|
| | | | | CK-4 | FA-4 | |
| 1. LABORATORY TESTS FOR API CK-4 AND API FA-4 | | | | | | |
| 1.1 Viscosity Grades | | SAE J300 | | xW-30, xW-40 | xW-30 | |
| 1.2 High Temperature/High Shear | ASTM D4683 or ASTM D4171 or ASTM D5481 | Viscosity @ 150° C xW-30 Grades xW-30 Grades xW-40 Grades | cP cP cP | 3.5 min n/a Meets SAE J300 | 2.9 min 3.2 max n/a | |
| 1.3 Shear Stability | ASTM D7109 | KV after 90 pass, shearing, @ 100° C xW-30 0W-40 Other xW-40 HTHS Viscosity @150° C min xW-30 grades | cSt cSt cSt cP | 9.3 min 12.5 min 12.8 min 3.4 min | 9.3 min n/a 2.8 min | |
| 1.4 Chemical Limits ^(a) | ASTM D4951 ASTM D4951 ASTM D874 | Mass fraction phosphorus ^(a) Mass fraction sulfur Mass fraction sulfated ash | % % % | | 0.12 max 0.4 max 1.0 max | |
| 1.5 Noack Volatility | ASTM D5800 | Evaporative loss @ 250° C | % | | 13 max | |
| 1.6 Foaming | ASTM D892 | Sequence I Sequence II Sequence III | tend/stab ml | | 10/0 max 20/0 max 10/0 max | |
| 1.7 High Temperature Corrosion Bench Test, 135° C | ASTM D6594 | Copper, used oil increase Lead, used oil increase Copper Strip Rating | ppm ppm - | | 20 max 120 max 3 max | |
| 1.8 Seal Compatibility | ASTM D7216 | Nitrile (NBR) Silicone (VMQ) Polyacrylate (ACM) Fluoroelastomer (FKM) Vamac G | Volume Change, % Hardness, pts Tensile strength, % Elongation, % | +5/-3 +TMC 1006/-3 +5/-3 +5/-2 +TMC 1006/-3 | +7/-5 +5/TMC 1006 +8/-5 +7/-5 +5/TMC 1006 | |
| 2. ENGINE TESTS FOR API CK-4 AND API FA-4 | | | | | | |
| | | Rated or Measured Parameter | Unit | Primary Performance Criteria | | |
| | | | | 1 Test | 2 Tests | 3 Tests |
| 2.1 Mack T-11 | ASTM D7156 | TGA % Soot @ 4.0 cSt TGA % Soot @ 12.0 cSt TGA % Soot @ 15.0 cSt | % % % | 3.5 min 6.0 min 6.7 min | 3.4 min 5.9 min 6.6 min | 3.3 min 5.9 min 6.5 min |
| 2.1a Sooted Oil MRV | ASTM D6896 | Viscosity, 180 hour sample from Mack T-11 or T-11A Viscosity @-20° C Yield Stress | cP Pa | | 25,000 max ≤/≠ 35 max | |
| 2.2 Mack T-12 | ASTM D7422 | Top Ring Mass Loss Cylinder Liner Wear | mg µm | <35 max 24.0 max | 105 max 24.0 max | 105 max 24.0 max |
| 2.3 Cummins ISB | ASTM D7484 | Slider tappet mass loss, average Cam lobe wear, average Crosshead mass loss, average | mg µm mg | 100 max 55 max Report | 108 max 59 max Report | 112 max 61 max Report |
| 2.4 Cummins ISM | ASTM D7468 | Merit rating Top Ring Mass Loss | Merits mg | 1000 min ^(a) 100 max | 1000 min ^(a) 100 max | 1000 min ^(a) 100 max |
| 2.5 Caterpillar 1N | ASTM D6750 | Weighted demerits (WDN) Top groove fill (TGF) Top land heavy carbon (TLHC) Oil consumption, (0 h - 252 h) Piston, ring, and liner scuffing Piston ring sticking | Demerits % % g/kWh None None None | 286.2 max 20 max 3 max 0.54 max None None | 311.7 max 23 max 4 max 0.54 max None None | 323.0 max 25 max 5 max 0.54 max None None |
| 2.6 Caterpillar C13 | ASTM D7549 | Merit rating Hot stuck piston rings | Merit None | 1000 min ^(a) None | 1000 min ^(a) None | 1000 min ^(a) None |
| 2.7 COAT | ASTM D8047 | Average Aeration, 40 h to 50 h | % | 11.8 max | 11.8 max | 11.8 max |
| 2.8 Roller Follower Wear Test | ASTM D5966 | Average pin wear | mils (µm) | 0.30 max (7.6 max) | 0.33 max (8.4 max) | 0.36 max (9.1 max) |
| 2.9 Volvo T-13 | ASTM D8048 | T-13 FTIR Peak Height Oxidation at EOT, Abs. Kinematic Viscosity Increase at 40° C (300 h-360 h) max Avg. Oil Consumption, 48 h to 192 h, max | cm ¹ % g/h | 125 75 Report | 130 85 Report | 133 90 Report |

summarized by Infineum based on ASTM D4485

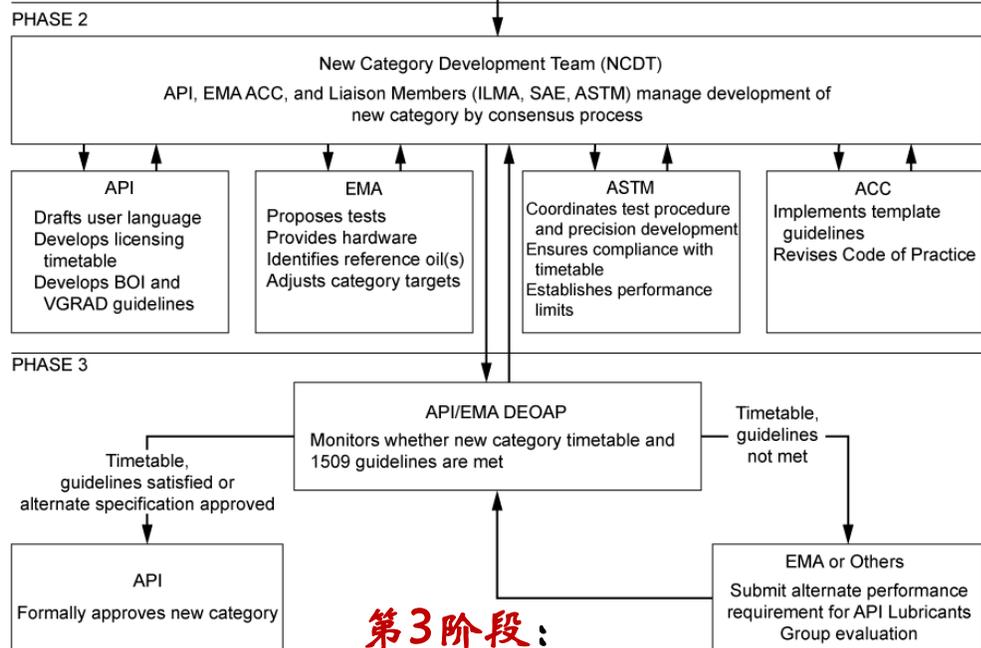
第一阶段:

- 提出新规格需求;
- 组建新规格评估小组;
- 向API提出建议;
- API批准立项。



第二阶段:

- 新规格开发



第3阶段:

- 监管新规格开发是否满足要求;
- API批准。

ACC = American Chemistry Council
 ASTM = American Society of Testing and Materials
 BOI = Base Oil Interchange
 DEOAP = Diesel Engine Oil Advisory Panel

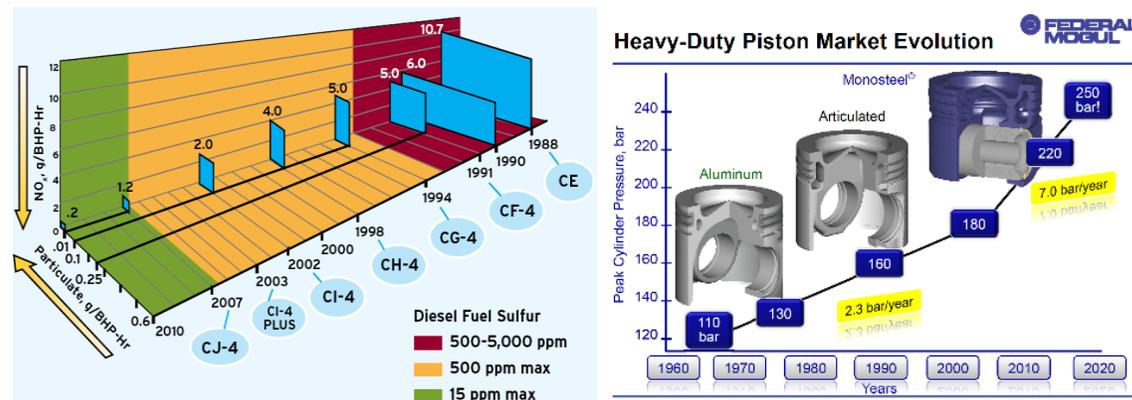
EMA = Engine Manufacturers Association
 ILMA = Independent Lubricant Manufacturers Association
 SAE = Society for Automotive Engineers
 VGRA = Viscosity Grade Read-Across

Commercial Vehicle Engine Oil Requirements For API CK-4 and API FA-4 Categories

| Requirements | Test Method | Properties | Unit | Limits | | | |
|--|--|--|---|--|--|---|---|
| | | | | CK-4 | FA-4 | | |
| 1. LABORATORY TESTS FOR API CK-4 AND API FA-4 | | | | | | | |
| 1.1 Viscosity Grades | | SAE J300 | | xW-30, xW-40 | xW-30 | | |
| 1.2 High Temperature/High Shear | ASTM D4683 or ASTM D4171 or ASTM D5481 | Viscosity @ 150° C xW-30 Grades xW-30 Grades xW-40 Grades | cP cP cP | 3.5 min n/a Meets SAE J300 | 2.9 min 3.2 max n/a | | |
| 1.3 Shear Stability | ASTM D7109 | KV after 90 pass, shearing, @ 100° C xW-30 OW-40 Other xW-40 HTHS Viscosity @150° C min xW-30 grades | cSt cSt cSt cP | 9.3 min 12.5 min 12.8 min 3.4 min | 9.3 min n/a n/a 2.8 min | | |
| 1.4 Chemical Limits ⁽⁹⁾ | ASTM D4951 ASTM D4951 ASTM D874 | Mass fraction phosphorous ⁽⁹⁾ Mass fraction sulfur Mass fraction sulfated ash | % % % | | 0.12 max 0.4 max 1.0 max | | |
| 1.5 Noack Volatility | ASTM D5800 | Evaporative loss @ 250° C | % | | 13 max | | |
| 1.6 Foaming | ASTM D892 | Sequence I Sequence II Sequence III | tend/stab ml | | 10/0 max 20/0 max 10/0 max | | |
| 1.7 High Temperature Corrosion Bench Test, 135° C. | ASTM D6594 | Copper, used oil increase Lead, used oil increase Copper Strip Rating | ppm ppm - | | 20 max 120 max 3 max | | |
| 1.8 Seal Compatibility | ASTM D7216 | Volume Change, % Hardness, pts Tensile strength, % Elongation, % | | | | | |
| | | Nitrile (NBR) Silicone (VMQ) Polyacrylate (ACM) Fluoroelastomer (FKM) Vamac G | | +5/-3 +TMC 1006/-3 +5/-3 +5/-2 +TMC 1006/-3 | +7/-5 +5/-TMC 1006 +8/-5 +7/-5 +5/-TMC 1006 | +10/-TMC 1006 +10/-45 +18/-15 +10/-TMC 1006 +10/-TMC 1006 | +10/-TMC 1006 +20/-30 +10/-35 +10/-TMC 1006 +10/-TMC 1006 |
| 2. ENGINE TESTS FOR API CK-4 AND API FA-4 | | | | | | | |
| | | Rated or Measured Parameter | Unit | Primary Performance Criteria | | | |
| | | | | 1 Test | 2 Tests | 3 Tests | |
| 2.1 Mack T-11 | ASTM D7156 | TGA % Soot @ 4.0 cSt TGA % Soot @ 12.0 cSt TGA % Soot @ 15.0 cSt | % % % | 3.5 min 6.0 min 6.7 min | 3.4 min 5.9 min 6.6 min | 3.3 min 5.9 min 6.5 min | |
| 2.1a Sooted Oil MRV | ASTM D6896 | Viscosity, 180 hour sample from Mack T-11 or T-11A Viscosity @-20° C Yield Stress | cP Pa | | 25,000 max ≤/ 35 max | | |
| 2.2 Mack T-12 | ASTM D7422 | Top Ring Mass Loss Cylinder Liner Wear | mg µm | <35 max | 105 max 24.0 max | 105 max 24.0 max | |
| 2.3 Cummins ISB | ASTM D7484 | Slider tappet mass loss, average Cam lobe wear, average Crosshead mass loss, average | mg µm mg | 100 max 55 max Report | 108 max 59 max Report | 112 max 61 max Report | |
| 2.4 Cummins ISM | ASTM D7468 | Merit rating Top Ring Mass Loss | Merits mg | 1000 min ⁽²⁾ 100 max | 1000 min ⁽²⁾ 100 max | 1000 min ⁽²⁾ 100 max | |
| 2.5 Caterpillar 1N | ASTM D6750 | Weighted demerits (WDN) Top groove fill (TGF) Top land heavy carbon (TLHC) Oil consumption, (0 h - 252 h) Piston, ring, and liner scuffing Piston ring sticking | Demerits % % g/kWh None None | 286.2 max 20 max 3 max 0.54 max None None | 311.7 max 25 max 4 max 0.54 max None None | 323.0 max 5 max 0.54 max None None | |
| 2.6 Caterpillar C13 | ASTM D7549 | Merit rating Hot stuck piston rings | Merit | 1000 min ⁽²⁾ None | 1000 min ⁽²⁾ None | 1000 min ⁽²⁾ None | |
| 2.7 COAT | ASTM D8047 | Average Aeration, 40 h to 50 h | % | 11.8 max | 11.8 max | 11.8 max | |
| 2.8 Roller Follower Wear Test | ASTM D5966 | Average pin wear | mils (µm) | 0.30 max (7.6 max) | 0.33 max (8.4 max) | 0.36 max (9.1 max) | |
| 2.9 Volvo T-13 | ASTM D8048 | T-13 FTIR Peak Height Oxidation at EOT, Abs. Kinematic Viscosity Increase at 40° C (300 h-360 h) max Avg. Oil Consumption, 48 h to 192 h, max | cm ⁻¹ % g/h | 125 75 Report | 130 85 Report | 133 90 Report | |

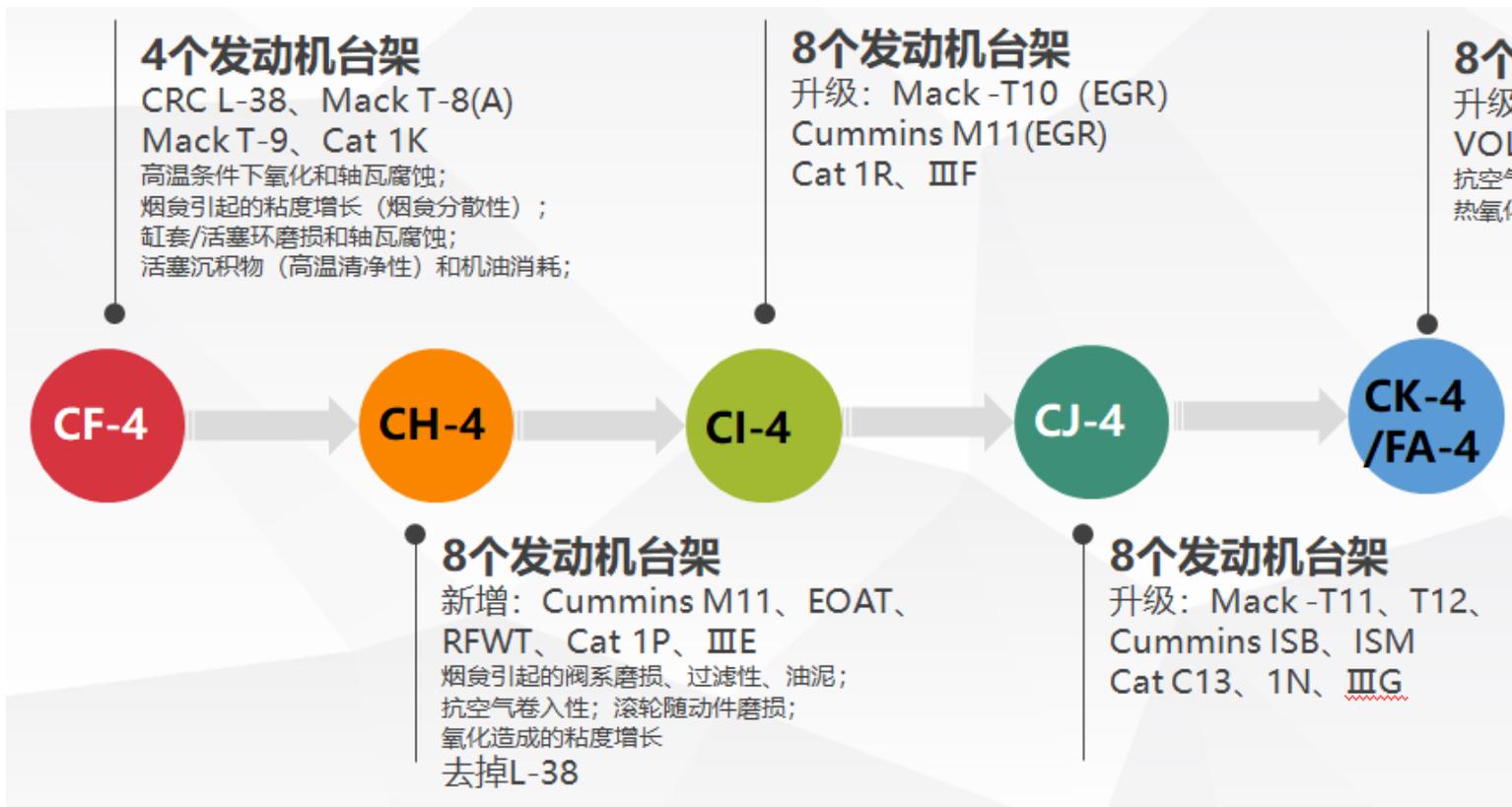
API 柴油机润滑油标准开发历程

- 近30年来，EPA排放法规升级推动了发动机技术进步。
- 新发动机技术（包括燃油和后处理技术）提高了对柴油机润滑油性能提升的需求。
- API基于满足当期排放法规的发动机平台和测试工况，形成了满足对应排放法规的柴油机润滑油规格。

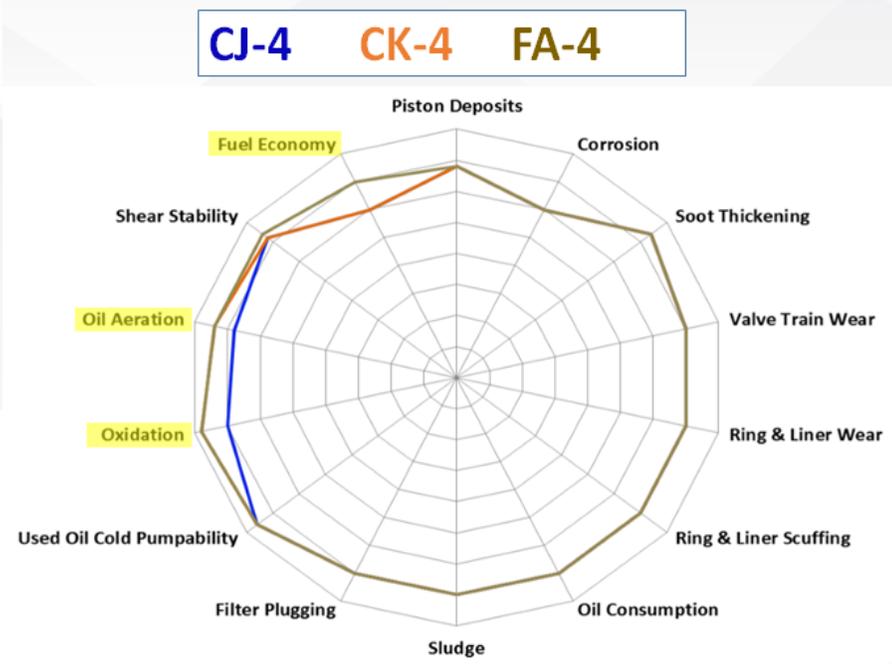


| 机油等级 | 排放法规 | 主要技术提升 | 轴瓦腐蚀 | 机油耗/活塞沉积物 | 烟炱 | 活塞环/缸套磨损 | 氧化 | 阀系磨损 | 油泥控制 | 空气释放性能 |
|--------|-------|--|------|-------------|--------------|----------|-----------|---------------|---------------|--------|
| API | EPA | | | | | | | | | |
| CE | 1988 | 电控单体泵, | L-38 | 1G2/NTC | T-7 | T6 | | | | |
| CF-4 | 1991 | 增压, 燃烧室优化, 顶环提高, 减少活塞间隙, 降低机油耗, | L-38 | 1K(铝活塞) | T-7 | T6 or T9 | | | | |
| CG-4 | 1994 | 燃油硫含量 (5000->500ppm); 延长换油期, HEUI 燃油系统 | L-38 | 1N(铝活塞) | T8 | | IIIE(汽油机) | RFWT | | EOAT |
| CH-4 | 1998 | 推迟喷油+顶环提高 | | 1N/1P(钢活塞) | T8E | | IIIF(汽油机) | RFWT/M11 | M11 HST | EOAT |
| CI-4/+ | 2002 | 冷EGR | | 1N/1R(钢活塞) | T8E/T11(EGR) | T10(EGR) | IIIF(汽油机) | RFWT/M11(EGR) | M11 EGR(8.5%) | EOAT |
| CJ-4 | 2007 | EGR+DPF | | 1N/C13(钢活塞) | T11 | T12/ISM | IIIG(汽油机) | RFWT/ISB | ISM | EOAT |
| CK-4 | 2010+ | EGR+DPF+SCR, 高压喷射 | | 1N/C13(钢活塞) | T11 | T12/ISM | T13 | RFWT/ISB | ISM | COAT |

API 柴油机润滑油台架测试升级历程及特性要求



API 柴油机润滑油14项特性要求



柴油润滑油14项要求： 活塞沉积物； 腐蚀； 烟炱分散； 气阀磨损； 活塞环和缸套磨损； 活塞环和缸套擦伤； 机油消耗； 过滤器堵塞； 已用油冷泵送性； 氧化性； 油发泡； 剪切稳定性； 燃油经济性等。

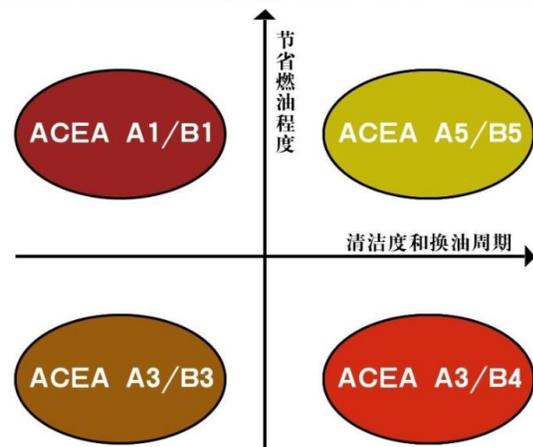
欧洲汽车制造协会 (ACEA) 发动机油标准

- 欧洲汽车制造协会 (Association des Constructeurs Européens, 简称 ACEA) 发动机油标准也是具有世界影响力的机油标准。
- 欧洲能源对外依赖度较大, 对汽车动力性的和燃油经济性要求较高, 市场上柴油轿车 (使用轻负荷柴油机) 比例较大, 生物柴油有一定程度的使用。
- ACEA 将轻负荷柴油机油和汽油机油统一为一个规格, 重负荷柴油机油为单独一个规格。两个规格均包含 OM646LA Bio 试验, 评定生物柴油对活塞沉积物及发动机油泥的影响, 但未涉及抗磨损性能的评定。

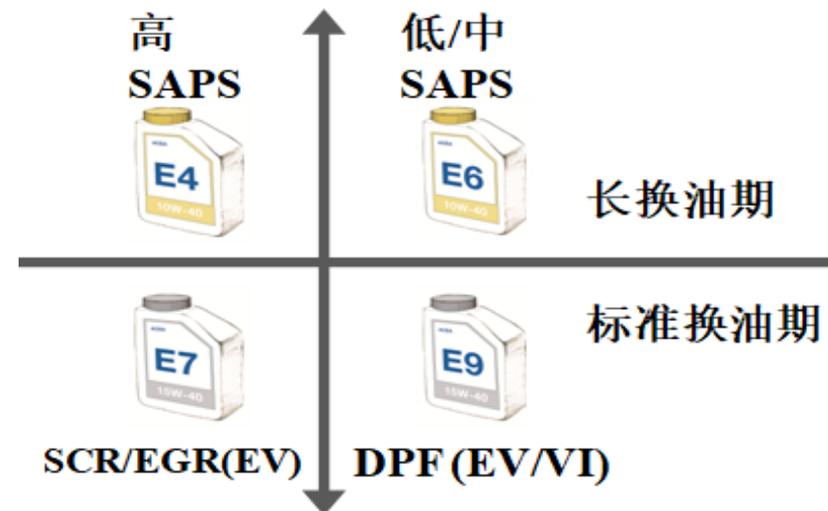


A3: 严格要求下的高等级全合成或半合成机油。
B4: 高等级产品, 超越现有 API 所有机油标准的轿车用柴机油。
C3: 低粘度油品, 低磷、低硫、低灰分, 延长发动机寿命, 提高车辆的燃油经济性。

A/B 《标准》级别
A 对应汽油 - B 对应柴油



汽油机和轻负荷柴油机油润滑级别分类



重负荷柴油机油润滑级别分类

ACEA发动机润滑油标准分类及升级

| | 1996年 版 ACEA 等级规 范 | 1998年 版 ACEA 等级规 范 | 1999年 版 ACEA 等级规 范 | 2002年 版 ACEA 等级规 范 | 2004年 版 ACEA 等级规范 | 2007年 版 ACEA 等级规范 | 2008年 版 ACEA 等级规范 | 2010年 版 ACEA 等级规范 | 2012年 版 ACEA 等级规范 | 2016年版 ACEA等 级规范 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| A | A1-96 | A1-98 | A1-98 | A1-02 | - | - | - | - | - | - |
| | A2-96 | A2-96 #2 | A2-96 #2 | A2-96 #3 | - | - | - | - | - | - |
| | A3-96 | A3-98 | A3-98 | A3-02 | A1/B1-04 | A1/B1-04 | A1/B1-08 | A1/B1-10 | A1/B1-12 | - |
| | - | - | - | A5-02 | A3/B3-04 | A3/B3-04 | A3/B3-08 | A3/B3-10 | A1/B3-12 | A3/B3-16 |
| B | B1-96 | B1-98 | B1-98 | B1-02 | A3/B4-04 | A3/B4-04 | A3/B4-08 | A3/B4-10 | A3/B4-12 | A3/B4-16 |
| | B2-96 | B2-98 | B2-98 | B2-98 #2 | A5/B5-04 | A5/B5-04 | A5/B5-08 | A5/B5-10 | A5/B5-12 | A5/B5-16 |
| | B3-96 | B3-98 | B3-98 | B3-98 #2 | - | - | - | - | - | - |
| | - | B4-98 | B4-98 | B4-02 | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | B5-02 | - | - | - | - | - | - |
| C | - | - | - | - | C1-04 | C1-04 | C1-08 | C1-10 | C1-12 | C1-16 |
| | - | - | - | - | C2-04 | C2-04 | C2-08 | C2-10 | C2-12 | C2-16 |
| | - | - | - | - | C3-04 | C3-07 | C3-08 | C3-10 | C3-12 | C3-16 |
| | - | - | - | - | - | C4-07 | C4-08 | C4-10 | C4-12 | C4-16 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | C5-16 |
| E | E1-96 | E1-96#2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | E2-96 | E2-96#2 | E2-96#3 | E2-96#3 | E2-96#5 | E2-96#5 | - | - | - | - |
| | E3-96 | E3-96#2 | E3-96#3 | E3-96#3 | - | - | - | - | - | - |
| | - | E4-98 | E4-99 | E4-99 | E4-99#3 | E4-07 | E4-08 | E4-08#2 | E4-12 | E4-16 |
| | - | - | E5-99 | E5-99 | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | E6-04 | E6-04#2 | E6-08 | E6-08#2 | E6-12 | E6-16 |
| | - | - | - | - | E7-04 | E7-04#2 | E7-08 | E7-08#2 | E7-12 | E7-16 |
| | - | - | - | - | - | - | E9-08 | E9-08#2 | E9-12 | E9-16 |

ACEA发动机润滑油标准升级历程 (10次)

| 发布年份 | 首次使用 | 新要求生效日期 | 撤销 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1996年版 ACEA 等级规范 | 1996年3月1日 | 1997年3月1日 | 2000年3月1日 |
| 1998年版 ACEA 等级规范 | 1998年3月1日 | 1999年3月1日 | 2002年3月1日 |
| 1999年版 ACEA 等级规范 | 1999年9月1日 | 2000年9月1日 | 2004年2月28日 |
| 2002年版 ACEA 等级规范 | 2002年2月1日 | 2003年2月28日 | 2006年11月1日 |
| 2004年版 ACEA 等级规范 | 2004年11月1日 | 2006年11月1日 | 2009年12月31日 |
| 2007年版 ACEA 等级规范 | 2007年2月28日 | 2008年2月28日 | 2010年12月22日 |
| 2008年版 ACEA 等级规范 | 2008年12月22日 | 2009年12月22日 | 2012年12月22日 |
| 2010年版 ACEA 等级规范 | 2010年12月22日 | 2011年12月22日 | 2014年12月22日 |
| 2012年版 ACEA 等级规范 | 2012年12月14日 | 2013年12月14日 | 2018年12月1日 |
| 2016年版 ACEA 等级规范 | 2016年12月1日 | 2017年12月1日 | |

重负荷柴油机润滑油技术要求

| 规格名称 | | E4-16 | E6-16 | E7-16 | E9-16 |
|-----------------------|-----------------------|---------|----------------|---------|----------------|
| 发 动 机 台 架 | 磨损评定 | OM646LA | OM646LA | OM646LA | OM646LA |
| | 烟炱引起的黏度增长评定 | T-8E | T-8E | T-8E | T-8E |
| | 缸套抛光、活塞清净性评定 | OM501LA | OM501LA | OM501LA | OM501LA |
| | 烟炱引起的磨损评定 | / | / | ISM | ISM |
| | 缸套/活塞环磨损评定 | / | T-12 | T-12 | T-12 |
| | 生物柴油对活塞清净性及发动机油泥的影响评定 | / | OM646LA Bio | / | OM646LA Bio |

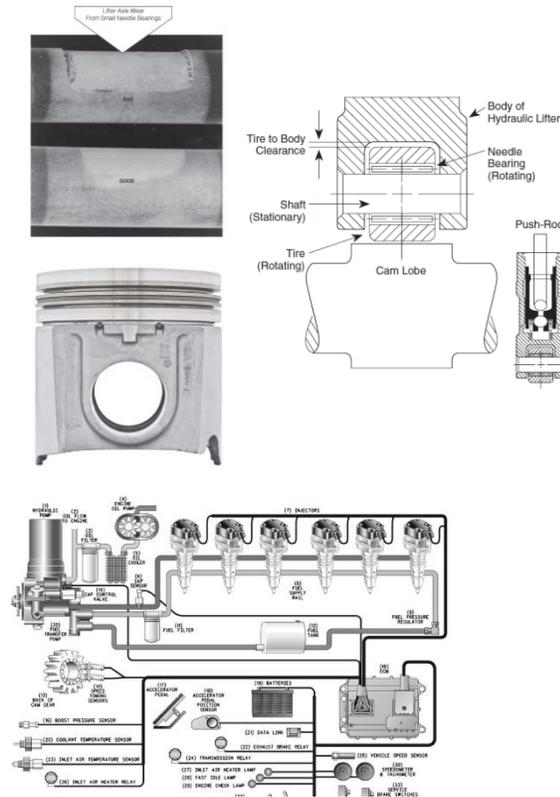
日本JASO: API+, 目标世界市场

- 2000年以后制定：
 - DH-1: 普通重负荷柴油机润滑油；
 - DH-2: 低灰重负荷柴油机润滑油，低硫燃油DPF后处理系统发动机；
 - DL-1: 轻负荷柴油机润滑油，与ACEA中C系列相当，也有灰分及元素含量的限制。
- 台架测试：
 - Nissan Diesel TD25 清净性：高温清净性
 - Mitsubishi Fuso 4D34T4：抗磨性
 - Mack T-8A/8E：烟炱分散
 - III E/III F/III G：抗氧化

三大柴油机油国际标准体系对比 - 润滑油标准需要与发动机, 燃油, 后处理等技术匹配

| 机油规格 评估项目 | API/CJ-4 | API/CK-4 | ACEA/E9 | JASO/DH-2-17 |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 阀系磨损 | 1) ISM 2) ISB 3) RFWT | 1) ISM 2) ISB 3) RFWT | 1) OM646 LA 2) ISM | NO4C (M354) |
| 烟尘控制 | T11 | T11 | T8E or T11 | T8E or T11 |
| 活塞环&缸套 磨损 | T12 | T12 | T12 | N/A |
| 沉积物 | Cat 1k/C13 | Cat 1k/C13 | OM501LA | N04C (M336) |
| 氧化 | Sequence IIIG | T13 | N/A | Sequence IIIH or T13 |
| 空气释放 | EOAT | COAT | N/A | N/A |
| 缸套抛光 | N/A | N/A | OM501LA | N/A |
| 节能 | N/A | N/A | N/A | N04C (M362) |
| 生物柴油 | N/A | N/A | OM646LA Bio | N/A |

- API建立了自己独立的标准体系, 所有测试用发动机都是北美OEM生产。
- ACEA和JASO标准部分借鉴了API, 同时用自主发动机开发了API对应的测试项目。



- ACEA和JASO删去了一些不需要的评价方法:
 - 滚子摇臂磨损;
 - 空气释放 (无HEUI系统)。



- ACEA和JASO增加了本地区特殊需求:
 - 欧洲: 生物柴油; 缸套抛光;
 - 日本: 机油节能评价。

中国柴油机润滑油标准的四个时代

- 1) 1950-1985：行业初创，基本采用前苏联标准体系。
- 2) 1985-2000：改革开放，转化为API为代表的国际标准体系，柴油机润滑油从CA到CF-4。
- 3) 2001-2016，自主开发和评价能力建设，《柴油机油》标准GB11122-2006到CI-4，学习API 2016 CK-4/FA-4规格。
- 4) 2016-至今，新时代大国担当，中国标准必须走“创新、绿色、协调、开放、共享”之路。

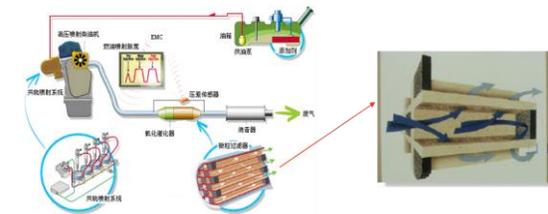
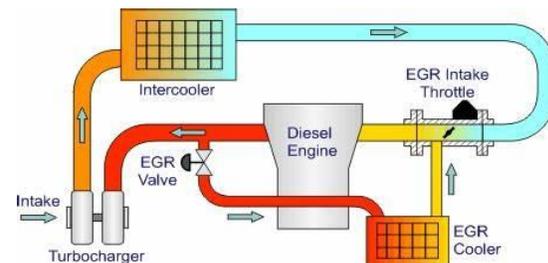
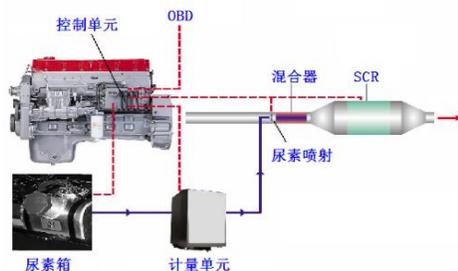
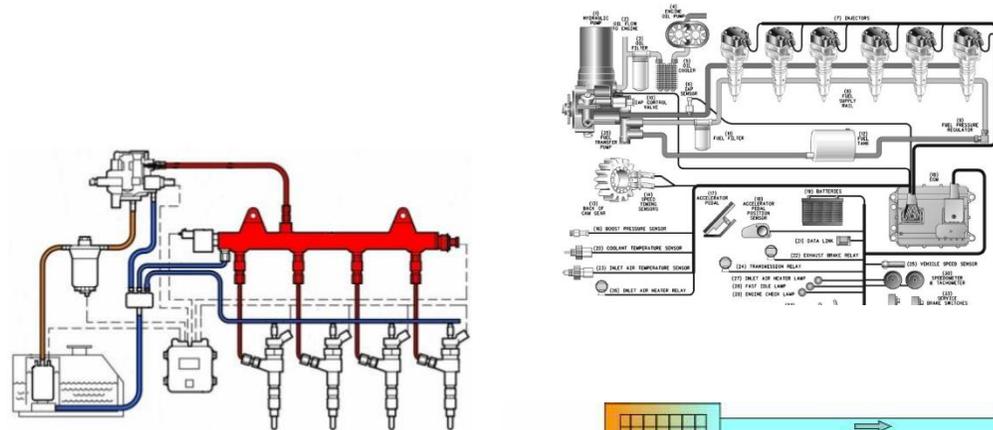


“中国共产党是世界上最大的政党。大就要有大
的样子。”

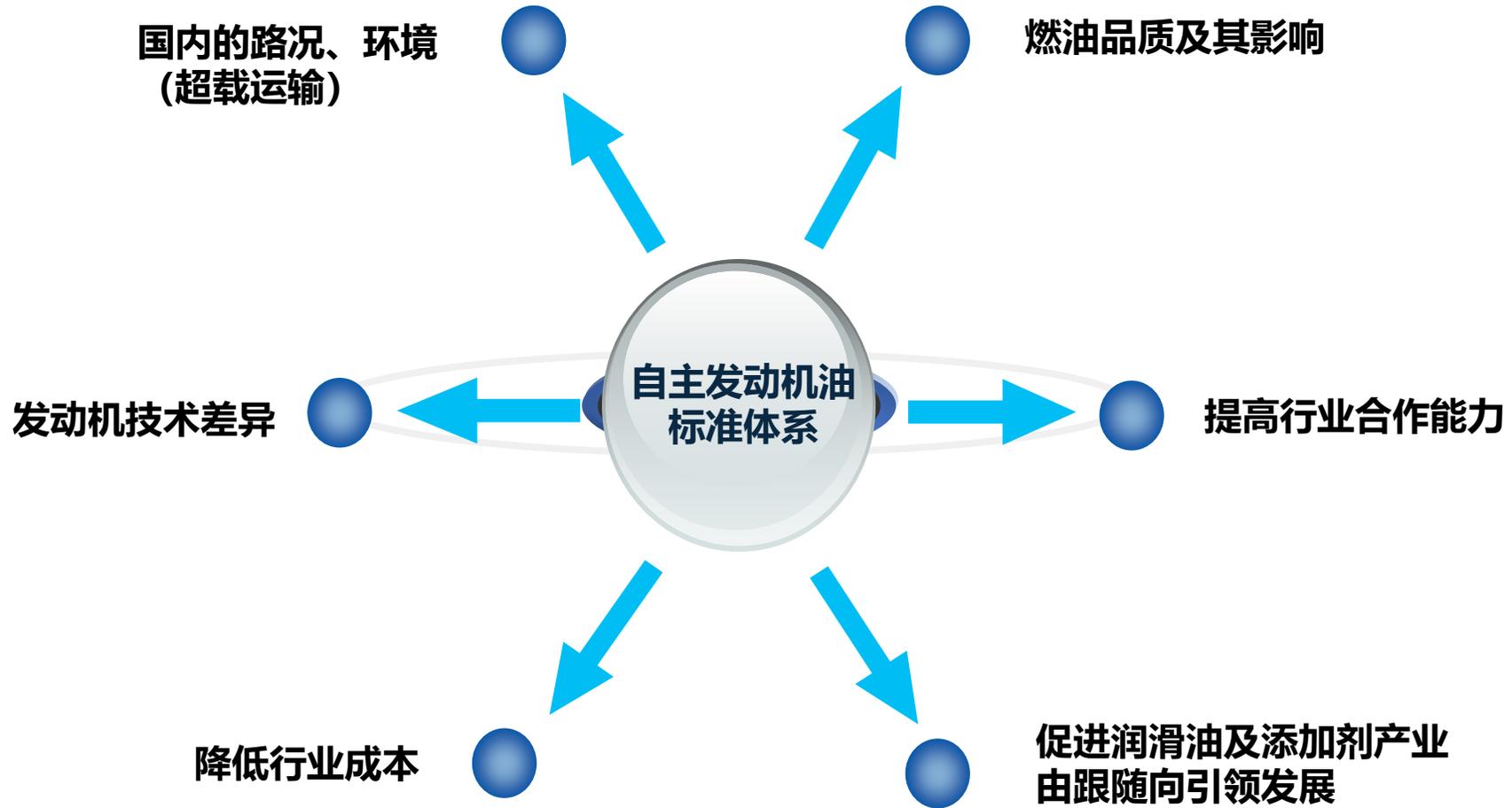
——习近平

中国汽车排放标准与润滑油标准不协调

- 中国《重型柴油车污染物排放限值及测量方法 (GB 17691)》标准**主要参考欧洲排放标准制定。**
- 中国《柴油机油 (GB 11122)》标准**主要参考API标准制定。**
- **排放标准与润滑油标准不协调，导致润滑油关注的问题不同：**
 - 中国重负荷发动机很少使用EGR系统，**美国从EPA 2002排放法规开始EGR就是标配。**从API CI-4开始，API柴油机油特别关注EGR对润滑油性能的影响。
 - **国IV/国V柴油机普遍使用高压喷射+SCR的技术路线，导致更高的润滑油热负荷。**
- **认证多一个环节：API认证+中国用户内部试验认证。**



建立自主发动机润滑油标准的必要性



建立自主柴油机润滑油标准的条件

需求与 机遇

- 柴油机技术自主率和欧美差异性，国家聚焦客户、鼓励跨行业专业标准合作和鼓励自主创新，是建立自主标准的现实需求和最佳契机。

OEM实力的 提升

- 各大汽车、发动机公司润滑油评价台架经验积累，第三方（清华苏州研究院、汽研中心等）评价能力发展，具备成熟技术基础。

润滑油评 价经验

- 润滑油行业三轮API和ACEA台架引进，消化吸收再创新—建立了10余个OEM评价台架，积累了丰富经验。

润滑油行 业的发展

- 润滑油和添加剂公司的成长，为自主标准建立后实施提供了广阔应用前景。

发动机润滑油中国标准开发创新联盟 (CLSAC)

- 成立于2016年9月，三个行业学会及协会合作，挂靠中国内燃机学会。



中国汽车工程学会
Society of Automotive Engineers of China

石油工业标准化技术委员会

- 金东寒、曹湘洪、李骏三位院士直接指导。

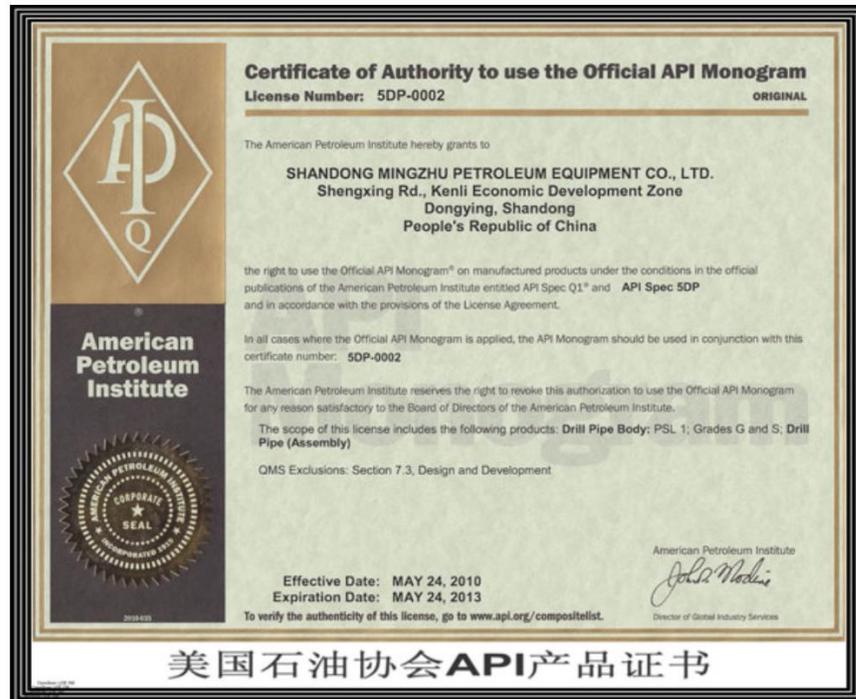


- 跨行业跨国合作，从15家创始到目前33个联盟主体，包括4个行业的国内外知名企业。

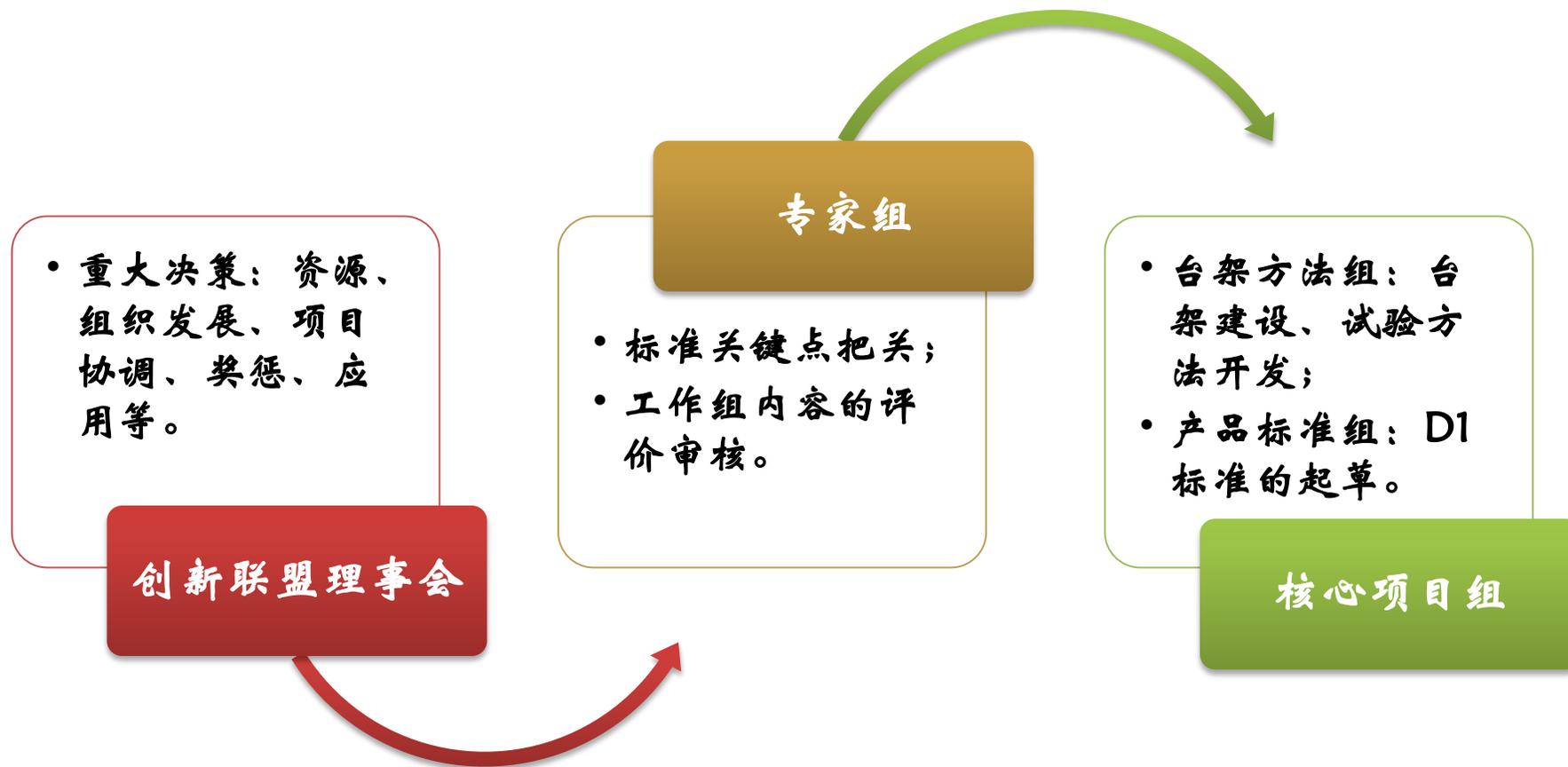


CLSAC润滑油中国方案要点

- 联盟组织开发，为国标修订做基础：从写标准到开发标准。
- 采用SAE粘度分级，API模拟实验、元素限值；ACEA编号及更新方式，如D1-20xx。
- 台架测试：国产柴油机排量4-13 L，350/200 h中国循环，清净、分散、抗磨、抗氧化综合评价。
- 中国内燃机学会/CTMC（中国测试监管中心）及第三方实验室体系。



CLSAC工作的三个层次和目标



总体目标2019完成“综合台架评定方法”，2021完成GB11122柴油机油国家标准修订，增加D1-2021，满足国六发动机润滑要求，可向下兼容。

CLSAC发动机油标准命名策划

- 一个标准的基本构成：粘度级、理化、模拟、台架
- 油品及标准分类代号：D-Diesel/G-Gasoline, 1, 2...
- 标准的升级：年代号

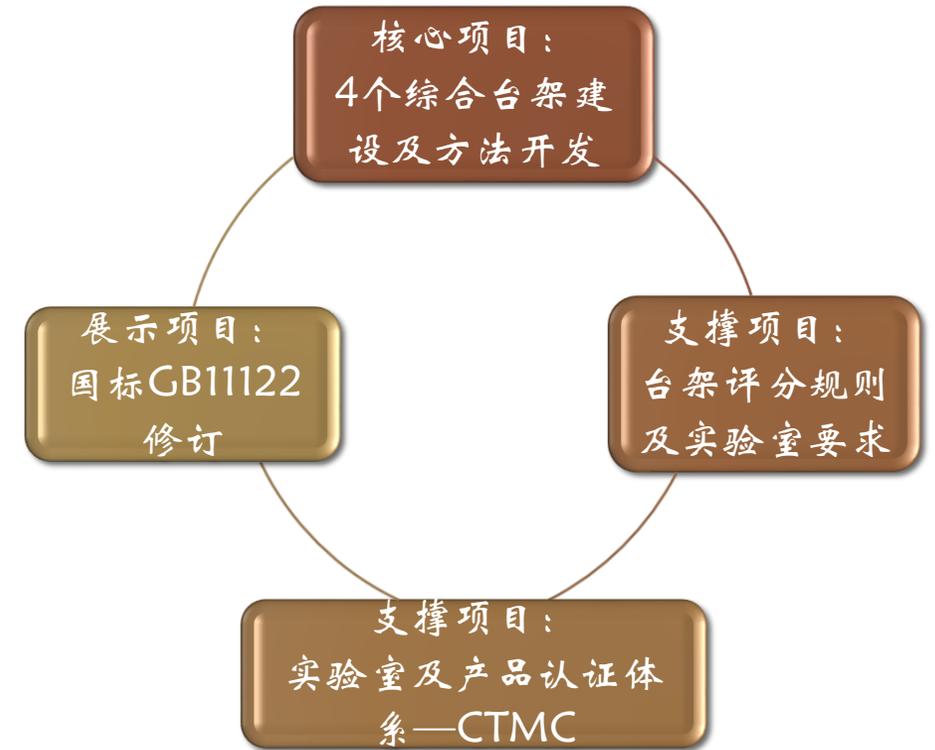
| 代号 | 应用 | 代号 | 应用 |
|---------|---------|-----|---------|
| D1-2021 | 车用柴油机油 | G1? | 乘用车机油 |
| D2? | 非道路柴油机油 | G2? | 二冲程汽油机油 |
| D3? | 节能柴油机油 | G3? | 气体发动机油 |
| | | G4? | 四冲程摩托车油 |

报告提纲

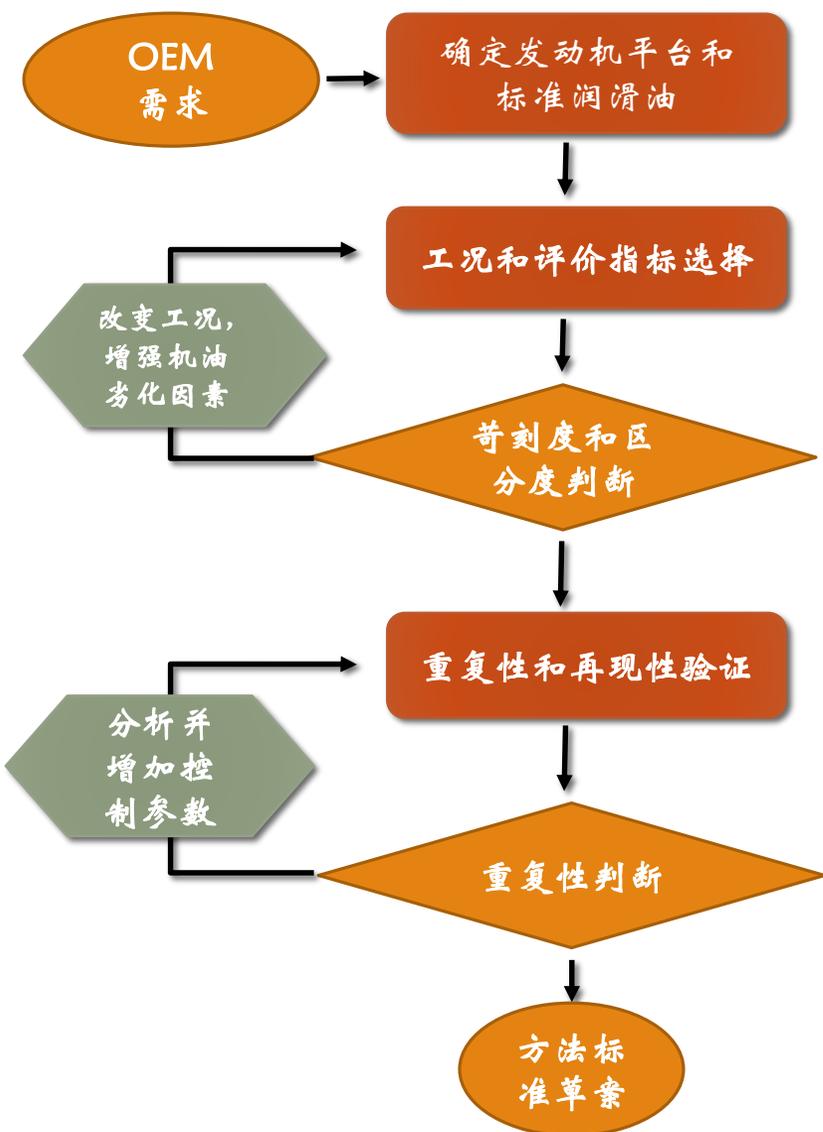
1. 润滑油中国标准制定背景及目标
2. 润滑油台架测试方法开发
3. 总结与展望

五年工作计划目标及关键项目

| 时间 | 目标 | 责任 |
|------|--|----------------------------|
| 2016 | 联盟和项目启动 | 学会及联盟各主体 |
| 2017 | 发动机润滑油中国标准体系 发动机润滑油台架评分规范 柴油机台架建设及产品标准草案 | 项目组，各有意参与的主体 项目组 |
| 2019 | 完成柴油机台架试验的建立 台架实验室及产品认证体系 | 项目组/各相关OEM学会/ 第三方研究机构 |
| 2020 | 台架数据积累、通过指标确立 完成产品标准的编写及国家标准的 报批 | 项目组、专家组、标委会和 CTMC |
| 2021 | D1-2021国家标准的发布 | 学会、协会及联盟各主体， 开启下一个规格的制定 |



发动机台架方法开发流程



D1选择4款主流发动机，针对发动机实际开发和使用过程中出现的润滑问题，开发测试方法

- 一汽 6DM3：高热负荷
- 东风 DCi11：高烟炱含量问题（7%），磨损
- 潍柴 WP13：碱值保持性，磨损
- 江淮 2.0 CTI：燃油稀释润滑油，增压器

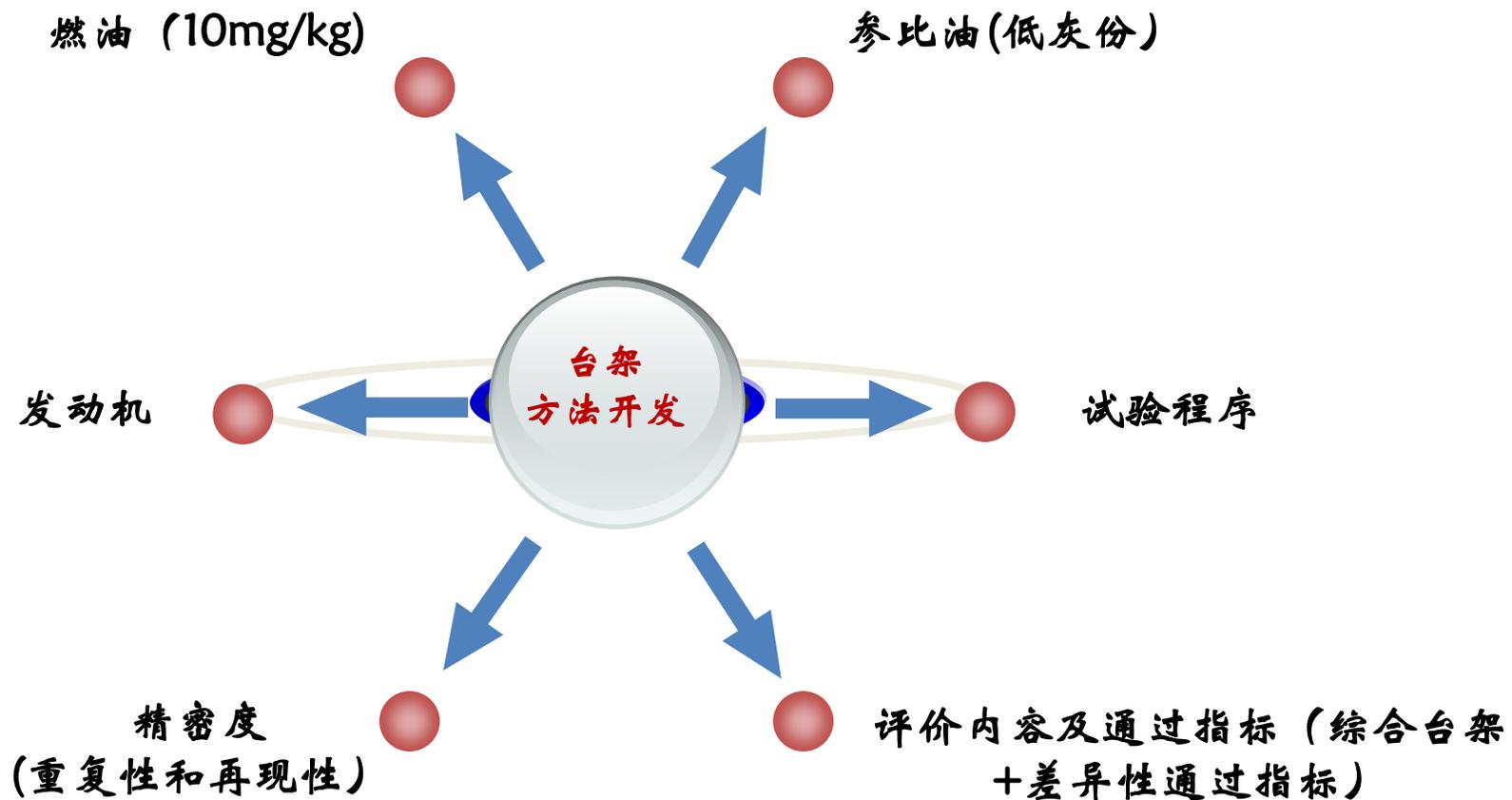
评价项目



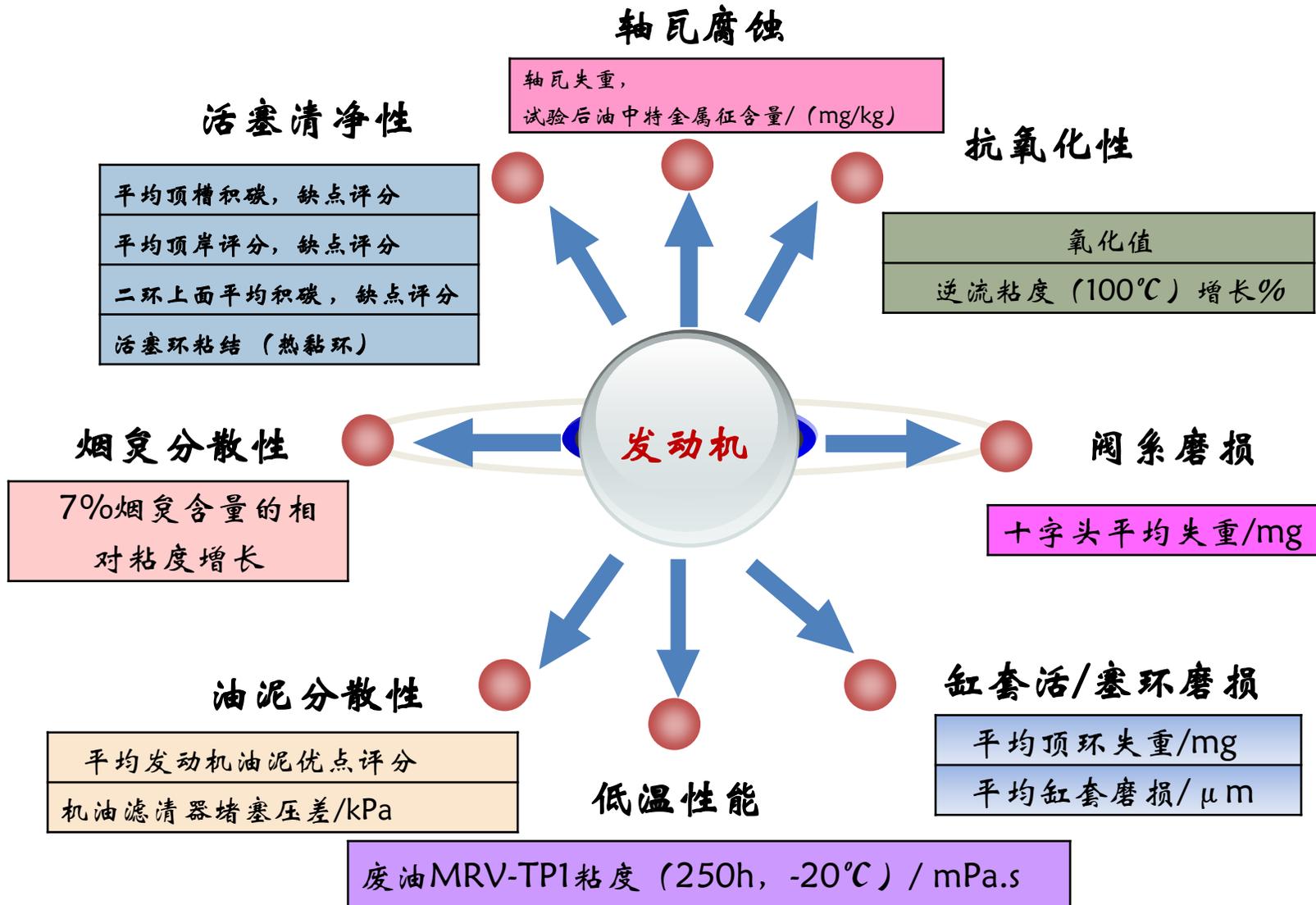
| 测试方法 | 发动机参数 | 活塞沉积物 | 烟炱 SOOT | 活塞环/缸套 | 氧化 | 阀系磨损 | 油泥 | 增压器 |
|-------------|--|-------|---------|--------|----|------|----|-----|
| CA6DM3 | 排量12.56L 370kW/1800 rpm | ✓ | | | ✓✓ | | | |
| Dci 11 | 排量11.12L 303kW/420HP | ✓✓ | ✓✓ | ✓ | | ✓ | ✓✓ | |
| WP13 | 排量12.54L 405kW/2100 rpm | ✓ | ✓✓ | ✓ | | ✓✓ | | |
| JAC 2.0 CTI | 1.999L 102kW/3600rpm EGR+DOC+DPF | ✓✓ | | | | ✓✓ | | ✓✓ |

✓✓：主要评价项目 ✓：可能的评价项目

台架试验方法开发 (关键要素)



综合台架评价项目

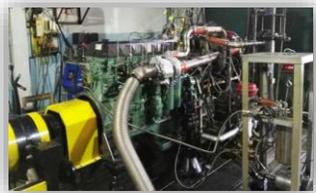


四个台架测试方法总体进展

- 四个测试方法，已经累计完成了35次测试；
- 基本完成了方法的苛刻度验证，正在进行精度测试。

| 方法 | 苛刻度验证 | 重复性验证 | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|
| JAC 2.0CTI | | | | | | | | | | | | 90% |
| DCI 11 | | | | | | | | | | | | 50% |
| CA6DM3 | | | | | | | | | | | | 50% |
| WP13 | | | | | | | | | | | | 30% |

| 台架名称 | 责任单位 | 工作进展 |
|--------------|----------|---|
| 一汽CA6DM3台架标准 | 兰州研发、一汽 | <ul style="list-style-type: none"> 兰州研发已完成D1R01参比油350h试验。2019年完成CA6DM3台架标准开发试验重复性试验4次； 中汽研和清华苏州院各完成1次再现性试验。 |
| 东风DCi11台架标准 | 清华苏州院、东风 | <ul style="list-style-type: none"> 清华苏州院将完成DCI11重复性试验4次； 兰州研发和中汽研完成再现性对比试验各1次。 |
| 潍柴WP13台架标准 | 汽研中心、潍柴 | <ul style="list-style-type: none"> 已完成D1R01参比油350h试验3次。中汽研2019年完成潍柴WP13的2个参比油后续3次重复性试验； 清华苏州汽车研究院完成再现性对比试验。 |
| 江淮2.0CTI台架标准 | 石科院、江淮汽车 | <ul style="list-style-type: none"> 北京石科院2019年10月完成全部重复性试验。 中国汽车技术研究中心和清华苏州汽车研究院2019年分别开展1次再现性试验。 |



兰州研发
CA6DM3台架



清华苏州汽研院
DCI11台架



石科院江淮
2.0CTI台架



中汽中心WP13台架

D1产品标准开发技术要点及特点

柴油机油标准框架

- 采用SAE J300粘度分类，理化和模拟试验项目参考API标准。
- 低SAPS油品：灰分 $\leq 1.0\%$ 、硫 $\leq 0.4\%$ 、磷 $\leq 0.12\%$ ，兼容DPF后处理技术，满足国VI排放发动机。

台架试验设计

- 以全功率或低速大扭矩工况方式，评价高温清净性、抗氧化、抗磨、机油碱值保持性、过滤器堵塞/油泥和烟炱分散性能等，**根据各自OEM的特点对相应评价项目重点有所侧重。**

台架试验通过要求

- 合格产品应通过4个发动机台架试验，**具备4万公里左右换油期普通油品的性能，OEM可根据其具体情况加严通过指标。**

- 方法基于自主发动机
- 测试工况对应OEM内部测试循环或整车道路测试工况
- 首次关注了机油稀释和增压器沉积物的评价

| 机油规格 \ 评估项目 | API/CK-4 | ACEA/E9 | JASO/DH-2-17 | 中国/D1 |
|-------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|--------------|
| 阀系磨损 | 1) ISM 2) ISB 3) RFWT | 1) OM646 LA 2) ISM | NO4C (M354) | WP13/2.0CTI |
| 烟炱控制 | T11 | T8E or T11 | T8E or T11 | DCi11 |
| 活塞环&缸套磨损 | T12 | T12 | N/A | WP13/DCi11 |
| 沉积物 | Cat 1k/C13 | OM501LA | N04C (M336) | DCi11/2.0CTI |
| 氧化 | T13 | N/A | Sequence IIIH or T13 | CA6DM3 |
| 空气释放 | COAT | N/A | N/A | N/A |
| 燃油稀释 | N/A | N/A | N/A | 2.0 CTI |
| 增压器沉积物 | N/A | N/A | N04C (M362) | 2.0 CTI |

D1产品标准开发的创新性

- 结束了中国四十年来排放标准与润滑油标准不协调，润滑油未关注我国发动机润滑需求的问题。
- 针对我国发动机技术特点、燃油、路况和OEM需求，开发适合我国国情的润滑油标准体系。
- API和ACEA台架只考核单项性能，CLSAC自主建立综合评价台架方法，既自成体系又协调统一。所谓自成体系是因为综合评定法满足各自OEM润滑综合需求，协调统一是每个台架有各自性能评价的侧重点，4项台架完全涵盖了API要求的所有性能要求，苛刻度高于API台架。
- 在人、机、料、法、环、测等建立了整套联盟规范，为台架和产品标准的质量体系提供支撑。



2020-2021年工作节点计划

完成台架测试方法发布

启动认证体系项目，
并确立台架通过指标

2021年完成修订国家标准
GB11122并发布

产品标准项目后续工作计划（秘书处）

- **2021年3月30日**：邀请GB11122标准修订组、组织专家组、产品组专家、台架标准专家等对产品标准《D1-20××柴油机油》内容进行意见征求。
- **2021年4月1日-6月10日**：台架试应用及试评估试验，接受润滑油添加剂公司有偿评价试验，作为产品指标制定的参考。
- **2021年6月20日**：对台架数据汇总分析，GB11122标准修订组、组织专家组、讨论指标限值，开展意见征求。
- **2021年7月10日**：邀请GB11122标准修订组、石化标委会、TC/280产品分技术委员会委员对《D1-20××柴油机油》标准修订至GB11122柴油机油进行预评审。
- **预计2020年10月**：根据石化标委会统一安排参GB11122柴油机油标准审查会。

报告提纲

1. 润滑油中国标准制定背景及目标
2. 润滑油台架测试方法开发
3. **总结与展望**

总结与展望

- **大国担当、主动作为：**中国是人口最多的国家，也是最大的汽车和发动机润滑油生产消费国，建立自己的标准是最基本的担当。
- **万事俱备、只欠东风：**发动机技术、润滑油评价技术、润滑油开发能力也具备了条件，中国道路、油品和行车习惯又有鲜明特点。
- **学会牵头、行业协作：**内燃机学会与创新联盟的领导核心；汽车工程学会、石化标委会的支持；汽车发动机、润滑油添加剂公司、第三方评价机构的投入。
- **开放心态、中国方案：**SAE粘度分级，API模拟实验和元素限值；ACEA编号及更新方式，D1-2021；13/4L大小发动机，400/200 h中国循环，清净、分散、抗磨、抗氧化一并综合评价；1+N通过，N可以是2或3。
- **凝聚共识、迎难而上：**GB11122修订再次“翻译”将是历史的罪人！再认识CLSAC标准体系与国标关系，加快完善联盟标准体系、规范各项表决议案，为引入国标和建立认证体系做好准备。
- **面向未来、创新引领：**择机启动节能、非道路、汽油机、船舶或摩托车等其他产品润滑油台架方法及标准开发，形成创新生态。

致谢

- 感谢发动机润滑油中国标准开发创新联盟(CLSAC)秘书处的鼎力支持!
- 感谢联盟专家顾问杨俊杰、标准组起草组组长汤仲平、联盟秘书杨国峰的鼎力支持!
- 感谢Intertek公司董红义博士、清华苏州汽车研究院华伦博士的鼎力支持!

筑梦路上，不忘初心，砥砺前行！

谢谢！请批评指正！