

美国铁路柴油机油特点及我国现状

吴长彧¹, 马爽¹, 王栋¹, 高辉¹, 杨道胜²

(1. 中国石油大连润滑油研究开发中心, 辽宁 大连 116021;

2. 中国石化石油化工科学研究院, 北京 100083)

摘要:介绍了美国铁路机车柴油机油发展过程, 已从第一代油发展到了第六代油, 并正在研发第七代油。给出了各代油的主要参数、使用范围及作用。同时对我国铁路机车柴油机油发展现状予以简要介绍。

关键词:铁路; 机车; 柴油机油

中图分类号:TE626

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)01-0014-04

Overview of railway diesel engine oil features in America and China

WU Chang-yu¹, MA Shuang¹, WANG Dong¹, GAO Hui¹, YANG Dao-sheng²

(1. PetroChina Dalian Lubricating Oil R & D Institute, Dalian 116000, China;

2. SINOPEC Research Institute of Petroleum Processing, Beijing 100083, China)

Abstract: Railway diesel engine oils from Generation 1 oils to Generation 6 oils in America are introduced, while Generation 7 is in research now. Main parameters, application fields and functions of all the engine oils are presented. Meanwhile, the status and trend of railway engine oil in China are simply introduced.

Key words: railway; locomotive; diesel engine oil

目前美国铁路里程达 27 万 km, 是全球最大的铁路系统^[1]。美国 Class 1 铁路机车的生产由美国发动机制造商 GE 和 EMD (EMD 于 2010 年 4 月归属 Caterpillar, 此前属于 GE 公司) 统治着, 二者的市场份额大体相当。GE 和 EMD 制造厂商根据其结构与材质不同, 对机车柴油机油的要求也各不相同。美国较大铁路公司有十几家, 均为私营公司, 这些公司一般都有 GE 和 EMD 2 个公司生产的机车, 因此美国铁路柴油机油必须同时满足这 2 个公司机车用油要求^[2]。

LMOA 是铁路公司机车运用与维修部门的协会, 下设燃油与润滑油委员会, 委员的人选有机车维修运用、机车制造厂商、石油公司燃料、润滑油与添加剂等方面人员组成, 因而能根据机车运用的苛刻程度、维修中的问题以及机车制造中柴油机强化程度的提高与材质结构的改进等方面提出新要求, 有针对性地针对润滑油的抗氧、抗磨、高温清净与分散性能提出合理的改进意见, 提出新一代润滑油的使用性能与配方特点、要求石油添加剂公司进行改进。LMOA 还根据机车的运用特点、提出机车柴油机油现场试验程序。

此外, 美国许多铁路公司还会根据自己公司机车运用维修特点, 在机车制造商和 LMOA 要求基础上规定一些特定氧化试验方法, 要求新机油产品必须符合其氧化试验标准。

所以在美国, 一个新的铁路柴油机油品种的问世, 必须符合机车制造商的各项试验项目并经其批准, 符合 LMOA 要求, 此外还需符合一些铁路公司特殊的氧化试验标准^[2]。

截至 2012 年底, 我国铁路机车通车总里程达到 11 万 km, 居世界第二。其中内燃机车铁路通车里程达 5.2 万 km, 占比 56%。我国国内机车面临着国产与进口同时存在的现状^[3], 既有老旧机车, 又有新型大功率货运机车和高速客运机车。而我国机车用柴油机油主要参考美国使用的铁路机车柴油机油规格, 根据机车的特点而选用不同的产品。因此美国铁路机车柴油机油的发展对我国机车用油具有重要的指导与示范作用。

1 美国机车用油发展情况

美国铁路机车用柴油机油的发展主要受其发动机的技术发展及排放法规要求影响。

在发动机技术方面, 目前美国铁路机车发动机和公路重负荷柴油发动机存在显著差异, 前者的功率约是后者的 10 倍, 排量约是后者的 12 倍, 扭矩约是后者的 20 倍, 见表 1^[1]。

在排放法规方面, 铁路机车最新排放法规 EPA Tier 4 将于 2015 年生效实施, 因此 2015 年将是铁路机车及其用油的关键一年。随着新法规的实施, 机车发动机将不得不加装排放控制装置, 如 EGR 等;

表1 美国铁路机车发动机和公路重负荷发动机参数对比

项目	铁路机车发动机	公路卡车发动机
排量/L	186 ~ 188	11 ~ 15
典型转速/(r·min ⁻¹)	900 ~ 1050	2000
功率/kW	2900 ~ 3200	330 ~ 370
扭矩/(ft·lbs)	22000 ~ 25500	1100 ~ 1300

为不断提高机车的“拖运能力”,发动机需要不断增大输出功率;为达成更好的经济性,希望发动机的维修保养间隔得到延长。显然,机车用油将面临的挑战异常艰巨。美国不同阶段铁路机车排放法规及对OEM发动机设计要求见表2^[1]。

然而机车功率还将不断增加、排放法规日益严格、燃烧效率不断改进,这些因素均需要铁路机车用油同步发展。幸运的是,机车用油的开发可以参考公路重负荷卡车发动机用油开发经验,尤其是在应对EGR烟炱方面的经验。机车用油配方开发首要考量因素是所用燃料的硫含量,燃烧过程产生的酸性物质必须得到有效控制,主要途径是碱值BN的设计,碱保持性作为在用油分析的重要指标,可以确定机车维护保养间隔以及在用油报废指标。历史上机车燃料硫含量曾高达5 000 μg/g,碱值BN也一

表3 美国铁路机车用油规格发展过程

LMOA 分类	推出时间	总碱值/(mg·g ⁻¹)	使用范围及作用
一代油	1940年	5	提高抗铅腐蚀和碱值保持性,防止轴承腐蚀
二代油	1964年	7	改善二冲程柴油机油碱值保持性,降低活塞环磨损
三代油	1968年	10	进一步改善碱值保持性和减少不溶物
四代油	1976年	13	可用于苛刻条件的发动机上
四代长寿命油 (专为GE设计)	1984年	未定新油碱值,但一般为13,要求废油碱值不超过3	适用于3个活塞环的GE发动机,>300 MW·h/月的换油期为90天,>225 MW·h/月的换油期为180天
五代油	1989年	多级油,新油碱值未定,一般为17,废油碱值要求不超过1	节能油,改善黏温性能、抗氧化性能、减少不溶物,延长换油期到180天(或16 000 km且硫含量0.3%~0.5%的柴油每月消耗量不超过76 000 L)
六代油	2009年	9、10	满足阶段3排放,提高分散性、降低硫酸灰分
七代油	2015年?	TBN? 可能要求低硫、低磷、低灰分油	满足阶段4排放

从表3可以看出^[2,4-5]:

(1)第一代油的碱值为5,1940年开发研制,系在矿物油中加进少量抗氧化剂与清净剂,提高油品抗氧化与清净性能。

(2)1964年发展了第二代油,碱值为7,主要特点是在油中加进无灰分散剂,延长了换油期,过滤器寿命由30天延长至90天。为适应四冲程柴油机、

表2 美国铁路机车排放及对OEM发动机设计要求

年份	Tier	限值/[g·(bhp·h) ⁻¹]		OEM设计改进	
		NO _x	PM	EMD	GE
2000		9.5	0.60	喷油器、涡轮、中冷器、软件	喷油器、燃油喷射泵、涡轮、PAs、软件
2002	1	7.4	0.45	喷油器、涡轮、软件	涡轮、燃油喷嘴、软件
2005	2	5.5	0.20	喷油器、涡轮、中冷器、Pas、软件	新发动机、控制 & 冷却系统
2012	3	5.5	0.10	活塞环、分油器、气门正时、软件	共轨系统、润滑油 reduction package、Miller循环、涡轮 & 软件、冷却系统
2015	4	1.3	0.03	审查中	审查中

度高达17。2006年,公路卡车使用硫含量小于15 μg/g的柴油作为燃料。由于炼油厂希望生产的柴油规格统一,因此美国铁路机车也使用小于15 μg/g的柴油作为燃料,碱值BN也降至9~10。铁路机车用油的发展常以“代”划分,碱值BN随着机车用油发展而不断变化,见表3^[1-2,4]。

控制活塞环黏结与沉积物生成,1968年LMOA改进了二代油,首次使用钙盐清净剂,相当于API CC级别。1975年第二代油已在美国停止使用。

(3)1968年发展了第三代油,碱值为10,为改善GE二冲程发动机机油的碱性保持性能,降低活塞环与缸套的磨损,提高高温清净性,规定必须通过1-G₂单缸机120 h试验。1975年又进一步提高了

高温清净性,规定通过 1-G₂ 480 h 试验与 L-38 试验,属 API CD 级油。1982 年三代油在美国已停止使用。

(4)1976 年公布了第四代油,属 API CD⁺ 级油。碱值为 13。根据试验结果,四代油缸套磨损仅为三代油的 1/3;四代油活塞第一环槽积碳为三代油的 1/2;四代油的寿命大大地延长。四代油在美国以外的多个国家或地区广泛使用,例如墨西哥、新西兰、澳大利亚、中国及印度等。

第四代油以前的铁路柴油机油的发展基本与通用柴油机油的发展同步,主要由台架试验评定其性能要求,基本借用了通用柴油机油 API 分类中所规定的项目。基本的研究思路是,所研究的铁路柴油机油必须通过相应的 API 分类中所要求的台架评定后才能进入铁路特有的试验程序。因此在这个阶段的通用柴油机油技术对铁路柴油机油研究的影响是决定性的。但从第四代油开始,美国铁路机车柴油机的发展与通用柴油机差别增大,铁路柴油机油因此也发展成了一个独立的研究领域,到第五代铁路柴油机油出台时已基本摆脱了 API 通用柴油机油标准的试验程序。

(5)1989 年 9 月,美国公布了铁路机车第五代油。五代油没有具体规定碱值,一般为 17。五代油最主要特点是换油期延长至 180 天。这是因为 20 世纪 80 年代初美国 GE 公司的 7FDL 2646 kW 等型机车柴油机强化系数提高至 90 以上,活塞环由四环改为三环,机油为燃油的消耗率由 0.5% ~ 0.75% 降为 0.2% ~ 0.4%,油底壳温度由 90℃ 提高至 100 ~ 110℃,用四代油换油期降至 80 ~ 90 天,达不到季修 90 天的标准,因而 LMOA 倡议发展了第五代油。

第五代油质量标准要求如下:

通过机车制造商所有苛刻的氧化腐蚀和磨损试验,通过 GE 公司 EMD 2 ~ 567.25 h 双缸试验,通过 GE 公司规定的 1-G₂ 试验及 GE 7FDL 750 h 定置试验台试验。通过 LMOA 柴油机油机车现场试验程序,在延长换油期 180 天内不超过 LMOA 废油 3 项标准,即 ASTM D664 碱值不大于 1.0,ASTM D445 100℃ 黏度增加值不超过 30%,ASTM D893 B 法戊烷不溶物不超过 5%。

(6)2009 年公布了第六代油,其碱值降为 9 或 10,主要是针对燃料硫含量小于 500 μg/g 设计的。六代油满足阶段 3 排放,提高分散性,降低硫酸灰分。

(7)目前正在进行七代油的研究,碱值 BN 仍未确定,配方的开发需要解决延长换油期、改善燃油经济性、降低排放以及发动机工况改进等问题。

碱值 BN 显然不是铁路柴油机油开发的唯一要求。由于大量烟炱的生成,油品必须具有良好的分散性、抗氧化性和抗泡性。此外,黏度指数改进剂的加入也要求油品具有良好的剪切稳定性。

铁路机车用油对抗磨性要求比较特殊。早期的 EMD 机车使用镀银的活塞销轴承,含锌添加剂不能与之兼容,会造成锈蚀引起轴承过早失效,目前许多此类机车仍在服役,无锌配方机车用油的使用是为了在满足现代机车用油要求的基础上还能够兼容早期型号的机车。GE 公司不使用镀银的轴承,但其他也乐于使用无锌配方,支持机车用油的规格统一。此外为满足 EPA Tier 4 排放要求,无锌配方的使用也有利于防止催化剂中毒。

机车用油的基础油大多使用 API I 或 II 类油。这不仅仅是成本因素,合适的边界层黏度对大功率、中速度的机车发动机的润滑也至关重要,机车用油要求 100℃ 运动黏度调整在 12 mm²/s 以上,100℃ 高温高剪切黏度 (ASTM D6278) 也要大于 10.9 mPa·s。目前美国 90% 机车使用 SAE 20W-40 (100℃ 运动黏度 15.3 mm²/s) 柴油机油。

Red Giant Oil^[1] 是美国铁路机车润滑油最大的供货商,致力于生产并销售 GE 和 EMD 机车需要的无锌发动机油,为 BNSF、Union Pacific 等大型铁路运输公司提供服务。

2 我国铁路机车柴油机油发展现状

我国铁路机车柴油机油^[3] 已从第一代发展到了现在的第五代,其中一代油、二代油已经被淘汰,目前使用较多的是三代油和四代油,当然五代油使用比例也在增加。根据使用要求和车型选用合适的机油,每一代油品适用范围举例如下。

东风-4、东方红、北京和 ND4 型等增压内燃机车要求延长油过滤器寿命,可选用具有分散性的二代油。与 6% ACC-ET 混合使用有极好效果。

NY5、NY6、NY7 和 ND4 型等增压内燃机车要求改进防止粘环,可选用三代油改善控制环区沉积物清净性。与 6% ACC-ET 混合使用有极好效果。

ND5 型增压内燃机车要求降低油耗和使用高硫燃料,可选用相当高的碱性和分散性的四代油。与 6% ACC-ET 混合使用效果极好。

新型大功率货运机车和高速客运机车,特别

是使用高硫含量的重质燃料的机车,运行条件苛刻,则应使用五代油,而且五代油可以兼容三代、四代油。

第一代至第五代铁路机车柴油机油的主要性能见表4。

表4 第一代至第五代铁路机车柴油机油主要性能

项目	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代
总碱值 TBN/(mg·g ⁻¹)	5	7	10	13	20
硫酸盐灰分/%	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 0.7	1.0 ~ 1.2	1.5	1.5 ~ 1.8
相对分散性	0	1	1.4	1.75	提高
顶环槽充碳/%	100	90	40	30	降低
过滤器相对寿命	0.4	1.0	1.25	1.8	提高
气缸清洁与控制磨损	1	3	4~5	6	提高
GE 氧化黏度增长/%	10~20	10~15	5~15	5~8	降低
添加剂加入量/%	4.8~6	10~11	10~11	14~15	14~17
API 类别	CA/CB	CC	CD	CD ⁺	比 CF-4 好
添加剂组成特点	Ca/抗 氧剂	加入无 灰剂	加入较 多无 灰剂	加入 3.5% 无灰剂	增加酚盐 量提高清 净性和碱 值

3 结语

我国内燃机车现已发展到第三代,并开始了第四代内燃机车的研制^[3]。根据当前世界内燃机车用油技术发展的趋势和可能性,我国铁路机车用发动机油将遵循美国的发展轨迹,将逐步发展到主要

使用第四代发动机油,并向五代油过渡。

2013年6月8日,我国发布了 GB 19147—2013《车用柴油(V)》国家标准(国V)^[6],将燃料硫含量降至 10 mg/kg。根据美国经验,由于炼油厂希望生产的柴油规格统一,因此我国铁路机车很可能将于 2018 年开始全部使用硫含量小于 10 mg/kg 柴油作为燃料。由于柴油硫含量降低,必将导致我国铁路机车用润滑油碱值 BN 也将随之降低,因此低碱值的六代油有望在我国使用。

我国国内机车面临国产与进口同时存在的局面,既有老旧机车,又有新型大功率货运机车和高速客运机车,车况差异较大,对润滑油性能要求不同,因此我国机车用油将可能面临多种水平机油共存的局面。

参考文献

- [1] Steve Swedberg. What's Next for Locomotives? [J]. Lubes 'n' Grease, 2013, 19(1): 31-39.
- [2] 王善彰. 美国铁路柴油机油的综述[J]. 合成润滑材料, 2002, 29(3): 4-8.
- [3] 秦鹤年, 刘峰友. 铁路内燃机车及其用油的协调发展[A]//2010 大连润滑油技术经济论坛论文专辑[C]. 大连:《润滑油》编辑部, 2010: 13-18.
- [4] 吴长彧, 高辉, 马爽, 等. 2009 年及 2010 年美国最新内燃机油规格进展[J]. 润滑油, 2010, 25(6): 33-42.
- [5] 李卫东, 刘宏业, 王丹. 铁路柴油机油的现状与发展[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(3): 133-136.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. GB 19147—2013. 车用柴油(V) [S]. 2013. ■

中国石化芳烃成套技术大型工业化应用成功

2013年12月27日,海南炼化60万t/a对二甲苯工程最后一套工艺单元异构化单元投运,吸附分离单元大量产出99.80%的高纯度对二甲苯,一次投料试车成功。这标志着中国石化芳烃成套技术大型工业化装置应用成功,打破了国外公司在全球的长期垄断局面。中国石化成为全球第3个具有完全自主知识产权的大型芳烃生产技术专利商。

开展重大芳烃技术攻关,引领芳烃产业发展,是中国石化集团公司的战略部署。2011年10月,扬子石化对二甲苯吸附分离技术开发及工业示范装置产出合格产品,标志着中国石化全面掌握了包括成套技术设计、工程建设、高效吸附剂生产技术在内的全套芳烃生产技术。海南炼化60万t/a对二甲苯工程于2012年11月开始施工,2013年10月26日实现主装置中交。该工程在国产化、大型化、精细化、集成化等领域取得突破,完全采用中国石化自主知识产权的专利技术,完全依靠中国石化自有建设施工管理技术,

采用中国石化自主研发的吸附分离工艺技术、吸附分离吸附剂及异构化催化剂、临氢/固定床甲苯歧化和烷基转移工艺技术及其新型催化剂,依托国内大型和关键设备制造技术及装备,重点攻关吸附剂及格栅的大型工业化开发应用、大型高压热集成精馏塔工艺设计及制造、低压蒸汽发电方式等领域,实现了超大型板换、吸附分离控制系统,以及DCS计算机控制系统的中国制造。其中,由中国石化自主制造的二甲苯塔重4035t,长126.6m,筒体内直径最大为11.8m,超大、超厚和超重,打破了国内同类装置的设备制造加工纪录。

截至目前,装置的芳烃抽提、歧化单元满负荷运行,吸附分离负荷达91%,对二甲苯纯度超过99.80%,产量达80t/h,邻二甲苯产量达20t/h,能耗比国内同类装置低100kg(标油)/t,负荷、收率、能耗、产品质量等各项指标达到或优于设计指标。(张力)