

汽车制动液概况与发展趋势

陶 菲（中国石化润滑油有限公司合成油脂研究院，重庆 400039）

摘 要：本文介绍了汽车制动液的标准概况、研究进展、以及发展趋势等。随着汽车技术的发展更新，汽车制动液的技术水平也不断提升，制动液的低黏度、高沸点、无磨损、无噪声、环保性等将成为发展的主要方向。

关键词：制动液；标准；概况；发展

0 引言

汽车制动液是汽车液压制动液系统中的重要组成部分，对于汽车的制动性能和安全起到至关重要的作用。在全球汽车产业电动化转型期，制动液也必将面临机遇和挑战。本文从汽车制动液的标准概况、研究进展、以及发展趋势等方面进行综述。

1 汽车制动液的标准概况

汽车制动液的发展离不开先进标准的引领与支撑，许多国家根据自身情况制订了制动液产品标准或相应的安全法规。国际上主流的通用制动液标准主要有三个：美国汽车工程师协会的 SAE 标准、美国交通运输部的 DOT 标准以及国际标准组织的 ISO 标准，我国目前执行强制性国家标准 GB 12981。

作为世界汽车工业的发源地，美国汽车工程师协会制定了最早的合成制动液标准。在 1946 年，SAE 发布了最早的制动液标准 SAE J 70，由于该标准不能满足制动系统对制动液高温性能的要求，在 1967 年又发布了 SAE J1703；随着车辆技术水平的提高，之后先后发布了低容水性硅油型 SAE J1705 标准和硼酸酯型 SAE J1704 标准；SAE J1704 标准 2012 版做了较大的调整，将 J1704 分为标准型和低黏度型^[1]。SAE 标准紧跟汽车行业的发展，更新速度非常快，及时反映出对于制动液的性能质量需求。

DOT 标准是由美国交通运输部国家高速公路安全局制定的，是在美国联邦机动车安全标准 (FMVSS) § 571.116 号中发布的，该标准于 1969 年首次发布，其内容和 SAE J70 是相同的。DOT 标准 2002 版对制动液的等级划分为 DOT3、DOT4、DOT5，DOT5 级别按照类型不同分为硅油型的 DOT5 和硼酸酯型的 DOT 5.1^[2]。

国际标准 ISO 4925 是国际标准化组织道路车辆技术委员会起草的，1978 年 9 月 1 日发布，综合了 SAE J1703f 和 FMVSS No.116 中 DOT3 中的相应指标，择优制订，在当时具有先进性。但随着汽车技术的进步对

制动液的要求，这一版标准已经失去了其先进性。在 2005 年 ISO 4925 进行了较大的修订，在这一版的标准中首先提出了 Class 6 级制动液，推荐用于极寒区，主要是它具有非常优异的低温性能，同时又具有高于 4 级制动液的高温性能。

在 2020 版中，ISO 4925 标准中新增了 Class 7 级制动液，该级别制动液具有更加优异的高温性能，同时提出磨损和噪音润滑试验正在开发中，将会增加未来的修订版本中^[3]。这预示着汽车制动系统新能源化、智能化发展对于制动液性能提出了更高要求，从综合性能上看，Class 7 是目前级别最高的制动液产品。

我国的汽车工业起步较晚，随着国外主要汽车厂家的各种车型逐渐引入并批量生产，我国的汽车工业取得了较的大发展。1989 年参照国际先进标准，制订了 GB 10830-89《汽车制动液使用技术条件》，后于 1998 年进行修订。

GB 12981 于 1991 年首次发布，2003 年进行标准修订，取消原 HZY2 质量等级，新增 HZY5，将制动液等级划分为 HZY3、HZY4、HZY5，改版标准替代国家标准 GB 10830-1998；2012 年标准修订，标准增加了与 Class 6 规格对应的 HZY6 规格^[4]；2022 年，已启动了国标修订更新工作，计划增加与 Class 7 规格对应的 HZY7 规格，同时增加储备碱度检测。

制动液国家标准 GB 12981 建立起中国最先进制动液产品系列规格体系，与国际先进标准接轨，提高了国内制动液产品制造和评价检测技术，使我国制动液产品的使用和研究水平基本达到了和世界同步发展的水平。

此外，许多设备制造商都开发了自己的测试标准，这些标准都远远超过现有的通用标准。由于标准测试中只有标准化的材料，且测试时间相对较短，因此零部件厂商或设备制造商需进行进一步的长期测试和材料兼容性测试。此外，还包括零部件厂商模拟不同气候条件，以及设备制造商特殊驾驶操作的行车试验^[5]。

2 汽车制动液的研究进展

现代汽车制动液的性能要求是多方面的,其基本要求是:高沸点和湿沸点;有益的粘度指数;低压缩性;良好的防腐性能;良好的润滑性能和噪音性能;与弹性体的兼容性;低泡沫;气体溶解度低;氧化稳定性;与水和其他制动液的混合性;良好的环保性能;低毒性。

随着交通运输业的发展繁荣,制动液的质量水平也逐步提高。与国外制动液研究情况相比,我国制动液研究工作长期处于比较落后的状态,但近年来这种状况有所改善,到了2010年左右国内制动液高端技术已经完全可以和国际接轨。伴随着电控系统在汽车制动系统中得到越来越多的应用,研究开发具有高的干湿平沸点和低的低温运动粘度的制动液成为一种共识。就现有技术而言,硼酸酯制动液技术已经成为了高性能硼酸酯制动液产品的必须技术^[6]。

专利 US20130310286A1^[7]公开了一种低粘度功能流体组合物或制动液,表现出至少260℃的干平衡回流沸点(ERBP)和/或至少180℃的湿平衡回流沸点(WERBP)。

专利 CN103361150B^[8]一种机动车制动液组合物及其制备方法,提供了一种机动车制动液,包括聚烷撑乙二醇醚、聚烷撑乙二醇醚硼酸酯、抗氧化剂、金属钝化剂、腐蚀抑制剂和抗泡剂。在高温条件下不产生气阻、低温条件下具有优异的流动性能,性能全部满足或超过GB12981-2012 HZY6指标,极端低温条件下仍能够正常传递制动能量。

刘金龙等^[9]研制和生产了一种稳定型硼酸酯制动液(HZY6),其主要指标:干平衡回流沸点大于280℃,湿平衡回流沸点大于180℃,-40℃运动黏度小于700mm²·s⁻¹,100℃蒸发试验后,无固体物析出。加入适量多乙二醇烷基醚,确保了研制的 HZY6 制动液,在低温条件下的性能更优异。选用胺聚醚组分,提高了制动液稳定性,解决了硼酸酯型制动液易析出固体物的难题。

专利 113122357B^[10]一种机动车辆制动液组合物及其制备方法,得到的制动液组合物平衡回流沸点不低于270℃,湿平衡回流沸点不低于185℃,-40℃运动黏度不大于700mm²/s,从而可以保证制动系统在较广的工况条件下可靠稳定运转,特别适用于装配有ESP/ABS等电子系统的机动车辆制动系统。

专利 CN113755228A^[11]一种 Class7 硼酸脂型制

动液及制备方法,提供了一种能够满足并其高于ISO4925:2020要求的Class7级别的硼酸脂型制动液,其不仅具有高的干、湿沸点,还具有良好的低温运动黏度。

US20040116306^[12]专利中,公开了一种液压流体,特别是机动车辆的制动流体,具有改进的防腐性能,采用1H-1,2,3-苯并三唑或其衍生物和1H-1,2,4-三唑或其衍生物的组合,具有较好的缓蚀效果,试验液中的铜含量较低,而且还产生了无涂层的金属表面,制动液中没有沉积物形成。

US20140274833A1^[13]专利提供公开一种制动液组合物,其包含作为溶剂的二醇化合物和作为金属腐蚀抑制剂的三唑、噻二唑混合物和抗氧化剂,具有具有优异的高温腐蚀抑制性。

专利 US20190161699A1^[14]公开一种功能性流体组合物,包括乙二醇作为基础材料和二胺基降噪剂,具有优异的降噪效果。

专利 US20230220295A1^[15],因硼酸是CMR化合物,其酯类也被怀疑存在类似的健康威胁,在处理/加注制动液过程中存在潜在危险,且制动液中的硼含量与一定的凝胶形成或沉淀风险有关。公开了一种低粘度功能流体组合物,包括烷氧基乙二醇硼酸酯、烷氧基乙二醇组分和添加剂如缓蚀剂,其中烷氧基乙二醇硼酸酯和烷氧基乙二醇被限制在极小范围内。

专利 US10941367B2^[16]公开了一种可用作制动液的功能性流体组合物,包括烷氧基二醇硼酸酯、烷氧基二醇、饱和或不饱和羟基取代的脂肪酸(如蓖麻油酸或其酯)的烷氧羰基化物,位于脂肪酸侧链上的羟基被至少一个氧化烯单元醚化,以及具有缓蚀作用的添加剂的添加剂包,可为运动部件提供极好的润滑作用。

从国内外制动液研究进展来看,主要以醇醚硼酸酯型技术为主,在性能指标上,除了追求卓越的高低温性能以外,也特别关注腐蚀性能、润滑性能、噪声、安全性等。制动液的研究和开发,需紧跟汽车技术发展需求,加强与汽车制动系统生产厂家的合作,并从技术配方基础研究上扩大技术储备,进而开发出具备优异性能的制动液产品。

3 汽车制动液的发展趋势

在现代车辆中,驾驶辅助系统通过制动系统进行控制。因此,ESP系统中包含的泵工作频率更高、时间更长、比早期系统更密集。因此,ESP系统中由橡

胶或弹性体制成的密封件材料必须得到更好的保护,防止磨损。现代的制动油必须表现出优异的润滑性能并减少摩擦,确保液压单元中的部件不发生磨损或只发生非常低程度的磨损。特别是,它们必须保护密封部件的橡胶或弹性材料免受变形和泄漏,从而导致车辆运行不正常和缺乏安全性。

对于优异的润滑性能和低温粘度的高性能制动液有着强烈需求,同时需要达到或超过满足 DOT5.1 标准中规定的最低沸点,尤其是湿沸点温度要求。由于静音电动汽车发展,制动液的噪声行为变得越来越重要,必须将其降至最低^[5]。

为适应各种复杂的驾驶环境和电子液压制动系统发展,现代汽车制动液需要具备高沸点的同时,兼顾超低的运动黏度,良好的抗磨性能,以及优异的润滑性能等^[17]。在全球双碳战略背景下,汽车制动液的可持续发展 and 环保性也逐渐成为关注的焦点之一。

4 结语

综上所述,随着汽车技术的发展更新,汽车制动液的技术水平也不断提升,追求低黏度、高沸点、无磨损、无噪声、环保性等极致性能,目前已发展到了较高水平,能满足各种车辆的使用要求。汽车行业发展日新月异,汽车制动液的性能指标也在不断提高与完善,深入开展制动液组成配方研究和性能评价工作,将进一步推动汽车制动液的质量技术水平发展和提升。

参考文献:

- [1]SAE J1704.Motor Vehicle Brake Fluid Based Upon Glycols, Glycol Ethers and the Corresponding Borates[S].US:Society of Automotive Engineers,2012.
- [2]49 CFR Ch.V(10-1-02 Edition). § 571. 116 Standard No.116;Motor Vehicle Brake Fluids[S].US:Department of Transportation,2002.
- [3]ISO 4925. Road Vehicles-Specification of non - petroleum base brake fluids for hydraulic systems[S].CH :International Organization for Standardization, 2020.
- [4]GB 12981. 机动车辆制动液 [S].CN: 中国国家标准化管理委员会,2012.
- [5]Verena Feldmann.Brake Fluids-First Class Performance for Today and Tomorrow[J].XXXVIII. Internationales μ -Symposium 2019 Bremsen-Fachtagung: 70 ~ 73.
- [6]陶佃彬. 汽车制动液的发展概况和研究进展 [J].广东化工,2021,10(48):99 ~ 101.
- [7]Harald DIETL, Ludwigshafen (DE), Bayram AYDIN, Ludwigshafen (DE),NOVEL LOW VISCOSITY FUNCTIONAL FLUID COMPOSITON: US,201303 10286A1[P].2013-11-21.
- [8]魏文红,宗明,曹毅,李健,孟艳. 一种机动车制动液组合物及其制备方法,CN103361150B[P],2014-11-26.
- [9]刘金龙,刘博,王永杰,王玉. 高级制动液 (HZY6) 的制备及稳定性的研究 [C], 中国汽车工程学会汽车燃料与润滑油分会第十七届年会论文集,2016:272-279.
- [10]李潘源,陶菲,吴旭东,赵玉贞. 一种机动车辆制动液组合物及其制备方法: 中国,113122357B[P]. 2021.07.16.
- [11]周广来,王健,裴旭荣,杨亚青,戴天. 一种 Class7 硼酸脂型制动液及制备方法: 中国,113755228A[P].2021-12-07.
- [12]Bernd Wenderoth, Birkenau (DE),Michael Roida, Weingarten (DE), Bayram Aydin, Ludwigshafen (DE),Uwe Fidorra,Wachenheim(DE).HYDRAULIC FLUIDS WITH IMPROVED ANTI-CORROSION PROPERTIES: US,20040116306[P].2004-06-17.
- [13]Jae Yoon Park,Seoul(KR),Chang YeoJo,Busan (KR),Hong Ki Lee,Gyeonggi-do (KR).BRAKE FLUID COMPOSITION BRAKE FLUID COMPOSITION:US, 20140274833A1[P].2014-09-18.
- [14]Jae Yoon PARK,Seoul (KR),Hyun Jin PARK,Seoul (KR),Hong Ki LEE,Busan (KR),Yong Hee HAN,Busan(KR).FUNCTIONAL FLUID COMPOSITIONS:US,20190161699A1[P].2019-03-30.
- [15]Felix HÖVELMANN, Mühldorf (DE),LOW VISCOSITY FUNCTIONAL FLUID COMPOSITION:US,202 30220295A1[P].2023-07-13.
- [16]Harald Dietl,Ludwigshafen (DE),Bayram Aydin, Ludwigshafen (DE),Stefan Dambach, Forst (DE),FUNCTIONAL FLUID COMPOSITIONS:US,10941367B2 [P].2021-03-09.
- [17]蒋耘农,马哲年. 汽车制动液的发展与选用 [J]. 汽车技术,2000(7):2.

作者简介:

陶菲 (1980-), 女, 汉族, 2003 年毕业于四川大学, 现在中国石化润滑油有限公司合成油脂研究院从事润滑油研究与开发工作。