

能源行业标准《有机硅热载体及其安全技术条件》（征求意见稿）编制说明

一、工作概况

（一）任务来源

1. 基本信息

根据国家能源局综合司“关于下达 2022 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知（国能综通科技[2022]96 号）”的要求，制定能源行业推荐标准《有机硅热载体及其安全技术条件》，项目编号：能源 20220173。按照制定计划，本标准应于 2024 年 10 月完成报批。

本标准由中国锅炉与锅炉水处理协会负责并组织制定，经过起草单位商讨，标准名称后改为《有机硅热载体质量与安全技术条件》。本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

2. 简要情况

（1）产品概况

有机硅热载体是以 Si-O-Si 为主链，其他有机基团为支链，这些基团可以是甲基、不饱和乙烯基等，兼具无机和有机材料的性质，在室温条件下以液态形式存在的线性聚硅氧烷。目前最具商业价值的聚硅氧烷是聚二甲基硅氧烷（PDMS），是最简单的聚硅氧烷，每个硅原子具有 Si-O 主链和两个甲基取代基，在惰性条件下的使用温度为-40~425℃。因其优

越的热稳定性和较低的生理毒性，常见作为太阳能光热系统集成热器内、锅炉内的传热媒介。

有机硅热载体还具有其他类型有机热载体无可比拟的优势，不易着火且具有自熄性，用电弧引燃后，一旦电弧停止，硅油的火焰能熄灭，提升使用的安全性。

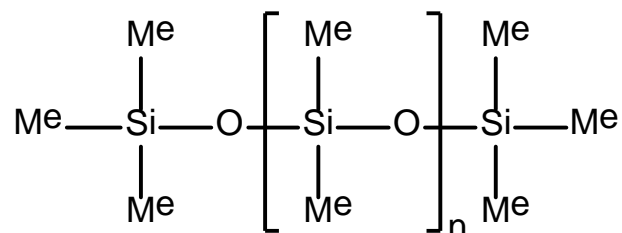


图 1 聚二甲基硅氧烷结构式

(2) 制定标准的目的及意义

本标准属于承压设备标准体系中“基础性支撑标准”中的“其他基础性支撑标准”、“运行维护标准”中“检测监测”，符合“能源领域节能、节水、资源综合利用、绿色发展”等行业标准要求。

“双碳”的国家战略要求能源变革转型，从传统能源向新型能源转变。而聚硅氧烷是重要的一类非碳骨架聚合物，在欧盟区也通过了概念验证，发展前景十分广阔，从生物医学到工业传热等许多不同领域中都有重要的应用，其优异的热稳定性和较低的生理毒性，使其称为一种性能优良的有机硅热载体。该类有机硅热载体符合《新时代的中国能源发展》白皮书“中国建设多元清洁的能源供应体系，将优先发展非化石能源”，有着广阔的应用前景，对于碳中和意义非凡。

目前，国内现行的标准均是关于“碳基类”有机热载体

的，硅基类有机热载体及其在热交换系统运行中的质量要求尚无相关标准，考虑未来光热产业及其他应用硅油类有机热载体行业的发展前景，为有效、安全、规范地推动有机硅热载体的使用，制定有机硅热载体的安全技术条件及热稳定性的测试方法等相关标准已迫在眉睫。国际上，部分企业已初步制定了硅基类有机热载体的企业标准，积累了相关工程的运行数据，IEC标准和BS标准也正在制定中。

(二) 主要工作过程

1. 起草阶段（2022年10月-2023年12月）

(1) 起草工作组

为了能按计划完成本标准制定工作，使本标准的技术内容先进、合理，适用于有机硅热载体产品质量与安全技术要求。中国锅炉与锅炉水处理协会积极联系标准相关方成立起草工作组。

起草工作组由中国锅炉与锅炉水处理协会、江苏省特种设备安全监督检验研究院直属分院、江苏省特种设备安全监督检验研究院常州分院、中石化石油化工科学研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院张家港分院、淄博市特种设备检验研究院、重庆市特种设备检测研究院、宁波市特种设备检验研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院无锡分院、泰安市特种设备检验研究院瓦克化学(中国)有限公司、陶氏化学(中国)投资有限公司、塞拉尼斯(南京)化工有限公司等单位组成。

（2）分工情况

中国锅炉与锅炉水处理协会、江苏省特种设备安全监督检验研究院等主要负责标准制修订工作总体协调及资料收集、组织召开标准工作会议、提出验证方案、征集试验样品、试验数据统计与比对、编写标准各阶段草案、编制说明及相关附件等工作。

其他单位主要负责参与标准内容讨论、开展试验方法验证和数据统计、参加工作会议讨论、对标准过程稿件提出修改意见等。

（3）调查研究

任务下达后，中国锅炉与锅炉水处理协会组织相关起草单位查阅了国内外标准及有关技术资料，调研了有机硅热载体生产、使用单位，调查研究表明，国内外有机硅热载体暂无相应的产品质量标准。但鉴于有机硅热载体优越的热稳定性和较低的生理毒性，已在多个项目应用，如龙腾光热公司参加的中国可再生能源规模化发展二期项目“基于硅油介质的槽式太阳能高温集热管的关键技术研发”通过实地验收评审，在此基础上，国家首批光热发电示范项目——玉门龙腾新能导热油槽式5万千瓦光热发电项目也正在积极推进中，项目建成后将成为全球第一座硅油（德国WACHER公司生产的HELISOL® XLP）槽式光热电站。塞拉尼斯（南京）化工有限公司：新建液晶聚合物（VECTRA® LCP）项目（投资7.15亿人民币），涉及一台有机热载体电加热锅炉，鉴

于生产工艺对高温的特殊要求，该电加热锅炉也采用有机硅热载体（德国 Fragol 公司生产的 Fragoltherm X-76-A 导热油）。

2023 年 4 月组织相关起草人员在张家港召开标准首次会议，并组织实地考察有机硅热载体生产厂家，了解其生产、检验的实际情况。与会人讨论并确定了标准草案的基本框架结构，确定了标准草案的初步内容，确定了标准制定过程中的工作内容、试验方案以及工作进度。

（4）验证过程（试验过程）

陶氏化学（中国）投资有限公司、塞拉尼斯（南京）化工有限公司、瓦克化学（中国）有限公司提供有机硅热载体样品，包括未使用有机硅热载体和在用有机硅热载体。

江苏省特种设备安全监督检验研究院、中石化石油化工科学研究院、淄博市特种设备检验研究院、重庆市特种设备检测研究院、宁波市特种设备检验研究院、泰安市特种设备检验研究院等单位对上述样品进行了验证试验。验证试验的结果详见“表 3 至表 10”。

（5）工作组讨论稿（征求意见稿）的形成

根据前期方案讨论及试验验证等起草阶段工作情况，起草工作组于 2023 年 12 月提出工作组讨论稿及编制说明。

2. 标准征求意见

（1）广泛征求意见

在起草阶段工作基础上，起草小组提出草案征求意见稿

及编制说明，经修改后于。。年。。月向全国锅炉压力容器标准化技术委员会的委员、生产、使用及检验机构等单位发送了电子文件征求意见稿及编制说明，并在网上（。。。）公开征求意见。

（2）意见的反馈与处理

3. 标准审查阶段

4. 报批阶段

二、标准编制原则、标准体系和确定标准主要内容

（一）标准编制原则

本标准在修订过程中，起草单位遵循规范性、科学性、适用性原则，旨在能科学合理规范有机硅热载体的质量、使用安全技术要求和检测方法，以达到能完善现有标准的目的。

（1）规范性原则，根据 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

（2）科学性原则，任务下达后，起草单位查阅了相关的国内外资料，由此确定了科学准确的检测方法，并进行了相关验证试验，确保标准检测方法的可行性和可靠性，保障了看标准的科学性要求。

（3）适用性原则：本标准在制定过程中，起草单位多次交换意见，探讨标准内容的可行性，确保标准要求可以有效适用于产品质量、使用安全技术要求。

（二）标准的主要技术内容说明

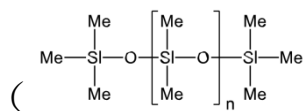
经查，国内外尚无有机硅热载体产品质量与安全技术条

件的相关标准，在本标准制定过程中，参考了生产单位内部产品标准，使用单位需求以及检验单位的历史数据等方面。

1. 标准术语的说明

(1) 有机硅热载体

有机硅热载体定义为“以聚二甲基硅氧烷



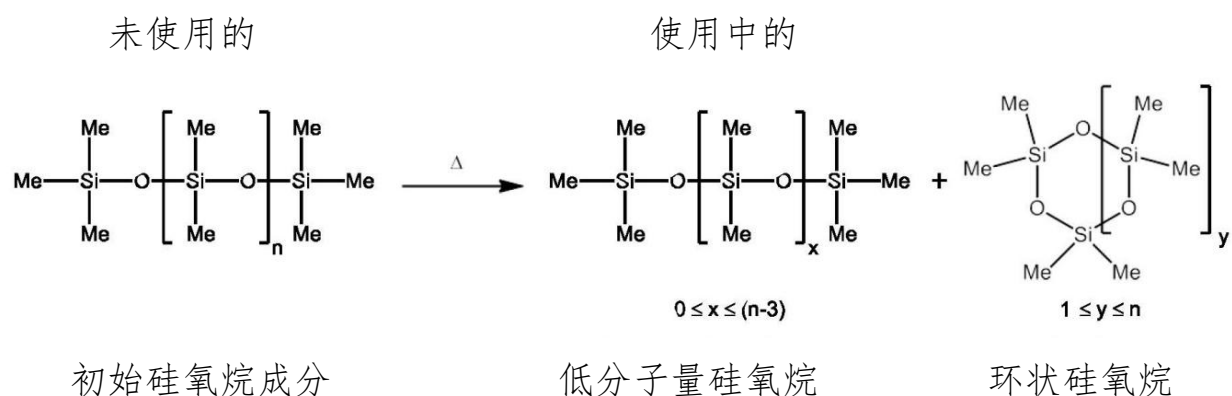
为主要成分的具有特殊高热稳定性并作为传热介质使用的有机硅聚合物”。本定义规定了有机硅热载体的主要成分为聚二甲基硅氧烷，这类聚硅氧烷耐高温、耐老化等优良性能都与 Si-O-Si 具有很高的化学键能有关。硅原子电负性较低，可与电负性高的元素或电负性较低的基团结合形成饱和的共价结构。硅氧链处于最高氧化态，Si-O-Si 键具有很高的键能，因此聚硅氧烷具有相当高的热稳定性与化学稳定性。同时 Si-O-Si 键的键角约 130° ，呈现一定柔性，即使支链接入有机基团后会削弱其热稳定性，但其耐热性仍优于一般聚合物。

(2) 未使用有机热载体、在用有机硅热载体

未使用有机热载体定义为“未曾使用，且尚未注入传热系统使用的有机硅热载体”；在用有机硅热载体定义为“已在传热系统中投入使用的有机硅热载体。注加热系统中使用的有机硅热载体，在持续高温下运行发生线性硅氧烷和环状硅氧烷之间的平衡反应，在此状态下，流体的物理性质和化学成分保持相对稳定。”

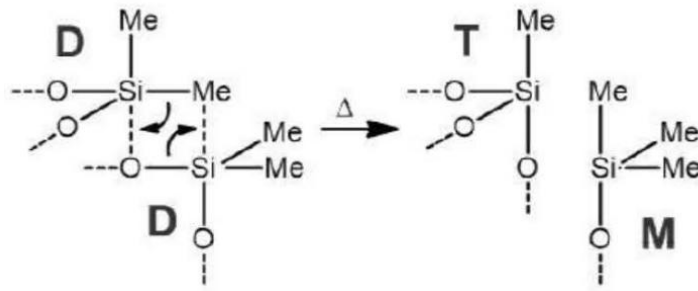
有机硅热载体在高温条件下会发生化学反应，主要涉及平衡反应即线性硅氧烷和环状硅氧烷之间发生平衡反应，为正常的热化学反应；歧化反应即两个 D 单元发生歧化反应后

形成支链 T 单元和封端 M 单元,导致其黏度等指标发生变化。对于在用有机硅热载体, 必须注意投入使用并在高温下持续运行一段时间后的状态, A 产品说明中特别指出“在加热系统中、在 425° C 的温度下至少工作了 720 小时(约 30 天)之后”, 也有文献其在 260° C 用一段时间, 会发生小分子重排平衡反应导致运动黏度、闪点会下降。如张家港某锅炉采用有机硅热载体作为传热媒介, 其锅炉出口 350°C, 目前已运行 8 年多。



(3) D 单元、M 单元和 T 单元

D 单元 ($\text{Me}_2\text{SiO}_2/2$) 定义为“双官能团二甲基硅氧烷(主链)”；M 单元 ($\text{Me}_3\text{SiO}_1/2$) 定义为“单官能团三甲基硅氧烷(封端)”；T 单元 ($\text{MeSiO}_3/2$) 定义为“三官能团甲基硅氧烷(支链)”。本定义可方便标准使用者深入理解有机硅热载体主要成分结构。



(4) 有机硅热载体 T 单元含量

有机硅热载体 T 单元含量定义为“在用有机硅热载体发生歧化反应产生 T 单元的摩尔百分比。T 单元含量是评价有机硅热载体热稳定性及在用有机硅热载体劣化程度的主要指标”。有机硅热载体在高温条件下发生歧化反应，产生 T 单元，T 单元含量的增加会导致其运动黏度值增加，影响其使用安全。有机硅热载体 T 单元含量是一个重要的热稳定性评价指标，对于安全使用影响意义重大。

(5) 热稳定性

热稳定性定义为“有机硅热载体在高温环境下抵抗化学劣化的能力，通过 T 单元含量进行评价”。该定义参考了 GB23971-2009 中 3.7，但鉴于与传统碳基类有机热载体的区别，提出以 T 单元含量评价有机硅热载体的热稳定性。

(6) 最高允许使用温度

最高允许使用温度定义为“通过本文件附录 A 热稳定性试验，有机硅热载体测得的 T 单元摩尔百分比不超过 1% 条件下的试验温度”。本标准附录 A 提出了 ^{29}Si -核磁共振光谱定量分析 T 单元含量的方法。

(7) 最高工作温度

最高工作温度定义为“在实际传热系统运行时，加热系统出口处测得的在用有机硅热载体平均主流体温度为工作温度；加热系统出口处最高允许达到的有机硅热载体主流体温度为最高工作温度”。该定义参考了 GB23971-2009 中 3.9。

(8) 最高允许液膜温度

最高允许液膜温度定义为“传热系统运行时，有机硅热载体与加热系统受热面接触的交界层温度称为液膜温度；交界层允许的最高温度称为最高允许液膜温度”。该定义参考了 GB23971-2009 中 3.10。

(9) 闭式传热系统

闭式传热系统定义为“膨胀罐与大气隔离的有机硅热载体传热系统”。该定义参考了 GB23971-2009 中 3.11。

2. 指标项目的设立

本标准提出有机硅热载体的一般要求，设置有机硅热载体的质量要求包括外观、密度、自燃点、闪点（闭口）、运动黏度、水分、硫含量、氯含量、酸值、铜片腐蚀、环体含量、硅羟基含量、热稳定性等十四项指标，具体指标见表 1；设置在用有机硅热载体质量指标包括外观、闪点（闭口）、运动黏度、酸值、水分、T 单元含量等六项指标，具体指标见表 2。

表 1 有机硅热载体要求和检测方法

项目		质量指标		检测方法
外观		清澈透明、无悬浮物		目测
密度/ (25° C, kg/m ³)		报告 ^a		SH/T0604
自燃点/° C		报告 ^a		SH/T0642
倾点/° C	不高于	-40		GB/T 3535
闪点 (闭口) /° C	不低于	120		GB/T 261
运动黏度 (25° C , mm ² /s)	不大于	40		GB/T 265 ^b 、 NB/SH/T 0956
水分/ (mg/kg)	不大于	300		GB/T 11133
硫含量/ (mg/kg)	不大于	10		GB/T 11140 GB/T 17040 ^b
氯含量/ (mg/kg)	不大于	10		GB 23971附录A
酸值/ (mgKOH/g)	不大于	0.02		GB/T 4945 ^b GB/T 24747附录A
铜片腐蚀 (100° C, 3h) /级	不大于	1a		GB/T 5096
环体含量 (D4、D5、D6) ^d / (mg/L)	不大于	990		GB/T40323
硅羟基含量 ^d / (mg/L)	不大于	500		红外色谱
热稳定性 ^c	测试温度 (° C)	最高允许使用温度		附录A
	测试时间 (小时)	0	1500	
	外观	透明、无悬浮物和沉淀物		
	T单元含量 (摩尔百分含量) 不大于	未检出	1	
^a 所有“报告”项目，有生产商或经销商向用户提供，以供选择。 ^b 测定结果有争议时，运动黏度以 GB/T 265 为仲裁方法、硫含量测定以 GB/T 17040 为仲裁方法、酸值测定以 GB/T 4945 为仲裁方法。 ^c 对应用于太阳能光热发电系统的有机硅热载体，供应商需提供模拟测试数据，以确保有机硅热载体的安全性。 ^d 对应用于太阳能光热发电系统的有机硅热载体，应提供环体含量、硅羟基含量。				

表 2 在用有机硅热载体质量指标和检测方法

项 目		允许使用质量指标	检测方法
外观		无悬浮物和沉淀物	目测
闪点 (闭口) /° C	不小于	50	GB/T 261
运动黏度 (25° C) / (mm ² /s)	不大于	未使用有机硅热载体运动黏度 × 110%	GB/T 265
酸值 / [mg/g (以 KOH 计)]	不大于	0.2	GB/T 24747 附录 A
水分 / (mg/kg)	不大于	300	GB/T 11133
T 单元含量 (%)	不大于	10	附录 A

(1) 外观

考虑到有机硅热载体长期高温条件下发生歧化反应，导致其颜色等外观发生变化，有机硅热载体新油外观指标订为“清澈透明、无悬浮物”，在用有机硅热载体订为“无悬浮物和沉淀物”。

(2) 密度

密度是有机硅热载体重要的物理性质指标，但考虑到不同牌号有机硅热载体其密度不同，新油密度指标订为 25℃ 报告值。

(3) 自燃点

自燃点是有机硅热载体在无任何外界点火源的情况下发生自燃所需要的温度，是安全指标。但有机硅热载体有一定的自熄性，在合适的工作温度下，在高于其自燃温度的条件下工作也不会引起因自燃而导致的火灾。考虑到不同牌号有机硅热载体其自燃点不同，新油自燃点指标订为报告值。

(4) 倾点

倾点是指有机硅热载体开始失去流动性能时的温度。通常工业应用中所需要的流体用泵进行输送，最低可泵送温度低于-40℃，不需要使用任何防冻。因此有机硅热载体新油倾点指标订为“不高于-40℃”。

(5) 闪点（闭口）

闪点是加热有机硅热载体时逸出的蒸汽和空气组成的混合物与火焰接触发生瞬间闪火时的最低温度，可燃性液体

性质的主要标志之一。随着有机硅热载体高温使用后，会产生小分子产物，导致其闪点值降低，有机硅热载体新油闪点（闭口）指标订为“不低于 120℃”，在用有机硅热载体订为“不小于 50℃”。

（6）运动黏度

运动黏度是判断有机硅热载体劣化程度的主要指标，随着有机硅热载体高温使用后，会产生小分子产物，导致其黏度降低，但是发生歧化反应，其黏度又会上升。有机硅热载体新油 25℃运动黏度指标订为“不大于 40 mm²/s”，在用有机硅热载体订为“不大于未使用有机硅热载体运动黏度×110% mm²/s”。对于在用有机硅热载体运动黏度达到未使用有机硅热载体运动黏度的 90%时，增加 T 单元检测频次。

本标准要求的 25℃运动黏度，区别于 GB23971-2009 等标准要求的碳基类有机热载体，主要考虑到在 40℃测定有机硅热载体运动黏度值较低，带来的误差较大。与生产厂家交流也得知，有机硅热载体出厂检验 25℃运动黏度，积累了大量数据，有利于评价在用有机硅热载体安全技术要求。

（7）水分

水分的存在可能会导致硅氧烷分子发生交联反应，使有机硅热载体的黏度升高得更快。有机硅热载体新油水分指标订为“不大于 300 mg/kg”，在用有机硅热载体订为“不大于 300mg/kg”。

（8）硫含量

硫是有机热载体中的主要有毒有害物质，有机硅热载体新油该指标订为“不大于 10mg/kg”。

(9) 氯含量

氯是有机热载体中的主要有毒有害物质，有机硅热载体新油该指标订为“不大于 10mg/kg”。

(10) 酸值

酸值与设备腐蚀情况相关。有机硅热载体新油该指标订为“不大于 0.02 mg KOH/g”；在用有机硅热载体该指标订为“不大于 0.2 mg/kg”。

(11) 铜片腐蚀

铜片腐蚀与设备腐蚀情况相关。有机硅热载体新油该指标订为“不大于 1a”。

(12) 环体含量

在既定使用条件下发生重排反应后的主要产物是环体（包括八甲基环四硅氧烷 D4、十甲基环五硅氧烷 D5 和十二甲基环六硅氧烷 D6），对应用于太阳能光热发电系统的有机硅热载体，考虑安全性，有机硅热载体新油该指标订为“不大于 990”。

(13) 硅羟基含量

硅羟基为活性基团，高温条件下易发生化学反应导致其劣化。对于太阳能光热发电系统，考虑其运行成本与运行时间，需要控制硅羟基含量，有机硅热载体新油该指标订为“不大于 500 mg/L”。

(14) 热稳定性

随着温度的升高，有机硅热载体将发生化学反应，所生成的产物影响有机硅热载体的性能。平衡反应为正常的热化学反应，反应生成产物仍然有机硅热载体的一部分，不影响其使用性能。而随着歧化反应的发生，导致 T 单元含量增加则影响有机硅热载体使用性能，因此本标准通过 T 单元含量来表征有机硅导热油的热稳定性。T 单元含量本标准制定附录 A，详细规定了检测方法，具体验证记录见表 9-表 10 对于有机硅热载体新油在未加热的条件下，T 单元含量订为“未检出”，在最高允许使用温度下加热 1500 小时后，T 单元含量订为“不大于 1mol%”。在用有机硅热载体 T 单元含量订为“不大于 10mol%”。

3. 试验方法的确定

本标准涉及的方法标准见表 1、表 2 中检测方法，验证试验的结果详见“表 3 至表 10”。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

1. 对重要性能指标的分析

(1) 有机硅热载体质量检测结果汇总

对不同牌号有机硅热载体新油进行质量检测，数据汇总如下：

表 3 编号 N1 样品检测数据汇总表

实验室	1	2	3	4	5	6	7	8
外观	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物
密度 25℃, kg/m ³	954.7	955.0	953.8	959.5	954.9	955.0	956.3	/
倾点, °C	/	/	/	<-50	/	-57	/	/
闪点(闭口), °C	221.2	225	222.3	226	221.5	238	219.6	224.5
运动黏度 25℃, mm ² /s	34	36.01	35.99	27	35.35	35.40	35.02	35.44
酸值, mg KOH/g	0.002	0.003	0.0036	0.01	0.01	0.004	0.003	0.00
水分, mg/kg	/	145.2	154.9	102	136.652	144.9	138.43	147.5
铜片腐 100℃, 3h, 级	/	/	/	/	/	1a	1a	/
氯含量, mg/kg	/	/	/	/	/	0.04	/	/
硫含量, mg/kg	/	/	/	/	/	0.53	/	/

表 4 编号 N2 样品检测数据汇总表

实验室	1	2	3	4	5	6	7	8
外观	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物
密度 25℃, kg/m ³	949.6	947.8	948.8	954.4	948.2	949.8	951.2	/
倾点, °C	/	/	/	<-50	/	-66	/	/
闪点(闭口), °C	196.1*	201	194.1	214	202.5	248	196.2	208.5
运动黏度 25℃, mm ² /s	21.2	19.95	20.9	16.6	19.96	21.60	21.41	21.64
酸值, mg KOH/g	0.003	0.0045	0.0032	0.01	0.01	0.004	0.007	0.00
水分, mg/kg	/	152.1	138.4	125	141.18	151.2	140.44	177.7

铜片腐 100℃, 3h, 级	/	/	/	/	/	1a	1a	/
氯含量, mg/kg	/	/	/	/	/	0.06	/	/
硫含量, mg/kg	/	/	/	/	/	1.8	/	/

表 5 编号 N3 样品检测数据汇总表

实验室	1	2	3	4	5	6	7	8
外观	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物
密度 25℃, kg/m ³	933.2	933.9	932.3	837.9	933.2	933.3	934.6	/
倾点, °C	/	/	/	<-50	/	-70	/	/
闪点 (闭口), °C	164.2	171.5	162.2	180	165.5	192	162.3	166.6
运动黏度 25℃ mm ² /s	9.5	10.1	10.03	7.4	9.713	9.728	9.74	9.731
酸值, mg KOH/g	0.001	0.0165	0.0126	0.00	0.02	0.005	0.002	0.00
水分, mg/kg	/	150.1	177.4	196	129.33	145.9	130.1	167.9
铜片腐蚀 100℃, 3h, 级	/	/	/	/	/	1a	1a	/
氯含量, mg/kg	/	/	/	/	/	0.03	/	/
硫含量, mg/kg	/	/	/	/	/	0.875	/	/

表 6 编号 N4 样品检测数据汇总表

实验室	1	2	3	4	5	6	7	8
外观	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物	清澈透明、无悬浮物
密度 25℃, kg/m ³	916.7	916.8	915.5	921.4	916.6	916.7	917.9	/
倾点, °C	/	/	/	<-50	/	-80 左右	/	/
闪点 (闭口), °C	155.2	146	146.1	160	153.5	156	139.8	143.3

运动黏度 25℃, mm ² /s	5.3	5.42	5.43	4.2	5.399	5.469	5.46	5.461
酸值, mg KOH/g	0.002	0.0032	0.0047	0.01	0.03	0.004	0.005	0.00
水分, mg/kg	/	138.5	136.8	162	190.01 8	139.4	185.99	107.2
铜片腐蚀 100℃, 3h, 级	/	/	/	/	/	1a	1a	/
氯含量, mg/kg	/	/	/	/	/	0.06	/	/
硫含量, mg/kg	/	/	/	/	/	0.0685	/	/

表 7 某厂家有机硅热载体出厂部分项目检测数据

样品编号	Y1	Y2	Y3	Y4
外观	清澈, 无色	清澈, 无色	清澈, 无色	清澈, 无色
闪点(闭口), °C	229	210	171	154
运动黏度, 25℃, mm ² /s	35.6	21.6	9.7	5.4
酸值, mg KOH/g	0.000	0.000	0.000	0.000
水分, mg/kg	24	48	23	38
氯含量, mg/kg	< 3	< 3	< 3	< 1

(2) 在用有机硅热载体质量检测结果汇总

对不同厂家不同牌号在用有机硅热载体进行质量检测, 其中 U1 在 355C° 条件下使用 12 年, U2 在 360C° 条件下使用 2 年, U3 在 390C° 条件下使用 8 年数据汇总如下:

表 8 编号 U1-U3 样品检测数据汇总表

实验室	样品编号	外观	闪点(闭口), °C	运动黏度, 25℃, mm ² /s	酸值, mg KOH/g	水分, mg/kg
1	U1	灰黑色半透明 无悬浮物和沉淀物	69.5	13.1	0.007	201

2		无悬浮物和沉淀物	73.5	13.31	0.02	109.632
3		无悬浮物和沉淀物	83	13.35	0.007	98.4
4		黑色半透明有痕量 黑色颗粒物	61.7	13.25	0.024	176.23
1	U2	灰黑色半透明	64.1	6.9	0.033	235
2		无悬浮物和沉淀物	71.5	6.965	0.03	236.218
3		无悬浮物和沉淀物	/	7.031	0.025	137.0
4		棕色透明 无悬浮物和沉淀物	57.9	7.02	0.042	204.3
1	U3	灰黑色半透明 无悬浮物和沉淀物	59.2	8.6	0.009	203
2		无悬浮物和沉淀 物	65.5	8.631	0.02	118.467
3		无悬浮物和沉淀物	78.5	8.764	0.013	94.0
4		黑色不透明有颗粒 性沉淀物	/	7.75	0.018	165.1

(3) T 单元含量检测数据汇总

本标准附录 A 规定了核磁共振硅谱法测定有机硅热载体 T 单元含量的试验方法，核磁共振硅谱是分析有机硅热载体中 T 单元含量最直接的方法。将配置好的 $\text{Cr}(\text{acac})_3 / \text{CD}_2\text{Cl}_2$ 溶液放置核磁管中，取适量的有机硅热载体样品溶于核磁管中的 $\text{Cr}(\text{acac})_3 / \text{CD}_2\text{Cl}_2$ 溶液。将核磁管放置核磁共振谱仪的探头中，在标准规定的核磁共振波谱工作条件下进行反门控去耦的单脉冲序列试验分析，测定有机硅热载体样品的核磁共振硅谱。对核磁共振谱图上的每个信号进行积分，分别计算出 M、D 和 T 单元的积分面积。用 T 单元的积分面积除以三个单元的总值，确定有机硅热载体中 T 单元含量（摩尔百分数）。

在 ^{29}Si NMR 谱图，将化学位移+12 至+5 区域内的信号归属为 M 单元；化学位移从-6 至-24 区域内的信号归属为 D 单元；化学位移从-40 至-68 区域内的信号归属为 T 单元。从图 1 中，可看出化学位移从-40 至-68 区域内无信号值，有机硅热载体新油中 T 单元含量未检出

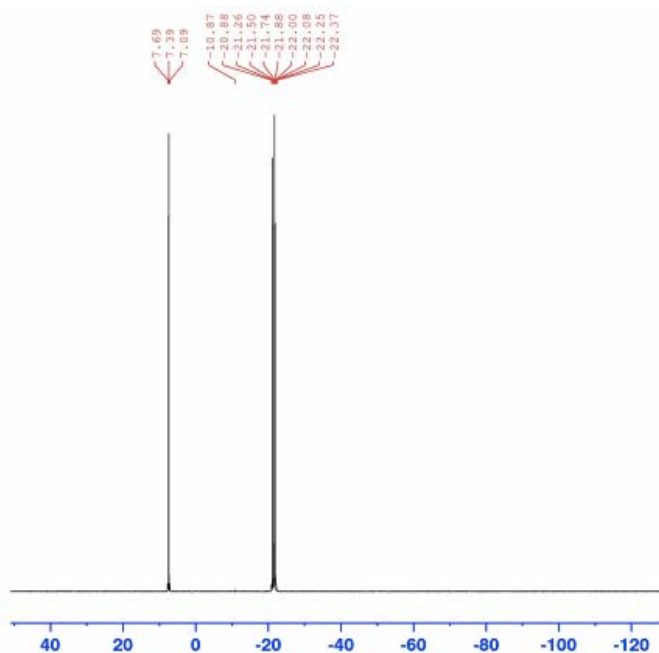


图 1 有机硅热载体新油的 ^{29}Si NMR 谱图

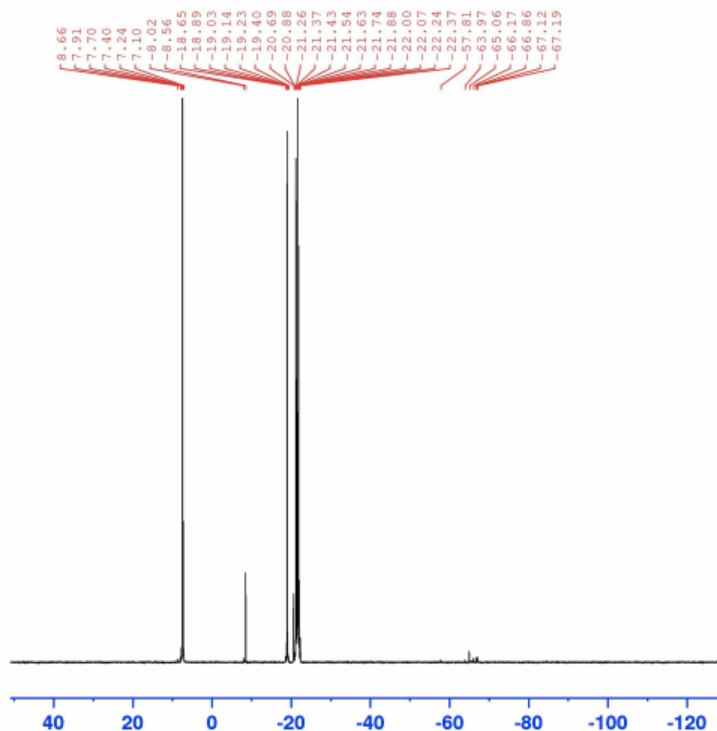


图 2 在用有机硅热载体样品的 ^{29}Si NMR 谱图

表 9 有机硅热载体新油 430°C 加热后 T 单元含量(单位摩尔百分比)

数据汇总

样品编号	加热时间	数据 1	数据 2	数据 3
N5	1000h	0.6559	0.7176	0.7307
	1500h	0.8236	0.7947	0.7892

表 10 在用有机硅热载体 T 单元含量 (单位摩尔百分比) 数据汇总

样品编号	数据 1	数据 2
U1	3.0193	3.0382
U2	0.3184	0.3494
U3	1.1639	1.157

(4) 数据分析

从表 3 至表 7 验证数据以及某厂家有机硅热载体出厂部分项目检测数据可看出, 对于不同牌号的有机硅热载体外观、运动黏度、闪点、水分、密度、酸值等质量指标均能满足指

标要求，（水分由于部分实验室因梅雨天气湿度较大影响，试验数据较分散）

从表 8 验证数据可看出，外观、闪点、运动黏度、酸值、水分均能满足指标要求。（水分由于部分实验室因梅雨天气湿度较大影响，试验数据较分散）

从图 1 可看出对于有机硅热载体新油，直接 ^{29}Si 核磁检测 T 单元含量，图谱中未发现 T 单元位移峰，但随着高温下加热一段时间，有机硅热载体随着发生歧化反应产生 T 单元，如表 9 所示，加热时间越长，T 单元含量呈现增长趋势。为合理经济评估有机热载体新油热稳定性，在有机硅热载体新油指标中规定加热时间为 0 时，T 单元含量未检出，规定加热时间 1500h 时，T 单元含量不大于 1mol%。

表 10 中数据也间接说明了在有机硅热载体在其允许的温度下运行，随着运行时间 T 单元含量呈现增加趋势。样品 U1 在 355C° 条件下运行 12 年，其 T 单元含量 3.03mol%，结合生产厂家经验值，在用有机硅热载体 T 单元含量指标订为 10mol%。

2 预期达到的经济效果

本次制定标准的内容主要是为了满足目前生产企业和市场的需要，制定后，技术指标可用于科学合理规范生产企业、使用单位以及检验机构，引导和促进行业健康发展。本标准的实施对保证市场正常秩序、促进社会经济发展有着推动作用。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况。

经查，目前硅基类有机热载体及其在热交换系统运行中的质量要求尚无相关标准。本次制定结合现有企业内部标准、使用单位需求以及检验机构检验要求，科学合理制定指标，检测方法均采用经典的分析方法，可操作性强，因此本标准达到国内先进水平。

五、与现行相关法律、法规。规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准遵循相关的法律、法规和强制性国家标准的要求，与我国现行相关法律、法规、规章及相关标准无冲突。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在制定过程中无重大分歧意见。

七、标准性质的建议说明

建议将本标准作为推荐标准使用。

八、贯彻国家标准的要求和措施建议

建议尽快发布本标准并自发布之日起6个月实施。建议标准实施后组织标准宣贯，使标准应用单位了解标准内容，促进标准实施应用。本标准反映了目前国内实际生产技术水平，可积极向国内生产单位、使用单位、检验机构等相关单位推荐使用本标准。

建议尽快发布本标准并尽早实施。本标准颁布后，将通

过公共信息服务平台向全社会开放，供有机硅热载体生产单位、锅炉使用单位、锅炉检验机构及安全监管机构等查询和使用。同时通过标准实施后组织标准宣贯，使标准应用单位了解标准内容，促进标准实施应用。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、其他应予说明的事项

无。