

《高羟值端羟基聚丁二烯》
编制说明

编制单位：黎明化工研究设计院有限责任公司

编制日期：2025年9月

《高羟值端羟基聚丁二烯》

编制说明

一、任务来源

（一）任务来源

根据中国化工学会发化会字[2025]第 22 号文《关于<高羟值端羟基聚丁二烯>团体标准立项的通知》，团体标准《高羟值端羟基聚丁二烯》由中国化工学会提出并归口，由黎明化工研究设计院有限公司（以下简称黎明院）牵头制定，项目计划号是 T/CIESC 176-2025。

（二）标准制定的目的和意义

端羟基聚丁二烯（以下简称 HTPB）是一种液体橡胶，主要作为固体推进剂各组分的粘合剂，在航空航天中有着重要应用地位。

高羟值端羟基聚丁二烯是新研究开发的一种特殊 HTPB，具有羟值高、黏度低等特点，在航空航天领域中主要作为火箭发动机壳体包覆层的粘合剂，同时结合民品需求，研究其新的技术要求，开发了本产品新的应用领域，目前在防水涂料、胶粘剂、电子灌封胶等产品中的应用展现出了优异性能，能大大提升相关产品的使用性能，使产品具有强度高、耐候性好、粘接性强等综合性能。

本标准是工信部项目《端羟基聚丁二烯开发与产业化》的配套标准，目前该项目已完成小试、中试及扩试工作，产品性能通过了验证单位复检。本标准旨在规范产品质量，统一检测方法，提升产品的一致性与可靠性，进而推动产业的健康有序发展。

二、起草工作简要过程

按照中国化工学会标准制修订程序的要求，《高羟值端羟基聚丁二烯》团体标准的编制完成了以下工作：

（一）资料的收集

在标准编制过程中，起草工作组收集了以下资料：

1、国际标准与国外先进标准

- 1) ASTM D7126-Standard Specification for Polyurethane Raw Materials: Hydroxyl(OH) Number of Polyols
- 2) ASTM D4276-Standard Test Methods for Hydroxyl Groups by Anhydride Acetylation
- 3) MIL-I-24768B-Military Specification: Insulating Compound, Synthetic Resin, Hot-Melt Adhesive

2、国内相关产品标准

- 1) GJB 1327A-2021 国家军用标准（端羟基聚丁二烯规范）
- 2) GB/T 13892-2020 中国国家标准：碘值的测定（表面活性剂 碘值的测定 第1部分：碘-氯化碘加成法）
- 3) GB/T 2895 中国国家标准：酸值的测定（塑料 聚酯树脂酸值的测定）

3、相关学术论文

- 1) 高羟值端羟基聚丁二烯的合成与性能研究，《聚氨酯工业》，2022，37（4）
- 2) 高性能固体推进剂用端羟基聚丁二烯粘接剂的研究进展，《固体火箭技术》，2018.41（1）
- 3) 不同羟值端羟基聚丁二烯对聚氨酯弹性体性能的影响，《化学推进剂与高分子材料》，2019，17（5）

4、相关专利

- 1) 一种高羟值窄分布端羟基聚丁二烯及其制备方法，中国石油化工股份有限公司
- 2) 一种用于固体推进剂的高性能端羟基聚丁二烯粘接剂及其制备方法，湖北东方有限公司
- 3) Process for producing Hydroxy-terminated polybutadiene with high vinyl content and high functionality, Evonik Operations GmbH
- 4) Hydroxy-terminated polybutadiene with low viscosity and method for producing the same, Cray Vally SA

（二）标准的起草

1、自2019年来至2025年5月，黎明院开始关注并调研高羟值端羟基聚丁二烯的国内外标准文献和产品的行业情况，为提出团体标准《高羟值端羟基聚丁二烯》的制定计划进行了前期研究。

2、2025年6月11日，本项目计划正式下达。6月20日，召开标准启动会，黎明院按照中国化工学会的要求成立了以黎明院组长，中国石油天然气有限公司兰州化工研究中心、西北工业大学、内蒙古合成化工研究所等单位为组员的编制组，正式启动《高羟值端羟基聚丁二烯》团体标准的编制工作。编制组根据进度安排及相关企业代表意见，查阅了国内外相关资料，确立了本标准的主题框架及主要技术要求，按照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》的编写要求，于2024年6月底形成了标准草案稿。

3、2025年6月至2025年9月，编制组根据主要技术要求及试样方法，逐项进行了验证试验。根据验证试验反馈的数据，编制组进行了内部讨论，并在此基础上统一了各方意见，对草案稿进行了修改与完善，于2025年9月18日形成征求意见稿。

（三）主要参加单位和工作组成员

标准起草单位为黎明化工研究设计院有限公司、中国石油天然气有限公司兰州化工研究中心、西北工业大学、内蒙古合成化工研究所，具体情况如表1所示。

表1 主要参加单位和工作组成员表

成员姓名	所在单位	专业方向	邮箱
崔小军	黎明化工研究设计院有限责任公司	生产技术	cuixiaojun@sinochem.com

张有恒	黎明化工研究设计院有限责任公司	生产技术	zhangyouheng@sinochem.com
刘明雪	黎明化工研究设计院有限责任公司	分析	limingxue@sinochem.com
赵小红	黎明化工研究设计院有限责任公司	分析	zhaoxiaohong5@sinochem.com
匙丹丹	黎明化工研究设计院有限责任公司	标准化	shidandan1@sinochem.com
王峰	中国石油天然气有限公司兰州化工研究中心	技术研发	wangfeng002@petrochina.com.cn
谢君健	西北工业大学	技术研发	xiejunjian@nwpu.edu.cn
魏子力	内蒙合成化工研究所	技术研发	weizl@163.com

三、编写原则和确定标准主要内容的依据

（一）标准的编写原则

本标准的制定遵循科学性、先进性、适用性、协调性和可操作性等基本原则。

1、科学性、先进性与适用性原则

本标准在编制过程中，广泛收集、分析和借鉴了国内外相关标准、最新科技文献、专利技术及行业领先企业的产品技术数据。指标体系的设立不仅立足于当前国内生产工艺和技术水平，更充分考虑了高羟值 HTPB 在高性能聚氨酯弹性体、固体推进剂等高端领域的发展趋势和应用需求，力求标准技术内容科学、指标先进、适用性强。

2、协调性原则

本标准注重与现行国家标准、行业标准的协调统一。在术语定义、采样方法、通用测试方法（如羟值、粘度、酸值、水分的测定）上，优先采纳或引用已颁布实施的国家标准、国家军用标准等行业中的成熟方法，避免重复和冲突。

3、可操作性原则

本标准的技术要求和试验方法均经过起草单位的初步验证和行业调研，确保所列指标项目明确、试验方法具体、试验条件清晰。所有规定的检验项目均可在具备资质的实验室中采用常规仪器设备完成，便于生产方、使用方和第三方检测机构实施和应用，保证了标准在实际生产和贸易中的可操作性。

（二）确定标准主要内容的依据

1、技术指标的确定依据

2020 年初，黎明院开始进行产品相关的行业调研，主要对国内外文献资料中的性能指标进行了收集整理，对下游的应用厂家 46 所、42 所等单位进行了应用调研，对该产品的应用方面进行了摸底及调整，为该标准技术指标的制定打下了基础，且于 2021 年开始着力开拓民品的新应用领域，为该标准应用范围的拓宽积累了相关的技术经验。基于上述基础，初步确定影响产品的主要技术指标为外观、羟值、数均分子量及分子量分布、粘度、水质量分数、酸值、碘值、VCH 含量，具体如下：

1) 外观

基于行业通用要求和下游用户需求。高羟值 HTPB 作为高品质原料，其外观应均匀透明，无机械杂质，这是保证后续产品（如聚氨酯、推进剂）质量均一性和性能稳定性的最基本要求。参考了 GJB 1327A-2021 及各主要生产商产品规格书中的通用规定。

2) 羟值

这是本标准最核心的指标，直接体现了“高羟值”的特性。下限设定：综合了多家国内外主要生产商（如 Evonik、Cray Valley、国内黎明化工研究设计院等）同类产品的公开技术数据、相关专利及学术文献中报告的最低典型值，确保材料具备高交联密度的基础特性。上限设定：基于合成工艺极限及应用需求。过高的羟值可能导致产品粘度急剧增大，加工性能恶化，甚至影响最终产品的力学性能。

3) 粘度

粘度是关键工艺性能指标。高羟值通常会导致粘度升高。本标准设定的粘度范围是基于：下游用户（如推进剂浇注、聚氨酯灌封）对药浆或预聚体工艺性能的具体要求。产品数据相关性：分析大量不同羟值产品的粘度-羟值-分子量数据，确定的与规定羟值和分子量范围相匹配的粘度区间，确保了指标间的关联性和科学性。

4) 数均分子量

分子量及其分布直接影响树脂的粘度、加工性能及最终固化物的力学性能。分子量范围：参考了 GJB 1327A-2021 等标准，但根据“高羟值”特性进行了调整。高羟值通常意味着更短分子链，因此分子量范围相较于通用 HTPB 会适当下调。具体数值来源于起草单位试验数据、文献数据及下游用户对加工粘度的反馈。分子量分布：窄分布是产品品质和合成工艺控制水平的体现。指标参考了国内外高端产品技术数据及通过阴离子聚合等先进工艺可实现的水平，旨在促进产品质量提升。

5) 水分

水分会与固化剂（异氰酸酯）发生副反应，产生气泡，影响最终产品的致密性和力学性能，尤其在高性能应用中要求极为苛刻。指标参考了 GJB 1327A-2021 等高端标准及下游高端应用客户的普遍要求。

6) 酸值

过高酸值会消耗固化剂，影响固化反应的化学计量比，从而导致产品性能下降。指标依据行业共识和通用标准，并考虑了高羟值产品生产工艺中可能引入的酸性杂质情况，设定一个较低的限值以确保产品质量。

7) 碘值

碘值是衡量分子链中不饱和双键含量的关键指标，直接反映了 HTPB 参与固化交联反应的潜在能力，HTPB 的固化是通过末端羟基与异氰酸酯反应，但其主链上的双键也为后续的硫化、氧化或其他二次交联提供了可能，这对提升最终产品的耐热性、抗蠕变性等至关重要。碘值过低表明不饱和度不足，会影响材料的最终交联密度和网络结构强度。根据聚丁二烯的理论分子结构，其碘值通常在 380-450 gI₂/100g 范围内。本标准参考了主要生产商（如 Cray Valley, Evonik）产品目录中的典型值，以及学术文献中关于不饱和度与

性能关系的研究。设定一个合理的下限，是为了保证产品具有足够的饱和度，以满足高性能应用的需求。

8) VCH (4-乙烯基-1-环己烯) 含量

VCH 是丁二烯聚合过程中产生的一种特征性副产物和残留单体，对其含量进行控制具有重要的安全、健康和环境意义。危害性：VCH 具有一定的毒性和挥发性，在后续产品（如推进剂）的高温固化或加工过程中会挥发，可能导致产品产生缺陷（如气泡、孔洞），影响力学性能。更重要的是，它危害生产人员的健康，且其挥发可能形成可燃性气体，带来安全隐患。该指标是高端 HTPB 产品区别于普通产品的重要标志。参考依据包括：下游用户要求，特别是航天、军工等领域的用户，因其对产品的可靠性和安全性要求极高，通常在采购技术协议中明确提出严苛的 VCH 含量限制（如 ≤ 50 ppm）。随着合成和后处理工艺的进步，将 VCH 含量稳定控制在较低水平已成为可能。本标准设定一个严格的上限，旨在推动行业技术进步，提升产品安全环保等级，满足高端市场应用。

同时，参考各生产单位的实际生产累计数据，结合市场应用反馈，规定了本产品的技术指标，具体内容见表 2。

表 2 性能要求

项目	HHTI 型	HHTII 型	HHTIII 型
羟值/(mmol/g)	0.80~0.87	0.88~1.00	1.01~1.50
粘度(40℃)/(Pa·s)	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 2.0
粘度(30℃)/(Pa·s)	≤ 6.0	≤ 5.0	≤ 4.0
数均分子量 / (g/mol) ($\times 10^3$)	2.10~3.00	1.80~2.80	1.30~2.50
碘值/(g/100g)	400~460		
水质量分数/%	≤ 0.05		
挥发物质量分数/%	≤ 0.50		
酸值/(mgKOH/g)	≤ 0.60		
过氧化物质量分数/%	≤ 0.05		
D 值	≤ 2.3		
VCH 含量/%	≤ 0.0100		

2、试验方法的确定依据

对该产品技术指标的测定方法参考了相关的国内及国际标准，具体文件如下：

- 1) GJB 1327A-2021 《端羟基聚丁二烯规范》

- 2) GB/T 13892-2020 《表面活性剂 碘值的测定 第 1 部分：碘-氯化碘加成法》
- 3) GB/T 2895 《塑料 聚酯树脂酸值的测定》
- 4) MIL-I-24768B 美国军用标准《合成树脂热熔胶粘剂绝缘化合物规范》(Military Specification: Insulating Compound, Synthetic Resin, Hot-Melt Adhesive)
- 5) SAE J 1844 《火箭推进剂领域 HTPB 基粘合剂系统规范》(Standard Specification for HTPB-Based Propellant Binder Systems)
- 6) ASTM D4274 《聚氨酯原料中羟值的测定方法》(Standard Test Methods for Hydroxyl Groups Using Acetylation and Sodium Hydroxide Titration)
- 7) DIN EN ISO 4692 《色漆和清漆用粘合剂羟值的测定》(Binders for paints and varnishes - Determination of hydroxyl value)
- 8) ASTM D4651 《聚氨酯原材料中不挥发物含量的测试方法》(Standard Test Method for Nonvolatile Content of Polyurethane Raw Materials)
- 9) DIN EN ISO 2114 《塑料(聚酯树脂)和油漆清漆(基料)-部分酸值和总酸值的测定》(Plastics (polyester resins) and paints varnishes (binders) - Determination of partial acid value and total acid value)
- 10) DIN 53 241 《碘值的测定方法》(Determination of iodine value - Part 1: Method using Wijs solution)

对试验方法验证的数据见附录 A。

四、技术经济分析论证和预期的经济效益

本标准的制定不仅基于技术发展的需要，也经过了充分的技术可行性和经济成本效益分析。

(一) 技术可行性分析

- 1) 技术基础成熟：高羟值 HTPB 的合成技术在国内多家科研院所和领先企业已趋于成熟，并具备中试及以上规模的生产能力。相关的研究论文、专利和技术报告为本标准关键技术指标的确定提供了坚实的理论依据和数据支撑。
- 2) 检测方法可靠：本标准中规定的各项技术指标（如羟值、分子量及分布、粘度、VCH 含量等）的检测方法，均优先采用国家标准（GB）、国家军用标准（GJB）或行业普遍认可的通用方法。这些方法经过长期实践验证，重复性和再现性好，所需的检测设备（如 GPC、NMR、滴定设备等）在常规质检实验室均已普及，检测门槛低，易于推广实施。

- 3) 工艺可实现性：指标体系的设定参考了当前行业先进企业的实际产品质量数据，并非实验室理论值。所规定的指标是现有成熟工艺通过优化和严格质量控制能够稳定达到的水平，保证了标准的可实践性。

（二）经济成本分析

- 1) 生产成本增加有限：生产高羟值 HTPB 产品，主要成本增加在于原料、工艺控制的精确性以及可能需要的深加工（如降低 VCH 含量）步骤。但这部分成本增加相对于其带来的产品性能提升和附加值而言是有限的。
- 2) 标准化降本效应：本标准统一了产品的技术要求和测试方法，将使生产企业减少因标准不一导致的质量波动、退货和售后成本。对于下游用户，则降低了采购验证成本和质量风险成本。从整个产业链看，标准的实施将降低交易成本，提高社会生产效率。虽然产品本身的生产成本可能略有上升，但通过标准化带来的质量稳定性提升、品牌溢价能力增强、市场扩容效应以及全产业链的效率提升，完全可以覆盖并超越额外的成本投入，经济效益显著。

（三）市场需求与竞争力分析

- 1) 市场需求明确且迫切：随着我国航空航天、高端武器装备、高性能聚氨酯弹性体等产业的快速发展，对关键基础材料 HTPB 的性能要求不断提高。普通 HTPB 无法满足高端应用对力学强度、耐热性、低挥发份等的苛刻要求。市场对高性能、高一致性、高可靠性的高羟值 HTPB 需求增长。
- 2) 提升国际竞争力：目前，全球高端 HTPB 市场主要由国外少数化工巨头（如 Evonik、Cray Valley）主导。本标准的制定和实施，将引导和推动国内企业生产出可与国际先进水平媲美的产品，逐步实现进口替代，提升我国相关产品在国际市场上的竞争力。
- 3) 创造新的市场增长点：统一的高标准有助于打开新的应用领域，如高端电子封装胶、高性能复合材料等，为整个行业创造新的增长点。

（四）预期经济效益与社会效益

1) 直接经济效益

对于生产企业：凭借符合本标准的高性能产品，企业可以进入利润率更高的高端市场，获得产品溢价，提升品牌价值和市场份额。同时，标准化的生产减少了废品率和质量纠纷，降低了生产成本。

对于下游用户：获得了质量稳定、性能可靠的原料，提高了其最终产品的合格率和性能一致性，降低了因原料质量问题导致的研发失败和生产风险，从而间接节约了成本，提升了其产品的市场竞争力。

2) 间接经济效益

带动产业链升级：标准的引领作用将带动上游原材料、设备制造和下游应用产业的协同发展和技术升级，形成健康的产业集群效应。

减少外汇支出：实现高端 HTPB 的进口替代，每年可为国家和相关企业节省可观的外汇支出。

3) 社会效益

保障国家战略安全：高端 HTPB 是固体火箭推进剂的关键粘结剂，其自主可控和性能提升直接关系到

国防安全和国家航天战略的实现。本标准为保障关键军工材料的稳定供应和质量可靠性提供了技术依据。

引导行业健康发展：通过设定先进的技术门槛，可以淘汰落后产能，避免低质低价竞争，引导资源向技术领先企业集中，促进产业结构优化升级。

培养专业人才：标准制定和实施的过程，将促进产、学、研深度融合，为行业培养一批精通高性能聚合物材料研发、生产和应用的专业技术人才。

4) 环保与节能效益

环保效益：本标准中对 VCH（乙烯基环己烯）含量的严格限制，直接降低了产品在生产和使用过程中对操作人员的健康危害和环境的挥发污染，体现了对劳动者和环境的保护。

节能效益：高性能材料往往意味着更长的产品使用寿命和更高的可靠性，从全生命周期角度看，减少了因产品失效导致的更换和浪费，符合绿色制造和可持续发展理念。

5) 长远效益

技术迭代基础：本标准为未来的技术发展奠定了基础，企业可以在此标准之上持续进行技术创新和迭代。

掌握标准话语权：本标准的制定是争取在国际 HTPB 领域标准制定中占据一席之地的第一步，对行业长远发展具有深远战略意义。

五、采用国际标准和国外先进标准情况及水平对比

未查询到国际、国外相关产品标准，未采用国际标准和国外先进标准。

六、与现行法律、法规、政策及相关标准的协调性

国内相关标准有 GJB 1327A-2021《端羟基聚丁二烯规范》。GJB 1327A-2021 中的标准化对象主要作为固体推进剂各组分的粘合剂，本标准的标准化对象在航空航天领域中用作固体火箭发动机壳体包覆层的粘合剂，在民品方面主要应用于防水涂料、胶粘剂、电子灌封胶等领域，其技术要求与 GJB 1327A-2021 有着显著差异。

本规范与现行法律、法规、政策及相关国家（军用）标准是协调一致的。

七、贯彻实施标准的措施和建议

1) 加强宣贯培训：组织行业内生产企业、使用单位、检测机构等开展标准解读会，通过线上线下结合的方式，讲解标准的技术要点、指标含义及实施要点，帮助相关方准确理解和执行；针对关键岗位人员

（如质量控制、检测人员）开展专项培训，确保操作层面掌握标准要求。

- 2) 推动试点示范：选取行业内代表性企业作为标准实施试点单位，总结其在生产、检测、应用中落实标准的经验做法，形成可复制的案例在全行业推广，以点带面提升标准的普及度。
- 3) 强化监督与验证：鼓励第三方检测机构依据标准开展检测服务，为企业提供合规性验证支持；行业协会或标准制定单位可定期组织标准实施情况抽查，了解企业执行过程中遇到的问题，及时提供指导。
- 4) 建立反馈与修订机制：设立标准实施反馈通道，收集企业、用户在实际应用中发现的问题及改进建议，定期组织专家评估标准的适用性，根据行业技术发展和市场需求及时修订完善，保持标准的先进性和实用性。
- 5) 联动政策与市场：推动标准与行业扶持政策、招投标要求等衔接，引导企业将标准要求纳入质量管理体系；通过行业展会、媒体宣传等方式，提升标准的行业认可度，让符合标准的产品在市场竞争中更具优势，激励企业主动执行。

八、其他应予以说明的事项

无。

附录 A

《高羟值端羟基聚丁二烯》验证报告

1、羟值

按照正文中 6.2 的规定，对样品的羟值进行三平行测定，测定结果见表 A.1、表 A.2。

表 A.1 化学法测定本产品羟值的结果

牌号/批号	羟值/ (mmol/g)				重复性标准偏差/ (mmol/g)	相对标准偏差%	重复性限 (mmol/g)
	1	2	3	平均	/	/	/
2023-T-31	0.894	0.890	0.892	0.892	0.002	0.3	0.006
2023-T-34V	0.825	0.815	0.820	0.820	0.005	0.9	0.015
2023-T-102	0.897	0.889	0.890	0.892	0.004	0.5	0.012
2024-T-07	0.849	0.837	0.839	0.842	0.006	0.8	0.018
2024-T-44	0.873	0.874	0.863	0.870	0.006	0.7	0.018
C2025-315	1.136	1.150	1.136	1.141	0.008	0.7	0.024
C2025-317	1.160	1.179	1.163	1.167	0.010	0.9	0.03
C2025-320	1.235	1.239	1.224	1.233	0.008	0.6	0.024
C2025-321	1.193	1.200	1.176	1.190	0.012	1.0	0.036
2024-T-06	1.276	1.264	1.265	1.268	0.007	0.5	0.021
2024-T-16	1.329	1.325	1.327	1.327	0.003	0.2	0.009
2024-T-47	1.338	1.354	1.329	1.340	0.013	0.9	0.039
2025-T-27	1.357	1.362	1.357	1.359	0.003	0.2	0.009

由表 A.1 数据可以看出，该方法测定本产品数均分子量，相对标准偏差为 0.2%-1.2%，相对标准偏差小，重复性好，适用于本产品羟值的测定。取 95% 的置信水平，由于高羟值端羟基聚丁二烯自身羟值远高于其他型号，在本标准中规定高羟值端羟基聚丁二烯的化学羟值允差为 0.04 mmol/g。

表 A.2 近红外光谱法测定本产品羟值的结果

牌号/批号	羟值/ (mmol/g)				重复性标准偏差/ (mmol/g)	相对标准偏差%	重复性限 (mmol/g)
	1	2	3	平均	/	/	/
2023-T-31	0.900	0.900	0.898	0.899	0.001	0.1	0.003
2023-T-34V	0.826	0.828	0.824	0.826	0.002	0.2	0.006
2023-T-102	0.894	0.894	0.892	0.893	0.001	0.1	0.003
2024-T-07	0.836	0.834	0.833	0.834	0.002	0.2	0.006
2024-T-44	0.868	0.866	0.867	0.867	0.001	0.1	0.003
C2025-315	1.120	1.118	1.118	1.119	0.001	0.1	0.003
C2025-317	1.146	1.144	1.145	1.145	0.001	0.1	0.003
C2025-320	1.208	1.204	1.204	1.205	0.002	0.2	0.006
C2025-321	1.165	1.164	1.162	1.164	0.002	0.1	0.006
2024-T-06	1.259	1.265	1.262	1.262	0.003	0.2	0.009
2024-T-16	1.342	1.348	1.348	1.346	0.003	0.3	0.009
2024-T-47	1.330	1.328	1.326	1.328	0.002	0.2	0.006
2025-T-27	1.322	1.316	1.321	1.320	0.003	0.2	0.009
C2025-243	1.364	1.359	1.359	1.361	0.003	0.2	0.009

由表 A.2 数据可以看出,该方法测定本产品数均分子量,相对标准偏差为 0.1%-0.3%,相对标准偏差小,重复性好,本方法的重复性限最大值 0.009 mmol/g, 低于 GJB 1327A-2021 中规定的 0.03mmol/g。因此本团标中近红外法测定过羟值允差沿用 0.03 mmol/g。

2、粘度的测定

按正文中 6.3 的规定,对样品的粘度进行三平行测定,测定结果见表 A.3、表 A.4。

表 A.3 本产品粘度的测定结果(40℃)

牌号/批号	粘度/ (Pa·s)				重复性标准偏差/ (Pa·s)	相对标准偏差%	重复性限/ (Pa·s)
	1	2	3	平均值	/	/	/
2023-T-31	2.526	2.521	2.521	2.523	0.003	0.1	0.009

2023-T-34V	2.712	2.703	2.697	2.704	0.008	0.3	0.024
2023-T-102	2.426	2.426	2.432	2.428	0.003	0.1	0.009
2024-T-07	2.309	2.304	2.312	2.308	0.004	0.2	0.012
2024-T-44	2.508	2.503	2.492	2.501	0.008	0.3	0.024
C2025-315	1.316	1.316	1.321	1.318	0.003	0.2	0.009
C2025-317	1.236	1.232	1.224	1.231	0.006	0.5	0.018
C2025-320	1.119	1.117	1.122	1.119	0.003	0.2	0.009
C2025-321	1.188	1.186	1.194	1.189	0.004	0.4	0.012
2024-T-06	1.286	1.286	1.280	1.284	0.003	0.3	0.009
2024-T-16	1.402	1.393	1.387	1.394	0.008	0.5	0.024
2024-T-47	1.278	1.278	1.272	1.276	0.003	0.3	0.009
2025-T-27	1.166	1.164	1.164	1.165	0.001	0.1	0.003
C2025-243	1.280	1.276	1.274	1.277	0.003	0.2	0.009

表 A.4 本产品粘度的测定结果(30℃)

牌号/批号	粘度/ (Pa·s)				重复性标准偏差/ (Pa·s)	相对标准偏差%	重复性限/ (Pa·s)
	1	2	3	平均值			
2023-T-31	4.429	4.355	4.411	4.398	0.039	0.9	0.116
2023-T-34V	4.840	4.766	4.825	4.810	0.039	0.8	0.117
2023-T-102	4.380	4.367	4.367	4.371	0.008	0.2	0.023
2024-T-07	4.051	4.106	4.047	4.068	0.033	0.8	0.099
2024-T-44	4.388	4.427	4.377	4.397	0.026	0.6	0.079
C2025-315	2.394	2.390	2.312	2.365	0.046	2.0	0.139
C2025-317	2.250	2.245	2.296	2.264	0.028	1.2	0.084
C2025-320	1.995	1.992	2.046	2.011	0.030	1.5	0.091
C2025-321	2.086	2.085	2.136	2.102	0.029	1.4	0.087

2024-T-06	2.353	2.399	2.350	2.367	0.027	1.2	0.082
2024-T-16	2.490	2.516	2.488	2.498	0.016	0.6	0.047
2024-T-47	2.360	2.416	2.355	2.377	0.034	1.4	0.102
2025-T-27	2.112	2.088	2.103	2.101	0.012	0.6	0.036
C2025-243	2.380	2.375	2.463	2.406	0.049	2.1	0.148

由表 A.3、表 A.4 数据可以看出，该方法测定本产品数粘度，40℃时相对标准偏差小（0.1%-0.6%），30℃时相对标准偏差大（0.1%-2.0%），重复性好，适用于本产品粘度的测定。取 95%的置信水平可知本产品粘度允差最大值为 0.12Pa·s，不高于 GJB 1327A-2021 中规定端羟基聚丁二烯粘度允差 0.3 Pa·s。

3、数均分子量的测定

按正文中 6.4 的规定，对产品进行了平行测定，结果见表 A.5、表 A.6。

表 A.5 VPO 法测定本产品数均分子量的测定结果

牌号/批号	数均分子量				重复性标准偏差	相对标准偏差%	重复性限
	1	2	3	平均			
2023-T-31	2422	2641	2540	2534	109.6	4.3	328.8
2023-T-34V	2549	2646	2719	2638	85.3	3.2	255.9
2023-T-102	2434	2534	2387	2452	75.1	3.1	225.3
2024-T-07	2644	2746	2812	2734	84.6	3.1	253.8
2024-T-44	2906	2832	2756	2831	75.0	2.6	225.0
C2025-315	1979	2037	1878	1965	80.5	4.1	241.5
C2025-317	2085	1897	1951	1978	96.8	4.9	290.4
C2025-320	1878	1793	1738	1803	70.5	3.9	211.5
C2025-321	1854	1932	2047	1944	97.1	5.0	291.3
2024-T-06	1807	1753	1921	1827	85.8	4.7	257.4
2024-T-16	1697	1766	1641	1701	62.6	3.7	187.8
2024-T-47	1736	1668	1843	1749	88.2	5.0	264.6
2025-T-27	1740	1671	1848	1753	89.2	5.1	267.6

C2025-243	1858	1761	1923	1847	81.5	4.4	244.5
-----------	------	------	------	------	------	-----	-------

由表 A.5 数据可以看出,该方法测定本产品数均分子量,相对标准偏差为 2.6%-5.1%,相对标准偏差小,重复性好,适用于本产品数均分子量的测定。取 95%的置信水平,本标准规定 VPO 法测本产品分子量允差最大值为 330。

表 A.6 凝胶色谱法测定本产品数均分子量的结果

牌号/批号	数均分子量				重复性标准偏差	相对标准偏差%	重复性限
	1	2	3	平均			
					/	/	/
2023-T-31	2516	2503	2603	2541	54.4	2.1	163.2
2023-T-34V	2743	2715	2842	2767	66.7	2.4	200.1
2023-T-102	2594	2490	2647	2577	79.9	3.1	239.7
2024-T-07	2701	2652	2739	2697	43.6	1.6	130.8
2024-T-44	2573	2591	2677	2614	55.6	2.1	166.8
C2025-315	2008	2024	2092	2041	44.6	2.2	133.8
C2025-317	1998	1999	2066	2021	39.0	1.9	117.0
C2025-320	1921	1908	1911	1913	6.8	0.4	20.4
C2025-321	1966	1946	2029	1980	43.3	2.2	129.9
2024-T-06	1933	1899	2007	1946	55.2	2.8	165.6
2024-T-16	1807	1801	1870	1826	38.2	2.1	114.6
2024-T-47	1815	1783	1854	1817	35.6	2.0	106.8
2025-T-27	1822	1749	1843	1805	49.3	2.7	147.9
C2025-243	1827	1815	1873	1838	30.6	1.7	91.8

由表 A.6 数据可以看出,该方法测定本产品数均分子量,相对标准偏差为 0.4%-3.7%,相对标准偏差小,重复性好,适用于本产品数均分子量的测定。取 95%的置信水平,本标准规定凝胶色谱法测本产品分子量允差最大值为 310。

4、碘值的测定

按正文中 6.5 的规定,对样品的碘值进行三平行测定,测定结果见表 A.7。

表 A.7 本产品碘值的测定结果

牌号/批号	碘值/ (g/100g)				重复性标准偏差/ (%)	相对标准偏差%	重复性限/ (%)
	1	2	3	平均值			
2023-T-31	450.50	449.68	448.46	449.55	1.0	0.2	3.0
2023-T-34V	455.92	454.18	453.30	454.47	1.3	0.3	3.9
2023-T-102	446.05	449.58	450.03	448.55	2.2	0.5	6.6
2024-T-07	451.84	450.16	449.31	450.44	1.3	0.3	3.9
2024-T-44	452.43	448.25	450.34	450.34	2.1	0.5	6.3
C2025-315	450.41	448.16	445.48	448.02	2.5	0.6	7.5
C2025-317	443.51	443.07	447.03	444.54	2.2	0.5	6.6
C2025-320	435.80	433.73	437.46	435.66	1.9	0.4	5.7
C2025-321	441.60	446.35	445.91	444.62	2.6	0.6	7.8
2024-T-06	439.52	440.75	438.28	439.52	1.2	0.3	3.6
2024-T-16	444.70	445.92	442.67	444.43	1.6	0.4	4.8
2024-T-47	435.55	437.23	440.18	437.65	2.3	0.5	6.9
2025-T-27	435.42	438.40	437.97	437.26	1.6	0.4	4.8
C2025-243	438.13	436.48	437.72	437.44	0.9	0.2	2.7

由表 A.7 数据可以看出, 该方法测定本产品碘值, 相对标准偏差小, 重复性好, 适用于本产品碘值的测定。取 95% 的置信水平可知本产品碘值允差最大值为 9%。

5、水质量分数的测定

按正文中 6.6 的规定, 对样品水的质量分数进行三平行测定, 测定结果填至表 A.8、表 A.9。

表 A.8 卡尔·费休法 (容量法) 测定本产品水的质量分数结果

牌号/批号	水分/ (%)				重复性标准偏差/ (%)	相对标准偏差%	重复性限 (%)
	1	2	3	平均			
2023-T-31	0.0359	0.0378	0.0380	0.0372	0.001	3.1	0.0035
2023-T-34V	0.0331	0.0310	0.0356	0.0332	0.002	6.9	0.0069

2023-T-102	0.0173	0.0214	0.0186	0.0191	0.002	11.0	0.0063
2024-T-07	0.0298	0.0315	0.0281	0.0298	0.002	5.7	0.0051
2024-T-44	0.0321	0.0286	0.0351	0.0319	0.003	10.2	0.0098
C2025-315	0.0239	0.0274	0.0297	0.0270	0.003	10.8	0.0088
C2025-317	0.0292	0.0318	0.0322	0.0311	0.002	5.2	0.0049
C2025-320	0.0270	0.0291	0.0246	0.0269	0.002	8.4	0.0068
C2025-321	0.0305	0.0316	0.0341	0.0321	0.002	5.8	0.0055
2024-T-06	0.0300	0.0324	0.0282	0.0302	0.002	7.0	0.0063
2024-T-16	0.0285	0.0250	0.0235	0.0257	0.003	10.0	0.0077
2024-T-47	0.0330	0.0343	0.0341	0.0338	0.001	2.1	0.0021
2025-T-27	0.0339	0.0282	0.0351	0.0324	0.004	11.4	0.0111
C2025-243	0.0278	0.0281	0.0271	0.0277	0.001	1.9	0.0015

表 A.9 近红外光谱法测定本产品水的质量分数结果

牌号/批号	水分/ (%)				重复性标准偏差/ (%)	相对标准偏差%	重复性限 (%)
	1	2	3	平均	/	/	/
2023-T-31	0.0401	0.0376	0.0374	0.0384	0.0015	3.9	0.0045
2023-T-34V	0.0309	0.0325	0.0323	0.0319	0.0009	2.7	0.0026
2023-T-102	0.0175	0.0229	0.0206	0.0203	0.0027	13.3	0.0081
2024-T-07	0.0341	0.0317	0.0314	0.0324	0.0015	4.6	0.0044
2024-T-44	0.0259	0.0254	0.0241	0.0251	0.0009	3.7	0.0028
C2025-315	0.0234	0.0238	0.0238	0.0237	0.0002	1.0	0.0007
C2025-317	0.0282	0.0274	0.0283	0.0280	0.0005	1.8	0.0015
C2025-320	0.0240	0.0246	0.0244	0.0243	0.0003	1.3	0.0009
C2025-321	0.0256	0.0246	0.0248	0.0250	0.0005	2.1	0.0016
2024-T-06	0.0290	0.0288	0.0314	0.0297	0.0014	4.9	0.0043
2024-T-16	0.0322	0.0328	0.0366	0.0339	0.0024	7.0	0.0072

2024-T-47	0.0296	0.0295	0.0314	0.0302	0.0011	3.5	0.0032
2025-T-27	0.0264	0.0270	0.0282	0.0272	0.0009	3.4	0.0027
C2025-243	0.0314	0.0318	0.0317	0.0316	0.0002	0.7	0.0006

由表 A.8、表 A.9 数据可以看出，该两种方法测定本产品水分含量，相对标准偏差小，重复性好，均适用于本产品的测定。取 95%的置信水平，本标准规定，卡尔费休法测本产品水分允差为 0.02%。近红外法测本产品水分允差最大值为 0.0081%，不高于 GJB 1327A-2021 中规定端羟基聚丁二烯水分允差 0.010%。本团标中近红外法测水分允差沿用 0.010%。

6、挥发物质量分数的测定

按正文中 6.7 规定的方法，对样品的挥发物质量分数进行 3 平行测定，测定结果见表 A.10。

表 A.10 本产品挥发物质量分数的测定结果

牌号/批号	挥发份/(%)				重复性标准偏差/(%)	相对标准偏差%	重复性限/(%)
	1	2	3	平均值			
2023-T-31	0.23	0.24	0.23	0.23	0.01	2.5	0.03
2023-T-34V	0.097	0.11	0.094	0.10	0.01	8.5	0.03
2023-T-102	0.10	0.12	0.11	0.11	0.01	9.1	0.03
2024-T-07	0.098	0.11	0.087	0.10	0.01	11.7	0.03
2024-T-44	0.078	0.11	0.096	0.09	0.02	16.9	0.06
C2025-315	0.098	0.10	0.092	0.10	0.00	4.3	0.00
C2025-317	0.091	0.10	0.089	0.09	0.01	6.3	0.03
C2025-320	0.093	0.10	0.086	0.09	0.01	7.5	0.03
C2025-321	0.090	0.10	0.088	0.09	0.01	6.9	0.03
2024-T-06	0.21	0.25	0.22	0.23	0.02	9.2	0.06
2024-T-16	0.21	0.24	0.21	0.22	0.02	7.9	0.06
2024-T-47	0.20	0.21	0.20	0.20	0.01	2.8	0.03
2025-T-27	0.099	0.11	0.10	0.10	0.01	5.9	0.03
C2025-243	0.10	0.10	0.11	0.10	0.01	5.6	0.03

由表 A.10 数据可以看出，该方法测定本产品挥发份，相对标准偏差小，重复性好，适用于本产品挥发份的测定。取 95%的置信水平可知挥发份值允差最大值为 0.01。由于 GJB1327A-2021 中规定端羟基聚丁二烯挥发物质量分数允差 0.07%。因此本团标中测定挥发物质量分数允差沿用 0.07%。

7、酸值的测定

按照正文中 6.8 的规定，对样品的酸值进行三平行测定，测定结果见表 A.11。

表 A.11 本产品酸值的测定结果

牌号/批号	酸值/ (mgKOH/g)				重复性标准偏差	相对标准偏差% mgKOH/g	重复性限 (mgKOH/g)
	1	2	3	平均			
2023-T-31	0.246	0.250	0.240	0.245	0.005	2.01	0.015
2023-T-34V	0.273	0.290	0.300	0.288	0.0137	4.7	0.0411
2023-T-102	0.154	0.160	0.168	0.161	0.0070	4.4	0.0210
2024-T-07	0.144	0.156	0.177	0.159	0.0167	10.5	0.0501
2024-T-44	0.129	0.120	0.145	0.131	0.0127	9.6	0.0380
C2025-315	0.186	0.195	0.200	0.194	0.0027	3.7	0.0081
C2025-317	0.158	0.188	0.195	0.180	0.0197	10.9	0.0591
C2025-320	0.252	0.260	0.245	0.252	0.0075	3.0	0.0225
C2025-321	0.180	0.165	0.180	0.175	0.0087	4.9	0.0261
2024-T-06	0.221	0.225	0.192	0.213	0.0180	8.5	0.0540
2024-T-16	0.43	0.450	0.456	0.445	0.0136	3.1	0.0408
2024-T-47	0.465	0.477	0.495	0.479	0.0151	3.2	0.0453
2025-T-27	0.344	0.350	0.362	0.352	0.0092	2.6	0.0276
C2025-243	0.517	0.533	0.550	0.533	0.0113	2.2	0.0339

由表 A.11 数据可以看出，该方法测定本产品数均分子量，相对标准偏差小，重复性好，适用于本产品羟值的测定。取 95%的置信水平，本标准规定当高羟值聚丁二烯产品酸值在 0.2-1.0 之间时，酸值的允差为 0.06 mgKOH/g.当酸值在 1.0 以上时，酸值允差最大为 0.10mgKOH/g。

8、过氧化物

按正文中 6.9 规定的方法，对样品的过氧化物进行三平行测定，测定结果见表 A.12、表 A.13。

表 A.12 近红外法过氧化物的测定结果

牌号/批号	过氧化物/ (%)				重复性标准偏差/ (%)	相对标准偏差%	重复性限 (%)
	1	2	3	平均值			
2023-T-31	0.0214	0.0250	0.0254	0.0239	0.002	9.2	0.006
2023-T-34V	0.0162	0.0190	0.0187	0.0180	0.002	8.6	0.006
2023-T-102	0.0188	0.0186	0.0222	0.0199	0.002	10.2	0.006
2024-T-07	0.0157	0.0123	0.0189	0.0156	0.003	21.1	0.009
2024-T-44	0.0163	0.0158	0.0168	0.0163	0.000	3.1	0.000
C2025-315	0.0291	0.0278	0.0276	0.0282	0.001	2.9	0.003
C2025-317	0.0262	0.0278	0.0273	0.0271	0.001	3.0	0.003
C2025-320	0.0343	0.0316	0.0327	0.0329	0.001	4.1	0.003
C2025-321	0.0307	0.0310	0.0310	0.0309	0.000	0.6	0.000
2024-T-06	0.0310	0.0354	0.0347	0.0337	0.002	7.0	0.006
2024-T-16	0.0468	0.0504	0.0496	0.0489	0.002	3.9	0.006
2024-T-47	0.0391	0.0376	0.0386	0.0384	0.001	2.0	0.003
2025-T-27	0.0404	0.0397	0.0396	0.0399	0.000	1.1	0.000
C2025-243	0.0449	0.0425	0.0430	0.0435	0.001	2.9	0.003

表 A.13 化学法过氧化物的测定结果

牌号/批号	过氧化物/ (%)				重复性标准偏差/ (%)	相对标准偏差%	重复性限 (%)
	1	2	3	平均值			
2023-T-31	0.00746	0.00780	0.00750	0.008	0.0002	2.4	0.006
2023-T-34V	0.00526	0.00500	0.00533	0.005	0.0002	3.3	0.006
2023-T-102	0.00788	0.00792	0.00822	0.008	0.0002	2.3	0.006
2024-T-07	0.00797	0.00850	0.0082	0.008	0.0003	3.2	0.009
2024-T-44	0.00811	0.00800	0.0084	0.008	0.0002	2.5	0.000

C2025-315	0.0206	0.0208	0.0223	0.021	0.0009	4.4	0.003
C2025-317	0.0134	0.0134	0.0158	0.014	0.0014	9.8	0.003
C2025-320	0.0265	0.0222	0.0244	0.024	0.0022	8.8	0.003
C2025-321	0.0214	0.0255	0.0289	0.023	0.0021	8.9	0.000
2024-T-06	0.00538	0.00555	0.00570	0.006	0.0002	2.9	0.006
2024-T-16	0.00561	0.00588	0.00600	0.006	0.0002	3.4	0.006
2024-T-47	0.00920	0.00900	0.00975	0.009	0.0004	4.2	0.003
2025-T-27	0.0164	0.0182	0.0142	0.016	0.002 0	12.3	0.000
C2025-243	0.0211	0.0230	0.0255	0.023	0.0022	9.5	0.003

由表 A.12、表 A.13 可以看出，该方法测定本产品过氧化物，相对标准偏差小，重复性好，适用于本产品羟值的测定。取 95%的置信水平本标准规定近红外法测本产品过氧化物允差最大值为 0.01%。化学法测本产品过氧化物允差最大值为 0.01%，

9、D 值

按正文中 6.10 规定的方法，对样品的 D 值进行三平行测定，测定结果填至表 A.14。

表 A.14 本产品 D 值的测定结果

牌号/批号	D 值				重复性标准偏差/ (Pa·s)	相对标准偏差%	重复性限
	1	2	3	平均值			
2023-T-31	2.067	2.112	2.155	2.1	0.04	2.1	0.12
2023-T-34V	1.958	1.961	1.994	2.0	0.02	1.0	0.06
2023-T-102	2.040	2.075	2.123	2.1	0.04	2.0	0.12
2024-T-07	1.969	1.901	1.902	1.9	0.04	2.0	0.12
2024-T-44	2.166	2.081	2.150	2.1	0.05	2.1	0.15
C2025-315	1.862	1.871	1.844	1.9	0.01	0.7	0.03
C2025-317	1.646	1.733	1.756	1.7	0.06	3.4	0.18
C2025-320	1.715	1.720	1.744	1.7	0.02	0.9	0.06
C2025-321	1.794	1.796	1.749	1.8	0.03	1.5	0.09

2024-T-06	1.997	1.990	1.961	2.0	0.02	1.0	0.06
2024-T-16	2.120	2.076	2.196	2.1	0.06	2.8	0.18
2024-T-47	2.032	2.035	2.167	2.1	0.08	3.7	0.24
2025-T-27	1.949	1.934	1.911	1.9	0.02	1.0	0.06
C2025-243	2.068	2.040	2.012	2.0	0.03	1.4	0.09

由表 A.14 数据可以看出, 该方法测定本产品 D 值, 相对标准偏差小 (0.7-3.7), 重复性好, 适用于本产品 D 值的测定。取 95% 的置信水平可知近 D 值允差最大值为 0.3。

10、VCH 含量

用正文中 6.11 规定的方法, 对样品的 VCH 含量进行三平行测定, 测定结果填至表 A.15。

表 A.15 本产品 VCH 的测定结果

牌号/批号	VCH/ (%)				重复性标准偏差	相对标准偏差%	重复性限 (mgKOH/g)
	1	2	3	平均			
2023-T-31	0.0056	0.0062	0.0067	0.0062	0.0006	8.9	0.0017
2023-T-34V	0.0073	0.0069	0.0078	0.0073	0.0005	6.1	0.0014
2023-T-102	0.0079	0.0075	0.0070	0.0075	0.0005	6.0	0.0014
2024-T-07	0.0074	0.0072	0.0078	0.0075	0.0003	4.1	0.0009
2024-T-44	0.0045	0.0047	0.0056	0.0049	0.0006	11.9	0.0018
C2025-315	0.0062	0.0061	0.0055	0.0059	0.0004	6.4	0.0011
C2025-317	0.0079	0.0072	0.0076	0.0076	0.0004	4.6	0.0011
C2025-320	0.0081	0.0084	0.0077	0.0081	0.0004	4.4	0.0011
C2025-321	0.0079	0.0071	0.0074	0.0075	0.0004	5.4	0.0012
2024-T-06	0.0060	0.0070	0.0065	0.0065	0.0005	7.7	0.0015
2024-T-16	0.0073	0.0075	0.0078	0.0075	0.0003	3.3	0.0008
2024-T-47	0.0081	0.0083	0.0087	0.0084	0.0003	3.7	0.0009
2025-T-27	0.0070	0.0079	0.0075	0.0075	0.0005	6.0	0.0014
C2025-243	0.0061	0.0068	0.0065	0.0065	0.0004	5.4	0.0011

由表 A.15 数据可以看出，该方法测定本产品 VCH 含量，相对标准偏差小，重复性好，适用于本产品羟值的测定。取 95%的置信水平可知近 D 值允差最大值为 0.02%。