

国家标准

GB/T XXXX—XXXX《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度 和开环度》

(征求意见稿)

编制 说明

《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度
和开环度》

起草组

2026 年 6 月

GB/T XXXX—XXXX《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》（征求意见稿）编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

根据《国家标准委关于下达 2026 年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2026〕10 号），国家标准制定项目《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》（项目计划号 20260434-T-606），制定国家标准《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》。由中国石油和化学工业联合会提出，全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会（全国橡标委）归口，全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会天然橡胶分技术委员会（全国橡标委天然橡胶分会）执行，中国热带农业科学院农产品加工研究所负责起草，广西大学、上海海关工业品与原材料检测技术中心和武汉中科牛津波谱技术有限公司参与起草。

1.2 制定背景

环氧化天然橡胶（ENR）是通过化学反应，将天然橡胶分子链上部分碳—碳双键转变为环氧键而得到的一种化学改性天然橡胶。随着部分非极性的碳—碳双键转变为极性环氧基团，赋予环氧化天然橡胶优异的耐油性、耐溶剂性、阻尼特性、气密性等，能替代丁腈橡胶、丁基橡胶和丁苯橡胶，用于耐油和气密性橡胶制品的生产。环氧化天然橡胶可用于绿色轮胎的生产，显著改善轮胎的抗湿滑性和耐磨性，降低滚动阻力，提高汽车的行驶安全性。天然橡胶发生环氧化反应后，玻璃化转变温度向高温区移动，阻尼性能得到显著提高，常被应用于桥梁或建筑减振支座。环氧化天然橡胶还可以代替溴化丁基橡胶，用于汽车轮胎内衬层，改善轮胎气密性，提高内衬层与胎体的结合效果。此外，环氧化天然橡胶因对极性和非极性高分子材料都有较强的粘接性能而应用于胶黏剂。因此，环氧化天然橡胶是一种重要的化学改性天然橡胶和工程材料。

在制备过程中，天然橡胶分子链上的碳—碳双键被转化为环氧键，由于转化率和副反应的影响，只能得到具有一定环氧化度的 ENR。而且，根据实际用途，一般环氧化度应控制在 10%~60%。天然橡胶分子链在发生环氧化反应过程中，部分环氧基团会发生开环副反应，产生呋喃或羟基结构，影响产品一致性。不同的环氧化度和开环度严重影响 ENR 的应用性能，因此，这两项性能指标被列入 ISO 24483:2023《环氧化天然橡胶

规格》（采用 ISO 24483:2023 的国家标准正在制定），准确测定这两项指标对于 ENR 产品的质量至关重要。

ISO 5260:2023 《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》为环氧化度和开环度这两项关键性能提供了测定方法。为了更好地规范我国环氧化天然橡胶的质量，保障产品一致性，促进新产品开发，为环氧化天然橡胶的生产、应用和贸易等提供技术保障，有必要采用 ISO 5260:2023 制定国家标准《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》。

1.3 起草过程

2025 年 6 月 13 日，全国橡标委天然橡胶分会组织召开《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》等 7 个国家项目预研启动会议，正式启动该标准的前期预研工作。2025 年 7 月—12 月，重点围绕国际标准 ISO 5260:2023 开展全文翻译工作，严格对照该国际标准的技术要求与规范框架，编制完成项目预研方案。同时，统筹协调各相关技术单位开展专项调研与验证试验工作，系统汇总梳理各项试验数据与调研成果，通过全面分析论证，明确该测定方法技术路线可行、试验结果有效，具备后续标准编制的基础条件。2025 年 12 月 2 日，在全国橡标委天然橡胶分会第八届第二次全体会议上，汇报了本项目阶段性预研工作开展情况。与会委员针对预研成果、技术细节及后续标准推进计划展开集中讨论，为项目下一步工作优化完善提供了重要指导。

2026 年 1 月—3 月，在国家标准制定项目计划下达后，筹备了标准起草组并于 3 月 9 日召开了起草组第 1 次工作会议，明确了起草组组成方案，拟定了工作大纲，进行了任务分工：汪月琼为标准项目负责人（起草组组长），杨文超、付颖懿、刘宏超、颜贤忠、林文锭、李一民和王蕊参加起草（具体分工见表 1），并开展环氧化天然橡胶相关试验方法的调研。

表 1 具体分工

序号	起草人姓名	所在单位	从事专业	分工职责
1	汪月琼	中国热带农业科学院农产品加工研究所	天然橡胶加工	项目负责人，制定项目方案，统筹规划工作进度，负责撰写标准文本和编制说明
2	杨文超	广西大学	材料学	检测分析
3	付颖懿	上海海关工业品与原材料检测技术中心	进出口商品归类化验	检测分析

序号	起草人姓名	所在单位	从事专业	分工职责
4	刘宏超	中国热带农业科学院农产品加工研究所	天然橡胶加工	样品制备
5	颜贤忠	武汉中科牛津波谱技术有限公司	分析化学	检测分析
6	林文锭	中国热带农业科学院农产品加工研究所	天然橡胶加工	样品制备
7	李一民	中国热带农业科学院农产品加工研究所	天然橡胶标准化	标准文稿的审核
8	王蕊	中国热带农业科学院农产品加工研究所	天然橡胶加工	检测分析

2026 年 4—6 月，标准起草组根据调研情况制定了工作方案。起草组收集了环氧化天然橡胶样品，进行了试验验证和数据处理，共有天然橡胶科研单位、检测机构及核磁共振波谱仪研发生产公司等 8 家实验室参加（见“3.1 试验验证的分析和综述报告”）。在前期工作基础上，于 6 月 17 日召开了起草组第 2 次工作会议，经过讨论，对本标准的工作组讨论稿进行了完善，形成了征求意见稿。

2 国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

2.1 编制原则

2.1.1 按 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》、GB/T 1.2—2020《标准化工作导则 第 2 部分：以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则》和 GB/T 20001.4—2015《标准编写规则 第 4 部分：试验方法标准》给出的规则编制，使标准在结构、语言表述和编排格式上符合统一的要求。

2.1.2 根据环氧化天然橡胶检验方法的技术要求以及当前技术水平，遵循科学性、合理性、经济性和可操作性的原则，对原标准的技术内容进行修订。

2.1.3 在标准的名称、技术要求结构和内容、用语等方面与橡胶和橡胶制品标准体系（特别是天然橡胶系列标准）保持一致。

2.2 主要内容及其确定依据

2.2.1 主要内容

本文件修改采用 ISO 5260:2023。本文件描述了一种使用质子 (^1H) 核磁共振 (NMR) 波谱法测定环氧化天然橡胶 (ENR) 环氧化度和开环度的定量方法，适用于市售所有级别的 ENR。主要技术内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、原理、试剂、仪器、试验步骤、计算、精密度、试验报告、附录 A（资料性）ENR25 和 ENR50 的核磁共振氢谱图、附录 B（资料性）精密度和参考文献等。在试验验证的基础上，经过综合分析，

确定了上述主要技术内容。

2.2.2 确定标准主要内容的依据

(1) 增加了警示

根据 GB/T 20001.4—2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的规定，增加了警示；

(2) 更改了样品称量规定

为了准确规范样品量，将“称取约 25 mg~30 mgENR 样品”改为“用分析天平称取约 25 mg~30 mgENR 样品，精确至 0.1 mg”；

(3) 更改了术语的来源

ISO 5260 术语来源中引用了 ISO 24483《环氧化天然橡胶 规格》，而采用 ISO 24483 制定国家标准的项目与本项目同时下达，目前正在制定中，预计将同时报批，因此，本标准中术语来源用对应的国家标准替代 ISO 24483；

(4) 更改了环氧化度和开环度的计算公式

根据 GB/T 20001.4—2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的规定，更改了环氧化度和开环度的计算公式；

(5) 更改了精密度

组织了验证试验，重新确定了精密度。

3 试验验证的分析、综述报告、技术经济论证以及预期的经济效益、社会效益和生态效益

3.1 试验验证的分析和综述报告

2026 年 5 月—6 月，针对本标准的内容，标准起草组组织开展了验证试验。工作小组制备了 4 个级别的环氧化天然橡胶样品 A（ENR 25）、样品 B（ENR 25 FL）、样品 C（ENR 50）和样品 D（ENR 50 FL），在广西大学（实验室 1）、上海海关工业品与原材料检测技术中心（实验室 2）、武汉中科牛津波谱技术有限公司（实验室 3）、中国热带农业科学院热带生物技术研究所以（实验室 4）、中国热带农业科学院热带生物技术研究所以（实验室 5）、杭州研趣信息技术有限公司实验室一室（实验室 6）、杭州研趣信息技术有限公司实验室二室（实验室 7）和杭州研趣信息技术有限公司实验室三室（实验室 8）等八家实验室开展了本次验证试验。这些实验室将所有样品在 2 天一组试验的每天进行了 2 次测定，将 2 次测定试验取平均值得到测定结果。2 个试验天相隔一周。样品 A、样品 B、样品 C 和样品 D 的 ITP 结果和补充统计数据见表 2~表 5。

表 2 环氧化度的 ITP 结果数据

实验室 p, p=8	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天
	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)
1	25.0	25.1	25.8	26.1	50.5	50.0	50.5	50.4
2	25.3	25.4	25.5	24.6	49.6	49.7	50.8	50.6
3	25.7	25.5	26.0	24.9	50.4	50.5	51.0	51.3
4	24.1	24.6	24.7	24.4	48.9	49.4	50.3	49.9
5	24.5	24.8	26.2	25.0	49.1	49.8	50.2	50.3
6	25.2	25.4	26.1	25.7	49.9	50.3	51.2	50.8
7	25.3	25.1	26.7	26.4	50.0	50.4	51.2	51.3
8	26.0	25.6	26.4	26.2	50.9	50.8	51.4	51.1

表 3 环氧化度的补充统计数据

实验室 p, p=8	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	天平均值	天标准差	天平均值	天标准差	天平均值	天标准差	天平均值	天标准差
	$\bar{y}_i$ (%)	s_i	$\bar{y}_i$ (%)	s_i	$\bar{y}_i$ (%)	s_i	$\bar{y}_i$ (%)	s_i
1	25.05	0.07	25.95	0.21	50.25	0.35	50.45	0.07
2	25.35	0.07	25.05	0.64	49.65	0.07	50.70	0.14
3	25.60	0.14	25.45	0.78	50.45	0.07	51.15	0.21
4	24.35	0.35	24.55	0.21	49.15	0.35	50.10	0.28
5	24.65	0.21	25.60	0.85	49.45	0.49	50.25	0.07
6	25.30	0.14	25.90	0.28	50.10	0.28	51.00	0.28
7	25.20	0.14	26.55	0.21	50.20	0.28	51.25	0.07
8	25.80	0.28	26.30	0.14	50.85	0.07	51.25	0.21

表 4 开环度的 ITP 结果

实验室 p, p=8	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天
	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)
1	1.1	1.0	1.7	1.7	1.9	1.4	1.8	1.7
2	0.6	0.5	0.7	1.0	1.6	1.8	1.3	1.4
3	0.6	0.4	0.7	1.3	1.5	1.2	1.2	1.0
4	1.0	1.3	1.1	1.3	1.5	1.3	1.5	2.0
5	0.9	1.0	1.7	1.3	1.7	1.6	1.9	1.3
6	0.8	0.6	0.9	1.0	1.8	1.7	1.9	1.5
7	0.7	0.4	1.0	0.7	1.5	1.0	1.2	1.4
8	0.6	0.8	1.7	1.4	1.5	0.8	1.7	1.4

表 5 开环度的补充统计数据

实验室 p, p=8	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	天平均值	天标准差	天平均值	天标准差	天平均值	天标准差	天平均值	天标准差
	$\bar{y}_i$ (%)	s_i	$\bar{y}_i$ (%)	s_i	$\bar{y}_i$ (%)	s_i	$\bar{y}_i$ (%)	s_i
1	1.05	0.07	1.70	0.00	1.65	0.35	1.75	0.07
2	0.55	0.07	0.85	0.21	1.70	0.14	1.35	0.07
3	0.50	0.14	1.00	0.42	1.35	0.21	1.10	0.14
4	1.15	0.21	1.20	0.14	1.40	0.14	1.75	0.35
5	0.95	0.07	1.50	0.28	1.65	0.07	1.60	0.42
6	0.70	0.14	0.95	0.07	1.75	0.07	1.70	0.28
7	0.55	0.21	0.85	0.21	1.25	0.35	1.30	0.14
8	0.70	0.14	1.55	0.21	1.15	0.49	1.55	0.21

使用表 2~表 5 中的数据, 由下列公式确定样品 A、样品 B、样品 C 和样品 D 的实验室间离差的 h 值和实验室内离差的 k 值。

$$h_i = \frac{\bar{y}_i - \bar{\bar{y}}}{\sqrt{\frac{1}{(p-1)} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}})^2}}$$

$$k_i = s_i \sqrt{\frac{p}{\sum_{i=1}^p s_i^2}}$$

获得的 h 值和 k 值见表 6~表 7。

表 6 环氧化度的 h 值和 k 值

实验室	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	-0.23	0.35	0.43	0.42	0.43	1.22	-0.69	0.37
2	0.40	0.35	-0.95	1.29	-0.64	0.24	-0.15	0.75
3	0.92	0.71	-0.34	1.57	0.79	0.24	0.83	1.12
4	-1.70	1.77	-1.71	0.42	-1.54	1.22	-1.45	1.50
5	-1.07	1.06	-0.11	1.71	-1.00	1.71	-1.13	0.37
6	0.29	0.71	0.35	0.56	0.16	0.98	0.50	1.50
7	0.08	0.71	1.35	0.42	0.34	0.98	1.04	0.37
8	1.34	1.41	0.96	0.28	1.50	0.24	1.04	1.12

表 7 开环度的 h 值和 k 值

实验室	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1.12	0.49	1.47	0.00	0.70	1.30	1.01	0.29
2	-0.88	0.49	-1.03	0.93	0.92	0.52	-0.67	0.29
3	-1.08	0.98	-0.59	1.85	-0.61	0.78	-1.72	0.58
4	1.52	1.48	0.00	0.62	-0.39	0.52	1.01	1.44
5	0.72	0.49	0.88	1.23	0.70	0.26	0.38	1.73
6	-0.28	0.98	-0.73	0.31	1.14	0.26	0.80	1.15
7	-0.88	1.48	-1.03	0.93	-1.05	1.30	-0.88	0.58
8	-0.28	0.98	1.03	0.93	-1.49	1.82	0.17	0.87

当实验室数量为 8 时，ISO 19983 规定的临界 h 值为 1.75，临界 k 值为 1.88，将表 6~表 7 中每一个 h 值和 k 值与相应的临界值比较，发现样品 A、样品 B、样品 C 和样品 D 环氧化度和开环度结果中没有离群值。

表 8~表 9 为样品环氧化度使用方法 B 进行精密度分析所需的 ITP 结果和补充统计数据。

表 8 环氧化度的 ITP 结果数据（方法 B）

实验室 $p, p=8$	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天
	$y_{i1} (\%)$	$y_{i2} (\%)$	$y_{i1} (\%)$	$y_{i2} (\%)$	$y_{i1} (\%)$	$y_{i2} (\%)$	$y_{i1} (\%)$	$y_{i2} (\%)$
1	25.0	25.1	25.8	26.1	50.5	50.0	50.5	50.4
2	25.3	25.4	25.5	24.6	49.6	49.7	50.8	50.6
3	25.7	25.5	26.0	24.9	50.4	50.5	51.0	51.3
4	24.1	24.6	24.7	24.4	48.9	49.4	50.3	49.9
5	24.5	24.8	26.2	25.0	49.1	49.8	50.2	50.3
6	25.2	25.4	26.1	25.7	49.9	50.3	51.2	50.8
7	25.3	25.1	26.7	26.4	50.0	50.4	51.2	51.3
8	26.0	25.6	26.4	26.2	50.9	50.8	51.4	51.1

表 9 环氧化度的补充统计数据（方法 B）

实验室 $p, p=8$	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	天平均值	第1天— 第2天	天平均 值	第1天— 第2天	天平均 值	第1天— 第2天	天平均 值	第1天— 第2天
	$\bar{y}_i (\%)$	%	$\bar{y}_i (\%)$	%	$\bar{y}_i (\%)$	%	$\bar{y}_i (\%)$	%
1	25.05	-0.1	25.95	-0.3	50.25	0.5	50.45	0.1
2	25.35	-0.1	25.05	0.9	49.65	-0.1	50.70	0.2
3	25.60	0.2	25.45	1.1	50.45	-0.1	51.15	-0.3
4	24.35	-0.5	24.55	0.3	49.15	-0.5	50.10	0.4
5	24.65	-0.3	25.60	1.2	49.45	-0.7	50.25	-0.1
6	25.30	-0.2	25.90	0.4	50.10	-0.4	51.00	0.4

7	25.20	0.2	26.55	0.3	50.20	-0.4	51.25	-0.1
8	25.80	0.4	26.30	0.2	50.85	0.1	51.25	0.3

根据表 8～表 9，计算样品 A 环氧化度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{y}_j = 25.16$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 0.64 = 0.04$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 1.59 - \frac{0.04}{2} = 0.21$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.21 + 0.04 = 0.25$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.20 = 0.57$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.50 = 1.42$$

根据表 8～表 9，计算样品 B 环氧化度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{y}_j = 25.67$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 3.93 = 0.25$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 2.99 - \frac{0.25}{2} = 0.30$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.30 + 0.25 = 0.55$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.50 = 1.42$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.74 = 2.09$$

根据表 8～表 9，计算样品 C 环氧化度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{y}_j = 50.01$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 1.34 = 0.08$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 2.18 - \frac{0.08}{2} = 0.27$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.27 + 0.08 = 0.35$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.28 = 0.79$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.59 = 1.67$$

根据表 8～表 9，计算样品 D 环氧化度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{y}_j = 50.77$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 0.57 = 0.04$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 1.48 - \frac{0.04}{2} = 0.19$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.19 + 0.04 = 0.23$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.20 = 0.57$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.48 = 1.36$$

表 10～表 11 为样品开环度使用方法 B 进行精密度分析所需的 ITP 结果和补充统计数据。

表 10 开环度的 ITP 结果

实验室 p, p=8	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天	第1天	第2天
	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)	y _{i1} (%)	y _{i2} (%)
1	1.1	1.0	1.7	1.7	1.9	1.4	1.8	1.7
2	0.6	0.5	0.7	1.0	1.6	1.8	1.3	1.4
3	0.6	0.4	0.7	1.3	1.5	1.2	1.2	1.0
4	1.0	1.3	1.1	1.3	1.5	1.3	1.5	2.0
5	0.8	1.1	1.7	1.3	1.7	1.6	1.9	1.3
6	0.8	0.6	0.9	1.0	1.8	1.7	1.9	1.5
7	0.7	0.4	1.0	0.7	1.5	1.0	1.2	1.4
8	0.6	0.8	1.7	1.4	1.5	0.8	1.7	1.4

表 11 开环度的补充统计数据

实验室 p, p=8	样品 A		样品 B		样品 C		样品 D	
	天平均值	第1天— 第2天	天平均 值	第1天— 第2天	天平均 值	第1天— 第2天	天平均 值	第1天— 第2天
	$\bar{y}_i$ (%)	%	$\bar{y}_i$ (%)	%	$\bar{y}_i$ (%)	%	$\bar{y}_i$ (%)	%
1	1.05	0.1	1.70	0.0	1.65	0.5	1.75	0.1
2	0.55	0.1	0.85	-0.3	1.70	-0.2	1.35	-0.1
3	0.50	0.2	1.00	-0.6	1.35	0.3	1.10	0.2
4	1.15	-0.3	1.20	-0.2	1.40	0.2	1.75	-0.5
5	0.95	-0.3	1.50	0.4	1.65	0.1	1.60	0.6
6	0.70	0.2	0.95	-0.1	1.75	0.1	1.70	0.4
7	0.55	0.3	0.85	0.3	1.25	0.5	1.30	-0.2
8	0.70	-0.2	1.55	0.3	1.15	0.7	1.55	0.3

根据表 10～表 11，计算样品 A 开环度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{\bar{y}}_j = 0.77$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 0.33 = 0.02$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 0.43 - \frac{0.02}{2} = 0.05$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.05 + 0.02 = 0.07$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.14 = 0.40$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.26 = 0.74$$

根据表 10～表 11，计算样品 B 开环度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{\bar{y}}_j = 1.21$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 0.84 = 0.05$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 0.82 - \frac{0.05}{2} = 0.09$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.09 + 0.05 = 0.14$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.22 = 0.62$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.37 = 1.05$$

根据表 10～表 11，计算样品 C 开环度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{\bar{y}}_j = 1.49$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 1.18 = 0.07$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 0.36 - \frac{0.07}{2} = 0.02$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.02 + 0.07 = 0.09$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.26 = 0.74$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.30 = 0.85$$

根据表 10～表 11，计算样品 D 开环度日间重复性方差 s_D^2 和再现性方差 s_L^2 ：

$$\bar{\bar{y}}_j = 1.51$$

$$s_D^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^p (y_{i1} - y_{i2})^2 = \frac{1}{2 \times 8} \times 0.96 = 0.06$$

$$s_L^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2 - \frac{s_D^2}{2} = \frac{1}{8-1} \times 0.40 - \frac{0.06}{2} = 0.03$$

根据这些数据，

$$s_R^2 = s_L^2 + s_D^2 = 0.03 + 0.06 = 0.09$$

$$r_{DB} = 2.83(s_D^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.24 = 0.68$$

$$R = 2.83(s_R^2)^{\frac{1}{2}} = 2.83 \times 0.30 = 0.85$$

将所得精密度数据汇总，见表 12 和表 13。

表 12 环氧化度精密度验证试验结果

材料	平均值 (%)	实验室内			实验室间			实验室数量
		s_D	r_{DB}	(r_{DB})	s_R	R	(R)	
ENR 25	25.16	0.20	0.57	2.27	0.50	1.42	5.64	8
ENR 25 FL	25.67	0.50	1.42	5.53	0.74	2.09	8.14	8
ENR 50	50.01	0.28	0.79	1.58	0.59	1.67	3.34	8
ENR 50 FL	50.77	0.20	0.57	1.12	0.48	1.36	2.68	8
s_D ——方法B计算确定日间重复性标准差； r_{DB} ——方法B计算确定的日间重复性，%； (r_{DB}) ——方法B计算确定的相对日间重复性，%； s_R ——再现性标准差； R ——再现性，%； (R) ——相对再现性，%。								

表 13 开环度精密度验证试验结果

材料	平均值 (%)	实验室内			实验室间			实验室数量
		s_D	r_{DB}	(r_{DB})	s_R	R	(R)	
ENR 25	0.77	0.14	0.40	51.95	0.26	0.74	96.10	8
ENR 25 FL	1.21	0.22	0.62	51.24	0.37	1.05	86.78	8
ENR 50	1.49	0.26	0.74	49.66	0.30	0.85	57.05	8
ENR 50 FL	1.51	0.24	0.68	45.03	0.30	0.85	56.29	8
s_D ——方法B计算确定的日间重复性标准差； r_{DB} ——方法B计算确定的日间重复性，%； (r_{DB}) ——方法B计算确定的相对日间重复性，%； s_R ——再现性标准差； R ——再现性，%； (R) ——相对再现性，%。								

3.2 技术经济论证和预期的经济效益、社会效益和生态效益

随着环氧化天然橡胶的推广和应用，国内市场年需求量数万吨，目前，马来西亚、泰国等主要天然橡胶生产国可以生产环氧化度为 25%、50%（摩尔分数）等商品化的环氧化天然橡胶，且部分产品销往中国市场。我国也有部分橡胶企业建立了环氧化天然橡胶生产线，主要应用于轮胎、密封配件、胶黏剂和生活用品的制造等，且随着应用范围逐

渐扩大，其需求量也逐年增大。实施《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》的标准后，有利于国内环氧化天然橡胶标准体系的优化和产品质量的提升，对环氧化天然橡胶的推广和应用起到积极的推动作用，并为环氧化天然橡胶生产和国际贸易提供技术支撑，带来一定的经济效益、社会效益和生态效益。

4 与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品的有关数据对比情况

本文件修改采用 ISO 5260:2023 《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》。

本文件与 ISO 5260:2023 的主要技术差异及其原因如下：

- (1) 更改了样品称量规定，以准确规范样品量；
- (2) 更改了环氧化度和开环度的计算公式，以符合 GB/T 20001.4—2015 的规定。

本文件做了下列编辑性改动：

- (1) 增加了警示；
- (2) 更改了术语的来源；
- (3) 增加了试剂的 CAS 号；
- (4) 根据重新组织的实验室间试验结果，更改了精密度数据。

5 以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

本文件拟修改采用 ISO 5260:2023 制定 GB/T XXXX—XXXX《环氧化天然橡胶 使用核磁共振波谱法测定环氧化度和开环度》，增加了警示，更改了样品称量规定，更改了术语来源，更改了环氧化度和开环度的计算公式，更改了精密度以符合 GB/T 20001.4—2015 的规定，在结构与技术内容上基本与 ISO 5260:2023 保持一致，属于合规引用国际标准。

6 与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准与有关现行法律、行政法规和相关标准相协调，无冲突。

7 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在制定过程中尚未出现重大意见分歧。

8 涉及专利的有关说明

本标准的内容未涉及专利。

9 实施标准的要求，以及组织实施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

9.1 本标准宣贯时应包括下列内容：

- （1）介绍本标准制定的原因、过程及意义；
- （2）介绍和解释本标准的主要技术内容；
- （3）本标准实施过程中可能遇到的问题及解决办法。

9.2 本标准宣贯时建议采用下列形式：

- （1）举办有关生产使用企业和检验机构的有关人员参加的标准宣贯培训班；
- （2）由标准起草人员到有关企业和检验机构，对相关人员进行现场宣讲、示范操作。

9.3 本标准建议的实施日期

本标准自发布之日起半年后实施。

10 涉及公平竞争审查有关内容

按照《国家标准化管理委员会关于国家标准起草中开展公平竞争审查的通知》（国标委发〔2025〕18号）文件要求，对本文件是否限制或者变相限制市场准入和退出、是否限制商品要素自由流动、是否影响生产经营成本、是否影响生产经营行为、是否使用《公平竞争审查条例》第十二条规定进行审查。本标准符合公平竞争要求。

11 其他应予说明的事项

本标准不涉及版权问题。