

团体标准

T/ITS xxxx-2024

自主式交通系统 交通主体互操作核心能力 评价指标体系

Evaluation index system for interoperability core capability of transportation
entities in autonomous transportation systems

(征求意见稿)

本稿完成日期：2025 年 xx 月 xx 日

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持文件一并附上。

202x-x-x 发布

202x-xx-x 实施

中国智能交通产业联盟 发布

目 次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义及缩略语	1
4 评价指标体系	3
附录 A 语义规则合理性案例	1

中国智能交通产业联盟

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国智能交通产业联盟（C-ITS）提出并归口。

本文件起草单位：株洲中车时代电气股份有限公司、北方工业大学、北京航空航天大学、交通运输部水运科学研究所、交通运输部公路科学研究院、北京交通大学、北京邮电大学、湖南中车智行科技有限公司。

本文件主要起草人：王戩弋、郭伟伟、王泉东、谭壑元、袁希文、郑国荣、薛晴婉、张沙、康高强、刘伟康、蒋小晴、林军、龙腾、任毅龙、李振华、董宏辉、李静林、袁泉、刘砚玥、付翔、兰征兴、陈楠、徐亮、周昱城、彭里奇、熊自翔、何伟、罗鑫。

自主式交通系统 交通主体互操作核心能力评价指标体系

1 范围

本文件规定了自主式交通系统交通主体互操作核心能力的评价指标体系，具体包括交通主体互操作能力评价指标体系框架、评价指标定义、评价指标计算方法。

本文件适用于自主式公路交通系统、自主式轨道交通系统、自主式水运交通系统等自主式交通系统的交通主体间互操作核心能力评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 20064-2006 船舶与海洋工程智能化技术规范
- GB/T 17544-2008 信息技术 安全技术 信息系统安全评估准则
- GB/T 24626-2009 城市轨道交通信息化技术规范
- GB/T 25069-2010 信息安全技术 术语
- GB/T 33171-2016 城市交通运行状况评价规范
- GB/T 34590-2017 《道路车辆功能安全》
- GB/T 40861-2021 《汽车信息安全通用技术要求》
- GB/T 44417-2024 车路协同系统智能路侧协同控制设备技术要求和测试方法
- DB11/T 785-2011 城市道路交通运行评价指标体系
- TCSAE 53-2017 合作式智能运输系统 车用通信系统 应用层及应用层数据交互标准
- YD/T 3751-2020 《基于LTE的车联网无线通信技术 安全技术要求》

3 术语和定义及缩略语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

自主式交通系统 autonomous transportation systems

自主式交通系统是以自感知、自适应、自学习、自组织为特征的高度自治的交通系统。

3.1.2

自主式交通主体 autonomous transportation entity

自主式交通系统中，通过信息接收、分析决策和控制功能实现明确功能目标的基础单元。

3.1.3

互操作 interoperability

指两个或两个以上的系统或组件能够交换信息并且使用那些已经交换信息的能力。

3.1.4

自主式交通主体互操作能力 interoperability capability of autonomous transportation Entities

指两个或者多个自主式交通主体在开放交通环境中，实现安全、高效、协同运行的能力，主要体现在高可靠通信、语义认知、群智决策等三个方面。

3.1.5

自主式公路交通系统 autonomous highway transportation system

利用新兴技术，在一定程度上实现自动化感知、自动化决策和自动化执行的公路交通系统，也称为自主化道路交通系统。

3.1.6

自主式轨道交通系统 autonomous rail transportation system

通过车-轨-云协同控制实现环境感知、自主决策和精准执行的轨道交通系统，在少人或无人干预的情况下完成列车运行调度、安全防护、乘客服务等全流程功能，也称为自动驾驶轨道交通系统。

3.1.7

自主式水运交通系统 autonomous waterway transportation system

利用新兴技术，通过自动化感知、自动化决策和自动化执行，实现船舶、航道、港口等要素智能协同运行的水路交通系统。

3.1.8

虚假主体 false entity

虚假主体是指在自主式交通系统中，通过伪造身份、篡改数据或模拟合法行为，故意误导系统决策、破坏协同机制或危害交通安全的非法或恶意参与者。

3.2 缩略语

BER: 误码率 (Bit Error Rate)。

4 评价指标体系

4.1 自主式交通主体互操作能力评价指标体系框架

自主式交通系统系统主体间的互操作包括4个层级，自低至高分别是互操作的传输层、语法层、语义层、应用层，高层级功能依靠底层级功能实现。传输层应具备高可靠通信能力，语法层应具备完备性，语义层应具备协同认知能力，应用层应具备群智控制功能，具体评价指标体系框架如图1所示。

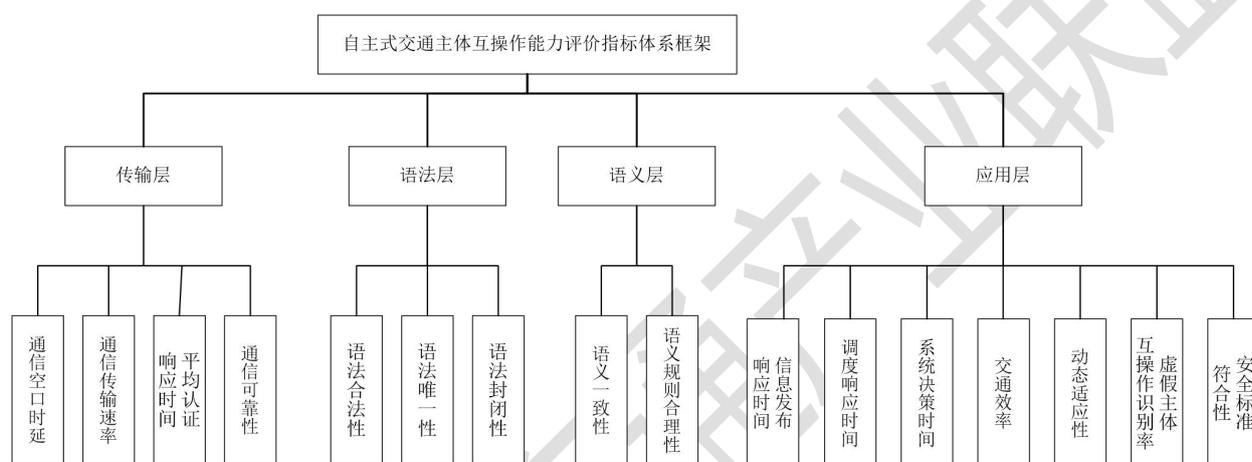


图1 自主式交通主体互操作能力评价指标体系框架

4.1.1 互操作传输层

互操作传输层在互操作对象之间的数据交换建立的通用性的基础通信信道，包括所使用的物理介质，以及基于物理信道的传输机制，可参照IEEE 802.3、IEEE 802.11、TCP/IP、HTTP/HTTPS、AMQP协议和MQTT协议等标准执行。

4.1.2 互操作语法层

互操作语法层为互操作对象之间的数据交换提供了统一的格式和规则，可参照OWL、RDFS、UML、XML、JSON(ISO/IEC 21778[6])、ASN.1(ISO/IEC 8824 [7])等标准执行。

4.1.3 互操作语义层

互操作语义层为互操作对象之间提供了基于指定语境的数据模型含义解读。语义互操作基于所交换信息的数据模型，该模型依赖于互操作对象的性质和它们之间接口功能。

4.1.3 互操作应用层

互操作应用层是互操作体系中的顶层架构，负责在传输层、语法层、语义层的基础上，实现具体业务场景的功能协同与服务整合，确保不同系统在教育逻辑层面能够无缝协作，实现跨系统、跨领域的协同运行。

4.1.4 高可靠通信能力

自主式交通主体通信机制应满足交通主体间实时交互需求，具备协同过程与算网资源联合优化的性能增强机制，并能保障对象随机性和即时性的安全可靠交互。

4.1.5 语义协同认知能力

自主式交通主体应具备公共状态知识表达模型、互操作语言及语言解析能力，并能实现跨域多交通主体的态势协同认知。

4.1.6 群智决策控制能力

自主式交通主体应能协同跨域多交通主体实现互操作功能，实现载运装备互操作、交通管控互操作、基础设施互操作等的多主体异步互操作联盟控制。

4.2 互操作传输层评价指标及计算方法

传输层主要评估自主式交通主体的高可靠通信能力，可采用空口时延、可靠性、传输速率、平均认证响应时间等指标评价。

4.2.1 空口时延

4.2.1.1 指标定义

通信空口时延是指在自主式交通通信系统中，数据从发送端的无线接口传输到接收端的无线接口所需的时间。这个时延包含了信号通过空中传播的时间以及在发射机和接收机中处理信号所花费的时间。

4.2.1.2 计算方法

通信空口时延通常包括传输时延、传播时延、处理时延以及排队时延，算法如公式（1）所示。

$$T_{air} = T_{trans} + T_{prop} + T_{proc} + T_{queue} \quad (1)$$

式中：

T_{air} ：通信空口时延， ms 。

T_{trans} ：传输时延，数据包从发送端发出所需的时间， ms 。

T_{prop} ：传播时延，电磁波在空间中传播的时间， ms 。

T_{proc} ：处理时延，编码/解码、调制/解调、加密/解密等信号处理时间， ms 。

T_{queue} ：数据包在发送缓冲区等待调度的时延， ms 。

4.2.2 通信可靠性

4.2.1.1 指标定义

通信可靠性是指在通信系统中，数据从发送端到接收端能够准确无损地传输的概率或能力。数字通信系统的可靠性可以通过BER评估，误码率表示所接收到的数字信号中出现错误的程度。

4.2.1.2 指标算法

通信可靠性算法如公式（2）所示。

$$R_c = 1 - BER = 1 - N_{error} / N_{total} \quad (2)$$

式中：

R_c ：通信可靠性；

N_{error} ：传输中的误码数；

N_{total} ：传输总码数。

4.2.3 通信传输速率

4.2.3.1 指标定义

通信传输速率是指每秒传送的比特（*bit*）数，单位为 *bps*（*Bit Per Second*）。

4.2.3.2 指标算法

平均传输速率算法如公式（3）所示。

$$v_c = m/t \quad (3)$$

式中：

v_c ：平均传输速率，*bps*；

m ：传输的数据总量，*bit*；

t ：传输时长，*s*。

4.2.4 平均认证响应时间

4.2.4.1 指标定义

平均认证响应时间即所有测试样本的响应时间与样本个数的比值。其中，测试样本的响应时间是从发起认证请求到收到认证结果的时间。

4.2.4.1 指标算法

平均认证响应时间算法如公式（4）所示。

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m} \quad (4)$$

式中：

\bar{t} ：平均认证响应时间，*s*；

t_i ：第*i*个样本的响应时间，*s*；

m : 样本个数。

4.3 互操作语法层评价指标及计算方法

互操作语法层评估不同主体或系统间数据格式、协议及接口的兼容性，确保信息能够被正确解析与交换，可采用语法完备性作为评价指标。

4.3.1 语法完备性

4.3.1.1 指标定义

语法完备性是指语法系统是否能够描述或生成所有合法的句子或表达式，而不会遗漏任何合法的结构。可以采用合法性评估、唯一性评估、封闭性评估等指标评估语法完备性。

4.3.1.2 指标算法

语法合法性指某个具体实例（如代码、数据报文、表达式）是否符合语法系统所定义的规则，包括结构、格式、取值范围等约束。合法性的核心在于确保实例在语法层面严格遵循预定义规范。

语法合法性评估算法如公式（5）——（7）所示。

$$G = (V, \Sigma, P, S) \quad (5)$$

式中：

G : 语法系统；

V : 非终结符集；

Σ : 终结符集；

P : 产生式规则集；

S : 起始符号。

$$C = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad (6)$$

式中：

C : 测试语料库；

s_i : 第 i 个测试样本，包含合法、非法样本标注。

$$S_i = 1 - \frac{|\{s \in C_{legal} \mid G \vdash s\}|}{C_{legal}} \quad (7)$$

式中：

S_i : 语法合法性得分；

C_{legal} : 标注合法的样本。

语法唯一性确保在特定上下文中，语法系统中的某些元素（如标识符、名称、符号）具有全局唯一性，避免因重复定义导致歧义或冲突。语法唯一性评估算法如公式（8）所示。

$$S_u = 1 - \frac{|\{s \in C_{legal} \mid count_parses(G,s) > 1\}|}{C_{legal}} \quad (8)$$

式中：

S_u ：语法唯一性得分；

$count_parses(G,s)$ ：样本 s 在 G 下的语法分析树数量。

语法封闭性确保语法系统中所有引用或使用的元素均被明确定义，不存在未声明或悬空的引用。封闭性要求系统在逻辑上自洽，所有依赖项内部可解析。语法封闭性评估算法如公式（9）所示。

$$S_{c1} = 1 - \frac{N_{nonclosed}}{N} \quad (9)$$

式中：

S_{c1} ：语法封闭性得分；

$N_{nonclosed}$ ：样本集合中任意两个合法样本，组合或推导运算后不封闭的数量；

N ：测试案例的数量，即使用 G 的产生式规则，从 S 开始推导出所有可能的样本集合。

语法完备性算法如公式（10）所示。

$$S_s = \alpha \cdot S_l + \beta \cdot S_u + \gamma \cdot S_{c1} \quad (10)$$

S_s ：语法完备性得分；

α , β , γ ：分别为语法合法性、语法唯一性、语法封闭性的权重，且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ，建议 $\alpha=0.6$ （合法性优先） $\beta=0.2$ ， $\gamma=0.2$ 。

4.4 互操作语义层评价指标及计算方法

传输层主要评估自主式交通主体的语义协同认知能力，可采用语义一致性、语义规则合理性作为评价指标。

4.4.1 语义一致性

4.4.1.1 指标定义

交通主体间的数据或信息在意义和逻辑上保持一致，没有矛盾或冲突。信息在表达上是连贯的、合理的，并且符合逻辑。

4.4.1.2 指标算法

语义一致性评分算法如公式（11）所示。

$$S_{c2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \delta_i}{n} \quad (11)$$

式中：

S_{c2} ：语义一致性得分；

ω_i ：第 i 个冲突的权重（ $0 \leq \omega_i \leq 1$ ）；

δ_i : 二元函数, 存在冲突为1, 否则为0;

n : 总命题数。

4.4.2 语义规则合理性

4.4.2.1 指标定义

语义规则合理性是指在特定上下文中, 语义规则是否能够正确、合理地解释和处理文本或数据。采用准确率描述语义规则合理性。准确率是指规则正确处理的样本数占总样本数的比例。

4.4.2.2 指标算法

定义语义规则集合 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, 语义规则标注数据集 $D = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)\}$ 其中 x_i 是输入文本/数据, y_i 是人工标注的标准结果, 语义规则合理性得分算法如公式 (12) —— (13) 所示。

$$S_r = \frac{\sum_{i=1}^n S(r_i)}{n} \quad (12)$$

$$S(r_i) = \frac{\sum_{j=1}^m (I(r_i(x_j) = y_j))}{\sum_{j=1}^m (I(r_i \text{适用于 } x_j))} \quad (13)$$

式中:

S_r : 语义规则合理性得分;

$S(r_i)$: 规则 r_i 的合理性得分, 分母是规则 r_i 适用的总样本数, 分子是规则输出与标注一致的正确样本数;

I : 指示函数, 匹配是为1, 否则为0。

4.5 互操作应用层评价指标及计算方法

互操作应用层主要评估自主式交通系统的群智决策控制能力, 可采用信息发布响应时间、调度响应时间、系统决策时间、系统响应时间、交通效率、虚假主体识别率作为评价指标。

4.5.1 信息发布响应时间

4.5.1.1 指标定义

交通主体(路侧基础设施、交通管控以及载运装备智能终端)等发布个性化信息以及群体信息请求, 从该请求时刻开始, 到系统接收请求并发送交通信息为止, 这个过程中所消耗的平均时间。

4.5.1.2 指标算法

信息发布响应时间算法如公式 (14) 所示。

$$T_I = \frac{\sum_{i=1}^N t_i^{IDRS}}{N} \quad (14)$$

式中:

T_I : 信息发布响应时间, s ;

t_i^{DRS} : 为第*i*个请求消耗时间, s ;

N : 交通信息发布请求数量。

4.5.2 调度响应时间

4.5.2.1 指标定义

单位时间内, 交通主体发送车辆调度请求, 从该请求时刻开始, 到系统接收请求并发送调度指令为止, 这个过程中所消耗的平均时间。

4.5.2.2 指标算法

调度响应时间算法如公式 (15) 所示。

$$T_S = \frac{\sum_{i=1}^N t_i^{SRTI}}{N} \quad (15)$$

式中:

T_S : 调度响应时间, s ;

t_i^{SRTI} : 为第*i*个请求消耗时间, s ;

N : 道路车辆调度请求数量;

4.5.3 系统决策时间

4.5.3.1 指标定义

单位时间内, 交通主体发送路径规划、信号控制等任务需求, 从系统接收到这些需求的时刻开始计算, 到系统完成计算任务, 这个过程所消耗的平均时间。

4.5.3.2 指标算法

系统决策时间算法如公式 (16) 所示。

$$T_D = \frac{\sum_{i=1}^N t_i^{SDT}}{N} \quad (16)$$

式中:

T_D : 系统决策时间, s ;

t_i^{SDT} : 系统单位时间内第*i*个任务消耗时间, s ;

N : 系统单位时间内所有任务数。

4.5.4 交通效率

4.5.4.1 指标定义

交通效率采用自主式交通系统优化前后的速度提升比例衡量。

4.5.4.2 指标算法

优化前后所有车辆平均速度 v_1 和 v_2 ，交通效率算法如公式（17）所示。

$$E = \frac{v_2 - v_1}{v_1} \quad (17)$$

式中：

E : 交通效率。

4.5.4.3 道路车辆运行速度

4.5.4.3.1 指标定义

道路车辆在某一特定区间内行驶的平均速度。

4.5.4.3.1 指标算法

道路车辆运行速度算法如公式（18）所示。

$$v_{R1} = \frac{L}{t} \quad (18)$$

式中：

v_{R1} : 道路车辆运行速度, km/h;

L : 行程长度, km;

t : 行驶的时间, h。

4.5.5.4 轨道车辆运行速度

4.5.5.4.1 指标定义

列车在正线区段（不含折返、出入库等非运营线路）从起点站发车至终点站到站期间，扣除中间停站时间后的实际运行速度，反映列车在运营线路上的移动效率。

4.5.5.4.2 指标算法

轨道车辆运行速度算法如公式（19）所示。

$$v_{R2} = \frac{L}{t} \quad (19)$$

式中：

v_{R2} : 旅行速度, km/h;

L : 线路运营长度，即起点站至终点站的正线里程, km;

t : 单程纯运行时间，指列车在区间内实际移动时间的总和（不含停站时间），h。

4.5.5.5 船舶运行速度

4.5.5.5.1 指标定义

即船舶停泊、锚泊、航行等三个阶段使用时间去除以航程。

4.5.5.5.2 指标算法

船舶运行速度算法如公式（20）所示。

$$v_V = \frac{L}{t_B + t_A + t_U} \quad (20)$$

式中：

v_V ：船舶平均航行速度，km/h；

L ：里程，km；

t_B t_A t_U ：分别为船舶、锚泊、航行所使用的时间，h。

4.5.5 动态适应性

4.5.5.1 指标定义

动态适应性是指自主式交通系统在遇到新的交通场景或实体时能够自动调整，保持互操作性的性能。可采用增量学习能力、异常恢复能力等指标评价。

4.5.5.2 指标算法

增量学习能力是自主式交通系统在遇到新的交通场景或实体时正确响应及处理的能力，采用正确响应及处理数量与总样本数的比值评估，算法如公式（21）所示。

$$I_f = \frac{N_T}{N} \quad (21)$$

式中：

I ：增量学习过程中的正确率；

N_T ：正确响应及处理次数；

N ：总触发次数。

异常恢复能力指系统在遭遇硬件故障、软件错误、网络中断或外部攻击等异常事件时，通过自主检测、隔离故障、快速恢复服务，并维持核心功能连续性的综合能力，算法如公式（22）所示。。

$$T_R = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (22)$$

式中：

T_R ：平均异常恢复时间，s；

n ：故障次数；

t_i ：第*i*次故障恢复时间，s。

4.5.6 虚假主体互操作识别率

4.5.6.1 指标定义

虚假主体互操作识别率是指在互操作通信系统中，系统能够准确识别出虚假主体的能力。具体来说，它是所有虚假主体中被系统成功识别出来的比例。

4.5.6.2 指标算法

虚假主体互操作识别率算法公式（23）所示。

$$R_f = N_f / N \quad (23)$$

式中：

R_f ：虚假主体互操作识别率；

N_f ：识别出来的虚假主体样本数；

N ：虚假主体样本总数。

4.5.7 安全标准符合性

自主式交通主体在安全架构、安全技术、安全协议方面应该符合相关标准，包括但不限于GB/T 34590-2017、GB/T 40861-2021、YD/T 3751-2020等。

附录 A 语义规则合理性案例

语义规则合理性案例

评估自主式交通主体在施工路段车速建议方面的语义规则合理性。

A.1 规则集合 R

表1 规则集合

规则 ID	执行顺序	规则逻辑（自然语言）	规则形式化表达
r_1	1	施工路段限速为原速的 50%	IF road_type == "construction" THEN speed_limit = original_speed * 0.5
r_2	2	学校周边施工时段（7:00-18:00） 限速 30km/h	IF road_type == "construction" AND near("school") AND (07:00 < current_time < 18:00) THEN speed_limit = 30
r_3	3	暴雨天气下施工路段限速再降低 20%	IF road_type == "construction" AND weather == "heavy_rain" THEN speed_limit *= 0.8

A.2. 标注数据集 D（10 条样本示例）

表2 标注数据集D

样本 ID	输入文本/数据	人工标注合理限速（km/h）	适用规则
1	"朝阳路东段施工，当前限速 60"	30	r_1
2	"实验小学西门施工，时间 15:30，晴"	30	r_1, r_2
3	"暴雨，东区施工路段原限速 40"	16	r_1, r_3
4	"非施工路段，限速 80"	80	无
5	"大学城周边施工，时间 19:00，当前限速 50"	25	r_1
6	"暴雨，学校周边施工，时间 08:00"	24	r_1, r_2, r_3

样本 ID	输入文本/数据	人工标注合理限速 (km/h)	适用规则
7	"隧道内施工, 原限速 60"	60	无 (隧道特殊规则未覆盖)
8	"商业区施工, 当前限速 40, 小雨"	20	r_1
9	"学校周边施工, 时间 06:00"	50	r_1
10	"暴雨, 非施工路段限速 100"	100	无

A.3 合理性计算过程

A.3.1 规则匹配与适用性统计

表3 规则匹配与适用性统计

规则 ID	适用样本数 (样本)	正确样本数 (样本)	错误样本数 (样本)	冲突样本数 (冲突说明)
r_1	7 (1,2,3,5,6,8,9)	3 (1,5,8)	4 (2,3,6,9)	1(3 与 r_3 冲突)
r_2	2 (2,6)	1 (2)	1 (6)	1 (6 与 r_3 冲突)
r_3	2 (3,6)	2 (3,6)	0	2 (3 r_1 冲突, 6 与 r_2 冲突)

A.3.2 计算结果

$$S_{r_1} = 3/7 = 0.43, \quad S_{r_2} = 1/2 = 0.50, \quad S_{r_3} = 1/1 = 1$$

$$S_r = (S_{r_1} + S_{r_2} + S_{r_3})/3 = 0.64$$

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

标准

自主式交通系统 交通主体互操作核心能力评价指标体系

T/ITS XXXX-2025

北京市海淀区西土城路 8 号（100088）

中国智能交通产业联盟印刷

网址：<http://www.c-its.org.cn>

2025 年 5 月第一版 2025 年 X 月第一次印刷