

ICS 03. 220. 20

CCS R87

团体标准

T/ITS XXXX-XXXX

智能网联道路能源自洽评价指南

Guidelines for Self-consistent evaluations of Smart Connected Road Energy

Self-consistent

(征求意见稿)

20**-**-**发布

20**-**-**实施

中国智能交通产业联盟 发布

目 次

前 言	I
引 言	2
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 场景选定	2
5 评价指标	4
6 评价流程	7
附录 A 智能网联道路能源自洽评价报告编制	10

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、归口、解释并实施。

本文件主要起草单位：长安大学，北京航空航天大学、同济大学、中交投资有限公司、西安交通大学、四川路桥建设集团股份有限公司、蜀道清洁能源集团。

本文件起草人：马峰、孙建勋、马晓磊、张宏超、王淼、陈晨、傅珍、赵泽栋、马行远、靖峥、司少锋、王宇行、陶砚盟。

引 言

为了使智能网联道路能源自洽系统的评价能够按统一的标准进行说明和描述，特制定本标准。本文件旨在为智能网联道路的能源自洽系统提供评价方法和指南，涵盖智能网联设备能耗需求量、可再生能源供电量和能源自洽率的计算等内容，以促进能源的高效利用和可持续发展。

为了保持标准的适用性与可操作性，各使用者在采标过程中，及时将对本标准规范的意见及建议函告长安大学，以便修订时研用。

中国智能交通产业联盟

智能网联道路能源自洽评价指南

1 范围

本文件规定了智能网联道路能源自洽系统的评价内容、评价方法及相关指标计算要求，包括智能网联设备能耗需求量、可再生能源供电量和能源自洽率等。

本文件适用于智能网联道路能源自洽系统的评价、说明与描述，可为相关标准采标、系统建设、运行评估和管理提供依据。

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 39854-2021	光伏电站性能评估技术规范
GB/T51096-2015	风力发电场设计规范
CJJ 37-2012	城市道路工程设计规范
CJJ 193-2012	城市道路路线设计规范
JTG B01 -2014	公路工程技术标准
JTG D20-2017	公路路线设计规范
IEEE 1547-2018	分布式能源与相关电力系统接口的互连和互操作性标准

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能网联道路 **smart connected road**

具备感知、定位、引导功能，配置智能设备，实现车辆、道路设施与云端系统实时交互与自主协同运行的道路。

3.2

智能网联设备 smart connected devices

部署于智能网联道路中，通过感知、定位、引导技术实现道路智能化管理与服务的设备集合，包括但不限于摄像头、雷达、传感器、交通流量检测器等感知设备，5G基站、车路协同通信模块、光纤网络节点、物联网网关等通信设备，智能交通信号灯、可变信息标志、电子收费设备等控制与执行引导设备，边缘计算单元、数据存储单元等计算与存储设备。

3.3

高熵能源 high-entropy energy

在道路沿线空间范围内，通过热力学熵增原理表征的分散式能源，具体包括由车辆机械振动、微风、接触、温差等途径产生的微幅波动能量。这类能源具有空间分布离散化、能量密度梯度化及时间维度间歇性等特征，依托微能量收集技术、非线性动力学转换装置等，实现其向稳定电能的有效转化，并服务于智能网联交通基础设施及附属设备的分布式供能需求。

3.4

能源自洽 energy self-consistency

智能网联道路系统通过内部可再生能源发电与储能设施为自身设备供电，在不依赖外部电网或仅需少量补充的情况下，持续满足自身能源需求的能力。

4 场景选定

4.1 评价对象

智能网联道路（解释见上）。

4.2 评价场景

一段配置有智能设备的智能网联道路，并可能配置有除常规风光可再生供能设施外的高熵能源供能设施，可进行高熵能源自洽评价。

根据道路建设属性和道路类型两个维度，评价场景划分为以下4类：

- a) 既有城市道路
- b) 新建城市道路
- c) 既有高速公路
- d) 新建高速公路

4.3 场景选定原则

4.3.1 仅限评价布设有智能网联设备的各级道路。

4.3.2 评价前应结合道路项目实际情况，明确所属场景类型。当评价对象同时具有多种特征时，宜按照“建设属性优先、道路类型次之”的原则进行归类。

4.3.3 不同场景的评价重点应结合道路功能定位、建设条件、运行特征、能源资源禀赋及改造约束等因素确定。对于同一评价指标，不同场景可赋予不同权重。

4.3.4 场景划分原则。

a) 既有道路：指已建成并投入运营，基于原有道路基础开展智能化、绿色化提升改造的道路；

b) 新建道路：指处于新建、扩建或整体重构阶段，并同步进行智能网联与能源自洽系统一体化设计、建设的道路；

c) 城市道路：指服务于城市内部交通出行，沿线用能设备分布较密、负荷波动较明显、与城市配电和市政设施协同程度较高的道路；

d) 高速公路：指服务于城际或区域快速通行，路线距离较长、供能节点较分散、运维连续性要求较高的道路。

4.4 各场景评价侧重

4.4.1 既有城市道路

既有城市道路宜重点关注在既有道路断面、管线条件、周边建筑遮挡和交通组织约束下的能源自洽提升效果，侧重评价能源自洽率、高熵能源利用率、自洽智能设备覆盖率、清洁能源出力与负荷协调度等指标。评价时应突出改造适应性、系统兼容性和分布式就地消纳能力。

4.4.2 新建城市道路

新建城市道路宜重点关注智能网联设施与能源系统的一体化设计水平，侧重评价能源自洽率、高熵能源电量渗透率、高熵能源利用小时数、自洽智能设备覆盖率、清洁能源出力与负荷协调度等指标。评价时应突出源网荷储协同配置能力，以及道路空间、附属设施与供能设施的统筹布局水平。

4.4.3 既有高速公路

既有高速公路宜重点关注长距离供配电条件下的节能降损与关键设施稳定供能能力，侧重评价能源自洽率、高熵能源利用率、综合线损率、清洁能源出力与负荷协调度等指标。评价时应突出收费站、服务区、隧道、边坡及沿线分散设备场景下的供能可靠性与改造实施可行性。

4.4.4 新建高速公路

新建高速公路宜重点关注道路基础设施、沿线可再生能源开发与智能网联系统的协同建设水平，侧重评价能源自洽率、高熵能源电量渗透率、高熵能源利用小时数、综合线损率、自洽智能设备覆盖率等指标。评价时应突出全线统筹规划、分布式供能网络构建和多场景连续稳定供电能力。

4.5 场景化赋权原则

4.5.1 四类场景均应基于本文件规定的评价指标体系开展评价，但可依据场景差异对指标权重进行调整。

4.5.2 四类场景原则上均采用本文件规定的7项二级指标开展评价。因数据获取条件、工程适用性或项目实施阶段等原因，确需对评价指标进行适当删减时，既有城市道路和既有高速公路场景纳入评价的二级指标数量不应少于4项，新建城市道路和新建高速公路场景纳入评价的二级指标数量不应少于5项，且能量捕获、系统能效和智能协同3类一级指标均应至少包含1项对应的二级指标。

4.5.3 四类场景均采用第7章规定的两阶段分级评价方法，其中一阶段采用常用指标评价，二阶段采用特色指标评价。不同场景之间的差异主要体现在纳入评价的指标组合及其权重设置，不改变评价方法和分级程序。

4.5.4 4.4节所列侧重指标应作为相应场景优先纳入评价和重点赋权的指标。对未列入侧重范围但与评价对象实际情况密切相关的指标，可根据需要纳入补充评价。

5 评价指标

5.1 一般规定

5.1.1 将能量捕获、系统能效和智能协同作为指标体系的3个一级指标，一级指标下包含7个二级指标，共同构成智能网联道路一体化自洽评价体系。二级指标分为常用指标和特色指标，在图6.1中加粗者为特色指标，常用指标表示现有标准与指标体系中，常见且具有代表性的指标，特色指标表示针对智能网联道路一体化设计准则增加的指标。

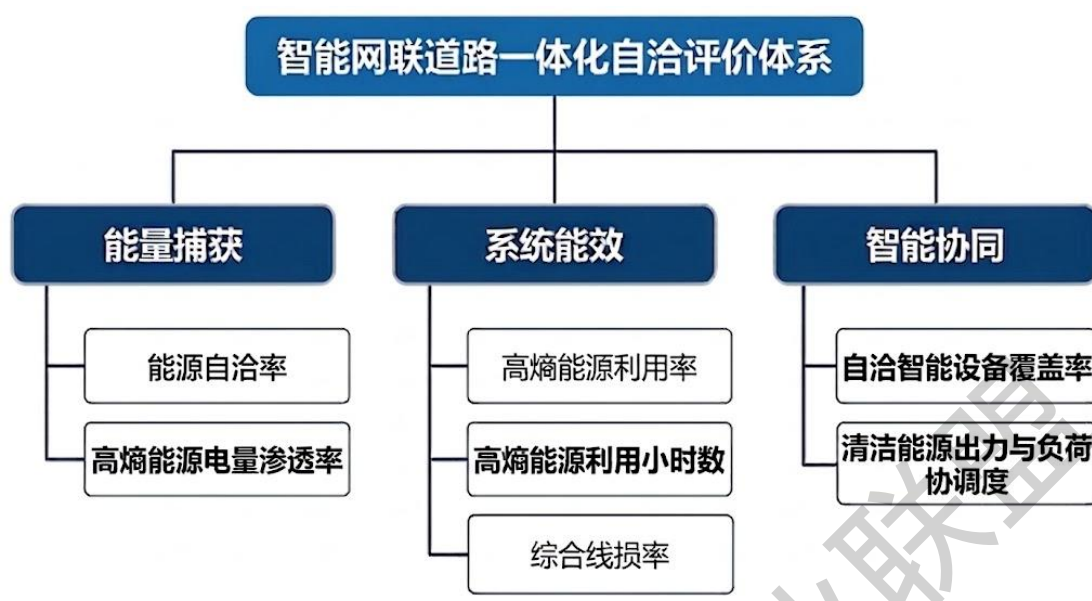


图1 智能网联道路一体化综合评价体系

5.1.2 评价应结合上述确定的场景分类开展。对于既有城市道路、新建城市道路、既有高速公路、新建高速公路4类场景，可在保持评价指标体系一致的基础上，对一级指标和二级指标赋予不同权重。

5.1.3 智能网联道路能源自洽评价时间以一个自然年为周期，评价结果有效期为3年。

5.1.4 供电设备应能够持续、稳定地为智能网联设备提供所需电能，符合DL/T 836.1-2016的相关规定。

5.2 能量捕获指标 A

5.2.1 能源自洽率 A_1

能源自洽率是指智能网联道路高熵能源系统提供的所有可再生能源电量与系统智能网联设备消耗电能总量的比值。

$$A_1 = \frac{E_N}{E_{Load}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： A_1 为智能网联道路设备能源自洽率（%）； E_N 为智能网联道路中由所有可再生能源供电设备提供的电量（kWh）； E_{Load} 智能网联道路高熵能源系统中智能网联设备的总能耗需求量（kWh）。

5.2.2 高熵能源电量渗透率 A_2

高熵能源电量渗透率是指系统中高熵能源发电自用量与总发电量之比，反映高熵能源发电量的占比，体现高熵能源的开发利用水平。

$$A_2 = \frac{\sum E_{He}}{\sum E_N} \times 100\% \quad (2)$$

式中： A_2 为高熵能源电量渗透率（%）； E_{He} 为系统中高熵能源发电自用量（Wh）。

5.3 系统能效指标 B

5.3.1 高熵能源利用率 B_1

高熵能源利用率是指系统中实际为智能网联设备供电的高熵能源发电自用量与系统高熵能源发电总量的比值。

$$B_1 = \frac{\sum E_{He}}{\sum E_{He} + E_{HeLoss}} \times 100\% \quad (3)$$

式中： B_1 为高熵能源利用率（%）； E_{HeLoss} 为系统中高熵能源在使用过程中损失的电量（Wh）。

5.3.2 高熵能源利用小时数 B_2

高熵能源利用小时数指统计期间内高熵能源可利用小时总和，按年为单位时间即高熵能源年总发电量与高熵能源总装机容量的比值。

$$B_2 = \frac{E_N}{P_N} \quad (4)$$

式中： B_2 为高熵能源利用小时数； P_N 为系统中高熵能源总装机容量（kW）。

5.3.3 综合线损率 B_3

高速道路上路线距离长，为了给收费站、隧道提供电力，需要建设的电路线也长，电量传输距离遥远会产生损失，而自洽能源系统主要采用分布式发电方式，供电侧与耗能侧更加靠近，减少了输电和配电过程中的能源损耗，提高了能源的利用效率。

$$B_3 = \frac{E_{loss}}{E_{Load}} \times 100\% \quad (5)$$

式中： B_3 为综合线损率（%）； E_{loss} 系统中电网供电过程中损失的电量（kW）。

5.4 智能协同指标 C

5.4.1 自洽智能设备覆盖率 C_1

指智能网联道路高熵能源系统中，所有自供电，无需市网供电的智能设备（如无源雷视一体机、路侧智能引导道钉等）的数量占系统中全部用能设备总数的比例。该指标能有效反映智能网联道路的智能程度。

$$E_1 = \frac{n_{IE}}{n_{IE} + n_{TE}} \times 100\% \quad (6)$$

式中： E_1 为智能设备覆盖率（%）； n_{IE} 为智能网联道路高熵能源系统中所有自洽智能设备的数量；

n_{TE} 为智能网联道路高熵能源系统中除自洽智能设备以外的设备数量。

5.4.2 清洁能源出力与负荷协调度 C_2

指可再生能源出力曲线与负荷变化曲线的一致性，将出力曲线和负荷曲线标么化后，进行匹配度计算，以此判断可再生能源出力与负荷之间的协调程度。功率标么值的计算公式为：

$$P_* = \frac{P_i}{P_{max}} \times 100\% \quad (7)$$

式中： P_* 为功率标么值（%）； P_i 为功率的实际值（W）； P_{max} 为功率的最大值。

$$E_2 = \left| \frac{\sum_{i=1}^n (P_{N,i} - \overline{P_N})(P_{L,i} - \overline{P_L})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{N,i} - \overline{P_N})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{L,i} - \overline{P_L})^2}} \right| \quad (8)$$

式中： E_2 为清洁能源出力与年负荷曲线匹配度； $P_{N,i}$ 、 $\overline{P_N}$ 分别为清洁能源年出力曲线的标么值和平均值； $P_{L,i}$ 、 $\overline{P_L}$ 分别为年负荷曲线最大值的标么值和平均值。

6 评价流程

智能网联道路能源自洽评价程序主要包括确定评价目标、制定评价计划、实施评价及形成评价报告四个过程。

6.1 确定评价目标

6.1.1 分析评价目标特性：在进行智能网联道路能源自洽评价时，应先分析被评价道路的建设属性、道路类型、运行环境和供用能特征，确定其所属评价场景及影响能源自洽评价的关键因素。

6.1.2 确定评价目标：应根据智能网联道路特性的分析结果，结合评价对象对评价结果的期望，科学合理制定智能网联道路能源自洽评价目标。

6.2 制定评价计划

6.2.1 确立评价技术方案：应结合智能网联道路实际情况，确定评价对象所属场景，识别各类耗能设备和供电设备，明确评价指标、权重设置及评价实施方案。

6.2.2 制定评价实施流程：明确评价组人员的工作分工，规定评价的实施流程，确定工作完成进度要求。

6.3 实施评价

6.3.1 基于层次分析法（AHP）对各指标进行赋权。在赋权前，应依据第4章确定评价对象所属场景。

不同场景应分别建立判断矩阵，并结合场景特点对能量捕获、系统能效和智能协同 3 个一级指标及其对应二级指标赋予差异化权重。对第 4.4 节列明的场景侧重指标，应在判断矩阵中体现其相对重要性高于同场景非侧重指标。同一指标在不同场景下的权重可不同。

a) 通过专家评分或者经验数据，采用九级标度法构建判断矩阵。通过各个指标之间的比较，填写判断矩阵，量化它们之间的相对重要性。

b) 在完成判断矩阵的构建后，进行一致性检验。使用一致性比例 I_{CR} 进行检验，如果 I_{CR} 值小于 0.1，则说明判断矩阵的一致性良好，可以继续下一步计算。如果 I_{CR} 值大于 0.1，则需要调整判断矩阵，直到一致性通过检验。

c) 通过特征值法计算判断矩阵的最大特征值及相应的特征向量，并对特征向量进行归一化处理，得到每个指标的权重，而后进入一阶段评价。

6.3.2 一阶段为基于 AHP 的常用指标评价：根据 AHP 方法计算出的权重对评价对象的常用指标得分进行计算，若评价对象得分大于参考值 60 则进入阶段二，完成一次分级。各场景的一阶段评价方法保持一致，仅依据第 4 章确定的场景对纳入评价的常用指标及其权重进行调整。

6.3.3 二阶段为基于 AHP 与模糊综合评价的特色指标评价。各场景的二阶段评价方法保持一致，仅依据第 4 章确定的场景对纳入评价的特色指标及其权重进行调整。

a) 确定被评价对象的因素集 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ ， u_i ($i=1, 2, \dots, m$) 为单项指标；其次确定评判集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ， v_j ($j=1, 2, \dots, n$) 为对 u_i 的评判等级。

b) 通过专家评判或已有数据，确定每个指标在不同等级下的隶属度 r_{ij} ，构建模糊评价矩阵 R 。

c) 使用 AHP 方法计算出的 m 维权重向量 W_s 来加权模糊评价矩阵，得到各个评判等级的模糊综合评价结果，通过模糊综合评价结果和评语数值向量的相乘，得到模糊综合得分 S 。其中评语数值向量为评判等级 v_j 对应的评价分数。

$$S = W_s \cdot R \cdot F \quad (9)$$

6.3.4 将两阶段评价结果加权后与参考值 80 比较，完成二次分级，经过 2 个阶段的评价可以将智能网联道路自洽能源系统分为高、中、低 3 个等级，整体的评价流程如图 2 所示。

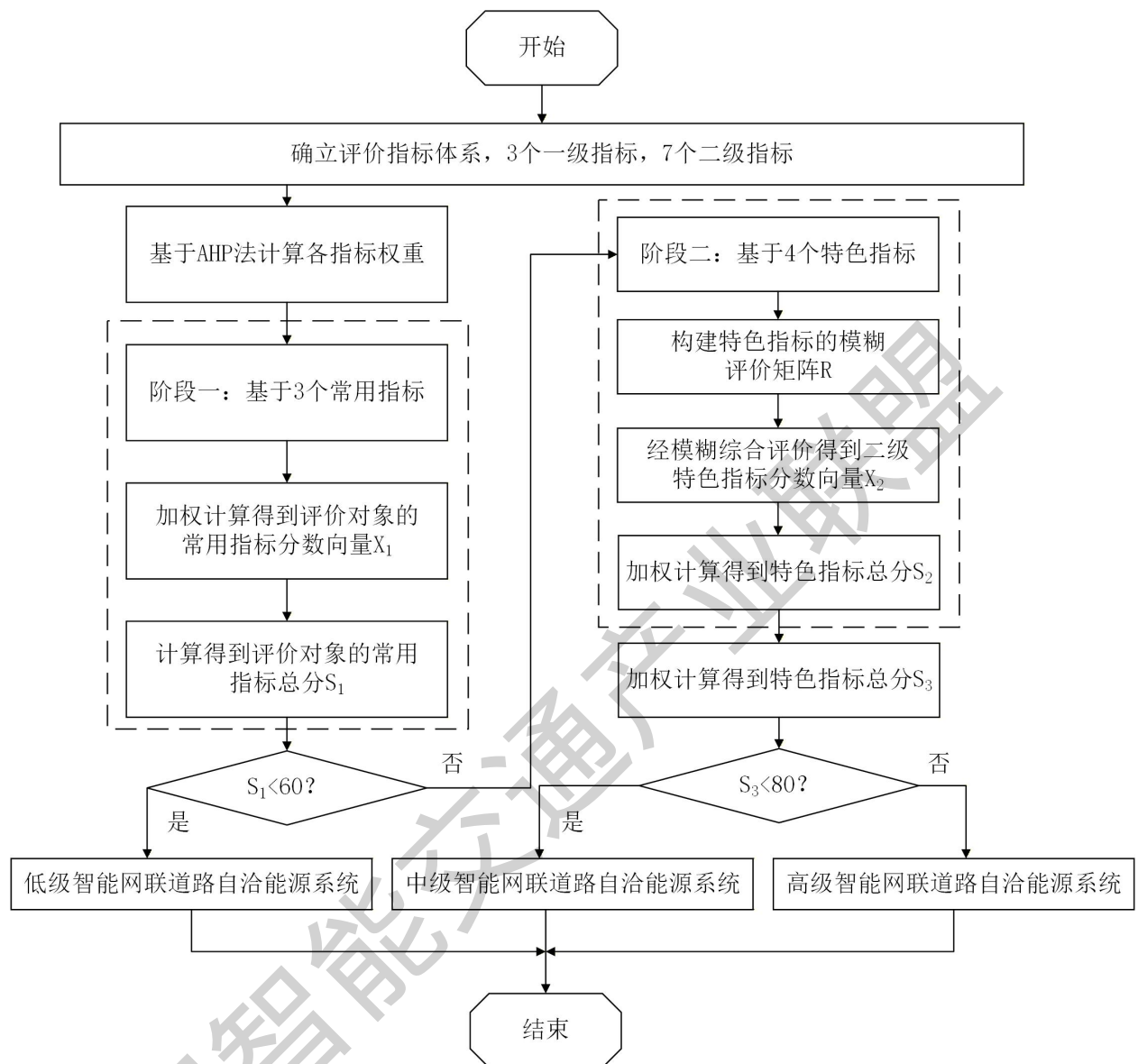


图 2 两阶段分级评价方法流程

6.4 形成评价报告

6.4.1 撰写评价报告：评价报告应全面反映智能网联道路能源自洽评价工作，文字应简洁、准确，论点明确，数据详实可靠。

6.4.2 反馈运营方意见：评价报告提出后，应反馈道路运营方征求意见并作必要修改。

6.4.3 提交评价报告：评价主体修改完成评价报告后，应按照评价流程，经评价报告负责人签字后，报送委托方审核确认。

6.4.4 评价报告反馈或确认：委托方应对评价主体提供的评价报告确认或提出反馈意见。

6.4.5 评价报告内容：评价报告编制见附录 A，主要包括下列内容：

- a) 被评价道路的基本情况；
- b) 评价场景判定；
- c) 指标权重设置及原则；
- d) 评价目标；
- e) 评价时间和范围；
- f) 评价内容；
- g) 评价结论；
- h) 评审专家意见；
- i) 建议改进措施。

附录 A 智能网联道路能源自洽评价报告编制

智能网联道路能源自洽评价程序主要包括确定评价目标、制定评价计划、实施评价及形成评价报告四个过程。

- A.1 智能网联道路概况
- A.2 建设与运行情况
 - A.2.1 建设情况
 - A.2.2 运行情况
- A.3 智能网联道路评价情况
 - A.3.1 评价工作组织开展情况
 - A.3.2 评价时间与范围
 - A.3.3 场景分类及权重设置说明
 - A.3.4 计算得分
 - A.3.5 评价结论
- A.4 主要问题及改进建议

T/ITS XXXX-XXXX

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

标准

智能网联道路能源自洽评价指南

T/ITS XXXX-XXXX

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>

XXXX 年 XX 月第一版 XXXX 年 XX 月第一次印刷