

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2026

零碳高速公路建设技术指南

Technical guidelines for the construction of zero carbon expressway

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2026年5月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 设计	2
5.1 通则	2
5.2 节能降碳	2
5.3 可再生能源利用	4
5.4 污废资源化处理	4
5.5 植被绿化	4
5.6 智慧能源管控系统	5
6 施工	5
6.1 通则	5
6.2 低碳材料	5
6.3 低碳装备	5
6.4 低碳工艺	6
7 运维	6
7.1 通则	6
7.2 运营节能	6
7.3 养护节能	7
7.4 智慧能源管控系统	7
8 评价	7

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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山东高速基础设施建设有限公司、交通运输部科学研究院、山东高速济潍高速公路有限公司、山东高速集团有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、长沙理工大学、广西中建林宁高速公路有限公司、中国建设基础设施有限公司、交科院科技集团有限公司、中交基础设施养护集团有限公司、湖南省高速公路集团有限公司、吉林省高速公路集团有限公司、中国公路工程咨询集团有限公司、海南省交通投资集团有限公司等。

本文件主要起草人：薛志超、陆旭东、李洪峰、胡晋茹、谢国木、刘乐民、史宁、张豪、商淑杰、姜飞、施庆利、曾铃、夏建平、胡超、包西勇、田垚、邱祥、张常勇、姚晓阳、王永康、朱忠明、宋玉鑫、张永红、朱世超、王福璞、李月祥、毛峰、盛兆燕、陈元培、蔡志强、徐长靖、赵磊、毕聪威、姚瑶、张润芝、董士山、薛铸、何新平、范晓华、任亮、张继斌、付金生。

零碳高速公路建设技术指南

1 范围

本文件提供了零碳高速公路建设总则、设计、施工、运维和评价的技术建议。
本文件适用于零碳高速公路的新建和改扩建工程。

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 17646 小型风力发电机组
 GB/T 18920 城市污水再生利用 城市杂用水水质
 GB/T 24716 公路沿线设施太阳能供电系统通用技术规范
 GB/T 33342 户用分布式光伏发电并网接口技术规范
 GB/T 33599 光伏电站并网运行控制规范
 GB/T 34584 加氢站安全技术规范
 GB/T 36558 电力系统电化学储能系统通用技术条件
 GB 37478 道路和隧道照明用LED灯具能效限定值及能效等级
 GB 37480 低环境温度空气源热泵（冷水）机组能效限定值及能效等级
 GB 50144 工业建筑可靠性鉴定标准
 GB 50156 汽车加油加气加氢站技术标准
 GB 50189 公共建筑节能设计标准
 GB 50366 地源热泵系统工程技术规范
 GB/T 50966 电动汽车充电站设计标准
 GB/T 51077 电动汽车电池更换站设计标准
 GB/T 51350 近零能耗建筑技术标准
 GB 55015 建筑节能与可再生能源利用通用规范
 JTG/T D70/2-01 公路隧道照明设计细则
 JTG/T 2321 公路工程利用建筑垃圾技术规范
 JTG/T 2340 公路工程节能规范
 JTG/T 5521 公路沥青路面再生技术规范
 JTG 5110 公路养护技术标准
 T/CCTAS 36 高速公路零碳服务区评价技术规范
 T/CCTAS 106 高速公路零碳服务区建设技术指南
 T/CCTAS 214 高速公路光伏发电工程建设指南
 T/CCTAS *** 高速公路运营碳排放评价技术规范

3 术语和定义

T/CCTAS 36、T/CCTAS ***界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

零碳高速公路 zero carbon expressway

指运营阶段全年温室气体净排放量 ≤ 0 的高速公路，涵盖设计、施工、运维全生命周期，通过节能降碳、可再生能源替代、碳汇提升、智慧管控实现净零排放。

注：涵盖服务区、收费站、隧道、机电设施等的直接与间接排放。

4 总则

- 4.1 零碳高速公路建设宜遵循低碳化、清洁化、生态化、智慧化的原则，涵盖设计、施工及运维各个环节。
- 4.2 零碳高速公路建设宜从碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控四个维度综合施策。
- 4.3 通过实施低碳设计，采用低碳材料、低碳装备、低碳技术、清洁能源等措施，提升高速公路的能源利用效率，降低高速公路碳排放强度。
- 4.4 利用高速公路土地及空间资源布设分布式可再生能源发电系统等碳替代措施，提升高速公路清洁能源利用率。
- 4.5 通过提高高速公路绿化覆盖率、选用植被碳汇能力强的乡土植物并优化植物群落配置，增加高速公路植被碳汇。
- 4.6 通过制定零碳运维管理制度、建立零碳目标责任制，运用智慧化管理平台等碳管控措施，有效控制高速公路运维过程中的碳排放，实现高速公路可持续零碳运营。

5 设计

5.1 通则

- 5.1.1 零碳高速公路宜在可行性研究阶段开展建设可行性论证。宜根据可再生能源资源禀赋、可利用空间资源和绿化面积等条件，对高速公路碳减排、碳替代、碳增汇措施的碳减排量进行预测，综合评估零碳高速公路建设的技术经济可行性。
- 5.1.2 宜根据交通量预测、建筑面积、能耗类型及用量等因素，对高速公路运营阶段碳排放进行预测。
- 5.1.3 零碳高速公路设计布局宜结合资源气候特点，宜有利于自然生态环境保护、节能降碳、清洁能源利用和污废资源化。
- 5.1.4 设计宜注重高速公路范围内及周边的生态环境保护，避免高速公路建设对生态环境的负面影响。
- 5.1.5 宜对碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控等措施分别开展专业化设计，结合服务区、收费站、隧道等不同场景的用能特征与空间资源，制定差异化零碳设计方案。
- 5.1.6 结合高速公路所在区域环境特征，从高效节电、柔性用电、冬季采暖、夏季降温、室内通风、人工照明等方面进行节能设计，降低用能需求。
- 5.1.7 清洁能源利用设施宜与高速公路环境景观相协调，新建零碳高速公路清洁能源利用设计宜与高速公路主体同步设计。
- 5.1.8 设计宜优先采用绿色低碳的新技术、新工艺和新设备，优先使用低碳材料。
- 5.1.9 设计宜充分考虑零碳高速公路的绿色低碳宣传需求，并规划设置宣传展示屏。

5.2 节能降碳

- 5.2.1 路基设计应通过优化线形、土石方平衡及选用低碳再生材料，降低建设能耗与资源消耗，应符合

合以下规定：

- a) 应减少高填深挖，控制土石方工程量，减少取、弃土场设置及运输能耗；
- b) 筑路材料应遵从就近、节能、利旧的原则，优选资源消耗小、综合能耗低的材料。充分利用旧路基、旧路面、隧道弃渣等可再利用材料，以及粉煤灰、煤矸石、矿渣、废旧轮胎等工业废料，符合 JTG/T 2321 的要求；
- c) 路面设计应结合工程实际，采用温拌沥青、再生路面、长寿路面等，改扩建工程应对旧路面材料进行再生利用，符合 JTG/T 5521 的规定；
- d) 排水与防护工程宜采用生态友好形式，优先使用再生骨料、生态混凝土等材料。

5.2.2 桥梁设计应通过结构优化、装配化建造及既有结构利用，降低碳排放，符合以下规定：

- a) 桥型选择与结构设计应体现轻量化、耐久化，节约建材用量，跨径 50m 以下的桥梁宜采用标准化跨径和装配式结构；
- b) 宜采用钢结构、组合结构桥梁及预制装配化施工技术，减少现场作业能耗与污染；
- c) 复杂条件宜采用高性能混凝土，保证结构使用寿命，以降低后期运营养护成本；
- d) 改扩建工程中，宜对既有桥梁进行承载力评估，满足要求的宜直接利用或拼接加宽。

5.2.3 隧道工程设计应通过高效设备、智能控制，降低照明与通风运营能耗，应符合以下规定：

- a) 通过削竹式洞门、墙面暗化、洞口绿化或设置遮光棚等措施降低洞外亮度。采用高效节能 LED 灯具，其能效等级宜满足 GB 37478 中 1 级要求。
- b) 采用智能照明控制系统，根据洞外亮度、交通量等数据实时联动调光，调光策略应符合 JTG/T D70/2-01 的要求；
- c) 长度 700m 以下的隧道优先采用自然通风，需机械通风时宜采用纵向通风方案及智能控制系统，长隧道宜分段设置独立通风单元；
- d) 隧道开挖洞渣应优先用于路基填筑、路面集料或机制砂生产，提高洞渣利用率。

5.2.4 沿线服务区、收费站等设施，应遵循被动优先的原则，采用高效用能系统，降低建筑运行能耗，应符合以下规定：

- a) 服务区、收费站、管理中心等建筑的节能设计应符合 GB 50189 与 GB 55015 的规定。零碳服务区设计宜符合 T/CCTAS 106 要求；
- b) 建筑造型宜简洁紧凑，采用合理的体型系数和窗墙比，外立面设计应有利于冬季保温与夏季隔热、遮阳；
- c) 优化建筑外围护结构热工性能，采取保温隔热、气密性保障、削弱热桥等措施，符合 GB/T 51350 的相关要求；
- d) 应充分利用天然采光，采用高效节能照明灯具及智能控制技术；供暖通风和空气调节系统宜采取分区、分时段温度调节的控制措施。

5.2.5 机电设施与供配电系统设计应通过设备选型、系统优化及智能管控，实现高效、可靠、低耗运行，应符合以下规定：

- a) 监控、通信、收费及照明设施应选择经济、高效的节能型产品；
- b) 供配电系统应合理选择电压、提高功率因数、降低线损，变配电点宜靠近负荷中心；
- c) 供配电系统应采取抑制高次谐波的有效措施，应进行无功补偿，高压进线侧（1kV 以上）电压

总谐波畸变率不宜超过 4%，低压出线侧（380V/220V）不得超过 5%，符合 JTG/T 2340 规定。

5.3 可再生能源利用

5.3.1 应遵循光伏为主、风电为辅、因地制宜、多能互补的原则，充分利用服务区、收费站、隧道、边坡等路域空间资源。

5.3.2 设计应综合考虑环境、土地、并网、安全等条件，确保不影响高速公路设施质量、运营安全与景观协调；改扩建及既有项目应开展安全风险评估并制定应急预案。

5.3.3 宜通过配置储能、构建微电网及智能调度，提高绿色电力就地消纳比例，逐步实现可再生能源发电量覆盖运营用电需求；储能系统性能宜符合 GB/T 36558 的规定。

5.3.4 高速公路光伏发电系统设计应符合 GB/T 24716、T/CCTAS 214 的规定；接入电网宜符合 GB/T 33342、GB/T 33599 的规定，安装经校验合格的电能计量装置。既有建筑增设光伏发电系统应按照 GB 50144 进行可靠性鉴定。

5.3.5 风力资源丰富区域宜设置小型风力发电系统，符合 GB/T 17646 的规定。

5.3.6 因地制宜采用地源热泵、空气源热泵系统，地源热泵应符合 GB 50366，空气源热泵应符合 GB 37480 的相关规定。

5.3.7 服务区、收费站可再生能源利用应符合下列规定：

a) 充分利用建筑屋面、停车场顶棚、边坡等空间布设光伏发电设施，符合 T/CCTAS 106、T/CCTAS 214 的相关要求；

b) 公路沿线应结合零碳公路运输通道建设要求，根据交通量预测和货运需求，统筹布局电动重卡充换电站，配置兆瓦级大功率充电、换电、供配电、储能、光伏系统，构建光储充一体化系统，充换电设施设计应符合 GB/T 50966、GB/T 51077 相关规定；

c) 宜根据需求配置加氢站，设计应符合 GB 50156、GB/T 34584 的规定；

d) 充换电站应配套建设运营服务系统，具备实时监测、智能调度、安全预警等功能。

5.3.8 隧道可再生能源利用应符合下列规定：

a) 应利用洞口边坡、仰坡、管理用房屋面及棚洞等布设光伏发电设施，风能资源适宜路段可设置小型风力发电设备，构建风光互补系统；

b) 宜配置独立储能单元，容量应结合新能源装机及隧道负荷合理配置，保障应急供电。

5.3.9 边坡与互通区应利用路堤边坡、互通区内闲置空地布设分布式光伏系统，光伏设施不得影响路基稳定、行车视距及排水，组件布置应避免产生眩光。

5.4 污废资源化处理

5.4.1 应遵循就近、节能、利旧原则，统筹推进污水、固废资源化利用，符合 JTG/T 2340 相关规定。

5.4.2 实施生活污水清洁化处置，采用低能耗处理工艺与设备，处理装置规模与服务区、收费站日污水产生量相匹配；出水水质满足 GB/T 18920 要求，处理后的中水可用于冲厕、景观用水、道路冲洗、消防用水等。

5.4.3 固废应实行分类收集与分级处置，优先就地消纳、减量化、资源化、无害化处理。

5.5 植被绿化

5.5.1 零碳高速公路宜通过优化场地布局、立体绿化等方式增加绿化面积。

5.5.2 宜充分利用墙壁、棚架等栽种攀缘植物，采用乔灌木相结合，打造复合式植物群落，群落构建可适当增加幼龄树比例，提高高速公路植被碳汇能力。

5.5.3 绿化植被宜选用抗逆性强、生态效益高、维护需求低、固碳释氧能力强的乡土树种及多年生草本植物。

5.6 智慧能源管控系统

5.6.1 零碳高速公路应设计覆盖全线的智慧能源管控系统，对沿线分布式可再生能源发电、充（换）电、加氢及重点用能设施进行分类分项计量与监测。

5.6.2 系统设计应具备基于运行数据的节能优化与源网荷储协同调度能力，提升清洁能源就地消纳效率。

5.6.3 智慧能源管控系统应与高速公路监控、通信、收费等机电系统统一规划、同步设计、预留数据互通接口。

5.6.4 数据采集与传输设计应符合 JTG/T 2340 的相关规定。

6 施工

6.1 通则

6.1.1 零碳高速公路建造前，宜组织召开专题会议，进行设计交底，建立协调机制。

6.1.2 施工前宜进行施工现场调查，宜以现场情况和设计文件为依据，编制各分项工程施工组织设计或专项施工方案，进行施工方案交底，完工后进行交工验收。

6.1.3 施工现场宜按照永临结合的理念，结合工程实际优先布设清洁能源发电系统，施工过程中优先使用清洁能源发电的绿色电力。

6.1.4 施工阶段宜使用电气化施工装备，使用新能源车辆进行物资运输，优先采用装配式建筑工法。

6.1.5 应建立施工期能源与资源消耗台账，对主要能耗环节和材料使用进行监测与记录。

6.2 低碳材料

6.2.1 在满足工程质量和安全的前提下，应优先选用具有绿色、低碳、节能、环保认证的材料，并宜就近取材，减少运输能耗。

6.2.2 推广废旧沥青路面、钢材、水泥等材料再生和循环利用；推广粉煤灰、煤矸石、矿渣、废旧轮胎等工业废料的综合利用；优化混凝土配合比，利用粉煤灰及外加剂减少混凝土中水泥用量；

6.2.3 推广隧道洞渣综合利用、土石方合理调配技术，减少废弃土石方；改扩建拆除的混凝土等材料可加工用于路基填筑、基层，废旧金属分类回收。

6.3 低碳装备

6.3.1 施工机械设备类型、数量和不同组合应满足工程特点、工程量及施工工期的要求，并与施工工艺相匹配，提高作业效率。优先选用电动、氢能等清洁能源施工车辆与机械设备进行物资运输和现场作业。

6.3.2 施工阶段应选择功率与负载相匹配的机械设备，避免施工机械长时间过载或欠载运行。宜采用变频控制等节能技术，优化设备运行效率。

6.3.3 机械设备的选用应将设计能耗作为重要的评估指标，选用技术先进、安全可靠、能耗低和效率高的施工机械产品。

6.3.4 机械设备应加强施工过程中的能耗管理，建立机械设备管理制度，健全设备档案，开展能耗监

测相关工作，做好维修保养工作，使机械设备保持良好的使用状态。

6.4 低碳工艺

6.4.1 施工工艺应技术可行、经济合理，统筹安排材料、机具资源和人力资源，减少重复施工，并将施工能耗作为重要的节能指标。

6.4.2 路基施工应控制材料的施工温度，减少施工能耗。

6.4.3 桥梁施工应工艺简单，操作方便，施工工艺中、小桥梁宜采用预制吊装施工方案；大桥、特大桥宜采用挂篮悬浇或预制吊装等无支架方案。

6.4.4 隧道施工应加强地质超前预报，采用适应围岩条件的施工方案和支护结构形式。

6.4.5 施工应采用节水施工方法、提高水资源循环利用率。

6.4.6 冬季施工时，宜采用低能耗的保温措施，降低施工能耗。

7 运维

7.1 通则

7.1.1 高速公路运营单位宜建立碳排放管理体系，明确碳排放检测、报告、核查与管理流程，加强碳排放数据的透明度和可追溯性。

7.1.2 运营单位宜对清洁能源系统、用能系统以及污废处理系统的调节与控制，制定专项运行管理方案，根据运行情况定期优化。

7.1.3 零碳高速公路运营期间宜建立碳排放监测和评估系统，对碳排放、碳减排、碳增汇、碳管控进行定期跟踪、监测、评估。

7.1.4 宜定期检查并保养供暖、通风、空调、照明、污废处置等设备设施，定期对清洁能源系统组件进行清洁，确保系统安全、高效。

7.1.5 宜跟踪并分析运营数据，在资源配置、运维效率、碳排放监测和风险防控等方面持续改进。

7.1.6 宜充分利用高速公路服务区的展示窗口，公示零碳高速公路光伏发电量、用电量等相关信息，并在公共空间设置公告牌，明示节能注意事项，向社会宣传绿色低碳理念。

7.2 运营节能

7.2.1 运营阶段应从照明、通风、供配电、房屋建筑、供暖、空调、用水、运输等方面进行节能控制，降低管理能耗和使用者能耗。

7.2.2 有照明需求的场区、室内等应合理控制照度衰减，定期清洁灯具、及时更换低效灯具，按场景优化智能照明运行策略。

7.2.3 隧道通风应在设计要求基础上采用智能化管理，使风机运转方式与洞内环境参数匹配，应控制风机开启和关停的数量，在保证隧道正常运行的状况下降低风机能耗。

7.2.4 服务区综合服务楼供暖通风和空气调节系统应根据运营高低峰时段的需求变化，采取分区、分时段温度调节的控制措施；间歇运行空调应设自动启停控制。

7.2.5 房屋建筑应根据各单体建筑对室内温度的不同需求，采取对供暖末端设备进行温度智能调节的节能措施。供暖空调系统应设置室温调控装置。

7.2.6 喷洒、冲洗和绿化等用水宜采用直取或经简易处理后的江水、河水或集中收集的雨水，生产、生活污水经处理后宜作为上述用水的补充用水。

7.2.7 运营阶段应积极运用信息化、智能化技术，综合利用不停车收费、信息监测、信息服务、预警预测等手段对路网运行状态进行实时监测及管控，提高公路通行能力和节能水平。

7.3 养护节能

7.3.1 日常养护应遵循预防性养护和资源节约理念，降低养护过程能耗与碳排放。符合 JTG/T 2340 及 JTG 5110 的相关规定。

7.3.2 养护阶段应从养护材料、工艺、用能和供能设备状况等方面降低养护作业能耗、提高设备工作效率。

7.3.3 应优先选用节能、环保型养护设备，建立设备维护档案。日常小型养护机械宜采用电动等清洁能源设备。

7.3.4 日常养护宜采用微表处、雾封层、冷补料等节能低碳型材料与工艺。应合理运用再生技术提高沥青、混凝土等旧路面材料的循环利用率，减少废弃量。

7.3.5 采用高反射率材料的隧道墙面应根据隧道养护周期进行保养，保持良好状况，以维持其辅助照明、提高能效的功能。

7.3.6 养护机械设备数量、类型应与养护需求相匹配，并根据不同时期、不同工况的养护需求调整机械设备组合，进行科学养护作业。

7.3.7 公路照明应定期维护、降低照度衰减，保障照明能效。

7.3.8 监控、通信、收费及供配电等设备应加强对散热结构的日常养护，保持系统完整并具备良好的工作状态。

7.3.9 绿化灌溉宜采用节水技术及低干预管理模式。

7.4 智慧能源管控系统

7.4.1 运营阶段应通过智慧能源管控系统实现对多能源的协同调度与优化运行，提升整体能效。

7.4.2 应持续在线运行，实时监测光伏、风电、储能、充电设施及各类负荷的运行数据。

7.4.3 具备气象、负荷预测的智能调度能力，优化储能充放电、微电网运行模式，最大化就地消纳可再生能源，平抑负荷波动。

7.4.4 应具备异常能耗诊断、告警及能效优化功能，支撑运维决策。

7.4.5 智慧能源管控系统应建立数据安全与网络安全防护机制，保障运行数据安全。

8 评价

8.1 零碳高速公路评价针对高速公路运营阶段，聚焦温室气体排放、可再生能源利用及节能措施落实情况，遵循客观、公正、可追溯原则。

8.2 评价宜在项目稳定运营一年后开展。运营单位需提供运营阶段能耗、可再生能源发电量等真实完整资料。

8.3 运营单位应建立年度碳减排成效评估机制，结合评价结果识别在可再生能源利用、节能设施运维等方面存在的问题，制定改进计划，以持续提升零碳运营水平。

零碳高速公路建设技术指南
(征求意见稿)
编制说明

标准起草组

2026年5月

目 录

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人	1
二、制定标准的必要性和意义	4
三、主要工作过程	8
四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系	14
五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述	17
六、重大分歧的处理依据和结果	24
七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况	24
八、贯彻标准的措施建议	26
九、其他应说明的事项	27

1 任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

1.1 任务来源

为了应对全球气候变化，彰显大国担当和责任，2020年9月22日，习近平主席在第七十五届联合国大会提出我国2030年前二氧化碳排放达峰和2060年前碳中和愿景。实现碳达峰、碳中和，是以习近平同志为核心的党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策，事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。

2021年9月22日，中共中央、国务院发布《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，意见指出，实现碳达峰、碳中和，是党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策部署，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺。同日，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》的通知（国发〔2021〕23号），通知中提出将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面，重点实施包括能源绿色低碳转型行动、节能降碳增效行动、交通运输绿色低碳行动、循环经济助力降碳行动等在内的“碳达峰十大行动”。

交通运输业作为国民经济发展和居民生活必需的基础产业之一，消耗大量的能源。在工业、建筑和交通运输三大重点行业中，交通运输行业是碳减排潜力最大、难度最高的行业，对中国能否实现2030年左右碳达峰以及碳达峰后走势有重要影响，因此交通运输行业的碳减排是支撑我国实现“碳中和”目标的关键领域，交通系统低碳化是实现交通领域“双碳”目标的关键抓手。

习近平主席在第二届联合国全球可持续交通大会开幕式主旨讲话中提出，要加快形成绿色低碳交通运输方式，加强绿色基础设施建设，推广新能源、智能化、数字化、轻量化交通装备，鼓励引导绿色出行，让交通更加环保、出行更加低碳。

2019年9月，中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》中指出要绿色发展节约集约、低碳环保，加强老旧设施更新利用，推广施工材料、废旧材料再生和综合利用，提高资源再利用和循环利用水平，推进交通资源循环利用产业发展。强化节能减排和污染防治，优化交通能源结构，推进新能源、清洁能源应用。

2021年11月30日，交通运输部组织编制了《交通运输行业重点节能低碳技术推广目录（2021年度）》，持续强化节能降碳，促进资源节约集约利用，为交通运输行业“双碳”工作提供技术支撑。

2022年1月16日，交通运输部发布关于《交通强国建设评价指标体系》的通知，提出“安全、便捷、高效、绿色、经济”的核心，推动形成绿色交通发展方式，提高资源集约节约化水平，促进交通与自然和谐共生。

2022年2月10日，交通运输部召开碳达峰碳中和工作领导小组第一次会议，学习习近平总书记关于碳达峰碳中和工作的重要论述，及《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《国务院关于印发〈2030年前碳达峰行动方案〉的通知》精神，对交通运输绿色低碳发展工作进行部署。并且强调，交通运输是碳排放的重点领域之一。做好交通运输碳达峰、碳中和工作，是贯彻落实党中央国务院决策部署的迫切要求，是服务人民群众、满足人民美好生活需要、建设人民满意交通的迫切要求。在碳达峰碳中和框架下，强化大局意识、履行行业职责，强化系统谋划、做好统筹部署，强化分类施策、注重因地制宜，强化改革创新、推动双轮驱动，全面推进交通运输绿色低碳转型，加快形成绿色低碳交通运输方式。

2024年2月，根据中国交通运输协会发布的“中国交通运输协会关于2024年度第一批团体标准项目立项的公告”（中交协秘字〔2024〕19号）要求，由山东高速基础设施建设有限公司与交通运输部科学研究院等单位作为主编单位，负责本标准的编制工作。

1.2 提出与归口单位

本团体标准由中国交通运输协会新技术促进分会提出，由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

1.3 起草单位

本标准由山东高速基础设施建设有限公司、交通运输部科学研究院、山东高速济潍高速公路有限公司、山东高速集团有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、长沙理工大学、广西中建林宁高速公路有限公司、中国建设基础设施有限公司、交科院科技集团有限公司、中交基础设施养护集团有限公司、湖南省高速公路集团有限公司、吉林省高速公路集团有限公司、中国公路工程咨询集团有限公司、海南省交通投资集团有限公司等共同起草。

牵头单位：山东高速基础设施建设有限公司、交通运输部科学研究院

参编单位：山东高速济潍高速公路有限公司、山东高速集团有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、长沙理工大学、广西中建林宁高速公路有限公司、中国建设基础

设施有限公司、交科院科技集团有限公司、中交基础设施养护集团有限公司、湖南省高速公路集团有限公司、吉林省高速公路集团有限公司、中国公路工程咨询集团有限公司、海南省交通投资集团有限公司等。

编制单位构成说明

本标准编制单位覆盖业主单位、建设运营单位、科研院所、设计单位、养护单位五大类型，形成全产业链协同编制体系，保障标准兼具实操性、科学性与行业代表性：

业主单位：山东高速基础设施建设有限公司、山东高速集团有限公司、湖南省高速公路集团有限公司、吉林省高速公路集团有限公司、海南省交通投资集团有限公司、广西中建林宁高速公路有限公司、中国建设基础设施有限公司（负责标准需求提出、实践验证与落地推广）；

建设运营单位：山东高速济潍高速公路有限公司（提供零碳高速试点建设运营经验，验证技术可行性）；

科研院所：交通运输部科学研究院、交科院科技集团有限公司（负责政策研究、技术理论支撑与标准合规性把关）；

设计咨询单位：山东省交通规划设计院集团有限公司、中国公路工程咨询集团有限公司（负责工程设计技术细化、场景化方案编制）；

高等院校：长沙理工大学（提供碳汇、低碳材料等理论与试验支撑）；

养护单位：中交基础设施养护集团有限公司（负责低碳养护技术编制与实操指导）。

1.4 主要起草人

本标准由山东高速基础设施建设有限公司牵头组织成立编制工作组，联合交通运输部科学研究院、山东高速集团有限公司、相关建设、设计、科研、养护等单位专家共同组成。工作组全体成员全程参与标准调研、资料收集、条文起草、试验验证、征求意见及修改完善工作，分工明确、责任到位，确保标准编制质量：

主要起草人及分工

薛志超、陆旭东、李洪峰：工作组组长、副组长，全面负责标准总体策划、技术路线制定、章节统筹、最终审核与定稿；负责第 1 章范围、第 2 章规范性引用文件、第 3 章术语和定义、第 4 章总则、第 8 章评价的起草与审定。

胡晋茹、谢国木、刘乐民、史宁、张豪：负责第 5 章设计（5.1 通则、5.2 节能降碳、5.3 可再生能源利用、5.4 污废资源化处理、5.5 植被绿化、5.6 智慧能源管控系统）条文

起草、技术论证与修改完善。

商淑杰、姜飞、施庆利：负责第 6 章施工（6.1 通则、6.2 低碳材料、6.3 低碳装备、6.4 低碳工艺）条文起草、工艺验证、数据支撑及意见汇总修改。

曾铃、夏建平、胡超、包西勇、田焱：负责第 7 章运维（7.1 通则、7.2 运营节能、7.3 养护节能、7.4 智慧能源管控系统）条文起草、运维经验总结与技术细化。

邱祥、张常勇、姚晓阳、王永康、朱忠明：负责规范性引用文件核对、试验数据整理、案例分析、技术指标验证及条文校核。

宋玉鑫、张永红、朱世超、王福瑛、李月祥、毛峰：参与标准调研、资料收集、条文讨论、意见征集与修改完善，提供工程实践经验支撑。

盛兆燕、陈元培、蔡志强、徐长靖、赵磊、毕聪威、姚瑶、张润芝、董士山、薛铸、何新平、范晓华、任亮、张继斌、付金生：参与标准编制全过程，负责文字校对、格式规范、条文一致性检查等。

2 制定标准的必要性和意义

2.1 背景与依据

当前，全球气候变化已成为人类共同挑战，我国明确 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的“双碳”目标，《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》均要求推进交通绿色低碳、能源融合发展；同时，英国、美国等已发布交通脱碳蓝图，零碳交通成为全球行业趋势。我国高速公路网络规模庞大，但运营期高度依赖传统电网，且智慧化设施对稳定能源的需求日益增长，现有建设实践多为单点技术应用（如分布式光伏），缺乏“零碳”维度的系统规范。本文件依据“双碳”战略、交通强国建设要求，以及《近零能耗建筑技术标准》（GB/T 51350）、《光伏建筑一体化应用技术标准》（GB/T 51377）等技术规范编制，围绕运营期高速公路零碳建设提供技术建议。

（1）积极稳妥推进碳达峰碳中和的必然要求

随着温室气体浓度的不断增加，气候变化危机已成为 21 世纪全人类共同面对的严峻挑战之一。2020 年 9 月 22 日，习近平主席在第七十五届联合国大会提出我国 2030 年前二氧化碳排放达峰和 2060 年前碳中和愿景。同年 12 月召开的 2020 年中央经济工作会首次决定将“做好碳达峰、碳中和工作”列入 2021 年年度重点任务，“制定 2030 年前碳排放达峰行动方案”写入正在编制的国家经济和社会发展“十四五”规划。2021 年 11 月在英国格拉斯哥举行的 COP26 峰会上，有近 200 个国家达成《格拉斯哥气候公约》，旨在将全

球变暖控制在 1.5 摄氏度以内，以避免世界遭受灾难性气候变化。中国作为世界上最大的发展中国家，强化自主贡献目标，加快构建碳达峰、碳中和“1+N”政策体系，积极探索低碳发展新模式，为推动全球气候治理、应对气候变化作出实实在在的贡献，展现大国担当。

交通运输行业是能源消耗和温室气体排放的重点领域之一，强化交通运输节能减排，倡导绿色出行，减少交通运输对能源资源的消耗和环境的影响，是推动环境可持续发展的重要内容。在工业、建筑和交通运输三大重点行业中，交通运输行业碳减排的压力首当其冲。

(2) 落实两个纲要推动交通运输业绿色转型发展的重要举措

我国交通行业体量庞大，二氧化碳排放量约占全国总碳排放量的 10%左右，减排降碳压力巨大，是我国能耗和碳排放的主要环节，而其中道路交通在交通全行业碳排放中的占比约 80%，高速公路又是道路交通中的关键领域，其绿色低碳发展势在必行又任重道远。在国外各国陆续提出零碳交通的建设目标，英国提出了将 2050 年减排 80%的气候目标提高至实现“净零”，英国交通部发布了《交通脱碳:更好、更绿色的英国》(Decarbonising Transport, A Better, Greener Britain)，明确了 2050 年实现英国交通领域碳中和的愿景、行动和时间表。2023 年，美国政府 2023 年 1 月 10 日发布交通部门脱碳的首份蓝图--《美国运输脱碳国家蓝图》(The U.S. National Blueprint for Transportation Decarbonization)，到 2035 年确保 100%清洁电网和到 2050 年实现净零碳排放的目标。

《交通强国建设纲要》要求，要提高交通领域的智能化、绿色化和共享化；构筑多层次、一体化的能源交通融合的综合交通枢纽体系；优化交通能源结构，推进可再生能源、清洁能源应用；促进公路货运节能减排，推动城市公共交通工具和城市物流配送车辆全部实现电动化、可再生能源化和清洁化。《国家综合立体交通网规划纲要》提出，要推进交通基础设施网与能源网融合发展，促进交通基础设施与智能电网融合，适应新能源发展要求。交通系统低碳化、智能化是实现交通领域“双碳”目标的关键抓手。

当前我国高速公路已形成庞大路网，但运营高度依赖传统电网、化石能源消耗大、碳排放强度高。行业虽开展分布式光伏、节能建筑、智慧管控等单点试点，但缺乏覆盖设计-施工-运维全链条、统筹四大维度（碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控）的零碳标准。

在此背景下，编制《零碳高速公路建设技术指南》，填补行业空白、统一技术路径、支撑零碳运输通道规模化建设，是落实国家“双碳”战略、推动交通能源融合、引领行业绿色转型的迫切需要。

2.2 编制目的

本标准旨在构建运营期净零排放的高速公路技术体系，为新建、改扩建零碳高速公路提供统一、系统、可落地的技术指导。主要目的包括：

明确零碳高速公路核心定义与建设边界，界定运营期温室气体净排放量 ≤ 0 的核心目标，厘清设计、施工、运维全链条建设内容；

建立四大技术路径（碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控），指导路基、桥梁、隧道、服务区、收费站、边坡等全场景零碳设计；

规范可再生能源规模化应用，明确光伏为主、风电为辅、光储充一体化、重卡充换电配套技术要求，支撑零碳运输通道建设；

统一施工低碳、运维节能、碳汇提升、智慧管控技术指标，衔接现行国标、行标、团标，确保合规性与实操性；

构建运营期零碳评价体系，建立监测-核算-评价-改进闭环机制，保障零碳目标长期稳定。

2.3 主要意义

本文件的编制，旨在积极响应国家“双碳”目标，为交通行业低碳转型提供关键技术指引与规范支撑。国内此前尚无系统性零碳高速公路建设技术规范，行业实践存在标准缺失、技术碎片化问题；本文件首次构建覆盖设计、施工、运维、评价全生命周期，以碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控为核心的零碳技术体系，填补行业空白，为零碳高速规划、建设提供依据。标准集成温拌沥青、智能照明、被动式节能等成熟技术，融合分布式光伏、储能、电动重卡充换电、智慧管控等前沿应用，推动交通基础设施与清洁能源、数字技术深度融合，引领行业从绿色低碳向净零排放跨越；盘活服务区、边坡、隧道等路域空间，规模化开发可再生能源，推动交通网与能源网协同，构建产储用一体化新型能源体系。实施本文件可显著降低全生命周期能耗与碳排放，兼顾生态、经济与社会效益，增强项目可持续性；立足我国国情形成的技术方案，既支撑交通强国与双碳战略落地，也为全球交通脱碳提供中国实践与示范。

2.4 可行性

本标准编制具备充分的政策、技术、实践与实施可行性，科学性、适用性与落地性均有充分保障。政策层面，国家“双碳”战略、交通强国建设纲要、交通能源融合发展指导意见及零碳公路运输通道建设方案等顶层文件，明确了零碳交通发展方向，政策体系完

备、导向清晰，为本标准实施提供坚实支撑。技术层面，标准提出的节能降碳、低碳材料、装配式施工、可再生能源规模化利用、光储充一体化、智慧管控、重卡充换电、植被碳汇、污废资源化等技术路径，均依托 JTG/T 2340、GB/T 50966、GB/T 51077、T/CCTAS 106、T/CCTAS 21 等现行国标、行标、团标，技术成熟、安全可靠、兼容性强，无技术瓶颈与应用风险。实践层面，济南东服务区、济青中线等项目，已系统验证路域光伏、储能协同、低碳施工、智慧管控等关键技术的可行性与经济性，为本标准提供了扎实实践依据。实施层面，编制单位涵盖业主、建设、科研、高校、养护等全产业链主体，专业覆盖全面、工程经验丰富，保障标准科学严谨、贴合实际；标准条款可量化、可执行，适用于新建及改扩建高速公路，推广条件成熟、应用前景广阔。

2.5 必要性

本标准《零碳高速公路建设技术指南》的编制，是响应国家战略、破解行业痛点、引领技术升级的关键举措，其必要性主要体现在以下四个方面：

新颖性：构建体系化技术框架，填补行业标准空白

本文件首次系统构建了覆盖高速公路“设计-施工-运维-评价”全生命周期，并统揽“碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控”四大维度的零碳技术体系。与现有仅聚焦服务区节能、单一技术应用或能源并网通用要求的碎片化标准不同，本文件实现了跨专业、全要素的技术整合。例如，在能源供给上，不仅明确光伏在建筑屋面、停车场、边坡、隧道区的多场景适配应用（5.3.1, 5.3.7, 5.3.8, 5.3.9），同时创新性提出统筹布局“光储充”一体化系统（5.3.7b）及构建数字孪生驱动的智慧能源管控系统（5.6, 7.4），实现源网荷储智能调度。经标准查新，国内尚无同类型技术规范，现有标准如 T/CCTAS 106 仅针对零碳服务区单一场景，而 GB/T 33342 等能源标准未涵盖高速公路路域安全、景观协调等特殊约束。因此，本文件具备独特的技术系统集成创新性，有效填补了行业空白。

实用性：提供量化可执行条款，确保技术落地见效

本文件的技术要求兼具原则性与可操作性，条款紧密贴合工程实践，具备直接指导建设与验收的实用价值。全文大量引用现行国家标准和行业规范，确保技术要求有据可依、便于执行。例如，明确规定光伏发电系统设计需符合 GB/T 24716 等国标（5.3.4），既有建筑增设光伏前必须按 GB 50144 进行可靠性鉴定（5.3.4），污废水回用水质需满足 GB/T 18920（5.4.2），储能系统性能需符合 GB/T 36558（5.3.3）。这些量化、可验证的要求，将零碳目标转化为具体的设计参数与可落地的技术建议。实践表明，试点本标准技术路径的项目（如济南东服务区）已实现年减碳超 3400 吨的显著成效，其“绿电自用+智慧管控+

资源循环”的模式，在减排效果和全生命周期经济性上均优于传统零散技改，能够切实推动零碳目标从理念转化为实绩。

适用性：体现差异化和兼容性，适配多元建设需求

本文件充分考虑了我国不同地域、不同项目类型的实际条件，具备广泛的环境、技术及经济适应性。在环境适应上，强调“因地制宜”原则，如要求绿化选用乡土植物（5.5.3），能源利用以光伏为主、风电为辅并与区域资源匹配（5.3.1, 5.3.5）。在技术兼容上，与 GB/T 51350（近零能耗建筑）、JTG/T 2340（公路工程节能）等数十项现行标准衔接，并预留了技术演进空间。在经济适应上，通过倡导“永临结合”施工用电（6.1.3）、旧料再生利用（5.2.1, 6.2.2）、智慧化运维降本（7.4）等举措，平衡初期投入与长期收益。该框架既适用于新建项目，也为改扩建项目（5.2.1c, 5.2.2d）提供了技术路径，确保了标准在不同气候区、不同基础条件的高速公路项目中均具备可实施性。

紧迫性：回应国家战略与行业痛点，支撑绿色转型攻坚

当前，交通运输行业是我国碳排放控制的重点领域，高速公路运营期碳排放占比高、减排压力大。然而，行业在推进零碳建设过程中，普遍面临技术路线不清晰、标准依据缺失、安全与景观协调考虑不足等难点，导致实践碎片化或存在隐患。与此同时，国家“双碳”战略目标与“交通强国”建设纲要均对绿色交通发展提出了明确且紧迫的时间表与任务要求。本文件的编制，为解决高速公路如何系统化、规范化实现运营期“净零排放”这一热点与难点问题提供了技术指南，将有效规范市场秩序，指导项目投资、设计、建设和认证，是行业落实国家战略、实现绿色低碳转型不可或缺的标准化支撑，其发布与实施具有显著的时效性和紧迫性。

3 主要工作过程

为积极响应国家号召，应对全球气候变化，落实交通行业碳达峰碳中和目标，推进交通运输碳达峰相关研究工作，本文件编制单位前期已围绕高速公路碳排放，开展大量调研，发布了《高速公路零碳服务区评价技术规范》（T/CCTAS 36-2022），《高速公路零碳服务区建设技术指南》（T/CCTAS 106-2024）。

编制组针对工业、交通、建筑碳排放问题及服务区节能降碳措施，进行了一系列研究与实践积累，针对高速公路零碳运营全国开展了相关实践工作。

3.1 起草组工作概述

3.1.1 提案准备阶段

为响应国家“双碳”战略与交通强国建设要求，山东高速基础设施建设有限公司联合

交通运输部科学研究院、交科院环境科技（北京）有限公司等单位，组建标准起草组，启动《运营期高速公路零碳建设技术指南》团体标准提案筹备工作。

调研与实践梳理：起草组系统梳理国内零碳高速公路相关实践，重点分析济南东服务区（2022 年建成，年减碳超 3400 吨）、山东枣菏高速（2023 年投用“光伏+风电+储能”系统）、济青中线济潍段（2023 年通车，20 年预计减排 152 万吨）等项目的技术路径与成效，提炼可再生能源利用、智慧管控、碳汇提升等核心技术要点，为标准条款奠定实践基础。

内部研讨与框架搭建：起草围绕标准定位、核心章节设置、关键技术指标展开讨论，初步确定“可再生能源利用、污废处理、植被碳汇、智慧管控等技术模块，并参考《近零能耗建筑技术标准》（GB/T 51350）、《小型风力发电机组》（GB/T 17646）等国标，明确规范性引用文件清单。

3.1.2 立项审查阶段

立项会议筹备：2024 年 1 月，起草组按要求提交立项材料，并针对专家可能关注的“标准创新性”“与现有标准衔接性”等问题，准备汇报材料，重点说明本标准与《高速公路零碳服务区建设技术指南》（T/CCTAS 106-2024）的区别——前者覆盖高速公路全场景（服务区、收费站、隧道等），后者仅聚焦服务区单点，形成互补而非重复。

立项审查会参与：2024 年 1 月 12 日，中国交通运输协会标准化技术委员会在北京召开 2024 年团体标准立项会议（会议纪要号：（2024）第 22 期（立审）），起草组代表汇报标准立项必要性、可行性及前期准备工作。

3.1.3 大纲编制与审查阶段（2024 年 2 月—2025 年 5 月）

大纲细化与内部评审：2024 年 2 月—2025 年 4 月，起草组结合立项审查意见，开展多轮内部研讨与调研：

补充跨区域调研：针对不同气候区的零碳技术适配性，调研高速公路项目，完善“植被碳汇植物选择”等条款；

大纲审查会筹备：2025 年 4 月，起草组根据内部评审意见调整大纲后，提交中国交通运输协会标准化技术委员会。

3.1.4 征求意见稿草案修改及审查阶段（2025 年 5 月—2026 年 3 月）

标准名称修改为《零碳高速公路建设技术指南》；同时调整章节结构，进一步研究厘清零碳高速公路的场景并提出相应的要求，增加碳排放监测、核算相关内容；建议增加有

代表性的编写单位，完善编制说明。

征求意见稿草案审查会筹备：2026年3月，起草组根据内部评审意见调整标准文本，完善编制说明，提交中国交通运输协会标准化技术委员会。

3.2 历次审查会专家审查意见及结论

3.2.1 立项审查会

2024年1月12日，会议纪要号：〔2024〕第22期（立审）：肯定标准立项必要性：认为高速公路作为交通碳排放重点领域，缺乏全场景零碳建设标准，本标准可填补行业空白，支撑“双碳”目标落地；

提出名称修改建议：考虑到标准核心聚焦“运营期”技术要求，建议将原名称《零碳运营高速公路建设指南》修改为《运营期高速公路零碳建设技术指南》，更精准体现适用阶段；

补充参编单位要求：建议增加具有交通能源融合、碳核算经验的代表性单位，优化编制团队专业结构；

明确编制计划优化方向：要求细化进度安排，确保各阶段工作（如征求意见、技术审查）按时推进。

审查结论：经5位专家投票，标准全票通过立项，同意按修改意见完善后进入大纲编制阶段。

意见落实情况：

名称修改：已将标准名称调整为《运营期高速公路零碳建设技术指南》；

参编单位补充：新增广西中建林宁高速公路有限公司、中国建设基础设施有限公司等单位，覆盖设计、施工、运营全链条；

编制计划优化，明确责任分工。

3.2.2 大纲审查会

2025年5月8日，会议纪要号：〔2025〕第175期（纲审）总1421期，专家审查意见：

大纲结构与内容评价：认为起草组提交的大纲资料齐全、内容较完整，编制分工与进度安排基本合理，经费有保障，符合团体标准管理要求；

修改建议：

（1）标准名称修改为《零碳高速公路建设技术指南》；

(2) 调整章节结构，进一步研究厘清零碳高速公路的场景并提出相应的要求，增加碳排放监测、核算相关内容；

(3) 建议增加有代表性的编写单位，完善编制说明。

审查结论：专家组一致同意大纲通过审查，要求按 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》及专家意见修改，进入征求意见稿编制阶段。

以上意见均落实，并修改形成征求意见稿草案。为响应大纲审查会专家关于“调整章节结构、厘清零碳建设场景、增加碳排放监测核算相关内容”的意见，结合零碳高速公路建设的实际应用逻辑，对标准框架进行优化调整。本次修改核心思路为：一是整合原“近零能耗建筑节能系统”的保温隔热、采暖通风、采光照明等核心节能要求，按服务区、收费站、隧道、日常养护等实际应用场景归类至“5 节能系统”，使技术要求更贴合不同设施的运营特性，提升落地针对性；二是将原“可再生能源利用系统”扩展为“6 能源供给系统”，新增“6.4 能源服务”章节，补充充换电设施、加氢站、换电站等能源补给相关要求，契合交通与能源融合发展的核心需求；三是新增“10 碳排放评价及管理”章节，明确全流程碳管理机制、年度评估及第三方评价要求，落实专家关于强化碳排放监测核算的要求；四是保持污废资源化处理、植被碳汇提升、能源智慧综合管控等核心系统的章节结构，优化条款逻辑衔接。修改后的框架遵循“场景化节能 - 多元化能源供给 - 资源循环利用 - 生态碳汇提升 - 智慧化管控 - 全流程评价”的零碳建设全链条逻辑，章节划分更清晰，技术要求更具实操性，能够全面覆盖新建、改扩建高速公路的零碳建设与运营管理需求，为标准落地实施提供更科学的结构支撑。

3.2.3 征求意见稿草案审查会

2026 年 3 月 11 日，会议纪要号：(2026) 第 97 期(征审)总 1937 期，专家审查意见：编写组总结了零碳高速建设相关实践经验，研究了运营期高速零碳建设关键技术，在调研论证基础上，提出了高速公路零碳建设技术建议，形成了征求意见稿草案。

征求意见稿草案结构合理，内容较全面，编制过程符合《中国交通运输协会团体标准管理办法》规定的程序和要求，文本格式基本符合 GB/T 1.1—2020 的要求。

修改建议：

- (1) 调整章节结构，删除 6、7、8、9 章，修改为“5 设计”“6 施工”“7 运维”；
- (2) 内容在设计、施工、运维下聚焦于应用场景和降碳系统。

审查结论：专家组同意通过征求意见稿草案审查，按照专家意见修改完善后尽快开展

下一阶段工作。

以上意见均落实，并修改形成征求意见稿。此次文件修订的核心是围绕场景化落地与工程阶段划分，对标准结构进行了重构性调整，并对技术内容进行了系统性的优化、细化和增强。主要修改体现在以下四个方面：

(1) 章节结构重构：从“系统维度”转向“生命周期阶段”

原标准的章节框架主要按照技术系统维度进行组织，如“节能系统”、“能源供给系统”、“污废资源化处理系统”等，并将“设计”、“施工”、“运维”等阶段性的要求穿插或置于其后。这种结构虽强调了技术要素，但弱化了工程建设的时序逻辑和管理流程，导致同一阶段（如设计阶段）的要求分散在不同章节，不利于使用者系统性地应用。

修改后的标准重构了框架，严格按照工程建设与管理的顺序进行组织，形成了“1 范围—2 规范性引用文件—3 术语和定义—4 总则—5 设计—6 施工—7 运维—8 评价”的清晰主线。具体调整如下：

删除与整合：完全删除了原标准中的“节能系统”、“能源供给系统”、“污废资源化处理系统”、“植被”、“能源智慧综合管控系统”、“碳排放评价及管理”等按系统划分的章节。

新建与归并：新建“5 设计”、“6 施工”、“7 运维”、“8 评价”四个核心章节。将原分散在各“系统”章节中的所有技术措施和管理要求，按其属性分别归并到这四个阶段章节中。例如，将原“节能系统”中关于服务区、隧道、收费站的具体节能设计条款，整合到“5.2 节能降碳”下对应的应用场景中。

(2) 技术内容聚焦：强化应用场景与降碳路径的针对性

在重构结构的基础上，新标准的内容组织更加聚焦于高速公路的具体应用场景和明确的降碳技术路径。

“设计”章节（第5章）按工程构成要素组织：改变了原标准按独立系统罗列的方式，在“5.2 节能降碳”中，直接针对路基、桥梁、隧道、服务区与收费站建筑、机电设施等高速公路核心构成部分，分别规定其节能降碳的设计要求。在“5.3 可再生能源利用”中，则按服务区与收费站、隧道、边坡与互通区等不同的空间场景，规定差异化的能源替代方案。这种写法使设计人员能够快速定位到具体工程部位的技术规范，实用性显著增强。

“施工”与“运维”章节独立成章，内容系统化：原标准中施工和运维的要求较

为零散或缺失。新标准专门设立“6 施工”和“7 运维”两章。

施工章围绕“低碳材料”、“低碳装备”、“低碳工艺”和“通则”展开，明确了建造过程中的具体减排要求，如使用清洁能源施工装备（6.3.1）、建立资源消耗台账（6.1.5）等，填补了原标准在施工过程系统性控制方面的空白。

运维章则细分为“运营节能”和“养护节能”，不仅涵盖日常运行的节能控制（如隧道通风智能管理 7.2.3），还纳入了预防性养护、低碳养护工艺与设备要求（7.3），形成了覆盖运营全过程的碳管控指南。

明确四大降碳维度，贯穿全文：在“4 总则”中，明确提出了“碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控”四个实施维度（4.2 条），这一核心框架如同一条主线，贯穿了设计、施工、运维各章节的具体条款。例如，“碳减排”对应节能设计、低碳工艺；“碳替代”对应可再生能源利用；“碳增汇”对应植被绿化；“碳管控”对应智慧能源系统。这使得标准的技术体系逻辑严密，目标清晰。

（3）核心框架与定义的明确与提升

术语定义更精准：新标准在“3.1 零碳高速公路”的定义中，明确为“运营阶段全年温室气体净排放量 ≤ 0 的高速公路”，并强调了通过“设计、施工、运维全生命周期”措施实现，定义更加精确且具有可衡量性。相比原定义，删除了部分解释性描述，更加简洁规范。

总则引领性更强：新标准“4 总则”在原则基础上，直接点明了四个降碳维度（4.2）和实现路径（4.3-4.6），起到了提纲挈领的作用，比原总则内容更为凝练和有力。

评价章节实质化：原“碳排放评价及管理”内容较为单薄。新标准“8 评价”章虽然篇幅简洁，但明确了评价阶段（运营期）、评价时机（稳定运营一年后）以及“评估-识别-改进”的闭环管理机制（8.3 条），可操作性和指导性更强。

（4）具体技术条款的优化、细化与更新

在继承原标准主要技术内容的基础上，新标准进行了大量优化：

内容整合与去重：将原分散内容系统归纳。如将原“能源智慧综合管控系统”的要求，合理拆分到“5.6 智慧能源管控系统”（设计）和“7.4 智慧能源管控系统”（运维）中，并增加了与高速公路其他机电系统协同（5.6.3）和数据安全（7.4.5）的要求。

要求更具体、可操作：大量条款增加了“应符合…（标准号）的规定”的表述，使技术要求有据可依。例如，在可再生能源利用、污废处理、材料利用等方面，均引用了

最新的国标、行标或团体标准。

吸纳新发展要求：在“5.3.7 服务区、收费站可再生能源利用”中，明确增加了“统筹布局电动重卡充换电站，配置兆瓦级大功率充电、换电…构建光储充一体化系统”以及加氢站的内容，积极响应了交通能源融合的新趋势。

综上，本次文件修改通过将结构从“系统并列”优化为“建设阶段时序”，使文件更符合工程实践和管理习惯；通过将内容聚焦于“应用场景”和“降碳路径”，使技术要求更具针对性和可操作性；通过明确核心框架和细化技术条款，显著增强了标准的系统性、严谨性和时代性。修改后的标准文本逻辑清晰、层次分明、便于使用，为零碳高速公路的建设提供了覆盖全过程的规范性技术指南。

4 制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

目前高速公路运营期碳排放主要集中在服务区、收费站、隧道等基础设施以及管理运营车辆的碳排放，运营阶段能耗大，碳排放量大，通过开展本标准，引导高速公路积极利用可再生能源优化用能结构，降低高速公路运营期能源消耗，强化高速公路植被碳汇，从而减少高速公路运营期碳排放，进而实现零碳目标。

本文件提供了零碳高速公路建设总则、设计、施工、运维和评价的技术建议。适用于零碳高速公路的新建和改扩建工程。

4.1 标准编制原则

本标准的编制遵循以下核心原则，确保其科学性、先进性和可实施性：

统一性原则：确保标准内部术语定义、技术框架和表述方式统一。明确以“零碳高速公路”为核心概念，构建覆盖“设计-施工-运维-评价”及“碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控”的统一技术体系。

协调性原则：确保本标准与国家“双碳”战略、交通强国建设等宏观政策相协调，与《公路法》《节约能源法》《可再生能源法》等上位法律法规精神一致，并与引用的数十项国家标准、行业标准在技术要求上无缝衔接。

适用性原则：标准内容紧密贴合我国高速公路建设与运营的实际，针对新建及改扩建工程，聚焦路基、桥梁、隧道、服务区、收费站等具体场景，提出差异化、可落地的技术措施，确保对不同地域、不同项目类型均具有指导价值。

一致性原则：标准的技术要求与现行有效的强制性国家标准（如 GB 55015、GB

50189) 及推荐性标准保持严格一致, 并在其基础上进行深化和拓展, 避免产生冲突或歧义。

规范性原则 : 标准的起草严格遵循 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, 确保文件结构、要素编排、条文表述符合标准化文件的通用规范。

目标性原则 : 始终以“实现高速公路运营阶段净零碳排放”为根本目标, 所有技术条款的设定均服务于提升能效、增加绿电、强化碳汇和智慧管控这一核心, 确保标准的导向清晰、目标明确。

4.2 确定技术要素的原则

标准中各项技术要素的确定主要依据以下原则:

目的性原则 : 每一项技术要素的提出均直接服务于降低碳排放或增强碳管理能力的特定目的。例如, 规定“隧道优先采用自然通风”(5.2.3c) 旨在降低运营能耗(碳减排); 要求“布设光储充一体化系统”(5.3.7b) 旨在提升清洁能源替代率(碳替代); 明确“选用乡土植物”(5.5.3) 旨在增强生态系统固碳能力(碳增汇)。

性能特性原则 : 在确保安全的前提下, 标准侧重于规定技术措施所需达到的最终性能或结果, 而非限定具体实现方法。例如, 要求“储能系统性能宜符合 GB/T 36558”(5.3.3), 而非指定储能类型; 规定“出水水质满足 GB/T 18920 要求”(5.4.2), 而非指定处理工艺。这为技术创新留出了空间。

可证实性原则 : 标准中提出的关键指标和要求均具备可检测、可测量、可报告、可核查(MRV)的特性。大量引用了现行国家标准中的测试方法、能效等级和性能规范(如 LED 灯具能效等级需满足 GB 37478 中 1 级要求), 确保各项要求的符合性可以通过客观方法进行验证和评价。

4.3 与现行法律、法规及强制性标准的关系

本标准在编制和实施过程中, 严格遵循并衔接了现行的法律法规和强制性标准:

与法律法规的关系 : 本标准全面贯彻了《中华人民共和国节约能源法》《中华人民共和国可再生能源法》《中华人民共和国环境保护法》等法律中关于推动节能减排、发展清洁能源、保护生态环境的基本要求, 是这些法律精神在高速公路基础设施建设领域的具体化和技术化体现。

与强制性标准的关系：本标准正文中强制性引用了多项强制性国家标准（如 GB 55015《建筑节能与可再生能源利用通用规范》、GB 50189《公共建筑节能设计标准》），其相关条款在本标准中具有同等强制效力。本标准的所有技术要求均不低于这些强制性标准的规定，并在其框架下，针对高速公路的特殊性进行了细化和补充。例如，在建筑节能设计上，不仅要求符合 GB 50189，还进一步引用了 GB/T 51350《近零能耗建筑技术标准》作为更高性能的引导。

4.4 与相关标准的对比及技术特点

与现有的国家标准、行业标准及团体标准相比，本标准在定位、范围和深度上具有显著的不同和创新：

填补系统性空白： 经查新，国内尚无一部系统覆盖高速公路全生命周期（设计、施工、运维、评价）和全路域场景（路基、桥隧、场区、边坡等）的零碳建设技术规范。现有标准如 JTG/T 2340《公路工程节能规范》主要聚焦能耗，T/CCTAS 106《高速公路零碳服务区建设技术指南》仅针对服务区单一场景。本标准首次进行了系统性整合，填补了该领域的标准空白。

在现有标准基础上的深化与提升：

相较于节能类标准： 本标准在 JTG/T 2340 等节能规范基础上，从单纯的“节能”拓展到“碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控”的综合性降碳路径，增加了可再生能源利用、碳汇提升、智慧能源管控等全新维度。

相较于单一技术标准： 对于光伏、充电设施等，本标准并未替代 GB/T 24716、GB/T 50966 等产品及工程标准，而是作为上层应用指南，重点解决这些技术在高速公路特殊环境下的集成应用问题。例如，明确光伏布置不得影响路基稳定和行车视距（5.3.9），充电设施布局需结合货运需求（5.3.7b），这是通用技术标准未曾涵盖的。

相较于其他团体标准： 本标准与 T/CCTAS 214《高速公路光伏发电工程建设指南》等标准形成互补关系。T/CCTAS 214 专注于光伏工程本身，而本标准将光伏作为“碳替代”的关键措施之一，纳入到更宏观的零碳体系中进行规划和管理，强调了其与储能、充电、智慧管控的协同。

核心技术创新点： 本标准的核心技术特点在于系统性整合与场景化落地。它并非简单堆砌技术，而是构建了一个以“零碳运营”为目标，以“四碳”维度为路径，以“全生命周期”为链条，以“智慧管控”为大脑的完整技术体系，并针对高速公路各类基础设施

的特点，给出了差异化的解决方案，实现了从理论框架到工程实践的贯通。。

5 主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

5.1 主要条款的说明

5.1.1 确定标准主要内容的论据

本标准主要技术内容的确定，并非基于单一的、首创的全新技术，而是基于成熟的科学原理、国家资源数据、行业最佳实践以及试点项目验证，对现有跨领域技术进行系统性集成、场景化适配与目标化提升。其论据如下：

(1) 理论依据：基于建筑物理、气候学与能源系统集成设计优化

建筑节能设计原理：标准中关于服务区、收费站等建筑“采用合理的体型系数和窗墙比”（5.2.4b）、“优化外围护结构热工性能”（5.2.4c）等要求，其理论基础是建筑热工学。体型系数直接影响建筑外围护结构的传热损失，窗墙比则需在自然采光得热与保温隔热间寻求平衡。标准引导设计遵循这些基本原理，以实现被动的、低成本的节能降碳。

GB/T 51350 中“适宜体型系数、窗墙比”的要求，通过简洁紧凑造型、合理窗墙比及冬夏适配的外立面设计，使建筑冬季热损失降低、夏季太阳辐射得热减少；考虑到建筑采暖与降温能耗占服务区能耗比重较大，节能降耗的关键核心是提高冬季保温与夏季隔热性能，但各个气候分区保温隔热需求不同，因此针对每个气候分区进行了要求的明确。GB 50352-2019《民用建筑设计统一标准》、GB 50189《公共建筑节能设计标准》里已经给出各个气候区分类划分标准及代表城市建筑热工设计分区。其中严寒 A 区与 B 区主要包括博克图、伊春、呼玛、海拉尔、满洲里、阿尔山、玛多、黑河、嫩江、海伦、齐齐哈尔、富锦、哈尔滨、牡丹江、大庆、安达、佳木斯、二连浩特、多伦、大柴旦、阿勒泰、那曲等城市；严寒 C 区主要包括长春、通化、延吉、通辽、四平、抚顺、阜新、沈阳、本溪、鞍山、呼和浩特、包头、鄂尔多斯、赤峰、额济纳旗、大同、乌鲁木齐、克拉玛依、酒泉、西宁、日喀则、甘孜、康定拖工程师；寒冷 A 区与 B 区主要包括丹东、大连、张家口、承德、唐山、青岛、洛阳、太原、阳泉、晋城、天水、榆林、延安、宝鸡、银川、平凉、兰州、喀什、伊宁、阿坝、拉萨、林芝、北京、天津、石家庄、保定、邢台、济南、德州、兖州、郑州、安阳、徐州、运城、西安、咸阳、吐鲁番、库尔勒、哈密等城市；夏热冬冷 A 区与 B 区主要包括南京、蚌埠、盐城、南通、合肥、安庆、九江、武汉、黄石、岳阳、汉中、安康、上海、杭州、宁波、温州、宜昌、长沙、南昌、株洲、永州、赣州、韶关、桂林、

重庆、达县、万州、涪陵、南充、宜宾、成都、遵义、凯里、绵阳、南平；夏热冬暖 A 区与 B 区主要包括福州、莆田、龙岩、梅州、兴宁、英德、河池、柳州、贺州、泉州、厦门、广州、深圳、湛江、汕头、南宁、北海、梧州、海口、三亚等城市；温和地区 A 区主要包括昆明、贵阳、丽江、会泽、腾冲、保山、大理、楚雄、曲靖、泸西、屏边、广南、兴义、独山等城市；温和地区 B 区主要包括瑞丽、耿马、临沧、澜沧、思茅、江城、蒙自等城市。

严寒地区及寒冷地区建筑在冬季主导风向上宜采取防风措施，提升冬季保温、防寒、防冻能力。

夏热冬冷地区及夏热冬暖地区在夏季主导风向上宜结合服务区流线与功能，采取措施促进自然通风，提升建筑夏季隔热能力。建筑南、东、西向宜采取遮阳措施。

温和地区结合建筑功能与美观要求，采取措施防雨、防潮、防雷击、防洪等，并加强自然通风与除湿。

GB/T 51350 的相关规定，建筑体形系数是指建筑外表面积和外表面积所包围的体积之比。体形系数越小，单位面积对应的外表面积越小，外围护结构的传热损失越少，从降低服务区能耗角度出发，应根据服务区建筑特点，尽量采用简洁紧凑的造型，将体形系数控制在适宜的水平上。建筑窗墙面积比既是影响建筑能耗的重要因素，也是提高建筑日照和自然采光的制约条件，玻璃幕墙、外窗和屋顶透光部分传热系数远大于非透明外墙，因此窗墙面积比越大，外窗在外墙面上所占的比例越大，冬季热损失也就越大，夏季得热也越多，不利于冬季保温、夏季隔热和节能降碳，但南向日照较为充足，有利于加大冬季太阳直接得热量，南向外窗不宜过小，因此在做服务区的零碳设计时，需要根据不同的朝向，采用不同的窗墙面积比，综合考虑保温隔热性能、太阳直接得热及遮阳，更有利于提高服务区整体节能效果。外围护结构是冬季散热与夏季得热的主要部位，因此选用适宜的材料和构造做法，采取措施使其达到最佳传热系数和外窗及透光幕墙太阳得热系数，确保外围护结构的保温隔热性能及气密性能，是降低能耗的关键。

气候适应性设计理论：标准强调“结合资源气候特点”（5.1.3）和“结合高速公路所在区域环境特征”（5.1.6）进行设计，其理论依据是气候适应性设计。我国幅员辽阔，气候差异巨大，严寒地区需强化保温防寒，夏热冬暖地区需注重遮阳通风。标准通过引用 GB 50189、GB 55015 等，明确了不同气候分区的差异化设计路径，这是实现高效节能的前提。

多能互补与源网荷储协同理论：标准提出“光伏为主、风电为辅、因地制宜、多

能互补”（5.3.1）和“构建微电网及智能调度”（5.3.3），其理论依据是现代能源系统集成优化理论。通过智慧能源管控系统（5.6, 7.4）实现分布式发电、储能、可变负荷的协同，旨在提升系统韧性、能源自给率和运行经济性，这是实现稳定、高效“碳替代”的关键。

（2）数据依据：基于国家气象与资源普查的量化支撑

太阳能与风能资源数据：标准倡导大规模利用路域空间发展光伏和风电，其根本依据是我国丰富的可再生能源资源禀赋。根据中国气象局数据，我国三分之二以上国土年日照时数大于 2000 小时，70 米高度年平均风功率密度达 193.1 W/m²。标准编制所参考的全国太阳能辐射总量分区表（I-IV 区）和风能资源分区表（丰富区-贫乏区），为国家层面权威统计数据，为“因地制宜”开发清洁能源提供了科学的、量化的决策依据，明确了不同地区技术路线的优先序。

各地区宜根据当地实际情况，逐步降低化石能源使用比例，提高可再生能源使用比例，采用电气化设备，实施自洽发电供给，通过太阳能、风能等可再生能源发电系统供能，降低碳排放。

据中国气象局太阳能资源中心统计，我国年均辐射量为 1492.6 kWh/m²，国土面积的三分之二以上地区总日照时数大于 2000 小时。中国陆地面积每年接收的太阳辐射相当于 2496 亿吨标准煤的储量。然而，我国不同地区太阳能资源分布具有差异性，根据国家气象局风能太阳能评估中心划分标准，我国太阳能资源地区主要划分为四类地区，其地区省份与年均辐射量数据如表 1 所示。结合高速公路网分布，很丰富带和较丰富带地区是公路光伏资源潜力的主要分布地区。服务区位置分散、面积较大，适合布设分布式光伏发电系统和太阳热能利用设施。

表 1 全国太阳辐射总量等级和区域分布

名称	年总辐射量(MJ/m ²)	年平均辐射量(KWh/m ²)	平均日辐射量(KWh/m ²)	占国土面积 (%)	主要地区
最丰富带(I)	>6300	>1750	>4.8	约 22.8	内蒙古额济纳旗以西、甘肃酒泉以西、青海 100°E 以西大部分地区、西藏 94°E 以西大部分地区、新疆东部边缘地区、四川甘孜部分地区
很丰富带(II)	5040-6300	1400-1750	3.8-4.8	约 44.0	新疆大部、内蒙古额济纳旗以东大部、黑龙江西部、吉林西部、辽宁西部、河北大部、北京、天津、山东东部、山西大

名称	年总辐射量(MJ/m ²)	年平均辐射量(KWh/m ²)	平均日辐射量(KWh/m ²)	占国土面积(%)	主要地区
					部、陕西北部、宁夏、甘肃酒泉以东大部、青海东部边缘、西藏 94%以东、四川中西部、云南大部、海南
较丰富带(III)	3780-5040	1050-1400	2.9-3.8	约 29.8	内蒙古 50%以北、黑龙江大部、吉林中东部、辽宁中东部、山东中西部、山西南部、陕西中南部、甘肃东部边缘、四川中部、云南东部边缘、贵州南部、湖南大部、湖北大部、广西、广东、福建、江西、浙江、安徽、江苏、河南
一般(IV)	<3780	<1050	<2.9	约 3.3	四川东部、重庆大部、贵州中北部、湖北 110% 以西、湖南西北部

我国有较丰富的风能资源。根据全国气象台部分风能资料的统计和计算，我国风能分区及占全国面积的百分比见表 2，处于风能资源良好地区的服务区可结合实际用能需求和场地建设条件，优先考虑风能发电或风光互补发电技术。

表 2 我国风能分区及占全国面积的百分比

指标	丰富区	较丰富区	可利用区	贫乏区
年有效风能密度(W/m)	≥200	200~500	150~50	≤50
风速≥3m/s的年小时数(h)	≥5000	5000~4000	4000~2000	≤2000
占全国面积(%)	8	18	50	24

根据中国气象局 2022 年统计数据，全国 70 米高度年平均风速为 5.4m/s，年平均风功率密度 193.1w/m²，尤其是东北地区东部、内蒙古中东部、新疆北部和东部、甘肃西部和北部、青藏高原大部等地高空 70 米风力发电机常用安装高度的风能资源较好，有利于风力发电。因此在我国风力资源丰富区域的服务区设置小型风力发电系统不仅能够更有效地利用可再生风能能源，而且可与太阳能光伏发电系统形成互补。

碳排放与减排潜力数据：标准提出零碳目标的信心，部分来源于试点项目的量化减排效果。如济南东服务区年减碳超 3400 吨、济青中线济潍段预测 20 年减排 152 万吨等数据，是基于实际项目运行或全生命周期评估（LCA）模型测算得出。这些数据样本证实了集成应用本标准所涵盖技术措施所能带来的显著碳减排效益，为标准的推广价值提供了关键数据支撑。

（3）实践依据：源于成熟工程技术与先行示范项目的验证

成熟技术的大规模工程应用：标准中绝大部分单项技术，如温拌沥青、路面再生（5.2.1c）、装配式桥梁（5.2.2a）、LED 智能照明（5.2.3a）、污水回用（5.4.2）、光伏发电等，均已在公路、建筑、市政等领域得到长期、广泛、成熟的应用。其技术可靠性、经济性和安全性已在海量工程实践中得到反复验证。本标准的作用是将这些“散点”技术，按照零碳目标系统性地组装到高速公路这一特定载体上。

高速公路作为线性基础设施，其沿线空间资源（边坡、服务区、隧道洞口）是可再生能源开发的重要载体，统筹规划可实现土地资源、建设成本的优化配置。

先行示范项目的成功经验：标准中“光储充一体化”（5.3.7b）、边坡光伏（5.3.9）、隧道洞口风光互补（5.3.8a）等集成场景要求，直接汲取了如山东济南东服务区、探沂服务区等早期零碳示范项目的建设运营经验。这些项目验证了在高速公路特殊环境下（如行车安全、路基稳定、景观协调）集成应用新能源技术的可行性、安全性和运维模式，为标准条款的制定提供了宝贵的“实战”反馈。

（4）政策与标准协调依据：对接国家战略与现行标准体系

国家“双碳”战略的细化落实：《2030年前碳达峰行动方案》等国家政策明确要求开展“交通运输绿色低碳行动”。本标准正是将此宏观战略，转化为高速公路基础设施层面具体、可操作的技术路径和管理要求，是对国家政策的直接响应和细化支撑。

对现行标准体系的集成与提升：本标准是建立在庞大的现行标准体系之上。它通过规范性引用（第2章）和条款衔接，将GB、JTG、T/CCTAS等系列标准中与节能、环保、可再生能源、电气化等相关的要求，全部纳入“零碳高速公路”的统一框架下进行统筹和强化，实现了从“符合性”建设到“目标导向性”（净零碳排放）建设的提升。

5.1.2 标准中通用内容的编写要求

标准名称：本标准名称确定为《零碳高速公路建设技术指南》。与以往侧重于“运营期”或单一场景的表述相比，此名称更全面地涵盖了“建设”所包含的设计、施工、运维全过程，准确反映了标准全域、全周期的定位。修改过程删除了草案中可能产生局限的限定词，使名称更具包容性和指导性。

标准架构：本标准结构经历了重大优化，从草案按“节能系统”、“能源供给系统”等技术维度分章的结构，调整为严格按照工程建设与管理流程组织的“设计—施工—运维—评价”主线结构（对应第5、6、7、8章）。此架构更符合工程项目管理和技术人员的使用。

用习惯，使读者能够清晰、便捷地按阶段查找和执行相关技术要求，大幅提升了标准的实用性和可读性。

范围：本标准在“1 范围”中明确“适用于零碳高速公路的新建和改扩建工程”。此界定覆盖了高速公路主要的建设类型。将“改扩建”工程明确纳入适用范围，是基于我国路网进入提质升级阶段的现状，强调了在既有道路改造中应用零碳技术的重要性和可行性，这是本标准实用性的关键体现。

术语和定义：

3.1 零碳高速公路：本标准对核心术语“零碳高速公路”进行了明确定义，即“运营阶段全年温室气体净排放量 ≤ 0 的高速公路”。此定义有两点关键考量：一是将评价边界明确为“运营阶段”，这与国际通行的运营控制排放核算边界接轨，并使评价目标清晰可衡量；二是明确“净排放量 ≤ 0 ”这一量化目标，而非描述性定义，确保了标准的科学性和严肃性。该定义是对“双碳”目标在高速公路领域的具体诠释，填补了行业空白。

其他术语如“智慧能源管控系统”等，其内涵已在本标准相关章节（5.6，7.4）的操作性描述中充分体现，为避免重复且遵循标准编写规范，未在第三章单独列出定义。

5.2 主要技术指标、参数、实验验证的论述

本标准属于技术标准，其技术指标、参数和要求主要来源于对现行有效标准的引用、集成以及基于工程实践的优化，而非自行创设全新的、未经验证的指标。

建筑节能应结合气候分区（贯穿 5.2.4 等）

数据依据：中国气象局长期观测数据形成的建筑热工设计分区（严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖、温和地区）及代表城市列表。理论依据：不同气候区热工需求差异的传热学原理。

该分区是国家标准 GB 50189、GB 50352 的依据，历经长期工程实践检验，是保证建筑节能设计科学性和经济性的根本前提。依据此分区进行差异化设计，是避免“一刀切”、实现精准降耗的核心。

可再生能源“因地制宜”布局（5.3.1, 5.3.5）

数据依据：1. 太阳能：全国太阳辐射总量等级和区域分布表（I-IV 区），明确给出了不同区域的年总辐射量范围（ MJ/m^2 ）及占国土面积比例。2. 风能：我国风能分区及占比表，明确了丰富区、较丰富区、可利用区、贫乏区的风速和风功率密度阈值及地理分布。

本标准中所有具体的技术指标、性能参数和试验方法，均通过规范性引用或直接指向现行标准的方式予以明确，其科学性和合理性由所引用的标准保障。具体来源如下表 2 所示：

表 3 本标准技术指标与参数的来源与依据

本标准涉及的技术领域	本标准中的要求方式	引用的标准依据	指标/参数的合理性判定依据
照明能效	隧道 LED 灯具能效等级宜满足 1 级要求 (5.2.3a)	GB 37478《道路和隧道照明用 LED 灯具能效限定值及能效等级》	直接引用强制性国家标准的最高能效等级，鼓励采用行业最先进节能产品。
建筑节能	建筑节能设计应符合 GB 50189 与 GB 55015 的规定 (5.2.4a)	GB 50189《公共建筑节能设计标准》、GB 55015《建筑节能与可再生能源利用通用规范》	强制性引用现行建筑节能领域的核心强制性国标，确保底线要求。
建筑节能	外围护结构热工性能措施符合 GB/T 51350 相关要求 (5.2.4c)	GB/T 51350《近零能耗建筑技术标准》	引用更高性能的推荐性国标，引导超越基本节能水平，向近零能耗迈进。
光伏发电	光伏发电系统设计应符合 GB/T 24716、T/CCTAS 214 的规定 (5.3.4)	GB/T 24716《公路沿线设施太阳能供电系统通用技术规范》、T/CCTAS 214《高速公路光伏发电工程建设指南》	引用针对公路场景的专项国标和团标，确保光伏工程在高速公路环境下的安全、可靠及兼容性。
储能系统	储能系统性能宜符合 GB/T 36558 的规定 (5.3.3)	GB/T 36558《电力系统电化学储能系统通用技术条件》	引用储能系统通用技术国标，确保关键设备的安全与性能。
污水回用	出水水质满足 GB/T 18920 要求 (5.4.2)	GB/T 18920《城市污水再生利用 城市杂用水水质》	引用再生水水质国标，明确资源化利用的准入门槛，保障用水安全。
工程材料再生	旧路面材料再生利用符合 JTG/T 5521 (5.2.1c)	JTG/T 5521《公路沥青路面再生技术规范》	引用行业标准，确保再生技术的工程质量和环境效益。
隧道照明控制	调光策略应符合 JTG/T D70/2-01 的要求(5.2.3b)	JTG/T D70/2-01《公路隧道照明设计细则》	引用行业设计细则，确保智能照明在满足安全前提下实现节能。
谐波控制	电压总谐波畸变率符合 JTG/T 2340 规定 (5.2.5c)	JTG/T 2340《公路工程节能规范》	引用行业节能规范，保障供电质量，避免谐波污染导致能效降低和设备损坏。

通过上表可见，本标准中所有具体技术指标和参数均源自现行国家标准、行业标准或经广泛认可的团体标准。起草组的主要工作在于甄选、集成并场景化应用这些成熟可靠的技术要求，将其系统性地部署于高速公路零碳建设的各个场景和阶段。这种编制方式确保了本标准技术内容的权威性、协调性和立即可操作性，避免了因自行设定指标而可能带来的争议或验证不充分的问题。各项指标的合理性、先进性及适用性已由其引用的源标准

予以保障，并在长期的工程实践或产品认证中得到了验证。

本标准与 JTG/T 2340《公路工程节能规范》等侧重单一维度（节能）的标准相比：本标准在继承其节能技术要求的基础上，将视野扩展至“碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控”四大维度，实现了从“节能”到“综合降碳”的跨越，技术体系更为全面和先进。

本标准与 T/CCTAS 106《高速公路零碳服务区建设技术指南》等针对单一场景的标准相比：本标准将适用范围从“服务区”拓展至包含路基、桥梁、隧道、边坡、互通区、收费站等在内的全路段，并覆盖设计、施工、运维全生命周期，实现了从“点”到“线”再到“体”的系统性升级，指导范围和应用价值显著提升。

本标准与各类分散的可再生能源、电动汽车充电设施等产品及应用标准相比：本标准并非重复或替代这些标准，而是扮演了“系统集成”和“场景适配”的角色。解决了如何在高速公路复杂环境下，安全、协调、高效地综合应用这些技术，并实现智慧化管控这一更高层次的问题，实现了从单项技术到整体零碳解决方案。

6 重大分歧的处理依据和结果

无重大意见分歧。

7 采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

7.1 采标程度说明

在编制过程中，未直接采用（非等效、修改或等同采用）任何现行的国际标准（如 ISO、IEC 标准）或国外先进标准（如 EN、ASTM、JIS 等）。本标准的所有技术内容，均基于我国国家“双碳”战略目标、交通运输行业绿色低碳发展需求，以及国内在高速公路节能降碳、可再生能源应用、智慧管控等领域已积累的成熟技术、工程实践和现行标准。标准中规范性引用的文件（见第 2 章）全部为中国国家标准（GB）、国家标准化指导性技术文件（GB/Z）、交通运输行业标准（JTG/T）及中国交通运输协会团体标准（T/CCTAS）。这确保了本标准在技术法规体系上的自主性与适用性，完全符合中国法律法规、政策导向和工程建设实际。

7.2 与国内外同类标准水平的对比情况

本标准的制定广泛参考和吸收了国际可持续基础设施发展的先进理念，并与国内外相

关标准在定位、范围和深度上进行了对比分析，其综合水平处于领先地位。

(1) 与国内现有相关标准的对比

与 JTG/T 2340《公路工程节能规范》等对比：国内现有公路工程标准多侧重于单一维度，如 JTG/T 2340 主要关注“节能”，JTG/T 2321 关注“建筑垃圾利用”。本标准实现了系统性跨越，首次构建了覆盖高速公路“设计-施工-运维-评价”全生命周期，并整合“碳减排、碳替代、碳增汇、碳管控”四大维度的综合性技术体系。在广度上，它涵盖了从路基、桥隧到能源、管控的所有环节；在深度上，它提出了实现“运营净零碳排放”的具体路径和量化导向，是对现有节能、环保类标准的整合、深化与目标化提升。

与 T/CCTAS 106《高速公路零碳服务区建设技术指南》等对比：现有部分团体标准已开始探索零碳场景，但多局限于“服务区”等单一节点。本标准将适用范围拓展至包含路基、桥梁、隧道、边坡、互通区、收费站等在内的全线域，并首次系统性地规定了施工阶段的低碳要求，填补了从“点”（服务区）到“线”（整条高速公路）再到“全过程”（含施工）的标准空白，指导范围和应用价值显著扩大。

(2) 与国外相关标准或体系的对比

与 ISO 14000 环境管理体系系列标准对比：ISO 14001 等标准提供了通用的环境管理框架，但并非针对交通基础设施的建设技术。本标准可视为在高速公路特定领域，对“生命周期评价”、“持续改进”等 ISO 核心理念的具体化、技术化落地，提供了可直接用于工程设计、施工和运营的详细技术方案与管理要求，操作性更强。

与 EN 15643（建筑可持续性评估）等系列标准对比：欧洲标准体系在建筑可持续性评估方面较为完善，但其评估框架（如 Level(s)）主要针对单体建筑。本标准针对线性交通基础设施，创新性地提出了适应其特点的碳减排与碳抵消技术集成方案，特别是在利用路域空间（边坡、互通区）进行分布式能源开发、构建“光储充”一体化微电网等方面，体现了与中国基础设施规模和应用场景紧密结合的特色创新。

与国际绿色公路评价体系（如 Greenroads, INVEST）对比：美国的 Greenroads、INVEST 等评级体系提供了可持续交通项目的评分工具，涵盖环境、社会等多方面。本标准与之相比，聚焦性更强，核心目标明确指向“零碳”，所有技术条款均服务于碳减排与碳中和，并形成了强制性与引导性相结合、覆盖全过程的规范性技术指南，而非选择性评分清单，对于指导具体工程建设具有更直接的约束力和可操作性。

综上本标准是一部立足国情、面向行业急需、具有鲜明特色的标准。其理念与国际

可持续发展前沿接轨，其技术内容集成了国内最新实践成果，并在系统性、完整性和场景针对性方面，填补了国内外在“零碳高速公路”建设技术规范领域的空白，本标准的制定与实施，可为全球交通基础设施的低碳化、零碳化建设提供重要的“中国实践”与“中国方案”。

8 贯彻标准的措施建议

8.1 组织、技术与过渡措施

8.1.1 组织措施

明确责任主体：建议高速公路项目建设单位（业主）牵头，在项目立项和设计阶段即成立零碳专项工作小组，统筹协调设计、施工、运维及后续评价各单位，确保标准要求在全生命周期各环节得到有效传递与落实。

纳入管理流程：建议行业主管部门及项目业主将本标准的核心要求纳入高速公路工程可行性研究、初步设计审查、招标文件编制、施工图审查、交（竣）工验收及运营考核等关键管理流程，形成制度约束。

建立协同机制：推动设计、施工、运维单位的早期介入与协同。设计方应依据本标准（第5章）完成零碳专项设计；施工方应据此编制低碳施工组织方案（第6章）；运维方应提前参与，共同制定智慧管控与运维策略（第7章），实现无缝衔接。

8.1.2 技术措施

编制配套技术文件：建议基于本标准，组织编制更具体的设计导则、施工工法、运维操作规程及计算工具（如碳排放预测与核算工具），将原则性要求转化为可量化、可操作的技术指引。

加强技术咨询与支撑：鼓励组建由行业专家、高校及研究机构组成的专家库，为项目在关键技术路线选择（如可再生能源配置方案、智慧系统架构）、创新技术应用等方面提供咨询与评审服务。

推动试点与示范：在全面推广前，选取不同地域、不同特点的项目开展深入示范。通过示范工程验证和完善技术体系，总结可复制的技术包、成本数据和商业模式，形成典型案例库。

8.1.3 过渡办法

分类分步实施：对于新建项目，建议自本标准发布后新立项或进入设计阶段的项

目全面执行。对于已开展设计但未施工的项目，建议进行设计复核与优化，力争采纳本标准的关键条款。对于改扩建及养护工程，可参照本标准相关条款（如 5.2.1c,d， 5.4.6， 7.3），优先采用低碳技术和材料。

设置合理适应期：考虑到产业链配套和认知提升需要过程，建议在标准发布后设置 6-12 个月的宣传推广与准备期，期间鼓励企业主动对标，逐步调整技术与采购策略。

8.2 培训、推广与效果评估建议

标准培训工作

培训应覆盖行业管理人员、项目业主、设计、施工、监理、运维单位的负责人与技术骨干。对管理人员，重点培训标准体系、政策与碳管理要求（第 4、7.1、8 章）；对技术人员，重点培训设计（第 5 章）、施工（第 6 章）、运维（第 7 章）的具体条款和技术要点。通过组织专题培训班、技术交流会、线上公开课、现场观摩会等多种形式开展培训，并将本标准纳入相关执业资格继续教育和单位内部培训体系。

标准贯彻效果检查与评估

建议在项目设计审查、施工监理和交工验收环节，增设对标准中关键技术条款（如可再生能源系统配置、低碳材料应用、智慧系统建设等）执行情况的专项检查。

推动建立与第 8 章“评价”相衔接的第三方评价或认证机制。在项目运营稳定后，定期依据标准开展碳排放和零碳成效评估，并将评价结果向社会公开或用于行业管理，形成“建设-运营-评估-改进”的闭环。

建立标准实施反馈渠道，收集各相关方在应用本标准过程中遇到的问题和建议，为标准后续的修订和完善提供实践依据。

9 其他应说明的事项

9.1 涉及专利等应说明的事项

无。

9.2 变更信息

无。