



T/CECS G:XXX-XX—202X

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

高速公路低碳运营管理技术指南

Technical Guide for Low-Carbon Operation and Management of
Expressways

（征求意见稿）

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

高速公路低碳运营管理技术指南

Technical Guide for Low-Carbon Operation and Management of
Expressways

T/CECS G:XXX-XX—202X

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 基本规定	6
4 运营阶段碳排放核算	7
4.1 一般规定	7
4.2 碳源核算边界	7
4.3 碳排放核算	8
5 高速公路路域碳汇量计算	10
5.1 一般规定	10
5.2 碳储量计算	10
5.3 碳汇量计算	11
6 运营降碳技术	13
6.1 一般规定	13
6.2 能源供给低碳化	13
6.3 设施设备低碳运行	14
6.4 智慧管控	15
7 高速公路固碳能力提升	16
7.1 一般规定	16
7.2 植物固碳	16
7.3 土壤固碳	16
8 高速公路绿化增汇调控	18
8.1 一般规定	18
8.2 幼林抚育管理	18
8.3 补种补植修复	18
8.4 植物绿色养护	19
附录 A 电力二氧化碳排放因子	20
附录 B 相关参数缺省值	22
附录 C 碳汇计算参数参考表	24
附录 D 全国主要苗木树种单株年均固碳量参考表	25
附录 E 高速公路路域绿化的增汇调控技术参考表	28

1 总则

1.0.1 为规范和指导高速公路运营阶段的碳排放核算、碳汇量计算、低碳运营管理及固碳增汇能力提升，降低温室气体排放，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于高速公路运营阶段的碳排放核算、降碳技术与增汇管理。养护作业产生的碳排放不纳入本指南。

1.0.3 高速公路低碳运营管理应遵循系统谋划、技术可行、经济适用、安全优先的原则，统筹考虑节能降碳、运营效率、通行安全和路域生态。

1.0.4 高速公路低碳运营管理应积极稳妥地采用新技术、新工艺、新材料、新装备。

1.0.5 高速公路运营阶段的低碳运营管理除应符合本指南的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 高速公路运营碳排放 carbon emission during operation of expressway

高速公路运营阶段，外场机电设施、隧道机电设施、附属设施及内部管理车辆因能源消耗等活动直接或间接产生的温室气体排放。

注：不包括高速公路来往通行车辆的碳排放。

2.1.2 碳排放核算 carbon emission accounting

依据活动数据与碳排放因子，对特定时期内温室气体排放量进行量化计算的过程。

2.1.3 碳排放因子 carbon emission factor

能源消耗量与二氧化碳排放相对应的系数，用于量化高速公路运营期相关活动的碳排放。

2.1.4 低碳运营 low-carbon operation

以降低温室气体排放为目标，通过能效提升、清洁能源替代、可再生能源应用及智能调控等技术手段实现的高速公路运营方式。

2.1.5 直接碳排放 direct carbon emission

化石燃料在氧化燃烧过程中产生的二氧化碳排放。

2.1.6 间接碳排放 indirect carbon emission

高速公路运营过程中消耗净购入电力和热力所对应的生产环节产生的二氧化碳排放。

2.1.7 活动数据 activity data

导致温室气体排放的生产或消费活动量的表征值。

注：如各种化石燃料的消耗量、原材料的使用量、购入的电量、购入的热量等。

2.1.8 碳氧化率 carbon oxidation rate

燃料中的碳在燃烧过程中被完全气化的百分比。

2.1.9 植物固碳 plant carbon sequestration

指植物通过光合作用，将二氧化碳和水转化成有机物质，例如葡萄糖和淀粉等。

2.1.10 土壤固碳 soil carbon sequestration

为大气二氧化碳以稳定固体的形式被直接或间接储存到土壤中，包括直接将二氧化碳转化为钙或碳酸镁之类的土壤无机物，或间接通过植物光合作用将大气二氧化碳转化为植物能量，并在分解过程中被固定为土壤有机碳。

2.1.11 高速公路绿化增汇调控 highway greening carbon sink enhancement

通过在高速公路两侧种植植被，增加土壤固碳能力和水文保持能力，减少水土流失和水质污染，提高高速公路周边生态环境质量。

2.1.12 幼林抚育管理 young forest management

对年幼的树木进行管理和培育，以保证它们生长健康并最终成为成熟的树木。这种管理涉及到许多方面，包括土壤管理、水分管理、光照管理、病虫害防治等。

2.1.13 补种补植修复 replanting and restoration

在植物生长过程中，对于生长不良或受到损伤的植株进行再次种植或修复，以达到恢复生长和生产能力的目的。

2.1.14 高速公路修枝 highway pruning

对高速公路两侧的树木进行修剪和造型，以保持高速公路的安全和美观。

2.1.15 碳储量 carbon stock

是指生态系统中碳元素的储备量（或质量）。主要包括树木、草本植物、掉落物和土壤有机质中的碳。

2.1.16 生物量 biomass

以干重表示的所有活体植物的重量，可分为乔木层（包括干、桩、枝、皮、种子、叶）和下木层（灌木、草本和幼树）。

2.2 符号

2.2.1 碳排放核算

E_T ——高速公路运营阶段年总碳排放量（ tCO_2e ）；

E_f ——化石燃料消耗产生的年总碳排放量（ tCO_2e ）；

E_e ——净购入电力消耗产生的年总碳排放量（ tCO_2e ）；

E_h ——净购入热力消耗年总碳排放量（ tCO_2e ）；

q_i ——第 i 种设备的数量（台），高速公路主线运营期消耗电力的设备主要包括道路机电的通信、监控、收费系统及隧道照明、通风、监控、供配电及火灾报警系统等。附属设施运营期消耗电力的设备主要包括服务区、管理养护区、收费站、加油站、管理中心等房屋建筑的暖通、空调、照明、通风、生活热水及电梯等；

P_i ——第 i 类设备的额定功率（kW）；

$T_{day,i}$ ——第 i 类设备平均日运行时间（h/d）；

$D_{year,i}$ ——第 i 类设备年运行天数（d/a）；

EF_e ——电力碳排放因子（ $kgCO_2e/kWh$ ），应采用国家最新发布的区域电网平均碳排放因子；

FC_j ——第 j 类化石燃料的消耗量，固体或液体燃料单位为吨（t），气体燃料单位为万标准立方米（ $104Nm^3$ ）；

NCV_j ——第 j 种化石燃料的收到基低位发热量，固体或液体燃料单位为吉焦/吨（GJ/t），气体燃料单位为吉焦/万标准立方米（GJ/ $104Nm^3$ ）；

CC_j ——第 j 种化石燃料单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦（tC/GJ）；

$44/12$ ——二氧化碳与碳的相对分子质量之比；

j ——化石燃料种类号。

A_h ——净购入热力的年总消耗量（GJ）；

EF_h ——热力碳排放因子（tCO₂e/GJ）。

2.2.2 路域碳汇量计算

$C_{i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 植被碳储量（tC）；

$C_{\text{Carbor},i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 乔木层植被碳储量（tC）；

$C_{\text{Shrub},i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 灌木层植被碳储量（tC）；

$C_{\text{herb},i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 草本层植被碳储量（tC）；

$C_{\text{total},t}$ ——项目运营到第 t 年，项目植被碳储量（tC）；

$C_{\text{total},0}$ ——项目开始运营时，项目植被碳储量（tC）；

ΔC_t ——项目运营到第 t 年，项目碳汇量（tCO₂·a⁻¹）；

$\Delta C_{\text{veg},t}$ ——项目运营到第 t 年，项目植被碳汇量（tCO₂·a⁻¹）；

$\Delta C_{\text{soil},i,t}$ ——项目运营到第 t 年，项目土壤碳汇量（tCO₂·a⁻¹）。

$N_{i,j,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 乔木植物 j 的数量（株）；

$A_{i,j,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 灌木或草本植物 j 的面积（m²）；

$A_{i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 的面积（m²）；

$B_{i,j,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 乔木、灌木或草本植物 j 单株或单位面积生物量（tC·株⁻¹ 或 tC·m⁻²）；

CF_j ——乔木、灌木、草本植物 j 的含碳率。

$\Delta \text{SOC}_{i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 土壤有机碳密度年变化量（tC·a⁻¹·m⁻²）

t ——项目运营年数（a）；

i ——样地编号；

j ——乔木、灌木、草本植物种类。

3 基本规定

3.1.1 高速公路低碳运营管理应通过碳排放核算、碳汇量计算、低碳运营管理及固碳增汇能力提升，降低运营阶段温室气体排放。

3.1.2 高速公路低碳运营管理应包括下列内容：

- 1 运营阶段碳排放核算；
- 2 路域碳汇量计算；
- 3 运营降碳技术；
- 4 固碳能力提升；
- 5 绿化增汇调控。

3.1.3 运营阶段碳排放核算应区分化石燃料燃烧产生的直接排放和外购电力、外购热力产生的间接排放。

3.1.4 高速公路低碳运营管理应遵循科学合理、技术可行、经济适用的原则，统筹兼顾节能降碳、运营效率、通行安全和路域生态。

4 运营阶段碳排放核算

4.1 一般规定

4.1.1 高速公路运营阶段碳排放包括通车运营后维持公路通信、监控、收费、照明、通风、服务设施正常运行的机电及电气设备等用能活动，可划分为主线运行碳排放和附属设施运行碳排放。

4.1.2 碳排放核算应符合下列要求：

- 1 宜分类统计主要用能设备的能源消耗量。
- 2 采用光伏发电等可再生能源系统时，其发电量可用于抵消运营阶段碳排放。

4.1.3 运营阶段活动数据宜通过运营能耗监测系统或能源消耗台账等方式获取照明、通风、热力、动力等能源的年度消耗量，并符合下列要求：

- 1 按电、柴油、汽油、天然气和可再生能源等种类进行分类统计用能量。
- 2 当相关数据无法获取时，可依据施工图设计文件获取装机类型、数量、功率，结合同类项目经验数据获得设备运行时间，估算各类能源年平均用量。

4.1.4 碳排放计算宜采用排放因子法，其碳排放应为工程活动数据与相应的碳排放因子的乘积。

4.2 碳源核算边界

4.2.1 碳排放量核算范围包括高速公路自身运营产生的直接排放和间接排放，不包括高速公路过往车辆加油、充电等产生的碳排放。

4.2.2 高速公路碳排放的核算应包括高速公路运营阶段能源消耗产生的二氧化碳排放量和可再生能源利用、高速公路碳汇的碳减排量。

4.2.3 运营阶段碳排放核算宜以一个完整的自然年为时间单位，计算高速公路运营阶段每年碳排放的总量。

4.2.4 主线运营阶段碳排放应包括下列排放源：

- 1 通信、监控、收费系统的主要用能设备在运行期间消耗的电能。
- 2 隧道照明、通风、监控、供配电及火灾报警系统的主要用能设备在运行期间消耗的电能。

4.2.5 附属设施运营阶段碳排放应包括下列排放源：

- 1 服务区、管理养护区、收费站、加油站、管理中心等房屋建筑的暖通、空调、照明、通风、生活热水及电梯等用能系统消耗的电能，其碳排放计算应符合《建筑碳排放计算标准》（GB/T 51366）的相关要求。
- 2 附属设施区域内运营管理车辆及设备消耗的汽油、柴油等燃料。
- 3 外场照明及环境保护设施的主要用能设备消耗的电能。

4.2.6 下列排放源不应纳入运营阶段碳排放核算：

- 1 养护工程作业产生的碳排放。
- 2 通行客货车辆产生的碳排放。
- 3 运营管理人员工作与生活产生的碳排放。

4.3 碳排放核算

4.3.1 高速公路运营期碳排放总量应包括化石燃料燃烧产生的直接碳排放和净购入电力、热力生产过程的间接碳排放，按式（4.3.1）计算：

$$E_T = E_e + E_f + E_h \quad (4.3.1)$$

式中： E_T ——高速公路运营阶段年总碳排放量（ tCO_2e ）；

E_f ——化石燃料消耗产生的年总碳排放量（ tCO_2e ）；

E_e ——净购入电力消耗产生的年总碳排放量（ tCO_2e ）；

E_h ——净购入热力消耗年总碳排放量（ tCO_2e ）。

4.3.2 净购入电力产生的碳排放量应按式（4.3.2）计算：

$$E_e = \sum_{i=1}^n (q_i \times P_i \times T_{day,i} \times D_{year,i}) \times EF_e \times \frac{1}{1000} \quad (4.3.2)$$

式中： i ——第 i 类耗能设备类型；

q_i ——第 i 种设备的数量（台），高速公路主线运营期消耗电力的设备主要包括道路机电的通信、监控、收费系统及隧道照明、通风、监控、供配电及火灾报警系统等。附属设施运营期消耗电力的设备主要包括服务区、管理养护区、收费站、加油站、管理中心等房屋建筑的暖通、空调、照明、通风、生活热水及电梯等。

P_i ——第 i 类设备的功率（kW）；

$T_{day,i}$ ——第 i 类设备平均日运行时间（h/d）；

$D_{year,i}$ ——第 i 类设备年运行天数（d/a）；

EF_e ——电力碳排放因子（ $kgCO_2e/kWh$ ），应采用国家最新发布的区域电网平均碳排放因子，参考值见附录A。

4.3.3 高速公路运营期化石燃料消耗产生的碳排放量应按式（4.3.3）计算：

$$E_f = \sum_{j=1}^m (FC_j \times NCV_j \times CC_j \times OF_j \times \frac{44}{12}) \quad (4.3.3)$$

式中： FC_j ——第 j 类化石燃料的消耗量，固体或液体燃料单位为吨（t），气体燃料单位为万标准立方米（ 10^4Nm^3 ）；

NCV_j ——第 j 种化石燃料的收到基低位发热量，固体或液体燃料单位为吉焦/吨（GJ/t），气体燃料单位为吉焦/万标准立方米（GJ/ 10^4Nm^3 ）；

CC_j ——第 j 种化石燃料单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦（tC/GJ）；

44/12——二氧化碳与碳的相对分子质量之比；

j ——化石燃料种类号。

4.3.4 高速公路运营期净购入热力消耗碳排放量按式（4.3.4）计算：

$$E_h = \sum A_h \times EF_h \quad (4.3.4)$$

式中： A_h ——净购入热力的年总消耗量（GJ）；

EF_h ——热力碳排放因子（tCO₂e/GJ），参考附录B。

5 高速公路路域碳汇量计算

5.1 一般规定

5.1.1 高速公路路域碳汇量应包括植被碳汇量和土壤碳汇量。

5.1.2 碳汇计入期应为项目运营期。

5.1.3 碳汇计算边界应为高速公路路域红线内的植被生长区。

5.1.4 碳汇计算公式中参数获取应按照以下优先顺序：

- 1 项目样地清查法获取的实测值；
- 2 本地研究发布的参数；
- 3 国家或行业标准推荐的缺省值。

5.2 碳储量计算

5.2.1 样地乔木层植物碳储量按下列公式计算：

$$C_{\text{arbor},i,t} = \sum_j (N_{i,j,t} \times B_{i,j,t} \times CF_j) \quad (5.2.1)$$

式中： $C_{\text{arbor},i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 乔木层植被碳储量（ tC ）；

$N_{i,j,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 乔木植物 j 的数量（株）；

$B_{i,j,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 乔木植物 j 单株生物量（ $\text{tC} \cdot \text{株}^{-1}$ ）；

CF_j ——乔木植物 j 的含碳率。

5.2.2 样地灌木层植物碳储量按下列公式计算：

$$C_{\text{shrub},i,t} = \sum_j (A_{i,j,t} \times B_{i,j,t} \times CF_j) \quad (5.2.2)$$

式中： $C_{\text{shrub},i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 灌木层植被碳储量（ tC ）；

$A_{i,j,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 灌木植物 j 的面积（ m^2 ）；

$B_{i,j,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 灌木植物 j 单位面积生物量（ $\text{tC} \cdot \text{m}^{-2}$ ）；

CF_j ——灌木植物 j 的含碳率。

5.2.3 样地草本层植物碳储量按下列公式计算：

$$C_{\text{herb},i,t} = \sum_j (A_{i,j,t} \times B_{i,j,t} \times CF_j) \quad (5.2.3)$$

式中： $C_{\text{herb},i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 草本层植被碳储量（ tC ）；

$A_{ij,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 草本植物 j 的面积 (m^2)；
 $B_{ij,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 草本植物 j 单位面积生物量 ($tC \cdot m^{-2}$)；
 CF_j ——草本植物 j 的含碳率。

5.2.4 样地植被碳储量按下列公式计算：

$$C_{i,t} = C_{arbor,i,t} + C_{shrub,i,t} + C_{herb,i,t} \quad (5.2.4)$$

式中： $C_{i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 植被碳储量 (tC)；
 $C_{arbor,i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 乔木层植物碳储量 (tC)；
 $C_{shrub,i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 灌木层植物碳储量 (tC)；
 $C_{herb,i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 草本层植物碳储量 (tC)。

5.2.5 项目植被碳储量按下列公式计算：

$$C_{total,t} = A_t \frac{\sum_i C_{i,t}}{\sum_i A_{i,t}} \quad (5.2.5)$$

式中： $C_{total,t}$ ——项目运营到第 t 年，项目植被碳储量 (tC)；
 $C_{i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 植被碳储量 (tC)；
 A_t ——项目运营到第 t 年，项目绿化面积 (m^2)。
 A_i ——项目运营到第 t 年，样地 i 的面积 (m^2)。

5.3 碳汇量计算

5.3.1 项目植被碳汇量按下列公式计算：

$$\Delta C_{veg,t} = \frac{(C_{total,t} - C_{total,0})}{t} \times \frac{44}{12} \quad (5.3.1)$$

式中： $\Delta C_{veg,t}$ ——项目运营到第 t 年，项目植被碳汇量 ($tCO_2 \cdot a^{-1}$)；
 $C_{total,t}$ ——项目运营到第 t 年，项目植被碳储量 (tC)；
 $C_{total,0}$ ——项目开始运营时，项目植被碳储量 (tC)；
 t ——项目运营年数 (a)。

5.3.2 项目土壤碳汇量按下列公式计算：

$$\Delta C_{soil,t} = \sum_i (A_{i,t} \times \Delta SOC_{i,t}) \times \frac{44}{12} \quad (5.3.2)$$

式中： $\Delta C_{soil,i,t}$ ——项目运营到第 t 年，项目土壤碳汇量 ($tCO_2 \cdot a^{-1}$)；
 $A_{i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 的面积 (m^2)；
 $\Delta SOC_{i,t}$ ——项目运营到第 t 年，样地 i 土壤有机碳密度年变化量 ($tC \cdot a^{-1} \cdot m^{-2}$)。

5.3.3 项目碳汇量按下列公式计算：

$$\Delta C_t = \Delta C_{veg,t} + \Delta C_{soil,t} \quad (5.3.3)$$

式中： ΔC_t ——项目运营到第 t 年，项目碳汇量（ $tCO_2 \cdot a^{-1}$ ）；

$\Delta C_{veg,t}$ ——项目运营到第 t 年，项目植被碳汇量（ $tCO_2 \cdot a^{-1}$ ）；

$\Delta C_{soil,i,t}$ ——项目运营到第 t 年，项目土壤碳汇量（ $tCO_2 \cdot a^{-1}$ ）。

6 运营降碳技术

6.1 一般规定

6.1.1 高速公路应建立碳排放管理制度，明确管理目标、管理职责和管理流程，宜通过信息化和智能化手段，实现能耗及碳排放动态监测，并对外公开高速公路运营期间碳排放情况。

6.1.2 高速公路应通过可再生能源应用，逐年提高清洁能源在运营用能中的占比。

6.1.3 高速公路宜优先选用节能灯具、再生材料等低碳产品与节能技术，降低运营过程中的能源消耗与碳排放。

6.2 能源供给低碳化

6.2.1 高速公路应至少采用一种可再生能源技术，包括太阳能光伏系统、风力发电系统、生物质供热系统、地源热泵系统等。

6.2.2 服务区、收费站等附属设施供暖不应采用燃煤锅炉，宜采用空气源热泵、地源热泵或电采暖等清洁供暖技术。

6.2.3 高速公路日常运维车辆及养护装备宜选用电动或氢能等新能源装备。

6.2.4 高速公路应充分利用沿线边坡、建筑屋顶、绿地、车位车棚等空间资源，建设分布式光伏发电系统。光伏发电系统设计应符合下列要求：

- 1 装机容量应结合可用面积、日照资源及用电负荷合理确定；
- 2 宜采用"自发自用、余电上网"的并网模式；
- 3 应设置必要的防雷、接地及电气保护措施。

6.2.5 配置分布式光伏发电系统的高速公路服务区、隧道管理站等区域，宜同步配置储能系统，提高可再生能源就地消纳比例。储能系统容量应结合光伏装机容量、负荷特性及用电需求合理确定。

6.2.6 具备风力资源条件的路段，可布设小型风力发电装置，风力发电装置与公路建筑控制区的距离应满足相关安全要求。

6.2.7 具备地热资源条件的服务区或管理设施，可采用地源热泵系统替代传统供暖制冷方式，系统设计应符合现行《地源热泵系统工程技术规范》（GB 50366）的规定。

6.2.8 服务区、停车区应配置新能源汽车充电桩，充电车位比例应符合交通主管部门及地方相关规定。宜采用光储充一体化模式，利用光伏发电为充电设施提供绿电。交通量较大的服务区，可根据规划需求增设换电站、储能站、加氢站等配套设施。

6.3 设施设备低碳运行

6.3.1 外场机电设施低碳运行应符合下列规定：

- 1 摄像机、交通流检测器、气象检测器、可变信息标志等外场设备宜选用低功耗产品。
- 2 供电条件受限的外场设备宜采用太阳能、风能等可再生能源独立供电或互补供电方式。
- 3 多系统路侧设备宜采用集约化部署方式，共用立杆、机柜、电源及传输资源。

6.3.2 隧道机电系统低碳运行应符合下列规定：

- 1 隧道照明宜采用 LED 灯具，并宜根据洞外亮度、交通量等条件实施智能调光控制。
- 2 隧道照明宜采用直流供电系统，减少 AC/DC 变换环节，降低线路损耗。
- 3 具备自然采光条件的隧道，可在入口段采用光导照明系统引入自然光。光导照明系统的设计应满足隧道照明亮度及均匀度要求，并应与人工照明实现联动控制。
- 4 具备自然通风条件的隧道，宜充分利用自然风压和热压效应，合理确定机械通风的启停阈值。
- 5 隧道通风系统宜根据交通量及污染物浓度实施变频控制，避免风机长时间满负荷运行。
- 6 隧道供配电系统宜优化变压器运行方式，降低变压器运行损耗。

6.3.3 站区建筑及设施低碳运行应符合下列规定：

- 1 服务区、收费站、管理区等建筑照明宜采用 LED 灯具，并宜结合自然采光和智能控制降低照明能耗。
- 2 空调及供暖系统末端宜采用智能温控装置，根据室内外温差及使用时段自动调节运行工况。

- 3 服务区生活热水系统宜采用太阳能热水系统或空气源热泵热水机组。
- 4 既有建筑围护结构宜结合维修改造进行保温隔热性能提升。

6.4 智慧管控

6.4.1 高速公路宜建设能耗与碳排放监测平台，对管辖范围内隧道、服务区、收费站、管理区等主要用能节点的能耗数据和碳排放数据进行集中采集与处理。平台应具备数据采集、存储、统计、分析和可视化展示功能。

6.4.2 服务区、隧道、收费站、管理区等主要用能节点宜安装分项计量装置，对电力、天然气、热力、成品油等各类能源消耗实施在线监测，实现碳排放的逐月或逐季度核算。

6.4.3 高速公路宜基于能耗与碳排放监测平台数据，对隧道照明、通风、站区供暖制冷等主要用能系统实施智能调控，实现按需供能。

6.4.4 高速公路宜设置碳排放预警机制，当碳排放量超过设定阈值时及时发出预警，并启动相应的管控措施。

6.4.5 具备分布式电源和储能系统的高速公路隧道、服务区等区域，宜构建微电网系统，实现分布式能源的协调调度和优化运行。

7 高速公路固碳能力提升

7.1 一般规定

7.1.1 应建立温室气体排放报告和监测机制，对高速公路建设、运营和维护阶段的温室气体排放进行监测和记录，并定期报告高速公路的碳排放情况。

7.1.2 应定期评估和更新高速公路固碳措施，采用新技术和创新方法，以及与相关利益相关方进行合作和知识共享。

7.1.3 固碳措施应与高速公路沿线生态相协调，促进高速公路的生态系统服务和碳吸附能力的共同提升。

7.2 植物固碳

7.2.1 项目植物配置应遵循以下规定：

- 1 在植物生长状态良好的前提下，应筛选固碳能力较高的高碳汇植物进行栽植；
- 2 筛选高碳汇植物时，应尽可能选择适应性强、抗逆性高的乡土植物；
- 3 项目绿化植物应合理搭配乔灌草，构建异龄复层混交群落；
- 4 项目绿化植物应选择生长快的植物、吸收能力强的植物。

7.2.2 项目植物景观应遵循以下规定：

- 1 植物景观应打造多层复合的立体植物群落，增加单位面积植物生物量；
- 2 植物景观宜采用常绿落叶混交林，保障全年植物固碳的稳定性；
- 3 植物景观应采用适当的栽植密度，保障植物最佳生长状态。

7.3 土壤固碳

7.3.1 提高土壤碳汇质量的措施包括增加土壤有机质含量、保持土壤覆盖、改善土壤通透性和优化农作制度。

条文说明

1 增加有机质含量：增加土壤有机质含量是提高土壤碳汇质量的关键。可以采用施肥、翻耕、绿肥、秸秆还田等方法来增加土壤有机质含量。

2 保持土壤覆盖：保持土壤表面覆盖物可以减少土壤水分蒸发，增加土壤温度稳定性，提高土壤有机质的稳定性，从而促进土壤有机碳的积累。

3 改善土壤通透性：通过改善土壤通透性，增加土壤孔隙度和水分持有能力，可以提高土壤中的微生物活动和有机碳稳定性。

4 优化农作制度：优化农作制度可以提高土壤质量，例如采用多年生植物、轮作制度等，可以增加土壤有机质的积累和稳定性。

7.3.2 高速公路建设和使用过程中，应减缓土壤有机质的分解和氧化，可采取的措施包括保持土壤覆盖、优化施肥和土壤管理和选择适宜的土壤改良材料。

条文说明

1 保持土壤覆盖：高速公路建设和使用过程中，应尽量减少土壤的裸露，采取草坪、绿化带、树木等植被覆盖措施，可以减缓土壤碳库的释放。

2 优化施肥和土壤管理：适量施肥、耕作、覆盖和调节土壤湿度等管理措施，可以促进土壤有机质的稳定性，减少土壤有机质分解和氧化的速率，从而减缓土壤碳库的释放。

3 选择适宜的土壤改良材料：选择适宜的土壤改良材料，如有机肥料、生物炭等，可以增加土壤有机碳含量和稳定性，减少土壤碳库的释放。

7.3.3 高速公路建设和使用过程中，应尽可能减少对土壤的机械破坏和扰动，有助于减缓土壤碳库释放。

8 高速公路绿化增汇调控

8.1 一般规定

8.1.1 高速公路绿化应符合当地的生态环境规划和标准，选择适宜的植物种类，防止引入外来物种对当地生态环境造成破坏。

8.1.2 高速公路建设和维护过程中应当采用生态修复技术，加强对土壤、植被和水文系统的修复和保护，促进生态系统的健康发展。

8.2 幼林抚育管理

8.2.1 高速公路幼林抚育管理是指对高速公路旁边的幼林进行管理和抚育，以保证幼林的健康和生长，同时也可以起到美化高速公路环境，提高道路安全的作用。

条文说明

高速公路幼林抚育具体的管理和抚育措施包括定期修剪、施肥、除草、灌溉等。此外，还需要注意保护幼林周围的环境，禁止乱砍滥伐、乱扔垃圾等行为。

8.3 补种补植修复

8.3.1 高速公路补种补植修复是指在高速公路建设或维护过程中，通过种植树木、草本植物等方式来修复破坏的自然环境，减少对生态系统的影响。

8.3.2 常见的补种补植修复方法包括剪枝、修剪根系、更换土壤、施肥等。

条文说明

1 种植树木：通过种植适宜的树种来修复高速公路沿线的森林生态系统，提高生态系统的稳定性和抗干扰能力。

2 植草覆盖：通过种植适宜的草本植物来修复高速公路沿线的草原生态系统，提高土壤保持能力和水源涵养能力。

3 恢复湿地：通过恢复湿地生态系统，修复高速公路沿线的湿地生态系统，提高水源涵养能力和生物多样性。

4 建设生态廊道：通过建设生态廊道，连接不同的生态系统，促进生物迁移和基因流动，提高生态系统的连通性和稳定性。

5 生态修复技术：通过生态修复技术，可加速生态系统的恢复和重建。

8.4 植物绿色养护

8.4.1 水分管管理，浇水应依次进行，以防漏浇。院落、立交草坪应见干即浇，而中央分隔带的草皮一般随浇树时进行。

8.4.2 养分管管理基肥宜在深秋和初冬进行，追肥的季节应根据植物的生长特点决定，由于高速公路里程较长，追肥的次数以一年两次为宜，最好与灌溉工作有机结合。

8.4.3 应及时对中央绿化带、边坡、立交等区域的绿化植物进行定期修剪。

条文说明

立交区、院落、收费广场等树木的整形修剪，要本着“造型各异，美观大方”的原则，根据环境中的建筑物、地形地貌确定方法，还应保持原有设计图案形状，描绘出具有不同风格的园林艺术图案。

8.4.4 植物病虫害防治，应经常巡视，发现病虫害就及时防治，若不及时防治就会迅速蔓延，应以防为主，防治结合。

附录 A 电力二氧化碳排放因子

高速公路运营期净购入电力产生的碳排放量核算采用的电力二氧化碳排放因子应按表 A.1、A.2 选取。数据来源采用生态环境部、国家统计局发布的《关于发布 2023 年电力二氧化碳排放因子的公告》，可参照最新权威数据更新。

表 A.1 全国电力平均二氧化碳排放因子

	因子 (kgCO ₂ /kWh)
全国	0.5306

表 A.2 省级电力平均二氧化碳排放因子

	因子 (kgCO ₂ /kWh)
北京	0.5306
天津	0.6796
河北	0.6516
山西	0.6634
内蒙古	0.6479
辽宁	0.4878
吉林	0.4671
黑龙江	0.5229
上海	0.5737
江苏	0.5827
浙江	0.4974
安徽	0.6553
福建	0.4211
江西	0.5836
山东	0.6191
河南	0.5897
湖北	0.4044
湖南	0.4976
广东	0.4419
广西	0.4476
海南	0.3648
重庆	0.5581

四川	0.1564
贵州	0.5683
云南	0.1333
陕西	0.6335
甘肃	0.4471
青海	0.1796
宁夏	0.6187
新疆	0.6021

附录 B 相关参数缺省值

常用化石燃料相关参数的缺省值见表 B.1，购入热力产生的碳排放因子见表 B.2。

根据《IPCC 国家温室气体清单指南（2006）年》：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放因子} = \text{碳含量} \times \text{氧化因子} \times 44/12$$

故

$$\text{单位热值 CO}_2 \text{ 排放因子} = \text{单位热值含碳量} \times \text{碳氧化率} \times 44/12$$

表 B.1 常用化石燃料相关参数的缺省值

燃料品种		计量单位	低位发热量 GJ/t 或 GJ/10 ⁴ Nm ³	单位热值含碳量 10 ⁻³ tC/GJ	燃料碳氧化率 %
固体燃料	无烟煤	t	26.7	27.4	94
	烟煤	t	19.570	26.1	93
	褐煤	t	11.9	28.0	96
	洗精煤	t	26.334	25.41	90
	其他洗煤	t	12.545	25.41	90
	型煤	t	17.460	33.6	90
	其他煤制品	t	17.460	33.6	98
	焦炭	t	28.435	29.5	93
	石油焦	t	32.5	27.5	98
液体燃料	原油	t	41.816	20.1	98
	燃料油	t	41.816	21.1	98
	汽油	t	43.070	18.9	98
	柴油	t	42.652	20.2	98
	一般煤油	t	43.070	19.6	98
	液化天然气	t	51.498	15.3	98
	液化石油气	t	50.179	17.2	98
	石脑油	t	44.5	20.0	98
	焦油	t	33.453	22.0	98
	粗苯	t	41.816	22.7	98
	其他石油制	t	41.031	20.0	98
气体燃料	天然气	10 ⁴ Nm ³	389.31	15.3	99
	焦炉煤气	10 ⁴ Nm ³	179.81	13.58	99
	其他煤气	10 ⁴ Nm ³	52.270	12.2	99

部分数据取值来源为《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》及 2019 修订版。
 部分数据取值来源为《省级温室气体清单指南（试行）》。
 部分数据取值来源为《2005 中国温室气体清单研究》。
 部分数据取值来源为《中国能源统计年鉴 2021》。
 部分数据取值来源为 GB/T2589 — 2020。

表 B. 2 购入热力排放因子和参数推荐值

名称	单位	排放因子
热力	tCO ₂ /GJ	0.11

附录 C 碳汇计算参数参考表

生态乔木林：乔木层地上地下生物量碳库用下式计算：

$$C = V \times BCEF \times (1 + R) \times CF$$

$$BCEF = BEF \times D$$

灌木林、经济乔木林生物量碳库：

$$C = A \times B \times CF$$

计算参数	意义
V	树种总蓄积量(m³)
BEF	林木地上生物量与树干生物量的比值
D	木材基本密度 (t/ m³)
R	树种的根茎比
CF	生物量含碳率 (t C/t d.m)
A	灌木林、经济乔木林面积(hm²)
B	单位面积生物量 (t d.m/hm²)
H	高度(乔木、灌木、草本)
d	胸径(乔木、灌木)
$\rho_{\text{树}}$	树干密度
bn	乔木树种生物量
cp	乔木树种含碳率
$\rho_{\text{株}}$	株密度(灌木、草本)
F	覆盖度(灌木、草本)
Ab	平均单位面积生物量(灌木、草本)
$CF_{\text{灌、草}}$	平均含碳率(灌木、草本)
CC	土壤有机碳含量
h	土层厚度
v	土壤体积
$\rho_{\text{土}}$	土壤有机碳密度

附录 D 全国主要苗木树种单株年均固碳量参考表

单位叶面积固碳量测算公式：

$$P=3600\sum_{i=1}^n\frac{(P_{i+1}+P_i)(t_{i+1}-t_i)}{2000}$$

式中：

- P 一测定日的固碳量，mmol；
- P_i 一初测点的瞬时光合作用速率， $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ；
- P_{i+1} 一下一测点的瞬时光合作用速率， $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ；
- t_i 一初测点的瞬时时间；
- t_{i+1} 一下一测点的时间,h；
- n 一测试次数。

$$w_{CO_2}=44/1000\cdot P$$

式中：

w_{CO_2} 一单位面积的叶片固定 CO2 的质量， $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

表 D. 1 乔木固碳量参考表

植物名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
塔柏	10.8812
广玉兰	14.058
杨树	3.4672
樟树	11.682
洒金柏	0.6116
桂花	2.222
蜀桧	10.8812
银杏	6.38
垂柳	11.18
小叶榕	7.46
刺槐	22.39
紫叶李	7.23
黄葛树	13.63
植物名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
白玉兰	9.05
蒲葵	5.5

植物名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
腊梅	12.2
枇杷	11.88
二乔玉兰	6

表 D. 2 灌木固碳量参考表

植物名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
丰花月季	10.8812
凤尾兰	14.058
大叶黄杨	3.4672
小叶女贞	11.682
山茶花	0.6116
木槿	2.222
桧柏球	10.8812
瓜子黄杨	11.18
红花檵木	7.46
花石榴	22.39
夹竹桃	17.05
海桐	8.22

表 D. 3 林木类树种固碳量参考表

树种名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
新疆杨	34.10
云杉	20.09
银中杨	16.47
白桦	16.13
榆树	16.06
油杉	12.57
侧柏	11.92
加杨	10.35
落羽杉	10.10
异叶南洋杉	9.09

表 D. 4 叶木类树种固碳量参考表

树种名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
糖槭	16.59
金叶国槐	16.02
紫叶碧桃	14.08
假槟榔	13.12
酒瓶椰子	13
紫叶桃	13
乌桕	12.80
龙爪槐	12.68
紫叶稠李	12.61
火炬树	12.39

表 D. 5 花木类树种固碳量参考表

树种名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
重瓣榆叶梅	32.71
楸子	29.96
文冠果	29.83
龙牙花	24.42
红花碧桃	20.57
金边六月雪	18.68
紫荆	15.17
桃	14.93
黄刺玫	14.03
泡桐	13.37

表 D. 6 蔓木类树种固碳量参考表

树种名称	单位叶面积净同化量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
小叶扶芳藤	11.9
白花油麻藤	11.35
异叶爬山虎	8.48
扶芳藤	8.25
木通	7.77
常春藤	6.44
凌霄	6.02
五叶地锦	5.40
紫藤	5.05
炮仗花	4.93

附录 E 高速公路路域绿化的增汇调控技术参考表

高速公路路域绿化的增汇调控技术是指在高速公路路域绿化的过程中，采用一系列措施来增加植被的覆盖面积和密度，从而达到调节水文循环、改善生态环境、提高高速公路安全性能等目的的一种技术。

高速公路路域绿化增汇调控技术参考表如表 E 所示。

表 E 高速公路路域绿化增汇调控技术参考表

序号	技术名称	技术说明
1	水土保持技术	通过水土保持技术可以减少水土流失，改善地貌环境，提高高速公路稳定性。
2	坡改植被技术	利用坡改工程创造沟槽、明沟、地窝，培育植被，促进生态系统发展。
3	防护林带技术	利用防护林带技术可以减少水土流失，改善地貌环境，提高高速公路安全性能。
4	深翻整地技术	利用深翻整地技术可以改良土壤结构，增加土壤肥力，提高植物生长速度。
5	灌溉技术	利用灌溉技术可以在干旱地带增加绿化面积，提高植物存活率。
6	植物栽培技术	利用植物栽培技术可以改善生态系统环境，降低土地退化风险。
7	地下水位调节技术	利用地下水位调节技术可以维护生态系统环境稳定，保证植物水分供应。
8	生态发展技术	利用生态发展技术可以实现高速公路路域绿化生态化，推动科技进步，促进人类社会可持续发展。