



T/CECS G XXXX: 2026

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路改扩建工程建设期碳排放测算规程

Specification for Carbon Emission Calculation of the
Construction Period of Highway Reconstruction Projects

(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

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路改扩建工程建设期碳排放测算规程

Specification for Carbon Emission Calculation of the
Construction Period of Highway Reconstruction Projects

T/CECS G: XXX-XXX-XXX

主编单位：江西赣粤高速公路股份有限公司
北京交通大学

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：202X年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2025 年第一批协会标准制订（修订）计划〉的通知》（建标协字[2025]22 号）的要求，由江西赣粤高速公路股份有限公司、北京交通大学承担《公路改扩建工程建设期碳排放测算规程》（以下简称“本标准”）的制订工作。

编写组在响应国家双碳政策、践行绿色交通发展理念的背景下，总结公路碳排放领域十余年工程实践经验与相关科研成果，以规范公路改扩建工程建设期碳排放测算方法为核心，完成了本标准的编写工作。

本规程分为 8 章和 4 篇附录，主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、材料生产及运输阶段碳排放测算、设计阶段碳排放估算、施工及交工验收阶段碳排放核算、保通工程碳排放测算、测算结果与测算报告。附录 A～C 列出材料、能源、运输及机械台班因子，附录 D 为分阶段测算算例。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由江西赣粤高速公路股份有限公司或北京交通大学负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或秦晓春（地址：北京市海淀区上园村 3 号北京交通大学；邮编：100044；传真：010-51683893；电子邮箱：xcqin@bjtu.edu.cn），以便修订时研用。

目录

1	总 则	3
2	术语和符号	4
2.1	术语	4
2.2	符号	4
3	基本规定	6
3.1	测算边界	6
3.2	测算对象与活动数据	6
3.3	碳排放因子	7
3.4	测算方法	7
4	自采材料生产及材料运输阶段碳排放测算	9
4.1	一般规定	9
4.2	自采材料生产	9
4.3	自采材料运输	10
4.4	再生材料生产及运输	10
4.5	外购材料运输	11
5	设计阶段碳排放估算	12
5.1	一般规定	12
5.2	活动数据及估算方法	12
5.3	结果复核	12
6	施工及交工验收阶段碳排放核算	13
6.1	一般规定	13
6.2	拆除阶段	13

6.3 施工阶段	14
7 保通工程碳排放测算	16
7.1 设计阶段保通工程碳排放估算	16
7.2 施工及交工验收阶段保通工程碳排放核算	16
8 测算结果与测算报告	17
8.1 一般规定	17
8.2 测算结果	17
8.3 测算报告	17
附表 A 主要材料碳排放因子	18
附表 B 材料运输碳排放因子	20
附表 C 常见施工机械台班碳排放因子	21
D 建设期碳排放分阶段测算算例	29

1 总 则

1.0.1 为统一高速公路和一级公路改扩建工程建设期碳排放测算边界、数据来源及计算方法，明确设计阶段估算和施工及交工验收阶段核算的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于高速公路和一级公路改扩建工程设计阶段建设期碳排放估算，以及施工及交工验收阶段建设期碳排放核算。设计阶段包括工程可行性研究、初步设计和施工图设计阶段。

1.0.3 测算应遵循边界一致、数据可追溯、口径可比和避免重复计算的原则；除应符合本规程外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 改扩建工程建设期 Construction period of highway reconstruction and expansion projects

从纳入本项目测算范围的自采材料生产及材料运输活动开始,经既有设施拆除、改扩建施工,至工程交工验收且相关临时工程实施结束的全过程。

2.1.2 碳排放因子 Carbon emission factor

反映公路改扩建工程建设期相关活动单位活动水平对应的碳排放量,用于将材料、设备、人工、能源、机械台班等转化为碳排放量的核算系数。

2.1.3 拆除碳排放 Remove carbon emissions

既有路面、路基、桥梁、交安设施等拆除、破碎、清运过程产生的碳排放。

2.1.4 改扩建临时工程碳排放 Carbon emissions from temporary works during highway reconstruction and expansion

因公路改扩建主体工程施工需要实施的保通便道、临时改路、临时桥涵及其他生产性临时工程,在建设、使用和拆除过程中产生的碳排放。

2.1.5 自采材料 Self-produced material

由项目建设或施工单位依托工程料场自行组织开采、加工并用于本项目建设的砂、石等材料。

2.1.6 外购材料 Purchased material

由项目外部生产或供应单位采购并运至工程现场使用的材料。

2.2 符号

2.2.1 材料生产及运输阶段

C_{cl} ——自采材料生产及材料运输阶段的碳排放量;

C_{sc} ——自采材料生产阶段碳排放;

C_{ys} ——材料运输阶段碳排放;

C_{zc} ——自采材料运输阶段碳排放;

C_{wg} ——外购材料运输阶段碳排放;

C_{cw} ——自采材料场外运输过程碳排放;

C_{cn} ——自采材料场内运输过程碳排放;

M_i ——第 i 种主要自采材料的消耗量;

D_i ——第 i 种自采材料由场外运输到加工厂站的平均运输距离;

ET_i ——第 i 种自采材料的运输方式下,单位重量运输距离的碳排放因子

M_i ——第 i 种废旧材料的回收量;

$F_{hs,i}$ ——第 i 种废旧材料所替代材料的碳排放因子；
 $D_{jy,i}$ ——因废旧材料回收利用，第 i 种材料由场外运输到加工厂站所节约的平均运输距离。

2.2.2 拆除及施工阶段

C_{cc} ——拆除过程碳排放；
 $E_{cc,i}$ ——拆除过程第 i 类施工机械燃料能源总用量；
 EF_j ——第 j 种施工机械燃料能源的碳排放因子；
 E_{cc} ——拆除过程能源用量；
 $Q_{cc,i}$ ——第 i 个拆除项目的工程量；
 $f_{cc,i}$ ——第 i 个拆除项目每计量单位的能耗系数；
 $T_{B-i,j}$ ——第 i 个拆除项目单位工程量第 j 种施工机械台班消耗量；
 R_j ——第 i 个拆除项目第 j 种施工机械单位台班的能源用量；
 C_{sg} ——施工阶段所有分部分项工程施工产生的碳排放总和；
 $C_{fb,i}$ ——分部分项工程第 i 个工序项目施工过程产生的碳排放；
 C_{hs} ——废旧材料再生利用的碳减排量；
 $Q_{fb,i}$ ——第 i 个施工项目的工程量；
 E_i ——每完成单位工程量的第 i 个施工项目产生的机械碳排放；
 $TB_{i,j}$ ——每完成单位工程量的第 i 个施工项目使用的第 j 种施工机械的工作台班量；
 R_j ——第 j 种施工机械工作单位台班时间的能源消耗量,按本标准 C.1 确定；
 EF_j ——第 j 种施工机械燃料能源的碳排放因子；
 ET_i ——第 i 种材料的运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子；
 p_i ——第 i 种材料的利用率。

2.2.3 改扩建临时工程

C_{zz} ——改扩建临时工程碳排放。

3 基本规定

3.1 测算边界

3.1.1 公路改扩建工程建设期碳排放测算应明确工程边界、时间边界和气体边界。

3.1.2 工程边界应包括自采材料生产及材料运输、既有设施拆除、废旧材料回收再生利用、改扩建工程施工以及改扩建临时工程实施过程中产生的碳排放。

3.1.3 建设期碳排放测算时间边界应自纳入本项目测算范围的自采材料生产及材料运输活动开始，至工程交工验收且相关临时工程实施结束为止。

3.1.4 本规程测算的温室气体为二氧化碳（CO₂）。直接排放应计入现场燃料燃烧等活动，外购电力消耗引起的间接排放应按适用的电力碳排放因子计入；采用已包含能源上游排放的产品因子时，不得对相同过程重复计算。



图 1 公路改扩建工程建设期碳排放测算边界

3.2 测算对象与活动数据

3.2.1 测算对象应以单个工程或整体工程为单元，宜按项目统一核算。

3.2.2 设计阶段测算项目宜与现行公路工程估算指标、概算定额及预算定额的工程项目和计量单位相衔接；施工及交工验收阶段宜按标段、单位工程、分部分项工程以及实际计量项目归集。主体工程、既有设施利用工程、保通工程和施工生产场站应分别列示。

3.2.3 设计阶段活动数据宜依据工程可行性研究文件、初步设计文件、施工图设计文件、工程数量表及相关估算、概预算资料确定。

3.2.4 施工及交工验收阶段活动数据应优先采用实际完成工程量、材料采购和运输记录、机械台班记录、燃油计量记录、电力计量记录及其他可追溯的

施工统计资料。

3.3 碳排放因子

3.3.1 碳排放因子应根据测算活动类型选取，包括材料生产、材料运输、既有设施拆除、工程施工及临时工程实施过程中使用的化石能源、电力等碳排放因子和运输碳排放因子。

3.3.2 碳排放因子应优先采用国家、行业或当地权威组织机构近期公布的数据；无适用发布值时，可按本标准附表取值。碳排放因子的来源优先级宜为：产品特定因子、行业平均因子、数据库通用因子、文献通用因子。

3.3.3 电力碳排放因子应采用主管部门最近年份发布的区域电力平均二氧化碳排放因子；柴油、汽油、天然气等能源碳排放因子可按本标准附表 A.2 取值。

3.3.4 同一测算项目中，同类排放活动采用的碳排放因子核算边界、单位和数据口径应保持一致，并应注明因子来源及发布年份。

3.4 测算方法

3.4.1 建设期碳排放测算应按设计阶段估算和施工及交工验收阶段核算分别开展。前者依据工程可行性研究、初步设计或施工图设计文件，后者依据施工过程计量记录及交工验收资料；两阶段结果应注明测算时点和数据版本。

3.4.2 设计阶段宜优先采用定额法。具备工程定额依据的排放活动，可依据设计工程量、单位工程量施工机械台班消耗量、机械单位台班能源消耗量及相应能源碳排放因子进行估算。材料产品生产排放可在核算边界一致的前提下采用材料用量与适用材料碳排放因子进行估算。

$$C = \sum (Q_i \times N_{ij} \times R_j \times EF_i) \quad (3.4.2)$$

式中： Q_i 为第*i*个工程项目的工程量； N_{ij} 为单位工程量第*j*种机械台班消耗量； R_j 为第*j*种机械单位台班能源消耗量； EF_i 为相应能源碳排放因子。

3.4.3 施工及交工验收阶段宜采用统计法，根据实际完成工程量以及施工过程中实际统计的燃油、电力等能源消耗量进行核算。

$$C = \sum (AD_j \times EF_j) \quad (3.4.3)$$

式中： AD_j 为第*j*类能源的实际消耗量； EF_j 为第*j*类能源的碳排放因子。

3.4.4 同一排放活动采用实际能源消耗量核算时，不应再与机械台班估算值重复累计。拆除、旧料再生加工、材料运输及场站生产中的相同活动亦不得跨章节重复计入。

3.4.5 同一工程同时开展设计阶段估算和施工及交工验收阶段核算时，宜对两个阶段测算结果进行对比，并从工程数量、施工方案、机械配置、材料运

输距离及实际能源消耗等方面分析差异原因。

征求意见稿

4 自采材料生产及材料运输阶段碳排放测算

4.1 一般规定

4.1.1 自采材料生产及材料运输阶段碳排放测算的边界、活动数据、碳排放因子和测算方法应符合本标准第3章的有关规定。

条文说明：

材料生产碳排放因子的系统边界确定涉及生命周期评价原则时，可参照《环境管理 生命周期评价 原则与框架》GB/T 24040 和《环境管理 生命周期评价 要求与指南》GB/T 24044 的有关规定。

4.1.2 自采材料生产及材料运输阶段碳排放应为自采材料生产阶段碳排放与材料运输阶段碳排放之和，并应按式(4.1.2)测算：

$$C_{cl} = C_{sc} + C_{ys} \quad (4.1.2)$$

式中： C_{cl} ——自采材料生产及运输阶段的碳排放量（ kgCO_2 ）；

C_{sc} ——自采材料生产阶段碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{ys} ——材料运输阶段碳排放（ kgCO_2 ）。

4.2 自采材料生产

4.2.1 设计阶段采用材料碳排放因子法估算自采材料生产阶段碳排放时，应按式(4.2.1)测算；施工及交工验收阶段具备实际能源消耗数据时，宜按第3.4节采用统计法核算，且不得重复计算。

$$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i \quad (4.2.1)$$

式中： C_{sc} ——自采材料生产阶段碳排放（ kgCO_2 ）；

M_i ——第*i*种主要自采材料的消耗量；

F_i ——第*i*种主要自采材料的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2/\text{单位材料数量}$ ），应优先采用国家、行业或当地权威组织机构于近期公布的数据库中的数值；无上述权威发布值时，按本标准附录A.1中碳排放因子的来源优先级为：产品特定因子-行业平均因子-数据库通用因子-文献通用因子。

4.2.2 公路改扩建工程主要自采材料消耗量，设计阶段宜根据设计图纸、工程数量表及相关估算、概预算资料确定；施工及交工验收阶段宜根据实际计量及生产统计资料确定。

4.2.3 自采材料生产阶段碳排放因子是指单位自采材料在生产阶段产品系统内各过程产生的二氧化碳排放量。其核算边界包括自采材料开采与生产过程、

生产所需原材料和能源的开采、生产及运输过程以及生产过程产生的碳排放；所采用因子的核算边界和单位应与活动数据保持一致。

4.2.4 使用固体废物或再生材料替代原生材料时，应分别测算再生材料获取、加工和运输形成的排放，以及在同等功能和数量条件下被替代原生材料生产与运输形成的避免排放；不得直接按固废利用率折减全部材料生产排放。

4.3 自采材料运输

4.3.1 自采材料运输阶段碳排放由场外运输碳排放和场内运输碳排放组成，并按按下式测算：

$$C_{ys} = C_{cw} + C_{cn} \quad (4.3.1)$$

式中： C_{ys} ——自采材料运输过程碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{cw} ——自采材料场外运输过程碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{cn} ——自采材料场内运输过程碳排放（ kgCO_2 ）。

4.3.2 自采材料场外运输阶段碳排放应按按下式测算：

$$C_{cw} = \sum_{i=1}^n M_i D_i ET_i \quad (4.3.2)$$

式中： C_{cw} ——自采材料场外运输过程碳排放（ kgCO_2 ）；

M_i ——第 i 种主要自采材料的消耗量（ t ）；

D_i ——第 i 种自采材料从采集地点场外运输到加工厂站的平均运输距离（ km ）；

ET_i ——第 i 种自采材料的运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子 [$\text{kgCO}_2/(\text{t} \cdot \text{km})$]，按照本标准附录 B.1 取值。

4.3.3 自采材料场内运输阶段碳排放应为加工厂站到施工现场运输过程碳排放，并按按下式测算：

$$C_{cn} = \sum M_{ij} EF_j TB_i \quad (4.3.3)$$

式中： C_{cn} ——自采材料场内运输过程碳排放（ kgCO_2 ）；

M_{ij} ——第 i 类运输机械第 j 类燃料能源单位台班消耗情况（ kg/台班 ）；

EF_j ——第 j 种运输机械燃料能源的碳排放因子（ kgCO_2/kg 、 kgCO_2/kWh ），按本标准 A.2 确定；

TB_i ——对应第 i 类机械台班数（台班）。

4.4 再生材料生产及运输

4.4.1 废旧材料回收利用的净减排量，应将回收、分选、破碎、再生加工及实际运输形成的排放计为正值，将等功能替代原生材料生产和相应原生材料运

输形成的避免排放计为负值，并按可利用率及实际替代数量计算。净减排量为两类排放之代数和；不得与第 4.2 节或第 4.5 节已计入的过程重复：

$$C_{hs} = \sum_{i=1}^n (M_i F_{hs,i} + M_i D_{jy,i} ET_i) \times p_i \quad (4.4.1)$$

式中： M_i ——第 i 种废旧材料的回收量（kg）；

$F_{hs,i}$ ——第 i 种废旧材料所替代材料的碳排放因子（kgCO₂/单位材料数量），按照本标准附录 A.1 取值；

$D_{jy,i}$ ——因废旧材料回收利用，第 i 种材料由场外运输到加工厂站的平均运输距离（km）；

ET_i ——第 i 种材料的运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子 [kgCO₂/(t·km)]，按照本标准附录 B.1 取值；

p_i ——第 i 种材料的利用率。

4.5 外购材料运输

4.5.1 外购材料场外运输应自供应商实际发货地、合同约定交货地或材料集散地中实际发生并由本项目承担运输的起点，计至施工现场或拌和站、预制场等实际卸货地。供应商已将该段运输计入材料产品因子时，应扣除重叠部分，并留存依据。

4.5.2 外购材料运输碳排放可按下式测算：

$$C_{wg} = \sum (M_i \times D_i \times ET_i) \quad (4.5.2)$$

式中： C_{wg} 为外购材料运输碳排放量； M_i 为第 i 种外购材料运输量； D_i 为第 i 种外购材料平均运输距离； ET_i 为相应运输方式单位重量运输距离的碳排放因子。

4.5.3 设计阶段宜按材料供应方案确定候选产地和实际施工接收地，采用可通行道路的合理路线计算单程运距；未确定供应地时，应说明估算依据及运距假设。施工及交工验收阶段应按合同、运输单据或轨迹记录确定实际起讫点和运输批次运距，按运输质量加权形成平均运距；不得以直线距离替代实际路线距离。

4.5.4 已纳入施工机械能源消耗或场内运输测算的材料二次倒运，不应重复计入外购材料运输碳排放。

4.5.5 本标准第 4.1.2 条中的材料运输阶段碳排放应为第 4.3 节自采材料运输碳排放与本节外购材料运输碳排放之和。

5 设计阶段碳排放估算

5.1 一般规定

5.1.1 设计阶段应分别在工程可行性研究、初步设计和施工图设计文件可获得的数据基础上估算建设期碳排放，注明工程量、方案、材料因子及机械定额的版本；同一项目不同阶段应保持测算边界可比。

5.1.2 估算项目应与现行公路工程估算指标、概算定额和相应预算定额项目相衔接；应分别列示既有设施拆除、旧料回收、拼宽与拼接、主体工程、“两区三厂”及保通工程。

5.2 活动数据及估算方法

5.2.1 材料用量宜依据图纸、工程数量表和材料供应方案确定；自采材料生产及材料运输按第4章估算。既有设施可继续利用的工程量应单列，新建补强或拼接部分按新增工程量计入。

5.2.2 拆除、施工与保通工程的机械排放宜根据定额工程量、单位工程量机械台班及附录C台班因子计算。各工序使用外购电力或燃油且具备专项设计用量时，可按相应能源量与附录A能源因子估算，并避免同台机械重复累计。

5.2.3 再生材料替代效益宜依据可利用量、实际拟替代材料及等功能替代率估算，回收加工和运输的预计排放应同时计入；未知参数应说明假设及合理范围。

5.3 结果复核

5.3.1 应分别形成材料生产、材料运输、拆除、施工、保通工程和旧料回收利用的估算结果，并按第8章汇总；应复核同一材料或能源是否在产品因子、台班因子及工程量中重复计入。

6 施工及交工验收阶段碳排放核算

6.1 一般规定

6.1.1 拆除阶段应包括既有路面、路基、桥涵、隧道和交通安全设施拆除，以及为改扩建进行的破碎、装卸、废料清运等活动；拆除中机械燃料燃烧为直接排放，外购电力为间接排放，材料外运应单列运输项。

6.1.2 施工阶段应按路基、路面、桥涵、隧道、交通安全设施及施工生产场站等工程项目归集。拌和站、预制场、钢筋加工场等“两区三厂”施工生产活动应按实际项目单列或并入相应单位工程，并说明归集关系；保通工程按第7章单列。

6.1.3 拆除和施工阶段碳排放的测算边界应符合本标准第3.1节的规定。

6.1.4 公路改扩建工程施工过程中使用再生材料造成的碳排放核减量应纳入测算。

6.2 拆除阶段

6.2.1 拆除阶段的碳排放量应按下列公式测算：

$$C_{cc} = \sum_{i=1}^n E_{cc,i} EF_i \quad (6.2.1)$$

式中： C_{cc} ——拆除过程碳排放（kg CO₂）；

$E_{cc,i}$ ——拆除过程第*i*类施工机械燃料能源总用量（kg/kWh）；

EF_j ——第*j*种施工机械燃料能源的碳排放因子（kgCO₂/kg、kgCO₂/kWh），按本标准A.2确定。

6.2.2 施工机械能源总量无法获取时，可按下列公式测算：

$$E_{cc} = \sum_{i=1}^n Q_{cc,i} f_{cc,i} \quad (6.2.2 - 1)$$

$$f_{cc,i} = \sum_{j=1}^m T_{B-i,j} R_j + E_{jj,i} \quad (6.2.2 - 2)$$

式中： E_{cc} ——拆除过程能源用量（kWh/kg）；

$Q_{cc,i}$ ——第*i*个拆除项目的工程量；

$f_{cc,i}$ ——第*i*个拆除项目每计量单位的能耗系数（kWh/工程量计量单位或 kg/工程量计量单位）；

$T_{B-i,j}$ ——第*i*个拆除项目单位工程量第*j*种施工机械台班消耗量；

R_j ——第 i 个拆除项目第 j 种施工机械单位台班的能源用量,按本标准 C 确定;

$E_{jj,i}$ ——第 i 个项目中,小型施工机具不列入机械台班消耗量,但其消耗的能源列入材料的部分能源用量(kWh);

i ——拆除工程中项目序号;

j ——施工机械序号。

6.2.3 拆除废料外运的运输质量、路线及平均运距应按第 4.5 节的场外运输口径确定,并与再生材料运输、弃料运输分别列示;已在材料运输项中计算的,不得在拆除项重复计入。

6.3 施工阶段

6.3.1 高速公路改扩建工程施工阶段的碳排放量应为各分部分项工程施工过程碳排放之和,并按下式测算:

$$C_{sg} = \sum_{i=1}^n C_{fb,i} \quad (6.3.1)$$

式中: C_{sg} ——施工阶段所有分部分项工程施工产生的碳排放总和,包括路基工程、路面工程、桥隧工程、交通安全设施工程等各工序的碳排放 (kgCO_2);

$C_{fb,i}$ ——分部分项工程第 i 个工序项目施工过程中产生的碳排放 (kgCO_2)。

6.3.2 分部分项工程施工碳排放按下式测算:

$$C_{fb,i} = \sum_{i=1}^n Q_{fb,i} E_i \quad (6.3.2)$$

式中: $Q_{fb,i}$ ——第 i 个施工项目的工程量;

E_i ——每完成单位工程量的第 i 个施工项目产生的机械碳排放 ($\text{kgCO}_2/\text{单元工程量单位}$)。

6.3.3 单位工程量施工项目产生的施工机械碳排放按下式测算:

$$E_i = \sum_{j=1}^m TB_{ij} R_j EF_j \quad (6.3.3)$$

式中: TB_{ij} ——每完成单位工程量的第 i 个施工项目使用的第 j 种施工机械的工作台班量 (台班);

R_j ——第 j 种施工机械工作单位台班时间的能源消耗量 ($\text{kg}/\text{台班}$ 、 $\text{kWh}/\text{台班}$),按本标准 C 确定;

EF_j ——第 j 种施工机械燃料能源的碳排放因子 (kgCO_2/kg 、 kgCO_2/kWh),按本标准 A.2 确定。

条文说明:

施工机械碳排放应根据项目所处阶段采用相应方法进行测算。在设计阶段，可根据施工机械类型、规格和台班数量，采用附表 C 规定的施工机械台班碳排放因子进行计算；在施工及交工验收阶段，宜依据施工期实际统计的燃油、电力等能源消耗量进行测算。能源消耗量可通过施工机械燃油计量记录以及拌和站、预制场等场站电表读数获取，并按照本标准第 3.4 节规定的统计方法及附表 A.2 能源碳排放因子计算。

征求意见稿

7 保通工程碳排放测算

7.1 设计阶段保通工程碳排放估算

7.1.1 保通工程是为改扩建施工期间维持既有道路通行而专设的便道、临时改路、临时桥涵、导改设施及相关临时防护工程。设计阶段应按分期交通组织方案，统计各阶段设置、转换、拆除及可重复使用工程量；一般施工生产临设另列，不与保通工程混算。

7.1.2 设计阶段保通工程应按工程量、材料量及相应估算、概预算定额机械台班估算材料生产、运输、施工和拆除排放；多次导改使用同一构件时，应按实际新增与周转数量分别计算。旧料回收利用按第 4.4 节测算。

7.2 施工及交工验收阶段保通工程碳排放核算

7.2.1 施工及交工验收阶段应依据保通工程实际完成量、材料领用和周转记录、运输凭证、燃油及电力计量资料核算。施工机械燃料燃烧和外购电力分别归集直接排放与间接排放，并按第 4 章、第 6 章对应方法测算。

7.2.2 保通工程拆除后的材料回收、再利用与清运应依据实际记录核算；已计入主体工程、场站或其他临时工程的活动不再计入。设计和施工及交工验收两个阶段应分别列示材料、运输、机械和能源数据来源。

7.2.3 施工期间社会车辆因车道封闭、限速、拥堵及绕行等交通运行状态变化产生的增量碳排放，不纳入本标准建设期碳排放测算范围。

8 测算结果与测算报告

8.1 一般规定

8.1.1 结果应同时列示测算边界、使用阶段、基准方案及采用的材料生产、运输、施工和能源因子；不同阶段结果不得直接相加。

8.2 测算结果

8.2.1 建设期碳排放总量应按自采材料生产、材料运输、既有设施拆除、主体工程施工、保通工程等分项计算，旧料回收利用的净效益以正负项分别列示并进行代数汇总；不得重复计算。总量按下式计算：

$$C_{js} = C_{sc} + C_{ys} + C_{cc} + C_{sg} + C_{zz} + C_{hs} \quad (8.2.1)$$

式中， C_{js} ——改扩建工程建设期碳排放总量（ kgCO_2 ）；

C_{sc} ——自采材料生产阶段碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{ys} ——材料运输阶段碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{cc} ——既有设施拆除阶段碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{sg} ——改扩建工程施工阶段碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{zz} ——保通工程建设、使用及拆除过程的碳排放（ kgCO_2 ）；

C_{hs} ——旧料回收利用净排放调整项（ kgCO_2 ），实际回收、加工及运输排放为正，等功能替代原生材料生产与运输的避免排放为负；已计入其他分项的相同排放不得重复计入。

8.2.2 应列示各阶段和单位工程的排放量、排放占比、使用的因子和数据来源，并注明设计估算与施工及交工验收核算差异。

8.2.3 评价既有设施利用的减排效果时，应建立满足相同道路等级、结构性能、服务年限及工程数量要求的等功能新建基准方案。两方案的建设期排放差值可作为利用效益单列，不得直接作为实际建设期排放总量的抵扣项。

8.3 测算报告

8.3.1 测算报告应说明项目概况和工程范围、设计或施工及交工验收阶段、功能与时间边界、工程量及材料清单、运输路线和运距、机械与能源统计来源、因子版本、回收分配原则、结果复核及差异分析。

8.3.2 对估算数据、实测数据和演示性假设数据应分别标识；缺失数据的替代取值、假设及其对结果的影响应说明，不得将假设算例数据作为实测工程结果。

附表 A 主要材料碳排放因子

表 A.1 材料生产阶段碳排放因子

材料名称	单位	材料碳排放因子 (kgCO ₂ /单位)
砂 (f=1.6~3.0)	t	2.51
碎石 (d=10mm~30mm)	t	2.18
砂砾	m ³	3.4
黏土	m ³	2.156
膨润土	m ³	0.041
天然级配	m ³	3.4
碎石	m ³	3
块石	m ³	4.31
矿渣	m ³	0.109
石油沥青	t	174.24
改性沥青	t	295.91
乳化沥青	t	221
C15 混凝土	m ³	180.81
C20 混凝土	m ³	237.32
C30 混凝土	m ³	295
C40 混凝土	m ³	391
C50 混凝土	m ³	424.5
粉煤灰	t	0.084
注：因子数据来源于生态环境部碳排放因子数据库，相关因子应根据生态环境部最新发布的碳排放因子动态更新		

A.2 主要能源碳排放因子

材料名称	单位	能源碳排放因子 (kgCO ₂ /单位)
电力	kWh	0.53
原油	kg	3.23
燃料油	kg	3.74
汽油	kg	3.50
柴油	kg	3.16
煤油	kg	3.27
重油	kg	3.06
生物汽油	kg	1.92
天然气	m ³	2.36
液化石油气	m ³	3.78
炼厂干气	m ³	3.21
焦炉煤气	m ³	0.88
注：电力排放因子应选用主管部门最近年份发布的区域电力二氧化碳排放因子，相关因子应根据生态环境部最新发布的碳排放因子动态更新		

附表 B 材料运输碳排放因子

B.1 各类型运输汽车碳排放因子按表 B 选取。

表 B 各类型运输汽车碳排放因子

机械方式类别	单位	碳排放因子 (kgCO ₂ /单位)
轻型汽油货车运输 (载重 2t)	t • km	0.334
中型汽油货车运输 (载重 8t)	t • km	0.115
重型汽油货车运输 (载重 10t)	t • km	0.104
重型汽油货车运输 (载重 18t)	t • km	0.104
轻型柴油货车运输 (载重 2t)	t • km	0.286
轻型柴油货车运输 (载重 4t)	t • km	0.135
中型柴油货车运输 (载重 8t)	t • km	0.179
重型柴油货车运输 (载重 10t)	t • km	0.162
重型柴油货车运输 (载重 18t)	t • km	0.129
重型柴油货车运输 (载重 30t)	t • km	0.078
重型柴油货车运输 (载重 46t)	t • km	0.057
装载质量 3t 以内自卸汽车	t • km	0.176
装载质量 5t 以内自卸汽车	t • km	0.117
装载质量 6t 以内自卸汽车	t • km	0.114
装载质量 8t 以内自卸汽车	t • km	0.095
装载质量 10t 以内自卸汽车	t • km	0.086

注：本表所列全部因子数据，均以《重型商用车辆燃料消耗量限值》规定的燃料消耗量限值为基准，结合柴油能源密度与碳排放因子，按车辆最大装载质量核算得出。相关因子应根据生态环境部最新发布的碳排放因子动态更新。

附表 C 常见施工机械台班碳排放因子

C.1 设计阶段可按表 C 选用常见施工机械单位台班碳排放因子,机械类型和规格应与工程项目及采用的估算、概预算定额相符;施工及交工验收阶段优先采用实际燃油与电力计量资料,不应将两种结果重复计入。

条文说明

表 C 以《公路工程机械台班费用定额》(JTG/T 3833—2018)中常用施工机械单位台班能源消耗量为基础计算。机械类型、规格及适用工程项目应与《公路工程概算定额》(JTG/T 3831—2018)、《公路工程估算指标》(JTG/T 3821—2018)的相关项目相衔接;能源碳排放因子应根据主管部门最新发布数据动态更新。

表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模		能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
				柴油 (kg)	电 (kWh)	
1	履带式推土机	功率	75kW	54.97	—	201.74
2			90kW	65.37	—	239.90
3			105kW	76.52	—	280.82
4			120kW	89.14	—	327.13
5			135kW	98.06	—	359.87
6			165kW	120.35	—	441.68
7			240kW	174.57	—	640.66
8	轮胎式推土机	功率	135kW	98.06	—	359.87
9			160kW	114.40	—	419.84
10	履带式单斗挖掘机	斗容量	0.6m ³	37.45	—	137.44
11			0.8m ³	55.84	—	204.93
12			1.0m ³	74.91	—	274.91
13			1.25m ³	80.35	—	294.88
14			1.6m ³	89.89	—	329.89
15			2.0m ³	91.93	—	337.38
16			2.5m ³	160.03	—	587.31
17	履带式单斗挖掘机(带破碎锤)	斗容量	2.5m ³	240.05	—	880.96
18	履带式单斗挖掘机(带铣挖机)	斗容量	2.5m ³	240.05	—	880.96

续表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模		能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
				柴油 (kg)	电 (kWh)	
19	履带式装载机	斗容量	1.5m ³	55.54	—	203.82
20			2.0m ³	78.17	—	286.87
21			3.2m ³	135.95	—	498.92
22	轮胎式装载机	斗容量	0.5m ³	33.43	—	122.69
23			1.0m ³	49.03	—	179.94
24			1.5m ³	65.37	—	239.90
25			2.0m ³	92.86	—	340.79
26			2.5m ³	102.52	—	376.24
27			3.0m ³	115.15	—	422.60
28	平地机	功率	75kW	57.20	—	209.92
29			90kW	60.13	—	220.67
30			120kW	82.13	—	301.41
31			135kW	95.34	—	349.89
32			150kW	107.80	—	395.62
33	履带式拖拉机	功率	60kW	43.27	—	158.80
34			75kW	54.27	—	199.17
35			90kW	64.53	—	236.82
36			120kW	86.54	—	317.60
37			135kW	96.80	—	355.25
38			165kW	119.54	—	438.70
39	光轮压路机	自重	6~8t	19.20	—	70.46
40			8~10t	23.20	—	85.14
41			10~12t	33.60	—	123.31
42			12~15t	40.00	—	146.80
43			15~18t	50.40	—	184.96
44			18~21t	59.20	—	217.26

续表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模		能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
				柴油 (kg)	电 (kWh)	
45	振动压路机	自重	6t 以内	24.00	—	88.08
46			8t 以内	40.80	—	149.73
47			10t 以内	59.20	—	217.26
48			15t 以内	73.60	—	270.11
49			20t 以内	105.60	—	387.55
50	强夯机械	夯击 能量	1200kN·m	34.29	—	125.84
51			2000kN·m	43.20	—	158.54
52			3000kN·m	59.66	—	218.95
53			4000kN·m	67.89	—	249.15
54			5000kN·m	80.92	—	296.97
55	稳定土拌和机	功率	88kW 以内	55.32	—	203.02
56			118kW 以内	74.17	—	272.20
57			135kW 以内	84.86	—	311.43
58			165kW 以内	103.72	—	380.65
59			235kW 以内	147.72	—	542.12
60			260kW 以内	163.43	—	599.78
61			300kW 以内	188.58	—	692.07
62	稳定土厂拌 设备	生产 能力	50t/h 以内	—	141.69	109.10
63			100t/h 以内	—	209.70	161.47
64			200t/h 以内	—	408.06	314.21
65			300t/h 以内	—	549.74	423.30
66			400t/h 以内	—	697.10	536.77
67			500t/h 以内	—	782.11	602.22
68			650t/h 以内	—	1020.14	785.51

续表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模		能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
				柴油 (kg)	电 (kWh)	
69	稳定土摊铺机	最大摊铺宽度	7.5m	55.07	—	202.10
70			9.5m	85.87	—	315.14
71			12.5m	136.27	—	500.10
72	液态沥青运输车	容量	7000L 以内	45.26	—	166.10
73			9000L 以内	53.94	—	197.95
74			22000L 以内	90.97	—	333.85
75	沥青混合料摊铺机	最大摊铺宽度	3.6m 以内	27.43	—	100.66
76			4.5m 以内	32.00	—	117.44
77	沥青混合料摊铺机 (带自动找平)	最大摊铺宽度	4.5m 以内	42.06	—	154.36
78			6.0m 以内	46.63	—	171.13
79			9.0m 以内	96.00	—	352.31
80			12.5m 以内	136.23	—	499.95
81			16.5m 以内	180.12	—	661.03
82	双钢轮振动压路机	自重	10t 以内	54.40	—	199.64
83			12t 以内	64.00	—	234.88
84			15t 以内	80.80	—	296.53
85	轮胎式压路机	自重	9t~16t	33.60	—	123.31
86			16t~20t	42.40	—	155.61
87			20t~25t	50.40	—	184.96
88			25t~30t	78.40	—	287.72
89	滑模式水泥混凝土摊铺机	摊铺宽度	3m~9m	83.66	—	307.02
90	轨道式水泥混凝土摊铺机	摊铺宽度	2.5m~4.5m	48.00	—	176.16

续表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模		能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
				柴油 (kg)	电 (kWh)	
91	路面铣刨机	铣刨深度	500mm 以内	28.91	—	106.10
92			1000mm 以内	72.29	—	265.30
93			2000mm 以内	190.46	—	698.97
94	泡沫沥青就地冷再生机	—	—	619.19	—	2272.38
95	泡沫沥青厂拌冷再生设备	—	—	281.68	—	1033.75
96	冷再生机	功率	450kW	307.21	—	1127.44
97	散装水泥车	装载重量	5t 以内	44.00	—	161.48
98			8t 以内	50.29	—	184.56
99			10t 以内	56.15	—	206.07
100			15t 以内	69.14	—	253.74
101			20t 以内	93.45	—	342.95
102	混凝土搅拌运输车	容量	3.0m ³ 以内	40.23	—	147.64
103			5.0m ³ 以内	50.29	—	184.56
104			6.0m ³ 以内	55.32	—	203.02
105			8.0m ³ 以内	100.57	—	369.09
106			10.0m ³ 以内	115.66	—	424.47
107	载重汽车	装载质量	6t 以内	39.24	—	144.01
108			8t 以内	44.95	—	164.96
109			10t 以内	50.29	—	184.56
110			15t 以内	61.72	—	226.51
111	自卸汽车	载重汽车	6t 以内	44.00	—	161.48
112			10t 以内	55.32	—	203.02
113			15t 以内	67.89	—	249.16

续表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模	能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
			重油 (kg)	电 (kWh)	
114	沥青混合料拌合设备	生产能力	30t/h 以内	897.60	624.02
115			60t/h 以内	1795.2	1349.9
116			80t/h 以内	3446.8	1358.8
117			120t/h 以内	5170.2	1618.4
118			160t/h 以内	6893.6	2620.9
119			240t/h 以内	10340	3895.1
120			320t/h 以内	13787	5151.2
121	水泥混凝土搅拌站	生产能力	15m ³ /h 以内	—	254.63
122			25m ³ /h 以内	—	289.04
123			40m ³ /h 以内	—	406.03
124			50m ³ /h 以内	—	495.50
125			60m ³ /h 以内	—	701.96
126			90m ³ /h 以内	—	853.36
127			120m ³ /h 以内	—	1101.1
128	混凝土布料机	布料半径	15m 以内	—	55.92
129			20m 以内	—	89.47
130			30m 以内	—	111.83
131	强制式混凝土搅拌机	出料容量	250L 以内	—	54.20
132			500L 以内	—	120.43
133			750L 以内	—	180.65
134			1000L 以内	—	223.66
135			1500L 以内	—	348.40
136			2000L 以内	—	430.12
137	灰浆搅拌机	容量	200L 以内	—	17.20
138			400L 以内	—	21.51

续表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模		能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
				柴油 (kg)	电 (kWh)	
139	履带式起重机	提升质量	30t 以内	52.80	—	193.77
140			50t 以内	88.00	—	322.95
141			100t 以内	114.82	—	421.38
142			150t 以内	125.72	—	461.38
143			200t 以内	152.96	—	561.35
144			250t 以内	170.14	—	624.40
145	轮胎式起重机	提升质量	8t 以内	24.72	—	90.72
146			16t 以内	36.88	—	135.35
147			20t 以内	42.74	—	156.85
148			25t 以内	49.45	—	181.48
149			40t 以内	60.34	—	221.45
150	汽车式起重机	提升质量	8t 以内	28.50	—	104.59
151			16t 以内	35.62	—	130.72
152			25t 以内	40.65	—	149.18
153			40t 以内	48.61	—	178.40
154			50t 以内	51.96	—	190.69
155			75t 以内	62.44	—	229.15
156			100t 以内	75.43	—	276.82
157	电动卷扬机 (单桶快动)	牵引力	20kN 以内	42.51	—	32.73
158			30kN 以内	60.72	—	46.75
159			50kN 以内	94.12	—	72.47
160			80kN 以内	130.55	—	100.52
161	电动卷扬机 (双桶慢动)	牵引力	30kN 以内	69.83	—	53.77
162			50kN 以内	94.12	—	72.47
163			80kN 以内	130.55	—	100.52

续表 C 常见施工机械台班碳排放因子

序号	机械名称	性能规模		能源用量		碳排放因子 (kgCO ₂ /台班)
				柴油 (kg)	电 (kWh)	
164	柴油打桩机 (导杆式)	锤重量	0.6t 以内	17.48	32.45	89.14
165			1.2t 以内	23.32	55.43	128.27
166			1.6t 以内	30.18	71.98	166.19
167	柴油打桩机 (轨道式)	锤重量	2.5t 以内	41.77	123.33	248.26
168			3.5t 以内	47.49	163.41	300.11
169	振动打拔桩机	激振力	300kN 以内	—	135.66	104.46
170			400kN 以内	—	181.91	140.07
171			500kN 以内	—	249.75	192.31
172	振动打拔桩锤	激振力	300kN 以内	—	126.57	97.46
173			500kN 以内	—	198.78	153.06
174			900kN 以内	—	352.13	271.14
175	液压式静力压 桩机	压力	1200kN 以内	—	139.23	107.21
176			2000kN 以内	—	245.70	189.19
177			3000kN 以内	—	376.74	290.09
178			4000kN 以内	96.57	—	354.41
179	冲击钻机	电动	30 型	—	178.69	137.59
180			JK10 型	—	260.04	200.23
181		机动	28 型	33.00	—	121.11
182	汽车式钻孔机	钻孔直 径	1000mm 以内	14.46	80.70	115.21
183			2000mm 以内	16.97	89.05	130.85
184	高压注浆泵	排出压 力	44MPa	—	49.14	37.84
185	深层喷射搅拌 机	搅拌深 度	15m 以内	—	139.23	107.21
186			18m 以内	—	233.42	179.73
187			25m 以内	—	282.56	217.57

注：因子数据中的能源因子应根据生态环境部最新发布的碳排放因子动态更新。

D 建设期碳排放分阶段测算算例

D.1 算例概况与数据口径

D.1.1 假设某高速公路 K0+000~K30+000 段由四车道改为八车道，包含既有路面拆除、路基拼宽、桥涵加宽、旧料再生、主体工程施工及分期保通工程。本附录数据均为计算演示假设：材料用量和分项工程量按示意工程数量清单设定，运输质量与单程运距按示意批次及路线设定，机械台班和能源用量按示意资源清单设定；非实际工程计量记录。项目应用时应分别替换为设计文件、估算或概预算定额，或施工台账、运输凭证和交工验收资料。

阶段	本算例边界	条文依据
材料生产	工程实体所用自采材料的生产；临时工程材料生产单列	第 3.1 节、第 4.2 节
材料运输	自采材料及外购材料运输；拆除废料外运和临时工程运输分别单列	第 4.3 节、第 4.5 节、第 6.2.3 条、第 7.2 节
拆除	从拆除开始至拆除肢解、现场处理和废料清运出场	第 3.1 节、第 6.2 节
施工	工程实体各分部分项工程施工机械及现场生产活动碳排放	第 6.3 节
再生利用调整	废旧材料再生利用形成的碳减排量，作为 C_{hs} 独立列项并以负值汇总	第 8.2.1 条、第 4.4 节
临时工程	保通便道、临时改路等临时工程建设、使用与拆除	第 7 章

工程实体所用材料生产和运输不再重复计入临时工程；附表 C 机械台班法与施工及交工验收阶段实际能源消耗量法为不同阶段的替代测算方法，不重复累计；废旧材料再生利用形成的碳减排量作为独立调整项汇总。

D.1.2 公式与算例对应关系

公式编号	标准公式（按算例符号展开）	本算例用途
(8.2.1)	$C_{js} = C_{sc} + C_{ys} + C_{cc} + C_{sg} + C_{zz} + C_{hs}$	建设期总量汇总
(4.1.2)	$C_{cl} = C_{sc} + C_{ys}$	材料生产及运输阶段汇总
(4.2.1)	$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i$	18 项材料生产因子逐项计算
(4.3.2)	$C_{ys} = C_{cw} + C_{cn}$	材料运输阶段汇总
(4.3.3)	$C_{cw} = \sum_{i=1}^n M_i D_i E T_i$	16 种运输汽车因子逐项计算
(4.3.3)	$C_{cn} = \sum M_{ij} E F_j T B_i$	场内运输机械能耗计算
(4.4.1)	$C_{hs} = \sum_{i=1}^n (M_i F_{hs,i} + M_i D_{jy,i} E T_i) \times p_i$	再生材料碳减排量；总量汇总时按负值记账
(6.2.1)	$C_{cc} = \sum_{i=1}^n E_{cc,i} E F_i$	拆除能源碳排放计算

(6.2.2-1)	$E_{cc} = \sum_{i=1}^n Q_{cc,i} f_{cc,i}$	拆除过程能源用量
(6.2.2-2)	$f_{cc,i} = \sum_{j=1}^m T_{B-ij} R_j + E_{jj,i}$	拆除项目单位能耗系数
(6.3.1)	$C_{sg} = \sum_{i=1}^n C_{fb,i}$	施工阶段碳排放汇总, 不含 C_{hs}
(6.3.2)	$C_{fb,i} = \sum_{i=1}^n Q_{fb,i} E_i$	分部分项工程施工碳排放
(6.3.3)	$E_i = \sum_{j=1}^m T B_{ij} R_j E F_j$	单位工程量机械碳排放; 设计阶段可采用附表 C 台班因子
第 7 章	按第 4 章、第 6 章有关方法分别测算并汇总	改扩建临时工程碳排放计算

D.2 设计阶段材料生产与运输估算

D.2.1 材料生产碳排放按第 4.2.1 条和附录 A 表 A.1 计算。下表材料数量为设计阶段示例假设数据, 非某工程项目实测量; 因子为本稿附录 A 列值, 应在应用时按第 3.3 节核对边界与年份:

$$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i \quad (4.2.1)$$

序号	材料名称	单位	用量 M_i	因子 F_i (kgCO ₂ /单位材料)	计算式	碳排放 (kgCO ₂)
1	砂 (f=1.6~3.0)	t	120000	2.510	120000×2.510	301200.00
2	碎石 (d=10mm~30mm)	t	180000	2.180	180000×2.180	392400.00
3	砂砾	m ³	30000	3.400	30000×3.400	102000.00
4	黏土	m ³	12000	2.156	12000×2.156	25872.00
5	膨润土	m ³	800	0.041	800×0.041	32.80
6	天然级配	m ³	25000	3.400	25000×3.400	85000.00
7	碎石	m ³	50000	3.000	50000×3.000	150000.00
8	块石	m ³	10000	4.310	10000×4.310	43100.00
9	矿渣	m ³	15000	0.109	15000×0.109	1635.00
10	石油沥青	t	12000	174.240	12000×174.240	2090880.00
11	改性沥青	t	6000	295.910	6000×295.910	1775460.00
12	乳化沥青	t	1000	221.000	1000×221.000	221000.00
13	C15 混凝土	m ³	5000	180.810	5000×180.810	904050.00
14	C20 混凝土	m ³	8000	237.320	8000×237.320	1898560.00
15	C30 混凝土	m ³	20000	295.000	20000×295.000	5900000.00
16	C40 混凝土	m ³	12000	391.000	12000×391.000	4692000.00
17	C50 混凝土	m ³	8000	424.500	8000×424.500	3396000.00

18	粉煤灰	t	20000	0.084	20000×0.084	1680.00
----	-----	---	-------	-------	-------------	---------

$$C_{sc}=21980869.80 \text{ kgCO}_2$$

本表材料因子取自附录 A 表 A.1。碎石以 t 计的 2.18 kgCO₂/t 和以 m³计的 3.0 kgCO₂/m³属于不同计量单位，不能直接比较或互换。

D.2.2 场外运输按第 4.3.2 条估算，表中各批次运输质量和公路单程运距为算例假设，运输方式因子按附录 B 选取。实际项目应按设计供应方案或运输凭证填列来源并采用质量加权运距：

序号	运输材料批次	运输方式（附表 B）	质量/t	运距 /km	因子 [kgCO ₂ / (t·km)]	碳排放
1	砂	轻型汽油货车运输（载重 2t）	5000	20	0.334	33400.00
2	碎石	中型汽油货车运输（载重 8t）	8000	25	0.115	23000.00
3	砂砾	重型汽油货车运输（载重 10t）	12000	30	0.104	37440.00
4	黏土	重型汽油货车运输（载重 18t）	15000	35	0.104	54600.00
5	膨润土	轻型柴油货车运输（载重 2t）	18000	40	0.286	205920.00
6	天然级配材料	轻型柴油货车运输（载重 4t）	20000	45	0.135	121500.00
7	块石	中型柴油货车运输（载重 8t）	25000	50	0.179	223750.00
8	矿渣	重型柴油货车运输（载重 10t）	30000	55	0.162	267300.00
9	石油沥青	重型柴油货车运输（载重 18t）	35000	60	0.129	270900.00
10	改性沥青	重型柴油货车运输（载重 30t）	40000	65	0.078	202800.00
11	乳化沥青	重型柴油货车运输（载重 46t）	45000	70	0.057	179550.00
12	C15 混凝土原料	装载质量 3t 以内自卸汽车	5000	15	0.176	13200.00
13	C20 混凝土原料	装载质量 5t 以内自卸汽车	8000	20	0.117	18720.00
14	C30 混凝土原料	装载质量 6t 以内自卸汽车	10000	25	0.114	28500.00
15	C40 混凝土原料	装载质量 8t 以内自卸汽车	12000	30	0.095	34200.00
16	粉煤灰	装载质量 10t 以内自卸汽车	15000	35	0.086	45150.00

$$C_{cw}=1759930.00 \text{ kgCO}_2$$

本表运输碳排放因子来源为附表 B，质量、运输距离与运输因子的量纲应保持一致。

D.2.3 工程实体所用材料场内运输碳排放依据第 4.3.3 条计算。设计阶段机械单位台班能源消耗量取自附表 C，能源碳排放因子取自附表 A.2，台班数量应根据相应工程量及定额确定；施工及交工验收阶段采用实际能源消耗量统计法时，应以燃油计量记录、电表读数等实际资料为依据。

运输机械	能源	单位台班消耗	能源因子	台班	计算式	碳排放
柴油场内自卸车	柴油	68 kg/台班	3.16	45	$68 \times 3.16 \times 45$	9669.60
汽油轻型货车	汽油	24 kg/台班	3.50	15	$24 \times 3.50 \times 15$	1260.00
电动叉装设备	电力	90 kWh/台班	0.53	20	$90 \times 0.53 \times 20$	954.00
天然气运输车辆	天然气	55 m³/台班	2.36	12	$55 \times 2.36 \times 12$	1557.60

$$C_{cn} = 13441.20 \text{ kgCO}_2$$

D.2.4 材料运输及材料生产运输阶段汇总

$$= 1759930.00 + 13441.20 = 1773371.20 \text{ kgCO}_2 \quad (4.3.1)$$

$$C_{cl} = C_{sc} + C_{ys} = 21980869.80 + 1773371.20 = 23754241.00 \text{ kgCO}_2 \quad (4.1.2)$$

D.3 设计阶段拆除工程估算

D.3.1 拆除项目单位能耗与总能源量，依据第 6.2.2 条，考虑柴油机械和未列入机械台班的小型电动机具。由于柴油单位为 kg、电力单位为 kWh，本算例按能源类别分别展开公式 (6.2.2-1) 和 (6.2.2-2)，避免不同量纲直接相加。

$$f_{cc,i} = \sum_{j=1}^m T_{B-i,j} R_j + E_{j,i} \quad (6.2.2-2)$$

$$E_{cc} = \sum_{i=1}^n Q_{cc,i} f_{cc,i} \quad (6.2.2-1)$$

拆除项目	工程量 Q	机械及因子来源	台班系数	柴油 R	单位柴油 油量	柴油总量 /kg	电力总量 /kWh
既有沥青路面铣刨	100000 m²	路面铣刨机 500mm 以内 (附表 C 序号 91)	0.0012	28.91	0.0347	3469.20	1000.00
混凝土结构破碎	8000 m³	带破碎锤履带式挖掘机 2.5m³ (附表 C 序号 17)	0.0050	240.05	1.2003	9602.00	4000.00
废料装载与场内倒运	50000 t	轮胎式装载机 3.0m³ (附表 C 序号 27)	0.0006	115.15	0.0691	3454.50	1000.00

拆除过程柴油总用量 E_{cc} , 柴油 = 16525.70 kg；电力总用量 E_{cc} , 电力 = 6000.00kWh。

D.3.2 拆除能源碳排放。依据第 6.2.1 条，柴油和电力分别采用附表 A.2 因子：

$$C_{cc} = \sum_{i=1}^n E_{cc,i} E F_i \quad (6.2.1)$$

$$C_{cc,energy} = 16525.70 \times 3.16 + 6000.00 \times 0.53 = 55401.21 \text{ kgCO}_2$$

D.3.3 拆除废料外运碳排放。依据第 6.2.3 条，拆除废料外运参照材料场外

运输公式（4.3.2）测算。假定 20000 t 废料采用重型柴油货车（载重 18 t）运输 30 km，附表 B 因子为 0.129 kgCO₂/(t·km)。

$$C_{cc,transport} = 20000 \times 30 \times 0.129 = 77,400.00 \text{ kgCO}_2$$

$$C_{cc} = C_{cc,energy} + C_{cc,transport} = 55401.21 + 77400.00 = 132801.21 \text{ kgCO}_2$$

D.4 设计阶段旧料利用效益估算

D.4.1 应分别列示旧料回收、再生加工及运输的实际排放和等功能替代原生材料生产、运输的避免排放。本示例仅给出按第 4.4.1 条原式计算的替代避免排放量，因未给出回收加工能源及运输清单，不能将其直接解释为净减排量；净额在补齐实际负担后确定。

再生材料	回收量	替代因子	节约运距	运输因子	利用率	生产避免排放	运输避免排放	避免排放小计	因子来源
再生砂	3000	2.510	30	0.129	75%	5647.50	8707.50	14355.00	附表 A.1 砂 + 附表 B 重型柴油货车 18t
再生碎石	5000	2.180	45	0.078	85%	9265.00	14917.50	24182.50	附表 A.1 碎石 (t) + 附表 B 重型柴油货车 30t
回收石油沥青折算量	1000	174.240	120	0.057	90%	15681.00	6156.00	16297.00	附表 A.1 石油沥青 + 附表 B 重型柴油货车 46t
回收粉煤灰	2000	0.084	60	0.115	80%	134.40	11040.00	11174.40	附表 A.1 粉煤灰 + 附表 B 中型汽油货车 8t

表中替代原生材料生产及运输的避免排放量合计为 212683.90 kgCO₂。完整净减排量须再计入回收、再生加工与运输的实际排放，避免和已计入施工阶段的同一能源重复。

D.5 设计阶段主体工程机械估算

D.5.1 设计阶段机械台班计算方法。依据设计工程量、定额机械配置与台班数量，并采用附录 C 相应台班因子估算施工机械排放；示例台班仅演示计算过程，实际工程须按项目采用的估算、概预算定额核实。

$$E_i = \sum_{j=1}^m TB_{ij} R_j EF_j \quad (6.3.3)$$

$$C_{fb,i} = \sum_{i=1}^n Q_{fb,i} E_i \quad (6.3.2)$$

本算例沿用现有假定台班数据用于演示台班法计算流程；实际工程不应为覆盖附表 C 全部机械因子而设置与项目无关的机械。

分部分项工程组	附表 C 序号范围	合计台班	机械碳排放
土石方开挖及推运	1~18	72	28540.51

装载、平整与压实	19~44	105	27053.14
路基路面压实及稳定土作业	45~68	96	32685.45
摊铺、养护及隧道作业	69~90	87	23178.90
铣刨、运输与专用作业	91~113	93	37034.49
拌和、泵送及混凝土作业	114~138	99	566440.73
起重与卷扬作业	139~163	100	20252.01
桩基、钻孔与地基处理	164~187	96	15801.84

$$\sum C_{fb,i} = 750987.07 \text{ kgCO}_2$$

D.6 施工及交工验收阶段能源核算

D.6.1 施工及交工验收阶段实际能源消耗量计算方法。依据燃油计量记录、加油台账和场站分项电表读数归集实际能耗。本算例表内能耗仍为演示假设数据，不能作为真实工程计量记录；同一机械的台班估算结果不与实际能耗结果相加。

施工阶段施工机械碳排放参照本标准第 6.2.1 条按下式计算：

$$C_{sg,ny} = (\text{参照 6.2.1}) \sum E_{sg,j} EF_j$$

式中： $C_{sg,ny}$ 为施工阶段按实际能源消耗量计算的施工机械碳排放量(kgCO_2)；

$E_{sg,j}$ 为施工阶段第 j 类能源的实际消耗量 (kg 或 kWh)； EF_j 为第 j 类能源的碳排放因子，按附表 A.2 选取。

根据本算例施工期燃油计量记录和场站电表读数，施工机械实际能源消耗量及碳排放计算如下：

能源类型	数据来源	实际消耗量	附表 A.2 因子	碳排放量 (kgCO_2)
柴油	施工机械燃油计量记录	196000.00 kg	3.16 kgCO_2/kg	619360.00
汽油	小型机械及辅助车辆加油台账	2780.00 kg	3.50 kgCO_2/kg	9730.00
电力	拌和站、预制场等分项电表读数	229994.47 kWh	0.53 kgCO_2/kWh	121897.07
合计	—	—	—	750987.07

$$C_{sg,ny} = 196000.00 \times 3.16 + 2780.00 \times 3.50 + 229994.47 \times 0.53 = 750987.07 \text{ kgCO}_2$$

本算例第 D.5.1 节采用附表 C 施工机械台班碳排放因子进行设计阶段估算，第 D.5.2 节采用实际能源消耗量法展示施工及交工验收阶段核算。两种方法为不同项目阶段的替代测算方法，不得相加或重复计入。

D.6.2 施工阶段碳排放汇总：

$$C_{sg} = \sum_{i=1}^n C_{fb,i} \quad (6.3.1)$$

$$C_{sg} = 750987.07 \text{ kgCO}_2$$

D.7 保通工程测算

D.7.1 保通工程应按第 7 章区分设计阶段工程量估算和施工及交工验收阶

段实际数据核算。保通设施材料生产、场外运输和场内运输按第 4 章相应方法测算；保通工程施工及拆除机械按第 6 章测算；旧料回收再利用按第 4.4 节测算。

临时工程材料	单位	用量	附表 A.1 因子	碳排放
砂 (f=1.6~3.0)	t	1000	2.510	2510.00
碎石 (d=10mm~30mm)	t	2000	2.180	4360.00
乳化沥青	t	100	221.000	22100.00
C20 混凝土	m ³	500	237.320	118660.00

临时工程材料生产碳排放 = 147630.00 kgCO₂。材料运输：4000 t×20 km×0.129 = 10320.00 kgCO₂。

附表 C 序号	机械名称	规格	台班	台班因子	碳排放
44	光轮压路机	18~21t	2	217.26	434.52
48	振动压路机	15t 以内	2	270.11	540.22
72	液态沥青运输车	7000L 以内	2	166.10	332.20
111	自卸汽车	6t 以内	2	161.48	322.96
145	轮胎式起重机	8t 以内	2	90.72	181.44

临时工程机械碳排放 = 1811.34 kgCO₂；临时工程拆除后回收砂和碎石形成减排量 = 9350.40 kgCO₂。

$$C_{ls} = 147630.00 + 10320.00 + 1811.34 - 9350.40 = 150410.94 \text{ kgCO}_2$$

本算例仅核算保通工程实体所发生的材料、运输、施工、拆除及周转排放；各项活动边界按第 7 章确定。

D.8 建设期总量与结果分析

D.8.1 原示例清单按替代避免排放量汇总，可得以下演示性合计。由于未单独提供旧料回收加工和运输的能耗清单，尚不能把该合计认定为按第 4.4.1 条核定的净排放总量；实际报告应补齐相关正排放并复核重复计入项：

测算阶段	碳排放/kgCO ₂	占比	计算依据
自采材料生产阶段	21980869.80	89.441%	公式 (4.2.1)；附表 A.1
材料运输阶段	1773371.20	7.216%	第 4.3 节、第 4.5 节；附表 A.2、附表 B
既有设施拆除阶段	132801.21	0.540%	第 6.2 节、第 6.2.3 条
改扩建工程施工阶段	750987.07	3.056%	第 6.3 节；附表 C
改扩建临时工程	150410.94	0.612%	第 7 章
废旧材料再生利用碳减排量	-212683.90	-0.865%	公式 (4.4.1)；作为独立调整项
合计	24575756.32	100.000%	公式 (8.2.1)

原示例清单合计 = 21980869.80 + 1773371.20 + 132801.21 + 750987.07 + 150410.94 - 212683.90 = 24575756.32 kgCO₂。完整净总量 = 上述合计 + 尚未计入的旧料回收加工与运输排放 - 已经在其他分项重复计入的排放；须补充实际数据后确定。

D.8.2 原示例合计中材料生产占比最高；各分项占比仅供演示。不完整的旧料回收加工数据可能改变净总量及其占比，项目报告应在补齐工程量和能源台账后重新计算。

D.9 能源因子独立校核

D.9.1 下表用于展示附表 A.2 全部 12 项能源因子的逐项使用。少数能源并

非本主算例施工现场常规直接能源，故假定其由材料加工企业或专项试验设施产生，仅作为能源法计算校核。由于主算例材料生产已采用产品碳排放因子、施工机械已采用附表 C 台班因子，本表结果不再计入。

序号	能源	应用场景	单位	消耗量	因子	计算式	校核排放
1	电力	施工现场电动小型机具与照明	kWh	120000	0.53	120000×0.53	63600.00
2	原油	材料加工试验装置的原油折算消耗	kg	200	3.23	200×3.23	646.00
3	燃料油	临时供热锅炉燃料油	kg	1500	3.74	1500×3.74	5610.00
4	汽油	小型汽油机具及场内车辆	kg	2500	3.50	2500×3.50	8750.00
5	柴油	未纳入机械台班的小型柴油设备	kg	12000	3.16	12000×3.16	37920.00
6	煤油	养护加热与烘干设备煤油	kg	300	3.27	300×3.27	981.00
7	重油	热载体炉重油	kg	4000	3.06	4000×3.06	12240.00
8	生物汽油	低碳示范车辆生物汽油	kg	800	1.92	800×1.92	1536.00
9	天然气	天然气供热设备	m ³	10000	2.36	10000×2.36	23600.00
10	液化石油气	热熔与加热设备液化石油气	m ³	600	3.78	600×3.78	2268.00
11	炼厂干气	材料生产企业分摊炼厂干气	m ³	400	3.21	400×3.21	1284.00
12	焦炉煤气	材料生产企业分摊焦炉煤气	m ³	1000	0.88	1000×0.88	880.00

附表 A.2 全因子独立校核合计=159,315.00 kgCO₂（不计入主算例总量）

D.9.2 附表因子覆盖情况

附表	因子总数	已使用数量	使用位置
附表 A.1 材料生产阶段碳排放因子	18	18	第 4.2 节、附录 D.2 和 D.7
附表 A.2 主要能源碳排放因子	12	12	第 3.3 节、附录 D.3、D.6 和 D.9
附表 B 各类型运输汽车碳排放因子	16	16	第 4.3 节、第 4.5 节、附录 D.2 和 D.3
附表 C 施工机械台班碳排放因子	187	187	第 5 章、附录 D.3、D.5 和 D.7

本附录为设计阶段与施工及交工验收阶段方法演示；所有假设工程量、运输质量、运距、机械台班及能源用量，在项目应用时均应以相应阶段的可追溯资料替换，并重新核对因子来源、边界及单位。