



T/CECS XXX—202X

---

中国工程建设标准化协会标准

## 铁路隧道碳排放计算标准

Carbon emission calculation standard for railway tunnels

(征求意见稿)

XXXX出版社

202X年·北京

**中国工程建设标准化协会标准**

**铁路隧道碳排放计算标准**

Technical regulations for open excavation method of railway tunnel

(征求意见稿)

**T/CECS XXX—202X**

主编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX年X月X日

**XXXX 出版社**

**202X 年 · 北京**

# 中国工程建设标准化协会公告

第 XXX 号

关于公布《铁路隧道碳排放计算标准》的公告

根据中国工程建设标准化协会发布的《关于印发《2022 年第二批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字[2022]40 号）的要求，由中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁工程设计咨询集团有限公司等单位编制的《铁路隧道碳排放计算标准》，经本协会铁道分会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS\*\*-202\*，自 202\*年\*月\*日起施行。

中国工程建设标准化协会

202X 年 XX 月 XX 日

## 前 言

本规程的主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、铁路隧道建  
材生产及运输阶段碳排放计算、矿山法铁路隧道施工阶段碳排放计算、明挖  
法铁路隧道施工阶段碳排放计算、掘进机法铁路隧道施工阶段碳排放计算、  
铁路隧道运营维护阶段碳排放计算、附录等。

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。

本标准由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁第四勘察  
设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，  
请寄送至 XXXX（地址：XXXX；邮政编码：XXXX）

**本规程主编单位：** 中铁第四勘察设计院集团有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

**本规程参编单位：** 中国铁路经济规划研究院有限公司

中国铁道科学研究院有限公司

西南交通大学

北京交通大学

中南大学

北京工业大学

中铁十一局集团有限公司

中铁十四局集团有限公司

中铁五局集团有限公司

山东大学

石家庄铁道大学

南昌交通学院

本规程主要起草人员：XXX XXX

本规程主要审查人员：XXX XXX

# 目 录

1	总 则 .....	1
2	术语和符号 .....	2
2.1	术 语 .....	2
2.2	符 号 .....	3
3	基本规定 .....	5
4	铁路隧道建材生产及运输阶段碳排放计算 .....	6
4.1	一般规定 .....	6
4.2	建材生产 .....	6
4.3	建材运输 .....	7
5	矿山法铁路隧道施工阶段碳排放计算 .....	9
5.1	一般规定 .....	9
5.2	矿山法隧道施工碳排放 .....	9
6	明挖法铁路隧道施工阶段碳排放计算 .....	11
6.1	一般规定 .....	11
6.2	明挖法隧道施工碳排放 .....	12
7	掘进机法铁路隧道施工阶段碳排放计算 .....	13
7.1	一般规定 .....	13
7.2	掘进机法隧道施工碳排放 .....	14
8	铁路隧道运营维护阶段碳排放计算 .....	15
8.1	一般规定 .....	15
8.2	隧道运营维护碳排放 .....	15
	标准引用目录 .....	20
	附录 A 主要材料碳排放因子 .....	21
	附录 B 主要能源碳排放因子 .....	22

附录 C 建材运输碳排放因子 .....	23
附录 D 常用施工机械台班能源用量 .....	24
附录 E 铁路隧道碳排放计算案例 .....	31
本标准用词说明 .....	42

## Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic Regulations.....	5
4	Calculation of carbon emissions in the production and transportation stages of building materials in railway tunnels.....	6
4.1	General Regulations.....	6
4.2	Production of building materials.....	6
4.3	Transportation of building materials.....	7
5	Calculation of carbon emissions during the construction phase of railway tunnels using the mining method.....	9
5.1	General Regulations.....	9
5.2	Carbon emissions from tunnel construction using the mining method.....	10
6	Calculation of carbon emissions during the construction phase of railway tunnels by cut-and-cover method.....	11
6.1	General Regulations.....	11
6.2	Carbon emissions from open-cut tunnel construction.....	12
7	Calculation of carbon emissions during the construction phase of railway tunnels using the TBM method.....	13
7.1	General Regulations.....	13
7.2	Carbon emissions from tunnel construction using the TBM method.....	14

8 Carbon emission calculation during the operation and maintenance phase of railway tunnels.....	15
8.1 General Regulations.....	15
8.2 Carbon emissions from tunnel operation and maintenance.....	15
Standard reference list.....	20
Appendix A Carbon Emission Factors for Major.....	21
Appendix B Major Energy Carbon Emission.....	22
Appendix C Carbon Emission Factors for the Transportation of Building....	23
Appendix D Energy Consumption of Commonly Used Construction Machinery.....	24
Appendix E Example 25 of Carbon Emission Calculation for Railway Tunnels.....	31
Explanation of the wording used in this standard.....	42

# 1 总 则

1.1.1 为贯彻国家有关应对气候变化制定的“双碳”政策，规范铁路隧道工程生命周期碳排放计算方法，做到节约资源能源，保护生态环境，制定本标准。

1.1.2 本标准适用于新建铁路隧道生命周期内相关建筑材料的生产及运输和隧道施工、隧道运营维护阶段的碳排放计算。

1.1.3 铁路隧道碳排放计算除应符合本标准外，尚应符合国家、地方现行有关标准及现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 铁路隧道碳排放 carbon emissions from railway tunnels

铁路隧道碳排放是指全生命周期阶段内相关建筑材料的生产及运输、主体隧道的施工建造、运营维护阶段产生的温室气体排放的总和。由于二氧化碳是排放量最高、最为常见的温室气体，因此通常以二氧化碳排放当量作为温室气体排放量的衡量标准，简称“碳排放”。

#### 2.1.2 生命周期 life cycle

铁路隧道从规划设计、施工建造、运营维护的全过程。

#### 2.1.3 计算边界 calculate boundaries

在铁路隧道生命周期内，与铁路隧道相关建筑材料的生产及运输，主体隧道的施工建造、运营活动过程相关二氧化碳排放的计算范围，用于划分二氧化碳排放量的计算阶段。

#### 2.1.4 碳排放因子 carbon emission factor

每生产单位质量的材料或能源产生的二氧化碳排放量。

#### 2.1.5 排放系数法 emission coefficient method

将铁路隧道生产活动相关的材料能源消耗量乘上对应的碳排放因子，可量化铁路隧道不同生产活动过程的碳排放。

#### 2.1.6 矿山法 mining method

采用钻眼爆破、格栅钢架支撑作业方式开挖坑道而修建隧道的施工方法。因借鉴矿山开拓巷道的方法而得名。

### 2.1.7 明挖法 cut and cover method

由地面挖开的基坑中修筑地下结构的方法。包括明挖、盖挖顺作和盖挖逆作等工法。

### 2.1.8 掘进机法 tunnel-boring machine method

使用集掘进、出碴、支护等多功能为一体的大型高效隧道施工机械进行隧道开挖的方法。

## 2.2 符号

### 2.2.1 几何尺寸

$A$ ——隧道面积；

$D_i$ ——第  $i$  种建材从生产加工地运送至隧道施工现场的平均运输距离。

### 2.2.2 材料能源消耗量

$M_i$ ——第  $i$  种主要建材的消耗量；

$e_j$ ——第  $j$  种施工机械工作单位台班时间的能源消耗量。

### 2.2.3 计算系数

$F_i$ ——第  $i$  种主要建材的碳排放因子；

$ET_i$ ——第  $i$  种运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子；

$f_j$ ——第  $j$  种施工机械燃料能源的碳排放因子。

### 2.2.4 碳排放量

$C_z$ ——隧道工程生命周期碳排放总量

$C_{jc}$ ——建材生产及运输阶段碳排放量；

$C_{sc}$ ——建材生产阶段碳排放；

$C_{ys}$ ——建材运输阶段碳排放；

$C_{sg}$ ——隧道施工阶段碳排放；

$C_{fb}$ ——隧道施工分部工程碳排放；

$E_i$ ——隧道施工每完成单位工程量的第  $i$  个施工项目产生的碳排放；

$C_R$ ——运营维护阶段碳排放。

### 2.2.5 其他

$t_{i,j}$ ——铁路隧道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；

$Q_i$ ——铁路隧道施工第  $i$  个施工项目的工程量。

### 3 基本规定

3.1.1 铁路隧道碳排放计算应以单个隧道或隧道群为计算对象。

3.1.2 隧道碳排放的计算可在隧道规划设计阶段对相关碳排放进行估算，也可以在隧道竣工后核算整个过程的碳排放量。

3.1.3 铁路隧道碳排放计算可涵盖建材生产及运输阶段、隧道施工阶段、运营维护阶段 4 个阶段的全生命周期，也可计算某一阶段的碳排放。

3.1.4 以二氧化碳当量作为基本衡量指标收集隧道碳排放计算的相关排放因子数据。

3.1.5 材料和能源的碳排放因子应尽量从由当地或国家权威组织机构于近期公布的数据库中选取，若无法区分优先级别，可取平均值用于碳排放计算。

3.1.6 隧道施工建造、运营等阶段因电力能源消耗产生的碳排放影响，考虑的是在电力上游发电过程释放的二氧化碳当量。

3.1.7 隧道施工阶段碳排放应根据不同的施工方法选取相应的计算方法。

3.1.8 铁路隧道生命周期碳排放应根据需要按建材生产、建材运输、隧道施工、运营维护不同阶段进行计算，并将分段计算结果累加作为隧道工程碳排放总量。

$$C_z = C_{sc} + C_{ys} + C_{sg} + C_R \quad (3.1.8)$$

式中， $C_z$ ——隧道工程生命周期碳排放总量（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_{sc}$ ——建材生产阶段碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_{ys}$ ——建材运输阶段碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_{sg}$ ——隧道施工阶段碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_R$ ——运营维护阶段碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）。

## 4 铁路隧道建材生产及运输阶段碳排放计算

### 4.1 一般规定

4.1.1 建材碳排放应包含建材生产阶段及运输阶段的碳排放，并按现行国家标准《环境管理 生命周期评价 原则与框架》 GB/T 24040、《环境管理 生命周期评价 要求与指南》 GB/T 24044 计算。

4.1.2 建材生产及运输阶段的碳排放应为建材生产阶段碳排放与建材运输阶段碳排放之和，并按下式计算：

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

式中： $C_{jc}$ ——建材生产及运输阶段的碳排放量（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_{sc}$ ——建材生产阶段碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_{ys}$ ——建材运输过程碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）。

4.1.3 建材生产及运输阶段碳排放计算应包括建筑主体结构材料、建筑围护结构材料、建筑构件和部品等，纳入计算的主要建筑材料的确定应符合下列规定：

- 1 所选主要建筑材料的总重量不应低于建筑中所耗建材总重量的 95%；
- 2 当符合本条第 1 款的规定时，重量比小于 0.1% 的建筑材料可不计算。

4.1.4 铁路隧道工程施工期间所消耗的建材的生产及运输碳排放应基于材料采购清单进行核算。

4.1.5 铁路隧道工程施工过程中使用周转材料、再生材料造成的碳排放核减量应纳入核算。

### 4.2 建材生产

4.2.1 建材生产阶段碳排放按下式计算：

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

式中： $C_{sc}$ ——建材生产阶段碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$M_i$ ——第  $i$  种主要建材的消耗量；

$F_i$ ——第  $i$  种主要建材的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{单位建材数量}$ ），按照本标准附录 A.0.1 取值。

4.2.2 建筑的主要建材消耗量应通过查询设计图纸、采购清单等工程建设相关技术资料确定。

4.2.3 建材生产阶段的碳排放因子应包括下列内容：建筑材料生产涉及原材料的开采、生产过程的碳排放；建筑材料生产涉及能源的开采、生产过程的碳排放；建筑材料生产涉及原材料、能源的运输过程的碳排放；建筑材料生产过程的直接碳排放。

4.2.4 建材生产阶段的碳排放因子宜选用经第三方审核的建材碳足迹数据。当无第三方提供时，缺省值可按本标准附录 A.0.1 执行。

4.2.5 建材生产时，当使用低价值废料作为原料时，可忽略其上游过程的碳过程。当使用其他再生原料时，应按其所替代的初生原料的碳排放的 50% 计算；建筑建造和拆除阶段产生的可再生建筑废料，可按其可替代的初生原料的碳排放的 50% 计算并应从建筑碳排放中扣除。

### 4.3 建材运输

4.3.1 建材运输阶段碳排放应按下式计算：

$$C_{ys} = \sum_{i=1}^n M_i D_i E T_i \quad (4.3.1)$$

式中： $C_{ys}$ ——建筑运输过程碳排放（ $\text{kg CO}_2\text{eq}$ ）；

$M_i$ ——第  $i$  种主要建材的消耗量（ $\text{t}$ ）；

$D_i$ ——第  $i$  种建材平均运输距离（ $\text{km}$ ）；

$E T_i$ ——第  $i$  种建材的运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子 [ $\text{kg}$

CO<sub>2</sub>eq/ (t · km)]。

4.3.2 主要建材的运输距离宜优先采用实际的建材运输距离。当建材实际运输距离未知时，可按本标准附录 C.0.1 中的默认值取值。

4.3.3 建材运输阶段的碳排放因子应含建材从生产地到施工现场的运输过程的直接碳排放和运输过程所耗能源的生产过程的碳排放。建材运输阶段的碳排放因子可按本标准附录 C.0.1 取值。

## 5 矿山法铁路隧道施工阶段碳排放计算

### 5.1 一般规定

5.1.1 矿山法铁路隧道施工阶段的碳排放应包括完成隧道开挖、支护和防排水等分部分项工程的机械设备运转产生的碳排放，以及建材生产与运输过程的碳排放。

5.1.2 矿山法施工机具包括混凝土喷射机、混凝土搅拌机、混凝土运输泵、电动卷扬机等，可结合工程实际情况选择，其能源用量可参考附录 D.0.4。

5.1.3 矿山法铁路隧道施工阶段碳排放计算边界的划分应符合以下规定：

- 1 隧道施工周期的起止时间应从项目动土开工到隧道竣工为止；
- 2 对于隧道施工机械碳排放的计算应考虑机械设备运转消耗燃料能源而释放的二氧化碳，其中燃烧柴油和汽油将直接产生碳排放，电力机械相关的碳排放产生于上游发电过程；
- 3 隧道施工现场废弃洞渣装载并运送至洞外弃渣场过程的碳排放由渣土运输载具消耗能源产生，归入现场施工机械部分的碳排放计算；
- 4 隧道施工临时支护结构和通风、照明设施的建造和拆除根据施工企业编制的临时施工方案和工期计算；
- 5 施工现场办公用房、生活用房等临时房屋的施工，以及工人生活起居产生的碳排放可不纳入计算范畴。

5.1.4 矿山法铁路隧道施工阶段各分部分项工程施工和措施项目实施过程使用的施工机械产生的碳排放应基于工程量清单和机械租赁使用清单进行计算。

### 5.2 矿山法隧道施工碳排放

5.2.1 矿山法铁路隧道施工阶段的碳排放量按如下公式计算：

$$C_{sg}^{ks} = \sum_{i=1}^n C_{fb,i}^{ks} \quad (5.2.1)$$

式中： $C_{sg}^{ks}$ ——矿山法铁路隧道施工阶段所有分部分项工程施工产生的碳排放总和，包括了铁路隧道的洞身开挖、渣土运输、初期支护、二次衬砌等工序的碳排放（kgCO<sub>2</sub>eq）；

$C_{fb,i}^{ks}$ ——矿山法施工分部分项工程第  $i$  个工序项目施工过程中产生的碳排放（kgCO<sub>2</sub>eq）。

5.2.2 矿山法分部分项工程施工碳排放按下式计算：

$$C_{fb,i}^{ks} = \sum_{i=1}^n Q_{fb,i}^{ks} E_i^{ks} + C_{jc} \quad (5.2.2)$$

式中： $Q_{fb,i}^{ks}$ ——矿山法施工隧道第  $i$  个施工项目的工程量；

$E_i^{ks}$ ——矿山法施工隧道每完成单位工程量的第  $i$  个施工项目产生的机械碳排放（kgCO<sub>2</sub>eq / 单元工程量单位）。

5.2.3 矿山法铁路隧道施工机械碳排放是通过量化施工机械的工作台班，并转化为柴油、汽油和电力能源消耗量。每完成单位工程量的施工项目产生的机械碳排放按下式计算：

$$E_i^{ks} = \sum_{j=1}^m t_{i,j}^{ks} e_j^{ks} f_j^{ks} \quad (5.2.3)$$

式中， $t_{i,j}^{ks}$ ——矿山法隧道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）；

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

$f_j^{ks}$ ——第  $j$  种施工机械燃料能源的碳排放因子（kgCO<sub>2</sub>eq / kg、kgCO<sub>2</sub>eq / kWh），按本标准 B 确定。

## 6 明挖法铁路隧道施工阶段碳排放计算

### 6.1 一般规定

6.1.1 明挖法铁路隧道施工阶段的碳排放应包括完成围护结构施工、内部土方开挖、结构施工及防水、管线恢复及覆土等分部分项工程施工使用的机械设备运转产生的碳排放，以及建材生产与运输过程的碳排放。

6.1.2 明挖法施工中机具包括起重机、钢筋切割机、钢筋弯曲机、交流弧焊机、轨道平车、剪板机、摇臂钻机、板料校平机、刨边机、混凝土运输泵、旋挖钻机、履带式液压抓斗成槽机等，可结合工程实际情况选择，其能源用量可参考附录 D.0.4。

6.1.3 明挖法铁路隧道施工阶段碳排放计算边界的划分应符合以下规定：

- 1 隧道施工周期的起止时间应从项目动土开工到隧道竣工为止；
- 2 对于隧道施工机械碳排放的计算应考虑机械设备运转消耗燃料能源而释放的二氧化碳，其中燃烧柴油和汽油将直接产生碳排放，电力机械相关的碳排放产生于上游发电过程；
- 3 隧道施工现场废弃渣土装载并运送至洞外弃渣场过程的碳排放由渣土运输载具消耗能源产生，归入现场施工机械部分的碳排放计算；
- 4 隧道施工临时支护结构和通风、照明设施的建造和拆除根据施工企业编制的临时施工方案和工期计算；
- 5 施工现场办公用房、生活用房等临时房屋的施工，以及工人生活起居产生的碳排放可不纳入计算范畴。

6.1.4 明挖法铁路隧道施工阶段各分部分项工程施工和措施项目实施过程使用的施工机械产生的碳排放应基于工程量清单和机械租赁使用清单进行计算。

## 6.2 明挖法隧道施工碳排放

6.2.1 明挖法铁路隧道施工阶段的碳排放量按如下公式计算：

$$C_{sg}^{mw} = \sum_{i=1}^n C_{fb,i}^{mw} \quad (6.2.1)$$

式中： $C_{sg}^{mw}$ ——明挖法铁路隧道施工阶段所有分部分项工程施工产生的碳排放总和，包括了铁路隧道的围护结构施工、内部土方开挖、结构施工及防水、管线恢复及覆土等工序的碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_{fb,i}^{mw}$ ——明挖法施工分部分项工程第  $i$  个工序项目施工过程中产生的碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）。

6.2.2 明挖法分部分项工程施工碳排放按下式计算：

$$C_{fb,i}^{mw} = \sum_{i=1}^n Q_{fb,i}^{mw} E_i^{mw} + C_{jc} \quad (6.2.2)$$

式中： $Q_{fb,i}^{mw}$ ——明挖法施工隧道第  $i$  个施工项目的工程量；

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

6.2.3 明挖法铁路隧道施工机械产生的碳排放来源于施工机械运转消耗燃料能源的过程，按下式计算：

$$E_i^{mw} = \sum_{j=1}^m t_{i,j}^{mw} e_j^{mw} f_j^{mw} \quad (6.2.3)$$

式中： $t_{i,j}^{mw}$ ——明挖法隧道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）；

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

$f_j^{mw}$ ——第  $j$  种施工机械燃料能源的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$  /  $\text{kg}$ 、 $\text{kgCO}_2\text{eq}$  /  $\text{kWh}$ ），按本标准 B 确定。

## 7 掘进机法铁路隧道施工阶段碳排放计算

### 7.1 一般规定

7.1.1 掘进机法铁路隧道施工阶段的碳排放计算应包括完成掘进机组安装、隧道掘进、出渣及泥水处理、注浆支护等分部分项工程施工使用的机械设备运转产生的碳排放。

7.1.2 掘进机法施工中机具包括汽车式起重机、轨道平车、电瓶车、电动离心泵、泥浆泵、电动空压机、轴流风机等，可结合工程实际情况选择，其能源用量可参考附录 D.0.4。

7.1.3 掘进机法施工碳排放计算边界的划分应符合以下规定：

- 1 隧道施工周期的起止时间应从项目动土开工到隧道竣工为止；
- 2 对于隧道施工机械碳排放的计算应考虑机械设备运转消耗燃料能源而释放的二氧化碳，其中燃烧柴油和汽油将直接产生碳排放，电力机械相关的碳排放产生于上游发电过程；
- 3 隧道施工现场废弃渣土装载并运送至洞外弃渣场过程的碳排放由渣土运输载具消耗能源产生，归入现场施工机械部分的碳排放计算；
- 4 隧道施工临时支护结构和通风、照明设施的建造和拆除根据施工企业编制的临时施工方案和工期计算；
- 5 施工现场办公用房、生活用房等临时房屋的施工，以及工人生活起居产生的碳排放可不纳入计算范畴。

7.1.4 掘进机法铁路隧道施工阶段各分部分项工程施工和措施项目实施过程使用的施工机械产生的碳排放应基于工程量清单和机械租赁使用清单进行计算。

## 7.2 掘进机法隧道施工碳排放

7.2.1 掘进机法铁路隧道施工阶段的碳排放量按如下公式计算：

$$C_{sg}^{jj} = \sum_{i=1}^n C_{fb,i}^{jj} \quad (7.2.1)$$

式中： $C_{sg}^{jj}$ ——掘进机法铁路隧道施工阶段所有分部分项工程施工产生的碳排放总和，包括了掘进机法组的吊装与吊拆、隧道掘进、出渣及泥水处理和注浆支护等工序的碳排放（kgCO<sub>2</sub>eq）；

$C_{fb,i}^{jj}$ ——掘进机法施工分部分项工程第  $i$  个工序项目施工过程中产生的碳排放（kgCO<sub>2</sub>eq）。

7.2.2 掘进机法分部分项工程施工碳排放按下式计算：

$$C_{fb,i}^{jj} = \sum_{i=1}^n Q_{fb,i}^{jj} E_i^{jj} + C_{jc} \quad (7.2.2)$$

式中： $Q_{fb,i}^{jj}$ ——掘进机法施工第  $i$  个施工项目的工程量；

$E_i^{jj}$ ——掘进机法施工隧道每完成单位工程量的第  $i$  个施工项目产生的机械碳排放（kgCO<sub>2</sub>eq / 单元工程量单位）。

7.2.3 掘进机法铁路隧道施工机械产生的碳排放来源于施工机械运转消耗燃料能源的过程，按下式计算：

$$E_i^{jj} = \sum_{j=1}^m t_{i,j}^{jj} e_j^{jj} f_j^{jj} \quad (7.2.3)$$

式中： $t_{i,j}^{jj}$ ——掘进机法施工隧道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）；

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

$f_j^{jj}$ ——第  $j$  种施工机械燃料能源的碳排放因子（kgCO<sub>2</sub>eq / kg、kgCO<sub>2</sub>eq / kWh），按本标准 B 确定。

## 8 铁路隧道运营维护阶段碳排放计算

### 8.1 一般规定

8.1.1 运营维护阶段应包括机车动力牵引、设备运行和维修维护产生的碳排放量，工程绿化、植被的碳汇量也应计入。

8.1.2 运营维护阶段碳排放核算中的运营年限应与设计文件一致。当设计文件不能提供时，时间累计通常可取 100 年。

### 8.2 隧道运营维护碳排放

8.2.1 运营维护阶段碳排放量应按式(8.2.1)计算：

$$C_R = (C_{R-T} + C_{R-E} - C_{R-G}) \times Y_L + C_{R-M} \quad (8.2.1)$$

式中： $C_R$ ——运营维护阶段碳排放量（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$C_{R-T}$ ——动力牵引年碳排放量（ $\text{kgCO}_2\text{eq/a}$ ）；

$C_{R-E}$ ——设备运行年碳排放量（ $\text{kgCO}_2\text{eq/a}$ ）；

$C_{R-G}$ ——绿化、植被年碳汇量（ $\text{kgCO}_2\text{eq/a}$ ）；

$C_{R-M}$ ——维修维护碳排放量（ $\text{kgCO}_2\text{eq}$ ）；

$Y_L$ ——运营年限（ $\text{a}$ ）。

8.2.2 动力牵引年碳排放量，应根据其每年能源消耗量，按下式计算：

$$C_{R-T} = \sum_{i=1}^n E_{R-Ei} \times EF_i \quad (8.2.2)$$

式中： $E_{R-Ei}$ ——使用第  $i$  类能源的动力牵引年能源消耗量（ $\text{kg/a}$ 、 $\text{kWh/a}$  等）；

$EF_i$ ——第  $i$  类能源的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ 、 $\text{kgCO}_2\text{eq/kWh}$  等）。

8.2.3 动力牵引年能源消耗量应按实际能源消耗量计算；当无法获得实际能源消耗量时，应根据设计资料，参考《列车牵引计算规程》（TB/T1407）对电力机车耗电量、内燃机车燃油消耗量进行计算。

8.2.4 使用第*i*类能源的动力牵引年能源消耗量的计算应符合以下规定：

- 1 动力牵引年能源消耗量应采用单位运行里程累积动力牵引能耗；
- 2 列车运行过程中的受力情况包括牵引力、阻力和制动力，列车单位牵引力、单位阻力和单位制动力应符合《铁路工程碳排放核算标准》相关规定；
- 3 列车受到的单位合力应依据不同运行工况符合《铁路工程碳排放核算标准》相关规定；
- 4 列车运行过程中的单次运行能源消耗量和单位合力的关系应符合《铁路工程碳排放核算标准》相关规定；
- 5 列车单次运行能源消耗量宜采用基于《列车牵引计算规程》（TB/T1407）的方法。

8.2.5 动力牵引系统能耗应根据列车运行速度、运行时间计算。

1 动力牵引系统列车年运行能源消耗量和单次运行能源消耗量应按下式计算：

$$E_{R-Ei} = E_i \times L \quad (8.2.5-1)$$

$$E_i = \int_0^T u_t(t) f_t(v) v(t) / \eta \cdot dt \quad (8.2.5-2)$$

式中：

$E_i$ ——动力牵引系统列车单次运行能源消耗量（kg/次、kWh/次）等；

$L$ ——铁路工程动力牵引系统列车年运行次数（次/a）；

$u_t(t)$ ——时刻的牵引力系数；

$f_t(v)$ ——时刻的列车牵引力（N）；

$v(t)$ ——时刻的列车运行速度（km/h）；

$\eta$ ——列车综合效率，一般取值为 0.85。

2 当单位合力不等于 0 时，按一定速度间隔（ $v_1-v_2$ ），取其平均速度的单位合力计算该速度间隔的运行时间，列车运行时间（ $t$ ）的计算应按下式计算：

$$t = \sum \frac{v_2 - v_1}{2c} \quad (8.2.5-3)$$

式中： $t$ ——列车运行时间（s）；

$v_1$ ——速度间隔的初速（km/h）；

$v_2$ ——速度间隔的终速（km/h）。

8.2.6 再生制动（反馈制动）能量指运行过程中在制动时将车辆的动能转化及储存起来的能量。再生制动能量利用节约效应，应根据机车监测仪表或机务段检测仪表记录数据进行计算；若不具备自动监测条件时，应依据相关设计资料计算。

8.2.7 设备运行年碳排放量包括设备运行年能源消耗碳排放量和暖通空调设备年使用制冷剂产生的碳排放量，并按下式计算：

$$C_{R-E} = C_{R-E-E} + C_{R-E-R} \quad (8.2.7)$$

式中： $C_{R-E-E}$ ——设备运行年能源消耗碳排放量（kg CO<sub>2</sub>eq/a）；

$C_{R-E-R}$ ——暖通空调设备年使用制冷剂产生的碳排放量（kg CO<sub>2</sub>eq/a）。

8.2.8 设备运行年能源消耗碳排放量，采集各运行设备使用不同类型能源的年能源消耗量及不同类型能源类型相应碳排放因子，设备运行年能源消耗碳排放量应按下列式计算：

$$C_{R-E-E} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(E_{R-Ei,j} - ER_i) \times EF_i] \quad (8.2.8)$$

式中： $E_{R-Ei,j}$ ——使用第*i*类能源的第*j*类设备运行年能源消耗量（kg/a、kWh/a 等）；

$ER_i$ ——由可再生能源系统供给的第*i*类能源量（kg、kWh），可再生能源包括太阳能、光伏和风力发电机组；

*i*——运营期设备运行使用能源类型，包括电力、燃气、燃油、燃煤等；

*j*——运营期设备运行的类型，包括供暖空调设备、照明设备、生活热水加热设备等。

8.2.9 暖通空调设备年使用制冷剂产生的碳排放量，应按下式计算：

$$C_{R-E-R} = \frac{m_R}{y_E} \times GWP_R / 1000 \quad (8.2.9)$$

式中： $R$ ——制冷剂类型；

$m_R$ ——每台设备制冷剂充注量（kg/台）；

$y_E$ ——暖通空调设备使用寿命（a）；

$GWP_R$ ——制冷剂  $R$  的全球变暖潜值。

8.2.10 暖通空调系统能耗计算方法应符合下列规定：

- 1 应采用月平均方法计算年累计冷负荷和累计热负荷；
- 2 应分别设置高峰期（例如春假等）和低峰期室内人员数量、照明功率、设备功率、室内设定温度、供暖和空调系统运行时间，24 小时恒温设备机房除外；
- 3 人居环境应根据负荷计算结果和室内环境参数计算供暖和供冷起止时间，设备环境应根据设备运行负荷和室内环境参数计算起止时间；
- 4 应考虑暖通空调系统间歇运行对负荷计算结果的影响；
- 5 应考虑能源系统形式、效率、部分负荷特性对能耗的影响；
- 6 计算结果应包括负荷计算结果、按能源类型输出系统能耗计算结果。

8.2.11 暖通空调系统年能耗应考虑地源热泵系统的年节约能量。

8.2.12 输送系统的能源消耗量计算应考虑水泵与风机的效率、运行时长、实际工作状态点的负载率、变频等因素的影响。

8.2.13 照明系统能耗计算应考虑自然采光、控制方式和使用时间等因素的影响；照明系统无光电自动控制系统时，其年能源消耗量应按下式计算：

$$E_{R-E-L} = \frac{\sum_{j=1}^{365} \sum_i P_{i,j} \times A_i \times t_{i,j} + 24P_p A_L}{1000} \quad (8.2.14)$$

式中： $E_{R-E-L}$ ——照明系统年能源消耗量（kWh/a）；

$P_{i,j}$ ——第  $j$  日第  $i$  区域照明功率密度值（W/m<sup>2</sup>），同设计文件一致；

$A_i$ ——第  $i$  区域照明面积（m<sup>2</sup>）；

$t_{i,j}$ ——第  $j$  日第  $i$  区域照明时间 (h);

$P_P$ ——应急灯照明功率密度 ( $W/m^2$ );

$A_L$ ——明区域总面积 ( $m^2$ )。

8.2.14 水泵、风机的年能源消耗量应按下列式计算:

$$E_{R-E-P} = \frac{W_P}{\eta_P} \times t_i \quad (8.2.16)$$

式中:  $E_{R-E-P}$ ——水泵或风机年能源消耗量 ( $kWh/a$ );

$W_P$ ——水泵或风机电机功率 ( $kW$ );

$\eta_P$ ——水泵或风机电机效率;

$t_i$ ——水泵或风机的年运行时间 ( $h/a$ )。

8.2.15 维修维护阶段碳排放量包括维修维护更替的材料消耗、维修维护时机械设备使用、更替材料运输产生的碳排放量,并按下列式计算:

$$C_{R-M} = C_{R-M-M} + C_{R-M-E} + C_{R-M-T} \quad (8.2.21)$$

式中:  $C_{R-M-M}$ ——维修维护阶段材料消耗碳排放量 ( $kg CO_2eq$ );

$C_{R-M-E}$ ——维修维护阶段机械设备使用碳排放量 ( $kg CO_2eq$ );

$C_{R-M-T}$ ——维修维护阶段材料运输碳排放量 ( $kg CO_2eq$ )。

## 标准引用目录

- 1 《铁路隧道设计规范》 TB10003
- 2 《高速铁路设计规范》 TB10621
- 3 《铁路隧道掘进机法技术规程》 Q/CR 9528
- 4 《高速铁路隧道工程施工技术规程》 Q/CR 9604
- 5 《建筑碳排放计算标准》 GB/T 51366
- 6 《环境管理 生命周期评价 原则与框架》 GB/T 24040
- 7 《环境管理 生命周期评价 要求与指南》 GB/T 24044
- 8 《铁路工程基本定额》 TZJ 2000
- 9 《铁路工程补充预算定额（第一册）》（铁总建设〔2017〕324号）
- 10 《铁路工程预算定额（第三册 隧道工程）》 TZJ 2003
- 11 《铁路工程施工机具台班费用定额》 TZJ 3004
- 12 《铁路隧道 TBM 及超长工区施工等补充预算定额》（铁建设〔2020〕155号）
- 13 《铁路工程预算定额（第十册 房屋工程）》 TZJ2010

## 附录 A 主要材料碳排放因子

A.0.1 主要材料的碳排放因子按表 A.0.1 选取。

表 A.0.1 主要材料碳排放因子表

项目名称	碳排放因子	单 位	项目名称	碳排放因子	单 位
木材	178	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	油脂	0.713	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
普通钢板	2.425	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	螺栓	1.54	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
镀锌钢板	2.596	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	水玻璃	1.04	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
中小型钢材（钢筋、钢丝等）	2.31	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	水泥砂浆	400.94	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>
型钢	2.34	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	电焊条	3.027	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
钢管	2.84	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	砂	6.6	kgCO <sub>2</sub> eq/t
C15 混凝土	180.805	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	石	4.4	kgCO <sub>2</sub> eq/t
C20 混凝土	237.32	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	铁件	1.92	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
C25 混凝土	266.18	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	镀锌铁件	2.35	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
C30 混凝土	294.81	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	32.5 级水泥	0.621	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
C35 混凝土	349.63	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	42.5 级水泥	0.795	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
C40 混凝土	393.86	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	52.5 级水泥	0.863	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
C45 混凝土	419.16	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	炸药	0.263	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
C50 混凝土	424.5	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	止水带	3.95	kgCO <sub>2</sub> eq/m
C50 预制管片	7100.57	kgCO <sub>2</sub> eq/环	矿渣粉	0.109	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
水	0.168	kgCO <sub>2</sub> eq/t	粉煤灰	0.008	kgCO <sub>2</sub> eq/kg

## 附录 B 主要能源碳排放因子

B.0.1 主要能源的碳排放因子按表 B.0.1 选取。

表 B.0.1 主要能源碳排放因子表

项目名称	碳排放因子	单位	项目名称	碳排放因子	单位
原油	3.593	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	石油沥青	3.087	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
汽油、柴油	3.59	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	天然气	3.630	kgCO <sub>2</sub> eq/kg
生物汽油、柴油	1.918	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	木材废料	1.776	kgCO <sub>2</sub> eq/kg

B.0.2 电力能源的碳排放因子按区域划分，根据表 B.0.2 选取。

表 B.0.2 电力能源碳排放因子表

电网名称	碳排放因子	单位
华北区域电网	0.9419	kgCO <sub>2</sub> eq/kWh
东北区域电网	1.0826	kgCO <sub>2</sub> eq/kWh
华东区域电网	0.7921	kgCO <sub>2</sub> eq/kWh
华中区域电网	0.8587	kgCO <sub>2</sub> eq/kWh
西北区域电网	0.8922	kgCO <sub>2</sub> eq/kWh
南方区域电网	0.8042	kgCO <sub>2</sub> eq/kWh

## 附录 C 建材运输碳排放因子

C.0.1 混凝土的默认运输距离值应为 40km，其他建材的默认运输距离值应为 500km。各类运输方式的碳排放因子应按表 C.0.1 选取。

表 C.0.1 各类运输方式的碳排放因子

运输方式类别	碳排放因子 [kg CO <sub>2</sub> e/ (t · km)]
轻型汽油货车运输 (载重 2t)	0.334
中型汽油货车运输 (载重 8t)	0.115
重型汽油货车运输 (载重 10t)	0.104
重型汽油货车运输 (载重 18t)	0.104
轻型柴油货车运输 (载重 2t)	0.286
中型柴油货车运输 (载重 8t)	0.179
重型柴油货车运输 (载重 10t)	0.162
重型柴油货车运输 (载重 18t)	0.129
重型柴油货车运输 (载重 30t)	0.078
重型柴油货车运输 (载重 46t)	0.057
电力机车运输	0.010
内燃机车运输	0.011
铁路运输 (中国市场平均)	0.010

## 附录 D 常用施工机械台班能源用量

D.0.1 常用施工机械的单位台班的能源消耗量可按表 D.0.1 选用。

表 D.0.1 常用施工机械台班能源用量

序号	机械类型	机械名称	性能规格	汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)	人工 (工日)
1	土石方机械	履带式液压单斗挖掘机	$\leq 1.0\text{m}^3$		62.9		1
2		履带式液压单斗挖掘机	$\leq 0.6\text{m}^3$		44.08		1
3		履带式液压破碎锤	$\leq 200\text{kW}$		137.09		1
4		气镐	$\leq 10\text{kg}$				1
5		履带式推土机	$\leq 75\text{kW}$		49.73		1
6		自行式振动压路机	$\leq 2\text{t}$		12.1		1
7		蛙式夯	$\leq 250\text{Nm}$			7.48	1
8		轮胎式装载机	$\leq 2\text{m}^3$		56.45		1
9		履带式装载机	$\leq 2\text{m}^3$		55.37		1
10		导向水平钻孔拉管机			111.28		1
11		气动锻针机	$d \leq 90$		28		1
12	动力机械	电动空气压缩机	$\leq 0.6\text{m}^3/\text{min}$			29.2+	1
13		电动空气压缩机	$\leq 1\text{m}^3/\text{min}$			39.9	1
14		电动空气压缩机	$\leq 3\text{m}^3/\text{min}$			117.04	1
15		电动空气压缩机	$\leq 6\text{m}^3/\text{min}$			212.8	1
16		电动空气压缩机	$\leq 9\text{m}^3/\text{min}$			399	1
17		电动空气压缩机	$\leq 20\text{m}^3/\text{min}$			691.6	1
18		电动空气压缩机	$\leq 25\text{m}^3/\text{min}$			1117.2	1
19		电动空气压缩机	$\leq 30\text{m}^3/\text{min}$			1223.66	1
20		内燃空气压缩机	$\leq 3\text{m}^3/\text{min}$		15.42		1
21		内燃空气压缩机	$\leq 9\text{m}^3/\text{min}$		50.55		1
22	起重机械	爬升式塔式起重机	$\leq 50\text{m} \times 1.2/3 \text{ t}$ , $h=70\text{m}$			118.4	2
23		爬升式塔式起重机	$\leq 50\text{m} \times 1.5/4 \text{ t}$ , $h=100\text{m}$			144	2
24		爬升式塔式起重机	$\leq 50\text{m} \times 2.3/4 \text{ t}$ , $h=120\text{m}$			230.4	2

序号	机械类型	机械名称	性能规格	汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)	人工 (工日)
25	起重机械	爬升式塔式起重机	≤60m×6.25/16t, h=140m			518.4	2
26		爬升式塔式起重机	≤320tm			518.4	2
27		汽车起重机	≤5t	21.17			1
28		汽车塔式起重机	≤8t		35.28		1
29		汽车起重机	≤12t		44.1		1
30		汽车起重机	≤16t		57.15		1
31		汽车起重机	≤20t		64.92		1
32		汽车起重机	≤25t		72.68		2
33		汽车起重机	≤30t		75.15		2
34		汽车起重机	≤75t		110.07		2
35		汽车起重机	≤16t		41.63		1
36		轮胎式起重机	≤15t		38.81		1
37		履带式起重机	≤25t		44.1		1
38		履带式起重机	≤50t		64.92		2
39		履带式起重机	≤10t-22m			61.44	1
40		门式起重机	≤20t-22m			109.44	1
41		门式起重机	≤40t-40m			144	1
42		门式起重机	≤50t-40m			176.64	1
43		斜撑桅杆式起重机	≤10t			112.64	1
44		斜撑桅杆式起重机	≤20t			121.6	1
45		斜撑桅杆式起重机	≤35t			180.48	1
46		少先式起重机	≤1t			13.44	1
47		电动葫芦	≤3t-9m			14.34	0
48		电动葫芦	≤5t-9m			21.76	0
49		单筒慢速卷扬机	≤20kN			28.16	1
50		单筒慢速卷扬机	≤30kN			38.4	1
51		单筒慢速卷扬机	≤50kN			56.32	1
52		单筒慢速卷扬机	≤10kN			38.4	1
53		单筒慢速卷扬机	≤30kN			94.72	1

序号	机械类型	机械名称	性能规格	汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)	人工 (工日)
54	起重机械	单筒慢速卷扬机	≤50kN			153.6	1
55		双筒慢速卷扬机	≤50kN			76.8	1
56		单笼升降机 12 人-1t	≤100m			64	1
57		双笼升降机 24 人-2t	≤220m			358.4	2
58		液压滑升机械 (含 50 个千斤顶)				19.2	1
59		自航全回转起重船	≤40t		404.28		6
60		自航全回转起重船	≤50t		523.62		6
61		起重船	200t		449.97		6
62		抛锚船	34m		628.99		12
63		运输机械	载重汽车	≤6t	34.56		
64	载重汽车		≤8t		47.58		1
65	载重汽车		≤10t		53.22		1
66	载重汽车		≤15t		65.32		1
67	自卸汽车		≤6t		40.32		1
68	自卸汽车		≤15t		70.56		1
69	洒水车		≤5000L	34.56			1
70	平板运输车		≤15t		65.32		2
71	小型运输车		≤1t		7.26		1
72	混凝土搅拌运输车		≤6m <sup>3</sup>		88.7		1
73	混凝土搅拌运输车		≤8m <sup>3</sup>		100.8		1
74	混凝土搅拌运输车		≤10m <sup>3</sup>		115.72		1
75	泥浆运输车		≤4000L	34.56			1
76	内燃机车				391.91		2
77	轨道车		≤220kW		83.26		2
78	电气综合实验车			43.2			1
79	聚脲喷涂车				79.56		2
80	带式运输车		≤10m			15.36	1
81	内燃拖轮		≤230kW-150t		178.21		5
82	内燃拖轮		≤3000kW-200t		237.08		9

序号	机械类型	机械名称	性能规格	汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)	人工 (工日)
83	运输机械	内燃拖轮	≤370kW-250t		296.76		9
84		内燃拖轮	≤450kW-300t		355.62		9
85	混凝土及砂浆机械	混凝土搅拌机	≤250L			15.68	1
86		混凝土搅拌机	≤400L			21.56	1
87		混凝土搅拌站	≤60m <sup>3</sup> /h			636.16	2
88		混凝土搅拌站	≤120m <sup>3</sup> /h			1008	4
89		混凝土插入式振动器				5.38	
90		混凝土附着式振动器				6.72	
91		混凝土高频振动器	≤1.5kW			6.72	
92		悬挂式提浆整平机				105.28	1
93		电动灌浆机	≤3m <sup>3</sup> /h			15.4	1
94		混凝土泵	≤60m <sup>3</sup> /h			492.8	1
95		混凝土泵	≤80m <sup>3</sup> /h			591.36	1
96		混凝土输送泵车	≤60m <sup>3</sup> /h		47.63		1
97		混凝土输送泵车	≤85m <sup>3</sup> /h		58.21		1
98		混凝土布料机	≤21m			21.84	1
99		灰浆搅拌机	≤200L			13.44	1
100		灰浆搅拌机	≤400L			20.16	1
101		混凝土振动台	2.4m×6.2m			140.8	1
102		水磨石机				15.36	
103		路面切割机				19.2	1
104		混凝土梁面铣刨机≤5				35.84	
105		电缆槽预制机组				417.48	3
106		水上混凝土搅拌站 2x600L				94.08	10
107		水上混凝土搅拌站	≤150 m <sup>2</sup> /h		40.08	3309.6	26
108	基础及泵类机械	轨道式柴油打桩机	≤1.8t				2
109		振动沉拔桩机	≤400 kN			3309.6	2
110		振动沉拔桩机	≤500 kN			495.6	2
111		振动沉拔桩机	3≤3000 kN			1176	2

序号	机械类型	机械名称	性能规格	汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)	人工 (工日)
112	基础及泵类机械	转盘钻孔机	$8 \leq 80 \text{ kNm}$			315	2
113		转盘钻孔机	$\leq 200 \text{ kNm}$			756	2
114		汽车式钻孔机	$L \leq 1 \text{ m}$		59.47		2
115		汽车式钻孔机	$1 \leq 1.5 \text{ m}$		79.63		2
116		冲击成孔机	$\leq 1 \text{ m}$			153.6	2
117		冲击成孔机	$\leq 1.5 \text{ m}$			177.6	2
118		冲击成孔机	$\leq 2 \text{ m}$			201.6	2
119		旋挖钻机	$\leq 220 \text{ kNm}$		243.94		2
120		旋挖钻机	$\leq 280 \text{ kNm}$		263.09		2
121		旋挖钻机	$\leq 360 \text{ kNm}$		300.38		2
122		单级离心清水泵	$\leq 25 \text{ m}^3/\text{h}-32 \text{ m}$			16.32	1
123		单级离心清水泵	$\leq 25 \text{ m}^3/\text{h}-50 \text{ m}$			30.6	1
124		单级离心清水泵	$\leq 50 \text{ m}^3/\text{h}-38 \text{ m}$			44.88	1
125		单级离心清水泵	$\leq 60 \text{ m}^3/\text{h}-50 \text{ m}$			69.36	1
126		单级离心清水泵	$\leq 170 \text{ m}^3/\text{h}-26 \text{ m}$			89.76	1
127		单级离心清水泵	$\leq 280 \text{ m}^3/\text{h}-29 \text{ m}$			163.2	1
128		多级离心清水泵	$\leq 32 \text{ m}^3/\text{h}-125 \text{ m}$			69.36	1
129		多级离心清水泵	$\leq 155 \text{ m}^3/\text{h}-150 \text{ m}$			448.8	1
130		离心式泥浆泵	$\leq 47 \text{ m}^3/\text{h}-19 \text{ m}$			44.88	1
131		离心式泥浆泵	$\leq 108 \text{ m}^3/\text{h}-21 \text{ m}$			89.76	1
132		离心式泥浆泵	$\leq 150 \text{ m}^3/\text{h}-39 \text{ m}$			224.4	1
133		离心式泥浆泵	$\leq 280 \text{ m}^3/\text{h}-26 \text{ m}$			306	1
134		射流泵	$\leq 45 \text{ m}^3/\text{h}$			69.36	1
135		泥浆搅拌机	$\leq 150 \text{ L}$			10.2	1
136		泥浆搅拌机	$\leq 2200 \text{ L}$			102	1
137		泥水处理离心机	$\leq 100 \text{ m}^3/\text{h}$			326.4	1
138		水环式真空泵	$\leq 204 \text{ m}^3/\text{h}$			89.76	1
139		高压油泵	$\leq 63 \text{ MPa}$			40.8	1
140	单筒慢速卷扬机	$\leq 100 \text{ kN}$			153.6	1	

序号	机械类型	机械名称	性能规格	汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)	人工 (工日)
141	基础 及泵 类机 械	挤压法顶管设备	$d \leq 1000$			172.8	1
142		潜水工作船	$\leq 400t$			150	1
143		履带式液压抓斗成槽机	$\leq 0.6m$		110.25		2
144		履带式液压抓斗成槽机	$\leq 0.8m$		139.36		2
145		履带式液压抓斗成槽机	$\leq 1.0m$		164.05		2
146		履带式液压抓斗成槽机	$\leq 1.2m$		194.04		2
147		履带式液压抓斗成槽机	$\leq 1.5m$		236.38		2
148	焊接 机械 铺架 机械	交流弧焊机	$\leq 21kVA$			73.6	1
149		交流弧焊机	$\leq 32kVA$			108.8	1
150		交流弧焊机	$\leq 42kVA$			144	1
151		直流弧焊机	$\leq 42kW$			64	1
152		直流弧焊机	$\leq 32kW$			102.4	1
153		半自动切割机	$h \leq 100$			121.6	1
154		氩弧焊机	$\leq 500A$			118.4	1
155		对焊机	$\leq 75kVA$			176	1
156		对焊机	$\leq 100kVA$			288	1
157		塑料管热熔对接焊机	$d \leq 200$			15.36	1
158	铺架 机械	架桥机	$\leq 130t$		202.2		5
159		轮胎式搬梁机	$\leq 600t$		274.18		4
160		轮胎式搬梁机	$\leq 900t$		214.2		4
161		电气化立杆作业车			57.15		2
162		电气化安装作业车 (液力传动)			127.01		2
163		电气化架线作业车 (液力传动)			127.01		2
164		电气化恒张力 架线作业车			227.2		3.75
165		接触网检测设备	200km/h				7
166		SF6 气体回收净化充放装置	5-7kW			27.44	1
167	加工 及 其 他 机 械	鄂式破碎机	$\leq 250*400$			81.6	1
168		偏心式振动筛				40.8	1
169		筛砂机	$\leq 80m^3/h$			81.6	1
170		洗石机	$\leq 100m^3/h$			163.2	1

序号	机械类型	机械名称	性能规格	汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)	人工 (工日)
171	加工 及其他机 械	洗砂机	$\leq 60\text{m}^3/\text{h}$			119.68	1
172		普通车床	$400 \times 2000$			30.6	1
173		普通车床	$630 \times 2000$			44.88	1
174		立式钻床	$d \leq 25$			8.98	1
175		立式钻床	$d \leq 50$			12.24	1
176		摇臂钻床	$d \leq 63$			32.64	1
177		台式钻床	$d \leq 16$			3.26	1
178		管子切断机	$d \leq 150$			13.6	1
179		多功能电锤钻				4.2	1
180		联合冲剪机	$h \leq 16$			14.96	1
181		型钢剪切机	$\leq 1000\text{kN}$			59.84	1
182		剪板机	$10 \times 2500$			35.36	1
183		剪板机	$20 \times 22500$			59.84	1
184		卷板机	$2 \times 1600$			29.92	1
185		卷板机	$20 \times 22000$			59.84	1
186		液压弯管机	$d \leq 108$			40.8	1
187		咬口机	$h \leq 1.5$			7.62	1
188		钢筋调直机	$d \leq 14$			18.7	1
189		钢筋切断机	$d \leq 40$			33.32	1
190		钢筋弯曲机	$d \leq 40$			14.28	1
191		钢筋车丝机	$d \leq 39$			10.88	
192		木工圆锯机	$\leq 500$			16.32	1
193		木工圆锯机	$\leq 1000$			30.6	0
194		木工单面压刨床	$B \leq 600$			22.44	
195		木工双面压刨床	$B \leq 600$			30.6	
196		压力式滤油机	$\leq 100\text{L}/\text{min}$			2.72	1
197		鼓风机	$\leq 18\text{m}^3/\text{min}$			29.92	
198		鼓风机	$\leq 8\text{m}^3/\text{min}$			11.97	
199		吹风机	$\leq 4\text{m}^3/\text{min}$			16.32	1

## 附录 E 铁路隧道碳排放计算案例

### E.1 矿山法铁路隧道碳排放计算案例

选择某矿山法铁路隧道作为研究案例，隧道全长 5773m，设计时速为 350 公里单洞双线隧道。根据隧道复合式衬砌设计图纸，因围岩级别、埋深、开挖面积的不同，案例隧道共有多种衬砌设计形式，现以每延米Ⅲ级围岩Ⅲ[a]型复合式衬砌断面的碳排放计算为例，分析流程如下：

(1)统计矿山法隧道主要分部工程施工项目的工程数量如表 E.1.1 所示。

表 E.1.1 Ⅲ [a] 型复合式衬砌每延米主要施工项目数量表

序号	项 目		单 位	数 量	
1	开挖		m <sup>3</sup>	139.31	
2	初期支护	C30 喷混凝土	m <sup>3</sup>	4.42	
3		超挖回填	C30 喷混凝土	m <sup>3</sup>	3.84
4			C35 模筑混凝土	m <sup>3</sup>	1.33
5		钢筋网Φ6，网格 25×25cm		kg	31.34
6		拱部锚杆 L-3.0m		根	9.7
7				m	29.1
8		二次衬砌	拱 墙	C30 混凝土	m <sup>3</sup>
9	预留变形量		C30 混凝土	m <sup>3</sup>	0.58
10	仰 拱		C30 混凝土	m <sup>3</sup>	5.95
11	仰拱填充	C20 混凝土		m <sup>3</sup>	8.87
12	踏步	C20 混凝土		m <sup>3</sup>	0.032
13	防排水	反粘式防水板		m <sup>2</sup>	30.49
14		土工布		m <sup>2</sup>	30.49
15		Φ20 PVC 管		m	0.13
16		Φ100WG 排水盲管		m	2.22
17		Φ100DG 打孔排水盲管		m	2.95
18		Φ80DG 打孔排水盲管		m	7.62

(2) 计算每项施工项目单元工程量的碳排放

通过查阅隧道设计资料、施工概算清单，结合铁路工程相关预算定额，统计得到每项施工项目单元工程量的材料能源消耗量，例如每喷射  $1\text{m}^3$  混凝土需要投入的主要建材和施工机械数据见表 E.1.2，各机械的单元台班能耗量由附录 D 确定。

表 E.1.2 喷射  $1\text{m}^3$  混凝土建材机械消耗量

	建材种类	消耗量	机械种类	运行台班量	单位台班能耗量
喷射 $1\text{m}^3$ 混凝土	42.5 级水泥	0.542 t	7 $\text{m}^3/\text{h}$ 混凝土喷射机	0.143 台班	38.08 kWh 电能
	碎石	0.893 $\text{m}^3$	20 $\text{m}^3/\text{min}$ 电动空气压缩机	0.071 台班	691.06 kWh 电能
	中粗砂	0.649 $\text{m}^3$	2 $\text{m}^3$ 轮胎式装载机	0.011 台班	56.45 kWh 电能
	水	0.4 t	60 $\text{m}^3/\text{h}$ 混凝土搅拌站	0.011 台班	636.16 kg 柴油

结合附录 A~附录 C 的碳排放因子数据，能够计算得到每喷射  $1\text{m}^3$  混凝土产生的碳排放量如表 E.1.3 所示。

表 E.1.3 喷射  $1\text{m}^3$  混凝土碳排放量

		名称	消耗量	单位	碳排放 (kg $\text{CO}_2\text{eq}$ )
		建材生产	42.5 级水泥	0.542	t
碎石	0.893		$\text{m}^3$	6.133	
中粗砂	0.649		$\text{m}^3$	6.208	
水	0.4		t	0.067	
汇总				443.482	
建材运输	42.5 级水泥		0.542	t	43.921
	碎石	0.893	$\text{m}^3$	0.113	
	中粗砂	0.649	$\text{m}^3$	0.076	
	汇总				44.109
施工机械	7 $\text{m}^3/\text{h}$ 混凝土喷射机	0.143	台班	4.777	
	20 $\text{m}^3/\text{min}$ 电动空气压缩机	0.071	台班	36.728	
	2 $\text{m}^3$ 轮胎式装载机	0.011	台班	2.189	
	60 $\text{m}^3/\text{h}$ 混凝土搅拌站	0.011	台班	6.039	
	汇总				49.733
喷射 $1\text{m}^3$ 混凝土 汇总					537.324

### (3) 矿山法隧道碳排放总量计算

其余分部工程施工项目的计算方法类似，得到该矿山法案例隧道每延米 III [a] 型复合式衬砌施工的碳排放如表 E.1.4 所示。

表 E.1.4 III [a] 型复合式衬砌断面每延米施工碳排放计算表

主要分部工程	工程量	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	碳排放构成 / kg CO <sub>2</sub> eq 及占比 / %					
			建材生产		建材运输		现场施工	
			碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %
围岩开挖	139.31 m <sup>3</sup>	1240.277	0	0	0	0	1240.277	100
正洞出渣	139.31 m <sup>3</sup>	477.694	0	0	477.694	100	0	0
洞外运渣	139.31 m <sup>3</sup>	1131.197	0	0	1131.197	100	0	0
喷射混凝土	9.59 m <sup>3</sup>	5152.937	4253.002	82.53	423.005	8.209	476.930	9.255
钢筋网	31.34 kg	76.783	74.150	96.58	0.501	0.68	1.912	2.74
砂浆锚杆	29.1 m	395.644	297.606	75.22	3.783	0.95	94.255	23.83
拱墙衬砌混凝土	10.9 m <sup>3</sup>	2426.449	2216.395	91.35	63.765	2.63	146.104	6.02
仰拱衬砌混凝土	5.95 m <sup>3</sup>	1285.593	1209.867	94.07	34.808	2.71	40.912	3.18
防水板	30.49 m <sup>2</sup>	298.162	288.405	96.73	1.768	0.59	7.988	2.68
止水带	12.79 m	51.531	49.088	95.26	0.345	0.67	2.098	4.07
汇总		12536.267	8388.513	66.914	2136.866	17.045	770.199	16.037
隧道长度 (m)	1		—					
每延米碳排放 (kgCO <sub>2</sub> eq/m)		12536.267	—					

## E.2 明挖法铁路隧道碳排放计算案例

选择某明挖法铁路隧道施工建设工程作为研究案例，对明挖段隧道施工碳排放进行计算分析。

(1) 统计明挖法隧道主要分部工程施工项目的工程数量如表 E.2.1 所示。

表 E.2.1 明挖段隧道主要施工项目数量表

序号	项 目		单 位	数 量
	基坑工程			
1	基坑开挖	土方开挖	m <sup>3</sup>	283.23
2		石方开挖	m <sup>3</sup>	0.97
3	地基与边坡支护	锚杆	kg	0
4		喷射混凝土	m <sup>3</sup>	1
5		钢筋	kg	200.89
6	地下连续墙	连续墙	m <sup>3</sup>	42.92
7		地下连续墙钢筋	kg	7930.94
8	钻孔围护桩	成孔 (≤1500mm)	m <sup>3</sup>	14.88
9		混凝土	m <sup>3</sup>	14.88
10		钢筋	kg	1785.76
11		钢护筒	m	0.78
12	止水帷幕旋喷桩	成孔	m	32.01
13		旋喷桩双重管	m <sup>3</sup>	16.09
14	内支撑	钢支撑	kg	10852.62
15		混凝土内支撑	m <sup>3</sup>	1.68
16		钢筋	kg	503.45
17		钢梁	kg	0
18		檩条	kg	955.73
	主体结构 (明挖暗埋段)			
19	顶板	现浇混凝土	m <sup>3</sup>	24.63
20		钢筋	t	6.08
21	底板	现浇混凝土	m <sup>3</sup>	20.92
22		钢筋	t	5.17
23	侧墙	现浇混凝土	m <sup>3</sup>	16.75
24		钢筋	t	4.14
25	中隔墙	现浇混凝土	m <sup>3</sup>	0.05
26		钢筋	t	0.10

(2) 计算每项施工项目单元工程量的碳排放

通过查阅隧道设计资料、施工概算清单，结合铁路工程相关预算定额，统计得到每项施工项目单元工程量的材料能源消耗量，例如每完成现拌 1m<sup>3</sup> 灌注桩混凝土需要投入的主要建材和施工机械数据见表 E.2.2，各机械的单元台班能耗量由附录 D 确定。

表 E.2.2 现拌 1m<sup>3</sup> 灌注桩混凝土建材机械消耗量

	建材种类	消耗量	机械种类	运行台班量	单位台班能耗量
现拌 1 m <sup>3</sup> 的灌注桩混凝土	42.5 级普通水泥	0.330 t	1t 小型运输车	0.14 台班	7.26kg 柴油
	碎石	1.015 m <sup>3</sup>	600L 混凝土搅拌机	0.062 台班	43.12 kWh 电能
	中粗砂	0.672 m <sup>3</sup>			
	水	0.222 t			

结合附录 A~附录 C 的碳排放因子数据，能够计算得到每现拌 1m<sup>3</sup> 灌注桩混凝土产生的碳排放量如表 E.2.3 所示。

表 E.2.3 现拌 1m<sup>3</sup> 灌注桩混凝土碳排放量

现拌 1 m <sup>3</sup> 灌注桩混凝土	建材生产	名称	消耗量	单位	碳排放 (kg CO <sub>2</sub> eq)	
		42.5 级水泥	0.330	t	262.261	
		碎石	1.015	m <sup>3</sup>	4.466	
		中粗砂	0.672	m <sup>3</sup>	4.438	
		水	0.222	t	0.037	
		汇总			271.203	
	建材运输	42.5 级水泥	0.330	t	26.721	
			碎石	1.015	m <sup>3</sup>	0.128
			中粗砂	0.672	m <sup>3</sup>	0.079
			汇总			26.928
	施工机械	1t 小型运输车	0.14	台班	3.649	
			600L 混凝土搅拌机	0.062	台班	2.350
			汇总			5.999
汇总					304.130	

### (3) 明挖法隧道碳排放总量计算

其余分部工程施工项目的计算方法类似，得到该明挖法隧道施工碳排放如表 E.2.4 所示。

表 E.2.4 明挖法隧道施工碳排放计算表

单位分部工程	工程量	施工碳排放总量 / kg CO <sub>2</sub> eq	碳排放构成 / kg CO <sub>2</sub> eq 及占比 / %					
			建材生产		建材运输		施工机械	
			碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %
土方开挖	283.23m <sup>3</sup>	137.93	0	0	0	0	0.487	100
石方开挖	0.97 m <sup>3</sup>	0.81	0	0	0	0	0.835	100
喷射混凝土支护	1 m <sup>3</sup>	22.36	12.807	57.27	0.324	1.45	9.232	41.28
钢筋支护	200.89kg	497.40	480.323	96.56	3.415	0.67	13.660	2.77
地下连续墙	40.61 m <sup>3</sup>	19507.58	18486.8903	94.77	404.92231	2.07	615.76943	3.16
地下连续墙钢筋	7930.94kg	21508.71	19732.17872	91.73	134.82598	0.65	1641.70458	7.63
钻孔围护桩成孔 (≤1500mm)	14.88 m <sup>3</sup>	538.45	9.25536	1.72	0.01488	0	529.16256	98.28
钻孔围护桩混凝土	14.88 m <sup>3</sup>	4525.45	4035.50064	83.71	696.26496	14.44	89.28	1.85
钻孔围护桩钢筋	1785.76kg	4421.54	4269.75216	96.56	30.35792	0.67	121.43168	2.77
钻孔围护桩钢护筒	0.78 m	29.83	5.2416	17.57	0.03978	0.13	24.55284	82.30
止水帷幕旋喷桩成孔	32.01 m	294.43	19.23801	6.54	0.12804	0.04	275.02992	93.42
止水帷幕旋喷桩双重管	16.09 m <sup>3</sup>	4839.61	3929.35499	81.19	79.75813	1.65	830.50144	17.16
钢支撑	10852.62kg	39188.81	33697.3851	85.98	195.34716	0.51	5296.07856	13.51
混凝土内支撑	1.68 m <sup>3</sup>	441.13	427.81536	96.98	8.5008	1.93	4.81488	1.09
内支撑钢筋	503.45 kg	1246.54	1203.74895	96.56	8.55865	0.67	34.2346	2.77
内支撑钢檩条	955.73 kg	2904.46	2507.83552	86.34	17.20314	0.59	379.42481	13.07
顶板现浇混凝土	24.63 m <sup>3</sup>	6029.47	5854.52637	97.10	114.70191	1.90	5914.79598	1.00
顶板钢筋	6.08 kg	15.05	14.53728	96.56	0.10336	0.67	0.41344	2.77
底板现浇混凝土	20.92 m <sup>3</sup>	5121.26	4972.66308	97.10	97.42444	1.90	5023.85432	1.00
底板钢筋	5.17 kg	12.80	12.36147	96.56	0.08789	0.67	0.35156	2.77
侧墙现浇混凝土	16.75 m <sup>3</sup>	4100.43	3981.45825	97.10	78.00475	1.90	4022.4455	1.00
侧墙钢筋	4.14 kg	10.25	9.89874	96.56	0.07038	0.67	0.28152	2.77

单位分部工程	工程量	施工碳排放总量 / kg CO <sub>2</sub> eq	碳排放构成 / kg CO <sub>2</sub> eq 及占比 / %					
			建材生产		建材运输		施工机械	
			碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %
中隔墙现浇混凝土	0.05 m <sup>3</sup>	12.24	11.88495	97.10	0.23285	1.90	12.0073	1.00
中隔墙钢筋	0.10 kg	0.25	0.2391	96.56	0.0017	0.67	0.0068	2.77
汇总		129864.458	103181.766	79.322	1866.549	1.717	24816.142	18.961
隧道长度 (m)		1	—					
每延米碳排放 (kgCO <sub>2</sub> eq / m)		129864.458	—					

### E.3 掘进机法铁路隧道碳排放计算案例

选择某盾构法铁路隧道的建设工程作为研究案例,为单洞双线盾构隧道,盾构段长 3086m,管片外径为 13.8m,厚 0.6m,环宽 2m,隧道穿越地层以泥质砂岩和花岗岩为主,采用泥水平衡盾构机掘进施工。现对盾构段隧道施工碳排放进行计算分析。

(1)统计盾构法隧道主要分部工程施工项目的工程数量如表 E.3.1 所示。

表 E.3.1 掘进机法隧道主要施工项目数量表

序号	项 目	单 位	数 量	
1	盾构机的安装与拆除	盾构机吊装	台	1
2		盾构机吊拆	台	1
3		盾构始发台安装	t	67.40
4		反力架安装	t	108.30
5	泥水平衡盾构掘进	始发段掘进	m <sup>3</sup>	22435.68
6		正常段掘进 (土层段)	m <sup>3</sup>	286204.39
7		正常段掘进 (软硬不均段)	m <sup>3</sup>	107032.87
8		正常段掘进 (岩层段)	m <sup>3</sup>	34386.87
9		出洞段掘进	m <sup>3</sup>	11516.98
10	出渣及泥浆处理	泥浆调制	m <sup>3</sup>	2589.84
11		泥浆分离	m <sup>3</sup>	383674.51
12		泥浆压滤	m <sup>3</sup>	118911.96

序号	项 目	单 位	数 量	
13	出渣及泥浆处理	洞内出渣	m <sup>3</sup>	502586.46
14		洞外出渣	m <sup>3</sup>	502586.46
15	注浆支护	衬砌同步注浆	m <sup>3</sup>	70596.29
16		二次注浆	m <sup>3</sup>	14119.26
17	管片预制	盾构管片混凝土预制	m <sup>3</sup>	77331.43
18		盾构管片钢筋预制	t	14719.62
19	防水工程及	管片嵌缝	环	1554
21	内部结构	盾构整体预制箱涵钢筋	t	3977.01
22		盾构整体预制箱涵预制混凝土	m <sup>3</sup>	22094.53
23		楼梯及泵房钢筋	t	7.9
24		楼梯及泵房现浇混凝土	m <sup>3</sup>	351.26
25		轨道填充层钢筋	t	1019.37
26		轨道填充层现浇混凝土	m <sup>3</sup>	6519.95
27		沟槽及填充钢筋	t	65.40
28		沟槽及填充现浇混凝土	m <sup>3</sup>	5184.48
29		盖板钢筋	t	7.10
30		盖板预制混凝土	m <sup>3</sup>	123.52

## (2) 计算每项施工项目单元工程量的碳排放

通过查阅隧道设计资料、施工概算清单，结合铁路工程相关预算定额，统计得到每项施工项目单元工程量的材料能源消耗量，例如直径为 12~13m 的刀盘式泥水平衡盾构机在负环段每向前掘进 100m<sup>3</sup> 需要投入的主要建材和施工机械数据见表 E.3.2，各机械的单元台班能耗量由附录 D 确定。

表 E.3.2 12~13m 刀盘式泥水平衡盾构机负环段掘进建材机械消耗量

刀盘式泥水平衡盾构机 (直径为12~13m) 负环段掘进 1 m <sup>3</sup>	建材种类	消耗量	机械种类	运行台班量	单位台班能耗量
	型钢	0.586 t	泥水复合式盾构机 (直径为 13m)	1.938 台班	13440 kWh 电能
	钢板	0.031 t	270 kW-3000m <sup>3</sup> /min 轴流通风机	0.250 台班	1686.4 kWh 电能
	钢管	0.139 t	6 m <sup>3</sup> /min 电动空气压缩机	1.097 台班	212.8 kWh 电能
	钢支撑	0.137 t	50 t 履带式起重机	1.097 台班	64.92 kg 柴油
	油脂	0.142 t	3 t 内燃叉车	0.655 台班	41.93 kg 柴油
	螺栓	0.145 t	15 t 内燃叉车	0.655 台班	36.29 kg 柴油
	电焊条	0.020 t	3t-9m 电动葫芦	4.832 台班	14.34 kWh 电能
			32 kVA 交流弧焊机	1.956 台班	108.8 kWh 电能

结合附录 A~附录 C 的碳排放因子数据，能够计算得到直径为 12~13m 刀盘式泥水平衡盾构机在负环段每向前掘进 100m<sup>3</sup> 产生的碳排放量如表 E.3.3 所示。

表 E.3.3 12~13m 刀盘式泥水平衡盾构机负环段掘进碳排放量

12~13m 刀盘式泥水平衡盾构机负环段掘进	建材生产	名称	消耗量	单位	碳排放 (kg CO <sub>2</sub> eq)
		型钢	0.586	t	1371.488
		钢板	0.031	t	74.724
		钢管	0.139	t	394.751
		钢支撑	0.137	t	321.118
		油脂	0.142	t	101.056
		螺栓	0.145	t	222.741
		电焊条	0.020	t	61.905
		汇总			
	建材运输	型钢	0.586	t	47.474
		钢板	0.031	t	2.495
		钢管	0.139	t	11.259
		钢支撑	0.137	t	11.116
		油脂	0.142	t	11.480
	螺栓	0.145	t	11.716	

12~13m 刀盘式泥水平衡盾构机负环段掘进	建材运输	电焊条	0.020	t	1.656
		汇总			
	施工机械	泥水复合式盾构机 (直径为 13m)	1.938	台班	22895.067
		270 kW-3000m <sup>3</sup> /min 轴流通风机	0.250	台班	370.586
		6 m <sup>3</sup> /min 电动空气压缩机	1.097	台班	205.195
		50 t 履带式起重机	1.097	台班	255.670
		3 t 内燃叉车	0.655	台班	98.596
		15 t 内燃叉车	0.655	台班	85.334
		3t-9m 电动葫芦	4.832	台班	60.907
		32 kVA 交流弧焊机	1.956	台班	187.062
		汇总			
汇总					26803.399

### (3) 掘进机法隧道碳排放总量计算

其余分部工程施工项目的计算方法类似，得到该掘进机法隧道施工碳排放如表 E.3.4 所示。

表 E.3.4 掘进机法隧道施工碳排放计算表

单位分部工程	工程量	施工碳排放总量/kg CO <sub>2</sub> eq	碳排放构成 / kg CO <sub>2</sub> eq 及占比 / %					
			建材生产		建材运输		施工机械	
			碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %
盾构机吊装	1 台	724385.694	200172.512	27.63	1452.074	0.20	522761.108	72.17
盾构机吊拆	1 台	80857.77	6515.52	8.08	92.51	0.11	73979.743	91.80
盾构始发台安装	67.40 t	234958.6242	168024.156	71.51	1142.6996	0.49	65791.7686	28.00
反力架安装	108.30 t	311572.4937	276765.7401	88.83	1844.4573	0.59	32962.2963	10.58
始发段掘进	22435.68m <sup>3</sup>	1941000.42	180517.4813	9.30	1794.8544	0.09	1758688.084	90.61
正常段掘进 (土层段)	286204.39m <sup>3</sup>	22098985.77	1157124.35	5.24	15168.83	0.07	20926692.59	94.7
正常段掘进 (软硬不均段)	107032.87m <sup>3</sup>	14319392.52	679123.5602	4.74	8027.46525	0.06	13632241.49	95.20
正常段掘进 (岩层段)	34386.87m <sup>3</sup>	3476822.039	188818.3032	5.43	2235.14655	0.06	3285768.589	94.50
出洞段掘进	11516.98m <sup>3</sup>	2051035.935	57089.66986	2.78	644.95088	0.03	1993301.314	97.19

单位分部工程	工程量	施工碳排放总量/kg CO <sub>2</sub> eq	碳排放构成 / kg CO <sub>2</sub> eq 及占比 / %					
			建材生产		建材运输		施工机械	
			碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %	碳排放 / kg CO <sub>2</sub> eq	占比 / %
泥浆调制	2589.84m <sup>3</sup>	19946.94768	4102.30656	20.56	3400.45992	17.04	12444.1812	62.39
泥浆分离	383674.51m <sup>3</sup>	1390436.424	32228.65884	2.32	0	0	1358207.765	97.68
泥浆压滤	118911.96m <sup>3</sup>	280751.1376	0	0	0	0	280751.1376	100
洞内出渣	502586.46m <sup>3</sup>	1853538.864	0	0	0	0	1853538.864	100
洞外出渣	502586.46m <sup>3</sup>	946370.3042	0	0	0	0	946370.3042	100
衬砌同步注浆	70596.29m <sup>3</sup>	14996416.9	10819658.00	72.15	948108.17	6.32	3228650.73	21.53
二次注浆	14119.26m <sup>3</sup>	9980933.12	9574707.9	95.93	192982.04	1.93	213243.18	2.14
盾构管片混凝土预制	77331.43m <sup>3</sup>	20989760.72	19378947.03	92.32	563591.4618	2.68	1047222.225	4.99
盾构管片钢筋预制	14719.62 t	40022470.14	36216035.29	90.49	255694.519	0.64	3550740.335	8.87
管片嵌缝	1554 环	278138.028	148708.476	53.47	1622.376	0.58	127807.176	45.95
密封条	1554 环	1712518.87	1590430.42	92.87	5098.67	0.30	116989.78	6.83
盾构整体预制箱涵钢筋	3977.01 t	10813442.47	9785003.588	90.49	69084.64071	0.64	959354.2373	8.87
盾构整体预制箱涵预制混凝土	22094.53m <sup>3</sup>	5997029.9	5536800.84	92.32	161024.9346	2.68	299204.1253	4.99
楼梯及泵房钢筋	7.9 t	21480.0052	19437.0968	90.49	137.2309	0.64	1905.6775	8.87
楼梯及泵房现浇混凝土	351.26 m <sup>3</sup>	78188.01718	71424.85714	91.35	2054.871	2.63	4708.28904	6.02
轨道填充层钢筋	1019.37 t	2771654.798	2508049.793	90.49	17707.47627	0.64	245897.5283	8.87
轨道填充层现浇混凝土	6519.95 m <sup>3</sup>	1451295.23	1325760.113	91.35	38141.7075	2.63	87393.4098	6.02
沟槽及填充钢筋	65.40 t	177821.8152	160909.6368	90.49	1136.0634	0.64	15776.115	8.87
沟槽及填充现浇混凝土	5184.48 m <sup>3</sup>	1154028.957	1054206.979	91.35	30329.208	2.63	69492.76992	6.02
盖板钢筋	7.10 t	19304.8148	17468.7832	90.49	123.3341	0.64	1712.6975	8.87
盖板预制混凝土	123.52 m <sup>3</sup>	33526.54	30953.62	92.32	900.21	2.68	1672.71	4.99
汇总		160228065.26	103691442.77	56.86	2400924.14	1.63	38430799.51	41.50
隧道长度 (m)		3086	—					
每延米碳排放 (kgCO <sub>2</sub> eq / m)		51920.95	—					

## 本标准用词说明

执行本标准条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

(4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

中国工程建设标准化协会标准

《铁路隧道碳排放计算标准》

Carbon emission calculation standard for railway tunnels

(T/CECS\*\*\*-202\*)

(条文说明)

XXXX 年. \*\*

（本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明，不具备与规范正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握暂行规范的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。）

## 1 总 则

铁路隧道作为我国综合交通运输网络的重要组成成分，针对铁路隧道建设和运营期间产生的二氧化碳排放计量分析，制定了计算标准，内容包含了铁路隧道的建材生产及运输阶段碳排放，矿山法、明挖法和掘进机法铁路隧道施工碳排放，铁路隧道运营阶段碳排放的计算分析。标准的编制充分结合了铁路隧道工程特点，对完善铁路隧道碳排放计量评估方法、丰富铁路隧道低碳建设技术等具有重要作用。

## 2 术语和符号

2.1.1 由于 CO<sub>2</sub> 对全球温室效应的增温贡献占比最大，铁路隧道碳排放是通过全球变暖潜能值（Global Warming Potential, GWP）将 CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、HFC<sub>s</sub>、PFC<sub>s</sub>、SF<sub>6</sub> 共 5 类温室气体按比例系数折算成二氧化碳当量，并将二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>eq）作为量化评估铁路隧道碳排放的计量指标。

2.1.2 铁路隧道的生命周期界限随着不同研究目的而变化，将铁路隧道视为一种产品，其完整生命周期应当包括前期地质勘查、线路规划设计、隧道施工建设、隧道运营维护、拆除处理和回收等阶段。但通常来说，铁路隧道碳排放计量分析的研究重点是隧道施工建设和运营维护两大资源能源重要消费阶段。

2.1.5 排放系数法又称过程分析法，需要罗列每一项生产活动单元过程，统计资源能源消耗数据，结合碳排放因子计算各项单元过程、各项资源和能源的碳排放量，并累加求和即可得到铁路隧道碳排放总量。

### 3 基本规定

3.1.1 铁路隧道碳排放的计算可以针对单个隧道工程或隧道群，也可针对某一单项研究阶段的碳排放进行计量分析。

3.1.8 由于铁路隧道的前期地质勘察和规划设计阶段产生的碳排放主要来源于人工活动，经查阅现有研究资料发现该部分的碳排放量相对较小，通常铁路隧道碳排放分析并未考虑该部分的影响。此外，隧道拆除处理和回收阶段的研究周期难以界定，资源能源消耗数据难以预估，因此铁路隧道的拆除处理过程的碳排放并未纳入广泛性的分析研究。

## 4 铁路隧道建材生产及运输阶段碳排放计算

4.1.1 建材生产及运输阶段碳排放的影响因素涵盖了原材料选择、生产工艺、能源消耗、运输距离和使用阶段等多个方面。减少碳排放需要从源头选择低碳原材料、采用绿色生产工艺、优化能源消耗、减少运输距离和提高使用效率等方面着手。

4.1.5 使用周转材料和再生材料可以减少对新材料的需求，降低对自然资源的开采和能源消耗，从而减少碳排放。这些材料通常是通过回收、再利用或再生产而来，相对于新材料具有更小的碳足迹。在进行碳排放核算时，应将使用周转材料和再生材料所带来的碳排放核减量计算进去，使得碳排放核算结果更加准确。这有助于评估铁路隧道工程的碳排放水平，指导施工过程中的环境保护措施，并促进可持续发展和低碳施工。

4.2.3 建材生产阶段的碳排放因子应该综合考虑原材料开采和处理、能源消耗、生产工艺排放、运输排放以及副产品处理等各个环节的碳排放。这些因素的核算会帮助我们更全面地评估建材的碳足迹，从而指导我们选择更低碳排放的建材，促进可持续发展和低碳隧道。

4.3.3 建材运输阶段的碳排放因子应该综合考虑车辆运行排放、车辆能耗排放、运输距离、运输工具效率和运输方式选择等因素。这些因素的核算可以帮助我们更全面地评估建材运输的碳足迹，从而指导我们选择更低碳排放的运输方式和优化物流管理，促进可持续发展和低碳隧道。

## 5 矿山法铁路隧道施工阶段碳排放计算

5.1.1 矿山法铁路隧道施工阶段碳排放的组成包括 3 个部分：施工建材生产、建材运输和隧道施工现场机械设备的动力能源燃烧过程。其中建材生产与运输阶段的碳排放计算由每项施工建材的消耗量与其平均运输距离，以及材料生产碳排放因子和运输碳排放因子决定，按 4.2 节规定计算。而施工机械的碳排放计算由机械设备的工作能耗量与能源碳排放因子决定，依据 5.2 节内容计算。

5.1.2 矿山法施工机械的选择根据实际工程资料进行确定，不同型号的施工机械单位台班能耗量有差异，具体取值参考附录 D。

5.1.3 矿山法铁路隧道施工过程中，当利用开挖洞渣进行回收处理用于生产混凝土时，材料回收环节的碳排放影响分为两类，一是材料回收运输和生产机械的能源消耗产生的碳排放，对矿山法施工碳排放是增量；二是材料回收后用于隧道施工混凝土的浇筑，对矿山法隧道施工发挥减碳作用。在分析矿山法隧道碳排放时，若考虑材料回收的影响作用，需要同时计算这两个环节的碳排放值。

5.2.1 矿山法隧道施工分部分项工程按照隧道开挖、支护、衬砌的施工顺序进行排列，各施工工序之间又具有相互独立的特性，可直接按不同的施工项目进行统计材料和机械的消耗数据清单。最后进行分类汇总可以得到材料的消耗总量、机械的台班量，通过附录 D 将机械台班量转化为能源消耗量，即可得到矿山法隧道施工阶段的材料消耗总量与能源消耗总量。

5.2.2 矿山法施工单位工程量的机械台班数据可通过项目标书、施工概算手册和《铁路工程基本定额》TZJ 2000、《铁路工程预算定额（第三册 隧道工程）》TZJ 2003 和附录 D 进行确定。

## 6 明挖法铁路隧道施工阶段碳排放计算

6.1.1 明挖法铁路隧道施工阶段碳排放的组成同样包括 3 个部分：施工建材生产、建材运输和隧道施工现场机械设备的动力能源燃烧过程。计算思路和依据参照条文说明 5.1.1。

6.1.2 明挖法施工机械的选择根据实际工程资料进行确定，不同型号的施工机械单位台班能耗量有差异，具体取值参考附录 D。

6.1.3 明挖法铁路隧道施工过程中，材料回收利用环节的碳排放影响参照条文说明 5.1.3 计算。

6.2.2 明挖法施工单位工程量的机械台班数据可通过项目标书、施工概算手册和《铁路工程预算定额（第十册 房屋工程）》TZJ2010 和附录 D 进行确定。

## 7 掘进机法铁路隧道施工阶段碳排放计算

7.1.1 掘进机法铁路隧道施工阶段碳排放的组成同样包括 3 个部分：施工建材生产、建材运输和隧道施工现场机械设备的动力能源燃烧过程。计算思路和依据参照条文说明 5.1.1。

7.1.2 掘进机法施工机械的选择根据实际工程资料进行确定，不同型号的施工机械单位台班能耗量有差异，具体取值参考附录 D。需要特别说明的是，掘进机械相对于其他常见机具而言，其造价昂贵，制造工艺复杂，生产组装过程中消耗使用了大量资源能源。但受限于数据收集难度较大的实际情况，对于掘进机法铁路隧道碳排放的计算，暂不将掘进机组的生产组装碳排放纳入考虑范围。

7.1.3 掘进机法铁路隧道施工过程中，材料回收利用环节的碳排放影响参照条文说明 5.1.3 计算。

7.2.2 掘进机法施工单位工程量的机械台班数据可通过项目标书、施工概算手册和《铁路隧道 TBM 及超长工区施工等补充预算定额》（铁建设[2020]155 号）、《铁路工程补充预算定额（第一册）》（铁总建设[2017]324 号）和附录 D 进行确定。

## 8 铁路隧道运营维护阶段碳排放计算

8.1.1 铁路隧道运营维护阶段的碳排放主要来自于电力使用、设备运行、建筑能耗以及设备制造和维护过程。其中电力使用包括铁路隧道的运营维护需要消耗大量的电力，主要用于供电、照明和设备运行等。如果电力来自于化石燃料发电，那么电力使用就会产生大量的二氧化碳排放。设备运行包括隧道内的设备，如风机、水泵等，需要运行维护。这些设备的运行通常需要电力或者燃料，因此在使用过程中会产生一定程度的碳排放。建筑能耗包括铁路隧道的站点、办公楼和其他建筑设施在运营维护期间需要消耗能源，包括供暖、照明、空调以及其他电器设备的使用等。这些能源的消耗通常会导致相应的碳排放。设备制造和维护包括铁路隧道的设备制造和维护过程中可能会涉及原材料采集、加工、运输和制造等，这些过程也会产生一定量的碳排放。此外，设备维护过程中使用的化学品和润滑油等也可能带来一定的碳排放。

8.1.2 在碳排放的核算中，通常会使用运营年限来评估和估计运营维护阶段的碳排放。这个运营年限一般与设计文件中的预期使用年限一致。然而，有时候设计文件可能无法提供具体的预期使用年限，或设计文件中的年限与实际使用情况有所不同。在这种情况下，可以使用时间累计的方法来进行估计。时间累计通常是指将整个运营维护阶段的时间范围扩展到一个相对较长的时间段，这样做的目的是为了考虑到设施的使用寿命，以及可能的后继活动。通过时间累计，可以更全面地评估和估计运营维护阶段的碳排放，包括设施的建设、维护、更新、扩建等各个阶段可能产生的排放。这样可以更准确地进行碳排放核算和评估，有助于指导碳排放的减少和管理措施的制定。