

ICS 93.010

CCS P 04

团体标准

T/TMAC ×××—202X

隧道及地下工程碳排放计算标准

Carbon emission calculation standard for tunnel and underground engineering construction

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言	III
引 言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 术 语	1
3.2 符 号	2
4 基本规定	5
5 隧道建材生产及运输阶段碳排放	6
5.1 一般规定	6
5.2 建材生产	6
5.3 材料运输	6
6 矿山法施工阶段碳排放	7
6.1 一般规定	7
6.2 施工建造	7
7 明挖法施工阶段碳排放	8
7.1 一般规定	8
7.2 施工建造	8
8 盾构法施工阶段碳排放	9
8.1 一般规定	9
8.2 施工建造	9
9 沉管法施工阶段碳排放	11
9.1 一般规定	11
9.2 施工建造	11
10 浅埋暗挖法施工阶段碳排放	12
10.1 一般规定	12
10.2 施工建造	13
11 钻爆法施工阶段碳排放	13
11.1 一般规定	13
11.2 施工建造	14
12 隧道运营阶段碳排放	14
12.1 一般规定	14
12.2 隧道运营	14
附录 A(资料性) 主要建材碳排放因子	19
附录 B(资料性) 建材运输碳排放因子	22
附录 C(资料性) 主要能源碳排放因子	23
附录 D(资料性) 常用施工机械台班能源用量	25
参 考 文 献	29

引 言

为了实现“碳达峰、碳中和”的目标，需要各行各业共同努力，隧道及地下工程的建设过程是一个碳排放过程，因此，在工程可行性研究、初步设计、施工图设计和施工过程中，都应该贯彻减少碳排放的原则，选择碳排放较小的设计方案、施工方法和建筑材料。本项目的目标是制定隧道及地下工程建设碳排放计算标准，为工程设计和施工提供统一的碳排放计算方法和标准，从而为设计方案比选提供统一的衡量标准。

本文件提出了隧道及地下工程建材生产运输阶段、施工及隧道运营阶段碳排放类型、计算方法与标准，用于计算隧道及地下工程全生命周期碳排放，推进工业、建筑、交通等领域清洁低碳转型。

本文件主要应用场景包括以下几个方面：

- a) 新建隧道及地下工程的运行、建造、建材生产与运输以及运营阶段的碳排放计算。
- b) 隧道及地下工程碳排放预测。
- c) 通过碳排放计算，在设计、施工等方面采取措施减少碳排放。

隧道及地下工程碳排放计算方法

1 范围

本文件规定了铁路隧道建材生产及运输阶段碳排放的计算方法、矿山法施工阶段碳排放计算方法、明挖法施工阶段碳排放计算方法、盾构法施工阶段碳排放计算方法、沉管法阶段碳排放计算方法、浅埋暗挖法阶段、钻爆法以及隧道运营阶段碳排放计算方法。

本文件适用于新建隧道及地下工程的建材生产与运输阶段、运行、建造以及运营阶段的碳排放计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 6722 爆破安全规程
- GB/T 24040 环境管理 生命周期评价 原则与框架
- GB/T 24044 环境管理 生命周期评价 要求与指南
- GB/T 50743 工程施工废弃物再生利用技术规范

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

碳排放 carbon emission

工程在与其相关的工程物化、运营维护及拆除处置阶段产生的温室气体排放量，以二氧化碳当量表示。

3.1.2

碳排放因子 carbon emission factor

将能源与材料消耗量与二氧化碳排放相对应的系数，用于量化不同阶段相关活动的碳排放。

3.1.3

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent

CO₂e

在辐射强度上与某种温室气体质量相当的二氧化碳的量。

注：二氧化碳当量等于给定温室气体的质量乘以它的全球变暖潜势值。

[来源：GB/T 32150—2015，3.16]

3.1.4

工程物化阶段 materialization period of engineering

铁路工程从无到有经历的整个过程，主要包括建材生产、建材运输、施工建造，以及临时占地生态恢复4个环节。

3.1.5

运营维护阶段 operation and maintenance period

从工程物化结束，开始运营至工程停止运行的整个过程，主要包括列车动力牵引、设备运行、维修维护，以及铁路碳汇4个环节。

3.1.6

计算边界 accounting boundary

与建材生产及运输、建造及拆除、运行等活动相关的温室气体排放的计算范围。

3.1.7

直接碳排放 direct carbon emission

因工程活动直接引起的化石燃料燃烧产生的碳排放。

3.1.8

间接碳排放 indirect carbon emission

因工程活动间接引起的排放源产生的二氧化碳排放，例如工程建造消耗材料的生产产生的碳排放等。

3.2 符 号

下列符号适用于本文件。

3.2.1

几何尺寸

A ——建筑面积；

A_i ——第 i 区域照明面积 (m^2)；

A_L ——明区域总面积 (m^2)；

A_C ——太阳集热器面积 (m^2)；

A_P ——光伏系统光伏面板的净面积 (m^2)；

A_W ——风机叶片迎风面积 (m^2)；

D ——风机叶片直径 (m)。

3.2.2

碳排放量

C_{IC} ——建材生产及运输阶段单位建筑面积的碳排放量；

C_{sc} ——建材生产阶段碳排放；

C_{ys} ——建材运输过程碳排放；

C_{KS} ——矿山法施工阶段碳排放量；

C_{KM} ——矿山法建材生产阶段碳排放量；

C_{KE} ——矿山法施工机械设备使用碳排放量；

C_{KL} ——矿山法人工消耗碳排放量；

C_{KT} ——矿山法建材运输碳排放量；

C_{MW} ——明挖法施工阶段碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{MM} ——明挖法建材生产阶段碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{ME} ——明挖法施工机械设备使用碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{ML} ——明挖法人工消耗碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{MT} ——明挖法建材运输碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{JX} ——盾构法施工阶段碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{JM} ——盾构法建材生产阶段碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{JE} ——盾构法施工机械设备使用碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{JL} ——盾构法人工消耗碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{JT} ——盾构法建材运输碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{ch} ——工程拆除回收阶段碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{CRS} ——工程拆除回收阶段施工机械燃烧汽油、柴油等燃料的直接碳排放；

C_{cE} ——工程拆除回收阶段电能消耗产生的间接碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{cM} ——工程拆除回收阶段消耗切割锯片、钻头、水等材料产生的间接碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{cHS} ——工程回收的材料和设备的碳核减量 ($kg CO_2e$)；

C_{cM} ——工程拆除阶段消耗切割锯片、钻头、水等材料产生的间接碳排放量 ($kg CO_2e$)；

W_p ——新建工程的建筑废弃物估计排放量 (kg)；

W_x ——新建工程的建筑废弃物产生量 (kg)；

W_{cp} ——拆除建筑所产生的废弃物估计排放量 (kg)；

C_R ——运营维护阶段碳排放量 ($kg CO_2e$)；

C_{R-T} ——动力牵引年碳排放量 (kg CO₂e/a) ;
 C_{R-E} ——设备运行年碳排放量 (kg CO₂e/a) ;
 C_{R-G} ——绿化、植被年碳汇量 (kg CO₂e/a) ;
 C_{R-M} ——维修维护碳排放量 (kg CO₂e) ;
 C_{R-E-E} ——设备运行年能源消耗碳排放量 (kg CO₂e/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 CO₂e/a) ;
 C_{R-M-M} ——维修维护阶段材料消耗碳排放量 (kg CO₂e) ;
 C_{R-M-E} ——维修维护阶段机械设备使用碳排放量 (kg CO₂e) ;
 C_{R-M-T} ——维修维护阶段材料运输碳排放量 (kg CO₂e) 。

3.2.3

能源供给、消耗量

M_i ——第 i 种主要建材的消耗量;
 E_{ki} ——矿山法第 i 类建材的消耗量;
 M_{ki} ——矿山法第 i 种主要建材的消耗量;
 T_i ——第 i 类建材的运输量 (t) ;
 E_{Ei} ——施工机械设备使用的第 i 类能源消耗量 (kg、kWh 等) ;
 $P_{Ei, j}$ ——使用第 i 类能源的第 j 种施工机械设备每台班能耗量 (kg/台班、kWh/台班等) ;
 $T_{Ei, j}$ ——使用第 i 类能源的第 j 种施工机械设备的运行台班数 (台班) ;
 J_i ——第 i 种以汽油、柴油等燃料为动力的施工机械的消耗台班数(台班);
 JF_i ——第 i 种以汽油、柴油等燃料为动力的施工机械单位台班能源消耗量, 按本标准附录 D.0.1 取值;

值;

J_{Di} ——第 i 种以电能为动力的施工机械的消耗台班数 (台班) ;
 JE_i ——第 i 种以电能为动力的施工机械单位台班耗电量 (kWh/台班), 按施工机械的参数取值, 无相关参数时按本标准附录 D.0.1 取值;
 M_{ci} ——拆除阶段第 i 种材料的消耗量, 如切割锯片、钻头、水等 (材料计量单位) ;
 E_{R-Ei} ——使用第 i 类能源的动力牵引年能源消耗量 (kg/a、kWh/a 等) ;
 E_i ——动力牵引系统列车单次运行能源消耗量 (kg/次、kWh/次) 等;
 $E_{R-Ei, j}$ ——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;
 E_{R-E-L} ——照明系统年能源消耗量 (kWh/a) ;
 E_{R-E-D} ——电梯年能源消耗量 (kWh/a) ;
 E_{ST} ——电梯待机时能耗 (W) ;
 E_{R-E-P} ——水泵或风机年能源消耗量 (kWh/a) ;
 E_{R-E-HW} ——生活热水系统年能源消耗量 (kWh/a) ;
 Q_R ——生活热水年耗热量 (kWh/a) ;
 Q_S ——太阳能热水系统年提供的生活热水热量 (kWh/a) , 如果未使用太阳能热水系统, 记为 0;
 E_{PV} ——光伏系统的年发电量 (kWh/a) ;
 E_{WT} ——风力发电机组的年发电量 (kWh/a) 。

3.2.4

碳排放因子

F_i ——第 i 种主要建材的碳排放因子;
 M_{Fi} ——第 i 类建材的碳排放因子 (kg CO₂/kg、kg CO₂e/m³ 等) ;
 ET_j ——第 j 种运输方式下, 单位重量单位运输距离的碳排放因子[kg CO₂e/ (t·km)];
 ET_i ——第 i 种运输方式下, 单位重量单位运输距离的碳排放因子[kg CO₂e/ (t·km)];
 EF_i ——第 i 类能源的碳排放因子 (kg CO₂/kg、kg CO₂/kWh 等) ;
 FT_i ——第 i 种材料的生产碳排放因子 (kg CO₂e/材料计量单位) , 可咨询材料生产厂家, 厂家不能提供时, 可参照本标准附录 A.0.1 取值;
 LF ——人工碳排放因子 (kg CO₂e/工日) ;
 RF_i ——第 i 种燃料燃烧的碳排放因子, 按本标准附录 C.0.1 取值;
 EF ——电网碳排放因子 (kg CO₂e/kWh) , 按本标准附录 C.0.4 取值;
 F_{ci} ——拆除阶段第 i 种材料的碳排放因子 (kgCO₂e/材料计量单位) , 可咨询材料生产厂家, 厂家不

能提供时，可参照本标准附录 A.0.1 取值；

TF_{ci} ——拆除阶段消耗的第 i 种材料的运输碳排放因子 [$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t}\cdot\text{km})$]，可按本标准附录 B.0.1 取值；

SF_i ——第 i 种整体回收设备的生产碳排放因子 ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{台}$)，可咨询设备生产厂家；

F_{mi} ——第 i 种回收设备零部件的生产碳排放因子 ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{件}$)，可咨询设备生产厂家。

3.2.5

其他

D_i ——第 i 种建材平均运输距离 (km)；

$D_{i,j}$ ——第 i 类建材采用第 j 种运输方式的运输距离 (km)，运输方式包括公路、铁路、水路等；

L ——人工总工程日 (工日)；

L_0 ——铁路工程动力牵引系统列车年运行次数 (次/a)；

$u_i(t)$ ——时刻的牵引力系数；

$f_i(v)$ ——时刻的列车牵引力 (N)；

$v(t)$ ——时刻的列车运行速度 (km/h)；

η ——列车综合效率，一般取值为 0.85；

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)；

R ——制冷剂类型；

E_{ch} ——工程拆除阶段总外购电量 (kWh)；

L_{ci} ——拆除阶段消耗的第 i 种材料的运输距离 (km)；

η_i ——第 i 种材料的可再利用比例 (%)；

S_i ——第 i 种整体回收设备的回收数量 (台)；

t_{ti} ——第 i 种整体回收设备的平均已使用时长 (h)；

t_{oi} ——第 i 种整体回收设备的使用寿命 (h)；

S_{mi} ——第 i 种拆解回收设备的回收零部件数量 (件)；

η_{mi} ——第 i 种回收设备零部件的可再利用比例 (%)；

W_{xh} ——建筑废弃物回收利用量 (kg)；

W_c ——拆除建筑的废弃物产生量 (kg)；

W_{ch} ——拆除建筑的废弃物回收利用量 (kg)；

m_R ——每台设备制冷剂充注量 ($\text{kg}/\text{台}$)；

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；

$P_{i,j}$ ——第 j 日第 i 区域照明功率密度值 (W/m^2)；

$t_{i,j}$ ——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)；

t_A ——电梯年平均运行小时数 (h)；

V ——电梯速度 (m/s)；

W ——电梯额定载重量 (kg)；

t_s ——电梯年平均待机小时数 (h)；

W_p ——水泵或风机电机功率 (kW)；

η_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)；

η_H ——生活热水输配效率，应考虑水系统的输配能耗、贮水箱及管道热损失、生活热水二次循环、固有能耗的热损失 (%)；

η_w ——生活热水系统热源年平均效率 (%)；

D_A ——生活热水年使用天数 (d/a)；

m ——用水计算单位数 (比如人数)；

q_R ——热水用水定额 ($\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$)；

C ——水的比热容，取 $4.187 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ；

ρ_R ——热水密度 (kg/L) ;
 t_R ——设计热水温度 (°C) ;
 t_L ——设计冷水温度 (°C) ;
 J_E ——太阳集热器采光面上的年平均太阳辐照量[MJ/ (a·m²)] ;
 η_L ——管路和储热装置的热损失率 (%) ;
 η_{AC} ——基于总面积的集热器平均集热效率 (%) ;
 I ——光伏电池表面的年太阳辐射照度 (kWh/m²) ;
 K_E ——光伏电池的转换效率 (%) ;
 K_S ——光伏系统的损失效率 (%) ;
 P ——空气密度, 取 1.225 kg/m³ ;
 $C_R(Z)$ ——依据高度计算的粗糙系数 ;
 K_R ——场地因子 ;
 Z_0 ——地表粗糙系数 ;
 V_0 ——年可利用平均风速 (m/s) ;
 EPF ——根据典型气象年数据中逐时风速计算出的因子 (m) ;
 APD ——年平均能量密度 (W/m²) ;
 V_i ——逐时风速 (m/s) ;
 K_{WT} ——风力发电机组转化效率。

4 基本规定

- 4.1 隧道及地下工程碳排放计算应遵守相关性、完整性、一致性、准确性和透明性的基本原。
- 4.2 隧道及地下工程碳排放计算根据不同目的, 可以以某个专业工程或某段区间为计算对象, 进行数据采集与计算。
- 4.3 地下工程施工碳排放计算方法可针对工程全生命周期进行, 亦可针对工程物化、运营维护、拆除处置阶段中的某阶段进行。
- 4.4 不同的施工方法在建材生产阶段的碳排放计算中, 需要考虑各自施工方法特有的材料使用和生产过程。
- 4.5 机械设备使用和能源类型因施工方法不同有所变化, 碳排放因子应根据实际情况调整。
- 4.6 隧道及地下工程碳排放计算应根据不同需求按阶段进行核算, 亦可将分段计算结果累计为隧道及地下工程全生命周期碳排放。
- 4.7 人工消耗的碳排放在不同施工方法中也有差异, 不同施工方法下人工消耗的碳排放应结合实际工种、作业环境进行差异化调整。
- 4.8 隧道及地下工程碳排放计算应界定计算边界, 并应包括以下内容:
- 明确铁路工程碳排放核算所对应的阶段;
 - 明确核算阶段所涉及的环节。
- 4.9 隧道及地下工程全生命周期活动包括从建筑材料生产到铁路工程拆除处置的全过程, 其中运营时间应与设计文件一致, 如设计文件未给出运营年限, 时间累计通常可取 100 年。
- 4.10 隧道及地下工程产生碳排放的要素包括人工、材料、机械设备。界定范围为:
- 在工程物化阶段, 建造施工人员产生的碳排放, 建造材料生产及运输产生的碳排放, 建造施工机械设备使用产生的碳排放;
 - 在运营维护阶段, 运营维护人员产生的碳排放, 运营维护过程中所更替和消耗材料的生产及运输产生的碳排放, 运营维护过程中动力牵引和机械设备运行 (包括暖通空调、照明、电梯、水泵、风机和生活热水等系统) 能量消耗产生的碳排放;
 - 在拆除处置阶段, 拆除处置人员产生的碳排放, 拆除处置机械设备使用和废弃物运输产生的碳排放。
- 4.11 隧道及地下工程碳排放计算结果应至少包含下列一项或多项指标:
- 不同阶段不同专业工程碳排放;
 - 全生命周期碳排放;
 - 运营阶段年平均碳排放;
 - 单位客运量单位里程碳排放和单位货运量单位里程碳排放;
 - 工程物化、运营维护阶段直接碳排放;
 - 工程物化、运营维护阶段电力、热力间接碳排放;

g) 工程物化、运营维护阶段其他间接碳排放。

4.12 隧道及地下工程碳排放计算应包含《IPCC 国家温室气体清单指南》中列出的各类温室气体，并以当量二氧化碳排放量计量。

4.13 碳排放计算所需的碳排放因子数据应来自公认的可信来源，采用经权威机构认证的最新发布的数据，在未能获得有效碳排放因子数据前，碳排放因子可按本标准附录选用。

4.14 碳排放计算结果应以千克二氧化碳(kg CO₂e)为单位表示，其他温室气体计量结果应以千克二氧化碳当量(kg CO₂e)表示。

4.15 在工程物化、运营维护、拆除处置阶段中因消耗电力造成的碳排放，宜采用由国家权威机构发布的相对应区域电网平均碳排放因子进行计算；对于未发布碳排放因子的区域，可以采用国家权威机构发布的国家平均电力碳排放因子，或依据该区域电网中火电与清洁能源的比例进行计算。

5 隧道建材生产及运输阶段碳排放

5.1 一般规定

5.1.1 建材碳排放应包含建材生产阶段及运输阶段的碳排放并应按 GB/T 24040、GB/T 24044 计算。

5.1.2 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，并按公式（1）计算：

$$C_{JC} = \frac{C_{sc} + C_{ys}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

式中：C_{JC}——建材生产及运输阶段单位建筑面积的碳排放量（kg CO₂e/m²）；

C_{sc}——建材生产阶段碳排放（kg CO₂e）；

C_{ys}——建材运输过程碳排放（kg CO₂e）；

A——建筑面积（m²）。

5.1.3 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、建筑构件和部件等，纳入计算的主要建筑材料的确定应符合下列规定：

a) 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%；

b) 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。

5.2 建材生产

5.2.1 建材生产阶段碳排放应按公式（2）计算：

$$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：C_{sc}——建材生产阶段碳排放（kg CO₂e）；

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（kg CO₂e/单位建材数量），按照本标准附录 A.1 取值。

5.2.2 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资料确定。

5.2.3 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。

5.2.4 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，缺省值可按附录 A.0.1 执行。

5.2.5 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。

5.3 材料运输

5.3.1 建材运输阶段碳排放应按公式（3）计算：

$$C_{ys} = \sum_{i=1}^n M_i D_i E T_i \dots\dots\dots (3)$$

式中：C_{ys}——建筑运输过程碳排放（kg CO₂e）；

M_i ——第 i 种主要建材的消耗量 (t)；

D_i ——第 i 种建材平均运输距离 (km)；

ET_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 [$\text{kg CO}_2\text{e}/(\text{t}\cdot\text{km})$]。

5.3.2 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 B.0.1 中的默认值取值。

5.3.3 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 B.0.1 取值。

6 矿山法施工阶段碳排放

6.1 一般规定

6.1.1 矿山法通常涉及钻孔、爆破、支护和出渣等作业，其碳排放主要来源于爆破材料的使用、机械设备的能耗以及支护材料的生产和运输。

6.1.2 矿山法施工中，爆破作业产生的碳排放通常较高，需要特别注意爆破材料的碳排放因子和使用量。

6.1.3 矿山法隧道定额包括矿山法单、双线隧道开挖与清理、临时工程、初期支护、衬砌及竖井工程等。

6.1.4 矿山法隧道初期支护包括隧道喷射混凝土、钢格栅及钢筋网片、超前小导管、管棚、锚杆、注浆等。

6.1.5 矿山法隧道衬砌包括隧道衬砌混凝土、衬砌钢筋等。

6.1.6 矿山法竖井工程包括竖井开挖、支护、衬砌、竖井钢筋等。

6.1.7 矿山法隧道施工所用主要材料包括型钢、铁件、钢筋、混凝土、水泥、胶质炸药、雷管、水等材料。

6.1.8 矿山法隧道施工所用主要机具包括挖掘机、风洞凿岩机、自卸汽车、空气压缩机、钻头磨床、锻纤机、离心清水泵等。

6.1.9 工程物化阶段，主体结构、附属结构、围护结构、临时设施所消耗的材料，相关构件，以及部品等，均应纳入计算范围，主要建材的确定应符合下列规定：

a) 所选主要建材的总重量不应低于隧道及地下工程中所消耗材料总重量的 95%；

b) 当符合本款第 1 条规定时，重量占比小于 0.1% 且较难获得碳排放因子数据的材料可不计入核算范围。

6.2 施工建造

6.2.1 矿山法建造阶段包括建材生产、机械设备使用、人工消耗和建材运输，碳排放量应按公式 (4) 计算：

$$C_{KS} = C_{KM} + C_{KE} + C_{KL} + C_{KT} \dots\dots\dots (4)$$

式中： C_{KS} ——矿山法施工阶段碳排放量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

C_{KM} ——矿山法建材生产阶段碳排放量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

C_{KE} ——矿山法施工机械设备使用碳排放量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

C_{KL} ——矿山法人工消耗碳排放量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)；

C_{KT} ——矿山法建材运输碳排放量 ($\text{kg CO}_2\text{e}$)。

6.2.2 建材生产碳排放量应按公式 (5) 计算：

$$C_{KM} = \sum_{i=1}^n (M_i \times MF_i) \dots\dots\dots (5)$$

式中： M_i ——第 i 类建材的消耗量 (kg 、 m^3 等)；

MF_i ——第 i 类建材的碳排放因子 ($\text{kg CO}_2/\text{kg}$ 、 $\text{kg CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ 等)。

6.2.3 建材碳排放因子应选择其全生命周期碳排放因子，包括：

a) 建材生产涉及原材料的碳排放；

b) 建材生产涉及能源的碳排放；

c) 建材生产涉及原材料、能源运输的碳排放；

d) 当其中某过程某材料碳排放缺失或被忽略时，应予以说明。

6.2.4 建材生产碳排放因子应来自公认的可信来源，采用经权威机构认证的最新发布的数据，在未能获得有效碳排放因子数据前，碳排放因子可按附录 A.0.1 选用。

6.2.5 建材生产时，当使用低价值废料作为原料时，可忽略其开采等上游过程的碳排放。

6.2.6 建材运输碳排放量应按公式 (6) 计算：

$$C_{KT} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n T_i \times D_{ij} \times ET_j \dots\dots\dots (6)$$

式中： T_i ——第 i 类建材的运输量 (t)；

$D_{i,j}$ ——第 i 类建材采用第 j 种运输方式的运输距离 (km)，运输方式包括公路、铁路、水路等；

ET_j ——第 j 种运输方式下，单位重量单位运输距离的碳排放因子 [kg CO₂e/ (t·km)]。

6.2.7 隧道及地下工程建材运输阶段的碳排放因子应包含建材从生产地到施工现场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 B.0.1 取值。

6.2.8 矿山法隧道土石方开挖量按照机械开挖（人工辅助）综合考虑。已包含洞内水平运输及垂直运输，土石方水平运距按最远开挖点距工作井 800m 以内考虑。最远开挖点距工作井在 800~1200m 以内，超过 800m 部分土石方人工及水平运输机械消耗量乘以系数 1.15；最远开挖点距工作井距离在 1200m 以外，超出 1200m 部分土石方人工及水平运输机械消耗量乘以系数 1.25；垂直运输距离按 40m 以内深度综合考虑，超过 40m 按相应子目乘以系数 1.05。

6.2.9 施工机械设备消耗能源包括电、油、气等，其碳排放量应按式(7)计算：

$$C_{KE} = \sum_{i=1}^n E_{Ei} \times EF_i \dots\dots\dots (7)$$

式中： E_{Ei} ——施工机械设备使用的第 i 类能源消耗量 (kg、kWh 等)；

EF_i ——第 i 类能源的碳排放因子 (kg CO₂/kg、kg CO₂/kWh 等)，按本标准附录 C.0.1~C.0.2 取值；

i ——施工机械设备能源类型，包括电力、柴油、汽油、燃气等。

6.2.10 施工机械设备使用的第 i 类能源的消耗量应按式(8)计算：

$$E_{Ei} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{Eij} \times T_{Eij} \dots\dots\dots (8)$$

式中： $P_{Ei,j}$ ——使用第 i 类能源的第 j 种施工机械设备每台班能耗量 (kg/台班、kWh/台班等)；

$T_{Ei,j}$ ——使用第 i 类能源的第 j 种施工机械设备的运行台班数 (台班)。

6.2.11 施工机械设备能源类型和每台班能耗量可按本标准附录 D.0.1 取值，亦可根据 TZJ 3004 选取，使用第 i 类能源的第 j 种施工机械设备台班数根据 TZJ 2101-2113、TZJ 2000-2013 和设计资料采集计算。

6.2.12 隧道及地下工程人工消耗碳排放量应按公式(9)计算：

$$C_{KL} = L \times LF \dots\dots\dots (9)$$

式中： L ——人工总工日 (工日)；

LF ——人工碳排放因子 (kg CO₂e/工日)。

6.2.13 人工工日消耗量可根据 TZJ 3004、TZJ 2101-2113、TZJ 2000-2013 和设计资料采集测算，亦可采集自工作人员配置、出勤记录、打卡等资料。

6.2.14 人工碳排放因子应包括施工人员生活碳排放。

6.2.15 人工碳排放因子应来自公认的可靠来源，采用经权威机构认证的最新发布的数据。

6.2.16 管棚长度按 40m (含) 以内考虑，超过 40m 时按相应管棚定额子目的人工、机械乘以系数 1.25。

6.2.17 矿山法施工过程中人工、材料、机具、运输的工程消耗量除满足相关规范外，还需结合当地实际情况动态调整。

7 明挖法施工阶段碳排放

7.1 一般规定

7.1.1 明挖法适用于地表或浅埋地下工程，通常包括土石方开挖、支护结构施工和回填等作业。

7.1.2 明挖法的碳排放特点在于大量土石方的运输和临时支护结构的安装，这些作业的碳排放主要来源于机械设备的使用和材料运输。

7.1.3 明挖法按主体结构施工顺序可分为明挖顺作法、盖挖顺作法、盖挖逆作法、盖挖半逆作法。

7.1.4 明挖法适用于浅埋地下工程、平面尺寸较大的地下工程、基坑工程及其他工程施工。

7.1.5 明挖法施工应综合考虑工程水文与地质条件、周边环境、施工季节、结构形式等因素，采用安全可靠、技术先进、经济适用的施工技术。

7.1.6 明挖法包括围护结构施工、内部土方开挖、结构施工及防水、管线恢复及覆土。

7.1.7 明挖法工程采用的原材料、预制品的品种、规格、质量、性能应符合设计文件要求和国家现行的有关技术标准的规定；进场应按规定进行复检。

7.2 施工建造

7.2.1 明挖法建造阶段包括建材生产、机械设备使用、人工消耗和建材运输，碳排放量应按公式(10)

计算：

$$C_{MW} = C_{MM} + C_{ME} + C_{ML} + C_{MT} \dots\dots\dots (10)$$

式中： C_{MW} ——明挖法施工阶段碳排放量（kg CO₂e）；

C_{MM} ——明挖法建材生产阶段碳排放量（kg CO₂e）；

C_{ME} ——明挖法施工机械设备使用碳排放量（kg CO₂e）；

C_{ML} ——明挖法人工消耗碳排放量（kg CO₂e）；

C_{MT} ——明挖法建材运输碳排放量（kg CO₂e）。

7.2.2 材料所产生的碳排放主要为原材料开采、运输、建材生产等过程中资源能源消耗而产生的碳排放。

7.2.3 明挖法建材生产碳排放量计算方法参考 5.2.2。

7.2.4 明挖法材料主要包括砂石、水、混凝土、砂浆、钢材等，根据实际工程具体选择，其碳排放因子可参考附录 A.0.1。

7.2.5 明挖法建材运输碳排放量计算方法参考 5.2.6。

7.2.6 明挖法施工机械设备消耗能源包括电、油、气等，其碳排放量计算方法参考 6.2.9。

7.2.7 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、混凝土运输泵等，可结合工程实际情况选择，其能源用量可参考附录 D.0.1。

7.2.8 明挖法人工消耗碳排放量计算方法参考 5.2.12。

7.2.9 明挖法中人工、材料、机具、运输的工程消耗量除满足相关规范外，还需结合当地实际情况动态调整。

7.2.10 施工现场易扬尘材料运输、存储方式常见的有封闭式货车运输、袋装运输、库房存储、袋装存储、封闭式料池、料斗或料仓存储、封闭覆盖等方式，具有防尘、防变质、防遗撒等作用，降低材料损耗。

7.2.11 工程渣土应分类堆放和运输，其再生利用应符合 GB/T 50743 的规定。

8 盾构法施工阶段碳排放

8.1 一般规定

8.1.1 盾构法施工的碳排放主要来源于机械设备的运行和维护，以及施工过程中的临时用电和材料运输。

8.1.2 盾构法施工阶段的全生命周期包括从建筑材料的生产开始到整个工程竣工验收为止的过程涉及的端头加固、机械吊装、始发、掘进、到达、接收等多个环节。

8.1.3 采用盾构法施工隧道时，应根据隧道工程地质、水文地质、周边环境和隧道结构尺寸，经过技术、经济比较后确定施工方法及机械类型。

8.1.4 施工机械选型与配置应遵循适用性、可靠性、耐久性、安全性的原则。

8.1.5 施工阶段工程物化阶段包括建材生产、机械设备使用、人工消耗、建材运输以及临时占地生态恢复。

8.2 施工建造

8.2.1 盾构法建造阶段包括建材生产、机械设备使用、人工消耗和建材运输，碳排放量应按公式(11)计算：

$$C_{IX} = C_{IM} + C_{JE} + C_{JL} + C_{JT} \dots\dots\dots (11)$$

式中： C_{IX} ——盾构法施工阶段碳排放量（kg CO₂e）；

C_{IM} ——盾构法建材生产阶段碳排放量（kg CO₂e）；

C_{JE} ——盾构法施工机械设备使用碳排放量（kg CO₂e）；

C_{JL} ——盾构法人工消耗碳排放量（kg CO₂e）；

C_{JT} ——盾构法建材运输碳排放量（kg CO₂e）。

8.2.2 盾构法建材生产碳排放量计算参考 5.2.2。

8.2.3 盾构法施工过程中所使用的材料主要分为周转性材料和消耗性材料两种，周转材料主要包括：电缆及电线、钢轨及压板、轨枕、走道板及支架、水管、风筒、始发托架、反力架、型钢等；消耗材料主要包括：钢材、油脂（盾尾油脂、刀盘油脂、润滑油脂）、泡沫、膨润土、水泥、粉煤灰、砂等。由于周转材料会重复使用，在单次施工过程中的损耗所排放的温室气体可忽略不计。具体材料的碳排放因子按附录 A.0.1 选取。

8.2.4 盾构法建材运输碳排放量计算参考 5.2.6。

8.2.5 掘进机（TBM）掘进中包含仰拱块洞内运输，以及从仰拱块存放场到洞门运距 500m 的洞外运输；混凝土及其他材料运输，均含洞外有轨运距 200 m。掘进机（TBM）出渣运输中，机车及皮带输送机均已含洞门外运距 200 m。超过部分，应按洞外运输另计。

8.2.6 在盾构法施工过程中，确定各种常用的施工机械工作台班所消耗的动力原料类型和用量，并分别对应各种能源的碳排放系数，换算得到施工机械台班的碳排放系数。施工机械台班能源用量按附录 D.0.1 选取。碳排放因子按附录 C.0.1 选取。

8.2.7 盾构法施工机械设备消耗能源包括电、油、气等，其碳排放量计算参考本标准 5.2.9。

8.2.8 掘进机（TBM）掘进均按洞内坡度 $\leq 13\%$ 编制，当 $13\% < \text{洞内坡度} \leq 30\%$ 时，掘进中轨道式混凝土搅拌运输车、内燃机车、管片运输车、轨道式运输车、梭式矿车、巷道带式运输车等机具台班消耗量应乘以 1.5 系数。

8.2.9 盾构法人工消耗碳排放量计算参考 5.2.12。

8.2.10 掘进机（TBM）安装调试适用于洞外安装调试。如在洞内安装调试，人工和机具台班消耗量应乘以 1.25 系数；拆除适用于洞内拆除，如在洞外拆除，人工和机具台班消耗量应乘以 0.8 系数。

8.2.13 盾构施工碳排放包括盾构机安装、拆除，车架安装、拆除，复合土压平衡、复合泥水平衡、复合土压泥水双模平衡三种盾构掘进，盾构空推掘进拼管片，盾构停止掘进空转保压，盾构机开仓作业、管片制作与安装、负环管片拆除等环节中的碳排放量。

8.2.14 盾构法施工中人工、材料、机械、运输的工程消耗量根据当地相关要求的盾构法施工定额规范选取，在盾构掘进地层符合下表 8.2.14-1~8.2.14-3 要求时，应按下表系数调整相应定额的人工、机械、材料消耗量等。

表 8.2.14-1 盾构掘进硬岩段系数调整表

地质类型	强度、断面、长度要求	调整系数和说明
硬岩	a) 掘进断面、强度要求：掘进断面中存在单轴饱和抗压强度 $\geq 120\text{MPa}$ 部分，且其占掘进断面的比例 $> 50\%$ ； b) 长度要求：符合以上掘进断面、强度要求的连续长度 $>30\text{m}$	应根据地质实际情况、施工方案等另行计算，建议人工和机械的调整系数 1.70，不构成实体的损耗性材料调整系数 >2.40
硬岩	a) 掘进断面、强度要求：掘进断面中存在单轴饱和抗压强度 $\geq 100\text{MPa}$ 部分，且其占掘进断面的比例 $>50\%$ ； b) 长度要求：符合以上掘进断面、强度要求的连续长度 $>30\text{m}$	人工和机械调整系数 1.40，不构成实体的损耗性材料系数 1.90
	a) 掘进断面、强度要求：掘进断面中存在单轴饱和抗压强度 $\geq 80\text{MPa}$ 部分，且其占掘进断面的比例 $>50\%$ ； b) 长度要求：符合以上掘进断面、强度要求的连续长度 $>30\text{m}$	人工和机械调整系数 1.25，不构成实体的损耗性材料系数 1.50
注 1：断面的单轴饱和抗压强度以地勘资料确认为准，硬岩面占断面比按“掘进断面中达到强度标准的地勘岩芯长度/掘进断面区岩芯总长度”确定。 注 2：硬岩影响长度是指盾构掘进路线方向上的符合本表要求的硬岩累计长度，系数只在影响长度内调整。 注 3：复合式泥水平衡盾构掘进执行本表时岩石单轴饱和抗压强度要求相应降低 20MPa，其余不变。 注 4：如采取爆破后注浆等措施处理硬岩，再盾构掘进通过该受影响段，人工和机械乘以系数 1.1，不构成实体的损耗性材料调整系数 1.25。		

表 8.2.14-2 盾构掘进软硬不均、上软下硬段系数调整表

地质类型	强度、断面、长度要求	调整系数和说明
软硬不均 上软下硬	a) 同一掘进断面强度、断面要求： 1) 有单轴饱和抗压强度 $\geq 60\text{MPa}$ 硬岩面，且硬岩面占掘进断面的比例 $\geq 25\%$ ； 2) 有单轴饱和抗压强度 $\leq 20\text{MPa}$ 的软土（岩）面，且软土（岩）面占掘进断面的比例 $\geq 25\%$ ； b) 长度要求：符合以上掘进断面、强度要求的连续长度 $\geq 30\text{m}$	人工和机械调整系数 1.40，不构成实体的损耗性材料系数 2.00；
注 1：断面单轴饱和抗压强度以地勘资料确认为准，硬岩面占断面比与软土（岩）面占断面比均按“掘		

进断面中达到强度标准的地勘岩芯长度/掘进断面区岩芯总长度”确定；
 注2：软硬不均、上软下硬地质影响长度是指在盾构掘进路线方向上符合本表要求的软硬不均、上软下硬的地层累计长度，系数只在影响长度内调整；
 注3：如采取注浆加固等措施处理软硬不均地质，盾构掘进通过该受影响段，则采取的措施费另计，人工和机械乘以调整系数1.10，不构成实体的损耗性材料乘以调整系数1.25。

表 8.2.14-3 盾构掘进孤石段、溶洞段系数调整表

地质类型	通过方式	调整系数和说明
孤石	盾构机直接掘进孤石影响段	人工和机械乘以系数1.25，不构成实体的损耗性材料调整系数1.50
孤石	采用了其他措施处理，如爆破解小孤石等，再盾构掘进通过影响段	人工和机械乘以系数1.10，不构成实体的损耗性材料调整系数1.25，其他措施费用另计
溶洞	采取填充等措施，再盾构掘进通过溶洞影响段	人工和机械乘以系数1.10，不构成实体的损耗性材料调整系数1.25，其他措施费用另计

注1：孤石、溶洞情况按地勘资料、签证等确认；
 注2：一个孤立孤石影响长度按1.0个盾构管片结构外径计；孤石在掘进方向上的间距大于1倍盾构结构外径的按孤立孤石考虑；孤石在掘进方向上的间距均小于1.0倍盾构管片结构外径的连续孤石群，其影响长度按掘进线路上相距最远的孤石间距离再加1.0个盾构管片结构外径计；系数只在影响长度内调整；
 注3：单个溶洞影响长度按溶洞在盾构掘进路线上的长度再加1.0倍盾构管片结构外径计；溶洞群影响长度按掘进线路上相距最远的溶洞边界再加1.0个盾构管片结构外径计，溶洞边界间距大于1.0倍盾构管片结构外径的按单个溶洞考虑；系数只在影响长度内调整。

8.2.15 TBM 法施工中人工、材料、机械、运输的工程消耗量参考当地相关要求的 TBM 法施工定额规范，并根据本标准对工程消耗量进行调整。

8.2.16 掘进机（TBM）掘进按机车出渣和皮带机出渣分别编制，洞内工程中所有与掘进长度相关的内容均计入掘进中。掘进按独头掘进 6 km 以内、独头掘进 6 km 以上每增 1km 编制，叠加使用。当独头连续掘进长度>10 km 时，叠加使用的每增 1km 应乘以 1.25 系数。当设计有试掘进段时，试掘进段掘进中人工、机具台班消耗量应乘以 1.2 系数。

8.2.17 掘进机（TBM）掘进中刀具的规格不能调整，刀具消耗量可根据隧道岩石磨蚀指数（CAI）调整。当岩石磨蚀指数（CAI）≥1 时，掘进人工、机具台班消耗量也可调整。

8.2.18 盾构法施工过程中人工、材料、机具、运输的工程消耗量除满足相关规范外，还需结合当地实际情况动态调整。

9 沉管法施工阶段碳排放

9.1 一般规定

9.1.1 沉管法施工可分为浮运法施工、铺管船法施工、管道底拖法施工等不同施工顺序和方法。

9.1.2 沉管法适用于水下铺设大直径管道，如隧道、输水和排污管道等，包括跨越江河、湖泊、海湾等水域的管道工程。

9.1.3 沉管法施工应综合考虑工程水文地质条件、周边环境、施工季节、结构形式等因素，采用安全可靠、技术先进、经济合理的施工技术。

9.1.4 沉管法施工包括管段制作、浮运、沉放、水下连接、基槽开挖与回填等主要工序。

9.1.5 沉管法工程采用的原材料、预制品的品种、规格、质量、性能应符合设计文件要求和国家现行的有关技术标准的规定；进场应按规定进行复检。

9.2 施工建造

9.2.1 沉管法建造阶段包括建材生产、机械设备使用、人工消耗和建材运输，碳排放量应按公式(12)计算：

$$C_{CW} = C_{CM} + C_{CE} + C_{CL} + C_{CT} \dots \dots \dots (12)$$

式中： C_{CW} --沉管法施工阶段碳排放量（kgCO_{2e}）；

C_{CM} --沉管法建材生产阶段碳排放量（kgCO_{2e}）；

C_{CE} --沉管法施工机械设备使用碳排放量（kgCO_{2e}）；

C_{CL} --沉管法人工消耗碳排放量（kgCO_{2e}）；

C_{CT} --沉管法建材运输碳排放量（kgCO_{2e}）。

9.2.2 材料所产生的碳排放主要为原材料开挖、运输、建材生产等过程中资源能源消耗而产生的碳排放。

9.2.3 沉管法建材生产碳排放应按公式（13）计算：

$$C_{CM} = \sum_{i=1}^n (M_i \times MF_i) \dots \dots \dots (13)$$

式中： M_i ——第*i*类建材的消耗量（kg、m³等）；

MF_i ——第*i*类建材的碳排放因子（kg CO₂/kg、kg CO₂e/m³）。

9.2.4 沉管法材料主要包含砂石、水、混凝土、砂浆、钢材、防水材料等，根据实际工程具体选择，建材生产碳排放因子应来自公认的可信来源，采用经权威机构认证的最新发布的数据，在未能获得有效碳排放因子数据前，碳排放因子可按本标准附录 A.0.1。9.2.5 沉管法建材运输碳排放量应按公式（14）计算：

$$C_{CT} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_i \times D_{i,j} \times ET_j \dots \dots \dots (14)$$

式中： T_i ——第*i*类建材的运输量（t）；

$D_{i,j}$ ——第*i*类建材采用第*j*种运输方式的运输距离（km），运输方式包括公路、铁路、水路等；

ET_j ——第*j*种运输方式下，单位重量单位运输距离的碳排放因子[kg CO₂e/t·km]。

9.2.6 隧道及地下工程建材运输阶段的碳排放因子应包含建材从生产地到施工现场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 B.0.1 取值。

9.2.7 沉管法施工机械设备消耗能源包括电、油、气等，其碳排放计算方法应按公式（15）计算：

$$C_{CE} = \sum_{i=1}^n E_{Ei} \times EF_i \dots \dots \dots (15)$$

式中： E_{Ei} ——施工机械设备使用的第*i*类能源消耗量（kg、kWh 等）；

EF_i ——第*i*类能源的碳排放因子（kg CO₂/kg、kg CO₂/kWh 等），按本标准附录 C.1~C.2 取值；

i——施工机械设备能源类型，包括电力、柴油、汽油、燃气等。

9.2.8 施工机械设备使用的第*i*类能源的消耗量应按公式（16）计算：

$$E_{Ei} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n P_{Eij} \times T_{Eij} \dots \dots \dots (16)$$

式中： E_{Ei} ——使用第*i*类能源的第*j*种施工机械设备每台班能耗量（kg/台班、kWh/台班等）；

EF_i ——使用第*i*类能源的第*j*种施工机械设备的运行台班数（台班）。

9.2.9 沉管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、剪板机、摇臂钻机、板料校平机、刨边机、混凝土运输泵、干坞或船台、起重船或浮箱、拖轮、绞车、定位塔、压接设备、潜水设备、碎石整平船、沉放驳等，可结合工程实际情况选择，施工机械设备能源类型和每台班能耗量可按本标准附录 D。

9.2.10 沉管法人工消耗排放量计算应按公式（17）计算：

$$C_{CL} = L \times LF \dots \dots \dots (17)$$

式中： L ——人工总工日（工日）；

LF ——人工碳排放因子（kg CO₂e/工日）。

9.2.11 沉管法中人工、材料、机具、运输的工程消耗量除满足相关规范外，还需结合当地实际情况动态调整。

9.2.12 施工现场扬尘材料运输、储存方式常见的有封闭式火车运输、袋装运输、库房存储、袋装存储、封闭式料池、料斗或料仓储存、封闭覆盖等方式，具有防尘、防变质、防遗洒等作用，降低材料损耗。

9.2.13 工程渣土应分类堆放和运输，其再生利用应符合 GB/T 50743 的规定。

10 浅埋暗挖法施工阶段碳排放

10.1 一般规定

10.1.1 浅埋暗挖法施工应综合考虑工程水文与地质、施工环境、支护结构等因素，采用安全可靠、技术先进、经济适用的施工技术并制定合理的施工方案。

10.1.2 浅埋暗挖法按照不同的工程特点以及围岩情况采用不同的开挖方法，分别为正台阶法、单侧壁导坑超前导坑法、中隔墙法、交叉中隔墙法、双侧壁导坑法、双 CD 法。

10.1.3 浅埋暗挖法适用于城市地铁、市政地下管网及地下空间的其他浅埋地下结构物的工程施工。

10.1.4 浅埋暗挖法施工包括超前支护、隧道开挖、初期支护、防水施工、二次衬砌等多个步骤以及整个施工工程中的数据测量。

10.1.5 浅埋暗挖法工程采用的原材料、预制品的品种、规格、质量、性能应符合设计文件要求和国家现行的有关技术标准的规定；进场应按规定进行复检。

10.1.6 工程物化阶段，主体结构、附属结构、围护结构、临时设施所消耗的材料、相关构件和部品等均应纳入计算范围，纳入计算范围的主要材料的确定应符合下列规定：

- a) 所选主要材料的总重量不应低于隧道及地下工程中所消耗材料总重量的 95%。
- b) 重量占比小于 0.1%且较难获得碳排放因子数据的材料可不计入计算范围。

10.2 施工建造

10.2.1 浅埋暗挖法施工阶段的碳排放包括建材生产、机械设备使用、人工消耗和建材运输，碳排放量应按公式（18）计算：

$$C_{AW} = C_{AM} + C_{AE} + C_{AL} + C_{AT} \dots\dots\dots (18)$$

式中： C_{AW} ——浅埋暗挖法施工阶段碳排放量(kgCO₂e)；

C_{AM} ——浅埋暗挖法建材生产阶段碳排放量(kgCO₂e)；

C_{AE} ——浅埋暗挖法施工机械设备使用碳排放量(kgCO₂e)；

C_{AL} ——浅埋暗挖法人工消耗碳排放量(kgCO₂e)；

C_{AT} ——浅埋暗挖法建材运输碳排放量(kgCO₂e)；

10.2.2 建材生产阶段所产生的碳排放主要为原材料开采、运输以及建材生产等过程中资源能源消耗而产生的碳排放。根据碳排放因子法进行计算，具体计算方法参照本标准 5.2.1。

10.2.3 浅埋暗挖法隧道施工所用原材料包括砂子、碎石、水、水泥、砂浆、钢材、木材、粉煤灰、塑料、胶质炸药以及保温防水材料等，根据实际工程具体选择，其碳排放因子可参考附录 A。

10.2.4 浅埋暗挖法建材运输碳排放量计算方法参考本标准 5.3.1。

10.2.5 浅埋暗挖法施工中所用机械设备包括挖掘机、装载机、自卸车、推土机、盾构机、悬臂掘进机、铣挖机、双臂暗挖台车、锚杆钻孔机、湿喷机、空气压缩机、吹风机、混凝土搅拌机、钢筋挤压连接器、钢筋切断机、钢筋弯曲机、交流弧焊机等。结合工程实际情况具体选择，其能源用量可参考附录 D。

10.2.6 浅埋暗挖法施工机械设备消耗能源包括电、油、气等，其碳排放量计算方法参考本标准 6.2.9。

10.2.7 浅埋暗挖法人工消耗碳排放量计算方法参考本标准 6.2.12。

10.2.8 浅埋暗挖法中人工、材料、机具及运输的工程消耗量不仅要符合相关规范的要求，还需依据当地的实际情况进行灵活的动态调整。

10.2.9 施工现场易扬尘材料运输、存储方式常见的有封闭式货车运输、袋装运输、库房存储、袋装存储、封闭式料池、料斗或料仓存储、封闭覆盖等方式，具有防尘、防变质、防遗撒等作用，降低材料损耗。工程渣土应分类堆放和运输，其再生利用应符合 GB/T 50743 的规定。

11 钻爆法施工阶段碳排放

11.1 一般规定

11.1.1 钻爆法是一种广泛应用于隧道和地下工程中的施工方法，主要适用于硬岩地层的开挖和地下工程建设。

11.1.2 钻爆设计应在施工前进行。钻爆设计应根据工程地质、地形环境、开挖断面、开挖方式、循环进尺、钻孔机具、爆破材料和出渣能力等因素综合考虑。

11.1.3 钻爆法施工所需机具与材料应按照机械化施工作业线分为四部分，分别为开挖作业线、支护作业线、仰拱作业线、二次衬砌作业线。

- a) 开挖作业线：机具应包含凿岩机械、运渣车、装载机、反铲等，材料应包含木质炮棍、炸药雷管等爆破器材。
- b) 支护作业线：机具应包含喷浆机、混凝土运输车、锚杆机、集尘机、材料运输车等，材料应包含钢格栅及钢筋网片、超前小导管、管棚、锚杆、混凝土、水等。
- c) 仰拱作业线：机具应包含底部开挖设备、仰拱栈桥等，材料应包含钢拱架、锁脚锚杆、钢筋、铁件、型钢等以及现场所需的焊接设备等。
- d) 二次衬砌作业线：机具应包含防水施工台车、钢筋绑扎台车、衬砌模板台车、混凝土运输与泵送系统等，材料应包含混凝土、钢筋、水泥等。

11.1.4 钻爆法施工的爆破阶段应按照 GB 6722 等国家现行的有关标准要求。

11.2 施工建造

11.2.1 钻爆法建造阶段包括建材生产、机械设备使用、人工消耗和建材运输，碳排放量应按公式（19）计算：

$$C_{ZB} = C_{ZM} + C_{ZE} + C_{ZL} + C_{ZT} \dots \dots \dots (19)$$

式中： C_{ZB} ——钻爆法施工阶段碳排放量（kgCO₂e）；
 C_{ZM} ——钻爆法建材生产阶段碳排放量（kgCO₂e）；
 C_{ZE} ——钻爆法施工机械设备使用碳排放量（kgCO₂e）；
 C_{ZL} ——钻爆法人工消耗碳排放量（kgCO₂e）；
 C_{ZT} ——钻爆法建材运输碳排放量（kgCO₂e）。

11.2.2 钻爆法建材生产碳排放量计算参考本标准 6.2.2。

11.2.3 钻爆法建材生产阶段碳排放量应包括爆破材料的碳排放量，具体数据应按照钻爆设计中所产生的能源用量确定。

11.2.4 钻爆法材料应包括钢拱架、锚杆、钢筋、混凝土、水泥等根据实际工程具体选择，其碳排放因子可参考附录 A。

11.2.5 钻爆法施工机械设备消耗能源包括电、油、气等，其碳排放量计算方法参考 6.2.9。

11.2.6 钻爆法施工机械设备应包括凿岩机械、运渣车、喷浆机、锚杆机以及各式台车等，可结合工程实际情况选择，其能源用量可参考附录 D。

11.2.6 钻爆法人工消耗碳排放量计算方法参考 6.2.12。

11.2.7 钻爆法中人工、材料、机具、运输的工程消耗量除满足相关规范外，还需结合当地实际情况动态调整。

11.2.8 钻爆法建材运输碳排放量计算方法参考 6.2.6。

11.2.9 钻爆法隧道土石方开挖运输所产生的碳排放量参考 6.2.8。

12 隧道运营阶段碳排放

12.1 一般规定

12.1.1 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。

12.1.2 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。

12.2 隧道运营

12.2.1 运营维护阶段碳排放量应按下式计算：

$$C_R = (C_{R-T} + C_{R-E} - C_{R-G}) \times Y_L + C_{R-M} \dots \dots \dots (20)$$

式中： C_R ——运营维护阶段碳排放量（kg CO₂e）；
 C_{R-T} ——动力牵引年碳排放量（kg CO₂e/a）；
 C_{R-E} ——设备运行年碳排放量（kg CO₂e/a）；
 C_{R-G} ——绿化、植被年碳汇量（kg CO₂e/a）；
 C_{R-M} ——维修维护碳排放量（kg CO₂e）；
 Y_L ——运营年限（a）。

12.2.2 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：

$$C_{R-T} = \sum_{i=1}^n E_{R-Ei} \times EF_i \dots \dots \dots (21)$$

式中： E_{R-Ei} ——使用第 i 类能源的动力牵引年能源消耗量（kg/a、kWh/a 等）；
 EF_i ——第 i 类能源的碳排放因子（kg CO₂/kg、kg CO₂/kWh 等）。

12.2.3 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 TB/T 1407 对电力机车耗电量、内燃机车燃油消耗量进行计算。

12.2.4 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：

- a) 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；
 b) 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相关规定；
 c) 列车受到的单位合力应依据不同运行工况符合相关规定；
 d) 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相关规定；
 e) 列车单次运行能源消耗量宜采用基于 TB/T 1407 的方法。
- 12.2.5 动力牵引系统能耗应根据列车运行速度、运行时间计算。

- a) 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公式 (22)、(23) 计算：

$$E_{R-Ei} = E_i \times L \dots\dots\dots (22)$$

$$E_i = \int_0^T u_i(t) f_i(v) v(t) / \eta \cdot dt \dots\dots\dots (23)$$

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)；

$u_i(t)$ ——时刻的牵引力系数；

$f_i(v)$ ——时刻的列车牵引力 (N)；

$v(t)$ ——时刻的列车运行速度 (km/h)；

η ——列车综合效率，一般取值为 0.85。

- b) 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) 的计算应按公式 (24) 计算：

$$t = \sum \frac{v_2 - v_1}{2c} \dots\dots\dots (24)$$

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)。

12.2.6 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。

12.2.7 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，并按公式 (25) 计算：

$$C_{R-E} = C_{R-E-E} + C_{R-E-R} \dots\dots\dots (25)$$

式中： C_{R-E-E} ——设备运行年能源消耗碳排放量 (kg CO₂e/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 CO₂e/a)。

12.2.8 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公式 (26) 计算：

$$C_{R-E-E} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(E_{R-Eij} - ER_i) \times EF_i] \dots\dots\dots (26)$$

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，其计算可参考本标准 11.2.18~11.2.20；

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。

12.2.9 暖通空调设备年使用制冷剂产生的碳排放量，应按公式 (27) 计算：

$$C_{R-E-R} = \frac{m_R}{y_E} \times GWP_R / 1000 \dots\dots\dots (27)$$

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。

12.2.10 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。

12.2.11 暖通空调系统年能耗应考虑地源热泵系统的年节约能量。

12.2.12 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。

12.2.13 房建碳排放计算采用的冷热源及相关用能设备的性能参数应与设计文件一致。

12.2.14 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公式（28）计算：

$$E_{R-E-L} = \frac{\sum_{j=1}^{365} \sum_i P_{ij} \times A_i \times t_{ij} + 24P_p A_L}{1000} \dots\dots\dots (28)$$

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/m²），同设计文件一致；

A_i ——第 i 区域照明面积（m²）；

$t_{i,j}$ ——第 j 日第 i 区域照明时间（h）；

P_p ——应急灯照明功率密度（W/m²）；

A_L ——明区域总面积（m²）。

12.2.15 电梯年能源消耗量应按公式（29）计算：

$$E_{R-E-D} = \frac{3.6 \times P \times t_A \times V \times W + E_{ST} \times t_S}{1000} \dots\dots\dots (29)$$

式中： E_{R-E-D} ——电梯年能源消耗量（kWh/a）；

P ——特定能量消耗（MWh/kg·m），与设计文件或产品铭牌一致；

t_A ——电梯年平均运行小时数（h）；

V ——电梯速度（m/s），与设计文件或产品铭牌一致；

W ——电梯额定载重量（kg），与设计文件或产品铭牌一致；

E_{ST} ——电梯待机时能耗（W）；

t_S ——电梯年平均待机小时数（h）。

12.2.16 水泵、风机的年能源消耗量应按公式（30）计算：

$$E_{R-E-P} = \frac{W_p}{\eta_p} \times t_i \dots\dots\dots (30)$$

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）；

η_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）。

12.2.17 生活热水年能源消耗量

1 生活热水系统年能源消耗量应根据设计资料中的热源效率，应按公式（31）计算：

$$E_{R-E-HW} = \frac{(Q_R - Q_S)}{\eta_H \eta_W} \dots\dots\dots (31)$$

式中： E_{R-E-HW} ——生活热水系统年能源消耗量（kWh/a）；

Q_R ——生活热水年耗热量（kWh/a）；

Q_S ——太阳能热水系统年提供的生活热水热量（kWh/a），如果未使用太阳能热水系统，记为 0；

η_H ——生活热水输配效率，应考虑水系统的输配能耗、贮水箱及管道热损失、生活热水二次循环、固有能耗的热损失（%）；

η_W ——生活热水系统热源年平均效率（%）。

2 生活热水年耗热量计算根据设计文件和运行情况，应按公式（32）计算：

$$Q_R = \frac{m \times q_R \times C \times (t_R - t_L) \times \rho_R}{3600} \times D_A \dots \dots \dots (32)$$

式中： Q_R ——生活热水年耗热量（kWh/a）；
 D_A ——生活热水年使用天数（d/a）；
 m ——用水计算单位数（比如人数）；
 q_R ——热水用水定额，按现行国家标准《民用建筑节能设计标准》（GB 50555）确定（L/人·d）；
 C ——水的比热容，取 4.187 kJ/（kg·℃）；
 ρ_R ——热水密度（kg/L）；
 t_R ——设计热水温度（℃）；
 t_L ——设计冷水温度（℃）。

12.2.18 太阳能热水系统年提供的生活热水热量应按公式（33）计算：

$$Q_S = \frac{A_C \times J_E \times (1 - \eta_L) \times \eta_{AC}}{3.6} \dots \dots \dots (33)$$

式中： Q_S ——太阳能热水系统年提供的生活热水热量（kWh/a）；
 A_C ——太阳集热器面积（m²）；
 J_E ——太阳集热器采光面上的年平均太阳辐照量[MJ/（a·m²）]；
 η_L ——管路和储热装置的热损失率（%）；
 η_{AC} ——基于总面积的集热器平均集热效率（%）。

12.2.19 光伏系统的年发电量应按公式（34）计算：

$$E_{PV} = I \times K_E \times (1 - K_S) \times A_P \dots \dots \dots (34)$$

式中： E_{PV} ——光伏系统的年发电量（kWh/a）；
 I ——光伏电池表面的年太阳辐射照度（kWh/m²）；
 K_E ——光伏电池的转换效率（%）；
 K_S ——光伏系统的损失效率（%）；
 A_P ——光伏系统光伏面板的净面积（m²）。

12.2.20 风力发电机组年发电量应按公式（35）、（36）、（37）、（38）、（39）计算：

$$E_{WT} = 0.5 \times \rho \times C_R(Z) \times V_0^3 \times A_W \times \rho \times \frac{K_{WT}}{1000} \dots \dots \dots (35)$$

$$C_R(Z) = K_R \times \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \dots \dots \dots (36)$$

$$A_W = \frac{5D^2}{4} \dots \dots \dots (37)$$

$$EPF = \frac{APD}{0.5 \times \rho \times V_0^3} \dots \dots \dots (38)$$

$$APD = \frac{\sum_{i=1}^{8760} 0.5 \rho V_i^3}{8760} \dots \dots \dots (39)$$

式中： E_{WT} ——风力发电机组的年发电量（kWh/a）；
 ρ ——空气密度，取 1.225 kg/m³；
 $C_R(Z)$ ——依据高度计算的粗糙系数；
 K_R ——场地因子；
 Z_0 ——地表粗糙系数；
 V_0 ——年可利用平均风速（m/s）；
 A_W ——风机叶片迎风面积（m²）；
 D ——风机叶片直径（m）；
 EPF ——根据典型气象年数据中逐时风速计算出的因子（m）；
 APD ——年平均能量密度（W/m²）；
 V_i ——逐时风速（m/s）；
 K_{WT} ——风力发电机组转化效率。

12.2.21 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，并按公式（40）计算：

$$C_{R-M} = C_{R-M-M} + C_{R-M-E} + C_{R-M-T} \dots\dots\dots (40)$$

式中： C_{R-M-M} ——维修维护阶段材料消耗碳排放量（kg CO₂e）；
 C_{R-M-E} ——维修维护阶段机械设备使用碳排放量（kg CO₂e）；
 C_{R-M-T} ——维修维护阶段材料运输碳排放量（kg CO₂e）。

附录 A
(资料性)

主要建材碳排放因子

A.1 建筑材料碳排放因子应按表 A.1 选取。

表 A.1 建筑材料碳排放因子

序号	类型	材料名称	材料消耗量单位	碳排放因子 (kg CO ₂ e/单位数量)
01	建材原料	自来水	t	0.168
02		粘土	t	0.5
03		砂子	t	6.6
04		碎石	t	4.4
05		再生骨料	t	13.0
06		石英砂	t	45.44
07		石灰石	t	430
08		白云石	t	474
09		粉煤灰	t	8.0
10		炉渣	t	109
11		膨胀珍珠岩	t	2880
12		大白粉	t	175
13		滑石粉	t	175
14		腻子粉	t	440
15	木材	通用木材	m ³	178
16		胶合板	m ³	487
17		刨花板	m ³	336
18	石灰与石膏	生石灰	t	1190
19		石膏	t	125.5
20	水泥	水泥熟料 52.5MPa	t	905
21		水泥熟料 62.5MPa	t	920
22		硅酸盐水泥 P I (通用)	t	939~958
23		硅酸盐水泥 P I 42.5MPa	t	939
24		硅酸盐水泥 P I 52.5MPa	t	941
25		硅酸盐水泥 P I 62.5MPa	t	958
26		硅酸盐水泥 P II (通用)	t	861~918
27		硅酸盐水泥 P II 42.5MPa	t	874
28		硅酸盐水泥 P II 52.5MPa	t	889
29		硅酸盐水泥 P II 62.5MPa	t	918
30		普通硅酸盐水泥 PO (通用)	t	722~962
31		普通硅酸盐水泥 PO 42.5 MPa	t	795
32		普通硅酸盐水泥 PO 52.5 MPa	t	863
33		普通硅酸盐水泥 P S A (通用)	t	503~744
34		普通硅酸盐水泥 P S A32.5 MPa	t	621
35		普通硅酸盐水泥 P S A42.5 MPa	t	742
36		普通硅酸盐水泥 P S B (通用)	t	345~503
37		普通硅酸盐水泥 P S B32.5 MPa	t	503
38		普通硅酸盐水泥 P P (通用)	t	541~724
39		火山质硅酸盐水泥 P P32.5 MPa	t	631
40		火山质硅酸盐水泥 P P42.5 MPa	t	722
41		粉煤灰硅酸盐水泥 P F (通用)	t	541~724
42		粉煤灰硅酸盐水泥 P F32.5 MPa	t	631
43		粉煤灰硅酸盐水泥 P F42.5 MPa	t	722
44		复合硅酸盐水泥 P C (通用)	t	452~744
45		复合硅酸盐水泥 P C32.5 MPa	t	604
46		复合硅酸盐水泥 P C42.5 MPa	t	742
47		砂浆	砌筑混合砂浆 M2.5	m ³
48	砌筑混合砂浆 M5		m ³	236.0

49		砌筑混合砂浆 M7.5	m ³	239.1
50		砌筑混合砂浆 M210	m ³	233.6
51		砌筑水泥砂浆 M2.5	m ³	154.9
52		砌筑水泥砂浆 M5	m ³	164.5
53		砌筑水泥砂浆 M7.5	m ³	181.3
54		砌筑水泥砂浆 M210	m ³	199.9
55		砌筑水泥砂浆 M15	m ³	232.0
56		抹灰水泥砂浆 1:2	m ³	405.0
57		抹灰水泥砂浆 1:3	m ³	277.0
58		抹灰混合砂浆 1:1:6	m ³	285.2
59		抹灰石灰砂浆 1:2.5	m ³	341.6
60		抹灰石灰砂浆 1:3	m ³	293.1
61		抹灰石膏砂浆 1:3	m ³	509.5
62	混凝土	泵送混凝土 C10	m ³	172.0
63		泵送混凝土 C15	m ³	177.8
64		泵送混凝土 C20	m ³	264.7
65		泵送混凝土 C25	m ³	292.7
66		泵送混凝土 C30	m ³	316.4
67		泵送混凝土 C35	m ³	362.6
68		泵送混凝土 C40	m ³	410.4
69		泵送混凝土 C45	m ³	441.3
70		泵送混凝土 C50	m ³	464.3
71		泵送超流态混凝土 C25	m ³	320.3
72		泵送超流态混凝土 C30	m ³	332.5
73	砖与砌块	烧结普通砖	m ³	295
74		烧结多孔（空心）砖	m ³	215
75		混凝土小型空心砌块	m ³	180
76		粉煤灰小型空心砌块	m ³	350
77		加气混凝土砌块	m ³	270
78		蒸压粉煤灰砖	m ³	410
79		蒸压灰砂砖	m ³	375
80	铁	生铁	t	1600
81		铁制品	t	1920
82		镀锌铁	t	2350
83	钢材	粗钢	t	1950
84		大型型钢	t	2701
85		中小型型钢	t	2137
86		钢线材	t	2140
87		热轧带钢	t	2246
88		镀锌大型型钢	t	3050
89		镀锌中小型型钢	t	2487
90		镀锌钢线材	t	2490
91		钢轨	t	1690
92		钢筋	t	2208
93		热轧碳钢无缝钢管	t	3150
94		镀锌热轧带钢	t	2596
95		不锈钢	t	6130
96		再生钢	t	480
97	陶瓷	卫生陶瓷	t	1740
98		通用陶瓷砖	t	600
99		陶瓷砖(E≤0.5%)	t	12.8
100		陶瓷砖(0.5%<E≤10%)	t	13.3
101		陶瓷砖(E>10%)	t	19.2
102	玻璃	玻璃（通用）	t	1190
103		Low-E 玻璃	t	2010
104		钢化玻璃	t	1790

105	铝	原铝	t	18790
106		再生铝	t	70
107		铝综合	t	15450
108	铜	矿产铜	t	5520
109		再生铜	t	3440
110		铜综合	t	4850
111	其他金属	矿产锌	t	4560
112	保温材料	矿产锡	t	11590
113		聚苯乙烯 (PS)	t	3100
114		泡沫聚苯乙烯 (EPS)	t	7860
115		挤塑聚苯乙烯 (XPS)	t	6120
116		聚氨酯 (PU)	t	4330
117		岩棉	t	1200
118		矿物棉	t	1200
119		玻璃棉	t	2360
120		泡沫玻璃	t	1950
121		苯酚甲醛 (PE)	t	2710
121		真空绝热板	t	2160
123	防水材料	石油沥青油毡	m ²	0.51
124		SBS、APP 改性沥青防水卷材	m ²	0.54
125		自粘聚合物改性沥青防水卷材	m ²	0.32
126	塑料	聚乙烯管 (PEX)	t	6850
127		聚丙烯管 (PEX)	t	6020
128		聚氯乙烯 (PVC)	t	7300
129	其他	铜芯电线电缆	kg	9.41
130		石膏板	m ²	4.4
131		瓦	t	610
132		陶土管	t	490
133		油漆涂料 (通用)	t	3500
134		乳胶漆	t	4120
135		装饰石材	t	220
136		壁纸	t	1800
137		地毯	t	5090
138		木地板	m ²	2.9
139		硅酸钙吊顶	m ²	1.8
140		合成板吊顶	m ²	7.6
141		轻钢龙骨吊顶	m ²	3.8
142		橡胶	t	3360
143		环氧树脂	t	5910
144		棉布	t	3280
145		电焊条	t	20500
146		安全网	m ²	3.7
147		太阳能光伏电板	kW	4000
148		太阳能光伏电板	m ²	240
149		太阳集热器	m ²	112

附录 B

(资料性)

建材运输碳排放因子

B.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 B.1 选取。

表 B.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 ₂ 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 C

(资料性)

主要能源碳排放因子

C.1 化石燃料碳排放因子应按表 C.1 选取。

表 C.1 化石燃料碳排放因子

能源分类	能源名称	单位热值含碳量 (t C/TJ)	碳氧化率	单位热值 CO ₂ e 排放因子 (t CO ₂ e/TJ)
固体燃料	无烟煤	27.4	0.94	94.44
固体燃料 液体燃料	烟煤	26.1	0.93	89.00
	褐煤	28.0	0.96	98.56
	炼焦煤	25.4	0.98	91.27
	型煤	33.6	0.90	110.88
	焦炭	29.5	0.93	100.60
	其他焦化产品	29.5	0.93	100.60
	原油	20.1	0.98	72.23
液体燃料 气体燃料	燃料油	21.1	0.98	75.82
	汽油	18.9	0.98	67.91
	柴油	20.2	0.98	72.59
	喷气煤油	19.5	0.98	70.07
	一般煤油	19.6	0.98	70.43
	NGL	17.2	0.98	61.81
	LPG	17.2	0.98	61.81
	炼厂干气	18.2	0.98	65.40
	石脑油	20.0	0.98	71.87
	沥青	22.0	0.98	79.05
	润滑油	20.0	0.98	71.87
	石油焦	27.5	0.98	79.05
	石化原料油	20.0	0.98	71.87
	其他油品	20.0	0.98	71.87
	天然气	15.3	0.98	55.54

C.2 其他能源碳排放因子应按表 C.2 选取。

表 C.2 其他能源碳排放因子

能源类型	缺省碳含量 (tC/TJ)	缺省 氧化因子	有效 CO ₂ e 排放因子			
			缺省值	95%置信区间		
				较低	较高	
城市废弃物比例 (非生物量比例)	25.0	1	91.7	73.3	121	
工业废弃物	39.0	1	143.0	110.0	183.0	
废油	20.0	1	73.3	72.2	74.4	
泥炭	28.9	1	106.0	100.0	108.0	
固体生物 燃料	木材/木材废弃物	30.5	1	112.0	95.0	132.0
	亚硫酸盐废液	26.0	1	95.3	80.7	110.0
	木炭	30.5	1	112.0	95.0	132.0
	其他主要固体生物量	27.3	1	100.0	84.7	117.0
液体生物 燃料	生物汽油	19.3	1	70.8	59.8	84.3
	生物柴油	19.3	1	70.8	59.8	84.3
	其他液体生物燃料	21.7	1	79.6	67.1	95.3
气体生物 燃料	填埋气体	14.9	1	54.6	46.2	66.0
	泥污气体	14.9	1	54.6	46.2	66.0
	其他生物气体	14.9	1	54.6	46.2	66.0
其他	城市废弃物 (生物量比例)	27.3	1	100.0	84.7	117.0

C.3 根据《省级温室气体清单编制指南》，我国电网分为华北、东北、华东、华中、西北和南方区域

电网，具体省市划分详见表 C.3。

表 C.3 我国各区域电网覆盖省市

电网名称	覆盖省市
华北区域电网	北京市、天津市、河北省、山西省、山东省、内蒙古自治区
东北区域电网	辽宁省、吉林省、黑龙江省
华东区域电网	上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省
华中区域电网	河南省、湖北省、湖南省、江西省、四川省、重庆市
西北区域电网	陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区
南方区域电网	广东省、广西壮族自治区、云南省、贵州省、海南省

C.4 电力的碳排放因子可以通过两种方法计算：

- a) **OM** 法，该方法用于计算电量边际排放因子，即根据电力系统中全部电厂的净上网总电量、燃料类型及燃料消耗总量计算；
- b) **BM** 法，该方法用于计算容量边际排放因子，即按照多个样本机组的发电量加权平均值确定排放因子，两种方法所得碳排放因子按表 C.4 选取。

表 C.4 我国各区域电网碳排放因子

电网名称	OM 法碳排放因子 (tCO ₂ /MWh)	BM 法碳排放因子 (tCO ₂ /MWh)
华北区域电网	1.0580	0.5410
东北区域电网	1.1281	0.5537
华东区域电网	0.8095	0.6861
华中区域电网	0.9724	0.4737
西北区域电网	0.9578	0.4512
南方区域电网	0.9183	0.4367

附录 D
(规范性)

常用施工机械台班能源用量

D. 1 常用施工机械的单位台班的能源消耗量可按表 D.1 选用。

表 D.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
25		爬升式塔式起重机	$\leq 60\text{m} \times 6.25/16\text{ t}$, $h=140\text{m}$			518.4	2
26		爬升式塔式起重机	$\leq 320\text{tm}$			518.4	2
27		汽车起重机	$\leq 5\text{t}$	21.17			1
28		汽车塔式起重机	$\leq 8\text{t}$		35.28		1
29		汽车起重机	$\leq 12\text{t}$		44.1		1
30		汽车起重机	$\leq 16\text{t}$		57.15		1
31		汽车起重机	$\leq 20\text{t}$		64.92		1
32		汽车起重机	$\leq 25\text{t}$		72.68		2
33		汽车起重机	$\leq 30\text{t}$		75.15		2
34		汽车起重机	$\leq 75\text{t}$		110.07		2
35		汽车起重机	$\leq 16\text{t}$		41.63		1
36		轮胎式起重机	$\leq 15\text{t}$		38.81		1
37		履带式起重机	$\leq 25\text{t}$		44.1		1
38		履带式起重机	$\leq 50\text{t}$		64.92		2
39		履带式起重机	$\leq 10\text{t}-22\text{m}$			61.44	1
40		门式起重机	$\leq 20\text{t}-22\text{m}$			109.44	1
41		门式起重机	$\leq 40\text{t}-40\text{m}$			144	1
42		门式起重机	$\leq 50\text{t}-40\text{m}$			176.64	1
43		斜撑桅杆式起重机	$\leq 10\text{t}$			112.64	1
44		斜撑桅杆式起重机	$\leq 20\text{t}$			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	
54		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			1
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 ³		88.7		1
73	混凝土搅拌运输车		≤8m ³		100.8		1	
74	混凝土搅拌运输车		≤10m ³		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	
83	内燃拖轮		≤370kW-250t		296.76		9	
84	内燃拖轮		≤450kW-300t		355.62		9	
85	绞车		≤10t			490	1	
86	混凝土及砂浆机械		混凝土搅拌机	≤250L			15.68	1
87			混凝土搅拌机	≤400L			21.56	1
88			混凝土搅拌站	≤60m ³ /h			636.16	2
89			混凝土搅拌站	≤120m ³ /h			1008	4
90			混凝土插入式振动器				5.38	
91		混凝土附着式振动器				6.72		
92		混凝土高频振动器	≤1.5kW			6.72		
93		悬挂式提浆整平机				105.28	1	
94		电动灌浆机	≤3m ³ /h			15.4	1	
95		混凝土泵	≤60m ³ /h			492.8	1	
96		混凝土泵	≤80m ³ /h			591.36	1	
97		混凝土输送泵车	≤60m ³ /h		47.63		1	
98		混凝土输送泵车	≤85m ³ /h		58.21		1	
99		混凝土布料机	≤21m			21.84	1	
100		灰浆搅拌机	≤200L			13.44	1	

101		灰浆搅拌机	≤400L			20.16	1
102		混凝土振动台	2.4m×6.2m			140.8	1
103		水磨石机				15.36	
104		路面切割机				19.2	1
105		混凝土梁面铣刨机≤5				35.84	
106		电缆槽预制机组				417.48	3
107		水上混凝土搅拌站 2x600L				94.08	10
108		水上混凝土搅拌站	≤150 m ² /h		40.08	3309.6	26
109		轨道式柴油打桩机	≤1.8t				2
110		振动沉拔桩机	≤400 kN			3309.6	2
111		振动沉拔桩机	≤500 kN			495.6	2
112		振动沉拔桩机	3≤3000 kN			1176	2
113		转盘钻孔机	8≤80 kNm			315	2
114		转盘钻孔机	≤200 kNm			756	2
115		汽车式钻孔机	L≤1 m		59.47		2
116		汽车式钻孔机	1≤1.5 m		79.63		2
117		冲击成孔机	≤1m			153.6	2
118		冲击成孔机	≤1.5 m			177.6	2
119		冲击成孔机	≤2m			201.6	2
120		旋挖钻机	≤220kNm		243.94		2
121		旋挖钻机	≤280kNm		263.09		2
122		旋挖钻机	≤360kNm		300.38		2
123		单级离心清水泵	≤25m ³ /h-32m			16.32	1
124		单级离心清水泵	≤25m ³ /h-50m			30.6	1
125	基础 及泵 类机 械	单级离心清水泵	≤50m ³ /h-38m			44.88	1
126		单级离心清水泵	≤60m ³ /h-50m			69.36	1
127		单级离心清水泵	≤170m ³ /h-26m			89.76	1
128		单级离心清水泵	≤280m ³ /h-29m			163.2	1
129		多级离心清水泵	≤32m ³ /h-125m			69.36	1
130		多级离心清水泵	≤155m ³ /h-150m			448.8	1
131		离心式泥浆泵	≤47m ³ /h-19m			44.88	1
132		离心式泥浆泵	≤108m ³ /h-21m			89.76	1
133		离心式泥浆泵	≤150m ³ /h-39m			224.4	1
134		离心式泥浆泵	≤280m ³ /h-26m			306	1
135		射流泵	≤45m ³ /h			69.36	1
136		泥浆搅拌机	≤150L			10.2	1
137		泥浆搅拌机	≤2200L			102	1
138		泥水处理离心机	≤100m ³ /h			326.4	1
139		水环式真空泵	≤204m ³ /h			89.76	1
140		高压油泵	≤63MPa			40.8	1
141		单筒慢速卷扬机	≤100kN			153.6	1
142		挤压法顶管设备	d≤1000			172.8	1
143		摇臂钻机	≤300kNm			16	1
144		潜水工作船	≤400t			150	1
145	焊接 机械 铺架 机械	交流弧焊机	≤21kVA			73.6	1
146		交流弧焊机	≤32kVA			108.8	1
147		交流弧焊机	≤42kVA			144	1
148		直流弧焊机	≤42kW			64	1
149		直流弧焊机	≤32kW			102.4	1
150		半自动切割机	h≤100			121.6	1
151		氩弧焊机	≤500A			118.4	1
152		对焊机	≤75kVA			176	1
153		对焊机	≤100kVA			288	1
154	铺架 机械	塑料管热熔对接焊机	d≤200			15.36	1
155		架桥机	≤130t		202.2		5
		轮胎式搬梁机	≤600t		274.18		4

156		轮胎式搬梁机	≤900t		214.2		4	
157		电气化立杆作业车			57.15		2	
158		电气化安装作业车 (液力传动)			127.01		2	
159		电气化架线作业车 (液力传动)			127.01		2	
159		电气化恒张力 架线作业车			227.2		3.75	
160		接触网检测设备	200km/h				7	
161		SF6 气体回收净化充放 装置	5-7kW			27.44	1	
162	加工 及其 他机 械	鄂式破碎机	≤250*400			81.6	1	
163		偏心式振动筛				40.8	1	
164		筛砂机	≤80m ³ /h			81.6	1	
165		洗石机	≤100m ³ /h			163.2	1	
166		洗砂机	≤60m ³ /h			119.68	1	
167		普通车床	400×2000			30.6	1	
168		普通车床	630×2000			44.88	1	
169		立式钻床	d≤25			8.98	1	
170		立式钻床	d≤50			12.24	1	
171		摇臂钻床	d≤63			32.64	1	
172		台式钻床	d≤16			3.26	1	
173		管子切断机	d≤150			13.6	1	
174		多功能电锤钻				4.2	1	
175		联合冲剪机	h≤16			14.96	1	
176		型钢剪切机	≤1000kN			59.84	1	
177		剪板机	10×2500			35.36	1	
178		剪板机	20×22500			59.84	1	
179		卷板机	2×1600			29.92	1	
180		卷板机	20×22000			59.84	1	
181		液压弯管机	d≤108			40.8	1	
182		咬口机	h≤1.5			7.62	1	
183		钢筋调直机	d≤14			18.7	1	
184		钢筋切断机	d≤40			33.32	1	
185		钢筋弯曲机	d≤40			14.28	1	
186		钢筋车丝机	d≤39			10.88		
187		木工圆锯机	≤500			16.32	1	
188		木工圆锯机	≤1000			30.6	0	
189		木工单面压刨床	B≤600			22.44		
190		木工双面压刨床	B≤600			30.6		
191		压力式滤油机	≤100L/min			2.72	1	
192		鼓风机	≤18m ³ /min			29.92		
193		鼓风机	≤8m ³ /min			11.97		
194		吹风机	≤4m ³ /min			16.32	1	
195		板料校平机	≤50m/s			80	1	
196		刨边机	≤0.1mm			160	1	
197		干坞或船台				820		1
198		定位塔	≤100t			830		1
199		压接设备	≤20t			40		1
100		沉放驳	≤5000t			3280		1
101		碎石整平船	≤1500t			3444		1
102		潜水设备	≤200m				24	1

参 考 文 献

- [1]GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则
 - [2]GB/T 51366-2019 建筑碳排放计算标准
 - [3]JT/T 1248-2019 营运货车能效和二氧化碳排放强度等级及评定方法
 - [4]JT/T 1249-2019 营运客车能效和二氧化碳排放强度等级及评定方法
 - [5]TB/T 1407 列车牵引计算规程
 - [6]TZJ 2000-2013 铁路工程预算定额
 - [7]TZJ 2101-2113 铁路工程概算定额
 - [8]TZJ 3004 铁路工程施工机具台班费用定额
 - [9]DB11/T 1558-2018 碳排放管理体系建设实施效果评价指南
 - [10]DB44/T 1944-2016 碳排放管理体系要求及使用指南
 - [11]DB11/T 1559-2018 碳排放管理体系实施指南
 - [12]DB23/T 3631-2023 建筑全过程碳排放计算标准
 - [13]DB44/T 1942-2016 小功率电动机产品碳排放基础数据采集技术规范
 - [14]T/DZJN 175-2023 数据中心碳排放控制规范
 - [15]CECS 374-2014 建筑碳排放计量标准
-