

ICS ××.×××.××
P ××

中国钢结构协会标准



T/CSCS ×××—202×

建筑钢结构碳排放计算标准

Carbon emission calculation standard for building steel structure

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国钢结构协会 发布

中国钢结构协会标准

建筑钢结构碳排放计算标准

Carbon emission calculation standard for building steel structure

(征求意见稿)

T/CSCS ×××—××××

主编单位：中国钢结构协会

批准部门：中国钢结构协会

施行日期：202×年××月××日

出版社

202× 北 京

前 言

根据中国钢结构协会（中钢构协〔2022〕15号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本标准。

本标准共分8章和7个附录，主要技术内容包括：总则、术语与符号、基本规定、全生命周期阶段划分、物化阶段碳排放计算、使用阶段碳排放计算、消纳阶段碳排放计算、碳减排措施。

本标准由中国钢结构协会归口管理，并负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送标准主编单位中国钢结构协会（地址：北京市海淀区西土城路33号，邮政编码：100088），或发送邮件至_____，以便今后修订时参考。

主编单位：中国钢结构协会

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目次

1	总 则	1
2	术语与符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	6
4	全生命周期阶段划分	8
5	物化阶段碳排放计算	9
5.1	一般规定	9
5.2	钢结构制造	10
5.3	钢结构安装	11
6	使用阶段碳排放计算	14
7	消纳阶段碳排放计算	16
7.1	一般规定	16
7.2	钢结构拆除	16
7.3	钢结构回收	17
8	碳减排措施	18
8.1	物化阶段	18
8.2	使用阶段	18
8.3	消纳阶段	18
8.4	新材料新工艺	19
附录 A	建筑常用钢材碳排放因子取值	20
附录 B	各类运输方式碳排放因子取值	21
附录 C	主要能源碳排放因子取值	22
附录 D	常用施工机械能源用量取值	25
附录 E	施工机械台班消耗量取值	27
附录 F	吨钢辅材消耗系数取值	29
附录 G	各类钢结构安装碳排放定额	32

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	4
3 Basic Requirements	7
4 Division of Life Cycle Stages	9
5 Carbon Emission Calculation for the Production and Construction Stage	10
5.1 General Requirements	10
5.2 Steel Structure Fabrication	11
5.3 Steel Structure Installation	12
6 Carbon Emission Calculation for the Use Stage	16
7 Carbon Emission Calculation for the End-of-Life Stage	18
7.1 General Requirements	18
7.2 Steel Structure Demolition	18
7.3 Steel Structure Recycling	19
8 Carbon Reduction Measures	21
8.1 Production and Construction Stage	21
8.2 Use Stage	21
8.3 End-of-Life Stage	21
8.4 New Materials and Innovative Construction Techniques	22
Appendix A Default Carbon Emission Factors for Common Construction Steels	23
Appendix B Default Carbon Emission Factors for Various Modes of Transport	24
Appendix C Default Carbon Emission Factors for Major Energy Sources	25
Appendix D Default Energy Consumption Values for Common Construction Machinery	28
Appendix E Default Consumption Values for Construction Machinery Shifts	30
Appendix F Default Consumption Coefficients for Auxiliary Materials per Ton of Steel	32
Appendix G Carbon Emission Benchmarks for Various Types of Steel Structure Installation	35

1 总 则

1.0.1 为贯彻国家有关应对气候变化和节能减排的方针政策，规范建筑钢结构碳排放计算方法，节约资源，保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于建筑钢结构物化、使用、消纳各阶段的碳排放计算。

1.0.3 建筑钢结构碳排放计算除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 建筑钢结构碳排放 carbon emission of building steel structure

建筑钢结构在与其有关的制造及安装、使用、拆除及回收阶段产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。

2.1.2 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，用于量化建筑钢结构不同阶段相关活动的碳排放。

2.1.3 计算边界 accounting boundary

与建筑钢结构制造及安装、使用、拆除及回收等活动相关的温室气体排放的计算范围。

2.1.4 钢构件 steel component

由钢材质的零件或零件和部件组成的建筑钢结构基本单元，如梁、柱、支撑等。

2.1.5 全生命周期 whole life cycle

建筑钢结构及其原材料生产、运输、施工、运维、拆除回收的全过程。

2.1.6 排放因子法 emission coefficient calculation method

将碳排放源单元的排放数据与相应的排放因子根据碳排放清单相乘，得到碳排放估值的一种碳排放计算方法。

2.1.7 物化阶段 materialization stage

指的是建筑钢结构从无到有的整个过程，具体包括钢材生产环节、构件加工制作环节、运输环节以及施工建造环节。

2.1.8 使用阶段 use stage

指的是建筑钢结构建造完成后，开始使用运营维护直至寿命终止的过程，具体包括构件替换和日常维护环节。

2.1.9 消纳阶段 end-of-life stage

指的是建筑钢结构完成使命将其废弃拆除并予以合理化处理的过程，具体包括钢结构拆除环节、材料回收环节以及废弃处置环节。

2.2 符号

- C_m —钢结构物化全过程碳排放量 (kgCO₂e) ;
- C_{ma} —钢结构制造全过程碳排放量 (kgCO₂e) ;
- C_{in} —钢结构安装全过程碳排放量 (kgCO₂e) ;
- C_{m1} —原材生产环节碳排放量 (kgCO₂e) ;
- C_{m2} —原材运输环节碳排放量 (kgCO₂e) ;
- C_{m3} —构件加工制作环节碳排放量 (kgCO₂e) ;
- M_i —第 i 种原材的消耗量 (t) ;
- F_i —第 i 种原材的碳排放因子 (kgCO₂e/t) ;
- M_{s1} —钢结构主体钢材的消耗量 (t) ;
- M_{s0} —钢结构成品重量 (t) ;
- a_i —材料损耗系数;
- D_i —第 i 种原材的运输距离 (km) ;
- T_i —第 i 种原材运输的单位重量单位距离的碳排放因子 (kgCO₂e/t·km)
- $E_{P,i}$ —钢结构加工制作环节第 i 种能源消耗量 (单位) ;
- EF_i —第 i 种能源的碳排放因子 (kgCO₂e/单位) ;
- $A_{P,i}$ —钢结构加工制作环节第 i 种辅材的消耗量 (t 或 m³) ;
- AF_i —第 i 种辅材的碳排放因子 (kgCO₂e/t 或 kgCO₂e/m³) ;
- C_0 —焊接保护气体 CO₂ 直接释放量 (kgCO₂e) ;
- C_{m4} —钢构件运输环节碳排放量 (kgCO₂) ;
- C_{m5} —钢构件安装环节碳排放量 (kgCO₂) ;
- K_i —第 i 种钢构件装车满载系数;
- $E_{B,i}$ —钢结构安装环节第 i 种能源消耗量 (单位) ;
- $A_{B,i}$ —钢结构安装环节第 i 种辅材的消耗量 (t) ;
- B_i —钢结构安装环节第 i 种施工机械台班消耗量 (台班) ;
- $K_{B,i}$ —钢结构安装环节第 i 种施工机械单位台班的消耗电量 (单位/台班) ;
- Q_s —钢结构工程量 (t) ;
- $C_{a,j}$ —钢结构安装阶段第 j 种构件或结构的碳排放定额 (kgCO₂e/t) ;

C_u —建筑钢结构使用阶段的碳排放量 (kgCO₂e) ;
 C_{u1} —建筑钢结构构件替换环节的碳排放量 (kgCO₂e) ;
 C_{u2} —建筑钢结构日常维护环节的碳排放量 (kgCO₂e) ;
 $C_{ma,i}$ —第 i 个建筑钢结构替换构件制造阶段的碳排放量 (kgCO₂e) ;
 $C_{in,i}$ —第 i 个建筑钢结构替换构件安装阶段碳排放量 (kgCO₂e) ;
 $C_{sc,i}$ —第 i 种防腐或防火涂料生产环节碳排放 (kgCO₂e) ;
 $C_{ys,i}$ —第 i 种防腐或防火涂料运输环节碳排放 (kgCO₂e) ;
 $C_{sg,i}$ —第 i 种防腐或防火涂料施工环节碳排放 (kgCO₂e) ;
 y —建筑钢结构建筑设计使用年限 (年) ;
 y_i —第 i 种防腐或防火涂料的设计工作年限 (年) ;
 $E_{i,j}$ —第 i 种防腐或防火涂料施工方式第 j 种能源消耗量 (单位) ;
 C_a —钢结构消纳阶段的碳排放量 (kgCO₂e) ;
 C_{a1} —钢结构拆除环节的碳排放量 (kgCO₂e) ;
 C_{a2} —钢结构回收运输环节的碳排放量 (kgCO₂e) ;
 C_{a3} —钢结构回收利用环节的碳核减量 (kgCO₂e) ;
 C_D —钢结构拆除环节所消耗能源的碳排放 (kgCO₂e) ;
 C_R —钢结构拆除环节所消耗辅材的碳排放 (kgCO₂e) ;
 $M_{D,i}$ —钢结构拆除环节第 i 种能源消耗量 (单位) ;
 D_i —钢结构拆除环节第 i 种机械使用台班数 (台班) ;
 $K_{D,i}$ —钢结构拆除环节第 i 种机械单位台班的能耗量 (单位/台班) ;
 $A_{R,i}$ —钢结构拆除环节第 i 种辅材消耗量 (t) ;
 C_{ma} —拆卸后复用的钢构件相应碳核减量 (kgCO₂e) ;
 $M_{S,i}$ —第 i 种钢材拆除回收量 (t) ;
 $F_{C,i}$ —第 i 种钢材长流程炼钢的碳排放因子 (kgCO₂e/t) ;
 $F_{D,i}$ —第 i 种钢材短流程炼钢的碳排放因子 (kgCO₂e/t) 。

3 基本规定

3.0.1 建筑钢结构碳排放计算应以单栋建筑或建筑群为计算对象，以碳排放单元过程为基本单位进行数据采集与计算。

3.0.2 建筑钢结构碳排放计算可针对建筑全生命周期进行，亦可针对建筑在建筑物化阶段、建筑使用阶段、建筑消纳阶段中的某一个环节进行。

3.0.3 碳排放计算应包含二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟烃（HFCs）、全氟化碳（PFCs）、六氟化硫（SF₆）六类主要温室气体。

3.0.4 建筑钢结构施工、使用、维护及拆除过程中因电力消耗造成的碳排放计算，应采用由生态环境部、国家统计局和国家能源局联合发布的最新区域电力平均二氧化碳排放因子。

3.0.5 建筑钢结构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则。

3.0.6 建筑钢结构碳排放计算应通过确定计算边界、选择合适的计算方法等程序，经计算得出碳排放结果。

3.0.7 建筑钢结构碳排放核算应确定碳排放计算边界，计算边界的确定应包括以下内容：

- 1 明确建筑钢结构碳排放计算所处的阶段；
- 2 判断计算阶段所涉及的环节；
- 3 界定各计算环节的碳排放单元过程。

3.0.8 碳排放计算可分为预算和决算，并应符合下列规定：

- 1 在建筑规划、设计或施工前期，尚未实际产生碳排放时，碳排放计算宜采用预算；
- 2 建筑生产与使用活动完成后以及大修阶段，碳排放计算宜采用决算。

3.0.9 建筑钢结构碳排放计算结果应至少包含下列一项或多项指标：

- 1 所计算建筑生命周期各阶段的年单位建筑面积碳排放量；
- 2 建筑全生命周期碳排放量；
- 3 建筑生命周期各阶段碳排放占全生命周期碳排放的比例；

4 建筑使用阶段逐年运行碳排放量。

3.0.10 建筑钢结构设计阶段应统筹考虑减少物化、使用、消纳阶段的排放措施。

3.0.11 建筑钢结构碳排放可根据实际情况选择排放因子法、实测法或其组合方法进行计算，采用排放因子法时，碳排放活动数据应优先采用实测值，碳排放因子应选用经第三方审核的碳排放数据。

4 全生命周期阶段划分

4.0.1 建筑钢结构生命周期包括物化阶段、使用阶段、消纳阶段三个阶段。

4.0.2 建筑钢结构生命周期各个阶段内建筑碳排放环节的界定应符合下列规定：

- 1 宜选择对建筑碳排放量有明显影响的环节进行计量；
- 2 每个环节应保持独立，避免重复计量；
- 3 对占全生命周期碳排放比重小、技术上无法量化或量化成本过高的环节可不计量，但应说明其对计量结果的影响。

4.0.3 建筑钢结构物化阶段指的是建筑钢结构从无到有的整个过程，主要碳排放环节应包含下列内容：

- 1 建筑原材料、构件、部品、设备的生产；
- 2 建筑原材料、构件、部品、设备的运输；
- 3 施工建造环节中，施工机具运行及施工现场办公。

4.0.4 建筑钢结构使用阶段指的是建筑钢结构建造完成后，开始使用运营维护直至寿命终止的过程，碳排放环节应包括下列内容：

- 1 建筑钢结构构件替换；
- 2 建筑钢结构日常维护。

4.0.5 建筑钢结构消纳阶段指的是建筑物完成使命将其废弃拆除并予以合理化处理的过程，主要碳排放环节应包括下列内容：

- 1 建筑钢结构拆除环节；
- 2 材料回收环节。

5 物化阶段碳排放计算

5.1 一般规定

5.1.1 建筑钢结构物化阶段碳排放应包括钢材生产的碳排放、钢构件加工制作、运输的碳排放以及施工建造的碳排放。

5.1.2 建筑钢结构物化阶段的碳排放量应按下式进行计算：

$$C_m = C_{ma} + C_{in} \quad (5.1.2)$$

式中：

C_m —钢结构物化阶段碳排放量（kgCO₂e）；

C_{ma} —钢结构制造全过程碳排放量（kgCO₂e）；

C_{in} —钢结构安装全过程碳排放量（kgCO₂e）。

5.1.3 建筑钢结构主要原材的碳排放因子应选用经第三方审核的碳排放数据，当无第三方提供时，缺省值可按本标准附录 A 执行。

5.1.4 各类运输方式的碳排放因子可按附录 B 选取。

5.1.5 建筑钢结构碳排放计算采用的化石能源的碳排放因子可根据附录 C1 取值；电力的碳排放因子宜优先采用当地行政主管部门发布的最新市/省级电力平均碳排放因子；当无市/省级数据时，可采用生态环境部发布的最新区域电力平均碳排放因子；当无区域数据时，可采用生态环境部发布的最新全国电力平均碳排放因子，参考附录 C2。

5.1.6 建筑钢结构生产及运输碳排放计算应包括主体钢材和制造辅材，重量比小于 0.1%的材料可不计算，但所选材料的总重量不应低于建筑钢结构中所耗材料总重量的 95%。

5.1.7 建筑钢结构施工建造碳排放的计算边界应符合下列规定：

- 1 施工建造碳排放计算的时间边界应从项目开工起至项目竣工验收止；
- 2 施工场地区域内的机械设备、小型机具、临时设施等使用过程中消耗的燃料动力产生的碳排放应计入；施工人员劳动产生的碳排放可不计入；

3 使用场地的办公用房、生活用房和材料库房等临时设施的施工和拆除产生的碳排放可不计入。

5.2 钢结构制造

5.2.1 钢结构制造全过程的碳排放为原材生产、原材运输、构件加工制作三个环节的碳排放之和，按下式计算：

$$C_{ma} = C_{m1} + C_{m2} + C_{m3} \quad (5.2.1)$$

式中：

C_{m1} —原材生产环节碳排放量（kgCO₂e）；

C_{m2} —原材运输环节碳排放量（kgCO₂e）；

C_{m3} —构件加工制作环节碳排放量（kgCO₂e）。

5.2.2 钢结构原材生产环节的碳排放按下式计算：

$$C_{m1} = \sum_{i=1}^n M_i F_i \quad (5.2.2)$$

式中：

M_i —第 i 种原材的消耗量（t）；

F_i —第 i 种原材的碳排放因子（kgCO₂e/t）。

1 钢结构主体钢材的消耗量应优先采用实际的消耗量；当实际消耗量未知时，可按下式计算：

$$M_{s1} = M_{s0}(1 + a_i) \quad (5.2.2 - 1)$$

式中：

M_{s1} —钢结构主体钢材的消耗量（t）；

M_{s0} —钢结构成品重量（t）；

a_i —材料损耗系数，钢材一般取 3%-6%。

2 钢结构制造辅材的消耗量应优先采用实际的消耗量；当实际消耗量未知时，可基于钢结构构件设计资料计算。

5.2.3 钢结构原材运输环节的碳排放按下式计算：

$$C_{m2} = \sum_{i=1}^n M_i D_i T_i \quad (5.2.3)$$

式中：

D_i —第 i 种原材的运输距离（km）；

T_i —第 i 种原材运输的单位重量单位距离的碳排放因子（kgCO₂e/t·km）。

1 钢结构主体钢材及制造辅材的消耗量应分别按 5.2.2 的第 1 和 2 条的规定确定。

2 钢结构原材的运输距离应优先采用实际的运输距离；当实际运输距离未知时，混凝土的默认运输距离值可采用 40 km，其它原材的默认运输距离值可采用 500 km。

5.2.4 钢结构加工制作环节的碳排放按下式计算：

$$C_{m3} = \sum_{i=1}^n E_{P,i} EF_i + \sum_{i=1}^n A_{P,i} AF_i + C_0 \quad (5.2.4)$$

式中：

$E_{P,i}$ —钢结构加工制作环节第 i 种能源消耗量（单位）；

EF_i —第 i 种能源的碳排放因子（kgCO₂e/单位）；

$A_{P,i}$ —钢结构加工制作环节第 i 种辅材的消耗量（t）；

AF_i —第 i 种辅材的碳排放因子（kgCO₂e/t）；

C_0 —焊接保护气体 CO₂ 直接释放量（kgCO₂e）。

1 辅材的碳排放因子宜选用经第三方审核的建材碳排放数据；当无第三方提供时，可采信有关碳排放数据库。

2 焊接保护气体 CO₂ 直接释放量，宜在车间现场或搭建实验条件通过计量方法获取；当不具备计量条件时，可采用其供应量作为释放量。

5.3 钢结构安装

5.3.1 钢结构安装全过程的碳排放为构件运输、构件安装两个环节的碳排放之和，按下式计算：

$$C_{in} = C_{m4} + C_{m5} \quad (5.3.1)$$

式中：

C_{m4} —钢构件运输环节碳排放量（kgCO₂e）；

C_{m5} —钢构件安装环节碳排放量（kgCO₂e）。

5.3.2 钢结构构件运输环节的碳排放按下式计算：

$$C_{m4} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i D_i T_i}{K_i} \quad (5.3.2)$$

式中：

K_i —第 i 种钢构件装车满载系数，按照下表取值。

情况分类	满载系数范围
规则材料（如 H 型钢、标准板材）， 配载接近车辆空间极限	0.95 - 1.0
混合装载的常规梁柱构件，具备合理装车方案	0.90 - 0.95
构件形状较复杂，装车构件尺寸匹配性较低，车内存在较多空隙	0.70 - 0.89
大型、异形、超限构件，空间浪费严重	低于 0.70

1 钢结构构件的重量应优先采用构件加工工厂提供的出厂实际重量；当实际重量未知时，可基于钢结构构件设计资料计算。

2 钢结构构件的运输距离应优先采用实际的运输距离；当实际运输距离未知时，默认运输距离值可采用 500 km。

5.3.3 初步设计及后续各阶段（具备实测工程量清单数据）钢结构构件安装环节的碳排放按下式计算：

$$C_{m5} = \sum_{i=1}^n E_{B,i} E F_i + \sum_{i=1}^n A_{B,i} A F_i + C_0 \quad (5.3.3 - 1)$$

式中：

$E_{B,i}$ —钢结构安装环节第 i 种能源消耗量（单位）；

EF_i —第 i 种能源的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{单位}$ ）；

$A_{B,i}$ —钢结构安装环节第 i 种辅材的消耗量（ t ），无实测数据时可按附录 F 确定；

AF_i —第 i 种辅材的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{t}$ ）；

C_0 —焊接保护气体 CO_2 直接释放量（ kgCO_2e ），同 5.2.4。

钢结构安装环节能源消耗量应优先采用实际的消耗量；当无法获取实际数据时，可按式计算：

$$E_{B,i} = B_i K_{B,i} \quad (5.3.3 - 2)$$

式中：

B_i —钢结构安装环节第 i 种施工机械台班消耗量（台班），包括钢结构所有分项工程及措施项目消耗的机械台班数，无实测数据时可按附录 E 确定；

$K_{D,i}$ —钢结构安装环节第 i 种施工机械单位台班的能耗量（单位/台班），可根据机械类型按附录 D 确定。

1 安装辅材的碳排放因子宜选用经第三方审核的建材碳排放数据；当无第三方提供时，可采信有关碳排放数据库。

2 焊接保护气体 CO_2 直接释放量，宜在安装现场或搭建实验条件通过计量方法获取；当不具备计量条件时，可采用其供应量作为释放量。

5.3.4 可行性研究及方案设计阶段（不具备实测工程量清单数据）钢结构构件安装环节的碳排放按下式计算：

$$C_{m5} = \sum_{i=1}^n C_{a,i} Q_s \quad (5.3.4)$$

式中：

Q_s —钢结构工程量（ t ）；

$C_{a,i}$ —钢结构安装阶段第 i 种构件或结构的碳排放定额，即额定吨钢碳排放（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{t}$ ），按本标准附录 G 确定，当有经验数据时，可按经验数据确定。

6 使用阶段碳排放计算

6.0.1 建筑钢结构使用阶段的碳排放为构件替换、日常维护两个环节的碳排放之和，按下式计算：

$$C_u = C_{u1} + C_{u2} \quad (6.0.1)$$

式中：

C_u —建筑钢结构使用阶段的碳排放量（kgCO₂e）；

C_{u1} —建筑钢结构构件替换环节的碳排放量（kgCO₂e）；

C_{u2} —建筑钢结构日常维护环节的碳排放量（kgCO₂e）。

6.0.2 建筑钢结构构件替换环节的碳排放按下式计算：

$$C_{u1} = \sum_{i=1}^n (C_{ma,i} + C_{in,i}) \quad (6.0.2)$$

式中：

$C_{ma,i}$ —第 i 个建筑钢结构替换构件制造阶段的碳排放量（kgCO₂e）；

$C_{in,i}$ —第 i 个建筑钢结构替换构件安装阶段的碳排放量（kgCO₂e）。

1 钢结构构件替换量应采用因建筑功能变化、非正常损坏等原因导致实际发生的替换量。

2 钢结构替换构件制造和安装阶段碳排放量应参照 5.2 和 5.3 的规定确定。

6.0.3 建筑钢结构日常维护环节的碳排放按下式计算：

$$C_{u2} = \sum_{i=1}^n (C_{sc,i} + C_{ys,i} + C_{sg,i}) \times \left[\frac{y}{y_i} \right] \quad (6.0.3)$$

式中：

$C_{sc,i}$ —第 i 种防腐或防火涂料生产环节碳排放（kgCO₂e）；

$C_{ys,i}$ —第 i 种防腐或防火涂料运输环节碳排放（kgCO₂e）；

$C_{sg,i}$ —第 i 种防腐或防火涂料施工环节碳排放（kgCO₂e）；

y —建筑钢结构建筑设计使用年限（年）；

y_i —第 i 种防腐或防火涂料的设计工作年限（年）。

1 防腐或防火涂料生产环节碳排放按下式计算：

$$C_{sc,i} = M_i F_i \quad (6.0.3-1)$$

2 防腐或防火涂料运输环节碳排放按下式计算：

$$C_{ys,i} = M_i D_i T_i \quad (6.0.3-2)$$

3 防腐或防火涂料施工环节碳排放按下式计算：

$$C_{sg,i} = \sum_{j=1}^n E_{ij} EF_i \quad (6.0.3-3)$$

式中：

E_{ij} —第 i 种防腐或防火涂料施工方式第 j 种能源消耗量（单位）。

4 建筑钢结构设计使用年限应优先采用实际的设计使用年限；当实际设计使用年限未知时，可参照《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068 表 3.3.3 确定。

5 防腐或防火涂料的设计工作年限应优先采用实际的设计工作年限；当实际设计工作年限未知时，可综合考虑使用环境、涂层构造，参考《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 确定。

7 消纳阶段碳排放计算

7.1 一般规定

7.1.1 钢结构消纳阶段的碳排放量应按下式计算：

$$C_a = C_{a1} + C_{a2} - C_{a3} \quad (7.1.2)$$

式中：

C_a —钢结构消纳阶段的碳排放量（kgCO₂e）；

C_{a1} —钢结构拆除环节的碳排放量（kgCO₂e）；

C_{a2} —钢结构回收运输环节的碳排放量（kgCO₂e），可参照式(5.2.3)计算；

C_{a3} —钢结构回收利用环节的碳核减量（kgCO₂e）。

7.2 钢结构拆除

7.2.1 钢结构拆除环节的碳排放包括拆除消耗能源和辅材产生的碳排放，按下式计算：

$$C_{a1} = C_D + C_R \quad (7.2.1)$$

式中：

C_D —钢结构拆除环节所消耗能源的碳排放（kgCO₂e）；

C_R —钢结构拆除环节所消耗辅材的碳排放（kgCO₂e）。

7.2.2 钢结构拆除环节所消耗能源的碳排放按下式计算：

$$C_D = \sum_{i=1}^n E_{D,i} EF_i \quad (7.2.2-1)$$

式中：

$E_{D,i}$ —钢结构拆除环节第*i*种能源消耗量（单位）；

EF_i —第*i*种能源的碳排放因子（kgCO₂e/单位）。

钢结构拆除环节能源消耗量应优先采用实际的消耗量；当无法获取实际数据时，可按式计算：

$$E_{D,i} = D_i K_{D,i} \quad (7.2.2-2)$$

式中：

D_i —钢结构拆除环节第*i*种机械使用台班数（台班）；

$K_{D,i}$ —钢结构拆除第*i*种机械单位台班的能源消耗量（单位/台班）。

7.2.3 钢结构拆除所消耗辅材相应碳排放，按下式计算：

$$C_R = \sum_{i=1}^n A_{R,i} A F_i \quad (7.2.3-1)$$

式中：

$A_{R,i}$ —钢结构拆除环节第*i*种辅材的消耗量（t）；

$A F_i$ —第*i*种辅材的碳排放因子（kgCO₂e/t）。

7.3 钢结构回收

7.3.1 钢结构回收包括钢构件拆卸后复用和将回收钢材用于短流程炼制再生钢材，相应的碳核减量可按下式计算：

$$C_{a3} = C_{ma3} + \sum_{i=1}^n M_{S,i} (F_{C,i} - F_{D,i}) \quad (7.3.1)$$

C_{ma3} —拆卸后复用的钢构件相应碳核减量，视为等同相应钢构件制造全过程碳排放量，可参照前文 5.2 节 C_{ma} 的方法计算。若回收钢材仅用于炼制再生钢材，则此值取 0；

$M_{S,i}$ —第*i*种钢材回收量（t）；

$F_{C,i}$ —第*i*种钢材长流程炼钢的碳排放因子（kgCO₂e/t）；

$F_{D,i}$ —第*i*种钢材短流程炼钢的碳排放因子（kgCO₂e/t）。

8. 碳减排措施

8.1 物化阶段

8.1.1 设计环节应优化选用高效结构体系，以合理降低总用钢量。

8.1.2 设计环节宜选用高强钢材以减少用钢量；宜选用耐候钢等高性能钢材以有效降低钢结构维护阶段的碳排放；宜合理选用热轧型钢代替焊接构件，以减少钢结构加工过程的碳排放并充分发挥钢材性能。

8.1.3 物化阶段钢材生产及加工过程应充分考虑清洁能源替换以减少碳排放量，可采用绿色生产工艺、充分利用厂区及屋面设置光伏发电等措施。

8.1.4 钢结构生产加工及安装阶段，应积极采用激光切割、自动焊接、标准化构件等先进工艺和有效措施，提升工效，并配合绿电技术进一步降低钢结构物化阶段的碳排放。

8.2 使用阶段

8.2.1 基于钢结构热传导特性，优先采用高性能围护体系、自然通风和采光等被动式技术，降低使用阶段能耗需求。

8.2.2 宜配置智能运维系统，对钢结构使用阶段进行动态感知与智能优化，以合理降低能耗需求。

8.2.3 结合钢结构自身特性，设置光伏一体化外墙与屋顶，并采取立体绿化等碳汇措施，实现碳减排与固碳功能。

8.3 消纳阶段

-
- 8.3.1** 可复用钢构件拆除应采用保护性拆除技术，减少对原有构件的损伤。
- 8.3.2** 宜推广使用电动化拆除机械设备，并结合建筑信息模型（BIM）及人工智能算法优化拆除顺序，提升拆除效率，降低拆除损耗。
- 8.3.3** 废钢回收运输应采用新能源卡车与智能调度、铁路运输或多式联运，降低碳排放；并应建立区域化回收体系，缩短运输半径。

8.4 新材料新工艺

- 8.4.1** 应研发并推广使用适配的高性能钢材和高效能钢材，从材料源头降低钢结构碳排放。
- 8.4.2** 应将物联网、区块链和人工智能等新技术融入钢结构全生命周期，提升各环节的数字化和智能化水平，降低各环节碳排放，提升碳足迹核查精度。
- 8.4.3** 应提升钢构件标准化水平，实现钢结构模块化和可重复利用设计，推进钢结构产品化和工业化生产，打通并融合钢结构物化、使用、消纳全生命周期各环节，实现钢结构全生命周期协同高效减碳。

附录 A 建筑常用钢材碳排放因子取值

表 A 建筑常用钢材碳排放因子

序号	钢材名称	材料单位	碳排放因子 (kgCO ₂ e/t)
1	钢筋	t	2150
2	中厚板	t	2240
3	轧制型钢	t	2260
4	通用钢材	t	2250

附录 B 各类运输方式碳排放因子取值

表 B 各类运输方式碳排放因子

运输方式	碳排放因子 kgCO 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
液货船运输（载重 2000t）	0.019
干散货船运输（载重 2500t）	0.015
集装箱船运输（载重 200TEU）	0.012

附录 C 主要能源碳排放因子取值

表 C1 主要能源碳排放因子

能源分类	能源名称	单位热值含碳量 (tC/TJ)	碳氧化率	单位热值 CO ₂ e 排放因子 (tCO 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	98.82
	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	0.99	55.54

表 C2 2022 年电力二氧化碳排放因子

类型	子项	碳排放因子 (kgCO ₂ /kWh)
2022 年全国电力平均 二氧化碳排放因子	全国	0.5366
2022 年区域电力平均 二氧化碳排放因子	华北	0.6776
	东北	0.5564
	华东	0.5617
	华中	0.5395
	西北	0.5857
	南方	0.3869
	西南	0.2268
2022 年省级电力平均 二氧化碳排放因子	北京	0.5580
	天津	0.7041
	河北	0.7252
	山西	0.7096
	内蒙古	0.6849
	辽宁	0.5626
	吉林	0.4932
	黑龙江	0.5368
	上海	0.5849
	江苏	0.5978
	浙江	0.5153
	安徽	0.6782
	福建	0.4092
	江西	0.5752
	山东	0.6410
	河南	0.6058
	湖北	0.4364
	湖南	0.4900
	广东	0.4403
	广西	0.4044
	海南	0.4184
	重庆	0.5227
	四川	0.1404
	贵州	0.4989

	云南	0.1073
	陕西	0.6558
	甘肃	0.4772
	青海	0.1567
	宁夏	0.6423
	新疆	0.6231
2022 年全国电力平均 二氧化碳排放因子 (不包括市场化交易 的非化石能源电量)	全国	0.5856
2022 年全国化石能源 电力二氧化碳排放因 子	全国	0.8325

附录 D 常用施工机械能源用量取值

表 D 常用施工机械能源用量

序号	机械名称	性能规格		能源用量		
				汽油 (kg)	柴油 (kg)	电 (kWh)
1	履带式起重 机	提升重量	25t	—	36.98	—
2			30t	—	41.61	—
3			40t	—	42.46	—
4			50t	—	44.03	—
5			60t	—	47.17	—
6	轮胎式起重 机	提升重量	25t	—	46.26	—
7			40t	—	62.76	—
8			50t	—	64.76	—
9	汽车式起重 机	提升重量	8t	—	28.43	—
10			12t	—	30.55	—
11			16t	—	35.85	—
12			20t	—	38.41	—
13			30t	—	42.14	—
14			40t	—	48.52	—
15	叉式起重 机	提升重量	3t	26.46	—	—
16	自升式塔 式起重机	提升重量	400t	—	—	164.31
17			600t	—	—	166.29
18			800t	—	—	169.16
19			1000t	—	—	17002
20			2500t	—	—	266.04

21			3000t	—	—	295.60
22	门式起重机	提升重量	10t	—	—	88.29
23	点焊机	容量	75kV · A	—	—	154.63
24	对焊机	容量	75kV · A	—	—	122.00
25	氩弧焊	电流	500A	—	—	70.70
26	二氧化碳 气体保护 焊	电流	250A	—	—	24.50
27	电渣焊	电流	1000A	—	—	147.00
28	电焊条烘 干箱	容量	45×35×45 (cm ³)	—	—	6.70

附录 E 钢结构安装施工机械台班消耗量取值

表 E1 钢网架工程量定额（计量单位：t）

项 目			焊接空心 球网架	螺栓球节点 网架	焊接不锈钢 空心球网架
名 称		单位	消耗量		
机 械	汽车式起重机 20t	台班	0.312	0.312	0.312
	交流弧焊机 32kV·A	台班	0.238	0	0
	氩弧焊机 500A	台班	0	0	0.475
	二氧化碳气体保护焊机 500A	台班	0.238	0	0

表 E2 厂（库）房钢结构钢柱工程量定额（计量单位：t）

项 目			钢柱			
			质量(t)			
			≤3	≤8	≤15	≤25
名 称		单位	消 耗 量			
机 械	汽车式起重机 20t	台班	0.156	0.130	0	0
	汽车式起重机 40t	台班	0	0	0.195	0
	交流弧焊机 32KV·A	台班	0.110	0.092	0.110	0.132
	二氧化碳气体保护焊机 500A	台班	0.110	0.092	0.110	0.132
	履带式起重机 50t	台班	0	0	0	0.260

表 E3 厂（库）房钢结构钢梁工程量定额（计量单位：t）

项 目			钢梁			
			质量(t)			
			≤1.5	≤3	≤8	≤15
名 称		单位	消 耗 量			
机 械	汽车式起重机 20t	台班	0.234	0.156	0.221	0
	汽车式起重机 40t	台班	0	0	0	0.195
	交流弧焊机 32kV·A	台班	0.308	0.198	0.165	0.198
	二氧化碳气体保护 焊机 500A	台班	0.308	0.198	0.165	0.198

表 E4 高层钢结构钢柱工程量定额（计量单位：t）

项 目			(1) 钢柱			
			质量(t)			
			≤3	≤5	≤10	≤15
名 称		单位	消 耗 量			
机 械	汽车式起重机 40t	台班	0.026	0.026	0.026	0.026
	交流弧焊机 32kV·A	台班	0.187	0.180	0.170	0.190
	二氧化碳气体保护焊机 500A	台班	0.209	0.190	0.170	0.200

表 E5 高层钢结构钢梁工程量定额（计量单位：t）

项 目			钢梁			
			质量(t)			
			≤0.5	≤1.5	≤3	≤5
名 称		单位	消 耗 量			
机 械	汽车式起重机 40t	台班	0.026	0.026	0.026	0.026
	交流弧焊机 32kV·A	台班	0.280	0.250	0.220	0.220
	二氧化碳气体保护焊机 500A	台班	0.170	0.170	0.150	0.140

附录 F 钢结构安装辅材消耗量取值

表 F2 钢网架工程量定额（计量单位：t）

项 目			焊接空心球网架	螺栓球节点网架	焊接不锈钢空心球网架
名 称		单位	消耗量		
材 料	焊接空心球网架	t	1.000	0	0
	螺栓球节点网架	t	0	1.000	0
	焊接不锈钢空心球网架	t	0	0	1.000
	环氧富锌底漆	kg	4.240	4.240	0
	低合金钢焊条 E43 系列	kg	7.519	0	0
	不锈钢焊丝	kg	0	0	10.043
	金属结构铁件	kg	6.630	3.570	6.630
	六角螺栓带螺母(综合)	kg	0	19.890	0
	二氧化碳气体	m ³	2.200	0	0
	氧气	m ³	2.530	0	0
	氩气	m ³	0	0	7.975
	钨棒	kg	0	0	0.155
	焊丝 Φ 3.2	kg	3.574	0	0
	吊装夹具	套	0.060	0.060	0.060
	钢丝绳 Φ 12	kg	8.200	8.200	8.200
	垫木	m ³	0.034	0.034	0.034
	稀释剂	kg	0.339	0.339	0
	其他材料费	%	0.50	0.50	0.50

表 F2 厂（库）房钢结构钢柱工程量定额（计量单位：t）

项 目			钢柱			
			质量(t)			
			≤3	≤8	≤15	≤25
名 称		单位	消 耗 量			
材 料	钢柱	t	1.000	1.000	1.000	1.000
	环氧富锌底漆	kg	1.060	1.060	1.060	1.060
	低合金钢焊条 E43 系列	kg	1.236	1.059	1.236	1.483
	金属结构铁件	kg	10.588	7.344	3.570	2.550
	二氧化碳气体	m ³	0.715	0.715	0.715	0.858

	焊丝 $\phi 3.2$	kg	1.082	0.949	1.082	1.298
	吊装夹具	套	0.020	0.020	0.020	0.025
	钢丝绳 $\phi 12$	kg	4.690	4.690	4.690	5.790
	垫木	m ³	0.011	0.011	0.011	0.011
	稀释剂	kg	0.085	0.085	0.085	0.085
	其他材料费	%	0.50	0.50	0.50	0.50

表 F3 厂（库）房钢结构钢梁工程量定额（计量单位：t）

项 目			钢梁			
			质量(t)			
			≤ 1.5	≤ 3	≤ 8	≤ 15
名 称		单位	消 耗 量			
材 料	钢梁	t	1.000	1.000	1.000	1.000
	环氧富锌底漆	kg	1.060	1.060	1.060	1.060
	低合金钢焊条 E43 系列	kg	3.461	2.163	1.854	2.163
	金属结构铁件	kg	7.344	7.344	3.672	5.304
	二氧化碳气体	m ³	2.002	1.210	1.078	1.210
	焊丝 $\phi 3.2$	kg	3.028	1.854	1.627	1.854
	吊装夹具	套	0.020	0.020	0.020	0.020
	钢丝绳 $\phi 12$	kg	4.280	4.280	4.280	5.095
	垫木	m ³	0.012	0.012	0.012	0.012
	稀释剂	kg	0.085	0.085	0.085	0.085
	其他材料费	%	0.50	0.50	0.50	0.50

表 F4 高层钢结构钢柱工程量定额（计量单位：t）

项 目			(1) 钢柱			
			质量(t)			
			≤ 3	≤ 5	≤ 10	≤ 15
名 称		单位	消 耗 量			
材 料	钢柱	t	1.000	1.000	1.000	1.000
	低合金钢焊条 E43 系列	kg	2.575	2.575	2.575	2.575
	金属结构铁件	kg	10.588	7.344	6.528	5.610
	二氧化碳气体	m ³	2.420	2.090	1.870	2.200
	焊丝 $\phi 3.2$	kg	4.429	3.708	3.296	4.017
	钢丝绳	kg	3.690	3.690	3.690	5.690
	垫木	m ³	0.011	0.011	0.011	0.011
	环氧富锌底漆(封闭漆)	kg	1.060	1.060	1.060	1.060
	环氧富锌底漆稀释剂	kg	0.085	0.085	0.085	0.085
	吊装夹具	套	0.020	0.020	0.020	0.020
	其他材料费	%	0.50	0.50	0.50	0.50

表 F5 高层钢结构钢梁工程量定额（计量单位：t）

项 目			钢梁			
			质量(t)			
			≤0.5	≤1.5	≤3	≤5
名 称		单位	消 耗 量			
材 料	钢梁	t	1.000	1.000	1.000	1.000
	低合金钢焊条 E43 系列	kg	3.708	3.296	2.884	2.884
	金属结构铁件	kg	7.344	6.936	6.528	5.712
	二氧化碳气体	m ³	1.870	1.870	1.760	1.650
	焊丝 φ3.2	kg	3.296	3.296	3.090	2.884
	钢丝绳	kg	3.280	3.280	3.280	3.280
	垫木	m ³	0.012	0.012	0.012	0.012
	环氧富锌底漆(封闭漆)	kg	1.060	1.060	1.060	1.060
	环氧富锌底漆稀释剂	kg	0.085	0.085	0.085	0.085
	吊装夹具	套	0.020	0.020	0.020	0.020
	其他材料费	%	0.50	0.50	0.50	0.50

附录 G 各类钢结构安装碳排放定额

G.0.1 各类钢结构/钢构件安装时的吨钢碳排放可按表 G 估算。

表 G 各类钢结构/钢构件安装的碳排放定额 (kgCO₂e/t)

钢结构/构件类型			全国	华北	东北	华东	华中	西北	南方	西南
1、钢网架	(1) 钢网架	焊接空心球网架	160.6	171.5	165.9	164.3	159.6	164.1	155.7	144.7
		螺栓球节点网架	165.3	165.3	165.3	165.3	165.3	165.3	165.3	165.3
		焊接不锈钢空心球网架	176.1	186.7	183.0	180.6	174.6	179.3	174.5	169.7
	(2) 钢支座	固定支座	34.8	39.8	37.2	36.5	34.4	36.4	32.6	27.5
		单向滑移支座	26.8	29.8	28.3	27.8	26.5	27.8	25.5	22.4
		双向滑移支座	20.8	22.4	21.6	21.3	20.6	21.3	20.1	18.4
2、厂房钢结构	(1) 钢屋架(钢托架)	≤1.5t	89.6	94.6	92.0	91.3	89.1	91.2	87.4	82.3
		≤3t	76.1	81.1	78.5	77.8	75.7	77.7	73.9	68.8
		≤8t	70.2	81.1	73.2	72.3	69.7	72.2	67.6	61.5
		≤15t	81.6	88.6	85.2	84.1	80.9	83.8	78.8	71.7
		≤25t	111.4	122.4	117.1	115.3	110.3	114.9	107.1	96.1
	(2) 钢桁架	≤1.5t	135.8	149.8	142.6	140.6	134.6	140.3	129.5	115.3
		≤3t	113.1	124.7	118.7	117.1	112.1	116.8	108.0	96.2
		≤8t	102.8	111.8	107.2	105.9	102.0	105.7	98.7	89.5
		≤15t	105.7	114.8	110.1	108.8	104.9	108.6	101.7	92.5
		≤25t	145.8	159.8	152.6	150.6	144.6	150.3	139.5	125.3
		≤40t	156.4	170.5	163.2	161.2	155.2	160.9	150.2	135.9
	(3) 钢柱	≤3t	85.4	90.4	87.8	87.1	84.9	87.0	83.1	78.0
		≤8t	70.8	75.1	72.9	72.3	70.5	72.2	68.9	64.7
		≤15t	77.3	82.3	79.7	79.0	76.8	78.9	75.0	69.9
		≤25t	87.5	93.6	90.5	89.6	87.0	89.5	84.8	78.7
	(4) 钢梁	≤1.5t	123.4	137.4	130.2	128.2	122.2	127.9	117.2	103.0
		≤3t	92.1	101.1	96.5	95.2	91.3	95.0	88.1	78.9
		≤8t	84.4	91.9	88.0	86.9	83.7	86.8	81.0	73.4
		≤15t	99.3	108.3	103.7	102.4	98.5	102.2	95.3	86.1
	(5) 钢吊车梁	≤3t	103.9	113.9	108.8	107.3	103.0	107.1	99.4	89.2
		≤8t	79.4	86.2	82.7	81.7	78.8	81.6	76.3	69.3
		≤15t	89.7	99.7	94.5	93.1	88.8	92.9	85.2	75.0

		≤25t	117.1	129.2	123.0	121.2	116.1	121.0	111.8	99.6
	(6) 钢平台、 钢楼梯	钢平台 (钢走道)	104.7	114.1	110.8	108.6	103.3	107.6	103.3	94.3
		钢楼梯踏步式	101.9	111.3	108.0	105.9	100.6	104.8	100.6	91.6
		钢楼梯爬式	105.8	115.1	111.9	109.7	104.5	108.7	104.5	95.6
	(7) 其他 钢构件	钢支撑等其他 构件	108.7	118.1	114.9	112.7	107.4	111.6	107.4	98.5
		钢墙架 (挡风架)	91.7	97.7	95.6	94.2	90.8	93.5	90.9	85.1
		零星钢构件	110.2	119.6	116.4	114.2	108.9	113.1	108.9	100.0
	(8) 现场 拼装平台 摊销	现场拼装平台 摊销	21.7	23.6	23.6	22.2	21.7	22.4	20.4	18.3
3、高层钢结构	(1) 钢柱	≤3t	97.7	106.5	101.8	100.6	96.9	100.5	93.5	84.5
		≤5t	84.1	92.5	88.1	87.0	83.4	86.8	80.3	71.8
		≤10t	78.2	85.9	81.9	80.8	77.5	80.6	74.7	66.8
		≤15t	86.6	95.4	90.8	89.6	85.9	89.4	82.6	73.6
	(2) 钢梁	≤0.5t	88.1	99.2	94.0	92.2	86.9	91.6	84.2	73.1
		≤1.5t	84.4	94.6	89.8	88.1	83.4	87.7	80.6	70.4
		≤3t	78.6	87.5	83.3	81.8	77.7	81.4	75.2	66.2
		≤5t	74.8	83.6	79.5	78.0	73.9	77.6	71.6	62.8
	(3) 钢支撑	≤1.5t	110.8	122.0	116.3	114.6	109.7	114.4	105.8	105.8
		≤3t	94.6	104.5	99.5	98.0	93.7	97.8	90.3	90.3
		≤5t	81.8	90.6	86.2	84.9	81.0	84.7	78.1	78.0
		≤8t	90.2	100.5	95.1	93.6	89.3	93.5	85.4	85.3
	(4) 踏步 式钢 楼梯	踏步式钢楼梯	102.2	114.7	108.3	106.5	101.1	106.2	96.6	83.9
4、钢结构安装配件	钢结构安装配件	高强螺栓	1.4	1.8	1.5	1.5	1.4	1.6	1.0	0.6
		花篮螺栓	1.4	1.8	1.5	1.5	1.4	1.6	1.0	0.6
		剪力栓钉	16.1	20.3	16.7	16.9	16.2	17.6	11.6	6.8

注：表中碳排放定额数据根据《房屋建筑与装饰工程消耗量》（TY01-31-2021）核算。

中国钢结构协会标准

建筑钢结构碳排放计算标准

Carbon emission calculation standard for building steel structure

T/CSCS ×××—××××

条文说明

制 订 说 明

《建筑钢结构碳排放计算标准》T/CSCS ×××—××××，经 ××× 202× 年 ×× 月×× 日以××× 批准发布。

本标准在编制过程中，编制组进行了深入、广泛的调查研究，总结了我国建筑钢结构相关碳排放研究成果，同时参考了国内外先进技术规范、计算标准。

为便于设计、咨询、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目次

1	总 则.....	37
2	术语与符号.....	38
2.1	术语.....	38
3	基本规定.....	39
4	全生命周期阶段划分.....	40
5	物化阶段碳排放计算.....	41
5.1	一般规定.....	41
5.2	钢结构制造.....	41
5.3	钢结构安装.....	43
6	使用阶段碳排放计算.....	45
7	消纳阶段碳排放计算.....	50
7.1	一般规定.....	50
7.2	钢结构拆除.....	50
7.3	钢结构回收利用.....	51
8	碳减排措施.....	52
8.1	物化阶段.....	52
8.2	使用阶段.....	52
8.3	消纳阶段.....	53
8.4	新材料新工艺.....	53

1 总 则

1.0.2 本标准对建筑生命周期不同阶段的碳排放分别给出了独立的核算方法。实际应用中，应根据不同需求按阶段进行核算，分段核算结果可累计为建筑全生命周期碳排放。

2 术语与符号

2.1 术语

本标准所列出的术语尽可能考虑了与其他标准及技术文件的一致性和协调性。每个术语均给出了英文翻译，但该翻译不一定与国际上的标准术语一致，仅供参考。

3 基本规定

3.0.1 本条规定了建筑碳排放核算的对象和基本单位。标准适用于单体建筑、同类相似建筑组成的建筑群、住区的碳排放核算，不包括住区内管道核算；对建筑群，可通过对各单体建筑碳排放量进行合计。碳排放单元过程是构成碳排放的最基本单位，为避免漏算重算，应将核算对象细分为基本碳排放过程单元过程进行核算。

3.0.3 根据《IPCC 国家温室气体清单指南》（2006），温室气体主要分为以下六类：（1）二氧化碳（CO₂）；（2）甲烷（CH₄）；（3）氧化亚氮（N₂O）；（4）氢氟烃（HFCs），如 CHF₃；（5）全氟化碳（PFCs），如 CF₄、CnF_{2n+2}；（6）六氟化硫（SF₆）、氮氟化物（NF₃）、卤化醚等。

3.0.5 “相关性”、“完整性”、“一致性”、“准确性”和“透明性”是国际上开展碳排放量化和报告的核心要求。针对建筑碳排放核算，“相关性”是指应确保在量化建筑碳排放时所采用的边界、资料、数据以及方法，能适应当地反映有关建筑碳排放状况，并满足相关需要；“完整性”是指在选定的核算对象和核算边界内，应量化和报告所有的碳排放信息，任何例外情况均应说明；“一致性”是指对量化和报告不同生命周期阶段的碳排放，有关计算范围、边界和方法的变化均应采用相同的方法，并记录清楚；“准确性”是指应保证建筑碳排放信息来源和计算过程的可靠和正确；“透明性”是指应充足、充分、透明地发布建筑排放信息的支撑材料。

3.0.8 在建筑碳排放的核算中，应明确核算目标以区分“预算”与“决算”。二者的主要区别体现在基础数据的来源方面。所谓建筑碳排放预算是指在建筑规划、设计或施工前期，尚未实际产生碳排放时，通过数值模拟、分析计算等手段预测得出的碳排放量。该量化结果是未来碳排放的预期值，对于方案设计优化与节能减排策略制定具有重要的参考价值。而碳排放决算是指在某项建筑生产与使用

活动完成后，根据真实记录的资料分析得出的碳排放。这一量化结果理论上即为建筑生产或使用活动的真实碳排放数据，主要用于了解地区内同类建筑的碳排放水准，为日后建筑碳排放的优化分析与碳权分配提供参考。

4 全生命周期阶段划分

4.0.1 建筑全生命周期是指从建材原料开采到建筑拆除处置的全过程，一般包括原材料开采、建材生产、建材运输、施工建造、运行维护、拆除和废弃物处置等环节。为了便于计算，需要对建筑生命周期进行划分。

根据研究现状，不同研究者对建筑生命周期的具体划分方式存在较大差异。工程应用中，有必要对建筑生命周期阶段的划分进行统一。在建筑生命周期阶段划分中，若阶段划分过细，则碳排放核算结果必然过于繁琐，不利于数据分析与呈现；若将阶段划分过粗，一方面难以找出建筑碳排放的关键环节，另一方面也容易出现个别环节重复计算或者漏算而无法识别的现象。

基于以上考虑，本标准将建筑钢结构生命周期碳排放计算划分为物化阶段、使用阶段、消纳阶段三个阶段。

5 物化阶段碳排放计算

5.1 一般规定

5.1.6 本条款规定建材生产及运输阶段的碳排放应包括建筑原材料、构件、部品和设备，如水泥、混凝土、钢材、墙体材料、保温材料、玻璃、铝型材、瓷砖、石材、暖通空调设备等。其他建材以及未来可能出现的新型建材，如果其重量比大于 0.1%且采用冶金、煅烧等高能耗工艺生产的建材，也应包含在计算范围内。装配式建筑使用的建筑部品，只要是在建筑施工场地之外生产、未纳入建筑施工的能耗统计，均属于本章所指的建材范围。

5.1.7 在项目勘察阶段，地勘钻机也消耗能源，但考虑其工作时间较短，能耗较小，因此规定建造阶段碳排放计算时间边界从进场施工开始计算。在建筑建造阶段，施工机械设备和小型机具运行所需的能源动力是产生碳排放的主要部分。人员正常呼吸释放二氧化碳是人的正常生理现象，与施工人员现场劳动所呼吸释放的二氧化碳量没有本质区别，故不计入施工过程人员劳动过程的碳排放。施工阶段的办公用房、生活用房和库房因使用周期短，为便于周转使用，通常采用夹心彩钢板制作的活动板房、集装箱房屋。这类简易临时房屋安装和拆除简便，其施工和拆除能耗小，在计算建筑建造阶段碳排放时可不计入。

5.2 钢结构制造

5.2.1 本条文明确钢结构制造阶段碳排放的构成环节及计算公式。相比于常见的“建材生产”一类相对笼统的说法，本条文针对钢结构制造过程特点，区分为“原材生产”和“构件加工制作”两个环节，并考虑两者之间的“原材运输”。实际钢结构制造中，原材生产、原材运输及钢构件加工活动是由不同企业主体负责，因而本环节界定方法便于实际操作中，向各企业主体收集相应碳排放数据，并汇合形成钢结构制造阶段的总碳排放量

5.2.2 本条文明确钢结构原材生产环节碳排放(C_{m1})的计算方法,是基于排放因子法的基本原理,通过原材生产活动数据(即主体钢材、制造辅材的消耗量)与相应原材的碳排放因子相乘累计计算。在上述方法框架下,本条文进一步给出主体钢材、制造辅材消耗量的确定规则。该规则一方面强调数据质量可靠性,要求钢结构主体钢材、制造辅材消耗量均应优先采用实际的消耗量;另一方面,兼顾实际数据获取的可操作性,给出通过计算的方式获取消耗量的方法。对于主体钢材,当实际消耗量未知时,可根据钢结构成品重量和材料损耗系数进行推算,其中材料损耗系数是钢结构制造过程中,主体钢材因切割、拼接、边角料等产生的损耗占成品重量的比例,反映钢材利用效率,其取值需结合加工工艺、构件复杂程度确定。根据调研,建议按 3%-6%进行取值:对于形状简单、加工工艺成熟(如标准型钢梁、柱)的构件可取 3%-4%;对于复杂(如异形桁架、节点密集构件)、切割废料较多的构件可取 5%-6%。取值需在计算报告中说明依据。对于钢结构制造辅材,当实际消耗量未知时,可基于钢结构构件设计资料计算。

5.2.3 本条文明确钢结构原材运输环节碳排放(C_{m2})的计算方法,是基于排放因子法的基本原理,通过原材运输活动数据、运输距离与相应运输的单位重量单位距离的碳排放因子相乘累计计算。其中原材运输活动数据(即运输重量)视为等同钢结构主体钢材及制造辅材的消耗量,因而取值方式同 5.2.2 的第 1 和 2 条。运输距离的取值,应优先采用实际的运输距离;当实际运输距离未知时,参照国家标准《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019 中 E.0.1 条的规定,混凝土的默认运输距离值可采用 40 km,其它原材的默认运输距离值可采用 500 km。运输的单位重量单位距离的碳排放因子可参照附录 B,该表同 GB/T 51366-2019 表 E.0.1 “各类运输方式的碳排放因子”保持一致。

5.2.4 本条文明确钢结构加工制作环节碳排放(C_{m3})的计算方法,涉及能源消耗、辅材消耗对应的碳排放和焊接保护气体 CO_2 的直接释放。其中对于能源和辅材消耗导致的碳排放计算是基于排放因子法的基本原理,通过各类能源和辅材的活动数据(即消耗量)与相应能源和辅材的碳排放因子相乘累计计算。钢结构加工制作环节涉及各类化石能源和电力的使用,其碳排放因子可根据本标准附录 C 表 C1 和 C2 进行取值。辅材的碳排放因子宜选用经第三方审核的建材碳排放数据,

如生产企业提供的第三方碳排放核算报告；当无第三方提供时可采信有关碳排放数据库，并说明具体数据来源。

钢结构加工制作环节存在大量焊接工作，其中二氧化碳气体保护焊采用二氧化碳或二氧化碳与氩气等混合气体作为屏障，将焊接部位与周围空气隔绝。实际中由于焊接部位温度极高，可导致部分与之接触的二氧化碳发生分解，从而减少了一定量的二氧化碳排放。因此，对于作为保护气体的二氧化碳的直接释放量，宜在车间现场或搭建实验条件通过计量方法获取；但这一计量对操作人员、仪器精度及数据处理等均要求较高，考虑实际可操作性，允许在不具备计量条件时，忽略上述分解，视二氧化碳的直接释放量等同于其供应量，从而可以从二氧化碳工业气瓶或管道上的仪表读取其用量。

5.3 钢结构安装

5.3.1 建筑钢结构由结构构件组成，而结构构件则是由以板材为代表的结构钢材运输到钢结构制造厂家，经过切割、组立、焊接等工序加工制造而成。此后，再将结构构件运输到施工现场进行安装。因此，除了结构钢材运输到制造厂家的运输碳排放，还存在结构构件运输到施工现场的碳排放。本条综合考虑结构构件运输到施工现场和施工建造两个环节的碳排放，形成“钢结构安装碳排放”。

5.3.2 本条主要考虑钢结构构件运输过程和运输过程所耗能源的开采、加工。构件运输环节碳排放计算理论上应包含：构件从生产地运送到施工现场的运输过程，构件运输过程所耗能源的开采、加工，及运输工具的生产，运输道路等基础设施的建设等阶段。本条参考《建筑碳排放计算标准》（GB/T 51366-2019），考虑到目前运输工具的生产、运输道路等基础设施建设等过程的基础数据尚不完善，且此类过程分摊到建材运输上的环境影响较小，因此忽略对此类过程的碳排放计算。另一方面，钢结构构件因其特殊的几何构型，导致装车后可能达不到完全满载，满载程度不足的情况下，同样重量的结构构件，需要的重复运输次数更多，造成碳排放量相对于满载情况更大。为考虑满载程度的影响，设定了 ≤ 1.0 的满载系数作为公式（5.3.2）的分母，相当于对采用重量和运距计算的碳排放量进行了放

大。此外，装车满载程度与构件类型相关，因此根据钢结构构件的装载空间特性划分为四个类别，并定义不同的满载系数。

5.3.3 钢结构安装所采用的施工机械设备消耗的能源主要有电、汽油和柴油等，用电量以千瓦时(kW·h)为计量单位，汽油和柴油以千克(kg)为计量单位。本标准附录 C 给出了主要油料类能源的碳排放因子，对于电力碳排因子，在计算时可根据计算建筑物所处的区域位置选择对应的碳排放因子，也可采用全国平均值。钢结构安装阶段碳排放计算的关键在于确定该阶段的电、汽油、柴油等能源的消耗量，以及焊丝、铁件等辅材的消耗量。最准确可靠的方法是采用安装能耗和辅材物料的清单统计法，即通过现场电表、汽油和柴油的计量进行统计，汇总得到安装阶段的实测总能耗，并通过辅材的商务清单或工程验收资料进行物料统计，汇总得到安装阶段各类辅材的总消耗量，最后根据能耗总量和辅材消耗量计算碳排放。

5.3.4 采用现场实测的能耗和辅材数据进行统计汇总，理论上可行，结果准确可靠，但在项目可行性研究阶段尚不存在各类实测工程量清单数据，无法进行碳排放计算。因此本条提出了在可行性研究/方案设计等不具备清单数据的情况下，钢结构安装碳排放的简化计算公式。该公式采用钢结构重量与单位重量碳排放定额的乘积来计算安装碳排放量，其中钢结构重量可基于初始方案进行估算，单位重量碳排放定额可根据项目所在地区和结构类型查询附录 D 提供的对应数据。

6 使用阶段碳排放计算

6.0.1 本条文明确钢结构使用阶段碳排放的构成环节及计算公式。使用阶段是指建筑钢结构从竣工验收合格、投入正常使用开始，至报废前的全过程。根据碳排放源，归为构件替换、日常维护两个环节。其中构件替换环节是指使用过程中因构件老化、损伤、性能劣化或功能升级，需更换钢结构主体构件（如梁、柱、桁架）、重要连接件等产生的碳排放。日常维护环节是指为保障钢结构正常使用功能、延长使用寿命而开展的常规维护活动产生的碳排放，包括防腐或防火涂料的翻新等活动消耗的能源、材料相关碳排放。

6.0.2 本条文明确钢结构构件替换环节碳排放（ C_{u1} ）的计算方法，包含替换构件制造及其安装阶段的碳排放量。替换构件是指使用阶段因建筑功能调整（如荷载提升、空间改造）、结构构件非正常损坏（如腐蚀超标、碰撞损伤、材料老化失效）导致性能不满足安全使用要求等原因，需拆除并更换的钢结构构件，主要包括主体受力构件（梁、柱、桁架）、重要连接件等。替换量应使用阶段实际拆除并更换的构件数量，以现场施工记录、监理验收文件、构件采购合同等为依据确认的真实替换量。

对于替换构件制造阶段碳排放量（ C_{ma} ），包含替换构件从原材生产、原材运输到构件加工制作过程的碳排放量，核算边界与本标准 5.2.1 应保持一致，具体原材生产、原材运输和构件加工制作环节碳排放的计算则应参照 5.2.1~5.2.4 给出的方法。对于安装阶段碳排放量（ C_{in} ），包含替换构件运输环节、构件安装环节过程的碳排放量，核算边界与本标准 5.3.1 应保持一致，具体运输和环节碳排放的计算则应参照 5.3.2~5.3.4 给出的方法。

6.0.3 本条文明确钢结构日常维护环节碳排放（ C_{u2} ）的计算方法，包含防腐或防火涂料生产、运输和施工环节的碳排放量。防腐或防火涂料生产环节是指涂料从原材料生产、加工合成到成品出厂的过程，碳排放源是各类涂料从原料到成品的生产过程导致的各类能源和材料消耗。运输环节是指涂料从生产厂家（或仓储基地）运输至建筑维护施工现场的过程，碳排放源主要为各类运输方式产生的能源消耗。施工环节是指涂料在施工现场进行涂刷、喷涂、固化等过程，碳排放源主

要为施工设备消耗的各类能源。上述三个环节碳排放的计算均是基于排放因子法的基本原理，通过各类涂料活动数据（即消耗量）与相应原材的碳排放因子相乘累计计算生产环节碳排放；通过涂料运输活动数据、运输距离与相应运输的单位重量单位距离的碳排放因子相乘累计计算运输环节碳排放；通过涂料施工能源消耗量与相应能源碳排放因子相乘累计计算施工环节碳排放。

在上述方法框架下，本条文进一步给出钢结构设计使用年限和防腐或防火涂料的设计工作年限的确定规则，该规则一方面强调数据质量可靠性，均要求应优先采用实际的设计使用和工作年限；另一方面，兼顾实际数据获取的可操作性，给出实际设计年限未知情况下的确定方法。对于钢结构设计使用年限，当实际设计使用年限未知时，可参照《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068表 3.3.3 确定。

《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068
表 3.3.3 建筑结构的设计使用年限

类别	设计使用年限（年）
临时性建筑结构	5
易于替换的结构构件	25
普通房屋和构筑物	50
标志性建筑和特别重要的建筑结构	100

对于防腐或防火涂料的设计工作年限，当实际设计工作年限未知时，可综合考虑使用环境、涂层构造，参考《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251 确定。

《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251-2011
附录 B 常用防腐保护涂层配套

除锈等级	涂层构造									涂层总厚度（μm）	使用年限（a）		
	底层			中间层			面层				较强腐蚀、强腐蚀	中腐蚀	轻腐蚀、弱腐蚀
	涂料名称	遍数	厚度（μm）	涂料名称	遍数	厚度（μm）	涂料名称	遍数	厚度（μm）				
Sa2 或 St3	醇酸底涂料	2	60	/	/	/	醇酸面涂料	2	60	120	/	/	2~5
								3	100	160	/	2~5	5~10
	与面	2	60	/	/	/	氯化橡胶、	2	60	120	/	/	2~5

	层同品种的底涂料	2	60				高氯化聚乙烯、氯磺化聚乙烯等面涂料	3	100	160	/	2~5	5~10	
		3	100					3	100	200	2~5	5~10	10~15	
	环氧铁红底涂料	2	60	环氧云铁中间涂料	1	70		2	70	200	2~5	5~10	10~15	
		2	60		1	80		3	100	240	5~10	10~11	>15	
		2	60		1	70	环氧、聚氨酯、丙烯酸	2	70	200	2~5	5~10	10~15	
		2	60		1	80	环氧、丙烯酸聚氨酯等面涂料	3	100	240	5~10	10~11	>15	
		2	60		2	120	环氧、丙烯酸聚氨酯等面涂料	3	100	280	10~15	>15	>15	
		2	60		1	70	环氧、聚氨酯、丙烯酸环氧、丙烯酸聚氨酯等厚膜型面涂料	2	150	280	10~15	>15	>15	
		2	60		/	/	/	环氧、聚氨酯等玻璃鳞片面涂料	3	260	320	>15	>15	>15
								乙烯基酯玻璃鳞片面涂料	2					
Sa2½	聚氯乙炔萤丹底涂料	3	100	/	/	/	聚氯乙炔萤丹面涂料	2	60	160	5~10	10~11	>15	
Sa2½		3	100					3	100	200	10~11	>15	>15	
		2	80				聚氯乙炔含氟萤丹面涂料	2	60	140	5~10	5~10	>15	
		3	110					2	60	170	10~11	>15	>15	
		3	100					3	100	200	>15	>15	>15	
Sa2½	富锌底涂料	见表注	70	环氧云铁中间涂料	1	60	环氧、聚氨酯、丙烯酸	2	70	200	5~10	5~10	>15	
			70		1	70		3	100	240	10~11	>15	>15	
			70		2	110	环氧、丙烯酸聚氨酯等面涂料	3	100	280	>15	>15	>15	
			70		1	60	环氧、聚氨酯、丙烯酸环氧、丙烯酸聚氨酯等厚膜型面涂料	2	150	280	>15	>15	>15	
Sa3	喷涂锌、铝及其			环氧	1	40	环氧、聚氨	2	60	240	10~15	>15	>15	

(用于铝层)、Sa2½ (用于锌层)	合金的金属覆盖层 120μm, 其上再涂环氧密封底涂料 20μm	云铁中间涂料			酯、丙烯酸环氧、丙烯酸聚氨酯等面涂料	3	100	280	>15	>15	>15
					环氧、聚氨酯、丙烯酸环氧、丙烯酸聚氨酯等厚膜型面涂料	1	100	280	>15	>15	>15

注：1 涂层厚度系指干膜的厚度；2 富锌底涂料的遍数与品种有关，当采用正硅酸乙酯富锌底涂料、硅酸锂富锌底涂料、硅酸钾富锌底涂料时，宜为 1 遍；当采用环氧富锌底涂料、聚氨酯富锌底涂料、硅酸钠富锌底涂料和冷涂锌底涂料时，宜为 2 遍。

《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251-2011
表 3.1.2 大气环境对建筑钢结构长期作用下的腐蚀性等级

腐蚀类型		腐蚀速率 (mm/a)	腐蚀环境		
腐蚀性等级	名称		大气环境气体类型	年平均环境相对湿度 (%)	大气环境
I	无腐蚀	<0.001	A	<60	乡村大气
II	弱腐蚀	0.001~0.025	A	60~75	乡村大气
			B	<60	城市大气
III	轻腐蚀	0.025~0.05	A	>75	乡村大气
			B	60~75	城市大气
			C	<60	工业大气
IV	中腐蚀	0.05~0.2	B	>75	城市大气
			C	60~75	工业大气
			D	<60	海洋大气
V	较强腐蚀	0.2~1.0	C	>75	工业大气
			D	60~75	海洋大气
VI	强腐蚀	1.0~5.0	D	>75	海洋大气

注：1 在特殊场合与额外腐蚀负荷作用下，应将腐蚀类型提高等级；2 处于潮湿状态或不可避免结露的部位，环境相对湿度应取大于 75%；3 大气环境气体类型可根据本规程附录 A 进行划分。

《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251-2011
附录 A 大气环境气体类型

大气环境气体类型	腐蚀性物质名称	腐蚀性物质含量 (kg/m³)
A	二氧化碳	<2×10 ⁻³

	二氧化硫	$<5 \times 10^{-7}$
	氟化氢	$<5 \times 10^{-8}$
	硫化氢	$<1 \times 10^{-8}$
	氮的氧化物	$<1 \times 10^{-7}$
	氯	$<1 \times 10^{-7}$
	氯化氢	$<5 \times 10^{-8}$
B	二氧化碳	$>2 \times 10^{-3}$
	二氧化硫	$5 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$
	氟化氢	$5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-6}$
	硫化氢	$1 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-6}$
	氮的氧化物	$1 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6}$
	氯	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
	氯化氢	$5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-6}$
C	二氧化硫	$1 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-4}$
	氟化氢	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
	硫化氢	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
	氮的氧化物	$5 \times 10^{-6} \sim 2.5 \times 10^{-5}$
	氯	$1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$
	氯化氢	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
D	二氧化硫	$2 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$
	氟化氢	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
	硫化氢	$>1 \times 10^{-4}$
	氮的氧化物	$2.5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
	氯	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
	氯化氢	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
注：当大气中同时含有多种腐蚀性气体时，腐蚀级别应取最高的一种或几种为基准。		

7 消纳阶段碳排放计算

7.1 一般规定

7.1.1 本条明确消纳阶段碳排放计算的总体框架，量化拆除过程的环境影响与回收利用的减排效益。基于全生命周期理论，消纳阶段需覆盖拆除、运输、回收全流程，公式中“碳核减量”体现循环经济理念。计算边界明确为钢结构拆除启动至钢结构回收利用完成；碳核减量需单独核算并以负值计入总排放，避免与物化阶段重复计量。

7.2 钢结构拆除

7.2.1 本条明确拆除阶段碳排放的组成，分开计算电网电力消耗和燃料/耗材消耗，涵盖主要排放源，同时避免将光伏发电等绿色能源用量计入碳排放计算。拆除过程的能耗主要来自机械设备和切割耗材，参考 JGJ147-2016《建筑拆除工程安全技术规范》的工序划分。电力碳排放因子采用附录 C2 的区域电网数据；燃料因子取自附录 C1 的化石能源因子。

优先记录实际电网耗电量和燃料消耗量，无数据时采用“台班数×单位能耗”估算（附录 D、E）；耗材需包含切割气体、磨片等辅助材料，其碳排放因子可参考行业数据库。

7.2.2 本条细化电力消耗的计算方法，区分直接计量与间接估算两种场景，提升适用性。电力消耗与设备类型、作业时间强相关，采用“地区电网因子”。单位台班耗电量参考附录 D 的“常用施工机械能源用量”。设备台账需记录型号、功率及作业时长，避免笼统归类；区域电网因子应选用最新发布值。

7.2.3 本条规范拆除环节使用燃料和耗材产生碳排放的计算，涵盖柴油、汽油、切割气体等品类。燃料因子取自附录 C1，台班燃料用量参考附录 E 的“施工机械台班消耗量”。油料消耗需区分设备类型，切割气体可参照 5.2.4 条款同样处理方式，按供应量作为释放量考虑。

7.3 钢结构回收利用

7.3.1 本条量化钢结构回收利用的碳减排效益，区分“构件复用”和“废钢再生”两种路径，体现资源循环价值。据中国钢铁工业协会测算，2021 年我国长流程钢铁企业吨钢碳排放约为 1.8 吨，其中 70%以上来自铁前工序，而省去了铁前工序的全废钢电炉炼钢企业吨钢碳排放约为 0.36 吨，降碳效果显著。构件复用可避免钢构件重新制造的全流程排放。

长流程与短流程因子需按行业最新数据核算得出，如无法取得准确值，可取 1.8 和 0.36 计入估算；废钢回收量需扣除锈蚀、涂层等杂质。复用构件按 5.2 节方法计算相应钢结构制造阶段的碳排放，作为复用碳减排量。

8 碳减排措施

8.1 物化阶段

8.1.2 相较于普通低碳钢，高强钢材凭借更优异的力学性能，能够显著优化构件截面几何参数，有效释放建筑内部使用空间，提升平面布局灵活性与竖向空间利用率，从源头削减结构体系的总用钢量。由于高强钢材的屈强比更高，其选型与应用需建立在对构件受力机制的精准分析基础上，避免钢材的高强度性能潜力无法充分发挥。

耐候钢表面可自然形成致密、稳定的锈层，阻断腐蚀介质渗透，其耐蚀性为普通碳钢的 5-8 倍。传统钢结构需通过定期涂漆实现防腐，而耐候钢在户外环境下可长时间免维护，大幅减少维护环节的碳排放。

热轧型钢为工厂标准化轧制生产，相较焊接构件，热轧型钢直接通过轧制成型，钢构件加工工序显著减少；轧制过程使钢材晶粒细化、组织均匀，力学性能较焊接构件更稳定，可充分发挥钢材的设计强度。

8.1.4 钢结构生产加工及安装阶段是物化阶段碳排放的重要组成部分，其碳排放主要源于两方面：一是加工设备与安装机械的能源消耗；二是传统工艺导致的材料浪费、返工损耗及效率低下。本条明确推广激光切割、自动焊接、标准化构件等先进技术，核心目标是通过工艺优化降低单位能耗与材料损耗，再叠加绿电替代，实现生产加工及安装阶段碳排放降低。

8.2 使用阶段

8.2.2 宜通过数据驱动的智能运维技术，系统性提升钢结构建筑使用阶段的低碳化水平与运维精细化程度。针对传统运维模式中结构安全监测滞后、用能系统供需错配、能耗浪费突出等痛点，可配置集成动态感知、数据融合分析及智能调控功能的智能运维系统，对钢结构关键构件的腐蚀状态、疲劳变形、节点稳定性等健康指标，以及空调、照明、通风等建筑用能系统的运行参数实施全维度实时监测，并基于多源监测数据动态优化用能系统运行策略，实现用能供需的精准适配；同时，为钢结构运维提供针对性技术建议，科学设置维护周期，有效规避隐性损

伤引发的突发故障，减少因大修、加固乃至拆除重建产生的高碳排放，为钢结构建筑使用阶段的低碳高效运维提供支撑。

8.2.3 在钢结构建筑屋顶、外墙等适宜部位，布局分布式光伏发电组件，既契合钢结构构件承载能力适配性强、屋面空间开阔的结构优势，又能将太阳能转化为绿电，替代传统化石能源供电，从能源输入端削减使用阶段碳排放；同步采用立体绿化、屋面绿化等碳汇措施，利用植物光合作用吸收空气中的 CO₂，形成生态固碳载体，弥补能源消耗产生的残余碳排放。

8.3 消纳阶段

8.3.1 发挥钢结构可拆卸重复使用的优势，通过保护性拆除技术提升钢构件复用率，延长材料全生命周期价值，践行低碳循环理念。拆除作业应优先针对螺栓连接节点采用无损拆卸工艺，避免气割、锤击等破坏性作业。构件拆除后，需按相关要求进行了无损检测，排查疲劳裂纹、腐蚀缺陷等问题，根据检测结果分级分类标识存放，并采取防潮、防腐、防变形措施。

8.4 新材料新工艺

8.4.1 本条聚焦钢结构全生命周期碳减排的源头控制，以材料技术升级推动低碳转型。研发需针对钢结构智能建造、极端环境应用等需求，突破钢材强度与韧性匹配、耐候性与加工性协同等技术瓶颈；推广需衔接相关规范要求，完善材料选型指南与工程应用案例库，降低新技术应用门槛。

8.4.3 本条聚焦钢结构全生命周期协同减碳的系统性提升，针对传统模式中构件规格杂乱、设计与生产安装及回收环节割裂、工业化水平偏低、全链条减碳效率不足等痛点，以标准化为基础、模块化为载体、工业化生产为支撑、循环利用为核心，构建全生命周期协同减碳体系，打通物化阶段、使用阶段、消纳阶段的全环节数据与流程衔接，建立全周期管理闭环，破解各环节脱节引发的减碳碎片化问题，最大化释放全生命周期各环节的碳减排潜力。