**陕西省工程建设标准**

**城市桥梁绿色建造设计指南**

Standard for green construction design of urban bridges

**（征求意见稿）**

**《城市桥梁绿色建造设计指南》**

**编制组**

**2025年3月**

**前 言**

根据陕西省住房和城乡建设厅、陕西省市场监督管理局《关于下达2023年度工程建设标准立项计划的通知》（陕建发〔2023〕1050号）的要求，指南编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内相关标准，立足陕西实际，在广泛征求意见的基础上，编制本指南。

本指南共分5章和4个附录。主要技术内容是：1.总则；2.术语及符号；3.基本规定；4.绿色设计；5.碳排放计算；附录A、B、C。

本指南由陕西省住房和城乡建设厅负责归口管理，陕西省建设标准设计站负责日常管理，由西安建筑科技大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至西安建筑科技大学（地址：西安市碑林区雁塔路中段13号，邮政编码：710055，电话：029-82202947，电子邮箱：PuGN@xauat.edu.cn）。

主编单位：西安建筑科技大学

 西安市政设计研究院有限公司

参编单位：西安市市政建设（集团）有限公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

陕西交控市政路桥集团有限公司

西安长安大学工程设计研究院有限公司

西安市政道桥建设集团有限公司

陕西建工集团股份有限公司

长安大学

西安公路研究院有限公司

中交通力建设股份有限公司

主要起草人：蒲广宁 韩丽娟 李 捷 龙 刚 郭 琦 孙虎平

翟晓亮 赵澜婷 李 飞 王明伟 刘红平 侯 旭

魏 进 王朋路 程 高 冯 畅 全群力 李 军

张南松 苏文辉 周勇军 叶 毅 张满平 张 泳

袁阳光 张明春 张西安 张满红 孙小武 郑 娅

孙建鹏 王俊峰

主要审查人：

**目 次**

[**1 总 则** 1](#_Toc23782)

[**2 术语及符号** 2](#_Toc31671)

[2.1 术 语 2](#_Toc7235)

[2.2 符 号 3](#_Toc3921)

[**3 基本规定** 4](#_Toc5376)

[**4 绿色设计** 6](#_Toc4250)

[4.1 总体设计 6](#_Toc15434)

[4.2 资源节约 7](#_Toc20596)

[4.3 环境保护 9](#_Toc13881)

[4.4 景观设计 11](#_Toc9804)

[4.5 低碳减碳 11](#_Toc6490)

[4.6 数字化技术 12](#_Toc16396)

[4.7 工业化建造 13](#_Toc12114)

[**5 碳排放计算** 14](#_Toc20125)

[5.1 计算与核算边界 14](#_Toc9175)

[5.2 建材生产和运输阶段 14](#_Toc23427)

[5.3 桥梁施工阶段 15](#_Toc23647)

[5.4 桥梁运营维护阶段 16](#_Toc14428)

[5.5 桥梁拆除阶段 16](#_Toc17955)

[**附录A （资料性）主要建材碳排放因子** 18](#_Toc16196)

[**附录B （资料性）主要能源碳排放因子** 20](#_Toc5488)

[**附录C （资料性）建材运输碳排放因子** 21](#_Toc4974)

[**附录D （资料性）常用施工机械台班能源用量** 22](#_Toc2146)

[**本指南用词说明** 25](#_Toc19312)

[**引用标准名录** 26](#_Toc4209)

Contents

[**1 General provisions** 1](#_Toc23782)

[**2 Terminology and symbols** 2](#_Toc31671)

[2.1 Terminology 2](#_Toc7235)

[2.2 Symbols 3](#_Toc3921)

[**3 Basic requirements** 4](#_Toc5376)

[**4 Green design** 6](#_Toc4250)

[4.1 General design 6](#_Toc15434)

[4.2 Resource conservation 7](#_Toc20596)

[4.3 Environmental protection 9](#_Toc13881)

[4.4 Landscape design 11](#_Toc9804)

[4.5 Low carbon reduction 11](#_Toc6490)

[4.6 Digital technology 12](#_Toc16396)

[4.7 Industrial construction 13](#_Toc12114)

[**5 Carbon emission calculation** 14](#_Toc20125)

[5.1 Calculation and accounting boundary 14](#_Toc9175)

[5.2 Building materials production and transportation stage 14](#_Toc23427)

[5.3 Bridge construction stage 15](#_Toc23647)

[5.4 Bridge operation and maintenance stage 16](#_Toc14428)

[5.5 Bridge demolition stage 16](#_Toc17955)

[Apppendix A Main carbon emission factors of building materials 18](#_Toc16196)

[Apppendix B Main energy carbon emission factors 20](#_Toc5488)

[Apppendix C Carbon emission factors of transportation 21](#_Toc4974)

[Apppendix D Energy consumption of construction machinery shift 22](#_Toc2146)

E[xplanation of wording in this standard 25](#_Toc19312)

L[ist of quoted standards 26](#_Toc4209)

**1 总 则**

**1.0.1** 为推进城市桥梁绿色设计高质量发展，按照安全、耐久、适用、环保、经济和美观的原则，制定本文件。

**1.0.2** 本指南适用于陕西省新建、扩建、改建等城市桥梁绿色设计。

**1.0.3** 城市桥梁绿色设计除符合本指南外，尚应符合国家、行业及地方现行有关标准、规范的要求。

**2 术语及符号**

**2.1 术语**

**2.1.1** 绿色设计 green design

通过设计创新，将环保和创新性融入桥梁施工建设、运营养护、拆除等阶段，实现环保、节能和可持续效果的设计方式。

**2.1.2** 绿色施工 green construction

在保证质量、安全等基本要求的前提下，以人为本，因地制宜，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源，减少对环境负面影响，实现节能、节材、节水、节地、节约人力资源和环境保护的工程施工活动。

**2.1.3** 绿色建材 green building material

在全寿命周期内可减少对资源的消耗、减轻对生态环境的影响，具有节能、减排、安全、健康、便利和可循环特征的建材产品。

**2.1.4** 可再生能源 renewable energy

在自然界中可以不断利用、循环再生，对环境无害或危害极小，而且资源分布广泛，适宜就地开发利用的能源，例如太阳能、风能、地热能等。

**2.1.5** 综合能耗 comprehensive energy consumption

用能单位在统计报告期内实际消耗的各种能源实物量，按规定的计算方法和单位分别折算后的总和。

**2.1.6** 桥梁碳排放 bridge carbon emission

桥梁在全寿命内与其有关的建材生产及运输、建造及拆除、运行阶段产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。

**2.1.7** 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，用于量化桥梁不同阶段相关活动的碳排放。

**2.1.8** 建筑碳汇 carbon sink of buildings

在规定的建筑物项目范围内，绿化、植被从空气中吸收并存储的二氧化碳量。

**2.2 符号**

下列符号适用本指南。

$M\_{CO\_{2}-e}$ —建材生产阶段碳排放；

$C\_{CO\_{2}-e}$—桥梁施工阶段的碳排放量；

$O\_{CO\_{2}-e}$—桥梁运营维护阶段的碳排放量；

$D\_{CO\_{2}-e}$—桥梁拆除废弃阶段的碳排放量；

$E\_{ys}$—运输过程中的碳排放量；

$EF\_{sc,i}$—建筑材料的碳排放因子；

$EF\_{ys,i}$—第i种运输方式下，单位质量运输距离的碳排放因子；

$EF\_{jx,,i}$—第i种施工机械的碳排放因子。

**3 基本规定**

**3.0.1** 城市桥梁绿色设计应考虑全寿命周期成本，遵循节约资源、保护环境、低碳减碳、工业化建造、数字化建造的原则进行设计。

**3.0.2** 绿色设计方案应综合建设经济性、技术合理性、设计标准化、数字化建造、工业化建造、养护便利性等因素进行优化。

**3.0.3** 城市桥梁绿色设计资源节约应以节能、节地、节水、节材等技术为先，实现资源减量化。

**3.0.4** 城市桥梁绿色设计应按照陕西省生态功能区划，根据各三级区的生态特征及生态保护对策，拟定相应的环境保护措施。

【条文说明】

根据陕西省政府发布的《陕西省生态功能》，陕西省共划分为4个生态区（一级区）、10个生态功能区（二级区）、35个小区（三级区），提供了各个三级区的生态服务功能重要性或生态敏感性特征及生态保护对策，故在此提出根据各三级区的特点制定施工期间环保措施。

**3.0.5** 桥梁设计宜优先使用高性能混凝土、再生骨料混凝土、高性能钢材、耐候钢、铝合金、纤维增强复合材料（FRP）等绿色建材。

**3.0.6** 城市桥梁绿色设计宜采用装配式模块集成结构等工业化建造技术。

**3.0.7** 城市桥梁绿色设计宜采用数字化建造技术，可使用先进信息技术、传感器技术、数据处理技术和人工智能等手段优化设计。

**3.0.8** 城市桥梁景观设计宜融合地域元素，结合沿线自然风光及旅游资源，合理确定设计主题，做到协调统一、比例和谐、均衡稳定、韵律优美。

【条文说明】

21世纪以来，我国的桥梁景观设计取得了较大进步，设计人员越来越重视在桥梁总体或细节设计时融入地域文化，赋予桥梁文化内涵，使其成为地域文化的重要载体。

**3.0.9** 桥梁低碳设计应遵循全生命周期碳排放最少原则、优化设计原则、可持续发展原则、技术创新原则、经济效益原则。

【条文说明】

全生命周期原则指桥梁从规划、设计、施工、运营到拆除的整个生命周期内均要采取措施降低碳排放。优化设计原则包含结构优化、材料优化、施工优化等。结构优化指选择合适的桥型、跨度、构件尺寸；材料优化选用低碳排放的建筑材料，如高性能混凝土、再生骨料混凝土、钢材等；施工优化指采用预制装配化施工、合理安排施工顺序、优化施工设备和工艺等。可持续发展原则包含资源节约、环境保护、社会和谐等内容。技术创新原则指积极采用先进的低碳技术和创新方法，如新型结构体系、节能材料、智能监测系统等。经济效益原则指通过优化设计和施工方案，选择经济可行的低碳设计方案，避免追求低碳目标而过度增加建设成本。

**3.0.10** 桥梁绿色设计应进行全寿命周期碳排放计算，宜包含建材生产加工、桥梁施工、桥梁运营维护、桥梁拆除废弃等阶段。

**4 绿色设计**

**4.1 总体设计**

**4.1.1** 桥梁绿色设计宜进行建养一体化设计，同时考虑建设与养护需求，做到构件可换，养护可达。

**4.1.2** 应集约利用桥位资源，可考虑多层桥面布置或利用既有通道位置新建桥梁。

**4.1.3** 山区复杂条件下非标准跨径桥梁宜采用钢结构、钢混组合结构或高性能混凝土结构。

**4.1.4** 大跨径复杂桥梁应注重结构体系优化和创新。

**4.1.5** 对涉及文物、古迹的区域，设计中应提出避让或其他有效的防护措施，并积极配合相关业务主管部门工作。

**4.1.6** 运输条件受限的桥梁，宜按“轻型化、标准化、工厂化、装配化”理念设计。

【条文说明】

参照国内某黄河特大桥技术实践，黄河现无通航条件，大型、重型构件运输施工难度大，所有桥梁构件均需通过陆路运输。项目提出“内陆桥梁轻型化、标准化、工厂化、装配化”的设计理念，从构造上降低对大型起重设备的要求与投入，减小运输、吊装难度，降低施工风险，提升工程品质，实现全桥工业化建造。

**4.1.7** 地基土强度不足时，宜使用绿色地基处理技术，具体包括：

**1** 采用现浇混凝土大直径管桩（PCC桩）复合地基技术，碳化复合桩技术，劈裂真空预压技术，复式负压固结技术等节材型技术；

**2** 采用孔内深层强夯技术，能源桩技术等节能型技术；

**3** 采用微生物注浆加固材料，微生物修复材料等微生物材料；

**4** 采用土壤聚合物灌浆材料，高聚物注浆材料，橡胶加筋材料、土工格栅等聚合物材料。

【条文说明】

绿色地基处理是综合考虑承载力、使用功能、使用寿命、添加材料等多方面因素的加固设计方法，目前主要聚焦于技术创新、材料创新两方面。

技术创新可分为节材型技术与节能型技术两大类。节材型技术应用比较广泛，该技术在增强地基土强度的同时可以有效降低对高耗能建筑材料的使用。常见的有现浇混凝土大直径管桩（PCC桩）复合地基技术，碳化复合桩技术，劈裂真空预压技术，复式负压固结技术等。节能型技术则是通过优化施工工艺等方法，尽可能的减少或消除地基加固中废弃物的产生，减少对周围环境的影响。常见的有孔内深层强夯技术，能源桩技术等。

材料创新是指使用低能耗、易回收的材料进行地基处理加固。使用较多的有微生物材料与聚合物合成材料。其中：微生物材料包括微生物注浆加固材料，微生物修复材料等；聚合物材料包括土壤聚合物灌浆材料，高聚物注浆材料，橡胶加筋材料、土工格栅等。

**4.2 资源节约**

**4.2.1** 城市桥梁建设项目应加强设计阶段的节能设计，遵循合理用能、优化资源和能源配置原则，从总体方案、材料与工艺、能源类型、用能供能设备、节能控制等方面制定节能措施和技术要求。

**4.2.2** 城市桥梁应推广应用节能技术和清洁能源，注重新技术、新工艺、新设备和新材料的应用，充分地选用太阳能、风能、地热能等可再生能源，利用信息化与智能化手段，提高节能水平；

**4.2.3** 设计中宜利用再生混凝土等技术提高建筑垃圾等固废的再利用水平。

【条文说明】

以西安市东风路灞河桥工程应用为例，旧桥拆除后的建筑垃圾，可作为河堤圬工挡墙砌块或其他非承重构造物的再生骨料使用，实现绿色施工。

**4.2.4** 城市桥梁绿色设计资源节约应符合以下要求：

**1** 应优先选用国家、行业相关节能技术目录中的技术或产品，列出项目应使用的节能技术或产品清单；

**2** 应将建设期能耗和运营期能耗作为方案比选的重要因素，说明施工及运营阶段主要节能措施、能耗监测方案和节能管理的技术要求；

**3** 宜选用可循环利用的材料，桥梁构件尽量集中预制或工厂化预制；

**4** 可设计桥梁雨水收集系统、智能灌溉系统实现节水。

**4.2.5** 互通立交设计宜通过多方案论证、比选及方案优化,实现集约节约用地和综合开发。

【条文说明】

城市土地资源极其宝贵,节约集约用地有着重要的经济价值和社会效益。而互通立交采用不同形式、方案时，土地用量差距较大，节地空间较大。

**4.2.6** 应优先采用太阳能、风能等可再生能源为各类监测传感器、信息采集收发系统、行人感知传感器、路灯及控制系统、斜拉索及桥板灯光等提供电能。

**4.2.7** 城市桥梁应注重桥下空间利用，合理规划桥下空间，可用于设置停车场、储物区、绿化景观等，提高土地的综合利用价值。

**4.2.8** 中小跨径的城市桥梁宜开展模块化的设计。

【条文说明】

在城市中，对于跨河、跨路的中小跨度桥梁，模块化设计能够快速完成桥梁建设，减少对城市交通和环境的干扰。

**4.2.9** 城市桥梁基础设计宜采用相应的技术手段，避让地铁、排水干管等地下构筑物，节约投资。

【条文说明】

结合西安凤城八路-太华路立交工程，使用预应力异形承台、旋喷桩地基加固和设置永久桩基钢护筒等措施避让地下构筑物，节约投资。

**4.2.10** 互通立交宜营造以景观为载体的水生态，体现“海绵城市”理念。

【条文说明】

收水、蓄水、用水、排水构成了海绵城市理念的基本核心。互通立交内部收水主要强调的是自然地形的运用，针对互通立交围合区面积大的特点，改变以往立交内部需要整平的传统方式，可以就“势”造景，形成凸起微地形，微地形和微地形之间形成自然生态排水沟，构成网状，利用地形差使雨水流入凹地，形成生态湿地，生态湿地设置溢流出口，当雨水来临的时候，首先利用雨水对湿地进行水源补充，而后多余的雨水通过溢流设施排入城市管网和围合区的蓄水措施。

**4.2.11** 城市桥梁宜采用清水混凝土技术。

**4.2.12** 旧桥拆除后的建筑垃圾，可作为河堤圬工挡墙砌块或其他非承重构造物的再生骨料使用，实现绿色施工。

**4.3 环境保护**

**4.3.1** 城市桥梁生态环保设计应符合以下要求：

**1** 桥位、孔径、桥长应满足泄洪、通航要求，尽可能不压缩河道，防止水土流失；

**2** 城市道路穿越敏感区的，合理选择桥型，尽量减少桥墩数量设置；

**3** 桥梁桩基施工泥浆、废水应进行沉淀处理，不得随意排放。

**4** 对跨越饮用水水源二级保护区、准保护区和Ⅱ类以上水体的桥梁，应设置桥面径流水收集系统，并在桥梁两侧设置沉淀池；

**5** 道路穿越鸟类集中分布区时，桥梁两侧宜加装防护网，并对桥墩进行警示性装饰，预防鸟类伤亡事故；

**6** 跨河桥梁设计，应考虑桥下河流的生物多样性保护；

**7** 在野生动物活动区域，桥梁布跨应考虑动物通道设置的需求，对于集中迁徙路段应考虑以高架桥通过。

【条文说明】

如考虑设置生态鱼道，为鱼类提供洄游通道，保护水生生物的生存环境。

**4.3.2** 桥面排水系统需满足下列要求：

**1** 桥梁排水系统材料选择要注重环保性和耐用性；

**2** 穿越居民区、城镇规划区及跨越重要道路和水源保护区的桥梁，应加强桥面排水系统设计，需做桥面专用雨水收集系统和蓄水设施；

**3** 桥面泄水管宜采用竖排式，泄水管的构造要求需满足排泄桥面积水和桥面沥青混凝土铺装层下的渗水；

**4** 湿陷性黄土区域要做好除桥面外的排水工作，可设置排水槽将雨水引至安全区域。在护坡坡度较大时，应采取阶梯型的形式进行水流的引导；坡度较小时，可在锥、护坡上设置排水槽，排除桥面（路面）水。

【条文说明】

**1** 可选择性能良好的聚乙烯有机高分子管道作为排水系统主要材料，以保证节能性、耐腐蚀、高强度。

**4** 湿陷性黄土地区，与桥梁相连接的路面水或因桥梁泄水孔不能完全排除桥面雨水时，遇水将沿桥梁两侧锥、护坡流下，引起桥梁护坡冲沟。或水流浸入到锥、护坡，造成锥、护坡土体湿陷，使得锥、护坡破坏，桥头撘板塌陷，亦或水流渗入墩（台）周围土体中产生基础沉降等病害。

**4.3.3** 黄土地区桥梁设计时，为避免造成水土侵蚀，应满足以下要求：

**1** 桥梁长度宜按“宁长勿短”控制，在缓坡段采用低填方桥台或挖方台，陡坡段桥台要求控制陡坡边缘与桥台间距大于5m，确保桥台桩基完全埋入原状土体；

**2** 黄土梁峁沟壑区横向地形起伏大，内外侧墩柱及桩基长度差异大，需逐墩设计；

**3** 陡边坡地段的桥墩基础，宜采取“宽平台、陡坡率、加强坡面防护和排水”的综合防护措施。

**4** 冲沟发育地区，桥梁上下游宜设置多级抗冲刷截水墙。

【条文说明】

**3** 径流冲刷是黄土边坡破坏的关键性影响因素，根据黄土自然边坡对冲刷的适应规律，将宽台与陡坡相结合，单级边坡坡率采用1：0.5，坡高每8m设一级平台。防护排水措施为：对第一级边坡采用防水混凝土卷材防护，每一级平台均设置预制混凝土截水沟。这样不容易形成水的聚积浸泡，避免出现边坡塌陷现象。

**4.3.4** 黄土等地质条件差的区域，宜考虑桩基压浆工艺，减少桩长及造价。

**4.3.5** 城市桥梁宜进行交通噪声控制设计,因地制宜建设声屏障。环境敏感区、旅游景区宜设置生态型声屏障。

【条文说明】

生态型声屏障指在满足基本降噪性能和结构安全的基础上，能够更好地融入周围自然和人文环境，所使用的材料具有良好的环保性，结构型式和景观造型与当地自然和人文景观能够有机的结合，对周围生态环境能够实现一定的正效应，同时经济优势明显的综合性能较高的声屏障。如雅泸高速公路推荐了3种的生态型声屏障设计方案，分别为加筋生态袋土堆型声屏障、绿化混凝土砌体型声屏障、文化墙式声屏障和生物质板型声屏障。

**4.4 景观设计**

**4.4.1** 大型桥梁、互通式立交等大型构造物应考虑美学效果，其形式、布局等宜与当地环境协调，创造具有独特风格的景观。

**4.4.2** 城市桥梁宜开展桥下绿化、桥侧绿化及桥上绿化设计。有条件时宜采用生态植物护坡，种植乡土地被植物。

【条文说明】

桥梁绿化具有美化环境、减小噪声、过滤尘埃等作用。根据位置不同，可以分为桥下绿化、桥侧绿化及桥上绿化。桥下绿化可以降低桥梁对动物的胁迫效应和恐惧感，提高桥下空间作为生态廊道的利用效率。桥侧绿化可以在一定程度上减少桥梁对动物栖息地的压缩，降低对动物的惊扰，遮挡汽车灯光和噪声。桥上绿化在景观方面起到增加绿色、美化桥梁、缓解驾驶员行车疲劳的作用。

**4.4.3** 城市桥梁照明宜按照整体性、节能性、艺术性、隐蔽性原则设计，体现夜景设计主题。

【条文说明】

整体性原则指与整体环境相协调，突出性格特征。节能性原则指运用新型节能产品，通过场景变化交替实现节能效果。艺术性原则指照度均匀，光影层次丰富，色温统一，场景组合完整。艺术观赏性与实用价值紧密结合。隐蔽性原则指灯具安装时提前考虑预留预埋，管线尽量少暴露；注意灯具安装位置尽量不影响白天效果；灯具及支架的尺寸和色彩与周边环境尽量协调统一。

**4.5 低碳减碳**

**4.5.1** 城市桥梁可从源头减碳、过程降碳、末端固碳等三个途径实现低碳减碳设计。实现途径如下：

**1** 选用低碳建材、装配式建造、可再生能源，从建筑建造源头减少碳排放；

**2** 采用被动式建筑节能设计和主动式设备节能优化降低碳排放；

**3** 通过提高绿化率和植物的固碳能力，抵消桥梁碳减排之后剩余的碳排放，达到零碳标准。

【条文说明】

源头减碳指选用低碳建材、装配式建造、可再生能源，从建筑建造源头减少碳排放。

过程降碳指采用被动式建筑节能设计和主动式设备节能优化降低碳排放。其中：被动式建筑节能技术是指以非人工机械方式实现建筑能耗降低的建筑节能技术，通过建筑自身的构造做法，利用自然资源达到确保环境舒适性和建筑节能的双重目的，具有低技术化和低成本性特点，是零碳建筑降低碳排放量的核心技术措施。主动式建筑节能设计包括节能照明系统（可采用通过节能认证的高效节能光源和灯具，降低照明设备能耗）。

末端固碳指通过提高绿化率和植物的固碳能力，抵消建筑碳减排之后剩余的碳排放，达到零碳建筑标准。

**4.5.2** 城市桥梁宜开展生态保护与恢复设计。设计中应注重灌木、乔木、草本植物的合理搭配，优先选取固碳释氧能力强的植物树种组合。

【条文说明】

影响植物碳汇能力的因素主要有植物种类、植物数量、季节等。在植被群落中，乔木的碳汇能力最优，其次是灌木，草本植物相对较弱，故应注重灌、乔、草的合理搭配，优先选取固碳释氧能力强的植物树种组合。

**4.5.3** 应合理选择建筑材料和设备，减少运输距离和运输过程中的碳排放。

**4.6 数字化技术**

**4.6.1** 桥梁绿色设计中宜采用数字化技术，综合应用BIM、物联网、3D打印、人工智能、云计算和大数据等技术手段提升设计质量。

**4.6.2** 设计阶段应对数据资源进行全面规划，提高设计阶段工程数据在后期应用的有效性，为建设、运营、养护与管理决策提供数据支持。

**4.6.3** 应用数字化技术开展施工、养护、运营全过程的桥梁设计。

**4.6.4** 应通过传感器、物联网、大数据、人工智能等技术的融合应用，实时监测和智能分析桥梁运行状态的，为桥梁运维管理提供科学依据，提高运维效率和管理水平。

**4.7 工业化建造**

**4.7.1** 桥梁绿色设计应着眼于结构设计体系化、结构构件标准化、加工制作自动化、现场安装装配化、建造运维信息化、拆除部件再利用化，优先采用钢结构、装配式混凝土结构等适宜工业化建造的结构形式。

**4.7.2** 宜开展轻型化、高耐久、易连接、可更换的桥梁结构设计，以实现工业化智能建造。

**4.7.3** 宜因地制宜地使用预制桩，降低对环境的影响。

**5 碳排放计算**

**5.1 计算与核算边界**

**5.1.1** 碳排放因子获取优先级排序应按照下列原则考虑：

**1** 优先级：建材遵照实测碳排放系数；

**2** 次优级：本标准附录部分提供的碳排放因子；

**3** 次级：IPCC发布的国际通用碳排放因子、碳排放计算软件中提供的碳排放因子、其他参考文献提供的碳排放因子。

**5.1.2** 桥梁运行、建造及拆除阶段中因电力消耗造成的计算，应采用由国家相关机构公布的区域电网平均碳排放因子。

【条文说明】

生态环境部、国家统计局发布《关于发布2022年电力二氧化碳排放因子的公告》（[2024]33号）最新公布的2022年陕西省电力排放因子为0.6558（kgCO2/kWh）。

**5.2 建材生产和运输阶段**

**5.2.1** 建材生产碳排放计算时间边界应从原材料阶段起至生命周期结束止。

**5.2.2** 建材生产阶段碳排放计算公式如下,建材生产过程中使用能源产生的碳排放量也按下式计算：

$M\_{co\_{2}-e}=\sum\_{i}^{}M\_{i}×EF\_{sc,i}$ （5-1）

式中：$M\_{CO\_{2}-e}$——建材生产阶段碳排放；

M——建筑材料i的耗用量；

i——建筑材料的种类；

$EF\_{sc,i}$——建筑材料i的碳排放因子。

**5.2.3** 建材生产的碳排放因子缺省时可参照本标准附录A和B。

**5.2.4** 材料运输阶段的碳排放采用车辆运输碳排放因子的计算按公式（5-2），若相关数据缺省，可按公式（5-3）计算：

$E\_{ys}=\sum\_{i,j}^{n}Q\_{i}×\frac{L\_{i}}{Q\_{t}^{'}}/V\_{t}×EF\_{i,t}×\left(1+∂\right)$ （5-2）

式中：$E\_{ys}$——运输过程中的碳排放量，kgCO2e;

$Q\_{i}$——第i种材料的运输量；

$L\_{i}$——第i种材料加工厂到施工现场的距离，单位km；

$Q\_{t}^{'}$——第t种运输设备载重量；

$V\_{t}$——运输设备的速度，单位km/台班；

$EF\_{i,t}$——采用t类运输车辆（混凝土搅拌运输车，自卸汽车等）运输第i类材料时单位台班时间内产生的碳排放系数(单位：KgCO2/台班）；

∂ ——空载率。

$E\_{ys}=\sum\_{i}^{}Q\_{i}×L\_{i}×EF\_{ys,i}$ （5-3）

$EF\_{ys,i}$——第i种运输方式下，单位质量运输距离的碳排放因子（kgco2e/t•km），可参考附录C。

**5.2.5** 建材运输距离优先采用实际运输距离。预拌混凝土和预拌砂浆按照运距40km考虑，其他建材运距按照500km考虑。

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

**5.3 桥梁施工阶段**

**5.3.1** 桥梁施工阶段主要包括施工过程中机械设备能源消耗碳排放、建材生产及运输产生碳排放以及生产、加工、生活消耗用电量。

**5.3.2** 计算边界从开始施工至竣工验收止。

**5.3.3** 应根据施工组织设计和现场调查,对施工期内所用设备耗用的能源类型及耗用量进行详尽的统计计算。计算公式如下：

$C\_{co\_{2-e}}=E\_{jx}+E\_{ys}+E\_{dl}=\sum\_{i}^{}E\_{jx}×EF\_{jx,,i}+\sum\_{i}^{}Q\_{i}×L\_{i}×EF\_{i}+P×η$ （5-4）

式中：$C\_{CO\_{2}-e}$——桥梁施工阶段的碳排放量；

E——施工设备的能源消耗量；

$EF\_{jx,,i}$——第i种施工机械的碳排放因子（kgco2e/kWh或kg），可参考本指南附录D；

P——耗电量；

η——电力平均碳排放系数。

**5.4 桥梁运营维护阶段**

**5.4.1** 桥梁运营维护阶段碳排放主要包括构件维修所需材料碳排放、施工机械产生碳排放及机电设施耗电量。

**5.4.2** 桥梁运营维护阶段碳排放计算时间边界应从竣工验收至生命周期结束止。

**5.4.3** 桥梁运营维护阶段碳排放应按下式计算：

$O\_{CO\_{2}-e}=\sum\_{b}^{}\left(M\_{bCO\_{2}-e}+C\_{bCO\_{2}-e}\right)\frac{L}{L\_{b}}+P×η$ （5-5）

式中：$O\_{CO\_{2}-e}$——桥梁运营维护阶段的碳排放量；

b——维修构件的类型；

$M\_{bCO\_{2}-e}$——对构件b维修一次所用材料的二氧化碳当量排放，可参考（5-1）、（5-3）相关计算；

$C\_{bCO\_{2}-e}$——对构件b维修一次施工过程的二氧化碳当量排放，可参考（5-4）相关计算；

L——桥梁的使用寿命；

$L\_{b}$——构件b的使用寿命。

**5.5 桥梁拆除阶段**

**5.5.1** 拆除阶段碳排放主要包括人工拆除、使用机具机械设备拆除消耗各种能源动力产生的碳排放，建筑垃圾运输和处理产生的碳排放，以

**5.5.2** 对于完全废弃的桥梁结构，此阶段温室气体的排放可不做考虑；对于需要拆除的桥梁结构，温室气体的排放是应减掉主要回收利用材料的所能节省的温室气体排放。

**5.5.3** 桥梁拆除维护阶段碳排放应按下式计算：

$$D\_{CO\_{2}-e}=D\_{jx}+D\_{ys}+D\_{hs}-D\_{sc}$$

$D\_{CO\_{2}-e}=\sum\_{i}^{}E\_{jx}×EF\_{jx,,i}+\sum\_{i}^{}Q\_{i}×L\_{i}×EF\_{i}+\sum\_{i}^{}M\_{i}×EF\_{hs,i}-\sum\_{i}^{}M\_{i}×EF\_{sc,i}$ (5-5)

式中：$D\_{CO\_{2}-e}$——桥梁拆除废弃阶段的碳排放量；

$D\_{jx}$——机械使用过程中碳排放量；

$D\_{ys}$——拆除物运输过程中碳排放量；

$D\_{hs}$——回收利用拆除物再加工生产的碳排放量；

$D\_{sc}$——同等用量回收利用拆除物从原材料加工生产的碳排放量。

**5.5.4** 建筑物爆破拆除、静力破损拆除及机械整体性拆除的能源用量应根据实际情况确定。

**附录A 主要建材碳排放因子**

**（资料性附录）**

表A 主要建材生产过程的碳排放因子

| 建筑材料类别 | 建筑材料碳排放因子 |
| --- | --- |
| 普通硅酸盐水泥（中国市场平均） | 735 |
| C30混凝土 | 295 |
| C30再生混凝土 | 241 |
| C35再生混凝土 | 254 |
| C40再生混凝土 | 271 |
| C50混凝土 | 385 |
| C50再生混凝土 | 276 |
| 石灰（市场平均） | 1190 |
| 消石灰（熟石灰、氢氧化钙） | 747 |
| 天然石膏 | 32.8 |
| 砂（f=1.6~3.0） | 2.51 |
| 碎石（d=10~30mm） | 2.18 |
| 页岩石 | 5.08 |
| 黏土 | 2.69 |
| 铸造生铁 | 228 |
| 炼钢用铁合金（市场平均） | 953 |
| 转炉碳钢 | 1990 |
| 电炉碳钢（100%废钢再生利用) | 840 |
| 普通碳钢（市场平均) | 2050 |
| 热轧碳钢小型型钢 | 2310 |
| 热轧碳钢中型型钢 | 2365 |
| 热轧碳钢大型轨梁(方圆坯 管坯) | 2340 |
| 热轧碳钢大型轨梁(重轨 普通型钢) | 2380 |
| 热轧碳钢中厚板 | 2400 |
| 热轧碳钢H钢 | 2350 |
| 热轧碳钢宽带钢 | 2310 |
| 热轧碳钢钢筋 | 2340 |
| 热轧碳钢高线材 | 2375 |
| 热轧碳钢棒材 | 2340 |
| 螺旋埋弧焊管 | 2530  |
| 大口径埋弧焊直缝钢管 | 2340 kgco2e/t |
| 焊接直缝钢管 | 2530 kgco2e/t |
| 热轧碳钢无缝钢管 | 3150 kgco2e/t |
| 冷轧冷拔碳钢无缝钢管 | 3680 kgco2e/t |
| 碳钢热镀锌板卷 | 3110 kgco2e/t |
| 碳钢电镀锌板卷 | 3020 kgco2e/t |
| 酸洗板卷 | 1730 kgco2e/t |
| 冷轧碳钢板卷 | 2530 kgco2e/t |
| 冷硬碳钢板卷 | 2410 kgco2e/t |
| 平板玻璃 | 1130 kgco2e/t |
| 电解铝（全国平均电网电力) | 20300 kgco2e/t |
| 铝板带 | 28500 kgco2e/t |
| 炼钢生铁 | 1700 kgco2e/t |

**附录B 主要能源碳排放因子**

**（资料性附录）**

|  |
| --- |
| 表B 主要能源碳排放因子 |
| 能源名称 | 碳排放因子 | 单位 |
| 汽油 | 3.1239 | kgCO2e/kg |
| 柴油 | 3.1863 | kgCO2e/kg |
| 电（2024年统计数据） | 0.6558 | kgCO2e/kWh |
| 天然气 | 19.9900 | kgCO2e/m3 |
| 液化气 | 2.5760 | kgCO2e/kg |

**附录C 建材运输碳排放因子**

**（资料性附录）**

|  |
| --- |
| 表C 各类运输方式的碳排放因子[kg CO2e/(t·km)] |
| 运输方式类别 | 碳排放因子 |
| 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 |
| 重型汽油货车运输（载重10t） | 0.162 |
| 重型汽油货车运输（载重18t） | 0.129 |
| 重型汽油货车运输（载重30t） | 0.078 |
| 重型汽油货车运输（载重46t） | 0.057 |
| 电力机车运输 | 0.010 |
| 内燃机运输 | 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**

**（资料性附录）**

表D 常用施工机械台班能源用量

| 机械名称 | 性能规格 | 能源用量 |
| --- | --- | --- |
| 汽油（kg） | 柴油（kg） | 电（kWh） |
| 履带式推土机 | 功率 | 75kW | - | 56.50 | - |
| 105kW | - | 60.80 | - |
| 135kW | - | 66.80 | - |
| 履带式单斗液压挖掘机 | 斗容量 | 0.6m³ | - | 33.68 | - |
| 1m³ | - | 63.00 | - |
| 轮胎式装载机 | 斗容量 | 1m³ | - | 52.73 | - |
| 1.5m³ | - | 58.75 | - |
| 钢轮内燃压路机 | 工作质量 | 8t | - | 19.79 | - |
| 15t | - | 42.95 | - |
| 电动夯实机 | 夯击能量 | 250 | - | - | 16.6 |
| 强夯机械 | 夯击能量 | 1200kN m | - | 32.75 | - |
| 2000kN m | - | 42.76 | - |
| 3000kN m | - | 55.27 | - |
| 4000kN m | - | 58.22 | - |
| 5000kN m | - | 81.44 | - |
| 锚杆钻孔机 | 锚杆直径 | 32mm | - | 69.72 | - |
| 履带式柴油打桩机 | 冲击质量 | 2.5t | - | 44.37 | - |
| 3.5t | - | 47.94 | - |
| 5t | - | 53.93 | - |
| 7t | - | 57.40 | - |
| 8t | - | 59.14 | - |
| 轨道式柴油打桩机 | 冲击质量 | 3.5t | - | 56.90 | - |
| 4t | - | 61.70 | - |
| 步履式柴油打桩机 | 功率 | 60kW | - | - | 336.87 |
| 振动沉拔桩机 | 激振力 | 300kN | - | 17.43 | - |
| 400kN | - | 24.90 | - |
| 静力压桩机 | 压力 | 900kN | - | - | 91.81 |
| 2000kN | - | 77.76 | - |
| 3000kN | - | 85.26 | - |
| 4000kN | - | 96.25 | - |
| 汽车式钻机 | 孔径 | 1000mm | - | 48.80 | - |
| 回旋钻机 | 孔径 | 800mm | - | - | 142.5 |
| 1000mm | - | - | 163.72 |
| 1500mm | - | - | 190.72 |
| 螺旋钻机 | 孔径 | 600mm | - | - | 181.27 |
| 冲孔钻机 | 孔径 | 1000mm | - | - | 40.00 |
| 履带式旋转钻机 | 孔径 | 1000mm | - | 146.56 | - |
| 1500mm | - | 164.32 | - |
| 2000mm | - | 172.32 | - |
| 三轴搅拌桩基 | 轴径 | 650mm | - | - | 126.42 |
| 850mm | - | - | 156.42 |
| 电动灌浆机 |  |  | - | - | 16.20 |
| 履带式起重机 | 提升质量 | 5t | - | 18.42 | - |
| 10t | - | 23.56 | - |
| 15t | - | 29.52 | - |
| 20t | - | 30.75 | - |
| 25t | - | 36.98 | - |
| 30t | - | 41.61 | - |
| 40t | - | 42.46 | - |
| 50t | - | 44.03 | - |
| 60t | - | 47.17 | - |
| 轮胎式起重机 | 提升质量 | 25t | - | 46.26 | - |
| 40t | - | 62.76 | - |
| 50t | - | 64.76 | - |
| 汽车式起重机 | 提升质量 | 8t | - | 28.43 | - |
| 12t | - | 30.55 | - |
| 16t | - | 35.85 | - |
| 20t | - | 38.41 | - |
| 30t | - | 42.14 | - |
| 40t | - | 48.52 | - |
| 叉式起重机 | 提升质量 | 3t | 26.46 | - | - |
| 自升式塔式起重机 | 提升质量 | 400t | - | - | 164.31 |
| 600t | - | - | 166.29 |
| 800t | - | - | 169.16 |
| 1000t | - | - | 170.02 |
| 2500t | - | - | 266.04 |
| 3000t | - | - | 295.60 |
| 门式起重机 | 提升质量 | 10t | - | - | 88.29 |
| 载重汽车 | 装载质量 | 4t | 25.48 | - | - |
| 6t | - | 33.24 | - |
| 8t | - | 35.49 | - |
| 12t | - | 46.49 | - |
| 12t | - | 56.74 | - |
| 20t | - | 62.56 | - |
| 自卸汽车 | 装载质量 | 5t | 31.34 |  | - |
| 15t | - | 52.93 | - |
| 平板拖车组 | 装载质量 | 20t | - | 45.39 | - |
| 机动翻斗车 | 装载质量 | 1t |  | 6.03 | - |
| 泥浆罐车 | 罐容量 | 5000L | 31.57 | - | - |
| 电动单筒快速卷扬机 | 牵引力 | 10kN | - | - | 32.90 |
| 电动单筒慢速卷扬机 | 牵引力 | 10kN | - | - | 126.00 |
| 30kN | - | - | 28.76 |
| 涡浆式混凝土搅拌机 | 出料容量 | 250L | - | - | 34.10 |
| 500L | - | - | 107.71 |
| 双锥反转出料混凝土搅拌机 | 出料容量 | 500L | - | - | 55.04 |
| 混凝土输送泵 | 输送量 | 45m³/h | - | - | 243.46 |
| 75m³/h | - | - | 367.96 |
| 混凝土湿喷机 | 生产率 | 5m³/h | - | - | 15.40 |
| 灰浆搅拌机 | 拌筒容量 | 200L | - | - | 8.61 |
| 干混砂浆罐式搅拌机 | 公称储量 | 20000L | - | - | 28.51 |
| 挤压式灰浆输送泵 | 输送量 | 3m³/h | - | - | 23.70 |
| 钢筋切断机 | 直径 | 40mm | - | - | 32.10 |
| 钢筋弯曲机 | 直径 | 40mm | - | - | 12.80 |
| 交流弧焊机 | 容量 | 21kV·A | - | - | 60.27 |
| 32kV·A | - | - | 96.53 |
| 40kV·A | - | - | 132.23 |
| 点焊机 | 容量 | 75kV·A | - | - | 154.63 |
| 对焊机 | 容量 | 75kV·A | - | - | 122.00 |
| 氩弧焊机 | 电流 | 500A | - | - | 70.70 |
| 二氧化碳气体保护焊机 | 电流 | 250A | - | - | 24.50 |
| 电渣焊机 | 电流 | 1000A | - | - | 147.00 |
| 电焊条烘箱 | 容量 | 45×35×45（cm³） | - | - | 6.70 |
| 泥浆制作循环设备 |  |  | - | - | 503.90 |
| 井点降水钻机 |  |  | - | - | 5.70 |

**本指南用词说明**

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

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”；

1. 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”；

1. 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”；

1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 条文中指定应按其它有关标准、规范执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”；非必须按所指定的标准、规范执行时，写法为：“可参照……”。

**引用标准名录**

1. 《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366
2. 《城市桥梁设计规范》CJJ 11
3. 《公路环境保护设计规范》JTG B04
4. 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
5. 《绿色交通设施评估技术要求 第1部分：绿色公路》JT/T 1199.1
6. 《公路工程利用建筑垃圾技术规范》JTG/T 2321
7. 《公路工程节能规范》JTG/T 2340
8. 《绿色公路建设技术指南》DB65/T 4620
9. 《省级温室气体清单编制指南》（试行）
10. 《中国能源统计年鉴2023》