## 1研究基本参数

在混凝土梁截面优化设计中，以物化碳排放量与造价指标为基础的双目标优化模型显得尤为关键。基于碳排放量与造价指标的混凝土梁截面优化设计,可采用以下双目标优化模型描述:

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |

其中：和分别为年均碳排放及年均造价最小值目标函数；为第n个不等式约束条件，N为约束条件总数量，n=1，2，……，N；k为满足约束条件的常数；E为框架柱在材料生产、施工过程的物化碳排放量；C为构件生产及施工造价；X为设计变量，即优化问题的一组解，，i为1、2 、……、I；Y为已知条件，，j为1、2 、……、J。

对于混凝土结构梁的截面优化设计，已知量包括构件承载力、构件长度、抗震等级、环境类别等基本参数以用来控制，以及材料碳排放因子、综合单价等具体数据；设计变量主要有截面尺寸、混凝土强度、混凝土保护层厚度、纵筋强度、箍筋强度、纵筋数量、箍筋数量、纵筋直径、箍筋直径。

## 2约束条件

2.1 构件承载力要求

在建筑结构设计中，混凝土梁作为核心承重构件，其安全性至关重要。为确保混凝土梁能够满足构件承载力要求，设计过程中必须严格遵循收弯曲、受剪承载力的设计规范。这要求在设计中综合考虑梁的截面形状与尺寸、材料特性以及所受荷载类型。

|  |  |
| --- | --- |
| 单筋受弯承载力要求： | （1） |
| 双筋受弯承载力要求： | （1） |

式中：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |

其中：M是受弯构件截面弯矩设计值，Mu是正截面受弯承载力设计值，*f*c是混凝土轴心抗压强度设计值，*f*y是钢筋的抗拉强度设计值，b是截面宽度，是混凝土受压区等效矩形应力图形系数，As是受拉区纵向钢筋的截面面积，*x*是等效矩形应力图形的混凝土受压区高度，*h*0是截面有效高度，*h*是截面高度，是混凝土保护层厚度。

|  |  |
| --- | --- |
| 受剪承载力要求： | （1） |

其中：是斜截面受剪承载力系数，*f*t是混凝土轴心抗拉强度设计值，*f*yv是箍筋抗拉强度设计值，是配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积，s是沿构件长度箍筋的间距，是配置在同一弯起平面内的弯起钢筋的截面面积，是弯起钢筋与梁纵轴的夹角，一般取45。

2.2 结构的变形和裂缝控制

在混凝土结构设计中，梁需要控制构件的挠度，以确保结构在使用过程中的稳定性和安全性。过大的挠度可能导致结构失效或影响使用功能。并且裂缝控制也尤为重要，因为过大的裂缝可能导致水分渗入、钢筋锈蚀等问题，进而影响结构的安全和使用寿命，所以需要控制裂缝以维护结构的完整性和耐久性。

为了保证结构构件在使用期间的适用性，对结构构件的变形应加以控制。《混凝土结构设计规范》规定，钢筋混凝土受弯构件的最大挠度应满足

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |

式中：是与荷载形式、支承条件有关的挠度系数，如承受均不荷载的简支梁，；是梁的计算跨度；EI是梁的截面弯曲刚度。

钢筋混凝土受弯构件的最大裂缝应满足

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |

2.3 构造要求

单筋：



双筋：

普通钢筋基本锚固长度

## 3 目标函数

3.1 使用年限计算模型

以保护层锈胀裂缝宽度达到限值作为寿命终结标准，参照《既有混凝土结构耐久性评定标准》（GB/T 51335—2019）中所给出的混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值评定，混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限*t*d可表示为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |

式中：钢筋开始锈蚀年限ti与钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值所需时间tcl可由下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （2） |
|  | （3） |

其中：Kk、Kc和Km分别为碳化系数、混凝土保护层厚度和局部环境作用对ti的影响系数；Fe、Ff、Fd、FT、FRH和Fm别为混凝土保护层厚度、混凝土强度、钢筋直径、 环境温度、环境湿度以及局部环境等因素对混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限的影响系数；这些系数可在《既有混凝土结构耐久性评定标准》中查询；td0为上述影响系数均为1.0时钢筋开始锈蚀至混凝土保护层锈胀裂缝宽度达到限值的时间。

建筑使用寿命Z可用混凝土保护层锈胀裂缝宽度限值耐久年限td来表示。

3.2 年均成本计算模型

年均成本目标函数

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4） |

其中：

混凝土成本，分别为截面宽度和长度；*l*为梁的跨度；为不同强度混凝土对应的综合单价

纵筋成本；分别为纵筋数量和直径；为纵筋、箍筋强度的综合单价

箍筋成本； 分别为箍筋数量和直径；为混凝土保护层厚度

3.3 年均隐含碳排放计算模型

年均碳排放目标函数

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4） |

混凝土碳排放; 为不同强度混凝土对应的碳排放因子。

纵筋碳排放；为不同纵筋强度对应的碳排放因子

箍筋碳排放；为不同箍筋强度对应的碳排放因子

4. 参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 分项工程 | 材料类型 | 单位 | 碳排放因子 | 工作内容 |
| 混凝土 | C30  C35 | kgCO2e/ m3 | 339  384 | ①混凝土生产  ②混凝土运输  ③浇筑振捣养护 |
| C40 | 431 |
| C50 | 461 |

表2 主要建材综合单价

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 分项工程 | 材料类型 | 单位 | 综合单价 | 工作内容 |
| 混凝土 | C30  C35 | 元/ m3 | 385  400 | ①混凝土生产  ②混凝土运输  ③浇筑振捣养护 |
| C40 | 445 |
| C50 | 500 |

|  |  |
| --- | --- |
| 设计参数 | 取值范围 |
| 截面高度*h*/mm | [300,1000] |
| 截面宽度*b*/mm | [300,1000] |
| 混凝土抗压强度标准值*f*cu,k/MPa | 30,35,40,50 |
| 纵筋直径*d*/mm | 22,25,29 |
| 纵筋数量 | 2,4,6 |
| 箍筋数量 | 6,8,10 |
| 纵筋屈服强度标准值*f*yk/MPa | 400,500 |
| 箍筋屈服强度标准值*f*yvk/MPa | 400,500 |
|  |  |



