

预应力砼连续箱梁桥主梁设计参数优化

孟飞虎

(湖南省农林工业勘察设计研究总院, 湖南 长沙 410007)

摘要: 针对当前连续箱梁桥主梁设计参数计算中存在的问题, 提出一种基于多目标粒子群算法的参数优化方法。以主梁的边中跨比、墩顶梁高、跨中梁高及梁底曲线幂次 4 个参数作为优化对象, 以桥梁受力性能、主梁总体造价作为优化目标, 采用多目标粒子群算法建立了连续箱梁桥主梁参数优化数学模型; 算例分析结果表明, 该优化方法得出的设计参数使主梁的结构受力性能与造价均优于传统方法, 该优化方法有效。

关键词: 桥梁; 连续箱梁桥; 主梁; 设计参数; 多目标粒子群算法

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0134-03

当前连续箱梁桥主梁设计中常采用半经验、半理论的方法确定设计参数, 带有一定的盲目性与偶然性, 很难得到最优设计方案, 可能造成主梁某些部位材料用量不足, 形成安全隐患, 同时主梁的经济性也难以保障。为以较低的造价获得较好的受力性能, 需对连续箱梁桥的设计参数进行优化。

李明燕等以连续箱梁桥的边中跨比、梁底曲线幂次、墩高与跨距之比、两薄壁墩之间的距离为主要设计参数, 采用均匀设计方法分析了上述参数对连续刚构受力性能的影响, 得出了优化结果; 胡雄伟等根据已有连续箱梁桥主梁设计参数确定常用参数的取值范围, 在参数范围内以一定步长取值, 使用有限元软件分析了设计参数变化对连续箱梁桥内部应力的影响; 赵海清采用正交设计方法, 将主梁主要设计参数作为正交试验因素, 得出了不同优化目标时主梁设计参数的取值。上述连续箱梁桥主梁优化方法都是基于试验设计理论, 即选取特定的设计参数组合, 计算该参数组合下的桥梁受力性能, 将多组参数组合及其对应的受力性能作为数据样本, 以试验设计方法(正交设计或均匀设计)得出数据样本, 继而建立模型求得优化结果, 其优化结果受样本选取的影响较大, 容易遗漏最优解, 实际上是一种半经验、半理论的优化方法。为此, 该文提出一种基于多目标粒子群算法的连续箱梁桥主梁设计参数优化方法, 即以多目标粒子群算法建立主梁设计参数与结构受力性能及造价之间的数学关系, 求出最优受力性能和最低造价状态下的主梁设计参数, 从而尽可能避免数据样本的优劣对优化模型的影响, 使优化结果达到较高的可靠性。

1 工程背景及其有限元模型

湖南郴州市某市政桥梁主桥跨径组合为 30 m + 50 m + 30 m, 结构形式为单箱单室预应力砼现浇箱梁, 墩顶处截面与跨中处截面尺寸见图 1。

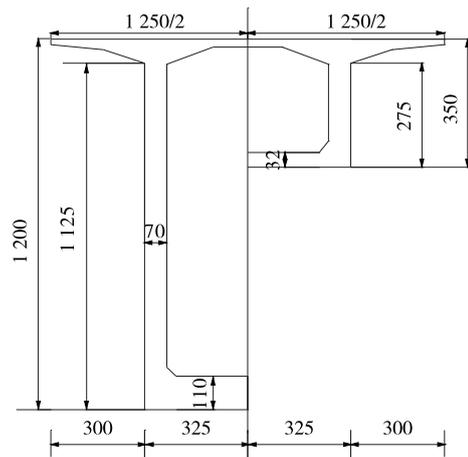


图 1 主梁墩顶与跨中截面(单位: cm)

采用 ANSYS17.0 对主梁建立有限元模型。整体弹性模量 $E = 1.95 \times 10^2$ MPa, 泊松比为 0.3。墩顶采用简支约束, 主梁两端采用固定约束。模型采用四面体网格, 全桥共 126 728 个节点、83 144 个四面体单元(见图 2)。



图 2 主梁有限元模型

2 连续箱梁桥主梁设计参数选取

2.1 连续箱梁桥主梁设计参数

目前连续箱梁桥主梁截面形式以单箱单室为主,根据有关文献的统计分析,单箱双室连续箱梁桥的主梁设计参数主要分为以下几类:1)边中跨比,即主梁边跨长度与中跨长度的比值。2)主梁截面形式及尺寸,包括梁底曲线方程最高指数次数(简称梁底曲线幂次)、梁高参数(即跨中梁高、墩顶梁高)、箱梁几何参数(即箱梁截面尺寸、主梁宽度、主梁总长等)。3)主梁施工节段划分。4)主梁预应力束布置方法。

2.2 优化参数选取

选取边中跨比 r 、跨中梁高 h 、墩顶梁高 H 及梁底曲线幂次 n 作为优化的主要设计参数,其他参数如桥梁宽度等一般由道路等级决定,不作分析。

(1)边中跨比 r 。连续刚构桥设计中必须考虑自然因素与美观因素,且为达到最佳受力性能一般采用对称布置,若边中跨比较大,会导致边跨刚度降低;若边中跨比较小,则会导致中跨刚度降低;且边中跨比对主梁内部应力会产生影响。因此,将边中跨比作为主要设计参数进行分析。根据文献[1],边跨、中跨的比值大都为0.52~0.58。

(2)跨中梁高 h 与墩顶梁高 H 。由于在同一等级道路中桥梁宽度为常数,跨中梁高与墩顶梁高的选择对主梁力学性能而言至关重要,直接决定主梁的受力性能。因此,将跨中梁高与墩顶梁高作为主要设计参数进行分析。结合工程实例及文献[1],墩顶梁高的取值一般为11.2~12.4 m,跨中梁高的取值一般为3.4~4.0 m。

(3)梁底曲线幂次 n 。连续刚构桥截面为变高度形式,主梁高度从桥墩支点处的 $0^\#$ 块至主跨跨中和边跨合龙段两个方向分别沿纵向呈曲线变化,梁底变化曲线幂次会对主梁应力产生较大影响,曲线幂次较大可能导致1/4跨附近梁底板应力紧张,曲线幂次较小则可能导致相邻节段转角处底板崩裂。因此,将梁底曲线幂次作为主要设计参数进行分析。参考文献[1],国内大部分连续刚构桥的梁底曲线幂次为1.5~2.0。

3 多目标粒子群优化模型

3.1 多目标优化定义

设有 n 个优化变量、 m 个目标变量,则该多目

标优化问题可表述为:

$$\begin{cases} \min y = F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))^T \\ \text{s.t. } g_i(x) \leq 0 \quad (i=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1)$$

式中: x 为决策变量, $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$; y 为目标变量, $y=(y_1, y_2, \dots, y_m)^T$; $g_i(x)$ 为约束条件。

当存在一组 x 使得 y 最小时,这组 x 称为该优化问题的最优解。

连续箱梁桥主梁参数优化目标有两个,分别为主梁受力性能和主梁造价,是一个多目标优化问题。以主梁受力性能、工程造价作为目标变量,边中跨比 r 、跨中梁高 h 、墩顶梁高 H 及梁底曲线幂次 n 作为决策变量。

3.2 多目标粒子群算法

(1)随机产生一个粒子群,并定义其中每个粒子的速度与初值。

(2)根据目标函数确定每个粒子的适应度,并进行数值量化。

(4)针对每个粒子,求其适应度与群体最优值之比,根据该比值求取该粒子的全局最优值。

(5)判断是否到达终止条件,若达到则终止,否则转入第二步。

3.3 优化结果

以MATLAB软件中PSOt工具箱进行优化计算。将主梁最大应力赋值为 σ (代表主梁的受力性能),主梁质量赋值为 G (代表主梁的工程造价),边中跨比、跨中梁高、墩顶梁高和梁底曲线幂次依次赋值为 r, h, H 和 n ,将这些参数结合有限元模型导入MATLAB PSOt工具箱中,得到 $[r, H, h, n]^T = [0.606, 11.231, 3.645, 1.712]^T$ 。在最优设计参数下,主梁最大应力 $\sigma = 2.167$ MPa,主梁质量 $G = 39\ 171$ t。实际进行桥梁设计参数选取时,参考最优设计参数并取整。

4 算例分析

以上述最优设计参数建立主梁三维实体模型,再建立有限元模型计算跨中应力。在设计参数允许范围($0.55 \geq r \geq 0.65$; $9\text{ m} \geq H \geq 15\text{ m}$; $1.5\text{ m} \geq h \geq 4.0\text{ m}$; $1.5 \geq n \geq 2.0$)内随机取一组设计参数(称之为一般设计参数, $[r, H, h, n]^T = [0.526, 10.413, 3.627, 1.830]^T$),将该设计参数下的受力性能和主梁质量与文中方法优化结果进行对比,验证文中设计参数优化方法的有效性。

主梁质量根据三维空间实体体积及材料密度得出,主梁应力与挠度的有限元计算结果见图3、图4和表1。

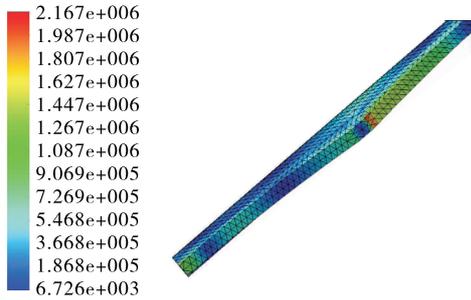


图3 最优设计参数下主梁的应力分布(单位:Pa)

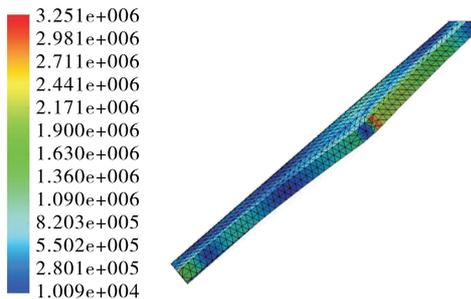


图4 一般设计参数下主梁的应力分布(单位:Pa)

表1 不同设计参数下主梁性能对比

设计参数状态	最大应力/MPa	砼质量/t
最优参数	2.167	39 171
一般参数	3.251	42 630

由图3、图4和表1可知:最优设计参数对应的主梁受力性能与造价均明显优于一般设计参数下的

受力性能与造价,证明文中优化方法有效。

5 结语

该文建立了一种基于多目标粒子群优化算法的连续箱梁桥主梁设计参数优化方法,避免了传统方法的盲目性、随机性。算例表明,该方法所得设计参数可使主梁最大应力更小、造价更低,是一种可靠性较强的预应力砼连续箱梁桥设计参数优化方法。

参考文献:

[1] 陆尧.基于遗传算法的连续刚构桥主梁设计参数优化研究[D].昆明:昆明理工大学,2015.

[2] 韩艳,陈政清,李开言.在 ANSYS 中实现双肢薄壁桥墩参数优化设计的方法[J].铁道科学与工程学报,2005,2(6).

[3] 李明燕,方志.预应力混凝土连续刚构桥的参数优化[J].公路工程,2008,33(1).

[4] 胡雄伟.大跨连续刚构桥主梁设计参数的优化研究[D].昆明:昆明理工大学,2008.

[5] 赵海清.基于正交试验的连续刚构桥主梁设计参数优化研究[D].昆明:昆明理工大学,2010.

[6] 刘铠诚,何光宇,黄良毅,等.基于非对称势阱的量子粒子群算法及其应用[J].电网技术,2016,40(2).

[7] 韩敏,何泳.基于高斯混沌变异和精英学习的自适应多目标粒子群算法[J].控制与决策,2016,31(8).

[8] 谭熠峰,孙婷婷,徐新民.基于动态因子和共享适应度的改进粒子群算法[J].浙江大学学报:理学版,2016,43(6).

收稿日期:2017-03-27

(上接第 55 页)

工具,科学的监控设施布局有利于更好地发挥系统在监控道路交通运行状况和辅助执法等方面的作用。该文主要基于交通管理者的业务需求,从覆盖率、合理性和效率三维度构建评价指标,并提出各指标的计算模型,为交通监控设备布局的科学评价提供参考。但在指标等级划分标准方面由于缺乏更详细的参考数据,目前主要是基于广州的数据和交通管理部门的意见进行划分,未来在进一步收集更多城市相关数据后可进一步完善评估标准,提高评价体系的普适性。

参考文献:

[1] 吴柯维.浅析城市道路交通监控市场的发展[J].中国安

防,2012(11).

[2] 华锋.基于系统工程法的交通监控设备管理系统研究与开发[D].广州:华南理工大学,2014.

[3] GA/T 1047-2013.道路交通信息监测记录设备设置规范[S].

[4] 公通字[007]54号,公安部关于规范使用道路交通技术监控设备的通知[S].

[5] GB 50688-2011,城市道路交通设施设计规范[S].

[6] 刘玲玲.交通监控系统效益综合评价研究[D].重庆:重庆大学,2004.

[7] 高晓波,雷晟.公路交通监控系统建设现状分析[J].中国交通信息化,2010(11).

[8] 张婷,郑涛.交通道路监控信号共享方案[J].中国交通信息产业,2004(9).

收稿日期:2017-02-27