

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.09.050

基于多级神经网络的桥梁结构参数优化设计

姜 群

(杭州市市政工程集团有限公司, 浙江 江山 310003)

摘 要: 由于传统参数优化方法在对桥梁结构参数优化后无法实现对桥梁结构整体性能的有效提升,因此开展了基于多级神经网络的桥梁结构参数优化设计研究。通过构建桥梁结构有限元模型、基于多级神经网络确定桥梁结构参数优化目标、桥梁结构参数优化样本数据采集和桥梁结构参数多级神经网络参数优化求解,提出一种全新的参数优化方法。通过实验进一步证明,新的参数优化方法与传统参数优化方法相比,能够有效实现对桥梁结构综合性能的提升,为桥梁施工建设的增效减耗提供全新的优化思路。

关键词: 多级神经网络;桥梁结构;参数优化

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)09-0179-03

0 引 言

在对桥梁结构进行设计时,对其结构参数的优化,以及通过优化后的参数实现降低建设成本和提升桥梁结构受力性的相关研究,具有十分重要的价值和意义。通过大量学者的研究得出,可通过序列无约束方法结合数值分析对桥梁结构参数进行优化^[1]。但这种优化方式在实际应用中得到的优化结果可靠性无法得到保障,因此会进一步影响后续桥梁施工的质量。除此之外,还可通过对不同桥梁结构的正交组合的方式来实现对桥梁结构参数的优化^[2]。这种优化方法在实际应用中大大提升了参数优化的效率,但在具体实施过程中,优化的结果会受到采样阶段数据步长变化的影响,因此容易将最优解遗漏,依然无法保证优化参数的可靠性。多级神经网络技术是一种从单一小网络开始,通过自动训练和添加隐藏单元的方式,最终形成多级结构的技术方法。利用该技术在实际应用中能够有效反映参数变化情况与不同事物性能之间的映射关系,实现对最优性能状态下参数最优解的获取^[3]。多级神经网络在实际应用中,能够有效避免最优解遗漏的产生,进而得到更加可靠的结果。因此,本文结合多级神经网络的应用优势,开展对桥梁结构参数优化方法的设计研究。

1 桥梁结构参数优化设计

1.1 构建桥梁结构有限元模型

在明确桥梁结构的相关工程背景和建设需求

后,本文采用 ANSYS Workbench 17.0 有限元分析软件,对桥梁结构的有限元模型进行构建。在构建的过程中,需要明确的参数包括建筑材料的弹性模量、材料密度、泊松比等^[4]。在实际模型构建时,还应当结合桥梁结构的设计需要,充分考虑预应力钢束作用,并明确其弹性模量和密度。对于桥梁结构当中的墩顶和桥梁两端,在构建模型时,默认其固定在端支座上,并受到端支座的约束。为确保在后续对参数进行优化时能够实现对所有影响问题的全面分析,本文采用四面体网格结构作为桥梁结构有限元模型的基本结构。在完成对模型的构建后,还需要将桥梁整体模型上的节点个数和四面体单元总数进行记录^[5]。本文选取有限元模型中用于优化桥梁结构的主要参数和对应符号,见表1。

表1 有限元模型中优化桥梁结构主要参数和符号

序号	优化参数	符号
1	桥梁边中跨比	s
2	桥梁跨中梁高/m	l
3	桥梁墩顶梁高/m	L
4	桥梁底曲线幂次	i
5	桥梁箱梁宽度/m	d

桥梁箱梁宽度 d 一般情况下为定值,因此在有序结构参数优化过程中可不将其纳入考量范围。同时,桥梁边中跨比 s 是直接决定桥梁整体刚度的主要因素,因此需要将 s 数值作为主要的优化参数变量。桥梁跨中梁高 l 和墩顶梁高 L 是直接决定桥梁结构承受性的重要因素,因此同样作为主要的优化参数变量。

1.2 确定桥梁结构参数优化目标

在构建桥梁结构有限元模型,并确定桥梁结构参

收稿日期: 2021-01-21

作者简介: 姜群(1980—),男,本科,高级工程师,从事桥梁设计工作。

数优化变量后,设置桥梁结构优化目标函数。通常情况下,在对桥梁结构进行设计时,应当充分考虑到桥梁整体的强度和抗度需求^[6]。在满足上述两点需求的前提下,还应当考虑到在实际建设过程中的经济性问题。因此,本文确定的桥梁结构参数优化目标函数当中主要包含3个重要方面,分别为桥梁强度、抗度和经济性(即桥梁实际施工过程中建筑材料的使用量)。由此可以得出,本文提出的优化目标函数是一个多目标的优化问题,因此引入多级神经网络,避免在优化过程中出现计算的烦琐性问题,利用多级神经网络将多目标转换为单目标优化问题,得到如式(1)所示的桥梁结构参数多级神经网络优化目标函数:

$$Q = \frac{\sigma}{p_r} + \frac{p}{[p]} + \frac{P}{H} \quad (1)$$

式中: Q 为桥梁结构参数多级神经网络优化目标结果,即桥梁结构参数应满足的综合性能指标; σ 为在极限荷载条件下,桥梁最大承受应力大小; p_r 为桥梁建设过程中使用的材料强度极限值; p 为在极限荷载条件下,桥梁主跨跨中位置的挠度值; $[p]$ 为桥梁主跨跨中位置的挠度上限值; P 为按照桥梁建设施工图纸得出的理论质量; H 为实际工程施工过程中桥梁的总质量。

根据式(1)进行计算,得出在极限荷载条件下某一组桥梁结构参数对应的桥梁最大应力值、跨中位置挠度和桥梁整体的总质量。由此,可进一步求解出不同桥梁结构设计参数下桥梁整体的综合性能。

1.3 桥梁结构参数优化样本数据采集

结合基于多级神经网络确定的桥梁结构参数优化目标,通过对不同桥梁结构参数的随机匹配,分别计算出桥梁结构综合性能,再结合均匀设置的方式,得到均匀度良好的参数优化样本,利用采集到的样本数据为后续桥梁结构参数多级神经网络参数优化求解提供数据^[7]。通过均匀设置得到的桥梁结构参数优化样本数据为 $W_n(q^s)$,其中 W 表示均值设置表; n 表示样本数据采集的总次数; q 表示水平系数; s 表示样本数据采集过程中最多能够安排的因素系数。通常情况下,根据多级神经网络的计算需要,水平系数应为因素系数的4倍,即 $q=4s$ 。根据上述论述得出,本文参数优化过程中需要因素系数为4,即影响最终桥梁结构参数优化结果的因素包含4个。由于 $q=4s$,因此本文水平系数应为16个。在确定不同桥梁结构参数前,还需要对各个参数大致的变化范围

进行设定。按照一般桥梁建设项目的需要,得出以下参数变化范围设定结果:桥梁边中跨比 s 的变化范围为0.43~0.67;桥梁跨中梁高 l 的变化范围为3.57~4.38 m;桥梁墩顶梁高 L 的变化范围为12.57~12.68 m;桥梁底曲线幂次 i 的变化范围为2.5~3.0。结合差均匀表可得出16个对应的设计表为 $W_{16}(16^{10})$,在该表当中最多可含有14个因素,结合 $W_{16}(16^{10})$ 的使用表安排方式,将本文上述给出的4个影响因素进行随机组合,并保证均匀度均满足要求的情况下完成对桥梁结构参数优化样本数据的采集。

1.4 桥梁结构参数多级神经网络参数优化求解

利用多级神经网络能够实现对人脑当中大量神经元相互之间连接、处理等操作的模拟。基于这一特点,对桥梁结构参数多级神经网络参数优化进行求解。首先在多级神经网络当中引入一定量的数据样本,进行学习,建立输入与输出数据之间的多参数和非线性映射关系^[8]。根据多级神经网络的实际应用效果,设置3层神经网络能够有效实现对桥梁结构参数映射关系的明确。在求解前,需要对上述采集到的样本数据进行归一化处理。由于在不同桥梁结构建设和施工过程中,相应的参数量纲不同,因此数值上会存在较大差异。为了有效避免求解过程中,小数据信息内容被大数据信息内容吞噬,需要按照式(2)对所有样本数据进行归一化处理:

$$R = 0.2 + 0.9 \frac{S - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (2)$$

式中: R 为样本数据归一化处理后的结果; S 为样本数据; $S_{\min}$ 为每组样本数据当中的最小值; $S_{\max}$ 为每组样本数据当中的最大值。按照式(2)进行归一化处理,将所有得到的输入数据和输出数据全部规划到[0.2~0.8]区间范围以内。因此,通过上述操作,既能够有效保留原有样本数据当中的相对信息量,也能够实现对多级神经网络学习速度和收敛能力的提升。

在桥梁结构参数多级神经网络参数优化求解过程中,还需要对神经网络中的隐藏层计算结果进行确定^[9]。在计算时,隐藏层当中的样本数据量过少会严重影响求解时非线性网络逼近的精度,进而影响参数优化的最终效果。因此,根据式(3)对多级神经网络隐含层当中的样本数据个数进行确定:

$$e = \sqrt{i+j} + a \quad (3)$$

式中: e 为多级神经网络隐含层当中包含的样本数据

个数; i 为多级神经网络输入层当中的样本数据个数; j 为多级神经网络输出层当中的样本数据个数; a 为 $[1, 10]$ 范围内的正整数。根据式(3)计算,得出的 e 值在满足非线性网络逼近的精度条件下,才能够按照本文上述论述完成对桥梁结构参数的优化求解^[10]。若 e 值不满足非线性网络逼近的精度条件,则需要重新对样本数据进行采集,并重新规划各个参数变量的变化范围,直到 e 值满足精度条件后,才能带入式(1)、式(2),完成对桥梁结构参数的优化。

2 对比实验

某地区大跨预应力桥梁结构整体采用150 m+210 m+150 m跨度,整体结构上以单箱单室预应力混凝土材料现浇箱梁为主。桥梁墩顶截面高度为12 m,宽度为13.5 m,跨中截面高度为11.25 m,宽度为3.5 m。为验证本文提出的基于多级神经网络的桥梁结构参数优化方法的有效性,将该桥梁结构作为实验对象,分别利用本文参数优化方法和传统参数优化方法,对该桥梁结构参数进行优化设计。为保证实验结果的客观性,两种优化方法均利用本文上述提出的4个参数变量作为一般参数。设置一般参数为:[桥梁边中跨比 s ,桥梁跨中梁高 l ,桥梁墩顶梁高 L ,桥梁底曲线幂次 i]^T=[0.427, 13.548, 2.584, 2.018]^T。在上述规定参数状态下,对比两种参数优化方法优化后的桥梁结构综合性能,以此对比两种参数优化方法的实际应用效果。为方便实验结果进行比较,利用式(1)对参数优化后的桥梁结构整体性能进行量化得出 Q 值(Q 值应小于4),将计算结果进行记录,并绘制成如表2所示的实验结果对比表。

表2 两种参数优化方法实验结果对比

优化次数	本文参数优化方法 Q 值	传统参数优化方法 Q 值
第一次优化	2.95	1.68
第二次优化	2.99	1.79
第三次优化	3.18	1.93
第四次优化	3.24	2.15
第五次优化	3.65	2.34

从表2的实验结果可以看出,随着优化次数的不断增加,本文参数优化方法和传统参数优化方法

得出的 Q 值均呈现出上升趋势,但明显本文优化方法 Q 值上升更快。对两种参数优化方法横向比较能够进一步看出,本文每次优化后的 Q 值均明显高于传统参数优化方法的 Q 值。 Q 值越高,说明桥梁结构整体性能越高。因此,通过实验进一步得出,本文提出的基于多级神经网络的桥梁结构参数优化方法在实际应用中能够有效提高桥梁结构整体性能,实现更加有效的参数优化。

3 结 语

为实现对桥梁结构整体性能的提升,针对桥梁结构参数优化过程中存在的普遍性问题,结合多级神经网络,提出一种全新的参数优化方法。将本文提出的参数优化方法应用于实际能够有效实现对桥梁结构整体性能的提高,同时能够为桥梁实际施工过程中产生的各类问题提供所需的数据条件,以此为进一步实现桥梁建设施工的高质量发展提供有力的数据支撑。

参考文献:

- [1] 李超. 大跨径PC连续梁桥长期下挠设计参数敏感性分析及优化[J]. 中国市政工程, 2020(6): 7-9, 109.
- [2] 黄勇, 马永, 刘经纬, 等. 联合时变可靠度与成本优化的桥梁构件升级改造策略[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(10): 209-213.
- [3] 张琰, 吴宜峰, 李爱群. 近断层地震作用下大跨连续梁桥拉索减震支座数值模型研究[J]. 北京建筑大学学报, 2020, 36(4): 62-70.
- [4] 雷晓燕, 张新亚, 罗锐. 高架轨道桥梁结构振动与噪声预测方法及控制研究进展[J]. 铁道学报, 2020, 42(12): 150-161.
- [5] 杨辰. 结构健康监测的传感器优化布置研究进展与展望[J]. 振动与冲击, 2020, 39(17): 82-93.
- [6] 刘龔, 王文剑, 李波, 等. 基于MEMS倾角仪的桥梁挠度监测动态及长期性能研究[J]. 中外公路, 2020, 40(4): 174-178.
- [7] 周力, 张天琦, 罗雁云. 基于多模态控制理论的箱梁MDVA参数优化及对低频振动影响分析[J]. 振动与冲击, 2020, 39(23): 107-113.
- [8] 朱利明, 申昆, 濮卫, 等. 空间三索面斜吊杆非对称系杆钢拱桥合理成桥索力优化[J]. 世界桥梁, 2020, 48(6): 54-59.
- [9] 渠述锋, 孟栋梁, 杨孟刚. 考虑桥墩实测刚度的墩梁固结桥梁合龙顶推力调整简化算法[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(11): 2864-2872.
- [10] 杨颖, 李坤, 王银广. 基于模拟退火算法的BP神经网络在桥梁智能养护中的应用[J]. 智能城市, 2020, 6(21): 12-13.