

泵房结构动力参数反演的模型分析

丁晓唐,赵辉,王振兴

(河海大学 土木与交通学院,江苏 南京 210098)

摘要:泵房结构的动力结构参数反演对于评价泵房结构的健康状态尤为重要,以淮安三站为工程背景,进行泵房结构的动力参数反演。根据现场的实测一阶频率及实测的加速度峰值,基于改进遗传算法进行泵房结构的参数反演,并通过比较简化模型及弹簧约束两种模型对反演泵房结构材料参数结果的影响,得到更为合理的计算模型。该模型更加符合工程实际概况,提高了有限元正分析的精确度,从而为反演分析建立良好基础。计算结果证明,和简单模型相比较,弹簧约束模型更符合实际情况,计算结果更准确。

关键词:泵房;参数反演;弹簧约束模型;

中图分类号:TV312

文献标识码:A

The model analysis on dynamic parameters inversion of pump room structure

DING Xiaotang, ZHAO Hui, WANG Zhenxing

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing210098, China)

Abstract: Dynamic parametric inversion plays an essential role in evaluating the health status of pump room structure, Huai'an third station was taken as the engineering background for pump structure dynamic parameter inversion. According to the measured first order frequency and the measured acceleration peak value, parameter inversion of pump room structure was carried out on bases on improved genetic algorithm. The more reasonable calculation model was obtained by comparing the effects of the material parameters of pump structure inversion between simplified model and spring constraint model. Reasonable calculation model was more in line with the actual situation of the project and could improve the accuracy of finite element analysis, so as to establish a good foundation for the inversion analysis. The results show that the spring constraint model is more realistic and the result is more accurate than the simple model.

Key words: pump room structure; parameter inversion; spring constraint model

水工建筑物在运行过程中不可避免要产生振动,若振动超限,就会影响其安全运行,缩短使用寿命,因此需进行水工结构的动力特性和动力响应研究^[1-3]。反演分析对于水工建筑物振动问题的研究十分重要。一般正分析研究,如有限元数值分析,边界条件及材料参数等初始计算参数需要事先给定,而要完全正确的给出这些条件及参数是有困难的,尤其在水工结构这样复杂的系统条件下,问题将变得更加棘手。因此,在水工结构的研究问题中,通常需要反演计算系统的材料、边

界条件等参数,以此来不断修正正分析模型^[4-8]。张路路等结合某水电站和地下厂房结构的实测振动响应,利用流激振动反分析和改进遗传算法,对厂房结构振动荷载参数进行了反演研究^[9]。陈方方等采用数值试验方法开展强度参数反演可靠性研究,说明了其精度与稳定性^[10]。建立不同计算模型,在后续的反分析计算中对计算结果进行比较,得出更为符合工程实际的计算模型,为后续正分析及振动荷载参数反演做准备。对泵房结构的动力参数反演是建立在有限元正分析基础上的,

收稿日期:2015-10-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51279052)

作者简介:丁晓唐(1961-),女,吉林长春人,博士,副教授,从事混凝土结构基本理论及近代计算方法研究。

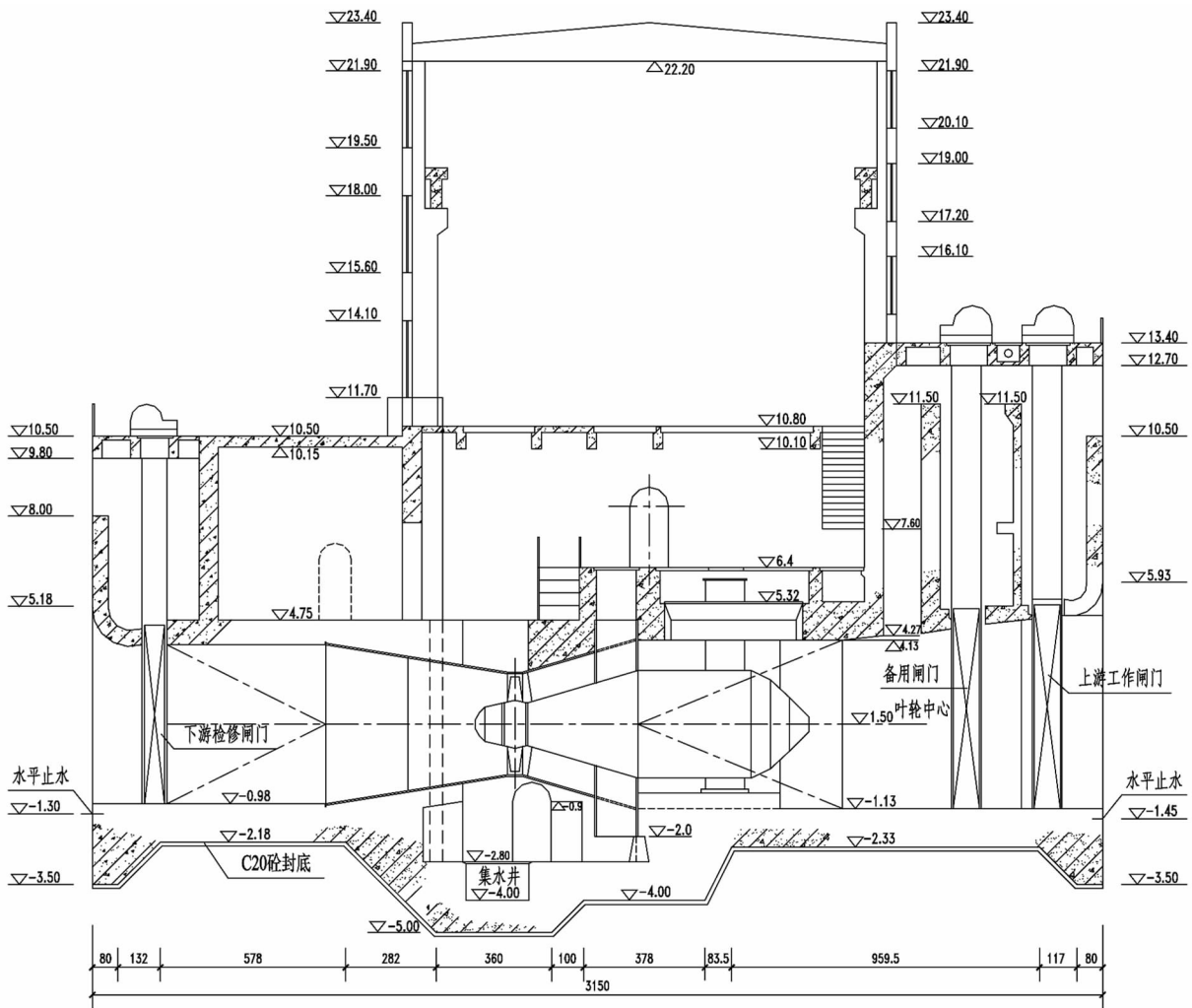


图1 淮安三站主剖面图

Fig.1 Master profile of Huai' an third station

采用有限元软件 ANSYS 建立泵房结构的有限元动力计算模型,通过计算比较得出更为符合工程实际概况的模型,使有限元正分析结果更加准确,为后续反演分析打好基础,并为相关工程提供参考。

1 工程概况

淮安三站站身采用堤身式块基型整体结构,站身上下共分三层:其中高程 4.75 m 以下为流道层,高程 4.75 m 以上为辅机层,高程 10.8 m 为厂房地坪。在流道层下面,安装了排水设备和油箱等,并设置了地下室,其高程为 -2.8 m,地下室的底部为集水井。流道为卧式双向直锥扩散型,站身上下游均设立直立翼墙,断流方式则采用绳鼓启闭平板直升快速钢闸门断流。

2 泵房结构有限元正分析模型

对淮安三站泵房结构进行动力参数反演是建

立在有限元正分析基础之上的。采用有限元软件 ANSYS 建立淮安三站泵房结构有限元动力计算模型。为探究模型简化对计算精确度的影响,现建立两种有限元模型:

- (1) 简化模型,即忽略泵房块基周围土体作用;
- (2) 弹簧约束模型,即采用弹簧考虑泵房周围土体作用。

在后续的反分析计算中对计算结果进行比较,得出更为符合工程实际的计算模型。模型情况如下:10.8 ~ 23.4 m 为上部厂房结构。该部分包括屋面梁与厂房柱组成的排架结构以及吊车梁等,采用 Beam4 单元进行离散。-5.0 ~ 10.8 m 为块基结构。自下至上包括底板、廊道、进出水流道、辅机层、上下游胸墙、工作桥以及厂房地坪等,采用 Solid45 单元离散。图 2 为泵房结构轴测图。

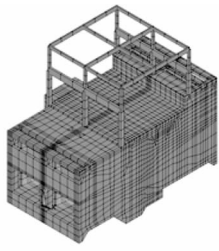


图2 泵房结构轴测图

Fig.2 Axonometric drawing of pump structure

3 改进遗传算法的参数反演及结果分析

反演计算往往需要多次调用正分析计算。例如本文在进行泵房结构动力材料参数、边界条件、振动荷载参数以及渡槽动力材料参数反演计算时,都多次调用了有限元正分析计算。多次的正反算结合,通常大大的增加了计算量及计算时间。这就对进行反演计算时所采用的算法提出了更高的要求。本文采用的改进遗传算法具有较强的全局寻优能力。在淮安三站的实测资料中,已测得泵房结构竖直向、顺河向、横河向各方向自振频率,可联合各方向自振频率构造单目标函数进行参数反演。

$$F_1 = \left(\frac{w_1 - \bar{w}_1}{\bar{w}_1} \right)^2$$

式中, w_1 为系统第一阶计算频率; \bar{w}_1 为系统第一阶实测频率。现场脉动试验测得系统第一阶频率值为 2.732 Hz。

基于动力响应的泵房结构参数反演流程图如图 3 所示:

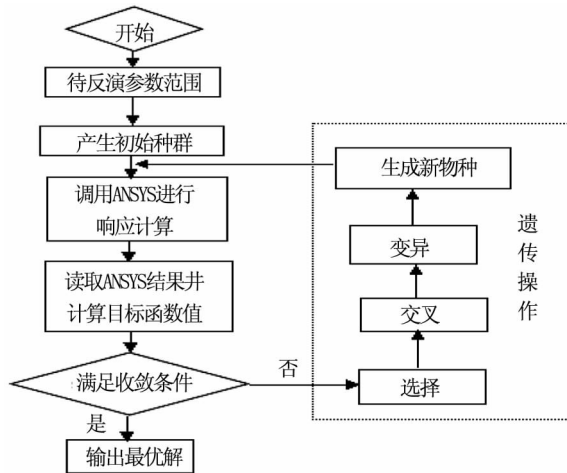


图3 单目标函数参数反演流程图

Fig.3 Inversion flow chart of single objective function parameter

3.1 简化模型反演结果

泵房结构动弹模反演值为 4.45×10^4 MPa。改进遗传算法分析过程见图 4:

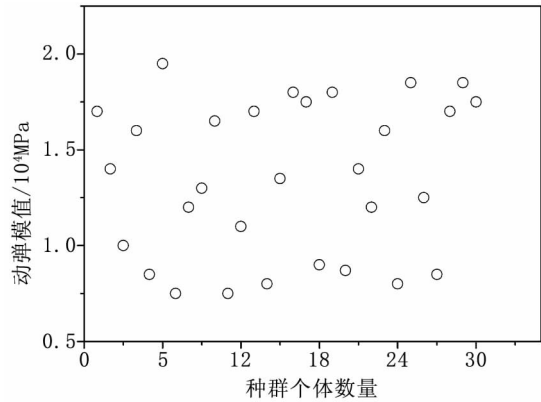


图4 简化模型初始种群个体目标函数值

Fig.4 The objective function value of simplified model initial population

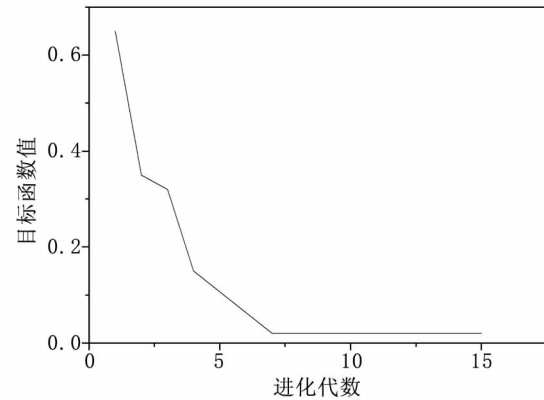


图5 简化模型优化过程曲线

Fig.5 Optimization process curve of simplified model

从图 5 中可以看出,到了第 7 代时得到了相对最优解。然而,计算得到的反演参数值偏大,泵房结构的动弹模反演值为 4.93×10^4 MPa。泵房结构混凝土的静弹模 2.80×10^4 MPa,《水工建筑物抗震设计规范》(SL203-97)中规定混凝土水工建筑物的抗震强度计算中,混凝土的动态弹性模量为静态弹性模量的 1.3 倍,而该值为静弹模的 1.76 倍,远远超过规范规定的 1.3 倍,且不满足工程精度要求,反演值不可靠。分析其原因,由于模型是简化模型,忽略了泵房块基周围土体的弹性抗力作用,泵房结构的刚度势必会比实际的低,这是造成反演结果不可靠的主要原因。若土体的弹性抗力作用越明显,则泵房结构的刚度降低的越多,反演参数的数值将会进一步增加。

此外,早期在对淮安三站泵房结构动力特性

的研究时发现,采用该简化模型计算得到的系统基频为 1.28 Hz,此结果仅为测试结果基频值的 46.9%,且数值计算结果与测试结果之间相同阶次的自振频率数值相差较大。

综上所述,无论从正分析角度还是反分析角度来看,有限元模型的建立对整个计算结果的影响颇为重要,模型简化正确与否将直接影响计算结果的准确性。就本文的简化模型而言,其忽略泵房周围土体的弹性抗力作用,很大程度上影响了工程计算精度。因此,为得到准确的计算结果,建立弹簧约束模型进行反演计算十分必要。

3.2 弹簧约束模型反演结果

经单目标函数的改进遗传算法反分析计算,得到反演参数分布图及反演计算过程如下所示:

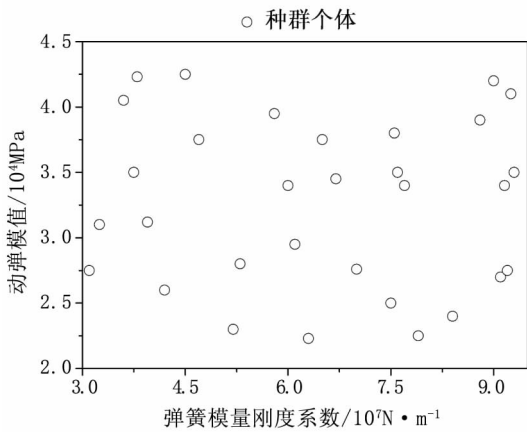


图6 初始种群反演参数分布
Fig.6 The inversion parameters distribution of initial population

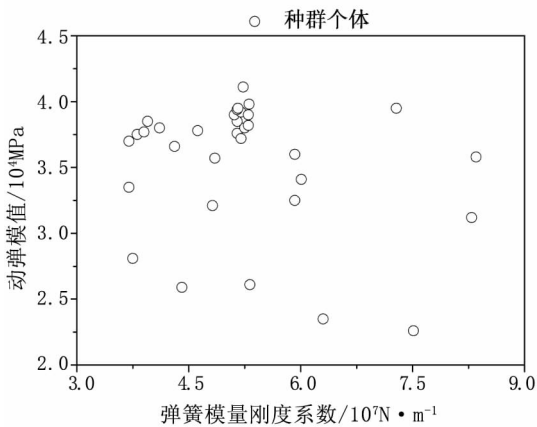


图7 第十九代种群反演参数分布
Fig.7 The inversion parameters distribution of nineteenth generation population

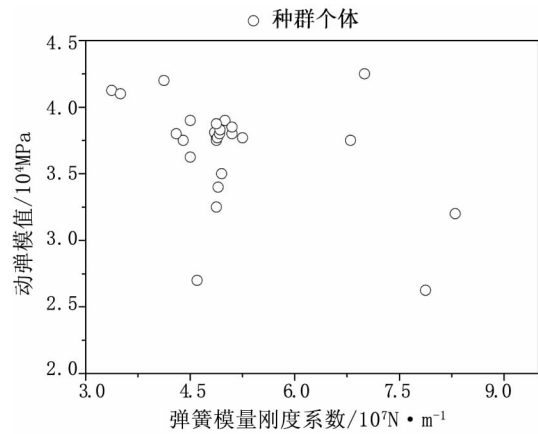


图8 第三十代种群反演参数分布
Fig.8 Inversion parameters distribution of the thirtieth generation population

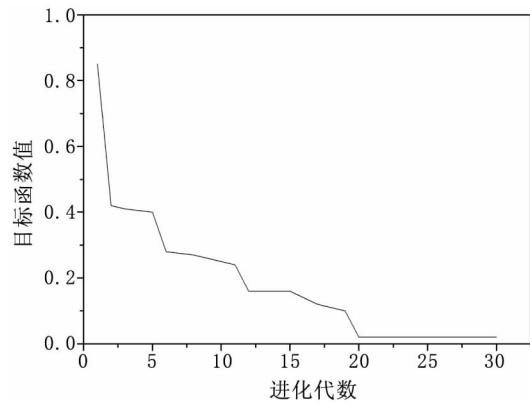


图9 弹簧模型优化过程曲线
Fig.9 Optimization process curve of spring model

图9 显示出了弹簧模型进化到第二十二代时得到了相对最优解,且一直保持到第30代此解都没有变化。本文所提的单目标函数反演方法及采用的改进遗传算法具有较高的搜索效率,从目标函数值可看出该法具有较高的反演精度。经单目标函数反演的最终的最优解为:

$$E_{动} = 3.95 \times 10^4 \text{ MPa}; K = 4.78 \times 10^7 \text{ N/m}$$

比较简化模型和弹簧约束模型反演结果,可以看到考虑了泵房周围土体的弹性抗力作用,使得泵房结构的刚度增加,反演参数值降低很多。泵房结构的动弹模反演值为 $3.95 \times 10^4 \text{ MPa}$,近似为静弹模的 1.41 倍,虽比规范规定的 1.3 倍高,但基本满足了工程精度的要求。弹簧刚度系数反演值为 $4.78 \times 10^7 \text{ N/m}$,比规范公式算得的弹性抗力系数数值偏低,主要原因可能在于,由于施工及混凝土收缩等因素造成泵房块基与支护混凝土之间接触不紧密,甚至有缝隙的存在,这使得二者的相互作用减弱。

4 结论

以淮安三站为工程背景,基于改进的遗传算法,构造单了目标函数,建立了简化模型和弹簧约束模型,对泵房结构进行动力参数反演。建立简化模型和弹簧约束模型,比较简化模型和弹簧约束模型对泵房结构动弹模型的反演结果可以得出:就简化模型而言,忽略了泵房周围土体的弹性抗力作用,很大程度上影响了工程计算精度,反演结果与实测值相差较大;弹簧约束模型则充分考虑了泵房周围土体的弹性抗力作用,更为符合实际情况,得到的反演结果更为准确,基本满足工程精度的要求。

参考文献:

- [1]陈维江.大坝安全监测及厂房动力反演分析模型研究[D].大连:大连理工大学,2002.
[2]赵凤遥.水电站厂房结构及水力机械动力反分析[D].大连:大连理工大学,2006.

- [3]练继建.开机过程中的水电站厂房振动分析[J].水利发电电报,2006,25(2):1-5.
[4]马震岳,董毓新,郭永刚,等.三峡水电站厂房结构动力分析与优化[J].水电能源科学,2000,18(3):26-28.
[5]王永祯.大型泵房结构的动力特性分析及优化设计[D].郑州:郑州大学,2012.
[6]杨林德,黄伟,王聿.初始地应力位移反分析计算的有限单元法[J].同济大学学报,1985,13(4):69-76.
[7]KIRSTEN H A D. Determination of rock mass elastic moduli by back analysis of deformation measurement[C]. Proc Symp on Exploriation for Rock Eng. Johannesburg, 1976, 1154-1160.
[8]钟莉等.台风“麦莎”作用下输电塔风荷载反演[J].河北工程大学学报:自然科学版,2008,25(3):42-45.
[9]张路路.基于振动响应的地下厂房荷载反演分析[D].天津:天津大学,2012.
[10]陈方方,李宁,张志强.一种洞室围岩强度参数的反演方法及其验证[J].岩石力学与工程学报,2010,29(1):97-103.

(责任编辑 李 军)

(上接第4页)

表3 框架结构抗倒塌安全储备系数

Tab.3 Collapse margin ratio

模型编号	S_{di} 设防大震	$S_{di}(T_1)_{50\%}$	CMR
M1 模型	0.005 8	0.012 3	2.12
M2 模型	0.011 2	0.028 3	2.52
M3 模型	0.023 9	0.058 6	2.45
M4 模型	0.029 7	0.091 3	2.83
M5 模型	0.047 8	0.178 3	3.73
M6 模型	0.061 5	0.215 0	3.86

4 结论

1)基于框架结构的易损性曲线,可以得到框架结构在此类地震作用下的损伤情况,为今后的框架的易损性分析提供参考。

2)从表3中可以看出,随着钢筋混凝土结构高度的增加,模型周期的增长,结构的抗震倒塌安全储备系数变化不大。

参考文献:

- [1]谢礼立,马玉宏,翟长海.基于性态的抗震设防与设计

地震动[M].北京:科学出版社,2009.

- [2]陶正如,陶夏新.基于地震动参数的建筑物震害预测[J].地震工程与工程振动,2004,02:88-94.
[3]李英民,丁文龙,黄宗明.地震动幅值特性参数的工程适用性研究[J].重庆建筑大学学报,2001,23(6):16-21.
[4]申彦利,杨庆山.近场脉冲型地震作用下结构响应预测研究[J].工程力学,2011,07:117-123.
[5]申彦利.基于概率的近断层地震动作用下结构抗震性能评估[D].北京:北京交通大学,2013
[6]申彦利,杜修力,杨庆山.桥墩抗震性能评估的适用近场地震动强度参数研究[J].工程力学,2014,10:56-61.
[7]高小旺,鲍霁斌.地震作用的概率模型及其统计参数[J].地震工程与工程振动,1985(01):13-22.
[8]高小旺,龚思礼,苏经宇,等.建筑抗震设计规范理解与应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.
[9]Federal Emergency Management Agency. Quantification of building seismic performance factors[R]. California: Applied Technology Council,2009
[10]Next generation attenuation of ground motions (NGA) project [DB]. 2014. <http://peer.berkeley.edu/nga/> (Accessed 12/20/2015).

(责任编辑 李 军)