

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.024

厂房零米设备基础简化动力计算适用性研究

胡传鹏

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]旨在探讨《动力机器基础设计规范》(GB 50040—1996)中厂房零米动力设备基础简化计算方法的适用性。[方法]以国内某典型燃煤电厂主厂房零米的典型设备为例,通过全频域动力分析与该简化动力计算的计算结果对比,明确了该简化计算方法对设备基础宽高比的具体要求。[结果]相关研究数据表明:只有当设备基础宽高比不小于1.5时,采用此简化动力计算方法才能得到比较准确的结果。[结论]通过对计算结果的分析可知,对于一般位于主厂房零米的动力设备,当基础重量大于5倍机器重量且基础宽高比不小于1.5时,规范提供的简化动力计算方法才是适用的。

关键词: 燃煤电厂; 动力设备; 动力计算

中图分类号: TM611; TU476.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0133-07

Research on the Applicability of Simplified Dynamic Calculation for Equipment Foundations on the Ground of Plant

HU Chuanpeng

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] This paper aims to explore the applicability of simplified dynamic calculation for equipment foundations on the ground of plant. [Method] Taking a typical equipment on the main building ground of a typical coal-fired power plant as an example, this paper compared the computational results of the whole frequency domain dynamic analysis and the simplified dynamic analysis and specified the specific requirements of aspect ratio for equipment foundation to use the simplified dynamic calculation. [Result] The results we obtained demonstrate that only when the equipment foundation aspect ratio is not less than 1.5, using the simplified dynamic calculation method can get more accurate results. [Conclusion] Based on the analysis of the calculation results, it can be seen that the simplified power calculation method provided by the specification is applicable to the power equipment, which is generally located in the main plant at zero meters, when the base weight is more than 5 times the machine weight and the base width and height ratio is not less than 1.5.

Key words: coal-fired power plants; power equipment; dynamic calculation

在火力发电厂、燃机电厂甚至是核电常规岛的厂房零米一般都会布置有大量的机器设备。除少数有特殊要求的设备外,大部分机器设备均可采用大块式基础形式进行承载。这些机器设备中有一部分是为专门为其他设备提供驱动力的,常称为动力机器设备。与普通静力设备基础相比,动力设备自身在不同工作状态下存在着不同的振动特性,其要求设备基础除了满足静力状态下的承载要求外,还要

求满足动力状态下的振动要求。《动力机器基础设计规范》(GB 50040—1996)^[1](以下简称《动规》)对不同设备类型不同工作转速的各类型机器基础均提出了相应的动力响应要求。因此,厂房零米动力设备基础设计除了验算地基承载力外,最大振动线位移、最大振动速度及最大振动加速度的计算也是尤为重要的。由于一般放置于厂房零米层的设备质量功率等均较小,为了方便设计,针对操作层设在厂房底层的大块式基础,《动规》第4.5节提供了一个简化计算方法,该方法的适用条件在条文说明中有相关阐述,其中对块体基础的形状、埋深、质量及边长等都有具体的量化规定,但对于基础宽高比

收稿日期: 2018-01-29 修回日期: 2018-09-11

基金项目: 中国能建广东院科技项目“《发电厂土建结构设计规程》修编”(ER04601W)

的要求却没有具体的阐述。因此,本文旨在基于某电厂底层的某一典型动力设备基础,通过全频域动力分析与该简化计算方法的分析结果对比,从而明确要采用该简化计算方法,基础宽高比需要满足的具体要求,从而为工程设计提供参考。

1 背景资料

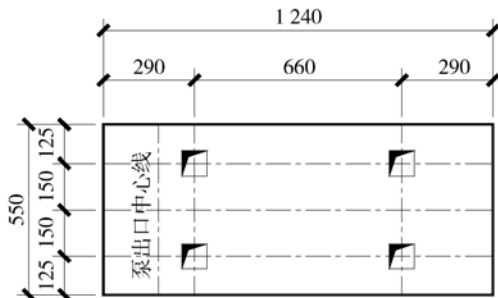
本研究依托的背景工程为 2×350 MW 热电联产项目,厂址位于河北省境内,一期建设 2×350 MW 超临界供热机组,并留有扩建余地,同步建设烟气脱硫、脱硝装置。本文以该典型燃煤电厂主厂房零米的典型设备热网前置加热器疏水泵为例。该热网前置加热器疏水泵的相关参数如表1所示:

表1 设备参数

Tab. 1 Equipment parameters

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	额定扬程/m	介质温度/ $^{\circ}\text{C}$
45	23	80
转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	电机功率/kW	静载/kg
2 900	5.5	184.8
动荷载/kg	附加荷载/kg	转子/kg
217.3	200	31

根据厂家提供的资料要求,该热网前置加热器疏水泵的基础大小要求如图1所示,厂家要求的仅为一个长1 240 mm 宽550 mm 的矩形基础。



注:单位为mm。

图1 热网前置加热器疏水泵基础图

Fig. 1 Foundation drawing of drainage pump for heat network front heater

在很多情况下,对于这样一份资料,设计人员通常会按照厂家资料提供的基础尺寸直接进行设计,复核一下在设备静载或动载作用下的地基承载力,若满足要求则设计完成。这种设计思路依据的是《火力发电厂土建结构设计技术规程》^[2](DL 5022—2012)第6.2.7条的规定:“功率小于2 000 kW 的电动给水泵、汽动给水泵、励磁机及各种离

心泵的基础,如为重量大于5倍机器重量的大块式基础或满足本标准表6.2.16要求的墙式基础,可不作动力计算”。然而究其根本该条规定来源于《动规》第4.5.1条:“除立式压缩机以外的功率小于80 kW 各类压缩机基础和功率小于500 kW 的对称平衡型压缩机基础,当其质量大于压缩机质量的5倍,基础底面的平均静压力设计值小于地基承载力设计值的1/2时,可不作动力计算。”然而,从该条规定的条文说明中可以看出,除了对基础重量提出需满足大于5倍机器重量的要求外,还对基础底面积提出了要求并明确指明当机器转速较高地基刚度较低时,满足基础底板面积要求对于避开共振区更为重要。而且,从《动规》第4.5.2条及4.5.3条的条文说明可以更加清晰地看出,《火力发电厂土建结构设计技术规程》第6.2.7条对于可不作动力计算的机器设备基础所需满足的条件的规定并不全面,笔者认为,这些设备基础除了应满足一定的质量比要求外,还应满足相应的宽高比要求,即该基础应是底面宽度和基础总高度的比值满足一定要求的扁平型基础。然而《动规》对于扁平型基础所需满足的宽高比并没有提出一个量化的标准,仅从《动规》第4.5.3条频率比与宽高比的表格(如表2所示)大概能粗略的推断出基础宽高比不应小于1.5左右。

表2 频率比 λ

Tab. 2 Frequency ratio λ

L/h	λ
1.5	0.7
2.0	0.8
3.0	0.9

注: L 为基础在水平扰力作用方向的底板边长。

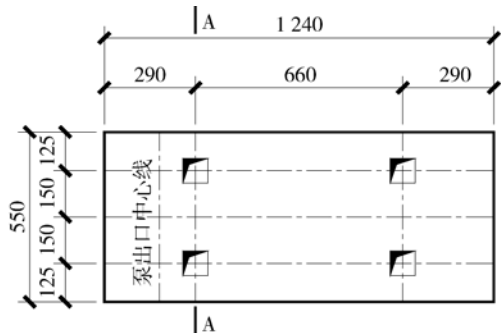
为了明确这个比值,下面将基于以上背景资料,分别采用简化计算方法与全频域动力分析法对不同宽高比的同一设备基础进行动力计算分析。

2 分析计算

2.1 计算假定

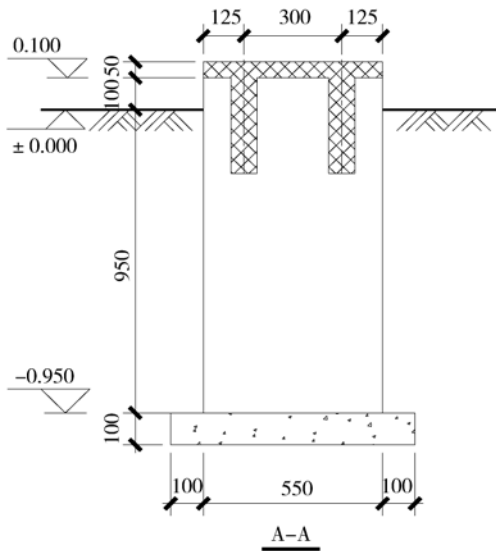
本文旨在研究要采用《动规》中简化动力计算方法,设备基础应满足的宽高比问题。因为本文计算中采用的备选基础形式都满足质量比的假定,即基础质量均满足大于机器设备质量5倍的要求,然后在此前提下设计不同宽高比基础形式,针对这些基础进行计算。

根据本文第 1 节中厂家提供的资料，在满足质量比的前提下，采用不同的宽高比设计出 7 个不同的设备基础方案，如图 2~图 8 所示。



注：单位为mm。

(a) 基础平面图

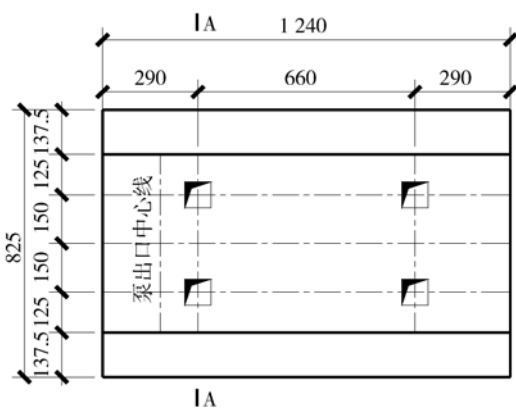


注：单位为mm。

(b) 基础剖面图

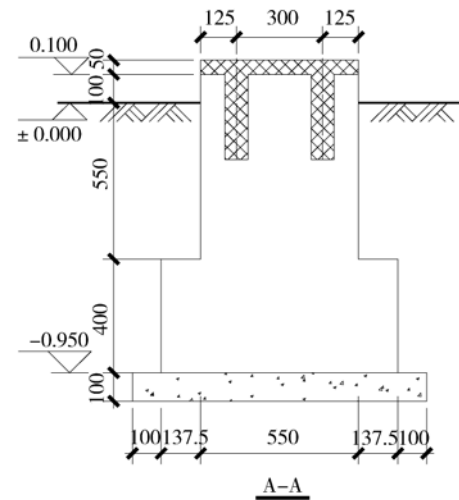
图 2 基础方案一

Fig. 2 Foundation scheme one



注：单位为mm。

(a) 基础平面图

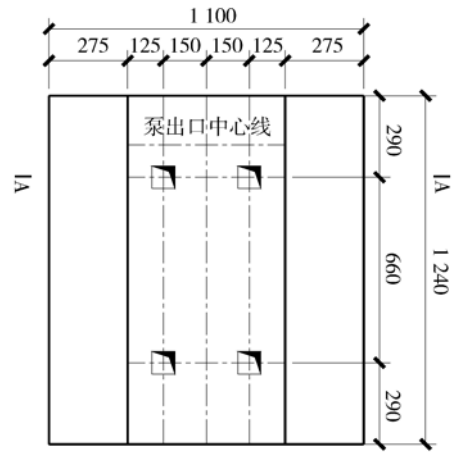


注：单位为mm。

(b) 基础剖面图

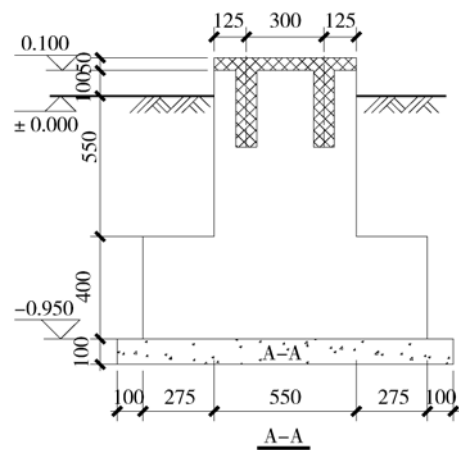
图 3 基础方案二

Fig. 3 Foundation scheme two



注：单位为mm。

(a) 基础平面图



注：单位为mm。

(b) 基础剖面图

图 4 基础方案三

Fig. 4 Foundation scheme three

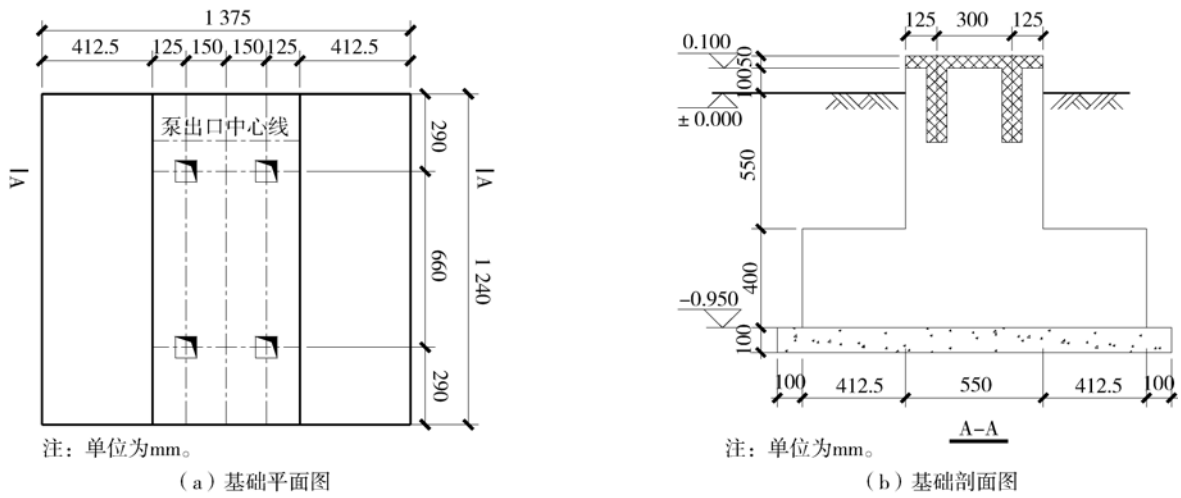


图5 基础方案四

Fig. 5 Foundation scheme four

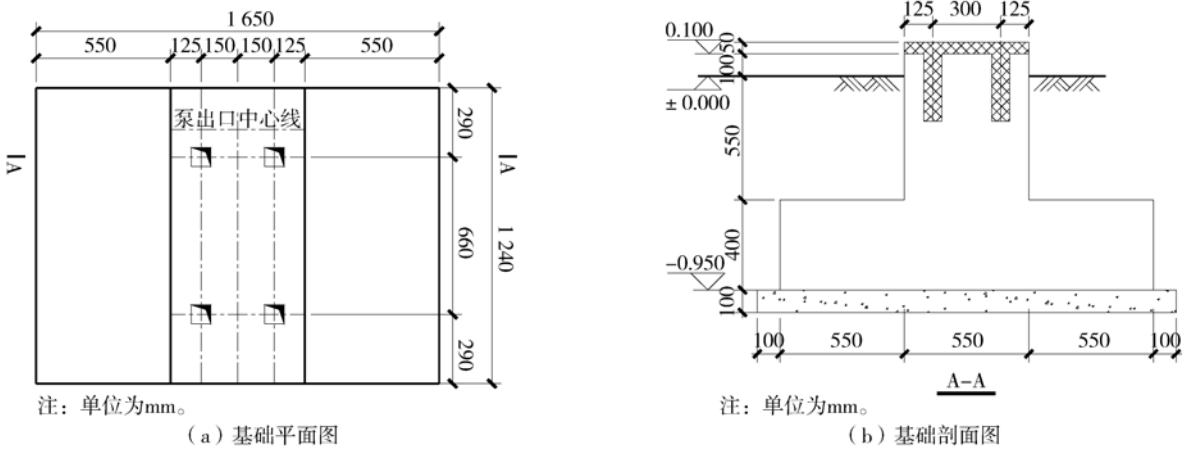


图6 基础方案五

Fig. 6 Foundation scheme five

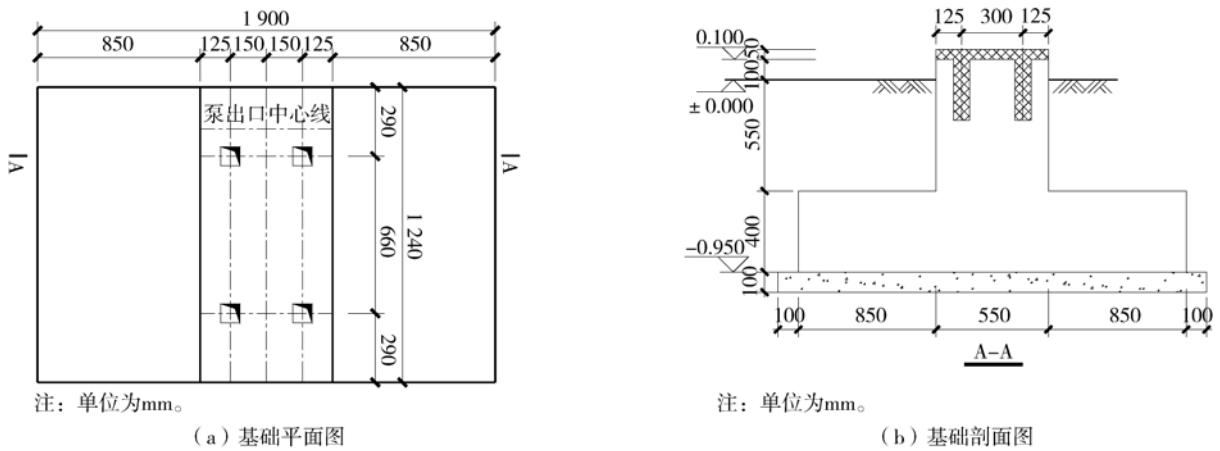


图7 基础方案六

Fig. 7 Foundation scheme six

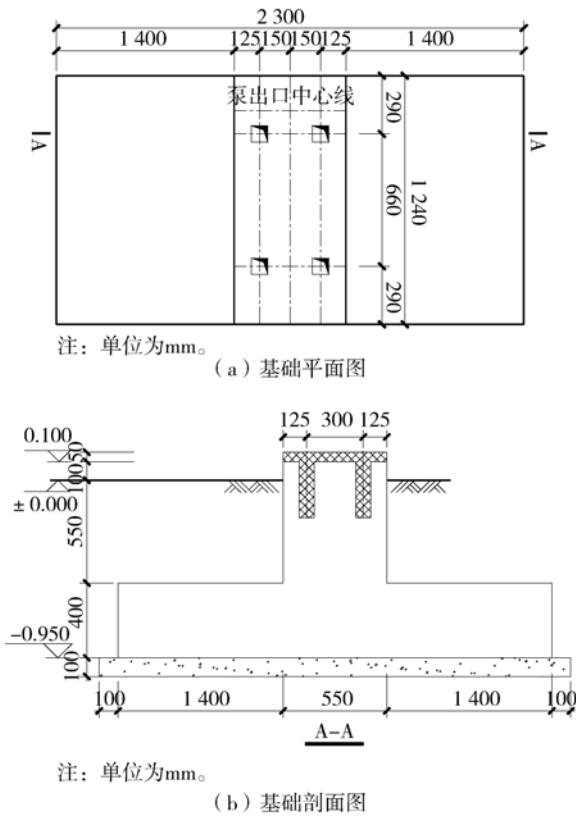


图 8 基础方案七
Fig. 8 Foundation scheme seven

从方案一至方案七，设备基础的宽高比(按照《动规》，此处宽度指基础底面扰力方向上的宽度)分别为 0.5、0.75、1.0、1.25、1.5、2.0、3.0。

2.2 简化计算方法

根据《动规》第 4.5.2 条规定：“对于操作层设在厂房底层的大块式基础，在水平扰力作用下，可采用下列简化计算公式验算基础顶面的水平振动线位移。”

$$A_{x\varphi 0} = 1.2 \left(\frac{P_x}{K_x} + \frac{P_x H_h}{K_\varphi} \right) \frac{\omega_{n1s}^2}{\omega_{n1s}^2 - \omega^2} \quad (1)$$

$$H_h = h_0 + h_1 + h_2 \quad (2)$$

$$h = h_1 + h_2 \quad (3)$$

$$\omega_{n1s} = \lambda \omega_{nx} \quad (4)$$

式中： $A_{x\varphi 0}$ 为在水平扰力作用下，基础顶面的水平向振动线位移； H_h 为水平扰力作用线至基础底面的距离(m)，如图 9 所示； λ 为频率比。

采用此简化公式对这五个基础方案进行动力计算，频率比 λ 按《动规》表 4.5.3 线性插值选用。方案一至方案七的频率比 λ 取值分别为 0.50、0.55、0.60、0.65、0.70、0.80、0.90。

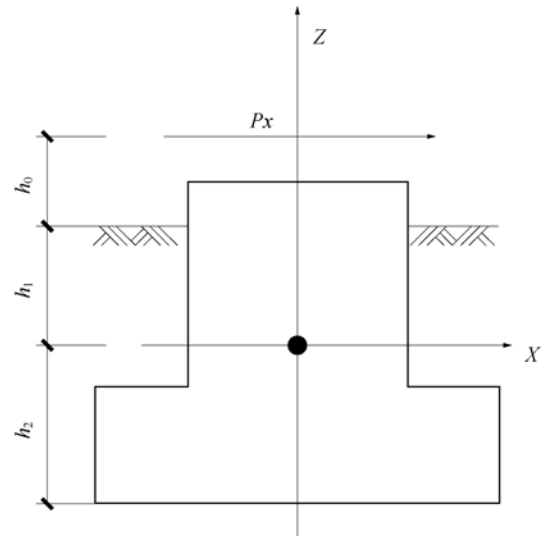


图 9 大块式基础计算简图
Fig. 9 Schematic diagram of a large base calculation

各方案的简化动力计算的位移(单位 μm)如表 3 所示。

表 3 简化动力计算结果
Tab. 3 Simplified dynamic calculation results μm

方案 1 位移	方案 2 位移	方案 3 位移	方案 4 位移
8.574	4.330	2.817	2.115
方案 5 位移	方案 6 位移	方案 7 位移	
1.740	1.571	1.152	

2.3 全频域动力分析法

本文采用用有限元分析软件 SAP 2 000 进行动力分析^[3]。根据《火力发电厂土建结构设计技术规程》(DL 5022—2012)第 6.1.21 条的规定：“计算振幅时，宜取工作转速一定范围内(一般取 $\pm 25\%$)的最大振幅作为工作转速时的计算振幅，并应小于容许振幅值。0~75%工作转速范围内的计算振幅不应小于 1.5 倍的容许振幅值。”本文计算所依托的设备工作转速为 2 900 r/min，因此在有限元计算中所选取的转速计算范围为 0~3 625 r/min。设备扰力值按《火力发电厂土建结构设计技术规程》(DL 5022—2012)第 6.2.10 条取值：

$$P_y = P_z = m e_0 \omega^2 \quad (5)$$

$$P_x = 0.5 P_y \quad (6)$$

SAP 2 000 有限元计算模型如图 10 所示，扰力作用点位于转子轴线所在平面，定义一根刚性杆将扰力作用点与设备基础相连，考虑到实体单元与杆系单元的自由度不一致，将刚性杆下端点与实体单

元相连的几个节点束缚在一起,实现变形协调^[4-5]。

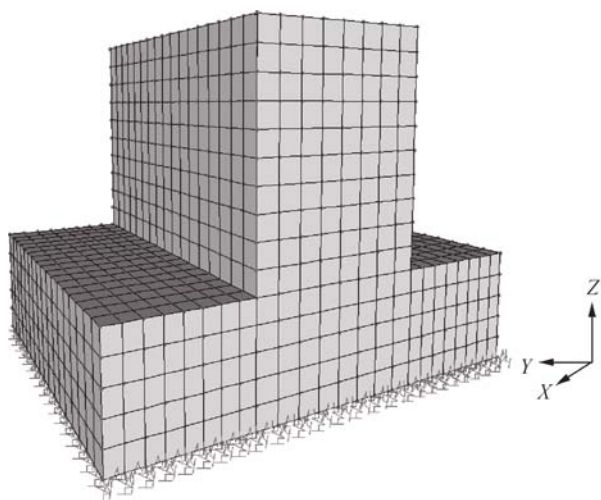


图 10 SAP 2000 有限元计算模型

Fig. 10 SAP 2000 FEM model

模型约束采用节点弹簧约束,弹簧的刚度按照《动规》表 3.3.2 取值^[6-8]。经有限元计算分析后,各方案动力计算结果如表 4 所示。

表 4 SAP 2000 动力计算结果

Tab. 4 SAP 2000 dynamic calculation results

方案 1 位移	方案 2 位移	方案 3 位移	方案 4 位移
33.600	7.200	3.600	2.400
方案 5 位移	方案 6 位移	方案 7 位移	
1.810	1.532	1.131	

3 计算结果比较

前文采用了两种不同的方法对同一设备的七种不同宽高比基础方案进行了动力计算。扰力作用点振动位移幅值计算结果对比如表 5 所示。表中给的误差是用全频域动力分析法结果减去简化动力计算结果的差值除以简化动力计算结果得到的比值。

从表 5 的结果可以看出:

表 5 振动位移对比

Tab. 5 Vibration displacement contrast

指标	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六	方案七
简化动力计算/ μm	8.574	4.330	2.817	2.115	1.740	1.571	1.152
全频域动力分析法/ μm	33.600	7.200	3.600	2.400	1.810	1.532	1.131
误差/%	291.800	66.300	27.800	13.470	4.020	2.490	1.820

1)两种方法的计算结果均反映出在其他条件相同的情况下,基础的振动位移与基础宽高比成反比,即基础宽高比越大,振动位移值越小,设备工作工况越稳定。

2)全频域动力分析法没有计算假定,不受基础尺寸大小的限制,因此可以作为基准来与简化动力计算方法的结果做比较。简化动力计算中频率比 λ 取值由于规范只给了宽高比 1.5~3 对应的值,本文在计算时采取了线性插值的方法来计算频率比,该过程必然会带来误差,这也正好说明了简化动力计算方法只有在基础满足一定宽高比的前提下才具有适用性。

3)从表 5 的误差项中可以看出,方案一的误差高达 291.8%,基本可以算是错误。方案二~方案四的误差值随着宽高比的递增,误差值逐渐减小,方案四的误差为 13.47%,仍然不满足工程计算的需要。方案五、六、七的误差结果分别为 4.02%、2.49%、1.82%,能满足工程计算 $\pm 5\%$ 误差的要求。此结果说明只有当基础宽高比 ≥ 1.5 时,简化动力计算的结果才是比较准确的。

4 结论

本文通过对简化动力计算方法与全频域动力分析法计算结果进行比较,明确了《动规》第 4.5 节所提供的简化动力计算方法的适用要求,即对于一般位于主厂房零米的动力设备,当基础重量大于 5 倍机器重量且基础宽高比不小于 1.5 时规范提供的简化动力计算方法才是适用的。

此外,从本文的计算过程及结果中可以看出,设备基础的宽高比对机组的稳定性有着非常重要的影响,因此《火力发电厂土建结构设计技术规程》第 6.2.7 条与《动规》第 4.5.1 条中关于设备基础可以不做动力计算时需满足的要求中,应将基础宽高比考虑进去,且笔者认为这个基础宽高比要求宜为不小于 1.5。

参考文献:

- [1] 国家技术监督局, 中华人民共和国建设部. 动力机器基础设计规范: GB 50040—1996 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1996.
The State Bureau of Technical Supervision, Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for design of dynamic machine foundation: GB 50040—1996 [S]. Beijing: China Planning Press, 1996.
- [2] 国家能源局. 火力发电厂土建结构设计技术规程: DL 5022—2012 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
National Energy Administration. Technical code for the design of civil structure of fossil-fired power plant: DL 5022—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [3] 张加胜, 周红旗. SAP 2 000 在动力机器基础设计中的应用 [J]. 现代矿业, 2009, 25(10): 134-136.
ZHANG J S, ZHOU H Q. SAP 2 000 application in dynamic machine foundation design [J]. Modern Mining, 2009, 25(10): 134-136.
- [4] 徐术陇, 杨兴权. 动力机器基础设计分析 [J]. 沈阳建筑工程学院学报, 1997, 13(3): 263-267.
XU S L, YANG X Q. Analysis of dynamic machine foundation design [J]. Journal of Shenyang Architectural, 1997, 13(3): 263-267.
- [5] 侯兴民, 马小燕, 吴汉生, 等. 动力机器基础振动与设计若干问题的讨论 [J]. 地震工程与工程振动, 2008, 28(3): 131-137.
HOU X M, MA X Y, WU H S, et al. Some problems about vibration and design of dynamic machine foundation [J]. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2008, 28(3): 131-137.
- [6] 董石麟, 李元齐. 三峡水电站左岸厂房上部网架结构整体分析 [J]. 空间结构, 2000, 6(4): 3-10.
DONG S L, LI Y Q. Integral analysis on the space truss in hydroelectric station factory of the three gorges [J]. Spatial Structures, 2000, 6(4): 3-10.
- [7] 蒋东旗, 项民生, 谢定义. 数值方法在动力机器基础设计中的应用 [J]. 工业建筑, 2001, 31(6): 46-48.
JIANG D Q, XIANG M S, XIE D Y. Application of numerical simulation method to dynamic machinery foundation design [J]. Industrial Construction, 2001, 31(6): 46-48.
- [8] 练继建, 张辉东, 王海军. 水电站厂房结构振动响应的神经网络预测 [J]. 水利学报, 2007(3): 361-364.
LIAN J J, ZHANG H D, WANG H J. Prediction of vibration response of powerhouse structures by means of artificial neural network method [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007(3): 361-364.

作者简介:



HU C P

胡传鹏(通信作者)

1987-, 男, 湖北咸宁人, 工程师, 硕士, 主要从事电厂结构设计的工作 (e-mail) huchuanpeng@gedi. com. cn.

(责任编辑 李辉)

中国能建广东院出席中美(广州)城市能源与环保合作研讨会并作主题演讲

2018年11月7日, 中美(广州)城市能源与环保合作研讨会在广州举行。中国能建广东院总工程师裴爱国应邀出席会议, 并作为首位演讲嘉宾发表主题演讲, 在现场引起热烈反响。

裴爱国以“低碳、绿色、智慧的综合能源解决方案”为题, 向中美与会代表详细介绍了广东院以规划为引领的智慧城市综合能源解决方案, 以及在城镇区域、工业园区、工商业楼宇群等项目上的成功实践, 提出了适合不同城市场景的能源和环保技术应用路线。

本届大会旨在推广城市商业示范项目可操作、可持续、可复制的商业模式, 在城市和中美优秀企业之间架起合作的桥梁, 由中国国家发展改革委城市和小城镇改革发展中心、美国贸易发展署、美国驻华使馆商务处和中美能源合作项目联合主办。研讨主题涵盖环保技术、城市分布式能源、城市电力发展、城市规划设计、城市基础设施等多个领域。

(中国能建广东院)