

某火电厂主厂房地震反应分析

宋建学

贾志尧

(郑州工业大学土建系) (郑州市工程质检站, 450052)

海云录

(河南省化工设计院, 郑州, 450052)

摘 要 选取某火电厂汽机房和磨煤机房组成的框——排架结构作为主厂房的计算模型, 分析了主厂房的自振特性, 并采用振型分解反应谱法详细计算了主厂房在 6—8 度地震影响下结构各部分的内力及变形, 最后根据结构控制点在各烈度下的位移量值, 给出了主厂房的震害预测结果。

关键词 工业建筑; 结构分析; 震害预测

中图分类号 TU311.3

某火电厂主厂房 1、2 号机组系国产机组, 其土建部分建于 1972 年, 柱距 12 米, 采用等高排架。主厂房地震反应分析选 1、2 号机组主厂房(以下简称主厂房)作为计算对象。从结构方面看, 由于磨煤机房与锅炉房之间的联系比较薄弱, 因此作为地震反应分析, 可以取主厂房的计算模型为汽机房和磨煤机房两部分。

1 结构概况

主厂房平面图如图 1 所示, 其剖面图如图 2 所示。根据对主厂房设计资料的分析, 在结构方面, 沿主厂房纵向, 各榀排架的刚度、强度完全相等, 只有磨煤机房的框架沿纵向在高度和竖向分层方案上略有变化。从荷载方面看, 沿厂房纵轴的荷载分布也可以近似认为是均匀的。因此, 可以认为主厂房的地震反应(内力和变形)沿纵向是均匀的, 即可以把主厂房简化为一个平面结构。根据对主厂房设计资料的综合分析, 主厂房沿纵向在其中部结构高度最大, 且轴线 10、11 和 12 上的结构基本相同。在轴线 11 上的框排架结构 KPJ—11 可以作为计算分析的典型单元。图 3 所示为主厂房地震反应分析的结构模型以及计算模型的结点编号和单元编号图。

2 结构自振特性分析

在上述计算模型中, 共有 16 结点, 计算单元为 19 个, 结构的总自由度数为 39。

结构自振特性的分析采用有限单元法^[1]。首先将结构离散化, 进行单元的特性分析,

收稿日期: 1997—10—08

第一作者 男 1967 年生 硕士学位 讲师

最后进行整体综合分析,得到结构的总体振动方程。由于结构的自振特性受阻尼的影响比较小,可以按无阻尼自由振动求解结构的自振特性。

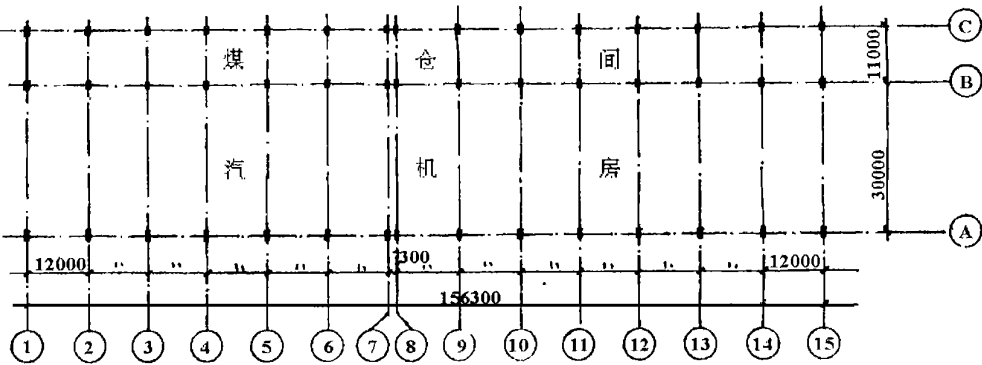


图 1 主厂房平面图

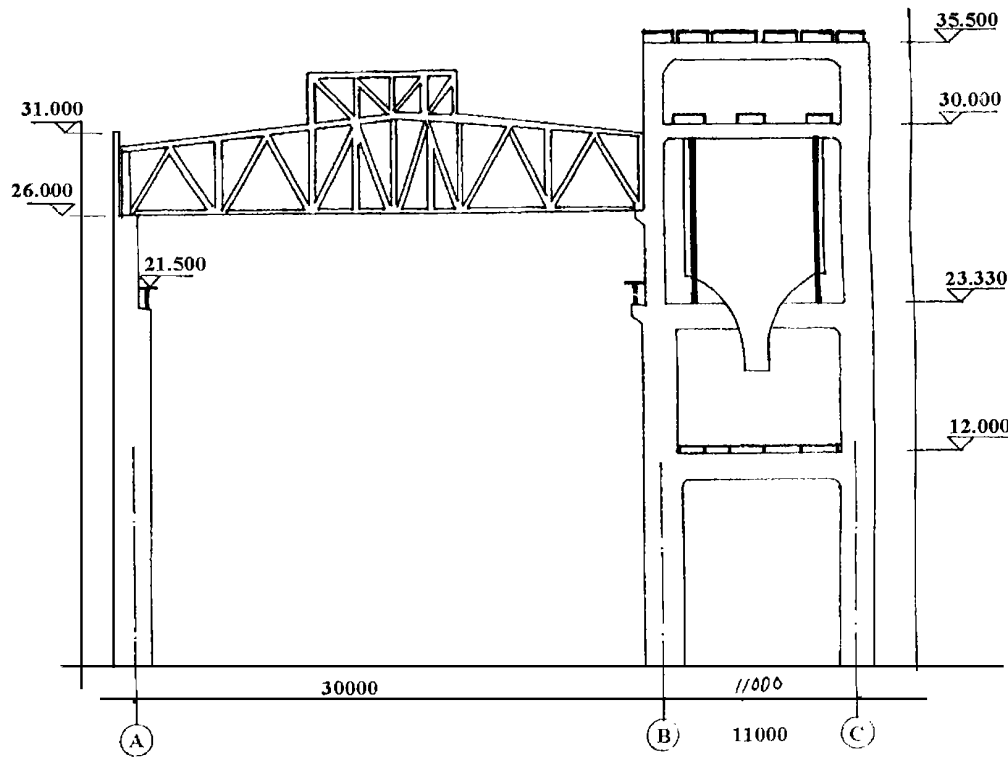


图 2 主厂房剖面图

无阻尼自由振动的运动方程为:

$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\}$ (1)

其中, $[M]$ 是系统的质量矩阵;

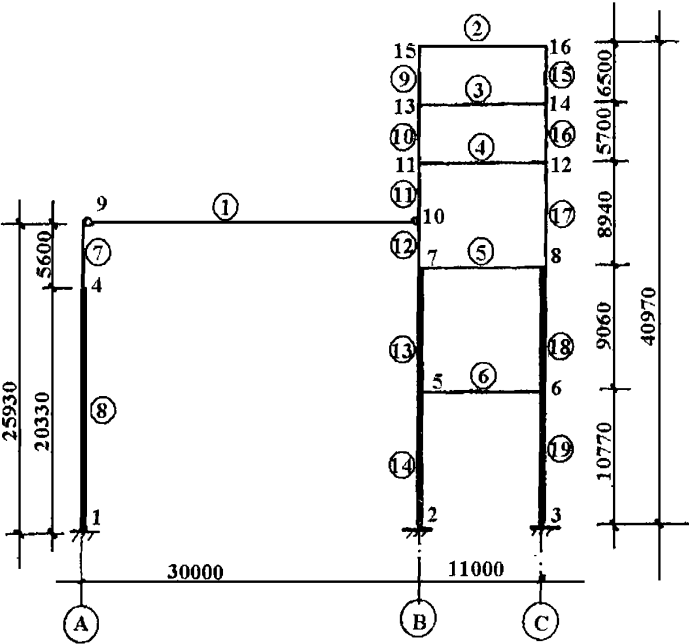


图 3 主厂房结构分析模型

[K]是系统的刚度矩阵；

$\{ x \}$ 是系统的位移向量；

$\{ \ddot{x} \}$ 是系统的加速度向量。

求解(1)式可以得到系统振动的频率方程：

$$([k] - \omega^2 [M]) \{ x_0 \} = \{ 0 \}$$
 (2)

其中 ω 表示结构的自振圆频率， $\{ x_0 \}$ 表示系统的固有振型。它们只取决于结构本身的刚度[k]和质量[M]，是结构的固有动力特性。

对于方程(2)，采用 QR 特征值求解方法^[2]，并在实际分析中编制了相应的 FORTRAN 程序。本程序可以求解任意数量的特征值与特征向量对。根据上述方法，结合实际工作背景，求出电厂主厂房前五阶自振特性如表 1 所示。图 4—8 为主厂房自由振动的前 5 阶振型。

表 1 主厂房自由振动特征值

| 振型阶 | 圆频率 ω (rad / s) | 周期 T (s) | 频率 f (Hz) |
|-----|-----------------------------|---------------|----------------|
| 1 | 7.1230 | .8821 | 1.1337 |
| 2 | 21.6757 | .2899 | 3.4498 |
| 3 | 38.7311 | .1622 | 6.1642 |
| 4 | 43.8581 | .1433 | 6.9802 |
| 5 | 75.9812 | .0827 | 12.0928 |

3 地震作用计算

3.1 振型分解反应谱法

主厂房地震作用的计算采用振型分解反应谱法^[3]。振型分解反应谱算法就是利用振型分解法将 n 个自由度的多质点体系分解成 n 个广义单自由度体系,再利用单质点体系的反应谱理论计算各振型下的地震作用及其效应(结构的内力及变形),最后按照“平方和开平方”的方法求解结构的总体地震效应。

对应于 j 振型的第 i 个质点,其水平地震作用标准值可以按(3)式进行计算:

$$F_{ji} = \alpha_j \cdot \gamma_j \cdot X_{ji} \cdot G_i$$
 (3)

式中: F_{ji} —— j 振型下 i 质点的水平地震作用标准值;

α_j ——相应于 j 振型自振周期的水平地震影响系数;

X_{ji} —— j 振型下 i 质点的水平相对位移;

G_i ——集中到 i 质点处的重力荷载代表值;

γ_j —— j 振型的参与系数,可以按(4)计算。

$$\gamma_j = (\sum G_i X_{ji}) / (\sum G_i X_{ji}^2)$$
 (4)

根据各振型的地震作用,可以求解相应的地震作用效应。当计算出各振型的地震作用效应后即可按照式(5)计算结构体系的总体地震反应。

$$S = \sqrt{\sum S_j^2}$$
 (5)

3.2 荷载计算

由设计资料 and 实际使用情况调查得出,主厂房的汽机房部分屋面活荷载为 $0.075 T/M^2$,除氧煤仓间的屋面活荷载为 $0.5 T/M^2$ 。

煤仓是直径为 6.0 米,高度为 10 米的圆柱型筒壳,其壁厚为 300 mm,且上部为空腔,下部为实心体。沿主厂房纵向,每两跨设煤仓一个。从生产的实际情况出发,考虑煤仓是半满载的情况作为计算依据。

3.3 计算结果

根据振型分解反应谱算法和静力荷载图式,即可求解结构在各烈度下的地震效应。表 2 给出了 8 度条件下的杆端力。

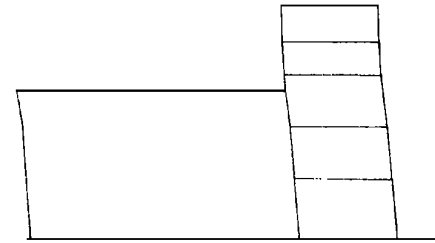


图 4 主厂房第一振型

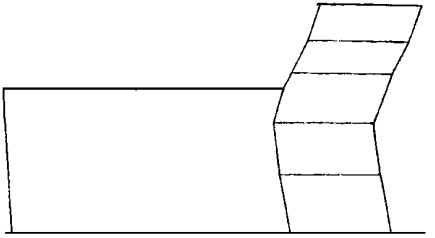


图 5 主厂房第二振型

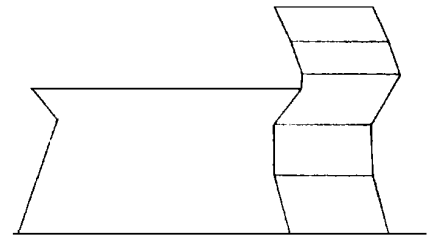


图 6 主厂房第三振型

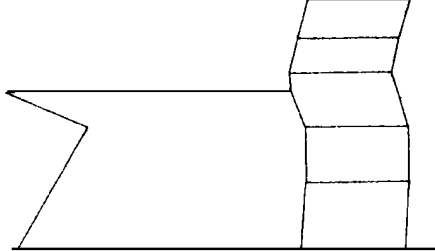


图 7 主厂房第四振型

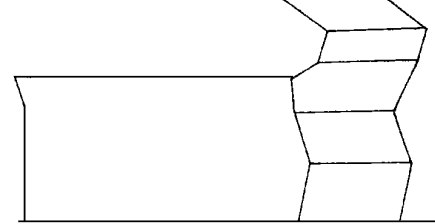


图 8 主厂房第五振型

表 2 8 度地震作用下各杆端力(与静力荷载效应组合)

| 单元 | 结点 | 轴力 <i>KN</i> | 剪力 <i>KM</i> | 弯矩 <i>KNM</i> |
|----|----|--------------|--------------|---------------|
| 1 | 9 | 105.47490 | 1185.00000 | .00000 |
| | 10 | −105.47490 | 1185.00000 | .00000 |
| 2 | 15 | 145.65250 | 661.71180 | −898.51710 |
| | 16 | −145.65250 | 661.81590 | 901.35390 |
| 3 | 13 | 53.24922 | 440.48570 | −1111.71800 |
| | 14 | −53.24922 | 440.89580 | 1109.48500 |
| 4 | 11 | −170.01480 | 882.29530 | −1938.32200 |
| | 12 | 170.01480 | 884.31320 | 1980.220000 |
| 5 | 7 | 64.329720 | 1327.74500 | −3766.27300 |
| | 8 | −64.329720 | 1336.51700 | 3729.85100 |
| 6 | 5 | −104.35030 | 560.93600 | −1753.57000 |
| | 6 | 104.35030 | 562.24950 | 1762.94500 |
| 7 | 4 | 1252.20000 | −29.94749 | 167.70600 |
| | 9 | −1185.00000 | 29.94749 | −.00025 |
| 8 | 1 | 1435.17000 | −34.32251 | 750.32950 |
| | 4 | −1252.20000 | 34.32251 | −167.70600 |
| 9 | 13 | 763.02370 | −199.26260 | 404.93370 |
| | 15 | −665.52370 | 199.26260 | 898.51640 |
| 10 | 11 | 1289.63900 | −285.63640 | 904.10900 |
| | 13 | −1204.13900 | 285.63640 | 728.66850 |
| 11 | 10 | 2211.46600 | −203.47270 | −650.25270 |
| | 11 | −2168.86600 | 203.47270 | 1047.94500 |
| 12 | 7 | 3513.93100 | −337.22790 | 1429.41000 |
| | 10 | −3422.43100 | 337.22790 | 650.25240 |
| 13 | 5 | 5041.11300 | −365.66830 | 953.63510 |
| | 7 | −4823.67300 | 365.66830 | 2366.57200 |

| | | | | |
|----|----|-------------|------------|-------------|
| 14 | 2 | 5860.90400 | —299.06140 | 2405.73200 |
| | 5 | —5602.42300 | 299.06140 | 818.35080 |
| 15 | 14 | 762.27080 | 200.74770 | —406.07710 |
| | 16 | —664.77080 | —200.74770 | —901.35360 |
| 16 | 12 | 1288.71900 | 273.28980 | —887.66610 |
| | 14 | —1203.21900 | —273.28980 | —711.97880 |
| 17 | 8 | 2304.96000 | 278.62800 | —1280.57800 |
| | 12 | —2170.86000 | —278.62800 | —1212.21500 |
| 18 | 6 | 3845.42400 | 377.56120 | —930.93750 |
| | 8 | —3627.98400 | —377.56120 | —2496.77300 |
| 19 | 3 | 4665.61200 | 298.18870 | —2365.12100 |
| | 6 | —4407.13200 | —298.18870 | —849.56460 |

4 主厂房震害预测

叠加各结点在地震条件下的位移及在静力作用下的位移,可以求出在各种烈度的地震条件下,主厂房各结点的总体位移。

表 3—8 为汽机房和除氧煤仓间在 6—8 度地震作用下的层间位移和顶部位移计算结果。

计算结果表明,在 6—8 度地震条件下,主厂房各部分的层间位移和顶部总体位移,仍处在弹性限值内,因此,可以判定:在 6—8 度条件下,主厂房将仍处于基本完好的状态。

表 3 6 度地震作用下汽机房侧移计算

| 结点 | 水平位移 Δ_x (M) | 层间位移 dx (M) | 高 度 H (M) | 层间位移角 θ (rad) | 层间位移角 限值(rad) |
|----|---------------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|------------------|
| 4 | .0048 | 0.0048 | 20.33 | 1/4235 | |
| 9 | .0070 | 0.007 | 25.93 | 1/3704 | 1/800 |
| 10 | .0070 | 0.007 | 25.93 | 1/3704 | |

表 4 7 度地震作用下汽机房侧移计算

| 结点 | 水平位移 Δ_x (M) | 层间位移 dx (M) | 高 度 H (M) | 层间位移角 θ (rad) | 层间位移角 限值(rad) |
|----|---------------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|------------------|
| 4 | .0103 | 0.0103 | 20.33 | 1/1974 | |
| 9 | .0152 | 0.0152 | 25.93 | 1/1705 | 1/800 |
| 10 | .0152 | 0.0152 | 25.93 | 1/1706 | |

表 5 8 度地震作用下汽机房侧移计算

| 结点 | 水平位移 Δ_x (M) | 层间位移 dx (M) | 高 度 H (M) | 层间位移角 θ (rad) | 层间位移角 限值(rad) |
|----|---------------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|------------------|
| 4 | .0212 | 0.0212 | 20.33 | 1/960 | |
| 9 | .0315 | 0.0315 | 25.93 | 1/823 | 1/800 |
| 10 | .0314 | 0.0315 | 25.93 | 1/826 | |

表 6 6 度地震作用下除氧煤仓间侧移计算

| 层 数 | 侧移 (mm) | 层间侧移 (mm) | 层高 (mm) | θ_e | $[\theta_e]$ |
|-------|------------|--------------|------------|------------|--------------|
| 一层 | 3.2 | 3.2 | 10.7 | 1/3366 | |
| 二层 | 5.6 | 2.4 | 9.06 | 1/3775 | |
| 三层 | 8.5 | 2.9 | 8.94 | 1/3083 | |
| 四层 | 9.4 | 0.9 | 5.50 | 1/6110 | 1/800 |
| 五层 | 9.6 | 0.2 | 6.50 | 1/32500 | |
| 顶部总侧移 | 9.6 | — | 40.96 | 1/4268 | |

表 7 7 度地震作用下除氧煤仓间侧移计算

| 层 数 | 侧移 (mm) | 层间侧移 (mm) | 层高 (mm) | θ_e | $[\theta_e]$ |
|-------|------------|--------------|------------|------------|--------------|
| 一层 | 6.2 | 6.2 | 10.7 | 1/1726 | |
| 二层 | 11.4 | 5.2 | 9.06 | 1/1742 | |
| 三层 | 17.6 | 6.2 | 8.94 | 1/1442 | |
| 四层 | 19.8 | 2.2 | 5.50 | 1/2500 | 1/800 |
| 五层 | 20.8 | 1.0 | 6.50 | 1/6500 | |
| 顶部总侧移 | 20.8 | — | 40.97 | 1/1970 | |

表 8 8 度地震作用下除氧煤仓间侧移计算

| 层 数 | 侧移 (mm) | 层间侧移 (mm) | 层高 (mm) | θ_e | $[\theta_e]$ |
|-------|--------------|----------------|--------------|------------|--------------|
| 一层 | 12.2 | 12.2 | 10.7 | 1/877 | 1/800 |
| 二层 | 22.9 | 10.7 | 9.06 | 1/847 | |
| 三层 | 35.8 | 12.9 | 8.94 | 1/693 | |
| 四层 | 40.6 | 4.8 | 5.50 | 1/1146 | |
| 五层 | 43.3 | 2.7 | 6.50 | 1/2407 | |
| 顶部总侧移 | 43.3 | — | 40.97 | 1/946 | |

5 结语

从计算结果可以看出,该火电厂主厂房在当地基本烈度(7 度)或罕遇烈度地震作用下,其主体结构构件仍能保持在弹性状态,即主体结构的震害评价结论为“基本完好”,可以满足电力系统核心工程建筑结构抗震设防要求。

参考文献

1 K·J 巴特等.有限元分析中的数值方法.北京:科学出版社.1991
2 殷学纲,陈准等.结构振动分析的子结构方法.北京:中国铁道出版社.1991
3 中华人民共和国国家标准建筑抗震设计规范 GBJ11—89.北京:中国建筑工业出版社.1989

Earthquake Response Analysis on Major
Workshop in a Power Factory

Song Jianxue
(Zhengzhou University of Technology)
Jia Zhiyao
(450052, Zhengzhou Project Quality Checking Station)
Hai Yunlu
(450052, Henan Institute of Chemical Design)

Abstract A frame-truss composit model is chosen as the analysis object of the major workshop in a certain power factory. The nature vibration features such as periods and modes are firstly determined. Then the response spetrum based on modes decomposition method is used to calculate the internal forces and displacements on key points under the 6-8 intensity of earthquake. Finally the damage rate of the workshop is predicted.

Keywords industry building ; structure analysis; earthquake damage prediction
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w