

高地震危害地区大容量机组锅炉构架抗震设计 研究及应用

黄永苍¹ 倪勇¹ 陈勇军¹ 闫晓¹ 余友华¹ 马立武¹ 赖永峰¹
易方民² 程绍革² 朱勇军² 徐海波² 谭保峰²

(1. 东方锅炉(集团)股份有限公司技术中心 成都 611731)

(2. 中国建筑科学院工程抗震研究所 北京 100013)

摘要: 本文介绍了在2007年7月~2008年12月之间由东方锅炉(集团)股份有限公司技术中心和建筑科学院抗震研究所合作依托东方锅炉某项9度抗震设防要求的工程项目而开展的针对高地震危害地区大容量机组锅炉构架抗震设计所作的专项研究。

关键词: 大容量机组; 高地震危害; 锅炉构架抗震设计

1. 引言

锅炉构架是用于支承悬吊式电站锅炉炉体的中心支撑空间框架结构; 大容量机组锅炉构架则是相对更复杂的空间结构体系, 以600MW机组为例, 其结构高度90米, 荷载包括自重近30000吨, 如图1所示。依据经验当抗震设防要求达到8度II类及更高要求时, 锅炉构架抗震设计将成为结构设计的主导因素。由此, 我们称抗震设防要求高于此类的地区为高地震危害地区。

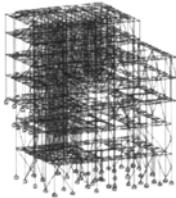


图1 锅炉构架示意图

过去东方锅炉的电站锅炉项目基本上都位于地震危害较小的地区, 位于高地震危害地区的项目不到10%, 无9度抗震设防要求; 但近年来特别是随着国外市场的开拓, 高地震危害地区锅炉项目已占相当比重。在这些项目中600MW机组项目还出现了相当于我国标准9度、III类场地的抗震设计要求。为此中国建筑科学院抗震研究所应东方锅炉(集团)股份有限公司的邀请和东方锅炉技术中心一道对高地震危害地区大容量机组锅炉构架的抗震设计进行了专题研究, 项目使用的软件为SAP2000和PKPM软件。本文是对此项研究的

简介。

2. 锅炉构架动态计算模型的简化

悬吊式锅炉结构体系包括锅炉顶板、锅炉构架、悬吊炉体以及两者之间的连接装置、导向装置等。锅炉构架一般采用钢框架—中心支撑结构, 其主要结构构件包括柱、梁(包括次梁)、支撑(垂直支撑和水平支撑)等构件以及一些附属结构; 荷载主要包括构架自重、部分楼层的活荷载、设备及管道运行荷载等。

在整个结构体系中悬吊炉体是其重要组成部分, 炉体荷载要占到整个结构荷载的一半以上。因此进行锅炉构架的动态抗震设计应将悬吊炉体及与之相关的吊杆系统、导向装置等作为整个计算模型的重要组成部分纳入整个计算模型中。

2.1 锅炉悬吊炉体的模拟:

锅炉悬吊炉体是由水冷壁、横向及竖向刚性梁、保温层等组成的一个组合体, 其中水冷壁金属重量及介质重量是炉体重量的主要组成部分。对于锅炉构架的计算分析及

第一作者: 黄永苍, 男, 1964年1月出生, 高级工程师。

设计来说, 炉体对锅炉构架作用效应的影响主要体现在对结构动力特性的影响及荷载方面, 在炉体模拟时需要体现炉体刚度及荷载的实际分布状况。

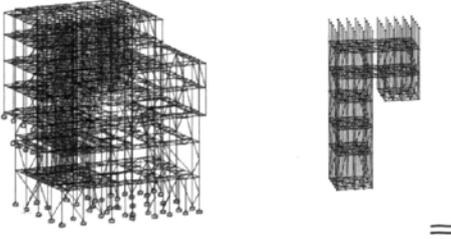


图2 构架动态计算模型及其中的炉体模型

2.2 锅炉吊杆的模拟

吊杆布置主要起到传递竖向荷载的作用, 对锅炉构架的整体性能影响很小。在作动力计算时只需建立一定数量的吊杆即可。采用底部剪力法进行地震作用计算时, 在结构顶部需要施加顶部附加地震作用, 采用振型分解反应谱法时无此规定。在悬吊锅炉构架结构体系中, 虽然炉体重量是通过吊杆传递至结构顶板, 但当吊杆两端铰接时, 水平刚度很小, 由此引起的顶部附加地震力亦很小。

2.3 导向装置的模拟

导向装置是用来控制锅炉在水平方向的位移, 保持锅炉水平方向的稳定性, 如图3所示。导向装置的模拟应充分体现该装置的结构特点。

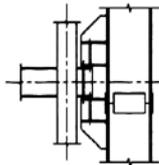


图3 导向装置示意图

2.4 炉体刚度和导向装置刚度对构架地震效应的影响

由于结构的复杂性, 动态计算模型与实际结构总回存在一定的差异, 因而我们对模型简化对计算结果的影响作了分析, 分析了导向装置刚度和炉体刚度对构架地震效应的影响。分析结论表明导向装置刚度和炉体刚度对构架地震效应的影响都较大, 在进行动态计算时应合理估计模型简化的影响。

3. 锅炉构架抗震设计中一些设计参数的选取

问题

3.1 阻尼比: 多遇地震下的阻尼比和罕遇地震下的阻尼比

据有关实测数据锅炉构架的平动阻尼比在0.012~0.04之间; 扭转阻尼比在0.04~0.06之间; 在冲击时阻尼比则在0.04~0.05之间。现行《建筑抗震设计规范》则规定: 在多遇地震作用下, 钢筋混凝土结构的阻尼比为0.05, 不超过12层的钢结构阻尼取0.035, 超过12层的钢结构阻尼取0.02; 罕遇地震作用下, 钢结构的阻尼比均取0.05。但目前《建筑抗震设计规范》正在修订, 新版规范中拟将多遇地震下多高层钢结构的阻尼比均调整为0.035。鉴于上述情况, 同时实际悬吊锅炉构架中布有很多管道等, 其对结构也起到耗能的作用, 因此建议对单机容量大于200MW的悬吊锅炉构架的阻尼比取0.035, 鉴于结构进入弹塑性状态后构件的耗能能力将大大提高, 在罕遇地震下阻尼比可采用0.05。

3.2 周期折减系数

工程实测表明建筑物的自振周期短于计算的周期。悬吊锅炉构架结构虽无填充墙, 但次要结构、支架等较多, 可能也影响结构的自振周期; 因此地震作用计算时可根据次要结构的多少将计算自振周期适当折减。

3.3 竖向地震作用系数的研究

在高地震烈度情况下, 锅炉构架的竖向地震作用是必须考虑的因素。本文以实际的锅炉构架和顶板结构为依据对竖向地震作用的影响作了分析, 分析表明以现有建筑抗震设计规范的要求考虑竖向地震作用是符合实际的。

3.4 时程曲线的选择

作为抗震设计的补充计算, 时程分析对时程曲线的依赖很大; 由于地震记录选择不同, 会使对同一建筑结构物在相同强度下的不同地震输入的计算结果差异很大, 与底部剪力法或振型分解反应谱法的计算结果也有很大出入。通常, 这种差别有数倍乃至数十倍。因此时程分析法中正确的选择地震加速

度时程曲线尤为重要,要满足地震动三要素的要求,即频谱特性、有效峰值和持续时间均要符合规定。采用时程分析法时,要求选择不少于两组的实际强震记录和一组人工模拟的加速度时程曲线,并且要求每条时程曲线计算的结构底部剪力不小于振型分解反映谱法计算结果的65%,多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值不小于振型分解反应谱法计算结果的80%,如不满足则需重新选择地震时程曲线。

4. 锅炉构架抗震概念设计中的动态指标及抗震构造措施:

4.1 锅炉构架抗震概念设计中的动态指标

合理的结构布置在抗震设计中非常重要,提倡平、立面以及结构抗侧力构件布置简单对称。大量震害表明,简单、对称的建筑在地震时较不容易破坏。因为简单、对称的结构地震反应相对偏小,明显薄弱部位较少,容易计算其地震时的反应,容易采取抗震构造措施和进行细部处理。

锅炉构架由于其使用功能上的要求,在结构布置如层间布置、支撑体系的布置等方面都受到许多限制。由于有所占空间较大的悬吊炉体和较重的支承设备的存在,锅炉构架的布置要满足抗震概念设计中提倡的简单、对称、连续、均匀等要求相对更为困难。在采用等效静力算法(底部剪力算法)进行抗震设计时,由于锅炉构架的复杂性,我们无法按常规建筑的衡量标准从抗震概念设计角度对结构进行抗震性能评价;因而在这一领域引入动态分析,以动态指标来评价结构抗震设计的合理性以及结构抗震性能是很有必要的。“规则”包含了对建筑的平、立面外形尺寸,抗侧力构件布置、质量分布,直至承载力分布等诸多因素的综合要求。“规则”的具体界限随结构类型的不同而异,其具体在结构计算中主要通过振型、周期比、位移比、刚度比等指标来控制。

4.2 锅炉构架的结构特点及抗震构造要求

锅炉构架和普通的钢框架—中心支撑结构有很大区别,具体如下:(1) 由于构架之

上有许多的设备,同时炉体与许多管道等也悬挂于构架之上,因此造成结构的平面和竖向在平面上,每个楼层的楼板均为有大孔楼板,楼层的平面内整体刚度相对较弱;在竖向,柱间支撑沿竖向无法在同一柱间贯通,并且在横向布置不对称;(2) 建筑的层数不多,但层高很高并且每层层高相差较大;(3) 质量沿平面和竖向分布均不均匀,并且荷载较大;(4) 结构顶部设置有跨度超过20m跨的大钢梁,并且重量超过万吨的锅炉悬挂于之上;(5) 结构支承有较多的大型重型设备。因此,锅炉构架属于复杂结构。根据上述特点本文对锅炉构架抗震构造措施提出了建议。

5. 在锅炉构架抗震设计中罕遇地震作用下弹塑性变形验算的应用

震害经验表明建筑结构在强烈地震作用下薄弱层或薄弱部位产生的弹塑性变形会导致结构构件严重破坏甚至引起结构倒塌。由于电站在抗震救灾、恢复重建及生产、生活方面有很大影响,保证锅炉构架在罕遇地震作用下不至于倒塌并能尽快恢复生产是必要的。由此需要进行罕遇地震作用锅炉构架的弹塑性变形验算。由于动力弹塑性计算的困难性,采用三维静力弹塑性方法(如PUSH-OVER)对结构在罕遇地震作用下进行弹塑性变形计算是一种有效的计算方法。

5.1 静力弹塑性分析方法(PUSH-OVER法)的原理

静力弹塑性分析(PUSH-OVER)是在结构上施加竖向静载和活荷载并保持不变,同时施加沿高度分布的某种水平荷载或位移作用,随着水平作用的不断增加,结构构件逐渐进入塑性状态,结构的梁、柱和剪力墙等构件出现塑性铰,最终达到结构侧向破坏。这一过程反映了结构的抗侧力弹塑性性能。侧推分析过程中可获得结构基底剪力和顶点位移的关系曲线,又可称为PUSH-OVER能力曲线。

如何利用静力弹塑性分析得到的PUSH-OVER能力曲线来判断不同抗震设防条件下建筑结构的性能,是静力弹塑性分析最重要的组成部分,也是最困难的一环。目前的方法

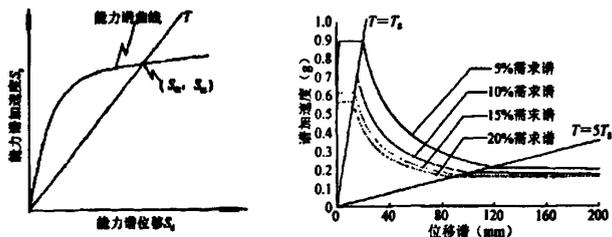


图4 结构能力谱曲线和需求谱曲线

主要有两种：一种是等效位移系数法；另一种是能力谱方法。本文采用能力谱方法。该方法将PUSH-OVER曲线转换为能力谱曲线，与设计反应谱转换而来的需求谱对比，图4所示为能力谱曲线和需求谱曲线示意图。

将结构的能力谱与规范在罕遇地震下的需求谱叠加，可计算结构的性能点，如图5。

计算出能力谱曲线上每一点的阻尼比，阻尼比沿曲线由小到大变化，而需求谱则随阻尼比增加，由外到里收缩。因此能力谱曲线

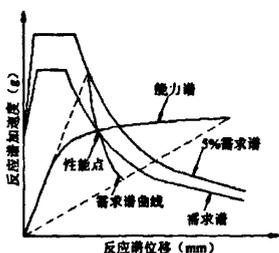


图5 性能点计算

上必有一点的谱值与该点同阻尼比的需求谱值重合，这一点就是结构的性能点。

由结构的性能点，可得相应结构的顶点位移，相应的结构变形即反映结构在罕遇地震下的位移。计算结构层间位移角，与规范要求对比，判定结构是否满足大震变形要求；由结构构件塑性铰的分布，判断结构薄弱层所在。

5.2 Pushover分析方法的具体计算过程

Pushover分析是基于性能设计的有力工具。基于性能的设计可以使工程师更深入理解和控制不同荷载水平作用下的结构行为。SAP2000的非线性版本提供了Pushover分析功能。进行Pushover分析的一般过程如下：

- (1) 建立结构和构件的计算模型；
- (2) 定义框架铰属性并将其指定给框架；
- (3) 定义结构设计可能需要的任意荷载工况和静力与动力分析工况，特别是使用默认铰时；

(4) 运行设计需要的分析；

(5) 当钢铰是基于程序对自动选择框架界面计算的默认值时，必须进行钢设计且接受程序选择的截面。

(6) 定义Pushover分析所需的工况，包括：重力荷载和其他可能在施加横向地震荷载前作用在结构的荷载。可能在前面对于设计已经定义了这些荷载工况；用来推导结构的横向荷载。若准备使用加速度荷载或模态荷载，不需要任何新的荷载工况，虽然模态荷载需要定义一个模态分析工况。

(7) 定义Pushover分析使用的非线性静力分析工况，包括：一系列的一个或多个使用荷载控制的从零开始施加重力和其他固定荷载的工况，这些工况包括阶段施工和几何非线性；从此系列开始并施加横向Pushover荷载的一个或多个Pushover工况，这些荷载应使用位移控制，被监测的位移通常位于结构顶部，用来绘制Pushover曲线。

(8) 运行Pushover分析工况；

(9) 审阅Pushover结果：绘制Pushover曲线、显示铰状态的变形形状、力和弯矩图形，且打印或显示需要的结果；

(10) 按需要修改模型并重复。

6. 锅炉构架抗震设计底部剪力算法和动态计算方法的比较：

抗震设计中的底部剪力算法和振型分解反应谱算法都是基于设计反映谱理论基础之上的地震作用计算方法，但两种方法计算模型、计算公式不同，计算结果的精度以及适用范围也相差较大。底部剪力法计算模型简单、应用方便，但存在很大局限性；仅适用于高度低、结构规则并且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构。 (下转第19页)

