

百万机组主厂房结构选型研究

宋春霞

山东电力工程咨询院 山东 济南 250013

摘要：百万机组工程拟建区位于7度及以下地震区，可采用钢筋混凝土结构方案，若位于8度及以上高烈度区，宜采用钢结构；采用高强钢筋、高强混凝土、预应力钢筋混凝土等新技术，使百万机组的主厂房采用钢筋混凝土结构完全可能；混凝土结构方案比钢结构方案可以节省投资3000~4000万元，且耐腐蚀性能好，维护工作量小。

关键词：百万机组；钢结构；钢筋混凝土结构

中图分类号：TU375；TU391 **文献标志码：**A

近年来随着百万千瓦级超临界机组主设备的国产化，其具有的良好经济性越来越明显，使百万机组火电厂成为电力建设行业发展的重点。由于其最初是从国外引进的新技术，受国外条件的影响，目前我国在建及已建的百万机组火力发电厂的主厂房结构均采用钢结构，尚没有采用钢筋混凝土结构作为主厂房主体结构的先例。

由于我国国情，造价偏低的钢筋混凝土结构一直是投资方所偏爱的，且由于钢筋混凝土结构成熟的施工经验，使得施工单位乐于接受这一结构形式。所以在条件允许的情况下，应尽量采用钢筋混凝土结构。本文结合我院所设计的百万机组火电厂的结构选型经验，介绍在不同情况下这两种结构的应用。

1 钢筋混凝土结构方案的设计特点

国外大型火电厂的主厂房结构大多为钢结构，而长期以来，国内绝大多数火力发电厂采用钢筋混凝土结构方案，它具有造价低、施工简单、维护费用低、成熟经验多等优点。近年来国内建设的主厂房采用钢筋混凝土结构的工程，其主厂房除主体结构（框架梁柱）采用钢筋混凝土外，已不同程度地采用了钢结构，如钢—钢筋混凝土组合结构楼板、钢煤斗、钢吊车梁、钢屋架等。

1.1 钢筋混凝土结构体系简介

主厂房现浇钢筋混凝土结构横向形成框排架结构体系：汽机房外侧柱、汽机房屋盖、除氧煤仓间框架组成的框、排架结构体系，汽机房屋架与A、B排柱铰接，其他混凝土梁柱之间均为刚性连接。

纵向体系：纵向A、B、C、D排柱均设抗震墙，形成框架-抗震墙结构体系。

1.2 钢筋混凝土结构体系的计算分析

火力发电厂由于工艺布置的限制，主厂房框排架具有结构体系复杂、荷载分布严重不均匀、层高变化大、错层严重、楼板开洞缺失等特点，为平面不规则且竖向不规则的结构。根据《建筑抗震设计规范》第3.4.4条，对于平面不规则且竖向不规则的结构应采用空间结构计算模型。由于我国目前尚无合适的针对火力发电厂的复杂混凝土结构的空问计算软件，暂用中国建筑科学研究院CAD工程部编制的PKPM系列的TAT进行空间分析计算。

主要构件尺寸初步估算如下：A列柱断面尺寸为900×1800，B列柱断面尺寸为1200×2100，C列柱断面尺寸为1200×2800，D列柱断面尺寸为1200×2400，煤斗大梁尺寸为1100×3000，除氧器大梁尺寸为1100×2400。

在工艺所提初步荷载的基础上，利用 TAT 进行空间建模并进行空间分析计算。

1.3 钢筋混凝土结构体系存在的问题

(1) 按照《混凝土结构设计规范》混凝土现浇框架结构的伸缩缝的最大间距为 55m，分缝造成空间浪费，混凝土体积用量增加，尽管如此，由于工艺布置的影响还是超长，须考虑温度应力。根据有关工程的比较：温度应力引起的纵梁配筋增加 30%以上。

(2) 火力发电厂结构为横向钢筋混凝土框排架、纵向框架—剪力墙的空间框排架结构体系，由于纵向主要抗侧力构件—剪力墙沿全高均匀布置，纵向的质量刚度沿高度分布较横向均匀，框排架的主要薄弱环节在横向体系。主要存在的问题有：结构刚度不均匀、底层柱轴压比超限、梁截面过大、梁柱节点处变梁截面与变柱截面（异型节点）等现象普遍存在，而且由于工艺布置的限制造成严重的“强梁弱柱”现象，如煤斗梁出等，这些都导致主厂房结构整体抗震性能变差，抗震能力偏低。

1.4 主厂房拟动力试验研究结果

2001 年，西安建筑科技大学与西北电力设计研究院合作，以 7 度设防 8 度构造（类场地土，0.075g）单机容量 600MW 的某工程的钢筋混凝土框排架主厂房为原型，选取 3 榀 1/7 子空间模型进行了拟动力试验研究，研究表明按 7 度设防烈度 8 度构造要求建造的该火力发电厂主厂房框排架结构能满足设防烈度要求，但结构的抗震裕度不大，有许多改进的地方，比如异型节点、柱变截面处、错层等。该模型结构在最大峰值加速度 0.3g 时（相当于 7 度半罕遇地震作用），能满足“大震不倒”的设防要求。

其主要结论如下：

(1) 该钢筋混凝土主厂房结构能满足设防原抗震设计要求，但整体结构的抗震裕度不大。

(2) 该类钢筋混凝土框排架结构体系的薄弱环节主要在煤斗梁区域及其以上部分，在较高烈度区应用钢筋混凝土结构形式时应适当加强该薄弱区域。

(3) 采用一定的加强构造措施，在 8 度场地土条件好的地方可以采用钢筋混凝土框排架结构。

由于本工程主厂房为 6 度设防 7 度构造，而上述试验条件为 7 度设防 8 度构造，故本工程钢筋混凝土主厂房结构更能满足抗震设计要求。

2 钢结构方案的设计特点

2.1 钢结构体系简介

主厂房结构体系是纵、横向钢构架和各层楼面及屋面组成的空间结构体系，按节点连接型式可分为铰接、刚接、铰接—刚接混合体系。铰接体系须加设必要的支撑杆件，以确保结构的稳定并抵抗侧向力，除梁以外的构件以承受轴力为主，受力简单明确，并具有较强的侧向刚度，但支撑杆件须占用一定空间，常与工艺布置发生矛盾或影响运行；刚接体系通过节点刚接来保证结构的稳定并抵抗侧向力，节点构造相对复杂，侧向刚度小，但不必设置支撑，有利于工艺布置；铰接—刚接混合体系的特点则介于两者之间，但力的传递不很明确。

在已建成的全钢结构主厂房中 3 种结构体系均有应用，但全刚、全铰体系并不多见，因主厂房结构受限于工艺布置，设置从上至下连续贯通的支撑以形成比较合理的支撑体系是很难做到的，所以刚—铰混合体系应用最多。工程实践表明，在满足工艺布置要求的前提下采

用铰接为主、局部刚接的体系是比较适宜的。

主厂房的结构体系与主厂房的布置密切相关。主厂房布置主要有 3 种型式：

(1) 汽机房—除氧煤仓间为 1 个体系，锅炉炉架为 1 个体系。这种布置与目前国内汽机房、除氧煤仓间由设计院设计，锅炉炉架由锅炉厂设计的习惯做法相适应。

(2) 汽机房、除氧间、煤仓间、锅炉炉架各成独立体系，这种布置方式便于独立设计和施工，适用于分岛招标的引进型机组工程，但占地较大，造成材料的浪费。

(3) 汽机房—除氧煤仓间—锅炉炉架联合布置。这种体系通过支撑杆件将大部分横向水平力传至炉架，由炉架传至基础，剩余的横向水平力通过横向排架自身的抗侧力系统传给基础。据有关资料介绍，采取防爆措施后的炉架刚度与其本身的抗震性能在不增加或增加很少钢材的前提下，足以承担主厂房传来的横向水平力，这样主厂房内可以减少大量支撑，增加建筑、工艺的有效空间。

该工程为国产机组，采用上述型式(1)。

2.2 构件截面及材料

梁柱断面一般为 H 型钢，C、D 列柱为箱形截面 $1000 \times 1000 \times 35$ ；支撑断面可分为 H 型钢、双槽钢或角钢。

梁柱优先选用国产轧制 H 型钢，当受力或刚度要求超出国产 H 型钢断面范围时，采用箱形截面或焊接 H 型钢。

钢材材质采用国产 Q235 或 Q345 钢，螺栓采用高强螺栓，采用焊条 E43 及 E50。

2.3 钢结构的分析计算

钢结构分析计算的传统方法为平面杆系计算，不考虑钢结构厂房的空间协调作用。现在按空间模型进行三维计算分析已在国内外工程中广泛应用，如 STAADPRO、SAP2000 等空间分析软件已在我院其他工程成功应用，其特点如下：

(1) 可进行强度设计、整体确定计算、变形计算、杆件截面优化，并给出杆件内力、柱脚内力等，可大大简化计算工作量。按平面杆系计算时，一般分别进行横向、纵向框架的计算，而空间计算按三维杆系计算各杆件内力，并对水平荷载起控制作用时的扭转进行定量分析，杆件内力精确。

(2) 对杆件截面进行优化，使杆件选择更为合理，从而节省用钢量，取得较大的经济效益，一般情况下，可以节省钢材 5%~10%。

(3) 采用空间计算也存在着几个问题：由于每根杆件均为整体计算模型的一部分，当对结构设计进行局部修改时，影响范围大，牵涉的构件多，修改的工作量相对较大。各层楼都不同程度地传递水平力，使节点设计计算相对复杂。为达到省钢的目的，对构件截面优化后，往往会造成杆件类型太多，节点设计工作量大，加工、安装不便。

3 钢结构与钢筋混凝土结构主厂房比较

主厂房结构采用钢筋混凝土方案的优点：经济及耐久性好；耐腐蚀性能好，维护工作量小。缺点：结构自重大，抗震性能不如钢结构好；目前钢筋混凝土结构空间整体分析手段尚有不完善处；构件断面大，厂房占地面积和体积增大，地基处理费用较高；伸缩缝的最大间距为 55m，分缝造成空间浪费，混凝土体积用量增加；超长，需考虑温度应力，温度应力引起的纵梁配筋增加 30%以上。需要的施工场地大，施工周期长。

主厂房结构采用钢结构方案的优点：构件强度高，截面小，自重轻，地基处理费用较低；抗震性能好，结构分析手段成熟；无须伸缩缝，主厂房体积紧凑；需要的施工场地小，施工周期短。缺点：一次性投资较大；运行维护费用较高。

经济比较（主体框架梁柱、维护结构等）：钢结构主厂房总造价高于钢筋混凝土结构主厂房总造价约 3200 万元（含地基处理）。

4 结论

（1）若工程拟建区位于 7 度及以下地震区，可采用钢筋混凝土结构方案，若位于 8 度及以上高烈度区，宜采用钢结构

（2）多年来随着钢筋混凝土技术的发展，采用高强钢筋、高强钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土等新技术，使百万机组的主厂房采用钢筋混凝土结构完全可能；而且我国的施工单位有丰富的钢筋混凝土施工经验

（3）混凝土结构方案比钢结构方案可以节省投资 3000 ~ 4000 万元，且耐腐蚀性能好，维护工作量小。

注：本文发表在《武汉大学学报》2006 年