

燃煤电厂机组运行可靠性研究分析及优化

车金虎

中国华电科工集团有限公司, 北京 100700

[摘要]燃煤电厂可靠性的提高是个系统工程,要从设计方案阶段抓起,贯穿电厂整个寿命周期,涉及到项目实施阶段和运行阶段。文章将根据历史统计数据,找出影响可靠性的主要因素,着重从设计阶段提出提高可靠性的优化方案。

[关键词]可靠性;;因素;措施

DOI: 10.33142/hst.v3i3.1962

中图分类号: X773;X831

文献标识码: A

Reliability Analysis and Optimization of Coal-fired Power Plant Unit Operation

CHE Jinhu

China Huadian Engineering Co., Ltd., Beijing, 100700, China

Abstract: Reliability improvement of coal-fired power plant is a system engineering, which should start from the design scheme stage and run through the whole life cycle of power plant, involving the project implementation stage and operation stage. According to historical statistics, this paper finds out main factors affecting reliability and puts forward the optimization scheme to improve the reliability from the design stage.

Keywords: reliability; factors; measures

引言

燃煤电站的可靠性与企业的经济效益密切相关,若在运行阶段事故停机,将导致年利用小时数无法保证,电站很可能面临高额的经济损失。因此,提高燃煤电站的可靠性是非常必要的。本文以 660MW 等级超临界常规燃煤机组主机为例,分析研究找出影响机组可靠性的主要因素并提出优化方案。

1 影响机组可用率的因素

1.1 燃煤电站可用率的定义

根据电力行业标准 DL/T793—2012《发电设备可靠性评价规程》,可用率=可用小时数/统计期间小时数×100%。

1.2 国内 600MW 等级机组可靠性现状

根据《中国电力可靠性管理年报(2013)》,2009—2013年,600MW 等级火电机组的可用率为 92.45%;锅炉及其辅助设备系统故障导致的等效非计划停运时间占比高达 78.14%;汽轮机及其辅助设备系统和发电机分别只有 9.60% 和 6.13%。其中锅炉及其辅助设备系统中故障几率最高的部件是水冷壁(31.67%)、过热器(17.78%)和再热器(10.56%)。

以产生原因划分的等效非停小时占机组非停小时的百分比中,设备制造原因高居第一(40.27%);电厂设计排名第二(23.53%);其它原因明确的还有基建安装(8.65%);检修(4.99%)和运行维护(1.38%)。

因此,锅炉及其辅助设备的系统设计和制造质量是提高机组可用率的重点工作。

2 提高锅炉及其辅助系统可靠性的技术措施

2.1 对常规超临界煤粉炉而言,锅炉强迫停炉主要由以下原因引起:炉膛结焦、受热面磨损及焊接质量的引起的爆管泄漏、由运行不当导致的强迫停炉等。

可针对性的采取以下措施,降低锅炉本体强迫停机几率:

1) 防止炉膛结渣措施

a: 采用较大的炉膛容积和炉膛断面积,选较小的炉膛热负荷,降低整个炉膛温度,可减小炉膛结渣几率。

b: 锅炉本体设计时根据煤质特性,选择合理的燃烧器形式和合理的燃烧器间距,降低炉膛结渣几率。

c: 选取较小的燃烧器热功率。根据炉膛截面和灰熔点确定燃烧器单只热功率,并根据所确定的单只热功率选取合理的不产生结渣的上下一次风喷嘴的中心距。

d: 燃烧器段布置,拉开一定间距,使燃烧器区壁面热负荷大幅度降低,降低燃烧器区火焰温度。

- e: 合理控制燃烧器区域煤粉和空气的分布, 保证整个炉膛宽度的均匀燃烧。
 - f: 合理布置燃烧器喉口的水冷壁弯管, 降低燃烧器喉口的表面温度, 能有效防止燃烧器区域出现结渣。
 - g: 计算选择合理的最上排燃烧器中心到屏下端的距离。保证足够的燃尽高度, 使烟气在过热器之前, 温度在结渣温度以下, 避免产生受热面结渣。
 - h: 控制炉膛出口烟气温度, 确保熔化的和粘性的灰不能进入对流受热面, 有效防止炉膛出口辐射过热器出现挂渣。
 - i: 选择合理的过热器和再热器管屏的横向节距和结构形式, 防止部件管子出列、变形和结渣。
 - j: 合理布置吹灰器, 尽可能地保证炉膛水冷壁的清洁。
- 2) 防止爆管泄漏
- a: 采用成熟合理的换热面材质和型式, 避免局部超温损坏;
 - b: 采用成熟合理的水冷壁型式, 避免因为内部堵塞导致的局部超温破坏;
 - c: 采用成熟合理的换热面布局, 避免由于局部烟速过高引起的磨损加剧;
 - d: 施工焊接施工过程严格监督检查, 避免由受热面存在焊接质量问题引起的爆管损坏;
 - e: 采取合理的吹灰频率, 避免过度吹灰引起的磨损损坏。
- 3) 防止运行不当引起的强迫停炉
- a: 严格按照操作规程进行操作, 避免由运行误操作引起的强迫停炉事故;
 - b: 建立完善事故处理机制, 在负荷调整时对锅炉运行参数进行严格监督, 在出现异常及时进行处理, 消除故障, 避免故障的进一步扩大。

2.2 提高锅炉辅助系统可靠性的技术措施。

锅炉辅助系统主要包含以下主要辅助系统: 空气系统、制粉系统、烟气系统、除渣系统、燃油系统。

2.2.1 空气系统

锅炉空气系统提供锅炉燃烧所需空气, 同时提供磨煤机所需干燥和煤粉输送介质。从国内 660MW 超临界机组运行情况看, 空气系统运行故障主要来源于风机故障。

优化方案: 一、二次风机可按 $2 \times 50\%$ 设置, 设备选用优质产品, 故障率低, 同时在一侧风机故障时仍能保证锅炉低负荷正常运行。

2.2.2 制粉系统

从国内 660MW 超临界机组运行情况看, 制粉系统运行故障主要来源于以下方面: 煤斗堵塞、设备故障、送粉管道堵塞等。

优化方案:

1) 煤斗防堵优化: 采用圆形煤斗, 煤斗锥段角度不小于 70° , 同时煤斗内衬不锈钢材料, 设置煤斗防堵装置, 能有效防止煤斗堵煤故障的发生。

2) 设备故障优化: 磨煤机选型、设计时, 设计一台备用磨煤机。磨煤机选用优质产品, 故障率低。在其中一台磨煤机故障时可及时投入备用磨煤机, 保证机组的正常运行。

3) 送粉管道堵塞优化: 设计采取适当的风粉混合物流速, 对送粉管道布置进行优化, 减少流动不畅区域, 同时设置吹扫空气, 避免送粉管道积粉引起的堵塞。

2.2.3 烟气系统

烟气系统设备包含电气除尘器、引风机、脱硝装置、脱硫装置, 将锅炉出口烟气除尘、经脱硫脱硝后通过烟囱排入大气。从国内 660MW 超临界机组运行情况看, 烟气系统运行故障主要来源于以下方面: 脱硫装置故障、脱硝装置故障、除尘设备故障、引风机、脱硫增压风机等故障。

优化方案:

a: 脱硫装置优化: 以海水脱硫系统为例, 设备选用知名品牌, 同时置设置旁路烟道, 在脱硫装置故障时机组仍能正常运行。

b: 脱硝装置优化: 可采用 SCR 脱硝, 系统成熟可靠, 维护工作量小, 工艺成熟可靠, 同时设备选用优质产品, 设备运行故障概率低, 维护工作量小。

c: 除尘装置优化: 设备选用优质产品, 降低故障率。

d: 引风机和脱硫增压风机优化: 引风机可按 $2 \times 50\%$ 设置, 脱硫增压风机按 $1 \times 100\%$ 设置, 设备选用优质产品, 故障率低。在一侧引风机故障时仍能保证锅炉低负荷正常运行, 在脱硫增压风机故障时可以通过烟气旁路切除脱硫装

置维持机组正常运行。

2.2.4 除渣系统

除渣系统运行故障主要来源于除渣设备故障。优化方案：可将除渣系统的碎渣机及斗式提升机设备设计为双路布置，在单路退出时仍能证锅炉正常运行。设备选用优质产品，故障率低。

2.2.5 燃油系统

燃油系统运行故障主要来源于油泵运行故障。优化方案：油泵选用优质产品，设计时，确保仅需一台供油泵运行维持油循环，在点火及助燃阶段开启其余油泵，满足耗油量要求。可有效提高燃油系统的可靠性。

2.2.6 输煤系统

输煤系统运行故障主要来源于以下方面：设备故障、落煤管堵煤。

优化方案：系统设计时，输煤系统设计为双套装置，一运一备；同时设备选用优质产品，故障率低；厂内转运站，带式输送机栈桥均按全封闭式设计，保护输煤系统设备，保证上煤系统不受天气的影响；落煤管可采用 IFT 技术，更好的控制煤流的流动速度，较大程度的避免堵煤和扬尘。同时在易堵区域设置有堵煤检测仪和振动防闭塞装置，解决可能堵料的问题。

3 提高电站其他系统和设备可靠性的技术方案

3.1 提高汽轮机可用率的技术措施

随着机组参数、容量等级的提高，汽轮机组通流部件的固态颗粒侵蚀（SPE）和通流腐蚀（结垢）问题表现得越来越突出。汽轮机固态颗粒侵蚀、通流腐蚀问题的存在，最根本的原因在于外部固体颗粒和溶于高温高压蒸汽的金属盐、酸等成分随蒸汽进入汽轮机内部通流部分，发生撞击、沉积和附着。可以从以下 2 个方面进行优化：

3.1.1 优化汽轮机的结构设计

- a: 通过改进叶型气动设计，减少固体颗粒的碰撞速度和碰撞角度，使碰撞角度避开材料的高冲蚀区；
- b: 进行设计喷嘴时，适当增大栅距，可以减少碰撞颗粒的数量，也能减少对叶片的冲蚀。
- c: 在汽轮机蒸汽入口设置过滤高精度滤网，将大直径固体颗粒拦截在汽轮机通流部件之外，减轻由固体颗粒带来的冲击损伤。
- d: 适当增加动、静叶间轴向间隙，大大减小颗粒反射造成的喷嘴冲蚀。
- e: 中压进汽第一级斜置静叶片整体结构，避免常见的喷嘴端部磨损。

3.1.2 汽轮机通流部件表面强化

a: 采用离子喷涂工艺和扩散渗层工艺等表面强化技术，改善喷嘴抗冲蚀性能，减小高压第 1 级和再热第 1 级的固体颗粒侵蚀。

b: 高压第 1 级和再热第 1 级动静叶采用耐固体颗粒侵蚀能力强的含铌钢材料。

3.1.3 低压缸通流部件采用抗腐蚀、水蚀材料及工艺

- a: 适当增大动、静叶间的轴向距离，减小水滴对动叶的冲击能量，延缓水蚀的影响。
- b: 末级导叶采用空心导叶，从内部抽出水分，末级隔板上采用去湿槽。
- c: 优化末级流场，提高根部反动度，避免在低负荷时，动叶根部出现倒流引起根部冲刷。
- e: 末叶采用自防水蚀性更优、抗腐蚀性能更好的材料，如：17-4pH。
- f: 末级动叶顶部采用高频淬火强化技术，提高叶片抗水蚀能力。
- g: 末三级动叶采用喷丸强化或新型激光表面硬化技术，提高叶片表面疲劳强度，有效抗应力腐蚀。
- h: 汽轮机低压段设有足够的疏水口。

3.1.4 相关系统的优化

采用汽机旁路加强主/再热蒸汽管道吹扫、邻炉加热、先进的锅炉给水加氧处理、凝结水精处理、水及水蒸汽化学取样等综合系统，可协同保证汽轮机的进汽品质，有效减轻汽轮机组面临的汽轮机固态颗粒侵蚀和通流腐蚀问题。

3.2 提高热力系统可靠性的技术措施

1) 给水系统：给水系统高压加热器可设置大旁路，当任何一台高压加热器故障时，可切除全部高加，机组仍可以达到满负荷运行，高压加热器的故障切除不会影响机组的可用率。

2) 凝结水系统：凝结水系统可设置 2 台 100%容量立式定速凝结水泵，1 台运行、1 台备用，凝结水泵的故障切除不会影响机组的可用率。

3) 冷却水系统：在闭式循环冷却水系统上设置 2 台 100%容量的闭式循环冷却水泵，1 台运行、1 台备用，闭式循

环冷却水泵单台故障不会影响机组的可用率。

4) 抽真空系统: 凝汽器抽真空系统在凝汽器汽侧设置 2 台 50% 罗茨-液环式真空泵组 (包含一台罗茨泵和一台液环泵) 和 2 台 50% 水环式真空泵, 用于抽出漏入真空系统的空气及蒸汽中携带的不凝结气体。每侧凝汽器设置一台罗茨-液环式真空泵组和一台水环式真空泵, 机组正常运行时罗茨-液环式真空泵组运行, 当该罗茨泵组故障或者机组真空降低到规定值时, 联锁启动水环式真空泵。当机组启动时, 2 台 50% 水环式真空泵和罗茨-液环式真空泵组中的液环式同时运行, 以加快抽气速度, 尽快建立真空, 真空达到要求后, 切掉水环式真空泵, 罗茨-液环式真空泵组正常运行。整个系统运行可靠。

5) 其他系统: 润滑油等其他各辅助系统的旋转设备和换热设备等都应考虑有备用容量, 可全方位保证机组的可靠性和可用率。

3.3 提高电气和控制系统可靠性的技术措施

1) 控制系统设计中采取的可靠性措施

a: 由于 DCS 系统采用分级分散结构, 功能及物理分散而使危险分散。当某一微处理器或模块故障时, 不会影响其它子系统的正常运行。

b: DCS 系统的通讯总线、操作员站、供电电源以及逻辑控制器按冗余配置; 重要热工模拟量控制和保护项目的变送器或过程开关按双重或三重冗余设置; 机、炉控制系统中的各控制方式之间, 设置切换逻辑及具备双向无扰切换功能。

c: 控制系统的通信系统、电源和处理器模块均冗余配置。

d: DCS 系统设置多种硬、软件监视措施, 自诊断功能可到模块级, 可及时发现故障。

e: 对于一次元件, 变送器 etc 选用安全可靠的产品。

f: 选用质量好、较为可靠的执行机构、电动阀门和仪表阀门。

g: 自动化系统设置少量的后备手操设备, 以备当分散控制系统发生全局性或重大故障时, 确保机组、设备的紧急安全停运。

2) 信号源的可靠性

a: 冗余输入的热电偶、热电阻、变送器信号的处理, 应设计由不同的 I/O 模块来完成。工艺上并列运行或冗余配置的设备, 其相关 I/O 点应分别配置在不同输入和输出卡上。

b: 进入分散控制系统的信号和控制电缆应采用计算机屏蔽电缆。

c: 分散控制系统的 I/O 采用光电隔离措施或其它隔离措施; 就地信号直接接入 I/O 接线端子, 不采用电缆转接柜。

d: 测量信号电缆与控制电缆和动力电缆分层敷设。

3) 电源的可靠性

a: 主厂房监控系统电源采用不停电电源 (UPS)。

b: 主厂房电动阀门配电箱采用两路电源供电, 其中一路取自保安段, 另一路来自厂用电。

c: 重要控制机柜内电源装置冗余配置。

4 结论

经过前辈们不断的努力, 燃煤机组可靠性研究分析及优化取得了很大进展, 总结出许多优化方案, 并在实际应用中取得了很大成果, 但随着新工艺、新材料不断产生, 燃煤机组可靠性仍然有很大优化空间。我们只有不断学习、研究、实践, 才能不断的实现燃煤电厂机组可靠性不断提高。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 大中型火力发电厂设计规范: GB[50660-2011]. [S]. 北京: 中国计划出版社: 2011.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 火力发电厂水工设计规范: (DL/T5339-2006). [S]. 北京: 中国电力电子出版社: 2011.

作者简介: 车金虎 (1982.2-), 男, 毕业于山东大学, 所学专业为热能与动力工程, 中国矿业大学 (北京), 建筑与土木工程 (在职研究生 2014-2017), 就职单位: 中国华电科工集团有限公司海外工程分公司, 职务: 专业工程师, 所在职务年限: 15 年, 职称级别: 工程师。