

深度调峰对汽轮发电机的影响及运行维护建议

马 磊

国能宁夏大坝三期发电有限公司 宁夏青铜峡 751607

摘 要: 2022年西北全网新能源装机突破1.5亿, 2022年西北新能源装机继续高速增长, 新能源消纳压力大, 弃风弃光造成可再生能源的巨大损失, 电网缺乏调峰电源的问题突显, 火电厂基荷电源的角色已向调峰电源角色转变, 火电厂常态化深度调峰、灵活改造增加深调深度, 增大下调备用空间是现阶段火电厂生存之道。当前公司5、6号机组承担调峰电源的压力越来越大, 快速调整负荷的瓶颈问题突出, 随着5号发电机定子漏氢异常事件发生, 汽轮发电机的安全运行已是当前重中之重。本文的内容主要结合公司5号发电机定子漏氢异常事件, 分析、探讨、评估深度调峰对发电机的影响, 并为汽轮发电机参与深调的安全可靠运行与优化和改进提供有益参考。

关键词: 深度调峰; 汽轮发电机; 运行方式; 定子漏氢; 热膨胀差值

引言

1.1 我国能源发展的新形势, 承担了高比例新能源接入后安全稳定运行和有效消纳的重要任务中国一次能源与负荷呈逆向分布, 国家电网公司大力发展适用于远距离、大容量输电的特高压交、直流技术, 电网和电站运行长距离输电、新能源接入、节能和超低排放、灵活性运行、竞价上网特点突出。燃煤火电机组运行的外部环境变革, 运行方式从原来的主要承担“基荷”运行转变成调峰、调压、调频等灵活方式运行, 煤电发展已从单纯保障电量供应, 向更好地保障电力供应、提供辅助服务并重转变。火电机组深度调峰已成为常态, 新的运行方式对在役燃煤发电机的适应性、可靠性和经济性等提出了更高的要求。

2. 深度调峰简介

2.1 深度调峰就是受电网负荷峰谷差较大影响而导致各发电厂降出力、发电机组超过基本调峰范围进行调峰的一种运行方式; 深度调峰的负荷范围超过该电厂锅炉最低稳燃负荷(一般深度调峰的调峰深度为<50%BMCR)。燃煤火电呈现出参与深度调峰、启停调峰、调停备用数增多、利用小时数减少、机组负荷率低等特点。目前, 西北某电厂发电机组已达到深度调峰20%额定负荷运行, 公司5、6号机组已全面参与辅助服务市场。

2.2 过去大容量燃煤火电机组均以带基础负荷长期稳

定运行为设计目标, 关注的重点在于如何优化定转子绕组和定子铁心的冷却方式, 以提高满负载工况下发电机的输出效率和参数。但是当前由于电网外部运行环境的改变, 发电机的运行方式与以往相比有很大的不同。调峰、调压、进相运行的时间和次数都大大增加。虽然发电机在设计之初, 考虑了各种运行环境对发电机的影响, 也采取了相应的措施加以应对, 但实际上之前很少有大容量汽轮发电机在长期的调峰、调压包括进相运行, 行业内对这些运行方式的机理分析还不够, 现阶段还缺少理论与实际可行的指导方向。

3. 公司发电机型号、参数

3.1 大坝公司两台燃煤汽轮发电机, QFSN-600-2-22C型发电机由东方电机股份有限公司制造, 为隐极式、二极、三相同步汽轮发电机, 采用水氢氢冷却方式, 定子绕组采用水内冷方式; 转子绕组和定子铁芯采用氢内冷, 冷却方式为径向多流式密闭循环通风。集电环和电刷为空气冷却, 两集电环间设有离心式风扇。[1]发电机定子接线为双Y型, 其中性点经变压器接地, 定子绕组由嵌入铁芯槽内的绝缘条形线棒组成, 发电机定子铁芯是用相互绝缘的扇形片叠装压紧制成的。转子绕组采用具有良好的导电性能、机械性能和抗蠕变性能的含银铜线制成。[2]

4. 深度调峰对汽轮发电机的影响及原因。

4.1 影响:

4.1.1 机组负荷变化幅度大, 导致发电机定子铜铁温度膨胀差别大, 将引起定子线圈槽内松动、定子线圈端部及引线松动、定子端部滑移件磨损、定子线圈绝缘加速老化。

个人简介:

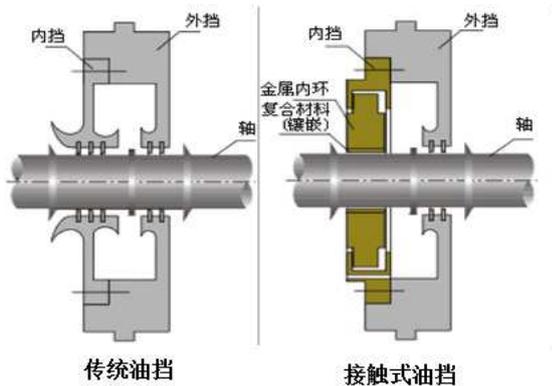
马磊, 国能宁夏大坝三期发电有限公司运行部电气运行主管, 工程师, 宁夏青铜峡市大坝镇, 电子邮箱: ml_886764@163.com

4.1.2 负荷变化及励磁电流变化大，导致转子铜铁温度膨胀差别大，将引起转子线圈端部变形，匝间绝缘跑位，易发生匝间短路。

4.1.3 机组调停次数多，机组启停时转子经常性盘车，导致转子线圈、绝缘、槽楔等磨损，且转轴高应力区域将加快疲劳。

4.1.4 负荷变化大，机内氢气温度和压力等波动大，造成发电机各密封件加速老化，且漏氢量增加。

4.1.5 发电机机内易进油，造成发电机端部各部件污染。^[3]



4.2 原因：

4.2.1 由于定子绕组、铁芯、绝缘材料等热膨胀系数不同，加上定子绕组本身的电磁振动加上循环热应力的影响，可能会加剧类似磨损、振动情况，甚至导致定子绕组出现端部支架断裂等故障。转子绕组承受高速旋转的离心力，可能会使转子铜线产生蠕变，进而造成端部匝间线圈的铜线因应力蠕变而发生变形，甚至可能发展成匝间短路。发电机定子铁芯在外部运行方式变化引起的谐振下，存在出现铁芯松动、造成铁芯振动幅值加大的问题。

4.2.2 当发电机从常规运行转向频繁调峰时，应对机组进行全面检查，对于以上常态运行多发故障重点关注。结合深调时温度变化速率快的特点，初步判断定、转子绕组热膨胀差值将成为发电机深调的主要限制因素。

5. 检修维护建议

5.1 定子端部松动、端部滑移件磨损、定子线圈绝缘老化

- 5.1.1 槽楔紧固状况专业检查，如松动则重新固定
- 5.1.2 槽楔结构改造为斜楔+波纹板结构
- 5.1.3 增加槽口块固定防松
- 5.1.4 绑扎松动及时处理
- 5.1.5 采用优化结构重新绑扎固定
- 5.1.6 定期检查、更换滑块等易损件

5.1.7 早期无弹性滑移的机组专项改造

5.2 转子绕组匝间短路、转子铜铁温度差、转子线圈端部变形

5.2.1 检查端部线圈变形状况

5.2.2 采用端部线圈整体轴向弹性滑移结构，优化改进端部垫块固定结构，避免线圈有害变形

5.2.3 检查槽内线圈、绝缘、槽楔磨损污染情况，进行清理，必要时更换绝缘。

5.2.4 经常盘车转子调整线圈装配间隙，减小磨损。

5.2.5 对转轴和部件高应力区进行无损检测评估

5.3 氢气温度压力波动，密封件老化，漏氢量增加

5.3.1 定期更换油密封座、挡油盖、出线套管、人孔门等静态橡胶密封件

5.3.2 定期更换转子导电螺钉等处橡胶密封件

5.3.3 检查测温元件穿墙密封状态，推荐更改为新型航空插座密封

5.3.4 出线套管密封老化评估，必要时更换出线套管

6. 公司5号发电机当前运行状况

6.1 我公司5号发电机定子冷却水箱含氢量（体积含量）目前在8%左右，因表计原因，日排氢量暂时无法有效监测，定期测试定冷水中溶氢量为300 μg/L左右，目前综合判断发电机存在泄漏点，发电机定子内部水系统回路组成件存在漏点，通过参数监视无明显劣化趋势，发电机整体补氢量与历史对比无明显变化，发电机漏氢量与历史对比无明显变化，暂时坚持继续运行，结合A级检修抽转子进行检查并进行改造。

6.2 以发电机转子抽出为工作节点，转子抽出后由实施方对发电机进行打压查漏，并对故障点进行处理。因发电机运行期间无法判断具体渗漏点，故采取以下三种方案：

方案一：更换下层线棒（含上层一个节距），改造工期为45天；

方案二：更换上层线棒，改造工期为20天；

方案三：水电接头、引水管、汇流管更换，改造工期为7天。发电机渗漏点确认后，改造所需材料由实施方负责。

7. 结论及运行维护建议：

7.1 定子铁芯和定子绕组之间热膨胀系数不同，深度调峰负荷调整范围大，且相对速率较快的负荷调整速率必然引起的温度变化速率较大，造成在发电机铁芯和绕组之间的轴向膨胀和收缩量不一样，产生铜铁膨胀差。机组正常运行时或负荷缓慢调整时定、转子热膨胀差值

均在可控范围内，但长期、频繁深调运行可能会因绝缘材料与铜导体膨胀系数不同形成剪切应力，造成二者间的联接破坏，使得铜导体表面的环氧云母绝缘发生分层或脱壳，降低绝缘材料的性能，进而加剧定子绕组的松动。长期、频繁的胀缩会使转子铜线，特别是转子端部顶匝线圈的铜线容易因应力蠕变而发生变形，进而可能发展成匝间短路。

7.2 结合正常运行方式与深调方式下定、转子绕组热膨胀差值分析，可知长期、频繁深度调峰会导致定、转子绕组热膨胀差值增大，进而导致发电机定子线棒绝缘松动及转子绕组匝间短路故障加剧。定、转子绕组热膨胀差值是发电机深调的主要限制因素。此类故障建议通过对机组绕组、铁芯、绝缘材料、工艺等进行适应性的改造，改进定子槽楔结构以提高定子线棒槽内固定的可靠性；优化和改进转子线圈端部垫块固定结构以限制线圈变形等，主要热膨胀部位增加弹性滑移功能，且留

有足够大的膨胀伸缩空间，确保发电机本体各主要结构与材料具备深度调峰性能，以适应新的运行方式需求。

7.3 需对长期、频繁深度调峰的发电机定、转子绕组及铁芯的影响程度进行记录观测，以确定是否还存在其他不可控因素。加装定转子端部增加弹性滑移结构、槽楔结构改造、定子线棒在线监测装置测振、轴电压轴电流等在线监测装置，随时掌握深度调峰引发的发电机相关参数变化，以便应对深调的变化，为机组的可靠运行提供更好的保障。

参考文献：

- [1]东方电气集团东方电机有限公司，电机说明书。中国·四川·德阳，2015年。
- [2]能源“互联网”下特高压输电对汽轮机组的影响分析，2015年。
- [3]燃煤机组新运行方式对在役汽轮发电机的影响，大电机技术，2018年。