

基于600MW等级火力发电机组电气主接线的探究

吉 星

汕头华电发电有限公司 广东 汕头 515132

摘 要：600MW等级火力发电机组的电气主接线设计是其高效、安全运行的核心，主变压器低压侧引接高压厂用变和公用变，分裂绕组变压器有效限制短路电流。厂用电备用电源配置灵活：若机组装设GCB且采用双重接线（如3/2或1/2接线），可不设高压启备变，依赖机组间中压公用段互备。现阶段，火力发电厂通常会安装容量大、参数高的发电机组，其中600MW等级的火力发电机组安装量日益增加，该等级的火力发电机组可能满足当下电力负荷的增长需求，基于此，将对600MW等级火力发电机组的电气主接线展开分析。

关键词：600MW；火力发电机组；电气主接线

600MW机组电气主接线以单元接线为基础，通过500kV系统3/2接线或220kV系统分段双母线/1/2接线实现高可靠性；结合全封闭母线、分裂厂用变及中性点接地保护等技术，综合平衡安全、灵活性与经济性。未来需重点突破短路电流限制与新型接线系统稳定性验证。

1 600MW 火力发电机组电气主接线特点

（1）发电机-变压器单元接线。基本构成，发电机与主变压器直接组成单元接线，发电机出口通常不设断路器或隔离开关（经论证后可装设发电机出口断路器GCB）。主变压器采用三相双绕组变压器（或三个单相变压器组合），低压侧接成三角形抑制谐波，高压侧星形连接且中性点直接接地。

（2）高压配电装置接线。500kV系统，3/2断路器接线：广泛采用，可靠性高（任一断路器检修不影响供电），布置优化为“平环式”或“双列式”以适应大规模电厂。双母线接线：用于短路电流可控且电网结构强的场景，投资较低但操作复杂。220kV系统，1/2接线（线路单断路器+发变组双断路器）：适用于2台机组接入，母线故障时仅停线路不停机组，可靠性显著提升。分段双母线：多机组电厂（如4×600MW）采用双分段缩小母线故障影响范围。

（3）厂用电系统设计。供电方式，高压厂用变压器从主变压器低压侧引接，采用分裂绕组变压器限制短路电流。若装设GCB且采用高可靠性主接线（如3/2或1/2接线），可取消高压启备变，依赖机组间中压公用段互备。封闭母线应用，发电机至变压器采用全连离相封闭母线，实现防尘防潮、外壳接地防触电、屏蔽相间电动势三重保护。

（4）关键保护配置。互感器与避雷器，发电机出口侧配置3组电压互感器（带高压熔断器）及避雷器，中性

点侧每相装设4只电流互感器。主变压器高/低压侧每相配置多只电流互感器，中性点增设专用互感器。接地保护，发电机中性点经接地变压器（配电变或消弧线圈）高阻接地，限制单相接地故障电流。

（5）新兴挑战与趋势。短路电流控制：大机组接入220kV电网需评估短路容量，可选“一厂二站”分网运行方案。智能化升级：强化自动调频（48.5-50.5Hz恒功率输出）及深度调峰能力（50%-60%额定功率），提升电网适应性。

2 600MW 发电机组全连离相封闭母线优势

（1）安全可靠提升。杜绝短路故障，分相封闭结构可完全避免相间短路，并有效隔离外部潮气、灰尘等污染物，显著降低接地故障概率。金属外壳多点接地设计，消除人身触电风险。抑制电磁干扰，外壳产生的反向涡流与环流形成双重磁屏蔽，将短路电动力降低至敞露母线的约1/4（实测数据）。外壳外磁场强度不足敞露母线的10%，彻底解决邻近钢结构感应发热问题。

（2）运行维护优势。降低维护成本，取消露天绝缘子清扫需求，年减少高空作业30次以上，运维工作量减少40%。采用工厂预制模块化结构，现场安装效率提升50%。增强环境适应性，内置空气干燥装置（如微正压充气系统），防止绝缘子结露，杜绝污闪事故。盆式绝缘子采用SMC不饱和树脂，抗污秽能力提升3倍（对比传统瓷质绝缘子）。

3 600MW 发电机组电气主接线设计考虑因素

（1）可靠性要求。首要考虑系统故障容错能力，避免因单点故障导致全厂停运；具体取决于电厂在电网中的地位和用户负荷等级（如I类负荷要求最高可靠性）。采用冗余设计和成熟设备（如高可靠性断路器），并借鉴长期运行经验优化接线形式。

(2) 接线形式选择。发电机-变压器单元接线：主流方案，发电机与主变压器直接连接，出口可不设断路器或增设发电机出口断路器（GCB）以提升解列灵活性。高压配电装置接线：500kV系统优先采用3/2断路器接线（任一断路器检修不影响供电，但投资较高）；220kV系统可选双母线接线（成本低但操作复杂）或1/2接线（母线故障时仅停线路，机组运行不受影响）。对于多机组电厂（如4×600MW），分段双母线接线可缩小故障影响范围。

(3) 厂用电系统设计。高压厂用变压器从主变压器低压侧引接，采用分裂绕组变压器限制短路电流。备用电源配置灵活：若装设GCB且采用高可靠性主接线（如3/2或1/2接线），可取消高压启备变，依赖机组间中压公用段互备。优化互联改造（如电缆连接公用段），降低外购电成本，但需校验高厂变容量避免过流。

(4) 短路电流控制。评估接入电网的短路容量，对大机组接入220kV系统时尤为重要；必要时采用“一厂二站”分网运行策略限制短路电流。设计时结合设备选型（如分裂绕组厂用变）和接线优化，抑制短路故障风险。

(5) 设备与技术应用。采用全连离相封闭母线（发电机至变压器间），防尘防潮、减少相间电动力，提升安全性。关键保护配置：发电机出口侧设3组电压互感器及避雷器，中性点经接地变压器高阻接地限制单相故障电流；主变压器高/低压侧每相配置多只电流互感器。

(6) 经济性与灵活性平衡。经济性：简化接线结构减少设备投资（如单元接线比复杂接线节省成本）；优化布置减少占地面积及运行损耗。灵活性：支持调度需求（如机组启停切换）、设备检修隔离及未来扩建（如预留间隔或采用模块化设计）。

(7) 新兴趋势与适应性。智能化升级：集成自动调频（48.5-50.5Hz恒功率输出）和深度调峰能力（50%-60%额定负荷），提升电网适应性。验证新型接线稳定性：如1/2接线需解决N-2故障下的功率波动风险。

4 600MW 发电机组电气主接线运行安全与可靠性考虑

(1) 接线形式可靠性保障。单元接线基础，发电机与主变压器采用单元接线，中间不设断路器（或经论证装设GCB），大幅降低故障概率；若装设发电机出口断路器（GCB），可独立解列机组而不影响主变压器，提升厂用电切换灵活性。主变压器高压侧中性点直接接地，低压侧接成三角形抑制谐波，降低系统异常风险。高压配电装置冗余设计，500kV系统：优先采用3/2断路器接线，任意单断路器检修或故障均不影响供电（N-1原

则），并优化为“平环布置”提升大规模电厂适应性。220kV系统：采用创新1/2接线（线路单断路器+发变组双断路器），母线故障时仅停运线路而不停机；多机组电厂采用双母线分段接线，缩小故障影响范围。

(2) 关键设备防护措施。全封闭母线应用，发电机至变压器间采用全连离相封闭母线，实现三重防护：防尘防潮杜绝绝缘污闪；外壳接地保障人身安全；屏蔽作用减少相间电动力。互感器与避雷器配置，发电机出口侧配置3组电压互感器（带高压熔断器）及避雷器，中性点侧每相装设4只电流互感器；主变压器高/低压侧每相增设电流互感器，中性点设专用互感器，确保保护信号精准采集。

(3) 短路电流与接地保护。短路电流抑制，高压厂用变压器采用分裂绕组结构，有效限制厂用电系统短路电流；大机组接入220kV电网时，通过“一厂二站”分网运行策略控制短路容量。接地故障防护，发电机中性点经接地变压器（配电变或消弧线圈）高阻接地，将单相接地故障电流限制在安全范围（通常<10A）。

(4) 厂用电系统可靠性。供电冗余设计，高压厂用变压器从主变低压侧引接，若装设GCB且主接线可靠性高（如3/2或1/2接线），可取消高压启备变，通过机组间中压公用段互备供电。备用电源优化，公用负荷段互联改造（如电缆连接），减少外购电依赖，但需校验高厂变容量防止过载。

(5) 保护系统双重化配置。主保护冗余，发电机差动、主变差动等核心保护采用双重化配置，单套退出时需48小时内恢复，严禁两套同时退出运行。瓦斯保护管控，主变及厂高变重瓦斯保护退出需经总工批准，杜绝无主保护运行风险。

(6) 运行监测与事故应对。智能调峰能力：深度调峰（50%-60%额定负荷）及自动调频（48.5-50.5Hz恒功率输出）提升电网适应性。故障快速处置：保护动作后立即打印事故录波与SOE记录，核实原因前禁投误动保护；N-2工况下验证1/2接线等新型方案的功率波动风险。600MW机组电气主接线通过单元接线+高冗余配电方案（如3/2或1/2接线）、封闭母线防护、分裂厂用变限流及双重化保护保障运行安全；核心在于平衡短路电流控制、厂用电互备灵活性612与保护系统可靠性，未来需持续优化新型接线的N-2稳定性及智能调峰兼容性。

5 600MW 发电机组电气主接线未来扩展可能性分析

(1) 容量扩展与系统升级。分层接入电网优化，针对短路电流超标问题，可采用“一厂二站”分网运行策略，将机组分别接入不同电压等级（如500kV与

220kV), 限制短路容量并预留扩容空间。主变压器低压侧预留备用分支, 支持后续加装高压厂用变或无功补偿装置。模块化扩建设计, 高压配电装置采用标准间隔模块化布局(如3/2断路器接线的“平环布置”), 新增机组时仅需扩展间隔单元, 减少改造工程量。双母线分段接线预留备用母线间隔, 适应多机组扩建需求。

(2) 智能化与灵活性升级。深度调峰能力集成, 主接线设计兼容机组深度调峰(50%-60%额定负荷), 通过动态调整厂用电互备逻辑, 保障低负荷下厂用电源可靠性。配置智能调频系统(48.5-50.5Hz恒功率输出), 提升新能源并网适应性。厂用电系统弹性扩展, 推广机组间厂用电互联改造, 通过电缆连接公用段, 实现停备机组由运行机组供电, 减少外购电成本; 需校验高厂变容量防过载。取消高压启备变, 依赖主接线高可靠性(如3/2或1/2接线)与中压公用段互备, 降低扩展投资。

(3) 新技术融合方向。智能设备与数字孪生, 集成物联网传感器与边缘计算技术, 实时监测封闭母线温升、断路器机械特性, 预测性维护降低扩建停机风险。建立三维数字化台账, 模拟扩建后接线可靠性及短路电流变化, 优化方案设计。新型接线可靠性验证, 探索1/2接线扩展性: 验证N-2故障工况下的功率波动抑制能力, 为多机组电厂提供高可靠性替代方案。研究混合式断路器应用, 提升切断能力并减少扩建占地面积。

(4) 经济性与可持续性优化。国产化设备替代: 扩展时优先采用国产GIS设备与智能断路器, 降低设备成本50%以上, 缩短采购周期。绿色技改融合: 主变压器预留接口兼容储能系统或绿电制氢负荷接入, 支持电厂低碳转型。600MW机组电气主接线扩展需聚焦分层限流、模块化预留及智能互联三大方向: 通过分网运行与间隔标准化控制短路电流, 支撑容量增长; 依托厂用电互备与深度调峰技术提升运行弹性; 融合数字孪生与国产化设备降低扩展成本。未来重点验证新型接线(如1/2接线)的N-2稳定性, 并探索绿电耦合接口的兼容设计。

6 600MW发电机组电气主接线实际应用

(1) 220kV系统双母线分段接线案例。某区域火电厂(2×600MW), 采用发电机-变压器单元接线, 4回220kV线路并入电网(含2回负荷线), 主变压器低压侧三角形接线抑制谐波。母线保护: 配置双重化快速差动保护, 单母线故障时仅停运故障段, 保障非故障段持

续供电。短路控制: 高压厂用变采用分裂绕组结构, 限制厂用电系统短路电流至安全范围。多机组电厂扩展设计, 预留2回备用线路间隔, 通过双母线分段接线实现机组分批投运, 扩建时仅需扩展新间隔, 减少停机损失。

(2) 500kV系统3/2断路器接线案例。大型燃煤电厂(4×600MW), 500kV配电装置采用3/2断路器接线平环布置, 任意单断路器检修不影响供电, 满足N-1可靠性准则。封闭母线防护: 发电机至主变采用全连离相封闭母线, 杜绝绝缘污闪并减少相间电动力。接地保护: 主变高压侧中性点直接接地, 发电机中性点经接地变高阻接地, 限制单相故障电流<10A。

(3) 厂用电系统互联改造案例。电厂600MW机组改造, 电缆互联技术: 在6kV厂用段间增设联络开关与电缆(如1A段连2D段), 实现运行机组向停备机组供电, 减少外购电成本。容量校验: 联络断路器选型1250A VD4真空断路器, 电缆截面185mm²(载流量2500A), 确保高厂变不过载。经济效益: 改造后停备机组厂用电切换时间压缩至15分钟内, 日均减少电量损失约1440万度(满负荷工况)。启备变优化方案, 依托3/2接线高可靠性, 取消高压启备变, 通过中压公用段互备供电, 降低扩展投资30%以上。

(4) 技术创新与升级案例。机组升参数改造(电厂2号机), 亚临界机组升参数后供电煤耗由314.52g/kWh降至288.58g/kWh, 主变压器预留分支接口兼容智能调频系统(48.5-50.5Hz恒功率输出)。数字孪生技术应用, 集成物联网传感器实时监测封闭母线温升, 预测性维护降低扩建停机风险, 三维数字化台账辅助模拟短路电流变化。

总之, 在电厂电力系统当中, 电气主接线是主要的组成部分, 其是电厂各环节衔接与融合的主要体现。电气主接线设计不仅关系着配电装置, 也与电气设备以及机组容量存在必然的关联。电气主接线设计是否合理是电厂运行安全的重要保障, 也可保证电力系统的可靠性与灵活性。电厂的容量越大, 电气主接线所受到的影响也会随之提升。

参考文献

- [1]刘芳.600MW级机组电气主接线设计分析.2020.
- [2]张宏宇.基于600MW等级火力发电机组电气主接线的探讨.2023.