

T/CES

中国电工技术学会团体标准

T/CES XXXX—XXXX

火电机组增加调相功能实施导则

Guideline for implementation of adding condenser of thermal power generating units

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 1

5 基本原则 2

6 可行性分析 2

7 发电机组设备评估 2

8 改造内容 3

9 调相机性能要求 6

10 试验与验收 7

参考文献 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由南阳鸭河口发电有限责任公司提出。

本文件由中国电工技术学会归口。

本文件起草单位：南阳鸭河口发电有限责任公司、中国电力科学研究院有限公司、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、国网河南省电力公司、河南豫能控股股份有限公司、河南黄河能源创新中心有限公司、河南省电力公司电力科学研究院、华北电力科学研究院、南京南瑞继保电气有限公司、许继电气股份有限公司、中国电建集团河南省电力勘测设计院有限公司、北京交通大学、清华大学。

本文件主要起草人：杨根、付红军、孙冉、王建波、李戈、李增军、肖洋、何凤军、李志强、王建军、吴方元、张宇珑、史新峰、任宏、王栋材、陈瑞、周云、乔玉峰、王建收、王涛、李程昊、田春笋、刘明洋、武彦浩、申健、鹿俊铭、孟昭阳、温建春、马其汉、贺小光、许根超、杨欲晓、李大横、罗文俊、陈利江、孙军歌、朱智慧、刘唯、贾勐、陈政、于广耀、陈海龙、吴龙、刘腾、李伟力、刘文茂。

火电机组增加调相功能实施导则

1 范围

本文件规定了火电机组增加调相功能实施的术语和定义、缩略语、基本原则、可行性分析、发电机组设备评估、改造内容、调相机性能要求、试验与验收。

本文件适用于单机容量为 100 MW 及以上的两极隐极式水氢氢冷、自并励励磁方式的火电机组，其他类型和容量的机组可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 7064 隐极同步发电机技术要求

GB/T 7409.3 同步电机励磁系统 大、中型同步发电机励磁系统技术要求

GB/T 37762 同步调相机组保护装置通用技术条件

DL/T 843 同步发电机励磁系统技术条件

DL/T 1348 自动准同期装置通用技术条件

DL/T 2250 同步调相机控制保护系统技术导则

DL/T 5710 电力建设土建工程施工技术检验规范(附条文说明)

DL/T 5739 火力发电工程消防施工技术导则(附条文说明)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

调相机 condenser

与电网相连、不通过轴系机电能量转换、仅通过改变励磁电流的方式向电网输送或吸收无功功率的一种大型同步电动机。

[来源：DL/T 2098—2020，3.1]

3.2

汽轮机监视仪表系统 turbine supervisory instruments system; TSI

连续测量汽轮机的转速、振动、膨胀、位移等机械参数，并将测量结果送入控制系统、保护系统等用作控制变量及运行人员监视的自动化系统。

[来源：GB/T 26863—2022，6.17]

3.3

转子支撑装置 rotor support device

放置在汽轮机低压转子对轮下部，能够承受低压转子重量，同时能够满足汽轮机定期盘车的设备。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

SFC: 静止变频启动装置 (Static Frequency Converter)

DCS: 分散控制系统 (Distributed Control System)

UPS: 不间断电源 (Uninterruptible Power Supply)

AVC: 自动电压控制 (Automatic Voltage Control)

PMU: 相量测量单元 (Phasor Measurement Unit)

PPS: 电力系统稳定器 (Power System Stabilizer)

RTU: 远动终端单元 (Remote Terminal Unit)

5 基本原则

- 5.1 火电机组增加调相功能的实施应遵循可靠、经济、环保的原则。
- 5.2 根据电网需求及机组设备情况,改造后机组可具备发电和调相两种运行模式或调相模式运行。
- 5.3 维持机组原并网接入方案不变,变压器、开关等主要及辅助部件基本利旧。
- 5.4 保持原主厂房结构及主设备布置基本不变。
- 5.5 对锅炉、汽轮机及辅助系统进行系统评估和适应性优化调整。
- 5.6 对发电机本体及辅助系统相关设备开展调相机适应性和性能优化改造。
- 5.7 根据机组发电模式和调相模式独立运行的需要,增加调相机组独立运行所需启动装置设备。
- 5.8 改造后机组应符合电网的基本需求。

6 可行性分析

6.1 设备基础分析

发电机组应经第三方机构评估,机组整体的运维检修、保养情况、安全性和可靠性应满足改造条件。

6.2 工程实施分析

应对土地征收、规划审批、电网系统接入、生产准备、人员培训、运维检修等方面进行分析,通过对发电机等设备实施必要的性能优化改造,满足电网对调相机的基本性能要求。

6.3 经济性分析

应对改造的经济性进行分析,在满足国家相关规范和设计要求下,应充分利用机组原有设备,节约投资成本,创造社会和经济效益。

7 发电机组设备评估

7.1 发电机本体

7.1.1 运行评估

应检查发电机投运以来的故障记录、检修记录等,发电机应无影响增加调相功能的重大故障,设备应运行良好。

7.1.2 定子绕组和铁心

参照 GB/T 20140、GB/T 20835、DL/T 298、DL/T 598 应进行以下试验并评估是否可利旧:

- a) 发电机定子绕组直流电阻测试;
- b) 发电机定子绝缘电阻和吸收比测量;
- c) 发电机定子绕组直流耐压和泄漏试验;
- d) 发电机定子绕组交流耐压试验;
- e) 发电机定子绕组超声波流量试验;
- f) 发电机定子绕组端部电晕检测;
- g) 发电机发电机气密试验;
- h) 发电机定子绕组端部模态试验;
- i) 铁心状态诊断评估。

7.1.3 转子和转子绕组

参照 GB/T 9239.12、DL/T 598 应进行以下试验并评估是否可利旧:

- a) 全轴探伤: 如有坑碰、划痕、磁化等缺陷应进行局部修复;
- b) 护环: 将护环拆除, 通过超声波和着色探伤等无损检测手段, 确保护环无缺陷;
- c) 转子风扇叶片应进行着色探伤等试验, 判断是否存在缺陷;
- d) 发电机转子绝缘电阻测试;
- e) 发电机转子直流电阻测试;
- f) 发电机转子交流耐压试验;
- g) 发电机转子静态交流阻抗试验。

7.2 机组轴系统

汽轮机低压转子和发电机转子脱开后, 判断汽轮机低压转子有无支撑, 是否需在汽轮机低压转子增加临时支撑点。

7.3 润滑油、顶轴油系统

对机组润滑油系统进行容量及运行方式评估, 判断是否可利旧。

7.4 控制系统

增加调相机运行工况控制系统。

7.5 氢系统、密封油系统、冷却水系统、除盐水系统

评估是否能够满足调相机独立运行需求。

7.6 其他

根据调相机运行工况需求, 对电气一次主接线系统、电气二次系统、厂用电系统、励磁系统、发变组保护、同期装置、UPS 及直流系统根进行适应性改造。

8 改造内容

8.1 发电机及其辅助设备改造

8.1.1 定子改造

8.1.1.1 定子绕组利旧

依据模态试验结果及机型，应对定子绕组端部进行加固。

8.1.1.2 定子绕组更换

应满足改造后发电机兼具作为调相机和发电机运行的性能要求。

8.1.2 转子改造

8.1.2.1 应对原转子线圈及轴径向引线的所有绝缘件进行升级更换。

8.1.2.2 更换的绝缘件包括槽绝缘、匝间绝缘、楔下垫条、槽底垫条、端部垫块、护环绝缘、轴向引线绝缘筒及中间楔块等。

8.1.2.3 转子绝缘升级宜采用无缝拼接匝间绝缘技术。

8.2 机组轴系改造

8.2.1 轴系间隙调整

8.2.1.1 机组作为调相机独立运行时，发电机与汽轮机脱开，汽轮机低压转子对轮与调相机转子对轮（以下简称低发对轮）应脱开一定安全距离，安全距离应根据低发对轮设计间隙值确定。

8.2.1.2 机组作为调相机运行汽发对轮解开后，调相机转子热态运行时磁极中心线与发电机定子磁极中心线应吻合。

8.2.1.3 调相机运行时允许定转子磁极中心线发生适当的偏移，具体偏移程度视机型而定。汽轮机低发对轮安全距离，为低发对轮解开间隙和磁极中心线允许偏移量之和。

8.2.2 增加汽轮机低压缸转子支撑装置

8.2.2.1 汽发对轮脱开后，除低压转子原设计有支撑瓦外，应对汽轮机低压缸转子（发电机侧）增加转子支撑装置。

8.2.2.2 改造时，应在汽轮机对轮下支撑块上焊接 H 型钢结构，通过侧面顶紧螺栓调节斜楔位置，使假瓦紧密支撑对轮。

8.2.3 增加轴向止推装置

8.2.3.1 应对发电机转子转轴励端以及集电环的座式轴承进行改造，将支撑轴承更换为止推支撑轴承，增加支撑功能。

8.2.3.2 机组作发电机运行时使用支撑轴承，作调相机运行时使用止推支撑轴承。

8.2.3.3 集电环轴承座底部应增加推拉装置，调相模式下发电机转子轴向定位后，将集电环轴承座轴向用螺栓定位。

8.3 电气一次主接线系统

8.3.1 增加调相机启动装置，宜采用 SFC 方式。

8.3.2 更新或改造励磁变压器，满足电网强励要求。

8.3.3 采用 SFC 拖动时，宜更换原发电机中性点设备。

8.3.4 高厂变宜与发变组系统解开，宜拆除高厂变封闭母线与发电机封闭母线软连接。

8.3.5 新增 SFC 和励磁变压器回路，宜采用离相封闭母线。

8.3.6 励磁系统交、直流母线宜采用共箱封闭母线。

8.4 在线监测系统配置

应升级配置调相机转速、键相、振动、局放、绝缘过热、轴电压轴电流以及集电环综合监测等在线监测装置。

8.5 润滑油、顶轴油系统

润滑油系统部分利旧，新增润滑油泵和检测仪表等设备，改造内容如下：

- a) 应增加调相机用交流润滑油泵；
- b) 应改造润滑油箱新增油泵接口；
- c) 应改造原润滑油装置至汽轮机轴承的连接管道，增加隔离阀(或堵板)；
- d) 应增加润滑油泵切换压力开关，优化逻辑；
- e) 采用就地控制，应配套相应的油泵控制柜；
- f) 新增的润滑油泵应加装泵出口压力、母管压力、蓄能器压力等监测仪表，应满足调相机的监测需求；
- g) 过滤器滤芯过滤精度应能满足调相机需求；
- h) 在线净油装置应满足调相机运行油质 NAS6 级要求；
- i) 温控阀应能满足调相模式下油温要求；
- j) 顶轴油系统应能满足调相机启、停要求，应配备相应的压力变送器或开关，满足泵的联锁及跳机保护需求。

8.6 氢系统、密封油系统、定子冷却水系统、二次冷却水系统、除盐水系统

氢系统、密封油系统、定子冷却水系统、二次冷却水系统、除盐水系统宜利旧使用。

8.7 启动装置

- 8.7.1 如采用 SFC 启动方式，站内可仅配置一套 SFC。
- 8.7.2 如采用 SFC 启动方式，SFC 宜不配置输出侧变压器，机组采用堕速并网方式并网。
- 8.7.3 满足相关谐波标准要求时，SFC 可采用 6-6 脉冲拓扑结构。
- 8.7.4 设计 SFC 容量时，应考虑机组冷却介质压力对调相机阻力产生的影响。
- 8.7.5 SFC 应能保证在 10 min 内将调相机从静止状态加速到 1.05 倍额定转速。
- 8.7.6 SFC 与 DCS 系统间的通信，应采用硬接线方式，信号宜单重配置。
- 8.7.7 SFC 控制器应提供就地或远方在线修改目标转速的功能。

8.8 励磁系统

- 8.8.1 宜根据新励磁变压器参数，进行适应性改造。
- 8.8.2 采用 SFC 变频启动，励磁系统应增加启动励磁变压器和切换开关。
- 8.8.3 励磁系统应满足 DL/T 2250 等标准的相关性能要求。

8.9 厂用电系统

应对原厂用电系统及设备进行运行方式优化和适应性改造：

- a) 高厂变封闭母线与发电机封闭母线宜有效隔离；
- b) 应配套 SFC 启动电源；
- c) 应符合厂用电相关设计要求，满足两路电源供电需求。

8.10 保护装置

- 8.10.1 调相机保护应满足 GB/T 37762 的相关要求。

8.10.2 发电机保护应满足 GB/T 37762 的相关要求。

8.10.3 增加发电工况、调相工况保护切换功能。

8.11 同期装置

8.11.1 应具备发电、调相两种运行工况切换功能。

8.11.2 发电模式下同步检查继电器角度应为 20° ，调相工况下同步检查继电器角度应为 40° 。

8.11.3 同期方式和控制逻辑应满足电网并网要求。

8.12 监控系统

8.12.1 应增加调相模式机组监控系统，包括：调相机、主变、主变高压侧断路器、机组励磁系统、机组变频启动系统、中低压厂用电系统、机组同期系统、机组保护系统、机组电气测量系统、机组直流及 UPS 电源系统。

8.12.2 应增加调相机 TSI 监视系统，包括：

- a) 轴向位移测点、转速测点、键相测点；
- b) X\Y 向轴承振动及座振测点；
- c) 励磁机自由端推力轴承导瓦温度测点。

8.12.3 应具备发电、调相两种运行工况一键切换功能。

8.12.4 监控系统宜采用 DCS 系统。

8.13 其他设备

原 AVC、故障录波、直流及 UPS 系统、PMU、RTU、测量及计量、时间同步等装置宜利旧，或做适应性改造，满足机组发电和调相工况独立运行的需要。

8.14 消防及火灾报警系统

消防及火灾报警系统宜在原系统上进行扩容，应符合 DL/T 5739 的相关规定。

8.15 土建部分

新增设备间，配套通风、空调、消防设施及位置布置等土建工程，应符合 DL/T 5710 的相关规定。

8.16 施工部分

应根据《电网用调相机工程设计导则》的规定进行电缆选型。

9 调相机性能要求

9.1 一般要求

9.1.1 应符合 GB/T 7064 的相关规定。

9.1.2 应按 DL/T 1348 规定的自动准同期方式并网。

9.2 励磁系统

9.2.1 原励磁系统宜具有两套接口实现调相机起动时与不同启动装置的有效配合。

9.2.2 为满足调相机快速动态响应需求，额定工况下，调相机主励磁系统的电压响应时间，上升不大于 0.02 s、下降不大于 0.025 s。调相机励磁系统强励电压倍数不小于 3.5(对应调相机端电压为 80% 额定值时)，强励电流倍数不小于 2.5，允许强励时间不低于 15s。

- 9.2.3 在调相机运行情况下，频率值每变化 1 %，自动励磁调节系统应保证调相机电压变化不大于额定值的 $\pm 0.25\%$ 。
- 9.2.4 自动励磁调节系统交流工作电源电压在短时间（不大于强行励磁持续时间）内波动范围为 $55\% \sim 120\%$ 额定值的情况下，励磁调节器应能维持正常工作。
- 9.2.5 电源频率在 $45\text{ Hz} \sim 55\text{ Hz}$ 范围内变化，励磁系统应能维持正常工作。
- 9.2.6 自动励磁调节系统应能保证调相机机端电压调差率整定范围为 $\pm 15\%$ ，并按 1 % 的档距分档。
- 9.2.7 自动励磁调节器和手动控制单元的电压调节速度，应不大于额定电压 $1\%/s$ ，不小于额定电压 $0.3\%/s$ 。
- 9.2.8 在站用电电源电压及频率偏差范围内，励磁系统应能保证调相机在额定工况下长期连续运行。
- 9.2.9 励磁系统应在调相机电压 $70\% \sim 120\%$ 额定电压范围内稳定调节。
- 9.2.10 其他未涉及应符合 GB/T 7409.3、DL/T 843 及应符合 DL/T 2250 的相关规定。

9.3 启动装置

9.3.1 SFC 应满足如下要求：

- a) SFC 容量设计：
 - 1) SFC 容量选择时应保证调相机在 $5\text{ min} \sim 10\text{ min}$ 内从静止状态加速到额定转速；
 - 2) SFC 装置应满足机组频繁起动的要求，其热周期应满足连续满载运行不小于 60 min ，间隔 60 min 后可再次起动。
- b) SFC 电压频率满足如下要求：
 - 1) 输出电压： $0\text{ Un} \sim 1.1\text{ Un}$ （若 SFC 不带输出变压器，可不设此限值）；
 - 2) 输出频率： $0\text{ Hz} \sim 55\text{ Hz}$ 。SFC 的输出电压和频率应在上述变化范围内平稳可调；
 - 3) SFC 运行输出谐波电流及电压波形畸变率：SFC 装置应配置输入侧的隔离变压器（即输入变压器）；此外应限制 SFC 运行时向交流系统接入点、调相机及站用电系统馈送的谐波电流，并限制电压正弦波畸变率；必要时在 SFC 输入、输出端设置谐波过滤装置；SFC 运行时产生的谐波电压和电流应不影响调相机保护、励磁、中性点设备及其它设备的正常运行；
 - 4) SFC 应适应站用电电压波动范围。

9.3.2 SFC 应具备的控制方式：自动控制、现地手动控制，SFC 还应能实现现地手动分步控制，可在 $5\% \sim 105\%$ 额定转速范围内调节机组转速。

9.3.3 其他未涉及内容及其他启动装置，应符合 DL/T 2250 及 DL/T 843 的相关规定。

10 试验与验收

10.1 试验

应对改造后的机组进行性能试验，改造后机组的各项性能及参数应符合设计及国家相关标准的要求。试验包括但不限于：

- a) 分系统试验
 - 1) 机务分系统调试包括但不限于氢冷系统严密性试验、润滑油及油净化系统调试、顶轴油系统与盘车装置调试等，确认改造满足机组整套启动的要求；
 - 2) 电气分系统调试包括但不限于厂用电系统调试、断路器隔离开关系统调试、辅机电气系统调试、励磁变隔离变分系统调试等，确认改造满足机组整套启动的要求；

- 3) 热控专业分系统调试包括但不限于验证机务、化学等设备的顺序控制、保护联锁及启、停控制功能，使机组的启动、停止、正常运行和异常工况的处理按照预先设置的逻辑自动完成其控制。
- b) 整体启动试验
 - 1) 机务整体启动试验，包括但不限于油水参数调整及振动监测等项目；
 - 2) 电气整体启动试验，包括但不限于调相机启动前电气试验、综合传动试验、SFC 启动试验、调相机空载试验、调相机并网及并网后试验等。确认改造满足机组安全稳定运行的要求；
 - 3) 热控整套启动试验，包括但不限于调相机监视仪表与保护系统调试、机组附属设备及外围程序控制系统调试、主副网络切换与主副电源切换等。确认改造满足机组安全稳定运行的要求。
- c) 性能试验
 - 1) 调相工况试验包括但不限于：调相机励磁系统参数测试和建模试验、调相机无功调节与限制特性试验、失磁保护及最大进相能力校核试验、调相机甩无功负荷试验；
 - 2) 发电工况试验包括但不限于：励磁系统模型校核及调差测试试验、PSS 阻尼效果测试试验、发电工况进相容量核定试验、发电机甩无功负荷试验报告、发电机调速系统参数测试和建模试验。
- d) 调相功能涉网性能验证
 - 1) 稳态性能验证试验；
 - 2) 动态性能验证试验；
 - 3) 本体参数测试试验；
 - 4) 机组调相工况涉网性能评价等。

10.2 验收

10.2.1 验收应符合电网的相关规定。

10.2.2 验收宜参照 GB/T 37762、DL/T 2024、DL/T 1870、DL/T 1210、DL/T 656、DL/T 657、DL/T 659、DL/T 711 等规定执行。

参 考 文 献

- [1] Q/GDW 11588-2016 快速动态响应同步调相机技术规范
 - [2] Q/GDW 11767-2017 调相机变压器组保护技术规范
 - [3] GB/T 37762-2019 同步调相机组保护装置通用技术条件
 - [4] DL/T 2024 大型调相机型式试验导则
 - [5] Q/GDW12050—2020 快速动态响应同步调相机涉网试验技术导则
 - [6] DL/T 1870-2018 电力系统网源协调技术规范
 - [7] DL/T 1210-2013 火力发电厂自动发电控制性能测试验收规程
 - [8] DL/T 656—2006 火力发电厂汽轮机控制系统验收测试规程
 - [9] DL/T 657—2006 火力发电厂模拟量控制系统验收测试规程
 - [10] DL/T 659—2006 火力发电厂分散控制系统验收测试规程
 - [11] DL/T 711—1999 汽轮机调节控制系统试验导则
 - [12] DL/T 2098—2020 调相机运行规程
 - [13] GB/T 26863—2022 火电站监控系统术语
 - [14] 《电网用调相机工程设计导则》
 - [15] GB/T 20140 隐极同步发电机定子绕组端部动态特性和振动测量方法及评定
 - [16] GB/T 20835 发电机定子铁心磁化试验导则
 - [17] DL/T 298 发电机定子绕组端部电晕检测与评定导则
 - [18] DL/T 598 电力系统自动交换电话网技术规范
 - [19] GB/T 9239.12 机械振动 转子平衡 第12部分：具有挠性特性的转子的平衡方法与允差
-