

ICS 27.100
CCS K 80

T/CSEE 0378—2023

团 体 标 准

T/CSEE 0378—2023

压缩空气储能膨胀发电机组 调节系统技术规范

Technical specification of expansion generator unit governing
system for compressed air energy storage

团 体 标 准
压缩空气储能膨胀发电机组
调节系统技术规范
T/CSEE 0378—2023

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

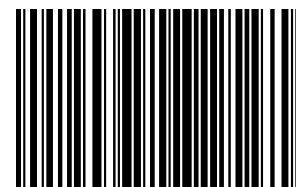
2024 年 5 月第一版 2024 年 5 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 0.75 印张 22 千字

统一书号 155198 • 5320 定价 20.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.5320

2023-12-29 发布

2024-03-29 实施

中国电机工程学会 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 基本要求 2

5 总体架构 2

 5.1 系统结构 2

 5.2 操作员站和工程师站 2

 5.3 电源柜和控制柜 2

 5.4 高速数据通道 2

 5.5 气阀执行机构 3

 5.6 高压油系统 3

 5.7 低压油系统 3

 5.8 OPC 系统 3

 5.9 ETS 系统 3

 5.10 测量变送器 3

6 功能 3

 6.1 一般要求 3

 6.2 DEH 控制 3

 6.3 限制功能 4

 6.4 超速保护 5

7 性能 5

 7.1 控制器 5

 7.2 执行机构及油系统 5

8 试验项目 5

附录 A（资料性） 压缩空气储能膨胀发电机组调节系统结构 6

参考文献 7

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据 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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会城市供电与可靠性专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：贵州电网有限责任公司电力科学研究院、贵州创星电力科学研究院有限责任公司、中国科学院工程热物理研究所、毕节高新技术产业开发区国家能源大规模物理储能技术研发中心、南方电网电力科技股份有限公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网重庆市电力公司、西安热工研究院有限公司、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：文贤馗、张世海、李枝林、邓彤天、张俊玮、陈海生、张华良、左志涛、盛勇、刘石、刘志刚、杨毅、郭欣然、黄正、田英杰、魏新迟、常涛、于在松、李阳、韩伟、赵瀚辰、张彪、李阳海、钟晶亮、王锁斌、李翔。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

压缩空气储能膨胀发电机组调节系统技术规范

1 范围

本文件规定了压缩空气储能膨胀发电机组（简称“膨胀发电机组”）调节系统的总体架构、功能、性能和试验项目。

本文件适用于压缩空气储能系统中，单机容量在 10 MW 及以上且储能时间不小于 2 h，配置数字电液调节系统的膨胀发电机组。其他容量的膨胀发电机组可参照执行。

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文件而构成必不可少的条款。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 7596 电厂运行中矿物涡轮机油质量

GB 11120 涡轮机油

GB/T 40595 并网电源一次调频技术规定及试验导则

DL/T 571 电厂用磷酸酯抗燃油运行维护导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

压缩空气储能膨胀发电机组 **expansion generator unit for compressed air energy storage**

使压缩空气膨胀做功将压缩空气内能转化为机械能，再转化为电能的旋转机械设备，包含空气膨胀机和发电机。

3.2

数字电液控制系统 **digital electro-hydraulic control system; DEH**

按电气原理设计的敏感元件、数字电路、计算机与应用软件及按液压原理设计的放大元件和液压伺服机构构成的膨胀发电机组控制系统。

[来源：GB/T 36285—2018，3.1，有修改]

3.3

负荷控制 **load control**

膨胀发电机组并网后，调节系统按设定的目标负荷和升负荷率自动控制发电机有功功率等于目标负荷的过程。

3.4

阀位控制 **valve-position control**

膨胀发电机组并网后，调节系统按设定的目标阀位和阀位变化率自动控制调节气阀开度等于目标阀位的过程。

3.5

超速保护控制 **over-speed protection control; OPC**

当膨胀发电机组转速达到或超过额定转速的 103%或转子加速度超过规定值时，自动关闭调节气阀；

当转速恢复正常时再开启调节气阀，如此反复，直至正常转速控制回路维持额定转速的功能。

3.6

超速跳闸保护 **over-speed protection trip; OPT**

膨胀发电机组保护系统功能之一。当膨胀发电机组转速上升到限值时，采取紧急停机措施自动迅速关闭主气阀和调节气阀。

3.7

紧急跳闸系统 **emergency trip system; ETS**

当膨胀发电机组运行过程中出现异常可能危及设备安全时，采取紧急措施停止膨胀发电机组运行的保护系统。

3.8

一次调频 **primary frequency control**

机组调节系统根据电网频率变化自动快速地改变有功功率，维持电网频率稳定。

[来源：DL/T 701—2022，4.52，有修改]

3.9

膨胀机自启停系统 **automatic expander start-up and shut-down control system; AEC**

膨胀发电机组控制系统及其他有关控制系统根据机组运行参数和电网负荷要求，共同完成机组启动、并网、带负荷、停止和安全经济运行过程的自动控制系统。

4 基本要求

4.1 机组调节系统功能、性能和整体方案，应与机组主体结构、当地电网结构和特性相适应。

4.2 机组调节系统应具备可靠性高、响应快速、控制精准、鲁棒性好、易于维护等特点。

4.3 机组调节系统体系结构、软件平台、软硬件集成方式等应具有技术先进性，宜满足智能监控与智能管理的需要。

5 总体架构

5.1 系统结构

膨胀发电机组调节系统结构见附录 A。

5.2 操作员站和工程师站

操作员站由多台计算机和人机接口设备等组成，用于输入膨胀发电机组操作指令并监视运行状态。工程师站不应用于机组操作控制，而应用于记录操作人员操作过程、运行数据以及对控制系统参数、组态和逻辑的修改。

5.3 电源柜和控制柜

电源柜应通过不间断电源系统向膨胀发电机组调节系统供电。控制柜应由多个微处理器为基础分散处理单元组成，宜根据操作人员的操作指令和采集的机组运行状态经分散处理单元运算处理后输出相应控制指令，对机组启停和运行过程进行控制与保护。

5.4 高速数据通道

高速数据通道应连接操作员站、工程师站和控制柜中分散处理单元等设备，应实现设备之间全数字化、双向、多站的数据交换与传输。

5.5 气阀执行机构

气阀执行机构应将控制柜输出的阀位控制信号通过电液转换器转换成油压信号，控制油动机活塞的移动，改变气阀开度，通过调节膨胀机进气流量控制机组转速或负荷。

5.6 高压油系统

高压油系统应提供一定压力的高压抗燃油。高压抗燃油作为阀门执行机构中油动机活塞移动的驱动油，并进入 OPC 的超速保护母管和 ETS 的危急遮断总管建立油压，实现机组超速保护和紧急跳闸。

5.7 低压油系统

低压油系统应通过向紧急跳闸装置提供的压力油控制隔膜阀；低压油失压时，隔膜阀应打开，引起调节系统高压油失压，关闭机组进气阀。

5.8 OPC 系统

OPC 系统电磁阀应采用并联布置；正常运行时，2 个电磁阀应处于关闭状态并在调节气阀油动机活塞下腔建立油压；电磁阀动作时，应将油动机高压油泄至回油管，迅速关闭调节气阀。

5.9 ETS 系统

ETS 系统电磁阀应采用串并联布置；正常运行时，4 个电磁阀应处于带电关闭状态，系统安全油压建立；紧急跳闸时，4 个电磁阀失电打开，安全油压消失，主气阀和调节气阀油动机高压油泄至回油管，主气阀和调节气阀迅速关闭。

5.10 测量变送器

测量变送器由测量元件和变送器组成，将测出的非电量信号转换成能进行控制运算的电量信号；压力、转速和功率等模拟量信号应通过三取中逻辑处理。

6 功能

6.1 一般要求

6.1.1 控制处理器应用软件宜采用通用编程语言组态方式。工艺流程图宜采用图形组态方式。

6.1.2 数字电液控制系统应按电站工艺设计要求，对测点信号连续采集和处理，并在实时和历史数据库进行运算和存储。

6.1.3 保护和控制信号采集应配置在完成相关功能的控制处理器的 I/O 模件中。

6.1.4 数字电液控制系统选型、配置、软件、电源、网络等应具备冗余功能。

6.1.5 数字电液控制系统运行过程中，在线修改、下装逻辑不应影响原有逻辑运行产生扰动或引起故障、死机等。

6.1.6 数字电液控制系统故障时，应保证保护功能不失效。

6.1.7 液压系统应与电子控制装置保护和限制功能相适应。

6.1.8 调节系统单个设备失效时，仍应保证机组安全。

6.1.9 在任何控制方式下，机组各种保护不应退出，不应设置保护投切按钮。

6.2 DEH 控制

6.2.1 DEH 应具备下列控制方式：

- a) 操作员自动控制方式：手动设定目标转速或目标负荷，以及手动设定转速变化率或负荷变化率后，调节系统应自动调节且实现机组转速或负荷闭环控制。
- b) AEC 控制方式：根据机组运行参数，自动设置、优化转速变化率和负荷变化率，自动完成机组启动、运行及停机全过程自动控制。
- c) 手动控制方式或阀位控制方式：机组并网后，手动设定调节气阀开度，机组负荷处于开环控制；机组并网前，不允许设置手动控制方式或阀位控制方式。
- d) 控制方式之间，应无扰切换。

6.2.2 DEH 控制性能应根据机组的不同运行工况，实现转速控制、负荷控制、阀位控制和一次调频等基本控制功能。

6.2.3 机组启动、停机和甩负荷阶段，应实现机组转速控制，并应符合下列规定：

- a) 转速调节范围应为 50 r/min 至 112%额定转速，并连续可调，启动和停机过程应平稳、可控；当机组定速到额定转速时，超调量应小于额定转速的 0.2%，转速波动范围不应大于额定转速的 0.1%。
- b) 对于目标转速和转速变化率，在操作员自动控制方式下可人为设置；在 AEC 控制方式下可自动设置，也可人为干预。
- c) 最大转速变化率不应大于机组设计规定值，通过轴系临界转速区时，转速变化率不应低于机组设计规定值。
- d) 机组甩负荷后，最高转速不应使超速跳闸保护动作。
- e) 转速控制应能接受同期装置发出的控制信号并调整机组转速。

6.2.4 机组带负荷阶段，应实现机组负荷控制，并应符合下列规定：

- a) 并网时，机组应带 2%~5%额定负荷的初始负荷。
- b) 负荷控制范围应为 0%~106%额定功率，并连续可调。负荷波动范围不应大于额定功率的 0.5%。
- c) 目标负荷和负荷变化率。在操作员自动控制方式下可人为设置；在 AEC 控制方式下可自动设置，也可人为干预。
- d) 最大负荷变化率和最大负荷限制，不应大于机组最大负荷变化率和最大负荷限制值范围。
- e) 实际负荷与给定负荷偏差大于限制值时，应切除负荷控制回路，保障机组安全运行。

6.2.5 控制阀位时，可手动设定调节气阀开度，实现负荷开环控制。

6.2.6 一次调频应符合下列规定：

- a) 机组应具备一次调频功能，一次调频死区设置不应超过 ± 0.033 Hz。
- b) 一次调频功率变化幅度不应小于 10%额定有功功率。
- c) 一次调频性能可按 GB/T 40595 执行。

6.3 限制功能

6.3.1 发生下列条件之一时，OPC 功能应动作，DEH 控制应根据机组运行要求迅速关闭机组调节气阀，防止机组超速：

- a) 机组负荷大于 10%额定负荷且发电机出口开关跳闸。
- b) 机组并网前，机组转速达到 103%额定转速；或机组并网后，机组转速超过当地电网要求的限值。
- c) 机组转速达到 102%额定转速且转子加速度大于设定值。

6.3.2 当 OPC 动作，调节气阀迅速关闭，机组转速降到允许值以下时 OPC 复位，并根据机组运行状态自动选择维持额定转速或继续带负荷运行。

6.3.3 当膨胀机前压缩空气压力降低到机组正常运行工况允许的限制值，或机组热应力变化到达机组正常运行工况允许的限制值时，DEH 应限制调节气阀开度。

6.4 超速保护

- 6.4.1 当机组转速信号故障、调节系统故障或失去电源时，应产生跳机保护信号，送至 ETS 紧急停机。
- 6.4.2 当机组转速上升到设定值时，OPT 应动作，机组紧急停机；主气阀和调节气阀自动迅速关闭，切断膨胀发电机组气源。机组应设置不少于两套独立的超速保护系统。

7 性能

7.1 控制器

- 7.1.1 模拟量控制处理周期不应大于 125 ms，开关量控制处理周期不应大于 50 ms。
- 7.1.2 转速控制处理周期不应大于 50 ms，执行超速限制和超速保护的逻辑处理周期不应大于 20 ms。

7.2 执行机构及油系统

- 7.2.1 执行机构提升力应有安全裕度，计算油压为系统最低运行压力，压缩空气压力为额定压力的 105% 时，提升力倍数不应小于 1.2。
- 7.2.2 对于调节型油动机，控制指令在中间位置维持不变时，油动机开度位置波动范围不宜超过全行程的 0.2%。
- 7.2.3 对于开关型油动机，油动机应根据控制指令正确动作，油动机实际开度位置和开度反馈应与控制指令一致。当机组紧急停机时，油动机应能迅速关闭。
- 7.2.4 设备安装及大修后，应对高压油系统管道做耐压试验，试验压力应为 1.5 倍设计压力，试验时间不应小于 20 min。
- 7.2.5 新抗燃油和运行中抗燃油的质量标准，应符合 DL/T 571 的规定。
- 7.2.6 新透平油应符合 GB 11120 的规定。运行中透平油油质应符合 GB/T 7596 的规定。

8 试验项目

膨胀发电机组调节系统试验项目应符合表 1 的规定。

表 1 膨胀发电机组调节系统试验项目

序号	试验项目	出厂试验	现场试验
1	跳闸电磁阀在线试验	—	√
2	超速保护试验	—	√
3	气阀严密性试验	√	√
4	DEH 仿真试验	—	√
5	假同期、并网试验	—	√
6	EH 油系统耐压试验	√	√
7	甩负荷试验	—	√
注：“√”表示要做的试验，“—”表示不做的试验。			

附 录 A
(资料性)

压缩空气储能膨胀发电机组调节系统结构

膨胀发电机组调节系统结构见图 A.1。

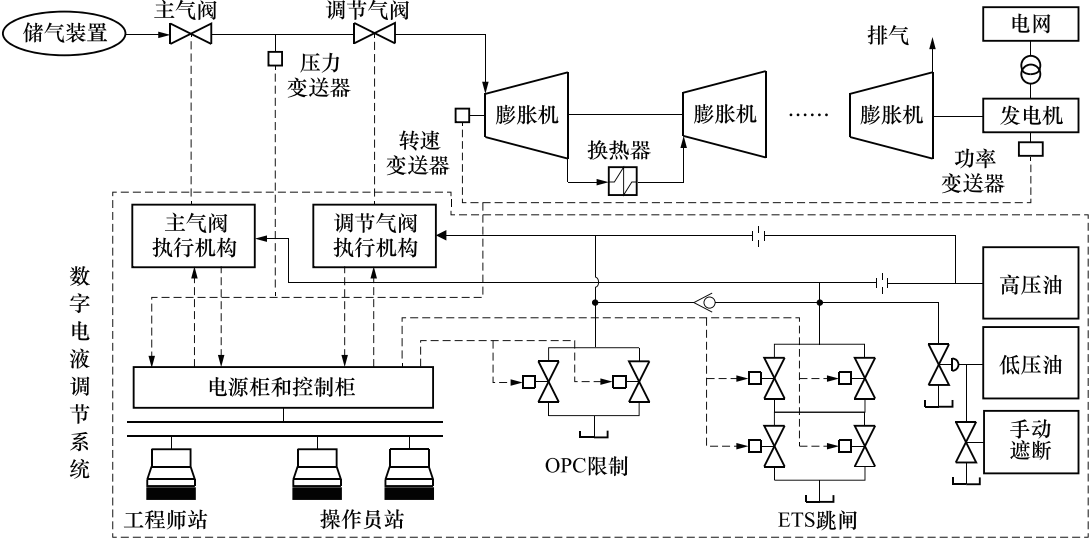


图 A.1 膨胀发电机组调节系统结构

参 考 文 献

- [1] GB/T 36285—2018 火力发电厂汽轮机电液控制系统技术条件
[2] DL/T 701—2022 火力发电厂热工自动化术语
-