

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX—2026

GW 级压缩空气储能系统集成技术规程

Technical specification for GW-scale compressed air energy storage system
integration

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国机电设备工程协会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 程序确立	2
4.1 总体原则	2
4.2 阶段划分	2
5 程序指示	2
6 系统设计	3
6.1 总体设计	3
6.2 压缩系统设计	3
6.3 储气系统设计	3
6.4 膨胀发电系统设计	3
6.5 换热系统设计	4
6.6 控制系统设计	4
7 设备选型与集成	4
7.1 设备选型原则	4
7.2 压缩系统设备集成	4
7.3 储气系统设备集成	4
7.4 膨胀发电系统设备集成	4
7.5 换热系统设备集成	4
7.6 控制系统设备集成	5
8 安装调试	5
8.1 安装准备	5
8.2 设备安装	5
8.3 单机调试	5
8.4 分系统调试	5
9 系统联调	6
9.1 联调条件	6
9.2 联调内容与要求	6
9.3 联调验收	6
10 试运行	6
10.1 试运行准备	6
10.2 试运行实施	6
10.3 试运行验收	6
11 运维管理	7
11.1 日常运维	7
11.2 故障处理	7
11.3 性能监测与优化	7

12 安全环保	7
12.1 安全管理	7
12.2 环境保护	7
13 档案管理	8

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。

本文件由江苏国信苏盐储能发电有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：江苏国信苏盐储能发电有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中国科学院广州能源研究所、山东建筑大学、中国长江三峡集团有限公司、北京中研华采技术服务有限公司。

本文件主要起草人：唐光勇、赵珈卉、宋永兴、谢宁宁、卢青峰、张健、葛艺、常勇、姜冠军、张国强、郑志美、王兆福、钟声远、乐志斌、夏卫彬。

GW级压缩空气储能系统集成技术规程

1 范围

本文件规定了GW级压缩空气储能系统集成的程序确立、程序指示、系统设计、设备选型与集成、安装调试、系统联调、试运行、运维管理、安全环保以及档案管理等内容。

本文件适用于新建、扩建或改造的GW级压缩空气储能系统的集成与工程实施。

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 150.1 压力容器 第1部分：通用要求

GB/T 755 旋转电机 定额和性能

GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术

GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带

GB/T 11822 科学技术档案案卷构成的一般要求

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 13277.1 压缩空气 第1部分：污染物净化等级

GB/T 19963.1 风电场接入电力系统技术规定 第1部分：陆上风电

GB/T 25129 制冷用空气冷却器

GB/T 36713 能源管理体系 能源基准和能源绩效参数

GB/T 42288 电化学储能电站安全规程

GB/T 43687 电力储能用压缩空气储能系统技术要求

GB/T 45313 太阳能光热发电站熔融盐储热系统技术要求

GB 50093 自动化仪表工程施工及质量验收规范（附条文说明）

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

GB 50171 电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范（附条文说明）

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范

GB 50275 风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范

GB 50316 工业金属管道设计规范

GB 55036 消防设施通用规范

DL/T 1306 电力调度数据网技术规范

DL/T 2448 配电网柔性切换装置技术规范

NB/T 47060 回转式空气预热器

IEC 61850 电力设施自动化的通信网络和系统-全部（Communication networks and systems for power utility automation - ALL PARTS）

3 术语和定义

GB/T 43687界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

GW级压缩空气储能系统 GW-scale compressed air energy storage system

额定放电功率达到吉瓦等级，利用电能压缩空气并以高压形式储存于储气库中，需要时释放高压空气通过膨胀机做功发电，实现电能的大规模存储与释放。

3.2

膨胀发电系统 expansion power generation system

压缩空气储能系统中，利用储气库释放的高压空气经预热后通过膨胀机膨胀做功，驱动发电机将空气内能转化为电能输出的子系统。

4 程序确立

4.1 总体原则

系统集成应遵循“安全优先、质量达标、效率合规、流程闭环”的总体原则，严格契合国家能源政策及相关标准要求，确保各阶段工作衔接有序、可追溯。

4.2 阶段划分

GW级压缩空气储能系统集成应确立以下程序（见图1）：

- 系统设计程序：确定系统总体方案及各子系统技术参数；
- 设备选型与集成程序：完成关键设备选型及系统设备集成；
- 安装调试程序：完成现场安装及单机、分系统调试；
- 系统联调程序：完成全系统联合调试及并网测试；
- 试运行程序：完成连续负荷试运行及性能验证；
- 运维管理程序：建立日常运行维护管理体系；
- 安全环保管理程序：建立安全环保监督与应急机制；
- 档案管理程序：建立全生命周期技术资料管理体系。

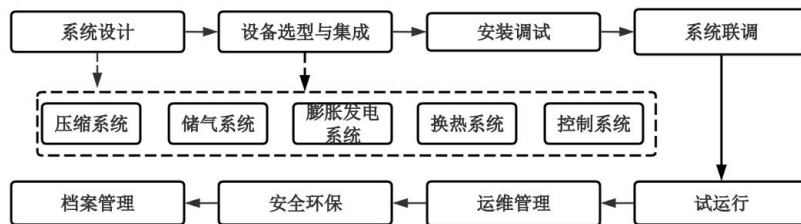


图1 GW级压缩空气储能系统集成示意图

5 程序指示

GW级压缩空气储能系统集成程序应按照表1指示进行。

GW级压缩空气储能系统集成程序指示

履行阶段	行为指示	结束条件
系统设计	确定系统总体方案、技术参数与性能指标，完成各子系统的详细设计，输出设计文件、施工图纸及技术规范	所有设计文件通过内部评审和主管部门审批，满足第5章的要求，可作为设备采购和施工的依据
设备选型与集成	依据批准的设计文件进行关键设备采购。完成设备工厂验收、到货检验，并按照第6章要求进行设备安装与接口集成	所有设备完成现场安装、机械竣工检验合格，且单机调试准备工作就绪
安装调试	依次执行单机调试（8.3）和分系统调试（8.4），验证单台设备及子系统的功能、性能是否符合设计要求	各分系统调试报告合格，系统联调所需条件（8.1）均已满足
系统联调	进行全系统联合调试（9.2），包括充放电循环、故障模拟和并网测试，验证系统整体协同运行能力	系统联调连续运行72小时无重大故障，性能指标达标，并签署《系统联调验收证书》

试运行	系统在调度下按逐步提升的负荷进行连续试运行（10.2），考核其稳定性、可靠性和综合性能	完成规定周期的试运行，系统平均效率、故障停机率等关键指标达标，并出具《试运行验收报告》
运维管理	系统转入商业运行，执行第11章规定的日常运维、定期维护、故障处理及性能优化活动	系统持续、稳定运行，满足电网调度要求
安全环保管理	第12章的要求应贯穿于所有集成阶段，执行安全防护、环保措施及应急演练	建立并有效运行持续性的安全监督与环境保护机制
档案管理	第13章的要求应贯穿于所有集成阶段，及时收集、整理和归档各阶段产生的技术文档与记录	形成完整、准确、可追溯的系统全生命周期技术档案

6 系统设计

6.1 总体设计

GW级压缩空气储能系统集成总体设计应满足以下要求：

- 系统设计应符合国家能源政策与GB/T 36713要求，系统额定功率偏差应 $\leq 5\%$ 、储能容量偏差应 $\leq 10\%$ ，连续运行时间应 $\geq 720\text{h}$ ；
- 系统总体效率应 $\geq 60\%$ ，充放电循环寿命应 ≥ 300000 次，单次充放电过程中功率波动应 $\leq 2\%$ 额定功率/分钟；
- 系统总体布局应遵循GB 50016以及GB 50140防火设计的规定，设备间距应满足检修通道 $\geq 1.5\text{m}$ 、消防通道 $\geq 4\text{m}$ ，高压管路与建筑物距离应 $\geq 3\text{m}$ 。

6.2 压缩系统设计

GW级压缩空气储能系统集成压缩系统设计应满足以下要求：

- 压缩机应选用多级离心式或轴流式，单级压比宜为1.5~3.0，额定排气压力8MPa~15MPa、排气量应匹配储气系统容量，级间冷却器出口空气温度应 $\leq 40^\circ\text{C}$ （环境温度 $\leq 35^\circ\text{C}$ 时）；
- 驱动机应选用高压变频电动机，额定功率应比压缩机轴功率大10%~15%，转速偏差应 $\leq \pm 0.5\%$ 额定转速，启动时间应 $\leq 60\text{s}$ ，符合GB 755-2019要求；
- 进气过滤装置应采用初效、中效、高效三级过滤，过滤精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ，阻力损失 $\leq 1\text{kPa}$ ，出口空气中油分含量 $\leq 0.01\text{mg}/\text{m}^3$ ，符合GB/T 13277.1要求。

6.3 储气系统设计

GW级压缩空气储能系统集成储气系统设计应满足以下要求：

- 地下储气库（盐穴/岩穴）有效容积应根据储能容量计算确定，设计压力8MPa~15MPa、设计温度 -20°C ~ 80°C ，井管材质应选用316L不锈钢或N80钢；
- 进出气管道应选用20#钢或316L不锈钢，公称直径应根据流量计算确定（流速 $\leq 20\text{m}/\text{s}$ ），设计压力应比系统工作压力高10%，壁厚应按GB 50316计算，阀门应选用API 6D标准的锻钢闸阀或球阀，密封等级应达到ANSI Class VI；
- 储气系统应设置三级压力保护：报警压力为设计压力的90%、连锁降压压力为设计压力的95%、紧急切断压力为设计压力的105%，压力传感器精度应 $\leq \pm 0.5\%FS$ ，符合GB/T 150.1要求。

6.4 膨胀发电系统设计

GW级压缩空气储能系统集成膨胀发电系统设计应满足以下要求：

- 膨胀机应选用多级轴流式，单级膨胀比宜为2.0~4.0，额定进气压力7MPa~14MPa、进气温度 250°C ~ 400°C （经换热系统预热后），排气温度应 \geq 环境温度 $+10^\circ\text{C}$ ，绝热效率应 $\geq 88\%$ ；
- 发电机应选用同步发电机，额定电压10kV~35kV、功率因数0.8（滞后），额定效率应 $\geq 98.5\%$ ，短路比 ≥ 0.4 ，并网时频率偏差应 $\leq \pm 0.1\text{Hz}$ 、电压偏差应 $\leq \pm 5\%$ ，符合GB/T 755要求；
- 排气冷却器应选用壳管式换热器，冷却介质为循环水，环境温度 $\leq 35^\circ\text{C}$ 时出口空气温度应 $\leq 50^\circ\text{C}$ ，换热面积应根据热负荷计算确定，阻力损失 $\leq 5\text{kPa}$ ，符合GB/T 25129要求。

6.5 换热系统设计

GW级压缩空气储能系统集成换热系统设计应满足以下要求：

a) 储热装置应选用熔盐储热罐，介质为硝酸钠-硝酸钾二元熔盐，熔点 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 、最高使用温度 $\leq 565^{\circ}\text{C}$ ，储热容量应满足系统4 h~8 h连续放热需求，保温层采用硅酸铝纤维+聚氨酯，厚度应 $\geq 200\text{mm}$ ，热损失应 $\leq 5\%/24\text{h}$ ，符合GB/T 45313规定；

b) 空气预热器应选用管壳式换热器，热源为熔盐（温度 $300^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ），空气出口温度应 $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ，换热效率应 $\geq 90\%$ ，设计压力应比系统工作压力高10%，符合NB/T 47060要求；

c) 换热系统管路应选用316H不锈钢，公称直径应根据流量计算确定，熔盐流速 $\leq 1.5\text{m/s}$ ，阀门应选用耐温 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ 的高温蝶阀，密封材料为石墨，符合GB 50316要求。

6.6 控制系统设计

GW级压缩空气储能系统集成控制系统设计应满足以下要求：

a) 控制系统应采用“PLC+SCADA”架构，可编程逻辑控制器（PLC）应选用冗余配置，包括CPU、电源、通信模块，数据采集与监视控制系统（SCADA系统）应支持远程监控与调度，数据采集周期应 $\leq 1\text{s}$ ，控制精度应 $\leq \pm 1\%$ 设定值；

b) 传感器应选用工业级产品：压力传感器精度 $\leq \pm 0.5\%FS$ 、温度传感器精度 $\leq \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、流量传感器精度 $\leq \pm 1\%FS$ ，执行器响应时间应 $\leq 500\text{ms}$ 。

7 设备选型与集成

7.1 设备选型原则

GW级压缩空气储能系统集成设备选型应按照以下原则：

a) 压缩机、膨胀机、发电机、储热罐等关键设备，具有 $\geq 2000\text{h}$ 的工业运行验证报告；

b) 设备材质应满足介质特性要求：与高压空气接触的设备/管路材质应具有抗 H_2S 等腐蚀性气体腐蚀能力，与熔盐接触的设备/管路材质应具有抗熔盐腐蚀能力，符合GB/T 4237要求。

7.2 压缩系统设备集成

GW级压缩空气储能系统压缩系统设备集成应满足以下要求：

a) 压缩机与驱动机采用联轴器连接，对中偏差应符合GB 50275要求：径向偏差 $\leq 0.05\text{mm}$ 、端面偏差 $\leq 0.02\text{mm/m}$ ，联轴器护罩应采用碳钢材质，防护等级IP54；

b) 级间冷却器与压缩机、管路的连接应采用法兰连接，垫片材质为耐油石棉橡胶板，且符合GB/T 9126规定，气密性试验压力为设计压力的1.5倍，保压30min无泄漏。

7.3 储气系统设备集成

GW级压缩空气储能储气设备系统集成应满足以下要求：

a) 储气库井管与地面管路的连接应采用法兰连接，法兰标准为GB/T 4622.2 Class 600，垫片材质为金属缠绕垫应符合GB/T 4622.2规定，井口装置应1s内切断阀；

b) 压力传感器应安装在储气库进出口、地面管路关键节点（间距 $\leq 100\text{m}$ ），测量范围应为系统工作压力的1.2~1.5倍，数据通过4~20mA信号传输至控制系统，符合GB/T 18271.1。

7.4 膨胀发电系统设备集成

GW级压缩空气储能膨胀发电系统设备集成应满足以下要求：

a) 膨胀机与发电机采用刚性联轴器连接，对中偏差应符合GB 50275要求：径向偏差 $\leq 0.03\text{mm}$ 、端面偏差 $\leq 0.01\text{mm/m}$ ，轴承润滑系统采用强制润滑，油压应 $\geq 0.2\text{MPa}$ ，油温应控制在 $35^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ；

b) 发电机与电网的连接应设置主变压器（10kV/220kV或35kV/500kV），变压器额定容量应比发电机额定功率大10%，短路阻抗应 $\leq 10\%$ 。

7.5 换热系统设备集成

GW级压缩空气储能换热系统设备集成应满足以下要求：

a) 熔盐储热罐与换热器的连接管路应设置伴热装置, 功率 $\geq 20\text{W/m}$, 伴热温度应比熔盐熔点高 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$, 管路保温层外表面温度应 \leq 环境温度 25°C (环境温度 $\leq 35^{\circ}\text{C}$ 时), 符合GB 50264;

b) 换热器管程与壳程应分别进行水压试验, 试验压力为设计压力的1.25倍, 保压60min无泄漏, 试验介质为除盐水 (电导率 $\leq 5 \mu\text{S/cm}$)。

7.6 控制系统设备集成

GW级压缩空气储能控制系统设备应满足以下要求:

a) PLC控制柜应安装在控制室 (温度 $18^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 、湿度40%~60%), 防护等级IP54, 柜内布线应符合GB 50171, 强电与弱电线路间距应 $\geq 100\text{mm}$;

b) 传感器与执行器的安装应符合GB 50093规定, 压力传感器应安装在管路水平段, 温度传感器应插入管路内径的 $1/3 \sim 2/3$, 流量传感器应安装在直管段 (前 $10D$ 、后 $5D$, D 为管路直径)。

8 安装调试

8.1 安装准备

GW级压缩空气储能系统集成安装准备应满足以下要求:

a) 安装场地应满足, 地面平整度偏差 $\leq 5\text{mm}/2\text{m}$, 承载力应 $\geq 200\text{kN/m}^2$, 施工用水、用电 (380V/220V) 应满足需求, 临时消防设施应按GB 55036配置;

b) 施工人员应具备相应资质上岗。

8.2 设备安装

GW级压缩空气储能系统集成设备安装应满足以下要求:

a) 压缩机、膨胀机等转动设备的基础施工应符合GB 50204规定, 基础混凝土强度等级应 $\geq \text{C30}$, 预埋螺栓位置偏差应 $\leq \pm 2\text{mm}$, 基础顶面平整度偏差应 $\leq 2\text{mm}/\text{m}$;

b) 高压管路焊接应采用氩弧焊 (打底)+手工电弧焊 (填充盖面), 焊接接头应进行100%射线检测 (RT), 应满足GB/T 3323.1要求, 焊缝余高应 $\leq 3\text{mm}$, 符合DL/T 5437要求;

c) 电气设备接地应符合GB 50169要求: 发电机、主变压器接地电阻应 $\leq 0.5 \Omega$, 控制柜、设备外壳接地电阻应 $\leq 4 \Omega$, 接地极采用镀锌角钢 ($50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$, 长度 2.5m), 间距 $\geq 5\text{m}$ 。

8.3 单机调试

GW级压缩空气储能系统集成单机调试应满足以下要求:

a) 压缩机单机调试应按GB 50275要求进行: 无负荷试运转 (转速50%额定转速, 运行30min), 检查振动 ($\leq 6.3\text{mm/s}$, 按GB/T 6075.3测量)、轴承温度 ($\leq 75^{\circ}\text{C}$); 负荷试运转应逐步提升压力 (每级提升10%设计压力, 保压10min), 直至达到设计压力, 运行2h无异常;

b) 发电机单机调试应按GB 50150要求进行: 绝缘电阻测试 (定子绕组 $\geq 1\text{M}\Omega/1\text{kV}$, 转子绕组 $\geq 0.5\text{M}\Omega$)、空载试验 (额定转速下, 电压偏差 $\leq \pm 5\%$)、短路试验 (短路电流为额定电流的1.2倍, 运行10s);

c) 熔盐储热罐单机调试应按GB/T 45313要求进行: 水压试验为设计压力的1.25倍, 保压60min无泄漏、加热试验中升温速率 $\leq 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$, 至熔盐熔点 $+50^{\circ}\text{C}$, 保温24h, 热损失 $\leq 5\%$ 。

8.4 分系统调试

GW级压缩空气储能系统集成分系统调试应满足以下要求:

a) 压缩分系统调试应联动压缩机、驱动器、冷却器, 按设计压力80%、90%、100%三个工况运行, 每个工况运行1h, 监测排气压力 (偏差 $\leq \pm 2\%$ 设计值)、排气温度 (偏差 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ 设计值)、能耗 (偏差 $\leq \pm 5\%$ 设计值), 符合GB/T 43687要求;

b) 膨胀发电分系统调试应模拟进气压力 (设计压力的80%、90%、100%), 监测发电功率 (偏差 $\leq \pm 3\%$ 额定值)、发电机效率 ($\geq 98.5\%$)、排气温度 (偏差 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ 设计值), 并网前应进行孤岛试验 (持续10min, 频率稳定在 $50 \pm 0.2\text{Hz}$);

c) 换热分系统调试应启动熔盐泵、空气预热器, 监测熔盐温度 (偏差 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ 设计值)、空气预热温度 (偏差 $\leq \pm 10^{\circ}\text{C}$ 设计值)、换热效率 ($\geq 90\%$), 连续运行4h, 无泄漏、无堵塞。

9 系统联调

9.1 联调条件

GW级压缩空气储能系统集成联调条件应满足以下要求：

- a) 各分系统调试合格，设备运行参数满足设计要求，安全保护装置（压力、温度、液位连锁）100%测试合格，符合GB/T 43687要求；
- b) 控制系统与电网调度系统通信正常，支持IEC 61850协议，可接收调度指令（启停、负荷调节），数据上传周期 $\leq 1s$ ，符合DL/T 1306规定。

9.2 联调内容与要求

GW级压缩空气储能系统集成联调应包括以下内容：

- a) 系统充放电循环调试应完成3次完整循环（充电4h、放电4h），监测充电功率（偏差 $\leq \pm 5\%$ 额定值）、放电功率（偏差 $\leq \pm 5\%$ 额定值）、系统效率（ $\geq 60\%$ ），单次循环中功率波动应 $\leq \pm 2\%$ 额定功率/分钟；
- b) 故障联调应模拟以下故障：压缩机过载（过载电流1.2倍额定值，应在10s内停机）、储气库超压（1.05倍设计压力，应在5s内切断进气阀）、熔盐泄漏（检测到泄漏信号，应在3s内切断熔盐泵），故障处理后系统应能正常重启；
- c) 并网联调应在电网调度允许下进行，完成3次并网/离网操作（每次并网运行1h），监测并网瞬间冲击电流（ ≤ 1.5 倍额定电流）、电压波动（ $\leq \pm 5\%$ 额定电压）、频率波动（ $\leq \pm 0.2Hz$ ），符合GB/T 19963.1规定。

9.3 联调验收

GW级压缩空气储能系统集成联调验收应满足以下要求：

- a) 系统联调应连续运行72h，期间平均功率偏差 $\leq \pm 3\%$ 额定值、平均效率 $\geq 60\%$ 、故障次数 ≤ 1 次（非致命故障），数据记录完整率 $\geq 99\%$ ，符合DL/T 2448要求；
- b) 联调验收应由建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、调度机构共同参与，验收报告应包括联调方案、测试数据、故障处理记录，验收合格后签署《系统联调验收证书》。

10 试运行

10.1 试运行准备

GW级压缩空气储能系统集成试运行准备应满足以下要求：

- a) 运维人员应完成培训（累计培训时间 $\geq 40h$ ），掌握设备操作、故障处理技能，通过理论+实操考核（合格率100%），运维规程应按GB/T 43687编制并审批；
- b) 备品备件应按设备厂家推荐清单配置，关键备件（压缩机轴承、膨胀机密封件、紧急切断阀）储备量应满足3次更换需求，工具应包括专用扳手、扭矩扳手、振动测试仪（精度 $\leq \pm 0.1mm/s$ ）。

10.2 试运行实施

GW级压缩空气储能系统集成试运行实施应满足以下要求：

- a) 试运行周期为3个月（累计运行时间 $\geq 1000h$ ），按“20%、50%、80%、100%”额定负荷逐步提升，每个负荷等级运行15天，监测设备振动（ $\leq 6.3mm/s$ ）、轴承温度（ $\leq 75^\circ C$ ）、系统效率（ $\geq 60\%$ ），记录数据按GB/T 43687要求存档；
- b) 试运行期间应进行2次应急演练（压缩机停机、电网失电），演练响应时间应 $\leq 10min$ ，处理措施正确，人员配合协调，演练记录应包括演练方案、过程记录、评估报告。

10.3 试运行验收

GW级压缩空气储能系统集成试运行验收应满足以下要求：

- a) 试运行期间系统平均效率 $\geq 60\%$ 、故障停机率 $\leq 0.5\%$ （故障停机时间/总运行时间）、电网投诉次数为0，符合GB/T 43687要求；

b) 试运行验收应提交以下资料：试运行日志、设备维护记录、故障处理记录、效率测试报告，验收合格后由建设单位出具《试运行验收报告》，系统正式转入商业运行。

11 运维管理

11.1 日常运维

GW级压缩空气储能系统集成日常运维应满足以下要求：

a) 日常巡检应按“日检+周检+月检”开展：日检内容包括设备运行参数（压力、温度、振动）、管路密封、电气接地，周检内容包括润滑油油位/油质、过滤器压差、阀门开关状态，月检内容包括传感器校准、绝缘电阻测试，并进行记录；

b) 定期维护周期应符合以下要求：压缩机润滑油更换周期 ≤ 6 个月（或运行2000h），滤芯更换周期 ≤ 3 个月（或压差 ≥ 0.1 MPa）；熔盐储热罐保温层检查周期 ≤ 6 个月，热损失测试周期 ≤ 1 年；发电机绝缘电阻测试周期 ≤ 3 个月，接地电阻测试周期 ≤ 6 个月。

11.2 故障处理

GW级压缩空气储能系统集成故障处理应满足以下要求：

a) 故障分级分为三级：I级故障（系统停机，如压缩机卡死），处理时间 ≤ 24 h；II级故障（负荷下降 $\geq 50\%$ ，如熔盐泵故障），处理时间 ≤ 8 h；III级故障（负荷下降 $< 50\%$ ，如阀门泄漏），处理时间 ≤ 4 h；

b) 常见故障处理措施：压缩机轴承温度高（ $> 80^\circ\text{C}$ ），应立即降负荷至50%，检查润滑油系统，若温度持续升高则停机；储气库压力降过快（ $> 2\%/24\text{h}$ ），应停止充放电，排查泄漏点（采用氦质谱检漏，灵敏度 $\leq 1 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ）。

11.3 性能监测与优化

GW级压缩空气储能系统集成性能监测与优化应满足以下要求：

a) 每月应根据GB/T 43687方法进行系统效率测试，若效率下降 $\geq 5\%$ 设计值，应排查原因，并采取优化措施；

b) 每年应进行1次设备性能评估，包括压缩机绝热效率（偏差 $\leq \pm 3\%$ 初始值）、膨胀机绝热效率（偏差 $\leq \pm 3\%$ 初始值）、发电机效率（偏差 $\leq \pm 1\%$ 初始值），评估报告应报调度机构备案。

12 安全环保

12.1 安全管理

GW级压缩空气储能系统集成安全管理应满足以下要求：

a) 安全防护设施应符合GB/T 42288要求：高压管路应设置警示标识，储气库井口应设置防爆围栏，高度 ≥ 1.2 m，控制室应设置气体检测报警仪；

b) 特殊作业应执行许可制度：动火作业（如焊接）应办理《动火作业许可证》，配备灭火器、监火人；有限空间作业（如储热罐内部检修）应办理《有限空间作业许可证》，检测氧含量（19.5%~23.5%VOL）、有毒有害气体，配备呼吸器。

12.2 环境保护

GW级压缩空气储能系统集成环境保护应满足以下要求：

a) 废气排放应符合HJ 2029要求：膨胀机排气中颗粒物含量 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ ， SO_2 含量 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_x 含量 $\leq 100\text{mg}/\text{m}^3$ ，排气应通过15m高排气筒排放（直径 $\geq 1\text{m}$ ）；

b) 废水排放应符合国家法律法规及当地政策要求，循环水排水COD $\leq 100\text{mg}/\text{L}$ ，氨氮 $\leq 15\text{mg}/\text{L}$ ，pH 6~9，应经污水处理站处理后回用，回用率 $\geq 90\%$ ；

c) 噪声控制应符合GB 12348规定：厂界昼间噪声 $\leq 65\text{dB}(\text{A})$ ，夜间噪声 $\leq 55\text{dB}(\text{A})$ ，应采取加装隔音罩、消声器等降噪措施。

13 档案管理

GW级压缩空气储能系统集成档案管理应包括以下内容：

a) 技术档案：系统设计文件（可研报告、初步设计、施工图）、设备技术资料（说明书、合格证、型式试验报告）、施工记录（焊接记录、压力试验记录）、调试记录（单机调试、分系统调试、联调报告）；

b) 运维档案：运行日志（每日运行参数）、维护记录（润滑油更换、滤芯更换）、故障记录（故障现象、处理措施、原因分析）、性能测试报告（效率测试、振动测试）；

c) 档案应按GB/T 11822整理，纸质档案应存放于档案室（温度14℃~24℃、湿度45%~60%），电子档案应存储于专用服务器（采用RAID 5备份），保存期限≥20年；

d) 档案借阅应履行审批手续：内部借阅由部门负责人审批，外部借阅（如调度机构）由单位负责人审批，借阅期限≤15天，归还时检查档案完整性，无损坏、缺页。
