

分布式压缩空气储能冷热电联供系统设计导则

1 范围

本文件规定了用户侧分布式压缩空气储能联供系统设置、热力计算、总平面布置、设备选型的方法以及压缩空气制取系统、储气系统、储冷热及换热系统、膨胀发电机系统、电气系统、自动控制及仪器仪表系统的设计要求。

本文件适用于分布式压缩空气储能系统冷热电联供系统设计。

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 55037	建筑防火通用规范
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50034	建筑照明设计标准
GB 50189	公共建筑节能设计标准
GB 22207	容积式空气压缩机 安全要求
GB 50029	压缩空气站设计规范
GB 3096	声环境质量标准
GB/T 50087	工业企业噪声控制设计规范
GB 10892	固定的空气压缩机 安全规则和操作规程
TSG 21	固定式压力容器安全技术监察规程
GB/T 20801.3	压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算
GB/T 14976	流体输送用不锈钢无缝钢管
GB/T 3765	卡套式管接头技术条件
GB/T 150.1	压力容器 第1部分：通用要求
GB/T 12241	安全阀 一般要求
GB/T 12243	弹簧直接载荷式安全阀
GB/T 1147.1	中小功率内燃机 第1部分：通用技术条件
JB/T 11799	发电用内燃机及内燃发电机组可靠性考核方法
GB/T 14097	往复式内燃机 噪声限值
GB/T 7184	往复式内燃机 振动评定方法
GB/T 2820.3	往复式内燃机驱动的交流发电机组 第3部分：发电机组用交流发电机
NB/T 33015	电化学储能系统接入配电网技术规定
GB 50052	供配电系统设计规范
GB/T 15945	电能质量 电力系统频率偏差
GB 50054	低压配电设计规范
GB 50053	20kV及以下变电所设计规范
GB 50060	3~110kV高压配电装置设计规范
GB/T 17468	电力变压器选用导则
GB/T 6451	油浸式电力变压器技术参数和要求
GB 20052	电力变压器能效限定值及能效等级
GB 50049	小型火力发电厂设计规范
GB 50064	交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范

- GB/T 14285 继电保护及安全自动装置规程
- DL/T 584 3kV~110kV电网继电保护装置运行整定规程
- GB 50062 电力装置的继电保护和自动装置设计规范
- GB 50055 通用用电设备配电设计规范
- TSG 21 特种设备安全技术规范
- GB/T 20801.3 压力管道规范 工业管道第3部分:设计和计算

3 术语和定义

GB/T 43687-2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1 **分布式压缩空气储能系统 distributed compressed air energy storage system**
通过空气压缩储存能量，压缩空气膨胀释放能量的小容量、分散式储能系统。
- 3.2 **压缩空气储能冷热电联供 Combined Cooling, Heating and Power; CCHP**
以分布式压缩空气储能系统压缩余热、膨胀机出口余冷和膨胀机膨胀做功分别作为热源、冷源和电能,为用户提供供暖、供冷和用电服务的供能系统。
- 3.3 **压缩空气站 compressed air station**
所有空气压缩机、压缩空气净化干燥设备、储气罐、供配电系统、冷却系统、监控系统、站房通风系统和压缩空气送气总管之前压缩空气的管路、阀门仪表及必需的辅助设备所组成的总体。
- 3.4 **储气系统 air storage system**
用于压缩空气充气、存储、放气的压力容器或地质空间及相应的设备组合。
[来源: GB/T 43687-2024, 3.2]
- 3.5 **压缩储能 compressed energy storage process**
利用电能驱动压缩机获取高压空气,从而储存能量的过程。
[来源: GB/T 43687-2024, 3.4]
- 3.6 **膨胀释能 expansion energy releasing process**
利用储气系统存储的高压空气,驱动空气膨胀机带动发电机发电的过程。
[来源: GB/T 43687-2024, 3.5]
- 3.7 **储气系统工作压力区间 working pressure range of air storage system**
储气系统支撑压缩储能和膨胀释能正常工作的压力范围。
[来源: GB/T 43687-2024, 3.6]
- 3.8 **储热和供热系统 thermal storage and heating system**
将分布式压缩空气储能系统压缩余热进行储存并按需释放,为用户提供稳定供热服务的供能系统。
- 3.9 **储冷和供冷系统 cold storage and cooling supply system**
将分布式压缩空气储能系统膨胀机出口余冷进行储存并按需释放,为用户提供稳定供冷服务的供能系统。
- 3.10 **气动发动机 pneumatic engine**
利用压缩空气膨胀实现热力学能向机械能转化从而产生动力的装置。
- 3.11

压缩空气再热 compressed air reheating

利用储热装置中的压缩空气余热再次加热进入膨胀机的高压空气的过程。

4 总体设计

4.1 一般规定

4.1.1 分布式压缩空气储能系统进行设计时应综合考虑电、热、冷的供需匹配特性，避免出现膨胀机发电时联产热（冷）供大于求，造成热（冷）放散。

4.1.2 分布式压缩空气储能系统应根据主要功能定位进行容量设计：

- a) 对于以分布式光伏消纳为主要设计功能的场景，应核算分布式光伏弃光时长、平均弃光发电功率和日累计弃光电量，以平均弃光发电功率和日累计弃光电量为基础设计空压机电功率，考虑场地限制确定储气容器体积和压力等级。
- b) 对于以用户分时电价管理为主要设计功能的场景，应核算高峰时段平均用电功率和累计用电量，进行多方案经济性比选，确定采用全高峰负荷储能或部分高峰负荷储能，根据转移高峰电量，结合低谷电价时段时长确定空压机、储气容器和膨胀机的容量。
- c) 对于以备用电源为主要设计功能的场景，应根据应急供电设备的供电功率和时长，确定储气容器和膨胀机的容量。
- d) 对于以供冷为主要设计功能的场景，应根据最大供冷功率、时长确定膨胀机容量，同时校核发电量是否过剩。

4.2 系统设置

4.2.1 压缩空气储能冷热电联供系统应设置压缩空气制取系统、储热（冷）及换热系统、膨胀发电子系统、电气及自动控制系统，典型系统示意图见图 1 和图 2。

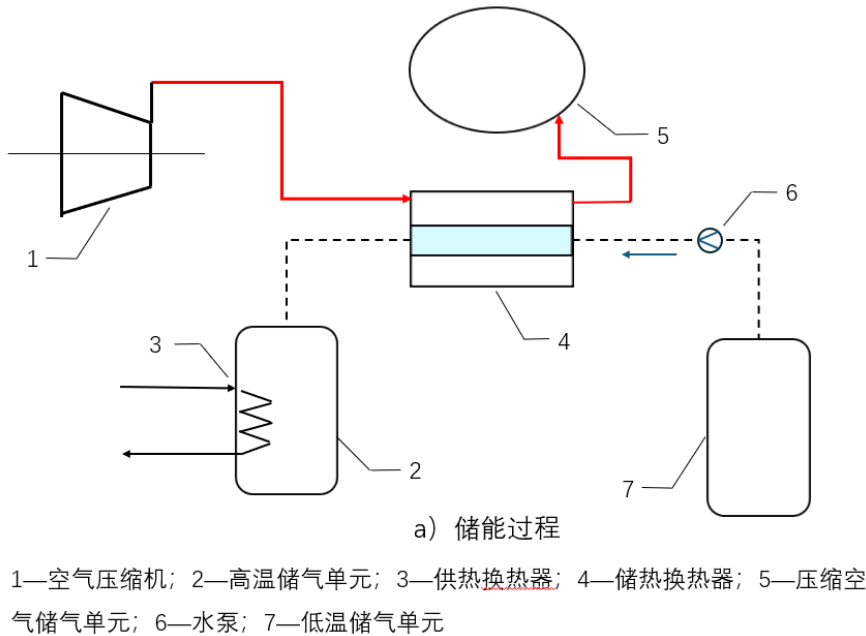


图1 压缩空气储能冷热电联供系统图

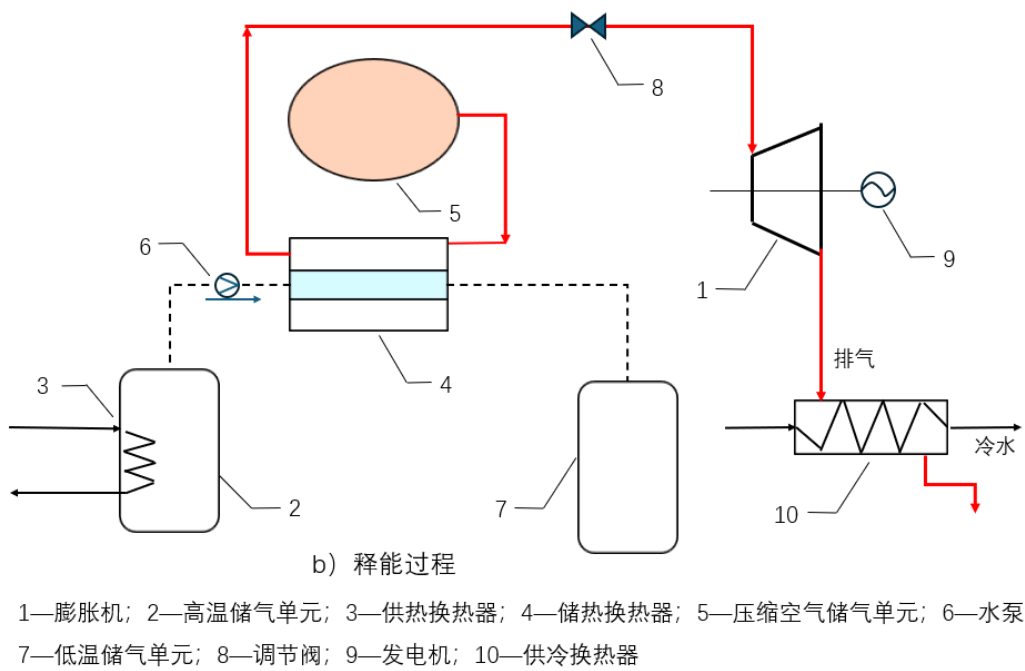
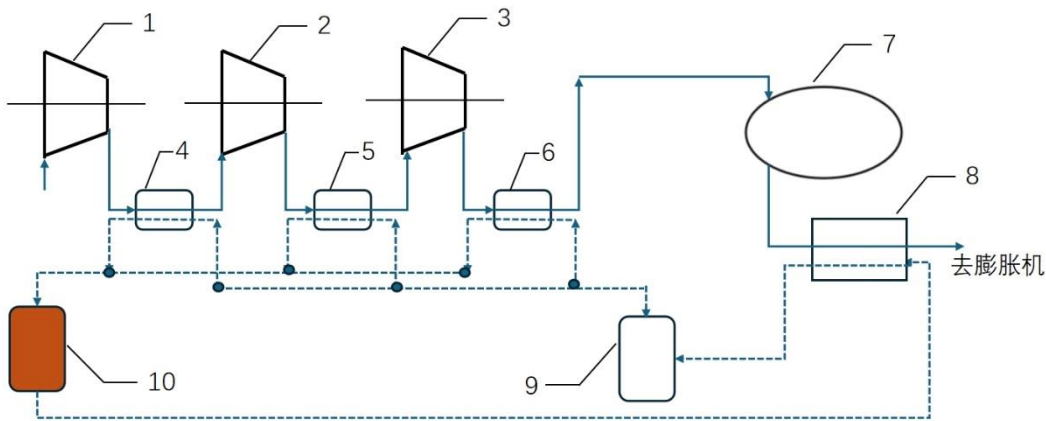


图2 压缩空气储能冷热电联供系统图

4.2.2 采用冷电联供的压缩空气储能系统应设置供冷换热器，采用热电联供的压缩空气储能系统应设置供热换热器。

4.2.3 对于压缩空气设计压力较高的系统，空压机可采用分级压缩，各级之间设置级间冷却器，各级间冷却器空气侧串联布置；水侧并联布置，两端分别接入高温水罐和低温水罐。若再热器出口水温高于压缩空气冷却要求，可设置冷却塔冷却。示意图见图3。



1、2、3—多级空气压缩机；4、5、6—级间冷却器；7—压缩空气储气单元；8—再热器；9—低温储气单元；10—高温储气单元

图3 多级压缩系统示意图

4.3 热力计算

4.3.1 进行热力系统设计时，应首先计算需求侧的冷（热）、电的最大负荷，计算冷（热）电比，结合膨胀机冷（热）电比，确定“以冷（热）定电”、“以电定冷（热）”运行模式。压缩空气余热应优先用于膨胀机再热。

4.3.2 压缩空气储能热力系统包含空气压缩、压缩空气冷却、压缩空气再热、节流调节、膨胀做功等

过程。联供系统热力系统焓熵图见图 4。不同进气压力下膨胀机做功能力和排气参数参见附表 A-1 至 A-10。

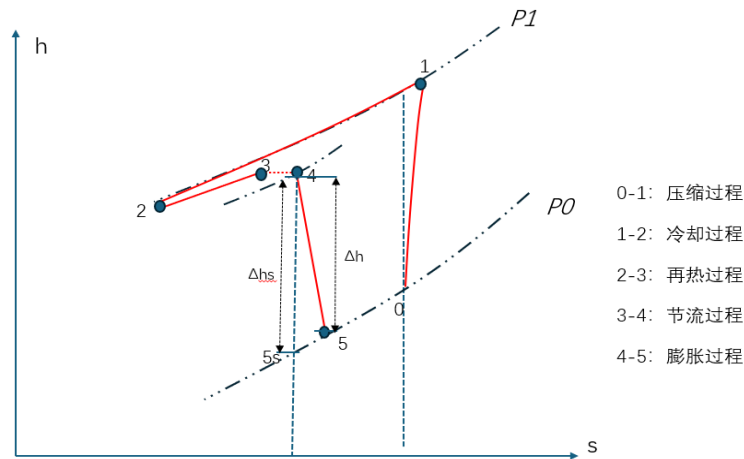


图4 压缩空气储能热力系统焓熵图

4.3.3 对于用于建筑场景的联供系统，一般采用“以电定冷”模式运行的情况，设计时应根据电负荷需求、膨胀机额定进气压力、温度、储气容器设计压力确定压缩空气额定流量和储气容器容积，设计计算流程见图 5。

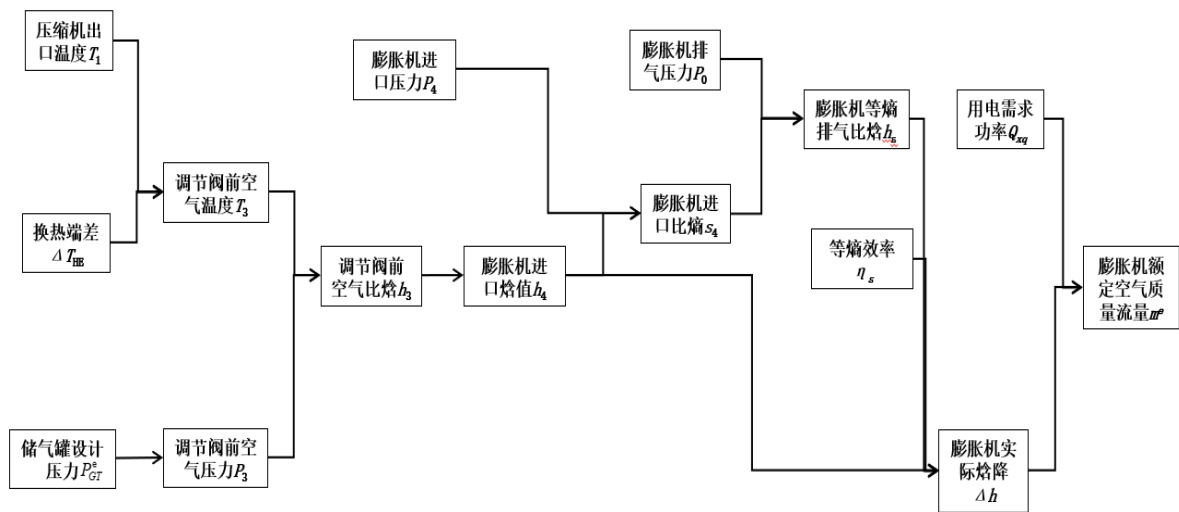


图5 “以电定冷”设计流程图

4.3.4 对于“以电定冷”模式运行的情况，应按以下步骤进行设计：

a) 按照下式计算膨胀机额定发电功率：

$$Q_{TB}^e = 1.05 \times Q_{xq} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_{TB}^e ——膨胀机设计功率，kW；

Q_{xq} ——用电需求最大功率，kW。

b) 依据储气量和储气容器材质合理确定储气容器压力 P_{GT}^e ，计算膨胀机调节阀前空气压力：

$$P_3 = P_{GT}^e - \Delta P_{HE} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

P_3 ——膨胀机调节阀前空气压力值, MPa;

P_{GT}^e ——储气容器设计压力, MPa;

ΔP_{HE} ——再热器空气侧阻力, MPa。

c) 计算调节阀前空气温度:

$$T_3 = T_1 - \Delta T_{HE}^1 - \Delta T_{HE}^2 - \Delta T_{SR} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

T_3 ——膨胀机调节阀前空气温度, °C;

T_1 ——空气压缩机出口温度, °C;

ΔT_{HE}^1 ——储能阶段冷却时最后一级换热器的上端差, °C;

ΔT_{HE}^2 ——释能阶段再热时换热器的上端差, °C。

ΔT_{SR} ——系统热损失造成造成的气体温降, °C。

示意图见图6。

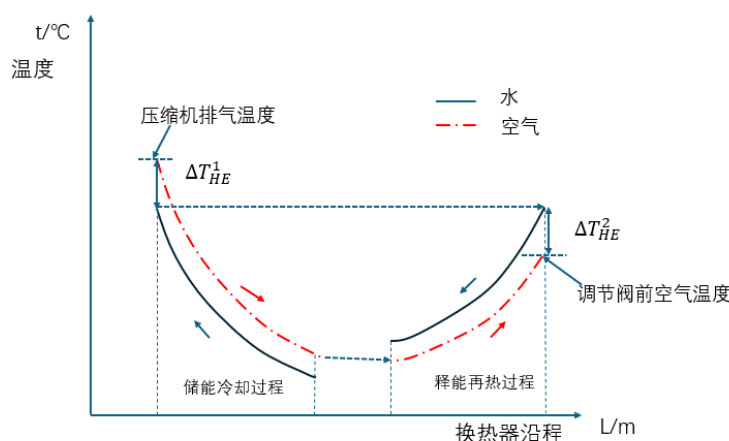


图6 调节阀前空气温度设计

d) 根据调节阀前空气压力和温度, 计算膨胀机调节阀前比焓值:

$$h_3 = h_{air}(P_3, T_3) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

h_3 ——膨胀机调节阀前比焓值, kJ/kg;

$h_{air}(P, T)$ ——由空气压力和温度求空气比焓的函数。

e) 根据调节门后压力和比焓计算膨胀机进口比熵:

$$s_4 = s_{air}(h_4, P_4) \dots\dots\dots (5)$$

$$h_4 = h_3 \dots\dots\dots (6)$$

式中:

s_4 ——膨胀机进口空气比熵, kJ/(kg·K);

$s_{air}(h, P)$ ——由空气压力和比焓求空气比熵的函数;

h_4 ——膨胀机进口比焓值, kJ/kg, 考虑节流前后焓值不变, 取值 h_3 。

f) 根据膨胀机进口比熵和排气压力计算膨胀机排气等熵焓:

$$h_{5s} = h_{air}(s_{5s}, P_0) \quad (7)$$

$$s_{5s} = s_4 \quad (8)$$

式中:

h_{5s} ——膨胀机排气等熵焓, kJ/kg;

$h_{air}(s, P)$ ——由空气压力和比熵求空气比焓的函数;

P_0 ——膨胀机排气压力, MPa, 一般取0.1MPa;

s_{5s} ——膨胀机出理想比熵, kJ/(kg·K)。

g) 计算膨胀机实际焓降:

$$\Delta h = \Delta h_s \times \eta_s \quad (9)$$

式中:

Δh ——膨胀机实际焓降, kJ/kg;

Δh_s ——膨胀机等熵焓降, kJ/kg;

η_s ——膨胀的等熵效率, 一般取0.5-0.92。

h) 计算膨胀机额定空气质量流量:

$$m^e = \frac{Q_{xq}}{\Delta h \times \eta_g} \quad (10)$$

式中:

m^e ——膨胀机额定空气质量流量, kg/s;

η_g ——发电机效率, 一般取0.95-0.98。

h) 根据需要储能系统提供的发电量计算需要储存的压缩空气的质量, 根据储气容器额定压力和温度计算压缩空气的体积, 得到储气容器的容积:

$$M_{cn} = \frac{3600 \times m^e \times Q_{cn}}{Q_{xq}} \quad (11)$$

$$V_{cn} = M_{cn} \times v_{air}(P_{GT}^e, T_2) \quad (12)$$

式中:

Q_{cn} ——需要储能系统提供的发电量, kWh;

M_{cn} ——需要的压缩空气质量, kg;

T_2 ——冷却后的压缩空气温度, °C;

$v_{air}(P, T)$ ——由压力和温度求空气比容的函数;

V_{cn} ——储气容器容积, m³。

i) 计算压缩空气系统制冷功率:

$$Q_{co} = m^e \times c_{pair} \times (T_{js} - \Delta T_{sdc} - T_5) \quad (13)$$

式中:

Q_{co} ——额定制冷功率, kW;

c_{pair} ——空气的等压比热, kJ/(kg·°C);

T_{js} ——换热器冷水进水温度, °C;

T_5 ——膨胀机排气温度, °C;

ΔT_{sdc} ——制冷换热器的上端差, °C; 一般取25°C-40°C。

4.3.5 对于采用“以冷定电”模式运行的情况, 应按以下步骤进行设计:

a) 确定制冷需求负荷和排气温度, 计算压缩空气质量流量:

$$m^e = \frac{Q_{coxq}}{c_{pair} \times (T_{js} - \Delta T_{sdc} - T_5)} \quad (14)$$

式中：

Q_{coxq} ——最大制冷需求负荷，kW。

b) 计算膨胀机实际焓降，计算膨胀机额定发电：

$$Q_{TB}^e = m^e \times \Delta h \times \eta_g \quad (15)$$

c) 计算储气容器容积。

4.4 总平面布置

- 4.4.1 联供系统应遵循节约用地原则，合理确定系统占地面积和用地范围。
- 4.4.2 联供系统选址应避开滑坡、泥石流等地质危险地段。
- 4.4.3 设备布置应紧凑合理，方便运行和维修。
- 4.4.4 联供系统可采用室内或室外布置。对环境条件差，严寒地区或对环境噪声有特殊要求的场所，宜采用室内布置。当在室外布置时，应满足防冻、防腐和防雨方面的要求。
- 4.4.5 联供系统与周边建构筑物的最小防火间距应符合 GB 55037 和 GB 50016 的规定。

5 主要设备选型

5.1 一般规定

- 5.1.1 对既有建筑进行联供系统设计时，应调查实际冷、热、电负荷数据，并应根据实测运行数据绘制不同季节典型日逐时负荷曲线和年负荷曲线。
- 5.1.2 对新建建筑或不能获得实测运行数据的既有建筑进行联供系统设计时，应根据本建筑设计负荷资料，参考相似建筑实测负荷数据进行估算，并应绘制不同季节典型日逐时负荷曲线和年负荷曲线。
- 5.1.3 绘制不同季节典型日逐时负荷曲线时，应根据各项负荷的种类、性质以及蓄热（冷）容量分别逐时叠加。
- 5.1.4 进行联供系统技术经济分析时，应根据逐时负荷曲线计算联供系统全年供冷量、供热量和供电量。

5.2 冷热负荷计算

- 5.2.1 联供系统的冷热负荷包括建筑冷热负荷和工艺冷热负荷。
- 5.2.2 建筑冷热负荷包括空调冷热负荷、采暖热负荷、通风热负荷和生活热水热负荷。
- 5.2.3 调查、估算建筑物冷热负荷时，应考虑同时使用系数和建筑物空调使用面积系数因素。
- 5.2.4 冬季供暖通风系统的热负荷应根据建筑物下列散失和获得的热量确定：
 - a) 围护结构的耗热量；
 - b) 加热由外门、窗缝隙渗入室内的冷空气耗热量；
 - c) 加热由外门开启时经外门进入室内的冷空气耗热量；
 - d) 通风耗热量；
 - e) 通过其它途径散失或获得的热量。
- 5.2.5 空调区的夏季计算得热量，应根据下列各项确定：
 - a) 通过围护结构传入的热量；
 - b) 通过透明围护结构进入的太阳辐射热量；
 - c) 人体散热量；
 - d) 照明散热量；
 - e) 设备、器具、管道及其他内部热源的散热量；
 - f) 食品或物料的散热量；

- g) 渗透空气带入的热量;
 - h) 伴随各种散湿过程产生的潜热量。
- 5.2.6 工艺冷热负荷的计算应符合以下规定:
- a) 对于已有的工艺用户,应采用调查实际值;
 - b) 对于已有供热(冷)协议的工艺用户,可采用经过核实的值;
 - c) 对于已签订供热(冷)合同的工艺用户,可采用合同值;
 - d) 对于无法提供准确值的工艺用户,可采用同类型、同等生产规模的热冷负荷进行估算;
 - e) 在调查估算工艺冷热负荷时,应考虑压力、温度、同时使用系数和投入时间因素。
- 5.2.7 冷热负荷分析时应绘制以下曲线:
- a) 绘制各类建筑物四季典型日的逐时冷热负荷曲线;
 - b) 绘制工艺冷热负荷四季典型日的逐时冷热负荷曲线;
 - c) 把各类建筑和工艺四季典型日的逐时热冷负荷曲线叠加,用于冷热电负荷匹配分析;
 - d) 绘制建筑和工艺冷热的月冷热负荷曲线、年冷热负荷曲线,用于经济分析。
- 5.3 电负荷计算
- 5.3.1 联供系统电负荷包括民用电负荷和工业电负荷两项。
- 5.3.2 民用电负荷的计算应符合以下规定:
- a) 对于已有建筑,应采用实际调查值或直接计算值;
 - b) 对于规划建筑或无法实际计算的建筑,可采用面积指标法进行估算,指标参考 GB 50034 和 GB 50189 的相关规定;
 - c) 在调查、估算民用电负荷时,应考虑同时使用系数和电用户投运时间因素。
- 5.3.3 工业电负荷计算可参照工业冷热负荷要求进行。
- 5.4 设备选型
- 5.4.1 应综合考虑压缩机效率、占地面积和设备可靠性确定空压机台数。
- 5.4.2 膨胀发电机组容量应满足所带电负荷的峰值需求,同时应满足大容量负荷的启动要求。
- 5.4.3 膨胀发电机组台数应根据最大电力负荷需求和电气主接线,同时考虑设备可靠性确定。
- 5.4.4 膨胀发电机组应根据下列条件优化选型:
- a) 膨胀发电机组相对内效率;
 - b) 膨胀发电机组负荷调节范围。
- 6 压缩空气站
- 6.1 一般要求
- 6.1.1 压缩空气储能联供系统应设置压缩空气站。
- 6.1.2 压缩空气制取系统应包含:进气过滤系统、压缩机组、放空消音系统以及控制系统。
- 6.1.3 压缩空气制取系统中所使用的电气和设备的安全、防爆性能要求应符合 GB 22207 和 GB 50029 的相关要求。
- 6.2 压缩空气站的布置
- 6.2.1 压缩空气站应靠近储气装置和膨胀机,以节省高压输气管道投资,降低系统压力损失。
- 6.2.2 压缩空气站应靠近电源点,以减少电力线路损耗。
- 6.2.3 为保证压缩空气系统吸入空气的清洁性,压缩空气站应远离散发爆炸性、腐蚀性和有毒气体以及粉尘等有害物质的场所。
- 6.2.4 压缩空气站位置应尽可能远离办公区域和居住区,同时应设置噪声防护装置,确保噪声符合 GB 3096 和 GB/T 50087 的相关规定,减少噪声影响。
- 6.2.5 压缩空气站应布置在多层建筑的底层,减少噪声和振动对建筑物、设备和环境的影响。
- 6.2.6 压缩空气站应靠外墙布置,便于通风、散热和吸气。
- 6.2.7 多台压缩空气机组之间、机组与围墙之间应考虑便于设备安装和检修需要,设置适当的间距。

6.3 压缩空气系统

- 6.3.1 应根据气动发动机进气流量和压力要求选择合适的空气压缩机，对于流量较大、压力较低的情况，应优先选择离心式空气压缩机；对于流量较小、压力较高的情况，应优先选择往复式空气压缩机。
- 6.3.2 空气压缩机进口应设置吸气过滤装置，对于往复式空气压缩机，进气中粒径大于或等于 15 μm 微粒的滤除效率不应低于 99.5%，且洁净时的压力降不应大于 800Pa；对于离心式空气压缩机，进气中粒径大于或等于 2 μm 微粒的滤除效率不应低于 99.5%，且洁净时的压力降不应大于 500Pa。
- 6.3.3 空气压缩机设计排气温度应高于排气压力下空气的露点温度，避免造成油气混合结露，造成润滑油含水，影响润滑效果。
- 6.3.4 活塞空气压缩机与储气罐之间，应装设止回阀，以减小空气压缩机启动电流；空气压缩机与止回阀之间，应设置放空管，放空管上应设置消声器。
- 6.3.5 活塞空气压缩机与储气罐之间，不应装设切断阀，当需要装设切断阀时，在空气压缩机与切断阀之间必须装设安全阀。
- 6.3.6 离心空气压缩机的排气管上应装设止回阀和切断阀，防止压缩机倒转；空气压缩机与止回阀之间，必须设置放空管，放空管上应装设防喘振调节阀和消声器，防止低流量时发生喘振现象。
- 6.3.7 压缩空气管道应采用防震动措施，同时应考虑温度变化引起的形变，设置相应的补偿器。

7 储气系统

7.1 一般要求

- 7.1.1 储气系统应包含储气容器、阀门、管路、管路接头及压力表。
- 7.1.2 储气系统应按照规定程序批准的产品图样和其他技术文件制造。加气口、阀门和管路应符合相关标准，并提供产品合格证和批量检验证明书。
- 7.1.3 储气系统应装设紧急泄压管及安全阀，与进气总管、排气总管之间应装设隔断阀。
- 7.1.4 储气系统宜装设形变、泄漏和易燃易爆气体检测监测装置，具备在线监测与报警功能。

7.2 储气容器

- 7.2.1 储气容器的设计、制造、使用年限等应符合 TSG 21 的相关规定，并应符合设计图样和有关技术文件的规定。
- 7.2.2 储气容器工作温度不应低于 -40℃ 且不高于 85℃。
- 7.2.3 储气容器的设计压力不大于 50MPa。
- 7.2.4 储气容器在最大工作压力 P_3 和膨胀机额定进气压力 P_4 之间工作，储气容器容积应考虑不能发电的压缩空气质量，储气容器容积可按照下式计算：

$$V_{GT}^0 = \frac{M_0 \times R \times T_2}{P_3} \quad (16)$$

$$M_0 = \frac{P_3}{P_3 - P_4} \times m^e \quad (17)$$

式中：

V_{GT}^0 ——储气容器的设计容积， m^3 ；

M_0 ——储气容器设计储气总质量，kg；

R ——空气的常数，值为 287.1J/(kg·K)。

- 7.2.5 储气容器的材料采用无缝钢管制造，无缝钢管用钢应采用电炉或氧气转炉冶炼，加炉外精炼并且经过真空处理。
- 7.2.6 储气容器内壁宜进行涂层等防腐蚀处理。

- 7.2.7 储气容器设计年限一般不超过 20 年。
- 7.2.8 储气容器压力波动范围超过工作压力的 20%应安装压力监测装置，监控并记录压力波动次数。
- 7.2.9 储气容器设计过程中应对容器各种可能的失效模式进行评定分析。
- 7.2.10 每个储气容器都应安装手动截止阀，在加气、放气或维修时，可用来单独的隔断各个储气瓶。

7.3 管路系统

- 7.3.1 管路系统设计参照 GB/T 20801.3 的规定，公称工作压力不低于储气容器的设计压力。
- 7.3.2 管路用钢管应符合设计图样的要求，且具有足够的强度和韧性。
- 7.3.3 管路用奥氏体不锈钢无缝钢管应符合 GB/T 14976 的规定。
- 7.3.4 管路用卡套接头应符合 GB/T 3765 的规定。
- 7.3.5 管路系统阀门的公称工作压力应不低于储气容器的设计压力。
- 7.3.6 管路宜采用焊接连接；管路及设备、阀门之间，以及不能采用焊接连接的管道之间，可采用法兰、螺纹、卡套连接。
- 7.3.7 管路系统的安装和固定要牢固可靠。

7.4 安全附件及仪表

- 7.4.1 储气容器组的超压泄放装置一般应选用安全阀，超压泄放装置应符合 GB/T 150.1 附录 B 的规定。
- 7.4.2 储气容器组的超压泄放装置宜在集中排放管道上设置。
- 7.4.3 储气容器组的超压泄放量按 GB/T 150.1 附录 B 计算。
- 7.4.4 安全阀应符合 GB/T 12241 和 GB/T 12243 的规定。
- 7.4.5 安全阀应垂直安装，安全阀前应设置相应通径的截止阀，且在正常工作状态下应保持截止阀为全开状态。
- 7.4.6 安全阀的整定压力不得大于瓶式容器的设计压力。

7.5 支撑装置

- 7.5.1 储气容器与支撑装置之间不允许采用焊接连接型式，应设置必要的止转结构。
- 7.5.2 设计支撑装置时应考虑瓶式容器可能产生的热胀冷缩作用。
- 7.5.3 支撑装置应放置在牢靠的基础上，宜用地脚螺栓紧固。

8 储热（冷）及换热系统

8.1 系统要求

- 8.1.1 联供系统应回收压缩空气余热或膨胀机出口余冷。余热优先用于再热膨胀机入口压缩空气。
- 8.1.2 储热（冷）系统应由换热器、高温储罐、低温储罐、中温储罐、换热（冷）站、输送泵及相关附属管道等组成，典型结构可参考附图 A-1。
- 8.1.3 应在考虑换热器成本的情况下尽可能减小蓄热换热器的端差，蓄热换热器应采用逆流换热，一般取 25℃~40℃。
- 8.1.4 当余热内部回收利用时，储热系统应满足膨胀机入口前空气温度、压力、流量的需求。
- 8.1.5 当为用户供热（冷）时，储热（冷）系统的容量应根据用户热逐时负荷特点确定。

8.2 设备要求

- 8.2.1 储热介质可采用软化水或导热油，导热油物理化学性能应具有长期稳定性。
- 8.2.2 换热器的换热面积余量应不小于 10%。换热器换热效率不宜小于 98%。
- 8.2.3 储热（冷）系统 24h 热（冷）损失宜不高于 2%。
- 8.2.4 储热（冷）罐容积应不小于热载体最大充装容积的 110%。

- 8.2.5 输送泵的额定流量应不小于换热器额定流量的 110%。
- 8.2.6 储热（冷）罐须合理确定结构尺寸，如合理的容积、高径比等，在保证安全的前提下，避免出现容积不够或容积浪费的情况。
- 8.2.7 储热（冷）罐应有相应的保温措施，保温措施宜保证热载体温度在环境温度-30℃、24h 内的温降不大于 5℃。
- 8.2.8 罐体厚度与焊接接头在设备使用寿命周期应满足热载体工作压力、工作温度和耐腐蚀等要求。

9 膨胀发电机系统

9.1 系统要求

- 9.1.1 联供系统膨胀发电机可采用活塞式和透平式，对于容量较小的场景一般采用活塞式。
- 9.1.2 活塞式膨胀发电机系统由供气系统、喷射系统、活塞式膨胀机、进气系统、排气系统、发电机、控制系统及相关附件组成。
- 9.1.3 活塞式膨胀机及其辅助设备的设计应在规定的使用条件下，包括在启动、停机及瞬时超负荷的情况下连续运行，布置和结构应便于操作及维护。
- 9.1.4 活塞式膨胀机进气系统应设置压力调节阀，保证进气压力稳定。

9.2 设备要求

- 9.2.1 活塞式膨胀机不得有漏油、漏水和漏气现象。
- 9.2.2 活塞式膨胀机的各缸工作均匀性、机械损失功率、有效输出功率、活塞漏气量和机油消耗量可参照 GB/T 1147.1 的要求。
- 9.2.3 活塞式膨胀机的空气喷射器设计应满足大流量的性能需求，密封偶件应选择耐磨损材料，必要时进行表面涂层处理，保证气阀密封可靠性。
- 9.2.4 活塞式膨胀机的气缸内部及排气系统处于低温工作环境，结构件和密封件应选择耐低温材料。
- 9.2.5 活塞式膨胀机的关键部件长期在低温环境下工作，应选择低温下流动性较好的低粘度、抗凝固机油，保证润滑系统可靠性。
- 9.2.6 活塞式膨胀机经不少于 500 h 可靠性试验后（试验循环参照 JB/T 11799 的规定），标定功率下降率不超过 5%，GB/T 1147.1 中规定的主要零部件不得损坏，次要件更换不超过 5 件次。
- 9.2.7 活塞式膨胀机的机械振动参照 GB/T 7184 的规定，噪声限值参照 GB/T 14097 的规定。
- 9.2.8 活塞式膨胀机的供气系统出厂时应进行气密性测试：气动发动机处于冷态，喷射系统处于关闭状态，向供气系统通入氮气，并逐渐加压至最大允许工作压力，压力稳定后关闭进气阀门，保压 20 min，在此期间压力下降值应不大于初始值的 15%。
- 9.2.9 活塞式膨胀机驱动的交流发电机及其电压调节器、控制器参照 GB/T 2820.3 的规定。
- 9.2.10 透平式膨胀机额定运行转速不应高于发电机轴承允许的最大转速。

10 电气系统

10.1 电气系统

- 10.1.1 当没有公共电网或公共电网接入困难，且联供系统所带负荷比较稳定时，发电机可采用孤网运行方式，否则应采用并网（上网）运行方式。
- 10.1.2 联供系统并网（上网）运行时，应根据发电机组的容量及变配电系统的主接线形式设计接入系统。对机端输出电压为 400V 的发电机组，宜在用户变配电系统低压侧并网；对机端输出电压 10.5kV 的发电机组，应在用户变配电系统高压侧或在地区变电站的 10.5kV 侧并网。
- 10.1.3 孤网运行的联供系统，发电机组应自动跟踪用户的用电负荷。
- 10.1.4 并网、上网运行的联供系统，发电机组应与公共电网自动同步。
- 10.1.5 分布式压缩空气储能系统接入配电网设计时，电能质量，功率控制与电压调节、电网异常响应等方面可参照 NB/T 33015 和 GB 50052 的规定。

- 10.1.6 联供系统的并网点应安装可闭锁、具有明显开断点、可实现可靠接地功能的开断设备，断路器应具备双向电流的开断能力，作为操作电器的开关应可就地或远程操作。接于用户侧的压缩空气储能主回路断路器两侧应有明显断开点。
- 10.1.7 当利用压缩空气储能发电装置作为应急备用电源时，特级、一级重要电力用户或因双电源手动切换无法满足用户允许断电时间的其他重要用户应安装备用电源自动投入装置，备用电源自动投入装置应具有保护动作闭锁功能。接于用户变（配）电站 380V 侧时低压柜应装设具有故障闭锁及带中性线切换功能的电源自动切换装置。
- 10.1.8 联供系统采用中压专线方式接入时，专线线路应停用重合闸，或不设置重合闸。
- 10.1.9 联供系统的供电质量应满足 GB/T 15945 的规定。
- 10.1.10 发电机组的输出电压等级，应根据发电机组容量、用电负荷要求、供电距离，经技术经济比较后选择 400V、6.3kV 或 10.5kV。
- 10.1.11 联供系统接入的电压等级应综合考虑储能系统充放电功率、导线载流量、上级变压器及线路可接纳能力、所在地区配电网情况，可按表 1 推荐值确定接入电压等级。

表1 分布式储能接入电压等级

分布式压缩空气储能系统充放电功率	接入电压等级
$P_N \leq 8\text{kW}$	220V
$8\text{kW} < P_N \leq 400\text{kW}$	380V
$400\text{kW} < P_N \leq 6000\text{kW}$	10（6）kV
$6000\text{kW} < P_N \leq 30000\text{kW}$	35kV

- 10.1.12 当联供系统与电网公共连接点距离较远时，联供系统的供用电电压宜与发电输电电压一致，共用输电线路，设有升压变压器的宜具备有载调压供能。
- 10.1.13 联供系统的电气主接线方案应从供电的可靠性、运行的安全性和维护的方便性等方面，经技术经济比较后确定。对确定的接线方案，应按正常运行（包括最大和最小运行方式）和短路故障电流，计算、选择、校验主要设备及继电保护和自动化装置。
- 10.1.14 联供系统的电气主接线宜采用单母线或单母线分段接线方式。当采用单母线分段接线方式时，应采用分段断路器接线。
- 10.1.15 压缩空气储能系统作为应急电源时，与正常电源之间应采取防止并列运行的措施。当有特殊要求，应急电源向正常电源转换需短暂并列运行时，应采取安全运行的措施。
- 10.1.16 联供系统变配电室及配电系统的设计应符合现行国家标准 GB 50054、GB 50053、GB 50060 和 GB 50052 的有关规定。
- 10.1.17 电能或电功率测点应满足以下要求：
- a) 用户测量压缩空气储能系统充、放电能量或电功率，以及压缩空气储能系统静置耗电量或电功率的测点布置在并网点或公共连接点处；
 - b) 测量发电机输出电能或电功率的测点布置在发电机输出接线端，按照 GB/T 8117 要求进行测量。
- 10.1.18 发电机和公共电网的电量应能够分别计量或计算得到。
- 10.1.19 分布式储能系统接入配电网前，应明确计量点，计量点应设在分布式储能系统与外部电网的产权分界处。

10.2 电气设备

- 10.2.1 联供系统升压变压器的参数应包括台数、额定电压、容量、阻抗、调压方式（有载或无励磁）、调压范围、接线组别、分接头以及中性点接地方式，并应符合 GB/T 17468、GB/T 6451 和 GB 20052 的有关规定。
- 10.2.2 联供系统发电机组应针对不同运行方式确定设备容量，并应符合下列规定：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/186213004034010235>