

团 体 标 准

T/CGMA 033002—2020

压缩空气站节能设计指南

Guide for energy saving design of compressed air station

2020-03-25 发布

2021-01-01 实施



中国通用机械工业协会 发布

压缩空气站节能设计指南

重要提示:本标准的使用者注意,与节能有关的设计和措施不应危及安全。

1 范围

本标准规定了工业用压缩空气站(以下简称空压站)的工艺节能设计,工艺设备选型、公用设施、监控系统、能效设计计算、能效验收评价。

本标准适用于三相交流电源,电压不超过 10 kV,由电动机驱动、单机额定功率大于或等于 18.5 kW、排气压力在 0.3 MPa~1.6 MPa 范围的空气压缩机,供气总量大于 4 m³/min 和空气压缩机总运行功率大于 37 kW 的空压站的节能优化设计、改造和评价。

本标准不适用于空分站和井下、洞内等特殊场所的空压站。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 3853 容积式压缩机 验收试验
- GB/T 4975 容积式压缩机术语 总则
- GB/T 10893.1 压缩空气干燥器 第 1 部分:规范与试验
- GB/T 13277.1 压缩空气 第 1 部分:污染物净化等级
- GB/T 15487 容积式压缩机流量测量方法
- GB/T 16665 空气压缩机组及供气系统节能监测
- GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则
- GB 19153 容积式空气压缩机能效限定值及能效等级
- GB 19762 清水离心泵能效限定值及节能评价值
- GB 20052 三相配电变压器能效限定值及能效等级
- GB 21518 交流接触器能效限定值及能效等级
- GB 22207 容积式空气压缩机 安全要求
- GB/T 25630 透平压缩机 性能试验规程
- GB/T 26921 电机系统(风机、泵、空气压缩机)优化设计指南
- GB/T 26967 一般用喷油单螺杆空气压缩机
- GB/T 27883 容积式空气压缩机系统经济运行
- GB/T 38182 压缩空气 能效 评估
- GB 50029 压缩空气站设计规范
- GB 50050 工业循环冷却水处理设计规范
- GB 50052 供配电系统设计规范
- JB/T 6430 一般用喷油螺杆空气压缩机
- JB/T 7664 压缩空气净化 术语
- JB/T 10526 一般用冷冻式压缩空气干燥器

- JB/T 10532 一般用吸附式压缩空气干燥器
 JB/T 10598 一般用干螺杆空气压缩机 技术条件
 JB/T 10972 一般用变频喷油螺杆空气压缩机
 JB/T 13345 一体式永磁变频螺杆空气压缩机
 JB/T 13346 一般用压缩空气过滤器
 T/CGMA 033001 压缩空气站能效分级指南

3 术语和定义

GB/T 3853、GB/T 4975、GB/T 15487、GB/T 16665、GB 19153、GB/T 25630、GB/T 38182、GB 50029、JB/T 7664、JB/T 13345、JB/T 13346 和 T/CGMA 033001 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

压缩空气系统 compressed air system

由部件集成的一个子系统群,包括空气压缩机、净化设备、控制装置、管道系统、气动工具、气动的动力机械和使用压缩空气的工艺流程。

3.2

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。

4 工艺节能设计

4.1 基本要求

- 4.1.1 空压站中所使用的电气和设备的安全、防爆性能要求应符合 GB 22207、GB50029 的要求。
- 4.1.2 空压站中所使用的空气压缩机(以下简称空压机)、压缩空气干燥器(以下简称干燥器)等设备的一般性能要求应符合 GB/T 26967、JB/T 6430、JB/T 10526、JB/T 10532、JB/T 10598、JB/T 10972、JB/T 13345 的要求。
- 4.1.3 压缩空气系统设计宜进行全生命周期成本分析,并据此设置分压力、压力露点(以下简称露点)、含油量,以满足生产对压缩空气压力、流量、压缩空气质量的需求及变化。
- 4.1.4 在厂(矿)区布置,空压站宜靠近用气负荷中心。可采用集中式站或分散式站两种方式,综合考虑用气负荷在厂区的分布情况、供电供水的合理性和未来生产规划等多种因素,经技术比较后确定。当采用分散式站房布置时,宜联网运行。
- 4.1.5 空压站宜依据全生命周期成本较低方案设计选用节能设备,不应选用国家明确的落后和淘汰产品。
- 4.1.6 空压站宜配置自动控制系统,使得空压机、净化设备运行能快速响应压缩空气流量、压力和质量需求的变化,且运行在高能效区。
- 4.1.7 电力、冷却、监控系统等公用设施应能够满足空压站供气量的动态变化要求。
- 4.1.8 装机总功率大于 500 kW 的空压站,应配置实时监控系統,按照 GB/T 16665、GB 17167 的规定,安装测量仪器仪表,监测电量、压力、流量、露点等有关能效的参数。
- 4.1.9 空压站宜采用相关技术和设备回收利用压缩热能,或预留增加设备接口。
- 4.1.10 空压站节能设计能效值应不低于 T/CGMA 033001 规定的 3 级指标。

4.2 参数设定

4.2.1 供气压力

- 4.2.1.1 应根据压缩空气使用点压力需求,统计用气设备压力,综合压力损失;在满足生产需求前提下,应降低空压站供气压力设定值,合理设定空压站供气压力。
- 4.2.1.2 压力差异较大或较偏远孤立的用气设备(或区域),应对压差进行效益评估,确定是否设立独立或分供气系统。
- 4.2.1.3 对较高压力需求,当单点流量需求在小于 $4 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,宜采用增压设备供气;对较低压需求,单点流量需求大于 $4 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,可通过全生命周期成本分析,设置单独低压供气。
- 4.2.1.4 空压站宜采用变频空压机调节气量,减小系统的压力波动,降低供气压力和空压机运行压力。
- 4.2.1.5 多台空压机运行,宜采用联控设备控制其供气压力,减小压力波动,在正常负荷下供气压力波动不宜大于 0.04 MPa 。

4.2.2 供气流量

- 4.2.2.1 空压站供气流量应依据用户最大需求,综合管道系统漏损和干燥器等不可预见耗气等因素确定。
- 4.2.2.2 联通管网的分散空压站宜统一设置备用容量。
- 4.2.2.3 根据供气量调节供给能力,不同压力供气系统之间,宜安装流量调节装置,提升整个空压站的能效水平。
- 4.2.2.4 依据气量需求变化幅度,应合理配置不同气量的空压机,总数量宜为 3 台~6 台。
- 4.2.2.5 每个空压站应选用 1 台~2 台具有变频或变容等节能型气量调节功能的空压机,满足供气量变化需求。

4.2.3 供气质量

- 4.2.3.1 空压站供气应按照 GB/T 13277.1 选择压缩空气质量等级。
- 4.2.3.2 空压站应合理设置压缩空气露点、含油量、含尘量参数,不宜选择过高净化等级。
- 4.2.3.3 空压站应具有压缩空气露点调节功能,以满足生产需求和气象环境的变化。
- 4.2.3.4 存在不同压缩空气质量需求的用气单点或区域时,空压站宜设置分净化系统;或对压缩空气质量要求高的用气单点或区域,增加设置较高净化等级的干燥器和过滤器。

4.2.4 控制要求

- 4.2.4.1 配置 4 台及以上空压机,且总运行功率大于 200 kW,宜配置联控系統,对空压机的运行进行集中控制。
- 4.2.4.2 空压站按下列方法,对每台空压机的加卸载压力进行合理设置:
- 应控制空压机运行压力平稳,且避免压力过高,正常运行压力波动幅度宜小于 0.04 MPa ;
 - 优先启用能效较高的机组;
 - 同时安装有离心和回转空压机的空压站,优先选择离心空压机供给基础用气,回转空压机供给波动用气;
 - 同时安装有离心和回转空压机,优先设置通过离心空压机进口导叶阀调节气量;
 - 优先使用变频空压机调节气量,当用气量波动超出变频调节范围,再使用工频回转空压机加卸载调节;
 - 安装有多台离心空压机时,宜采用联控方式调节气量,避免使用放空阀调节,同时避免多台离

心空压机的进气导叶阀开度过小；

- g) 应合理设置控制回转空压机的卸载运行时长,避免长时间热备机；
- h) 加卸/载时,应按照空压机气量,由小到大逐级进行。

4.2.4.3 露点需求变化(如因环境温度变化使得露点需求变化)时,宜控制干燥设备的运行参数,避免过度干燥。

4.2.4.4 冷却塔风机、循环水泵、站房通风机等用能设备的运行,应根据需求进行调节控制。

4.2.4.5 对于有多个压力分供气系统输出的空压站,宜能够调度不同压力分系统的压缩空气。

5 工艺设备选型

5.1 基本要求

5.1.1 空压站设计应全面了解其工作环境的大气温度、大气压力、湿度,合理确定运行工况,选择与需求压缩空气的压力、流量和质量参数相适宜的工艺设备。

5.1.2 工艺设备应运行处于经济性较优区间,按生产过程中用气量波动的幅度、周期,确定设备台数及机型流量配比。

5.1.3 对工艺设备压力参数选型时,应考虑管网压力损失,选择满足气量、压力参数相近的设备,不应选择与额定参数差异过大的设备。

5.1.4 根据客户实际需求,合理选择参数相匹配的净化设备,不宜过度净化压缩空气。

5.2 空压机

5.2.1 根据工艺设备对压缩空气质量和流量要求的变化特点,经能效评估后,合理选择空压机的气量、压力和类型、台数。

5.2.2 优先选择机组比功率较低、能效优于2级(当有能效分级时)的空压机。

5.2.3 当冷却水资源丰富并符合GB 50050时,优先选用水冷型空压机。

5.2.4 对于用气量大于 $300\text{ m}^3/\text{min}$ 且用气负荷稳定的空压站,宜选择离心空压机为主。

5.2.5 用气量较小或用气量波动较大、间歇用气、经常停机运行的空压站,应选择回转空压机;用气量波动周期较短的工况,应配置变频回转空压机调节气量,避免空压机频繁启停。

5.2.6 多台空压机运行时,宜根据流量波动情况合理选择变频空压机的数量。对于4台以上空压机运行时,不应采取全部或过多数量的变频空压机用于调节。

5.2.7 离心空压机的压力选型,应与供气压力要求相适应;在现有机型无相适应压力时,宜选择定制离心空压机。

5.2.8 离心空压机单机容积流量调节下限不宜低于额定容积流量的80%。

5.3 干燥器

5.3.1 依据压缩空气的额定气量、压力、露点要求和进气温度和环境温度工况,合理选择干燥器类型、规格和数量。

5.3.2 干燥器选型,应选择稍低且接近供气要求的露点,不应选择露点过低的干燥器。

5.3.3 综合比较耗电量、耗气量参数,合理选择节能型干燥器。

5.3.4 冷冻式干燥器宜选择变频控制或循环式机型,适应工况和气量、露点要求的变化。

5.3.5 压缩空气处理量大于 $10\text{ m}^3/\text{min}$,且需配置吸附式干燥器时,宜选用鼓风加热再生干燥器;在有条件时,优先选用压缩热或余热再生吸附式干燥器。

5.3.6 吸附式干燥器宜选择具有露点控制功能的。

5.4 过滤器

5.4.1 依据压缩空气的含油量、固体颗粒指标要求,合理选择配置过滤净化等级,确定过滤器的类型。

5.4.2 过滤器的设置,除应满足工艺对压缩空气净化等级的要求外,还应在下述位置设置:

- a) 干燥器前、后端和洁净气用气设备前端;
- b) 湿度等级高于或等于2级或固体颗粒等级高于或等于2级的干燥和净化压缩空气系统的配气台前端、后端。

5.4.3 过滤器宜配置压差显示及报警装置。

6 公用设施

6.1 环境要求

6.1.1 空压站的朝向宜减少日晒,站房内有良好的通风,环境应保持较低空气温度和湿度、含尘量,但不宜低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 空压机的吸气口宜设置在室外干燥、背阴、无热源的位置,应有防雨措施。与机组的连接管道力求短、直,进气温度宜高于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.3 空压机的吸气口在室内时,宜避开较高温度的气流。

6.1.4 空压站应注意通风,避免室内出现明显负压和较高温度。空压机、干燥器冷却热风 and 干燥器流程产生的热空气,宜强制排至室外。

6.1.5 对空压站房内发热设备和管道宜采取隔热措施。

6.2 电力系统要求

6.2.1 供电电源质量、电机系统谐波限制应符合GB/T 26921的要求。

6.2.2 依据电机系统运行方式,合理实施功率因数补偿,补偿后设计工况下功率因数不宜低于0.9。

6.2.3 功率大于315 kW的空压机,主电机宜采用6 kV或10 kV供电系统。

6.3 电动机及电器的基本要求

6.3.1 在满足机械负载要求的前提下,经济合理地确定电动机类型和额定功率,所选电动机应与被拖动机械负载的特性相匹配。

6.3.2 在采用变频器调速装置进行调速时,应选择与变频调速装置匹配的电动机,其选型应符合GB/T 26921的要求。

6.3.3 外置变频器的选型及与空气压缩机匹配应符合GB/T 26921的要求。

6.3.4 变压器的空载损耗和负载损耗应符合GB 20052、GB 50052的规定。

6.3.5 交流接触器的吸持功率应符合GB 21518的规定。

6.4 冷却水系统

6.4.1 空压站的冷却水,宜采用循环水或重复使用水系统,循环水宜采用开式高位冷却塔或闭式系统。

6.4.2 空压机冷却水入口处的给水压力不应大于0.4 MPa,不宜小于0.1 MPa。

6.4.3 当企业内部有软水可以利用,且系统经济合理时,循环系统的供水,可采用软水复用。

6.4.4 冷却水系统应具备节能控制功能,根据天气温度变换情况,调节水量。

6.4.5 所选用的清水离心泵的额定效率宜不低于GB 19762中的节能评价价值。

6.4.6 冷却水系统的循环水泵宜采用变频控制,循环水泵根据冷却水流量自动启停。

6.5 管网设计

- 6.5.1 压缩空气管道应满足用户对压缩空气流量、压力及质量的要求。
- 6.5.2 压缩空气管道宜根据全生命周期成本分析,设置管道内径,降低压缩空气流速,减小压力损失。
- 6.5.3 压缩空气主管路应避免出现小于 90°的弯道,同时尽量减少弯头、阀门、变径。
- 6.5.4 压缩空气管道系统,从空压机出口到压缩空气站供气出口的压力损失不宜超过空压机排气压力的 10%。
- 6.5.5 应设置排放管道系统内积存冷凝液的装置。
- 6.5.6 冷凝液排放阀不应为常开型,宜采用零气损型。

6.6 储气罐选型

- 6.6.1 储气罐容积的设计应考虑减小空压机加卸载频率。
- 6.6.2 空压机、干燥器下游均宜设置储气罐。
- 6.6.3 冷凝液自动排放装置宜采用零气损型。

6.7 余热回收利用

- 6.7.1 工厂或客户端若有如下工程要求之一,宜对压缩余热回收利用:
- 锅炉补水预热;
 - 工艺流程用供热;
 - 压缩空气干燥流程中的再生加热;
 - 室内空间加热;
 - 生产、生活用水加热。
- 6.7.2 余热回收系统若安装水箱,水箱液位应具有自动控制功能。

7 监控系统

7.1 系统设计

- 7.1.1 空压站配置实时监控系统的测点要求,应按照 GB/T 16665、GB 17167 的规定;对于多个分系统输出的空压站,应对每个分系统输出参数独立监测。
- 7.1.2 空压机和干燥器、风机、水泵等重大用电设备宜安装用电量监测仪表。
- 7.1.3 空压站宜采用网络技术提升信息化管理能力,进行能效监测、评估。

7.2 监测项目和仪表

- 7.2.1 应对空压站输出压缩空气的压力、流量实时监测,对输出压缩空气的露点宜实时监测;仪器仪表测量精度符合 GB/T 3853、GB/T 15487、GB/T 16665、GB/T 27883 的要求。
- 7.2.2 应监测空压站房室内环境温度及空气湿度。
- 7.2.3 监控系统应实时监测空压站的用电单耗、输功效率。
- 7.2.4 单机功率大于 110 kW 的空压机,宜监测压力和流量,测点要求按 GB/T 3853 的规定。
- 7.2.5 单机流量大于 60 m³/min 干燥器宜监测输出压缩空气的流量、露点、压降,测点要求按 GB/T 10893.1 的规定。
- 7.2.6 监控系统还宜具备下述功能:
- 监测冷却水系统供、回水温度和供、回水压力,风机、水泵的运行状态;
 - 监测空压机的机组比功率;

- 监测管网压力、压损;
- 具备一定的预测功能,对流量需求的变化做出预判;
- 监测压缩空气泄漏量。

- 7.2.7 监控系统宜和设备通信,形成实时监测运行数据;对不具备通信功能的设备,或监测数据不完备的设备,可安装相应测量仪表。
- 7.2.8 计算机监控系统实施监测数据刷新频率宜控制在 1 s~5 s,通过互联网方式监控系统刷新频率宜控制在 10 s 以内。
- 7.2.9 数据存储时间应不低于 3 年。

7.3 数据分析功能

- 7.3.1 智能监控系统应具备能效计算功能,根据 T/CGMA 033001 计算空压站能效等级。在空压站能效有较大变化时,设有警示。
- 7.3.2 监控系统宜通过实时曲线图显示所有参数变化状态。
- 7.3.3 监控系统宜通过报表显示空压站用电量、空压站供气量及空压站用电单耗和输功效率。
- 7.3.4 监控系统应具备一定的数据分析功能,通过对历史数据的分析判断设备的健康状况。

8 能效设计计算

8.1 总则

- 8.1.1 在完成压缩空气的压力、流量、质量(露点、含油量、含尘量)的设计要求和设备配置选型后,应对空压站进行能效预计算,再优化系统、设备,获得全生命周期经济性较佳方案。
- 8.1.2 按 T/CGMA 033001 计算综合输功效率,进行能效评级。

8.2 空压站能效

8.2.1 基本要求

空压站能效设计,应明确空压站在正常生产时间段的供气量范围及工休时间段供气量大小,以确定空压机、干燥器开机、冷却系统开机时间、控制调节状况。

8.2.2 空压站输功效率

8.2.2.1 空压站输功效率,按式(1)计算:

$$\eta_w = 16.67 \times \frac{p_0 \times Q_z \times t \times \ln[(p_z + p_0)/p_0]}{E_z} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- η_w ——空压站输功效率,无量纲;
- p_0 ——计算时间段期间空压站平均大气压力(绝对压力),单位为兆帕(MPa);
- Q_z ——在计算周期,空压站平均供气流量,单位为立方米每分(m³/min);
- t ——计算时间周期时长,单位为小时(h);
- p_z ——空压站额定供气压力(表压力),单位为兆帕(MPa);
- E_z ——在计算周期空压站用电量,单位为千瓦时(kW·h)。

8.2.2.2 空压站用电单耗,按式(2)计算:

$$D = \frac{E_z}{G_z} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

D ——在计算周期,空压站用电单耗,单位为千瓦时每立方米($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$);

G_z ——在计算周期,空压站供气总量,单位为立方米(m^3)。

8.2.2.3 空压站用电总量,按式(3)计算:

$$E_z = \sum E_{Ki} + \sum E_{Gj} + E_x + \sum E_{Fk} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

E_{Ki} ——第 i 台空压机的用电量,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$);

E_{Gj} ——第 j 台干燥器的用电量,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$);

E_x ——空压站冷却水循环系统的用电量,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$);

E_{Fk} ——第 k 座空压站中通风风机的用电量,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)。

8.2.2.4 空压站供气总量,按式(4)计算:

$$G_z = 60 \times t \times Q_z \quad \dots\dots\dots (4)$$

8.2.2.5 空压站管网压降,按式(5)计算:

$$\Delta p_z = \Delta p_G + \Delta p_L + \Delta p_N \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Δp_z ——空压站管网压降,单位为兆帕(MPa);

Δp_G ——干燥器压降,单位为兆帕(MPa);

Δp_L ——空压站管道及附件的总压降,单位为兆帕(MPa);

Δp_N ——空压站过滤器的总压降,单位为兆帕(MPa)。

8.2.3 空压机参数

8.2.3.1 空压机产气总流量,按式(6)计算:

$$\sum Q_{Ki} = Q_z + Q_L + \sum Q'_{Gj} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

Q_{Ki} ——在计算周期,第 i 台空压机机组平均容积流量,单位为立方米每分(m^3/min);

Q_L ——在计算周期,空压站压缩空气泄漏总流量(含冷凝水折算气量),单位为立方米每分(m^3/min);(取空压机的额定气量 3%~10%;若冷凝液为直排,取 5%~10%;反之取 3%~5%)。

Q'_{Gj} ——在计算周期,第 j 台干燥器消耗压缩空气流量,单位为立方米每分(m^3/min),按式(7)计算:

$$Q'_{Gj} = Q_{Gj} \times \lambda_j \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

Q_{Gj} ——第 j 台干燥器额定处理压缩空气流量,单位为立方米每分(m^3/min);

λ_j ——第 j 台干燥器耗气率,以百分比(%)表示。

8.2.3.2 空压机运行排气压力,按式(8)计算:

$$p_2 = p'_z + \Delta p_z \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

p_2 ——空压机机组运行平均排气压力,单位为兆帕(MPa);

p'_z ——空压站运行平均供气压力,单位为兆帕(MPa)。

8.2.3.3 空压机的总用电量,按式(9)计算:

$$\sum E_{Ki} = \sum (\theta_i \times t_{Ki} \times q_{si} \times Q_{Ki}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

θ_i ——在计算周期,第 i 台空压机运行加卸载修正系数;

q_{si} ——在计算周期,第 i 台空压机平均机组比功率,单位为千瓦分每立方米($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{min})$);

t_{Ki} ——在计算周期,第 i 台空压机工作开机时间,单位为小时(h)。

a) 容积式空压机运行平均机组比功率,按式(10)计算:

$$q_{si} = q_i \times \frac{p_0 \times \ln[(p_2 + p_0)/p_0]}{0.1 \times \ln[(p_{2e} + 0.1)/0.1]} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

q_i ——第 i 台空压机额定机组比功率,单位为千瓦分每立方米($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{min})$);

p_{2e} ——空压机机组额定排气压力,单位为兆帕(MPa)。

容积式空压机加卸载修正系数 θ_i ,按式(11)计算:

$$\theta_i = \frac{t_{K1}}{t_K} + \frac{t_{K2}}{t_K} \times \tau \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

t_{K1} ——空压机工作开机有负荷运行时间(变频空压机在变转速工作时间为负荷工作时间),单位为小时(h);

t_{K2} ——空压机工作开机卸载运行时间,单位为小时(h);

t_K ——空压机总的运行时间,单位为小时(h);

τ ——空压机卸载功率系数,当卸载运行时卸载功率与满载运行功率之比;当厂家未给定时,取 $\tau=0.4$ 。

b) 离心空压机运行机组比功率,按式(12)计算:

$$q_{si} = q_i \times \frac{p_0}{0.1} \quad \dots\dots\dots (12)$$

离心式空压机加卸载修正系数,按式(13)计算:

$$\theta_i = \frac{Q_{Ki} + Q_{KFj}}{Q_{Ki}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

Q_{Ki} ——第 i 台离心空压机实际运行容积流量,单位为立方米每分(m^3/min);

Q_{KFj} ——第 i 台离心空压机运行放空容积流量,单位为立方米每分(m^3/min)。

8.2.4 干燥器耗电量

8.2.4.1 冷冻式干燥器的用电总量为 $\sum E_{Gj}$ 。

8.2.4.2 吸附式干燥器的耗能量计算:

a) 用电总量为 $\sum E_{Gj}$;

b) 耗气总量,按式(14)计算:

$$\sum Q'_{Gj} = \sum (Q_{Gj} \times \lambda_j) \quad \dots\dots\dots (14)$$

8.2.5 空压站冷却水循环系统的用电量

空压站冷却水循环系统的用电量 E_x ,用于压缩空气系统冷却消耗全部电量。

8.2.6 通风风机消耗的电量

通风风机消耗的电量 E_F ,用于空压站通风降温全部通风机的用电量。

8.3 计算流程

参见附录 A。

9 能效验收评价

- 9.1 空压站建设完成,应按照 GB/T 16665 检测能效,按照 T/CGMA 033001 进行能效评级。
- 9.2 能效验收检测项目:空压站用电单耗、综合输功效率。
- 9.3 能效检测应在符合典型生产运行工况时实施,时间周期应符合 GB/T 16665 规定。
- 9.4 能效检测应在设备调试完成,运转正常,并核验设备能效参数符合明示值后进行。

附录 A
(资料性附录)
空压站能效计算流程图

A.1 空压站能效计算流程图

空压站能效计算流程见图 A.1。

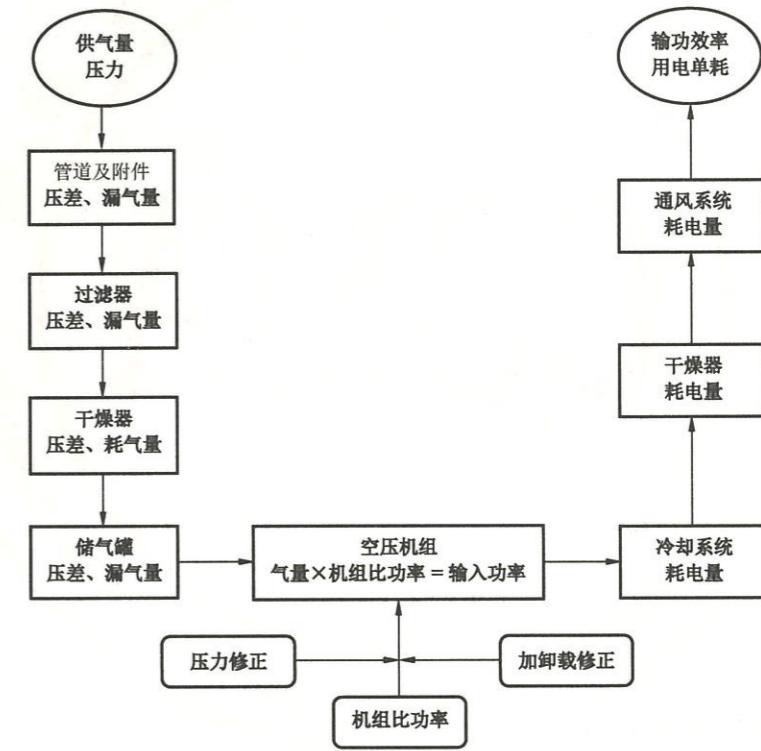


图 A.1 空压站能效计算流程

A.2 空压站能效计算实例

参见附录 B。

附录 B
(资料性附录)
空压站能效计算实例

B.1 空压站工况及供气、设备参数

B.1.1 环境工况

大气压力(p_0)为 0.1 MPa(绝对压力),大气温度为 25 °C,大气相对湿度为 40%。

B.1.2 供气需求

供气流量为 62 m³/min~74 m³/min,平均值(Q_Z)为 68 m³/min。

额定供气压力(p_Z)为 0.65 MPa,实际值为 0.65 MPa~0.69 MPa,实际运行供气压力平均值(p'_Z)为 0.67 MPa。

压缩空气露点小于 -20 °C。

B.1.3 计算周期

空压站能效计算周期(t)为 8 h。

B.1.4 设备参数

空压机及净化设备参数如下:

- 配置 2 台 160 kW 风冷式工频喷油螺杆空气压缩机(编号 i 为 1,2):
 - 额定气量(Q_{K1}, Q_{K2})为 30 m³/min;
 - 额定排气压力(p_{2e})为 0.8 MPa;
 - 额定机组比功率(q_1, q_2)为 6.1 kW/(m³/min)。
- 配置 1 台 200 kW 风冷式变频喷油螺杆空气压缩机(编号 i 为 3):
 - 额定供气量(Q_{K3})为 41 m³/min;
 - 额定排气压力(p_{2e})为 0.8 MPa;
 - 额定机组比功率(q_3)为 5.9 kW/(m³/min);
 - 下限运行频率为 20 Hz。
- 配置 3 台无热吸附式干燥器(编号 j 为 1,2,3),配置零气损式冷凝水排放阀,当进气温度为 40 °C、进气压力为 0.8 MPa 时:
 - 露点小于 -20 °C;
 - 额定处理气量(Q_{G1}, Q_{G2}, Q_{G3})为 34 m³/min;
 - 额定耗气率($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)为 20%;
 - 额定进出口压降(Δp_G)为 0.02 MPa。
- 配置 3 台前置和 3 台后置管道式过滤器:
 - 额定处理气量为 34 m³/min;
 - 额定进出口压降(Δp_N)为 0.015 MPa。
- 管道及阀门额定进出口压降(Δp_L)为 0.02 MPa。

B.1.5 设施

站房用通风风机功率(P_{F1}, P_{F2}, P_{F3})为 3 kW。

B.1.6 热回收利用

热回收装置,平均每小时回收利用的热量(E'_R)为 120 kW·h。

B.2 空压机用电量计算

B.2.1 空压机实际运行排气压力

空压站实际运行排气压力,按式(8)计算:

$$p_2 = p'_Z + \Delta p_Z$$

空压站管网总压降,按式(5)计算:

$$\Delta p_Z = \Delta p_G + \Delta p_N + \Delta p_L = 0.02 + 0.015 \times 2 + 0.02 = 0.07 \text{ MPa}$$

相关数值代入式(8),即:

$$p_2 = 0.67 + 0.07 = 0.74 \text{ MPa}$$

B.2.2 空压机实际容积流量

工频空压机容积流量 Q_{K1}, Q_{K2} 为:

$$Q_{K1} = Q_{K2} = 30 \text{ m}^3/\text{min}$$

变频空压机实际平均容积流量 Q_{K3} ,按式(6)计算:

$$Q_{K3} = Q_Z + \sum Q'_{Gj} + Q_L - (Q_{K1} + Q_{K2})$$

吸附式干燥器耗气量,按式(7)计算:

$$Q_{G1} = Q_{G2} = Q_{G3} = Q_{Gj} \times \lambda_j = 34 \times 20\% = 6.8 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\sum Q'_{Gj} = Q_{G1} + Q_{G2} + Q_{G3} = 6.8 + 6.8 + 6.8 = 20.4 \text{ m}^3/\text{min}$$

空压站泄漏率与冷凝水折算总计气量率取 3%,即:

$$Q_L = 68 \times 3\% \approx 2.0 \text{ m}^3/\text{min}$$

相关数值代入式(6),即:

$$Q_{K3} = 68 + 20.4 + 2 - (30 + 30) = 30.4 \text{ m}^3/\text{min}$$

B.2.3 空压机用电量

空压机用电量,按式(9)计算:

$$E_{Ki} = \theta_i \times t_K \times q_{si} \times Q_{Ki}$$

式中:

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 1$$

空压机运行时间:

$$t_K = t = 8 \text{ h}$$

运行机组比功率,按式(10)计算:

$$q_{si} = q_i \times \frac{p_0 \times \ln[(p_2 + p_0)/p_0]}{0.1 \times \ln[(p_{2e} + 0.1)/0.1]}$$

相关数值代入式(10),即:

$$q_{s1} = q_{s2} = 6.1 \times \frac{0.1 \times \ln[(0.74 + 0.1)/0.1]}{0.1 \times \ln[(0.8 + 0.1)/0.1]} \approx 5.91 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{min})$$

$$q_{s3} = 5.9 \times \frac{0.1 \times \ln[(0.74 + 0.1)/0.1]}{0.1 \times \ln[(0.8 + 0.1)/0.1]} \approx 5.71 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{min})$$

相关数值代入式(9),即:

$$E_{K1} = E_{K2} = 1 \times 8 \times 5.91 \times 30 = 1418.4 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$E_{K3} = 1 \times 8 \times 5.71 \times 30.4 \approx 1388.7 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

空压机用电总量:

$$\sum E_{Ki} = E_{K1} + E_{K2} + E_{K3} = 1418.4 + 1418.4 + 1388.7 = 4225.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

B.3 干燥器、通风机等用电量计算

B.3.1 干燥器用电量计算

因干燥器仅有控制用电,用电量近似为零:

$$E_{G1} = E_{G2} = E_{G3} \approx 0$$

$$\sum E_{Gj} = 0$$

B.3.2 通风机用电量

通风机用电总量按下式计算:

$$\sum E_{Fk} = E_{F1} + E_{F2} + E_{F3}$$

式中:

$$E_{F1} = E_{F2} = E_{F3} = t \times P_F = 8 \times 3 = 24 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

将相关数值代入上式,即:

$$\sum E_{Fk} = 24 + 24 + 24 = 72 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

B.3.3 冷却水系统用电量

因设备无水冷却,则冷却水系统用电量 $E_X = 0$ 。

B.4 空压站用电量

空压站用电量,按式(3)计算:

$$E_Z = \sum E_{Ki} + \sum E_{Gj} + \sum E_{Fk} + E_X = 4225.5 + 0 + 72 + 0 = 4297.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

B.5 空压站压缩热能回收利用效率

空压站压缩热能回收利用效率按 T/CGMA 033001—2018 中式(3)计算:

$$\eta_R = \frac{E_R}{\sum E_{Ki}} \times 100\%$$

空压站回收利用压缩热量:

$$E_R = t \times E'_R = 8 \times 120 = 960 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

相关数值代入 T/CGMA 033001—2018 中式(3),即:

$$\eta_R = \frac{960}{4225.5} \times 100\% \approx 22.7\%$$

B.6 空压站能效

B.6.1 空压站综合输功效率

空压站综合输功效率,按 T/CGMA 033001—2018 中式(1)计算:

$$\eta = \delta \times \eta_w$$

式中:

压缩热回收利用修正系数按 T/CGMA 033001—2018 中式(2)计算:

$$\delta = 1 + 0.2 \times \eta_R = 1 + 0.2 \times 22.7\% \approx 1.045$$

空压站输功效率按式(1)计算:

$$\begin{aligned} \eta_w &= 16.67 \times \frac{p_x \times Q_Z \times t \times \ln[(p_Z + p_x)/p_x]}{E_Z} \times 100\% \\ &= 16.67 \times \frac{0.1 \times 68 \times 8 \times \ln[(0.65 + 0.1)/0.1]}{4297.5} \times 100\% \\ &\approx 42.5\% \end{aligned}$$

相关数值代入 T/CGMA 033001—2018 中式(1),即:

$$\eta = 1.045 \times 42.5\% \approx 44.4\%$$

B.6.2 空压站用电单耗

空压站用电单耗按式(2)计算:

$$D = \frac{E_Z}{G_Z}$$

空压站供气总量按式(4)计算:

$$G_Z = 60 \times Q_Z \times t = 68 \times 60 \times 8 = 32640 \text{ m}^3$$

相关数值代入式(2),即:

$$D = \frac{4297.5}{32640} = 0.132 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$$

B.7 空压站能效等级判定

压缩空气站供气平均流量为 $68 \text{ m}^3/\text{min}$,压缩空气露点为小于 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$,压缩空气为有油级。

按 T/CGMA 033001—2018 表 3 规定,压缩空气站能效等级为 3 级。

中国通用机械工业协会
团体标准
压缩空气站节能设计指南
T/CGMA 033002—2020

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533

中国通用机械工业协会:(010)88393520

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 32 千字
2020年6月第一版 2020年6月第一次印刷
印数 1—1500

*

书号: 155066·5-1826 定价 21.00 元



T/CGMA 033002-2020