ICS 71.100.20

G 93

|  |
| --- |
| 备案号： |

AQ

中华人民共和国安全生产行业标准

AQ/T XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|   |

深冷空分装置安全技术规范

Safety technical regulations for cryogenic air separation unit

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
|   |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中华人民共和国应急管理部 发布

目  次

[前言 II](#_Toc54447469)

[1　范围 1](#_Toc54447470)

[2　规范性引用文件 1](#_Toc54447471)

[3　术语和定义 2](#_Toc54447472)

[4　装置布局与工程总体 3](#_Toc54447473)

[5　吸入空气污染物与清除净化 6](#_Toc54447474)

[6　压缩机 8](#_Toc54447475)

[7　膨胀机 10](#_Toc54447476)

[8　低温泵 12](#_Toc54447477)

[9　空分冷箱和精馏系统 14](#_Toc54447478)

[10　产品储存及输送 18](#_Toc54447479)

[11　稀有气体装置 22](#_Toc54447480)

[12　控制系统 23](#_Toc54447481)

[13　安全操作运行 29](#_Toc54447482)

[14　培训与事故应急处置 34](#_Toc54447483)

[附录A（资料性附录）　稀有气体工艺流程 37](#_Toc54447484)

[附录B（资料性附录）　控制系统相关示意图 39](#_Toc54447485)

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。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国应急管理部提出。

本文件由全国安全生产标准化技术委员会化学品安全分技术委员会（SAC/TC288/SC3）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

深冷空分装置安全技术规范

1. 范围

本标准规定了深冷空分装置的总体布局、吸入空气质量控制、压缩机、膨胀机、低温泵、空分冷箱和精馏系统、产品储运、稀有气体装置、控制系统、安全操作运行、人员管理与事故应急处置等内容的要求。

本标准适用于以冶金、有色、化工、石化、煤化工、电子等领域采用深冷空分装置制取氧、氮、氩（包含：氦、氖、氪、氙稀有气体）等空气产品的企业。

1. 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 2894 安全标志及其使用导则

GB/T 3797 电气控制设备

GB/T 7251.12 低压成套开关设备和控制设备 第2部分：成套电力开关和控制设备

GB/T 7777 容积式压缩机机械振动测量与评价

GB/T 12337 钢制球形储罐

GB 16912 深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程

GB/T 18442.1 固定式真空绝热深冷压力容器 第1部分：总则

GB/T 18442.2 固定式真空绝热深冷压力容器 第2部分：材料

GB/T 18442.3 固定式真空绝热深冷压力容器 第3部分：设计

GB/T 18442.4 固定式真空绝热深冷压力容器 第4部分：制造

GB/T 18442.5 固定式真空绝热深冷压力容器 第5部分：检验与试验

GB/T 18442.6 固定式真空绝热深冷压力容器 第6部分：安全防护

GB/T 18442.7 固定式真空绝热深冷压力容器 第7部分：内容器应变强化技术规定

GB/T 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则

GB 30871 化学品生产单位特殊作业安全规范

GB/T 31481 深冷容器用材料与气体的相容性判定导则

GB/T 33942 特种设备事故应急预案编制导则

GB 36894 危险化学品生产装置和储存设施风险基准

GB/T 37243 危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50030 氧气站设计规范

GB/T 50050-2017 工业循环冷却水处理设计规范

GB 50087 工业企业噪声控制设计规范

GB 50140 建筑灭火器配置设计规范

GB 50187 工业企业总平面设计规范

GB 50274 制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范

GB/T 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准

GB/T 50770 石油化工安全仪表系统设计规范

AQ/T 9007 安全生产事故应急演练指南

JB 4732 钢制压力容器-分析设计标准

JB/T 6443.3 石油、化学和气体工业用轴流、离心压缩机及膨胀机-压缩机 第3部分：整体齿轮增速型压缩机

JB/T 6896 空气分离设备表面清洁度

JB/T 8693 大中型空气分离设备

JB/T 13369 粉末绝热低压低温液体贮槽

NB/T 47041 塔式容器

NB/T 47042 卧式容器

SY/T 0608 大型焊接低压储罐的设计与建造

T/CCGA 10004 珠光砂安全操作技术规程

ISO 21010 低温容器 气体/材料兼容性（Cryogenic vessels-gas/material compatibility）

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

TSG R 7001 压力容器定期检验规则

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

深冷空分装置 cryogenic air separation unit

包含原料空气吸入过滤器、压缩机、精馏冷塔、吸附器、换热器、膨胀机等设备，及电器、仪表控制、各类阀门管道于一体的空气分离设备的总称。

主冷凝蒸发器 main condenser

连接上、下精馏塔，用于氮气和液氧冷凝、蒸发的换热设备。型式有浸浴式、降膜式或混合式，上下可以是多个层级布置。

调压系统 pressure regulating system

用于调节氧气、氮气、氩气等产品气体的压力或流量的系统。包括气动或电动调节阀，及前、后、旁通阀和仪控系统的阀门、过滤器、阻火管段等的组合。

低温液体气化器 cryogenic liquid vaporizers

利用水蒸气、热水、空气、高温烟气、电加热管等作为热源，与换热管内的低温液体进行换热，并使之气化的设备，通常分为水浴式和空温式两种。

低温液体 cryogenic liquid

液态氧、液态氮、液态氩、液态空气等常压下沸点温度低于-120℃的液体。

吹扫气体 purge gas

用于除湿、洁净或防止局部氧浓度升高的干燥、无油气体。一般为空气、氮气或氩气等气体。

1. 装置布局与工程总体
	1. 厂址选择

空分装置的选址应依据国家现行的安全生产、环境保护、职业卫生等规程、规范的要求，结合拟建空分装置生产过程中对环境、卫生、职业性有害因素的危害状况，建设地点现状以及水文、地质、气象等因素，进行综合分析后确定。

空分装置的选址应符合国家产业政策、工业布局与当地城乡的整体规划，选取经济效益、社会效益、环境效益优良且安全可靠的区域。

空分装置可做为一个工厂的附属或配套装置随工厂主体一起选址建设。在化工园区布置时，应进行统一规划。

在化工园区、一个工厂中附属或配套布置的空分装置应考虑周边工业产品的兼容和环境影响，以及对周围企业、居民等带来的安全影响。

空分装置的选址应避开地震活动断层和易发生洪灾、地质灾害的区域。

* 1. 总平面布置

空分装置附属建、构筑物生产类别、耐火等级及建、构筑物与其他工业、民用设施的防火间距，应符合GB 50016及现行相关规范的有关规定。

空分装置的吸风口，应位于乙炔站和电石渣场的全年最小频率风向的下风侧，并宜位于其它烃类、二氧化碳气体和尘埃等发生源设施的全年最小频率风向的下风侧。

空分装置吸风口处空气中有害杂质的含量应符合表1的规定。当吸风口空气中有害杂质含量超标时，应采取针对性的分子筛吸附或其它有效措施。

1. 吸风口处空气中乙炔、碳氢化合物等杂质的允许极限含量

| 检测项目名称 | 小型空分 | 大中型空分 | 特大型空分 |
| --- | --- | --- | --- |
| ＜1000Nm3/h | ≥1000Nm3/h,＜60000Nm3/h | ≥60000Nm3/h |
| 机械杂质 /（mg/m3） | 30 | 30 | 30 |
| 二氧化碳(CO2)含量（体积分数）/10-6 | 400 | 400 | 600 |
| 甲烷 (CH4)含量（体积分数）/10-6 | - | 5 | 5 |
| 乙烷 (C2H6)含量（体积分数）/10-6 | - | 0.1 | 0.1 |
| 乙烯 (C2H4)含量（体积分数）/10-6 | - | 0.1 | 0.1 |
| 乙炔 (C2H2)含量（体积分数）/10-6 | 1 | 0.5 | 0.3 |
| 丙烷 (C3H8)含量（体积分数）/10-6 | - | 0.05 | 0.05 |
| 总烃 (CnHm)含量（体积分数）/10-6 | 30 | 8 | 8 |
| 氧化亚氮(N2O)含量（体积分数）/10-6 | - | 0.35 | 0.35 |

若在建设初期无法确定空分装置投产后吸风口处空气中乙炔、碳氢化合物等杂质含量，吸风口与乙炔、碳氢化合物等发生源之间的最小水平间距应符合表2的规定。

1. 吸风口与乙炔、碳氢化合物等发生源之间的最小水平间距

|  |  |
| --- | --- |
| 乙炔、碳氢化合物等发生源 | 水平间距/m |
| 电石、乙炔、炼油、聚乙烯及其衍生物生产 | 100 |
| 乙烯、乙烷、合成氨、硝酸、煤气化、丙烷气生产 | 300 |
| 炼焦、炼铁（高炉、直接还原和熔融还原）、转炉、铁合金生产（包含配套的煤气回收、煤气柜、煤气放散塔） | 200 |
| 1. 水平间距应按吸风口与乙炔、碳氢化合物等发生源相邻面外壁或边缘的最近距离计算。
2. 本表中的距离适用于有前置分子筛吸附净化的深冷空分装置。
3. 当吸风口位于有害气体发生源的全年最小频率风向的下风侧时，距离可减少50%，但不应小于100m。
 |

空分装置厂区平面布置应以低温精馏冷箱为主体、液氧储罐为主要危险源进行综合考虑，且应符合GB/T 37243、GB 36894的要求。

液氧储罐与空分冷箱间距应大于14m，与控制室、化验室间距不小于25m，与室外变电站间距不小于30m。

液氧储罐周围10m范围内，不应存放杂物、可燃物，不应设计沥青路面。

化工、石化、煤化工附属的空分装置宜与总化工装置工艺单元统一考虑控制室、化验室的布置与抗爆设计要求。

氧气储罐、惰性气体储罐、室外布置的工艺设备与制氧厂房的间距，应按工艺布置要求确定。

氧气（包括液氧）储罐、可燃气体储罐间的防火间距不应小于表3的规定。

1. 氧气（包括液氧）储罐、可燃气体储罐间的防火间距

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 储罐型式 | 氧气储罐 | 液氧储罐 | 可燃气体储罐 |
| 固定容积 | 湿（干）式 |
| 氧气储罐 | 0.5D | 0.5D | 1.0D | 1.0D |
| 液氧储罐 | 0.5D | 0.5D | — | — |
| 可燃气体储罐 | 湿（干）式 | 1.0D | — | 0.5D | 0.5D |
| 固定容积 | 1.0D | — | 2/3D | 0.5D |
| 1. D为相邻较大储罐的直径。
2. “—”表示不应同组布置。
3. 氧气与氮气、氩气等惰性气体储罐的间距及液氧储罐与液态惰性气体储罐的间距应满足施工和维修要求，且不小于2m。
4. 氮气、氩气等惰性气体储罐的间距及液态惰性气体储罐的间距应满足施工和维修要求，且不小于2m。
 |

氧气（或液氧）储罐与可燃液体储罐之间的防火间距，不应小于表4的规定。

1. 氧气（或液氧）储罐与可燃液体储罐之间的防火间距(m)

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 氧气储罐 |
| V≤1000m3 | 1000m3＜ V≤50000m3 | V＞50000m3 |
| 甲、乙、丙类液体储罐 | 20 | 25 | 30 |
| 1. 液氧储罐以1m3液氧折合800m3标准状态气氧计算。
 |

有噪声和振动机组的有关建筑与对有噪声和振动防护要求的其他建筑之间的防护间距应符合GB 50187 的有关规定。应对空分装置区内各类压缩机、纯化系统吸附器及产品的放空管采取隔声、消声措施。若各类气体压缩机的噪声超标，应设置隔声罩，并应符合GB 50087的规定。

* 1. 空分循环水系统
		1. 一般要求

空分装置设备冷却不应采用直流冷却水系统，宜采用开式循环冷却水系统，在水资源匮乏及水质处理难度较大的情况下可采用闭式循环冷却水系统。

空分装置循环水系统不宜与其它工艺装置共用。

循环冷却水水质指标应符合GB/T 50050-2017中3.1.8、3.1.9和3.1.13条的规定。

使用再生水做为循环水补充水时，水质指标应符合GB/T 50050-2017中表6.1.3的规定。当开式循环冷却水系统换热器为铜合金材质时，循环冷却水系统水的氨、氮指标应小于1mg/L。必要时也可对再生水进行补充处理，或与新鲜水混合使用。

当再生水用做工业冷却时，循环冷却水系统监测管理应符合GB/T 50050的规定。

* + 1. 系统设计

循环水泵出口处应设排气阀，当出口管径不小于DN450时宜采用多功能水力阀，多功能水力阀应设置支墩进行支护。

严寒地区的冷却塔及室外循环水管、阀应有防冻措施。

循环水管的低点宜设置泄水阀，凸点宜设置排气阀。

开式循环冷却水系统换热设备的控制条件和指标应符合下列规定：

1. 循环冷却水管程流速不宜小于0.9m/s；
2. 当循环冷却水壳程流速小于0.3m/s时，应采取防腐涂料层、反冲洗、或空气扰动等措施；
3. 设备传热面水侧污垢热阻值应小于3.44×10-4m2•K/W；
4. 设备传热面水侧粘附速率不应大于15mg/cm2•月；
5. 碳钢设备传热面水侧腐蚀速率不应大于0.075mm/a，铜合金和不锈钢设备传热面水侧腐蚀速率不应大于0.005mm/a。

闭式循环冷却水系统设备传热面水侧污垢热阻值应小于0.86×10-4m2•K/W，腐蚀速率应符合4.3.2.4条e）的规定。

* 1. 空分工程设计的基本要求

多套空分装置的总控制室宜独立设置。装置内的控制室、机柜间面向空分冷箱、液氧储槽的外墙应为无门窗洞口、耐火极限不低于3h的不燃烧材料实体墙。

氧气及惰性气体的管道不宜穿过不使用该气体的房间，无法避开时，应采取可靠的防止气体泄漏的措施，禁止穿过生活间、办公室、控制室。

与氧气有关的管线、仪表、阀门应无油脂，氧气介质阀门应采用专用氧气阀门。

氧气、惰性气体（液体）的在线分析仪器不应安装在控制室或化验室内。

离心式氧压机和液氧储配系统的多级离心液氧泵应设防护墙（罩）与周围隔离。电气开关应安装在墙外。多级离心工艺液氧泵应设置独立液氧泵箱或其它安全防护措施。

氧气压缩间、氧气储罐间等有火灾、爆炸风险的建筑，其灭火器配置及其位置应符合GB 50140的有关规定。

中、高压氧气调节阀、氧气送出阀应设置防护墙。送氧时操作人员应在防护墙外操作。

氧气、惰性气体的放散管应引至室外安全处。氧气应在高出周围平台、道路、楼梯等操作面4m以上无明火场所进行放散，氧气、氮气、氩气放散管口距地面不应低于4.5m，放散管口应有防雨雪侵入和杂物堵塞的措施。

氧气管道的管径和管道、管件材料选用及敷设应符合GB 16912、GB 50030的规定。

空分装置中的压力容器应符合TSG 21及其他有关规定。

氧气、惰性气体房间的正常生产通风换气次数每小时不应少于3次，事故通风装置换气次数每小时不应少于12次，并应与气体浓度检测装置联锁。

电缆接头及电缆沟内的非阻燃电缆应涂阻火涂料。电缆沟不应与其他管沟相通，并应通风良好。

空分塔器、冷箱、储罐等应有防雷、防静电接地措施。氧气管道应有防静电接地装置，接地电阻每年应至少进行一次定期检测。

低温气体或液体管道系统不宜使用阀门井或管沟。

空分装置厂区内应设置消防车通道，消防车通道应符合下列规定：

1. 消防通道应设计为环形，相互贯通。消防车道的宽度不应小于4m，路面上的净空高度不应小于4.5m；
2. 当装置宽度不大于60m，且装置外两侧设有消防车道时，可不设贯通式道路。

空分装置厂区内应按照装置设备、工艺环境的要求配备相适应的消防设施。

在寒冷地区，应对空冷塔、水冷塔、水泵、冷水机组和室外仪器仪表、检测元器件等采取防冻措施。

1. 吸入空气污染物与清除净化
	1. 污染物

空气中对空分装置安全运行构成威胁的污染物按类别分为3类：反应性污染物、堵塞性污染物、腐蚀性污染物。

反应性污染物是指可能在空分装置中浓缩并与氧或富氧空气形成易燃性混合物，引起燃烧或爆炸的污染物，主要包括甲烷（CH4）、乙烷（C2H6）、乙烯（C2H4）、乙炔（C2H2）、丙烷（C3H8）、丙烯（C3H6）等碳氢化合物及臭氧（O3）。

堵塞性污染物是指可能在空分装置中浓缩进而析出固体的污染物。固体的析出将造成流通通道堵塞，导致干沸腾或池内沸腾，进而引起反应性污染物的浓缩，与氧或富氧空气形成易燃混合物。除空气中悬浮的颗粒物杂质（一般通过过滤和水洗清除）外，堵塞性污染物主要包括水分（H2O）、二氧化碳（CO2）和氧化亚氮（N2O）。

腐蚀性污染物是指可能使设备和管道发生腐蚀，使分子筛吸附剂中毒失效，引起运行故障，影响设备寿命的污染物，主要包括硫化氢（H2S）、二氧化硫（SO2）、三氧化硫（SO3）、氯化氢（HCl）、氯气（Cl2）、氨（NH3）。

氮氧化物（NO、NO2）从导致的结果看，既有反应性，又有堵塞性和腐蚀性。氮氧化物可与其他物质（如不饱和二烯烃）继续反应表现出它的反应性；反应后生成物三氧化氮（NO3）、四氧化二氮（N2O4）、五氧化二氮（N2O5）等产生沉淀并堵塞设备，表现出它的堵塞性；反应后生成物遇水生成硝酸进而腐蚀设备，表现出它的腐蚀性。

多种对空分装置安全运行构成威胁聚集的污染物，即为空分装置原料空气的污染源。在吸入口处空气中污染物含量不应超过表5规定的极限含量。

1. 反应性污染物

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 污染物的组成 | 允许的极限含量（体积分数）ppm | 腐蚀性污染物种类 | 允许的极限含量（体积分数）ppm | 堵塞性污染物种类 | 允许的极限含量（体积分数）ppm |
| 乙炔(C2H2) | 0.5 | 二氧化硫+三氧化硫(SO2+SO3) | 1 | 二氧化碳(CO2) | 400 |
| 甲烷(CH4) | 5 | 硫化氢(H2S) | 0.1 | 氧化亚氮(N2O) | 0.35 |
| 乙烷(C2H6) | 0.1 | 氨(NH3) | 1 |  |  |
| 丙烷(C3H8) | 0.05 | 氯气(Cl2) | 0.1 |  |  |
| 乙烯(C2H4) | 0.1 | 氯化氢(HCl) | 1 |  |  |
| 丙烯(C3H6) | 0.2 |  |  |  |  |
| 氮氧化物[NOX (NO+ NO2)] | 0.1 |  |  |  |  |
| 臭氧（O3） | 0.02 |  |  |  |  |
| 总烃(CmHn) | 8 |  |  |  |  |

* 1. 污染物监测

吸风口处空气中污染物的含量应符合表5的规定，颗粒物杂质含量应不大于 30mg/m3，腐蚀性污染物含量宜参照表5的规定。

空分装置运行期间，宜监测原料空气压缩机吸风口附近区域状态及环境空气状况，对设有原料空气污染物分析仪器的，应正常投用并定期校验。当区域状态及环境空气状况异常、分析数据超标时，应及时采取相应措施，保证空分装置安全运行。

化工、石化、煤化工等企业的空分装置还应满足以下规定：

1. 化工、石化、煤化工等企业新建、改建、扩建工程配套建设的空分装置项目应纳入工程项目安全评价；
2. 配套建设的空分装置应设置在线分析检测仪器对原料空气吸风口处空气中的污染物浓度进行连续在线检测，需检测的污染物应根据原料空气吸风口周边区域污染源所产生的污染物的种类和污染程度确定。
	1. 吸入空气污染物清除净化
		1. 空气预冷系统运行要求

空冷塔空气出口应设空气温度检测装置，以及压力低值报警、联锁。空冷塔应设置液位报警联锁系统。

应充分考虑系统设备及管道的保温、保冷，以及仪表、仪器的冬季伴热。

* + 1. 空气纯化系统运行要求

经分子筛吸附器处理后，空气中的二氧化碳含量（体积分数）应小于1×10-6，水分含量小于2.6×10-6，氧化亚氮不大于0.07×10-6。

采用蒸汽加热器再生时，污氮气出口应设置微量水分析仪，其露点不宜高于-65℃。

分子筛吸附器、加热器、进出管道宜包扎绝热层。

* + 1. 运行监控检测

在吸附纯化系统出口应配置在线微量二氧化碳分析仪，检测二氧化碳是否穿透吸附净化系统。

空分装置纯化系统不应在二氧化碳持续低浓度穿透的情况下长期运行。

可利用检测入口原料气污染物和主冷凝蒸发器底部多组分碳氢化合物的含量，验证吸附纯化系统工作情况。

1. 压缩机
	1. 基本要求

离心式压缩机轴承设计是在最大进口油温50℃的工作条件下，轴承合金（巴氏合金）温度不应超过100℃，回油温度不应超过进油温度+25℃。当无法满足进口油温工作条件时，供需双方应共同协商可接受的轴承合金温度。活塞式压缩机曲轴箱内润滑油温度不应超过75℃。

离心式压缩机轴的振动（不含大齿轮的振动）应采用非接触式仪器测量，测量位置在支承轴承处，测得的双振幅值应符合JB/T 6443.3的要求。

活塞式压缩机机体振动烈度应符合GB/T 7777的规定，且气缸盖沿气缸轴线上的全振幅不应超过曲轴轴心线至测量点距离的1×10-4倍。

离心式压缩机叶轮应进行超速试验，其要求不应低于JB/T 6443.3的要求。

离心式压缩机转子应进行动平衡试验，压缩机宜进行厂内机械运转试车。

离心式压缩机转子临界转速如低于最低工作转速，临界转速设计应小于最低工作转速的85%，离心式压缩机转子临界转速如高于最高工作转速，临界转速设计应大于最高工作转速的120%。

离心式氧压机的材料应选用在氧气中燃点温度高、燃烧速度慢、能避免燃爆、保证机组安全运转的材料，机壳宜使用不易变形的铸造件，并符合相关规定。叶轮材料宜采用氧压机专用高强度不锈钢。

离心式氧压机的叶轮宜采用整体制造或全焊接结构，在窄流道叶轮中可采用钎铆、钎焊或塞焊结构，但不应留有缝隙。

活塞式氧压机气缸和气缸填料应采用无油润滑。

活塞式氧压机气缸填料盒宜采用铜合金材料，当气缸工作压力大于2.0MPa时，活塞体也宜采用铜合金材料，活塞环和气缸填料应选用氧兼容材料。

离心式氧压机机壳温度和排气温度不应超过175℃。往复活塞环式氧压机气体排气温度不应超过170℃，往复迷宫活塞式氧压机气体排气温度不应超过195℃。

与氧气接触的机壳、隔板等零部件的中分面应使用可用于氧环境的密封绳密封，不应涂密封胶。

氧压机（包括辅助设备）中与氧气接触的表面应进行脱脂清洗，脱脂后表面油脂残留量应达到以下规定：

1. 离心式氧压机本体≤100 mg/m2；
2. 活塞式氧压机本体≤125 mg/m2；
3. 辅助设备≤125 mg/m2。

离心式循环增压机和膨胀机增压端等气体直接进入空分冷箱的与气体接触的流道表面应进行脱脂。脱脂方法及油脂残留量的检查评定方法应符合JB/T 6896的规定。

* 1. 机组系统安全设备配置

离心式压缩机应配有防喘振系统，轴位移、轴振动、总供油压力等应设置报警及联锁保护，轴承温度、油箱液位应设置报警。离心式氧压机应有机壳温度和气管路各段排气温度等参数报警及联锁保护。

离心式压缩机监测控制系统应采用PLC或DCS、CCS等自动程序控制系统。

离心式压缩机排气管路上，应设置自动止回阀，防止管网气体倒流，避免压缩机逆转。

离心式氧压机轴封装置除迷宫密封外，还应同时采用干燥氮气或惰性气体密封，防止氧气外漏和外部灰尘或水汽渗入，机壳内不应进油及油蒸汽。

离心式氧压机入口处应设置可清洗的过滤器，滤网筛孔尺寸宜为60～80目（0.25～0.18mm），滤网筛孔尺寸最小不应超过100目（0.15mm）。离心式氮气压缩机和增压机可设置临时试车过滤器，在空分设备运行一段时间，上游管道已确保干净的情况下，可拆去滤芯。

离心式氧压机应配有灭火氮保护系统。

氧气设备、管道上法兰的跨接电阻不宜大于0.03Ω，否则应设置跨接导线，电机外壳应接地。

氧气和氮气压缩机应设置通风设备，并在密闭区域设置浓度监测装置，监测气体浓度。

离心式压缩机的供油装置应配置安全停车用的势能油箱或轴头泵，配置轴头泵时，应配置一台电机驱动的辅助油泵。汽轮机驱动的压缩机应设置一台有独立电源、能快速启动的事故油泵。

活塞式压缩机应在气体入口管线上设置过滤器，过滤器的滤网筛孔尺寸宜为100目（0.15mm）。

活塞式压缩机应在级间和末级设置安全阀。

活塞式氧压机应在末级出口止回阀上游设置放空阀，并能实现快速全开，使压缩机在发生故障或紧急情况停车时能快速泄放氧压机内氧气。

* 1. 正常运行和维护
		1. 压缩机启动前的准备

应确保压缩机系统正常，压缩机内部管道、上游管道及过滤器清洗干净、无异物，压缩机正常盘车，无卡住和碰擦现象。

应确保供油、供水系统投用正常。

应确保气管路系统、仪表气源和安保气源投用正常。

* + 1. 启动和升压

启动过程中，应密切关注离心式压缩机各轴承温度、轴振动、轴位移等参数的变化，当发生异常情况时应迅速停车检查，分析原因并解决问题。

应密切关注离心式压缩机升速越过临界转速时的振动情况，如果是汽轮机驱动，升速时应迅速通过离心压缩机临界转速区域对应的汽轮机转速区间，不应在此区间长时间运行。

离心式氧压机应先采用氮气进行启动，再用氧气置换压缩机中的氮气，完成启动过程。

活塞式压缩机启动前应扳动曲轴数转，确认设备运转无障碍。启动后，应密切关注润滑油供油压力、各轴承温度、密封器密封效果和刮油器的刮油效果、活塞杆温升情况。

离心式压缩机组应按操作规程进行升压操作。

活塞式氧压机升压过程应缓慢。通过回流阀升压时，应根据进口压力高低逐渐调整排气压力至额定压力。

* + 1. 运转时的操作和维护

离心式压缩机运转时应密切关注各轴承温度、轴振动、轴位移等参数的变化。

离心式压缩机运转时应密切关注供油压力、供油温度、油箱液位、油箱真空度等参数。

离心式压缩机组应按操作规程进行定期化验和更换润滑油。

活塞式氧压机应定期检查密封器的密封性及刮油器的刮油效果，刮油器端面上应无润滑油滴，活塞杆无挂油现象。

活塞式压缩机应注意易损件的使用寿命，对于活塞环、导向环、密封器填料及气阀阀片、弹簧等易损件应在寿命周期内及时更换。

* 1. 停机
		1. 正常停车

应按照操作规程进行停车及后续的维护。

* + 1. 紧急停车

离心式压缩机组在运转时若出现严重故障，应能由联锁报警系统实现紧急自动停车。在运转过程中，操作人员发现其他异常时，如：

1. 机组冒烟或润滑油发生燃烧现象；
2. 机体内有不正常的金属碰撞声或其他异常响声；
3. 机组及其零、部件的完整性有可能发生破坏或处于危险操作，

应立即进行手动紧急停车。紧急停车后，应分析引起紧急停车的原因，并消除故障因素，否则不应重新启动离心压缩机。

活塞式压缩机紧急停车时，应首先关停电机，并迅速打开放空阀，关闭入口阀和出口阀，以迅速切断气源，排空机组内部气体。活塞式氧压机发生燃烧事故导致紧急停车时，如机组配有灭火氮气，应迅速打开灭火氮气进行灭火。

* + 1. 离心式氧压机紧急喷氮停车

当离心式氧压机各段排气温度或机壳温度超过190℃时，自动程序将执行“紧急喷氮停车”，该程序为最高优先级。

紧急喷氮停车后，应分析引起紧急停车的原因，并消除故障因素，否则不应重新启动离心式氧压机。

1. 膨胀机
	1. 基本要求

膨胀和增压端叶轮应采用整体加工或钎接、焊接型式。

机组设计应考虑各管口上所允许的管道应力，生产厂家的技术资料应标出各管口允许的力和力矩。

机组宜安装精度60～80目的入口筛网过滤器，在空分设备运行一段时间，确保上游管道已干净后，可拆去滤芯。

增压机排气管路上应配置止回阀，防止气体倒流。

膨胀机监测控制系统应采用PLC或DCS等自动程序控制系统。

膨胀机转速控制应设置联锁回路。

增压膨胀机应配有防喘振系统，轴振动、供油压力、轴承温度、油箱液位等应设置极限指示、报警及联锁保护。电机制动膨胀机还应增加轴位移、键相位参数报警及联锁保护。

* 1. 运行与维护
		1. 启动前准备工作

启动前应至少检查以下项目：

1. 仪表气和供油系统正常；
2. 供水和气管路系统正常；
3. 各仪控和电控线路与装置是否正确连接，并进行现场模拟信号动作；
4. 检查紧急切断阀工作的准确到位，从开到关联锁时间应小于1秒；
5. 检查增压机回流阀工作，手动操作从全开到全关应不小于15秒，全关到全开联锁时间应小于1秒；
6. 膨胀机入口气体露点测试合格；
7. 对于电机制动膨胀机，应检查电机旋转方向；
8. 对于液体膨胀发电机组，应检查膨胀机入口前介质的过冷度。
	* 1. 启动

启动过程应密切关注膨胀机的转速、轴承温度、振动、位移等参数的变化。

对于油膜轴承膨胀机应避免在低转速下长期运行。

在升速过程中应密切关注膨胀机在过临界转速的振动情况，升速时应快速通过，避免长时间停留造成振动过大，损坏机器。

由于间隙压力和止推轴承的负荷有直接关系，在启动过程中应密切关注间隙压力和止推轴承温度的变化。

对于出口工作在两相区的膨胀机，应密切关注膨胀机轴振动和出口温度、压力的变化，及时调整膨胀机进口参数，避免出现大量带液，损坏叶轮。

对于电机制动膨胀机在自动合闸并网后，应再稍微开大喷嘴，防止机组出现逆功率停车。

* + 1. 运行操作和监测维护

膨胀机运转时应密切关注各轴承温度、轴振动、轴位移等参数的变化。

膨胀机运转时应密切关注供油压力、供油温度、内轴承温度变化等参数。

膨胀机组应进行巡检、定期化验和更换润滑油。

根据泄漏量的大小，及时更换密封圈和轴密封等易损件。

* + 1. 停车

应按照操作规程进行停车操作。

应通过打开增压机回流阀、关小喷嘴、减少膨胀机入口流量逐步降低膨胀机转速至零。

停机后关闭喷嘴叶片和紧急切断阀。

依次关闭增压机进、出口阀和膨胀机进、出口阀。

关停润滑系统15分钟后切断密封气源。

气体轴承膨胀机应在机组停止转动15分钟后切断轴承和密封气源。

* + 1. 加温

长期停车后，应对膨胀机进行加温解冻，加温过程应确保以下事项：

1. 确保密封气、润滑油供应和仪控系统为工作状态；
2. 膨胀机进、出口阀处于关闭状态；
3. 加温气体流向与正常流向相反，在整个加温过程中，应对加温气量进行控制，确保在加温过程透平转子不出现反转；
4. 在分馏塔继续运行的情况下，长期停车期间会有少量冷气体漏入，导致轴承开车时冷冻抱死，在下次开车时应先对膨胀机进行加温吹扫。
5. 低温泵
	1. 一般要求

零部件选材应保证其在相应的运行温度、压力和气体环境下有足够好的性能， 包括机械、低温、润滑、兼容等性能。

材料与氧兼容性应符合GB/T 31481、ISO 21010的规定，避免使用非金属材料及油脂，禁止使用铝和铝青铜等着火温度较低的材料。

* 1. 设计和安装

吸入管道宜短直、少弯曲，应保持工作状态所需的净吸入压头（NPSH）。

泵前管道宜倾斜配置，以将产生的蒸汽返回，避免管道系统中出现可能积存气体的高点。

通往低温排液系统的管道应有一定的坡度，防止气封。

管道配置应避免死区蒸发造成碳氢化合物积聚。

吸入和排出管道连接到泵时，应确保在环境温度、低温运行或备用条件下，管道应力不超过泵制造商建议的泵法兰载荷。

当使用挠性软管或波纹管时，应考虑安装位置与连接管道间的变形应力补偿。

对于高压低温泵，应考虑补偿由于温差和机械负载而引起的突变应力。

加温吹扫气体系统应完全独立于密封系统，防止氧气进入轴承。

不应在无密封气的情况下运转泵，应通过适当的流量、压力以及联锁装置或操作程序来确保密封气正常。

泵的启、停和控制装置应设置在便于人员操作的位置。

* 1. 泵的操作
		1. 启动条件

在启动泵之前，应确认以下内容：

1. 密封气体系统完好；
2. 电机的轴承温度正常；
3. 仪表气和电气投用正常；
4. 密封气和吹扫气满足条件；
5. 冷、热端中间密封气体温度正常；
6. 自动排气阀和排液阀关闭，出口阀门处于关闭状态。
	* 1. 泵预冷

泵体加温后露点在-50℃以上。

泵送出阀关闭。

碳氢化合物排放阀关闭。

关闭泵入口排放导淋，缓慢打开入口阀，液体进入泵腔，控制出口温度下降速率不超过100℃/h，根据厂家建议时长冷泵，一般多级泵为2小时。

进入泵腔后，低温液体急剧气化，沿回流阀回到储罐，期间应关注储罐压力。

泵出口温度低于-170℃且冷泵时间达到后，入口阀自动全开，回流阀全开。

冷泵期间加强现场巡检，如发现泄漏，应停止冷泵，消除漏点后继续冷泵。

* + 1. 运行监测

泵的运行过程中，应监测以下内容：

1. 泵的吸入、排出压力；
2. 泵吸入口滤网压降；
3. 泵的排出流量和电机电流；
4. 吹扫/排放气流量；
5. 轴承温度和密封泄漏温度；
6. 转速与振动检测。
	* 1. 泵联锁条件

出现以下情况时，泵联锁保护装置应跳闸：

1. 按下紧急停车按钮（现场）；
2. 电气故障；
3. 气蚀保护（包括低电流、低排压或差压低低联锁）；
4. 密封气压力低低联锁 ；
5. 排气压力高高联锁（用于变频驱动的液氧泵）；
6. 电机驱动端轴承温度高高或低低联锁；
7. 密封气系统的温度极低或温度极高 ；
8. 气化器出口温度低于-20℃。

当液氧泵跳闸时，基本过程控制系统（BPCS）应至少采取以下措施自动隔离泵系统：

——停止液氧泵的电机；

——关闭入口自动阀；

——关闭自动排放阀（如果排放阀使用自动阀）；

——保持密封气和吹扫气的正常供气。

* + - 1. 对于使用变频驱动器（VFD）的泵，还需要考虑泵运行在最大和最小频率情况。
		1. 冷备用

应定期检查热端轴承润滑剂，以防冻结。

泵系统的低点会积聚有害杂质和碳氢化合物，应定期冲洗或制定例行采样分析规程，检测系统低点处碳氢化合物浓度超过极限值时，应排空泵系统液体。

* + 1. 惰转

对惰转运行泵的状态应进行以下检查确认：

1. 轴向轴承载荷；
2. 密封系统，包括干式密封件；
3. 变速驱动器；
4. 电机冷却；
5. 排气；
6. 流量和气蚀控制等。
	* 1. 结冰

当发现泵结冰后，应停止泵的运转，并用干燥的空气或热气使冰融化除霜，或使用物理方法清除冰。

* 1. 维护与安全警示

立式液氧泵的冷端漏冷会导致泵的隔热层的碳钢壳破裂，引起该区域设备、管道、泵机电等热端部件的损坏，存在潜在危险，在无安全防护屏障条件下，该危险区域从泵延伸的距离应不小于4.6m。

低温泵区域可使用以下标示和措施予以警示：

1. 明确危险区域，标记危险区域（例如：警示标志、地面标记、扶手等），警示标志应放置在清晰可见的位置，包括液氧泵标识；
2. 在氧泵运行期间，非操作人员不应进入危险区域；
3. 根据氧泵的负荷和排压，安装防护罩或防护屏；
4. 使用视觉或听觉信号提醒人员氧泵的自动启动，在自动或远程启动液氧泵时发出声音或视觉警报。
5. 空分冷箱和精馏系统
	1. 一般要求

冷箱钢结构安全设计、制造应符合相关国家标准、行业标准、团体标准的要求，并采用行业认可的应力分析软件进行冷箱内管道应力分析和柔性分析。计算书应单独成册，并至少保存25年。

冷箱应分层布置用于检测冷箱安全状态的压力点、分析测点，并将信号引至主控制台。

冷箱基础设计应符合相应国家标准、行业标准及团体标准的要求。

冷箱基础上应设置足够的测温点，液体重要设备对应的中心位置应设置测温点，并设置报警装置，同时将信号引至主控制台。

冷箱基础应设置加温管或其它隔冷通风措施，加温管间距不宜大于1200mm，加温管距离冷箱基础上表面宜为150mm。

冷箱基础为整体结构，不宜分开浇筑，中间部位设置直径不小于12mm、间距不大于300mm的双向钢筋网，每层钢筋网间距不应大于1000mm。

冷箱内珠光砂装卸操作应符合T/CCGA 10004的规定。

* 1. 系统吹扫

吹扫的准备和过程应符合GB 50274的规定。

整体裸冷试验应符合GB 50274的规定。

* 1. 空分冷箱的启动
		1. 冷箱启动及联锁停车工艺的安全控制
			1. 空分冷箱启动工艺安全控制策略应设置可靠的工艺许可要素，用于确保冷箱单元在空分装置启动过程中工艺安全风险的控制。包括空气净化单元启动成功的标识、冷箱系统具备接收工艺物料的条件、防止工艺安全风险的约束因素等。
			2. 应采取逻辑判断条件，避免空分装置临时停车再启动阶段（冷态开车）精馏塔单元低温物料反向进入冷箱外碳钢管道系统。
			3. 应采取逻辑判断条件，确保进入冷箱空气的露点小于-65℃，二氧化碳含量小于1ppm。
			4. 下塔液位、主冷凝蒸发器液位、上塔压力应作为冷箱启动的必要条件。
			5. 主换热器返流工艺介质温度应作为冷箱外碳钢管道防冷脆的安全条件。
			6. 冷箱内各点密封气压力宜采用三选二作为冷箱停车条件。
			7. 膨胀机系统密封气、润滑油泵、密封气与润滑油压联锁保护应处于可靠的投入状态。
			8. 增压机密封气和润滑油压联锁保护应处于投入状态。
		2. 冷箱首次投运前的安全技术准备

冷箱首次投运前，应检查安装过程质量程序文件、隐患排查文件等安全可靠性程序。

应检查冷箱外氧气管道吹扫记录及质量控制记录。

冷箱单元所有的安全泄放装置应校验完成，并根据检查清单，对安全泄放装置的进、出口管路通畅性进行检查，PID一致性确认，对安装位置及排放口进行安全检查。

冷箱单元相关的安全联锁保护DCS组态应完成，并经过测试及专业工程师确认。

冷箱系统盲板移除应确认完成，盲板清单注销完成，确保流路通畅。

冷箱内设备专项检查应完成，固定点及滑动点确认完成。

冷箱内仪表保护支架专项检查应完成，并符合设计要求。

冷箱内精馏塔、换热器、阀门、管道等临时运输性装置及支架应移除。

冷箱外相关管道及支架应确认完成，避免影响冷箱内设备冷态收缩。

冷箱进、出口穿管防水检查应完成。

冷箱珠光砂装填结束，封闭检查应完成。

冷箱内不锈钢管道焊接临时堵头记录应齐全，管道最终闭合前确认移除临时堵头，记录完整。

冷箱内法兰螺栓冷萃试验记录应齐全、完整。

冷箱内部分管道PT无损检测记录应齐全。

冷箱内密封气排放管丝网检查记录应齐全，密封气排放管与工艺管道距离确认完成。

* + 1. 冷箱启动期间的安全技术要求

浴式主冷凝蒸发器液氧蒸发侧板式单元应全浸，装置启动阶段尽快建立主冷工作液位。

主冷凝蒸发器液位低限报警值应设置为板式单元高度90%对应的液位检测点，DCS设置报警提示，板式单元高度的80%对应的液位检测点应作为装置停车设置点。

冷箱冷态启动阶段，当主冷凝蒸发器液氧液位低于正常操作值的50%时，应将主冷凝蒸发器内富氧液体排放干净，然后重新积液启动装置。当主冷凝蒸发器液氧液位高于50%、低于全浸液位时，应分析主冷凝蒸发器内富氧液体中有害物质的含量，确保其满足安全控制要求。通过液氮辅助启动时，将主冷凝蒸发器富氧液体液位提高至全浸状态，然后启动冷箱系统。

* + 1. 冷箱停车
			1. 紧急停车

冷箱紧急联锁停止运行的工艺条件包括以下几种情况：

1. 前端工艺系统故障触发冷箱封闭隔离停车；
2. 主空压机系统故障；
3. 进冷箱空气温度过高；
4. 冷箱系统SIS安全保护触发停车；
5. 下塔液空液位升至高高值；
6. 主冷凝蒸发器液氧液位降至低低值；
7. 进冷箱空气中有害物质二氧化碳含量升至高高值。

冷箱系统紧急联锁停车输出结果应包括冷箱紧急隔离、上塔防止超压自动控制、主空压机卸载、前端工艺系统停车、防止冷箱外碳钢管道冷脆安全保护隔离等。

内压缩流程空分冷箱临时停车期间，应将主换热器液氧排放，避免因压力低引起干蒸发。

* + - 1. 长期停车

空分冷箱停车超过48小时,宜将主冷凝蒸发器内富氧液体排放干净，避免富氧液体干蒸发，引发安全事故。

空分冷箱长期停车时，应对冷箱系统各塔器、换热器、容器及管道内的低温液体排放干净，静置后，进行解冻复热。

冷箱内系统宜每隔三年进行一次彻底解冻复热，以清除精馏塔及板翅式换热器内积聚的有害物质。正常运行的空分装置加温解冻周期为三年，如发生以下情况，则应提前停止空分装置，进行排液及解冻，彻底清除有害物质：

1. 二氧化碳穿透或超标长时间运行，导致二氧化碳在主冷凝蒸发器中接近它的溶解度；
2. 吸附器下游空气中碳氢化合物含量异常，导致碳氢化合物在浴式主冷凝蒸发器中出现异常水平；
3. 低温设备（包括换热器、精馏塔、液氧吸附器等）阻力损失异常；
4. 与装置设计的环境条件相比，发生变化。
	* + - 1. 无以上异常工艺条件，空分装置解冻周期可延长，但最长不超过5年。
		1. 冷箱运行监测
			1. 冷箱内工艺管道及设备泄漏监测

冷箱内密封气压力应沿冷箱高度设置多层检测分析，重要点压力、含氧量分析数据远传仪表监控。

冷箱内密封气宜采用氮气或污氮气。空分装置正常运行期间，冷箱内密封气含氧量不应超过5%，含氧量超标应分析查明原因，密封气含氧量长期（72小时以上）超标达到20%以上时，应停车检修处理。

空分装置热态开车进入积液阶段前，冷箱内密封气可以采用工艺系统的空气，装置进入积液阶段后，应及时调整为氮气或污氮气作为密封气源。空分装置临时停车再次启动阶段，冷箱内密封气宜采用氮气或污氮气作为密封气源。

进入冷箱的空气及其它工艺循环气体温度应小于55℃，露点小于-65℃，二氧化碳含量小于1ppm。

* + - 1. 精馏塔及冷凝蒸发器液位监测

下塔液空液位应设在线自动监控。

单层主冷凝蒸发器液氧液位应设置在线监控，并设置板式单元满程检测点，用于检测主冷板式全浸操作。

多层主冷应设置底层板式单元液位监控，并设置板式单元满程检测点，保证板式全浸操作。

富氧液空粗氩冷凝器应设置液位监控，板式单元宜采用全浸操作，如果无法进行全浸操作，应确保富氧液空回流温度检测，保证装置正常运行期间的富氧液空回流量满足设计要求。

* + - 1. 空分冷箱及低温泵冷箱基础温度监控

空分冷箱基础应设置用于监控各换热器及塔器泄漏的测温元件。

低温液体泵、液体膨胀机隔箱内底部设备下方应设置用于检测泄漏的温度元件。

冷箱内管道采用法兰连接型式的，应设置检修隔箱，隔箱底部宜设置温度检测元件。

冷箱内各精馏塔器、换热设备应设置用于监控压力的远传仪表。

* + 1. 空分装置主冷凝蒸发器有害物质分析
			1. 浴式主冷凝蒸发器板式单元全浸技术要求

双层主冷凝蒸发器液氧侧液位计应采用双液位计检测。

* + - 1. 浴式主冷凝蒸发器液氧蒸发器净除流量控制和技术要求

应设置主冷凝蒸发器底部液氧排放的管路系统，用于空分装置开车及主冷凝蒸发器液氧中有害物质超标时的排放。

浴式主冷凝蒸发器液氧输出管路应设置流量计，流量设置低低报警提示，设置温度高高报警提示，避免主冷凝蒸发器液氧长期干蒸发所引发的安全风险。

* + - 1. 粗氩冷凝器最低净除流量
				1. 粗氩冷凝器富氧液空最低净除流量为富氧液空的设计流量的5%，通过在粗氩冷凝器低点排放回低压上塔的液空管道设置温度计监测，温度达到高限时，DCS设置报警提示。
				2. 富氧液空净除回上塔流量采用液空恒流阀控制，保证极限的安全流量。
			2. 浴式主冷凝蒸发器中有害物质监控设计
				1. 主冷凝蒸发器中有害物质控制范围应符合表6的要求。
1. 在浴式主冷蒸发器液氧中碳氢化合物和其他有害物质浓度二级报警值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 杂质名称 | 分子式 | 浴式主冷液氧中有害成分的报警值/ppm | -181℃时，液氧中的溶解度ppm (Xs) |
| 在主冷中完全液氧蒸发 | 其他情况 |
| 甲烷 | CH4 | 500 | 500 | Miscible |
| 乙烷 | C2H6 | 200 b | 200 | 128 000～250 000 a |
| 乙烯 | C2H4 | 40 b | 40 | 13 000～30 000 a |
| 乙炔 | C2H2 | 0.5 | 0.5 | 4～6 a |
| 丙烷 | C3H8 | 1 c | 20 | 9800 a |
| 丙烯 | C3H6 | 8 | 8 | 3 600～6 700 a |
| n-丁烷 | nC4H10 | 1 | 1 | 700 |
| i-丁烷 | iC4H10 | 1 | 1 | 2 500 |
| 1-丁烯 | C4H8 | 1 | 1 | 1 500 |
| i-丁烯 | iC4H8 | 1 | 1 | 200 |
| 1,3 丁二炔 | C4H6 | 1 | 1 | 25 |
| n-戊烷 | C5H12 | 1 | 1 | 50 |
| 1-戊烯 | C5H10 | 1 | 1 | 300 |
| 丙酮 | C3H6O | 0.3 | 0.3 | 2 |
| 臭氧 | O3 | 0.02 | 0.02 |  |
| 氧化亚氮 | N2O | 10 d | 60 | 140～160 a |
| 一氧化氮 | NO | 2 | 2 | 6 |
| 二氧化氮 | NO2 | 4 | 4 | 15 |
| 二氧化碳 | CO2 | 2 | 2 | 4～5 a |
| 1. 溶解度范围影响因素取决于不同的试验数据来源。
2. 这些值远低于10bara条件下的溶解度，但是远大于内压缩流程浴式主冷中液氧浓度的期望值。
3. 该值是在10bara条件下丙烷溶解度的50%。
4. 在10bara条件下氧化亚氮溶解度的50%。
 |

分子筛纯化器后空气中二氧化碳检测与主冷凝蒸发器液氧中二氧化碳检测可采用同一分析仪，应做好两个分析采样点的趋势监控。

主冷凝蒸发器液氧中氧化亚氮分析应定期监测。

1. 产品储存及输送
	1. 一般要求

低温液体平底储罐、真空粉末绝热储罐、低温液体气化器、气体储罐和产品调压输送系统的设计除应符合本标准的规定外，还应符合产品设计、制造、安装等相关标准的规定。

产品储存及输送系统各单元设备的设计、平面布置及安全防护系统应考虑大量低温液体泄漏对操作人员和其他公共设施造成的影响和风险。

产品储存及输送系统的使用和维护应符合相应操作规程的要求。

* 1. 低温液体平底储罐设计安全要求

低温液体平底储罐的设计、制造、检验和验收应符合JB/T 13369和SY/T 0608的规定。

内容器的设计载荷应按相应的产品标准考虑各种工况最苛刻组合。外容器应能承受夹层珠光砂的静压和密封氮气的压力，其设计载荷应至少包括风载荷、地震载荷和其它外部载荷。

内容器的筒体与罐顶一般应采用承压环连接的自支撑式拱顶结构。承压环与筒体的连接应采用全焊透结构。罐顶宜设计为薄弱结构，使罐体超压时优先从罐顶破裂，防止大量低温液体从容器底部泄漏。

内容器的结构设计应能有效防止碳氢化合物聚集。

外容器底板和基础表面应采取良好的密封结构，防止水分进入，产生腐蚀。

夹层空间应保持微正压，以保证珠光砂的绝热性能。夹层空间的密封气应采用干燥、无油的氮气，密封气分配系统应设计为环形结构，并布置在夹层底部，设置过滤网防止珠光砂堵塞。

夹层内管道设计应考虑内外容器和管道系统分别处于不同冷热状态时的最苛刻工况组合，以及外部连接管道的影响。夹层空间的管道不应使用法兰、波纹管、螺纹接头、铝钢接头或挠性金属软管等。

所有与内容器相连的管道（包括仪表管和取样管）应采用焊接连接。最高液位以下的管道应采用对焊连接。低温液体管道宜设计为从混凝土基础承台穿出，若需从外容器侧壁穿出时应对壳体连接处进行局部应力分析，并采用不锈钢套筒和良好的绝热结构。

与内容器连通的所有低温液体管线应至少设置一个根部截止阀，阀门的位置应靠近外筒壁，且有防破坏保护装置。管径≥DN50的低温液体管道上应设置紧急切断阀，并应靠近外筒壁，以便进行维修。紧急切断阀应具有现场和远程紧急切断功能。

与储罐装卸接头连接的外部低温液体装卸管线应配置防拉断阀。

内容器应配备自动和手动放空系统。当容器只配备一只自动放空阀时，宜采用故障开的形式（FO），并采用法兰连接，便于维修。放空阀与内容器之间的管道不宜设置手动截止阀，否则应采取挂牌上锁管理。

内容器应至少设置两个超压泄放装置，其安全泄放量应大于正常运行条件下同时产生的所有气体量和事故状态下产生的最大泄放量之和。超压泄放装置的出口应有防止雨水和杂物聚集的结构，固定方式应牢固可靠，能有效防止因排放震动引起的密封失效而导致的结冰和堵塞。超压泄放装置排放的气体不应直接冲击储罐顶盖和主要受力部件，不应朝向人员通道或道路。超压泄放装置应定期检验、维修和更换。

外容器应设置至少一个呼吸阀和一个紧急放空装置，其泄放和吸入能力应考虑最苛刻工况的组合（如夹层低温液体泄漏、密封气系统超压、大气压力变化及外部环境火灾、内容器冷却速度过快等），若泄放装置设有滤网，安装时应避免珠光砂堵塞。

储罐应配有负压保护系统，其吸入量应考虑各种苛刻工况的组合。负压保护系统应与增压管线的自动调节阀、排液管线的紧急切断阀等联锁控制，防止内容器出现负压。增压系统的取液点应尽量位于内容器的最低液位点。

液氧储罐应配备两套独立的压力和液位监测系统。

储罐的基础设计应考虑储罐设计总重、水压试验重量以及风、雪、冰、地震等载荷组合的最大值。储罐采用架空支柱式的基础平台时，其平台底部与地面的距离应大于1m。若采用地面式结构，储罐基础内应采取防止受冻结冰的措施。

内容器及外容器锚固方式宜采用锚带或锚栓结构，预埋于储罐混凝土基础内，并在每个埋地处用钢筋加强。内容器锚固装置应考虑过量充装超压、内容器最低液位超压、地震等极限工况组合，外容器应考虑风载荷、地震载荷和内压等极限工况组合。内容器锚固装置间距不应超过2m，外容器锚固装置间距不应超过4m。

泡沫玻璃砖的绝热高度应满足基础平台底部和支柱不结霜（冰）的要求。泡沫玻璃砖层与层之间应用无机粉末或干砂充填，并采用粘结材料等方法，提高整体抗压强度。底部泡沫玻璃砖应根据产品特性选定安全系数。

* 1. 真空粉末绝热储罐设计安全要求

真空粉末绝热储罐的设计、制造、检验和验收应符合GB/T 18442.1～7的规定。

储罐的机械设计寿命不应少于20年，真空寿命不应少于5年。

储罐应按GB/T 18442.5的规定进行低温性能型式试验。

自增压器的设计能力应能满足用户在正常工作状态和应急调峰状态对储罐供气流量和内容器升压速度的要求。

与储罐相连的气化器，应能满足用户在正常工作状态和应急调峰状态对供气压力、流量和气体温度的要求，且应考虑液体过冷度和环境条件对气化能力的影响。气化器压力等级应不小于内容器的设计压力。

* 1. 低温液体气化器设计安全要求

低温液体气化器设计、制造、检验和验收除满足产品标准外，若属于压力容器，还应满足TSG 21的规定。

水浴式气化器的结构设计应避免外壳出现结霜、冒汗等情况。空浴式气化器设计的连续工作时间一般不小于8小时。

水浴式气化器蒸汽加热管的设计应避免产生水击或水锤现象，并采取相应措施降低气化器的震动和噪声。当蒸汽压力与蒸汽温度过高时，可在蒸汽进口管道上设置减压、减温装置。

低温液体气化器管道及壳体应设置超压泄放装置，其泄放量应满足由于事故造成低温液体大量汽化的事故状态。

与低温液体气化器出口连接的管道应设置温度过低报警联锁，最低温度不应低于-20℃。

* 1. 气体储罐设计安全要求

气体储罐可采用卧式、立式或球罐结构，并分别按NB/T 47042、NB/T 47041 和GB/T 12337的规定进行设计、制造、检验和验收。

应按照JB 4732的规定对压力波动大、循环次数多的储罐进行疲劳分析设计。

储罐安全泄放量应考虑各种苛刻工况的组合，应明确储罐的进口流量。

当储罐内压力可能出现快速增长的情况时，应采用安全阀与爆破片的组合装置。

当储罐气源为低温液体气化时，应严密监控储罐的进气温度，确保其在设计温度范围内，可在储罐进口管路上设置温度联锁装置。

与高压气体储罐相连的下游管道应能应对因高压气体节流产生的温度下降，宜选用不锈钢材质或设置温度联锁报警系统。

* 1. 氧气调压输送系统设计安全要求

氧气调压系统的设计单位应具有相应的设计资质。

氧气调压系统应至少配置过滤器、阻火管段、调节阀、旁通阀，应设置独立的防护墙或阀门室，若有手动阀门，阀杆应伸出墙体外。

* 1. 储存及输送系统布置要求

低温液体储存输送系统的场地布置设计应符合GB 16912和GB 50030的相关规定，并充分考虑周边相关设施的危险性、场内操作人员及周边建筑的安全性。

低温液体储存装置的设备、仪表、手动阀门等应设置在易操作和观察的位置。

液氧储存及输送系统的周围20m内严禁明火，5m内不应有通向低处（如管沟、坑道、地井、地下室等）的开口，地沟入口处应有挡液围堰。需定期巡检和维护的仪表或设备不宜设置在低点，如无法避免，则应设置相应的警示标识和安全程序。

低温液体储存区域宜设置栅栏并设置安全出口，安全出口的门应向外开，周围应设置安全标志，安全标志的要求应符合GB 2894的规定。

低温液体储罐的基础应防火耐热，场地附近应有充足的消防水源和灭火器材。液氧储罐的基础周边不应使用沥青地面，周围5m内不应有易燃易爆物品，保持场地的干净清洁。

低温液体储罐的安装场所应设置罐车或消防车的环形出入通道。罐车装卸场所应靠近设备区出口，并禁止停放其他车辆，周边区域应保持良好的通风，不应有墙体或其他建筑物阻挡，场地周边地面应采用水泥等不燃材料。

低温液体泵或低温液体气化器宜设置在室外通风场所，不宜设置在建筑物内部。

* + 1. 调压装置应设置在专用的调压间内，并配置有防火隔墙，墙体应采用耐燃阻火材料，调压间顶部宜采用无阻挡的开放式结构。
	1. 储存及输送系统安装安全要求

低温液体平底储罐安装前应编制施工方案，施工方案至少包括工程概述、工艺试验、施工人员组织、施工机具组织、施工材料组织、施工现场组织（现场要求、基础检查、开箱清点等）、储槽安装程序、焊接、无损检测、基础沉降试验、强度与气密性试验、绝热层施工、保温、表面清洁与油漆、设备整体冷试、质量保证、工程质量评定和工程交付、安全技术措施和施工计划等内容。

低温液体平底储罐应设有导除静电的接地及防雷装置，接地材质应采用不锈钢，防静电接地电阻应小于10Ω，防雷击装置的冲击电阻应不大于30Ω。

低温液体平底储罐的泡沫玻璃砖安装前应进行抽样检查，其抗压强度应符合国家相关标准要求。安装时应确保表面干燥、铺设紧密平整、层与层之间交错结合。绝热层边缘处应避免采用碎砖进行拼接，砖上的开孔和切口应在现场砌砖时锯出。

低温液体平底储罐的制造、安装、检测应符合设计标准的相关要求，内、外容器主体材料应分开运输和保存，避免铁离子污染。不应对现场的零部件采用强力组装、热弯等方式成型。未安装完成的容器应有可靠的固定措施，以应对恶劣天气（大风、大雪等）。

储存及输送系统的安装位置应符合GB 50016和GB 50030的规定。

低温液体储存区域的栅栏范围内，除了设备运行所必需的电缆外，所有可能被低温液体泄漏影响到的区域不应有电缆。区域内的照明应考虑防爆要求，并设置应急照明。

* 1. 储存及输送系统运行与维护要求

系统在投用前应采用干燥、无油的空气或氮气对设备和管道进行吹扫，应对设备及管道的露点进行检查，气体露点应不高于-40℃。

储罐初次进液前，应用干燥、无油的氮气对内容器进行置换。

平底储罐的内容器置换完成后，夹层应采用干燥、无油的空气或氮气进行置换。进液前，应再次检查内、外容器的安全泄放装置和仪表阀门，确保其处于正常工作状态，检查确保夹层氮封系统正常。进液前应先对内容器加压至2KPa以上，随后开始对夹层加压并维持压力在0.5KPa左右，防止外容器出现负压。

储罐的初次进液应采用顶部进液。

储罐初次进液前，应编制进液方案，进液方案中应有对流量和温度的控制。当罐内液面达到200mm以上，且温度均匀时，可采用最大设计流量进液。

储罐达到液位后，应校核现场液位计和变送器，使其达到正常工作状态。

平底储罐在正常工作条件下，内、外容器的工作压力应始终保持在设计值之下，确保所有的安全泄放装置和安全回路控制系统保持在正常工作状态。当设备上的阀门、仪表、管道出口等出现结冰冻结时，不应用铁锤敲打或明火加热，宜用70℃～80℃的干燥、无油的空气、氮气或温水进行融化解冻。

液氧储罐内的液氧应定期通过底部排液管进行碳氢化合物含量分析，其含量应符合GB 16912的规定。

真空储罐应定期测量夹层真空度，至少每年一次，当夹层真空度低于65Pa时，应停止使用。当低温液体容器外表面出现结霜时，应分析原因并解决问题，严重时应停止使用。

真空储罐、低温液体气化器和气体储罐应按TSG R7001的规定进行定期检验。

平底储罐停用期间，内容器宜保留至少200mm高度的液体，以防止外压超压。若内容器没有充装低温液体，则内容器应充装干燥、无油的氮气进行保护。

平底储罐夹层应始终保持微正压以防止潮湿空气的进入，用于密封的氮气应干燥、无油，其露点应不大于-40℃，氧含量小于10ppm。若内容器没有低温液体时，内容器应保持3kPa以上的压力。

平底储罐应定期检验安全阀（包括管道安全阀），内、外容器呼吸阀，密封气调节阀，自动调节阀，一次仪表及二次仪表等。应定期对低温液体水浴式气化器的盘管进行泄漏检查，对低温报警联锁系统进行定期校验。

应至少每周一次对平底储罐的夹层密封气进行成分分析，以确定储罐是否泄漏。应根据土壤条件，对储罐基础稳定性进行长期监测。应定期对储罐外接管道、液位测量系统、安全控制装置及紧急切断阀进行检查和试验。

在进入平底储罐内部、夹层空间等受限空间前，应排尽液体并将容器复热至常温。在内容器排空期间，应仔细检查内容器的最低压力。当内容器的压力接近夹层压力时，应打开夹层放空阀与大气连通。

排放低温液体或气体时，应将排放物排放到通风良好的安全处，并由专人监护，排放处应设有明显的警示标志。排放液氧时，其排放区域及附近严禁明火和可燃物。

检修前应对外部连接的所有管道进行可靠的能源隔离，并用干燥空气对储罐进行置换，检测氧含量合格后方能进入，并严格执行GB 30871的相关要求。

调压系统维修前，应排空管道内的氧气，并采用干燥、无油的氮气置换合格。严禁带压维修和用氧气进行试压等危险操作。

1. 稀有气体装置
	1. 稀有气体净化装置

碳氢化合物的含量应控制在规定范围内，严格按设备操作说明书和安全技术操作规程的规定执行。

碳氢化合物含量过高会造成触媒反应器温度过高，此时可减少电加热器的辅热。启动净化装置前，液氧中的碳氢化合物的含量应低于规定的极限值。

在反应容器和热管道周围应设置保护栏杆。

触媒应按规定的使用周期更换，定期对净化装置出口的气体进行分析，确保净化效果，杂质含量超标时应提前更换，防止在精馏塔内造成堵塞。

分子筛吸附器运行中应严格执行再生制度，不应随意延长吸附器工作周期。分子筛吸附器出口应设置二氧化碳监测仪，宜设微量水分析仪，应按相关规定控制再生温度、气量、冷吹温度。

触媒反应炉顶部应设爆破片安全释放装置。

触媒反应炉上部不应设置其它管路、设备等遮挡泄爆口的物体，应预留足够的泄爆空间。

粗氖氦中含氢量不宜超过5%，过氧量控制在0.5%～1.0%。

* 1. 稀有气体装置冷箱

运行过程中应保持温度、压力、流量、液面等工艺参数的相对稳定，不应快速大幅度操作加减量，防止产生液泛、结晶堵塞等故障。

冷箱内应充入干燥氮气保持正压，应设置正负压力表、呼吸阀等安全装置。

新设备投产前或检修后，应根据工艺要求进行测试和模拟试验，确保各种联锁控制达到要求。阀门开关应到位，保证各种联锁保护控制动作灵敏、可靠。

定期检验仪表，经常检查仪表的运行情况，不应超量程运行。

定期检査系统中所有的联锁装置、事故停车装置,并保证完好。

对重要运行参数的监控应设置报警、停车联锁保护装置。

氖氦精制流程采用了真空绝热杜瓦形式的冷箱，运行过程中冷箱内经常处于-200℃～120℃以上的温度交替变化，操作时应缓慢，防止注液氮时箱体内温度过高、温差过大时液氮迅速气化，导致抽真空泵负荷过大，损坏泵组，甚至杜瓦冷箱超压。同理应防止液氮排出后加温时复热速度过快导致残余液氮迅速气化，导致杜瓦冷箱超压。稀有气体工艺流程见附录A。

真空绝热杜瓦冷箱应设置安全阀。

1. 控制系统
	1. 空分装置的控制系统
		1. 一般要求

根据空分装置的规模和复杂程度，控制系统可采用单纯的基本过程控制系统（BPCS），如集散控制系统（DCS），也可采用可编程逻辑控制器（PLC） +人机界面（HMI）。

根据风险评估确定是否需要配备安全易爆系统（SIS）。

对于蒸汽透平驱动的压缩机组，蒸汽透平和压缩机组宜采用透平压缩机一体化控制系统（ITCC）。

大型（40000m3/h 氧气以上的空分）压缩机组和蒸汽透平宜采用机械监控系统（MMS）对设备的振动和位移等设备状态进行监控。

蒸汽透平和膨胀机应配备超速保护系统（OVS）。

控制系统的相关示意图见附录B。

* + 1. 基本过程控制系统

基本过程控制系统（BPCS）是响应过程测量以及其它相关设备、仪表、控制系统或操作人员的输入信号，按过程控制规律、算法、方式，产生输出信号实现过程控制及其相关设备运行的系统。

基本过程控制系统中的中央处理器单元（CPU）宜采用冗余结构，确保在一个CPU故障时，基本过程控制系统的控制功能不受到影响。

* + 1. 安全仪表系统

安全仪表系统（SIS）的设计应满足装置的安全仪表功能、安全完整性等级要求。

安全仪表系统的设计、运行和维护应符合GB/T 50770等相关规范的要求。

安全仪表功能既可由安全仪表系统厂商提供的类似于基本过程控制系统的带安全型中央处理器单元（CPU）和输入输出设备（IO）的控制系统实现，也可由符合安全功能要求的继电器回路实现。

安全仪表系统测量仪表、安全仪表控制系统、安全仪表系统最终原件的技术规格书应根据安全完整性等级进行编制。

若在安全仪表系统中采用中央处理器单元（CPU），CPU应采用冗余结构，确保在一个CPU故障时，安全仪表系统的控制功能不受到影响。

安全仪表回路应根据安全等级水平评估以及保护层分析的结果进行定期的验证，并对验证结果进行记录和存档。安全仪表回路的定期验证应作为装置机械完整性的重要组成部分。

安全仪表回路的验证程序的完备性是进行复杂回路验证的重要前提，应对安全仪表回路开发可操作的验证程序。

当条件允许时，在进行安全仪表回路的定期验证时应优先考虑“一站式”验证，即：检测单元、逻辑控制单元和执行单元一起验证。当进行“一站式”验证比较困难或者难以实现时，可采用“分步式”验证，即：检测单元和逻辑控制单元一起验证，逻辑控制单元和执行单元一起验证，两步中的逻辑控制单元部分为重叠部分，用于确保从检测单元到逻辑控制单元和执行单元的功能一致性。

安全仪表系统的维护旁路开关可按下列方式设置：

1. 在安全仪表系统的操作员站设置软件开关；
2. 在基本过程控制系统的操作员站设置软件开关；
3. 在辅助操作台或机柜设置硬件开关。

采用软件开关时，每个安全联锁单元宜设硬件旁路开关作为软件开关的“允许”条件。

当维护旁路开关为软件开关时，其动作应设置报警和记录。

安全仪表系统的操作旁路开关可按下列方式设置：

1. 在安全仪表系统的操作员站设置软件开关；
2. 在基本过程控制系统的操作员站设置软件开关；
3. 在辅助操作台或机柜设置硬件开关。

当工艺过程变量从初始值变化到工艺条件正常值，信号状态不改变时，不应设置操作旁路开关，否则应设置操作旁路开关。

当操作旁路开关为软件开关时，其动作应设置报警和记录。

操作维护人员应定期培训，培训内容应包括安全仪表系统的功能、可预防的过程危险、测量仪表和最终元件、安全仪表系统的逻辑动作、安全仪表系统及过程变量的报警、安全仪表系统动作后的处理等。

* + 1. 蒸汽透平和压缩机一体化控制系统

在由蒸汽透平驱动的空分装置中，透平和压缩机组可由透平和压缩机一体化控制系统（ITCC）控制，也可由满足功能和安全要求的基本过程控制系统和安全仪表系统控制。

透平和压缩机一体化控制系统（ITCC）中的安全仪表回路应按照安全仪表回路进行设计、运行和维护。

透平和压缩机一体化控制系统（ITCC）应提供机组跳车的首出功能，方便工作人员在机组跳车时能快速查找跳车的根本原因。

宜将透平和压缩机一体化控制系统（ITCC）的关键参数传递到基本过程控制系统，方便集中监控和机组运行状态的评估和优化。

* 1. 控制系统的报警
		1. 报警分级

报警系统应按照以下原则进行报警分级：

1. 与安全、环境和经济相关的后果严重程度；
2. 采取修正措施所需要的时间以及达到预期效果所需要的时间。通常的做法是把报警分为高、中、低三个等级。三个等级的报警数量比例通常为5%、10%、85%。
3. 高级别报警是指需要操作人员按照预定的紧急响应程序做出立即响应的偏离。高级别报警包括关键安全系统的报警、火灾报警等。对高级别报警应考虑重复报警功能，当报警持续存在时，应能根据预设间隔时间触发循环报警以提醒操作人员注意。
4. 中级别报警是指会导致工厂无法持续运行的偏离，该偏离需要纠正后才能维持工厂运行或者使工厂恢复到正常状态。中级别报警包括安全运行系统的报警等。
5. 低级别报警是指需要引起操作人员注意，但并不能划入到高级别报警和中级别报警的报警。
	* 1. 报警管理

空分装置的报警（包括联锁）应有完整的清单，清单应定期更新，与联锁相关的报警值的修改应通过变更程序执行。

宜对人机界面（HMI）上的报警值的修改和联锁旁路状态的更改设置确认操作或者权限限制，以防误操作。

宜对人机界面（HMI）上处于旁路的联锁回路设置旁路循环报警。

在报警系统设计时，应考虑操作人员对于报警的响应能力和效率，尽量减少无效报警，并优化长期处于报警状态的报警。

单个操作人员的最佳报警处理量为平均每小时6个报警，不宜超过12个。应根据装置设备状况对报警系统的安全有效性进行持续的跟踪和优化。

* 1. 空分装置的关键保护回路
		1. 压缩机组喘振保护

所有的轴流式和离心式压缩机组都应配有喘振保护系统，用于检测压缩机组的喘振状态，并根据预定程序使压缩机组在接近喘振状态时远离喘振区域，当压缩机组发生喘振时，保护系统通过调整压缩机组的工作状态（例如打开压缩机组的放空阀、循环阀，甚至停机等）保护压缩机组。

用于压缩机组喘振保护的放空阀或循环阀应设计为故障开，其在故障状态下从正常运行状态到安全状态的响应时间应有明确要求。

* + 1. 压缩机组逆流保护

逆流保护是在喘振保护的基础上对压缩机组的进一步保护。在逆流保护投入，压缩机组的进口流量低于某一特定数值（例如压缩机组在正常速度和最小导叶开度下流量的50%）时，逆流保护系统判定压缩机组发生了逆流。在设定的时间间隔内，逆流保护系统根据检测到的逆流发生的次数触发逆流报警、打开压缩机组放空阀或循环阀，甚至停止压缩机组等动作，从而避免逆流的发生或降低逆流发生对压缩机组造成的损害。

压缩机组的逆流保护宜根据压缩机厂家的要求进行设置。

* + 1. 压缩机组机械保护

轴流式和离心式压缩机组应安装感应式振动探头和检测器，对轴运动进行检测，并启动警告和停机程序。

往复式压缩机应安装振动开关。对于大型机组，宜每两个曲拐至少安装一个振动开关。

机械保护可采用单独的系统，也可根据实际需要采用符合功能和安全要求的保护系统。

* + 1. 压缩机组超速保护

空分装置中的膨胀机、蒸汽透平应设置超速保护系统。超速保护系统应设置独立于基本过程控制系统的保护层。

当膨胀机用于发电时，其保护要求应比用于驱动压缩机时更为严格，并配有用于检测电网脱离的仪表。用于发电的膨胀机应配备更多的速度探头。

蒸汽透平的速关阀是透平超速保护的重要执行单元，应具有小行程测试功能。

* + 1. 蒸汽透平末级保护

对于全凝式蒸汽透平机组，透平乏汽的压力不但影响到透平的工作效率，而且还可能影响透平的末级叶片的机械安全。

当透平的乏汽压力和腔室压力运行在非正常区域时，末级保护系统应能发出报警，并自动触发透平停车。

蒸汽透平的末级保护宜按照蒸汽透平厂商的要求设置。

* + 1. 低温液体平底储罐溢流保护

在空分装置中，低温液体平底储罐（特别是液氧平底储罐）的溢流可能会造成重大的工艺安全事故。

液氧平底储罐应设计符合要求的安全仪表系统。

* 1. 空分装置控制系统的其它考虑因素

空分装置中的控制和仪表（包括分析仪）的设计应符合GB 50030、GB 16912、JB/T 8693等相关规范的规定。

在关键部件失效时，故障安全系统应能以预定的方式将系统停机和隔离。可通过以下系统设计或改进措施提供故障安全：

1. 设置设备及回路看门狗；
2. 根据需要选择执行器的故障模式（故障打开/故障关闭）；
3. 内部/外部诊断；
4. 采用通电运行/断电跳车等信号转换。
	* 1. 空分装置的仪表（包括分析仪）
			1. 空分装置应根据气体生产、存储、输送的需要设置下列分析仪表：
5. 空气纯化装置出口二氧化碳含量连续在线分析；
6. 主冷凝蒸发器液氧中乙炔、碳氢化合物含量连续在线分析仪；
7. 产品纯度分析；
8. 高纯产品中杂质含量分析；
9. 制氧间、氧气压缩机间、氧气储罐间等的空气中氧含量定期检测；
10. 制氮间、氮气压缩机间、氮气储罐间等的空气中氧含量定期检测。
	* + 1. 除各类设备配备的各种测量和控制装置外，还应装设下列参数测量和控制装置：
11. 站房出口各种空气分离产品的压力测试和调节；
12. 输送用气体压缩机的进气、排气压力测量和流量调节装置；
13. 气体储罐压力远传、记录；
14. 气体设备出口压力、温度远传、记录；
15. 各单体设备运行状态显示、记录。
	* + 1. 宜设置下列报警联锁控制装置：
16. 空气纯化装置出口二氧化碳超标报警；
17. 空分装置主冷凝蒸发器液氧中乙炔、碳氢化合物超标报警；
18. 空分装置出口产品纯度不合格报警；
19. 压缩机润滑油系统，设置油压过高、过低与油温过高的报警和联锁控制。
	* 1. 压缩机组相关的仪表
			1. 对于大型压缩机组，宜在润滑油压系统中安装双润滑油油压传感器，用于启动辅助油泵、停止压缩机组、压缩机启动许可。
			2. 对于大型压缩机组，应配备相关仪表检测以下指标：
20. 低油压（警报和停机）；
21. 高油温（警报）；
22. 润滑油油池低油位（警报和润滑油加热器停机）；
23. 油过滤器高压差（警报）；
24. 低油温（压缩机组启动许可）；
25. 备用泵状态（警报）。
	* 1. 控制系统相关的电气

空分装置的电控设备应符合GB/T 3797要求。

空分装置低压配电柜应选用符合GB/T 7251.12规定的标准功能单元隔离设计的低压配电柜，应有带电锁门设计。

空分装置电源进线总开关的继电保护装置应安装在空分装置变电所内。

空分装置电气设备的急停回路应为常闭接点的硬接线回路，回路不应有软节点接入，重要急停回路应选用安全继电器。

空分装置电源进线总开关的手动分闸装置应安装在操作人员无障碍接触位置，在任何时间、任何操作模式下均可操作。

空分装置控制室的电气设备停车信号应为常闭接点，重要回路应采用双回路常闭接点。

空分装置电气设备的继电保护动作后，应有锁定继电器封锁跳闸出口节点。

空分装置电气设备送控制室特别重要的信号应用一对互补的信号来传输。

空分装置重要电气驱动设备应安装抗晃电装置或具有重启功能。

空分装置的电气设备应有防电弧危害的警示标签，变电所应配置防电弧保护装置。

空分装置含380V低压总进线开关以上的电气设备不宜采用设备本体合闸方式完成设备送电或启动。

空分装置采用直流控制电源的电气设备可根据工艺安全控制需要安装直流失压保护。

空分装置高压电机的重复启动次数应严格按照设备厂家的指导说明进行。

空分装置高压电机应选用绝缘轴承，防止轴电流产生。

空分装置高压电机的断路器宜选用双脱扣器设计，满足可靠分闸要求。

空分装置的检修电源箱应配置30mA漏电保护器。

空分装置不间断电源、直流电源、柴油发电机、后备电源及电源切换装置的报警信号应送至控制室监控。

空分装置的控制系统宜采用双路电源供电，并使用不少于一路的不间断电源。

* + 1. 无人值班或部分有人值班运行的空分装置

无人值班或部分有人值班装置的控制系统的设计应确保在发生意外工艺扰动或停机时，无需任何手动干预即可安全地将空分装置的工艺和设备停机。

无人值班装置应有防止操作人员受伤的措施，同时应有防止设备自动重新开机的措施。

宜对其它工艺和设备条件进行监测，并对选定的工艺变量和设备状态或条件进行远程监控。

应设置紧急通知系统，紧急通知系统应能将异常事件（例如空分装置停机）通知现场以外的工作人员。如果仅有一人位于空分装置现场，应设置通知系统，通知系统应能将紧急情况（例如人员伤亡）通知相关工作人员。

* + 1. 控制系统的网络安全

不应在控制系统中使用USB等移动设备，当在控制系统中使用USB等移动设备时，应使用正规的杀毒软件进行杀毒，并始终保持杀毒软件是最新版本。

不应在控制系统的电脑上对手机等移动设备进行充电。

应对控制系统进行物理保护，包括门禁管理等。

不应在控制系统上安装或者卸载无用或没授权的软件。

应对控制系统实行分级密码和权限管理。

应定期更新控制系统控制电脑的安全补丁、杀毒软件的病毒库，并根据控制系统厂商的建议升级控制系统软件。

和第三方进行通讯时，应根据通讯方式设置必要的防火墙，并设置通讯规则。

应定期对控制系统进行备份，包括程序备份和系统备份。

应定期对控制系统的网络安全进行评估。

* + 1. 控制系统的生命周期管理

在空分装置中，对控制系统进行生命周期管理是维持控制系统安全稳定运行的重要保障。控制系统的变更管理（如逻辑变更和报警值变更等）和维持控制系统的机械完整性（如安全仪表回路的定期验证）都属于控制系统生命周期管理的重要内容。

控制系的生命周期管理应作为空分装置机械完整性项目的一部分。

1. 安全操作运行
	1. 火灾和爆炸危险

空分装置区域严禁吸烟和明火。当进行焊接、锡焊、碾磨等工作时，应对施工环境进行分析，确认没有氧气富集的情况，并确保在此类工作进行时不会发生氧气富集。

不应穿钉鞋进入空分装置区域，防止产生火花，衣服和鞋子应符合相关防静电要求。

* 1. 氧气安全

应避免操作人员在氧气浓度上升的区域逗留。在氧气或富氧气氛的环境下停留过的人员的衣物应立即彻底吹扫。

氧气阀门应缓慢平稳地开启或关闭，避免快速操作氧气切断设备。在启动高压氧气管线之前应保证设备两端压力平衡，压差小于0.1MPa。

各设备使用的润滑剂或润滑介质应遵守厂家特殊的规定。对于氧气场合，应使用指定润滑剂。

在可能发生液氧泄漏的区域，基础应使用不可燃材料，不应使用沥青、木制品等，基础应无缝、不渗漏。

* 1. 窒息危险

对于可能发生惰性气体富集的区域，应设置警示标志，并采取相应的安全预防措施。

有窒息危险的区域应保持良好通风，并在操作人员进入前进行氧含量分析，在平原地区，氧含量应在19.5～23.5%之间。

禁止在惰性气体浓度过高的区域或可能发生惰性气体浓度过高的区域内逗留或工作。

* 1. 低温危险

当处理低温液体时，操作人员应穿戴必要的防护用品（如手套、护目镜、密织衣物等），防止直接与低温液体接触，操作人员的裤脚不应塞到靴子里。

在进入或维修空分装置低温设备时，相关部位应复热到常温。

装置排液、解冻时，排液的速度应与液体处理设备（蒸汽喷射器、气化器、残液风机等）的气化能力相匹配，避免液体处理设备超负荷。

应防止低温液体排放至下水道或电缆槽。

排液坑及相连管道应保持吹扫，避免积水及堵塞。

应定期巡检查漏。

* 1. 空分装置冷箱

冷箱加温周期取决于装置设计、工艺循环、安装的质量和装置所处的位置。装置的加温周期宜在装置设计和安装阶段确定下来。在设计方未明确的情况下，宜每3年对整个装置进行一次全面加温。

可对装置的运行数据进行分析，根据实际情况对冷箱加温周期作适当延长。若发生如下异常情况时应缩短：

1. 低温设备（如换热器、精馏塔）阻力异常；
2. 主冷温差出现异常；
3. 分子筛吸附装置或液氧吸附器多次出现异常故障；
4. 原料空气碳氢化合物含量超标；
5. 吸附器出口多次出现二氧化碳含量超标；
6. 装置的环境条件与设计时相比有较大变化；
7. 主冷杂质分析指标出现异常且无法通过工艺调整回正常范围。
	1. 安全设施设备

带压的容器和管道应配有防超压的安全设备(安全阀、爆破片等)，安全设备应保持在正常状态。应定期检查安全阀的起跳压力，必要时重新调整。冷箱泄压装置应有防止冰雪或其他障碍物覆盖的措施，泄压平衡盒的盖板密封性应良好、插销转动应灵活。

空分装置中安全阀的校验周期可延长为与装置或设备检验周期一致，最长不应超过5年。

安全设备应保持在良好的可操作状态，报警器及安全设备应定期检查。

* 1. 主冷凝蒸发器安全

通过吸入空气带进的碳氢化合物是主要的污染源，因此应对碳氢化合物进行控制。在空分装置中，碳氢化合物积聚主要发生在以下部位：

1. 空分装置的主冷凝蒸发器中；
2. 粗氩再沸器、冷凝器的蒸发侧；
3. 氪氙装置的再沸器、冷凝器；
4. 低温吸附器；
5. 对制氮机的废液或者内部压缩工艺装置的液氧产品蒸发的换热器通道。

浸浴式主冷凝蒸发器应符合9.3.6的要求。

降膜式主冷凝蒸发器应符合下列要求：

1. 液体分布器应设置液位指示和低液位报警。长时间高液位可能说明主冷蒸发器或分配器堵塞，应及时处理。液体分布器液位低可能说明回流或液氧循环泵流量出现问题，应及时处理，如8小时内无法恢复，则应停车。
2. 液氧流通率过低会导致主冷凝蒸发器通道中干蒸发，从而导致污染物（例如二氧化碳和氧化亚氮）沉积于通道中，无法在塔釜液体中及时检测出来，因此，应设置液体循环量的测量元件，包括流量计和其它和推断循环量的方式（例如氧泵电机电流）。
3. 降膜式主冷凝蒸发器应设置总碳氢、二氧化碳和氧化亚氮分析仪，并设置报警联锁。
4. 降膜式主冷凝蒸发器液体的流量应大于设计要求的最小流量，并满足出主冷凝蒸发器的气液比小于1/2的要求，保证液体循环比例或流量，如无法保证应联锁停机。
5. 对于单独设置或上下塔分离的降膜式主冷凝蒸发器，宜配置2套的液氧泵。
	1. 主冷凝蒸发器中杂质的分析及处理

在低压塔主冷凝蒸发器工作压力条件下，二氧化碳在液氧中的溶解度通常是4×10-6～5×10-6，最高安全运行极限不应大于4×10-6（取决于主冷凝蒸发器的类型），浓度超标会导致通道堵塞和干沸腾。

对于分子筛吸附净化装置，应通过检测手段监控分子筛吸附器/出口空气中二氧化碳的含量。对于切换换热器装置，可根据切换板式换热器中点和冷端温度来推断二氧化碳污染。

如果同时存在二氧化碳和氧化亚氮这两种污染物并且从溶液中析出，形成一种共结晶固体，导致每一种纯组分的溶解度降低。为了确保溶解度，应将二氧化碳、氧化亚氮混合物的浓度保持在图1或图2所示的绿色范围内，如果浓度超出这个范围，应采取相应措施，如果浓度继续升高，应停机。

应定期对主冷凝蒸发器进行取样，取样周期取决于装置的位置和液氧取出量。如果浓度超标，应对液体进行排放，分析导致污染的原因，采取纠正措施，再对主冷凝蒸发器进行液位补充。



1. 降膜式主冷凝蒸发器联锁报警设定值曲线



1. 主冷凝蒸发器工作报警联锁设定值类型的设定曲线
	1. 液氧取出

为排除未完全吸附的碳氢化合物，所有装置（可逆式换热器、分子筛/预净化装置和其它装置）的连续液体取出率应至少达到氧总产量的1%。

降膜式主冷凝蒸发器宜将液体完全抽取，否则需设液相吸附器或其它措施清除污染物。对于小型空分装置，可采取间断液体吹除，应至少每8小时进行一次排液，排液量应至少达到氧总产量的1%。

在高纯度液氧运行条件下，应避免主冷凝蒸发器液氧浸没到填料上。

在超过95%氧纯度的低压塔中使用的铝填料片厚度应超过0.2mm厚度，铜填料至少超过0.1mm厚度。

* 1. 空分装置初次启动、运行、停机和解冻操作
		1. 初次启动

装置初次启动时，应检查确认以下系统：

1. 高低压供电系统；
2. 再生气加热器的蒸汽及冷凝系统，或电加热器可送电；
3. 仪表气供应系统；
4. 冷箱夹层氮气供应系统；
5. 循环冷却水系统完成吹扫预膜，旁通管线恢复、盲板移除，冷却水系统投用；
6. 仪控系统可投入使用，阀门动作确认，仪表根阀打开，仪表投入使用；
7. 蒸汽驱动设备的蒸汽管道完成吹扫打靶；
8. 管道试压吹扫结束；
9. 分子筛已填充；
10. 珠光砂已填充，冷箱内通干燥气体保持微正压；
11. 压缩机油路系统吹扫、油循环运行合格，压缩机润滑油系统可投入使用；
12. 所有和安全相关的电器仪表测试正常，安全设备（例如安全阀，冷箱呼吸阀等）检查确认；
13. 运输、安装等临时支架已去除，开机启动盲板已去除。
	* + 1. 空分装置前端设备启动

根据操作规程启动空压机和预冷系统。

根据分子筛启动程序启动分子筛，二氧化碳分析仪投用，确认分子筛出口为不含二氧化碳的干燥空气。对变温吸附流程，需根据装填材料确定合适温度进行加热，保证分子筛充分活化；对变压吸附流程，需进行至少两个吹扫周期再加大负荷。为防止分子筛流化而破坏床层，应有压差或最大流量限制，在正流和反流再生时不应超过设定值。

分子筛蒸汽加热器投用时蒸汽导入应缓慢升温，排放冷凝水，避免水锤。若使用电加热器，应先通加温气再通电，避免干烧。

* + - * 1. 分子筛活化结束后进行冷箱内设备管道吹扫。宜将空分冷箱内充压气体切换成氮气管线，逐步置换使冷箱内气体含氧纯度低于5%。
			1. 冷箱吹扫

开车时，冷箱应进行吹扫，确保冷箱各部分露点低于-50℃。

在控制室准备好工艺流程图，将气体吹扫过的管路进行标记。

应脱开仪表管线、排放管线、取样管线进行单独吹扫。在脱开取样管线吹扫时，应防止冷箱超压。

冷箱吹扫过程中，应注意平行管线的吹扫，主换热器的不同单元管道、互为备用的低温泵的管道等应单独进行切换吹扫。

对低温泵进行吹扫过程中，应避免泵转动。

对膨胀机进行吹扫时，密封气、润滑油系统应提前投用。

每根液体管线、气体管线和加液管线均应吹扫干净，必要时可反向吹扫。

在吹扫过程中，可进行露点测试并记录，根据露点测试结果适当调整吹扫的阀门、流路气量。

应根据多次露点的趋势判断吹扫是否结束，必要时可进行静态露点测试。

当冷箱设备、管道、阀门等部位的露点合格后，吹扫结束。此时恢复脱开的仪表管线、排放管线等，进行冷箱冷却的准备。

* + - 1. 空分冷箱初次冷却

空分装置的冷量一般由膨胀机提供，确认冷箱具备冷却条件后，可按照膨胀机启动流程启动膨胀机。

冷却阶段换热器、塔器、管道及分离设备的温差不应太大，否则会导致材料的热应力毁坏设备。冷却过程应缓慢，膨胀机、精馏塔、塔内换热器等设备温度测点显示的温降不应超过30℃/h 。

精馏塔尤其是填料塔应缓慢且均匀冷却。冷却初期冷箱处于常温下，装置无法处理正常运行时的空气流量，主空压机多余的空气将通过放空阀放空。

冷箱冷却过程中，可通过冷箱的放气阀门在容器最远端适当排放热气体，但主要还是通过主换热器来回收膨胀机的制冷量。为了让更多的气体通过主换热器氧、氮、氩通道，可以调整塔压设定值。冷却结束后，塔压设定值调回到正常设定。

在冷却阶段，应保持主空压机的排压，尤其是分子筛吸附器后压力稳定。所有的调整都应根据主空压机的排压、下塔压力、上塔压力及入塔空气流量等参数进行。

冷却中应打开主冷的氖氦不凝气排放阀门。

当塔内出现液体时，应关闭或关小各液体管线的阀门。粗氩冷凝器、纯氩冷凝器等设备不需过早积液。

当冷箱内各容器温度达到约-165℃时，冷却阶段结束，可继续快速冷却进行积液调整。

当具备液位后，可对低温泵进行冷却，应确保密封气已投用正常。

泵的管线（入口，排气，出口管）应和泵体一起冷却，防止热应力对管道造成损坏。为避免冷却过快，可先用低温气体冷却，用气体冷却时，泵不应转动。在泵启动前，应用低温液体冷却，保证冷却排放阀出液，才可启动。

* + - 1. 膨胀机的启动运行

应控制好下塔液位，液位过高将淹没下塔空气进口，气液的剧烈流动将导致塔内结构损坏。

膨胀机启动运行中应注意上塔气体氧含量，避免启动时含氧过高。

可通过调节喷嘴开度来增加负荷，使膨胀机快速跨过临界转速，提高制冷效率。

* + - 1. 冷箱调纯

塔内积液后应优先建立主冷凝蒸发器液位，再将主冷凝蒸发器投入工作。随着主冷凝蒸发器工作，液位下降，下塔压力降低，吸入空气量增加，此时应操作维持好上下塔压力的稳定。

主冷凝蒸发器投用操作应根据DCS压力、温度数据，逐步、缓慢地进行。

当主冷凝蒸发器完全投用，液位、工况趋于稳定后，可进行纯度调整。对于内压缩流程，增压机及膨胀机最终调整应在内压缩泵启动之后完成。

主冷凝蒸发器液位建立过程中有换热器通道内积聚二氧化碳、氧化亚氮和总碳的危险，宜用液氮反灌来建立液位，降低风险。应在装置充分冷却后进行液氮反灌，防止材料产生热应力，损坏设备。

对于带氩装置，氩塔工况建立后，操作各设备稳定精馏工况，生产输出各种合格产品。

* + 1. 正常运行、停机

空分装置应在设计允许范围内操作运行，根据产品需求变化进行负荷调整。

空分装置的报警、安全联锁不应无原因解除。

空分装置停车时，当塔内液位升高到第一块塔板或填料而淹没进气口时，应进行液体排放，直至液位高联锁解除。

临时停车时，若液位高度维持在安全液位以上，则不需排液，否则应排液并重新积液。

装置长时间停车时，主冷凝蒸发器应排液，换热器氧通道及高压氧气产品管线里的液体也应排放，防止低温液体蒸发后碳氢化合物在液氧管线浓缩积聚。

在装置停车期间，冷箱内各设备、容器不应出现超压或负压。

* + 1. 装置解冻

应按照设备维护操作手册对装置进行解冻复温。

冷箱解冻前，应先将冷箱设备、管道内液体排放干净。

复温时，应确定系统密封气和吹扫气供应正常，分子筛吸附器处于工作状态，并提供加温所需的仪表空气。

如未设置单独复温管线，可通过正流气体进行复温。

冷箱复温的注意事项：

1. 复温时，冷箱设备各部分应均匀复温，避免温差过大引起热应力损坏设备、管道；
2. 复温前期设备处于低温阶段时，不应直接在大气中排放低温气体，应将气体从冷箱排出到排液系统，利用主换热器保证温差，减少复温时间；
3. 所有管线均应复温，有必要时可打开阀门反向吹扫管线；
4. 解冻末期，打开各测量管线，确保每个测点不发生报警和联锁。

当冷箱内温度指示和解冻管线出口处的温度高于0℃并持续2～3小时以上时，结束解冻过程。相关采样点的露点应在-50℃以下。

复温结束后，根据操作程序关停分子筛纯化系统和空压机，并进行后续操作。

1. 培训与事故应急处置
	1. 培训

应按照安全生产法和有关法律、行政法规和相关规定，建立、健全安全培训制度，建立从业人员安全培训档案。

企业主要负责人和安全生产管理人员应具有相应专业学历和一定实践经验，接受相关安全培训，经安全生产监管部门对其安全生产知识和管理能力考核合格，取得安全资格证书后，持证上岗。

特种作业人员（如电工等）应取得特种作业操作资格证书后，方可上岗作业。

空分装置操作工、化验人员以及循环水处理工（独立设置）等应取得国家职业资格或行业职业技能证书后，方可上岗作业。

从业人员入职前，应进行安全教育。

空分装置检修维护前，应按GB 30871的规定进行针对性的安全培训，并落实检修维护时的安全监护人。

* 1. 职业健康管理
		1. 应设置或者指定职业卫生管理机构或者组织，配备专职或者兼职的职业卫生管理人员，负责本单位的职业病防治工作；制定职业卫生管理制度和操作规程，建立、健全职业卫生档案和劳动者健康监护档案；建立、健全工作场所职业病危害因素监测及评价制度；建立、健全职业病危害事故应急救援预案。

对产生严重职业病危害的作业岗位（如噪音等），应设置警示标识和警示说明。现场应配置急救用品等，定期对工作场所进行职业病危害因素检测、评价。

用人单位的主要负责人和职业卫生管理人员应接受职业卫生培训。

用人单位应为劳动者建立职业健康监护档案，并按照规定的期限妥善保存。

* 1. 空分装置的生命安全

空分装置中的生命安全系统用于保护在窒息气体、富氧气体、可燃气体或者有毒有害气体的空间作业的人员安全。

空分装置中的生命安全系统应符合GB/T 50493等相关规范。

空分装置在有操作人员进入或易出现缺氧气氛的区域安装氧分析仪传感器或音响警报器。

操作人员进入封闭区域或容器内等缺氧环境时，宜采用独立来源的合格气源提供呼吸或用自给式呼吸装置，仪表空气系统不应用作呼吸用气来源。

在缺氧气氛中及其附近区域工作的人员应执行相应的程序，包括受限空间进入程序。

对用于生命安全系统（包括其分析仪表）应按照国家标准、行业标准、团体标准及法规要求进行定期校验。

* 1. 应急预案编制及演练

应按GB/T 29639的规定编制空分装置应急预案，并按GB/T 33942的规定编制特种设备专项应急预案。

生产经营单位的应急预案的编制应遵循以人为本、依法依规、符合实际、注重实效的原则，以应急处置为核心，明确应急职责、规范应急程序、细化保障措施，并按《生产安全事故应急预案管理办法》（应机构管理部2019年2号令）的规定进行评审，形成书面评审纪要。评审后，由本单位主要负责人签署，向本单位从业人员公布，并及时发放到本单位有关部门、岗位和相关应急救援队伍。

应按AQ/T 9007的规定制定本单位的应急预案演练计划，应每年至少组织一次综合应急预案演练或者专项应急预案演练，每半年至少组织一次现场处置方案演练。

宜将空分装置的应急演练与周围工厂或装置、园区的演练进行联合，以提高区域协同救援能力。

1. （资料性附录）
稀有气体工艺流程
	1. 氪氙工艺流程

采用液氧高压气化后除去甲烷，分子筛净化吸附，再采用填料塔低温分馏氪氙工艺。

来自液氧储槽的含有氪氙的液氧经液氧泵加压后，进入蒸汽气化器气化，温度上升至常温，气化后的氧气经过高压节流阀节流后进入氧气回热器与高温返流氧气进行换热，在电加热器中进行加热，再进入甲烷反应炉中，在触媒的作用下生成二氧化碳和水；去除甲烷的氧气进入回热器，与正流高温氧气换热，然后依次进入空浴式冷却器、水冷却器。经水冷却器冷却后的氧气进入切换使用分子筛纯化器，氧气中的二氧化碳、碳氢化合物和水被吸附。两只分子筛吸附器，一只工作、另一只再生。

经分子筛净化后的氧气，进入贫氪换热器与返流的低温氧气、氮气换热，冷却后进入氪氙浓缩塔。在塔内氪氙与氧气分离，浓缩的氪氙积存在塔的底部；抽出氪氙混合液送入氪氙分离塔进行分离，底部的粗氙液送入氟化物净除塔及纯氙塔进行再次提纯，然后气化充瓶。（也可以从纯氙塔抽出的液氙，气化后送入膜压机压缩，然后充瓶。）

氪氙分离塔顶部的粗氪气进入纯氪塔，积累至一定量后从底部抽出，然后气化充瓶。（也可从纯氪塔抽出的液氪，气化后送入膜压机压缩，然后充瓶。）

液氮作为氪氙浓缩塔顶冷凝器的冷源，与塔内蒸汽换热气化，送入贫氪换热器复热后出冷箱，进入分子筛系统的再生电加热器作为分子筛的再生气。

从氪氙浓缩塔顶部抽取氧气，分为两股，一股经贫氪换热器复热后出冷箱，另一股与冷箱来的低温氮气混合，作为氪氙分离塔和纯氪塔顶冷凝器的冷源；冷却塔内的蒸汽提供塔内低温精馏所需的回流液。

整个系统采用DCS计算机控制技术，实现集中、就地、机旁来监控整套设备的生产过程。



* 1. 稀有氪氙精提取装置流程简图
	2. 氖氦工艺流程

氖、氦分离及精制工艺主要包括：粗制氖氦系统，加氧除氢系统、除氮系统、氖氦分离系统、粗氦纯化、氖氦充装系统等。

大型空分下塔顶部设有氦氖提馏段，用于主冷氦氖原料气不凝气富集，从主冷板式抽取氦氖原料气进入粗氦氖塔，粗氦氖塔中进一步精馏浓缩，塔顶采用液氮急冷，部分氮冷凝，因此可获得较高浓度的粗氦氖气，经换热后常温送出。

由空分装置产出的氖氦混合气（原料）进入加氧除氢炉，在该设备中在触媒的作用下产生氢氧反应生成水，粗氖氦混合气中的氢气（3-5%）将被除去。除氢后的气体经冷却器冷却降至常温。含氮、氖、氦和水份的混合气体进入分子筛干燥，经隔膜压缩机加压。进入分离除氮主冷箱经低温精馏法脱除大量氮气再吸附除氮冷箱经低温吸附法彻底除掉残余氮气。该冷箱外壳采用真空绝热形式，工艺侧采用真空泵辅助液氮建立负压工况，确保氖氦混合气中的氮气液化脱除。

除氮后的氖氦混合气经换热至常温后用隔膜压缩机增压。经压缩后的氖氦气体经反流低温氖氦换热器和负压液氮冷却器进行冷却后，进一步的节流降温产生液态氖和气态氦混合物，然后进入精馏塔再次从液体中分离出气态氦和液态氖，其中含氖的液体经换热器换热后出冷箱，作为产品氖用隔膜压缩机增压去充瓶系统。

来自分馏塔顶的粗氦气（含少量氖）进入换热器复热后送入粗氖/氦隔膜压缩机加压。再经过换热器进行冷却，进入氖吸附器进行氖氦的分离。分离后的纯氦将通过换热器换热至常温，作为产品氦经隔膜压缩机增压去充瓶系统。



* 1. 氖氦工艺流程
1. （资料性附录）
控制系统相关示意图
	1. 空分装置的控制系统结构



* 1. 大型空分装置的控制系统结构
	2. 安全仪表回路的验证方法



* 1. 安全仪表回路的分步式验证
	2. 低温液体平底储罐溢流保护



* 1. 低温液体平底储罐溢流保护

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_