

ICS 71.120.99

CCS G 93

T/CCGA

中国工业气体工业协会团体标准

T/CCGA 20004—2021

低温冷箱设计和运行安全技术规范

Safety technical regulation of design and operation for cryogenic enclosures

2021 - 09 - 30 发布

2021 - 10 - 30 实施

中国工业气体工业协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 设计要求	2
5 施工与安装	4
6 低温冷箱的运行	6
7 故障诊断	6

CCGA

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。

本文件由中国工业气体工业协会提出并归口。

本文件起草单位：盈德气体集团有限公司、陕西秦风气体股份有限公司、西安陕鼓动力股份有限公司工程技术分公司、北京中科富海低温科技有限公司、成都深冷液化设备有限公司

本文件主要起草人：钟连山、刘景武、饶伟、严肇博、王连喜、贾坤、郭续魁、李忠育、邓丹、石丽华、程源。

CCGA

引 言

针对目前低温冷箱设计和安全运行的严峻形势，基于低温冷箱安全风险要素控制的有关要求，根据HAZOP分析和故障源分析方法，总结低温冷箱运行的本质安全有关经验，并吸收国外低温冷箱运行的安全程序文件，中国工业气体工业协会特组织制定了本文件。

低温冷箱运行期间，涉及的风险要素较为复杂，包括低温冷箱内部工艺系统泄漏及产生的密封风险环境，低温物料引起的碳钢材料冷脆，冷箱夹层内异常的富氧环境，冷箱夹层内珠光砂受潮结冰导致管道受到挤压或影响管道冷态正常收缩而产生额外的应力，这些风险可能引发严重的安全事故。为了确保低温冷箱的安全运行，制定本文件，以此提高国内低温冷箱的安全运行水平。

CCGA

低温冷箱设计和运行安全技术规范

1 范围

本文件规定了低温冷箱的设计和运行安全技术要求，并根据运行涉及的风险要素提供了相关的风险控制措施。

本文件适用于空分装置、LNG生产装置、液氮装置、液氢装置等使用的低温冷箱。

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 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50755 钢结构工程施工规范
- GB 51081 低温环境混凝土应用技术规范
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- JGJ94 建筑桩基技术规范
- T/CCGA 10004 珠光砂装卸操作安全技术规范
- T/CCGA 90001 氧气和富氧气氛的火灾危险（试行）
- T/CCGA 90002 惰性气体或缺氧场所的危险
- EIGA Doc.170 低温冷箱结构的安全设计和运行（Safe design and operation of cryogenic enclosures）

3 术语和定义

T/CCGA 10004界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

低温冷箱 cryogenic enclosure

通常指将低温设备及其管道置于一个或多个充填有绝热材料的箱体，不包含平底贮罐。本文件中简称“冷箱”。

冷箱分为圆柱形冷箱、方形冷箱。

3.2

圆柱形冷箱 cylindrical enclosure

围绕低温设备和管道的圆柱形腔体。设备一般不会支撑在腔体结构上，而是用分开的支撑系统支撑。

3.3

方形冷箱 rectangular enclosure

许多或者所有的设备和管道都是支撑在这些横梁上的方形结构框架。

面板可以固定在框架内侧（朝向绝热材料）或框架外侧（朝向大气环境）。

3.4

矿渣棉 slag wool

利用工业废料矿渣（高炉矿渣或铜矿渣、铝矿渣等）为主要原料，经熔化、采用高速离心法或喷吹法等工艺制成的棉丝状无机纤维。

矿渣棉，具有质轻、导热系数小、不燃烧、防蛀、价廉、耐腐蚀、化学稳定性好、吸声性能好等特点。主要技术性能为：表观密度为80kg/m³，导热系数（常温）为0.043W/(m·K)左右，使用温度为650℃。

3.5

真空绝热vacuum insulation

在冷箱中，将要绝热的部件置于其腔体中，在部件和腔体之间的环形空间抽真空，以降低其通过导热的热传递。如果在该环形空间放置绝热物（一般是珠光砂、金属箔片或其他“超绝热”），降低通过导热和辐射的漏热，可以进一步的减小冷箱总体漏热。

与矿棉或珠光砂绝热相比，真空绝热对漏热热流提供了更大的热阻，特别对于小型冷箱或管道。真空绝热导致更好的绝热性能和更紧凑腔体结构，便于运输和现场简便安装。

4 设计要求

4.1 绝热方式

4.1.1 冷箱常用的绝热方式为采用珠光砂、矿渣棉和抽真空。

4.1.2 主冷箱内设备及管道与箱体之间的夹层应采用珠光砂绝热。

4.1.3 为方便检修，部分阀门宜单独设置隔热冷箱，宜使用便于检修的矿渣棉作为绝热材料。

4.2 冷箱结构

4.2.1 冷箱外壳

4.2.1.1 冷箱框架及面板围护系统应采用保证焊接质量的钢材，如Q235B等。低温地区应考虑冷脆影响，按照GB 50017选用相应材料。

4.2.1.2 冷箱壳体板材一般采用碳钢板，冷箱内设备及管道安全阀进口管路与冷箱板连接部位、低温液体输出管道与冷箱板连接部位、低温液体排放等部位宜采用不锈钢板、铝板过渡，或采用特殊的可装填绝热材料过渡的结构。板材连接一般采用焊接或螺栓连接，特殊连接部位（包括铝板与主体冷箱板之间）可采用螺栓和密封垫片连接。

4.2.1.3 冷箱根据工艺要求，可设计为方形或者圆柱形。

4.2.1.4 冷箱人孔、卸砂口等盖板与冷箱板连接的部位应采用密封垫片、树脂胶或其他密封胶的进行密封，防止水分进入。

4.2.1.5 进出冷箱的工艺管道与箱体连接部位，应采用防水胶套，并采用不锈钢密封压紧圈，保证冷箱密封性能。

4.2.1.6 冷箱防爆安全卸放板与支持座之间，应设置密封垫圈，保证良好的密封性能。

4.2.1.7 冷箱箱板及结构外表面，应喷涂防腐漆，保证良好的耐腐蚀性能。冷箱外表面与大气接触的碳钢板应采用性能优良的防腐底漆和面漆，面漆的喷涂工艺应采用成熟的技术。

4.2.2 冷箱安全设置

4.2.2.1 冷箱应设有足够数量的压力表、安全阀或安全泄放板等安全装置。

4.2.2.2 应根据冷箱的高度，设置相应压力的安全阀，安全阀应上、中、下均匀分布或根据工艺成套商分析及设计，在冷箱顶部设置相应数量的安全阀。

4.2.2.3 顶装型安全阀，数量根据冷箱顶部面积决定。冷箱顶部面积小于15m²的，至少应安装1个安全阀；大于15 m²小于60 m²的，至少应安装2个安全阀；大于60 m²的，至少应安装4个安全阀。安全阀应优先布置在可能的泄漏点附近。

4.2.2.4 冷箱安全阀顶部起跳盖板，应考虑操作平台。冷箱安全阀的起跳排放方向应为安全区域。

4.2.2.5 冷箱上、中、下均宜设置卸砂孔，便于分层卸砂。

4.2.2.6 冷箱顶部平台设置的人孔作为装砂口使用时，应设置可活动的防护网。装砂时，需设置防护网，保护人身安全。

4.2.2.7 冷箱应分层布置用于检测冷箱安全状态的测压点、分析测点。

4.2.2.8 低温液体泵及膨胀机冷箱，应采用独立的隔离箱。

4.2.2.9 主冷箱内可设置用于检修的垂直爬梯，爬梯顶部主冷箱结构部位应设置安全绳固定点，爬梯对应的冷箱结构型钢宜设置悬挂安全带及安全绳的悬挂点。

4.2.3 冷箱结构

4.2.3.1 冷箱框架结构主要受力构件(梁、柱、撑)宜采用单截面整体构件,当采用组合截面时,应根据GB 50017的要求计算组合截面构件在拉、压、弯、剪等状态下的螺栓和焊缝连接强度。

4.2.3.2 冷箱框架结构是空间桁架结构,斜撑一般为二力杆,面板加劲肋宜与斜撑脱开,且净距宜保持在10mm以上。斜撑兼做面板支撑构件时应按照拉压弯构件进行补充分析设计。

4.2.3.3 冷箱结构设计中所有构件的应力比不应超过1.0,考虑钢板负公差及施工误差,最大应力比宜取0.85~0.95。

4.2.3.4 冷箱结构设计应充分考虑冷箱内部设备、管道与冷箱板结构之间的安全距离,和散热损失及低温工艺系统额外的冷量传递引发冷箱碳钢结构发生冷脆的风险。

4.2.3.5 冷箱内塔器、换热器、分离罐等设备不宜采用冷箱板对应的结构框架进行支撑。如果无法通过冷箱底部基础设置支撑框架或无法采用悬吊方式,通过冷箱碳钢结构型材作为设备承重支点时,冷箱内低温设备连接的承重梁,应采用耐低温不锈钢材质的结构型材与主体冷箱结构型材连接。

4.2.3.6 冷箱结构的设计应考虑在其整个寿命期间可能承受的载荷。主要包括以下内容:

- 运输时可能产生的载荷,包括公路、铁路、海运;
- 安装载荷;
- 由置换密封气或流动珠光砂所产生的流体压力;
- 热和冷两种不同运行模式的载荷。两种模式应考虑到包含和不包含工艺流体情况,系统充压和不充压情况,任何暂时工况模式等;

- 作用于管道、设备、冷箱壳体和基础上的珠光砂载荷;

- 现场环境条件带来的载荷,包括风载荷、雪载荷、地震载荷等;

- 设备拉架、导向块、生根于冷箱结构上支架等对冷箱的负荷,设备拉架在地震中的耦合载荷。

4.2.3.7 冷箱钢结构强度计算,宜采用通过行业安全注册的计算软件进行强度计算。

4.3 冷箱内管道

4.3.1 基本要求

4.3.1.1 冷箱内的管道宜采用焊接型式,避免采用机械连接接头(法兰、螺纹等),以降低气体或低温液体介质泄漏的风险。当采用机械接头时,应使用独立保温隔箱进行隔离,便于维护检修。

4.3.1.2 保温隔箱顶部和底部宜带有坡度或其他利于珠光砂流动的措施,以确保珠光砂能自流到冷箱空隙处,保证冷箱的整体绝热性能。

4.3.1.3 冷箱内承压管道对接焊缝应100%射线探伤,角焊缝100%着色探伤,保证焊接接头的质量。

4.3.1.4 空分冷箱等宜采用角式调节阀插入冷箱内部。LNG、液氢等可燃气体冷箱,无论采用直角阀门或角式阀均宜放置在冷箱外。

4.3.2 管道设计

4.3.2.1 管道设计应考虑下列因素:

- 珠光砂绝热材料对管道产生的负荷;

- 两相流管道的支撑和防震措施;

- 异金属接头的设计和选取;

- 氧用阀门严格执行相关技术要求及质量检验;

- 管道支架与管道绝热垫板应根据管道内介质状态及管径大小进行合理设置;

- 管道滑动支架和固定支架,应在管道设计过程中,通过管道支架详图进行标识。

4.3.2.2 冷箱内进出精馏塔的工艺管道宜靠近精馏塔布置,管道支架宜设置于精馏塔容器器壁的补强板上,冷箱中上部,避免管道支架生根于冷箱板结构上,减少冷箱内管道热损失,确保管道冷态收缩时与塔器实现同步均匀性。

4.3.2.3 冷箱内工艺管道补偿类型宜通过管道柔性设计,采用管道自身补偿类型,不宜设置波纹补偿器,以提高设备运行安全的可靠性。

4.3.3 冷箱内管道应力分析

4.3.3.1 冷箱内所有管道、仪表点的设计应确保其热应力和机械应力低于最大许可值,尽可能减小管道破裂风险。

4.3.3.2 冷箱内管道的设计应能应对冷却与加温过程、变负荷过程，低温吸附切换管道等冷热循环的管道，以及其他可能遇到的工况造成的应力变化。

4.3.3.3 管道应力分析设计应保证管道在设计和工作条件下，具有足够的强度和合适的刚度，防止管道因热胀冷缩、支撑或端点的附加位移及其他的荷载（如压力、自重、地震等）造成损坏或泄漏等问题。

4.3.3.4 液氧排放管路应采用避免有害物质积聚在排放管路排放阀部位的特殊连接方式。

4.3.3.5 冷箱内管道设计应通过行业安全注册的应力分析软件的应力分析。

4.4 冷箱基础

4.4.1 冷箱基础设计包含基础形式选择、基础平面尺寸、基础厚度、混凝土强度等级及基础配筋等。在满足工艺要求的条件下，应根据冷箱结构柱脚反力、设备支架柱脚反力、珠光砂荷载及其他设备荷载等荷载作用，结合地质条件综合考虑设计计算。

4.4.2 大、中型冷箱基础上应设置足够的测温点，原则根据冷箱内低温设备的布置情况，在每个低温设备中心对应的冷箱基础上应设置一个测温点，其他位置依具体情况而定。

4.4.3 冷箱基础顶面应设置加温管或其他隔冷通风措施，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左右。

4.4.4 冷箱基础为一整体结构，不应将其人为中间切开，且宜在板厚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。

4.4.5 冷箱基础设计应符合GB 50007、GB 50010、GB 51081、JGJ 79、JGJ 94的要求。

4.4.6 冷箱基础承台设计应验算冷箱柱脚锚栓在受拉状态下的抗冲切。

4.4.7 冷箱柱脚底板与混凝土的摩擦力不能承受柱脚水平反力时，冷箱柱脚应设置抗剪键，同时不应考虑柱脚锚栓的抗剪作用。

4.4.8 可燃、有毒气体的冷箱还应符合4.7的要求。

4.5 冷箱底部

4.5.1 冷箱底部采用碳钢板结构，应在设备正下方的冷箱部位设置温度检测元件，并对温度检测元件进行可靠的固定及将信号送入主操作台。

4.5.2 冷箱底部箱体与混凝土基础之间应有可靠的防水措施，避免雨水通过冷箱底部的碳钢板与混凝土连接处进入冷箱内部。

4.6 仪表检测管路和小口径工艺管道

4.6.1 管道设计过程中，应充分考虑珠光砂荷载及与之连接的设备和管道冷态收缩阶段，仪表管路的柔性设计及支架类型的选择。仪表管路在设计过程中，应根据冷箱不同的垂直高度及取样设备和管道冷态收缩时的具体状态（包括位移方向和位移量），设计安装指导图。

4.6.2 应根据管道空间布置位置及管道冷态收缩的位移及方向，对冷箱内小口径工艺管道设置相应的保护支架，保护支架应充分考虑珠光砂荷载及管道冷态收缩的位移及方向，避免影响管道冷态收缩。

4.7 可燃、有毒气体冷箱的特殊要求

4.7.1 应对可燃、有毒气体的冷箱进行风险分析，并采取4.7.2~4.7.6等措施。

4.7.2 充足的置换吹洗气流量以稀释和吹除冷箱内的少量泄漏。

4.7.3 可燃、有毒气体冷箱的吹扫气应为不可燃、无水分、无油的气体，且含氧量应小于1%。

4.7.4 冷箱内的监测设置应符合6.2的要求，并应有联锁报警或停车设置。

4.7.5 冷箱的金属板应连续焊接，不应使用粘合剂代替焊接。宜采用其他辅助检查或者质量保证方法，以保证焊接密封的完整性。

4.7.6 对冷箱内存在工艺流体温度有可能降低到氮的液化温度以下的，应采取适当措施防止置换用氮气在工艺设备和管道上冷凝。

5 施工与安装

5.1 基本技术要求

5.1.1 冷箱应按GB 50755进行施工，并按GB 50205进行程施工质量验收规范。

5.1.2 冷箱内管道施工应严格控制管道清洁度，并对管道进行有效的脱脂，管道清洁度和脱脂记录应永久保留。

5.1.3 冷箱内管道施工过程中应严格遵守管道专业设计的单线图及管道支架指导图，严禁随意添加及减少管道支架，改变管道支架的位置。

5.1.4 冷箱内工艺管道焊口无损检测，应达到100%检测，对于无法通过射线检测的角焊缝，应采用着色检验方式，确认焊口无缺陷。

5.1.5 冷箱内工艺管道全部竣工后，在确认管道焊口无损检测全部结束，同时管道支架经过专业工程师确认，冷箱内其他专业无热工作业后，签署管道气密确认单。

5.1.6 冷箱内工艺管道在装填绝热材料前，应进行气密检验，对冷箱内管道所有的焊口进行检查，确保无任何泄漏。

5.1.7 冷箱内精馏塔在管道安装前和安装后，均应进行垂直度检测，垂直度检测应符合设计要求。

5.1.8 铝结构填料中的液态水分应清除。

5.1.9 冷箱内珠光砂的装填应符合T/CCGA 10004的要求。装填前，应进行密封性“透光检查”，发现漏光的部位应及时处理。进入冷箱内作业，应按T/CCGA 90002做好安全措施。

5.1.10 冷箱顶部密封性检查期间，应对冷箱人孔板密封部位、冷箱工艺管路通过部位、冷箱安全阀连接口、冷箱底部碳钢结构与混凝土接口处等进行全方位检查，避免发生漏光。

5.1.11 冷箱内部脚手架全部拆除后，应对工艺管道及设备系统进行低压气密测试，检查有无异常泄漏的声响。将所有的仪表检测投入正常状态并通过DCS操作系统确认，包括差压、阻力、压力、流量等。

5.2 裸冷检验

5.2.1 冷箱内工艺管道全部竣工后，应结合设计及施工具体情况决定装置是否经过裸冷。

5.2.2 如果施工和设计建立科学而缜密的工作流程，包括质量检测和过程控制建立可靠的程序文件，则冷箱裸冷不再是必要的检测环节。如果空分装置最初工程计划不安排裸冷检验环节，则工程设计、施工过程中，应严格遵守质量检查确认及设备闭合确认工作流程。

5.2.3 通过冷箱内工艺管道泄漏、结霜情况，核对冷箱内以下管道及结构情况：

- 冷箱内管道和流路的通畅性；
- 冷箱内管道位移及低温冷缩情况；
- 隔箱内法兰紧固情况；
- 低温阀门填料压紧盖紧固情况；
- 滑动支架和固定支架检查；
- 膨胀机制冷性能考核。

5.3 隐蔽性质量控制及风险控制

冷箱安装及施工隐蔽性质量控制及风险控制应包括以下内容：

- 管道支架安装确认程序；
- 临时运输支架拆除确认程序；
- 塔器分布器水平度检查程序；
- 静设备固定点和滑动点检查程序；
- 不锈钢管道焊接过程中充氩保护临时堵头管理程序；
- 盲板管理程序；
- 精馏塔垂直度检查程序；
- 管道和设备最终闭合检查程序；
- 管道清洁度和脱脂检查程序；
- 管道无损检测程序；
- 管道特殊接口检查程序；
- 管道与冷箱壁安全距离确认程序；
- 钢铝接头与管道焊接温标记录程序；
- 铝制板式换热器封头工艺接口切除及清理程序；

- 主冷凝蒸发器设备内部运输保护支架移除程序；
- 主精馏塔设备对接前清理及焊接检查程序；
- 计量与测量的仪表管
- 温度计接线和电缆的布置与保护检查
- 精馏塔拉架检查程序。

6 低温冷箱的运行

6.1 冷箱夹层密封气气源

- 6.1.1 冷箱夹层密封气应采用氮气（露点应小于 -65°C 、无油且 CO_2 含量小于 1ppm ）。
- 6.1.2 冷箱夹层密封气供气源头应设置用于控制供气压力的调整仪表执行机构，避免供气气源超压，引起冷箱夹层内超压。
- 6.1.3 冷箱由原始热态开车启动阶段，可短时间使用干燥无油的空气作为冷箱夹层密封气，当冷箱进入积液阶段时，应采用纯氮气作为冷箱夹层密封气供气气源，氮气密封气供气气源可采用后备液氮气化后的氮气，经减压后，供给冷箱夹层密封气。
- 6.1.4 冷箱临时停车后冷态启动阶段，应采用纯氮气作为冷箱夹层密封气供气气源。
- 6.1.5 冷箱临时停车阶段，当冷箱内精馏塔及其他设备处于低温保冷状态时，应将冷箱夹层密封气切换至后备纯氮气，不应使用精馏塔内部的氮气工艺管路气源，避免冷箱停车阶段精馏塔内蒸发的富氧气体进入冷箱夹层，引发严重的安全事故。

6.2 冷箱夹层密封气监控

- 6.2.1 冷箱运行期间及临时停车保冷期间，应通过DCS监控冷箱夹层密封气压力变化趋势，并做好趋势比对。
- 6.2.2 当冷箱夹层密封气压力出现迅速增加或迅速降低的异常状态时，应立即查明原因，确保冷箱夹层密封气供气源头的稳定性，避免高沸点的组分意外进入冷箱夹层，引起液化。
- 6.2.3 冷箱夹层密封气压力出现异常增加趋势时，应在确保现场人员安全的情况下，对冷箱夹层密封气进行采样分析。当冷箱夹层密封气压力出现高限报警，同时冷箱夹层密封气组分含氧量超标时，应停止装置运行。
- 6.2.4 新建装置宜设置主冷箱夹层密封气压力上、中、下三个压力测点高高连锁停车动作。为了避免空分装置临时停车期间，冷箱内工艺管道及设备出现异常和泄漏，冷箱夹层密封气压力高限报警信号应作为冷箱启动的条件之一。当冷箱夹层密封气压力出现高限报警时，应调整冷箱夹层密封气供气流量，同时检测冷箱夹层密封气成分，现场查看冷箱表面是否存在结霜泄漏情况，消除故障后，方可重新启动冷箱工艺系统，恢复装置运行。

6.3 冷箱内工艺设备运行及监控

冷箱内工艺设备运行及监控应符合相关安全技术规范的要求。

6.4 冷箱系统面板及冷箱防爆安全要求

- 6.4.1 应定期巡检冷箱区域，检查冷箱面板是否存在异常结霜情况，检查冷箱安全阀排放口是否存在结霜情况，做好现场巡检记录。当发现异常时，应进行根本原因分析，并制定相应的安全防护预案。
- 6.4.2 应定期检查冷箱防止超压防爆板，确保防爆板不会因为锈蚀导致卡组，并做好冷箱安全防护安全卸放板与支撑结构之间防水密封胶套的检查，避免水分渗入。
- 6.4.3 应定期检查冷箱阀门防水密封胶套、工艺管道防水密封胶套有无破裂、损坏和结霜情况，发现异常及时记录，并采取临时防水措施，待工厂大修阶段，进行更换或其他处理。
- 6.4.4 应定期检查冷箱板有无裂纹及结霜情况，做好记录，

6.5 维修与保养

应根据6.1~6.4中有关冷箱监控指标和状态，做好冷箱大修有关缺陷管理及日常的设备维护管理。

7 故障诊断

7.1 工艺泄漏判断

7.1.1 依据冷箱夹层密封气压力变化趋势、夹层组分变化情况、冷箱面板结霜情况、冷箱夹层密封气供气流量变化情况、冷箱底部基础温度变化情况等因素，综合判断冷箱内的泄漏介质成分及泄漏面积。

7.1.2 冷箱内部的泄漏可能导致部分高沸点组分的液化、液化介质导致碳钢材料的冷脆事故、冷箱夹层超压、冷箱内泄漏的液体汽化后引起珠光砂流动摩擦周围的管道和设备，引起更加严重的泄漏事故。

7.1.3 结合管道单线图及有关分析监控数据，分析冷箱内泄漏的工艺管道及设备部位，进行更进一步的详细根本原因分析，并着手停车处理。

7.2 箱体外表面结冰及管道结冰

7.2.1 箱体外表面结冰及管道结冰的原因主要有以下几点：

- 管道支架绝热垫板脱落；
- 管道与冷箱距离小于最低允许安全距离；
- 管道与冷箱夹层之间珠光砂受潮结块，珠光砂绝热性能下降；
- 管道的意外泄漏引起冷量外泄；
- 珠光砂未有效进入绝热部位。

7.2.2 冷箱外表面面板如果出现结霜及冰冻情况，应首先界定是调试期间发生的状态，还是运行期间发生的状态。如果是调试期间发生的异常情况，则应考虑珠光砂均布、管道支架绝热垫板、管道意外应力引起断裂等原因。如果是运行一段时间发生的异常情况，则应着重分析珠光砂受潮结块、管道意外应力引起管道损坏等因素。

7.2.3 当冷箱内管道液体发生泄漏，并且距离冷箱板较近时，应立即查看冷箱管道单线图及施工记录，确认结霜部位附近是否存在液体管道，并查看冷箱结霜部位冷箱板是否存在裂纹，若发现裂纹，则冷箱冷量外泄较多，应采取紧急措施进行相应的工艺处理，包括停车。

7.2.4 管道施工单线图应永久性存档，并作为装置运行故障分析诊断的重要资料。冷箱内管道支架安装检查确认清单及支架影像记录，应永久性存档，作为装置异常分析的主要手段。

7.2.5 根据珠光砂的流动性要求，隔箱底部应设置可靠的斜坡或便于珠光砂流动的结构。

7.3 冷箱夹层密封气检测

7.3.1 冷箱夹层密封气应定期进行分析及检测，确认冷箱夹层内是否出现泄漏，确保冷箱夹层密封气不会出现液化等工况。

7.3.2 冷箱夹层密封气分析取样点应分别对冷箱夹层密封气部位进行时间上和结构空间上的比照分析，以判断是否存在泄漏及泄漏的部位。

7.3.3 冷箱夹层密封气分析取样点应与冷箱夹层密封气对应采样部位的冷箱内压力进行对比分析，以判断对应的冷箱内部位是否存在泄漏。

7.3.4 冷箱夹层密封气分析取样点应与冷箱夹层密封气对应的部位的供气流量进行比对分析。

7.3.5 冷箱夹层密封气分析采样成分应该做好工艺记录，并定期组织各专业进行分析及讨论。

7.4 冷箱夹层密封气流速检测

7.4.1 应定期巡检冷箱夹层密封气流量的变化，及时记录变化趋势。冷箱同一个部位夹层密封气流量的变化趋势，应进行时间上的横向比对分析，发生异常变化趋势时，应查明原因，包括密封气供气源头调节系统、冷箱内压力变化情况及冷箱基础温度等指标，通过比照分析，判定冷箱内部的异常运行状态。

7.4.2 冷箱原始开车及运行期间应调整好密封气供气流量，比照原始开车期间密封气流量数据条件下，对应调节装置的输出开度，做好记录，便于工厂运行期间，根据冷箱结构对应部位的密封气流量数据，对冷箱运行情况进行故障诊断和分析。

7.5 应急处理

7.5.1 冷箱夹层密封气压力异常突然增加

7.5.1.1 当冷箱夹层密封气压力突然增加时，应立即查明故障原因，包括密封气供气源头调节装置输出及密封气供气母管压力变化情况，并查明密封气供气流量趋势状态，紧急情况下，应停车。冷箱结构防爆安全释放装置动作期间，同时精馏塔和主冷凝蒸发器发生严重的偏流工艺状态，应立即根据空

分装置紧急停车程序停止运行,严禁相关人员靠近冷箱,并通过远程低温液体自动排放阀门,将精馏塔、主冷凝蒸发器内的液体排放干净,使精馏塔和其他冷箱设备内维持微正压。

7.5.1.2 DCS操作人员应紧急查看后备液氮应急备用氮气系统,确保冷箱夹层密封气气源稳定及可靠的氮气供给。

7.5.1.3 工厂紧急启动应急处理预案,疏散冷箱周围人员。

7.5.1.4 DCS做好异常工艺数据收集及记录。

7.5.2 冷箱内工艺管道和设备发生严重的泄漏

7.5.2.1 当冷箱夹层内工艺管道和设备发生泄漏时,应着手停车,停车后,将设备内部的液体排放干净,并保持精馏塔及其他设备内维持正压,避免珠光砂进入设备内部。

7.5.2.2 冷箱停车排液并完成加温解冻,冷箱夹层内珠光砂按照T/CCGA 10004的要求移除后,应对冷箱内精馏塔设备、换热器、管道内充入干燥氮气,吹除进入设备及管道内部的珠光砂。依据冷箱内管道和设备泄漏的部位,引入外界吹扫氮气气源,避免珠光砂被氮气带入设备内部,引起更加严重的珠光砂积聚事故。