



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z XXXXX—XXXX

LNG 冷能梯级利用导则

Guidelines for cascading utilization of liquefied natural gas cold energy

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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。

本文件由全国能量系统标准化技术委员会（SAC/TC 459）提出并归口。

本文件起草单位：江苏滨海港经济开发区管理委员会、中国标准化研究院、滨海城发投资控股集团有限公司。

本文件主要起草人：陈炜、王许志、王欢、蒯晓山、杨洁、刘思伟、周鲁立、张嘉航。

LNG 冷能梯级利用导则

1 范围

本文件规定了液化天然气（LNG）冷能的分类、梯级利用基本原则、规划方法、主要步骤以及项目节能效益评估。

本文件适用于LNG接收站、液化厂等场所的冷能资源利用，其他相关领域可参照本标准执行。

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 18443 低温绝热技术通则

GB/T 20368 液化天然气（LNG）生产、储存和装运

GB/T 28750 节能量测量和验证技术通则

GB/T 32045 节能量测量和验证实施指南

GB/T 33760 基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

LNG 冷能 liquefied natural gas cold energy

LNG在气化过程中释放的低温能量，通常以温度为表观特征，可被回收利用的能量资源。

3.2

冷能梯级利用 cascading utilization of cold energy

根据LNG冷能的品位差异，按照温度匹配原则，依次用于不同需求的冷能用户，实现冷能的高效综合利用。

3.3

冷能品位 grade of cold energy

衡量LNG冷能可利用价值的指标，主要以温度为依据，结合回收利用的技术经济性划分。

3.4

冷能载体 cold energy carrier

携带LNG冷能的介质，包括气态、液态或固态物质。

3.5

冷能利用率 cold energy utilization rate

项目周期内有效利用的冷能总量与可回收冷能总量的比值，以百分比表示。

4 LNG 冷能分类

4.1 按冷能品位分类

根据冷能载体的温度特征，结合技术经济性，将LNG冷能分为高、中、低三个品位，见表1。

表1 LNG 冷能分类

冷能等级	温度范围
高品位冷能	$\leq -120\text{ }^{\circ}\text{C}$
中品位冷能	$-120\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -60\text{ }^{\circ}\text{C}$

冷能等级	温度范围
低品位冷能	> -60 °C

4.2 按载体状态分类

液体载体冷能：LNG液体本身携带的冷能，温度约-162℃。

气体载体冷能：LNG气化后产生的低温天然气携带的冷能。

混合态载体冷能：气液两相共存的冷能载体

5 梯级利用基本原则与规划方法

5.1 梯级利用基本原则

5.1.1 量冷度需，冷尽其用

在确保安全可靠、不影响LNG系统正常运行的前提下，系统分析冷能的规模和品位，综合考虑用户需求，合理采用冷能利用措施，实现冷能的充分高效利用。

5.1.2 温度对口，梯级利用

根据冷能品位和用户需求温度，按“高品位冷能优先用于低温需求，低品位冷能用于较高温度需求”的原则，实现冷能的梯级匹配利用。

5.1.3 系统优化，经济合理

综合考虑冷能利用的技术可行性和经济性，优化系统设计，降低投资和运行成本，提高冷能利用的经济效益和环境效益。

5.2 梯级利用规划方法

5.2.1 概述

LNG冷能利用的方法分为回用、替代、提质、转换四类，根据梯级利用基本原则，综合考虑能源利用效率，冷能的利用规划宜优先考虑排序靠前的利用措施，实现冷能“冷尽其用、梯级利用”。

5.2.2 回用

以LNG处理设备为中心，通过冷量传递或交换，将冷能返回到原有设备中，减少设备外部高品位能量输入的过程或方法。

5.2.3 替代

通过冷量储存、传递或交换，将冷能返回到设备所在的工艺或周边系统中，替换外部能量输入，实现区域能量自平衡的过程或方法。

5.2.4 提质

以中高品位能量为驱动，通过直接或间接冷量交换或热力循环，将冷能由较低品位提升为较高品位，使其与用冷需求匹配利用的过程或方法。

5.2.5 转换

将LNG冷能资源转变为机械能、电能等其他形式能量的过程或方法。

6 梯级利用主要步骤

6.1 概述

LNG冷能梯级综合利用包括但不限于以下步骤：

- a) 确定系统边界；
- b) 冷能资源和冷用户需求现状调查；

- c) 冷能梯级利用方案确定；
- d) 方案实施；
- e) 冷能利用绩效后评估。

6.2 确定系统边界

应确保边界内包括受到LNG冷能梯级综合利用直接影响的过程或流程、装置、设备等，如LNG接收站的气化系统、冷能利用相关的工艺装置等。

6.3 冷能资源和冷用户需求现状调查

6.3.1 冷能资源调查

应对系统边界内的LNG冷能资源进行调查和数据收集，包括：

- a) LNG的流量、温度、压力等参数；
- b) 气化过程中冷能的释放规律和总量；
- c) 冷能载体的种类、相态、流量、温度、压力等。

6.3.2 冷用户需求调查

调查系统边界内的冷用户需求，包括：

- a) 冷用户的用冷工艺、用冷温度、用冷量及负荷特性；
- b) 现有冷源的类型、能耗及运行情况；
- c) 冷用户对冷能供应的安全性、稳定性要求。

6.4 冷能梯级利用方案确定

6.4.1 方案设计

基于系统冷能资源和冷用户需求现状，筛选相关冷能梯级利用的典型设备、通用技术、单项技术，在技术梳理的基础上结合工艺特点，形成梯级综合利用方案。典型LNG冷能梯级利用场景见附录A，LNG冷能梯级利用典型案例参见附录B。

6.4.2 方案评估

应对方案的环保性能、等效节能量、冷能利用率、经济性进行评估，并作为确定方案的重要依据：

- a) 环保性能：评估方案对环境的影响，如是否减少温室气体排放等；
- b) 等效节能量：按照GB/T 28750计算方案的节能效果；
- c) 冷能利用率：计算冷能资源的有效利用比例；
- d) 经济性：评估项目的投资回收期、内部收益率等经济指标。

6.5 方案的实施

应按照6.4所确定的方案组织实施，确保施工质量和安全，严格按照设计要求安装设备和系统。

6.6 冷能利用绩效后评估

项目节能量与节能效益进行评估见第7章，同时评估冷能利用系统的运行稳定性、可靠性和冷能利用效率的实际达成情况。

7 项目节能降碳效益评估

7.1 冷能利用节能效益评估

按GB/T 28750规定的方法进行项目冷能利用节能效益评估。

7.2 冷能利用降碳效益评估

按GB/T 33760-2017规定的方法进行项目冷能利用降碳效益评估。

附录 A (资料性) 典型 LNG 冷能梯级利用场景

A.1 高品位冷能利用场景

A.1.1 冷能空气分离

利用-162℃高品位深冷冷能，替代传统空分设备的压缩制冷单元，在超低温环境下分离空气制取液氧、液氮、液氩。该技术大幅降低空分电耗，是工业气体生产领域最成熟的冷能高品位利用方式，适配冶金、化工、医疗等行业用气需求。。

A.1.2 低温液化

依托高品位深冷冷能营造超低温环境，实现二氧化碳、轻烃、天然气等介质的低温液化。通过液化缩小介质体积，便于高效储运，广泛应用于碳捕集封存、化工原料储运、清洁能源调度，充分挖掘高品位冷能的工业核心价值。。

A.1.3 冷能发电

基于朗肯循环或布雷顿循环，利用高品位冷能与环境温度的巨大温差推动工质做功发电，将 LNG 气化释放的冷能直接转化为电能。该过程无燃料消耗、零碳排放，可为 LNG 接收站及周边园区供电，最大化实现冷能的能源化利用。

A.2 中品位冷能利用场景

A.2.1 食品冻干

利用中品位冷能提供稳定低温，配合真空环境完成食品冷冻干燥。该工艺能完整保留食材的营养、风味与形态，适用于果蔬、肉类、保健品加工，替代传统电制冷冻干，显著降低高端食品加工的制冷能耗。

A.2.2 工业低温制冷

为化工、医药、电子等行业提供中低温专用冷源，满足低温化学反应、生物样本保存、精密材料测试等工艺需求。冷源温度精准可控，依托梯级冷能替代电制冷机组，有效降低工业特种制冷的能耗与运营成本。

A.2.3 冷链深度制冷

打造超低温存储运输环境，专门服务生物医药、高端海鲜、速冻食品的超低温存储与运输。可精准保障疫苗、生物制剂的活性，维持高端生鲜品质，是中品位冷能在高端冷链领域的核心应用场景。

A.3 低品位冷能利用场景

A.3.1 冷水养殖

利用低品位冷能调控养殖水体温度，维持适宜水环境，适配三文鱼、鲟鱼等冷水特种水产养殖。替代传统电制冷控温方式，稳定水温、降低能耗，有效提升水产养殖的成活率与产品品质。。

A.3.2 区域供冷

将低品位冷能转化为低温冷水，为城市商圈、写字楼、工业园区提供集中供冷服务。全面替代传统电制冷空调系统，大幅降低区域制冷电耗，减少碳排放，构建低碳高效的城市集中供冷能源体系。

A.3.3 普通冷链

提供常规低温，满足果蔬、生鲜、日用冻品的仓储、干线运输、商超冷柜等基础冷链需求。依托低品位冷能持续稳定供冷，降低民生冷链运营成本，保障生鲜食品供应的安全性与新鲜度。

附录 B (资料性) LNG 冷能梯级利用典型案例

B.1 LNG 冷能空分应用示例

冷能空分是在低温深冷条件下，利用空气中不同组分的沸点差异，通过精馏分离氧气、氮气及其他惰性气体。区别于常规空分装置，冷能空分装置在空气预冷和制冷液化环节中以LNG冷能换热方式替代了水冷和透平膨胀机制冷，装置通常包括空气过滤及压缩系统、空气纯化系统、氧氮氩精馏系统、LNG-氮换热系统、乙二醇循环冷却系统、低温液体贮存气化系统、液体产品装车系统和辅助公用工程。主要工艺流程如图B.1所示。原料空气经过滤除尘后进入空压机压缩，再利用LNG冷能冷却的乙二醇水溶液进行预冷，随后进入纯化系统脱除水分、二氧化碳及碳氢化合物，获得洁净空气。洁净空气进入冷箱主换热器冷却后送入精馏塔，经下塔、上塔逐级精馏，分离出氧、氮产品，同时通过全精馏制氩工艺提取高纯液氩。

系统以循环氮气为中间介质，在LNG换热冷箱中回收LNG低温冷能，为精馏系统提供所需冷量，替代传统空分的膨胀机制冷环节。LNG释放冷能后完成汽化，送入天然气管网。整套工艺通过LNG冷能梯级利用，大幅降低空分系统能耗，最终连续产出液氧、液氮、液氩等空分产品，并对外供应管道氮气。

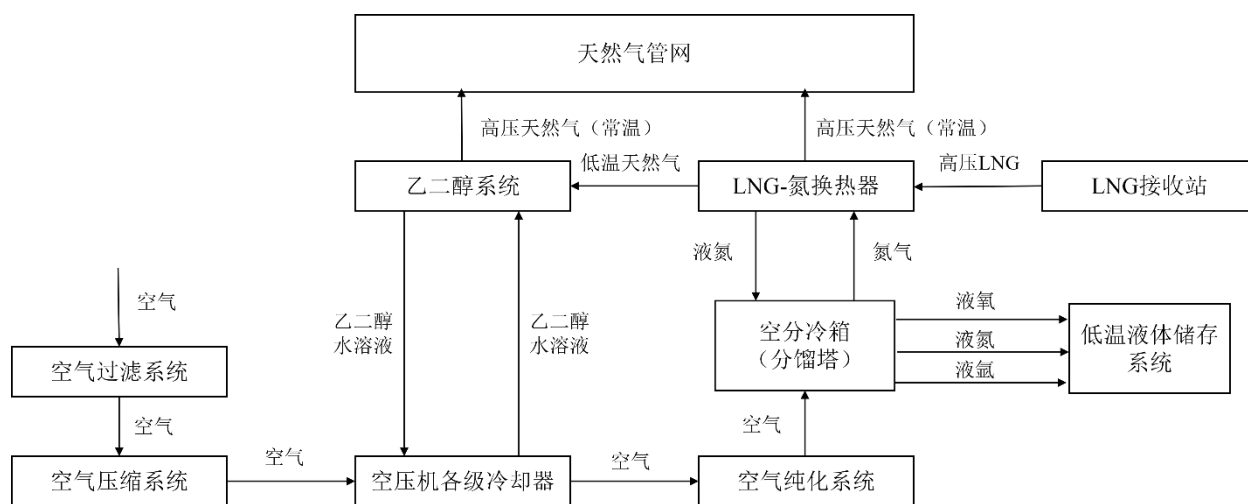


图 B.1 LNG 冷能空分系统工艺流程图

B.2 LNG 食品冻干应用示例

LNG冷能冻干工艺是在深低温条件下，利用LNG释放的低温冷能替代传统压缩机制冷，实现食品冻干全流程冷量供给的工艺。区别于常规冻干装置，冷能冻干装置在预冻、冻干箱制冷及冷阱捕水等关键冷量供给环节，以LNG冷能梯级换热方式替代了传统电制冷系统，装置通常包括LNG接收与增压系统、冷能梯级换热系统、冻干机组（含冻干箱、冷阱）、真空系统及辅助公用工程。主要工艺流程如图B.2所示：LNG自接收站输送至一级换热器，通过一级冷媒与LNG进行换热，回收LNG低温冷能的同时使LNG气化并送入天然气管网；一级冷媒吸热后分流成两股，一股流入冷阱为真空环境下水蒸气升华冷凝捕水提供深冷冷量。另一股进入二级换热器，进一步与二级冷媒完成冷量交换；二级冷媒循环供给冻干箱，为食品预冻及冻干过程提供所需冷量。

系统以两级冷媒为中间介质，在一级、二级换热器中逐级回收LNG低温冷能，为冻干全流程提供精准冷量匹配，替代传统冻干工艺的电制冷压缩机。LNG释放冷能后完成气化，直接送入天然气管网实现资源复用。整套工艺通过LNG冷能梯级利用，大幅降低冻干系统电耗，同时依托超低温冷量优势提升食品冻干品质与效率，最终完成食品脱水冻干加工并对外供应冻干食品。

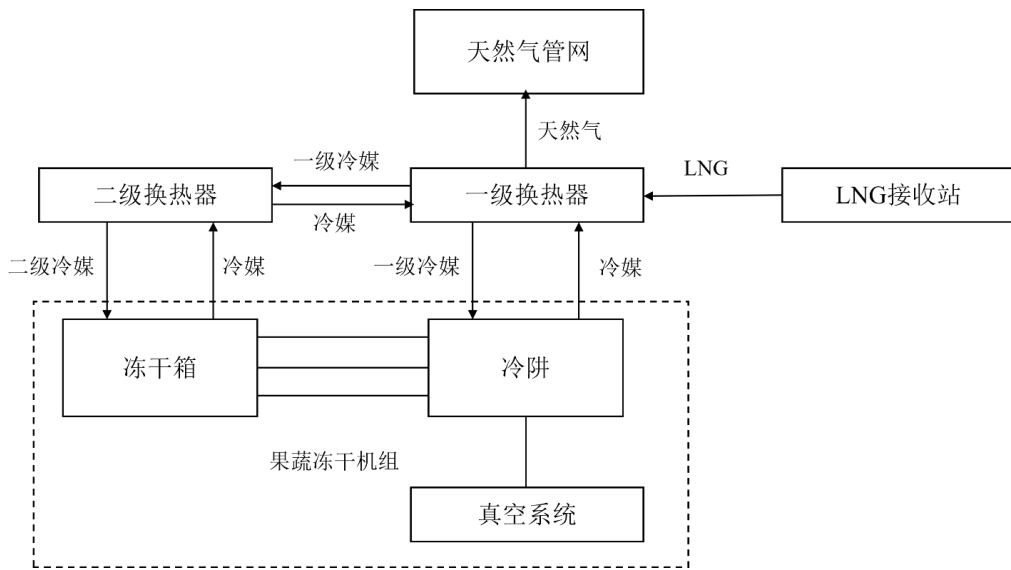


图 B.2 LNG 冷能冻干系统工艺流程图

B.3 LNG 数据中心制冷应用示例

作为信息资源集散的数据中心正在发展成一个具有战略意义的新兴产业。制冷系统是数据中心的耗能大户，数据中心能耗的30%~45%被制冷系统使用。利用LNG气化过程释放的深低温冷能，替代传统电驱动制冷机组提供冷量的新型供能工艺，将大幅度降低数据中心电耗，提高经济效益。区别于常规数据中心制冷装置，该工艺以LNG为冷能来源，通过换热器实现冷能梯级利用。其主要工艺流程如图B.3所示。来自的数据中心冷却循环水首先进入与LNG汽化装置相连接的换热器。在这个换热器中，循环水与正在气化的LNG进行热交换，循环水将热量传递给LNG，自身温度开始下降。经过换热后，LNG逐步完成气化，转化为气态天然气送出到后续使用环节（比如天然气输送管网等），而循环水温度降低后供至数据中心的换热机房，循环水经过板式换热器与机房空调冷冻水换热，冷冻水回水经过板式换热器降温后送入空调机组，为机房降温。

系统以循环冷媒为中间载冷介质，在换热器中高效回收 LNG 超低温冷能，替代传统数据中心制冷系统中压缩机等高能耗制冷环节。LNG 释放冷能后完全气化并入市政燃气管网，实现冷能与能源的双重高效利用。整套工艺依托 LNG 冷能的低成本、低能耗特性，大幅降低数据中心制冷环节的电耗与运行成本，同时保障数据中心机房恒温稳定运行，最终为数据中心提供安全、低碳的冷量供应。

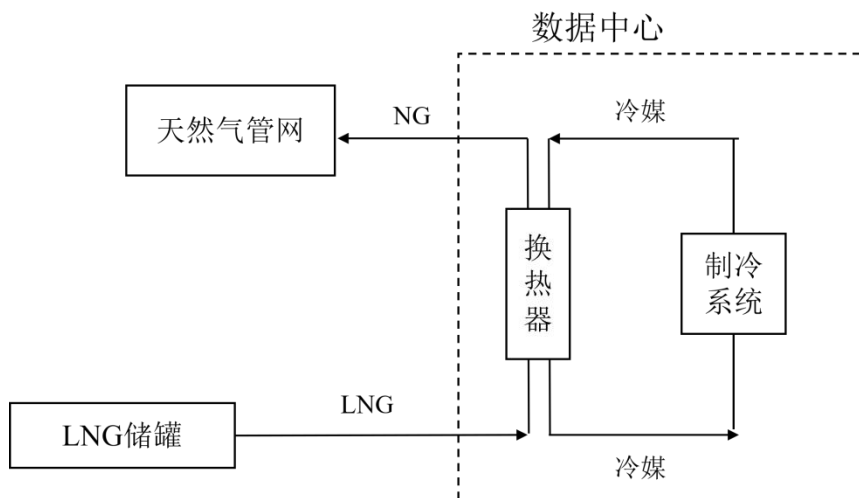


图 B.3 LNG 数据中心制冷系统工艺流程图