

GB/T XXXXX—XXXX

氢气液化热交换器

编制说明（征求意见稿）

2026 年 7 月

GB/T XXXXX 《氢气液化热交换器》国家标准编制说明

一、标准制定计划来源与立项情况

1. 计划来源

2025年10月31日，国家标准化管理委员会《国家标准委关于下达2025年第八批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2025〕47号）下达了国家标准《氢气液化热交换器》制订计划，计划编号：20256035-T-469。该项目由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口，由四川空分设备（集团）有限责任公司、甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、浙江大学、中国特种设备检测研究院、中国科学院理化技术研究所、中国石化工程建设有限公司、兰州兰石换热设备有限责任公司、上海蓝滨石化设备有限责任公司、机械工业兰州石油化工设备检测所有限公司、北京航天发射技术研究所、航天氢能科技有限公司、开封空分集团有限公司、兰州石油机械研究所有限公司、湖北迪峰换热器股份有限公司、杭州中泰深冷技术股份有限公司、杭氧集团股份有限公司、苏州三川换热器股份有限公司、中储国能（江苏）技术有限公司、中国寰球工程有限公司、中石化广州工程有限公司、浙江省特种设备科学研究院、菏泽市产品检验检测研究院、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、山东中杰特种装备股份有限公司、杭州弘泽新能源有限公司、浙江久立特材科技股份有限公司、中山先进低温技术研究院、陕西智拓固相增材制造技术有限公司、湖北新楚风汽车股份有限公司、兰州冠宇传热与节能工程技术研究有限公司、上海蓝海科创检测有限公司等负责起草。

2. 制定标准的目

氢气作为清洁能源载体，其液化储存与运输是氢能产业链的关键环节。随着我国氢能产业的快速发展，氢液化装置的建设需求日益迫切。氢气液化装置中的热交换器是实现高效、安全液化的核心设备，其性能直接关系到装置的能耗、可靠性与经济性。

当前，国内尚无专门针对氢气液化装置用热交换器的国家标准，相关设计、制造、检验与运行维护缺乏统一规范。氢气液化热交换器在超低温（设计温度低至零下269℃）、氢气介质（小分子易泄漏、易燃易爆、氢脆敏感性）、耦合正仲氢催化转化等极端工况下运行，面临着一系列不同于常规热交换器的特殊技术要求。

氢气液化技术本身正处于快速发展阶段，氢气液化热交换器作为氢气液化装置的

关键核心装备，随着液化装置向高效低能耗方向发展，氢气液化热交换器的作用也从传统的仅仅具备换热功能，向在具备换热功能的同时承担正仲氢催化转化的方向转变，因此内部装填催化剂同时实现换热与催化转化功能的连续转化型氢气液化热交换器应运而生，这类热交换器的设计、制造、检验均无标准可依。制定本标准，不仅是规范和促进氢能产业链安全健康发展的重要举措，也为新材料、新工艺、新结构的应用提供评价依据和技术空间，引导和激励行业技术创新和研发投入，推动我国氢液化装备技术向更高效率、更可靠、更先进的方向发展。

综上，制定《氢气液化热交换器》国家标准，是适应氢能产业快速发展的迫切需要，是提升我国氢气液化装备技术水平、保障设备安全稳定运行的基础性技术工作，也是贯彻特种设备安全法关于“安全第一、节能环保”原则的具体举措。

二、国家标准编制原则

1、标准编制过程中严格执行《国家标准管理办法》要求，科学合规开展标准编制工作。起草过程公开、透明，按照便捷有效的原则采取多种方式，广泛听取设计、制造、使用、科研等相关单位的意见。

2、遵循“通用要求+特殊要求”的编制架构。在明确氢气液化装置用热交换器共性技术要求的基础上，重点针对铝制板翅式、绕管式、管壳式、扩散焊热交换器四种典型换热器在超低温、氢气介质、正仲氢转化等极端工况下的特殊技术要求作出规定。

3、充分考虑我国热交换器行业的实际情况和发展水平，使标准具有较高的科学性、先进性和可操作性。标准中相关技术指标的确定，以国内氢气液化装置工程实践和试验数据为主要依据，同时参考了 ASME、ALPEMA 等相关国际标准，力求技术先进性与国内产业基础相匹配，促进我国在该领域的安全与节能技术升级和可持续发展。

4、与现行标准的协调配套。板翅式热交换器以 NB/T 47006《铝制板翅式热交换器》为主要引用基础，绕管式热交换器以 NB/T 10938《绕管式热交换器》为基础，管壳式热交换器以 GB/T 151《热交换器》为基础，扩散焊热交换器以 NB/T 11917《扩散焊热交换器》为基础，在其常规要求之上，针对氢液化装置的特殊需求进行补充和提升。

5、严格按照 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》的要求和规定编写本标准内容。

三、制定过程

根据国家标准化管理委员会批复的标准制定计划，并依据热交换器分会的年度工作安排，全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分技术委员会(以下简称热交换器分会)在全国范围内组织遴选了一批在氢液化热交换器领域具备深厚技术积累和丰富实践经验的优质编制单位及权威行业专家，共同组建了该国家标准编制工作组。标准编制工作组在成立之初即确立了科学严谨、分工协作的工作机制。其中，全国锅炉压力容器标准化技术委员会（陈志伟）、全国锅炉压力容器标准化技术委员会热交换器分技术委员会（张尚文）、兰州石油机械研究所有限公司（苏厚德）、甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司负责统筹协调；四川空分设备（集团）有限责任公司负责总体起草、统筹整理。

2026 年 2 月，标准编制工作组在浙江省杭州市组织召开了国家标准制定启动工作会议，来自主管部门、工程设计单位、行业协会、制造企业及用户单位等 30 多位代表参会。与会专家结合各自机构的实践经验和专业优势，围绕标准制定中的重点议题与关键技术细节进行了深入研讨，并就制定具体内容、要点、标准组织架构进行了讨论，对标准各章节的制定分工和各阶段的工作进度计划安排进行了落实，为后续编制工作奠定了坚实基础。会后，标准编制工作组对各项意见系统梳理、逐条处理，在此基础上优化草案内容，形成初稿。

2026 年 6 月，标准编制工作组在线上组织召开了国家标准征求意见稿讨论会议。会议组多位主管部门、工程设计单位、行业协会、制造企业及用户单位的专家对初稿进行了逐条梳理，对标准中的条文从合法性、可操作性、经济性等多方面进行了讨论，提出了多条修改意见。会后，标准编制工作组按会议意见进行了系统修改，形成了征求意见稿。

四、主要制定内容及主要试验（或验证）情况

1、范围

本文件规定了氢气液化装置用热交换器的材料、设计、制造、检验与验收、安装、使用及维护的安全与技术要求。主要针对氢气液化工艺主流程中的涉及的热交换器，包括工艺氢压缩、冷却、液化、过冷及正仲氢转化等环节使用的热交换器。正仲氢转化通常有绝热型、等温型和连续型三种形式，其中绝热型正仲氢转化器本质上属于反应器，不属于换热器，因此不在本标准范围内。等温型正仲氢转化器通常采用液氮或者液氢作为换热介质，通过液氮或者液氢的部分蒸发带走反应热从而维持等温催化反

应过程，本质上该类反应器也是换热器，因此等温型正仲氢转化器的设计制造检验可参照使用。

本文件涵盖的热交换器类型包括铝制板翅式热交换器、绕管式热交换器、管壳式热交换器和扩散焊热交换器四种。铝制板翅式热交换器通常用作氢气液化冷箱中的低温及超低温换热器，其设计温度范围为 -269°C ~ 200°C ，设计压力上限值按 NB/T 47006 的规定，其中 200°C 的温度上限一方面考虑了装填正仲氢转化催化剂的连续转化型铝制板翅式热交换器会涉及催化剂的高温活化工况，同时 200°C 也是 TSG 21 中对铝及铝合金制压力容器用受压元件设计温度规定的上限值；其他钢制热交换器设计温度范围按 GB/T 150.2 中列入材料的允许使用范围，设计压力上限值不超过各类型热交换器已有标准规定上限。

按照前述规定的本文件的范围，氢气液化热交换器可分为氢气液化冷箱内使用的热交换器和氢气液化冷箱外使用的热交换器，冷箱内使用的热交换器由于要适应低温和超低温，主要材质通常为奥氏体不锈钢和铝合金，冷箱外的热交换器通常都在常温及以上温区使用，故根据具体的设计温度和设计条件可选用非合金钢、合金钢等材质。

2、规范性引用文件

根据氢气液化热交换器不同的结构类型和使用工况，系统梳理并引用了支撑其设计、制造、检验、验收等各环节的各类标准文件。其中压力容器安全技术规范方面引用了 TSG 21，压力容器通用产品基础标准方面引用了 GB/T 150、GB/T 4732、JB/T 4734，热交换器产品标准方面引用了 GB/T 151、NB/T 47006、NB/T 10938、NB/T 11917，材料标准方面引用了 GB/T 713、GB/T 3880、GB/T 4437、GB/T 13296、GB/T 14976 等，焊接标准引用了 NB/T 47014、NB/T 47015 等，无损检测标准引用了 NB/T 47013 系列。引用规则上，明确注日期的引用文件仅该日期对应版本适用，不注日期的引用文件其最新版本（含修改单）适用，确保本文件技术内容与现行有效标准协调一致，避免技术冲突，同时保障标准的先进性与合规性。

3、术语和定义

本部分在 GB/T 151、NB/T 47006、NB/T 10938、NB/T 11917 界定术语的基础上，补充定义了氢气液化热交换器的相关术语。由于氢气液化过程涉及氢的正仲态转化和不同温度下的平衡组成，为明确概念定义了“正氢”、“仲氢”、“正常氢”和“平衡氢”；为描述正仲氢转化过程，定义了“正仲氢转化”和“仲氢转化率”；为区分装填催化剂

的热交换器和普通的不装填催化剂的热交换器，根据不同的热交换器类型，定义了“连续转化型板翅式热交换器”和“连续转化型绕管式热交换器”——即在板翅式或绕管式热交换器内部装填正仲氢转化催化剂，使氢气的冷却换热过程与正仲氢催化转化过程连续耦合；此外还定义了“冷箱”、“催化空速”、“钢铝过渡接头”、“超低温工况”、“漏率”、“氦质谱检漏”、“液氮冷冲击试验”、“清洁度”、“j 因子”和“f 因子”等与氢气液化热交换器的设计、制造和检验密切相关的术语。

4、通用要求

本部分从“一般规定”和“资格与职责”两方面规定了氢气液化装置用热交换器的共性技术要求。一般规定方面，明确了氢气液化热交换器的设计、制造、检验、验收、安装、使用和维护应同时符合本文件和现行法规规章及强制性标准的规定；要求热交换器的设计、制造单位建立健全覆盖产品全生命周期的质量保证体系并取得相应特种设备生产许可（如适用）；TSG 21 管辖范围内的氢气液化热交换器应接受特种设备监督管理；热交换器设计时应充分考虑超低温、氢气介质、正仲氢转化热、热应力循环等极端工况影响，考虑冷热侧温差引起的应力与膨胀效应；对于氢气液化冷箱内的热交换器，通常由热交换器所在系统统筹考虑设置必要的安全附件、检测仪表和超压泄放装置，以确保热交换器的运行安全；对无法按常规标准计算的热交换器或受压元件，可按规定采用分析设计方法。

资格与职责方面，规定了TSG 21管辖范围内的热交换器的设计单位、制造单位应持有相应的特种设备生产许可证，从事热交换器设计、制造、检验、安装和维护的单位及人员，也应具备相应的资质、资格和能力。同时分别规定了用户与设计委托方、设计单位、制造单位、监督检验机构的职责。

5、材料

本部分从“一般规定”、“受压元件用材”和“其他元件用材”三个方面规定了氢气液化装置用热交换器选材方面的要求。主要在GB/T 150、GB/T 151、JB/T 4734、NB/T 47006等标准现有规定的基础上，针对氢液化装置的特殊介质和超低温工况，对材料选用提出了补充要求。对与氢气接触的材料，考虑了氢脆敏感性和低温韧性的双重要求。

6、设计

本部分从“工艺设计”、“铝制板翅式热交换器”、“绕管式热交换器”、“管壳式热交换器”、“扩散焊热交换器”5个方面规定了氢气液化装置用热交换器设计方面的要求。

氢气液化热交换器的工艺设计应结合氢液化工艺特点，综合考虑氢气及相关介质在工艺条件下的真实气体效应、热物性变化、多股流换热特性、正仲氢转化热效应影响，对承担正仲氢转化功能的热交换器，还应考虑传热、流动与正仲氢转化反应之间的相互影响。工艺设计条件方面，对于承担正仲氢转化功能的热交换器，设计条件中应明确正仲氢转化要求，包括入口仲氢摩尔分数、目标出口仲氢摩尔分数或目标转化率、催化剂类型或性能数据、催化剂装填条件及允许床层阻力降等。氢气液化装置中的热交换器一般都根据其所处的工艺位置或所承担的功能来确定采用何种型式的热交换器，因此6.1.3节给出了氢气液化装置中不同工艺位置的热交换器推荐型式和选型要求。

当前氢气液化装置冷箱中使用的主流热交换器型式是铝制板翅式热交换器。根据液化工艺的不同，冷箱内的铝制板翅式热交换器分为装填正仲氢转化催化剂和不装填正仲氢转化催化剂两种。不装催化剂的板翅式热交换器的设计在传热计算方面应考虑氢气、氦气等介质在低温和超低温下特殊的热物理性质，结构设计方面应考虑多股流、大温差、相变换热时的通道布置，热交换器置于高真空多层绝热冷箱内时的工艺层结构设计应便于冷箱抽真空。对于铝制板翅式热交换器的氢气接管流速和液氢接管流速，保守的参照GB50177-2005《氢气站设计规范》中的碳素钢管的最大流速进行了规定，GB50177-2005《氢气站设计规范》中对管道流速的规定见下图。对于装填正仲氢转化催化剂的连续转化型板翅式热交换器的设计，6.2.2节给出了具体规定。

12.0.1 碳素钢管中氢气最大流速应符合表 12.0.1 的规定。

表 12.0.1 碳素钢管中氢气最大流速

设计压力(MPa)	最大流速(m/s)
>3.0	10
0.1~3.0	15
<0.1	按允许压力降确定

注：氢气设计压力为0.1~3.0 MPa，在不锈钢管中最大流速可为25m/s。

7、制造、检验与验收

本部分从“通用要求”、“铝制板翅式热交换器”、“绕管式热交换器”、“管壳式热交换器”、“扩散焊热交换器”5个方面规定了氢气液化装置用热交换器制造、检验和验收方面的要求。

通用要求方面规定氢气液化热交换器的制造、检验和验收，除遵守本标准规定外，还应符合GB/T 150.1-2024和GB/T 150.4-2024的有关规定，当热交换器的设计温度低于-20℃时，还应满足GB/T 150.3-2024附录E.3的有关规定。其中板翅式热交换器还应符合NB/T 47006的有关规定，绕管式热交换器还应符合NB/T 10938的有关规定，管壳式热交换器还应符合GB/T 151的有关规定，扩散焊热交换器还应符合NB/T 11917的有关规定。由于氢气液化热交换器绝大部分都为低温换热器，要求其焊接应控制焊接热输入，多层多道施焊，同时焊接接头不应有咬边。对于氢气液化冷箱内的热交换器，其工艺介质一般都为纯度较高的高纯介质，如高纯氢（原料气、制冷循环气）、高纯氮（制冷循环气）等，为避免介质纯度受污染和超低温工况下设备管道阀门出现冻堵，需要对热交换器的清洁度进行控制，因此7.1.7节对冷箱内热交换器的清洁度控制指标进行了规定，包括颗粒物直径、油脂含量、水含量等。

对于不装填正仲氢转化催化剂的氢气液化热交换器，其制造、检验和验收要求除了需要根据热交换器使用的温区（如常温、低温、超低温）、内部介质特性（如氢气、氮气，纯度高、介质渗透性强、易泄漏）、热交换器的安装使用环境（如冷箱内、冷箱外）对其进行特殊考虑外，其他方面基本与已有的各类型换热器产品标准中的要求相同。

对于装填正仲氢转化催化剂的连续型氢气液化热交换器，无论是铝制板翅式热交换器还是绕管式热交换器，其制造、检验和验收过程都需要考虑催化剂的影响，包括催化剂的装填时机、装填方式以及活化处理。

8、安装、使用和维护

本部分对氢气液化装置用热交换器的安装、使用和维护方面的要求进行了规定。

9、附录

附录 A（资料性）以数据表的方式给出了板翅式、绕管式、管壳式和扩散焊式 4 种氢气液化热交换器的设计条件和工艺数据，同时给出了两种典型氢气液化工艺流程。

附录 B（资料性）给出了氢气液化热交换器工艺计算中常用的正仲氢组成数据、正仲氢转化热数据，以及连续转化型板翅式热交换器传热与阻力计算关联式。

附录 C（资料性）给出了氢气液化装置中正仲氢转化催化剂在分类、选用、性能评价、装填使用、活化再生、贮存运输及更换处置等方面的参考要求

五、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

本标准在制定过程中未查到同类国际、国外标准。目前国际上尚无专门针对氢气液化热交换器的产品标准。在板翅式换热器领域，ALPEMA（铝制板翅式换热器制造商协会）标准是国际公认的行业基准，但其主要针对空分装置和天然气液化装置上用到的铝制板翅式换热器，未涉及氢气介质和正仲氢转化的特殊要求。在低温压力容器领域，ASME BPVC Section VIII Division 1和2、EN 13445等标准对超低温材料选择、焊接和检验有成熟规定，但同样缺乏氢液化装置特定的技术条款。

本标准在国内工程实践和试验验证数据基础上，吸收了ALPEMA、ASME BPVC等国际标准的先进理念，同时针对氢气液化装置的特殊性（氢气介质小分子扩散性强、正仲氢转化热耦合、超低温材料性能变化剧烈）制定了专门要求。特别是连续转化型热交换器的设计条款，是基于国内自主研发成果制定的创新性内容，在国际标准中尚无对应规定。总体而言，本标准在技术内容上达到国际先进水平，在氢液化热换热器这一细分领域填补了国际国内标准空白。

六、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

无

七、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准的制定充分考虑了与以下现行法规和标准的协调性：

(1) 与《中华人民共和国特种设备安全法》和 TSG 21《固定式压力容器安全技术监察规程》相协调，本文件管辖范围内的热交换器（如适用）按规定接受特种设备安全监察。

(2) 与 NB/T 47006《铝制板翅式热交换器》在板翅式换热器的设计、制造、检验条款上保持衔接。NB/T 47006 作为铝制板翅式热交换器的通用产品标准，本文件在其基础上增加氢气介质、超低温和正仲氢转化等氢液化装置特有的技术要求，不存在技术冲突。

(3) 与 GB/T 150 系列《压力容器》、GB/T 151《热交换器》在产品分类、焊接和

无损检测等方面保持协调一致。

(4) 与 NB/T 10938《绕管式热交换器》、NB/T 11917《扩散焊热交换器》在各自的适用范围内保持技术协调。

(5) 与 GB/T 31480、GB/T 31481 等深冷容器特殊标准在超低温材料选择和绝热要求方面保持协调。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、涉及专利的有关说明

本标准不涉及专利问题。本标准起草过程中，已要求起草人员、审查人员或参与审查的单位按照 GB/T 20003.1—2014《标准制定的特殊程序第 1 部分：涉及专利的标准》的规定，尽早披露自身及关联者拥有的必要专利，或尽早披露其所知悉的他人（方）拥有的必要专利。截至本标准报批，未接到任何涉及相关专利或知识产权争议的信息、文件。

十、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

建议本标准的性质为推荐性国家标准。建议本文件批准发布 6 个月后实施。

十一、国家标准公平竞争审查说明

本国家标准进行了公平竞争审查，不存在违反《公平竞争审查表》规定的情况。

十二、其他应予说明的事项

本标准在征求意见稿起草过程中，已要求起草人员、审查人员或参与审查的单位按照 GB/T 20003.1—2014《标准制定的特殊程序 第 1 部分：涉及专利的标准》的规定，尽早披露自身及关联者拥有的必要专利，或尽早披露其所知悉的他人（方）拥有的必要专利。截至本标准报批，未接到任何涉及相关专利或知识产权争议的信息、文件。

GB/T XXXXX 氢气液化热交换器标准编制工作组

2026 年 7 月 16 日