

《氢输送管道和储氢钢瓶用不锈钢无缝管》编制说明

一、标准化对象简要情况

氢能具有来源多样性、清洁环保、绿色低碳、应用广泛、可再生、转化效率高、可储存等优点；氢能能够完成跨时间调节、跨区域配置和跨品种耦合的任务。氢燃烧后产生水，不产生二氧化碳，符合碳达峰、碳中和的发展方向，被誉为 21 世纪最具发展前景的二次能源。按**氢能产业发展中长期规划（2021-2035）**，到 2025 年，我国将初步建立以**工业副产氢和可再生能源制氢**就近利用为主的氢能供应体系。到 2030 年，形成较为完备的**氢能产业技术创新体系，清洁能源制氢**及供应体系。到 2035 年，形成氢能产业体系，构建涵盖交通、储能、工业等领域的**多元氢能应用生态**。**可再生能源制氢**在终端能源消费中的比重明显提升。

- ① 当不锈钢无缝管用于管道输送氢气时，氢气的燃烧热仅为天然气的燃烧热的 1/3；在管道两端同样压差下，氢气的流速是天然气流速的 3 倍；所以，在同一压力降下，用同一管道输送氢气和天然气，**输送的能量是相同的**，但输送氢气的体积是天然气的 3 倍。**所以用管道输送氢气，不用把压力提到非常高**。如甘肃首条中远距离纯氢管道，长 5.77 公里，公称压力为 2.5MPa。氢气的常压管道输送可借鉴天然气常压管道输送的成熟技术和经验。
- ② 由于常压下**液氢的温度是-253℃**，在常温常压下**液氢的密度为气态氢的 845 倍**，将钢瓶降温至负 253 摄氏度，即绝对温度 21 度，**把气态氢转变成的液态氢**，在保温下运输，效率是很高的。

按理想气体状态方程：

$$PV/T=\text{常数} \text{-----} (1)$$

式中：

P-----公称压力，单位 MPa；

V-----体积，单位 m³；

T-----开尔文温度，单位 K，-273.15℃=0K。

从公式（1）可看出，P 和 T 成正比关系，在液态氢升温汽化时 P 压力会提高，从开尔文温度 21 度（-253℃），在气化时，提高至开尔文温度 313 度（40℃），压力从 1 MPa 成比例地提高至 14.9 MPa。

管道中输送液氢，随着温度提高，液氢不断汽化，同时存在液氢和气氢，随着温度提高，压力不断提高，故在管道中输送液氢，必然存在气氢，故专家审查会意见，本文件应用范围包括液氢和气氢。因氢气在管道中流动速度快，故不用太高压力。轿车中氢储罐，为提高行驶距离，不得已提高氢储罐压力，也提高加氢站中不锈钢管承受压力。GB/T 50156 -2021 第 10.4.2 条规定：“加氢设施内高压氢气储存系统。。。。，当充氢压力为 70 MPa 时，固定氢气储存系统不宜大于 90MPa”。随着管道压力的增加，管道的壁厚也增加。管道强度是按许用应力来进行设计的，抗拉强度是许用应力的 3 倍，加上 1.25 的安全系数，1.1 的系统余量，总安全系数达到 4.125。随着管道公称压力的增加到 70 MPa 时，管道的壁厚也增加，始终保证总安全系数为 4.125，不锈钢管道运行时安全可靠。由于 GB/T 20801.2、ASME B31.3 和 ASME B31.12 规定：S31008 和 S31603 最低使用温度为-253℃。故规定：

本文件适用于最高公称压力为 70MPa, 最低使用温度为-253°C 的氢输送管道和储氢钢瓶用不锈钢无缝管。

液氢的液态储存和液氢汽化后的管道输送可借鉴液化天然气(LNG)的液态钢瓶储存、液态钢瓶运输和 LNG 汽化后管道输送的**成熟技术和经验**。将大规模风电、光伏制造的氢按一定比例掺入天然气, 并依托现有天然气管网进行输送, 掺氢天然气可被直接利用, 也可以将氢与天然气分离后分别单独使用。

- ③ 本标准主编单位: 上上德盛集团股份有限公司 2010 年参与黄岗天然气液化工程, 提供不锈钢管 1500 余吨;2012 年参与深圳液化天然气接受站工程, 提供不锈钢管 1200 余吨, 做了 415 个-196°C 低温冲击, 数值在 100j 以上;2018 年参与宁波舟山液化天然气接受站工程, 提供不锈钢管 800 吨。前后向全国 20 多个液化天然气工程提供 5 千多吨不锈钢管, 掌握了生产低温用管确保高强度高韧性的技术诀窍。
- ④ 主编单位: 山西太钢不锈钢钢管有限公司参与研发《固定式真空绝热液氢压力容器》, 并参与编制: T/CATSI 05006—2021《固定式真空绝热液氢压力容器专项技术要求》标准, 并研发 S31608-LH 液氢专用牌号。详见太钢型式试验报告。
- ⑤ 本标准主编钱乐中曾在 1993 年亲自参与氢气的工业性应用。钱时任上海申江特钢公司副总经理、中瑞合资赫格纳斯(中国)有限公司董事, 赫格纳斯公司是生产粉末冶金粉末的跨国公司, 年产粉末 50 万吨, 当时从瑞典搬来一套长 40 米宽 1.5 米的氢气退火还原炉, 把含碳 0.45%的钢水经高压水喷射成粉末, 经干燥后平铺在炉内传送带上, 电加热至高温时, 同时用氢气还原至 0.03%以下碳含量。因熔炼钢水时碳含量高, 不易氧化, 产生夹杂物少, 因而粉末质量好。氢气还原能力比氨水高。氢气为周边的青浦化肥厂副产品。因氢气压力不高, 温度不低, 当时用普通不锈钢管输送。在工业领域, **氢能利用自身还原剂和燃烧热值高的特性**, 在钢铁、冶金、石化、水泥的生产过程被用作原料或提供高位热能, 是工业领域深度脱碳的重要手段。
- ⑥ 目前液化天然(LNG)气钢瓶, 小的装在卡车拖车上, 一般外径 2.5 米, 长 5 米, 装满液化天然气后, 不仅出售液化天然气, 而且液化天然气钢瓶和拖车一起租给用户。液化天然气钢瓶大的装在(LNG)船上, 可以把液化天然气(LNG)从中东运到中国。液化天然(LNG)气钢瓶外壳为不锈钢, 紧贴不锈钢外壳的是聚苯乙烯塑料, 绝热性能好。内壁为殷瓦钢薄膜, 殷瓦钢的特点是膨胀系数很小, 成份为含 36%的镍, 不含硅、锰、硫、磷、铌、钼、钛、铝、钙等元素, 就是说在炼钢时是没有脱氧剂的, 采用真空碳脱氧工艺冶炼, 这样满载液化天然(LNG)气时, 温度为-162°C 时, 空载 20°C 时, 殷瓦钢薄膜不会产生热胀冷缩, 殷瓦钢薄膜避免气体渗至聚苯乙烯层。不锈钢外壳和殷瓦钢内壳间抽真空, 达到真空热绝缘。**液化天然气钢瓶可以储存运送液态氢, 因液态氢的比重为气态氢的 845 倍**, 因而运输储存的效益好。建造液氢钢瓶的拖车还是建造 LNG 船, 都要耗用大量不锈钢管。
- ⑦ 现在有炼钢炉、锻造炉、热处理炉、铸造炉、发电厂、锅炉房的企业, 建有大量的液化天然气的气化器。所谓气化器, 是由不锈钢管建成的立体网格, 液化天然气充到气化器的不锈钢管内, 在大气的环境中, 升温气化, 液化天然气变成气态天然气。**气化器同样可以用于气化液氢**。从气化器到炼钢炉、锻造炉、热处理炉、铸造炉、锅炉间, 建有不锈钢管输送管道, 管道的外径和壁厚取决于气体的输送量, 气体的流速、管道两端的压差、气体的压力。氢的储存、运输、汽化、汽化后气体的输送, 要耗费大量的不锈钢管, 是本标准的主要服务对象。建

造 1 艘 LNG 船、海边建造 1 个 LNG 接收站，都要耗费上千吨的不锈钢管。为用户建造 1 台气化器站，也需几十吨不锈钢管，对不锈钢管厂来说，这些都是大金砖。在氢能发展的起始阶段，不锈钢管兼可用于输送储存液态氢，也可用于输送储存液化天然气。

- ⑧ 不锈钢无缝管作为基础产品，其产品质量应兼能承受公称压力高达 70 MPa 的高压用于输送气态氢，并能承受负 253 摄氏度的超低温用于储存液态氢，钢管性能应能承受**公称压力高达 70 MPa 的高压**，又能承受**负 253 摄氏度的超低温**。标准中规定了公称压力和公称壁厚关系，管道和钢瓶的具体公称压力和公称壁厚取决于具体工况。
- ⑨ 本标准采用控制临氢镍当量，控制铬当量与镍当量比值，控制铁素体含量，控制奥氏体稳定性，控制马氏体自发转变温度，进行负 196 摄氏度的冲击韧性试验，进行 65%硝酸腐蚀试验，控制氢含量，控制非金属夹杂物含量，进行 U2 级超声检测，选择合适的化学成份，并确保钢管质量，使钢管**能承受 70 MPa 公称压力和负 253 摄氏度的低温**，按现有的生产技术，若符合本标准要求，可以生产出能承受如此高压和低温的钢管。
- ⑩ 然而迄今为止，在氢输送管道、储氢钢瓶领域，我国尚没有完整的国家标准和行业标准，这使得氢输送管道、储氢钢瓶用不锈钢无缝管的质量参差不齐，很难满足市场的需要，并且对生命和财产安全具有重大隐患。为提高我国氢输送管道、储氢钢瓶用不锈钢无缝管的技术发展水平，提高产品质量，更好地参与世界经济的竞争，有必要制定更加专业化的**《氢输送管道和储氢钢瓶用不锈钢无缝管》**团体标准。

本团体标准在制定过程中，充分考虑了国内外氢输送管道和储氢钢瓶用不锈钢无缝管的生产条件、设备情况、各厂家的实际生产使用情况、以及试验能力，并吸收了近年来国内钢管的研发成果，力求标准具有实用性、内容正确完整、宽严适度。

本标准主要参照 ASTM A312/A312M-2017 《无缝和焊接的以及重度冷加工奥氏体不锈钢公称管标准技条件》，GB/T 14976-2012 《流体输送用不锈钢无缝钢管》、GB/T 50156-2021 《汽车加油加气加氢站技术标准》、GB/T 35544-2017 《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》、GB/T 50516-2021 《加氢站技术规范》、GB/T 4334-2020 《金属和合金的腐蚀 奥氏体及奥氏体-铁素体（双相）不锈钢晶间腐蚀试验方法》、GB/T 5777-2019 《无缝钢管超声波探伤检验方法》等，本团体标准更具有可操作性。

本标准具有升级为国家标准和国际标准的可行性。

1.1 主要工作过程

本标准为中国钢结构协会和上海钢管行业协会联合提出，由上海钢管行业协会和中国钢结构协会钢管分会归口管理。

上海钢管行业协会是在上海民政局登记，具有独立法人资格的群众团体，会员单位遍布长三角，上海钢管行业协会专家委员会专家遍布全国钢管行业。上海钢管行业协会已编制国家标准 GB/T37636-2019 《海洋工程桩用焊接钢管》、T/SSTA 101-2021 《氢能汽车管路用不锈钢无缝管》、T/SSTA 201-2022 《调质型连续油管》、T/SSTA 10X—2022 《加氢站高压管路用不锈钢无缝管》。本标准为中国钢结构协会和上海钢管行业协会联合提出，可以提高中国钢结构协会在氢能、无缝钢管、不锈钢管领域影响力，也可以提高上海钢管行业协会在全国钢管行业的影响力。按国家标准化管理委员会和民政部发布的国标委联（2019）1 号文《团体标准管理规定》第 23 条：“鼓励社会团体之间开展团体标准化合作，共同研制或发布标准”。

中国钢结构协会于2022年4月7日下达中钢构协(2022)15号文《关于发布中国钢结构协会2022年第一批团体标准编制计划的通知》，上海钢管行业协会于2022年2月8日下达沪钢管协(2022)002号文《关于发布上海钢管行业协会2022年第一批团体标准编制计划的通知》，上上德盛集团股份有限公司牵头成立了包括江苏银环精密钢管有限公司、山西太钢不锈钢钢管有限公司、上海神洲阳光特种钢管有限公司、江苏申源集团有限公司、河北省特种设备监督检验研究院、上海钢管行业协会、中国钢结构协会钢管分会等十余家单位的《氢输送管道和储氢钢瓶用不锈钢无缝管》团体标准编制工作组，负责起草工作。

编制工作组在征求部分编制单位意见后，对标准草案初稿进行了认真的修改，于2022年7月形成了团体标准征求意见稿及其编制说明等相关附件，并向国内41位专家征求意见，从而形成送审稿。2022年9月3日召开团体标准专家审查会，据审查专家意见形成报批稿。

二、标准编制原则

本标准在制定过程中，遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，注重标准修订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，本着先进性、科学性、合理性和可操作性以及标准的目标、统一性、协调性、适用性、一致性和规范性的原则来进行本标准的制定工作。

本标准在起草过程中按GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写规则》的要求编写。在确定本标准主要技术指标时，综合考虑生产企业的能力和用户的利益，寻求最大的经济、社会效益，充分体现了标准在技术上的先进性和合理性。

三、主要技术内容编制说明

1 范围

本文件规定了液氢输送管道和储氢钢瓶用不锈钢无缝管的订货内容、尺寸、外形、重量、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装和质量证明书。

本文件适用于**最高公称压力为70 MPa，最低使用温度为-253°C**的氢输送管道和储氢钢瓶用不锈钢无缝管。(以下简称钢管)

6.1 外径和壁厚

依据是GB/T 17395-2008《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》和GB/T 14976-2012《流体输送用不锈钢无缝钢管》。

6.4 公称壁厚和公称压力

公称壁厚和公称压力关系应符合公式(1)

$$P_0 = \frac{2SR}{1.25 \times 1.1D} \text{---(1)}$$

式中：

P_0 —公称压力，单位为兆帕(MPa)；

S —钢管的公称壁厚，单位为毫米(mm)；

D —钢管的公称外径，单位为毫米(mm)；

R —允许应力，按表4中规定塑性延伸强度最小值的60%，单位为兆帕(MPa)。

1.25—安全系数，依据GB/T 150-2011《压力容器 第1部分 通用要求》，

1.1—GB/T 50156-2021《汽车加油加气加氢站技术标准》10.6.2【加氢设施内所有管道、阀门、管件的设计压力不应小于最大工作压力的1.1倍】。

公式依据是GB/T 20801.3-2006《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》6【管道组成件的压力设计】。

本标准规定的无缝管，可用于公称压力70 MPa场所，也可用于较低压力的场所，如甘肃首条中长距离纯氢管道，长5.77公里，公称压力为2.5MPa。管道的具体公称压力和公称壁厚，取决于具体工况。据具体工况决定管内压，然后决定公称壁厚。

7.2 钢的牌号和化学成分

7.2.1 钢的牌号和化学成分（熔炼分析）应符合表3的规定，钢管按熔炼成分验收。

7.2.2 根据需方要求，经供需双方协商，并在合同中注明，可供应表3规定以外但与氢相容性好、低温韧性符合要求的牌号或化学成分的钢管。附录A的建议可供参考。

按GB/T 20878各钢种确定统一数字代号为：S31608-LH、S31603-LH、S31008、S31252、S31782；按GB/T17616-2013表14规定的原则，序号6统一数字代号的首字应为S，后面数字同UNS规定的代号数字，即S20910代号同UNS规定。

表3 牌号和化学成分（具体化学成份略）

| 序号 | GB/T20878 | | 牌号 | NieqH | Creq/ Nieq | Ms(°C) | Δ | PREN |
|----|-----------|--------------------|----------------------|-------|------------|--------|------|-------|
| | 序号 | 统一数字代号 | | 要求 | | | | |
| | | | | ≥28.5 | ≤1.5 | ≤-253 | ≥0 | |
| 1 | 太钢 | S31608-LH | 06 Cr17Ni14Mo2 | 28.57 | 1.27 | -273 | 2.33 | 25.55 |
| 2 | 39 | S31603-LH | 022Cr17Ni14Mo2 | 28.94 | 1.29 | -273 | 2.01 | 25.55 |
| 3 | 35 | S31008 | 06Cr25Ni20 | 39.19 | 1.20 | -273 | 4.50 | 25.46 |
| 3 | 37 | S31252 | 015Cr18Ni20Mo6CuN | 41.08 | 0.92 | -273 | 4.78 | 41.46 |
| 5 | 48 | S31782 (S08904) | 015 Cr21Ni26Mo5Cu2 | 44.12 | 0.89 | -273 | 9.78 | 35.29 |
| 6 | | S20910 | 05Cr22Ni13Mn5Mo2NNbV | 37.14 | 1.00 | -273 | 3.26 | 30.94 |

注：NieqH 为临氢镍当量，Creq/ Nieq 为铬当量/镍当量，Ms(°C) 为马氏体相变开始点，Δ奥氏体稳定性，PREN耐点蚀指数。表中所列五组数值为典型值。

- 按GB/T 20801.2、ASME B31.3和ASME B31.12规定：S31008和S31603最低使用温度为-253°C。
- T/CATSI 05006规定液氢管道使用的牌号为S31608-LH。
- GB50516规定：加氢站（包括液氢加氢站）氢气管道的材料宜采用S31603或其他试验证实具有良好氢相容性的材料。选用奥氏体不锈钢材料时，其镍含量应大于12%，镍当量不应小于28.5%，按化学成份确定的牌号为022Cr17Ni14Mo2，与GB/T20878规定的不同，故数字代号应为S31603-LH。
- GB50156规定：氢气管道材质（包括液氢加氢站）应具有与氢良好相容的特性，设计压力大于或等于20 MPa的氢气管道应采用316L/316双牌号钢，常温机械性能应满足两个牌号中机械性能的较高值，化学成分应满足L级的要求，且镍含量不应小于12%，

许用应力应按 316 号钢选取。

- e) 从表 A.1 可看出, 序号 3、4、5、6 的涉氢指标都高于 S31603-LH, 钢中的镍、钼、铜含量高, 抗硫化氢腐蚀能力强, 可用于输送化工副产品副氢的氢气管道, 氢气中可能含有少量硫化氢。耐点蚀指数 $PREN=Cr\%+3.3 \times Mo\%+16 \times N\%$, 各牌号典型数据见表 A.1。耐点蚀指数愈高, 抗 H₂S 腐蚀能力愈强。
- f) NACE MR0175 4.2 规定: 奥氏体不锈钢最大硬度不超过 22HRC、固溶状态时可用于氯化物含量小于 50 毫克/每升、硫化氢的局部压力小于 350KPa 的环境。
- g) T/SSTA 0003 规定采用序号 6 牌号用来输送氢气。NACE MR0175-2003 4.3.1 规定: UNS S20910 即序号 6 牌号, 在没有硫元素存在, 66°C 温度下, H₂S 的局部压力为 100KPa 绝对压力的环境中, 退火或热辊压榨状态, 并在最大硬度为 35HRC 的条件下是合格的。
- h) NACE MR0175-2003 4.5 规定: $PREN=Cr\%+3.3 \times Mo\%+16 \times N\% \geq 40$ 的高合金奥氏体不锈钢, 在固溶条件下, 其环境限制条件如下:
 - ① 最高温度为 121°C, H₂S 的最大局部压力为 700 KPa 绝对压力, 氯化物最大含量为 5000 毫克/升, 并且没有游离硫元素。
 - ② 最高温度为 149°C, H₂S 的最大局部压力为 310 KPa 绝对压力, 氯化物最大含量为 5000 毫克/升, 并且没有游离硫元素。
 - ③ 最高温度为 171°C, H₂S 的最大局部压力为 100 KPa 绝对压力, 氯化物最大含量为 5000 毫克/升, 并且没有游离硫元素。S31252 即序号 4 牌号 ($PREN \geq 40$) 在固溶状态, 且硬度不大于 100 HRB, 允许使用在以上 3 种不含硫环境中。
- i) 以上意见列入附录 A (资料性) 涉氢管道选用建议。

7.3 临氢镍当量

按公式 (2) 计算的钢的临氢镍当量应不小于 28.5%。

$$Ni_{eqH} = Ni + 0.72Cr + 0.88Mo + 1.11Mn - 0.27Si + 12.93C + 7.55N + 0.53Cu + 0.9V + 0.19Nb \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: Ni_{eqH} —— 临氢镍当量, 单位为%;

Ni —— 镍含量, 质量分数 %;

Cr —— 铬含量, 质量分数 %;

Mo —— 钼含量, 质量分数 %;

Mn —— 锰含量, 质量分数 %;

Si —— 硅含量, 质量分数 %;

C —— 碳含量, 质量分数 %;

N —— 氮含量, 质量分数 %;

Cu —— 铜含量, 质量分数 %;

V —— 钒含量, 质量分数 %;

Nb —— 铌含量, 质量分数 %。以上依据国际期刊全文数据库 (www.eiseview.com) 氢能杂志 (HYDROGEN ENERGY) Setsuo Takaki 等著:《基于氢相容性的测定, 关于一个

新提出的镍当量方程》，临氢镍当量应符合（2）式规定。

7.4 低温下马氏体自发转变温度

按公式（3）计算的钢的低温下马氏体自发转变温度应低于-253 °C。

$$M_s(^{\circ}F) = 75(14.6 - Cr) + 110(8.9 - Ni) + 60(1.33 - Mn) + 50(0.47 - Si) + 3000(0.068 - C - N) \dots\dots (3)$$

式中： $M_s(^{\circ}F)$ ——低温下马氏体自发转变温度,单位为 °F;

Ni —— 镍含量,质量分数 (%) ;

Cr —— 铬含量,质量分数 (%) ;

Mn —— 锰含量,质量分数 (%) ;

Si —— 硅含量,质量分数 (%) ;

C —— 碳含量,质量分数 (%) ;

N —— 氮含量,质量分数 (%) ;

华氏温度与摄氏温度间换算按公式（4）：

$$C = (F - 32) \times 5/9 \dots\dots (4)$$

式中：

C——摄氏温度,单位为摄氏度 (°C) ;

F——华氏温度,单位为华氏度 (°F) 。

以上依据 T/CATSI 05006—2021 《固定式真空绝热液氢压力容器专项技术要求》规定低温下马氏体自发转变温度。

马氏体相变开始点对性能的影响：

①**镍含量高,使不锈钢的层错能升高,要耗费较多的能量才能产生层错,马氏体转变困难,因而镍当量高,马氏体转变温度下降;**

②**当低温出现马氏体时,因固溶碳而强度高,因镍撑大晶格而碳化物析出少,故降低温度时强度提高,屈服强度、伸长率、断面收缩率降低很少;**

③**因镍高而层错能高,由奥氏体转变成马氏体相变时,消耗能量多,使裂纹传播困难,因而使冲击韧性和断裂韧性降低很少;**

④**马氏体转变温度愈低,析出的碳化物愈薄,韧性降低愈少。**

7.5 铬当量与镍当量的比值

7.5.1 铬当量应按公式（5）计算。

$$Cr_{eq} = Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb \dots\dots (5)$$

式中： Cr_{eq} ——铬当量,单位为%;

Cr —— 铬含量,质量分数 % ;

Mo —— 钼含量,质量分数 % ;

Si —— 硅含量,质量分数 % ;

Nb —— 铌含量,质量分数 % 。

7.5.2 镍当量应按公式（6）计算。

$$Ni_{eq} = Ni + 30(C+N) + 0.5Mn \dots\dots\dots (6)$$

式中： Ni_{eq}——镍当量, 单位为%；
 Ni —— 镍含量, 质量分数 % ；
 Mn —— 锰含量, 含量分数 % ；
 C —— 碳含量, 质量分数 % ；
 N —— 氮含量, 含量分数 % ；

7.5.3 铬当量与镍当量的比值应不大于 1.5。

据以往经验，铬当量/镍当量=1.6 时相当于铁素体相含量=8%，故规定：应确保铬当量/镍当量=Creq/ Nieq≤1.5。

7.1.3 对管坯的要求

管坯应进行铁素体相含量分析，直径不大于 150mm 的管坯，不大于 1.5 级合格；直径大于 150mm 的管坯，不大于 2.0 级合格。铁素体相含量应小于 6%

以上依据 YB/T2008-2007 《不锈钢无缝钢管圆管坯》。

依据 GB/T 13305 用金相法测定铁素体金相面积含量，依据 ISO 13520 测定铁素体含量。

7.6 奥氏体稳定性

按公式（7）计算的奥氏体稳定性系数应不小于 0。

$$\Delta = Ni + 0.5Mn + 35C - 0.0833(Cr + 1.5Mo - 20)^2 - 12 \dots\dots\dots (7)$$

式中： Δ ——奥氏体稳定性系数；
 Ni —— 镍含量, 质量分数 (%) ；
 Mn —— 锰含量, 质量分数 (%) ；
 C —— 碳含量, 质量分数 (%) ；
 Cr —— 铬含量, 质量分数 (%) ；
 Mo —— 钼含量, 质量分数 (%) 。

当奥氏体稳定性系数Δ <0 时，说明材料在载荷作用下随着内应力的加大有从奥氏体向马氏体转变的趋势；当奥氏体稳定性系数Δ ≥0 时，说明材料稳定性较好。

以上按 T/CATSI05006-2021 《固定式真空绝热液氢压力容器专项技术要求》制定。

7.7 力学性能

按 GB/T 20878 《不锈钢和耐热钢牌号及化学成分》和 ASTM A 312 《无缝和焊接奥氏体不锈钢公称管》确定力学性能。

按 GB/T 50156 《汽车加油加气加氢站技术标准》第 10.6.1 条：设计压力大于等于 20MPa 的氢气管道应采用 316/316L 双牌号钢，316L 钢机械性能应满足两个牌号的**机械性能较高值**，**镍含量不应小于 12%**，许用应力按 316 钢选取。

7.7.3 根据需方要求，经供需双方协商，并在合同中注明，壁厚不小于 1.7mm 的钢管可做布氏硬度或洛氏硬度或维氏硬度试验，其值应符合表 5 的规定。

7.7.4 钢管应进行低温夏比 V 型缺口冲击试验，-196℃下三个试样的冲击吸收能量 KV₂的平均值应不小于 70J，侧向膨胀量的平均值应不小于 0.76 mm。

以上规定是依据 GB/T 50156-2021 《汽车加油加气加氢站技术标准》D4.5 的规定。

奥氏体不锈钢低温韧性好的原因：

- a) 高温下金属体积膨胀，原子间距增大，能容下较多碳原子，因而在高温下碳钢、合金钢、不锈钢都是奥氏体组织。奥氏体中最大含碳量达到 2.11%；随着温度下降，金属体积缩小，碳钢、合金钢中碳化物析出，基体成为含碳量极少的体心立方的铁素体。铁素体最大含碳量才 0.0218%；
- b) 控制钢中铁素体含量：奥氏体不锈钢因含 8%以上的镍，镍原子量为 58.71，比铁原子量 55.847 大，镍原子置换铁原子后，把奥氏体晶格撑大，当钢经加热后碳溶入奥氏体后，用水快速冷却时，把碳原子固定在奥氏体晶格内，这就是固溶。
- c) 碳化物不在晶界析出，避免生成碳化铬，避免晶界铬贫化，避免氧和铁结合氧化和腐蚀，从而避免晶间腐蚀。如果快速冷却，碳原子固溶在奥氏体晶粒内，晶界上没有碳化物，金属变形没有阻碍，因而不锈钢变得很软，韧性很好。

7.8 液压试验

当钢管外径 ≤ 88.9 mm 时，最大试验压力为 17 MPa；当钢管外径 > 88.9 mm 时，最大试验压力为 19 MPa。

这是工厂液压试验机能进行的最高试验压力，更高的液压试验在现场安装焊接后进行。

7.10 晶间腐蚀试验

钢管应进行晶间腐蚀试验，晶间腐蚀试验方法应符合 GB/T 4334-2020 中 C 法的规定，腐蚀速率应不大于 0.6mm/a。（毫米每年）

以上是参考中国核工业集团有限公司对 RS-1、RS-2 和 NR (S) 级奥氏体不锈钢无缝管框架协议。

7.11 晶粒度

钢管应按 GB/T 6394 进行晶粒度检验，成品钢管的实际**平均晶粒度应为 4 级或更细**。

固溶温度和时间足够，使碳化物充分溶解，故晶粒不会太细。在低温下晶界强度高于晶内强度，为提高低温强度，并避免碳化物析出，固溶后必须快冷，以提高低温韧性，这样晶粒不会太粗。

7.12 无损检验

7.13 非金属夹杂物

钢管应按 GB/T 10561-2005 进行非金属夹杂物含量的测定，要求符合表 5 的规定。

表 5 非金属夹杂物

| 合格级别，不大于，级 | | | |
|------------|-----|-----|-----|
| A | B | C | D |
| 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 |

注：A、B、C、D 各类夹杂物级别总数应不大于 5。

由于输氢管道和储氢钢瓶工作环境是低温高压，因而对无损检测和非金属夹杂物含量提出了较高的要求。

7.14 表面质量

7.14.2 采用对比样块或样管测量冷拔（轧）钢管表面粗糙度 Ra。钢管的内外表面粗糙度 Ra 应不大于 6.3 μm。

以上依据 GB 24512.3《核电站用无缝钢管 第 3 部分不锈钢无缝管》6.8 表面质量。

7.14.3 采用不低于 0.8 MPa 的干燥清洁压缩空气逐根吹扫钢管内表面，不应吹出任何目视可见的固态或液态杂物。

以上依据 GB/T34107-2017《轨道交通车辆制动系统用精密不锈钢无缝管》5.10 条。

7.15.1 钢中氢含量

根据需方要求，经供需双方协商，并在合同中注明，当氢气中含有硫化氢时，可按 GB/T 223-82 进行钢中氢含量测试，**钢中氢含量应≤8 PPM**（毫克/公斤）。

- ① 金属吸附的氢原子会向金属内部渗透，使金属塑性下降，在内外应力作用下，发生脆断。
- ② 当氢原子向钢中渗透扩散时，遇到了裂缝、分层、空隙、夹渣等缺陷，就聚集起来结合成氢分子造成体积膨胀，在钢材内部产生极大压力，形成诱发裂纹。
- ③ 通常，采用 VOD 炉精炼时，氢含量为 1-4 PPM，采用 AOD 炉精炼时，氢含量为 4~7ppm，当采用中频炉+非真空电渣精炼时，氢含量为 6-12 PPM，分析误差为 1 PPM。在雨季冶炼时，在入炉原材料烘烤不好时，钢中氢含量会提高。经轧制加热、穿孔加热、固溶加热后氢含量会比钢水氢含量降低。故规定：

钢中氢含量应≤8 PPM（毫克/公斤）。

7.15.2 高压液压试验

根据需方要求，经供需双方协商，并在合同中注明，可进行高压液压试验。采用 GB/T 241 规定的设备和试验方法进行高压液压试验，**试验压力为公称压力的 1.25 x 1.1 倍**。最高试验压力不超过 90 MPa。

GB/T 50156 -2021 第 10.4.2 条规定：“加氢设施内高压氢气储存系统。。。。。。，当充氢压力为 70 MPa 时，固定氢气储存系统不宜大于 90 MPa”故规定最高试验压力不超过 90 MPa

上上德盛集团股份有限公司和山西太钢不锈钢钢管有限公司就 S31603LH 和 S31608LH 进行型式检验，试验报告作为报批文件附件上报。

四、标准中涉及专利的情况

在前言中规定：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。

本标准未涉及相关专利问题。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

本团体标准于 2022 年首次发布。通过本团体标准的制定和实施，将促进技术创新，增强产品的国内外市场竞争力，同时为推进产业结构调整与优化升级创造条件，对规范市场竞争，引导市场良性发展，对加快我国的技术快速发展具有积极的促进作用。

六、与国际、国外对比情况

与本团体标准相对比的国外先进标准主要有相关技术规范标准，主要参考了国内外标准、行业技术规范等，本团体标准的各项指标大多数达到国际和国外同类标准水平，与 ASTM A312 相比，本标准增加了：低温冲击试验、钢中非金属夹杂物含量测定、临氢镍当量要求，控制低温下马氏体自发转变温度要求，铁素体含量规定，奥氏体稳定性要求、晶间腐蚀试验用 C 法，比 E 法难度大。增加采用超声检测，规定应符合 GB/T 5777-2019 中验收等级 U2 的规定，比 U3 要求高。采用高压液压试验。临氢镍当量采用上海交大氢科学中心低温储运材料专家李伟推荐的，国际期刊全文数据库

(www.eiseview.com) 氢能源杂志 (HYDROGEN ENERGY) 中 Setsuo Takaki 等著：《基于氢相容性的测定，关于一个新提出的镍当量方程》，该方程包括氮含量，而硅含量起负作用。这项方程较合理，比国内有关氢能源标准先进。本文件多项指标高于国外同类产品标准水平，本标准自评水平为国际先进水平。

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及标准，特别是强制性标准协调性

本标准属于“钢及合金 (301)”标准体系中“产品标准及试验方法专用标准 (501)”大类，“管材 (501.1.1)”系列。

本团体标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致，不存在抵触现象。

八、贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）

本团体标准是我国标准体系建设中关键战略材料标准，建议本团体标准批准发布 2 个月后实施，并为升级为国家标准创造条件。