**《压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管》**

**标准编制说明**

一、任务来源

本标准由中国特钢企业协会提出并归口，冶金工业规划研究院作为标准组织协调单位。根据中国特钢企业协会团体标准化工作委员会团体标准制修订计划，由冶金工业规划研究院等单位共同参与起草，计划于2025年前完成《压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管》标准的制定工作。

二、制定本标准的目的和意义

在“双碳”背景下，我国以风电、光伏为代表的新能源发展迅猛，但由于其固有的波动性和不确定性，对并网消纳、电网负荷峰谷差和电网运行安全产生一定影响。大规模储能技术是实现电网削峰填谷，构建新型电力系统、支撑能源结构转型升级的关键技术，其中压缩空气储能具有装机容量大、储能时间长、建设周期短、使用寿命长、清洁环保等优点。据《2024中国压缩空气储能产业发展白皮书》显示，截至2023年底，我国已投运的压缩空气储能项目共7个，累计装机约182.5兆瓦，正在建设和规划建设的空气储能项目则有20余项。目前压缩空气储能地上储气库大多采取无缝钢管为原材料进行高压储气，往往承受高温高压、腐蚀性介质等复杂状态，对无缝钢管耐蚀性能、抗挤性能、抗变形性能提出较高要求。目前行业内生产的常规材质无缝钢管已无法满足高速发展的储气库使用需要，行业内迫切需要更高性能的无缝钢管原材料。

目前，围绕海洋、油气等领域制定了GB/T 9948-2013《石油裂化用无缝钢管》、GB/T 9711《油天然气工业 管线输送系统用钢管》石等标准，但对压缩空气储气库建设领域尚未开展相关标准研制。为更好地满足压缩空气储气库建设需要，以提高管线钢耐蚀性、强度等性能为出发点，填补细分领域标准空白、满足产业链上下游标准化需求为目标，中国特钢企业协会团标委组织开展《压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管》标准制定工作，指导深海油气领域钢管产品生产制造，满足高速发展的下游产业用钢要求。

三、标准编制过程

2024年×月：提出制定标准项目，并进行了标准立项征求意见和论证工作；

2024年×月：中国特钢企业协会发布了项目计划；

2024年×月：进行了文件起草的调研、问题分析和相关资料收集等准备工作；

2025年×月：完成了标准制定提纲、标准草案，并进行了工作组内征求意见和讨论；

2025年×月：召开标准启动会，围绕标准草案进行讨论，并按照与会意见和建议进行修改，形成征求意见稿并发出征求意见；

2025年×月：完成征求意见处理、形成标准送审稿；

2025年×月：完成标准审定会和标准报批稿，上报中国特钢企业协会审批；

2025年×月：完成该标准发布、实施。

四、标准编制原则

充分考虑压缩空气储气库建设用钢管对原材料的高质量需求，联合国内先进无缝管生产企业协同攻关，采用标准化手段助力无缝管产品高质量发展，展现无缝管行业发展水平。本标准以满足压缩空气储气库建设用钢管需要和发展为前提，充分提高标准的市场适应能力，填补标准领域空白；通过对下游用钢行业的研究，了解实际使用需求，确定无缝管产品的各项技术指标，满足下游行业需求，建立彼此之间的联系，扩大影响力。

五、标准的研究思路及内容

（一）编制思路

《压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管》标准的设计与编制以问题与需求为导向，切实从用钢需要出发，进一步补充无缝管牌号及相关技术要求，完善晶间腐蚀试验方法，强化细分领域标准的指导意义。通过制定满足市场创新需要，并具有科学、合理、全面、可操作性的标准，助力提升无缝管产品高质量供给水平，提升使用安全性、可靠性。

本文件深度调研中科储能、中南设计院、西北设计院产品使用需求，以GB/T 9711《油天然气工业 管线输送系统用钢管》、API SPEC 5L《管线管》标准为基础，围绕实际生产销售的特殊需要，对技术指标、试验方法进行了加严和扩展，增强了原料生产制造商与下游行业的联系，使标准更具有针对性和实用性。

（二）标准技术框架

本标准包含以下部分

前 言

1 范围

2 规范性引用文件

3 术语和定义

4 分类和代号

5 订货内容

6 制造工艺

7 技术要求

8 试验方法

9 检验规则

10 包装、标志和质量证明书

（三）标准技术内容

1. 范围

本文件规定了压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管的订货内容、制造工艺、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书。

本文件适用于制造外径219mm～1219mm，壁厚10mm～100mm的压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管（以下简称钢管）。

2. 规范性引用标准

按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。

3．术语和定义

GB/T 30062界定的术语、定义、符号和缩略语适用于本文件。

4. 订货内容

本章节对订货的合同或订单内容提出要求，应包含：

a) 产品名称；

b) 本文件编号；

c) 钢级；

d) 尺寸外形；

e) 重量或数量；

f) 交货状态；

g) 特殊要求。

5 制造工艺

5.1 冶炼方法~5.3交货状态

本章节根据企业生产需求，提出钢的冶炼要求，以及管坯和钢管的制造方法，具体内容如下：

5.1钢采用转炉或电炉冶炼，并经炉外精炼和真空脱气。

5.2.1　管坯采用连铸或热轧（锻）方法制造。

5.2.2　钢管应采用热轧（扩）或冷拔（轧）无缝方法制造。

5.2.3　需方指定某一制造方法时，应在合同中注明。

钢管应以淬火加回火状态交货。回火温度应不低于650℃并提供实际回火温度数据。

6 技术要求

6.1 牌号及化学成分

本章节结合下游钢管产品实际使用情况，提出t≦25mm和t＞25mm钢管的钢级和化学成分含量要求，详见下表。

1. t≦25mm钢级和化学成分

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢级 | 质量分数，基于熔炼分析和产品分析，max（%） | | | | | | | | | 碳当量a，max（%） | |
| Cb | Si | Mnb | P | S | V | Nb | Ti | 其他c,d | CEⅡW | CEPcm |
| L245Q | 0.18 | 0.45 | 1.40 | 0.025 | 0.015 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | e,l | 0.43 | 0.25 |
| L360Q | 0.18 | 0.45 | 1.50 | 0.025 | 0.015 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | e,l | 0.43 | 0.25 |
| L390Q | 0.18 | 0.45 | 1.50 | 0.025 | 0.015 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | d,e,l | 0.43 | 0.25 |
| L415Q | 0.18f | 0.45f | 1.70f | 0.025 | 0.015 | g | g | g | h,l | 0.43 | 0.25 |
| L450Q | 0.18f | 0.45f | 1.70f | 0.025 | 0.015 | g | g | g | h,l | 0.43 | 0.25 |
| L485Q | 0.18f | 0.45f | 1.80f | 0.025 | 0.015 | g | g | g | h,l | 0.43 | 0.25 |
| a 依据产品分析结果，t>20.0mm无缝管，碳当量的极限值应协商确定。碳含量大于0.12%使用CEIIW,碳含量小于等于0.12%使用CEPcm  b 碳含量比规定最大碳含量每减少0.01%，则允许锰含量比规定最大锰含量高0.05%，对于钢级≥L245但≤L360最大锰含量不得超过1.65%：对于钢级>L360但<L485最大锰含量不得超过1.75%;对于钢级≥L485但≤L555最大锰含量不得超过2.00%，对于钢级>L555最大锰含量不得超过2.20%。  c 除另有协议外，Nb+V≤0.06%。  d Nb+V+Ti≤0.15%.  e 除另有协议外，Cu≤0.50%，Ni≤0.30%，C≤0.30%，Mo≤0.15%.  f 除另有协议外。  g 除另有协议外，Nb+V+Ti≤0.15%.  h 除另有协议外，Cu≤0.50%，Ni≤0.50%，Cr≤0.50%，Mo≤0.50%.  i 除另有协议外，Cu≤0.50%，Ni≤1.00%，C≤0.50%，Mo≤0.50%.  j B≤0.004%。  k 除另有协议外，Cu≤0.50%，Ni≤1.00%，Cr≤0.55%，Mo≤0.80%.  l 除适用脚注j外的所有PSL2钢级适用下列内容。除另有协议外，不允许有意添加硼，残余B≤0.001%。 | | | | | | | | | | | |

6.2力学性能

本章节结合钢管使用需求，提出屈服强度、抗拉强度、屈服比、吸收能量、硬度等指标要求，并补充全尺寸CVN吸收能、夏比冲击平均剪切面积指标要求，具体指标如下表所示。

1. 力学性能

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢级 | 屈服强度  *Rt0.5*，MPa | | 抗拉强度  *Rm*，MPa | | 屈强比*Rt0.5*/Rm，max | 伸长率*Af*%，min | 全尺寸CVN吸收能，0℃  min，J | 夏比冲击平均剪切面积，% | 硬度  max |
| min | max | min | max |
| L245Q | 245 | 450 | 415 | 655 | 0.93 | a | 27 | 85 | ≤250HV10或22HRC |
| L360Q | 360 | 530 | 460 | 760 | 0.93 | a | 27 | 85 | ≤250HV10或22HRC |
| L390Q | 390 | 545 | 490 | 760 | 0.93 | a | 27 | 85 | ≤250HV10或22HRC |
| L415Q | 415 | 565 | 520 | 760 | 0.93 | a | 27 | 85 | ≤250HV10或22HRC |
| L450Q | 450 | 600 | 535 | 760 | 0.93 | a | 27 | 85 | ≤250HV10或22HRC |
| L485Q | 485 | 635 | 570 | 760 | 0.93 | a | 40 | 85 | ≤250HV10或22HRC |
| 注：  规定的最小伸长率Af，以百分比表示，四舍五入到最接近的百分比，应使用以下方程式确定：  使用SI单位计算时，C为1940；使用USC单位计算时，C为625,000；  Axc为适用拉伸试件横截面积，单位为平方毫米（平方英寸），如下：  （1）对于圆形截面试件，直径为12.7mm和8.9mm的试件为130mm2；直径为6.4mm的试件为65mm2；  （2）对于全截面试件，a)485mm2和b)试件的横截面积，使用规定的外径和规定的管壁厚度导出，取最小值10mm2；  （3）对于条形试件，a)485mm2和b)试件的横截面积中较小者，使用规定的试件宽度和规定的管壁厚度导出，取整至最接近的10mm2；  U是规定的最小抗拉强度，单位为兆帕斯卡（磅/平方英寸）。 | | | | | | | | | |

6.3　CTOD断裂韧性试验

本文件提出，经供需双方协商，并在合同中注明，可进行CTOD试验。钢管纵向取样，按ISO 12135或GB/T 21143中相关要求进行试验。试验温度按照最小设计温度或由供需双方协商确定，试样类型为B×B或B×2B，CTOD值应不小于0.2mm。

6.4腐蚀试验

深海油气存在产品不纯现象，常常混有酸性介质，运输过程中如若要考虑酸性环境，钢管应按GB/T 9711的规定进行腐蚀试验，腐蚀性能应符合下表的规定。

1. 钢管的腐蚀性能要求

|  |  |
| --- | --- |
| 抗氢致开裂试验（HIC） | 试验标准：NACE TM 0177；  试验溶液：NACE TM0177中A溶液；；  试验温度：24±3℃；  试验持续时间：96小时；  试验频次：前三炉每炉取一组试样，后十炉取一组试样；  验收标准：CLR≤5%，CTR≤1.5%，CSR≤0.5%；  试验报告：试验报告中应注明试验前后溶液的pH值，试验开始和结束时的硫化氢浓度，如发现HIC裂纹，应提供金相照片。 |
| 硫化物应力开裂试验（SSC） | 试验标准：NACE TM0316  试验溶液：NACE TM0177中A溶液；  试验温度：24±3℃；  试验时间：720小时；  加载应力：规定最小屈服强度的80%或由供需双方协商确定；  试验频次：用于制造工艺评定时一组；  验收标准：应在×10放大倍数的低倍显微镜下对试样的拉伸面进行检查。拉伸表面出现任何开裂或裂纹，则判定为不合格，能证明这些开裂或裂纹不是由硫化物应力开裂引起的除外。  试验报告：试验报告中应注明试验前后溶液的pH值，试验开始和结束时的硫化氢浓度，以及试验后的试样照片。 |

6.5晶粒度

晶粒度大小将对钢材冷却过程中发生转变及转变产物的性能产生较大影响，较细的晶粒有助于提升钢材产品的力学性能，本文件将晶粒度作为产品技术要求。指标方面规定：钢管应按GB/T 6394的规定检验奥氏体晶粒度或者实际晶粒度，其合格级别应为7级或更细。

6.6 非金属夹杂物

本章节要求钢管应按GB/T 10561—2023中A法检验非金属夹杂物，其合格级别应符合下表的规定。

1. 非金属夹杂物合格级别

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 夹杂物类型 | A | | B | | C | | D | |
| 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 |
| 合格级别  （不大于） | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 1.5 | 1.5 |

6.7 钢管焊接性

长距离运输往往需要对钢管进行焊接，良好的焊接性能能够保障运输管道的安全，提高使用寿命。本文件提出：根据需方要求，制造商应提供钢的焊接性数据，否则应进行焊接性评价试验，因此，订货合同中应注明：制造商应提供钢管的可焊接性数据，否则应进行焊接性评价试验。

6.8静水压试验

为保障运输管道承压性能，本文件要求钢管应进行静水压试验，不应出现渗漏，并提出规定最小屈服强度的百分数和产品限制的最大试验压力的计算要求。

6.9无损检测

无损检测是保障钢管质量的重要手段，本文件参照ISO 10893系列标准，对钢管检验的人员资质、检验标准、检验方法和要求做出规定。

6.10表面质量

6.10.1　应对钢管外观检查发现的表面缺欠进行核查、判别，并按照下列要求进行处置：

a）深度≤0.05t，且不影响最小允许壁厚的缺欠，应判为可接受的缺欠，可不经修磨保留在钢管上或采用修磨方法修整磨除；如钢管需进行涂层涂敷，可规定表面缺欠的特殊处置要求。

b）深度>0.05t，且不影响最小允许壁厚的缺欠，应判为缺陷，应采用修磨方法磨除，修磨操作应使修磨区域与钢管轮廓平滑过渡，修磨后进行手动超声波探伤以验证修磨区域的壁厚值应满足规定的壁厚公差范围。

c）影响到最小允许壁厚的缺欠应判为缺陷，应切除存在该类缺陷的管段并满足钢管最终长度要求。

6.10.2　钢管的内外表面不应有目视可见的裂纹、折叠、结疤、轧折和离层等。如有以上缺陷应完全清除，清除深度应不超过公称壁厚的负偏差，清理处的实际壁厚应不小于壁厚偏差允许的最小值。

6.11剩磁

6.11.1　剩磁要求仅适用于在钢管制造厂内进行的剩磁检验。

钢管离开制造厂后的剩磁值，可能会受到钢管运输过程及后续作业方法和状态的影响。

6.11.2　每个工作班的每4 h至少选一根钢管，对其两端进行剩磁测量。

6.11.3　应在钢管每一端沿周向大约相距90°测量4个读数。当用霍尔效应高斯计测量时，4个读数的平均值应≤2.0 mT（20 Gs），且任一读数不应超过2.5 mT（25 Gs）；当采用其他类型仪器测量时，测量值不应超过上述值的等效值。

6.11.4　不满足6.11.3要求的钢管应视为缺陷钢管，有缺陷钢管与最后一根合格钢管之间生产的钢管应逐根测量，直到至少3根连续生产的钢管满足要求为止。所有缺陷钢管应全长退磁，且随后重新测量其磁性，直到至少连续3根钢管满足6.11.3的要求为止。

6.12尺寸、外形、重量

6.12.1 提出钢管的外径和不圆度要求，详见下表。

* + 1. 提出钢管的壁厚偏差要求，详见下表。

表5 外径和不圆度偏差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 规定外径D | 直径偏差 | | 不圆度偏差c | |
| 除管端外a | 管端a,b,c | 除管端外a | 管端a,b,c |
| 219≤D＜610 | ±0.0075D | ±0.005D，不超过±1.6 | 0.020D | 0.015D |
| 610≤D≤1219 | ±0.01D | 不超过±2.0 | D/t≤75，0.015D，不超过15； | D/t≤75，0.01D，不超过13； |
| D/t＞75，协议确定 | D/t＞75，协议确定 |
| a 管端两端长度为100mm。  b 其公差适用于壁厚小于25.0mm时，厚壁管的公差以约定为准。  c 对于直径219.1mm的热扩管和非热扩管，直径公差和圆度公差可以用计算内径（规定外径减去规定壁厚的两倍）或测量内径来确定，而不是用规定外径。 | | | | |

表6 壁厚偏差

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 公称壁厚 | 允许偏差 | 壁厚不均度 |
| 10≤t＜25 | -12.5%t~+15%t | 小于壁厚公差的80% |
| 25≤t≤100 | +3.7或+10%t，以较大者为准；  -3.0或-10%t，以较大者为准 |

6.12.3章节提出钢管的其他尺寸、外形、重量应符合下表的规定。

表7钢管的其他尺寸和重量要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 要求 |
| 弯曲度 | 全长弯曲度不超过0.2%L，管端1.5m弯曲度不超过3.2mm |
| 重量 | 单根钢管：±10%；每批最小为10t的钢管：±7.5%。 |

7. 试验方法

7.1钢的化学成分试验方法应按GB/T 4336、GB/T 20123、GB/T 20125或通用方法的规定进行，但仲裁时应按GB/T 223.5、GB/T 223.11、GB/T 223.19、GB/T 223.23、GB/T 223.26、GB/T 223.40、GB/T 223.59、GB/T 223.64、GB/T 223.69、GB/T 223.76、GB/T 223.78、GB/T 223.84、GB/T 223.85的规定进行。

7.2钢管的检验项目、取样部位和试验方法应符合下表的规定。

表8钢管的检验项目、取样方法和试验方法

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | 取样数量 | 取样方法 | 试验方法 |
| 1 | 化学成分 | 2个/批 | GB/T 20066 | 见7.1 |
| 2 | 拉伸试验 | 1个/批 | 任一根钢管，GB/T 2975 | GB/T 228.1 |
| 3 | 冲击试验 | 1个/批 | 任一根钢管，GB/T 2975 | GB/T 229 |
| 4 | 硬度 | 1个/批 | 任一根钢管，GB/T 2975 | GB/T 4340.1、GB/T 230.1 |
| 5 | CTOD（如适用） | 用于制造工艺评定时一组 | 任一根钢管 | GB/T 21143 |
| 6 | 抗氢致开裂试验  （HIC）（如适用） | 前三炉每炉取一组试样，后十炉取一组试样 | 任一根钢管 | NACE TM 0284 |
| 7 | 硫化物应力开裂试验（SSC）（如适用） | 用于制造工艺评定时一组 | 任一根钢管 | NACE TM0316 |
| 8 | 晶粒度 | 每一生产流程或热处理作业1个试样 | 任一根钢管 | GB/T 6394 |
| 9 | 非金属夹杂物 | 1个/炉 | 任一根钢管 | GB/T 10561 |
| 10 | 静水压试验 | 逐根 | — | GB/T 9711 |
| 11 | 无损检测 | 逐根 | — | GB/T 9711 |
| 12 | 表面质量 | 逐根 | — | 目视 |
| 13 | 尺寸外形 | 逐根 | — | 合适的量具 |

8. 检验规则

本章节对检查和验收、组批规则、复验和判定规则等三个方面提出具体要求。

8.1检查与验收中规定了“钢管的检查由供方质量技术监督部门进行。”

8.2 组批规则提出“钢管应成批验收。每批由同一炉号、同一钢级、同一规格、同一交货状态、同一热处理炉批的钢管组成”。

8.3 取样数量中提出钢管的数量要求。

8.4复验与判定中，规定了“非金属夹杂物复验、HIC/SSC复验的要求，并提出钢管的复验和判定规则应符合GB/T 9711的规定”。

8.5数值修约

钢管的各项检测结果采用修约值比较法，修约规则应符合GB/T 8170的规定。

9. 包装、标志及质量证明书

本章节规定钢管的检验证书、标志、检验记录和装载应符合API SPEC 5L的规定。

六、标准的应用领域

本文件确定了光压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管的尺寸、外形、重量及允许偏差、技术要求以及检验规则等，适用于低温高压环境下无缝管的生产和质量管控。同时，结合产品生产制造过程中的特殊需要，对技术参数、试验方法进行了优化设计和补充，对下游行业的原材料采购、加工和制造具有科学指导意义。

本文件强化了上下游行业间的衔接和联系，为压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管高质量发展提供原材料保障，有助于产业链的协同发展。本文件的实施，符合我国钢铁工业由高速度发展向高质量发展的整体趋势，能够为我国储能安全以及高质量发展提供有力支撑，使原料生产企业充分满足下游行业对原材料产品的升级需要，引导双方形成合力，共同助力储能行业安全快速发展。

七、标准属性

本标准属于钢铁行业团体标准。

《压缩空气储能管道运输用热轧无缝钢管》

标准编制工作组

2025 年6月