



中华人民共和国国家标准

GB/T 40029—2021

液化天然气储罐用预应力钢绞线

Steel strand for prestressed concrete of LNG

2021-04-30 发布

2021-11-01 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。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：天津冶金集团中兴盛达钢业有限公司、江西新华金属制品有限责任公司、奥盛新材料股份有限公司、天津银龙预应力材料股份有限公司、江苏中核华兴特殊建筑工程有限公司、江阴法尔胜钢铁制品有限公司、贵州钢绳股份有限公司、中国石化工程建设有限公司、河南恒星钢缆股份有限公司、威海银兴预应力线材有限公司、安徽通利预应力科技有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本文件主要起草人：蔺秀艳、王文喜、冷明鉴、廖劲锋、姚斌、汤亮、王勇、谢志安、刘强、廖春生、薛文虎、陈瑞金、王月琴、吕豫衡、杨桂瑜、潘捷、王鸿利、何玉明、倪晓峰、苗高峰、陶建春、杨再恒、胡邮邮、刘二峰、田玉英、李博、严士兴、王玲君。

液化天然气储罐用预应力钢绞线

1 范围

本文件规定了液化天然气储罐用预应力钢绞线(以下简称“钢绞线”)的术语和定义、符号、代号及标记、订货内容、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标识、运输、贮存及质量证明书。

本文件适用于液化天然气储罐工程预应力混凝土结构,和其他低温环境下使用的钢绞线。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T 21839 预应力混凝土用钢材试验方法
- YB/T 081 冶金技术标准的数值修约与检测数值的判定

3 术语和定义

GB/T 5224 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冷拉光圆钢丝 cold drawn round wire
盘条通过冷拉形成的光面圆形钢丝。

3.2

钢绞线 strand
由七根冷拉光圆钢丝捻制而成的钢绞线。

3.3

生产单元 unit of manufacture
在相同条件下生产的一组产品。
注:生产单元即为趟。

3.4

产品单元 unit of product
生产单元的后续产品,并将发往客户的最终产品。
注:产品单元即为钢绞线盘卷。

4 符号

本文件中用到的符号及其说明见表1。

表 1 符号说明

符号	说明	单位
A_{gt}	最大力总延伸率	%
D	偏斜拉伸系数	%
D_n	公称直径	mm
E	弹性模量	GPa
F_m	整根钢绞线最大力	kN
F_{ma}	钢绞线最大力的实测值	kN
$F_{m,max}$	钢绞线最大力的最大值	kN
$F_{p0.2}$	0.2%屈服力	kN
F_r	疲劳试验中的应力范围	N
F_{pm}	钢绞线实测平均极限抗拉力	kN
F_{tu}	钢绞线与锚具组装件的实测极限抗拉力	kN
L_0	原始标距	mm
M	每米理论重量	g/m
R_m	抗拉强度	MPa
r	松弛率	%
S_n	公称横截面积	mm ²
Z	钢丝断面收缩率	%
ϵ	最大载荷时组装件钢绞线受力长度的总伸长率	%
η	锚具效率系数	%

5 代号及标记

5.1 代号

六根冷拉光圆钢丝,围绕一根冷拉光圆钢丝,按相同捻向、相同捻距捻制而成的钢绞线,其结构代号为:1×7。

5.2 标记

产品以产品名称、结构代号、公称直径、强度级别、文件编号进行标记。

示例:

公称直径为 15.70 mm,抗拉强度为 1 860 MPa 的钢绞线,标记为:预应力钢绞线 1×7-15.70-1860-GB/T 40029—2021

6 订货内容

按本文件订货的合同应包含以下主要内容:

a) 本文件编号;

- b) 产品名称；
- c) 强度级别；
- d) 结构代号；
- e) 钢绞线尺寸、长度及重量(或数量、或盘重)；
- f) 捻向；
- g) 用途；
- h) 其他要求。

7 技术要求

7.1 外形、尺寸、重量及允许偏差

钢绞线的尺寸及允许偏差应符合表 2 的规定，每米理论重量见表 2，外形见图 1。

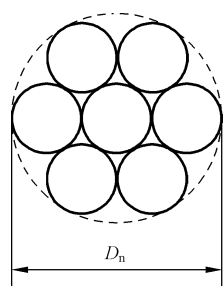


图 1 1×7 钢绞线横截面外形示意图

表 2 钢绞线尺寸、每米理论重量、偏差及公称横截面积

钢绞线结构	公称直径 D_n /mm	直径允许偏差/mm	公称横截面积 S_n /mm ²	每米理论重量 M /(g/m)
1×7	15.20	+0.20 -0.10	140	1 101
1×7	15.70	+0.20 -0.10	150	1 178
1×7	17.80	+0.20 -0.10	191	1 500

注：计算钢绞线每米理论重量时钢的密度为 7.85 g/cm³。

7.2 制造

- 7.2.1 制造钢绞线宜选用符合 GB/T 24238 或 GB/T 24242.4 规定的牌号制造，经供需双方协商也可采用满足要求的其他牌号制造，生产厂家应提供其化学成分。
- 7.2.2 钢绞线应以热轧盘条为原料，经冷拔后捻制成钢绞线。捻制后，钢绞线应进行连续的稳定化处理。
- 7.2.3 同一生产单元的钢绞线应尽量保证为同一炉批号原料生产，最多不超过两个炉批号。
- 7.2.4 钢绞线捻距应为钢绞线公称直径的 12 倍~16 倍。

7.2.5 中心丝直径应不小于外层钢丝直径的 1.03 倍。

7.2.6 钢绞线内不应有折断、横裂和相互交叉的钢丝。

7.2.7 钢绞线的捻向为右捻或左捻。

7.2.8 钢绞线应用砂轮锯切割,切断后应不松散,如离开原来位置,应可以手工复原到原位。

7.2.9 钢绞线不应有焊接点,包括拉拔前的焊接点。

7.3 性能

7.3.1 钢绞线力学性能应符合表 3 要求。

表 3 钢绞线力学性能

钢绞线结构	公称直径 D_n/mm	抗拉强度 R_m/MPa $\geq$	整根钢绞线 最大力 F_m/kN $\geq$	钢绞线最大力的 最大值 $F_{m \cdot \max}/\text{kN}$	0.2% 屈服力 $F_{p0.2}/\text{kN}$ $\geq$	最大力总延伸率 $A_{gt}/\%$ ($L_0 \geq 500 \text{ mm}$) $\geq$
1×7	15.20	1 860	260	288	229	5.0
1×7	15.70	1 860	279	309	246	5.0
1×7	17.80	1 860	355	391	313	5.0

7.3.2 钢绞线拉伸断裂,其钢丝断口应为塑性断口。

7.3.3 钢绞线中心钢丝断面收缩率 Z 不小于 25%。

7.3.4 钢绞线弹性模量 E 为 $(195 \pm 10) \text{ GPa}$,可不作为交货条件。当需方要求时,应满足该范围值。

7.3.5 0.2% 屈服力 $F_{p0.2}$ 值与整根钢绞线实际最大力 F_{ma} 的比应为:88%~95%。

7.3.6 应力松弛性能应符合表 4 规定。进行初始力为 70% F_{ma} 和 80% F_{ma} 的松弛试验,允许使用推算法进行 240 h 松弛试验确定 1 000 h 松弛率。

表 4 钢绞线应力松弛性能

试验温度/℃	温度允许偏差/℃	初始负荷相当于实际 最大力的百分数/%	1 000 h 应力松弛率 $r/\%$ $\leq$
20	± 2	70	2.0
		80	3.5

7.3.7 偏斜拉伸系数 D 应满足: $D \leq 28\%$ 。

7.3.8 疲劳性能应满足:钢绞线应能经受 2×10^6 次 $0.7F_{ma} \sim (0.7F_{ma} - F_r)$ 脉动负荷后而不断裂,负荷值应符合式(1)。

$$F_r/S_n = 190 \text{ MPa} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

F_r ——应力范围的等效负荷值,单位为牛(N);

S_n ——钢绞线的公称横截面积,单位为平方毫米(mm^2)。

7.3.9 应力腐蚀性能应满足:施加 80% F_{ma} 的载荷时,在 GB/T 21839 规定的试验溶液(溶液 A)中试样应满足表 5 的规定。

表 5 钢绞线应力腐蚀性能

试验溶液	试验时间	
	最小值/ <i>h</i>	中值/ <i>h</i>
溶液 A	2.0	5.0

7.3.10 常温静载锚固性能应满足:常温下钢绞线与锚具组装件,锚具效率系数 $\eta \geq 95\%$,最大载荷时钢绞线受力长度的总伸长率 $\epsilon \geq 2.0\%$ 。

7.3.11 低温锚固性能应满足:在 $-196\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下,钢绞线与锚具组装件的实测极限抗拉力与常温下钢绞线实测平均极限抗拉力的比值,即锚具效率系数 $\eta \geq 95\%$,最大载荷时钢绞线受力长度的总伸长率 $\epsilon \geq 2.0\%$ 。

7.4 表面质量

7.4.1 钢绞线表面应均匀涂上水溶性防锈油或类似产品。

7.4.2 钢绞线表面不应有影响使用性能的有害缺陷。允许存在轴向缺陷,但其深度应小于单根钢丝直径的 2%。

7.4.3 钢绞线表面允许存在回火颜色。

7.4.4 钢绞线表面腐蚀等级应满足表 6 的 B 级及以上水平。

表 6 钢绞线表面腐蚀等级

等级	定义	外表特征	检验方法
A	优	颜色未发生变化	直接目视检验
		轻微的小锈斑	
		极少露出金属光泽的刮痕	
		无杂质	
		无凹痕	
B	良	有极少斑点	用布擦干净后目视检验
		轻微的全面浮锈	
		少许露出金属光泽的刮痕	
		有少许杂质	
		无凹痕	
		有轻微氧化皮剥蚀	
C	尚可	整个表面都有斑点	有些部分需要擦一下才能露出金属面: 用 NO.180 砂纸或硬刷子抹擦 10 下后目视检验
		明显的锈迹	
		有露出金属光泽的刮痕	
		有少许杂质	
		部分凹痕	
		有部分氧化皮剥蚀	

表 6 (续)

等级	定义	外表特征	检验方法
D	较差	颜色全部发生变化	整个钢绞线表面都需要擦一下才能露出金属面： 用 NO.180 砂纸或硬刷子抹擦 20 下后目视检验
		普遍有锈迹	
		严重的损伤或刮痕	
		钢绞线的钢丝间嵌有杂质	
		凹痕严重	
		氧化皮全部剥蚀	
E	恶劣	完全布满了凹痕或杂质的大量积垢	整个钢绞线表面都需要擦一下才能露出金属面： 用 NO.0 砂纸或硬刷子抹擦 30 下后目视检验
		颜色全部发生变化	
		损伤非常严重	

7.5 钢绞线的伸直性

取弦长为 1 m 的钢绞线,放在一平面上,其弦与弧内侧最大自然矢高应不大于 15 mm。

8 试验方法

8.1 表面检验

表面质量用目视或按表 6 检验方法检验。

8.2 外形尺寸检验

钢绞线的直径应用分度值不大于 0.02 mm 的量具测量,测量位置距离端头不小于 300 mm。测量钢绞线直径应以横穿直径方向的相对两根外层钢丝为准,如图 1D_a 所示,在同一截面不同方向测量三次,取平均值。

8.3 拉伸试验

8.3.1 最大力

整根钢绞线的最大力试验按 GB/T 21839 规定进行。如试样在夹头内或距钳口 2 倍公称直径内断裂,达不到本文件性能要求时,试验无效。计算抗拉强度时取钢绞线的公称横截面积值。

8.3.2 0.2%屈服力

钢绞线 0.2%屈服力试验按 GB/T 21839 规定进行。0.2%屈服力采用引伸计标距(不小于 500 mm)的非比例延伸达到引伸计标距 0.2%时所受的力($F_{p0.2}$)。测定 $F_{p0.2}$ 时预加负荷为公称最大力的 10%。

8.3.3 最大力总延伸率

最大力总延伸率 A_{gt} 的测定按 GB/T 21839 规定进行。使用计算机采集数据或使用电子拉伸设备的,测量延伸率时预加负荷对试样所产生的延伸应加在总延伸内。

8.3.4 弹性模量

弹性模量的测定按 GB/T 21839 规定进行。

8.3.5 钢丝断面收缩率

钢丝断面收缩率的测定按 GB/T 228.1 的规定进行。钢丝拉断后在缩颈最小处两个相互垂直的方向上测量其直径(需要时,应将试样断裂部分在断裂处对接在一起)取其平均值 d_1 。钢丝断面收缩率按式(2)计算:

$$Z = \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2 \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中:
 Z ——断面收缩率,%;
 d_1 ——断后平均直径,单位为毫米(mm);
 d_0 ——原始平均直径,单位为毫米(mm)。

8.4 应力松弛性能试验

- 8.4.1 钢绞线的应力松弛性能试验应按 GB/T 21839 规定进行。
- 8.4.2 试验标距长度不小于公称直径的 60 倍。
- 8.4.3 试样制备后不应进行任何热处理和冷加工。
- 8.4.4 允许用至少 240 h 的测试数据推算 1 000 h 的松弛率。

8.5 偏斜拉伸试验

偏斜拉伸试验应按 GB/T 21839 规定进行。

8.6 疲劳试验

- 8.6.1 疲劳性能试验应按 GB/T 21839 规定进行。
- 8.6.2 疲劳试验所用试样是从成品钢绞线上直接截取的试样,试样长度应保证两夹具之间的距离不小于 500 mm。

8.7 应力腐蚀试验

应力腐蚀试验应按 GB/T 21839 规定进行。

8.8 锚固性能试验

每个液化天然气储气罐项目,应进行所选用钢绞线与所选用匹配锚具的常温静载锚固性能和低温锚固性能试验。其锚固性能试验按 GB/T 14370 规定进行。

8.8.1 常温静载锚固性能

钢绞线与锚具组成的组装件,常温应满足 7.3.10 的要求。
效率系数 η 按式(3)计算:

$$\eta = \frac{F_{tu}}{F_{pm}} \geq 95\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:
 η ——钢绞线与锚具组装件的效率系数,%;

F_{tu} ——钢绞线与锚具组装件实测极限抗拉力,单位为千牛(kN);

F_{pm} ——钢绞线的平均极限抗拉力,单位为千牛(kN),由钢绞线实测最大力平均值计算确定。

8.8.2 低温锚固性能试验

钢绞线与锚具的组装件,在 $-196\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下应满足 7.3.11 的要求。效率系数按式(3)计算。

8.9 数值修约

检验结果的数值修约与判定应符合 YB/T 081 的规定。

9 检验规则

9.1 交货检验

供方的工厂检查按表 7 进行,需方可按本文件进行检查验收。

表 7 供方出厂检验项目和取样数量

序号	检验项目	检验频次	取样部位	检验方法
1	表面质量	每产品单元	在每(任)产品单元任意一端	目视或按表 6 检验方法检验
2	外形尺寸	每产品单元		8.2
3	断面收缩率	1 根/每产品单元		8.3.5
4	钢绞线平直度	1 根/每产品单元		用分度值为 1 mm 量具测量
5	整根钢绞线最大力	1 根/每产品单元		8.3.1
6	0.2%屈服力	1 根/每产品单元		8.3.2
7	最大力总延伸率	1 根/每产品单元		8.3.3
8	弹性模量	1 根/每产品单元		8.3.4
9	偏斜拉伸性能	1 组/每供货批	任意一产品单元	8.5
10	70% F_{ms} 应力松弛性能	1 根/每供货批		8.4
11 ^a	80% F_{ms} 应力松弛性能	3 次/每项目		8.4
12 ^b	应力腐蚀性能	1 次/每项目		8.7
13 ^b	疲劳性能	1 次/每项目		8.6
^a 在每个液化天然气储罐项目施工的前期、中期、后期分三次进行。				
^b 在钢绞线使用前进行。				

9.2 型式检验

常温静载锚固性能和低温锚固性能试验只进行型式检验,检验取样方法和试验方法应符合表 8 的规定。

表 8 型式检验项目和取样数量

序号	检验项目	检验频次	取样部位	检验方法
1 ^a	常温静载锚固性能	1 次/每项目	任意一产品单元	GB/T 14370
2 ^a	低温锚固性能	1 次/每项目		GB/T 14370
^a 在钢绞线使用前进行。				

10 包装、标识、运输、贮存及质量证明书

10.1 包装

10.1.1 钢绞线应以无轴包装交付，每盘重量 1 500 kg~4 000 kg。

10.1.2 钢绞线盘的外形尺寸应符合以下要求：

- 内径：750 mm~900 mm
- 外径：≤1 550 mm
- 宽度：≤800 mm

10.1.3 每盘卷钢绞线应捆扎结实，捆扎不少于 6 道。经双方协议，可加防潮纸、麻布等材料包装。

10.2 标识

每一钢绞线盘卷应拴挂牌，其上注明供方名称、产品名称、标记、出厂编号、规格、强度级别、炉批号、执行文件编号、重量及件数等。

10.3 运输

钢绞线应采用封闭式运输，注意防水，避免与一切可能导致钢绞线受到机械或化学损伤的物体接触。装卸时应小心，防止钢绞线及其包装受到损伤。

10.4 贮存

10.4.1 钢绞线应存放在室内，并设置支垫避免钢绞线与地面接触。

10.4.2 钢绞线在贮存期间注意通风，并防止大气对钢绞线的腐蚀。

10.4.3 所有钢绞线在贮存期间，如拆开包装，应每 10 d~12 d 用水溶性防锈油或类似产品进行一次防护。

10.5 质量证明书

每批应附有质量证明书，其中注明供方名称、产品名称、规格、标记、强度级别、执行标准、重量、件数、需方名称、试验结果、发货日期、质量检验部门印记。

参 考 文 献

- [1] GB/T 24238 预应力钢丝及钢绞线用热轧盘条
 - [2] GB/T 24242.4 制丝用非合金钢盘条 第4部分:特殊用途盘条
-