

中华人民共和国国家标准

GB/T 43673—2024

非金属敷缆复合连续油管

Non-metallic composite coiled tubing with embedded cable

2024-03-15 发布

2024-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	2
3.1 术语和定义	2
3.2 缩略语	4
4 产品描述	4
4.1 管体结构	4
4.2 接头装置	5
4.3 产品代号	5
5 材料	6
5.1 内衬层	6
5.2 增强层和抗拉层	6
5.3 外护套	7
5.4 接头	7
5.5 动力电缆、信号电缆和辅热电缆	7
5.6 光纤	7
6 技术要求	7
6.1 通则	7
6.2 NPR	7
6.3 TLR	7
6.4 WTR	7
6.5 MOP	8
6.6 长度	8
6.7 外观质量	8
6.8 规格尺寸、NPR、TLR 和 MBR	8
6.9 理化性能	9
6.10 电性能	10
6.11 加热性能	10
6.12 整卷试压	10
7 试验方法	10
7.1 试样状态调节	10
7.2 外观质量	11

7.3	规格尺寸	11
7.4	受压开裂稳定性	11
7.5	短期静水压强度	11
7.6	短时爆破压力	11
7.7	拉伸性能	11
7.8	抗挤毁强度	11
7.9	NPR 下的轴向伸长率	11
7.10	MBR	11
7.11	1 000 h 存活试验	11
7.12	快速泄压	12
7.13	短时循环压力	12
7.14	导体电阻	12
7.15	绝缘电阻	12
7.16	耐电压	12
7.17	加热	12
7.18	整卷试压	12
8	检验规则	12
8.1	检验分类	12
8.2	出厂检验	12
8.3	型式试验	13
9	标志、包装、运输和贮存	14
9.1	标志	14
9.2	包装	14
9.3	运输	14
9.4	贮存	14
10	安装	14
附录 A (资料性)	耐化学性能	15
附录 B (资料性)	聚合物材料气体渗透性测试方法	18
附录 C (规范性)	抗挤毁强度测试方法	20
附录 D (资料性)	压力作用下轴向伸长率测试方法	22
附录 E (资料性)	敷缆管安装注意事项	24
参考文献		28

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。

本文件由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)归口。

本文件起草单位：中国石油集团工程材料研究院有限公司、上海飞舟博源石油装备股份有限公司、威海鸿通管材股份有限公司、沧州明珠塑料股份有限公司、中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司、中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院、河北宇通特种胶管有限公司、陕西航天德林科技集团有限公司。

本文件主要起草人：李厚补、丁楠、李敏立、连洪正、杨峰、甘庆明、明尔扬、张鹏、冯国竞、于志猛、杨海涛、吴盼、李兴维、方伟、魏斌、姬振宁、李召勇、林本常。

非金属敷缆复合连续油管

1 范围

本文件规定了非金属敷缆复合连续油管(以下简称“敷缆管”)的产品描述、材料、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存和安装。

本文件适用于直井、定向井、水平井等井下人工举升或采注水用敷缆管。

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(包括所有的修订单)适用于本文件。

- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2918 塑料 试样状态调节和试验的标准环境
- GB/T 3048.4 电线电缆电性能试验方法 第4部分:导体直流电阻试验
- GB/T 3048.5 电线电缆电性能试验方法 第5部分:绝缘电阻试验
- GB/T 3048.8 电线电缆电性能试验方法 第8部分:交流电压试验
- GB/T 3956 电缆的导体
- GB/T 6111 流体输送用热塑性塑料管道系统 耐内压性能的测定
- GB/T 8162 结构用无缝钢管
- GB/T 8237 纤维增强塑料用液体不饱和聚酯树脂
- GB/T 8806 塑料管道系统 塑料部件尺寸的测定
- GB/T 9771.1 通信用单模光纤 第1部分:非色散位移单模光纤特性
- GB/T 12357.1 通信用多模光纤 第1部分:A1类多模光纤特性
- GB/T 13657 双酚A型环氧树脂
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 15560 流体输送用塑料管材液压瞬时爆破和耐压试验方法
- GB/T 18252 塑料管道系统 用外推法确定热塑性塑料材料以管材形式的长期静液压强度
- GB/T 18369 玻璃纤维无捻粗纱
- GB/T 18475 热塑性塑料压力管材和管件用材料分级和命名 总体使用(设计)系数
- GB/T 18992.2 冷热水用交联聚乙烯(PE-X)管道系统 第2部分:管材
- GB/T 26752 聚丙烯腈基碳纤维
- GB/T 34903.1 石油、石化与天然气工业 与油气开采相关介质接触的非金属材料 第1部分:热塑性塑料
- FZ/T 54076 对位芳纶(1414)长丝
- JB/T 5331 潜油电机用特种聚酰亚胺薄膜绕包铜圆线
- JB/T 13484 额定电压0.6/1 kV氟塑料绝缘电力电缆
- SY/T 6662.2 石油天然气工业用非金属复合管 第2部分:柔性复合高压输送管
- SY/T 6794—2018 可盘绕式增强塑料管线管

ISO 10931 工业用塑料管道系统聚偏氟乙烯(PVDF)部件和系统的规范[Plastics piping systems for industrial applications—Poly(vinylidene fluoride)(PVDF)—Specification for components and the system]

ISO 16486-1 气体燃料供应用塑料管道系统热熔连接和机械连接的未增塑聚酰胺(PA-U)管道系统 第1部分:总则[Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels—Unplasticized polyamide (PA-U) piping systems with fusion jointing and mechanical jointing—Part 1:General]

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

非金属敷缆复合连续油管 non-metallic composite coiled tubing with embedded cable

一种内嵌有动力电缆、辅热电缆、信号电缆或光纤等线缆的多层结构非金属连续油管。

3.1.2

非粘结型敷缆管 unbonded composite tubing with embedded cable

管体由分层的内衬层、增强层、外护套等逐层包覆构成,变形时各层之间可能产生相对位移的非金属敷缆复合连续油管。

3.1.3

粘结型敷缆管 bonded composite tubing with embedded cable

管体增强层通过熔结或粘结方式与内衬层、外护套等相邻各层形成不可相对运动的整体式管壁结构的非金属敷缆复合连续油管。

3.1.4

绝缘电阻 insulation resistance

在规定条件下,处于两个导体之间的绝缘材料的电阻。

3.1.5

动力电缆 power cable

用于井下工具提供动力电源的电缆。

3.1.6

信号电缆 signal cable

用于传输井下传感器信号的电缆。

3.1.7

辅热电缆 heating cable

用来加热敷缆管体的电缆。

3.1.8

接头 end fitting

带电缆穿越功能,在敷缆管端部具有连接和密封作用的装置。

3.1.9

最小弯曲半径 minimum bending radius

敷缆管在安装、存储及搬运状态弯曲时,不产生破坏的最小半径极限值。

3.1.10

公称压力等级 **nominal pressure rating**

给定工作温度等级下的敷缆管压力等级。

3.1.11

最高压力等级 **maximum pressure rating**

通过试验计算获取的敷缆管在规定条件下长期服役不发生失效的最大静液压力。

3.1.12

内衬层 **liner**

通过挤塑形成的与输送流体直接接触的高分子聚合物层。

3.1.13

外护套 **outer sheath**

敷缆管最外层,用来防止外界环境腐蚀、磨损和机械损伤的聚合物层。

3.1.14

增强层 **reinforcement layer**

增加敷缆管对内外压力、机械破坏载荷抵抗能力的结构层。

3.1.15

抗拉层 **tensile layer**

主要用于承受敷缆管轴向载荷的结构层。

3.1.16

短时爆破压力 **short-term burst pressure**

在规定的温度、升压速率下,在短时间内测得的瞬时爆破压力。

3.1.17

受压开裂稳定性 **the stability of no splitting for pressed composite pipes**

敷缆管经过径向受力压缩后的理化性能稳定性。

3.1.18

公称内径 **nominal inside diameter**

与内径相关的公称尺寸。

3.1.19

最小壁厚 **minimum wall thickness**

敷缆管圆周上任一点壁厚的最小允许值。

3.1.20

拉伸载荷等级 **tensile load rating**

允许的最大连续拉伸载荷。

3.1.21

拉伸失效载荷 **tensile failure load**

敷缆管拉伸曲线屈服点所对应的载荷。

3.1.22

工作温度等级 **working temperature rating**

敷缆管组件所能承受的最高工作温度。

3.1.23

最大工作压力 **maximum operating pressure**

公称压力等级乘以相应的工作系数获得的压力。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

MBR:最小弯曲半径(minimum bending radius)

MOP:最大工作压力(maximum operating pressure)

MPR:最高压力等级(maximum pressure rating)

NPR:公称压力等级(nominal pressure rating)

PA:聚酰胺或尼龙(polyamide)

PE:聚乙烯(polyethylene)

PEX:交联聚乙烯(cross-linked polyethylene)

PVDF:聚偏氟乙烯(polyvinylidene fluoride)

TLR:拉伸载荷等级(tensile load rating)

WTR:工作温度等级(working temperature rating)

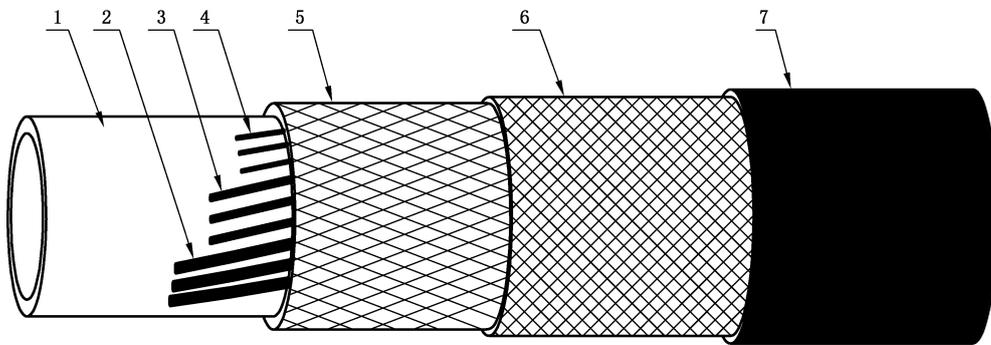
4 产品描述

4.1 管体结构

按照管体结构的不同,敷缆管可分为粘结型(I型)和非粘结型(II型)两类。

粘结型敷缆管和非粘结型敷缆管主要由内衬层、增强层、抗拉层、外护套等组成,内嵌动力电缆、信号电缆、辅热电缆或光纤等线缆,典型的敷缆管结构分别如图1和图2所示。

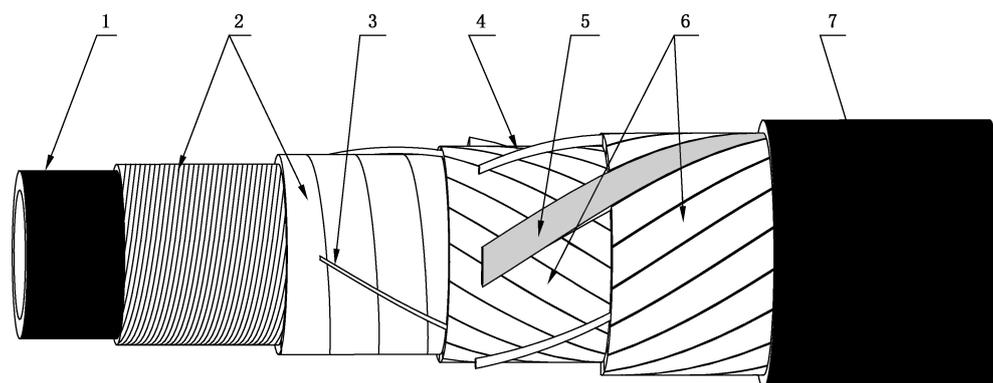
注:图1和图2为敷缆管的结构示意图,不表达各结构层真实顺序及数量等参数,各线缆依据实际需要进行设计或增减。



标引序号说明:

- 1——内衬层;
- 2——动力电缆;
- 3——辅热电缆;
- 4——信号电缆或光纤;
- 5——抗拉层;
- 6——增强层;
- 7——外护套。

图1 粘结型(I型)敷缆管结构示意图



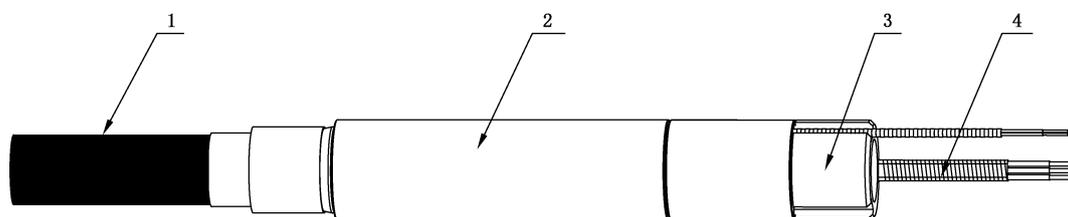
标引序号说明：

- 1——内衬层；
- 2——增强层；
- 3——信号电缆或光纤；
- 4——辅热电缆；
- 5——动力电缆；
- 6——抗拉层；
- 7——外护套。

图 2 非粘结型(Ⅱ型)敷缆管结构示意图

4.2 接头装置

敷缆管的接头装置示意图如图 3 所示。



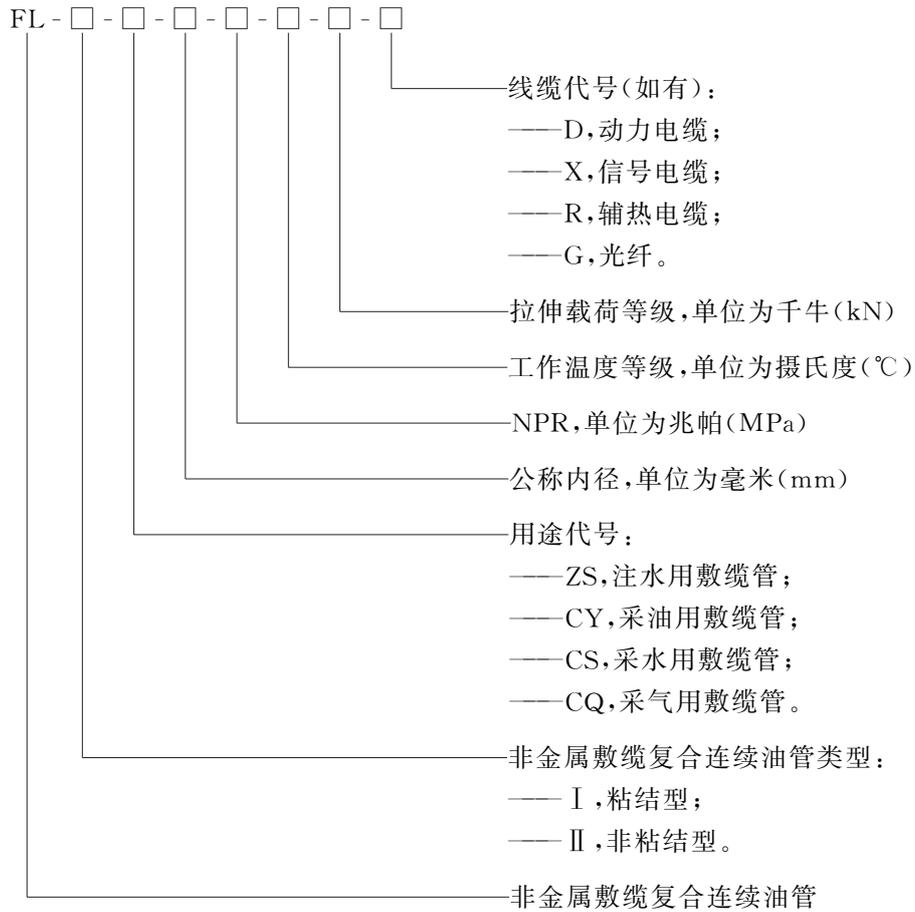
标引序号说明：

- 1——敷缆管；
- 2——接头主体；
- 3——连接接头；
- 4——引接线缆。

图 3 敷缆管接头装置示意图

4.3 产品代号

敷缆管产品代号表示方法如下：



示例: 公称内径为 40 mm, NPR 为 30 MPa, 工作温度等级为 80 °C, 拉伸载荷等级为 125 kN 的敷设有信号电缆注水用粘结型敷缆管表示为: FL-I-ZS-40 mm-30 MPa-80 °C-125 kN-X。

5 材料

5.1 内衬层

5.1.1 在给定的服役条件下输送特定流体时,内衬层在寿命周期内应保持完好。制造商应提供材料性能及其工作环境对材料性能影响的文件,包括对输送流体中组分的吸附、对低分子物质和增塑剂的滤取、聚合物分子结构的变化和环境应力开裂。

5.1.2 内衬层通常采用 PE、PEX、PA 和 PVDF 等。采用 PE 时应按照 GB/T 18252 定级并按照 GB/T 18475 分级,性能应达到 PE80 级或 PE100 级,PE 耐化学介质腐蚀性能见附录 A;采用 PEX 时,性能应符合 GB/T 18992.2 要求;采用 PA 时,性能应符合 ISO 16486-1 要求;采用 PVDF 时,性能应符合 ISO 10931 要求。其他类型的内衬层材料应符合相应标准要求。

5.1.3 内衬层材料的工况环境适用性应符合 GB/T 34903.1 的要求。在特定油气田环境中使用的内衬层材料,宜参考 GB/T 34903.1 确定其适用性能。内衬层材料用于含酸性气体(H₂S 和 CO₂)的介质输送时,应测试确定材料的气体渗透性,聚合物材料气体渗透性的测试方法见附录 B。

5.2 增强层和抗拉层

5.2.1 增强层、抗拉层应满足在给定服役条件下的整个使用寿命周期内使用需求。供应商应提供证明

增强层、抗拉层的短期/长期承载能力、温度适用范围、流体相容性以及所有材料老化性能的试验数据。

5.2.2 当增强层、抗拉层原料采用芳纶纤维时应符合 FZ/T 54076 的要求；当增强层、抗拉层原料采用玻璃钢时，玻璃纤维应符合 GB/T 18369 的要求、不饱和聚酯树脂应符合 GB/T 8237 要求、环氧树脂应符合 GB/T 13657 要求；当增强层、抗拉层原料采用碳纤维时应符合 GB/T 26752 的要求；经供需双方协商，可采用其他高强度纤维或复合材料。

5.3 外护套

外护套应在给定服役条件下的整个使用寿命周期内保持其功能完整性。当现场需要或者购方要求时，制造商应以文件形式说明其承受安装载荷、使用环境（如磨损、耐高温等）、耐油气介质相容性的能力。

5.4 接头

接头采用符合 GB/T 8162 要求的碳素结构钢，也可根据介质、环境要求选用符合 GB/T 14976 要求的不锈钢材料，采用其他合金材料时应符合相应国家标准或行业标准的要求。

5.5 动力电缆、信号电缆和辅热电缆

动力电缆采用聚酰亚胺薄膜绕包圆铜线时，基本性能应符合 JB/T 5331 的要求；动力电缆、信号电缆、辅热电缆采用氟塑料电源线时，基本性能应符合 JB/T 13484 的要求；动力电缆、信号电缆、辅热电缆采用其他种类的电缆时应符合相应国家标准或行业标准的要求。

5.6 光纤

采用单模光纤时，基本性能应符合 GB/T 9771.1 的要求；采用多模光纤时，基本性能应符合 GB/T 12357.1 的要求；以光缆形式敷设时，其基本性能宜参考 GB/T 7424.1 要求。

6 技术要求

6.1 通则

制造商应保证敷缆管在设计工况条件下具有结构完整性，并符合给定服役条件下安装和使用的要求。制造商和/或用户宜建立一套程序来验证敷缆管及其系统的可靠性。例如，制造商应依据敷缆管连接的电动潜油离心泵类型，建立试验程序验证敷缆管在固定轴向载荷或交变轴向载荷下的疲劳性能，同时应验证敷缆管的抗扭转性能是否可以满足电动潜油离心泵工作扭矩需要。

6.2 NPR

宜参考 SY/T 6794—2018 中 6.3 的要求，在 WTR 下，采用长期静水压试验确定敷缆管的 MPR 后，参考 SY/T 6794—2018 中附录 A 要求确定敷缆管的 NPR，不应超过 MPR。

6.3 TLR

敷缆管的 TLR 由制造商根据敷缆管的实际应用工况进行设计，一般要求 TLR 应不小于井口以下的敷缆管和管下端悬挂组件的总重力及泵的轴向拉力。

6.4 WTR

敷缆管的 WTR 分为 60 °C、70 °C、80 °C、90 °C、100 °C、110 °C 和 120 °C，其他 WTR 由供需双方协商确定。

6.5 MOP

在特殊工况下需考虑不同因素对压力的折减系数,应通过公式(1)确定 MOP。

$$MOP = NPR \times f_f \times f_{s0} \times f_{s1} \times \dots \times f_{sn} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

MOP ——最大工作压力,单位为兆帕(MPa);

NPR ——公称压力等级,单位为兆帕(MPa);

f_f ——介质折减系数,输送气体时 f_f 值不大于 0.67、输送液态碳氢化合物和多相流体时 f_f 值不大于 0.8、输送水时 f_f 值不大于 1.0;

f_{sn} ——其他因素折减系数,包含但不限于循环载荷、化学老化、安装系数、选择的可靠度等。

6.6 长度

敷缆管的长度由供需双方协商确定,供货敷缆管长度误差应不超过双方协商确定值的±0.5%。敷缆管外表面应有表示连续长度的标记,标记间距应不大于 5 m。

6.7 外观质量

敷缆管颜色应均匀一致,内、外表面应清洁、光滑,不应有气泡、明显的划伤、凹陷或杂质。

敷缆管外表面应有清晰可见的标识,代号标识应符合 4.3 的要求。

6.8 规格尺寸、NPR、TLR 和 MBR

粘结型敷缆管的规格尺寸、NPR、TLR 和 MBR 应符合表 1 的要求;非粘结型敷缆管的规格尺寸、NPR、TLR 和 MBR 应符合表 2 的要求。非标产品规格尺寸、NPR 和 TLR 由供需双方协商确定。

表 1 粘结型敷缆管的规格尺寸、NPR、TLR 和 MBR

公称内径 mm	最小壁厚 mm	NPR MPa	TLR kN	MBR mm
30	16	10	20	950
30	17	20	60	950
30	18	30	100	950
35	16.5	10	25	975
35	17.5	20	70	975
35	18.5	30	115	975
40	17	10	30	1 000
40	18	20	80	1 000
40	19	30	125	1 000
50	18	10	40	1 050
50	19	20	90	1 050
50	20	30	150	1 050
60	20	10	55	1 150
60	21	20	120	1 150

表 2 非粘结型敷缆管的规格尺寸、NPR、TLR 和 MBR

公称内径 mm	最小壁厚 mm	NPR MPa	TLR kN	MBR mm
35	14	16	60	800
35	17	25	100	800
35	19	32	120	800
40	15	16	120	900
40	18	25	140	900
40	20	32	160	940
50	16	16	140	900
50	19	25	160	900
50	22	32	180	960
62	18	16	140	1 100
62	21	25	160	1 100
62	23	32	180	1 150

6.9 理化性能

敷缆管的理化性能应符合表 3 的规定。

表 3 敷缆管的理化性能

项目	指标	试验方法
受压开裂稳定性 (针对粘结型敷缆管)	表面无裂纹	7.4
短期静水压强	WTR:2 倍 NPR, 保持 165 h, 无破裂、无渗漏, 各类电缆性能应符合 6.10 的要求	7.5
短时爆破压力	WTR 下的短时爆破压力不小于 3 倍 NPR	7.6
拉伸性能	WTR 下的拉伸失效载荷不小于 2.5 倍 TLR	7.7
抗挤毁强度	测试值大于或等于设计值	7.8
NPR 下敷缆管的轴向伸长率	敷缆管在 NPR 下的轴向伸长率小于 5‰	7.9
MBR	符合 WTR 下短时爆破压力要求	7.10
1 000 h 存活	WTR 下, 无破裂、无渗漏, 各类电缆性能应符合 6.10 的要求	7.11
快速泄压	敷缆管和接头不应发生坍塌、脱粘、起泡以及外护套破裂等现象, 各类电缆性能应符合 6.10 的要求	7.12
短时循环压力	不小于 7 000 周次, 无破裂、无渗漏, 各类电缆性能应符合 6.10 的要求	7.13

6.10 电性能

6.10.1 通用要求

依据线缆布设情况,敷缆管应在两端完成现场接头制作后进行相应的电性能测试。

6.10.2 导体电阻

20℃下,导体直流电阻应符合 GB/T 3956 的规定。导体电阻的不平衡度应不大于 3%。

信号电缆的阻值应符合敷缆管所配套传感器或其他测试仪器的具体技术要求,辅热电缆应根据设计要求选用合适的导体电阻。

注:直流电阻指在接触绝缘介质的两电极之间施加的直流电压与给定电化时间时通过介质的电流之商。

6.10.3 绝缘电阻

20℃下,敷缆管动力电缆相间绝缘电阻和对地绝缘电阻应大于 500 MΩ,信号电缆和辅热电缆的对地绝缘电阻均应大于 500 MΩ。

6.10.4 耐电压

敷缆管中动力电缆应能承受表 4 中规定的交流耐电压试验。

表 4 敷缆管动力电缆耐电压试验

额定工作电压 kV	耐电压试验	
	试验电压(交流) kV	施加电压时间 min
0.38	1.76	5
0.66	2.32	
1	3	
1.5	4	

6.11 加热性能

敷缆管敷设有其他功能线缆时,应在满足敷缆管基本性能的前提下,确保其功能的实现。

敷缆管敷设有辅热电缆时,应按 7.17 开展加热试验。在设计加热功率下开启敷缆管加热功能,加热 6 h 后敷缆管内的平均水温升高应不低于 15℃,加热试验过程中管体外表面温度应不超过敷缆管的 WTR。

6.12 整卷试压

敷缆管应按 7.18 进行整卷试压试验,试压后应无破裂、无渗漏,各类电缆性能应符合 6.10 的要求。

7 试验方法

7.1 试样状态调节

除另有规定外,应在敷缆管生产至少 24 h 后取样,试样按照 GB/T 2918 要求,在温度(23±2)℃下状态调节至少 24 h 后进行试验。

7.2 外观质量

用目测方法进行外观质量检查。

7.3 规格尺寸

7.3.1 长度

用分度值不大于 1 mm 的测量工具(仪器)测量长度。

7.3.2 外径和壁厚

按 GB/T 8806 的规定方法测量外径和壁厚。

7.4 受压开裂稳定性

按 SY/T 6662.2 的规定方法检验受压开裂稳定性。

7.5 短期静水压强度

按 GB/T 6111 的规定方法进行,采用非约束型端部型式试验短期静水压强度。

7.6 短时爆破压力

7.6.1 按 GB/T 15560 的规定方法进行,采用非约束型端部型式测试短时爆破压力。

7.6.2 高温爆破时,在 WTR 下状态调整 4 h 后,在水箱内完成爆破试验或转移外出 10 min 内完成爆破试验。

7.6.3 若试验的目的是评定敷缆管是否符合表 3 中的短时爆破压力要求,在达到计算爆破压力后可停止试验。

7.7 拉伸性能

7.7.1 管样应带有现场接头,有效长度应不小于 5 倍外径或 300 mm,两者取较大者。

7.7.2 在不施加内压的条件下将管样以 10 mm/min 的速率进行轴向拉伸,计算机实时记录敷缆管试样的轴向拉伸载荷与变形量关系曲线,当曲线出现屈服点后停止测试,记录曲线屈服点对应的拉伸失效载荷。

7.8 抗挤毁强度

按附录 C 的规定方法测试敷缆管的抗挤毁强度。

7.9 NPR 下的轴向伸长率

按 GB/T 6111 的规定方法加压至 NPR,保压 2 min,压力作用下轴向伸长率见附录 D 的规定方法进行测量和计算。

7.10 MBR

按 SY/T 6662.2 的规定方法检验 MBR。

7.11 1 000 h 存活试验

按 SY/T 6662.2 的规定方法进行 1 000 h 存活试验。

7.12 快速泄压

按 SY/T 6794 的规定方法进行快速泄压试验。

7.13 短时循环压力

7.13.1 试样应采用非约束型端部型式,有效长度应不小于 5 倍外径或 300 mm,两者取较大者。

7.13.2 循环压力波动幅值为波谷不大于 0.69 MPa,波峰不低于 NPR 的 1.5 倍。

7.13.3 试验频率为 25 周次/min。

7.14 导体电阻

按 GB/T 3048.4 进行测试。测量导体电阻不平衡度时,在电缆一端将三相导体短接,在电缆另一端测量三相回路的直流电阻,试样为整卷敷缆管,三相导体不平衡度按公式(2)进行计算。

$$\epsilon_{cR} = \frac{R_{max} - R_{min}}{R_{cav}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

式中:

ϵ_{cR} ——导体电阻不平衡度,%;

R_{max} ——三相电缆 U 与 V、V 与 W、W 与 U 两相间的直流电阻(R_{UV} 、 R_{VW} 、 R_{WU})中的最大值,单位为欧姆(Ω);

R_{min} ——三相电缆 U 与 V、V 与 W、W 与 U 两相间的直流电阻(R_{UV} 、 R_{VW} 、 R_{WU})中的最小值,单位为欧姆(Ω);

R_{cav} ——三相电缆 U、V、W 各单相的直流电阻(R_U 、 R_V 、 R_W)的平均值,单位为欧姆(Ω)。

7.15 绝缘电阻

按 GB/T 3048.5 进行测试。

7.16 耐电压

按 GB/T 3048.8 进行测试。

7.17 加热

取长度不小于 10 m 的敷缆管样管,在管内注满常温水。常温状态调节 4 h 后,测试管内水温 T_1 。按照设计加热功率开启敷缆管加热功能,采用温度传感器实时测量并记录管体外表面温度。6 h 后测试管内水温 T_2 ,并计算管内水温升高的数值($T_2 - T_1$)。

7.18 整卷试压

在常温状态下进行整卷试压,试压介质为水,试压压力为 NPR,保持 1 h。试验完成后,清除管内水介质。

8 检验规则

8.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式试验。

8.2 出厂检验

8.2.1 检验项目

产品应经质检部门检验合格后方能出厂,并附产品合格证。出厂检验项目为:

- 外观质量(见 6.7)；
- 长度、规格尺寸(见 6.6、6.8)；
- 短时爆破压力(见 6.9)；
- 拉伸性能(见 6.9)；
- 导体电阻(见 6.10.2)；
- 绝缘电阻(见 6.10.3)；
- 整卷试压(见 6.12)。

8.2.2 组批

同一原料、配方和工艺连续生产的同一规格敷缆管为一批,且每批数量不超过 30 km。生产期 15 d 尚不足 30 km,以 15 d 的产量为一批。

8.2.3 取样方法

在每完成一卷敷缆管生产的同时应从此卷产品的末端截取至少 4 m 长的敷缆管留作抽样试样。

8.2.4 抽样与判定

每卷敷缆管均应进行整卷试压(见 6.12)和电性能(见 6.10)检测。当出现整卷试压和电性能项目不合格时,则判定该卷为不合格品。

长度(见 6.6)、外观质量(见 6.7)、规格尺寸(见 6.8)的抽样检验按 GB/T 2828.1 的规定进行,采用正常检验一次的抽样方案,取一般检验水平 II,接收质量限 AQL=2.5,以卷为单位抽取样本,抽样方案见表 5,其中合格判定数及不合格判定数的确定应符合表 5 中的要求。

在计数抽样合格的产品中,随机抽取一组截取的试样按 6.9 的要求进行短时爆破压力和拉伸性能测试。当出现不合格时,应重新抽取两个试样进行复验;如仍有不合格,则判定该批不合格。

表 5 抽样方案

批量	试样数量	合格判定数 Ac	不合格判定数 Re
1~8	2	0	1
9~15	3	0	1
16~25	5	1	2
26~50	8	1	2
51~90	13	2	3
91~150	20	3	4

8.3 型式试验

8.3.1 试验项目

型式试验项目为第 6 章规定的除整卷试压除外的其余项目。

8.3.2 型式试验条件

型式试验周期一般 4 年,有下列情况之一时,应进行型式试验:

- a) 更改主要原辅材料或更改关键工艺时;
- b) 新产品鉴定时;

- c) 停产 1 年以上恢复生产时；
- d) 成品检验结果与上次型式试验结果有较大差异时；
- e) 国家监督管理部门或购方有要求时。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

敷缆管外表面上应有明显的标志,并且至少应包括以下内容:

- a) 制造商名称或商标;
- b) 产品代号;
- c) 制造日期(年月);
- d) 批号;
- e) 标准号。

如购方有特殊标志要求,其要求也应标记在敷缆管上。

9.2 包装

9.2.1 敷缆管宜采用盘卷包装,运输盘的内径应不小于敷缆管 MBR 的 2 倍。

9.2.2 盘卷包装所用的运输盘规格和运输盘类型由购方和制造商协商确定。

9.2.3 敷缆管两端应封口,以免杂质进入管内。

9.2.4 包装标牌包含但不限于下列内容:

- a) 制造商名称;
- b) 产品名称;
- c) 产品代号;
- d) 盘卷长度;
- e) 出厂日期;
- f) 制造许可证编号;
- g) 执行标准。

9.3 运输

9.3.1 盘卷运输,运输盘下方不应有损害管线的任何物体。

9.3.2 采用机械并保持卷轴水平的方式装卸,应防止卷轴滚动。

9.3.3 搬运时,不应受到抛摔和剧烈的撞击。

9.3.4 在运输过程中,避免阳光照射、雨雪浸淋,并距离热源至少 2 m。

9.4 贮存

9.4.1 产品宜贮存在通风干燥的库房内,避免阳光长期照射,距离热源不小于 3 m,存放时间不应超过 1 年。

9.4.2 露天存放时应增加防晒和防雨措施,存放时间不应超过 3 个月。

10 安装

敷缆管应按相关的安装规范或制造商提出的安装工艺进行安装,也可见附录 E 进行。

附 录 A
(资料性)
耐化学性能

输送石油、天然气、污水、化工领域常用的腐蚀介质时,PE 的耐化学腐蚀性能见表 A.1。

表 A.1 PE 耐化学腐蚀性能

序号	化学介质	浓度(质量分数) %	20 °C 耐蚀性	60 °C 耐蚀性
1	硝酸	25	S	S
		50	L	NS
		75	NS	NS
2	硫化氢	100	S	S
3	硫化氢(气)	100	S	S
4	氢氧化钠	30	S	S
		40	S	S
5	二氧化碳	100	L	L
6	过氧化氢	30	S	S
		70	S	NS
		90	S	NS
7	氢氟酸	40	S	L
		60	S	L
		70	S	NS
8	肼	—	S	S
9	原油	100	S	L
10	天然气	100	S	S
11	盐酸	10	S	S
		浓缩	S	S
12	乙醛	100	S	L
13	乙酸	10	S	S
14	冰醋酸	≥96	S	L
15	无水醋酸	100	S	L
16	丙酮	100	L	L
17	己二酸	饱和	S	L
18	丙烯醇	100	S	S
19	乙酸正戊酯	100	S	L
20	苯胺	100	S	L

表 A.1 PE 耐化学腐蚀性能 (续)

序号	化学介质	浓度(质量分数) %	20 °C 耐蚀性	60 °C 耐蚀性
21	砷酸	饱和	S	S
22	苯甲醛	100	S	L
23	苯	100	L	L
24	苯甲酸	饱和	S	S
25	硼砂	饱和	S	S
26	硼酸	饱和	S	S
27	溴(干气)	100	NS	NS
28	溴(液态)	100	NS	NS
29	丁烷(气)	100	S	S
30	丁醇	100	S	S
31	丁酸	100	S	L
32	四氯化碳	100	L	NS
33	氯(水溶液)	饱和	L	NS
34	氯(干气)	100	L	NS
35	氯乙酸	非饱和	S	S
36	氯仿	100	NS	NS
37	氯代甲烷(气)	100	L	—
38	铬酸	20	S	L
39	柠檬酸	饱和	S	S
40	甲苯基酸	饱和	L	—
41	环己酮	100	S	L
42	十氢化萘	100	S	L
43	显影剂	工业级	S	S
44	糊精	非饱和	S	S
45	乙醚	100	L	—
46	乙二醇	100	S	S
47	乙醇	40	S	L
48	乙酸乙酯	100	S	NS
49	氟气	100	NS	NS
50	氟硅酸	40	S	S
51	甲醛	50	—	—
52	甲酸	85~100	S	S
53	葡萄糖	饱和	S	S

表 A.1 PE 耐化学腐蚀性能 (续)

序号	化学介质	浓度(质量分数) %	20 °C 耐蚀性	60 °C 耐蚀性
54	甘油	100	S	S
55	庚烷	100	S	NS
56	氢溴酸	100	S	S
57	乳酸	100	S	S
58	醋酸铅	饱和	S	S
59	氢氧化镁	饱和	S	S
60	马来酸	饱和	S	S
61	汞	100	S	S
62	甲醇	100	S	S
63	矿物油	—	S	L
64	氯化镍	饱和	S	S
65	油和脂肪	—	S	L
66	油酸	100	S	S
67	磷酸	50	S	S
68	苦味酸	饱和	S	L
70	醋	—	S	S
71	二甲苯	100	L	NS
72	丹宁酸	非饱和	S	S
73	酒石酸	非饱和	S	S
74	次氯酸钾	非饱和	S	L
75	碘(溶于碘化钾溶液中)	饱和	NS	NS
76	碘(溶于酒精中)	工业级	NS	NS
77	苯酚	非饱和	S	S
78	二氧化硫(干)	100	S	S
79	三氧化硫	100	NS	NS
80	亚硫酸	30	S	S
81	重铬酸钾	饱和	S	S
82	高锰酸钾	20	S	S
83	王水	HCl/HNO ₃ = 3 : 1	NS	NS
84	硫酸	50	S	S
		90	S	NS
		雾	NS	NS

注：“S”代表优良的耐腐蚀性；“NS”代表较差的耐腐蚀性；“L”代表有限度的耐腐蚀性；“饱和”即 20 °C 饱和水溶液；“非饱和”即浓度 10% 以上的非饱和溶液；“雾”表示“雾化”。

附 录 B

(资料性)

聚合物材料气体渗透性测试方法

B.1 概述

本方法采用气体渗透仪,测试不同温度、不同压力、不同时间条件下,不同气体组分(如 CO_2 、 H_2S 、 CH_4 、 O_2 、 N_2 等)在聚合物片材中的气体渗透性能。

B.2 测试原理

采用聚合物薄膜(片)试样将气体渗透仪的低压室和高压室分开。试样密封后将低压室抽真空使其压力接近零值,高压室充入试验气体。实时测量低压室的压力增量 Δp ,确定测试气体由高压室透过薄膜(片)试样至低压室的以时间为函数的气体量,由气体渗透仪计算并输出最终的气体透过量 and 气体渗透系数。

注:气体透过量指在恒定温度和单位压力差下,在稳定透过时,单位时间内透过试样单位面积气体的体积。以标准温度和压力下的体积值表示,单位为 $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$ 。气体渗透系数指在恒定温度和单位压力差下,在稳定透过时,单位时间内透过试样单位厚度、单位面积的气体的体积。以标准温度和压力下的体积值表示,单位为 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 。

B.3 测试仪器

测试仪器为压差法气体渗透仪。渗透仪的高、低压室分别设置一个测压装置,低压室测压装置的准确度大于或等于 6 Pa。渗透仪配置的真空泵能使低压室中的压力小于或等于 26 Pa。当测试气体为危险气体(如 H_2S)时,测试仪器配备相应的安全防护及尾气吸收处理装置等。

B.4 试样

B.4.1 试样为注塑或压塑等工艺制备的聚合物薄膜或薄片,试样表面平整,无可见缺陷。

B.4.2 试样一般为圆形,其直径取决于所使用的气体渗透仪。试样厚度通常为 0.2 mm~1.5 mm,每组试样至少为 3 个。

B.4.3 测试前参考 GB/T 2918,在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 环境下,将试样放在干燥器中进行 48 h 以上状态调节或按产品标准规定处理。

B.5 测试条件

B.5.1 测试条件通常包括温度、相对湿度、气体组分、测试压力、测试时间等,具体参数双方可协商确定。

B.5.2 试验气体(H_2S 、 CO_2 、 CH_4 等)为高纯气体(最低纯度为 99.99%)。可使用单组分的 H_2S 、 CO_2 、 CH_4 等气体,或使用依照试验条件配比的混合气体。

B.6 测试过程

B.6.1 测试过程依据所使用气体渗透仪的操作步骤进行。

B.6.2 当试验气体为危险气体(如 H_2S)时,采取相应安全防护并开启尾气吸收处理装置。

B.7 试验记录

试验记录至少包括以下内容:

- a) 试样名称及状态调节情况的说明；
- b) 使用的测试仪器；
- c) 使用的试验气体名称；
- d) 测试温度；
- e) 每个试样的厚度；
- f) 每个试样的气体渗透系数及每组试样的算术平均值；
- g) 根据需要,使用气体渗透仪配置的软件系统分析试样在此条件下的扩散系数及溶解度系数。

附 录 C
(规范性)
抗挤毁强度测试方法

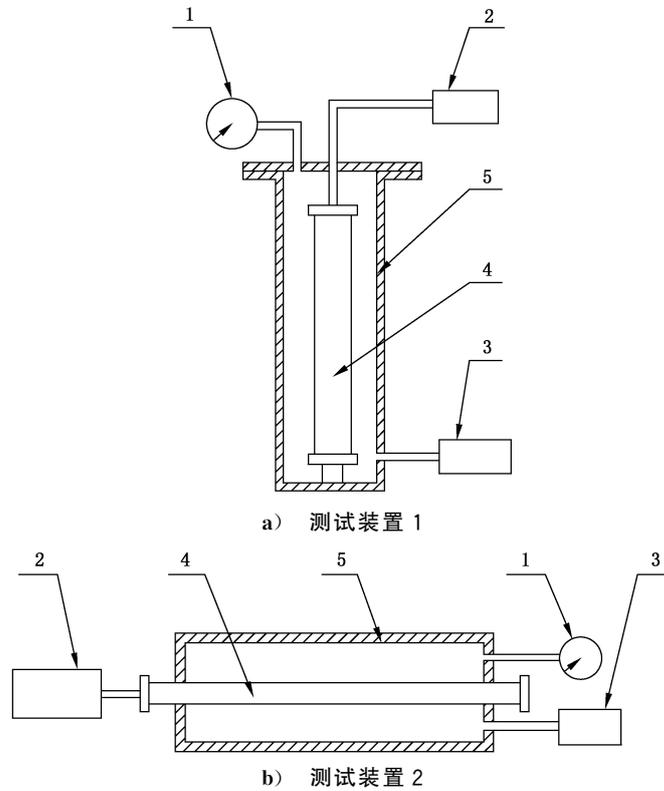
C.1 试样要求

C.1.1 测试用试样净长度(不包括接头)应大于或等于 5 倍外径,但不小于 300 mm。

C.1.2 测试前应按 GB/T 2918,在(23±2)℃环境下,将试样进行 48 h 以上状态调节。

C.2 测试装置

C.2.1 抗挤毁强度测试装置示意图如图 C.1 所示。



标引序号说明:

- 1——压力计;
- 2——容量测量装置;
- 3——压力源;
- 4——试样;
- 5——测试仓。

图 C.1 抗挤毁强度测试装置示意图

C.2.2 测试设备 1 中,考虑到敷缆管两端接头在测试仓中受到压力作用,应将敷缆管的一个接头与测试仓进行刚性连接。

C.2.3 测试设备 2 中,应保证测试仓与试样的密封,确保测试过程中测试仓无泄漏。

C.3 测试过程

C.3.1 测试用介质为水,试验温度为室温。

C.3.2 将试样置入抗挤毁强度测试装置并密封。

C.3.3 施加水压,加压过程应平稳、缓慢,最大加压速率为 10.34 MPa/min。

C.3.4 测试过程中,当测试仓容积测量装置数值突然变大及水压压力表数值突然减小时,记录此时的最大水压值即为试样的坍塌失效压力,并停止测试。

C.3.5 测试结束后,泄压并取出试样,结合外观形貌观察进一步判定试样坍塌失效状态。

C.4 测试记录

测试记录应至少包括以下内容:

- a) 试样名称及状态调节情况的说明;
- b) 试样规格尺寸;
- c) 使用的测试装置;
- d) 测试介质及温度;
- e) 试样坍塌失效压力;
- f) 试样坍塌失效形貌。

附录 D

(资料性)

压力作用下轴向伸长率测试方法

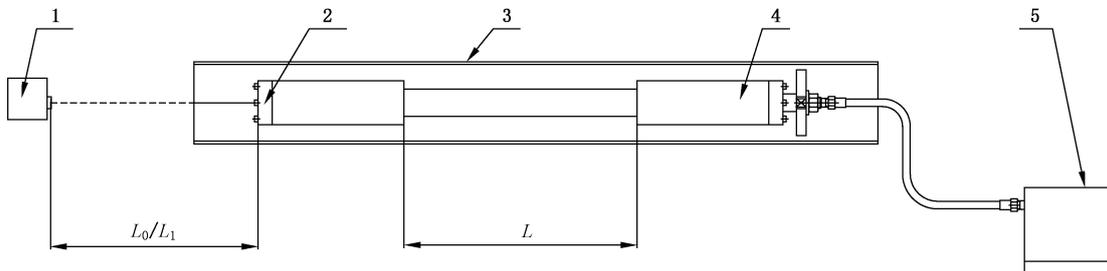
D.1 试样准备

D.1.1 测试用试样净长度(不包括接头)大于或等于 5 倍外径,但不小于 300 mm。

D.1.2 测试前参考 GB/T 2918,在 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ 环境下,将试样进行 48 h 以上状态调节。

D.2 测试装置

D.2.1 敷缆管压力作用下轴向伸长率测试装置示意图如图 D.1 所示。



标引序号说明:

1 —— 电子测距仪;

2 —— 密封端接头;

3 —— V 型槽试压平台;

4 —— 加压端接头;

5 —— 试压泵;

L_0 —— 测距仪的初始数值;

L_1 —— 测距仪的测量数值;

L —— 敷缆管接头间(不包含接头)长度。

图 D.1 压力作用下轴向伸长率测试装置示意图

D.2.2 试压泵

试压泵能把压力逐渐平稳地升至规定的压力值,稳压过程中保持压力在 $\pm 2\%$ 的偏差内。

D.2.3 电子测距仪

电子测距仪的精度在 1 mm 以上。

D.3 测试过程

D.3.1 将敷缆管放入 V 型槽试压平台上,将加压端接头连接到压力源上,并将加压端接头与试压平台固定。

D.3.2 密封端接头呈自由状态,如果敷缆管为不呈直状态,可施加 5% 的 NPR,使敷缆管趋直并作为初始状态。

D.3.3 将电子测距仪置于密封端接头末端并保持 2 m~3 m 的安全距离,将电子测距仪的探头对准接头端面中心,记录测距仪初始数值 L_0 (单位为 mm)。

- D.3.4 测量敷缆管接头间(不包含接头)长度 L (单位为 mm)。
- D.3.5 将敷缆管重新加压至规定的 NPR, 保压 2 min。
- D.3.6 记录测距仪的测量数值 L_1 (单位为 mm)。
- D.3.7 按公式(D.1)计算敷缆管的轴向伸长率 δ 。

$$\delta = (L_1 - L_0) / L \times 100\% \dots\dots\dots (D.1)$$

D.4 测试记录

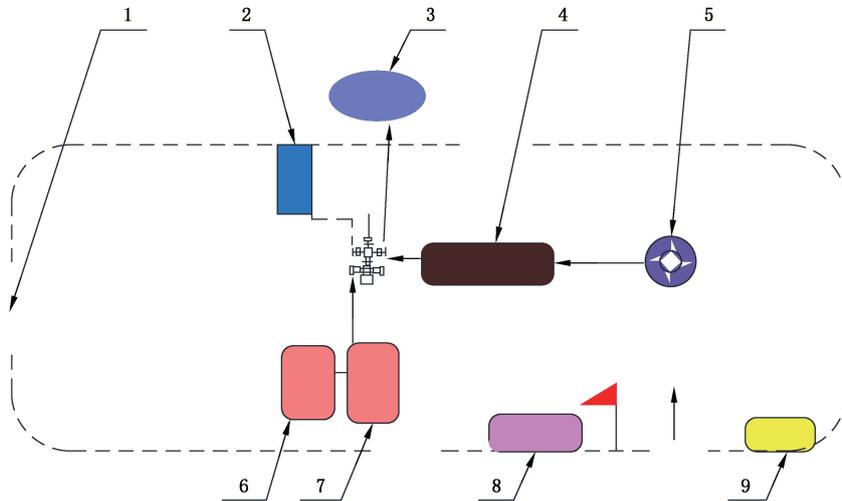
测试记录至少包括以下内容:

- a) 试样名称及状态调节情况的说明;
- b) 试样规格尺寸;
- c) 使用的测试装置;
- d) 测试介质及温度;
- e) 试样轴向伸长率。

附 录 E
(资料性)
敷缆管安装注意事项

E.1 场地

- E.1.1 井场平整、无杂物及障碍物,无积水和油污,地基坚实。
- E.1.2 井口附近 30 m 以内有足够的作业空间。
- E.1.3 井场横跨公路的电线、桥梁或隧道的限高 ≥ 4.5 m。
- E.1.4 作业现场具备供电条件,供电电源为 380 V/220 V,总功率 ≥ 50 kW。
- E.1.5 敷缆管作业场地宜标准化摆放,如图 E.1 所示。



标引序号说明:

- 1——安全通道;
- 2——控制柜;
- 3——排污罐;
- 4——作业车;
- 5——收放盘装置;
- 6——水罐;
- 7——泵车;
- 8——消防器材;
- 9——警示牌。

图 E.1 敷缆管作业现场标准化摆放示意图

E.1.6 作业现场根据油田井场作业的健康、安全与环境管理体系(HSE)要求,设置安全标识和作业规范标识及警戒范围。

E.2 设备要求

E.2.1 主要作业设备

E.2.1.1 主要作业设备包括敷缆管修井设备、收放设备、注入机构、井口装置、吊车等。其中敷缆管修

井设备宜配备有作业参数记录仪,可记录显示作业速度、注入头牵引力、敷缆管下放/上提长度。注入机构具备重力监测功能。

E.2.1.2 作业设备配备消防设施。

E.2.1.3 设备防护装置齐全、紧固、完好。

E.2.1.4 地面配套用电设施的布置参考 JGJ 46—2005,并做好基础加固、防风防雨防触电等措施,电缆线穿管埋地,所有接头连接处做好紧固、防水工作。

E.2.2 相关配套设施

E.2.2.1 专用防喷器的半封闸板尺寸与敷缆管外径尺寸相配套,并提供近 1 年内有效的试压检测报告。

E.2.2.2 专用防喷器带有防顶功能或配有独立的防顶装置。

E.2.2.3 收放装置配备有高压阀门,可在滚筒旋转过程中随时对敷缆管上端接头与外界进行密闭或连通。

E.3 作业注意事项

E.3.1 上提注意事项

E.3.1.1 上提敷缆管速度合理。在全提管柱作业前,重点确定提管过程中井筒液体及套管对敷缆管及直线往复泵的粘滞阻力及摩擦力,确定合理的提升速度。上提敷缆管悬重每增加 0.5t 停顿 3 min~4 min,待悬重数值稳定时才可继续上提。

E.3.1.2 升井过程中时刻观察牵引力仪表数值,一旦牵引力出现大幅上升,立刻停车,查找相关原因。如因井筒内有障碍造成,可将管柱适当下放再提升,直至障碍解除;如因井内油稠升井阻力过大,则降低升井速度,直至牵引力仪表数值不再增大。

E.3.2 下放注意事项

E.3.2.1 敷缆管下放前通井,如有砂则需冲砂。

E.3.2.2 敷缆管下放操作过程中对井口遮挡,防止落物以免造成卡管等,影响下放作业。

E.3.2.3 敷缆管入井前,采用向管内灌满清水的方法,解决敷缆管质量轻造成入井困难的问题。同时防止井筒压力与管内压力差超过敷缆管坍塌失效压力,造成敷缆管外压溃失效。

E.3.2.4 根据悬重来决定下放速度。下放速度一般为 5 m/min~8 m/min,若悬重减小,说明下放阻力大,则下放速度降低为 1 m/min~5 m/min。下放过程中可上提看悬重是否增加,以判断敷缆管是否受压或是受拉。若悬重增加,则判断敷缆管受拉,反之受压。

E.3.2.5 每下放 500 m 对敷缆管的各种电缆进行绝缘电阻测试,当出现异常时停止下放。

E.3.2.6 敷缆管在安装作业过程中,弯曲半径不小于 MBR,管体避免任何磕碰损伤。

E.3.3 其他注意事项

E.3.3.1 对敷缆管作业设备操作人员进行教育培训,使其掌握必要的操作技能。每次施工作业前对施工人员进行技术和安全教育,提高施工人员安全意识。

E.3.3.2 施工作业现场的危险源和环境因素识别见表 E.1。

表 E.1 危险源和环境因素的识别

步骤编号	活动步骤/部件描述	危险源	可能导致的事故	可能受到伤害人员	风险级别	控制/恢复措施
1	车辆行驶	疲劳驾驶	交通事故	驾驶员及其他人员	一般	遵守法规、管理规定
2	设备搬运	物品掉落	砸伤	搬运人员	轻微	穿劳保鞋,轻拿轻放
3	高温作业	夏季高温	中暑	施工人员	轻微	配备防暑降温药品、调整工作时间
4	吊装作业	设备掉落	砸伤、设备损坏	操作人员,设备	轻微	定期检查绳索、U型扣,吊装物上系安全绳
5	现场接电	操作不当	人员触电	电工	轻微	安全用电规定
6	连续油管与牵引机组装	管线滑脱	伤人	施工人员	轻微	合理使用工具连接作业工具,佩戴防护手套,在连续油管上加安全绳
7	吊钩正下方作业	高空坠物	砸伤	施工人员	一般	定期检查吊链
8	井口传输线连接	连接滑落	滑倒摔伤	施工人员	轻微	遵守操作规程、穿劳保鞋,清除井口油污
9	接线盘接电,配电柜接电	接触电源,壳体漏电	触电	施工人员	一般	先验电再拉闸
10	坐、起井口管挂	高空重物坠落	压伤、砸伤	井口施工人员	一般	施工前仔细检查吊链、定期检查
11	连续油管进入导向轮	高空作业	滑倒摔伤	井口施工人员	一般	高空作业时绑安全带
12	井口结构连接	连接滑落	滑倒摔伤	施工人员	一般	遵守操作规程、穿劳保鞋,清除井口油污
13	防喷器试压前准备	脱落	砸伤,挤伤	井口施工人员	轻微	固定防喷器、人员避开
14	电机长时间运行	散热不良电机高温	设备损坏	财产损失	一般	定期检查,将设备停止降温
15	立架子	倾倒	砸伤	井口施工人员	轻微	拉好绷绳,定期检查绷绳、吊链
16	施工时上、下阶梯	上下阶梯坠落	摔伤	施工人员	轻微	梯子加护栏、人员上下要手扶护栏、注意脚下打滑
17	清洁设备	易燃物	着火	财产损失	轻微	停机加油、远离火源,不能用易燃物清洗设备
18	设备保养	生锈,腐蚀	设备损坏	设备	轻微	定期进行设备保养维护
19	连续油管头固定	脱落	砸伤	施工人员	轻微	定期检查钢丝绳
20	工具打磨	操作不当	碰伤	施工人员	轻微	正确使用工具,佩戴防护手套
21	车辆维修	使用工具不当、操作不当	人员受伤	驾驶员	轻微	遵守操作规程

表 E.1 危险源和环境因素的识别（续）

步骤编号	活动步骤/部件描述	危险源	可能导致的事故	可能受到伤害人员	风险级别	控制/恢复措施
22	夜间行车	照明灯光不良	交通事故	驾驶员及其他人员	一般	遵守交通法规、提前预警、减速慢行
23	冰雪路面	制动不良、路况不熟、误操作	交通事故	驾驶员及其他人员	一般	遵守交通法规、提前预警、减速慢行

E.3.3.3 操作人员建立统一规定的手势、动作和其他信息传递方式，相互之间配合一致，平稳操作。

E.3.3.4 敷缆管修井时采用专用作业设备，吊装作业时，有专人指挥。

E.3.3.5 作业前检查确认工具准备齐全，作业设备仪表完好有效，各部分动作运转正常，各种阀件开关灵敏可靠、不渗漏。

E.3.3.6 如需更换液压部件，先切断动力源。

E.3.3.7 电气控制柜的放置防雨通风、保持干燥，安装端正牢固，控制柜前地面有绝缘保护，并有足够的工作空间和通道。

E.3.3.8 制造商根据材料特性提出敷缆管施工环境和工作温度的限制，施工环境温度不低于-30℃。如果敷缆管在低于-30℃下放置，制造商宜提出在敷缆管放卷前进行预热处理等程序。如遇极端恶劣天气时，停止施工作业。

参 考 文 献

- [1] GB/T 7424.1 光缆总规范 第1部分:总则
 - [2] JGJ 46—2005 施工现场临时用电安全技术规范
-