



中华人民共和国国家标准

GB/T 17389—2013
代替 GB/T 17389—1998

潜油电泵电缆系统的应用

Recommended practice for the application of
electrical submersible cable system

2013-12-31 发布

2014-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国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 术语和定义 | 1 |
| 3.1 总则 | 1 |
| 3.2 温度 | 5 |
| 3.3 品牌 | 5 |
| 4 导体的构造形式和电缆的结构 | 5 |
| 4.1 范围 | 5 |
| 4.2 说明 | 6 |
| 5 电缆导体 | 7 |
| 5.1 说明 | 7 |
| 5.2 应用 | 8 |
| 5.3 限制 | 8 |
| 6 电缆绝缘系统 | 9 |
| 6.1 总则 | 9 |
| 6.2 热塑材料 | 9 |
| 6.3 热固材料 | 10 |
| 6.4 绝缘薄膜 | 10 |
| 6.5 挤制辅助绝缘 | 10 |
| 7 护套 | 11 |
| 7.1 说明 | 11 |
| 7.2 应用 | 11 |
| 7.3 限制 | 11 |
| 8 编织层和保护层 | 11 |
| 8.1 总则 | 11 |
| 8.2 编织层 | 12 |
| 8.3 阻挡带 | 12 |
| 8.4 挤制阻挡层 | 13 |
| 8.5 铅护套 | 13 |
| 8.6 衬垫材料 | 14 |
| 9 铠装 | 14 |
| 9.1 总则 | 14 |
| 9.2 镀锌钢带 | 15 |
| 9.3 不锈钢带 | 15 |
| 9.4 不锈钢金属合金钢带 | 16 |

10 电缆辅助设备 16

10.1 说明 16

10.2 井下监测传感器 16

10.3 回流继电器 16

10.4 电缆卡子 16

10.5 电缆下井导向系统 16

10.6 连续油管导向系统 17

11 联接和端接 17

11.1 总则 17

11.2 工厂修理 17

11.3 工厂单股导体加长工艺 17

11.4 联接 18

11.5 端接 19

11.6 典型的电缆连接 19

附录 A(规范性附录) 电力费用分析 20

附录 B(规范性附录) 电缆选择指南 21

参考文献 23

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 17389—1998《潜油电泵电缆系统的应用》，与 GB/T 17389—1998 相比，主要变化如下：

- 增加了“规范性引用文件”ASTM A459、ASTM B3、ASTM B8、ASTM B33、IEEE 1018、IEEE 1019、NEMA WC-Code 和 NFPA 70(见第 2 章)；
- 增加了“美国线规”、“载流量”和“电介质强度”等多个术语和定义(见 3.1.1、3.1.2、3.1.6、3.1.8、3.1.23、3.1.26、3.1.30、3.1.32、3.1.34、3.1.35、3.1.38、3.1.39、3.3.4、3.3.6、3.3.7 和 3.3.9)；
- 将“乙丙烯单体”修改为“二元乙丙橡胶”(见 3.1.13, 1998 年版的 2.1.9)；
- 删除了“聚偏二氟乙烯”、“哈勒”和“哈伦”等术语和定义(1998 年版的 2.1.26、2.3.2 和 2.3.3)；
- 修订了 GB/T 17389—1998 中“图 2.5.1 导体构造形式”；修改了“导体构造形式和典型的电缆单元结构示意图”(见图 1, 1998 年版的图 2.5.1、图 2.5.2、图 2.5.3、图 2.5.4、图 2.5.5、图 2.5.6、图 2.5.7、图 2.5.8 和图 2.5.9)；
- 增加了“电缆导体尺寸公制标准”和“电缆导体尺寸英制标准”(见表 1 和表 2)；
- 删除了“电缆导体”中关于铝导体的叙述(1998 年版的 3.1.2、3.1.3 和 4.2.3)；
- 将“聚丙烯适应温度范围 -10℃ 至 96℃”修改为“聚丙烯适应温度范围 -35℃ 至 96℃”(见 6.2.2, 1998 年版的 4.2.2)；
- 将“……压紧多股导体的直径是同心多股绞合导体直径的 98%，……”修改为“……压紧多股导体的直径是同心多股绞合导体直径的 97%，……”(见 5.2, 1998 年版的 3.1.2)；
- 将“蒙乃尔带”修改为“不锈钢金属合金钢带”(见 9.4, 1998 年版的 7.4)；
- 增加了“电缆辅助设备”(见第 10 章)；
- 删除了“典型的现场可装式接头”、“典型的井口和封隔器接头”和“典型的电缆头”示意图(1998 年版的图 8.7.2、图 8.7.3 和图 8.7.4)；
- 修改了“电缆选型时计算电流的基本方程”(见 A.4, 1998 年版的 A4)；
- 删除了“美国线规号公制尺寸”和“AISI 316 和 AISI 409 不锈钢化学成分和机械性能”(1998 年版的附录 C 和附录 D)。

本标准采用重新起草法修改采用 API RP 11S5:2008《潜油电泵电缆系统应用推荐作法》(英文版)。

本标准与 API RP 11S5:2008 主要技术差异如下：

- 删除了个别规范性引用文件；
- 增加了“密耳”和“圆密耳”的定义。

为便于使用，本标准还做了以下编辑性修改：

- 增加了公制单位；
- 删除了 API RP 11S5:2008 的“特别声明”、“前言”和“目录”；
- 按照中文习惯对一些编排格式进行了修改。

本标准由全国石油钻采设备和工具标准化技术委员会(SAC/TC 96)提出并归口。

本标准起草单位：大庆油田力神泵业有限公司、胜利油田胜利泵业有限责任公司、渤海石油装备中成机械制造分公司、国家电动潜油泵质量监督检验中心。

本标准主要起草人：李斌、王道军、王维、史忠武、王兆兰、王鹏、郑贵、卢晓云。

本标准所代替的标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 17389—1998。

潜油电泵电缆系统的应用

1 范围

本标准规定了潜油电缆导体的结构形式和尺寸、潜油电缆绝缘层、护套、编制层和保护层、不锈钢带和合金钢带的应用和限制及电缆辅助设备和电缆的联接和端接方法。

本标准适用于制造厂商、销售商及用户对潜油电缆尺寸、结构、材质及辅助设备的应用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

ASTM B3 软的或退火的铜线标准规范

ASTM B8 硬、中等硬或软的同心绞捻铜导体的标准规范

ASTM B33 电气用镀锡软的或退火的铜丝的标准规范

IEEE 1018 潜油电泵电缆性能技术规定 乙烯丙烯橡胶绝缘

IEEE 1019 潜油电泵电缆性能技术规定 聚丙烯绝缘

NEMA WC-Code 电线电缆规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 总则

3.1.1

美国线规 AWG-American wire gauge

规定有色金属导线的标准线规系列,随着线规号的增大,导线的直径不断减小。

3.1.2

载流量 ampacity

以安培来计量的电流量,即在使用条件下,导体能够持续传递的电流量。该电流不会导致电缆的温度超过允许的等级。

3.1.3

抗氧化剂 antioxidants

橡胶混合物中的添加材料,它可通过延缓硬化和脆裂来防止橡胶或塑料的老化。

3.1.4

混合物 compound

在基础聚合物中加入某些材料获得要求特性的机械掺合物。这些混合物通常是各制造商的专有配方,彼此间各有差异,这些差异会影响电缆的性能。

3.1.5

腐蚀 corrosion

通过氧化对金属表面的破坏。腐蚀可通过化学剂本身或者与井液共同作用而产生。

注:电蚀是由于电流在可传导的介质(如盐水)中两种不同的金属之间流动而引起的电化学反应所致。

3.1.6

交联聚乙烯 XLPE-Cross linked polyethylene

通过化学反应可以使聚乙烯的特性发生改变,硫化后可形成永久的形状。

3.1.7

硫化 cure

电缆制造过程中,硫化是改变橡胶原材料物理特性获取所要求的绝缘层或护套层材料的过程,这种变化需要硫化剂、加温和加压。

注:加硫和交联是硫化的一种形式。

3.1.8

电介质强度 dielectric strength

材料在发生击穿前所能承受的最大的电势梯度,通常以伏每毫米(V/mm)来定义。

注:电介质强度也可认为是介电强度。

3.1.9

三烯-三氟氯乙烯共聚物 ECTFE-Ethylene chlorotetrafluoroethylene

由乙烯和氯四氟乙烯构成的氟氯热塑共聚物,属于称为含氟聚合物的塑性材料系。这种材料化学上呈惰性,有良好的低电压绝缘性能。

3.1.10

弹性材料 elastomer

一种类似橡胶的材料,在轻微受力时可拉伸,解除受力时可恢复原来的形状。

3.1.11

绝缘电阻 electrical insulation resistance

指绝缘时直流电径向流动通过绝缘材料时的阻力。绝缘电阻值将随着复合材料和电缆几何尺寸的改变而改变。

注:各相的绝缘电阻值或泄漏电流值测试结果应该平衡。绝缘电阻(IR)的式(1)如下:

$$IR = E/I \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

IR —— 15.6℃时的绝缘电阻值,单位为兆欧(MΩ);

E —— 导线和地线间施加的电压,单位为伏(V);

I —— 直流泄漏电流,单位为微安(μA)。

3.1.12

三元乙丙橡胶 EPDM-Ethylene propylene diene monomer

由乙烯、丙烯和二烯烃组成的聚合物。这种聚合物可以使用硫或者过氧化物进行硫化。

3.1.13

二元乙丙橡胶 EPM-Ethylene propylene monomer

由乙烯和丙烯组分构成的聚合物。这种材料只能采用过氧化物硫化剂进行硫化,其使用特性与三元乙丙橡胶类似。

3.1.14

乙丙橡胶 EPR- Ethylene propylene rubber

用于描述三元乙丙橡胶(EPDM)或二元乙丙橡胶(EPM)的术语。

3.1.15

乙烯-四氟乙烯共聚物 ETFE- ethylene tetrafluoroethylene

由乙烯和四氟乙烯构成的氟化热塑共聚物,属于称为含氟聚合物的塑性材料系。这种材料化学上呈惰性,是良好的低电压绝缘体。

3.1.16

复合物 fillers, compound

一种加入到混合物中的材料,能够增强混合物的多种特性,如机械强度、耐潮湿性和电气特性。

3.1.17

物理填充料 fillers, physical

一种用于填充电缆结构内空隙的材料。常用的材料有橡胶和聚丙烯。

3.1.18

氟化乙丙烯共聚物 FEP-Fluorinated ethylene propylene

热塑氟化乙丙烯共聚物属于称为含氟聚合物中的塑性材料系。这种材料化学上呈惰性,是良好的低电压绝缘体。

3.1.19

箍紧强度 hoop strength

对抑制电缆伸张的切向阻力的量度。

注:由于内部气体压力沿径向推动,会使绝缘层和护套层的表面产生沿切向伸张或击穿的趋势。箍紧强度阻止这种趋势。如果在圆型护套层外再额外缠包护层,可以增加其箍紧强度。

3.1.20

泄漏电流 leakage current

直流电压作用于绝缘体时,流经绝缘体或其表面的电流。该值规定了在特定直流电压情况下的绝缘电阻值。

注:无论材料的介电特性如何,所有的材料都会有不同程度的泄漏电流。

3.1.21

单体 monomer

通过化学链形成聚合物的基本化学单元。

3.1.22

腈橡胶 nitrile

由丁二烯和丙烯腈单体组成的共聚物。常用名称有:丁腈橡胶(Buna N)、腈橡胶(nitrile rubber)和腈丁二烯橡胶(NBR)。通过改变丙烯腈和丁二烯的含量比,可在耐油性能或耐低温性能方面有特殊应用。

3.1.23

猪尾式引线 pigtail

连接到主电源线上的一定长度的电缆。

3.1.24

增韧剂 plasticizers

添加到复合物中用于增强挠性、易加工性和延展性的化学剂。

3.1.25

聚酰胺 polyamide

高分子聚合热塑性材料。它由含酰胺($-\text{COHN}-$)基团的聚合物质构成。这种材料显示出一般程度的化学惰性和较高的拉伸强度。

3.1.26

聚酯纤维 polyester

多碱有机酸和多羟基酸通过酯化作用形成的热塑性材料,经常替代聚酰胺用于编织阻隔带,也是最常见的含氟聚合物阻隔带材料。

3.1.27

聚乙烯 PE-Polyethylene

由化学链状乙烯单体组分构成的热塑性材料。

3.1.28

聚酰亚胺 polyimide

在聚合物主链内混有酰亚胺基团完全反应的线形聚合物。

3.1.29

聚合物 polymer

多种单体通过化学反应链为一体而形成的材料。聚合物分子链由重复出现的同一结构单元组成。

注：前缀一，二，三基本组分分别用英语“homo”、“co”和“ter”表示。

3.1.30

聚苯硫醚 PPS-Polyphenylene sulfide

这种材料具有很好的耐高温性能和耐化学性能。

3.1.31

聚丙烯 PP-Polypropylene

丙烯单体通过化学链接组成的热塑材料。不同电气等级的聚丙烯通过掺入少部分的乙烯或丁烯单体后，可获得良好的低温性能。

3.1.32

聚四氟乙烯 PTFE-Polytetrafluoroethylene

一种惰性含氟化合物，实际上在所有化学品当中被认为是现存的最光滑的物质，用于在高温条件下做耐热带。

3.1.33

聚氟乙烯 PVF-Polyvinyl fluoride

由经过化学链接在一起的氟单体组分构成的含氟热塑材料，属于称为含氟聚合物的塑性材料系。

3.1.34

聚偏氟乙烯 PVDF-Polyvinylidene fluoride

由经过化学链接在一起的乙烯基氟单体组分构成的含氟热塑材料，属于称为含氟聚合物的塑性材料系。

3.1.35

端接 termination

从电缆到联接点的过渡连接，端接后可表现为电气、机械和环境的整体性。

3.1.36

热塑材料 thermoplastics

在温度升高时会软化或流变，冷却后会硬化的聚合物。例如：聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVF)、聚偏氟乙烯(PVDF)和聚酰胺。

3.1.37

热固材料 thermoset

一旦硫化，不能再形成交链，并且不能再重塑的聚合材料，例如三元乙丙橡胶(EPDM)和腈橡胶。

3.1.38

密耳 mil

也被称为毫英寸，是一种长度单位。

3.1.39

圆密耳 circle mil

即圆导线直径(以密耳为单位)的平方。

3.2 温度

3.2.1

环境温度 ambient temperature

电缆周围任何一点的温度。

注：在井下环境中，环境温度取决于许多变量，包括油藏温度、井下沉没设备产生的温升、井温的分布以及井液、泡沫和油气的导热性。

3.2.2

井底温度 bottom hole temperature

射孔井段中部的静态温度。

3.2.3

导体温度 conductor temperature

载流导体表面的温度。该温度是电流在导体中流动产生热量、通过材料的热量散失以及环境温度的函数。

注：由于扁电缆的非对称结构，会因其他功率损耗而产生额外的热量。

3.2.4

运行温度 operating temperature

在稳定状态运行期间导体的温度。

3.2.5

额定温度 rated temperature

电缆能够持续工作并且不产生明显的材料老化的最高导体温度。额定温度值见附录 B。

3.3 品牌¹⁾

在本条中，下面仅提供作为举例，并没有形成 API 标准产品的认可。

3.3.1

蒙乃尔 Monel[®]

蒙乃尔是特种金属公司生产的一种不锈钢金属合金品牌。主要由镍(67%以上)、铜和一些铁及其他微量元素组成。

3.3.2

泰氟伦 Teflon[®]

泰氟伦是由美国杜邦公司注册生产的一种品牌，通常也指杜邦公司的含氟聚合物体系。

4 导体的构造形式和电缆的结构

4.1 范围

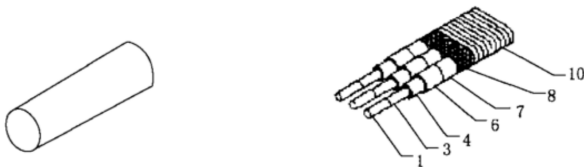
本章包括关于电缆结构的一些图例。

1) 文中提供的产品品牌是为了给本标准的使用者提供方便，并不代表对该产品的认可。如果其他等效产品具有相同的效果，则可使用这些等效产品。

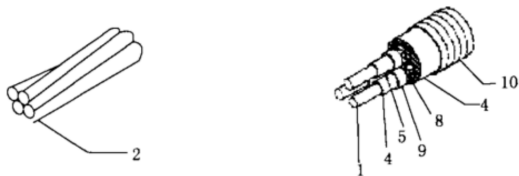
4.2 说明

电缆的制造结构有很多构造形式,使它能够适合于在大多数的油井环境中使用。电缆制造商应该考虑在特殊情况下合适的电缆结构(见图 1)。

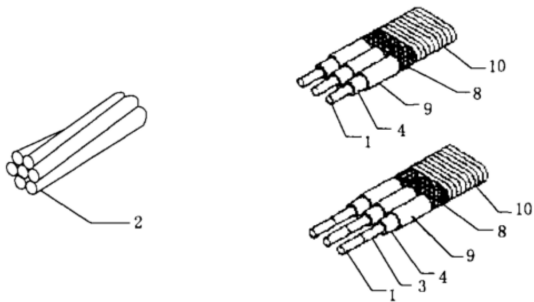
1) 单股



2) 同心并压紧绞合(圆)



3) 压实绞合



a) 导体构造形式

b) 典型的电缆结构

| 电缆构成说明 | | |
|--------|-------|------|
| 序号 | 说明 | 参考章条 |
| 1 | 导体 | 5 |
| 2 | 绞线导气箍 | 5 |
| 3 | 辅助绝缘层 | 6 |
| 4 | 基本绝缘层 | 6 |
| 5 | 物理填充料 | 按定义 |
| 6 | 护套 | 7 |
| 7 | 阻挡层 | 8 |
| 8 | 编织层 | 8 |
| 9 | 铅护套 | 8 |
| 10 | 铠装 | 9 |

图 1 导体构造形式和典型的电缆单元结构

5 电缆导体

5.1 说明

铜导体可用于将交流电由地面输送至电机。

对于潜油电泵方面的应用,电缆行业导体的标准尺寸的公制和美国线规见表 1 和表 2。

表 1 电缆导体尺寸公制标准

| 导体尺寸 | 导体截面积 mm ² | 公称重量 kg/km | 导体公称半径 mm | | | 导体电阻(@25 ℃) Ω/km | |
|--------------------|--------------------------|---------------|--------------|-------|--------|---------------------|-------|
| | | | 单股型 | 7 芯绞线 | 7 芯压实线 | 纯铜线 | 镀锡铜线 |
| 10 mm ² | 10.0 | 88.5 | 3.57 | — | — | 1.87 | 1.88 |
| 6AWG | 13.3 | 118.0 | 4.11 | — | — | 1.32 | 1.36 |
| 16 mm ² | 16.0 | 140.0 | 4.48 | — | — | 1.17 | 1.18 |
| 4AWG | 21.1 | 188.0 | 5.19 | — | — | 0.830 | 0.856 |
| 4AWG | 21.1 | 188.0 | — | 5.89 | 5.41 | 0.846 | 0.882 |
| 25 mm ² | 25.0 | 222.0 | 5.64 | — | — | 0.742 | 0.749 |
| 2AWG | 33.6 | 306.0 | 6.54 | — | — | 0.522 | 0.538 |
| 2AWG | 33.6 | 306.0 | — | 7.42 | 6.81 | 0.531 | 0.554 |
| 1AWG | 42.4 | 386.0 | 7.35 | — | — | 0.413 | 0.426 |
| 1AWG | 42.4 | 386.0 | — | 8.33 | 7.57 | 0.423 | 0.440 |
| 1/0AWG | 53.5 | 475.0 | — | 9.35 | 8.56 | 0.335 | 0.348 |
| 2/0AWG | 67.4 | 599.0 | — | 10.80 | — | 0.266 | 0.276 |

表 2 电缆导体尺寸英制标准

| 导体尺寸 | 导体截面积 cmil | 公称重量 lb/kft | 导体公称半径 in | | | 导体电阻(@77 ℉) Ω/kft | |
|--------------------|---------------|----------------|--------------|-------|--------|----------------------|-------|
| | | | 单股型 | 7 芯绞线 | 7 芯压实线 | 纯铜线 | 镀锡铜线 |
| 10 mm ² | 19 644 | 59.7 | 0.140 | — | — | 0.569 | 0.572 |
| 6AWG | 26 240 | 79.4 | 0.162 | — | — | 0.403 | 0.414 |
| 16 mm ² | 31 109 | 95.6 | 0.178 | — | — | 0.357 | 0.360 |
| 4AWG | 41 740 | 126.0 | 0.205 | — | — | 0.253 | 0.261 |
| 4AWG | 41 740 | 126.0 | — | 0.232 | 0.213 | 0.258 | 0.263 |
| 25 mm ² | 49 305 | 149.2 | 0.222 | — | — | 0.226 | 0.228 |
| 2AWG | 66 360 | 206.0 | 0.258 | — | — | 0.159 | 0.169 |
| 2AWG | 66 360 | 206.0 | — | 0.292 | 0.268 | 0.162 | 0.174 |
| 1AWG | 83 690 | 260.0 | 0.289 | — | — | 0.126 | 0.130 |

表 2 (续)

| 导体尺寸 | 导体截面积 cmil | 公称重量 lb/kft | 导体公称半径 in | | | 导体电阻(@77 °F) Ω/kft | |
|--------|---------------|----------------|--------------|-------|--------|-----------------------|-------|
| | | | 单股型 | 7 芯绞线 | 7 芯压实线 | 纯铜线 | 镀锡铜线 |
| 1AWG | 83 690 | 260.0 | — | 0.328 | 0.298 | 0.129 | 0.134 |
| 1/0AWG | 105 600 | 319.2 | — | 0.368 | 0.337 | 0.102 | 0.106 |
| 2/0AWG | 133 100 | 402.7 | — | 0.414 | | 0.081 | 0.084 |

5.2 应用

电缆的线规尺寸和构造类型要根据传导性、成本和油井环隙来选择。油管 and 套管之间的环隙限制了电缆最大允许直径。除非油井环隙需要扁电缆或作为引接电缆,通常情况下,选择圆形电缆。电机所需电流和可允许的电压降确定了电缆导体的最小尺寸。电缆产品的选择要考虑不同电缆规格的经济对比、井下的环境、电缆中电压损失形成的运行成本和原始成本。电力费用分析见附录 A。

对于给定的导体尺寸,随着电流的增大,电力损耗和电缆运行温度将会增加。对于给定的电流,增大导体的尺寸,将会降低电力损耗和运行温度。

制造的潜油电泵电缆既有多股绞合式的,也有单股的。单股导体的直径最小。对于同一线规尺寸的导体,绞股可增加导体的直径和挠性,且更能承受外力的破坏。在尺寸较大的线芯采用绞股式电缆较为普遍,电机引接电缆通常采用单股导体。

本标准涉及的是较常见的潜油电泵电缆的构造,其他专用的潜油电泵电缆可以在特殊或极其恶劣条件下使用。当遇到特殊使用要求时,可查阅专业的潜油电泵电缆应用工程手册。一些特制的设计更适合于所遇到的特殊的服务条件。

单股导体可减小井下气体的运移,并使硫化氢引起的老化降至最小。填充气封化合物的“同轴型”、“压紧型”和“压实型”绞线电缆(见图 1),是解决这些问题很好的办法。

美国线规直径是根据同心绞线规定的。压紧多股导体的直径是同心多股绞合导体直径的 97%,压实多股绞合导体的直径是同心多股导体直径的 92%。

在所有导体中,单股导体是设计直径最小的导体,它整体地降低了电缆的尺寸。如果不考虑设计,各种类型的电缆应满足同一圆密耳面积,见表 1 和表 2。

考虑到最初的成本、搬运成本(包括存货控制)、运行损耗和基于现场试验所期望的运行寿命,设计的最好的电缆是在油井中工作时,有最小的寿命损耗。

5.3 限制

铜导体的主要缺点是易受硫化氢的腐蚀。在高温环境下,通过采用连续的铅护套完全地包住绝缘层表面来解决这个问题。

准备连接端接或使用接头时需去除绝缘部分,由于铜导体已经被硬化加工,因此需要特别小心,防止在铜导体表面出现划痕。

6 电缆绝缘系统

6.1 总则

6.1.1 说明

绝缘材料将导体和其他传导材料间的电位隔离开来。绝缘层可以把导体的泄漏电流减至最小。不同种类的绝缘材料会影响其保持电隔离性能所需的空間。

6.1.2 应用

潜油电缆制造常用的材料有类似聚丙烯的热塑材料和类似三元乙丙橡胶的热固材料。

一些电缆采用主绝缘和辅助绝缘组成的复合绝缘系统。绝缘膜或挤制的薄层材料常用于作为辅助绝缘,这些材料厚度小,但有较高的介电强度(V/mm)。就整个系统而言,这些绝缘材料提供了协同效应来改善电气性能。

6.1.3 限制

提高运行温度将会缩短电缆的寿命。通常情况下,随着温度的升高,电缆的寿命呈指数下降。通常以绝缘材料的脆化(老化硬度)来描述电缆的使用寿命。局部受热区域在靠近泵和电机处。

用聚乙烯或聚丙烯热塑材料绝缘的电缆,其额定温度要低于用热固材料绝缘的电缆。绝缘层温度额定值见附录 B。

绝缘材料其他形式的退化是因周期性压力下与井下化学剂接触的缘故。绝缘材料的选择受油井环境、含气类型和聚集条件等方面的影响。

电缆制造商应考虑电缆运行和工作温度限制。如果电缆在低于 $-17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下放置,制造商应考虑进行特殊处理程序,电缆下入油井以前需要预热。

6.2 热塑材料

6.2.1 说明

热塑材料是一种在加热至高温时,可以制成一定的形状,降温后其形状保持不变的塑性材料。当再次增温超过其变形温度时,如果施加外力,这种材料会重新成型。变形温度随着外力的增加而降低。典型的热塑材料有聚乙烯和聚丙烯。

6.2.2 应用

聚丙烯是一种价格低廉的绝缘材料,可以在低温环境的油井中使用,它可在 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (环境温度)至 $96\text{ }^{\circ}\text{C}$ (导体温度)的温度范围内使用。

6.2.3 限制

温度适用范围是指无化学腐蚀或不受任何机械力的理想工况下的范围。用聚丙烯绝缘的电缆不应在环境温度低于 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 情况下操作。在低温状态下弯曲电缆会使绝缘材料龟裂。

影响聚丙烯性能的不利井况有以下几种:

井液中二氧化碳含量超过10%会引起过早的龟裂;原油中的轻馏分和芳香烃会导致软化;在接近上限温度运行时,施加在电缆上的外力(电缆卡子、张力)会导致过早地变形。

聚丙烯直接与铜金属接触容易加速老化。加入一种专用抗老化材料可以降低这种影响。可一旦这些抗老化剂消耗后,残余的游离铜离子仍会侵蚀聚丙烯。因此大多数制造商采用锡或铅合金涂层将铜

与聚丙烯隔离开来。

电缆在被弯曲后,聚丙烯允许气体在导体和绝缘层间运移。如果气体运移可能会对使用造成一定影响的情况下,导体与绝缘层间应采用气封材料加以阻止。

6.3 热固材料

6.3.1 说明

热固材料是一种经过化学反应改变性能、硫化后形成永久性形状的材料。典型的热固材料包括乙丙橡胶材料(EPR),如三元乙丙橡胶(EPDM)、二元乙丙橡胶(EPM)和交联聚乙烯(XLPE)。

6.3.2 应用

对于潜油电缆而言,三元乙丙橡胶是最常用的热固材料。

三元乙丙橡胶在环境温度很低($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$)的情况下仍具有较好的挠性,是一种适合在二氧化碳井况中应用、还可以防止多种油井处理液影响的理想材料。

三元乙丙橡胶材料一般用于高温油井中。如果电缆结构束紧合理,有些三元乙丙橡胶的复合配方在导体温度 $204\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下仍有效。

6.3.3 限制

三元乙丙橡胶在油中会膨胀,虽然这种特性通过合理的配方可以减弱,但它仍高度依赖外部束紧层来保护其完好性。

6.4 绝缘薄膜

6.4.1 说明

绝缘薄膜一般指直接用于导体外部的薄带材料,这种绝缘薄膜被叠压螺旋缠绕在导体的外部,再经加热密封。

6.4.2 应用

绝缘薄膜通常应用于要求介电强度(V/mm)高,又能把绝缘层的厚度控制在最小的情况。这种材料适用于高温($232\text{ }^{\circ}\text{C}$)情况下使用。电机头引接电缆时使用的聚氟乙烯带和电机绕组绝缘时使用的聚酰亚胺薄膜是绝缘薄膜最常见的应用。

6.4.3 限制

聚酰亚胺薄膜受潮会产生化学侵蚀,严重降低其绝缘特性和机械强度。价格昂贵是其最主要的问题。

6.5 挤制辅助绝缘

6.5.1 说明

目前已有几种材料用于挤制辅助绝缘。热塑材料聚偏氟乙烯(PVDF)和三烯-三氟氯乙烯共聚物(ECTFE)可用于高达 $149\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下使用,氟化乙丙烯(FEP)用于高达 $204\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下使用。

6.5.2 应用

这种材料直接挤注在导体或绝缘层的外表以提供附加的介电强度和耐化学性能。同三元乙丙橡胶

相比,这种材料即使井液侵入也不易损坏。因此保护性能好,而且还可以延长电缆的使用寿命。见 8.4。

6.5.3 限制

辅助绝缘不能作为单一的系统,它应同主要的热塑绝缘材料或热固绝缘材料结合使用,才能增强电气和机械性能。

热塑材料绝缘层价格昂贵。当检修或终端连接电缆时,应使用专门的联接技术。

7 护套

7.1 说明

护套是保护层,用机械屏障把绝缘层与井下环境隔离开来。

护套材料保护绝缘层免受操作时产生的机械碰撞可能会造成的影响。有些护套材料还可充当辅助绝缘。

7.2 应用

护套的使用性能取决于环境温度和井况。护套材料的温度等级可以限制电缆的额定温度。护套层温度额定值见附录 B。

通过调整硫化的形式和抗氧化剂的种类可以提高复合材料的上限温度。加添增韧剂可以扩大下限温度。增加添加剂对复合材料的其他物理特性如延展性、硬度或拉伸强度等有轻微影响。

目前,有两种护套材料在潜油电泵电缆市场上占优势,它们是由腈橡胶或三元乙丙橡胶制成的。三元乙丙橡胶的耐高温能力比腈橡胶高,但腈橡胶在韧性和耐油性方面要比三元乙丙橡胶强。

复合三元乙丙橡胶护套材料可以改善其抗油浸膨胀性能。此外,在地面温度较低条件下操作和安装,三元乙丙橡胶固有的性能要比腈橡胶好。

7.3 限制

腈橡胶的上限温度是 140 °C,而三元乙丙橡胶的上限温度为 204 °C,这些限制会影响电缆的额定温度。

在高温环境下运行会缩短电缆的有效寿命。通常情况下,电缆的寿命会随着温度的升高呈指数下降。通常用护套的脆裂(老化变硬)来描述其有效寿命。局部受热区域靠近泵和电机。

护套的选择受油井环境、气体类型和气体浓度等方面的影响。一些高浓度的酸类能够使聚合物或腈橡胶护套变得易脆裂。护套其他形式的降解是因为压力变化和与井下的化学剂接触的缘故。电缆在与化学剂接触之前,化学剂供应商和电缆制造商应该考虑一些可能的不利影响。

铠装和/或束紧层对护套层的保护起着关键的作用。尤其是无铠装的情况下,三元乙丙橡胶往往会出现膨胀。比如当电缆无铠装保护情况下从井下起出或压力变化时,护套内因吸收有油和气而膨胀呈球形而破裂。

8 编织层和保护层

8.1 总则

8.1.1 说明

编织层和保护层是专为增强电缆系统的机械性能而敷设的辅助材料层。

8.1.2 应用

编织层和绕包层敷设在绝缘层的外面,也可以在护套层的任一侧。这些材料为其内部电缆材料提供附加强度和保护。

8.1.3 限制

这些材料增加了电缆的直径和成本,通过了预期的性能改善备受关注。它们对井液和井下条件的恶化很敏感。

8.2 编织层

8.2.1 说明

编织层是在绝缘导体外用合成材料编织而成的编织加强层。编织层在覆盖率或空隙度方面有所不同。

最常见的编织层材料是聚酰胺。更特殊的材料如聚偏氟乙烯或聚苯硫醚可以用于工作在高腐蚀和高温条件下的电缆。

8.2.2 应用

编织层的主要作用是泄压期间对渗入绝缘层的油气提供附加的箍紧强度。在启动运行中当井液被快速地抽空或电缆从井内起出时可能会出现泄压现象。

编织层还可以保持结构的完整性,使耐油带紧束在绝缘层外的位置不动。

圆电缆中采用编织层在电缆连接或修理时,有助于护套层和绝缘层的剥离。

8.2.3 限制

某种条件下,编织层可以提供井液运移的通道。在起出电缆后立刻进行连接,溢出的井液和油气会影响联接效果。

如果编织层不是完全的覆盖,在泄压期间可能会损坏其内敷材料。

当聚酰胺裸露在 100 °C 以上的潮湿环境中,容易产生老化。

8.3 阻挡带

8.3.1 说明

阻挡带通常直接用于绝缘层外充当油和化学物质的屏障,它通常和覆盖的编织层配合使用。阻挡带采用螺旋缠绕,每绕一圈应与前一圈重叠约 50%。

最通用的阻挡带材料有聚氟乙烯(PVF)和乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE)。聚氟乙烯耐化学性能好,但是它的温度极限是 149 °C。乙烯-四氟乙烯共聚物耐化学性能差,但是温度性能较高,可达到 193 °C。总之,在材料的选择上要从成本给予考虑。

阻挡带的厚度可以不同。对于一种特定的材料,带越厚其阻挡性能越好。

8.3.2 应用

阻挡带主要的作用是保护其内敷材料。用聚丙烯绝缘材料,低分子量油的馏分物(轻质烃)和气体会进入绝缘层,使其软化;用三元乙丙橡胶绝缘材料,因它容易吸油,会使之产生膨胀和龟裂。采用阻挡带可以阻止井液侵入其内敷材料,延长了电缆的使用寿命。

阻挡带在滞留油井气体时,泄压期间还可以为绝缘层提供附加箍紧强度。

8.3.3 限制

采用阻挡带会略微增加电缆的成本,阻挡带通常与外敷编织层配合在一起使用。

8.4 挤制阻挡层

8.4.1 说明

挤制在绝缘层外的阻挡层可保护铜导体或作为敷设在绝缘层外的挤制阻挡层替代编织层和阻挡带的结构。

如今用于挤制阻挡层的材料有几种:聚偏氟乙烯(PVDF)和乙烯-三氟氯乙烯共聚物(ECTFE)用于温度达 149 ℃ 的环境,氟化乙丙烯(FEP)用于温度达 204 ℃ 的环境。

8.4.2 应用

阻挡层挤制在绝缘层外可增加其耐化学性、机械保护性、抗泄压性和电气强度。当阻挡层挤制在绝缘层以外时,就像阻挡带和编织层的常规设计一样无任何间隙或缝隙。见 6.5.2。

8.4.3 限制

挤制阻挡层成本非常高,因此改善后的性能应该与额外增加的覆盖层的成本同时考虑。
当修理或进行电缆终端时,应采用特殊的联接技术。

8.5 铅护套

8.5.1 说明

铅护套是一种连续的、无接缝的包敷在绝缘层外表的护套。

铅的成分在各供应商之间各有差异。一般采用含有铜、镉和锡的铅合金,以使金属护套的耐化学性和机械特性增至最强。纯铅绝对不能使用。

铅护套是通过一种挤制工艺包敷在电缆上。铅护套的几何形状可以是圆形的、方形的或八边形的。

8.5.2 应用

这种无缝隙和连续的铅护套为绝缘层提供了一种极好的气液屏障。在含 H_2S 的油井中,铅也是保护铜的有效屏障。

8.5.3 限制

铅是一种软金属,容易受损。铅护套会因弯曲造成冷作硬化而产生裂纹。

铅护套电缆重量大,操作困难,使用这种类型的电缆时需要采用专门的联接技术。铅护套电缆的成本高于常用的三元乙丙橡胶电缆,因此在改善性能上和成本合理性上要有预测。

铅护套电缆由井内取出 3~5 次后,可能会因操作和弯曲受损。滑轮的尺寸和操作方式会影响其重复利用性。因此采用不同几何外形、支撑抗压结构和/或特殊的铅合金等多种设计来延长电缆的循环使用寿命。

安装扁电缆时应使用平槽滑轮,安装圆电缆时应使用包角滑轮。滑轮直径的最小尺寸应为 121.9 cm。

每相导体上的电压会在铅护套内引起环流。对于长电缆而言,这种电流可能会诱发铅的腐蚀,应在每股导体的铅护套间采用衬垫层进行电气束紧连接以大幅度地减少环流。应合理地应用束紧连接防止铅的损坏。束紧连接可以是金属、半导体带材或半导体线材。

8.6 衬垫材料

8.6.1 说明

在铅包电缆的制造过程中,进行铠装时需要衬垫材料保护铅护套表面免受机械损伤。

典型的衬垫材料是聚酰胺编织层。另一种材料是三元乙丙橡胶浸渍带。

8.6.2 应用

衬垫在电缆起下作业期间起着一些保护铅护套的作用。有些衬垫材料可以填充铅挤制层上出现的小孔。如果油气渗入铅护套内,它还可以提供附加的箍紧强度。电气束紧连接包含在衬垫材料内来阻止环流。

8.6.3 限制

三元乙丙橡胶裸露在油中会膨胀。聚酰胺在温度超过 100 °C 潮湿环境中会衰变和损失强度。不过只要铠装是完好无损的,这些限制对电缆的应用无重大影响。

如果衬垫材料退化,电缆的运行寿命可能会缩短。缺少这些材料会使铠装与铅护套直接接触。

9 铠装

9.1 总则

9.1.1 说明

铠装是用于电缆安装和搬运期间提供机械保护的最外层结构。圆电缆铠装对裸露在井液中的下敷弹性材料的膨胀有限制作用。

铠装还起着一定的纵向支撑作用,支撑卡子之间电缆的重量。

铠装结构可为扁平式或联锁式钢带。有些设计是采用两层的铠装,一种特殊设计是采用螺旋状绕在导线上。

铠装的材料通常是采用镀锌钢带,对于一些特殊工况,采用不锈钢带或不锈钢金属合金带。

9.1.2 应用

铠装是在护套材料不能为电缆提供充分机械保护的情况下应用的。

在电缆总厚度受限制的条件下,可以采用扁平式铠装。

采用联锁式铠装可将铠装松脱的可能性减至最小,且不大可能妨碍起下作业。

螺旋缠绕铠装用于那些电缆纵向拉力主要依靠铠装承受的应用条件下,比如卡子之间的距离很长时。这种铠装可用在潜油电缆处于井眼较大的情况下。

当电缆下入井下时,铠装提供足够的强度来保持电缆的完好性。卡子为将电缆固定在油管上提供支撑力。

一般工业作法是在每根油管的中间安装一个卡子,在靠近接箍上方处再装第二个卡子。这些卡子支撑着电缆的重量。

9.1.3 限制

铠装的完好性受其运行所处环境的影响。腐蚀是影响材料选择的主要因素之一。

对于环境极其恶劣和成本备受关注的条件下,可以使用能耐多数腐蚀工况的不锈钢金属合金铠装。不锈钢铠装虽然不如不锈钢金属合金铠装有效,但其价格较低,可以替代不锈钢金属合金材料。

螺旋缠绕的扁平铠装有一条边缘外露,在安装电缆时,注意应使其外露一侧方向朝上,借以减少下井期间铠装受阻的可能。

9.2 镀锌钢带

9.2.1 说明

镀锌铠装钢带是一种外表镀锌的低碳(软)钢带。镀锌钢铠装钢带有 0.381 mm、0.508 mm、0.635 mm 和 0.864 mm 这几种规格的厚度。根据 ASTM A 459,镀锌涂层可以镀多种重量的锌。一级镀层是 110 g/m²,二级镀层 210 g/m²,三级镀层是 300 g/m²。由于三级镀层容易脱落且聚集腐蚀性分子,因此不建议使用。

9.2.2 应用

大多数油井环境允许采用镀锌钢带铠装电缆。也可以使用双层的铠装提供更大的保护来防止腐蚀。

9.2.3 限制

在有 H₂S、CO₂、强酸、强碱性及浓盐水环境中,镀锌钢带易受腐蚀。

随着温度的升高,腐蚀变得更加剧烈。

通常,在处于腐蚀环境中铠装加入额外的镀锌层会极大地延长铠装的使用寿命。增大铠装钢带的厚度或使用更耐腐蚀性的材料更有助于提高铠装的使用寿命。

对于一些电缆悬挂系统,有必要采用高强度钢或不锈钢钢丝来提供所需的抗拉强度。

有色金属的磁性会增加电缆内电能损耗。这是由于导体中电磁感应、钢带内产生磁滞效应和涡旋电流的缘故。扁电缆内如果相间电流不平衡,这种影响将更大。

9.3 不锈钢带

9.3.1 说明

不锈钢带是指有限含量的铬同其他合金结合在一起的钢带。用于铠装的不锈钢带有 0.381 mm、0.508 mm 和 0.635 mm 三种规格的厚度。

用于制造电缆铠装的不锈钢主要标号有 316L 和 409。

9.3.2 应用

不锈钢铠装可在腐蚀性环境中使用。虽然不锈钢有一定的限制,但是比起更昂贵的替代品来还是被优先选用。

9.3.3 限制

不锈钢在有氯离子存在的环境应用会产生点蚀。300 系列不锈钢在这种环境中如温度高于 71 ℃ 左右会出现应力腐蚀开裂(氢脆化)。

无论 409 系列还是 316L 系列不锈钢,均不推荐在 H₂S 环境中应用。CO₂ 环境对 400 系列不锈钢也有影响。400 系列不锈钢适用于在井内 CO₂ 含量不大于 10%、压力不高于 21 MPa 的条件下使用。但是,在含氧的环境中,400 系列不锈钢不应再使用。

9.4 不锈钢金属合金钢带

9.4.1 说明

不锈钢金属合金是一种含镍超过 60%、含铁低于 4%、含锰 2%，其余部分是 0.381 mm 或 0.508 mm 厚度的铜组成的金属合金。

9.4.2 应用

不锈钢金属合金用于最恶劣的环境中。这样的环境含 CO_2 、 H_2S 以及高温(大于 71 °C)浓盐溶液。

9.4.3 限制

应该在“改善性能后的价值”与“为了保护铠装而使用金属合金钢带额外增加的成本”之间进行对比衡量。

10 电缆辅助设备

10.1 说明

电缆辅助设备是指同电缆连接的专业化运行设备。对于特殊应用或设备构造,设计时应咨询设备制造商。

10.2 井下监测传感器

为获得潜油电机在井下更精确的工作情况,可采取安装多种传感器的方法进行测量。使用井下传感器可测量压力(吸入口/泵出口)、温度(吸入口/电机绕组)、泄漏电流、泵出口流量、电机油介电强度和振动等参数。井下传感器通过一条专用通道,即在动力电缆中嵌入单独的导线将数据传送至地面,也可用电缆的一条导线作为信号线进行传送。

10.3 回流继电器

当油管中的静压头比井底的压力大时,泵随着油管中的井液流动而反向转动,放置在控制器内的回流继电器可监测流经电缆的电流。这种回流继电器阻止电机的启动,直到泵不再反转。在这种条件下,回流继电器是防止潜油电机启动的一种安全设备,可防止因回流而引起断轴或电缆、电机的烧毁。

10.4 电缆卡子

因为电缆不能承担自身的重量,因此使用电缆卡子将电缆固定在油管的外壁上。在大多数应用中,电缆卡子是由碳钢、不锈钢或不锈钢金属合金制成的。最少的卡子安装作法是在每个油管上安装两个卡子,即一个卡子放在油管接头的中部,另一个卡子放在接箍上面 0.6 m~0.9 m 处。卡子有不同的宽度,宽卡子用在更重的电缆上(如铅护套电缆)。

当安装过程中出现电缆可能损坏的情况,如偏离了井孔,这时应该考虑使用专门的设备。当紧固电缆防止松动时,可使用专门设计的连接保护装置(电缆卡子或其他保护装置),防止电缆同套管相接触。这种装置可重复使用。如果安装在油管中部的电缆需要额外的支撑或保护,可使用安装螺栓或电缆卡锁,这些设备也可重复使用。

10.5 电缆下井导向系统

潜油电机机组下井时使用的是受力电缆。经过专业设计的受力电缆,应能够支撑井下设备的重量,

进而用于提升和降低井孔中的电泵机组在阀座短节和坐放短节中的进出。电缆导向系统要求有专业的操作设备,在成本上比较,它通常要比只在特殊工作条件下使用的导向系统的成本要低。受力电缆的终端联接点,叫做电缆头。如果机组在坐放短节中固定不动,为使电缆恢复至不受力状态,电缆头是整个机组的易损坏点(由于使用了剪切销)。

10.6 连续油管导向系统

在运行、调试和操作连续油管导向系统时,连续油管为其提供动力支持。根据潜油电缆是固定在油管的外部还是放在连续油管的内部,决定了连续油管导向系统的一些结构。只有内部的动力连续系统允许含气油井在检修时可使用润滑剂和清洗剂。

11 联接和端接

11.1 总则

11.1.1 说明

联接和端接是指由一条电缆向另一条电缆的过渡或连接。联接和端接应达到电气、机械和环境完整性。

11.1.2 应用

当电缆对于某种应用太短或当电缆需要不同的几何尺寸应用时,需要采用联接技术。当和其他设备相连时采用端接技术。

11.1.3 限制

现场进行联接和端接的直径都将大于电缆本身的直径。电压应力趋于集中在导体接头周围的过渡区域。

11.2 工厂修理

11.2.1 说明

工厂修理是指制造过程中对绝缘层、护套层、铠装和铅护套的微小修补,不包括对导体的修补。

11.2.2 应用

制造厂商通过工厂修理可有效地修复电缆中的裂纹和其他缺陷,不会影响电缆的最终性能。最后,修复的电缆经测试应达到新电缆的技术要求。

11.2.3 限制

用户愿意使用没检修过的新电缆,而不愿意使用检修过的旧电缆。

11.3 工厂单股导体加长工艺

11.3.1 说明

单股导体的加长是指在制造过程中将两段已绝缘的单股导体连接在一起。

11.3.2 应用

有的需要延长一股或多股导体的长度达到总装尺寸要求。导体通过对焊和再次绝缘完成加长工艺。对于多股电缆,应按交错排列形式对每股分别对焊。最后,加长的导体应和未经加长的导体以同样的方式进行试验。

11.3.3 限制

用户应该清楚掌握制造商进行的各种加长情况,用户宁可用导体未经加长的电缆,也不愿意用经过加长的电缆。

11.4 联接

11.4.1 说明

联接是指两条电缆间的连接。它涉及到导体、绝缘、护套以及铠装等整个电缆的总成。

11.4.1.1 导体连接

最常见的导体连接方式是采用压接管。连接单股导体的另一种方法是对焊。

11.4.1.2 绝缘和护套的替换

三种主要的替换方法是模压、硫化和绕包。

模压联接采用热塑材料作绝缘,用高温模压工艺进行连接。

硫化联接采用可以硫化的热固带作绝缘层和护套层,用高温模压完成整个加工过程。

绕包联接可用热塑材料,硫化、非硫化或低温可硫化带作绝缘和护套,无需附加工序。

11.4.1.3 金属护层

对于铅护套电缆,把铅皮缠绕在绝缘层的外表,并与原有的铅护层搭接。用锡焊或胶带将铅皮固定。但是,用胶带固定的接头不能防止气体的侵入。

更换铠装是将铠皮螺旋缠绕在整个接头上,再将铠皮的端部与原铠皮焊接。

11.4.2 应用

电缆联接可用于加长电缆长度、修复损坏的电缆、电机引接电缆与主电缆连接、主电缆与猪尾式引线连接或在不同型号规格电缆间的过渡连接。

导体间的连接保持了它的电气连续性。

接头外敷设绝缘材料以保证绝缘性能,另外增设的附加材料可以保护绝缘材料免受井下条件的影响。绝缘材料的完好性会阻滞油气通过电缆串通。

电缆外敷设金属保护层,可增强其机械完整性和对环境的隔绝性。

11.4.3 限制

训练有素的联接人员应处理可能影响完成成品质量的各种因素。影响联接质量的因素有气候条件、可用工区条件、完成工作的紧迫程度以及联接员的技术熟练水平等。

经模压和硫化的联接接头通常可达到较好的完整性,不过进行这种联接与绕包连接相比需要较长的时间。

如有可能,应使连接部位处于油井动液面之上。

用户宁愿采用未经绕包连接的电缆,而不愿使用经过绕包连接的电缆。绕包连接后的电缆重复使用以及连接点数量的增多都会增大电缆产生故障的可能性。

11.5 端接

11.5.1 说明

动力电缆的端部采用接线柱或穿头的端接。

11.5.2 应用

端接大多在井口、潜油电机以及井下封隔器等部位。井口和封隔器的端接采用一小段称为“猪尾”引线的短电缆进行连接。

电缆与电机的联接部位称为“电缆头”。通常把“电缆头”作为与动力电缆相连的电机延伸电缆总装的一部分供货。如果电机和套管之间有足够的空间,可以把电缆头直接连接在动力电缆上。

“猪尾”式联接是指一定长度的电缆同主电缆直接相连接。另一种形式是直接安装在动力电缆上的可附端接。

11.5.3 限制

端接的尺寸和方式受井口内可用空间的限制,应该遵照井口制造商的建议进行操作。

端接材料应与主电缆的参数,如导体尺寸、金属性能、温度额定值和绝缘材料类型等相一致,以确保其最长的使用寿命。这些材料还应同井液和工况等使用要求相符合。

选择在含 H_2S 和 CO_2 的油井中应用的端接材料应与前文所述选择电缆材料需特殊考虑的问题相同。端接越多,产生故障的可能性就越大。

11.6 典型的电缆连接

图 2 所示为典型的电缆联接和端接形式,但这并无意限制或阻碍采用其他类型的结构。

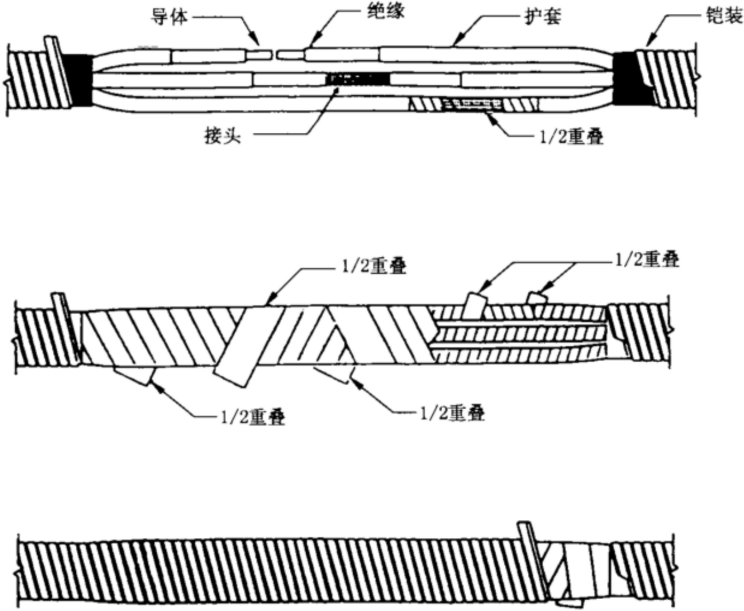


图 2 典型的电缆连接

附录 A (规范性附录) 电力费用分析

A.1 引言

一旦确定了潜油电泵所要求的功率,应考虑将电缆系统成本降至最低的几个因素,如电缆尺寸、电压要求和电流要求。

A.2 电压和电流

潜油电机所消耗的功率与经电缆输送至电机的电流和电压有关。因为要求功率保持相对恒定,所以系统电压越高,电机电流便会越低。电缆内的功率损耗等于电缆的阻抗、导体的数量和电流平方的乘积。对于固定尺寸的导体,高电压低电流电机减小了功率损耗。

标准 NFPA 70(美国国家电气规程)建议当电缆的最大压降不超过电机额定电压的 5% 时,将能提供合理的效率。

A.3 导体尺寸

尽管工业界采用的导体规格很多,但是用于潜油电泵的电缆且已经标准化的线芯主要是美国线规的 No.4、No.2、No.1、No.1/0 和 No.2/0。对于 No.6 线芯,可在低功率的情况下使用。

如果井孔里有足够的环隙,那么应以导体承载的电流量为依据来选择导体尺寸。

应进行电缆导体规格和电缆功率损失成本的经济对比。经济分析应评价低功率电缆全寿命期间的消耗成本能否抵消购买较大尺寸电缆的初始投资。

A.4 分析方法

电缆选型时,电流计算的基本方程如式(A.1)所示。另外还需要一些其他来源的资料完成系统分析(例如包括设计时功率因数的影响)。

$$I = \left(k \times \frac{CD}{RD} \times PC \times Ph \times ECL \right)^{0.5} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

I —— 负荷电流(高于此值则认为采用较大尺寸的导体是合理的),单位为安培(A);

k —— 常数=0.114, $\{k = 1\,000(\text{wh/kwh})/[24(\text{h/d}) \times 365(\text{d/a})]\}$;

CD —— 两种不同规格导体的电缆间价差[元/1 000 m];

RD —— 在井底温度下两种规格导体的电阻差,单位为欧姆(Ω);

PC —— 电费,单位为元每千瓦时[元/kW·h];

Ph —— 相数=3;

ECL —— 估计的电缆寿命(年)。在此可用收回电缆投资需用的年数来代替电缆寿命。

附 录 B
(规范性附录)
电缆选择指南

B.1 引言

本附录将电缆的各种材料与工况条件结合在一起,可以公开使用。根据各章相对应的电缆结构划分分类指南。本附录未注明的材料可参阅其他有关文献。

B.2 温度等级

在本附录中,列举了四种温度的额定值。它们区别于电缆承受的最大运行温度。这个温度是环境温度 and 由于电流与机械操作引起温度变化的函数。温度标志列举如下:低(L)、中(M)、高(H)和超高(S)。

表 B.1 温度额定值(见 3.2)

| 温度标志 | L | M | H | S |
|---|-----|----------------------|--------|----------------|
| 确定额定温度的材料 | 聚丙烯 | 腈橡胶 | 三元乙丙橡胶 | 铅 ^a |
| 最大导体温度/℃ | 96 | 107~193 ^b | 204 | 232 |
| ^a 弹性材料外包铅或其他特殊结构; ^b 根据公式的最高温度。 | | | | |

表 B.2 导体(见第 5 章)

| | | | | |
|-------|------------------------------|--------|---|---|
| 温度标志 | L | M | H | S |
| 材料 | 铜 | 铜 | 铜 | 铜 |
| 涂层 | 镀锡 | 未镀锡/镀锡 | | |
| 金属性能 | NEMA WC-Code, ASTM B3,B8,B33 | | | |
| 尺寸规格 | 见表 1、表 2 | | | |
| 类型 | 单股、多股绞合、压实多股绞合 | | | |
| 尺寸/mm | 6,4,2,1,1/0,2/0,10,16,25 | | | |

表 B.3 绝缘层(见第 6 章)

| 温度标志 | L | M | H | S |
|------|-------------|-----------|--------|--------|
| 材料 | 聚丙烯 | 三元乙丙橡胶 | 三元乙丙橡胶 | 三元乙丙橡胶 |
| 试验 | IEEE 1019 | IEEE 1018 | | |
| 性能 | IEEE 1019 | IEEE 1018 | | |
| 外形尺寸 | IEEE 1019 | IEEE 1018 | | |
| 导体外膜 | 作为增加介电强度的需要 | | | |

表 B.4 护套层(见第 7 章)

| 温度标志 | L | M | H | S |
|------|-----------|-----------|--------|--------|
| 材料 | 腈橡胶 | 腈橡胶 | 三元乙丙橡胶 | 三元乙丙橡胶 |
| 试验 | IEEE 1019 | IEEE 1018 | | |
| 特性 | IEEE 1019 | IEEE 1018 | | |
| 外形尺寸 | IEEE 1019 | IEEE 1018 | | |

表 B.5 编织层和保护层(见第 8 章)

| 温度标志 | L | M | H | S |
|---|------------|-------|----------------------|----------------|
| 编织层 | 聚酰胺 | 聚酰胺 | 聚酯纤维/聚苯 硫醚/乙烯四氟乙烯 | |
| 替代编织层 | — | 聚偏氟乙烯 | — | — |
| 铅包层 | — | — | — | 铅 |
| 阻挡层材料 | 聚氟乙烯/聚偏氟乙烯 | | | |
| 衬垫 | — | — | — | 聚酰胺/ 三元乙丙橡胶 |
| 注:编织层和绕包层是任选的材料,各制造商采用的材料可能有很大的差异。表中所列为最常见材料。 | | | | |

表 B.6 铠装(见第 9 章)

| | | | | |
|------|-----------|-----------|------|---|
| 温度标志 | L | M | H | S |
| 标准型 | 镀锌钢 | | | |
| 特殊结构 | — | — | 双层镀锌 | |
| 耐腐蚀性 | 不锈钢合金 | | | |
| 尺寸 | IEEE 1019 | IEEE 1018 | | |

参 考 文 献

- [1] ASTM A459 镀锌扁钢铠装带标准规范
 - [2] NFPA 70 高性能电线和电缆截面标准
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
潜油电泵电缆系统的应用
GB/T 17389—2013

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 48 千字
2014年6月第一版 2014年6月第一次印刷

*

书号: 155066·1-49142 定价 30.00 元



GB/T 17389—2013

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

打印日期: 2014年6月8日 F009A