



中华人民共和国国家标准

GB/T 17389—1998

潜油电泵电缆系统的应用

Recommended practice for application of
ESP submersible cable systems

1998-05-18 发布

1999-02-01 实施

国家质量技术监督局 发布

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—1998

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045
电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 $\frac{3}{4}$ 字数 49 千字
1998 年 12 月第一版 1998 年 12 月第一次印刷
印数 1—1 000

*

书号: 155066·1-15324 定价 14.00 元

*

标 目 355—52

前 言

本标准等同采用美国石油学会标准 API RP 11S5《潜油电缆应用推荐作法》(1993 年版),其技术内容及编写规则均与之相同。编写格式及方法与 API RP 11S5 一致,只是作了小的编辑性修改和补充说明,即:

1. 原文“2.4.3 附图目录”中标明图 2.5.9 中 a) 为边棱抗压型, b) 为标准型, 与图 2.5.9 标明的不一致。经核对, “2.4.3 附图目录”中的标明不正确, 改为与图 2.5.9 标明的相一致。

2. 将计量单位一律改为我国的法定计量单位。

3. 根据 GB/T 1.1—1993 的要求, 对产品商标名称作出脚注说明: 下列产品商标名称是商业上所用产品实例, 提供本商品名称是为用户提供方便, 而不是全国石油钻采设备与工具标准化委员会对这些产品的认可。

4. 根据制定标准的需要, 增加了附录 C(提示的附录)美国线规号公制尺寸和附录 D(提示的附录) AISI 316、AISI 409 不锈钢化学成分和机械性能。

5. 为便于对 IEEE 1018, IEEE 1019 标准的查找, 在附录 B 后增加了查找该两项标准出处的注释。

本标准的附录 A 和附录 B 是标准的附录, 附录 C 和附录 D 是提示的附录。

本标准由中国石油天然气总公司提出。

本标准由全国石油钻采设备及工具标准化委员会归口。

本标准由胜利石油管理局无杆采油泵公司负责起草。

本标准主要起草人: 王金鹏、王改良、严锡梁。

API 前言

(a) 本推荐作法归 API 开发设备标准化委员会管辖。

(b) 本推荐作法旨在为潜油电缆系统的材料和应用制定的。

本标准自封面所印日期起生效。对于修订版,用户可自愿全部或部分地与本标准保持一致。换言之,自发布之日起取代现行规范或与现行规范同时使用以便与生产日期所用版本保持一致。

目 次

前言	I
API 前言	II
1 总则	1
2 潜油电泵电缆术语定义	1
3 电缆导体	9
4 电缆绝缘系统	10
5 护套	12
6 编织层和保护层	12
7 铠装	14
8 电缆联接和端接	15
附录 A(标准的附录) 电费分析	21
附录 B(标准的附录) 电缆类型指南	21
附录 C(提示的附录) 美国线规号公制尺寸	23
附录 D(提示的附录) AISI 316 和 AISI 409 不锈钢化学成分和机械性能	23

中华人民共和国国家标准

潜油泵电缆系统的应用

GB/T 17389—1998

Recommended practice for application of
ESP submersible cable systems

1 总则

1.1 引言

本标准包括潜油泵电缆系统的材料和应用。本标准适用于大多数潜油泵电缆的应用。

1.2 范围

本标准包括制造厂商、销售商或用户对潜油泵电缆的应用,并不包括潜油泵系统的其他组件。

1.3 管辖

本标准包括了用于潜油泵电缆系统的通用公认作法。每一安装均应遵循地方性和国家的所有适用的法典和法规。

2 潜油泵电缆术语定义

本标准采用下列定义。

2.1 一般术语

2.1.1 抗氧化剂 antioxidants

向橡胶混合物中添加的材料,它可通过减缓硬化和脆裂来防止橡胶或塑料的老化。

2.1.2 混合物 compound

用基础聚合物加入其他配料获得要求特性的机械掺合物。这些混合物通常为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工作特性。

2.1.3 腐蚀 corrosion

通过氧化对金属表面的破坏。腐蚀可以通过化学剂本身或与油井液的共同作用而产生。电蚀是由电流在传导介质(如盐水)中两种不同金属间流动所引起的电化反应所致。

2.1.4 硫化 cure

制造电缆期间,硫化是改变橡胶原材料物理特性以获得所要求的绝缘层或护套层材质的过程。这种变化需要硫化剂、加温和加压。加硫和交联是硫化的一种形式。

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

由乙烯和氯四氟乙烯组成的氯氟热塑共聚物。这种材料化学上呈惰性,有较好的低电压绝缘性能。乙氯四氟乙烯属于称为含氟聚合物的塑性材料系。

2.1.6 弹性材料 elastomer

在轻微受力时可以拉伸,解除受力时可以恢复原状的类似橡胶的材料。

2.1.7 绝缘电阻 electrical insulation resistance

指绝缘时直流电径向流动通过绝缘材料的阻力。绝缘电阻通常指 15.6℃时的电阻值。

测量绝缘电阻(“IR”)的公式如下:

$$“IR” = E/I(M\Omega)$$

式中： E ——导线和地线间施加的电压，V；

I ——直流泄漏电流， μA 。

电阻值将随着复合材料和电缆几何尺寸的改变而改变。各相的绝缘电阻或泄漏电流测试结果应该平衡。

2.1.8 三元乙丙橡胶 EPDM-Ethylene propylene diene monomer

由乙烯、丙烯和二烯组分构成的聚合物。这种聚合物或称橡胶基材料可用硫或过氧化物进行硫化。

2.1.9 乙丙烯单体 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，其实用特性与三元乙丙橡胶相似。

2.1.10 乙丙橡胶 EPR-Ethylene propylene rubber

用于描述三元乙丙橡胶(EPDM)或乙丙烯单位(EPM)的术语。

2.1.11 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。这种材料化学上呈惰性，是一种良好的低电压绝缘体。乙烯-四氟乙烯属于称为含氟聚合物的塑性材料系。

2.1.12 氟化乙丙烯 FEP-Fluorinated ethylene propylene

热塑氟化乙丙烯共聚物。这种材料化学上呈惰性，是一种良好的低电压绝缘体。氟化乙丙烯属于称为含氟聚合物的塑性材料系。

2.1.13 复合填料 fillers, compound

向复合材料内填加的用以提高各种性能，如机械强度、耐潮湿性以及电气特性的材料。

2.1.14 物理填充料 fillers, physical

用于填充电缆结构内空隙的材料。常用材料有橡胶和聚丙烯。

2.1.15 箍紧强度 hoop strength

对抑制电缆伸张的切向阻力的量度。由于内部气体的压力沿径向推动，会使绝缘层和护套层表面产生沿切向伸张和击穿的趋势。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。

2.1.16 泄漏电流 leakage current

指在施加直流电压时流过绝缘体表面或流经绝缘体的电流，该值规定了在特定直流电压情况下的绝缘电阻值。不管介电材料的质量优劣，都会有不同程度的泄漏电流。

2.1.17 单体 monomer

通过化学链形成聚合物的基本化学成分。

2.1.18 腈橡胶 nitrile

由丁二烯和丙烯腈单体组成的共聚物。常用的名称有：丁腈橡胶(Buna N)，腈橡胶(nitrile rubber)和腈丁二烯橡胶(NBR-Nitrile butadiene rubber)。改变丙烯腈和丁二烯的含量比可以实现耐油强度或耐低温性能的不同需求。用此方式可以随意调配适用于特殊应用条件的复合材料。

2.1.19 增韧剂 plasticizers

添加在复合物内用于增强挠性、易加工性和延展性的化学剂。

2.1.20 聚酰胺 polyamide

高分子聚合热塑材料。它由含酰胺($-COHN-$)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，并具有较高的拉伸强度。

2.1.21 聚乙烯 PE-Polyethylene

由化学链状乙烯单体组分构成的热塑材料。

2.1.22 聚酰亚胺 polyimide

在聚合物主链内混有酰亚胺基团的完全反应的线形聚合物。如注册的品牌卡普顿(Kapton[®])和阿佩科(Apical[®])。

2.1.23 聚合物 polymer

多种单体通过化学反应链为一体而形成的材料。聚合物的分子链由重复出现的同一结构组分组成。前缀一,二,三基本组分分别用英语“homo”,“Co”和“ter”表示。

2.1.24 聚丙烯 PP-Polypropylene

由靠化学链接在一起的丙烯单体组成的热塑材料。不同电气等级的聚丙烯通过掺入较少的乙烯或丁烯单体可获得较好的低温性能。

2.1.25 聚氟乙烯 PVF-Polyvinyl fluoride

由靠化学链接在一起的氟单体组分构成的含氟热塑材料。聚氟乙烯属于称为含氟聚合物的塑性材料系。

2.1.26 聚偏二氟乙烯 PVF₂-Polyvinylidene fluoride

由靠化学链接在一起的氟化乙烯单体组分构成的含氟热塑材料。聚偏二氟乙烯属于称为含氟聚合物的塑性材料系。

2.1.27 热塑材料 thermoplastics

在温升状态下软化或流变,冷却时硬化的聚合物。这是一个可逆过程。热塑材料的范例有:聚丙烯(PP),聚乙烯(PE),聚氟乙烯(PVF),聚偏二氟乙烯(PVF₂)和聚酰胺(尼龙)。

2.1.28 热固性材料 thermoset

一旦固化不能再形成交链,并不可再重塑的聚合材料。常用的两种热固性材料为三元乙丙橡胶和腈橡胶。

2.2 温度

2.2.1 导体温度 conductor temperature

指载流导体表面的温度。该温度是电流在导体中流动所产生的热量、通过材料的热量散失以及环境温度的函数。由于扁电缆是非对称结构,会因其他电损而产生额外的热量。

2.2.2 额定温度 rated temperature

电缆能连续工作而不会使材料产生明显老化的最高导体温度。

2.2.3 运行温度 operating temperature

在稳定状态运行期间导体的温度。最高运行温度称为额定温度。

2.2.4 井底温度 bottom hole temperature

射孔井段中部的静态温度。

2.2.5 环境温度 ambient temperature

电缆周围任何一点的温度。在井下环境中,环境温度取决于诸如油藏温度、井下沉没设备产生的温升、井温的分布以及井液、泡沫和气体的导热性等许多变量。

2.3 品牌¹⁾

2.3.1 阿佩科 (Apical[®])

阿佩科是联合化工公司(Allied Chemical)生产的一种聚酰亚胺产品品牌,该产品可被直接用在芯线的外表作为辅助绝缘层。由于阿佩科(Apical)无熔点,所以采用氟化乙丙烯(FEP)作为聚酰亚胺的叠层材料,目的在于制造时提供热封结构。

2.3.2 哈勒 (Halar[®])

哈勒(Halar)是美国奥塞蒙特(Ausimont)公司生产的一种乙四氟乙烯产品品牌。

1) 文中提供的产品品牌是为了给本国标准的使用者提供方便,而不是全国石油钻采设备及工具标准化委员会对这些产品的认可。

2.3.3 哈伦 (Halon ET[®])

哈伦(Halon)是美国奥塞蒙特(Ausimont)公司生产的一种乙四氯乙烯产品品牌。

2.3.4 卡普顿 (Kapton[®])

卡普顿(Kapton)是美国杜邦(Dupont)公司生产的一种聚酰亚胺产品品牌,该产品可直接被用在导体的外表作为主绝缘层。由于卡普顿(Kapton)无熔点,所以采用泰氟隆氟化乙丙烯(Teflon FEP)作为聚酰亚胺的叠层材料,目的在于为其在制造时提供热封结构。

2.3.5 凯纳 (Kynar[®])

凯纳(Kynar)是潘瓦尔特(Pennwalt)公司生产的一种聚偏二氟乙烯(PVF₂)产品品牌。通常用作编织层和挤制绝缘套。

2.3.6 耐伦 (Nylon[®])

耐伦是聚酰胺的品牌。耐伦的供货商很多,一般用作编织层。

2.3.7 泰德勒 (Tedlar[®])

泰德勒是美国杜邦(Dupont)公司生产的一种聚氟乙烯(PVF)产品品牌。通常用作绝缘带。

2.3.8 泰氟隆氟化乙丙烯 (Teflon FEP[®])

泰氟隆氟化乙丙烯是美国杜邦(Dupont)公司生产的一种产品品牌。该产品通常用作聚酰亚胺的叠层材料形成一种热封带或可挤制层。

2.3.9 泰氟泽 (Tefzel[®])

泰氟泽是美国杜邦(Dupont)公司生产的一种产品品牌。该产品通常用作阻挡带或可挤制阻挡层。

2.4 构成说明和附图目录

2.4.1 范围

本章包括与电缆结构有关的图例。关于联接和终端接头有关的内容参见第8章。

2.4.2 电缆构成说明

序 号	说 明	参考章条	序 号	说 明	参考章条
1	导体	3	8	阻挡层	6.3,6.4
2	绞线导气箍	3.1.2	9	编织层	6.2
3	导体和绝缘导气箍	4.2.3	10	铅护层	6.5
4	辅助绝缘,种类	4.4,4.5	11	衬垫层	6.6
5	基本绝缘,种类	4.2,4.3	12	抗压件	6.5
6	物理机械填料	2.1.1.4	13	铠装	7
7	护套,种类	5			

2.4.3 附图目录

图号	图 名	图号	图 名
2.5.1	导体构造形式 a) 单股 b) 同心并压紧绞合 c) 压实绞合	2.5.6	圆电缆:三元乙丙橡胶绝缘、三元乙丙橡胶护套或填料 a) 标准型 b) 束紧带和编织层型 c) 阻挡层和填料
2.5.2	圆电缆:聚丙烯绝缘、腈橡胶护套	2.5.7	扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、双层铠装
2.5.3	扁电缆:聚丙烯绝缘、腈橡胶护套 a) 标准型 b) 束紧带和编织层型 c) 加密封套型	2.5.8	扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、铅护套 a) 标准型 b) 电机引接电缆
2.5.4	圆电缆:三元乙丙橡胶绝缘、腈橡胶护套	2.5.9	扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、铅护套、抗压件 a) 标准型 b) 边棱抗压型 c) 电机引接电缆
2.5.5	扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、腈橡胶护套 a) 标准型 b) 电机引接电缆		

2.5 图



图 注		
件号	名称	章条
2	绞线气封	3.1.2

图 2.5.1 导体构造形式

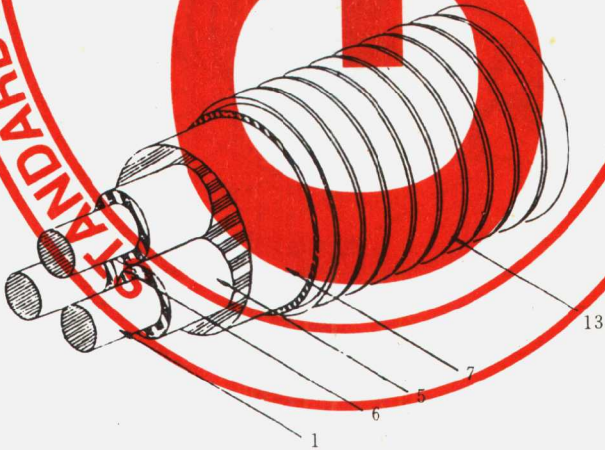


图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
5	基本绝缘,聚丙烯	4.2
6	物理机械填料	2.1.14
7	护套,腈橡胶	5
13	铠装	7

图 2.5.2 圆电缆:聚丙烯绝缘、腈橡胶护套

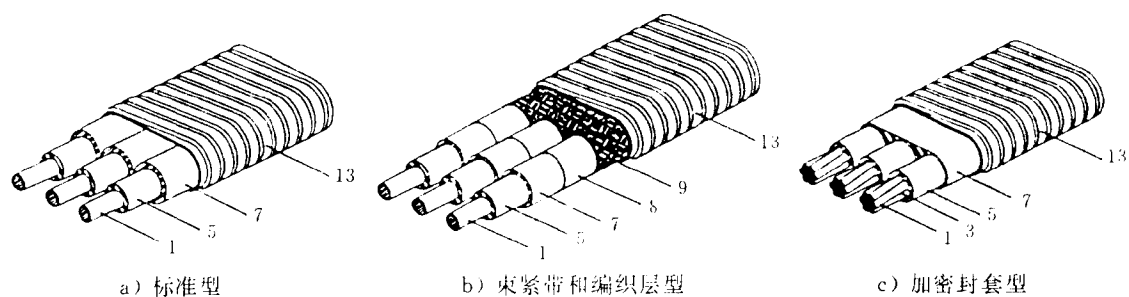


图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
3	导体和绝缘导气箍	4.2.3
5	基本绝缘, 聚丙烯	4.2
7	护套, 腈橡胶	5
8	阻挡层	6.3, 6.4
9	编织层	6.2
13	铠装	7

图 2.5.3 扁电缆: 聚丙烯绝缘、腈橡胶护套

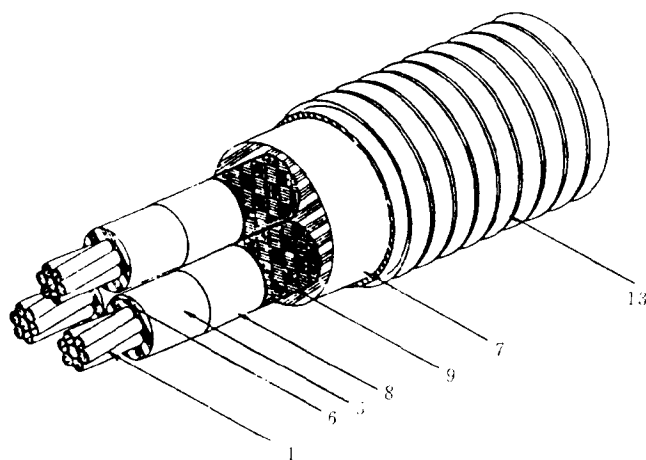
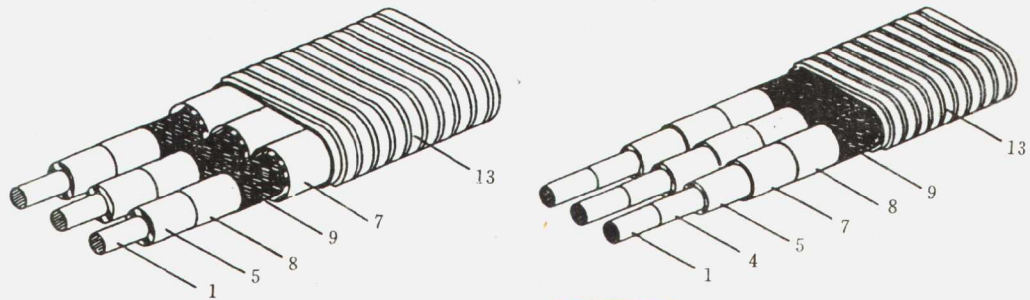


图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
5	基本绝缘, EPDM	4.3
6	物理机械填料	2.1.14
7	护套, 腈橡胶	5
8	阻挡层	6.3, 6.4
9	编织层	6.2
13	铠装	7

图 2.5.4 圆电缆: 三元乙丙橡胶绝缘、腈橡胶护套

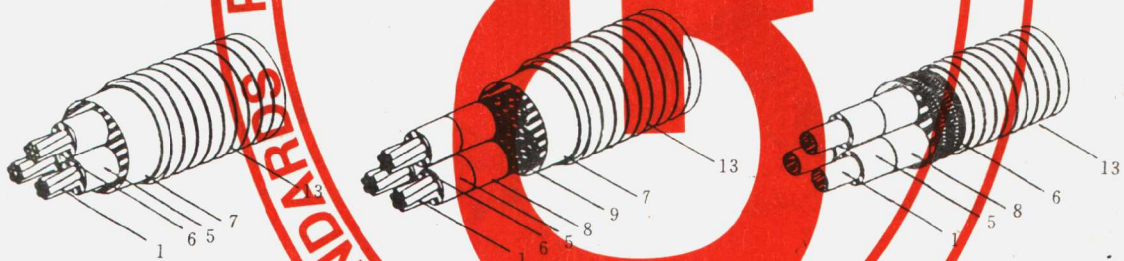


a) 标准型

b) 电机引接电缆

图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
4	辅助绝缘	4.4, 4.5
5	基本绝缘, EPDM	4.3
7	护套, 腈橡胶	5
8	阻挡层	6.3, 6.4
9	编织层	6.2
13	铠装	7

图 2.5.5 扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、腈橡胶护套



a) 标准型

b) 束紧带和编织层型

c) 阻挡层和填料

图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
5	基本绝缘, EPDM	4.3
6	物理机械填料	2.1.14
7	护套, 腈橡胶	5
8	阻挡层	6.3, 6.4
9	编织层	6.2
13	铠装	7

图 2.5.6 圆电缆:三元乙丙橡胶绝缘、三元乙丙橡胶护套或填料

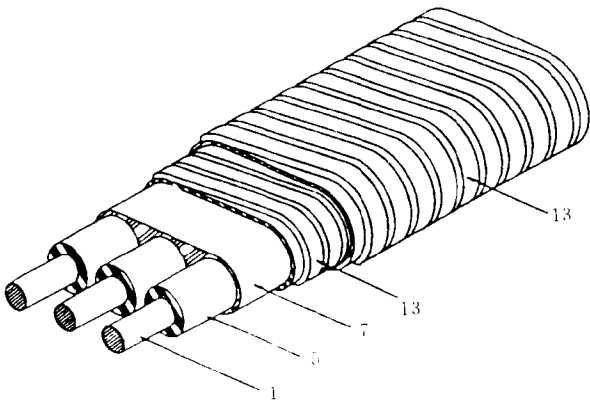
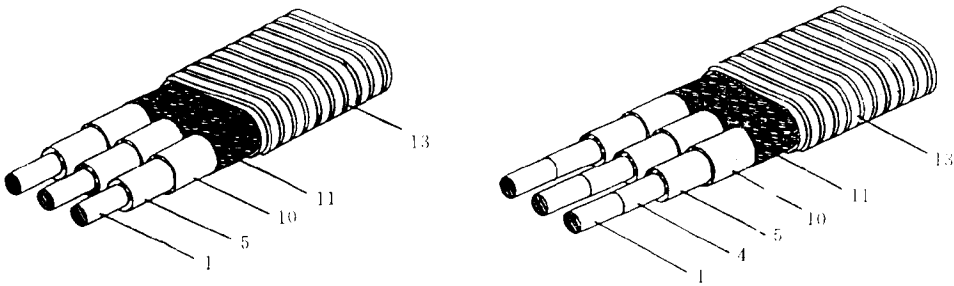


图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
5	基本绝缘,EPDM	4.3
7	护套	5
13	铠装	7

图 2.5.7 扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、双层铠装



a) 标准型

b) 电机引接电缆

图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
4	辅助绝缘	4.4,4.5
5	基本绝缘,EPDM	4.3
10	铅包层	6.5
11	衬垫层	6.6
13	铠装	7

图 2.5.8 扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、铅护套

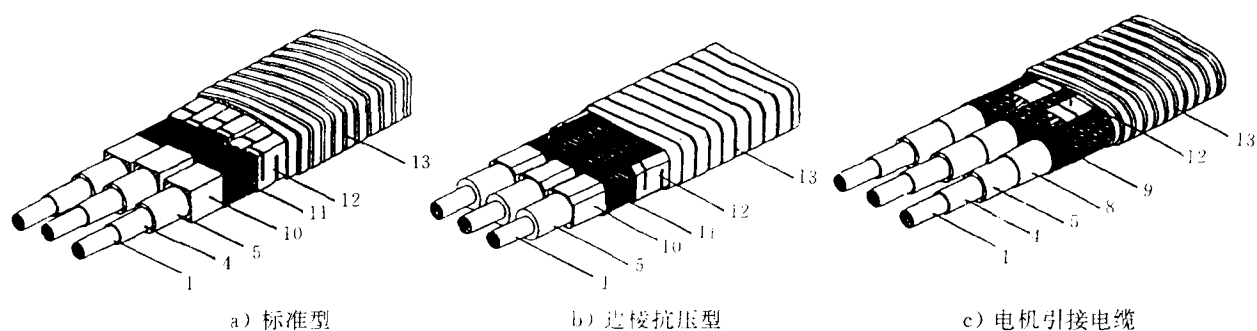


图 注		
件号	名称	章条
1	导体	3
4	辅助绝缘	4.4, 4.5
5	基本绝缘, EPDM	4.3
8	阻挡层	6.3, 6.4
9	编织层	6.2
10	铅包层	6.5
11	衬垫层	6.6
12	抗压件	6.5
13	铠装	7

图 2.5.9 扁电缆:三元乙丙橡胶绝缘、铅护套、抗压件

3 电缆导体

3.1 总则

3.1.1 说明

铜或铝导体均可用于将交流电流由地面输送至电机。

对于潜油泵的应用,导体的工业标准化尺寸主要为美国线规(AWG)1号、2号、4号和6号〔见附录C(提示的附录)中表C1〕。其他规格的电缆可专门订购。

3.1.2 应用

电缆的线规尺寸要依据其额定载流量、经济情况和井的环隙来选择。首先,用井筒环隙确定电缆的最大允许直径;其次,根据电机需要的电流和容许的电压降确定导体的最小尺寸;最后,进行不同电缆尺寸间的经济对比。

对于给定尺寸的导体,增大电流既会增加电力损耗,也会增加电缆的运行温度。在电流一定情况下,如增加导体尺寸会降低其电力损耗和运行温度。

潜油电泵电缆可以购置多股绞合导体电缆,也可以购置单股导体电缆。单股导体直径最小。对于同一线规尺寸的导体,绞股可以增加导体的直径和挠性。对于尺寸较大的线芯采用绞股较普遍,电机引接电缆通常采用单股导体。

单股导体可将气体的运移和因硫化氢造成的老化减至最小。填充气封化合物的“压紧”或“压实”绞合导体也是解决这些问题的另一办法。

美国线规(AWG)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98%,压实多股绞合导体的直径为同心多股导体直径的92%。

与铜导体相比,铝的成本低廉,重量也轻,因此对于同样安载流容量的电缆而言其制造成本会

少的多。

3.1.3 限制

铝一般不作为潜油泵用电缆导体的理想材料,因为其传导率仅为同线号铜导体的 61%,因此,必须采用直径较大的导线来输送与铜导线相等的电流。井筒内的环隙会因此而变小。

铝导体比铜导体更难进行联接和端接。在连接铝导体端子时,必须采用压紧式专用接头。在拆除绝缘层时,切勿在铝导体上留有刻痕。

铜导体的主要缺点是易被硫化氢(H_2S)侵蚀。在高温井中应用,需采用连续铅皮完全地包住绝缘层,以避免此类问题的发生。

4 电缆绝缘系统

4.1 总则

4.1.1 说明

绝缘材料将导体与一些其他传导材料间的电位隔离开。绝缘层可以把导体的泄漏电流减至最小。采用不同种类的绝缘材料会影响其保持电隔离性能所需要的空间。

4.1.2 应用

用于油井潜油电缆的典型材料有类似于聚丙烯的热塑材料和类似于三元乙丙橡胶的热固复合材料。

有些电缆采用一种由主要绝缘和辅助绝缘组成的复合绝缘系统。辅助绝缘一般采用绝缘膜或挤制的薄层材料,这些材料厚度小,介电强度(V/mm)高。就整个系统而言,这些绝缘材料提供了协同效应。

4.1.3 限制

这种辅助绝缘材料不能独立使用,必须与主要热塑材料或热固绝缘材料复合使用才能增加其电气和机械性能。

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。

提高运行温度将会缩短电缆的寿命。一般情况下,随着温度的增高,电缆的寿命呈指数下降。通常以绝缘材料的脆化(老化变硬)来描述电缆的有效寿命。局部受热区域在靠近泵和电机处。

绝缘材料其他形式的退化是因周期性压力和与井下化学剂接触的缘故。选择绝缘材料还要受井下环境、气体的类型和聚集条件的影响。

在低温状态下操作潜油泵用电缆不仅要受其绝缘材料类型的限制,而且还要受到护套材料的制约。如果电缆一直被置放在低温环境中,需将其移至室内($>15.6^{\circ}C$)升温至少 48 h 后才能操作。

作为指南,用聚丙烯绝缘材料的潜油泵用电缆不应在温度低于 $-10^{\circ}C$ 情况下操作;用三元乙丙橡胶为绝缘层,腈橡胶为护套层的潜油泵用电缆不应在温度低于 $-29^{\circ}C$ 情况下操作;用三元乙丙橡胶为绝缘层,三元乙丙橡胶为护套层的潜油泵用电缆不应在温度低于 $-40^{\circ}C$ 情况下操作。

4.2 热塑材料

4.2.1 说明

热塑材料是一种在加热至高温时能制成一定形状,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仍会变成新的形状。变形温度随着外力的增加而降低。

典型的热塑材料包括聚乙烯、聚丙烯和聚酰胺。

4.2.2 应用

聚丙烯是一种适用于低温油井环境,价格比较低廉的绝缘材料。适用温度范围为 $-10^{\circ}C$ (环境)至 $96^{\circ}C$ (导体)。

4.2.3 限制

适用温度范围是指在无化学侵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 $-10^{\circ}C$ 情况下操作。在低温状态下弯曲会使绝缘材料龟裂。

众所周知,影响聚丙烯性能的不利井况有以下几种:

二氧化碳会引起过早的龟裂;原油中的轻质烃会导致软化;在接近上限温度运行时,施加在电缆上的外力(电缆卡箍、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降低这种影响。可一旦抗老化剂消耗后,残余的游离铜离子仍会侵蚀聚丙烯。因此多数制造商采用锡或铅合金涂层将铜与聚丙烯隔离。

聚丙烯绝缘材料直接与铝导体接触的电缆不会影响绝缘材料的老化。

电缆在被弯曲后,聚丙烯允许气体在导体和绝缘层间运移,对于在气体运移可能会造成一定影响的条件下应用时,导体与绝缘层间必须采用气封材料加以阻止。

4.3 热固材料

4.3.1 说明

热固材料是一种经过化学反应变性、硫化后形状永久不变的材料。典型的热固材料包括有丁腈橡胶(NBR),乙丙橡胶(EPR)如EPDM和EPM,丁苯橡胶(SBR)和交联聚乙烯(XLPE)。

4.3.2 应用

对于潜水电泵电缆而言,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(-40°C)的情况下仍具有较好的挠性。是一种适合在 CO_2 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,有些三元乙丙橡胶的复合配方如电缆结构束紧合理的话,在导体温度 204°C 下仍有效。

4.3.3 限制

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

4.4 绝缘薄膜

4.4.1 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。典型的绝缘薄膜材料是聚酰亚胺,如品牌卡普顿(Kapton[®])或阿佩科(Apical[®])。

4.4.2 应用

绝缘薄膜一般应用于要求介电强度(V/mm)高,又能把绝缘层的厚度控制到最小的情况。这种材料适用于高温(232°C)应用条件。应用最普遍的是电机头(扁)引接电缆和电机绕组绝缘。

4.4.3 限制

聚酰亚胺薄膜受潮会产生化学腐蚀,严重降低其绝缘性能和机械强度。价格昂贵是其最主要的问题。

4.5 挤制辅助绝缘

4.5.1 说明

目前已有几种材料用于挤制辅助绝缘。热塑材料聚偏二氟乙烯(PVF₂)和三烯-三氟氯乙烯共聚物(ECTFE)用于高达 149°C 的环境温度下使用,氟化乙丙烯(FEP)用于高达 204°C 的环境温度下使用。

4.5.2 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抗化学性能。它与三元乙丙橡胶相比,即使井液侵入也不易损坏。因此保护性能好,而且还能延长电缆的寿命。关于挤制阻挡层的其他资料见6.4。

4.5.3 限制

热塑材料绝缘层价格昂贵。

当修理和终端连接电缆时,必须采用专门的联结技术。

5 护套

5.1 总则

5.1.1 说明

护套是保护层,用机械屏障把绝缘层与井下环境隔离。

护套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二次绝缘。目前最常用的护套材料有腈橡胶和三元乙丙橡胶弹性材料。

5.1.2 应用

护套的实用特性取决于环境温度和井况。电缆的额定温度会受护套材料温度等级的限制。

通过调整硫化的形式和抗老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性如延展性、硬度或拉伸强度等有轻微的影响。

如今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造的。

三元乙丙橡胶的耐高温能力比腈橡胶高,但腈橡胶的韧性较大,耐油性能较好。

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比腈橡胶好。

5.1.3 限制

腈橡胶的上限温度 140℃,而三元乙丙橡胶的高限温度为 204℃。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。一般情况下,电缆的寿命随着温度的增加呈指数下降。通常用护套的脆裂(老化变硬)来描述其有效寿命。局部受热区域位置靠近泵和电机。

护套材料其他形式的降解是因为压力变化和与井下化学剂接触的缘故。井下环境、气体的类型和气体的浓度也会影响护套材料的选择。

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

6 编织层和保护层

6.1 总则

6.1.1 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。

6.1.2 应用

在绝缘层的外面敷设编织层和保护层,也可以在护套层的任意一侧。这些材料为其内部电缆材料提供附加强度和保护。

6.1.3 限制

这些材料增加了电缆的直径和成本,它们对井液和井下条件的恶化很敏感。

6.2 编织层

6.2.1 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。最常用的编织材料是尼龙(聚酰胺)。聚偏二氟乙烯如凯纳(Kynar[®])可用于那些在腐蚀性强或温度高的条件下应用的电缆。

6.2.2 应用

编织层的主要作用是泄压期间对渗入绝缘层的气体提供附加的箍紧强度。在启动运行中当油井液被快速抽空或电缆由井内被起出时可能会出现泄压现象。

编织层还可保持结构的完整性,使耐油带紧束在绝缘层外位置不动。