

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。

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(MQ)；

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(μ A)。

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(-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

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

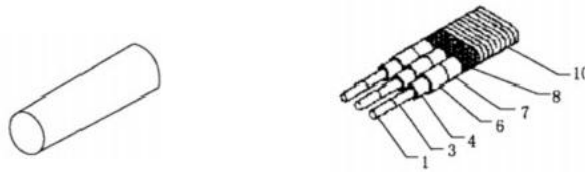
本章包括关于电缆结构的一些图例。

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)。

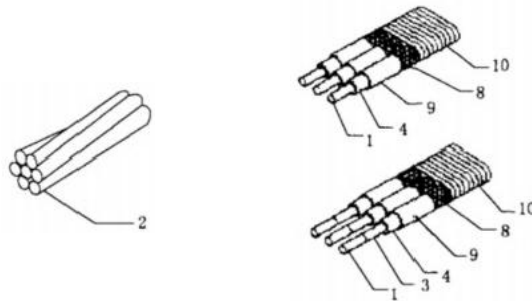
1) 单股



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
	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 °C) 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 F) Ω/kft	
			单股型	7芯绞线	7芯压实线	纯铜线	镀锡铜线

10 mm ²	19644	59.7	0.140			0.569	0.572
6AWG	26240	79.4	0.162			0.403	0.414
16 mm ²	31109	95.6	0.178			0.357	0.360
4AWG	41740	126.0	0.205		-	0.253	0.261
4AWG	41740	126.0		0.232	0.213	0.258	0.263
25 mm ²	49305	149.2	0.222			0.226	0.228
2AWG	66360	206.0	0.258			0.159	0.169
2AWG	66360	206.0		0.292	0.268	0.162	0.174
1AWG	83690	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) Q/kft	
			单股型	7芯绞线	7芯压实线	纯铜线	镀锡铜线
1AWG	83690	260.0		0.328	0.298	0.129	0.134
1/0AWG	105600	319.2		0.368	0.337	0.102	0.106
2/0AWG	133100	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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/276012230202010203>