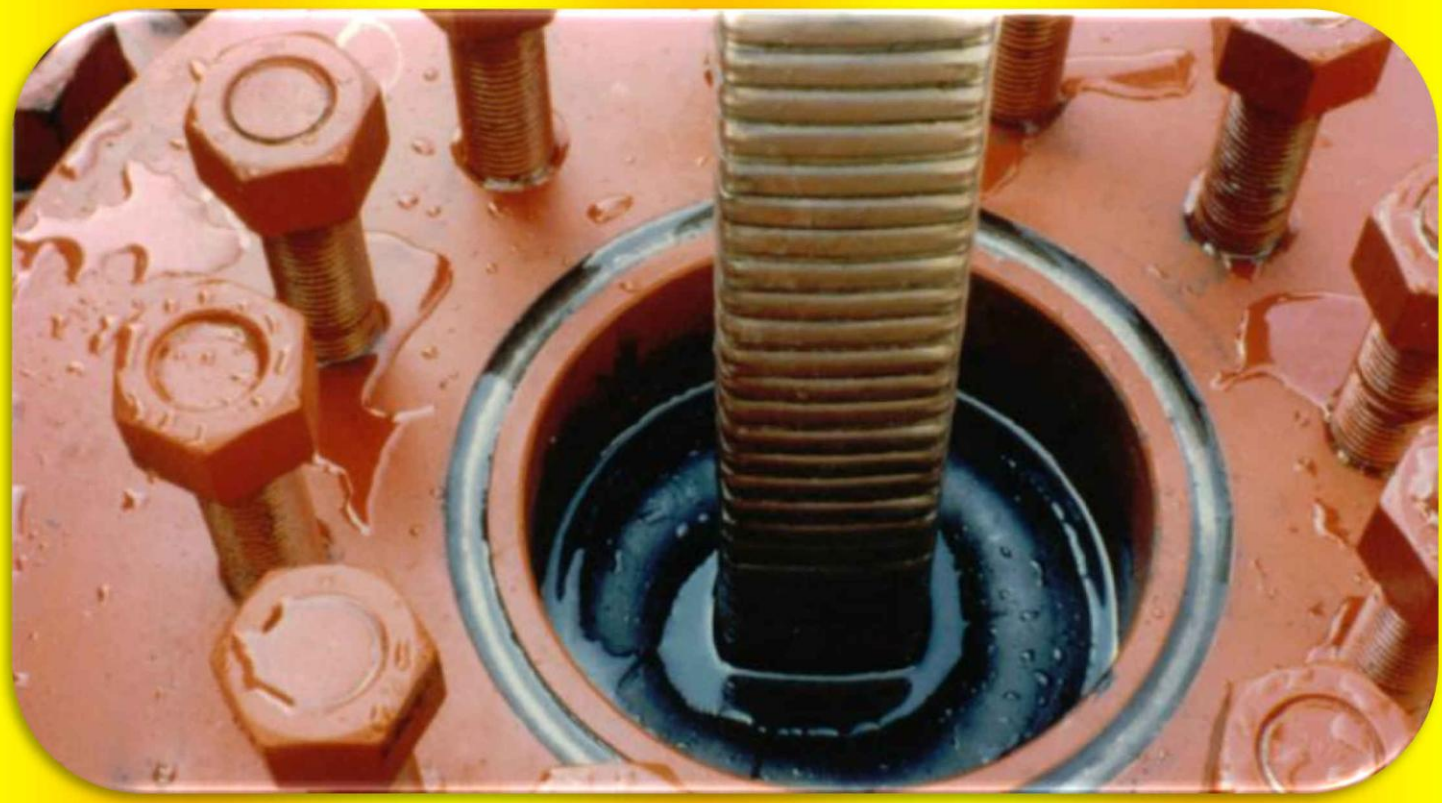
SIMCO

کابل های ESP
(کابل های پمپ شناور الکتریکی)



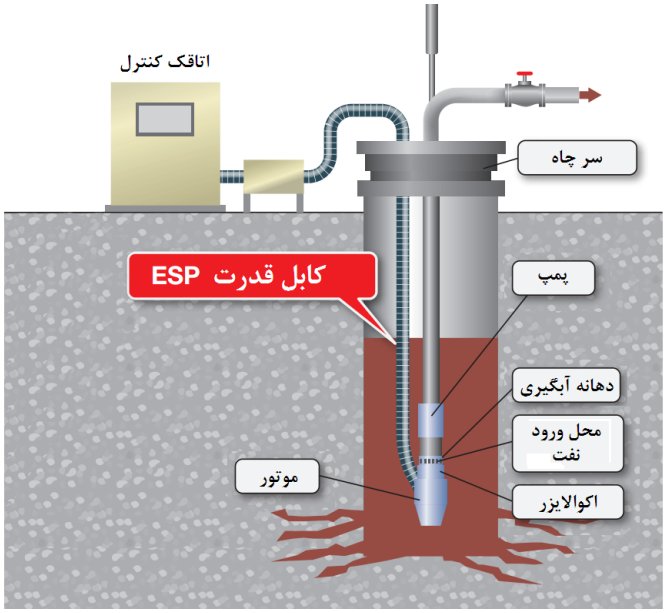
تهیه کننده : شرکت سیمکو ، واحد تحقیق و توسعه و آموزش

(مقاله به چاپ رسیده در مجله سیم و کابل)

کابل های ESP

(کابل های پمپ شناور الکتریکی)

کابل برق ESP [1] کابلهایی سه فاز هستند که در چاههای نفت برای انتقال توان مورد نیاز موتورهای ESP استفاده می شوند. طراحی این کابل ها به صورتی است که بتوانند وزن خود را تحمل نمایند و در نهایت در پایین سر چاه به لوله کشی متصل می شود.

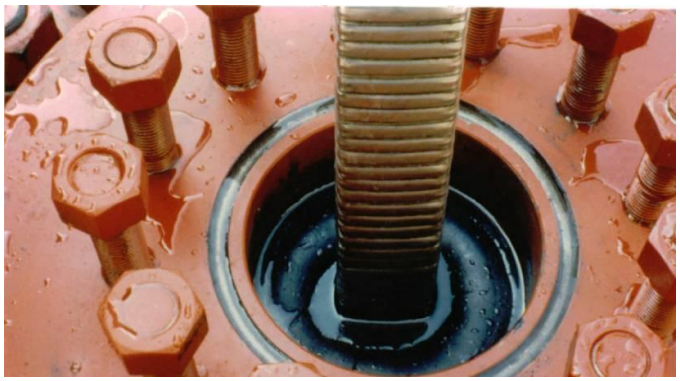


شکل 1 : محل استفاده کابل ESP

عوامل زیادی هستند که در انتخاب سایز و نوع این کابل ها مهم هستند برخی از این عوامل مانند خوردگی تعیین کننده جنس مواد هستند و برخی دیگر بر روی ابعاد و سایر ملاحظات موثر هستند. مهمترین عوامل مهم در انتخاب این نوع کابل ها عبارتند از :

- ملاحظات اقتصادی در انتخاب سایز هادی
- جریان راه اندازی و حداکثر افت ولتاژ برای تضمین راه اندازی موتور
- ولتاژ نامی برای بهینه سازی کابل و طول عمر سیستم
- افزایش دمای ناشی از نامتعادلی ولتاژ
- فضای موجود بین لوله و پوشش آن
- نوع و میزان گاز موجود در چاه
- خورندگی در اطراف چاه
- اثرات بازدارنده های خوردگی و یا هر نوع افزودنی شیمیایی دیگر بر روی خصوصیات عایق
- نوع مایع اطراف کابل ، وقتی که در بالای پرکن (در چاه)

- نرخ و فرکانس چرخه های کاهش فشار
- نرخ و فرکانس چرخه های دمایی
- ظرفیت وزن جرثقیل در مصارف ساحلی
- استفاده های بعدی از کابل در بیرون از چاه
- ورود خطوط ارتباطی و یا تزریق مواد شیمیایی به کابل
- مسیر چاه
- روش های نوار پیچی و کلمپ زدن

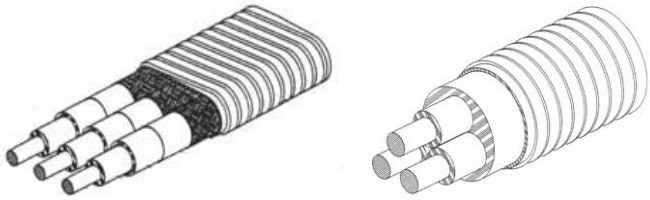


شکل 2 : محل ورود کابل ESP به داخل مخزن

این کابل ها عموما دارای سطوح ولتاژهای 3kV و 5kV هستند و به صورت گرد و یا تخت تولید می شوند. این کابل ها به دلیل استفاده در شرایط محیط خاص چاه باید قطر کمی داشته باشد و در برابر فشار های مکانیکی مقاوم باشد و از لحاظ الکتریکی و فیزیکی نیز غیر قابل تخریب باشد.

محدوده انتخاب سایز هادی در مقیاس mm^2 و AWG طبق استانداردها، محدوده وسیعی است و برای محیط های مختلف چاه از انواع مختلف عایق و آرمور استفاده می کنند. برای طراحی و آزمون این کابل ها استانداردهای زیادی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از :

- IEEE 1017
- IEEE 1018
- IEEE 1019
- API RP-11S5
- API RP-11S6



شکل 3 : طرح کابل ESP گرد و تخت

لایه های کابل

هادی : جنس هادی می تواند مس ساده (مطابق استاندارد ASTM B3) و یا پوشش داده شده با قلع (مطابق استاندارد ASTM B33) و یا پوشش داده شده با سرب یا آلیاژ سرب (مطابق استاندارد ASTM B189) باشد.

هادی عموما مفتولی است اما به صورت نیمه افشان نیز می تواند تولید شود. برای هر دو مورد می توان از استاندارد ASTM B8 استفاده نمود. در صورتی که هادی نیمه افشان فشرده شده باشد نیز می توان استاندارد ASTM B496 را استفاده می شود که در آن قطر هادی 92 درصد نیمه افشان است. در هادی نیمه افشان به منظور مسدود کردن نفوذ گاز، باید از هادی نوع پر شده استفاده شود.

در صورتی که جنس عایق پلی پروپیلن باشد از هادی اندود شده استفاده می شود زیرا در محیط چاه، مجاورت مستقیم مس و پلی پروپیلن باعث می شود تا تحمل دی الکتریک عایق کاهش یابد و از لحاظ فیزیکی نیز ضعیف شود.

عایق : عموما در کابل های ESP، دو نوع عایق استفاده می شود ، یکی عایق پلی پروپیلن (مطابق با استاندارد IEEE 1019) و دیگری عایق EPR (مطابق با استاندارد IEEE 1018)

عایق های پلی پروپیلن نسبت به عایق EPR دمای پایین تری دارند ، خشک تر هستند و از لحاظ قیمت نیز وضعیت بهتری دارند.

دمای کار عایق های پلی پروپیلن 96°C است اما در صورتی که لایه غلاف سربی داشته باشد می تواند تا دمای 107°C نیز استفاده شود برای دمای بالاتر باید از لاستیک ها استفاده نمود ، عایق های EPDM دمایی تا حدود 230°C دارند.

روکش : برای کابل هایی که عایق EPR دارند (مطابق استاندارد IEEE 1018) روکش های EPDM استفاده می شود. علاوه بر این از روکش های ترموست لاستیک نیتریل مقاوم در برابر روغن نیز می توان استفاده کرد که در این صورت دمای کار آن 140°C خواهد بود.

برای کابل های با عایق پلی پروپیلن (مطابق با استاندارد IEEE 1019) از روکش های ترموست لاستیک نیتریل مقاوم در برابر روغن استفاده می شود. برای این حالت از روکش پلی اتیلن نیز می توان استفاده کرد که در این حالت دمای کار آن تا 80°C کاهش خواهد یافت.

عموما فقط کابل های گرد روکش می شود و در کابل های تخت، آرمور مستقیما بر روی سه رشته عایق شده قرار می گیرد.

حفاظ عایق : در کابل های با عایق EPR می توان برای حفاظت در برابر مایعات و استحکام بیشتر از پوشش اضافی بر روی عایق بهره برد.

به طور نمونه می توان از نوار و یا بافت استفاده کرد، حتی می توان برای افزایش کارایی از بافت بر روی نوار نیز استفاده نمود. جنس این نوارها عموما نایلون و پلی استر هستند که در آب تحمل دمایی در حدود 120°C دارند. البته انواع دیگری از نوارها نیز وجود دارند که می توانند برای دمای تا 200°C نیز استفاده شوند.

یک راه دیگر استفاده از پلاستیک های با دمای بالاتر و به صورت اکسترود شده است. مهمترین مواد مورد استفاده در این روش PVDF برای محدوده دمایی تا 160°C و FEP برای محدوده دمایی تا 205°C است.

در چاه هایی که گاز سولفید هیدروژن (H_2S) وجود دارد، این گاز می تواند به هادی مسی آسیب وارد نماید. برای جلوگیری از بروز این مشکل می توان از یک لایه نازک سرب به صورت اکسترود شده بر روی هر رشته عایق استفاده کرد. در کابل های با عایق EPDM بر روی لایه سرب نوار پارچه ای پیچیده می شود تا در حین عملیات آرمورینگ آسیبی به آن وارد نشود.

آرمور : وظیفه اصلی آرمور تامین حفاظت فیزیکی هادی است و در کنار آن می تواند فشار ناشی از گاز را نیز کاهش داده و مسدود کننده مسیر نفت نیز باشد. برای مصارف معمول و مناطق با خورندگی کمتر از عموما فولاد گالوانیزه نرم استفاده می گردد، در مناطق با خورندگی بالا نیز از فولاد ضدزنگ و یا آلیاژهای دیگر می توان استفاده نمود.

در کابل های گرد، آرمور مستقیما بر روی روکش قرار می گیرد اما در کابل های تخت 3 رشته عایق شده به موازات هم قرار می گیرند و سپس آرمور می شود.

شکل 4 : نمونه کابل ESP تخت

کاربرد و محدودیت ها

برای تولید کابل ESP در حالت کلی دو نوع عایق استفاده می گردد. عایق ترموپلاستیک پلی پروپیلن و عایق ترموست EPR یا EPDM. در بعضی از کابل ها نیز سیستم عایقی ترکیبی استفاده می شود، در این سیستم های عایقی، می توان از یک نوار و یا یک لایه نازک اکسترود شده به عنوان عایق دوم استفاده نمود. این لایه معمولا تحمل دی الکتریک بالایی دارد و باعث می شود تا عملکرد الکتریکی عایق بهبود یابد.

زمانی که کابل در دمای بالا کار می کند، این مسئله باعث کاهش عمر کابل می شود. رابطه بین طول عمر با دما به صورت نمایی است، یعنی اینکه در حالت کلی با افزایش دمای کار، طول عمر کابل به صورت نمایی کاهش می یابد.

شکل 5 : نمونه کابل ESP تخت و گرد

پلی پروپیلن نسبتا ارزان قیمت است و در چاه های نفت با دمای پایین می تواند استفاده شود. از کابل های با عایق پلی پروپیلن می توان برای دمای $-35^{\circ}C$ الی $96^{\circ}C$ استفاده کرد. البته این دما، دمای ایده ال است یعنی شرایطی که کابل در معرض مواد شیمیایی و نیروهای مکانیکی نباشد. کابل با عایق پلی پروپیلن نباید در دمای کمتر از $-35^{\circ}C$ جابجا شود. خمش در دمای پایین می تواند باعث ترک برداشتن عایق گردد. شرایط شناخته شده دیگری نیز وجود دارند که می توانند بر روی پلی پروپیلن تاثیر بگذارند. دی اکسید کربن در سطوح بالاتر از 10 درصد باعث شروع ترک خوردگی زودهنگام آن می شود. نیروهای بیرونی مانند کلمپ کابل و نیروهای کششی که در دمای نزدیک به حداکثر دما به کابل اعمال می شود، می تواند به تغییر شکل زودهنگام عایق منجر شود. وقتی پلی پروپیلن در مجاورت مس قرار می گیرد مستعد کهنگی شتابنده است، به این منظور سازندگان مواد از افزودنی های ضد کهنگی استفاده می کنند و تولید کنندگان کابل نیز هادی را با آلیاژ سرب و یا قلع، اندود می کنند تا مانع از تماس مستقیم شود.

مواد EPDM در دماهای پایین (تا $-50^{\circ}C$) انعطاف پذیری خود را بخوبی حفظ می کند. برای محیط های حاوی دی اکسید کربن مناسب است و در مقابل انواع زیادی از رفتارها در چاه مقاوم است. مواد EPDM برای دماهای بالا نیز ترجیح داده می شود و برخی از آنها برای دمای هادی 200 درجه نیز مناسب هستند. این مواد در روغن متورم می شوند اما این مشکل را می توان با فرمولاسیون مناسب کاهش داد.

در سیستم های عایقی از نوار یا لایه های اکسترود شده بر روی عایق استفاده می شود. برای این منظور می توان از نوار پلی آمید استفاده کرد اما این نوارها وقتی در معرض رطوبت قرار می گیرند خصوصیات الکتریکی و تحمل مکانیکی آنها به شدت افت پیدا می کند. از موادی که عمدتا به صورت اکسترود بر روی عایق استفاده می شود می توان مواد ترموپلاستیک پلی وینیلیدن فلوراید (PVDF)، اتیلن کلرو تترا فلورو اتیلن (ECTFE) برای دمای $150^{\circ}C$ و اتیلن پروپیلن فلورینه (FEP) برای

دمای 200°C را نام برد. این مواد به صورت مستقیم بر روی هادی و یا عایق اکسترود می شوند و باعث افزایش تحمل دی الکتریک و مقاومت در برابر مواد شیمیایی می شوند و در نتیجه طول عمر کابل را افزایش می دهند. این عایق دوم نمی تواند به صورت تکی به عنوان عایق استفاده گردد و باید همراه عایق اصلی استفاده شود.

فولاد گالوانیزه در حضور H_2S، CO_2، اسیدهای قوی، محیط های آلکالین و آب های شور مستعد خوردگی است و حتی پوشش روی اضافه نیز تاثیر محسوسی در طول عمر آن ندارد. در چنین حالتی بهتر است تا از فولاد با ضخامت بالاتر استفاده شود و یا اینکه مواد دیگری که مقاومت در برابر خوردگی بالاتری دارند جایگزین شوند. در برخی سیستم های نیاز است تا از فولاد ضد زنگ یا فولاد با تحمل کششی بالاتر و به صورت مفتول گرد استفاده شود تا تحمل کششی طولی مورد نیاز تامین گردد. فولاد ضد زنگ در محیط های خورنده مورد استفاده قرار می گیرد و بسته به اینکه چه نوع خورندگی بیشتر وجود دارد می توان نوع مناسب فولاد ضد زنگ را انتخاب نمود.

مسئله دیگر اینکه خصوصیات مغناطیسی فلزات آهنی باعث افزایش تلفات الکتریکی در کابل می شود، این مسئله ناشی از جریان های گردابی و هیسترزیس در هادی است. این مشکل در کابل های تخت بخصوص زمانی که جریان های فازی نامتعادل باشند اهمیت بیشتری پیدا می کند.

××

کلمات کلیدی :

[1] . Electrical Submersible pump
[2] . Diagnostic Testing

××

منابع :

[1] . IEEE 1018 : 2013, “IEEE Recommended Practice for Specifying Electric Submersible Pump Cable - Ethylene-Propylene Rubber Insulation”
[2] . IEEE 1019 : 2013, “IEEE Recommended Practice for Specifying Electric Submersible Pump Cable - Polypropylene Rubber Insulation”
[3] . “ESP power cable”, www.petrowiki.org
[4] . API RP 11S5, “Recommended Practice for the Application of Electrical Submersible Cable Systems”, April 2008
[5] . API RP 11S6, “Recommended Practice for the Testing of Electric Submersible pump Cable Systems”, April 2008