Archvie of SID

روشهای جلوگیری از خوردگی داخل لوله ها

عباس آقاجانی[1]

aghajani@cc.iut.ac.ir

چکیده

خوردگی داخل لوله ها یکی از مشکلات عمده صنایع دریایی می باشد. از آنجائیکه دسترسی به سطح داخل لوله مشکل است، بنابر این جهت جلوگیری از این نوع خوردگی تکنیک های پیشرفته ای بکار گرفته می شود.در این گـزارش انـواع روشـهای پوشـش دهی داخل لوله ها، اعمال حفاظت کاتدی و بکارگیری بازدارنده های خوردگی مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: خوردگی-داخل لوله-حفاظت کاتدی

۱- مقدمه

یکـی از مباحـث بسـیار مهم و کاربردی در صنایع امروز، حفاظت خوردگی داخل لوله ها ی فلزی می باشد. آماده سازی سطحی سایر سطوح فلزی براحتی و با دقت بالا قابل انجام است ولی داخل لوله بدلیل محدود بودن ابعـاد آن، چنیـن عملیاتـی با برخی مشکلات اجرایی توام است. از طرف دیگر آماده سازی نامناسب داخل لوله و سـپس اعمـال پوشـش، مـنجر بـه بـروز مشـکلات مـتعددی در صنایع خواهد شد. بعنوان مثال داخل لوله های

[1] - عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا

www.SID.ir

Archvie of SID

فـولادی اطفاء حریق یکی از مراکز صنعتی ایران توسط یک شرکت خارجی پوشش پلی اورتان اعمال شده است. ایـن پوشـش بدلـیل آماده سازی نامناسب سطحی، پس از مدتی از محل خود کنده شده و به همراه آب حرکت کـرده و کلـیه گلوگاههای خروجی سیستم را مسدود کرده است. بنابر این اعمال نامناسب پوشش در داخل لوله منجر به بروز مشکلات بیشتری نسبت به سیستم بدون پوشش خواهد شد.

برخـی از سیسـتم هـای حفاظـت خوردگی داخل لوله ها بایستی فقط در کارخانه اعمال شود و برخی دیگر برای لوله هایی که قبلا بدون پوشش نصب شده و مورد بهره برداری قرار گرفته است، بکار می رود. همچنین برخـی از سیسـتم هـای حفاظـت از خوردگی داخل لوله، علاوه بر دارا بودن مقاومت خوردگی دارای استحکام مکانیکـی لازم نـیز مـی باشند. استقرار و پایداری این سیستم ها در داخل لوله وابسته به آماده سازی سطحی داخـل لولـه نمـی باشد و بنابر این بکار گیری آنها در داخل لوله ها علاوه بر حفاظت خوردگی، منجر به تعمیر یا مسـدود شـدن سـوراخهای ریـز موجـود در لولـه خواهـد شد. در بخش های بعدی کلیه این روشها توضیح داده میشود [۱].

۲-روشهای پوشش دهی داخل لوله ها

۲-۱ روش اعمال لاینر و بعمل آوری آن در محل((Cured-In-Place Pipe liners(CIPP یا روشReverse lining systems)

در ایـن روش لایـنر بـه صورت لوله بوده و درون آنرا آغشته به رزین اپوکسی می کنند.سپس با اعمال فشار هوای داغ یا آب داغ ،لاینر به سطح داخلی لوله فیت شده و بر اثر حرارت ناشی از آب یا هوای داغ رزین اپوکسی آن بعمـل می آید.این روش در شکلهای (۱)و (۲) مشاهده می شود.این لاینر دارای الیاف مسلح کننده به صورت نمد (در بازار ایران به الیاف سوزنی معروف است)بوده و بر روی آن توسط پلی اتیلن پوشیده شده است.در داخل کارخانـه بـا اعمـال خلاء، تیوب لاینر با رزین اپوکسی آغشته می شود.سپس برای جلوگیری ازبعمل آمدن رزین اپوکسـی،آنرا تـا قـبل از اسـتفاده در محـیط سـرد نگهـداری می کنند.بدین ترتیب با توجه به اینکه رزین مزبور Hot Cure اسـت فقط با اعمال حرارت واکنشهای خودگیری خود را انجام می دهد. این لاینر به دلیل داشتن

www.SID.ir

Archvie of SID

الیاف مسلح کننده،علاوه بر داشتن مقاومت خوردگی،خاصیت Semi structural نیز دارد. به عبارت دیگر قادر است حفره های داخل لوله را آب بند کند و در برابر تنش های داخلی و خارجی تا حدودی مقاومت کندو چسبیدن لاینر به سطح داخلی لوله ضرورت ندارد. بنابر این نیازی به بکارگیری روشهای ویژه در تمیز کردن سطح داخلی لوله نیست. جهت تمیز کردن سطح داخلی لوله از جت آب، PIGS و یا Scraper استفاده میشود.

این تکنولوژی در سال ۱۹۷۱جهت لاینر کردن سطح داخلی لوله ها مطرح شد و بطور وسیعی جهت لوله های فاضلاب بکار گرفته شد. در این راستا در سال ۱۹۹۷ کمپانیUS مجوز بکارگیری آنرا تحت استاندارد ANSI/NSE کسب کرد. خوشبختانه با توسعه این روش امروزه از آن جهت لاینر کردن سطوح داخلی لوله های آب خوراکی نیز استفاده می شود.

کاربرد این لاینر ها به شرح زیر می باشد.

۱-برای لوله های از قطر ۸ تا ۴۸ اینچ بکار می رود.

۲-مشکل عبور از Bend های لوله تا زاویه ۹۰ درجه را ندارد.

۳-به کمک دستگاه اعمال لاینر می توان در یک مرحله تا طول ۱۰۰۰ فوت را لاینر زد.البته طول مزبور بستگی به تعداد Bend ها و قطر لوله دارد.

۴-این پروژه برای لوله های چدنی و فولادی بکار رفته است.

۵-روش مزبور راه حل مناسبی برای جلوگیری از خوردگی درونی لوله ها و جلوگیری از نشت کردن آنها در اثر بروز Pinholes می باشد. استحکام مکانیکی لاینر در حدی نیست که بتواند بدون اتکاء به سطح خارجی لوله در برابر فشار داخلی مقاومت کند. به عبارت دیگرتنها می تواند با پل زدن بر روی Pinhole ها آنها را مسدود نماید [۸] .

www.SID.ir

Archvie of SID

۲-۲ انجام Lining داخل لوله به کمک رزین اپوکسی(Epoxy resin lining)

در این روش پس از آماده سازی سطح داخل لوله،رزین اپوکسی توسط نازلی در درون لوله اسپری می شود. این نازل مطابق شکل (۳) قادر است در درون لوله حرکت کند. علاوه بر این با بکارگیری نازل های ویژه ای مطابق شکل(۴) سطح داخل لوله های پوشش داده می شود. در این روش نازل دارای چند بازوی قابل تنظیم می باشد که بر اساس قطر داخل لوله تنظیم می شود. فشار خروج رزین اپوکسی از انتهای بازوها، باعث حرکت گردشی بازوها حول محور خود خواهد شد. دستگاه مزبور را می توان توسط لوله انتقال رزین که به آن متصل می باشد، با سرعت ثابت در درون لوله حرکت داد. همچنین زاویه پاشش رزین را می توان بگونه ای تنظیم کرد که بر اثر نیروی افقی حاصل از آن، نازل با سرعت ثابت در درون لوله بطرف جلو حرکت کند.

این Lining از نوع Non-structural می باشد،بنابر این باید بخوبی به جداره لوله بچسبد و آماده سازی سطح داخل لوله از اهمیت ویژه ای برخوردار است.تمیز کردن سطح داخل لوله توسط تکنیک های Rach-feed boring, Drag scraping وPressure jetting انجام می گیرد.این تکنیک ها در مقاله دیگری توضیح داده خواهد شد.

روش مزبور برای Lining لوله های چدنی،فولادی و سیمان مسلح شده با پنبه نسوز (Asbestos Cement) بکار رفته است.قطر لوله های قابل پروسس در این روش از ۳ الی ۲۴ اینچ می باشد.ضخامت پوشش اپوکسی به دبی اسپری رزین در داخل لوله و سرعت حرکت نازل بستگی دارد.همچنین طول مسیری که در یک مرحله Lining می شود در ارتباط با طول مسیر ممکن برای حرکت نازل رزین اپوکسی در داخل لوله و قطر بوده و حدود ۶۰۰ فوت می باشد [۷] .

۲-۳ انجام Lining داخل لوله به کمک سیمان

تا حدود سال ۱۹۲۰ لوله های فولادی بدون پوشش و Lining جهت انتقال آب بکار می رفت.این لوله ها پس ازگذشت چند سال دچار خوردگی داخلی می شدند.به منظور جلوگیری از این خوردگی،تحقیقات در خصوص بکارگیری سیمان به عنوان Lining داخل لوله آغاز شد و در سال ۱۹۲۲ لوله های فولادی با

www.SID.ir

Archvie of SID

Lining سیمان تولید شد.لایه سیمانی به دلیل داشتن خاصیت قلیایی باعث حفاظت فولاد می شود. همچنین کربنات کلسیم موجود در آب تمایل به ایجاد رسوب در شرایط قلیایی دارد.بنابر این چنانچه در لایه بتنی موترک موجود باشد با رسوبات کربنات کلسیم مسدود می شود.در آب های نرم با غلظت بالای اسیدکربنیک،پس از ۱۰ سال،خاصیت قلیایی بالای بتن کاهش می یابد.در این شرایط یون آهن حاصل از اکسید فریک در لایه بتن بطور کامل هیدراته شده و تشکیل لایه ضخیم تری را می دهد.در این حالت چسبندگی بین لایه بتن و لوله افزایش می یابد.

براساس نوع سیال Lining سیمانی به دو گروه زیر تقسیم می شوند.

۱-انجام Lining با استفاده از سیمان پرتلند(blast-furnace cement).

۲-ملات سیمان مخلوط با رزین(resin-blended cement mortar).

لاینر نوع اول برای انتقال آب خوراکی،آب دریا،آب چاه و فاضلاب بکار می رود.برای اینکه این لاینر بتواند در برابر سولفات مقاومت کند،سیمان آن باید از نوع مقاوم در برابر سولفات انتخاب شود.در صورتیکه خوردگی سیال بالا باشد،مثل آبهای اسیدی و شور ازلاینر نوع دوم استفاده می شود.

همانطور که در شکل(۵) مشاهده می شود برای اجرای Lining مراحل زیر طی می شود.

۱- سطح داخل لوله تمیز می شود(در رابطه با روشهای تمیز کردن داخل لوله در قسمت بعدی توضیح داده شده است).سپس انتهای لوله توسط رینگ مناسب مسدود می شود.

۲- لوله بر روی دو غلتک چرخان قرار گرفته و به همراه آنها شروع به حرکت دورانی می کند. در این موقع سیمان توسط نازل به درون لوله شارژ می شود.با حرکت نازل به طرف عقب کل لوله پوشش داده می شود.ضخامت لایه سیمانی به میزان شارژ سیمان ، سرعت دوران وحرکت افقی نازل دارد.

۳- پس از اتمام کار،سرعت دورانی لوله را افزایش می دهند.بدیت ترتیب سیمان فشرده تر شده و دارای سطح صاف می شود.پس از گذشت ۷ روز سیمان داخل لوله بعمل آمده و آماده انتقال به بازار می باشد.

استانداردهای ANSI/AWWA C104/A21.4 و DIN2614 در خصوص بکارگیری Lining سیمانی ،با یا بدون پوشش آب بند سطحی می باشد [۶] .

www.SID.ir

Archvie of SID

۲-۴ لاینر های Press fit

همـانطور کـه در شـکل(۷) مشـاهده می شود،لاینرتوسط سیم کابلی که به دستگاه کشش متصل است به درون لولـه کشیده می شود. قطر خارجی لاینر کمی بزرگتر از قطر داخلی لوله بوده و قبل از ورود به لوله توسط قالبهایـی کـه در ابـتدای لولـه قـرار دارنـد ،قطر آن به کافی کاهش یافته تا از اصطکاک آن با سطح داخلی لوله جلوگـیری شـود.پس از آنکه لاینر بطور کامل در درون لوله قرار گرفت،نیروی کشش قطع می شود.بدین ترتیب لایـنر سعی به بازگشت به قطر اولیه خود را دارد و در نتیجه محکم به جداره لوله می چسبد.به عنوان مثال برای جـازدن لایـنر Polyamide-11 قطـر خارجـی لایـنر ۳/۵٪بزرگـتراز قطـر داخلـی لولـه در نظـر گرفـته می شود.سپس با اعمال تنش کششی در حدود ۱۰٪استحکام تسلیم آنرا به درون لوله هدایت می کنند.به کمک این روش مـی تـوان لوله های با قطر داخلی ۳ الی ۳۶ اینچ را لاینر کرد.قیمت یک لوله فولادی با لاینر پلی اتیلن در حدود نصف قیمت لوله از جنس فولاد زنگ نزن یا مونل است.این نوع لاینر در گروه Structural Liner قرار دارند و لازم آماده سازی سطح داخل لوله از اهمیت چندانی برخوردار نیست.

نـوع لایـنر بکـار رفـته به شرایط کاری لاینر بستگی دارد. لاینر پلی اتیلن با دانسیته بالا(HDPE) ضمن داشـتن مقاومـت خوردگی و سایشی بسیار عالی معمولا برای لوله های آب و فاضلاب و دمای کاری تا ۵۰ درجه سـانتیگراد بکـار مـی رود.ایـن لایـنر در حضـور هیدروکربـنها و دمـای بالاتـر از ۴۰ درجـه سـانتیگراد بـاد می کـند.همچنیـن نفـوذ H_2S و گـاز CO_2 در این لاینر با افزایش دما ،افزایش می یابد.این موضوع سبب افزایش فشـار بیـن لایـنر و لولـه فولادی شده و منجر به Fail لاینر می شود.در مقابل لاینر Polyamide-11 که از گـروه نایلونهـا مـی باشـد،بخوبی در برابـر گـاز تـرش شامل $14\text{-}18\%H_2S$و دمای C 50-78 عمل میکند. همچنین نفوذ هیدروکربورها و CO_2 در آن ۳۰ برابر کمتر از لاینر پلی اتیلن است [۳] .

۲-۵ لاینرهای U شکل(U-Liner)

درایـن روش،جـنس لایـنرمعمولا از پلی اتیلن بوده و به شکل U ساخته می شود.در شکل (۸) نمونه ای از این لاینر مشاهده می شود.محیط سطح خارجی این لاینر باید برابر با محیط داخل لوله باشد.لاینرUشکل،سطح

www.SID.ir

Archvie of SID

مقطع آن بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و این موضوع باعث سهولت ورود لاینر به داخل لوله می شود.شکل دهی لاینر به شکل U،به روش ترمومکانیک و در کارخانه صورت می گیرد.پس از قرارگیری لاینر در داخل لوله لاینر رابا بخار آب با فشار بالا پر می کنند.بدین ترتیب لاینر به حالت اولیه خود برگشته و فیت جداره داخلی لوله می شود.از این روش برای لاینر زدن لوله های آب،فاضلاب و مواد شیمیایی استفاده می شود [۴] .

۶-۲ حفاظت کاتدی داخل لوله ها

حفاظت کاتدی به دو روش اعمال جریان و یا روش آند فدا شونده قابل اجرا است. آندهای روی به شکل لوله و نورد شده در داخل لوله قابل نصب می باشد. به عنوان مثال برای لوله فولادی ۲۰ اینچ و به طول ۳ متر، آند لوله ای روی به ضخامت $\frac{1}{8}$ اینچ و طول ۸ اینچ در دو طرف آن Press fit می کنند. به عبارت دیگر در محیط آب دریا در هر ۲۰ فوت لوله مزبور یکی از آندهای اشاره شده نصب می شود(شکل(۹)).

ابعاد آندهای مزبور بگونه ای طراحی می شود که به صورت Press fit وارد لوله شود. بنابر این باید از استحکام لازم برخوردار باشد. به همین خاطر این آندها به طریق نورد شکل داده می شود. برای افزایش عمر آند معمولا بین سطح آند و سطح لوله لایه ای از اکسید روی بکار می رود. در این حالت اتصال آند با لوله از طریق لحیم کاری مسی انجام می شود.

روش دیگر نصب آندها، برس زدن سطح داخلی لوله تا مرحله سفید شدن آن می باشد. سپس بلا فاصله آند در محل خود جا زده می شود. برای ضربه زدن به آندهای مزبور جهت ورود به لوله نباید از چکش آهنی استفاده شود. در این مورد از چکش چوبی و پلاستیکی بکار می رود.چکش آهنی موجب آسیب زدن به آند می شود. ترکیب آندها بگونه ای است که اکسید سطحی آن پایدار نباشد و آند حالت غیر فعال به خود نگیرد. در جدول (۱) چهار ترکیب آند روی مشاهده می شود.

روش دیگر حفاظت کاتدی، روش اعمال جریان می باشد. در این روش برای جلوگیری از فاصله نزدیک آند به کاتد، آند را در داخل لوله پلاستیکی قرار می دهند. قطر این لوله از قطر آند بیشتر بوده و الکترولیت براحتی

www.SID.ir

Archvie of SID

می تواند در اطراف آند حضور داشته باشد. به این ترتیب فاصله آند تا سطح لوله به حد مناسبی خواهد رسید و توزیع پتانسیل اصلاح خواهد شد. به عبارت دیگر لوله پلاستیکی در حکم سپر حفاظت کاتدی(CP shield) می باشد. در شکل(۱۰) نمونه ای از این حالت در حفاظت کاتدی لوله های فولادی چاه های عمیق آب مشاهده می شود [۲] .

۳- منابع

1-A. Aghajani,"Internal Pipeline Corrosion Protection",12th International Congress on Marine Corrosion and Fouling, 2004

2-Marshall E. Parker," Pipeline Corrosion and Cathodic Protection", 1988

3-Richard Eckert, "Field Guide for Investigating Internal Corrosion of Pipelines", NACE, 1988

4-A. W. Peabody, "Control of Pipeline Corrosion",1985

5-A. W. Peabody," Peabody's Control of Pipeline Corrosion",1991

6-Nccer,"Pipeline Corrosion Control, Level 2 Tg Modules",1988

7-J. Alan Kehr, "Fusion-Bonded Epoxy (FBE): A Foundation for Pipeline Corrosion Protection" 1992

8- Walter Bradley, PhD PE, Steven Bradley, " The Use of ASTM F1216 for the Design of Manhole liners" , Materials Performance, Inc. , 2001

9- Nygas Technology Brief Co. " Evaluation of Cured-in-Place Pipe Liners", Issue 99-708b-1, 1999

10- Corrocoat Co. www.corrocoat.com

11- Subterra Systems Co.,
http://www.subterra.co.uk/epoxy_resin_spray_lining.html

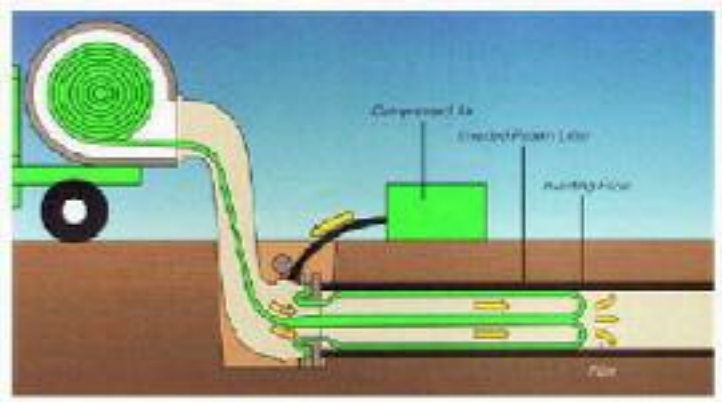
12- Pipeline system Co., http://www.rinkermaterials.com/pipelinesystems/ (U-LINER)

13- Swage Lining Co. , www.Swagelining.com

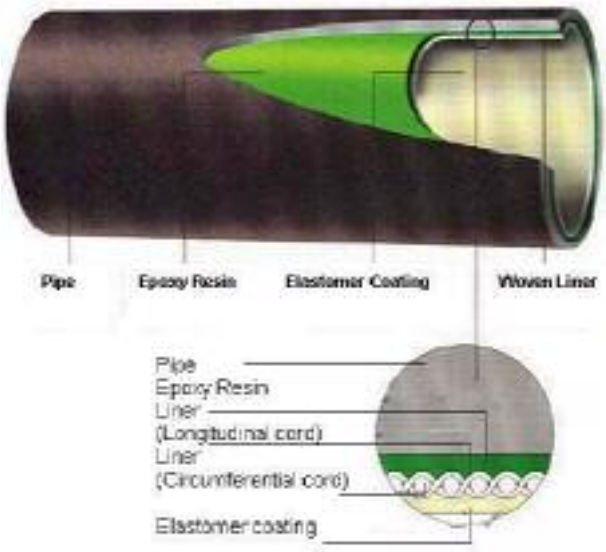
14- Pipe way group Co., http://www.pipewaygroup.com/

www.SID.ir

Archvie of SID



شکل (۱) تکنولوژی اعمال لاینر به طریق CIPP [۹] .

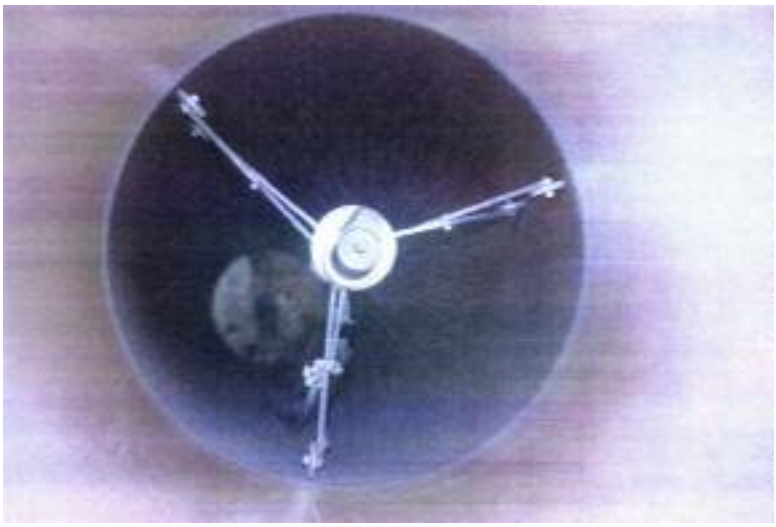


شکل(۲)اجزاء تشکیل دهنده لاینرCIPP [۹] .

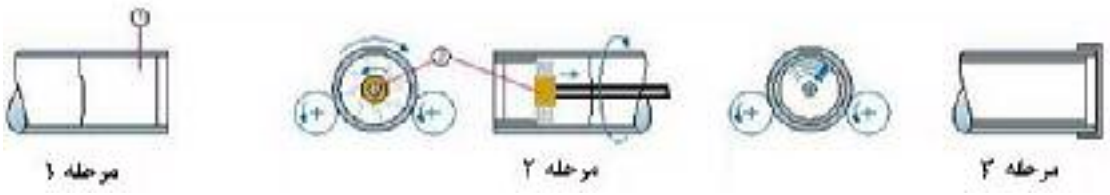
شکل (۳)نازل اسپری کننده رزین اپوکسی در درون لوله [۱۱] .

www.SID.ir

Archvie of SID



شکل(۴) اعمال پوشش اپوکسی در داخل لوله به کمک نوعی نازل چرخنده [۱۰] .



شکل (۵)مراحل اجرای Liningسیمانی در داخل لوله ها [۱۴] .

شکل (۶)نمونه ای از لوله های فولادی با Lining سیمانی [۱۴] .

www.SID.ir

Archvie of SID

شکل (۷)طریقه انتقال لاینر پلی اتیلن یا Polyamide-11 به درون لوله فولادی[۱۳] .

شکل (۸)در این شکل U-Liner مشاهده می شود [۱۲] .

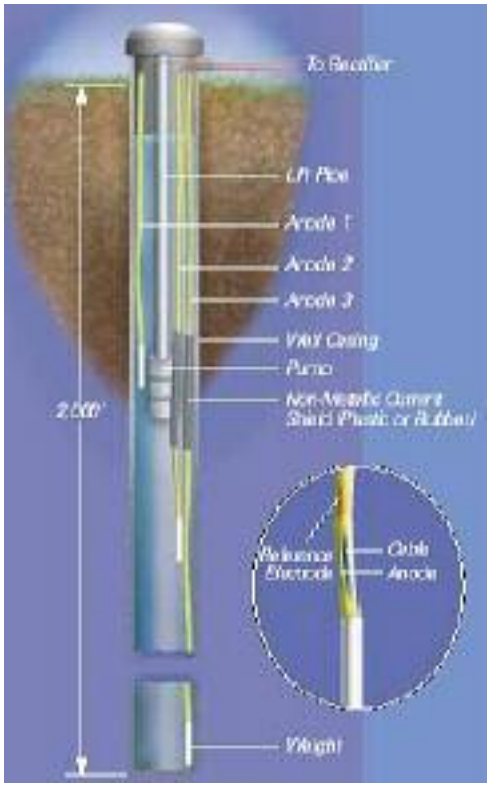
شکل(۹) بکارگیری آندهای لوله ای روی به منظور حفاظت کاتدی داخل لوله ها [۲] .

www.SID.ir

Archvie of SID

جدول(۱) ترکیب شیمیایی آندهای روی [۲] .

	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
Cu	0.005 max	0.005max	0.005max	0.002max
Al	0.30-0.50	0.10-0.50	0.4-0.6	
Si	0.003max	0.125max	0.125max	
Fe	0.002max	0.005max	0.0014max	0.0014max
Pb	0.005max	0.006max	0.3max	
Cd	0.025-0.100	0.025-0.15	0.075-0.125	
Hg	--	--	--	0.10-0.15
Zn	Remainder	Remainder	Remainder	Remainder
Efficiency	95%	95%	95%	95%
Potential(V)	-1.05 vs Ag/AgCl	-1.05 vs Ag/AgCl	-1.05 vs Ag/AgCl	-1.05 vs Ag/AgCl
Capacity(Ah kg^{-1})	780	780	780	780



شکل(۱۰) حفاظت کاتدی داخل لوله های چاه های عمیق آب به روش اعمال جریان [۴] .

www.SID.ir