Document Code: SP1/GEN/TMP/001

اویل ایندااستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

آموزش

خط لوله گاز ترش پنجم سراسری

(IGAT 5)

تعمیرات

متدهای تست و بهره برداری لوله، شیر و اتصالات

(Testing Methods for Pipe, Valves & Fittings)

تهیه و تدوین	بازبینی	تایید توسط کمیته T.T.F.
تاریخ: ۲۰ / مهر / ۱۳۸۸	تاریخ: ۲۸ / مهر / ۱۳۸۸	تاریخ: ۲۰ /۱۱ / ۱۳۸۸

محتوا:

فصل اول: آشنائی با مقدمات و تعاریف اولیه PIPING ---------- ۵

۱-۱ معرفی کدها و استانداردهای معمول در طراحی خطوط لوله ---------- ۵

۱-۲ لوله های سیاه فولاد (Carbon steel) ---------- ۷

۱-۳ لوله های فولاد آلیاژی (Alloy steel) ---------- ۷

۱-۴ لوله های فولاد ضدزنگ (Stainless steel) ---------- ۸

۱-۵ استاندارد ابعاد و ضخامت لوله ها ---------- ۸

۱-۶ استاندارد ابعاد فلنج ها ---------- ۸

۱-۷ استاندارد ابعاد شیرآلات ---------- ۹

۱-۸ آشنائی با جنس های مورد استفاده در PIPING و اصول انتخاب جنس ---------- ۹

۱-۸-۱ فولاد ساده کربن (CARBON STEEL) ---------- ۹

۱-۸-۲ فولاد ساده کربن آرام (Killed C.S.) ---------- ۱۱

۱-۸-۳ فولاد گالوانیزه (Galvanized C.S.) ----------۱۱

۱-۸-۴ فولاد آلیاژی (Alloy Steel) ---------- ۱۲

۱-۸-۵ فولاد ضد زنگ (Stainless Steel) ---------- ۱۲

۱-۹ فرآیند پیگینگ در خطوط لوله ---------- ۱۳

۱-۹-۱ دیسک‌های سایزینگ (صفحه اندازه) ---------- ۱۳

۱-۹-۲ فرآیند پیگینگ جهت بررسی هندسی داخل لوله‌ها و قطرسنجی آن ها ---------- ۱۳

۳-۹-۱ عملیات تمیزکاری خط لوله پس از نصب ---------- ۱۴
۴-۹-۱ آب گیری سیستم برای انجام عملیات هیدروتست ---------- ۱۵
۵-۹-۱ تخلیه لوله از آب و خشک نمودن لوله ---------- ۱۶
فصل دوم: تست هیدرواستاتیکی خطوط لوله ---------- ۱۸
۱-۲ ماکزیمم فشار مجاز برای طراحی لوله ها ---------- ۱۸
۱-۱-۲ خطوط لوله جهت انتقال گاز ---------- ۱۸
۲-۲ تست هیدرواستاتیک خطوط لوله ---------- ۲۵
پیوست الف ---------- ۳۸
پیوست ب ---------- ۴۱
فصل سوم: آب زدایی ، تمیز کاری و خشک کردن خط لوله ---------- ۴۷
۱-۳ مقدمه ---------- ۴۷
۲-۳ آب زدائی ---------- ۴۸
۳-۳ پاکسازی خط لوله ---------- ۴۹
۱-۳-۳ پاک کردن مواد زائد به کمک جریان گاز ---------- ۵۰
۲-۳-۳ پاک کردن مواد زائد به کمک جریان آب ---------- ۵۰
۳-۳-۳ سند بلاست داخلی خط لوله ---------- ۵۰
۴-۳-۳ پاکسازی شیمیایی ---------- ۵۱
۴-۳ خشک کردن خط لوله ---------- ۵۲
۵-۳ میزان رطوبت هوا ---------- ۵۶

۶-۳ بهره‌برداری از خطوط لوله پتروشیمی ---------- ۵۸

۷-۳ خشک کردن با مکش ---------- ۶۴

فصل اول

آشنائی با مقدمات و تعاریف اولیه PIPING

۱-۱ معرفی کدها و استانداردهای معمول در طراحی خطوط لوله

مهمترین کدهای مورد استفاده در طراحی خطوط لوله به قرار ذیل می باشد:

ASME B31.1 : جهت طراحی خطوط لوله نیروگاه های حرارتی و سیکل ترکیبی

ASME B31.2 : جهت طراحی خطوط لوله شبکه های توزیع گاز سوخت

ASME B31.3 : جهت طراحی خطوط لوله در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی

ASME B31.4 : جهت طراحی خطوط لوله انتقال مایعات مختلف از جمله مایعات هیدروکربنی

ASME B31.5 : جهت طراحی خطوط لوله سیستم های تبرید و سردخانه ها

ASME B31.8 : جهت طراحی خطوط لوله انتقال و توزیع سیالات گازی

ASME B31.9 : جهت طراحی لوله کشی سرویس های مختلف داخل ساختمان ها

ASME B31.11 : جهت طراحی خطوط لوله انتقال سیالات محلول مانند آب آهک

ASME Section I : جهت طراحی بویلرهای نیروگاهی

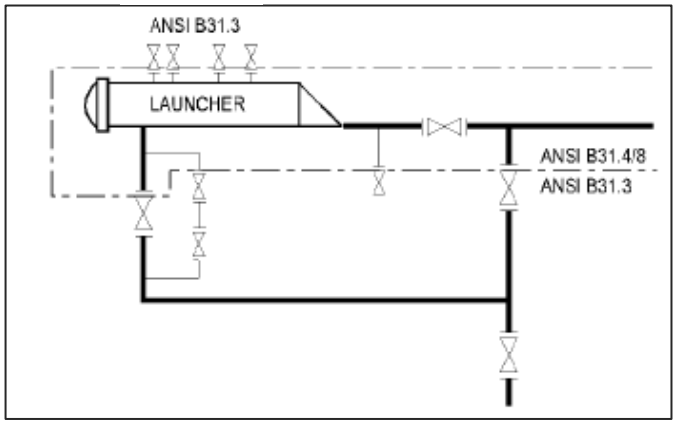
ASME Section II : مشخصات فنی مواد

ASME Section III : جهت طراحی نیروگاه های هسته ای

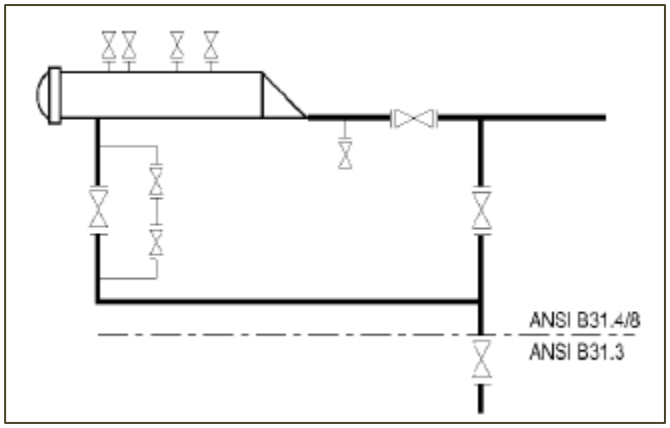
ASME Section VIII : جهت طراحی مخازن تحت فشار

به عنوان مثال حوزه نفوذ کدهای استاندارد در طراحی خطوط لوله:

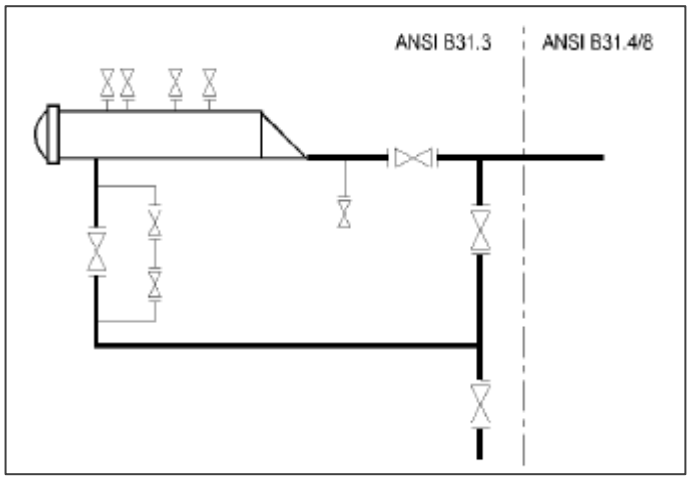
شکل ۱-۱

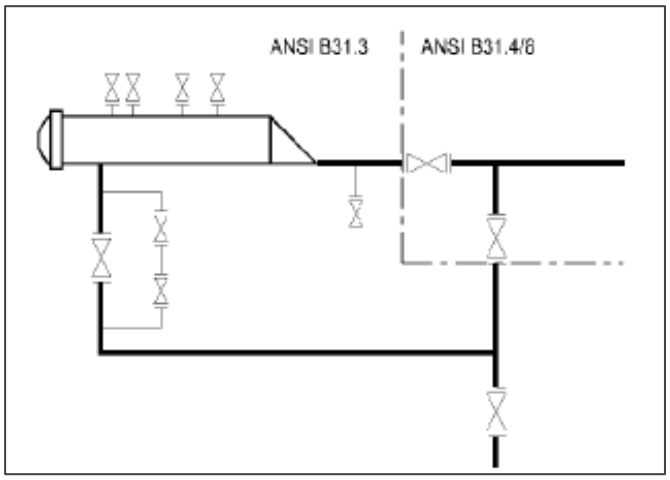


شکل ۱-۴



شکل ۱-۳





۲-۱ لوله های سیاه فولاد (Carbon steel) :

این لوله ها در سیستم لوله کشی صنعتی حداکثر تا دمای ۴۰۰ °C مورد استفاده قرار می گیرد. مثال هایی از موارد کاربرد و تنوع جنس این لوله ها عبارت است از :

A106-C : برای سیستم های با دمای متوسط و فشار متوسط یا بالا، مانند خط دهش پمپ های آب تغذیه

A106-B : برای سیستم های با دمای متوسط و فشار متوسط یا بالا

A672 GR-CC60 : برای سیستم های با دمای متوسط و فشار متوسط یا بالا و قطر ۱۶" و یا بزرگتر

A53-B : برای سیستم های با دمای پایین و فشار پایین

A 134 : برای سیستم های با دمای پایین و فشار پایین و سایز بالا، مانند خطوط اصلی آب خنک کن

API-5L : برای لوله کشی خطوط سوخت مایع و گاز طبیعی

۳-۱ لوله های فولاد آلیاژی (Alloy steel) :

این لوله ها در سیستم لوله کشی صنعتی برای سیستم های با دمای بیش از۴۰۰ °C مورد استفاده قرار میگیرد.

مثال هایی از موارد کاربرد و تنوع جنس این لوله ها عبارت است از:

A335-P11 :برای محدوده دمایی ۴۰۰ °C تا ۴۷۰ °C

A335-P22 : برای محدوده دمایی ۴۸۰ °C تا ۵۵۰ °C

A335-P91 : برای محدوده دمایی بالاتر از ۵۰۰ °C

A335-P92 : برای محدوده دمایی بالاتر از ۵۶۰ °C

۱-۴ لوله های فولاد ضدزنگ (Stainless steel) :

این لوله ها در سیستم لوله کشی صنعتی برای سیستم های حاوی مواد خورنده مورد استفاده قرار می گیرد. مثال هایی از موارد کاربرد و تنوع جنس این لوله ها عبارت است از:

A312-TP304 : برای خطوط آب سختی گیری شده و هوای فشرده ابزار دقیق و سرویس

A312-TP316 : برای خطوط نمونه گیری

A312-TP317 : برای خطوط حاوی آب دریا

۱-۵ استاندارد ابعاد و ضخامت لوله ها:

مشخصات ابعادی لوله های مورد استفاده در لوله کشی پروژه های صنعتی بر اساس استانداردهای ذیل می باشد:

ANSI B 36.10 : جهت لوله های جوشی یا بدون درز فولادی (Wrought steel)

ANSI B 36.19 : جهت لوله های فولادی ضد زنگ (Stainless steel)

۱-۶ استاندارد ابعاد فلنج ها:

مشخصات ابعادی فلنج های مورد استفاده در لوله کشی پروژه های صنعتی بر اساس استانداردهای ذیل می باشد:

ANSI B16.5 : جهت فلنج های فولادی از سایز ½" تا سایز 24"

ANSI B16.47: جهت فلنج های فولادی از سایز 26" تا سایز 60"

۱-۷ استاندارد ابعاد شیرآلات:

یکی از مشخصات ابعادی شیرآلات مورد استفاده در لوله کشی پروژه های صنعتی بر اساس استاندارد ذیل میباشد:

API 6D : جهت شیرهای مورد استفاده در خطوط لوله

۱-۸ آشنائی با جنس های مورد استفاده در PIPING و اصول انتخاب جنس:

۱-۸-۱ فولاد ساده کربن (CARBON STEEL)

جنس پایه در صنعت لوله کشی فولاد ساده کربن است اما چهار شرط ذیل می تواند نوع جنس لوله را به سایر اجناس متداول مانند Galvanized C.S. (لوله گالوانیزه) ، Stainless Steel (فولاد ضد زنگ) ، Alloy Steel (فولاد آلیاژی) ، Monel (آلیاژ مس و نیکل) ، Zirconium ، Titanium ، لوله های مسی و آلومینیومی،
لوله های غیر فلزی همچون پلی اتیلن ، پلی پروپیلن PVC،GRP و ..... تغییر دهد:

- دمای طراحی سیستم

فولاد در دمای 1300 درجه سانتیگراد سرخ شده (دمای تشعشع) و در دمای 1500 تا 1600 درجه سانتیگراد ذوب و ریخته گری می شود.

در یک دسته بندی عمومی ا نتخاب جنس پایه سیستم بر اساس محدوده های مختلف دمای طراحی به قرار ذیل خواهد بود:

محدوده دمای کمتر از 45- درجه سانتیگراد : S.S. & Supper A.S.

محدوده دمای 45- تا 29- درجه سانتیگراد : Low Temp. C.S. & A.S.

محدوده دمای 29- تا 400 درجه سانتیگراد :Normal C.S.

محدوده دمای 400 تا 538 درجه سانتیگراد : S.S. & High Temp. C.S. & A.S.

محدوده دمای بیشتر از 538 درجه سانتیگراد : S.S. & Supper A.S.

- سیستم های حساس (No Scaling)

در برخی سیستم های حساس مانند سیستم روغن کاری کمپرسور که حتی مقادیر بسیار ناچیز اکسید آهن نیز نباید با روغن مخلوط شده و وارد کمپرسور گردد، این محدودیت برای طراح ایجاد می گردد که فقط از جنس هایی می توان استفاده نمود که کاملاً مقاوم در مقابل خوردگی باشد و به عنوان نمونه در مثال فوق همواره در حد فاصل بعد از خروجی فیلتر روغن تا نازل ورودی کمپرسور از لوله S.S. استفاده می شود.

- پدیده خوردگی و فرسایش (Corrosion & Erosion)

در مواردی که سیال بسیار خورنده در داخل لوله جریان دارد مانند سیالات اسیدی و بازی و یا ترکیبات گاز فلور پدیده خوردگی اتفاق می افتد و همچنین در شرایطی که سیال داخل لوله محتوی ذرات جامد باشد بر اثر برخورد و اصطکاک این ذرات با جدار لوله پدیده فرسایش رخ می دهد که در هر دو حالت جهت افزایش مقاومت و طول عمر سیستم لوله کشی می بایست از جنس های مقاوم تر و سختی بالاتر همچون S.S. و یا Monel استفاده شود.

- خواص مکانیکی و میزان تنش مجاز

برخی از مواقع پس از محاسبه ضخامت لوله و یا پس از انجام آنالیز تنش بر روی خط لوله به این نتیجه می رسیم که برای دستیابی به یک ضخامت مناسب و یا جهت رفع مشکلات آنالیز تنش، ناگزیر می بایست از جنس هایی استفاده کنیم که خواص مکانیکی بالاتری داشته و مقادیر مجاز تحمل تنش در آن ها بیشتر باشد و به همین واسطه مثلاً در سیستم هایی مانند بخار با فشار و دمای بالا می بایست از جنس هایی همچون Alloy Steel استفاده شود.

۲-۸-۱ فولاد ساده کربنی آرام (Killed C.S.) :

در صورتی که به فولاد کربن استیل مقداری عنصر آلومینیوم جهت اکسیژن زدایی اضافه گردد، فرولاد به دست آمده فولاد ساده کربنی آرام نامیده می شود که بسیار مناسب جهت کاربرد در درجه حرارت های پایین میباشد. همچنین می توان از این جنس در سرویس های فاضلاب تحت فشار سیالات نفتی نیز استفاده نمود.

۳-۸-۱ فولاد گالوانیزه (Galvanized C.S.) :

چنانچه سطح فولاد سیاه (C.S.) را با پوششی از عنصر روی (Zn) پوشش دهند، جنس حاصله را فولاد گالوانیزه گویند. این روش در حقیقت نوعی ممانعت از خوردگی است که به طور عمده در سیستم های آب شرب، خطوط تصفیه آب استخرهای شنا و هوای فشرده ابزاردقیق، جهت ممانعت از ورود هرگونه ذرات اکسید آهن به سرویس های فوق الذکر مورد استفاده واقع میشود.

گالوانیزه نمودن فولاد کربنی به دو روش امکان پذیر میباشد:

روش گرم (Hot Dip Galvanized) :

در این روش لوله یا ورق فولاد سیاه را در داخل روی (Zn) مذاب غوطه ور می سازند و سپس خارج می کنند تا لایه ای از روی به طور کامل سطح فولاد را بپوشاند. این روش گالوانیزه سازی کیفیت و مقاومت خوبی را ایجاد می کند. معمولاً لوله های تا سایز 6 اینچ را به این طریق گالوانیزه می نمایند.

روش سرد (Cold Galvanized) :

در این روش با بستن قطعه فولاد کربنی به قطب مثبت و تکه ای از جنس روی به قطب منفی، به روش الکترولیز سطح فولاد سیاه را با لایه ای از روی پوشش می دهند. معمولاً در مورد لوله های با سایز 8 اینچ و بالاتر از این روش جهت گالوانیزه نمودن استفاده می شود.

۱-۸-۴ فولاد آلیاژی (Alloy Steel) :

با افزودن درصدی از عناصر مختلف مانند (C) کربن، (Ni) نیکل ، (Mo) مولیبدن ، (Mn) منگنز ، (N) نیتروژن (V)وانادیوم ، (Cb) نایوبیوم (کلومبیوم) ، (Cu) مس ، (Ti) تیتانیوم ، (Si) سیلیسیم ،(Cr) و... می توان خواص فولاد را تغییر داده و مقاومت آن را در مقابل درجه حرارت و خوردگی افزایش داد. فولادی که به این طریق تهیه می گردد فولاد آلیاژی خوانده می شود. تأثیر برخی از مهمترین عناصر اضافه شده به فولاد به شرح ذیل میباشد:

کربن: سختی را افزایش می دهد.

تیتانیوم: خواص فیزیکی فولاد را افزایش می دهد.

وانادیوم: خواص فیزیکی فولاد را افزایش می دهد.

کروم: مقاومت در مقابل خوردگی را افزایش می دهد.

نیکل: قابلیت کاربرد فولاد در دمای پایین و شکل پذیری فولاد را افزایش می دهد.

۱-۸-۵ فولاد ضد زنگ (Stainless Steel)

فولاد ضد زنگ در واقع نوعی فولاد آلیاژی محسوب می گردد که حداقل به میزان 10 الی 12 درصد عنصر کروم (Cr) در ترکیب آن وجود داشته باشد. به طور ساده فولاد ضد زنگ را می توان به شکل زیر معرفی نمود:

S.S. = Fe + C + Ni + Cr

بسته به کم یا زیاد شدن درصد هر یک از عناصر در ترکیب فوق، می توان فولاد ضد زنگ را به سه گروه عمده تقسیم بندی نمود:

فولاد ضد زنگ آستنیت (Austenitic) : درصد بیشتری نیکل (Ni) دارد.

فولاد ضد زنگ مارتنزیت (Martensitic) : درصد بیشتری کروم (Cr) دارد.

فولاد ضد زنگ فریت (Feritic) : درصد بیشتری آهن (Fe) دارد.

۹-۱ فرآیند پیگینگ در خطوط لوله

۱-۹-۱ دیسک‌های سایزینگ (صفحه اندازه)

غالباً پس از اتمام عملیات اجرای خط لوله، عملیات تمیزکاری همراه با فرآیند اندازه‌گیری انجام می‌شود تا این که کمانش‌های موضعی و فرورفتگی‌های احتمالی موجود در خط لوله مشخص شود. این عملیات برای اطمینان از مدور بودن خط لوله در تمامی طول مسیر به کار می‌رود. برای انجام عملیات مزبور دیسکی آلومینیومی که قطر آن ۹۵٪ قطر اسمی داخل لوله است به قسمت جلوی یک پیگ متصل می‌شود که در پایان مسیر تعیین شده، علائم و آثار بر جا مانده ناشی از حرکت در داخل لوله‌ها بر روی دیسک مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. یک پیگ را می‌توان به یک فرستنده نیز مجهز کرد تا تعیین موقعیت آن آسان گردد. در صورتی که پیگ درون لوله از حرکت باز ایستد موقعیت مکانی توقف پیگ به آسانی محل آسیب دیده یا فرورفتگی‌های لوله را مشخص می‌کند. در هنگام اجرای خطوط لوله فراساحلی (خطوط لوله دریایی)، آن هم درست قبل از تماس لوله با کف دریا محتمل‌ترین نقطه برای بروز کمانش در حین عملیات نصب، محلی است که میزان خمش بیشترین مقدار است یا به عبارتی محلی که میزان خم‌شدگی لوله بیشترین میزان است. برای تشخیص کمانش و فرورفتگی‌های موجود در مسیر خط لوله می‌توان یک پیگ را در درون لوله قرار داده و آن را در امتداد لوله کشید. در صورتی که پیگ هنگام حرکت رو به جلوی خود با یک پستی یا بلندی برخورد کند، پیگ قفل شده و از حرکت باز می‌ایستد. این موضوع نشان می‌دهد که برداشتن و تعویض قسمت فرو رفته لوله الزامی است.

۲-۹-۱ فرآیند پیگینگ جهت بررسی هندسی داخل لوله‌ها و قطرسنجی آن ها

پیگ‌های Caliper برای سنجش هندسی داخل لوله‌ها به کار می‌رود. این پیگ‌ها نوعاً دارای اهرم‌های کوچکی هستند که با ترتیب منظمی در یک بشقابک جای گرفته‌اند. این اهرم‌ها به یک دستگاه ثبت کننده واقع در بدنه پیگ متصل می‌باشد به طوری که میزان خم‌شدگی اهرم‌ها را ثبت می‌کند. زمانی که پیگ درون خط لوله حرکت می‌کند، میزان خم شدگی اهرم‌ها، توسط دستگاه ثبت می‌گردد. نتایج حاصله می‌تواند جزئیاتی از قبیل مقدار نفوذ جوش در هر لوله، مقدار بیضوی بودن لوله، و فرورفتگی‌های موجود را نشان دهد. بدنه این پیگ‌ها

معمولاً به اندازه ۶۰٪ قطر داخلی لوله در نظر گرفته می‌شود که همراه با بشقابک‌های انعطاف‌پذیر (cups) آن، امکان عبور پیگ از مجراهایی تنگ تا ۱۵٪ قطر داخلی خط لوله را فراهم می‌سازد.

پیگ‌های Caliper برای اندازه‌گیری قطر خطوط لوله نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از توانایی عبور پیگ از مجراهای تنگ مانند نقاطی که دچار فرو رفتگی یا کمانش شده‌اند، این است که پیگ بتواند با کمترین خطر ناشی از بروز گرفتگی در خط لوله، عملیات تمیزکاری خط لوله را به انجام برساند. سودمندی این قابلیت مخصوصاً در خطوط لوله واقع در زیر دریا و خطوط لوله طویل رو زمینی یا زیر زمینی آشکار می‌گردد. چرا که ارسال پیگ به این خطوط جهت رفع گرفتگی آن ها دشوار و هزینه بر است. ثبت نتایج حاصل از پیگ کالیپر می‌تواند مبنایی برای بررسی‌های مشابه در آینده شود که در مورد آن صحبت خواهیم کرد.

۳-۹-۱ عملیات تمیزکاری خط لوله پس از نصب

پس از اجرای یک خط لوله، داخل آن حاوی انواع مواد زائد مانند براده‌های زنگ زده، تکه‌های کوچک آهن، پوسته‌های حاصل از نورد، گرد و خاک و... می‌باشد که به چند دلیل باید آن ها را از داخل خط لوله زدود. مهمترین دلیل، جلوگیری از آلودگی محصول درون لوله است. مثلاً، گاز تزریقی به شبکه خانگی نباید با ذرات ریز آلوده شود چون این امر موجب انسداد شعله‌های اجاق گاز می‌شود. این مقوله در مورد اغلب خط لوله‌ها صادق است چرا که آلودگی سیال درون لوله باعث بی ارزش شدن آن می‌گردد.

دومین دلیل پاکسازی خط لوله پس از اتمام عملیات اجرا، افزایش اثر استفاده از مواد ضد خوردگی است. در مواردی که سیال درون خط لوله حاوی ترکیبات خورنده‌ای مانند سولفید هیدروژن و یا دی‌اکسید کربن است همچنین از آنجا که قبل از بهره‌برداری می‌بایست برای مدتی خط لوله پر از آب نگه داشته شود که در نتیجه مجموع این عوامل خوردگی در لوله را تشدید می‌کند. یک راه حفاظت در برابر مواد خورنده استفاده از مواد ضد خوردگی است. هر چند در مواقعی که سطح لوله فولادی از قبل دچار خوردگی بوده یا این که با براده‌های فلزی ناشی از نورد کاری پوشیده شده باشد، استفاده از این مواد به علت عدم تماس کافی آن ها با سطح لوله تأثیر زیادی نداشته و نمی‌تواند از سطح لوله محافظت نماید.

دلیل سوم، افزایش بازده جریان سیال در یک خط لوله تمیز است. این موضوع مخصوصاً در مورد خطوط لوله طولانی مصداق بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین، اغلب خطوط لوله نیاز به تمیزکاری دارند. کارشناسان امر

بیش از پیش بر اجرای عملیاتی همچون سندبلاست لوله‌ها، اندود کردن آن ها با مواد ضد خوردگی و نصب درپوش‌های انتهایی لوله پس از حمل تأکید می‌کنند چرا که اجرای این عملیات میزان نیاز به پاکسازی مسیر پس از اجرای خط لوله را به حداقل می‌رساند. یک عملیات تمیزکاری معمولی شامل ارسال یک رشته پیگ به داخل خط لوله می‌باشد که با جریان آب حرکت می‌کند. این پیگ‌ها دارای برس‌های سیمی بوده و مقدار کمی آب می‌تواند از آن عبور کند در حین حرکت پیگ در داخل لوله مواد زائد و براده‌ها به وسیله این برس‌های سیمی از سطح لوله جدا شده و به جلوی پیگ‌ها رانده می‌شود و در جریان آب درون لوله به صورت معلق به حرکت در می‌آید تا از آن خارج گردد. سپس، خط لوله توسط یک رشته پیگ دیگر، جاروب و تمیز می‌گردد تا جایی که تعداد ذرات ریز معلق در جریان آب به حد قابل قبولی برسد.

هر چه طول لوله طولانی‌تر باشد، عملیات جاروب و تخلیه ذرات به مدت زمان طولانی‌تری نیاز خواهد داشت. استفاده از ساچمه‌های ژلاتینی نیز به منظور جداسازی نخاله‌ها و ذرات از سطح درونی خط لوله، منجر به افزایش بازدهی عملیات پاکسازی خط لوله خواهد شد. ژلاتین‌ها، مایعاتی لزج و با فرمولی خاص هستند که سطح لوله را مرطوب کرده و ذرات را به حالت معلق در آب از آن جدا می‌کند، به این ترتیب که یک ساچمه ژلاتینی بین دو پیگ قرار می‌گیرد و به دنبال آن ساچمه‌ای از جنس حلال ژلاتینی مذکور قرار می‌گیرد طوری که هرگونه رد باقی مانده از ژلاتین را روی جداره لوله پاک می‌کند.

۴-۹-۱ آب گیری سیستم برای انجام عملیات هیدروتست

برای اطمینان از استحکام و مقاومت یک خط لوله، قبل از بهره برداری از آن، مسیر مورد نظر از آب پر شده و با پمپ کردن آب اضافه به داخل آن، لوله تحت فشار قرار می‌گیرد. البته هوای موجود در سیستم باید به طور کامل تخلیه شود، در واقع چنانچه حباب‌های هوا در داخل لوله‌ها باقی بماند، بخشی از فشار اعمال شده به داخل خط لوله توسط آنها جذب شده و همچنین زمان رسیدن سیستم به فشار مورد نظر طولانی‌تر و خطر بروز گسیختگی در خط لوله بیشتر خواهد شد، بنابراین کسب اطمینان در خصوص پر شدن خط لوله از آب و تخلیه کامل هوای موجود در سیستم امری ضروری و مهم می‌باشد.

پیگ پر کننده رانده شده در جلوی جریان آب، باعث پر شدن کامل خط لوله از آب می شود. بدون استفاده از پیگ، در مسیرهای سرازیری خط لوله، جریان آب از زیر حباب‌های هوای محبوس داخل لوله در بالا دست مسیر به سمت پایین جریان می‌یابد که این خود به دلیل تشکیل هوای محبوس درون لوله، فرآیند تست خط را مشکل‌ساز می‌کند. در مناطق کوهستانی دارای شیب تند، حتی با وجود استفاده از پیگ، وزن آب پشت پیگ می‌تواند باعث تسریع حرکت پیگ از منطقه کم فشار واقع در نقاط مرتفع مسیر به سمت پایین گردد. این فرآیند موجب آزاد شدن هوای محلول در سیال و تشکیل یک ستون هوا در مسیر می‌شود. برای جلوگیری از بروز چنین پدیده‌ای می‌توان از چند پیگ متوالی استفاده کرد.

تخلیه جریان هوا با استفاده از نصب یک vent در نقاط مرتفع مسیر، یکی از راه حل‌های جایگزین، به جای استفاده از پیگ‌های با افت فشار می‌باشد. در خط لوله‌های طویل و یا با قطر زیاد، دستیابی به یک سرعت تخلیه مناسب، عملی نیست. نصب vent ها نیز باعث کاهش استحکام خط لوله می‌شود، در نتیجه حتی المقدور باید از آن خودداری نمود. بنابراین استفاده از پیگ، بهترین راه حل برای آبگیری سیستم و تخلیه کامل هوای داخلی خط لوله می‌باشد.

۵-۹-۱ تخلیه لوله از آب و خشک نمودن لوله

پس از اتمام عملیات هیدروتست هوا، نیتروژن و یا خود فرآورده، جایگزین آب درون لوله‌ها می‌شود. مباحث مربوط به عملیات خشک نمودن سیستم، همانند فرآیند آب گیری آن است. به طوری که از یک پیگ به منظور جایگزینی آب و سیال مورد نظر استفاده می‌گردد تا این که آب از نقاط پایین دست سیستم تخلیه شود. از یک پیگ دو جهته نیز می‌توان در طی فرآیند هیدروتست استفاده نمود به گونه‌ای که پس از اتمام عملیات هیدروتست در جهت رفت، در جهت معکوس نیز برای انجام عملیات تخلیه و خشک نمودن حرکت کند.

در برخی موارد ممکن است لازم باشد که خط لوله خشک و یا به اصطلاح نم‌زدایی شود، مخصوصاً در خطوط لوله گاز که امکان ترکیب قطرات آب با گاز و تشکیل هیدرات وجود دارد این امر بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اجرای این فرآیند همچنین در خط لوله‌های حامل مواد شیمیایی مانند خط لوله‌های اتیلن و پروپیلن مورد نیاز می‌باشد، چون آب باعث آلودگی این مواد شده و آن ها را غیر قابل استفاده می‌کند. جداره‌های خط لوله پس از تخلیه آب، مرطوب می‌ماند و مقداری آب در شیرها و مسیرهای کور باقی می‌ماند. این مشکل را می‌توان با

طراحی مسیرهای کور به صورت خودزهکش و نصب drain بر روی شیرها حل کرد.

فصل دوم

تست هیدرواستاتیکی خطوط لوله

۲-۱ ماکزیمم فشار مجاز برای عملیاتی لوله ها

(Maximum Allowable Operating Pressure**)**

ماکزیمم تنش فشاری مجاز برای طراحی لوله ها، به کابرد مورد نظر برای خط لوله بستگی دارد. خطوط لوله ای که برای انتقال نفت خام مورد استفاده قرار می گیرد، با استاندارد ANSI / ASME B31.4 (استاندارد مربوط به سیستم های انتقال مایعات هیدوکربنی) مشخص می شود.

خطوط لوله ای که برای انتقال گاز مورد استفاده قرار می گیرد، با استاندارد ANSI / ASME B31.8 (استاندارد مربوط به سیستم های انتقال و توزیع گاز) مشخص می شود.

۲-۱-۱ خطوط لوله جهت انتقال گاز

ماکزیمم فشار مجاز این خطوط لوله به وسیله معادله زیر قابل محاسبه است:

$$P = \left(\frac{2 \times S \times t}{D}\right) \times F \times E \times T$$

در این رابطه:

P = فشار طراحی خط لوله بر حسب $\frac{lb}{in^2}$

S= مینیمم تنش تسلیم استاندارد بر حسب $\frac{lb}{in^2}$ (SMYS) (Specified Minimum Yield Strength)

t = ضخامت اسمی جداره لوله برحسب in

F = ضریب طراحی

E = ضریب اتصال طولی لوله ها

T = ضریب کاهش نرخ دما

D= قطر لوله

جدول (۱-۲) مینیمم استحکام تسلیم لوله های فولادی رایج مورد اسفاده در سیستم های خطوط لوله

Spec. No.	Grade	Type [Note (1)]	SMYS, psi
API 5L [Note (2)]	A25	BW, ERW, S	25,000
API 5L [Note (2)]	A	ERW, S, DSA	30,000
API 5L [Note (2)]	B	ERW, S, DSA	35,000
API 5L [Note (2)]	x42	ERW, S, DSA	42,000
API 5L [Note (2)]	x46	ERW, S, DSA	46,000
API 5L [Note (2)]	x52	ERW, S, DSA	52,000
API 5L [Note (2)]	x56	ERW, S, DSA	56,000
API 5L [Note (2)]	x60	ERW, S, DSA	60,000
API 5L [Note (2)]	x65	ERW, S, DSA	65,000
API 5L [Note (2)]	x70	ERW, S, DSA	70,000
API 5L [Note (2)]	x80	ERW, S, DSA	80,000
ASTM A 53	Type F	BW	25,000
ASTM A 53	A	ERW, S	30,000
ASTM A 53	B	ERW, S	35,000
ASTM A 106	A	S	30,000
ASTM A 106	B	S	35,000
ASTM A 106	C	S	40,000
ASTM A 134	...	EFW	[Note (3)]
ASTM A 135	A	ERW	30,000
ASTM A 135	B	ERW	35,000
ASTM A 139	A	EFW	30,000
ASTM A 139	B	EFW	35,000
ASTM A 139	C	EFW	42,000
ASTM A 139	D	EFW	46,000
ASTM A 139	E	EFW	52,000
ASTM A 333	1	S, ERW	30,000
ASTM A 333	3	S, ERW	35,000
ASTM A 333	4	S	35,000
ASTM A 333	6	S, ERW	35,000
ASTM A 333	7	S, ERW	35,000
ASTM A 333	8	S, ERW	75,000
ASTM A 333	9	S, ERW	46,000

Spec. No.	Grade	Type [Note (1)]	SMYS, psi
ASTM A 381	Class Y-35	DSA	35,000
ASTM A 381	Class Y-42	DSA	42,000
ASTM A 381	Class Y-46	DSA	46,000
ASTM A 381	Class Y-48	DSA	48,000
ASTM A 381	Class Y-50	DSA	50,000
ASTM A 381	Class Y-52	DSA	52,000
ASTM A 381	Class Y-56	DSA	56,000
ASTM A 381	Class Y-60	DSA	60,000
ASTM A 381	Class Y-65	DSA	65,000

GENERAL NOTE:
This Table is not complete. For the minimum specified yield strength of other grades and grades in other approved specifications, refer to the particular specification.

NOTES:
(1) Abbreviations: BW = furnace buttwelded; DSA = double submerged-arc welded; EFW = electric fusion welded; ERW = electric resistance welded; FW = flash welded; S = seamless.
(2) Intermediate grades are available in API 5L.
(3) See applicable plate specification for SMYS.

جدول (۲-۲) مقادیر ضریب طراحی F

Location Class	Design Factor, *F*
Location Class 1, Division 1	0.80
Location Class 1, Division 2	0.72
Location Class 2	0.60
Location Class 3	0.50
Location Class 4	0.40

جدول (۳-۲) ضریب اتصال طولی لوله E

Spec. No.	Pipe Class	*E* Factor
ASTM A 53	Seamless	1.00
	Electric Resistance Welded	1.00
	Furnace Butt Welded: Continuous Weld	0.60
ASTM A 106	Seamless	1.00
ASTM A 134	Electric Fusion Arc Welded	0.80
ASTM A 135	Electric Resistance Welded	1.00
ASTM A 139	Electric Fusion Welded	0.80
ASTM A 211	Spiral Welded Steel Pipe	0.80
ASTM A 333	Seamless	1.00
	Electric Resistance Welded	1.00
ASTM A 381	Double Submerged-Arc-Welded	1.00
ASTM A 671	Electric Fusion Welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
ASTM A 672	Electric Fusion Welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
API 5L	Seamless	1.00
	Electric Resistance Welded	1.00
	Electric Flash Welded	1.00
	Submerged Arc Welded	1.00
	Furnace Butt Welded	0.60

جدول (۴-۲) ضریب کاهش نرخ دما T برای لوله های فولادی

Temperature, °F	Temperature Derating Factor, *T*
250 or less	1.000
300	0.967
350	0.933
400	0.900
450	0.867

GENERAL NOTE: For intermediate temperatures, interpolate for derating factor.

جدول (۵-۲)

Location Class Description	
Facilities in any 1-mi section	
Class 1, Divs. 1 and 2	Areas such as wasteland and farmland with comparable sparse populations. Divisions 1 and 2 relate to test pressures.
Class 2	Facilities for human occupancy of 10 to 46
Class 3	Facilities for human occupancy of 46 or more
Class 4	Multistory and extensive traffic and utilities

جدول (۶-۲)

TEST REQUIREMENTS FOR PIPELINES AND MAINS TO OPERATE AT HOOP STRESSES OF 30% OR MORE OF THE SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH OF THE PIPE

1	2	3	4	5
Location Class	Permissible Test Fluid	Pressure Test Prescribed		Maximum Allowable Operating Pressure, the Lesser of
		Minimum	Maximum	
1 Division 1	Water	1.25 × m.o.p.	None	t.p. ÷ 1.25
1 Division 2	Water	1.1 × m.o.p.	None	t.p. ÷ 1.1
	Air	1.1 × m.o.p.	1.1 × d.p.	or d.p.
	Gas	1.1 × m.o.p.	1.1 × d.p.	
2	Water	1.25 × m.o.p.	None	t.p. ÷ 1.25
	Air	1.25 × m.o.p.	1.25 × d.p.	or d.p.
3 and 4 [Note (1)]	Water	1.40 × m.o.p.	None or d.p.	t.p. ÷ 1.40 or d.p.

d.p. = design pressure
m.o.p. = maximum operating pressure (not necessarily the maximum allowable operating pressure)
t.p. = test pressure

جدول (۷-۲)

DESIGN FACTORS FOR STEEL PIPE CONSTRUCTION

	Location Class				
	1				
Facility	Div. 1	Div. 2	2	3	4
Pipelines, mains, and service lines [see para. 840.2(b)]	0.80	0.72	0.60	0.50	0.40
Crossings of roads, railroads without casing:					
(a) Private roads	0.80	0.72	0.60	0.50	0.40
(b) Unimproved public roads	0.60	0.60	0.60	0.50	0.40
(c) Roads, highways, or public streets, with hard surface and railroads	0.60	0.60	0.50	0.50	0.40
Crossings of roads, railroads with casing:					
(a) Private roads	0.80	0.72	0.60	0.50	0.40
(b) Unimproved public roads	0.72	0.72	0.60	0.50	0.40
(c) Roads, highways, or public streets, with hard surface and railroads	0.72	0.72	0.60	0.50	0.40
Parallel encroachment of pipelines and mains on roads and railroads:					
(a) Private roads	0.80	0.72	0.60	0.50	0.40
(b) Unimproved public roads	0.80	0.72	0.60	0.50	0.40
(c) Roads, highways, or public streets, with hard surface and railroads	0.60	0.60	0.60	0.50	0.40
Fabricated assemblies (see para. 841.121)	0.60	0.60	0.60	0.50	0.40
Pipelines on bridges (see para. 841.122)	0.60	0.60	0.60	0.50	0.40
Compressor station piping	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40
Near concentration of people in Location Classes 1 and 2 [see para. 840.3(b)]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40

۲-۲ تست هیدرواستاتیک خطوط لوله

پس از اتمام اجرای خط لوله و یا تعویض قسمتی از خط لوله‌ای که درحال سرویس دهی است، برای اثبات آن که خط لوله استحکام لازم مورد نیاز شرایط طراحی را دارد و همچنین عاری از نشتی می‌باشد لازم است خط لوله تست هیدرواستاتیک شود.

آئین نامه‌های ایمنی کشور آمریکا برای خطوط لوله لازم می‌داند خطوط لوله‌ای که برای انتقال مایعات بسیار فرار و یا خطرناک استفاده می‌شود به مدت حداقل چهار ساعت به صورت پیوسته در فشاری برای ۱۲۵٪ بیشترین فشار عملیاتی مجاز (MAOP) آزمایش شود و سپس در صورتی که هیچ گونه نشتی مشاهده نداشته به مدت چهار ساعت متوالی دیگر در فشاری برابر MAOP۱۱۰٪ و یا بیشتر آزمایش شود. فشار عملیاتی مجاز برای تست یک خط لوله برابر ۷۲٪ (ضریب طراحی) (جداول ۶-۲ و ۷-۲) حداقل تنش تسلیم (SMYS) لوله می‌باشد بنابراین تست خط لوله برابر ۷۲٪ (ضریب طراحی) حداقل تنش تسلیم (SMYS) لوله می‌باشد بنابراین تست خط لوله در فشاری برابر MAOP ۱۲۵٪، به منزلهٔ تست کردن آن در فشاری معادل SMYS ۹۰٪ برای لوله می‌باشد.

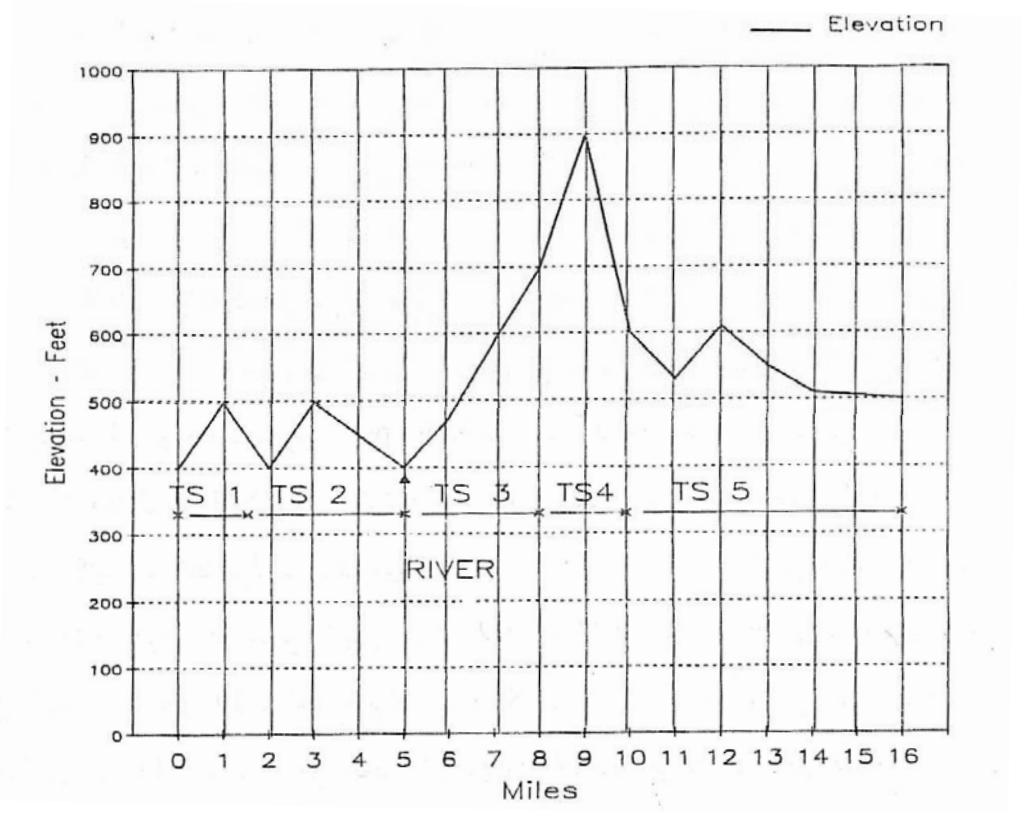
آئین‌نامه‌های خطوط لوله گاز، ضرایب طراحی برای تست خط لوله را بر اساس موقعیت خط لوله مشخص می‌کند. در واقع موقعیت یک خط لوله بر اساس اهمیت ایمنی آن و بر اساس تعداد ساختمان های موجود در هر طرف خط لوله در یک ناحیه مشخص، تعیین می‌شود. برای یافتن جزئیات چگونگی محاسبه موقعیت یک خط لوله به قسمت 111-192 از حداقل استانداردهای ایمنی[1] کشور آمریکا برای خطوط گاز مراجعه کنید. آئین نامه‌ها بیان می‌دارد که فشار تست می‌بایست حداقل برای مدت ۸ ساعت ثابت نگه داشته شود و باید حداقل برابر MAOP۱۲۵٪ باشد. برای یک تست مشخص، این آیین‌نامه‌ها می‌بایست به دقت مورد مطالعه قرار گیرد زیرا این آیین نامه‌ها قابل تغییر می‌باشد.

به طور معمول، گروه مسئول تست یک خط لوله فشار تست را بین SMYS۹۰٪ تا ۹۵٪ لوله تعیین می‌کنند این درحالی است که عده‌ای فشاری به بزرگی SMYS ۱۰۰٪ را جهت تست اعمال می‌کنند بعضی هم به یک مقدار جزیی کمتر از SMYS ۱۰۰٪ لوله، آن را تست می‌کنند. تست لوله در فشاری برابر با حداقل SMYS ۹۰٪، صلاحیت آن را برای کار در بیشترین فشار عملیاتی مجاز تأیید می‌کند.

[1] .Minimum Federal Safety Standard (MAOP) (SMYS)

تست هیدرواستاتیک یک خط لوله مطمئناً عملیات بزرگی است و می‌بایست با دقت برنامه‌ریزی شود، بیشتر شرکت ها کتاب راهنمای تست هیدرواستاتیکی خطوط لوله را دارا می‌باشد که در آن جزئیات روش انجام تست آورده شده است. معمولاً این کار توسط پیمانکار تست هیدرواستاتیک که توسط کارفرمای احداث خط لوله برگزیده شده، انجام می‌گیرد یا این که ممکن است آزمایش هیدرواستاتیکی به عنوان قسمتی از قرارداد ساخت و نصب در نظر گرفته شود.

یکی از اولین گام ها در برنامه‌ریزی عملیات تست هیدرواستاتیک، بررسی تغییرات ارتفاع خط لوله می‌باشد. اختلاف مابین محل منبع آب و موقعیت لوله، جهت محاسبه طول وتعداد بخش های تست خط مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱-۲ تغییرات ارتفاع برای یک خط لوله فرضی و تعداد بخش های تست آن را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲): نمودار گرادیان ارتفاع برای یک خط لوله فرضی

در جایی که خط لوله از نواحی پر از تپه می‌گذرد، تغییرات ارتفاع باید به صورت دقیق جهت انتخاب بخش های تست خط لوله مورد بررسی قرار گیرد. شرکت های مختلف فلسفه‌های متفاوتی برای چگونگی انجام این کار دارند. بعضی‌ها میزان اختلاف ارتفاع را برای انجام تست خط لوله محدود می‌کنند در حالی که دیگر شرکت ها ممکن است محدوده‌ای از درصد قابل قبول SMYS لوله را به عنوان فشار تست مشخص کنند به عنوان مثال ۹۰٪ تا ۹۵٪ یا SYMS ۹۰٪ تا ۱۰۰٪ لوله.

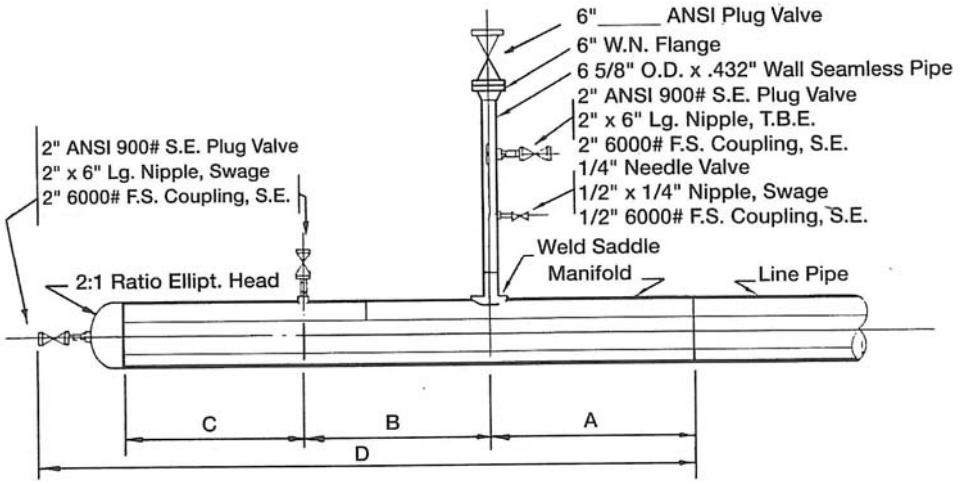
به هر حال تغییرات فشار تست خط باید رسم شود تا مطمئن شویم که فشار تست بین محدوده‌های فشار مجاز قرار می‌گیرد. در صورتی که محاسبات فشار بر اساس آب صورت پذیرد، می‌بایست هد فشاری تست بر اساس فوت آب باشد. فشار آب را می‌توان به فوت آب تبدیل کرد برای این کار می‌بایست فشار را بر عدد 0.433 تقسیم کرد. در صورت استفاده از آب دریا برای تست خط، می‌بایست فشار را بر عدد 0.445 تقسیم کرد. چگالی مخصوص آب دریا 1.02 در نظر گرفته شده است به هر حال، عدد 0.433 باید با توجه به چگالی مخصوص سیال تست خط لوله اصلاح شود.

فرض کنید خط لوله‌ای داریم که باید تست شود، ارتفاع محل تست ۱۰۰۰ فوت و ارتفاع انتهای لوله ۱۲۰۰ فوت می‌باشد. از آب خالص به عنوان سیال تست استفاده شده و می‌خواهیم لوله را در محدودهٔ حداقل۹۰٪ و حداکثر ۹۰SMYS٪ لوله تست کنیم. لوله از نوع 30"OD×0.390"wt API 5LX60 می‌باشد.

اختلاف ارتفاعی برابر ۲۰۰ فوت داریم که هد فشاری آن برابر است با 86.6 psig (200 feet×0.433=86.6psg) از طرف فشار تست، معادل SMYS ٪۹۰ می‌باشد که برابر 1,404 psig است. از آنجایی که محل انجام تست از انتهای لوله پایین‌تر است، می‌بایست 86,6 psig با 1,404 psig جمع شود تا فشار در محل انجام تست برابر 1,491 psig به دست آید. حال فشار در انتهای خط لوله برابر 1,404psig می‌باشد که معادل ASMYS ۹۰٪است و فشار در قسمت پایین دستی معادل SMYS ۹۶٪ می‌باشد.

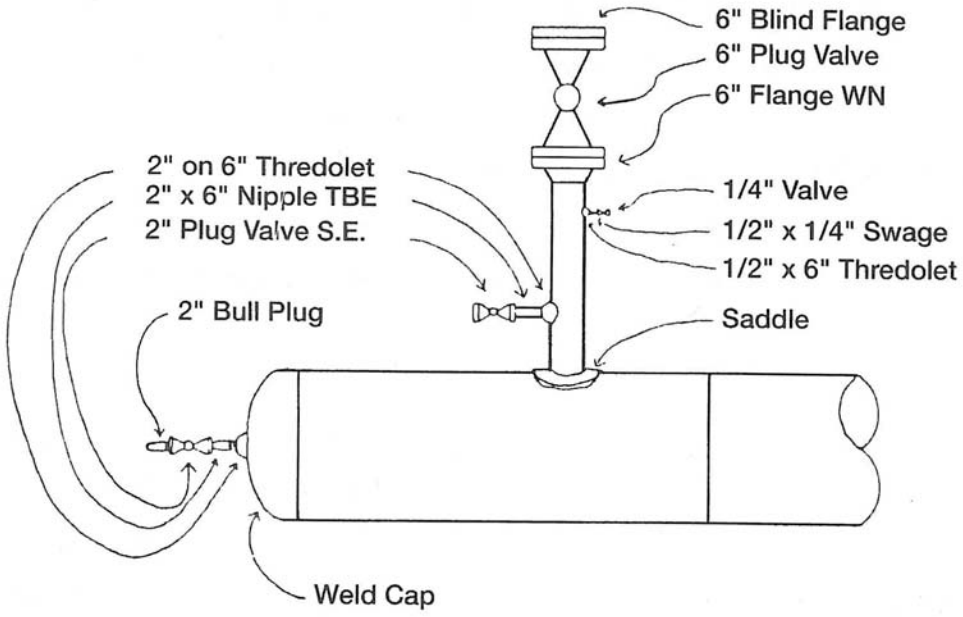
این خط لوله از یک راه‌آهن، یک بزرگراه و یک رودخانه عبور می‌کند همچنین شامل یک مجموعه تجهیزات شیرهای مسدود کننده خط لوله اصلی می‌باشد. مجموعه شیرها، تجهیزات عبور از رودخانه و تجهیزات عبور از جاده قبل و بعد از نصب، تست شدند. چهار هدر موقت (فشار شکن) جهت ساده‌سازی پر کردن خط لوله از آب و همچنین جدا کردن بخشهای مختلف تست، بر روی خط نصب شده است. شکل۳-۲ یک هدر موقت جدا کننده فشاری را نشان می‌دهد، Pig های دو طرفه در هر کدام از هدرهای موقت میانی قرار داده شده است. Pig ها توسط آب درون لوله حرکت داده می‌شود و استفاده از آن ها برای خارج کردن هـــوای درون لوله ضروری است،

به طور کلی بهتر است ابتدا بخشی از خط لوله را که در بیشترین فاصله از منبع آب قرار گرفته است، آزمایش کرد. چون اگر لازم باشد این قسمت جدا شود، در زمانی که تعمیرات بر روی این قسمت آسیب دیده انجام می‌گیرد، ادامهٔ تست بر روی سایر قسمت های خط لوله امکان‌پذیر باشد.

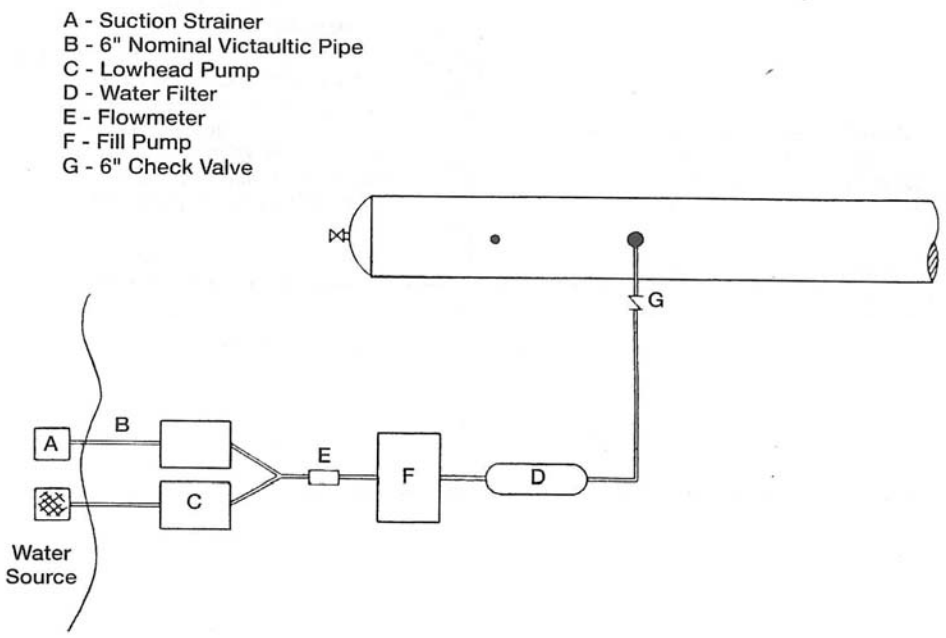


NOTE: Dimensions A thru D are based on the pipe dia. and pig length.

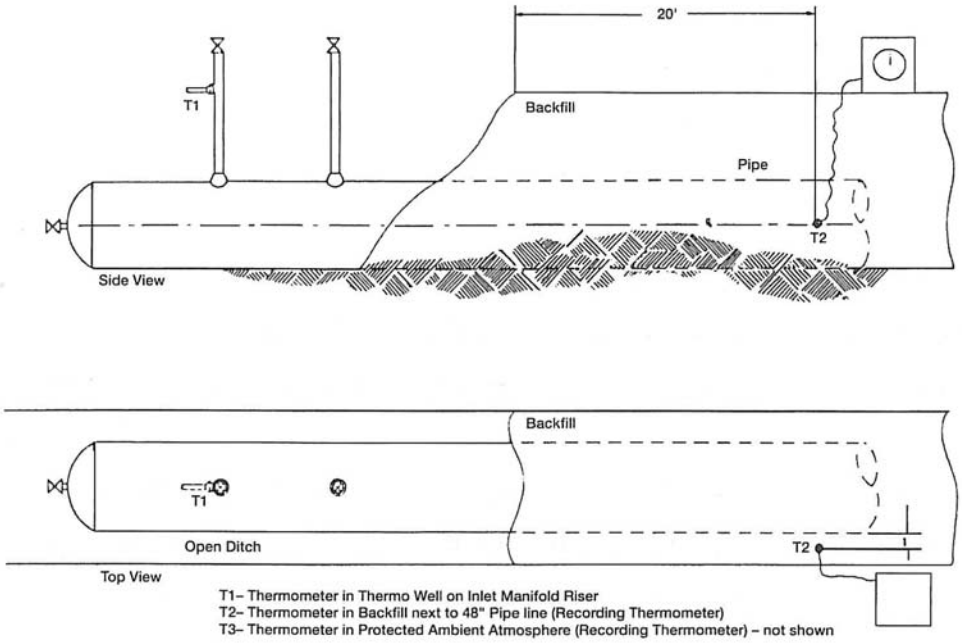
شکل ۲-۲: یک نمونه هدر فشاری با تجهیزات همراه



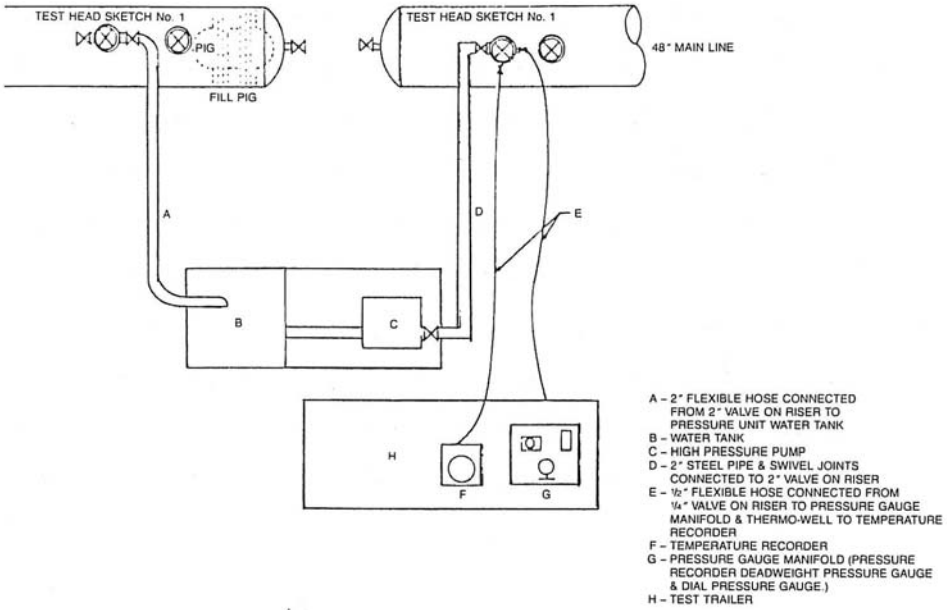
شکل ۳-۲: یک نمونه هدر موقت جهت تست با تجهیزات همراه



شکل ۴-۲: سیستم تامین کننده آب جهت عملیات تست



شکل ۵-۲: محل قرارگرفتن دماسنج‌های تست



شکل ۶-۲: واحد تامین کننده فشار جهت تست خط لوله به همراه تجهیزات

پمپ‌هایی که برای پر کردن خط لوله مورد استفاده قرار می گیرد لازم است ظرفیت کافی جهت پر کردن خط با دبی تقریبی 0.5 مایل در ساعت را داشته باشد. برای آن که ذرات خارجی معلق در آب به داخل لوله‌ها وارد نشود می‌بایست در مسیر آب فیلترهایی نصب شود که معمولاً به تورهای مشبک با اندازه ۱۰۰ سوراخ در واحد سطح مجهز می‌باشد. شکل ۶-۲ نحوه قرار گرفتن تجهیزات واحد پرکردن خط را نشان می‌دهد. بعضی از شرکت‌ها ممکن است از تورهای مشبک با سوراخ های ریزتز استفاده کنند. جهت اندازه‌گیری میزان آب پمپ شده به خطر لوله، واحد پر کننده باید به کنتور جریان مجهز باشد. از دماسنج‌ها جهت ثبت دمای محیط، دمای آب، دمای لوله و دمای زمین استفاده می‌شود. شکل ۵-۲ محل قرار گرفتن دماسنج‌ها را نشان می‌دهد همچنین از یک فشارسنج نیز جهت ثبت فشار تست خط لوله استفاده می‌شود.

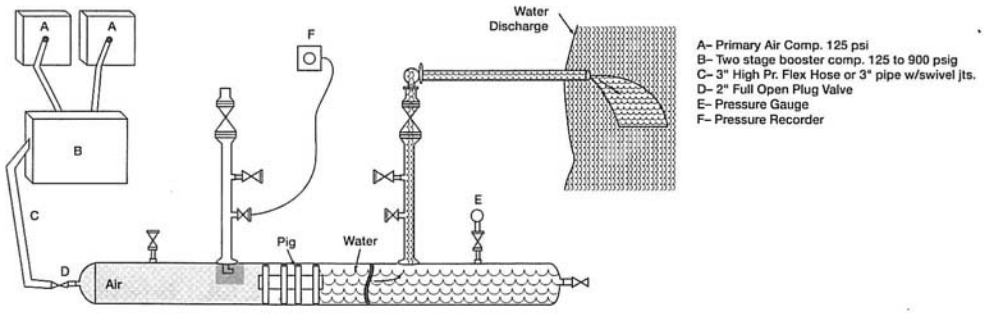
باید توجه داشت قبل از استفاده از فشارسنج می‌بایست آن را کالیبره نمود. در مرحله نهایی تست می‌بایست از یک پمپ فشار قوی استفاده نمود که توانایی پمپاژ با دبی ۷۰ تا ۱۵۰ گالن در دقیقه (gpm) در فشاری بالاتر از فشار مورد نیاز انجام تست را داشته باشد. برای لوله‌هایی با قطر کوچکتر و همچنین بخش های کوتاه لوله‌هایی با قطر زیاد، واحدهای کوچک فشار قوی با ظرفیت ۶ تا ۳۰ gpm ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج دماسنج‌ها و فشارسنج‌ها پس از رسیدن به فشار تست از پیش‌تعیین شده، و در زمانی که فشارها و دماها به حالت پایدار می‌رسد، ثبت می‌شود. با استفاده از این نتایج نمودار فشار بر حسب زمان را نیز می‌توان رسم نمود. به طور معمول در اولین مرحله انجام تست، داده‌ها در ۱۵ دقیقه خوانده می‌شود و پس از آن هر ۳۰ دقیقه یک بار. روند قبول کردن تست نشت خط لوله، با توجه به روش تایید شده متفاوت است به طوری که در بعضی شرکتها اگر طی مدت زمان متناوب ۳ ساعته هیچ افت فشاری مشاهده نشود، خط لوله از نظر تست نشتی قابل قبول است. در طی روند تست یک خط لوله، نمودار فشار- حجم ممکن است مورد نیاز باشد به خصوص اگر فشار آزمایش به SMYS لوله، نزدیک باشد و یا از آن فراتر رود. این نمودار طی عملیات تست به صورت دستی رسم می‌شود که در آن روی محور x ها حجم و روی محور y ها فشار ثبت می‌شود. تا زمانی که به حد پلاستیک لوله نرسیده باشیم و یا نشتی رخ نداده باشد این نمودار به صورت خط راست خواهد بود. این نوع نمودار همچنین در مواردی که لوله‌های نازکتر و یا دارای فشار تسلیم کمتر به صورت ناخواسته در خط لوله استفاه شده باشد، مفید خواهد بود.

مشخص کردن محل تست های کوچک، در طول تست مشکل است. تغییر در دمای آب لوله ممکن است نشانگر نشت باشد، اگر دمای آب لوله کاهش پیدا کند، فشار آزمایش کاهش خواهد یافت همچنین افزایش در دمای آب لوله باعث افزایش فشار تست خواهد شد. تأثیر تغییرات دما را می‌توان با استفاده از حجم معادلات و دادهای موجود در پیوست A.B تخمین زد. برای رسیدن به دقت کافی در این محاسبات لازم است دما و فشار به صورت دقیق خواهنده و ثبت شده باشد.

عبور خط لوله از رودخانه و یا نهرهای آب ممکن است بر روی دمای تست خط لوله تأثیر بگذارد همچنین اگر از آب سرد استفاده شود، تغییرات دمای متغیری وجود خواهد داشت. وجود هوا چه به صورت محبوس در خط لوله و چه به صورت محلول درآب بر روی محاسبات فشار- دما تأثیر خواهد گذاشت زیرا ضریب انبساط هوا به متفات از ضریب انبساط آب است و اگر پس از انجام محاسبات، بر اثر وجود یک نشتی کاهش فشار خط بر حسب تغییرات دما نبود، لازم است بخش تست شده به قسمت های کوچکتری تقسیم شود و سپس آزمایش فشار بر روی این قسمت های کوچکتر انجام گیرد تا محل نشت آسان‌تر مشخص شود. زمانی که نشتی مشخص و تعمیر شد، عملیات تست ادامه خواهد یافت. بعد از این که تست خط تمام شد جهت خارج کردن آب درون لوله می‌بایست از کمپرسورهای هوا استفاده شود.

برای یافتن بیشترین هد فشاری یک تست خط لوله می‌بایست افت فشار حاصل از اصطکاک در محل شیرها در نظر گرفته شود. این کمپرسورهای هوا باید ظرفیت کافی جهت خارج کردن آب در دبی معادل دبی خط لوله را دارا باشد. بیشتر کمپرسورهای قابل حمل و نقل دارای فشاری تقریبی معادل 125 psig می‌باشد در این حالت جهت تامین فشار بالای 195 psig از کمپرسورهای بالابرنده استفاده می‌شود. شکل ۷-۲ یک واحد آب زدایی به همراه اتصالات آن نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲: یک واحد آب زدایی به همراه اتصالات

به محض اتمام تست در نقاط مرتفع خط، بین ۱۰ تا ۲۰ psig فشار آزمایش کاهش پیدا می‌کند. همان طور که قبلاً اشاره شد آب زدایی ممکن است توسط کمپرسورهای هوا انجام گیرد. بعضی از شرکت ها از ماده‌ای که به صورت معمول از طریق این خط لوله پمپ خواهد شد، برای جایگزینی آب تست استفاده می‌کنند. این روش در مورد خطوط لوله انتقال نفت خام و محصولات پالایشگاهی کاربرد دارد. خطوط لوله‌ای که برای انتقال گاز طبیعی و مواد شیمیایی مخصوص مورد استفاده قرار می‌گیرد معمولاً به وسیله کمپرسورهای هوا آب‌زدایی می‌شود. در عملیات آب‌زدایی می‌بایست دقت لازم اعمال گردد تا اطمینان حاصل شود که احتمال تشکیل هوای محبوس شده در لوله (Air Lock) به حداقل برسد. تشکیل Air Lock شدیدترین مشکل موجود در عملیات آب زدایی یک خط لوله می‌باشد. Air Lock در اثر جمع شدن هوا در بالای بخش سرپایینی و سربالایی خط می‌باشد، که یک افت فشار را درون خط لوله ایجاد می‌کند. برای غلبه بر این سد هوایی بعضی مواقع فشار بسیار زیادی نیاز است. باید اطمینان حاصل شود که فشار از حداکثر فشار عملیاتی مجاز تجاوز نکند. ممکن است لازم شود خط لوله به شیرهایی جهت خارج کردن هوا مجهز شود.

اگر لازم باشد پس از تست، آب از محدوده حریم خط لوله خارج شود می‌بایست از لوله‌های جوشکاری شده بر روی خط لوله، جهت خارج کردن آب تست استفاده شود. این لوله‌ها باید به صورت محکم نگه داشته شود. برای این کار بایستی از تراکتورها و یا انکر کردن لوله استفاده نمود. باید دقت کرد همیشه از یک شیر برای کنترل میزان‌آب خارج شده از خط لوله استفاده شود. اگر در راه اندازی خط لوله تأخیری ایجاد شود به طوری که می‌بایست آب تست تا زمان راه اندازی خط لوله در آن باقی بماند باید به منظور جلوگیری از خوردگی لوله از مواد ضد خورندگی استفاده شود. در صورت ذخیره‌سازی بلند مدت آب درون خط لوله علاوه بر استفاده از بازدارنده‌های خوردگی، لازم است از مواد جاذب اکسیژن محلول در آب نیز استفاده کرد.

شکل ۸-۲: نمونه برگهٔ گزارش تست

FIELD PRESSURE & TEST REPORT

Page _____ of _____

Contractor or Company: _____

Pipe Line Description: _____

Section Tested: From: _____ To: _____

Test Section No.: _____ Length: _____

Type and Size of Pipe: _____ O. D. x _____ W.T. x Grade _____ Manufacturer: _____

Pressure Unit No.: _____ Gallons per Stroke: _____ Fill Unit No.: _____

Pressure Unit Location: _____ Water Source _____

Time and Date Test Started: _____ AM PM Test Pressure (Maximum): _____ PSIG

Time and Date Test Ended: _____ AM PM Pressure Volume Plot: Yes _____ No _____

Section Accepted _____ Section Leaking _____ Section Ruptured _____

DEADWEIGHT RECORDED READING (PSIG)

TIME Date: _____	PRESSURE	TEMP DEG.F	TIME	PRESSURE	TEMP DEG. F	TIME	PRESSURE	TEMP DEG. F
AM PM			AM PM			AM PM		

Strokes per 10 psi: _____ Remarks: _____

Milbar Supt. _____ Inspector _____

Witness: 1. _____ 2. _____

Gauges and Recorders Last Tested _____ Deadweight Serial No. _____

اگر بعد از عملیات آب زدایی، رطوبت باقی مانده در خط لوله مشکل آفرین شود، لازم است خط لوله تمیز و خشک گردد. ممکن است بـــرای تخلیه آب به مجـــوز نیاز باشد، به خصوص در شـرایطی که احتمـال دارد این آب وارد شبکه آب های روان گردد. این مورد باید در مرحله برنامه‌ریزی عملیات تست، تصمیم‌گیری شده و مجوزهای مورد نیاز گرفته شود. در زمان آب زدایی به منظور جلوگیری از فرسایش خاک می‌توان از صفحات فلزی پخش کننده و یا بسته‌های علف خشک استفاده نمود. مهم ترین جنبه هر عملیات تست خط لوله، جمع‌آوری دقیق و کامل اسناد و مدارک مربوط به جزئیات آن می‌باشد، زیرا این اسناد و مدارک تمامی مراحل تست یک خط لوله را به صورت کاملاً گویا و شفاف نشان می‌دهد. آئین‌نامه‌های ایمنی خطوط لوله لازم می‌داند برای خطوط لوله انتقال مایعات این اسناد و مدارک شامل اطلاعات زیر باشد.

- نمودارهای ثبت فشار
- اطلاعات مربوط به کالیبره کردن ادوات تست
- نام اپراتور یا شخص مسئول انجام تست، و همچنین نام شرکت انجام دهنده تست در صورت وجود
- تاریخ و زمان انجام تست
- حداقل فشار تست
- محیط انجام تست (بستر انجام تست)
- توصیف وسایل و دستگاه های مربوط به تست
- علت‌یابی برای هر گونه ناپیوستگی در فشار تست، که روی نمودار ثبت فشار ظاهر می‌شود

(بروز ناپیوستگی در فشار تست باعث عدم موفقیت تست می‌گردد)

- در جایی که اختلاف ارتفاع در بخش تست بیش از ۱۰۰ فوت ۳۰۴۸۰ میلیمتر باشد، لازم است پروفیلی از خط لوله که در آن، ارتفاع تحت تست را در تمام طول آن بخش از خط لوله مشخص می‌کند، تهیه شود

اسناد و مدارک خواسته شده توسط آئین‌نامه‌های ایمنی خطوط لوله، برای خطوط لوله انتقال گاز، مشابه خطوط لوله انتقال مایعات می‌باشد. یک نمونه از این گزارش در شکل ۸- ۲ آورده شده است. اگر اشکالی در طول تست رخ دهد، باید گزارشی مربوط به آن اشکال و دلایل احتمالی بروز نقص تهیه شود. یک نمونه فرم مربوط به بروز اشکال در طی روند تست در شکل ۹- ۲ آورده شده است. فرم گزارش روزانه، جهت ثبت فعالیت های مربوط به تست، وضعیت عملیاتی دستگاه های مورد استفاده، rpm موتورها و هر نوع شرایط غیر معمولی که در طول تست رخ دهد، می‌باشد. یک نمونه فرم، مربوط به ثبت گزارش روزانه در شکل ۱۰- ۲ آورده شده است.

شکل ۹-۲: یک نمونه فرم گزارش نقص خط لوله در طب عملیات تست

PIPE LINE FAILURE REPORT

1. Company _____
2. Section tested _____
3. Time of failure _____ AM, PM. Date _____
4. Location of failure: _____
5. Pressure, psig, at point of failure _____
6. Description of failure: Leak _____, Break _____, Length of failure _____
7. If leak, fill in blanks: _____ gallons lost per hour, _____ pounds lost per hour.
8. Describe any peculiarities or defects on failed part, such as corrosion or evidence of prior damage, etc. _____
9. Possible cause of failure _____
10. Pipe size: _____ OD x _____ Wt., Grade _____ Mfg. by _____
11. Repairs: Pipe installed _____ OD x _____ Wt., Grade _____
    Mfg. by _____, Length of joint or pup _____
12. Date repaired _____ 19 ____ By _____
13. Remarks (Damage to property, persons injured, etc.) _____

DAILY OPERATING REPORT

COMPANY & CONTRACTOR _____ DATE _____

LOCATION (City) _____ CONTRACT NO. _____

PIPE LINE DESCRIPTION: _____

PERSONNEL: _____

EQUIPMENT: _____

ACTIVITIES: _____

COMPANY REP. | CONTRACTOR REP. | MILBAR SUPT.

شکل ۱۰-۲: یک نمونه فرم گزارش عملیات روزانه

پیوست الف

حجم آب مورد نیاز جهت پرکردن قسمتی از خط لوله که می‌بایست تحت تست قرار گیرد.

در این بخش با استفاده از رابطه سرانگشتی زیر می‌توان حجم آب مورد نیاز جهت پر کردن بخش تحت تست از خط لوله را بدست آورد.

$$V = L \times (3.1416 \times \frac{d^2}{4}) \times \frac{12}{231}$$

$$\Rightarrow A = 0.0408 \times d^2 \times L \quad (1)$$

در این روابط:

L= طول بخش تحت تست بر حسب فوت

d = قطر داخلی لوله بر حسب اینچ

V = تعداد گالن مورد نیاز جهت پر کردن در فشار 0 psig

حجم آب مورد نیاز جهت تست قسمتی از خط لوله (تحت فشار تست)

پس از آن که بخش مورد نظر از خط لوله جهت انجام عملیات تست از آب پر شد، حال می‌بایست با پمپ کردن آب به درون لوله، فشار درون لوله را به فشار مشخص تست رساند. برای این منظور لازم است حجم آبی اضافه بر حجم آب به دست آمده در بخش قبلی (۱- ۲- ۵) به درون لوله تزریق شود. در این بخش روش محاسبه حجم این آب اضافه توضیح داده شده است.

$$V_{tp} = V \times F_{wp} \times F_{pp} \times F_{pwt} \quad (2)$$

در این رابطه:

V_{tp}= تعداد گالن های موجود در بخش مورد تست در فشار P و دمای T بر حسب °F(درجه فارنهایت)

F_{wp} = فاکتور تصحیح تراکم‌پذیری آب به دلیل افزایش فشار تا حد فشار تست

F_{pp} = فاکتور تصحیح تغییر حجم درون خط لوله در اثر افزایش فشار تا حد فشار تست

F_{pwt} = فاکتور تصحیح تغییرات حجم آب و تغییرات حجم لوله بر اثر تغییر در دمای آب و لوله از ۶۰°F تا دمای تست لوله، T بر حسب درجه فارنهایت

$$F_{wp} = \frac{1}{1-(4.5\times10^{-5})\times\frac{P}{14.7}} \quad (3)$$

در این رابطه:

P = فشار تست بر حسب psig

$$F_{pp} = 1 + \left[\left(\frac{D}{t}\right) \times \left(\frac{0.91 \times P}{30 \times 10^6}\right)\right] + [3.6 \times 10^{-6} \times (T - 60)] \quad (4)$$

در این رابطه:

D = قطر بیرونی لوله بر حسب اینچ

t = ضخامت دیواره لوله بر حسب اینچ

T = دمای لوله بر حسب °F

$$F_{pwt} = \frac{F_{pt}}{F_{wt}} \quad (5)$$

در این رابطه:

F_{pt} = فاکتور تصحیح تغییر حجم لوله در اثر انبساط گرمایی لوله از دمای مبنای ۶۰°F

F_{wt} = فاکتور تغییرات گرمایی حجم مخصوص آب از دمای ۶۰°F تا دمای آب تست (به جدول ۸-۲ مراجعه کنید)

$$F_{pt} = 1 + +[(T - 60) \times 18.2 \times 10^{-6}] \quad (6)$$

جدول (۸-۲): F_{wt}- فاکتور تصحیح تغییرات گرمایی حجم مخصوص آب بر حسب دما

Temp. (°F)	Fwt	Temp. (°F)	Fwt
35	0.9990777	70	1.0010364
36	0.9990590	71	1.0011696
37	0.9990458	72	1.0012832
38	0.9990375	73	1.0014229
39	0.9990340	74	1.0015420
40	0.9990357	75	1.0016883
41	0.9990421	76	1.0018130
42	0.9990536	77	1.0019657
43	0.9990694	78	1.0021222
44	0.9990903	79	1.0022552
45	0.9991150	80	1.0024178
46	0.9991451	81	1.0025561
47	0.9991791	82	1.0027251
48	0.9992168	83	1.0028684
49	0.9992599	84	1.0030435
50	0.9993061	85	1.0031919
51	0.9993615	86	1.0033730
52	0.9994112	87	1.0035573
53	0.9994715	88	1.0037133
54	0.9995322	89	1.0039034
55	0.9996046	90	1.0040642
56	0.9996683	91	1.0042601
57	0.9997488	92	1.0044357
58	0.9998191	93	1.0046271
59	0.9999074	94	1.0047972
60	1.0000000	95	1.0050043
61	1.0000803	96	1.0052142
62	1.0001805	97	1.0053915
63	1.0002671	98	1.0056067
64	1.0003746	99	1.0057884
65	1.0004674	100	1.0060090
66	1.0005823	101	1.0061949
67	1.0006811	102	1.0064207
68	1.0008031	103	1.0066108
69	1.0009290	104	1.0068417

پیوست ب

نمودارهای تغییرات فشار بر اساس تغییر دمای آب تست خط لوله برای انواع لوله‌ها

در این بخش با ارائه یک مثال نحوه محاسبه تغییرات فشار به ازاء یک درجه تغییر در دمای آب تست یک خط لوله توضیح داده شده است.

مشخصات لوله = 18 in OD×0.375 in w.t

دمای آب در آغاز تست = ۷۰ °F

دمای آب در زمان T پس از شروع تست = ۶۶ °F

فشار تست = 1,800 psig

محاسبه:

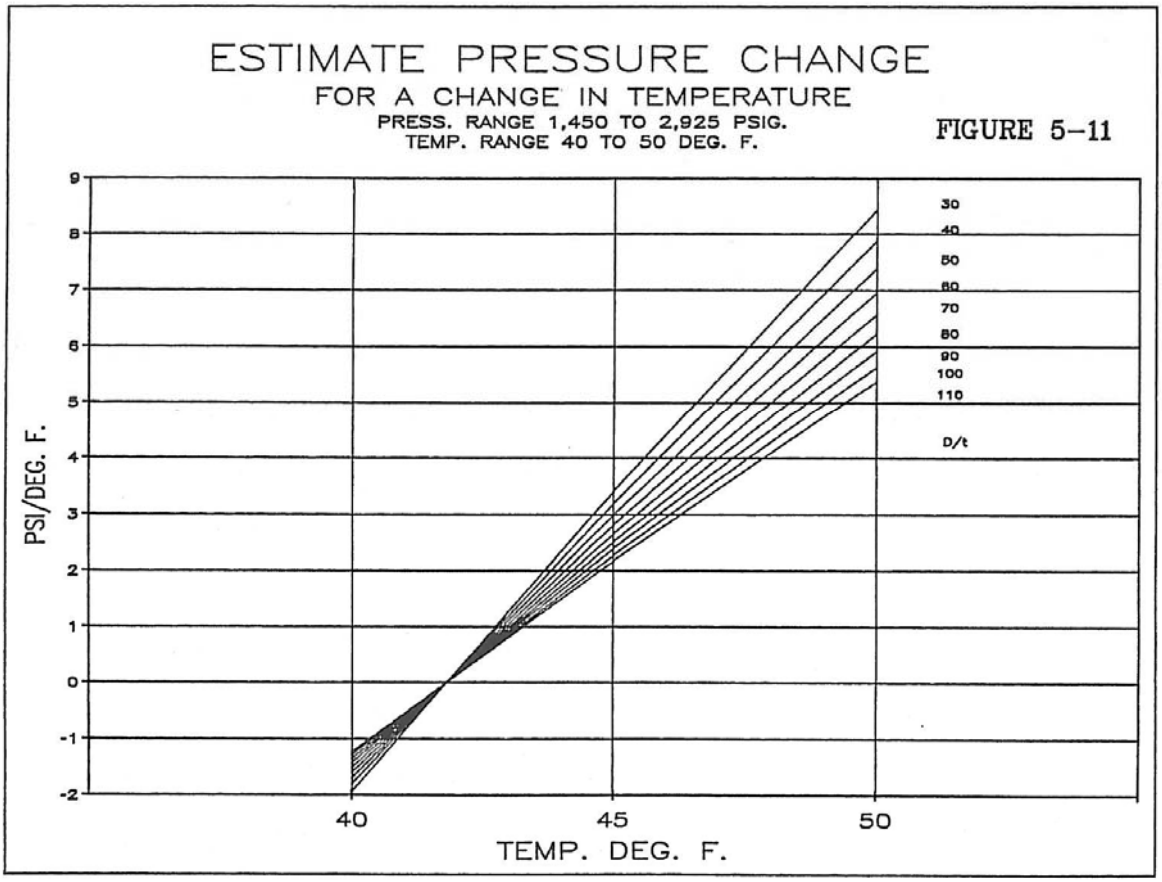
با توجه به شکل‌های ۱۱-۲ الی ۱۴-۲ که برای انواع لوله بر اساس $\frac{D}{t}$ آن رسم شده است در ابتدا می‌بایست مقدار $\frac{D}{t}$ برای این لوله محاسبه شود.

در این رابطه:

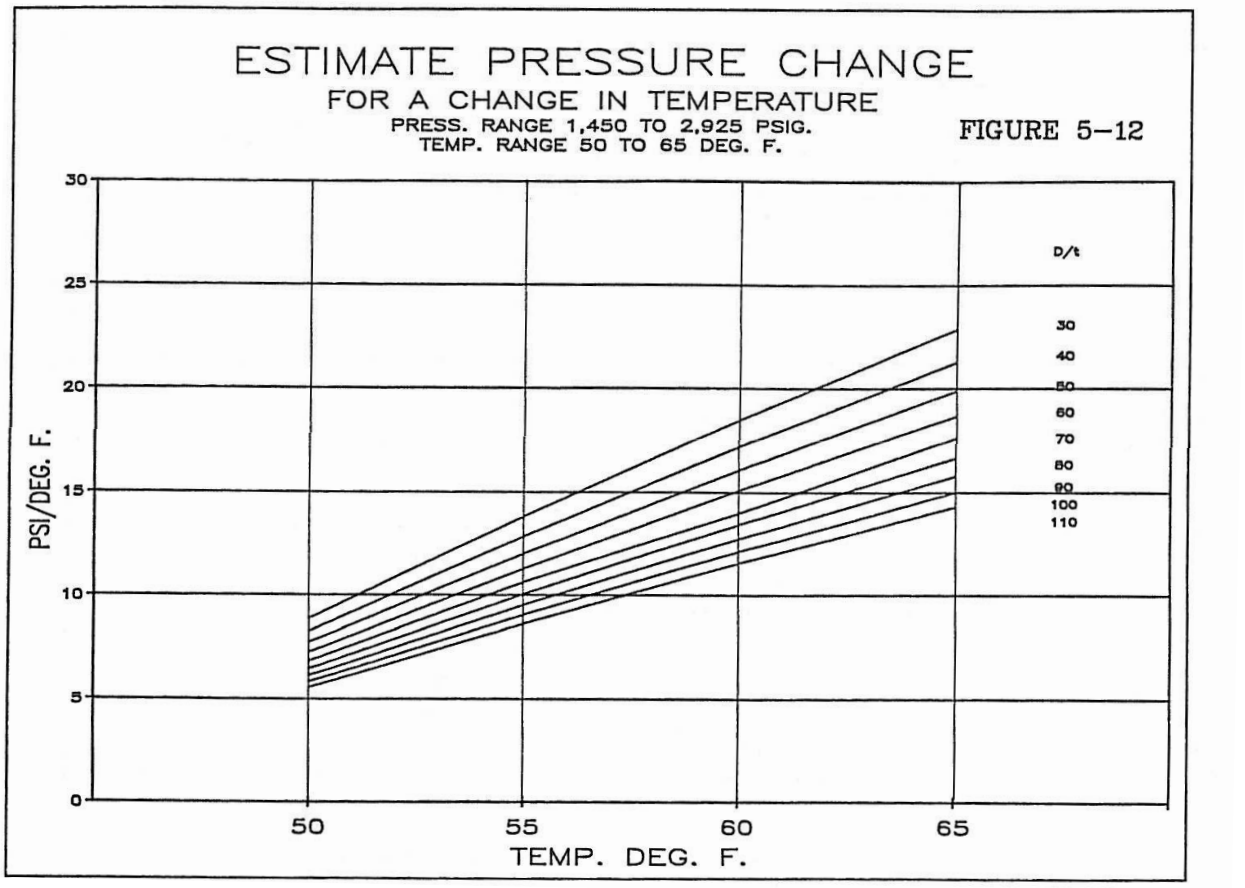
D= قطر خارجی لوله بر حسب اینچ

t= ضخامت دیواره لوله بر حسب اینچ

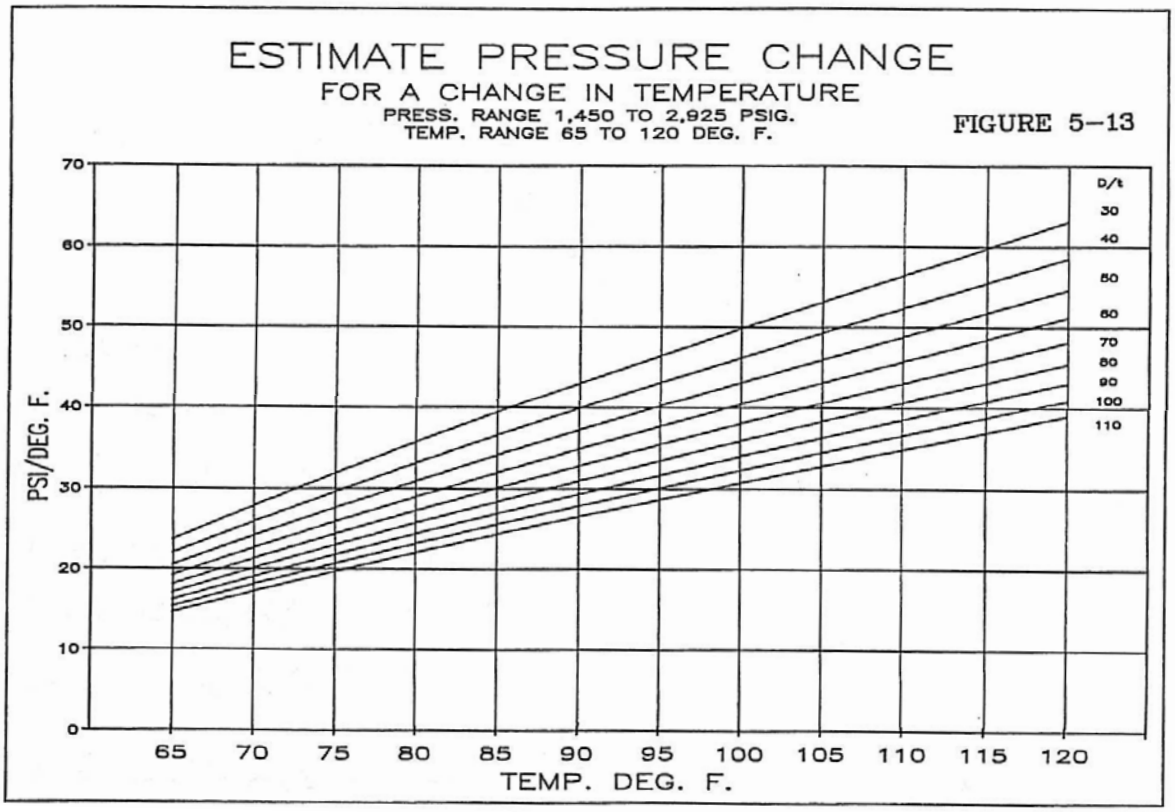
حال با استفاده از نمودار شکل ۱۳-۲ در دمای °F ۶۸ وارد شده در محل تقاطع $\frac{D}{t}$ برابر ۴۸، تغییرات فشار تست به ازاء یک واحد تغییر در دمای آب تست خط لوله برابر $۲۳ \frac{psig}{°F}$ خوانده می‌شود.



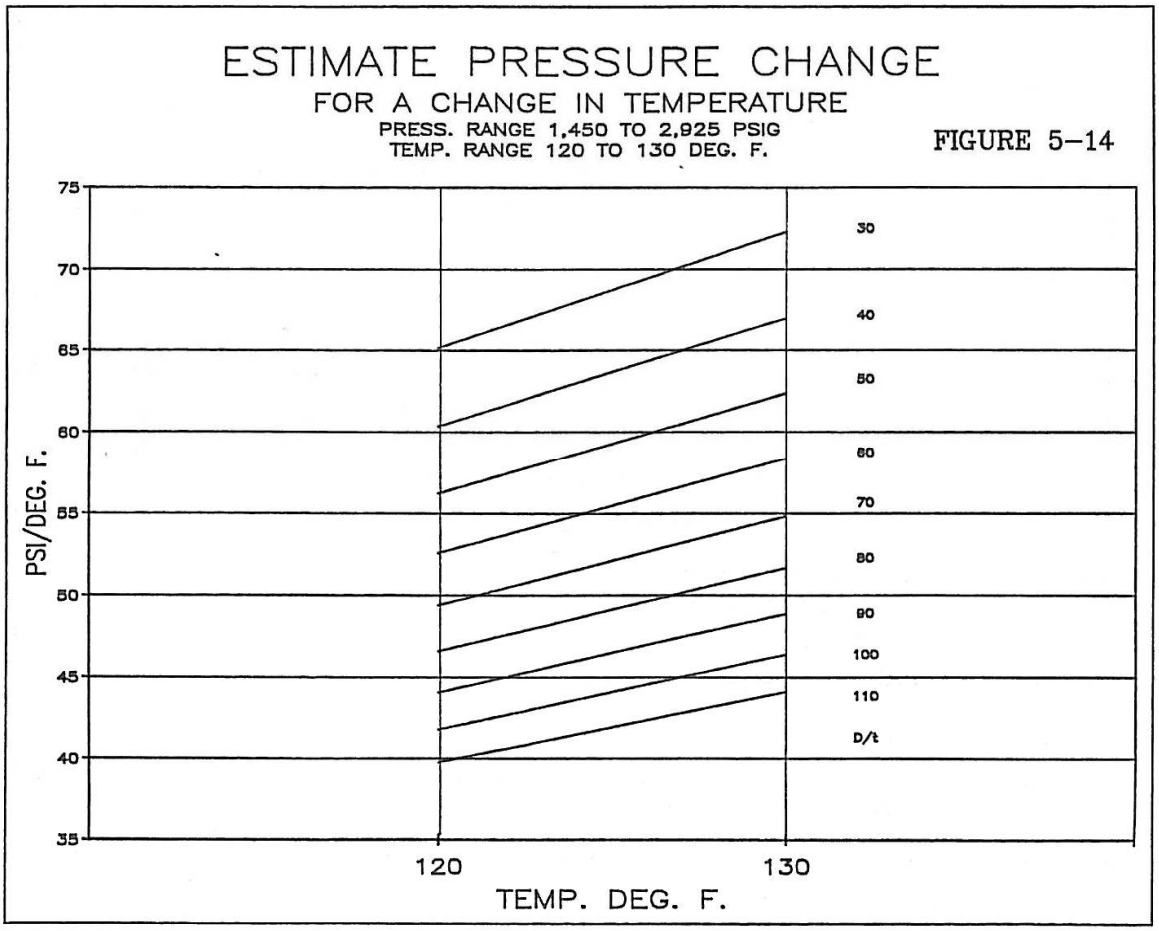
شکل ۱۱-۲: تغییرات فشار تست به ازاء یک واحد تغییر در دمای آب تست برای انواع لوله (محدوده دمایی بین ۴۰ تا ۵۰ درجه فارنهایت)



شکل۱۲-۲: تغییرات فشار تست به ازاء یک واحد تغییر در دمای آب تست برای انواع لوله (محدوده دمایی بین ۵۰ تا ۶۵ درجه فارنهایت)



شکل ۱۳-۲: تغییرات فشار تست به ازاء یک واحد تغییر در دمای آب تست برای انواع لوله (محدوده دمایی بین ۶۵ تا ۱۲۰ درجه فارنهایت)



شکل ۱۴-۲: تغییرات فشار تست به ازاء یک واحد تغییر در دمای آب تست برای انواع لوله (محدوده دمایی بین ۱۲۰ تا ۱۳۰ درجه فارنهایت)

نمودارهای فوق بر اساس معادله زیر به دست آمده است.

$dp= [B-2a] / [D \times (1-v^2) / Et + C]$

در این رابطه:

dp = تغییرات فشار بر حسب psig به ازاء یک درجه تغییر در دمای آب تست بر حسب $°C$

B = ضریب انبساط آب (نحوه محاسبه در ادامه آمده است)

D = قطر خارجی لوله بر حسب اینچ

v = مدول الاستیسیته فولاد $(30\times10)^6$

C = ضریب تراکم پذیری آب بر حسب $\frac{in^3}{in^3 \times psig}$

a = ضریب انبساط فولاد $(1.116\times10^{-5}$ per $°C)$

t = ضخامت دیواره لوله بر حسب اینچ

T = دما بر حسب درجه سانتیگراد $°C$

$$B \times 10^6 = -64.268 + 17.0105 \times T - 0.20369 \times T^2 + 0.0016048 \times T^3$$

ضریب تراکم پذیری آب بر اساس دما

در این بخش در جدول ۲-۹ ضریب تراکم‌پذیری آب در محدوده دمای صفر تا ۵۰ درجه سانتیگراد و محدوده فشاری 1,450 تا 2,925 psig آورده شده است.

جدول ۹-۲: ضریب تراکم‌پذیری آب در محدوده دمایی صفر تا ۵۰ درجه سانتیگراد

Pressure Range 1,450 psig to 2,925 psig

Temperature (°C)	Compressibility Factor (cu in./cu in./psig)
0	3.35×10^{-6}
10	3.14×10^{-6}
20	3.01×10^{-6}
50	2.89×10^{-6}

فصل سوم

آب زدایی[2] ، تمیز کاری[3] و خشک کردن[4] خط لوله

۳-۱ مقدمه

خطوط لوله در هنگام ساخت به کمک آب، تحت تست های هیدرواستاتیکی قرار می گیرد.

خطوطی که قبلاً ساخته شده است و در حال حاضر مورد بهره برداری قرار دارد نیز، ممکن است جهت تأیید تست های قبلی یا بهبود عملکرد، مجدداً تست شوند. بعد از کامل شدن تست هیدرواستاتیکی خط لوله، باید آب را از خط خارج کرد و خط لوله را در سرویس قرار داد.

در صورتی که روش کار درست برنامه ریزی شده باشد، آب زدایی فرآیند ساده ای است. لوله های مخصوص انتقال نفت خام، یا محصولات پالایش شده، ممکن است قبل از بهره برداری فقط به انجام تست نیاز داشته باشد. اگر خط لوله برای انتقال موادی به کار می رود که می بایست خشکی معینی داشته باشد فرآیندهای آب زدایی، تمیز کاری و خشک کردن، در خط لوله باید انجام گیرد. خطوط انتقال گاز طبیعی بسته به فشار عملیاتی و موقعیت منطقه، جهت جلوگیری از خوردگی داخلی در اثر تشکیل اسیدهای خورنده، مثل اسید سولفوریک (در اثر وجود سولفوریک اسید) سایر خطوط لوله هم ممکن است نیاز به خشک کردن داشته باشد.

[2] Dewatering
[3] Cleaning
[4] Drying

۲-۳ آب زدائی

آب زدایی فرآیندی است که بعد از تکمیل شدن تست هیدرواستاتیک با جاسازی یک فاصله گذار و سپس فرستادن اولین پیگ آغاز می شود. در صورتی که خشک کردن خط لوله مدنظر نباشد فرستادن پیگ ها به درون خط لوله از طریق نفت یا مشتقات نفتی نیز امکان پذیر می باشد. در صورتی که خشک کردن و یا پاکسازی خط لوله مد نظر باشد، پیگ ها باید به کمک هوا یا گاز فشرده به درون لوله فرستاده شود. به هر حال باید کلیه پیش بینی های لازم جهت تخلیه نمودن آب باقی مانده از تست در فرآیند آب زدایی صورت پذیرد.

انواع مختلفی از پیگ ها در فرآیند آب زدایی قابل استفاده هستند. انتخاب پیگ به خواص خط لوله و میزان مطلوب تمیز شدن لوله بستگی دارد. پیگ ها سطح درونی خط لوله را طوری آب بندی می کنند که ضمن حرکت در خط لوله هیچ ماده ای را پشت سر خود باقی نمی گذارند. این مواد با آب باقی مانده از تست در جلوی پیگ مخلوط می شوند.

در حالت عادی پیگ ها به راحتی در طول خط لوله حرکت می کنند. اگر چه حالاتی وجود دارد که باعث چسبیدن پیگ ها درون خط لوله و خرد شدن آن ها می شود.

توقف پیگ ها در خط لوله در اثر یکی از عوامل زیر، یا ترکیبی از آن ها به وجود می آید:

- طول پیگ ها نادرست انتخاب شده باشد لذا امکان سازگاری آن ها با شیرهای کنترل ، زانویی ها و سایر متعلقات خط لوله وجود نداشته باشد
- ممکن است خط لوله با شیرهای کاهش دهنده مجهز شده باشد
- مواد ساختمانی و خاشاک بیش از حد در لوله باقی مانده باشد
- هوا یا گاز ممکن است از پیگ ها عبور کند و نوعی مانع در مقابل عبور پیگ ها ایجاد شود (قفل هوا)[5]
- دلایل ناشناخته دیگر

[5] Gas lock

۳-۳ پاکسازی خط لوله

تا کنون معیار مشخصی برای درجه پاکسازی خط لوله ارائه نشده است، بنابراین تعریف دقیقی از لوله تمیز و روش اندازه گیری تمیزی آن وجود ندارد. اما این نکته مشخص است که پاکسازی لوله چهار حسن زیر را دارد:

- بهبود بازدهی جریان از طریق صاف تر کردن لوله
- کاهش آلودگی محصولات و تشکیل هیدرات ها
- کاهش سایش در متعلقات خط لوله و شیرهای موجود در خط لوله
- آسان سازی عملیات خشک کردن خط لوله

تمیز کاری داخلی خط لوله می تواند از طریق یکی از روش های زیر یا ترکیبی از آن ها صورت گیرد:

- حرکت یک پیگ تمیز کننده (پیگ برس دار)[۶] در لوله به کمک آب، گاز یا مایع
- سندبلاست داخلی خط لوله [۷]
- پاک کردن شیمیایی[۸]
- پاکسازی اضافات موجود در خط لوله به کمک جریان هوا یا گاز ناشی از فلاش آب (flushing)

6 Brush Pig
7 Sand Blasting
8 Pickling

۳-۳-۱ پاک کردن مواد زائد به کمک جریان گاز

یک پیگ برس دار که با جریان گاز یا هوا به حرکت در می آید نمی تواند مقادیر زیادی مواد زائد ریز را از خط لوله پاک کند، به خصوص وقتی آن ها مرطوب باشند. با این حال با استفاده از یک پیگ خوب می توان لوله نسبتاً صافی ایجاد کرد که بازدهی جریان خط لوله را بهبود می بخشد.

۳-۳-۲ پاک کردن مواد زائد به کمک جریان آب

پیگی که به وسیله آب جابجا می شود یکی از مؤثرترین ابزار برای حذف مواد زائد از خط لوله است. تجربه نشان داده است که سرعت جریان پاک کننده باید بیش از ۳ فوت بر ثانیه باشد. دسته ای از پیگ ها مثل پیگ های برس دار، اجازه می دهند مقداری مایع از کنار آن ها عبور کند.

در این روش نیاز نیست که تمام لوله با آب پر شود. جریان های کوچک گردابی مایع محصور بین دو پیگ معمولاً در فواصلی که آب کافی وجود باشد رخ می دهد و موجب می گردد دو پیگ از یکدیگر فاصله گرفته و سرعت بالاتر از ۳ فوت بر ثانیه باقی بماند. جریان های کوچک گردابی باعث به حداقل رسیدن مشکل دفع مخلوط آب و نخاله می شود و سرعت های زیاد با فشار کم را امکان پذیر می سازد.

دفع آب کثیف لوله، ممکن است مشکلاتی را (با توجه به محل) ایجاد کند. همان طور که قبلاً اشاره شد مسائل زیست محیطی باید در مرحله پیش طراحی، مدنظر قرار گیرند. معمولاً زنگارها و نخاله ها در آب ساکن و پس از یک ساعت ته نشین می شوند و آب تمیزی باقی میماند. اگر استفاده از این آب مورد قبول باشد می توان با به کارگیری مخازن های نگه داری آب این مشکل را حل کرد.

۳-۳-۳ سند بلاست داخلی خط لوله

استفاده از سندبلاست، در داخل لوله روش مؤثری جهت پاک کردن خط لوله است. این روش وقتی، گاز ارزان قیمت موجود باشد و محدودیت‌های زیست محیطی وجود نداشته باشد قابل استفاده است. در مورد بعضی لوله‌های با قطر کم، از جـریان ذرات جامد با حـــامل نیتروژن یا هوا استفاده شده است. این روش اگر به درستی

انجام شود، لوله کاملاً خشک خواهد شد. بعد از آب زدایی خط لوله، مواد جاذب رطوبت به کمک جریان گاز خشک به داخل لوله دمیده می‌شود تا آب باقی مانده را جذب کند.

سپس یک جریان سریع از نوعی ماسه، از قسمت خشک شده عبور می‌کند، تا ذرات رس و غبار را حذف کند. در هنگام انجام عملیات، باید سرعت بالای جریان کنترل شود. باید مقادیر زیادی گاز یا هوا با سرعت بالا موجود باشد، تا در انتهای مرحله، ذرات ماسه در لوله باقی نماند. سرعت جریان گاز هم باید طوری کنترل شود که به لوله آسیبی وارد نشود.

۳-۳-۴ پاکسازی شیمیایی

برای خطوط لوله با قطر کوچک، از این روش استفاده می‌شود. در صورتی که این فرآیند درست برنامه‌ریزی شود خطوط لوله کاملاً تمیز می‌شود و کوچک‌ترین ذرات موجود در منافذ لوله نیز حذف می‌شود. این روش با فرستادن جریانی که شامل آب و اسید هیدروکلریک (به عنوان عامل حذف کننده کثیفی)، یک خنثی کننده و یک بی‌اثر کننده می‌باشد، انجام می‌پذیرد. اجزای جریان پاک کننده، توسط پیگ‌ها از هم جدا می‌شود. در انتهای عملیات، داخلی خط لوله کاملاً صاف خواهد بود. در صورتی که کاربری خط لوله تغییر نماید به عنوان مثال خط انتقال نفت خام به خط انتقال مواد شیمیای تبدیل شده باشد، می‌توان از یک جریان شوینده، پس از فرآیند پاکسازی برای زدودن هر گونه مواد ریز باقی مانده از نفت خام استفاده کرد. معمولاً روش پاکسازی شیمیایی پیچیده‌تر از روش‌های دیگر است. در این روش باید تجهیزات مناسب برای جابجایی ایمن مواد شیمیایی استفاده شود. دفع مواد مستعمل نیز مشکل بوجود خواهد آورد. در هنگام انتخاب پیگ‌ها باید دقت زیادی صورت گیرد، که با محلول تمیز کننده واکنش ندهد. در استفاده از این روش مسایل ایمنی اپراتورها هم باید در نظر گرفته شود.

پاکسازی با جریان گاز (پاکسازی شیمیایی)

از این روش به ندرت استفاده می‌شود. هنگامی که مقدار ذرات کثیف موجود در لوله خیلی ناچیز باشد می‌توان با یک جریان سریع گاز، این ذرات را از لوله خارج کرد.

۴-۳ خشک کردن خط لوله

خطوط انتقال محصولات پتروشیمی مثل پروپیلن و اتیلن جهت تنظیم میزان رطوبت مواد منتقل شده، باید خشک گردند. خطوط انتقال گاز طبیعی، جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات‌ها، نیاز کمتری خشک کردن دارند. به طور معمول خشک کردن خطوط لوله پتروشیمی تا نقطه شبنم ۸۰- درجه فارنهایت صورت می‌گیرد. نقطه شبنم خط انتقال پروپیلن معمولاً ۷۰- درجه فارنهایت می‌باشد. ممکن است خط انتقال دی اکسید کربن تا نقطه شبنم* ۴۰- درجه فارنهایت خشک گردد. میـزان خشکی اسـتـاندارد گاز طبیعی، بر حسب پوند آب موجود در یک میلیون فوت مکعب گاز تعریف می‌شود. جدولی که در انتهای این بخش ارائه می‌شود، به شما کمک می‌کند تا تبدیل آحاد را به راحتی انجام دهید.

*Dew- Point

نقطه شبنم مطابق تعریف، دمایی است که بخار آب در فشار اتمسفر شروع به میعان می‌کند. به طور مثال در فشار اتمسفر در گازی که در هر میلیون فوت مکعب خود ۷ پوند آب دارد، در دمای ۳۹- درجه فارنهایت بخار آب شروع به میعان می‌کند. بنابراین برای گازی با ۷ پوند آب در یک میلیون فوت مکعب، نقطه شبنم برابر ۳۹- درجه فارنهایت خواهد بود.

هوا در ۷۰+ درجه فارنهایت با رطوبت ۱۰۰ درصد، دارای نقطه شبنم ۷۰+ درجه فارنهایت است. بنابراین در این دما، یک میلیون فوت مکعب هوا، دارای ۱۲۵۳ پوند آب (۱۵۰ گالن) است.

روش‌های معمول خشک کردن خط لوله عبارتند از:

- خشک کردن با هوای فوق خشک
- خشک کردن با متانول
- خشک کردن به یک گاز خنثی (نیتروژن)
- سندبلاست داخلی خط لوله
- خشک کردن با گاز طبیعی
- خشک کردن با مکش

همه روش‌های مذکور برای انواع خطوط لوله با توجه به درجه خشکی مورد نیاز قابل انجام هستند. نمی‌توان یک روش را برای همه موارد توصیه نمـــود. گاهی اوقـات ترکیبی از ۲ یا چند روش برای به دست آوردن خط لوله‌ای

خشک با حداقل هزینه، مطلوب می‌باشد. سه روش اول از لحاظ فنی و اقتصادی برای اغلب عملیات خشک کردن خط لوله امکان‌پذیر می‌باشد.

قبل از انجام هر کدام از روش‌های خشک کردن، خط لوله باید با یکی از روش هایی که قبلاً گفته شد کاملاً تمیز گردد. اگر ذرات ریز و زنگارها روی دیواره خط لوله باقی مانده باشد، رطوبت در میان ذرات به دام می‌افتد و بعد از گذشت زمان زیادی بیرون خواهد آمد. خشک کردن لوله می‌تواند بدون تمیزکاری هم صورت گیرد، ولی هزینه و زمان زیادی نیاز دارد.

در **روش خشک کردن با هوای فوق خشک**، پیگ‌های اسفنجی نرم، توسط هوای خشک به درون لوله فرستاده می‌شوند، تا رطوبت باقی مانده از فرآیند آب زدایی را جذب نماید. پس از این که خط لوله خشک شد پیگ‌های برس‌دار را به داخل خط لوله می‌فرستند تا تمام نخاله‌های ممزوج با آب را بزداید. سپس پیگ‌های فومی نرم جهت جذب ذرات ریز به دنبال پیگ‌های برس‌دار فرستاده می‌شوند. ممکن است پیگ ها قبل از جاسازی و بعد از زدودن نخاله‌ها توزین شوند تا مقدار نخاله‌های زدوده شده مشخص گردد. پیگی که از خط لوله عبور می‌کنند طبیعتاً وزنی بیش از وزن اولیه خود خواهند داشت. در طی فرآیند پاکسازی و خشک کردن، پیگ ها به وزن اصلی خود خواهند رسید. رنگ پیگ‌ها حاکی از آن است که زدودن نخاله‌ها چگونه انجام شده است.

می‌بایست نقطه شبنم در چندین مرحله خوانده شود تا مشخص گردد خط لوله در چه نقطه شبنمی خشک شده است. باید توجه شود که به دام افتادن آب در کنار گذرها، شیرها و سایر متعلقات خط لوله، در قرائت نهایی نقطه شبنم تأثیر خواهد گذاشت. در صورتی که خط لوله قبل از بهره برداری، مدت زمانی خارج از سرویس باشد خشک کردن با هوای فوق خشک موجب ایجاد حفاظت خوردگی داخلی می‌گردد.

روش خشک کردن با متانول بر پایه خاصیت هایددروسکوپیک آن استوار است. جریان متانول با هوا یا گاز خشک درون لوله به حرکت در می‌آید و هرگونه رطوبت در خط لوله را جذب می‌کند. در این روش هم پیگ‌ها برای جدا کردن متانول از ماده واسطه، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

خشک کردن با متانول، مقدار کمتری پیگ نیاز دارد و در نتیجه لوله کاملاً تمیز نمی‌شود. متانول خالص گران است و معمولاً محلول ۹۶ درصد آن استفاده می‌شود، که در این صورت مقداری آب در خط باقی می‌ماند. مقداری از متانول در خط لـــوله تبخیر می‌شود که توسط ماده واسطه جذب می‌گردد. نزدیک به انتهای خط لوله

مقدار رطوبت متانول افزایش می‌یابد که این امر موجب کاهش میزان‌آب جذب شده می‌گردد. در صورتی که فشار استفاده شده در فرآیند خشک کردن خیلی زیاد باشد ممکن است در انتخاب خط لوله، هیدرات‌ها تشکیل شوند. در صورت استفاده از گاز طبیعی به عنوان حامل متانول، باید مقداری از گاز خط لوله سوزانده شود، تا از عدم وجود متانول در گاز اطمینان حاصل گردد.

فرآیند خشک کردن با متانولی که توسط گاز حرکت داده می‌شود و معمولاً بیشتر آب موجود در خط لوله را جذب می‌کند و تبخیر رطوبت باقی مانده را تسهیل می‌نماید. اسفنج نرمی که توسط گاز خشک تمیزی در خط لوله به حرکت در می‌آید تبخیر محلول متانول- آب را سرعت می‌بخشد.

مسئله نگران کننده‌ای که در روش خشک کردن با استفاده از متانول وجود دارد تشکیل ترکیبات قابل انفجار می‌باشد چرا که از گاز یا هوای برای جابجایی متانول استفاده می‌شود. به این خاطر می‌توان از یک گاز خنثی مانند نتیروژن به عنوان حائل بین گاز یا هوا و متانول استفاده نمود. هر چند، تعداد زیادی خط لوله بدون استفاده از محافظی مانند نیتروژن با موفقیت خشک شده‌اند. ترکیب هوا- متانول به شدت سمی و خورنده است. می‌بایست پیش‌بینی‌هایی برای دفع صحیح متانول مستعمل صورت گیرد.

در صورت لزوم حفاظت خط لوله از خوردگی داخلی، باید از روشی غیر از خشک کردن با متانول استفاده شود. در صورتی که خط لوله جهت انتقال گاز ترش طراحی شده باشد، باید روش خشک کردن با متانول را قبل از بکارگیری، با دقت مورد ارزیابی قرار داد.

خشک کردن به کمک نیتروژن در بسیاری از موارد قابل جایگزین کردن با خشک کردن به کمک هوای فوق خشک است. این روش نسبت به خشک کردن با هوای فوق خشک حدوداً ۵۰ درصد پرهزینه‌تر است. همچنین هوای فوق خشک قابل دسترس و غیرآلوده کننده است.

با ***سند بلاست داخلی***، لوله‌ای تمیز و خشک بدست می‌آید. فرآیند سندبلاست داخلی قبلاً در این بخش توضیح داده شده است.

خشک کردن با گاز طبیعی به حجم زیادی گاز نیاز دارد. این روش سرعت کمی دارد و فقط در مواردی که خط لوله قبلاً تمیز شده باشد، مفید خواهد بود. در صورتی که گاز خروجی خط لوله که مرطوب شده است با جریان گاز خشک دیگری مخلوط شود و به فروش برسد، آنگاه این یک روش اقتصادی برای خشک کردن خط لوله است. هزینه گاز مصـرفی با هزینه هوای فوق خشک، مقایسه شود. این مساله که محتوای انرژی (BTU)

حجم مشخصی از گاز، ۱۵ برابر انرژی سوخت مورد نیاز برای تولید همان حجم فوق خشک است نیز باید در محاسبات اقتصادی لحاظ گردد.

خشک کردن با مکش فرآیندی کند است و آب باقی مانده موجود در خط لوله باید قبل از فرآیند خشک کردن خارج گردد. این فرآیند زیاد استفاده نمی‌شود و کاربرد آن در تجهیزات فرا ساحلی* است.

اگر پاکسازی خط لوله به کمک جریان آب و پیگ‌های فرچه‌ای انجام گردد، می‌توان با فرستادن پیگ‌های اسنفجی نرم همراه با گاز یا هوای خشک هر گونه آب باقی مانده در خط لوله را خارج کرد. این روند، خط لوله را جهت انتقال گاز به اندازه کافی خشک می‌کند. در صورت نیاز به خشک کردن بیشتر می‌توان از روش خشک کردن با متانول یا هوای فوق خشک استفاده کرد.

*Off Shore

۳-۵ میزان رطوبت هوا

جدول ۱-۳ : میزان رطولت هوا

DEW POINT °F @ 14.7 PSIA	DEW POINT °C @ 14.7 PSIA	PPM BY VOLUME	PPM BY WEIGHT	LBS. WATER / MMSCF DRY AIR
-110	-78.9	0.63	0.39	.032
-109	-78.3	0.69	0.43	.034
-108	-77.8	0.75	0.47	.038
-107	-77.2	0.82	0.51	.041
-106	-76.7	0.88	0.55	.044
-105	-76.1	1.00	0.62	.050
-104	-75.5	1.08	0.67	.054
-103	-75.0	1.18	0.73	.059
-102	-74.4	1.29	0.80	.065
-101	-73.9	1.40	0.87	.070
-100	-73.3	1.53	0.95	.077
-99	-72.8	1.66	1.03	.083
-98	-72.2	1.81	1.12	.091
-97	-71.7	1.96	1.22	.098
-96	-71.1	2.15	1.34	.108
-95	-70.6	2.35	1.46	.118
-94	-70	2.54	1.58	.127
-93	-69.4	2.76	1.72	.138
-92	-68.9	3.00	1.86	.150
-91	-68.3	3.28	2.04	.164
-90	-67.8	3.53	2.19	.177
-89	-67.2	3.84	2.39	.192
-88	-66.7	4.15	2.58	.221
-87	-66.1	4.50	2.80	.225
-86	-65.6	4.78	2.97	.239
-85	-65.0	5.30	3.30	.265
-84	-64.4	5.70	3.50	.285
-83	-63.9	6.2	3.9	.31
-82	-63.3	6.6	4.1	.33
-81	-62.8	7.2	4.5	.36
80	-62.2	7.8	4.8	.39
-79	-61.7	8.4	5.2	.42
-78	-61.1	9.1	5.7	.46
-77	-60.6	9.8	6.1	.49
-76	-60.0	10.5	6.5	.53
-75	-59.4	11.4	7.1	.57
-74	-58.9	12.3	7.6	.62
-73	-58.3	13.3	8.3	.67
-72	-57.9	14.3	8.9	.72
-71	-57.2	15.4	9.6	.77
-70	-56.7	16.6	10.3	.83
-69	-56.1	17.9	11.1	.96
-68	-55.6	19.2	11.9	1.0
-67	-55.0	20.6	12.8	1.03
-66	-54.4	22.1	13.7	1.1
-65	-53.9	23.6	14.7	1.2
-64	-53.3	25.6	15.9	1.3
-63	-52.8	27.5	17.1	1.4
-62	-52.2	29.4	18.3	1.5
-61	-51.7	31.7	19.7	1.6
-60	-51.1	34.0	21.1	1.7
-59	-50.6	36.5	22.7	1.8
-58	-50.0	39.0	24.2	2.0
-57	-49.4	41.8	26.0	2.1
-56	-48.9	44.6	27.7	2.2
-55	-48.3	48.0	30	2.4
-54	-47.8	51	32	2.6
-53	-47.2	55	34	2.8
-52	-46.7	59	37	2.9
-51	-46.1	62	39	3.1
-50	-45.6	67	42	3.4
-49	-45.0	72	45	3.6
-48	-44.4	76	47	3.8
-47	-43.9	82	51	4.1
-46	-43.3	87	54	4.4
-45	-42.8	92	57	4.6
-44	-42.2	98	61	4.9
-43	-41.7	105	65	5.3
-42	-41.1	113	70	5.7
-41	-40.6	119	74	6.0
-40	-40.0	125	80	6.4
-39	-39.4	136	85	6.8
-38	-38.9	144	89	7.2
-37	-38.3	153	95	7.7
-36	-37.9	164	102	8.2
-35	-37.2	174	108	8.7
-34	-36.7	185	115	9.3
-33	-36.1	196	122	9.8
-32	-35.6	210	131	10.5
-31	-35.0	222	140	11.1
-30	-34.4	235	146	11.8
-29	-33.9	250	155	12.5
-28	-33.3	265	165	13.3
-27	-32.8	283	176	14.2
-26	-32.2	300	186	15.0
-25	-31.7	317	197	15.9
-24	-31.1	338	210	16.9
-23	-30.6	358	223	17.9
-22	-30.0	378	235	18.9
-21	-28.4	400	249	20.0
-20	-28.9	422	212	21.1
-19	-28.3	448	278	22.4
-18	-27.8	475	295	23.8
-17	-27.2	500	311	25.0
-16	-26.7	530	329	26.5
-15	-26.1	560	348	28.0
-14	-25.6	590	367	29.5
-13	-25.0	630	391	31.5
-12	-24.4	660	410	33.0
-11	-23.9	700	435	35.0
-10	-22.3	740	460	37.0
-9	-22.8	780	485	39.0
-8	-22.2	820	509	41.0
-7	-21.7	870	541	43.5
-6	-21.1	920	572	46.0
-5	-20.6	970	603	48.5
-4	-20.0	1020	634	51.0
-3	-19.4	1087	675	54.4
-2	-18.9	1153	716	57.7
-1	-18.3	1220	758	61.0

جدول ۱-۳ : میزان رطوبت هوا (ادامه)

DEW POINT °F @ 14.7 PSIA	DEW POINT °C @ 14.7 PSIA	PPM BY VOLUME	PPM BY WEIGHT	LBS. WATER MMSCF DRY AIR
0	-17.8	1299	807	64.9
1	-17.2	1378	856	68.9
2	-16.7	1458	906	74.3
3	-16.1	1537	955	76.9
4	-15.5	1616	1004	80.8
5	-15.0	1695	1053	84.8
6	-14.4	1775	1103	88.8
7	-13.9	1854	1152	92.7
8	-13.3	1933	1201	96.7
9	-12.8	2053	1276	103
10	-12.2	2174	1351	109
11	-11.7	2294	1425	115
12	-11.1	2415	1501	121
13	-10.6	2535	1575	127
14	-10.0	2656	1650	133
15	-9.4	2776	1725	139
16	-8.9	2897	1800	145
17	-8.3	3017	1875	151
18	-7.8	3197	1986	160
19	-7.2	3376	2098	169
20	-6.7	3556	2209	178
21	-6.1	3735	2321	187
22	-5.6	3915	2432	196
23	-5.0	4094	2544	205
24	-4.4	4274	2656	214
25	-3.9	4453	2767	223
26	-3.3	4633	2879	232
27	-2.8	4883	3034	244
28	-2.2	5133	3189	357
29	-1.7	5383	3345	269
30	-1.1	5633	3400	282
31	-0.56	5883	3655	294
32	0	6133	3811	307
33	0.56	6383	3966	319
34	1.1	6633	4121	332
35	1.7	6883	4277	344
36	2.2	7281	4524	364
37	2.8	7679	4771	384
38	3.3	8077	5019	404
39	3.9	8475	5266	424
40	4.4	8874	5514	444
41	5.0	9272	5761	464
42	5.6	9670	6008	484
43	6.1	10068	6256	503
44	6.7	10466	6503	522
45	7.2	10824	6725	541
46	7.8	11182	6948	559
47	8.3	11540	7170	577
48	8.9	11898	7393	595
49	9.4	12255	7614	613
50	10.0	12613	7837	631
51	10.6	12971	8059	649
52	11.1	13329	8282	666
53	11.7	13687	8504	684
54	12.2	14268	8865	713
55	12.8	14849	9226	742
56	13.3	15430	9587	772
57	13.9	16011	9948	801
58	14.4	16593	10310	830
59	15.0	17174	10671	859
60	15.6	17754	11031	889
61	16.1	18336	11393	917
62	16.7	18917	11754	946
63	17.2	19685	12231	984
64	17.8	20452	12707	1023
65	18.3	21220	13185	1061
66	18.9	21987	13661	1099
67	19.4	22755	14138	1138
68	20.0	23522	14615	1176
69	20.6	24290	15092	1215
70	21.1	25057	15569	1253
71	21.7	25825	16046	1291
72	22.2	26827	16668	1341
73	22.8	27829	17291	1391
74	23.3	28831	17914	1442
75	23.9	29833	18536	1492
76	24.4	30836	19159	1542
77	25.0	31838	19782	1592
78	25.6	32840	20405	1642
79	26.1	33842	21027	1692
80	26.7	34844	21650	1742
81	27.2	36138	22454	1807
82	27.8	37432	23258	1872
83	28.3	38727	24062	1936
84	28.9	40021	24866	2001
85	28.4	41315	25670	2066
86	30.0	42609	26474	2130
87	30.6	43903	27278	2195
88	31.1	45198	28083	2260
89	31.7	46492	28887	2325
90	32.2	48146	29914	2407
91	32.8	49801	30943	2490
92	33.3	51455	31971	2573
93	33.9	53109	32998	2655
94	34.4	54764	34027	2738
95	35.0	56419	35055	2821
96	35.6	58023	36083	2904
97	36.1	59728	37111	2986
98	36.7	61382	38139	3069
99	37.2	63477	39440	3174
100	37.9	65571	40741	3279
101	38.3	67666	42043	3383
102	38.9	69760	43344	3488
103	39.4	71855	44646	3593
104	40.0	73950	45948	3698
105	40.6	76045	47249	3802
106	41.1	78139	48550	3907
107	41.7	80234	49852	4012
108	42.2	83861	51484	4193
109	42.8	85489	53117	4274
110	43.3	88116	54749	4406

۶-۳ بهره‌برداری از خطوط لوله پتروشیمی

امروزه خطوط لوله در صنعت برای انتقال طیف وسیعی از محصولات مایع وگاز به عنوان ابزاری مطمئن و کارآمد به حساب می‌آید. در ابتدا خطوط لوله جدید باید مورد بهره‌برداری قرار گیرد، آنگاه خطوط قدیمی، بسته به شرایط، باید از سرویس خارج شده و پس از تعمیرات مربوطه مورد بهره‌برداری مجدد قرار گیرد. دلایلی که منجر به خارج شدن خط لوله از سرویس می‌شود می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- تست هیدرواستاتیک برای تأیید مجدد یا بالا بردن کارایی خط لوله، جهت استفاده در فشار بالاتر.
- بازسازی خط لوله.
- تغییر در محصولی که از خط لوله عبور می‌کند.

در بعضی موارد خطوط لوله یا قسمتی از آن باید از مکان فعلی به مکان دیگری منتقل شود. عواملی که باعث تغییر مکان لوله می‌شوند می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- نیاز به حفر کانال
- ساخت بزرگراه
- رشد جمعیت در اطراف خط لوله

همچنین گاهی ضروری است شیرها، فیتینگ‌ها یا یک قطعه معیوب، تعویض گردد یا برای سرویس‌دهی به یک مصرف کننده، یک انشعاب جدید اضافه گردد.

از سرویس خارج کردن و بهره‌برداری مجدد یک خط لوله پتروشیمی شامل مراحل زیر است:

- خارج کردن محصول از خط لوله
- سوزاندن محصولات باقی مانده در خط لوله
- انجام هر گونه بازسازی، پاکسازی و بالا بردن سطح کاربری خط لوله
- پر کردن خط لوله با آب جهت انجام تست هیدرواستاتیک
- خارج کردن آب از خط لوله
- تمیز کردن و خشک کردن خط لوله تا نقطه شبنم تعیین شده. (جهت جلوگیری از بروز مشکلات ناشی از ناخالصی آب در محصولات)

- وارد کردن نیتروژن به خط لوله. (مراجعه کنید به: روش های معمول خشک کردن)
- جایگزینی نیتروژن با یک محصول پتروشیمی.
- تثبیت خلوص محصول و پر نمودن خط لوله تا رسیدن به فشار مورد نظر.

ایمنی و اقتصاد دو پارامتر مهم در عملیات انتقال محصولات نفتی به کمک خط لوله می‌باشند. بنابراین فرآیندی که خلوص و فشار یک محصول قابل انفجار مثل اتیلن یا پروپیلن را به سرعت به میزان مورد نیاز می‌رساند، ولی احتمال آسیب‌رساندن به خط لوله و پرسنل را بالا ببرد، پذیرفتنی نیست. همچنین فرآیندی که از مقادیر زیادی محصول جهت خارج کردن نیتروژن از خط لوله استفاده می‌کند، باعث باقی ماندن ترکیب نیتروژن– محصول می‌گردد که یا باید سوزانده شود یا به نوعی دفع گردد که از نظر اقتصادی مطلوب نیست. بهینه سازی روش‌های شناخته شده، نیازمند توجه به دو مبحث ایمنی و اقتصاد فرآیند است. (بررسی هزینه محصول به هدر رفته و هزینه مربوط به مدت زمان خارج از سرویس بودن خط لوله).

مهمترین معضلاتی که در هنگام بهره‌برداری مجدد ممکن است به وجود آید عبارتند از:

۱- خارج کردن سریع و اقتصادی نیتروژن، به طوری که آلودگی محصول در خط لوله ایجاد نشود.

۲- آسیب‌های احتمالی ناشی از پایین بودن دمای فرآیند.

مشکل دوم هنگامی رخ می‌دهد که خط لوله با یک محصول با فشاری بالاتر از فشار نیتروژنی که در لوله بوده است مورد بهره‌برداری مجدد قرار گیرد. افت فشار محصول وارد شده به خط لوله موجب افت شدید دما و آسیب جدی به خطوط لوله فولادی می‌گردد.

با توجه به توسعه روز افزون صنت پتروشیمی و بالا رفتن عمر خطوط لوله فعلی، نیاز به خارج کردن از سرویس، تعمیرات، تمیزکاری، خشک کردن و در بهره‌برداری مجدد خطوط افزایش یافته است. امروزه با توجه به ارزشی که محصولات پتروشیمی دارند فرآیند بهره‌برداری مجددی که در کمترین زمان محصولات را به درجه خلوص مورد نظر برساند، قابل قبول خواهد بود. از این رو روش ها و تجهیزاتی که موجب کاهش آسیب های ناشی از دماهای پایین می‌گردد، مورد توجه می‌باشد.

به خاطر خواص غیرعادی اتیلن، خارج کردن از سرویس و بهره‌برداری مجدد خطوط لوله انتقال آن، باید در شرایط خاصی صورت گیرد. اتیلن یک هیدروکربن گازی شکل، غیراشباع، بی‌رنگ و قابل اشتعال است که از

تجزیه گرمایی هیدروکربن های نفتی به دست می‌آید. دانسیته نسبی اتیلن 0.9686 (هوا = ۱) و وزن مولکولی آن 28.054 است. وزن مولکولی هوا 28.264 و وزن مولکولی نیتروژن 28.013 است.

تجزیه اتیلن:

اتیلن در شرایط خاص، دچار تجزیه حرارتی (انفجار، خود اشتعالی) می‌شود. تجزیه حرارتی هنگامی رخ می‌دهد که در نتیجه تغییر ساختار مولکولی، دمای ماده بیش از دمای خود اشتعالی گردد. جهت انجام فرآیند مذکور به منبع بیرونی احتراق، یا اکسیژن نیاز نیست. معمولاً این فرآیند به وسیله یک منبع حرارتی، بعنوان مثال تراکم ناگهانی، آغاز می‌گردد. بعضی اوقات برای حفظ دمای بهینه اتیلن در ایستگاه‌های اندازه‌گیری اتیلن، از هیتر استفاده می‌کنند.

اتیلن باید در شرایطی پایین‌تر از شرایط آغاز تجزیه نگهداری شود. دمایی که در آن تجزیه حرارتی آغاز می‌شود، تابعی از پارامترهای سیستم مثل اندازه مخزن، فشار عملیاتی و دمای عملیاتی می‌باشد.

عموماً تجزین اتیلن در خطوط لوله در شرایط زیر رخ می‌دهد:

- افزایش ناگهانی دمای اتیلن داخل خط بر اثر تراکم ناگهانی درحضور گازهای دو اتمی مثل نیتروژن و اکسیژن
- تماس خط لوله با شعله
- اتصال گرم در سطح پیرامونی خط لوله

دمای احتراق خود بخودی (AIT) برای اتیلن در فشار اتمسفر، ۹۱۴ درجه فارنهایت است. مشاهدات تجربی نشان می‌دهد که در شرایطی که فشار جریان اتیلن، psig ۱۵۰۰-۱۰۰۰ باشد، دمای احتراق خود به خودی اتیلن پایین می‌آید و به ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه فارنهایت می‌رسد. در صورت افزایش غلظت اکسیژن، دمای آغاز تجزیه کاهش می‌یابد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت ترکیب مقدار کمی اکسیژن و اتیلن، بسیار خطرناک است. به همین دلیل خطوط لوله انتقال اتیلن که تخلیه شده و تحت تعمیرات قرار گرفته است، قبل از بهره‌برداری باید با نیتروژن پر شده، تا اکسیژن موجود در آن تخلیه شود. تراکم نیتروژن توسط جریان اتیلن می‌تواند منجر به افزایش دمای آن شود (به خصوص در تراکم سریع). همچنین در صورتی که فشار منبع اتیلن خیلی زیاد باشد، از

سرمایش برای کنترل جریان اتیلن در اطراف شیر فشار شکن استفاده می‌کنند که موجب کاهش شدید دما می‌گردد و ممکن است باعث ایجاد اختلال در عملکرد شیر شود.

بهره‌برداری از خطوط انتقال اتیلن، با جریان اتیلن گرم (۷۰ درجه فارنهایت)، و با فشار پایین (۵۰ psig)، سریع، آسان، ارزان و کاملاً ایمن خواهد بود، در صورتی که اتیلن قبل از ورود به خط لوله گرم شود.

می‌توان از روندی که پرسنل مسئول خشک سازی خط لوله به کار می‌برند برای بهره‌برداری از خط لوله اتیلن استفاده نمود. در این روند قبل از رسیدن فشار اتیلن به میزان مطلوب، آن را در یک مبدل حرارتی لوله- پیوسته در فشار بالا حرارت می‌دهند.

روش هایی که هم اکنون برای بهره‌برداری خطوط انتقال اتیلن به کار می‌رود، مخاطره آمیز، گران قیمت و زمان‌بر هستند. دو معضل اساسی این روشها عبارتند از:

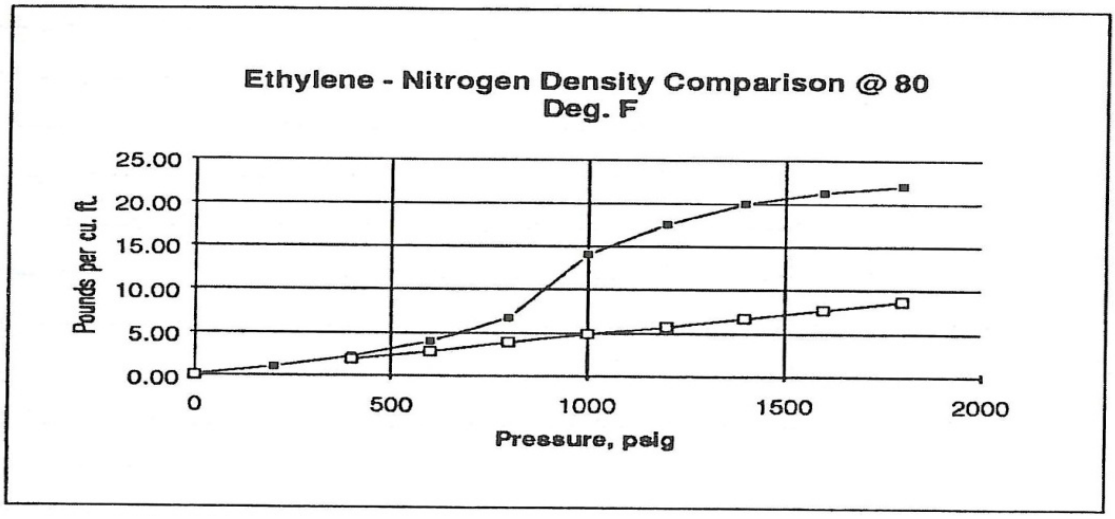
- بروز خسارات به خط لوله در اثر دمای پایین در هنگام انبساط اتیلن
- آلوده شدن اتیلن به نیتروژن استفاده شده در هنگام بهره‌برداری از خط لوله

خطوط انتقال اتیلن که مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، در نقطه شبنم ۷۰- درجه فارنهایت یا بیشتر خشک و توسط نیتروژن تثبیت شرایط شده‌اند. فشار گاز نیتروژن در سیستم بسته به روش انجام فرآیند و فشار منبع اتیلن و نوع فرآیند بهره‌برداری و اولویت های سرمایه‌گذار خط لوله، بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ psig می‌باشد. معمولاً فشار اتیلن بالاتر از ۹۰۰ psig است و می‌تواند ۲۲۰۰ psig هم برسد.

اگر فشار اولیه اتیلن، بالا و فشار نیتروژن باقی مانده در خط کم باشد، دمای جریان اتیلن، ممکن است خیلی کمتر از ۲۰- درجه فارنهایت (دمای طراحی برای لوله‌های فولادی) بشود. لوله‌های فولادی در دماهای کمتر از - ۲۰ درجه فارنهایت شکننده هستند و ممکن است در فشارهای خیلی پایین که ناشی از دمای پایین است دچار آسیب‌دیدگی شود.

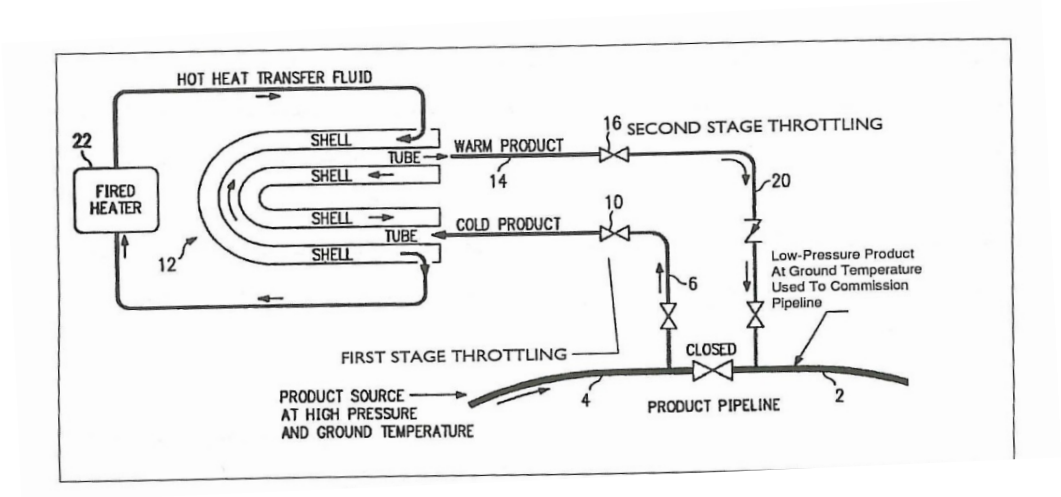
در فشارهای کم، اتیلن خیلی سرد و در نتیجه خیلی سنگین‌تر از نیتروژن می‌شود. این عامل باعث به دام افتادن نیتروژن، در نقاط بالایی خط لوله می‌شود. در این حالت باید برای تنظیم خلوص محصول، مقداری از اتیلن سوزانده شود که فرآیندی وقت‌گیر و هزینه‌بر است و مشکلات زیست محیطی در بر دارد به علاوه فولاد در معرض دمایی پایین‌تر از دمای طراحی قرار می‌گیرد.

اما در صورتی که فشار منبع اتیلن و نیتروژن موجود در خط لوله هر دو زیاد باشند، لوله سرد نخواهد شد. در این حالت در دماهای بالا، اتیلن پرفشار، خیلی سنگین‌تر از نیتروژن با همان میزان فشار خواهد بود. در نتیجه مثل حالت قبل، نیتروژن در نقاط بالایی خط لوله به دام خواهد افتاد که در نتیجه عملیات پالایش هزینه‌بر و وقت‌گیری خواهد بود همچنین در این حـــالت، هزینه حجم زیـــاد نیتروژن را هم باید اضافه نمود. اگر به دلایلی چون نشت، عدم خلوص یا مسائلی دیگر، خط لوله نیاز به تعمیرات داشته باشد مقدار زیادی محصول و سرمایه از دست خواهد رفت.



شکل ۱-۳ : مقایسه چگالی نیتروژن و اتیلن در دمای ۸۰ درجه فارنهایت (اتیلن □ نیتروژن■

سیستم آب‌گیری خط لوله، دارای مبدل‌هال لوله- پوسته هستند. در این سیستم‌ها مخلوط آب- گلیکول به عنوان سیال تبادل کننده حرارت عمل می‌کند. این سیال بعد از عبور از هیتر، به کمک پمپ وارد پوسته مبدل می‌شود. اتیلن هم وارد لوله‌های مبدل می‌گردد و به این ترتیب بدون تماس مستقیم با شعله هیتر، گرم می‌شود. برای جلوگیری از تجزیه اتیلن، دمای آن باید کنترل شود. به همین خاطر، اتیلن با شرایط عادی (دمای ۷۰ فارنهایت و فشار psig ۵۰) وارد خط لوله می‌شود. در این شرایط اتیلن و نیتروژن دانسیته یکسانی دارند و در نتیجه نیتروژن در نقاط بالایی خط لوله به دام نمی‌افتد و فولاد خط لوله در معرض دمای پایین قرار نخواهد گرفت. در نتیجه خالص‌سازی، ساده، ارزان و کوتاه خواهد بود و درمصرف نیتروژن صرفه‌جویی می‌شود.



شکل ۲-۳ چگونگی گرم کردن اتیلن در مبدل های حرارتی

دو افت فشار برای اتیلن ممکن است رخ دهد. یکی در ابتدای ورود اتیلن به مبدل، فشار تا psig ۶۰۰ افت می‌کند. جریان حاصل تا حدود ۱۴۰ درجه فارنهایت گرم می‌شود. در ادامه مسیر، دومین مرحله افت فشار رخ می‌دهد که باعث می‌شود فشار و دمای جریان اتیلن با فشار و دمای نیتروژن درون لوله ۷۰ (فارنهایت و psig ۵۰) معادل گردد. دراین شرایط هیتری با توان ۶ میلیون BTU در ساعت، می‌تواند جریان ۴۵۰۰۰ پوندی اتیلن را در هر ساعت گرم کند. این دبی بالای جریان، فقط در مرحله افزایش فشار سیستم استفاده می‌شود و طی فرآیند خالص‌سازی مورد استفاده نمی‌گیرد. عبور اتیلن گرم با فشار پایین و سرعت ۱۰ متر در ساعت از خطوط لوله کوچکی که به این منظور تهیه شده، نتایج بسیار خوبی را در مرحله خالص‌سازی فرآیند به دست می‌دهد. مینیمم و ماکزیمم دمای اتیلن در فرآیند بهره‌برداری، صفر و ۱۶۰ درجه فارنهایت می‌باشد، که محدوده دمای ایمن و مطمئنی برای جابجایی اتیلن در خطوط لوله فولادی است.

خلوص جریان اتیلن موجود در خط لوله، در فشارهای psig ۵۰ و کمتر، می‌تواند با به هدر رفتن مقدار کمی اتیلن تثبیت گردد، همچنین هزینه چک کردن خط لوله برای نشتی پایین خواهد بود. بعد از تثبیت خلوص جریان اتیلن در فشار psig ۵۰ و بررسی نشت اتیلن در نقاط محتمل، جریان اتیلن برای افزایش فشار خط لوله

باید تا psig ۶۰۰ گرم شود. طی روند افزایش فشار از آنجایی که دما نباید بالاتر از ۷۰ درجه فارنهایت شود مقدار گرمای لازم به ازای هر پوند اتیلن کاهش می‌یابد، از این رو هیترهـــای جدید مـی‌توانند جریان‌های با دبی بیش از ۴۵۰۰۰ پوند در هر ساعت را گرم کنند. این روند شرایط بسیار خوبی را فراهم می‌کند تا یک خط لوله اتیلن، سریع ارزان و ایمن به بهره‌برداری برسد.

هیتر اشاره شده در بالا، برای گرم کردن انواع جریان های محصول که با مشکل سرد شدن خط لوله در اثر افت فشار روبرو هستند (پروپیلن، اتان، پروپان و دی‌اکسید کربن)، قابل استفاده می‌باشد.

۳-۷ خشک کردن با مکش

خشک کردن با مکش که در شکل ۳-۳ نمایش داده شده است، از سه مرحله، تشکیل می‌شود. خوردگی معمولاً در رطوبت نسبی ۳۰ درصد و کمتر رخ نمی‌دهد. ولی با وجود آلودگی‌های نم گیر (در مقیاس ریز)، خوردگی حتی در رطوبت نسبی ۲۰ درصد هم رخ می‌دهد. در نتیجه سیستم باید ابتدا آب‌زدایی و سپس تا رطوبت نسبی ۲۰ درصد خشک گردد.

نقطه شبنم هدف (D.P)

$$R.H = \frac{\text{فشار بخار آب}}{\text{فشار بخار اشباع آب}(SVP)}$$

فرض کنید پایین‌ترن دمای سیستم، صفر درجه سانتی‌گراد باشد (در طول زمستان).

خواهیم داشت: SVP = 0.6 kpa

اگر بخار آب به میزان ۲۰ درصد رطوبت نسبی (R.H 20 %) باشد میزان مکش مورد نیاز برابر است با:

$$0.2 \times SVP = 0.2 \times 0.6 = 0.12\ kpa$$

این فشار بخار به معنی نقطه شبنم ۱۸- درجه سانتی‌گراد است. برای در نظر گرفتن دفع سطحی از سطح لوله باید یک ضریب اطمینان در محاسبات وارد نمود. بنابراین از نقطه شبنم ۲۰- درجه سانتی‌گراد، استفاده می‌شود.

SVP

R.H

مرحله ۱- تخلیه

در این مرحله، فشار سیستم پایین آورده می‌شود تا آب در دمای محیط شروع به تبخیر شدن نماید. فشار مذکور برابر با فشار بخار اشباع آب درون خط لوله می‌باشد که به دمای محیط خط لوله مربوط می‌شود. محاسبه مقدار تقریبی فشار در ادامه خواهد آمد اما در سایت، یافتن فشار مذکور از روی منحنی‌های فشار زمان به راحتی امکان‌پذیر است.

تست نشتی خط لوله در یک مقطع زمانی مناسب انجام می‌گیرد. معمولاً با توقف ۴ ساعته دستگاه مکش تغییرات فشار بررسی می‌شود. هرگونه نشتی هوا، در فلانج‌ها، و فتینگ‌ها باید برطرف گردد. البته معمولاً نشت هوا، اتفاق نمی‌افتد.

مرحله ۲- تبخیر

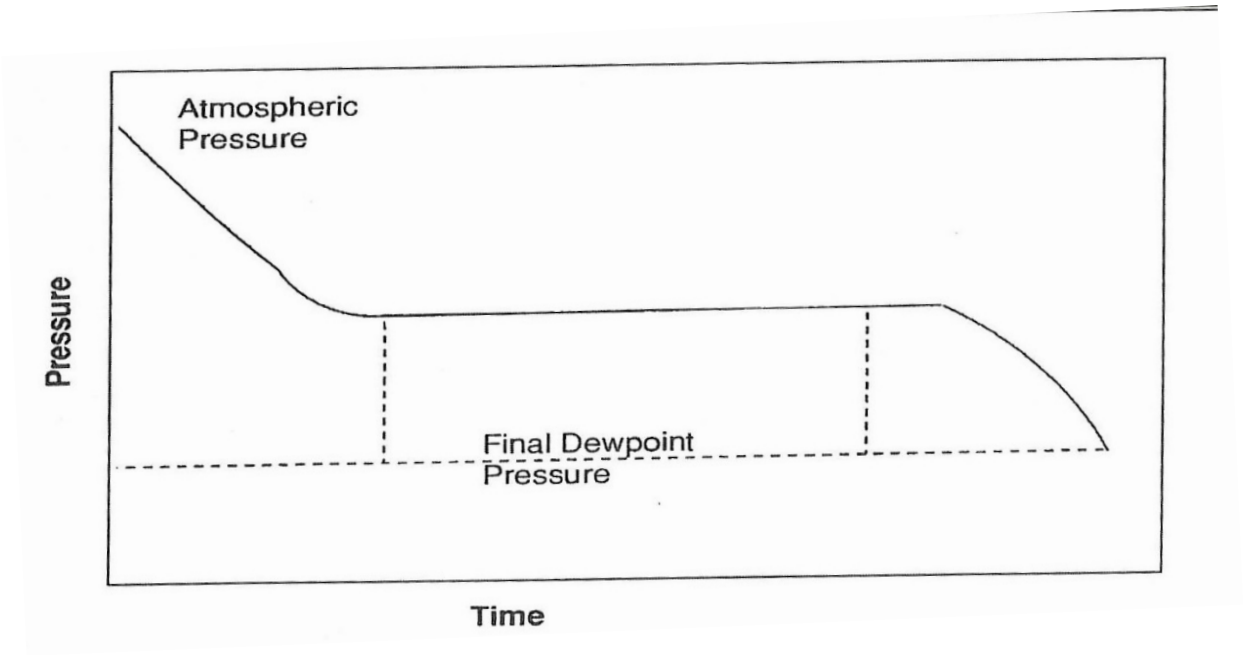
وقتی فشار سیستم به فشار بخار اشباع آب رسید، آب موجود در خط لوله به بخار آب تبدیل می‌شود. در طی این مرحله، تجهیزات مکش باید به دقت کنترل گردد تا فشار در حد ثابتی بماند و همه آب به بخار آب تبدیل گردد. این مرحله، بسته به عوامل زیر ممکن است چندین روز طول بکشد:

۱- مقدار آبی که باید تبخیر شود
۲- قدرت و اندازه تجهیزات مکش
۳- دمای محیط خط لوله

پایان این مرحله با کاهش قابل توجه فشار، مشخص می‌شود.

جهت اطمینان از تبخیر کامل آب، می‌توان تست خیساندن را انجام داد تا مطمئن شد که همه آب درون خط لوله به بخار تبدیل شده است. در این تست تجهیزات مکش، کاملاً از خط لوله جدا می‌شوند. در صورتی که همه آب تبخیر شده باشد، در مدت ۱۲ ساعت فشار ثابت می‌ماند و می‌توان مرحله خشک کردن را آغاز نمود.

شکل ۳-۳ منحنی فشار – زمان مکش



مرحله ۳- خشک کردن نهایی

بعد از تبخیر کامل آب، بخار آب باید از خط لوله خارج گردد، تا خط لوله به درجه خشکی مطلوب برسد. این کار با کاهش فشار انجام می‌شود و تا زمانی که خروج بخار از تجهیزات مکش مشاهده می‌شود ادامه پیدا می‌کند. بدیهی است که بخش عمده بخار خارج می‌گردد و خشک کردن نهایی آغاز می‌شود.

در این مرحله، روند تغییرات خشکی، باید به دقت زیر نظر گرفته شود تا مطمئن شد که مطابق با مقادیر محاسبه شده پیش می‌رود. روند تغییرات کم خشکی، نشان دهنده وجود آب در خط لوله است

محاسبات لازم برای تعیین زمان مورد نیاز برای هر کدام از مراحل خشک کردن با مکش در ادامه آمده است.

روابط مربوط به تخلیه:

$$t = \frac{V}{Se} \times \log e \frac{Pi - Pv}{Pf - Pv}$$

$$Se = \frac{1}{C} + \frac{1}{Sp}$$

رابطه مربوط به تبخیر:

$$t = \frac{M}{Se \times Dv}$$

رابطه مربوط به خشک کردن نهایی:

$$t = \frac{V}{Se} \times \log e \frac{Pv}{P_{req}}$$

در این روابط:

Pi = فشار اولیه

Pf = فشار نهایی

Pv = فشار بخار

Se = سرعت مؤثر پمپ

V = حجم سیستم

Sp = سرعت پمپ

C = ضریب هدایت گرمایی

M = جرم آب

Dv = چگالی بخار

P_{req} = فشار نقطه شبنم

خشکی چیست؟

میزان خشکی لوله با معیار نقطه شبنم معرفی می‌شود، و دمایی است که میعان (تشکیل شبنم) آغاز می‌گردد. اولین قطره مایع از فاز بخار جدا می‌شود. روش معمول اندازه‌گیری نقطه شبنم، استفاده از دستگاهی به نام رطوبت سنج آینه‌ای است. در این روش بخار آب از مجاورت یک صفحه کاملاً صاف و براق عبور می‌کند. با سرد کردن آهسته این صفحه، دمایی که در آن قطرات مایع روی صفحه تشکیل می‌شود، به عنوان نقطه شبنم بخار آب اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً نقطه شبنم به صورت درجه سانتی‌گراد بیان می‌شود. هر چقدر هوا خشک‌تر باشد، دمای نقطه شبنم کمتر می‌شود.

برای لوله‌ای که با مکش خشک شده است، هر چقدر فشار کمتر باشد، دمای نقطه شبنم هم کمتر خواهد بود. به عنوان مثال در فشار 0.26 kpa ، نقطه شبنم، ۱۰- درجه سانتی‌گراد است. و اگر فشار تا 0.104 kpa کاهش پیدا کند نقطه شبنم ۲۰- درجه سانتی‌گراد خواهد بود. برای خطوط لوله گاز نقطه شبنم ۲۰- مناسب است، فشار 0.1 kpa هم توسط تجهیزات مکش پرتابل (قابل حمل)، که در مباحث قبلی به آن اشاره شد، قابل تأمین است.

به طور مثال فرض کنید، یک خط لوله ۱۰۰ مایلی با قطر ۳۶ اینچ، قبل از خشک کردن حاوی ۱۰۰۰۰ گالن آب روی دیواره درونی خط لوله باشد. در نقطه شبنم به ۱۰- درجه سانتی‌گراد برسد، میزان آب باقی مانده در لوله 46.5 گالن خواهند بود. در صورت رسیدن به نقطه شبنم به ۲۰- درجه سانتی‌گراد، میزان آب باقی مانده 19.7 گالن خواهد بود. آب باقی مانده در لوله، به حالت بخار است و در فرآیند تخلیه، از لوله خارج خواهد شد. در صورت کاهش بیشتر دما، بخار به مایع تبدیل می‌شود. رابطه بین فشار و نقطه شبنم در شکل ۴-۳ و جدول ۲-۳ نشان داده شده است.

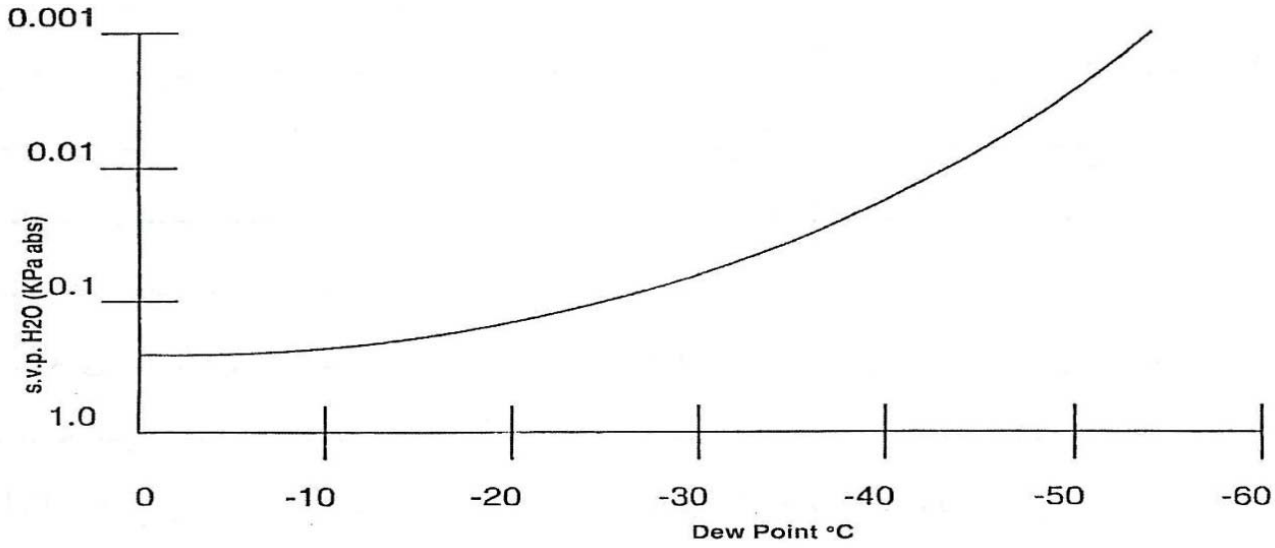
تثبیت خشکی لوله:

بلافاصله پس از مرحله خشک کردن نهایی، رطوبت‌زدایی با یک گاز خشک مثلاً هوا یا نیتروژن انجام می‌گردد. این عمل موجب تثبیت خشکی لوله می‌گردد. تحت شرایط خاصی مقدار کمی آب ممکن است در لوله باقی بماند. این آب باقی مانده، معمولاً در فرآیند خشک کردن لوله به وسیله مکش، یخ می‌زند و در جریان مرحله نهایی خشک کردن یا تست خیساندن در دسترس نخواهد بود.

نیتروژن یا هوا از سمت مقابل تجهیزات مکش به داخل خط لوله رانده می‌شود تا این که فشار به مقدار معادل SVP نقطه شبنم هدف برسد. وقتی فشار به این حد رسید تجهیزات مکش شروع به کار می‌کنند و فشار حفظ می‌شود. نقطه شبنم در دو انتهای خط لوله باید به دقت بررسی و مقایسه شود. هنگامی که نقاط شبنم در دو انتها برابر گردید، آب در خط لوله وجود ندارد. در این لحظه، عملیات رطوبت‌زدایی متوقف می‌شود. اکنون خط لوله با نقطه شبنم مورد نظر کاملاً خشک شده است.

شکل ۴-۳ : دمای نقطه شبنم به ازای فشار بخار اشباع

شکل ۴-۳ دمای نقطه شبنم به ازای فشار بخار اشباع



جدول ۲-۳: فشار بخار آب

Water Vapour Pressure Table

Water Vapour Pressure Table

T °C	SVP (kPa A) (mb × 10^{-1})	Vapour Density (gm m^3)
−50	0.0039 (0.039 mb)	0.038
−45	0.0128	0.119
−35	0.0223	0.203
−30	0.0308	0.339
−25	0.0632	0.552
−20	0.1043	0.884
−15	0.1652	1.387
−10	0.2597	2.139
−5	0.4015	3.246
0	0.6108	4.847
5	0.8719	6.797
10	1.2270	9.399
15	1.7040	12.830
20	2.3370	17.300
25	3.1670	23.050
30	4.2430	30.380

بهره برداری:

بعد از تکمیل فرآیند خشک کردن و تثبیت آن، خط لوله آماده بهره برداری می‌باشد و امکان فرستادن مستقیم گاز به خط لوله وجود دارد.

آزمایش خطوط انتقال

صفحه

۱- کلیات ۱۰۵
۲- روش کلی آزمایش خطوط لوله که با فشار بیش از پنج کیلوگرم بر سانتیمتر مربع کار میکند ۱۰۷

آزمایش خطوط لوله انتقال گاز

۱- کلیات

۱-۱ آزمـایشات زیر بعد از تمام عملیات لوله گذاری وقبل ازبهره برداری آنها انجام میگـــــردد توضیح اینکه خطوط لوله هائی قابل آزمایش هستند که در عمق بیش از ۴۰سانتیمتری زیر خاک مدفون باشند.

۱-۲ دستگاهها ، وسائل وابزار مورد لزوم آزمایش که میبایست توسط پیمانکار تهیه گردد عمدتاً بشرح زیر بوده ولی محدود به آنها نخواهد بود:

- اتصالات کمکی موقت نظیر شیرها وفلنج ها وغیره
- کمپرسورهادرظرفیت های مختلف
- پمپ های مختلفه جهت پرنمودن وبالابردن فشار داخل لوله مخازن آب و سوخت
- وسائل اندازه گیری فشار ودرجه حرارت
- وسائل ثبت کننده فشار ودرجه حرارت
- فشارسنج وزنه ای
- آب مصرفی
- فیلتر آب
- مواد ضدزنگ ، ضدیخ وخشک کننده ووسائل تزریق این مواد به خط لوله
- ژنراتوربرق
- وسائل ودستگاههای لازم برای حمل و نقل از قبیل سایدبوم وغیره
- وسائل ولوازم ایمنی مورد لزوم
- توپک(PIG) اندازه گیروتوپک یاب
- تله های موقت فرستنده وگیرنده توپک (PIG)
- وسائل مورد لزوم تعمیرات احتمالی ناشی از آزمایش مانند موتورجوش وغیره

۱-۳ توپک (PIG) های پرکننده ، تمیزکننده ، تخلیه کننده (وسائل مخابراتی موقت از طرف کارفرما تامین خواهد شد.)

۱-۴ آزمایشهائی که باید انجام گیرد:

الف- آزمایش مقاومت لوله

ب- آزمایش نشتی

ج- آزمایش تقاطع ها

د- آزمایش شیرها

۱-۵ برنامه آزمایشات هیدرواستاتیکی :

- پیمانکار موظف است برنامه جریجز آزمایشات را حداقل ۱۵روز قبل از شروع تهیه واز طریق مهندس یا نماینده او به تایید بازرس فنی برساند.

بدیهی است کلیه آزمایشات بایستی طبق برنامه تایید شده انجام گیرد.

- علاوه بربرنـامه آزمایشـات هیدرواستاتیکی پروفیل خط لوله اجراءشده وهمچنین محلهای جدایش و قسمتهائی که میبایست بطور جدا آزمایش شوند نیز آماده گردد.

- کلیه آزمایشات هیدرواستاتیکـی بایستی درحضور مهندس یا نماینده او، بازرس فنی ونماینده واحد بهره برداری کننده (ناظرین آزمایش)انجام پذیرد ومیبایستی نامبـردگان حداقل یک هفته قبل ، از آزمایش مطلع گردند.

- تسهیلات استقرار مستمر ناظرین برآزمایش بایستی توسط پیمـانکار در محل ودرطول مدت آزمایش تامین شود.

۱-۶ رعایت مسائل ایمنی :

ازنظر ایمنی پیمانکار باید کلیه جوانب اموررادرنظر گرفته ومسئولیه مسئول هر گونه حادثه ای ، ناشی از عملکرد ناایمن که درطول آزمایشات اتفاق خواهد افتاد میباشد.

۱-۷ آزمایش شیرها و اتصالات کمکی موقت:

کلیه شیرها واتصالات لازم برای نصب دستگاههای اندازه گیری وتخلیه آب بایستی قبلا مورد آزمایش قرار گیرد.

۱-۸ اطمینان از درست کارکردن دستگاههای اندازه گیری :

کلیه دستگاههای اندازه گیری بایستی توسط شرکت ملی گاز ایران یا یک سازمان مورد تایید شرکت ملی گاز ایران کنترل شده وبرای آنها گواهی صحت کارصادر گردد.این گـواهی در موقع شـروع آزمایشات بایستی از طریق مهندس یا نماینده اوبه بازرس فنی ارائه گردد.

۱-۹ اتصالات جوشی بعد از آزمایش:

بعـد از آزمایش چنـانچه شیرهای تخلیـه موقت روی خط تعبیه شده باشد بایستی لوله را ازدوطرف شیر بریده وقطعه لوله ای که قبلاً درکارگاه مورد آزمـایش قرارگرفته بجای قطعه لوله بریده شـده جوش داده شود واز تمام جوشها رادیوگرافی بعمل آید.

۱-۱۰ تعمیرات :

پیمانکار بایستی درموقع آزمایشات هرگونه تعمیری که لازم باشد انجام داده وحتی اگر آزمایش مورد قبول واقع نگردید بایستی از خط رفع عیب نموده وآنرا مجدداً آماده آزمایش نماید.

۱۱-۱ گزارش نهائی مراحل انجام آزمایش :

بعدازاتمام انجام کلیه عملیات پیمانکار بایستی گزارش نهائی وکامل تهیه وبانضمام کلیه اصل نمودارها به مهندس یا نماینده او تحویل نماید.

۲- روش کلی آزمایش خطوط لوله که با فشار بیشتر از۵ کیلوگرم کار میکنند:

۲-۱ مشخصات دستگاههای اندازه گیری :

۲-۱-۱ فشارسنجها :

الف - دستگاههای ثبات فشار(PRESSURE RECORDER):

حدود کاراین دستگاه بایستی از صفر تا۲۰۰۰ودقت کارآن ۰/۵ پوند براینچ مربع بوده وکاغذ ثبت نمودار تغییرات فشار آن از نوع ۲۴ساعته ودستگاه هفته کوک باشد.

ب- فشارسنج مدل ساعتی(PRESSURE GAUGE) :

حدود کاراین نوع فشار سنج ها از صفرتا۲۰۰۰ودقت آن بایستی یک پوند برایچ مربع باشد

ج- دستگاه فشار سنج وزنه ای (DEAD WEIGHT TESTER):

حدود کاراین دستگاه از ۵تا ۲۰۰۰ودقت آن ۰/۱ پوند برایچ مربع باشد.

۲-۱-۲ حرارت سنجها :

الف- دستگاههای ثبات درجه حرارت(TEMPERATURE RECORDER):

حدود کاراین دستگاه از $20\ F^0$ - الی $150\ F^0$ و دقت آن ۰/۵ درجه فارنهایت خواهد بود.

ب- میزان الحراره جیوه ای

حدود کار $20\ F^0$ - الی $150\ F^0$ ودقت ۰/۱ درجه فارنهایت برای دقت وسهولت کارمیتوان از ترمومترهای الکترونیکی استفاده نمود.

۲-۱-۳ سایر دستگاهها:

- فیلتر آب بااندازه چشمه ۱۵۰میکرون

- پمپ پرکننده:

این پمپ باتوجه به موقعیت و وضعیت ، قطر ومسیر خطوط لوله از نظر پستی وبلندی انتخاب میگردد ، بطوریکه خط لوله با سرعت ثابت پانزده متردردقیقه پرشود تا ازبوجود آمدن کیسه های هوا جلوگیری

گردد.

- پمپ فشارقوی:

این پمپ بایستی فشار لازم را برای آزمایش هیدرواستاتیکی با دبی مناسب تامین نماید.

- کنتور آب:

جهت اندازه گیری مقدار آب مصرفی

۲-۲ نصب دستگاههای اندازه گیری:

الف- دستگاههای ثبات بایستی در محلی (چادر، کاروان)ثابت وبدون لرزش نصب گردندکه تغییرات درجه حرارت روی آنها حداقل ممکنه باشد.

ب- درفاصله ۳۰ متری از ابتدا وانتهای خط لوله یا شبکه روی لوله را برداشته وسطح آنرا از مواد عایقی کاملاً پاک نموده وقسمت حساس دستگاه حرارت سنج ثبات را روی محل پاک شده قرار داده ومقداری پشم شیشه بطوریکه کاملاً آنرا بپوشاند روی آن قرار میدهند وبوسیله نوار عایقی آنرا روی لوله محکم کرده با خاک روی آنراپوشانده بطوریکه هم سطح اطراف گردد . (مطابق شکل ۲)

ج- بایستی محل مناسبی برای نصب پمپهای پرکننده وفشار قوی ، فیلتر آب ودستگاه اندازه گیری مقدار آب داخل شده به خطوط لوله ودستگاهها ارسال ودریافت توپکها درنظر گرفته شود.

۲-۳ تمیز کردن خط:

پس از پایان عملیات احداث خط لوله بایستی آن را توسط هوای فشرده وتوپک تمیزکننده کاملاً تمیز نموده وازطریق مهندس یا نماینده اوبه تائید بازرس فنی برسد.

۲-۴ عبوردادن توپک اندازه ازداخل لوله (GAUGING PIG)

الف- درخطوط لوله ای که بایستی در طول بهره برداری باتوپک تمیزکننده مخصوص زمان بهره برداری تمیزشوند برای حصول اطمینان از یکنواختی قطر داخلی لوله در طول خط انجام عملیات توپک اندازه ضروری میباشد.این عمل پس از تمیزکردن خط لوله انجام میگیرد.

ب- قطر صفحه جلوی پیگ بایستی ۹۵٪ قطر داخلی خط لوله باشد پس از خروج توپک اندازه از خط چنانچه وضع مطلوبی داشته باشد ، پس از تائید بازرس فنی از آن عکسبرداری بعمل آمده وعکس آن درپرونده ضبط خواهد شد ، درغیراینصورت بایستی اشکالات خط مرتفع ومجدداً توپک اندازه استفاده شده تا وضع توپک خروجی رضایت بخش باشد.

۲-۵ پرکردن خط

ابتدابایستی مقداری معادل حجم ۱۰۰متر از طول لوله را از آب پر کرده سپس توسط توپک پر کننده وپمپ تمام قسمت مورد آزمایش را از آب پر نمود. فشار آب خروجی پمپ بحدی باید باشد که بتوانـــد توپک را با سرعت ثابت ۱۵متر در دقیقه به جلو براند.حجم آب جلوی پیک در مواردیکه اختلاف ارتفاع زیاد باشد بسته بمورد افزایش خواهد یافت. پس از رسیدن توپک یا توپکها به انتهای قسمت مورد آزمایش بایستی حدود ۲۰دقیقه آب تخلیه شود تا اطمینان کامل از تخلیه هوا از داخل خط به عمل آید سپس شیرهای تخلیه را بسته وآزمایش عدم وجود هوا انجام میگردد.

۶-۲ آزمایش عدم وجود هوا

برای اطمینان از عدم وجود هوا(پس از آزمایش مقاومت)درخط لوله میبایستـــی آزمایش زیر را انجـام داد ابتدا میبایست حجم معینی از آب لوله برداشته شود وافت فشار توسط دستگاه فشارسنج وزنه ای بدقت اندازه گیری گردد.سپس این افت فشار میبایست ازفرمول شماره (۱)محاسبه شده وهردوافت با هم مقایسه شده ونسبت آنها بدست آورده شود.

چنـانچه نسبت $\frac{\Delta P1}{\Delta PO}$ برای لـــوله های تاقطر ۴۰۰میلیمتر ۹۰٪ وبرای لوله هـای بـا قطر بیشتر از ۴۰۰ میلیمتر۹۵٪ باشد مقدارهوای موجود درخط درحد قابل قبول بوده ودرنتایج آزمایش تاثیری ندارد.

چنانچه نسبت فوق ازاعداد داده شده کمتر باشد هوای داخل لوله بیش از حد مجاز بوده وبایستی این هوا از خط لوله خارج گردد وبا تخلیه مقادیر زیادی از آب خط لوله وتزریق مجدد همزمـــان آب به خط لولـــه هوا را به حداقل رسانید.

چنانچـه خـط لولـه باضـخامتهای مختلفـی سـاخته شـده باشـد بایـستی مقـدار $\frac{D}{Ee}$ را بـرای هریـک از ضخامتهامحاسبه نموده ومعدل آنها را بدست آورده درفرمول شماره یک (۱) قرارداد .

فرمول شماره یک(۱) $\Delta PO = \frac{m}{V(X + \frac{D}{Ee})}$

افت فشارمحاسبه ای	$\Delta PO =$
افت فشار اندازه گرفته شده	$\Delta P1 =$
مقدارآب برداشته شده	$m =$
حجم خط لوله	$V =$
ضریب فشردگی آب	$X =$
قطر خارجی خط لوله	$D =$

مدول یانگ $E = 2/11 \ Kg/cm^2$

ضخامت لوله $e =$

واحد $m.V$ مساوی میباشد.

مقدار X را از منحنی ضمیمه با توجه به درجه حرارتی که خط لوله دارد بدست می آوریم .

۲-۷ فشار آزمایش مقاومت:

فشار آزمایش مقاومت باید بحدی باشد که تنش حلقوی حاصله درلوله در پائین ترین نقطه خط برابر ۱۱۰ ٪ تنش تسلیمی(SMYS)ودربالاترین نقطه خط حداقل ۹۵ ٪ تنش تسلیمی (SMYS) لوله باشد درغیراینصورت بایستی خط را به قطعات کوچکتر تقسیم نمودتاشرایط فوق بدست آید .

۲-۸ آزمایش مقاومت:

پس از رسیدن فشاربه ۴۰٪ تنش تسلیمی (SMYS)نمودارتغییرات فشاردرمقابل حجم آب افزوده شده به خط لوله تاحد فشار آزمایش را به دقت رسم کرده ومورد بررسی قرار میگیرد ازاین به بعد خط لوله بمدت ۴ ساعت تحت این فشار قرارگرفته چنانچه درطول۴ساعت آزمایش فشار بیشتر از۰/۷کیلوگرم برسانتیمترمربع افت پیدا نمودباتزریق آب بخط لوله فشار آنرابالامبریم ودرصورتیکه فشار بیشتر از ۰/۷ کیلوگرم افزایش پیدا نمودبا تخلیه مقداری آب فشار آنرا پائین آورده ومقدارآب تزریقی ویا تخلیه شده را به دقت اندازه گیری کرده ویادداشت مینمائیم پس ازپایان مدت آزمایش وبررسی آن چنانچه آزمایش مورد تائید قرار گرفت فشار را تا حد فشار آزمایش نشتی پائین می آوریم.

۲-۹ یکنواخت شدن:

پس ازتائیدآزمایش مقاومت وهمچنین آزمایش عدم وجود هوا فشارخط لوله رابه حدفشارآزمایش نشتی (که دربالاترین نقطه ، در مناطق ردیف ۱)خط از ۱/۱حداکثر فشار طراحی کمتر نباشد رسانیده وخط برای مدتی طبق شرح زیر جهت یکنواخت شدن فشار ودرجه حرارت تحت نظر قرارداده میشود.

- لوله های تاقطر ۴۰۰ میلیمتریک روز
- لوله های باقطر بیشتر از ۴۰۰میلیمتر تا۷۵۰میلیمتر دوروز
- لوله های با قطر بیشتر از ۷۵۰میلیمتر سه روز

۲-۱۰ آزمایش نشتی :

هدف ازاین آزمایش نداشتن افت فشار غیرقابل توجیه میباشد.

آزمایش نشتی بشرح زیر انجام میگیرد:

پس ازپایان مدت فوق که فشار ودرجه حرارت درخط لوله بحال یکنواخت درآمد خط لوله آماده

آزمایش نشتی میباشد.ازاین ساعت خط لوله بمدت ۲۴ساعت تحت آزمـایش نشتی قرار گرفتـــه وراس هر ساعت فشار خط لوله ودرجه حرارت محیط اندازه گیری شده ویادداشت میگردد.

(فشارتوسط دستگاه فشارسنج وزنه ای اندازه گیری میشود)پس از پایان مدت۲۴ساعت آزمایش با بررسی ومقایسه نمودارهای فشـــارودرجه حرارت وارقام یادداشت شده در مدت ۲۴ساعت نتیجه آزمایش بدست می آید .

(فرمول شماره ۲)

$$K = \frac{\alpha - \gamma}{X + \frac{D}{Ee}}$$

$$\Delta P = fK(T1 - T2)$$

$$H = \frac{\delta f}{f} \qquad \Delta P \# 0.2K$$

$$P = P1 - \Delta P - P2$$

K ضریب محاسبات

α ضریب ازدیاد حجم آب

γ ضریب ازدیاد حجم فولاد

X ضریب فشردگی آب

D قطر خط لوله

E مدول یانگ $E = 2.11\ Kg/cm^2$

e ضخامت لوله

$\frac{\delta f}{f}$ ضریب محاسبات

f ضریب محاسبات

ΔP حداقل افت فشار

H حداکثر تغییرات مجاز فشار

P افت فشار با در نظر گرفتن تغییرات درجه حرارت

مقدار $\frac{\delta f}{f}$ ، f ، γ ، α و X از روی منحنی های ضمیمه در درجه حرارتی که خط تحت آزمایش قرار داشته بدست می آید .

پس از محـاسبات چنانچه مقدارP بدست آمـــده از مقدار H کمتـــر یا مساوی باشد آزمایش مورد قبول

و چنانچه مقدار Pبا اختلاف کمی از مقدار H بیشتر باشد (ازطریق مهندس یا نماینده او و با تائید بازرس فنی) آزمایش ۲۴ساعت دیگر تمدیدشده ودرغیراینصورت آزمایش مردود میباشد وپیمانکاربایستی بررسیهای لازم را بعمل آورده وعلت افت فشار را مشخص ودررفع آن اقدام نموده وخط را مجدداً آماده آزمایش نماید.

۲-۱۱ فشارآزمایش نشتی :

فشارآزمایش نشتی در مناطق(CLASS LOATION)ردیف (۱)۱/۱مناطق ردیف(۲)۱/۲۵ و درمناطق ردیف (۳و۴) ۱/ ۴ برابرحداکثر فشار بهره برداری خط لوله میباشد.فشارهای فوق حداقل بوده وبسته بنظر ناظرین برآزمایش قابل افزایش است.

۲-۱۲ شرایط تمدید آزمایش نشتی

تمدید آزمایش نبایستی زودترازسه روزبعد از آزمایش قبلی انجام گیرد در مواقعی که تغییرات ناگهانی درجه حرارت دیده شود بایستی تامل نمود که دمای زمین به حالت عادی برگشته سپس آزمایش شروع گردد. تاشروع آزمایش مجدد خط لوله بایستی درتمام مدت تحت نظر بوده وتغییرات فشارودرجه حرارت بایستی توسط دستگاههای ثبات ثبت گردد.

۲-۱۳ آزمایش یک ساعته

برای لوله هائی که موردآزمایش قراربگیرند چنانچه حجم آنها کمتر از ۱۰ متر مکعب باشد حداقل زمان آزمایش یک ساعت وحداکثر آن با تائید بازرس فنی وبا توجه به موقعیت ووضعیت خط لوله درزمان آزمایش تعیین میگردد.

۲-۱۴ بررسی نتیجه آزمایش

چنانچه بعد ازآزمایش با توجه به تغییرات درجه حرارت اختلاف بین فشار شروع آزمایش وفشار خاتمه آزمایش کمترازه۵پوند براینچ مربع باشد آزمایش موردقبول وچنانچه این مقدار مساوی ویا کمی بیشتر از ۵ پوند براینچ مربع باشد آزمایش تمدید شده واگر مقدار اختلاف خیلی بیشتر از ۵ پوند براینچ مربع باشد آزمایش مردود میباشد.زمان آزمایش یکساعته توسط بازرس فنی تعیین میگردد.

فشارشروع آزمایش	P1 =
فشارانتهای آزمایش	P2 =
آزمایش مورد تائید است(پوند براینچ مربع)	P1 – P2 < 5

آزمایش بایستی تمدید گردد(پوند برابنج مربع) $P1 - P2 > 5$

۲-۱۵ تخلیه وخشک کردن

پس از تائید آزمایش نشتی توسط ناظرین برآزمایش بایستی خط لوله ازآب تخلیه وخشک گردد.

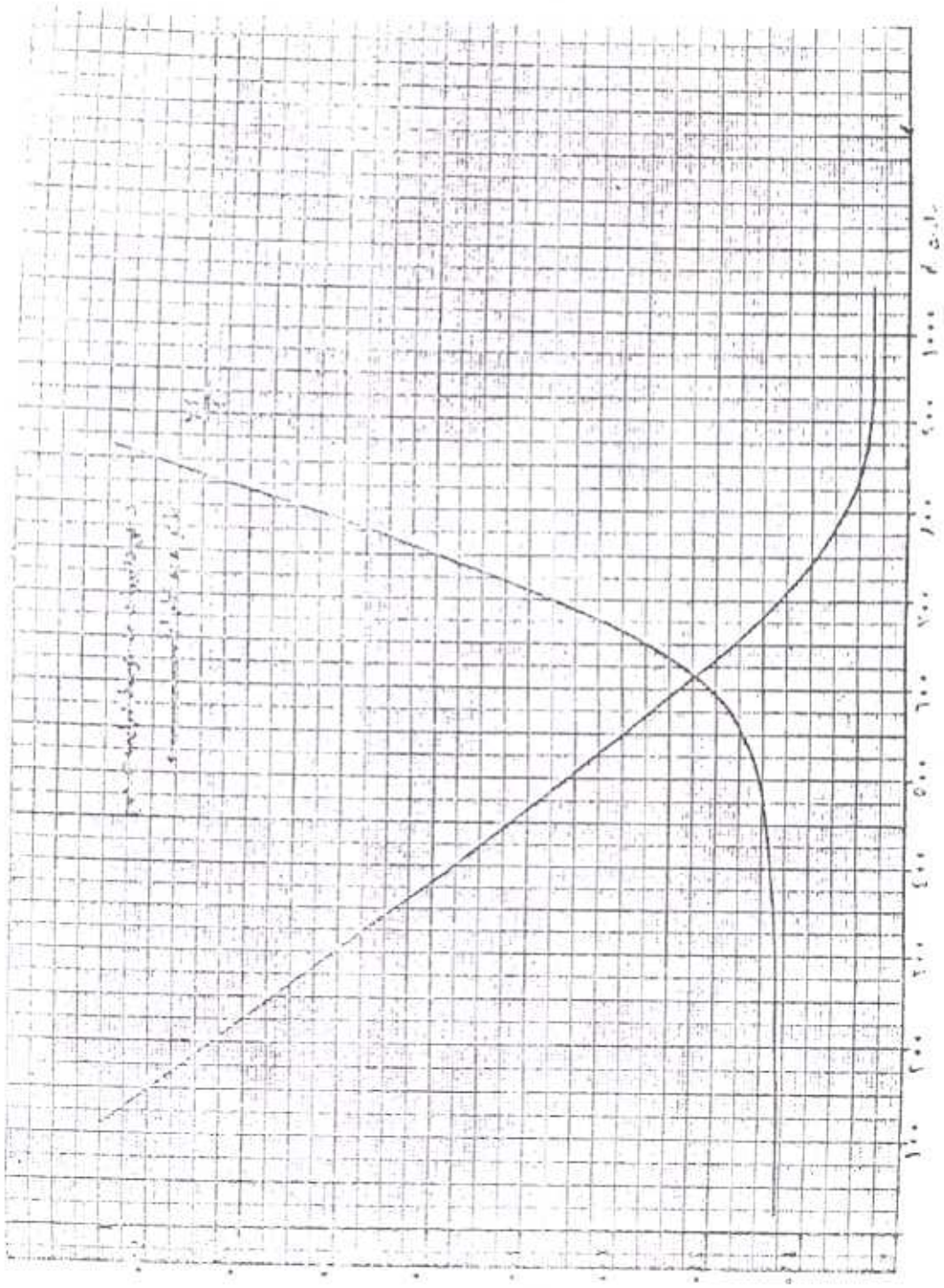
چنانچه به عللی آب باید مدتی درلوله باقی بماند بایستی مواد ضد زنگ به آب آزمایش افزوده شود به هر صورت حتی اگر آب دارای موادضد زنگ هم باشد بیشتر از شش ماه نمیتوان آب راداخل لوله نگاهداشت و بایستی آب را ازخط تخلیه وآنرا خشک نمود.

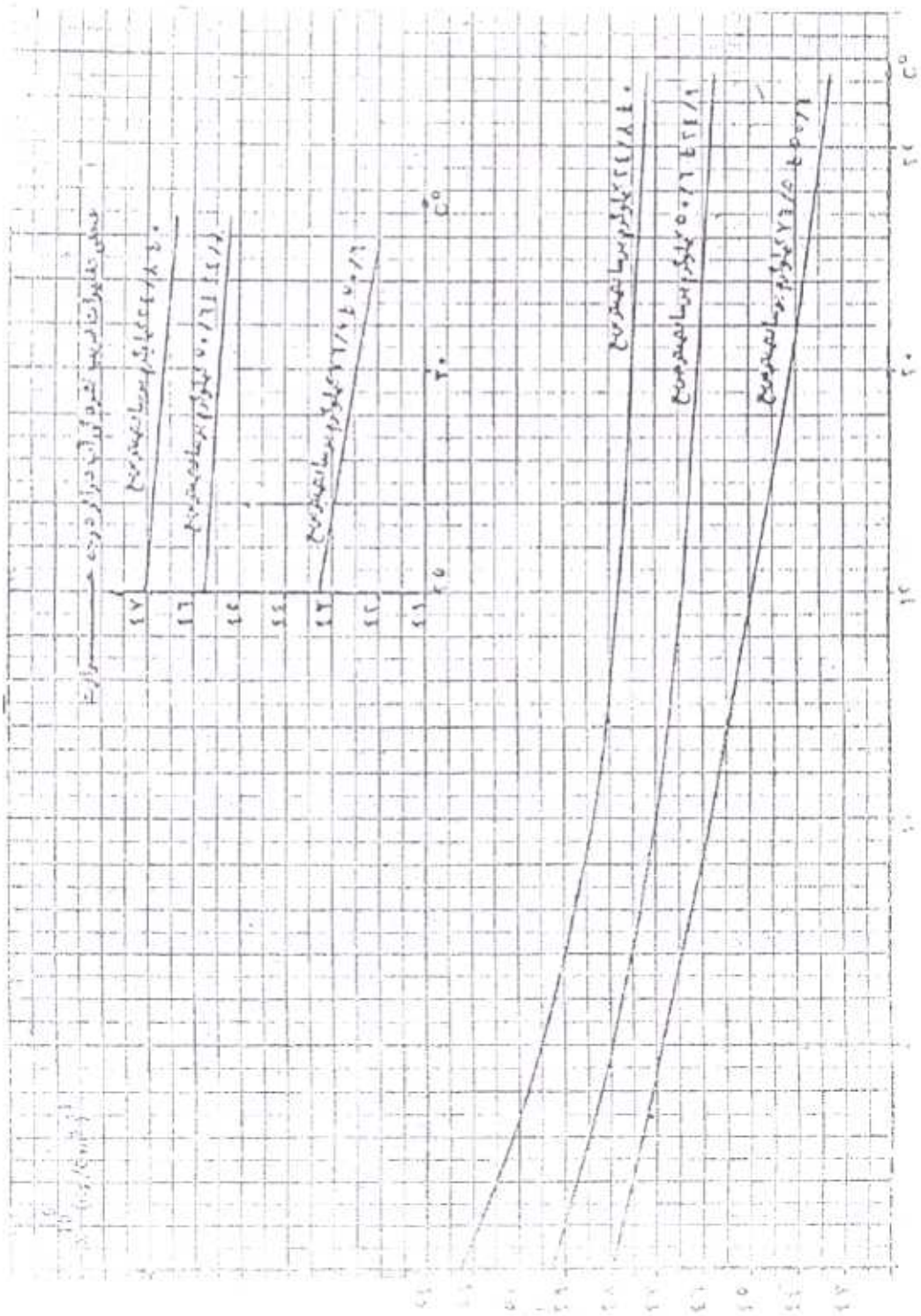
پس ازتخلیه آب که توسط چند توپک که با هوای گرم به جلو رانده می شود انجام میگردد (باید دقت شود که آب تخلیه شده ازلوله خساراتی به بار نیاورد)بایستی خط لوله را کاملا خشک نمود.

حتی برای اطمینان از خشک شدن کامل بایستی از متانول استفاده نمود بهرجهت هوائی که از انتهای خط خارج میشود بایستی کاملاً خشک بوده وهیچگونه رطوبتی باخود نداشته باشد .

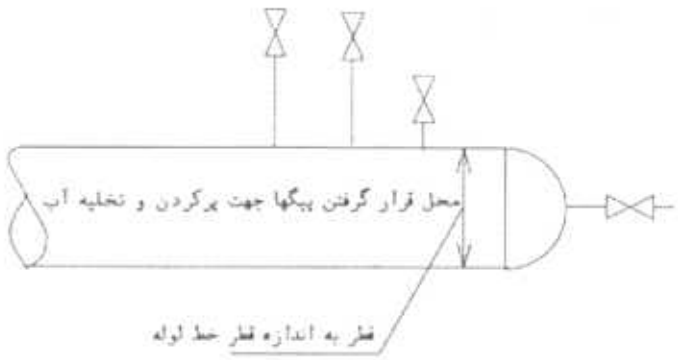
اگرپس از خشک کردن خط لوله مورداستفاده قرارنگرفته ومدتی بایستی خالی بماند ، خط را با نیتروژن وياگازهای بی اثربافشاریک کیلو گرم برسانتیمتر مربع پرنموده وتازمان بهره برداری تحت این فشار نگاهداشته شود.

درچنین شرایطی تهیه گازبی اثر بعهده کارفرما میباشد.

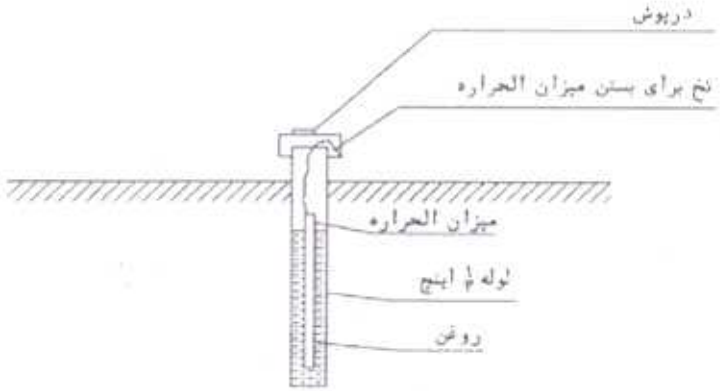


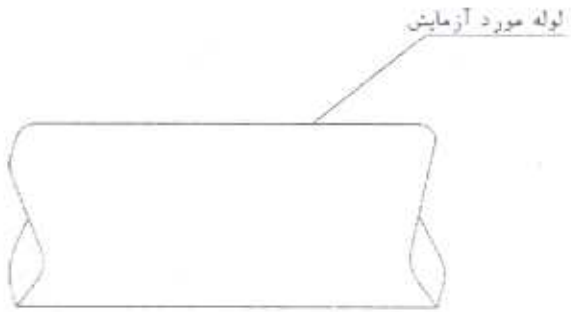


۳۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

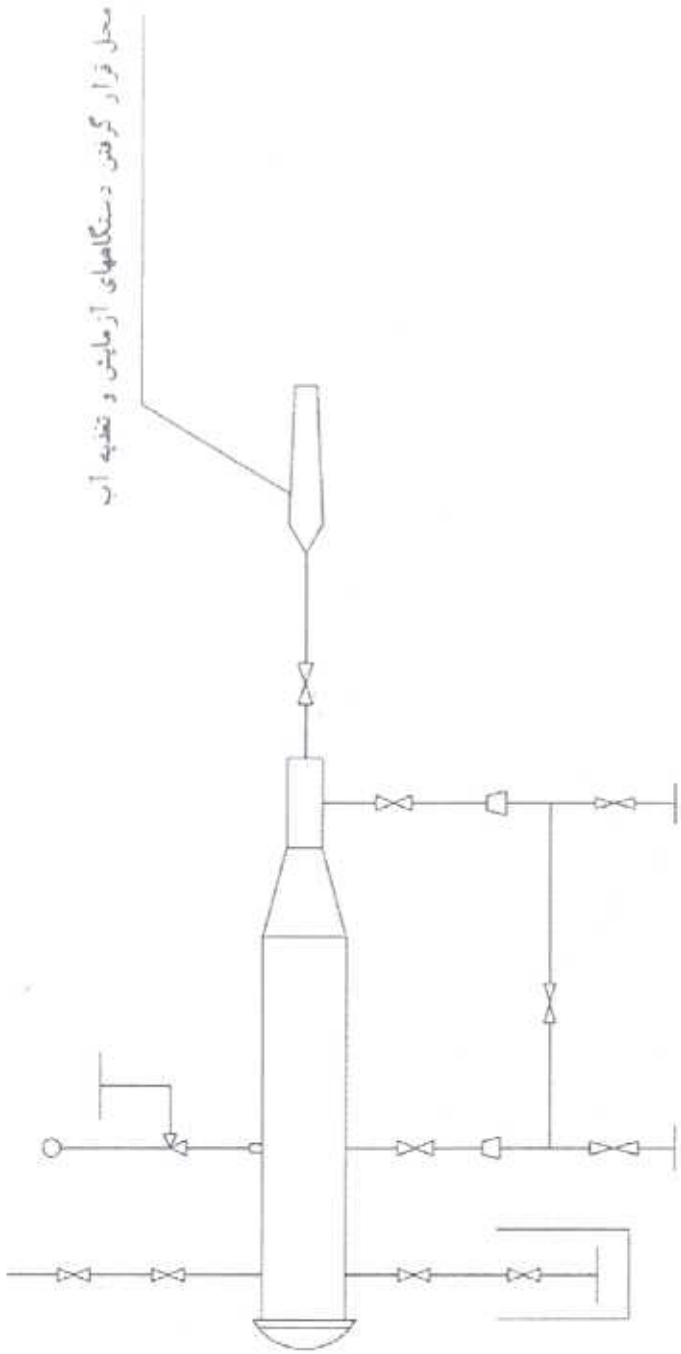

محل قرار گرفتن پیگها جهت پرکردن و تخلیه آب
قطر به اندازه قطر خط لوله

- شکل ۱ -


درپوش
نخ برای بستن میزان الحراره
میزان الحراره
لوله ½ اینچ
روغن


لوله مورد آزمایش

- شکل ۴ -


محل قرار گرفتن دستگاههای آزمایش و تغذیه آب
تاسیسات ارسال پیگ

شکل ۳

خروجی آب
۳۰ متر
دستگاه ثبات درجه حرارت
ورودی آب
۳۰ متر
دستگاه ثبات درجه حرارت

دستگاه ثبات درجه حرارت لوله
خاک برگشته روی لوله
لوله
بستر پوشش روی پشم شیشه
محل اتصال دستگاه ثبات حرارت
پشم شیشه

شکل ۴