



دانشگاه مازندران

بهینه سازی مصرف سوخت در ایستگاههای تقویت فشار در خط لوله انتقال گاز طبیعی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

اساتید راهنما:

دکتر مفید گرجی

دکتر داود دومیری گنجی

استاد مشاور:

مهندس قاسم جوادی راد

نگارش:

مجید جانی پور خرقانی

زمستان ۸۸

کلمات کلیدی: ایستگاه تقویت فشار، کمپرسور گریز از مرکز، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک

چکیده

گاز طبیعی یکی از پاکیزه ترین، ایمن ترین و پرکاربردترین منابع انرژی است. ایستگاههای واحدهایی هستند که گاز طبیعی را از مبدا به مصرف کننده منتقل می کنند. اصطکاک بین گاز و جداره لوله باعث کاهش انرژی گاز می شود و به همین خاطر ایستگاههای تقویت فشار در حدود ۱۰۰ مایلی از هم قرار می گیرند که انرژی مورد نیاز خود را با استفاده کردن از مقداری از سوخت انتقالی بدست می آورند.

در این پژوهش مدلسازی و تحلیل جریان گاز در خط لوله برای دو حالت دائمی و گذرا انجام شده است. در هر یک از انواع جریان نتایج حاصل از در نظر گرفتن انتقال حرارت بین لوله و محیط در دو قسمت هم دما و غیر همدمای بررسی شده است. از تحلیل جریان دائمی این نتیجه حاصل می گردد که سرد کردن گاز خروجی از کمپرسورها باعث کاهش افت فشار در لوله می شود. در فصل ۴ معادلات حاصل از جریان گذرای همدمای با استفاده از روش کاملاً ضمنی بصورت عددی حل شده است. و نتایج نمایش داده می شوند و برای دو نوع شرایط مرزی مورد تحلیل قرار گرفته شده است.

این پژوهش ابتدا روابط غیر خطی ریاضی که برای تحلیل جریان داخل لوله در حالت دائمی، غیر هم دما، تراکم پذیر و تک بعدی لازم است را محاسبه می کند. و در مرحله بعدی معادلاتی را بدست می آورد که نمودار مشخصه کمپرسورها را پوشش می دهند و در مرحله آخر سوخت مصرفی در ایستگاه تقویت فشار را بدست می آورد.

مدل بهینه سازی بوسیله الگوریتم ژنتیک باعث بهبود مصرف سوخت در ایستگاه های موجود در شبکه می شود. البته این مدل بهینه ساز باید متناسب با قیدهایی سیستم انتقال باشد.

انجام بهینه سازی نشان می دهد که خوبی می توان میزان سوخت مصرفی گرداننده کمپرسورها را با تغییر دور و تعداد آنها تنظیم نمود و با بهینه کردن سوخت مصرفی هر ایستگاه، صرفه جویی بسیار چشمگیری در کل سیستم انتقال حاصل می گردد.

تقدیم به

پدر عزیز

,

مادر مهربانم

فهرست

فهرست جداول

فهرست اشکال

فهرست علائم

فصل اول	مقدمه و آشنایی با خصوصیات گاز طبیعی	۱
۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	گاز طبیعی	۳
۳-۱	نگاهی به تاریخچه استفاده از گاز طبیعی	۳
۴-۱	تولید گاز طبیعی	۴
۵-۱	نحوه انتقال گاز طبیعی (احداث خط لوله)	۶
۶-۱	خصوصیات گاز طبیعی	۹
۱-۶-۱	وزن مخصوص	۹
۲-۶-۱	نسبت گرمای ویژه	۱۰
۳-۶-۱	فشار بحرانی	۱۰
۴-۶-۱	دمای بحرانی	۱۱
۵-۶-۱	مولفه آیزنتروپیک	۱۲
۶-۶-۱	ضریب تراکم پذیری	۱۲
فصل دوم	خط لوله ها و معادلات حاکم بر آنها	۱۴
۱-۲	معرفی فصل	۱۵
۲-۲	معادلات حاکم بر خط لوله ها	۱۵
۱-۲-۲	بقاء جرم	۱۵
۲-۲-۲	قانون دوم نیوتن	۱۶
۳-۲-۲	بقاء انرژی	۱۷
۴-۲-۲	معادله حالت	۲۰
فصل سوم	بررسی جریان پایدار	۲۳
۱-۳	معرفی فصل	۲۴
۲-۳	فعالیت‌های پیشین	۲۴
۳-۳	محاسبات جریان پایدار	۲۵
۱-۳-۳	جریان همدمای پایدار	۲۵
۲-۳-۳	جریان غیر همدمای پایدار	۲۸

۲۹	۴-۳- نتایج بدست آمده و بررسی آنها
۳۲	۵-۳- اتصالات
۳۲	۳-۵-۱- ترکیب اتصالات
۳۳	۳-۵-۲- تقسیم اتصالات
۳۴	فصل چهارم بررسی جریان گذرا
۳۵	۴-۱- معرفی فصل
۳۵	۴-۲- فعالیت‌های پیشین
۳۷	۴-۳- محاسبات جریان گذرا
۳۷	۴-۳-۱- جریان غیر همدمای گذرا
۴۱	۴-۳-۲- جریان همدمای گذرا
۴۲	۴-۴- نتایج بدست آمده و بررسی آنها
۴۳	۴-۴-۱- نتایج بدست آمده از جریان همدمای گذرا و بررسی آنها
۵۱	۴-۴-۲- نتایج بدست آمده از جریان غیر همدمای گذرا و بررسی آنها
۵۴	۴-۵- نتیجه گیری و خلاصه بحث
۵۵	فصل پنجم الگوریتم ژنتیک
۵۶	۵-۱- مقدمه
۵۶	۵-۲- تکنیک‌های جستجو
۵۷	۵-۳- الگوریتم ژنتیک
۵۸	۵-۳-۱- تفاوت الگوریتم ژنتیک با روشهای مرسوم بهینه‌سازی
۵۹	۵-۳-۲- مزایای الگوریتم ژنتیک
۵۹	۵-۳-۳- نقاط ضعف الگوریتم ژنتیک
۶۰	۵-۳-۴- الگوریتم ژنتیک با نخبه سالاری ساده
۶۰	۵-۳-۵- واژگان الگوریتم ژنتیکی
۶۱	۵-۴- عملگرهای اصلی الگوریتم ژنتیک
۶۱	۵-۴-۱- روشهای کدگذاری
۶۲	۵-۴-۲- جمعیت اولیه
۶۳	۵-۴-۳- تابع برازندگی
۶۳	۵-۴-۴- گزینش
۶۵	۵-۴-۵- پیوند
۶۶	۵-۴-۶- جهش
۶۸	۵-۴-۷- روشهای جایگزینی
۶۸	۵-۴-۸- معیار همگرایی
۶۸	۵-۴-۹- معیار عملکرد

فصل ششم	بهینه سازی سوخت مصرفی در ایستگاههای تقویت فشار	۷۰
۱-۶	معرفی فصل	۷۱
۲-۶	فعالیت‌های پیشین	۷۲
۳-۶	معادلات حاکم	۷۳
۱-۳-۶	معادلات خط لوله	۷۴
۲-۳-۶	معادلات کمپرسور	۷۴
۴-۶	بهینه سازی	۷۸
۱-۴-۶	مرحله تعریف متغیرها	۷۸
۲-۴-۶	مرحله تعریف تابع هدف	۷۸
۳-۴-۶	مرحله اعمال قیود حاکم بر مسئله	۷۹
فصل هفتم	نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۸۱
۵-۷	نتایج بدست آمده و بررسی آنها	۸۲
۶-۷	نتیجه‌گیری	۹۰
۷-۷	پیشنهادات	۹۱
	مراجع	۹۲

فهرست جداول

جدول ۱-۱	ثوابت مورد استفاده در محاسبه ظرفیت گرمایی ارائه شده توسط لودویگ [۲]	۱۱
جدول ۱-۶	مقادیر مشخصه کمپرسورها	۷۵
جدول ۱-۷	ثوابت I و S برای محاسبه ضریب اصطکاک ارائه شده توسط ایانگ و عزیز [۲]	۸۲
جدول ۲-۷	نتایج بهینه سازی و مقایسه ایستگاه تقویت فشار مثال اول با مرجع [۳۴]	۸۴
جدول ۳-۷	نتایج بهینه سازی ایستگاه تقویت فشار مثال دوم	۸۶
جدول ۴-۷	مقایسه نتایج بهینه سازی ایستگاه تقویت فشار مثال دوم و مرجع [۳۴]	۸۷
جدول ۵-۷	نتایج بهینه سازی ایستگاه تقویت فشار مثال سوم	۸۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱	پیدایش نفت و گاز	۶
شکل ۲-۱	جوشکاری محل اتصال لوله های گاز	۷
شکل ۳-۱	شماتیک سیستم انتقال گاز طبیعی ایستگاههای تقویت فشار	۸
شکل ۴-۱	فاکتور تراکم پذیری	۱۳

- شکل ۲-۱- حجم کنترل برای معادله پیوستگی ۱۶
- شکل ۲-۲- حجم کنترل برای معادله ممنوم ۱۶
- شکل ۲-۳- حجم کنترل برای معادله انرژی ۱۸
- شکل ۳-۱- ساختار یک سیستم انتقال گاز عادی ۳۰
- شکل ۳-۲- پروفیل دما در طول خط لوله برای شرایط خنک کاری متفاوت ۳۱
- شکل ۳-۳- پروفیل فشار در طول خط لوله برای شرایط خنک کاری متفاوت ۳۱
- شکل ۳-۴- اتصالات ترکیب شده ۳۲
- شکل ۳-۵- اتصالات تقسیم شده ۳۳
- شکل ۳-۶- شاخه بندی ۳۳
- شکل ۴-۱- مش بندی مسئله ۴۴
- شکل ۴-۲- اطلاعات خط لوله کیوشی [۱۵] ۴۴
- شکل ۴-۳- شرایط مرزی برای جریان گذرنده از شیر (الف) ۴۴
- شکل ۴-۴- تغییرات جریان در مرکز طول لوله در زمان ۱۱ دقیقه در تعداد گره‌ها (الف) ۴۵
- شکل ۴-۵- تغییرات جریان در مرکز طول لوله در زمان ۳۵ دقیقه با تغییر در تعداد گره‌ها (الف) ۴۵
- شکل ۴-۶- تغییرات زمان حل با توجه به تعداد تقسیمات در طول لوله (الف) ۴۵
- شکل ۴-۷- تغییرات جریان در گره اول (الف) ۴۶
- شکل ۴-۸- تغییرات فشار برای گره های متفاوت (الف) ۴۶
- شکل ۴-۹- رویه نرخ جریان (الف) ۴۷
- شکل ۴-۱۰- رویه فشار (الف) ۴۷
- شکل ۴-۱۱- تغییرات جریان در ابتدای لوله برای طول لوله های متفاوت (الف) ۴۷
- شکل ۴-۱۲- تغییرات جریان در ابتدای لوله برای طول لوله های مختلف با قدم های زمانی بیشتر ۴۸
- شکل ۴-۱۳- تغییرات فشار در انتهای لوله برای طول لوله های مختلف با قدم های بیشتر و زمان حل ۴۸
- شکل ۴-۱۴- توانایی همگرایی سریع در روش نیوتن - رافسون ۴۸
- شکل ۴-۱۵- شرایط مرزی برای جریان گذرنده از شیر (ب) ۴۹
- شکل ۴-۱۶- تغییرات جریان در گره اول (ب) ۴۹
- شکل ۴-۱۷- تغییرات فشار برای گره های متفاوت (ب) ۵۰
- شکل ۴-۱۸- رویه نرخ جریان (ب) ۵۰
- شکل ۴-۱۹- رویه فشار (ب) ۵۰
- شکل ۴-۲۰- تغییرات جریان در ابتدای لوله برای طول لوله های مختلف (ب) ۵۱
- شکل ۴-۲۱- تغییرات فشار خروجی بر اثر طول لوله ۵۱
- شکل ۴-۲۲- تغییرات جریان در ابتدای لوله در جریان غیر همدمای گذرا ۵۲
- شکل ۴-۲۳- تغییرات فشار در جریان غیر همدمای گذرا ۵۲
- شکل ۴-۲۴- تغییرات دما در ابتدای لوله در جریان غیر همدمای گذرا ۵۲

- شکل ۴-۲۵- تغییرات ضریب تراکم پذیری در ابتدای لوله در جریان غیر همدمای گذرا..... ۵۳
- شکل ۴-۲۶- تغییرات جریان در ابتدای لوله در جریان غیرهمدمای گذربرای طول لوله‌های مختلف..... ۵۳
- شکل ۴-۲۷- تغییرات فشاردرانتهای لوله در جریان غیرهمدمای گذربرای طول لوله‌های مختلف..... ۵۳
- شکل ۵-۱- اجرای الگوریتم ژنتیک [۳۹]..... ۶۱
- شکل ۵-۲- فرد a و چهار ژن مربوط به آن..... ۶۲
- شکل ۵-۳- انتخاب چرخ‌گردان..... ۶۴
- شکل ۵-۴- پیوند یک نقطه‌ای..... ۶۶
- شکل ۵-۵- جهش فرد a..... ۶۷
- شکل ۶-۱- نمایی از یک ایستگاه تقویت فشار گاز با سه کمپرسور سانتریفیوژ با درایورگازی..... ۷۳
- شکل ۶-۲- نمایی از کمپرسور و چگونگی مصرف سوخت..... ۷۶
- شکل ۶-۳- نمودار عملکرد کمپرسور نوع اول..... ۷۶
- شکل ۶-۴- نمودار عملکرد کمپرسور نوع دوم..... ۷۶
- شکل ۶-۵- نمودار عملکرد کمپرسور نوع سوم..... ۷۶
- شکل ۷-۱- نمودار عملکرد کمپرسور نوع اول..... ۸۳
- شکل ۷-۲- نمودار عملکرد کمپرسور نوع دوم..... ۸۳
- شکل ۷-۳- نمودار عملکرد کمپرسور نوع سوم..... ۸۳
- شکل ۷-۴- شماتیک ایستگاه تقویت فشار مثال اول..... ۸۳
- شکل ۷-۵- تغییرات میزان سوخت مصرفی بر حسب دور برای ایستگاه تقویت فشار با دو کمپرسور..... ۸۴
- شکل ۷-۶- شماتیک ایستگاه تقویت فشار مثال دوم..... ۸۵
- شکل ۷-۷- شماتیک ایستگاه تقویت فشار مثال ۳..... ۸۸

فهرست علائم

$A(m^2)$	سطح مقطع لوله	$V_w (m/s)$	سرعت صوت آیزنتروپیک در لوله
$b1-b6$	ضرایب ثابت کمپرسور	$w(N/s.m)$	نیروی اصطکاک برواحد زمان و طول لوله
$Cp(j/kgk)$	گرمای ویژه در فشار ثابت	$x (km)$	فاصله
$Cv (j/kgk)$	گرمای ویژه در دمای ثابت	y	مختصات عمود بر محور X
$D (m)$	قطر لوله	y_i	کسر مولکولی جزء i ام
f	ضریب اصطکاک	Z	ضریب تراکم پذیری گاز
$g (m/s^2)$	شتاب گرانش		
$h(j/kg)$	آنتالپی مخصوص	علائم یونانی	
$h_\infty (w/m^2k)$	ضریب انتقال حرارت و محیط	η	بازده
$Head(j/kg)$	هد آیزنتروپیک	$\gamma (m^3/kg)$	وزن مخصوص
K	نسبت گرماهای ویژه	θ (درجه)	شیب لوله
$k_L (w/mk)$	ضریب انتقال حرارت	σ	مولفه آیزنتروپیک
$LHV(kj/kg)$	ارزش حرارتی پائین سوخت	$\rho (kg/m^3)$	چگالی گاز
$Mw_i (kg/kgmol)$	وزن مولکولی جزء i ام	$\Omega (j/m.s)$	شار حرارتی بر واحد طول لوله
$\dot{m} (kg/s)$	دبی جرمی جریان	$\tau_0 (n/m^2)$	تنش برشی
n	مرحله زمانی	$\mu (Ns/m^2)$	لزجت
N	تعداد گره ها		
$Nr(rpm)$	دور	زیر نویسهها	
$P(mpa)$	فشار	ac	شرایط واقعی
$Power(w)$	توان	d	تخلیه
$q(j/kg.s)$	گرمای اضافه شده به ازاء واحد جرم و زمان	is	آیزنتروپیک
$R(j/kg)$	ثابت گاز	r	نسبی
$t(s)$	زمان	s	مکش
$T (k)$	دما	SC	شرایط استاندارد
$U (j)$	انرژی داخلی		

فصل اول :

✓ مقدمه و آشنایی

با خصوصیات گاز طبیعی

۱-۱- مقدمه

گاز طبیعی، هیدروکربنی است که به طور طبیعی وجود دارد و بیشتر از متان تشکیل شده است. این گاز معمولاً در زیرزمین و در میان سنگهای متخلخل شکل گرفته و گاهی به همراه نفت پیدا می‌شود. در طی فرآیند تولید، چاههایی در این نواحی حفر گردیده و از لوله‌هایی برای انتقال گاز به سطح استفاده می‌شود. خطوط گردآوری محوطه تولید را به نقاط اتصال مرکزی وصل می‌کند. برخی سیستم‌های جمع‌آوری به تسهیلاتی برای خارج کردن ناخالصی‌هایی مانند مایعات، آب، دی‌اکسید کربن یا سولفور که باعث خوردگی لوله می‌شوند یا گازهای ساکنی مانند هلیوم که باعث کاهش انرژی گاز می‌شوند، مجهز شده‌اند. سیستم انتقال خطلوله، بزرگراه عظیمی است که مقادیر زیادی گاز طبیعی را، از ناحیه تولید به محل‌های مصرف انتقال می‌دهد. همانطور که می‌دانیم؛ گاز طبیعی بواسطه اختلاف فشار از طریق شبکه خط لوله انتقال می‌یابد. فشار و انرژی گاز عبوری از شبکه بواسطه اصطکاک میان گاز و دیواره داخلی لوله و انتقال حرارت میان گاز و محیط، افت پیدا می‌کند. برای غلبه بر این افت انرژی و کمک به تداوم حرکت گاز درون شبکه، از ایستگاههای تقویت فشار (که در فواصل ۷۰ مایلی یا ۱۱۲/۶۵۴ کیلومتری نصب می‌شود) استفاده می‌شود که البته این ایستگاهها قسمتی از گاز انتقالی را مصرف نموده و باعث ایجاد هزینه مصرفی می‌گردند. ملاحظات اساسی در طراحی و کاربری شبکه خطوط انتقال گاز، بیشینه کردن عبور دهی و کمینه کردن هزینه سوخت مصرفی است.

با توسعه صنایع گازی، شبکه‌های خطوط انتقال گاز در دهه‌های اخیر به سیستم‌های پیچیده‌ای تبدیل شده‌اند. این شبکه‌ها، امروزه در برگیرنده هزاران لوله و صدها ایستگاه تقویت فشار و تجهیزات بسیاری همانند سوپاپها و رگولاتورها می‌شود. در هر ایستگاه نیز گروههای متعددی از واحدهای کمپرسور با خروجی‌های متنوع که برای اتساع ظرفیت خروجی سیستم به کار رفته نصب گردیده‌اند. چنین شبکه‌هایی ممکن است هزاران میلیون فوت مکعب در روز^۱ را انتقال دهند که چیزی در حدود ۳ تا ۵ درصد این مقدار صرف ایستگاههای تقویت فشار برای تداوم حرکت گاز می‌گردد. ارزیابی صورت

^۱ - MMCFD

گرفته حاکی از آن است که بهینه سازی کلی عملکردها توان ذخیره سازی ۲۰ درصد سوخت مصرفی در ایستگاهها را فراهم می کند.

۱-۲- گاز طبیعی [۳۸]

گاز طبیعی عمدتاً از متان، یعنی ساده ترین نوع هیدروکربن، و هیدروکربنهای سنگین تر و پیچیده تری چون اتان، پروپان و بوتان تشکیل شده است گاز معروفی که در منازل، محلهای کسب و کار و بخشهای صنعتی استفاده می شود در اصل متان خالص است که گازی است بی رنگ و بو و با شعله ای کم رنگ و نسبتاً روشن می سوزد. گاز طبیعی تمیز سوز ترین نوع سوخت فسیلی است زیرا عمدتاً فقط بخار آب و دی اکسید کربن تولید می کند. متان هم یکی از مواد خام اصلی برای ساخت حلالها و دیگر مواد شیمیایی ارگانیک است. پروپان و بوتان نیز از گاز طبیعی استخراج و جداگانه به فروش می رسد. گاز نفتی مایع شده^۱ که اصولاً همان پروپان است، معمولاً به عنوان سوخت گازی در مناطق روستایی فاقد خطوط لوله استفاده می شود.

گاز طبیعی غالباً ناخالصی هایی چون دی اکسید کربن (گاز اسیدی)، سولفید هیدروژن (گاز ترش) و آب و نیز نیتروژن، هلیوم و سایر گاز های نادر را در خود دارد. با این اوصاف چون دی اکسید کربن را می توان به حوزه های نفتی قدیمی (تخلیه شده) تزریق نمود تا تولید آن افزایش یابد، آن را گاهی از گاز طبیعی گرفته و به عنوان فرآورده گاز طبیعی می فروشند.

۱-۳- نگاهی به تاریخچه استفاده از گاز طبیعی [۳۸]

گاز طبیعی، تاریخی هزاران ساله دارد، اما اهمیت آن به عنوان سوخت مورد استفاده در زندگی ما از اوایل دهه ۱۹۳۰ آغاز شده است در اواخر قرن بیستم مشخص شد که گاز طبیعی در بخش اعظم جهان صنعتی به یک منبع انرژی بسیار ضروری و حیاتی مبدل شده است.

تقریباً در ۹۴۰ قبل از میلاد، چینی ها با استفاده از نی های تو خالی گاز طبیعی را از محل آن در خشکی به ساحل رسانده و از آن برای جوشاندن آب اقیانوس و استحصال نمک استفاده می کردند. برخی از

^۱ - LPG

کارشناسان می‌گویند که چینی‌ها چاه‌های گاز را حتی تا عمق ۶۰۰ متری حفر می‌کردند. حفر چاه‌های گاز در ژاپن نیز در حدود ۶۰۰ قبل از میلاد گزارش شده است. سایر تمدن‌های کهن نیز متوجه خروج گاز از زمین شده و دریافته بودند که قابل اشتعال است و می‌سوزد.

۱-۴- تولید گاز طبیعی [۳۸]

تقریباً تمام گاز طبیعی از ذخایر زیر زمینی استحصال می‌شود و غالباً نیز با نفت همراه است. گاز طبیعی و نفت خام میلیون‌ها سال قبل از در اثر تجزیه و فاسد شدن گیاهان و حیوانات که مرده و اجسادشان به قسمت‌های زیرین دریاچه‌ها و اقیانوس‌های قدیمی رانده می‌شده، به وجود آمده است. بخش اعظم این مواد ارگانیک در هوا تجزیه (اکسیده) و وارد جو شد، ولی بخشی از آنها قبل از تجزیه مدفون و یا وارد آب‌های راکد و فاقد اکسیژن گردید و از اکسید شدن آنها ممانعت به عمل آمد. طی قرون و اعصار، ماسه، گل و سایر رسوبات بر روی آنها ته‌نشین و آنرا به صورت سنگ فشرده در آورد. با انباشت هر چه بیشتر این لایه‌ها، این مواد ارگانیک در سنگ‌های رسوبی حفظ شد. بالاخره، وزن لایه‌های انباشتی ایجاد چنان فشار و گرمایی نمود که مواد ارگانیک به گاز و نفت تبدیل شد. سنگ‌های دارای خاستگاه رسوبی از قبیل ذغال سنگ، پلمه سنگها و برخی از سنگ‌های آهکی رنگ تیره‌ای دارند که نشانگر وجود محتویات غنی ارگانیک آنهاست. بسیاری از بسترهای رسوبی نیز گاز خیز بوده و عمدتاً از آنها گاز طبیعی تولید می‌شود. ذغالسنگ از مواد صرفاً چوبی تشکیل شده است که در اثر میزان حرارت و گذشت زمان به این شکل در آمده است. چوب و ذغالسنگ دارای خاص شیمیایی ویژه‌ای بوده و به همین جهت فقط گازمتان تولید می‌کنند. به همین دلیل است که معادن ذغالسنگ خطرناک و قابل انفجارند. معمولاً برای دستیابی به گاز در رگه‌های ذغال سنگ که متان خالص است و در زمان تغییر یافتن چوب به ذغالسنگ به وجود می‌آید، چاه‌هایی در ذخایر در برگیرنده آن حفر می‌کنند. این گاز از مسیر شکاف‌های طبیعی به سطح منتقل می‌شود که ابتدا آب تولید و سپس متان آزاد می‌کند. در دیگر ذخیره گاه‌های رسوبی، مهمترین عامل تعیین کننده وجود گاز، یا نفت درجه حرارت است. در اعماق نسبتاً کم، که درجه حرارت برای تولید نفت کافی نیست، فعل و انفعالات باکتریها نوعی گاز بیوژنیک (میکروبی) تولید می‌کند که متان

تقریبا خالص است (شکل ۱-۱). این نوع گاز که معمولا به گاز باتلاقی مشهور است غالبا به مقدار زیاد وارد هوا می شود و بزرگترین یعنی حوزه یوگوری سیبری، خاستگاه همین نوع گاز است. گاز موجود در آن در زیر زمین دائما یخ زده، محبوس است و حجم آن معادل ۸ تریلیون متر مکعب برآورده شده است.

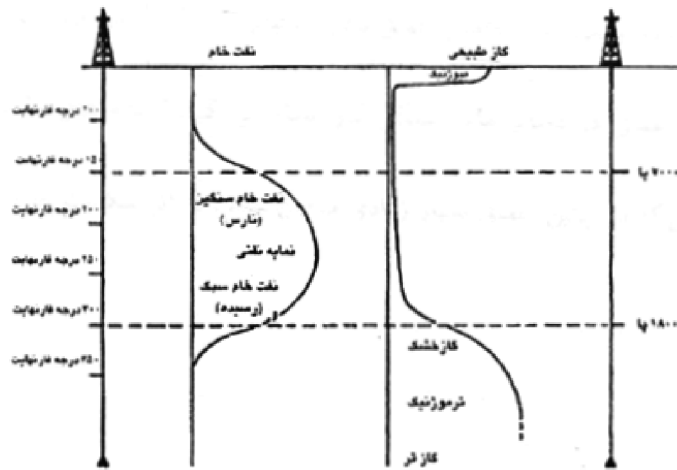
در اعماق پایین تر و دمای بیشتر (بالای ۳۰۰ درجه فارنهایت یا ۱۵۰ درجه سانتی گراد) گاز ترموژنیک ایجاد می شود. این گاز در ذخایر زیر زمینی و غالبا در زیر سنگ پوش^۱ نفوذ پذیر که از خروج گاز به سمت بالا جلوگیری می کند جمع می شود. در برخی از ذخایر، درجه حرارت زیاد، هیدروکربنهای سنگین تر و مایع را به گاز تبدیل می نماید پس از تولید گاز و کاهش درجه حرارت آن، این هیدروکربن ها دوباره به شکل مایع درآمده و میعان گازی به وجود می آید. مایع حاصله تقریبا بنزین خالص است غالبا به آن بنزین طبیعی نیز می گویند. زمانی که مایع حاصله با بوتان، پروپان و اتان همراه باشد، به این میعان، مایعات گاز طبیعی^۲ می گویند. گاز "مرطوب"^۳ در برگیرنده میعان به صورت گاز در ذخایر (حتی در تولید) وجود دارد که پس از رسیدن به سطح مایع بدست می دهد. گاز "خشک" متان خالص است و چه در درون ذخایر و چه در سطح زمین هیچ مایعی به دست نمی دهد. در درجه حرارت و اعماق بیشتر، یعنی در عمق بیشتر از ۵۵۰ متر و در فرآیندی شبیه به شکست حرارتی^۴ پالایشگاهی که در طی آن مولکولهای بزرگ هیدروکربن شکسته و تجزیه می شوند، نفت خام به گاز طبیعی و گرافیت (کربن) تبدیل می گردد. در اعماق بیش از این، فقط گاز ایجاد می شود و حفر اکثر چاههای عمیق برای دستیابی به گاز طبیعی صورت می گیرد. در بسیاری از موارد که حفاریهای عمیق در ذخایر ماسه سنگی گاز انجام می گیرد، دانه های ماسه و شن از لایه کربن پوشیده شده است که نفتی که در چنین اعماق بسیاری زیادی مدفون شده، در اثر شکست حرارتی به گاز طبیعی مبدل شده است.

¹ - Cap_Rock

² - NGL

³ - wet

⁴ - Thermal Cracking



[38] شکل ۱-۱: پیدایش نفت و گاز

۱-۵- نحوه انتقال گاز طبیعی (احداث خط لوله) [۳۸]

حمل گاز طبیعی از واحدهای تولیدی در هر حوزه تا شرکتهای توزیع کننده و برخی از مشتریان بزرگ صنعتی، به عهده صنعت خط لوله است. خط لوله انتقال گاز طبیعی از لوله های قوی و قطوری ساخته شده که قادرند فشار زیاد (۳۴۰۰ تا ۶۹۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) را تحمل نمایند. فشار گاز در حال انتقال در مسافتهای طولانی به وسیله ایستگاههای کمپرسوری که در نقاط خاص و راهبردی مسیر خط لوله نصب شده، تامین و حفظ می گردد. موتورها و توربین های گازی نیز نیروی لازم برای کمپرسورهای خط لوله را تامین می کنند.

در احداث خط لوله، اولین گام عبارت است از پاکسازی مسیر عبور و حفر خندقی عمیق با استفاده از دستگاه حفاری. قطعات مختلف لوله و اتصالات در کناره مسیر خندق قرار داده می شود. قطر خط لوله مسافت بین ۲۴ تا ۴۸ اینچ (۶۱ تا ۱۲۲ سانتی متر) است، ولی برخی از لوله ها گاهی تا ۵۶ اینچ (۱۴۲ سانتی متر) نیز می رسد. در حالی که ماشین آلات خاصی، لوله ها را در محل اتصال به یکدیگر نگه می دارند، عملیات جوشکاری آنها اجرا می گردد (شکل ۱-۲). برای استفاده از خطوط لوله طولانی مسافت ممکن است از ماشین آلات جوشکاری خودکار استفاده به عمل آید.



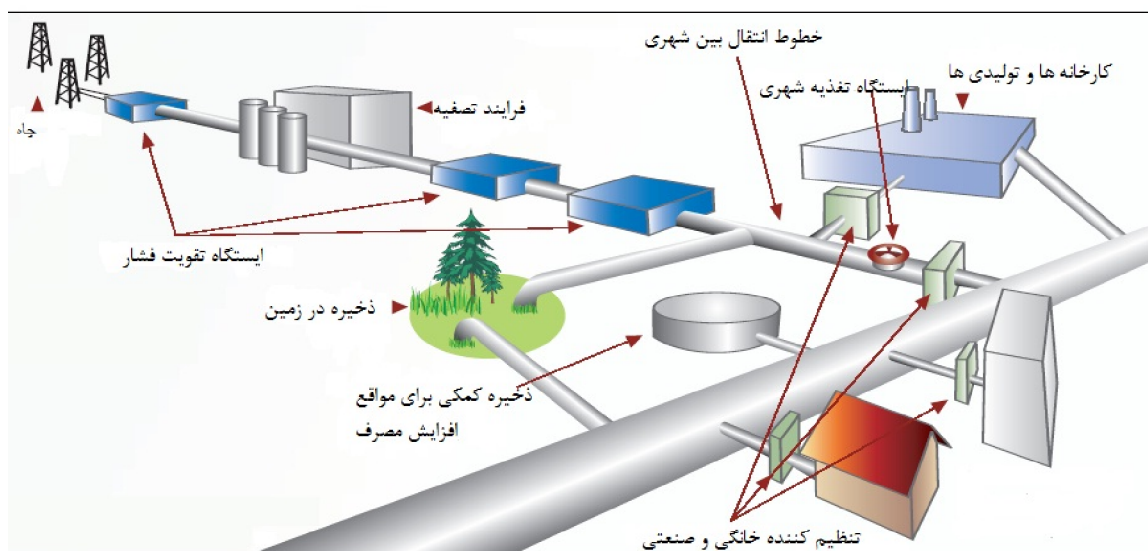
شکل ۱-۲: جوشکاری محل اتصال لوله های گاز [38]

پس از جوشکاری، دیوار بیرونی لوله تمیز شده، بعد از عایق کاری پوشانده می شود تا از فرسایش بیرونی ممانعت به عمل آید. در مواردی نیز، کارخانه تولید کننده، لوله را با لایه از اپوکسی عایق بندی می کند و در محل احداث، فقط عایق بندی محل های جوشکاری شده ضرورت پیدا می کند. گاهی از اوقات کارخانه تولید کننده خواسته می شود که دیواره داخلی را نیز با لایه ای از اپوکسی بپوشاند. این کار دارای مزایای زیادی است که در زیر آمده است :

- مانع از فرسودگی یا خوردگی در حین حمل و نقل نگهداری می شود.
 - امکان انعکاس بهتر نور و بازبینی لوله را قبل از جوشکاری فراهم می کند.
 - پس از انجام آزمایش هیدرواستاتیک، از جذب شدن آب در بدنه لوله جلوگیری می کند.
 - در مراحل اولیه عملیات خط لوله، از جذب افزودنی هایی که به گاز بوی مشخص می دهند جلوگیری می کند.
 - با ایجاد سطحی صاف و یکنواخت، کارآیی جریان گاز را حدود ۴ تا ۵ درصد افزایش می دهد.
- پس از جوشکاری چند قطعه لوله و تشکیل شدن یک رشته، آن را درون خندق قرار داده و روی آن را با خاک می پوشانند. چنانچه لازم باشد مسیر خط لوله از رودخانه ای بگذرد، رشته لوله ای را که به آن وزنه هایی می آویزند تا شناور نشود، درون خندق حفر شده در بستر رود قرار می دهند یا اینکه پلی روی رود احداث می کنند و آنرا از روی آن می گذرانند.

گاهی نیز از حفاری جهت دار یا انحرافی (مانند حفاری جهت دار در چاههای گاز) برای عبور از موانع عمده استفاده می شود. این نوع حفاری زمینه لازم را برای عبور خط لوله از زیر رودها، بزرگراهها و راه آهن به وجود می آورد. برای ممانعت از صدمه دیدن نقاط حساس از نظر زیست محیطی که به موانعی در مسیر احداث خط لوله تبدیل می شوند، این روش حفاری می تواند موثر واقع شود.

احداث خطوط انتقال به سبب سرمایه گذاری در امر حق بهره برداری از زمین، واحدهای عظیم تقویت فشار و مقادیر بسیار زیاد لوله های فشار قوی و قطور، بسیار پر هزینه است. به دلیل حجم سرمایه گذاری، شرکت های گرداننده خطوط لوله تلاش می کنند تا در سرتاسر سال از حداکثر ظرفیت خطوط انتقال بهره برداری نمایند و هزینه های ثابت برگشت داده شود. صنعت خط لوله برای به حداقل رساندن هزینه های حمل و نقل، تلاش می کند تا حتی الامکان نرخ یا میزان تحویل گاز را یکسان نگه دارد و به عبارت دیگر فاصله بین اوج تقاضا در زمستان و تابستان به کمترین حد ممکن برساند. مثلا شبیه سازیهای رایانه ای به صنعت خط لوله امکان می دهد که به جای ایجاد انباشت ظرفیت مازاد فروش نرفته در خط لوله، از گاز ذخیره شده به موقع استفاده به عمل آورد.



شکل ۱-۳: شماتیک سیستم انتقال گاز طبیعی ایستگاههای تقویت فشار

فشار گاز طبیعی در مسیر انتقال تقویت می شود تا هزینه و اندازه لوله مورد نیاز برای حمل آن به حداقل ممکن کاهش یابد. با جریان یافتن گاز در خط لوله، اصطکاک هم سبب کاهش نرخ فشار و جریان آن می

شود، لذا با استفاده از واحدهای تقویت فشار نصب شده در فواصل معین، باید فشار گاز در مسیر خط لوله تقویت شود.

معمولا ایستگاههای افزایش فشار در فواصل ۸۰ تا ۱۶۰ کیلومتری یکدیگر نصب شده و یا چند هزار کیلو وات قدرت، فشار گاز را افزایش می دهند. تا پایان سال ۱۹۹۵ قدرت واحدهای تقویت فشار گاز در آمریکا معادل ۱۰ مگا وات بود.

۱-۶- خصوصیات گاز طبیعی

ترکیبهای مخلوط گاز طبیعی معمولا با کسر مولی بیان می شود. خواص گاز که بیشتر در صنعت گاز طبیعی مورد استفاده قرار می گیرد در زیر آمده است:

- وزن مخصوص (γ_g)

- نسبت گرمای ویژه در دمای مشخص (C_p/C_v)

- فشار بحرانی P_c

- دمای بحرانی T_c

- مولفه آیزنتروپیک σ^1

- ضریب تراکم پذیری Z

- ارزش گرمایی پایین (LHV)

محاسبه خصوصیات گاز طبیعی

۱-۶-۱- وزن مخصوص (γ_g):

وزن مخصوص نسبت وزن مولکولی مخلوط به وزن مولکولی هواست. می توانیم وزن مولکولی مخلوط گاز طبیعی را با جمع کردن وزن مولکولی هر جزء گاز بدست آوریم. بنابراین وزن مخصوص خواهد بود:

$$\gamma_g = \frac{\sum_{i=1}^n M w_i \times y_i}{28.97} \quad (1-1)$$

¹ - Isentropic Exponent

که در آن :

n : تعداد اجزاء

Mw_i : وزن مولکولی جزء i ام

y_i : کسر مولی جزء i ام

۱-۶-۲- نسبت گرمای ویژه (C_p/C_v):

ضریب گرمای ویژه (K) به وسیله تقسیم کردن گرمای ویژه در فشار ثابت به گرمای ویژه در حجم ثابت (C_v) به دست می آید. سپس نسبت گرمای ویژه به صورت زیر است:

$$K = \frac{\bar{C}_{pmix}}{\bar{C}_{vmix}} = \frac{\bar{C}_{pmix}}{\bar{C}_{pmix} - 1.98719} \quad (۲-۱)$$

که در آن \bar{C}_{pmix} گرمای ویژه مولکولی مخلوط گاز در فشار ثابت است.

ظرفیت گرمایی مولکولی با جمع کردن کسر مولکولی هر جزء ضربدر کسر مولکولی آن جزء بدست می آید:

$$\bar{C}_{pmix} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{pi} \times y_i \quad (۳-۱)$$

که در آن:

$$\bar{C}_{pi} = A + BT_i \quad (۴-۱)$$

ثوابت A و B از جدول ۱-۱ بدست می آیند.

۱-۶-۳- فشار بحرانی (P_c):

فشار بحرانی میانگین فشارهای بحرانی مولکولی مخلوط است و با جمع فشار بحرانی هر جزء ضربدر کسر مولکولی آن جزء بدست می آید.

$$P_c = \sum_{i=1}^n P_{ci} \times y_i \quad (۵-۱)$$

P_{ci} می تواند از جدول ۱-۱ برای هر جزء بدست آید.

۱-۶-۴- دمای بحرانی (Tc) :

دمای بحرانی میانگین دماهای بحرانی مولکولی مخلوط است و با جمع دمای بحرانی هر جزء ضربدر

کسر مولکولی آن جزء بدست می آید.

$$T_c = \sum_{i=1}^n T_{ci} \times y_i \quad (۶-۱)$$

Gas	Formula	Molecular Weight	Critical Pressure (psia)	Critical Temperature (°R)	A	B
Air		28.97	546.70	238.4	6.737	0.000397
Ammonia	NH ₃	17.03	1,638.00	730.1	6.219	0.004342
Carbon Dioxide	CO ₂	44.01	1,073.00	547.7	6.075	0.005230
Carbon Monoxide	CO	28.01	514.40	241.5	6.780	0.000327
Hydrogen	H ₂	2.016	305.70	72.5	6.662	0.000417
Hydrogen Sulfide	H ₂ S	34.07	1,306.00	672.4	7.197	0.001750
Nitrogen	N ₂	28.02	492.30	226.9	6.839	0.000213
Oxygen	O ₂	32.00	730.40	277.9	6.459	0.001020
Sulfur Dioxide	SO ₂	64.06	1,142.00	774.7		
Water	H ₂ O	18.02	3,200.00	1,165.0	7.521	0.000926
Methane	CH ₄	16.04	673.10	343.2	4.877	0.006773
Acetylene	C ₂ H ₂	26.04	911.20	563.2	6.441	0.007583
Ethene	C ₂ H ₄	28.05	748.00	509.5	3.175	0.013500
Ethane	C ₂ H ₆	30.07	717.20	549.5	3.629	0.016767
Propene	C ₃ H ₆	42.08	661.30	656.6	4.234	0.020600
Propane	C ₃ H ₈	44.09	617.40	665.3	3.256	0.026733
1-Butene	C ₄ H ₈	56.11	587.80	752.2	5.375	0.029833
Isobutene	C ₄ H ₈	56.11	580.50	736.7	6.066	0.028400
Butane	C ₄ H ₁₀	58.12	530.70	765.3	6.188	0.032867
Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.12	543.80	732.4	4.145	0.035500
Amylene	C ₅ H ₁₀	70.13	593.70	853.9	7.980	0.036333
Isoamylen	C ₅ H ₁₀	70.13	498.20	836.6	7.980	0.036333
Pentane	C ₅ H ₁₂	72.15	485.00	846.7	7.739	0.040433
Isopentane	C ₅ H ₁₂	72.15	483.50	829.7	5.344	0.043933
Neopentane	C ₅ H ₁₂	72.15	485.00	822.9	4.827	0.045300
Benzene	C ₆ H ₆	78.11	703.90	1,011.0	-0.756	0.038267
Hexane	C ₆ H ₁₄	86.17	433.50	914.3	9.427	0.047967
Heptane	C ₇ H ₁₆	100.20	405.60	976.8	11.276	0.055400

جدول ۱-۱: ثوابت مورد استفاده در محاسبه ظرفیت گرمایی ارائه شده توسط لودویگ^۱ (1983) [۲]

۱-۶-۵- مولفه آیزنتروپیک σ:

مولفه آیزنتروپیک از رابطه زیر بدست می آید:

¹ - Ludwig