

به نام خداوند جان و خرد

کزین برتر اندیشه برنگذرد

خداوند نام و خداوند جای

خداوند روزی ده رهنمای

خطوط لوله انتقال مایعات

مرجع مهندسی و محاسباتی

(ویرایش دوم)

مؤلف : محمد هادی غفاری

سرشناسه

غفاری، محمدهادی، ۱۳۶۲ -

عنوان و نام پدیدآور : خطوط لوله انتقال مایعات: مرجع مهندسی و محاسباتی/مؤلف محمدهادی

غفاری

وضعیت ویراست

: ویراست ۲.

مشخصات نشر

: تهران: نشر طراح، ۱۳۹۷.

مشخصات ظاهری

: ۲۵۶ص: مصور، جدول، نمودار.

فروست

: پایبینگ؛ ۱۲.

شابک

: 978-600-8666-16-5

وضعیت فهرست نویسی : فیا

موضوع

: خطوط لوله -- طرح و ساختمان -- هیدرودینامیک

موضوع

: Pipelines -- Design and construction -- Hydrodynamics

رده‌بندی کتبه

: الف ۱۳۹۷ غ۷۵۷/خ۷/۸۶۶۰ TA۶۶۰

رده‌بندی دب

: ۶۲۱/۸۶۷۲

شماره کتابشناسی

: ۵۳۲ ۳۷

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت..

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۶۶-۱۶-۵

ISBN 978-600-8666-16-5



نشر طراح

- نام کتاب : خطوط لوله انتقال مایعات مرجع مهندسی و محاسباتی (ویرایش دوم)
- مؤلف : محمد هادی غفاری
- ناشر : طراح
- صفحه آرا : فاطمه نیکبختیان
- تیراژ : ۵۰ جلد
- نوبت چاپ : اول، بهار ۱۳۹۸

کلیه حقوق برای نشر طراح محفوظ است.

آدرس انتشارات: خیابان انقلاب - مقابل دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - طبقه دوم واحد ۵۰۶
آدرس پخش: خیابان انقلاب - مقابل دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - طبقه منفی یک واحد ۲۰۸
(تلفن: ۷۹۹۹ ۶۶۴۶ و ۶۶۹۵۱۸۳۲ و ۶۶۹۵۱۸۳۱-۰۲۱-فکس: ۳۶۳۶ ۶۶۹۵-۰۲۱ و ۳ ۱۱۲ ۱۱۲ ۹۱۲) (۰۲۱-۰۲۱-۰۲۱)

پیشگفتار

مادامی که نفت و گاز در زندگی ما وجود دارند، ما نیازمند جابه جایی ایمن و کارای این فرآورده‌ها خواهیم بود و نشان داده شده است که خطوط لوله انتقال، ایمن‌ترین روش برای انجام این کار هستند. از آن جایی که حجم زیادی از مواد پرخطری مانند نفت و گاز بایستی جابه‌جا شوند، تنها راه ممکن برای انجام این کار از طریق خط لوله می‌باشد. توسعه شبکه خطوط لوله باعث افزایش منافع اقتصادی و فرصت‌های شغلی و سرمایه‌گذاری در این حوزه خواهد شد.

بعد از اینکه در سال ۱۸۵۸ ایالات نیسپوانیا، نفت کشف شد، خیلی سریع استفاده جدیدی از لوله و خطوط لوله پدیدار شد. اولین خط لوله نفت، به طول ۲.۵ مایل و قطر ۲ اینچ در سال ۱۸۶۳ نصب گردید این خط لوله در روز ۸۰۰ بشکه نفت خام را انتقال می‌داد. نخستین خط لوله نفت در ایران در سال ۱۲۸۹ خورشیدی و پس از احداث پالایشگاه آبادان با ظرفیت ۲۰ هزار تن در سال احداث شد. این خط لوله که مخازن نفت مسجد سلیمان را به پالایشگاه آبادان متصل می‌داد، در سال ۱۲۹۰ خورشیدی بهره‌برداری شد و تلمبه‌های نصب شده در آن با بخار آب کار می‌کرد. مدت عملی و زمانه این تلمبه‌ها ۴۰ هزار بشکه و حداکثر فشار تولیدی آن ۸۰۰ پوند بر اینچ مربع بود. قطر این خط لوله یکسان نبود و در برخی از نقاط شش و در برخی دیگر چهار اینچ بود. دومین خط لوله نیز در همین سال قطر دوازده اینچ کشیده شد.

در کشور عزیزمان ایران به توجه به وجود ذخایر عظیم نفت و گاز و همچنین گستره پهناور اقلیمی، وجود شبکه منشعب خطوط لوله (در حدود ۱۴۰۰۰ km خطوط لوله نفت و فرآورده‌های نفتی و ۳۶۰۰۰ خطوط لوله انتقال گاز) در سراسر کشور، جهت انتقال و توزیع انرژی‌های مهمیتی دوچندان دارد. با توجه نیازهای آتی کشور در توسعه شبکه سراسری خطوط لوله و همچنین با توجه به این که این حجم وسیع از خط لوله، نیاز به نگهداری و بهره‌برداری پایدار، ایمن و اقتصادی دارد و با توجه به کمبود منابع علمی مفید به زبان فارسی در این حیطه، این اثر می‌تواند بخشی از نیازهای کارشناسان در این حوزه‌ها را پوشش دهد. در این کتاب مباحث مربوط به هیدرولیک و طراحی خطوط لوله انتقال مایعات در حالت تک فازی ارائه گردیده است. در تألیف این کتاب سعی گردیده است تا مفاهیم به صورت ساده و کاربردی و با ذکر مثال‌های متعدد بیان گردد. این اثر می‌تواند به عنوان یک مرجع کاربردی و محاسباتی برای کارشناسان و مهندسان شاغل در صنعت نفت، گاز، پتروشیمی، انتقال آب و صنایع فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه

مهندسی خط لوله مبحث گسترده‌ای است که عناوین بسیاری را پوشش می‌دهد، تصمیم گرفتیم در آینده نزدیک نگارش جلد دوم این اثر، که شامل مباحثی در حوزه ساخت، بازرسی، بهره‌برداری و تعمیرات است را آغاز نماییم.

کتاب حاضر در ده فصل تدوین شده است. در فصل اول این کتاب، استانداردهای رایج در حوزه خطوط لوله و سیستم‌های لوله‌کشی معرفی شده است. در فصل دوم مشخصات و جنس لوله‌های جریانی و مختصری در مورد روش‌های تولید آن‌ها بحث شده است. فصل سوم کتاب ویژگی‌های مایعات که در آنالیز هیدرولیکی موثر هستند از قبیل چگالی، لزجت، فشار بخار و غیره توضیح داده شده است. در فصل چهارم که تحت عنوان آنالیز لوله ارائه گردیده است و در آن تعریف ماکزیمم فشار کاری خط لوله یا فشار طراحی و رابطه بارلو و مبحث اختلاط در خط لوله در حالت انتقال مجموعه‌ای فرآورده‌ها و روابط تجربی محاسبه طول اختلاط بیان گردیده است. اصول هیدرولیکی خطوط لوله قبل از شروع دوران نفت و گاز کشف شده بودند، ولی با این سال سازندگان و افراد درگیر در تعمیر و نگهداری خطوط لوله‌ای امروزی همواره نیاز به بهبود فن‌آوری دارند. بسیاری از بادهای مهندسی به‌صورت سعی و خطا حاصل گردیده‌اند. در سال‌های نخست قرن بیستم، آزمایشات تجربی با تحقیقات علمی همگام گردیدند. امروزه علم هیدرولیک خطوط لوله از نتایج حاصل از تئوری، آزمایش و تجربه بهره می‌برد. آگاهی از مفاهیم گرادیان هیدرولیکی و پروفیل مسیر خط، که در فصل پنجم این کتاب به‌صورت کامل توضیح داده شده است، بسیار اساسی و الزامی است و این مفاهیم اساس طراحی خطوط لوله است. در این فصل مباحث هیدرولیکی خط لوله با تعاریف و مفاهیمی از قبیل سرعت جریان، عدد رینولدز، فشار، دقت و افت فشار در جریان مایعات در خطوط لوله ارائه گردیده است همچنین در این فصل گرادیان هیدرولیکی و پروفیل مسیر با تئوری مربوطه و با یک مثال کاربردی به خوبی بیان شده است. در فصل ششم نشان داده شد که چگونه می‌توان مقدار فشار مورد نیاز در مبدأ خط لوله برای انتقال ایمن مایع در خط لوله تا فشار خواسته شده در مقصد، را محاسبه کرد. در این تحلیل علاوه بر افت اصطکاکی، پروفیل ارتفاعی خط و فشار مورد نیاز در مقصد نیز در نظر گرفته می‌شود. همچنین در این فصل، مقدار اسب بخار توان مورد نیاز پمپ و تعداد ایستگاه‌های پمپاژ مورد نیاز برای انتقال یک حجم مشخص از مایع بررسی می‌شود. در فصل هفتم در مورد کاربرد پمپ‌های گریز از مرکز در خطوط لوله بحث می‌شود. اگرچه انواع دیگری از پمپ‌ها از قبیل پمپ‌های دورانی و پمپ‌های پیستونی هم گاهی به کار برده می‌شود، اما امروزه بیشتر خطوط لوله، با پمپ‌های گریز از مرکز یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای بهره‌برداری می‌شود. در این فصل در مورد مباحث پایه‌ای پمپ‌های گریز از مرکز، مشخصه عملکرد آن‌ها و اصلاح عملکرد آن‌ها با تغییر سرعت پروانه و کاهش قطر بررسی می‌شود. قوانین تشابه در پمپ‌های گریز از مرکز، اهمیت هد مکش خالص پمپ (NPSH) و چگونگی محاسبه توان مورد نیاز، زمانی که مایعات مختلف پمپاژ می‌شود، معرفی می‌شود. همچنین تصحیح عملکرد پمپ برای مایعات با لزجت بالا، با استفاده از چارت موسسه هیدرولیک توضیح داده می‌شود. و در ادامه نشان داده خواهد شد که چگونه مشخصه‌های دو یا تعداد بیشتری پمپ در حالت ترکیب سری یا موازی را می‌توان مشخص کرد و چگونه نقطه کار برای یک خط لوله را با استفاد از منحنی هد سیستم تخمین زد.

در فصل هشتم، پارامترهای موثر در ایستگاه‌های پمپاژ که مربوط به پمپ‌ها و هیدرولیک خطوط لوله است، بررسی خواهد داشت. موقعیت بهینه‌ی ایستگاه‌های پمپاژ براساس بالانس هیدرولیکی مرور خواهد شد. تغییرات فشار را در دو سمت مکش و تخلیه پمپ و چگونگی این کنترل فشار با شیر کنترل در پایین دست جریان توضیح داده خواهد شد. مقدار خفگی فشار پمپ که ناشی از عدم تطابق بین هد پمپ و منحنی هد سیستم است، تحلیل خواهد شد و در ادامه، استفاده از پمپ‌های دور متغیر برای صرفه‌جویی در توان مصرفی پمپاژ تحت شرایط مختلف بهره‌برداری مرور خواهد شد. همچنین یک مقایسه اقتصادی بین تنظیم فشار خروجی با پمپ‌های دور متغیر و کنترل ولو انجام خواهد شد.

در فصل نهم، پروسه طراحی خط لوله با حداقل اطلاعات پایه‌ای (دبی مورد نیاز و نقاط ابتدایی و انتهایی) توضیح داده می‌شود. با در نظر گرفتن محدودیت‌های وقوع پدیده سرج در یک خط لوله قبل از طراحی آن می‌توان میزان تعمیرات بعدی مورد نیاز در خط لوله را کاهش داده یا به نقاط خاصی انتقال داد. بنابراین لازم است در هنگام طراحی یک خط لوله، وقوع پدیده سرج در آن مورد بررسی قرار گرفته و وسایل مورد نیاز برای کاهش اثر سرج در خط لوله به درستی انتخاب شود. لذا در فصل دهم به بررسی پدیده سرج در خط لوله، عوامل ایجاد این پدیده و روش‌های کنترل آن پرداخته شده است. در انتهای کتاب پیوست‌هایی قرار داده شده است، تا خوانندگان عزیز بتوانند در انجام محاسبات خود از آن کمک بگیرند.

در پایان فرصت را غنیمت شمرده و از همکاران محترم در شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران که در طول این سال‌ها در کنارشان بسیار آموختم و تجربه کسب کردم تشکر نمایم. لازم می‌دانم از آقای مهندس امین گنجی که در تألیف این اثر بنده را راهنمایی و تشویق نمودند، تشکر کنم. همچنین از همسر عزیزم که در طول مدت تألیف این کتاب با صبر و شکیبایی فراوان و با فراهم آوردن محیطی آرام و مناسب، ادامه کار را برایم امکان‌پذیر ساختند، سپاسگزاری و قدردانی می‌کنم.

خبرسنیدیم که خداوند این توانایی را به ما داد تا بتوانیم خدمتی ناچیز به جهانان و کارشناسان این مرز و بوم نماییم. امید است این اثر بتواند مورد توجه هموطنان عزیز قرار بگیرد. در ضمن عزیزان می‌توانند از طریق ایمیل Moha.ghafari@gmail.com نظرات و پیشنهادات ارزنده خود را با نویسنده در میان بگذارند.

با تشکر

محمد هادی غفاری

فصل ۱ کدها و استانداردهای طراحی خطوط لوله (۸-۱)

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱ کدها و استانداردهای رایج در سیستم لوله‌کشی (Piping) و خطوط لوله (Pipeline) ۲
- ۱-۲-۱ استاندارد ASME ۲
- ۲-۲-۱ استاندارد API ۸

فصل ۲ مشخصات و جنس لوله (۱۴-۹)

- ۱-۱ مقدمه ۹
- ۲-۱ جنس لوله جریانی ۹
- ۳-۲ رجه (کلاس) لوله جریانی ۱۰
- ۴-۲ قطر و ضخامت دیواره لوله‌ها ۱۰
- ۵-۲ روش‌های تولید لوله ۱۱

فصل ۳ مشخصات مایعات (۳۲-۱۵)

- ۱-۳ یکاهای اندازه‌گیری ۱۵
- ۲-۳ جرم، حجم، چگالی و وزن مخصوص ۱۶
- ۱-۲-۳ جرم ۱۶
- ۲-۲-۳ حجم ۱۶
- ۳-۲-۳ چگالی ۱۸
- ۴-۲-۳ وزن مخصوص ۱۸
- ۳-۳ چگالی ویژه و گرانش API ۱۹
- ۱-۳-۳ تغییرات چگالی ویژه با دما ۲۰
- ۲-۳-۳ چگالی ویژه مخلوط مایعات ۲۱
- ۴-۳ لزجت ۲۲
- ۱-۴-۳ تغییرات لزجت با دما ۲۵
- ۲-۴-۳ لزجت مخلوط مایعات ۲۸
- ۵-۳ نقطه ریزش (Pour Point) ۳۰
- ۶-۳ فشار بخار ۳۱
- ۷-۳ مدول بالک (Bulk Modulus) ۳۲

(۳۳-۴۷)

فصل ۴ آنالیز لوله

- ۳۳ ۱-۴ ماکزیم فشار کاری
- ۳۵ ۲-۴ معادله بارلو برای فشار داخلی
- ۳۶ ۳-۴ معادله اصلاح شده بارلو
- ۳۹ ۴-۴ لوله‌های جدار ضخیم
- ۴۰ ۵-۴ Line Fill volume و انتقال مجموعه‌ای (Batching) در خط لوله
- ۴۲ ۶-۴ اختلاط در خط لوله
- ۴۶ ۷-۴ محاسبه وزن لوله

(۴۹-۱۰۱)

فصل ۵ آنالیز هیدرولیکی خطوط لوله

- ۴۹ ۱-۵ مقدمه
- ۴۹ ۲-۵ سرعت ریار مایع در خطوط لوله
- ۵۳ ۳-۵ عدد ریاولد در جریان مایع
- ۵۵ ۴-۵ فشار و هد در مایع
- ۵۷ ۵-۵ افت فشار در جریان مایع
- ۵۸ ۱-۵-۵ افت فشار ناشی از اصطکاک
- ۶۰ ۲-۵-۵ ضریب اصطکاک جدار داخلی لوله
- ۶۵ ۳-۵-۵ روابط افت فشار در جریان آشفته
- ۷۴ ۴-۵-۵ افت فشار موضعی (Minor Loss)
- ۸۳ ۶-۵ حالت سری و موازی لوله‌ها
- ۸۴ ۱-۶-۵ افت هد در حالت لوله‌کشی سری
- ۸۶ ۲-۶-۵ افت هد در حالت لوله‌کشی موازی
- ۹۱ ۷-۵ معادله انرژی و رابطه برنولی
- ۹۳ ۸-۵ خط تراز انرژی و گرادینان هیدرولیکی
- ۹۴ ۹-۵ کاربردهای عملی مفاهیم هیدرولیک در عملیات خطوط لوله

(۱۰۳-۱۲۰)

فصل ۶ فشار و توان مورد نیاز برای انتقال مایع

- ۱۰۳ ۱-۶ مقدمه
- ۱۰۳ ۲-۶ فشار کل مورد نیاز جهت انتقال مایعات
- ۱۰۹ ۳-۶ انتقال مایعات با فشار بخار بالا
- ۱۱۰ ۴-۶ توان مورد نیاز برای پمپاژ در خطوط لوله مایعات

- ۱۱۰ ۱-۴-۶ توان هیدرولیکی (Hydraulic Horsepower)
- ۱۱۱ ۲-۴-۶ توان مفید یا توان ترمزی (Brake Horsepower)
- ۱۱۳ ۵-۶ منحنی‌های هد سیستم برای خطوط لوله مایع
- ۱۱۵ ۶-۶ تزریق و برداشت در خطوط لوله مایع
- ۱۱۶ ۷-۶ لوپ (Loop) گذاری در خطوط لوله مایع

فصل ۷ آنالیز پمپ‌ها (۱۷۲-۱۲۱)

- ۱۲۱ ۱-۷ مقدمه
- ۱۲۱ ۲-۷ پمپ‌ها
- ۱۲۲ ۱-۲-۷ پمپ‌های جابه‌جایی مثبت (Positive Displacement Pump)
- ۱۲۶ ۲-۲-۷ پمپ‌های گریز از مرکز
- ۱۲۸ ۳-۷ منحنی عملکرد
- ۱۳۲ ۴-۷ مدلی ۵ پمپ و دبی (H-Q)
- ۱۳۳ ۵-۷ منحنی اندک دبی (E-Q)
- ۱۳۵ ۶-۷ منحنی قدرت پمپ دبی (BHP-Q)
- ۱۳۷ ۷-۷ منحنی NPSH و دبی
- ۱۳۸ ۸-۷ نقاط خاص منحنی‌های
- ۱۴۰ ۹-۷ سرعت مخصوص (Specific speed)
- ۱۴۴ ۱۰-۷ قوانین تشابه (AFFINITY LAWS) تغییرات نسبت به قطر و سرعت پروانه
- ۱۴۵ ۱۱-۷ تاثیر چگالی ویزه و لزجت روی عملکرد پمپ
- ۱۴۹ ۱۲-۷ منحنی مشخصه سیستم
- ۱۵۲ ۱۳-۷ تغییرات منحنی مشخصه سیستم
- ۱۵۲ ۱-۱۳-۷ تغییرات مشخصه‌های دینامیکی
- ۱۵۴ ۲-۱۳-۷ تغییرات مشخصه‌های استاتیکی
- ۱۵۵ ۱۴-۷ نحوه قرارگیری پمپ‌ها (حالت سری و موازی)
- ۱۶۵ ۱۵-۷ تاثیر عوامل مختلف بر نقطه کار پمپ
- ۱۶۵ ۱-۱۵-۷ عمر کار ایستگاه
- ۱۶۵ ۲-۱۵-۷ شیب منحنی H-Q
- ۱۶۷ ۳-۱۵-۷ وجود کنار گذر (Bypass)
- ۱۶۷ ۴-۱۵-۷ تغییر سرعت دورانی
- ۱۶۸ ۱۶-۷ NPSH مورد نیاز در مقابل NPSH در دسترس

فصل ۸ ایستگاه‌های پمپاژ (۱۷۳-۱۹۰)

۱۷۳	۱-۸ مقدمه
۱۷۳	۲-۸ پیکربندی ایستگاه پمپاژ
۱۷۷	۳-۸ خطوط لوله دارای چند ایستگاه پمپاژ
۱۷۷	۴-۸ بالانس هیدرولیکی و ایستگاه‌های پمپاژ مورد نیاز
۱۷۹	۵-۸ تلسکوپی شدن (Telescoping) ضخامت جداره لوله
۱۸۱	۶-۸ تغییر در گرید لوله
۱۸۱	۷-۸ Slack Line و جریان با سطح آزاد
۱۸۳	۸-۱ کنترل فشار در ایستگاه‌های پمپاژ
۱۸۵	۸-۲ پمپ‌های دور متغیر

فصل ۹ طراحی خطوط لوله مایع (۱۹۱-۲۲۰)

۱۹۱	۱-۹ مقدمه
۱۹۱	۲-۹ مراحل طراحی
۱۹۲	۳-۹ طراحی مقدماتی
۱۹۳	۱-۳-۹ انتخاب مسیر حلاله
۱۹۳	۲-۳-۹ نقشه‌برداری مسیر خط لوله
۱۹۴	۳-۳-۹ تهیه نقشه افقی و نیمرخ مسیر و تعیین خط لوله
۱۹۵	۴-۳-۹ آزمایش‌های خاک شناسی و هیدرولیکی
۱۹۶	۵-۳-۹ تجزیه و تحلیل اقتصادی
۱۹۹	۶-۳-۹ محاسبات هیدرولیک خطوط لوله

فصل ۱۰ سرچ در خطوط لوله مایع (۲۲۱-۲۳۲)

۲۲۱	۱-۱۰ مقدمه
۲۲۱	۲-۱۰ تئوری ایجاد سرچ
۲۲۹	۳-۱۰ عوامل ایجاد پدیده سرچ
۲۳۰	۴-۱۰ نحوه کنترل پدیده سرچ

پیوست‌ها (۲۳۳-۲۴۴)

منابع (۲۴۵)