اویل ایندستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

[MODERN PUPELINE CONSTRUCTION] [BY : J.C. GRAY]
[ترجمه : سیروس یحیی‌پور]

تاثیرات درجه حرارت بر آزمایش هیدرواستاتیک خطوط لوله

مقدمه : آزمایشات فشار PRESSURE TESTS برای حصول اطمینان از کارکرد بی‌خطر و مطمئن ظروف تحت فشار از سالهای ۱۹۵۰ میلادی مقبولیت و رواج روزافزونی پیدا کرده اند. بعلت خطرات ناشی از ذخیره فراوان انرژی در گازها درحین فشرده شدن، آزمایشات فشار در اکثر قریب به اتفاق حالات، بجز موارد استثنائی به شکل آزمایشات فشار هیدرواستاتیک انجام میشود.

آزمایش هیدرواستاتیک خطوط لوله بعلت ویژگیهای خود (طولانی بودن خط، عبور از مناطق با موقعیتهای متفاوت اقلیمی و جغرافیائی، پنهان بودن خط در زیر زمین و غیره) از جالبترین و بحث انگیزترین انواع این آزمایشات است. مقاله حاضر که اقدام به برگردان آن شده علیرغم اختصار و کوتاهی دارای نکات جالب و بدیعی است، بخصوص که اقدام به توضیح یکی از گرهگاههای این نوع آزمایشات (تاثیر درجه حرارت بر فشار) نموده است.

روشهای آزمایش هیدرواستاتیک بعلت عوامل متعددی از قبیل استانداردها و کدهای مورد استفاده، وضعیت جغرافیائی، پستی‌ها و بلندی های ناحیه، نوع سیال مورد بهره‌برداری و فلسفه شرکت طراح خط لوله بسیار متنوع اند.

در این مقاله دو تقسیم‌بندی اصلی آزمایشات هیدرواستاتیک ذکر شده است :

۱) نوع اول که به آزمایشات با فشار کنترل شده مرسوم میباشد خود دارای اشکال متعددی است و امروزه درکشور ما وسیعا" بکار میرود. از ویژگیهای این نوع آزمایش بخصوص روش مرسوم در ایران آنست که فشار آزمایش در بالاترین نقطه بر مبنای استاندارد B. 31.4 یا ANSI B31.8 در محدوده بین 1.25 الی 1.4 و گاهی

اوقات 1.5 برابر فشار طراحی در نظر گرفته میشود و در عین حال فشار در پائین‌ترین نقطه نبایستی از 95% نقطه تسلیم S.M.Y.S خط لوله تجاوز نماید.

۲) نوع دوم که اغلب به آزمایش با فشارهای بالا (HIGHER TEST PRESSURE)، و یا آزمایش بطریقه تسلیم YIELD TESTING معروف است. عمدتا" شامل فشارهائی تا 110% نقطه تسلیم خط میگردد و حداکثر فشار آزمایش در آن از طریق بررسی و کنترل مقادیر تئوریک نسبت فشار - حجم* در مقایسه با نسبت فشار - حجم واقعی و درحین انجام آزمایش تعیین میگردد. توضیح تفصیلی این نوع آزمایش در کتابی بنام :

STUDY OF FEASIBILITY OF BASING NATURAL GAS PIPELINE OF OPERATING PRESSURE ON HYDROSTATIC TEST PRESSURE

از انتشارات انجمن گاز آمریکا آمده است. از این کتاب ترجمه فارسی توسط شرکت ملی گاز ایران در دست است.

---

* نسبت فشار حجم عبارت است از حجمی از آب که بتواند سبب افزایش فشار داخلی خط به میزان یک واحد گردد.

انواع آزمایشات هیدرواستاتیک

در آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله که معمولا" قبل از راه اندازی خطوط انجام میشود ، کدهای CODES مختلفی مورد استفاده قرار میگیرند ، اما به هر صورت این آزمایشات شامل دو عملکرد اصلی هستند :

الف) وجود اطمینان از مقاومتی که خط لوله باید دارا باشد

ب) حصول اطمینان از عدم وجود نشتی در خط

هر آزمایش هیدرواستاتیک اساسا" شامل مراحل ذیل میباشد :

پرکردن خط از سیال مورد آزمایش (معمولا" از آب استفاده میشود). پمپاژ مقدار اضافی آب بداخل خط تا رسیدن به فشار مورد نظر ، نگهداری این فشار طی یک دوره زمانی معین ، تخلیه آب و خشک کردن لوله .

آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله را میتوان به دو دسته اصلی طبقه بندی نمود :

۱- آزمایش با فشار کنترل شده PRESUURE CONTROLLED TEST

آزمایشاتی هستند که در آن فشار داخلی خط تا فشار از قبل تعیین شده بالا برده شده و سپس طی زمان مشخصی نگهداری میشود .

۲- آزمایش بروش تنش حجم کنترل شده VOLUME - STRAIN CONTROLLED TEST

به آزمایشاتی اطلاق میشود که حداکثر فشار آزمایش آنها باتوجه به منحنی فشار - حجم و در حین آزمایش تعیین میگردد .

آزمایش " تنش حجم کنترل شده " ارزیابی واقعی و مناسبی را از مقاومت خط لوله میسر می‌سازد ، در حالیکه " آزمایش فشار کنترل شده " در مقایسه با آن فقط حداقلی ازمقاومت خط را ارزیابی میکنند ، بدون درنظرگرفتن نوع آزمایشی که انجام میگیرد . برای آنکه بتوان تاثیر درجه حرارت را برنتایج آزمایش محاسبه کرد ، لازم است که قبل از هر چیز نسبت فشار - حجم را برای طول مشخص خط لوله تحت آزمایش تعیین نمود . میزان آبی که یک مایل (MILE) از خط لوله ای را پر میکند با فرمول زیر بدست می آید .

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{1}{144} \times 5280 \text{ Cu ft}$$ برحسب فوت مکعب

$$= 28.8\, d^2 \text{ Cu.ft}$$ [فرمول شماره ۱]

جائیکه :

V = Cu ft/mile حجم آب مورد نیاز برحسب فوت مکعب / مایل
d = قطر داخلی خط برحسب اینچ

مقدار آب لازم برای بالابردن فشار خط و درنتیجه نسبت فشار - حجم برای طول مشخص خط لوله مورد آزمایش ، تحت تاثیر دو عامل قرار دارد :

۱ - قابلیت فشار پذیری آب

۲ - میزان انبساط الاستیک دیواره ء لوله

نسبت فشار -حجم تئوریک برای یک لوله زیرزمینی طولانیLONG BURIED PIPE LINE از فرمول زیر بدست می آید :

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = V \left[\frac{D}{Et} (1-\gamma^2) + C \right]$$ [فرمول شماره ۲]

V = Cuft/Mile حجم آب لازم برای پرکردن خط لوله
V= Cuf حجم آب اضافه یا برداشت شده
P= PSI فشار افزایش یا کاهش یافته در اثر V
D = INCH قطر خارجی لوله
E = PSI مدول یا نگ (مدول الاستیک)
t = INCH ضخامت جداره لوله
γ = POISSON RATIO نسبت پواسون
C = CU INCH/ CU INCH/ PSI ضریب فشار پذیری آب

تا حدود 5000 PSI تغییرات فشار اثری روی ضریب فشارپذیری آب ندارد . اما تغییرات درجه حرارت محیط گرمایش روی آن موثر است . در جدول شماره [۱] مقادیر ضریب فشار پذیری آب بر حسب فشار و درجه حرارت درج شده است . برای درجات حرارت معمولی AMBIENT TEMPERATURE اغلب اوقات عدد 3.12×10^{-6} عدد قابل قبولی است .

جدول شماره [۱]
تراکم پذیری آب

دما C	فشار (PSIg)	ضریب (Cuin./Cuin.PSI)
		$۳/۵۷ \times ۱۰^{-۶}$
۰	۰ - ۳۵۰	۳/۴
۱۰	۰ - ۳۵۰	۳/۳۴
۲۰	۰ - ۳۵۰	۳/۵۱
۰	۳۵۰ - ۷۲۰	۳/۳۵
۱۰	۳۵۰ - ۷۲۰	۳/۲۴
۲۰	۳۵۰ - ۷۲۰	۳/۳۵
۰	۱۴۵۰ - ۲۹۲۵	۳/۱۴
۱۰	۱۴۵۰ - ۲۹۲۵	۳/۰۱
۲۰	۱۴۵۰ - ۲۹۲۵	۲/۸۹
۵۰	۱۴۵۰ - ۲۹۲۵	

نسبت مقدار آب اضافه شده در مقایسه با تنش الاستیک و فشارپذیری آب در جدول شماره [۲] درج شده است . با نگاهی به جدول شماره [۲] پیداست که ضریب فشار پذیری آب به قطر لوله مورد آزمایش بستگی ندارد (به اعداد مندرج در ستون C جدول توجه گردد). در نتیجه شیب منحنی فشار - حجم فقط به نسبت قطر - ضخامت یعنی D/t وابسته است . برای روشن تر شدن مطلب به مثال زیر که در آن درجه‌حرارت ثابت فرض شده تا روابط بقیه عوامل مشخصتر گردد ، توجه نمائید . دردمای مفروض $15\ ^{o}C$ فرمولهای ۱ و ۲ در ترکیب با یکدیگر بصورت زیر در خواهند آمد .

برای E و C و V اعداد 30×10^{6} و 3.12×10^{-6} و 0.3 درنظر گرفته شده است .

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{\pi d^{2}}{4} \times \frac{1}{144} \times 5280 \left[\frac{D}{Et} (1 - V^{2}) + C \right]$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 8.7\, d^{2} \left[\frac{D}{t} + 103 \right] \times 10^{-7}$$

جدول شماره [۲]

ابعاد لوله (قطر و ضخامت) اینچ	D/t	$\frac{D}{t}(1-V^2)$	C	درصد آب اضافه شده %	
				جهت تنش الاستیک	جهت تراکم - پذیری آب
۶ $\frac{۵}{۸}$ x ۰/۲۵	۲۶/۵	۰/۸ x $۱۰^{-۶}$	۳/۱۲ x $۱۰^{-۶}$	۲۰/۴	۷۹/۶
۱۶ x ۰/۲۵	۶۴	۱/۹۶	۳/۱۲	۳۶/۵	۶۱/۵
۲۴ x ۰/۲۵	۹۶	۲/۹۱	۳/۱۲	۴۸/۳	۵۱/۷
۳۰ x ۰/۳۷۵	۸۰	۲/۴۳	۳/۱۲	۴۴/۱	۵۵/۹
۳۰ x ۰/۳۷۵	۳۴	۱/۰۳	۳/۱۲	۲۴/۵	۷۵/۵

تاثیرات درجه حرارت

افزایش درجه حرارت جداره‌ء لوله و سیال مورد آزمایش سبب انبساط محیطی جداره‌ء لوله و حجم سیال آزمایش میگردد. تاثیر مشترک این دو عامل اثری همانند پمپاژ آب اضافی به داخل خط را داراست و در نتیجه سبب بالا رفتن فشار خط براساس نسبت فشار - حجم بدست آمده از فرمول شماره (۲) خواهد شد.

انبساط حرارتی آب بشدت تحت تاثیر دما قرار دارد و هرگونه بی دقتی در ثبت درجه حرارت در حین آزمایش سبب بروز خطا در نتایج محاسبات آزمایش خواهد شد. بنا براین لازم است که دستگاههای نشاندهنده‌ء درجه حرارت با دقت کافی نصب شوند تا از تاثیر خورشید، باد، باران و دیگر عوامل دور باشند. اندازه‌گیری درجه حرارت می بایستی پس از حصول اطمینان از ثبات حرارتی خط و قبل از شروع نگهداری فشار طی آزمایش نشتی انجام گیرد. انبساط محیطی جداره‌ء لوله بستگی به X یعنی ضریب انبساطی CIRCUMFERENTIAL EXPANSION

فولاد دارد و انبساط حجمی یک لوله زیر زمینی طولانی بستگی به 2α دارد. ضریب انبساط آب "β" بستگی به درجه حرارت داشته و از فرمول زیر قابل محاسبه است.

$$\beta \times 10^{6} = -64.268 + 17.0105t + 0.20369t^{2} + 0.0016048t^{3} + \ldots\ldots\ldots$$

[فرمول شماره ۴]

این فرمول از جداول SMITHSONIAN استخراج شده است. B نیز از جدول شماره [۳] که در آن اعداد حجم درمقابیسه بادرجه حرارت درج شده است، بدست می‌آید.

جدول شماره [۳]
نسبت حجم آب

دما (سانتی‌گراد)	حجم	دما (سانتی‌گراد)	حجم
۱	۱/۰۰۰۰۷	۱۶	۱/۰۰۱۰۳
۲	۰۰۳	۱۷	۱۲۰
۳	۰۰۱	۱۸	۱۳۸
۴	۱/۰۰۰۰۰	۱۹	۱۵۷
۵	۱/۰۰۰۰۱	۲۰	۱/۰۰۱۷۷
۶	۰۰۳	۲۱	۱۹۸
۷	۰۰۷	۲۲	۲۲۱
۸	۰۱۲	۲۳	۲۴۴
۹	۰۱۹	۲۴	۲۶۸
۱۰	۱/ ۰۰۰۲۷	۲۵	۱/۰۰۲۸۴
۱۱	۰۳۷	۲۶	۳۲۰
۱۲	۰۴۸	۲۷	۳۴۷
۱۳	۰۶۰	۲۸	۳۷۵
۱۴	۰۷۳	۲۹	۴۰۵
۱۵	۱/۰۰۰۰۰	۳۰	۱/۰۰۴۳۵

میزان حجم آب افزایش یافته بازاء بالارفتن یک درجه سانتی‌گراد دما در یک خط لوله زیر زمینی - طولانی بصورت زیر محاسبه میگردد:

$$\Delta V = V (\beta - 2\alpha)$$

با جایگزینی این مقدار V در فرمول شماره [۲] فرمول زیر بدست می‌آید:

$$\Delta P = \frac{\beta - 2\alpha}{\frac{D}{Et}(1 - \gamma^{2}) + C}$$

[فرمول شماره ۳]

* جائیکه :

ΔP = PSI فشار افزایش یافته بازاء یک درجه سانتی گراد افزایش دما

در اینجا نیز نظیر مثال قبلی برای وضوح بیشتر مطلب درجه حرارت آزمایش را $15\ ^{o}C$ فرض می کنیم . مقادیر x و B و C برابر خواهد شد با :

$$x = (1.116 \times 10^{-5}) / {}^{o}C$$

$$B = (16 \times 10^{-5}) / {}^{o}C$$

$$C = 3.12 \times 10^{-6}$$

درنتیجه با جایگزینی مقادیر فوق فرمول شماره [۳] بصورت ذیل ساده خواهد شد :

$$\Delta P = \frac{4540}{\frac{D}{Et} + 103}$$

در این مثال نیز همانند نمونه قبلی روشن است که تغییرات فشار براساس تاثیرات دما در یک حالت ثابت گرما فقط بستگی به نسبت قطر به ضخامت لوله یعنی D/t دارد .

مثال :

فرض :

قطر لوله ۲۲ اینچ و ضخامت آن 0.321 اینچ

طول لوله مورد آزمایش 20 MILE

فشار آزمایش 1500 MILE

دمای آب در شروع آزمایش $21\ ^{o}C$

دمای آب در انتهای آزمایش $19\ ^{o}C$

حکـــم :

محاسبه کنید :

الف) نسبت فشار به حجم را .

ب) افت فشار را با در نظر گرفتن کاهش درجه حرارت .

الف) برای محاسبه نسبت فشار - حجم

میزان آب لازم برای پرکردن خط با استفاده ازفرمول شماره [۱] :

$$V = 28.8\, d^2 = 28.8\, (21.376)^2 = 13160 \text{ Cuft/Mile}$$

نسبت فشار - حجم از فرمول شماره [۲] :

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = V \left[\left(\frac{D}{Et} \right) \left(1 - \gamma^2 \right) + C \right]$$

* جائیکه :

$D = 22$

$V = 0.3$

$E = 30 \times 10^6$

$t = 0.312$

$C = 3.01 \times 10^{-6}$ از جدول شماره [۱]

$V = 13160$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 13160 \left[\frac{22 \times 10^{-6}}{30 \times 0.312} \left(1 - 0.3 \right)^2 + 3.01 \times 10^{-6} \right] =$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta P} = 13160 \left(2.139 + 3.01 \right) 10^{-6} = 0.0677 \text{ Cuft/Mile}$$

بنابراین برای یک PSI افزایش فشار در 20 Mile طول خط حجم آب اضافی لازم برابر خواهد شد با :

$Vt = (20 \times 0.0667)$ Cuft/PSI

$= 1.354$ Cuft/PSI $= 10.13$ US gal/PSI

* جائیکه :

Vt = مجموع آب اضافی لازم برای بالابردن یک PSI فشار خط

یک توصیه مناسب در این قبیل موارد آنستکه با رسم منحنی فشار - حجم تئوریک و مقایسه آن با مقدار واقعی صحت و سقم محاسبات کنترل گردد.

در مثال بالا مجموع آب لازم برای رسیدن به فشار 1500 PSI برابر خواهد بود با :

(1500 x 10.13) US gal = 15196 US gal

ب) برای تعیین افت فشار با در نظر گرفتن تاثیر درجه حرارت

براساس جدول شماره [۳]

$21\ ^{o}C$ نسبت حجم آب در = 1.00198

$19\ ^{o}C$ نسبت حجم آب در = 1.00157

$$\text{تغییرات حجم آب برای یک درجه سانتیگراد} = \frac{1.00198-1.00157}{2} = 0.000209$$

$$\text{ضریب انبساط حرارتی} = \frac{\text{تغییرات در حجم}}{\text{نسبت حجم آب در شروع آزمایش}} = \frac{0.000209}{1.00198}$$

$$= (20.45 \times 10^{-5}) / \ ^{o}C$$

با در نظرگرفتن فرمول شماره [۳]

$$P = \frac{B - 2x}{\frac{D}{Et}\left(1 - \frac{}{}^{2}\right) + C}$$

P = تغییرات فشار بازاء یک درجه سانتی گراد از دما

$$B = (20.46 \times 10^{-5}) / \ ^{o}C$$

$$x = (1.116 \times 10^{-5}) / \ ^{o}C$$

$$P = \frac{(20.46 \times 10^{-5}) + (2 \times 1.116 \times 10^{-5})}{(2.139 + 3.01) \times 10^{-6}}$$

$$= \frac{18.228 \times 10^{-5}}{5.149 \times 10^{-6}} = 35.4 \quad PSI/^{\circ}C$$

مجموع کاهش فشار برای $2\ ^{\circ}C$ درجه اختلاف دما :

$$2 \times 35.4 = 70.8\ PSI$$

در این مثال مجموع کاهش فشار با در نظر گرفتن تغییر درجه حرارت تقریبا " برابر 71 PSI میباشد . با فرض انجام چنین آزمایشی در صورتیکه در انتهای زمان آزمایش فشار بیش ازمقدار مذکور افت کند ، می‌بایستی احتمال وجود نشتی در خط را در نظر گرفت و برای پیدا کردن محل نشتی دست به اقدام لازم زد .
اگر چنین فرض شود که این آزمایش نیز در دمای $15\ ^{\circ}C$ انجام گیرد . میزان افت فشار برابر خواهد بود با :

$$P = \frac{4540}{\frac{D}{Et} + 103} = \frac{4540}{\frac{22}{0.312} + 103} = \frac{4540}{173.51} = 26.16$$

و مجموع کاهش فشار برابر خواهد شد با :

$$(2 \times 26.16)\ PSI = 52.3\ PSI$$

مثالهای بالا تاثیر درجه‌حرارت آب را برتغییرات فشار نشان میدهند باید توجه داشت که در درجات حرارت پائین* بعلت خواص ویژه آب فرمول شماره [۶] نتیجه منفی را در بر خواهد داشت و علیرغم افزایش درجه حرارت کاهش فشار بوجود خواهد آمد .

---

* حجم آب در دمای بین D-4 درجه سانتی گراد با افزایش درجه حرارت کاهش می یابد .

نتیجه :

برای تعیین تاثیر درجه حرارت بر فشار در یک خط لوله روش زیر را میتوان بکار بست :

۱- تعیین فشارپذیری آب در شرایط آزمایش براساس جدول شماره [۱].

۲- محاسبه حجم آب لازمه برای پرکردن خط با استفاده از فرمول شماره [۱].

۳- محاسبه نسبت فشار - حجم از طریق فرمول شماره [۲۵] و بدست آوردن آن برای کل طول خط مورد آزمایش برحسب Mile و سپس رسم منحنی فشار - حجم و کنترل عوامل آزمایش براساس آن .

۴- تعیین ضریب انبساط آب از فرمول شماره [۴] یا جدول شماره [۳].

۵- محاسبه افزایش یا کاهش فشار تئوریک (P) در اثر تغییرات دما براساس فرمول شماره [۶] و بدست آوردن آن برای کل طول خط مورد آزمایش .

سیروس یحیی‌پور

۱۳۶۸/۱۲/۱۵