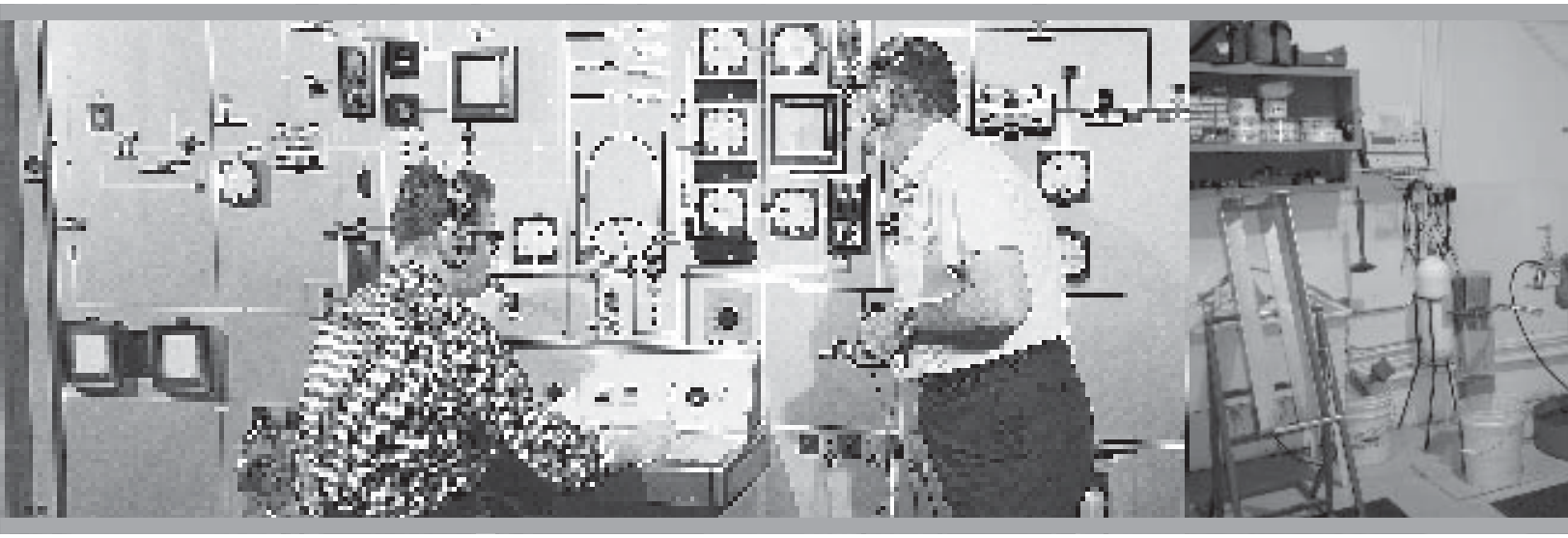
خطرات تست فشار هیدرواستاتیک

برگردان: مهندس فرشید مومنی فراهانی- کارشناس شرکت پالایش نفت تهران
momeni@oilmagazine.ir

در حین انجام تست‌های فشار هیدرواستاتیک اغلب حوادثی رخ می دهد که می‌تواند جان پرسنل را به خطر انداخته و باعث تخریب تجهیزات و تاسیسات صنعتی شود. این نوشتار سعی دارد تا ضمن آشنا نمودن خوانندگان با علل بروز حوادث اتفاق افتاده‌ی قبلی و بیان برخی نکته‌های ایمنی مهم از بروز و تکرار اتفاق‌های مشابه در واحدهای مختلف صنعتی به‌ویژه تاسیسات و مجتمع‌های نفتی جلوگیری نماید. در بخش اول جزییات وقوع شش حادثه‌ی صنعتی بیان گردیده، در بخش دوم این حوادث تحلیل شده و نکته‌های مهمی درباره‌ی علل اصلی وقوع آن‌ها مطرح می‌گردد و بالاخره در بخش سوم چند توصیه مهم ایمنی برای انجام تست فشار هیدرواستاتیک ظروف و مخازن تحت فشار ارایه می‌گردد.



جزییات شش حادثه‌ی صنعتی

۱- تست فشار هیدرواستاتیک یک ظرف نو و عمودی:

علت اصلی این حادثه (شکل۱) به خوبی مشخص نگردید اما برخی از کارشناسان معتقد بودند که انجام تست با آب خیلی سرد عامل وقوع این حادثه بوده است. در این حادثه خوشبختانه هیچ فردی آسیب ندید.

۲- پرکردن مخزن:

مخزن در حال پرشدن با آب آتش‌نشانی بود که ناگهان سقف آن از جا کنده و به چندین متر آن‌طرف‌تر پرتاب شد. (شکل۲)

علت این حادثه آن بود که شیر تخلیه‌کننده هوای مخزن قادر نبود با سرعت کافی هوا را تخلیه نماید و در واقع سرعت و نرخ ورود آب پمپ شونده به داخل مخزن به مراتب بالاتر از نرخ خروج و تخلیه هوا از داخل آن بود. خوشبختانه در این حادثه به هیچ فردی آسیبی نرسید اما درست چند ثانیه قبل از پریدن سقف، یک اواپراتور روی سقف مخزن بود.

۳- خالی‌کردن مخزن:

یک مخزن فرآورده در حین تخلیه ناگهانی مثل کاغذ مچاله شد. (شکل۳)

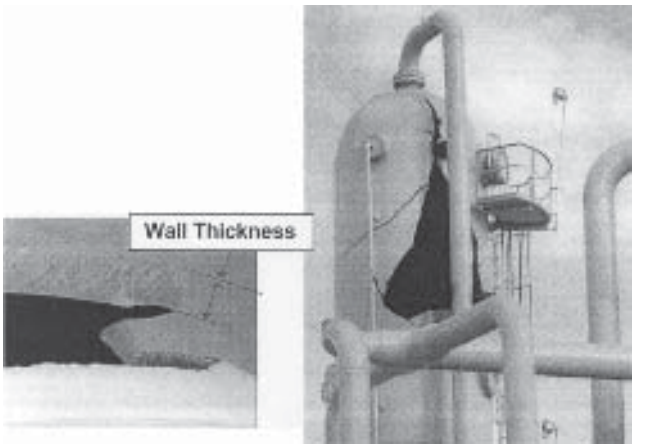
علت اصلی این واقعه، این بود که چند روز قبل پرسنل عملیاتی جهت حفاظت سقف یک لایه پلاستیک را روی سقف پهن کرده بودند که این پلاستیک روی شیر خلاءشکن را گرفته بود و به هنگام تخلیه مخزن در منافذ شیر جمع شده و گیر کرده بود که در نتیجه باعث ایجاد خلاء در مخزن و مچاله شدن آن گردید.

۴- واژگون‌شدن مخزن کروی:

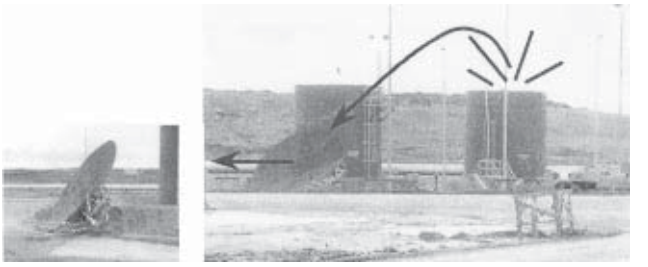
این حادثه به‌هنگام پرکردن یک مخزن کروی ۲۰۰۰ متر مکعبی LPG اتفاق افتاد. (شکل۴)

در زمان حادثه ۸۰ درصد مخزن از آب پرشده بود که ناگهان پایه‌ها در هم شکستند و مخزن واژگون شد. در این حادثه یک نفر کشته و یک نفر به شدت مجروح شد. آخرین تست هیدرواستاتیک این مخزن ۱۰ سال پیش و آخرین بازرسی‌های فنی روی آن ۵ سال پیش از حادثه انجام شده بود. خوردگی شدید پایه‌ها عامل اصلی این حادثه بوده است. ضخامت پایه‌ها تا ۸ میلی‌متر کاهش یافته بود و در برخی از نقاط روی پایه‌ها خوردگی‌های حفره‌ای با حفره‌هایی تا ۱۰ سانتی‌متر مربع ایجاد شده بود.

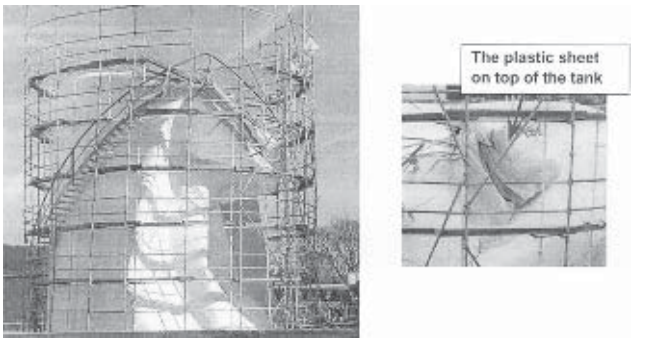
دور پایه‌ها یک حفاظ بتنی ضدحریق کشیده شده بود اما وجود ترک‌های عمودی روی لایه بتنی امکان ورود آب را به ناحیه بین بتن و پایه‌های فولادی و تشدید خوردگی پایه‌ها را فراهم کرده بود. به علت اجرای ضعیف اولیه لایه بتنی نقاطی از این سطوح بتنی ریخته بوده که



شکل(۱) ترکیدن ظرف به هنگام تست فشار



شکل(۲) پریدن سقف مخزن به‌هنگام تست فشار



شکل(۳) مچاله‌شدن مخزن به هنگام تخلیه آن

تعمیرات ضعیفی روی آن مناطق انجام شده بود که عدم امتزاج بتن جدید با بتن قبلی نیز امکان نفوذ آب به سطوح فولادی را فراهم کرده بود.

۵- خالی کردن روغن جعبه دنده (گیربکس):

به منظور سرعت‌بخشیدن به تخلیه روغن از داخل جعبه دنده‌ای با گنجایش ۲۵۰ لیتر روغن، حفره و اتصال مخصوص نصب گیج فشار مسدود می‌گردد و اتصال مخصوص تهویه جعبه دنده به شبکه هوای فشرده‌ی bar ۶ متصل می‌گردد. جعبه دنده می‌ترکد و ترکش‌هایی به اطراف پرتاب می‌شوند که به لوله‌ها و تاسیسات مجاور آسیب جدی وارد می‌کنند. خوشبختانه در این واقعه به‌هیچ فردی آسیب نمی‌رسد. (شکل۵)

۶- از هم گسستن مخزن تحت فشار به هنگام تست:

شکل(۶) یک مخزن تحت فشار (Pressure Vessel) نو را نشان می‌دهد که طی تست فشار هیدرواستاتیک کاملا تخریب شده و از هم گسسته است. این مخزن قبل از تست هیدرواستاتیک تنش‌زدایی شده بود اما این عملیات حرارتی به‌طور کاملا صحیح انجام نشده بود و برخی از نقاط به حد درجه حرارت مطلوب نرسیده بودند. این مساله به همراه یک ترک هیدروژنی کوچک موجود، بر سطح بدنه‌ی مخزن باعث وقوع این حادثه به هنگام تست فشار هیدرواستاتیک گردید. انجام عملیات حرارتی پس از جوشکاری (PWHT) از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است.

نکته‌های مهم درباره‌ی حوادث فوق:

در این قسمت نکته‌ها و اطلاعات مهمی درباره‌ی هر یک از حوادث فوق ارایه می‌گردد تا با علم به این نکته‌ها و اطلاعات بتوان از تکرار حوادث مشابه و به‌وجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی جلوگیری نمود:

- در مورد حادثه‌ی اول:

توجه به درجه حرارت آب مورد استفاده در تست هیدرواستاتیک بسیار مهم می‌باشد. Total final Elf توصیه می‌کند که درجه حرارت ظرف و آب در تست هیدرواستاتیک باید حداقل ۱۶ ^{o}C باشد.

- در مورد حادثه‌ی دوم و سوم:

توصیه می‌شود قبل از هر بار تخلیه یا پرکردن مخزن شیر خلاءشکن و تخلیه‌ی هوا مورد بازرسی قرار گیرد.

- در مورد حادثه‌ی چهارم:

قبل از تست فشار هیدرواستاتیک بر روی هر مخزن یا ظرف قدیمی ابتدا باید یک بازرسی دقیق و کامل به هر دو صورت چشمی و NDT بر روی مخزن صورت گیرد. این بازرسی شامل تمام اجزا و تجهیزات جنبی، نازل‌ها و پایه‌ها می‌باشد.

- در مورد حادثه‌ی پنجم:

آن‌چه مسلم است جعبه دنده (گیربکس) یک مخزن تحت فشار (Pressure Vessel) نیست. یعنی آن‌که بدنه آن برای تحمل فشارهای بالا طراحی نمی‌شود و از طرفی دیگر باید به یاد داشته باشیم که خلاقیت بیش از حد گاهی اوقات دردسرساز است.

- در مورد حادثه‌ی ششم:

عملیات حرارتی پس از جوشکاری (PWHT) به‌طور معمول بر روی قطعات فولادی ساخته شده از طریق جوشکاری و به‌منظور کاهش خطر (ریسک) شکست (brittle fracture) در قطعه انجام می‌شود چرا که باعث کاهش دادن تنش‌های پسماند در قطعه می‌شود. تنش‌های پسماند ناشی از جوش وقتی ایجاد می‌شوند که جوش سرد شده و می‌خواهد منقبض شود اما قسمت عمده قطعه (فلز پایه) در مقابل این انقباض مقاومت می‌کند و در صورتی‌که میزان تنش‌های پسماند از حد تنش تسلیم جنس قطعه بیشتر شود، تغییر شکل‌های ناخواسته (distortion) در قطعه به‌وجود می‌آیند. امروزه امکان مدل‌سازی تنش‌های پسماند به روش المان محدود (finite element) وجود دارد. بدین صورت که ترتیب (Sequence) مورد نظر جهت پرکردن یک درز جوش یا یک جوش تعمیری به‌منظور پیش‌بینی

و به حداقل رساندن سطح تنش‌ها مدل‌سازی می‌شود.

PWHT همچنین باعث کاهش میزان سختی در فلز جوش و منطقه متاثر از حرارت در اطراف جوش (HAZ) می‌شود. چرا که مناطق جوش و HAZ مستعد سخت‌شدن به واسطه‌ی سرمایش سریع پس از پایان عملیات جوشکاری می‌باشند. در مورد فولادهای کم‌آلیاژ که حاوی مقادیری کروم (cr) در ساختار شیمیایی خود می‌باشند، حساسیت نواحی جوش و HAZ به مراتب بیشتر بوده و حتا سرعت‌های پایین سرمایش جوش نیز می‌تواند باعث سخت‌شدن نواحی جوش و HAZ شود.

میزان ریسک شکست در قطعه را می‌توان توسط مکانیک شکست و با در نظرگرفتن بدترین سناریوی ممکن برای متغیرهای مربوطه تعیین نمود و سپس می‌توان پی برد که آیا به انجام PWHT نیاز می‌باشد یا خیر. پیش‌گرمایش منطقه جوش نیز ممکن است بتواند ریسک وقوع ترک‌های هیدروژنی را در قطعه کاهش دهد. عملیات حرارتی هیدروژن‌زدایی پس از جوشکاری (Post weld hydrogen release) نیز می‌تواند در این رابطه موثر و مفید باشد، بدین منظور دمای قطعه برای مدت حداقل ۲ ساعت و بلافاصله پس از جوشکاری در حدود ۲۵۰ °C [1] نگهداشته می‌شود. در اغلب مواد و جنس‌هایی که در ساختار خود عنصر نیکل را دارند، نیاز به پیش‌گرمایش کم‌شده و در بیشتر موارد نیازی به پیش‌گرمایش ندارند. بد نیست بدانیم که اغلب جوشکاری‌های انجام شده با الکترودهای پایه نیکل نظیر فولادهای آستینی به بازرسی‌های به روش آلتراسونیک به‌سختی جواب می‌دهند. در واقع در فاز آستنیت به‌واسطه درشت‌دانه بودن ساختار فلز امواج آلتراسونیک به اطراف منحرف شده و نتایج خوبی به‌دست نمی‌آید.

توصیه‌های ایمنی و فنی برای تست فشار هیدرواستاتیک

ممکن است انجام تست‌های فشار هیدرواستاتیک برای شما کاری بسیار معمول و به‌نظر راحت و بی‌دردسر باشد. اما نباید فراموش کنیم که تست فشار هیدرواستاتیک از نظر ماهیتی یعنی ذخیره‌سازی فشار و انرژی که این فشار و انرژی ذخیره‌شونده در صورت رها شدن به‌هر دلیل ممکن می‌تواند نظیر یک بمب عمل کرده و خسارات مالی و جانی فراوانی را باعث شود.

به منظور جلوگیری از بروز هرگونه حادثه به‌هنگام تست فشار هیدرواستاتیک رعایت توصیه‌های زیر اکیدا توصیه می‌گردد.

- هماهنگی دقیق باید بین گروه‌های مختلف کاری صورت گیرد تا از تداخل کارها بر روی تجهیزات به‌هنگام تست فشار جلوگیری شود.
- تجهیز باید در شرایط مناسب برای بهره‌برداری بوده، به‌خوبی تعمیر شده و تعمیرات صورت گرفته توسط بازرسان فنی تایید شده باشد.

کلیه تجهیزات مربوط به تست اعم از تست پمپ، شیلنگ‌ها و اتصالات را قبل از انجام تست بازبینی و کنترل نمایید، حتا اگر نو باشند.

- اطراف منطقه انجام تست را به‌وسیله طناب ببندید.
- به‌هنگام تست فشار، از زمان پرکردن تجهیز تا پایان تخلیه کامل از حضور و تجمع افرادی که حضورشان در آن منطقه لزومی ندارد جلوگیری نمایید.
- بازرسی چشمی به‌منظور یافتن نقاط نشتی احتمالی باید حداقل ۱۵ دقیقه پس از آن‌که فشار به حداکثر مورد نیاز (معمولا ۱/۵ برابر فشار کارکرد تجهیز) رسید و آن‌هم فقط توسط پرسنل مسوول صورت گیرد.
- از وررفتن با تجهیزات جانبی یا سفت کردن اتصالات، پیچ‌ها یا شیلنگ‌ها در زمانی‌که تجهیز تحت فشار است اکیدا خودداری نمایید.
- به‌منظور جلوگیری از هرگونه ترک‌خوردگی احتمالی ناشی از پدیده‌ی S.C.C [2] اکیدا توصیه می‌شود. برای تست هیدرواستاتیک کلیه قطعات و تجهیزات ساخته‌شده از جنس فولادهای ضدزنگ آستنیتی (سری ۳۰۰) از آب با یون کلراید کمتر از ۵۰ P.P.M استفاده شود. (آب مقطر یا آب کاندنس حاصل از تقطیر در سیستم‌های بخار)

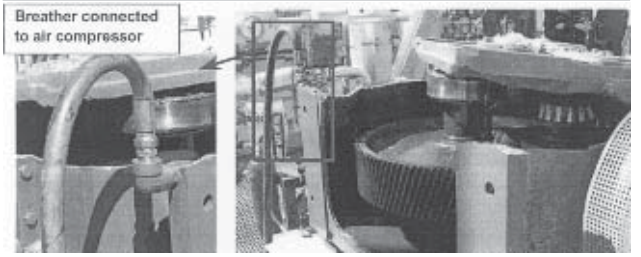
پی‌نوشت:

۱- در کتابچه‌های J CCP دمای پیشنهادی جهت عملیات هیدروژن‌زدایی بین ۳۰۰ °C تا ۴۰۰ °C می‌باشد.

۲- خوردگی تنشی (Stress Corrosion Cracking)

شکل(۴) واژگون‌شدن مخزن کروی به هنگام آب‌گیری جهت تست فشار

شکل (۵) ترکیدن گیربکس به هنگام تخلیه روغن



شکل (۶) از هم‌گسستن مخزن تحت فشار به هنگام تست