مراحل کنترل و هدایت جریان نفت و گاز به سطح و کشتن چاه Macondo

تهیه شده در: شرکت نفت خزر – اداره حفاری

در سال ۲۰۱۰ بعد از فوران چاه Macondo در خلیج مکزیک روش‌های مختلفی برای کنترل و مهار چاه به‌کار برده شد. این روش‌ها شامل فعال‌سازی مجموعه فوران‌گیر، Top Kill و Junk Shot ، قرار دادن سد مهار[1] و پوششی روی دهانه چاه برای انتقال نفت و گاز به سطح و جمع‌آوری آن در سطح توسط کشتی بود. نهایتاً با استفاده از مجموعه پوششی روی دهانه چاه (Capping Stack) و کشتن چاه توسط روش Static Kill و حفر دو چاه و تقاطع این دو چاه در عمق ۱۸۰۰۰ فوتی با چاه اصلی و پمپاژ سیمان، شرکت BP موفق به مهار و کشتن چاه Macondo252 در تاریخ ۱۹ سپتامبر ۲۰۱۰ بعداز ۱۵۲ روز از فوران چاه شد. در ادامه، روش‌های مختلفی که برای مهار چاه استفاده گردید، بررسی می‌شود.

۱- فعال‌سازی شیرهای فوران‌گیر

شرکت BP تصور می‌کرد که فعال‌سازی شیرهای فوران‌گیر بهترین شانس برای بستن سریع چاه است. تلاش‌ها جهت بستن فوران‌گیر برای کنترل جریان بی‌نتیجه بود (جریان شدید و پر فشار هیدروکربن همراه با ماسه سبب سایش شیرهای فوران‌گیر شد و بستن فوران‌گیر بسیار سخت گردید).

۲- سد مهار[2] (کِفردَم)[3]

شرکت BP تصمیم گرفت یک سد مهار (کِفردَم) بر روی دو نشت شدیدی که بر روی رایزر شکسته شده در کف دریا ایجاد شده بود، قرار دهد. در قسمت بالایی محفظه کِفردَم یک لوله برای انتقال هیدروکربن به سطح تعبیه شده بود. شرکت BP در تاریخ ۶ ماه می شروع به پایین بردن این سد و پوشش ۹۸ تنی کرد (شکل-۱).

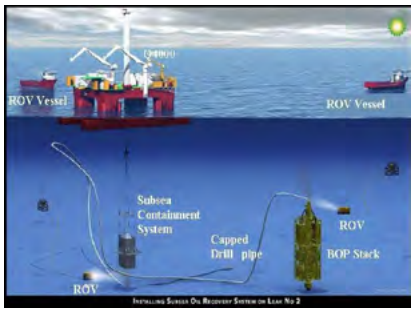
از همان ابتدا جمع‌آوری هیدروکربن توسط کِفردَم نامحتمل به نظر می‌رسید. مهمترین مشکل در این مورد، تشکیل هیدرات در مسیر انتقال هیدروکربن بود که این هیدرات‌ها سبب مسدود شدن لوله انتقال می‌شدند. برای حل مشکل، شرکت BP تصمیم گرفت بعد از نصب پوشش، جریان آب گرم از سطح به درون این پوشش برقرار سازد. در حالی‌که شرکت BP تصمیم به مقابله با تشکیل هیدرات بعد از نصب پوشش روی دهانه چاه گرفت، هیچ برنامه‌ای برای جلوگیری در حین نصب پوشش نداشت. از این‌رو، وقتی کارکنان مشغول پایین بردن و نصب پوشش در محل خود بودند، هیدرات‌ها تشکیل شدند و مسیر انتقال هیدروکربن را مسدود نمودند. از آنجایی که این هیدرات‌ها از آب سبک‌ترند، باعث شناور شدن این پوشش درون آب می‌شدند که نصب این پوشش را در محل موردنظر با مشکل روبه‌رو می‌ساخت. لذا این روش نیز بدون موفقیت بود.

۳-RITT[4]

بعد از شکست روش قبلی، شرکت BP عملیات قرار دادن وسیله‌ای کوچک به نام RITT را در داخل قسمت شکسته شدن رایز آغاز نمود. این وسیله یک لوله به قطر ۴ اینچ است که در قسمت انتهایی رایزر جاسازی می‌شد و نفت و گاز را به کشتی جمع‌آوری در سطح انتقال می‌داد. در این روش، احتمال تشکیل هیدرات‌ها وجود نداشت زیرا هیدروکربن بدون تماس با آب به‌طور مستقیم از داخل رایزر به سطح انتقال پیدا می‌کرد. بعد از مدت ۹ روز استفاده از این روش، در مجموع ۲۲۰۰۰ بشکه نفت در سطح جمع‌آوری شد. در تمام این مدت، نشت هیدروکربن از اطراف این وسیله در قسمت انتهایی رایزر قابل مشاهده بود.

۴- روش Top Kill و Junk Shot

شرکت BP اولین تلاش خود را برای مهار و کشتن چاه Macondo توسط روش Top Kill و پمپاژ Junk Shot انجام داد. روش Top Kill و Junk Shot یک روش استاندارد است که برای مهار جریان از چاه‌های فورانی تحت عنوان Dynamic Kill به‌کار گرفته می‌شود.



شکل ۱ | نمایی از رایزر شکسته شده و سد مهار

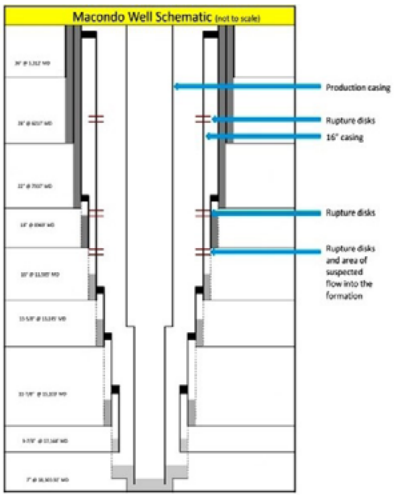
شکل ۲ | پوشش و سد مهار چاه Macondo

شکل ۳ | شماتیک نصب RITT درون رایزر شکسته

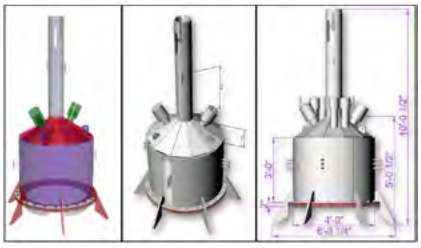
در روش Top Kill گِل سنگین از دهانه چاه از طریق خطوط شبکه کاهنده به درون چاه پمپ می‌شود. میزان فشار این پمپاژ برای هل دادن هیدروکربن به درون چاه و مخزن کافی است. Junk Shot مکمل Top Kill می‌باشد. در این روش، مواد مسدودکننده[5] شامل تکه‌های پلاستیک[6] به انتهای مجموعه فوران‌گیر پمپ می‌شوند. این مواد مسدودکننده مسیر جریان را مسدود کرده و از ایجاد جریان‌های آتی جلوگیری می‌کنند. کاهش یا مسدود کردن جریان Junk Shot سبب می‌شود که مهار چاه توسط روش Top Kill راحت‌تر انجام شود. اولین تلاش شرکت BP با پمپاژ گل به‌میزان ۵۳ بشکه در دقیقه و بیش از ۷۶۰۰۰ بشکه در روز انجام گرفت. گرچه در ابتدا فشار پمپاژ شروع به کاهش کرد که برگشت هیدروکربن به مخزن را نشان می‌داد، ولی فشار به‌سرعت به یک مقدار ثابتی رسید که نشان‌دهنده‌ی عدم پیشرفت روش Top Kill بود. در تلاش دوم، پمپاژ گل به میزان ۲۵ بشکه در دقیقه (۳۶۰۰۰ بشکه در روز) و پمپاژ ۱۵ حجم از Junk Shot انجام شد. تغییرات فشار مانند حالت قبل بود. در سومین و آخرین تلاش، پمپاژ گل به میزان ۸۰ بشکه در دقیقه (۱۱۵۰۰۰ بشکه در روز) و پمپاژ ۲ حجم از Junk Shot انجام شد. با وجود میزان بالای پمپاژ، در این حالت تغیرات فشار مانند حالت قبل بود و روش Top Kill پیشرفتی در مهار چاه نداشت. در نهایت، شرکت BP و دولت امریکا بر توقف کشتن چاه به روش Top Kill موافقت کردند.

٤-١- آنالیز روش Top Kill

چرا این روش شکست خورد؟ برای پی بردن به جواب باید طراحی این چاه بررسی شود. در این چاه در جداری ۱۶ دیسک‌های پاره‌شونده[7] تعبیه شده است که نقاط ضعیفی در جداری ۱۶ می‌باشند. طراحی این دیسک‌ها برای ترخیص فشار حاصل از گرما طی تولید چاه قبل از افزایش فشار به فشار لهیدگی[8] جداری تولیدی و یا فشار ترکش[9] جداری ۱۶ انجام گرفت. این دیسک‌ها برای دو حالت طراحی شده‌اند: ۱- اگر فشار بین جداری ۱۶ و جداری تولیدی به ۷۵۰۰ پوند بر اینچ‌مربع برسد (کمتر از ۱۱۱۴۰ پوند بر اینچ مربع فشار لهیدگی جداری تولیدی) این دیسک به سمت

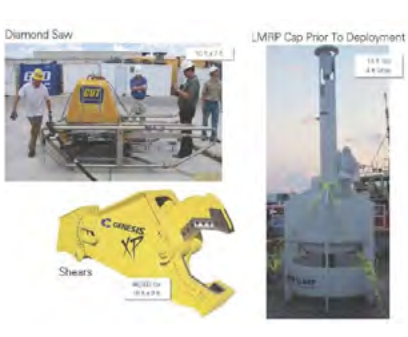


شکل ۴ | شماتیک چاه و محل نصب دیسک‌های پاره شونده در جداری ۱۶ اینچ

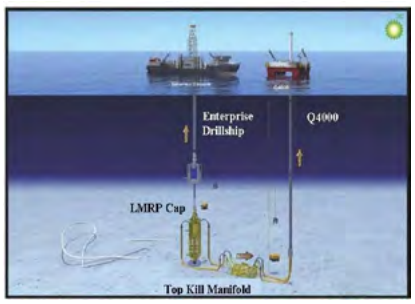


شکل ۵ | طرحی از Top Hat

شکل ۶ | Top Hat استفاده شده در مهار چاه Macondo

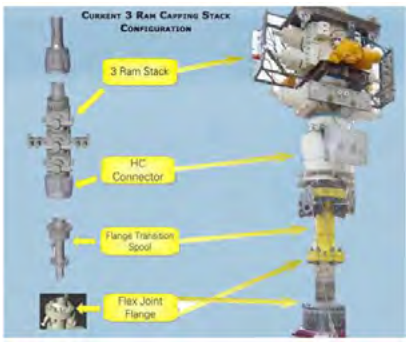


شکل ۷ | تصویری از Top Hat و اره برشی برای بریدن رایزر



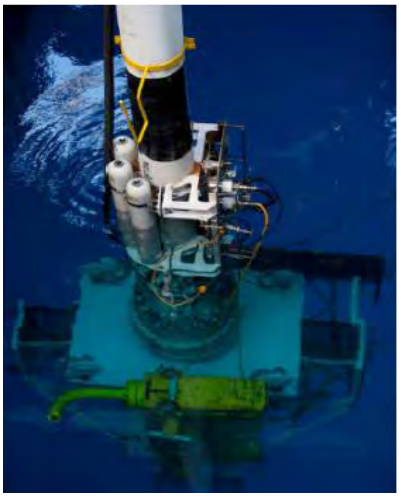
شکل ۸ | جمع‌آوری هیدروکربن توسط سیستم Top Hat و رایزر

شکل ۹ | تخلیه Three Rams Capping Stack

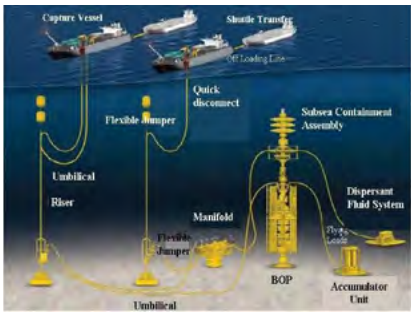


شکل ۱۰ | جزا Three-Ram Capping Stack

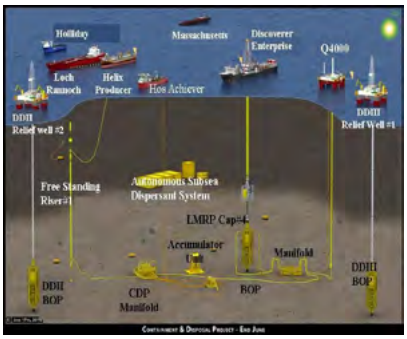
بیرون پاره و سبب ترخیص فشار می‌شود.
۲-اگر فشار بیرون جداری ۱۶ به ۱۶۰۰ پوند بر اینچ مربع برسد (کمتر از ۲۳۴۰ پوند بر اینچ مربع فشار لهیدگی جداری ۱۶) این دیسک به سمت داخل پاره می‌شود. وقتی که این دیسک پاره شود، حفره کوچکی در جداری ۱۶ برای ترخیص فشار به سازند اطراف فراهم می‌کند.
اگر فوران، سبب جریان هیدروکربن در دالیز بین جداری ۱۶ و جداری تولیدی شود، اختلاف فشار بین وزن گل سنگین که در بیرون جداری ۱۶ در زمان حفاری وجود داشت و ستون سبک هیدروکربن در داخل جداری ۱۶ می‌تواند بیش از ۱۶۰۰ پوند بر اینچ مربع باشد که سبب پاره شدن دیسک‌های تعبیه شده در جداری ۱۶ می‌شود. در زمان انجام Top Kill گل پمپ شده درون چاه به‌جای هل دادن هیدروکربن باقیمانده در ستون چاه، از طریق این دیسک‌های پاره شده به درون مخزن و به دلیل از بین رفتن نشت‌بند متعلقات آویزه جداری ۹ ۵/۸ * ۷ اینچ و تجهیزات سرچاهی فشار بالا به سازند اطراف پشت جداری ۱۶ وارد شدند.



شکل ۱۱ | پایین بردن Three-Ram Capping Stack در چاه Macondo برای نصب روی مجموعه فوران‌گیر



شکل ۱۳ | شماتیک طرح سیستم جمع‌آوری هیدروکربن CDP



شکل ۱۴ | سیستم پیشرفته بسته برای جمع آوری هیدروکربن در چاه ماکاندو و حفاری دو چاه relief در دو طرف چاه اصلی

شکل ۱۲ | نمایی کلی از Capping Stack استفاده شده در چاه Macondo

۵- Top Hat

برای نصب Top Hat شرکت BP بخشی از رایزر متصل به مجموعه فوران‌گیر را برید و مجموعه جمع‌کننده هیدروکربن را نصب کرد. همانند RITT و کِفردَم (cofferdam) این پوشش جدید یا "Top Hat" از طریق رایزر به کشتی در سطح آب متصل می‌شود. این پوشش LMRP Cap و شبکه کاهنده، می‌توانند مقدار زیادی از جریان نفت چاه Macondo را جمع‌آوری کنند. نصب Top Hat موفقیت‌آمیز بوده و شرکت BP توسط ROV با استفاده از اره الماسی هیدرولیکی[11] رایزر را در فاصله کمی از مجموعه فوران‌گیر بریدند. شرکت BP با تجربه نصب کِفردَم (Cofferdam) برای جلوگیری از تشکیل هیدراته، تزریق متانول را از پورت‌های تعبیه شده روی Top Hat برقرار ساخت. توسط این روش روزانه نزدیک به ۱۵۰۰۰ بشکه نفت جمع‌آوری می‌شد. شرکت BP ظرفیت جمع‌آوری این روش را افزایش داد، بدین‌ترتیب که یک کشتی تولیدی با استفاده از رایزرهای شناور[12] متصل به خط کشتن فوران‌گیر نیز به جمع‌آوری نفت پرداخت.

۶- نصب Capping Stack و کشتن چاه Macondo

Capping Stack در واقع یک مجموعه فوران‌گیر در مقیاس کوچک‌تر است که برای نصب روی مجموعه فوران‌گیر در مناطق آب‌های عمیق طراحی شده است. این Capping Stack دارای ۳ رمز برای بستن جریان هیدروکربن و شبکه کاهنده در خود است. در چاه Macondo عملیات Capping Stack بدون حادثه و با موفقیت نصب گردید.
Capping Stack در موقع حفاری به‌کار نمی‌رود بلکه در مواقعی که مجموعه

فوران‌گیر در هنگام فوران قادر به بستن و مهار چاه نباشد، از آن استفاده می‌شود. این وسیله به‌عنوان یک پوشش بالای چاه در حال فوران نصب می‌شود. وظیفه آن توقف و یا تغییر جهت و هدایت جریان هیدروکربن از دهانه چاه برای ایجاد زمان کافی برای مهار چاه می‌باشد. Capping Stack حجیم بوده و وزنی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ تن دارد.

Capping Stack طراحی شده برای چاه Ma-condo دارای ۳ رمز، یک کانکتور[۱۳]، شیرهای حفاری دوگانه بر روی خروجی شبکه رمز میانی[۱۴] و پنل[۱۵] ROV بوده و بر روی LMRP مجموعه فوران‌گیر نصب شد. برای نصب Capping Stack ابتدا Top Hat از LMRP جدا شد (در حالی که چاه در حال جریان بود). سپس، فلنج رایز[۱۶] از فلنج فلکسیبل جوینت[۱۷] جدا گردید و یک ترنزیشن اسپول به همراه اکستنشن[۱۸] توسط کابل‌های راهنما[۱۹] بر روی مجموعه فوران‌گیر پیچ و مهره گردید. این مجموعه به‌صورت موفقیت‌آمیز دهانه چاه را پوشاند و موقعیتی را برای مهندسان برای انجام استاتیک کیل چاه فراهم آورد. بعد از حفر دو چاه relief و انجام bottom kill توسط این دو چاه، دولت امریکا در تاریخ ۲۱ سپتامبر چاه Macondo را مرده اعلام کرد. بعد از نصب Capping Stack شرکت BP برای انجام "آزمایش انسجام[۲۰] چاه" که آیا چاه واقعا مهار می‌شود یا نفت و گاز به سازندهای اطراف جریان پیدا می‌کند، تصمیم به بستن موقت چاه گرفت. شرکت BP رمزهای Capping Stack را بست و شروع به آزمایش انسجام چاه نمود (برای اولین بار در مدت ۸۷ روز که هیچ جریانی از نفت و گاز به خلیج مکزیک وارد نشد). فشار اولیه بسته سرچاهی ۶۶۰۰ پام بود و شرکت BP قبل از اتمام حفاری دو چاه relief تصمیم به کشتن چاه از روش استاتیک کیل یا بول هد[۲۱] کردن آن نمود ولی قبل از آن لازم بود که در دو چاه relief مجاور که تنها در فاصله چندین فوتی از چاه اصلی حفر شده بودند، لوله جداری رانده و سیمانکاری نماید. این کار ریسک ناشی از وجود یک چاه باز[۲۲] و یک مسیر جریانی بالقوه در نزدیکی چاه اصلی را از بین می‌بُرد.

دو چاه DDII relief و DDIII کامل و لوله جداری و سیمانکاری آن انجام گرفت. بعد از آن، تیم دولتی مجوّز استفاده از روش استاتیک کیل را صادر نمود مشروط بر اینکه در حین انجام استاتیک کیل، اگر فشار سرچاه به بیش ۸۰۰۰ پام (به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر از فشار کاری Capping Stack) می‌رسید، شرکت BP باید عملیات کشتن را متوقف می‌نمود. آزمایش تزریق گل در سوم آگوست شروع شد و فشار سرچاهی در ابتدا تنها ۳۵ پام افزایش یافت و سپس، شروع به کاهش کرد. بر مبنای نتیجه مثبت تست تزریق‌پذیری، شرکت BP به‌آهستگی شروع به پمپاژ گل سنگین در چاه نمود و سرانجام موفق به کنترل هیدروستاتیکی چاه و به‌دنبال آن، پمپاژ گل سنگین سیمان گردید. در نهایت، با تست فشار مثبت انجام شده بر روی پلاگ سیمانی و تقاطع چاه‌های relief با چاه اصلی در عمق ۱۸۰۰ فوتی و پمپاژ سیمان از طریق آنها، چاه Macondo ۱۵۲ روز بعد از فوران به‌عنوان چاه مرده اعلام شد.

سیستم بسته برای جمع آوری هیدرو کربن به نام CDP[۲۳]

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ دیاگرام تهیه شده توسط شرکت BP تجهیزات جمع‌آوری هیدروکربن موسوم به CPD[۲۴] در اواخر ماه ژوئن نشان داده شده است.

پانویس‌ها

1. Containment Dome
2. Containment Dome
3. Cofferdam
4. Riser Insertion Tube Tool
5. Bridging Materials
6. Pieces Of Tire Rubber And Golf Balls
7. Rupture Disks
8. Collapse Pressure
9. Burst Pressure
10. High Pressure Well head Housing¬
11. Diamond Riser Saw
12. FSR: Freestanding Riser
13. Wellhead Connector
14. A Couple Of Double-Block Drilling Valves On The Choke-And-Kill Outlets Of The Middle Ram
15. ROV Panels
16. Riser Flange
17. LMRP Flexible Joint Flange
18. Transition Spool Fitted With Extension Posts
19. Guide Wires
20. Well Integrity Test
21. Bullhead Kill
22. Open Well
23. Containment Disposal Project
24. Containment Disposal Project

منابع

[1]. "Stopping the spill: the five-month effort to kill the Macondo well", National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, Published: December 7, 2010, 12:00 am.

[2]. "BP Macondo Well Incident", U.S. Gulf of Mexico, Pollution Containment and Remediation Efforts, Presented By: J. Steven Butler.

[3]. Capping & containment global industry response group recommendation report no.46, may 2011

[4]. "How Offshore Capping Stacks Work", Mauricio Madrid and Antony Matson, Trendsetter Engineering, Inc. Vol. 10, No. 1, 2014