

وزارة النفط والثروة المعدنية
الشركة العامة لمصفاة حمص
مديرية الجودة والسلامة المهنية والبيئة

الغاز الطبيعي Natural Gas

اعداد وتقديم المهندس سمير خالد
مدير الجودة والسلامة المهنية والبيئة

المصدر
موقع النفط والغاز الطبيعي العربي

اولا : مقدمة عن الغاز الطبيعي

الغاز الطبيعي واحد من أفضل مصادر الطاقة، وهو من أنواع الوقود الأحفوري كالزيت والفحم، والذي يكون غالباً مصاحباً للنفط تشكل في باطن الأرض من بقايا النباتات والحيوانات والجزيئات الحية التي عاشت قبل ملايين السنين. ويتفق الجيولوجيين والكيميائيين على أن النفط ينشأ من النباتات وبقايا الحيوانات التي تتراكم في على طول قاع البحر / البحيرة مع الرواسب التي تشكل الصخور الرسوبية. أن العمليات التي يتم فيها تحويل المواد العضوية إلى البترول ليست مفهومة لحد الآن. ويعتقد أن العوامل التي تسهم في ذلك هو العوامل البكتيرية ، إجهاد القصر ، بالإضافة الى الضغط والحرارة والتقطير الطبيعي في أعماق كبيرة ومن الممكن وجود عوامل محفزة بالإضافة الى الوقت.

والغاز الطبيعي يوجد في الطبيعة إما مع مكامن البترول أو منفردا. لقد ازداد الطلب على الغاز الطبيعي بشكل كبير في الفترة الأخيرة بسبب نظافته وتعدد استخداماته ، كما أن حرقه بصورة صحيحة لا يؤدي إلى تلوث البيئة ، أي انه يحترق كاملا ولا يترك رمادا ، ولا يكون أول أكسيد الكربون ، كما أن قيمته الحرارية حوالي (١١٠٠٠ - ١٢٠٠٠) كيلو كالوري لكل كيلو غرام ، أي أنه أكبر بكثير من القيم الحرارية لأنواع الوقود الأخرى مثل الخشب (٤٧٠٠ - ٥١٠٠) كيلو كالوري لكل كيلو غرام ، الفحم الحجري (٦٠٠٠ - ٨٠٠٠) كيلو كالوري لكل كغم ، والكيروسين (١٠٠٠٠) كيلو كالوري لكل كغم ، إضافة الى ما سبق فإن اسعاره مستقرة نسبيا بالإضافة الى سهولة نقله و توزيعه بواسطة شبكة من الأنابيب والى مسافات بعيدة. لكن هذا الوقود الغازي تترتب عليه مساوئ منها صعوبة خزنه وتسريه من الأوعية والأنابيب الحاوية له والذي يؤدي إلى حوادث الانفجار والحرائق.

أن العمليات التي يتم فيها تحويل المواد العضوية إلى البترول ليست مفهومة لحد الآن. ويعتقد أن العوامل التي تسهم في ذلك هو العوامل البكتيرية ، إجهاد القصر ، بالإضافة الى الضغط والحرارة والتقطير الطبيعي في أعماق كبيرة ومن الممكن وجود عوامل محفزة بالإضافة الى الوقت.

عندما نتحدث عن الغاز الطبيعي فان وجود الميثان غير الحياتي يدحض الرأي القائل والساند في جيولوجيا النفط من ان النفط والغاز الطبيعي في الارض هو من اصل بايولوجي أو حياتي. وعلى هذا ايضا فان الكربون الموجود في الهيدروكربونات قد اشتق في الاصل من ثاني أكسيد الكربون المتوفر في الجو وان الطاقة التي فصلت الكربون عن الاوكسجين قد جاءت من ضوء الشمس بطريقة التحليل الضوئي للنبات. ان اندثار قسم من هذه المكونات العضوية قبل ان تصيبها الاكسدة يمكن ان تكون مصدر للمواد الاولية للنفط والغاز.

ولا مجال للشك بان هذه العملية قد ساهمت في تكوين القسم الاعظم من النفط الذي تم اكتشافه لحد الان . لقد بدا العمل بنظرية احتواء اعماق الارض على غير الحياتية مع بداية النظريات القائلة بان هذه ال هيدروكربونات تكون الجزء الاعظم من الجزيئات العائمة الكاربونية في النظام الشمسي .ويستدل على ان الكون يتألف في

معظمه من ال هيدروجين او ما يسمى بالكيمياء الكونية ان الارض وبقية الكواكب في النظام الشمسي قد ترسبت وتكيفت منذ بدء الخليفة بشكل غمامة مشبعة بال هيدروجين. كما ان معظم الكاربون الداخل في تكوين النيازك والذي يوفر الدليل على التكوين الطبقي للكواكب يتألف من ال هيدروكاربونات المتعددة تشبه في بعض خواصها الكيمياوية قار النفط. و يعتقد ان الأرض قد حصلت على الكثير من الكاربون بشكل هيدروكاربونات مماثلة. وان غلاف الارض او ما يسمى بجو الارض يحتفظ بمعظم هذا الكاربون بشكل غاز الميثان . ويعتقد ان سبب ذلك يعود الى السنين الاولى في تكوين الارض وغلافها.

وعن طريق عملية التركيب الضوئي تم انتاج الأوكسجين الطلق وامتلاء الغلاف تدريجيا بما يحتويه الان من عنصر الاوكسجين الذي تتألف منه الان الهيدروكربونات ،خاصة الوقود والطاقة الكيمياوية لأن الأوكسجين هو إحدى المكونات اللازمة لعملية الاحتراق لهذا يتوفر في اي مكان من الغلاف الجوي.

لقد انطمرت الهيدروكربونات بفعل الضغط العالي جدا والحرارة الملتهبة تحت الارض واخذت تطلق غاز الميثان كأحدى المكونات الأساسية لها. وينحو هذا الغاز الذي يخرج من طبقات الارض مصاحبا مع غازات اخرى نحو الارتفاع الى سطح الارض ويهاجر الى المناطق الرخوة في قشرة الارض تاركا الكتل الهائلة من الهيدروكربونات وراءه . و حينما تتصل تلك المناطق المشبعة بغاز الميثان بمنطقة الانفجار البركاني تتم اكسبتها الى ثاني أوكسيد الكربون (الأوكسجين المتحد مع الماء او احدى عناصر التأكسد في الصخور) قبل ان يدخل غلاف الارض. و يدخل معظم الكاربون الموجود في غاز الميثان المهاجر لسطح الارض الى غلافها اما بشكل غاز الميثان مباشرة او بشكل متأكسد اي ثاني أوكسيد الكاربون، ويتم ترشيح معظم ثاني أوكسيد الكاربون في المحيطات وتتم ازالته بهذه الوسيلة . اما الصخور المؤلفة لقشرة الارض فإنها تبقى محتوية على كميات هائلة من الكاربون وبشكل مادة الكلس او كاربونات الكالسيوم .

ان هذه الكميات الهائلة الزائدة بأفراط من الكاربون يعتقد بانها قد جاءت الى قشرة الارض من اعماقها وبشكل غازات كاربونية (اي غاز ثاني اوكسيد الكاربون المتحد مع غاز الميثان) ولا يمكن الان التاكيد على اجراء كل من الغازين بشكل منفصل ومن الاعتراضات التي تثار في بعض الاحيان حول وجود ال هيدروكاربونات في باطن الارض ان ها تتأكسد بفعل الضغط والحرارة ال هائلة. الا ان مثل هذه الاقاويل تفتقر الى سببين الاول ان الضغط ال هائل في اي طبقة كانت تؤدي الى استقرار غاز الميثان ولا يؤدي الى عملية الاكسدة . والثاني هو ان توفر غاز الاوكسجين في الصخور البركانية لا يعني ان هيوكسد غاز الميثان حتى وان تكون له هذه الخاصية لان الصخور يجب ان تكون صخور مائية . كما ان الغازات الطليقة من فتحات الارض وقريبة من منطقة الانفجار البركاني قد تتأكسد تماما وتأتي على البقية من غاز الاوكسجين ويبقى غاز الميثان حرا طليقا بكميات كبيرة.

تحتوي الكثير من الصخور الترسبية على بقايا بايولوجية او حياتية وأذا ما غمرت بالنفط غير الحياتي من الاسفل وتركت تتسرب به الالاف من السنين وتحت ضغوط متفاوتة ودرجات حرارة متغايرة يصبح النفط بالمادة البايولوجية.

قد كتب البروفسور البريطاني سير روبرت روبسون قائلا لايمكننا دحض نظرية ان النفط لا يؤلف في مكونات

منتجات عضوية متطورة ، كما ان الأقاويل حول اصل النفط تصلح في هذا الخصوص ايضا باضافات من منتجات بايولوجي اخرى.

ورغم ان غاز الميثان يعتبر من الناحية الكيماوية غازا غير متفاعلا ، فانه يتبلر اي يتحد الى مركب النفط الخام تحت ظروف ملائمة من الحرارة والضغط والفعل التحفيزي (بضمنه الفعل الجرثومي) .وعند حصول هذه الحالة فان جريان غاز الميثان يزيد وبشكل تدريجي وبطيء من المواد البايولوجية ومكامنها و يوسعها الى احتياطي نفطي ذو قيمة تجارية . قد تكون هذه العملية غير ناجحة ، وفي كل الاحوال فان الغاز يتسرب نحو سطح الارض و يستمر جريانه مع تعاقب الفترات الجيولوجية و يعتبر اصل الهيدروكربونات المتوفرة بكميات تجارية في باطن الارض .

ان قابلية الازدياد الكيماوي المتراكم لها مردود ايجابي حيث كلما ازدادت سعة المتراكم ارتفعت قابلية الحصول على الغاز المتسرب الى السطح. ان هذا التكوين البيولوجي يعطي السبب الى التساؤل حول بعض الحقول النفطية ولماذا تكون واسعة عند مقارنتها مع بقية الحقول . ومن بين الالاف من الحقول النفطية التجارية تحتوي ٣٣ حقلًا (٢٥ حقل من ها في الشرق الاوسط) على نصف كميات النفط الخام المكتشفة القابلة للاستخراج في العالم.

ولنبحث في موضوع تسرب غاز الميثان من باطن الارض .توجد ال هاپروكاربونات في القباب القشرية للارض وفي الأحافير لطبقات التكتونية وحدودها ويوجد الميثان بكميات كبيرة في المياه العائمة في باطن ال هضاب الموجودة بين الطبقات.وعلى سبيل المثال تحتوي مياه البحر الميت الشديدة الملوحة على غاز الميثان بنسبة تزيد ١٠٠٠ مرة على ماتحتويه مياه البحر الاعتيادي. وفي المحيط الاطلسي او ما يسمى مرتفعات الاطلسي الشرقية نجد نافورات الريشة تتأثر من قعر البحر على السواحل وتحتوي على كميات هائلة من غاز الميثان . اما في بحيرة(كيفو) في ساحل الأفريقي الشرقي فأنها تحتوي على ٥٠ مليون طن من غاز الميثان المذاب في الماء ولا يعرف لها اي اصل جرثومي معلوم . ونعتقد ان غاز الميثان في هذه المياه كلها يتوفر ويتسرب من خلال التراكيب العميقة للقشرة الارضية.

ودليل اخر على وجود هذه الخواص وارتباطها بال هيدروكاربونات الغير حياتية هو العلاقة بين مناطق النفط والغاز الرئيسية في العالم والمناطق القديمة والحديثة التي تجري في ها العمليات الزلزالية . وغالبا ما تقع الحقول النفطية بالقرب من التصدعات الجولوجية النشطة او القديمة كما توجد معظم الينابيع الصغيرة للنفط والغاز في المناطق الزلزالية النشطة . واهم هذه الانواع بالنسبة الى الغاز هو ما يسمى البراكين الطينية التي تعتبر بمثابة التلؤلؤ تم بنائها نتيجة الأنفجارات الغازية العنيفة التي تحدث خلال فترات او بشكل متقطع ، ويتألف الغاز من ثاني اوكسيد الكربون في بعض الاحيان ويحتوي في الغالب على الميثان الخالص والصابي .

وتوجد البراكين الطينية على وبالقرب من التصدعات الجيولوجية وحدودها . وفي المناطق ذات الحركات الزلزالية النشطة يمكن حدوث هزات ارضية عنيفة خلال بضع ملايين من السنين ويعتقد البعض ان تصدع الصخور في هذه المناطق يؤدي الى تسرب النفط والغاز في اوقات زمنية قصيرة قياسا على عمر الطبقة المحتوية على ها . اما الحقيقة فأن الحقول النفطية والغازية لها خواص مشابهة للمناطق المعرضة للزلال . وهذا التشابه يدعونا

الى الاعتقاد ان التصدعات العميقة قد يتسرب من ها غاز الميثان وبشكل مستمر من اعماق الارض . وقد تؤدي هذه الترسبات وال هجرة المستمرة لغاز الميثان و الغازات الاخرى في التصدعات الجيولوجية نحو السطح الى حصول الزلزال .

لايستطيع التكهّن بحصول الزلزال بواسطة الآلات فقط . وبعض الظواهر اصبحت معروفة من عصور غابرة . بحيث يدعونا ذلك للاعتقاد بان تلك الظواهر التي اصبحت شاهد عيان على وجود تسرب الغاز او غيره قد حصلت نتيجة للجريان المتزايد للغاز من خلال طبقات الارض . ومن بين الظواهر المكروسكوبية هو حصول اصوات انفجار خافت

لمنطقة غير معروفة وفي التصرف الغريب للحيوانات في تلك المناطق والتبدل الشاذ في درجات الحرارة والفورات الفسفورية وانواع اللهب الخارجة من الارض وكذلك اضطراب جريان المياه داخل الأبار الارتوازية . ويمكن القول ان هذه الظواهر تحصل نتيجة لأنعزال الغاز من خلال مخارج مسامية واسعة للصخور المسطحة والتي تتعرض الى ضغط متزايد قبل حصول الزلزال كما تظهر هذه الأصوات والفورات وغيرها من الظواهر في مناطق متباعدة في آن واحد . وتشير ايضا الى وجود الغاز .

الغاز الطبيعي عبارة عن خليط من المواد الهيدروكربونية، مع كمية بسيطة من مركبات غير عضوية والتي تمثل مكونات النفط عالية التطاير . ومركب لا لون له ولا شكل ولا رائحة . وكان قبل اكتشاف طرق استخدامه يحرق في الهواء للتخلص منه . يوجد الغاز الطبيعي إلى جانب النفط في المكامن الواقعة على أعماق تتراوح ما بين كيلومتر واحد وكيلومترين تحت سطح الأرض، كما يوجد وحده في أعماق أكبر من ذلك، ان المكونات الرئيسية للغاز الطبيعي في الاحوال الاعتيادية (من حيث الحرارة والضغط) عند أستخراجه من البئر تشمل الميثان والايثان وكميات من البروبان والبيوتان وال هكسان أما بشكل غازات أو ابخرة أما الشوائب الغازية التي قد يحتويها الغاز الطبيعي فهي النتروجين وثاني أكسيد الكربون وكبريتيد ال هيدروجين واثار من ال هيدروجين والاكسجين وأوا اوكسيد الكربون وثاني اوكسيد الكبريت

ومن أهم ميزات الغاز الطبيعي أنه وقود فاعل ومجد اقتصادياً وأقل إضراراً بالبيئة . ويعد الغاز الطبيعي أسرع مصادر الطاقة الأولية نمواً في العالم خلال العقود الثلاثة الأخيرة، وذلك بسبب خصائصه ومزاياه . وقد نمت صناعة الغاز الطبيعي في المملكة العربية السعودية نمواً كبيراً، وزاد الطلب عليها باطراد بدءاً من العام ١٩٧٥م . وقد أصبحت المملكة العربية السعودية تحتل المركز الرابع في احتياطات الغاز الطبيعي على مستوى العالم (بعد روسيا وإيران وقطر) باحتياطات مؤكدة تبلغ ٢٣٥ تريليون قدم مكعب، بينما تعد اليوم من الدول العشر الأولى في إنتاجه . ومع انضمام مشروع تطوير الغاز الطبيعي والزيوت في حرض إلى شبكة الغاز الرئيسية للبلاد تكون طاقة المعالجة العامة للمملكة العربية السعودية قد وصلت إلى حدود ٩ مليارات قدم قد مكعب قياسي في اليوم .

استخداماته الأساسية:

تدعم صناعة الغل الطبيعي اليوم عدداً من القطاعات الأساسية مثل البتروكيماويات، صناعة الصلب والأسمنت، توليد الطاقة، وتحلية المياه .

ويتم توزيع غاز البيع على هذه القطاعات كالتالي:

40% - من هذا الاستهلاك يولد الكهرباء.

21% - يستهلك في صنع البتروكيماويات، وقوداً ولقيماً لإنتاج اللدائن (البلاستيك) والمواد الكيميائية الصناعية التي تعد للتصدير.

17% - يستهلك كوقود لمحطات تحلية مياه البحر التي تعد أحد أهم مصادر مياه الشرب في البلاد، حيث تعد المملكة العربية السعودية واحدة من أكبر الدول في استهلاك الفرد لمياه الشرب في العالم.

14% - يستهلك لصناعة البترول، لا سيما في دعم شبكة الغاز الرئيسية ورفع طاقتها.

8% - يستهلك لصناعات أخرى مثل الصلب والأسمنت.

وتسهم هذه القطاعات إسهاماً أساسياً في الاقتصاد السعودي، فهي تنتج دفقاً نقدياً يبلغ ٢٥ مليار دولار أمريكي، وتساوي ١٥% من إجمالي الناتج المحلي في الاقتصاد السعودي، وتتيح ٣٥ ألف فرصة عمل مباشرة و ١٥٠ ألف فرصة عمل لها علاقة بالصناعة.

المفردات والمصطلحات الأساسية في صناعة الغاز الطبيعي

الغاز المصاحب: هو غاز يصاحب إنتاج الزيت الخام في المكامن وينتج مع الزيت الخام، وتتوقف معدلات إنتاجه على معدلات إنتاج الزيت الخام. الغاز غير المصاحب؛ هو غاز ينتج من آبار الغاز العميقة بصورة مستقلة عن إنتاج الزيت الخام.

الغاز الحامض والغاز الحلو؛ هو مجموعة الغازات السامة المؤلفة من كبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغاز المصاحب وغير المصاحب وتتم إزالتها

من الغاز بطريقة تسمى التحلية. أما الغاز الحلو فهو الذي لا يحتوي على مادة كبريتيد الهيدروجين السامة . وبشكل عام فإن الغاز الحامض هو الغاز الذي يحوي على الغازات الحامضية مثل ثاني أكسيد الكربون أو كبريتيد الهيدروجين أما الغاز الحلو فهو الغاز الخالي من الغازات الحامضية . الميثان؛ هو المكون الأخف والأوفر في الغاز الطبيعي ويستخدم إما كلقيم ببتروكيماوي أو غاز وقود . الإيثان؛ المكون الثاني في الغاز الطبيعي، ويستخدم بصورة أساسية كلقيم ببتروكيماوي وأحياناً كوقود.

غاز البيع؛ هو غاز الوقود المستخدم في المملكة العربية السعودية وهو عبارة عن خليط من الميثان والإيثان، ويتم توزيعه إلى العملاء بواسطة شبكة غاز البيع.

البروبان؛ المكون الثالث في الغاز الطبيعي، ويوجد بصورة طبيعية كغاز ولكن يمكن تحويله إلى سائل بالضغط والتبريد. ويستخدم البروبان داخل المملكة العربية السعودية كلقيم ببتروكيماوي. ويتم تبريد الفائض منه وتصديره إلى الخارج كسائل.

البيوتان؛ المكون الرابع في الغاز الطبيعي، ويوجد بصورة طبيعية كغاز يمكن تحويله إلى سائل بالضغط والتبريد. ويستخدم معظم غاز البوتان داخل المملكة العربية السعودية كلقيم ببتروكيماوي. ويتم تبريد الفائض منه وتصديره إلى الخارج كسائل.

غاز البترول السائل؛ هو خليط من البروبان والبوتان ويتم ضغطه وتسييله ثم تخزينه في اسطوانات غاز ،
ويستخدم بصورة أساسية في طبخ الطعام.

الغاز الرطب Wet Gas وهو الغاز الذي يحوي على كمية عالية نسبيا من البروبان والبيوتان والبنتان وسوائل
هيدروكربونية أخرى الى جانب الميثان والايثان.

الغاز الجاف Dry gas الغاز الذي يتكون من الميثان والايثان بصورة رئيسية ولا يحوي (او يحوي على كميات
قليلة) من الغازات ال هيدروكربونية الاخرى.

الغاز الطبيعي المسال Liquefied natural gas ويتكون من الميثان والايثان وبالإمكان تسييله بأستعمال
الضغط والتبريد معا.

غاز البترول المسال خليط من البروبان والبيوتان بصورة رئيسية وبالإمكان تسييله بأستعمال الضغط الى حد
٢٠ ضغط جوي وبدون تبريد.

ويسمى بـ Liquefied Petroleum Gas

.البنزين الطبيعي وهو السائل الهيدروكربوني المستخلص من الغاز الطبيعي الرطب ويحتوي على البنتان
والهكسان بصورة رئيسية

استخدامات الغاز الطبيعي:

يعتبر الغاز الطبيعي أحد أهم مصادر الطاقة في العالم ، حيث بحرق قدم مكعب قياسي يتولد 700-1600
Btu من الحرارة اعتمادا على مكونات الغاز ، وقد شكّل الغاز الطبيعي حوالي ٢٤% من مصادر الطاقة في
الولايات المتحدة للأعوام من ٢٠٠٠-٢٠٠٢.

مصادر الغاز الطبيعي

يمكن تصنيف الغازات الطبيعية بأنها الغاز الطبيعي التقليدي ،وهو الغاز الموجود في الطبقات الرملية للمكمن ،
وغاز الميثان في المكامن المضغوطة جيولوجيا. ويكون الغاز الطبيعي التقليدي أما غازا مصاحباً أو غير
مصاحب.

ان مصادر الغاز الطبيعي تكون على نوعين:

١. الغاز الحر Gas Free ويوجد في حقول حرة تحت اعماق الارض ويكون على الاغلب من النوع الجاف
أي يحتوي على الايثان والميثان بصورة اساسية.

٢. الغاز المصاحب gas Associated ويظهر مصاحب للبترول عند استخراجة من اعماق الارض ويفصل
في محطات عزل الغاز (تثبيت النفط) .

ثانياً : احتياطات الغاز الطبيعي في العالم

أن الغاز الطبيعي هو مزيج معقد من الهيدروكربونات مع كمية قليلة من المركبات غير العضوية يكون مصاحباً للنفط الخام وحرراً في بعض الأحيان ، ويتكون الغاز الطبيعي أساساً من غاز الميثان (٩٠% على الأقل من ناحية نموذجية) ولكنه أيضاً قد يحتوي على غازات الأيثين والبروبين وغازات ثاني أكسيد الكربون الأثقل. وقد توجد أيضاً كميات صغيرة من النيتروجين والأوكسجين وثاني أكسيد الكربون ومركبات الكبريت في خطوط أنابيب الغاز الطبيعي . ونلاحظ في الجدول التالي مكونات الغاز الطبيعي والتي تشير إلى أن الميثان هو المكون الرئيسي لهذا المزيج الغازي.

Mole Fraction	Compound
0.8407	Methane
0.0586	Ethane
0.0220	Propane
0.0035	i-Butane
0.0058	n-Butane
0.0027	i-Pentane
0.0025	n-Pentane
0.0028	Hexane
0.0076	Heptanes and Heavier
0.0130	Carbon Dioxide
0.0063	Hydrogen Sulfide
0.0345	Nitrogen
1.0000	Total

أن المركبات غير العضوية مثل النيتروجين ، ثاني أكسيد الكربون غير مرغوبة ، لأنها تسبب التآكل ومشاكل أخرى في أنتاج ومعالجة الغاز. وتتراوح القيمة الحرارية للغاز من 700 BTU/scf إلى 1600 BTU/scf اعتماداً على كمية المركبات غير العضوية فيه. وتقسّم الآبار المنتجة عادةً إلى : آبار غازية ، آبار مكثفات Condensate wells ، وآبار نفطية. أن الآبار

الغازية تكون فيها نسبة GOR أكبر من 100,000 scf/stb أما آبار المكتثفات فيكون فيها GOR أقل من 100,000 scf/stb وأكثر من 5,000 scf/stb ، أما الآبار التي يكون فيها GOR أقل من 5,000 scf/stb فتعتبر آبار نفطية .وبما أن الغاز الطبيعي هو عبارة عن نفط في حالة غازية ، فإنه غالباً ما يكون مصاحباً للنفط ، ويمكن تقسيمه إلى ٣ أنواع:

- ١- الغاز المصاحب : Associated Gas وهو الغاز المذاب في النفط تحت الظروف الممكنية.
- ٢- الغاز الحر (الغاز غير المصاحب : "Free Gas "non-Associated gas (وهو الغاز الحر الموجود في المكن مع أقل ما يمكن من النفط.
- ٣- المكتثفات : Condensate وهو الغاز الحاوي على كمية كبيرة من الهيدروكربونات السائلة في الضغط والحرارة المنخفضين.

• تبريد الغاز الطبيعي:

عند تبريد الغاز الطبيعي إلى درجة حرارة 260 درجة فهرنهايت تحت الصفر في ضغط جوي فإنه يتكثف في شكل سائل يسمى الغاز الطبيعي المسال ويعرف اختصاراً في اللغة الإنجليزية بـ (LNG) فمقدار واحد من هذا السائل يأخذ 1/600 من حجم الغاز الطبيعي في رأس شعلة الموقد. ويزن الغاز الطبيعي المسال أقل من واحد ونصف من حجم الماء وفي الحقيقة يبلغ ٤٥% تقريباً. ومن خصائص الغاز الطبيعي المسال أنه عديم الرائحة واللون ولا يسبب التآكل وغير سام. وعند تبخيره فإنه يشتعل فقط في درجات تركيز من ٥% - ١٥% عند مزجه بالهواء والغاز الطبيعي المسال أو بخاره لا ينفجران في بيئة مفتوحة .

• كيفية تخزين الغاز الطبيعي المسال:

تحتوي صهاريج نقل الغاز الطبيعي المسال على بناء ذو جدارين مع عزل فعال بصورة كبيرة بين الجدران تمتاز صهاريج الناقلات الضخمة بنسبة باعية منخفضة (نسبة الارتفاع إلى العرض) وتصميم اسطواني مع سقف في شكل قبة. ودرجات الضغط للتخزين في هذه الناقلات منخفضة جداً، أقل من ٥ درجات . (psig) يمكن تخزين كميات صغيرة مثل ٧٠٠.٠٠٠ جالون وأقل في صهاريج أفقية أو رأسية ذات فراغ جوي مضغوط. وقد تكون هذه الصهاريج تحت ضغط في أي مكان أقل من ٥ درجات (psig) إلى أكثر من ٢٥٠ درجة . (psig) ويجب المحافظة على برودة الغاز الطبيعي المسال (٨٤ درجة فهرنهايت تحت الصفر على الأقل) لكي يبقى سائلاً ومستقلاً عن الضغط .

• كيف تتم المحافظة على برودته؟

إن عملية العزل مهما كانت فعاليتها لا تستطيع بمفردها الحفاظ على درجة برودة الغاز الطبيعي المسال ويحفظ الغاز الطبيعي المسال كـ "مبرد في حالة غليان" وهو سائل بارد للغاية عند نقطة غليانه في الضغط المحفوظ فيه. والغاز الطبيعي المسال المخزن يعد نظيراً للماء المغلي غير أن برودته تزيد بـ ٢٦٠ درجة مئوية فقط. إن درجة حرارة الماء المغلي التي تعادل ١٠٠ درجة مئوية لا تتغير بالرغم من الحرارة المتزايدة بسبب تبريدها بواسطة عملية التبخير (توليد البخار). وبنفس الطريقة سيبقى

غاز الطبيعي المسال في درجة حرارة ثابتة تقريبا فيما إذا تم حفظه في ضغط ثابت. وتسمى هذه الظاهرة بـ "التبريد الذاتي" وتظل درجة الحرارة ثابتة ما دام يسمح لبخار الغاز الطبيعي المسال بمغادرة غلاية الشاي (الخران). وإذا لم يتم سحب البخار فإن ذلك سيؤدي إلى رفع درجة الحرارة داخل الوعاء. وحتى عند ضغط (100 psig) فإن درجة حرارة الغاز الطبيعي المسال ستكون ١٢٩ درجة فهرنهايت تحت الصفر تقريبا.

● **محتوى الكبريت: Sulfur Content**

أن الكلام عن الغاز الحامضي والغاز الحلو يشير عادة إلى محتوى الكبريت غاز (H₂S)، حيث أن الغاز الحلو يحتوي على نسبة قليلة جداً من الكبريت (يمكن أهملها - أقل من 4 ppmv)، في حين يحتوي الغاز الحامضي على كميات كبيرة وغير مقبولة من الكبريت والتي تسبب التآكل (مع وجود الماء).

● **صناعة الغاز الطبيعي: Natural Gas Industry**

لقد كان الغاز الطبيعي في البداية ناتجاً عرضياً في عملية إنتاج النفط، ومنذ استكشافه للمرة الأولى في فلوريدا في الولايات المتحدة عام ١٨٢١ فقد تم استخدامه كوقود في المناطق المحيطة بالحقول النفطية، وفي السنين الأولى لإنتاج الغاز الطبيعي فإن الغاز الطبيعي كان يـ حرق بكميات كبيرة، مما أدى إلى انخفاض سعر الغاز الطبيعي، حيث كان سعر كل 1000 قدم مكعب إلى حوالي ١-٢ سنت. وقد بدأ استهلاك الغاز الطبيعي بالتزايد منذ نهاية الحرب العالمية الثانية في المجالات (التجارية - الصناعية - توليد الطاقة)، وكان لهذا الاستهلاك المتزايد العديد من الأسباب مثل ولادة أسواق جديدة، استبدال الفحم كوقود، استخدام الغاز الطبيعي في الصناعات البتروكيمياوية وصناعة الأسمدة، بالإضافة إلى زيادة الطلب على الوقود قليل الكبريت.

أن تزايد الطلب في أوروبا الغربية واليابان والولايات المتحدة أدى إلى استيراد الغاز من الحقول البعيدة. أما اليوم فإن الغاز الطبيعي المسال يمكن نقله خلال البحار والمحيطات إلى أماكن الاستهلاك بواسطة ناقلات ضخمة، وقد تم استخدام هذه الطريقة في هنغاريا عام ١٩٣٤ ومن ثم استخدم لنقل الغاز بشكل سائل من حقول الغاز في لويزيانا خلال نهر المسيسيبي إلى شيكاغو في ١٩٥١.

وفي الجزائر تم تصدير الغاز المسال في عام ١٩٦٤ إلى بريطانيا وفرنسا حيث يقل حجم الغاز إلى سدس حجمه الأصلي بهذه الطريقة، وعند استلامه في نقطة النهاية يرجع إلى حالته الغازية بأمراره في وحدة تحويل الغاز السائل إلى غاز لذلك يمكن تجهيزه بعدها إلى شبكة توزيع الغاز. كما يمكن تخزينه في خزانات أو في محطات التخزين الجوفي Underground Storage ويعتبر الغاز السائل وقوداً غير ملوث للطائرات والمركبات.

● **احتياطيات الغاز الطبيعي: Natural Gas Reserves**

هناك مصطلحان تستخدم غالباً للتعبير عن احتياطيات الغاز الطبيعي وهي:

الاحتياطي المؤكد Proved Reserves و الاحتياطي الكامن Potential Reserves.

الاحتياطي المؤكد Proved Reserves هو تلك الكميات من الغاز التي يُعثر عليها أثناء الحفر ، ويمكن التأكد منها من خلال الخصائص المكمينية مثل بيانات الإنتاج ، علاقات الضغوط وبعض البيانات الأخرى ، لذلك يتم تحديد حجم الغاز بدقة معقولة الى حد ما.

الاحتياطي الكامن Potential Reserves هو تلك الكميات من الغاز الطبيعي التي يُعتقد أنها موجودة في العديد من صخور القشرة الأرضية لكنها لم تُحفر لحد الآن. وهي ستكون الكميات المجهزة مستقبلاً بعد انتهاء الاحتياطي المؤكد.

وقد تم أتباع العديد من الطرق في تقدير كميات احتياطي الغاز الطبيعي ، ومنها الاعتماد على معدلات الإنتاج السابقة والآبار الاستكشافية والطرق التجريبية والمعادلات الرياضية ، كما يتم استخدام طريقة تقدير الغاز المستقبلي من خلال كمية النفط المستكشف ، أو طريقة التقدير الحجمي لاحتياطي الغاز الكامن وقد كان هناك دائماً تفاوت في (الاحتياطي المؤكد) و(الاحتياطي الكامن) حتى في حالة الحقول المنتجة في الولايات المتحدة، حيث بالاعتماد على مصادر المعلومات فأن تقديرات الاحتياطي الكامن المتبقي تتراوح بين 5000-650 Tcf ، أما الاحتياطي المؤكد في عام ٢٠٠٠ فقد كانت 1050 Tcf في الولايات المتحدة و 170 Tcf في كندا ويعكس المكامن النفطية التي يوجد ٨٠% منها في دول أوبك ، فأن أغلب مكامن الغاز الطبيعي موجودة في الاتحاد السوفيتي السابق ، الشرق الأوسط ، الشرق الأدنى ، أفريقيا ، أمريكا الشمالية ، أمريكا الوسطى والجنوبية ، وأوروبا ووفقاً لإحصائية قام بها Energy Information Administration في العام ٢٠٠٦ كانت الأرقام التقديرية للاحتياطي المؤكد للغاز الطبيعي كالاتي:

الدولة	الكمية المقدرة	الدولة	الكمية المقدرة
روسيا	1,688 Tcf	الإمارات	213 Tcf
أيران	944 Tcf	الولايات المتحدة	193 Tcf
قطر	910 Tcf	نيجيريا	185 Tcf
السعودية	244 Tcf	الجزائر	162 Tcf
فنزويلا	152 Tcf	العراق	112 Tcf

وتمتلك شركة Gazprom الروسية حوالي ثلث احتياطيات الغاز الطبيعي وتنتج حوالي ٨٠% من الغاز الطبيعي الروسي ، وتدير هذه الشركة ٤٣ محطة كبس Compressor Station وحوالي ١٥٥ ألف كم من أنابيب الغاز الطبيعي ، وتعتبر روسيا أكبر منتج ومصدر ومستهلك للغاز الطبيعي ، حيث تنتج حوالي 21 Tcf سنوياً تستهلك منها 14.5 Tcf وتُصنر الباقي .

أما قطر فهي دولة رائدة أيضاً في احتياطيات الغاز الطبيعي ، وتتساوى في ذلك مع إيران تقريباً ، حيث تمتلك حقل الشمال العملاق ، أما إيران فلديها حقل بارس الشرقي الذي يقع على حدود قطر.

● مستقبل الغاز الطبيعي:

من الواضح جداً أن القرن التاسع عشر كان قرن الفحم الحجري والذي ساهم بشكل كبير في نشوء

الثورة الصناعية في أوروبا ، أما القرن العشرون فقد كان قرن النفط الذي كان المصدر الرئيسي للطاقة والذي أدى الى نمو الاقتصاد العالمي ، ومن الملاحظ دائماً أن حاجة الاقتصاد العالمي الى الطاقة في تزايد مستمر ، فقد توقع بعض الخبراء حصول عجز كبير ومستمر في أمدادات الطاقة يبدأ في عام ٢٠١٠ وحصول أزمة طاقة حقيقية وجدية.

وللخروج من هذه الأزمة ، يجب الانتقال الى استخدام الغاز الطبيعي ليس لأهميته الاقتصادية فحسب ، بل لأهميته في الحفاظ على البيئة ، ففي نهاية القرن العشرين أخذ الغاز الطبيعي مكان الفحم كمصدر ثان للطاقة بعد النفط ، ففي عام ٢٠٠٠ كان استهلاك الطاقة العالمي كالتالي: ٣٩% نفط - ٢٣% غاز طبيعي - ٢٢% فحم حجري ويتوقع أن يكون التحول تدريجياً من النفط الى الغاز الطبيعي بداية القرن الحادي والعشرين. وذلك لن يتحقق بسبب الاعتبارات البيئية فحسب بل بسبب التطورات التكنولوجية. أن الولايات المتحدة تمتلك أكبر اقتصاد في العالم ولذلك فهي المستهلك رقم ١ للطاقة في العالم ، ويمكن ملاحظة أن سعر الغاز الطبيعي قد زاد في العقود الثلاثة الأخيرة بسبب زيادة الطلب على الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة وتتوقع دراسات الطاقة أن يزيد الطلب السنوي للطاقة بين عامي ٢٠١٠-٢٠٢٠ بنسبة ٣٠% حيث سيصعد استهلاك الغاز الطبيعي بنسبة ٦٠% أي بزيادة حوالي 35 Tcf ، وهذا يعني أن حصة الغاز الطبيعي من الطاقة ستصعد من ٢٣% الى أكثر من ٢٨% ، لذا يصبح من الواضح أن الغاز الطبيعي سيصبح مصدر الوقود الأبرز في الاقتصاد العالمي ، أما ما يسمى بمصادر الطاقة البديلة فسوف يكون لها القليل من التأثير على الغاز الطبيعي

ثالثاً : خصائص الغاز الطبيعي Natural Gas Properties

أن معرفة خصائص الغاز الطبيعي أمر أساسي في تصميم منظومات إنتاج ومعالجة الغاز الطبيعي لأن الغاز الطبيعي مزيج معقد من الهيدروكربونات الخفيفة مع كميات قليلة من المركبات اللاعضوية ، حيث من المهم جداً معرفة مكونات الغاز الطبيعي لأنها تساعد على معرفة خصائصه.

- الخواص الفيزيائية Properties Physical:

وقود أحفوري تكون من النباتات والحيوانات التي دفنت في باطن الأرض لملايين السنين ، وهو مركب هيدروكربوني يكون فيه الميثان العنصر الأساسي ، عديم اللون ، عديم الرائحة ، لأغراض الأمان تتم إضافة رائحة مميزة اليه عن النقل لتحسس حالات التسرب ، وهو أخف من الهواء بحوالي ٠.٦-٠.٨ ، وفي حالات التسرب فإنه يتشتت الى أعلى ويختفي في الهواء ، ويشتعل الغاز الطبيعي مع الهواء بنسبة ٥-١٥% ، وهو وقود نظيف لا يسبب الضرر للبيئة عند الاشتعال عند مقارنته بالأنواع الأخرى من الوقود.

- الكثافة النسبية Specific Gravity:

وهي النسبة بين الوزن الجزيئي للغاز الطبيعي الى الوزن الجزيئي للهواء ، ورمزها γ_g ، علماً أن الوزن الجزيئي للهواء يساوي ٢٨,٩٧ (٧٩% نيتروجين - ٢١% أوكسجين) وبذلك تحسب الكثافة النسبية للغاز من خلال المعادلة التالية:

$$\gamma_g = \frac{MW_a}{28.97}$$

ويمكن احتساب مكونات الغاز مختبرياً ، وذكر النسب المولية mole fractions ، ولتكن y_i الوزن الجزيئي للمركب i ، فإن الوزن الجزيئي للغاز يحسب بالمعادلة التالية:

$$MW_a = \sum_{i=1}^{N_c} y_i MW_i$$

حيث أن MW_i هو الوزن الجزيئي للمركب i ، و N_c هو عدد المركبات ، ويمكن إيجاد الأوزان الجزيئية للمركبات في كتب الكيمياء العضوية والمركبات البترولية ، أن الغاز الطبيعي المكمني الخفيف يتألف بشكل أساسي من الميثان مع بعض الأيثان ، وتكون الكثافة النسبية للميثان النقي مساوياً لـ (٠.٥٥) . أما الغاز المكمني الثقيل فتكون كثافته النسبية مساوية لـ ٠.٧٥ وقد يصل الى أعلى من ٠.٩ في بعض الحالات النادرة.

- اللزوجة Viscosity:

أن لزوجة الغاز هي عبارة عن مقدار مقاومته للتدفق ، وعادةً ما تستعمل اللزوجة الديناميكية Viscosity Dynamic مع الغاز الطبيعي حيث أن:

$$1 \text{ cp} = 6.72 \times 10^{-4} \text{ lbf/ft}^2\text{-sec}$$

ويرمز للزوج الديناميكية بالرمز U_g وتكون وحداتها cp ، أما للزوج الكينماتيكية Kinematic Viscosity V_g فهي مرتبطة بالزوج الديناميكية عن طريق الكثافة ρ_g وكالاتي:

$$V_g = U_g / \rho_g$$

علماً أن اللزوج الكينماتيكية لا تستعمل مع الغاز الطبيعي.

عامل الانضغاطية: Compressibility Factor

ويسمى أيضاً ب عامل الحيد أو ب : Z-factor وهو القيمة التي تعكس حيد الغاز الحقيقي عن الغاز الطبيعي في ضغط ودرجة حرارة معينين . وكالاتي:

$$z = \frac{V_{actual}}{V_{ideal\ gas}}$$

ويوضع عامل الانضغاطية في قانون الغاز المثالي $pV = nzRT$:

يمكن تحديد عامل الانضغاطية من خلال قياسات مختبر PVT ، ولكمية معلومة من الغاز إذا كانت الحرارة ثابتة والحجم قد تم قياسه في 14.7 psia فإن معامل الانضغاطية يمكن حسابه بالمعادلة التالية:

$$z = \frac{p_1 V_1}{14.7 V_0}$$

حيث أن V_0 و V_1 هي حجوم الغاز في ضغط 14.7 psia و p_1 على التوالي.

كثافة الغاز: Gas Density

بما أن الغاز الطبيعي قابل للانضغاط ، فإن كثافته تعتمد على ضغطه وحرارته ، ويمكن احتسابها من خلال قانون الغاز المثالي ، أو الغاز الحقيقي لدقة أكثر:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{MW_g p}{zRT}$$

حيث أن m كتلة الغاز ، وعند اعتبار الوزن الجزيئي للهواء 29 وثابت الغاز -10.73 psia R =

°R - ft³/mole وذلك ستكون المعادلة أعلاه كالاتي:

$$\rho = \frac{2.7 \gamma_g p}{zT}$$

حيث تقاس كثافة الغاز بوحدة. lbm/ft³

هناك نوعان من الاستخدامات الأساسية للغاز الطبيعي : كوقود ، أو في الصناعات البتروكيمياوية. وبناءً على ذلك هناك ثلاثة أسباب لمعالجة الغاز الطبيعي:

١- التنقية Purification وإزالة بعض المكونات سواء كانت ثمينة أو لا ، والتي تمنع استخدام الغاز في

الصناعة.

٢- الفصل : فصل المكونات من الغاز مثل : البروبان - الأيثان - الهليوم.

٣- التسييل Liquefaction زيادة الكثافة لأغراض النقل والخرن.

ولذلك فإن أية عملية معالجة يجب أن تتدرج تحت أحد العمليتين: الفصل والتنقية. وعلى سبيل المثال فإذا عند إزالة كمية قليلة من غاز H2S أو حرقها فإن هذه العملية هي عملية تنقية ، أما عند إزالة كمية كبيرة منه واستخلاص الكبريت منها فإن هذه العملية تعتبر عملية فصل.

• مكونات الغاز الطبيعي:

- **الميثان : Methane** أن الاستخدام الأساسي للميثان هو كوقود ، ويستخدم

كتغذية feedstock لأنتاج العديد من المواد الكيميائية وخاصةً الأمونيا والميثانول.

- **الأيثان : Ethane** أن أغلب الأيثان المستخدم في الولايات المتحدة يأتي من معامل الغاز ،

والمصافي ، ويستخدم في أنتاج الأيثيلين والبولي أنيلين.

- **البروبان : Propane** تنتج معامل الغاز الطبيعي حوالي ٤٥% من البروبان المستخدم في الولايات

المتحدة ، أغلبه من المصافي ، ويكون استهلاكه كالاتي:

47% في البتروكيمياويات - ٣٩% الاستخدام المنزلي - ٨% الاستخدام الزراعي - ٤%

الاستخدام الصناعي - ٢% النقل (مجلس فلوريدا لغاز البروبان ٢٠٠٥).

- **مزيج الأيثان - البروبان : Ethane - Propane Mix** عند تجزئة الغاز الطبيعي فإن البيوتان

يمتزج مع بعض البروبان ويضخ الى المصافي.

- **أيزو بيوتان : Isobutane** أن ٤٢% من الأيزو بيوتان المستخدم في الولايات المتحدة يأتي من

مصانع الغاز ، و ٥% منه من المصافي (لا تشمل هذه النسبة استهلاكه في المصافي) ، وتستورد

حوالي ١٢% ، أما المتبقي فيأتي من مصانع الأزرمة isomerization plants التي تحول n-

butane الى isobutane . أن السوق الرئيسية للأيزو بيوتان هو لتصنيع

"Methyl Tertiary Butyl Ether" MTBE ، كما يستعمل لإنتاج الغازولين ، وإنتاج أوكسيد

البروبيلين.

- **ن - بيوتان : n-Butane** أن معامل الغاز تنتج ما يقارب ٦٣% من هذه المادة ، في حين تنتج

المصافي ٣١% منه ، في حين يتم استيراد الباقي ، ويستعمل في الغالب في الغازولين ، من خلال

الأزرمة الى الأيزو بيوتان.

- **سوائل الغاز الطبيعي : Natural Gas Liquids NGL** وتتضمن جميع الهيدروكربونات المسالة

وتتضمن الأيثان ، والبروبان ، والبيوتان ، والغازولين.

-**الغازولين الطبيعي : Natural Gasoline** وهو مزيج من الهيدروكربونات التي تتألف من البنتان

والهيدروكربونات الثقيلة والتي يجب أن تمزج مع سوائل الغاز الطبيعي NGL ، أن أهم استخدامات

الغازولين الطبيعي هي في المصافي ، وخاصة في وحدات الأزرمة ، كما يستخدم في الصناعات

البتروكيمياوية لإنتاج الأيثيلين.

- **الكبريت** : Sulfur أن الإنتاج الحالي للكبريت في الولايات المتحدة هو ١٥ ألف طن متري في اليوم ، ويأتي ٨٥% منه من معامل الغاز الطبيعي التي تُحوّل H₂S الى الكبريت. أن الاستخدامات الرئيسية للكبريت تتضمن صناعة المطاط ، وإنتاج حامض الكبريتيك ، وإنتاج البارود

رابعاً : معالجة الغاز الطبيعي Natural Gas Processing

أن الغاز الطبيعي يُنتج من آبار النفط أو الغاز ويتكون من مئات العناصر والمركبات ، ويكون عادةً بسرعة عاية ، مضطرب الجريان ، ويتألف هذا المزيج عادةً من السوائل الهيدروكربونية hydrocarbons liquid والغازات ، والماء الحر Water Free في بعض الأحيان بعض المواد الصلبة كالطين والرمل . ويتوجب معالجة هذا المزيج فور وصوله الى السطح. أن المعالجة في الحقل تتكون من أربع مراحل رئيسية:

١. عزل الغاز عن السوائل مثل : النفط oil crude – المكتثفات الهيدروكربونية Condensates Hydrocarbon – الماء – المواد الصلبة (إن وجدت).
 ٢. معالجة الغاز لإزالة السوائل الهيدروكربونية المتكثفة القابلة للاستخلاص.
 ٣. معالجة الغاز لإزالة بخار الماء المتكثف.
 ٤. معالجة الغاز لإزالة المركبات الأخرى غير المرغوبة مثل كبريتيد الهيدروجين ، وثاني أكسيد الكربون.
- وسنتكلم في هذا الموضوع عن عزل الغاز بشكل موجز

عمليات الفصل (العزل) Liquids & Separation of Gas :

أن عملية العزل هي أول وأهم عملية في عمليات المعالجة في الحقل ، أن تركيب ومكونات المائع سيُحدد نوع وحجم العازلة التي سيتم اختيارها. بالإضافة الى الضغط الذي يكون مفتاحاً أساسياً في اختيار العازلة ، كما أن العازلات تستخدم في مواقع أخرى مثل محطات الكبس Stations Compressor ووحدات التجفيف units Dehydration ووحدات تحلية الغاز Units Sweetening Gas ، وتكون لها العديد من الأسماء مثل : drum knockout – scrubber – separator ولكنها كلها تستخدم لنفس الغرض وهو فصل السوائل من الغاز. ولكن ما هو الفرق بين هذه المصطلحات؟

مصطلح Separator : لعزل السوائل المنتجة عن الغاز ، وتكون مصممة لمعالجة كميات كبيرة. أما مصطلح Drum KO : فيدل على وعاء يستعمل لاصطياد الماء ، أو السوائل من الغاز. وفي بعض الأحيان عزل كل السوائل (الماء ، النفط ، ..ألخ) من أسفل الوعاء وخروج الغاز من أعلاه. أما Scrubber Gas فيدل على الوعاء الذي يتعامل مع كميات قليلة من السوائل ، حيث يعمل على استخلاص السوائل من الغاز وتكون أجزائها الداخلية مشابهة للعازلات. ولكن بشكل عام فأن كل الأوعية المذكورة يجب أن تراعي الشروط التالية:

(١) أن تحتوي على:

- (أ) قسم الفصل الأساسي Section Separation Primary .
- (ب) قسم الفصل الجذبي Section Settling Gravity .
- (ج) مستخلص الرذاذ Extractor Mist .
- (د) مخرج الغاز Outlet Gas .
- (هـ) منطقة تجمع السوائل Section Settling Liquid .
- (و) مخرج النفط Outlet Oil .

(ز) مخرج الماء Outlet Water (بالنسبة للعازلات ثلاثية الطور).

(٢) أن تكون ذات سعة مناسبة لاحتواء كميات السوائل.

(٣) أن تكون ذات قطر وارتفاع مناسبين للسماح بفصل كامل للسوائل من الغاز وضمان عدم وصول أنغمار مستخلص الرذاذ بالنفط.

(٤) وجود وسائل سيطرة على مستوى السائل Controller Level ، أما بالنسبة للعازلات ثلاثية الأطوار فيجب أن تحتوي على مسيطر مستوى للحد الفاصل بين الماء/النفط controller level liquid interface oil/water.

(٥) صمام السيطرة على الضغط valve backpressure على خط خروج الغاز outlet gas للحفاظ على ضغط العازلة.

(٦) صمامات الأمان valves relief Pressure .

أن العازلات تصمم لأداء الوظائف الأساسية التالية:

- إحداث عزل الأطوار الأساسي لأغلب السوائل الهيدروكربونية من الغاز.

- الفصل الإضافي للسوائل العالقة في الطور الغازي من خلال مستخلص الرذاذ Extractor Mist.

- عزل قطرات الغاز المذاب العالقة بالطور السائل.

- خروج الغاز والسائل على شكل طورين منفصلين وعدم حدوث تداخل في الأطوار.

مبادئ العزل of Separation Principles :

أن عمل أغلب العازلات مبني على العزل الجذبي أو العزل بالقوة الطاردة المركزية. أن العازلة يتم أنشائها بطريقة تضمن الخصائص التالية:

- أن تحتوي على أداة طرد مركزية Centrifugal device inlet حيث يحصل العزل الأولي للغاز والسوائل. حيث تقوم بجعل السائل الداخل يتحرك بشكل دوراني اعتمادا على

معدل التدفق مما يؤدي الى تجمع قطرات السائل الى اسفل الوعاء (قسم التجميع section Settling).

- أن تقوم بتجهيز مقطع عزل كبير بارتفاع وعرض مناسبين للسماح لقطرات السائل بالخروج من الطور

الغازي مع مقطع مناسب لتجميع السوائل. وهذا الأمر يسمح

للسوائل بالنزول الى مقطع تجميع السوائل ، كما أن استخدام بعض التراكيب الميكانيكية الداخلية التي تعزز

عملية العزل. ويحصل في بعض الأحيان حالة من عدم

الاستقرار بسبب ورود كميات كبيرة من السوائل الخفيفة الى داخل العازلة لذا فإن وجود مساحة كبيرة سيمنع

حدوث حالة الحمل الإضافي Over Carry مع الغاز الخارج.

- أن يتم تجهيزها بمستخلص الرذاذ قرب مخرج الغاز outlet gas لتجميع القطرات الصغيرة للسائل التي لم

تستقر بفعل الجاذبية حيث أن هذه القطرات سيتم اصطيادها فتتجمع ويصبح حجمها كبيرا مما يؤدي الى

سقوطها في مقطع تصريف السوائل ، علماً أنه يقوم بتصريف حوالي ٩٩,٩% من السوائل.

- أن يتم تجهيزها بمسيطر مستوى وصمام سيطرة

للمستوى Valve Control & Control Level Liquid مع صمام أمان valve safety ، مقياس ضغط gauge Pressure ،

زجاجة رؤية Glass Sight . حيث أن صمام السيطرة على السوائل سيمنع ظاهرة الحمل الإضافي التي تم شرحها أعلاه.

العوامل المؤثرة على العزل :

- الضغط التشغيلي للعازلة. حيث يتم تحديد الضغط المثالي للعازلة الذي يضمن أعلى إنتاجية من السوائل الهيدروكربونية ويتم تحديده من خلال الفحوصات الإنتاجية.
- الحرارة التشغيلية للعازلة.
- مكونات المائع الداخل.

أن التغيير في أي من هذه العوامل سيؤدي الى تغيير كمية النفط أو الغاز الخارجة من العازلة ، حيث أن زيادة الضغط التشغيلي أو تقليل الحرارة سيؤدي الى زيادة السائل الموجود في العازلة ، حيث أن هناك نقاط مثلى Points Optimum لكلا الحالتين. وقد تم مؤخراً الاستعانة ببرامج الحاسوب لإيجاد الضغط المثالي والحرارة المثلى للعازلة لكي تحقق أعظم أستخلاص للسوائل recovery liquid maximum . في بعض الأحيان لا يكون عملياً التشغيل بالظروف المثالية لأنها قد تسبب خسائر في الغاز .

أن الخواص الكيميائية والفيزيائية للنفط والظروف التشغيلية من ضغط وحرارة سيحدد كمية الغاز المذاب في النفط. وبالتالي كمية الغاز المتحرر من النفط كدالة لتغيير الضغط والحرارة. أن حجم الغاز الذي يتم إزالته من النفط في العازلة يعتمد على:

- (١) الخواص الفيزيائية والكيميائية للنفط الخام.
- (٢) الضغط التشغيلي.
- (٣) الحرارة التشغيلية.
- (٤) معدل التدفق.
- (٥) حجم العازلة.

أن حجم التدفق في العازلة يحدد زمن المكوث Time Retention للنفط ، ويكون الزمن المثالي للمكوث هو (١-٣) دقيقة للحصول على عزل مثالي وعدم حصول الرغوة ، أما في حال حصول الرغوة فأن زمن المكوث قد يصبح (٥-٢٠) دقيقة اعتماداً على ثبات الرغوة وتصميم العازلة.

وتتضمن التصميم الحديثة العديد من التراكيب الداخلية التي تضمن عدم حدوث الرغوة ، وعدم الأبقاء على غاز غير مذاب ، وكسر فقاعات الرغوة.

خامساً: الغاز الطبيعي - تعاريف ومصطلحات

الغاز الطبيعي Natural Gas : وهو الغاز المصاحب للنفط الخام ، التي تخرج مع النفط الخام (C1- C5) وأيضاً يمكن ان تحتوي على أو لاتحتوي على شوائب (N₂, H₂S, Co, CO₂). يستخدم الغاز الطبيعي لإنتاج (LPG) – (liquid petroleum gas) ونقصد به الغاز الذي يحتوي على ch₄ بدرجة اساسية (ضغط عالي وتبريد مستمر).

غازات التقطير Refining Gas: الغازات التي تنتج من عمليات التقطير الجوي بدرجة اساسية ، ومن العمليات الحرارية (catalytic cracking & thermal). وهذه الغازات تستخدم لعدد من العمليات مثل (isomerazation ,alkylation ,polymerization) ويوجد فائض من الغاز يستخدم كوقود للمصافي المجاورة ، كذلك يستخدم لإنتاج LPG.

الغاز المسال Liquefied Petroleum Gas LPG: وينتج من التقطير والتبريد والضغط للغازات المشبعة الناتجة من dist. Process او عمليات hydro cracking process & refining ، ويتكون LPG بدرجة اساسية عبارة عن (C₃-nC₄-iC₄). وهو القناني المستخدمة في الطبخ (domestic gas) وتكون نسبة ال (C₄) عالية في الصيف ونسبة عالية من (C₃) في الشتاء وذلك لعدم بقاء أي سوائل في الاسطوانة . بعض الدول تنتج (butane & propane) أي يحتوي بدرجة اساسية على C₃ وأيضا يحتوي على C₄ .

س: لماذا يستخدم LNG و LPG كوقود للسيارات؟

ج: يستخدم كوقود للسيارات ، يعود ذلك الى عدد من الميزات :-

1. قليل التلوث Less pollution.
2. كلفة منخفضة low cost .
3. عدد أوكتان عالي high octane number.
4. سهولة فصله عن الهواء easy of mixture separation with air.
5. نقاوة الاحتراق وعدم تكون الترسبات pure combustion deposit .
6. الزيت الذي يحتك مع الوقود لا يتلف (لا يتخفف) no dilution for oil .
7. لا يوجد غازات ضارة مع العادم (احتراق تام) . complete – in exhaust gas CO no . combustion.
8. لا توجد ترسبات هيدروليكية .

السلبيات :

1. يجب استخدام ضغط عالي في خزان الوقود pressure of storage لكي نحافظ على الوقود سائل ، كما نحتاج الى تبريد .
2. الوزن النوعي للغازات منخفض low caloric value based on volumetric calculation . على اساس وزني القيمة الحرارية اعلى ، وعلى اساس حتمي القيمة الحرارية أقل . (لكننا نخزن على اساس حجمية)

نظراً لارتفاع O.N لهذه الغازات يتطلب استخدامه في المحركات ذات نسبة الانضغاط العالية (هو الضغط الناتج في المحرك مقسوماً على الضغط الأولي) .الضغط الناتج في المحرك يجب ان يكون عالي ليعطي سرعة عالية (يجب ان يكون O.N عالي) .

سادساً: المواصفات القياسية للغاز الطبيعي في السوق العالمية

يجب أن يكون الغاز الطبيعي مطابقاً لمواصفات قياسية معينة ، والتي تم تحديدها من قبل المستهلكين وخاصة الحد الأعلى لمحتوى الغازات الحامضية Acidic gases والكبريت sulfur ، الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون بخار الماء ، والهيدروكربونات القابلة للتسييل. بالإضافة الى بعض المواصفات التي تتطلب الحد الأدنى مثل القيمة الحرارية.

أن أهم معيارين للمواصفات القياسية المطلوبة في السوق العالمية للغاز هي الحرارة والضغط ، حيث يتم قياس أغلب المواصفات القياسية تحت ظرفين قياسين من الحرارة والضغط وهما:

١. المقياس العالمي : في درجة $32^{\circ}F$ وضغط 700 mmHg .
 ٢. المقياس الصناعي للغاز الطبيعي: في درجة حرارة $60^{\circ}F$ وضغط 14.7 psia .
- وفقاً للمواصفات القياسية العالمية فإن الغاز المثالي سيكون كالاتي:

- أن 1 g mole سيشغل 22.4 لتراً.
- أن 1 Kg mole سيشغل 22.4 متر مكعب.
- أن 1 lb mole سيشغل 22.4 قدم مكعب.

هذه المواصفات القياسية تكون كالاتي:

- أن يكون الغاز خالياً من الرمل - الغبار - الشمع Wax - النفط الخام Oil Crude - الشوائب والملوثات أو أية مواد أخرى قد تجعله غير مجدي اقتصادياً ، أو قد يسبب الأضرار للأشخاص والمعدات .
- أن تكون قيمته الحرارية 36 MJ/m^3 .
- يجب أن لا تزيد نسب المواد التالية عن النسب المؤشرة إزائها:
 - (١) كبريتيد الهيدروجين (23 mg/m^3 or 16.5 ppm v/v)
 - (٢) نسبة الكبريت الكلي 115 mg/m^3
 - (٣) ثاني أوكسيد الكاربون %2 نسبة حجمية
 - (٤) بخار الماء 65 mg/m^3 أو ما يعادل 88 ppm نسبة حجمية.
- يجب أن لا يزيد محتوى الماء عن 4 lb/MMscf .
- يجب أن لا تزيد درجة حرارته عن $49^{\circ}C$

ولكن ما هو تأثير وجود بعض الشوائب في الغاز الطبيعي؟

قبل الإجابة على هذا السؤال يجب أن نعرف أن الغاز الطبيعي يمر بعدة مراحل:

١. إزالة بخار الماء منه Dehydration.
٢. إزالة الغازات الحامضية Acidic gases وهي (H₂S - CO₂)
٣. فصل الهيدروكربونات الثقيلة منه.

تأثير بخار الماء:

وهو أحد الشوائب الشائعة في الغاز الطبيعي ، ولكن الحالة السائلة منه تكون أكثر ضرراً حيث أنها تسرع من التآكل بوجود غاز H₂S ، أما الهيدرات الصلبة فأنها تسبب انسداد الصمامات والأنابيب.

تأثير غازي H₂S و CO₂:

كلاهما مضر وخاصةً H₂S الذي يسبب التسمم عند احتراقه ، مما يؤدي الى تكون SO₂ و SO₃ وهما مصدر أزعاج للمستهلكين. أما غاز CO₂ فيؤدي الى تقليل القيمة الحرارية للغاز.

الهيدروكربونات السائلة:

حيث أن وجودها غير مرغوب وخاصةً في الغاز المستعمل كوقود في المشاعل. Burners بالإضافة الى أن هناك مشكلة جدية في التعامل مع تدفق ذي طورين : سائل وغاز.

سادسا : كيف يتم تسعير الغاز الطبيعي في الأسواق العالمية

من المتعارف عليه عالمياً أنه لا توجد طريقة واحدة لتسعير الغاز الطبيعي، ولا توجد أيضاً سوق واحدة للتجارة في الغاز الطبيعي، بل توجد عدة طرق وعدة أسواق بحسب الموقع والبلد. فهو يباع في اليابان بنحو ١٧ دولارا للمليون وحدة، حيث الطريقة الوحيدة لنقله من البلد المنتج هو تسييله ونقله بالناقلات البحرية العملاقة من ماليزيا وقطر وغيرهما من الدول المنتجة. وغالباً ما يكون سعر هذا الغاز المسال مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بأسعار النفط العالمية، فمثلاً كل برميل نفط يحتوي على نحو ٥.٨ مليون وحدة حرارية، فإذا كان سعر البرميل ١٠٠ دولار يكون بذلك سعر المليون وحدة حرارية من النفط نحو ١٧ دولاراً، وهذه هي معدلات أسعار الغاز المسال العالمية. ولذلك فإن كثيراً من الدول المنتجة للغاز الطبيعي والمسال ترى ربط الأسعار بمعادلات سعرية على أساس أسعار النفط العالمية.

أما في أمريكا فينتج الغاز الطبيعي من الحقول سواء التقليدية أو غير التقليدية، ويباع حسب تسعير مركز هنري هوب لتجارة الغاز على أساس العرض والطلب. فمثلاً إذا حصلت كارثة وتعطلت بعض خطوط الإنتاج فتعذر الحصول على الغاز مثلما حدث في عام ٢٠٠٦، حيث ارتفع السعر لأكثر من ١٢ دولاراً للمليون وحدة حرارية. ولكن ما إن ترتفع الكميات المعروضة من الغاز ويقل الطلب يهبط السعر لمستويات بعيدة مثلما حدث في

نيسان (أبريل) من عام ٢٠١٢ عندما نزل سعر مركز هنري تحت دولارين للمليون وحدة حرارية عندما كثر العرض بسبب طفرة إنتاج الغاز الصخري في أمريكا، وعاد في نيسان (أبريل) ٢٠١٣ وسجل ٤.١٧ دولار. إذا السوق الأمريكية غير مستقرة، وتعتمد على أشياء داخلية تخص القارة الأمريكية، وليست بالضرورة تهم العالم الخارجي مثل المناخ وكاترينا والغاز الصخري والعواصف التي تضرب خليج المكسيك والإمدادات من كندا عبر الأنابيب وكميات الطاقة البديلة المستخدمة، إضافة إلى نسبة استخدامات الغاز الطبيعي في الصناعة وتوليد الكهرباء وكوقود لوسائل النقل.

وفي أوروبا غالباً ما كانت الأسعار تقع بين أسعار الغاز المسال العالمية والأسعار الأمريكية، حيث تدور نحو ١٠ - ١٢ دولاراً للمليون وحدة حرارية. وتحتكر روسيا جزءاً كبيراً من السوق الأوروبية عبر شركة غاز بروم العملاقة. وتوجد أيضاً تجارة لا بأس بها من تجارة الغاز المسال. لكن بشكل عام يوجد مصدران أساسيان للغاز فيها، أما الغاز الروسي عبر الأنابيب أو الغاز المسال عبر الناقلات، ولأن الغاز المسال مربوط بأسعار النفط العالمية يبقى الغاز الروسي مغرباً، ولو كان سعره أقل من سعر الغاز المسال بنحو ٢٠ - ٤٠ في المائة.

وقد يرى البعض أن أسعار الغاز الطبيعي في مركز هنري هوب في أمريكا تصلح كمعيار للتسعير. لكن كما ذكرنا أن هذا المعيار لا يعكس الحالة العالمية، وإنما هو انعكاس لشأن داخلي بحت. فمثلاً من أطرف الأمثلة ما حصل بين مجموعة BG وغينيا الاستوائية. إذ تم توقيع عقد لمدة ١٧ سنة تقوم فيه مجموعة BG البريطانية بشراء ٣.٤ مليون طن سنوياً من الغاز المسال من غينيا الاستوائية، وبدأ تنفيذ العقد في عام ٢٠٠٧.

الحقيقة أن القصة طريفة وتستدعي الانتباه؛ لأن فيها عبرة وفائدة. كانت أسعار الغاز الطبيعي الأمريكية في مركز هنري هوب في ٢٠٠٤ وقت توقيع العقد في حدود ستة دولارات للمليون وحدة حرارية، وارتفعت في عام ٢٠٠٥ إلى أكثر من عشرة دولارات للمليون وحدة. ونظراً لارتفاع أسعار مركز هنري، ولأن معظم الغاز المبيع من غينيا الاستوائية كان موجهاً للسوق الأمريكية. رأت الشركة الغينية أن تربط أسعار الغاز المسال المبيع لمجموعة BG بأسعار مركز هنري، وينص العقد على أن يكون سعر الغاز المسال بقيمة ٩٠ في المائة من سعر الغاز الطبيعي في مركز هنري. الحقيقة أن هذا العقد مناسب جداً لعام ٢٠٠٤، ولكنه لم يخطر ببال المسؤولين في غينيا الاستوائية أن أسعار مركز هنري ستخضع بسبب طفرة الغاز الصخري، حيث وصلت ما بين ثلاثة إلى أربعة دولارات للمليون وحدة حرارية.

ولذلك باعت مجموعة BG الغاز المسال الغيني في السوق الآسيوية بنحو ١٧ دولاراً للمليون وحدة حرارية، ودفعت مقابل كل وحدة لغينيا الاستوائية نحو ٣.٥ دولار هي ٩٠ في المائة من قيمة الغاز في مركز هنري؛ أي أن BG ربحت أكثر من عشرة دولارات للمليون وحدة حرارية، مما جعل أرباحها عالية جداً وصلت إلى مليار دولار العام الماضي من هذا العقد فقط. ولا يوجد في العقد بنود خاصة بإعادة التفاوض أو بالمشاركة بالأرباح إذا ما تم بيع الغاز خارج أمريكا. لم يعجب ما حدث حكومة غينيا الاستوائية، وأظهرت عدم رضاها، وقالت لو كنا نعلم أن هذا الغاز سيتم بيعه خارج الأرض الأمريكية لاختلقت شروط العقد. ولكي يتم إرضائهم وافقت BG على دفع نحو ٨٠ مليون دولار إضافية لحكومة غينيا الاستوائية والقيام ببعض البرامج الصحية والاجتماعية لمساعدة السكان.

وهذا يذكرنا أيضًا بما حدث بين إيران وشركة دانا للغاز الإماراتية لتوريد الغاز من حقل سلمان إلى الشارقة. تم الاتفاق على سعر معين غالبًا يتراوح ما بين دولارين وأربعة دولارات للمليون وحدة حرارية. ولكن بعدما تم الانتهاء من مد الأنابيب تحت مياه الخليج العربي بعد نحو أربع سنوات من توقيع العقد، ارتفعت أسعار النفط وأسعار الغاز المسال العالمية. فرفض الإيرانيون الالتزام بالعقد بحجة أن قيمة الغاز بالعقد لا تعكس القيمة الحالية المرتفعة، ولذلك لجأ الطرفان إلى المحاكم الدولية لفض النزاع. وعندما أبرمت هذه الصفقة عام ٢٠٠١ كانت أسعار النفط نحو ثلث مستوياتها الحالية. ومع ارتفاع أسعار النفط ارتفعت أسعار الغاز المسال العالمية، لذلك قالت إيران إنها تريد سعرًا أعلى ولم تلتزم ببند العقد.

تعلم الكثيرون هذا الدرس، ولذلك نرى معظم العقود الجديدة ستبرم على أساس الأسعار العالمية للغاز المسال المرتبطة مصيريًا بأسعار النفط. ولن تغفل الدول الإفريقية الناشئة في صناعة الغاز المسال مثل موزمبيق عن الخطأ الذي وقعت فيه غينيا الاستوائية.

إن ارتباط التسعير بأسعار النفط العالمية كما هو الحال في أسعار الغاز المسال أكثر عقلانية؛ لأن أسعار النفط العالمية موحدة وتعكس قيمة موارد الطاقة في كل زمان ومكان. وفي الماضي كان من الصعوبة ربط أسعار الغاز بالنفط؛ لأن النفط كان ينقل بالناقلات إلى كل بقعة في العالم، بينما الغاز الطبيعي ينقل بأنابيب بين الدول. ومع ازدهار صناعة وتجارة الغاز المسال أصبح الغاز الطبيعي كالنفط تمامًا ينقل إلى كل مكان في العالم، لذلك من الأجدى أن يربط مباشرة بالنفط على أساس المليون وحدة حرارية. ويوجد حاليًا ٢٧ محطة حول العالم لاستيراد الغاز المسال وأربع قيد الإنشاء وأكثر من ٣٠ محطة تحت التخطيط، مما يجعل الغاز المسال واسع الانتشار.

ليس من الحكمة أن تربط أي دولة تسعيرها للغاز بأسعار دولة أخرى؛ لأن لكل دولة ظروفها الداخلية والسياسية التي لا تشبه أحدا. لذلك فإن أسعار الغاز الطبيعي المسال هي المرأة، والمرجع الوحيد لتسعير الغاز الطبيعي في العالم؛ لأنها تعتمد على أسعار النفط العالمية التي أجمع العالم عليها وعلى القاعدة الأساسية وهي العرض والطلب

معالجة الغاز الطبيعي وتحلية الغاز الحامضي Natural Gas Treatment & Sour Gas Sweetening

أن الغاز الطبيعي يحتوي عادةً على بعض الشوائب impurities مثل كبريتيد الهيدروجين H₂S وثاني أكسيد الكربون CO₂ والهيدروكربونات الثقيلة مثل المركبتان. تعرف هذه المركبات بالغازات الحامضية Acid gases. أما الغاز الطبيعي الحاوي على H₂S أو مركبات كبريتية أخرى مثل COS – CS₂ والمركبتان يسمى الغاز الحامضي Sour Gas ، أما إذا كان يحتوي على CO₂ فقط فيسمى بالغاز الحلو Sweet Gas. وعادةً يجب إزالة كل من H₂S – CO₂ لمنع حدوث مشاكل التآكل وزيادة القيمة الحرارية للغاز. أن تحلية الغاز الطبيعي Sweetening هي أحد أهم الخطوات في معالجة الغاز ، وترجع أهمية تحلية الغاز للأسباب التالية:

- ١- **المخاطر الصحية:** يمكن تحسس غاز H₂S بالشم إذا كان تركيزه ٠.١٣ ppm ، ويمكن شمه بشكل واضح بتركيز ٤.٦ ppm أما إذا زاد التركيز عن ٢٠٠ ppm فإن حاسة الشم تتعطل. وفي تركيز ٥٠٠ ppm تحدث مشاكل في التنفس ويتوقع أن يموت الشخص خلال دقائق . أما بتركيز ١٠٠٠ ppm فيؤدي الى الوفاة فوراً .
- ٢- تأثيرها على تسعيرة الغاز: وهو أحد أهم ثلاث عوامل مؤثرة على تسعيرة الغاز . والمفاوضات التجارية تكون عادةً صارمة جداً بخصوص محتوى H₂S.
- ٣- مشاكل التآكل: إذا زاد الضغط الجزئي لغاز CO₂ عن ١٥ psia يجب استعمال مواد مانعة للتآكل لمنع حدوث ذلك.

طرق تحلية الغاز الطبيعي

١. الامتصاص بالطبقة الصلبة: Solid bed Absorption وتضمن هذه الطريقة إزالة كلية لـ H₂S بتراكيز منخفضة وتستهمل المواد التالية – iron sponge – molecular sieve :أكسيد الزنك. وهذه الطريقة ملائمة لإزالة كمية قليلة من الكبريت عندما يكون تدفق الغاز قليلاً أو تركيز H₂S قليلاً أو الأثنان معاً.
- ٢- المذيبات الكيميائية: Reactive Solvents مثل:
"MEA".- Monoethanole Amine
"DEA".- Diethanole Amine
"DIPA".- Di-iso Propanol Amine -كربونات البوتاسيوم الحارة.
- وبعض المذيبات المختلطة. تستعمل هذه المحاليل لأزاله كميات كبيرة من . H₂S – CO₂ كما يمكن إعادة تنشيط Regeneration لهذه المذيبات.
- ٣- المذيبات الفيزيائية Physical Solvents
مثل – Purisol – Recitol – Selexol بالإضافة الى الفلور .. وأغلب هذه المذيبات يستعمل لإزالة CO₂ كما يمكن إعادة تنشيطها أيضاً .

٤- الأكسدة المباشرة للكبريت: Direct Oxidation to Sulfur

تستعمل مواد مثل Sulferox – Stertford وهذه الطريقة تقلل من أنبعاثات H₂S.

٥- الأغشية: تستعمل هذه الطريقة مع تراكيز عالية من CO₂.

كيفية اختيار الطريقة المناسبة للتخلية: هناك العديد من العوامل التي يجب أخذها بنظر الاعتبار عند اختيار

طريقة تخلية الغاز وهي:

١- نوع المركب المراد إزالته (H₂S – المركبتان).

٢- تراكيز الغاز الحامضي الداخل والخارج. inlet & outlet Acid Gas Concentrations.

٣- معدل تدفق الغاز – درجة حرارته – وضغطه.

٤- مدى ملائمة هذه الطريقة.

٥ - الانتقائية Selectivity للغاز الحامضي المطلوب.

٦- وجود المركبات الأروماتية في الغاز .

٧- موقع البئر .

٨- الاعتبارات البيئية.

٩- الجدوى الاقتصادية.

ويتم اختيار الطريقة المناسبة على ضوء كمية الكبريت الداخل وكمية الكبريت في الخط الخارج. وعند عدم الرغبة باستخلاص الكبريت ، يمكن اختيار الطرق غير المباشرة مثل: طرق الطور السائل Liquid-phase processes وطرق الطبقة الجافة Dry-Bed Processes والتي يتم اختيارها في حال كون تركيز الكبريت قليلاً جداً ومثال هذه الطرق: طريقة أكسيد الزنك Zink – Oxide أو

أكسيد الحديد. Iron – Oxide Sponge.

أما عند الرغبة بإزالة كمية كبيرة من H₂S أو CO₂ أو الأثنان معاً فيتم استعمال طرق الطور السائل وعند الرغبة بإزالة H₂S فقط تكون المذيبات الفيزيائية مناسبة أكثر والتي يمكن أن تستخدم لإزالة CS₂ أو CO₂ بشكل انتقالي وعند احتواء خط الدخول feed على كمية كبيرة من الهيدروكربونات C₃+ فإن المذيبات الفيزيائية تؤدي الى خسارة كبيرة في هذه الهيدروكربونات لأنها تتحرر من المذيبات مع الغازات الحامضية . وعملية استخلاصها مرة ثانية غير مجدي اقتصادياً. وعند احتواء الخط الداخل على H₂S أو CO₂ والرغبة في أزلتها يجب استعمال المذيبات الكيماوية مثل الأمينات والكربونات. وطريقة الأمين ذات تفاعلية عالية وكلفة واطئة بالإضافة الى مرونة عالية في التصميم والتشغيل أما الكربونات فتستعمل لإزالة CS₂ – COS وهذه الطريقة ذات كلفة واطئة أيضاً . وعلى أية حال فإن اختيار الطريقة المناسبة يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار الاعتبارات البيئية والاقتصادية...

تجفيف الغاز الطبيعي Natural Gas Dehydration

يحتوي الغاز الطبيعي الاتي من حقول الإنتاج إضافة إلى الغازات الحامضية كغاز H₂S و CO₂ على شوائب أخرى كبخار الماء أو الماء الحر في بعض الأحيان وتختلف كمية الماء في الغازات الهيدروكربونية تبعاً للضغط ودرجة الحرارة والماء إما أن يكون على شكل قطرات سائلة أو بخار ماء. إن الغاز الطبيعي تنخفض حرارته أثناء مروره خلال انبوب البئر إلى السطح بسبب انخفاض الضغط وفقدان الحرارة إلى المنطقة المحيطة بالأنبوب Formation والتي تكون أبرد . ويكون الماء أكثر الشوائب غير المرغوب فيها في الغاز الطبيعي ، ويتم إزالة قسم من الماء (الماء الحر) من النفط والغاز عن طريق العازلات. Separators إن الغاز الطبيعي المطلوب نقله إلى الأسواق بالأنابيب يجب أن تتوفر فيه شروط معينة من حيث احتوائه على الماء أو بخار الماء بحدود 6-8 باوند من الماء لكل مليون قدم مكعب قياسي من الغاز الطبيعي والغاية من وحدة تجفيف الغاز هي لتخليص الغاز من الماء وتخفيض نقطة الندى قبل إرساله بواسطة خطوط الأنابيب إلى LPG plant وذلك لتلافي الانجماد نتيجة لتكون سوائل تسمى (الهيدرات Hydrates) وهي عبارة عن مواد صلبة تشبه الثلج أو بلورات ناتجة عن اتحاد الغاز الطبيعي مع الماء في درجة حرارة أعلى من درجة انجماد الماء النقي. أن السبب الرئيسي لإزالة بخار الماء من الغاز الطبيعي هو أنه يتكثف عند انخفاض الحرارة و/ أو زيادة ضغط الغاز. ومن العوامل التي تساعد على تكون هذه السوائل وانجمادها هي هبوط الضغط الفجائي وانخفاض درجة الحرارة ووجود الماء ضمن مكونات الغاز.

س: ما هو تجفيف الغاز الطبيعي؟

- إزالة الماء من الغاز الطبيعي من خلال تخفيض درجة الندى.

س: ما هي أضرار وجود الماء في الغاز الطبيعي؟

- لمنع تكوين الهيدرات حيث أنها تسبب حدوث انسدادات في الصمامات والتضيقات.

- لزيادة سعة الأنابيب حيث أن الماء يقلل من سعتها.

- لمنع تآكل الأنابيب حيث تسبب الأملاح الموجودة في الماء تآكل الأنابيب ونسبة التآكل يزداد بزيادة الضغط ودرجة الحرارة عند ظروف الإشباع.

- القيمة الحرارية للغاز الجاف أعلى من القيمة الحرارية للغاز الرطب.

- كبس الغاز الجاف يحتاج إلى قوة أقل من الغاز الرطب.

س: كيف يمكن التعبير عن وجود الماء في الغاز الطبيعي؟

- كمية (كتلة) محتوى الماء وتقاس بوحدة (lb/MMscf).

- درجة حرارة الندى. Dew Point.

- التركيز الحجمي Volume Concentration ويُقاس بوحدة ppmv.

- التركيز الوزني Volume Concentration ^{لوي} قاس بوحدة ppm.

حيث تستخدم القيم الثلاث الاولى مع الغازات ، في حين تستخدم القيمتان الثانية والرابعة مع السوائل ، ولكن الأكثر شيوعاً هو نقطة الندى

س: ما هي أشكال الماء في الغاز الطبيعي؟

- على شكل سائل (ماء حر)

- على شكل بخار (مذاب)

علماً أن محتوى الماء هو دالة الضغط والحرارة والخواص الفيزيائية.

س: ما هي العوامل المؤثرة في تخفيض درجة الندى Dew Point Depression ؟

- معدل تدوير الكلايكلول.

- تركيز الكلايكلول غير المشبع. Lean Glycol.

- عدد الصواني Trays في برج التلامس. Contactor.

- درجة حرارة برج التلامس.

وتكون نقطة الندى حساسة جداً لدرجة حرارة الغاز الداخل Inlet Gas Temperature ، حيث يمكن تقليل نقطة الندى بشكل أكبر في درجات حرارة العالية للغاز .

أما درجة حرارة الكلايكلول فتتراوح بين (١٠-٥٧) درجة مئوية ، حيث يجب أن لا تزيد درجة حرارة الكلايكلول عن ٥٧ درجة مئوية ، حيث تكون لزوجة الكلايكلول أعلى في درجات الحرارة الواطئة ، أما في درجات الحرارة العالية فهذا يؤدي الى خسارة الكلايكلول بسبب التبخر.

المواد المانعة لتكوين الهيدرات:

أن الهيدرات هي مواد صلبة مكونة من الماء مع أحد الغازات الهيدروكربونية شكله أقرب الى مظهر الثلج. أن الظروف المثالية لتكوين الهيدرات هي انخفاض درجة الحرارة وارتفاع الضغط.

إن الطريقة المثالية لحماية الأنابيب والأجهزة من الهيدرات المتكونة والتآكل هو بقاء هذه الأنابيب والأجهزة جافة وخالية من الماء، ومن الضروري إزالة الماء عندما تعمل الأجهزة بدرجات حرارة اقل من درجة تكون الهيدرات، وتضاف عدة مواد مانعة لتكوين الهيدرات، وغالبا يضاف الميثانول أو احد أنواع الكلايكلول كمادة مانعة لتكوين الهيدرات، ومن الممكن استرجاع كل المواد المضافة ماعدا الميثانول حيث لا تعتبر عملية الاسترجاع اقتصادية.

غالبا يضاف الميثانول عند أي درجة حرارة لكن داي اثلين كلايكلول لا يمكن إضافته عندما تكون درجة الحرارة اقل من (- ١٠ م) بسبب لزوجته وصعوبة فصله عند وجود قطرات من النفط ، لذا يضاف عند درجات حرارة أعلى من (- ١٠ م).

طرق تجفيف الغاز الطبيعي

أ. طريقة الامتصاص باستعمال مجففات سائلة مناسبة أهمها مادة الكلايكلول الثنائي والثلاثي.

ب. طريقة الامتصاص باستعمال المناخل الجزيئية Molecular Seals أو مجففات صلبة منها الالومينا

المنشطة والسيليكا جيل واليوكسايت والكاربون المنشط.

ت. التبريد.

ث. الكبس ويتبعه التبريد.

ج. العزل بدرجات حرارة واطئة.

أن أهم ما يميز عوامل التجفيف هو أنه يجب إعادة تنشيطها ، ومن مميزات الأخرى:

١- قابلية الامتصاص : وهي أكبر كمية من الماء يمكن لهذا العامل أن يمتصها كنسبة وزنية. weight percent.

٢- القدرة على تقليل درجة الندى.

٣- القدرة على التجفيف وتقليل الرطوبة في الغاز.

٤- مدى درجة الحرارة : Temperature Range وهو مدى درجة الحرارة التشغيلية التي يمكن خلالها استخدام هذا العامل بدون فقدان خواصه.

٥- عدد المرات التي يمكن فيها إعادة تنشيط المادة واستخدامها ثانيةً بدون أن تفقد خواصها.

أن أغلب وحدات التجفيف تستخدم مواد التجفيف السائلة مثل DEG أو TEG وهي التي تجمع الاستخدام التشغيلي السهل ، وجانب الجدوى الاقتصادية. بالإضافة الى بعض العوامل الأخرى ، مثل:

- الدخول الفعال الحد الفاصل بين الغاز والسائل.

- التعامل مع تراكيز مختلفة.

- سهولة ضخها.

- ملائمتها للظروف التشغيلية المختلفة.

- كلفتها الواطئة مقارنة بغيرها من المواد.

- سهولة إعادة تنشيطها في ضغوط واطئة ودرجات حرارة عالية.

أن سوائل التجفيف تكون بشكل عام ذات درجة غليان عالية وثابتة حرارياً ولا تفقد كفاءتها من كثرة الأستعمال.

الكلايكول :مادة نقية عديمة الرائحة سائلة حلوة المذاق تذوب في مدى واسع وبشكل تام في المذيبات القطبية مثل الماء والكحولات والأستون إلا أن ذوبانها قليل في المذيبات غير القطبية مثل البنزين ،التلوين ، داي كلورو إيثان والكلوروفورم.

تعتبر طريقة التجفيف بطريقة الامتصاص باسعمال الكلايكول من أحسن الطرق وأكثرها شيوعا واستعمالا

وبصورة خاصة للمركبات الغازية وكذلك عند عدم الحاجة إلى النزول بدرجة الندى إلى درجة واطئة جدا.

الكلايكول سائل له خواص امتصاص الماء بكميات كبيرة جدا وفقدانها بعد التسخين وبذلك يصبح صالحا للاستعمال مرة أخرى . أن جزيئات الماء متماسكة بشدة بسبب الأواصر الهيدروجينية ، كما أن مجاميع الأثيل والهيدروكسيل في الكلايكول تشكّل ترابطات شبيهة مع جزيئات الماء .

س: ما هي أسباب تفضيل استعمال الكلايكول لتجفيف الغازات من بخار الماء؟

هناك العديد من العوامل التي تجعل الكلايكول من أكثر المواد المجففة رغبةً وهي:

- قابليته العالية لامتصاص بخار الماء.
- لا يتأثر بالحرارة العالية على أن لا يتجاوز ٢١٠ م. كما أنه يتميز بثباته ضد التحلل الكيميائي.
- ضغطه البخاري واطئ.
- كلفته مناسبة.
- أمكانية استخدامه بشكل مستمر بسبب سهولة إعادة تنشيطه مما يقلل كلفته. حيث يمكن إعادة تنشيطه الى تركيز يصل الى % (89-99,95)

س : ما هي مركبات الكلايكول المستعملة في تجفيف الغاز؟

- الأثلين كلايكول (EG) ورمزه الكيميائي $C_2H_6O_2$

يستخدم الأثلين كلايكول في حالات خاصة بسبب صعوبة إعادة تركيزه واستخدامه ثانية بدون فقدان كميات كبيرة منه، لذا لا يمكن اعتباره كأحد المواد الممتصة والمستخدمه على نطاق واسع.

- داي أثلين كلايكول (DEG) ورمزه الكيميائي $C_4H_{10}O_3$

يستخدم على نطاق واسع وذلك لقلته ذوبانه في السوائل الهيدروكاربونية ، يتراوح درجات الحرارة اللازمة لإعادة تنشيطها ما بين (171,1 - 157,2) مئوية.

- ترائي أثلين كلايكول TEG ورمزه الكيميائي $C_6H_{14}O_4$

يمتاز الترائي اثلين كلايكول بدرجة انحلال عالية تصل الى 206° مئوية) تؤثر درجات الحرارة العالية على الكلايكول وتؤدي إلى تكوين حوامض مسببة للتآكل)، ويمتاز أيضاً بإمكانية إعادة تركيزه بدرجة عالية من النقاوة مع زيادة انخفاض في درجة الندى للغاز، تتراوح درجات الحرارة اللازمة لإعادة تنشيطها ما بين (190,6 - 204,4) مئوية.

-تترا أثلين كلايكول (TREG) ورمزه الكيميائي $C_8H_{18}O_5$

يمتاز هذا المركب بدرجة تحلل أعلى من الترائي اثلين كلايكول ويؤدي استعمال التترا اثلين كلايكول زيادة في انخفاض درجة الندى مايقارب (١٠ ف) أكثر من الدرجة التي يتم الحصول عليها باستعمال الترائي اثلين كلايكول ومن مساوئه الكلفة العالية وصعوبة إعادة تركيزه بدرجات الحرارة العالية ، تتراوح درجات الحرارة اللازمة لإعادة تنشيطه ما بين (207,2 - 221,1) مئوية.

ولأجراء عملية التجفيف بالمواد السائلة يفضل استخدام

سائل Tri Ethylene Glycol والمسماة اختصاراً. (TEG)

أن تخفيض درجة الندى Dew Point مرتبط بمجموعة من الأمور وهي: معدل تدوير الكلايكول - تركيز

الكلايكول - عدد الصواني - Trays درجة حرارة التماس بين الكلايكول والغاز.

ولعل أهم عامل يؤثر على نقطة الندى هو درجة حرارة الغاز الداخل حيث أن نقطة الندى تتخفض بشكل كبير

بزيادة درجة حرارة الغاز ، كما أنها تزيد بتقليل درجة حرارة الغاز. ويجب أن لا تزيد درجة حرارة الكلايكول

عن 57° م. أما بالنسبة لتأثير الضغط فهو محدود جداً ، ولكن بشكل عام تزيد كفاءة التجفيف كلما قل الضغط.

كما أن درجة حرارة الكلايكول إذا قلت عن 21 درجة مئوية فإن الكلايكول يصبح لزجاً.

الخصائص الفيزيائية لأنواع الكلايكلول

TEG	DEG	الوحدة	الخاصية الفيزيائية
C6H14O4	C4H10O3		التركيب الكيميائي Formula
150	106		الوزن الجزيئي Molecular Weight
1,1254	1,1184	kg/lt	الكثافة في 20/20 °C
1,1220	1,1160	kg/lt	الكثافة في 25/25 °C
287	245	°C	درجة الغليان Boiling Point في الضغط الجوي
206	164	°C	درجة التفكك Decomposition Point
- 6	- 9	°C	درجة الأنجماد Freezing Point
155	127	Centipoise	اللزوجة النوعية Specific Viscosity في 0 °C
34	29	Centipoise	اللزوجة النوعية Specific Viscosity في 25 °C
0.540	0,550	Kcal/kg.°C	الحرارة النوعية Specific Heat في 25 °C
0,615	0,610	Kcal/kg.°C	الحرارة النوعية Specific Heat في 100 °C
0,695	0,680	Kcal/kg.°C	الحرارة النوعية Specific Heat في 180 °C
99,5	83,3	Kcal/kg.°C	حرارة التبخير Evaporation Heat في الضغط الجوي
154	135	°C	نقطة الوميض Flash Point
45	44	dine/cm2	الشدة السطحي Surface Tension

وكما يتضح من الجدول ، فإنه عند تنشيط DEG يجب أن لا تتجاوز درجة الحرارة عن 164 °C لأنها درجة تفككه للوصول الى تركيز 96% أو أعلى ، في حين عند تنشيط TEG فيجب أن لا تتجاوز درجة الحرارة عن 204°C وهي درجة تفككه) للوصول الى تركيز يصل الى . 98.9%

س : ما هي محاسن ومساوئ استخدام TEG و DEG ؟

ج :محاسن:DEG:

1. مستقر مع H2O و CO2 في درجات الحرارة التشغيلية الاعتيادية.
2. يمتص للرطوبة بشكل كبير.
3. أقل كلفة من TEG.

مساوئ:DEG:

1. ذوبانه جزئياً في الهيدروكربونات السائلة.
2. عند إعادة تنشيطه لا يزيد تركيزه عن 95% وزناً تحت الضغط الجوي.

محاسن: TEG

١- مستقر مع H2O و CO2 في درجات الحرارة التشغيلية الاعتيادية.

٢- يمتص للرطوبة بشكل كبير.

٣- يصل تركيزه الى أكثر من 97%

مساوئ: TEG

١- أعلى من DEG

٢- قد يتسبب بتكوين الرغوة. مما قد يستوجب حقن المواد المانعة للرغوة.

العوامل المؤثرة على عملية التجفيف:

- مكونات الغاز .

- درجة الحرارة التشغيلية والضغط التشغيلي.

- كفاءة التلامس بين الغاز والكلايكلول للطور الغازي.

- حرارة ولزوجة الطور السائل.

- تركيز الماء في الكلايكلول النشط.

تتألف وحدة التجفيف عادةً من قسمين : برج التلامس - Contactor ووحدة إعادة تنشيط

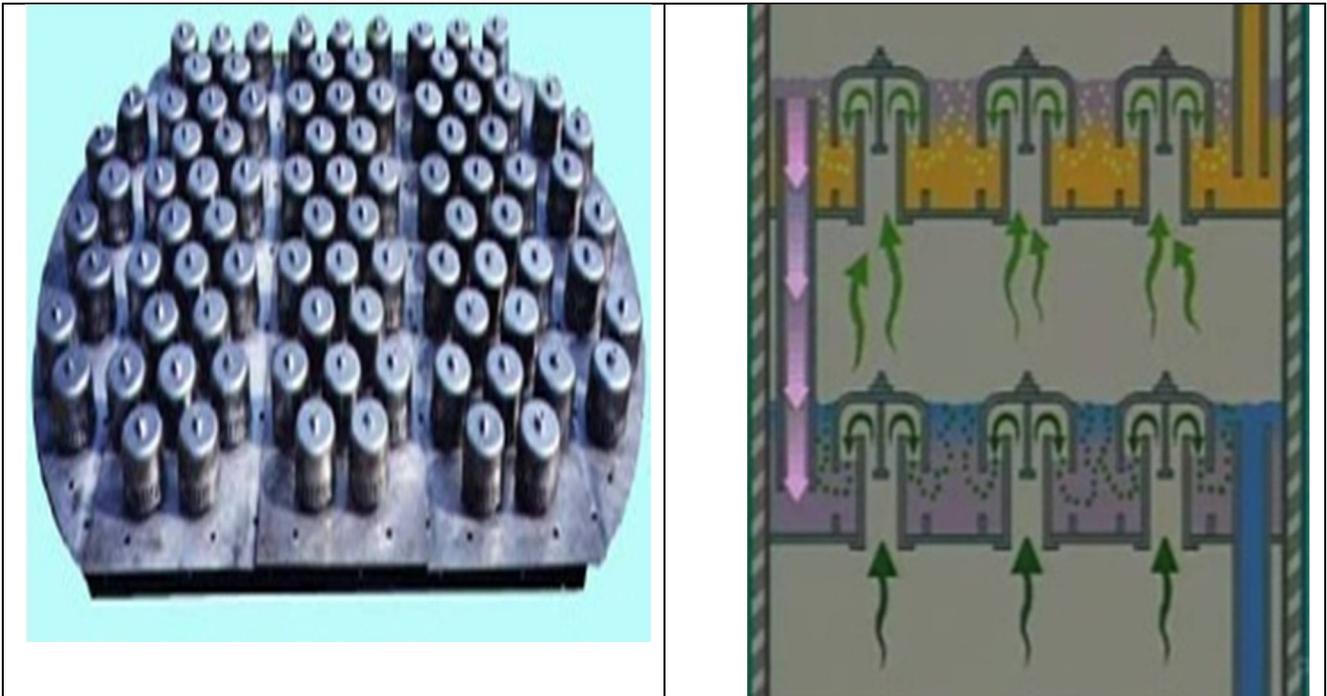
الكلايكلول Glycol Regeneration Unit ، القسم الأول يخص الغاز ، أما القسم الثاني فيخصص الكلايكلول حيث أن عملية تجفيف الغاز تتم في برج التلامس ويخرج الغاز منه خالياً من الرطوبة الى حد كبير ، أما وحدة تنشيط الكلايكلول فيتم فيها تخليص الكلايكلول من الرطوبة من خلال تسخينه حيث يرجع الى حوالي 99% من تركيزه الأصلي. يضخ الكلايكلول من خزان الكلايكلول بواسطة المضخات الى أعلى برج التلامس في حين يدخل الغاز الرطب من أسفل برج التلامس Contactor، ويحتوي برج التلامس عادةً على صواني Trays يحتوي كل منها على تراكيب تسمى Bubble Caps تكون بهذا الشكل II تقريباً يحصل فيها التلامس بين الكلايكلول والغاز الرطب حيث أن الغاز يكون فقاعات داخل الكلايكلول تتسرب الى الأعلى ليخرج الى الصينية التالية الأعلى ، في حين يتراكم الكلايكلول الى ممر جانبي يسمى Downcomer لينزل الى الصينية التي بالأسفل كما هو موضح بالشكل .وهناك بعض التصاميم الحديثة لأبراج التلامس تكون فيها المسافة بين آخر صينية ومستخلص الرذاذ MistExtractor كبيرة لتقليل خسارة الكلايكلول والحصول على فصل أكبر بين الكلايكلول والغاز. كما أن بعض التصاميم الحديثة تستخدم أبراج الحشوة Paking للحصول على مساحة سطحية أكبر للتلامس بين الغاز الرطب والكلايكلول

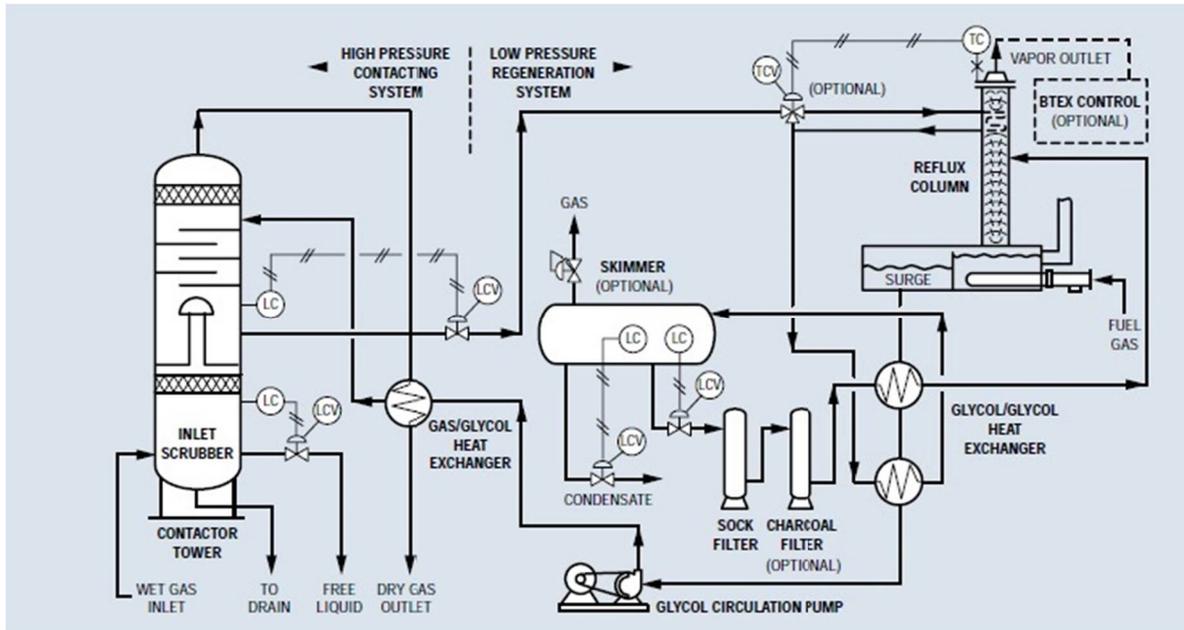
يجب أن لا يزيد فرق الحرارة بين الكلايكلول الداخل من أعلى برج التلامس والغاز الرطب الداخل من أسفل برج التلامس عن (٥ درجة مئوية) . لذلك يتم تبريد الكلايكلول بواسطة وحدة تبريد هوائية fin fan air cooler قبل

دخوله الى برج التلامس لضمان هذا الفرق في الحرارة. يخرج الكلايكلول الرطب من برج التلامس حيث يتم

التحكم بمستوى الكلايكلول في برج التلامس بواسطة مسيطر مستوى LevelController يذهب بعدها الكلايكلول المشبع Rich Glycol الى عازلة أفقية تسمى Flash Separator أو Flash Tank الغاية منها التخلص من

المكثفات الموجودة فيه ، مع استعمال غاز الوقود لنزع غاز H2S منه ، يذهب بعدها الكلايكول الى المرشحات وهي على نوعين : الأول Wet Glycol Filter لتخليص الكلايكول من المواد الصلبة ، أما الثاني فهو Carbon Filter والذي يقوم بتخليص الكلايكول من السوائل الهيدروكاربونية أو كبريتيد الحديد يدخل بعدها الى مبادل حراري لتسخين الكلايكول بشكل أولي قبل دخوله الى المسخنة Reboiler حيث يتم تسخينه في المسخنة الى درجة تتراوح بين $195-200$ ° مئوية ليتم تخليصه من الماء ، مع وجوب المحافظة على درجة حرارة الكلايكول أقل من 204 ° مئوية (لضمان عدم تحلل الكلايكول) ، في حين يخرج الماء منه على شكل بخار ماء من أعلى المسخنة بواسطة أنبوب يسمى Vent Stack ، وتقوم بعض التصاميم على طريقة إضافية لتقليل فقدان الكلايكول من خلال أمرار الكلايكول في Coil داخل Vent Stack لتسخينه. يرجع الكلايكول بعد تنشيطه الى خزان الكلايكول Glycol Tank والذي يسمى أحياناً بـ Surge Tank ومنه يضخ بواسطة مضخات الكلايكول والتي تكون عادةً من نوع Positive Displacement Pump PDP ليتم ضخه الى برج التلامس مرة ثانية .. وهكذا تستمر دورة الكلايكول .والمخطط التالي هو لوحدة تجفيف مثالية.





تعتمد كفاءة برج التلامس على:

- معدل تدفق الغاز. inlet gas flow.
 - حرارة وضغط وتركيز الكلايكول الداخل.
 - معدل تدفق الكلايكول. glycol flow.
- أن الغاز الداخل الى برج التلامس قد يكون مشبعاً ببخار الماء ، في حين أن كمية الماء الذي يتم امتصاصه تزيد بزيادة تركيز الكلايكول ، وتقليل درجة حرارة الكلايكول ، ومعدلات التدفق العالية وزيادة عدد صواني برج التلامس.

المواصفات المثالية للكلايكول:

المواصفات	الكلايكول	
	المشبع Rich glycol	النشط lean glycol
الدالة الحامضية PH	7.0-8.6	7.0-8.6
نسبة الكلوريدات mg/L	>600	>600
الهيدروكربونات %	>0.3	>0.3
الماء wt%	3.5-7.5	>1.5

أن الدالة الحامضية تكون أقل بالنسبة للكلايكول المشبع نظراً لأحتوائه على الغاز الحامضي ، أما محتوى الهيدروكربونات والمعادن والكلوريدات فيعتمد على كفاءة المرشحات المستخدمة في وحدة التجفيف . ويكون فرق محتوى الماء بين الكلايكول المشبع والنشط بين (٢-٦ %)

س : ما هي المعلومات التي تحتاج إليها لتصميم وحدة تجفيف؟

- معدل تدفق الغاز ، وضغطه ، ودرجة حرارته.
- درجة الندى Dew Point المطلوبة أو محتوى الماء المطلوب في الغاز الخارج.
- تحاليل الغاز الداخل ، ومحتوى الغاز الحامضي.

س : ما هي كمية غاز النزع المطلوبة **Stripping Gas** ؟

ج : تتباين هذه الكمية وفقاً لنقطة الندى المطلوبة ، ويستخدم بواقع نصف قدم مكعب قياسي لكل غالون من الكلايكل.

مضخات الكلايكل:

يجب أن تكون مضخات الكلايكل من نوع المضخات الترددية Reciprocating Pumps بسبب الحاجة الى ضغط دفع عال High disch. Pressure وتدفق قليل نسبياً relatively low flowrate وذلك لضخ الكلايكل من خزان الكلايكل Glycol Surge Tank الى أعلى برج التلامس ، ويجب وجود مضختين في الوحدة أحدهما عاملة ومضخة احتياط Stand-By يتم تدويرها بواسطة محرك كهربائي مع إمكانية تعيير معدل التدفق.

أبراج التلامس المستعملة في العملية:

يتم إزالة بخار الماء بأستعمال طرق تجفيف الغاز الطبيعي ، حيث يمكن لهذا البخار أن يتكثف من خلال الكبس والتبريد ، وقد ذكرنا في الجزء الأول أن عملية التجفيف تعتمد بشكل أساسي على برج التلامس Contactor الذي يحصل فيه التلامس بين الغاز الرطب والكلايكل الذي يعمل على امتصاص الرطوبة منه ، وسنحاول في هذا الجزء توضيح مكونات هذا البرج. أن وجود هذا البرج مهم للغاية في عملية التجفيف لأن عملية انتقال المادة Mass Transfer تحصل فيه ، يتضمن التصميم التقليدي لبرج التلامس وجود بعض التراكيب الداخلية Internals مثل:

- تركيب الدخول Vane Inlet Device VID والغرض منها توزيع الغاز.

- جزء تجميع السائل liquid collection tray.

- الصواني Trays أو الحشوة Packing لضمان حصول انتقال المادة.

- أجزاء أخرى مثل مستخلص الرذاذ والذي يقلل من فقدان الكلايكل.

أن الغاية من تركيب الدخول هو توزيع الغاز الداخل وتقليل عزم الدخول feed momentum ، وعزل السوائل (إن وجدت) ، بالإضافة الى توزيع الغاز خلال مقطع البرج. كما أن لهذا التركيب دوراً مهماً في تقليل ارتفاع البرج.

أما جزء تجميع السائل liquid collection tray فتكون الغاية منه تجميع السوائل أسفل البرج ثم تصريفها منه كنتاج غير مرغوب فيه ، حيث يتم التحكم بمستواها عن طريق مسيطر مستوى level controller لتذهب الى حفرة الحرق.

أن الصواني المزودة بالتراكيب المقلوبة Bubble Cap Trays فتستخدم بشكل واسع في هذا النوع من الأبراج ، لفاعليتها في معدلات التدفق المختلفة ، كما أنها مناسبة للسوائل اللزجة. وتستهمل أغلب أبراج التلامس (4-12) صواني وبمسافة 24 عقدة بين الواحدة والأخرى. وتكون المسافة بين الصواني 0.6-0.8 m في حالة كون سرعة الغاز 0.2 - 0.3 م/ثا . يعتمد عدد الصواني على: (١) درجة الحرارة التشغيلية (٢) معدل تدفق الكلايكل (٣) نقطة الندى المطلوبة. كما أن هناك حاجة لوجود تركيب ميكانيكي لتوزيع الكلايكل ، وذلك للتعامل مع تقلبات تدفق الكلايكل ، كما أن وجوده سيمنع اصطدام الكلايكل القادم بسرعة عالية بالصواني أو الحشوة حيث أنه يؤدي الى تضرر الصواني وتراكيب Bubble Caps أو الى تضرر الحشوة وتراكمها في جهة واحدة بسبب تركيز ضغط سائل الكلايكل على الجهة الأخرى. ويعتمد تصميم هذا التركيب على معدل تدفق الكلايكل ، وقطر البرج. أما مستخلص الرذاذ فيجب أن يكون على مسافة مناسبة من خط خروج الغاز Gas Outlet لا تقل عن ٣ قدم. ويعمل على أستخلاص الكلايكل من الغاز في حالة خروجه مع الغاز أي حصول Carry over.

استعمال الحشوات النظامية: Structured Packing:

أن التوجه السائد الآن هو استعمال الحشوات بدلاً من الصواني ، وخاصةً لدرجات الندى الواطئة ، وقد أدى هذا الأمر الى إعادة اختبار تصاميم أبراج التلامس للحصول على المزيد من التجفيف بكلفة أقل ، أن لهذا النوع من الأبراج العديد من الميزات فهي تتعامل كميات أكبر ، مع فرق الضغط قليل ، وأرتفاع أقل للبرج إذا قورنت بالبرج ذو الصواني .

ويمكن تلخيص الفروق بين النوعين في النقاط التالية:

- أن السرعة التصميمية للغاز في أبراج الحشوات هي ضعف السرعة في أبراج الصواني ، مما يعطيها سعة أكبر.

- فقدان الكلايكل أقل في الأبراج ذات الحشوات.

- أن أبراج الحشوة أقل كلفةً من أبراج الصواني.

كما يجب الأخذ بنظر الاعتبار وضع تركيب توزيع الكلايكل ، ومستخلص رذاذ ذات كفاءة عالية. أن وجود الهيدروكربونات السائلة في الغاز يؤدي الى آثار سلبية وخاصة في الأبراج ذات الصواني لأنها تسبب الرغوة foam مما يسبب تقليل كفاءة برج التلامس ، وهذه الحالة تستوجب وجود عازلة flash separator لإزالة كل هذه الهيدروكربونات السائلة ، كما يتوجب التخلص من أكبر قدر ممكن من هذه السوائل قبل دخول الغاز الى وحدة التجفيف .

المشاكل التشغيلية في وحدة التجفيف بالكلايكل

ما هي أسباب فقدان الكلايكل؟

أن هناك فقدان طبيعي يقدر ب ٠.١ غالون لكل مليون قدم مكعب قياسي من الغاز الطبيعي يعبر عنه ب 0.1

gal of Glycol / MMSCF of NG

- السرعة العالية للغاز داخل برج التلامس Contactor ، مما يؤدي الى الحمل

الإضافي carryover للكلايكول مع الغاز الطبيعي ومما يساعد في ذلك حدوث تضرر مستخلص الرذاذ Mist Extractor الموجود في أعلى برج التلامس.

- زيادة درجة حرارة المسخنة Reboiler مما يؤدي الى تفكك الكلايكول.
- ارتفاع درجة حرارة برج النزع Still Column مما يؤدي الى هروب الكلايكول من أنبوب تصريف الغازات. Vent Stack.

برج التلامس:

ما هي أسباب عدم حصول التجفيف الكافي؟

- محتوى الماء العالي في الكلايكول المشبع. Lean Glycol.
- معدل التدوير عالي أو واطئ. حيث أن معدل التدوير العالي يؤدي الى عدم حصول التبريد بالشكل الكافي ، وبالتالي ارتفاع درجة حرارة الكلايكول وقلة قابليته على امتصاص الماء. كما أن معدل التدوير العالي يؤدي الى تقليل زمن التلامس.
- أما معدل التدوير الواطئ فيؤدي الى عدم كفايته في إزالة الماء.
- ارتفاع درجة حرارة الغاز الداخل. High Inlet Gas temperature. لأن الماء يفضل الطور الغازي.
- قلة ضغط برج التلامس. Absorber Pressure.

حصول الرغوة: Foaming:

يعتبر حدوث الرغوة من أهم المشاكل التي تحدث في وحدات التجفيف بالكلايكول حيث أن هذه المشكلة تؤدي الى زيادة فقدان الكلايكول وتقلل كفاءة وحدة التجفيف ، وهذه المشكلة تؤدي الى خروج الكلايكول مع الغاز المصنر. كما أن الرغوة تقلل التماس بين الغاز والكلايكول ، ولذلك فإن كفاءة التجفيف تقل . أن استعمال مضادات الرغوة De-foaming agents يعتبر أحد الطرق للتغلب على هذه المشكلة ، ومن هذه المواد أحادي أيثانول أمين MEA ، ولكن من المهم جداً أن نعرف أن هذه الإضافات ليست حلاً للمشكلة الأساسية ، حيث يجب تحديد السبب ومعالجته. وأهم أسباب حدوث الرغوة:

- قلة تركيز الكلايكول في برج التلامس.
- الفرق العالي في درجات الحرارة بين الغاز الرطب والكلايكول الداخل الى برج التلامس.
- صعود الدالة الحامضية PH للكلايكول ، حيث إذا كانت أكبر من 9 فإن هذا يجعل الكلايكول يميل الى إحداث الرغوة والاستحلاب.

-زيادة سرعة الغاز (السبب ميكانيكي).

- وجود الشوائب (لأسباب كيميائية) وهذه الشوائب تتمثل في الشوائب الصلبة ، مانع التآكل Corrosion Inhibitor ، المواد الكيميائية المستعملة في حفر الآبار.

ويمكن حل هذه المشكلة بنصب (مرشحة كاربون منشط (Activated Carbon filter) لأزالة أية مواد تسبب

الرغوة. Foaming materials.

الفقدان في الهيدروكربونات: Hydrocarbon Losses

المسبب الرئيسي لهذا الفقدان هو الخواص الفيزيائية للمذيب. ويمكن معالجته باستخدام مكثف أو عازلة بعد برج التلامس.

مشاكل خزان الحفظ: Glycol Surge Tank

أن أغلب مشاكل خزان الحفظ هي مشاكل المستوى ، حيث أن المستوى العالي يؤدي الى زيادة التدفق وبالتالي زيادة معدل التدوير . كما أن المستوى الواطيء يؤدي الى تقليل معدل التدوير .

مشاكل المبادل الحراري: Heat Exchanger

- التآكل .

- تضرر المبادل .

مشاكل المضخات: Glycol Pump

- التقر Pitting ، السبب الرئيسي هو وجود الشوائب الصلبة ويمكن معالجة هذه المسألة بنصب مصفاة Strainer في خط السحب للمضخة. Pump Suction.

تقليل انبعاثات وحدة التجفيف Reducing Dehydration Emissions

أن الغاية الأساسية من عملية التجفيف كما ذكرنا في الجزء الأول والجزء الثاني هي إزالة الرطوبة من الغاز الطبيعي لمنع التآكل وتكون الهيدرات Hydrates في الأنابيب. وقلنا أن العملية الأكثر شيوعاً هي عملية التجفيف باستخدام TEG ، حيث يحصل تماس بين مادة تراهي أثيلين كلايكلول والغاز الطبيعي الرطب.

أن الكلايكلول لا يمتص الرطوبة فقط ، بل سيمتص معه الميثان CH4 وغيره من المركبات العضوية

الطيارة Volatile Organic Compounds VOCs وغيرها من ملوثات الهواء

الخطرة Hazardous Air Pollutants HAPs والموجودة في الغاز الطبيعي.

فقد ذكرت دراسة أعدتها وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA ، أن هناك ما يزيد عن 38 ألف وحدة تجفيف بالكلايكلول في الولايات المتحدة في عام ٢٠٠١ ، مما يؤدي الى أنبعاث حوالي 18.6 مليار قدم مكعب من الميثان سنوياً الى الهواء الجوي. وتحمل صناعة الغاز الطبيعي المركز الثالث في مصادر أنبعاث الميثان بنسبة . 17% فيما تشكل أنبعاثات VOC و HAP من وحدات التجفيف 85% و 81% على التوالي من مجموع الأنبعاثات السنوية الناتجة من إنتاج الغاز الطبيعي.

وعلى ضوء هذه الأرقام فقد وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA معايير لأقصى تقنيات

السيطرة MACT والتي أجبرت مستعملي وحدات التجفيف بالكلايكلول على تقليل انبعاثات HAP من هذه

الوحدات بنسبة. 95%

وبموجب معايير MACT فإن على مستخدمى وحدات التجفيف بالكلايكلول نصب معدات سيطرة لتقليل الملوثات

الناجمة عنها. فقد تم تطوير وحدات جديدة تتطابق مع هذه المعايير ، حيث تقوم هذه الوحدات بتقليل

انبعاثات HAP وغاز الميثان ، وتتخلص هذه الطريقة بجمع الأبخرة الهيدروكربونية المنبعثة من وحدة التجفيف من Vent Stack ومن ثم تكثيفها لتكوين مركب هيدروكربوني مفيد ، وبعض الماء ، كما يتم الاستفادة من الأبخرة المتبقية كمصدر للوقود لنفس الوحدة.

أن التقنية الجديدة تستخدم مبدأ تكثيف السائل ، وفصل الأطوار ، في حين لا يحتاج الماء الى معالجة ، وتقليل تلوث الهواء الى الحد الأقصى ، ويختلف التصميم الجديد بنصب مضخة جديدة تقلل انبعاث الميثان ، ونصب وحدة لمعالجة انبعاثات Vent Stack ، مع تصميم جديد للمسخنة Reboiler يقلل استهلاك الغاز وانبعاثاته. وعازلة ثلاثية الطور Three-Phase Separator ووحدة لتبريد الكلايكلول ويتجسد التعديل الرئيسي في هذا التصميم في وضع منظومة سيطرة على برج Vent Stack حيث يتم تجميع الهيدروكربونات ومركبات HAPs في ضغط فراغي Vacuum وتكثيفها.

وقد حققت هذه الطريقة نجاحاً كبيراً حيث تم تقليل انبعاثات HAP الى حوالي 99.74% ولقد قللت هذه

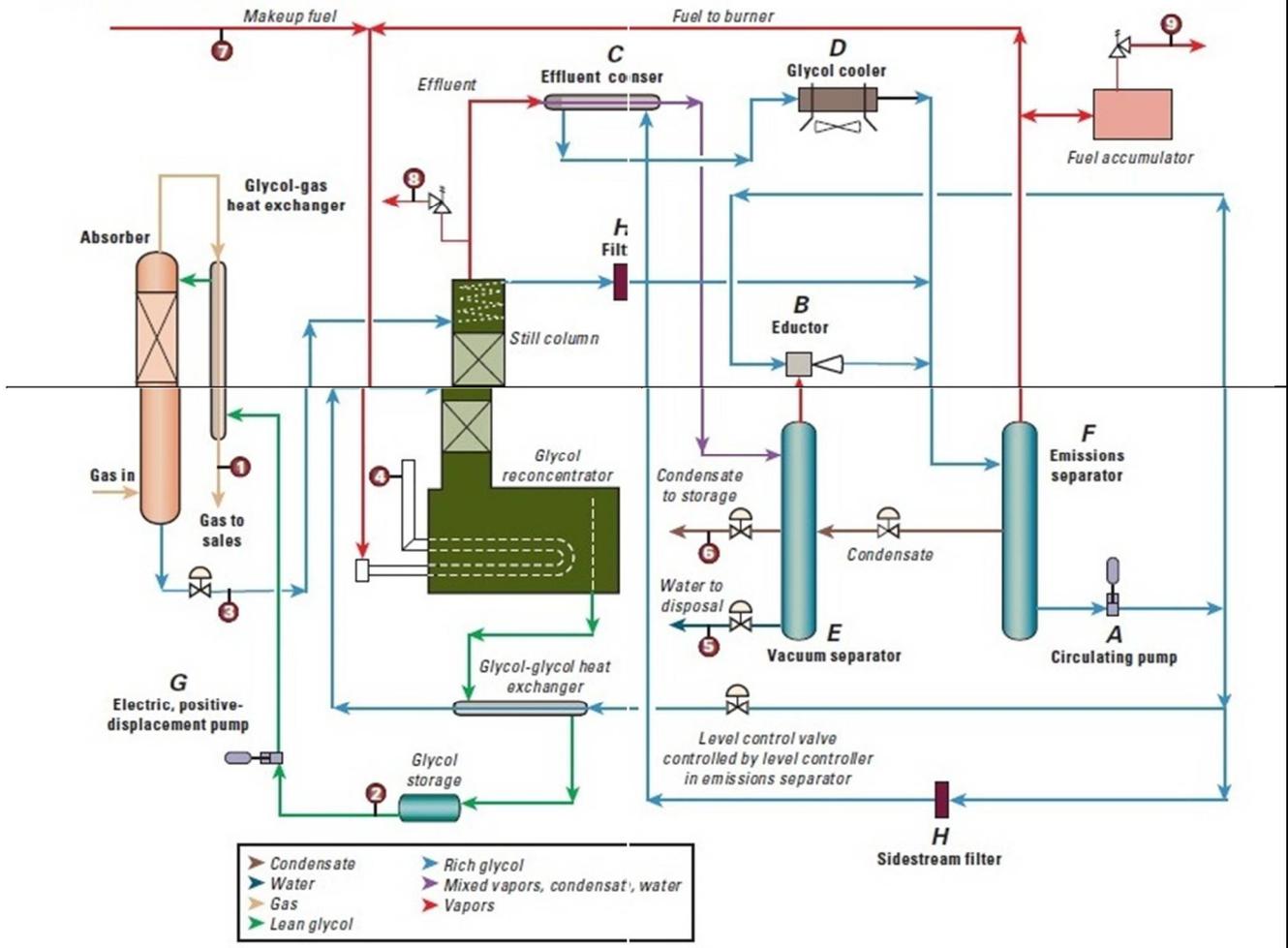
الطريقة من انبعاثات BTEX الى حد كبير وهي

(Benzene - Toluene - Ethyl benzene - Xylene).

لقد تم تجربة هذه التقنية في وحدة تجفيف تعالج ٢٦ مليون قدم مكعب قياسي باليوم شمال غرب برغتون في ولاية كولورادو ، وقد كانت الرطوبة الزائدة الخارجة من برج Vent Stack لأسباب مشاكل مستمرة قبل تطبيق هذه التقنية ، كما أن التحاليل للغازات المنبعثة من برج Vent Stack كانت عبارة عن: اول وثاني اوكسيد الكاربون - الهيدروكربونات - مركبات BTEX- مركبات HAPs بالإضافة الى الهيكسان

AS-INSTALLED SYSTEM SCHEMATIC

Fig. 1



وقد استحدثت وكالة البيئة الأمريكية تعريفاً جديداً وهو كفاءة كسر ملوثات الهواء

الخطرة HAPs destruction efficiency وهو عبارة عن كمية الملوثات HAPs الداخلة الى المنظومة منقوصاً منها كمية الملوثات HAPs الخارجة من المنظومة مقسوماً على كمية الملوثات HAPs الداخلة الى المنظومة. وقد كانت أغلب هذه الملوثات منبعثة عن الماء المنتج والتسريبات (Leaks أن وجدت) والغازات المنبعثة من المسخنة Reboiler ، حيث أن عمود حرق الغازات burner stack قد يحتوي على بعض الملوثات غير المحترقة مما يؤدي الى انبعاثها الى الهواء الجوي ، أما الملوثات الذائبة في الماء فأنها تنبعث منه عند تصريفه.

لقد أستمرت تجربة هذا النموذج لمدة ٧ ايام للحصول على المعلومات المطلوبة وتقييم التصميم الجديد ، والتأكد من أن الوحدة تعمل بشكل جيد. وقد تم قياس نسبة الملوثات والميثان بواسطة

الكروموتوغرافيك Chromotographic كل 15 دقيقة ، حيث كان معدل الانبعاث أقل

من 0.0016 lb/hr كما أن نسبة الرطوبة في الغاز الجاف الخارج كانت أقل من 7 lb/MMscf أي أقل من 7 باوندات لكل مليون قدم مكعب قياسي وهو ضمن المواصفات القياسية للغاز الطبيعي المصدر ، في حين كانت كمية الغاز المعالج بهذه الوحدة تتراوح بين 26.8 - 29.3 مليون قدم مكعب قياسي .

لقد لوحظ أن هذه المنظومة قامت بحرق كل الهيدروكربونات غير المتكثفة بدون تصريفها الى الهواء الجوي كما استعملت بعض هذا الغاز في المنظومة. وقد تراوح معدل تدوير الكلايكلول 3.0 - 3.77 gpm في حين كانت نسب اوكسيدات النتروجين NOx وأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون وملوثات الهواء الخطرة HAPs المنبعثة من عمود حرق الغازات في المسخنة كالاتي 0.0003 - 111 - 0.0005 - 0.0817 :باوند/ ساعة على التوالي أما انبعاثاتها من الوحدة فقد كانت غير محسوسة ، أما كفاءة كسر الملوثات الخطرة HAPs destruction efficiency أكثر من 99.74%.

تقليل انبعاثات البنزين Benzene Emissions Reduction

قامت الجمعية الكندية لمنتجي النفط Canadian Association of Petroleum Producers بتشكيل مجموعة للعمل على انبعاثات البنزين من وحدات التجفيف بالكلايكلول واعداد دراسة بهذا الخصوص ، وقد كان الغرض منها إيجاد طريقة فعالة للسيطرة على الانبعاثات من وحدة التجفيف وخاصة انبعاثات البنزين وزيادة الوعي بمخاطرها على صحة الإنسان وكيفية تقليل المخاطر الناجمة عن التعرض لهذه الانبعاثات ، ومن ثم تبني طرق فاعلة للسيطرة على هذه الانبعاثات. في الجدول التالي بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للبنزين Benzene

الملاحظات	القيمة	الخاصية
		مركب آروماتي حلقي بسيط
أعلى من الماء	5 °	درجة الأنجماد
أقل من الماء	80 °	درجة الغليان
أن البنزين السائل يطوف فوق الماء	0.8 g/mL @ 20 °	الكثافة
ميل شديد للتبخر الى الهواء	10 KPa @ 25 °	الضغط البخاري
يستخدم بحذر	شديدة	القابلية على الاشتعال

أن البنزين يكون موجوداً بشكل طبيعي في الغاز ، ويتم امتصاصه مع مجموعة من الهيدروكربونات بواسطة الكلايكلول في برج التلامس لينبعث بعدها من أعلى برج VentStack ويعتمد معدل الامتصاص على معدل تدفق الكلايكلول. وتحاول أغلب الشركات تحسين أداء وحدة التجفيف ولكن هذا قد يؤدي الى زيادة انبعاثات البنزين ، بسبب زيادة نسبة تدوير الكلايكلول أو زيادة استخدام غاز النزج. Stripping Gas

أن أهم العوامل المؤثرة على انبعاث البنزين هي:

-نسبة وجود البنزين في الغاز الطبيعي الداخل : حيث يكون موجود في بعض الأحيان (وليس في جميع الأحيان) في الغاز الطبيعي وتعتمد كمية البنزين الذي يتم

امتصاصه من الغاز الطبيعي على تركيز البنزين في الغاز الطبيعي الداخل.

-معدل تدوير الكلايكلول Glycol Circulation Rate: حيث تكون كمية البنزين الذي يتم امتصاصه متناسبة مع معدل تدوير الكلايكلول.

-درجة حرارة برج الامتصاص Absorber Temperature : أن درجة حرارة برج الامتصاص تتأثر بشكل

كبير بحرارة الكلايكلول الداخل ، حيث أن زيادة درجة الحرارة تؤدي الى زيادة نسبة بخار الماء وزيادة تطاير البنزين مما يؤدي الى تقليل كفاءة امتصاص البنزين في الكلايكلول.

- ضغط برج الامتصاص : Absorber Pressure ويتم تحديدها بواسطة ضغط الغاز الداخل ، ويزيادة ضغط برج الامتصاص تزيد كمية البنزين الذي يمتصه الكلايكلول.
- معدل تدفق الغاز : Gas flow rate تتأثر كمية البنزين الذي يتم امتصاصه بواسطة الكلايكلول بمعدل تدفق الغاز ، ولكن هذا العامل ليس له نفس تأثير العوامل التي تم ذكرها.

كيفية تقليل انبعاثات البنزين:

أن طريقة التفكير الهندسي الاستباقي في تصميم وحدات التجفيف هو الشيء الأكثر تأثيراً في تقليل انبعاثات البنزين ، حيث يجب أخذ الأمور التالية بنظر الاعتبار عند التصميم:

- معدل تدوير الكلايكلول ، وتركيزه ونقاوته.

- درجة حرارة برج الامتصاص.

- وجود وحدات سيطرة على الانبعاثات.

الخطوات العملية لتقليل انبعاثات البنزين:

١- معدل تدوير الكلايكلول : وهو من أكثر العوامل تأثيراً على كمية البنزين التي تم امتصاصها ، لذا يجب الحفاظ على معدل تدوير الكلايكلول يضمن تجفيفاً جيداً ولا يزيد عن المعدلات المطلوبة كي لا تزيد كمية البنزين الذي يتم امتصاصه. أو باختصار استخدام الحد الأدنى المقبول.

٢- درجة حرارة برج الامتصاص: حيث يزيد امتصاص البنزين في الضغوط العالية لبرج الامتصاص ودرجات الحرارة الواطئة لنفس البرج ، لذا يتوجب ضبط ضغط برج التلامس لتقليل انبعاثات البنزين بالشكل الذي يضمن استمرار عملية التجفيف وتقليل انبعاثات البنزين الى الحد الأدنى . أما درجة حرارة برج الامتصاص ضبطها من خلال السيطرة على درجة حرارة الكلايكلول المشبع (في المبادل الحراري على سبيل المثال) أو من خلال ضبط درجة حرارة الغاز الداخل اليه من خلال نصب وحدات لتسخين الغاز قبل التجفيف (ملاحظة: في محطات الكبس لن تكون هناك حاجة الى تسخين الغاز حيث أنه يكون بدرجة حرارة عالية بعد خروجه من الكابسة).

٣- عدد صواني برج الامتصاص : Absorber Trays حيث يزيد امتصاص البنزين بزيادة عدد الصواني في برج الامتصاص أو ارتفاع الحشوة (في أبراج الامتصاص ذات الحشوة. (Packing Absorbers)

٤- درجة حرارة المسخنة : Reboiler Temperature أن الغاية الأساسية من المسخنة هو لزيادة كفاءة الامتصاص. أن درجة الحرارة المثالية للمسخنة هي ما يساعد على زيادة تركيز الكلايكلول ، أن التغييرات في درجة حرارة المسخنة (صعوداً أو نزولاً) عن درجة الحرارة المثالية قد يجعل من عملية التجفيف عملية غير كفوءة حيث أن درجات الحرارة الأعلى يؤدي الى تجفيف كاف لكنه قد يؤدي الى فقدان الكلايكلول ، وزيادة في استهلاك غاز الوقود . أما عندما تكون درجات الحرارة أوطأ من درجة الحرارة المثالية فذلك سيؤدي الى قلة كفاءة عملية امتصاص الماء وقد يدفع المشغل الى زيادة معدل تدوير الكلايكلول.

٥- غاز النزع : Stripping Gas وهو عبارة عن غاز وقود جاف يتم حقنه في جزء النزع من المسخنة ، وذلك لإعادة تنشيط الكلايكل عالي التركيز ، ويجب أن تكون معدلات مناسبة لهذا الغاز لأن الكميات الزائدة منه سوف تذهب الى الجو على أية حال. لذا فالدراسة توصي بتقليل غاز النزع الى الحد الأدنى.

٦- خزان : Flash Tank والغاية منه إزالة الغاز الذائب من الكلايكل المشبع وتحسين عملية إعادة تركيز الكلايكل ، وهو يزيد من فاعلية وحدات التكثيف في السيطرة على انبعاثات البنزين.

٧- أمور أخرى : أن إضافة الحشوة أو المزيد من الصواني Trays الى برج الامتصاص يزيد كفاءة عملية التجفيف وتقليل نقطة الندى . Dew Point أن الملوثات الموجودة في النفط والغاز مثل الماء المنتج ، الزيوت Lubricants ، المواد الكيماوية التي يتم إضافتها الى النفط والغاز oil well chemicals ، والصدأ قد تُقلل كفاءة الكلايكل في امتصاص الماء. أما الهيدروكربونات الأثقل فأنها تزيد قابلية الكلايكل على امتصاص البنزين، مما يؤدي الى تقليل كفاءة العملية ، لذلك يمكن زيادة الكفاءة من خلال نصب مرشحات معينة Filters قبل وحدة التجفيف . كما أن لضغط برج الامتصاص دوراً كبيراً في هذا الموضوع ، حيث أن ذوبانية البنزين Benzene Solubility تزيد بزيادة الضغط ، أما الغاز الذي يكون بضغط عال فتكون له قابلية محدودة لحمل الماء مما يساعد على تقليل تدفق الكلايكل.

معدات السيطرة على الانبعاثات:

حيث يتوجب إضافة مجموعة من المعدات لتقليل هذه الانبعاثات ، أو الحد منها ، ومن هذه المعدات:

١- المكثفات : Condensers وتقوم بتقليل درجة حرارة الغازات التي يتم تصريفها من Vent Stack ، ليتم بعدها تجميع هذه السوائل لغرض معالجتها أو تصريفها ، وأهم أنواع المكثفات هي التي مكثفات التبريد بالهواء - مكثفات التبريد بالماء - مكثفات التبريد بالغاز ، ومكثفات التبريد بالماء يقل استخدامها في المناطق الباردة بسبب مشاكل الانجماد ، وهناك تقنية لتوجيه الغازات المنبعثة من Still Column الى خزان أرضي أو تحت باطن الأرض لغرض تبريده وخاصة في المناطق الباردة حيث تكون لحرارة الجو المنخفضة عاملاً مساعداً للتبريد ، ويمكن بعدها إعادة توجيه الخارج من الخزان الى المشاعل flares أو المحارق Incinerators

٢- الطرق الحرارية : وتتضمن منظومات المشاعل flares system أو المحارق Incinerators ولكلا المنظومتين دور فاعل في السيطرة على انبعاثات البنزين ، ولكن هذه المنظومات كانت منصوبة أصلاً للسيطرة على انبعاثات كبريتيد الهيدروجين.

المشاعل : ويتضمن تجميع كافة الغازات والأبخرة الى خزان حيث يتم تجميع السوائل المتكثفة وتصريفها ، أما الغازات المنبعثة من الخزان فيتم حرقها في مشعل الضغط الواطيء . LP flare ويجب أن يتم نصب كابح اللهب Flame Arrestor لمنع رجوع اللهب الى المنظومة . ويمكن للمشاعل أن تقوم بتدمير مركبات BTEX من خلال حرقها ، كما تم تصميم مشاعل حديثة لغرض ضمان الاحتراق الكامل لهذه المركبات.

المحارق : Incinerators يمكن نصب محرقة قبل المكثفات ، حيث أن الحرق بدرجات حرارة عالية يؤدي الى حرق كامل يصل الى أكثر من 99% لهذه المركبات. أن موقع وارتفاع المحرقة يجب أن يكون مبنياً على

متطلبات وأسس السلامة ومراعاة محددات تراكيز الغازات السامة ، كما يجب أخذ غاز الوقود بنظر الاعتبار أثناء التفكير بأعتبارات الكلفة عند نصب هذه المحارق.

معالجة المخلفات:

مرشحات الكلايكول: Glycol Filters هناك نوعان أساسيان من المرشحات هما: مرشحة الكاربون المنشط Activated carbon filters ومرشحة wet filter ، أن مخلفات هذه المرشحات تعتبر خطرة جداً بسبب قابليتها على الاحتراق أو الأشتعال.

مخلفات الكلايكول : يمكن أن يصبح الكلايكول ملوثاً بالكلوريدات بشكل خاص مما يفقده كفاءته في امتصاص الماء، ولا تعتبر مخلفات الكلايكول خطرة إلا إذا كانت نقطة الوميض أقل من 61°C ، أن مخلفات الكلايكول لا يجب تصريفها الى الهواء الجوي أو الى المحيط .

المكثفات : Condensates هناك مصدران للمكثفات (الماء والهيدروكربونات) ، ومن ثم وحدات التجفيف التي تنتج مزيج (الماء - الكلايكول - الهيدروكربون) من الأبخرة المتكثفة. ويتوجب فصل هذه المكثفات بواسطة عازلات. ويمكن حقن هذه المكثفات في أحد الابار أو اي من طرق التصريف الأخرى ، أن معرفة حجم ونوعية المكثفات يمكن أن يساعد في اختيار الطريقة ذات الجدوى الاقتصادية.

الامتزاز وكيفية الاستفادة منه في معالجة الغاز الطبيعي

Adsorption & Natural Gas Treatment

مقدمة عن الامتزاز :

يستعمل مصطلح ال (sorption) لوصف كل نوع من أخذ أو خزن للمادة من قبل السطح الخارجي للمواد الصلبة (Adsorption) والسائلة (Absorption) وكذلك من قبل السطح الداخلي للمواد الصلبة المسامية أو السوائل.

ان الامتزاز هو عملية فصل يكون فيها الطور المائع في حالة تلامس مع طور الدقائق المسامية الصلبة ذي الخاصية الانتقائية لأخذ او لخزن واحد أو أكثر من المكونات الموجودة في الطور المائع .حيث أن المائع لا يذوب في المادة الصلبة ولكن يلتصق على السطح ويحدث التوازن بين المائع الممتز وبين الذي يبقى في عمق طور المائع، ويعتبر الامتزاز خاصية اساسية من المادة ممتلكا قوى التجاذب بين الجزيئات، حيث ان حقل القوة بالقرب من سطح المادة الصلبة يخلق طاقة كامنة واطئة وكنتيجة فأن كثافة الجزيئات قرب السطح عموما يكون أعظم من كتلة الغاز . أن التطبيقات المهمة الكثيرة للامتزاز يعتمد على الانتقائية (Selectivity) أي الاختلاف في تجاوب السطح للمكونات المختلفة. أن المادة التي تعاني الامتزاز على سطح المادة الصلبة تدعى ب(المادة الممتزة) Adsorbate والمادة التي تقوم بالامتزاز تدعى ب (السطح الماز) Adsorbent

يعتبر الامتزاز من اكثر طرق الفصل اقتصادية خصوصا عندما يكون تراكيز المواد التي يجب أن تزال من الطور المائع قليلة جدا ، وهي التقنية الاوسع استعمالا لفصل الجزيئات في صناعة النفط والغاز الطبيعي والبتروكيماويات والصناعات الكيماوية والعمليات البيئية . أن القوة الجاذبة المسببة للامتزاز عموما تكون ضعيفا قياسا للأواصر الكيماوية وزيادة درجة حرارة المادة المازة او بتقليل الضغط الجزئي للمادة الممتزة (أو التركيز في السائل)فأن المادة الممتزة يمكن تحريرها من السطح. أن عملية تحرير أو خطوة إعادة التنشيط هي خطوة مهمة في العملية ، حيث تسمح عملية التنشيط أولا باستخلاص المواد الممتزة وفصلها وبعد ذلك فهي تسمح بإعادة استعمال المادة الصلبة لعدة دورات وفي قليل من الحالات فان الامتزاز يكون غير عملية والمادة الممتزة يجب ان تزال بالحل الحراري أو بتفاعل كيميائي آخر أو ببساطة يتم الخالص من المادة الصلبة.

وتتنوع الجزيئات في الامتزاز بين طورين الاول في طور الصلب بينما الاخر في طور السائل أو الغاز ، عكس عملية الامتصاص والتي ينتشر فيها جزيئات المذاب من طور الغاز الى طور السائل ، وينتشر الجزيئات في الامتزاز من طور المائع الى سطح المادة الصلبة مكونا طوراً ممتزاً واضح المعالم.

ان المادة المازة المستعملة في فصل الغازات تستعمل لإزالة الكميات القليلة من المركبات من خليط الغازات ، والمثال الشائع هو تجفيف الغازات لمنع التآكل والتكثيف أو لمنع تفاعل جانبي غير مرغوب فيه . يكون الامتزاز مؤثراً في إزالة المركبات القليلة من طور السائل ويستعمل لاستخلاص المركبات أو المواد المؤذية للصحة من التأثير الصناعي.

هناك فرق في كل عملية من عمليات التقطير والامتصاص والاستخلاص بين الخواص التي يتم فصلها . ففي عملية التقطير هناك التطايرية وفي الامتصاص الذوبانية وفي الاستخلاص معامل التوزيع ، أما عملية

الفصل بالامتزاز فتعتمد على مكون واحد مستعد اكثر للامتزاز عن الآخر . فعملية الفصل للبا رافين الاعتيادي عن المتفرع بالتقطير يتطلب عدد مراحل كبيرة بسبب التطايرية النسبية الواطنة للمركبين. حيث يفضل من الناحية الاقتصادية استعمال مادة مازة والتي تقوم بالفصل بناء" على الفرق في الاقطار الجزيئية للمركبين، وكمثال فأن البنتان الاعتيادي والأيروبنتان لهما أقطار * (0.489 nm) و (0.558 nm) على التوالي فعندما يتم استعمال مادة مازة بحجم مسام (0.5 nm) لخليط الغازات فان الجزيئات الصغيرة سوف تنتشر من خلال سطح المادة المازة وتبقى فيها ، بينما تستثني الجزيئات الكبيرة . ويمكن استرجاع الجزيئات المتبقية في المادة الصلبة بتقليل الضغط أو رفع درجة الحرارة.

يحدث الامتزاز عندما تبقى الجزيئات المنتشرة في طور المائع فترة من الزمن بقوى صادرة من السطح القريب. يمثل السطح فجوة اجمالية في تركيبية المادة الصلبة ، والذرات عند السطح لها بقايا لقوى الجزيئات والتي لا تكون مشبعة بالذرات المحيطة كما في بنية الجسم. هذه البقايا للقوى أو قوى فاندرفالز شائعة لكل السطوح والسبب الوحيد عن كون هذه المواد الصلبة مميزة هي أنها يمكن تصنيعها على شكل مسامات عالية معطيا زيادة في المساحة الداخلية . وبالمقابل فأن السطح الخارجي يساهم بشكل معتدل للمجموع الكلي حتى عندما يكون السطح مجزأ على نحو ممتاز. ان الامتزاز المبني على قوى فاندرفالز فيزيائي في الطبيعة لان القوى تكون ضعيفة والامتزاز يمكن عكسها بسهولة ، ان كمية الحرارة المتولدة في الامتزاز الفيزيائي يكون مشابهها في القيمة لحرارة التكثيف ، وعندما لا يتم تثبت الحرارة بالتبريد فان حجم المادة الصلبة سوف تقل بارتفاع درجة الحرارة.

$$*n=nano=10^{-9}$$

من الملائم التفكير بان الامتزاز يحدث بثلاث مراحل ، عندما يزداد تركيز المادة الممتزة يتكون أولا طبقة منفردة من الجزيئات على سطح المادة الصلبة ، هذه الطبقة المنفردة يمكن ان يمتز كيميائيا ومقترنة بالطاقة الحرة والتي تمتز بالقوى التي تحملها ، وعندما يزداد تركيز المائع فان الطبقات المتكونة بالامتزاز الفيزيائي وعدد الطبقات المتكونة يمكن أن تحدد بحجم المسامات . واخيرا فأن للامتزاز من طور الغاز تحدث التكثيف الشعري (capillary condensation) حيث ان الشعيرات تمتلئ بالمادة الممتزة المتكثفة ويصل ضغطها البخاري الى قمة حرجة نسبة الى حجم المسام.

تتجذب الجزيئات الى السطوح كنتيجة لنوعين من القوى: قوى التشتت dispersion وقوى التنافر repulsion (وتدعى بقوى فاندرفالز) وتكون كنتيجة بأن الجزيئة أو مجموعة السطح لها قطبية كهربائية ثنائية دائمة dipole أو عزم قطبي رباعي quadrupole أو شحنة كهربائية صافية.

تتواجد قوى التشتت دائما وفي غياب اي قوة قوية سوف يحدد سلوك التوازن كما في الامتزاز الجزيئات بعزم غير قطبي ثنائي أو قطبي رباعي على الكاربون الغير المؤكسد. اذا كان السطح قطبيا فسوف يقدم حقل كهربائي يحث عزم القطب الثنائي في الجزيئة بقطبية ثنائية غير دائمة ومن خلال هذا الاستقطاب فانه يزيد من الامتزاز .وبالتشابه فان الجزيئة بعزم قطبي دائم سوف تستقطب السطح الغير القطبي وبهذا تزيد من التجاذب.

ان التجاذب للسطح القطبي والجزيئات بعزم ثنائي القطب الدائم يكون قويا كما في امتزاز الماء على مواد مازة محبة للماء hydrophilic .وبالتشابه للسطح القطبي فان الجزيئة بعزم رباعي القطبية الدائم سوف تتجذب

بقوة اكثر من الجزيئة المشابهة بعزم ضعيف .مثال: يمتاز النتروجين بقوة اكثر من الاوكسجين على سطح الزيولايت..

ان عملية الامتزاز باعثة للحرارة exothermic (وتشابه التكثيف condensation). وعكس عملية الامتزاز desorption ماصة للحرارة endothermic (وتشابه التبخير evaporation). ودرجة الحرارة الواطئة و الضغط العالي مفضل في عملية الامتزاز . ودرجة الحرارة العالية والضغط الواطئ مفضل في عكس عملية الامتزاز desorption. انواع الامتزاز adsorption of types يصنف الامتزاز معتمدا على نوع الاصرة الى:

١. الامتزاز الفيزيائي adsorption physical أو physisorption

وتحدث عندما يكون القوى الجزيئية البينية أو قوى فاندرفالز للتجاذب بين جزيئات المائع و سطح المادة الصلبة أعظم من قوى التجاذب بين جزيئات المائع نفسه. حيث يلتصق جزيئات المائع على سطح المادة الصلبة الممتزة ويحدث التوازن بين المائع الممتز والذي يبقى في طور المائع. ولا يلاحظ اي تغير في الالكترونات او بالأحرى يحدث تجاذب جزيئي بين موقع الطاقة المفضلة ولذلك لا يعتمد على الخواص الالكترونية للجزيئات المتضمنة. يتسم الامتزاز الفيزيائي بطاقات تداخل مساو او مشابه لحرارة التكثيف. المادة الممتزة يحتجز على السطح بقوى فاندرفالز ضعيفة نسبيا ويمكن ان تتكون عدة طبقات من الجزيئات وبنفس حرارة الامتزاز تقريبا. حرارة الامتزاز للامتزاز الفيزيائي يكون قليلا للمول الواحد) mole/Kcal ولذلك هذا النوع من الامتزاز مستقر فقط عند درجات الحرارة الاقل من ١٥٠ ° مئوية ،ويسمح الامتزاز الفيزيائي استعماله بعملية مراحل مستمرة .

٢. الامتزاز الكيماوي adsorption chemical أو chemisorptions

ويشمل التداخل الكيماوي بين المائع الممتز المادة الصلبة المازة وفي معظم الحالات يكون الامتزاز غير قابلا للعكس ويكون صعبا فصل المادة المازة عن المائع الممتز . و يشمل انتقال الالكترون بين مواقع السطح المحددة او المخصصة وجزيئات المذاب وكنتيجة تتكون الاصرة الكيماوية. يتسم الامتزاز الكيماوي بطاقات التفاعل بين السطح والمادة الممتزة مشابهة او مساوية لقوة الاواصر الكيماوية وبعشرات من الكيلو سعرة للمول الواحد) mole/Kcal وبناء" على ذلك تكون اقوى بكثير ومستقرا اكثر في الدرجات الحرارية العالية اكثر من الامتزاز الفيزيائي وعموما تتكون طبقة جزيئات منفردة فقط .

معظم تطبيقات الامتزاز في عمليات الفصل والتنقية تعتمد على الامتزاز الفيزيائي، بينما العوامل المساعدة الغير المتجانسة عموما يشمل الامتزاز الكيماوي للمتفاعلات .

يستعمل الامتزاز الكيماوي في بعض الاحيان في ازالة المواد الغير النقية الموجودة بكميات قليلة حيث يتم تحقيق انتقائية عالية وعلى الرغم من عدم استعمال الامتزاز الكيماوي بشكل واسع كما في الامتزاز الفيزيائي فهناك عدة تطبيقات في العمليات تعتبر هامة للامتزاز الكيماوي لتنقية الغازات ومنها :

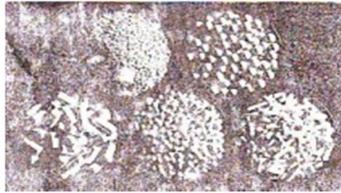
ازالة الزئبق : حيث ان الكميات القليلة من الزئبق الموجودة في الغاز الطبيعي معرفة بانها تسبب تاكلا لسطوح المبادلات الحرارية المصنوعة من الالمنيوم في وحدات صناديق التبريد المنخفضة درجة الحرارة في مصانع تسيليل الغاز الطبيعي LNG ، ويمكن ازالة الزئبق لمثل هذه الوحدات باستعمال كاربون فعال يحتوي على

الكبريت وذلك بتفاعل الزئبق مع الكبريت مكونا كبريتات الزئبق . وادناه جدول يبين فيها المقارنة بين الامتزاز الفيزيائي والامتزاز الكيميائي :-

الامتزاز الكيميائي	الامتزاز الفيزيائي
١. حرارة الامتزاز اكبر بعدة مرات من حرارة التسييل الطبيعي للغاز .	١. حرارة الامتزاز قليلة عند نفس درجة حرارة التسييل الطبيعي للغاز .
٢. يمكن ان يحدث الامتزاز عند درجات حرارية عالية.	٢. الامتزاز يكون بكمية محدودة فقط عند درجات الحرارة الاقل من نقطة غليان المادة الممتزة.
٣. مقدار الزيادة في الكمية التي يمكن ان يمتز تنقص مع كل زيادة في ضغط المادة الممتزة.	٣. مقدار الزيادة في الكمية التي يمكن ان يمتز تزداد مع كل زيادة في ضغط المادة الممتزة .
٤. طاقة التنشيط عالية تبعا للتفاعل الكيميائي.	٤. طاقة التنشيط ليست ذات قيمة.
٥. تتكون طبقة واحدة ممتزة على الأكثر.	٥. تحدث طبقات ممتزة متعددة .
٦. يسيطر عليه بالسيطرة على معدل التفاعل الكيميائي.	٦. معدل الامتزاز يسيطر عليه بالسيطرة على معدل انتقال المادة .
٧. يمكن ان يكون بطيئا ،فعال ،غير قابل للانعكاس.	٧. سريع ،غير فعال ، قابل للانعكاس..

أنواع المواد المازة Adsorbents

تم تطوير الماد الصلبة لفصل مدى واسع من المواد . يتم تجهيز الماد الصلبة التجارية على شكل حبيبات granules أو كرات صغيرة pellets أو تستعمل على شكل مسحوق powders أحيانا (كما في الشكل أدناه). ويتم استعمال المواد الصلبة في دورات متعددة في اوعية عمودية حيث تمر المواد المراد معاملتها من خلالها.



خواص المواد الصلبة المازة :

١. سعة عالية للامتزاز عند حالة التعادل .
٢. تسمح بأعاده تنشيطها .

٣. انخفاض الضغط لها يكون قليلا.

٤. السرعة الحركية في الامتزاز .

٥. مقاومة للاحتكاك.

٦. خاملة كيميائيا.

٧. لا يتغير حجمها بالتغير في درجات الحرارة وفي حالة التشبع.

٨. أن لا تتكسر الى دقائق صغيرة مما يؤدي الى انسداد المسامات وتقليل الكفاءة.

ويمكن تصنيف الانتقائية السطحية للمواد الصلبة الى:

١. مواد جاذبة للماء (Hydrophilic) وتسمى ايضا بـ (Organophobic) :-

مثال على هذه المواد: الالومينا الفعال وعدد كبير من زيولايت المناخل الجزيئية تملك سطوح جاذبة للماء ، ويمتاز الماء بقوة اكثر مفضلا ذلك على الجزيئات العضوية ويكون سطح هذه المواد قطبية polar .

٢. مواد غير جاذبة للماء (Hydrophobic) وتسمى ايضا بـ (Organophilic) :-

مثال على هذه المواد: الكاربون الفعال من النوع الغير الجاذب للماء ويفضل العضويات على الماء ويكون سطح الكاربون الفعال غير قطبيا polar no . أما سطح السليكا جل فيقع بين هاتين الحالتين ولها انجذاب معقول للماء والعضويات على الرغم من أن الماء يكون مفضلا.

يمكن أن يوصف السطح أما بسطحها الخارجي وذلك عندما يشمل نتوءا أو فجوات بعرض أكبر من العمق، او كسطح داخلي عندما يشمل مسامات وفجوات بعمق اكبر من العرض. ليست كل السطوح في الحقيقة ملساء ويظهر كوديان وقمم تحت المستوى المجهري . هذه المساحات حساسة لحقول القوى .في هذه المساحات فأن ذرات المادة الصلبة يمكن ان تجذب الذرات او الجزيئات من المائع القريب منها.

الخاصية الالهة للمواد المازة الصلبة والتي تعتبر حاسمة لاستعمال المادة الصلبة هي تكوين او بنية المسام العدد الكلي للمسامات، شكلها وحجمها يحدد سعة الامتزاز وحتى معدل الامتزاز الديناميكي للمادة.

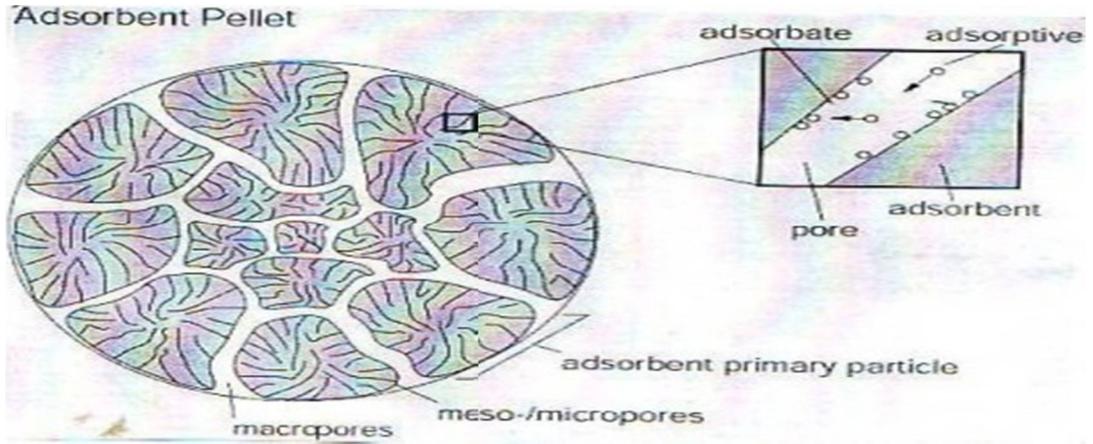
عموما تقسم المسامات الى : macropore، mesopore، micropore

وحسب تصنيف Chemistry Applied Pure of Union International والتي تعرف بـ IUPAC

النوع	قطر المسام (nm)
Macropores	$d > 50$
Mesopores	$2 \leq d \leq 50$
Micropores	$d < 2$

تنتقل جزيئات المادة من خلال ال ((macro- الى ال (meso-) وأخيرا تدخل الى ال (micropores) ، أن ال (micropores) تشكل عادة الجزء الاكبر للسطح الداخلي وتساهم في معظم حجم المسام .تكون قوى التجاذب

أقوى والمسامات تملئ في ضغوط نسبية واطئة في مسامات ال (-micro). ولذلك معظم عمليات الامتزاز للغازات تحدث خلال تلك المنطقة، لذا الحجم الكلي للمسام وتوزيع حجم المسام يحددان سعة الامتزاز.



تقسم المواد المازة التجارية الى أربعة أقسام رئيسية:-

١- الزيولايت ذو المناخل الجزيئية Molecular sieve zeolites

٢- الكربون الفعال Activated carbon

٣- الألومينا الفعال Activated alumina

٤- السليكا جل Silica gel

١- الزيولايت ذو المناخل الجزيئية Molecular sieve zeolites

لاحظ العالم السويدي (Baron Cronstedt) في منتصف القرن الثامن عشر بأن هناك معادن معينة عند تسخينها فأنها تتصهر ثم تغلي وسماها بالزيولايت. وتعني Zein (الذي يغلي) و lithos (الحجر) أي الحجر الذي يغلي. والزيولايت من نوع المناخل الجزيئية عبارة عن سليكات الالمنيوم البلورية للصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم ويمكن ان تكون مواد طبيعية أو صناعية .

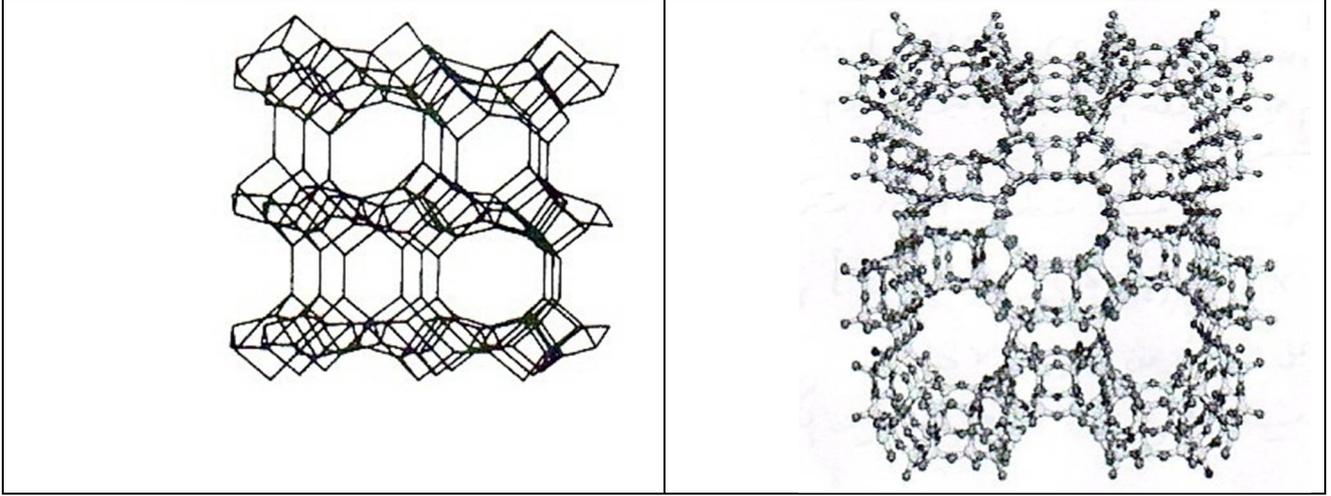
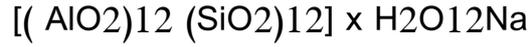
والمناخل الجزيئية هي مواد تختلف عن الانواع الاخرى من المواد الممتازة مثل الكربون الفعال والالومينا الفعال والسليكا جل في انها تعتبر مواد بلورية (crystalline) ، تركيب الزيولايت يحتوي على قنوات للمسامات ومن فراغات وفجوات مرتبطة والتي يحتل بالايونات الموجبة (cations) وجزيئات الماء، هذه الجزيئات الموجبة تكون متحركا عموما ويمكن ان تتبادل . وللزيولايت انتقائية عالية بسبب انها تفصل الجزيئات بناء" على حجم الجزيئة والقطبية للجزيئة . وعرفت لحد الان ١٥٠ نوع زيولايت صناعي و ٤٠ نوع زيولايت طبيعي وهي مواد مقاومة لدرجات الحرارة العالية. من أنواع الزيولايت

الطبيعية: chabazite, mordenite, clinoptilolite, philipsite,..... ومن أنواع الزيولايت الصناعية

(المناخل الجزيئية): النوع A ، النوع X ، والنوع Y. النوع A: ولها فتحة مسام بقطر * ٤A ° او ما

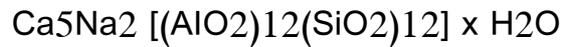
يعادل:

(٠.٤ nm أو ١٠ اس (-٨ cm) وتركيبها الكيميائي:



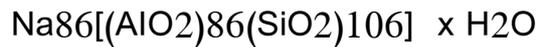
شكل يوضح بنية أو تركيبة الزيولايت من نوع mordenite والنوع clinoptilolite

بإضافة الكالسيوم إلى الصوديوم في المعادلة السابقة نحصل على النوع التجاري ذو فتحة مسام بقطر 5Å :



وبتبديل الصوديوم في المعادلة السابقة بالبوتاسيوم نحصل على النوع التجاري ذو فتحة مسام بقطر 3Å .

النوع X : ولها فتحة مسام بقطر 10Å وتركيبها الكيميائي هي :



ويقابل المنخل الجزيئي من نوع X₁₃.

النوع Y: ويشابه النوع X ويستعمل في اغراض التكسير الحراري (العوامل المساعدة). إن عملية الفصل

بالمناخل الجزيئية يتم بطريقتين :-

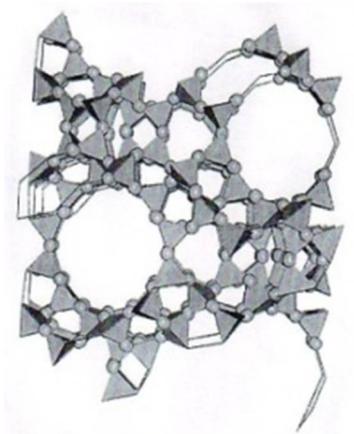
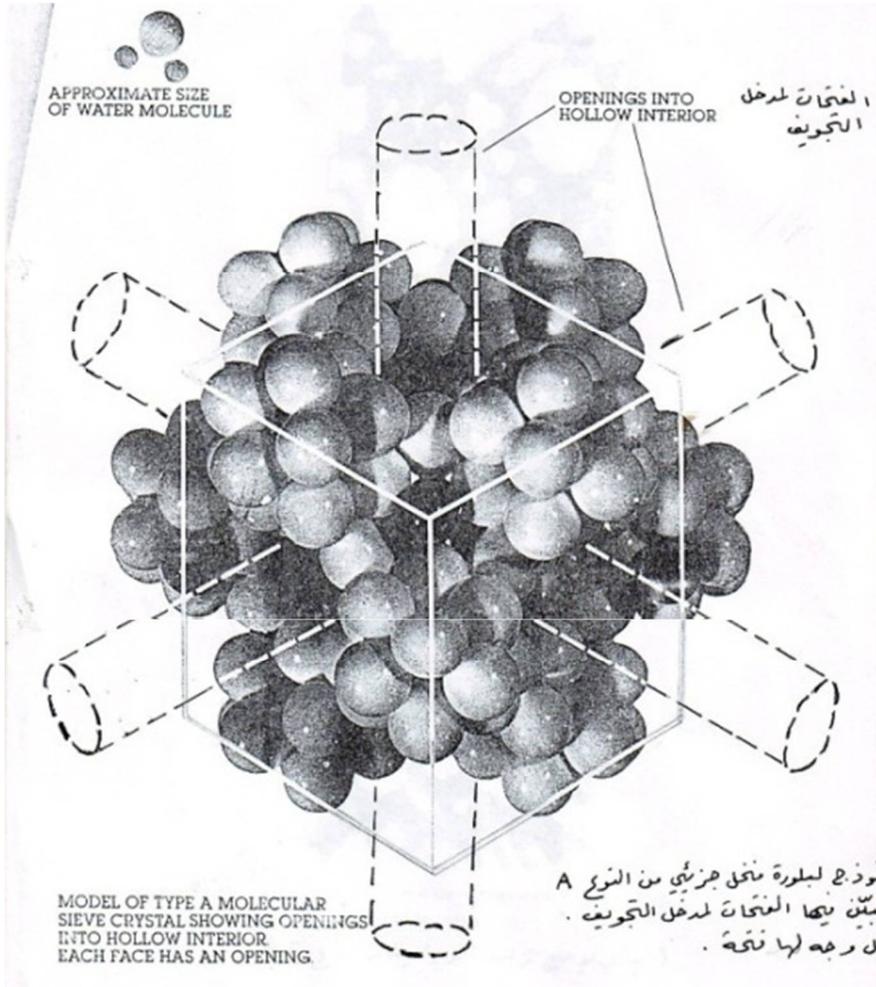
أ-الفصل حسب حجم الجزيئة: عندما يمرر غاز او سائل خلال المناخل الجزيئية ، فان الجزيئات الاصغر قطرا من مسامات الزيولايت سوف تدخل فقط ويمتد ، اما الجزيئات الكبيرة فلا تدخل .

مثال : خليط من بارافين اعتيادي وبارافين متفرع ، فإنه سوف يمتد البارافين الاعتيادي فقط عند استعمال

النوع (5Å) ، نفس النتيجة يتم الحصول عليها لخليط (N₂-O₂) .

ب- الفصل حسب قطبية الجزيئة : عندما يكون الغاز او السائل مؤلفا من جزيئات صغيرة فأن الفصل بالحجم يكون مستحيلا . ففي هذه الحالة فان المناخل الجزيئية تميل الى امتزاز الجزيئات حسب القطبية العالية .

مثال: من السهل تحفيز الهيدروجين من الماء باستعمال النوع (4Å) على الرغم من كون جزيئات الماء اكبر من الهيدروجين فأنها سوف يمتد تلقائيا (حسب قطبيتها العالية).



شكل يوضح تركيب الزيولايت من النوع Y



شكل يوضح تركيب الزيولايت من النوع 5-ZSM

Table 17.3. Classification of some molecular sieves⁽²⁾

Molecular Size Increasing →											
Type 5	He, Ne, Ar, CO H ₂ , O ₂ , N ₂ , NH ₃ , H ₂ O Size limit for Ca- and Ba- mordenites and levynite about here (~0.38 nm)	Kr, Xe CH ₄ C ₂ H ₆ CH ₃ OH CH ₃ CN CH ₃ NH ₂ CH ₃ Cl CH ₃ Br CO ₂ C ₂ H ₂ CS ₂	C ₃ H ₈ <i>n</i> -C ₄ H ₁₀ <i>n</i> -C ₇ H ₁₆ <i>n</i> -C ₁₄ H ₃₀ etc. C ₂ H ₅ Cl C ₂ H ₅ Br C ₂ H ₅ OH C ₂ H ₅ NH ₂ CH ₂ Cl ₂ CH ₂ Br ₂ CHF ₂ Cl CHF ₃ (CH ₃) ₂ NH CH ₃ I B ₂ H ₆	CF ₄ C ₂ F ₆ CF ₂ Cl ₂ CF ₃ Cl CHFCl ₂	SF ₆ <i>iso</i> -C ₄ H ₁₀ <i>iso</i> -C ₅ H ₁₂ <i>iso</i> -C ₆ H ₁₈ etc. CHCl ₃ CHBr ₃ CHI ₃ (CH ₃) ₂ CHOH (CH ₃) ₂ CHCl <i>n</i> -C ₃ F ₈ <i>n</i> -C ₄ F ₁₀ <i>n</i> -C ₇ F ₁₆ B ₅ H ₉	(CH ₃) ₃ N (C ₂ H ₅) ₃ N C(CH ₃) ₄ C(CH ₃) ₃ Cl C(CH ₃) ₃ Br C(CH ₃) ₃ OH CCl ₄ CBr ₄ C ₂ F ₂ Cl ₄	C ₆ H ₆ C ₆ H ₅ CH ₃ C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ Cyclohexane Thiophen Furan Pyridine Dioxane B ₁₀ H ₁₄	Naphthalene Quinoline, 6-decyl- Cyclohexane 1, 2, 3, 4- tetrahydro- naphthalene, 2-butyl-1- hexyl indan C ₆ F ₁₁ CF ₃	1, 3, 5 triethyl benzene 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16-decahydro-chrysene	(<i>n</i> -C ₄ F ₉) ₃ N	
Type 4											
Type 3											
Type 2											
Type 1											

CHEMICAL ENGINEERING

جدول تصنيف المناخل الجزيئية Molecular Sieves Classification

٢- الكربون الفعال Carbon Activated:

يصنع الكربون الفعال من المواد المحتوية على الكربون مثل الفحم: الخشب والليكنات والنسيج النباتي التفرغ وقشور جوز الهند . تتكون طريقة التصنيع من مرحلتين: التفحيم والتنشيط. تشمل طريقة التفحيم التجفيف والتسخين ، والهدف هو إزالة عدة مركبات جانبية غير مرغوبة من المادة الاولية كالفطران ((tar) وهيدروكربونات أخرى . تسخن المادة أثناء عملية التفحيم الى (400-600°C) في جو خال من الاوكسجين وبسبب أن هذه المادة لا تكون مساميا فأنها تحتاج الى تنشيط بمعاملتها مع مواد كيميائية ككلوريد الزنك

وحامض الفسفوريك قبل عملية التفحيم ثم أكسدتها عند درجات حرارة تزيد عن (700 °C) لتكوين نظام مسامي دقيق. وتم في السنوات الاخيرة صنع كاربون بنظام مسامي ضيق لحجم المسام وبقطر مسام (0.6nm) تقريبا وسمي هذا النوع من الكاربون بكاربون المناخل الجزيئية (Carbon Molecular Sieve) وذلك بعد اختيار المادة الاولية المناسبة وضبط عملية التنشيط.

أن الكاربون الفعال له مساحة سطحية عالية لوحدة الوزن يتراوح من (300-1500 m²/g) وحجم مسام يتراوح من (0.7-1.8 cm³/g) ، والكاربون الفعال المصنع من فحم الكوك البترولي يمكن أن يكون له مساحة سطحية تقريبا (3000 m²/g) . هنالك نوعين مختلفين من الكاربون الفعال تم تمييزهما تجاريا:

١- كاربون الطور السائل أو كاربون إزالة الألوان ويكون على شكل مسحوق وله مساحة سطحية حوالي (٣٠٠ m²/g) ، وحجم مسام (3 nm) أو أكبر ، وستعمل لإزالة المركبات العضوية من مياه الفضلات الصناعية.

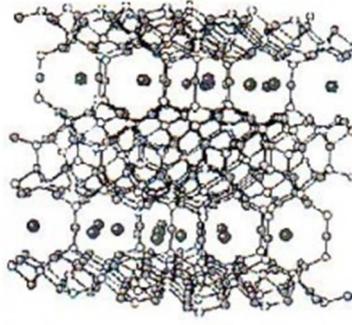
٢- كاربون طور البخار أو الغاز ويكون على شكل حبيبات خشنة أو كروية وله مساحة سطحية من (800-1200 m²/g) وحجم مسام أقل من (3 nm) ويستعمل في استخلاص المذيبات العضوية



شكل يوضح تركيبة الفحم المنشط

٣- الالومينا الفعال Alumina Activated

يعتبر الالومينا الفعال غير متبلورا (Amorphous) والذي يكون تركيبه الكيماوي (Al₂O₃) ، وهو معدن ابيض اللون أو بلون اشبه بالقصدير ومظهر طباشيري و وله مساحة سطحية تتراوح من (200-400 m²/g) وتحتوي على مسامات بأقطار من (2-5 nm) ، ويجهز المنتج على شكل حبيبات . وبسبب كون الالومينا الفعال من المواد الهايدروفيلية فأنها تجذب الماء بشكل عالي ولكن ليس بقوة زيولايت المناخل الجزيئية . ويمكن للالومينا الفعال تجفيف الغازات الى اقل من 1ppm محتوى رطوبة .



تركيب الألومينا الفعالة نوع بيتا the structure of Beta Alumina

٤- السليكا جل Gel Silica

السليكا جل هي السليكا الغير المتبلور (Amorphous) الصناعي والذي تتكون من شبكة محكمة ومتراصة من جسيمات السليكا الغروية الكروية (SiO₂) .

تتراوح مساحتها السطحية من (300-850 m²/g) قطر السام هو في مدى (150-22 A°) ويتم تصنيعها بتفاعل سليكات الصوديوم مع حامض الكبريتيك . ويجهز المنتج على شكل حبيبات أو أشكال كروية ويستعمل بشكل اساسي في إزالة الماء والعضويات على الرغم من ان الماء مفضل .

بالإضافة إلى ما سبق ذكره هناك مواد صلبة مازة أخرى مستعملة ومنها :

الاطيان المعدلة عضويا Organically Modified Clays:

وهي خليط من طين البنتونايت او الانتراسايت ، ينشط سطح الطين بعد معالته مع امين رباعي . هذه الأاطيان تستعمل في تنقية الغاز .

المواد المازة الراتنجية Polymeric Resin Adsorbents:

واشهرها هي :

أ- راتنجات التبادل الايوني الكاربونية Resins Ion-Exchange Carbonized

ب- المواد المازة من نوع ثنائي فنيل بنزين (DivinylBenzene) (Adsorbents) DV

وأدناه جدول يبين الخواص الرئيسية للمواد الصلبة المازة الشائعة .

المادة المازة	هايدرو فيليك	هايدرو فوبيك	غير متبلور Amorphous	ذو شكل منتظم Structured
الكاربون الفعال		√	√	
البوليمرات		√	√	
السليكا جل	√		√	
الألومينا الفعال	√		√	
المناخل الجزيئية من		√		√

نوع الكاربون				
السيلاكا لايت		√		√
الزيولايت 3A - 4A - 5A - 13X	√			√

الاستعمالات والتطبيقات الصناعية Applications Industrial & Uses:

أولاً: الزيولايت

- فصل الاوكسجين من الهواء
- تجفيف الغازات
- ازالة الماء من المحاليل الأيزوتروبية
- تحلية الغازات والسوائل الحامضية
- تنقية الهيدروجين
- فصل الامونيا والهيدروجين
- إزالة ثنائي اوكسيد الهيدروجين
- فصل الاوكسجين والآركون
- فصل الاستيلين والديوبان والبيوتان من الهواء
- فصل الزايلين واثيل بنزين
- فصل الاولييفينات والمواد الاروماتية عن البارافينات
- فصل البارافينات الاعتيادية عن المتفرعة
- فصل أول أوكسيد الكاربون عن الميثان والهيدروجين
- السيطرة على التلوث بأزالة SOx, NOx, Hg من الغازات
- تجفيف السوائل العضوية

ثانياً: الكربون الفعال

- فصل النيتروجين عن الهواء
- فصل الآيثين عن الميثان والهيدروجين
- إزالة الروائح من الغازات
- إزالة أبخرة المذيبات
- إزالة SOx, NOx
- تنقية غاز الهليوم
- تنقية المياه

- إزالة الألوان
- ثالثاً: الالومينا الفعال
- تجفيف الغازات
- تجفيف المذيبات العضوية
- تجفيف زيت المحولات
- إزالة HCL من الهيدروجين
- إزالة الفلورين ومركبات الفلورين والبورون في عمليات الآكلة
- رابعاً: السليكا جل

- تجفيف الغازات ، وسوائل التبريد والمذيبات العضوية وزيت المحولات
- كمجففات في حفظ المواد للخزن
- السيطرة على نقطة الندى للغاز الطبيعي
- خامساً: الاطيان

- إزالة بولي كلورو باي فنيل (PCB)
- تصفية الزيوت المعدنية
- معالجة زيوت الآيديبل oils edible
- سادساً: البوليمرات والراتجات

- تنقية المياه من الفينول والكيون والكحولات والانيلين
- فصل المواد الاروماتية عن المواد الاليفاتية
- استخلاص البروتينات والانزيمات
- إزالة الالوان من العصائر
- إزالة العضويات عن بيروكسيد الهيدروجين

أجهزة الامتزاز Equipments Adsorption

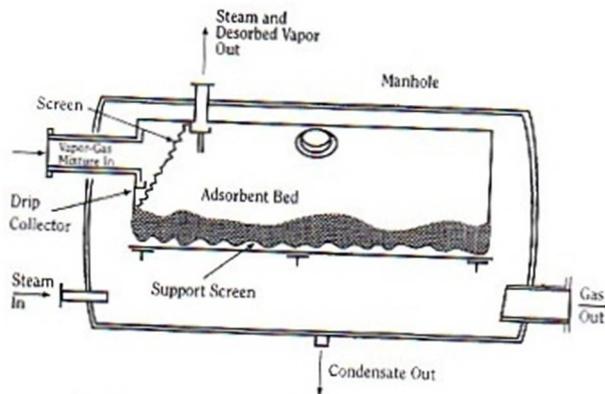
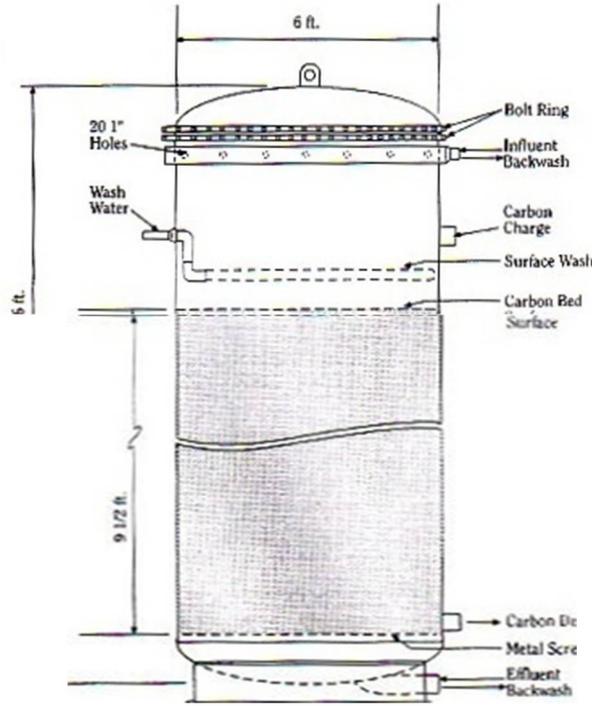
تستعمل المواد الصلبة في أجهزة الامتزاز الثابتة مع جريان متقطع للمادة الصلبة أو جريان مستمر للمادة الصلبة. والشائع أكثر هو استعمال غرفة ثابتة (bed fixed) تعمل بوحدات متقطعة (batch) أو غرف للمواد الصلبة حيث تمر المواد المائعة من خلالها وبأعاده تنشيط دورية.

يتكون النظام الكلي من وعاء ضغط أو خزان مفتوح مع أنابيب مرافقة وصمامات وأجهزة سيطرة وأجهزة مساعدة لإتمام عملية التنشيط للمادة الصلبة . وتحتوي أجهزة معالجة الغاز على نافخات (blowers) أو كابسات (compressors) . وتحتوي أجهزة معالجة السوائل على مضخات مع اوعية حقن لإتمام العملية المستمرة.

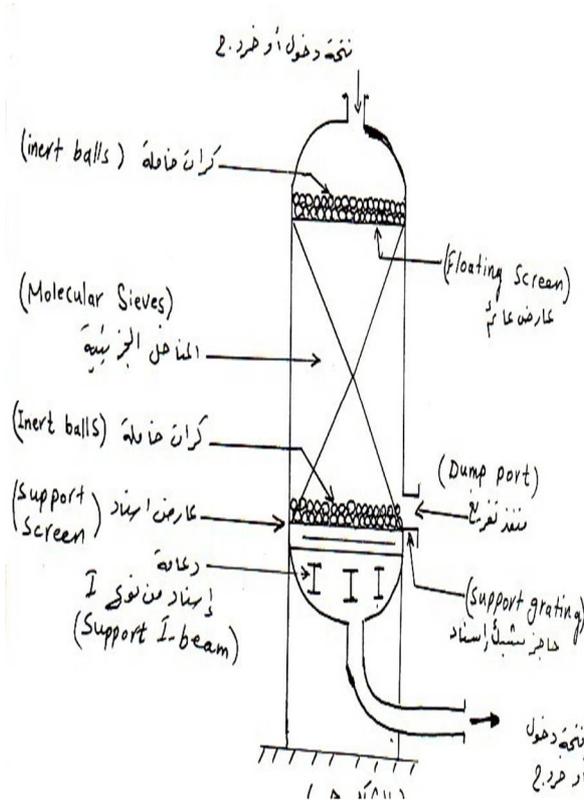
وعاء الامتزاز Vessel Adsorber

تكون الطريقة المستعملة لعمليات امتزاز (مائع - صلب) في اوعية عمودية اسطوانية مع وضع المادة الصلبة بشكل ثابت وبترتيب عشوائي للحشوات packing random .

يجب أن تصمم اجهزة الامتزاز بالأخذ بنظر الاعتبار انخفاض الضغط ، أن فرق الضغط يؤثر او يحدد تصميم وعاء الامتزاز حيث عندما ينجز الامتزاز واعادة التنشيط تحت ضغط اعلى من الضغط الجوي فان وعاء الامتزاز يجب ان يصمم كوعاء ضغط (لاحظ الشكل أ) ، وفي الجانب الآخر يكون الاختيار في تصنيع أوعية افقية حيث الجريان يكون قريبا (radial) عوضا عن ان يكون محوريا (axial) (لاحظ الشكل ب).



ويجب أن يحوي جهاز الامتزاز على وسائل لإسناد المواد الصلبة المازة ووسائل للتأكد من التوزيع الجيد للمائع المراد معاملتها خلال الغرفة . ويمكن ان تكون مسند المادة الصلبة على شكل شبكة معدنية أو على شكل كرات سيراميكية خاملة وكما هو موضح في) الشكل ج (والذي يبين فيها وعاء نموذجي للمناخل الجزيئية.



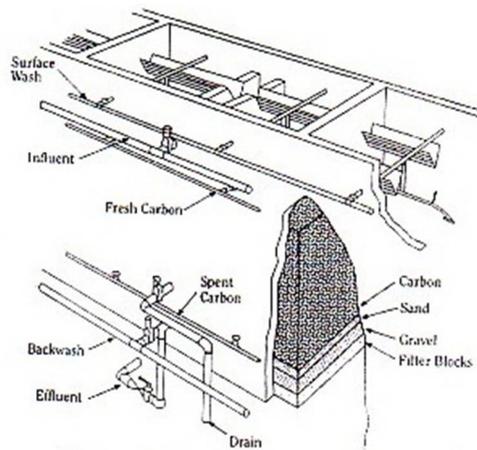
الشكل (ج)

عندما يتم توزيع الجريان مباشرة على طول غرفة المادة الصلبة فسوف تكون هنالك عدد قليل من التسهيلات الكبيرة للمادة الصلبة خلال الامتزاز ولمائع اعادة التنشيط خلال اعادة التنشيط . أن المائع الداخل خلال الغرفة من الفتحات (nozzles) يكون في سرعة كبيرة جدا من المعدل ويمكن ان يملك مكونات عزم غير متناسقة بسبب مجمع الصمامات للأنايبب (manifold) . ان الوسائل البسيطة للسماح لإعادة توزيع الجريان عبر واجهة الغرفة هو بتطبيق او استعمال فراغ واسع فوق وتحت الغرفة الثابتة ، والطريقة المكلفة هي نصب حاجز صفيحي مع وضعها بتناسق مع فتحات الدخول والخروج .

ان الحاجز المثقب أو الصلب مصمم لكسر العزم القادم من المائع واعادة توزيعها لمنع ارتطامها المباشر بالمادة الصلبة ، يجب تغطية الحواجز بعوارض لحجز الدقائق وذلك عند نصب مسند الغرفة المدرجة عند القعر ، أو يمكن استعمال معدن فيه شق . الغرف المسطحة الافقية غالبا ما تملك مساحة جريان كبيرة والذي يحتاج

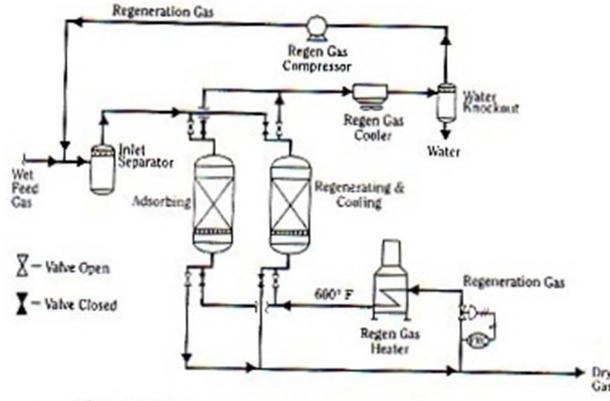
الى فتحات (nozzles) دخول وخروج مضاعفة . يجب تصميم هذه الفتحات الجامعة في مجمع واحد (headers) بعناية لضمان الجريان المتوازن لكل فتحة (nozzles) . هنالك مدخل واحد في نظام السوائل الى الوعاء ويتفرع الى عدة انابيب وغالبا ما تكون مثقبة على طول الانبوب (الشكل أ) . غالبا ما تملك هذه الشبكة العنكبوتية وشجرة الميلاذ ثقوبا ليست موضوعة على نحو منتظم ولكن موزعة لتجهيز جريان متساوي لمساحة الغرفة .

على الرغم من كون فقدان الضغط المسموح مع نظام السوائل ليست بعامل مقيد ، فان هنالك اعتبارات خاصة لنظام معالجة السوائل ، ان اجهزة الامتزاز من نوع الكاربون الفعال والمستعملة في معالجة الماء وماء الفضلات مصممة ومبنية مستعملا نفس الاعتبارات المستعملة لإزالة العكورة بالرمل والمرشحات المتعددة الطبقات ، والغرفة النموذجية للكربون موضحة في (الشكل د) ، أن مثل اجهزة التلامس هذه للسوائل والتي تعمل في الضغوط العادية هي مجرد خزانات مفتوحة او احواض كونكريتية بتوزيع فائض بسيط للجريان (weir overflow) .



الشكل (د)

و (الشكل هـ) يوصف مخطط جريان لنظام تجفيف بغرفتين وأعادته تنشيط من نوع TSA (سيتم شرحها لاحقا) ، مبينا فيها المعدات المساعدة المقترنة بإعادة التنشيط . يتم تسخين بعض من الغاز الجاف الناتج خارجيا وستعمل بشكل جريان عكسي لتسخين وطرده الماء من جهاز الامتزاز التي لا يقوم بتجفيف المادة المغذية . يتم تبريد غاز اعادة التنشيط الرطبة المستنفذة ، وتكثيف الماء الى الخارج ، ثم يتم اعادة تدوير الغاز الى مادة التغذية للاستخلاص .



الشكل (ه) two bed - TSA regeneration system equipment

إعادة التنشيط Regeneration

هنالك طريقتان رئيسيتان لإعادة تنشيط المادة الصلبة :

١ - الترجيح الحراري او بتغيير درجة الحرارة Thermal Swing Adsorption TSA

وتشمل غرفة المادة المازة بواسطة غاز حار . يستعمل في حالة المناخل الجزيئية درجة حرارة ٢٠٠-٣٠٠°C وحسب مكونات غاز التنشيط ونوع المناخل الجزيئية المستعملة ، ويتم تجهيز الحرارة الى الغرفة بواسطة البخار أو الفرن . ويتطلب بعد ذلك غاز تطهير لحمل الجزيئات الممتزة .

٢- الترجيح بالضغط أو بتغيير الضغط النسبي Pressure Swing Adsorption PSA

تحدث عملية إعادة التنشيط في هذه الطريقة عند ضغط أقل بكثير من ضغط الامتزاز ، فبتقليل الضغط الجزئي للمادة الممتزة تتم عكس عملية الامتزاز وبالتالي إعادة التنشيط وتحدث هذه العملية بثبوت درجة الحرارة .

الخرن الجوفي للغاز السائل LPG Underground Storage

اساسيات الخرن الجوفي

الغاز الطبيعي عديم اللون والرائحة، الهيدروكربونات الغازية قد تكون مخزونة بعدد من الطرق المختلفة. والاكثر شيوعاً هو الخرن الجوفي تحت الضغط بثلاثة انواع من المنشآت او المرافق: ١- المكامن العميقة في حقول النفط والغاز، ٢- المياه الجوفية، ٣- تشكيلات التجاويرف الملحية، (يتم خرن الغاز الطبيعي ايضا بشكل سائل في صحاريح فوق الارض).

مناقشة الغاز الطبيعي (LNG) هو خارج نطاق هذا التقرير. للحصول على المزيد من المعلومات حول الغاز الطبيعي المسال يرجى الاطلاع على تقرير تقييم التأثير البيئي (EIA) والبرنامج العالمي للسوق الغاز الطبيعي المسال (الحالة والرؤية المستقبلية) لكل نوع من الخرن الجوفي له خصائصه الفيزيائية الخاصة (المسامية

والنفاذية والقدرة على الاحتفاظ) والاقتصاد (اعداد المواقع وتكاليف الصيانة، ومعدلات امكانية التسليم، والقدرة على التدوير) والتي تحكم مدى ملائمتها لتطبيقات معينة.

اثنين من اهم خصائص مكامن الخزن الجوفي هو سعة المكن للاحتفاظ بالغاز الطبيعي واستخدامه في المستقبل والمعدل الذي يمكن سحبه وهي معدل قابلية التسليم (انظر تدابير الخزن ادناه، للحصول على تعريفات اساسية).

معظم تخزين الغاز الموجود في الولايات المتحدة في مناضب الغاز الطبيعي او حقول النفط القريبة من مراكز الاستهلاك. تحويل الحقل من الانتاج الى التخزين يستوجب الاستفادة من الآبار الموجودة، نظام جمع المعلومات وربط خطوط الانابيب. مناضب النفط والمكامن الغازية هي الاكثر شيوعاً للاستخدام في مواقع الخزن الجوفي بسبب توفره على نطاق واسع.

في بعض المناطق وبرزها ولايات الغرب الاوسط المتحدة، حيث تم تحويل المياه الجوفية الطبيعية الى مكامن لخن الغاز. المياه الجوفية مناسبة لخن الغاز في حال اذا تم وضع تشكيل الضخور الرسوبية المحملة بالماء بغطاء محكم. في ان جيولوجيا المياه الجوفية مشابهة لحقول الانتاج المنضب، واستخدامها في تخزين الغاز وعادةً مايتطلب المزيد من القاعدة(بطانة) الغاز وزيادة رصد الانسحاب وطريقة الحقن. ويمكن تعزيز معدلات قابلية التسليم بسبب وجود جريان نشط للمياه.

كهوف الملح تحقق معدلات الانسحاب والحقن النسبي عالية جدا وذلك لسعة الغاز العاملة. متطلبات قاعدة الغاز منخفضة نسبياً. ظهر الغالبية العظمى من منشآت تخزين كهوف الملحية في تشكيلات قبة ملحية الموجودة في ولايات ساحل الخليج. كما تم ترشيح الكهوف الملحية من طبقات الملح السائدة في ولايات الشمالية الشرقية والغرب الاوسط والجنوبية الغربية.

بناء الكهف اكثر تكلفة من تحويل الحقول المنضبة عند قياسها على اساس دولارات لكل الف قدم مكعب من سعة الغاز العاملة، ولكن امكانية تنفيذ تدوير الانسحاب والحقن لكل عام يقلل من وحدة التكلفة لكل الف قدم مكعب من حقن الغاز وسحبه.

كانت هناك جهود لاستخدام المناجم المهجورة لتخزين الغاز الطبيعي، مع على الاقل واحدة من المنشآت التي كانت قيد الاستخدام في الولايات المتحدة في الماضي. كذلك فان من المحتمل لاستخدام التجاري للصخور الكهفية للصلبة التي يخضع حالياً للاختبارات. اياً منها جاهزة للعمل تجارياً كواقع لتخزين الغاز الطبيعي في الوقت الحاضر.

Figure 1. Types of Underground Natural Gas Storage Facilities

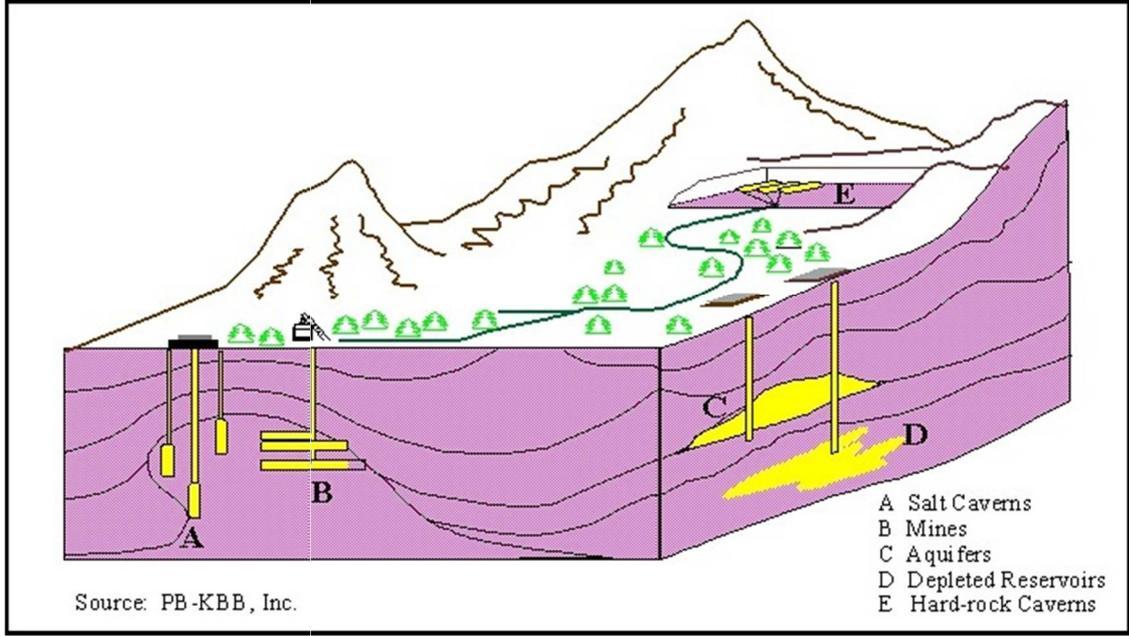
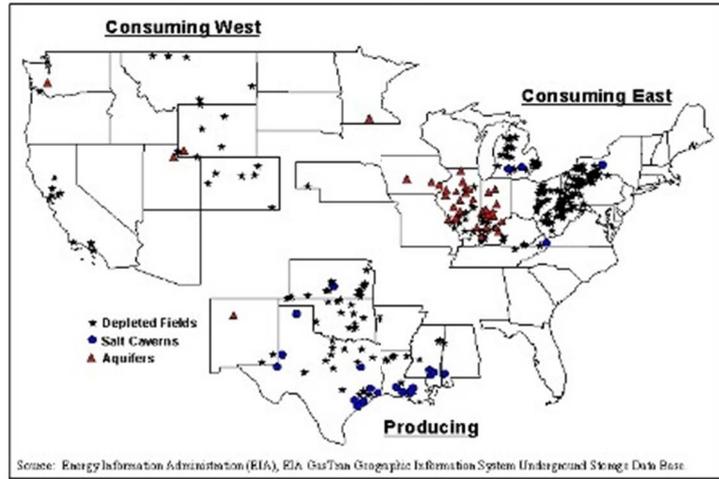


Figure 2. Underground Natural Gas Storage Facilities in the Lower 48 States



- مالكي ومشغلي التخزين: - اصحاب رأس المال/ مشغلي منشآت الخزن الجوفي هي (١) شركات خطوط الانابيب بين الدول، (٢) شركات خطوط الانابيب داخل الدول، (٣) شركات التوزيع المحلية (البلدان المتنامية)، (٤) مقدمي خدمة الخزن المستقلة. هناك حوالي (١٢٠) كيانات في الوقت الراهن التي تشغل مايقارب (٤٠٠) منشأة للخزن الجوفي العاملة في (٤٨) دولة على الاقل ويدوره تكون مملوكة من قبل الكيانات العاملة وهي فروع ل على الاقل (٨٠) كيانا مشتركا او متحدا. اذا كانت منشآت الخزن يخدم التجارة الدولية، فمن حق الدولة ان تخضع للجنة تنظيم الطاقة الفيدرالية.

- المالكين: - ليس من الضرورة ان يكون مشغلي منشآت الخزن هم اصحاب خزين الغاز. في الواقع، معظم عقود عمل الغاز في منشآت الخزن تحت التأجير مع الشاحنين والبلدان المتنامية او المستخدمين النهائيين الذين

يملكون الغاز. من ناحية اخرى، فان نوع الكيان المالك/ تدير المنشأة. تحدد الى حد ما كيفية استخدام ساعات منشآت التخزين.

على سبيل المثال/ شركات خطوط الانابيب بين الدول تعتمد بشكل كبير على الخزن الجوفي لتسهيل حمل الموازنة ونظام ادارة العرض على خطوط النقل طويلة المدى. لجنة تنظيم الطاقة الفيدرالية يخصص للشركات خطوط الانابيب بين الدول نظاماً لاستقبال بعض اجزاء من سعة الخزن الخاصة بهم لهذا الغرض. ومع ذلك، تم تأجير معظم السعة الخزن الى المشاركين في صناعة اخرى. شركات خطوط الانابيب الدولية ايضا تستخدم سعة الخزن والمخزون لاغراض مماثلة بالاضافة الى خدمة العملاء للمستخدم النهائي.

في الماضي، الدول المتنامية عموماً استخدمت الخزن الجوفي حصراً لخدمة احتياجات العملاء بشكل مباشر. ومع ذلك، بعض هذه الدول على حد سواء المعترف بها تمكنت من استغلال الفرص المتاحة للحصول على عائدات اضافية مع تحرير الخزن الجوفي (راجع المجال المفتوح لسعة الخزن أدناه).

هذه الدول المتنامية تميل ان تكون واحدة من انظمة التوزيع الواسعة وعدد من منشآت الخزن، حيث تكون قادرة على ادارة منشأتها بحيث يمكن تأجير جزء من السعة الخزن الى الطرف الثالث (المتسوقين في كثير من الاحيان) في حين لايزال التزامات الاجتماع الكامل لخدمة العملاء الاساسية. (وبالطبع، فان هذه الترتيبات تخضع لموافقة الجهات التنظيمية للبلدان المتنامية على مستوى الدولة معينة.

التحرير من القوانين والتنظيم للخزن الجوفي يتم باتحاده مع عوامل اخرى مثل نمو عدد من محطات توليد الكهرباء الغازية لوضع علاوة على منشآت الخزن ذات قابلية التسليم العالية. العديد من تكوينات الملحية وغيرها من مواقع قابلية التسليم العالية سواء الموجودة او قيد التطوير بدأت من قبل مقدمي خدمة الخزن المستقلة، اصغر بكثير، شركات اكثر تركيزاً وفطنة بدأت من قبل رجال الاعمال الذين ادركوا احتمالية الريح لهذه المنشآت المتخصصة. انها تستخدم بشكل حصري لخدمة عملاء الطرف الثالث الذين يمكن ان يستفيدوا من خصائص هذه المنشآت، مثل المتسوقين ومولدات الكهرباء.

اجراءات (تدابير) الخزن:

هناك عدة تدابير حجمية تستخدم لتحديد الخصائص الاساسية لمنشأة الخزن الجوفي والغاز المحتوى فيه. بالنسبة لبعض هذه التدابير، فمن المهم التمييز بين خصائص المنشأة من حيث سعتها، خصائص الغاز داخل هذه المنشأة مثل مستوى المخزون الفعلي.

هذه التدابير هي كما يلي:

- اجمالي السعة التخزينية للغاز:- هو اقصى حجم للغاز يمكن تخزينه في منشأة الخزن الجوفي وفقاً

لتصميمها، والتي تشمل الخصائص الفيزيائية للمكمن، والمعدات المثبتة، واجراءات التشغيل الخاصة على الموقع.

- اجمالي مخزون الغاز:- هو حجم التخزين في منشأة الخزن الجوفي في وقت معين.

- الغاز الاساسي (الغاز السائد):- هو حجم الغاز المقصود على النحو الموجود في المكمن للحفاظ على ضغط

كافي ومعدلات قابلية التسليم طوال موسم السحب.

- حجم الغاز العامل:- يشير الى اجمالي سعة الغاز المخزون ناقص القاعدة.

- الغاز العامل:- هو حجم الغاز فوق مستوى قاعدة الغاز. يتوفر الغاز العامل في السوق.

قابلية التسليم/

غالباً مايعبر عنه كمقياس لكمية الغاز التي يمكن تسليمها(سحبها) من منشأة الخزن على اساس يومي. كما يشار الى معدلات قابلية التسليم ومعدلات السحب، او سعة السحب، قابلية التسليم عادة يتم التعبير عنها بمليون قدم مكعب لكل يوم (MMcf/ day) في بعض الاحيان، يتم التعبير عن قابلية التسليم بالمحتوى الحراري التي تعادل سحب الغاز من المنشأة، في معظم الاحيان بديكا سعرة حرارية لكل يوم

(1000000 Btu therm مايعادل حوالي 1000 قدم مكعب من الغاز الطبيعي)dekatherm ما يعادل حوالي

1000 قدم مكعب (Mcf). قابلية التسليم من منشأة الخزن متغيرة، ويعتمد على عوامل منها كمية الغاز في

المكمن في اي وقت، الضغط المكمني، الطاقة المتاحة للضغط المكمني، شكل وقابلية المنشآت السطحية المرتبطة بالمكمن، وعوامل اخرى، بشكل عام، معدل قابلية تسليم المنشأة تختلف مباشرة مع الكمية الكلية للغاز في المكمن: انه يكون في اعلى مستوى عندما يكون المكمن ممتلىء تقريبا او ينحرف ليتم سحب الغاز العامل. سعة الحقن/

هو تكملة لقابليات التسليم والسحب وهي كمية الغاز التي يمكن حقنها في منشأة الخزن على اساس يومي. كما هو الحال مع قابلية التسليم، وعادة يتم التعبير عن سعة الحقن بـ MMcf/day، مماثلة dakatherm/day وهي تستخدم ايضا .

سعة الخزن ايضا متغيرة في منشأة الخزن، وهي تعتمد على عوامل مماثلة لتلك التي تحدد قابلية التسليم. وعلى نقيض من ذلك، فان معدل الحقن يتناسب عكسياً مع الكمية الكلية للغاز في المكمن، وهو في ادنى مستوياته عندما يكون المكمن ممتلئاً وتزداد عند سحب الغاز العامل.

اي من هذه الاجراءات لاية منشأة خزن هي ثابتة او مطلقة. معدلات الحقن والسحب تتغير بتغير مستوى الغاز داخل المنشأة. بالاضافة الى ذلك من الناحية العملية قد تكون منشأة الخزن قادرة على تجاوز الطاقة الاجمالية المعتمدة في بعض الظروف التي تتجاوز المعايير التشغيلية المعينة. ولكن يمكن ان تختلف السعة الكلية للمنشأة ايضا بصفة مؤقتة او دائمية باختلاف تحديد عواملها المتغيرة. كذلك، حجم غاز القاعدة، الغاز العامل، حجم الغاز العامل يمكن ايضا ان تتغير من وقت لآخر. يحدث هذا، على سبيل المثال، عندما يقوم مشغل الخزن باعادة تصنيف فئة الغاز الى الاخرى، وغالياً نتيجة لآبار جديدة، المعدات، او أمور التشغيل (مثل هذا التغيير يتطلب عادة موافقة السلطة التنظيمية المناسبة).

ايضاً، يمكن للمنشآت الخزن سحب غاز القاعدة لتزويد السوق خلال اوقات الطلب الثقيلة بوجه خاص، على الرغم التعريف، هذا الغاز غير مقصود للاستخدام.

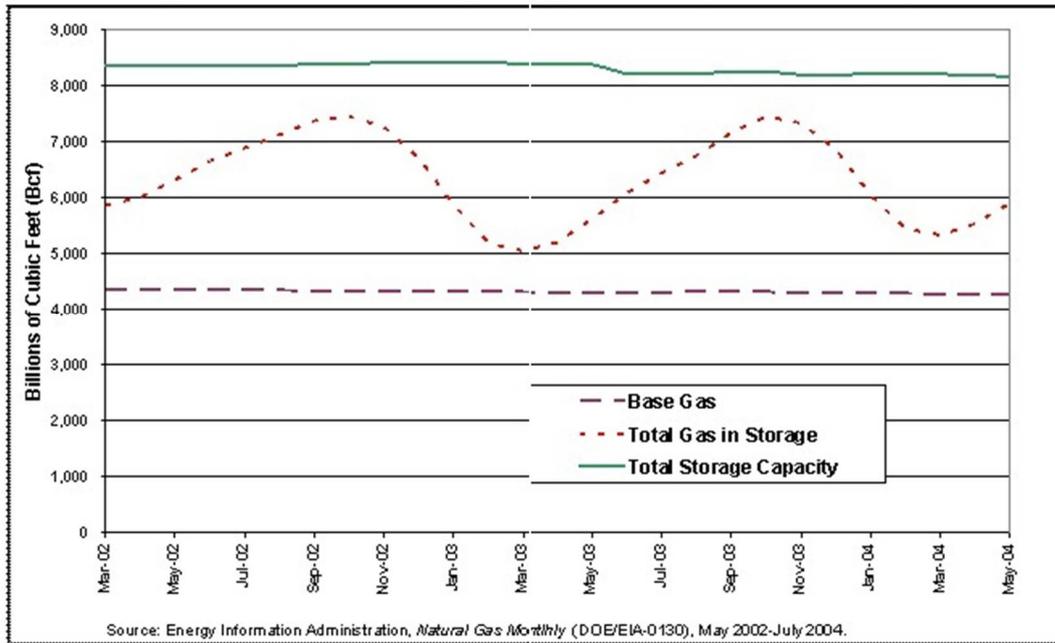
بيانات مخزون الغاز الطبيعي للخزن الجوفي

ادارة معلومات الطاقة (EIA) تجمع مجموعة متنوعة من البيانات عن الاجراءات الخزن التي نوقشت أعلاه وتنتشر البيانات المحددة على اساس اسبوعي، شهري، سنوي. على سبيل المثال تستخدم EIA نموذج EIA.912، تقرير خزن الغاز الطبيعي الاسبوعي، لجمع البيانات عن نهاية الاسبوع في خزن الغاز العامل في الشركة وعلى مستوى محلي من خلال عينة من جميع مشغلي خزن الغاز السائل تحت الارض.

يوجه النموذج من قبل المستجيبين الى EIA.191 تقرير خزن الغاز الطبيعي الشهري، الذي من بين امور اخرى يجمع بيانات عن السعة الاجمالية، غاز القاعدة، غاز العامل، الحقن، السحب من قبل المكنن، منشأة الخزن، من جميع مشغلي الخزن الجوفي للغاز الطبيعي.

بيانات المسح EIA.912 تترتب بجدول وتنتشر محلياً (انظر شكل/٢ لتصوير المناطق) وعلى المستوى الوطني على اساس اسبوعي. البيانات المستمدة (المستنتجة) من مسح EIA.191 تنتشر على اساس شهري في الغاز الطبيعي الشهري. هذه البيانات تتضمن جداول عن غاز القاعدة، الموجودات الكلية (الجرد الاجمالي) سعة الخزين الكلي، الحقن، السحب، على مستوى المحلي والدولي، شكل/٣ ادناه يصور بعض الاحصاءات الخزين الاساسي التي جمعتها EIA.

Figure 3. Selected Monthly Storage Measures, March 2002-May 2004



التدابير النسبية لتواجد الغاز/

بالنسبة لبعض اغراض تحليلية، ليس هناك اهمية لوضع قائمة الجرد النسبية، يمكن التعبير عنه بمعنى اقرب (كامل) هي منشأة الخزن في البلد، هذه اساليب مختلفة لقياس (النسبة المئوية الكاملة). ماتبقى من هذا القسم مناقشة ثلاث طرق لاحصاء او احتساب تقديري لكيفية منشآت الخزين الوطني، ينتج ثلاث نقاط، كل منها تختلف في المعنى او التفسير.

١- اجمالي خزين الغاز بالنسبة الى السعة:

يتم الحصول على هذا المقدار بالكامل من خلال تقسيم الكمية الكلية للغاز في المنشأة على سعة الخزين الغاز الكلي. هذا المقدار غالباً ما يستخدم لان من خلال الجمع بين القيم لغاز القاعدة والعامل، هذه الاحصائية لايقدم معلومات للغاز الكامن المتاح في السوق.

٢- الغاز العامل نسبة الى سعة الغاز العامل

النسبة المئوية الكلية على اساس منطقة معينة يتم الحصول على سعة الغاز العامل من خلال تقسيم مجموع تقاييم لحجوم الغاز العامل في الخزن على السعة الكلية للغاز العامل للمنشآت الخزن المناسبة. هذا المقدار يستند على القابليات الفيزيائية للمنشآت الخزن للحفاظ على الغاز العامل.

على الرغم من ان سعة الغاز لايمكن تقديره مباشرة، الا ان التقييم المناسب (المعقول) هو السعة الكلية ناقص غاز القاعدة في المنشأة. وبالتالي فان سعة الغاز العامل تتغير بتغير مكوناته.

٣- الغاز العامل نسبة الى اقصى حد تاريخي

يتم المباشرة بالعمل من قبل الجمعية الامريكية للغاز (AGA) لتقييم الخزين (النسبة المئوية الكاملة) من خلال مقارنة المخزون الحالي (الموجود) الى اقصى كمية للغاز المحتفظه خلال فترة زمنية معينة.

اقصى حد تاريخي للمنطقة يستخدم من قبل AGA للتقرير الخزين الاسبوعي (لم تعد تنشر) هي مجموع اكبر حجوم للغاز المحفوظ في الخزين لكل المنشأة في المنطقة عند اي وقت خلال ١٩٩٢-٣/٢٠٠٠.

اقصى حد تاريخي الكلي لـ US هي مجموع ثلاث مناطق. من المهم ان نلاحظ ان كميات القصوى التاريخية الخاصة بمنشآت التخزين لم يحدث بالضرورة خلال نفس الاسبوع او حتى خلال نفس العام.

هذه المقادير الثلاثة تختلف مع مستوى الغاز العامل في الخزن. هذه العلاقات يمكن تمثيله بالمخططات التالية التي تستخدم بيانات الخزن الفعلية لـ EIA منذ عهد حديث. المخططات تمثل نهاية بيانات الخزن الشهرية لبدء تقليدي ونهاية موسم التدفئة. وعند اختيار ذلك لابرار تأثير مستويات الغاز العامل (اي اعلى لبدء موسم الحر، ادى في النهاية) على المقادير المختلفة للنسبة المئوية الكلية. جميع الاشكال في بليون قدم مكعب (Bcf).

المخطط	السعة الكلية	غاز القاعدة	الغاز العامل	سعة الغاز العامل (السعة الكلية - غاز القاعدة)	الغاز الكلي في الخزان (الغاز العامل + غاز القاعدة)
أ: عند ٣١ أكتوبر، ٢٠٠٣	٨.٢٦٥	٤.٣٢٧	٣.١٣٠	٣.٩٣٨	٧.٤٥٧
ب: عند ٣١ آذار، ٢٠٠٤	٨.٢١٩	٤.٢٨٣	١.٠٥٨	٣.٩٣٦	٥.٣٤١

التقايم المختلفة للنسبة المئوية الكاملة للخبز للمخططين، وفقاً لطرق الحساب التي تم وصفها أعلاه هي كما يلي:-

حساب النسبة الكلية	الطريقة ١	الطريقة ٢	الطريقة ٣
	الغاز الكلي في الخزان السعة الكلية	الغاز العامل سعة الغاز العامل	الغاز المشغول AGA اقصى حد تاريخي
المخطط أ	٩٠%	٧٩%	٩٥%
المخطط ب	٦٥%	٢٧%	٣٢%

في حين كمية الغاز في الخبز في المخطط المبين هي مثبتة، النسبة المئوية الكاملة المقدرة تختلف اختلافاً كبيراً. فعلى سبيل المثال في المخطط A، الطريقة ٣ تدل الى حساب مخزونات الغاز العامل هي فقط ٥% ادنى عن الحد الاقصى لـ AGA غير متزامنة القصوى. في حين ٧٩% من الطريقة ٢ تشير الى ان ٢١% من سعة الغاز العامل هي متاحة عند الحاجة. من ناحية اخرى، الطريقة ١ تبين ان فقط ١٠% من السعة الكلية هي متاحة.

في هذا المخطط الطريقة والنسب الناتجة ٣ هي قريبة من القيمة، لكن هذه النتيجة هي مشروطة على مستوى عالي نسبياً من الغاز العامل، كما يمكن للمرء ان يرى من النتائج في المخطط B لهاتين الطريقتين. في المخطط B، الطريقة ٢ تشير الى الغاز المكافىء الى فقط ٢٧% من السعة المتبقية المتاحة للغاز العامل في الخزين. في حين الطريقة ١ تبين المنشآت الخزن ككل وهي مايزيد نص (الممتلىء). مع ذلك نفس الكمية من السعة الفارغة هي متاحة لهاتين الطريقتين (السعة الكلية ناقص مجموع حجوم الغاز العاملة). من المهم ان نلاحظ ان مقدار معين عن النسبة المئوية الكلية لا US الكلي. بغض النظر عن طريقة الحساب، قد يكون محدود الفائدة في تخمين مدى كفاية المخزون في موسم التدفئة. هذا صحيح لان معظم منشآت الخزن تقع قريبة وتصمم معظمها لخدمة مناطق السوق المحلية. تميل بالتالي هذه المنشآت الى اتحاد في عدد من المناطق (شكل ٢).

هناك عوائق لتبادل المخزونات بين المناطق. مخزونات الغاز العامل في المناطق المنتجة يمكن ان توجه الى منطقتين الاخرين. لكن التبادل بين منطقتين مستهلكتين تحدد في احسن الاحوال. وبالتالي، حالة المخزون هي اكثر مخمنة بواقعية على اساس محلي.

تحولات في مخزونات تأثير استخدام الخزن وانشطة الخزن.

شهدت صناعة الغاز الطبيعي تغيرات هامة في ممارسات ادارة المخزونات واستخدام المخزون على مدى العقد الماضي او اكثر كنتيجة لاعادة هيكلية السوق. خلال ذلك الوقت، الممارسات التشغيلية لكثير من مواقع الخزن الجوفي U.S اصبحت اكثر بكثير موجهة سوقياً. العوامل الموسمية هي اقل اهمية الآن في استخدام مخزونات الخزن الجوفي. العديد من اصحاب خزن الغاز (المتسوقين والاطراف الثالثة الاخرى) تحاول مزامنة الشراء وانشطة البيع على نحو اكثر فعالية مع احتياجات السوق وتقليص تكاليف اعمالهم.

وصول الفتح لسعة التخزين

قبل عام 1994، شركات خطوط الانابيب بين الدول، والتي تخضع للسلطة القضائية FERC، يملكها كل من ينساب الغاز من خلال انظمتها، بضمنها الغاز الموجود في الخزان، وكانت السيطرة حصرية على القدرات والاستفادة من منشآت الخزن الخاصة بهم. مع تنفيذ FERC خلال 1996، شركات خطوط الانابيب المختصة طلبت لتشغيل منشآت الخزن هذه على اساس وصول الفتح. هذا هو جزء كبير من سعة الغاز العامل (يتجاوز مايمكن حجزها عن طريق خطوط الانابيب/ المشغل للحفاظ على سلامة النظام وموازنة الحمل) في كل موقع متاح للايجار للاطراف الثالثة على اساس عدم التمييز.

اليوم، بالاضافة الى مواقع الخزن بين الدول، كثير من المنشآت الخزن تمتلك/ تشتغل من قبل اكبر البلدان المتنامية، خطوط الانابيب بين الدول، مشغلين مستقلين ايضا يعملون على اساس وصول فتح، حصرا هذه المواقع المنسبة الى مراكز تسويق الغاز الطبيعي. وصول فتح اتاح الخزن لاستخدامها كمجرد مخزون احتياطي او مصدر تزويد موسمي اضافي. على سبيل المثال، المتسوقين او الاطراف الثالثة الاخرى قد ينقلون الغاز من داخل او خارج الخزان (خاضعة للسعة التشغيلية للموقع او القيود الكمركية) والتغيرات في مستويات الاسعار المالية تعطي فرصا للموازنة.

كذلك، يتم استخدام التخزين بالتزامن مع الادوات المالية المختلفة (للعقود آجلة الخيارات، المقايضة،....الخ). بطرق اكثر ابداعا وتعقيدا في المحاولة للاستفادة من ظروف السوق. يعكس هذا التغيير في التركيز في صناعة الغاز الطبيعي خلال السنوات الاخيرة، كان اكبر نمو في القدرة على الانسحاب يوميا من مواقع الخزن ذات قابلية التسليم العالية. والتي تشمل مكامن الخزن الملحية فضلا عن بعض مكامن النفط او الغاز المستفد. هذه المنشآت يمكنه تدوير المخزونات، اي الانسحاب الكامل او امتلاء الغاز العامل ثانية (او العكس). بسرعة اكبر مما يمكن من تخزين انواع اخرى، وهي ميزة اكثر ملاءمة لاحتياجات تشغيلية مرنة للمستخدمين الخزن اليوم. منذ عام 1993، قدرة الانسحاب اليومية من منشآت الخزن الملحية ذات قابلية التسليم العالية ستتمو بشكل كبير. مع ذلك، منشآت الخزن التقليدية لاتزال مهمة جدا للصناعة كذلك.

ما هي الهيدرات Hydrates وما هي طرق معالجتها

الهيدرات Hydrates وهي أشبه بالثلج الوسخ ، حيث تتكون من مزيج من الماء مع بعض جزيئات الهيدروكربونات الخفيفة (غالباً ما تكون الميثان والأيثان وثاني أكسيد الكربون) وهي بلورات غير محكمة وتسمى هذه المادة الكيمياوية (cathrates) .

ويجب توافر ثلاثة شروط لتكون الهيدرات:

1. درجة الحرارة والضغط المناسبين ، حيث أنه يتكون في درجات الحرارة الواطئة + الضغوط العالية. حيث إن انخفاض درجة حرارة الغاز الى أقل من درجة الندى Dew Point فإن هذا يؤدي الى تكون (الماء الحر). أن درجة الحرارة المثلى لتكوين الهيدرات تعتمد على مكونات الغاز.
2. يجب توافر ٣ مواد أساسية لتكوين الهيدرات وهي (الميثان - الأيثان - ثاني أكسيد الكربون).
3. توافر كمية كافية من الماء.

بالإضافة الى أن وجود بعض الظواهر يزيد من احتمالات تكونها وهي:

1. اضطراب الجريان : ويكون ذلك لسببين:

- أ. السرعة العالية ، مما يجعل الصمامات الخانقة Valves Choke المكان الأمثل لتكون الهيدرات وذلك بسبب الفرق في درجة الحرارة خلال الصمام Drop Temp. بسبب قانون (جول - ثومبسون) ، بالإضافة الى السرعة العالية التي يسببها تضيق الصمام.
- ب. المزج أو الخلط Agitation : حيث أن المزج خلال الأوعية أو المبادلات الحرارية يعزز تكون الهيدرات.

2. يتعزز تكون الهيدرات في الأماكن التي يحدث فيها تكون للطور الصلب أو الطور السائل ، ويحصل هذا الأمر في الأنابيب مثل نقاط اللحام أو بعض الملحقات مثل (الأنحاءات - حرف T في الأنابيب - الصمامات) أو وجود الأوساخ ، الصدا .

3. وجود الماء الحر Water Free : أن وجود الماء الحر يعزز تكون الهيدرات كما أن الحد الفاصل بين الماء والغاز يكون أمراً مساعداً الى حد كبير في تكونها.

أن من الأمور المهمة الأخرى هو وجود المواد الصلبة حيث أن الهيدرات تنتقل في الأنبوب بواسطة الطور السائل وتميل الى التجمع في نفس الأماكن التي يتجمع فيها السائل ، وتكمن المشكلة في الأماكن التي تتجمع فيها الهيدرات ، وخاصة في الأنابيب التي يحصل فيها جريان متعدد الأطوار flow Multiphase حيث أن تجمع الهيدرات يؤدي الى حدوث انسدادات في الأنبوب.

أن أستعمال القشط Pigging يعتبر طريقة مناسبة لإزالة الهيدرات من الأنابيب ، ويمكن إجراء عملية القشط من خلال إدخال أداة تسمى القاشطة Pig الى الأنبوب ، وتتضمن القاشطات الحديثة عدة تقنيات ولكن أهمها بالتأكيد هو تنظيف الأنبوب ، ويجب أن تكون بنفس قطر الأنبوب ويتم دفعها وتسييرها بضغط الغاز وتقوم بإزالة كل المواد الصلبة منه مثل (الهيدرات - الشمع - الأوساخ .. ألخ) بالإضافة الى دفع السوائل من المناطق

التي تتجمع فيها.

ويمكن تصنيف الهيدرات تبعاً لترتيب جزيئات الماء في البلورة وبالتالي تركيب البلورة. وهذا المصطلح يشير إلى المركبات التي تكون بهيئة مستقرة لكنها لا تنتج عن اتحاد كيميائي صحيح لكل الجزيئات. وتتكون الهيدرات عادةً عند تبريد الغاز إلى أقل من درجة تكون الهيدرات. وفي الضغوط العالية تتكون هذه الهيدرات في درجات حرارة أعلى من 32 °F .

وهناك ٣ أنواع من الهيدرات في الصناعة النفطية: النوع الأول Type I، والنوع الثاني Type II ، والنوع الثالث H Type والجدول التالي يبين الفرق بين هذه الأنواع:

Type H	Type II	Type I	
34	136	46	Water Molecules per Unit Cell
Cages per Unit Cell			
3	16	6	Small
2	–	–	Medium
1	8	2	Large
0.15	0.15	0.1481	All Cages Filled Mole fraction hydrate former
–	0.0556	0.1154	Only Large Cages Filled Mole fraction hydrate former
Cavity Diameter			
7.8	7.8	7.9	Small
8.1	–	–	medium
11.2	9.5	8.6	Large
	5.178×10^{-27}	1.728×10^{-27}	Volume of Unit Cell (m ³)
see text	N ₂ , C ₃ H ₈ i-C ₄ H ₁₀	CH ₄ , C ₂ H ₆ H ₂ S, CO ₂	Typical Formers

أن تكون الهيدرات أمر غير مرغوب فيه لأن هذه البلورات قد تسبب حدوث أنسداد في أنابيب الجريان flowlines ، الصمامات وبالذات الصمامات الخانقة chokes ، بالإضافة الى صمامات السيطرة مما يقلل سعة الأنابيب أو يسبب تضررها وذلك بسبب فرق الضغط العالي والـ orifices الصغيرة حيث أن هذا الفرق يؤدي الى تقليل درجة الحرارة مما يجعلها عرضة لتكون الهيدرات والانسداد. وعادةً ما يؤدي هذا الأمر الى حدوث الأنجماد FREEZING مما يقلل الى تقليل التدفق خلالها.

ومع تقليل الضغط ، تزيد درجة الحرارة التي تتكون فيها الهيدرات ، وفي حالة عدم وجود ماء حر فهذا يعني عدم تكون الهيدرات ، كما توجد بعض العوامل الثانوية التي تساعد على تكون الهيدرات مثل : سرع الغاز العالية ، أي نوع من المزج.

أن أكثر الطرق شيوعاً لمنع تكون الهيدرات هي التسخين وذلك لضمان عدم هبوط درجة الحرارة الى الحد الذي تتكون فيه الهيدرات ، أو تجفيف الغاز وذلك لعدم فسخ المجال لبخار الماء بالتكاثف الى الماء الحر. انخفاض درجة الحرارة بسبب تمدد الغاز

أن الخنق throttling أو تمدد الغاز من ضغط عال الى ضغط واطئ أمر مطلوب للسيطرة على تدفق الغاز ، والخنق يحصل بسبب الصمامات الخانقة أو صمامات السيطرة ، ان فرق الضغط يؤدي بسبب انخفاض درجة الحرارة مما يؤدي الى تكون الهيدرات في هذه الصمامات.

أن أهم أنواع الإضافات الكيماوية لمنع تكون الهيدرات هو الميثانول ، وهو رخيص نسبياً ، يذوب في الهيدروكربونات ، وفي حالة وجود مكثفات Condensate يتوجب إضافة المزيد من الميثانول لأن قسم منه سيذوب في المكثفات ، كما أن قسماً آخر منه سيتبخّر الى الحالة الغازية. كما أن (الأثيلين كليكول EG) هو الآخر شائع الاستخدام في هذه الحالة ، لأنه أقل ذوبانية في الهيدروكربونات وأقل تبخراً من الميثانول. كيفية تجنب تكون الهيدرات :

يجب إزالة أحد عوامل تكون الهيدرات المذكورة أعلاه ، وبشكل عام لا يمكن إزالة أحد العوامل المكونة للهيدرات (الميثان والأيثان وثاني أكسيد الكربون) حيث أنها من المواد المرغوبة في الغاز الطبيعي لذلك يجب علينا محاولة إزالة العاملين الآخرين.

معالجة الهيدرات:

يمكن استخدام وحدات Low Temperature Exchange LTX والتي تؤدي الى ذوبان الهيدرات بسبب الحرارة العالية لأنها (الهيدرات) تفضل درجات الحرارة الواطئة)

ولهذه العملية فوائد أخرى مثل تثبيت المكثفات وبعض المركبات الهيدروكربونية الوسطية أكثر مما يحصل في عمليات العزل الاعتيادية.

وعادةً ما تستعمل المسخنات غير المباشرة indirect Fired Heaters (وهي الأكثر شيوعاً) التي تقوم بتسخين وسط ثالث يقوم بدوره بتسخين خط جريان الغاز قبل و/أو بعد

الصمام الخانق لأبقاء الغاز فوق هذه درجة تكون الهيدرات. كما توجد العديد من المعدات الأخرى المبادل الحراري نوع shell & Tube أو المسخنات الكهربائية المغمورة ،

المسخنات .. ألخ.

يمكن الحفاظ على حرارة الأنبوب من خلال أستعمال السلك الحراري الكهربائي Trace heat الذي يغلف الأنبوب ويتم بواسطته تسخينه مما يحافظ على درجة حرارة الموائع الموجودة فيه ويمنع تكون الهيدرات بسبب الحفاظ على درجة الحرارة فوق درجة تكون الهيدرات ، ويفضل استخدامه في الصمامات لأنها نقاط تضيق كما ذكرنا.

يمكن أستخدام تغليف الأنابيب Insulation Pipe كطريقة أخرى للحيلولة دون أنخفاض درجة حرارة الموائع وتكون الهيدرات.

كما يمكن أستخدام بعض المواد السائلة لمعالجة الهيدرات أو تقليل تأثيرها ، وهذه المواد تؤدي الى تقليل درجة الأنجماد أو تحريك توازن الهيدرات مقابل قيم الحرارة المنخفضة وهذه المواد هي:

- أثيل الكحول.

- الميثانول.

- داي أثيلين كلايكول DEG.

علماً ان الميثانول يسبب بعض المشاكل مثل : تركّزه في الغاز السائل LPG - اذابته للمواد مانعة التآكل Inhibitors Corrosion التي تستعمل في الانابيب والمنظومات. ويتراوح معدل حقن الميثانول من 1.5 - 0.15 م³/يوم . بالإضافة الى العديد من المواد الكيماوية لوقف تآكل المعدات ، ولكنها في الغالب لتقليل تأثير هذه المشكلة.

المصدر

موقع النفط والغاز الطبيعي العربي