الباب العاشر

هندسة الطاقة

obeikandl.com

obeikandl.com

محطات الطاقة الفحمية

صحيح أن الفحم لم يعد عاملاً أساسياً في الاقتصاد الوطني، وقد اكتسحه في العقود الأخيرة كل من النفط والغاز الطبيعي خاصة في حقل الطاقة الذي يمثل مجال سيطرته السابق، لكنه يبقى إلى حين مصدر الطاقة الأول من جهة حصته من احتياطي الطاقة العالمي، التي تبلغ ٨٠٪. كما أن الاستهلاك يمكن أن يزداد، لأن كثيراً من الدول الطموحة ذات الصناعة المتنامية بسرعة مثل الصين هي دول تقليدية تعتمد على الفحم.

عالمياً يشكل الفحم مصدراً لـ ٤٠٪ من الكهرباء المنتجة. ويشكل في ألمانيا نصف احتياجات إنتاج الكهرباء. إذ تؤمن محطات الطاقة العاملة على الفحم البني الحمل الكهربائي الأساسي على الأقل. يمكن الحصول على وقود رخيص من المناجم، لأن الفحم يمكن أن يتحول إلى كهرباء مباشرة عند موقع استخراجه، ولا يحتاج إلى عمليات النقل المكلفة. بذلك فإن تكاليف الكهرباء الناتجة عنه أقل مما هي عليه في مصادر الطاقة الأخرى، وهكذا تعمل محطات الطاقة على مدار الساعة. تؤمن محطات الطاقة العاملة على الفحم الحجري الأحمال الكهربائية المتوسطة بالإضافة إلى الأحمال الأساسية.

أجزاء محطة الطاقة الفحمية (العاملة على الفحم) ❶

إن الأجزاء الأساسية اللازمة لتوليد الكهرباء في محطات الطاقة الفحمية (الشكل ١) هي: مولّد البخار والعنفة والمولدة.

يستعمل كمولد بخار مرجل ذو تصميم خاص: تنقل ألسنة اللهب وغازات الاحتراق الساخنة حرارتها مباشرة إلى مجموعة الأنابيب الموزعة في جميع أنحاء غرفة الاحتراق، وتسخَّن بذلك الماء الجاري في الأنابيب (ماء تغذية المرجل). بذلك ينشأ بخار محمص ذو ضغط زائد. يستخدم في حرق الفحم أجهزة حرق مختلفة (⟵). في غرفة الاحتراق يحدث تحول في الطاقة من كيميائية إلى حرارية،

حيث تنتج مخلفات بكميات كبيرة، يمكن إزالة الصلبة منها (كالرماد) مباشرة في غرفة الاحتراق، أما غازات الاحتراق فتتم تنقيتها قبل دخولها إلى المدخنة (تنقية غازات الاحتراق ⟵).

يحدث تحول الطاقة اللاحق في العنفة (العنفات البخارية والغازية ⟵). يتدفق بخار الضغط العالي (درجة حرارته حوالي ٥٤٠+م وضغطه يصل حتى ١٨٠ بار) إلى العجلات الدوارة فيعطيها القدرة ويتمدد. هنا تتحول طاقة البخار الحرارية إلى طاقة دوران على محور العنفة. في المنشآت الكبيرة تتألف العنفة من عدة مراحل (مرحلة الضغط العالي ومرحلة الضغط المتوسط ومرحلة الضغط المنخفض) للتخلص من الضغط بالتدريج. يعد العنفة يصل البخار المتمدد إلى المكثف حيث يبرد تماماً ويتكاثف ثانية. هنا كذلك تستخدم منظومة أنابيب نقل كنواة للمنشآت، لكنها تنقل هنا الماء البارد. يتكاثف البخار على الأنابيب ويعطي حرارته للماء الموجود فيها، فترتفع حرارته بمقدار ١٠+م. ثم يدخل ماء تغذية المرجل المتكاثف إلى مولّد البخار من جديد عبر مضخة ماء التغذية. أي أن المنشأة تعمل بدارة مغلقة من الماء والبخار.

تقوم طاقة العنفة الدورانية بتدوير المولدة. يدور كل من عجلات العنفة ودوار المولّدة حوالي ٣٠٠٠د/د. في ملفات الثابت في المولدة تتحول طاقة الدوران بالتحريض إلى طاقة كهربائية (إنتاج الكهرباء).

تأثيرات البيئة ❷ ❸

عند إحراق الفحم تنتج كميات كبيرة من المواد الضارة (الشكل ٢). يمكن السيطرة «مبدئياً» على النواتج «التقليدية» مثل ثاني أكسيد الكبريت وأكسيد الآزوت والرماد المتطاير والرواسب. استجابة للتوصيات ذات الصلة زوِّدت محطات الطاقة القديمة بتجهيزات حديثة (تنقية غازات العادم ⟵)، تشكل الآن جزءاً أساسياً في بناء المحطات الحديثة. في جميع الأحوال تبقى مشكلة إصدار ثاني أكسيد الفحم الذي ينشأ عند احتراق أية مادة أحفورية، ويُعدّ من غازات الدفيئة الزجاجية

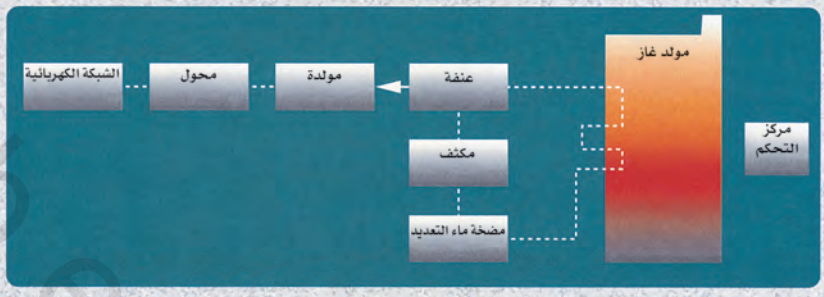
التي ترفع درجة حرارة جو الأرض. ولأنه لا يمكن حتى الآن تصفيته أو تحييده، فلا يمكن الحد منه إلا بترشيد استهلاك الوقود، كأن نحصل على مزيد من الطاقة الكهربائية من كمية مماثلة من الفحم (الشكل ٣). يبلغ المردود الأعظمي لمحطة طاقة فحمية حولي ٤٥٪. يمكن استثماره الوقود بشكل أفضل، إذا استفدنا من الحرارة الناتجة عن احتراقه للتسخين (ربط الطاقة والحرارة) أيضاً ولم نكتفِ بإنتاج الكهرباء فحسب.

آفاق مستقبلية:

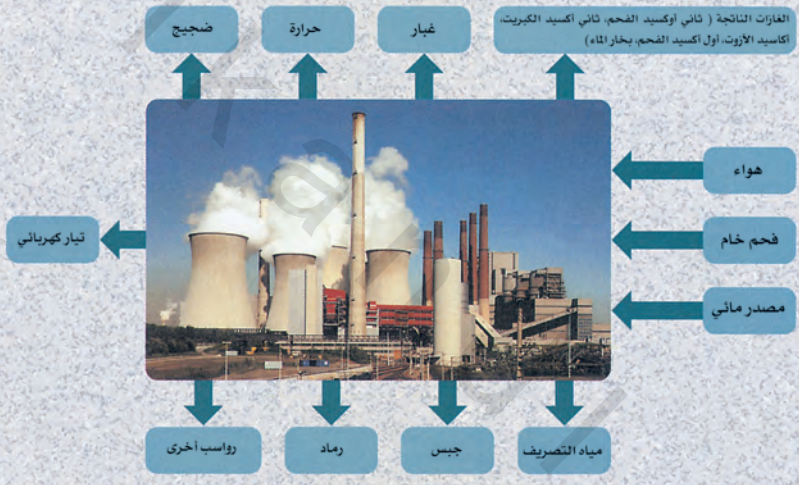
يمكن رفع كفاءة الاستطاعة حتى في محطات الطاقة البخارية المحصنة. بواسطة مواد أولية جديدة يمكن الحصول على بخار ذي درجة حرارة أعلى. بالانتقال إلى العمليات ذات الحرارة العالية يمكن الوصول بالمردود حتى ٥٠٪ بالإضافة لذلك يطور مصمّمو محطات الطاقة تقنيات أكثر فعالية لحرق الفحم. مثل تصعيد الفحم تحت الضغط في محطة طاقة تعتمد على العنفات البخارية والغازية معاً.

obeikandl.com

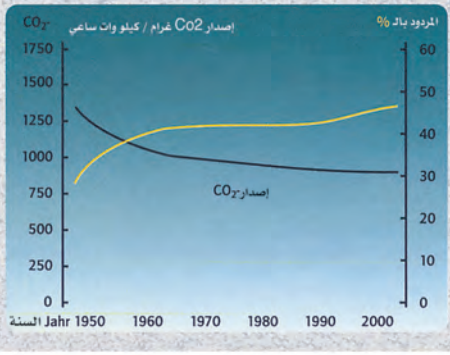
❶ مراحل عملية تحويل الطاقة في محطة طاقة فحمية



❷ المواد المتعامل بها في محطة طاقة فحمية



❸ مردود محطة طاقة تعمل على الفحم الحجري (المستوى التقني الحالي)



أجهزة الحرق

جميع أجهزة الحرق تُولِّد حرارة من مصادر طاقة أهمها: الفحم والنفط والغاز الطبيعي، وكذلك الكتلة الحيوية مثل الخشب والقش. لحرق أنواع الوقود الغازيّة والسائلة هناك أنواع كثيرة من الحرّاقات، جميعها يجب أن تخلط الوقود مع هواء الاحتراق جيداً. لذلك يتم على سبيل المثال تذرير الوقود السائل من أجل توزع متجانس للحصول على استفادة مثلى. مما يقلل أيضاً من نسبة المواد الضارّة الناتجة. تناسب أجهزة حرق الوقود الصلب الحالية من حيث المبدأت الفحم والكتلة الحيوية على حد سواء. في محطات الطاقة الفحمية يشيع الآن استخدام نوعين: حرق الفحم المقطع فوق شبك، وحرق غبار مسحوق الفحم المطحون. لكن حرق الطبقة الدوّامية (المعلقة) الذي تملأ فيه حجرة الاحتراق بحبيبات الفحم الناعمة، ينال اهتماماً متزايداً. كل الطرائق تستخدم الغازات الساخنة الناتجة عن الاحتراق لتوليد البخار في المبخّرات لاستخدامه في تدوير عنفات لإنتاج الكهرباء على سبيل المثال. توضع المبخرات على الأغلب في الجزء العلوي من حجرة الاحتراق.

حرق الغبار:

تسود عملية حرق الغبار في محطات الطاقة في ألمانيا بنسبة تزيد عن ٩٠٪ حيث يطحن الفحم ناعماً في البداية ثم ينفخ مع هواء الاحتراق المسخن مسبقاً إلى غرفة الحرق. في هذه الطريقة يمكن التحكم بعملية الحرق جيداً. وتكون الاستطاعة الناتجة أعلى مما ينتج عن الطرائق الأخرى. وهناك أسلوبان شائعان: الحرق الجاف وحرق الانصهار. للفحم البني يستخدم الحرق الجاف حصراً، الذي تبقى فيه درجة حرارة غرفة النار دون درجة حرارة انصهار الرماد ويسقط الرماد والخبث على شكل غبار، بينما يستخدم للفحم الحجري غالباً حرق الانصهار (درجة حرارة غرفة النار من ١٠٠+م إلى ٢٠٠+م) أي أعلى درجة حرارة انصهار الرماد، إذ يسحب الرماد والخبث في حالة انصهار ويحبحبان في حمام مائي.

الحرق بالشبك:

يناسب الحرق بالشبك الوقود المتوفر على شكل قطع (كالفحم والكتلة الحيوية والقمامة). بهذه التقنية يمكن التغلب على أنواع الوقود السيئة جداً، إذ يمكن ضبط تزويد الهواء وزمن مكوث الوقود بحسب نوعية الأخيرة. تُلقى كميات الوقود حرّةً على شبكة الحرق، حيث يدفع الهواء بين قضبانها من الأسفل (الشكل ١). يُخفف الوقود في البداية ثم يحرق بكميات كبيرة. وغالباً ما يستخدم سير شبكي متحرك، يعبر غرفة الحرق بسرعة ١مم/ثا تقريباً، بذلك يمكن تزويد الوقود وسحب الرماد باستمرار.

الطبقة (الدواميّة) المعلقة ❷ ❸

في حرق الطبقة المعلقة (الشكل ٢) يتم حرق طبقة معلقة من حبيبات الفحم الناعمة أو القش المقطّع. كما يمكن بهذه الطريقة حرق أنواع الوقود الرديئة. في الطبقة المعلقة المستقرة (الشكل ٣) يقود تيار الهواء المتدفق إلى غرفة الحرق من الأسفل بسحب جزيئات الوقود معه ويجعلها معلقة في جو الغرفة. تبلغ نسبة الوقود في غرفة الاحتراق حوالي ٣٪ فقط؟. وتحترق بشكل متجانس احتراقاً شبه كامل. تتألف الطبقة المعلقة بالدرجة الأولى من رماد أحمر متوهج. ولأن درجات الحرارة (٨٥٠م؛ مع أنها تبلغ ١٢٠٠م - ١٦٠٠م في محطات الطاقة الفحمية ذات الاحتراق التقليدي) فنادراً ما تشكل أكاسيد الآزوت. في الوقت نفسه يتفاعل الكلس المقدم إلى الطبقة الدوامية مع ثاني أكسد الكبريت الناتج أثناء الاحتراق متحولاً إلى جبس مباشرة. إن استهلاك الطاقة العالي يتعارض مع ميزة الإصدارات القليلة لعملية نفخ الهواء. بالإضافة إلى ذلك يترسب نسبياً الكثير من الرماد ذي التركيب الخاص. في الطبقة المعلقة الدوارة (غير المستقرة) ينفخ الهواء بسرعة أعلى (تصل حتى ٨م/ثا بدلاً من ٣م/ثا الاعتيادية). مما يؤدي لقذف المواد ٤٠ متراً نحو الأعلى في غرفة الاحتراق. أما الجزيئات المعلقة التي لا تحترق بشكل كامل فتعاد ثانية إلى الطبقة

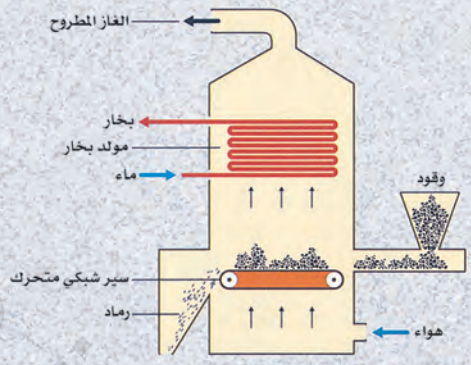
المعلقة، مما يؤدي إلى تحسين الاحتراق. تعمل الطبقة المعلقة القسرية (حرق الطبقة المعلقة تحت الضغط) على تحسين مجريات التفاعل في غرفة النار، حيث تنخفض الإصدارات مع ازدياد الضغط.

تحسين المردود:

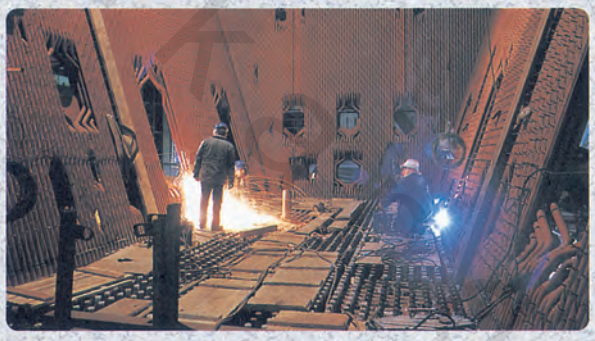
بما أنه لا توجد حتى الآن طريقة عملية لالتقاط غاز الدفيئة الزجاجية CO2، فإن الاستخدام الأمثل للوقود هو الآن الطريق الوحيد للحد من إصداره. يسعى الإنسان لرفع المردود بواسطة سلسلة من الإجراءات، فمثلاً يمكن تحسين الاحتراق عن طريق مؤشرات البخار (ضغط ودرجة حرارة أعلى). وفي طريقة أخرى يتم تصعيد الفحم تحت الضغط. يسهم كل من الغاز المركب المنقى وبخار الضغط العالي الناتج في دفع مجموعة مختلطة من العنفات البخارية والغازية. كذلك يمكن لعملية حرق الغبار تحت الضغط أن ترفع المردود.

opelkandl.com

❶ الحرق فوق شبك

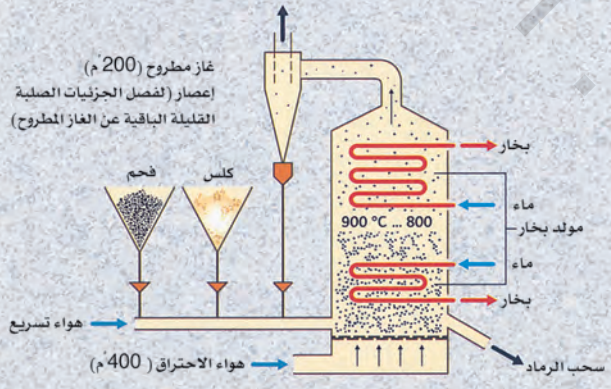


❷ مرجل الطبقة المعلّقة



غرفة الاحتراق لمرجل الطبقة المعلقة بنفاثات أرضية وأثناء التركيب)

❸ طبقة معلقة مستقرة



أجهزة الحرق

العنفات البخارية والغازية

تعتبر العنفات البخارية «حيوانات العمل أو حمير الشغل» في توليد التيار الكهربائي. بمساعدتها يتم تغطية حوالي ٩٠٪ من احتياج التيار الكهربائي. ففي المحطات العاملة على الفحم والمحطات النووي تحول العنفات البخارية الطاقة الحرارية الناتجة في الحراقات والمراجل إلى طاقة ميكانيكية لتشغيل المولدات، التي تحول الحركة الدورانية بشكل كامل تقريباً إلى طاقة كهربائية.

العنفات البخارية ❶ ❷

من حيث المبدأ تتشابه العنفات البخارية مع الآلات البخارية، إلا أنها تحتوي عوضاً عن المكبس على دولاب رش «مغارف»، إذ ليس هناك داع لتحويل حركة المكبس الترددية إلى حركة دورانية.

يتدفق البخار المحمص على الريش مباشرة ويجعلها تدور. هناك ميزة ثانية للضغوط ودرجات الحرارة العالية التي يمكن تطبيقها على العنفة البخارية، فهي تسمح بتحقيق مردود عال وفق دورة كارنو. يعطي المردود حسب دورة كارنو المردود الأعظمي النظري لآلة الطاقة الحرارية، ويتعلق نظرياً فقط بفرق درجات الحرارة بين مدخل ومخرج الآلة (الشكل ١). يقع المردود الفعلي تحت المردود النظري بسبب الضياعات.

تتألف العنفة البخارية من عجلات الريش الدوارة المثبتة على محور العنفة، وعجلات الريش الثابتة الموجهة «النفاثات». يتدفق البخار على طول محور الدوار (الشكل ٢)، ويتدفق أولاً عبر الدولاب الموجه، وفيه يتم تغيير اتجاهه ويتسارع نتيجة لانفخاض الضغط، ليس بعدها إلى الدولاب الدوار، حيث تحوَّل طاقته الحركية «الكينمانيكية» إلى طاقة ميكانيكية، وبذلك تتناقص سرعته، تملك العنفات البخارية الحديثة مراحل ضغط متعددة، يتم فيها تمدّد البخار على مراحل. يصل البخار من

السخان العالي لغرفة الاحتراق بضغط بين ١٦٠-١٨٠ بار، ودرجة حرارة حوالي ٥٤٠°م في البداية إلى قسم الضغط العالي في العنفة، وهناك ينخفض ضغط البخار - حسب تصميم المحطة - إلى ٤٠ تقريباً وبعد ذلك يُوجه إلى قسم الضغط المتوسط، الذي يغادره فيما بعد بضغط حوالي ١٠ بار، ليصبح في النهاية متمدداً في قسم الضغط المنخفض حتى ضغط ٠,٠٤ بار.

العنفات الغازية:

صحيح أن العنفات الغازية (الشكل ٣) تُشغَّل غالباً بالغاز الطبيعي، لكن الاسم يشير إلى مبدأ العمل، الذي تؤدي فيه غازات الاحتراق دوراً مهماً. في البداية يضغط الضاغط الهواء إلى بضعة بارات، ليسخن بعد ذلك في غرفة الاحتراق. يتمدد مزيج الهواء وغازات الاحتراق ويدير العنفة.

ولأن حوالي ثلثي الطاقة المولدة ضرورية لتشغيل الضاغط، يقع المردود بحدود ٣٣٪. بلا شك يمكن زيادة المردود بالاستفادة من الغازات الساخنة بعد مغادرة العنفة في التسخين المسبق للهواء المضغوط قبل الاحتراق من خلال مبادل حراري (مسترجع). عادة تكون عمليات العنفات الغازية دورات مفتوحة، وهذا يعني: يسحب الهواء بواسطة الضاغط من الوسط المحيط ثم يعاد إليه ثانية بعد تدفقه عبر العنفة. من حيث المبدأ الفني تتقارب العنفة الغازية مع محرك الطائرة النفاثة (← الطائرات المروحية) ولكن بناؤها أسهل، غير أنها تحتاج إلى زمن أكبر للوصول إلى الاستطاعة العظمى. في محطات الطاقة تولد العنفات التيار الكهربائي، في السابق من أجل حمولات الذروة، أما في هذه الأيام وبشكل متزايد من أجل الحمولات الأساسية، ويعود ذلك بالدرجة الأولى لأسباب اقتصادية. يمكن تخطيط وبناء محطات كهذه في سنتين، وهي أرخص بمقدار النصف من محطات الطاقة الحرارية الأخرى.

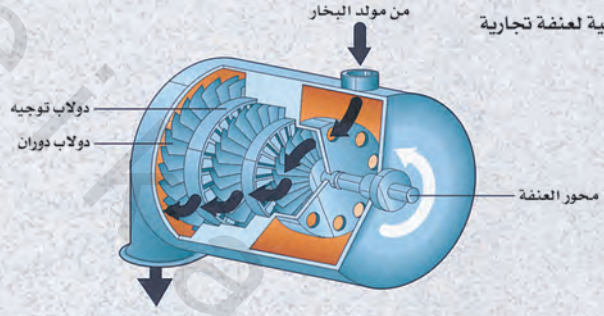
العمليات المركبة 4

يمكن للعنفات الغازية أيضاً أن تكون مهمة من أجل ترشيد استخدام الطاقة عندما تُجمع مع عنفة بخارية. وفي هذه الحال تسقط المساوئ الأساسية للعنفة الغازية. لأنه وعلى الرغم من أنها تقاوم درجات حرارة الغازات العالية ذات ١١٠٠°م، فإن درجة حرارة غازات العادم البالغة ٥٠٠°م كذلك عالية جداً، وهذا غير مناسب للمردود. في العملية المركبة تستخدم غازات العادم الساخنة لتوليد بخار الماء في مبادل حراري لتشغيل عنفة بخارية. تدير كلتا العنفتين مولداً بحيث يمكن رفع مردود توليد التيار الكهربائي إلى أكثر من ٥٠٪. يبين (الشكل ٤) مخطط محطة طاقة كهذه. وإذا استخدمت المجموعة كمحطة طاقة حرارية (للتدفئة)، فيمكن أخذ جزء من الحرارة لأغراض التدفئة (التسخين)، وهنا يمكن أن يصل المردود إلى ٨٥٪.

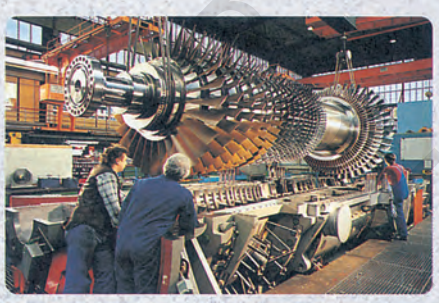
بمقارنة الإنتاج المنفصل لكميات التيار الكهربائي بواسطة المحطة البخارية والمحطة الغازية تحتاج المحطة المركبة إلى وقود أقل، لذلك فهي تعمل بشكل أكثر اقتصادية، وعلاوة على ذلك فهي بيئياً أكثر ملائمة لأنها تطلق غازات عادم أقل عند إنتاج نفس الكمية من التيار الكهربائي، خصوصاً وأنه في الوقت الحاضر غالباً ما يحرق الغاز الطبيعي في محطات الطاقة المركبة.

❶ مرود مختلف عمليات محطات الطاقة

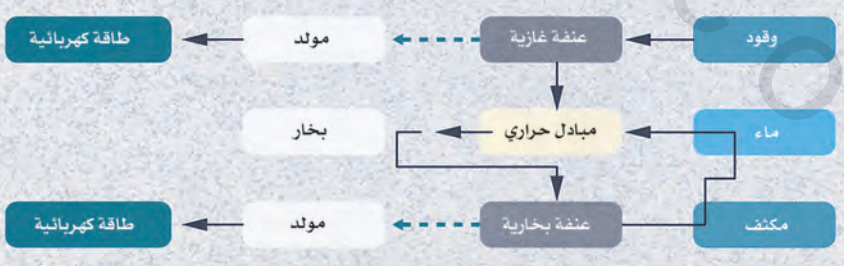
❷ البنية التخطيطية لعنفة تجارية



❸ تجميع محطة غازية



❹ مبدأ عملية عنفة غازية وبخارية



العنفات البخارية والغازية

تنقية غازات الاحتراق

في عملية حرق الوقود الأحفوري لا ينتج طاقة فقط وإنما مواد ضارّة أيضاً. بالإضافة إلى المخلفات الصلبة كالرماد والخبث تصدر أيضاً غازات الاحتراق، التي تضرّ البيئة كثيراً إن لم تتقَّ. بشكل رئيسي تحوي غازات الاحتراق ثاني أكسيديّ الفحم والكبريت وأكاسيد الأزوت والغبار والسخام. يضاف إليذلك في منشآت حرق النفايات أبخرة المعادن الثقيلة والكاربوهيدرات غير المحترقة. ولقد حدد القانون لكلٍ من هذه المواد الضارّة نسبة حديّة، لذا فإن كل المنشآت العاملة بالوقود الأحفوري تحتاج لتنقية غازات الاحتراق.

إجراءات التنقية ❶ ❷

بالإضافة إلى أجهزة تنقية الغازات من الغبار يدور الموضوع أيضاً حول أجهزة تنقية الغازات من الكبريت والآزوت، تشترك معظم الطرائق في محاولتها إما التخلّص من الرواسب والمياه الناتجة أو الاستفادة منها إن أمكن.

من حيث المبدأ أسلوبان للمعالجة. في أسلوب الإجراءات الأولية يحاول المرء التحكم بعملية الاحتراق ذاتها لتكون أقل إصداراً للمواد الضارّة ما أمكن. هنا يمكن مثلاً الحدّ من تشكل ثاني أكسيد الكبريت بطريقة المواد المضافة الجافّة، إذ ينفخ الكلس إلى وعاء الاحتراق متزامناً مع الوقود. لكن إتباع هذه الطرق غالباً ما يخفق في الحفاظ على القيم الحدية المسموحة لثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد الآزوت. لكن طريقة حرق الطبقة المعلقة تنجح بسهولة في التخلص من الكبريت (← أجهزة الحرق). أما الأسلوب الثانوي فتتخذ إجراءات بعد عملية الاحتراق، بقصد تنقية الغازات الناتجة عن الاحتراق. ويتعلق نوعها واستخدامها بنمط محطة الطاقة والوقود المستخدم. في محطات الطاقة العاملة على الفحم الحجري تنقى غازات الاحتراق على ثلاث مراحل: نزع الآزوت ثم نزع الغبار ثم نزع الكبريت (الشكل ١). حيث تتدفق الغازات الساخنة أولاً إلى محفز، يؤدي عمله

obeikandi.com

الأمثل عند درجة حرارة ٣٥٠°م. تنخفض درجة الحرارة بشدة بعد نزع الكبريت، مما يستلزم إثر ذلك رفع درجة حرارة الغازات المنقاة إلى ٧٢٠°م على الأقل، قبل إطلاقها بدفع حراري كافٍ عبر المدخنة (الشكل ٢).

نزع الآزوت من غازات الاحتراق ❸

في محطات الطاقة العاملة على الفحم البني يمكن الوصول إلى القيم الحديّة المسموحة قانونياً لأكاسيد الآزوت عن طريق الإجراءات الأولية. أما في محطات الفحم الحجري فإن الإجراءات الثانوية ضرورية. تنتشر بشكل خاص طريقة التخفيض التحفيزي الانتقائي (SCR: Selective Catalytic Reduction/ الشكل ٣)، التي تنطوي على استبعاد الأكسجين من الروابط المحتوية عليه (وهي أكسيد الآزوت) بمساعدة المحفِّزات (التي تساعد على إطلاق التفاعلات الكيميائية أو تسرعها، دون أن تُستَهلك هي نفسها). تتألف المحفزات المستخدمة من أكسيد التيتانيوم غالباً، الذي يمزج بكميات قليلة من مركبات أخرى مثل أكسيد الحديد والنيكل والنحاس والفضة. نتيجة للتفاعل ينشأ الآزوت الجزيئي والماء.

نزع الغبار من غازات الاحتراق ❹

للتقليل من إصدار الغبار هناك أيضاً عدة أساليب؛ إلى جانب المرشحات الكهربائية تنتشر بالدرجة الأولى فواصل الطرد المركزي والمصافي النسيجية (← تنقية الهواء).

يعتمد نازع الغبار الكهربائي (Filter-E) على شحن جزيئات الغبار بالكهرباء الساكنة في حقل كهربائي شديد مما يؤدي إلى تجميعها على الإلكترودات. يتألف نازع الغبار الكهربائي (الشكل ٤) غالباً إلى إلكترود لاقط صفائحي الشكل مشحون إيجابياً (المصعد) ومن إلكترود شاقولي يتألف غالباً من أسلاك مطويّة بشكل مسنن تقوم بعمل إلكترودات الإصدار المشحونة سلباً (المهبط). إذ تبت الأخيرة إلكترونات،

تلتقطها جزيئات الغاز، وتتجمع جزيئات الغاز المشحونة على جزيئات الغبار فتجعلها سالبة الشحنة، فتتحرك نحو الإلكترود اللاقط وتتجمع عليه، تستطيع نوازع الغبار الكهربائية إزاحة أكثر من ٩٩٪ من الغبار.

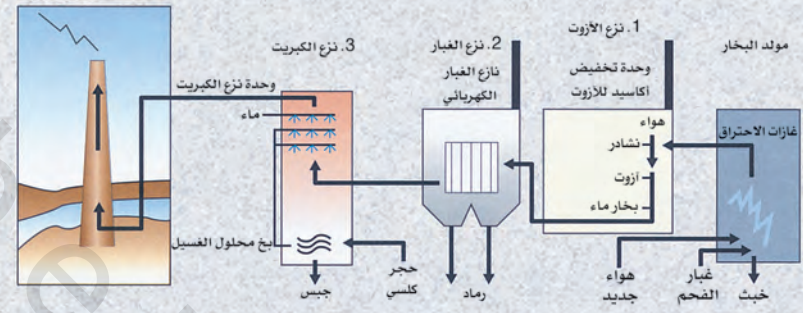
نزع الكبريت من غازات الاحتراق:

هناك أساليب كثيرة لنزع الكبريت من غازات الاحتراق. لكن محطات الطاقة الفحمية الكبيرة تستخدم غالباً مبدأ الغسيل الرطب. تدخل الغازات المحتوية على الكبريت إلى برج غسيل تابع لمنشأة نزع الكبريت (REA) ويُبخ عليها محلول كلسي. فيتحوّل ثاني أكسيد الكبريت من غاز إلى محلول ثم يتفاعل متحولاً إلى كبريتيت الكالسيوم. وبزيادة الأكسدة ينشأ الجبس، الذي يستخدم عادة في البناء. يمكن بواسطة أساليب حديثة نزع الكبريت بنسبة تتجاوز ٩٥٪.

يمكن أيضاً نزع الكبريت والآزوت من غازات الاحتراق في غرفة تحفيز؛ وهذا ما يدعى بالأسلوب التزامني، الذي يوجه منه أنماط مختلفة.

openkandl.com

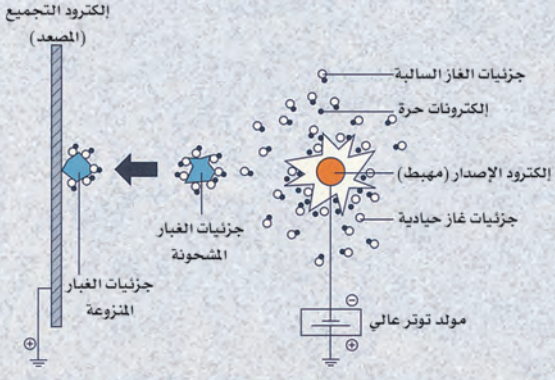
❶ مراحل تنقية غازات الاحتراق



❷ برج تبريد لدارة تنقية الغازات

❸ مبدأ عمل آلة تحفيز لتخفيض محتوى الأزوت (أسلوب SCR)

❹ مبدأ عمل الفصل الكهربائي في مرشح كهربائي



تنقية غازات الاحتراق

obeikandl.com

شبكات الحرارة القريبة والبعيدة

في شبكات التدفئة القريبة والبعيدة يستفاد من القيمة الحرارية للوقود المستخدم (محطات الطاقة الفحمية ⟵) بشكل أكثر فاعلية من عمليتي التوليد المنفصلتين للتيار الكهربائي والطاقة الحرارية. كما ينخفض إصدار المواد الملوثة وغاز ثاني أكسيد الفحم. غير أن هذه الفوائد لا تظهر إلا في الأنظمة الجيدة الخاضعة للشروط التقنية والاقتصادية تصميماً.

شبكة الحرارة البعيدة ❶

إن لعدد المستهلكين دوراً حاسماً، إذ لا يكون بناء شبكة مركزية متفرعة للتزويد بالطاقة الحرارية والماء الساخن مجدياً إلا من أجل عدد كبير مناسب من المشتركين. الأمر الذي يجعل بناء شبكات الحرارة البعيدة مقتصراً على التجمعات السكنية. بالإضافة إلى ذلك يلزم أن يكون استهلاك الطاقة ثابتاً على مدار العام ما أمكن لأسباب اقتصادية. لذلك يجب ألا يقتصر الاستهلاك على الأبنية السكنية فقط، بل يجب أن يتضمن «مستهلكين كباراً» كالمستشفيات والورشات والأبنية الصناعية. كما أن جدوى توسيع الشبكة تبقى محدودة. صحيح أن استخدام العزل الحراري الأنابيب المعزولة بالتفريغ يؤدي إلى التقليل من الضياعات، لكنها باهظة الثمن. لذلك تحدد اقتصادياً المسافة العظمى لنقل الوسيط الساخن لـ ٥٠كم.

في السابق كان الوسيط الأكثر استخداماً في شبكات الحرارة البعيدة بخاراً بدرجة ٢٥٠°م، أما حالياً فيكاد لا يضخ في الأنابيب سوى ماء حار تحت ضغط مرتفع (حوالي ٢٠بار) لمنع التبخر، وعادة ما تكون درجة حرارته ١٤٠°م تقريباً. تتألف شبكة التوزيع في الأغلب من خطين أساسيين، الذاهب لتغذية المستهلكين بالماء الحار، والراجع لإعادة الماء الذي خسر طاقته إلى مركز المحطة لإعادة تسخينه من جديد (الشكل ١). تمدد أنابيب الشبكة عادة تحت الأرض أو ترفع على قواعد (كما في برلين)، حيث يلزم وجود وصلات تمدد. بالإضافة لذلك يلزم تزويد شبكة

الحرارة البعيدة بمضخات لتعويض مفاقيد الضغط، عند المستهلك يتم تسخين ماء التدفقة أو ماء الاستخدام عن طريق مبادل حراري مركزي.

إنتاج الماء الحار ❶ ❷

للحصول على الماء الحار اللازم لشبكة الحرارة البعيدة يستخدم مبادل حراري، غالباً ما تكون مكثف تسخين. في محطات الطاقة التقليدية يدخل البخار المنتج إلى العنفة فينخفض ضغطه (يتمدد) ثم يبرد ويتكاثف في المكثف، حيث يعطي قسماً من حرارته إلى ماء تبريد المكثف، فيسخّنه حتى ٢٠-٣٠°م، وهي غير كافية بعد للاستخدام في التدفئة. لتأمين درجة حرارة أعلى لماء التبريد في المكثف يجب عدم ترك البخار يتمدد في العنفة بشكل كامل. بذلك يمكن للتبادل الحراري بين الماء والبخار أن يحدث تحت درجة حرارة وضغط مرتفعين منتجاً ماءً ساخناً صالحاً للتدفئة. تسمى المحطات الحرارية العاملة بهذا المبدأ والمعدة أساساً لإنتاج الطاقة الحرارية بالمحطات الحرارية ذات الضغط المعاكس. يوجد نوع آخر من المحطات الحرارية، يتم فيها توليد الطاقة الحرارية عبر سحب قسم من البخار من العنفة قبل مرحلة الضغط المنخفض وإدخاله إلى مكثف التسخين (أسلوب الاستنزاف Ent-nahmebetrieb). تدعى محطات الطاقة التي تنتج الكهرباء والحرارة في ذات الوقت بمحطات الطاقة - والحرارة المشتركة (الشكل ١). مع أن عملية استنزاف البخار قبل أن يتمدد بشكل كامل في العنفة، تخفض من مردود التوليد الكهربائي، لكنها تحقق في محطات الإنتاج المشتركة استفادة أعلى من طاقة الوقود المستخدم (الشكل ٢). لايقتصر استخدام هذه الطرائق على محطات الطاقة الفحمية، بل يمكن أن يستخدم أيضاً ي محطات الطاقة النووية.

يمكن التمييز عملياً بين شبكات حرارة بعيدة وشبكات قريبة، إذ تعتمد الأخيرة على محطات طاقة حرارية محدودة مخصصة لتزويد عدد محدود من المستهلكين. ويمكنها العمل أيضاً بمبدأ الإنتاج المشترك للطاقة والحرارة؛ لكن هنا لابد من محركات احتراق أو عنفات غازية لتشغيل مولدات التيار الكهربائي. وتتم نقل الطاقة

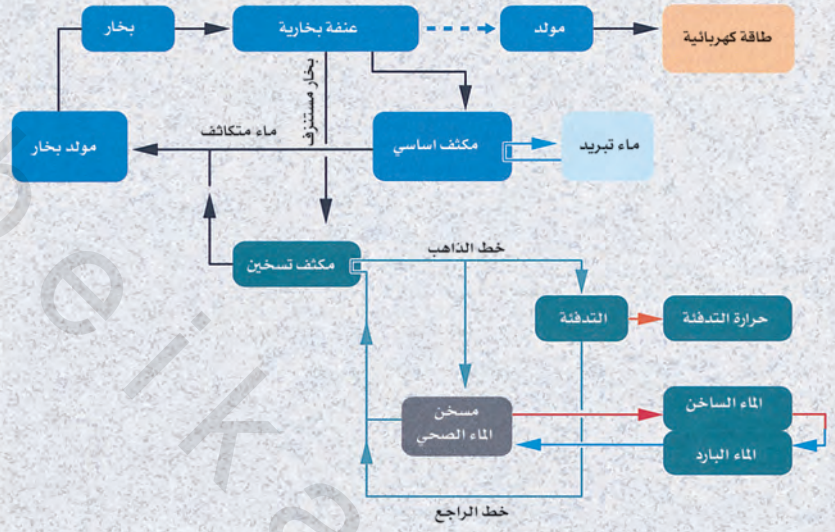
الحرارية الخارجة مع غازات العادم إلى دارة الماء الساخن بواسطة مبادل حراري. تبلغ الاستطاعة المولدة من محطات الطاقة الحرارية المحدودة من عدة مئات حتى بضعة آلاف من الكيلووات، وهي أصغر كثيراً من المحطات الحرارية أو محطات الطاقة الحرارية.

التأثير على البيئة:

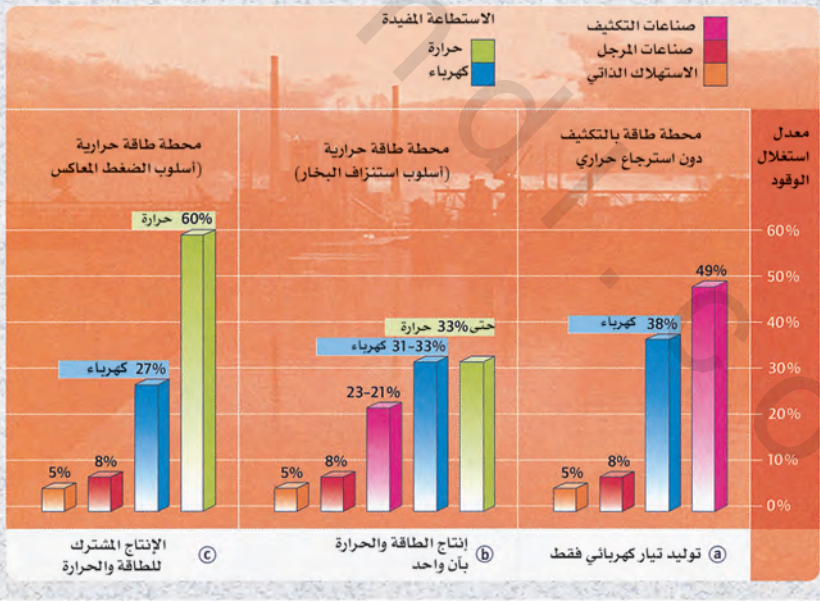
إن لنوع الوقود المستخدم في المحطة الحرارية دوراً هاماً في تحديد كمية الملوثات المنتشرة حولها. لذا يشغل كثير من محطات الطاقة الحرارية المحدودة على غاز القمامة، الناتج من تعفن القمامة في المقالب. بذلك يمكن الاستفادة من هذا الغاز الملوث للبيئة في إنتاج الطاقة. على نحو مشابه يمكن الاستفادة من النفايات كوقود في محطات الطاقة العاملة على وقود النفايات. في السنوات الأخيرة تزايد استخدام محطات طاقة الكتلة الحيوية (⟵) العاملة على الخشب أو القش أو النفايات العضوية؛ كعناصر أساسية في شبكات المياه البعيدة. كما يمكن إلى حد ما الاستفادة من الحرارة الناشئة عن العمليات الصناعية لإنتاج الحرارة البعيدة.

obeikandl.com

❶ شبكة الحرارة البعيدة التي تعتمد على توليد الماء الحار في محطات الطاقة والحرارة المشتركة بأسلوب الاستنزاف



❷ معدل استغلال الوقود في عدة أنماط من محطات الطاقة



شبكات الحرارة القريبة والبعيدة

تحويل الطاقة ونقلها

تظهر الطاقة بأشكال مختلفة، لكن ليس جميع هذه الأشكال مفيدة للتطبيقات التقنية، وغالباً ما يلزم تحويل الطاقة من شكل إلى آخر لتصبح قابلة للاستثمار.

أشكال الطاقة:

يحتوي الفحم على طاقة كيميائية مختزنة في التركيب الجزيئي للمادة، على نحو لا يمكن الاستفادة منه، عند حرق الفحم تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية فتصبح قابلة للاستثمار: تستخدم هذه الطاقة في عمليات التدفئة والتسخين. يستخدم البخار الناتج عن تسخين الماء في تدوير عنفات ومن ورائها مولدات كهربائية. حديث تتحول الطاقة الحرارة أولاً إلى طاقة ميكانيكية ومنها إلى طاقة كهربائية. توجد الطاقة في الطبيعة بالإضافة إلى الشكلين الكيميائي والحراري بأشكال أخرى، كطاقة ميكانيكية عندما يتحرك الماء أو الهواء مثلاً في دوار المولدة أو العنفة، أو كطاقة كهربائية أثناء انتقال الشحنات الكهربائية أو كطاقة كهرومغناطيسية كالضوء المرئي مثلاً. لكن هذه الأشكال ليست جميعها بذات أهمية من حيث تزويد الطاقة.

أدخلت في مجال استخدام الطاقة سلسلة من المفاهيم، تعد أطوع استخداماً للأغراض التقنية من التعابير الصحيحة فيزيائياً لأشكال الطاقة. تُجمل جميع مصادر الطاقة والمولد الخام الحاملة للطاقة قبل التحويل تحت مفهوم طاقة أولية، أي في شكل ظهورها في الطبيعة: الطاقة المائية وأشعة الشمس والرياح وحرارة جوف الأرض والفحم والنفط وغيرها. أما مفهوم الطاقة الثانوية فيعبر عن أشكال الطاقة والمواد الخام الحاملة لها، التي تنشأ عن تحويل الطاقة الأولية، كالبنزين أو الكهرباء أو الماء الساخن على سبيل المثال. يستجرّها المستهلك كطاقة جاهزة، كالتيار من الشبكة الكهربائية، أو البنزين محطة الوقود، ويستغلها لأغراضه كطاقة مفيدة، ويرافق جميع هذه التحولات ضياعات، فعلى سبيل المثال لا تمثل الطاقة المفيدة سوى جزء فقط من الطاقة الجاهزة.

المردود ❶

تترافق الشروط الحقيقية في كل عمليات تحول الطاقة بضياعات: لا تتحول الطاقة المستخدمة (الفحم مثلاً) بالكامل إلى الشكل المرغوب (للتدفئة أو للكهرباء مثلاً). يبقى دائماً جزء منها غير مستثمر، كالحرارة المنتشرة أو أي ضياعات أخرى (الشكل ١).

يظهر في مردود أي نظام لتحويل الطاقة مدى اقتصادية عملية التحويل. لذلك تنيب كمية الطاقة الناتجة إلى كمية الطاقة المأخوذة. بهذا فإن المردود الإجمالي لمحطة طاقة فحمية هو نسبة الطاقة الكهربائية التي تعطيها المولدة إلى الطاقة الكيميائية التي تؤخذ من الفحم. وبالمقارنة يمكن تحديد المردود الإفرادي لأي عنصر من منظومة مركبة لمحطة طاقة كبيرة (كالمرجل أو العنفة أو المولدة). يبقى المردود دائماً أقل من ١٠٠٪ بسبب الضياعات التي لا يمكن تجنبها. لا يقلُّ اليوم مردود محطة فحمية حديثة عن ٤٠٪.

النقل ❷

سواءً كانت الطاقة أولية قبل التحويل أو ثانوية بعد تحويلها إلى شكل أنسب تقنياً، فلا بد قبل استثمارها من نقلها إلى المستهلك: كالتيار الكهربائي في خطوط التوتر العالي؛ أو الفحم بالسفينة أو بالقطار إلى محطة الطاقة؛ والنفط والغاز عبر خطوط الأنابيب من حقول النفط إلى محطات التحضير، أو الخشب ومضغوطات الفحم ووقود التدفئة بالسيارات الشاحنة إلى المستهلك النهائي. حيث تحدث مفاقيد، كمفاقيد الاحتكاك عند النقل بالتدفق. كما يحتاج النقل بذاته إلى طاقة. إن للمفاقيد دوراً ليس في الثمن فقط، وإنما تؤخذ أيضاً كأساس لمعرفة مدى تأثير أشكال الطاقة المختلفة على البيئة.

يحتل نقل الطاقة الكهربائية من محطات الطاقة إلى المستهلكين أهمية خاصة. تقوم بذلك شبكة واسعة من خطوط النقل الكهربائية (الشكل ٢). ترتبط شبكات

obeikandi.com

منتجي الكهرباء فيما بينها وتشكل بذلك نظاماً بالغ المرونة لتوزيع الطاقة. يمكِّن التشابك الدولي من تبادل التيار الكهربائي عبر الحدود ضمن مساحات مترامية عند انقطاع التيار أو عدم كفاية الاستطاعة المحليّة أثناء ذروات الاستهلاك. تنخفض ضياعات النقل كلما ارتفع التوتر الكهربائي. لذلك تستخدم شبكات التوتر العالي جداً (٣٨٠ ك ف أو ٢٢٠ ك ف) من أجل نقل الاستطاعات الكبيرة عبر مسافات بعيدة، ومنها تمتد شبكات التوتر العالي (١١٠ ك ف) إلى مراكز الاستهلاك. وتؤمن شبكة التوتر المتوسط (١٠ ك ف أو ٢٠ ك ف) التوزيع إلى محطات التحويل المحلية. ومن ثمَّ تتولى أخيراً شبكة التوتر المنخفض (٢٣٠ ف أو ٤٠٠ف) توزيع التيار إلى المنازل والمتاجر.

يوجد بين كل مستويين مختلفين من الشبكات مراكز تحويل، مهمتها تأمين الانتقال من مجال توتر إلى آخر. تعمل تقنيات النقل بالتيار الدائري؛ وهو تيار متناول ثلاثي الطور.

obeikandl.com

❶ الضياعات عند تحويل الطاقة

❷ شبكة التوتر العالي جداً لنقل الطاقة الكهربائية (شبكة الربط الألمانية، عام 1997)

تحويل ونقل الطاقة

البطاريات «الأبيال» والمدخرات

تعتمد وظيفة البطاريات والمدخرات على التحويل المباشر للطاقة الكيميائية إلى كهربائية تُكوِّن هذه العملية في البطاريات (الخلايا البدائية) غير عكوسة، بينما يمكن إعادة شحن المدخرات (الخلايا) الثانوية. لقد كان اليساندرو فولتا Alessandro Volta، الذي طور في عام ١٨٠٠ أول عنصر غلفاني، ووضع جدول دوري كهربائي للعناصر، ترتب فيه العناصر حسب تزايد الكمون الكهربائي بالقياس إلى عنصر مرجعي (الهيدروجين عادة). يتناسب فرق الكمون بين عنصرين مع فرق التوتر الكهربائي بينهما. توصف المعادن ذات الكمون الصغير بغير الثمينة، وتلك ذات الكمون الكبير بالثمينة «النبيلة». تتخلى المعادن غير الثمينة عن الإلكترونات بسهولة، وتأخذ المعادن الثمنية الإلكترونات بسهولة.

البطاريات «الأبيال» ❶

تعمل كافة الخلايا الغلفانية وفق نفس المبدأ: يغمس لبوسان ذوا كمونين كهربائيين مختلفين (التوتياء والنحاس مثلاً) في محلول كهرليتي (سائل نقال شاردي، غالباً ما يكون محلولاً ملحياً أو حمضياً مثل محلول كبريتات النحاس) يؤمن وصل الناقلية بين اللبوسين في داخل الخلية. تُختار المعادن بحيث ينشأ بين كلا الناقلين فرق في الكمون. إذا وصل اللبوسان بناقل خارجي، فسوف تتحرك الإلكترونات من أحد اللبوسين إلى الآخر، وهذا يعني: انسياب تيار، مثال (الشكل ١): تنطلق شوارد التوتياء من لبوس التوتياء غير الثمين إلى المحلول، على لبوس النحاس تتناقص شوارد النحاس من المحلول من خلال الإلكترونات المتحررة التي يأخذها النحاس. ينساب التيار حتى تستهلك كافة شوارد النحاس من المحلول. يشكل كلا اللبوسين القطب السالب والموجب لخلية، ويمكن قياس التوتر بينهما. تقع القيم النموذجية بين ١,٢ و٤ فولط. لا يتعلق التوتر بحجم اللبوسين، وإنما بنوع المواد المستخدمة. صحيح أنه من المحتمل استخدام عدد كبير من تركيبات اللبوسات المختلفة، لكن في الواقع هناك فقط أنظمة قليلة ذات أهمية تطبيقية.

يطلق اسم البطارية أصلاً على مجموعة من العناصر الأولية المتعددة. بما أن توتر الخلية محدود، يجب وصل عدد مناسب من الخلايا على التسلسل للوصول إلى توترات أكبر لإمداد المستهلك بجهود تشغيل مختلفة ومناسبة. لكن في الاستعمالات اللغوية شاع مصطلح البطارية أيضاً على الخلية نفسها. إن الخلايا الأسطوانية الشكل «الأبيال» الواسعة الانتشار هي من نوع بطاريات - توتياء - فحم.

اخترعت هذه البطاريات التي تعد «من المحاربين القدماء» في القرن الماضي (التاسع عشر)، وتستخدم لبوسات الفحم والتوتياء ومحلول البوتاسيوم كمحلول كهرليتي. أكثر استطاعة بقليل من بطاريات قلويات - المنغنيز، وتستخدم مثلاً في أجهزة الراديو الصغيرة، ومصابيح الإضاءة «الأبياء الضوئية». أما بطاريات أكاسيد الزئبق فتستخدم في الساعات وفي مصابيح الإضاءة والآلات الحاسبة.

يضاف إلى تلك البطاريات التي ضمنت مكانها فقط أنظمة قليلة، ويأتي بالدرجة الأولى خلايا الليثيوم التي تستخدم في منظمات دقات القلب وآلات التصوير.

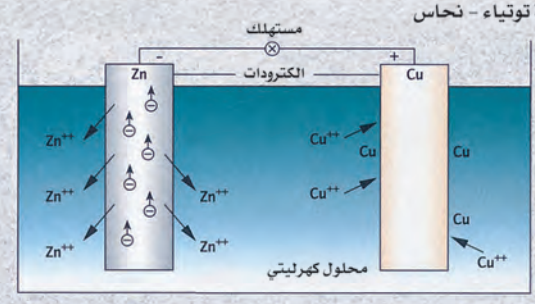
المدخرات «المركبات» ❷ ❸

خلافاً للبطاريات فإن المدخرات قابلة لإعادة الشحن، لأن سلوك الشحن والتفريغ عملية عكوسة. في الحالة المثالية تكون العمليات الكهركيميائية على اللبوسين أثناء تشغيل الشحن والتفريغ انعكاسية متساوية. في الواقع يبقى عدد دورات الشحن والتفريغ الممكنة (حسب نوع المدخرة) محصور على بضعة آلاف مرة، لأن العمليات الكيميائية أثناء الشحن لا يمكن الحصول عليها بشكل كامل عند التفريغ. الأكثر شهرة هي المدخرات الرصاصية «المركمات» (الشكل ٢)، المنتشرة بالملايين في السيارات كبطاريات للمقلع. يستعمل حمض الكبريت المحدد كمحلول كهرليتي. في الحالة التي تكون فيها المدخرة مشحونة يتألف القطب السالب «الكاثود» من الرصاص الصافي (Pb)، والقطب الموجب «الأنود» من أكسيد الرصاص (PbO_2). عند التفريغ تتفكك شوارد الرصاص في المحلول الكهرليتي وتتحول إلى كبريتات

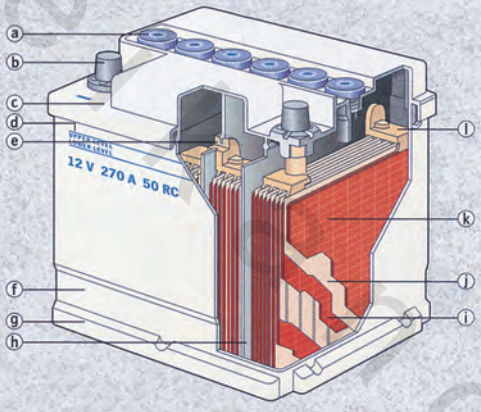
الرصاص (PbO_2)، وتناسب الإلكترونات المتحررة عن طريق المستهلك إلى القطب الموجب «الأنود» (الشكل ٣). يبلغ توتر الخلية الواحدة حوالي ٢ فولط، الأمر الذي يدعو إلى جمع عدة خلايا في بطارية واحدة للوصول إلى توترات أعلى. الكمية المهمة في البطاريات والمدخرات هي كثافة الطاقة، التي تعطي كمية الطاقة الممكنة التخزين لكل ليتر من حجم البطارية. إلى جانب المدخرات الرصاصية تستخدم أيضاً بطاريات النيكل والكادميوم، ومدخرات النيكل والهدريد. لا تزال التراكيب الأخرى قيد الاختيار، من أجل تحقيق كثافة طاقة أعلى، ولكنها غالباً ما تكون مكلفة في التصميم، ومعقدة في الاستخدام.

obeikandl.com

❶ مبدأ عمل بطارية توتياء - نحاس



❷ المدخرة الرصاصية (بطارية المقلع)



ⓐ سدادات إحكام
ⓑ القطب الأخير
ⓒ غطاء المجموعة
ⓓ علامة مستوى الحمض
ⓔ الواصل المباشر بين الخلايا
ⓕ صندوق المجموعة
ⓖ دعامات الأرضية
ⓗ جدار لفصل الخلايا
ⓘ الصفائح الموجبة
ⓙ عازل من اللدائن (بلاستيكي)
ⓚ الصفائح السالبة
ⓛ جسر قطبي

❸ التفاعلات الكيميائية في المدخرات الرصاصية

ⓐ سير تفاعلات التفريغ

$$Pb + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2\,e^- + 2H^+$$

$$2\,H^+ + 2\,e^- + PbO_2 + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2\,H_2O$$

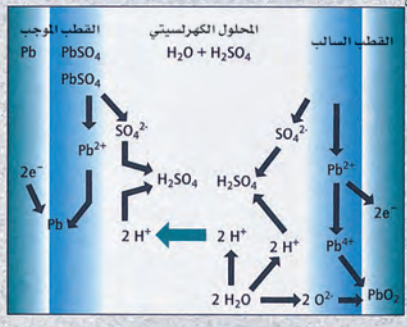
ⓑ سير تفاعلات الشحن

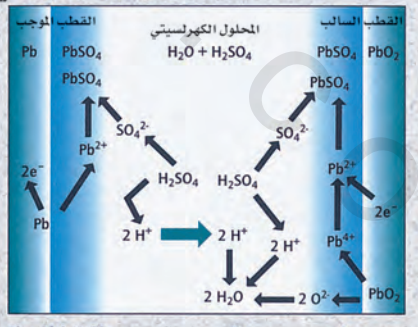
$$PbSO_4 + 2\,e^- + 2H^+ \rightarrow Pb + H_2SO_4$$

$$PbSO_4 + 2\,H_2O \rightarrow 2\,H^+ + 2\,e^- + PbO_2 + H_2SO_4$$

شحن ⇄ تفريغ

$$2PbSO_4 + 2H_2O \rightleftarrows PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4$$





الكترون حر = e^- كبريت = S

اكسجين = O هيدروجين = H حمض الكبريت = H_2SO_4 Pb = Blei,

البطاريات والمدخرات

محطات الطاقة النووية

تعتبر محطات الطاقة النووية أيضاً محطات طاقة حرارية، إلا أنها تختلف عن محطات الطاقة الحرارية الأخرى من حيث الوقود: فبدلاً من أنواع الوقود العضوية مثل الفحم أو النفط يستخدم هنا اليورانيوم، أو أي وقود نووي آخر. عند الانشطار النووي تتحرر طاقة الربط النووي في المفاعل. يمكن بواسطة هذه الحرارة إنتاج البخار، الذي يدير بعد ذلك العنفات والمولدات.

تنقسم محطة الطاقة النووية (الشكل ١) إلى قسم المجموعات ذات التقنيات التقليدية، والقسم النووي مع المفاعل (الشكل ٢ ← المفاعلات النووية). يتضمن بناء المفاعل النووي ايضاً تجهيزات الحماية من الإشعاع والأمان مثل حاوية ضغط المفاعل، ومجموعة التدعيم لتقليل نشاط قضبان الوقود المستهلكة، وحاويات الأمان المقاومة للضغط والغاز (التعليب والاحتواء).

الطاقة النووية:

ترتبط النويات (النيوكلونات) التي تشكل أحجار بناء نويات الذرات، مع بعضها البعض بواسطة طاقة الربط الداخلية للنويات، والتي تختلف في شدتها حسب نوع الذرة، وبذلك تقع طاقة الربط العظمى لكل نواة تقريباً في حدود الرقم الكتلي ٦٠. ينتج عن ذلك طريقتين محتملتين لتحويل الطاقة: يمكن تحرير الطاقة النووي إما عن طريق انشطار نويات ثقيلة مثل اليورانيوم (الانشطار النووي)، أو عن طريق انصهار النويات الخفيفة مثل الهيدروجين (الاندماج النووي). يحرر اندماج الديتريوم (الهيدروجين الثقيل) والتيريتيوم لتشكيل ١ كغ هيلوم حوالي ١٢٠ مليون كيلو واط. ويحرر انشطار ١ كغ يورنيوم (U-٢٣٥) حوالي ٢٣ مليون كيلو واط. للمقارنة يؤمن احتراق ١ كغ من الافحم الحجري طاقة تقدر بحوالي ١٠ كيلو واط.

الاندماج النووي والانشطار النووي ❸ ❹

من الناحية النظرية هناك العديد من تفاعلات الاندماج المحتملة. من وجهة النظر المعاصرة يبدو تفاعل الديوتيريوم (الهيدروجين الثقيل D) والتريتيوم (الهيدروجين الثقيل جداً T). إن كان ولا بد، هما الأسهل للتنفيذ من الناحية التقنية. تكمن مسألة الاندماج الأساسية في تقريب نويات الذرات إلى حد الاندماج بحيث أنها تذوب (الشكل ٣). يقاوم ذلك الاندماج الطاقة الكهربائية لشحنات النويات، لأن كلتا النواتين موجبتان، ولذلك فإنهما تتنافران. يمكن التغلب على التنافر، عندما تكون الجزيئات سريعة جداً (درجة حرارة الجزيئات حوالي ١٠٠ مليون درجة مئوية). يمكن الإحاطة ببلازما ساخنة كهذه فقط عن طريق الحقول الكهربائية والمغناطيسية. ونتيجة للصعوبات التقنية التي يمكن أن تحدث أثناء ذلك فإنه لا يوجد حتى الآن أي طريقة يمكن أن تستخدم لتتحكم بتفاعلات الاندماج للحصول على الطاقة.

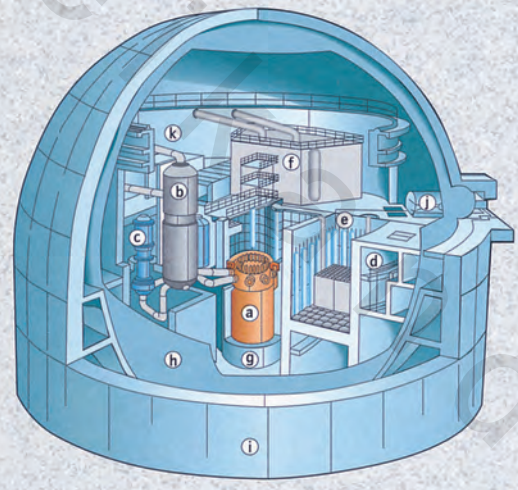
في الانشطار النووي ينشأ عادة من نواة ثقيلة نواتين لاحقتين متساويتين في الحجم تقريباً، يحصل الانشطار غالباً من خلال «اصطياد نيوترون «. إضافة إلى نواتج الانشطار يتحرر من اثنين إلى ثلاث نيوترونات وطاقة (حوالي ٢١٠ ميغا فولط). تحرض النيوترونات المتحررة نويات أخرى على الانشطار، لتحافظ على تفاعل سلاسل (الشكل ٤). يحصل ذلك بدقة وإحكام في المفاعلات النووية (⟵). تشكل المعادن الثقيلة المشعة كاليورانيوم (U) والثوريوم (Th) أنواع الوقود الذري المحتملة. إلا أن اليورانيوم الطبيعي يتألف من فقط حوالي ٧.٠٪ من النظير المقابل للانشطار U-٢٣٥، والباقي عملياً من النظير الغير قابل للانشطار U-٢٣٨. ومن أجل تفاعل سلاسل محكم يجب أن يحرض أحد النيوترونات المتحررة عن الانشطار - والتي قد تصل إلى ثلاثة - نواة أخرى على الانشطار (التفاعل الحرج). بهذا الأمر لا يكفي المحتوى الطبيعي من النظير U-٢٣٥ لذلك يجب إغناء المادة الانشطارية إلى حوالي ٣٪.

بنية ووظيفة محطات الطاقة النووية:

يستخدم اليورانيوم بالدرجة الأولى كوقود في معظم محطات الطاقة النووية المنتشرة ذات المفاعل النووي المائي الخفيف (← المفاعلات النووية). وسيط التبريد هو الماء الخفيف (H_2O). يوجد الوقود على شكل قضبان رفيعة وطويلة تجمع لتشكيل عناصر الوقود، وتوضع بينها عناصر تحكم من مادة ماصة للنيوترونات (بور، كادميوم، أو ما شابه). تشكل عناصر الاحتراق والتحكم نواة المفاعل، المغلق بحاوية ضغط فولاذية مملوءة بالماء. وتحيط غرفة من الإسمنت تبلغ سماكة جدارها حوالي ١٤ مترين بوعاء ضغط المفاعل لمنع الإشعاعات المحتملة. يقوم الماء كمهدئ ووسيط تبريد بوظيفة مزدوجة، يكبح سرعة النيوترونات السريعة الناتجة عن الانشطار النووي، حيث تقوم هذه بتحريض نويات أخرى على الانشطار وتشغل تفاعل السلاسل (← لمفاعلات النووية). وكوسيط تبريد يأخذ الماء طاقة نواتج الانشطار (غالباً نويات الكريبتون والباريوم) كحرارة. يدير بخار الماء الناتج عن ذلك العنفة والمولد. وكأول محطة طاقة نووية تجارية وُصلت المحطة «كالدر هال Calder Hall» في بريطانيا إلى عام ١٩٥٦ إلى الشبكة. في هذه الأيام (١٩٩٨) يوجد في العالم ٤٣٧ محطة طاقة نووية باستطاعة كهربائية كلية مُنصبَّة حوالي ٣٦٣ مليون كيلو واط، وتخدم عملية إنتاج التيار الكهربائي في الحمولات الأساسية.

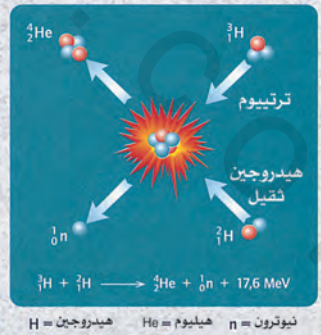
❶ محطة طاقة نووية

❷ بناء مفاعل نووي لمفاعل ماء مضغوط



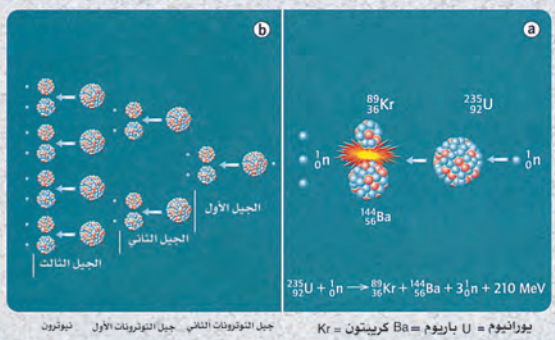
ⓐ حاوية ضغط المفاعل ذات
دعامات انبوبية من أجل
أنابيب التوصيل إلى مولد البخار
ⓑ مولد /بخار
ⓒ مضخة وسيط التبريد الرئيسية
ⓓ مستودع لعناصر وقود جديدة
ⓔ حوض تخزين لعناصر
الوقود المحترقة
ⓕ آلة الشحن
ⓖ درع بيولوجي ضد الاشعاع
ⓗ حاوية أمان
ⓘ بناء المفاعل
ⓙ نافذة ادخال المواد
ⓚ انابيب توصيل البخار الطازج إلى العنفة

❸ مبدأ الاندماج النووي



نيوترون = n هيليوم = He هيدروجين = H

❹ مبدأ الانتظار النووي وتفاعل السلاسل في اليورانيوم 235 - U



يورانيوم = U باريوم = Ba كريبتون = Kr

جيل النوترونات الثاني جيل النوترونات الأول نيوترون

محطات الطاقة النووية

المفاعلات النووية

عـام ١٩٣٨ اكـتـشف أوتوهان وفـريتس شـتـراسـمن أن نوى اليـورانيـوم ذات النيـوترونات البطيئـة يمكن شطرها. وقد شـرحت ليـزا مـايتنر المبدأ النظري عـام ١٩٣٩ وأثبتت أنه عند الانشطار (Fission) تنشأ نيوترونات جديدة، مما قد يؤدي إلى تفاعل تسلسلي، كما حسبت الطاقة المتحررة. ونجح إنريكو فيرمي في تطبيق ذلك تقنياً، حيث قام بتشغيل أول مفاعل نووي في شيكاغو في كانون الأول عام ١٩٤٢م.

الموارد الانشطارية والمواد المتكاثرة:

جميع نوى الذرّات الثقيلة والمتوسطة قابلة للانشطار إذا قذفت بنيوترون بطيء (مكبوح). لكنها لا تسلك جميعها في ذلك سلوكاً متماثلاً. يظهر نظير اليورانيوم U233 وU-٢٣٥ وكذلك نظيرا البلوتونيم Pu-239 وPu-٢٤١ تبايناً حاسماً. مع أن كثيراً من النوى تحرر نيوترونات واحداً وقد لا تحرر شيئاً أبداً، فإن هذه النظائر تصدر في وقت واحد اثنين أو ثلاثةمما يسمى بالنيوترونات السريعة. بذلك فقد يمكن للتفاعل التسلسلي أن يتحقق. ولذلك لا يصلح سوى هذه النويات كوقود في المفاعل النووي، وتدعي المواد الانشطارية، خلافاً للمواد المتكاثرة كالثوريوم Th ٢٣٢ واليورانيوم U-٢٣٨، التي تتحول إلى مواد انشطارية لدى تلقيها نيوترونات سريعة (غير مكبوحة). ويمكن الاستفادة من ذلك تقنياً في مفاعلات التكاثر.

تنقسم نواة الوقود النووي عند الانشطار إلى نويات ناتجة أخف (غالباً اثنتين). وفي الوقت نفسه تصدر المادة الانشطارية نيوترونات (نيوترونات انشطار): إما مباشرة كنيوترونات فورية أو بعد عدة ثوان كنيوترونات متأخرة، وتؤدي الأخير دوراً هاماً في التحكم بالمفاعل. تكون كتلة منتجات الانشطار دائماً أقل بقليل من كتلة نواة الخرج. ويتناسب فاقد الكتلة هذا مع الطاقة التي تتحرر نتيجة الانشطار.

المفاعلات الحرارية والسريعة:

يستفاد من مبدأ توليد الحرارة من الطاقة النووية في محطات الطاقة النووية، التي يعد المفاعل الجزء المركزي لها. وفيه يمكن إجراء التفاعل التسلسلي والمحافظة عليه تحت السيطرة، يتألف المفاعل من منطقة الانشطار التي تحوي الوقود النووي وغلاف تحجيب وتجهيزات التحكم. بعض الأنواع تحتوي أيضاً على مهدئ Modera-to لكبح النيوترونات السريعة. يستخدم لذلك على سبيل المثال الماء الخفيف أو الثقيل أو الغرافيت. أثناء التهدئة تعطي النيوترونات الغنية بالطاقة طاقتها الحركية التي تنخفض من ١ ميغافولت من الانشطار النووي الناتج عن الصدم حتى قيمة ٠,٠٢٥ إلكترون فولت تقريباً. بعد ذلك تدخل النيوترونات المكبوحة في تأثير متبادل طويل الأمد مع نويات اليورانيوم ٢٣٥ ويزداد احتمال التقاطها وحدوث الانشطار. بناء عليه يمكن التفريق بين مفاعلات حرارية وأخرى سريعة.

في النوع الأول يتم الحفاظ على استمرار التفاعل عن طريق النيوترونات المكبوحة أي النيوترونات الحرارية، وقد اكتسبت اسمها بسبب توازنها الحراري مع محيطها؛ في درجة حرارة الغرفة تكون طاقتها ٠,٠٢٥ إلكتروني فولت بما يتناسب مع سرعة ٢٢٠٠ م/ثا. في مقابل ذلك توجد المفاعلات السريعة التي تعتمد على النيوترونات السريعة في إجراء التفاعل المتسلسل. هذه المفاعلات لا تحتوي مهدئ وهو ما يميزها عن مثيلاتها الحرارية، التي تفوقها كثيراً بالعدد والاستطاعة.

مفاعلات الماء الخفيف ❶ ❷

تدعى المفاعلات التي تعمل بالماء الخفيف (H_2O) كمبرد ومهدّئ بدلاً من الماء الثقيل (D_2O) بمفاعلات الماء الخفيف. وهي عملياً أكثر المفاعلات انتشاراً. هنا يحاط قلب المفاعل المكون من عناصر الحرق والتحكم بوعاء ضغط فولاذي مملوء بالماء. فيتلقى الماء الحرارة الناتجة عن التفاعل. أما في مفاعل الماء الغالي (الشكل ١-آ) فإن الماء يغلي في وعاء الضغط (الشكل ٢). وفي تصميم مفاعل الماء المضغوط

(الشكل ١-ب) تحدث هذه العملية أولاً في مولد البخار التابع لدارة ثانية. ويعمل البخار الناتج على تدوير عنفة.

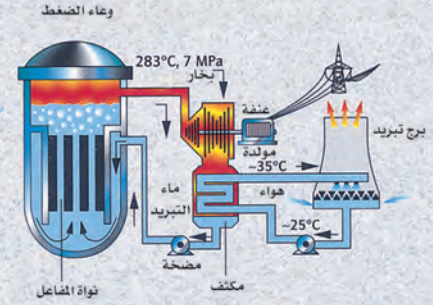
مفاعلات التكاثر ❸

بإمكان مفاعلات التكاثر إنتاج مواد انشطار أكثر مما تستهلكه. وإليها ينتمي مفاعل التكاثر السريع (المكاثر السريع = Schneller Bruter)، الذي تقوم فيه النيوترونات السريعة بالتفاعل التسلسلي. عن طريق التقاط النيوترونات يتحول عنصر التكاثر U-٢٣٨ إلى عنصر انشطار Pu-٢٣٩. بما أن هذا النوع يحتاج النيوترونات السريعة للحفاظ على عملية التكاثر، فلا يمكن استخدام الماء هنا للتبريد، لأنه يكبح النيوترونات بشدة. بدلاً منه يستخدم الصوديوم الذي يصبح سائلاً فوق الدرجة ٩٧°م. يمكن للمكاثرات السريعة استغلال اليورانيوم بمعدل ٦٠ مرة أكثر مما تفعل مفاعلات الماء الخفيف التقليدية.

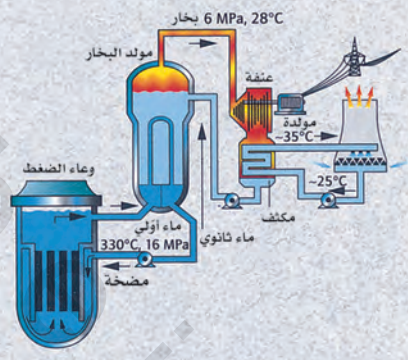
obeikandl.com

❶ مفاعلات الماء الخفيف

ⓐ مفاعل الماء الغالي

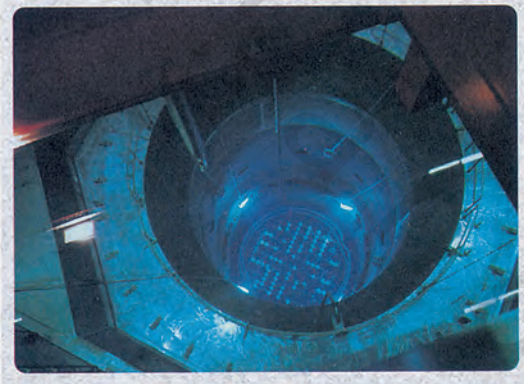


ⓑ مفاعل الماء المضغوط

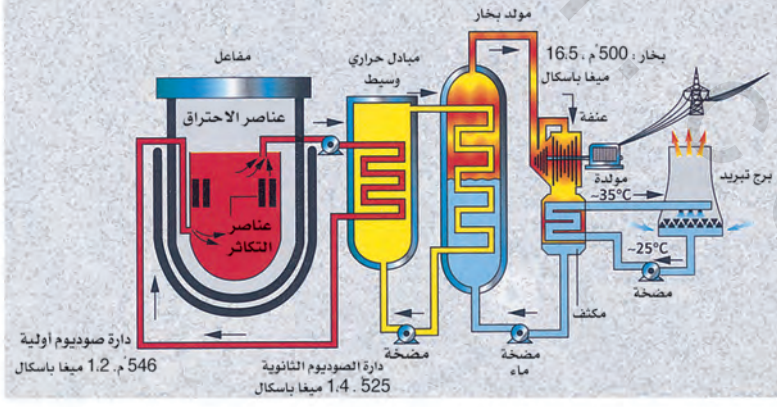


❷ منظر داخلي لوعاء الضغط

تبدو عناصر الاحتراق واضحة في القاع



❸ مفاعل تكاثر سريع



عناصر وقود المفاعلات النووية وإعادة تحضيرها

يعد اليورانيوم المعدن الأكثر غالبية في الاستخدام في الوقود النووي، ولكن نسبة اليورانيوم نفسه من بين المعادن الغزيرة ضئيلة جداً بحيث يجب زيادتها في عمليات متعددة حتى يتم الوصول إلى محتوى بين ٧٠٪ و٩٠٪. ولكن هذا التركيز لا يصلح أيضاً كوقود من أجل مفاعلات الماء الخفيف (المفاعلات النووية)، لأن فقط ٠,٧٪ جزء من اليورانيوم تتألف من النظير U-٢٣٥ اللازم للانشطار، والباقي هو النظير (الغير قابل للانشطار) U-٢٣٨. وللاستخدام يجب إغناء النظير U-٢٣٥ على الأقل إلى ٣٪. تشمل هذه العمية طرق فيزيائية وكيميائية متعددة المراحل.

عناصر الوقود ❶

عن طريق منتجات مرحلية متعددة مثل سادس فلور اليورانيوم (UF6) يمكن الحصول على ثاني أكسيد اليورانيوم (UO2)، الذي يمكن تشغيله على شكل صفائح وقود من خلال الضغط والشي عند درجة حرارة ١٧٠٠ درجة مئوية. لا يصلح اليورانيوم النقي للاستخدام في محطات الطاقة النووية بسبب درجة حرارة انصهاره المنخفضة ١١٣٢ درجة مئوية؛ أما ثاني أكسيد اليورانيوم فلا ينصهر إلا بعد ٢٨٠٠ درجة مئوية. تستخدم أيضاً أنواع وقود نووية أخرى وبأشكال مختلفة حسب نوع المفاعل.

تتألف عناصر الوقود المعيارية الأكثر انتشاراً من عدة قضبان وقود رفيعة يصل طولها إلى بضعة أمتار، ومملوءة بـ ٥٠ وحتى ٣٠٠ صفيحة وقود، ومغلفة بقشرة معدنية لا تسمح بتسرب الغازات. يحتوي عنصر وقود مفاعلات الماء المضغوط على حوالي ٣٥٠ كغ يورانيوم، ويحتوي عنصر وقود مفاعلات الماء المغلي على ١٩٠ كغ. في محطة طاقة يمكن استخدام حتى ١٠٠٠ عنصر وقود (الشكل ١).

بعد حوالي ثلاثة سنوات لم يعد بمقدور عنصر الوقود إعطاء استطاعته الطبيعية، لذلك يتم في المراجعة السنوية تبديل ثلث عناصر الوقود القديمة. يجب

تخزين العناصر المستبدلة في مستودع مرحلي قبل نقلها إلى المستودع النهائي أو إعادة تحضيرها.

إعادة التحضير ❷

لا يقلل المفاعل النووي محتوى المادة الانشطارية في قضبان الوقود فقط، وإنما تتشكل أيضاً سلسلة من النظائر المشعة، التي يتحول معظمها في زمن قصير إلى نظائر مستقرة. ولهذا السبب تخزن عناصر الوقود أولاً بشكل مرحلي في بناء المفاعل. غير أن جزءاً من النظائر له نصف عمر طويل حتى الطول جداً كالبلوتورنيوم مثلاً.

حوالي ربع مادة الوقود U-٢٣٥ ما تزال موجودة في قضبان الوقود المستهلكة. علاوة على ذلك فإن البلوتونيوم المتشكل مناسب لإنتاج عناصر وقود جديدة. لذلك تبدو عملية تحضير عناصر الوقود المحترقة جذابة «فعالة» ليس أقل من ٩٧٪ من المواد المحتواة يمكن إعادة استخدامها، وبالتحديد نظائر اليورانيوم، والبلوتونيوم وجزء قليل من اليورانيوم المتحول. أما منتجات الانشطار الباقية فهي نفايات عالية الإشعاع، ويجب التخلص منها بأمان. يبين (الشكل ٢) مخطط طرق التخلص من النفايات.

نفذت عمليات إعادة تحضير كيميائية لأول مرة في الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٤٤. غير أن الدافع الحاسم في الحقيقية كان آنئذٍ الحصول على البلوتونيوم من أجل الأسلحة النووية. وفي زمن ما بعد الحرب طوِّرت الطرق من أجل إعادة التحضير الحقيقية.

جربت بتقنية عالية طريقة بوريكس (إرجاع واستخلاص اليورانيوم - البلوتونيوم). تكمن الوظيفة الأساسية لإعادة التحضير في فصل اليورانيوم الذي ما يزال موجوداً والبلوتونيوم المتشكل، من منتجات الانشطار الناتجة أثناء التفاعل. في طريقة بوريكس يُحل الوقود المحترق في حمض النتريك. من أجل الاستخلاص

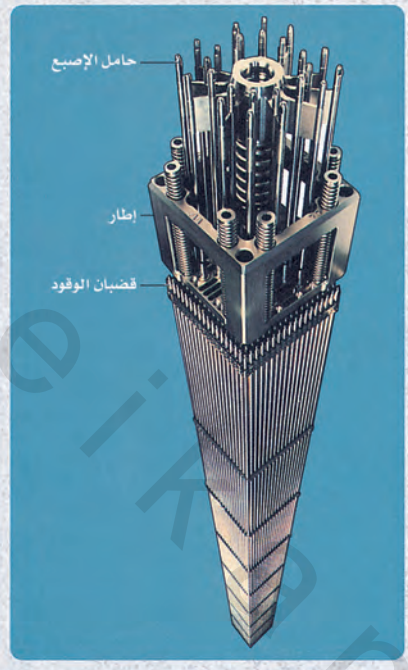
(سحب مواد محددة من مزيج سائل أو صلب بواسطة محلول) يستعمل محلول ثلاثي فوسفات البوتيل، حيث يمكن بواسطته بعد ذلك أيضاً فصل اليورانيوم والبلوتونيوم كيميائياً. يجب تحضير المحلول المتبقي مع نواتج الانشطار من أجل التخزين النهائي (إنتاج براميل أو وحدات نفايات). يستخدم البلوتونيوم واليورانيوم اللذان تم الحصول عليهما من جديد.

التثبيت بالزجاج:

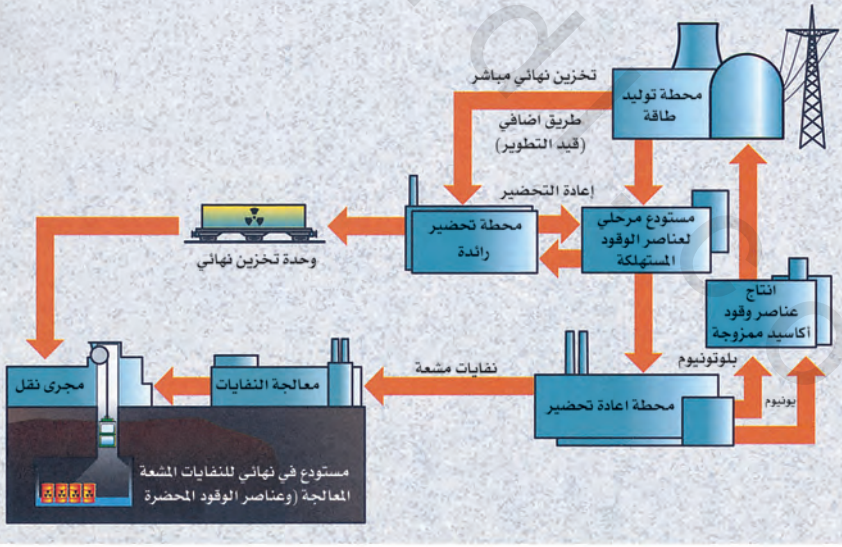
تثت النفايات عالية الإشعاع بزجاج البوروسيليكات. أما الطريقة المعيارية في فرنسا فهي من خلال تسخين المحلول يتم إنتاج حبيبات، يتم صهرها بعد ذلك مع مكسرات الزجاج إلى زجاج. وفي طريقة أخرى يوضع المحلول العالي الإشعاع في مصهور الزجاج مباشرة، حيث يتبخر السائل وتبقى المواد المشعة الصلبة عالقة بالزجاج. في كلتا الحالتين يملأ المصهور في حاويات فولاذية. بسعة ١٥٠ لتر.

ما تزال هذه الوقالب التي تزن ٤٠٠ كغ تنتج حرارة بسبب عمليات التحول المستمرة. بعد زمن تخامد فوق الأرض ينبغي دفنها في مستودعات تحت أرضية، كما يمكن أيضاً إيصال قضبان الوقود مباشرة إلى تلك المستودعات بعد إجراء عمليات تحضير مناسبة. هل ستعالج النفايات النووية بإعادة التحضير أم بالتخزين النهائي المباشرة، لم تنته المناقشة بعد وهناك اختلاف عالمي في تقويمها؟.

❶ عنصر وقود لمفاعل ماء مضغوط



❷ طرق التخلص من النفايات النووية



obeikandl.com

الناقل والتخزين المرحلي لعناصر الوقود النووي

يسقط في كل عام عن تشغيل مفاعل ماء مضغوط ذي استطاعة كهربائية ١ غيغا واط مع عناصر الوقود المحترقة حوالي ٤٠ طن مواد مشعة. يكون لجزء من المواد المتفاوتة الإشعاع فقط عمر زمني قصير. لذلك لا تنقل عناصر الوقود مباشرة بعد إزالتها من المفاعلات مباشرة إلى إعادة التحضير أو إلى المستودعات المرحلية، وإنما تخزن في أحواض التهدئة (وهي أحواض مملوءة بالماء توجد جانب حاوية ضغط المفاعل مباشرة) (الشكل ١).

تبديل عناصر الوقود:

يكون تبديل عناصر الوقود جزءاً من المراجعة السنوية. يخص ذلك في كل مرة أقدم ثلث من العناصر، بينما يتم تغيير مواقع العناصر الباقية للوصول إلى اهتراء منتظم.

بسبب الإشعاع القوي تُملأ حاوية ضغط المفاعل بالماء. تبقى العناصر المحترقة أثناء عملية التبديل مغطسة بالماء باستمرار. عبر بوابة خاصة تصل العناصر المحترقة إلى حوض التهدئة، حيث تحفظ لمدة عام وأكثر. لا يقي الماء من الإشعاع فحسب، وإنما يأخذ الحرارة الناجمة عنه أثناء فترة التهدئة تتناقص الفعالية الأصلية بشكل معتبر.

النفايات المشعة ومعالجتها ❷

تؤخذ عناصر الوقود بعد فترة التهدئة إلى إعادة التحضير أو إلى المستودعات المرحلية، التي تستخدم كمحطة تجميع مركزية لعناصر الوقود من مختلف محطات الطاقة النووية. كما أن التخزين النهائي ممكن أيضاً. في هذه الحالة لا بد من تحضيرها قبل ذلك، أي معالجتها بطريقة مناسبة تسبق التخزين النهائي (الشكل ٣).

إلى جانب عناصر الوقود تقع كذلك نفايات مشعة أخرى. تكون الكمية الكبيرة من المواد ذات الإشعاع الخفيف والمتوسط، والتي تتشكل أثناء التشغيل وتعطي حرارة منخفضة فقط. ينتمي إلى ذلك أو حال المصافي ومخلفات وسيط التبريد، وكذلك أيضاً ملابس العمل البالية وسائل الاستبدال النشيطة. تأخذ هذه المخلفات حوالي ٩٥٪ من الحجم الكلي، لكنها تحمل فقط ١٪ من الفعالية.

تشكل عناصر الوقود والنفايات العالية الإشعاع فقط ٥٪ من الحجم، لكن ٩٩٪ من النشاط الإشعاعي. طبقاً لذلك يكون معالجة كلا النوعين مختلفة أيضاً في البداية يخفض حجم النفايات ذات النشاط الخفيف والمتوسط عن طريق التبخير والضغط وما شابه، وذلك للمحافظة على صغر عدد الحاويات اللازمة، والتي سيتم دفنها لاحقاً في البيتون أو الإسمنت. يمكن أن تجرى هذه العمليات في المحطة نفسها وقبل النقل.

المستودعات المرحلية:

في البداية يتوجب التخزين المرحلي لعناصر الوقود التي أدت خدمتها، حتى يعاد تحضيرها من جديد، أو تخزن مباشرة بشكل نهائي. يمكن أن يتم ذلك في محطات الطاقة نفسها أو مستودعات تخزين مرحلية. عند ذلك يتم وضعها في حاويات خاصة على سبيل المثال من نوع كاستور. أثناء التخزين المرحلي تتحول تراكيب النويات المشعة قصيرة العمر، في حين يسري إعطاء الحرارة. تؤمن حركة الهواء تبريد الحاويات في صالات التخزين «التبريد بالحمل والانتقال «. بعد ذلك تجلب عناصر الوقود إلى محطات المعالجة وإعادة التحضير أو تنقل مباشرة إلى التخزين النهائي.

حاويات النقل ❸

يتطلب النقل على الطرقات العامة الحصول على ترخيص، وكذلك فقط تم التحكم بعملية التغليف.

يجب على حاويات النقل تحمل ومقاومة سلسلة من تجارب الإجهاد والتحميل:

- السقوط الحر من ارتفاع ٩ متر على أساس إسمنتي زنته ١٠٠٠ طن ومغطى بصفيحة فولاذية زنتها ٣٥ طن.

- سقوط حر من ارتفاع ٢.١ متراً على مسمار أو وتد حاد.

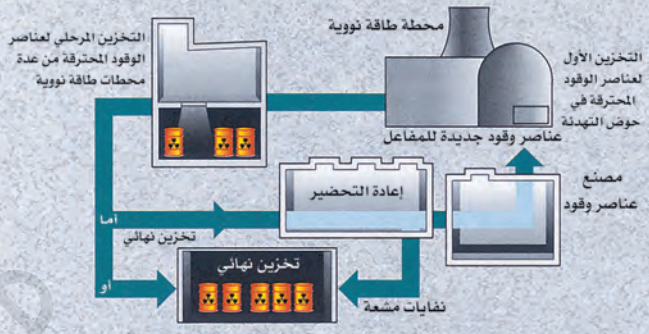
- اختبار بالنار عند درجة حرارة ٨٠٠ درجة مئوية خلال مدة زمنية تبلغ ٣٠ دقيقة.

- التغطيس بالماء حتى عمق ٩٠ متراً ولمدة ثماني ساعات.

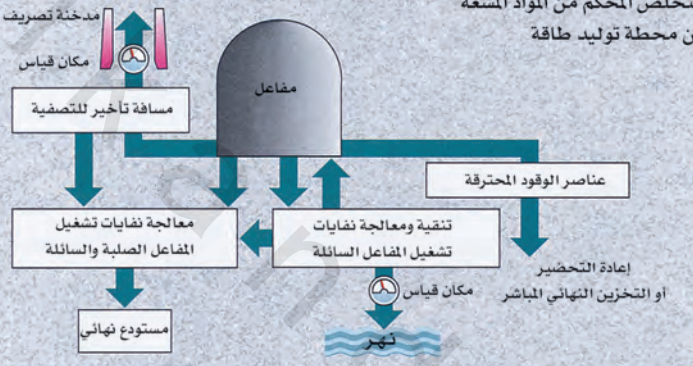
وفي سلاسل الاختبار اللاحقة تترك الحاوية لتسقط من ارتفاع ٦٠٠ متر على أرض صحراوية صلبة. كذلك تم اختبار الاصطدام مع قاطرة بسرعة نسبية ١٣٠ كم/سا.

تُغلَّب عناصر الوقود من أجل النقل والتخزين المرحلي في ما يسمى حاويات كاستور (Castor = Cask for Strong and Transport Of Radioactive materials وعاء لنقل وتخزين المواد المشعة؛ الشكل ٣). تصنع الحاويات من الحلب الصلب وتشغَّل بكرات من الغرافيت، ولها جدران بسماكة حوالي ٤٥ سم لحجب إشعاعات غاما. تخدم القضبان الإضافية المصنوعة من اللدائن في حجب النيوترونات. في الداخل توضع القضبان في هيكل من خليط الفولاذ والبور، الذي يفترض أن يمتص النيوترونات كذلك. تُزود النماذج ذات الأطوال حوالي ٥م إلى ٦م من الخارج بأضلاع التبريد من أجل تحسين تصريف الحرارة. ويؤمن نظام الأغطية المتعددة عملية الإغلاق بإحكام.

❶ «محطات» مراحل التخلص من النفايات النووية



❷ التخلص المحكم من المواد المشعة من محطة توليد طاقة



❸ حاوية نقل وتخزين من نوع كاستور

النقل والتخزين المرحلي لعناصر الوقود النووية

محطات الطاقة المائية

تعد طاقة الماء أيضاً من الطاقة المتجددة، تحجب الشمس خلفها كمركز الطاقة الحقيقي. تعمل الشمس «كالمحرك» الذي يدير الدورة المائية على الأرض. فهي تجعل الماء يتبخر، وتؤمن صعوده من البحار إلى الجو. يسقط الماء على شكل أمطار وثلوج عائداً إلى الأرض، هناك يعود ويتدفق إلى المحيطات، حيث غالباً ما ينساب عبر فروق ارتفاعات شاهقة.

إن قوة طاقة مياه الكرة الأرضية كبيرة جداً، حتى أن ما يمكن تقنياً استخراجه من هذه القوة قادر على تغطية الحاجة الحالية من التيار الكهربائي بسهولة. في الحقيقية تظهر بعض المشاريع الكبيرة التي تعود للماضي، أنه كان من الواجب على المخططين اختبار العلاقات البيئية البعيدة الامتداد. وعليه يمكن للجوانب البيئية أن تخفض بوضوح القدرة المتوفرة من الناحية الفنية.

من دون تدخل الإنسان تهدر طاقة الماء الجاري من خلال الاحتكاك وتتحول إلى حرارة. لكن بواسطة العنفات يمكن تحويل الطاقة الكامنة (طاقة الموقع) والطاقة الكينماتيكية (الطاقة الحركية) للماء إلى طاقة دورانية ميكانيكية، وبها يتم تدوير المولد، الذي يقوم أخيراً بالإمداد بالتيار الكهربائي. يشكل ارتفاع الانحدار المفيد إحدى الكميات المفتاحية سواء بالنسبة لنوع الاستفادة، أو بالنسبة لمردود التحويل إلى طاقة كهربائية.

أنواع العنفات ❶

تحدد كمية التدفق باعتبارها الكمية المفتاحية الثانية تصميم واستطاعة محطات الطاقة المائية. أساساً يمكن التمييز بين نوعين لمجال الضغط العالي ولمجال الضغط المنخفض. بينما يون أحد الاحتمالات للعمل على الأنهار بارتفاعات سقوط صغيرة، ولكن بكميات مياه كبيرة، يستخدم النوع الآخر في المناطق الجبلية كميات التدفق الأصغر ذات ارتفاعات السقوط العالية التي تصل في بعض الأحيان إلى ١٠٠٠م.

يمكن تغذية النوع الثاني بدون سدود كبيرة مباشرة من المجرى الطبيعي، أو إمداده من بحيرات السدود (⟵ محطات تخزين الطاقة).

بشكل جوهري تغطي التصميمات الأربعة: عنفة التيار العابر، وعنفة قابلان، وعنفة فرنسيس، وعنفة بيلتون أنواع الاستخدام المختلفة (الشكل ١). بذلك يمكن التمييز بين عنفات الضغط المتساوي وعنفات الضغط العالي. يتم في عنفات الضغط المتساوي تحويل طاقة الماء الكامنة من خلال نفاثة واحدة أو عدة نفاثات بشكل كامل إلى سرعة؛ على دولاب العنفة الدائر لا يتغير الضغط. أما في عنفات الضغط الزائد يتناقص ضغط الماء باستمرار على طول المسار من الدخول وحتى الخروج. يدار دولاب العنفة بواسطة الشفرات «المغارف» الدوارة يستخدم كعنصر تحكم وإغلاق. غالباً ما يقرن محور العنفة بمحور المولد بشكل ثابت.

محطات توليد الطاقة بالماء الجاري ❶ ❷

تنتج محطات توليد الطاقة التيار في مجال الحمل الأساسي. يحدد موقعها على الانهيار الخصائص التصميمية. يكون ارتفاع السقوط أقل من ١٥ متراً، ولذلك تتدفق كميات مياه كبيرة خلال العنفة، ولكن على الأغلب بتقلبات موسمية كبيرة. في محطات كهذه تستخدم بالدرجة الأولى عنفات كابلان وعنفات اليتار العابر (الشكل ١) بشكل مألوف. يحجز الماء خلف سد، ويتدفق باستمرار عبر العنفة (الشكل ٢). تخدم محطات الطاقة هذه بالإضافة إلى توليد الطاقة غالباً الحماية من الطوفان، وتخدم حركة السفن بالاشتراك مع بوابات توازن المنسوب.

محطات توليد الطاقة بالماء المخزن «محطات تخزين الطاقة» ❶ ❸ ❹

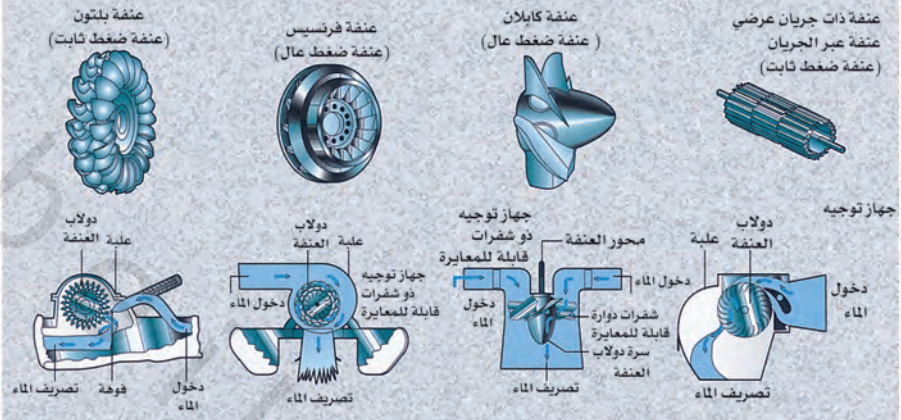
بالإضافة إلى استخدامها في مجال الحمل الأساسي تناسب محطات تخزين الطاقة بالدرجة الأولى توليد التيار في مجال حمل الذروة. يجهز الماء الضروري في بحيرات التخزين، المصممة كخزانات تستخدم إضافة لذلك غالباً في تأمين مياه الشرب والري. توجد محطة الطاقة الحقيقية – والتي تكون عادة مجهزة بعنفة

قبلان أو عنفة فرنسيس (الشكل ١) - غالباً عند أخمص جدار السد. عدا ذلك الخزانات الجبلية، التي تُخزن اصطناعياً أو تكون ذات أصل طبيعي. في بحيرات التخزين الجبلية تنقل المياه بواسطة أنابيب ضغط غالباً إلى غرفة الآلات في اسفل الوادي. وعند الظروف المناسبة فإنه في مثل محطات الطاقة هذه يمكن الاستغناء عن محطات التخزين الكبيرة بجميع لوازمها البيئية. عند ارتفاعات السقوط من ١٠٠٠م أو أكثر غالباً ما تستخدم عنفة بيلتون لتحويل الطاقة.

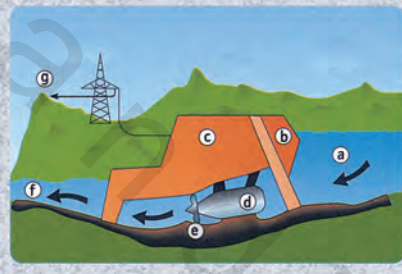
تكوِّن محطات تخزين الطاقة بالمضخات شكلاً خاصاً بأحواض تخزين عالية التوضع، حيث يتم ضخ الماء إليها بالتيار الفائض أثناء زمن الاستهلاك الضعيف. عند أوقات الحاجة يمكن بذلك توليد تيار (الشكل ٣ و٤). حسب ارتفاع السقوط يمكن استخدام عنفات بيلتون، أو عنفات فرنسيس. تستخدم عنفات فرنسيس في التشغيل الكامل كمضخات.

وفق الاعتبارات الصارمة لا تؤمن محطات تخزين الطاقة بالمضخات طاقة متجددة، لأنه تم تخزين الطاقة الكهربائية التي تم الحصول عليها كطاق كامنة (موضع) للماء. يبدو الأمر خلافاً لذلك عندما يكون التيار الذي يدير المضخات من مصادر متجددة، كأن يعمل خزان الماء بالاشتراك مع محطات طاقة ريحية أو محطات طاقة شمسية.

❶ أنواع العنفات في محطات توليد الطاقة المائية



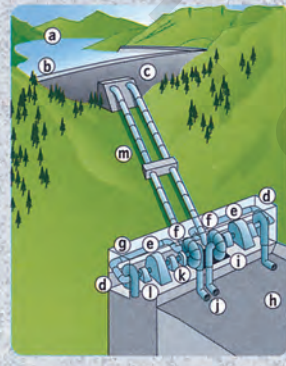
❷ مخطط عمل محطة توليد طاقة بالماء الجاري



تتدفق كميات مياه كبيرة عبر العنفة المرتبط بمولد

ⓐ الماء العالي
ⓑ سد
ⓒ محطة توليد طاقة
ⓓ مولد
ⓔ عنفة
ⓕ الماء المنخفض
ⓖ تيار كهربائي

❸ البنية التخطيطية لمحطة توليد طاقة بخزان ضخ



ⓐ بحيرة تخزين
ⓑ الحوض العلوي
ⓒ سد
ⓓ عنفة المضخة
ⓔ مولد
ⓕ عنفة
ⓖ محور
ⓗ الحوض السفلي
ⓘ غرفة المعدات
ⓙ تصريف الماء
ⓚ كارنة
ⓛ مضاجع المحور
ⓜ أنابيب ضغط لنقل الماء

❹ محطة غينس ثاخت لتوليد الطاقة بخزان ضخ

يضخ الماء من نهر الألبه إلى حوض التخزين الموجود على ارتفاع 80 متر.

محطات توليد الطاقة بالمد والجزر

تختفي الطاقة في تناوب المد والجزر. وقد استخدمت طاقة فرق منسوب الماء في المد والجزر على شواطئ بحر المانش في فرنسا وبريطانيا منذ القرن الحادي عشر. كما تكرر باستمرار في العصور اللاحقة أيضاً بإيجاد تصميمات جديدة للطواحين العاملة على المد والجزر. فقد بنى الهولنديون في القرن السابع عشر الطواحين العاملة على المد، حيث استخدموا النواعير «الدواليب المائية».

الشروط:

تصح طاقة المد والجزر مفيدة عندما تغلب خلجان البحار المناسبة بالسدود. غير أنه لا بد من توفر حد أدنى لفرق منسوب الماء في المد والجزر، لأنه هو الذي يحد من الاستفادة من المد والجزر بشكل عنيف. على أية حال في ألمانيا كان من المحتمل الاستفادة من موقع Jadebusen حيث يصل ارتفاع المد والجزر إلى أربعة أمتار، إلا أن الموقع غير مناسب حقاً. إذا كان ارتفاع المنسوب المطلوب وسيطاً ٥م، فيوجد في العالم حوالي ١٠٠ خليج مناسب، يسمح النصف منها فقط بالتشغيل الاقتصادي. وهناك أيضاً حيث يصل فرق منسوب المد والجزر إلى ١٠ متر وأكثر تقع شروط التشغيل معظم أوقات السنة خارج الحالة المثالية. يحصل المد والجزر كل ١٢ ساعة و٢٤ دقيقة، وبذلك لا يتوفر دائماً ارتفاع كاف لفرق منسوب المد والجزر في نفس الوقت من اليوم. أثناء قفزات المنسوب كما يحصل في بداية ومنتصف الشهر القمري تنتج المحطات في الحقيقة أضعاف الطاقة التي تنتجها أثناء انحسار المنسوب في المد الخفيف، الذي يظهر عندما تلغي الشمس جزءاً من طاقة المد والجزر الناجمة عن القمر. لهذه الأسباب تكون استطاعة محطات توليد الطاقة بالمد والجزر قليلة الانتظام، لا تقع دائماً ذروة الإنتاج مع ذروة الاستهلاك في نفس الوقت. يمكن التقليل من حدة الذى بواسطة أحواض التخزين، ومع ذلك تكون

محطات توليد الطاقة بالمد والجزر اقتصادية فقط في المكان حيث، يقيم بالقرب منها كبار مستهلكي التيار.

أنواع البناء ❶ ❷ ❸ ❹

يكون البناء الأساسي موحداً لكافة محطات توليد الطاقة بالمد والجزر (الشكل ١): يغلق أحد خلجان البحر المناسبة بواسطة سد فيه بعض الفتحات. عند المد يتدفق الماء إلى داخل السد ويدير العنفات المركبة على الفتحات. وعند الجزر يقوم الماء المتدفق إلى خارج السد بنفس العمل (الشكل ٢). من الناحية التقنية يمكن الحصول على تيار بهذا الشكل بواسطة العنفات الأنبوبية (عنفة كابلان ← محطات الطاقة المائية)، التي يكفيها ارتفاع سقوط ماء قليل. غير أنه يجب توفر حد أدنى لفرق الارتفاع بين منسوبي الماء، (منسوب الماء في الحوض، وسطح البحر) حتى تعمل العنفات (الشكل ٣). وبفضل مراوحها القابلة للمعايرة تستطيع عنفة قابلان أن تستفيد من حركة الماء في كلا الاتجاهين. يُربط إلى العنفة الأنبوبية المولد المستخدم في توليد التيار الكهربائي. بالنسبة لمحطات توليد الطاقة بالمد والجزر والتي لا تحتوي على أحواض تخزين، فإنها تستفيد من كامل فرق ارتفاع منسوب الماء في المد والجزر. تمتاز هذه المحطات في الحقيقة بنتائج استطاعة كبيرة، إلا أنها تخضع لتناوب العرض في طاقة المد والجزر. وللحصول على تشغيل مستمر لمحطات توليد الطاقة بالمد والجزر، تبنى هذه المحطات مع أحواض تخزين، غير أن فرق ارتفاع المنسوب المفيد فيه سيكون أقل.

أقيمت أول محطة توليد طاقة بالمد والجزر في العالم على سواحل الأطلسي الفرنسية عام ١٩٦٦ – ١٩٦٧ على خليج مصب نهر رانس Rance بالقرب من سانت مالو St.Malo (الشكل ٤). هنا يبلغ ارتفاع فرق المنسوب في المد والجزر ١٢ متراً وأكثر. يغلب الخليج سد بيتوني طوله ٧٥٠ متراً مثقوب ب ٢٤ فتحة تم تركيب العنفات الأنبوبية فيها. لكل واحدة من هذه العنفات استطاعة ١٠ ميغا واط، وعليه

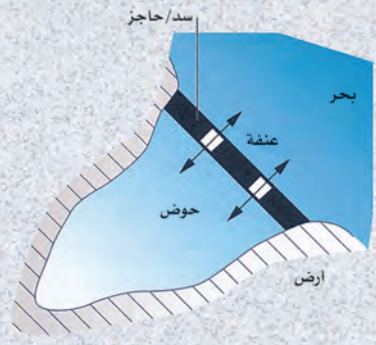
تكون كامل استطاعة المحطة ٢٤٠ ميغا واط. تنتج محطة الطاقة في السنة تياراً كهربائياً استطاعته حوالي ٦٠٠ مليون كيلو واط ساعي. بلغت تكليف البناء تقريباً ضعفين ونصف (٥.٢ مرة) تكاليف محطة طاقة نهرية مماثلة في الاستطاعة.

تسود ظروف مناسبة لبناء محطات توليد طاقة بالمد والجزر أيضاً في بعض المواقع في بريطانيا على سبيل المثال في مصب نهر Severn في قناة Bristol حيث يرتفع المد إلى ١٠ أمتار، وتم التخطيط لبناء محطة باستطاعة ٧٠٠ ميغا واط. وفي روسيا أخذت محطة تجريبية باستطاعة ١ ميغا واط بالعمل في نهاية الستينات من القرن الماضي (١٩٦٠) في Kislogubsk بالقرب من Murmansk. وخارج أوربا يوجد في Fudaybay شرق كندا ارتفاع كبير جداً في فرق المنسوب بين المد والجزر يصل إلى أكثر من ٢٠ متر. منذ عام ١٩٨٤ تعمل محطة باستطاعة ٢٠ ميغا واط بالقرب من Annapolis Royal، كما تم التخطيط لمحطات أخرى على هذا المقطع من الساحل. كذلك في الأرجنتين والهند وكوريا الجنوبية واستراليا يوجد مواقع قيمة، وجزئياً مشاريع محددة.

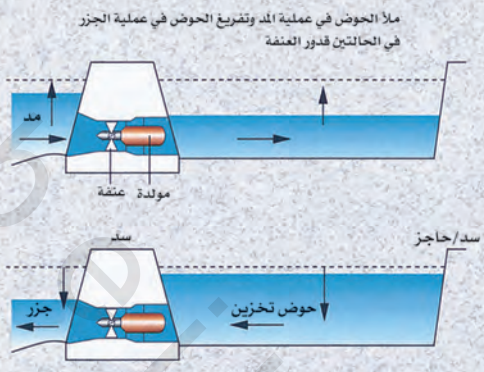
الأثر البيئي:

ليس من فائض القول السؤال عن الآثار البيئية لمحطات توليد الطاقة بالمد والجزر. حتى لو تأثرت مياه الشواطئ فقط بشكل محدود جداً، فيجب اختبار هذه الاعتداءات على البيئة قبل بناء المحطة. ناهيك عن أن مساحة حوض المحطة المقتطعة بالسد بالقرب من سانت مالو تبلغ ٢٢ كم٢، وكذلك في الحوض يمكن أن ينحسر الماء عن الأرض مثل أمام السد. عدا عن ذلك لا يمكن استبعاد الآثار على الجريانات المحلية. كلاهما له تأثيرات رجعية هناك على عالمي الحيوان والنبات.

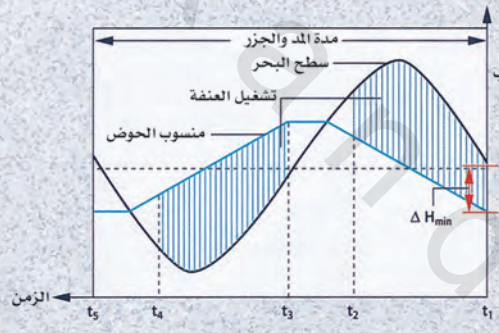
❶ المبدأ الأساسي لمحطات توليد الطاقة بالمدد والجزر



❷ مبدأ عمل محطة توليد الطاقة بالمدّ والجزر



❸ تغير الحد الأدنى لفرق ارتفاع المنسوب ΔH_{min} مع الزمن



خلال الزمن من t2 وحتى t3 ومن t4 حتى t5 لاتعمل العنفات وبالتالي لايمكن توليد تيار

❹ محطة توليد طاقة بالمد والجزر على مصب نهر رانس بالقرب من مالو

محطات توليد الطاقة الريحية

تعد طاقة الرياح في الحقيقة أحد أشكال الطاقة الشمسية. تسخّن أشعة الشمس كتل الهواء بشكل مختلف في الشدة. وبذلك تتشكل مناطق ذات ضغط غير متساو، بحيث تتدفق كتل الهواء بينها. تحتوي تيارات الهواء هذه (الرياح) على طاقة حركية، يمكن أخذها عن طريق محطات توليد الطاقة الريحية وتحويلها إلى طاقة كهربائية.

من وجهة نظر حسابية بحتة تفوق القدرة المقدَّرة لطاقة الرياح في العالم استهلاك الطاقة الحالي بعدة أضعاف. غير أنه في الواقع لا يمكن تفريغ هذه الطاقة النظرية بشكل كامل حتى لو تم استخدام جميع الإمكانيات التقنية. يشكل المردود الأيروديناميكي (مردود الحركة الهوائية) للدوَّار أحد الحواجز الفيزيائية الأساسية. تتعلق الاستطاعة بالإضافة إلى تعلقها بكثافة الهواء بالمساحة التي يتدفق عبرها تيار الهواء (المساحة التي تمسحها شفرات الدوار)، وكذلك بسرعة الرياح.

العوامل المؤثرة ❶

تشكل سرعة الرياح كمية مفتاحية لأنها مرفوعة إلى الأس التكعيبي تسهم بالاستطاعة. هذا يعني إذا تضاعفت سرعة الرياح مرتين، فإن ذلك سيؤدي إلى مضاعفة استطاعة الرياح ثماني مرات. وبسبب ارتفاع سرعة الرياح وسطياً على السواحل يفضل بناء محطات الطاقة الريحية هناك. تؤثر على الاستطاعة أيضاً المساحة التي يتدفق عبرها الهواء، وتحدد في المحطة من خلال طول شفرات الدوار: إذا تضاعفت طول شفرات الدوار (نصف قطر الدائرة) مرتين، فسيعطي ذلك بسبب العلاقات الهندسية في الدائرة أربعة أضعاف المساحة (مساحة الدائرة)، وبالنتيجة أربعة أضعاف استطاعة الرياح. لهذا السبب تبنى محطات الطاقة الريحية دائماً بشفرات طويلة، وبنفس الوقت يتم تخطي ارتفاعات عالية لسرعة الدوار، لأن سرعة الرياح تزداد بوضوح في طبقات الهواء الأعلى.

بالإضافة إلى سرعة الرياح والمساحة تتحدد الاستطاعة كذلك أيضاً من خلال معامل الاستطاعة Cp. القيمة النظرية الأعظمية التي يمكن أن يصلها معامل الاستطاعة هي (معامل بيتس: Petz - Faktor Cp = ٠,٥٨٣). يتعلق معامل الاستطاعة بعدد السرعة (الشكل ١)، والذي ينتج من نسبة السرعة المحيطية على قمم الشفرات إلى سرعة الرياح. يتعلق عدد السرعة وبالتالي معامل الاستطاعة والمساحة بنوع بناء محطة الطاقة الريحية. من الشائع بناء محطات طاقة ريحية بمحور دوار أفقي وشفرتين أو ثلاث شفرات للدوار، لكن يوجد أيضاً قيد الاستخدام نماذج أولية بشفرة واحدة فقط. إضافة لذلك يوجد محطات ذات محور دوار شاقولي.

محطات الطاقة الريحية ذات محور الدوار الأفقي : ❷ ❸

يتوضع محور دوران الدوار في معظم محطات الطاقة الريحية (الشكل ٢ و٣) بشكل أفقي. يوضع المولد وعلبة السرعة والسرعة في مقصورة قابلة للدوران تركب على البرج، حتى يمكن وضع شفرات الدوران بمواجهة الريح بشكل أمثل. تتكون الشفرات على الأغلب من لدائن مسلحة بالألياف، وتُربط مع محور الدوران من خلال سرعة الدوران. حسب توضُّع شفرات الدوار يمكن التمييز بين الدوار المقابل للريح Luvlauefer والدوار في ظل الريح Leelauefer.

في الدوارات التي تعمل في ظل الريح توجد شفرات الدوار على جانب البرج غير المواجه للريح «في ظل البرج «. لا تحتاج مثل هذه المحطات إلى تجهيزات من أجل التوجيه المستمر باتجاه الرياح. لكن المضر فيه هو أن شفرات الدوار تدور في «ظل البرج» حيث يتم تقطع لحظي ولفترات قصيرة في تدفق الريح. أما في الدورات المواجهة للريح الشائعة الاستخدام فتوجد شفرات الدوار في جهة البرج المواجهة للريح، وبذلك يتم تجنب الإجهادات الدورية للشفرات، وذبذبة الاستطاعة التي تنشأ عن الدوران في ظل البرج. غير أن الدورات المواجهة للريح تحتاج في الحقيقية إلى

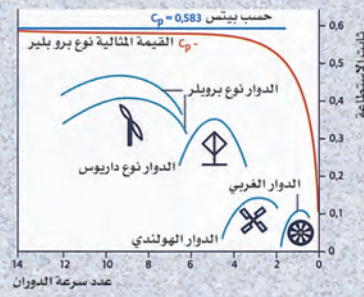
تجهيزات فعالة لمواصلة التوجيه، والتي توجه محور الدوار طبقاً لاتجاه الريح لتجنب ضياع الاستطاعة من خلال التدفق المحتمل للتيارات المائلة. وحتى يمكن ضبط دوران الدوار عند قيمة ثاتة (التحكم بالخطوة Pitch Reglung)، يتم تغيير زاوية هجوم الشفرات كتابع لسرعة الريح. من خلال انقطاع الجريان على الشفرات الناتج عن التصميم (التحكم بالانهيار Reglung – Stall) يمكن الحد من عدد الدورات «سرعة الدوران» في الدورات الصغيرة.

عند سرعات الرياح العالية حوالي ٢٥م/ثا وأكثر، أي شدة الرياح ١٠ يجب فرملة الدوار أو إيقافه وتوجيه الشفرات إلى وضع اللاحمل أو التوقف، وعند الضرورة تحويلها عن جهة الريح.

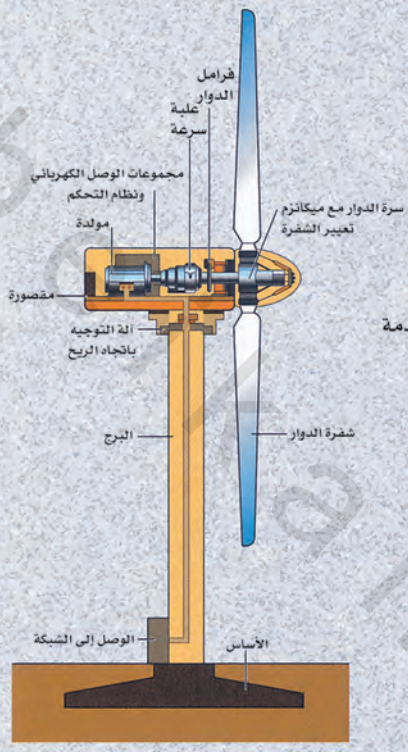
محطات الطاقة الريحية ذات المحور الشاقولي للدوار ❹

تتبع مبادئ أخرى في التصميم الدورات ذات محاور الدوران الشاقولية، مثل دوار داريوس (Rotor – Darrieus) ودوار شافنيوس (Rotor – Savonius). تتألف دورات داريوس (الشكل ٤) على الأغلب من شفرتين أو ثلاث شفرات منحنية مثبتة من الأعلى والأسفل على محور الدوران، وهي مستقلة عن اتجاه الريح، وبذلك تلغى عملية ملاحقة التوجيه. من المساوئ: أنها لا تبدأ بالعمل إلا بعد سرعة الرياح ٦م/ثا أي شدة الرياح ٤. لذلك فإنها غالباً ما تجمع (تركب) مع دوارات سافونيوس السهلة الدوران.

❶ معامل الاستطاعة كتابع لسرعة الدوران والنوع



❷ بنية محطة ريحية ذات محور أفقي

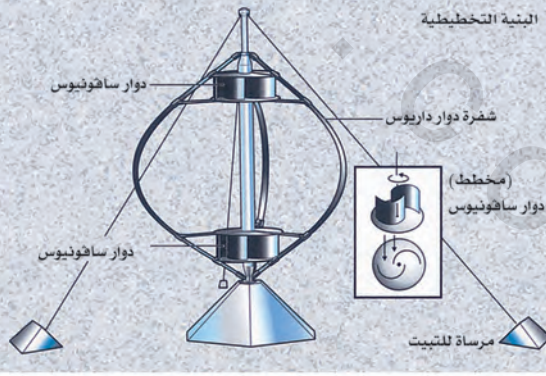


❸ مجموعات توليد طاقة ريحية ثلاثية الشفرات في الخدمة

❹ دوار داريوس ثلاثي الشفرات مع دوارات سافونيوس

ⓑ الاستخدام

ⓐ البنية التخطيطية



محطيات الطاقة الريحية

الأنظمة الشمسية الحرارية

بخلاف الخلايا الشمسية (⟵) التي تصنّع الطاقة الكهربائية من الضوء، تحول الأنظمة الشمسية الحرارية ضوء الشمس الساقط إلى حرارة. يعد توليد الماء الساخن بواسطة المجمعات الشمسية من أشهر الطرق المتبعة، وهو اقتصادي كذلك في بلادنا من حيث خط العرض. مما لا شك فيه أنه ليس لتدفئة الغرف في هذا أهمية كبيرة، لأنه تماماً في أوقات ذروة الحاجة في التدفئة (في الشتاء) تكون كمية الإشعاع الشمسي المتاحة عند حدودها الدنيا. لكن التدفئة بالحرارة الشمسية تعد مجدية لاستخدامين اثنين في مناخنا (ألمانيا). في المنازل ذات الحرارة المتدنية يساعد العزل والتهوية والاستثمار السلبي (الطبيعي) للأشعة الشمسية على تخفيض الحاجة للطاقة الإضافية إلى قدر تشكل منه التدفئة الشمسية قسطاً وافراً (ترتيبات معمارية في خدمة الطاقة الشمسية ⟵). كذلك في التدفئة بدرجات الحرارة المنخفضة فإن درجة حرارة التغذية المنخفضة للأنظمة تتناسب معها، لأنها تسمح بعمل المجمع في درجة منخفضة.

بنية الأنظمة الشمسية ومكان تنصيبها ❶

غالباً ما تتخذ أسطح الأبنية المراد تزويدها كحوامل للمجمعات الشمسية. يدور الماء في المجمعات فيسخن بسبب الطاقة الشمسية الممتصة ويمكن استخدامه بعد ذلك مباشرة لحوض سباحة مثلاً أو بشكل غير مباشر عبر مبادل حراري بانتقال الحرارة من دارة التسخين إلى ماء الاستخدام. وفي الحالة الثانية يجب أن يخلط الماء المجمع بمواد إضافية (كمانع تجمد مثلاً). في حالة تسخين ماء الاستخدام بشكل غير مباشر تزود المنشأة الشمسية الحرارية بخزان، يجب أن تكون ضياعاته الحرارية أقل ما يمكن. بالإضافة إلى ذلك يجب أن يكون الخزان قابل للتسخين التقليدي حتى يتيح الفرصة لتوليد كمية كافية من الماء الساخن (ماء الاستعمال) حتى في أوقات الإشعاع الشمسي المنخفض. تتولد عملية التحكم بالنظام

حساسات مركبة في المجمع. عندما ترتفع درجة حرارة الماء إلى حد كاف في المجمع، يتم ضخ ماء المجمع عبر المبادل الحراري (الشكل ١) حيث يعطي حرارته إلى الخزان الحراري.

المجمعات الشمسية ❷

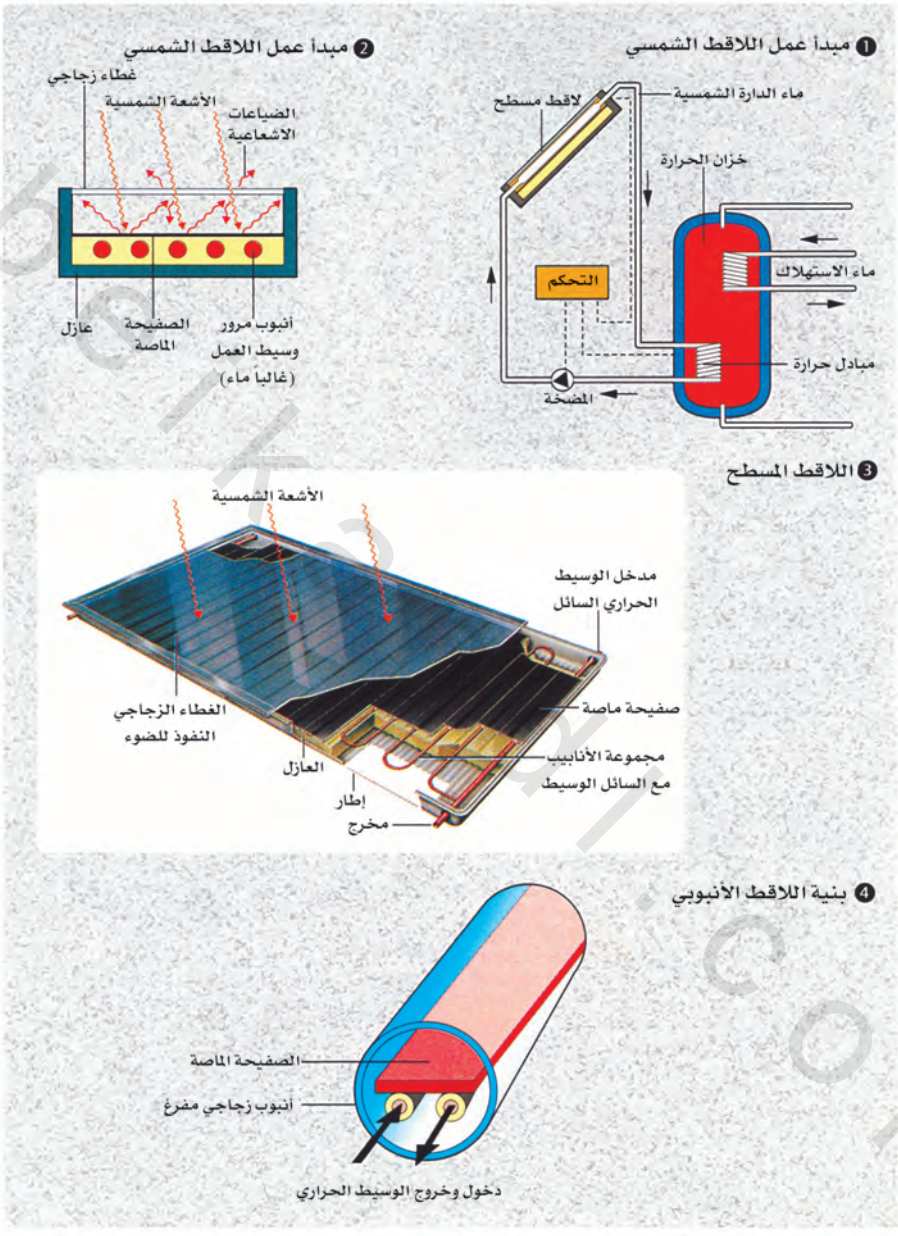
تستطيع المجمعات (اللواقط) التقاط الإشعاع الشمسي ذي الموجة القصيرة (الضوء المباشر والضوء المنتشر) وتحوله إلى حرارة. يمكن استخدام الحرارة المكتسبة لاستعمال المباشر ويمكن بثها كإشعاع حراري طويل الموجة. توجد العمليات في ظروف توازن حراري. مما يترتب عليه بعض التبعات الخاصة بالتركيب العملي. يمكن الحصول على أعلى درجة حرارة ممكنة للصفيحة الماصة عن طريق تغطيتها بألواح زجاجة لخفض الأشعة المنبعثة منها (الشكل ٢). على الألواح الزجاجية أن تكون نفوذة للضوء وغير نفوذة للأشعة الحرارية، علاوة على ذلك يجب على المجمع أن يمتص أكبر كمية من الضوء، ويتم تحقيق ذلك على أفضل نحو في مجال الضوء المرئي بواسطة صفيحة ماصة سوداء وتوضع الأنابيب التي يوجد فيها السائل الناقل للحرارة (غالباً الماء) على الجهة التي لا تقابل الضوء اللاقط.

أنواع المجمِّعات الشمسية ❸ ❹

أبسط الأنواع يتألف من مجموعة ألواح لاقطة سوداء من اللدائن، يدور فيها الماء فيسخن. هذه رخيصة الثمن بلا شك لكنها ليست ذات استطاعة متميزة، وبها يمكن الوصول فقط إلى درجة حرارة منخفضة. فمن أجل تدفئة ماء السباحة في الأحواض المفتوحة تعد هذه الطريقة مجدية. أما درجات الحرارة الأعلى فتحتاج إلى جهود تقنية أعلى. إذ يمكن أن تكون الصفيحة الماصة صفيحة معدنية سوداء تتخللها أو تضطجع عليها الأنابيب الحاملة للوسيط الحراري. تتلقى الصفيحة أشعة الشمس والمنتشرة وتنقل حرارتها إلى الوسيط الحراري الذي ينقلها إلى مكان الاستخدام.

اللواقط المسطحة هي الأكثر انتشاراً، يمكن أن تصل فيها درجة الحرارة من ٤٠م حتى ١٠٠م (الشكل ٣). وتستخدم بشكل أساسي لتزويد الأبنية بالماء الساخن. وتتألف من صندوق مسطح يغطى بلوح زجاجي في الجهة المقابلة للشمس ويحاط من باقي الجهات بمواد عازلة. في الصندوق توجد الصفيحة الماصة والأنابيب مع الماء الذي يدور فيها. لا تكفي اللواقط المسطحة العادية من أجل التدفئة، أما بواسطة اللواقط المسطحة المفرغة فإن ذلك ممكن حيث يفرغ الحيز الموجود بين الصفيحة الماصة والغطاء الأمر الذي يساعد على تجنب الضياعات الحرارية الناتجة عن حركة الهواء بين الصفيحة الماصة والغطاء الزجاجي. تبلغ الحدود العليا لدرجة الحرارة في مثل هذه الأنظمة حوالي ١٥٠م.

يمكن تحقيق الاستطاعات العالية بواسطة اللواقط الأنبوبية (الشكل ٤). هنا يحيط أنبوب مفرغ بالصفيحة الماصة وقنوات الوسيط الحراري. يقلل التفريغ الشديد من المفاقيد الحرارية ويتيح درجاتن حرارة حتى ٢٥٠م. فإن أراد الماء الوصول إلى درجات حرارة أعلى فعليه تركيز الضوء الساقط بواسطة المرايا. على سبيل المثال تؤمن لواقط التركيز الناتجة عملايت حرارية في المجال ١٠٠م – ٣٠٠م للاستخدامات الصناعية.



الأنظمة الشمسية الحرارية

محطات توليد الطاقة بالحرارة الشمسية

تنتج محطات توليد الطاقة بالحرارة الشمسية تياراً كهربائياً كما هو الحال في محطات الطاقة الضوئية (⟵ الجهد الضوئي)، ولكن في حين أن الخلايا الشمسية تنتج الطاقة الكهربائية مباشرة، تسلك محطات توليد الطاقة بالحرارة الشمسية طريق الحرارة والبخار، فهي تركِّز الأشعة الشمسية وتُنتج بواسطة الحرارة المكتسبة بخاراً ساخناً يقوم بتدوير عنفة ومولداً كهربائياً وعلى هذا المنوال تُنتج تياراً كهربائياً.

وتشترك مع المحطات ذات درجات الحرارة المنخفضة (⟵ المحطات الشمسية الحرارية) بنفس خطوة العمل الأولى، وبالتحديد في تحويل طاقة الشمس الملتقط إلى حرارة. لكن بينما تكفي في مجال درجات الحرارة المنخفضة مجمعات بسيطة لتسخين مياه الاستخدام، فإنه يلزم في مجال درجات الحرارة العالية أنظمة امتصاص أكثر كلفة. لتركيز الأشعة الضوئية يلزم تصميمات خاصة. ولذلك توفر الأجهزة الغالية لمواصلة ضبط التوجيه التشغيل الأفضل. بالمقابل تستطيع المجمعات المسطحة البسيطة استغلال تشتت الضوء أيضاً. لهذا يمكن الوصول في المحطات الأكثر كلفة إلى درجات حرارة عالية وتخديم استعمالات «احتياجات» إضافية. فزيادة على إنتاج التيار الكهربائي فإنه من الممكن على سبيل المثال توفير حرارة للعمليات في الصناعة التحويلية الأساسية.

محطات توليد الطاقة بمزارع الخلايا الشمسية : ❶ ❷

تجني «تحصد» المزارع الشمسية طاقة الشمس من على مساحات شاسعة ذات مجمعات ميزابية الشكل (الشكل ١ و٢). تتألف هذه المزارع من قطاعات مرايا طويلة وممتدة ومنحنية على شكل قطع مكافئ وتجمّع أشعة الشمس الملتقطة في محرقها الذي يمر فيه أنبوب على امتدادها. يمكن توجيه ميل المجمعات حسب موقع الشمس. ينساب داخل الأنبوب وسيط حراري «ناقل حراري» زيت خاص مثلاً

ويسخن إلى حوالي ٤٠٠ درجة مئوية. في مبادل حراري يعطي الزيت طاقته الحرارية ويولِّد بخار لتدوير عنفة. يستطيع خزان لوسيط الناقل الحراري أن يتخطى فترات قصيرة لغياب أشعة الشمس. وعوضاً عن تسخين الزيت في المجمعات يمكن استخدام بديل أرخص وهو تبخير الماء. في الثمانينات من القرن العشرين تم بناء محطات توليد طاقة بمجمعات ميزابية في صحراء موجاف Mo-jave في الولايات المتحدة الأمريكية باستطاعة ٣٥٤ ميغا واط.

محطات توليد الطاقة بالبرج الشمسي ❸ ❹

تحتاج محطات توليد الطاقة ذات البرج (الشكل ٣ و٤) أيضاً إلى مساحة كبيرة، كما تتطاول في الارتفاع علاوة على ذلك. يقوم حاسوب بالتحكم بمواصلة توجيه عدد كبير من المرايا المسطحة تقريباً والقابلة للتأرجح (Heliostaten = مجموعة مرايا ذات توجيه آلي تعكس أشعة الشمس إلى نقطة ثابتة) باتجاه الشمس. تعكس جميع المرايا أشعة الشمس على نقطة محرق وحيدة، وفيها يأخذ اللاقط «الماص» المتوضع على قمة برج بارتفاع من ٥٠ وحتى ١٥٠ متر الأشعة الشمسية المحزومة. تملك الأبراج الشمسية مثل تلك الارتفاعات حتى تستطيع جميع المرايا أن تعكس الأشعة إلى هناك من دون أن تحجب بعضها البعض.

في اللاقط الذي ينساب خلاله الوسيط الناقل للحرارة يمكن أيضاً توليد درجات حرارة أكثر من ١٠٠٠ درجة مئوية. يقبع البخار المتولد في المبادل الحراري تحت ضغط عال ويدير عنفة. إن التقنية هنا أكثر تعقيداً منها في محطات توليد الطاقة بمزارع الخلايا الشمسية ذات المجمعات المزرابية، وهذا ما يظهر في السعر «التكاليف «. تعتبر (سولار Solar Tow ٢) في صحراء موجاف في كاليفورنيا حالياً (١٩٩٨) أكبر محطة توليد طاقة بالبرج الشمسي، وتبلغ استطاعتها ١٠ ميغا واط. هناك تم ترتيب ١٩٢٦ مرآة موجهة آلياً على شكل دائري حول البرج ذي الارتفاع ١٠٤ متر الموجود في المنتصف.

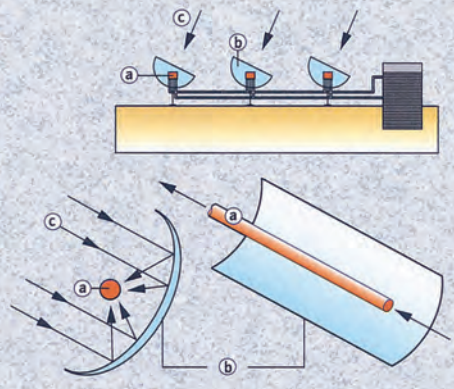
محطات توليد الطاقة بالهواء الصاعد المسخن بالأشعة الشمسية ❺

تعد الشمس أيضاً في محطات الطاقة هذه المورِّد الأول للطاقة. كما هو الحال في البيت الزجاجي تسقط أشعة الشمس على سطح شفاف حيث تسخن الأرضية الموجودة تحته التي تعطي الحرارة فيما بعد. بذلك يسخن الهواء الموجود تحت السقف ويصعد إلى الأعلى. يولد أثر المدخنة لبرج عال قدر الإمكان في منتصف السطح تياراً هوائياً صاعداً قوياً يقوم بتدوير عنفة هوائية موجودة في البرج. تم إظهار إمكانية تنفيذ مثل هذه المحطة في إسبانيا وكان ارتفاع برجها ٢٠٠ متر واستطاعتها ٥٠ كيلو واط. ولمحطات أكبر من أجل توليد الكهرباء فإن ارتفاعات الأبراج بحدود ١٠٠٠ متر قيد المناقشة، أما أماكن الإنشاء المحتملة فهي الصحاري الغنية بالشمس في المناطق العالية.

البرك الشمسية:

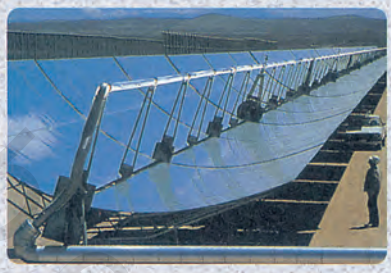
كذلك تسمح البحيرات الملحية في المناطق الحارة بتحويل حرارة الشمس إلى تيار كهربائي. تتدفق المياه الحلوة ذات الكثافة الأقل من كثافة المياه المالحة إلى الطبقة السطحية في البحيرات الملحية، حتى أن المحتوى الملحي يزداد بشكل كبير مع ازدياد العمق. يفضل امتصاص أشعة الشمس في هذه الطبقات العميقة. ولكن المياه المالحة لا تستطيع أن ترتفع إلى السطح بسبب كثافتها العالية. يمكن استخدام هبوط درجة الحرارة بين طبقات الماء بواسطة مضخات حرارية (⟵) لتوليد تيار كهربائي.

❶ تستخدم المجمعات ميزابية لتسخين الزيت

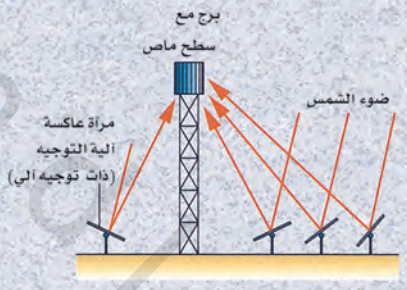


ⓐ خط الزيت ⓑ مرآة على شكل قطع مكافيء ⓒ الأشعة الشمسية

❷ مجمع اهليجي لمحطة طاقة ذات مزرعة شمسية

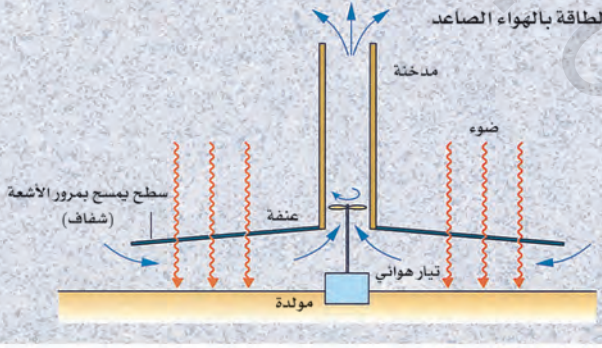


❸ مبدأ محطة توليد الطاقة بالبرج الشمسي



❹ محطة توليد طاقة بالبرج الشمسي
« سولار - واحد » (كاليفورنيا باستطاعة 10 ميغا واط)

❺ محطة توليد الطاقة بالهواء الصاعد



محطات توليد الطاقة بالحرارة الشمسية

المنشآت الكهرشمسية

هي إحدى التقنيات التي تحول طاقة الضوء مباشرة إلى طاقة كهربائية. مع أن المبدأ معروف منذ عام ١٨٣٩. فلم يبدأ استخدام التيار الناتج عن ضوء الشمس بمساعدة الخلايا الشمسية إلا في عصر الرحلات الفضائية. لقد كان ولا يزال سعر الخلايا الشمسية برغم استطاعتها الضئيلة مرتفعاً مما أدى إلى عدم انتشارها حتى الآن. مع ذلك فإن الفكرة مغرية لأن الشمس مصدر لا ينضب، ولا يحتاج تشغيل الخلايا إلى وقود إضافي، كما أنها لطيفة بيئياً لا تصدر ملوثات. بالطبع تنخفض استطاعة الخلايا بانخفاض الإشعاع الشمسي مما يتطلق مساحات كبيرة لتأمين الأحمال الكبيرة. بالإضافة إلى ذلك يتراجع مستوى التوازن البيئي بوضوح إذا أخذت بالحسبان أيضاً كلفة التصنيع وليس فقط كلفة تشغيل الخلايا.

المبدأ الأساسي للخلايا الشمسية ❶ ❷

تستخدم الخلايا الشمية الخاصية الكهرضوئية الداخلية: الضوء الساقط يحرر إلكترونات من حالة الارتباط. ضمن بلورة نصف الناقل لا تغادر الإلكترونات الجسم الصلب وإنما تصبح حرة الحركة ضمن البلورة، مما يرفع من الناقلية الكهربائية. تعرف أنصاف النواقل بأنها مواد ذات ناقلية كهربائية وسيطة بين المعادن والعوازل (في درجة حرارة الغرفة)، لكنها تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة. وبحسب إعطائها أو أخذها للإلكترونات أثناء النقل يمكن التمييز بين نصف ناقل n ونصف ناقل p. يمكن توليد هذا الأداء عن طريق تطعيم نصف الناقل بمادة غريبة، مثل البور أو الفوسفور (العناصر نصف الناقة ⟵). حتى الآن تنتج معظم الخلايا الشمسية من السيليسوم النقي جداً (الشكل ١). وهي تتألف من طبقة ناقل n وطبقة ناقل p وعلى السطح الفاصل بين الطبقتين يتشكل حقل كهربائي. فإذا سقط ضوء على الخلية فإنه يحرر بعض الشحنات المختلفة. ويفصل الحقل الكهربائي بين الشحنات مما يؤدي إلى نشوء توتر على نقطتي التماس مع الخلية. عندما نصل جهازاً بين

هاتين النقطتين يمكن للتيار أن يسري (الشكل ١). تتألف تماسات الوصل من طبقة معدنية على كامل مساحة الوجه الأسفل ومن مجموعة تماسات معدنية خطية على الوجه العلوي كي تسمح لضوء الشمس بالوصول إلى طبقة نصف الناقل. ولتقليل ضياعات الانعكاس يطلى الوجه العلوي بطبقة خفيفة الزرقة مقاومة للانعكاس.

أنواع الخلايا الشمسية:

إن أفضل مردود هو ما تحققه الخلايا الأحادية البلورة Monocristalline Cells في الحقيقية إن إنتاج السيليسيوم الأحادي البلورة مكلف وصعب، وبأقل كلفة منه يمكن إنتاج الخلايا المتعددة البلورات Polycrystalline Cells وهي ذات مردود أقل، يمكن مبدئياً تحويل ٣٠٪ من طاقة ضوء الشمس الواصل إلى كهرباء. لقد حققت خلية مضاعفة خاصة في تجربة مخبرية قيماً أعلى تماماً من ذلك. من أجل الاستخدام العملي تكفي خلايا رخيصة الثمن ذات مردود ثابت أعلى من ١٥٪ على المدى الطويل.

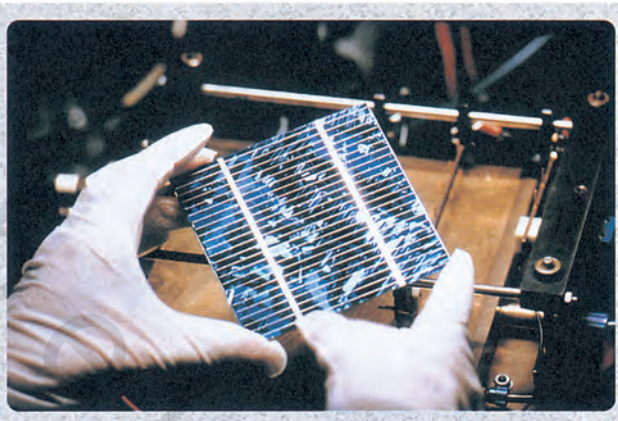
تعقد الآمال الكبيرة على تقنية الشريط الرقيق، إذ يتم الطلاس على مادة حاملة بطبقة رقيقة (عدة ميكرومترات) من السيليسيوم الحر (الجزيئات مرتبة بانتظام دون شبكة بلورية). هذه الخلايا رخيصة جداً لكن مردودها واستقرار أدائها على المدى الطويل ما زالا غير مرضيين. لذلك يتم العمل الآن على أنظمة أخرى من المعادن، مثل غاليوم - زرنيخ (GaAs) أو نحاس - إنديوم - ديسيلناید (CIS).

تعطي الخلية الشمسية المفردة النصف ناقلة توتراً يبلغ من ٠,٥ إلى ما يزيد من ١ فولت قليلاً. ما زال هذا غير كافٍ للتطبيقات التقنية لذلك توصل عدة خلايا على التسلسل، حيث نحصل على التوتر إلى الإجمالي من مجموع التوترات. تبلغ مساحة الوحدة المجمعة ٠,٥ متراً على الأغلب وتقدم من ٦ إلى ٣٠ فولت كتوتر مستمر وتبلغ استطاعتها من ٥ إلى ١٥٠ واط. يمكن تحقيق استطاعات عالية بتوصيل عدة وحدات إلى بعضها البعض.

الاستخدام ❸

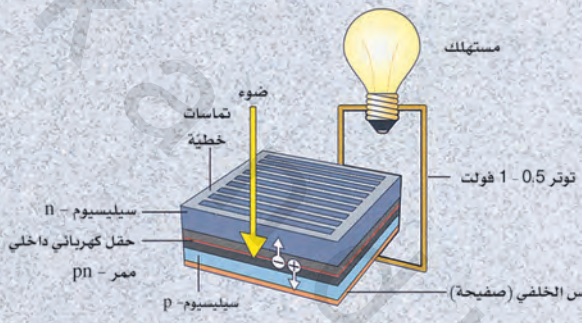
ينحصر الاستخدام العملي حتى الآن في تطبيقات خاصة مثل الأجهزة الأوتوماتيكية لبطاقات الاصطفاف أو حاسبات الجيب. كما يمكن في المناطق النائية البعيدة عن الشبكة الكهربائية توليد التيار الكهربائي من الطاقة الشمسية حالياً بثمن يعادل ١,٥ مارك تقريباً للكيلو الواط الساعي وهي قيمة يمكن أن تنافس اليوم سعر الكيلو واط الساعي المنتج في محطات الديزل. يمكن لمنشأة كهرشمسية (الشكل ٣) أن تعمل لمدة ثلاثين عاماً أو أكثر في الحالة المثالية دون صيانة تذكر. من أجل تأمين تزويد الكهرباء ليلاً تحتاج المنشآت الكهرشمسية أيضاً إلى عنصر هام هو خزان الطاقة. ويجب على المدخرات أن تلبي متطلبات عالية، حتى الآن لا يوجد بديل اقتصادي عملي لتخزين الطاقة قادرة على تعويض تفاوت الطاقة على مدار العام.

obeikandl.com



❶ قرص من السيليسيوم
للتقنية الشمسية

❷ بنية ومبدأ عمل خلية شمسية من السيليسيوم الأحادي البلورة



❸ منشأة كهرشمسية على بحيرة >> نويروتير<<
باستطاعة 360 كيلو وات

تقنية الهيدروجين

إن للهيدروجين فوائد كثيرة كحامل للطاقة لذلك يمكن اعتباره الوريث الأول لحوامل الطاقة الأحفورية في اقتصاد الطاقة المستقبلي. وأهم ما يتصف به: أنه لا ينضب عملياً، وأنه لدى تحوله إلى كهرباء أو حرارة لا يصدر سوى بخار الماء تقريباً، كما أن مكونات تقنية الهيدروجين متوفرة من حيث المبدأ. لكن في مقابل ذلك فإن عملية الحصول على الهيدروجين مكلفة، وهو لطيف بالبيئة بحسب طريقة الحصول عليه. لذلك يفضل المرء في هذا المجال الطاقات المتجددة إذ يمكن للهيدروجين أن يقوم بدور وسيط التخزين لطاقة الرياح والطاقة المائية والطاقة الحيوية والشمسية. يمكن على سبيل المثال الحصول عليه في الدول الغنية بالإشعاع الشمسي ثم إرساله إلى المستهلكين عبر خطوط الأنابيب أو على شكل سائل سفن الخزانات. إن كلفة الحصول عليه ونقله تخفف من أهميته، واقتصادياً يتم اليوم إنتاج الهيدروجين فقط بطاقة الماء.

إذا أراد المرء تخزين الهيدروجين كغاز وإنتاج الكهرباء في خلايا الوقود، فلإنتاج ١ كيلو واط ساعي كهرباء يلزم صرف ما مجموعه ٢ كيلو واط ساعي طاقة. كما أن الهيدروجين كغاز ناقل طاقة سيء بالقياس لواحدة الحكم، إن كثافة الطاقة المنسوبة إلى واحدة الوزن أفضل كثيراً في حالة الهيدروجين السائل، لكن تمييعه مكلف جداً.

إنتاج الهيدروجين:

يمكن الحصول على الهيدروجين من تحليل الماء في المحللة. يتم ذلك بوضع قطبي التيار المستمر في محلول مائي قلوي (الشكل رقم ١). يوجد حاجز بين القطبين يفصل حجرة التفاعل إلى قسمين لمنع حدوث مزج للغازين الناتجين الهيدروجين والأكسجين. يتميز الحاجز بأنه يسمح لجذر الماءات OH بالعبور باتجاه واحد فقط. أما محللة البخار ذي درجة الحرارة العالية فتستهلك طاقة كهربائية

أقل وفيها يستخدم البخار بدلاً من الماء. وسيط التحليل هنا هو سيرامك ناقل للشوارد الأوكسجين حيث يرد بخار الماء على جهة المهبط الذي يظهر عنده الهيدروجين من خلال استقبال الإلكترونات بينما تنتقل شوارد الأوكسجين عبر السيرامك إلى المصعد ومن ثم يتم إرجاعها إلى أكسجين.

في طريقة المحللة الغشائية يعمل غشاء التبادل الشاردي الناقل للبروتونات عمل وسيط تحليل صلب وفي هذه الطريقة يزود الماء إلى جهة المصعد.

كذلك فإن المواد الأخرى المحتوية على الهيدروجين تصلح كمواد أولية، مثل الميثان أو الفحم أو النفط أو الغاز الطبيعي. في عمليات التحفيز الحراري يتم الحصول على الهيدروجين من هيدرات الفحم، كذلك في عمليات تحطيم الروابط الكيميائية حرارياً Pyrolyse verfahren باستخدام حراقات البلازما. في هذه المواد الأولية قابلة للنضوب بالطبع، كما أنه غالباً يستخدم الوقود الأحفوري في عملية الحرق.

على العكس من ذلك فإن إنتاج الهيدروجين بالطريقة الضوئية - الحيوية غير قابل للنضوب وهنا طريقتان واعدتان: بالتحليل الضوئي hotolytisch P يمكن الحصول على الهيدروجين باستخدام التركيب الضوئي، لأن كثيراً من النباتات والطحالب والجراثيم تحلل الماء بواسطة ضوء الشمس إلى هيدروجين وأكسجين (الشكل ٢). تعتمد الطريقة الثانية أن كثيراً من المعتضيات تفكك الكتلة الحيوية منتجة الهيدروجين.

التخزين والنقل:

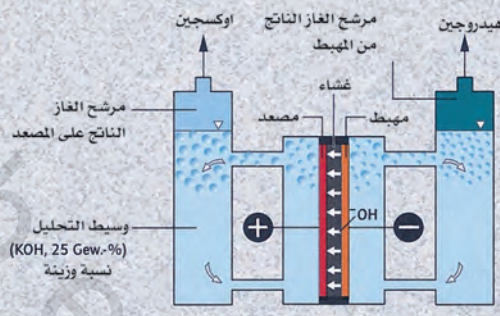
يمكن تخزين الهيدروجين كغاز بكلفة أقل من تخزينه في الحالة السائلة وهذه الطرائق معروفة من حيث المبدأ في الغاز الطبيعي. عملياً يحفظ الهيدروجين في قارورات غاز مضغوط وفي خزانات ضغط. كذلك يمكن تخزينه ضمن أجواف متنوعة. من أجل رفع كثافة الطاقة يلجأ إلى تخزين الهيدروجين السائل ولكن تمييعه يتطلب تبريده حتى (٢٣٥°م) مما يكلف طاقة كبيرة. من الأساليب الأخرى:

التخزين والنقل في حالة الارتباط، ويمكن ذلك مثلاً بواسطة الامتزاز Adsorption وهو عبارة عن ارتباط فيزيائي للهيدروجين الغازي على السطح الخارجي للفحم النشيط على سبيل المثال. ومن الأساليب أيضاً امتصاصه في الهيدريدات المعدنية التي يرتبط فيها الهيدروجين الذري مع المعادن كيميائياً.

استخدام الهيدروجين ❸

يمكن استخدام الهيدروجين كحامل للطاقة في كل مجالات الطاقة: فهو يصلح لإنتاج الكهرباء، كما يمكن استخدامه وقوداً للسيارات وللطائرات أيضاً (الشكل ٣). لإنتاج الحرارة تظهر أهمية الحراقات التحفيزية لأنها تسهم في تخفيض الانبعاثات. يتفاعل غاز الاحتراق مع أكسجين الهواء على السطح الخارجي لثنايا هيكل معدني مسامي محفِّز ويمكن أن تظهر أكاسيد الآزوت إلى جانب بخار الماء، التي تظهر بتركيز خفيف بالقياس إلى حراقات اللهب بسبب درجات حرارة الاحتراق المنخفضة. في إنتاج الكهرباء وفي أجهزة الدفع (المحركات) تبشِّر خلايا الوقود بآفاق جديدة (الدفع خلايا الوقود ⟵).

❶ خلية تحليل ماء قلوية



التفاعل على المهبط

$$2\,H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2\,OH^-$$

التفاعل على المصعد

$$2\,OH^- \longrightarrow \tfrac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^-$$

التفاعلي الاجمالي

$$H_2O \longrightarrow \tfrac{1}{2}O_2 + H_2$$

H: الهيدروجين
O: الاوكسجين
OH^-: شوارد الماءات

❷ إنتاج الهيدروجين بالأسلوب الضوئي الحيوي بواسطة جراثيم الأرجوان والطحالب الدقيقة

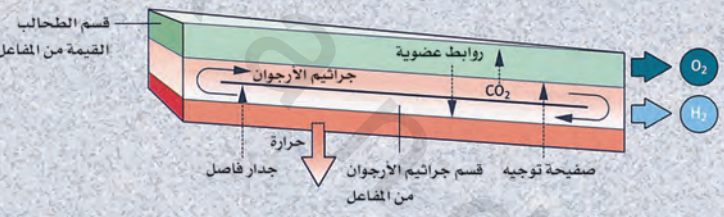
التفاعلات

$$O_2 + \text{روابط عضوية Org.} \longleftarrow \text{ضوء + ماء} \quad CO_2 \text{ الطحالب}$$

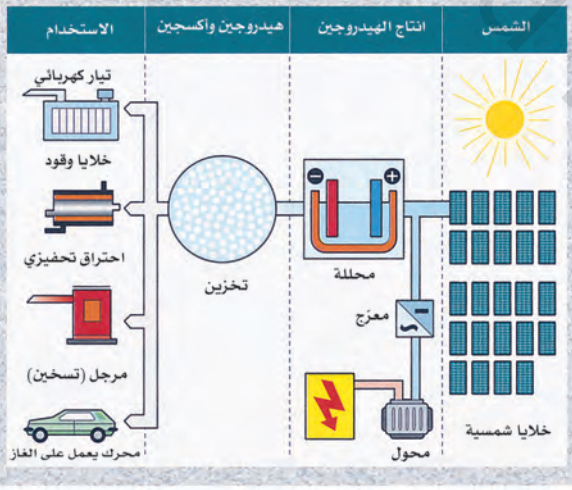
$$H_2 + CO_2 \longleftarrow \text{ضوء + روابط عضوية Org.} \quad \text{الجراثيم}$$

$$H_2 + O_2 \longleftarrow (\text{ضوء + ماء}) \quad \text{المجموع}$$

الهيدروجين = H_2 الأوكسجين = O_2 ثنائي أكسيد الفحم CO_2



❸ إنتاج الهيدروجين واحتمالات استخدامه حامل للطاقة



تقنية الهيدروجين

محطات توليد الطاقة بحرارة باطن الأرض

تعد الأرض خزان كبير للحرارة، تفوق طاقته الحرارية بنسب كبيرة المحتوى الحراري لكافة مواقع تخزين الطاقة العضوية. تظهر القياسات حتى عمق حوالي ١٠٠٠ متر أنه في قشرة الأرض الخارجية تزداد درجة الحرارة كل ١٠٠٠ متر حوالي ٣٠ درجة مئوية. تنتج قيم الأعماق الأكبر عن طريق حسابات النمذجة. في نواة الأرض ربما تقع درجة الحرارة عند بضعة آلاف الدرجات. لكن هذه السخونة العالية تغذي الحرارة في قشرة الأرض فقط بجزء صغير، ويأتي القسم الأكبر (حوالي ٧٠٪) من التحول الإشعاعي لليورانيوم والليثيوم المحتوى في صخور القشرة الأرضية.

تعد حرارة الأرض كطاقة متجددة، وهي من بين تلك الطاقات المتجددة الوحيدة المستقلة عن الشمس. في الحقيقة تقع كامل كمية الحرارة فقط في مجال أجزاء الألف ما تمتصه الأرض من طاقة الشمس المشعّة، ومع ذلك فإن الاستطاعات التي يمكن الحصول عليها مهمة في استثمار الطاقة.

الاستغلال الطبيعي لحرارة باطن الأرض:

تسود في مناطق الأرض النشطة جيولجياً وبركانياً ظروف ملائمة لتيارات حرارية نشيطة يبين ذلك مثلاً فعالية الينابيع الساخنة الدفاقة. يعود سببها إلى أن المياه الجوفية تتغلغل من خلال الشقوق والجيوب في أعماق القشرة الأرضية، وتسخّن بشدة على عمق بضعة آلاف الأمتار عن طريق الحمم الملتهبة. تصعد بعد ذلك تحت تأثير الضغط إلى الأعلى وتظهر على الصدوع والفتحات في سطح الأرض على شكل ينابيع مياه ساخنة أو ينابيع بخار. يمكن أن يصل البخار الساخن عن ضغوط بين ٨ و ١٠ بار إلى درجة حرارة ٢٥٠ درجة مئوية. في ينابيع المياه الساخنة يقع الضغط بين ١ و١٠ بار وتصل درجة الحرارة من ٨٠ حتى ١٥٠ درجة مئوية. جرى استثمار مخزون حرارة الأرض في العديد من المواقع المناسبة في العالم للحصول من ذلك على تيار كهربائي أو حرارة للتدفئة والعمل.

الحصول على حرارة الأرض صناعياً:

حيث لايتدفق الماء الساخن والبخار الساخن من تلقاء نفسه، يوجد العديد من الطرق التنية للاستثمار. من الطرق التي تستغل حرارة الأرض من جوفها تعد الطرق التالية:

- طاقة باطن الأرض الهيدروحرارية Hydrothermal Geothermie.
- محطات توليد الطاقة بحرارة باطن الأرض Geothemische Kraftwerke.
- طريقة الصخر الجاف الساخن: Rock - Dry - Hot.

يمكن استثمار حرارة الأرض القريبة من سطحها عن طريق المضخات الحرارية (⟵) ومسابير حرارة الأرض. لذلك توضع أنابيب معوجة على شكل حرف U في آبار (بعمق مئات الأمتار) ويمرر من خلالها الماء. يأخذ الماء البارد أثناء جريانه عبر الأنابيب حرارة الأرض.

طاقة باطن الأرض الهيدروحرارية ❶

تتوفر مياه جوفية ساخنة في مواقع مناسبة على عمق بعض مئات الأمتار الذي قد يصل إلى أعمق من ٢٠٠٠ متر. جيولوجياً يتعلق الأمر بأحواض تخزين بحار عصور ما قبل التاريخ. يوجد أيضاً في بعض المناطق البركانية تكوينات تنبه إلى استثمار حرارة الأرض. لذلك يتم حفر بئرين عمودين عميقين جداً حتى الطبقة الحاملة للماء Aquifer بئر استخراج أو سحب، وبئر حقن أو إعادة يبعدان عن بعضهما حوالي ٢٠٠٠ متر. ترفع مضخة غاطسة الماء الساخن إلى الأعلى، وعن طريق مبادل حراري يتم نقل الطاقة الحرارية إلى دارة مياه ساخنة (الشكل ١). حسب درجة حرارة الماء يمكن عند الحاجة إضافة مضخة حرارية. يعاد جر الماء عبر بئر الحقن إلى باطن الأرض من جديد.

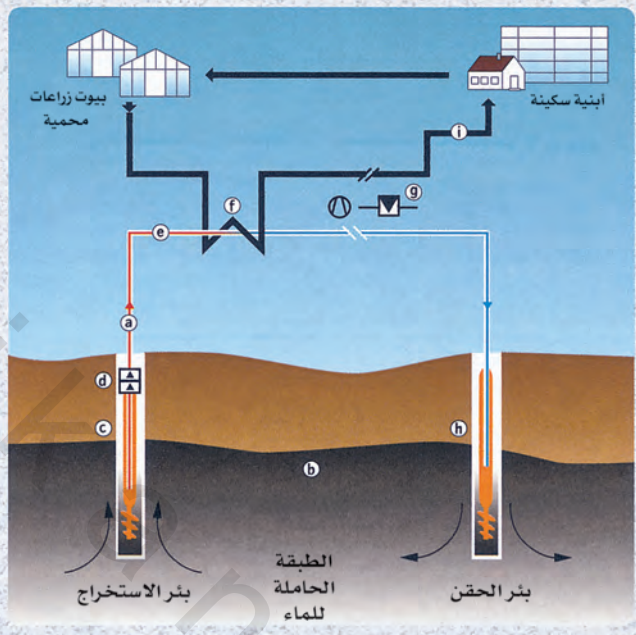
محطات توليد الطاقة بحرارة باطن الأرض:

تولد العنفات البخارية والمولدات في محطات توليد الطاقة بحرارة باطن الأرض التيار الكهربائي. عند العمل على مبدأ البخار المحمص يتم وصل البخار الساخن جداً من مخزون الأرض مباشرة على شفرات «مغارف» العنفة. وعند العمل حسب طريقة الصعق (Flach) يتم توريد الماء الساخن جداً من الينابيع الساخنة إلى مايسمى مرجل الصعق Flashkessel الموجود تحت ضغط منخفض، حيث يتولد البخار الذي يدير العنفة إثر ذلك لكلتا الطريقتين صفة سيئة وهي احتمال أن تؤدي الشوائب إلى التآكل. لتجنب ذلك يتم في الطريقة المزدوجة تسخين وسيط عمل ذي درجة غليان منخفضة ضمن دارة ثانية عن طريق مبادل حراري وهكذا يتم إنتاج بخار للعنفة.

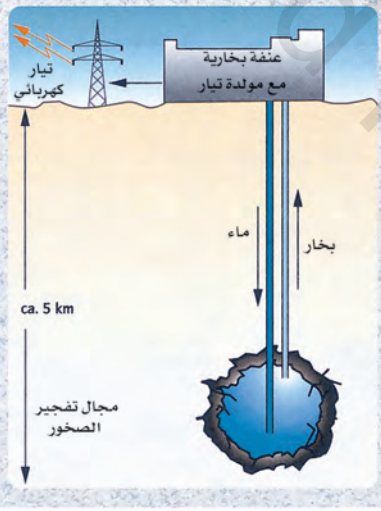
طريقة الصخر الجاف الساخن ❷

أكثر صعوبة تبدو طريقة الصخر الجاف الساخن، حيث يعمل في صخر جاف ساخن بدرجة حرارة حوالي ٢٠٠ درجة مئوية على عمق بضعة كيلومترات كمبادل حراري طبيعي (الشكل ٢). للحصول على سطح كبير لتبادل الحرارة يُضغط ضمن الصخور الماء الموجود تحت ضغط عال (حوالي ٢٠٠ بار) فيشققها ويفتتها. أثناء فترة التشغيل تتم مواصلة ضغط الماء الواقع تحت الضغط إلى داخل الصخور، حيث يتبخر بواسطة حرارة الأرض. يصعد البخار إلى الأعلى، وهناك يجري استغلاله لتدوير العنفة. لكن لم يتضح إلى الآن بشكل نهائي كم من الزمن يمكن أن تبقى هذه الجيوب مفتوحة، وكم هي مجدية.

❶ مبدأ عمل نظام التدفئة المركزية المعتمد على طاقة باطن الأرض



❷ مبدأ طريقة الصخر الجاف الساخن



محطات توليد الطاقة بحرارة باطن الأرض

الطاقة من الكتلة الحيوية

لا يستعمل مصطلح الكتلة دائماً بشكل موحد. يفهم تحت ذلك سلسلة مواد مختلفة ذات منشأ بيولوجي، مقصورة غالباً على العالم النباتي، وعليه تكون الكتلة الحيوية مادة خام متزايدة يمكن استخدام مخزونها من الطاقة بصورة متعددة. وبنظرة دقيقة عن كثب يتضح أن الأمر يتعلق في الكتلة الحيوية بالطاقة الشمسية المخزنة التي تحولت أثناء نمو النباتات إلى مادة خلوية.

ولكن في الحياة العملية يطلق مفهوم الكتلة الحيوية أيضاً على النفايات العضوية التي تنشأ عن معالجة وتشغيل المواد النباتية، مثل التبن والقش وبقايا الأخشاب في الاقتصاد الزراعي والحراجي. كما تعد صناعة المواد الغذائية مصدراً مهماً آخر، وأيضاً تحتوي القمامة المنزلية والفضلات الحيوانية والبشرية على كتلة حيوية.

تقدم هندسة العمليات إمكانية مختلفة للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية، حيث إن أبسط وأقدم طريقة هي تجفيف الاكتلة الحيوية وحرقها. ولكن يمكن قبل ذلك أيضاً تحويلها إلى غاز أو تخميرها.

التحويل إلى غاز ❶ ❷ ❸

يفهم تحت التحويل إلى غاز تحويل مادة صلبة أو سائلة إلى غازات قابلة للاحتراق. عند تحويل الكتلة الحيوية إلى غاز (الشكل ١) ينشأ عن الكتلة المتفتتة تحت إضافة الهواء مزيج غازي يحتوي على ٤٧٪ آزوت، وأكثر من ١٨٪ هيدروجين، و١٠٪ ثاني أكسيد الكربون (الشكل ٢). يسمح في هذه العملية أن تكون المادة العضوية أكثر رطوبة منها عند الحرق.

تعمل معظم أنظمة التحويل إلى غاز وفق مبدأ التيار الموافق، أو وفق مبدأ التيار المعاكس (الشكل ٣). في الأول يتدفق الغاز المتشكل عن الاحتراق من دون لهب باتجاه الوقود، وفي الثاني عكس ذلك. يتم تزويد نوعي المحطتين كليهما بالكتلة الحيوية من الأعلى. تمر الكتلة الحيوية بالتسلسل عبر منطقة التجفيف، فمنطقة

الاحتراق من دون لهب «التدخين «، ثم عبر التفحيم، يحترق فحم الخشب المتشكل أثناء ذلك مع الهواء المنفوخ إلى الداخل في منطقة الأكسدة جزئياً إلى ثاني أكسيد الكربون. حسب الطريقة المستخدمة يمكن الوصول بذلك إلى درجات حرارة أكثر من ١٠٠٠ درجة مئوية. يتحد هباب الفحم المتطاير مع أكسجين الهواء في منطقة الإرجاع مشكلاً أول أكسيد الكربون القابل للاحتراق.

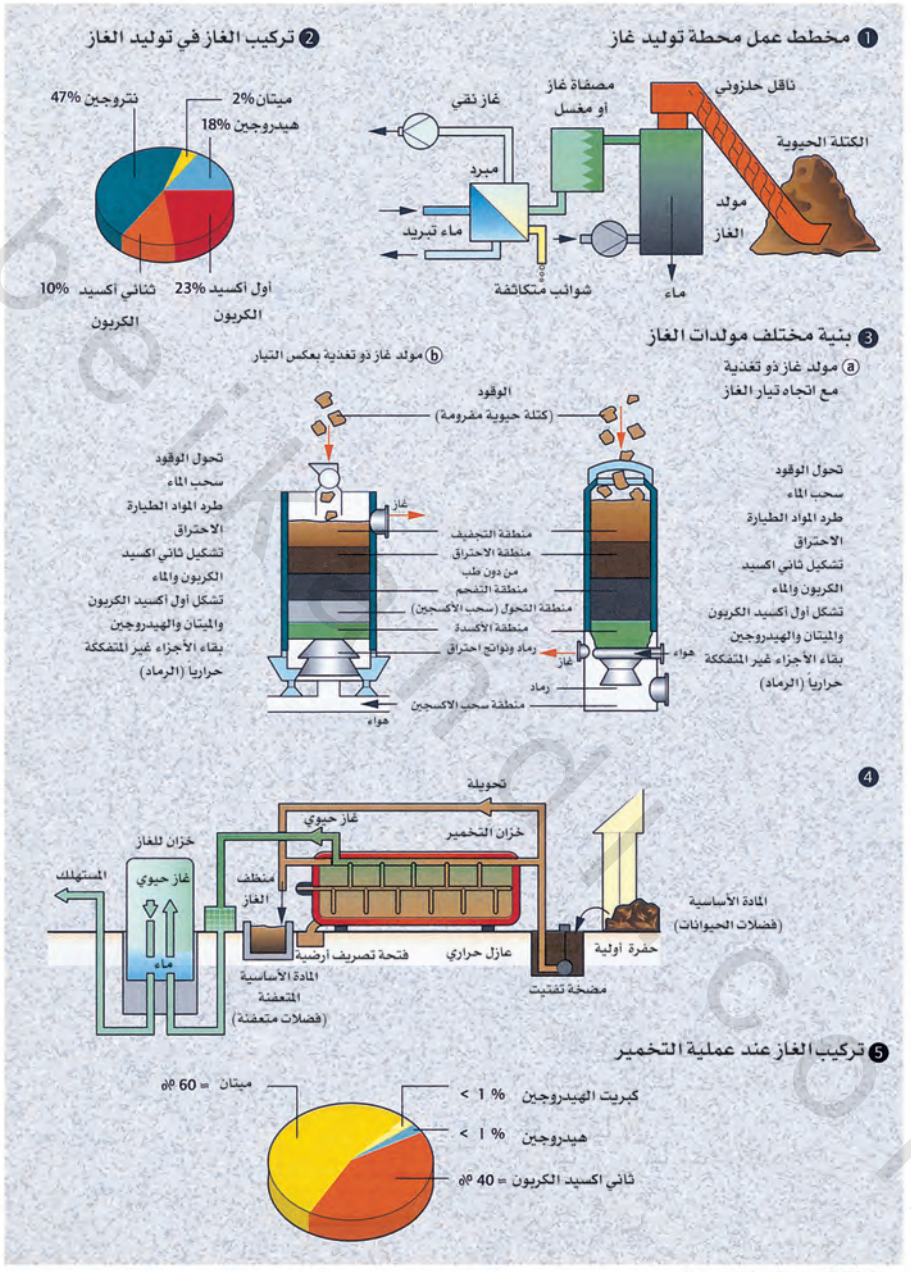
بينما يمكن في أحسن الأحوال في طريقة التيار الموافق تحويل ٦٥٪ من الكتلة الحيوية إلى غاز، تصل نتيجة الغاز في الطريقة المعاكس إلى ٧٥٪. غير أنه تنشأ في هذه الطريقة مواد ضارة أكثر، لأن الغازات المتشكلة عن الاحتراق دون لهب لم تعد تمر على منطقة ساخنة، حيث يتم تحطيم المواد الضارة. يجب غسل هذه المواد الضارة ومن ثم معالجة مياه الغسيل على انفراد. هذا ملغي في طريقة التيار الموافق. هنا تمر الغازات المتشكلة عن الاحتراق من دون لهب عبر منطقة الأكسدة، وبذلك ينشأ عن المواد الضارة مثل الفينولين والقطران كذلك غازات قابلة للاحتراق. من الممكن الجمع بين محاسن كلتي الطريقتين. وبهذا يمكن الوصول إلى معدلات تحويل ٨٥٪.

التخمير ❹ ❺

على العكس من عمية التحويل ينشأ عن تخمير الكتلة الحيوية بمعزل عن الهواء غاز حيوي. تحوِّل البكتيريا في وعاء التخمير المكونات العضوية للفضلات الحيوانية إلى غاز حيوي. تسير العملية بشكل أسرع كلما كانت المخلفات أكثر حرارة. عادة تعيَّر درجة الحرارة عند ٣٠ إلى ٣٥ درجة مئوية، حيث قد تمتد فترة التخمر من ٢٥ إلى ٣٠ يوم. تمزج المواد بخلاط، وبذلك تؤمن نفس درجة الحرارة في كل مكان من وعاء التخمير. في الحقيقة تمنع عملية الخلط طفو المواد الخفيفة الموجودة، وبالتالي عدم تشكل طبقات في المخلفات. يحتوي الغاز المتشكل على حوالي ٦٠٪ ميتان، وتقريباً ٤٠٪ غاز ثاني أكسيد الكربون. عدا عن ذلك توجد آثار للهيدروجين

وكبريت الهيدروجين (الشكل ٥). بعد التنقية يمكن تغذية الغاز إلى شبكة الغاز واستهلاكه مثلاً في مواقد الغاز، أو للتدفئة أو لتحضير المياه الساخنة. إذ تم توريد الغاز إلى محرك غازي فيمكن عن طريق مولد أيضاً توليد تيار كهربائي. تسفر الفضلات المتخمرة نهائياً عن سماد. من حيث الطاقة يماثل ١م٣ غاز حيوي حوالي ٠,٦ لتر زيت وقود «كيروسين».

للتخمير يفضل بالدرجة الأولى مزيج الفضلات الحيوانية كما تنتج عن تربية الحيوانات. حسب حجم الوحدة الحيوانية، مثلاً يمكن الحصول من فضلات بقرة حية وزنها ٥٠٠ كغ بالنتيجة على ١,٥ م٣ غاز كل يوم كحد أقصى. لهذا فإن محطات الغاز الحيوي مهمة في التجمعات الزراعية. يمكن أن تخدم هذه المحطات عزبة واحدة، أو عدة تجمعات ريفية عن طريق شبكة مشتركة يتم تغذيتها من عدة أنظمة تخمير. كما يمكن بناء محطات مركزية، حيث تنقل الفضلات الحيوانية إلى أنظمة التخمير ذات الاستهلاك الكبير. تتطلب اقتصادية المشروع وجود احتياج غاز منتظم قدر الإمكان على مدار السنة. تشكل غازات مقالب «مطامر» القمامة أحد أشكال الغاز الحيوي، الذي ينشأ عن تخوير القمامة. يتشكل الغاز بمعزل عن الهواء في مطامر القمامة ويمكن اصطياده في آبار الغاز. في العقد الأول من تشغيل مطامر القمامة يعطي الطن الواحد من القمامة المنزلية وسطياً ١٠م٣ غاز. يمكن تحويل الغاز على المطمر مباشرة إلى تيار كهربائي، أو توصيله إلى محركات غازية لتوليد التيار والحرارة لكبار المستهلكين، كما يمكن أيضاً تغذيته مباشرة إلى شبكة الغاز الطبيعي.



الطاقة من الكتلة الحيوية

محطات توليد الطاقة بالكتلة الحيوية

يعد الاستغلال الحراري (الحرق) للكتلة الحيوية أقدم شكل أدركه الإنسان لتوليد الطاقة. منذ عدة سنوات تتمتع عملية توليد الطاقة من الكتلة الحيوية مجدداً باهتمام بالغ، لأن الكتلة الحيوية مادة خام متزايدة، وحرقها محايد بالنسبة للمناخ. في الحقيقة تطلق عملية حرق الخشب مثلاً غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، ولكنه يبني ثانية في الكتلة الحيوية أثناء نمو الخشب الجديد. يبلغ تواتر هذه الدورة المغلقة لغاز CO_2 في الأعشاب سنة واحدة، وفي الأشجار سريعة النمو بين ٢٥ و٣٠ سنة.

وقود الكتلة الحيوية:

ما يناسب للحرق من الكتلة الحيوية مثل القش ونفايات الأخشاب الناتجة من تصنيع المنتجات الزراعية والحراجية. يمكن أن تكون البقية الأخرى من أجزاء النباتات مهمة فيما لو توفرت بكميات كافية عند تصنيع المنتجات الزراعية. فقد تستخدم نفايات قصب السكر في مناطق زراعته كوقود. ويحتمل أيضاً استخدام النباتات المزروعة بقصد الحرق، مثل الحلفاء الصيني، وعشب الفيل، وكذلك أشجار الحور والصفصاف.

كان من الممكن أن تغطي المواد المتبقية لوحدها في ألمانيا ما بين ٣ إلى ٥٪ من احتياج الطاقة الأساسي، إلا أنه وحتى الآن لم تصل إلى ١٪. لا تكون الدوافع على الاغلب الاستفادة من الطاقة، بل على الأغلب كثيراً ما يتعلق الأمر في التخلص من النفايات المزعجة (في صناعة الأخشاب مثلاً). تأخذ النمسا الحصة الكبرى في أوربا، حيث ينشأ حوالي ١٢٪ من استهلاك الطاقة الأساسي عن الكتلة الحيوية وبالدرجة الأولى عن الخشب.

بالرغم من المحاسن فإن للاستفادة م الكتلة الحيوية حدوداً:

أولاً: ضرورة الاستخدام الكثير للأسمدة والوقود في مجال زراعة النباتات المزروعة بقصد الحرق.

ثانياً: فإن القيمة الحرارية للكتلة الحيوية أقل منها للفحم الحجري. زيادة على ذلك فإنه بسبب نسبة الكثافة القليلة لا بد من التغلب على المصاعب في نقل الكميات الكبيرة، وهذا يمنع النقل من مسافات بعيدة، فإذا حددت نسبة الفائدة إلى تكاليف النقل فإن نصف القطر ٣ كم حول موقع المحطة لا يزال مقبولاً للنقل، حيث يتم جمع الوقود ونقله إلى محطة توليد الطاقة.

تقنيات الحرق:

من حيث المبدأ تناسب الكتلة الحيوية أنظمة الاحتراق تلك، التي أعدت لحرق الوقود الصلب (← مجموعات الحرق). ولأن تحضير الوقود الضروري مكلف جداً فإن الاستطاعة الحرارية بين ٥٠ و١٠٠ ميغا واط هي الحد الأعظمي للمحطات التي توقد بكتلة حيوية فقط.

تؤمن محطات درجة الاستطاعة هذه (غالباً مركبة لتوليد الطاقة والحرارة) الحرارة وبخار العمليات الصناعية والتيار الكهربائي. في مجال الاستطاعة من ١ وحتى ١٠ ميغا واط يستحسن الحرق بالطبقات الإعصارية. كما ويمكن حرق غبار الخشب (نشارة الخشب)، وقد يكون من المفيد الجمع بين مختلف التقنيات لأنواع محددة من الكتلة الحيوية.

من الشائع استخدام طريقة الحرق في مجاري أو ممرات في المحطات ذات الاستطاعة المنخفضة (٢٠-٢٥ كيلو واط)، وطريقة الحرق بالإمداد من الأسفل في مجال الاستطاعات المتوسطة (٢٠ كيلو واط - ٣٢ ميغا واط). بينما يكون في الطريقة الأولى إمداد «إيقاد» قطع الخشب والخشب المفروم والنجارة يدوياً بشكل خاص، يتم في الطريقة الثانية، حرق قصاصات الخشب والنجارة وبشكل شرطي غبار الخشب «النشارة» بشكل آلي كامل تقريباً. وهنا يزوَّد حوض غرفة الاحتراق

بالكتلة الحيوية باستمرار من العنبر «السيلو» بواسطة ناقل حلزوني. أثناء عملية النقل يتم تخليص الكتلة الحيوية من الهواء الأولي «نتيجة ضغط الناقل الحلزوني «. لاحقاً تتصاعد الغازات المتفككة حرارياً تحت تأثير طبقة الجمر وتشتعل ثم تحترق بالكامل في غرفة الاحتراق. تسمح عملية توريد الوقود والهواء على شكل حقن أو كميات قابلة للمعايرة بالمحافظة على نفث قليل من المواد الضارة.

استخدام الكتلة الحيوية في محطات الطاقة التقليدية ❶ ❷ ❸

تقع الاستطاعة النموذجية لمحطة الطاقة العاملة على حرق الكتلة العضوية البحتة بين ١ و١٠ ميغا واط، وذلك بسبب الصعوبات اللوجستية (عمليات النقل والمناولة والتخزين وما يلزمها من تنظيم) في تأمين الوقود. تعتبر هذه المحطات بحق صعبة بالمقارنة مع المحطات العاملة على الوقود التقليدي، ولكنها مناسبة جداً لإمداد المشاريع اللامركزية كالقرى مثلاً. لكن في مثل هذه المشاريع يجب مكافحة سلسلة من المساوئ. فعلى سبيل المثال يسبب القشر المعد للحرق مشاكل في التخزين، لأن كامل الكمية تقع في فصل الخريف. لذلك يكون استخدام الكتلة الحيوية كوقود إضافي في محطات توليد الطاقة المتوفرة والعاملة على الفحم غالباً أكثر ملائمة (الشكل ١، ٢) تغطي الحاجة الأساسية بالفحم وحسب الحاجة يمكن الإيقاد بالكتلة الحيوية. بشكل مبدئي يعد هذا الأمر ممكناً، لكن الدراسات لا تزال مستمرة لتحديد المؤشرات المثلى للعمل. وهنا أيضاً لا بد من توفير المستودعات الخاصة ومحطات معالجة وتشغيل الخشب (الشكل ٣).

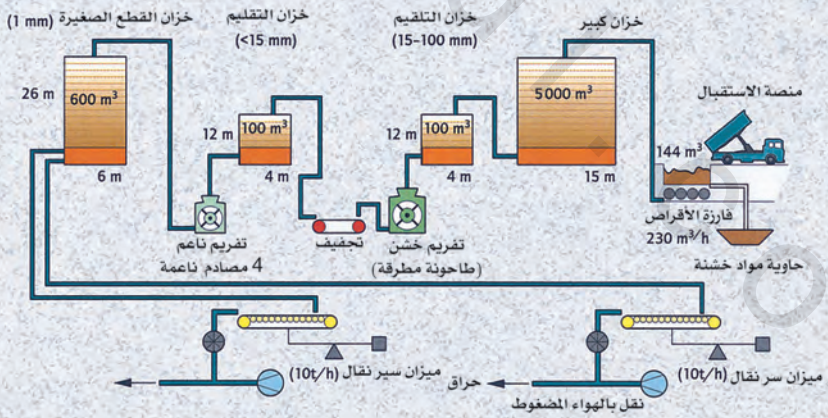
يمكن أيضاً استخدام الكتلة الحيوية في الإنتاج المركب للطاقة والحرارة في مجمعات توليد الطاقة والحرارة. لذلك تحوَّل قصاصات الخشب إلى غاز في جو مفاعل طبقي إعصاري، وبهذا الغاز يمكن تشغيل محرك غازي لتوليد التيار الكهربائي والحرارة.

❶ محطة توليد طاقة بالكتلة الحيوية

بالإضافة إلى الفحم
تحرق أيضا قطع مضغوطة من
الكتلة الحيوية في محطة توليد الطاقة

❷ قطع مضغوطة من التبن أو النباتات
تستخدم كمادة احتراق اضافية

❸ مستوع الخشب ومجموعة التحضير



محطات توليد الطاقة بالكتلة الحيوية

المضخات الحرارية

تُختزن الحرارة في التربة والماء والهواء، لكن طالما أن درجات الحرارة غالباً منخفضة نسبياً، فإنها لا تصلح للتدفئة. فقد بواسطة مضخة حرارية يمكن أخذ هذه الحرارة لتسخين وسيط حامل للحرارة إلى درجات الحرارة العالية المرغوبة. لذلك تكون الطاقة ضرورية. الأجزاء الرئيسية للمضخة الحرارية هي المبخر، والمكثف، والضاغط، وصمام التمدد. عند تركيب النظام بشكل صحيح تتجاوز الطاقة المفيدة المكتسبة طاقة الدفع المقدمة بعد مرات. يُعطى المعامل الدقيق بمعامل الأداء الذي يتعلق بفرق درجات الحرارة بين المبخر والمكثف. يجب أن يبالغ معامل الأداء خلال كامل دورة التسخين على الأقل القيمة ٣.

يمكن عكس مبدأ المضخة الحرارية، فمثلاً تستطيع المضخات الحرارية المرتبطة بالأرض أن تستخدم التربة أيضاً كمصب للحرارة، وبهذه الطريقة أن تبرد البناء. تستخدم مثل هذه الأنظمة في الولايات المتحدة الأمريكية منذ خمسة عقود لتكييف المباني.

طريقة العمل ❶ ❷ ❸

في الحقيقة تبنى آلات الطاقة الحرارية والمضخات الحرارية بشكل متشابه، إلا أنها تختلف عن بعضها بنقطة مهمة: بينما تقوم الأولى «آلات الطاقة الحرارية» بتحويل حرارة الوسط ذي درجة الحرارة العالية إلى عمل، تستخدم الثانية «المضخات الحرارية» العمل لنقل الحرارة من وسط ذي درجة حرارة منخفضة إلى وسط ذي درجة حرارة عالية. بذلك يمكن التمييز بين نوعين من المضخات الحرارية: المضخات الحراية الانضغاطية، والمضخات الحرارية الامتصاصية. أما وسيط العمل فهو من الوسائل السهلة الغليان.

في العمل على التسخين تعلم المضخات الحرارية الانضغاطية كما يلي (الشكل ١): يأخذ المبخر الحرارة من الوسط ذي درجة الحرارة المنخفضة وليكن من التربة

أو المياه الجوفية. فقط ١٠ درجات مئوية تكفي لجعل وسيط التبريد يتبخر. يقوم الضاغط بضغط وتسخين بخار وسيط التبريد، ويفيد المكثف كمبادل في درجة التسخين. هنا يتحول بخار وسيط التبريد إلى وسائل وتذهب حرارة التكاثف المتحررة إلى دارة التسخين التي تكون فيها درجة الحرارة أعلى من درعى حرارة المبخر. بعد ذلك يقوم الصمام بتخفيف الضغط ويبرد سائل العمل «وسيط التبريد» وينساب عائداً إلى المبخر. عند الاستفادة من مبدأ الضغط يكون عمل المضخة الحرارية مشابهاً لعمل آلة التبريد «البراد». باستخدام هذا المبدأ إذا لم يُسخَّن درجة الحرارة وإنما تم تبريده، فعندئذ يكون الحديث عن آلات تبريد.

تملك المضخات الحرارية الامتصاصية (الشكل ٢) عوضاً عن الضاغط الميكانيكي ضاغطاً حرارياً، وفيه تدور مادة سائلة بين السحب والدفع يتم ضغطها بواسطة مضخة سوائل. بذلك يتم ضغط بخار مادة العمل بحيث يمكن امتصاصه في قسم السحب عند ضغط منخفض من قبل المادة السائلة، وفي قسم الدفع «السخان» يتم تحت تأثير الحرارة المقدمة طرده من السائل المشبع من جديد عن ضغط مرتفع. وفيما عدا ذلك تعمل المضخة الحرارية الامتصاصية والمضخة الحرارية الانضغاطية بالتساوي.

اختيار المنبع الحراري (الشكل ٣) هو ذو أهمية بالغة، لأن النتيجة الحرارية تكون أفضل كلما كان الفرق قليلاً بين درجات حرارة المبخر والمكثف حيث يتوجب تقديم حرارة أقل، لذلك تعمل المضخة الحرارية بفاعلية في الصيف أكثر من الشتار. من أجل مراديد مرتفعة فإنه من المناسب في الحقيقة الحفاظ قدر الإمكان على درجة حرارة بدائية منخفضة في دارة التسخين. إذا استخدم الهواء الخارجي المحيط بنا كمصدر حراري، فيلزم تسخين إضافي. إن الهواء الخارجي في الحقيقة متوفر من دون عناء، إلا أن التذبذبات الكبيرة لدرجة حرارته على مدار اليوم والسنة جداً غير مناسبة. غالباً يتم من خلال تبريد الهواء في مبادل حراري كبير المساحة سحب الحرارة منه، وبهذه الحرارة يتبخر وسيط الدفع «سائل التبريد» في المضخة

الحرارية. التربة هي منبع حراري باعتبارها مُخزَّنة للطاقة الشمسية. تذبذبات درجات الحرارة حتى عمق بضع أمتار بالكاد يمكن الشعور بها. يجب أخذ حرارة الأرض على الأقل من المنطقة الخالية من الصقيع. تعد المياه الجوفية أيضاً منبعاً حرارياً جيداً، فعلى عمق ١٠ متر تبقى درجة الحرارة ثابتة تقريباً عند ١٠ درجات مئوية. يأتي الماء عن طريق بئر السحب غلى المبخر حيث يعطي الحرارة ثم يعود وينساب إلى المياه الجوفية عن طريق بئر التصريف «البالوعة «. كذلك يمكن استخدام المياه السطحية كمنبع حراري.

أنظمة المضخات الحرارية ذات مجسات حرارة الأرض:

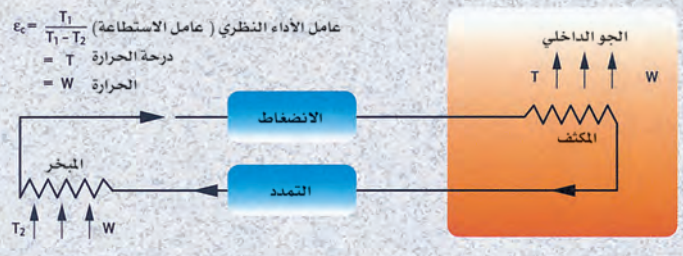
تستخدم أنابيب رقيقة من اللدائن على شكل حرف U ممتدة بشكل طولي في ثقبين في الأرض بعمق حوالي ١٠٠ متر كمنبع حراري بينما يأخذ الماء المنساب بداخل الأنابيب حرارة الأرض ويعطيها إلى مضخة حرارية، يمكن استخدام النظام في الشتاء للتدفئة وفي الصيف للتكييف. علاوة على ذلك يمكن استخدام النظام كمستودع للحرارة والبرودة، حيث يتم نقل حرارة الأبنية الزائدة في الصيف إلى الأعماق لكي تسخن التربة من أجل أعمال التدفئة في الشتاء. وبنفس الطريقة يمكن تخزين البرودة في الشتاء من أجل التكييف في الأوقات الحارة من السنة.

❶ البنية التخطيطية للتدفئة عن طريق مضخة حرارية انضغاطية

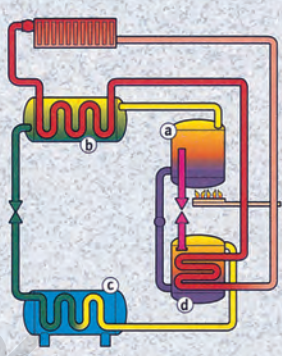
$$\varepsilon_c = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$ عامل الأداء النظري (عامل الاستطاعة)

T = درجة الحرارة

W = الحرارة



❷ مخطط مضخة حرارية امتصاصية



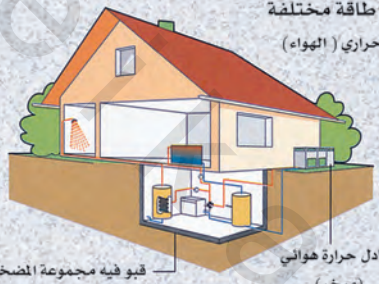
ⓐ مبخر ⓒ مولد

ⓑ لاقط (قميص) ⓓ مكثف

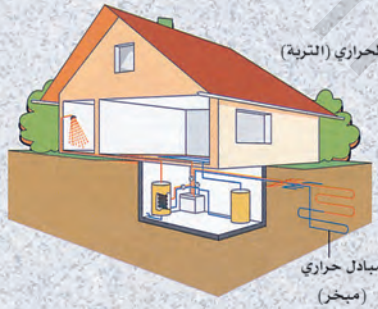
- محلول غني بوسيط التبريد
- محلول فقير بوسيط التبريد
- وسيط التبريد في الحالة البخارية
- وسيط التبريد في الحالة السائلة
- ماء التسخين
- هواء/ماء

❸ منابع طاقة مختلفة

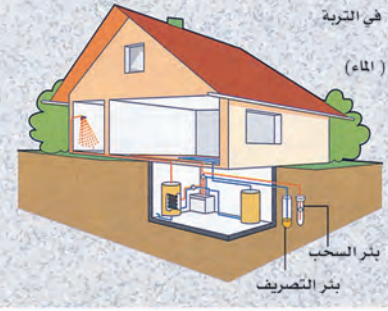
المنبع الحراري (الهواء)



المنبع الحراري (التربة)



المنبع الحراري (الماء)



المضخات الحرارية

ترتيبات معمارية في خدمة الطاقة الشمسية

يمكن استخدام الطاقة الشمسية بشكل جيد في هندسة العمارة. من أجل ذلك يجب أن يتحقق شرطان أساسيان هما:

الأول: أن يكون البناء قادراً على امتصاص الأشعة الشمسية وتخزين الطاقة الحرارية المحمولة معها في أجزاء البناء، وذلك لتحقيق عملية تدفئة بالحد الأدنى من الطاقة الإضافية (التقليدية).

والثاني: أن يكون البناء محمياً من الأشعة الشمسية (صيفاً) لكي لا تحدث عملية إحماء زائد في الغرف المعرضة للمشس. لهذه الغاية يمكن استخدام الطاقة الشمسية بطريقة فعالة وطريقة طبيعية. من عناصر الاستغلال الشمسي الفعال، المجمعات الشمسية (اللواقط)، وتستخدم من أجل التدفئة ولتأمين الماء الساخن (الأنظمة الشمسية الحرارية ⟵). أما الاستفادة الطبيعية من الطاقة الشمسية فيجب أن تؤخذ بالحسبان في مرحلتي تخطيط البناء وتجهيزه.

الاستفادة من الطاقة الشمسية بالأنظمة الطبيعية ❶ ❷

تبدأ عملية الاستفادة من الطاقة الشمسية بالأنظمة الطبيعية بضرورة توجيه البناء تماماً نحو الجنوب. يجب أن تكون غرف الجلوس مفتوحة على هذه الواجهات لاستقبال أكبر كمية ممكنة من الأشعة الشمسية في فصل الشتاء. وتبقى الواجهة الشمالية مغلقة بشكل كامل في هذا الوقت. تستخدم طاقة الأشعة الشمسية في هذه الحالة بشكل مباشر أو غير مباشر. بكلام آخر يمكن الحديث عن استفادة مباشرة أو غير مباشرة.

في الاستفادة المباشرة تدخل الأشعة الشمسية عبر النوافذ إلى الأرض والجدران. التي تمتصها وتخزنها ثم تبثها لاحقاً إلى جو الغرفة على شكل إشعاع حراري طويل الموجة. يتم تزويد النوافذ عادة بمظلات وستائر وحواجب للأشعة

الشمسية صيفاً وذلك لمنع وصول الأشعة الشمسية إلى داخل الغرف لمنع حدوث التحمية الزائدة فيها (الشكل ١). يجب تزويد النوافذ شتاءً بأبجورات وإغلاقها ليلاً لمحاولة تخفيض الضياعات إلى الحد الأدنى عبر النوافذ، تؤثر مساحة النوافذ بشكل أساسي على فاعلية استخدامها صيفاً وشتاءً. تقوم النوافذ الجنوبية شتاءً في الأيام الباردة بكسب كمية من الحرارة عبرها إلى داخل الغرفة، علماً أن الضياعات الحرارية من الغرفة تؤثر على فاعلية عملية الكسب. كما تؤثر بشكل واضح على عملية الكسب نوعية الزجاج المستخدم، حيث إنه يمكن تخفيض حمل التدفئة باستخدام الزجاج العازل إلى ٥٠٪ منها عند استخدام زجاج عادي (الشكل ٢). ينصح أن تكون مساحة النوافذ على الواجهة الجنوبية صغيرة لمحاولة منع حدوث تحمية زائدة من أشعة الشمس، وينطبق ذلك على النوافذ الغربية والشرقية أيضاً. كما أن زيادة مساحة النوافذ تؤدي إلى زيادة الحمل الحراري شتاءً. تبدد واحدة المساحة من النافذة الشمالية من الطاقة الحرارية ما يعادل أربعة أضعافها من جدار معزول، وتبدد مثيلتها من النوافذ الشرقية والغربية ما يعادل ضعفيها في جدار معزول. كما أن وجود حديقة شتوية (أثر البيت الزجاجي) ملاصقة للنوافذ مباشرة ومصممة بشكل جيد يؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة، علماً أنه لا حاجة لتدفئة خاصة بالحديقة.

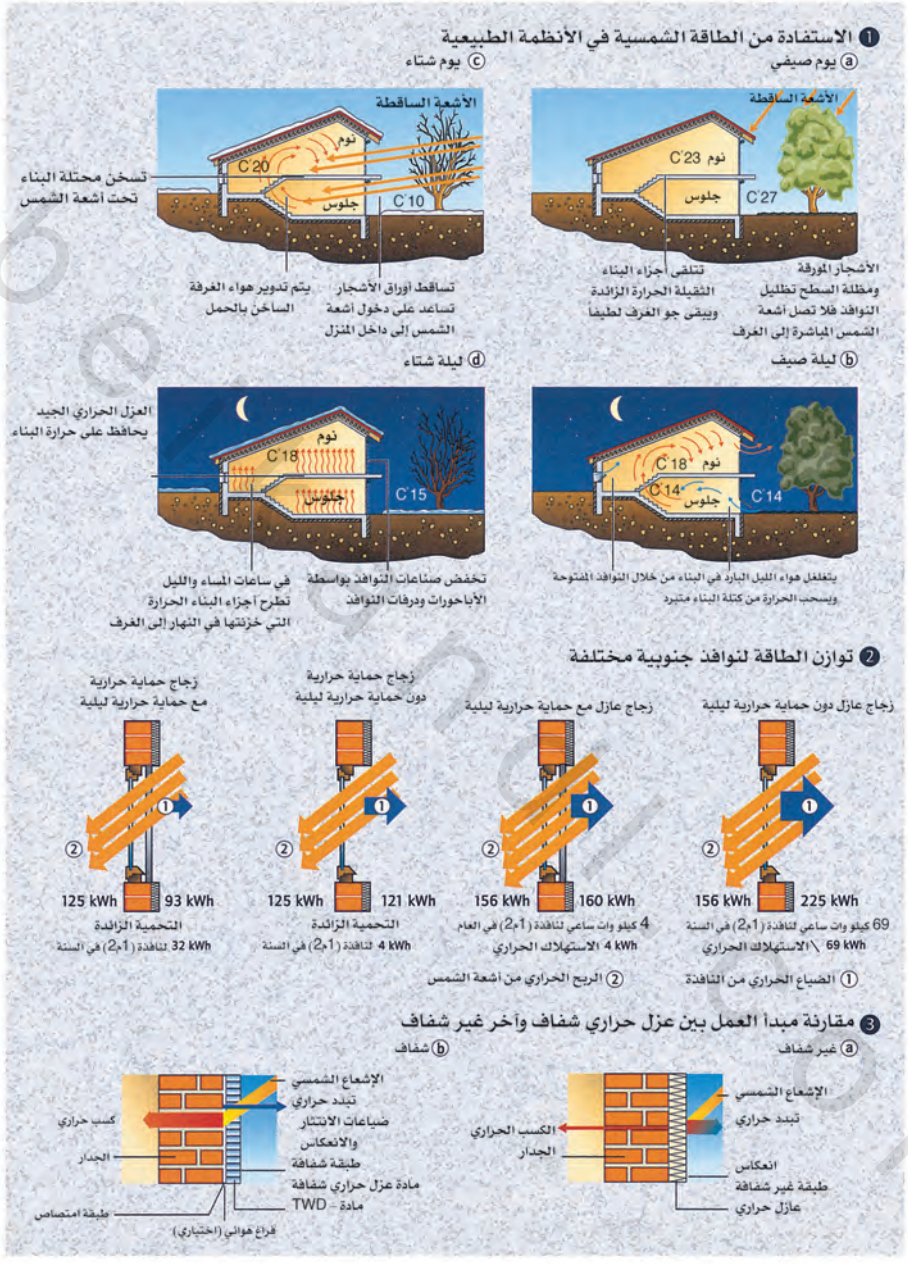
أما في الاستفادة غير المباشرة: فإن الأمر يتم كما يلي: تكون الواجهة الجنوبية مصنوعة من الزجاج وخلف الزجاج يوجد جدار من الحجر أو البلوك أو القرميد أو الطين، يكون الجدار ملون بالأسود عادة ويعمل كخزان حرارة (جدار ترمب). تسقط أشعة الشمس في النهار، فيخزن الجدار الحرارة ليعطيها إلى جو الغرفة ليلاً. كما يمكن تحيق تدفئة إضافية عندما يكون الجدار مزوداً بفتحات لدخول وخروج الهواء من الأعلى والأسفل. تحدث عملية التدفئة بدخول هواء الغرفة البارد من الفتحة السفلية للجدار ويتحرك بين جدار ترمب والزجاج فترتفع درجة حرارته ويعود إلى الغرفة من الأعلى. في الصيف يجب أن تكون الفتحات العلوية والسفلية مغلقة.

كما يمكن استخدام الطاقة الشمسية في عملية التدفئة بالاعتماد على اللواقط الشمسية الهوائية. يتم تحريك الهواء عبر اللوقاط نتيجة فرق الكثافة أو بواسطة مروحة. يسخن الهواء في اللاقط نهاراً. يذهب الهواء لشحن خزان حرارة موجود في مكان ما في البناء وتحدث عملية التفريغ للخزان في الليل بتحريك الهواء بين الخزان الساخن والغرف الباردة، مما يؤدي إلى تدفئة الغرف.

المواد العازلة الشفافة 3

لا يخفض ضياعات التوصيل الحرارية عبر الجدران الخارجية سوى العزل الجيد، علماً أن أنظمة العزل المستخدمة لا تسمح بالاستفادة من طاقة أشعة الشمس الساقطة على النحو المطلوب بغرض التدفئة. يتحقق ذلك فقط من خلال عزل حراري شفاف (الشكل ٣).

تسقط الأشعة الشمسية على جدار عازل غير شفاف، فيمتص الجدار الطاقة المحمولة مع الأشعة وترتفع درجة حراة سطحه الخارجي لكن لا يصل من الحرارة إلى داخله إلا القليل بسب ناقليته الضعيفة الناتجة عن طبقة العزل، على العكس من ذلك تسمح المواد العازلة العالية الشفافية لقسم كبير من أشعة الشمس بالعبور، التي تتحول على سطح الجدار الأسود (الذي يعمل كعنصر امتصاص) إلى حرارة وتنتقل إلى جسم الجدار. وبعد تأخر زمني يتعلق بسماكة الجدار ومادة بنائه تصل إلى الغرف خلف الجدار وتدفئها. بذلك فإن الجدار يعمل كسطح ناشر للحرارة. لقد ثبتت عملياً كفاءة المواد اللدائنية (البلاستيكية) والزجاجية ذات البنية الشعرية أو المسامية (مواد TWD) كواد شفافة عازلة حرارياً. كما أظهرت المواد الرغوية الشفافة (أيروغلين) نتائج جيدة في العزل. ويشمل هذا الاسم بصورة عامة جميع المواد الشفافة التي تتمتع بخواص العزل الحراري. كما أن الاستفادة غير المباشرة بواسطة النوافذ الزجاجية أو جدار ترمب يمكن أن تدرج في هذا الإطار.



ترتيبات معمارية في خدمة الطاقة الشمسية