

(19)



(11)

EP 2 894 386 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
15.07.2015 Bulletin 2015/29

(51) Int Cl.:
F17C 1/00 (2006.01) F17C 1/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14306886.4**

(22) Date de dépôt: **26.11.2014**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME

(71) Demandeur: **IFP Energies nouvelles**
92852 Rueil-Malmaison Cedex (FR)

(72) Inventeur: **Wittrisch, Christian**
92500 RUEIL MALMAISON (FR)

(30) Priorité: **17.12.2013 FR 1362753**

(54) **Système de stockage d'énergie sous forme d'air comprimé dans un ensemble de tubes en surface**

(57) - La présente invention concerne un système de stockage d'énergie sous forme d'air comprimé, caractérisé en ce qu'il est constitué par un ensemble de tubes aciers (1), droits ou enroulés, assemblés pour former un

volume de stockage disposé en surface, ou en sub-surface, l'assemblage étant enfermé dans une enveloppe isolante thermiquement (2).

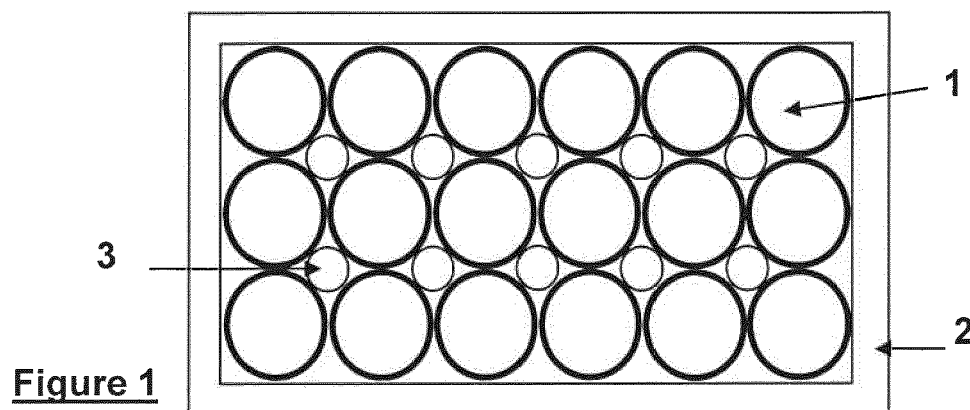


Figure 1

EP 2 894 386 A2

Description

[0001] Le domaine de la présente invention concerne le stockage d'énergie par air comprimé (CAES pour "Compressed Air Energy Storage"). L'invention porte sur un système optimisé pour le stockage de l'air.

[0002] Dans ce système, l'énergie, pouvant provenir d'électricité issue de sources renouvelables notamment, et que l'on souhaite utiliser à un autre moment, peut être stockée sous forme d'air comprimé. L'électricité produite en excès alimente donc un, ou plusieurs compresseurs dont le but est de comprimer une quantité d'air donnée et de la stocker dans des réservoirs adaptés.

[0003] Il n'existe pas, à ce jour, de stockage local semi-massif d'air comprimé industriel, en réservoir artificiel (à la différence des stockages géologiques existants dans des cavités salines), entre 70 et 120 bars pour des volumes compris entre 1000m³ et 30 000m³ installés à terre, en surface ou sub-surface (ci-après désigné comme « mini CAES »).

[0004] Ainsi, la présente invention concerne un système de stockage d'énergie sous forme d'air comprimé, caractérisé en ce qu'il est constitué par un assemblage de tubes aciers connectés pour former un volume de stockage disposé en surface, ou en sub-surface, ledit assemblage étant confiné dans une enveloppe isolante thermiquement.

[0005] L'assemblage peut être constitué par des longueurs de tubes droits réunis en fagots et disposés en parallèle.

[0006] L'assemblage peut être constitué par au moins un tube continu enroulé en bobine.

[0007] Le volume de stockage peut comporter plusieurs assemblages confinés dans une enveloppe de protection environnementale et de sécurité.

[0008] Le système peut comporter des moyens de chauffage ou de maintien de la chaleur de l'air comprimé stocké.

[0009] Le volume de stockage peut être contenu dans une fosse aménagée dans le sol.

[0010] La présente invention sera mieux comprise et ses avantages apparaîtront plus clairement à la lecture des modes de réalisations suivants, nullement limitatifs, et illustrés par les figures ci-après annexées, parmi lesquelles :

- la figure 1 illustre schématiquement et en coupe, un assemblage de tubes aciers droits « en fagot » dans une enveloppe isolante,
- la figure 2 montre une disposition de conduites de chauffage et/ou de récupération de chaleur,
- la figure 3 illustre un exemple de dimensionnement de bobine de stockage selon l'invention,
- la figure 4 montre schématiquement les modes de réalisation de bobines à axe vertical et à axe horizontal et des dispositions d'assemblage de bobines.
- la figure 5 illustre le principe de bobine de stockage pour air comprimé à température ambiante ou à tem-

pérature de compression.

[0011] L'air à haute pression, par exemple entre 70 et 120 bars est stocké dans des tubes en acier, assemblés par soudures et disposés horizontalement en fagots en surface ou en semi-enterré pour bénéficier d'un milieu plus stable en température et/ou pour des raisons d'esthétiques, d'environnement et de sécurité. Les tubes en acier sont de préférence disposés horizontalement pour une plus grande facilité d'assemblage sur une plus grande longueur et pour diminuer le nombre de bouchons d'extrémité et de raccordements entre tubes.

[0012] Pour réaliser ce système de stockage, il est possible d'utiliser des tubes pétroliers de type "sans soudure" (type tubage ou "casing" pétrolier) ou des tubes droits soudés avec soudures longitudinales ou en hélice utilisés pour les pipelines de gaz, dans la limite de leur pression de service.

[0013] Ces tubes peuvent être protégés contre la corrosion en extérieur par des revêtements de polyoléfine, polyéthylène (PE), polypropylène (PP) et en intérieur par des revêtements époxy.

[0014] Les tubes, en élément unitaire de 12-15 mètres sont assemblés et soudés préférentiellement sur le site de stockage, avec des moyens de manutention limités.

[0015] Les longueurs peuvent atteindre, plusieurs dizaines de mètres en fonction du volume d'air souhaité et de la place sur le site de stockage. Les longueurs de tubes ainsi constitués sont disposées parallèles, puis mis en couches successives pour constituer un "fagot" de, par exemple, 10 par rangée et 10 en hauteur, soit pour atteindre une centaine de tubes.

[0016] Les longueurs de tubes sont raccordées entre elles par des canalisations de diamètre approprié pour les mettre en communication, en parallèle ou en série, afin d'obtenir le volume de stockage choisi. Un jeu de vanne sur ces canalisations permet d'isoler une longueur, ou un ensemble de tubes.

[0017] Le "fagot" constitué est de préférence quasi-horizontale, avec cependant une légère pente pour faciliter l'écoulement des condensats.

[0018] Les tubes sont de préférence disposés horizontalement plutôt que verticalement. Horizontalement, ils permettent d'obtenir un plus important volume de stockage avec un minimum de conduites de raccordement et de bouchons aux extrémités des tubes, contrairement à la disposition verticale et partiellement enterrés, qui implique que la longueur de tube soit limitée à la profondeur de l'excavation. La multiplication des tubes verticaux augmente le nombre de bouchons d'extrémités, complique le raccordement, et augmente les coûts de l'installation.

Exemple d'ordre de grandeur:

[0019] Pour un tube de diamètre extérieur de 20" (0.508m) de diamètre intérieur 0.485m, longueur 10 m, fagot de 10 x 10 = 100 tubes. Le poids est de 137

tonnes pour un volume d'air comprimé de 185 m³, ce qui donne un ratio m³ d'air /poids acier de 1,348, ou le ratio de 0,742 tonnes d'acier/m³ stocké. Ce calcul ne prend pas en compte les embouts d'extrémités des tubes et les moyens de raccordements entre eux. Pour cette raison la règle de "un kilo d'acier pour un litre d'air comprimé stocké" peut être appliquée.

[0020] Dans une variante selon l'invention, si l'air stocké est chaud (chaleur issue de la phase de compression), l'objectif est de conserver le plus longtemps possible la chaleur de l'air comprimé dans les tubes de stockage. Pour cela, la cuve contenant les fagots de tubes droits assemblés est thermiquement isolée du milieu extérieur pour conserver la chaleur de l'air comprimé introduit dans le stockage. La figure 1 montre en coupe un fagot constitué de tubes (1) parallèles enfermés dans une enceinte (2) pour l'isolation thermique, environnementale et/ ou sécuritaire.

[0021] Un chauffage complémentaire de l'air, contenu dans des tubes droits horizontaux peut se faire par l'intérieur ou par l'extérieur du tube de stockage.

[0022] Il y a la possibilité de disposer, dans chaque tube de stockage, un tube dit "insert" rempli d'un matériau de stockage de chaleur. Cependant avec ce système, il y aura une diminution du volume d'air stocké égale au volume des tubes de stockage de chaleur ou tubes de réchauffage.

[0023] Une autre variante est d'utiliser un échangeur de chaleur composé de conduites (3) disposés dans l'espace disponible entre les tubes de stockage d'air comprimé. Les tubes sont de préférence en contact métal-métal pour faciliter le transfert de la chaleur par conduction. La figure 2 montre une autre disposition des tubes parallèles et des conduites d'échange de chaleur (3).

[0024] Le chauffage ou le maintien en température de l'air comprimé contenu dans le tube de stockage est obtenu par la circulation d'un fluide chaud, de la vapeur ou un liquide caloporteur qui échange, par conductivité thermique de l'acier entre les deux types de tubes (tubes d'air comprimé et canalisation de fluide chaud), de la chaleur avec l'air comprimé stocké.

[0025] Un autre mode de réalisation du stockage de gaz comprimé consiste à former des bobines de tubes en acier, de préférence, mais pas nécessairement, sur le site même compte tenu de leur encombrement: dimensions des bobines, poids, et des moyens de manutention disponibles.

[0026] La fabrication de la bobine unitaire peut être obtenue par enroulement, en déformation plastique du tube en acier, en couches successives sur un touret à axe horizontal ou à axe vertical.

[0027] De préférence, l'axe de la bobine est vertical.

Exemple d'ordre de grandeur:

[0028] Une bobine unitaire de stockage de diamètre maximum 15 m, diamètre minimum 3m, de largeur 1,5m, avec un tube de diamètre 6.625" (16 cm), épaisseur 6,4

mm, a un poids d'acier de 230 tonnes, un volume de stockage de gaz de 176 m³. Le volume du cylindre constitué par une telle bobine élémentaire est de 276 m³ (figure 3).

[0029] La figure 4 montre schématiquement une bobine à axe horizontal (6) et une bobine à axe vertical (7).

[0030] Les bobines sont fabriquées à partir de tronçons de tubes standards en acier de longueur unitaire 12-15m, assemblés et soudés pour constituer un tube continu qui sera ensuite cintré dans son mode plastique au moyen de galets presseurs (8) et enroulé sur un touret spécifique (9) pour constituer une bobine élémentaire, par exemple de volume 276 m³.

[0031] Plusieurs bobines unitaires peuvent être superposées puis interconnectées par des conduites pour constituer un volume de stockage dans une cuve (figure 4).

[0032] La dimension de la bobine fabriquée et donc son poids est directement dépendant de la capacité de levage sur le site du mini CAES. Chaque élément de bobine peut être fabriquée sur place, cerclée puis retournée pour passer d'une bobine verticale (avec son axe horizontal) à une bobine horizontale (avec son axe vertical), puis positionnée, descendue et posée à plat au fond de la cuve (10) (figure 4) préalablement construite.

[0033] Une excavation pourra être réalisée pour contenir la moitié basse du touret pour éviter une structure en hauteur et faciliter la mise en bobine du tube continu.

[0034] Un portique compatible avec les charges et dimensions de la bobine (exemple: diamètre extérieur 15m, hauteur 3m, poids de la bobine 230 tonnes) permettra le basculement, son déplacement et la descente de la bobine dans la cuve.

[0035] Il sera possible de fabriquer des éléments de bobine de hauteur plus réduite (par exemple 2 m) tout en conservant un diamètre extérieur acceptable (par exemple 15 m) pour maintenir le volume linéaire et pour réduire la masse de l'élément fabriqué.

[0036] Les éléments de bobines seront ainsi empilées les unes sur les autres et raccordés au moyen de tubes avec mise en série ou parallèles.

[0037] Les tubes de stockage de l'air comprimé peuvent être, à la construction de la bobine, jointifs (11) (spires jointives) ou légèrement espacés (12) de quelques centimètres entre chaque tubes pour faciliter les échanges de chaleur entre l'acier du tube et le fluide caloporteur si l'air est stocké chaud (figure 5).

Revendications

1. Système de stockage d'énergie sous forme d'air comprimé, **caractérisé en ce qu'il** est constitué par un assemblage de tubes aciers (1) connectés pour former un volume de stockage disposé en surface, ou en sub-surface, ledit assemblage étant confiné dans une enveloppe (2) isolante thermiquement.

2. Système de stockage selon la revendication 1, dans lequel ledit assemblage est constitué par des longueurs de tubes droits réunis en fagots et disposés en parallèle.
5
3. Système de stockage selon la revendication 1, dans lequel ledit assemblage est constitué par au moins un tube continu enroulé en bobine.
4. Système de stockage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit volume de stockage comporte plusieurs assemblages confinés dans une enveloppe de protection environnementale et de sécurité.
10
15
5. Système de stockage selon l'une des revendications précédentes, comportant des moyens de chauffage ou de maintien de la chaleur de l'air comprimé stocké.
20
6. Système de stockage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit volume de stockage est contenu dans une fosse aménagée dans le sol.
25

30

35

40

45

50

55

