**5 نصائح لضمان سلامة مصنع الهيدروجين**

1. اختيار خزانات تخزين الهيدروجين المضغوط المناسبة

يمكن تخزين الهيدروجين كغاز أو سائل. وتتطلب الطريقة الأولى خزانات عالية الضغط (100-1,000 بار أو 1,400-14,500 رطلاً/بوصة مربعة)، بينما تتطلب الطريقة الثانية درجات حرارة تبريدية. وفي هذه المقالة، نركز على غاز الهيدروجين المضغوط.

لضمان السلامة المثلى لمصنع الهيدروجين، من الضروري استخدام **الخزانات المصنعة بمواد مناسبة**.

**حسب الحجم والضغط**، يجب استخدام أحد **الأنواع الأربعة**من أوعية الضغط لتخزين الهيدروجين المضغوط.

* **النوع الأول**إن هذه الخزانات المعدنية مصنوعة عادةً من الفولاذ أو الألومنيوم. ويمكنها تحمل أقصى ضغط مقدَّر يبلغ 175 بار (للألومنيوم) و200 بار (للفولاذ). تتميز الخزانات من النوع الأول بأنها رخيصة الإنتاج، لكنها ثقيلة جدًا كونها مصنوعة بالكامل من المعدن. تُستخدم لتخزين الهيدروجين في حالتيه السائلة والغازية.
* **النوع الثاني**إن هذه الخزانات المعدنية مصنوعة من الألومنيوم، لكنها تتميز بلفائف خيوط حول الأسطوانة المعدنية. ويمكن أن تتكون من الألياف الزجاجية/الأراميد أو ألياف الكربون. وحسب المادة المستخدمة، يمكنها تحمل أقصى ضغط يصل إلى 299 بار.  
  خزانات النوع الثاني أقل في الوزن وأقوى، لكنها أغلى ثمنًا.
* **النوع الثالث**تتكون هذه الخزانات من مواد مركبة مزودة ببطانة معدنية، ويمكنها تحمل ضغط أعلى. على سبيل المثال، يمكن أن يتحمل خزان الألومنيوم/الأراميد ضغطًا يصل إلى 438 بار. ومن ناحية أخرى، فإن خزان الألومنيوم/الكربون المركب يمكن أن يتحمل الضغوط حتى 700 بار. ونتيجة لهذا فإنها أكثر تكلفة أيضًا.
* **النوع الرابع**لا تحتوي هذه الخزانات على معادن، فهي مصنوعة بالكامل من ألياف الكربون مع بطانة من البوليمر. ويمكنها تحمل أقصى ضغط يبلغ 700 بار على الرغم من أن وزنها أقل من الأنواع الأخرى. والجانب السلبي هنا هو أن استخدام كميات كبيرة من ألياف الكربون يجعلها أكثر تكلفة أيضًا.

2. اختيار المواد المناسبة

إن للهيدروجين تأثيرًا ضارًا في الخصائص الميكانيكية لكل المواد. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يسبب هشاشة المعادن. وهذا بدوره يمكن أن يؤدي إلى فقدان مقاومة الشد وقابلية الطرق والسحب ومتانة الكسر، ويؤدي إلى زيادة نمو تشققات الاجهاد.

تعتمد درجة هذا التدهور على المادة وضغط الهيدروجين ودرجة حرارته والحمل الميكانيكي. وهذا يعني أن بعض المواد أفضل من غيرها.

بشكل مثالي، يجب اختبار المواد لضمان أنها تعمل في ظروف التشغيل المتوقعة.  
إذا لم يكن ذلك ممكنًا، فإليك بعض المواد**المستخدمة بشكل شائع**:

* الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنيتي
* سبائك الألومنيوم
* فولاذ حديدي منخفض الخلائطية
* فولاذ حديدي من الكربون والمنجنيز
* سبائك النحاس

من ناحية أخرى، **ينبغي تجنب المواد الآتية**:

* الفولاذ الحديدي والمارتنسيتي عالي القوة
* حديد الزهر الرمادي والمطاوع واللدن
* سبائك النيكل
* سبائك التيتانيوم

3. اختيار الموقع الأمثل لإنشاء خزانات تخزين الهيدروجين

عندما يتعلق الأمر بسلامة مصنع الهيدروجين، من المهم اختيار وعاء التخزين المناسب وكذلك الموقع الأمثل لإنشائه.

على الرغم من **إمكانية تخزين أسطوانات الهيدروجين الصغيرة في الأماكن الداخلية**، فلا يوصى بذلك للكميات الكبيرة.  
**التخزين الخارجي أكثر أمانًا بشكل عام، بل هو ضروري لتخزين كميات كبيرة من الهيدروجين** حيث يسمح بتبديد الغاز بسهولة في حال التسرب العرضي للهيدروجين.

فيما يأتي بعض خصائص الموقع المثالي لتخزين الهيدروجين المضغوط.

-التهوية الجيدة لمنع تراكم الهيدروجين

-الإنشاء على مسافة آمنة من الهياكل ومنافذ التهوية

-الحماية من حركة المركبات أو من الأجسام الساقطة

-تجنُّب التعرض لأشعة الشمس المباشرة، وألا تتجاوز درجة الحرارة المحيطة 52 درجة مئوية (126 درجة فهرنهايت تقريبًا)

-الحماية من الوصول غير المصرح به

4. منع تراكم غاز الهيدروجين في حاوية أو حيِّز مغلق

حسبما ذُكر أعلاه، فإن التهوية أمر بالغ الأهمية عند التعامل مع الهيدروجين.  
حيث تضمن تبديد الغاز بسرعة وعدم التمكُّن من تشكيل مزيج قابل للاشتعال مع الأكسجين الموجود في الهواء.

ولأن الهيدروجين خفيف للغاية، **من المؤكد أن هذا التراكم سيحدث بالقرب من سقف الغرفة أو الحاوية**.  
يجب مراعاة ذلك عند تصميم هذه المرافق.  
يعني هذا أن هناك حاجة إلى وجود **تهوية مناسبة وأجهزة كشف وتدابير للسيطرة في المساحة العلوية**.

فضلاً عن ذلك، ولأنه لا يمكن استبعاد تسرب الهيدروجين تمامًا، من الضروري أيضًا **تركيب أجهزة كشف اللهب و/أو الغاز** **ونظام إخماد الحرائق**.

عند انطلاق غاز الهيدروجين في الهواء، سيصعد إلى الأعلى على الفور بسرعة 10 أمتار/ثانية، لذا فإنه ببساطة من الضروري **الكشف عن تركيز الهيدروجين عند أعلى نقطة في الغرفة**. وستحتاج أيضًا إلى**إعداد تهوية** الغرفة عند النقطة نفسها: يجب إخراج الهواء من أعلى نقطة. وإذا وضعت جهاز الكشف عند نقطة أدنى في الغرفة، فسيمتلئ أولاً الجزء من الغرفة أعلى جهاز الكشف بتركيز عالٍ جدًا من الهيدروجين، قبل الكشف عن الغاز. وينطبق الأمر نفسه على التهوية. إذا أدخلت الهواء من أعلى وأفرغته عند مستوى أقل، فلن تتخلص ببساطة من الهيدروجين. حيث يجب أن يكون تدفق التهوية من الأسفل إلى الأعلى.

خلال التشغيل العادي، يكون معدل التهوية منخفضًا نسبيًا، لكن عند الكشف عن الغاز في أعلى نقطة في الغرفة فقط، يجب عليك على الفور إخراج كمية هائلة من الهواء (الممزوج بالغاز). بالنسبة إلى المباني الجديدة المخصصة لتصنيع شاحنات الهيدروجين (التي تتم تعبئتها أيضًا داخل المبنى)، يمكن تركيب جهاز كشف الغاز بالقرب من السقف (على ارتفاع أكثر من 10 أمتار)، وعند الكشف عن الغاز، يُفتح السقف تلقائيًا.

5. منع تسرب الهيدروجين

تُعد حالات التسرب مشكلة رئيسية في العمليات التي تستخدم الهيدروجين حيث إن هذا عنصر صغير جدًا وهو مسؤول عن وقوع نسبة كبيرة من الحوادث.

تتمثل إحدى الطرق التي يمكن من خلالها منع حدوث التسرب في تركيب أجهزة كشف التسرب التي ينبغي صيانتها واختبارها بشكل دوري. وعلى أي حال، ينبغي إجراء اختبارات التسرب بشكل منتظم، بما في ذلك الفحوصات التشغيلية للصمامات.

هناك طريقتان شائعتان للاختبار وهما استخدام محلول فقاعات الصابون أو جهاز كشف الهيدروجين المحمول باليد. وبالإضافة إلى الاختبارات المنتظمة، يجب على مشغلي المصنع التحقق من وجود تسرب في كل مرة تتم فيها إعادة تجميع الوصلات. وعلاوة على ذلك، لا بد من فحص وصلات النظام بحثًا عن علامات التآكل والبلى والتشقق والانبعاج والتقشر أو أي شكل آخر من أشكال التلف.

**Safety Tips for Hydrogen Storage**

Hydrogen, a highly flammable and explosive gas, requires careful storage and handling to prevent accidents. Here are some essential safety tips:

* **Storage Location:**

- Isolated Area: Store hydrogen cylinders in a well-ventilated, isolated area away from heat sources, sparks, and open flames.

- Secure Fastening: Ensure cylinders are securely fastened to prevent them from falling or being knocked over.

- Gas detector installation: It is installed at the highest point in the room (ceiling at a height of more than 10 meters) and when gas is detected, the ceiling will open automatically.

- Installing leak detection devices that should be maintained and tested periodically.

- Install leak tests regularly, including operational checks of valves.

* **Cylinder Handling**

- Protective Gear: Wear appropriate protective gear, including safety glasses, gloves, and closed-toe shoes, when handling hydrogen cylinders.

- Avoid Rough Handling: Handle cylinders gently to prevent damage to the valves or other components.

- Leak Checks: Regularly inspect cylinders for leaks using soap bubble solution or handheld Hydrogen Detector.

- Protection from vehicle movement and falling objects.

- Avoid exposure to direct sunlight, and the ambient temperature should not exceed 52℃.

- Protection from unauthorized access.

* **Ventilation**

- Adequate Ventilation: Ensure proper ventilation in the storage area to prevent the accumulation of hydrogen gas.

- Exhaust Fans: Consider installing exhaust fans to facilitate ventilation.

**⚠️Note: Air must be brought in from the bottom to the top to ventilate the place.**

* **Fire Safety**

- Fire Extinguishers: Keep fire extinguishers readily available and ensure personnel are trained properly.

- Emergency Plan: Develop and practice an emergency evacuation plan in case of a fire or other emergency.

* **Electrical Safety**

- Grounding: Ground all electrical equipment in the storage area to prevent static discharges.

- Avoid Sparks: Minimize electrical equipment near hydrogen cylinders to avoid creating sparks.

* **Signage**

- Warning Signs: Mark the storage area with warning signs indicating the presence of hydrogen gas and the associated hazards.

* **Regular Inspections**

- Cylinder Inspections: Regularly inspect hydrogen cylinders for damage, leaks, or corrosion.

- Plant operators must check for leaks each time connections are reassembled.

- Inspect system connections for signs of wear, tear, cracking, denting, peeling, or any other form of damage.

- Safety Equipment: Ensure that safety equipment, such as fire extinguishers and emergency shutoff valves, are in good working condition.

* **Training**

- Personnel Training: Train all personnel in handling hydrogen gas on safety procedures, emergency response, and the proper use of equipment.

By following these safety tips, you can significantly reduce the risk of accidents associated with hydrogen storage and ensure a safe working environment.