

# التوجيهات بشأن أفضل التقنيات المتاحة وأفضل الممارسات البيئية

التقنيات الشائعة

## التقنيات الشائعة

### التقنيات الشائعة لتخفيض الانبعاثات

يقدم هذا الفصل معلومات عامة عن تقنيات الضبط المنطبقة على جميع فئات المصادر الثابتة المدرجة في المرفق دال. ويمكن الاطلاع على معلومات إضافية تتصل بأي قطاع بالتحديد في الفصل المتعلق بالقطاع المعني.

ومن الضروري لدراسة جميع الخيارات المحتملة المتصلة بالقطاع موضع الاهتمام أن يتم النظر في كلا التقنيات الشائعة الموصوفة في هذا القسم والتقنيات المحددة الموصوفة لكل قطاع.

ويتباين مدى قدرة أجهزة تنظيف الغبار على التقاط انبعاثات الزئبق المرتبط بالجسيمات. وعموماً تطبق معظم تقنيات تنظيف الغبار في جميع القطاعات. وتتوقف درجة ضبط الزئبق على الحالة الكيميائية وشكل الزئبق، أي ما إن كان الزئبق مؤكسداً أو أولياً. ويتم التقاط معظم الزئبق النقي في أجهزة تنظيف الغبار: ويمكن تعزيز كفاءة هذه الأجهزة لإزالة الزئبق من خلال أكسدة الزئبق الغازي. وأكثر التقنيات شيوعاً لتخفيف الغبار هي مرشحات الأكياس والمرسبات الكهروستاتيكية (ESP).

ومن التقنيات الشائعة عبر القطاعات لإزالة الزئبق بالتحديد استعمال الكربون المنشط، سواء تم حقنه في تيار غاز المدخنة أو في طبقة الترشيح. ولتحسين كفاءة الإزالة في الكربون المنشط يمكن استعمال عوامل الأكسدة (بحقنها مثلاً في تيار غاز المدخنة أو تكثيفها على الكربون المنشط).

### المرشحات القماشية

تستخدم مرشحات الأكياس (المرشحات القماشية والمرشحات النسيجية) عملية الترشيح لفصل جسيمات الغبار عن الغازات. وهي تمثل واحدة من أكثر الوسائل المتوفرة لجمع الغبار كفاءة وتحقيقاً لفعالية التكاليف، ويمكن أن تحقق كفاءة جمع تفوق من 99,99 في المائة للجسيمات الدقيقة جداً. وتدخل الغازات جهاز الترشيح وتمر في الأكياس القماشية. ويمكن صنع الأكياس من مواد مختلفة (مثل القطن المنسوج أو الملبد أو المواد التركيبية أو الألياف الزجاجية) حسب خصائص غاز المدخنة.

ولتحسين القدرة على ترشيح الغبار وزيادة العمر يتم في كثير من الأحيان تبطين مادة المرشح. وأكثر المواد شيوعاً هي الحجر الجيري الخامل كيميائياً (كربونات الكالسيوم). إذ أنه يزيد كفاءة جمع الغبار عن طريق تكوين ما يسمى كُسب المرشح. ويجسّن كُسب المرشح التقاط الجسيمات الدقيقة ويوفر الحماية لمادة المرشح نفسها من الرطوبة أو الجسيمات الساحجة. وبدون التبطين المسبق فإن مادة المرشح تسمح للجسيمات الدقيقة بأن تتسرب من خلال نظام المرشح الكيسي، وخاصة في بداية العملية، نظراً لأن الكيس لا يستطيع أن يقوم إلا بجزء فقط من عملية الترشيح ويترك الأجزاء الأكثر دقة لكُسب المرشح الذي يعزز عمل المرشح.

ويعر الزئبق الغازي أساساً من خلال مرشح كيسي. ولذلك ينبغي من أجل زيادة كفاءة العملية تحويل الزئبق الغازي إلى شكل مؤكسد بقدر المستطاع، بحيث يمكن أن يلتصق بالجسيمات. وكفاءة المرشح الكيسي يمكن أن تزيد بتدابير مختلفة، مثل الاقتران بالحقن الجاف أو شبه الجاف (التجفيف بالرشح) وتوفير ترشيح إضافي وتركيب سطح تفاعلي على كسب المرشح.

### المرسبات الكهروستاتيكية

تستعمل المرسبات الكهروستاتيكية القوى الكهروستاتيكية لفصل ذرات الغبار عن غازات العادم. وتندفق الغازات المحملة بالغبار من خلال الممر الذي يتشكل بالكثروودات والتصريف والتجميع. وتتلقى الجسيمات المحمولة جواً شحنة سالبة مع مرورها من خلال المجال المؤنن بين الإلكثروودات. وهذه الجزيئات المشحونة تنجذب إلى إلكثروود أرضي أو مشحون إيجابياً وتلتصق به. ويتم إزالة المادة المتجمعة على الإلكثروودات بجز أو ذبذبة إلكثروودات التجميع، سواء بصورة مستمرة أو في فترات محددة سلفاً. ويمكن عادة تنظيف المرسبات بدون وقف تيار الهواء.

والعوامل الرئيسية التي تؤثر على كفاءة الجمع في المرسبات الكهروستاتيكية هي المقاومة الكهربائية وتوزيع حجم الجزيئات. والعوامل الأخرى التي تؤثر على هذه الكفاءة هي درجات الحرارة ومعدل تدفق غاز المدخنة ومحتوى الرطوبة وعوامل التكيف في تيار الغاز أو زيادة سطح التجميع.

ويعمل المرسب الرطب بتيارات هوائية مشبعة بخار الماء (نسبة رطوبة نسبية تبلغ مائة في المائة). وهذه المرسبات الرطبة تستعمل بصورة شائعة لإزالة قطرات السوائل مثل رذاذ حامض الكبريت من تيارات الغاز في العمليات الصناعية. وتستعمل المرسبات الرطبة بصورة شائعة أيضاً عندما تحتوي الغازات على نسبة رطوبة مرتفعة أو تحتوي على جسيمات دقيقة قابلة للاشتعال أو جسيمات لزجة بطبيعتها.

#### أجهزة التنظيف الرطبة

يوجد نوعان مختلفان من أجهزة التنظيف الرطبة المستعملة، أحدهما يستعمل أساساً لإزالة الغبار ويستعمل الآخر لإزالة المركبات الغازية الحمضية.

وفي المنظفات الرطبة لإزالة الغبار يتلامس سائل التنظيف (وهو الماء عادة) مع تيار غازي يحتوي على جسيمات الغبار. وينتج عن الاتصال القوي لتيار الغاز والسائل كفاءة عالية في إزالة الغبار. وتؤدي عملية الترطيب إلى تجمع الجسيمات الدقيقة مما يسهل جمعها. ومن أمثلة أجهزة التنظيف المذكورة أجهزة فينتوري أو أجهزة ثيسين أو أجهزة راديال فلو. ويمكن أن تكون كفاءة إزالة الغبار التي تتسم بها هذه الوحدات أكثر من 98 في المائة، ولكن التركيز النهائي للغبار يكون مرتفعاً نسبياً (أكثر من 5 ملغ/اللمتر المكعب العادي).

والمنظفات الرطبة المخصصة أساساً لإزالة المركبات الغازية الحمضية (وهي غالباً منظفات من نوع أبراج الرش) تزيل الملوثات مثل ثنائي أكسيد الكبريت وكلوريد الهيدروجين والهافنيوم. ويستخدم سائل لامتصاص المركبات. وهي كثيراً ما تنظف الغاز الذي تم تنظيف الغبار منه بالفعل.

والغازات "المنظفة" بواسطة نوعي أجهزة التنظيف تمر عادة من خلال مزيل الرذاذ لإزالة قطرات المياه من تيار الغاز. أما الماء الناتج من نظام التنظيف فيتم تنظيفه وتصريفه أو إعادة تدويره في جهاز الغاز.

ويمكن تحسين امتصاص الزئبق النقي بإضافة مركبات الكبريت أو الكربون المنشط لسائل جهاز التنظيف (ميللر وآخرون، 2014).

والتهافل هو تدبير آخر يستخدم كثيراً لإزالة الزئبق المؤكسد من مياه التنظيف. ويمكن أن تعمل مركبات الكبريت كعامل للتبلد، عند إضافتها إلى مياه الغسل لتحويل الزئبق القابل للذوبان بكفاءة إلى مركب غير قابل للذوبان. وهناك احتمال آخر لربط الزئبق مباشرة بعد تحويله في مرحلة السيولة ويتمثل في إضافة الكربون المنشط إلى مياه التنظيف (بيتيغ، 2014).

ويمكن أن تحدث إعادة انبعاث الزئبق في حالة وجود مركبات الاختزال مثل الكبريت في مياه التنظيف. وفي هذه الحالة، يمكن تحويل الزئبق مرة أخرى إلى زئبق أولي وإعادة إطلاقه (تيسر وآخرون، 2014). ويمكن تجنب ذلك من خلال كفاءة وجود أيونات يمكن أن يتفاعل معها الزئبق ليكون مركبات مثل الفلوريد أو الكلوريد أو البروميديد أو اليوديديد.

## ملخص أجهزة تنظيف الغبار

يقدم الجدول 1 معلومات عن أداء أجهزة تنظيف الغبار

الجدول 1 أداء أجهزة تنظيف الغبار معبراً عنه بمتوسط تركيزات الغبار في الساعة

تركيزات الغبار بعد التنظيف (ملغ/م <sup>3</sup> )	
5 - 1 >	المرشحات النسيجية
1 >	المرشحات النسيجية، النوع الغشائي
15 - 5 >	المرسبات الكهروستاتيكية الجافة
5 - 1 >	المرسبات الكهروستاتيكية الرطبة
20 >	أجهزة تنظيف الغبار عالية الكفاءة

المصدر: أخذ من وثيقة التوجيه بشأن أفضل التقنيات المتاحة لضبط انبعاثات المعادن الثقيلة ومركباتها من فئات المصادر المذكورة في المرفق الثاني لبروتوكول المعادن الثقيلة (ECE/EB.AL.R/116, 2013)<sup>(1)</sup>

### عوامل الإذابة والأكسدة

الكربون المنشط مذيب فعال لالتقاط الزئبق من غاز المداخن. ويمكن حقن الكربون المنشط في تيار غاز المداخن قبل دخول أجهزة تنظيف الغبار أو المرشحات الكيسية أو المرسبات الكهروستاتيكية أو يمكن توزيع غاز المداخن في كل أجزاء طبقة ترشيح كربونية. وفعالية الكربون المنشط لضبط الزئبق تتوقف على درجة الحرارة. وبالتحديد فإن التقاط الزئبق أو قدرة إزالة مادة ماصة بعينها تتزايد نمطياً مع انخفاض درجة حرارة غاز المدخنة. وتتحدد درجة حرارة غاز المدخنة أساساً بتصميم المنشأة وعوامل التشغيل. وحسب خصائص المنشأة، مثل العناصر التي يتكون منها غاز المدخنة وتشغيل جهاز ضبط الغبار، تكون إزالة الزئبق فعالة نسبياً عند درجات حرارة تقل عن 175 درجة مئوية مع استخدام الكربون المنشط المعياري. وتوجد مواد ماصة من الكربون المنشط خاصة لدرجات الحرارة العالية من أجل التقاط الزئبق في درجات حرارة تزيد عن 175 درجة مئوية وتصل عموماً حتى 350 درجة مئوية.

وجميع أنواع الكربون المنشط قابلة للاشتعال، وهي قابلة للاشتعال الذاتي وقابلة للانفجار في ظروف معينة. وتتوقف مخاطر النيران والانفجار على خصائص الاحتراق والانفجار في المنتج المسحوق، وكذلك على العمليات المستعملة وأحوال المنشأة. فالكربون المنشط بنوعية جيدة يخضع لقدر كبير من عمليات التجهيز وينطوي على درجة أقل من مخاطر النيران والانفجار بالمقارنة مع الكربون من النوعية المنخفضة. ولكن أنواع الكربون المنشط جزئياً يمكن أن تنطوي على مخاطرة عالية وقد تتطلب تعاملاً خاصاً. وينبغي اختيار المادة الماصة بعناية واستخدامها حسب التوجيهات المناسبة للتعامل، بما في ذلك استخدام معدات منع النيران والانفجار (مثل تجنب تيارات الهواء منخفضة السرعة عن طريق طبقات الترشيح وتجنب الترسبات الكبيرة الحجم في العملية من خلال استمرار التصريف من القواديس ورصده من أجل تجنب مخاطر النيران، وجودة الصيانة الروتينية لتنظيف التناثر). وتخفيف الكربون مواد خاملة يمكن أن يكبح إمكانية الانفجار. وفي التطبيقات التي يضاف فيها الكربون المنشط إلى تدفقات الغاز التي تنطوي على كميات قليلة من غاز العمليات قد يكون من المفيد خلط الكربون بمواد ماصة غير قابلة للاشتعال (ليكاتا وآخرون، 2007؛ ديرين وآخرون، 2008).

(1) يلاحظ وجود خلاف بشأن مستويات الأكسجين المستعملة للتمثيل عن كمية التخفيف الحاصل، وينبغي القيام بمزيد من البحث.

ويمكن تعزيز التقاط الزئبق بإضافة عوامل الأكسدة (مثل الهالوجينات) إلى غاز المدخنة أو استخدام الكربون المنشط المحقون بالهالوجين أو الكبريت. ويرد وصف هذه التقنيات بمزيد من التفصيل في الفصول الخاصة بالقطاعات. وهناك خطر محتمل من إمكانية ظهور الديوكسين والفيوران نتيجة ذلك، وخاصة في المنتجات الثانوية، مثل الرماد والحماة. وينبغي أن يؤخذ ذلك في الاعتبار.

وينبغي التعامل مع نفايات الكربون المنشط وفقاً للمادة 11 (نفايات الزئبق) ووفقاً لأي لوائح وطنية معمول بها.

ويوضح الجدول 2 الأداء الأدنى المتوقع لتقنيات الكربون المنشط من أجل إزالة الزئبق.

**الجدول 2 الأداء الأدنى المتوقع لتقنيات الكربون المنشط لإزالة الزئبق معبراً عنه بمتوسط تركيزات الزئبق في الساعة**

محتوى الزئبق بعد التنظيف (ملغ/م <sup>3</sup> )	
0,01 >	مرشح كربوني
0,01 >	مرشح كربوني محقون بالكبريت
0,05 >	حقن الكربون + فصل الغبار
0,001	حقن الكربون المنشط المبروم + فصل الغبار

المصدر: أخذ من وثيقة التوجيه بشأن أفضل التقنيات المتاحة لضبط انبعاثات المعادن الثقيلة ومركباتها من فئات المصادر المذكورة في المرفق الثاني لبروتوكول المعادن الثقيلة (ECE/EB.AIR/116, 2013)

وتتوقف درجة ضبط الزئبق في الجدول 2 إلى حد كبير على الحالة الكيميائية للزئبق وشكله (على سبيل المثال، ما إن كان الزئبق مؤكسداً أو مرتبطاً بجسيمات)، وعلى التركيز الأولي. ويتوقف تطبيق هذه التدابير على العمليات المحددة ويكون أكثر أهمية عندما تكون تركيزات الزئبق في غاز المدخنة مرتفعة. وتتضمن وثائق القطاعات أمثلة لمستويات أداء فرادي التقنيات أو مجموعات التقنيات.

