

Q 2.1.4

軟化装置管理上の留意点について、具体的な管理方法を教えてください。

A

イオン交換樹脂は球状で粒径は0.4～0.6mm程度、複雑な網目状の三次元骨格構造を呈しており、軟水採水量はイオン交換樹脂量と原水の硬度によって決まります。

イオン交換樹脂は一般的に1年で10%程度が割れ、目詰まりなどによって、その効果が低減するといわれており、採水量は年々低下すると考えてください。

従って約10%のイオン交換樹脂を毎年補充するか、ある程度の年数使用後、樹脂を全量取替えて軟化装置の性能維持を図るのが一般的です。以下に一般的な軟化装置の管理方法を記します。

1) 軟化装置での1 サイクル当りの採水量の計算式

$$Q = \frac{R \times 47.5}{P \times 1.15}$$

ここに、

Q：採取量 (m³/1サイクル)

R：樹脂量 (L)

P：原水硬度 (mgCaCO₃/L)

上記式は15%の安全係数を見込んでいますが、メーカーによっては20%の安全係数を使用する場合があります。上記の式から軟化装置の再生時期を決定します。

原水の硬度は原水系統（取水系）の切替及び季節（雨季）などによっても変化するので、採水量を計算するには原水硬度の変化を把握しておく必要があります。1サイクルの採水が終了したら直ちに塩化ナトリウム溶液によって、イオン交換樹脂を再生します。

2) 硬度指示薬による検水の理解不足による硬度漏れ

ボイラー給水が軟化水になっているか否かを確認するために、メーカーでは硬度指示薬によって毎日確認することを指導しています。一般的には一日1回の試験が多いようですが、原水の硬度の変化及びイオン交換樹脂の劣化を考慮すると一日2回以上の試験が望ましいようです。

試験は、軟化装置の出口水を採取し、それに硬度指示薬を滴下させると、軟水になっている場合は「青」、硬度漏れが発生している場合は「紫もしくは赤」に変色することから判定されます。

前記式にて採水量は分かっており軟化装置に故障がなく、かつ、再生が十分にできていれば常に「青」となります。

しかしながら、ある事業所では、毎日試験はしていましたが、硬度指示薬が紫色になってから軟化装置の再生を実施していてスケール付着となった例があります。このケースでは、当然、再生のタイミングが遅れており、スケール付着は避けられない状況にありました。

図2-1-2に硬度指示薬の例を示します。指示薬の使用方法はメーカー取扱説明書に従いますが、図2-1-2の指示薬は採取水を清浄なビーカーなどに約20mL採取し、指示薬2～3滴を滴下、静かにかき混ぜると、軟化水の場合は「青」リークが生じた硬水の場合は「紫」に変化するものです。軟化水の硬度が $1\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ 未満の場合は「青」を呈します。



図2-1-2 硬度指示薬

3) 自動軟化装置を過信した取扱い不良による硬度漏れ

全自動軟化装置ということで、再生用の塩化ナトリウムを一度も投入せずに採水を実施していた嘘のような例もありました。Naイオン交換後のイオン交

Q 2.1.15

硬度指示薬により毎朝始業時に、軟化装置出口水の軟水の試験を行って、硬度漏れがないことを確認していましたが、スケールが付着してしまいました。

何が原因ですか？原因と管理手法を教えてください。

A

軟化装置をマニュアル通りに運用しているのに、ボイラーに白色スケールが大量に堆積して困ったという話をよく耳にします。この白色スケールは、硬度成分であるカルシウム系の物質ですので、軟化装置（又は復水系統）から漏えいしてきた硬度成分に起因することはまず間違いありません。問題はなぜ漏えいしてきたかですが、ここでは、これらの原因と要因を推定し注意事項を挙げて対策を考えていきます。

1) 軟化装置の硬度漏れの原因と対策

軟化装置の硬度除去能力は有限であり、通水を続けていくと徐々に硬度の除去能力がなくなってきます。硬度除去能力がなくなってきたら再生を行って能力を復帰させます。軟化装置のイオン交換能力は、原水の硬度と採水量という基本的な因子に加え、イオン交換樹脂の劣化及び原水硬度の変動などが安全率として考慮され、通水中において硬度が漏れないように余裕をもって、決定されます。しかし、原水の硬度の変動幅が軟化装置の仕様条件の予想を大幅に超えるものであったり、イオン交換樹脂が急速に劣化することもあり、これらによって、硬度が漏れる結果になることもあります。最近の軟化装置は、再生を全自動で行うタイプのもものがほとんどで、再生塩をタンクに補給する以外の作業を要しません。これが落とし穴になって、硬度洩れに気が付かなかったという例も多いようです。

硬度漏れが発生する原因と対策としては、以下のようなことが考えられます。

(1) 軟化装置設置時と比べて軟化装置にかかる硬度負荷が増大している。

① 原水の硬度が以前より高くなっている。

原水が同じ位置から採取する地下水である場合は、水質が比較的安定していますが、河川水及び湖沼水では季節によって水質が大きく変動することがあります。水道水・工業用水でも河川水及び湖沼水を原料の水としている例が多いので、河川水及び湖沼水と同様の傾向を示します。

実際に河川水の硬度は、全国的には10～135mg/Lと広範囲にわたっており、同一都市でも浄水場間で数倍の濃度差があるところもあります。また、季節変動については、東京都の例では、年間ほとんど変動しない浄水場もありますが、中には2倍程度変動するところもあります。大体、秋から冬に濃度は高くなるようです。このように硬度成分濃度が季節によって2倍も変動するような場合には、軟化装置の軟化能力が半減することになりますので、年間を通じ同一の再生頻度で軟化装置を運転することは極めて危険であるといえます。

対策としては、原水の水質が変わっていないかを確認するため、原水分析を行います。原水硬度が以前より高くなっていることが確認できれば、再生頻度を見直します。硬度の増加量があまりに大きい場合は、再生頻度の調節の範囲を超え、軟化装置の増設が必要になるかも知れません。今後は、再発しないために、少なくとも年に4回程度、原水の水質分析を行うことをお勧めします。なお、原水硬度が以前より低くなっていれば、再生頻度を減らすことも可能です。

② 積算採水量が以前より増えている。

定流量、タイマー設定で全自動軟化装置を運転しているパターンが多いと考えられますが、何らかの原因で採水量が増えると軟化装置にかかる硬度負荷が増えますので、再生頻度が不足する可能性が出てきます。軟化装置の採水量（再生から次の再生までの積算流量）と原水硬度の積が軟化装置の仕様書上の能力を超えていないか否か確認が必要です。

なお、より定量的に採水量を管理する場合は、積算通水流量が所定の値になれば再生動作に移る、「流量再生型」の自動軟化装置を選択して、流量の増減に対応する方法もあります。

(2) 軟化装置設置時と比べて軟化装置の能力が低下している。

① イオン交換樹脂が劣化している。

軟化装置内のイオン交換樹脂を劣化させる要因の中で、最も影響が大きいのは強力な酸化力を持つ水道水中の残留塩素 (Cl_2) です。水道水は、水道局の浄化工程で塩素を注入して消毒処理が行われますが、衛生上の安全のため、水道法によって塩素が残留するように過剰に注入されます。この残留塩素の濃度は、その原水の汚染状態の程度に依存しており、汚染がひどい場合には高くなっています。“水道法に基づく水質基準に関する省令”で濃度下限は使用箇所の蛇口で 0.1mg/L 以上を保持することが規定されています。一般に、残留塩素の濃度が高くなると、かるき臭くなるので、各水道局では、 0.5mg/L を目標にしているようです。実状としては、例えば、東京都の水道の場合、山間部に近く原水の汚染が少ない多摩地区では残留塩素の濃度は $0.3\sim 0.4\text{mg/L}$ と低いのですが、河川の下流域で原水が汚染されている東京湾岸地域では 0.9mg/L と高くなっています。このような状況での陽イオン交換樹脂の劣化による軟化能力の低下は、残留塩素の濃度の低い多摩地域では年間に約 $10\sim 20\%$ のオーダーですが、東京湾岸地域では大きくなり、1年間での軟化能力が 30% を超えて低下する可能性があるかと推測されます。すなわち、初期には3日間採水できたものが、1年後には2日間も採水できない、ということがありえるわけです。実際には採水量は余裕を持って設定されているとはいえ、残留塩素の濃度の高い地域では予想以上に軟化能力が低下するので、通水時間の後半、特に終了時間近くでは、硬度リークの検出試験の頻度を上げて硬度のリーク点を正確に把握し、硬度リーク前に再生を行わなければいけません。このように運転時間とともに通水時間は経時的に減少することを認識して採水時間を適切に変更しなければなりません。

陽イオン交換樹脂の劣化に対応するために、軟化装置内の陽イオン交換樹脂の一部を採取して、再生・通水試験を行って劣化の程度を判定するこ