آب دیگهای بخار
اهمیت ، مراقبت

نوشته
دکترمصطفی بنی‌جمالی
استادیار دانشکده فنی

دیگ بخار گذشته از ارزش ریالی تأسیسات خود آن ازیکطرف بعنوان منبع حرارتی صنعت وازطرف دیگر به لحاظ اهمیتی که درمراکز تولید نیرو دارد درتأسیسات صنعتی حائزاهمیت فراوان بوده ونگهداری وتعمیرات ونیز بهره برداری صحیح آن جزو مسائل اصولی هرتشکیلات صنعتی است. دربین عواملی که در استهلاك و دوام دیگ ونیز خاصیت محصول آن یعنی بخار یطور یقین در درجه اول اهمیت قرارداشته وشاید آنرا بتوان مؤثرترین فاکتور منظور نمود آب تغذیه دیگ بخار است. شدت تأثیر ناخالصی های آب ویاحتی اثرخورندگی روی اجزاء سازنده دیگ بخار بستگی به شرایط کار دیگ (سرعت تبخیر ، نوع سوخت) و نیز مشخصات آن دارد. عوامل فشار ودجه حرارت تولیدی درشدت اثرناخالصی ها روی دیگ مهمترین فاکتورها را تشکیل میدهند. بدیهی است که سرعت هرنعل وانفعالی با افزایش درجه حرارت بالا رفته ودر دیگ بخار افزایش فشار ودرجه حرارت همواره توأم میباشند. پس اهمیت مسأله آب دیگ بخار واهمیت اثر آن روی عمر دیگ ونیز خواص بخار حاصله بامیزان فشار و تاحدی ظرفیت دیگ تغییر مینماید.

دسته بندی دیگهای بخار :

دیگهای بخار به لحاظ ظرفیت (تولید بخار برحسب تن یا کیلوگرم درساعت) به انواع :

۱) دیگهای کوچک تا ٦ تن درساعت.

۲) دیگهای متوسط تا ۷۵ تن درساعت.

۳) دیگهای بزرگ تا ٤۲۰ تن درساعت و بالاخره.

٤) دیگهای فوق‌العاده بزرگ که از ٦۰۰ تن درساعت به بالا است تقسیم میگردند.

از نقطه نظرفشار ودرجه حرارت دیگهای بخار بشرح زیر دسته بندی میشوند.

۱ ـ دیگهای بخار « فشارکم » برای تولید بخار با فشار تا ۱۵ آتمسفر

۲ ـ دیگهای بخار « فشار متوسط » برای تولید بخار بافشار تا ٤۰ آتمسفر

۳ - دیگهای بخار « فشار زیاد » برای تولید بخار بافشار تا ۱۲۵ آتمسفر

٤ - دیگهای بخار «فشار فوق‌العاده» برای توالید بخار بافشار بیش از ۱۵۰ آتمسفر.

مسائل ومشکلات ناشی‌از آب دیگ بخار در دیگهای‌پرقدرتی که اخیراً در مراکزتولید نیرونصب گردیده‌اند با مسائل و مشکلات موجود در دیگهای بخاری که درایران نصب ومشغول کار بوده و اغلب تا حدود فشار ۷۵ کیلوگرم برسانتیمتر مربع یا کمتر میباشند کاملاً متفاوت است. معمولاً اشکالاتی که در دیگهای از ۱۰۰ آتمسفر به بالا پیش میآید به ندرت در دیگهای با فشار متوسط مشاهده میگرددوهمچنین دردسرهای دیگهای فشارکم با دیگهای فشار زیاد کاملاً متفاوت است. علل واقعی این تفاوت نکات مختلفی است که اصولی‌ترین آنهارا شرایط کار دیگها تشکیل میدهند. مثلاً در دیگ بخار فشار زیادی که در یک مرکز تولید نیروکار میکند بیش از ۹۹٪ آب سیکل بسته طی کرده وفقط کمتر ۱٪ بعنوان جبران افتهای فرار از درز وغیره‌لازم است آب تازه واردسیستم‌نمود در حالیکه در دیگهای صنعتی (منظور دیگهائی است که حتماً تمام ویا قسمتی از بخارآن بمنظورگرم کردن راآکتورها ویا ایجاد خلاً درکارخانه مصرف میشود) معمولاً از ۳۰ تا ۱۰۰٪ آب تغذیه دیگ را آب جدید تشکیل میدهد. گذشته از آن چون با بالا رفتن فشار درجه حرارت اشباع نیز افزایش مییابد این عامل نیز رل مهمی را در ایجاد مشکلات تازه و پدیده‌های جدید شیمیائی بازی مینماید.

مطالبی که دراین مقاله بنظر میرسد اختصاص به بحث روی مشکلات ومسائل آب دیگهای بخار تا فشار حدود ۷۵ اتمسفر بوده که شامل کلیه واحدهای درحال کار در ایران است. ازبین همه مطالب و خواص مربوط بآب‌دیگهای بخار مساله‌تصفیه آب‌چه درخارج دیگ وچه در داخل آن در درجه اول‌اهمیت قرارگرفته وسعی میشود کلیه مشکلات ناشی از آن‌تجزیه وتحلیل شود. این مشکلات را میتوان درسه‌دسته خلاصه نمود.

I - خورندگی سطوح داخلی دیگ بخار

II - ناخالص بودن بخار

III - تشکیل رسوب درسطوح داخلی دیگ بخار.

I خورندگی

متداولترین نوع خورندگی‌در صنعت زنگ زدن فلزات است. در دیگهای بخارکه با فشارکم کار میکنند زنگ زدن از مهمترین نوع خورندگی‌است. این نوع خورندگی حتی دردیگهای بخار بی‌مصرفی که بطور صحیحی نگهداری نشوند اتفاق‌افتاده‌ومیزان‌استهلاك دستگاه را حتی از موقعی که واحد در بهره برداری است بیشتر مینماید. در موقع کار دیگ‌درحرارت‌جوشش آب‌و درحضور رطوبت اکسیژن محلول در آب‌روی سطح داخلی فلز اثرکرده رنگ زدگی را بوجود میآورد. این پدیده درقسمت‌گرم‌کن دیگ‌که از حرارت

دود خروجی ازکوره جهت گرم کردن آب ورودی به دیگ استفاده میشود (Economizer) از سایر نقاط دیگ بیشتر بوده واغلب موجب سوراخ شدن لوله های این قسمت میگردد. دراین نقطه از دیگ آب در حداقل درجه خود بوده محتوی حداکثر اکسیژن (بامقایسه با سایر نقاط دیگ) میباشد. علاوه برخورندگی داخلی که اثر اکسیژن روی آهن است این لوله ها در معرض خورندگی مواد خورنده موجود در دود نیز میباشد که در برخورد باجدار سرد لوله های حامل آب تغذیه شده کندانسه شده ودر شرایط مناسبی که به لحاظ درجه حرارت و رطوبت وجود دارد باسطح خارجی لوله فعل وانفعال میدهند. باید توجه شود که درسطح خارجی این لوله ها مقدار زیادی دوده ومواد معلق دیگر موجود در دود خروجی راسب میگردد که برای کندن آنها وبهنگام شستشوی جدار خارجی لوله ها با بخار آب شستشو میدهند باید دقت شود که بخار ورودی کاملاً عاری از آب باشد زیرا در غیراینصورت ذرات آب باسرعت خارق العادهٔ که سطح ضعیف شده (بعلت زنگ زدن وخورده شدن جدار داخل وخارج) فلز بر میخورد بطور قطع ایجاد سوراخهای سوزنی مینماید.

قسمتهای دیگری از دیگ که در معرض رنگ زدن قرار میگیرند منبع بالائی آب که محل برداشت بخار ودرنتیجه درتماس با اکسیژن خارج شده ازسطح آب بوده و بالاخره لوله های حامل آبی که در آنها عمل تبخیر ویا گردش آب در دیگ انجام میگیرد. زنگ زدگی دیگ ممکن است درتمام سطح ویا موضعی باشددر هردوصورت اگر برای مدت قابل ملاحظهٔ ادامه یابدموجب تضعیف لوله ها ودرنتیجه تقلیل عمرآنها یا کم شدن اعتماد میشود.

درسطح فلزحفره های میکروسپیک فراوانی وجود داشته که بهترین محل برای ذخیره شدن ملکولهای اکسیژن هنگام گرم شدن آب است.

وجود اکسیژن در تماس باسطح زیادی از فلز (حفره های فلزی گرد و ذرات اکسیژن کروی با تقریب قابل قبول میباشند) بالا بودن درجه حرارت سطح فلز وفشار محیط وبالاخره رطوبت وناخالصی هائیکه اغلب موجب تسریع فعل وانفعال بین اکسیژن وآهن میگردند شرایطی ایده آل برای ترکیب نسبتاً سریع بین اکسیژن ومدار لوله ها میباشد.

مؤثرترین ومناسبترین راه جلوگیری از زنگ زدن جدار فلزی آنست که اکسیژن آب کاملاً حذف گردد و برای اینکار باید سعی شود در وهله اول اکسیژن هوا وارد سیکل آب نگشته ونیز اکسیژنی که بنحوی همراه آب وارد سیستم شده است در اولین فرصت کاملاً خارج گردد.

سهلترین و متداولترین طریقه برای انجام اینکار استفاده از هواگیرهای حرارتی میباشد. باید توجه شود که وجود چنین سیستمی درمسیر آب ورودی به دیگ باآنکه لازم است ولی کافی نبوده وباید باآزمایشهای دقیق اندازه گیری اکسیژن در آب همواره مطمئن برد، که در ظرفیت های مختلف بطور کامل کار میکند. در بعضی از هواگیرها ساختمان دستگاه طوری است که دربارهای کم سیستم تحت خلا کار میکند که همواره خطر ورود هوا در آن وجذب اکسیژن در آب وجود داشته و متصدیان فنی دستگاه باید شدیداً مواظب این

خطرباشندوروی‌این‌اصل است که همواره سعی میکنند بین مخزن هوگیر ویک منبع تحت فشار مثلاً منبع بخار دیگ اتصال‌برقرار نمایند تاخطر هوا کشیدن از بین برود.

اکسیژن محلول درآب تغذیه روی قطعات تلمبه تغذیه ولوله‌های رابط بین تلمبه تغذیه و دیگ بخار نیز اثر کرده وتولیدزنگ آهن مینماید. این پدیده گذشته از آنکه موجب مستهلک شدن زیاده ازحداین قطعات میگردد زنگهای تولید شده درمسیر وارده دیگ‌بخار شده ودر آنجا راسب گشته وسبب کاهش‌ضریب حرارتی فلز ودرنتیجه کندشدن عمل تبخیر وپائین آمدن راندمان حرارتی کوره میشود.

خارج کردن‌اکسیژن‌درهواگیر عملی کامل‌وقاطع‌نبوده وهمواره‌بعلت‌انحلال مختصری که‌اکسیژن درآب داغ ودرشرایط هواگیر داردمقدار ناچیزی‌اکسیژن در آب باقیمانده‌که بعلت اثر مداوم در دیگ‌بخار مزاحمت‌های فراوانی ایجاد مینماید. برای رفع این اشکال و ازبین بردن‌کامل اکسیژن درمسیر خروج از دستگاه هواگیر مقدار کمی محلول سولفیت سدیم $SO^{3}Na^{2}$ وارد آب تغذیه مینمایند مقدار این سولفیت باید طوری باشد که علاوه برترکیب‌شدن‌با اکسیژن واز بین بردن‌کامل آن مقدار ناچیزی نیزدرآب‌داخل دیگ بخار باقی بماند تا پطانسیل اکسید کنندگی آب کاملا خنثی گردد. مقدار مجاز سولفیت درآب دیگ بخار (آبی که درون دیگ درحال تبخیر است) با شرایط کار دیگ متفاوت بوده ومعمولاً با افزایش فشار دیگ تقلیل مییابد زیرا در فشار زیاددرجه تفکیک سولفیت‌زیادترشده وانحلال SO^{2} درآب افزایش‌مییابد.

جدول زیر حدود مناسبترین غلظت $SO^{3}Na^{2}$ را برای فشارهای مختلف نشان میدهد.

جدول شماره ۱ ـ تغییرات غلظت سولفیت آب دیگ بخار برحسب فشار بخار تولیدی

فشار (psig)	سولفیت سدیم برحسب ppm SO^{3}		
	حداقل	حداکثر	مقدار مناسب
۲۰۰	۲۸	۴۸	۴۰
۴۰۰	۲۴	۴۵	۳۶
۶۰۰	۲۰	۴۰	۳۰
۸۰۰	۱۴	۳۰	۲۰
۱۰۰۰	۱۰	۲۰	۱۴
۱۲۰۰	۷	۱۲	۸

از مشکلات اجتناب ناپذیری که‌زنگ زدگی دردیگ بخار همراه دارد اثر سائیدگی ذرات اکسید آهن روی قطعات‌ووسائلی است که‌با آنهادرتماس‌قرار میگیردمثلاً اگر بخار بمنظور ایجادخلادر یک‌سیستم جت مورداستفاده‌قرارگیرد درگلوی جت که‌ذرات بخار ودرنتیجه همراهان مضرآن از جمله ذرات‌اکسیدهای فلزی بسرعت فوق‌العاده (گاهی نزدیک به سرعت سیر صوت) رسیده وبعلت جرم ملاحظهٔ که دارند دارای انرژی سینتیک فوق‌العادهٔ بوده و در برخورد با جدار جت ایجاد سائیدگی مینمایند. عین این پدیده روی

پره‌ها و محور توربین ظاهر میگردد و علامت آن خوردگیهای نامنظم وپیدایش رسوب رنگ آهن روی شیپورکها وپرهای توربین است.

II ـ ناخالصی های بخار

یکی از مشخصات اصولی بخار تولید شده در هر دیگ بخار اعم از صنعتی یا دیگ تولید نیرو عاری بودن آن ازهرگونه ناخالصی از قبیل آب و املاح وزنگ آهن است. امکانات میکانیکی دیگ باید قادر باشند درظرفیت تعیین شده درجه خلوص بخار مجاز تضمین نمایند. برای انجام این مقصود درساختمان منبع بالائی دیگ بخار وسائلی تعبیه مینمایند که مانع کشیده شدن آب با بخار میگردد. ازجمله درسطح حد فاصل بین فاز آب و بخار دراین منبع تعدادی جداکن بخار قرار میدهند این جداکن‌ها عملاً یک استوانه توخالی بوده ومجهزبه پره‌های با زاویه معینی در جدار خود میباشند که مانع عبور ذرات آب همراه با بخار میباشند. کلیه بخار تولید شده از دستگاه باید از درون این استوانه‌ها که بنام Steam Separating Equip ments نامیده‌میشوندعبور نماید. برای اینکه‌این قطعات بتوانندبطوردقیق وکامل بکار خود ادامه دهند لازم استآب دیگ‌بخار دارای خاصیتی باشد که در تحت شرایط کار دیگ بخارکف نکند. مهمترین عواملی که موجب کف کردن آب در دیگ بخار میگردد عبارتند از:

۱) بالا بودن مقدار مواد محلول درآب (دراینصورت ویسکوزیته و دانسیته آب افزایش یافته جدا شدن حبابهای بخار از سطح آب مشکل گردیده توام با ایجاد کف میگردد).

۲) بالا بودن قلیائی آب.

۳) حضور بعضی از مواد آلی از قبیل مواد پروتئینی، چربیها، صابونها که سبب تقلیل کشش آب ودرنتیجه تولید کف شوند.

مواد محلول درآب در نتیجه تبخیر آب وغلیظ شدن‌آن نسبت باملاح محلول میباشد برای‌جلوگیری از افزایش خارج از حدآن لازم است همواره مقدار حساب شدهٔ آب دیگ را از محل مناسبی تخلیه نمایند. مقدار این آب باید با محاسبه بیلان مادهٔ دقیقی همراه باشد زیرا تخلیه کم موجب بالا رفتن مواد محلول در دیگ و تخلیه‌بیش از حدلازم بعلت دور ریختن انرژی حرارتی همراه با آب موجب افزایش تلفات‌حرارتی دیگ میگرددا گر A تن بخار در ساعت و X مقدار تخلیه برحسب تن در ساعت‌باشدبدیهی‌است که‌آب‌ورودی به دیگ بخار A+X میباشد.

اگر آب ورودی به دیگ مثلاً دارای ۲۵۰ مقدار در میلیون املاح (حدود آب اطراف تهران)وحد مجاز برای دیگ بخار ۱۵۰۰ مقدار درمیلیون باشد (حدود مجاز برای فشار ۶۰ آتمسفر) واگر فرض کنیم بخار فاقد مواد محلول درآب است (این فرض‌با آنکه کاملا صحیح نیست ولی درمحاسبات مهندسی خطای زیادی ایجاد نمیکند) بیلان ماده نسبت به ملح موجود درآب بشرح زیر است.

$$۲۵۰(A+X)=۱۵۰۰\ (X)+(۰)\ (A)$$

ازحل معادله فوق مقدار تخلیه در ساعت برحسب تن بدست میآید.

دردیگهای بخار با ظرفیت زیاد و فشار نسبتاً بالا چون مقدار X قابل ملاحظه است تخلیه مستقیم آب درفضای آزاداغلب بعلت داغ بودن وتحت فشار بودن آب ایجاد سروصدا ومزاحمت نموده وبعلاوه‌مقدار قابل توجه درشبانه روز انرژی حرارتی تلف میگردد. درچنین مواردی اغلب رسم براینست که آب تخلیه را وارد مخزن کوچکی نموده وفشار آنرا به ۱ تا ۳ جو تقلیل میدهند که درنتیجه مقداری آب تبخیر شده و باقیمانده که نسبتاً سردتر شده دور ریخته و بخار حاصله صرف گرم کردن مخزن هواگیر یا مازوط ورودی به دیگ میگردد. باتنظیم بیلان انرژی و مواد میتوان مقدار بخار حاصله راکه جزو صرفه جوئی‌ها است محاسبه نمود.

تخلیه مزبور عموماً از نزدیک سطح آب و بخار واز نقاط مختلف آب انجام میگیرد ولی در دیگها برای جلوگیری از پیدایش رسوب و گل‌ولای درقسمتهای پائینی دیگ بخار بطور متناوب از ۸ تا ۲۴ ساعت یکبار بمقدار معینی آب بطور ناگهان از ته دیگ تخلیه مینمایند. باید بخطر اینکارکه سنگین شدن وظیفه تلمبه تغذیه آب برای جبران این تخلیه ناگهانی است درموقع عمل توجه گردد. اصولی ترین راه اینستکه اینکار زیر نظر متصدیان با تجربه و در هنگامیکه بار دیگ بخار تقلیل مییابد (حتی بار دیگ را با متوقف کردن بعضی مصرف کننده‌ها کم کنند) انجام گیرد. اگر اینکار بطور صحتح انجام نگیرد ممکن است اولاً بدلیل تخلیه ناگهانی تلمبه دیگ بخار وظیفه بیش ازقدرت خود پیدا کرده و موجب متوقف شدن و یاحتی سوختن آن گردد. ثانیاً ورود مقدار زیادی آب سرد بطور ناگهان بدیگ ممکن است ایجاد ناراحتی های مکانیکی نماید.

نکته مهم دیگر اینکه تخلیه از ته دیگ باشکال میتواند تمام وظایف تخلیه از بالا را انجام‌دهد. تخلیه ازبالا ممکن بطور متناوب (در دیگهای کوچک) ویامداوم(درواحدهای بزرگ) انجام پذیرد وعلاوه برثابت نگهداشتن مواد محلول آب درهمه دیگ سبب تقلیل شدید باقیمانده خشک در محل تبخیر آب ودر نتیجه کم‌شدن خاصیت کف کردن آب میگردد.

مهمترین ناراحتی حاصله از بالا بودن موادمحلول درآب دیگ بخار یکی زیاد شدن احتمال ایجاد رسوب درجدارهای دیگ و دیگر حضور مواد معدنی همراه با بخار وراسب شدن آنها درسیستم داغ کردن بخار ونیز آسیب دیدن توربین ویا وسائل دیگری است که با بخار در تماس درآیند. املاح موجود دربخار علاوه برایجاد سائیدگی درجدارها وقطعات در بسیاری از موارد خورندگی شیمیائی نیز در بردارد.

میزان‌مجاز موادمحلول در آب بخار در شرایط مختلف دیگ‌درجدول شماره ۲ نشان داده‌شده‌است.

بالا بودن‌قلیائی آب درون دیگ بخصوص‌وقتیکه با بالا بودن مواد محلول درآب همراه باشدبطور یقین موجب کف کردن آب میگردد. کم کردن قلیائی بطرق مختلف انجام میپذیرد وانتخاب طریقه بسته به علت بالا بودن قلیائی آب میباشد مثلاً اگر در تصفیه آب و مناسب کردن آن برای دیگ بخار فسفات

جدول شماره ۲ـ تغییرات مقدار مواد محلول در آب دیگ بخار برحسب فشار دیگ

فشار (dsig)	مواد محلول درآب دیگ برحسب مقدار درمیلیون
۲۰۰	۳۵۰۰
٤۰۰	۳۰۰۰
٦۰۰	۲۰۰۰
۸۰۰	۱۵۰۰
۱۰۰۰ تا ۱٤۰۰	۱۰۰۰

تری‌سدیک ویا آهک بکار برده باشند با اضافه کردن مقدار فسفات منوسدیک PO^4H^2Na میزان قلیائی را تنظیم میکنند.

حضور مواد آلی بخصوص روغنهای معدنی یا غیرمعدنی در آب دیگ بخار سبب کف کردن شدید ودرنتیجه ناخالص شدن بخارگشته‌وحتی در بارهٔ موارد موجب خورندگی‌های اسیدی درسطح فلز در تماس میگردند. ممکن است مواد آلی موجود در دیگ در شرایط کار دیگ درجدارها راسب شده وحتی درحرارت بالای سطح لوله‌ها مواد آلی تجزیه شده وکربن بجای میگذارند درنتیجه کلیه این پدیده‌ها ضریب‌انتقال حرارت فلزلوله‌ها تقلیل یافته وعمل خنک‌شدن جدار خارجی‌لوله‌ها توسط آب درون آن آنطورکه لازم‌است انجام نیافته ودرمحل معین لوله بیش ازاندازه مجاز داغ شده وپس ازمدتی کار در این شرایط لوله تاول زده‌وحتی سوراخ میشود. درچنین وضعی‌وجود اکسیژن درحفره‌های جداری واملاح راسب شده درسطح فلز بخورده شدن لوله‌ها کمک‌مینمایند. وقتی لولهٔ درمحلی سوراخ شدنبایدفقط بدلیل وجود رسوب‌معدنی‌ویا آلی دانست بلکه ممکن است بعلت ناجورکارکردن مشعل محل خاصی از لوله درمعرض حرارت غیریکنواخت قرارگرفته ودرنتیجه تبخیر در آن بوضع بسیارشدید و بلکه آنی گردیده واملاح باقیمانده ممکن است فرصت داخل شدن در آب نداشته ودرجدار داغ فلز رسوب کند که خود این علت ونامناسب بودن کار سوخت‌پاش یکدیگر را تشدید وموجب سوختن لوله میگردند.

حذف‌مواد آلی ازآب دیگ‌بخار باید قبل از ورود آب به دیگ انجام پذیرد. اغلب این آلودگی بعلت داخل شدن قطرات روغن یا طاقانهای تلمبه چاه عمیق یا تلمبه‌های واسطهٔ بین چاه ودیگ بخار بوده وباید همواره موردبازرسی دقیق قرارگیرند. درسالهای اخیر توسط‌بعضی از سازندگان مواد شیمیائی ترکیبات ضدکف برای‌آبهای دیگ‌بخار ببازار عرضه شده ولی باید توجه داشت گرچه‌مصرف آنها ممکن است درتقلیل کف مؤثر باشدولی‌استفاده ازآنها باید با روشن بینی‌علمی ومراقبت خاصی نجام گیرد تا اولاً خود آنهاتولید دردسر ثانوی ننموده ـ ثانیاً در نظر داشته باشندکه بمحض‌اضافه کردن این مواد درآب از دقت در عوامل مولدکف غفلت نگردد.

از املاح ومواد‌موجود در آب‌دیگ‌بخار وجود ناخالصی سیلیکاتهای فرار در بخار حاصله ازدیگهای

در فشار نسبتاً بالا (psig ۱۰۰۰ — ۶۰۰) به لحاظ‌راسب‌شدن روی توربین حائز اهمیت فراوان است. برای اینکار سعی میشود که مقدار سیلیکات‌در آب این دیگها از حد مجازی که در جدول زیر ذکر شده بالاترنرود.

جدول شماره ۳ ـ تغییرات مجاز در آب دیگ بخار برحسب فشار

فشار psig	مقدار مجاز سیلیکات برحسب مقدار درمیلیون $SiO^{۲}$
۲۰۰	۶۰
۴۰۰	۵۰
۶۰۰	۴۰
۸۰۰	۱۵
۱۰۰۰	۱۰
۱۲۰۰	۵

درفشارهای پائین‌تراز ۴ آتمسفر (حدود ۶۰۰psig به پائین) وجود سیلیکات درآب‌دیگ بخار بیشتر به لحاظ ایجاد رسوب در دیگ مهم بوده ومسأله وارد شدن آن در دیگ بخاراهمیت چندانی ندارد.

III ـ تشکیل رسوب درسطوح داخلی دیگ

متداولترین مشکل‌موجود در بهره برداری‌صحیح از دیگ بخار پیدایش رسوب درسطح تماس‌دیگ با آب است. گذشته از آن رفع این اشکال پرخرجترین‌وپردردسرترین مشکلات دیگ‌میباشد. انواع رسوبهای داخل دیگ‌بعلت نوع املاح موجود در آب ورودی زیادبوده وعلی‌الاصول نوع رسوب بستگی به منبع تولید رسوب دارد.

نوع رسوبها را میتوان‌برحسب خواص‌فیزیکی، ترکیب شیمیائی ویا منشاء تولید دسته‌بندی‌نمود ولی معمولاً به لحاظ درجه سختی آنها رسوبها را به شرح زیر به سه دسته تقسیم میکنند.

۱ ـ رسوبهای سخت وسنگین

۲ ـ رسوبهای نرم و متخلخل

۳ ـ رسوبهای شل مانندگل ولای

رسوبهای سخت‌وسنگین اغلب خیلی شکننده بوده‌وکاملاً بسطح فلز چسبیده‌اند بنحوی که کندن آنها حتی با قوی‌ترین وسیله مکانیکی امکان‌پذیر نمیباشد. در ترکیب شیمیائی این رسوبها عموماً سیلیکات وجود داشته و آنها را رسوبهای‌سیلیسی نامند. این رسوبها قدرت عایق کردن حرارتی زیادی داشته‌بطوریکه اگر ضخامت لایه آنها حتی کمتراز یک میلیمتر باشد هدایت حرارتی لوله را بطوری تقلیل میدهند که‌بوضع غیر قابل تصوری داغ شدن موضعی روی لوله بوجود میآید. تشکیل رسوب سیلیسی و داغ شدن‌لوله‌سبب

تورم (Blister Formatipp) وحتی تاول زدن لوله (Gross swellign) و بالاخره سوراخ شدن (rupture) آن درنقطه تاول میگردد.

رسوبهای نرم ومتخلخل اغلب تکهٔ یا پودری بوده وبآسانی با تراشیدن از سطح فلز جدا میشود فشارهای کمتر از ٤ آتمسفر ترکیب آنهارا بیشتر فسفات کلسیم ومنیزیم تشکیل میدهد واکثراً این رسوب محتوی مقدار قابل ملاحظهٔ اکسید آهن ومقداری چربی سایر مواد آلی میباشد. این رسوبها نیز قدرت انتقال حرارت فلز را کم میکند ولی نه باندازه رسوبهای سیلیسی ولی اگر مقدار آنها خیلی زیاد شود خطر تاول زدن وسوراخ شدن لوله بوجود میآید.

اغلب اتفاق میافتد که در زیرلایه های این رسوب مواد خورنده از قبیل اکسیژن و یا املاح خورنده و امثال آن محبوس شده و بعلت بالا بودن درجه حرارت عمل خورندگی شدیدی ظاهر میشود.

رسوبهای شل که اغلب گل ولای میباشد در ته مخازن ومنتهاالیه لوله های بخار قرار داشته واغلب کربناتهای نامحلول املاح سنگینی که در اثر جوشیدن آب در دیگ تولید شده و مواد معلق در آب است این رسوبها در جدار فلزی جدا و با شستشوی ساده درون دیگ تخلیه میگردند.

ب ـ منبع تولید رسوب

منبع تولید رسوبرا میتوان بدودسته تقسیم نمود یکی مربوط به سیکل آب و بخار سیستم و دیگری مربوط به خارج سیکل.

بطور کلی میتوان گفت که آنچه اکسید آهن ومس دررسوب پیدا میشود مربوط به عمل خورندگی است. این رسوبها از اثر اکسیژن آب ورودی به دیگ در PH کم روی قطعات فلزی حاصل میشوند. حاصل خورندگی و زنگ زدگی در دیگ بخار همراه با رسوبهای دیگری که در دیگ وجود دارد ته نشین شده تولید لایه رسوب را مینمایند. در فشار بالا و حتی در غیاب هر نوع رسوب دیگری این اکسیدهای فلزی بجدار لوله میچسبندمجدداً اهمیت کنترل اکسیژن و میزان اکسیدهای فلزی در آب تغذیه متذکر میگردد باید سعی شود مقدار اکسیژن کاملاً حذف گشته و ضمناً آب تغذیه درحداکثر مجاز باشد تا حضور مقدار ناچیزی اکسیژن مشکلات خورندگی را ایجاد ننماید.

مهمترین منبع رسوبهائیکه در داخل دیگ تشکیل میشود (در دیگهای صنعتی این مقدار ممکن است تا ۱۰۰٪ آب درگردش را تشکیل دهد) در آلودگیهائیکه ممکن است از طریقه نشط آب خام بداخل کندانسرتوربین ویا سایر کندانسرهای در مسیر بخار کارخانه که بنحوی آب مقطر حاصل از آنها واردسیستم میگردد. این ناخالصی ها و رسوبهارا بیشتر کربناتهای کلسیم ومنیزیم و به ندرت مواد آلی تشکیل میدهند. برای جلوگیری از تشکیل این رسوبها آبهای ورودی به دیگ را تصفیه مینمایند ونیز روی آب درون دیگ تصفیه های داخلی انجام میدهند تا درصورتیکه اگر بعضی از ناخالصی ها در تصفیه اولیه گرفته نشده ویا توسط کندانسور وغیره وارد نشده اند خنثی گردند.

ج ـ تصفیه آب درخارج از دیگ بخار

تصفیه آب دیگ بخار ازصاف کردن ساده جهت گرفتن گل ولای (دردیگهای بافشار خیلی کم) تا جداکردن کامل املاح معدنی آب (دیگهای بافشار زیاد) درصنعت انجام میشود. دراین مختصر بهیچوجه ازطرق مختلف تصفیه وشرح کامل آنها صحبتی بمیان نخواهد آمد. عوامل مختلف در انتخاب تصفیه آب وسیع و پردامنه بوده ونکات مهم آن عبارتند از کیفیت شیمیائی آب موردآزمایش، فشار دیگ وبالاخره میزان آبی که باید مرتباوارد دیگ نمود. با توجه باهمیت موضوع اغلب رسم براینست که با ارسال تجزیه کاملی از نمونه قابل اطمینین آب ونوع دیگ بخاری که قرار است مورد استفاده قرارگیرد ونیز با تفکر مواردمصرف بخار ودرجه خلوص موردنظر کارخانجات شیمیائی سازنده سیستم های تصفیه آب مورد مشورت قرارمیگیرند. اهمیت تصفیه به لحاظ دوام دیگ بحدی است که حتی سازندگان دیگهای بخار از اظهار نظر صریح روی نحوه تصفیه آب خودداری مینمایند. مطلب مهم آنکه با بالا رفتن مقدار آب ورودی بدیگ بعنوان جبران افت ها و نیز با بالا رفتن فشار دیگ کیفیت آب دیگ باید بهتر شود.

بعنوان نمونه مشخصات قابل قبول آب تغذیه دیگ بخار را برحسب فشارهای مختلف درجدول شماره ٤ ذکر میشود.

جدول شماره ٤ مشخصات شیمیائی آب تغذیه دیگ بخار در فشارهای مختلف

	فشار کمتراز ٦٠٠ psig	فشار ٦٠٠ تا ١٠٠٠ psig	فشار بیش از ١٠٠٠ psig
سختی کل برحسب مقدار در میلیون کربنات کلسیم	١	١	٠
آهن	٠ر١ ppm	٠ر٥ ppm	٠ر٠١ ppm
مس	٠ر٠٥ ppm	٠ر٠٣ ppm	٠ر٠٠٥ ppm
اکسیژن	٠ر٠٠٧ppm	٠ر٠٠٧ppm	٠ر٠٠٧ ppm
pH	٧ر٠ تا ٩ر٥	٨ر٠ تا ٩ر٥	٨ر٥ تا ٩ر٥

د ـ تصفیه آب در داخل دیگ بخار

درسانترالهای تولید بخار اغلب بعلت اشتباهات درکنترل ویا بروز نقص در دستگاه تصفیه آب مقدارجزئی مواد مضر وارد دیگ میشود که ممکن است باقی‌ماندن آنها در دیگ برای مدت قابل ملاحظهٔ خسارات جبران‌ناپذیر ببار آورد. گذشته از این در مورد دیگهای بخار بافشارکمتراز ١٠٠٠psig اغلب جدا کردن مقادیر بسیار جزئی ترکیبات مزاحم (ازقبیل سیلیس یا سختی) بسیارگران قیمت ووقت گیراست. لذا با توجه بمطالب‌فوق‌اغلب‌لازم است آب‌درون‌دیگ‌را بنحوی‌تصفیه نمود و مانع اثر نا مطلوب‌ناخالصی‌های جزئی گردید. اینکار توسط افزودن دائمی یا متناوب‌مواد شیمیائی خاصی به دیگ بالائی صورت میپذیرد ودر دیگهای بخار بدین منظور اتصالات ولوله هائی نتز تعبیه میگردند.

متداولترین ماده شیمیائی که بدیگها اضافه میکنند فسفات سدیم بصورت فسفات مونویادی و یا

تری‌سدیک است که برای جلوگیری از راسب‌شدن مقادیر جزئی ایوانهای کلسیم ومنیزیم ورودی به دیگ میباشد. غلظت‌فسفات‌را در حدمعینی ثابت‌نگهداشته تا در صورتیکه بعلت بروز اشکال ویا اشتباهی‌مقداری کلسیم ومنیزیم وارد دیگ‌گردد مراحمت جبران ناپذیر فراهم نیاید. کلسیم در شرایط دیگ با فسفات ترکیب شده و تولید مخلوطی از هیدرات کلسیم مینماید که دراصطلاح بنام hydroxyapatiteمعروف و بصورت لجن در ته دیگ ته نسین میگردد که در نتیجه منجربه تقلیل غلظت فسفات در آب دیگ میشود.

ایون Mg در چنین شرایطی بصورت $Mg(OH)_2$ یا سیلیکات منیزیم راسب میشود از اینرو لازم است که دستگاه کنترل کارخانه بطور دائم روی میزان فسفات موجود در دیگ نظارت داشته و اگر غلظت فسفات بطور ناگهان تقلیل یابدعلت آنرا جستجو نمایند. جدول زیر غلظت مناسب فسفات را برای‌فشارهای مختلف دیگ نشان میدهد.

جدول شماره ۵ ـ برای غلظت مناسب فسفات در آب دیگ بخار برحسب فشار دیگ

فشار دیگ qsig	غلظت فسفات برحسب مقدار درمیلیون ایون PO^4		
	حداقل	حداکثر	مقدار مناسب
۲۰۰	۲۸	۶۰	۴۵
۴۰۰	۲۶	۶۰	۳۸
۶۰۰	۲۰	۶۰	۳۵
۸۰۰	۲۰	۴۵	۳۲
۱۰۰۰	۲۰	۴۰	۲۸
۱۲۰۰	۲۰	۴۰	۲۵

قلیائی دیگ نیز باید مرتباً کنترل گردد پائین بودن قلیائی با اضافه کردن محلول سود محرق وبالا بودن آن توسط تخلیه آب دیگ جبران میگردد. در دیگهای بخار فشارکم بخصوص درمواردیکه برای جبران کمبود آب باید مقدار زیادی آب واردسیستم شود واز آنجاکه تصفیه کامل آب بخصوص بلحاظ کم کردن سیلیکات اقتصادی نیست همواره سعی‌میشود که قلیائی آب دیگ کمی بالاتر باشد زیرا در این‌شرایط سیلیکات آب واکسید منیزیم ترکیب شده و تشکیل رسوب نرم ومعلق سیلیکات منیزیم را میدهد. ولی‌اگر در واحد تصفیه آب امکان از بین بردن کامل سیلیس وجودداشته‌باشد سعی میشود قلیائی پائین‌تر نگهداری شود زیرا دراینصورت کمک به تقلیل مواد محلول درآب و نیز خاصیت کف کردن آن میشود.

باید توجه داشت که رسوبهای شل تشکیل شده بین کلسیم وفسفات باید از درون دیگ تخلیه گردد. اگر از این رسوبها بمیزان قابل ملاحظه درمواردیکه بدلائل مختلف مصرف فسفات زیاد شده و قطعاً مقداری از این رسوبها تشکیل گردیده تخلیه دیگ‌را افزایش‌دهند. ونیز باید دقت شود که این‌رسوبها درشرایطی نگهداری شوند که همواره معلق بوده و نتوانند بجدار فلزی دیگ بچسبند. اینکار توسط اضافه کردن مواد شیمیائی خاصی که عصاره تانن میباشندصورت می‌پذیرد. این مواد که اغلب نامهای تجارتی

مختلفی نیز دارند اغلب وقتی خوب و کامل کار میکند که جنس رسوب بیشتر از نوع فسفات وهیدرات کلسیم hygroxyapatite باشد. درحضور مقدار قابل توجهی از اکسیدآهن اثر این مواد شیمیائی در معلق نگهداشتن رسوبها چندان جالب نبوده بلکه خود آنهانیز برسوبهای تشکیل شده اضافه میگردد از اینرو استفاده ازاین مواد شیمیائی باید با مطالعه شیمیائی دقیق صورت پذیرد.

هـ ـ پاك کردن درون دیگ

با همه مواظبت های شیمیائی ومکانیکی که روی دیگهای بخار انجام می‌پذیرد همواره احتمال ورود مواد نامطلوب وحتی راسب شدن آنها روی سطح لوله های دیگ وجود دارد. این امر با آنکه اجتناب ناپذیر نمیباشد ولی بعلت وجود عوامل متعدد و مختلف انسانی وشیمیائی در زمان طویل بهره‌برداری از یک واحد وبعلت پیچیده بودن اتفاقات وپدیده‌های مربوطه اغلب اتفاق میافتد. انتظار اصلی ومنطقی از کار تصفیه آب و کنترل محتویات دیگ بخار آنستکه سرعت پدیده‌های مزاحم را دردیگ بخار تاحدی کند وبی اثرنمایند تأسیسات مولد بتواند مدت مدیدی بدون اشکال بکار خود ادامه دهد.

باید توجه داشت در تمام مدت عمر دیگ گاهگاه سطحی که با آب درتماس بوده باید تمیز شود تا واحد بتواند بطور مطلوب و بدون اشکال انجام وظیفه بنماید. ولی نحوه تمیز کردن اعم از مکانیکی یا شیمیائی بستگی به نوع رسوب وساختمان دیگ دارد. در موارد استثنائی ممکن است پاك کردن مکانیکی وشیمیائی تواماً انجام پذیرد ولی اصولا روشهای شیمیائی نتیجه کاملتر ومطلوبتری را دارد وقابل اطمینان‌تر میباشد. در شستشوهای شیمیائی مطلب مهم آنکه ماده‌شیمیائی انتخاب‌شود که عمل شستشو را کامل انجام داده وروی دیگ اثر نامطلوب باقی نگذارد. برای انتخاب ماده شیمیائی تجزیه کمی و کیفی کامل رسوب درون لوله‌ها، ضخامت لایه، طرز توزیع آن در سطح فلزی (یکنواخت یا غیر یکنواخت) وبالاخره نحوه قرارگرفتن لایه های مختلف اهمیت فراوان دارد. اگرمقدار اعظم رسوبرا کربنات های کلسیم و منیزیم تشکیل دهند شستشوی ساده با اسید کلرئیدریک ٤٪ ممکن است منجر به پاك کردن رسوب گردد. اگر رسوب محتوی مقدار زیادی سیلیکات باشد در اغلب موارد کار شستشو کمی مشکل میگردد ودرچنین مواردی اغلب از بی‌فلورور آمونیم (F_2HNH_4) استفاده‌میشود. درصورتیکه رسوب محتوی مقدار قابل ملاحظه سولفات کلسیم وسیلیس باشد عمل شستشو مشکل بوده ودر بسیاری از موارد ممکن است در اثر جوشاندن دیگ با محلول ۱۰٪ Na_2CO_3 و شستشوی بعدی با HCl ٤٪ بتدریج سولفات کلسیم را به کربنات کلسیم تبدیل کرده ودرضمن سیلیکات نیز از جدار دیگ کنده‌شود، (این در موردی اتفاق میافتد که سیلیکات وسولفات کلسیم تواماً رسوب کرده باشند نه هریک بطور طبقهٔ جداگانه). درهرحال برای اخذ تصمیم درباره شستشوی دیگ بخار لازم است در آزمایشگاه پس از تجزیهٔ شیمیائی رسوب روشن را امتحان نموده بعد در دستگاه عمل کرد. معمولاً درشستشوی با اسیداز اجسام آلی که کاتالیزرهای منفی برای اثر اسید روی فلز میباشند استفاده شده و آنهارا Inhibitors نامند. بعلاوه پس از هربار مجاورت جدار فلز با اسید از ورود اکسیژن هوا بدرون

لوله هائی که توسط اسیدمرطوب‌شده‌باشند بایدجداء خودداری گردد زیرا فلزتازه که‌در مجاور اسیدبا اکسیژن مجاور شود بسرعت زنگ‌میزند.

باید توجه داشت که بعلت اهمیت موضوع اغلب کار شستشوی شیمیائی و پاك کردن مکانیکی توسط متخصص کار آزموده شرکتهائی که تمام تخصص وهمشان در این راه صرف میشودصورت‌میگیرد.

موقع مناسب برای شستشوی شیمیائی دیگ فقط با بازدید دقیق از درون دیگها معین گردیده و بطور عموم نمیتوان بیان کرد که بعد از چه زمانی از بهره برداری لازم است دیگ شستشوی شیمیائی داد نوع ومقدار رسوبهای تشکیل‌شده در دیگ‌بهترین معرف ونشانه موقع شستشو است. درمواردیکه درشستشوی دیگ شك باشد بهتراست از نقاط پرحرارت کورهٔ لوله‌های نمونهٔ بریده شود ومورد بررسی قرار گیرد.

REFERENCES

1. Babcock & Wilcox Company; « Steam; Its generation anduse, » The Baacock and Wilcox Company, New York 1963.
2. Degremont; E. E. » Water Treatment Handbook, Etablissement Emile Degremont, Paris 1955.
3. Powell, S. T. : « Water Conditioning for Industry, » McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1944.
4. Shields, C.D. : «Boilers; Typlers, Characteristics and Functions, " F. W. Dodge Corporation, New York 1961.