

清水共同発電株式会社新清水火力発電所納

260t/h B&W ベンソンボイラについて

260 t/h B & W Benson Boilers Delivered to the Shin Shimizu Thermal Power Plant

利 部 浩* 高 山 好 道
Hiroshi Kagabu Yoshimichi Takayama

内 容 梗 概

清水共同発電株式会社納 260 t/h ボイラは日立製作所初の再熱式ベンソンボイラである。本ボイラは重油専焼、強圧通風方式であり、火炉にはB&W独特の蛇管式炉壁構造が採用され、重油燃焼により予想される障害に対し、過熱器高温部の配置、ユングストローム空気予熱器および蒸汽式空気予熱器の組合せなど幾多の考慮が払われている。ここに本ボイラの詳細について紹介し、あわせてベンソンボイラの特有のボイラ起動停止装置、自動制御装置についても簡単に紹介した。

1. 緒 言

ベンソンボイラの特許はドイツシーメンス社が所有しているが、その開発は各国の提携会社であるボイラメーカーがそれぞれ独自に行っている。B&W社はイギリス、アメリカ、ドイツなどに多くの姉妹会社があり、それぞれ強制貫流ボイラの製作を行っており、その実績は全ベンソンボイラの容量の半分近くに及んでいる。B&W社で製作している強制貫流ボイラは大別して、イギリス、ドイツなどで開発しているヨーロッパベンソン形とアメリカで開発されているUPボイラとがあるが、火炉の炉壁構造を除いては基本的な相違点はない。さらにB&W各社はB&Wオーガニゼーションとして相互に密接なつながりを保っており、イギリスB&Wは事実上ベンソンボイラ容量の半分近くの実績に応じた技術をは握しているといえる。当社はベンソンボイラについてはイギリスB&W社を通してシーメンス社と技術提携をしているので、これらの基盤の上に立った最新のベンソンボイラを計画製作できる態勢にある。

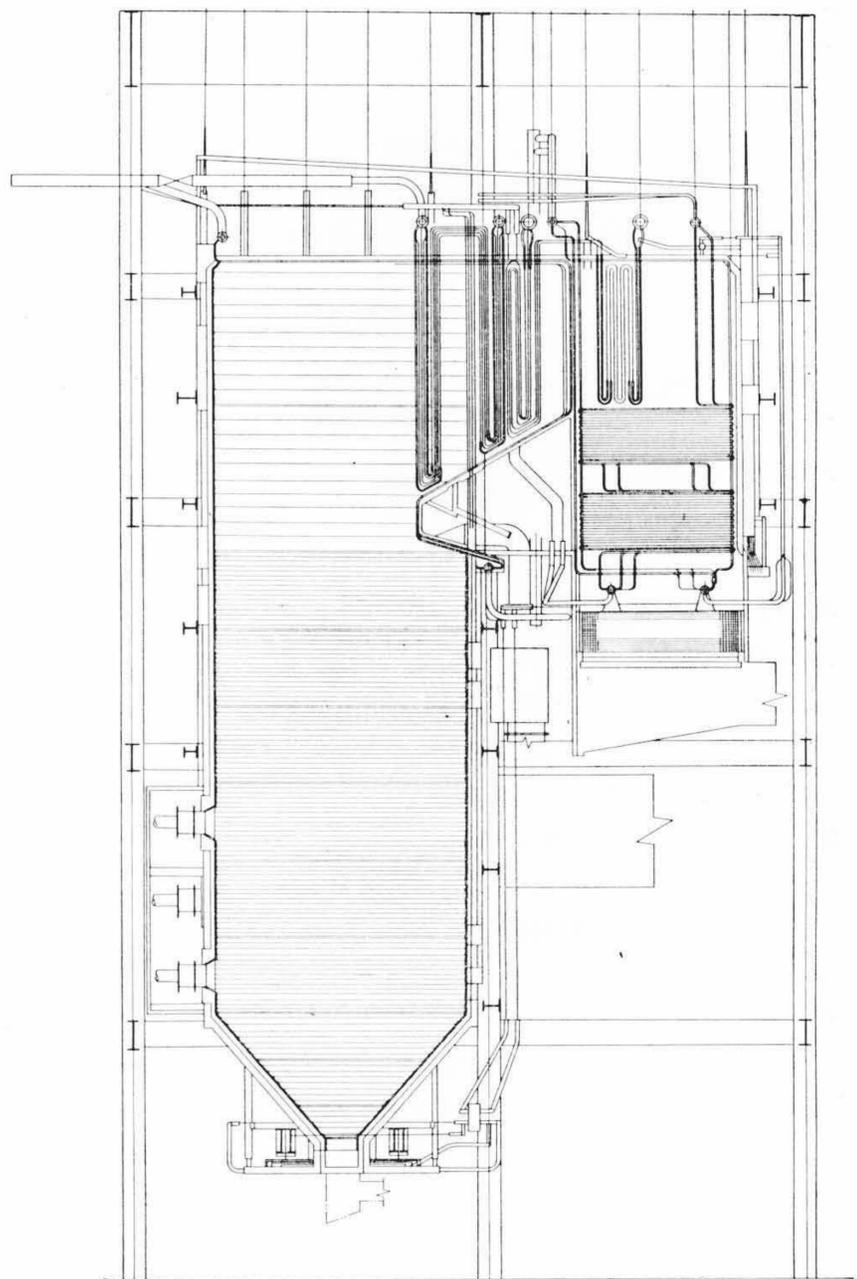
一方、発電所の熱効率を目的とした高温高压大容量化の傾向は今もなお上昇を続けている。これらは材料製作技術の進歩により達成されてきたが、高温化の傾向は画期的な材料の進歩なしには長足の進歩を望むことは困難になり足踏み状態にある。一方蒸気圧力のほうは臨界圧力以上では蒸気と水の比重差がなくなり貫流式ボイラを採用せざるを得なくなる。しかしながら亜臨界圧領域に使用してもボイラ製作費を軽減できる、急速起動が可能であるなど種々の利点があるので、給水処理技術の発達した今日では十分信頼性のあるボイラを製作できる。新清水火力発電所用として建設される 260 t/h ベンソンボイラは、われわれにとって初めて計画するヨーロッパ式ベンソンボイラであるが、従来のベンソンボイラには見られないB&W独特の新設計を採用している。ボイラおよび付属設備は熱効率および経済性を考慮して、信頼度高く堅ろうであるとともに操作保守ならびに点検が安全かつ容易にできるよう計画されている。以下計画および構造の概要につき述べる。

2. 計 画 概 要

現在製作中のボイラの計画概要は下記のとおりである。

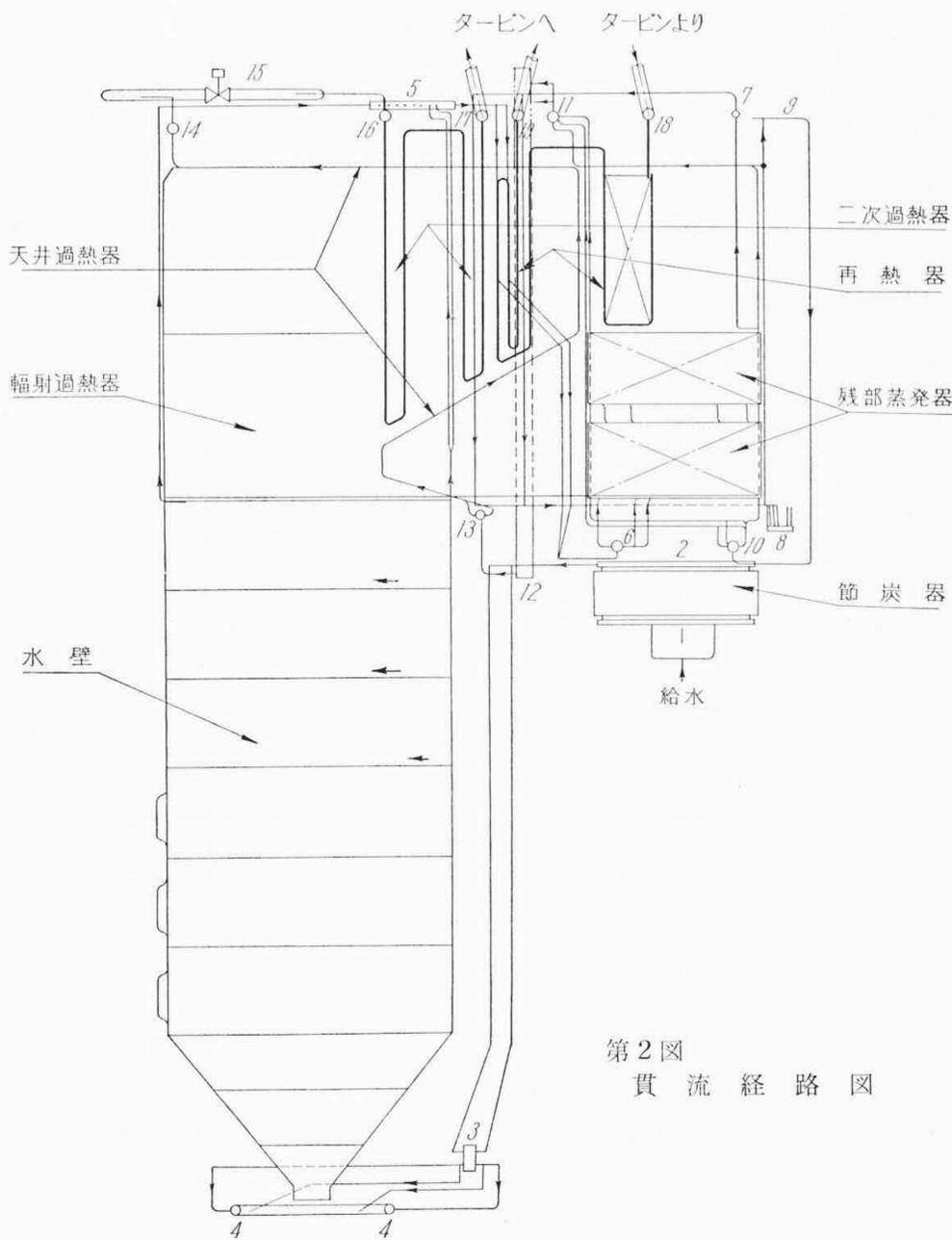
ボイラ形式	B&W ベンソンボイラ屋外形
数 量	2 籠
最大連続蒸発量	260 t/h
再熱蒸気流量	213 t/h
蒸気圧力 (過熱器出口において)	131 kg/cm ² g
蒸気圧力 (再熱器出口において)	29.7 kg/cm ² g

* バブコック日立株式会社



第1図 260 t/h B & W ベンソンボイラ断面図

蒸気温度 (過熱器出口において)	541°C
蒸気温度 (再熱器出口において)	541°C
給水温度 (節炭器入口において)	240°C
空気温度	15°C
ボイラ給水全圧力損失	47.2 kg/cm ²
最低安定負荷	約 87 t/h
汽罐効率 (高位発熱量基準)	
最大連続負荷	86.65%
通風方式	強圧通風
燃焼方式	重油専焼



第2図 貫流経路図

燃焼装置

重油バーナ (B&WYジェット方式)	9個1籠
使用燃料	C重油
高位発熱量	10,200 kcal/kg
水分	1.0%
炭素	85.2%
水素	10.2%
酸素	0.8%
窒素	0.7%
硫黄	3.0% (最大3.5%)
灰分	0.1%

3. 構造概要

第1図は本ボイラの断面図である。完全屋外式で火炉、過熱器、残部蒸発器、再熱器、節炭器および高温低温空気予熱器などより構成される。強制貫流式のペンソンボイラであるので、肉厚の大きい汽胴が不要であり、直径の細い管を使用できる点で自然循環ボイラと非常に異なっているが、大きな特長として

- (1) 耐圧部重量の減少により安価になる
- (2) 広範囲にわたって一定の蒸気温度を保持できる
- (3) 急速な起動停止が可能である
- (4) 蓄熱容量が小さいので耐圧部破裂事故の場合危険性が少ない、などの利点がある。

3.1 貫流経路

第2図に本ボイラの貫流経路を示す。給水ポンプで昇圧された給水は高圧給水加熱器を経て節炭器入口管寄にはいる。節炭器を出た給水は連絡管により火炉下部管寄にはいり、蛇管状の火炉蒸発管を

通って火炉上部放射形過熱器の下部より炉外に出て、火炉天井の混合管寄で一緒に混合したのち、低温ガス部に配置された残部蒸発器内で蒸発を完了し、出口では多少過熱された蒸気となって、火炉上部放射過熱器にはいる。放射過熱器は火炉蒸発管同様蛇管状の構造で、火炉上部前壁側壁のみならず残部蒸発器部側壁後壁をも構成し、全体としてボイラ上部を箱状に囲んでいる。これを出た蒸気は残部蒸発器支持管となって上り、それから下って天井過熱器にはいる前にスプレー式蒸気温度調整装置を通り、最後に二次過熱器を経てタービンに送気される。

3.2 節炭器

節炭器には従来のボイラと同様に多曲管形を採用し、管径は50.8 mmで残部蒸発器支持管および放射形過熱器下部に溶接されたサポートプレートにより支持される。

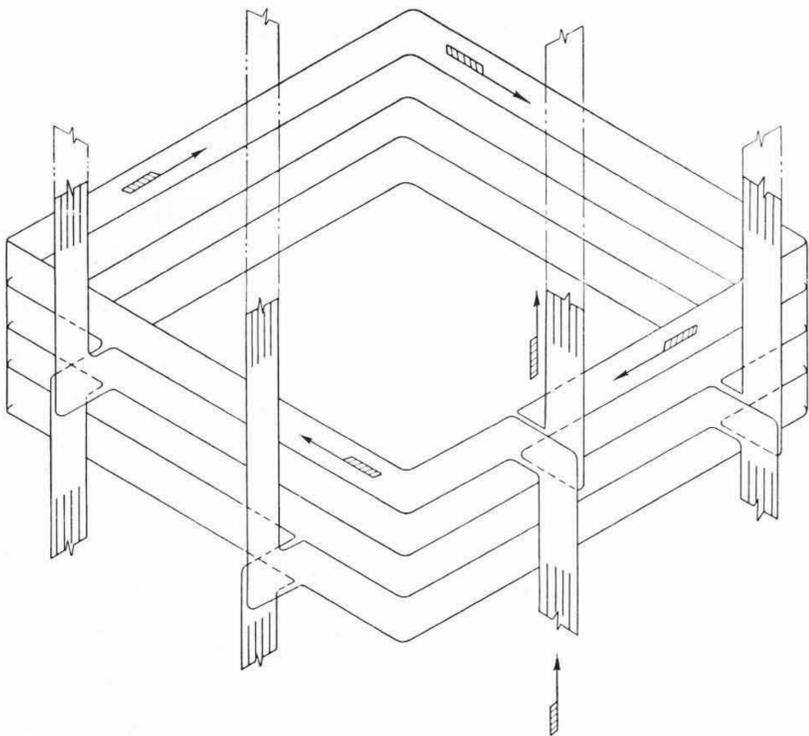
3.3 火 炉

ペンソンボイラにおいて最も重要な火炉構造に対しては、特に以下の点に留意している。

- (1) 加熱管は原則として上昇流のみとする。
- (2) ボイラ蒸気給水系統は原則として1系統として、制御および運転を容易にする。
- (3) 火炉を含むボイラは全体として上部鉄骨からつり下げ、熱膨脹を下方に自由に逃がす構造とし、かつスキンケージを採用する。
- (4) 火炉内各平行管は燃焼状態のいかんによらず、できるだけ均一な熱吸収を受ける配置とする。
- (5) 蛇管構造の採用によって降水管の少ない構造とする。
- (6) 並列管はすべて熱膨脹に対し拘束のない構造とする。

在来のペンソンボイラでは火炉内蒸発管の配置は、主として流れの不安定を避ける目的で垂直に配置した十数群の蒸発管の上下に管寄せを設け、籠水は常に下方より上方に流れ、上部管寄より隣の下部管寄へは非加熱降水管で連絡し、各管寄中で籠水は混合される構造を採用していたが、非加熱降水管が多いときは火炉構造が複雑となるなどの理由で、B&W社では大形ボイラには蒸発管を屈曲させて水平に配置する蛇管方式も用いられるようになった。この方式では管寄せの数が少なく要所、要所で混合を行うだけである。また加熱部の大部分は上昇流であるので、蒸発管内の静圧差はすべて平行管中の流動特性を安定化する方向に作用する。もし下向流を採用するときはこの静圧差は流動の不安定化の方向に働き、流動の安定性をうるためには管内流速を上げたり、または入口にオリフィスを設ける必要が生ずるので、ボイラの圧力損失も増大する。

火炉構造の概略を第3、4図に示す。並列管はちょうどボイラつり下げ箇所の数に等しいいくつかの管群に分けられ、その一つの管群は数本の管よりなる。この数本の管は火炉周囲を一周または半周回って次の上の管群にはいる。この移動の際管はつり下げ用垂直バックステイをはさみながら上昇し、バックステイを加熱する。かかる構造の採用によってボイラ荷重つり上げ用垂直バックステイと、火炉水壁管の間の温度差を小さくし、伸び差による構造的な無理が生ずるのを防止できる。また相接して並べられた水壁管の外にはすぐスキンケージがあり、その上に保温材外部ケーシングが取付けられる。垂直バックステイの外側にはさらに水平バックステイが取付けられ、炉壁の水平方向の強度を持たせている。火炉内並列管はすべて垂直バックステイで支持されるが、各平行管の温度差に対してはすべて水平方向に伸びを取れるよう考慮してある。また各並列管群の高さの差は少ないので、燃焼状態による並列管の



第3図 火炉水管構造図

熱吸収差はきわめて小さく押えられ、安全な運転が確保される。従来のベンソンボイラは約 200 t/h 以上のボイラに対しては2系列の水経路が採用されており、その際はバーナ使用状態により左右の熱吸収の差が大きくなり、そのため制御系統も2系列を必要としたが、本構造を採用することにより1系列の制御だけで十分となり非常に簡単化された。

3.4 残部蒸発器

ベンソンボイラ発達の上においてしばしば蒸発管破裂の事故が経験された。これは給水の不良に起因したものであったが、解決策の一つとして、給水中の不純分濃度が最も高くなる給水が全部蒸気に変換する最終蒸発部を熱負荷の比較的低い低温ガス部に置くことが考えられた。戦後の給水処理装置の急速なる進歩によって、最近では給水不良を原因とする蒸発管破裂事故はほとんどなくなり、ドイツ B&W 社などでは最終蒸発部を火炉内においた設計例もある。しかし、本ボイラでは万全を期して多曲管形構造の最終蒸発部を低温ガス部に配置した。

運転時にかりに軟かい泥状の不純物が沈積しても、ボイラ起動時のフラッシングによって除去され、復水器のうしろに設置されたバイパス脱塩装置によって完全に給水系統外に取除くことができる。

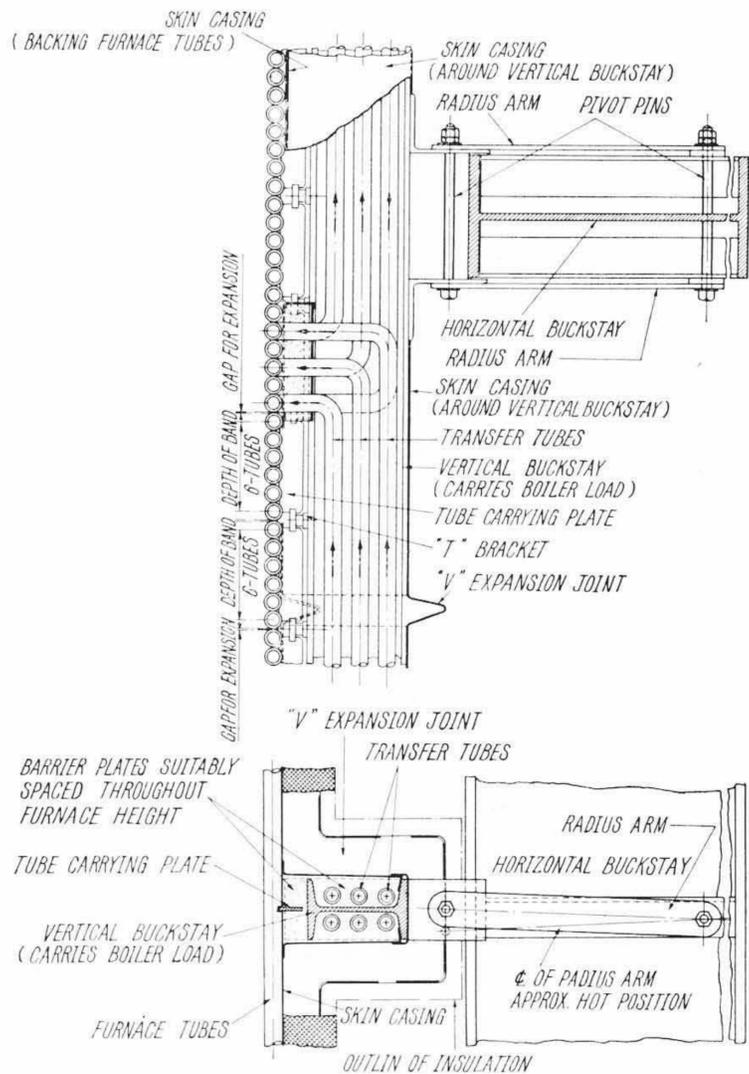
またボイラ給水中の溶解塩の減少を目的として運転中に連続ブローを採用する考え方もあるが、特に問題となるシリカについては高圧になるほど蒸気への溶解性が増加するので、ブローによっても大きなシリカ除去は期待できない。本ボイラのようにバイパス脱塩装置を使用して、必要とあれば運転中でも復水を全脱塩したほうがより確実であり、また連続ブローによる損失もない。

次に本ボイラにて使用する給水の制限値を示す。

pH	8.5 ~ 9.5
全溶解固形分	0.25 ppm 以下
O ₂	0.007 ppm
SiO ₂	0.02 ppm 以下
Fe	0.01 ppm 以下
Cu	0.01 ppm 以下

3.5 過熱器

過熱器そのものの構造は従来の自然循環ボイラと大差ないが、本ボイラは重油専焼として計画されたので、腐食を避ける意味で重油中の硫黄分およびバナジウムが存在によって生ずる燃焼ガス中の SO₃ の生成をいかにして少なく押えるかは設計上重要な課題の一つとなる。その対策として



第4図 バックステイ回り配管詳細

- (1) 強圧通風方式およびスキンケーシングの採用によって、空気過剰率を極力減じ SO₃ の生成率を引き下げるとともにボイラ効率の向上を図る。
- (2) 熱吸収率の大きい火炉内の放射過熱器は蒸気温度の低い部分のみとして管壁温度の低下を図る。
- (3) 二次過熱器は蒸気温度が高いため当然管壁温度が上昇しバナジウム、SO₃ の存在によって生ずる過熱器高温部の腐食を極力避けるためにすべて接触形過熱器として計画した。

特に火炉出口にある二次過熱器全体としての管壁温度を下げるために火炉出口部に蒸気温度の低い部分を置き、燃焼ガスの流れに従って蒸気温度の上昇するいわゆる平行形の配列とした。また蒸気速度および蒸気流のアンバランスについても十分検討し、過熱器支持金具などの温度上昇を防ぐために過熱器管をできるだけ近づけて、配置するなどの対策を講じている。

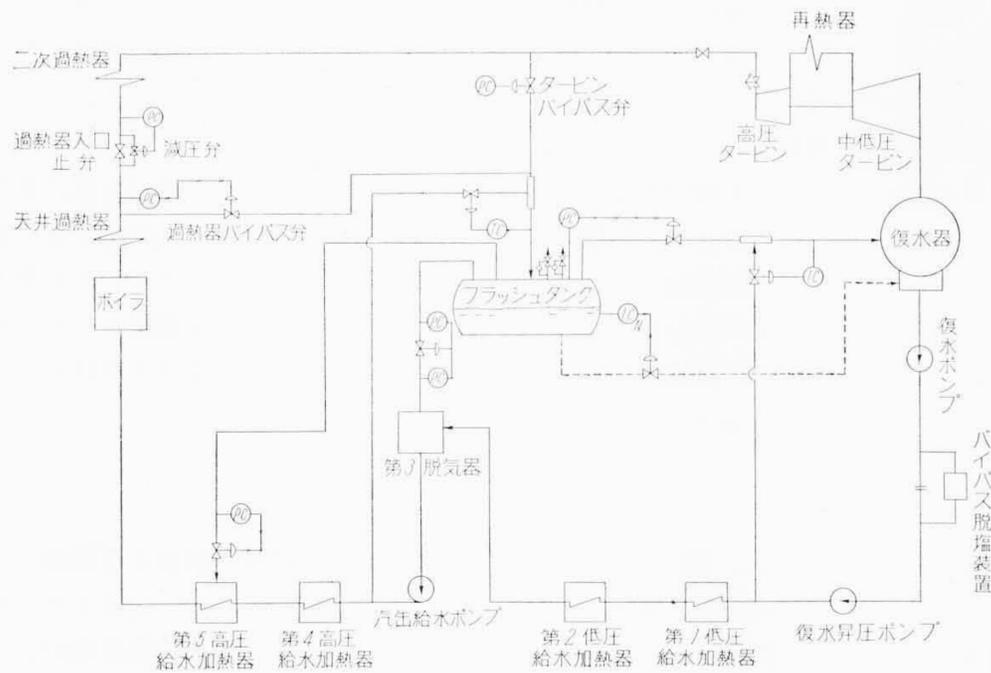
3.6 再熱器

再熱器は二次過熱器と残部蒸発器との中間に配置され、懸吊形の形式であり、管径は 50.8 mm を使用し、高温部は平行形、低温部は向流形配置である。また非常用として再熱器入口部低温再熱配管中にスプレー式減温器を設置した。

3.7 空気予熱器

重油燃焼ボイラの場合にはユングストローム形空気予熱器低温部の腐食詰まりなどの支障が予測される。この対策としては種々の方法があるが、プラント総合効率の向上、防止効果の確実度の理由から、押込通風機とユングストローム形空気予熱器との間に蒸気式空気予熱器を設置、全負荷にわたって使用するよう考慮した。すなわち低温側メタル温度が燃料中の硫黄分に対する許容最低管壁温度以上になるよう空気予熱器用蒸気流量を自動調整する。

なお、ボイラ運転中の水洗を容易にするためにユングストローム形空気予熱器はこれを高温部と低温部の二つに分け、腐食の起りやすい低温空気予熱器にはガスバイパスダクトおよび空気バイパスダクトを設けた。このダクト中のダンパをしめることにより、低温空



第5図 ボイラ起動停止装置系統図

予熱器のみを運転中でも容易に水洗可能な構造となっている。

4. ボイラ起動停止装置

強制貫流ボイラでは自然循環ボイラにない起動停止装置が必要となる。すなわち自然循環ボイラのようにドラムを使用して自然循環回路を構成せず、給水は給水ポンプにより押し込まれるので、起動時に最も熱吸収量の多い火炉水壁内の水の速度をある限度以上に確保しないと管焼損をきたすおそれがある。したがって給水量として最低流量（最大蒸発量の約1/3）を流す必要がある。ペンソンボイラの起動停止装置は各社それぞれ異なり、またボイラ仕様、運転条件により種々の方式が採用されている。今回われわれが使用した方式を第5図に示す。従来の大部分のドイツペンソンボイラでは起動時フラッシュタンクなどよりの発生蒸気で再熱器を冷却し焼損を防止していた。しかしこの方式ではタービン制御関係が複雑になるので、今回はこれに代るものとしてガス再循環ファンからのガスの一部を火炉上部にも入れ、ガステンパーリングを行い、起動時過熱器再熱器にはいるガス温度を下げるようにした。バイパス装置の主要部は過熱器バイパス系統、タービンバイパス系統およびその中間に配置された減圧装置より成る。過熱器バイパスは主バイパスであり、起動時まず減圧装置の各弁を閉じて、給水、点火が行われる。給水は初めから定格圧力で送り込まれる。すなわちこの過程においては給水はすべて過熱器バイパスを通過してフラッシュタンクに落ち、それよりの発生蒸気は脱気器、給水加熱器などに使用される過熱器バ

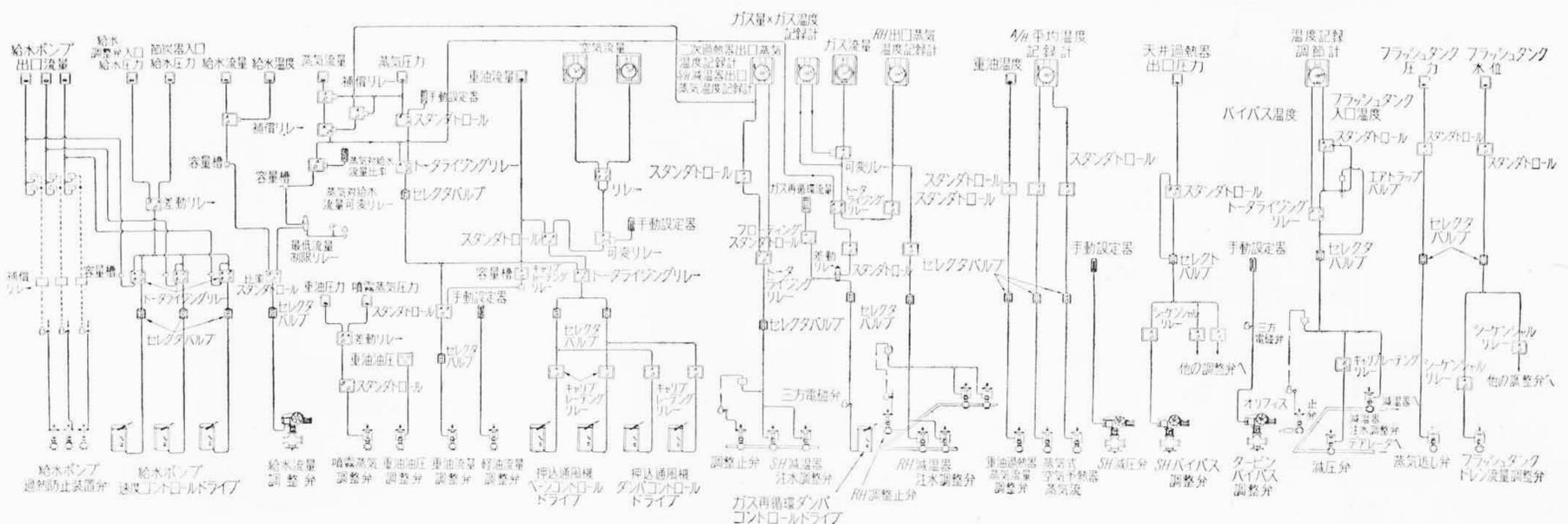
イパスにはいる蒸気が多少過熱蒸気になりタービンに送気できるようになれば、減圧弁およびタービンバイパスにより、タービンにはいる蒸気圧力温度をタービン起動に最も好ましい条件に容易に調整できる。その後タービン入口圧力を減圧弁、タービンバイパス、燃料の割合により上げてゆき、タービン入口蒸気圧力が規定値近くになったとき減圧弁は全開となり、その後は過熱器入口止弁を開いて減圧弁の使用を中止する。その後タービン負荷の上昇に伴い、ボイラが最低負荷になると、過熱器バイパス、タービンバイパスがしまり、また中間止弁も全開になり正常運転に移ってゆく。

起動時の圧力は、ドイツペンソンボイラにおいては低圧起動、中圧起動と種々の方式があるが、上述のように規定圧力で起動したほうが、流動安定の点で有利であり、また急速起動時ボイラ内で蒸気発生とともに現われる罐水膨脹によるバイパスへの吐出量増加割合も小さくなり、機器設計容量が小さくてすむ利点がある。また減圧弁の使用により、ボイラ運転圧力とタービン入口圧力を別個に調整できるため運転は容易に行うことができる。

さらに本装置は貫流ボイラで許容される最低負荷（最大蒸発量の約1/3）以下で運転する場合にも使用され、その場合は最低流量と蒸発量の差は過熱器・バイパス系統を通します。また過熱器・バイパス系統はタービンが緊急遮断されたときの安全弁としても作用する。

5. 自動制御装置の概要

第6図に本ボイラで採用した自動制御装置の系統図を示す。貫流ボイラではドラムがないのでドラム水位調節は必要としないが、罐水保有量および圧力部などの熱容量が小さいため負荷変動時の応答特性は自然循環ボイラよりも敏感となる。貫流ボイラでは一般に自然循環ボイラのように循環の問題がないので、圧力の変動は大きな問題とならないが、使用材料による温度変動の制限がある。ペンソンボイラでは過熱器伝熱面の大きさが固定されていないので蒸気温度制御の面で大きな融通性をもっている。このため給水対燃料の比率を変えることにより、容易に過熱蒸気温度をボイラの全負荷にわたって一定に保ち、プラント効率を上昇させることができる。また負荷変動に対しても、たとえば、突然タービンへの蒸気量が増加すれば蒸発完了点がずれて過熱器面積が一時的に増大し蒸気温度のずれを最少にする。その後蒸発量に比例して給水されるので、蒸発終了点がボイラ出口方向に移り、また燃料も一時的に取り出された貯蔵蒸気量を補うために多少多めにはいり、圧力および蒸発完了点



第6図 自動制御装置系統図

は元の位置にもどる。このように過熱面積の自由な変動により過熱蒸気温度の変化を最小にする。また蒸気温度は最終的には注水量の変化により微細調整される。さらに注水分岐後の給水量と蒸気量の比率制御によって注水量が全給水量の約5%になるよう給水量を変えて蒸気温度を調整する。従来この注水量の代わりに残部蒸発器の温度差をとったものもあるが、伝熱面のよごれなどの影響もあり、また検出の時間的遅れも大きくその完全な調整はかなり困難であった。上記注水は火炉上部の放射過熱器のうしろに注入されるので、給水量対燃料のアンバランスが早く検出でき良好な成績が得られている。給水量調整は給水ポンプ速度制御および給水調整弁の使用による。すなわち給水調整弁でまず調整し、その前後の差圧が一定になるように給水ポンプを速度制御する。

B&W 独特のガス再循環による過熱および再熱蒸気温度調整法が従来の自然循環ボイラにて非常に有効であったのは論を待たない。

ベンソンボイラでも同様であって本ボイラでは過熱蒸気温度はベンソンボイラ自身の持つ特性により調整できるが、再熱蒸気温度調整はもっぱらガス再循環によっている。そのため低負荷になるにつれて再循環ガスの割合が増加するので、火炉の熱吸収が制限され、結果としてボイラの各負荷にわたって各伝熱面の蒸気温度分布がほ

とんど変わらず使用材料の選定の点で非常に有利である。同時に一般的に貫流ボイラにおいては低負荷において火炉内罐水の流動が不安定になり、管壁温度が上昇するなどの危険な面が出てくるが、ガス再循環の採用によって、低負荷における火炉の熱吸収が制限されるので、水壁管焼損などのおそれもなく安全運転が可能である。また前述のように、起動時ガス再循環ファンを利用して火炉出口ガス温度を一定値以下に保つ、いわゆるガステンパーリングとしても利用できる利点がある。なお実際の運転に際しての安全装置として、給水量小、給水圧低などによる燃料トリップなど貫流ボイラ特有のインタロックも設けられている。

6. 結 言

以上、260 t/h B&W ベンソンボイラの設備内容および構造について述べた。本ボイラは当社で製作した最初のベンソンボイラであり、国産ボイラの信頼度を高くするためにあらゆる技術研究の成果を取り入れて入念に設計製作したものである。

本ボイラは昭和37年に運転を開始する予定であるが、その貴重な実績はわが国における大形強制貫流ボイラの発達に大きな貢献をするものと確信している。



新 案 の 紹 介



登録新案第510694号

寺 田 進

固 形 物 含 有 液 輸 送 用 ポ ン プ の 出 口 バ ル ブ

この考案は、バルブボデーの空どう部に固形物が侵入するのを防止したもので、次のような構造からなる。

構 造

- (1) ボデー1およびバルブ5の一方側の流入ロシート面13、12をスピンドル6に平行ならしめるとともに、他方側の流出ロシート面11、10を同一勾配に形成する。
- (2) バルブ5およびカバー4のそれぞれに突起部14および停止腕15を設ける。
- (3) 突起部14および停止腕15に同勾配の斜面14aおよび15aを形成する。

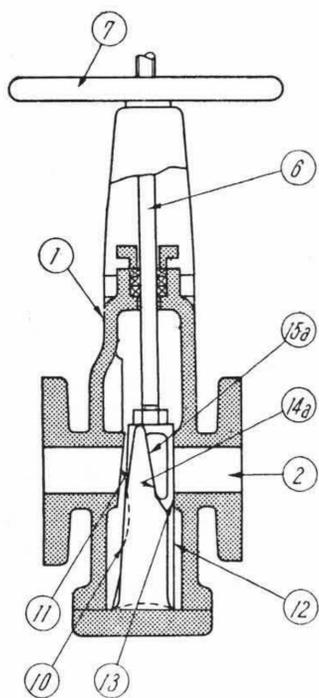
作 用

ハンドル7を操作してバルブ5を降下させると、バルブの流入ロシート面12はボデーの流入ロシート面13上をしゅう動しながら降下し、全閉状態ではバルブ5の突起部14のこう配面14aがカバー4の

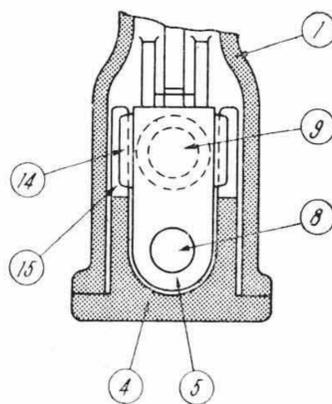
停止腕15のこう配面15aに楔入れする。そこでバルブ5はボデー1に対して流入ロシート面12、13の両面間で密着し、同時にバルブの流入ロシート面12の一部分である盲板部9によりボデーの流入ロ2を完全に密閉する。

効 果

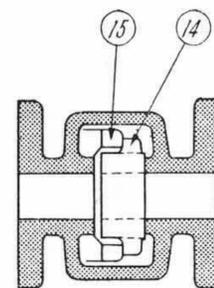
- (1) バルブの全開時における開口部は、通液孔だけでほかの部分はすべて密閉されているから、ボデー内の空どう部に固形物の侵入するおそれは全くなく、バルブに対する流液の抵抗もない。
- (2) ポンプの始動時に真空ポンプでポンプを満水させるときでも、ボデーとバルブとは完全に密着して全閉しているから、真空作用に用する時間は非常に短時間ですむ。
- (3) 構造が簡単であり、しかも操作が容易である。(野村)



第1図



第2図



第3図