U.D.C. 621.187.33

主蒸気管,再熱蒸気管のブローイングアウトについて

Blowing-out of the Main Steam Pipes and Reheat Steam Pipes

崎豊一郎* H1 Toyoichiro Nakazaki

内 容 梗 概

火力発電設備の主蒸気管,再熱蒸気管をタービンの運転に先だって高速蒸気流により清浄化する操作 すなわちブローイングアウトはプラントの高温高圧大容量化ならびに再熱プラントの増加に伴ってます ます重要視せられてきた。

しかし本操作に対して従来各者必ずしも一致した方法がとられておらず,その根本となるべき cleaning force をいかなる要素により決定すべきかということすら,いろいろの意見がある現状でさら にその cleaning force をうるに必要な条件の決定方法,ブローイングの方法手順なども確立されてい ない。特に再熱プラントにおいては複雑な再熱蒸気管系統を有しさらに大口径配管となるため,ややも すると十分な cleaning force が得られず,したがってブローイングアウトの効果が満足でない場合も 生ずることがあるように見うけられる。

本文はこれらの観点からまずブローイングアウト時の蒸気の状態変化,流動の問題に考察を加えて, 適正なる cleaning force を求める方法を検討して実際に用いる場合,比較的簡単に計算しうる方法を 求めた。さらにブローイングアウト実施に際して注意すべき諸問題についても言及し一般の参考に供し た。

1. 緒 言

火力発電設備の進歩に伴ってブローイングアウトの問 題も重要性を増してきた。

ブローイングアウトはボイラドラム圧力を上昇せしめ

本文においてはこの問題を解決するため,まずブロー イングアウト時の蒸気の状態変化を考え,さらに流動抵 抗,圧力変化を考察して,ブローイングアウト時の状態 変化に適用しうる方法を種々検討し,実用性を考慮して 最も簡単で比較的正確な方法を選定してその応用方法を

て主蒸気管,再熱蒸気管を通し仮配管より屋外に蒸気を フリーブローする操作で,その目的は管内壁面に付着す るミルスケール,熔接作業中の各種付着物,熔接屑,作業 中の残留異物などを高速蒸気流により剥脱除去し,ター ビン通気にあたり清浄な蒸気を供給しうるようにするこ とである。したがって上記目的を達するために最も大切 なことはブローイングアウトの効果すなわち cleaning force である。この cleaning force がいかなる要素に より決定せられるかについては現在においてもいろいろ な意見があるが,われわれは後述するように,ブローイ ングアウトすべき各管系の入口における mass velocity headを同位置における最大連続出力時の mass velocity

ところで必要とする mass velocity head をうるた めの流量と圧力の決定方法は、ブローイングアウトすべ き管系の口径、相当長さおよび仮配管の口径、相当長さ などの函数として決定される。

この値の決定はいろいろの方法が考えられるが一般に 面倒で特に再熱系統の場合さらに複雑となり、ややもす ると精密な計算によらず適宜ブローイングアウトを実施 しやすい。現に文献⁽¹⁾⁽²⁾などにも記されているように、 再熱管系統において cleaning force が必ずしも満足な 値を示していない例がある。

* 日立製作所日立工場

1-4

記した。

なおブローイングアウトの実施面についての諸問題す なわち,仮配管の方法,条件,ブローの回数,コントロ ール方法,反力の計算方法などについても言及し,一般 の参考に供した。

2. ブローイングアウト時の蒸気の状態変化

ブローイングアウト時の蒸気の状態変化は通常考えて いる蒸気の流動とは趣を異にする。これは蒸気流速が高 速で管長が長いため,流動の過程で圧力降下が著しく, したがって蒸気の比容積が増大し,管系各部の流速がし だいに高くなるからである。

一般に摩擦の有無にかかわらず流動弾性流体の一般断熱エネルギー式は

で示され, また連続の条件より

が成立する。

ここに ω₁: 状態1における蒸気速度 (m/s) ω₂: 状態2における蒸気速度 (m/s) v₁: 状態1における蒸気比容積 (m³/kg) v₂: 状態2における蒸気比容積 (m³/kg)

論



化曲線 (G/F = -c)

 i_1 : 状態1における蒸気エンタルピ(kcal/kg)

 i_2 : 状態2における蒸気エンタルピ(kcal/kg)

G: 蒸気流量 (kg/s)

F: 流路の断面積 (m²)

g: 重力の加速度 (9.8 m/s²)

A: 仕事の熱当量 $\left(\frac{1}{427} \text{kcal/kg-m}\right)$ すなわち初状態点1における蒸気速度 ω_1 , 比容積 v_1 が 決定すれば任意の点2における比容積 v_2 に対する ω_2 の 値は(2)より求められ, (1)より i_2 が求められる。

ブローイングアウト時においては管系は既知であり、 後記するように $G \ge \omega_1, v_1$ が問題となるのであるがブローー ー時の一般流動特性を知る上に ω_1, v_1 を任意に選んで、



第2図 Fanno線による配管長の計算

3.1 管長が短く圧力降下に伴う比容積の増加を無 視しうる場合

この場合の圧力降下の式はいろいろ発表されているが一例をあげれば次のごとくである。

$$JP = 0.0828 \lambda \frac{G}{15} v L \dots (3)$$

 $G/F = -\hat{c}$ のいろいろな場合についてモリエル線図上 にプロットすると第1図に示すような曲線群をうる。図 より明らかなるように G/Fの値が大になるほど曲線の エンタルピ降下は急激となりまた, 圧力が低くなるほど 急激となり曲線が垂直になる点は管系で限界圧力となる 点である。この曲線は管系の長さには関係なく示される がこれを管長と関係づけることは後記する Fanno 線に より図式積分で求めねばならない。しかし本図によりブ ローイングアウト時の蒸気の状態変化の一般傾向が知り うる。たとえば次に記する管長を短く区切って次々に計 し 算を進める場合などに利用しうる。

3. ブローイングアウト時の管内流動の考察

蒸気の流動に対しては次の二つの場合が考えられる。 (1) 管長が比較的短く流動中流速の変化がなく,圧 力降下は摩擦抵抗に打ち勝つために使用される場合す なわち圧力降下に伴う体積の増加がわずかで膨脹仕事 を無視しうる場合。

(2) 管長が長く流動中の圧力降下が著しく,比容積の増加に伴い流速を増す場合。

ブローイングアウトの場合は管長長く流速も著しく速 いため当然(2)の場合に相当する。しかしごく短区間を 考えれば(1)の場合も成立する。したがってまず(1)の 場合について簡単に記し次いで(2)の場合を考察する。 $d_i^{\mathfrak{d}}$

ここに ΔP: 圧力降下 (kg/m²)
L: 管 長 (m)
di: 管内径 (m)
v: 蒸気の比容積 (m³/kg)
G: 蒸気の流量 (kg/s)
λ: 摩擦係数

(3)式においてLを比較的短区間を考えれば比較的高 速蒸気流の場合においても圧力降下の量はごくわずかで したがって比容積の変化も無視しうる程度となるので一 応(3)式がなりたつと考えられる。しかし実際問題とし ては(3)により計算することは面倒であり,かつ各部状 態変化も第1図に示されるような G/F=一定の線を想 定し初状態をいろいろ変えて行わねばならぬ不便もあり 実用的ではないと考えられる。

3.2 管長が長く圧力降下が著しく比容積の増加を

伴う場合

この場合の取扱い方法としては完全ガスと考えて理論 計算式による方法と図式的に求める方法とが考えられ る。

3.2.1 図式解法 (Fanno 線による方法)

さきに記した(1), (2)式より求められる G/F =一定の各点を温度—エントロピ線図 (T-S 線図) にプ ロットした線図は Fanno 線⁽³⁾⁽⁴⁾といわれており, こ





らに G/F の値は最終管端の圧力と口 径により決定される値と一致せぬ場合 は再び初状態の仮定を変えて計算しな おさねばならない。このように方法と しては Fanno 線利用の方法は正確を 期しうるがブローイングアウトの計算 に用いるにははん雑すぎて実用的では ないと考えられる。

の長さが実際の長さと一致するまで繰

り返すことは非常にはん雑である。さ

3.2.2 理論式による場合

理論式による場合は次の仮定による。

(1) 管長Lの間直径は一定とする。したがって管系内で直径を異にすれば各区分に対し同一関係が適用される。

(2) 管の流入端,流出端の高さの差は無視する。

(3) 流体は Pv=RT なる特性に従うとする。

(4) 流動は断熱流動とする。

の曲線は直接流体の流動距離についての関係はなにも

基礎エネルギー式(5)

表さないが s 軸との間の面積すなわち T・ds は摩擦損 失を与えることになる。

第2図においてこの曲線の任意の一小部分 BB'を 考えれば円管の場合の摩擦損失は

$$dR = T \cdot ds = A \lambda \frac{\omega^2}{2g} \cdot \frac{dL}{di} \dots \dots \dots \dots \dots (4)$$

ただし dR: 摩擦損失 (kg-m/kg)

ds: エントロヒ[°] (kcal/kg[°]K)

T: 絶対温度 (°K)

管長Lは(4)より単位管長に対する摩擦損失を基と して次の関係式にて求められる。

$$L = \int_{-1}^{2} \frac{Tds}{A \lambda \left(\frac{-\omega^{2}}{2g}\right)} di \dots (5)$$

 $\omega^2/2g$ の値はエンタルピ変化より求めうるゆえ圧力 が P_1 より P_2 に降下する場合の管長を求めることができ る。

第3図は Fanno 線の一例である。与えられた管系 で *G*/*F* を種々に変えた場合それぞれ *G*/*F* に対応す る Fanno 線をうるがその管系の長さに関係づけるに は(5)により図式積分により求めねばならない。しか してブローイングアウトの場合のごとく異なる管口径 が直列につづく場合,ある仮定の初状態および *G*/*F* の値により次々と管端の圧力を仮定して長さを求めそ

$$d\left(\frac{\omega^2}{2g}\right) = -vdP - dR$$

において円管に対して

$$dR = \frac{\lambda \omega^2}{2g} \cdot \frac{dL}{di}$$

なるゆえ

$$vdP+d\left(\frac{\omega^2}{2g}\right)+\lambda\frac{\omega^2}{2g}\cdot\frac{dL}{di}=0$$
(6)

(6)において連続の式および圧力を容積に置換する と⁽⁵⁾

ただし $b = \frac{k-1}{2gk} \left(\frac{G}{F}\right)^2 = \frac{k-1}{2gk} \cdot \frac{\omega_1^2}{v_1^2}$ $Pv + bv^2 = P_1 v_1 + bv^2_1$ $k = 1.3 \quad \text{比熱比 (過熱蒸気)}$ $(7) \ge 0 \ \text{ L b } L \equiv \overline{c} \overline{d} G f \overline{f} \delta \ge$ $\lambda \frac{L}{di} = \frac{1}{k} \left(1 + \frac{P_1}{bv_1}\right) \left(1 - \frac{v_1^2}{v^2}\right) - \frac{k+1}{k} \log_e \frac{v}{v_1}$(8) $\pm t.(8) \ge 0 \quad \omega_{s_1} = g k P_1 v_1 \quad (\text{状態 1 } \mathbb{L} \approx \mathbb{H} f \delta \oplus \mathbb{H})$

とすると

662 昭和34年5月

日 V. 評

論

第 41 巻 第 5 号





過熱蒸気状態変化計算曲線(その2) 第5図

(8), (9)は過熱蒸気に対しても近似的に成立する。 今, (8), (9)より ω_1/ω_{s_1} をパラメータとし $\lambda \frac{L}{di}$ を横軸にとり v/v_1 , P/P_1 を求めると過熱蒸気の場合 k=1.3 として 第4図 ならびに 第5図 に示すようにな る。パラメータ w1/ws1 は状態1における速度と同位 置の音速との比で音速は状態により一定値となるゆえ ω_1/ω_{s_1} の値は単位面積あたりの流量に比例する数値を 示すことになる。また $\lambda \frac{L}{di}$ は λ の値は次に記するよう に求めうるゆえほぼ管長(相当長さ) Lに比例する値 を示す。したがって第4図ならびに第5図を用い管長 ならびに ω_1/ω_{s_1} の値より P/P_1 , v/v_1 の値が求まり P, vの値がただちに求めうる。かくして初状態, 初

条件が異なった場合, 各種管長に対してそれぞれ対応 するP, vの値が直接求められ非常に簡便にブローイ ングアウトの計算が行いうる。

3.3 摩擦係数と相当長さ

前記図表の横軸に用いた $\lambda \frac{L}{di}$ の値は摩擦係数 λ と管 の相当長さLにより定まる。 ω_1/ω_{s1} の値の大きな領域 においては図より明らかなるように $\lambda \frac{L}{di}$ の値が非常に 大なる影響を有する。摩擦係数λの値は一般鋼管に対し ては口径とレイノルズ数の函数となる。レイノルズ数は 次式で示される。

$$R_{e} = \frac{\omega di}{\nu} = 36,100 \frac{G_{H}}{di^{\eta} \times 10^{6}}$$
.....(10)
ここに R_{e} : レイノルズ数
ン: 動粘性係数 (m²/s)
\eta: 粘性係数 (kg-s/m²)

- 44 -

主蒸気管,再熱蒸気管のブローイングアウトについて



t (c°) 第6図 蒸気に対する粘性係数の圧力ならびに 温度による変化





第8図 限界圧力降下による蒸気最大噴出量線図

Cleaning Force と流量, 圧力との関係 4.

4.1 限界圧力を有する管系の流量

G_H : 流 量 (t/h)

(10)式に示されるようにレイノルズ数は G_H , di, η の函数となる。りは第6回に示されるように温度により 変化するがその割合はわずかで, ブローイングアウト時 の蒸気状態の変化は第1図より明らかなるようにたとえ ば G/F=300 の場合 $P_1=20$ ata より $P_2=5$ ata まで圧 力降下する場合でも約50°C程度であり、この程度の温度 変化による7の値の変化は10~12%である。また GH と diはブローイングアウトの効果と関係する値であるが一 般に GIIと di は比例するゆえ GII/di はほぼ一定と考え られる。したがってブローイングアウト時の Re の値は あまり変化しないと考えてよい。

レイノルズ数と摩擦係数との関係はいろいろの値が発 表されているが一例を示せば第7図⁽⁶⁾のようである。一 般にブローイングアウト時のReは 1.0~1.5×107 程度で 口径は 0.2~0.6m くらいであるから λ =0.011~0.014 く らいとなる。

次に相当長さLの値であるがこの値に対しても種々実 験をもととした値が発表されており(7)~(9),その値を採用 すればよい。ただLの値の影響が大きいゆえその算定は 十分注意しなければ正しい結果が得られない。

ブローイングアウト時においてはその管系の最小断面 積部は仮配管管端となりこの点において蒸気はその状態 における音速に達する。したがってブロー量は仮配管管 端の蒸気状態と仮配管端断面積により決定する。この場 合の最大流量は

$$G_{\max} = \sqrt{gk\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \cdot F \sqrt{P\gamma}$$

k: 比熱比 過熱蒸気に対して 1.3 ここに 飽和蒸気に対して 1.135 γ :比重 (kg/m³)

F: 断面積 (m²)

(11)式にて k=1.3 として単位面積あたりの蒸気量を 求めると

 $G_{\rm max} = 0.752 \sqrt{P_{\gamma}} \ {\rm kg/mm^2s} \ \dots \dots \dots \dots (12)$ k=1.135 に対して

 $G_{\rm max} = 0.716 \sqrt{P\gamma} \ {\rm kg/mm^2h} \ \dots \dots \dots \dots (13)$ (12), (13) 式より G max を求めると 第8 図に示すとお りである。本図により種々の蒸気状態における最大通過 蒸気量がただちに求めうる。

4.2 Cleaning Force

cleaning force をいかなる要素で決定するかは従来各 者いろいろの意見(10) があり現在でも最終的に一致した 方法はないように見うけられる。しかしブローイングア ウトの本来の作用目的が蒸気の運動のエネルギーにより

----- 45 ------

664	昭和34年5月	日 立	評 論	第 41 巻 第 5 号
	H 1		нт пш	

異物をブローするものゆえこの値に関係すると考えるの が最も妥当である。すなわちタービンの連続最大出力時 蒸気管の入口点における蒸気の運動エネルギーと同等ま たは同等以上の値を与えればブローの効果はあるものと 考えられる。

今、ブローすべき管系の入口における蒸気速度を ω_b 、 ω_{max} , 比重を γ_b 、 γ_{max} , 流量を Q_b 、 Q_{max} とし管の 断面積をFとすると (ただし脚符号 b はブローイング アウト時、max は最大連続出力時を示す)、 cleaning force ratio R_c は

で表わされる。

ここで

$$Q_{\rm b} = F \gamma_{\rm b} \omega_{\rm b}, \quad Q_{\rm max} = F \gamma_{\rm max} \omega_{\rm max},$$

 $\gamma_{\rm b} = \frac{1}{v_{\rm b}}, \quad \gamma_{\rm max} = \frac{1}{v_{\rm max}}$

ただし vb, vmax はそれぞれの場合の比容積 なるゆえ

まず適当口径の仮配管を仮定し管端圧力を仮定すると (12)または (13)式で Q_b が求まり,したがって v_b が求まる。ここでこの Q_b , v_b を用いて実際の配管口 径ごとに 第4,5図より $\lambda \frac{L}{di}$, ω_1/ω_{s1} を求め高圧側よ り P/P_1 , v/v_1 を求めて最終仮配管端の P_1v_1 を求め, その値が最初に仮定した値すなわち Q_b を通しうる値 と一致すればその Q_b , v_b でよいわけであるが一般には 一回では一致しがたい。仮配管出口が高すぎるときは Q_b が過大ゆえ Q_b を減じ,入口圧力を下げて v_b を増 して再び最初よりやり直す。低すぎるときは Q_b を増 加し圧力を上げて v_b を減じて再計算し一致するまで 試みる。かくすることにより主蒸気系統,低温再熱系 統,高温再熱系統を順次計算しブローイングアウトの cleaning force,仮配管口径などを適切に決定しうる。

5. ブローイングアウト実施要領

5.1 ブローイングアウト順序と仮配管

5.1.1 非再熱タービンプラント

非再熱タービンプラントの場合は非常に簡単で**第9** 図に示すように主塞止弁のボンネットをはずして仮配 管しブローする。

5.1.2 再熱タービンプラント

$Q_{\max} \omega_{\max}$

(15), (16)式より流量と比容積または流速が決定でき れば cleaning force が決定できることがわかる。(16) 式は R_c が mass velocity head の比となることを示す。

4.3 Cleaning Force の決定法

さきに管内流動の考察においてブローイングアウト時 の蒸気の状態値を求める方法として理論式より求めた曲 線群第4図および第5図を用いることが便なることに言 及した。ここではさらに詳しくその使用法を記する。

与えられた管系においてまず Q²maxvmax の値が決定 する。したがって(15)式より Qb² vb の値が求まり、し たがって Q_b , v_b の組合せをいかにするかが cleaning force 決定の焦点といえる。しかして Qb を大とするこ とはドラム水面の急上昇による水面計より水面の逸脱な どを生じ,場合によってはキァリオーバーを生ずるなど, 運転上困難を伴う。一方 vb を大とすることは仮配管口 径を大とせねばならずこれも他方より制約される。最も 少ない蒸気量で必要な cleaning force をうるには仮配 管出口端の圧力を約 2 ata くらいにし限界圧力が大気圧 になるようにすればよいのであるが一般の場合このため には仮配管が過大となり不経済たるを免れぬし、さらに バルブなども大となり操作上も不便である。したがって 管端 3~4ata くらいにするのが適当となる。実際には 管材料の寸法により 200mm (8"), 250mm (10"), 300mm (12"), 350mm (14") などが用いられるので,

再熱タービンプラントは非再熱タービンプラントに 比し,再熱系統があるため複雑となりブローの順序, 仮配管方法も種々の方法が考えられ従来行われた方法 も種々雑多である。米国における例をあげると第1 表⁽¹¹⁾のとおりである。

第1表より類別1,2,3以外は各1社のみでこれ は特別な場合であるゆえ除き1,2,3について概略 を述べてみる。

第10図は類別1の例である。まず主蒸気管をブロ ーし次いで主塞止弁より低温熱管に仮配管を連結して 主蒸気管低温再熱管をブローし最後に主蒸気管,低温 再熱管,再熱器一高温再熱管をブローする。第10図の Aはボイラ出口に主塞止弁のある場合で,この場合は ブローのコントロールはこの弁で行えるので仮配管に



第9図 非再熱タービンプラントのブロー系統



46 -

主蒸気管,再熱蒸気管のブローイングアウトについて

類 別	1	2	3	4	5	6	7	8
実施社数	10社	7社	2社	1社	1社	1社	1社	1社
ブロー 順 序	1. MSS 2. MSS-CR 3. MSS-RS	1. MSS 2. MSS-RS	1. MSS 2. CR 3. R-HR	 SH MSS MSS-CR MSS-CR-R MSS-RS 	1. R S 2. M S S 3. M S S-R S	1. MSS 2. CR 3. MSS-RS	1. MSS-CR 2. MSS-RS	1. MSS 2. RS

第1表 米国24社におけるブロー順序一覧表

第2表 第11図に示すブローイングアウト計画におけるブローの径路

順番	区分	進 備 作 業	ブローの径路
1	MSS	$(\mathbf{F_a})(\mathbf{F_b})(\mathbf{F_e})$ に盲板を挿入, Ve を開く	$(1)-(2)-V_{Tb}-V_{c}-(3)-(4)-(5)-大気$
2	MSS-CR 右	$(F_a)(F_e)(F_e))$ に盲板を挿入, V_c 右を開く	$(1-2)-V_{Tb}-V_{e}-(3)-(12)-(6)-(7)-大気右$
3	MSS-CR 左	$(F_a)(F_c)(F_e)$ に盲板を挿入, V_c 左を開く	$(1)-(2)-V_{Tb}-V_{c}-(3)-(12)-(6)-(7)-\chi_{\overline{\chi}}$
4	MSS-RS	$(\underline{F_a})(\underline{F_d})(\underline{F_f})$ に盲板を挿入, Vcを開く	$(1)-(2)-V_{\rm Tb}-V_{\rm c}-(3)-(12)-(6)-(8)-(9)-V_{\rm Rs}-V_{\rm In}-(0)-(1)-(3)-\chi_{\rm X}$

備考: 符号は11図と同じ。





第10図 類別1 仮配管説明図

はなんら弁を設ける必要はないが,ボイラ出口に弁の ない場合は仮配管にブローコントロール用の弁を設け る。Bはこの場合の例である。また主蒸気管,高温, 低温再熱蒸気管,主塞止弁などはプラントにより1系 列または2系列となり,その組合せにより種々の場合

が生じ、したがってブローの方法も全体を1系列ずつ 行う場合、部分的に1系列ずつ行う場合、そのほかい



----- 47 -----

666

H



類別3に属する仮配管説明図 第 12 図

ろいろの方法がありそのときの条件により最も適当な 方法を選定する。第11図は主蒸気管1本,主塞弁2個, CR管2本, HR管1本の場合の例を示し, 第2表に そのブロー径路を示す。

類別2は再熱系統を同時に行ってしまう方法で低温 再熱管内の異物が再熱器に流入するおそれがあり,特 別の場合以外はあまり推奨できない。

類別3は第12図に示すようにまず主蒸気系統を類 別1,2と同様にブローし、次いでボイラドラムより 低温再熱管の再熱器入口ヘッダー付近に連結された配 管を通し低温再熱管をタービン 側へ逆にブローし,最 後に再熱器,高温再熱管をブローする。再熱系統のブ ローのコントロールは弁 Ve で行う。

ボイラの燃焼を持続したままブローする場合,特に注 意すべき点はボイラ過熱器出口にコントロール弁がある 場合は, ドラムの圧力いかんにかかわらずコントロール 弁出口側の圧力を所要圧力にコントロールすれば所要 cleaning force が得られるが,主蒸気管出口側の仮配管 にコントロール弁を設けた場合,ドラム圧力を所要圧力 より高くしてコントロール弁で仮配管出口圧力を規定圧 力にコントロールしてもコントロール弁前の圧力は規定 圧力より高いゆえ,流量 Qb は規定値となるが vb が小 さくなり Qb2 vb の値は満足されないことである。すな わちこのような場合ドラム圧力、主蒸気管入口圧力に注 意し, コントロール弁は全開の状態でブローを行わねば ならない。低温再熱,高温再熱管のブローはいずれの場 合も大差なく, cleaning force はそれぞれの管系の入口 状態で規定値になるようコントロールすればよい。ただ 一般の場合,高温再熱管の cleaning force はなかなか満 足すべき値まで高めることが困難で,従来の例よりみて も必ずしも満足されていない。ただ管系のある点以降に なれば満足な値となる。管の入口でcleaning force ratio が1なれば管端付近ははるかに大なる値となることは v の変化状態を第5図より見れば明らかであろう。

5.3 仮配管の条件と付帯設備

5.2 ブローのコントロール

ブローイングアウトの効果は前記のように cleaning force ratio をもって示されるが、さらに管系の温度の 急激なる変化による熱膨脹収縮によりミルスケールにク ランクを生ぜしめることにより効果を助長せしめうるも のと考えられる。この観点からブローコントロール弁を 急開,急閉し管壁温度の変化を大ならしめることが望ま しい。ただしこのためドラム圧力が高い場合,急激に弁 を開けば一度に大量の蒸気が流れ、ドラム水位の急上昇 に伴いキャリオーバーを生じ,かつボイラドラムの熱応 力も問題となるゆえ注意を要する。したがってブローは mass velocity head による効果と温度変化による効果 を考えて次のようにする。

(a) 主蒸気管系, 再熱蒸気管とも最初1~2回はド ラム圧力を適当に上昇せしめてコントロール弁を急開 し,温度変化を生ぜしめるとともにブローを行う。こ の場合ボイラは消火する。ドラム水位には注意を払い 水面を逸脱しない範囲で行う。

(b) cleaning force ratio で計算せられる圧力状態 でボイラの燃焼を持続したままブローを行う。この際 仮配管出口圧力そのほか配管中の圧力を測定すれば, cleaning force の逆算もできる。ブロー時, 再熱器に 蒸気が流入しない場合すなわち主蒸気管, 低温再熱管 のブローのときはボイラ再熱器への流入ガス温度に注 意し再熱器が過熱せぬようにする要がある。

ブローイングマウト仮配管は複雑な管系を順次ブロー するに最も簡単で流動抵抗少なく振動,熱応力反力に耐 えねばならない。またできるかぎり対称とし流動のバラ ンスが保たれねばならない。

ブロー径路の切換のため多数の盲フランジを必要とし また保護のため, 主塞止弁, 再熱塞止弁, 中間阻止弁な どに保護用治具を用意する必要がある。さらに仮配管出 口には真鍮そのほかの磨いたテストピースを取り付け, その面の状態によりブロー効果を見るとよい。配管各部 の圧力特に仮配管出口圧力は重要で管端から直径の20倍 くらいのところに取り付け安定な圧力指示をうるべきで ある。

また都会近辺などにおいてはブローの騒音が問題にな ることがあるゆえ,必要に応じ管端にサイレンサを具備 することもある。

5.4 ブローイングアウト時の配管の反力

ブローイングアウト時は特に仮配管付近の蒸気速度は 著しく高速となるので,その反力も見のがせない問題で ある。最も大きな反力は仮配管端に生ずる。

加速流動における反作用(12)は





----- 48 ------



第13図 ベンド部に生ずる流体の反力

一般に流出速度はその状態における音速となるゆえ

$$\omega = \sqrt{2g \frac{k}{k+1}} Pv$$

= 333 \sqrt{Pv} k=1.3 (過熱蒸気).....(18)
= 323 \sqrt{Pv} k=1.135 (飽和蒸気)...(19)
またGの値は

$$= 0.020 \sqrt{\frac{P}{v}} \quad k = 1.135 \dots (21)$$

(18), (20)式より $R_a = -\frac{G}{\omega} = 0.71 PF \text{ kg} (過熱蒸気).....(22)$ によりその抵抗値も大幅に異なりブロー効果達成上の妨 げとなることがある。また流動のアンバランスも仮配管 で是正したい。いずれにしろブローすべき管系の圧力は あらかじめ定めた圧力より高めることはブロー効果を害 する。したがって仮配管にコントロール弁を有する場合 は注意せねばならない。

なおブローイングアウトを行うからといって建設中の 作業に対し検査や清掃を軽視してはいけない。配管は工 場で十分酸洗し, 輸送中や建設現場での取扱い, 保管に 注意し,入念に熔接施行せねばならない。またブローの できないタービン主塞止弁以降, インターセプト弁以降 の配管, 蒸気通路などは特に注意し, いやしくも異物の 流入などによりタービンを損傷するようなことが生じて はいけない。

参考文献

- Edison Electric Institute: Publication No. 54 (1)-17, 11 (Dec. 1954)
- 岡野茂夫: 電力 41 巻 2 号 66 (昭 32-2) (2)
- A. Stodola: Dampf und Gasturbinen 50 (3)(1924)
- (4) 大賀真二: 熱機関原論] (熱力学) 325(昭16-5)
- (5) シューレ (川下訳): 工業熱力学 (第1巻) 265 (昭 15-9)

(19)、(21)式より

 $R_a = 0.66 PF kg$ (飽和蒸気)(23) ただし *F*: 管端の断面積 (cm²)

> P: 圧 力 (kg/cm^2)

(22), (23) 式より仮配管端の圧力と断面積により簡単 に反力を求めることができる。ただし仮配管端圧力は場 合により計画値より高くなることがあるゆえこの値につ いては十分余裕をつけることが必要である。

次に管系の曲り部に対する反力を求めてみる。 第13 図において反力 R_a は

となる。

90 度ベンドに対して
$$\alpha_1 + \alpha_2 = 90$$
 なるゆえ

6. 結 言

以上ブローイングアウトについてその計画の基礎とな る高速流動蒸気の状態変化を解明し, ブローの効果に最 も影響を及ぼす要素を明らかにし、あわせてブロー実施 上の諸問題について記した。一般に cleaning force は 主蒸気管の場合は必要値は比較的容易に達成しうるが, 再熱系統はなかなかむずかしい。また, 仮配管の行い方

- E. Zimmermann: VDI Bd. 84, Nr. 40, 760 (6) Okt. 1940
- Hydraulic Institute: Pipe Friction Manual (7)(1954)
- Tube Turns: Flow of fluids, Bulletin TT725 (8)
- Walwarth または Crane のカタログ (9)
- (1)と同じ (10)
- (11)(1)と同じ
- シューレ (川下訳): 工業熱力学 (第2巻) 225 (12)(昭 15-6)

Vol. 20	日立道	查 船	技報	No. 1
	目	次		
◎非磁性	アンカ	ーチ:	r - γ	について
◎木 船	強 度	の	実 肠	行 研 究
◎湿気の息	舌 住区防熱	装置に	与える景	「響について
◎マルチ	チャン	ネルオ	氏抗線	ひずみ計
◎アルミ·	フレーム	木製外	外板構造	しの実験研究
◎ディー+	ビル機関音	部 品の湯	表面あら	さについて
◎かじ性育	能に及ぼす	かじ取i	速度の景	/響について
木井に~	~~)キす ての	~~~~~) 御昭会	小下記	発行所へ
御願いた	こします。		(Φ] ΠΓ	
日3	立造船株式 大阪市此7	た会社 お 花区桜島	技術研究 北之町	8所