

王子製紙株式会社春日井工場納
16,500 kW 抽気背圧タービン
 16,500 kW Extraction Backpressure Turbine for Kasugai Works,
 Oji Paper Co., Ltd.

逢 沢 喜 子 人* 須 藤 行 雄*
 Kineto Aizawa Yukio Sudô

内 容 梗 概

王子製紙株式会社春日井工場納 16,500 kW タービンが、昭和 36 年末にきわめて好成績で日立製作所日立工場ならびに春日井工場における引渡試験を完了し、現在好調に営業運転中である。本機は発電用のほかに工場使用蒸気の発生用を兼ねて製作されたもので、最大出力 16,500 kW で抽気背圧タービンとしてはその出力においてわが国の記録品である。本稿は本タービンの構造などについてその概要を述べたものである。

1. 緒 言

最近産業界の発展に伴う消費電力および工場使用蒸気の需要増大により経済的に有利な高温高压産業用火力プラントの新設または増設が盛んに行なわれている。すなわち製紙、製油、化学、紡績などのプラントにおいては、電力のほかに製品の製造過程で多量の蒸気を必要とする。このような場合必要に応じて背圧タービン、抽気背圧タービンまたは抽気復水タービンを採用することにより買電および低圧ボイラで単独に工場使用蒸気を発生させる場合に比べて、製造原価を大幅に減少することができる。日立製作所では最近主蒸気圧力 80 kg/cm²g 以上の産業用高温高压タービンを 20 台納入または現在製作中であり、ここに紹介する王子製紙株式会社春日井工場納 16,500 kW タービンは、そのうちの 1 台で、抽気背圧タービンとして出力において記録品である。本機の各部には斬新な設計を採用し、その製造においては最新の技術を十分に取り入れている。制御および保安装置に関しては、従来の実績、経験をもとにさらに改良を加えたので、単独および総合試験の結果好成績を収め製品の信頼度をさらに高めることができた。

2. 計 画 概 要

抽気背圧タービンは、その使用目的が自家電力の確保と工場使用蒸気の発生にあるため、その計画において、タービンの単独運転時には回転数(電気負荷)と抽気圧力(抽気量)を、併列運転時には抽気圧力(抽気量)と排気圧力(排気量)を制御の対象としている。したがって一般の復水タービンまたは背圧タービンに比較して制御機構が複雑である。また本機は抽気背圧形として高温、高压、大容量の記録品であることを念頭に次の諸点に重点を置き設計製作した。

- (1) 高温高压部の熱応力
- (2) 車室とロータとの伸び差
- (3) 車室水平継手の締付ボルト
- (4) タービンロータの慣性能率

タービンの容量が大きく、さらに圧力、温度が高くなると車室に耐熱性の材料を使用するとともに、肉厚も大きくする必要がある。したがってこのような肉厚部分に急激な温度変化を与えると変形による高い熱応力を発生することがある。局所的な高い熱応力の発生箇所は主として蒸気室であり、これらの発生に対し最小限にするため構造上の考慮を払うとともに、運転取扱の面からも実績を加味した運転方法を推奨している。このうち蒸気室の暖機方法は最も新しい方法の一つであり、これにより蒸気室付近のき裂の発生を完全に

防ぐことができると考えている。またこの暖機はタービンの運転開始時のターニング運転中に行なうので特にこのために起動時間が伸びることはない。

タービンが高温、高压化されるに従って車室とロータの熱的慣性に差ができるため、車室とロータとの伸び差の関係が問題となってくる。一般に熱容量、伝熱面積の関係より、蒸気温度の変化に対する伸び縮みはロータのほうが車室より敏感であり、急激な負荷減少によりタービン内部の蒸気温度が急激に下がるとロータのほうが先に収縮してダイヤフラムおよび車室との間げきが小さくなるのでこの点特に設計上の考慮を払っている。また運転条件に対しても一定の制限を加えて安全を期した。

車室水平継手フランジと締付ボルトの温度差による伸び差は直接ボルトの強度に関係するので、ボルトの中心をできるかぎり車室内壁に近づける構造により温度差を小さくした。

タービンの高温高压化に伴いタービンロータの慣性能率が小さくなるため、瞬時速度上昇率が増加する。したがって瞬時速度上昇率を規定値以内に収めるために特に応答性のすぐれた調速機を使用した。

タービンの仕様は次のとおりである。

| | |
|---------|----------------------------|
| 形 式 | 衝動式抽気背圧タービン |
| 最大連続出力 | 16,500 kW |
| 回 転 数 | 3,600 rpm |
| 蒸 気 圧 力 | 88 kg/cm ² g |
| 蒸 気 温 度 | 475°C |
| 抽 気 圧 力 | 12.78 kg/cm ² g |
| 排 気 圧 力 | 2.57 kg/cm ² g |
| 抽 気 段 数 | 1 |
| 膨 張 段 数 | 高压 10 段, 低压 4 段, 計 14 段 |

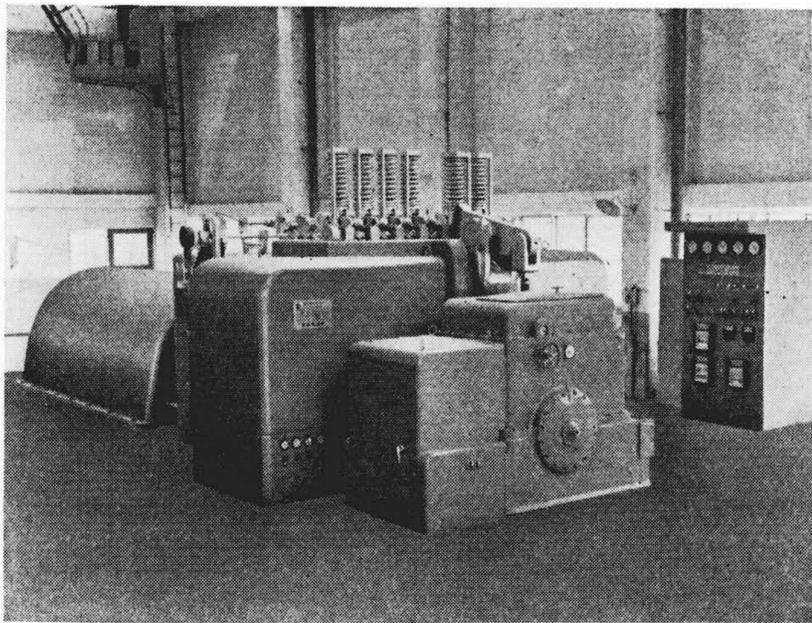
3. タービンの構造

タービンの外観を第 1 図に、工場試験後開放時における写真を第 2 図に示す。

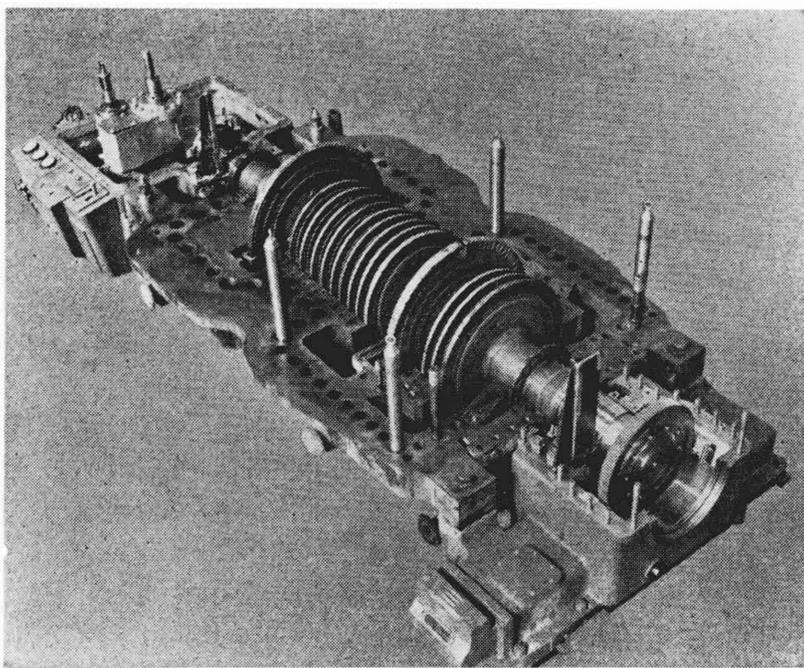
3.1 タービン車室

抽気背圧タービン車室の構造は、一般の復水タービンまたは背圧タービンなどに比べ複雑であるため、産業用タービンに必要な短時間起動、停止および工場使用蒸気量の変動を含む負荷の変動に対して熱応力の点から蒸気による車室の局所的な加熱のないよう十分考慮した設計となっている。タービン出力による大きさ、蒸気圧に対する車室の強度、上下車室締付ボルトの強度を十分検討し車室とロータとの熱容量差を極力小さくして、車室とロータとの温度差を少

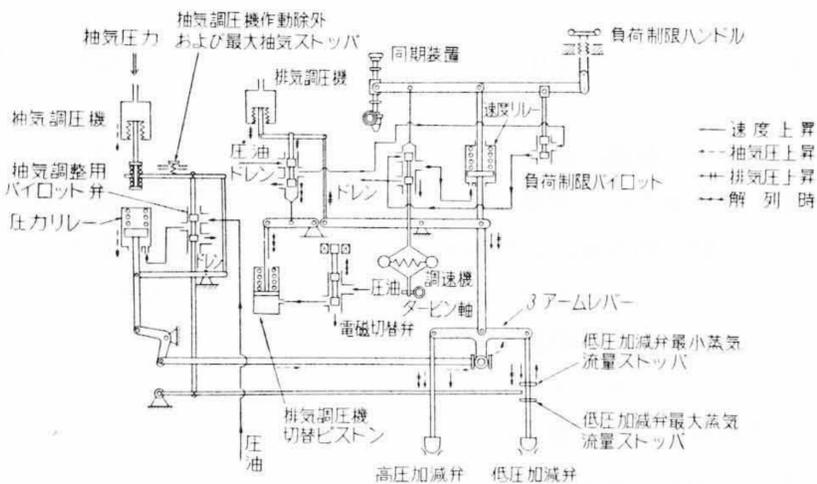
* 日立製作所日立工場



第 1 図 16,500 kW 抽気背圧タービン



第 2 図 工場試運転後タービン解放時のタービン本体



第 3 図 抽気背圧タービン制御系統図

なくし、タービンの起動、停止を容易にするため単車室構造とした。車室は鋳造後完全なる熱処理を行ない各種非破壊検査を施行し、変形ならびにき裂の原因となる残留応力および欠陥をなくした。

3.2 タービンロータおよび推力軸受

タービンロータとして重要なことは、タービン動翼の強度、振動およびロータ全体の振動である。タービンロータの振動に関する項目としては、ロータの危険速度、バランスに対する修正面の影響、オイルホイップおよび高温におけるロータの安定性をあげることができる。危険速度は軸受支持系のたわみとダンピング効果を考慮し、しかもオイルホイップの起きない範囲に決定している。軸受けはオイルホイップが起きないよう軸受圧力を決定するとともにさらに安全なホワリング止の構造とした。ロータのバランスに対する修正面は両端のみでなく中央にも設け運転時不釣合による振動の発生しないよう 3 面による動的釣合試験を施行した。高速回転の下でロータが熱ひずみを生じ振動の原因とならないようロータの荒仕上げと仕上がった状態の 2 回にわたり、高温安定化試験を施行し曲がりの性状および許容量の両面より合格品を使用したため熱ひずみによる振動の問題はないものと考えてよい。このほかタービン動翼については振動および強度に関し十分安全な設計とした。推力軸受はタービンロータおよび発電機ロータ両方の大きな推力に対して安定した油膜を形成する、受圧部であるバビットメタル面に回転方向と半径方向の両方にテーパを設けた耐負荷能力のきわめて大きなテーパード・ランド形の構造となっている。ミッチェル形に対し約 1.6 倍の負荷能力がある。

4. 調整装置

制御装置系統図を第 3 図に示す。ボイラからの蒸気は高圧加減弁

を通りタービンを駆動し低圧加減弁に達し、ここで一部は高圧側工場使用蒸気として抽気され、残りは低圧加減弁を通り排気口に達し、低圧工場使用蒸気として送られる。したがって本タービンの調整装置としては下記のものを有する。

(1) 调速機および同期装置

调速機はタービン軸よりウォーム歯車を介して駆動され、伸長バネを使用した回転パイロット弁形である。回転数とパイロット弁のストロークとの間には常に一定の関係がある。したがって同期装置によりパイロット弁プッシュを移動することにより、単独運転時はタービンの回転数を、併列運転中はタービンの負荷を調整する。

(2) 抽気および排気圧力調整機

工場への使用蒸気量の変動にかかわらずタービンの抽気点あるいは排気点の圧力をほぼ一定に保とうとするもので、各点の圧力を検出ベローに導き、検出ベローのわずかな動きをオイルフラッパーにより増幅し、抽気の場合はスリーアーム機構中のプレッシャーリレー用パイロット弁を動作させ、スリーアームに回転運動を伝え、また背圧の場合は自動切換装置中のパイロット弁を動かしてスリーアームを上下動し、高圧および低圧加減弁を適当な開度に調整する。

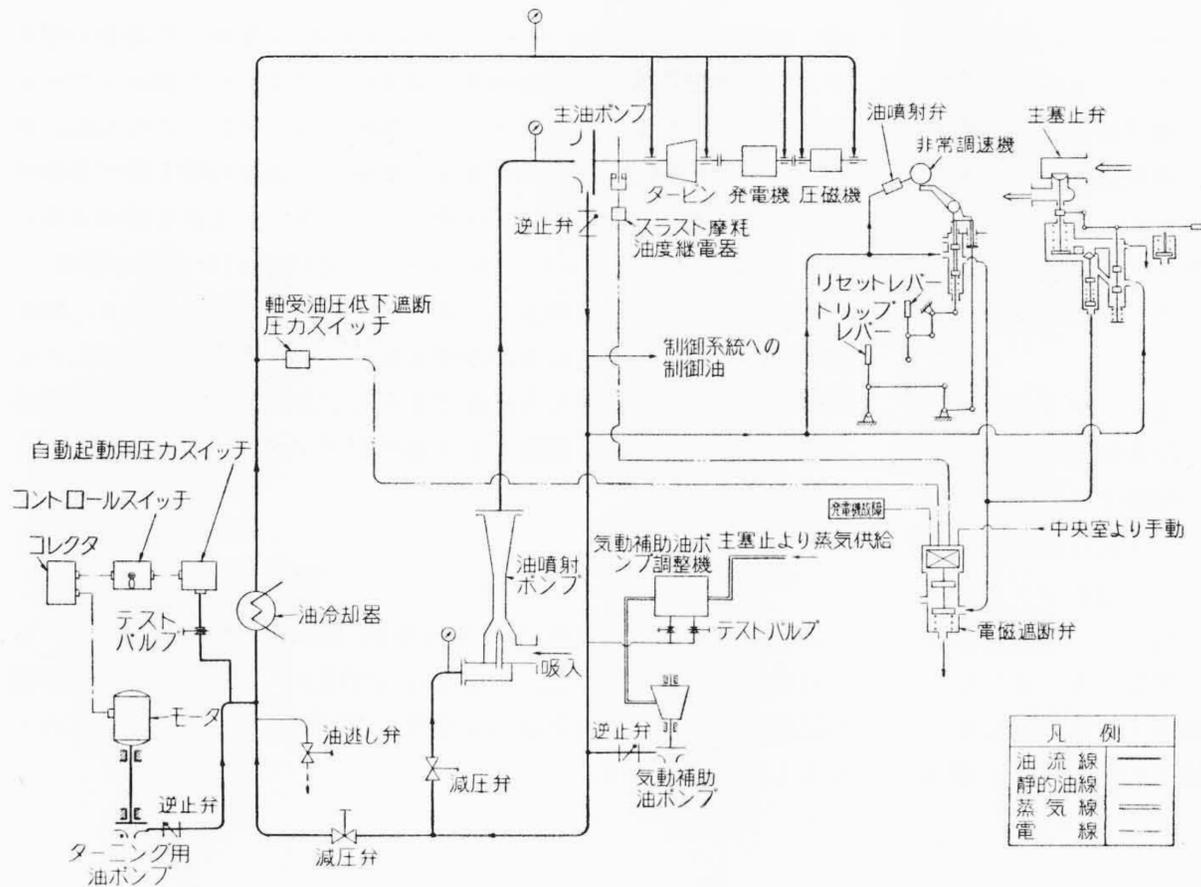
(3) スリーアーム機構

スリーアームの一端は高圧加減弁につながり、他の一端は低圧加減弁に、さらに他の一端は圧力リレーに接続している。なおスリーアーム全体はスピードリレーにより上下動する。

高圧工場使用蒸気量が増大した場合は抽気圧力調整機が動作し、圧力リレーによりスリーアームに時計方向の回転運動を与え、これに接続する高圧および低圧サーボモータを介して高圧加減弁を開き、タービンへの流入蒸気量を増すと同時に、低圧加減弁を閉じタービン低圧段への流出蒸気量を減少し、その流量差により工場使用蒸気量を補充し、抽気点の圧力をほぼ一定に保つように作動する。使用蒸気量が減少した場合はこれの逆動作を行ない抽気点の圧力を保つ。なお本動作の際排気量変化による背圧の変化をわずかに押えるため特殊な方法を採用し、その補正量を現地運転状況により適当量に変えることができるようにした。

低圧工場蒸気使用量が増大した場合は、背圧の変化を排気圧力調整機に伝え、スピードリレーおよびこれに連なるスリーアーム全体を上を動かす。すなわち高圧および低圧加減弁をともに開きタービン排気量の不足を補充し、排気圧力をほぼ一定に保つ。

スリーアーム機構中には下記のストップバを設け、安全な運転が



第4図 タービン非常停止および潤滑油系統図

(5) 現地におけるガバナーテストの結果

第5図にガバナーテストの記録を示す。(A)図は抽気调速運転 16,500 kW より無負荷にした場合、(B)図は抽気背圧運転 16,500kW より無負荷にした場合を示す。调速の場合瞬時 6.7%、整定 4.1%、抽気背圧の場合瞬時 6.9%、整定 4.75% である。

5. 保安装置

保安装置として下記のを装備した。

- (1) タービンを急停止させるもの
- 過速遮断装置
- スラスト摩耗遮断装置
- 潤滑油圧低下遮断装置
- 電磁遮断装置

いずれの場合も主そく止弁を急速に閉鎖し、タービンへの流入蒸気を遮断すると同時に発電機の遮断器を動作させるとともに故障箇所表示と警報を行

できるようにした。

- (i) 低圧加減弁最大開度
- (ii) 低圧加減弁最小開度 (一時的にストップする)
- (iii) 高圧加減弁開度 0 の位置 (一時的にストップする)
- (iv) 最大抽気量に相当する高圧および低圧加減弁の開度差の位置
- (v) スリーアーム作動除外用

回転数上昇あるいは低圧工場使用蒸気量の減少によりスピードリレーが下がると高低圧加減弁は両方とも閉方向に動き、低圧加減弁側が冷却蒸気に必要な最少開度点 (ii) に達しいったん停止し、以後はそれまでよりは早い速度で高圧加減弁が閉じ、高圧加減弁が全閉の位置で (iii) のストップが働き、以後はロッド中のバネを圧縮しつつ高圧および低圧加減弁が同時に閉方向に移動し、低圧加減弁は全閉すると同時に高圧加減弁の閉鎖時間を少なくし、瞬時速度上昇率を最小に押えるよう計画した。

低圧側工場蒸気量が増大すれば、スピードリレーは上昇し、高圧および低圧加減弁を同時に開くが、スリーアームが (i) に達すると、圧力リレーを動作させ、低圧加減弁開度をその位置に固定し、さらにスピードリレーが上昇すれば高圧加減弁のみ開くようにした。

高圧工場使用蒸気量の変化に対しスリーアームは回転運転をするが、圧力リレーのピストンとパイロットバルブの関係位置を (iv) により制限して、この回転量を押えることができる。

(4) 自動切換装置

背圧運転中、外電故障などにより単独運転に移った場合タービンの回転数を押えるためにただちに调速運転に移すことが必要である。このため排気圧力調整機の電磁式切換パイロット弁を操作し、排気圧力調整機用パイロット弁を調整機の作動にかかわらず常に油の通過を可能ならしめるようにし、以後は调速機によりスピードリレーの開度を制御する。背圧運転を行なう場合は同期装置を上限ストップにセットし先行非常调速機の役めを与えている。

なう。

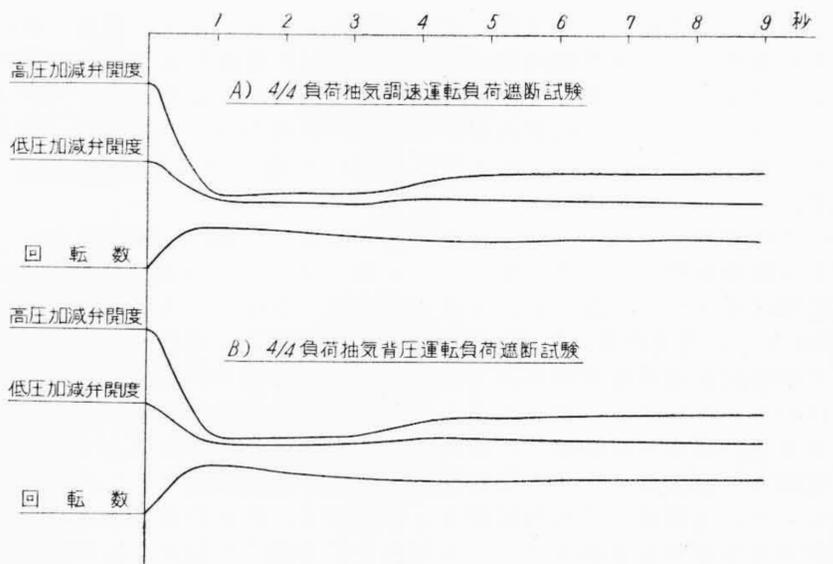
- (2) タービンは停止しないが異常を報知するもの

- 潤滑油圧低下
- 軸受排油温度高
- 油タンク油面異常
- 偏心大
- 振動大
- 伸差大

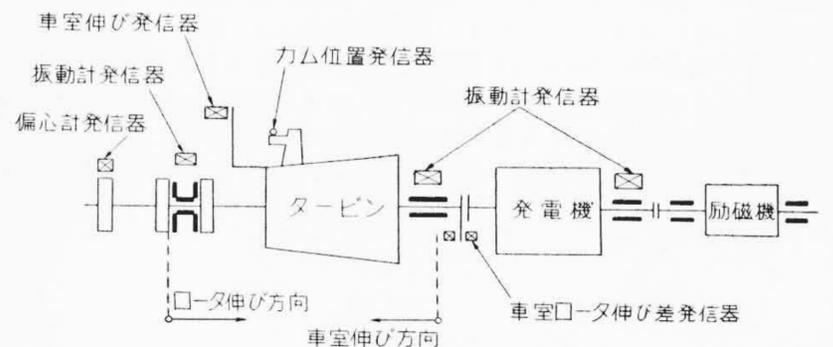
そのほか自動切換表示など各種運転表示および各種特殊監視計器を装備した。監視計器の配置を第6図に示す。

6. 潤滑油装置

タービンの制御に必要な油圧を確保し、またタービンおよび発電



第5図 ガバナーテスト記録



第6図 監視計器配置図

機の各軸受に十分な潤滑油を供給するため、主油ポンプ、蒸気駆動補助油ポンプおよびターニング用油ポンプを設けている。主油ポンプはタービン主軸駆動遠心式で、正規運転中に軸受および制御機構に圧油を供給する。油タンクから主油ポンプに油を送るために油噴射ポンプ（オイルジェットエゼクタ）を用いている。エゼクタは主油ポンプ吐出油量の一部を駆動油として用いたタンク内の油を吸い込んで主油ポンプの吸込口に適当な油圧を与える。制御油圧は 10.5 kg/cm²g、軸受油圧は 0.7 kg/cm²g である。

蒸気駆動補助油ポンプは起動、停止時または主油ポンプの吐出圧が 10 kg/cm²g に低下した場合に制御機構および各軸受けに油を供給する。このポンプは制御油圧の変化に応じて作動する調整機によって自動起動および自動停止する。このポンプの吐出口には給油系統より逆流防止として逆止弁がある。したがって主油ポンプとは無関係にも運転することができる。ターニング用油ポンプは電動機駆動遠心式で、ターニングの際軸受けに潤滑油を供給する。またなんらかの事故で軸受油圧が低下し、しかも補助油ポンプが作動しない場合には圧力スイッチにより自動起動し軸受油圧を確保する。第 4

図に油噴射ポンプ（オイルジェットエゼクタ）を配備した場合の制御および潤滑油系統の概要を示す。同図に示すように主油ポンプ吐出油は制御油圧および油噴射ポンプの駆動油圧を供給したのちに、減圧弁によって減圧されて軸受油圧を構成し、油冷却器を経て各軸受に供給される。油噴射ポンプは吸引室の下部に圧力室を持つ本体にノズル、ディフューザおよびストレーナを取り付けた簡単な構造で、プースタ油ポンプに比較すると非常に小形簡易化されており、回転部分がないので、摩耗による故障もなく、据付面積が狭少でしかも縦横いずれに取り付けても性能は変わらないなど、タービンの潤滑油系統に配備される潤滑機器として油噴射ポンプの利点はきわめて大なるものがある。

7. 結 言

以上王子製紙株式会社春日井工場納 16,500 kW 抽気背圧タービンの構造について述べた。本機は抽気背圧タービンとしてはわが国の記録品であり、その完成が産業界に寄与するところ大なるものであると信ずる。



特許第 298697 号

特 許 の 紹 介



山 崎 映 一・富 田 嘉 彦

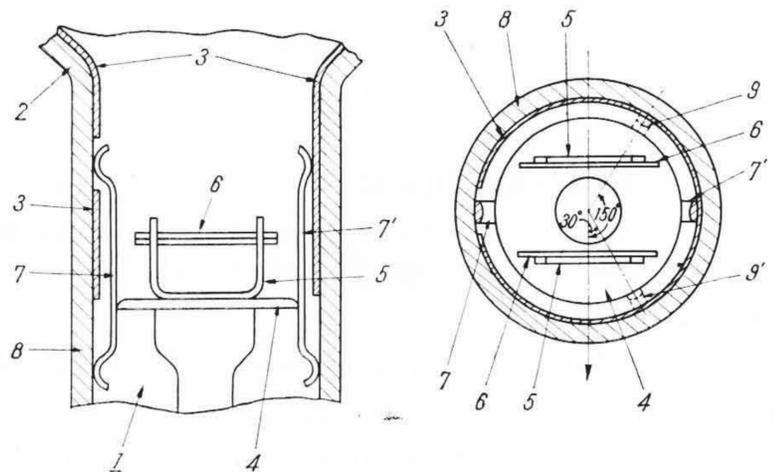
陰 極 線 管

真空管内部のガスを吸着させるゲッターフラッシュは、現在一般に電磁誘導により真空管内部のゲッターに電流を流し、この熱によってゲッターを蒸発させる方法をとっているが、このゲッターに電流を流すための磁界内にこの磁界と直角な成分を持つループがある場合にはそのループにも電流が流れて種々の事故を引き起こす。

この発明はこのような欠点を除去するもので第 1、2 図において 1 は陰極線管ネック部、2 はコーン部、3 はその内面に被着した黒鉛層、4 はネック部における最上部電極、5 はゲッターループ、6 は Ba などの蒸発物質、7、7' は電極 4 を黒鉛層 3 に連絡するスプリング状接続板兼電極 4 のささえであって、矢印の方向に磁界を加えればゲッターループ 5 に電流が流れ、蒸発物質 6 を加熱してこれを蒸発させる。従来の陰極線管においては蒸発物質 6 を蒸発させる際に、電極 4、接続板 7、7'、黒鉛層 3 のループを形成していたのでこのループにも電流が流れ黒鉛層 3 と接続板 7、7' との接触部が過熱されガラス壁 8 を被損するなどの事故を引き起こしたが、この発明においては第 1 図に示すように接続板 7、7' の一方の接続板に接する黒鉛層 3 の部分を取り除き、接続板、電極、黒鉛層より成るループを形成しないようにして上述の欠点を除去したものである。

またこの発明においては第 2 図鎖線で示すように接続板 7' の代わりに 2 本の接続板 9、9' を使用し、これを磁界の方向とそれぞれ 30 度、150 度の角度をなすように配置すれば電極 4 と黒鉛層 3 との接続はさらに完全となる。なお接続板 7、7' を従来の陰極線管の取

付位置と 90 度異なる部分に設け、電極、接続板、黒鉛層より成るループを磁力線と平行になるようにすれば、このループには電流が流れないが、平板状接続板に生ずる渦流損のため、接続板が赤熱し弾性を失い電極保持の機能を果たすことができなくなるので実用には供し得ない。（福 田）



第 1 図

第 2 図