

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4399655号
(P4399655)

(45) 発行日 平成22年1月20日 (2010. 1. 20)

(24) 登録日 平成21年11月6日 (2009. 11. 6)

(51) Int. Cl.

F I

F O 4 B 49/06 (2006. 01)

F O 4 B 49/06 3 4 1 L

請求項の数 7 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平11-326551	(73) 特許権者	502129933
(22) 出願日	平成11年11月17日 (1999. 11. 17)		株式会社日立産機システム
(65) 公開番号	特開2001-140768 (P2001-140768A)		東京都千代田区神田練塀町 3 番地
(43) 公開日	平成13年5月22日 (2001. 5. 22)	(74) 代理人	100098017
審査請求日	平成18年3月1日 (2006. 3. 1)		弁理士 吉岡 宏嗣
		(74) 代理人	100075096
			弁理士 作田 康夫
		(72) 発明者	長谷 征和
			静岡県清水市村松 3 9 0 番地
			株式会社 日立製作所 産業
			機器グループ内
		(72) 発明者	青木 優和
			静岡県清水市村松 3 9 0 番地
			株式会社 日立製作所 産業
			機器グループ内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧縮空気製造設備

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

可変速電動機によって駆動され、回転速度を変化させて容量制御を行う可変速圧縮機と、前記可変速圧縮機と並列に設置されて回転速度が一定である定速圧縮機と、前記可変速圧縮機と前記定速圧縮機の吐出空気が導入される共通の配管または空気槽と、前記可変速圧縮機の吐出圧力を検知する圧力検知手段と、該圧力検知手段により検知した圧力を予め各圧縮機に対してそれぞれ異なる値に設定した制御圧力と比較して前記可変速圧縮機の容量制御及び前記定速圧縮機の停止または始動を行う制御手段と、を含んで構成された圧縮空気製造設備。

【請求項 2】

請求項 1 記載の圧縮空気機製造設備において、前記可変速圧縮機の圧縮空気出口に接続された吐出空気に接続された検出用配管を有し、前記可変速圧縮機の吐出圧力を検知する第 1 の圧力センサーと、該第 1 の圧力センサーの検出用配管と前記吐出空気が接続された位置に接続された検出用配管を有する第 2 の圧力センサーとを備えてなり、前記制御手段は、前記第 2 の圧力センサーによって検知された圧力に基づいて前記定速圧縮機の停止または始動を行うことを特徴とする圧縮空気製造設備。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の圧縮空気製造設備において、前記制御手段は圧縮空気の使用量の変動が前記可変速圧縮機の回転数制御による容量制御で対応できないとき、前記定速圧縮機を停止もしくは起動して 100% 出力で運転するよう構成されているとともに、前記定

10

20

速圧縮機の停止もしくは起動により使用空気量に対して吐出空気量の不足または過剰が生じた場合は、可変速圧縮機により吐出空気量の不足または過剰に対応するものであり、前記圧力検知手段は、定速圧縮機の制御に用いる圧力と可変速圧縮機の制御に用いる圧力を、同じ検出位置で検出するものであることを特徴とする圧縮空気製造設備。

【請求項 4】

前記請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の圧縮空気製造設備において、可変速圧縮機は吸い込み絞り弁を備えており、制御手段は、可変速圧縮機を、電動機の回転速度を変化させて容量制御を行う回転数制御と、回転数制御の下限回転数で、回転数を一定にして吸い込み絞り弁を閉鎖すると同時に、圧縮機の吐出圧力を減圧することにより無負荷運転を行う容量制御を組み合わせた方式で制御する機能を備えていることを特徴とする圧縮空気製造設備。

10

【請求項 5】

前記請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の圧縮空気製造設備において、可変速圧縮機は吸い込み絞り弁を備えており、制御手段は、可変速圧縮機を、電動機の回転速度を変化させて容量制御を行う回転数制御と、回転数制御の下限回転数で回転数を一定にして吸い込み絞り弁を無段階に閉鎖する容量制御を組み合わせた方式で制御する機能を備えたことを特徴とする圧縮空気製造設備。

【請求項 6】

可変速電動機によって駆動され、回転速度を変化させて容量制御を行う可変速圧縮機と、前記可変速圧縮機と並列に設置されて回転速度が一定である定速圧縮機と、前記可変速圧縮機と前記定速圧縮機の吐出空気が導入される共通の配管または空気槽と、前記可変速圧縮機の吐出圧力を検知する圧力検知手段と、該圧力検知手段により検知した圧力を予め各圧縮機に対してそれぞれ異なる値に設定した制御圧力と比較して前記可変速圧縮機の容量制御及び前記定速圧縮機のアンロード、停止及び始動を行う制御手段と、を含んで構成され、前記制御圧力は、前記可変速圧縮機に対して回転数制御により維持すべき第1の圧力と、アンロードを開始する前記第1の圧力よりも高い第2の圧力が設定され、空気使用量が低下したときに最初に停止すべき定速圧縮機に対して前記第2の圧力よりも高い第3の圧力がアンロードを開始する圧力として設定され、空気使用量がさらに低下したときに次に停止すべき定速圧縮機に対して前記第3の圧力よりも高い第4の圧力がアンロードを開始する圧力として設定され、前記第1、第2の定速圧縮機が停止から始動する圧力は、前記第1の圧力よりも低く設定されていることを特徴とする圧縮空気製造設備。

20

30

【請求項 7】

可変速電動機によって駆動され、回転速度を変化させて容量制御を行う可変速圧縮機と、前記可変速圧縮機と並列に設置されて回転速度が一定である定速圧縮機と、前記可変速圧縮機と前記定速圧縮機の吐出空気が導入される共通の配管または空気槽と、前記可変速圧縮機の圧縮空気出口に接続された吐出空気管と、該吐出空気管に介装された逆止弁と、前記吐出空気管の前記逆止弁より下流側に接続された検出用配管を備え、前記可変速圧縮機の吐出圧力を検知する圧力センサーと、該圧力センサーにより検知した圧力を予め各圧縮機に対してそれぞれ異なる値に設定した制御圧力と比較して前記可変速圧縮機の容量制御及び前記定速圧縮機の停止または始動を行う制御手段と、を含んで構成された圧縮空気製造設備。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、駆動電動機の回転速度を変化させて圧縮機の容量を調整する可変速圧縮機と、全負荷で運転するかもしくは停止する定速圧縮機を複数台組み合わせた圧縮空気製造設備に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、圧縮機の容量制御方法に関しては、特開平 9 - 2 5 0 4 8 5 号公報に開示された技

50

術がある。上記公報には、圧縮機出口に圧縮空気出口圧力センサを設け、検出された圧縮空気出口圧力を入力としてP I D制御により圧縮機の回転数を変化させて容量制御を行う圧縮機が示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

上記公報開示の技術によれば、圧縮機を単独で運転する場合、従来の回転速度一定での吸込み絞り弁による容量制御方法に対し大きな消費動力の改善が得られるが、圧縮空気製造設備では圧縮機を複数台並列に接続して運転を行う場合があり、この場合には上記回転数を変化させて容量制御を行う圧縮機を並列運転しても、従来方式（回転速度一定での吸込み絞り弁による容量制御方法）の台数制御運転に対し大きな省電力効果が得られないという問題があった。

10

【0004】

本発明の目的は、複数台の圧縮機を並列に接続して運転する圧縮空気製造設備を、全体としての容量を変化させて運転することを可能にするとともに、その消費電力を、回転速度一定での吸込み絞り弁による容量制御方式の圧縮機を複数台並列して台数制御運転する場合に対し低減することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を解決するため、圧縮空気製造設備を、電動機の回転速度を変えて容量制御する可変速圧縮機と、電動機の回転速度が一定である圧縮機（以下、定速圧縮機という）を並列に組み合わせて構成し、定速圧縮機は必要容量に応じて台数制御運転をするとともに、使用空気量の変動が前記定速圧縮機1台の100%容量に満たないとき、可変速圧縮機の回転数制御による容量制御を行う制御手段を設けたものである。

20

【0006】

すなわち、本発明は、複数台の圧縮機を並列運転する場合、変動する負荷に応じて回転速度制御を行う圧縮機を1台に限定し、他の圧縮機は停止または全負荷運転で容量を制御することで、使用空気の容量と消費動力がほぼ直線的に変化する圧縮空気製造設備を実現する。

【0007】

本発明においては、負荷の変動は可変速圧縮機の吐出圧力の変動として捉えられ、可変速圧縮機の吐出圧力は、該可変速圧縮機の吐出空气管に介装された逆止弁の2次側圧力として検出される。そして、検出された圧力を前記制御手段の入力として可変速圧縮機及び定速圧縮機が制御される。

30

【0008】

【発明の実施の形態】

図1に、本発明の実施の形態の圧縮空気製造設備の構成を示す。図3に、本実施の形態の圧縮空気製造設備の制御タイムチャートの例を示す。

【0009】

本実施の形態の圧縮空気製造設備は、3台の圧縮機を使用した例である。図示の圧縮空気製造設備は、それぞれ圧縮機とその制御装置を備えた3基の圧縮機ユニットA、B、Cと、各圧縮機ユニットに圧縮空气管2A、2B、2Cで接続され、吐出される圧縮空気を合流させて貯留する空気槽1とからなっている。

40

【0010】

圧縮機ユニットAは、電動機の回転速度（すなわち圧縮機の回転速度）を変化させて容量制御を行う可変速圧縮機である圧縮機Aと、圧縮機Aを制御する制御装置Aと、圧縮機Aの圧縮空気出口に接続された吐出空气管3Aと、この吐出空气管3Aに介装された逆止弁Aと、逆止弁Aより下流側（圧縮空気ユニットAの圧縮空気出口より上流側）の吐出空气管3Aに検出用配管を接続させた圧縮機Aの圧力検出手段である圧力センサーAと、を含んで構成され、圧力センサーAの出力が前記制御装置Aへ入力されるようになっている。圧縮機Aは、吐出空気量が定格時の30%になったとき、容量制御下限回転数となる。

50

【0011】

圧縮機ユニットB、Cは、それぞれ電動機の回転速度が一定であるように制御される定速圧縮機である圧縮機B、Cと、圧縮機B、Cをそれぞれ制御する制御装置B、Cと、圧縮機B、Cの圧縮空気出口に接続された吐出空気管3B、3Cと、この吐出空気管3B、3Cにそれぞれ介装された逆止弁B、Cと、前記吐出空気管3Aの前記圧力センサーAの検出用配管が接続された位置に検出用配管をそれぞれ接続した圧力検出手段である圧力センサーB、Cと、を含んで構成され、圧力センサーB、Cの出力がそれぞれ前記制御装置B、Cへ入力されるようになっている。制御装置A、B、Cをまとめて制御手段という。圧力センサーA、B、Cをまとめて圧力検知手段という。

【0012】

各圧縮機ユニットの圧縮空気出口（すなわち吐出空気管3A、3B、3Cの下流端）に接続された圧縮空気管2A、2B、2Cは集合されて空気槽1に接続され、圧縮空気は空気槽1から圧縮空気使用ラインへと供給される。なお、場合によっては（例えば圧縮空気使用ラインの容量が十分大きい場合等）、圧縮空気使用ラインを空気槽1としてあつかってもよい。

【0013】

本実施の形態では、前記圧力センサーAの検出用配管の吐出空気管との接続部に、定速圧縮機である圧縮機Bと圧縮機Cの圧力検出手段である圧力センサーB、圧力センサーCの検出用配管も同様に接続されている。圧縮機Bと圧縮機Cの圧力検出手段は圧力センサー以外の圧力スイッチでもかまわない。また、圧縮機Bと圧縮機Cの圧力検出手段の検出用配管は、それぞれの圧縮機の吐出空気管に介装された逆止弁2次側の吐出空気管に接続してもかまわないが、各圧縮機の吐出空気管に配置された逆止弁2次側の圧力は必ずしも一致しないから、本実施の形態のように、逆止弁Aの2次側の圧力ですべての圧縮機を制御するようにするのが制御の整合の面で望ましい。この意味では、圧力センサーAの出力をそのまま、圧縮機B、Cに入力する構成も可能であるが、圧力センサーの故障を考慮して、圧力センサー自体は個別に設け、センサ故障の場合のバックアップを容易にした。

【0014】

本実施の形態では、3台の圧縮機出力をそれぞれ37kWとし、空気槽容量を1.24m³とした。また、圧縮機はすべて吸込み絞り弁によるアンロードを行うものとし、以下、吸込み絞り弁の開度を無段階に低下させていくアンロード方式をU式アンロード、吸込み絞り弁を閉鎖すると同時に圧縮機の吐出圧力の減圧（逆止弁上流側の減圧）を開始するアンロード方式をI式アンロード、アンロード以外の運転状態をロードと呼ぶ。

【0015】

可変速圧縮機である圧縮機Aの吐出圧力を一定以内にするための制御圧力設定を0.62MPa（第1の圧力）とし（この圧力になるように圧縮機の回転数を変化させる）、圧縮機Aの回転数制御下限回転数で、回転数を一定にして吸込み絞り弁を閉鎖すると同時に、圧縮機の吐出圧力の減圧（逆止弁上流側の減圧）を開始するI式アンロード開始圧力設定を0.65MPa（第2の圧力）とした。なお、I式アンロードからの復帰圧力設定を0.62MPaとした。

【0016】

また、定速圧縮機である圧縮機Bの制御圧力設定（I式アンロード開始圧力設定）を0.69MPa（第4の圧力）、I式アンロードからの復帰圧力設定・自動再起動の圧力設定を0.60MPa、U式アンロードかかりだし圧力設定を0.69MPaとし、同じく定速圧縮機である圧縮機Cの制御圧力設定（I式アンロード開始圧力設定）を0.67MPa（第3の圧力）、I式アンロードからの復帰圧力設定・自動再起動の圧力設定を0.58MPa、U式アンロードかかりだし圧力設定を0.69MPaとした。

【0017】

上記設定の場合に、圧縮機Bと圧縮機Cの復帰圧力設定・自動再起動の圧力設定を入れ替えてもかまわない。

【0018】

図2に、上記設定された各圧力値の関連を示す。なお、圧縮機Bにおいては、制御圧力設定（I式アンロード開始圧力設定）とU式アンロードかかりだし圧力設定が同じ圧力になっているが、I式アンロードが先に起動されるようにしてある。

【0019】

前記可変速圧縮機及び定速圧縮機に対する圧力設定は、次のようになっている。すなわち、可変速圧縮機に対して回転数制御により維持すべき第1の圧力と、アンロードを開始する前記第1の圧力よりも高い第2の圧力が設定され、空気使用量が低下したときに最初に停止すべき定速圧縮機に対して前記第2の圧力よりも高い第3の圧力がアンロードを開始する圧力として設定され、空気使用量がさらに低下したときに次ぎに停止すべき定速圧縮機に対して前記第3の圧力よりも高い第4の圧力がアンロードを開始する圧力として設定され、前記第1、第2の定速圧縮機が停止から始動する圧力は、前記第1の圧力よりも低く設定されている。

10

【0020】

この圧力設定により、使用空気量の変動幅が可変速圧縮機の100%容量未満のときは可変速圧縮機の容量を変化させて対応し、使用空気量の変動幅が可変速圧縮機の100%容量を越えた場合は、定速圧縮機の1台をアンロード（あるいは停止）もしくは始動させ、この定速圧縮機1台のアンロード（あるいは停止）もしくは始動による吐出空気量の不足もしくは過剰に対しては、可変速圧縮機の容量を変化させて対応することが可能となる。

【0021】

図3に本実施の形態における制御タイムチャートの例を示す。図3の制御タイムチャートは、出力37kWの圧縮機A、B、Cそれぞれの最大吐出空気量を100%とし、3台で合計300%としたときの、使用空気量比（使用空気量を前記最大吐出空気量300%を基準にして示すパラメータ）が300%から0%、0%から300%に変化したときの空気槽圧力、可変速圧縮機である圧縮機Aのインバーター出力周波数と消費電力比、定速圧縮機である圧縮機B、Cの消費電力費の変化を表している。

20

【0022】

以下、図3により、使用空気量比の変化に伴う圧縮機運転状態の変化につき説明する。圧縮機A、B、Cがいずれも100%出力、逆止弁Aの2次側圧力（空気槽圧力を逆止弁Aの2次側圧力とする）が0.62MPaで運転している状態からスタートする。

【0023】

まず、図3のaのブロックで、逆止弁Aの2次側圧力 P_o が0.62MPaで使用空気量比が300%から230%に変化すると、2次側圧力 P_o が制御圧力設定0.62MPaを越えないように、可変速圧縮機である圧縮機Aが回転数を低下させ容量を低下させて圧力を一定以内にすると共に消費動力を低下させる。一方、定速圧縮機である圧縮機B、Cは各制御圧力設定（圧縮機Bが0.69MPa、圧縮機Cが0.67MPa）よりも2次側圧力 P_o （このとき、0.62MPa）の方が低いためロードとなり、圧縮空気吐出量、消費電力は共にそれぞれ100%で運転する。圧縮空気吐出量が低下すると、定速圧縮機の比動力が比例して悪くなるのに対し、可変速圧縮機の比動力はほとんど変わらないことはすでに公知のため説明は省略するが、2台の定速圧縮機B、Cは圧縮空気吐出量、消費電力共に100%で運転のため比動力が最良であり、可変速圧縮機は圧縮空気吐出量を減少させると消費電力もほぼ比例で低下するため比動力が変わらず、省電力効果が大である。

30

40

【0024】

図3のbのブロックで、使用空気量比が230%、逆止弁Aの2次側圧力 P_o が0.62MPaの状態から、さらに空気消費量が低下して使用空気量比が200%に変化する。圧縮機Aはすでに最低回転数（容量制御下限回転数）となっているため吐出空気量はそれ以上低減されず、使用空気量比が低下すると空気槽圧力（2次側圧力 P_o ）が次第に上昇する。2次側圧力 P_o が0.65MPaまで上昇すると、圧縮機AはI式アンロードとなる。しかし、圧縮機B、Cは各制御圧力設定よりも空気槽圧力の方がまだ低いためロードを持続し、圧縮空気吐出量、消費電力は共に100%で運転する。

50

【0025】

図3のcのブロックで、使用空気量比が200%未満になると、圧縮機B、Cがそれぞれ100%容量で運転しているため、逆止弁Aの2次側圧力 P_o は次第に上昇する。2次側圧力 P_o が0.67MPaを越えて上昇すると、圧縮機Cは制御圧力設定以上となりI式アンロードに切り替わる。I式アンロード中に3分以内に2次側圧力 P_o が0.58MPaまで低下すると圧縮機CはI式アンロードからロードに切り替わるが、図3の場合、I式アンロードに切り替わってから0.58MPa以上が3分持続するため圧縮機Cは自動停止する。I式アンロード（停止）により圧縮機Cの圧縮空気吐出量が0%になると、圧縮空気吐出量は圧縮機Bの100%分だけとなり、使用空気量比に対し、約100%以下の圧縮空気吐出量が不足する。このため、逆止弁Aの2次側圧力 P_o および空気槽圧力が低下する。逆止弁Aの2次側圧力が0.62MPa（圧縮機Aの制御圧力設定値）以下まで低下すると、圧縮機AはI式アンロードから回転数制御（ロード）に切り替わり、回転数を上昇させ不足した空気量を補充する。不足した空気量を可変速圧縮機が補充するため、逆止弁Aの2次側圧力はまた0.62MPaを維持する。2次側圧力 P_o は圧縮機Cの復帰圧力設定0.58MPaまで低下しないため、圧縮機Cはロードに切り替わらずにI式アンロードを経て自動停止する。また、圧縮機Bは、逆止弁Aの2次側圧力 P_o が制御圧力設定0.69MPaまで上昇しないため、ロードを持続する。

10

【0026】

図3のdのブロックで使用空気量比が200%から130%に変化すると、それに合わせて圧縮機Aが回転数を低下させ、圧力を0.62MPaに一定以内にすると共に消費動力を低下させる。圧縮機Bは、圧縮機Aの容量制御により2次側圧力 P_o が制御圧力設定0.62MPaに維持されるため、2次側圧力 P_o が圧縮機Bの制御圧力設定0.69MPaに達せず、ロードを持続する。

20

【0027】

図3のeのブロックで、逆止弁Aの2次側圧力0.62MPaで使用空気量比が130%から100%に変化すると、可変速圧縮機はすでに最低回転数となっているため、吐出空気量はそれ以上低下せず、使用空気量比が低下すると空気槽圧力（2次側圧力 P_o ）が次第に上昇する。2次側圧力 P_o が0.65MPaまで上昇すると、圧縮機AはI式アンロードとなる。一方、圧縮機Bは制御圧力設定（0.69MPa）よりも空気槽圧力の方が低いためロードを持続する。この状態では、圧縮機Bのみが圧縮空気を吐出し、100%の使用空気量比に対応している。

30

【0028】

図3のfのブロックで、使用空気量比が100%未満になると、圧縮機Bが100%の容量で運転しているため、逆止弁Aの2次側圧力は次第に上昇する。2次側圧力 P_o が0.69MPaを越えると、圧縮機Bの制御圧力設定以上となり、圧縮機BはI式アンロードに切り替わる。圧縮機BがI式アンロードに切り替わって圧縮空気吐出量が0%になると、使用空気量比は0ではないから、圧縮空気吐出量が不足し、逆止弁Aの2次側圧力および空気槽圧力が次第に低下する。逆止弁Aの2次側圧力が0.69MPaから圧縮機Aの制御圧力設定0.62MPa以下にまで低下すると、圧縮機AはI式アンロードから回転数制御（ロード）に切り替わり、2次側圧力 P_o が制御圧力設定0.62MPaに達するまで回転数を上昇させ不足した空気量を補充する。不足した空気量を可変速圧縮機である圧縮機Aが補充するため、逆止弁Aの2次側圧力 P_o はまた0.62MPaまで上昇し、それを維持する。逆止弁Aの2次側圧力 P_o は圧縮機Bの復帰圧力設定0.60MPaまで低下しないため、圧縮機Bはロードに切り替わらずにI式アンロードを持続する。

40

【0029】

図3のgのブロックで逆止弁Aの2次側圧力が0.62MPaで使用空気量比が100%から30%に変化したとき、可変速圧縮機が回転数を低下させ圧力を一定以内にすると共に消費動力を低下させる。圧縮機BがI式アンロードになってから2次側圧力 $P_o > 0.58MPa$ の状態が3分持続するため、圧縮機BはI式アンロードから切り替わり自動停止する。

50

【0030】

図3のhのブロックで逆止弁Aの2次側圧力0.62MPaで使用空気量比が30%から0%に変化したときも、圧縮機Aはすでに最低回転数となっているため吐出空気量はそれ以上低下せず、使用空気量比が低下すると空気槽圧力が次第に上昇する。2次側圧力Poが0.65MPaまで上昇すると、圧縮機AはI式アンロードとなる。圧縮機Aのアンロードにより圧縮空気は空気槽1に供給されなくなるから、これ以降、2次側圧力Po（空気槽圧力）は低下する一方であって上昇することはない。

【0031】

図3のiのブロックで逆止弁Aの2次側圧力が0.62MPa以下に低下するまでは圧縮機AはI式アンロードを持続する。

10

【0032】

図3のjのブロックで使用空気量比が0%を越えて増加すると、逆止弁Aの2次側圧力が次第に低下し、0.62MPaよりも低下すると圧縮機AはI式アンロードから回転数制御に切り替わり、最低回転数で圧縮空気の吐出を開始する。ただし、使用空気量比が30%以下では、圧縮機Aの回転数は最低回転数に維持される。

【0033】

図3のkのブロックで使用空気量比が30%から100%まで変化すると、圧縮機Aは最低回転数から最高回転数まで回転数を上昇させ、逆止弁Aの2次側圧力を0.62MPaの一定範囲以内にすると共に圧縮空気吐出量を100%まで増加させる。

【0034】

図3のlのブロックで使用空気量比が100%の状態が持続すると、可変速圧縮機は最高回転数で回転数を一定としロードを持続する。

20

【0035】

図3のmのブロックで使用空気量比が100%から130%に変化すると、逆止弁Aの2次側圧力が次第に低下する。2次側圧力Poが0.60MPaに低下すると、圧縮機Bは自動再起動し、ロード状態となる。圧縮機Bがロードとなることで圧縮空気吐出量が100%分増加するため、逆止弁Aの2次側圧力は次第に上昇する。2次側圧力Poが0.62MPaを越えて上昇すると、圧縮機Aは回転数を低下させて、さらなる逆止弁Aの2次側圧力の上昇を抑制し、0.62MPaで安定させようと制御する。

【0036】

図3のnのブロックで使用空気量比が130%から200%に変化すると、逆止弁Aの2次側圧力は0.62MPaから低下しようとするため、圧縮機Aは0.62MPaで安定させようと最高回転数まで回転数を上昇させる。

30

【0037】

図3のoのブロックで使用空気量比が200%で持続すると、圧縮機Aは最高回転数で回転数を一定とし100%出力でのロードを持続し、圧縮機Bも100%出力でのロードを持続する。

【0038】

図3のpのブロックで、使用空気量比が200%から230%に変化すると、運転している圧縮機が2台だけなので圧縮空気吐出量が不足し、逆止弁Aの2次側圧力Poは次第に低下する。2次側圧力Poが低下して0.58MPaになると、圧縮機Cの再起動圧力（復帰圧力）となって圧縮機Cは自動再起動し、ロード状態となる。圧縮機Cがロードとなることで圧縮空気吐出量が100%分増加するため、圧縮空気吐出量が消費量よりも多くなり、逆止弁Aの2次側圧力は次第に上昇する。2次側圧力Poが0.62MPaまで上昇すると、圧縮機Aは回転数を低下させて、さらなる逆止弁Aの2次側圧力の上昇を抑制し、0.62MPaで安定させようと制御する。圧縮機Aの回転数が最低回転数になってもなお2次側圧力Poが0.65MPaまで上昇すると、圧縮機AはI式アンロードに切り替わる。図3のpのブロックで使用空気量比が200%以上230%未満で持続すると、圧縮機AはI式アンロードと最低回転数でのロードを繰り返し切り替える。

40

【0039】

50

図3のqのブロックで使用空気量比が230%から300%に変化すると、逆止弁Aの2次側圧力は0.62MPaから低下しようとするため、圧縮機Aは0.62MPaで安定させようと最高回転数まで回転数を上昇させる。

【0040】

以上aからqのブロックの動作のように、空気使用量が低下するときの制御の切り替わり時点では、定速圧縮機はアンロードに切り替わってしまうが、全体と比較するとロードまたは自動停止状態のどちらかである時間が大半である。定速圧縮機がロードまたは自動停止状態のどちらかであるということは比動力が最良であることで、使用空気量比の変化に対して可変速圧縮機が圧縮空気吐出量を調整していることと合わせると、3台共最大の省電力運転を行っていることがわかる。

10

【0041】

本実施の形態では、可変速圧縮機である圧縮機Aの制御の入力となる吐出圧力を逆止弁Aの2次側で検出しているが、定速圧縮機である圧縮機B、Cの制御の入力となる吐出圧力をも逆止弁Aの2次側で検出している。これは、可変速圧縮機の回転数が変化することによって、逆止弁Aの2次側圧力と空気槽圧力の差圧も変化してしまうため、各圧縮機の圧力検出を各圧縮機の吐出空気管に設けられた逆止弁の2次側で検出するように構成すると、前記差圧を考慮して圧力設定幅を広くする必要がある。各圧縮機の圧力検出を空気槽圧力で検出すると、可変速圧縮機の圧縮機と空気槽の距離が長くなるため圧力変動に遅れが生じ、空気使用量比が一定であっても可変速圧縮機の回転数が圧力変動の遅れによりハンチングを繰り返し、空気槽圧力もハンチングを繰り返してしまう。

20

【0042】

以上の理由から、複数台の定速圧縮機の制御の入力となる圧力は、可変速圧縮機の逆止弁2次側圧力で共に検出することが最良である。ただし、可変速圧縮機の逆止弁2次側圧力で共に検出しなくとも、省電力効果は十分に発揮できるため、各圧縮機ともそれぞれの吐出空気管に設けられた逆止弁の2次側で検出するようにしてもよい。

【0043】

図5、図6に1台の圧縮機の使用空気量Qに対する消費動力Lの特性を示す。図は全負荷時の吐出し空気量を100%、そのときの圧縮機の消費動力を100%として示してある。

【0044】

図5は圧縮機の回転速度が一定で吸込絞り方式で容量制御する圧縮機の消費動力特性を示し、図6は回転速度が可変の圧縮機を用い30%~100%の空気量の範囲で回転速度制御を行い、30%以下の領域では吸込絞りによる容量制御を行う圧縮機の消費動力特性を示している。

30

【0045】

圧縮機1台で比較した場合には図6の方が大幅に容量制御特性が優れており、負荷変動時の電力消費は大きく改善できる。

【0046】

一方、圧縮機の回転速度が一定の吸込絞り方式で容量制御する圧縮機を5台設置し、そのうち1台のみ吸込絞り方式での容量制御可能とし、他を全負荷運転か停止かで制御するようにした場合、図4の特性Bのような消費動力特性となり、このような運転方法は従来からも圧縮機の台数制御方式として採り入れられている。

40

【0047】

また、回転速度制御機能を有する5台の圧縮機を単純に並列運転した場合の消費動力特性は図4の特性Aのようになる。特性Aと特性Bの比較においては、一部分Bの方が下回る（消費動力が小さくなる）場合があり、必ずしも回転速度制御方式を有する圧縮機の省電力面での優位性が発揮できない。

【0048】

しかし前記実施の形態の圧縮空気製造設備では、1台の回転数制御により容量制御する可変速圧縮機に回転速度が一定の定速圧縮機を並列に組合せ、これらを予め圧縮機毎に設定

50

した制御圧力に応じて、回転数による容量制御と台数制御を行う。これにより、図4の特性Cのような消費動力特性を得ることが可能になり、複数台の圧縮機で構成される圧縮空気製造設備においても、消費空気量に対してほぼ直線的に消費動力が低下するという理想的な特性を得ることができる。この場合、本実施の形態（すなわち特性C）は、特性Bの方式に対し、図4の中の傾斜部に相当する電力が節約される。前記実施の形態を、消費動力37kWの圧縮機5台で、そのうち1台が回転速度が可変の圧縮機、4台が回転速度が一定の圧縮機で構成した圧縮空気製造設備に当てはめると、最大18kWh（図5のP点と図6のQ点の差分に相当）の省電力となる。

【0049】

また、回転速度制御機能を有する圧縮機は吐出圧力を一定値にするように制御を行わせることができるため、この設定圧力を前記自動復帰圧力設定より少し高く設定しておけば、無駄な圧力上昇を防止し、この面でも消費電力を軽減することが可能である。

【0050】

上記第1の実施の形態においては、可変速圧縮機である圧縮機Aは、回転数制御の下限回転数になってもさらに2次側圧力 P_o が上昇する場合は、回転数を下限回転数に維持した状態で吸込み絞り弁を閉鎖すると同時に圧縮機の吐出圧力（逆止弁Aの上流側圧力）を減圧するI式アンロードを行う構成になっているが、回転数制御の下限回転数になってもさらに2次側圧力 P_o が上昇する場合は、回転数を下限回転数に維持した状態で吸込み絞り弁を無段階に閉鎖して容量制御するU式アンロードを行う構成としてもよい。この場合も、圧縮機Aはアンロード後、そのままアンロード運転を継続する。

【0051】

さらに、可変速圧縮機である圧縮機Aを、前記I式アンロードとU式アンロードの双方を行う構成とし、下限回転数の状態で、前記2次側圧力が所定の圧力に上昇したらU式アンロードを開始し、U式アンロード後所定の時間、例えば3分間、前記2次側圧力が予め設定された圧力を超えている場合、I式アンロードに切り替わるようにしてもよい。圧縮機AがI式アンロードに切り替わってからさらに、所定の時間、例えば3分間、前記2次側圧力が予め設定された圧力を超えている場合、前記第1の実施の形態と同様、運転中の定速圧縮機のいずれかがI式アンロードに切り替わるようにする。

【0052】

なお、上記第1の実施の形態においては、回転数制御による容量制御が可能な可変速圧縮機を1台含む圧縮空気製造設備を示したが、可変速圧縮機を複数台設けて故障時のバックアップが可能な構成としてもよい。その場合は、バックアップ用の可変速圧縮機は、定速圧縮機と同様、通常時は100%運転もしくはI式アンロード→停止で制御するようにし、回転数制御による容量制御を行う可変速圧縮機が故障した場合にのみ、回転数制御による容量制御を行うようにすればよい。

【0053】

【発明の効果】

本発明によれば、使用空気量の変動に対応して直線的に消費動力を変化させ、容量制御に伴う無駄な消費動力を低減できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の圧縮空気製造設備の主要構成を示す系統図である。

【図2】図1に示す実施の形態の圧縮機の設定圧力の相互関係を示す図である。

【図3】図1に示す実施の形態の空気製造設備の制御の例を示す制御タイムチャートである。

【図4】本発明を5台の圧縮機からなる圧縮空気製造設備に適用した場合の消費動力特性を、従来技術と対比して示すグラフである。

【図5】回転速度一定で吸込み絞り方式で容量制御する圧縮機の消費動力特性の例を示すグラフである。

【図6】回転速度を変化させて容量制御を行う圧縮機の消費動力特性の例を示すグラフである。

10

20

30

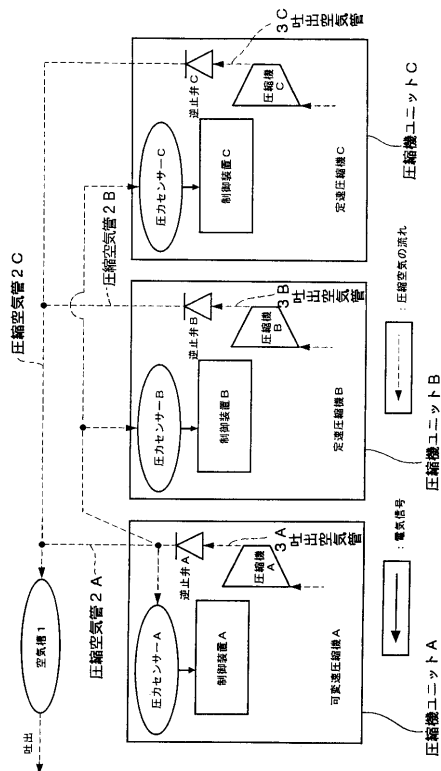
40

50

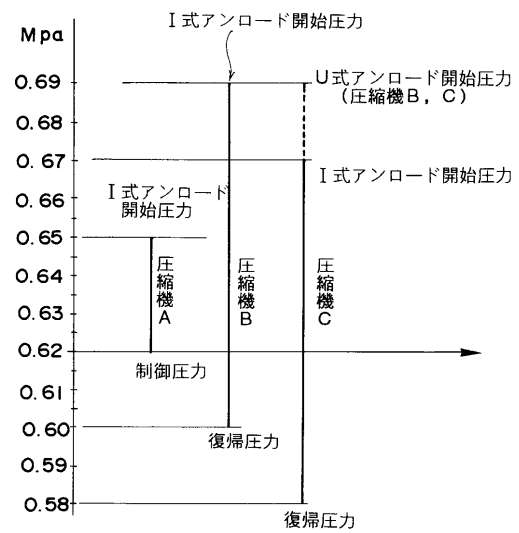
【符号の説明】

- 1 空気槽
 2 A, 2 B, 2 C 圧縮空気管
 3 A, 3 B, 3 C 吐出空気管

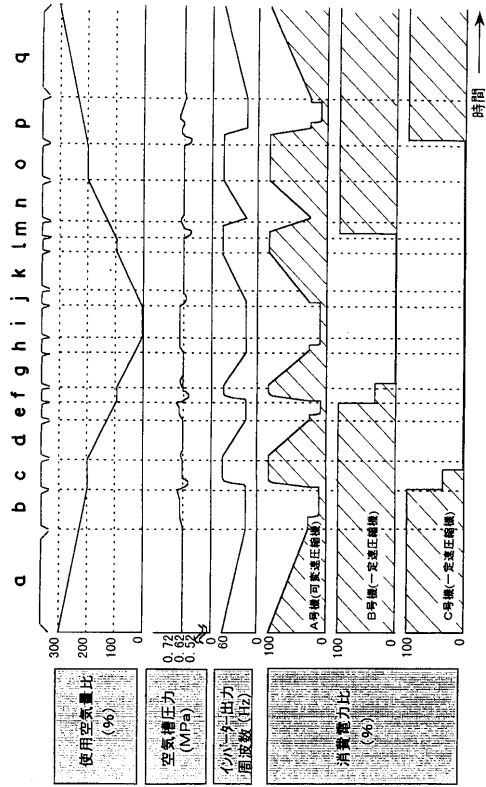
【図 1】



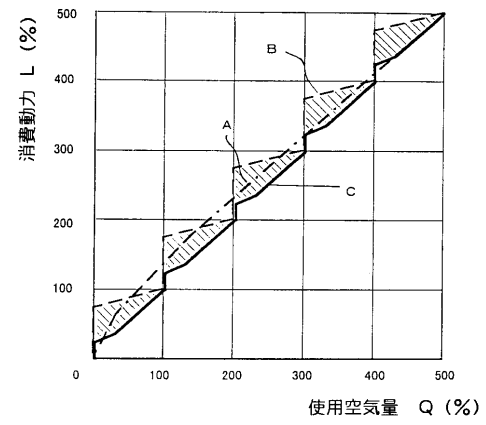
【図 2】



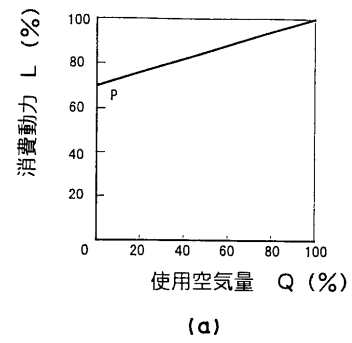
【図 3】



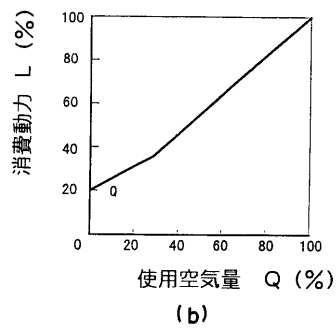
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 松田 洋幸

静岡県清水市村松390番地
内

株式会社 日立製作所 産業機器グループ

審査官 尾崎 和寛

(56)参考文献 特開昭56-000582 (JP, A)

特開平11-303792 (JP, A)

特開平6-147190 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F04B 49/06