

明 細 書

発明の名称： 冷凍装置

技術分野

[0001] 本開示は、冷凍装置に関するものである。

背景技術

[0002] 例えば地域冷暖房の熱源用として使用されているターボ冷凍装置は、周知のように、冷媒を圧縮するターボ圧縮機と、圧縮された冷媒を凝縮させる凝縮器と、凝縮された冷媒を膨張させる制御弁と、膨張した冷媒を蒸発させる蒸発器とを備えている。蒸発器は、外殻を為す圧力容器と圧力容器内に配置される伝熱管とを有していて、圧力容器内に供給される膨張した冷媒と伝熱管内を流通する被冷却冷媒とを熱交換することで、冷媒を蒸発させている。

[0003] ターボ冷凍装置で用いられる蒸発器として、伝熱管の表面に冷媒の液膜を形成する液膜式の蒸発器が知られている。液膜式の蒸発器は、内部に被冷却媒体が流通し上下方向及び水平方向に伝熱管が並ぶ伝熱管群に対して、上方から液相の冷媒を供給し、各伝熱管の表面に冷媒の液膜を形成する。このような液膜式の蒸発器では、伝熱管群で蒸発し切らず、圧力容器の下部に貯留した液相の冷媒を、蒸発器の上部へ再循環して伝熱管群へ再度供給する場合がある（例えば、特許文献1）。

[0004] 特許文献1には、シェル内に収容される管束及び管束に上方から冷媒を供給する分配器を備える蒸発器が記載されている。特許文献1の蒸発器では、ポンプやエジェクタを使用して、シェルの下部から分配器へ液体冷媒を再循環させている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：米国特許出願公開第2011／0120181号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 液膜式の蒸発器では、熱交換を行う伝熱面は、伝熱管の表面のうち、液膜が形成されている部分だけである。このため、伝熱管の表面に液膜が形成されない部分が発生した場合（以下、伝熱管の表面に液膜が形成されないことを「ドライアウト」とも称する。）、ドライアウトが発生した部分では熱交換が行われなため、熱交換効率が低減してしまうという問題があった。特に、液膜式の蒸発器は、伝熱管群に上方から冷媒を供給することから、下部に位置する伝熱管ほどドライアウトが発生する可能性が高い。よって、熱交換効率の低減を抑制するためには、最も下段に配置される伝熱管まで冷媒が十分に行きわたるように、伝熱管群に冷媒を供給する必要がある。

しかしながら、蒸発器に導かれる冷媒の量は、冷凍装置の運転条件（例えば、冷凍装置の負荷や温度）によって変動する。このため、例えば、特許文献1に記載の蒸発器のように、冷凍装置の運転条件を考慮していない蒸発器では、冷凍装置の運転条件によっては、伝熱管群に十分に冷媒が供給されず、熱交換効率が低減する可能性があった。

[0007] 本開示は、このような事情に鑑みてなされたものであって、熱交換効率を向上させることができる冷凍装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するために、本開示の冷凍装置は以下の手段を採用する。

本開示の一態様に係る冷凍装置は、冷媒を圧縮する圧縮機と、前記圧縮機で圧縮した前記冷媒を凝縮する凝縮器と、前記凝縮器で凝縮した前記冷媒を膨張させる膨張弁と、前記膨張弁で膨張させた前記冷媒を蒸発させる蒸発器と、前記膨張弁の開度を制御する膨張弁制御部と、を備える冷凍装置であって、前記蒸発器は、外殻を為す筐体と、前記筐体の内部に收容され、上下方向に並んで配置される複数の伝熱管を有する伝熱管群と、前記伝熱管群へ上方から前記冷媒を供給する冷媒供給部と、前記伝熱管群で蒸発し切らずに前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒を前記冷媒供給部へ導く循環部と、を有し、前記膨張弁制御部は、前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒の水位が、前記冷凍装置の運転条件によって変化する前記循環部が循環させる

冷媒量に応じた水位となるように、前記膨張弁の開度を制御する。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、蒸発器の熱交換効率を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本開示の第1実施形態に係るターボ冷凍装置の概略構成図である。

[図2]本開示の第1実施形態に係る蒸発器を示す縦断面図である。

[図3]本開示の第1実施形態に係る蒸発器を示す縦断面図である。

[図4]本開示の第1実施形態の変形例に係る蒸発器を示す縦断面図である。

[図5]本開示の第2実施形態に係るターボ冷凍装置の概略構成図である。

[図6]本開示の第2実施形態に係るターボ冷凍装置を示すモリエル線図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下に、本開示に係る冷凍装置の一実施形態について、図面を参照して説明する。

〔第1実施形態〕

以下、本開示の第1実施形態について、図1から図3を用いて説明する。

本実施形態に係るターボ冷凍装置（冷凍装置）1は、図1に示すように、冷媒を圧縮するターボ圧縮機（圧縮機）2と、ターボ圧縮機2で圧縮された冷媒を凝縮する凝縮器3と、凝縮器3で凝縮された冷媒を膨張させる膨張弁4と、膨張弁4で膨張された冷媒を蒸発させる蒸発器5等を備えて、ユニット状に構成されている。

[0012] ターボ圧縮機2と凝縮器3の上部とは吐出配管6によって接続されている。吐出配管6は、ターボ圧縮機2で圧縮された冷媒を凝縮器3へ導いている。凝縮器3の底部と膨張弁4と蒸発器5の上部とは、冷媒配管7により接続されている。冷媒配管7には、膨張弁4が設けられている。冷媒配管7は、凝縮器3で凝縮された冷媒を蒸発器5へ導いている。蒸発器5の上部とターボ圧縮機2とは、吸入配管8によって接続されている。吸入配管8は、蒸発器5で蒸発した冷媒をターボ圧縮機2へ導いている。

- [0013] また、冷媒配管 7 の途中位置からは、分岐配管 17 が分岐している。分岐配管 17 は、冷媒配管 7 のうち、膨張弁 4 よりも上流側から分岐している。分岐配管 17 の下流端は、エダクタ 10 に接続されている。分岐配管 17 は、凝縮器 3 で凝縮された冷媒の一部をエダクタ 10 に導いている。また、エダクタ 10 と蒸発器 5 とは、第 1 循環配管 14 によって接続されている。第 1 循環配管 14 の上流端は、蒸発器 5 の圧力容器 11 の底部に接続されている。また、第 1 循環配管 14 の下流端は、エダクタ 10 に接続されている。第 1 循環配管 14 は、蒸発器 5 の下部に貯留した液相の冷媒をエダクタ 10 に導いている。また、エダクタ 10 には、エダクタ 10 内の冷媒を排出する第 2 循環配管 15 の上流端が接続されている。第 2 循環配管 15 の下流端は、冷媒配管 7 のうち、膨張弁 4 よりも下流側に接続している。第 2 循環配管 15 は、エダクタ 10 から排出された冷媒を、冷媒配管 7 を介して、蒸発器 5 へ導いている。
- [0014] ターボ圧縮機 2 は、電動機 9 によって回転駆動される公知の遠心タービン型のものであり、その軸線を略水平方向に延在させた姿勢で蒸発器 5 の上方に配置されている。電動機 9 はインバータユニットによって駆動される。ターボ圧縮機 2 は、後述するように、蒸発器 5 の冷媒出口から吸入配管 8 を経て供給される気相状の冷媒を圧縮する。冷媒としては、例えば、最高圧力 0.2 MPa G 未満で使用される R1233zd 等の低圧冷媒が用いられる。
- [0015] 凝縮器 3 及び蒸発器 5 は、耐圧性の高い円筒シェル形状に形成され、その中心軸線を略水平方向に延在させた状態で互いに隣り合うように平行に配置されている。凝縮器 3 は蒸発器 5 よりも相対的に高い位置に配置されているもよい。
- [0016] エダクタ 10 は、内部を流れる液相の冷媒の流速差及び圧力差によって、圧力容器 11 の下部に貯留している液相の冷媒を吸引する。具体的には、分岐配管 17 からエダクタ 10 に導かれた液相の冷媒（凝縮器 3 からの冷媒）が、エダクタ 10 の内部の主流路を流通し、エダクタ 10 から第 2 循環配管

15へ排出される。これによって、主流路の外周部に設けられた第1循環配管14との接続部分が低圧となることで、第1循環配管14を介して圧力容器11内の液相の冷媒がエダクタ10内に吸引される。エダクタ10内に吸引された液相の冷媒は、ノズルから噴射された冷媒とともに、第2循環配管15へ排出される。このように、エダクタ10は、ターボ冷凍装置1内の圧力差（凝縮器3内の冷媒の圧力と、蒸発器5内の冷媒の圧力との差等）を利用して冷媒を循環させる。

[0017] 以下、図2を用いて蒸発器5について詳細に説明する。

蒸発器5は、図2に示すように、外殻を為す圧力容器（筐体）11と、圧力容器11の内部へ冷媒を導入する冷媒入口管12と、冷媒入口管12の下方に設けられる冷媒トレイ（冷媒供給部）13と、圧力容器11の内部に収容された伝熱管群16と、蒸発した冷媒を圧力容器11から排出する冷媒出口管（図示省略）と、を有している。

[0018] 圧力容器11は、中心軸線に沿って延在する円筒部11aと、該円筒部11aの中心軸線に沿う方向の両端部を閉鎖する2枚の管板（図示省略）とを一体的に有する。円筒部11aは、上述のように、中心軸線が略水平となるように配置されている。各管板は、円盤状の板材である。

なお、以下の説明において、中心軸線に沿う方向（図2の紙面奥行方向）を長手方向と称する。また、鉛直上下方向を単に上下方向と称する。また、長手方向及び上下方向と交差する方向を短手方向と称する。

[0019] 冷媒入口管12は、上下方向に延びる円筒状の部材であって、略直線状に形成されている。冷媒入口管12は、円筒部11aの上部を上下方向に貫通するように設けられている。冷媒入口管12は、円筒部11aの中心軸線に沿う方向における略中央に設けられている。冷媒入口管12は、冷媒配管7（図1参照）と接続されている。すなわち、膨張弁4で膨張した冷媒は、冷媒配管7及び冷媒入口管12を介して、圧力容器11の内部へ導かれる。

[0020] 冷媒トレイ13は、略矩形板状の部材である。冷媒トレイ13は、圧力容器11の内部の上部に、板面が略水平となるように配置されている。また、

冷媒トレイ 13 は、冷媒入口管 12 の下端と板面が対向するように設けられた。冷媒トレイ 13 は、短手方向の両端部が圧力容器 11 の円筒部 11a の内周面から所定距離だけ離間して配置されている。また、冷媒トレイ 13 は、圧力容器 11 の長手方向の略全域に亘って設けられている。冷媒トレイ 13 の長手方向の両端部は、各々、菅板に固定されている。冷媒トレイ 13 には、上下方向に貫通する多数の孔が形成されている。多数の孔は、冷媒トレイ 13 の略全域に形成されている。冷媒入口管 12 から吐出された液冷媒は、冷媒トレイ 13 上に排出される。冷媒トレイ 13 に排出された冷媒は、冷媒トレイ 13 の上面を流れ、その後に多数の孔を通して下方へ落下する。このようにして、冷媒トレイ 13 は、冷媒入口管 12 から供給された冷媒を長手方向及び短手方向へ分配している。

[0021] 伝熱管群 16 は、圧力容器 11 の内部に配置されている。また、伝熱管群 16 は、冷媒トレイ 13 の下方に配置されている。伝熱管群 16 は、長手方向に沿って延在する複数の伝熱管 16a によって構成されている。複数の伝熱管 16a は、略平行に配置されている。複数の伝熱管 16a は、上下方向及び短手方向に所定の間隔で並んで配置されている。詳細には、複数の伝熱管 16a は、上下方向に複数段並んでいるとともに、短手方向に複数列並んでいる。各伝熱管 16a の内部には、被冷却液としての水が流通している。また、各伝熱管 16a は、直線状に形成されている。また、各伝熱管 16a は、圧力容器 11 の長手方向の一端から他端まで延びていて、各管板を貫通している。

[0022] 冷媒出口管は、上下方向に延びる円筒状の部材であって、円筒部 11a の上部に形成された開口（図示省略）と連通するように設けられている。冷媒出口管は、吸入配管 8（図 1 参照）と接続されている。すなわち、蒸発器 5 で蒸発した冷媒は、冷媒出口管及び吸入配管 8 を介して、圧力容器 11 の外部へ排出され、ターボ圧縮機 2 へ導かれる。

[0023] また、ターボ冷凍装置 1 は、制御装置 18 を備えている。制御装置 18 は、膨張弁 4 の開度を制御する膨張弁制御部と、ターボ圧縮機 2 に設けられて

いる図示省略のインレットガイドベーン（IGV）を制御するIGV制御部（調整手段制御部）と、を有している。

[0024] 制御装置18は、例えば、CPU（Central Processing Unit）、RAM（Random Access Memory）、ROM（Read Only Memory）、及びコンピュータ読み取り可能な記憶媒体等から構成されている。そして、各種機能を実現するための一連の処理は、一例として、プログラムの形式で記憶媒体等に記憶されており、このプログラムをCPUがRAM等を読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、各種機能が実現される。なお、プログラムは、ROMやその他の記憶媒体に予めインストールしておく形態や、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体に記憶された状態で提供される形態、有線又は無線による通信手段を介して配信される形態等が適用されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記憶媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等である。

[0025] 膨張弁制御部は、膨張弁4の開度を制御することで、圧力容器11の下部に貯留されている冷媒の水位を調整することができる。また、膨張弁制御部は、圧力容器11の下部に貯留されている冷媒の水位が、ターボ冷凍装置1の運転条件（例えば、ターボ冷凍装置1の負荷や温度）によって変化するエダクタ10の運転能力（エダクタ10が循環させることができる冷媒の量）に応じた水位となるように、膨張弁4の開度を制御する。

具体的には、例えば、膨張弁制御部は、エダクタ10の運転能力が低減した場合には、冷媒の水位を上昇させてもよい。また、膨張弁制御部は、エダクタ10の運転能力が上昇した場合には、冷媒の水位を下降させてもよい。

[0026] 詳細には、膨張弁制御部は、エダクタ10の運転能力によって、表面に十分に冷媒が供給される伝熱管16aのうち最下段に位置する伝熱管16aが、冷媒の液面の直上となるように、冷媒の水位を調整してもよい。すなわち、図3に示すように、エダクタ10の運転能力によって、上から1段目から5段目の伝熱管16a（図3の液膜式伝熱管群16A参照）まで十分に冷媒を供給できる場合には、5段目の伝熱管16aが冷媒の液面の直上となるよ

うに、冷媒の水位を調整し、上から6段目及び7段目の伝熱管16a（図3の満液式伝熱管群16B参照）が冷媒の液面よりも下方に位置するようにしてもよい。すなわち、6段目及び7段目の伝熱管16aは、冷媒に浸漬するようにしてもよい。

一方、図2に示すように、エダクタ10の運転能力によって、すべての伝熱管16aに十分に冷媒を供給できる場合には、7段目の伝熱管16aよりも下方となるように、冷媒の水位を調整してもよい。

[0027] IGV制御部は、凝縮器3からエダクタ10に向かう冷媒の圧力を調整することができる。エダクタ10に向かう冷媒の圧力を調整することで、エダクタ10が循環させる冷媒量を調整することができる。IGV制御部は、エダクタ10が循環させる冷媒量が所定量よりも大きくなるように、IGV（循環部調整手段）の開度を制御する。

具体的には、例えば、IGV制御部は、ターボ冷凍装置1の運転条件等によって、エダクタ10の運転能力が低減した場合には、凝縮器3からエダクタ10に向かう冷媒の圧力を上昇させてもよい。また、IGV制御部は、エダクタ10の運転能力が上昇した場合には、凝縮器3からエダクタ10に向かう冷媒の圧力を低下させてもよい。

[0028] 詳細には、IGV制御部は、エダクタ10が循環させることができる冷媒量（運転能力）が所定の量よりも少ない場合には、凝縮器3からエダクタ10に向かう冷媒の圧力を上昇させることで、エダクタ10が循環させることができる冷媒量を増大させてもよい。なお、所定の量とは、冷媒トレイ13から冷媒を供給する必要がある伝熱管16a（すなわち、液面よりも上方の伝熱管16a）のうち、最下段に位置する伝熱管16aの表面に十分に冷媒が供給される冷媒の量であってもよい。また、所定の量は、ターボ冷凍装置1の運転条件等に応じて予め算出した量であってもよい。

また、所定の量は、伝熱管群16で蒸発する冷媒の量 q に、伝熱管群16で蒸発し切らずに圧力容器11の下部に貯留されエダクタ10によって循環される冷媒の量 Q を足した量（ $q + Q$ ）であってもよい。

[0029] 本実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

エダクタ１０が循環させる冷媒量（以下、「エダクタ１０の運転能力」と称する場合もある。）が、ターボ冷凍装置１の運転条件によって変化する場合がある。例えば、本実施形態に係るエダクタ１０のように、ターボ冷凍装置１内の圧力差（凝縮器３内の冷媒の圧力と、蒸発器５内の冷媒の圧力との差等）を利用して冷媒を循環させる装置である場合がある。この場合には、ターボ冷凍装置１の運転条件に起因して、ターボ冷凍装置１内の圧力差が小さい場合などには、エダクタ１０が循環させることができる冷媒量が少なくなる。循環させることができる冷媒量が少なくなると、冷媒トレイ１３から伝熱管群１６へ供給される冷媒量も少なくなる。このため、伝熱管群１６へ十分に冷媒を供給することができず、一部の伝熱管１６ａ（特に、下部に配置される伝熱管１６ａ）において、伝熱管１６ａの表面に十分に冷媒が行きわたらない状態（以下、この状態を「ドライアウト」と称する。）となる可能性がある。

一方、本実施形態では、膨張弁制御部は、圧力容器１１の下部に貯留されている冷媒の水位が、ターボ冷凍装置１の運転条件によって変化するエダクタ１０の運転能力に応じた水位となるように、膨張弁４の開度を制御している。これにより、冷媒の水位をエダクタ１０の運転能力に応じた水位とすることができる。したがって、例えば、エダクタ１０の運転能力が低減した場合に、膨張弁４の開度を制御し水位を上昇させることで、伝熱管群１６のうちの下部に配置されている伝熱管１６ａを液面よりも下方とすることができる。換言すれば、伝熱管群１６のうちの下部に配置されている伝熱管１６ａを貯留している冷媒に浸漬させることができる。よって、冷媒トレイ１３から冷媒を供給する必要がある伝熱管１６ａ（すなわち、液面よりも上方の伝熱管１６ａ）の数を減少させることができるので、少ない冷媒量であってもドライアウトの発生を抑制することができる。このように本実施形態では、冷媒の水位をエダクタ１０の運転能力に応じた水位とすることができるので、蒸発器５の熱交換効率を向上させることができる。

[0030] また、本実施形態では、調整手段制御部が、エダクタ１０が循環する冷媒量が所定量よりも大きくなるように、ＩＧＶを制御している。これにより、十分な量の冷媒を循環させ、冷媒トレイ１３から十分な量の冷媒を伝熱管群１６へ供給することができる。したがって、ドライアウトの発生を抑制することができるので、蒸発器５の熱交換効率を向上させることができる。

[0031] [変形例]

なお、上記第１実施形態では、冷媒を循環させる循環部としてエダクタ１０を適用した例について説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、図４に示すように、エダクタ１０の代わりにポンプ１９を設けてもよい。ポンプ１９は、圧力容器１１の下部に貯留されている冷媒を昇圧する。

また、ポンプ１９は、インバータ装置（図示省略）等によって回転数が変更可能とされている。制御装置１８は、インバータ装置を制御することで、ポンプ１９の回転数を調整することができる。すなわち、制御装置１８は、ポンプ１９の運転能力（ポンプ１９が循環させることができる冷媒の量）を調整することができる。

このような構成であっても、上記第１実施形態と同様の効果を奏する。

[0032] [第２実施形態]

上記第１実施形態では、本開示の冷凍装置が、１段圧縮式のターボ冷凍装置１に適用される例について説明したが、本開示はこれに限定されない。本開示の冷凍装置は、図５及び図６に示すように、他段圧縮式のターボ冷凍装置２１に適用されてもよい。

本実施形態に係るターボ冷凍装置２１は、低段圧縮機２Ａ及び高段圧縮機２Ｂを備えている点、中間冷却器２２等を有している点、中間配管２３を備えている点、及び、低圧膨張弁４Ａ及び高圧膨張弁４Ｂを備えている点で、上記第１実施形態と異なっている。その他の点は、上記第１実施形態と同様であるので、同一の構成については同一の符号を付してその詳細な説明は省略する。

[0033] 本実施形態に係る冷媒配管７には、上流側から順番に、高圧膨張弁４Ｂ、

中間冷却器 2 2、低圧膨張弁 4 A が設けられている。なお、低圧膨張弁 4 A は、分岐配管 1 7 が分岐する位置よりも下流側に設けられている。また、高圧膨張弁 4 B、中間冷却器 2 2 は、分岐配管 1 7 が分岐する位置よりも上流側に設けられている。

中間冷却器 2 2 は、凝縮器 3 から排出された冷媒を気液分離する。気相の冷媒は、中間配管 2 3 を介して、高段圧縮機 2 B の吸入側へ導かれる。液相の冷媒は、冷媒配管 7 頭によって、蒸発器 5 へ導かれる。

[0034] 本実施形態におけるエダクタ 1 0 の運転能力の調整方法について、図 6 のモリエル線図を用いて説明する。

まず図 6 の実線で示す場合の冷媒について説明する。高段圧縮機 2 B から排出されたガス冷媒 (a) は、凝縮器 3 へ流入する。凝縮器 3 へ流入した冷媒は、凝縮器 3 にて水と熱交換することで凝縮する。凝縮器 3 から排出された高温・高圧の液冷媒 (b) は、高圧膨張弁 4 B で膨張及び減圧され (c)、気液二相冷媒となり中間冷却器 2 2 に流入する。中間冷却器 2 2 に流入した気液二相冷媒は、気液分離され、エンタルピの低い液冷媒 (d) は、低圧膨張弁 4 A へ導かれる。エダクタ 1 0 の主流路には、分岐配管 1 7 を経て液冷媒 (d) が流入することとなる。液冷媒よりもエンタルピの高いガス冷媒は中間配管 2 3 を介して高段圧縮機 2 B へ向かう。

[0035] 中間冷却器 2 2 から低圧膨張弁 4 A に流入した液冷媒は、低圧膨張弁 4 A によって膨張および減圧され (e)、気液二相冷媒となり、蒸発器 5 に流入する。蒸発器 5 に流入した液冷媒であって、伝熱管群 1 6 で蒸発し切らなかった液冷媒 (e) は、第 1 循環配管 1 4 を介してエダクタ 1 0 に導かれる。すなわち、エダクタ 1 0 では、液冷媒 (d) と液冷媒 (e) との圧力差 (図 6 の P 1) が駆動力となる。

蒸発器 5 に流入した気液二相冷媒は、本実施形態の場合には水と熱交換して蒸発し、ガス冷媒となって蒸発器 5 から流出する。蒸発器 5 から流出したガス冷媒 (f) は、低段圧縮機 2 A に吸入され圧縮される (g)。

[0036] 中間冷却器 2 2 によって気液分離されたガス冷媒は、中間配管 2 3 を介し

て、低段圧縮機 2 A と高段圧縮機 2 B との間に吸入されると、低段圧縮機 2 A で圧縮されたガス冷媒と合流し (h)、合流した冷媒は、高段圧縮機 2 B で圧縮されて吐出される (a)。

[0037] 次に、図 6 の破線で示す、高段圧縮機 2 B の入口に設けられている IGV の開度を絞った場合について説明する。この場合には、高圧膨張弁 4 B で膨張及び減圧された冷媒 (c') の圧力が冷媒 (c) よりも高くなる。冷媒 (c') は、気液二相冷媒となり中間冷却器 22 に流入する。中間冷却器 22 に流入した気液二相冷媒は、気液分離され、エンタルピの低い液冷媒 (d') は、低圧膨張弁 4 A へ導かれる。エダクタ 10 の主流路には、分岐配管 17 を経て液冷媒 (d') が流入することとなる。液冷媒よりもエンタルピの高いガス冷媒は中間配管 23 を介して高段圧縮機 2 B へ向かう。

[0038] 中間冷却器 22 から低圧膨張弁 4 A に流入した液冷媒は、低圧膨張弁 4 A によって膨張および減圧され (e')、気液二相冷媒となり、蒸発器 5 に流入する。蒸発器 5 に流入した液冷媒であって、伝熱管群 16 で蒸発し切らなかった液冷媒 (e') は、第 1 循環配管 14 を介してエダクタ 10 に導かれる。すなわち、エダクタ 10 では、液冷媒 (d') と液冷媒 (e') との圧力差 (図 6 の P2) が駆動力となる。図 6 に示すように、圧力差 P2 は、圧力差 P1 よりも大きい。すなわち、図 6 の破線で示す場合のほうが、エダクタ 10 の運転能力を向上させることができる。このように、IGV の開度を調整することで、エダクタ 10 の運転能力の調整することができる。

[0039] 蒸発器 5 に流入した気液二相冷媒は、本実施形態の場合には水と熱交換して蒸発し、ガス冷媒となって蒸発器 5 から流出する。蒸発器 5 から流出したガス冷媒 (f) は、低段圧縮機 2 A に吸入され圧縮される (g')。

中間冷却器 22 によって気液分離されたガス冷媒は、中間配管 23 を介して、低段圧縮機 2 A と高段圧縮機 2 B との間に吸入されると、低段圧縮機 2 A で圧縮されたガス冷媒と合流し (h')、合流した冷媒は、高段圧縮機 2 B で圧縮されて吐出される (a)。

[0040] なお、本開示は、上記各実施形態に限定されるものではなく、その要旨を

逸脱しない範囲において、適宜変形が可能である。

例えば、上記各実施形態では、制御装置 18 が、膨張弁制御部または IGV 制御部の両方を備える例について説明したが、本開示はこれに限定されない。制御装置 18 は、膨張弁制御部または IGV 制御部のどちらか一方のみを有していてもよい。

[0041] 以上説明した実施形態に記載の冷凍装置は、例えば以下のように把握される。

本開示に一態様に係る冷凍装置は、冷媒を圧縮する圧縮機（2）と、前記圧縮機で圧縮した前記冷媒を凝縮する凝縮器（3）と、前記凝縮器で凝縮した前記冷媒を膨張させる膨張弁（4）と、前記膨張弁で膨張させた前記冷媒を蒸発させる蒸発器（5）と、前記膨張弁の開度を制御する膨張弁制御部と、を備える冷凍装置（1）であって、前記蒸発器は、外殻を為す筐体（11）と、前記筐体の内部に收容され、上下方向に並んで配置される複数の伝熱管（16a）を有する伝熱管群（16）と、前記伝熱管群へ上方から前記冷媒を供給する冷媒供給部（13）と、前記伝熱管群で蒸発し切らずに前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒を前記冷媒供給部へ導く循環部（10）と、を有し、前記膨張弁制御部は、前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒の水位が、前記冷凍装置の運転条件によって変化する前記循環部が循環させる冷媒量に応じた水位となるように、前記膨張弁の開度を制御する。

[0042] 循環部が循環させる冷媒量（以下、「循環部の運転能力」と称する場合もある。）が、冷凍装置の運転条件によって変化する場合がある。例えば、循環部がエダクタのように、冷凍装置内の圧力差（凝縮器内の冷媒の圧力と、蒸発器内の冷媒の圧力との差等）を利用して冷媒を循環させる装置である場合がある。この場合には、冷凍装置の運転条件に起因して、冷凍装置内の圧力差が小さい場合などには、循環部が循環させることができる冷媒量が少なくなる。循環させることができる冷媒量が少なくなると、冷媒供給部から伝熱管群へ供給される冷媒量も少なくなる。このため、伝熱管群へ十分に冷媒を供給することができず、一部の伝熱管（特に、下部に配置される伝熱管）

において、伝熱管の表面に十分に冷媒が行きわたらない状態（以下、この状態を「ドライアウト」と称する。）となる可能性がある。

上記構成では、膨張弁制御部は、筐体の下部に貯留されている冷媒の水位が、冷凍装置の運転条件によって変化する循環部の運転能力に応じた水位となるように、膨張弁の開度を制御している。これにより、冷媒の水位を循環部の運転能力に応じた水位とすることができる。したがって、例えば、循環部の運転能力が低減した場合に、膨張弁の開度を制御し水位を上昇させることで、伝熱管群のうちの下部に配置されている伝熱管を液面よりも下方とすることができる。換言すれば、伝熱管群のうちの下部に配置されている伝熱管を貯留している冷媒に浸漬させることができる。よって、冷媒供給部から冷媒を供給する必要がある伝熱管（すなわち、液面よりも上方の伝熱管）の数を減少させることができるので、少ない冷媒量であってもドライアウトの発生を抑制することができる。このように上記構成では、冷媒の水位を循環部の運転能力に応じた水位とすることができるので、蒸発器の熱交換効率を向上させることができる。

[0043] また、本開示に一態様に係る冷凍装置は、前記循環部が循環させる冷媒量を調整する循環部調整手段と前記循環部調整手段を制御する調整手段制御部と、を備え、前記調整手段制御部は、前記循環部が循環する冷媒量が所定量よりも大きくなるように、前記循環部調整手段を制御する。

[0044] 上記構成では、調整手段制御部が、循環部が循環する冷媒量が所定量よりも大きくなるように、循環部調整手段を制御している。これにより、十分な量の冷媒を循環させ、冷媒供給部から十分な量の冷媒を伝熱管群へ供給することができる。したがって、ドライアウトの発生を抑制することができるので、蒸発器の熱交換効率を向上させることができる。

なお、所定量とは、冷媒供給部から冷媒を供給する必要がある伝熱管（すなわち、液面よりも上方の伝熱管）のうち、最下段に位置する伝熱管の表面に十分に冷媒が供給される冷媒の量であってもよい。また、所定量は、冷凍装置の運転条件等に応じて予め算出した量であってもよい。

- [0045] また、本開示に一態様に係る冷凍装置は、冷媒を圧縮する圧縮機（２）と、前記圧縮機で圧縮した前記冷媒を凝縮する凝縮器（３）と、前記凝縮器で凝縮した前記冷媒を膨張させる膨張弁（４）と、前記膨張弁で膨張させた前記冷媒を蒸発させる蒸発器（５）と、を備える冷凍装置（１）であって、前記蒸発器は、外殻を為す筐体（１１）と、前記筐体の内部に收容され、上下方向に並んで配置される複数の伝熱管（１６a）を有する伝熱管群（１６）と、前記伝熱管群へ上方から前記冷媒を供給する冷媒供給部（１３）と、前記伝熱管群で蒸発し切らずに前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒を前記冷媒供給部へ導く循環部（１０）と、を有し、前記循環部が循環させる冷媒量を調整する循環部調整手段と、前記循環部調整手段を制御する調整手段制御部と、をさらに備え、前記調整手段制御部は、前記循環部が循環する冷媒量が所定量よりも大きくなるように、前記循環部調整手段を制御する。
- [0046] また、本開示に一態様に係る冷凍装置は、前記循環部は、前記凝縮器内の前記冷媒の圧力と、前記蒸発器内の前記冷媒の圧力との圧力差を利用して前記冷媒を循環させるエダクタ（１０）を有する。
- [0047] 上記構成では、エダクタの循環の能力が低減した場合であっても、ドライアウトの発生を抑制することができるので、蒸発器の熱交換効率を向上させることができる。
- [0048] また、本開示に一態様に係る冷凍装置は、前記循環部は、前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒を昇圧するポンプ（１９）を有する。
- [0049] 上記構成では、ポンプを利用して冷媒を循環させることができる。

符号の説明

- [0050] １ ：ターボ冷凍装置（冷凍装置）
２ ：ターボ圧縮機（圧縮機）
２Ａ ：低段圧縮機
２Ｂ ：高段圧縮機
３ ：凝縮器
４ ：膨張弁

- 4 A : 低圧膨張弁
- 4 B : 高圧膨張弁
- 5 : 蒸発器
- 6 : 吐出配管
- 7 : 冷媒配管
- 8 : 吸入配管
- 9 : 電動機
- 1 0 : エダクタ（循環部）
- 1 1 : 圧力容器（筐体）
- 1 1 a : 円筒部
- 1 2 : 冷媒入口管
- 1 3 : 冷媒トレイ（冷媒供給部）
- 1 4 : 第 1 循環配管
- 1 5 : 第 2 循環配管
- 1 6 : 伝熱管群
- 1 6 A : 液膜式伝熱管群
- 1 6 B : 満液式伝熱管群
- 1 6 a : 伝熱管
- 1 7 : 分岐配管
- 1 8 : 制御装置
- 1 9 : ポンプ
- 2 1 : ターボ冷凍装置
- 2 2 : 中間冷却器
- 2 3 : 中間配管

請求の範囲

[請求項1]

冷媒を圧縮する圧縮機と、
前記圧縮機で圧縮した前記冷媒を凝縮する凝縮器と、
前記凝縮器で凝縮した前記冷媒を膨張させる膨張弁と、
前記膨張弁で膨張させた前記冷媒を蒸発させる蒸発器と、
前記膨張弁の開度を制御する膨張弁制御部と、を備える冷凍装置であって、

前記蒸発器は、外殻を為す筐体と、前記筐体の内部に収容され、上下方向に並んで配置される複数の伝熱管を有する伝熱管群と、前記伝熱管群へ上方から前記冷媒を供給する冷媒供給部と、前記伝熱管群で蒸発し切らずに前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒を前記冷媒供給部へ導く循環部と、を有し、

前記膨張弁制御部は、前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒の水位が、前記冷凍装置の運転条件によって変化する前記循環部が循環させる冷媒量に応じた水位となるように、前記膨張弁の開度を制御する冷凍装置。

[請求項2]

前記循環部が循環させる冷媒量を調整する循環部調整手段と、
前記循環部調整手段を制御する調整手段制御部と、を備え、
前記調整手段制御部は、前記循環部が循環する冷媒量が所定量よりも大きくなるように、前記循環部調整手段を制御する請求項1に記載の冷凍装置。

[請求項3]

冷媒を圧縮する圧縮機と、
前記圧縮機で圧縮した前記冷媒を凝縮する凝縮器と、
前記凝縮器で凝縮した前記冷媒を膨張させる膨張弁と、
前記膨張弁で膨張させた前記冷媒を蒸発させる蒸発器と、を備える冷凍装置であって、

前記蒸発器は、外殻を為す筐体と、前記筐体の内部に収容され、上下方向に並んで配置される複数の伝熱管を有する伝熱管群と、前記伝

熱管群へ上方から前記冷媒を供給する冷媒供給部と、前記伝熱管群で蒸発し切らずに前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒を前記冷媒供給部へ導く循環部と、を有し、

前記循環部が循環させる冷媒量を調整する循環部調整手段と、
前記循環部調整手段を制御する調整手段制御部と、をさらに備え、
前記調整手段制御部は、前記循環部が循環する冷媒量が所定量よりも大きくなるように、前記循環部調整手段を制御する冷凍装置。

[請求項4] 前記循環部は、前記凝縮器内の前記冷媒の圧力と、前記蒸発器内の前記冷媒の圧力との圧力差を利用して前記冷媒を循環させるエダクタを有する請求項1から請求項3のいずれかに記載の冷凍装置。

[請求項5] 前記循環部は、前記筐体の下部に貯留されている前記冷媒を昇圧するポンプを有する請求項1から請求項3のいずれかに記載の冷凍装置。