

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5430685号
(P5430685)

(45) 発行日 平成26年3月5日(2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月13日(2013.12.13)

(51) Int. Cl. F I
FO4D 29/44 (2006.01) F O 4 D 29/44 P
FO4D 29/66 (2006.01) F O 4 D 29/44 X
 F O 4 D 29/66 H

請求項の数 4 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2011-553814 (P2011-553814)	(73) 特許権者	000000099 株式会社 I H I 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号
(86) (22) 出願日	平成23年2月3日(2011.2.3)	(73) 特許権者	512088224 清華大学 中華人民共和国北京市海澱区清華園 1 号
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/052273	(74) 代理人	100097515 弁理士 堀田 実
(87) 国際公開番号	W02011/099418	(72) 発明者	ゼン シンチェン 中華人民共和国北京市海澱区清華園 1 号 清華大学内
(87) 国際公開日	平成23年8月18日(2011.8.18)	(72) 発明者	リン ルイン 中華人民共和国北京市海澱区清華園 1 号 清華大学内
審査請求日	平成24年4月13日(2012.4.13)		
(31) 優先権主張番号	201010110286.0		
(32) 優先日	平成22年2月9日(2010.2.9)		
(33) 優先権主張国	中国 (CN)		
(31) 優先権主張番号	201010110250.2		
(32) 優先日	平成22年2月9日(2010.2.9)		
(33) 優先権主張国	中国 (CN)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ケーシングの内周面に吸引リング溝(1)、リング案内路(2)、及び還流リング溝(3)を有し、自己循環流路を形成する非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機において、

前記吸引リング溝の上流側端面のインペラ全羽根前縁(4)に対する軸方向距離 S_r 又は前記吸引リング溝の幅 b_r が $A \cdot \sin(\theta + \theta_0) + A_0$ で表され、円周方向において正弦状に分布し、

初期位相角 θ_0 の範囲が $0^\circ \leq \theta_0 < 360^\circ$ であり、

ケーシングの周方向角度 θ の定義域が $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$ であり、

A は前記軸方向距離 S_r 又は前記幅 b_r の分布の振幅であり、

A_0 は前記軸方向距離 S_r 又は前記幅 b_r の平均値である、ことを特徴とする非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機。

【請求項 2】

前記吸引リング溝の前記軸方向距離 S_r の平均値 A_0 とインペラ直径 D との比率が、 $0.05 \leq |A_0 / D| < 0.2$ の範囲であり、

前記軸方向距離 S_r の分布の振幅 A と前記平均値 A_0 との比率は $0.1 < |A / A_0| < 0.35$ の範囲である、ことを特徴とする請求項 1 に記載の非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機。

【請求項 3】

10

20

前記吸引リング溝の前記幅 b_r の平均値 A_0 とインペラ直径 D との比率が、 $0.01 < A_0 / D < 0.1$ の範囲であり、

前記幅 b_r の分布の振幅 A と前記平均値 A_0 との比率は $0.1 < A / A_0 < 0.35$ の範囲である、ことを特徴とする請求項 1 に記載の非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機。

【請求項 4】

前記ケーシングは、外殻 (5) と中子 (6) からなり、

前記吸引リング溝 (1) は、中子 (6) の壁面に設けられ、前記外殻の内壁面と中子の外壁面が前記リング案内路 (2) と還流リング溝 (3) を形成する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機に関する。遠心圧縮機は、車両や船舶用過給機、産業用圧縮機、航空エンジンなど、各種用途のターボ機械に用いられる。

【背景技術】

【0002】

遠心圧縮機を用いたターボ式圧縮機は、往復動式圧縮機に対し、効率が高く、重量が軽く、運転が安定している等の長所があるが、その許容作動範囲 (すなわち、遠心圧縮機の流量範囲) が限られている。

20

遠心圧縮機の小流量作動点 (すなわち、圧縮機の流量が小さい場合) では、内部の流れ場において大幅な流体剥離などの不安定現象が生じて、失速ひいてはサージをもたらす。その結果、圧縮機の効率と圧力比の急速な低下を招き、寿命が短縮し、ひいては、短時間に損傷してしまう。そのため、様々な対策を採用することで、圧縮機の失速等の不安定現象を抑制して、その安定作動範囲を拡大させている。

【0003】

例えば、安定作動範囲を拡大させるために、遠心圧縮機のケーシングトリートメントが用いられている。ケーシングトリートメントは、例えば、特許文献 1 ~ 5 に開示されている。

30

【0004】

ケーシングトリートメントでは、特許文献 1 ~ 5 のように、遠心圧縮機のインペラを囲むケーシングの内周面において、インペラ前縁より下流の環状入口と、インペラ前縁より上流の環状出口を形成する。これにより、遠心圧縮機への流入流量が少ない場合、環状入口からケーシング内部を通過して環状出口へ流体を戻すことで、インペラへの流入流量をみかけ上増加させている。その結果、失速等の不安定現象を抑制して、遠心圧縮機の安定作動範囲が拡大する。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【特許文献 1】特許第 3001902 号

【特許文献 2】特開 2007 - 127109 号公報

【特許文献 3】特許第 4100030 号

【特許文献 4】特許第 4107823 号

【特許文献 5】米国特許第 4930979 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述したように、現在、ケーシングトリートメントは、遠心圧縮機の安定作動範囲を拡

50

大する有効な手段であると考えられている。

【 0 0 0 7 】

従来のケーシングトリートメントは、インペラの回転軸に対して軸対称に構成されている。以下、回転軸に対して軸対称のケーシングトリートメントを「軸対称ケーシングトリートメント」、回転軸に対して非対称のケーシングトリートメントを「非軸対称ケーシングトリートメント」と呼ぶ。

【 0 0 0 8 】

軸対称ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機の場合、ケーシングのスクロール流路がインペラの回転軸に対して非対称に構成されているため、設計範囲を外れる小流量時に、スクロール流路の非対称性によってインペラ出口における流れに周方向のゆがみが生じ、上流側の流動パラメータに影響を及ぼして、圧縮機のインペラ及び羽根なしディフューザ内部の周方向流動パラメータが非対称性を呈することになる。

10

【 0 0 0 9 】

従来の軸対称ケーシングトリートメントの構成は、圧縮機内部における流れ場の非対称性の特徴を考慮していないので、ケーシングトリートメントによる安定作動範囲の拡大効果を周方向全周では達成することができない。そのため、周方向全周における最適な安定作動範囲の拡大効果を実現するために、非軸対称の自己循環ケーシングトリートメントを採用する必要がある。

【 0 0 1 0 】

図 1 A は自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機の半断面図であり、図 1 B は自己循環ケーシングトリートメントの説明図である。

20

図 1 A において、インペラ 1 3 は、インペラ全羽根 1 1 とインペラ半羽根 1 2 とを有する。また Z - Z はインペラ 1 3 の回転軸中心である。図 1 A と図 1 B に示すように、自己循環ケーシングトリートメントは、一般的に、吸引リング溝 1、リング案内路 2、及び還流リング溝 3 からなる。自己循環ケーシングトリートメントの主な構成パラメータは、吸引リング溝 1 のインペラ全羽根前縁 4 に対する軸方向距離 S_r と、吸引リング溝の幅 b_r と、還流リング溝 3 のインペラ全羽根前縁 4 に対する軸方向距離 S_f と、還流リング溝 3 の幅 b_f と、還流リング溝 3 の深さ h_b と、リング案内路 2 の幅 b_b である。

【 0 0 1 1 】

インペラ全羽根前縁 4 に対する吸引リング溝 1 の軸方向距離 S_r や吸引リング溝 1 の幅 b_r が、還流圧力差と還流流量を直接決め、作動範囲の拡大効果に対する影響が大きいことが研究から明らかになった。このため、円周方向における吸引リング溝の軸方向距離 S_r 又は幅 b_r の分布を適正に設計することは、非軸対称自己循環ケーシングトリートメントにより遠心圧縮機の作動範囲を拡大するためのキーポイントである。

30

【 0 0 1 2 】

本発明は上述した要望を満たすために創案されたものである。すなわち本発明の目的は、インペラ全羽根前縁に対する吸引リング溝の軸方向距離 S_r 又は吸引リング溝の幅 b_r の円周方向分布を最適化することによって、効率を維持したままで、安定作動範囲を低流量側に拡大することができる非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機を提供することにある。

40

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

本発明は、ケーシングの内周面に吸引リング溝 (1)、リング案内路 (2)、及び還流リング溝 (3) を有し、自己循環流路を形成する非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機において、

前記吸引リング溝の上流側端面のインペラ全羽根前縁 (4) に対する軸方向距離 S_r 又は前記吸引リング溝の幅 b_r が $A \cdot \sin (\theta + \theta_0) + A_0$ で表され、円周方向において正弦状に分布し、

初期位相角 θ_0 の範囲が $0^\circ \leq \theta_0 < 360^\circ$ であり、

ケーシングの周方向角度 θ の定義域が $0^\circ \leq \theta < 0^\circ + 360^\circ$ であり、

50

A は前記軸方向距離 S_r 又は前記幅 b_r の分布の振幅であり、
 A_0 は前記軸方向距離 S_r 又は前記幅 b_r の平均値である、ことを特徴とするものである。

【0014】

本発明の一実施形態において、前記吸引リング溝の前記軸方向距離 S_r の平均値 A_0 とインペラ直径 D との比率が、 $0.05 < A_0 / D < 0.2$ の範囲であり、
 前記軸方向距離 S_r の分布の振幅 A と前記平均値 A_0 との比率は $0.1 < A / A_0 < 0.35$ の範囲である。

【0015】

また本発明の別の実施形態において、前記吸引リング溝の前記幅 b_r の平均値 A_0 とインペラ直径 D との比率が、 $0.01 < A_0 / D < 0.1$ の範囲であり、
 前記幅 b_r の分布の振幅 A と前記平均値 A_0 との比率は $0.1 < A / A_0 < 0.35$ の範囲である。

【0016】

前記ケーシングは、外殻(5)と中子(6)からなり、
 前記吸引リング溝(1)は、中子(6)の壁面に設けられ、前記外殻の内壁面と中子の外壁面が前記リング案内路(2)と還流リング溝(3)を形成する。

【発明の効果】

【0017】

従来の技術に比べ、本発明は、吸引リング溝の軸方向距離又は幅が、正弦状に分布する非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを採用することで、軸対称自己循環ケーシングトリートメントよりも遠心圧縮機の安定作動範囲を大幅に拡大すると共に、効率が基本的に変わらないように維持することができる、ことが後述する実施例で確認された。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1A】自己循環ケーシングトリートメントを有する遠心圧縮機の半断面図である。
 【図1B】自己循環ケーシングトリートメントの説明図である。
 【図2A】ケーシングの外殻の正面模式図である。
 【図2B】ケーシングの外殻の半断面模式図である。
 【図3】圧縮機のケーシングの模式図である。
 【図4】ケーシングの中子の構成模式図である。
 【図5】中子における吸引リング溝の模式図である。
 【図6】実施例における初期位相角 θ_0 の位置模式図である。
 【図7】異なる初期位相角 θ_0 に対応する吸引リング溝の軸方向距離 S_r 値の円周方向における分布模式図である。
 【図8】溝の軸方向距離が正弦分布である非軸対称自己循環ケーシングトリートメントと、ケーシングトリートメントのない場合の圧縮機の性能比較図である。
 【図9】溝の軸方向距離が正弦分布である非軸対称自己循環ケーシングトリートメントと、溝の軸方向距離が円周方向の位置に関わらず一定である軸対称自己循環ケーシングトリートメントの圧縮機の性能比較図である。
 【図10】圧縮機のケーシングの模式図である。
 【図11】ケーシングの中子の構成模式図である。
 【図12】中子における吸引リング溝の模式図である。
 【図13】異なる初期位相角 θ_0 に対応する吸引リング溝の幅 b_r の分布模式図である。
 【図14A】実施例2における正規化質量流量と圧力比の関係図である。
 【図14B】実施例2における正規化質量流量と効率の関係図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明を実施するための形態を図面に基づいて説明する。なお、各図において共通する部分には同一の符号を付し、重複した説明を省略する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

(第1実施形態)

図2A、図2B、図3～図5は、本発明の第1実施形態を示す模式図であり、図2Aはケーシングの外殻5の正面模式図、図2Bは半断面模式図、図3はケーシングの模式図、図4はケーシングの中子6の構成模式図、図5は中子における吸引リング溝の模式図である。

【 0 0 2 1 】

本発明の遠心圧縮機は、図1Aと図1Bに示したように、ケーシングの内周面に、吸引リング溝1、リング案内路2、及び還流リング溝3を有し自己循環流路を形成する非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する。

10

自己循環流路とは、吸引リング溝1、リング案内路2、及び還流リング溝3により、インペラ全羽根前縁より下流側位置からインペラ全羽根前縁より上流側位置へ流体を戻す還流路を意味する。

【 0 0 2 2 】

また、第1実施形態の遠心圧縮機のケーシング10は、図3に示すように、外殻5と中子6からなり、吸引リング溝1は、中子6の壁面に設けられ、外殻5の内壁面と中子6の外壁面がリング案内路2と還流リング溝3を形成する。

【 0 0 2 3 】

第1実施形態の非軸対称自己循環ケーシングトリートメントは、吸引リング溝1の軸方向距離、すなわちインペラ全羽根前縁4に対する、吸引リング溝1の上流側端面1aの軸方向距離 S_r が、円周方向において正弦状に分布している。

20

【 0 0 2 4 】

また図3に示すように、第1実施形態において、軸方向距離 S_r は、数式(1)で表される。

$$S_r = A \cdot \sin(\theta + \theta_0) + A_0 \quad \dots (1)$$

【 0 0 2 5 】

また、吸引リング溝1の軸方向距離 S_r の平均値 A_0 とインペラ直径Dとの比率が、 $0.05 \leq |A_0/D| < 0.2$ の範囲であり、軸方向距離 S_r の分布の振幅Aと吸引リング溝1の軸方向距離 S_r の平均値 A_0 との比率は $0.1 < |A/A_0| < 0.35$ の範囲である。

30

【 0 0 2 6 】

設計による円周方向の正弦分布に応じた吸引リング溝1の軸方向距離は、中子6の周方向円柱面において図5に一点鎖線で示した平面に含まれることが、幾何学的証明から明らかになっている。

この特性により、設計された吸引リング溝1を容易に加工し、調整することができる。すなわち、回転軸を中心とする直線の傾きを変えることにより、軸方向距離 S_r 分布の振幅Aを変えることができる。また、直線を上下に平行移動することにより、吸引リング溝1の軸方向距離 S_r の平均値 A_0 とインペラ直径Dとの比率と、軸方向距離 S_r の分布の振幅Aと吸引リング溝1の軸方向距離 S_r の平均値 A_0 との比率とを変化させることができる。

40

【 0 0 2 7 】

図2A、図2B、図3において、ケーシングの外殻5を固定し、かつ中子6をインペラ13(図1Aと図1Bを参照)の回転軸中心Z-Zのまわりに回転して、組み立て時の両者の対向位置を変更することで、異なる初期位相角 θ_0 に対応する吸引リング溝1の軸方向距離 S_r の正弦分布が得られる。

すなわち、ケーシング10の外殻5と中子6は、ネジ7によって連結される。ケーシング10の外殻5には、周方向にn個(この例では4つ)のネジ孔が均等に配置されており、n個の異なる初期位相角 θ_0 に対応する分布曲線が得られる。圧縮機の性能試験によって、n個の異なる初期位相角 θ_0 から最適な初期位相角 θ_0 を確定する。

50

【 0 0 2 8 】

図 6 は、実施例における初期位相角 θ_0 の位置模式図であり、図 7 は、異なる初期位相角 θ_0 に対応する吸引リング溝の軸方向距離 S_r 値の円周方向における分布模式図である。

図 2 A と図 2 B において、ケーシング 10 の外殻 5 に合計 4 つのネジ孔が設けられているので、図 7 に示される 4 種の異なる吸引リング溝の軸方向距離 S_r の正弦分布が得られる。

【 0 0 2 9 】

図 7 において、実線は、吸引リング溝 1 の軸方向距離 S_r の周方向における正弦分布であり、周方向の初期位相角 θ_0 の選定をえることに基づき、多様な表現形式がある。そのうち、 θ_0 は初期位相角であり、その範囲は $0^\circ \leq \theta_0 < 360^\circ$ であり、図中、ケーシング 10 の周方向角度 θ の定義域が $\theta_0 \leq \theta < \theta_0 + 360^\circ$ である。

10

【 0 0 3 0 】

本発明の遠心圧縮機の作動において、低流量モード時に、自己循環ケーシングトリートメントの流路内の空気は、吸引リング溝 1 から流入し、リング案内路 2 と還流リング溝 3 を経て流出する。

具体的な作動原理は、自己循環ケーシングトリートメントの吸引リング溝 1 がインペラ翼端領域の気体を吸引し、リング案内路 2 を経て、還流リング溝 3 から気体を放出することにある。

【 0 0 3 1 】

還流リング溝 3 から気体を放出することにより、(1) 吸引リング溝 1 の軸方向距離 S_r におけるインペラ翼端領域の気体に対する吸引作用が、インペラ翼端の隙間の漏れ渦が吸引リング溝 1 に吸い取られることを引き起こして、漏れ流動流路が遮断され、(2) 還流が圧縮機入口に放出され、還流リング溝 3 内の流動の連通により、圧縮機入口の流れの均等性を実現し、流路の衝撃波を取り除き、(3) 還流が入口流量を増大させ、インペラ翼入口の正の迎角を小さくすると共に、吸引リング溝 1 の吸引作用が、圧縮機出口の背圧を低減し、逆圧勾配が小さくなって、インペラ翼表面の境界層の分離を効果的に抑制した。

20

円周方向上の対応する位置で還流効果がより良くなるように、円周方向において正弦状に分布した吸引リング溝 1 の軸方向距離 S_r を用いることで、還流の作用をより効果的に用いて、圧縮機の安定作動範囲を拡大する。

30

【 0 0 3 2 】

閉塞に近い作動モードにおいて、自己循環ケーシングトリートメントの流路内の空気は、還流リング溝 3 とリング案内路 2 を経て、吸引リング溝 1 より放出される。還流リング溝 3 は、入口の周方向における流動を連通させることで、圧縮機入口の流動の均等性を増加させて、入口の衝撃波を弱め、吸引リング溝 1 の放出流は、流通能力を強化することで、閉塞境界を拡大した。ただし、閉塞に近い作動モードの吸引動力の不足により、該ケーシングトリートメントの閉塞境界に対する拡大は、失速境界に対する拡大より著しくない。

【 実施例 1 】

40

【 0 0 3 3 】

以下は、あるサイズの遠心圧縮機に対し、軸方向距離 S_r が正弦分布である遠心圧縮機の新軸対称自己循環ケーシングトリートメントを採用することで、安定作動範囲を拡大する例である。

遠心圧縮機の新軸対称ケーシングトリートメントの S_r の分布は、 $S_r = \sin(\theta + 180^\circ) + 4$ である。初期位相角 θ_0 は図 6 において $\theta_0 = 180^\circ$ の位置である。

図 8 は、溝の軸方向距離 S_r が正弦分布である新軸対称自己循環ケーシングトリートメントと、ケーシングトリートメントのない場合の圧縮機の性能比較図である。図中の符号「G」は、実施例 1 の遠心圧縮機を採用する場合の性能 M A P 図であり、符号「N o C T」は、ケーシングトリートメントのない場合の遠心圧縮機の M A P 図である。

50

【 0 0 3 4 】

図 9 は、溝の軸方向距離 S_r が正弦分布である非軸対称自己循環ケーシングトリートメントと、溝の軸方向距離 S_r が円周方向の位置に関わらず一定である軸対称自己循環ケーシングトリートメントの圧縮機の性能比較図である。図中の符号「G」は、実施例 1 の遠心圧縮機を採用する場合の性能 M A P 図であり、符号「C」は、溝の軸方向距離が円周方向の位置に関わらず一定である軸対称自己循環ケーシングトリートメントを採用する場合の遠心圧縮機の M A P 図である。

【 0 0 3 5 】

図 8 と図 9 の性能比較によって、実施例 1 の溝の軸方向距離 S_r が正弦分布である遠心圧縮機の非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを採用することにより、ケーシングトリートメントのない場合及び軸対称自己循環ケーシングトリートメントを採用する場合に対し、圧縮機の安定作動範囲を低流量側に拡大できると共に、効率が基本的に変わらないように維持することができることが確認された。

【 0 0 3 6 】

(第 2 実施形態)

図 1 0 ~ 図 1 2 は、本発明の第 2 実施形態を示す模式図であり、図 1 0 は圧縮機のケーシング 1 0 の模式図、図 1 1 はケーシング 1 0 の中子 6 の構成模式図、図 1 2 は、中子 6 における吸引リング溝 1 の模式図である。

また、図 2 A と図 2 B は第 1 実施形態と共通である。

【 0 0 3 7 】

本発明の遠心圧縮機は、図 1 A と図 1 B に示したように、ケーシングの内周面に、吸引リング溝 1、リング案内路 2、及び還流リング溝 3 を有し、自己循環流路を形成する非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを有する。

【 0 0 3 8 】

また、第 2 実施形態の遠心圧縮機のケーシング 1 0 は、図 1 0 に示すように、外殻 5 と中子 6 からなり、吸引リング溝 1 は、中子 6 の壁面に設けられ、外殻 5 の内壁面と中子 6 の外壁面がリング案内路 2 と還流リング溝 3 を形成する。

【 0 0 3 9 】

第 2 実施形態の非軸対称自己循環ケーシングトリートメントは、吸引リング溝 1 の幅 b_r が、円周方向において正弦状に分布している。

【 0 0 4 0 】

また図 1 0 に示すように、第 2 実施形態において、吸引リング溝 1 の幅 b_r は、数式 (2) で表せられる。

$$b_r = A \cdot \sin(\theta + \theta_0) + A_0 \quad \dots (2)$$

【 0 0 4 1 】

また、吸引リング溝 1 の幅 b_r の平均値 A_0 とインペラ直径 D との比率が、 $0.01 < A_0 / D < 0.1$ の範囲であり、幅 b_r の分布の振幅 A と吸引リング溝 1 の幅 b_r の平均値 A_0 との比率は $0.1 < A / A_0 < 0.35$ の範囲である。

【 0 0 4 2 】

図 1 2 において、設計による正弦分布に応じた吸引リング溝 1 の下流側端面 1 b は、中子 6 の周方向円柱面において図 1 2 に示した一点鎖線で示された平面に含まれていることが、幾何学的証明から明らかになっている。

この特性により、設計された吸引リング溝 1 を容易に加工し、調整することができる。すなわち、回転軸を中心とする直線の傾きを変えることにより、幅 b_r 分布の振幅 A を変えることができる。また、直線を上下に平行移動することにより、吸引リング溝 1 の幅 b_r の平均値 A_0 とインペラ直径 D との比率と、幅 b_r の分布の振幅 A と吸引リング溝 1 の幅 b_r の平均値 A_0 との比率とを变化させることができる。

【 0 0 4 3 】

図 2 A、図 2 B、図 1 0、図 1 1 において、ケーシング 1 0 の外殻 5 を固定し、かつ中

10

20

30

40

50

子6をインペラ13(図1A及び図1Bを参照)の回転軸中心Z-Zのまわりに回転して、組み立て時の両者の対向位置を変更することで、異なる初期位相角 θ_0 に対応する吸引リング溝1の幅 b_r の円周方向の正弦分布が得られる。

すなわち、ケーシング10の外殻5と中子6は、ネジ7によって連結され、ケーシング10の外殻5には、周方向にn個(この例では4つ)のネジ孔が均等に配置されており、n個の異なる初期位相角 θ_0 に対応する分布曲線が得られ、圧縮機の性能試験によって、最適な初期位相角 θ_0 を確定する。

【0044】

図6は、第1実施形態と共通であり、実施例における初期位相角 θ_0 の位置模式図である。

10

例えば、図2Aと図2Bにおいて、ケーシングの外殻5に合計4つのネジ孔が開けられているので、図13に示される4種の異なる吸引リング溝1の幅 b_r の円周方向の正弦分布が得られる。

【0045】

図13は、異なる初期位相角 θ_0 に対応する吸引リング溝1の幅 b_r の分布模式図である。

図13において、実線は、吸引リング溝1の幅 b_r の円周方向における正弦分布であり、周方向の初期位相角 θ_0 の選定をえることに基づき、多様な表現形式がある。そのうち、 θ_0 は初期位相角であり、その範囲は $0^\circ \leq \theta_0 < 360^\circ$ であり、図中、ケーシング10の周方向角度 θ の定義域が $\theta_0 \leq \theta < \theta_0 + 360^\circ$ である。

20

【0046】

本発明の遠心圧縮機の作動において、低流量モード時に、自己循環ケーシングトリートメントの流路内の空気は、吸引リング溝1から流入し、リング案内路2と還流リング溝3を経て流出する。

具体的な作動原理は、自己循環ケーシングトリートメントの吸引リング溝1がインペラ翼端領域の気体を吸引し、リング案内路2を経て、還流リング溝3から気体を放出することにある。

【0047】

還流リング溝3から気体を放出することにより、(1)吸引リング溝1の溝幅 b_r におけるインペラ翼端領域の気体に対する吸引作用が、インペラ翼端の隙間の漏れ渦が吸引リング溝1に吸い取られることを引き起こして、漏れ流動の流路が遮断され、(2)還流が圧縮機入口に放出され、還流リング溝3内の流動の連通により、圧縮機入口の流れの均等性を実現し、流路の衝撃波を取り除き、(3)還流が入口流量を増大させ、インペラ翼入口の正の迎角を小さくすると共に、吸引リング溝1の吸引作用が、圧縮機出口の背圧を低減し、逆圧勾配が小さくなって、インペラ翼表面の境界層の分離を効果的に抑制した。

30

円周方向上の対応する溝幅で還流効果がより良くなるように、円周方向において正弦状に分布された吸引リング溝1の溝幅 b_r を用いることで、還流の作用をより効果的に用いて、圧縮機の安定した作動範囲を拡大するようにする。

【0048】

閉塞に近い作動モードにおいて、自己循環ケーシングトリートメントの流路内の空気は、還流リング溝3とリング案内路2を経て、吸引リング溝1より放出される。還流リング溝3は、入口の周方向における流動を連通させることで、圧縮機入口の流動の均等性を増加させて、入口の衝撃波を弱め、吸引リング溝1の放出流は、流通能力を強化することで、閉塞境界を拡大した。ただし、閉塞に近い作動モードの吸引動力の不足により、該ケーシングトリートメントの閉塞境界に対する拡大は、失速境界に対する拡大より著しくない。

40

【実施例2】

【0049】

以下は、あるサイズの遠心圧縮機に対し、吸引リング溝1の幅 b_r が正弦分布である遠心圧縮機の非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを採用することで、安定作動範囲

50

を拡大する例である。

【0050】

遠心圧縮機の非軸対称ケーシングトリートメントの幅 b_r の分布は、 $b_r = \sin(\theta + 180^\circ) + 4.5$ である。初期位相角 θ_0 は図6において、 $\theta_0 = 180^\circ$ の位置である。

【0051】

図14Aと図14Bは、溝幅が正弦分布である非軸対称自己循環ケーシングトリートメント（「非軸対称自己循環CT」）と、軸対称自己循環ケーシングトリートメント「軸対称自己循環CT」と、ケーシングトリートメントのない（「CTなし」）の場合の圧縮機の性能比較図である。

図14Aは実施例2における正規化質量流量と圧力比の関係図である。また、図14Bは、実施例2における正規化質量流量と効率の関係図である。

【0052】

図14Aと図14Bの性能比較によって、本発明の溝幅が正弦分布である遠心圧縮機の非軸対称自己循環ケーシングトリートメント（非軸対称自己循環CT）を採用することにより、ケーシングトリートメントのない場合（CTなし）及び軸対称自己循環ケーシングトリートメント（軸対称自己循環CT）を採用する場合に対し、圧縮機の安定作動範囲を低流量側に拡大できると共に、効率が基本的に変わらないように維持することができることが確認された。

【0053】

上述したように、従来の技術に比べ、本発明は、吸引リング溝1の軸方向距離 S_r 又は幅 b_r が、正弦状に分布する非軸対称自己循環ケーシングトリートメントを採用することで、軸対称自己循環ケーシングトリートメントよりも遠心圧縮機の安定作動範囲を大幅に拡大すると共に、効率が基本的に変わらないように維持することができる、ことが実施例1, 2で確認された。

【0054】

なお本発明は上述した実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変更を加え得ることは勿論である。

【符号の説明】

【0055】

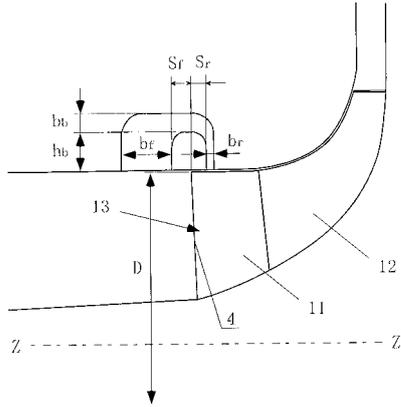
- 1 吸引リング溝、
- 1 a 上流側端面、1 b 下流側端面、
- 2 リング案内路、
- 3 還流リング溝、4 インペラ全羽根前縁、
- 5 外殻、6 中子、7 ネジ、
- 10 ケーシング、11 インペラ全羽根
- 12 インペラ半羽根、13 インペラ

10

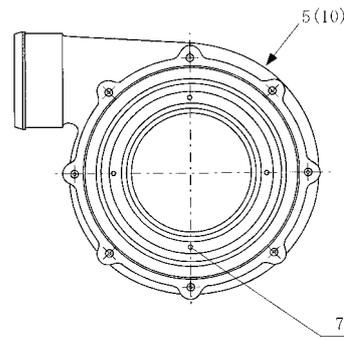
20

30

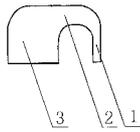
【図 1 A】



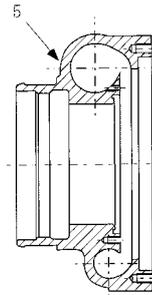
【図 2 A】



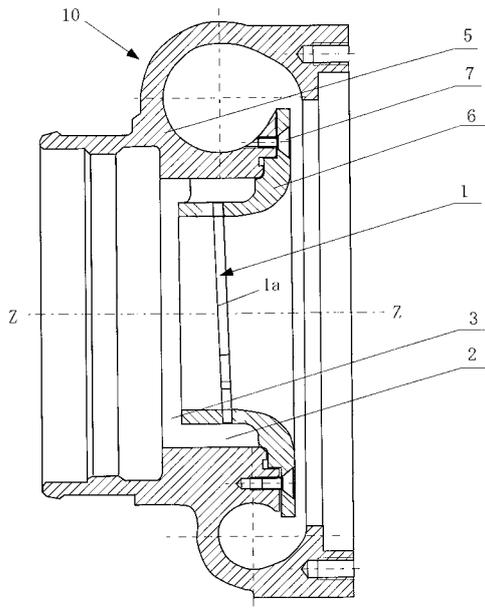
【図 1 B】



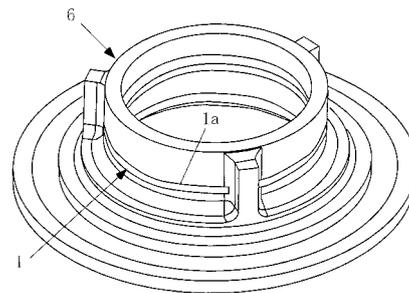
【図 2 B】



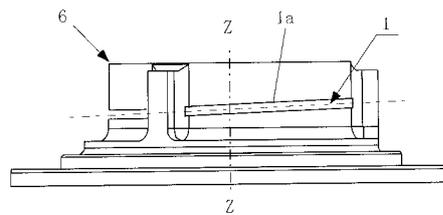
【図 3】



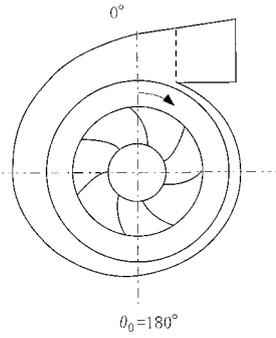
【図 4】



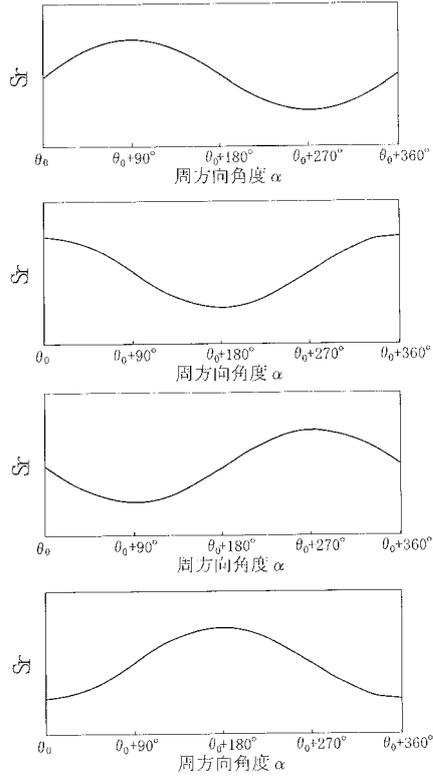
【図 5】



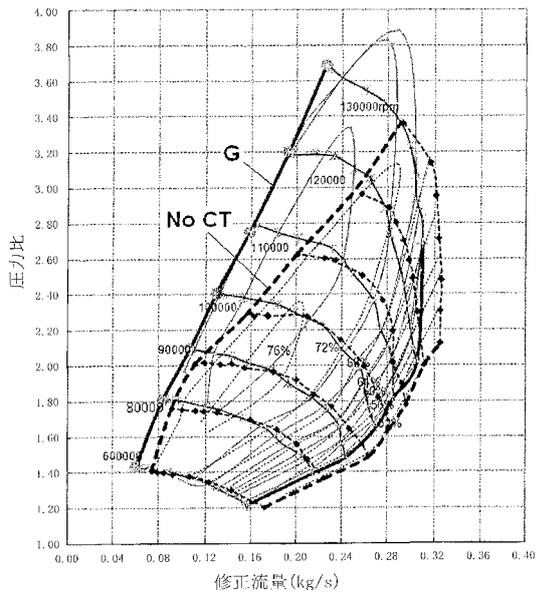
【图 6】



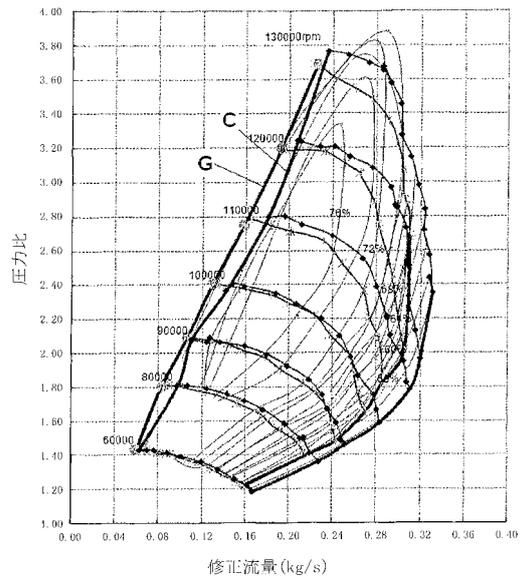
【图 7】



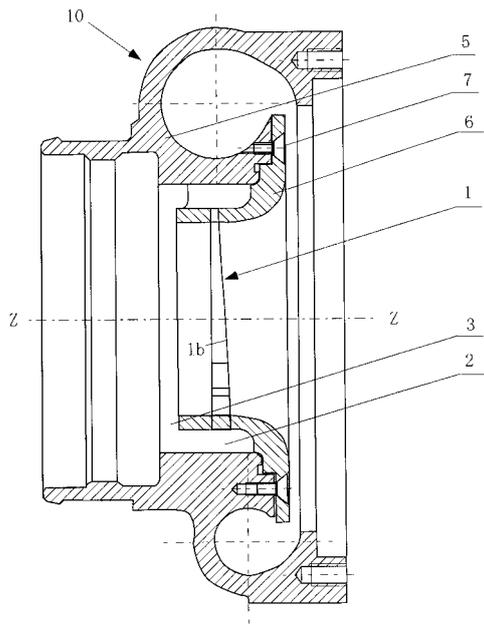
【图 8】



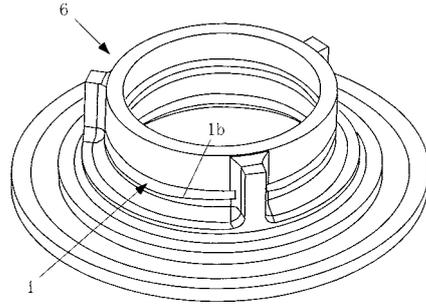
【图 9】



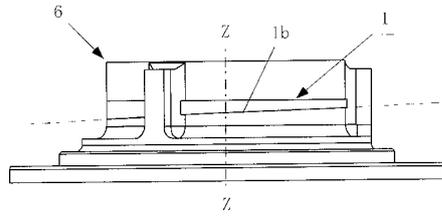
【図10】



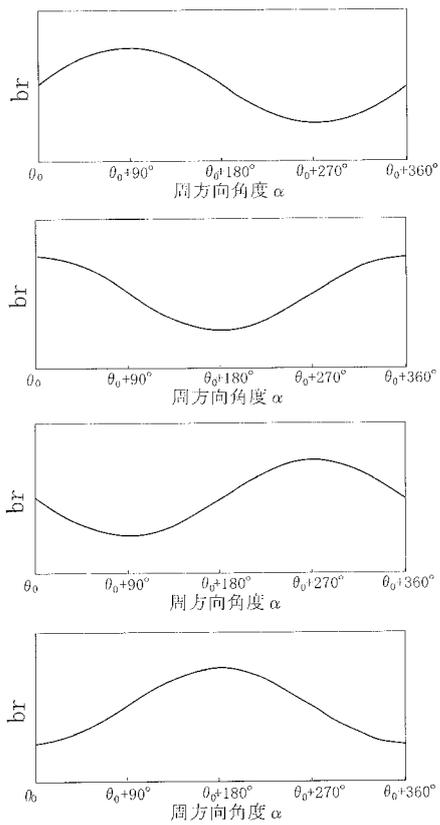
【図11】



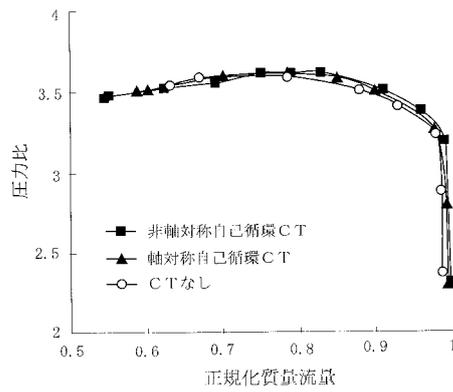
【図12】



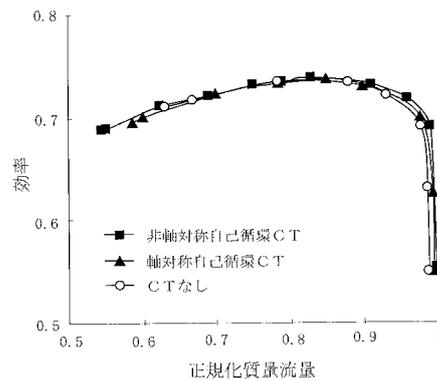
【図13】



【図14A】



【図14B】



フロントページの続き

- (72)発明者 ザン ヤンジウイン
中華人民共和国北京市海澱区清華園1号 清華大学内
- (72)発明者 ヤン ミンヤン
中華人民共和国北京市海澱区清華園1号 清華大学内
- (72)発明者 馬場 隆弘
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内
- (72)発明者 玉木 秀明
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内

審査官 吉田 昌弘

- (56)参考文献 特開2001-263296(JP,A)
特開2007-224789(JP,A)
特開2004-332734(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| F04D | 29/44 |
| F04D | 29/66 |