

Studien zur Leistungssteigerung von Turboverdichtern
in Raffinerie- und Chemieprozessen

Verbessern bestehender Geräte

JOHN O'CONNOR |
SULZER TURBO SERVICES |

Sulzer Turbo Services nutzt seine langjährige Erfahrung bei Leistungssteigerung und Aufrüstung von Strömungsmaschinen und modifiziert ältere Kompressoren für die Anforderungen moderner chemischer und petrochemischer Anlagen. Dies spart den Kunden Zeit und senkt Kosten verglichen mit der Beschaffung neuer Maschinen.

Moderne Strömungsmaschinen sind für maximale Leistung im Auslegungspunkt konstruiert, wobei die mechanischen und hydraulischen Toleranzen gerade ausreichen, jedoch keinen Spielraum für Änderungen lassen. Ältere Maschinen sind dagegen robust gebaut, weisen großen Spielraum bei Gehäuse- und Maschinenteilen auf und arbeiten mit vergleichsweise niedrigen Rotationsgeschwindigkeiten. Sie eignen sich daher hervorragend für Modifikationen oder neue Anwendungen.

► Strömungsmaschinen übertragen Energie zwischen einem Rotor und einem Fluid. Eine Turbine überträgt Energie von einem Fluid auf den Rotor. Ein Verdichter überträgt Energie vom Rotor auf das Fluid und erhöht Druck oder Geschwindigkeit eines Gases. Viele industrielle Prozesse nutzen Turboverdichter, die beispielsweise bei der Luftzerlegung oder Erdgasverarbeitung, in der anorganischen Chemie oder in petrochemischen Werken, Raffinerien oder Kühlanlagen eingesetzt werden (Bild 1).



1 Fast alle industriellen Prozesse benötigen Turboverdichter. Das Bild zeigt eine Raffinerie. Sulzer Turbo Services passt vorhandene Maschinen an geänderte Prozessanforderungen an.

Aufrüstung bestehender Maschinen

Ältere Strömungsmaschinen wurden so konstruiert, dass sie flexibel einsetzbar sind und ihre Nutzungsdauer diejenige der Anlagen übersteigt, in denen sie ursprünglich installiert wurden. Während der Lebensdauer einer typischen Prozessanlage können sich Qualität und Art des Einsatzmaterials, die Art der Produkte oder die Kapazitätsanforderungen ändern. Neuere Kompressoren sind für kleine Betriebsbereiche ausgelegt und laufen bei Drehzahlen, die sehr dicht an den mechanischen Grenzen der Laufräder liegen. Die Laufraddurchmesser entsprechen meist fast dem Maximaldurchmesser des Gehäuses, und die Gehäuse sind gerade groß genug, den vorhandenen Laufradsatz aufzunehmen, wobei nur wenig Platz für Änderungen bleibt.

Verkürzte Lieferzeiten

Heutzutage beträgt die Lieferzeit für einen neuen Kompressor bis zu 24 Monate. Deshalb kann es attraktiv sein, Gehäuse und Bauteile bestehender Kompressoren

für den Anlagenausbau oder neue Projekte aufzurüsten. Die Lieferzeit eines Verdichters mit gesteigerter Leistung beträgt üblicherweise nur die Hälfte der Lieferzeit neuer Maschinen. Auch die Einsparungen bei notwendigen Bauarbeiten können beträchtlich sein. Die Experten bei Sulzer Turbo Services beurteilen nach einem systematischen Vorgehen, ob ein gebrauchter Verdichter aufgerüstet werden kann. Dabei werden bestehende und die geänderten Betriebsbedingungen berücksichtigt. Für diese erste Studie werden mindestens der Eintrittsdruck, Temperatur, Durchfluss, relative Feuchtigkeit und die Gaseigenschaften (Kompressibilität, Molekulargewicht und spezifische Wärmekapazität) benötigt. Die spezifische Wärmekapazität ist die Wärmeenergie, die es braucht, um die Temperatur einer bestimmten Menge einer Substanz um 1 Kelvin zu erhöhen. Der gewünschte End-

druck ist der einzig erforderliche Wert auf der Druckseite.

Erste Berechnungen liefern Austrittstemperaturen, Leistungsbedarf und Rotationsgeschwindigkeit. Die berechneten Daten werden mit Messungen oder Betriebsaufzeichnungen verglichen und hinsichtlich Wirkungsgrad, Drehzahl und Leistung angepasst. Der Vergleich des neuen Betriebspunkts mit den ursprünglichen Auslegungsdaten des Verdichters zeigt den Umfang der nötigen Änderungen. Die Ein- und Auslassöffnungen bilden den Engpass im Gehäuse und bestimmen den verfügbaren Strömungsquerschnitt für den erhöhten Volumenstrom, der ohne Drosselung oder Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeitsgrenzen möglich ist. Falls das Gehäuse die neuen Strömungsanforderungen erfüllen kann, beginnen die Sulzer-Ingenieure mit der detaillierten Evaluation.

$$\text{Durchfluss (kg/s)} = \text{Strömungsquerschnitt (m}^2\text{)} \times \text{Strömungsgeschwindigkeit (m/s)} \times \text{Gasdichte (kg/m}^3\text{)}$$

2 Strömungsquerschnitt, Strömungsgeschwindigkeit und Gasdichte bestimmen den Durchfluss im Kompressor. Zu seiner Steigerung muss mindestens einer der 3 Parameter erhöht werden.

Schnelle Vorstudie

Eine einfache Gleichung bestimmt den Durchfluss und die 3 Parameter, die zur Erhöhung des Volumenstroms geändert werden müssen: Strömungsquerschnitt, Strömungsgeschwindigkeit und Gasdichte (Bild 2).

Die Änderung des Strömungsquerschnitts ist die komplexeste Methode, den Durchfluss zu erhöhen. Diese Maßnahme erfordert eine neue aerodynamische Baugruppe mit Laufrädern, Membranen und Formteilen. Der Strömungsquerschnitt wird vergrößert durch breitere Laufräder, Laufräder mit größerem Durchmesser, Neukonstruktion der Schaufeln, größere Passagen im Diffusor oder eine Kombination dieser Maßnahmen. Die neuen Teile müssen in das alte Gehäuse passen.

Mit modernen Tools entworfene und hergestellte Schaufelprofile werden 3D-Profilen genannt, da das Schaufelprofil auch senkrecht zur Hauptströmungsrichtung variiert (Bild 3). Diese Profile ermöglichen maximale Durchflusskoeffizienten von 0,15, verglichen mit 0,075 bei älteren 2D-Typen. Daher können 3 Stufen mit 3D-Laufrädern einen

4-stufigen Luftverdichter mit 2D-Laufrädern ersetzen. Sie erzielen dieselbe Wirkung bei 7–10% geringerem Energiebedarf. In diesem Beispiel ist die reduzierte Masse (eine Stufe weniger) der Hauptgrund für die Einsparung (Bild 4).

Minimale Modifikationen

Bei diesem Vorgehen ist erhöhte Verdichterkapazität verfügbar, ohne dass die Einbausituation der Maschine überarbeitet werden muss. Modifikationen an Fundament und Hilfseinrichtungen sind minimal, und die Laufräder können während einer normalen Stillstandszeit ersetzt werden. Üblicherweise werden gleichzeitig Dichtungen und Lager nachgerüstet.

Die Strömungsgeschwindigkeit wird durch Vergrößern des Laufraddurchmessers oder der Drehzahl erhöht. Die stationären Verdichterkomponenten wandeln die erhöhte Geschwindigkeit (kinetische Energie) des Gases am Laufradaustritt in höheren Druck (potenzielle Energie) um. Dieses Vorgehen führt zum selben Ergebnis wie eine Erhöhung des Durchflusskoeffizienten.

Eine Geschwindigkeitserhöhung um 1% entspricht einer Erhöhung des Durchflusses von etwa 3%. Konstruktive Grenzen sind die mechanische Festigkeit der rotierenden Teile, rotordynamische Größen und mögliche Montagekollisionen von Laufrädern und Kupplungen.

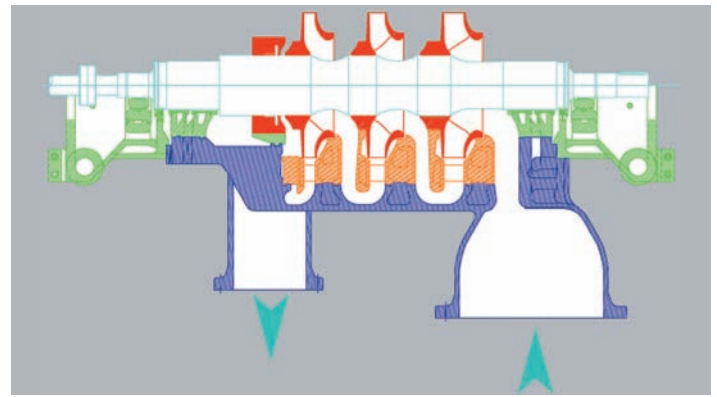
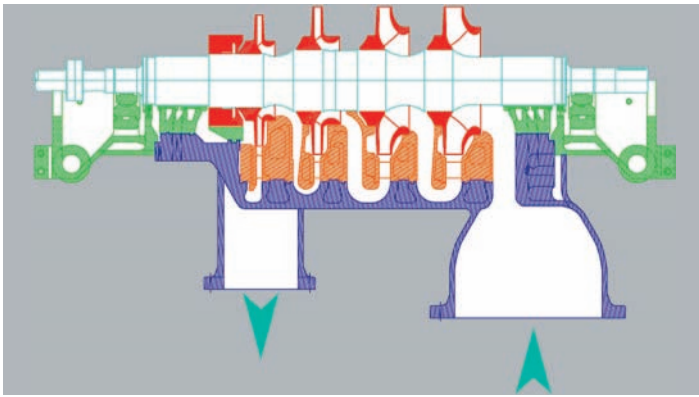
Beide genannten Maßnahmen beeinflussen auch die Verrohrung, da höhere Strömungsgeschwindigkeiten im Gehäuse die Reibungsverluste stromabwärts erhöhen. Kombinationen beider Methoden haben zu Durchflusssteigerungen von über 430% im Vergleich zum ursprünglichen Gerät geführt.

Erhöhen der Gasdichte

Die Gasdichte kann auf verschiedene Weisen erhöht werden, beispielsweise durch eine Vorstufe und Absenken der Gaseintrittstemperatur, wobei eine Kühlung sehr teuer ist und selten eingesetzt wird. Die Vorstufe besteht aus einem einstufigen Gebläse mit hohem Durchfluss und hoher Mach-Zahl vor dem Ansaugflansch des Verdichters sowie einem Zwischenkühler, der die

3 Mit modernen Tools lassen sich komplexe Schaufelgeometrien entwerfen. Mit solchen Schaufeln bestückte Laufräder bieten höhere Kapazität und Wirtschaftlichkeit als ältere Maschinen mit 2D-Profilen (rechts).





4 Existierender 4-stufiger Kompressor und 3-stufige Impellergruppe im selben Gehäuse (rechts).

Nenn-Ansaugtemperatur sicherstellt (Bild 5). Diese Lösung erfordert ausreichend Platz zur Installation neuer Geräte, Rohre, Bedienelemente und Hilfseinrichtungen, jedoch keine größeren Stillstandszeiten für die Bauarbeiten. Der größte Vorteil der Vorstufe ist, dass die Hauptverdichtereinheit nicht geändert werden muss, um die Systemkapazität zu erhöhen. Je nach Druckverhältnis und Mach-Zahl der Vorstufe sind Kapazitätssteigerungen von 110–220% möglich. Falls das Gebläse ausfällt, arbeitet der Verdichter mit seinen ursprünglichen Leistungskennwerten weiter.

Alle Kosten berücksichtigt

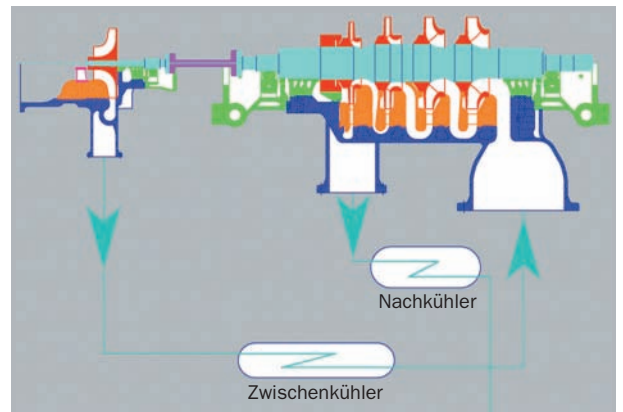
Nach Auswahl der gewünschten Methode zusammen mit dem Kunden beurteilen die Sulzer-Ingenieure den Einfluss auf die übrigen Teile des Maschinenmoduls. Alle Hilfseinrichtungen und der Antrieb müssen auf bestehende Betriebsgrenzen und die Eignung für die neue Konfiguration überprüft werden. Höherer Durchfluss oder Enddruck führen zu einer höheren Leistungsaufnahme des Kompressors. Bei einem großzügig dimensionierten Antriebsmotor reicht ein Aus-

tausch des Getriebesatzes im Übersetzungsgetriebe aus. Beim Antrieb durch eine Dampfturbine kann es sein, dass Turbinenteile vollständig oder teilweise ausgetauscht werden müssen, um die neuen Leistungsanforderungen zu erfüllen.

Weitere kritische Punkte sind das Schmiersystem, Dichtungen, Antriebskupplungen, Kapazität von Kessel und Dampfleitungen, Kondensator und Kondensatentfernungssysteme, Standort und Kapazität von Hochspannungs-Stromverteilern, Transformatoren, Steuersysteme und stromabwärts liegende Systeme.

Frühe Information

Bei einem Kosten-Nutzen-Vergleich der Leistungssteigerung einer Einheit müssen alle relevanten Kosten berücksichtigt werden. Sulzer Turbo Services führt die Kosten für Engineering und Revisionsteile getrennt auf. Falls ein Projekt nach der ersten Auswertung für den Kunden interessant bleibt, werden detaillierte Engineering-Studien zur exakten Festlegung der benötigten Änderungen aller Komponenten vertraglich geregelt. Diese Studien beinhalten die thermodynamische



5 Eine Vorstufe mit Leitschaufeln am Eintritt und Zwischenkühler ist dem ursprünglichen Kompressor vorgeschaltet.

Auslegung für die neuen Anforderungen, Laufradauswahl, Spannungsberechnungen, Werkstoffauswahl und Leistungsbedarf. Mit diesem 2-stufigen Verfahren von Sulzer Turbo Services erhält der Kunde maximale Informationspotenzial eines bestimmten Verdichters, und dies bei minimalen Kosten und sehr früh im Planungsprozess für eine Anlagenerweiterung bzw. eine neue Anlage. ◀

Kontakt

Sulzer Hickham Inc.
John O'Connor
11518 Old La Porte Rd.
La Porte, TX 77571
USA
Telefon +1 713 567 2773
Fax +1 713 567 2830
john.oconnor@sulzer.com