

محاسبه کمپرسورهای سانترفیوژ

نویسنده: Roland P. Lapina

مترجم: علی بخشی نژاد

دانشجو طراحی piping ترم مرداد ۱۳۸۶

Alib022@yahoo.com

The Centrifugal Compressor

• کمپرسورهای سانتریفیوژ چند مرحله ای امروزه کمپرسورهای گریز از مرکز (سانتریفیوژ) کاربرد گسترده ای^۱ در صنعت پیدا کرده اند، زیرا این کمپرسورها دارای قابلیت بسیار بالایی برای فشرده کردن سیال دارند. این کمپرسورها در محدوده ای از $\frac{m^3}{h}$ ۱۷۰۰۰-۱۷۰۰۰۰ (ICFM ۱۰۰،۰۰۰-۱۰۰۰۰) فعالیت می کنند. در فرآیندهای صنعتی از کمپرسورهای سانتریفیوژ برای افزایش فشار گاز برای اهداف مشخصی استفاده می شود که عبارتند از:

۱. ایجاد یک جریان هوا اطراف فرایند. در این مورد از استفاده کمپرسور، فشار را برای جریان یافتن در قسمتهایی مانند: سیستم لوله کشی، مبدلهای حرارتی، مخازن، ولوها، و اتصالات^۲.
۲. جدا کردن ترکیبات سنگین هیدروکربنی. هنگامی که ترکیب دارای فشار بالا باشد اجزا ترکیب هیدروکربنی می توانند از هم جدا شوند. بوسیله سرد کردن مرحله ای. ترکیبات سنگین تر زودتر چگالش می یابند.
۳. ایجاد گازهای فوق سرد برای یخچال ها. دمای گاز تحت فشار هنگامی که وارد فضای بزرگتری می شود (همراه با کاهش فشار) کاهش پیدا میکند.
۴. ایجاد یک نیرو در گاز محصول برای جریان پیدا کردن در سیستم لوله کشی.

این فصل نگاه مختصری به قسمت های مختلف کمپرسورهای سانتریفیوژ و نحوه قرارگیری آنها دارد. اطلاعاتی در مورد نحوه قرارگیری قطعات برای ایجاد یک تصویر روشن از فرضیات در کمپرسورهای سانتریفیوژ ضروری است. این بخش چگونگی بدست آوردن اندازه و دیگر محاسبات یک کمپرسور سانتریفیوژ را بر اساس فرضیات معقول نشان می دهد. پس خواننده باید بداند که این روابط بدون در نظر گرفتن اطلاعات شرکت سازنده تنها در حد یک فرضیه هستند.

• قطعات اصلی^۳

^۱ extensive

^۲ To cause positive flow through a process. In this case the compressor elevates the pressure sufficiently to overcome process pressure drops due to piping, vessels, heat exchangers, valves, and fitting.

دو قسمت اصلي در كمپرسورهاي سانترفيوژ چند مرحله اي وجود دارد كه عبارتند از:

۱. قسمت دوراني (كه به آن مجموعه روتور^۴ گفته مي شود)
۲. قسمت هاي ساكن^۵ كه شامل محفظه و ديفراگم مي شود. (اشكال ۱-۱-
۱ a, b ، تصاويري از يك كمپرسور برش خورده است)

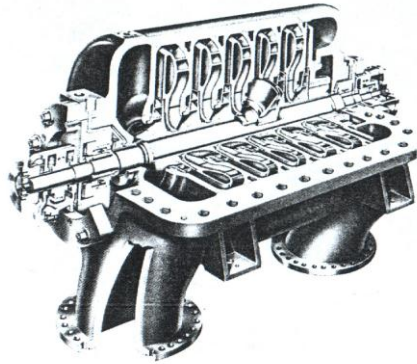


Figure 1-1a. Cutaway of a horizontally split centrifugal compressor. Photo courtesy of Ingersoll-Rand Company, Phillipsburg, NJ.

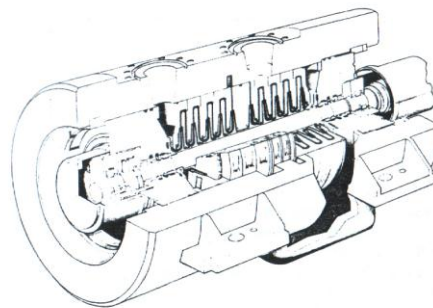


Figure 1-1b. Cutaway of a vertically split centrifugal compressor. Photo courtesy of Dresser Clark Division, Dresser Industries, Inc., Olean, NY.

قسمت دوراني (مجموعه روتور) از قسمت هاي زير تشكيل شده است:
 پروانه ها^۶ (كه گاهي چرخ^۷ نيز ناميده مي شوند)، فاصله دهنده ها^۸ ، چرخ هاي
 تعادل^۹ و يك ديسك سوراخ كه بر روي شافت نصب شده است^{۱۰} (شكل هاي ۱-۲ ،
 ۱-۳ و ۱-۴)

^۳ Basic Components

^۴ Rotor assembly

^۵ Stationary parts

^۶ Impellers

^۷ Wheels

^۸ Sleeves

^۹ Balancing drum

^{۱۰} Thrust disc mounted on a shaft

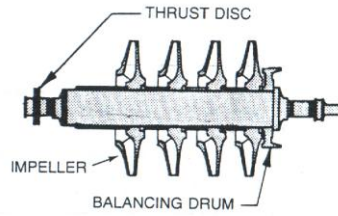


Figure 1-2. Components of the centrifugal compressor rotor assembly.

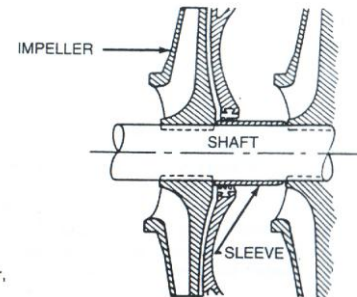


Figure 1-3. The impeller, shaft, and sleeve.

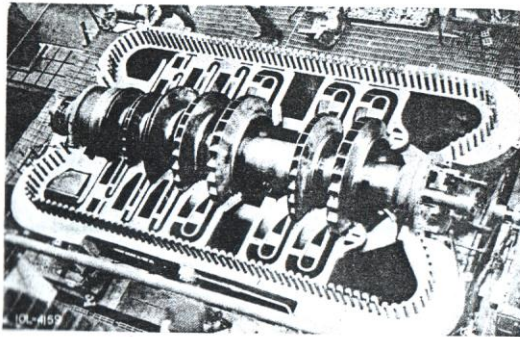


Figure 1-4. A centrifugal compressor rotor assembly set in the bottom half of a compressor casing. Photo courtesy of Elliott Company, Jeannette, PA.

بیشتر کمپرسورهای چند مرحله ای سانتریفیوژ از پروانه های بسته^{۱۱} استفاده می کنند. (شکل های ۱-۵ و ۱-۶)

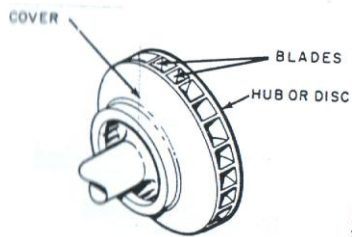


Figure 1-5. Components of the closed impeller.

^{۱۱} Closed impeler

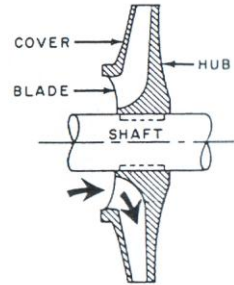


Figure 1-6. Cutaway of a closed impeller.

پروانه هاي بسته داراي سه قسمت هستند: ۱- تیغه ها^{۱۲}، ۲- روکش^{۱۳}، ۳- دیسک^{۱۴}. تیغه ها سرعت ذرات گاز را افزایش می دهند بدین وسیله فشار استاتیک افزایش پیدا می کند و اضافه شدن انرژی جنبشی موجب افزایش فشار در قسمت های ثابت کمپرسور می شود. روکش نیز نقش محدود کردن گاز را دارد و همچنین از وارد شدن نیروهای شعاعی به تیغه ها جلوگیری می کند. هاب یا دیسک قسمتی از پروانه است که به شافت متصل است. هاب، گاز را محدود کرده و تیغه ها را به حرکت در می آورد.

سازندگان فاصله دهنده ها را بین پروانه ها قرار می دهند تا پروانه ها را در راستای محور کنار هم قرار دهد. فاصله دهنده ها در نقش یک پوشش سطحی برای محافظت شافت از تماس با عملیات فشرده سازی گازها به کار می رود. این روکش زمانی کارآمدتر است که گازهای خورنده^{۱۵} در کمپرسور فشرده شوند. سازندگان می توانند فاصله دهنده ها را از یک جنس ارزان ولی مقاوم در مقابل خوردگی تهیه کنند و نگران خوردگی شافت نباشند. در نتیجه سازنده می تواند شافت را از مواد به نسبت ارزان با مقاومت بالا تهیه کند که تحمل گشتاورهای پیچشی بالا را داشته باشد. چرخ تعادل یا پیستون متعادل کننده ای محوری است، که درصد بالایی از نیروی محوری روتور را متعادل می کند. یک طرف چرخ تعادل باید تحت فشار تخلیه قرار داشته باشد و طرف دیگر باید به نقطه ای با فشار پائین تر متصل باشد. معمولاً انتهای ورودی کمپرسور میان محور چرخ تعادل قرار دارد. اختلاف فشار ایجاد شده هنگام عبور از میان چرخ تعادل ایجاد یک حفره مقابل حفره پروانه می کند.^{۱۶} میزان خنثی کردن نیروها توسط چرخ تعادل تابعی از مساحت چرخ تعادل است. معمولاً سعی می شود که حدود ۷۵٪ نیروهای روتور توسط چرخ تعادل خنثی شود.

دیسک محوری^{۱۷} میان یاتاقان های محوری^{۱۸} ثابت می شود و در فاصله میان دو یاتاقان محوری نیروهای محوری روتور را جذب می کند. این بخش از نیروهای روتور توسط چرخ تعادل خنثی نمی شوند.

^{۱۲} Blades

^{۱۳} Cover

^{۱۴} Hub or disk

^{۱۵} Corrosive

^{۱۶} One end of the balancing drum is essentially at discharge pressure; the other end connects to a lower pressure point, normally the inlet end of the compressor, through a balancing drum line. The resultant pressure differential across the balancing drum causes a thrust opposite to the impeller thrust.

^{۱۷} Thrust disk

ديسك محوري محل قرار گرفتن روتور در محفظه را مشخص مي کند، همانند جابجايي هاي محوري روتور به خاطر نيروي وارد بر پروانه ها به علت ورود گاز با فشار بالا که دليل آن عبور اين از قسمت هاي ثابت محفظه است.^{۱۹}

قسمت هاي ثابت کمپرسور از محفظه، ديافراگم و يك ديافراگم مخصوص که ديوار ورودی نامیده مي شود تشكيل مي شود. اين قطعات قسمت هاي مختلف عبور گاز در کمپرسور را مشخص مي کنند: کانال ورودی، پخش کننده ها^{۲۰}، زانوهاي بازگشتي^{۲۱}، کانال هاي بازگشت^{۲۲} و حلقه خروجي^{۲۳}.

صفحه جلوي ديوار ورودی (شکل ۱-۷) از قسمتي از کانال ورودی کمپرسور تشكيل شده است و صفحه عقبی ديوار ورودی يکي از دو سطح اولين پخش کننده است (شکل ۱-۸). ديافراگم (شکل هاي ۱-۹ و ۱-۱۰) يك بخش ثابت است که از يك قسمت از پخش کننده بالاي آن و قسمتي از خم بازگرداننده (شکل ۱-۱۱) و تمامی کانال بازگشتي (شکل ۱-۱۲) و قسمتي از پخش کننده پائيني آن تشكيل شده است. هر پروانه به يك ديافراگم نیاز دارد.

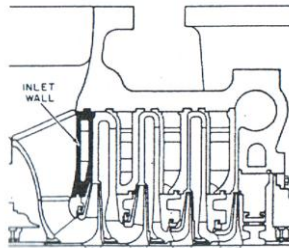


Figure 1-7. The inlet wall.

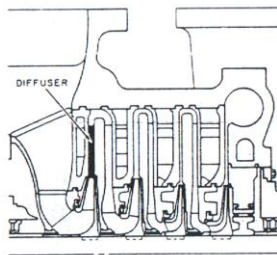


Figure 1-8. The diffuser.

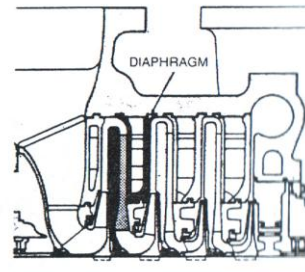


Figure 1-9. The diaphragm.

^{۱۸} Thrust-bearing

^{۱۹} The thrust disk positions the rotor assembly in the casing such that the impellers line up with the gas passages in the stationary components.

^{۲۰} The diffusers

^{۲۱} Return bends

^{۲۲} Return channels

^{۲۳} The discharge volute

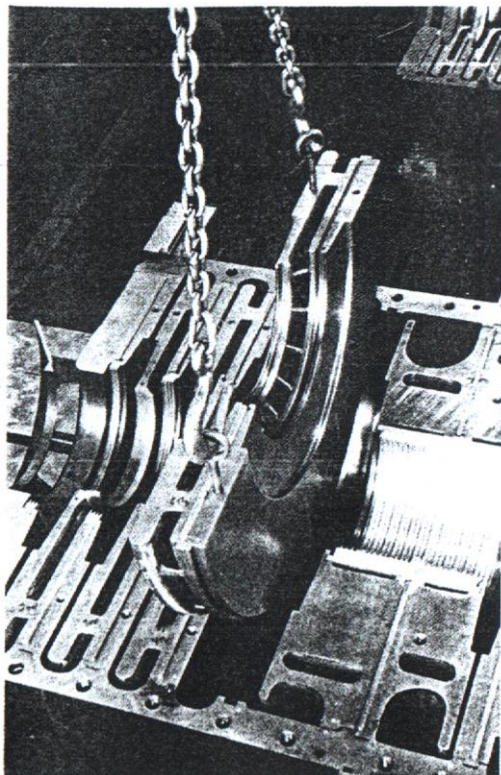


Figure 1-10. A diaphragm half being lowered in place into a centrifugal compressor casing. Photo courtesy of Elliott Company, Jeannette, PA.

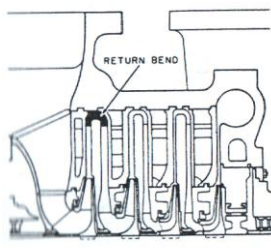


Figure 1-11. The return bend.

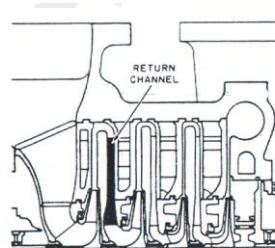


Figure 1-12. The return channel.

هنگامي که گاز از اولين پروانه عبور کرد وارد پخش کننده مي شود که به شکل مشخصي با افزايش شعاعي سطحي که گاز در آن جريان دارد سرعت گاز را کاهش مي دهد. انرژی جنبشي اضافه شده به گاز بوسيله پروانه به افزايش فشار گاز تبديل مي شود و نهايتاً اين افزايش سرعت در پخش کننده کاهش مي يابد.

بعد از خروج از پخش کننده گاز وارد زانوي بازگشت مي شود که گاز را به کانال بازگشت هدايت مي کند و نهايتاً وارد پروانه بعدي مي شود. کانال هاي بازگشت داراي پروانه هاي راهنما هستند و حرکت چرخشي گاز را که به خاطر حرکت شعاعي در پروانه ها ايجاد شده از بين مي برند.

هنگامي که گاز از آخرين پخش کننده عبور کرد وارد حلقه خروجي^{۲۴} (شکل ۱-۱۳) مي شود که گاز را مستقيماً وارد نازل خروجي^{۲۵} و از آنجا وارد سيستم لوله کشي مي کند.

^{۲۴} Discharge volute

^{۲۵} Discharge nozzle

نحوه طراحی مجرای ورودی گاز عاملی مهم در ضریب عملکرد هر مرحله از فشرده کردن گاز است.

هر مرحله فشرده سازی به ترتیب شامل مراحل زانوی بازگشت، کانال بازگشت، پروانه و پخش کننده است. ضریب عملکرد هر مرحله تنها از توانایی پروانه در افزایش سرعت گاز تأثیر نمی پذیرد بلکه یکنواختی افزایش سطح پائین دست جریان نیز در این ضریب عملکرد موثر است.^{۲۶}

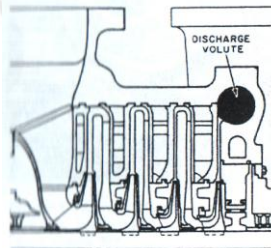


Figure 1-13. The discharge volute.

• انواع محفظه^{۲۷}

کمپرسورهای سانترفیوژ با دو نمونه محفظه ساخته می شوند، محفظه دو نیمه افقی^{۲۸} (شکل ۱-۱۴) و محفظه های دو نیمه عمودی^{۲۹} یا بشکه ای^{۳۰} (شکل ۱-۱۵). محفظه های دو نیمه افقی در راستای محور روتور به دو نیم تقسیم می شوند و در خط میانی به یکدیگر پیچ می شوند. این نوع از محفظه ها معمولاً به وسیله یک نازل ورودی از بالا^{۳۱} تجهیز می شوند، همانطور که در شکل ۱-۱۴ نشان داده شده است حالت دوم، تجهیز محفظه با یک نازل ورودی از پائین است. اگرچه بعضی از نازل های متوسط برای جلوگیری از دخالت نازل^{۳۲} در کنار محفظه قرار می گیرند. نازل هایی که دهانه آنها از پائین محفظه دو نیمه افقی باز می شود نسبت به پایه نگهدارنده محفظه ارجحیت دارند.^{۳۳} اگر یک کمپرسور افقی با ورودی نازل از پائین سفارش داده شود، می توان محفظه کمپرسور را باز کرده و روتور را بوسیله یک جرثقیل از بالا خارج کرد بدون آنکه سیستم لوله کشی کمپرسور برهم زده شود. در اینحالت فضای مورد نیاز برای پایه نگهدارنده کمترین حالت خود است.^{۳۴} در فشارهای نزدیک ۳۵۰۰ kpa (۵۰۰ psi) محفظه های افقی دچار نشستی می شوند. در نتیجه پتانسیل گاز خروجی از فرآیند، افزایش می یابد.^{۳۵} برای فشارهای بالاتر، سازندگان از کمپرسورهای عمودی یا بشکه ای استفاده می کنند.^{۳۶} (فشار ضعیف^{۳۷} حقیقی کمپرسور به سازنده و اندازه کمپرسور بستگی دارد. فشار ضعیف برای کمپرسورهای بزرگ کمتر و برای کمپرسورهای کوچک بیشتر است.)

^{۲۶} But also by the flow pattern entering the impeller and the uniformity of the area increase downstream

^{۲۷} Types of casing

^{۲۸} Horizontally split casing

^{۲۹} Vertically split

^{۳۰} Barrel casing

^{۳۱} Up-nozzle

^{۳۲} Avoid nozzle interference

^{۳۳} The down-nozzle horizontally split casing is preferable from a maintenance standpoint

^{۳۴} Space requirements for maintenance are there for minimal

^{۳۵} Resulting in an increased potential for the escape of process gas.

^{۳۶} Above this levels manufacturers will resort to vertically split, or barrel, compressors

^{۳۷} Pressure split

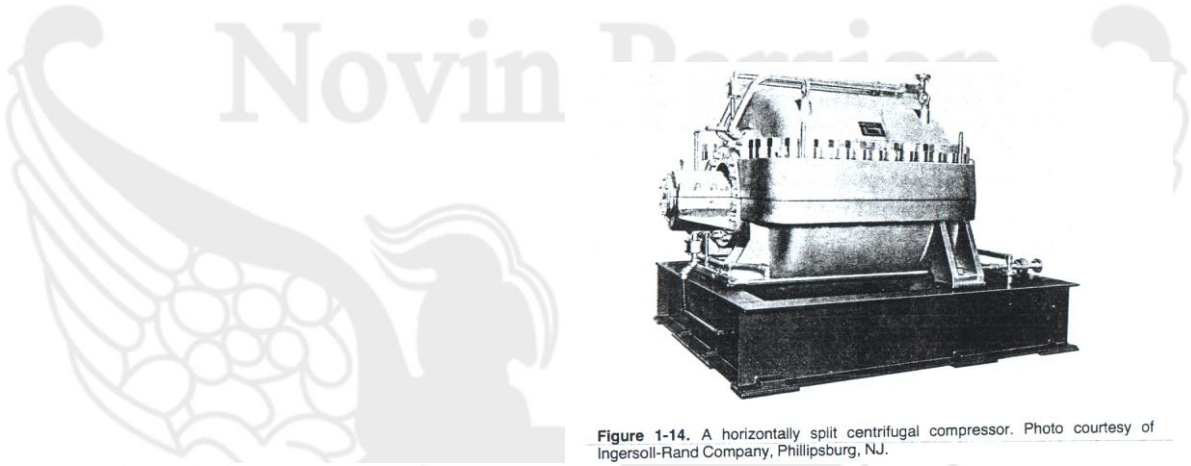


Figure 1-14. A horizontally split centrifugal compressor. Photo courtesy of Ingersoll-Rand Company, Phillipsburg, NJ.

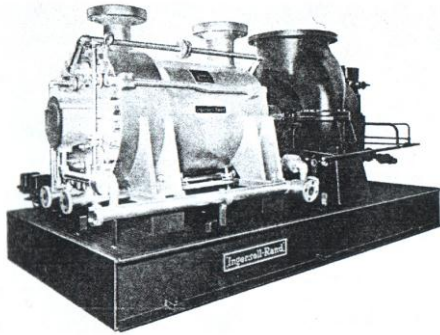


Figure 1-15. A vertically split centrifugal compressor. Photo courtesy of Ingersoll Rand Company, Phillipsburg, NJ.

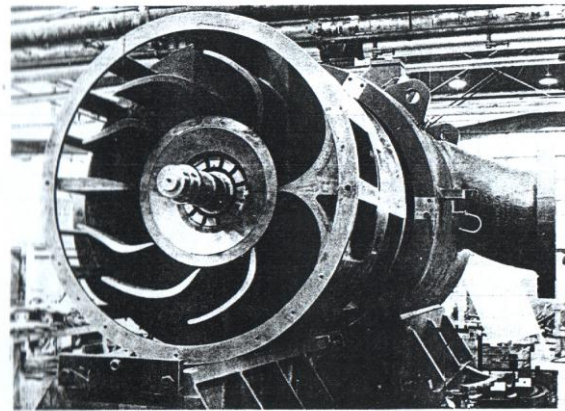


Figure 1-16. Vertically split centrifugal compressor showing method of removal of internals. Photo courtesy of Dresser Clark Division, Dresser Industries Incorporated, Olean, NY.

در این نوع محفظه ها روتور در يك سيلندر كامل قرار مي گيرد. خارج کردن روتور از این محفظه ها بوسیله لغزاندن آن از انتهاي كمپرسور (يا ديافراگم يا محفظه داخلي) به خارج بشكه^{۳۸} عملي مي شود. (شكل ۱-۱۶) در نتیجه باید فضای کافی برای خارج کردن و نگهداري محل روتور موجود باشد. شكل هاي ۱-۱۷، ۱-۱۸، و ۱-۱۹ يك كمپرسور سانترفیوژ چند تکه را به ترتیب در مراحل ساخت، امتحان و نصب در محل نشان مي دهند.

^{۳۸} Barrel

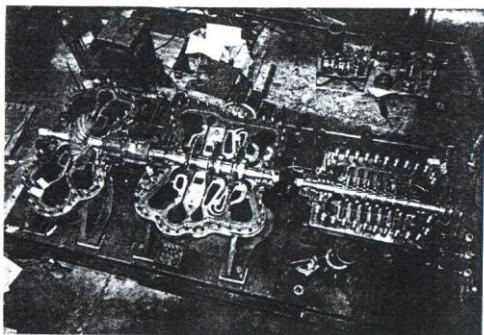


Figure 1-17. A multi-body centrifugal compressor train undergoing assembly. Photo courtesy of Ingersoll-Rand Company, Phillipsburg, NJ.

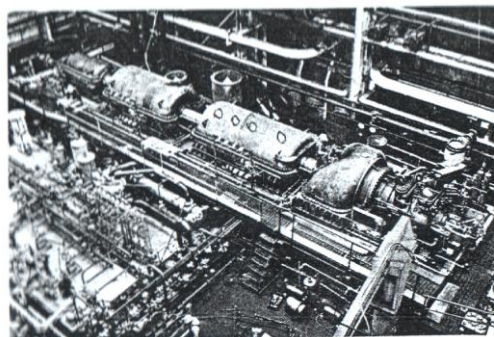


Figure 1-18. A large turbine-driven, multi-body centrifugal compressor train undergoing testing. Photo courtesy of Elliott Company, Jeannette, PA.

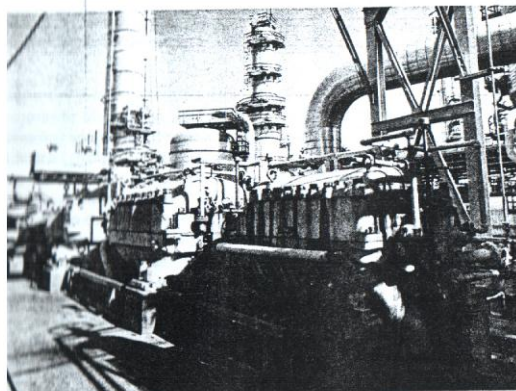


Figure 1-19. A large turbine-driven, multi-body centrifugal compressor train installed at job site. Photo courtesy of Dresser Clark Division, Dresser Industries, Inc., Olean, NY.

• ترتیب قرارگیری^{۳۹}

راه های مختلف برای ترتیب قرارگیری کمپرسورهای سانترفیوژ موجود است، ابتدائی ترین ترتیب قرارگیری، کمپرسورهای سری^{۴۰} است (شکل ۲۰-۱) این پیکربندی تنها ۲ نازل دارد، یک ورودی و یک خروجی.

گاز از نازل ورودی وارد شده و از میان یک یا چند مرحله فشرده سازی عبور می کند و از میان نازل خروجی وارد سیستم لوله کشی می شود. وقتی دبي مورد نیاز زیاد و هد مورد نیاز کم باشد سازندگان معمولاً اندازه کمپرسور را بوسیله تجهیز آن به جریان دوطرفه کاهش می دهند.^{۴۱} (شکل ۲۱-۱) در این پیکربندی جریان ورودی به دو قسمت مساوی تقسیم می شود که هر کدام از ورودی ها در انتهای کمپرسور قرار دارد. گاز از میان بیشتر از چهار مرحله فشرده سازی عبور می کند و در لوله خروجی جمع می شود و نهایتاً از میان نازل خروجی در وسط کمپرسور خارج می شود. این پیکربندی باعث صرفه جویی در هزینه می شود، قطر بیرونی محفظه کوچکتر از مقدار لازم در حالت یک جریان ورودی است.^{۴۲} در این نوع پیکربندی حجم کمپرسور تا حدود نصف کاهش پیدا میکند.^{۴۳} هر چند، سازندگان با استفاده از این نوع محفظه باعث کاهش پتانسیل کار خروجی می شوند. این ترتیب قرارگیری باعث کاهش کار خروجی تا نصف حالت

^{۳۹} Arrangements

^{۴۰} Straight-through

^{۴۱} When flow requirements are large and head requirements low, the manufacturer can often reduce the compressor size by employing the double-flow arrangement

^{۴۲} This configuration saves cost, as the out-side diameter of the casing is smaller than would be necessary with the single-flow arrangement

^{۴۳} In effect, this approach doubles the capacity of the compressor casing

کمپرسورهاي سري مي شود. نتايج اين عمل در فصل تخمين کمپرسورهاي سانتریفیوژ^{۴۴} بیشتر بررسی مي شود.

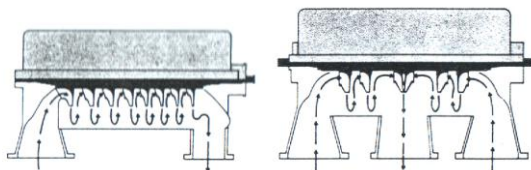


Figure 1-20. Schematic of a straight-through centrifugal compressor.

Figure 1-21. Schematic of a double-flow centrifugal compressor.

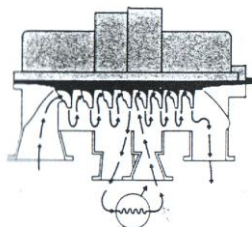


Figure 1-22. Schematic of a single inter-cooled centrifugal compressor.

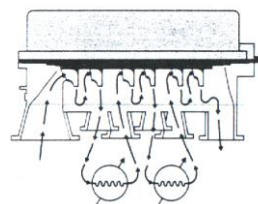


Figure 1-23. Schematic of a double inter-cooled centrifugal compressor.

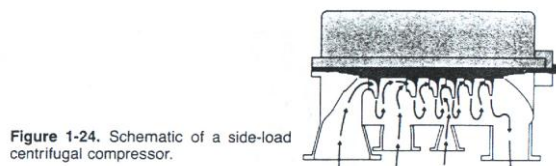


Figure 1-24. Schematic of a side-load centrifugal compressor.

براي موقعیت هايي که حرارت گاز در کمپرسور بسیار بالا مي رود يك پایه هدف مند مي تواند حرارت را تخلیه کند و در حقیقت با سرد کردن گاز در قسمتي از چرخه فشرده سازي باعث افزایش کارايي کمپرسور مي شود. يك راه انجام دادن اين کار استفاده از دو محفظه کمپرسور و خنک کننده در میان آنهاست هر چند سازندگان کمپرسور مي توانند يك کمپرسور با خنک کننده داخلي تهیه کنند. (شکل ۲۲-۱) طبق اين ترتیب قرارگيري در واقع دو کمپرسور در يك محفظه قرار دارد. گاز از مجراي ورودی^{۴۵} وارد کمپرسور مي شود، از میان چند مرحله فشرده سازي عبور مي کند و از نازل خروجي مياني وارد خنک کننده خارجي مي شود بعداز خنک شدن بوسیله سیستم لوله کشي گاز را به میانه محفظه کمپرسور باز مي گرداند جايي که از چند مرحله فشرده سازي دیگر عبور مي کند و نهایتاً گاز وارد نازل خروجي و از آنجا وارد سیستم لوله کشي مي شود.

در فرآیندهاي فشرده سازي گازهاي با وزن مولكولي زياد حرارت زودتر از گازهاي با وزن مولكولي كم بالا مي رود. در نتیجه اضافه کردن نقاط خنک سازي براي گازهاي سنگين گاهي اوقات ضروري است براي اين موارد سازندگان مي توانند از دو خنک کننده داخلي براي خنک کردن گاز استفاده کنند تا بتوانند فرآیند فشرده سازي را در يك محفظه انجام دهند (شکل ۲۳-۱) (البته بسته به هد مورد نیاز از کمپرسور امکان دارد که اين کار عملي نباشد). در اين ترتیب قرارگيري گاز از محفظه کمپرسور در دو ناحیه مياني براي خنک سازي خارج مي شود. هر خنک کننده خارجي نیازمند اضافه کردن دو نازل بر روي محفظه است و دیافراگم در حالي که خنک کننده لازم باشد فضاي محوري بیشتری نسبت به دیافراگم معمولي نیاز دارد. در نتیجه قرار گرفتن قطعات کمپرسور براي خنک سازي داخلي باعث افزایش طول روتور در بين مراکز ياتاقان ها مي شود.

^{۴۴} Centrifugal compressor estimates

^{۴۵} Inlet flange

سرعت بحرانی روتور فاصله ماکزیمم بین مرکز دو یاتاقان را محدود می کند، پس با محدودیت فاصله یاتاقان ها، برخورد نازل ها و یا فضای مورد نیاز برای پروانه ها می تواند مشکل ساز باشد اگر تعداد زیادی خنک کننده اضافه شود. پس دو نقطه خنک کننده بیشترین تعداد ممکن خنک کننده در یک کمپرسور تک محفظه ای می باشد.

بعضی از فرآیندها، مانند فرآیندهای یخچال ها نیازمند چند مرحله فشرده سازی مختلف هستند.^{۴۶} سازنده ها می توانند اینکار را با کمپرسورهای بارگذاری از کنار^{۴۷} و یا جریان کناری^{۴۸} انجام دهند (شکل ۱-۲۴)

در این ترتیب قرارگیری^{۴۹} جریان اصلی از نازل ورودی وارد کمپرسور می شود. در سطح فشار مورد نیاز، جریان گاز دیگری از نازل میانی وارد کمپرسور می شود، دو جریان با هم ترکیب شده و وارد مرحله بعد فشرده سازی می شوند.

سازندگان، جریان های کناری را به دو روش تزریق می کنند (شکل ۱-۲۵)، وقتی که جریان کناری کوچک باشد جریان کناری ممکن است از میان هسته دیافراگم تزریق شود ولی اگر جریان زیاد باشد (بیشتر از ۱۰٪ جریان اولیه) جریان کناری ممکن است در فضای یک مرحله خالی تزریق شود.

روش دوم برای تزریق کارایی بیشتری دارد، در این روش سازنده می تواند فشار را کاهش دهد و ترکیب شدن دو جریان را بهتر کنترل کند (به منحنی هایی که نشانگر جریان و سطح ورودی و نحوه ترکیب در شکل ۱-۲۵ توجه کنید)^{۵۰}

این شیوه ارزان تر و مهمتر است و طول روتور را به اندازه حالت قبل افزایش نمی دهد.^{۵۱} کمپرسورهایی که از یک محفظه تشکیل شده اند معمولاً می توانند از سه جریان کناری تشکیل شوند. تنها تداخل نازل ها و فضای محوری مورد نیاز برای پروانه ها و فضای مورد نیاز برای ترکیب شدن گازها می تواند تعداد جریان های کناری را محدود کند و در محفظه هایی که دارای خنک کننده های داخلی هستند محدودیت اصلی بستگی به سرعت بحرانی روتور دارد. استخراج گاز از میانه های فرآیند فشرده سازی تنها با این ترکیب کمپرسور امکان پذیر می باشد. در این مورد، مقداری گاز از نازل میانی خارج می شود و وارد سیستم لوله کشی می شود و مابقی گاز در مراحل بعدی فشرده سازی جریان پیدا می کند. این نکته می تواند جالب باشد که بعضی از خنک کننده ها در محل جریان های کناری قرار می گیرند.^{۵۲}

این ترکیب اتفاق می افتد چون جریان خارج شده از نازل میانی دمایی کمی بالاتر از دمایی اشباع دارد که باز هم از جریان اصلی خنک تر است و جریان اصلی به خاطر فشرده سازی گرم تر می شود.^{۵۳} ترکیب دو گاز دمایی کمتری نسبت به جریان اصلی دارد. در جریان با

^{۴۶} Require several pressure levels from the compressor

^{۴۷} Side-load

^{۴۸} Side-stream

^{۴۹} Arrangement

^{۵۰} (note the contoured flow pattern and generous area for side-load entering and mixing in figure ۱-۲۵)

^{۵۱} The former is less expensive and, more important, does not lengthen the rotor as does the approach

^{۵۲} It maybe interesting to note that some cooling takes place in a side-load compressor

^{۵۳} The phenomenon occurs because the stream injected at an intermediate nozzle is normally at or slightly above the saturation temperature and therefore cooler than the main stream, which was heated by compressor

فشارهاي بالا جبران نيروي محوري روتور بسيار دشوار مي شود مخصوصاً در جريان هاي آشفته.^{۵۴}

سازندگان مي توانند مشكل نيروهاي محوري بزرگ روتور را با تركيب پشت به پشت كمپرسورها حل كنند. (شكل ۱-۲۶) در اين نوع تركيب، جريان گاز^{۵۵} از فلنج ورودي^{۵۶} وارد مي شود و پس از عبور از چند مرحله فشرده سازي از نازل خروجي مياني خارج مي شود، سپس گاز از نازل ورودي كه در انتهاي ديگر كمپرسور است وارد مي شود. (اين ورود و خروج جريان گاز مي تواند در داخل و يا خارج محفظه كمپرسور انجام شود.) بعد از چند مرحله فشرده سازي، جريان گاز از نازل خروجي كه در وسط محفظه كمپرسور قرار دارد خارج مي شود. در اين نوع تركيب جهت نيمي از پروانه ها به يك جهت و جهت نيمه ديگر در سمت مخالف مي باشد. نيروي محوري كه از دو روتور وارد مي شود نيمي از نيروي هم را خنثي مي كنند، كه به اين شيوه قسمتي از نيروي محوري خنثي مي شود.^{۵۷} هنگامی كه لازم باشد، در دما و فشار بالا، جريان گاز مي تواند از يك خنك كننده خارجي در مابين نازل خروجي مياني و نازل ورودي دوم عبور داده شود.

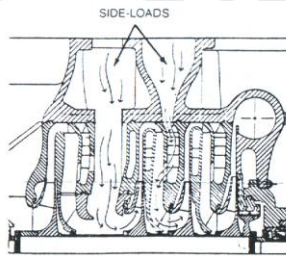


Figure 1-25. Two approaches for injecting side-loads: the blank stage (left) and the diaphragm core (right).

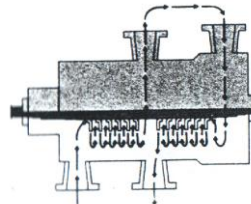


Figure 1-26. Schematic of a back-to-back centrifugal compressor.

• كمپرسورهاي سانترفیوژ تك مرحله اي^{۵۸} در مواردی كه نسبت فشار و بنا بر اين هد مورد نیاز كم باشد كمپرسورهاي سانترفیوژ تك مرحله اي مورد استفاده قرار مي گیرند (شكل هاي ۱-۲۷ و ۱-۲۸)
 كمپرسورهاي تك مرحله اي معمولاً براي هدهاي حداكثر تا $40 \frac{kN.m}{kg}$ ($15000 \frac{ft-lbf}{lbm}$) مورد استفاده قرار مي گیرند. و بعضي سازندگان گنجایش را تا $90 \frac{kN.m}{kg}$ ($30000 \frac{ft-lbf}{lbm}$) افزایش مي دهند.

براي بدست آوردن مقدار $40 \frac{kN.m}{kg}$ ($15000 \frac{ft-lbf}{lbm}$) بهره وري در استفاده از يك كمپرسور تك مرحله اي براي هد آدياباتيك نسبت فشار براي استفاده هاي هوا تقريباً برابر ۱,۶ است.^{۵۹} بيشتر استفاده كمپرسورهاي تك مرحله اي سانترفیوژ در فشارهاي پايين است.

^{۵۴} In high pressure applications, compensation for rotor thrust becomes extremely difficult, especially during process upset

^{۵۵} Gas process

^{۵۶} Suction flange

^{۵۷} The thrust from the two rotor halves oppose each other, resulting in partial thrust compensation

^{۵۸} The single-stage centrifugal compressor

^{۵۹} To gain an appreciation for the use of the single-stage compressor, 15000 ft-lbf/lbm of adiabatic head equates to a pressure ratio of approximately ۱,۶ for air applications

هرچند، مي توان فرآيندهاي كمپرسورها را در فشارهاي پايين انجام داد ولي اكثرأ ترجيح داده مي شود كه در فشارهاي بالا به خواسته هاي خود برسند.

كمپرسورهاي سانترفيوژ تك مرحله اي از نظر شكل و طرز كار بسيار شبیه پمپ هاي سانترفيوژ تك مرحله اي هستند. پروانه بيرون از فاصله دو ياتاقان شعاعي كه روبروي موتور نصب شده اند قرار مي گيرد. (طراحي كمپرسورهاي تك مرحله اي با كمپرسورهاي چند مرحله اي بسيار متفاوت است. توجه به كمپرسورهاي چند مرحله اي شكل هاي ۱-۱ تا ۱-۴ نشان مي دهد كه تمام پروانه ها در فاصله بين دو ياتاقان قرار دارند.)

پخش كننده و مجراي دايره اي شكل كه سرعت گاز را کاهش مي دهند و انرژي جنبشي را به فشار تبديل مي كنند، قسمت هاي اصلي و جدائي ناپذير بدنه هستند.

گاز به طور محوري^{۶۰} وارد كمپرسور مي شود (محوري نسبت به راستاي شافت) و در اطراف پروانه جريان پيدا مي كند. پروانه فشار استاتيكي و انرژي جنبشي گاز را افزايش مي دهد، بعد از ترك كردن پروانه گاز از پخش كننده و مجراي مارپيچ اطراف پروانه عبور داده مي شود كه به خاطر عبور از اين قسمت ها سرعت گاز كم مي شود و فشار آن افزايش پيدا مي كند. و نهايتاً گاز از نازل خروجي عبور داده مي شود كه آنرا با چند درجه انحنا به سمت خارج كمپرسور قرار مي دهند تا به سيستم لوله كشي منطبق شود.^{۶۱}

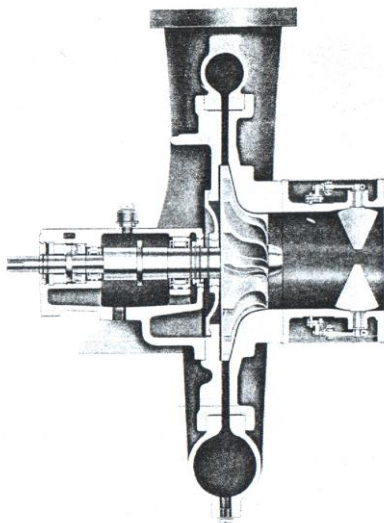


Figure 1-27. Cutaway of the single-stage centrifugal compressor. Photo courtesy of Roots Operations, Dresser Industries, Inc., Connersville, IN.

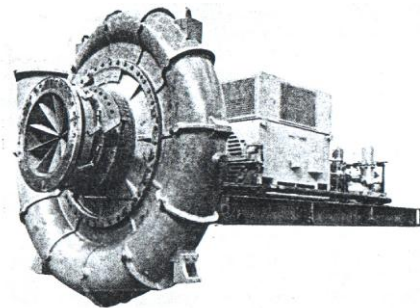


Figure 1-28. A motor-driven single-stage centrifugal compressor. Photo courtesy of Roots Operations, Dresser Industries, Inc., Connersville, IN.

^{۶۰} axially

^{۶۱} The gas then exits the discharge nozzle, which can be oriented in several angles to match process piping considerations

