

علائم و روش‌های عیب‌یابی افت فشار در سیستم‌های برودتی

مبانی: در هر سیکل تبرید دو ناحیه فشاری مجزا وجود دارد: فشار مکش (Low Side) از شیر انبساط تا ورودی کمپرسور، و فشار دیسچارج (High Side) از خروجی کمپرسور تا شیر انبساط. طبق معادله دارسی-وایسباخ، افت فشار در لوله با توان دوم سرعت جریان مبرد رابطه مستقیم دارد؛ یعنی لوله با قطر کوچک‌تر از استاندارد، افت فشار را به شدت افزایش می‌دهد.

علل افت فشار مکش:

- کمبود شارژ گاز مبرد ناشی از نشتی در اتصالات فلز، لحیم‌کاری‌های ضعیف یا خوردگی کویل. این افت معمولاً تدریجی است (طی هفته‌ها یا ماه‌ها)، برخلاف افت ناگهانی که نشانه انسداد است.
- انسداد فیلتر درایر بر اثر اشباع شدن از رطوبت و رسوب؛ قابل تشخیص با لمس دمایی (ورودی گرم، خروجی سرد یا یخ‌زده).
- گیر کردن سوزن شیر انبساط در حالت بسته، ناشی از ورود ناخالصی یا خرابی بالب حسگر.
- یخ‌زدگی سطحی کویل اواپراتور که مانند عایق عمل کرده و تبخیر مبرد را مختل می‌کند؛ چرخه‌ای معیوب که اگر متوقف نشود به انسداد کامل جریان هوا می‌انجامد.

علل افت فشار دیسچارج:

- نشتی داخلی سوپاپ‌های کمپرسور (سایش یا شکستگی تیغه)، که گاز متراکم‌شده را به مسیر مکش برمی‌گرداند؛ این حالت هم‌زمان فشار دیسچارج را کم و فشار مکش را زیاد می‌کند.
- کاهش راندمان حجمی کمپرسور با افزایش سن، به دلیل بازشدن فاصله بین پیستون و سیلندر یا سایش رینگ‌ها.
- دمای غیرعادی پایین هوای ورودی به کندانسور که تفاضل فشار لازم برای عملکرد صحیح شیر انبساط را مختل می‌کند.

علائم قابل مشاهده در محل: کاهش ظرفیت سرمایش، یخ‌زدگی روی لوله مکش یا بدنه کمپرسور، صدای هیس یا سوت در شیر انبساط و اتصالات، افزایش زمان کارکرد پیوسته کمپرسور، فوم‌کردن روغن در دیده‌بان کارتر هنگام استارت، و نوسان سوزن گیج. ترکیب چند علامت هم‌زمان دقت تشخیص را بالا می‌برد؛ مثلاً هم‌زمانی صدای هیس با یخ‌زدگی لوله مکش، گیر کردن شیر انبساط را تقویت می‌کند.

روش تشخیص با جدول PT: مقایسه فشار خوانده شده با جدول استاندارد فشار-دمای رفریجرانت (R22)، R410A، R404A سریع ترین راه تفکیک افت طبیعی (ناشی از دمای محیط) از افت عیب دار است:

- افت هر دو فشار همزمان → کمبود شارژ/نشتی
- افت مکش + افزایش دیسچارج → انسداد فیلتر یا شیر انبساط بسته
- افت دیسچارج + افزایش مکش → نشتی سوپاپ کمپرسور
- افت ناگهانی مکش با یخ زدگی موضعی → گیر کردن شیر انبساط

پروتکل گام به گام تعمیر:

۱. ثبت داده های اولیه (فشار، دما، آمپر) پیش از هر مداخله
۲. مقایسه سیستماتیک با جدول PT
۳. تست نشتی جامع (دتکتور الکترونیکی، کف صابون، یا نیتروژن خشک برای پروژه های بزرگ) پیش از هرگونه شارژ
۴. ترمیم، وکیوم تا حداقل ۵۰۰ میکرون، و شارژ دقیق بر اساس وزن پلاک (نه صرفاً فشار گیج)
۵. پایش نهایی ۳۰-۴۵ دقیقه در بار کامل برای تایید پایداری فشار، سوپرهیت، ساب کول و آمپر

اشتباهات رایج: شارژ گاز بدون یافتن علت ریشه ای (فقط پنهان کردن موقت مشکل)، اشتباه گرفتن افت فشار گذرای لحظه استارت با افت مزمن، و استفاده از گیج فشار قدیمی یا کالیبره نشده که اعداد نادرست نشان می دهد.

تفاوت در سیستم های صنعتی: چیلرهای چند کمپرسوره به افت فشار جزئی حساس ترند و نیاز به پایش پیوسته هر مدار دارند. در پروژه های VRF با لوله کشی طولانی، افت فشار ناشی از طول مسیر و اختلاف ارتفاع باید در طراحی لحاظ شود. در سردخانه های زیر صفر، حساسیت به افت فشار بیشتر است چون فشار مکش ذاتاً پایین است.

پیشگیری: تعویض دوره ای فیلتر درایر (هر ۲-۳ سال)، شست و شوی منظم کوئل ها، بازرسی فصلی اتصالات با دتکتور نشتی، ثبت و مقایسه دوره ای داده های فشار و آمپر، و آنالیز دوره ای روغن کمپرسور برای تشخیص زودهنگام سایش.