

راهنمای محاسبه ظرفیت سردخانه صنعتی

در این راهنما «ظرفیت سردخانه صنعتی» را به صورت مرحله به مرحله و قابل محاسبه تعیین می کنیم. خروجی نهایی معمولاً به دو صورت بیان می شود:

- ظرفیت تبرید مورد نیاز سامانه در kW یا TR برای انتخاب کمپرسور/کندانسینگ یونیت/اوپراتور.
- حجم مفید و ناخالص اتاق سرد برای چیدمان کالا.

اعداد را با واحدهای استاندارد و فرمول های صریح ارائه می کنیم تا بتوانید همان لحظه بار سرمایشی و توان الکتریکی تجهیزات مورد استفاده جهت خنک کاری **سردخانه صنعتی** را برآورد کنید.

تعریف سناریوی بهره برداری

- نوع کاربری: پیش سردکن، سردخانه بالای صفر، زیر صفر، انجماد تونلی/تماسی، نگهداری طولانی مدت.
- دمای طرح داخل اتاق T_{room} : بر حسب درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی هدف ϕ_{room} .
- شرایط محیطی طرح کندانسور T_{amb} : تابستانی سایت.
- الگوی ورود کالا: پیوسته یا دسته ای، درصد روزانه m_{in}/day .
- وضعیت بسته بندی، پالت بندی، ارتفاع مفید چیدمان، تعداد و ابعاد درگاه ها، نوع عایق بندی و نرخ بازشدن در.

این گام تعیین کننده ضرایب اختلاف دما، ضرایب اطمینان و انتخاب تجهیزات است.

برآورد حجم مفید و ناخالص اتاق

- محاسبه حجم مفید:

$$V_{net} = N_{pallet} \times V_{per_pallet} \times (1 + \text{درصد فضاهای لازم بین پالت ها})$$

یا براساس جرم ذخیره سازی:

$$V_{net} = m_{storage} / \rho_{bulk}$$

- تبدیل به حجم ناخالص:

$$V_{gross} = V_{net} / \eta_{storage}$$

$\eta_{storage}$ معمولاً ۰,۴۵ تا ۰,۶۵ است بسته به تعداد راهروها، ارتفاع مفید، و تجهیزات جابجایی.

۳. ابعاد سازه ای را با رعایت فاصله از سقف برای کویل ها، فاصله از دیوار برای گردش هوا، و کفسازی تعیین کنید.

تعیین دماهای تبخیر و تقطیر

- اختلاف دمای اواپراتور: $TD_{evap} = T_{room} - T_{evap}$
مقادیر راهنما: 5-7K برای بالای صفر، 8-12K برای زیر صفر، 12-16K برای انجماد سریع.
- اختلاف دمای کندانسور: $TD_{cond} = T_{cond} - T_{amb}$
مقادیر راهنما: 10-15K برای هوایی، 6-10K برای آبی/تبخیری.
این اختلاف ها روی COP و توان کمپرسور اثر مستقیم دارند.

بار انتقال حرارت از پوسته

برای هر مؤلفه i از پوسته:

$$Q_{tr,i} = U_i \times A_i \times \Delta T_i \times F_{age} \times F_{bridge}$$

که در آن:

- U_i بر اساس نوع پانل. راهنما PU: ضخامت ۱۰۰ mm $\rightarrow U \approx 0.22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ | ضخامت ۱۵۰ mm $\rightarrow U \approx 0.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- $\Delta T_i = |T_{out,design} - T_{room}|$ با لحاظ لایه های مجاور گرم/سرد.
- F_{age} برای کهنگی عایق ۱,۰۵-۱,۱۵. برای پل حرارتی در اتصالات ۱,۰۵-۱,۱۰.

$$مجموع: Q_{tr} = \sum Q_{tr,i}$$

بار نفوذ هوا از درگاه ها

تقریب مهندسی با روش تبادل جرمی هوا:

$$Q_{inf} = \rho_{air} \times V_{inf} \times (h_{out} - h_{in})$$

V_{inf} را می توان با «تعویض هوا در ساعت» برآورد کرد:

$$V_{inf} = ACH \times V_{room} / 3600$$

راهنما برای ACH:

- با پرده هوا یا نوار PVC و تردد کم: ۰,۵-۱,۵ /h
- بدون محافظ و تردد لیفتراک: ۵-۲۰ /h

برای در کشویی بزرگ با باز شدن N_{open} بار در ساعت و مساحت A_{door} ، می توان از جداول تجربی استفاده کرد؛ در نبود داده، از بازه های فوق با دقت محافظه کارانه استفاده کنید.

بار داخلی تجهیزات و انسان

- روشنایی: $Q_{lux} = P_{lighting} (W) \times 1.0$
- فن ها و موتورهای داخل اتاق: تمام توان مکانیکی نهایتاً به گرما تبدیل می شود.
- افراد: $70-100 W$ برای محیط های سرد، $120-200 W$ برای محیط های گرم تر.

$$Q_{internal} = P_{lighting} + \sum P_{fans} + \sum P_{motors} + N_{people} \times q_{person}$$

بار محصول در نگهداری (بدون تغییر دما)

اگر کالا با دمای یکسان وارد و صرفاً نگهداری می شود:

$$Q_{prod,hold} = m_{storage} \times q_{respiration}$$

برای محصولات تازه، $q_{respiration}$ تابع نوع محصول و دما است. اگر داده ای ندارید، برای میوه/سبزی تازه در صفر تا پنج درجه سانتیگراد از $10-60 W/ton$ به صورت محافظه کارانه استفاده می شود. برای مواد گوشتی بسته بندی شده معمولاً ناچیز در نظر گرفته می شود.

بار خنک سازی اولیه و انجماد محصول

اگر کالا با دمای بالاتر وارد می شود یا نیاز به انجماد دارد، بار زمانی محاسبه و روی ظرفیت مؤثر روزانه تبدیل می شود.

الف) سرد کردن از T_{in} به T_{room} بدون تغییر فاز:

$$Q_{sens} = m_{in} \times c_p \times (T_{in} - T_{room}) / t_{pull}$$

c_p معمولی: آب/نوشیدنی $\approx 4.18 kJ/kg \cdot K$ ، گوشت ≈ 3.0 ، میوه ≈ 3.3 ، لبنی ≈ 3.6 .

ب) عبور از صف درجه سانتیگراد و انجماد:

$$Q_{lat} = m_{in} \times h_{fus} / t_{freeze}$$

h_{fus} برای آب در مواد غذایی $\approx 250-280 kJ/kg$ بسته به ترکیب.

پس از انجماد، سرد کردن تا دمای نگهداری:

$$Q_{post} = m_{in} \times c_{p,frozen} \times (0 - T_{hold}) / t_{cool}$$

$c_{p,frozen}$ معمولاً $1.3-1.8 kJ/kg \cdot K$

نکته مهم: t_{pull} ، t_{freeze} و t_{cool} باید با نرخ تولید و برنامه ریزی شیفتم هماهنگ شوند. اگر ورود دسته ای است، ممکن است پیک بار را بر ظرفیت نامی تحمیل کند.

بار ذوب برفک و چرخه دیفراست

- دیفراست طبیعی در بالای صفر: ۲-۵٪ از مجموع Q_{evap} .
- دیفراست گاز/داغ/الکتریکی برای زیر صفر: ۸-۱۵٪ از مجموع.

می توان به صورت ساده از ضریب $F_{defrost}$ روی جمع بارهای اواپراتوری استفاده کرد.

جمع بندی بارها و ضرایب اطمینان

$$Q_{total} = Q_{tr} + Q_{inf} + Q_{internal} + Q_{prod,hold} + Q_{pull} + Q_{freeze} + Q_{post}$$

- F_{safety} : برای عدم قطعیت ها ۱,۰۵-۱,۱۵
- $F_{runtime}$: برای درصد کارکرد مؤثر کمپرسور در طول شبانه روز. اگر کمپرسور ۲۰ h در شبانه روز کار کند :
 $F_{runtime} = 24/20 = 1.2$

$$Q_{design} = Q_{total} \times F_{defrost} \times F_{safety} \times F_{runtime}$$

تبدیل واحد:

$$1 \text{ TR} = 3.517 \text{ kW}$$

$$\text{TR} = Q_{design}(\text{kW}) / 3.517$$

برآورد توان کمپرسور و COP سیستم

توان کمپرسور تقریبی:

$$P_{comp} \approx Q_{evap} / \text{COP}$$

COP تابع T_{evap} و T_{cond} است. برای راهنما:

بالای صفر با کندانسور تبخیری: $\text{COP} \approx 2.5-3.5$

زیر صفر با کندانسور هوایی: $\text{COP} \approx 1.5-2.5$

توان الکتریکی کل با احتساب فن ها و پمپ ها:

$$P_{total} \approx P_{comp} + \sum P_{fans} + \sum P_{pumps} + P_{controls}$$

انتخاب تجهیزات کلیدی

- اواپراتور: بر اساس Q_{evap} و TD_{evap} ، با اصلاح برای رطوبت و یخ زدگی. سرعت هوا و نرخ تعریق را کنترل کنید تا ϕ_{room} حفظ شود.
- کمپرسور/کندانسینگ یونیت: بر اساس ظرفیت در T_{evap} و T_{cond} انتخاب شود، نه ظرفیت نامی مرسوم کاتالوگ.
- کندانسور: تطبیق با دمای طرح محیط، کنترل سرعت فن و ظرفیت مازاد برای روزهای گرم.
- کنترل رطوبت: انتخاب TD و تعداد دفعات دیفراست و در صورت لزوم رطوبت زن/خشک کن.
- استندبای: برای سردخانه های حیاتی معمولاً $N+1$ یا حداقل ۲۰-۳۰٪ ظرفیت رزرو.

یادداشت های مهم طراحی

- انتخاب ACH و نفوذ هوا حساس ترین پارامتر عدم قطعیت است. استفاده از پرده هوا، نوار PVC ، پیش سالن و در سریع السیر می تواند Q_{inf} را ۳۰-۷۰٪ کاهش دهد.
- TD_{evap} کوچک تر کیفیت رطوبتی بهتری می دهد اما ظرفیت همان اواپراتور را کاهش می دهد. توازن بین ظرفیت و خشک نشدن محصول را رعایت کنید.
- دیفراست بیش از حد، هم بار نهانی اضافه می کند و هم رطوبت را پایین می آورد. برنامه ریزی دیفراست بر مبنای Δp کوئل یا حسگر یخ زدگی بهتر از تایمری ثابت است.
- برای اتاق های زیر صفر، بار نفوذی نهان تراکم/یخ زدگی رطوبت بیرون را حتماً لحاظ کنید.
- ظرفیت تجهیزات را از منحنی های عملکرد در T_{evap} و T_{cond} واقعی پروژه بخوانید؛ ظرفیت کاتالوگی در شرایط استاندارد قابل اتکا نیست.
- برای بارهای دسته ای شدید، بررسی کنید آیا به ظرفیت پیک جداگانه یا ذخیره پرودتی نیاز است.

این فرایند، چارچوب کامل محاسبه ظرفیت سردخانه صنعتی را از بُعد تبرید و معماری اتاق ارائه می کند. اگر بخواهید، روی یکی از پروژه های واقعی شما همین حالا بارگذاری را با اعداد واقعی محاسبه و به TR و kW تبدیل می کنم، همراه با پیشنهاد ساینبدی اواپراتور، کمپرسور و کندانسور.

چنانچه مشتاق هستید مشاوره رایگان بگیرید به [صفحه تماس با ما](#) مراجعه کنید و با همکاران من در واحد فنی تماس بگیرید.