محطة تبريد صيدلانية

دراسة حالة للتحكم الإشرافي بالذكاء الاصطناعي - إصدار I-P

حسنت محطة مياه مبردة ذات تدفق متغير بمضخة ثانوية متوسط كفاءة فترة التشغيل من 0.74 إلى 0.65 kW/ton خلال نافذة التحكم بالذكاء الاصطناعي. يعادل التغيير المقاس تحسينا في كفاءة المحطة بنسبة 12.11%، بينما بقيت الأوامر داخل نطاقات تردد مضخة مياه المكثف ومروحة برج التبريد المتوافقة مع BMS.

0.74 -> 0.65 kW/ton	**37 يوما**	**12.11%**
متوسط كفاءة المحطة	نافذة تشغيل AI	تحسين كفاءة المحطة

ملخص تنفيذي. امتدت فترة تشغيل AI من 1 سبتمبر إلى 7 أكتوبر لمدة 37 يوما تراكميا، وتقارن ببيانات خط أساس تاريخية صالحة من 1 يونيو إلى 7 يوليو.

نافذة القياس. استخدم تشغيل خط الأساس 27 سجلا يوميا صالحا بعد استبعاد الأيام ذات بيانات القدرة الناقصة. استخدم التحكم بـ AI 37 سجلا يوميا. كانت فترة AI في المتوسط أكثر حرارة ورطوبة من فترة خط الأساس.

ملاحظة النطاق. حسنت طبقة AI تردد مضخة مياه المكثف وتردد مروحة برج التبريد. بقيت درجة حرارة تغذية المياه المبردة وتردد مضخة المياه المبردة واجهات محجوزة ولم تدرج في هذا النطاق المقاس.

1. خلفية الموقع

الموقع منشأة تصنيع صيدلانية بنظام مياه مبردة ذات تدفق متغير بمضخة ثانوية. تشمل المحطة المركزية أربع مبردات بترتيب ثلاث عاملة وواحدة احتياطية؛ وأربع مضخات مياه مبردة؛ وأربع مضخات مياه مكثف؛ وثلاث مضخات مياه مبردة لجانب الهواء؛ وأربع مضخات مياه مبردة لجانب العملية.

الحالة	مواصفات I-P	العلامة	المعدة
تشغيل	دخل hp تبريد؛ 650 tons 539	Trane	مبرد طرد مركزي
تشغيل	gpm ؛ hp1,541 رفع؛ 66 ft 40	Grundfos	مضخة مياه مبردة
تشغيل	gpm ؛ hp837 رفع؛ 72 ft 60	Xylem	مضخة مياه مكثف
تشغيل	hp ؛ 2,201 gpm30	BAC	برج تبريد

حد التشغيل	بند التحكم
مقيد بحماية التدفق المنخفض، Hz إلى 42 Hz 50	تردد مضخة مياه المكثف
محسن مقابل طاقة المحطة واستجابة درجة الحرارة الداخلية، Hz إلى 22 Hz 50	تردد مروحة برج التبريد
مضخات مياه المكثف وأبراج التبريد	نطاق التحسين الحالي
درجة حرارة تغذية المياه المبردة وتردد مضخة المياه المبردة	واجهات مستقبلية محجوزة

2. منهج تحسين AI

تستخدم الطبقة الإشرافية البرمجية التعلم المعزز لاختيار أوامر مضخة مياه المكثف ومروحة برج التبريد من حالة التشغيل الحالية، وحدود المعدات، وسياق الطقس، والتغذية الراجعة.

في هذا المشروع، اختارت سياسة ClimaMind DDQN أوامر التردد داخل نطاقات متوافقة مع BMS ومعتمدة. بقيت فحوصات الحدود صريحة ومنفصلة عن اختيار السياسة.

يجمع المكافأة بين طاقة تشغيل المحطة والاستجابة ذات الصلة بالراحة أو العملية.

الشكل 1. سير عمل تحسين جانب التبريد البرمجي

حلقة التغذية الراجعة: تغذية المشغل + M&V -> سياسة ClimaMind DDQN

4. حساب كفاءة المحطة

حسن النطاق المقاس مضخات مياه المكثف وأبراج التبريد، لذلك يعرض الحساب ككفاءة تشغيل المحطة لا كوفورات للمبنى كاملا. انخفاض kW/ton يعني دخلا كهربائيا أقل لكل طن تبريد مقدم.

المؤشر	تشغيل خط الأساس	تحكم AI
سجلات يومية صالحة	27	37
فترة التشغيل	1 يونيو إلى 7 يوليو	1 سبتمبر إلى 7 أكتوبر
متوسط COP	4.75	5.41
متوسط كفاءة المحطة	0.74 kW/ton	0.65 kW/ton
متوسط الحرارة الجافة	72.8 deg F	78.2 deg F
متوسط الحرارة الرطبة	66.8 deg F	72.4 deg F

التحسين = (0.74 - 0.65) / 0.74 × 100% = 12.11%.

كانت فترة AI في المتوسط أدفأ من فترة خط الأساس.

لا ينشر إجمالي kWh ووفورات kWh المحسوبة في ملف الحالة هذا.

خلاصة

حسنت نافذة التحكم بـ AI متوسط كفاءة تشغيل المحطة من 0.74 إلى 0.65 kW/ton، أي تحسينا بنسبة 12.11% ضمن حد القياس المذكور.

يحافظ سير عمل التحكم على توافق BMS، ويفصل فحوصات الحدود عن اختيار السياسة، ويعيد تغذية المشغل وM&V إلى سياسة ClimaMind DDQN.

النتيجة مفيدة تقنيا لأنها تظهر حركة مقاسة في أوامر التردد، وغلاف أوامر صريحا، وحساب كفاءة محطة مرتبطا ببيانات التشغيل اليومية.