

寒冷地区空调排风热回收方式的选用分析与工程实际效果控制

北京市设备安装工程集团有限公司赵嘉

摘 要：高档建筑和工艺空调系统中新风处理系统所消耗的能耗较大。空调排风热回收系统相应产生。热回收机组类型主要包括转轮式全热交换机,板翅式交换机、热管式交换机,中间冷媒交换机等,而寒冬季节的热回收节能效果十分显著。

但在北方地区,寒冬季节,室外温度很低。热回收机组新风侧容易产生冷凝水,甚至可能产生霜冻甚至霜堵现象,影响系统正常运行。因此,设备选型时应考虑热回收器冷凝水的排放和冬季的防结霜措施。此外,不同的空调系统又需要不同的热回收装置相匹配。这就需要在设备选型时,充分考虑气候因素和系统因素,综合考虑,选择合理,高效的热回收机组。

本文对东北严寒地区不同空气-空气热回收器的几种防结霜措施进行讨论。并且对不同形式的空调系统的热回收形式选择做了比较分析。说明了分析评价一种热回收器的具体分析方法。

本文举例说明了东北地区两个不同性质工程:某银行大厦工程和某药厂净化空调系统的热回收方式选择和比较分析,节能效果测定、分析和施工安装要点等。

关键词：热回收, 防结霜, 新风处理、比较、测试、节能

随着时代的发展,中央空调系统采用排风热回收机组具有重要的节能,减排效果。但是在不同的地区,不同的空调系统情况下,需要采用不同的热回收方式。

在我国东北寒冬季节,热回收机组会有结霜问题发生。设备选型时就应考虑热回收器冬季的防结霜措施。同时,不同性质的空调系统需要选用不同类别的热回收装置,以确保系统的良好应用。本文对空气-空气热回收器的选择思路、评价方法、以及防结霜措施做一探讨。

结合东北两项不同的工程实例说明防结霜措施选定方法和节能效果的分析。同时,为达到设备使用效果,阐明了安装要求和运行维护要点。

一、排风热回收设备形式介绍及能效概述

随着社会和经济、技术的发展，舒适性空调和工艺性中央空调系统对空气的调节处理要求越来越高，中央空调系统的能耗所占建筑能耗的比重很大。新风能耗处理系统所消耗的能耗占中央空调系统能耗的30%左右，采取适当的节能措施日趋重要，空调排风热回收系统相应产生。而寒冬季节的热回收节能效果十分可观。在中国，近几年来，我国的空调热回收技术也得到了迅速发展，在实际工程应用中的节能效果相当明显，广泛应用于宾馆、医院、学校、工厂、大型场馆等场所。

我国现行建筑节能设计标准GB50189-2005中明确规定：设有集中排风的公共建筑，当新风与排风的温差 $>8^{\circ}\text{C}$ 。以及设有独立新风与排风的系统，宜设置排风热回收装置，排风热回收装置的额定热回收效率不应低于 60%。



图1-1 热回收机组示意图

1、各种常见热回收设备类型

按传热类型可分为：具有热湿交换功能的全热换热器和显热换热器。

按换热器结构形式有：转轮式、板翅式、溶液吸收式全热换热器；以及热管式、板式、中间冷媒式等显热换热器。

2、全热回收装置

（1）转轮换热器

转轮式换热器是通过排风与新风交替逆向流过转轮来传递热量的。转轮中的转芯可进行热湿交换。排风由转轮一侧的入口吸入，将所含的部分冷量（或热量）传递给转轮；而新风从另一侧吸入，转轮以 $15\sim 20\text{r/min}$ 的速度旋转，将积蓄在转轮上的冷量（或热量）传递给新风。通过转速控制，能适应不同的室外空气参

数, 而且能使效率达到 70%~80%以上^[3]。但是转轮式换热器是两种介质交替转换, 不能避免交叉污染。

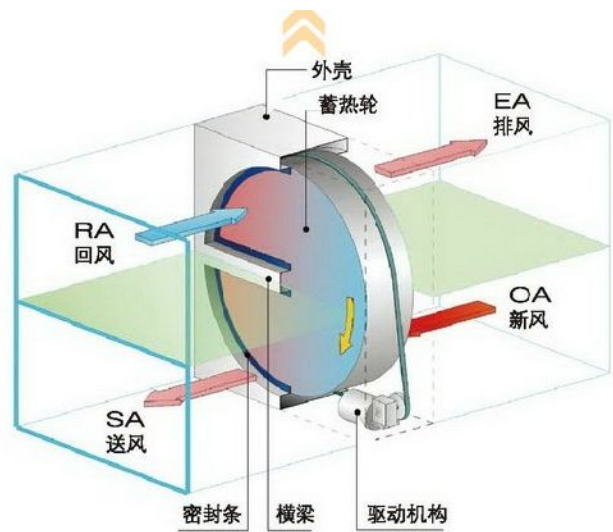


图 1-2 转轮式热回器工作原理图

（2）板翅式全热换热器

板翅式全热换热器的原理与一般的板式显热换热器原理一样，不同之处在于全热型的采用了经特殊加工的材料作为基材，并对其表面进行特殊处理后制成单元体粘结在隔板上。当隔板两侧的气流之间存在温度差和水蒸气分压力差时，两股气流之间将产生传热和传湿过程，从而进行全热交换。



图 1-3 板翅式换热器结构原理图

3、显热回收装置

（1）热管换热器

热管是利用某种工作流体在管内产生相态变化和吸液芯多孔材料的毛细作用而进行热量传递的一种传热元件。热管式换热器，无需动力消耗，借助另一介质的相变来传递热量传递效率较低。

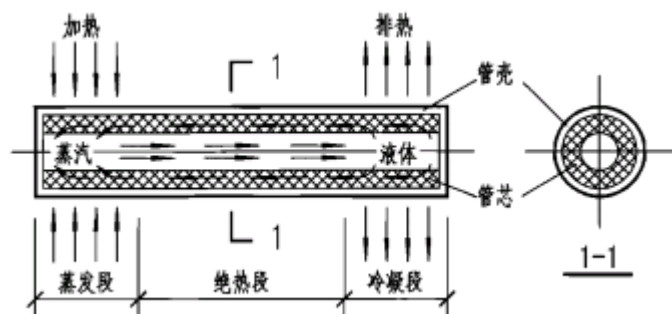


图 1-4 热管结构示意图

(2) 板式显热换热器：

构类似于板翅式全热换热器，但换热芯材未采用可进行湿交换的材料。通常为传热铝箔进行热交换。

换热原理示意图：

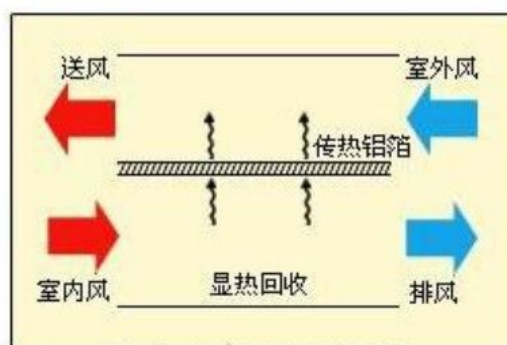


图 1-4 板式显热换热器示意图

(3) 中间冷媒换热器

在新风和排风侧，分别使用一个气液换热器，排风侧的空气流过时，对系统中的液体进行加热或冷却；而在新风侧被加热或冷却的冷媒再将热量或冷量传递给进入的新风，液体在泵的作用下不断地循环。新风与排风不会产生交叉污染，供热侧与得热侧之间通过管道连接，管道可以延长，布置灵活方便，但是须配备循环泵，存在动力消耗，通过中间液体输送，温差损失大，换热效率较低，一般在 40%～50% 之间。

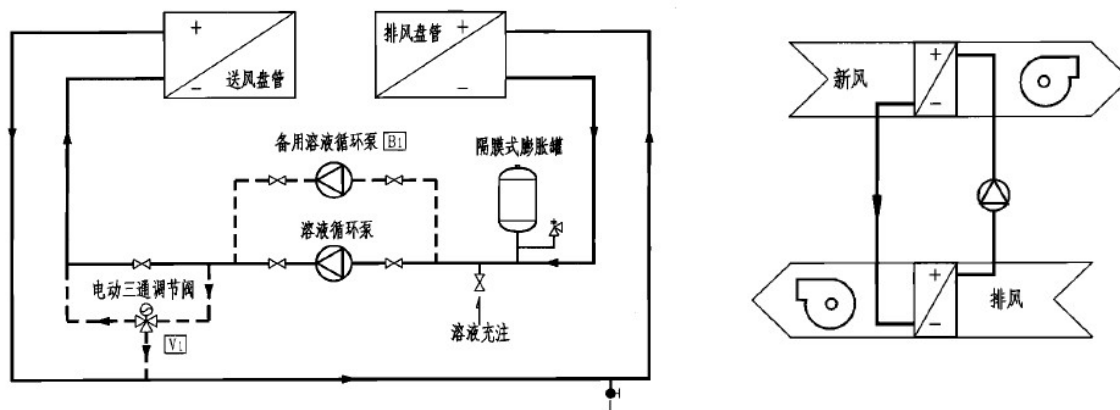


图 1-5 液体循环式热回收装置液体循环图及送排风示意图

(4) 溶液吸收式换热器：

以具有吸湿、放湿特性的盐溶液为循环介质，通过溶液的吸湿和蓄热作用在新风和排风之间传递能量和水蒸气，实现全热交换。

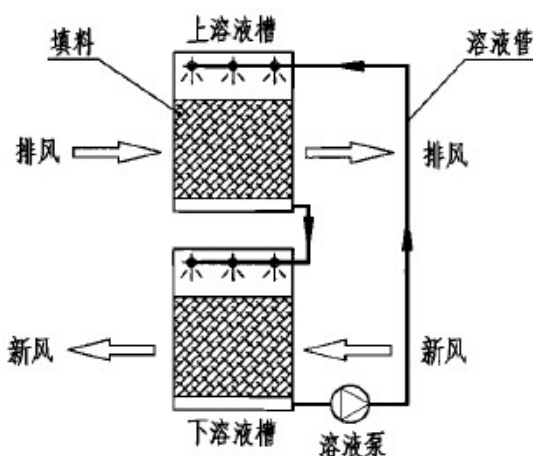


图 1-6 单极溶液吸收式热回收工作原理图

4、各种设备节能分析：

从节能方面来考虑，转轮式热回收器效率最高，且为全热回收，对夏季湿负荷大的地区效果更明显，但因体积大，初投资高，运行维护费用较多，回收年限长等缺点，所以显得不十分经济。从节能和经济两方面综合考虑，热管的初投资、运行和维护费用及回收年限等因素都较为合理，但据市场反馈的信息得知热管的使用寿命短，一般为十年左右，不及其他类型。板翅式热回收器是工程上较为常用的类型，而且由于技术比较成熟，价格低廉而深受广大消费者的青睐。

从卫生角度来考虑，虽然全热回收更有利于节能，但交叉污染，空气质量很难保证，特别是在化工、制药厂房、医院等空调系统，因其排风携带有粉尘，或

其他有害气体，故只能采用显热换热器。这也是全热热回收器需克服的重要课题。

以上三种中，除转轮式为全热交换，其他均有显热交换，均可保证卫生要求。

从结构上看，热管式的结构紧凑，接管灵活且体积小；而转轮式体积庞大，需占较大的空间，不利于安装。中间冷媒式热回收设备因为效率低，民用工程应用较少。

表 1-1 空调排风热回收装置比较表

热回收装置形式 性能特点	空气-空气热回收装置					
	转轮式	板式	板翅式	热管式	液体循环式	溶液吸收式
能量回收形式	全热	显热	全热	显热	显热	全热
热回收效率%	50~85	50~80	50~75	50~70	55~65	50~80
压力损失 Pa	100-300	100-1000	100-500	100-500	150-500	150-370
风量泄露率%	0.5-10	0~5	0-5	0-1	-	-
热回收机械运动部件	有	无	无	无	水侧有、空气侧无	水侧有、空气侧无
其他要求	温度和腐蚀性	腐蚀性	温度	一般	一般	溶解和化学反应性
允许空气含尘量	较低	较低	低	中	中	高
维护保养	较难	较难	困难	容易	容易	较小
适用风量	较大	较小	较小	中	中	较小
主要适用对象	允许新风和排风有适量交叉渗漏的较大风量系统	需回收显热的一般通风空调系统	需回收全热、空气较清洁且投资要求低	适用微尘、或温度较高	新风、排风的设备布置分散或回收、利用点数量较多	回收全热、有一定除尘和空气净化作用。

5、热回收设备选用思路

(1) 热回收装置的选用应首先进行必要的技术经济及合理性分析；其次，根据需处理的空气特性（特别是排风）选择适合的热回收装置，以达到经济、节能的目的。

(2) 应首先根据系统内部特征。进行选择，根据空调形式，排风系统特点、温差、含尘情况、系统对新风处理的要求，排风含尘量等综合考虑比选，如对于工业用空调系统的有毒，有害气体排风，则不应用全热交换器，而应采

用能够隔离送排风的显热交换器。如对有一定加湿要求的舒适性空调，则可以采用转轮式、板翅式全热回收机组。

(3) 应根据空调系统的外部条件，如当地气候特征，新风特征，以及机房空间等，都需要考虑进去。对于含尘量较大的地区，或进风温度较低的地区则不宜采用板翅式全热回收机。并且对于寒冬地区，则需充分考虑热回收机组的防结霜措施。

二、北方寒冬季节能热回收结霜问题

我国北方地区冬季时间长，室内外温差大，设置排风热回收器，在冬季节节能效益更加显著。但不容忽视的是，随着进入热回收器新风温度的降低，随着热交换的发生，排风侧的温度也在降低，当低于露点温度时，就会产生冷凝水；当温度进一步降低时，有可能产生霜冻甚至霜堵现象，影响系统正常运行。因此，在热回收设备选型时，就应认真考虑热回收器冷凝水的排放和冬季的防结霜措施。

对于转轮式热回收器、板翅式热回收器、热管式热回收器均存在结霜问题必须根据各种实际情况，故应综合分析，采取合理的防结霜措施。

空气-空气热回收器的几种防结霜措施简述如下：

1、几种防结霜措施讨论

(1) 改变热回收效率的防结霜措施

对于热回收器(如图 2-1 所示)，当新风与排风质量流量相等时，热回收效率为：

$$\eta = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 η 为热回收效率； t_{11} 为换热前排风温度； t_{12} 为换热后排风温度； t_{21} 为换热前新风温度。

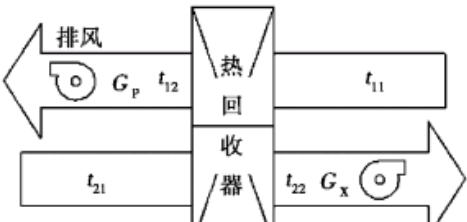


图 2-1 热回收器示意图

热回收器的额定热回收效率可以很高,当室外温度 t_{21} 较高时,热回收器以最高效率工作。只有当 t_{21} 降得很低,排风侧有结霜风险时,才逐渐降低 G_t ,以满足有关设计标准规定/排风热回收装置的额定热回收效率不应低于 60% 的要求。

热回收效率的调节方法需根据各类热回收机的具体结构形式制定。

(2) 预热新风的防结霜措施

在热回收器新风入口侧设置空气预热器,当室外温度降低到一定程度时,开启预热器,使热回收器新风入口侧空气温度高于某一设定值,预防结霜。

(3) 降低新风通风量的防霜冻措施

a.通过旁通部分新风(如图 2-2 所示) 减少热回收量,提高排风温度 t_{12} ,可以预防结霜。

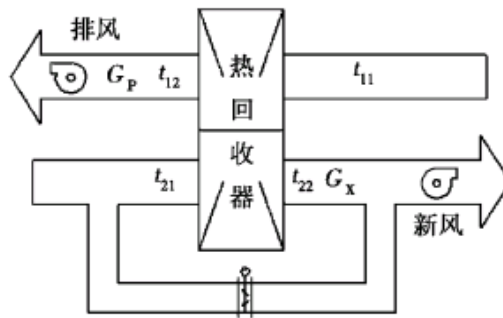


图 2-2 新风旁通阀设置示意图

空调系统排风热回收的节能性分析当新风系统允许混入室内回风时,严寒季节在热回收器前采用高温室内回风与新风混合,提高 t_{21} (如图 2-3 所示)。

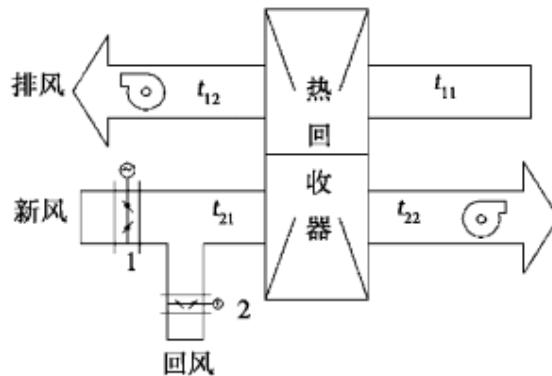


图 2-3 新、回风混合减少新风通过量

(4) 新风回流的防结霜措施

各种类型的热回收器均可通过回流风道将升温后的新风引至热回收器前,与室外新风混合,提高进入热回收器的新风温度 t_{21} (如图 2-4 所示)。监测 t_{12} 或 t_{21} , 调节回流风量,预防排风侧结霜。

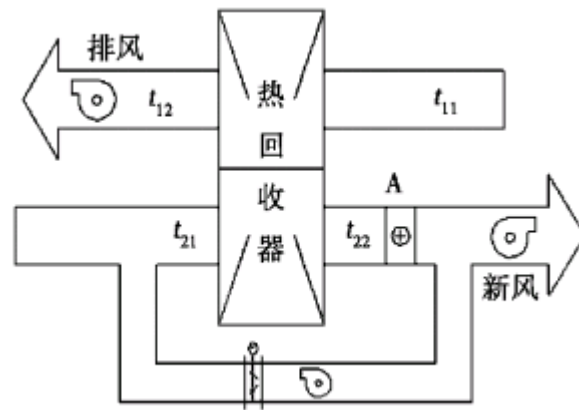


图 2-4

(5) 设置密闭阀的防结霜措施

通过检测换热器两端的空气状态,包括温度、压力等,来判断热回收器是否结霜,如结霜的话及时关断新风阀,使设备得以融霜。

2、必要的监控措施

热回收装置应进行必要的检测与控制,并融入楼宇监控系统,可有效的监控运行状态,防止结霜等故障发生。

基本项目要求如下:

- 1) 空气温、湿度的检测与控制;
- 2) 装置中各冷热水温度的检测与控制;
- 3) 设备运行状态的检测及事故报警;
- 4) 热回收器的防霜冻保护;
- 5) 空气过滤器;
- 6) 旁通、直通等电动阀的开闭及工况的转换。

三、节能分析与评价

1、一空气-空气热回收装置的热回收效率 η 分为三种形式

- (1) 显热回收效率 η_t ，简称显热效率，也称为温度交换效率；
- (2) 潜热回收效率 η_d ，简称潜热效率，也称为湿量交换效率；
- (3) 全热回收效率 η_i ，简称全热效率，也称为焓交换效率。

2、对热回收装置进行评价应注意事项

- (1) 对热回收装置整体的评价，应采用全年运行效益分析；同时，还应考虑新风、排风机所消耗的能量。
- (2) 对热回收装置的性能评价，原则应采用设计下的全热效率。
- (3) 风量和工况相同时，热回收装置应采用同一种热回收效率进行评价；但风量相等工况不相同，热回收装置应采取热回收量进行评价。

3、全年能量回收示意图

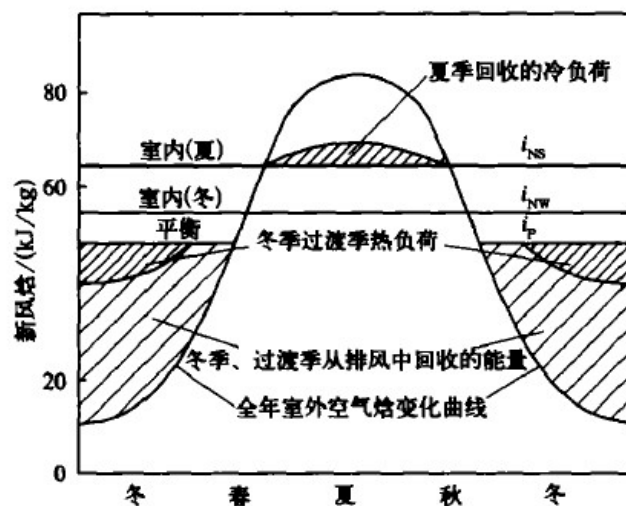


图 3-1 全年能量回收示意图

四、东北地区两个不同性质空调系统的热回收方式举例及比较

1、哈尔滨银行大厦

(1) 哈尔滨银行大厦工程概况

哈尔滨银行大厦，高为 161 米。总建筑面积为 11 万平方米，其中地上总面积 80,000 平方米，地下建筑面积 31,597，为该地区标志性工程。

(2) 哈尔滨银行大厦通风空调系统概况

A. 室内外设计参数：

a. 室外空气计算参数（哈尔滨）

地理位置：北纬：45° 41'，东经 126° 37'，海拔 171.7m

夏季：空调干球温度：30.3℃ 空调湿球温度：23.4℃

通风计算温度：27℃ 大气压力：985.1kPa

冬季：空调干球温度：-29℃ 采暖干球温度：-26℃

通风计算温度：-20℃ 大气压力：1001.5kPa

b. 冬季总空调热负荷及单位面积热指标见下表：

表 4-1 本工程热负荷

建筑名称	冬季空调系统负荷 (kW)	冬季空调室内热负荷 (kW)	冬季空调新风热负荷 (kW)	单位空调面积热负荷 (W/m ²)
办公楼	6288	1737	4536	156
接待中心	859	326	534	162
体育馆	671	494	110	86
营业大厅	442	246	195	220
中庭	241	214	20	143
合计	8500	3018	5397	149

该工程室外新风入口设两道保温密闭阀，与风机连锁，并设防冻报警防止盘管意外冻结。

(3) 热回收方式类型选择

1) 该工程设备及房用地面积紧张，空气中含尘量较大，冬季结霜问题有可能发生，影响设备运行。经综合分析比选，该工程可选择热管式热回收器，并采取防结霜措施。

2) 防结霜措施：

- a. 热管式热回收器需要设置一定的倾斜角度。需要设置季节性转换装置。
- b. 设置新风、旁通装置、防止结霜发生。
- c. 与楼宇自动系统融合，设置监控点、设置密闭阀，设置智能监控、和故障报警，有结霜发生后随时关闭热回收系统。

3) 能耗分析，除理论固有能量耗损外，还应考虑采取防结霜措施后，所减少的热回收量。统计时需借助计算机的记录数据进行全年状态记录的统计。

2、东北某制药厂空调系统的热回收措施

(1) 该工程空调系统概况

由三个制剂车间和其他三个单体组成。关键厂房为制剂车间，建筑面积 8000 平米，为四层高厂房，设有 B, C, D 级洁净室，并且空调系统均采取了防爆措施。

某制药车间洁净区域非防爆区空调系统概述：新风经预过滤器并与回风混合后，经 G4、F7 过滤段，预热段，冷却段，加热段，加湿段并且由送风机加压经过 F9 中效过滤段和末端的 H14 高效过滤器，送入房间以确保房间的温湿度以及洁净等级达到设计要求。系统采用双风机系统，风机均配有变频器。每个房间的送风管均装有定风量阀，回、排风管装有变风量阀（B 级洁净区域回、排风管装有 VAV 变风量阀，C 级及其以下洁净区域回、排风管装有电动密闭对开多叶调节阀），变风量阀、调节阀根据室内的压差传感器检测到的室内相对压力调节开度，保持室内压力满足设计要求。回风由回风机送至组合式空气处理机组循环使用。

洁净区域防爆区空调系统：正常生产时非防爆区排风经 F5 中效过滤段过滤后经热回收段与新风完成热交换后排出室外，防爆区排风直接排至室外屋面上。该系统所有相关电气元件均为防爆型。

因本工程为工艺性空调系统，排风含有部分有害气体，故不能采用全热交换器，可采用显热交换器。热回收装置可设于净化空调机组新风进口处，并与排风相连。该机组为双风机机组，可根据需要，调节送排风机的风速。

3、热回收方式选择

经分析比选，洁净区空气处理机组的热回收段可采用盘管式显热交换器，换热介质为 35%乙二醇水溶液。并设循环水泵为变频泵，当盘管的进风温度与排风温度差大于 5℃ 时，水泵开启，并依据温差的大小自动调节运行工况。该换热方式可通过调节水流量调解热回收效果。

该净化空调机组排风热回收装置设置示意图如下：

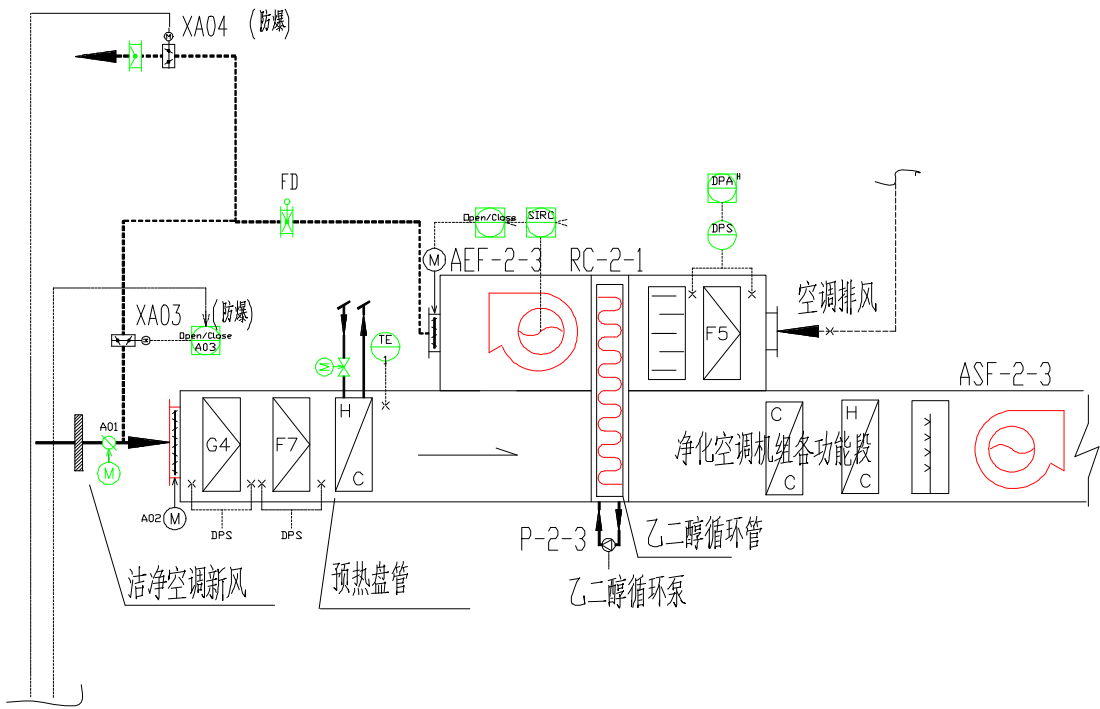


图 4-1 双风机防爆新风机组及溶液吸收式（乙二醇）热回收装置示意图

设备标识说明：ASF-空调送风机；AEF-空调排风机；XE-F 防爆排风机；
RC-热回收盘管； G4-初效过滤器，F5、F7、F9 中效过滤器；
H/C 冷热盘管； M 电动调节阀； FD 防火阀； SIRC 变频器；
TE 温度传感器； HE 湿度传感器； DPS 压差开关；
DPA 压差控制器； C/C 盘管。

分析：对于药厂需有防爆要求的洁净空调来说。因排风中含有大量有毒有害气体，故热回收装置需采用，完全隔离的方法。以保证空调新风质量和安全。
防结霜采用预热盘管方式，以保证风量。

4、热回收机组选型的总结分析及评价

合理的选用热回收机组，要确保系统功能、节能环保和成本控制三者兼顾统一。首先要确保系统功能性的实现，特别是工艺系统、生物医药等洁净空调，需要在确保新风换气次数，风量等前提下，选用热回收装置，如在寒冬季节，不能因采用热回收装置，为防止结露而，减少了送风量等情况发生。对于需要满足送风量的情况，就需要在热回收装置前采用预热措施。而节能环保方面要充分考虑全年的热回收量以及设备的耗损情况，同时要兼顾设备的造价，因为制作热回收设备本身，也同样要消耗，大量的能源，成本较高。

五、实际运行效果测定

1、实际运行效果测试与统计记录的意义

理论计算出的数据往往是理想的，可观的。但实际运行中的热回收效果，究竟如何，是否可以达到设计要求，起到节能效果，具有技术经济可行性，理论计算是不能验证的。故还需要系统实际运行中的测试统计才可验证。因为实证科学总是与理论科学存在着一些差异。完好保存的运行数据记录可以有效地辅助热回收系统的维护、检修与改进。那么，已投入运行的热回收系统究竟如何，带着疑问，笔者对东北某药厂工程的热回收情况进行了简要的回访和统计。

2、测定方法与流程

该工程为我单位已完工洁净厂房工程，实际效果与理论测试效果的比对流程如下：

掌握系统原理->确定测试方法->系统测试记录->数据统计分析->

->理论计算与实际测量的比较->找出问题综合分析->持续改进。.

现在随着自控系统的提高,很多系统的运行参数都已经可以进行记录和统计了。我们可以通过自动控制系统的历史记录数据，进行效能的评价和分析。

3、某工程实际热回收效果分析

该工程为板式显热换热器，测试数据主要为空气状态：包括新风侧和排风侧的温度、湿度、风速、静压等。

热回收量和热回收效率应在相同的界定条件下统计比较：即根据实测时的日期时间、大气状态参数,进行比较。并应将新风量与排风量调定在热回收机组标准工况下进行效率测定和比较，但由于实际运行情况的要求，测试记录时的送排风量并不与机组标况一致，但同样具有比较参考意义。

最新通风空调施工规范 GB50738-2011 和节能验收规范 GB50411-2007 也已将热回收机组质量控制列为施工单位主控项目，故应引起各施工单位的主意。

目前，各类工程资料管理规程用表中并没有热回收机组的专用表格。故我们可根据具体据具体需用情况自行绘制表格。

本人绘制的测试用表格见附表 1，具体表格可按实际运行情况扩展。

表 5-1 热回收机组实际运行效能情况记录表

时序 项目	1	2	3	4	5	6	7	8
新风温升(t/°C)	16.7	15.5	15.8	15.2	14.0	16.8	15.1	16.0
标况热回收量(kw)	65	65	65	65	65	65	65	65
实测热回收量(kw)	63.2	64.3	62.6	64.0	64.5	64.2	64.4	63.7
偏差(kw)s	-1.8	-0.7	-2.4	-1	0.5	-0.8	0.6	-1.3
分析								

经过实际测试：热回收机组的回收效果和热回收率基本达到了,设计要求。偏差<10%，但存在间隔性结霜现象。热回收效率有所下降。后经通过调整送排风量，清洁换热器，并根据焓湿图，优化运行策略脚本。使回收机组的热回收效率得以提高。

实际运行中热回收量和热回收效率多种因素影响。如系统的风量、风速、新风比,老化程度，含尘量等影响，具有多样性。这就需要我们综合分析比对，以找出原因，努力提高热回收量和热回收效率。实例机组照片见附录 2。

六、热回收机组安装控制

1、热回收机组设置要求

(1) 为便于热回收装置的维护管理，设备易设置在专用机房内，热回收装置的周围，应考虑适当的设备检修和空气过滤器，抽取空间。

(2) 热回收装置吊装时，应采用弹性吊架；落地安装，应设置在设备专用基础上，基础高度可取 50-100mm, 尺寸一曲设备底座外扩 100mm，当空气处理过程有冷凝水排出时，基础高度应依照技术要求设定。

(3) 热回收机组两侧宜装配观察窗，以便观察和测试设备的运行状态。

2、安装、调试及维护管理

(1) 热回收装置的安装，应遵守其相关设备和系统的施工，验收规范，同时还应依据产品生产企业提供的技术资料要求。

(2) 热回收装置在抵达现场安装前，应对热回收器形式、规格以及性能等进行核验，设备标牌参数规格详细。

(3) 空气热回收装置的现场组装应由供应商负责实施，组装完成后应进行漏风率试验，漏风率应符合现行国家标准《组合式空调机组》GB/T 14294 的规定。

(4) 机组安装需确保管路接口严密，安装位置、管路坡度、机组水平符合设计和规范要求，换热芯材完好，无损坏。

(5) 空气处理机组与空气热回收装置的过滤网应在单机试运转完成后安装。

(6) 热回收机组在安装完毕后，应进行新风、排风之间交叉渗漏风的检测调试；应进行通风、空调系统与该装置的的联动调试。

(7) 通风空调系统中的热回收装置应定期检查和维护。空气过滤器应定期清洗，对于板翅式热回收器在累计运行 2000h 后进行清洗，其他形式的热回收器通常一年检查两次。

(8) 应定期进行热回收器的热效率测定，以使热回收器正常运行。

结 论

(1) 热回收装置的选用应必须要进行技术经济及合理性分析；其次，根据需处理的空气特性（特别是排风）选择适合的热回收装置，以达到经济、节能的

目的。应首先根据系统内部特征进行选择，根据空调形式，排风系统特点、温差、含尘情况、系统对新风处理的要求统一考虑；其次根据空调系统的外部条件，如当地气候特征，新风特征，以及机房空间、造价要求等，统筹考虑，合理选型。并且对于寒冬地区，则需充分考虑热回收机组的防结霜措施。

(2) 此外，对热回收机组实际运行测试尤其重要。只有经过完善的测试和调整，才能使机组在适合工况下工作。

(3) 热回收机组应融入质量控制体系流程。包括设计、研发、制造，施工、安装、运行维护等各个环节。并建立起资料记录文档。各环节工程技术人员应加强沟通与技术交流，以促进节能设备不断改进，发展。

(4) 与楼宇自控系统密切配合，加强监控和智能管理，可更好地解决预防结霜问题，提高热交换效率，减少能耗，节约能源。

参考文献

- [1] 通风与空调工程施工质量验收规范 GB50243-2002
- [2] 空调系统热回收装置选用与安装 06K301- 2,
- [3] 公共建筑节能设计标准 GB50189- 2005,
- [4] 空调系统的节能措施 张天伟, 张吉光, 韩海涛. 制冷空调, 2005
- [5] 空调系统排风热回收的节能性分析 袁旭东, 柯莹, 王鑫.
制冷与空调, 2007, 7
- [6] 通风与空调工程施工规范 GB50738-2011
- [7] 设置排风热回收装置能结多少能 徐征
- [8] 热泵驱动的双极溶液调湿新风机组原理及性能测试 刘拴强, 江亿,
刘晓华, 陈晓阳 暖通空调 2008 年第一期
- [9] 论洁净空调节能 黄栋明, 何国熙 陕西建筑 2006 年 9 月
- [10] 建筑节能工程施工质量验收规范 GB50411-2007

作者: 赵嘉

单位: 北京市设备安装工程集团有限公司

电话: 18618283505

邮箱: 41867345@qq.com