**【余热利用】电站锅炉烟气余热回收换热器比较**

**1. 前言** 当前节能已经成为能源行业的一个共同话题，而余热资源的回收和利用亦是节能的重点话题。而作为耗能大户的发电企业，更是有大量的余热无法得到有效回收和利用，被白白浪费。其中，**烟气热损失是各项热损失中最大的一项，一般在5%～8%之间，占锅炉总热损失的80%或更高。**因此急需寻找一条科学的烟气回收途径，使烟气中的余热得到高效的回收利用，降低能耗，同时对于我国实现节能减排、环保发展战略也具有着重要的现实意义。 而在余热回收中不可或缺的装置便是换热器，所以，一直以来余热回收利用换热器的强化传热技术就备受世界各国的关注，使得新型高效节能的换热器层出不穷。自20世纪60年代起国外便开始实验与研究热管换热器技术，在80年代开始了方形板片板壳式换热器的使用，而我国自1985年起，开始引进国外的“烟气深度冷却余热利用”技术，引发了国内烟气回收余热利用换热器的研究。进入21世纪后，针对行业中的关键技术，国内制造商加大了研究力度和投入，并且随着国内材料技术、外扩展受热面技术及火电行业整体技术水平的提高，我国烟气余热利用换热器制造开始进入技术创新和突破的新时期。制造和运用更加先进的换热器，更加高效地回收余热，减少能耗，合理高效地利用有限的资源，已成为一个重要的课题。 **2. 换热器的介绍与工作原理** 换热器在电厂烟气余热回收中的利用十分普遍，目前国内外的余热回收装置主要有：板式换热器、GGH换热器、**热管换热器**、热媒体换热器、低压省煤器等，介绍及工作原理如下： **2.1、板式换热器** 板式交换器，在表面上具有一定的波纹，并且由许多金属片叠装而组成的一种换热器，这一种换热十分新型亦十分高效。这一种换热器的每个金属板片间都有薄矩形通道，通过板片进行热量交换，可以通过结构来区分板式换热器，在电厂中使用的换热器主要分为两类①可拆卸板式换热器②焊接板式换热器,而第二种即焊接板式换热器中，在现在应用更加广泛的是全焊式板式换热器的换热板片，它以不锈钢为原材料，再通过特有的模具进行加工，压制而做成。板式换热器主要由换热芯体和外壳组成,换热芯体由板片组焊而成, 采用周边组焊的板束形式,取消了密封垫片,故耐热、板片系模块化结构,可根据不同的工艺要求改变流程形式和流道面积的大小。用同一模块压制板片,根据需要其长度可为216～12 000 mm,这种换热器在国外供热工程中应用较广泛。其表面的光滑也使得其具有不易结垢的优点。板式换热器还消除了管壳式换热器和可拆卸板式换热器存在的死区现象。由于全焊式板式换热器的特有性能，特别适用于在城市热电联产供热工程一级站中作为高峰换热器使用,它也将成为管壳式换热器的替代产品。 **2.2、GGH换热器** GGH又叫烟气再热器，是烟气脱硫系统中的主要装置之一。它的功能在于使排出的烟温度加热上升，达到露点温度以上，而过程便是将喷水后原烟气中脱硫后的净烟气重新加热到符合环保法规要求的排放温度(通常不低于75～80 ℃) ，从而做到污染物在排出后能够在大范围内扩散，而不是在电厂周围集中沉降。烟气露点腐蚀是因为硫元素掺杂在燃料中，当燃料燃烧时会生成SO2，SO3，一旦换热面的外表面温度低于烟气露点温度时，在换热面上经过的SO2或SO3就会形成硫酸雾露珠，导致换热面腐蚀，而GGH就在这个过程中担任重要的角色，可以减轻对进烟道和烟囱的腐蚀、提高污染物的扩散度、降低进入吸收塔的烟气温度、降低塔内对防腐的工艺技术要求。 **2.3、热管换热器** 热管式换热器在结构上可分为整体式热管换热器和分离式热管换热器两种。整体式热管换热器的等温性相对分离式热管换热器较突出，所以可回收热风炉烟道废气的低温余热，另一方面可预热助燃空气和煤气便是利用了其容易密封，结构简单的优点。但是，在助燃空气和煤气方面，整体式热管换热器也存在不足，由于大直径的助燃空气管道和煤气管道往返较多，若安装上整体式热管换热器，便增大了投资，并且管道容易破裂。分离式热管换热器的工作原理，与整体式热管换热器的区别在于分离式热管的受热端和冷凝端置于不同的换热器内，分离式热管换热器利用了液化与汽化的原理，用两条管道在连接分离的受热端和冷凝端，一个为蒸汽连接管，另一个则为液体连接管。由于放在热端的热媒体被高温的废气所加热，所以变成蒸汽，加热后的蒸汽经过蒸汽连接管送到冷凝端。带着从加热端加热的蒸汽在经过冷凝端时，便被煤气或助燃空气冷却，变成液体，液体在通过液体管道流通到加热端受热，而做到蒸汽-液体间的顺畅转换则是依靠分离式管道内两端的高低差实现，在整个过程中实现热量的连续传递。但在高温端的加热蒸汽在冷凝端不一定可以做到100%的冷凝，因此会产生不凝性气体，热管换热器则加装了不凝性气体分离装置，产生的不凝性气体可随时排放。热管换热器可分为：气—气、气-汽、气—液、液—液、液—气式换热。  
**2.4、热媒体换热器** 热媒体利用了矿物有机油，这种矿物有机油化学性质稳定、流动性、亲热性良好、具有高沸点、高闪点的，因而油价格十分昂贵。其价格昂贵的原因更在于系统能够长期有效地回收热量热媒。为了避免此类有机油在交换过程中受损，所以利用热媒体换热的电厂对设备的安装要求极高，因为密封性十分重要。换热器的工作原理是：热风炉道中的高温废气加热着从烟气换热器中的热媒体，被冷却后的热风炉烟道废气再通过烟囱排入大气，加热后的热媒体则在钢管内将从废气带来的热量供于助燃空气换热器和煤气换热器，将热量传递给助燃空气和煤气，加热后的助燃空气和煤气送入热风炉内燃烧，在助燃空气和煤气燃烧后，其便冷却，冷却后的热媒体经过循环泵再次送入烟气换热器内加热，就这样进行反复循环。 **2.5、低压省煤器**  
锅炉低压省煤器又叫低压省煤器低压省煤器，是利用锅炉排烟余热,节约能源的有效措施之一。低压省煤器的名字由来使因为其利用了低压凝结水而不是高压给水，而且水侧的压力比较低，其结构上与普通的省煤器相似,但一般在引风机之后;二是连接于汽水系统中,在回热系统中串并联。低压省煤器的水侧联接于汽轮机回热系统的低压加热部分。煤耗的节省则是它通过回热系统排挤抽汽实现的。低压省煤器安装之后，汽轮机在工作时不仅可以得到一份外来的热量，而且节省了一部分抽汽，从而减少了浪费，提高了效率，使汽轮机在工作时更加环保。 **3. 主要换热器的优劣比较** **3.1、焊接板式换热器 优势：**(1)全焊式板式换热器的换热板片，是用特殊的不锈钢，以特制的模具压制而成，表面光滑不易结垢，便于清洗。(2)全焊接板式换热器波纹状的设计使流体在较低的流速下也能产生湍流，提高了传热效率。(3)全焊接板式换热器的整个板片束并没有采用任何非金属材料，而是全部采用本体材料由氩弧焊焊接而成，因而有较高的耐温、耐压性能。在工作温度300℃，压力3.0Mpa的极端工况条件也十分适用。(4)全焊接板式换热器结构设计紧凑，传热性能高效，使用方便灵活，因而具有完全取代传统管壳式换热器的优越性能。(5)便于改变换热面积或流程组合，适用于多重介质换热。**劣势：**(1)不适用于易堵塞介质。(2)密封性较差，易泄露。需要更换垫圈，比较麻烦。(3)使用温度受垫圈材料耐温性能的限制。(4)使用压力受一定限制。(5)流道小，不适用于气--气换热或蒸汽冷凝。 **3.2、GGH换热器**  
**优势：**(1)利用进入脱硫吸收塔的高温原烟气加热从脱硫吸收塔出来的温度较低的净烟气，既回收了高温原烟气的一部分热能，又提高了净烟气的温度，减少了对烟囱的腐蚀。(2)其中，水热媒式换热器原烟气侧和净烟气侧的分离设计，避免造成二次污染；采用中间辅助蒸汽加热器，有利于保证运行设备参数的稳定。 **劣势：**(1)GHH换热器占地面积大，初次投资很高，费用约占脱硫系统总投资的15%(2)安装GGH引起烟道压降，造成约1200Pa左右的压损，必须增加增压风机和引风机的压头来克服这些阻力，因而大大增加了运行电耗。(3)原烟气在GGH中释放热量后温度会降低到80℃，低于酸露点，导致 GGH 的热侧( 即原烟气侧) 产生大量粘稠的浓酸液，不仅对GGH 的换热元件和壳体造成腐蚀，而且会粘附大量烟气中的飞灰， 造成严重积灰，会降低换热效率，并且进一步增加 GGH 的压降。(4)GGH在运行过程中产生的积灰和酸沉淀物需要用压缩空气、蒸汽和高压水进行冲洗，而冲洗后的废水有很强的腐蚀性，必须作专门处理后才能排放，因此增加了设备投资。(5)其中回转式GGH的原烟气侧向净烟气侧的泄露会降低系统的脱硫效率，易造成二次污染，而且更容易堵灰。 **3.3、热管换热器 优势：**(1)  在运行过程中单根热管由于磨损、腐蚀、超温等原因发生破坏时基本不影响换热器整体运行。因而将热管换热器应用于易然、易爆、腐蚀性强的流体换热场合非常可靠。  
(2)  热管换热器的冷、热流体完全分开流动，易实现冷、热流体的逆流换热。冷热流体均在管外流动，由于管外流动的换热系数远高于管内流动的换热系数，用于品位较低的热能回收场合非常经济。  
(3)  流体含尘量较高时，热管换热器可以通过改变结构、扩展受热面等形式解决换热器的磨损和堵灰问题。  
(4)  热管换热器在回收具有腐蚀性的烟气余热时，通过调整蒸发段、冷凝段的传热面积来调整热管管壁温度，可以使热管尽可能避开最大的腐蚀区域。**劣势：**(1)  管道往返较多，增加了投资，工作温度受热媒体的限制。  
(2)  耐高温性能较差。  
**3.4、热煤式换热器 优势：**(1)热效率高，气密性好，可以通过调节热媒体的流量来调节预热助燃空气和预热煤气之间的热量。(2)热媒不外泄，可以安全地预热，回收更多热量。(3)预热助燃空气和煤气的热交换器可分开设置，比较灵活，适应于热风炉区场地狭窄的技术改造。(4)受热侧、放热侧分离设置，可同时预热空气和煤气，避免因漏气造成预热煤气不安全的问题。(5)热媒换热器的体积小而轻，便于安装和更换，维护简便。(6)热媒体采用导热油，在较高温度下也具有热稳定性，可长期连续使用。**劣势：**(1)要注意密封件的质量，防止热媒的泄漏。(2)为了安全，热媒贮存罐必须与热风炉保持一定的距离。(3)翅片和翅片管间距小，阻力大，清灰困难，因而对加压循环泵的要求比较高。 **3.5、低压省煤器 优势：**(1)低压省煤器的用镍络渗层零隙阻钎焊螺旋鳍片管作传热元件,接触热阻几乎为零,具有抗腐蚀，耐磨损及防堵灰等综合性能，即便烟气流阻限制较严格，也可将烟气流阻控制在允许范围内。(2)直接降低了排烟温度，因而节省煤炭用量，同时减少了脱硫系统所需的工艺用水，进一步保证了除尘效率和脱硫效率。(3)具有良好的煤种和季节适应性。锅炉的低压省煤器出口烟气温度可根据季节和煤质(主要是含硫质量分数)进行调节，可节省标煤耗，也可防止低温腐蚀。(4)低压省煤器布置于空气预热器后面，其传热对锅炉其它受热面不会产生影响，因而不会降低锅炉效率。(5)由于布置在锅炉本体外的引风机处水平烟道，空间宽敞，安装简便，安装费用较低，同时便于检修。**劣势：**为防止低温腐蚀，将低压省煤器进口水温设计在酸露点+10℃，温度较高导致不能大幅度降低排烟温度，余热回收效果不佳。

**4. 目前制约换热器发展的关键问题** 电厂中烟气余热回收的换热器，在实际使用中还有几点问题： **第一，腐蚀问题。**关于腐蚀，最严重的当属酸的腐蚀。电厂尾气中含有二氧化硫，当未除尽的二氧化硫在催化剂的条件下与氧气结合生成三氧化硫，最后与水蒸气结合形成硫酸蒸汽，硫酸蒸汽的存在使烟气的酸露点显著升高，当烟气温度低于酸露点时就会造成烟气结雾，对换热器造成腐蚀，又称为低温腐蚀。低温腐蚀主要对空气预热器造成危害，酸雾会使空气预热器的金属壁变薄，损坏，是大量的冷风进入空气预热器，而且一同进入的水蒸气会粘在金属壁上，造成空气预热器的堵塞，严重时还可能造成生产事故。 **第二，换热器的积灰问题。**这个是各类锅炉和工业炉窑的通病，无论是固体燃料还是液体燃料甚至是气体燃料都会有不同程度的积灰问题，但是固体燃料的烟灰数量更多，这对于以煤炭为主要燃料的电厂是一个重大的问题，烟尘对于换热器的不良影响主要有（1）锅炉烟灰的腐蚀性会增加维修成本，降低换热器的使用寿命。（2）烟灰可能会堵塞通气管，造成换热器损坏。（3）大量的烟灰还会造成换热器的工作效率大打折扣。（4）烟灰还可能造成结垢，使换热器局部过热和降低工作效率。最后由于烟囱内的空间有限，清理工作也变得十分困难。 **第三，经济性。**就目前的材料成本和工艺方面，可以在一定程度上解决上述问题，但产品高昂的价格和维护成本使量产在短时间内难以实现。 **5. 结论及发展展望** 综上所述,可以看到换热器在电厂烟气余热回收方面的应用十分广泛。**不同的换热器各有优缺，通过比较各种换热器的优缺点，和实际应用中面临的关键问题，如：露点腐蚀，积灰，磨损等，今后的换热器发展必须要克服这些问题同时注重经济利益和回收的效率。**GGH换热器虽然可以有效地利用烟气的一部分热能，但在实际应用中面临初期投资大、维护费用高、故障率高、不能较好地解决酸露点腐蚀等问题使得现阶段GGH在国内的应用前景不大。而热媒式换热器的运转设备较多，而且设备的维护、运转费用高，对余热回收系统的要求较为苛刻，在国内应用也较少。常规的安装在锅炉尾部的低压省煤器也面临腐蚀，磨损和引风机电耗增大，进水口水温设计值高降低排烟温度效果不显著等问题。**对比前几种换热器，热管换热器的传热效率高，使用的寿命较长，而且能较好地解决低温腐蚀以及磨损带来的问题，单根热管损坏可以单独更换而不会影响整体的使用，虽然还面临着积灰等技术问题，但是其利大于弊，随着热管技术的不断进步，热管换热器在电厂烟气余热回收利用方面的前景也不断扩大。**全焊接板式换热器式目前国外应用较成熟的高效节能换热器，具有传热系数高，重量轻，体积小，回收效率高等优点，其应用前景也十分广泛。此外还有诸如：螺旋折流板，纵流管束换热器等等新型的高效换热器不断发展，电厂烟气余热回收换热器将呈多元化，多方向的发展，**氟塑钢换热器和全焊接板等效率高的技术在换热器方面的应用也将更加广泛**，新型高效的换热器也将逐步代替应用前景不大和传统的换热器。  
转自：烟气余热利用