几种行业内余热余能的深度分析及余热余能利用的意义

来源:烟气余热利用

一、关于余热余能的理解

所谓余热余能：即为了满足工艺过程、生产某种产品，或为了满足人们生活、工作的需求，需要消耗一定数量的能源。除了为满足这种需求理论上所需消耗的能源以外的、认为无用的、剩余的热与能即为相关过程和需求的余热余能。

余热余能是相关过程和需求之中被认为无用的热与能，并非全部都不可被再利用，实际上通过一定的方式仍然可以有效地利用这部分热与能。这也是我们讨论、关心这部分能量的目的之一。另外，从能源科技的发展而言，能的合理利用与不断提高的余热余能利用水平有着密切的关系。

余热余能的利用水平与相关时代的科技水平、生活、工作方式密切相关。随着可现代科技的不断进步，今天的余热余能，明天即可能部分的成为理论上的需求。也就是说能的利用水平的提高是与余热余能的合理利用密切相关的。今天被认为是余热余能，明天即成了有效能或者减少了的余热余能。例如，在炼钢过程中，过去将钢水变成产品，要求先浇铸→冷却→变成钢锭→加热→满足轧钢工艺→产品，这样在冷却过程中会产生余热，在加热过程中又要增加能的消耗。由于发明了连铸技术，则可直接利用钢水进行轧制，不仅减少了加热能的消耗，同时还减少了冷却过程中的余热。再如，过去火力发电系统，由于燃烧与传热火用损失和其它原因，使发电过程产生了大量烟气余热及冷凝余热，并散失至大气之中，系统效率很低。近代，由于改善了燃烧及传热过程等，减少了㶲损失引起的排烟损失及冷凝损失，使发电系统的发电效率达到了较高水平，低的达到40%左右，高的达到60~70%左右。也就是说随着发电方式的改变，充分利用了以㶲损失表现的高位余能，达到了能的合理利用，获得了系统发电效率的提高。再例如，废热锅炉的利用，大大地改善了工艺系统余热利用，从而将余热变成了人们所需要的热、功、电。一般情况下，余热余能既可能是由高位㶲损失引起，也可能是由低位的热损失引起。余热余能虽然均属于低位能，但是它们的来历却大不相同。有的是由于利用不好，产生了大量的㶲损失而形成的;有的却是正常利用后较少产生火用损失而形成的。虽然它们在余热余能的形式下属于低位能源，但由于来历不同，我们在考虑它们的回收利用时，即可能产生不同的方法与措施。对于前者，我们可以利用减少㶲损失、改善燃烧传热等方法，可以使余热余能得到较好的利用。后者则可采用多能互补的方法，从而合理利用余热余能。这样我们即对余热余能的产生、性质及其利用有了一个较全面的理解与认识。

总之，余热余能的概念是相对的，是随时变化的。它的研究、利用与能源的合理利用、发展是密切相关的。余热余能的利用及研究过程，在一定程度上代表了能源的合理利用与发展水平。以往多以直观的热力学第一定律(热平衡)来研究余热余能的利用，也的确取得了很大的成就，使总能利用系统效率有3~6%的提高。但是人们忽略了在余热余能的利用方面，联合热力学第二定律研究问题所取得的成就。火力发电今天能取得40~70%的发电效率，仅仅按照热平衡来研究是难以达到的。所以，我们在考察研究余热余能的潜力及措施时，也务必按此方法及理念来分析问题，并制定相应地措施，才会取得理想的效益。注：未被利用的余热余能仍然属于能，只不过是难以利用的能，其火无的比例很高，或全为火无。

二、需要关注余热余能利用的意义

随着社会的发展，人们对能源的依赖程度在加强。人们成倍增加的对能源的需求，造成了地球化石能源的储量在迅速减少，形成了难以持续发展的格局。同时人们大量地利用能源，也造成了严重的环境污染与生态恶化。从理论上讲，可再生能源(太阳能、风能、水能等)的数量几乎取之不尽、用之不竭，即可持续发展、长期利用。但由于其密度低、随时性很强(随时间变化十分明显)的特性，使人们的对其的利用极为困难，往往是投入产出不合算。所以，在没有出现合理的利用方式或可持续发展的新能源、可再生能源或实现经济、安全利用的技术之前，人们依然还要依靠化石能源。在这种现实的情况下，节能减排或能的合理利用则具有重大意义。在化石能源的利用过程中，实践证明只能有效地利用一部分，另一部分则以不同形式变成了余热余能。在能源利用的过程中，人们通常将变成余热余能的过程称为损失的过程，例如摩擦损失、节流损失、散热损失、燃烧损失、传热损失等。实践证明，这部分“损失”在一定条件下它们又变成了余热余能，其能的品位也出现了降低，而这些被降低了品位的余热余能中的一部分又可能变成有效能。余热余能的可用程度往往与时间、地点、相关的技术水平、管理水平有密切的关系，而余热余能的有效利用，又往往能促进能源的合理利用。余热余能的利用不仅包括高位火用部分，也包括低位火用的部分。在此我们可以说，余热余能的合理利用，乃是能源合理利用的重要组成部分。不难想象，一个不重视余热余能项目的地区、单位，则不可能出现能源利用的高水平。总之，余热余能的研究及完善程度乃是能源合理利用的不可缺少的极其重要组成部分。余热余能的优化利用，是解决目前能源紧张、环境污染、生态恶化的重要组成部分。余热余能的利用目的在于提高系统能源利用率，千万不能过多的去干涉其范围大小及措施来源。

以上看法可以由以下的例子说明：

1)高炉生产过程中，产生了大量的烟气，这种烟气中含有大量的可燃CO等。由于CO有害人们的健康，在上世纪70年代以前，我国大部分钢铁企业几乎都将该部分余能排放至大气或在大气中燃烧。以后人们利用其在锅炉中燃烧产生蒸汽，但火用效率较低。现在随着技术的提高，人们又将其应用到了燃气蒸汽轮机发电系统中，采用了热电联产系统，取得了相对较高的效率。由于人们对这部分余热余能的不断优化利用，使高炉的能源利用率提高了9%以上。炼钢过程也有类似高炉的情况，可以达到负能炼钢，没有炼钢过程中余热余能的合理利用是不可能的。没有类似高炉、转炉烟气的合理利用，钢铁企业的电能供应是很难达到目前的利用水平的。另外，内燃机为了充分利用其排出烟气的余热余能，添置了增压器系统，不仅使其热效率大幅度提高，同时还大大地改善了内燃机的性能。

2)利用下水道水的显热(低位余热)，通过水源热泵使其温度提升，替代锅炉供热，从而以极少的电能取得较多的热能供人们取暖。

总之，这样的例子不胜枚举，这些都说明：余热余能的利用，不仅可以使能源得到充分、合理地利用，还可以改善工艺过程及其产品的性能。余热余能的利用是能源利用及工艺改进不可缺少的重要环节及内容。余热余能的利用不仅要重视正常产生的余热余能的利用，更要重视存在大量火用损失场合的余热余能的合理利用。

三、余热余能的潜力分析

余热余能潜力分析的目的主要是为了更好地利用它，并引起人们的重视。由于提高余热余能的利用水平，使更多的、原来无用的余热余能得到了合理利用，变废为宝。为了正确地提高余热余能的利用水平，更好地挖掘其潜力，必须有一个合理的分析方法及原则。过去，人们多以热力学第一定律来考虑能量的平衡与利用，通过建立热平衡关系来分析问题。这样在实际工作中虽然也取得了大量的成绩，但却忽略了很重要的问题：不仅该有的潜力未能发现，也不能在某些情况下正确地选用余热余能的利用措施。例如用天然气锅炉烧蒸汽与美宝炉烘干物料等的高位低用，浪费了大量的火用，使燃料的高位能白白浪费，变成了相应的低位热。从第一定律的热平衡看，系统已无利用的潜力，但从火用平衡角度而言，其回收的潜力则很大。所以，目前应同时考虑热力学第一、第二定律，不仅要考虑热平衡，更要考虑火用平衡。即不仅要考虑能源量的大小，同时还要考虑能源质的差异。为此，要求我们在余热余能的利用过程中，充分地考虑能的梯级利用，实现“温度对口、梯级利用”及“品位对口、梯级利用”。这样不仅可以全面地看到其可利用潜力，还可以为其合理利用指出正确的方法、措施。

现结合能源利用数量比较多的行业进行分析说明如下：

1、电力行业

目前，我国的能源有30%左右被电力行业利用了，其中主要为煤炭。上世纪末，发电系统的热效率为35%左右，经过十余年的大力发展，我国发电的总装机容量为12.5亿千瓦左右。大型火电厂以60万千瓦的、高参数的大机组为主力军，其中火电占了8.5亿千瓦左右。系统热效率达到了40%左右，最高达到了44%左右。而发达国家已经将火力发电系统的热效率提升至60~70%左右，并且CO2达到零排放。为什么我们国家过去和现在的系统热效率低于发达国家20%左右?这里的主要问题是我们缺乏从火用平衡及其相关原则的角度去考察问题，当然也与我国的能源结构以煤为主有关。要想解决问题，必须从新的理念出发。从热平衡来看，火力发电的损失大部分是锅炉的排烟损失及汽轮机冷凝损失的余热给带至大气，我国火电效率再提高已十分困难;但如果从火用平衡的角度思考问题，只要设法降低锅炉的燃烧火用损失及其相关的传热火用损失，在系统中充分地注意高位高用，合理集成，这样一来火用(热)效率也会大大提升。因为火用损失部分被利用，发电后的热损失也相应地下降，满足了热平衡的要求，所以相关的热损失也会相应地降低。发达国家煤电系统发电效率达到60%左右，这个过程即是一项合理利用余热余能的典型。也就是说，如果我们改变理念，以创新的视角来改造我们的发电系统，我国发电系统尚有20%以上的利用潜力。也就是说目前从热平衡角度而言，余热损失可降低20%以上。火电发电过程的发电效率的提高，表现为降低了的余热余能，而上述目标实际上是将高位火用损失在改善过程中正确、合理利用的结果。

2、钢铁及有色冶金产业

钢铁及有色冶金产业不仅是一个耗能大户，实际上还是我国制造业的重点行业，目前钢铁行业一年的总产能约为9亿吨，是全世界的首位，占世界总量的50%以上，有色冶金行业也不例外。虽然，在目前的产业结构调整中，可能会有大幅度地下降，但其基本格局不会有大的变化。因为其投入太大、影响也大，钢铁行业在产能过剩的压力下，十分重视相关的余热余能的利用，进行了大量的节能技改。例如，大力推进余热余能的煤气发电、干熄热发电、余热发电、废锅汽轮机发电、燃气蒸汽轮机联合发电等。某钢铁公司，设计规模仅800万吨/年，其余热余能的发电能力就有48万千瓦，占自用电比例高达75%以上。如果继续进行深度改造，还有十余万千瓦的潜力。如果我国的钢铁行业按此规模进行考虑，仅发电即有5000万千瓦左右的装机潜力，发电能力也会达到3500万千瓦左右。过去炼钢的钢水要先浇铸成钢锭，使之冷却放出余热;为了轧钢又要加热至1000℃以上再行轧制。但随着连铸技术的出现，即炼钢以后直接轧制，冷却余热的合理利用使其效率提高了10%左右，为炼钢系统实现负能冶炼出力最大。钢铁行业的大型流体设备(风机、泵类、压缩机等)利用十分广泛，能耗也十分巨大，但是由于匹配不合理产生的节流损失以及冷却加热不合理的损失等浪费的能量极大。如以上述800万吨/年的钢厂为例，其余能的节约量约在20亿千瓦时左右。总之，钢铁与有色冶金产业既是我国的重要产业，又是世界的首户，其余热余能的潜力均在20%以上，余热余能的数量、比例较大，节能的潜力也较大。

3、石油化工行业

这里讲的石油化工行业是泛指：包括石油、石化、基础化工、常规化工、化肥、医药等行业的综合，也是我国最重要的制造产业之一，能源消耗较多的产业之一。据不完全统计，上述行业的总能耗约占全国总能耗的20%以上。在上述行业中，由于化学反应是其基本的生产过程，这样即出现了大量的余热余能。此行业与钢铁行业类似，具有大量的余热余能，可以用来发电。例如，硫酸生产过程中的工质温度约在1000℃左右(过去利用较少)，目前仅能用来产生中压蒸汽。但从火用损失角度分析而言，完全可以用来产生10MPa，540℃左右的蒸汽，这样发电能力即可能增加40%以上。大量的化工产品需要烘干，为此相当多的企业采用以天然气或煤燃烧后的烟气直接烘干，这样一来高位能即随着过程的排烟余热而损失掉了，利用率极低。如果合理利用，采用燃气蒸汽联合循环或热电联产，上述经余热带走能量(烟气)中的30%可能被回收。化工行业是电能消耗最大的行业，流体机械的数量及能耗都是各行业之首，这里的节流损失、不合理的冷却及加热损失、布置位置不合理产生的不必要流阻损失约占其总电耗的28%以上。目前由于采用了各种调速、合理匹配等措施，回收了大约15%以上的电能。但仍有大量的设备由于各种原因，未能回收这部分余能。石化行业为了工艺的需要消耗数以亿吨/小时的蒸汽，但是由于装置及系统的问题，真正有效的利用仅50%左右，大量的热能随着过程的进行，损失在过程传输与使用不合理之中。如能合理回收，大约有30%左右的量可能被回收。为了输送天然气、石油，必须加压，从而消耗了大量的电能及其它形式的能量。在使用时又产生了大量的节流或排放损失。目前出现的压差发电系统是解决上述问题的好方法之一。

——在采油采气过程中，耗费了大量的电能或其它形式的能量，注气、注水以后又变成了余压余能。如何利用这部分余压余能，值得人们研究。

——石化系统的各种产品主要是各种油品、天然气，除了供给化工、交通、军工、其它系统外，相当一部分用于锅炉燃烧产生蒸汽等。这种形式存在严重的高位低用，产生了大量的高位余能(火用损)。目前全国尚有天然气、油锅炉10万余台，能耗1亿吨标煤/年左右。这部分高位余能如能合理利用，可以多回收电能约80亿度/年。

4、煤炭行业

对我国而言，煤炭行业具有特殊地位。2010年以前，我国能耗的70%以上由煤炭来承担。由于节能减排的需要，近年来我国大力开发石油、天然气及其它可再生能源，煤炭的比例在缩小，但总量并未减少。煤炭行业的能耗并不太高，但在开发过程中，也有大量的煤层气(余能)及瓦斯气大量的随行产出，但这部分余能的利用水平不高，其潜力很大。

5、建筑、机械制造及其它行业

建材行业中，特别是水泥生产中，消耗了大量的能源，同时也排放了大量的余热。对这部分余热的利用，近年来作出了较突出的成绩。另外，玻璃行业等均有大量余热余能可以被重视。目前为此也建立了很多相关的余热发电系统，其发电能力达到160万千瓦左右。

机械制造行业是一个十分广泛的行业，在此行业中有大量的各种类型的熔炼炉、加热炉和使用蒸汽的工艺设备，其烟气、蒸汽余热余能大量存在。

另外，食品行业需要大量的蒸汽和各种小型锅炉，产生了大量的高温烟气和蒸汽余热。目前，由于量少、十分分散，利用十分困难，所以其利用的程度十分低下。

按照以上行业的余热余能总量来看，其可用潜力目前约为总能耗的20%左右，数量十分庞大，应引起高度重视。

总之，凡是用能(电、功、热等)地点都会有不同形式的余热余能存在。凡是利用不充分的工艺过程，都大量存在着能的不同程度的降位，即由电、功变为热，或者由高位的蒸汽变为热水，或热水冷却散热至大气的过程。这样说来，凡是降位的能源的运行过程中，未被有效利用的能量就是余热余能。目前，各种工艺过程的能源有效利用水平都在50%左右，所以余热余能的总量约占了实际能耗的50%左右。考虑到其它资源在利用的过程中，也会产生余热(如硫酸生产过程)，所以余热余能可用潜力应在20%以上。对具体项目而言，至于能回收多少?如果按照热的火用平衡及火用效率原理，其数量据不完全统计，也在总能耗的20%以上。余热余能的潜力及总量愈大，说明能源的利用水平愈低。我们的目标是通过余热余能的合理利用，使其总量及潜力愈小，说明我们对能源的利用有了较好的利用与提高。

四、余热余能合理利用的原则及主要途径

在分析余热余能的利用问题期间，必须明确以下的认识与原理：余热余能与生产工艺、能源利用过程的关系十分密切，它们伴生于生产工艺、能源利用过程之中。因而，它们的来源品位有高低之分，不能简单地认为只包括低位余热余能。它们的产生是由工艺及能源转换过程进行的不完善而产生的各种损失(这里包括燃烧损失、传热损失、传递损失、化学不完善损失、散热损伤、摩擦损失、漏失损失等)所造成。所以为了合理利用这部分余热余能，则要与上述原因相结合的系统及过程特点相联系。

环保的恶化与工艺与能源转换过程相关，它是影响人们身体健康、生态变化的重要因素。过去是先污染后治理，效果并不尽如人意，不仅给社会带来了巨大的投入与压力，还给人们带来的是一种难以回避的灾难。为此，人们在长期探索与研究中找到了一种最有效的治理方法，即：工艺、能源、环境治理一体化的原则，即在工艺及能源转换利用过程中一体化地统一解决。

余热余能的利用与治理，也与工艺、能源转化过程密切相关。它们利用的好坏直接影响着、标志着能源利用的好坏。如果对已经表现出的余热余能仅采用简单的方法来治理、利用，对能源合理利用的收益并不大。只有按照相关系统火用损失的特点，去系统地考虑其利用的方法及措施，方能取得灼人的成就。例如，用天然气来烧热水或蒸汽，仅仅利用了转换过程的余热，仅能回收的热效率为10%左右，火用效率仅1~2%。在这个过程中，出现了能量的高位低用，系统火用损失很大。如果采用天然气蒸汽联合电热系统，系统的火用效率即可提高30%以上。余热余能利用的目的在于提高总系统的能源利用率，所以这种比较一目了然!对于煤烧热水或蒸汽的系统，则要考虑利用IGCC系统进行回收。这里也要注意，在考虑余热余能的利用时，不仅要考虑系统能源利用的优劣程度，同时也要考虑投入产出的合理性以及难易程度。对不同条件及大小的项目可以采用不同的方法处理，不能一概而论。

在考虑余热余能利用时，不能仅以热效率来分析，解决问题，更要以火用效率来分析、解决问题。因为，在火用效率与热效率相同的条件下，根据热泵工作的原理：COP可以大于1，一般情况多在3~4之间，这样即可证明用火用效率来分析解决问题，可能取得较好的结果。当然，这也要视条件而定：如果用量不多，仅仅需要热水或低压蒸汽，直接燃烧产生也是可以的。例如，家庭利用的天然气热水器，虽然效率很低，相对余热也很大，但在此条件下也只能如此。

余热余能是来自于工艺及能源转换过程，其利用与回收也只能以系统分析的方法来处理。余热余能利用的创新主要体现在系统集成方面的创新，即结合特定条件，经过创新提供最佳的集成系统结构，体现热力学基本定理的梯级利用、综合利用的原理。