

仅存在光伏电池、燃料电池和温差热发电这三种技术体系吗？ 无须热功转换的动力体系，

中国科学院理论物理研究所 何祚庥

2010年2月8日的《科学时报》开辟了一个新的专刊:《低碳能源》,很好!编辑部在《创刊致读者》中说,“能源一役是未来国家竞争的关键之战。值此非常时期,我们更需要开放讨论、客观的分析和明晰的观点。一切均需从中国现实的国情和发展阶段出发,避免盲目跟风,作出误判”;“我们坚持理性。我们的主流读者不需要喧哗与浮躁的信息,而是欣赏富于理性的观察与分析”;“我们渴望专业。人云亦云、概念炒作或可博得一时关注,但唯有深入的观察和专业的表达才有助于为读者和社会创造更高的价值”。我们非常支持这些理念。

问题是这一“创刊号”,鲜明地主张“节能是低碳发展的‘第一’战略”,其理论根据是:“能源问题的关键在于‘热功转换’这四个字,也是中国节能问题的‘本质’”,至于中国式低碳的关键,却是“煤清洁利用”。看起来似乎有理,我们却不能苟同。因为这里涉及“排序”。我们不会反对节能,但如果把“节能”放到低碳发展战略的“第一”的地位,那就值得商榷;我们可以认同解决能源问题的关键之一,是提高“热功转换”效率,但不认同这一效率的“提高”,要上升到中国节能的“本质”的高度;更不认同提高“热功转换”效率的“关键”是“煤的清洁利用”。

首先需要弄清“节能”一词的内涵。中国为什么要实行“低碳”能源战略?最为重要的原因是化石能源短缺。化石能源会造成环境污染,会造成二氧化碳排放。为减少碳排放,所以要节约化石能源;少消耗化石能源,也就减少了碳排放;所以说,“节能”就是“减排”。但为实现减少碳排放的低碳发展,还有另一个发展模式,这就是用非化石能源来实现低碳发展。甚而可以“零碳”发展,却无需特别关注节能。所以,节能和减排是两个不同概念。节能必定同时实现减排;用非化石能源减排,不仅可以“零”排放,而且可以能量照旧增长。当然也不会去支持毫无意义地浪费非化石能源。

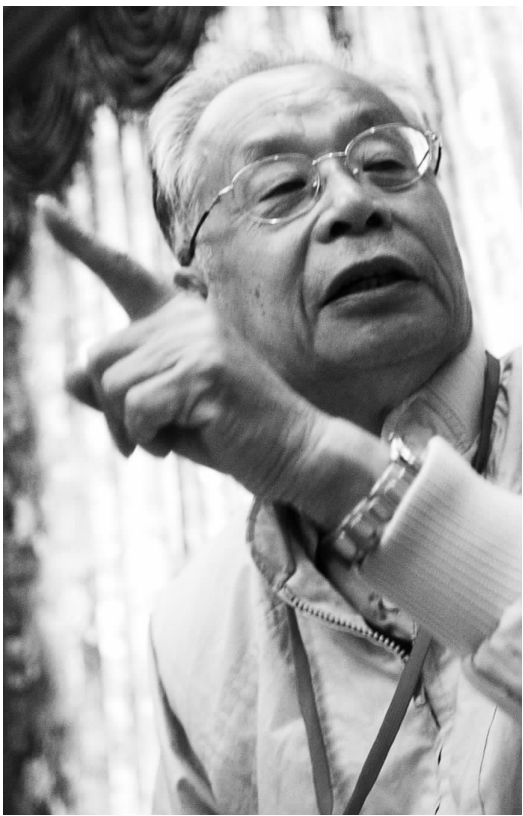
为了“人为地”拔高火力发电的“节能”在低碳发展中的战略地位,能源专家们甚而说“能源问题的‘关键’”(注:请注意这里用的是能源问题4个字,不仅限于节能问题),在于“热功转换”这四个字。人类对能源有两大需求,一是供热,二是做功。解决“供热”问题,其“关键”和“热功转换”这四个字,其实是搭不界的。功的来源之一,确是“热功转换”,但除了热功转换这一做功模式之外,还可以有热能以外的其他形式的能源,机械能、光能、电能、理论上还有以振动形式出现的机械能,亦即声能都可以做功。所以,能源问题的“关键”决不能仅仅归结为“热功转换”这四个字。

当然,能源专家也有“理由”。这就是马重芳教授着重提出,“在现阶段人类社会中心,无须热功转换的动力体系很少,仅存在光伏电池、燃料电池和温差热发电这三种技术体系”。这大错特错!

温差热发电“百分之百”属“热功转换的动力体系”,只是它的热功转换效率或热电转换效率甚低,远远低于卡诺循环。原因在于人们很难找到高效导电但又同时高效绝热的材料。弄些温差热电偶发电玩玩是可以的,完全不必“上升”到“无须热功转换的动力体系”的高度,以示它的重要。

在现阶段人类社会中,并不“仅存在”光伏电池、燃料电池这两种无须热功转化的技术体系。典型的例子是风能和水能。中国的水能资源有7亿千瓦,技术可开发的有5.4亿千瓦,经济可开发的有4亿千瓦,已开发的有1.9亿千瓦,而且已是技术十分成熟的技术体系。风能资源,据2010年1月5日《经济日报》报道:中央气象局发布,“我国陆上离地面50米高度达到3级以上风能资源的潜在开发量约23.8亿千瓦;我国5~25米水深线以内近海区域、海面对上50米高空装机容量约2亿千瓦”。而80米高空的风能资源,很可能突破40亿千瓦,约是当前火力发电装机容量的6倍。至于风能的技术发展,的确不算很成熟,至少不如火力发电中的“超超临界”技术成熟。但要请马教授客观地评价一下,究竟是风能技术较成熟,还是你们大肆提倡的包括“碳埋存”(CCS)在内的多联产清洁煤(IGCC)技术更成熟?也许更有争议的是太阳能光伏发电技术,比起风能发电,其发电成本就还要高出一倍。但我们也很愿意认真争议一下,是太阳能光伏发电技术更能实现减排,还是被称CCS技术的碳埋存更能实现减排?中国的一次能源约消耗28.5亿吨标准煤,中国年收集的太阳能是17000亿吨标准煤。两者相差达600倍之多!为什么要将如此大量的资源,搁置一边,放在不重要的地位?!

马重芳教授认为:“一旦仔细讨论这些技术(指光伏发电和燃料电池)的路线图和时间表,恐怕它们就站不住



何祚庥:中国科学院理论物理研究所研究员、中科院院士。早期从事粒子理论、原子弹和氢弹理论的研究。近十年来关注社会现实问题,特别是当代社会经济发展中的重大科学技术问题,进行了深入研究,并发表了一系列的文章。近期更集中研究了我国的能源问题,特别是对太阳能利用的新发展是当前研究的重点。

脚了。”我们很愿意和马教授共同“仔细讨论这些技术”的路线图和时间表。不过我们也很愿意和马教授共同仔细讨论你们所主张的包括CCS碳埋存和IGCC洁净煤技术在内的路线图和时间表。尤其需要讨论的,你们究竟能把多少“碳埋到地下,而不泄漏”?它们的埋存量占中国碳排放的相对百分比又是多少?我们很愿意仔细讨论一下,看看究竟是“谁”站不住脚!

马重芳教授表示:“当前对低碳能源发展路线,大家讨论得十分热烈,但是关键要把四个问题讨论清楚:一是它的基本科学原理是否没问题的;二是它的技术可行性如何;三是它的发展路线图是否清楚;四是有没有具体的时间表。”我们很同意这四点意见。

但如果说到“基本科学原理”,我们就要理论联系“实际”,质询一下,马教授所提出的,“基本科学原理是否没问题的?”马教授说:“人类仅仅满足于30%~40%,甚至只有20%的热功转换效率,这是极不合理的。”又说:“提高热功转换效率就是要把‘单一’热功循环变成‘复合’循环,而我们要将近300年的‘单一’热力循环格局‘打破’,在理论和技术上作重大创新。留给我们的时间很有限,这是一个非常重大的任务。”很遗憾,从我们这些理论物理工作者来看,恐怕马教授所提出的“非常重大的任务”,很难站得住脚。热能的可以重复利用,高品位的热发电完以后,还有大量废热,可以重复利用,如解决房屋建筑里的供热耗电,这一原理是没有问题的。但如果涉及热功转换,那就要说一句,利用“复合循环”,也不可能“打破”卡诺循环所确定的热功转化效率。我赞成利用废热发电,但如果将废热用来发电,就要看到废热发电的热功转化率很低、很低。可以用废热补充一点电力,还要看它是否经济合用,但绝对不可能突破卡诺循环所确定的热功转化率。拿火力发电专家们最推崇的“超超临界”技术来说,据我所知,我国“超超临界”火力发电技术转化率已高达44%,其转化率已相当接近卡诺循环,已将每度电煤耗从2005年的360克标准煤,下降到300克标准煤。但马教授仍不满意,认为人类不能“仅满足于30%~40%”的热功转化效率。我们的质疑是,马教授能否告诉我们,人类将怎样利用复式循环,进一步“打破”超超临界技术已达到的44%的热功转化效率?据我所知,超超临界技术之所以能达到44%的热功转化效率,原因在于已充分利用了通常要冷却或排放的废热。不是用废热发电,而是将废热进入热循环再利用。所以就从次临界发电的热功转化率的38%提升为44%,多了6个百分点。但这仍是“一次”循环,不是什么“复式循环”。我们很希望知道,马教授提出的“复式循环”在超超临界技术中,如何理论联系实际,进一步“打破”这一已达到44%的热功转化率。

我们也需要替马教授说明一下,马教授只说“提高”热功转换效率,也未明确说要打破卡诺循环所确定的热功转化效率,只是在表达上有点含糊不清。只说人类不能“仅仅满足于30%~40%”,未说“提高”到什么程度。但如果只是略为“提高”一些的话,那就是谈不上什么“打破”“单一热力循环格局”,“在理论和技术上作重大创新”了。

顺便说说,我是不赞成“节能是低碳发展的第一战略”,这一不甚准确、偏于含糊提法的。第一,它把“节能”当做是低碳发展的“第一”,甚而是“唯一”手段,无视非化石能源的存在。第二,背离科学发展观。科学发展观的“第一”要义是发展。这并不是我提出的“排序”。发展,就离不开发展能源。所以,“第一要义是发展”的逻辑的必然,必定要将能源的发展,包括到“第一要义”之中。而“节能是低碳发展的‘第一’战略”的提法,很可能被曲解或被误解为可以用“节能”来限制发展,妨碍发展。



马重芳:北京工业大学教授,教育部传热强化与过程节能重点实验室主任,北京市传热与能源利用重点实验室主任。中国工程热物理学会副理事长。发表英文学术论文167篇,其中在英文学术刊物上发表83篇,被SCI录用60余篇。在中文学术刊物上发表论文约280篇。拥有专利37项。曾在美、日、俄等国家的大学和研究所从事科研工作近六年。

《低碳能源》双周刊在今年2月8日的创刊号上刊登了《科学时报》记者采访笔者和其他几位专家的文章,之后不久,编辑部转来何祚庥院士对这组讨论中国低碳能源战略的评论文章。何祚庥先生一方面对双周刊的出版表示支持,另一方面也在提高能效、热功转换、IGCC、CCS等方面,针对笔者的一些观点提出了不同的意见。笔者对何先生的关心和指教深为感谢,同时也应《科学时报》编辑部的要求就他提出的质疑进行讨论和商榷。

媒体本是社会公器,《低碳能源》的创刊为各方关心能源问题的有识之士提供了一个讨论问题、发表意见的公共平台,因此,笔者非常乐意公开回复何先生的质疑,可能对被人误读、误解之处作些解释,避免在概念上纠缠不休而影响对一些能源领域深层次问题的深入研究,如此或许可以达到真理越辩越明的效果,有助于真正推动构建适合中国的低碳能源战略。

热功转换是不是现阶段主流能源技术的关键问题?

何祚庥先生在他的文章中针对笔者的提法认为:“能源问题的‘关键’决不能仅仅归结为‘热功转换’这四个字。”讨论这个问题,我们首先应该弄清现阶段主流能源技术究竟是什么?

能源技术的主流,一是要解决电力生产的问题,二是要解决各种交通运输工具的动力问题。以美国2008年的能源结构为例:根据美国能源部的《能源回顾报告2008》(Annual Energy Review 2008),美国电力生产消耗占能源消耗总量的40%,而交通运输则占能源总能耗的28%,两者相加占到了总能耗的68%以上。电力生产中,风力、水力和太阳能发电分别只占总发电量的1.2%、6%和0.17%。电力生产的主要部分依靠的是煤炭、天然气、石油和核能,它们各自占有总发电量的51%、17%、1%和8.5%。至于交通运输的能源消耗,基本上都靠石油和天然气。因此,不论是电力生产还是交通运输,热功转换都是关键的技术问题。因为不论是化石能源还是核能,都要通过热功转换将化学能或核能转换为热能,再通过各种热机(包括蒸汽轮机、燃气轮机和内燃机)的应用来实现热功转换。至于我国的情况大体也是如此。全国2007年火力发电在我国电力生产中约占83%,核电约占1.9%,水力发电和风力发电各占14.4%和0.16%,很显然,无论是火力发电还是核电也都是以热功转换为基础。

在热功转换过程中,首当其冲的是高品位热能的产生。目前,化石燃料的燃烧是热能的主要来源,燃烧学便是研究这一过程的专门学科。核裂变、地热能、聚光太阳能以及生物质的燃烧也为热功转换提供了热能。至于热能转换为机械功,更涉及了热力循环分析与设计,工质的选择和开发,传热质阻,相变和多相流,压缩和膨胀,流动和滞止等诸多工程热物理问题,并且还和机械工程、自动控制等学科紧密交叉。我国已故著名能源科学家吴仲华先生在前生提出了“温度对口,梯级利用”的基本原则,徐建中院士在其近著中对“科学用能”的基本原则作了进一步诠释和论述。

何先生在文章的标题中提到了光伏电池,燃料电池和温差热发电三种无须热功转换的动力体系,他说:“温差热发电‘百分之百’属‘热功转换的动力体系’”,这个观点是不正确的。

我们所说的功是指工程热力学意义上的机械功(mechanical work),它是力和力的方向上的位移的乘积,温差发电按照上述定义没有运动部件,也没有位移,因此也没有直接产生机械功。所以它不是一个工程热力学范畴内的热功转换过程。至于燃料电池和光伏发电,在现阶段,它们在能源结构中所占的比例都是非常小的,至少在现阶段都还称不上是主流能源技术。实际上这三种技术的历史同内燃机、蒸汽轮机、燃气轮机相比大体上是相同的,只不过上述各种热机技术在过去的100年左右的时间里已经发展成为大规模的生产,成为了当前的以化石燃料为主体的主流能源技术。而上述三种无须热功转换的能源技术

中,光伏发电只是在近期才开始逐步走向大规模的工业应用,至于燃料电池和温差发电技术目前似乎都还没有实现大规模产业化。这三种技术虽然也有可能成为未来新能源技术的主流,但是还需要相当长时间的研究和发展,理应给予大力的支持和资助。所以说,热功转换是当前主流能源技术的关键问题,应该是站得住脚的。

热功转换效率已经“相当接近”卡诺循环效率了吗?

何祚庥先生在文章中说道:“据我所知,我国‘超超临界’火力发电技术转化率已高达44%,其转化率已相当接近卡诺循环”,同时何先生还说:“马教授只说‘提高’热功转换效率,也未明确说要打破卡诺循环所确定的热功转化效率”,“我们的质疑是,马教授能否告诉我们,人类将怎样利用复式循环,进一步‘打破’超超临界技术已达到的44%的热功转化效率?”实际上何先生在他的文章中已经回答了他自己提出的问题,那就是他在文章中两次提到的IGCC技术。

IGCC的英文原文是Integrated Gasification Combined Cycle,可以译为“整体煤气化联合循环”。遗憾的是何先生似乎在翻译和理解这个专有名词的时候有一些小的差错,他在文中两次把IGCC称为“多联产清洁煤技术”或“洁净煤技术”,而没有注意到IGCC是与煤气化技术集成的联合循环技术。至于多联产洁净煤技术则是我国倪维斗院士倡导的另一重大能源技术,两者概念是完全不同的。

IGCC目前在国外还处于示范和半商业化运行阶段。这种技术对于以煤炭为主要能源的中国具有特别重要的意义。在这个技术领域我们同西方国家相比还有一定的差距。根据我国一次能源以煤为主国情,加快IGCC的研发与示范可能势在必行。此外,岑可法院士也提出了一条具有自主知识产权的技术路线——以发电为主的煤分级利用、多级联产新技术,值得我们重点关注。

所谓燃气—蒸汽联合循环是指把燃气轮机循环与蒸汽轮机循环组合为一个整体的联合热力循环系统。燃气轮机的初温很高(约1200℃~1500℃),它的排气温度大约在500℃~590℃之间。这种联合循环供电效率很容易达到55%以上,先进的联合循环系统效率已达60%,如美国的通用电气公司生产的7H和9H型,日本三菱重工的M501H型,都达到了60%的热效率(见王大中主编的《21世纪中国能源科技发展展望》)。很显然,通过联合循环,热功转换效率要比何先生提到的44%已经高出了16个百分点!即使如此,60%的热效率依然同卡诺循环的效率有很大的差距。以三菱重工的M501H系统为例,其燃气的进口温度为1500℃,相应的卡诺循环效率约为82%,与何先生提到的44%的效率相比,高出了约38个百分点!因此,对电力生产来说,“其转化率已相当接近卡诺循环”,这个说法是完全站不住脚的。

在电力生产之外,我们也来考察一下交通运输动力系统的热功效率。以重型卡车的柴油发动机为例,目前柴油机的热功转换效率略高于40%,而仅发动机废气带走的热能就大体达到了这个比率。美国阿贡(Argonne)国家实验室在分析了各类内燃机的节能技术后认为:余热能回收利用具有最大的节能潜力。作为全球最大的独立发动机制造商,美国的康明斯(Cummins)公司在预测内燃机转化效率的发展趋势时认为,通过余热能的回收利用,到2015年可使内燃机的转化效率达到60%左右。今年1月11日美国能源部长朱棣文先生宣布美国能源部要拨出1.87亿美元,支持上述研究方向,推动以重型卡车为主的新型联合循环动力系统的开发和应用。这种新型动力系统基于狄塞尔循环或奥托循环与朗肯循环或有机朗肯循环的集成,可以发展成一种在纯电动、油电混合动力和燃料电池电力之外的另一种新型混合动力汽车。笔者本人目前也正在从事这方面的研发工作。

因此,我们目前的以热功转换为基础的、以化石能源为主体的能源技术,还有很大的节能发展空间和潜力。何先生怎么能够说“转化率已相当接近卡诺循环”呢?也许正是这个错误的判断才使何先生提出了“马教授只说‘提高’热功转换效率,也未明确说要打破卡诺循环所确定的热功转化效率”这样的问题。实际上,卡诺循环所确定的热功转换效率是不可能被打破的,否则就违反了热力学第二定律。作为理论物理工作者似乎不应该提出这样的问题。或许正是因为这样的认识才使何先生大大低估了提高能效的重要意义。

为了达到充分挖掘节能的潜力,大幅度提高热功转换效率,我们在理论、方法和技术上都需要有新的突破。即使对于美国这样能源技术发达的国家,目前的热功转换效率距离卡诺循环效率仍然相差很远,在理论、方法和技术上仍然都有大量的问题需要解决。对于我们中国,这个问题差距就更大了。因此,何先生说“恐怕马教授所提出的‘非常重大的任务’,很难站得住脚”,可能就是源于断定现有的热功转化率已“相当接近卡诺循环效率”这样一个误判。应该说这是一个重大的理论、技术和政策问题,如果不澄清和纠正这个误判,节能和提高能效的战略意义自然就存在了,或许这也正是何先生在他的文章中提出的“可以用

‘节能’来限制发展,妨碍发展”这种似是而非的武断说法的理论和思想的根源。

CCS和可再生能源

在何先生的文章中提出了对CCS技术的很多质疑。CCS原文为Carbon Capture and Storage,可以译作“碳捕获与储存”。何先生译为“碳埋存”,大体不错,虽然不是完全准确。另外需要澄清的是,如果认真阅读当期采访文章不难得出,包括笔者在内的受访专家都没有“大肆提倡”CCS技术,至多也不过是认为中国应该掌握并做好CCS技术的研发储备。

我很同意何先生的质疑,同时也对这种技术的可行性颇多怀疑。这种技术不但成本甚高而且长期的安全性似乎也难以保证。在《低碳能源》第一期中,记者采访姚强教授的文章讲得很有道理。我们应当谨慎地对待CCS技术的研究和应用。国家能源局局长张国宝在2009年7月3日召开的全球智库峰会上发表的《中国能源发展和国际合作》演讲中提到,“碳捕捉所能够储存的碳量非常有限,而代价非常高。付出巨大代价所能封存碳和每年向大气排放的碳相比是微乎其微的,完全不足以影响温室气体的进程。不如多种一点树,减少荒漠化更好一点”。在这个问题上,我同何先生并没有本质的分歧。

何先生在文中强调了可再生能源的发展,我很同意何先生对风力发电和太阳能光伏发电的高度重视。除了光伏发电之外,太阳能热发电技术似乎也值得我们给予更多的关注。去年7月24日,科技部部长万钢在《人民日报》发表了《五项新能源技术特别值得关注 加强科技创新促进新能源发展》一文。文中他把太阳能热发电技术列为首位。这种技术也是基于热功转换的原理,同时还可以应用熔融盐技术进行高温蓄热,不仅提高了设备的使用效率,并且解决了可再生能源供应不稳定的技术难题。实际上,能量的储存是我们在低碳能源技术的发展中所遇到的重大挑战。熔融盐蓄热技术具有独特优势,它提供了一个低成本、高效率的解决方案,可以为太阳能热发电技术的发展和應用提供重要的技术支持。

工程热物理学科的研究和应用应受到更大重视

何先生是著名的理论物理学家,具有很高的知名度。理论物理是一门精密高深的基础学科。那么为什么理论物理工作者何先生在现有的先进能源技术是否已经“相当接近卡诺循环”这样一个根本问题上作出了令人难以理解的误判呢?我想这个疏忽可能是因为何先生对于工程热物理学科学习、关注不够所造成的后果。

工程热物理是一门研究能量的传递、储存、转化和利用的基本规律的应用基础学科,其经典的研究内容主要针对热和能的能源形式。近年来,学科的研究工作更覆盖了可再生能源的各个领域。工程热物理学科的内涵丰富,外延广阔,包括工程热力学、内流流体力学、传热传质学、燃烧学、多相流、可再生能源利用等多个分支学科。中国工程热物理学会每年年会所发表的论文总数已经接近2000篇。因此,工程热物理学科的研究和应用理应受到更多的重视。

能源价格具有渐进式的发展特点,投资大,周期长,见效慢。同时能源也是国民经济发展的动力和命脉,决定了一个国家的科学技术水平、竞争实力和综合国力,已经成为关系到国家和社会安全的重大问题,引起世界各国高度的重视,成为了优先考虑的国家战略。热功转换效率是提高能效的根本问题,也是工程热物理研究的重要内容。热功转换的理论分析和工程实践都已充分的说明,目前我们先进能源技术所达到的转换效率仍然远远低于卡诺循环效率,绝对不是两者“相当接近”。因此,“节能优先”的国策在相当长的时期内都不可以动摇和改变!

能源价格特别是石油价格的飙升,迫使我们必须在热功转化效率方面寻求新的突破,需要我们在理论、方法和技术上实现重大的创新。或许这就是我们同何祚庥先生进行讨论和商榷的意义所在。同时我们也相信何先生的智慧会带给我们新的启发。

(笔者感谢本科科研团队中,吴玉庭教授、郭航教授、王景甫教授、王伟讲师、陈永昌副教授、鹿院卫副教授、桑丽霞副教授以及刘斌、何为博士在成文过程中提出的宝贵意见和给予的帮助,并对北京工业大学环境与能源工程学院刘中良院长、夏国栋副院长的协助表示感谢。)

提高能效的战略意义与热功转换

——兼谈工程热物理学科并复何祚庥先生

□北京工业大学 马重芳