

埃森哲卓越绩效研究院报告  
碳捕集和储存技术（CCS）  
的现状与未来

2009年第5期

accenture

埃森哲  
成就卓越绩效



# 碳捕集和储存技术（CCS）的现状与未来

作者：丁民丞 吴纓

## 一、气候变化的现实性和减排温室气体现状的严峻性

2009年12月，联合国气候谈判会议将在哥本哈根召开。这是继京都议定书之后，世界各国关于气候谈判最重要的一次会议。全球气候变暖已经成为人类生存的一大威胁，是世界各国，包括发达国家和发展中国家，面临的一个亟待人类共同努力来解决的严重问题。今天，我们的地球比过去两千年中任何时候都要热。如果情况持续恶化，到本世纪末，地球气温将攀升至二百万年来的最高位。不久前，马尔代夫经过专业潜水训练的内阁部长们，在首相的率领下，潜入6米深的水底，商讨国家大事。这个国土平均海拔不超过1米的岛国，用这样的方式，传达了自己对正在发生的气候变暖、海平面上升的忧虑。中国西部，雪线正在上移。北极的冰盖在以令人忧虑的速度缩小，北冰洋上的冰在融化，不久前，一艘商船没有借助任何破冰设备，就穿越了北冰洋。

引发全球气候变化的主要原因是，过去一百多年间，人类一直依赖石油煤炭等化石燃料来提供生产生活所需的能源，燃烧这些化石能源排放的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）等温室气体，使得温室效应增强。因此，国际社会在《联合国气候变化框架公约》基础上对全球气候变化问题进行了广泛合作。缔约国于1997年签定的《京都议定书》设定了主要工业化国家减少温室气体排放的目

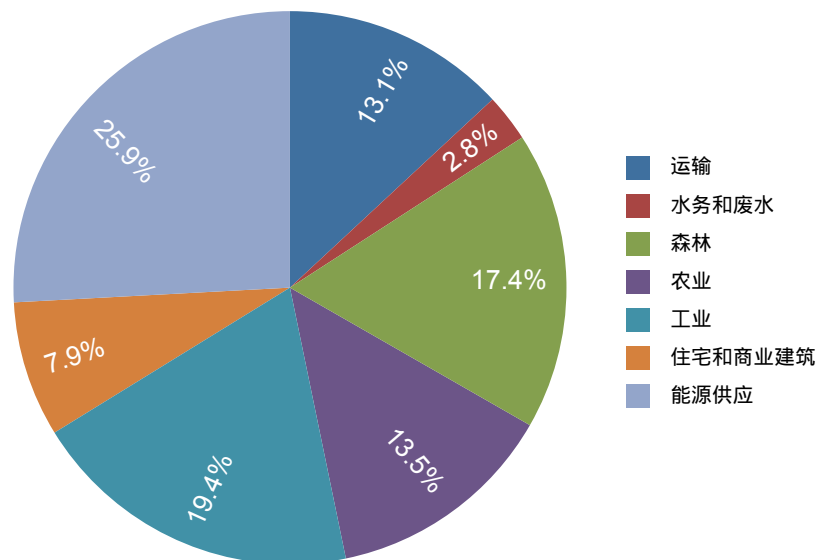
标。降低碳排放从此成了全球应对气候变化共同努力的目标。

今天，我们距离实现大多数温室气体减排目标还有不小差距。按照京都议定书，到2010年欧洲的温室气体排放应该在1990年水平基础上减少8%。但从现有的实施情况来看，届时有可能还达不到规定目标的一半。与此同时，全球气温上升速度比预期快。在最近的联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)会议上提出，到本世纪末，全球气温有可能会上升7度。IPCC同时还承认，大家可能低估了气候变化问题的严重性。自2000年以来，温室气体排放量的增长速度远远超过预期。众所周知，CO<sub>2</sub>是造成全球气候变暖的主要温室气体，将减排目

标转变为行业的实际变化，从而在更大范围内抑制碳排放，我们需要从现在起做更多的努力。

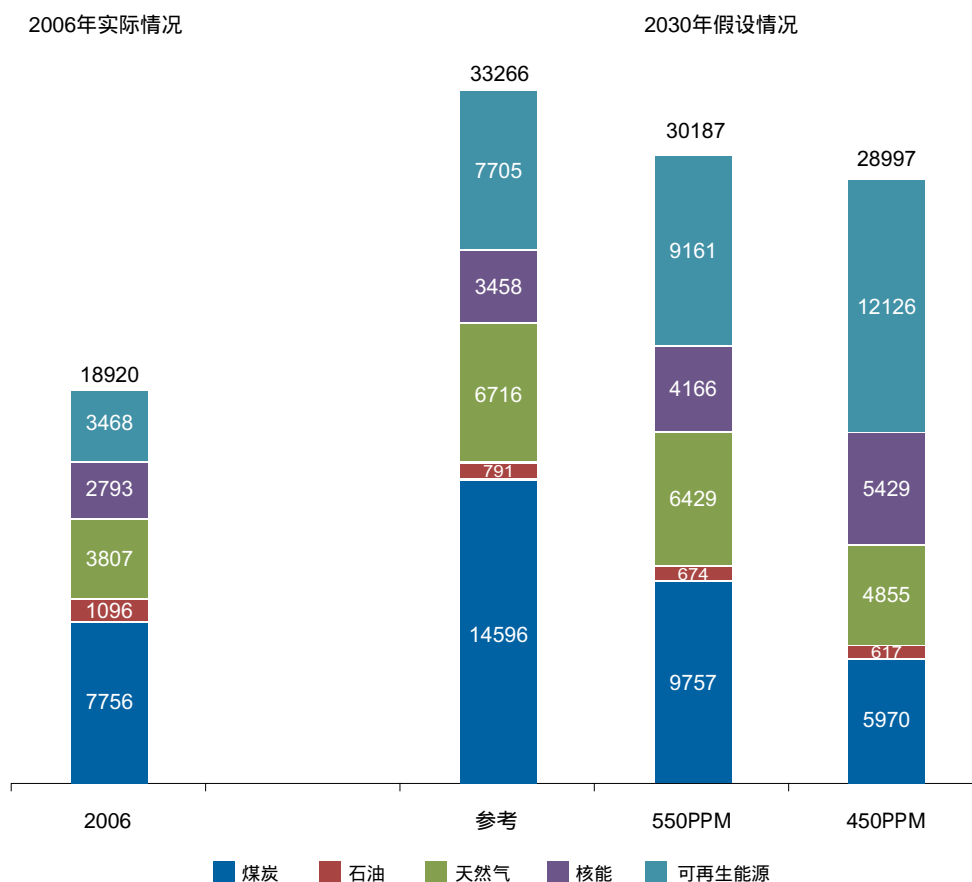
如果将全球温室气体排放量按行业统计，发电行业是最大的排放源（见图1），它还将在2050年前增长最快的排放源。而燃煤发电又是发电行业中碳排放的最主要来源。全球发电行业燃煤发电占40%。由于其储量巨大并且价格低廉，燃煤发电还将延续增长的趋势，中国和印度的速度尤其惊人。照这样的趋势发展，到2030年，全球发电总量将比现在增加一倍而达到33万亿度（如图2中“参考”一栏所示），煤炭仍将是主要发电燃料。

图1：全球分行业温室气体排放源



资料来源：IPCC第四次评估报告：决策者气候变化2007综合报告摘要（2007.5）

图2：2006年全球发电结构和2030情景预测



资料来源：国际能源机构 2008年国际能源展望

由此可见，碳减排要获得突破性进展，需要发电方式的根本性转变。目前，可再生能源和核电已经站在应对气候变化的前列，世界范围内这两大领域的投资仅去年（2008）一年就达上千亿美元，这些替代发电方式有望在未来能源供应中发挥更大作用。但这些技术都各自面临一些问题（如公共安全、土地需求、供电间隙性等），并且要达到规模经济尚需时日。而现实是紧迫的，全球有大量的化石燃料电厂在运行，发展中国家如印度和中国，新建电厂仍以化石燃料为主。这就需要找到一种针对化石燃料发电的脱碳解决方案。

如前所述，缓解全球变暖的关键是减少碳排放，在减少碳排放的过程中，发电厂所肩负的责任最为重大，而在煤电当道，替代发电无法短期内实现规模效应的情况

下，就引出了本文要讨论的碳捕集和储存（Carbon Capture and Storage, CCS）技术。

## 二、碳捕集和储存是一种主要针对燃煤发电碳排放的解决方案

### CCS定义

对于CCS的定义有许多，目前被广泛接受的定义是“一个从工业和能源相关的生产活动中分离二氧化碳，运输到储存地点，长期与大气隔绝的过程”。CCS的产业链由四部分组成（如图3），即（1）捕集、（2）运输、（3）存储和监测，（4）用于增加石油采收率（EOR）。通俗而言，CCS就是在二氧化碳排放之前就对其捕捉，然后通过管线或船舶运到封存地，最后压缩注入地下，达到彻底减排的目的。

如果技术发展成熟，CCS将成为一个可以使燃煤发电接近“零碳”排放的技术产业链。目前实验中的CCS技术可消除85~95%的二氧化碳。另外一些处于研发阶段的技术（化学循环）已证明可以消除99.5%的二氧化碳。

### 1) 捕集

这是最初的一步，在化石燃料燃烧发电之前或之后将CO<sub>2</sub>分离出来。

目前正在进行试点的有三种捕集技术，每种技术适用于不同类型的发电厂：

- 燃烧后处理（在燃烧后捕捉），能够满足常规的电厂，是最容易理解的技术。
- 氧化燃料（让燃料在纯氧中燃烧），理论上很有希望但现实应用较少。如果目前试点成

图3：CCS价值链各个阶段的技术总结



资料来源：国际能源机构“二氧化碳捕集和储存：一个关键的碳减排选项(2008)”  
IPCC温室气体减排国际会议，日本京都，2005“二氧化碳捕集和储存特别报告”

功，氧化燃料可能与燃烧后处理竞争市场。

- 燃烧前处理(在燃烧前捕捉)，很有可能提供混合的电力、氢气和低碳燃料/原料。

## 2) 运输

将CO<sub>2</sub>从排放源压缩后运输到存储地点，最可行的方式是管道，但是对于更长距离来说，需要用船运。运输技术相对成熟。全球大约有5600公里长的陆上CO<sub>2</sub>传输管道。但CO<sub>2</sub>的运输过程存在一些技术和法律方面的挑战，如输送方式谈判(铺设管道的许可权)。现有的基

础设施将需要大幅增长才能满足运送CCS的容量需求。例如美国目前每年只能运输5千万吨CO<sub>2</sub>，占美国每年发电碳排放的2%。

假以时日，随着需求量的增加，通过提高运输效率，降低预期成本，能够提高二氧化碳运输的经济性。对此，一些其他管道行业的经验可以借鉴。比如在液化天然气(LNG)行业，每增加一倍容量，单位管输成本降低12~14%。

## 3) 储存

储存不仅包括将CO<sub>2</sub>保存在深层地下，还要对泄露进行监测。

油气田已经过深入广泛的地质分析，目前最适合储存CO<sub>2</sub>的地点是枯竭的油气田。石油和天然气公司将天然气储存在地下深处已有数十年的经验，他们的成功也为将大量CO<sub>2</sub>存储上千年或上百万年提供了信心。除了使用枯竭油气田(DOGEF)，其他可能的地点还包括盐水层(多孔岩石地层中的小孔充满了盐水，而它被无孔岩层包围)，以及无法开采的煤层等。根据伦敦帝国理工学院地球科学工程系的Tara LaForce博士，“世界各地存在大量的盐水层，而且往往靠近二氧化碳排放源，是深层存储气体的理想地点。存储的过程包括抽

取盐水，消除CO<sub>2</sub>泡沫，通过含水层等。多孔岩石像筛子一样捕捉CO<sub>2</sub>。”国际能源机构对此表示了积极的支持，预计盐水层将有几万亿吨的存储能力。当然这还需要进一步分析，如果证明这是可行的，世界上的总存储容量将在22世纪前满足全球的需求。

#### 4)用于增加油气采收率 (EOR/EGR)

这是CCS产业链的最后一环，不是必须，而是可选的，并有潜在收益。具体过程是，注入CO<sub>2</sub>，将那些开采难度大的石油或天然气“推向”生产井。EOR/EGR商业运行证明这种方法可以将枯竭油气田寿命预期延长20年（如加拿大的Weyburn）。当然，这一环节还需进一步检验证明CO<sub>2</sub>在地下保持不扩散。

#### 技术示范

目前CCS技术已经从研发进入示范阶段，技术组成部分目前已经得到充分展示，并实现了在3万kW的小型电厂进行小规模捕捉，世界各地有一些实际的示范项目，虽然任重道远，制造商、主要的石油公司、公共事业和政府部门仍在共同努力，打造一个完整的CCS产业链。但目前还没有进行CCS技术商业规模测试先例。

由Statoil Hydro运行的挪威的Sleipner油气田，是一个CO<sub>2</sub>存储和监测的大型实际案例。从1996年起，挪威Statoil将海上天然气生产平台产生的CO<sub>2</sub>捕捉运输并注入到海底800米以下的盐水层。

至今，Statoil公司已注入了约100万吨CO<sub>2</sub>，每年可节省税金5500

万美元。在Sleipner，经过监测和核查，证明存储CO<sub>2</sub>是一种对环境无害的处理方式，同时在财务上也是可行的。其他不同技术的试点示范包括阿尔及利亚的Salah，采用枯竭油气田；加拿大的Weyburn，是与EOR一同进行的（见图4）。

### 三、CCS是一种值得继续推广的碳减排技术

如前所述，高度依赖燃煤的发电模式仍将持续，而CCS是目前此种模式下已知的唯一可行的技术解决方案。燃煤燃气发电产生的CO<sub>2</sub>经过CCS技术可以消除高达90%。要实现从现在高碳的发电方式转变为未来零排放发电的低碳目标，CCS潜力巨大，除了可以减少排放，CCS还可以通过提高煤炭利用率，从而有助于这些国家实现更大的能源安全。

图4：世界范围内CCS技术示范项目一览

项目	地点	股东	CCS价值链重点	燃料类型	技术重点	装机容量	状态
Weyburn	加拿大和美国	IEA温室气体研发规划	C, T, S	注入:CO <sub>2</sub>	存储; EOR	N/A	运营中
Killingholme	英国	E.ON	C, T, S	煤炭, 小活栓	燃烧前处理	45万kW	可行性研究 2011
Callide A	澳大利亚	CS能源	C, T, S	煤炭	氧化燃料	3万kW	建设中2009
SoCalEd 清洁煤项目	美国	南加州爱迪生	C	煤炭	燃烧前处理	60万kW	可行性研究 2012
Schwarze Pumpe	德国	Vatternfall	C	褐煤	氧化燃料	3万kW	运营中
CASTOR 试点电厂	丹麦	法国石油; Statoil; Vatternfall; 阿尔斯通电力	C	煤炭	燃烧后处理	16万kW	运营中
Hazelwood	澳大利亚	CO <sub>2</sub> CRC; CSIRO; Process集团 维多利亚政府	C	褐煤	燃烧前处理	20万kW	建设中2008
Sleipner	挪威	Statoil水电	S	注入:自然CO <sub>2</sub>	存储:盐水层	N/A	运营中
In Salah	阿尔及利亚	BP	S	注入:自然CO <sub>2</sub>	存储:枯竭 油气田	N/A	运营中
Fenn Big Valley	加拿大	IEA温室气体研发规划	S	注入:自然CO <sub>2</sub>	存储:煤床层	N/A	运营中

\*注：C：注重捕捉；T：注重运输；S：注重存储

资料来源：埃森哲研究（2008）

现在，行业内和各国政府对 CCS 技术的可行性有着越来越多的共识。CCS 自 2000 年起迅速发展到现在，它已成为广受重视的解决气候变化的重要技术。国际能源机构（IEA）在 2008 年世界能源展望中提出的蓝色情景分析中预测，到 2050 年 CCS 将对燃煤和燃气发电厂有重大贡献。各国政府也对此做出响应，纷纷设立专项资金，以供发展 CCS 技术之用。其中包括欧盟提供的 80 亿美元，澳大利亚 CCS 旗舰计划的 20 亿美元，和奥巴马政府刺激计划中用于 CCS 的 24 亿美元。在刚刚通过的《美国清洁能源与安全法案》中，也特意将分派给各公司用于温室气减排的补助中的 26%，专门用于资助 CCS 等公共项目。

需要指出的是，CCS 不仅适用于发电，也适合其他生产过程中排放 CO<sub>2</sub> 的行业，如钢铁、水泥、燃料处理、炼油等，这些排放大户占到二氧化碳总排放量的 24%。几十年后，在 CCS 如大家所期望的帮助发电行业实现脱碳之后，它可以进一步帮助其他行业实现脱碳可能。

#### 四、CCS 技术推进还面临的不确定性和挑战

目前 CCS 在世界范围内所取得的成果还只是万里长征的第一步。根据国际能源机构的估计，到 2050 年，CCS 要想对缓解气候变化产生显著影响，至少需要有 6,000 个项目。每个项目每年在地下存储 100 万吨 CO<sub>2</sub>，而目前全世界只有三个如此规模的项目。可以说，如果 CCS 在未来 20 年不能进化为主流技术，情况将不容乐观。

目前 CCS 技术无法迅速得到推广的主要原因是其高昂的成本，其推广过程还存在诸多不确定因素，同时它对环境的影响也不容忽视，下面我们就对这些因素一一进行论述。

##### 技术成本和资源需求

在 CCS 过程中，最大的成本支出在捕集阶段，主要有两个原因：

- 部署 CCS 需要增加资本成本，资本的开支取决于具体的捕集技术（燃烧前，燃烧后，氧化燃

料)，但基本上都是将 CO<sub>2</sub> 从烟道中分离出来、压缩、最后运输。初步估计，对捕集技术进行改造会增加 50%~100% 的成本。

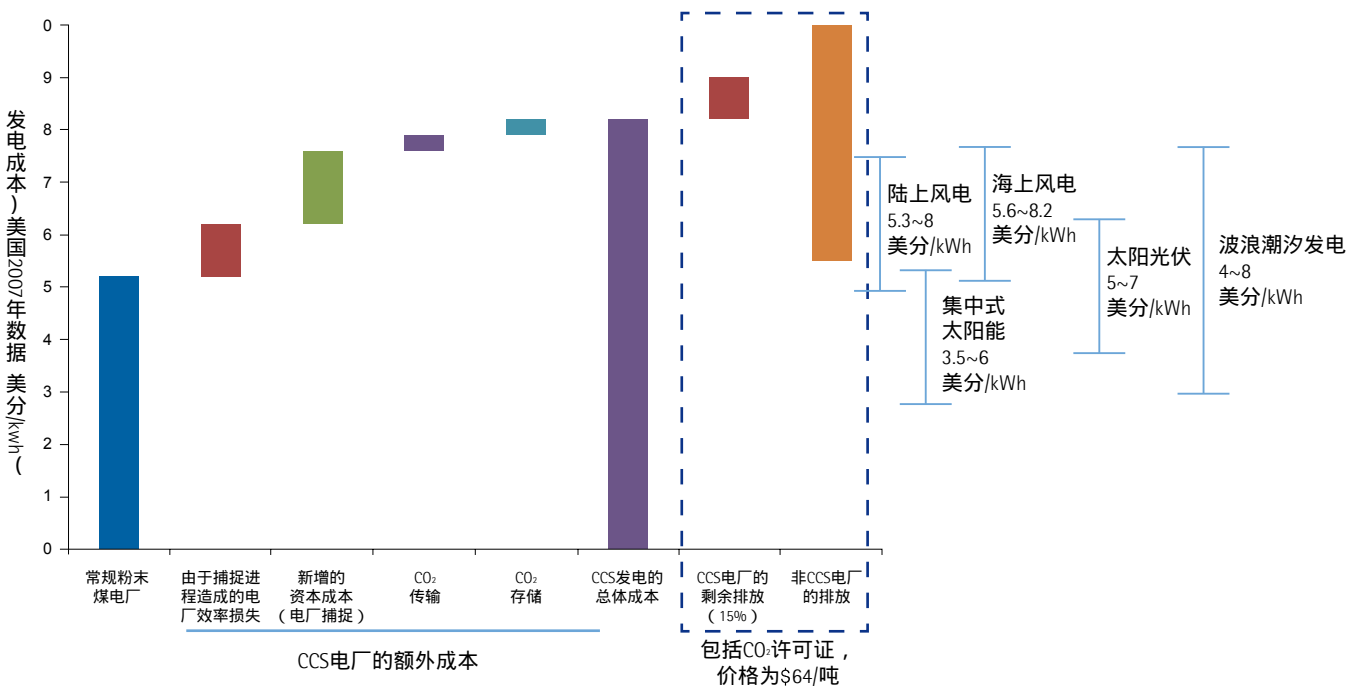
- 长期的热效率损耗，对运营成本有持续影响。分离和压缩 CO<sub>2</sub> 都需要大量能量，致使发电损耗增加约 6~12%。

目前对 CCS 的成本评估没有显示改造现有电厂和建设采用 CCS 的新电厂之间的存在根本差别。对于改造而言，电厂的效率起点和使用寿命延长是重要的决定因素。

运输和储存阶段也产生进一步的成本，例如在项目前期密封枯竭油气田 (DOGFI)，旧有的抽水井避免泄露将花费很大成本。

英国气候变化委员会对 CCS 成本的总体估算约为 8 美分/千瓦时（基于改造粉末煤电厂，85% 捕集效率，英国能源和气候变化部主要矿物燃料价格假设）。这正是国际能源机构预测未来波浪和潮汐发电所处的范围，略微高于核电 7.5 美分/千瓦时的上限（见图 5）。

图 5：二氧化碳捕集和储存的经济性



资料来源：英国气候变化委员会，“建立一个低碳经济-英国对气候变化的贡献”（2008）

在乐观的情况下，核电和可再生能源可能比化石燃料发电更便宜，而化石燃料发电厂如采用CCS技术将增加可观的成本。从商业规模上看，CCS不是一个完全成熟的技术。因此相比风电或核电，必须考虑更多的不确定因素。挑战在于如何降低或抵消这一成本。

在竞争性电力市场，任何因发电成本增加而传导给消费者都会遇到挑战。当消费者要为低碳电力支付更高电费时，需要考虑一些因素。在最近的英国气候变化委员会的报告指出了两个重要的因素：

- 供应短缺：分析表明为了满足碳排放目标，到2020年英国有170万家庭会面临缺电威胁（能源成本占家庭收入的10%以上）。
- 削弱行业竞争力：报告还分析了碳预算对英国高能耗产业的影响。基于对能源成本和贸易情况的估算，估计少数行业会试图将生产或投资转移到其他对碳排放控制不够严格的国家。除了费用，进行CCS所需要的资源也是不容忽视的。
- 美国能源部（DOE）国家能源技术实验室指出，采用CO<sub>2</sub>捕集技术将增加电厂的淡水消耗，这可能会在CCS实施地区造成缺水。受气候变化的影响，全世界水资源供应问题受到广泛关注，因此发展高耗水行业应谨慎。但电力需求增长迅速的地方（如：印度和中国）都很缺水。当前的研究重点是采取新技术，减少碳捕捉过程中水的使用，提高效率。
- 碳捕集过程，必须大力发展管网。虽然能对一些现有的天然气管道进行再利用，并通过建设骨干和辐射运输管网提高效率，但大量的钢铁、水泥、燃料和其他材料将用于CO<sub>2</sub>输送的基础设施建设。我们需要分析评估这些建设过程中的排放总量，并通过CCS减少或抵消这些排放量。

## 长期储存的可行性

CCS的一个关键问题是在地质学上审核安全长期储存CO<sub>2</sub>的场地。根据本文技术部分的阐述，有理由认为成功存储是可行的。国际能源机构指出，初步估计22世纪以前地球上的CCS储存总容量预计将足以满足全球人口的需求。接下来，需要用实践对理论进行补充，并开展高级别地震评估和个案的详细信息调查，以了解各场地的特异性。

从长远看，没有任何已证实的方法证明储存CO<sub>2</sub>的安全性，泄露风险大量存在，如废弃的注水井，毗邻的钻井或未被发现的地震造成的岩层断裂。因此需要采取监控措施，以保证每个CO<sub>2</sub>储存场地的选择和运营，以减少CO<sub>2</sub>泄露到大气或其他物质中的可能性。

在世界范围的CCS示范项目中，泄露风险正被解决，它们关注的重点是证明注入和存储CO<sub>2</sub>的可行性（见图4）。在美国，EOR已经应用了30多年，加上有天然气存储经验，这在一定程度上可以认定CO<sub>2</sub>注入枯竭油气田可获得很高的采收率。人们了解较少的是化学反应情况和盐水层的封存率，这还在探索中，Statoil的Sleipner项目就是一个实例。

## 政府法律和监管框架

CCS技术到目前为止还没有一个有效的法律和法规框架，各国CCS项目缺乏统一的准则，尤其是在CO<sub>2</sub>运输和长期储存方面。目前所存在的监管条例，大多是在处理个案的基础上针对具体项目的合同，并且仅限于那些必需解决的问题，以满足现有法规的要求。对于法规之外的问题，比如长期储存的赔偿责任和安全要求等，并无明确规定。这造成了长期财产权利和责任的不明确——尤其是在项目注入CO<sub>2</sub>以后的阶段，这样的环境使得人们对CCS项目的长期发展产生了疑虑。

以美国为例，目前没有监管框架或先例，采用CCS都必须经过十分复杂的审批，更不用说审批速度和规模效益。这又是一个重大挑战，超出技术的复杂性。这些都需要国际标准和监督管理，如果长期存储的不确定性不能被成本如实反应出来，对于这个行业潜在的运营商来说，可能存在是相当大的风险。

## 五、政府和社会需要行动起来，应对发展和应用CCS的不确定因素

以上对挑战的分析表明，推广CCS技术不可能一蹴而就，需要克服成本、技术和观念认识等一系列挑战。因此，目前行业迫切需要政府通过金融、监管和行政等措施，以及来自社会各届的支持，应对整体碳减排技术的不确定性。

### 增加CCS的经济吸引力

CCS成本的降低，关键要靠产业链各环节技术的成熟和规模经济的实现。目前，CCS朝这一方向的发展主要受到煤电行业中的各个电厂技术水平的制约，捕捉阶段规模经济的实现仍存在较大困难，尤其是在电厂改造环节上。为了降低电厂的可变成本，在今后3到5年中，国内和国际上对于CCS的投资是至关重要的，这将从根本上突破CCS面临的经济和技术制约，加速商业化发展。

在一项具有相当潜力的技术发展的早期阶段，来自政府的资助、补贴和贷款担保至关重要。在当前并不乐观的世界经济形势下，政府也许会由于资金不足，把对CCS的投资放在任务列表中较为靠后的位置，这种做法是可以理解的，但我们建议，由于CCS技术对解决气候变化问题的贡献可能是巨大的，各国政府和决策者应从长计议，在评估对CCS投资的价值时，把长期的社会效益考虑进来。

作为满足碳排放目标的重要技术之一，CCS将在任何长期的碳限额和交易的制度中成为有效的市场决策的成本因素。当发电机采用CCS比支付CO<sub>2</sub>津贴更便宜时，经济临界点就出现了。在今天碳价格为12欧元/吨的情况下，这似乎是相当遥远的未来。但是各国正纷纷作出努力，对碳排放采取更严格的限制措施，比如欧盟碳排放交易计划（ETS）现已进入第三阶段，正在进行分配竞价，而美国政府也打算在美国建立一个碳排放上限和交易计划。这将使碳排放达到适当的价格，使得发电机组选择CCS来满足他们的减排目标。

### 检验储存潜能

为了确保CCS的成功部署，只有财政支持是不够的。我们必须建立一个详细的DOG和盐水层的知识基础。在案例研究的基础上，寻求安全存储百万吨CO<sub>2</sub>的可能性。这种研究需要企业、大学、研究所等之间的广泛合作。最近出版的《苏格兰存储CO<sub>2</sub>的机会》给出了这一研究领域取得巨大成功的案例，这是第一个从来源到存储都在英国完成的CO<sub>2</sub>存储项目研究。详细的研究证明，苏格兰的离岸二氧化碳存储容量与挪威相当，超过荷兰、丹麦和德国的总和。美国能源部公布了美国和加拿大的碳固定地图集，其中给出了国家和地区潜在的存储地点。类似的研究需要在全世界开展，采用建模和工程技术对岩石层特性进行分析，更好地掌握陆上和海上潜在的存储能力。

我们还必须找出一种符合实际的可持续的方法，对长期存储在地下二氧化碳的安全性进行持续的监测和检验。应当共同努力增加示范项目，通过发展优化现场监测和检验技术，着重于安全运输和存储CO<sub>2</sub>。

### 有效的风险管理和立法制度

在CCS的产业链上，我们需要采取一种管理框架，以评估和管理运营前、运营中和后期长期作业的风

险。通过示范项目而获得的最佳实践应当为政策制定提供信息。例如2008年澳大利亚政府颁布的海洋石油改良（温室气体存储）法案，规定了运输和储存的责任，代表该国在这一领域的重大进步。关键是要把这些国家的努力变为一个标准化的方法。某些机构如碳存储领导力论坛与国际能源机构正开展合作，努力建设全球性的管理风险和责任的标准。我们不应低估政策监督的需求，要在国家或国际层面协调如此大规模的基础投资和实施工作。

### 建立公众意识

公众对CCS的认知度对于技术的发展、推广与实施都起着非常重要的作用。首先，政府用于支持CCS技术发展的投资应该得到纳税人的认可；同时，当存储地点与居民密集区较近的时候，居民对于CCS技术的了解与认同是项目得以进行的必要条件。目前，在世界范围内，民众对于CCS的认知还非常有限，举例来讲，90%的美国人从来没有听说过CCS<sup>1</sup>。由此可见，对公众进行CCS知识教育是一项长期的、必要的工作。

## 六、CCS对公用事业和能源企业的启示

在低碳经济中取得卓越绩效需要马上采取行动

大量投资于燃煤和燃气发电的能源企业有必要尽早采用CCS提前应对脱碳问题，或制定其他计划进行脱碳。企业需要运用商业思维推动这一新兴技术，证明CCS不仅是越来越重要的技术，也是一个新兴的市场。他们需要有一个如何参与市场的清晰的战略计划，同时开发与整个能源行业合作潜在机会。在未来，CCS很有可能成为整合发电技术和公共事业资产，以及上游石油部门的勘探和生产能力的动力。

能源公司即使是决定投资CCS技术，确定投资额及投资时间也是个复杂的过程。行业领先者会在多

个层面做出决策，采取创新性的投资评估技术。在这个动荡的、资本密集型产业中，仅仅运用标准的折现分析显然不足，管理者会因此转向以更低投资成本来增加正向净现值。行业的领先者应该了解这种特殊的背景并采用适当的决策辅助工具。能源公司还可采用更灵活的做法，即进行实际选择分析，决策层在临界点建立一个决策模型，考虑各种变化，如碳价格变动或CCS的需求等，在此基础上对投资收益进行重新评估。

### 埃森哲对公共事业和能源公司的建议

针对在低碳经济中如何实现高绩效的问题，埃森哲基于前面对CCS市场前景的推测，总结出如下建议，供公共事业和能源公司参考：

- **建立内部碳排放审查制度并评价可替代的低碳技术**

由于受到排放限制，能源生产企业需要评估碳成本对于企业利润的潜在影响，需要考虑的内容包括二氧化碳排放量、未来的发电结构、资产的地区分布和所处的监管环境，了解CO<sub>2</sub>对公司业务的潜在影响。这项分析评估还包括CCS技术和其他低排放的替代技术，企业需要确定哪些技术最适合企业战略。通过分析评估，企业可以确定如何最大程度地提高自身竞争优势。

- **了解CCS的能力和潜在的合作伙伴**

碳排放量巨大的公司最好建立一套CCS处理能力的基准线，例如明确适宜的CO<sub>2</sub>存储地点，评估公司对CCS技术的认知和接受程度。同时，了解一些在投资CCS技术上具有互补性技能、资产和合作意向的公司也是有好处的。

- **帮助推进CCS的监管和金融体制**

能源企业应利用其对政府和监管机构影响力，帮助推动CCS进展，以期为CCS技术提供足够

<sup>1</sup> 2006年麻省理工学院关于CCS的调查

的支持。例如在英国，企业应该与能源和气候变化部一起努力，促进CCS市场的发展，并鼓励发展其他的融资机制。

• 采用适当的工具，为CCS的投资决策提供正确而全面的支持

能源企业应设法利用投资分析工具，考虑技术风险部分，例如，投资什么项目可以使得企业平衡技术和监管因素。

• 投资和学习

企业应该寻找机会，领导或参加CCS的试点和示范项目，帮助推动技术发展，建立内部智库和实施能力，并根据市场变化随时发现潜在的商业机遇。

• 关注CCS的临界点

卓越绩效企业，特别是发电企业，应该积极主动地关注CCS监管环境的变化，了解联合国气候变化会议（COP15）的讨论结果，以及任何重要的新政策决定，同时跟踪CCS技术进展，以确保公司在变化中保持灵活并可积极应对。

这样做既有助于企业在低碳经济中实现卓越绩效，有又助于各国提升基础工业、摆脱经济危机。此外还可以帮助国家引领CCS这个关键的技术领域，在低碳经济的政策创新之路上处于领先地位。

## 七、碳捕集和存储市场的前景

在进一步探讨公用事业和能源企业面对CCS技术的发展应当采取的措施之前，我们不妨先来了解一下与企业前途密切相关的CCS市场的前景：假设所有的技术和管理的的不确定性得到解决，CCS技术将首先在欧洲、北美和澳大利亚形成市场，并经历三个阶段的演变——从示范到全球商业化。

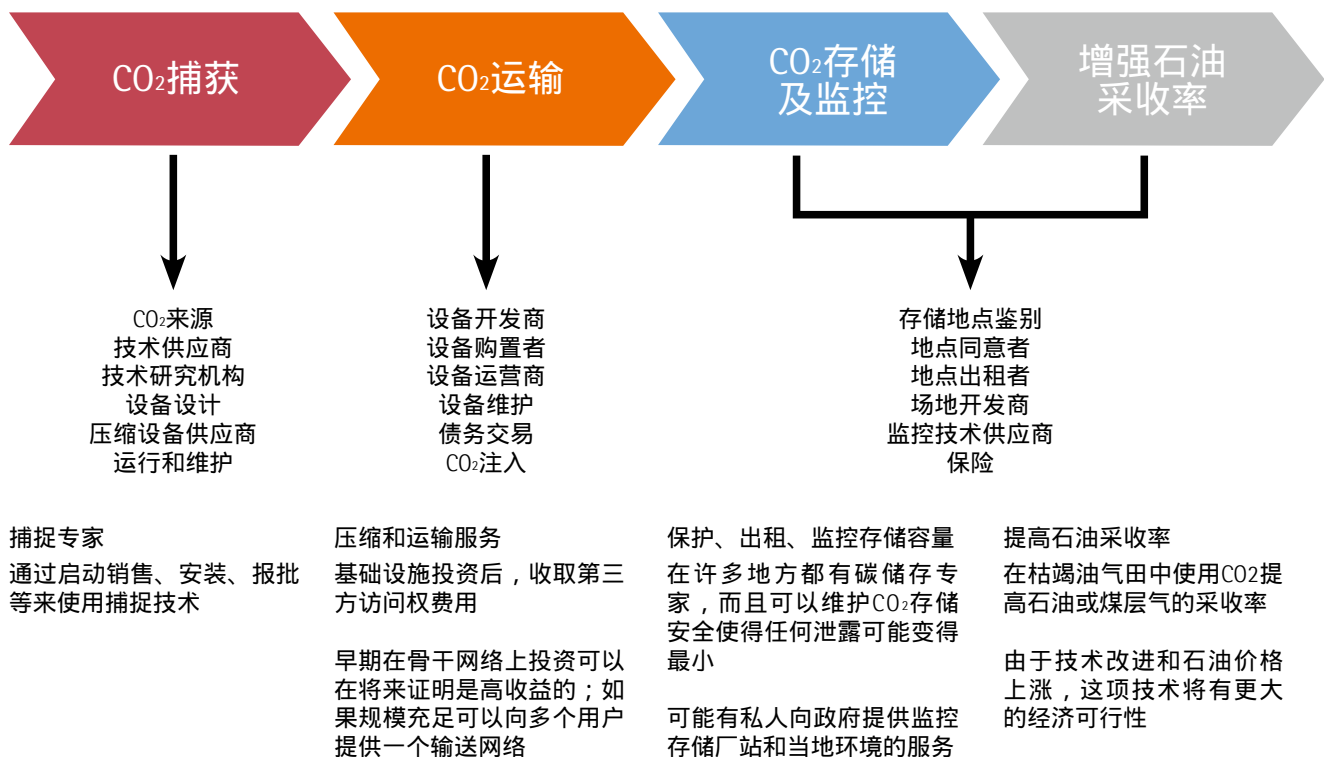
埃森哲将CCS看成一个商业机会；当金融和监管体系到位之时，CCS的能力将实现市场化，成为各路资本追逐的目标，行动迅速的公司或国家将位于技术的最前沿，实现在世界范围减少CO<sub>2</sub>的排放量。

埃森哲预计CCS的市场将在三个阶段进行演变，以监管、经济和技术的临界点作为标志。市场的发展方向将由实际情况和政策的情况所推动——排放源的类型和它们相对于存储地点的位置，常规电厂的特性如使用年限，以及有利的地方法规和法律制度等。

### 阶段 1

由于法律制度越来越有力，并且排放源和潜在存储地点比较接近，这一阶段着重于欧洲、北美和澳洲的发电机组。在欧洲和北美有大约95%的排放源在500公里内有存储地点，而这在中国和印度只有60%。此外欧洲有很大一部分潜在的存储容量在DOGF，具有潜在的EOR附加值。这一阶段的目标是做大范围示范，主要通过政府的资助、贷款担保、税收减免等项目提供支持，到2015年欧盟将有12个示范项目，美国有10个潜在项目。作为一个萌芽阶段，它将建立适合CCS技术的具体的立法和监管框架，可以推广到其他地区。

图6：CCS产业链和各个阶段的商业模式



资料来源：埃森哲研究 2008

## 阶段2

第二个阶段是CCS从示范过渡到商业化，通过实行区域排放总量限制和建立碳交易体制，形成合理的碳价格，使得相对于排放，存储CO<sub>2</sub>更具经济性的“价格临界点”。这个临界点表明CCS由技术发展成市场，通过减少成本而产生收益，是切实可行的。通过投资分析，确定临界点的大致时间，假以时日，培养技能，这对于公司挖掘CCS市场潜能来说是至关重要的。在下一节我们将进一步阐述。

埃森哲预计在新的CCS产业链中存在几个可行的商业模式，包括：

### • CCS服务供应商

供应商提供端到端的排放管理服务，即由第三方负责进行CO<sub>2</sub>的收集、运输和安全存储，对于排放价格收取服务费用——在大多数情况下，其商业价值为数亿美元。

### • 运输设备供应商

第三方提供铁路或管道设备的使用，按照CO<sub>2</sub>的重量制定运输价格。投资者通过开发骨干线路支持一个发电厂群密集区获得先发优势，实现规模经营。

### • 提高石油采收率的专业服务商

服务商面向拥有枯竭油气田的石油公司服务，提高这些公司的石油采收率。

在CCS市场的发展过程中，技术的进步和规模经济的实现，都将有助于降低实施CCS的成本。显著的成本优势最有可能在能够实现规模发展和设备共享的地区实现，比如重工业区域如德国鲁尔地区。

除了新商业机会的前景，第二阶段也包括了监管机制，以帮助CCS在发达地区发展并向发展中地区传播，例如通过清洁发展机制或其继任机制。当前，相对于欧洲、北美和澳洲，新兴市场国家对于清洁技术的发展及商业化还有很大空间与潜力，它们很可能成为CCS未来的客

户群。比如，中国在2006年一年，平均4天新建一个燃煤电厂。

## 阶段3

最后一个阶段，以CCS从地区发展到全球应用为标志，即早期发展的国家成功地输出他们的技术，全球的监管框架建立了碳排放价格，发展中国家大规模部署该技术。这一阶段会看到各种存储方式付诸使用，增加对盐水层的地质研究，确定存储地点和最大容量，增加采收率等。在这一关键阶段的影响下，全球污染减排水平将显著提高。

## 八、CCS与中国的“绿色煤电”

在应对全球气候变暖的问题上，中国选择的道路和世界的选择一致。不仅如此，在国际上，中国政府积极影响和参与国际减排计划的制定和实施。在国内，推行低碳经济。“十一五”规划纲要提出，单位国内生产总值能耗降低20%左右、主要污染物排放总量减少10%。同时规定，节能减排要写进官员考核评价体系。在前面的CCS市场前景一节中，我们提到欧洲、北美和澳大利亚市场有可能率先实现规模发展，引领技术发展。由于CCS技术的诸多不确定性，中国对此持比较谨慎的态度，目前还没有大规模开展CCS示范活动。但中国在应对气候变化和减缓温室气体排放方面所付出的努力，并不在发达市场国家之后。在CCS方面，中国对于CCS技术的了解和关注程度非常高。同时，作为以煤为主要能源的国家，面对国内火电装机的比例达到了四分之三的事实，中国不仅密切关注CCS等前沿脱碳技术的发展，同时，更加务实地采取了一条以IGCC（整体煤气化联合循环发电系统）为主导的“绿色煤电”路线图。

发展“绿色煤电”是中国电力工业未来的重要战略选择

中国以燃煤为主的发电结构在未来长时间内不会改变。预计到2020年，煤电仍将占中国发电结构

的60%左右，未来中国控制燃煤发电污染物排放的任务将更加艰巨。因此为了使煤电得到可持续发展，中国有必要探索煤电二氧化碳的减排技术和开发煤基氢能技术，这是中国电力工业重要任务之一。

最近几年，由多国的发电、煤炭等企业共同启动了“绿色煤电”（Green Power）计划，其中包括美国“未来电力”（Future Power）计划、日本的煤气化燃料电池示范电站计划和中国的“绿色煤电”计划，都是以大幅提高煤电效率、实现煤电二氧化碳零排放为目标，主要技术途径是煤气化的发电、制氢及二氧化碳分离和处理的煤基能源系统。

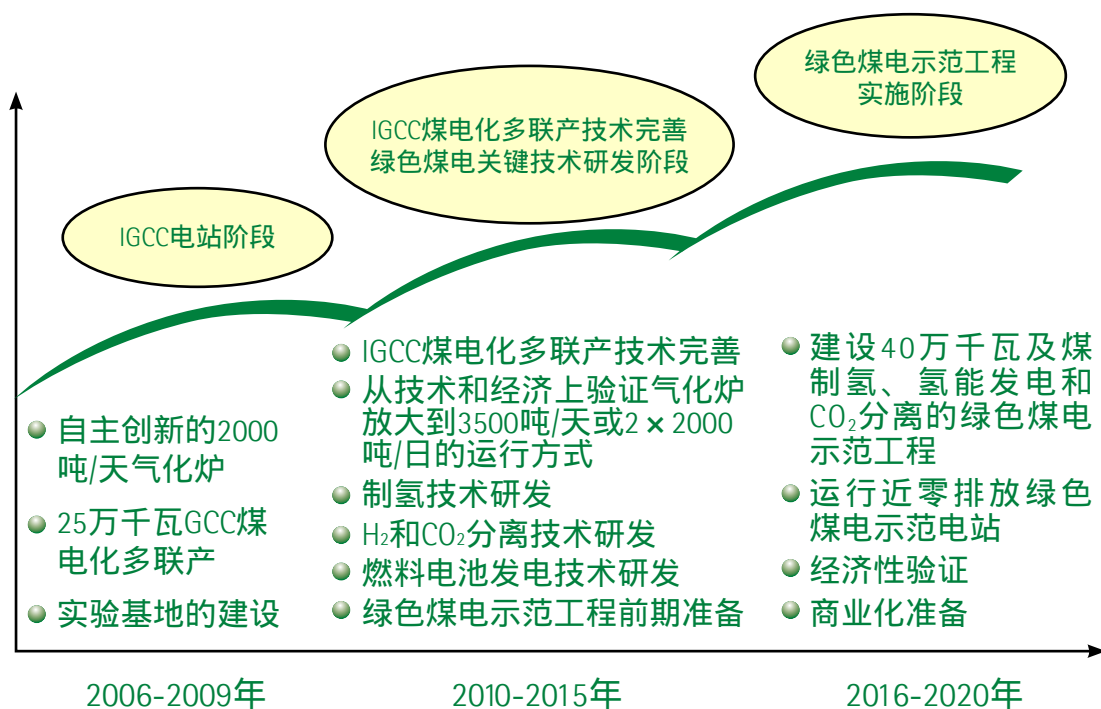
2004年，中国华能提出并加入“绿色煤电”计划，2005年底，华能集团联合另外几家中央骨干企业，共同发起、投资组建成立了绿色煤电有限公司，制定了中国“绿色煤电”项目“三步走”的发展战略。（图7）

发展“绿色煤电”计划的基础和前提是IGCC发电。IGCC即整体煤气化联合循环发电系统，是将煤气化技术和高效的联合循环相结合的先进动力系统，IGCC技术的两个主要特点：一是使二氧化碳以比较纯的形式排放，降低了捕集难度。二是和单纯的超临界技术相比，使用IGCC后，将使发电效率有所下降，但IGCC潜在效率可达到58%，因此还是一个比较好的技术选择。按照“绿色煤电”计划，中国将在2010年前，建成25万千瓦级IGCC示范电站；在2020年前，建成40万千瓦级的“绿色煤电”工程。目前，国内首个IGCC示范工程项目——华能天津IGCC电站已经获得正式核准。

中国的“绿色煤电”计划与美国“未来电力”项目对比

中国在减排工作上所显示的决心和付出的努力是令人鼓舞的，但从全局着眼，我们也同样正视中国作为新兴市场国家，在与发达国家在这方面发展的差距。下面我们就

图7：中国“绿色煤电”项目“三步走”发展战略



资料来源：华能集团

把中国的“绿色煤电”计划与美国“未来电力”项目做一个简单的对比，主要区别有二个：

一是二氧化碳利用方向不同。美国主要是将二氧化碳储存于地下，缓解减排压力。而中国是发展中国家，尚无减排二氧化碳的义务，即使将来捕集二氧化碳，也是以先利用为主（作为产品出售），而不是直接埋存到地下。

二是技术基础不同。美国“未来电力”项目是美国上世纪80年代以来开展的一系列清洁煤技术示范项目中的一环，侧重于进行IGCC发电技术和二氧化碳捕集和埋存技术的商业化集成示范；联产的氢气作为“氢能经济”的交通燃料。而中国“绿色煤电”的侧重点是：先形成一批IGCC关键技术，最终开发成

功绿色煤电示范机组及二氧化碳处理技术。

## 九、结论

随着工业革命200多年来温室气体的排放，全球气候持续变暖，到现在已经成为人类环境的最大威胁之一。而煤炭燃烧是碳排放的主要来源。CCS技术因为可以从根本上解决燃煤产生的碳排放问题，引起国际上广泛的关注，并在小范围内得到试点应用。但是，CCS技术还有一些不确定性，还不够成熟，而且很昂贵。所以，除了少数一些与油田应用相结合的项目，离大规模的商业应用还有一段距离。针对这种不确定性，各国政府应该加大对这项新技术的投入和支持；能源企业应该密切关注CCS技术的临界点，领导或参加CCS的试点和示范

项目，帮助推动技术发展。作为能源结构以煤为主的国家，中国由煤炭带来的环境问题不容小视。CCS技术确实具有很大的吸引力，但这项技术目前还很昂贵，因此中国并未推广应用，而是试点更为实用的IGCC发电技术，同时把碳捕集技术作为战略储备，积极地进行研发。因此，CCS的未来虽然绝非一帆风顺，但有很大发展潜力和光明的前景。

丁民丞 是埃森哲大中华区资源事业部主管合伙人

联系信息：

michael.m.ding@accenture.com  
021-2305-3828

吴纓 是埃森哲大中华区资源事业部副总裁

联系信息：

vivian.y.wu@accenture.com  
021-6391-5588

## 关于埃森哲

埃森哲是全球领先的管理咨询、信息技术及外包服务机构。凭借在各个行业领域积累的丰富的经验、广泛的能力以及对全球最成功企业的深入研究，埃森哲与客户携手合作，帮助其成为卓越绩效的企业和政府。作为《财富》全球500强企业之一，埃森哲全球员工逾177,000名，为遍布120多个国家的客户提供服务。截至2009年8月31日结束的财政年度，公司净收入达215.8亿美元。

埃森哲在大中华地区开展业务逾20年，目前拥有一支超过4,000人的员工队伍，分布在北京、上海、大连、广州、香港和台北。作为绩效提升专家，埃森哲始终专注于本土市场的实践与成功，致力实现超凡的客户价值与成果。埃森哲帮助客户确定战略、优化流程、集成系统、引进创新、提高整体竞争优势，从而成就卓越绩效。

详细信息，敬请访问埃森哲公司主页：

[www.accenture.com](http://www.accenture.com)

以及埃森哲大中华区主页：

[www.accenture.cn](http://www.accenture.cn)

## 埃森哲卓越绩效研究院简介

埃森哲卓越绩效研究院通过原创的研究与分析，针对重大的企业管理问题和全球经济发展趋势，提出具有战略意义的深入见解。我们的研究人员将具有世界声誉的研究能力与埃森哲广博的管理咨询、信息技术和经营外包经验相结合，通过创造性的研究和分析，为企业实现并保持卓越绩效提供指导与建议。欲了解更多详情，请联系彭亚利 ([yali.peng@accenture.com](mailto:yali.peng@accenture.com))。

Copyright © 2009 Accenture

埃森哲版权所有

埃森哲及其标识与成就卓越绩效均为埃森哲公司的商标。