中国的特高压输电技术和全球标准化的发展

阿贡国家实验室
能源、环境和经济系统分析中心研究人员

2015年4月

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

作者简介

这篇文摘是能源、环境和经济系统分析中心 (Center for Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis, CEEESA) 研究人员合力所著，该中心是阿贡国家实验室 (Argonne National Laboratory) 的决策和信息科学部 (Decision and Information Sciences Division, DIS) 的一部分。

能源、环境和经济系统分析中心的活动主要在三个领域：(1) 电力系统分析；(2) 能源系统分析；(3) 环境系统分析。该中心多学科的工作人员，富有科学、工程和社会科学学科专业知识，而他们的多学科专家小组在部署解决复杂能源和环境问题方面有着广泛经验。该中心擅长于创新方法、系统和分析工具的开发，可用于能源、经济和环境系统分析以及推动可靠决策。

能源、环境和经济系统分析中心的使命是开发，应用和转让分析能源、环境和经济问题的工具和技术。中心开发的方法和工具包括基于计算机的供国家、地区和国际应用的能源系统仿真模型。

Cover Photo: Flickr/Department of Energy

执行摘要

作为政府政策和企业战略，中国一直在积极致力于为自主开发特高压输电技术（UHV）制定本土标准。国家也致力于参与特高压输电技术标准国际化。这个标准制定的过程受到经济政治的双重影响，其后果会远远超出中国的国界。大胆的说，潜在的中国国内特高压标准的国际化几乎肯定会对中国制造商和主要的跨国公司的全球市场份额都产生影响。

两个因素正在为中国特高压技术创造一个机遇之窗来获得国际承认并成为事实上的全球标准：第一，中国是目前大规模部署特高压技术的唯一国家；第二，还没有一个现行的被普遍采纳的特高压国际标准。中国将自己特高压标准国际化的努力，可能会为中国的特高压技术带来更大的全球市场份额。

Photo: Flickr/Peter Nijenhuis

事实上，中国已经成为境外特高压项目默认的标准制定者取得一定的进展，部分原因就在于其全球市场份额的不断增长。一个例子是中国和巴西特高压项目的联合开发。另一个例子是其成功的推动三个中国本土特高压交流标准成为世界范围的电器和电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers，以下简称"IEEE"）的国际标准。

本文深入研究上述发展，从技术、经济和政治角度深入分析中国的特高压标准化进程及其面临的众多挑战。不仅是简单的详细说明中国在国内国际市场推动其特高压技术的战略，本文摘还讨论了中国对其本土技术的雄心，最终可能对希望出售同类产品的全球竞争者形成相当大的挑战。本文摘最后概述了中国特高压标准化进程及其与全球标准制定的关系最终将如何演变的几种可能情形。

重要研究发现：

做为输配电的准垄断运营商，中国国家电网公司（以下简称"国家电网"）正在通过吸收和本土化低端和中端特高压技术来引领中国的特高压输电的发展。在中国快速推广特高压技术可以部分归结于输电企业和电气元件制造商二者的垂直整合。这一整合推动了中国特高压标准的衔接。

国家电网投资特高压技术，通过其产品获利，而不是从标准本身或其相关的知识产权获利。由此看来，国家电网的目的是降低专利技术嵌入的特高压技术成本，努力促进该标准更广泛的行业应用，从而实现利润最大化。低成本的专利技术帮助国家电网特高压技术在中国国内市场获胜，最终，也将对外国对手市场份额形成挑战，尤其是在第三国市场。

- 在中国加速发展特高压输电系统可以加强国家电网在国内的垄断地位。

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

同时，可能阻碍全球范围内的特高压技术革新。其原因是作为中国这一重要的全球市场的主要参与者，国家电网可以使用其市场力量来影响国际标准化，并允许中国公司把国内的偏好放在国际特高压标准里。

- 有讽刺意味的是，这样使用市场力量可能会在长期上阻碍中国的创新，因为有其它偏好的外国市场会拒绝接受国家电网/中国产品。这可能使中国在某些海外市场处于不利的贸易地位。

- 国家电网和其它中国企业在特高压高端技术方面知识的增长，进一步证明了中国研发能力的巨大进步。至少在这个领域，中国不是海外技术单纯的模仿者或后期采用者，而是一个在某些领域创新的本土技术的建设者。这将有助于促进中国的特高压标准的国际化。这也将对寻求发展特高压的其它国家和跨国企业构成技术挑战，而不只是简单的竞争力/市场份额的挑战。

- 规模是至关重要的。中国开发如此多的特高压技术，威胁把其他竞争对手吓出全球市场。规模产生效应，体现在巨大的市场份额是一个企业技术标准成功国际化的先决条件。因此作为世界上占主导地位的开发商和特高压技术的“推广者”，中国正急切的扩张到海外市场，从而对全球标准体系产生巨大影响。

- 巴西是迄今为止这一现象最好的例子。中国希望主导巴西的特高压市场，国家电网和巴西的电力公司保持良好的合作关系。由于国家电网的成本优势，该公司为全球市场提供了比那些非中国公司更经济的特高压技术。这个价格优势已成为一个使得国家电网能够从海外竞争对手如阿西布朗勃法瑞（以下简称“ABB”）和西门子（Siemens）那里占领特高压直流技术全球市场份额的重要因素。

- 在其它领域的其它技术方面，中国面临着生存压力或与国际技术标准竞争的压力。例如，一个突出的例子就是中国自己的本土移动通讯技术，TD-SCDMA在国际上没能被广泛采用。不过，与这些其它的情况相比，中国特高压标准通往国际化的道路看起来更加直接。那是因为与移动电话技术不同，特高压标准化尚处于萌芽阶段，这意味着中国具有先发优势。归根结底，迄今为止特高压技术研发的不足意味着中国技术有机会跳跃式发展，并且在较早阶段成为公认可靠的国际标准。

国际特高压发展

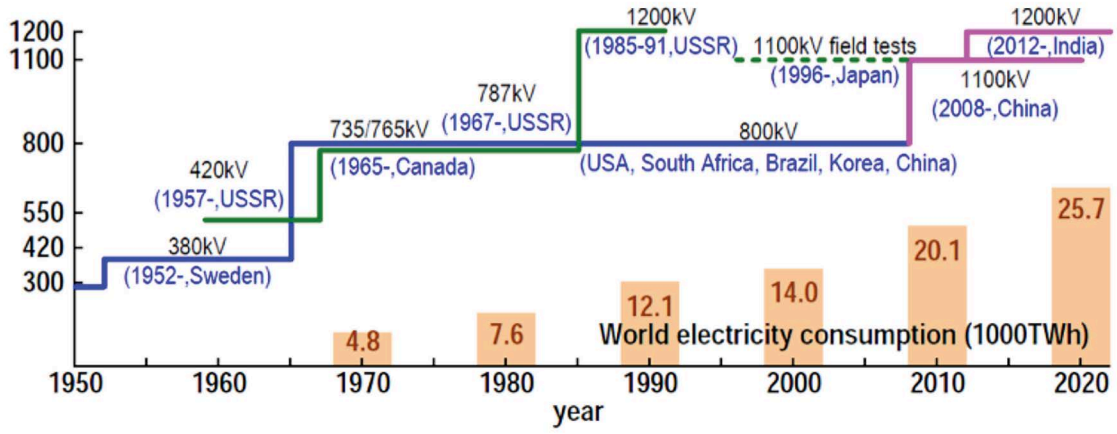
要理解中国和国际特高压标准的制定之间的关系，需要首先理解这个技术本身的性质。特高压电力线的部署就是为了高效、远距离、大量传输电力。用比标准高压电高得多的电压，特高压输电线路可以通过能源资源优化配置移降低电力传输成本而且提高电力系统稳定性。[1]

各个国家电力系统输电线路的电压等级有所不同。国际上，高压交流输电系统在35-220千伏之间，而超高压范围在330到750千伏之间。[2]在中国，高压交流电系统包括110千伏和220千伏两种输电线路，而超高压交流线路的电压不等，分别为330千伏、500千伏、750千伏。根据国际电工委员会（以下简称"IEC"）的定义，特高压交流电系统的额定电压为1000千伏及以上，而特高压直流电系统的额定电压是±800千伏。[3]

一条2000公里，800千伏特高压直流电线传输电力，电力线损率极低，只有每1000公里3.5%，同时具有高达6.4吉瓦即640万千瓦的传输能力。这样的线路的建造成本要比建造一条同样长度的500千伏的超高压直流电或者800千伏超高压交流电路节省30%。到2020年超高压线路总传输能量可达到3亿千瓦，其中60%为交流电40%为直流电。按照特高压线路和电气设备共105万美元/英里的平均建设成本，每条特高压线路需要数十亿美元。从2011年到2015年，国家电网将投资近438亿美元来建造4万公里的特高压线路。[4]

自从1960年代以来，俄罗斯、日本、美国、[5]意大利和加拿大都开始研究特高压输电技术所涉及的过压、可听噪声、无线电干扰和生态效应等其它领域。[6]在世界各地建成了大量特高压交流及

图1. 追求特高压科技的发展中国家



资料来源: Ito, H. 等。[13]

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

其实验线路。[7] 例如，1985年在俄罗斯建成了2362公里长的1150千伏线路，[8] 而从1999年日本发展了427公里长的1000千伏交流线路。[9] 意大利在1990年建造了一条1050千伏短途实验线路。类似的高压直流线路在全世界还有很多，[10] 例如巴西的伊泰普±600千伏项目。[11]

如今，许多国家对采用特高压输电技术的兴趣与日俱增，尤其是中国、巴西和印度，因为这些国家能源需求以及把负荷中心和需求中心连接起来的需要迅速增长。看起来特高压输电对于计划安装大量可再生能源的国家有更大的吸引力，如风能，需要很长距离的传输。[12] 中国是一个例子，从2008年开始发展特高压输电线路。印度也正计划由阿尔斯通印度 (Alstom India) 和印度有限公司电网公司 (Power Grid Corporation of India Limited, PGCIL) 合作进行一条从沃尔塔 (Wardha) 到奥兰加巴德 (Aurangabad) 的1200千伏特高压交流传输线路 (见图1)。巴西正在亚马逊开发±800千伏特高压直流电项目。

中国特高压技术

中国在许多方面都是近年来投资到特高压技术最多的国家，这出于多种原因，而这些原因不外乎源于这两点：第一，国家能源政策的目标；第二，纯粹的技术雄心。

特高压发展配合国家能源政策目标

在中国，80%的水电资源分布在西部，而76%的煤炭位于西北部。[14] 但是超过75%的能源需求分布在国家东部沿海地区。[15] 这样的地理脱节——能量来源位于国家一部分地区而负荷中心在其它地区——提供了中国建造特高压传输网的理由。中国特高压发展的目标是通过跨越长距离传输电力来满足世界上最大的电力系统之一不断增长的电力需求。[16]

特高压项目是中国的国家大规模产业政策的重要组成部分。

事实上，这也正是为什么特高压输电系统的发展很好地融入中国的国家能源重点的原因。随着世界上最大的累积风能建设和太阳能发电装机容量的快速增长，中国政府正在努力依靠特高压传输来适应国家可再生能源不断安装扩大的容量，同时缓解可再生能源高削弱地区的拥堵。[17] 换个说法就是，特高压项目是中国的国家大规模产业政策的重要组成部分。

目前，中国的输配电网络由两个重要的国有企业占主导地位：中国国家电网公司（国家电网）和中国南方电网公司（南方电网），[18] 分别控制全国大约80%和20%的输配电资产。[19] 作为世界上最大的电力电网公司，国家电网在中国特高压传输发展的所有方面都有超常的影响力，包括国家计划和行业标准的制定、技术研发、基础设施投资、新技术的试点和测试。[20]

特高压技术在中国的持续发展将给国家电网和南方电网二者都带来巨大的利益。首先构建一个全国性特高压输电网络将帮助他们巩固在中国电力行业的主导地位。同时这也将确保新的收入来源、提高资产利用率和运营效率，并让两家公司加强其在中国甚至全球电力行业的地位。[21]

与俄罗斯和日本的特高压输电项目仅限于线路的建设不同，2009年在北京的特高压输电技术国际会议上，国家电网提出了发展“坚强智能”电网。[22] 国家电网有雄心勃勃的计划，最早将会在2020年实现“坚强智能电网”。该电网将由大量的1200千伏交流和1100千伏直流线路组成。

“坚强”电网的概念意味着特高压系统将作为国家电网的骨干网，以确保系统操作的更高的可靠性和稳定性。

同时，中国将继续打造“智能”电网，整合风能、太阳能、能源储存、能源传输监控，智能变电站和智能仪表。[23]

国家电网公司认为其基本目标是要发展现代电力系统，以“坚强”的基础设施和“智能”控制技术为中心。[24]

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

中国正在开发的项目

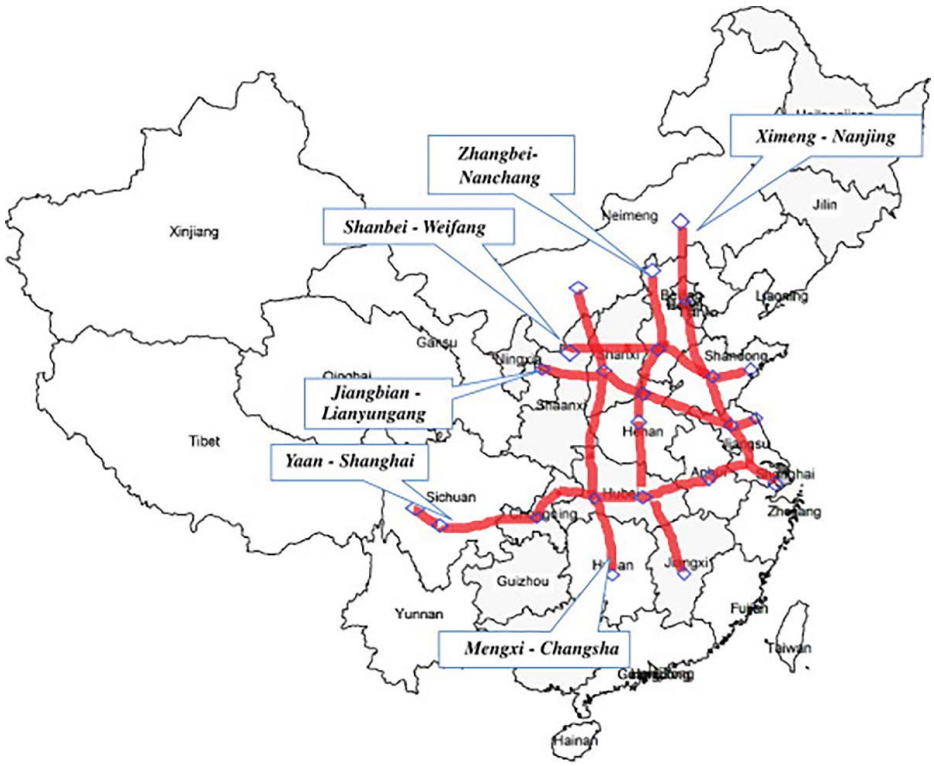
迄今为止，只有极少数国家已经实际上建立起投入运营的特高压系统，更没有像中国计划的那样的规模。这意味着在世界上几乎没有现有的经验可以用来作为评估或引导中国规划的参考。

一般来说，建立特高压系统需要解决很多的技术难题，如无功功率、电压控制，以及大规模的交流/直流电网的安全性等等。[25] 因此，国家电网正在引领中国的投资特高压试点项目，已经出台了2015年建成一个“三纵三横”特高压电网的方案（见图2）。

其中一条线路，在晋东南-南阳-荆门(JNJ)特高压交流示范工程，于2009年投入商业运行，被认为是世界上第一个商业化运营的1000千伏线路。[27] 据报道，在这个JNJ项目中使用的设备超过90%是在中国国内设计制造的。此外，另一条线路淮南-上海项目，是第一个商业化运营的同塔双回路特高压交流输电工程。

不只是国家电网在这方面付出努力。南方电网于2010年负责建设了中国首个±800千伏特高压直流输电示范工程，[28] 云南-广东线，当时设置了一个相当低的目标，当地设计和生产的设备的使用要达到60%。

图2. 中国国家特高压规划



资料来源: 创新挪威 (Innovation Norway)，韩国海洋大学，安元易如 (Azure)。[26]

到目前为止，一共有两个特高压交流和六个特高压直流项目在中国运作。国家电网运作六个，南方电网两个。其它的特高压项目正在建设中（见表1）。

国家电网和中国的其他特高压支持者抓住了当前对空气污染和环境问题关注，特别是，要为这个新生的特高压系统更广泛的扩展寻找理由。虽然特高压系统是否将显著减少空气污染还不是完全清楚，努力的目标，至少在原则上，是把发电中心（大部分污染产生之地）远离人口密集的城市中心。更强大的特高压输电线路，将能更好的处理中国在过去十年的多数年份里以10%的年增长率增长的电力需求。

这就是为什么在2014年中国中央政府推动另外九个特高压项目，包括国家电网建造的四个特高压交流和四个特高压

表1. 中国特高压工程

年	区域	技术	运营商	容量（吉瓦）	线路长度（公里）
2006年11月-2008年12月	晋东南-南京-荆门	1000千伏特高压交流	国家电网	5	654
2006年12月-2010年6月	云南-广东	±800千伏特高压直流，12脉冲双极	南方电网	5	1418
2007年12月-2010年7月	向家坝-上海	±800千伏特高压直流，12脉冲双极	国家电网	6.4	1907
2009年12月-2012年12月	锦屏-苏南	±800千伏特高压直流，12脉冲双极	国家电网	7.2	2095
2010年12月-2013年6月	糯扎渡-广东	±800千伏特高压直流	南方电网	5	1413
2011年10月-2013年9月	淮南-皖南-浙北-上海	1000千伏双回路特高压交流	国家电网	8	2x649
2012年5月-2014年1月	哈密-郑州	±800千伏特高压直流	国家电网	8	2192
2012年7月-2014年6月	溪洛渡—浙江	±800千伏特高压直流	国家电网	8	1680
2013年4月-2015年3月	浙北-福州	1000千伏双回路特高压交流	国家电网	6.8	2x603

资料来源: Hu, Thomas, Zhang。[30]

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

直流线路，一个由南方电网建造的特高压直流线。[29] 例如，在这个所谓的“四交四直”工程之下，国家发展和改革委员会（NDRC）在2014年4月批准了淮南-南京-上海特高压交流工程。

这一切，都使中国的特高压发展规划成为世界上最全面和资本最密集之一，与其他对特高压技术有兴趣的国家相比，这可能给中国带来一些独特的技术和标准制定的优势。

例如，在中国广泛部署特高压项目在很大程度上是由于中国的电网公司能够比当今世界大多数地方更快的建设基础设施，并且也能随时获得廉价的设备。[31] 而且，因为输电企业和制造商的垂直一体化，在中国统一实施采用一个特高压国家标准是可行的。[32]

因此中国可能以比其他国家更快的速度实现特高压技术的开发和部署。拿美国来作比较：通常需要输电网的业主和地区可靠性协调员之间的协作，以决定是否应建立新的输电线路（例如，MISO，PJM）。在美国发展特高压输电的其他主要障碍包括：由于缺乏统一的技术标准造成新能源的投资收益的不确定性；针对新能源有各种各样的法规限制；[33] 成本分配；土地征用。[34]

中国的特高压自主创新

为了支持特高压技术在中国本土的发展，政府规定80%的特高压设备必须在中国本土开发制造的。[35] 虽然外资投资者可以参与到特高压输电领域，国内企业因此在中国的特高压市场处于明显有利的位置。[36]

在中国，由于输配电系统是高度垂直整合的，外国公司甚至是中国的私营公司，都很难参与到这个行业。例如，国家电网已收购了多家领先的电力设备公司，包括许继集团（河南）、南瑞继保（南京市）、平高集团（河南），加强现有的在当今中国盛行的垂直整合模式。

这种垂直整合模式意味着这些中国设备商已经成为中国的特高压项目主要的事实上的供应商。例如，作为国家电网公司的子公司之一，许继集团是为中国国家高压直流工程供应保护装置和换流阀的唯一制造商。提供继电保护装置的招标过程中使用了“只能通过邀请招标”系统。

结果是，全球领先的输配电公司在试图进入中国的特高压市场都是成败参半。全球性公司，如西门子（德国）和ABB（瑞士）一直在寻求进入中国由国家控制的能源市场，[37] 但仅获得有限的市场准入，而且这个准入是靠转让技术给中国特高压设备制造商换来的。

例如：许继集团已经在和西门子合作研究高压直流控制保护策略，以增强其在中国市场的竞争地位。[38] 又如：日本东芝公司提供了750千伏和1000千伏气体绝缘变电站（GIS）技术给平高集团，使后者成为中国特高压市场的一个对手。[39] 在特高压直流工程的建设中，ABB对国家电网在向家坝-上海特高压直流工程上给予了支持，而南方电网与西门子在云南-广东特高压直流工程中合作。

结果是，外国公司的参与主要为中国政府和企业的竞争者实现了一个国内目标：中国的实体利用这些跨国公司的技术支持，以进一步发展和加强中国本土

技术的竞争力。所以在一般情况下，在几次合作之后，中国的趋势似乎是，接受国家电网投资的国内供应商将制定一个竞争性解决方案，最终取代设备的原外国供应商。这正是在中国特高压输电市场发生的情况，并且在许多细分市场也是如此。例如，这个途径类似于中国的高速铁路项目，由于国内竞争对手实力不断壮大，国外转让的技术最终被替代（而且外国公司被取代）。

通过这样吸收和再定位特高压技术，有超过100家中国企业参加到制造和供应特高压设备的国家项目，其中有些成为行业领导者，在低端到中端特高压和高压设备制造业取得了显著的进步。[40]

今天，中国对自身的特高压技术拥有自主知识产权（IPR）。[41] 而且中国显然可以在国内生产超过90%需要的特高压交流设备和超过70%的特高压直流设备。

锦屏-苏南项目表明：这条特高压输电线路是独立设计，并且多数设备是中国制造，包括转换器衬套、换流阀设备，甚至第一次提供控制软件。对于在2014年投入运营的两个特高压直流项目，包括哈密-郑州、溪洛渡-金华，两者都有更大的传输容量、更先进的技术，最重要的是，被认为是自主开发的（见表2和表3）。

不只是消化外国技术，国家电网公司还在高端特高压线路实现了自己的技术突破，尤其是在这些领域：过电压与绝缘配合、变电站的设计、高海拔和严寒地区线路。[42] 例如，换流阀被认为是特高压直流线路的核心设备。

国家电网的一个子公司，中国电力科学研究院（C-EPRI），拥有A5000型特高压直流换流阀的知识产权。这个换流阀技术已通过DNV KEMA获得第三方认证，而且已经在锦屏-苏南和溪洛渡-浙江两个工程中使用。

表2. 特高压交流系统关键技术

设备	国内制造商	国际制造商
变压器	特变电工（TBEA）沈阳，西电电气，天威保变（TWBB）	Trench（英国），西门子，ABB，阿尔斯通电网（法国）
断路器	许继集团	阿尔斯通电网（法国）
电流互感器	天威保变	Trench（德国）
电压互感器	西电电气	Trench（加拿大）

资料来源：Asplund, G。[43]

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

表3. 特高压直流系统关键技术

技术	功能	国内制造商		国际制造商
		公司	知识产权	
换流变压器	将交流电转换为所需的直流电；获得12脉冲操作(星形或三角形连接)；允许6脉冲桥串联连接	特变电工(TBEA)沈阳，中国电力设备和技术(CET)	世界一流制造，创造了第一个电压最高、容量最大、但传输约束相当于500千伏的特高压换流变压器	BBHEL(印度), ABB(瑞士), 西门子(德国), 阿尔斯通电网
晶闸管阀	进行交流电和直流电的互相转化	中国电力科学研究院，许继集团(河南)	中国自主研究开发并在中国生产，比同类产品便宜20%-30%，但是电压、电流、电容均世界领先	AREVA(英国)，西门子，ABB
平波电抗器	串联在换流器终端，使输出的直流平滑接近于理想直流	特变电工(中国)	世界一流的，广泛使用在中国和国外	Trench(奥地利)
隔离开关	在系统停机，包括维护期间，给所有设备提供一个安全绝缘	平高集团(河南)	中国自主研究开发并在中国生产	西门子
旁路断路器	直流换流站设备	西电集团	中国自主研究开发并在中国生产	西门子
电容器	无功设备，用于防止高频噪声进入直流高架线，并为直流线路故障定位其信号提供连接路径	思源电气(上海)	中国自主研究开发并在中国生产	ABB
避雷器	系统安全的关键部件用以防备雷击引起的线路故障	电力科学研究院东芝避雷器(ETA)	中国与外国公司联合研究开发并在中国生产	东芝(日本)，三菱电机(日本)，ABB, 西门子
支柱绝缘子	用硅橡胶套管给绝缘子表面提供疏水性能，大大降低因污染引起的放电风险	南通市神马电力(江苏)	中国自主研究开发并在中国生产	碍子株式会社(日本)，塞迪维尔绝缘子(法国)

资料来源: Asplund, G。[44]

特高压标准国际化

在建立自己的特高压系统的进程中，中国是个后来者。日本早在1970年代就开始致力于特高压输电的研究。东京电力公司(TEPCO) 在1999年建立了两个1100千伏特高压工程，目前正在以550千伏运营。[45] 日本的较早开始给了它设定这些技术标准的优势。在2006年12月，一个特高压系统国际标准委员会在日本成立，旨在通过参与国际标准化工作推动该国的1100千伏特高压标准。[46]

日本并不是唯一的早期采用者和推动者。欧洲国家和美国也在发展特高压技术，但是他们到目前为止都没有在运营的特高压线。在几十年间，美国、前苏联和意大利都提出过不同的特高压标准，在1977年和1997年IEC分别接受了1200千伏（美国和前苏联）和1050千伏（意大利）标准。

协调全球各种标准是很有必要的，因为特高压系统的拓扑结构、导线、通过特高压变压器的短路功率、线路长度和绝缘配合方面，与超高压输电网络有很大不同。[47] 这样的协调在维护互联互通、消除技术性贸易壁垒、实现电力传输系统的不同组件（如：变压器，开关，断路器）之间的信息交流等方面起着至关重要的作用。[48] 它也可以帮助促进对如水电和风能技术的投资。[49]

因为这个原因，国际大型电气系统委员会（以下简称“CIGRE”）于1988年成立了一个由特高压输电专家组成的工作组。[50] 该委员会一致认为，随着特高压输电技术的成熟，一个±800千伏高压线路在技术上将是可行的。[51] 1994年，CIGRE更具体的详细说明了特高压输电线路和设备的主要特点，以作为对特高压建设和设备制造的全球参考基准。[52]

在2007年10月，IEC和CIGRE建立了联合协调小组来创建一个特高压交流标准路线图。[53] 该协调小组的主要任务之一是评估现有高压交流标准，然后选择哪些可以推广以应用到特高压范围。这样做的原因是：为了达到结构健全和强化，特高压线路的绝缘要求意味着所有的设备必须适当地设计。[54] 其中一些可通过现有技术从低压应用外推来实现。[55]

2007年中到2010年初之间有三个特高压相关的国际会议在北京举行。这些会议先后制定了必要的支持特高压技术及其潜在应用的计划。

2008年，IEC和CIGRE推荐1000千伏高压交流线路作为国际标准电压，[56] IEC随后在2009年5月22日批准这个标准为同类设备的最高电压。[57]

2013年4月，另一个关于特高压的国际研讨会在印度新德里举行，内容涵盖各种相关问题，如绝缘配合的使用生产、实验室和现场测试，及技术参数和设备的选择。

中国和特高压标准的国际发展

在制定特高压输电国际标准的整个过程中，中国一直在力求成为一个重要的参与者。它目前正在利用这一全球的协调过程，把自己的本土特高压技术国际化，[58] 特别是通过推进特高压直流标准。[59]

北京在这个领域发挥的积极作用，体现了一个双管齐下的战略。首先，中国正在试图成为特高压专用的全球标准体系内获得一席之地。其次，北京旨在国际化自己的特高压技术，从而实现这些技术被国际接受这一长期战略目标。

中国的特高压发展迄今，与国外公司合作很有限。尽管如此，国际合作仍然是国际标准化和国内标准商业化要求的重要组成部分。[60]

中国积极参与国际标准化组织，也因此让中国的企业把国家偏好包括在国际特高压标准中。而且中国公司都在设法增加建立有利于他们的技术的全球共识的技术规范和市场准入的要求的机会。[61]

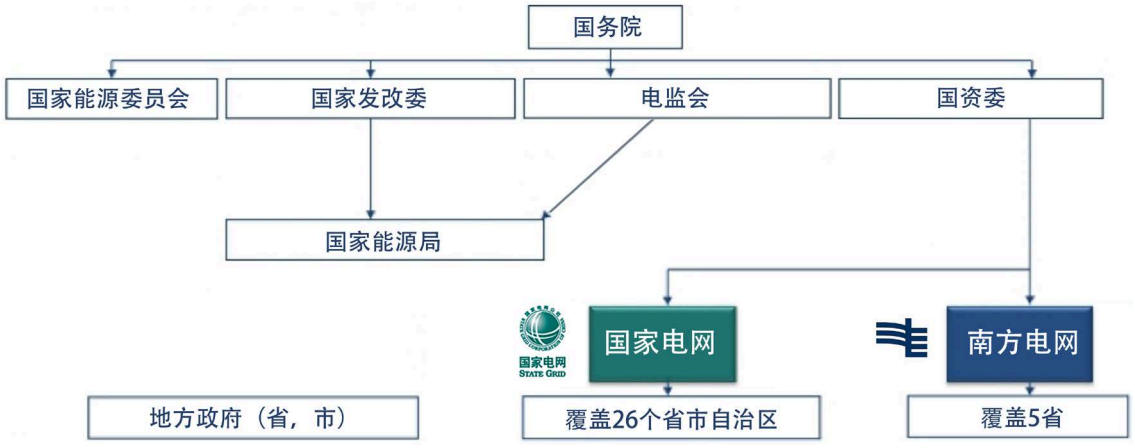
中国的标准制定

在中国，标准在法律上分为行业标准、地方标准和企业标准。国家和特定的工业标准进而又分为强制性和自愿性标准。[62]

中国中央政府制定并认证这些不同的标准，强制性标准往往被认为等同于国家的技术法规。

众多的标准制定机构参与制定中国的特高压标准（见图3），由国家能源局(NEA),[63] 协调进程。最终，特高压标准制定的领导者实际上是国家电网公司及其下属机构－中国电力科学研究院。

图3. 参与制定中国的特高压标准的组织



资料来源： Schuler, P。[64]

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

国务院不直接参与特高压标准的制定工作，但组织了中国国家标准化管理委员会（SAC）进行起草、管理和审批大多数技术标准（见文本框1）。当然，国标委与行业和中国企业有着共生关系。毕竟，他们也深入参与制定标准，就像和美国一样的情况。

这种情况在特高压技术上尤其突出，因为各方面技术，从研发到建设，对国家电网都有着相当大的依赖。该公司是仅有的由中央政府通过国务院国有资产监督管理委员会(SASAC) 直接管理的113家中央国有企业之一，其主席直接由中国共产党的组织部门任命。[65]

中央政府还在与国外参与者发展关系上发挥重要作用。政府帮助在中国开展标准化，并应付被可选标准影响了或左右的利益有关各方；以及处理国内和国际参与者和他们各自技术标准之间的冲突可能引发的国际政治。[67]

中央政府还保护特高压项目中国国内的设备供应商，如特变电工、西电集团、许继集团、天威保变电气等等。这种保护使得他们能够在接触到或谋求融入国际标准的安排和机制之前，在国内进行技术孵化和技术测试。[68]

适度谨慎

可以肯定，政府与国家电网的紧密合作并不意味着两者对标准制定总是看法一致。例如，国家电网已经制定了一项雄心勃勃的自己的企业版的关于国家十二五规划的计划，到2015年建设10个特高压项目，到2020年建成另外5个。[69] 然而，当在晋东南和荆门之间运行的第一个特高压交流工程表现出性能欠佳，成本超支时，北京对国家电网的计划有了不同想法。[70]

事实上，国家电网希望实现的价码是一个天文数字：特高压线路大约成本为100万美元/英里，而公司计划的每一个干线的费用将耗资数十亿美元。

不只是成本问题，中央政府对国家电网的雄心持谨慎态度还有其他原因：

首先，国家电网在增强其在特高压技术各个方面的垄断地位，因此甚至限制了中国其他企业的竞争，使市场进入几乎成为不可能。

其次，北京也感到对特高压扩张的速度和范围存在的一些社会阻力。例如，这些庞大工程的征地冲突、电磁辐射对局部环境和健康可能产生的影响，可能导致中国政府更进一步的参与到特高压项目如何进步的管理中。

文本框1：中国特高压标准化进程中的其他参与者

作为中国政府在国际和亚洲区域组织致力于标准制定的代表，国标委负责协调中国的技术法规和标准与国际接轨。为进一步发展中国的特高压标准化体系，在国标委和中国电力企业联合会的支持下，创立了几个技术委员会，包括一个高压直流输电工程国家标准委员会、和特高压交流输电技术国家标准委。

其他涉及特高压标准化工作的重要中国参与者包括中国电子技术标准化研究所、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所和中国通信标准化协会。[66]

第三，中国政府对经济和能源问题的关注已经转移到强调可再生能源和储能的发展，它可能会推动国家电网更专注于电网的“智能”部分扩张，而不是将大量资源投入电网“坚强”的部分。十二五期间，国务院已推迟了一些新的特高压工程建设，迫使国家电网减缓它的“坚强智能电网发展规划”。[71]

特高压标准本土化

从广义上讲，中国对特高压标准的国家政策的目的不只是为了在短期内推进该国的电力行业的商业利益，而且要从长期来看，为建立国家创新生态系统创造一个范例。国家电网主导的特高压标准的制定的目的是要确保在中国特高压工程的质量与安全，为国内输变电设备制造行业提供大量的市场份额，提升中国特高压技术的国际影响力，并最终推动中国输变电设备的技术发展。[72]

另一个追求特高压标准本土化的原因是中国的隐性目的，要减少对外国知识产权的依赖。目前，一些国内开发的特高压标准无可否认是国外技术的本土变体，甚至是直接复制。而政府认为这样做无助于提高中国企业内在的创新能力和竞争力。

这样一来，中国一直试图通过设置自己的国家技术标准以保护其国内产业。[73] 赌注是，有了这样的标准，中国的设计师能够提供规范的特高压设备，制造商可以进行设计、生产和检测设备，输配电企业可以进行现场测试和试运行，中国的技术可以提高而且他们的成本降低。

为了弥补特高压技术和中国的特高压标准体系之间的差距，国家电网公司决定开发其自己的特高压标准框架来指导新的特高压项目的建设。这份公司级的标准化计划包括三个阶段。[74]

第一阶段，从2009年到2010年，目标是通过技术创新和实验项目来实现一个初始的标准框架。在第一阶段的总投资达4790亿元，国家电网自身的特高压标准开发投资是830亿元。[75] 这个数额进一步划分到分配给特高压交流建设约570亿元，分配给特高压直流建设260亿元。[77] 这笔钱用于研发建立主路线图的重要电气设备，完成了几个示范项目，[78] 公司声称已经实现所有这些目标（见表四）。[79]

第二，就是现阶段国家电网的计划，跨越第12个五年计划期间的2011年到2015年，国家电网从预期的17400亿元中拨款2690亿元用于推动特高压发展。[80] 建

表4. 特高压试点项目

系统	线路	目的
1000千伏单回路特高压交流	晋东南-南阳-荆门	测试特高压试验系统的性能；验证设备的可靠性；优化研发设计；实现商业化运营
1000千伏双回路特高压交流	淮南-皖南-浙北-上海	
±800千伏特高压直流	向家坝-上海	点对点大容量长距离电能传输

资料来源: Yu,Yang, and Chen.[76]

表5. 中国与国际超高压标准比较

国际标准	相应的中国标准	现状
IEC 62271-100（2008年4月）“高压交流断路器”	GB/Z 24838-2009“1100千伏交流电流的高压断路器标准”	中国版本适用于1100千伏，IEC当前版本不适用。
IEEE Std 1862-2014 “在1000千伏及以上输电系统的过电压和绝缘配合的推荐做法”	GB/Z 24842-2009 “1000千伏特高压交流输电系统过电压与绝缘配合标准，中国的标准指导技术文件”	2011年6月提交，2014年5月通过
IEEE Std 1860-2014 “1000千伏及以上交流电压调节和无功补偿IEEE指南草案”	GB/Z 24847-2009 “1000千伏及以上特高压交流电压调节及无功补偿技术导则”	2011年6月提交，2014年3月通过
IEEE Std 1861-2014 “1000千伏及以上交流电气设备现场验收测试及系统调试IEEE指南”	“1000千伏及以上特高压交流设备现场试验标准及系统调试规程”	2011年6月提交，2014年6月通过

资料来源: IEEE。[88]

立国家标准，也为目前国际上特高压标准化的情况进行补充。中国比较全面的智能电网的国家标准也会在2015年制定完成，目标是与全球智能电网标准协调一致。

第三，就是最后一个阶段(2016-2020年)，这将跨越十三五计划期间 (2016至2020年),国家电网将最终建成全国范围的坚强智能电网。[81] 届时，中国将在国际上建立起先进而全面的智能电网标准，预计将有2250亿元用于特高压扩建。[82]

最终，完成一个全国性的中国特高压网络将需要数百项独特标准、规范和要求。[83] 但是，在这一点上，其中八种类型的特高压传输标准正被优先考虑，包括特高压的交流/直流规划设计、施工、设备和操作、检查、调度，等等。[84] 在2009年首个试点特高压交流项目完成后，15个特高压交流输电系统的国家标准出台，以保证此类技术的可靠和有效的应用 (参见附录)。[85]

中国参与国际特高压标准制定

2012年以来，国家电网在全球都很活跃。作为美国电气电子工程师协会标准协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association，以下简称“IEEE-SA”) 企业咨询组的成员，负责为IEEE-SA会员企业以及IEEE-SA董事会提供关于特高压输电的战略指导。[86]

国家电网也积极参与IEC技术委员会的活动。目前，它作为三个IEC技术委员会(PC 118，TC 115和TC 85) 的秘书处，并拥有一个委员会主席(TC95)。在2013年，国家电网的执行副总裁舒印彪被选定为IEC的副会长。[87]

国家电网还就特高压交流系统和大容量可再生能源的发电和运行向两个技术委员会做了提议。同时，国家电网参加了CIGRE的15个技术委员会并在各个工作队和工作组里保持位置。

自2009年以来，国家电网公司为国际特高压交流标准化提出了三个IEC标准提案，其中包括1000千伏串补设备的传输线规格，1000千伏可控并联电抗器规格，以及关于1000千伏设备交接试验的指南。

国家电网公司还准备了另外五个IEC高压直流国家政策。[89] 其中，对高压直流环节接地电极设计的一般准则被批准为IEC/TS62344: 2007-05。另一已获得批准的是高压直流架空输电线路电磁环境标准，批准为IEC/TS62681: 2013-11。[90] 此外，国家电网公司向IEEE提议了涉及到特高压交流技术的三个标准（见表五）。[91]

2011年6月，IEEE组织了工作组会议，讨论国家电网建议的三个特高压交流相关国际电网标准。[92] 2014年IEEE-SA标准委员会全部批准了这三个标准。南方电网饶宏作为IEEE建立特高压直流输电控制和保护基本要求工作组主席，张爱玲（许继电气）为副主席，秦红霞（北京四方继保自动化股份有限公司）为秘书。目前，1100千伏断路器瞬态恢复电压的国家试验标准(TRV) 不包括在IEC。

中国在全球特高压市场的地位

随着中国在设备设计、制造和系统工程取得进步，中国的企业和政策制定者明确认为，中国现在是特高压技术领域的全球领跑者。因此，他们现在的目标是为中国设计和生产的特高压技术在国际上增加市场份额。

中国制造商已经谨慎的开始迈出第一步，主要是努力向发展中国家出售特高压相关设备。例如，为客户提供低成本的基础设施、准时交货、与设备捆绑在一起的廉价融资的能力，已经在印度市场上给中国制造商形成优势，中国产品从巴拉特重型电力有限公司（Bharat Heavy Electricals Ltd, BHEL）和其他印度公司手里夺得相当大的份额。[93] 而且，因为它们是能够制造特高压设备的少数几家公司之一，中国公司特变电工和西电电器已经赢得合同，为印度变电站提供变压器和开关。

正如日本和韩国在电子器件的出口市场那样，中国正超出其国界来寻求市场销售自行研制的特高压系统。

中国企业也开始增加他们在全球的电器设备市场份额，通过成本优势击败日本和韩国在合同能源管理行业的竞争对手。这恰恰就是近几十年来日本和韩国的公司在电子制造业的各个方面战胜欧洲和美国公司的方法。[94]

事实上，正如日本和韩国在电子器件的出口市场那样，中国正超出其国界来寻求市场销售自行研制的特高压系统，特别是在新兴市场，中国有战略优势而且中国的供应商能够提供有竞争力的特高压设备。[95] 金砖国家（印度，巴西，俄罗斯和南非）看来给中国企业提供了最佳机会，因为这些市场似乎倾向于用大容量电力传输来克服长距离的限制。[96]

巴西就是一个例子。2010年12月，国家电网购买了七家巴西能源公司，获得了30年传输电力到巴西东南部地区的合同。在2014年2月8日，国家电网为首的一个中巴财团共同商定在亚马逊鑫谷河修建贝卢蒙蒂大坝。[97] 造价预计高达170亿美元，这个大坝计划将有超过1100万千瓦的总发电能力，但平均只产生400万千瓦。[98] 计划2100公里（1300英里）的输电线路将连接巴西北部帕拉州（Para）到南部的米纳斯吉拉斯州（Minas Gerais）。[99] 该坝建成后，将成为世界第三大水电站，仅次于中国的三峡大坝和巴西的伊泰普大坝。

目前，巴西是中国在电力传输领域出境投资最大的目的地之一。[100] 因为巴西更自由的、基于市场的电价政策，国家电网预计中巴特高压直流工程的股本回报率高达19.8%，比在电价受到严格监管的中国的利润高2到3倍。[101] 此外，由于可再生能源资源和负荷中心分布的地理相似性，中国的特高压输电技术可能在巴西得到更有效地应用。

这些巴西项目给中国工程师提供在巴西的特高压输电线路进行勘测、规划、设计、施工发挥核心作用的机会。作为

特高压直流设备的主要供应商，国家电网公司的子公司许继集团将在巴西项目获得巨大收益。[102] 国家电网公司与巴西合作也将获得其在开发分离的电网和发电设备系统的专业知识。这反过来，应该有利于中国自身的电力行业的改革。

目前为止在中国成功运作的800千伏直流系统应该给巴西电力电网公司提供信心。国家电网在环境污染减灾、瞬时故障压力、换相失败，和其他实际的系统参数的变化等困难条件下有着系统建设、保护、控制和维护特高压项目的丰富经验。这些经营特高压系统的经验几乎肯定会有利于国家电网未来在拉丁美洲和其他地区的合作。

但是，中国与巴西等发展中国家的广泛的合作伙伴关系也有可能促全球技术的日益分歧。[103] 这是因为这些国家与中国一起开发的考虑国家特殊情况的标准，虽然有利于双边贸易，但缺少第三国的参与(见文本框2)。[104]

表6. 角逐全球市场的主要特高压企业

国家	公司	系统	项目
印度	ABB + BHEL + PGCIL	800千伏特高压直流	东北 – 阿格拉(2015)
	西门子 + PGCIL	1200千伏特高压交流	比纳特高压国家测试站(正在建设)
巴西	国家电网 + Furnas + Electronorte	800千伏特高压直流	北部帕拉州 – 南部的米纳斯吉拉斯州(计划)
中国	ABB + 国家电网	800千伏特高压直流	向家坝-上海(2010) 锦屏-苏南(2012) 哈密-郑州(2014)
		1100千伏特高压直流	淮东-成都(2015)
	ABB + 阿尔斯通 + 国家电网	800千伏特高压直流	溪洛渡-浙江西(2014)
	西门子 + 国家电网	800千伏特高压直流	向家坝-上海(2010)
	西门子 + 南方电网	800千伏特高压直流	云南-广东(2010) 糯扎渡-广东(2013)
	南方电网	800千伏特高压直流	锦屏-苏南(2012)
		1000千伏特高压交流	晋东南-南阳-荆门(2009) 淮南-上海(2013) 浙江北-福州(2015)

资料来源: ABB。[111]

文本框2: 中国特高压市场的国际公司

作为在高压直流输电领域两个最大的供应商之一，西门子公司在世界各地规划、设计和建造了大约20000公里高达245千伏的高压电力线路和10000公里超过245千伏的超高压线。[108] 除了在中国南方（糯扎渡–广东和溪洛渡–广东）两个高压直流输电线路的调试，西门子还将安装连接苏格兰和英格兰的第一个水下600千伏高压直流电缆。[109]

ABB，另一个主要的跨国高压直流供应商，也拥有这类技术的丰富经验。[110] 它在1942年推出了容量为220千伏/120兆伏安的世界上最大的变压器以及在中国2000公里的向家坝-上海传输线路的全球首个800千伏特高压直流电源变压器（见表6）。自1974年以来该公司一直参与中国的输配电设备市场，在2012年在中国的销售赚了约52亿美元。溪洛渡-浙江西项目给ABB价值约15亿的订单提供设备，包括换流变压器、直流滤波电容器和换流阀。

尽管西门子和ABB长期以来一直以输电技术被全球认可，中国企业已经成功突破巴西的特高压和印度的高压市场，并能用中国自己的技术产品积极地与跨国公司竞争。

作为在瑞典和德国之后世界上第三个掌握了特高压直流系统晶闸管技术的国家，中国现在是特高压直流行业的一个领导者，这直接削减了ABB和西门子的特高压直流市场份额。这种趋势不太可能在短期内改变，因为中国正在日益寻求成为国际特高压项目的一个积极参与者。

争夺全球市场份额

其他国家也可能仿照中国的产业政策来推动自己的特高压发展。目前，尽管中国已经开始出口自己的技术，但更广阔的全球市场似乎尚未完全相信中国的供应商能满足严格的质量和技术标准、通过已经成为全球最佳惯例的第三方认证流程。

这导致一些国家要抓住机遇试图进军全球市场，与中国的特高压竞争。印度就是这样一个例子。虽然在其自己的电力行业已经严重依赖于中国标准电压设备，印度正试图大力发展本土特高压技术以加强本国的制造业基础，限制过度依赖中国的特高压技术，尽管中国有上述的进展。[105]

作为全球领导者的制造高达750千伏电源产品（如断路器、气体绝缘变电站、互感器、变压器套管、避雷器、隔离开关）的印度公司康普顿格里夫斯有限公司(Crompton Greaves Ltd, CG) 2013年10月在其纳西克开关综合大楼成立了一个1600千伏特高压研究中心，而且照搬中国剧本，印度可能也瞄准出口南美和非洲的市场。[106]

事实上，由于特高压技术仍在不断发展，现在才刚刚开始更加广泛地被国际采用，印度电力行业一直在寻求进军全球市场的机会，他们通过联合25个国内制造商共同在比纳建立一个1200千伏特高压国家测试站——目前世界上的最高电压水平。[107] 印度最大的变压器生产商

BHEL开发和测试的全国首个333MVA级别特高压交流变压器，这已提供给中央传输公共事业公司PGCIL使用。而康普顿格里夫斯已经发布了其首款本土设计1200千伏自耦变压器的开发。

除了这些新兴的市场主体，许多有声望的跨国公司，尤其是德国西门子和瑞士的ABB，仍然在世界特高压项目上有显著的边际市场份额。这些公司也在纷纷瞄准印度市场，因为该国似乎决意要开发一个抗衡中国的特高压系统。看来印度是在与西方公司合作的同时试图限制中国在其市场的影响。

例如在印度的首个特高压交流项目的开发中，[112] 西门子公司为比纳（Bina）测试站开发并提供了1200千伏断路器，避雷器。阿尔斯通印度（Alstom India，又称Avera T&D）已通过与PGCIL合作供应1200千伏电容式电压互感器，加强了其在印度特高压市场的地位。KEC国际负责设计和建设在这个世界上最高电压测试项目中的1200千伏双回线路。

同时，ABB和BHEL组成的财团赢得了2.5亿美元订单，提供一个从印度东北部地区到阿格拉（Agra）的±800千伏特高压直流输电系统，这将使印度成为世界上第二个拥有这项技术的国家。ABB负责整个系统设计、控制系统，并且是东北阿格拉线路主要的设备供应商。

中国的特高压标准化的影响

从前面分析的特高压技术的演变和中国在其中的作用，下面给出几个关于未来标准制度的结论。

中国的特高压标准化战略符合过去的模式

其一，中国的特高压总体战略很大程度上与其在建设高铁网络的政策相似，与发展本土手机技术也相似。抛开雄心，特高压和高铁两者在中国一直是以一个垂直整合的模式，其最终目标是把这样的技术出口到全球市场。

中国的特高压总体战略很大程度上与其在建设高铁网络的政策相似，与发展本土手机技术也相似。

这两个行业之间的区别是，作为全球第一个重大的如此高电压、大规模的特高压技术采用者，中国的特高压面临着更大的风险。这意味着，作为全球标准体系的后来者，但同时作为国际特高压标准化制定早期参与者，中国的特高压标准化体系的功能不同于与其他主要参与者。

例如在欧洲，智能电网标准是由三个欧洲标准组织合作开发下一代的电力网络制定标准产生的。在美国，智能电网标准化是一个由工业界领导的过程，其中制造商都在智能电网技术的市场领导地位。[113] 但是，在中国特高压技术标准化是由电网公司为首，中央政府推动，这主要是因为中国的电力设备制造商垂直整合（受控制）于国家电网。

但是尽管中国雄心勃勃，该国的特高压技术标准政策距对已经确立地位的跨国公司形成严重技术挑战还有很长的路。这部分缘于过期的法律和行政标准化体系、核心技术严重依赖于外国公司。

最重要的是，中国对目前特高压市场参与者的关键挑战是，至少在此时，不是在本土特高压技术开发，而是把廉价的技术嵌入到特高压标准的制定。

中国在开发自己的技术标准与全球技术标准竞争并赢得市场份额的过程中成败参半。最能突出的说明是3G移动通信标准TD-SCDMA的情况，但那与特高压的经验有着重要的差异。

首先，TD-SCDMA是在有两个占统治地位而且可靠的国际标准WCDMA和CDMA2000的情况下开发的。与此相反，特高压的标准，是在没有相当的现存的国际标准的情况下开发的。事实上，虽然TD-SCDMA最终被接受为国际标准，但它没有获得很大的市场份额。中国两大电信运营商自己最终决定去使用更被国际认可的3G标准WCDMA。换言之，在3G电信标准竞赛中，不存在与特高压市场同样的竞争压力。

其次，中国政府通过其各种技术官僚机构直接领导了TD-SCDMA。相比之下，虽然他们也是国有企业，中国的各电网公司引领了特高压。

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE

不过，情况就是这样，还很难判断中国的本土特高压标准化将与国际通行的标准走向衔接还是偏离。这是因为特高压技术本身的不断演变。

为了鼓励国内产业推广和应用国家技术，中国企业和标准组织倾向于将廉价知识产权许可嵌入在特高压技术标准中。而这与其他国际组织在知识产权许可方面不同。

不像在美国，知识产权嵌入标准是将授权费用作为收入来源，中国只将知识产权作为升级产品的一种手段。[114]

Photo: Flickr/David Clarke

因此，中国特高压标准化的趋势说明，中国正最大努力地通过降低特高压标准中知识产权的授权费，来获取低廉的特高压技术。这在中国被视为以牺牲知识产权权利人的利益来达到特高压设备制造商的利润最大化的方法。

这正是国家电网为什么要致力于成为特高压输电基础设施世界市场的主要生产商的原因。它希望通过这样把公司的特高压标准出口到海外来保证自己产品的市场份额。[115]

这种策略通过尽可能低的收费鼓励市场接受中国特高压技术。因此，它刺激其他公司来支持或采用中国本土技术。如果成功的话，这可能对领先的跨国公司构成挑战，尤其是通过影响知识产权标准计价和授权的方法。

实施和协调中国特高压标准的影响因素

中国实现其特高压电网计划面临着大量的技术、经济、政治挑战。该计划的频繁修改的部分原因是由于，最近才认识到，在现有的中国的某些地区，风力发电溢漏问题是由于这些区域风力过剩的发电能力没有得到足够的传输，而不是传输基础设施不足的问题。[116]

随着系统的扩大而且变得更加一体化，中国也将面临维护系统安全的挑战。这仍然是其特高压网络总体上最大、最持久的技术挑战之一。极端天气条件影响长途传输线路的潜在风险让可以预见的断电更糟，因为局部问题可能发展成全系统崩溃。[117]

复杂而繁琐的项目评估和审批过程也可能使扩大中国的特高压电网被延期或受阻。这涉及到项目的提议者和电网运营商、地方和中央政府、电网公司之间的多方协调。

中国私营企业的弱小以及他们不能有效地参与标准化，也是一个大问题。虽然私营电气设备企业，原则上，应该成为推动特高压技术的国际标准化的主要力量。但是，只有少数国有企业，如国家电网，有能力在国家和国际层面参与标准制定。其他的小企业也没有强烈的动机来参与特高压技术创新或相关标准的制定。

与占主导地位的跨国公司不同，没有几家中国公司有足够的影响力和市场力量来

设定可以在全球重塑整个行业的企业标准。[118] 大多数参与国家特高压项目发展的中国制造商是由国家电网拥有，其垄断地位仍然让监管部门担心，也是未来行业改革的一个潜在的障碍。

尽管中国的垂直整合模式很可能确保设备公司的市场份额（通过消除竞争和比市场价格高的竞价来维持股东利润），特高压设备设计的技术创新将在此过程中受阻。[119]

其他那些被排除在外的中国制造商没有足够的财力也没有动力进行研究开发，因而很少能进入特高压市场。国家电网降低特高压设备成本的战略，几乎肯定会阻碍特高压在中国总体发展的技术上的创新。

小企业也没有强烈的动机来参与特高压技术创新或相关标准的制定。

中国特高压标准化其他情境

尽管如此，中国和印度在特高压的发展和运作上的经验，可能有利于世界各地的电力传输。中国引领世界特高压技术的发展，现在大量参与自己的国内市场和巴西市场。但是，中国已不再是独自在这方面努力：印度有一个正在建设的1200千伏特高压交流测试站，而日本也正计划在今后十年将其现有的线路从550千伏升级到1100千伏。

但正如上文提到的，特高压标准化尚处于早期阶段。所以，这三个正在寻求扩大特高压的亚洲主要国家——中国、印度和日本可能将在国际标准制定中起重要作用。

短期内，特高压标准化可以促进相应技术的发展。亚洲国家在特高压市场，通过为电力开发商提供更多电气设备选择、更多价值，和更好地服务来竞争。

通过在特高压市场显著降低价格并且提高效率，中国、日本和印度设备供应商也能一定程度上改善系统条件。其结果是，迄今为止激烈的竞争促进了技术的发展。而这，进而对市场形成了积极的影响。然而从长远来看，当大量设备建立在现有标准的基础上时，这可能会阻碍技术上的创新能力。[120]

衡量一个国家的特高压标准是否成为贸易壁垒要取决于国内生产商的相对竞争力。[121] 一方面，当进口国家的消费者信任这个标准体系而且这个标准可以作为质量信号时，国家特高压标准促进出口。在中巴项目中，中国的特高压标准没有成为任何壁垒，因为中国的制造商比巴西国内的制造商更高效。另一方面，当国外市场的偏好明显不同于原产国的市场时，这个国家的特高压标准便不利于贸易。例如，中国的特高压标准更适用于当地复杂的地理环境，因为特高压线路要通过高海拔和严重的结冰区。但是在其它国家可能不是这种情况（例如在日本，抗震性能可能更具优先级）。

中国已经显示出巨大的积极性来发展全国电网和相关的特高压标准。有其巨大的国内市场和多样化的本地条件，中国本土特高压标准中的技术创新很可能对先进工业国家的企业不具备吸引力，因为这些市场更加专注于智能电网的标准化和最终用户的解决方案。

由于目前缺乏在市场占主导地位的全球特高压标准，这确实为中国特高压

技术获得提高信誉和增加市场份额的机会。如果中巴特高压直流工程圆满完成，这种情况将尤其突出。

目前还不清楚中国其他的本土特高压标准（除了那些已获批准的）是否将赢得国际吸引力和显著的海外市场支持。各种因素都在起作用，特别是现在特高压市场的多国竞争似乎正在加深。

考虑到种种不确定因素，以下是特高压标准化如何发展的几种可能性：

1. ***基准情境***：如果中国继续或多或少沿着目前的轨迹前进，那么中国将继续在一些具有独特区域条件的市场中占有优势。但是，中国仍然会面临来自其他特高压技术和供应商的激烈竞争。

2. ***领先技术情境***：如果中国通过持续的创新提高国内产业的特高压输电竞争力，证明它确实在合理的成本上有世界一流的技术，从而成为一个可靠的供应商，那么它的先发优势和规模部署应该能让它制定全球标准并且主导全球市场。

3. ***竞争到底情境***：通过嵌入便宜的技术，中国可以把特高压设备的成本压低很多使得其他人不能在价格上与其竞争，而被迫采用中国的标准和设备。

4. ***后来者迎头赶上情境***：如果中国未能证明其国内设计和制造的设备的高性能和可靠性，那么经过几年的运作，竞争对手（如日本和印度）将抓住机遇来推动他们的本国特高压标准被国际公认。

5. ***传统大公司赢***：如果这三个亚洲主要国家都没有成功推动其本国特高压标准国际化，ABB和西门子等大公司的特高压标准将很有可能成为默认的国际标准。

在协调中国国内的特高压标准的过程中也存在着潜在的风险。为了减轻中国标准与国际标准分歧的风险，下列原则对于中国是重要的：

1. ***确保开放的特高压市场***：采用这一原则将使中国减小或去除边境和境内壁垒扭曲贸易的影响，收获经济全球化和特高压市场国际竞争的成果。

2. ***参加各种国际标准制定机构***：这一原则意味着，中国政府对像IEEE-SA，IEC和CIGRE这样的国际组织提出并起草研究报告；增强中国标准代表的观点；并增加了中国自己的监管环境的可预测性和透明度。

3. ***在全球范围内协调国内特高压标准***：这一原则意味着，中国统一了各种特高压产品标准；促进国内特高压标准的技术水平达到国际标准；并增加了中国的特高压技术在主要国际标准中的比例。

4. ***促进国内特高压技术的创新***：采用这个原则将鼓励和支持地方电力生产企业的自主创新能力（如许继集团，平高集团等），特别是加快高新技术设备开发、推动技术进步、优化电力工业结构。

5. ***保护知识产权***: 这个原则将有助于增加国外企业如ABB和西门子的信心，进行投资和高科技产品贸易、从事本地化研发、并把更多的创新技术带到中国，因为这里有很大的特高压市场和丰富的资源可以部署。

6. ***小心谨慎地使用反垄断工具***: 这条原则意味着防止垄断企业如国家电网的滥用权力，同时也禁止行政权力压抑竞争。这也意味着建立一个常规系统来审查并购和收购。

附录

中国的特高压交流系统标准分类

标准	内容
特高压交流设计标准	为过电压与绝缘配合原则、电压和无功调节技术措施、变电站设计、高架输电线路勘测设计等规划和设计规定技术标准。
特高压交流系统设备和测试标准	为电力变压器设备包括变压器、电抗器、电压互感器/电流互感器(PT/CT)、避雷器、开关等；线路设备如配件和绝缘体；保护和监控设备；特种设备现场测试方法指导等提供技术标准。
特高压交流工程建设标准	为工程建设技术、设备验收、施工质量检验与评价、验收、启动和系统调试等提供技术标准。
特高压交流工程运营和维护建设标准	为特高压交流系统的运行、维护、管理、带电作业、检修、技术监督等提供技术标准。

中国特高压交流系统标准

中国标准	现行国际/国家标准
GB/Z 24846-2009“1000千伏交流电气设备预防性试验标准”	没有现行国际标准
GB/Z 24845-2009“1000千伏交流系统金属氧化物避雷器无间隙技术规范”	IEC 60099-4: 2006“交流电系统金属氧化物避雷器无间隙”

中国的特高压直流系统标准分类

标准	内容
特高压直流设计标准	指的是系统性能、电磁环境、绝缘协调、污秽分类、测试等，由三部分的内容组成，即合成、换流站和传输线。
特高压直流系统设备标准	说明设备性能和服务条件，并同时为在特高压直流项目中所使用设备的测试和测量方法提供技术标准和指导。
特高压直流工程建设标准	包括直流输电线路及换流站建设规范、设备验收测试、系统调试规定等。
特高压直流工程运营和维护建设标准	主要包括高压直流输电线路及换流站运行指导、设备可靠性评估、带电作业、定期维修保护和计量。

中国特高压直流系统标准范例

中国标准	现行国际/国家标准
DL/T 5426-2009 “±800千伏高压直流系统的系统设计标准”	参见IEC 919-3 “高压直流性能(HVDC)”, IEC TS 60071-5 “绝缘配合”, IEC1803(第1版)“确定高压直流(HVDC)换流站损失”, CIGRE研究委员会14-直流电链接
GB/T 25082-2010 “油浸式转换器变压器为800千伏直流电应用技术要求和规范”	GB/T18494.2-2007的修改 “换流变压器第2部分: 变压器在高压直流输电的应用”, IEC60296: 2003 “流体电工应用, 未用矿物绝缘油的变压器和开关设备”
GB/T 25092-2010 “干式空心平波电抗器在高压直流输电的应用	基于中国特高压直流项目中电抗器的设计、制造、试验和操作, 参考GB/T 10229“电抗器”和IEC 60076-6“电力变压器第6部分: 电抗器”
Q/GDW150-2006 “±800千伏特高压直流穿墙套管通用规范”	为特高压直流穿墙套管提供规范, 没包括在IEC 62199-2004 “套管的直流应用”

资料来源: 国家电网。

尾注

[1] Weimers, Lars. “Bulk Power Transmission at Extra High Voltages, A Comparison Between Transmission Lines for HVDC at Voltages Above 600 kV DC and 800 kV AC,” *Indian Journal of Power and River Valley Development* 61.7 (2011): 107.

[2] Zhang, X-P. “Fundamentals of Electric Power Systems,” in *Restructured Electric Power Systems: Analysis of Electricity Markets with Equilibrium Models*. Zhang, Xiao-Ping (ed.), John Wiley & Sons, 2010.

[3] Huang, Daochun, et al. “Ultra High Voltage Transmission in China: Developments, Current Status and Future Prospects,” Proceedings of the IEEE97.3 (2009): 555-583.

[4] Bojanczyk, K. “China and the World’s Greatest Smart Grid Opportunity, 2012 (reprint), accessed at http://www.greentechmedia.com/articles/read/enter-the-dragon-china- and-the-worlds-greatest-smart-grid-opportunity.

[5] Ust’Yantsev, E.E. Design, “Testing and Operation of High Voltage Bushing of 1150 KV and the Ways of Its Updating,” in Proceedings of International Workshop of UHV AC Transmission Technology, Beijing, China 2005.

[6] Zhang, Z. “A Survey of UHV Power Grid Technology Development,” North China Electric Power, 2006(1): p. 1-2, 11; also see, Lings, R. “Overview of Transmission Lines above 700 kV,” in Inaugural IEEE PES 2005 Conference and Exposition in Africa, South Africa 2005.

[7] Asplund, G. “Ultra High Voltage Transmission: Alternative Scenarios for Long Distance Bulk Power Transmission--800 kV HVDC and 1000 kV HVAC,” available at http://www02.abb.com/global/gad/gad02077.nsf/lupLongContent/200B848D53152367C12572FB0046DE0B.

[8] Yi, L.-d. and L. Zhang. “A Survey of 750 kV and UHV Power Grid Technology in Russia,” *Advances of Power System & Hydroelectric Engineering*, 2008. 24(1).

[9] Zaima, E. “System Aspects of 1,100 kV AC Transmission Technologies in Japan,” *Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 2009. 4: p. 62-66.

[10] Rudervall, R., J.P. Charpentier, and R. Sharma, “High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Systems Technology Review Paper,” Energy Week, Washington, DC 2000.

[11] Graham, J., A. Kumar, and G. Biledt. “HVDC power Transmission for Remote Hydroelectric Plants,” in CIGRE SC B4 colloquium on Role of HVDC FACTS and Emerging Technologies in Evolving Power System, 2005, Bangalore, India; also see, Graham, J., S. E. Santo, and A. Kumar, “Comparison of the Performance of HVDC and HVAC Overhead.”

[12] CIGRE, WG. "C4. 306 Insulation Coordination for UHV AC Systems," CIGRE Technical Brochure 542 (2013): 100.

[13] ITO, H. "Considerations and Recommendations for the Specification of UHV Substation Equipment," CIGRE Symposium Bologna, Italy 2011.

[14] "D1.5 Map of Smart Grids Initiatives: International Outreach Revision," accessed at http://www.gridplus.eu/Documents/Deliverables/D%201.5%20-%20Map%20of%20 smart%20grids%20initiatives.pdf; also see, Astrom, U., et al. "Power Transmission with HVDC at Voltages Above 600 kV," in Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, 2005 IEEE. Durban, South Africa.

[15] Xia, Y., et al., "A Comprehensive Review on the Development of Sustainable Energy Strategy and Implementation in China." Sustainable Energy, IEEE Transactions, 2010. 1(2): p. 57-65; also see, Xu, Z., Y. Xue, and K. P. Wong, "Recent Advancements on Smart Grids in China," *Electric Power Components and Systems*, 2014. 42(3-4): p. 251-161.

[16] Shu, Y., et al. "A Survey on Demonstration of UHV Power Transmission by State Grid Corporation of China in 2005," *Power System Technology*, 2006. 30(5): p. 1-12.

[17] Davidson, M. "Politics of Power in China: Institutional Bottlenecks to Reducing Wind Curtailment through Improved Transmission," in International Association for Energy Economics (IAEE) Energy Forum, 2013, p. 41-43; also see,Cheung, Kat. "Integration of Renewables: Status and Challenges in China, No. 2011/9. OECD Publishing, 2011. "China Wind Industry: Challenges & Opportunities 2014," ReGenerators and N. E. Agency, accessed at http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/03/Challenges%20 Opportunities%20Chinese%20wind%20 Industry%202014%20Regenerators%20RVO%20 17032014.pdf.

[18] Extract of operating and financial data of China Wind Power Group Limited, 2011.

[19] Fan, G. and N. C. Hope. "The Role of State-Owned Enterprises in the Chinese Economy," *China Focus*, accessed at http://www.chinausfocus.com/2022/wp-content/uploads/Part+02-Chapter+16.pdf.

[20] "Smart Grid in China: An R&D Perspective," Innovation Centre Denmark-Shanghai, July 2013, accessed at http://icdk.um.dk/en/~/media/icdk/Documents/Shanghai/ Publications/Smart%20grid%20in%20China.pdf.

[21] Yuan, X. and J. Zhang, "An Analysis of Development Mechanism of China's Smart Grid," *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2014. 4(2): p. 198-207.

[22] SGCC. "Framework and Roadmap for Strong & Smart Grid Standards," State Grid Corporation of China (2010).

[23] "Where To Look for Smart Grid Leadership? Try China," accessed at, http://www. smartgridnews.com/artman/publish/Business_Global/Where-to-look-for-smart-grid- leadership-Try-China-6550.html#.VFP_4BYqe9E.

[24] "Modern Comprehensive Energy Transport System," in Liu, Zhenya, *Electric power and energy in China*, John Wiley & Sons, 2013.

[25] Ye, J., et al. "Research on Reactive Power and Voltage Control Strategies for the UHV AC Demonstration Project," Proceeding of the CSEE, 2009. 29(22): p. 25-29.

[26] "The Transition to Green Energy in China, Japan and Korea," Innovation Norway, accessed at http://www.innovasjonnorge.no/Documents/old/PageFiles/4014/ Energy%20report%20NEA%20v3.pdf.

[27] Hove, A., et al. "Opportunities for Dutch Clean Energy Tech Companies in China," accessed at http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/03/Opportunities%20for%20 Dutch%20Clean%20Energy%20Tech%20Companies%20in%20China%20Dec%202013.pdf.

[28] Rao, H., et al. "Development of ±800 kV UHV DC Transmission Technology in China," in International Conference on High Voltage Engineering and Application 2008, Chongqing, China.

[29] Davidson, M., "Primetime Debate: Will an Ultra-High Voltage Transmission Supergrid Solve China's Air Pollution Crisis?," accessed at http://mitei.mit.edu/news/primetime-debate-will-ultra-high-voltage-transmission-supergrid-solve-chinas-air-pollution-cris; also see "Li Keqiang: Accelerating UHV Project in 2014 to Deliver Intraregional Electricity to Tackle Air Pollution," accessed at http://www.chinapower.com.cn/newsarticle/1204/new1204614.asp.

[30] Hu, X., M. Thomas and L. Zhang. "TLG on China: UHV 2014; Kumar, A., et al., "800 kV UHV DC: From Test Station to Project Execution," in Second International Symposium on Standards for Ultra High Voltage Transmission, 2009 New Delhi, India; also see: Mai, C. "Smart Grid and Power Quality Development in China," in the 14th Annual PQSynergy International Conference 2014.

[31] David Xu, Michael Wang, Claudia Wu, Kevin Chan, "Evolution of the Smart Grid in China," available athttp://166.111.7.90/asset/imsupload/up07968780013563371 44.pdf

[32] Ziegler, K. "Chinese Standardization in Smart Grids: A European Perspective," May 2011 May, accessed at http://www.talkstandards.com/chinese-standardization-in-smart-grids-a-european-perspective/comment-page-1/.

[33] Yuan, X. and J. Zhang, "An Analysis of Development Mechanism of China's Smart Grid." *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2014. 4(2): p. 198-207.

[34] Hutchinson, Mark. "UHV Is A Neccessary Choice for China," accessed at http://www.sgcc.com.cn/ztzl/tgyzl/zjft/196583.shtml.

[35] "Foreign Players Finding a Path into China's UHV Power Line Build-Out," accessed at http://www.cleanenergyexpoasia.com/Market-News/LUX-ForeignPlayersFindingAPathIn toChina.pdf.

[36] Linden, G. "China Standard Time: a Study in Strategic Industrial Policy," *Business and Politics*, 2004. 6(3): p. 1-28.

[37] "Foreign and Domestic Giants Vie for China's 400 billion UHV market," accessed at http://www. geocities.jp/ps_dictionary/ uhv/060310.htm; also see, Li, Jerry. "From Strong to Smart: The Chinese Smart Grid and Its Relation with The Globe," *Asia Energy Platform News* (2009): 1-10.

[38] "XJ Electric's Indigenous Development Effort," accessed at: http://www. geocities.jp/ps_dictionary/uhv/uhv1005.htm.

[39] "How Far Is China from Complete Indigenous Development of DC UHV Equipment," accessed at http://www.geocities.jp/ps_ dictionary/uhv/060908.htm.

[40] Whitney, J. "Ultra High Voltage (UHV) Transmission Is the Renewable Energy Interstate," *The Green Economy Post*, April 25, 2011, accessed at http://greeneconomypost.com/ ultra-highvoltage-uhv-transmission-renewable-energy-interstate-14309.htm.

[41] Focus on UHV AC: China Shows the Way by Energizing 1000 kV Line, 2009.

[42] "Strategy and Practice of Smart Grid in SGCC," State Grid, 2013.

[43] Asplund, G. "Ultra High Voltage Transmission: Alternative Scenarios for Long Distance Bulk Power Transmission--800 kV HVDC and 1000 kV HVAC," available at http://www02.abb.com/global/gad/gad02077.nsf/lupLongContent/200B848D53152367C12572FB0046DE0B.

[44] Asplund, G. "HVDC equipment for 800 kV HVDC," in Brazil-China-India summit meeting on HVDC & Hybrid Systems, 2006; also see, Nayak, R. N., et al. "Current Status of Design, Engineering, Manufacturing and Testing of 800 kV HVDC Equipment," in Second International Symposium on Standards for Ultra High Voltage Transmission; also see, Haeusler, M., H. Huang, and K. Papp, "Design and Testing of 800 kV HVDC Equipment," in CIGRE 2008.

[45]Zaima, E. "System Aspects of 1,100 kV AC Transmission Technologies in Japan," *Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 2009. 4: p. 62-66.

[46] Hidaka, K. "International Standardization of 1,100 kV UHV Transmission Technologies Originating from Japan," *Electrical Insulation News in Asia*, 2010(17).

[47] A. l. J. Janssen, et al. "UHV Equipment Requirements: State of the Art & Prospects for Equipment," in second international symposium on standards for ultra high voltage transmission.

[48] Activities in Smart Grid Standardization, ITU Telecommunication Standardization Bureau 2011.

[49] "The Canadian Smart Grid Standards Roadmap: A Strategy Planning Document 2012," the CNC/IEC Task Force on Smart Grid Technology and Standards.

[50] Bayliss, C. R. and B. J. Hardy. "High Voltage Direct Current Transmission," in *Transmission and Distribution Electrical Engineering* 2012, Elsevier/Newnes: Oxford; Boston.

[51] Krishanaya, P. C. S., et al. "An Evaluation of the R&D Requirements for Developing HVDC Converter Stations for Voltage above 600 kV," in CIGRE session 1988.

[52] Du, Z. "Study on Strategic Planning of Ultra-High Voltage Grid Development in China," Shandong University 2008.

[53] Dufournet, Denis. "Standardization Aspects of UHV Networks," *Water and Energy International* 67.1 (2010).

[54] Hammons, T.J., et al. "State of the Art in Ultrahigh-Voltage Transmission," Proceedings of the IEEE, 2012. 100(2): p. 360-390.

[55] Ramaswami, V., D. Retzmann, and K. Uecker. "Prospects of Bulk Power EHV and UHV Transmission," in International Exhibition & Conference on Gridtech 2007. New Delhi, India.

[56] "Modern Comprehensive Energy Transport System," in Liu, Zhenya, *Electric power and energy in China*, John Wiley & Sons, 2013.

[57] Hidaka, K. "International Standardization of 1,100 kV UHV Transmission Technologies Originating from Japan," *Electrical Insulation News in Asia*, 2010(17).

[58] Gu, C. "Globalization of HVDC Standards," accessed at http://www.cspress.cn/u/cms/www/201208/161552231pg7.pdf; also see, Kwak, J., H. Lee, and D.B. Chung, "The Evolution of Alliance Structure in China's Mobile Telecommunication Industry and Implications for International Standardization," *Telecommunications Policy*, 2012. 36(10– 11): p. 966-976.

[59] "Framework and Roadmap for Strong & Smart Grid Standards," State Grid Corporation of China (2010).

[60] Lee, H. "China's Rise in International ICT Standardization: Techno-Nationalism and Techno-Globalism," Australian National University, 2013.

[61] Kennedy, Scott, Richard P. Suttmeier, and Jun, Su. "Standards, Stakeholders, and Innovation: China's Evolving Role in the Global Knowledge Economy," National Bureau of Asian Research, 2008.

[62] Greene, Malory, and Tsai, Charles. "Enhancing Market Openness Through Regulatory Reform in the People's Republic of China No. 83," OECD Publishing, 2008.

[63] Heiles, J. "D1.3.1 Smart Grid Standardization Analysis Version 2.0," 2012.

[64] Schuler, P. "China Smart Grid and Smart Eco-Cities," in InterSolar China Exhibition 2014. Beijing, China.

[65] Breznitz, Dan and Murphree, Michael. "The Rise of China in Technology Standards: New Norms in Old Institutions," report prepared on behalf of the US-China Economic and Security Review Commission, accessed at http://origin.www.uscc.gov/sites/default/files/Research/RiseofChinainTechnologyStandards.pdf.

[66] Ziegler, K. "Chinese Standardization in Smart Grids: a European Perspective," May 2011, accessed at http://www.talkstandards.com/chinese-standardization-in-smart-grids-a-european-perspective/comment-page-1/.

[67] Ernst, Dieter. "Indigenous Innovation and Globalization: The Challenge for China's Standardization Strategy," UC Institute on Global Conflict and Cooperation, 2011. also see, Fomin, V. V., J. Su, and P. Gao, "Indigenous Standard Development in the Presence of Dominant International Standards: The Case of The Audio Video Coding Standard (AVS) in China," *Technology Analysis & Strategic Management*, 2011. 23(7).

[68] "The Release of UHV AC Standard Will Spur 150 Billion Market in Electric Equipment," Power Source World, January 2010.

[69] Liu, G., L. Zhang, and J. Zheng. "Institutional Reform and Electricity Provision in China: 2000-2009", Manuscript for the EU project on China's Electricity Industry: Efficiency, growth and the environment and presentation at the 2010 EU-China Exchanges for Electricity Market Development and Environmental Challenges - Policies and Strategies, The Royal Institution of Great Britain, London, 26 February 2010.

[70] "Why 23 Experts Are Against UHV on the Record?," accessed at http://www.chinasmartgrid.com.cn/news/20130305/420831.shtml.

[71] "The Transition to Green Energy in China, Japan and Korea," Innovation Norway, accessed at http://www.innovasjonnorge.no/Documents/old/PageFiles/4014/Energy%20report%20NEA%20v3.pdf.

[72] Exclusive Interview of Shu Yinbiao, Executive Vice President of State Grid Corporation of China.

[73] Fan, J., et al. "Introduction of 1,000 kV UHV AC Transmission Standards System," *Electric Power*, 2006. 39(10): p. 6-9.

[74] Xu, Z., Y. Xue, and K. P. Wong, "Recent Advancements on Smart Grids in China," *Electric Power Components and Systems*, 2014. 42(3-4): p. 251-161.

[75] "Smart Grid in China: An R&D Perspective," Innovation Centre Denmark-Shanghai, July 2013, accessed at http://icdk.um.dk/en/~/media/icdk/Documents/Shanghai/ Publications/Smart%20grid%20in%20China.pdf.

[76] "Huainan-Shanghai UHV AC Pilot Projectto Transmit Electricity from Anhui to Eastern China Speeds up its Construction," accessed at http://www.sgcc.com.cn/ywlm/mediacenter/corporatenews/10/282435.shtml; also see "Chapter 8: Innovation in Energy Technology," in Liu, Zhenya, Electric power and energy in China, John Wiley & Sons, 2013.

[77] "China to Triple Ultra-High Voltage Transmission Lines by 2012," accessed at http://www.powermag.com/china-to-triple-ultra-high-voltage-transmission-lines-by-2012/.

[78] "Smart Grid in China: An R&D Perspective," Innovation Centre Denmark-Shanghai, July 2013, accessed at http://icdk.um.dk/en/~/media/icdk/Documents/Shanghai/Publications/Smart%20grid%20in%20China.pdf.

[79] Yu, Y., J. Yang, and B. Chen, "The Smart Grids in China-A Review," in Energies. 2012.

[80] "Smart Grid in China: An R&D Perspective," Innovation Centre Denmark-Shanghai, July 2013, accessed at http://icdk.um.dk/en/~/media/icdk/Documents/Shanghai/Publications/Smart%20grid%20in%20China.pdf.

[81] ZPryme, "China: Rise of The Smart Grid," Zpryme Research & Consulting, 2011.

[82] Ziegler, K. "Chinese Standardization in Smart Grids: A European Perspective," May 2011, accessed at http://www.talkstandards.com/chinese-standardization-in-smart-grids-a-european-perspective/comment-page-1/.

[83] Smart Grid Advisory Committee (SGAC) Report, National Institute of Standards and Technology (NIST).

[84] Rao, H., et al., "Investigation of ±800 kV UHVDC Transmission Standard System and the Standards for Main Equipment," *Southern Power System Technology*, 2010. 4: p. 167- 170; also see, Wang, U. "China Building Super Highway for Clean Power," May 2012, accessed at http://gigaom.com/2012/05/14/china-building-super-highway-for-clean-power/.

[85] "The Future of Electricity Transmission," *Electrical Business*, 2007. 43(4).

[86] "Strategy and Practice of Smart Grid in SGCC," State Grid 2013.

[87] B4, C. S. C., "HVDC and Power Electronic Equipment," in the 42nd Session Regular Meeting 2007: Osaka, Japan.

[88] "IEEE Recommended Practice for Overvoltage and Insulation Coordination of Transmission Systems at 1,000 kV AC and above," 2014; also see "IEEE guide for on-site acceptance tests of electrical equipment and system commissioning of 1000 kV AC and above," 2014.

[89] "Framework and Roadmap for Strong & Smart Grid Standards," SGCC (2010).

[90] UHV-related standards, Pre-standards and projects. 2014.

[91] Yu, L. "Opportunity and Challenge of China's International Standardization," in *Observation & Thought* 2013, accessed at http://www.cspress.cn/u/cms/www/201311/21161823nsah.pdf.

[92] "Modern Comprehensive Energy Transport System," in Liu, Zhenya, *Electric Power and Energy in China*, John Wiley & Sons, 2013.

[93] Ahn, S-J. and D. Graczyk. "Understanding Energy Challenges in India: Policy, Players and Issues," 2012, International Energy Agency (IEA).

[94] "The Dominance of Chinese Manufacturers," in *Power Insider* 2013. p. 44-46.

[95] Stewart, J., et al. "From 3G to 4G: Standards and the Development of Mobile Broadband in China," *Technology Analysis & Strategic Management*, 2011. 23(7): p. 773- 788.

[96] "Modern Comprehensive Energy Transport System," in Liu, Zhenya, *Electric Power and Energy in China*, John Wiley & Sons, 2013.

[97] "Sino-Brazilian Consortium Wins Brazil Dam Fight," *The Citizen*, August 2, 2014, accessed at http://citizen.co.za/afp_feed_article/sino-brazilian-consortium-wins-brazil-dam-fight/.

[98] "Belo Monte: Massive Dam Project Strikes at the Heart of the Amazon," accessed at http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/Belo_Monte_ FactSheet_May2012.pdf.

[99] "Sino-Brazilian Consortium Wins Brazil Dam Fight," *The Citizen*, August 2, 2014, accessed at http://citizen.co.za/afp_feed_article/sino-brazilian-consortium-wins-brazil-dam-fight/.

[100] Hussar, J. and D. Best. "Energy Investments and Technology Transfer across Emerging Economies: The Case of Brazil and China," IEA, 2013.

[101] Ibid.

[102] "Sino-Brazilian Consortium Wins Brazil Dam Fight," *The Citizen*, August 2, 2014, accessed at http://citizen.co.za/afp_feed_article/sino-brazilian-consortium-wins-brazil-dam-fight/.

[103] Hussar, J. and D. Best, "Energy Investments and Technology Transfer across Emerging Economies: The Case of Brazil and China," IEA, 2013.

[104] Mangelsdorf, A. "The Role of Technical Standards for Trade between China and the European Union," *Technology Analysis & Strategic Management*, 2011. 23(7): p. 725-743.

[105] Sharma, A. "India Rethinks Reliance on China in Power Sector," *Wall Street Journal*, February 10, 2010, accessed at http://online.wsj.com/articles/SB10001424052748703630404575053173929691614.

[106] "Press Release: CG Inaugurates 1600 kV Ultra High Voltage (UHV) Research Centre," October 2013, accessed at http://www.cgglobal.com/frontend/news_detail aspx?cntr1=bRhMjxbVAHw=&cntr=R6Yl/56Jszo=.

[107] "Indigenous Development of 1,200 kV Technology," in *Powergrid R&D Efforts* 2013. p. 14-15; also see Nayak, R. N., et al. "1,200 kV Transmission System and Status of Development of Substation Equipment/Transmission Line Material in India," in Second International Symposium on Standards for Ultra High Voltage Transmission.

[108] "Power Transmission and Distribution Solutions," in Power Engineering Guide-Siemens Energy Sector. p. 14-63.

[109] "The Bulk Way: UHV DC-The New Dimension of Efficiency in HVDC Transmission," Siemens, accessed at http://www.energy.siemens.com/br/pool/br/transmissao-de-energia/transformadores/the-bulk-way.pdf.

[110] "ABB Review Special Report: Transformers," ABB, accessed at http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/c3791bac5b25bd10c1257ab80037553b/$file/ABB%20SR%20Transformers-121031.pdf.

[111] Ibid.

[112] "India Steps Up To 1,200 kV," in *Electrical Monitor*, 2014, accessed at http://www.electricalmonitor.com/ArticleDetails.aspx?aid=1886&sid=2.

[113] Wilson, E.J. and P. Winter. "A Converging China?," in *Perspectives: China, Africa, and the African Diaspora*, Sharon Freeman (editor), All American Small Business Exporters Association, 2009.

[114] Breznitz, Dan and Murphree, Michael. "The Rise of China in Technology Standards: New Norms in Old Institutions," report prepared on behalf of the US-China Economic and Security Review Commission, accessed at http://origin.www.uscc.gov/sites/default/files/Research/RiseofChinainTechnologyStandards.pdf.

[115] Hussar, J. and D. Best. "Energy Investments and Technology Transfer across Emerging Economies: The Case of Brazil and China," IEA,, 2013.

[116] Hu, X., et al. "China's UHV Highway Revisited," in *China Focus*, 2013.

[117] "Risks to Supply if Hong Kong Depends Too Much on Imported Electricity," *South China Morning Post*, May 22, 2014, accessed at http://www.scmp.com/comment/letters/article/1517468/risks-supply-if-hong-kong-depends-too-much-imported-electricity.

[118] Breznitz, Dan, and Murphree, Michael. "The Rise of China in Technology Standards: New Norms in Old Institutions," report prepared on behalf of the US-China Economic and Security Review Commission, accessed at http://origin.www.uscc.gov/sites/default/files/Research/RiseofChinainTechnologyStandards.pdf.

[119] Yuan, X. and J. Zhang. "An Analysis of Development Mechanism of China's Smart Grid," *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2014. 4(2): p. 198-207.

[120] Williams, R., et al. "China and Global ICT Standardisation and Innovation," *Technology Analysis & Strategic Management* 2011. 23(7): p. 715-724.

[121] "Sino-Brazilian Consortium Wins Brazil Dam Fight," *The Citizen*, August 2, 2014, accessed at http://citizen.co.za/afp_feed_article/sino-brazilian-consortium-wins-brazil-dam-fight/.

保尔森基金会简介

保尔森基金会是由美国前任财政部长、高盛集团前董事长兼首席执行官亨利·M·保尔森先生于2011年创立设于芝加哥大学的一所独立的、非党派机构，其宗旨为促进全球经济的可持续发展与环境的保护。基金会恪守的理念是只要世界的主要国家能够通过优势互补开展合作，那么全球最紧迫的经济和环境挑战便可迎刃而解。

有鉴于此，保尔森基金会初期工作主要针对世界上最大的两大经济体、能源消费大国和碳排放大国，即美国和中国。如果中美两国能够相向而行，许多重大的经济和环境挑战便可通过更有效及更高效的方式得以解决。

我们的目标

具体而言，保尔森基金会的国际合作项目旨在实现以下三大目标：

- 促进能够创造就业的经济活动，包括中国对美投资；
- 支持城镇化发展，包括促进环保政策的优化；
- 培养在国际关注问题上的负责任的行政部门领导力与最佳商业实践。

我们的项目

保尔森基金会的项目旨在促进政府政策制定者、公司高管以及国际知名经济、商业、能源和环境的专家开展合作。我们既是智库也是“行动库”。我们促成现实世界经验的分享与务实解决方案的实施。

保尔森基金会的项目与倡议主要针对五大领域：可持续城镇化、跨境投资、行政部门领导力与创业精神、环境保护、政策外展与经济研究。基金会还为芝加哥大学的在校生提供实习机会，并与芝大合作，为来自世界各地的杰出的学者提供思想传播的平台。

© The Paulson Institute
All Rights Reserved

5711 South Woodlawn Avenue
Chicago, IL 60637
paulsoninstitute.org

保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE