

太阳能技术及行业趋势

——新能源系列研究之七

分析师

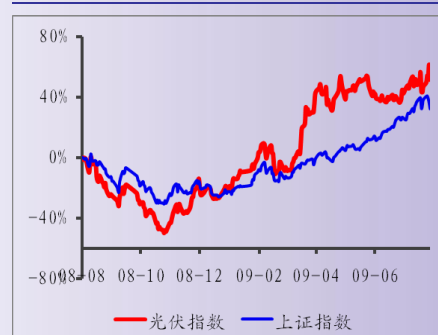
周 涛： 徐超：
☎(86-10)88366060-8727 ☎88366060-8711
✉zt@cgws.com ✉xuc@cgws.com
李明杰(实习生) 张晓燕(实习生)

要点：

- **晶硅电池的主流地位中期不会改变：**晶硅电池技术成熟、性能稳定，是光伏电池的主流品种。经过多年发展，“多晶硅-硅片-电池片-组件”等产业链各环节都已发展了成熟的工艺。特别的，随着 08 年以来多晶硅寡头垄断格局被打破，电池成本大幅下降，竞争力加强。中期来看，晶硅的主流地位难以撼动。晶硅电池行业的发展方向为：继续压缩多晶硅成本（比如冶金法）、继续提升电池转化效率、继续压缩各个环节的原材料消耗量（如降低硅片厚度）。从投资的角度而言，重点关注具备规模或技术优势的企业，如赛维、尚德，它们具最终胜出的潜力。另外重点关注太阳能跟踪系统（能提升 30%发电量）、逆变系统相关制造商，这是目前国内光伏发电的瓶颈。
- **薄膜电池的市场份额将继续提升：**薄膜电池的成本优势因为 08 年 4 季度以来晶硅电池价格显著下跌而弱化。但 07 年以来全球范围内大量薄膜投资开始发力，a-Si、CIGS、CdTe 三种技术都不断取得长足进步，目前龙头企业已基本能将度电成本控制在 1 元以内。另外，由于薄膜电池适合自动化生产线生产，同样产能所需工人数量约为晶硅的 1/25，其成本压缩潜力要胜过晶硅。总体上，薄膜的市场份额将继续提升。
- **聚光光热在高强度阳光地区空间广阔：**聚光光热发电采用传统发电原理，适合高光照荒漠地区的大规模并网发电，靠规模化降低发电成本。聚光光热系统可以在光照不足时使用传统能源，从而实现持续稳定供电，更受电网欢迎。现有的聚光光热项目主要集中于西班牙和美国，已建成的规模较小，但在建和拟建的项目规模达 GW 量级。在欧洲财团策划的撒哈拉沙漠发电计划中，聚光光热很可能占据重要地位，并借此获得大发展。
- **聚光光伏因精度问题前景看淡：**高效化和物电池的转化效率可以达到 30%以上，但其价格十分昂贵，主要用于航天领域。聚光光伏发电将阳光汇聚起来，减少高效电池的用量，从而降低成本。由于聚光电池片面积小，对光学元件的精度及跟踪系统的精度提出了很高的要求，这也成为束缚聚光光伏发展的主要瓶颈。由于高精度容易受恶劣自然条件破坏（如热胀冷缩），聚光光伏前景看淡。
- **预测五年以后的行业格局不靠普：**跟踪光伏行业的最大感触就是“技术进步日新月异”。很难说某个关键技术是否获得突破，从而导致行业格局改写（如冶金硅突破、薄膜稳定提升至 10%以上）。另外纳米技术和光伏技术的结合，可能将整个光伏行业引向全新的时代，五年以后的光伏行业迷雾重重。

投资评级：中性（维持）

光伏指数表现



相关报告

新能源系列研究之六——碳税
新能源系列研究之五——智能电网
新能源系列研究之四——核电产业链
新能源系列研究之三——核电背景及现状
新能源系列研究之二——太阳能发电
新能源系列研究之一——多晶硅

独立声明

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于本人的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。



目 录

1. 太阳能电池家族	4
2. 晶体硅电池技术路线	4
1.1 产业链	4
1.2 市场价格	5
1.3 产能和产量	6
1.4 转化效率	6
1.5 单位发电成本	7
3. 薄膜电池技术路线	7
2.1 CdTe 薄膜电池	7
2.2 a-Si 非晶硅薄膜电池	9
2.3 CIGS 铜铟镓硒薄膜电池	11
4. 聚光发电技术路线	12
4.1 聚光光伏发电 (CPV)	12
4.2 槽式光热发电 (trough)	13
4.3 碟式光热发电 (Dish engine)	15
4.4 塔式太阳能发电 (Power tower)	16
4.5 菲涅尔式聚光发电	17
4.6 聚光太阳能发电行业现状	18
5. 各种技术路线发展前景	19



图 表 目 录

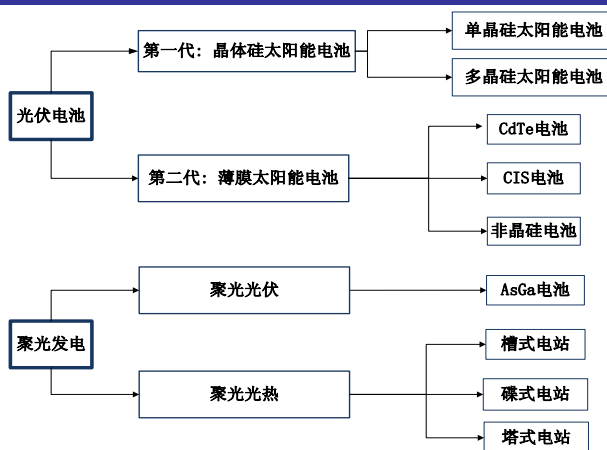
图 1、太阳能电池家族.....	4
图 2、晶体硅产业链	4
图 3、多晶硅平均现货价格.....	5
图 4、08 年 3 季度以来电池组件平均售价 (\$/Wp)	5
图 5、全球太阳能级多晶硅供需 (吨)	6
图 6、晶体硅电池平均转化效率.....	7
图 7、CdTe 电池结构示意图.....	8
图 8、a-Si 电池结构示意图.....	9
图 9、CPV 示意图 (聚光处为 III-V 族高转化率电池)	12
图 10、槽式 (trough) CSP 图例.....	13
图 11、碟式 (dish) CSP 图例.....	15
图 12、塔式 (tower) CSP 图例.....	16
图 13、菲涅耳 (Fresnel) CSP 图例.....	17
表 1 晶体硅电池发电成本预测.....	7
表 2 CdTe 电池发电成本测算.....	8
表 3 全球 CdTe 电池格局.....	8
表 4 全球主要 a-Si 生产线设备商.....	9
表 5 全球主要 a-Si 电池生产商.....	10
表 6 全球主要 CIGS 电池生产商.....	11
表 7 槽式发电技术主要的核心部件列表.....	14
表 8 全球主要槽式太阳能发电项目工程列表.....	14
表 9 槽式太阳能发电的成本及性能的发展目标.....	15
表 10 全球主要碟式太阳能发电项目工程列表.....	16
表 11 碟式太阳能发电的成本及性能的发展目标.....	16
表 12 全球主要塔式太阳能发电项目工程列表.....	17
表 13 全球主要菲涅耳式聚光太阳能发电项目工程列表.....	18
表 14 CSP 不同技术路线比较.....	18
表 15 不同技术路线产业化现状及前景比较.....	19

1. 太阳能电池家族

光伏发电技术路线主要包括晶体硅太阳能电池、薄膜太阳能电池（包括非晶硅 a-Si，铜铟镓硒 CIGS、碲化镉 CdTe 电池三种类型）、III-V 族半导体化合物电池（以砷化镓 GaAs 电池为代表）、染料敏化太阳能电池。目前晶体硅电池和薄膜电池已大规模商业化，GaAs 电池处于小规模示范阶段，染料敏化电池尚处于实验室阶段。

此外，太阳能发电技术还包括聚光光伏发电（CPV）和聚光光热发电（CSP）。

图 1、太阳能电池家族



资料来源：长城证券研究所

2. 晶体硅电池技术路线

1.1 产业链

晶体硅太阳能电池的产业链为“多晶硅——硅片——电池片——电池组件——应用系统”，越靠近产业链上游的环节，技术含量越高。

图 2、晶体硅产业链

晶体硅产业链及代表性上市公司

					
多晶硅	硅锭	硅片	电池片	电池组件	发电系统
新光硅业	英利绿色能源(YGE)、Sunpower（美国）				Colaxon(德国)
江西赛维（LDK）			无锡尚德（STP）		
REC（挪威）、Solarworld（德国）					
河北晶龙			晶澳太阳能(JASO)		
天合光能(TSL)					

资料来源：长城证券研究所



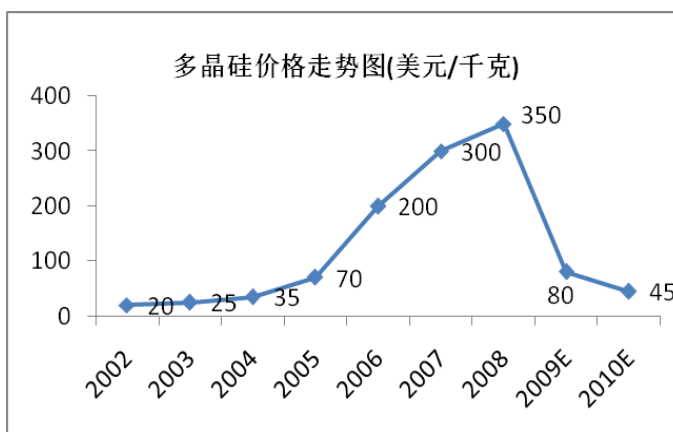
1.2 市场价格

多晶硅在 2008 年以前为几家国际厂商垄断，其价格在需求拉动下飙升，从 2003 年约 25\$/Kg 上涨至 2008 年平均 350\$/Kg。在暴利驱动下，多晶硅产能增加。供需于 2009 年逆转，目前市场价格回落至 60\$/Kg，近期小幅反弹至 70-80\$/Kg。

在需求不振和原材料下跌的双重推动下，电池组件价格从 08 年 3 季度约 4\$/Wp 跌至目前 2\$/Wp，电池片价格已低至 1.4-1.5\$/Wp。09 年 2 季度末以来，全球光伏行业回暖明显，预计 3、4 季度多晶硅有望维持在 60\$/Kg 以上，电池组件价格亦有望稳定在 2\$/Wp。

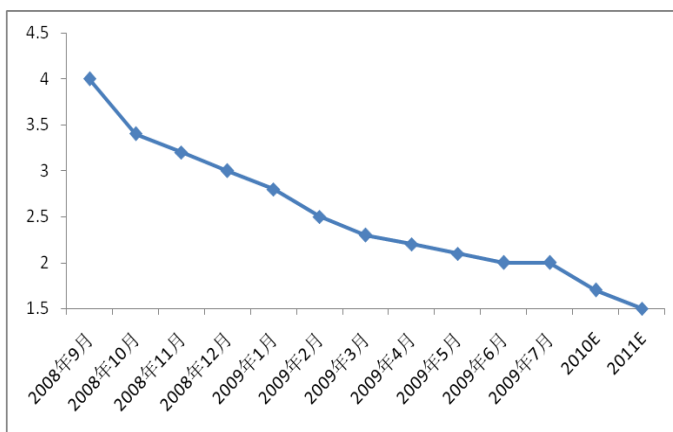
而随着第二轮多晶硅产能集中于 09 年底投产，2010 年的多晶硅价格继续看跌至 45\$/kg，对应晶硅电池组件价格看跌至 1.5-1.7\$/Wp。

图 3、多晶硅平均现货价格



资料来源：长城证券研究所

图 4、08 年 3 季度以来电池组件平均售价 (\$/Wp)

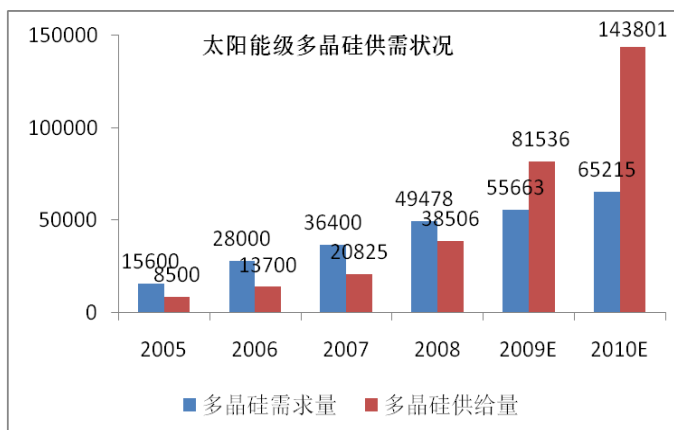


资料来源：长城证券研究所

1.3 产能和产量

从全球范围来看，由于传统生产商扩产，加上大量新进入者，未来 2-3 年多晶硅供给过剩已成定局。随着技术水平提升，多晶硅项目建设周期已由 4 年加快至 1.5 年，多晶硅行业已演变成大规模化工制造业。

图 5、全球太阳能级多晶硅供需（吨）



资料来源：长城证券研究所

截至 2008 年底，全球硅片产能 8.3GW，同比增长 81%，电池片和组件的产能规模基本与其一致。2008 年，我国硅片、电池片、电池组件的产能分别为 3GW、3GW、4GW，产量分别为 1.5GW、2GW、2.5GW。2008 年，中国大陆和台湾的电池产量占全球总产量的 44%。全球排名前 10 的企业市场份额占到 60%，其中我国占据 4 个席位，分别是无锡尚德、天威英利、江苏晶澳、台湾茂迪。

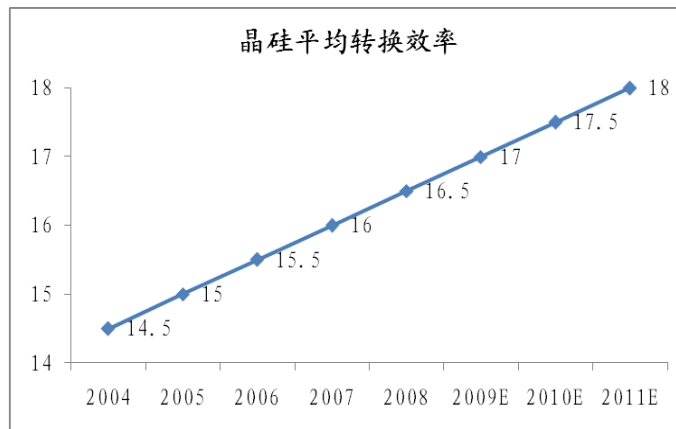
由于硅片、电池片、组件的新增项目建设时间在半年以内，晶体硅电池产业链下游发生产能不足的概率较小。

1.4 转化效率

截至 2009 年一季度，国内主流晶体硅电池转化效率达到 16%。无锡尚德已达到 19% 的单晶硅转化效率和 17% 的多晶硅转化效率；南京中电宣布其选择性发射结单晶硅电池的转换效率达到 17.8%；昱晶基于传统制造工艺的多晶硅电池转换效率达到 16.2%；英利、林洋、阿特斯、中轻太阳能等电池厂商基于传统工艺的多晶硅电池效率也基本接近或超过 16%。

总体而言，晶体硅电池转化效率继续延续着年均增加 0.5 个百分点的趋势。

图 6、晶体硅电池平均转化效率



资料来源：长城证券研究所

1.5 单位发电成本

展望未来 2-3 年，晶体硅技术路线发电成本可以降到 1 元/kWh，行业平均发电成本测算如下表（考虑了财务费用，未考虑利润）。龙头企业有可能将成本降到更低。

表 1 晶体硅电池发电成本预测

	2008	2009E	2010E	2011E
多晶硅价格 (\$/kg)	300	80	45	30
多晶硅成本 (\$/Wp)	2.09	0.56	0.31	0.21
电池其它成本 (\$/Wp)	1.28	1.08	0.98	0.88
电池片价格 (\$/Wp)	3.37	1.64	1.29	1.09
电池组件价格 (\$/Wp)	3.60	2.08	1.73	1.53
电池组件价格 (rmb/Wp)	24.58	14.18	11.83	10.44
系统其它成本 (rmb/Wp)	15	10	8	7
系统总成本 (rmb/Wp)	39.6	24.2	19.8	17.4
年有效发电小时数 (h)	2000	2000	2000	2000
25 年发电量 (kwh)	50.00	50.00	50.00	50.00
度电折旧费用 (rmb/kwh)	0.79	0.48	0.40	0.35
度电总成本(折旧占 40%)	1.98	1.21	0.99	0.87

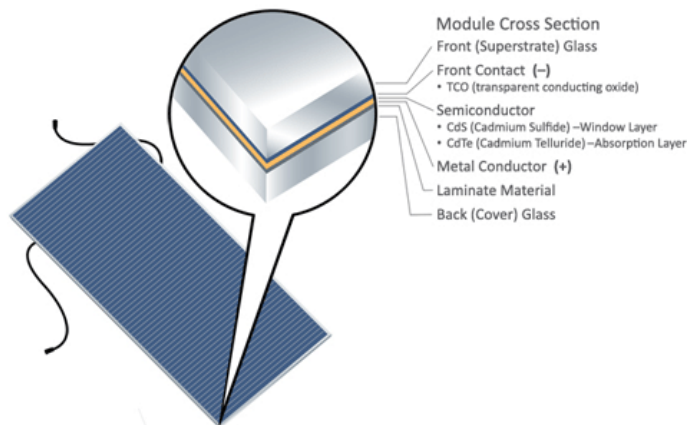
资料来源：长城证券研究所

3. 薄膜电池技术路线

2.1 CdTe 薄膜电池

CdTe 是 II-VI 族化合物半导体，带隙 1.5eV，与太阳光谱非常匹配，最适合于光电能量转换，是一种良好的 PV 材料，具有很高的理论效率（28%），性能很稳定。目前 3 种薄膜电池中商业化最成功的是 CdTe（碲化镉）电池。

图 7、CdTe 电池结构示意图



资料来源：FSLR，长城证券研究所

美国 First Solar 公司电池批量转化效率为 10.8%，2008 年 4 季度成本降低至 0.98\$/Wp，计划 2012 年降低到 0.65-0.70\$/Wp。

预计 2009 年全球 CdTe 电池产能达到 1.6GW，其中 First Solar 占 1.2GW。CdTe 技术的发电成本测算如下：

表 2 CdTe 电池发电成本测算

	2008	2009E	2010E	2011E
电池组件成本 (rmb)	7.51	6.49	5.81	5.12
系统其它成本	10	9	8	7
系统总成本	17.51	15.49	13.81	12.12
年有效发电小时 (h)	2000	2000	2000	2000
25 年发电量	50	50	50	50
度电折旧成本	0.35	0.31	0.28	0.24
度电成本 (折旧占 40%)	0.88	0.77	0.69	0.61

资料来源：长城证券研究所

目前全球的 CdTe 电池格局如下：

表 3 全球 CdTe 电池格局

公司名称	国家	产品简介	公司现状
First Solar	美国	0.6m*1.2m，平均功率 73W	2008-2010 年产能分别为 720MW，1109MW，1152MW；2007，2008 的产量分别为 200MW，500MW，成本分别为 \$1.23/瓦特，\$1.08/瓦特（09 年 \$0.98/瓦特），毛收益分别为 5.04，12.46 亿美元，净利润 分别为 1.58，3.48 亿美元。转化效率 10.5%，生产时间 < 2.5 小时
Abund Solar	美国	.6m x 1.2m，重 12kg	2009 年四月投入生产，预产能 200 MW，预计成本 \$1/瓦特。转化效率 12-13%，生产所需时间 < 2 小时。
CALYXO GMBN	德国	.6m x 1.2m，重	2005 年成立，2008 年产能 25MW，2008 年四

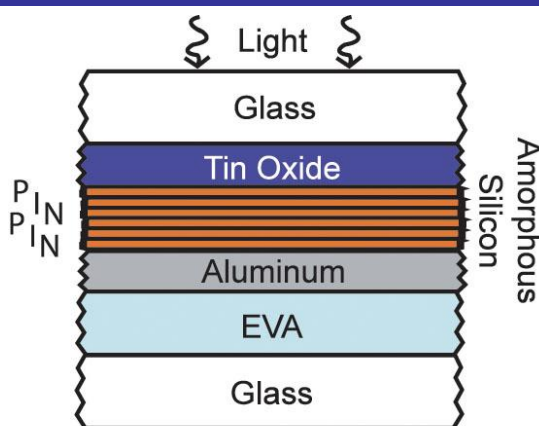
		12kg, 功率 35W-65W	月建立了产能为 60MW 的工厂, 2009 年夏天将 扩建此工厂产能到 85MW. Q-cells 附属公司
Canrom Photovoltaics Inc	美国	1m x 1m, 1.25 x 1.25m 不等, 功 率分别为 40-75W	估计收入\$1.1 百万, 单位售价\$241-\$412
PrimeStar Solar	美国	.6m x 1.2m	2006 年成立并获得 6.2M\$投资, 因超高转化效率, 2007 年美国能源部授予 3M\$元。目前正在 准备投入生产。2008 年 GE Energy 购买 PrimeStar 大部分股权。转化效率 16.5%

资料来源: 长城证券研究所

2.2 a-Si 非晶硅薄膜电池

3 种薄膜电池中非晶硅薄膜电池最具前景, 它的主要原材料为硅烷 (SiH_4), 易于获得, 且适于大规模生产。a-Si 薄膜电池虽然节省硅料, 但目前平均转化效率只有 6-8%。a-Si 薄膜电池的龙头企业计划在未来 2-3 年将电池转化效率提升至 10%, 届时 a-Si 电池将具备较强的竞争优势。

图 8、a-Si 电池结构示意图



资料来源: 长城证券研究所

国内 a-Si 薄膜电池生产商的生产线全部采用进口, 设备成本高昂, 是束缚行业的主要瓶颈。具备设备成本优势的国内龙头企业 (如强生光电), 据称已可以将电池组件成本降低至 1\$/Wp, 至 2012 年降低至 0.65\$/Wp, 其发电成本与前述 CdTe 电池相仿。

截至 2008 年底, 全球 a-Si 薄膜电池产能约为 0.8GW, 预计 2009 年产能将增至 2GW。

主要的 a-Si 设备商:

表 4 全球主要 a-Si 生产线设备商

大尺寸设备商:	规模	面积
Oerlikon	20MW	1.1*1.3m ²
ULVAC	25MW	1.1*1.4m ²



XsunX	25MW	1.0*1.6m ²
AMAT	40MW	2.2*2.6
小尺寸设备商:	规模	面积
NanoPV	5MW	1.397*0.635m ²
华基光电	5MW	1.245*0.635m ²
北仪创新	5MW	1.245*0.635m ²
EnergSolar	5MW	1.245*0.635m ²
EPV	5MW	1.245*0.635m ²
思博露	5MW	1.245*0.635m ²
普乐	5MW	1.245*0.635m ²

资料来源：长城证券研究所

主要的 a-Si 电池生产商:

表 5 全球主要 a-Si 电池生产商

公司	公司现状
蚌埠普乐	2007 年末为 10MW，欲扩增至 50MW
大亿光能	至 2008 年 10MW，欲增加到 30MW
富阳光电	至 2008 年 40MW
联相光电	100MW
台湾绿能科技	至 2008 年 200MW
南通强生光电	25MW，预计在 3 年内达到 500MW
欧德生或金太阳	预计在 2010 年达到 150MW
深圳市创益科技	35MW，会近期增加到 100MW
台湾大丰能源科技	15MW
新奥集团	目前 60MW，预计 2010 年将达到 500MW
鑫笙能源	6MW，预计在 2009 年扩建到 18MW
Bangkok Solar	2008 年产能为 50MW
EPV Solar, Inc	2008 年产能为 55MW
Ersol Thin Film	40MW，预计在 2010 年增加到 100MW
Fuji Electric	预计在 2010 年扩建产能至 150MW
HELIODOMI	5MW
Kaneka Solartech	至 2008 年 70MW，宣布将在 2010 年扩建到 150MW
Mitsubishi Heavy	35MW-40MW，预计在 2009 年扩增至 50MW
Moser Baer	AMAT 技术
Pramac SpA	至 2007 年多种商品年产能共 30MW
Signet Solar	20MW，预计在 2009 年将产能增加到 100MW
SolarMorph	2008 年达到 20MW 产能，计划在 2010 年达到 60MW
SONTOR GMBH (Q-Cell)	将于 2009 年与 Sunfilm AG 合并，合并公司（名 Sunfilm AG）将拥有 85MW 的年产能
Sunfilm AG	60MW
T-Solar Global	45MW
United Solar	178MW，预计在 2010 年扩建到 420MW，2011 年扩建到 720MW
尤尼索拉津能	计划 09 年底达到 15MW，预计在 2012 年达到 90MW



沈阳汉锋	10MW, 预计将在 2009 扩建到 20MW
浙江慈能光伏	10MW
China Solar Power	25MW, 预计将扩张到 64MW
源畅光电	预计将在 2010 年达到 500MW
天威保变	46.5MW, 计划 2011 年 300MW
拓日新能	40MW
正泰太阳能	60MW

资料来源： 长城证券研究所

2.3 CIGS 铜铟镓硒薄膜电池

仅仅从技术而言，铜铟镓硒电池颇具优势，其具有转化效率高、原材料消耗少的特点，但铟（In）是一种稀有金属，全球目前储量约 2 万吨，只够生产 400GW 电池。鉴于 CIGS 电池性能优异、外观优美，在高端建筑光伏领域有竞争力。

目前全球 CIGS 电池达到量产的企业为数不多，主要是包括德国 Würth Solar、日本 Showa Shell、美国 Global Solar 在内的不到十家企业，总产能约 200MW。预计 2009 年底产能达到 500MW。2008 年底以来，我国包括孚日股份为代表，引进了国外数条 CIGS 电池生产线。预计 2010 年国内 CIGS 产能可达 100MW。

表 6 全球主要 CIGS 电池生产商

公司名称	产品简介	公司状况	技术水平
Johanna Solar	0.5m x 1.2m	德国，2006 年成立，2008 年没投入生产，2009 年夏季将由 Aleo Solar 经销。2008 年产能 30MWp。授权亚太地区特许权给我国孚日股份。	平均转化效率 9.4%
Würth Solar	0.6m x 1.2m, 功率 73.5W	德国，2007 年每日生产量为 550 个模块（年产量为 200,750 个模块）。2007 年产能 14.8MWp，2008 年产能 30MWp。	最高转化率 <13%，平均转化率 11.7%
Global Solar	-	美国，2007 年产量 4MW，收入约一千万美元，平均售价 2.3/瓦特。2006 年产能 4.2MWp，2008 年预产能 75MW	最高转化率 10%，平均转化率 8%
Showa Shell	0.6m x 1.2m	日本，2007 年收入约一千万美元，2008 年个人用户产品单位价格 200 万日元。2007 与 2008 年产能 20MWp，第二工厂规划年产能 60MW，预计 2009 年开始运作，公司希望在 2011 年建设年产能 1000MW 的新工厂（投资 1,000 亿日元）	最高转化率 14.2%，平均转化率 11.8%
Honda Soltec	0.8m x 1.3m	日本，至 2008 年是日本最大的 CIGS 太阳能模块制造商，2007 年收入约\$1,250 万。2008 年产能均为 27MWp。	最高转化率 13%，平均转化率 10%
Sulfur Cell	0.65m x 1.25m, 60W	德国，2007 年以及 2008 年产能均为 5MWp	最高转化率 8.2%，平均转化率 7%
AVANCIS	0.6m x 1.2m	德国，2006 年成立，Shell 跟 Saint-Gobain 的 JV。2008 起年产能 20MWp	最高转化率 13.5%，平均转化率

				率 12.2%
Solibro GmbH	0.6m x 1.2m	德国, (Q-cells), 2008 年投资 1.65 亿欧元建	平均转化率为	
		立产能为 90MW 的工厂, 2009 年产能为 25MWp –	11%	
		30MWp。		

资料来源：长城证券研究所

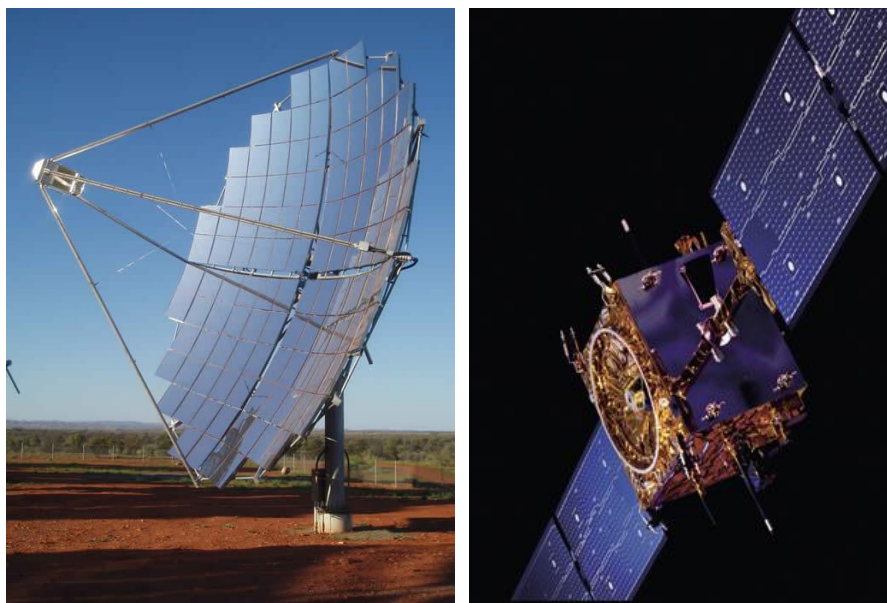
4. 聚光伏发电技术路线

聚光光伏利用聚集的太阳光, 进行光伏转换, 约占聚光路线的 3%。聚光光热发电 (CSP) 通过聚集光热产生蒸汽, 推动涡轮, 带动发电机发电, 通常规模大于 1MW, 适合阳光充足的荒漠地带。它同时可以借助生物质等其它燃料, 实现持续稳定供电, 更受电网欢迎。CSP 技术路线兴起于 20 世纪 80 年代, 占聚光路线的比例为 97%。聚光光热 (CSP) 技术按照聚光方式的不同, 可以分为槽式技术、塔式技术、碟式技术和菲涅耳式技术。

4.1 聚光光伏发电 (CPV)

聚光光伏发电 (CPV) 采用 III-V 族化合物光伏电池, 其特点是光转化效率最高可达 30-40%, 但成本昂贵仅限于航天领域。将光线汇聚至很小面积, 可以减少电池片的用量, 达到降低成本的目的。

图 9、CPV 示意图 (聚光处为 III-V 族高转化率电池)



资料来源：vertography, 长城证券研究所

聚光太阳能目前的关键问题包括:

- (1) 高聚光比使电池芯片表面温度过高, 这会影响到实际的转换效率, 因此散热问题比较突出。
- (2) 高聚光比使得实际使用的电池尺寸很小, 这里对光学元件的加工精度提出了很

高的要求。

(3)随着聚光比的提高，聚光光伏系统所接收到光线的角度范围就越小，为了更加充分地利用太阳光，聚光光伏系统必须辅以对日跟踪装置。能够精确地跟踪太阳且价格低廉的对日跟踪装置一直是光伏工作者研究的热点之一。

(4)由于聚光光伏系统不得不经受安装地区恶劣的气候条件，如风、沙、冰雹、雨、雪等的侵蚀和损坏，因此，跟踪系统的可靠性仍需进一步的提高。

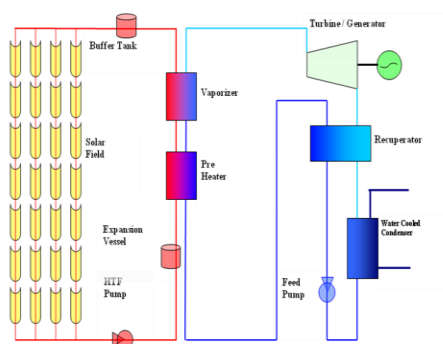
在聚光光伏的最新进展方面，最高的转换效率达到 40.7%，可使安装成本降至 3 美元/W，发电成本约 8~10 美分/kwh（没有考虑上述技术难题所带来的成本，只是转换效率的提高对成本的影响）。

聚光光伏的代表性公司为 SUNRGI 公司，其采用了一个具有专利技术的散热系统，实现了 1600 倍的聚光比；另外还有 Opel、Solfocus 等公司。

4.2 槽式光热发电（trough）

槽式 CSP 是利用槽式聚光镜，直接将太阳光反射到位于镜面焦点处的集热管，对其内部的传热工作物质进行加热，产生高温蒸汽，进而驱动涡轮发电机进行发电。该系统主要包括聚光集热子系统、换热子系统、蓄热子系统以及发电子系统四个部分。其中，聚光集热子系统是整个系统的核心，它由聚光镜、集热管和跟踪装置构成。

图 10、槽式(trough)CSP 图例



资料来源：windprospect，长城证券研究所

表 7 槽式发电技术主要的核心部件列表

部件	简介	技术难题	最新进展	壁垒
真空集热管	槽式太阳能发电的核心部件，其技术要求是：良好的吸热性；高温下低辐射率；良好的导热性；良好的保温性。	1. 国内尚无成熟的有自主知识产权的高温选择性吸收涂层技术；2. 国内只能制作 2m 长真空集热管，其有效长度率仅达 91%；3. 国内尚无长 4m 的金属管表面磁控溅射镀膜设备；4. 国内尚无生产长 4m 大直径（> 100mm）高透光率的高硼硅玻璃管的设备；5. 熔封技术现尚难形成流水线生产。	代表企业：德国 Scott 公司 以色列 Solel 公司	技术壁垒很高
聚光镜	聚光镜会聚光线加热集热管，其技术要求是：高反射率；高会聚能力；抗疲劳、抗风、抗腐蚀。	1. 抛物面聚光镜的曲面弧度大，加工工艺复杂； 2. 国内日光富裕地区往往大风、多风、甚至伴有沙尘暴，这给聚光镜的抗风性提出更高要求（国外恰相反）。	目前能够生产抛物面槽式聚光镜的国内外公司较多。	技术壁垒适中
跟踪系统	跟踪系统确定太阳方位，调整系统光轴指向太阳。	1. 精确定位太阳方位； 2. 全天候自动跟踪； 3. 简化结构、减低成本。	代表企业：美国 RayTracker	技术壁垒较低

资料来源：长城证券研究所

目前，槽式太阳能发电技术是商业化进展最快的一项技术，在全球范围内有广泛的应用，下表是目前主要的已建成、在建以及计划建设项目的概况。

表 8 全球主要槽式太阳能发电项目工程列表

项目名称	地点	建成时间	容量 (MW)	占地面积 (m ²)	年均发电量 (MWh)	建设成本 (Million)	状态
SEGS I	美国	1984	14	82960	16500	n/a	运行
SEGS II	美国	1985	30	165375	32500	n/a	运行
SEGS III	美国	1986	30	230300	68555	n/a	运行
SEGS IV	美国	1986	30	230300	68278	n/a	运行
SEGS V	美国	1987	30	233120	72879	n/a	运行
SEGS VI	美国	1988	30	188000	67758	n/a	运行
SEGS VII	美国	1988	30	194280	65048	n/a	运行
SEGS VIII	美国	1989	80	464340	137990	n/a	运行
SEGS IX	美国	1990	80	483960	125036	n/a	运行
Nevada Solar One	美国	2007	64	160000	134000	266	运行
Andasol 1	西班牙	2008	50	510000	180000	380	运行
Andasol 2	西班牙	2009	50	510000	180000	380	在建
Andasol 3	西班牙	2011	50	510000	180000	380	在建
Martin	美国	2010	75	2000000	155000	476	在建
Palma del Rio	西班牙	2010	100	2600000	244000	700	在建
Majadas	西班牙	2010	50	n/a	n/a	332	在建
Lebrija-1	西班牙	2010	50	n/a	n/a	400	在建
Mojave Solar	美国	2011	553	24276000	n/a	n/a	计划
Hualapai Valley	美国	2013	340	n/a	n/a	2100	计划

Starwood Solar I	美国	2013	290	7606480	n/a	1500	计划
Solana	美国	2012	280	7700000	n/a	1000	计划
Mojave Lake			250				
Project Genesis			250				
Ridgecrest	美国	n/a	242	n/a	n/a	n/a	计划
Palen			484				
Blythe			968				

资料来源：长城证券研究所

2008 年，美国能源部（DOE）在聚光太阳能发电技术的未来发展规划中，对槽式太阳能发电成本以及性能设定了目标。

表 9 槽式太阳能发电的成本及性能的发展目标

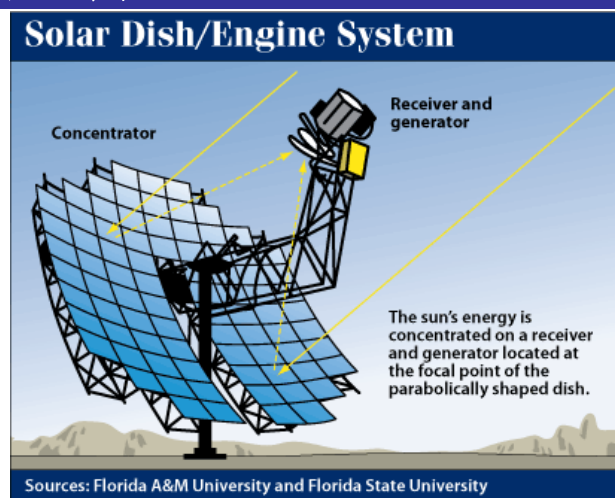
	2007	2011	2015
建设成本(\$/kWe)	4900	4100	3600
运营成本(\$/kW-yr)	67	62	60
年平均太阳能热电转换效率	13.1%	15.5%	16%

资料来源：长城证券研究所

4.3 碟式光热发电（Dish engine）

碟式太阳能发电是利用旋转抛物面反射镜，将入射太阳光聚焦到焦点上，焦点处放置的斯特林发电装置进行发电。

图 11、碟式(dish)CSP 图例



资料来源：state.tx，长城证券研究所

碟式太阳能发电系统的核心部件是斯特林电机（代表企业 Stirling Energy Systems），由于这种电机能够应用于潜艇上，因此国外会限制该电机对我国的出口。

1970 年以来，采用了碟式太阳能发电的项目，主要是一些示范性工程。但是，近期美国的一些商业动态显示碟式太阳能发电技术将会成为聚光太阳能发电的一个重要技术方向。

表 10 全球主要碟式太阳能发电项目工程列表

项目名称	地点	开始时间	容量 (MW)	占地面积 (m ²)	年均发电量 (MWh)	建设成本 (Million)	状态
SES Solar One	美国	2010	850	33000000	n/a	n/a	计划
SES Solar Two	美国	2009	750	26500000	n/a	n/a	计划

资料来源：长城证券研究所

2008 年，美国能源部（DOE）在聚光太阳能发电技术的未来发展规划中，对碟式太阳能发电成本以及性能设定了目标

表 11 碟式太阳能发电的成本及性能的发展目标

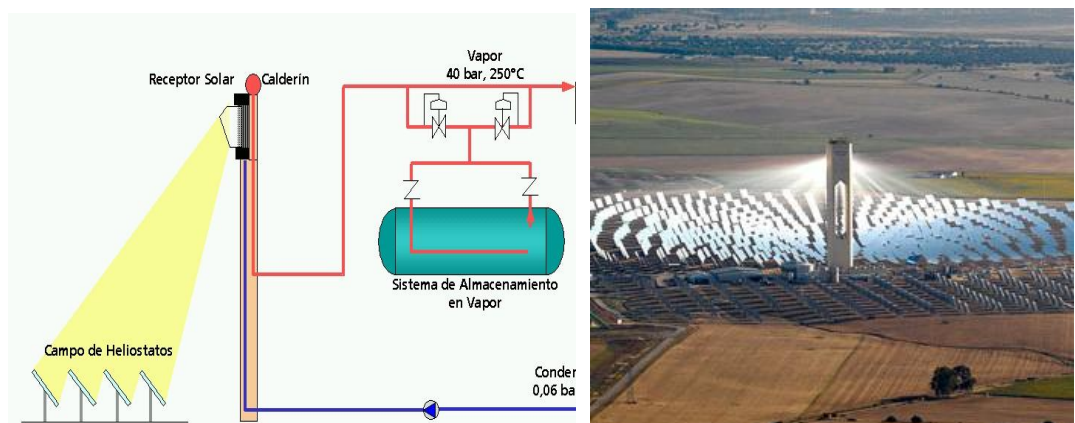
	2007	2011
建设成本(\$/kWe)	8600	4500
运营成本(¢/kWh)	10	5
年平均太阳能热电转换效率	13.1%	15.5%

资料来源：长城证券研究所

4.4 塔式太阳能发电 (Power tower)

塔式太阳能发电是利用一系列的日光反射装置（heliostats），将太阳光能聚焦到中心接收高塔上，对传热工作物质加热进而发电的一种聚光太阳能发电技术。早期的传热物质使用水蒸气，现在用更高热容量的液态钠替代，可以实现高效的热存储性能。

图 12、塔式(tower)CSP 图例



资料来源：speakeasy，长城证券研究所

太阳能接收器是实现塔式太阳能发电最关键的核技术，由于工作温度达到 700. C，因此接收机在高温下的吸收性能是非常重要（代表企业是 eSolar）。

目前采用塔式太阳能发电的项目，主要是一些示范性工程。但是，09 年 eSolar 宣布参与两个总容量达到 1.5GW 的太阳能发电项目，这一技术再次成为人们关注热点。

表 12 全球主要塔式太阳能发电项目工程列表

项目名称	地点	建成时间	容量 (MW)	年均发电量 (MWh)	建设成本 (Million)	状态
PS10	西班牙	2007	11	24200	47.8	运行
Jülich Solar	德国	2008	1.5MW	n/a	n/a	运行
PS20	西班牙	n/a	20	n/a	n/a	在建
Solar Tres	西班牙	n/a	17	110600	266	在建
Ivanpah	美国	2012	400	n/a	n/a	计划
Suntower	美国	n/a	92	n/a	n/a	计划
Gaskell	美国	n/a	105-245	n/a	n/a	计划
eSolar 1	美国	n/a	84	n/a	n/a	计划
eSolar 2	美国	n/a	66	n/a	n/a	计划
Upington	南非	n/a	100	n/a	n/a	计划
Cloncurry	澳大利亚	n/a	10	n/a	n/a	计划

资料来源：长城证券研究所

4.5 菲涅尔式聚光发电

菲涅耳式聚光发电类似于槽式太阳能发电，只是采用菲涅耳结构的聚光镜来替代抛面镜，并且集热管具有二次反射的功能。二次聚光过程起到加大聚光比，同时对集热管的选择性涂层进行隔离的作用。这种技术的聚光效率一般式常规抛物面型集热器的3倍，建造费用可以降低50%。

图 13、菲涅耳 (Fresnel) CSP 图例



资料来源：renewable-today，长城证券研究所

目前，目前采用菲涅耳式聚光发电的项目，主要是一些示范性工程，还没有大规模商业化的趋势。

表 13 全球主要菲涅耳式聚光太阳能发电项目工程列表

项目名称	地点	开始时间	容量 (MW)	状态
Liddell Power Station Solar	澳大利亚	2007	2	运行
Kimberlina Solar Thermal	美国	2008	5	运行
Puerto Errado 1	西班牙	2009	1.4	运行
Carrizo Energy Solar Farm	美国	2010	177	计划
Gotasol	西班牙	n/a	10	计划

资料来源：长城证券研究所

4.6 聚光太阳能发电行业现状

至 2008 年底，全球 CSP 发电装机容量为 560MW，但截至 2009 年 4 月，CSP 的在建项目已达到 1.2GW，另有 13.9GW 项目工程到 2014 年之前会宣布开工。

西班牙是 CSP 产业发展的中心，拥有 22 个在建项目，总发电量达到 1037MW。这些项目将到 2010 年之前全部完工。当前西班牙的皇家法令要求在 2010 年之前建成 500MW 的太阳能聚热发电的装机容量，该法案对于自从 2008 年以来其国内的 CSP 产业快速发展起到了重要的作用。

美国尽管只有 75MW 的在建项目，但美国会在将来不断的推出 CSP 相关项目，到 2014 年将会有 8.5GW 在建项目。

在西班牙，96%的 CSP 在建项目采用槽式技术，而在美国使用槽式技术的 CSP 项目只占 40%。哪一种技术能够胜出，尚有待于进一步观察。另外，聚光光热项目建设需要一定量水资源，这是发展需要注意到的问题。

由于资源和支持的政策，西班牙和美国将在下一个十年当中继续领跑 CSP 产业发展。其余的欧洲南部国家由于缺乏政府支持仍将继续追赶西班牙。而在中东、北非以及亚太地区，CSP 产业也将会有较大发展。

特别的，在 09 年 7 月初由欧洲企业及财团推动的撒哈拉 4000 亿欧元太阳能发电项目中，CSP 将是重点应用的技术路线之一。

表 14 CSP 不同技术路线比较

技术种类	优势	劣势	成本 (\$/kWh)	转换效率
槽式发电	1. 已经大规模商用化； 2. 跟踪系统结构简单。	1. 工作温度较低； 2. 太阳能热电转换效率低。	0.29	14%
碟式发电	1. 可以单台运行，也可多套并联使用；2. 可以获得高的工作温度；3. 太阳能热电转换效率高。	1. 斯特林电机沉重，需要高强度的支架结构。2. 跟踪装置必须是双轴系统。	0.36	24-30%
塔式发电	1. 聚光倍数高，容易达到更高的工作温度；2. 太阳能热电转换效率高；3. 对于地面的平整度要求不高，甚至可以在山坡上建设。	1. 每个镜面都需要单独的跟踪系统对镜面的角度进行调整；2. 中心塔的建造成本较高。3. 目前只是示范工程。	0.35	32%

菲涅耳式	1. 聚光效率高; 2. 工程造价低;	1. 目前只是示范工程。 2. 由于集热器无需真空技术,工作效率较低。	0.12	n/a
------	------------------------	--	------	-----

资料来源: New Rules Project, 长城证券研究所

5. 各种技术路线发展前景

就未来前景而言,带跟踪系统的晶体硅电池系统、非晶硅薄膜电池系统(a-Si)这两种技术路线最乐观。晶体硅电池是目前光伏电池的主流品种,短期而言,晶体硅电池的主流地位在3年以内不会被撼动,但薄膜电池的市场份额则呈上升趋势,如果薄膜电池转化效率提升至10%以上,性价比将更高。2007年,晶体硅占88%,薄膜占12%;2008年,晶体硅电池比例降至87%,薄膜则提升至13%;预计2009年薄膜电池市场份额可达18%。

在大规模并网发电领域,聚光光热路线在一些示范项目中已被证明具有较大的竞争力,尤其是结合新的储能技术和其他可再生能源或传统能源的混合运行,经济效益更好,未来十年里CSP在世界一些日照强烈的地区有望得到发展。

表 15 不同技术路线产业化现状及前景比较

技术路线	实验	转换效率 批量	2010 E	主要原材料	千瓦 造价	产业化现状
单晶硅	25.0%	16-20%	18-22%	高纯硅料、玻璃,资源丰富	2.5 万元	已商业化量产,我国拥有完善的产业链和国际领先企业
多晶硅	20.3%	14-16%	16-18%	高纯硅料、玻璃,资源丰富	2.5 万元	已商业化量产,我国拥有完善的产业链和国际领先企业
非晶硅	13.0%	6-8%	8-10%	硅烷、玻璃,资源丰富	2 万元	逐步商业化量产,国内企业大规模介入,设备及高纯原料为国外厂商垄断
CIGS	19.2%	8-11%	10-12%	铟(In)储量不足限制了行业规模	2 万元	正逐步量产,国内企业少量介入。
CdTe	16.5%	8-16%	9-15%	镉(Cd)为有毒金属,需要回收	2 万元	已商业化量产,整条产业链为国外公司垄断,国内公司未涉足
GaAs	41%	20-30%	25-35%	GaAs 价格昂贵 聚光精度是瓶颈	-	少量商业化试点,国内零星介入
CSP	-	14-32%	15-33%	玻璃、铝、钢、铜,资源丰富	1-10 万元	西班牙和美国大规模发展,其它国家仅有零星试点

资料来源: 长城证券研究所

研究员介绍及承诺:

周 涛: 清华大学物理学博士, 2007 年加入长城证券, 任新能源行业分析师。

徐 超: 清华大学硕士, 2007 年加入长城证券, 任电力设备新能源行业分析师。

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力, 在执业过程中恪守独立诚信、勤勉尽职、谨慎客观、公平公正的原则, 独立、客观地出具本报告。本报告反映了本人的研究观点, 不曾因, 不因, 也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收到任何形式的报酬。

免责声明

本报告由长城证券有限责任公司(以下简称长城证券)向其机构或个人客户(以下简称客户)提供, 除非另有说明, 所有本报告的版权属于长城证券。未经长城证券事先书面授权许可, 任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布, 亦不得作为诉讼、仲裁、传媒及任何单位或个人引用的证明或依据, 不得用于未经允许的其它任何用途。如引用、刊发, 需注明出处为长城证券研究所, 且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息, 但本公司不保证信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用, 并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向他人作出邀请。在任何情况下, 本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下, 本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

长城证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易, 或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。长城证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系, 并无需事先或在获得业务关系后通知客户。长城证券有权在发送本报告前使用本报告所涉及的研究或分析内容。

长城证券版权所有并保留一切权利。

评级标准:

公司评级	评级	说明
	推荐	预期未来6个月内股价上涨幅度超过20%;
行业评级	谨慎推荐	预期未来6个月内股价上涨幅度在10%~20%之间;
	中性	预期未来6个月内股价波动幅度在-10%~10%之间;
	回避	预期未来6个月内股价下跌幅度超过10%;
行业评级	推荐	预期未来6个月内行业指数超越大盘10%以上;
	谨慎推荐	预期未来6个月内行业指数超越大盘在5%~10%之间;
	中性	预期未来6个月内行业指数相对大盘波动幅度在-5%~5%之间;
	回避	预期未来6个月内行业指数落后大盘5%以上;

本报告版权归长城证券有限责任公司所有, 未经授权不得进行任何形式的发布、复制, 如引用、刊发, 须注明出处为“长城证券金融研究所”, 且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。报告内容完全基于公开信息, 虽然力求其准确完整但并不对此做出任何承诺和保证。长城证券有限责任公司及有关系的任何人均不承担因使用本报告而产生的法律责任。