

多晶硅深度报告之一：OCI 与保利协鑫成本下降之路

报告要点

■ 我们为什么关注多晶硅的成本

在卖方向买方市场的转变过程中，价格的弹性将逐渐减少，水落石出，成本的重要性将逐渐显现。

当前国内主流企业的成本在 40 美元/千克左右，我们判断成本将至 25，将是一个重要的时点，届时在关键设备补助一半的前提下，国内发电成本将至 0.5 元左右，接近传统能源发电成本。

■ 韩国 OCI 案例研究：成本从 40 降到 25 历时 4.5 年

OCI 的成本从 2008 年初的 40 美元/千克，计划在 2012 年底将至 25 美元/千克，历时 4.5 年。

折旧成本、电耗成本、原料成本在综合成本中占比相对固定，反倒是除三大项以外的其他成本在规模效应的影响下，占比从 17% 将至 11%，下降速度最快。

■ 保利协鑫案例研究：成本从 40 降至 25 历时 1.25 年

公司在 09 年进行技改之后，成本显著下降，从 09 年 Q2 的 40 下降至 10 年 Q3 的 25，历时 1 年出头。11、12 年计划进一步降低至 20、18。

TCS 下降幅度最快：冷氢化工艺使 TCS 的成本下降幅度大大快于总成本的下降幅度，在目前 TCS 已经完全自给的情况下，未来提升的路径主要依靠提升四氯化硅转化 TCS 的转化率；

电耗的下降幅度较慢：未来公司将采用 36 对以及 40 对棒还原炉；

折旧下降幅度符合预期：10 年新扩的 4.3 万吨产能仅耗资 150 亿元（其中还包括硅片产能投资），其单位建设投资进一步下降，我们可以看到折旧进一步下降的空间。

■ 结论：国内主流企业在 2013 年左右成本降至 25

我们认为国内主流企业在 2-3 年将成本将至 25，快于 OCI，原因在于：闭环技术开始成熟，技术人才流动性增强，设备国产化正在加速。

关于国内各个企业的成本现状、工艺特点、未来改进空间，以及产能投放进度，敬请关注我们接下来的报告。

行业内重点公司推介

公司代码	公司名称	投资评级
------	------	------

行业相对市场表现（近 12 个月）



资料来源：Wind 资讯

行业内跟踪公司比较

PE
PB
EV/EBITDA
PE
PB
EV/EBITDA

联系人：

周旭辉

(8621)68751757

zhouxuhui1007@gmail.com

执业证书编号：S0490510120022

分析师：

刘元瑞

(8621)68751757

zhouxuhui1007@gmail.com

实习生朱炜对本报告亦有重大贡献

正文目录

我们为什么关注多晶硅的成本？	4
在卖方向买方市场的演变中，多晶硅的成本重要性将日益显现	4
多晶硅的成本现状：11 年国内成本在 40 美金左右	5
多晶硅成本下降途径：冷氢化与流化床可大幅度降低成本	6
韩国 OCI 案例研究：成本从 40 将至 25 历时 4.5 年	11
折旧：原有产能基础上的扩张，装置共享可大幅度降低投资	11
原料：冷氢化技术提高 SiHCl_3 自给率与利用率	12
电耗：还原炉大型化	12
总结：规模效应对成本的下降贡献巨大	13
保利协鑫案例研究：成本从 40 降至 25 历时 1.25 年	14
原料：冷氢化技术带来的 SiHCl_3 自给率与利用率提升	15
电耗：还原炉大型化	16
折旧：设备国产化及产能利用率提升	17
总结：冷氢化技术改善最为明显，电耗仍有下降空间	18
结论：国内主流企业在 2013 年左右成本降至 25	19
国内主流企业在 2013 年左右成本降至 25	19
闭环、还原炉改进、规模扩大将是成本下降的主要路径	20

图表目录

图 1: 多晶硅价格波动减弱, 成本重要性水落石出 (美元/千克)	4
图 2: 全球多晶硅生产企业成本现状 (以第一梯队的成本为基准)	6
图 3: 2010 年底国内多晶硅生产工艺与产能 (万吨)	7
图 4: 2010 年底国内多晶硅生产工艺产能比例	7
图 5: 改良西门子法生产工艺流程	7
图 6: 热氢化工艺	8
图 7: 冷氢化工艺	8
图 8: 钟罩式还原工艺流程	9
图 9: 流化床还原工艺流程	9
图 10: GT Solar 的钟罩式还原炉	10
图 11: OCI 产能扩张速度及时间表	11
图 12: OCI 单位多晶硅产能建设成本	12
图 13: OCI 还原炉单炉产量逐步提升	13
图 14: OCI 综合电耗降低	13
图 15: OCI 多晶硅成本下降路径	14
图 16: 保利协鑫成本下降路线图	15
图 17: 保利协鑫成本下降路线图	15
图 18: 保利协鑫综合电耗下降路径	16
图 19: 规模效应导致的还原炉单位建设成本下降	17
图 20: 规模效应导致的氢化炉单位建设成本下降	17
图 21: 保利协鑫多晶硅产能利用率	18
图 22: 保利协鑫多晶硅成本构成	19
图 23: 从 40 到 25 之路, OCI 历时 4.5 年, 保利协鑫 1.25 年	20
表 1: 多晶硅在组件中的成本弹性测算	5
表 2: 发电成本测算	5
表 3: 2011 年初国内代表性企业成本构成	6
表 4: 太阳能级多晶硅生产方法	6
表 5: 热氢化与冷氢化比较	9
表 6: 流化床还原技术与钟罩式还原技术比较	10
表 7: 流化床还原技术在国际多晶硅生产企业中的应用情况	11
表 8: 流化床还原技术在国际多晶硅生产企业中的应用情况	13
表 9: OCI 电耗情况	13
表 10: OCI 多晶硅成本下降路径	13
表 11: 保利协鑫三氯氢硅成本下降路径模拟	15
表 12: 保利协鑫电耗成本下降路径模拟	17
表 13: 保利协鑫多晶硅单位产能投资	17
表 14: 保利协鑫多晶硅折旧成本下降路径模拟	18
表 15: 保利协鑫多晶硅成本下降路径	19
表 16: OCI 与保利协鑫成本下降具体过程详细比较	20

我们为什么关注多晶硅的成本？

多晶硅是光伏产业的最上游，一直以来，由于其生产技术非常复杂，达产周期非常长，是光伏行业发展的重要突破口。

在卖方向买方市场的演变中，多晶硅的成本重要性将日益显现

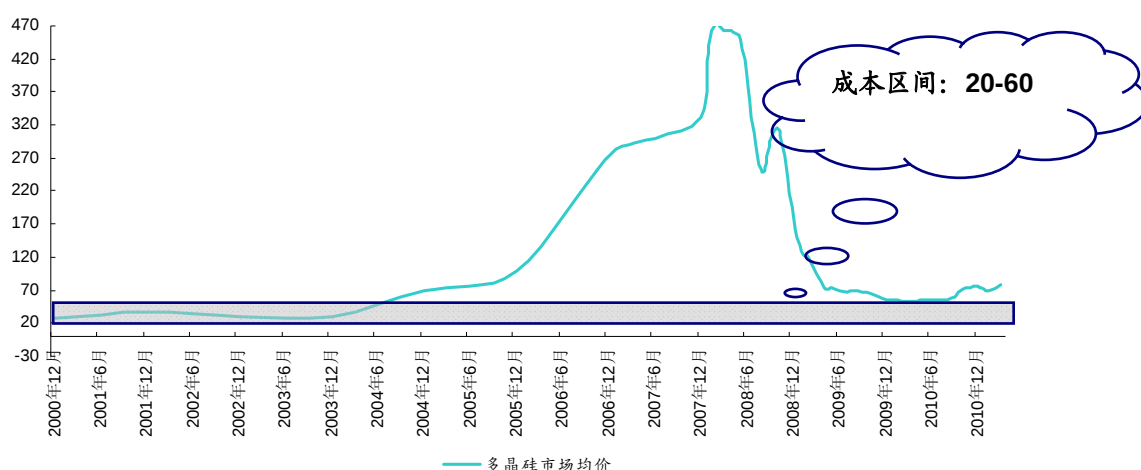
相对于多晶硅价格的剧烈波动而言，成本的变化似乎不足为道，然而，我们认为基于以下几个理由，多晶硅的成本仍有值得重点研究的价值。

成本的重要性将日益显现

就现在而言，多晶硅仍是卖方主导的市场，表现为价格持续处于高位，且波动很大，价格一般远超成本。我们认为在供不应求的市场中，成本相对价格而言并不是一个重要的因素。目前多晶硅带有明显的“有色”属性，价格暴涨暴跌，盈利难以预测。

然而，在卖方向买方市场的转变过程中，价格的弹性将逐渐减少，水落石出，成本的重要性将逐渐显现。

图 1：多晶硅价格波动减弱，成本重要性水落石出（美元/千克）



资料来源：Bloomberg，长江证券研究部

多晶硅的成本决定了光伏行业的长期发展

根据 2011 年 3 月 25 日的数据计算，光伏组件的价格为 11.5 元/W，假定每瓦使用 7g 多晶硅，多晶硅价格 75/美金，那么每瓦电池组件的多晶硅成本达到 3.4 元，几乎占了总成本的 30%，是光伏组件最重要的成本部分。

表 1: 多晶硅在组件中的成本弹性测算

组件中多晶硅的成本 (美元/瓦)	多晶硅成本(美元/千克)				
	20	30	40	50	60
多晶硅 20%	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3
多晶硅 30%	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6
多晶硅 40%	1.3	1.9	2.6	3.2	3.9
多晶硅 50%	1.4	2.1	2.8	3.4	4.1
多晶硅 60%	1.5	2.2	2.9	3.7	4.4

资料来源：长江证券研究部

我们以 10MW 并网项目为例，在不考虑补助的情况下，假设资金内部收益率为 8%，贷款比例为 80%，我们考虑多晶硅价格对发电成本的影响，如果多晶硅成本降到 25 美元/千克，价格在 30 美元/千克（假设投资 30 美元/千克，ROE 约为 10%），在其他配套设备的技术能跟上的情况下，发电成本有望将至 0.9 元/度左右，已经非常接近传统能源的发电成本，假设关键设备补助一半，则价格已经低至 0.5 元，与传统能源发电成本基本持平。

表 2: 发电成本测算

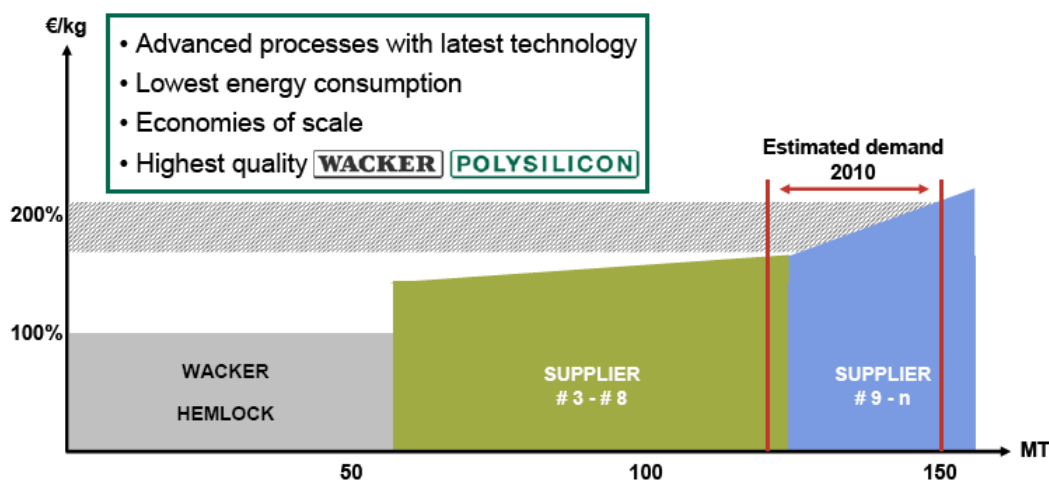
多晶硅价格(\$/KG)	60	50	40	30	25	20	15
多晶硅在组件中成本(元/W)	2.8	2.1	1.6	1.2	1.0	0.8	0.6
熔铸、切割、封装成本(元/W)	7	6	5	4	3	2	1.5
电池组件(元/W)	9.8	8.1	6.6	5.2	4.0	2.8	2.1
其他设备(元/W)	8	7	6	5	4	3	2
设备投资(万元)	17772	15145	12584	10188	7990	5792	4094
设备折旧(假设 25 年)	711	606	503	408	320	232	164
年度总成本(无补助)	2076	1777	1485	1211	961	710	517
内部收益率	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
度电成本(无补助)							
全国平均(年发电 1320 时)	1.6	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.4
西北地区(年发电 1560 时)	1.3	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3
东部沿海(年发电 1270 时)	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4
资源差地区(年发电 1020 时)	2.0	1.7	1.5	1.2	0.9	0.7	0.5
度电成本(关键设备补助 50%)							
全国平均(年发电 1320 时)	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
西北地区(年发电 1560 时)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
东部沿海(年发电 1270 时)	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2
资源差地区(年发电 1020 时)	1.1	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3

资料来源：长江证券研究部

多晶硅的成本现状：11 年国内成本在 40 美金左右

根据瓦克 2010 年三季度公布的全球各企业的多晶硅成本情况，Waker 与 Hemlock 处于第一梯队，假若以他们的成本作为基准，第三到第八大的企业构成的第二梯队，成本区间将高出 50%-70%之间，剩下的第九名以后的第三梯队企业，更是高出 70%以上。而国内基本都排在第九名之后。

图 2：全球多晶硅生产企业成本现状（以第一梯队的成本为基准）



资料来源：瓦克 2010 三季报、长江证券研究部

根据我们在实业了解到的信息，国内一般的企业都在 40 美元/公斤左右。我们以四川某家具代表性的企业为例，其 2011 年初的成本构成为：

表 3：2011 年初国内代表性企业成本构成

	万元/吨	美元/千克	占比	改进措施
三氯氢硅	7.2	11.0	27%	氢化改造
电耗	9	13.7	34%	还原炉改进
折旧	7.5	11.4	29%	规模扩大
其他	2.6	3.9	10%	
综合	26.3	40		

资料来源：长江证券研究部

采用改良西门子法生产多晶硅，其成本结构中 SiHCl_3 原料，综合电耗、设备折旧占比最大(约 90%)。因此，成本下降的主要动力也来源于这三个方面。

本文将以保利协鑫与韩国 OCI 两大新兴多晶硅生产企业成本下降历程作为研究对象，对不同发展阶段各项成本变化进行分析，从而预测未来国内多晶硅生产行业成本水平。

多晶硅成本下降途径：冷氢化与流化床可大幅度降低成本

多晶硅的生产工艺包括改良西门子法、硅烷法、冶金法。其中改良西门子法是生产的主流。

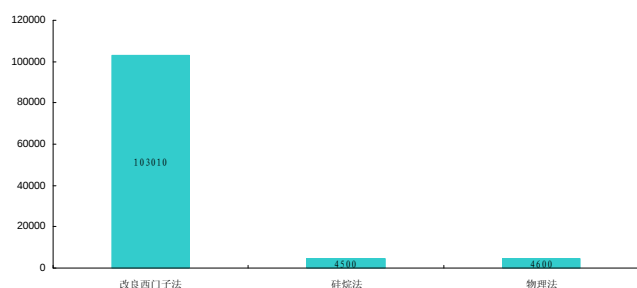
表 4：太阳能级多晶硅生产方法

改良西门子法	物理冶金法	硅烷法
纯度 9-11N	5N-6N	9N-11N
能耗 100-250 度/公斤	30-50 度/公斤	75-120 度/公斤
成本 20-40 美元/公斤	10-20 美元/公斤	28-35 美元/公斤
发展还	原能耗高，技术体系复杂，纯度均匀性及工艺稳定性不佳	硅烷属于易燃易爆物质，日本曾发生爆炸
瓶颈	初期投资大，建设周期长	产出的电池存在转换效率总转换效率为 0.3，沉积速度衰减等问题
		仅为西门子法的 1/10

污染 SiCl ₄ 难以处理	废液废气回收技术成熟	硫酸盐属于易处理的化工原料
工期 18-24 个月	3-8 个月	18-32 个月
技术 成熟，稳定	不成熟	不成熟
采 用占全球产能的 80%以上	国外：NEDO	国外：REC、MEMC
企业 占国内 90%以上的产能	国内：银星、讯天宇、晶鑫	国内：中宁、六九

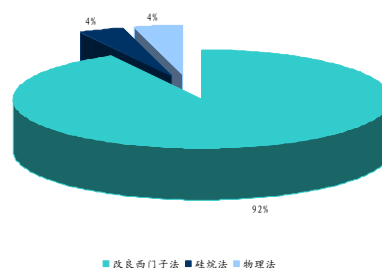
资料来源：长江证券研究部

图 3：2010 年底国内多晶硅生产工艺与产能（万吨）



资料来源：长江证券研究部

图 4：2010 年底国内多晶硅生产工艺产能比例

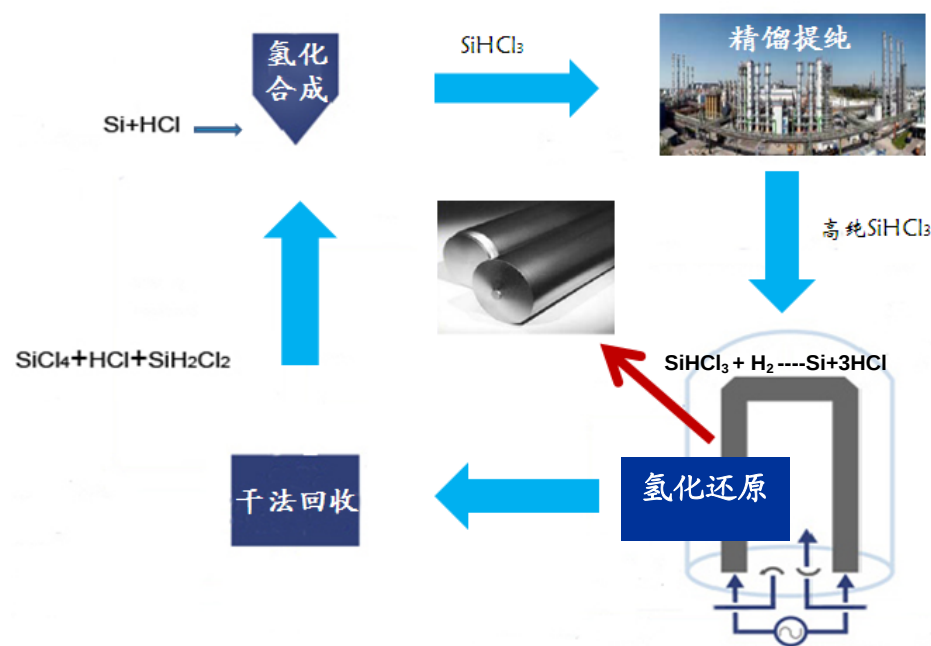


资料来源：长江证券研究部

由于西门子法仍占绝对主流，短时间内被其他工艺替代的可能较小，本文主要阐述改良西门子法的生产成本构成与下降路径。

改良西门子法工艺流程包括四部分、氢化、提纯、还原、回收，其中以合成与还原过程技术难度最高，也是成本最高的环节，是多晶硅生产技术改良的核心。

图 5：改良西门子法生产工艺流程

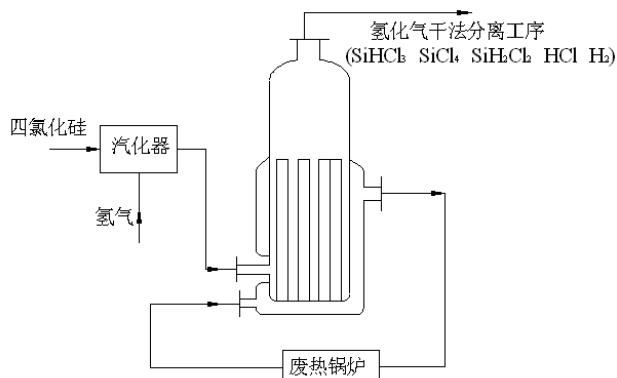


资料来源：长江证券研究部

氢化合成工艺：冷氢化可降低能耗，提高三氯氢硅利用率

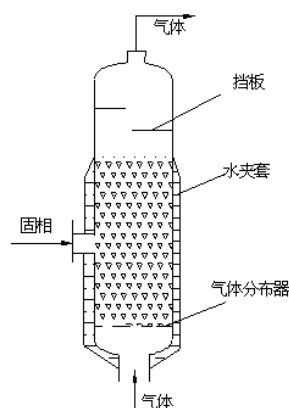
SiHCl_3 氢化合成工艺可分为热氢化与冷氢化两类。

图 6：热氢化工艺



资料来源：长江证券研究部

图 7：冷氢化工艺



资料来源：长江证券研部

热氢化：能耗高， SiHCl_3 利用率低

国内建厂较早的企业大都采用热氢化工艺，典型的代表有新光硅业、赛维 LDK 及重庆大全。

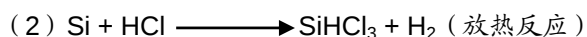
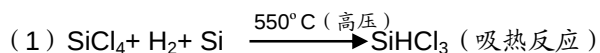
它的主要反应方程为 $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2 \xrightarrow{1100^\circ\text{C}} \text{SiHCl}_3 + \text{HCl}$ (吸热反应)

因为热氢化工艺采用全气相反应，合成控制技术易掌握，没有粉尘污染问题，可进行连续投料生产。但是它的反应温度较高 ($1100-1250^\circ\text{C}$)，直接导致高能耗 ($2.5-3.0 \text{ kwh/kg}$)。且大量实践证明其 SiHCl_3 的一次转换效率较低 ($15\%-20\%$)，难以完全满足大型多晶硅企业对 SiHCl_3 的需求。因此，国内采用热氢化技术的企业通常 SiHCl_3 自给率偏低，需要大量外购 SiHCl_3 作为生产原料。

冷氢化：能耗低， SiHCl_3 利用率高，连续加料以及固体粉尘污染是难点

冷氢化技术在国内应用时间并不长，目前将冷氢化技术应用于大规模生产的代表主要有保利协鑫与洛阳中硅。南玻、神州硅业等企业正在进行冷氢化改造。

冷氢化工艺主要的反应方程为：



冷氢化合成反应温度为 550°C ，由于在反应器中同时发生 (1)(2) 两种主要反应，(2) 释放出的热量可以被 (1) 吸收利用，其反应热利用率较高，因此冷氢化工艺综合电耗仅为 $1.0-1.2 \text{ kwh/kg}$ 。其一次 SiHCl_3 合成效率比热氢化工艺高，达到 25% 。目前已能够建造可供 5000 吨多晶硅生产的单个流化床系统，这是冷氢化技术相比热氢化技术最显著的优势所在。

但由于冷氢化反应需要在高压条件 (3MPa) 下进行，且涉及固相与气相之间流化反应，中温高压条件对设备 (流化床) 的要求较高。而在实际运行过程中，固体原料 (Si 粉及金属催化剂) 连续加料以及固体粉尘污染等问题更是十分突出，对于连续生产与设备维修都带来了很大困难。据报道，国内冷氢化设备实际运行率在 60% 以下，与国际平均 90% 的水平相差甚远。

表 5：热氢化与冷氢化比较

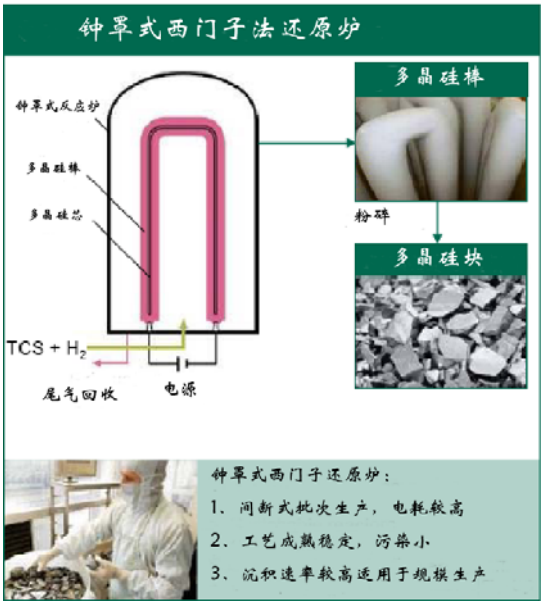
工艺技术	热氢化工艺	冷氢化工艺
评价	单一吸热反应； 低压高能耗、生产能力不足	多反映系统，充分利用反应热； 高压低能耗、高单炉产能难维护
综合电耗	2.5-3.0 kwh/kg(TCS)	0.6-1.2 kwh/kg(TCS)
一次转换效率	15%-20%	22-25%
工艺气压	0.6 MPaG	3.0MpaG
工艺温度	1100-1250° C	550 °C
生产方式	连续投料生产	间断式，需补充硅粒（国内）
设备要求	较低（石墨加热管需进口）	较高（高压中温环境）
核心技术环节	加热部件布置	流化速度控制
应用企业	国内大多数企业（新光硅业与国电转换效率接近 20%）	保利协鑫、洛阳中硅已投入量产
优点	汽相连续反应，不需催化剂；易操作和控制；维修量小； 反应无硼磷杂质带入，后续的精馏更简单；蒸汽耗量低	硅粉加入，是普通的流化床反应；电耗低； STC 转化率高(22 ~ 23%)；
缺点	反应是电氢化还原反应，电耗高；STC 转化率低（15 ~ 20%） 多晶硅产品含 C 较高。	是气固反应，间断操作；操作压力高；对硬件的要求高。 要求高，国内有 3 家投产，运行时间不超过 5 年，有待提高工艺成熟性。

资料来源：长江证券研究部

分解还原工艺：流化床将大幅度降低能耗

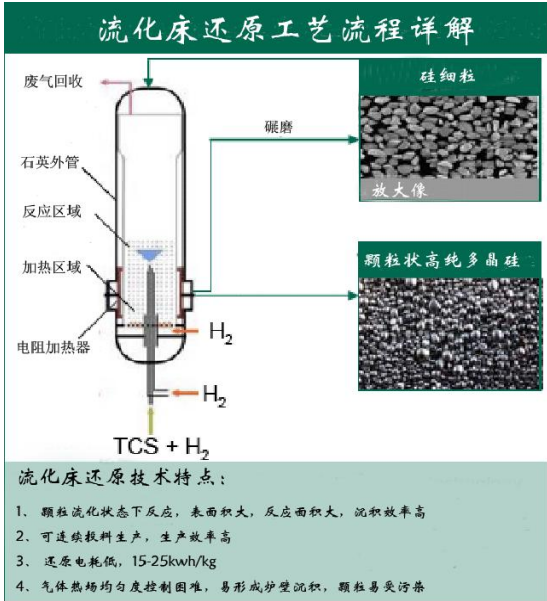
分解还原工艺是改良西门子法中最主要的耗能环节，其电耗约占综合电耗的 50%，占生产总成本 20%-40%。

图 8：钟罩式还原工艺流程



资料来源：长江证券研究部

图 9：流化床还原工艺流程



资料来源：长江证券研究部

钟罩式：能耗较高，技改的重点在于单炉增加产量、缩短时间

传统的钟罩式西门子还原炉采用在预制硅棒两端施加电压进行加热，使高纯 SiHCl_3 气体在其表面发生分解反应，生成的高纯多晶硅便沉积在硅棒表面。目前国内千吨级多晶硅生产企业还原电耗在 70-100kwh/kg 水平，而国际先进企业的还原电耗已能控制在 50kwh/kg 以下。目前国内还原工艺的技改重点主要集中在增加单炉产量（利用 24 对棒或 36 对棒甚至更大的还原炉）、缩短单炉生产时间。

图 10: GT Solar 的钟罩式还原炉



资料来源：长江证券研究部

钟罩式还原工艺由于硅棒反应表面积较为有限，当还原能耗降至 50kwh/kg 后进一步下降空间不大，而流化床还原技术能使电耗降低到 15kwh/kg 左右，因此，Hemlock、瓦克、REC 等国际厂商纷纷转而研究流化床还原工艺。

表 6: 流化床还原技术与钟罩式还原技术比较

对比项目	钟罩式还原技术	流化床还原技术
多晶硅产品纯度	9N-12N	7-9N
还原电耗	50-100 kwh/kg	15 kwh/kg-25kwh/kg
生产效率	表面积小，批次间断式生产	表面积大，连续生产，高效率
多晶硅产品形态	棒状，还须进行粉碎、腐蚀工序	粒状多晶硅，适用于单晶原料
改进方向	降低能耗，提高产量	防炉壁沉积、防硅粒污染
综合电耗占比	50-60%	20%

资料来源：长江证券研究部

流化床：能耗低，加热不均匀、尾气排放、炉壁沉积是技术难点

使用流化床进行化学气相沉积多晶硅也有以下几方面的问题：

- 加热方面：通过辐射传热，热损失相对较大，且存在对气体加热不均匀的问题；
- 由于颗粒硅表面积大，更容易引起沾污，如炉壁重金属元素污染等；
- 在高温下，三氯氢硅会形成小颗粒馏分灰尘在尾气中排放，既对尾气回收系统造成影响，又造成原料损失；
- 由于炉壁温度较高，容易在炉壁产生沉积。

目前，国外大厂正准备在正在建设的生产线上投入规模化生产，而国内生产企业尚没有进行

产业化应用的报道。

表 7：流化床还原技术在国际多晶硅生产企业中的应用情况

公司	采用技术	目前该项技术设计产能作用
美国 MEMC	FBR 流化床	1.5 万吨
美国 REC	硅烷+流化床	6500 吨
美国 Hemlock	改良西门子法+FBR 流化床	3000 吨
德国 Wacker	改良西门子法+FBR 流化床	7000 吨

资料来源：长江证券研究部

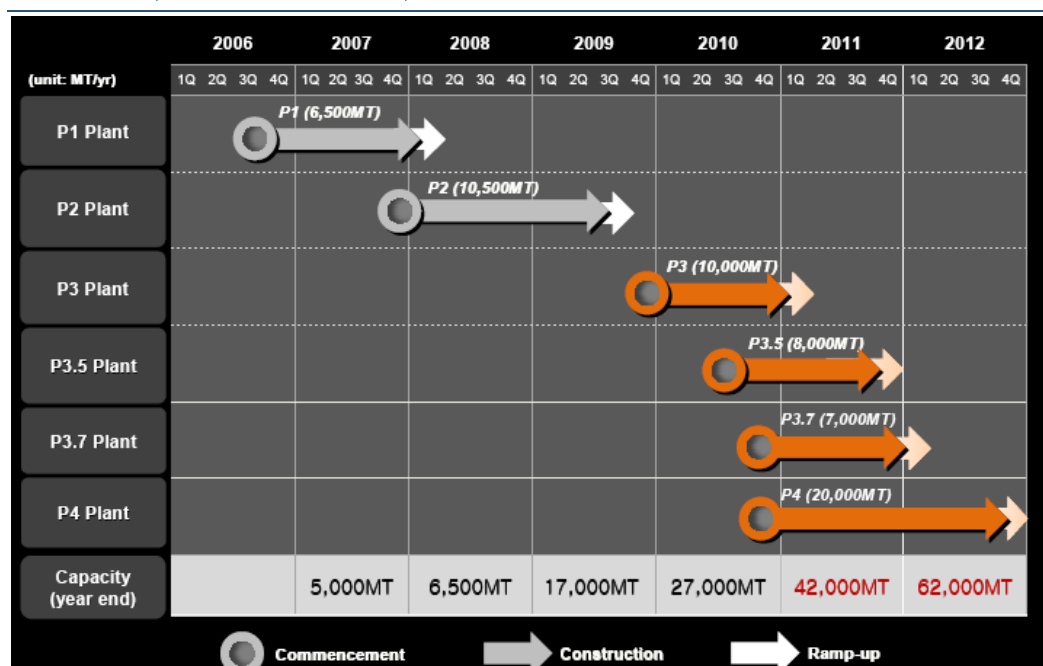
韩国 OCI 案例研究：成本从 40 将至 25 历时 4.5 年

由于 Wacker、Hemlock 等国际巨头成本已经降到较低水平，近年来下降幅度平稳，对国内的企业借鉴不大。而韩国 OCI 是全球多晶硅产业的新贵，在短时间内产能快速扩张，成本骤降，与我国大部分企业的建设时间、扩张速度类似，因此国际企业我们以 OCI 为例。

OCI 的成本从 2008 年初的 39 美元/千克，计划在 2012 年底将至 25 美元/千克，历时 4.5 年。

OCI 自 2008 年 2 月完成首批 5000 吨产能建设后，2008-2012 年产能扩张了 10 倍，速度惊人。

图 11：OCI 产能扩张速度及时间表



资料来源：OCI、长江证券研究部

折旧：原有产能基础上的扩张，装置共享可大幅度降低投资

OCI 一期产能就达到了 6500 吨，单位建设成本仅 84 美元/公斤，它的单位建设成本比保利协鑫一期 1500 吨下降了 33 美元/kg，其通过产能规模控制单位建设成本优势明显。此后，

其建设成本下降的主要动力主要来源于在扩建产能超低的建设成本。

尤其值得注意的是，第二期的在 P3 建设了 1 万吨产能，当期建设投资为 88 美元/千克，之后在原地点进行扩建之后，建设投资大幅度减少，扩建 8000 吨的建设投资降为 40 美元/千克，扩建 7000 吨的仅为 35 美元/千克，降低了 60%，这是由于氢化、精馏、回收等装置都可以共享，由于规模经济导致的成本下降。当前国内的天威四川硅业、乐电天威等众多企业同样在原有产能基础上进行扩建，投资成本也有望大幅下降。

图 12: OCI 单位多晶硅产能建设成本

Phase	Mechanical Completion	Capacity (MT/yr)	CAPEX		Note
			US\$ in mil	US\$/ Kg	
P1	by 1Q, 2008	6,500	545	84	-
P2	by 3Q, 2009	10,500	895	85	-
P3	by 4Q, 2010	10,000	880	88	-
P3.5	by 3Q, 2011	8,000	320	40	Debottlenecking
P3.7	by 4Q, 2011	7,000	245	35	Debottlenecking
P4	by 4Q, 2012	20,000	1,405	70	-
		62,000	4,290	69	

资料来源：OCI、长江证券研究部（第二期的建设地点有两个地方，后三次建设地点在同一地方，共享了公共设施，成本节约）

原料：冷氢化技术提高 SiHCl_3 自给率与利用率

OCI 对氯氢化 TCS 合成技术已经有 8 年的规模化生产经验，也曾尝试过多种生产技术，最后采用了美国 DEI 公司的冷氢化技术（Hemlock TCS 合成与精馏技术提供商）。但由于其各期产能所处地域不同，为建设大规模氯氢化共享装置带来了困难。于是，OCI 开始着力于提升单个冷氢化装置的产能，以保证多晶硅生产原料 100% 自给。

第二期相对于第一期产能翻倍，第三期继续翻倍，随着单个冷氢化系统产能的成倍提升，OCI 各期对应原料成本下降迅速，分别为 10.5、7.8、7.0 美元/kg，氢化能力的提升使得原料成本下降约 3.5 美元/kg。

对比氢化能力的增强对原料成本的影响可发现，其对于产能扩张初期的影响比较显著，主要原因是氢化能力提升初期可同时提升 SiHCl_3 自给率与利用率，可大幅减少原料消耗。而在达到一定规模后，由于已有足够的氢化产能保证全闭环生产，氢化能力的增强只能提升 SiHCl_3 自给率，对原料成本影响也较小。

电耗：还原炉大型化

从多晶硅生产工艺电耗占比情况看，还原工艺电耗达到综合电力 50-60%。而诸如冷冻机，循环水，氢压机，分离回收等工艺发展已经十分成熟，大幅降低电耗的难度很大。因此，降低还原工艺电耗便成为降低综合电耗的主要手段。

OCI 使用的还原炉是美国 GT 公司当期最高端的还原炉，这确保了其还原电耗始终处于全行

业领先水平。

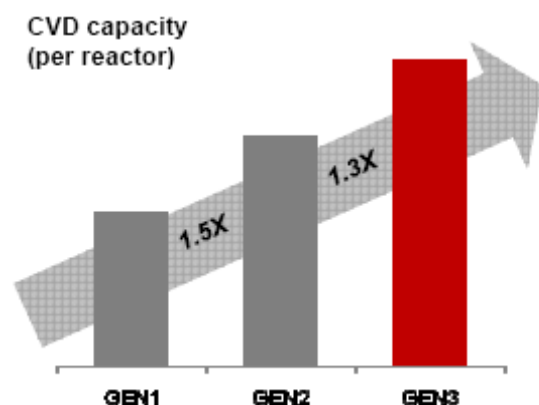
表 8：流化床还原技术在国际多晶硅生产企业中的应用情况

GT SDR 系列	生产线	单炉年产量（吨）	单位电耗（Kwh/kg）
GT SDR 200	第一期	200	70
GT SDR 300	第二期	300	60
GT SDR 400	第三期	400	45

资料来源：GT 还原炉工艺资料、长江证券研究部

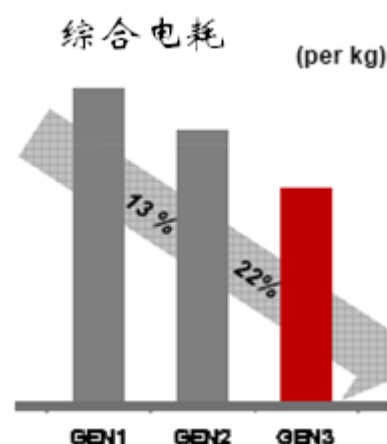
GT SDR 系列还原炉在单炉产量及还原电耗方面拥有优异的性能。通过采用 GT 高沉积率还原炉，OCI 在产能规模大幅提升同时，单位电耗也逐步下降。

图 13：OCI 还原炉单炉产量逐步提升



资料来源：OCI，长江证券研究部

图 14：OCI 综合电耗降低



资料来源：OCI，长江证券研究部

表 9：OCI 电耗情况

指标	第一期	第二期(P2)	第三期
还原电耗（度）	70	60	45
综合电耗（度）	150	130	100
单位电价（美元/度）	0.066	0.066	0.066
电耗成本（美元/kg）	9.9	8.6	6.6

资料来源：OCI、长江证券研究部（韩国工业用电廉价，仅为 0.43 元/度）

据 OCI 的公开资料测算，OCI 各期产能对应电耗成本分别为 9.9，8.6，6.6 美元/kg，从中可以发现还原电耗下降对电耗成本下降贡献最大。可见，使用高产量、高沉积率的大型还原炉对降低电耗成本作用显著。

总结：规模效应对成本的下降贡献巨大

表 10：OCI 多晶硅成本下降路径

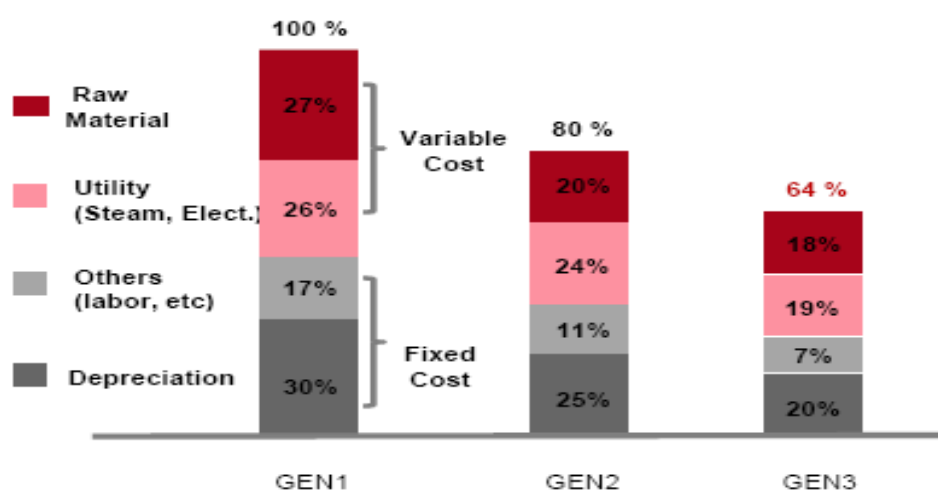
	第一期（2008 年投产）		第二期（2011 年投产）		第三期（2012 年投产）	
	成本	占比	成本	占比	成本	占比
材料	10.5	27%	7.8	25%	7.0	28%

能耗	10.1	26%	9.4	30%	7.4	30%
折旧	11.7	30%	9.8	31%	7.8	31%
其他	6.6	17%	4.3	14%	2.7	11%
综合	39		31		25	

资料来源：OCI、长江证券研究部

折旧成本、电耗成本、原料成本在综合成本中占比相对固定，原料成本在产能扩张初期下降较为明显，而电耗成本的下降往往需要在达到一定规模后才会有所体现。折旧成本方面由于 OCI 起点较高，且采用全球化采购策略，其下降速度较慢，反倒是除三大项以外的其他成本在规模效应的影响下，下降速度最快，占比从 17% 将至 11%。

图 15: OCI 多晶硅成本下降路径



Note: GEN 1 – P1 with 5,000MT capacity without debottlenecking
 GEN 2 – P2 and P3 with 10,000MT capacity
 GEN 3 – P4 with 20,000MT capacity

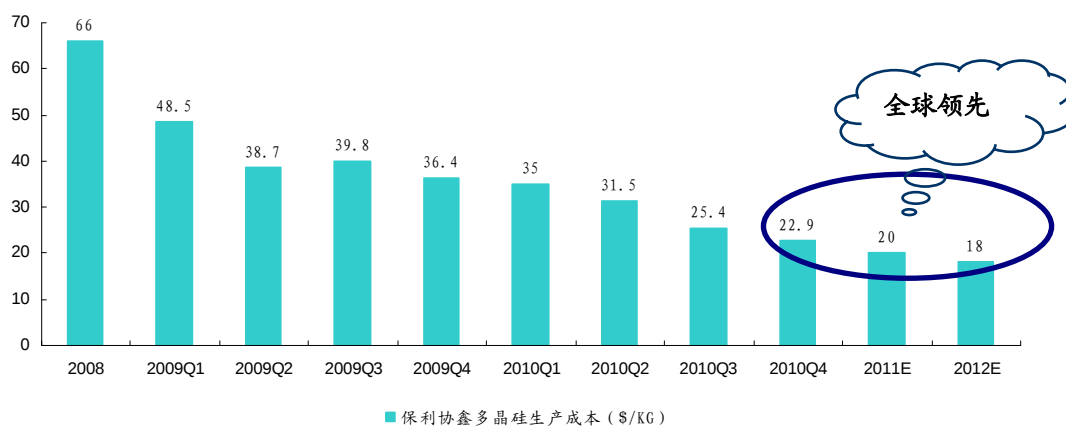
资料来源：OCI、长江证券研究部

保利协鑫案例研究：成本从 40 降至 25 历时 1.25 年

保利协鑫目前多晶硅产能 2.1 万吨，2012 年中期将达 6.5 万吨。公司在 09 年进行技改之后，成本显著下降，保利协鑫从 09 年 Q2 的 39.8 下降至 10 年 Q3 的 25.4，历时 1 年加一个季度。11、12 年计划进一步降低至 20、18。

公司成本下降根本的原因在于，以朱共山为核心的管理层，从业内吸引了大量的多晶硅最顶尖的技术人才，包括 Waker、REC、峨半等企业的骨干，尤其是在冷氢化环节（公司命名为氯氢化）取得了巨大的进步。

图 16: 保利协鑫成本下降路线图



资料来源：保利协鑫公告，长江证券研究部

原料：冷氢化技术带来的 SiHCl_3 自给率与利用率提升

2010年7月5日，保利协鑫20万吨冷氢化装置投产，连同之前的30万吨，冷氢化设备的年总产量已达50万吨。冷氢化通过两方面来节约成本：

- 将原来的废物 SiCl_4 转换成 SiHCl_3 ，以自产 SiHCl_3 替代其外购，并提高 SiCl_4 的转换效率，从15-18%提升到25-30%，而自产的成本仅为外购的三分之一。
- 降低单位多晶硅产量的 SiHCl_3 用量，单耗从约16KG将至约11KG。

图 17: 保利协鑫成本下降路线图



资料来源：保利协鑫公告，长江证券研究部

表 11: 保利协鑫三氯氢硅成本下降路径模拟

时间	2009Q1	2009Q2	2009Q3	2009Q4	2010Q1	2010Q2	2010Q3	2010Q4
TCS 单耗量 (千克)	18	17	16	15	14	13	12	11.3
TCS 自产量 (千克)	11.3	4.1	6.8	4.5	3.4	4.4	1.2	0.0
TCS 自产成本 (元/吨)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	9000	9000

TCS 外购量 (千克)	6.7	12.9	9.2	10.5	10.6	8.6	10.8	11.3
TCS 外购价格 (元/吨)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
TCS 成本 (美元/公斤)	19.5	11.6	14.0	11.2	9.6	10.2	6.4	5.2
TCS 成本占比	40%	30%	35%	31%	28%	32%	25%	23%

资料来源：长江证券研究部 注：人民币-美元汇率采用平均汇率

2010 年底，三氯氢硅的成本从 2009 年初的 19.5 美元/公斤将至 5.2 美元/公斤，下降了 3/4。

电耗：还原炉大型化

多晶硅还原电耗约占综合电耗的 60-70%，约占综合生产成本的 25-35%，是最主要的能耗工艺环节，同时也是影响实际产量最核心的工艺环节。

保利协鑫是通过提升单炉产量，即增加单个还原炉硅芯数量的方法来降低还原能耗的。

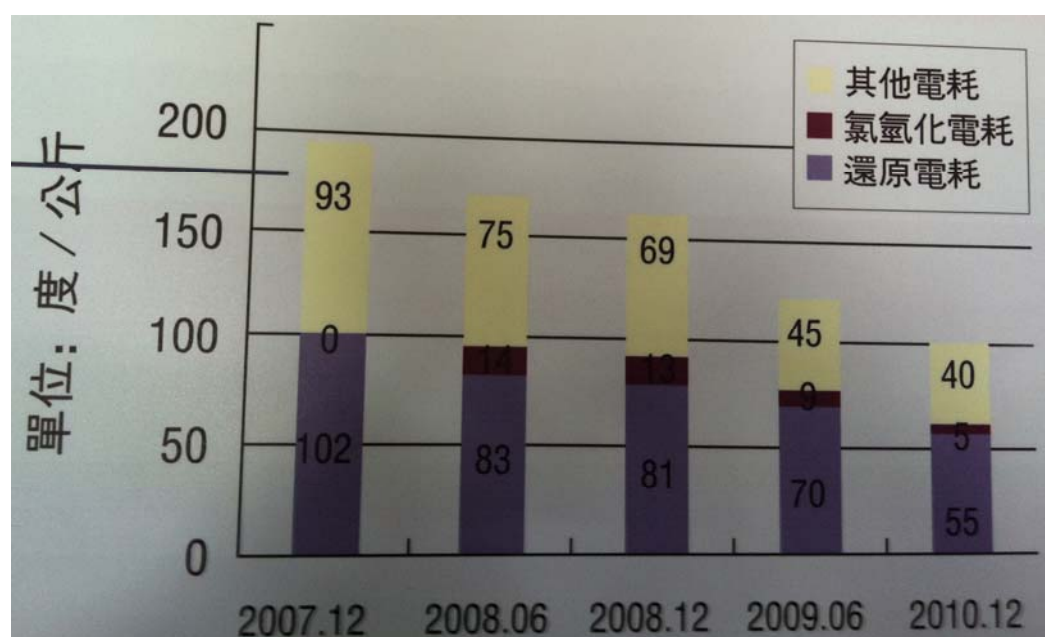
保利协鑫一期产能采用德国 MSA 公司 12 对棒还原炉，单炉产量为约为 2.5-3.5 吨，单炉生长周期为 120-130 小时，还原电耗约为 70-80kwh/kg，综合电耗水平在 180kwh/kg 左右。

09 年 8 月保利协鑫在德国 MSA 基础上成功研发 24 对棒还原炉并投入生产，10 年 6 月保利又投资 6.6 亿元对现有的 80 台 12 对棒还原炉改造为 GT SOLAR 公司提供的 12 对棒还原炉，将现有 40 台 12 对改造为 20 台 GT SOLAR 公司提供的 24 对棒还原炉。从 GT SOLAR SDR 300 提供的还原炉性能参数上看，其单炉年产量为 300 吨，还原电耗为 60-70kwh/kg。2011 年，公司还将利用 36 对棒以及 40 对棒还原炉，电耗有望进一步降低。

保利协鑫 2010 年底的电耗从 08 年底的 163 降到 100，下降了 40%，其中最主要的降的是还原能耗，从 81 度降到 55 度。

然而由于其他部分的成本下降得更快，因此电耗的占比却相对提升。从 28%上升到 34%。

图 18：保利协鑫综合电耗下降路径



资料来源：保利协鑫，长江证券研究部

表 12: 保利协鑫电耗成本下降路径模拟

时间	2009Q1	2009Q2	2009Q3	2009Q4	2010Q1	2010Q2	2010Q3	2010Q4
耗电量	141	124	119	114	109	106	103	100
氢化	11	9	8	7	6	6	5	5
还原	75	70	67	64	61	59	57	55
其他	55	45	44	43	42	41	40	40
电价	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.57	0.51
成本（美元/千克）	13.6	12.0	11.5	11.1	10.5	10.2	8.6	7.8
成本占比	28%	31%	29%	30%	30%	32%	34%	34%

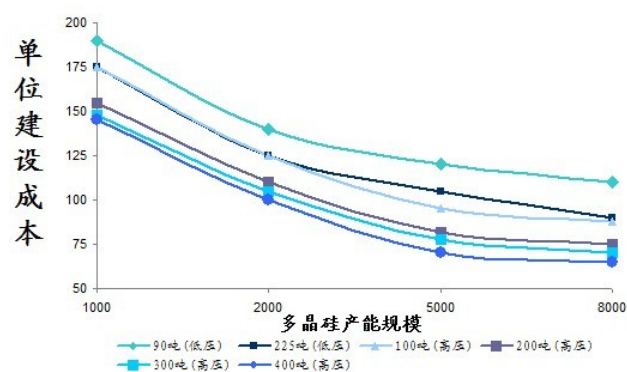
资料来源：长江证券研究部

折旧：设备国产化及产能利用率提升

折旧成本下降主要动因可分为设备国产化率的提高以及产能利用率提升对单位折旧成本的摊薄效应。

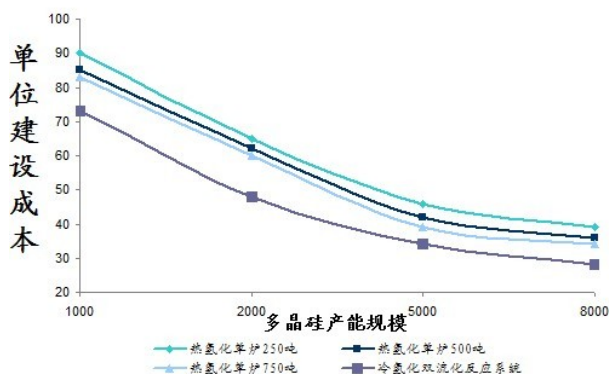
- **国产化率提高：**江苏中能一期 1500 吨产能完全采用进口设备，而从二期开始便逐步采用国产设备，到三期 15000 吨产能建设时，设备国产化率已达 80%。以尾气分离系统为例，除了核心部件压缩机仍要进口外，其他都实现了国产化。
- **规模经济效益：**固定资产投资中主要的设备是氢化炉与还原炉，而产能规模从 1000 吨上升到 8000 吨的时候，其单位建设成本大幅度降低，降幅达到 50%。

图 19: 规模效应导致的还原炉单位建设成本下降



资料来源：《多晶硅商业生产发展历程》GT solar 公司，长江证券研究部

图 20: 规模效应导致的氢化炉单位建设成本下降



资料来源：《多晶硅商业生产发展历程》GT solar 公司，长江证券研究部

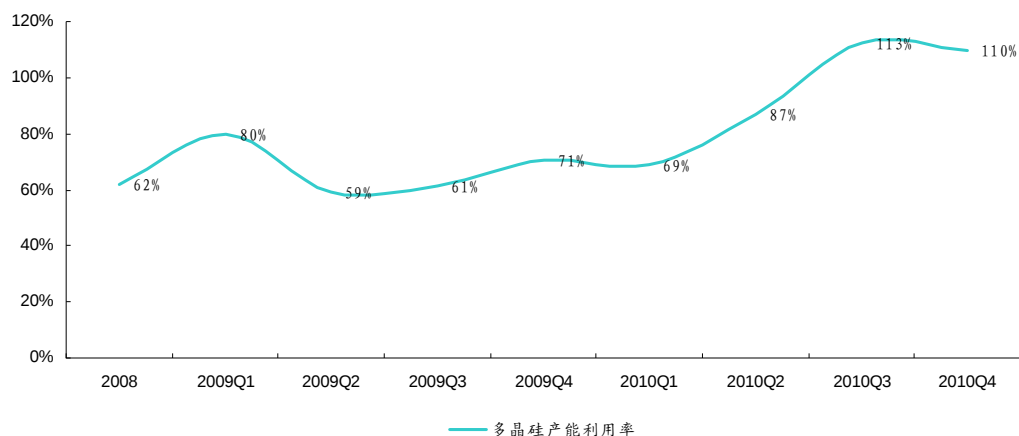
表 13: 保利协鑫多晶硅单位产能投资

	产能总投 (吨)	资 投 (亿元)	单位建设成本 (元/kg)	单位固定资产投资 (元/kg*年)	单位固定资产投资 (美元/kg*年)
一期	1500	12	800	720	106
二期	1500	9.7	647	582	87
三期	15000	80	533	480	73
四期	43000	85	198	178	27

资料来源：保利协鑫公告、长江证券研究部(折旧年限为 15 年，固定资产按照总投资的 80%计算)

- **产能利用率提高:** 2008 年, 公司产能为 3000 吨, 产量仅为 1850, 产能利用率仅为 62%; 2010 年四季度, 年度产能达到 21000 吨, 单季度达到 5754, 产能利用率达 110%。产能利用率的提升在建设投资减少的基础上, 再度摊薄折旧成本。

图 21: 保利协鑫多晶硅产能利用率



资料来源: 保利协鑫公告, 长江证券研究部

表 14: 保利协鑫多晶硅折旧成本下降路径模拟

	2009Q1	2009Q2	2009Q3	2009Q4	2010Q1	2010Q2	2010Q3	2010Q4
产能 (吨)	5500	8000	13000	18000	18000	18000	18000	21000
产量 (吨)	1,094	1,180	1,993	3,187	3,112	3,919	5,068	5,754
总投资 (亿元)	35.0	48.4	75.0	101.7	101.7	101.7	101.7	117.7
固定资产 (亿元)	28.03	38.69	60.03	81.36	81.36	81.36	81.36	94.16
折旧 (美元/千克)	5.3	8.0	7.4	6.3	6.4	5.1	3.6	3.2
成本占比	11%	21%	18%	17%	18%	16%	14%	14%

资料来源: 保利协鑫 10 年三季报、长江证券研究部(折旧政策说明: 江苏中能在向 SEC 提交的报告中披露, 2007 年时固定资产的折旧期限: 其房屋折旧期少于 20 年, 工厂和机械产品的折旧时间为 15 年, 家具、设备以及汽车的折旧时间都是 5 年)

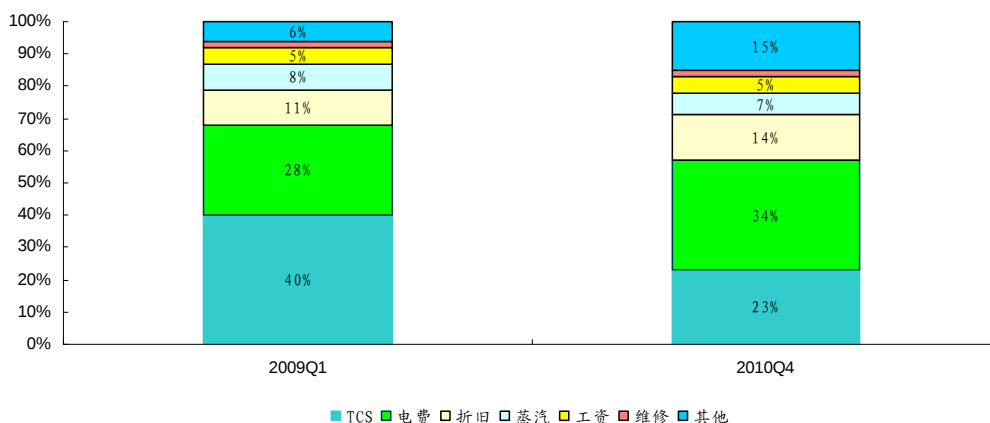
总结: 冷氢化技术改善最为明显, 电耗仍有下降空间

从保利协鑫的案例中, 我们可以看出:

- **TCS 下降幅度最快:** 冷氢化工艺使 TCS 的成本下降幅度大大快于总成本的下降幅度, 从 2009 年一季度的 40% 下降到 2010 年四季度的 23%, 在 TCS 已经完全自给的情况下, 未来提升的路径主要依靠提升四氯化硅转化 TCS 的转化率。
- **电耗的下降幅度低于预期:** 从 2009 年一季度的 141 度/KG 降到 2010 年底的 100 度/KG, 仅下降了 30%, 幅度低于总成本的下降程度, 使其占比从 2008 年的 28% 提升至 2010 年底的 34%。这一方面说明, 保利协鑫的起点高, 09 年时, 国内的电耗都在 250 度左右, 那时候公司就引进了国外的先进技术, 使电耗处于行业领先地位; 另一方面也说明, 公司的电耗的下降仍有改善空间, 未来公司将采用 36 对以及 40 对棒还原炉, 另外目前公司电价非常高, 达到 0.65 元/度左右, 公司正在争取直购电价, 价格可降低至 0.49 元/度。
- **折旧下降幅度符合预期:** 在设备国产化、公共设施公用带来的规模效应、产能利用率的

提升复合作用下，下降幅度也非常大。并且 10 年新扩的 4.3 万吨产能仅耗资 150 亿元（其中还包括硅片产能投资），其单位建设投资进一步下降，我们可以看到折旧进一步下降的空间。

图 22：保利协鑫多晶硅成本构成



资料来源：保利协鑫调研数据，长江证券研究部

表 15：保利协鑫多晶硅成本下降路径

\$/kg	2009Q1	2009Q2	2009Q3	2009Q4	2010Q1	2010Q2	2010Q3	2010Q4
TCS	19.5	11.6	14.0	11.2	9.6	10.2	6.4	5.2
占比	40%	30%	35%	31%	28%	32%	25%	23%
电耗	13.6	12.0	11.5	11.1	10.5	10.2	8.6	7.8
占比	28%	31%	29%	30%	30%	32%	34%	34%
折旧	5.3	8.0	7.4	6.3	6.4	5.1	3.6	3.2
占比	11%	21%	18%	17%	18%	16%	14%	14%
其他	10.1	7.1	7.0	7.9	8.5	6.0	6.8	6.7
占比	21%	18%	17%	22%	24%	19%	27%	29%
总成本	48.5	38.7	39.8	36.4	35	31.5	25.4	22.9

资料来源：长江证券研究部

结论：国内主流企业在 2013 年左右成本降至 25

国内目前的成本约在 40 美元/公斤左右，我们把多晶硅目标成本设置在 25 美元/公斤这个水平上，研究 OCI 与保利协鑫的案例可以得出以下结论：

国内主流企业在 2013 年左右成本降至 25

OCI 的成本从 2008 年第一期的 39 美元/千克，计划在 2012 年将至 25 美元/千克。总共费事 4.5 年；

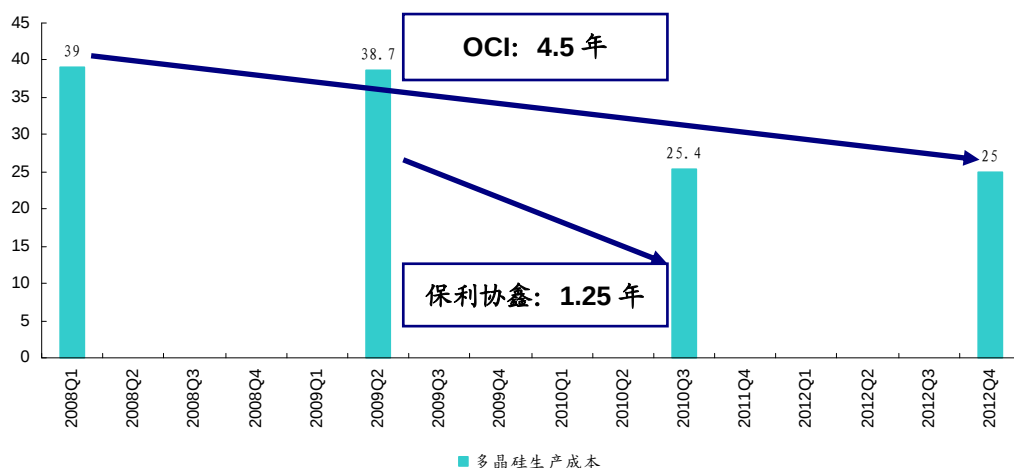
保利协鑫从 09 年第二季度的 38.7 下降至 10 年第三季度的 25.4。总共费时 1.25 年。

当前国内大部分的企业成本也在 40 美元左右，何时会降到 25 美元？我们认为可能在 2-3 年，快于 OCI 的速度，原因在于：

- **闭环技术开始成熟：**目前热氢化技术已经比较普及，冷氢化技术也逐渐走向成熟，越来越多的企业实现闭环生产；

- **技术人才流动性增强：**回顾保利协鑫的发展历程，从 Waker, Waker、REC、峨半等企业的技术人员，对公司技术的提升起了重大的作用，随着保利协鑫这一行业标杆的出现，未来国内的其他企业也可能从国外甚至保利协鑫引进技术人才；
- **设备国产化在加速：**目前，还原炉、氢化炉已经开始大规模国产化，设备安装、调试、维修的难度大大降低，折旧成本也有望大幅度降低。

图 23：从 40 到 25 之路，OCI 历时 4.5 年，保利协鑫 1.25 年



资料来源：长江证券研究部

闭环、还原炉改进、规模扩大将是成本下降的主要路径

通过对 OCI 以及保利协鑫的案例研究，我们看到了成本下降的具体过程。OCI 在成本的下降过程中，材料、能耗、折旧分别下降了 3.5、2.7、3.9；而保利协鑫的 TCS、电耗、折旧分别下降了 5.2、3.4、4.4。

表 16：OCI 与保利协鑫成本下降具体过程详细比较

OCI	第一期（2008 年 Q1 投产）		第二期（2011 年投产）		第三期（2012 年 Q4 投产）	
	成本	占比	成本	占比	成本	占比
材料	10.5	27%	7.8	25%	7.0	28%
能耗	10.1	26%	9.4	30%	7.4	30%
折旧	11.7	30%	9.8	31%	7.8	31%
其他	6.6	17%	4.3	14%	2.7	11%
综合	39		31		25	
保利协鑫	2009Q2		2010Q2		2010Q3	
TCS	11.6	30%	10.2	32%	6.4	25%
电耗	12.0	31%	10.2	32%	8.6	34%
折旧	8.0	21%	5.1	16%	3.6	14%
其他	7.1	18%	6.0	19%	6.8	27%
综合	38.7		31.5		25.4	

资料来源：长江证券研究部

对国内其他企业来说，闭环、还原炉改进、规模扩大也将是必经之路。

SiHCl₃ 原料成本方面：由于目前国内企业大都采用热氢化工艺，SiHCl₃ 自给率偏低，SiHCl₃ 原料成本高企，改进空间最大。

折旧成本方面：随着产能扩张进程的加快，单位建设成本呈逐步下降趋势。加上设备国产化等有利因素的推动，我国多晶硅企业单位折旧成本下降潜力较大。

还原工艺方面：国内 24 对棒、高沉积速率还原炉已投入规模化应用阶段，可使还原电耗降至 80kwh/kg 以下。《多晶硅行业准入条件》中也对电耗进行了严格的限制，明确提出了到 2011 年底，还原能耗低于 60kwh/kg，并将淘汰综合能耗高于 200kwh/kg 的落后产能，国内多晶硅企业同时具备技术上的支持与政策上的动力，将成为综合成本降低的主要动力之一。

基于上述三项效应的共同作用，我们预计国内多晶硅生产企业综合生产成本将延续下降趋势。

关于国内各个企业的成本现状、工艺特点、未来改进空间，以及产能投放进度，敬请关注我们接下来的报告。

分析师介绍

周旭辉，复旦大学企业管理硕士，从事新能源行业研究

刘元瑞，华中科技大学财务金融硕士，从事行业研究

对本报告的评价请反馈至长江证券机构客户部

姓名	分工	电话	E-mail
伍朝晖	副主管	(8621) 68752398	13564079561 wuzh@cjsc.com.cn
甘 露	华东区总经理	(8621) 68751916	13701696936 ganlu@cjsc.com.cn
王 磊	华东区总经理助理	(8621) 68751003	13917628525 wanglei3@cjsc.com.cn
鞠 雷	华南区副总经理	(8621) 68751863	13817196202 julei@cjsc.com.cn
程 杨	华北区总经理助理	(8621) 68753198	13564638080 chengyang1@cjsc.com.cn
李劲雪	上海私募总经理	(8621) 68751926	13818973382 lijx@cjsc.com.cn
张 晖	深圳私募总经理	(0755) 82766999	13502836130 zhanghui1@cjsc.com.cn
沈方伟	深圳私募总经理助理	(0755) 82750396	15818552093 shenfw@cjsc.com.cn

投资评级说明

行业评级	报告发布日后的 12 个月内行业股票指数的涨跌幅度相对同期沪深 300 指数的涨跌幅为基准，投资建议的评级标准为： 看好： 相对表现优于市场 中性： 相对表现与市场持平 看淡： 相对表现弱于市场
公司评级	报告发布日后的 12 个月内公司的涨跌幅度相对同期沪深 300 指数的涨跌幅为基准，投资建议的评级标准为： 推荐： 相对大盘涨幅大于 10% 谨慎推荐： 相对大盘涨幅在 5%~10%之间 中性： 相对大盘涨幅在-5%~5%之间 减持： 相对大盘涨幅小于-5% 无投资评级： 由于我们无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使我们无法给出明确的投资评级。

重要声明

长江证券股份有限公司具有证券投资咨询业务资格，经营证券业务许可证编号：Z24935000。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。报告中的信息或意见并不构成所述证券的买卖出价或征价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。

本公司及作者在自身所知范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

本报告版权仅仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用须注明出处为长江证券研究部，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的，应当注明本报告的发布人和发布日期，提示使用证券研究报告的风险。未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。