

中国太阳能硅片线切割设备国产化的现状和趋势

作者:万志峰

1. 多线切割技术的发展历史

首先简单介绍一下人类历史上的线切割历史:

公元前 2000 年: 古埃及人用混合了水和沙的绳子切割石头

公元 19 世纪: 意大利人用缆绳切割大理石

公元 20 世纪 20 年代: 第一次有人申请了用绳切割约一英寸厚的大尺寸大理石的专利

公元 20 世纪 60 年代: 第一次出现用线的往复运动来切割水晶片

公元 20 世纪 70 年代: 利用线的往复运动来切割 1-2 英寸的硅片

在上世纪 80 年代以前,人们在切割超硬材料的时候一般采用涂有金刚石粉的内圆切割机进行切割。然而随着半导体行业的飞速发展,人们对已有的生产效率难以满足,同时由于内圆切割的材料损失非常大,在半导体行业成本的摩尔定律作用下,人们对于降低切割成本、提高效率的要求越来越高。多线切割技术因此而逐步发展起来。

多线切割的基本原理是通过一根高速运动的钢线带动附着在钢丝上的切割刃料对硅棒进行摩擦,从而将硅棒等硬脆材料一次同时切割为数千片薄片的一种切割加工方法。多线切割由于其更高效、更小切割损失以及更高精度的优势,对于切割贵重、超硬材料有着巨大的优势,近十年来已取代传统的内圆切割成为硅片切割加工的主要方式。

在 2003 年以前,多线切割主要满足于半导体行业的需求,切割技术主要掌握在欧、美、日、台等国家和地区,国内半导体业务以封装业务为主,上游的晶圆切割

技术远远落后于发达国家和地区，相关的设备制造研发也难有进展。

2003 年随着太阳能光伏行业的爆发式增长，国内民营企业的硅片切割业务迅速发展起来。大量引进了瑞士和日本产的先进的数控多线切割设备。国内设备制造企业也看到了这个巨大的商机，纷纷投入资金和人力物力进行技术研发。但大多数都是仍以仿制为主。

2009 年开始有一些厂家开始尝试将在其他行业比如蓝宝石切割使用的金钢线切割技术引入到硅片切割领域来，本文在这里将不对这方面的设备展开讨论。

2. 多线切割设备的国产化道路充满了坎坷

多线切割设备为国际 3 大厂统治”

目前全球的多线切割设备主要为瑞士的 HCT、Meyer Burger (梅耶博格) 和日本的 NTC 所统治。瑞士的 HCT、梅耶博格最早在上世纪 80 年代就推出了线切割机，主要为半导体行业所用。

在国内光伏行业切片领域，到 2009 年底国际上影响力最大的三家设备供应商在中国市场产能中差不多是三分天下，NTC 的份额稍微高一点。下图是国内线切割设备数量的一个变化趋势图。其他包括国内品牌和国外进口的其他小品牌。

HCT 简介：↵

HCT 在 1983 年推出第一台线切割机后 14 年里才累计卖出了 100 台设备，在随后的 6 年里又累计卖出了 150 台。太阳能光伏市场在 2003 年启动以后，HCT 针对市场需要在 2005 年推出了世界上最大的太阳能硅片线切割机 B5。而 HCT 在 2006 年里一年的销售量就突破了 100 台。HCT 在 2007 年被美国的应用材料收购。

HCT 在 2000 年进入中国市场，主要的客户来自半导体行业的包括北京有研、济宁港湾、宁波晶元等。HCT 在太阳能行业应用的主流机型是 B5，双工作台 4 个导轮满载

可以一次切割硅棒长达到 2 米，非常适合大规模生产。国内主要用户包括 LDK、保定英利、成都天威新能源、浙江昱辉、江阴海润等公司。

针对市场新的需求和变化，在 2009 年推出了新机型 MaxEdge B6，主要特点是将原有的一个线网拆分为 2 个独立控制的线网，这样有助于使用更细的切割线从而提高出片率降低生产成本。但是目前该设备还处于推广阶段，工艺还有待进一步成熟。

→ 梅耶博格简介：

成立于 1953 年，早期主要生产研发外圆和内圆切割机。在 1980 年启动线切割技术的研究，1991 年正式推出了第一台线切割机 DS260。2000 年推出了针对太阳能光伏市场需求的双工作台 4 导轮的 DS262 机型，该机型理论上切割负载可以达到 2 米，但实际上根据国内客户的使用情况反馈，DS262 并不是一个非常成功的机型，一般切割负载在 1.2 米左右比较合适，切割硅片的合格率相比较低。

根据市场的变化，梅耶博格在 2004 年推出了小型机 DS265。该机型只有一个工作台可以同时切割 2 个 300 毫米长的硅棒。和 NTC MWM442D 机型非常的类似。该设备在国内使用的客户较少，客户反映设备稳定性不够，维护费用过高。

梅耶博格在 2005 年推出了最为成功的单工作台的新机型 DS264，该机型可以切割一根棒长达 820 毫米的硅棒，针对多晶硅片市场比例迅速的提高情况下，非常好的满足了市场新的需求。国内主要用户包括浙江昱辉、常州天合、镇江辉煌/环太、LDK、江苏林洋、无锡高佳等。在 2009 年又针对市场的变化推出了 DS264 的升级型 DS271，切割单根负载可以增加至 1020 毫米。目前该机型国内主要有镇江辉煌和无锡高佳在使用，切割效果和 DS264 差不多。

→ NTC 简介：

1984 年由富山机械和日平工业和并成立 NTC。

上世纪 90 年代推出了针对半导体行业的 MWM 系列线切割机

2008 年被小松收购，改名为 Komatsu NTC

NTC 最为畅销的机型是 MWM442D，由于其投资小、维护费用低、适合使用细直径切割钢丝，深受国内很多新进入切片领域小公司的欢迎。在 2003 年后受光伏行业的飞速发展刺激，NTC 在中国的销售量快速增长，尤其在 2008 年取得了 400 多台线切割机的销售量，即使在收经济危机影响的 2009 年也卖出了 300 多台各类型的线切割机。在国内的主要用户晶龙集团、江苏顺达、江阴海润、西安隆基、浙江昱辉、江西晶科等。受多晶硅片市场发展影响，于 2008 年推出了新的设备类型单工作台面的 PV600 和 PV800，这些设备借鉴了梅耶博格 DS264 的设计理念，切割最大负载棒长分别达到 630 毫米（3 根 210 毫米，单根棒最大负载 600 毫米）和 840 毫米（4 根 210 毫米，单根棒最大负载 800 毫米）。这些设备非常好的适应的多晶硅片的生产技术发展趋势。

“线切割设备国产化开发的第一个高潮

随着中国光伏产业以令全世界震惊的迅速崛起，几大多线切割设备厂家的设备生产能力远远不能满足中国硅片加工企业的购买需求，在 2008 年市场火热的设备交货期最少半年以上，有的甚至一年以上。于是很多相关的设备制造企业纷纷介入，比如日本的高鸟、安永专门推出了针对太阳能硅片切割的机型。

国内最早从事太阳能多线切割机开发的要数上海日进了。上海日进引进日本技术，早在 2006 年就推出了第一台多线切割样机，样机类似 NTC MWM442D。样机在日进内部切割试验结果良好，切除的硅片质量完全合格。但是在客户实际试用的时候，还是遇到了很多的问题，比如成品率低、断线率高、设备的控制精度比国外进口设备要差。

国内陆续推出多线切割样机的厂家还有上海汉虹、电子集团 45 所、兰州瑞德、无锡开源、大连连城、北京京联发、湖南宇晶等。

从样机来看，技术原理和设计主要都是借鉴了日本 NTC MWM442D 机型的很多理念，样机基本都属于小型机。北京京联发尝试开发类似 HCT B5 机型的样机，但是在市场上没有看到试用的设备。国内目前开发出的多线切割机样机都面临着类似的问题，成品率低、断线率高、控制精度差等。加上硅料价格高昂，客户尝试新机器的成本非常高，每次的损失可能动则几万元到几十万元，这也限制了设备制造企业很难获得更多的生产性试验数据来改进设备。

湖南宇晶在 2006 年左右开始研制多线切割机，主要针对水晶切割市场。经过几年的实验和改进后，目前在国内也已经销售出了几十台多线切割机，取得了长足的进步。但是该公司还没有开发出适应太阳能硅片切割的多线切割机。

“线切割设备国产化意外的收获”

虽然国内很多厂家在多线切割机的开发上投入了很大的人力、物力，但是实际进展却并不如人意。

在 2008 年 PV 行业爆发式增长之际，不仅多线切割机交货期大大延长，连硅锭开方机也变得非常紧张。由于开方机使用的钢丝直径较粗，一般 250 微米到 300 微米，较切片常用的直径 120 微米的钢丝不容易发生断丝。另外，开方完成后，一般还要对硅锭打磨。因此对切割的精度要求比硅片大大降低。

国内厂家中上海日进首先抓住了这个机遇，目前已经在国内市场有了不错的销售业绩。另一家大连连城的开方机也于 2009 年取得重大突破，在 2010 年有望取得不错的销售业绩。2010 年更多国内企业有望在线开方设备制造取得突破。

3. 多线切割机国产化能赶上下一次市场机遇吗？

随着太阳能光伏发电成本的快速降低，离传统的上网电价已经越来越近了。在欧洲电价高、日照时间长的地区比如意大利南部、西班牙等，光伏的发电成本已经低于上网电价。太阳能光伏发电安装在这些地域将迎来爆炸式的增长。

按照最新的市场预测，中国 2-3 年后，或者在 2015 年前，光伏发电成本将逐步降低接近目前的风力发电成本，0.5-0.6 元/度电，到那时，中国的光伏安装将迎来爆炸式增长。

国内光伏企业在制造环节的成本优势将获得空前的发展机遇，尤其是硅片切割环节。随着更多更有实力的国有企业进入到这个行业，更多的人力、物力投入，更多的经验积累，以及大大降低的实验成本，中国的线切割设备的明天有理由让我们期待！