

光伏电池用锯断钢丝生产技术及其性能

日本为缓解东日本大地震后核电停产的供电紧张，企业和地方建设1MW以上的光伏发电项目日益增多，因为它可在屋顶等建筑上建设，维护也比较方便。同时，从2012年起的电网优惠定价上网也更有利于推动光伏发电的快速发展。

21世纪初，日本的光伏发电总量曾居世界第一。2005年，德国通过实施固定价上网制（FIT）数年后超过了日本，这种制度很快又在西班牙等欧洲各国推广，使世界光伏发电的年增长率达到40%以上。金融危机爆发后，光伏发电虽一度停滞，但在FIT的推广下仍得到进一步发展，此后捷克和意大利等国的光伏发电也得到快速发展。在光伏电池的生产方面，中国光伏电池的产量位居世界第一，目前产量已占全世界的50%以上，生产光伏电池不可缺少的锯断钢丝也得到快速发展。

硅晶片切薄的“利刃”

硅晶片切薄技术。光伏发电所用的光伏电池是将太阳能吸收后转变为电能的原件，原材料一般是单晶硅或多晶硅，硅锭经薄片化的工序被切割成薄片后使用。过去切割硅锭时多使用内圆刀的切割方式，即将不锈钢薄板中间挖空加工为环形，再在刻纹的内环上附上有刀刃的砥石，然后用于单个硅片的切断。现在多改为采取多根钢丝切断硅片的装置，该装置的原理是：将1根钢丝在2个导辊中张开，通过钢丝走行将硅锭锯断成硅片。导辊上的钢丝通过约500个平行排列的沟，所以一次可锯成500个硅片。钢丝从一侧的立筒上卷取，沿辊沟供应，从另一侧的立筒卷取拉出，总长约50千米。为了从高价的硅锭产出更多的硅片以降低成本，采取了硅片的薄型化措施，其厚度以160微米~200微米为主，一次可锯断产出数百个硅片。

进步中的钢丝切断技术。现在的钢丝切断方式是：将油和砥粒的混合浆涂在钢丝上，形成走行加工的“游离砥粒钢丝”。这种方式可同时切断多片硅片且适应基板薄型化的趋势，但主要问题是废物产生量大。目前的切断方式正在向“固定砥粒钢丝”转变，即将金刚石砥粒以电镀镍固定在钢丝上。该法的优点是加工时间短、成本降低，且产生的废物大幅下降。但是，该方法所用的细径钢丝价格较高。

目前，多根钢丝的锯断装置、节约钢丝用量和减少钢丝负荷的研究以及用齿锯对木材切断般将钢丝角度边变化边切断的“摇动式”锯断方法都在研究开发中。

细径化高强度洁净化

向不断线锯断钢丝挑战。在使用锯断钢丝对薄片切断时，为缩短锯断时间并提高硅片的成材率，要求钢丝细径化，为保证硅片质量而高强度化。因此，需要开发供应极高强度的线材。目前一般多使用铁素体+珠光体（渗碳体以层状并列）组织、高含碳量（达到0.82%）的共析钢线材经细线加工而成。

具体过程是：5.5毫米的热轧线材经氧化铁皮去除和皮膜处理后，再经干式拉伸、韧化处理、阳极镀层和湿法拉伸，最终产出直径为0.145毫米~0.250毫米的锯断钢丝。锯断钢丝最重要的要求是在使用中不得断线。以将156毫米的方硅锭锯断成0.3毫米的薄片为例，锯断钢丝长达10千米，切断时间长达数小时，若中途断线则材料全部报废。为确保高纯度硅锭的成材率，必须保证锯断钢丝不断线，且锯断钢丝要能够承受在薄片锯断时反复的弯曲应力和抗拉应力。

夹杂物控制是生产重点。锯断钢丝断线的主要原因有夹杂物、表面开裂和中心偏析等。为防止锯断钢丝断线，采取的最主要的措施是对夹杂物进行控制。因为线材中夹杂物的尺寸尽管仅数十微米，但仍旧能够造成断线，所以降低锯断钢丝中的夹杂物成为重要的课题。

线材中混入夹杂物的渠道主要有两大类。一类是在冶炼工序中由耐火材料混入，但高温钢水离不开耐火材料，因而只能使用难熔损的耐火材料避免夹杂物生成，特别是接触钢水处的耐火材料更应保持应有的强度和耐火性。另外一类是从钢水所含成分析出的夹杂物，其代表为硬质 Al_2O_3 等，它在热轧和冷加工中的延性也较差。因此，应尽量控制此类元素在钢水中的含量，并进一步研究减少夹杂物含量的技术。

作为夹杂物无害化的措施，降低夹杂物的熔点从而提高钢丝延性的技术也在开发和实用化中。锯断钢丝用线材中的夹杂物起源于渣中的 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系和脱氧生成物的 $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系，两系的成分经热轧延伸后，夹杂物中的 Al_2O_3 含量达到20%左右。因此，通过对渣内成分的控制可以使 Al_2O_3 无害化。

同时，作为提高高强度线材质量的共通技术，防止表面缺陷、连续工序的控制技术和提高钢铁质量检查的精度等各种技术改造也十分重要。

钢铁产品中强度最高的线材。锯断钢丝的抗拉强度随钢丝直径的减小而变大，锯断钢丝抗拉强度和钢丝直径的关系见表。锯断钢丝被列为钢铁产品中强度最高的，因为现在使用的锯断钢丝的抗拉强度已提高到4000MPa级以上，而日本著名的明石海峡大桥用钢丝的抗拉强度也仅为1900MPa。

锯断钢丝抗拉强度和钢丝直径的关系

钢丝直径 (mm)	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08
抗拉强度 (MPa)	3300~3700	3350~3750	3400~3820	3580~3980	3700~4100	3800~4200

日本生产的锯断钢丝用线材的质量获得普遍的好评，其主要原因是日本钢企实现了高洁净度的炼钢技术。光伏发电产品的市场需求今后仍将呈现快速发展的趋势，锯断钢丝生产企业间的竞争也将日益激烈。为适应锯断钢丝高强度化和细径化的要求，应该坚持线材的洁净化生产，控制夹杂物产生。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/64236.html>