

## 客户

### 行业

可再生能源

### 组织简档

- 成立于 2001 年
- 2006 年在纳斯达克上市
- 总部设在加拿大安大略省

## 案例摘要

### 挑战

全球最大的太阳能技术和可再生能源公司之一在发现生产的一些薄膜不符合内部标准之后，需要控制氮化硅薄膜的厚度，以提高太阳能电池的表面能效水平。

### 解决方案

通过使用 Minitab® Statistical Software 和 Minitab Engage™ 中提供的强大的图表和分析工具，该公司能够确定薄膜厚度差异的原因并进行纠正。这将最终太阳能电池板的能效提高了 7%，即从 81% 提高到 88%，从而使每年总收入增加超过 10 万美元。

# Minitab 帮助领先的太阳能公司提升能源效率，将年营收提高超过 10 万美元/年

这家 Minitab® 客户是全球最大的太阳能技术和可再生能源公司之一。20 多年来，它一直是太阳能光伏组件的领先制造商和太阳能解决方案提供商。该公司致力于向大型能源买家提供有竞争力的清洁电力，并以在促进可持续发展上的努力而引以为豪。它自 2006 年以来在美国纳斯达克证券交易所上市，并在 2020 年被彭博新能源财经 (BNEF) 评为“最受银行欢迎的制造商”。



### 基于强大统计分析的质量控制简介

该太阳能公司在发现氮化硅薄膜厚度在制造过程中的某个环节发生变化后，使用 Minitab Statistical Software 和 Minitab Engage 帮助其实现了对氮化硅薄膜厚度的控制。使用鱼骨图和其他 Minitab Engage 头脑风暴工具，团队能够缩小可能的变异性原因的找寻范围。然后使用能力分析和控制图来快速确定理想的制造条件。利用 Minitab 强大的统计分析，团队能够采取准确的有针对性措施来补救厚度问题，成功将最终太阳能电池板的能源效率提高了 7%，即从 81% 提高到 88%，从而将每年总营收增加超过 10 万美元。

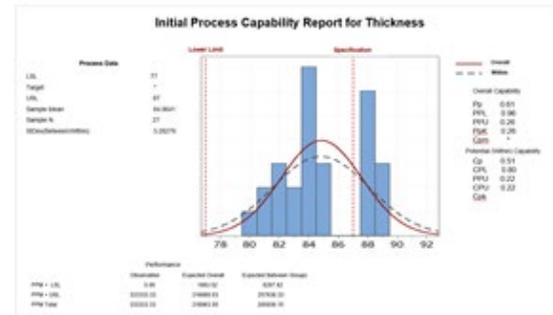
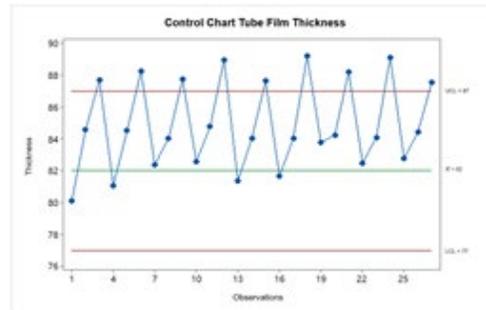
“过去我们使用连续盲测，现在我们终于能够以量化方式检验我们的假设。Minitab 为我们提供了非常给力的帮助。”

负责技术改进和新产品开发的研发经理

## 挑战

因未确定的因子造成制造过程中的不一致。

位于中国上海的一家太阳能公司的研发经理遇到了一个问题。他的团队发现，他们的制造过程在氮化硅薄膜厚度方面产生了不可接受的变异性。他们需要控制薄膜的厚度，以提高太阳能电池的表面能效级别并满足内部标准。理想的薄膜厚度为 77–87 纳米。



如上所示，团队从最初的过程中发现薄膜厚度超过了控制图中所示的上限，并且制造过程存在问题。大部分数据都低于平均值，过程能力也相对较低。因此，当前过程中的缺陷率非常高。



使用的 MINITAB 工具

## Minitab®

审视当前及过往的数据，以发现趋势、找出和预测规律，并揭示变量之间的隐含关系。

## Minitab Engage™

使用了可视化头脑风暴工具来假设变异性原因作出假设，以缩小可能原因的找寻范围。

## 解决方案

项目团队需要分析薄膜厚度高变异性的原因，并且筛选出可能的因子。

### 在生产线上找出根本原因

团队需要确定是测量系统错误还是过程错误导致了薄膜厚度的变异性。他们使用了作为行业标准检验设备的 Topcon 产品检验平台来测量薄膜厚度和折射率。

然后，该团队使用 Minitab 的测量系统分析，确定变异性是否由测量系统本身导致：

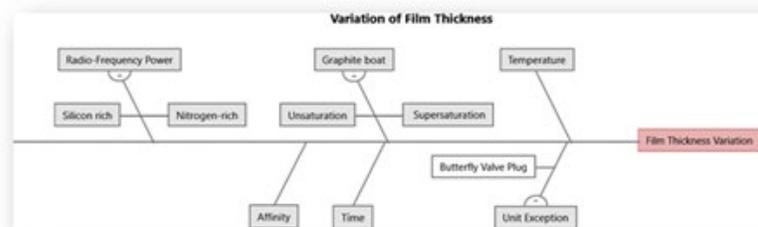
Gage Evaluation			
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0002956	0.0017737	9.16
Repeatability	0.0002694	0.0016166	8.35
Reproducibility	0.0001216	0.0007298	3.77
Operator	0.0001216	0.0007298	3.77
Part-To-Part	0.0032140	0.0192842	99.58
Total Variation	0.0032276	0.0193656	100.00

可区分类别数 = 15

测量的量具 R&R 分析值为 9.16，小于 10%，这表明 Topcon 测量系统满足要求，因此不是导致问题的原因所在。

### 使用 MINITAB 头脑风暴工具缩小可能原因的找寻范围

为了进一步寻找可能的影响因子，团队使用 Minitab Engage 中的鱼骨图（也称为因果图）进行头脑风暴分析。



## 关于晶硅太阳能电池的背景知识

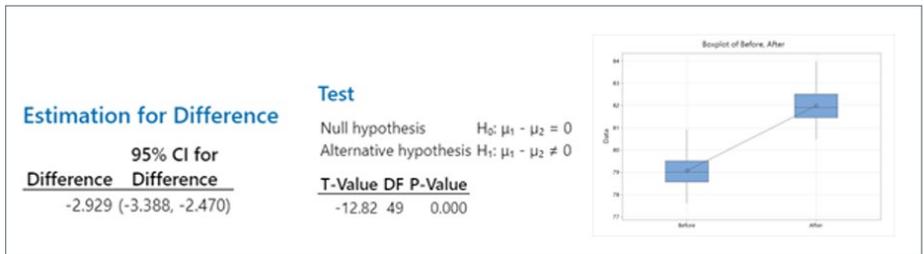
- 在生产过程中，必须减少太阳能电池正面上的反射，并对太阳能电池硅表面进行钝化处理。
- 晶硅的折射率通常为 3.8。如果将光滑的硅表面置于折射率为 1 的空气中，则反射率可达到 30%。
- 在制造过程中，将在硅表面和空气之间插入一层透光介质膜，以减少表面反射。确定正确的薄膜厚度是本案例研究的核心。

## 使用简单的假设检验确定一个原因

基于鱼骨图和该领先企业以前的经验，团队确定了由于设备故障或过程问题而导致氮化硅薄膜厚度变异的两个可能原因：

- 涂层设备中调节流体流速的蝶阀的清洗频率
- 熔炉温度和熔炉内硅的位置

首先，团队调查了涂层设备中蝶阀的清洗是否为问题所在。该团队在 Minitab 中创建了双样本 t 检验，以确认蝶阀清洗的频率是否会造成薄膜厚度的显著差异。



经过分析，团队发现 p 值小于 0.05。这意味着蝶阀清洗前后的薄膜厚度有显著差异，也就是说蝶阀的清洗对薄膜厚度具有显著影响。原因找到了！



### 使用回归分析确定理想温度

为了检验第二个可能的原因（熔炉温度和熔炉内硅的相对位置），项目团队从熔炉的以下三个不同位置记录了实际温度和薄膜厚度数据：分别为 i) 炉口，ii) 炉中部，以及 iii) 炉底部。

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	250.471	83.490	3556.84	0.000
Rel Temp	1	202.861	202.861	8642.25	0.000
Location	2	106.088	53.044	2259.78	0.000
Error	14	0.329	0.023		
Lack-of-Fit	10	0.144	0.014	0.31	0.939
Pure Error	4	0.185	0.046		
Total	17	250.800			

该团队使用了 Minitab 的回归分析（上图）来检验不同的位置和温度以及它们之间的关系。

Regression Equation	
Location	
furnace bottom	Thickness = -116.54 + 0.41367 Rel Temp
furnace middle	Thickness = -116.54 + 0.41367 Rel Temp
furnace mouth	Thickness = -129.43 + 0.41367 Rel Temp

通过上面的回归模型，该团队可以看到，熔炉内硅的温度和位置是显著因子。因此，他们开始着手确定炉口、炉中部和炉底部位置的温度值以及实际温度，以探究这些因子之间的关系。

### 研究结果

利用 Minitab 的能力分析和控制图，该团队确定了产生理想氮化硅薄膜厚度所需的条件：

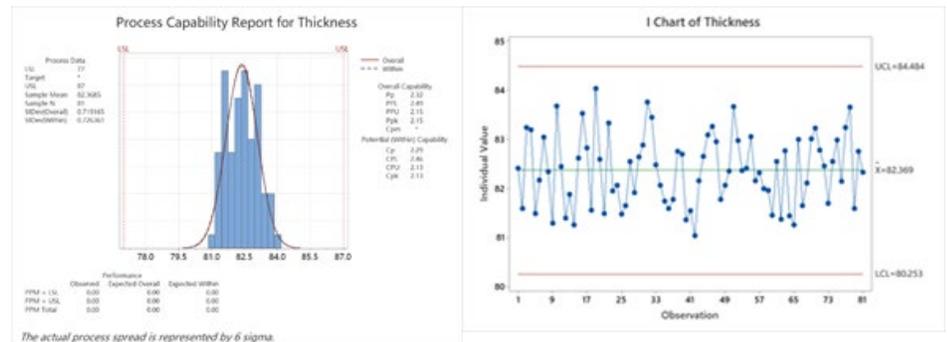
- 每天应清洗蝶阀两次
- 确定了合理的熔炉温度。过程输出显示，三个相应熔炉位置的理想温度设置为炉口 500°C/932°F、炉中部 480°C/896°F 和炉底部 472°C/881°F

“在发现、检验假设、确认和解决问题的不同阶段，Minitab Statistical Software 均见成效，不仅缩短了解决问题的时间，还提高了团队成员决策的信心。”

负责技术改进和新产品开发的研发经理

## 结果

该团队通过统计分析快速找到了过程参数的理想设置。在 Minitab 的回归模型中，调整了过程参数，并且氮化硅薄膜厚度实现稳定输出。团队使用调整的参数设置实施了验证分析，并且过程输出显示，三个相应位置的温度设置为 500°C、480°C 和 472°C 是最理想的。同时，Cpk 的值大于 1.67，并且过程能力指数较高，远超预设目标。



利用 Minitab 强大的统计分析，团队能够采取非常准确的有针对性措施。“过去我们使用连续盲测，现在我们终于能够以量化方式检验我们的假设。Minitab 为我们提供了非常给力的帮助，”团队经理说道。“在发现、检验假设、确认和解决问题的不同阶段，Minitab Statistical Software 均见成效，不仅缩短了解决问题的时间，还提高了团队成员决策的信心。”

通过了解并能够控制氮化硅薄膜的厚度，该团队帮助将电池板的能源效率提高了 7%，即从 81% 提高到 88%。根据当前日产 6048 支单管的产量估计值，此措施每年为公司增加了 650000 人民币（101400 美元）的收入。



# 加速创新：

## MINITAB STATISTICAL SOFTWARE 和 MINITAB ENGAGE

[Minitab Statistical Software](#) 拥有市场上最值得信赖的桌面或云端统计工具集，可充分发挥数据的价值、发现趋势、找出和预测模式、揭示变量之间的隐含关系，并创建令人震撼的可视化，从容应对最严峻的挑战和机遇。

[Minitab Engage](#) 采用功能强大、久经验证的问题解决方法以及头脑风暴、图表和映射工具。Minitab Engage 是一款独一无二的解决方案，可实现想法和创新项目的分配、监管、管理和可见性，从而确保成功执行。

借助这款产品，您可以运用统计、行业领先的数据分析以及动态可视化的强大功能，探索无限可能。

---

### 关于 MINITAB

Minitab 通过提供一套全面的一流数据分析和过程改进工具，帮助公司和机构发现趋势、解决问题和发掘宝贵的数据见解。Minitab 的这些工具除了易用性极佳之外，还使获得深入数据见解变得前所未有的简单。而且，经过专业培训的数据分析专家和服务人员团队可确保用户充分利用其分析做出更好、更快、更准确的决策。

在近 50 年里，Minitab 推出的专有解决方案已帮助诸多组织实现了成本控制以及质量、客户满意度和成效的提升。全世界有几千家企业和机构使用 Minitab® Statistical Software、Minitab Connect™、Salford Predictive Modeler®、Minitab Workspace®、Minitab Engage™ 以及 Quality Trainer® 来发现其过程中的缺陷和机遇并予以应对。Minitab Solutions Analytics™ 是 Minitab 推出的一款专有、集成式方法，提供的软件和服务可帮助组织制定出有助于推动卓越经营的明智决策。

如需了解有关 Minitab 的更多信息，请访问 [www.minitab.com](http://www.minitab.com)。

Minitab® 和 Minitab® 徽标是 Minitab, LLC 在美国及其他国家/地区的注册商标。

有关更多信息，请参阅 [minitab.com/legal/trademarks](http://minitab.com/legal/trademarks)。©2021, Minitab, LLC.保留所有权利