

电池导热胶涂覆工位Cmk整体放行方法研究

张学桐

北京奔驰汽车有限公司 北京 102600

摘要：详细阐述了某型号新能源电池导热胶的生产工艺及技术难点。在分析及实验验证的基础上，提出了一种电池导热胶涂覆工位Cmk（Machine Capability Index）整体放行的方法，完成了涂胶系统工艺一致性研究，实现了设备一致性调整；全面优化了涂胶系数、涂胶轨迹和胶条形状，解决了过量涂胶引发的腔体内爆破性气泡问题以及不合理轨迹引发的闭腔问题。此外，提出了一种大间隙样本制作方法，实现了样本数据覆盖全公差要求。通过实验设计及验证，实现了工位整体放行目标，为行业内导热胶涂覆工艺提供了案例支撑，亦可为新能源电池行业所借鉴。

关键词：电池；导热胶；涂覆；工艺技术

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.12.008

电池导热胶的主要功能是将模组产生的热量传导到电池盒等部件，参与对整个电池包的热管理，其不但影响电池包产品的性能，而且关系到电池在极端条件下（如碰撞）的热扩散性能，关乎人身安全。动力电池在不同放电倍率下存在温升发热导致的温度分布不均及过热现象，使用热物性参数较好的导热胶可以显著降低电池的温升与温差，电池温度分布也更加均衡^[1, 2]。鉴于导热胶对电池产品质量具有至关重要的影响，本文开展了导热胶面积覆盖率的研究，旨在探索最优的工艺及产品质量保证方法。

Cmk是衡量生产过程稳定性和产品质量的重要指标，应用Cmk方法进行制造设备放行在机加工领域较为广泛，在新能源电池制造领域尚不多见^[3]。对于新能源电池导热胶涂覆工艺，目前行业内未调研到使用Cmk方法进行工艺设备放行的先例，且梅赛德斯集团海外（德国、美国）电池工厂均不要求使用Cmk方法放行

（通常选取一定数量的电池样本，要求覆盖率测量结果100%满足公差要求）。然而，基于北京奔驰对于工艺及产品质量的严苛要求，电池导热胶涂覆工位需要进行Cmk放行。

文章所列举对象为本司生产的第二代电池产品，导热胶覆盖率要求严格、工艺技术复杂，使用Cmk方法放行面临巨大挑战。

电池导热胶生产工艺及技术难点

1. 电池导热胶生产工艺

（1）导热胶覆盖率 本文研究对象为10模组电池，每个模组和电池盒之间存在间隙（理论间隙为2.075mm，见图1），间隙内会填充导热胶，导热胶的面积有严格的覆盖率要求。

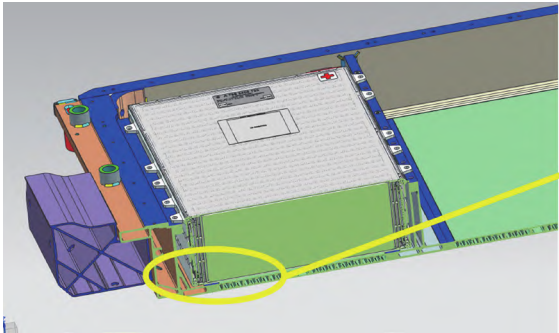


图1 导热胶间隙

模组底面和电池盒底面会形成一个空腔，空腔内涂覆18条胶，每条胶需满足在投影平面内的面积覆盖率要求，如图2所示。

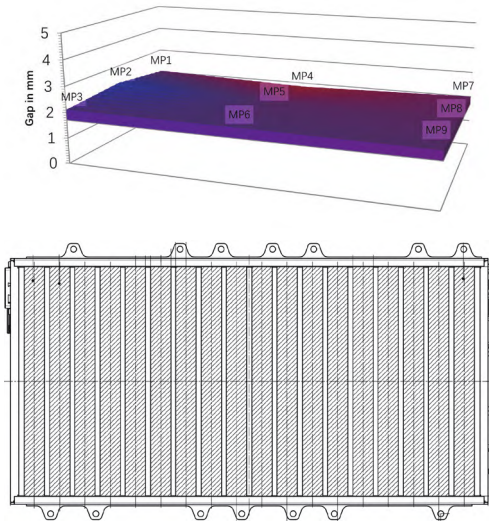


图2 导热胶涂覆空腔及18条胶的分布

对于导热胶的覆盖率，图样给出了详细的要求，根据实际间隙不同，覆盖率有不同的要求。此外，对于第1条胶（M01）、第18条胶（M18）、第2~17条胶（M02~M17）也有不同的覆盖率要求，见表1。

表1 导热胶覆盖率要求

间隙	≤1.5mm	1.5~3mm	≥3.0mm
M01	最小 80%	线性插值 80%~85%	最小85%
M02~M17	最小80%	线性插值 80%~93%	最小93%
M18	最小80%	线性插值 80%~90%	最小90%

(2) 导热胶覆盖率的工艺形成过程 导热胶覆盖率的工艺过程包含零件测量、间隙匹配计算、涂胶参数转化、涂胶实施、压装拧紧、拆解（>24h）、覆盖率测量及数据分析。工艺形成过程如图3所示。

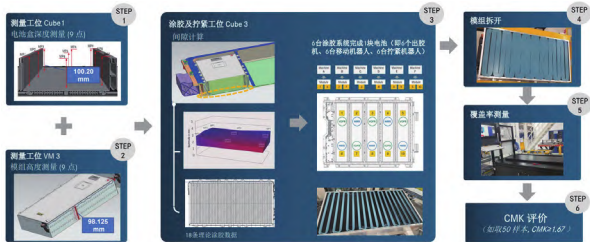


图3 导热胶覆盖率工艺形成过程

电池盒测量9个点的深度，模组测量9个点的高度，二者的测量值匹配计算获得9个间隙值。通过间隙值以及数学算法获得间隙空腔，进一步通过计算获得18个胶条对应的涂胶量（体积），并将此涂胶量的信息输入给涂胶设备。考虑到计算所得的涂胶量与实际状况存在偏差，且涂胶压装过程中胶条形状的变化也不可控，因此，涂胶设备会设置一个体积系数来补偿偏差及形状变化的影响，这个体积系数称之为涂胶系数。

除了涂胶量和涂胶系数，涂胶过程的系统参数还包括机器人运行轨迹、运行速度、胶的温度、出胶管路的压力控制等，整个系统配合完成电池的涂胶过程。

模组底面涂完胶后，机器人会执行翻转动作将模组压入电池盒内，此后会执行压装拧紧的工序，完成电池包的组装。静置24h之后，将模组进行拆解（注：做覆盖率测试之前，须在电池盒底面垫上一层0.1mm厚的薄膜，防止胶条与零件粘连，保证拆解后形状完整），测量模组底面胶条的覆盖面积，评价覆盖率是否满足要求（见图4）。

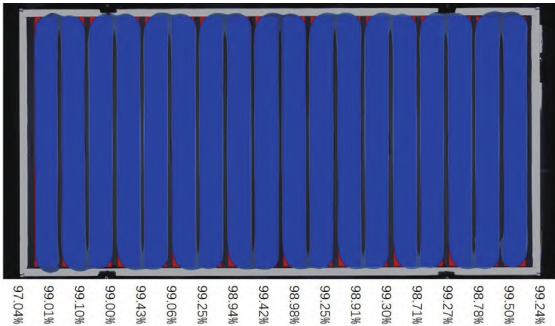


图4 覆盖率测量结果

2. 导热胶Cmk放行的技术难点

(1) 涂胶设备分散 涂胶工位共有6套独立的涂胶系统（涂胶机+模组抓取机器人+压装拧紧机器人），这6套设备共同完成1块电池包产品的涂胶，如图5所示。

对于Cmk放行，按照取样标准，每台设备需选取50组样本，要求Cmk评价的结果 ≥ 1.67 ，达到此目标可完成Cmk放行。实际应用中，如果取50块电池做设备放行会产生巨大的成本，包括零件成本、生产工时成本、返修成本等，这还未考虑到调试实验阶段的成本投入，因此，使用该方法做Cmk放行研究会占用相当长的一段时间周期和巨大的成本，实际生产中无法接受。

(2) 工艺参数多样 9点测量值匹配计算间隙值，9个间隙值通过数学算法生成18条涂胶间隙数据，此数据与实际状况之间的关系，需要通过样本数据实验进行循环优化，保证算法的可靠性与一致性。

胶条压实后，拆开模组测量涂胶面积，需考虑压实过程中的变化规律，进行过程参数优化。

综上，如何通过样本实验优化过程参数，使涂胶工艺过程中的算法模型更加精确的指导生产，是本项目的一个技术难点。

(3) 标准要求精细化 图样给定的导热胶覆盖率要求，不同的间隙值对应不同的覆盖率要求，同一间隙范围，不同的胶条有不同的覆盖率要求，覆盖率数值要求严格，要求的分类方式复杂。

按照Cmk的评价方法，第1条、第2~17条、第18条需要分别取样进行评价。此外，对于每一组，还要保

证样本数据的评价结果覆盖所有的间隙范围。实际生产中，模组和电池盒随机组合，自然出现全部覆盖3组间隙范围样本的概率极小，因此，通过自然匹配间隙的方式获取Cmk放行的全部样本是无法实现的。

技术方法研究

1. 台涂胶系统工艺一致性研究

考虑到使用50块电池样本进行Cmk放行研究带来的巨大经济成本和时间成本，本项目采用6台涂胶系统整体放行（即涂胶工位整体放行）的方法。采用该方法的好处是可以保证电池包产品的10块模组具有较高的涂胶一致性，保证了整体的涂胶质量和性能。此外，该方法可大大降低成本、提高效率、缩短实验研究的周期。

但该方法也带了技术上的巨大挑战，把6台系统的数据混在一起进行分析和评价，无疑忽略了设备彼此之间的差异，如果这个差异较大的话很难实现Cmk整体数据的一致性。因此，首先需要进行6台涂胶设备的一致性研究及调整优化。

通过试验数据，发现3号模组出现整体偏移的情况（见图6），分析原因是涂胶设备的初始位置差异性所致。

将涂胶过程分解，机器人抓取模组涂胶后停在压平前的状态，进行样本分析。结合图样的标准要求，设计并制作检查标准板（见图7），通过比较胶条的中心位置（压制前）来确定调整参数。调整涂胶设备参

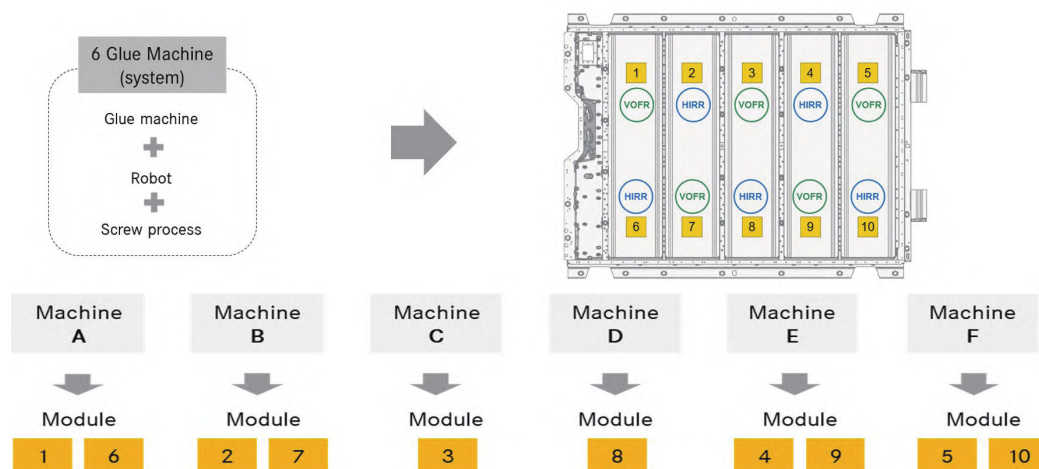


图5 套涂胶系统与模组的对应关系

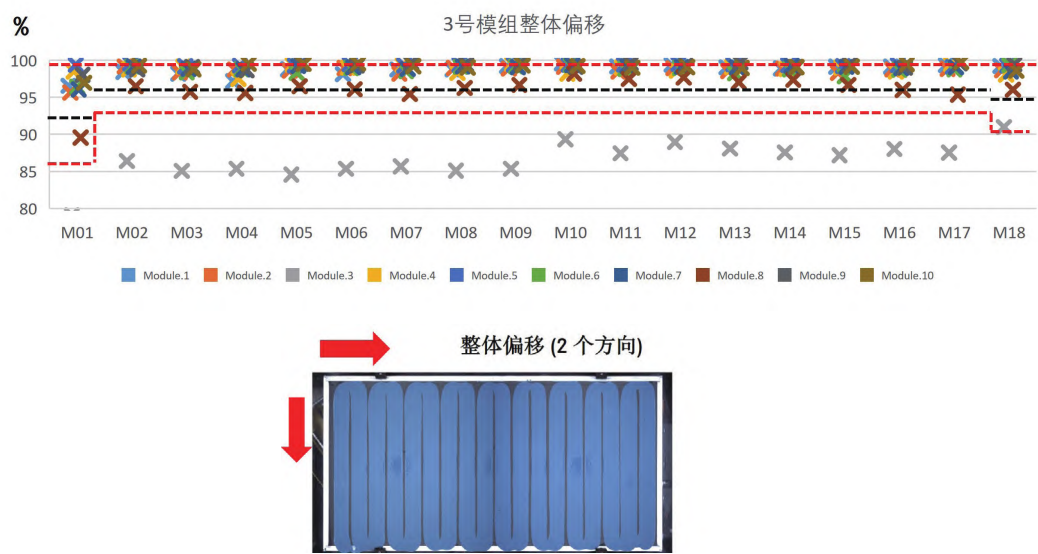


图6 第3号模组数据整体偏移

数并验证结果的有效性。

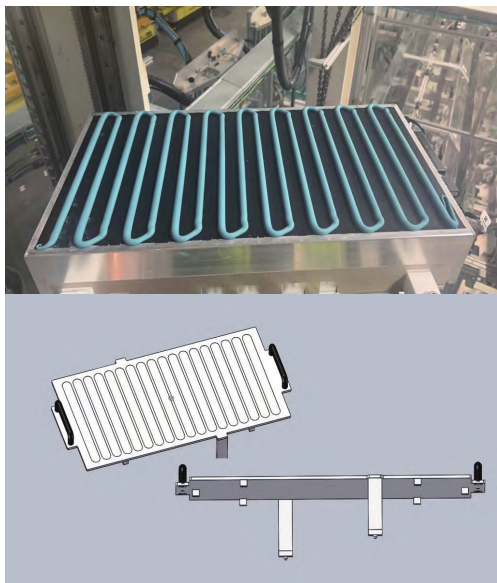


图7 涂胶设备检查标准板

2.工艺参数研究

(1) 涂胶系数研究 前文介绍了涂胶系数是为了补偿理论涂胶量和实际状态之间的偏差。涂胶过程中，很多影响最终覆盖率的因素无法定量解决，只能通过优化涂胶系数进行综合补偿。这些影响因素包括但不限于设备的出胶精度、压装拧紧过程中的胶条形状不规则变化、模组底面材料的影响、空腔间隙的不规则性等（见图8）。

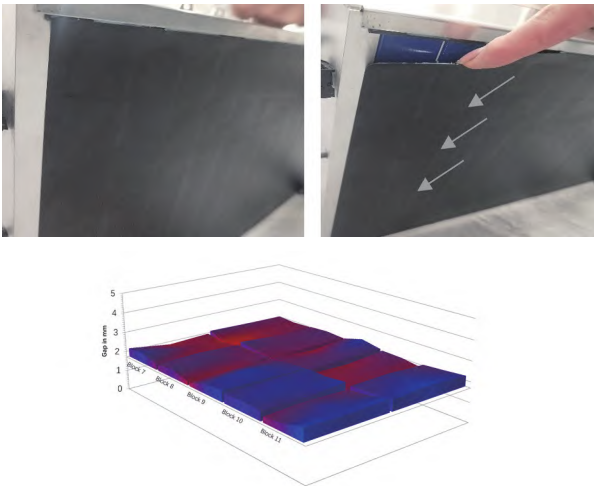


图8 模组底面材料和空腔间隙示意

此外，按照简单的理解，多涂胶（即增大涂胶系数）会增加覆盖面积，但涂胶系数并不是越高越好，相反，过高的涂胶系数会导致覆盖率下降以及引发气泡问题。如图9所示，胶条与胶条过度挤压形成气泡，导致局部覆盖率不足甚至引起导热性能失稳。

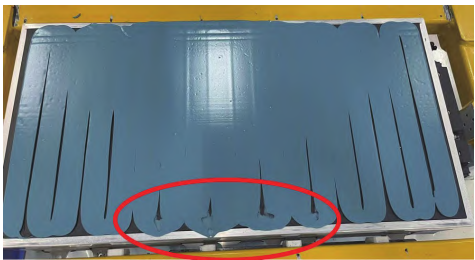


图9 涂胶系数过高引发气泡问题

为了获得一组能够指导实际生产的有效系数，本项目研究了样本覆盖率和涂胶系数之间的关系，设计多组试验参数并通过大量的样本数据建立模型，循环优化涂胶系数。最终的系数设置见表2。

(2) 涂胶轨迹研究 项目实施过程中，发现第1条和第18条存在覆盖率不足且不稳定的状况，即使单独提高此2条的涂胶系数，覆盖率表现并无明显提升。经分析，涂胶起始和终止轨迹会导致第1条和第18条出现闭腔问题（见图10），闭腔后内部气体无法排除，压装过程该空腔内的气体受压缩会挤压周围的胶往外扩散，因此会导致此2处的覆盖率降低。

将起始/终止轨迹从内收改为外延形式，以防止闭腔问题的发生（见图11）。经试验验证，效果良好。

(3) 胶条形状优化 按照图样要求，胶条理论形状为矩形，实际生产中，胶条的涂覆轨迹是连续的（在矩形短边处进行转弯），压装后的形状不可能是4个规矩的直角。如果要保证压装后的面积覆盖4个直角

区域，那就需要胶条轨迹延长一段，但零件上的边缘并没有足够的空间延长，因此无法实现4个直角区域完全的覆盖。

本项目提出建议给德国研发部门，胶条的形状应进行优化（见图12所示圆角）。德国研发部门经过分析认为理论上是合理的，后经过热扩散实验验证，证实改成圆角对产品性能无任何影响，因此同意推动此项变更实施。

2.大间隙样本制作方法研究

前文阐述了导热胶覆盖率的要求，针对每一条胶，对于不同的间隙值，覆盖率有不同的要求。如若满足Cmk放行，样本数据需覆盖所有的3组间隙值，实际生产中，模组和电池盒的配合位置是随机的，实际获得的间隙值不可控。对于零件层级的生产，模组高度和电池盒深度都会控制在尺寸公差的中值附近，也就是匹配出来的间隙值基本上不会出现大于3mm的情

表2 应用于生产的有效涂胶系数

胶条	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
原始	106	112	112	110	110	110	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	110	105
	+7%	+3%	+2%	+0%	+3%	+1%	+4%	+1%	+4%	+0%	+2%	+0%	+3%	+1%	+4%	+2%	+2%	+8%
现在	113	115	114	110	113	111	112	109	112	108	110	108	111	109	112	110	112	113

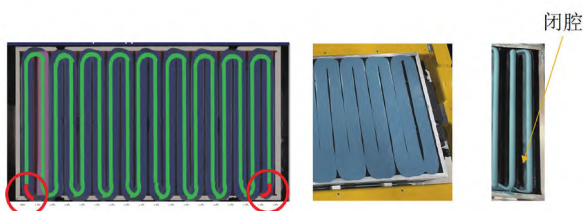


图10 第1条&第18条的闭腔问题

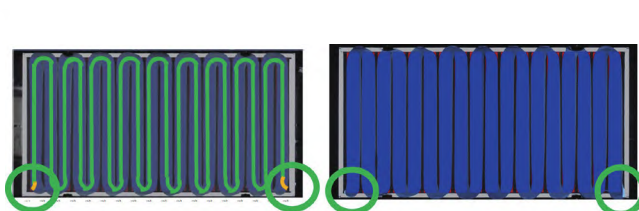


图11 起始/终止轨迹优化

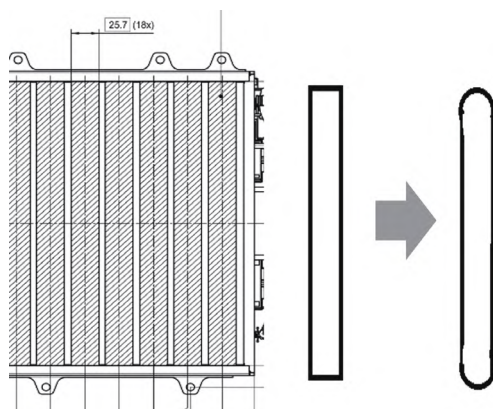


图12 胶条形状优化

况。

为了完成本项目的Cmk放行，需要制造大间隙的样本。经过研究，本项目提出通过增加垫片的方法来获
得大间隙。方案如下：材料选取不易变形的钢材，厚度控制在1.05mm，电池盒与模组所有接触位置全部增
加垫片（连接孔的位置按照图样钻孔），垫片（见图
13）与电池盒采用胶粘的方式，避免松动，加装垫片
后验证测量工位是否干涉、拧紧机器人是否干涉，以
及拧紧过程的扭矩控制是否报警等。

经过试验验证，本文提出的大间隙制作样本方法
满足Cmk放行要求。

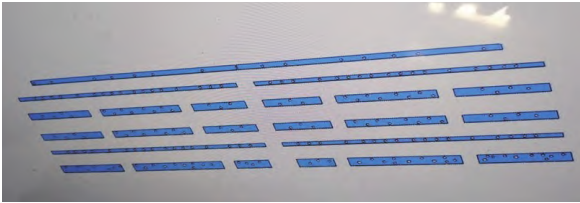
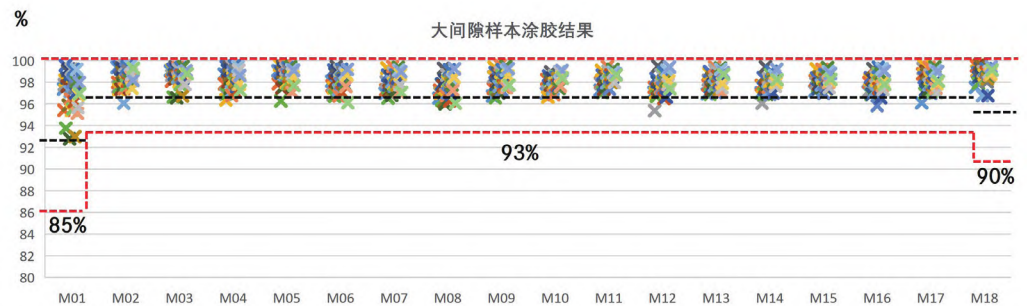


图13 用于制作大间隙样本的垫片

Cmk放行结果

应用上文阐述的原理和方法，本项目完成了电池
涂胶工位Cmk整体放行（见图14和表3）。



a) 大间隙样本涂胶结果

	≤1.5mm	1.5 ~ 3mm	≥ 3.0mm
胶条 M01	(gap ≤ 1.74 mm)	(gap > 1.74 mm)	
胶条 M02-M17	(gap ≤ 2.30 mm)	(gap > 2.30 mm)	
胶条 M18	(gap ≤ 2.92 mm)	(gap > 2.92 mm)	

b) Cmk放行覆盖全部间隙范围要求

图14 电池涂胶工位Cmk整体放行

表3 Cmk放行目标达成

标准分类	平均值 /mm	最小值 /mm	最大值 /mm	数值数目 <下公差限	数值数目 >上公差限	潜在能力 指数	关键能力 指数	总体 评定
胶条 1 (间隙 ≤1.74mm)	97.8756	92.14	99.46	0	-	Cm---91	Cmk=1.97	OK
胶条2~17 (间隙 ≤ 2.27mm)	98.6326	91 .52	99.99	0	-	Cm---91	Cmk=1.67	OK
胶条2~17 (2.27mm≤间隙<2.3mm)	98.8461	93.04	99.88	0	-	Cm--- 91	Cmk=1.67	OK
胶条18 (≤2.92mm)	98.5738	94, .86	99.77	0	-	Cm---91	Cmk=1.97	OK
胶条1 (间隙>1.74mm)	96.9790	92.79	99.54	0	-	Cm---91	Cmk=2.19	OK
胶条2~17 (间隙>2.3mm)	98.0976	95.38	99.58	0	-	C-m--91	Cmk=1.94	OK
胶条18 (间隙>2.92mm)	98.6660	96.75	99.66	0	-	Cm --91	Cmk=3.14	OK

(下转第18页)

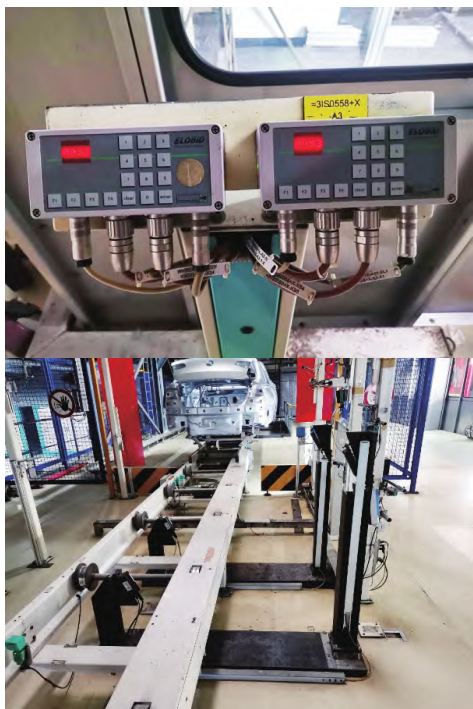


图7 增加备用扫描设备

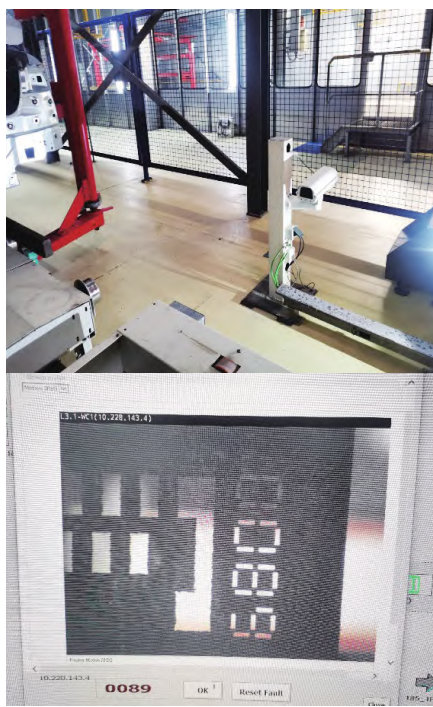


图8 增加远程摄像功能

结语

滑橇扫描装置在涂装车间有着重要的用途，滑橇号与车型数据信息合为一体，为下道工序传递信息，如载具翻转曲线、车身电压程序、涂胶曲线、喷涂颜色及车身跟踪等。经过对滑橇扫描装置一系列优化改进，滑橇扫描故障得到很好地解决，为涂装车间的车身质量改进和生产效率提升做出了重大贡献。

(上接第11页)

结语

1) 提出了6台涂胶机整体Cmk放行的策略，技术上实现不同设备差异性研究及一致化调整，保证了过程的一致性和电池产品的涂胶面积覆盖率的一致性。

2) 涂胶系数、涂胶轨迹、胶条形状全面优化，保证了Cmk的通过。实现了最佳的涂胶系数，解决了覆盖率不足以及过量涂胶引发腔体内爆破性气泡的问题；涂胶轨迹优化后可有效避免闭腔问题发生；胶条形状对提升覆盖率的测量结果有重要影响。

3) 提出了增加垫片制作大间隙样本的新方法，全面覆盖图样要求的间隙范围。增加垫片的方法，对工艺过程进行了二次验证，保证了工艺过程的准确性和有效性。

参考文献：

- [1] 王锡春.涂装车间设计手册.北京：化工工业出版社，2013.
- [2] 曲晓龙，齐兵兵.滑橇设计、制造的一般方法及难点探讨[J].科技创新导报，2011（34）：70，76. **AUTO1950**

4) 本项目的方法和经验可供同行业技术工作者参考和借鉴。

参考文献：

- [1] 刘兵，盘朝奉，袁周红，等.基于导热胶均衡散热的锂电池温度场研究[J].电源技术，2019，43（12）：1979-1983.
- [2] 盘朝奉，刘兵，陈龙，等.锂离子电池温升特性分析及液冷结构设计[J].西南交通大学学报，2020，55（1）：68-75.
- [3] 戴竞，茅卫东.设备能力指数Cmk应是设备管理重要环节[J].设备管理与维修，2014（S1）：89-90. **AUTO1950**