

汽车发动机盖过涂变形问题及对策的系统化分析

刘晋, 李海丰, 陶云磊, 毕成, 刘利超, 梁启斐

奇瑞汽车股份有限公司捷途汽车事业部制造工程部 福建省福州市 350000

摘要: 汽车发动机盖过涂变形的研究, 由来已久。直至今日, 它依然困扰着各大主机厂的工艺工程师们。一则发盖的制作、过涂过程涉及到了众多工艺技术; 二则不同车型的盖千姿百态, 具体的结构和尺寸设计, 无法一概而论。本文从过涂变形发生的受力的来源、遏制对策等角度, 系统性地剖析过涂变形问题。

关键词: 过涂变形; 系统化; 工艺技术; 结构刚性

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.11.006

机盖过涂变形, 一般指机盖自焊装调整线装调完毕, 随车身经过输送, 到达涂装车间并完成所有涂装作业后出现明显变形并严重影响整车匹配的情况。

此问题涉及了众多的工艺技术, 包括但不限于包边工艺、涂装电泳输送工艺、薄板连接工艺、折边胶选型等。

另外, 发盖板材厚度、材料、内外板结构造型、焊点布局等都会对发盖过涂变形程度造成影响。

机盖过涂变形的现象

我们以某车型(以下以A型车指代)的发盖为例。

初期验证时, 因涂装车间工艺路线问题, A车型经历了两种不同的电泳输送过涂方式。

A车型在经过涂装Ⅱ车间后, 发盖前端两侧尖角凸起; 在经历涂装Ⅲ车间后, 发盖前端中央凸起。如图1、图2所示。

且经涂装Ⅲ车间发生的变形量明显低于涂装Ⅱ车间。

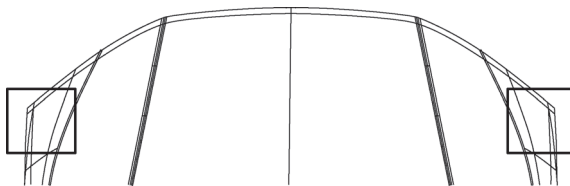


图1 A车型过涂装Ⅱ车间后变形位置

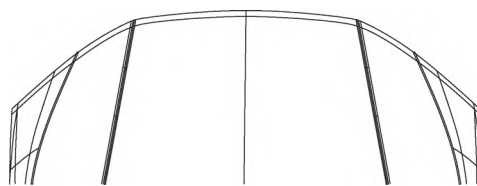


图2 A车型过涂装Ⅲ车间后变形位置

经调查,涂装Ⅱ车间的电泳输送线是ro dip3线体(翻滚线,见图3),而涂装Ⅲ车间使用摆杆链船式输送线(见图4)。两车间除输送线体差异外,工艺过程、参数基本一致。

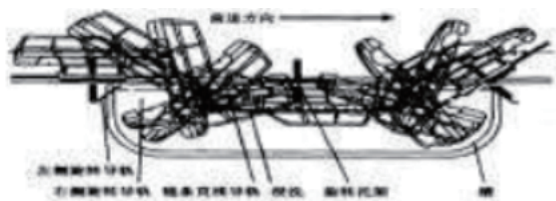


图3 涂装Ⅱ车间ro dip3线体

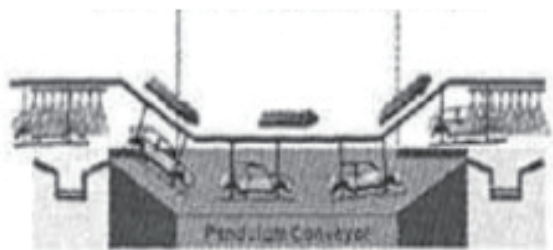


图4 涂装Ⅲ车间摆杆链船式线体

由此可知,不同输送线下,发盖经历的不同液体浸没过程,会受到不同的力量作用,并因此产生不同的变形情况。不同的水流冲击形式是发盖过涂变形的重要原因。

机盖变形的原因分析

力是改变物体形状和运动状态的充分必要条件。机盖出现过涂变形,必定是因为受到了力的作用。力是从哪里来的?

考虑到发盖内的各种胶体,在电泳烘烤前未能起效、电泳烘烤后完全固化(起效)。结合各类验证结果,我们可以确定,发盖过涂变形的主要变形过程是在电泳烘烤结束时完成的。

此阶段,发盖经历的工艺过程有:入涂转运、前处理、电泳以及电泳烘烤。

其中前处理环节有液体冲击(含浸没)过程、化学反应过程。我们只讨论液体冲击影响。

我们可以总结出以下3种最可能的受力变形:

- 1) 转运磕碰——机盖随车转运过程中的磕碰。
- 2) 水流冲击——发盖在电泳、前处理过程受水流的冲击力影响,产生不可逆的塑性形变。
- 3) 受热变形——电泳烘烤时,发盖的受热变形被

固化起效的折边胶、膨胀胶及补强胶片等固定住。受热变形的发盖,无法在强冷降温后恢复原状(也有烤漆硬化的因素);或者折边胶等胶体受热变形进而导致发盖变形。

机盖过涂变形的对策研究

上述三种力是怎么作用到发盖上的?能否降低它们,或抑制、抵消它们的作用结果?只要找到降低这三种力的方法,或者成功抑制它们的作用,我们就可以有效遏制机盖过涂变形。

换言之,解决过涂变形问题,有两种思路。一种思路是降低三种力;另一种思路是抑制三种力的作用效果

1.从降低三种力的角度,研究过涂变形的对策

1) 优化转运过程,避免磕碰 除了特殊车型的生产条件原因,大部分车型白车身都是由专用输送线直接输送至涂装车间,除了人工操作不当,过程颠簸磕碰等问题几乎可以忽略不计。

2) 降低发盖热变形程度、布置膨胀胶时避开热变形较大的区域 常规钢铁材料都具有热胀冷缩的特性。涂装电泳烘烤温度一般160℃以上,而一般胶体固化温度140℃左右。因此就会出现膨胀胶固化时,钣金不一定在正常位置。冷却后钣金也会受膨胀胶固化粘接影响,无法恢复原状。可以通过CAE分析,模拟受热140℃情况,查看发盖变形情况,再观察不同胶体、焊点布局在胶体固化后继续升温、冷却对发盖的影响。这样可以研究、降低发盖烘烤变形的可能。

3) 优化胶品,避免各类胶体烘烤变形过大,带动发盖变形 不同品质的胶体受烘烤发生不同程度的变形,甚至引发四门两盖变形的问题,各主机厂时有发生。相应案例、问题解决过程、各企业标准等早就存在。此处不做赘述。

4) 降低水流冲击时的受力 从车型A过涂装Ⅱ车间、涂装Ⅲ车间变形程度和变形位置不同的案例看,不同的电泳输送线对同一车型发盖的影响不同。简化模型,分析发盖与水流方向夹角在固定流速(输送线速度)下受力。如图5所示。

以常识和验证结果讲,图5所受 $\angle 1$ 越小,发盖正对水流方向的垂直截面积越小,所受冲击越小。套用

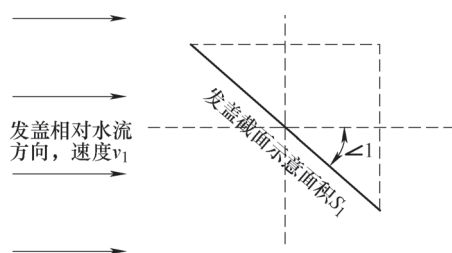


图5 降低水流冲击时的受力示意

到涂装Ⅱ车间。因为rodip3线体为翻滚线体，发盖实际受力正对着水流方向呈90°。所以变形程度也高于涂装Ⅲ车间。

我们也利用这一猜想，在B车型发盖上进行验证。

调整B车型电泳工装高度，降低其发盖开启角度，缩小整车水平运动时发盖与水流方向（相对流动）夹角、入水瞬间与水平面夹角。这一验证最终被证实有效，明显降低了B车型过涂变形程度。过涂前后发盖平度变化最大值由1.5mm降低至0.5mm。如图6所示。

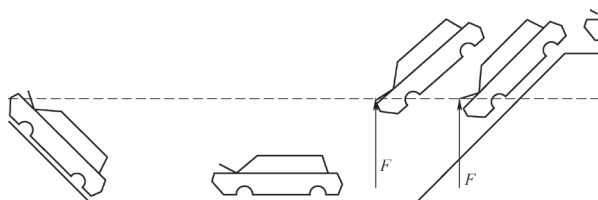


图6 B车型发盖验证示意

2. 从抑制三种力的作用角度，研究过涂变形问题的对策

首先，会对匹配间隙、平度造成影响的变形，必定是检具可以探测出的变形。其发盖边缘相对位置已经发生变化，因此无法通过调整缓冲块来弥补缺陷。如图7所示。既然检具可以检测出过涂变形，那么作为检具基准支撑所在、外板包边支撑所在的内板必定变形。

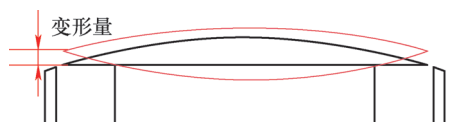


图7 发盖过涂变形量在检具上的体现示意

发盖外板受造型制约，无法大改。若想遏制力的作用，只能从内板总成刚性、内外板连接强度想办法。可总结为以下两种方式：一是提高内板本体或内板总成的抗变形能力（刚性）。如果在包边区无

任何窜动的情况下，发生变形，添加焊点的措施无效。只能直接提高内板总成本体刚性。二是加强内外板包边区域连接强度避免内外板相对窜动（含局部窜动）——包边区连接强度一旦被克服，外板局部“自由”变形，发盖变形程度只会比被克服前更大。

(1) 优化内板、内板总成结构刚性。

1) 更改内板结构，优化内板本体 如图8所示。C车型在内板前端增加加强筋后，变形程度明显降低。C车型发盖的检具测量值的过涂前后平度变化（过涂后测量值-过涂前测量值），由增加加强筋前的，均值+0.9mm、最大变形+1.6mm，降低到均值+0.3mm，最大变形+0.6mm。



图8 C车型手工验证发盖内板增加加强筋，过涂变形明显降低

2) 使用CAE技术，模拟分析发盖过涂过涂变形，趋势与手工验证结果完全一致。如果能将仿真分析更加精细化，缩小分析与验证结果间的差异，过涂变形必定可以在产品研发初期得到有效遏制、规避。

3) 增加电泳工装支点，通过多支点固定方式，减少内板变形 从受力角度讲，发盖电泳时的固定点就是水流冲击下直接的受力集中点。但是支点局部的变形如图9所示，相比较发盖边缘大范围变形、影响匹配效果，更容易被接受。



图9 电泳工装支点局部变形示意

优化内板加强板结构，改善内板总成刚性 常见的发盖内板加强板，多用于加固发盖铰链、加固发盖锁扣。A车型在研究过涂变形优化措施时，研发部门从增加局部刚性的角度，提出了在变形严重区域增加加强

板单独加强该部位的想法。如图10所示。通过CAE增加重力模拟水流正对冲击板件的的分析中，同条件下增加加强板后变形降低到原来的60%。此方案，在后续的D车型正式使用。D车型实际并无明显过涂变形。

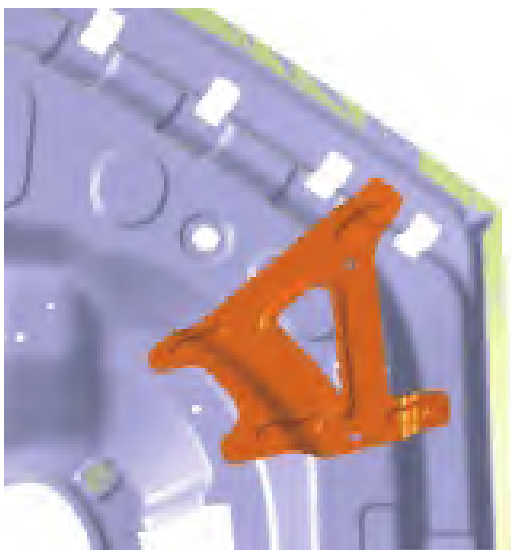


图10 A车型增加加强板抑制变形的方案

D车型未出现明显过涂变形后，我们还交流了不同车型的发盖前端加强板形式。发现，部分车型前端使用大包围加强板，如图11所示。且铝制发盖多用此结构。

参考D车型情况，大包围加强板应当可以更为显著地降低过涂变形情况。

(2) 优化内外板连接强度——连接工艺 发盖总成变形，无论外力如何作用，必定需要克服内外板连接强度。而提高连接强度，最直接有效的方式便是增

加包边后的焊接点位。

从CAE的角度来看，不同的焊接方式在点位布局、焊接长度高度（或直径）相同的情况下，并没有本质差异。在焊接可靠的情况下，焊接位置失效的方式，都是母材撕裂。不同的焊接方式不过是给建立的焊接结构设定不同的弹性极限、强度极限之类物理量。而一般焊接结构的力学性能都要高于母材——全破坏检验合格标准为母材撕裂而焊接结构不开裂。

所以，优化连接工艺的重点，是较高的表面质量、工时要求下，如何实现连接强度的最大化、发盖整体刚度的最大化。

最有效的就是优化焊接位置布局，提高整体刚性，摊薄各处连接的受力，降低连接失效、发盖变形的风险。

1) 单面点焊 增加点位的成本和周期较高，焊接后外板表面极易出现焊接变形痕迹。在外板表面要求高的情况下，极易出现为保证外观降低电流导致虚焊的情况，容易在过涂环节出现脱焊。

2) 激光自熔焊和激光飞行焊 自熔焊和飞行焊，焊接原理相同，热变形小。

两者差异在于焊接设备。飞行焊焊接效率相对更高。

对于后期验证增加焊点时，飞行焊更方便实现。而且飞行焊的焊点造型可以自定义，整体焊接强度好。

3) 阿普拉斯焊 需要预先冲出凸台，成本较高。且后期调试增加焊点相对困难。

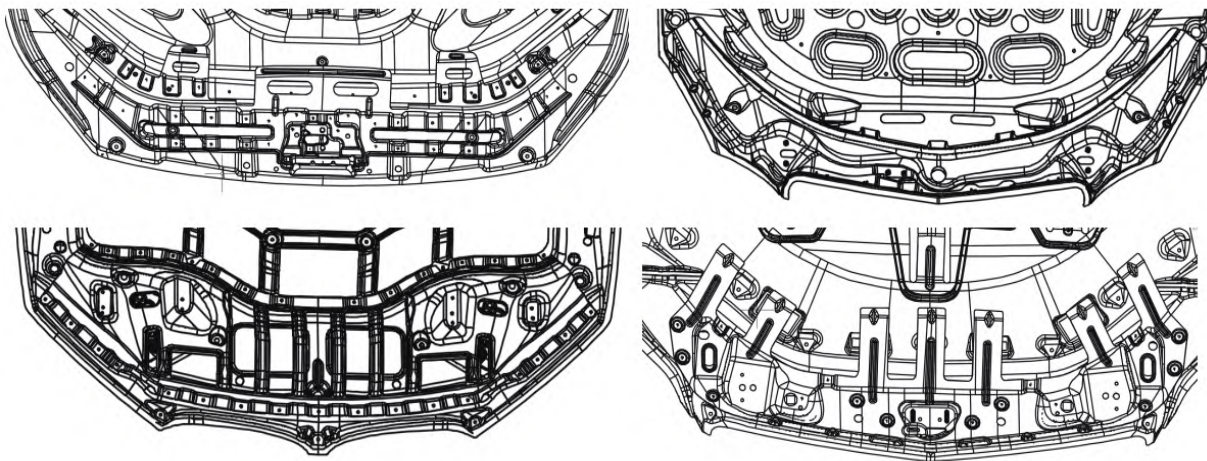


图11 不同车型发盖内板加强板方案示意

4) 二保焊 热变形最大，表面质量最差。后期调试增加焊点时，对工时影响大。

5) 含有玻璃珠的折边胶 玻璃珠成分镶嵌在包边区内外板之间，可以起增加摩擦作用，从而防止窜动。但是当包边压力不足时，玻璃珠难以直接起效。折边胶烘烤固化前，防窜作用不明显。特别是目前主流的包边工艺——滚边工艺。如图12、图13所示。

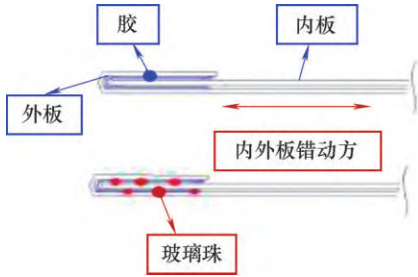


图12 包边区折边胶示意

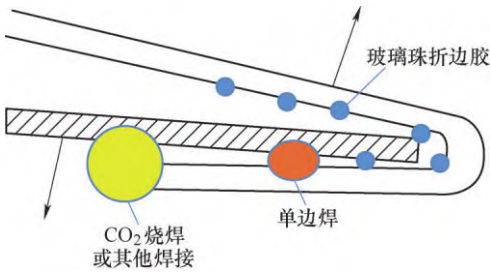


图13 包边压合力不足，玻璃珠失效

6) 连接点位布局 焊接点位越多，发盖整体刚性越好、防窜效果越好。但是工时影响越大。就验证结果而言，B车型在未降低发盖开启角度的情况下，验证增加烧焊点位，从烧焊7点增加至烧焊11点，过涂变形情况由明显好转。过涂前后平度变化均值，由1.2mm降低到0.5mm内。但是依然有个别车辆个别点位存在变形较大的情况。变形最大达1.5mm。最终，B车型以降低发盖开启角度+增加烧焊点位的方式，稳定解决过涂变形问题。

就连接技术而言，推荐使用激光焊。这样后期验证增加焊点最容易实现，且外观质量可以保证。

整体而言，通过CAE方法直接模拟发盖过涂受水流冲击、烘烤变形时的各焊点受力情况，优化焊点分布或增加焊点，实现最少焊点下刚性最佳、焊点周边应力最小，是连接工艺优化的最佳方式。

目前各主机厂发盖多使用滚边的包边工艺，压合力较低。时有滚边后内外板间隙过大问题发生。因而

各种连接工艺其实有个共同的风险点——滚边压力不足导致内外板间隙过大。

内外板焊接之前搭接缝隙过大，都会造成虚焊，存在过涂脱焊、内外板窜动风险。含玻璃珠的折边胶同样会受滚边压力影响失效。

机盖过涂变形的对策实施

我们在实际验证对策的过程中，重点实施或规划了以下4个措施：①增加焊接位置，降低各连接点受力；②优化发盖内板结构，增加内板加强筋；③应用激光焊，降低新车型试制验证期间优化调试的周期和成本；④调整发盖电泳工装，改变发盖入水时与水流方向夹角。

此四项措施中，目前，方案①、方案②、方案④项均已验证且效果良好，方案③已在公司其他车型应用并证实有效遏制过涂变形。此四种方案可以有效降低过发盖涂变形程度。推荐采用。

结语

首先，汽车发动机盖过涂变形是个典型的综合性问题。它涉及到了众多的工艺技术。它后期难以优化的特性表明，它需要从产品结构开发角度整体分析、从源头遏制。

我们在上述众多的验证方案、猜想之外，还提出了“内板造型尺寸对内板刚性影响”的研究分支。如图14、图15所示，我们将常见的发盖分成了3大类（U槽型、大面型、阶梯型），并且结合本公司各类车型发盖的变形情况，研究它们的截面尺寸和变形程度的关联。以期实现从产品内板造型、尺寸角度规避过涂变形。

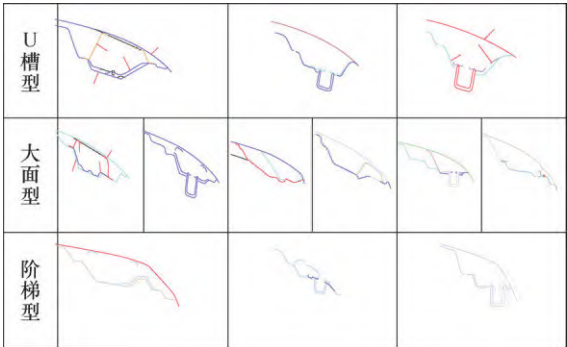


图14 常见发盖前端截面类型分类

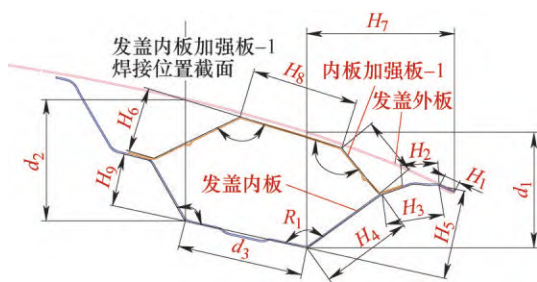


图15 各车型发盖前端截面尺寸分析

只是此数据缺少强有力的、直观的过涂变形分析依据。比如CAE分析结果。在极端情况下，也许某车型发盖会出现“各种已知后期措施均无法遏制过涂变形”的极端情况。包括增加前端加强筋、增加烧焊位置等。我们如何规避这种极端问题？完整地贴近实际情况的前期CAE分析想必可以解决这一问题。

AUTO1950

2024奇瑞全球创新大会盛大开幕

2024年10月18日，以“科技 智驭未来”为主题的2024奇瑞全球创新大会在安徽芜湖拉开序幕。本届创新大会由原来的奇瑞科技DAY升级而来，由一天升级为持续一周的科技创新盛会。当天，活动最重磅的主题大会在芜湖宜居博览中心隆重举办，上千位政府、院校、科研、专家、全球合作伙伴，其中包括600余名国际友人，共同见证这一科技创新盛会。大会系统性的展示了奇瑞在全科技领域上的创新实践和成果，共同探讨对未来汽车发展的深入思考，向全球汽车产业彰显出中国汽车品牌的硬核实力。

中国科学院院士欧阳明高、成会明、赵天寿、刘胜，中国工程院院士卢秉恒、杨善林、潘复生、向锦武等国内外院士专家，以及同济大学、合工大、安徽大学、浙江大学、上海交通大学等高校领导，中国机械工业联合会、中国汽车工业协会、中国汽车工程学会、中国电动汽车百人会等协会领导，寰球汽车集团董事长兼CEO吴迎秋，德国经济学家、德国Car Bochum研究所所长、杜

伊斯堡大学教授费迪南德·杜登霍夫（Ferdinand Dudenhöffer），博世集团董事会主席 史蒂凡·哈通（Hartung Stefan），芜湖市委副书记、市长徐志等市领导、以及来自大连、青岛、福州、贵阳等地政府领导，奇瑞控股集团有限公司党委书记、董事长尹同跃等公司领导，以及众多的行业生态伙伴共同出席了本次活动，与全球网友共同见证技术奇瑞踏上未来科技发展新征程。

正是源于二十七载的持续创新，奇瑞以经得起考验的实力成就技术超越，驱动技术奇瑞不断进阶。奇瑞汽车股份有限公司执行副总经理、汽车工程技术研发总院院长、CTO高新华博士在大会现场表示，经过瑶光2025战略两年的积累和探索，始终坚持科技创新、跨界创新、融合创新的奇瑞，在火星架构、鲲鹏动力、雄狮智舱、大卓智驾和银河生态五大技术领域全面进阶，实现鲲鹏电池、端到端大模型、智舱大模型、飞行汽车、云台智能底盘2.0等10+项重点技术突破，构建起高质量技术价值创新链，推动中国汽车产业走向世界前沿。



AUTO1950