

**Tech-Clarity**

## A&D 行业的复合材料趋势

*发掘节约成本和时间  
的契机*



## 目录

高层概述 .....	3
了解回弹问题 .....	4
回弹问题纠正措施 .....	6
辨别前沿企业 .....	8
避免回弹问题 .....	8
制造规划 .....	10
更改对时间的影响不容忽视.....	12
将编程趋势纳入考量.....	13
结论.....	14
建议.....	15
关于作者 .....	15
关于本研究.....	15
版权声明 .....	16



## 高层概述

复合材料对航空航天及国防 (A&D) 行业的重要性日益凸显。事实上，Tech-Clarity 的“市场复合材料现状” (Composite State of the Market) 研究表明，如今的 A&D 公司正争先恐后地改用复合材料，以期减轻重量、提升性能并改善燃油经济性。该研究还发现，尽管复合材料具有显著优势，但出于材料成本的考虑，各大公司应设法对其进行更深入的了解。这样，他们便可以在设计过程中制定更明智的决策，从而生产出更好的复合零件。这对 A&D 行业尤为重要，有助于缓解整个行业所面临的巨大成本管理压力。

为了进一步研究复合材料在 A&D 行业中的应用，Tech-Clarity 对 181 家 A&D 制造商展开了调查。此次研究聚焦于可能成为复合材料应用瓶颈的两大方面：回弹和制造规划。

---

### ***此次研究聚焦于可能成为复合材料应用瓶颈的两大方面：回弹和制造规划。***

回弹会给 A&D 公司带来巨大问题。回弹属于一种制造缺陷，可能在复合零件固化过程中发生。由于收缩，材料可能会偏离原来的成型形状。发生这种情况时，零件会超出公差范围。根据变形的严重程度，制造商可能不得不耗费额外的时间来校正零件，使其处于公差范围内，然后才能进行组装。在最坏的情况下，他们甚至不得不将零件报废。这导致了大量的时间浪费和超额成本。

---

### ***好消息是，采用复合材料最佳实践能够大幅减小出现回弹问题的可能性。***

好消息是，采用复合材料最佳实践能够大幅减小出现回弹问题的可能性。这里所说的最佳实践包括使用设计指南，以及提供对工程模型中的复合材料数据的直接访问权限，用以传达层级设计信息。

---

### ***制造规划是生产高质量 复合零件的重要一环。***

要生产高质量复合零件，制造规划是另一个至关重要的环节。对于复合材料，严格按照设计生产零件尤为重要。即使是纤维取向的轻微偏差，也会显著影响零件强度。遵循制造规划最佳实践有助于您按设计生产复合零件。其中的一项最佳实践是利用精确的工程模型。此外，制造商应设法实现更改自动化，以避免耗费时间对制造计划进行手动修改。



本报告调查了 A&D 行业中复合材料应用的设计和制造趋势，并提供了应对常见问题的建议，旨在帮助 A&D 公司降低成本。

## 了解回弹问题

回弹是一个相当普遍的问题，许多 A&D 公司都饱受困扰。这已经成为一种司空见惯的现象，人们甚至会想，它究竟对业务有哪些影响呢？调查受访者表示，回弹会导致以下问题：

- 零件报废
- 浪费开发时间来解决回弹问题
- 延长装配时间，用于校正装配过程中出现的回弹或变形

---

***制造商发现回弹问题通常非常严重，  
导致变形超出公差范围。***

---

制造商发现回弹问题通常非常严重，导致变形超出公差范围。发生这种情况时，需要耗费额外的时间来适当调整零件，使它们能够装配在一起。而在某些情况下，变形程度过大，导致无法纠正，最终零件只能报废。考虑到碳纤维的成本，这可能会导致成本的大幅提升。如果公司能够采取妥善的措施来尽可能避免回弹问题，便可以赢得显著的竞争优势。因为他们既能生产高质量的零件，又能避免与回弹问题相关的额外成本。

---

***能够妥善避免回弹问题的公司将赢得显著的竞争优势，因为他们既能生产  
高质量的零件，又能避免回弹问题带来的额外成本。***

---

那么，哪些零件最容易发生回弹问题呢？如图 1 所示，几何体越复杂，就越有可能出现问题。

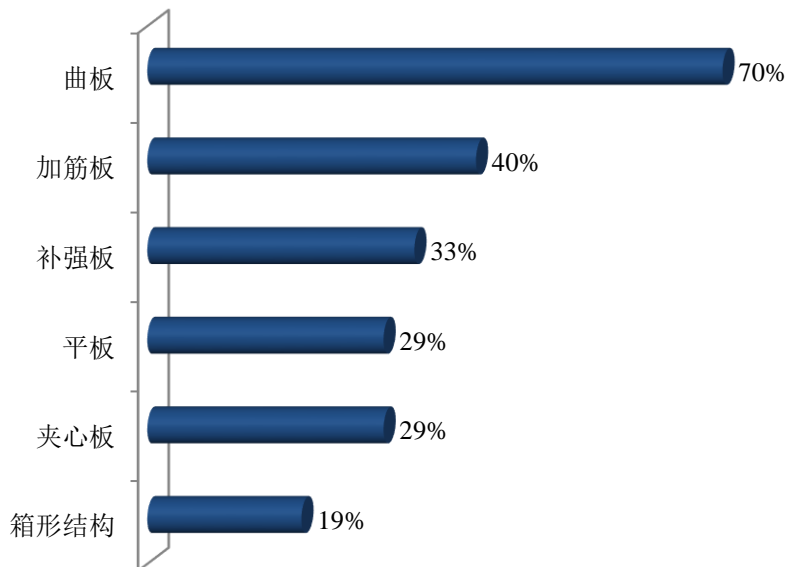


图 1: 可能出现回弹问题的零件类型

多达 70% 的受访者表示，他们的曲板出现了回弹问题。这很容易理解，因为曲率更有可能产生导致变形的内应力。然而，近三分之一的受访者发现即使是平板也遇到了这一问题。

---

*多达 70% 的受访者表示，他们的曲板出现了回弹问题。*

---

回弹问题可能具有重复性，也可能是完全随机的，具体取决于零件的类型（参见图 2）。

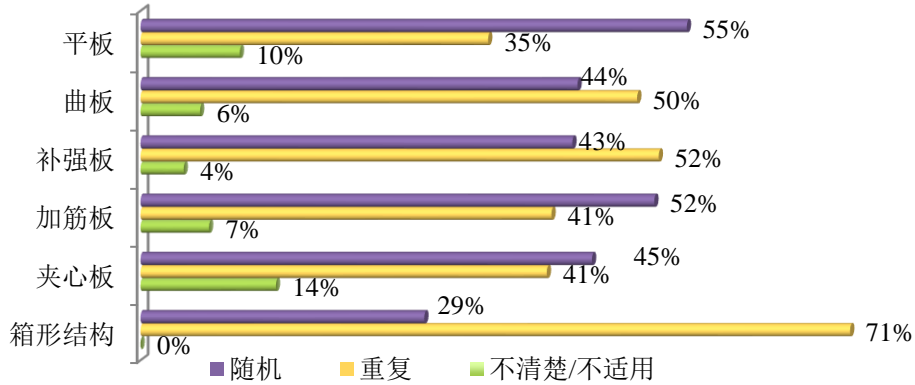


图 2: 回弹问题是随机的还是具有重复性?

造成回弹问题的原因有很多，但最常见的是树脂收缩和纤维偏差。

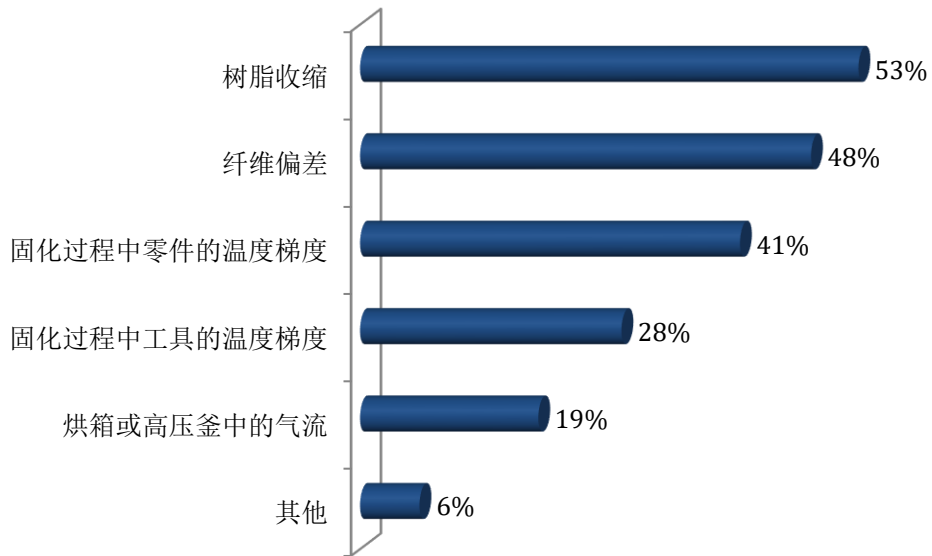


图 3: 回弹问题来源

### 回弹问题纠正措施

出现回弹问题时，A&D 制造商通常会采取几种方法来纠正零件（参见图 4）。

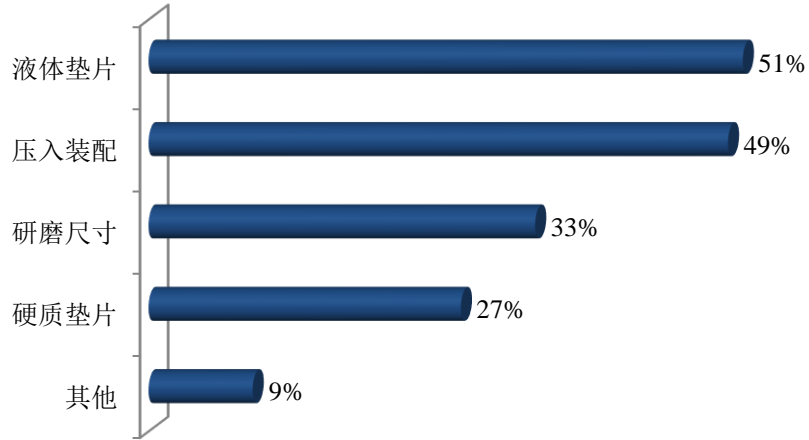


图 4: 零件纠正措施

最常见的方法是使用液体垫片或将零件压入装配。两者都需要在装配过程中采取额外的步骤，因此会耗费额外的时间。图 5 显示了最常见的回弹问题应对方法。

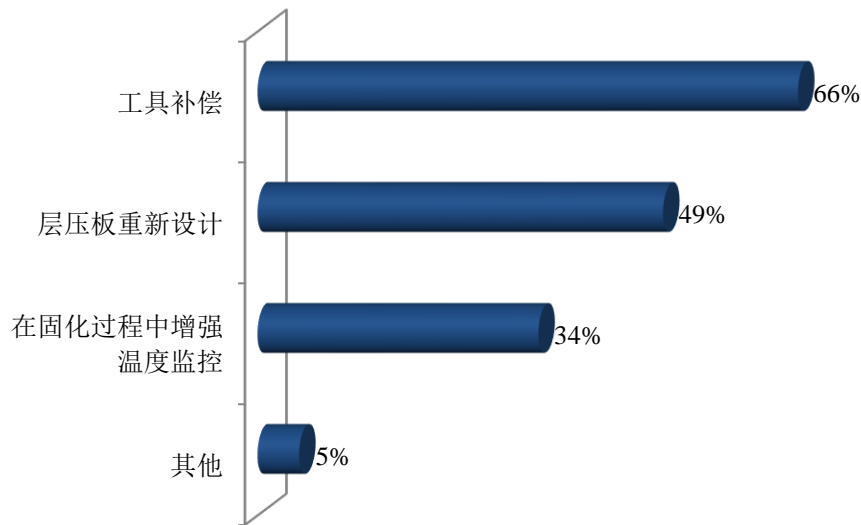


图 5: 回弹问题纠正措施

结果表明，A&D 制造商更倾向于采取最简单快速的方法来更新工具，而不是进行设计调整或持续的流程监控。这进一步说明了各大制造商没有太多时间来处理回弹问题，他们需要快速修复问题。

---

*这进一步说明了各大制造商没有太多时间来处理回弹问题，他们需要快速修复问题。*

---

## 辨别前沿企业

由于回弹问题将带来额外的时间与成本，因此希望节约成本的公司应该更密切地关注这一问题。鉴于问题的普遍性，有必要采取措施来减少其发生次数。一些公司采取了妥善的措施来应对这一问题，如今已经颇见成效。

为了找出其中的最佳实践，Tech-Clarity 研究人员评选出了复合材料绩优企业。这些公司根据其复合零件目标的实现程度进行分类。所用指标包括他们满足以下要求的能力：

- 设计截止日期
- 成本目标
- 产品开发预算
- 生产周期时间

在实现目标方面表现最好的前 20% 的公司被评为复合材料绩优企业，而其他公司则被标记为一般企业。根据这些结果，复合材料绩优企业能够更好地管理其流程。因此，他们避免了导致计划推迟和成本上涨的意外情况。

## 避免回弹问题

如上所述，复合材料绩优企业能够避免意外问题，因此他们可以大幅减小出现回弹问题的可能性（参见图 6 和图 7）。

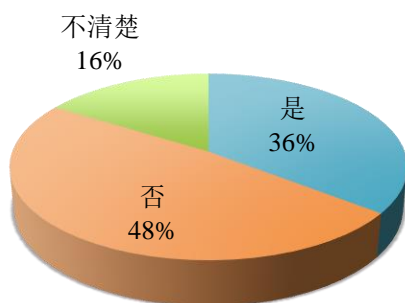


图 6：复合材料绩优企业

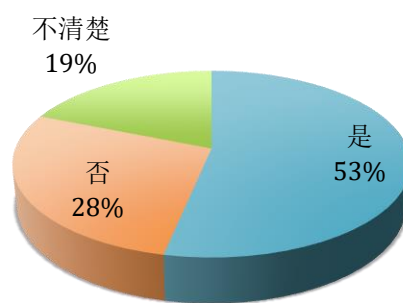


图 7：复合材料一般企业

与一般企业相比，复合材料绩优企业遇到回弹问题的可能性低 32%。显而易见，他们采取了妥善的措施来有效减少回弹问题的发生次数。



---

**与一般企业相比，复合材料绩优企业遇到回弹问题的可能性低 32%。**

---

最大的差异在于设计指南的使用。复合材料绩优企业使用设计指南的可能性比一般企业高 41%（参见图 8 和图 9）。这表明在设计流程中提前掌握更高质量的信息有助于显著减少回弹和变形问题的发生次数。

---

**复合材料绩优企业使用设计指南的可能性比一般企业高 41%**

---

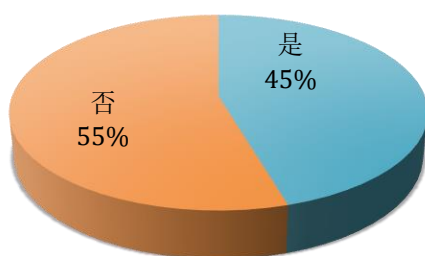


图 8: 复合材料绩优企业使用设计指南

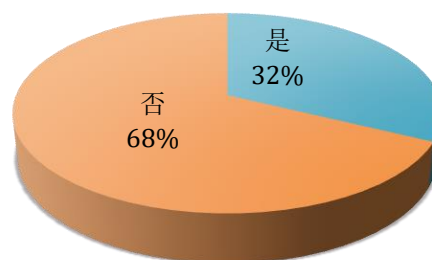


图 9: 复合材料一般企业使用设计指南

有趣的是，除了性能类别之外，只使用一种纤维、工具、模具和成型材料的公司遇到回弹问题的可能性更小。由于他们专注于某一类型，因此可以积累相关专业知识并制定指南，因而更容易避免回弹问题。

另一方面，采取多种方法并使用不同纤维、编织结构及工具的公司能够提供更多选择来满足不同的应用需求。然而，他们却难以积累内部专业知识和制定指南来避免回弹问题。因此，他们遇到回弹问题的可能性更大。

许多没有回弹问题困扰的制造商提供了一些应对建议。这些建议主要分为四个方面：

- **实验：**调整零件
- **制造调整：**调整生产参数，并密切监控冷却和固化过程
- **经验：**依靠专业知识制定合理的设计决策
- **设计和分析：**基于分析和计算制定设计决策

这些都是有助于避免回弹问题的好建议，并且各有利弊。

前两种方案在生产过程中进行。以实验建议为例，某制造商建议，“*调整复合零件的局部方向和树脂。*”尽管这将增加提升产能所需的时间，但进行规划并在实验过



程中吸取经验教训有助于生产更高质量的零件。不过，实验会造成浪费，导致成本增加。

制造调整也具有类似的优势。另一家制造商建议，“*通过使用适当的工具和方法，允许一定的固化周期，并对释放后的组件使用适当的夹具，我们成功避免了回弹问题。*”与实验类似，此建议能够解决问题，但在进行调整以确定变量的最佳组合的过程中，可能会产生过多浪费，带来额外的成本。

后两种方案在设计过程中进行。对于这两种方案，经验至关重要。正如一家制造商所说，“*我们拥有内部专家，同时还与外部专家开展合作，他们深知如何通过设计合适的工具来避免回弹问题。*”然而，积累专业知识需要时间，而随着这些专家逐渐接近退休年龄，这些知识也可能流失。外部资源也是一种宝贵的资产，但是等待其反馈会减慢设计速度。

许多受访者表示，他们会在开发过程中解决回弹问题，而计算是关键所在。一家制造商说道，“*我们会在设计过程中考虑回弹问题。我们还使用分析来避免各种问题。*”这一方法可能会使设计时间有所增加，但与在生产现场运行同类实验相比，运行仿真可以节省时间。此外，这还有助于避免成本高昂的浪费。

---

***研究还表明，内置智能技术来提供设计指导的软件解决方案有助于实现时间与成本的双重节约。***

---

所有这些建议都表明，制定和遵循指南至关重要。这也进一步说明了为何设计指南是绩优企业的一大竞争优势。研究还表明，内置智能技术来提供设计指导的软件解决方案有助于实现时间与成本的双重节约。

## 制造规划

工程工作完成之后，零件便可以投入生产。对于复合材料，设计模型与生产零件之间的联系尤为重要。即使是纤维方向的轻微调整，也会对零件强度造成显著影响。因此，生产零件必须尽可能与设计模型一致，否则可能无法满足设计的工程标准。制造规划是确保零件正确生产的关键步骤。大多数生产复合零件的公司都有一个用于复合零件的制造规划系统（参见图 10 和图 11）。

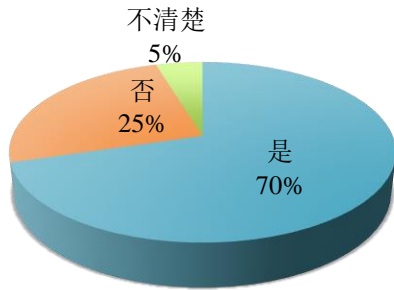


图 10: 您是否使用制造规划系统?

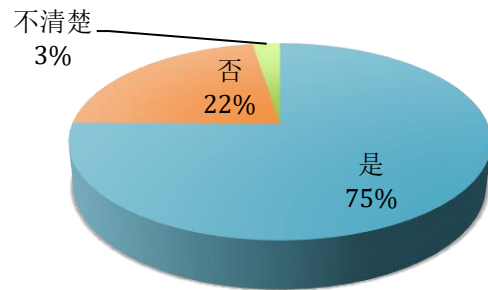


图 11: 使用制造规划系统的企业是否将其用于复合零件?

**与一般企业相比，复合材料绩优企业提供对工程模型中复合数据的直接访问权限的可能性要高 84%。**

大多数公司使用多种方法将层级设计数据传达给制造部门。总体而言，2D 图纸是最常见的方法。然而，与一般企业相比，复合材料绩优企业提供对工程模型中复合数据的直接访问权限的可能性要高 84%（参见图 12）。

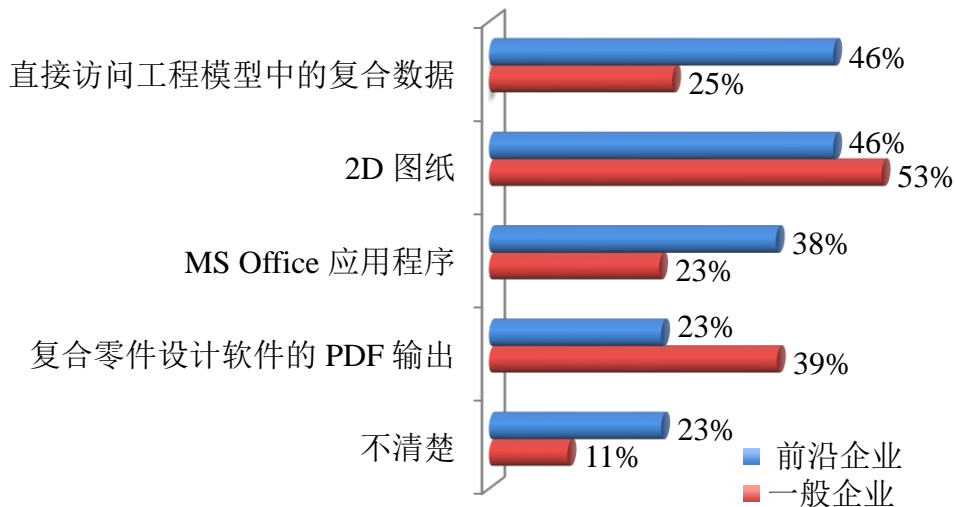


图 12: 制造规划方法

使用工程模型能够显著节省时间，并且最大限度地降低误解或错误的可能性。然而，必须部署正确的技术，才能发挥应有的作用。为了进一步利用工程工具，大多数 A&D 制造商使用设计工具来为复合零件创建视觉辅助工具，但许多制造商也在使用 Office 应用程序（参见图 13）。

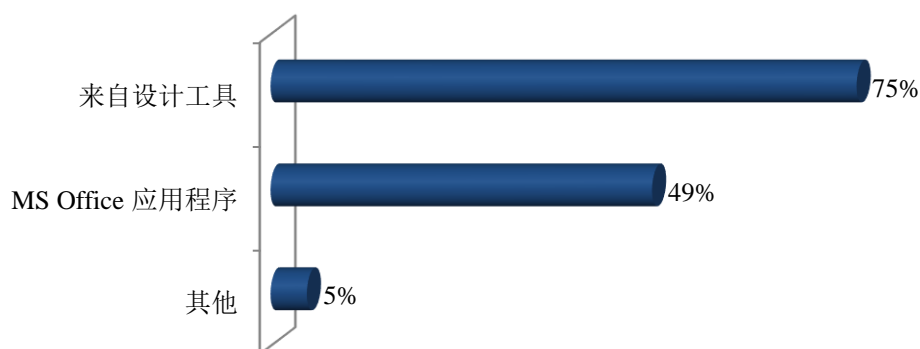


图 13: 复合零件制造流程

---

*使用工程模型能够显著节省时间，  
并且最大限度地降低误解或错误的可能性*

---

通过直接从设计工具获取信息，您可以重用更多的信息，而无需重新创建。这不仅节省了时间，而且降低了出错风险。

### 更改对时间的影响不容忽视

制定制造计划是生产高质量零件的关键环节。制定计划需要大量时间，而进行更改几乎也需要同样多的时间。总体而言，将计划准备到位需要一天多的时间。而对于大多数公司来说，实施更改的过程目前主要依靠手动完成（参见图 14）。

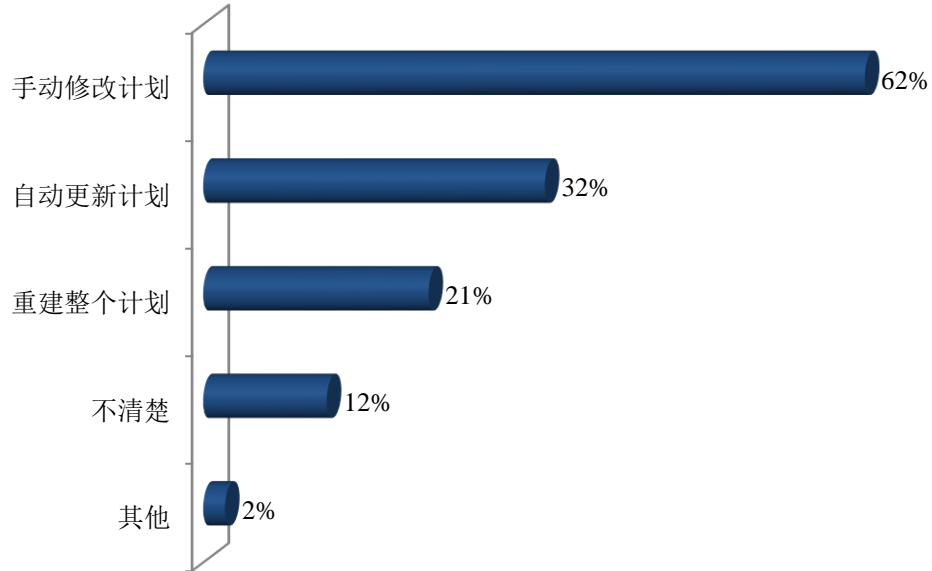


图 14: 如何在制造流程计划中实施更改

83% 的受访者表示其更改流程为手动流程，而如今他们有机会减少在制造计划（尤其是更改）上花费的时间。凭借更高度度的自动化，您无需浪费时间进行手动更新，可以更专注于零件的生产。

---

*83% 的受访者表示其更改流程为手动流程，而如今他们有机会减少在制造计划（尤其是更改）上花费的时间。*

---

### 将编程趋势纳入考量

很多制造商通过创建程序来进行自动纤维布设（参见图 15）。

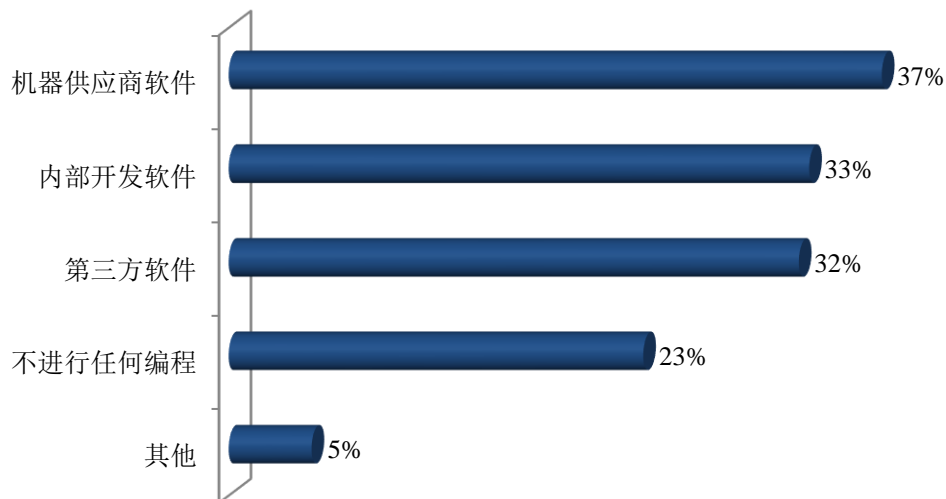


图 15: 如何创建程序以进行自动纤维布设

使用机器供应商的软件是最常见的方法，但如今内部开发软件与第三方软件各占半壁江山。A&D 制造商倾向于使用来自 2.2 个不同供应商的自动铺层机。在这种情况下，更改并不容易，因为需要花费 0.7 天的时间来更改自动铺层程序。

## 结论

许多 A&D 公司已转向复合材料，以便改善性能以及燃油经济性。然而，A&D 行业也面临着巨大的成本削减压力。通过解决回弹等制造缺陷并改进制造规划，A&D 公司能够充分利用复合材料的优势，同时实现设计、生产效率和成本的多重优化。

回弹问题是导致额外成本和浪费的一个重要来源。通常，回弹会导致零件超出公差范围，使制造商不得不耗费时间纠正零件，甚至会造成零件报废。通过采用设计指南等最佳实践，A&D 制造商可以从根本上避免回弹问题。

---

***通过采用设计指南等最佳实践，A&D 制造商可以从根本上避免回弹问题。***

---

采用最佳实践进行制造规划是 A&D 制造商提高质量的另一种途径。复合零件必须按照设计要求进行制造，才能确保预期性能。通过利用工程复合模型进行制造规划以及自动进行更改等实践，A&D 制造商将能更好地按照设计生产零件，并避免出现质量问题。



## 建议

基于行业经验和这份报告的调查，Tech-Clarity 在此提供以下建议：

- 在设计过程中重点关注潜在回弹问题。
- 利用设计指南避免回弹问题。
- 考虑可提供嵌入式智能来提供指导并改善决策的解决方案，以减少回弹问题的发生次数。
- 通过工程模型将层级设计数据传达给制造部门。

## 关于作者

米歇尔·布歇 (Michelle Boucher) 是市场调查企业 Tech-Clarity 工程软件研究部门的副总裁。米歇尔在工程、市场、管理领域拥有 20 多年工作经验，并担任过分析师。她的项目经验非常丰富，涉及产品设计、仿真、系统工程、机械电子、嵌入式系统、PCB 设计、提高产品性能、流程改进以及批量定制等。她以优异的成绩获得了巴布森学院的 MBA 学位，还以出色的成绩获得了伍斯特理工学院的机械工程学士学位。

米歇尔初入职场时，曾在 Pratt & Whitney 和 KONA（现为 Synventive Molding Solutions）企业担任过机械工程师相关的多个职位。她后来进入了著名的 MCAD 和 PLM 解决方案提供商 PTC 企业，并在那里工作了 10 年以上。在那期间，她担任过技术支持、管理和产品市场营销等多个职位，并深入了解了终端用户的需求。她随后又进入了注模仿真领域的市场巨头 Moldflow Corporation 企业（后来由 Autodesk 收购），担任技术市场营销职位。在那里，她负责帮助确定产品定位和上市消息。随后，米歇尔加入了 Aberdeen Group 企业，工作内容涵盖产品创新、产品开发和工程流程，后来负责管理产品创新和制造工作。

米歇尔是一位经验丰富的调查员和作者。她曾制定过 7000 多种产品的开发标准，并发布了 90 多篇关于产品开发实用方案的报告。她关注于帮助企业管理当前复杂的产品、市场、设计环境和价值链，从而提高利润率。

## 关于本研究

Tech-Clarity 收集并分析了 181 多家企业对网络调研“设计和生产复合零件”的回答。这些调查反馈由 Tech-Clarity 通过直接电子邮件、社交媒体、合作伙伴和在线贴文收集。Tech-Clarity 还采访了一些前沿制造商的领导，分享了他们的经验和知识。



受访者中大约有一分之三 (35%) 是个人受访者，近一半 (45%) 是经理或主管层，而剩下的 20% 是副总裁或管理层。

受访者所代表的企业收入规模大小不同，其中 36% 来自小型企业（收入为 1 亿美元以下），32% 来自中型企业（收入为 1 亿美元至 10 亿美元），32% 来自大型企业（收入为 10 亿美元以上）。所有企业收入规模都使用美元等量计算。

在受访企业中，所有企业 (100%) 均来自航空航天及国防行业。

根据反馈，受访者们在全球开展业务，其中超过三分之一 (39%) 的企业在北美开展业务，不到一半的企业 (45%) 在西欧开展业务，不到三分之二 (61%) 的企业在亚洲开展业务，还有一些企业的业务分布在东欧 (15%)、中东 (9%)、拉丁美洲 (8%) 和澳大利亚 (6%)。

分析中仅收录了直接参与复合材料设计和/或生产的受访者的回答。

## 版权声明

严禁未经 Tech-Clarity, Inc. 明确书面授权使用和/或复制本材料。本报告可由西门子分发。