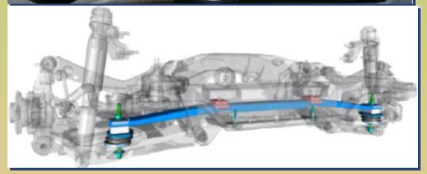
复合材料板簧研发项目策划

2.1 部分典型应用案例车型调研

国外

沃尔沃XC90





奥迪





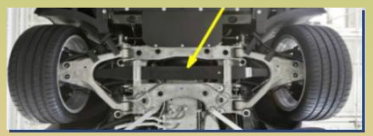
奔驰凌特





科尔维特





国内

陕汽HD01



江淮星锐



苏州金龙海格



上汽大通G10



树脂板簧在欧美已广泛应用，但受限于技术和成本，国内应用较为缓慢。潜在应用车型：**中重型卡车前悬、微型轻型卡车前后悬、轻中型客车前后悬、微型面包车前后悬、部分横置簧的独悬车**。

1 项目背景

2 项目现阶段进展

3 项目目标

4 项目工作内容

5 项目研发方案、资源、投入产出与风险

1 项目背景

轻量化是汽车发展趋势之一：新GB1589要求重卡车辆载重由55吨变为49吨，**政策上要求商用车企业轻量化；**相关试验研究表明，商用汽车质量减 轻 10%，纯电动车续航里程增加13.8%，动力性提升10%，能耗降低7%，转向力减小 6%，制动距离减少 5%，排放减少 4%，行驶稳定性更好，**性能上要求商用车企业轻量化。**（**动力性指标：**最高车速、最大爬坡度、加速时间三大指标。）

复合材料板簧是汽车轻量化技术的关键零部件之一：复合材料密度约是钢材料的25%，轻量化效果显著；复合材料板簧配套由国外供应商垄断，国内技术不成熟，处于技术发展瓶颈期；以2016年整车销量基数计算，复合材料板簧市场容量2307.3万片/年，按均价200元/片计算，市场超过46亿元。

复合材料板簧具有轻量化效果显著、底盘关键部件、市场前景好的优点，率先开展产业化研究，抢占利润亮点，掌握整车核心零部件技术，可获得新能源商用车发展先机。

2.2 复合材料板簧市场前景分析

以2016年商用车销量365.13万辆、微面销量213万辆、MPV&SUV销量1154.4万辆为基数计算，复合材料板簧潜在应用车型销量分布。

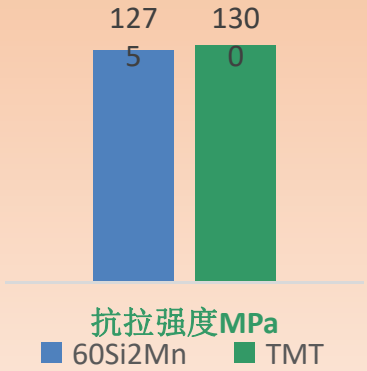
车型	销量（万辆）	潜在使用复合材料板簧车型比例（%）	每车复合材料簧片数量（片）	复合材料簧片潜在市场容量（万片）
大型客车	9.04	10	4	3.616
中型客车	9.94	50	4	19.88
轻型客车	35.36	90	4	127.296
重型货车（前簧)	73.29	90	2（仅考虑前悬）	131.922
中型货车（前簧）	22.91	90	2	41.238
轻型货车	153.98	95	6（后簧主副簧）	877.686
微型货车	60.61	90	6（后簧主副簧）	327.294
微型面包车	213.00	90	4	766.800
MPV&SUV	1154.4	1	1（横置簧片）	11.544
总计				2307.276

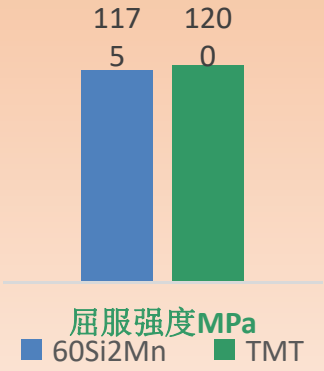
复合材料板簧整车配套潜在市场容量2307.3万片/年，单片按均价200元/片（单片簧片均重2.5kg，按产业化后价格计算）计算，市场潜力超过46亿元。

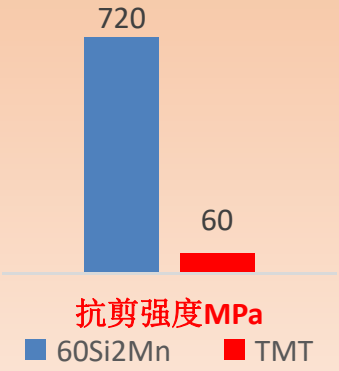
2.3 复合材料板簧性能研究

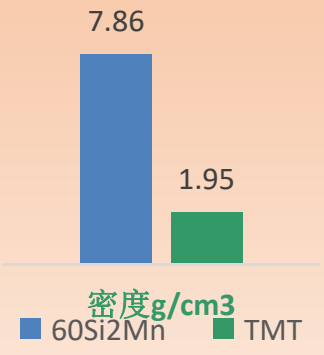
TMT复合材料与60Si$_2$Mn材料进行5个主要性能对比，其中复合材料4个指标优于钢材料，1个指标（抗剪强度）劣于钢材料，复合材料作为弹簧材料优于钢材料，作为传递剪切力部件劣于钢材料。通过设计横向导向机构的措施，可以解决复合材料抗剪强度弱的问题。

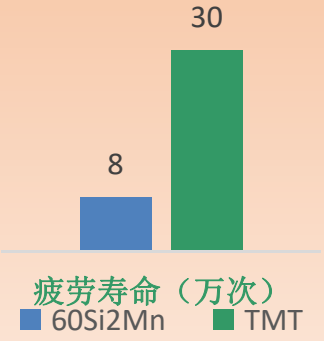
主要性能	60Si$_2$Mn	玻璃纤维增强环氧树脂（TMT）
抗拉强度MPa	1275	1300
屈服强度MPa	1175	1200
抗剪强度MPa	720	60
密度g/cm3	7.86	1.95
疲劳寿命	>8W	>30W











2.4 现阶段进展总结

① **技术可行性分析：**复合材料板簧密度约是钢材料的25%，**轻量化效果显著**；复合材料横置板簧已广泛应用，**具备性能条件**；相关研发机构已经完成具有导向机构的纵置板簧结构方案，基本满足性能要求，**具备技术条件。**

② **能力提升分析：**板簧部件作为整车不可或缺的弹性元件，复合材料板簧应用技术处于国内瓶颈、国外垄断时期，**具备核心零部件定位条件。**

③ **盈利能力分析：**具有整车厂配套资源，市场容量超过2300万片/年，产值超过46亿元，**具备产业化价值**；参照本特勒TX5采购价估算，产业化后不高于钢板弹簧，国产化后利润预计不低于30%，年利润超过10亿元，**具有高利润潜力**。

④ **知识产权保护：**完成4个专利申报，设计横向导向结构（**一种复合材料副簧的板簧总成及悬架系统；一种复合材料主副簧结构的板簧总成及悬架系统；一种使用复合材料板簧的新型导向机构悬架系统；一种板簧卷耳加强结构**）。

3 项目目标

通过复合材料板簧产业化研究，掌握核心技术，实现自主复合材料板簧研发和制造，打破国内发展瓶颈、国外垄断技术局面，板簧实现**“减重适当加价”**的目标：

① 对主副簧结构板簧采用三片簧结构，实现**减重55%**以上；对于非主副簧结构板簧采用两片簧结构，实现**减重50%**以上，**产业化后成本微高于钢材料板簧。**

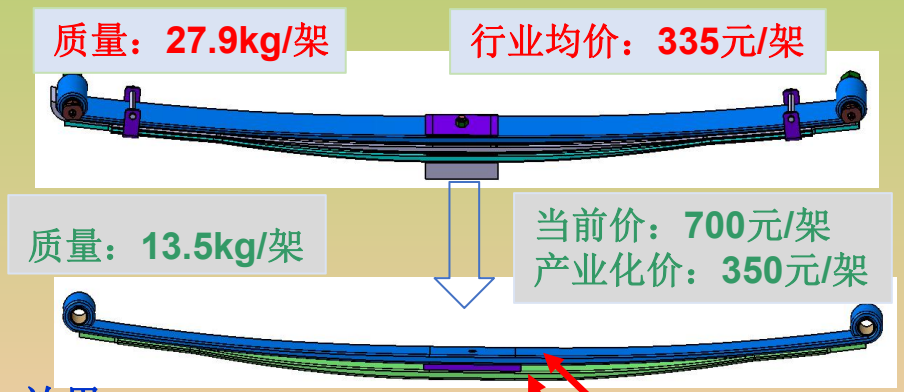
② 掌握复合材料板簧悬架的研发、设计和生产能力，提升新能源商用车**核心竞争力。**

③ 具备不低于100万片/年的产能，满足吉利集团所有车型100%的板簧需求；产值不低于5亿元，利润超过1亿元。

3 项目目标

3.1 复合材料板簧研发第一个目标解析

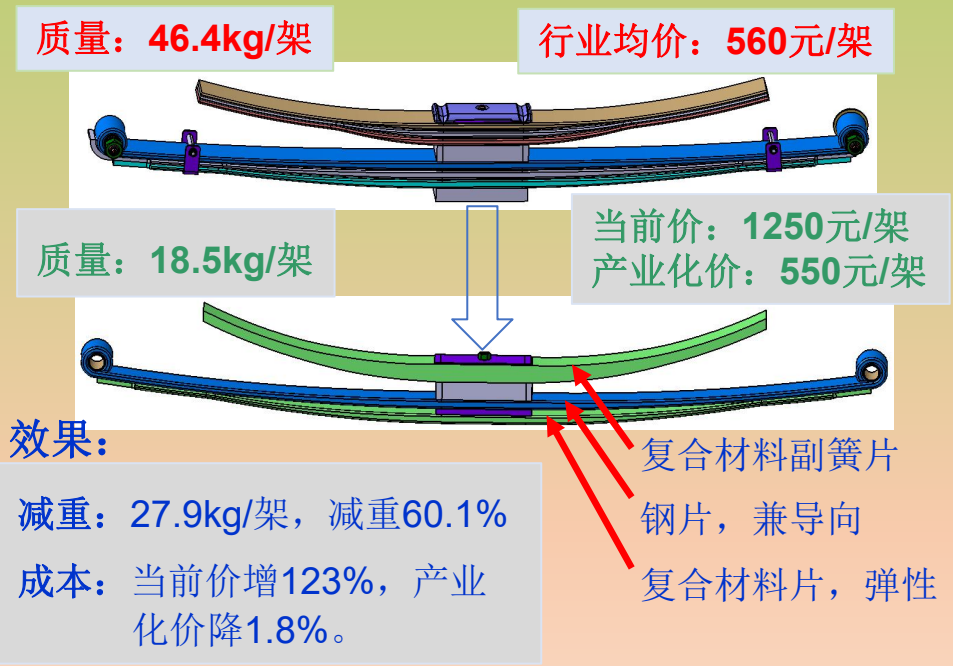
以6吨增程式轻卡为例在不降低性能前提下，复合材料板簧代替钢板弹簧（自主知识产权专利结构），产业化可以实现**“减重不加价”**目标。



效果：

减重： 14.4kg/架，减重51.6%

成本： 当前价增109%，产业化价增4.5%。



效果：

减重： 27.9kg/架，减重60.1%

成本： 当前价增123%，产业化价降1.8%。

注：1. 钢板弹簧行业采购均价按12元/kg计算，单独的钢板弹簧主片按15元/kg计算；

2. 根据复合材料板簧树脂和纤维配比，目前采购价格按200元/kg计算，产业化后按60元/kg计算。

3.2 复合材料板簧研发第二、三个目标解析

① **项目价值**：国内研究复合材料板簧技术尚不成熟，本部件属于核心零部件范畴；形成年产10万片簧片的规模后，成本与钢板弹簧相近，甚至低于钢板弹簧。

② **市场潜力**：零部件市场容量超过2300万片/年，潜在市场超过46亿元，市场潜力巨大。

③ **技术条件**：本项目采用研发和批量生产分开两个阶段，研发阶段：零部件预研工作直至产品验证定型，完成配置前技术工作，具备自主产权的图纸、报告等相关资料；批量生产：生产基地、生产设备、检验检测设备投入，整车匹配工作。

④ **内外资源**：国内外高端研发资源较成熟，本特勒（TX5后板簧供应商）、株洲时代（博格）、中科院宁波复合材料分院等前期技术交流伙伴合作意愿强烈。

成立复合材料板簧悬架事业部，建立核心零部件研发能力，确保后端市场（整车匹配份额），抢占2300万片/年的市场容量，并掌握整车核心零部件技术，获得新能源商用车发展先机。

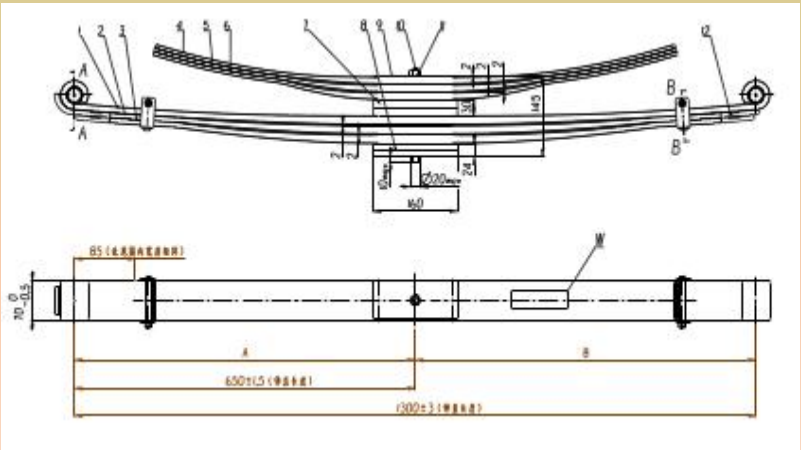
4.1 复合材料板簧已完成工作

4.1.1 复合材料板簧设计方案和CAE分析

以开发复合材料主副簧后簧为工作对象。

① 设计参数输入

输入6吨增程式轻卡原有板簧的硬点、刚度等技术参数，设计复合材料副簧。

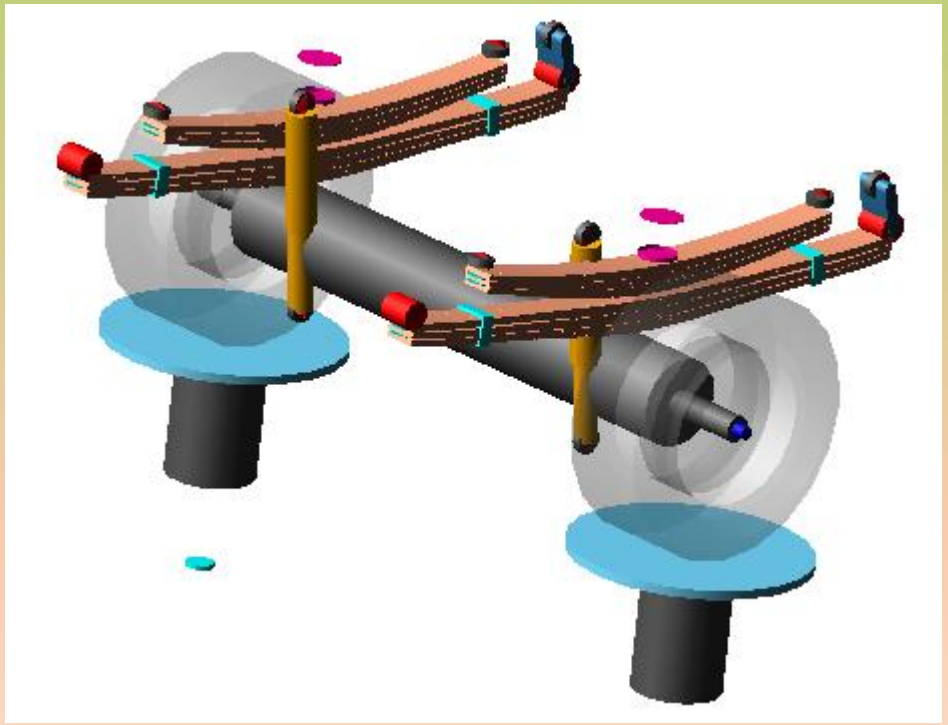


副簧设计输入参数表

项目内容	数据	备注
副簧支点距离	850mm	
板簧中间平直段长度	160mm	
U型螺栓间距	140mm	
副簧刚度值	303N/mm	
板簧宽度值	70mm	
副簧自由状态下弧高	74mm	端部接触点至板簧外弧面
副簧承受最大重量	619kg	满载设计状态
副簧极限状态下移	75.1mm	

② 悬架受力工况分析

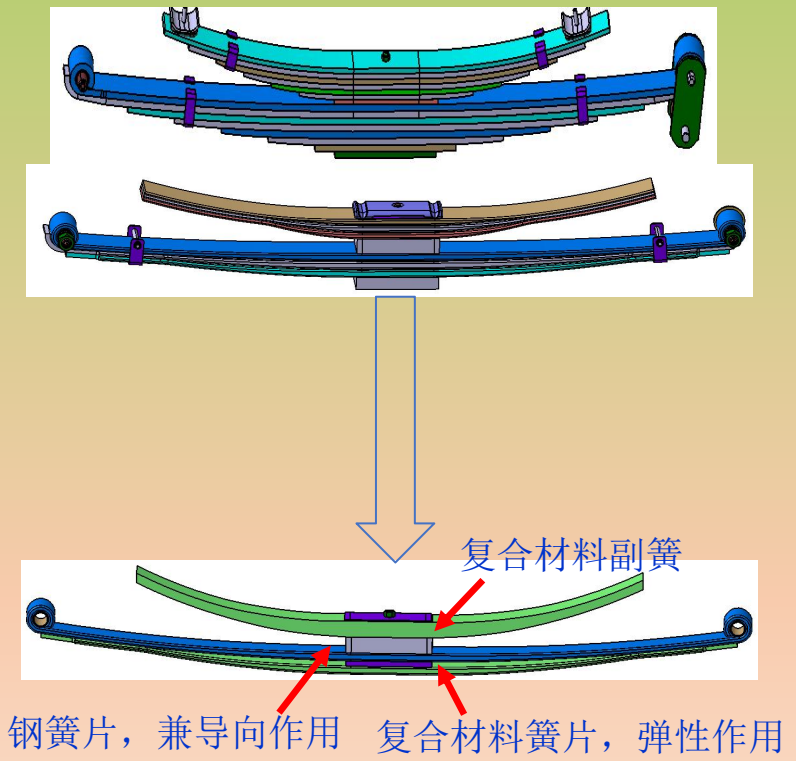
根据复合材料副簧结构，输入各个受力工况边界载荷进行计算板簧应力。



悬架载荷分析工况

工况	加速度			加载点
	ax(g)	ay(g)	az(g)	
前行制动工况	1	0	1	轮胎接地点
考虑载荷转移的侧向冲击工况	0	-0.8	1	轮辋下沿
单轴过坑工况	1	0	2.5	轮胎接地点
垂直跳动工况	0	0	2.5	轮胎接地点
组合工况	0.316	-0.3	2	轮胎接地点

③ CAD模型及BOM清单

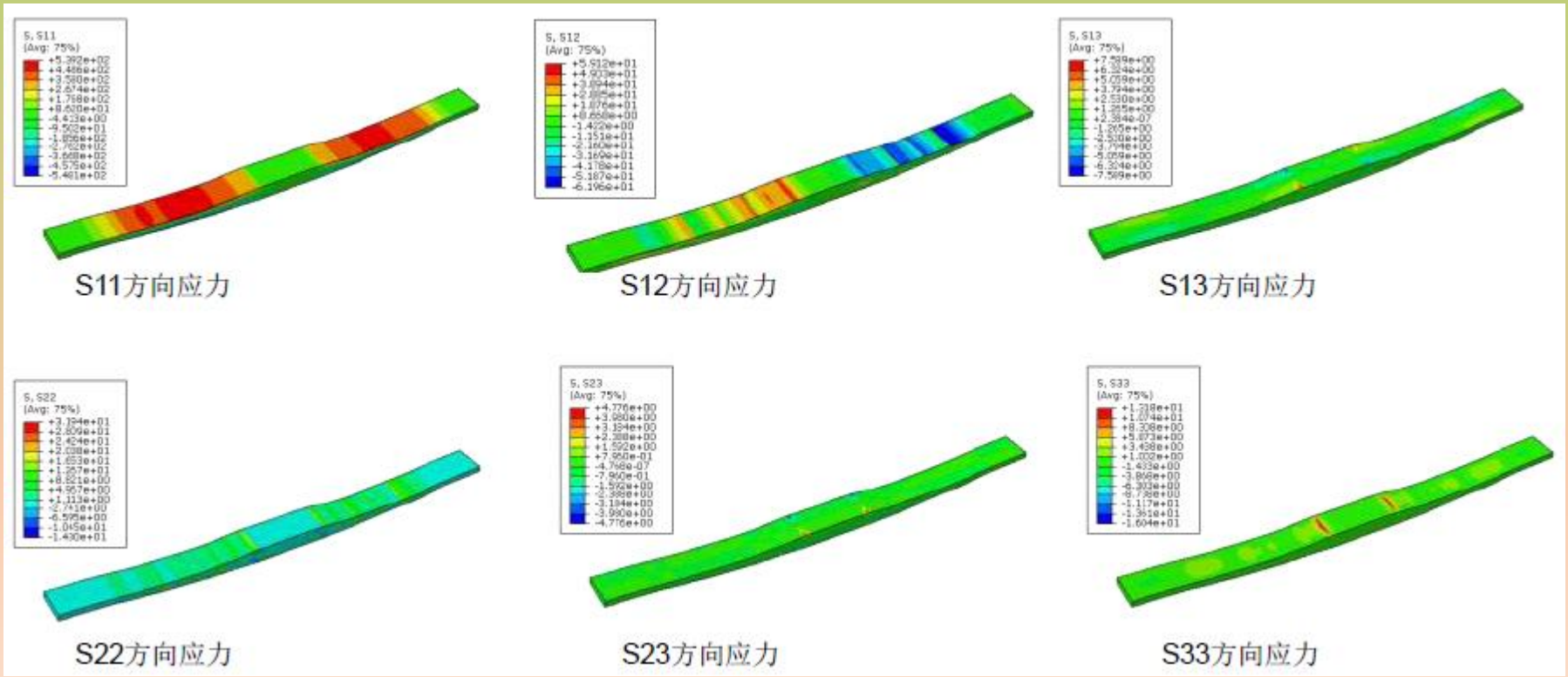


后板簧BOM

No	零件名称	数量	重量(kg)	备注
1	主副簧总成	1	18.50	
1.1	主簧主片	1	10.00	沿用以前钢主簧
1.2	主簧复合材料片	2	2.65	
1.1.2	主簧夹箍	1	0.50	
1.1.2	衬套	2	0.25	
1.2	下垫板	1	0.50	
1.3	中橡胶垫板	1	0.75	在以前金属垫板基础上优化
1.4	副簧	1	2.75	重量不加金属垫板
1.5	中部定位螺栓、螺母	1	0.30	起连接主副簧和定位作用
1.6	上垫板	1	0.80	重量不加金属垫板

④ 极限位移CAE分析

根据我们吉利商用车提供的工况载荷，进行零件的刚度FEA有限元分析分析以及更接近于实车的强度与耐久分析。



4.1.2 知识产权保护

截止目前，复合材料板簧结构及应用悬架相关专利x项。

4.2 复合材料板簧项目后续任务及输出

4.2.1 复合材料板簧项目任务

① 负责板簧复合材料的研究和开发，对材料配方体系进行各个方面性能测试，包括物化与机械性能；

② 负责完成定型材料的性能测试，并提供检测报告；

③ 负责研究材料的工艺成型方法，并选择适合本项目的工艺路线；

④ 负责复合材料板簧的结构设计与仿真分析；

⑤ 负责复合材料板簧的样件试制，并考虑批量生产的工艺路线和准备；

⑥ 负责完成复合材料板簧的DV试验（试验项目共20项）；

⑦ 负责提供样件给整车方试装车，并现场技术支持；

⑧ 负责复合材料板簧的售后工作，分析并解决可能出现的售后问题；

⑨ 负责编写复合材料板簧的使用说明书。

4.2.2 复合材料板簧项目输出

① 提供替代金属钢板弹簧的复合材料主副簧方案，减重目标至少达到60%以上；

② 具备独立自主的复合材料板簧设计、制造、匹配和装配的能力，输出论文和专利等资料，并具备复合材料板簧应用的知识产权；

③ 提供复合材料板簧的原材料及配合比例、原材料储存和运输技术条件；

④ 三维CATIA数模，包括三维结构模型、设计方案及CAE分析和二维图纸和技术要求；

⑤ 提供复合材料板簧的生产工艺路线及主要工艺技术条件；

⑥ 参考钢板弹簧DV试验及评价方法，完成复合材料板簧的DV试验并输出试验报告；

⑦ 建立板簧零部件的试验验证能力，包括试验设备、试验夹具、试验方法和评价能力。

4.2.3 复合材料板簧研发DV试验项目

序	试验项目	试验标准	技术指标	工作内容
1	化学成分	GB/T 2577-2005	树脂含量31%~33%	制样、测试
2	冲击强度	GB/T 1451-2005	≥355kJ/m2	压制层合板、加工样条、测试
3	拉伸强度	GB/T 1040.5-2008	≥900MPa	压制层合板、加工加强片、裁样加工、测试
4	拉伸模量	GB/T 1040.5-2008	≥40GPa	压制层合板、加工加强片、裁样加工、测试
5	密度	GB/T 1451-2005	1.9g/cm2	制样、测试
6	压缩强度	GB/T 1043-2008	≥750MPa	压制层合板、加工加强片、制样及样条处理、测试
7	压缩模量	GB/T 1043-2008	≥40GPa	压制层合板、加工加强片、制样及样条处理、测试
8	弯曲强度	GB/T 1449-2005	≥1000MPa	压制层合板、加工样条、测试
9	弯曲模量	GB/T 1449-2005	≥37GPa	压制层合板、加工样条、测试
10	层间剪切强度	GB/T 3357-1982	≥50GPa	压制特殊层合板、精加工样条、测试
11	玻璃化温度	GB/T 19466.3	≥100℃	压制层合板、粉末提取、测试
12	高温性能	GB/T 1449-2005/ GB/T 1449-2005	不低于常温80%	压制层合板、加工样条、高温环境处理、特殊设备测试
13	低温性能	GB/T 1449-2005 / GB/T 1449-2005	不低于常温80%	压制层合板、加工样条、低温环境处理、特殊设备测试
14	耐盐雾试验	GB/T 12000-2003/GB/T 9341-2008	350小时后保留率≥80%	压制层合板、加工小板、盐雾设备腐蚀、盐雾测试
15	耐油性试验	GB/T 3857-2005/GB/T 1449-2005	柴/机油浸泡30天后保留率≥80%	压制层合板、加工小板、油料设备浸泡、性能测试
16	永久变形检测	GB/T 19844-2005	≤0.5mm	检测样件3件
17	刚度检测	GB/T 19844-2005	偏差≤±10%	
18	疲劳试验	GB/T 19844-2005	≥50万次	
19	空载弧高测量	GB/T 19844-2005	偏差≤±6mm	
20	衬套拔脱力		≥6000N	

4.3 复合材料板簧项目硬件资源



纤维原丝



玻璃纤维



制成玻璃纤维束



高温熔融

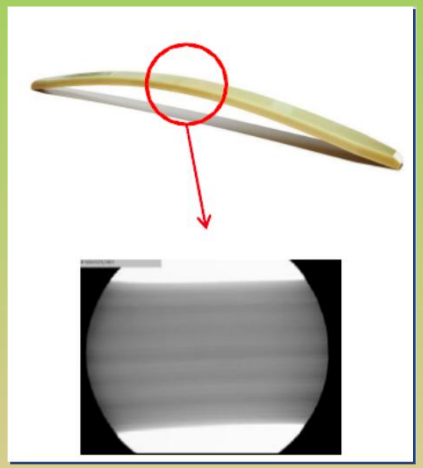


模塑成型

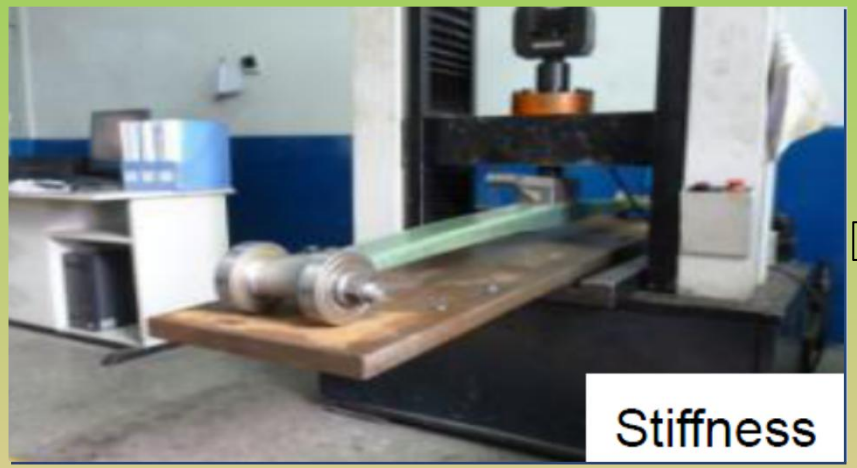


制成成品

4 项目工作内容



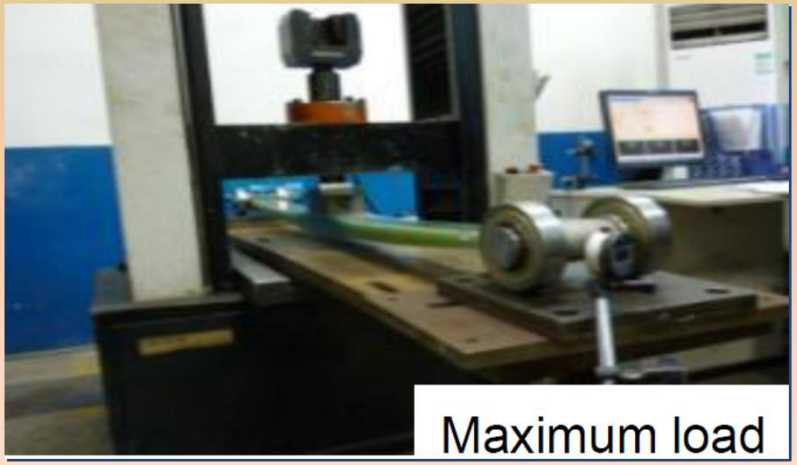
产品内层CT检查



零件刚度试验



永久变形试验



极限加载

5 项目研发方案、资源、投入产出与风险

5.1 项目研发方案

复合材料板簧研发涉及**材料、零部件、整车**三个技术领域。目前，国内在三个领域的技术研究相对孤立（但技术成熟），实现产业化需要把三个领域联合研究。

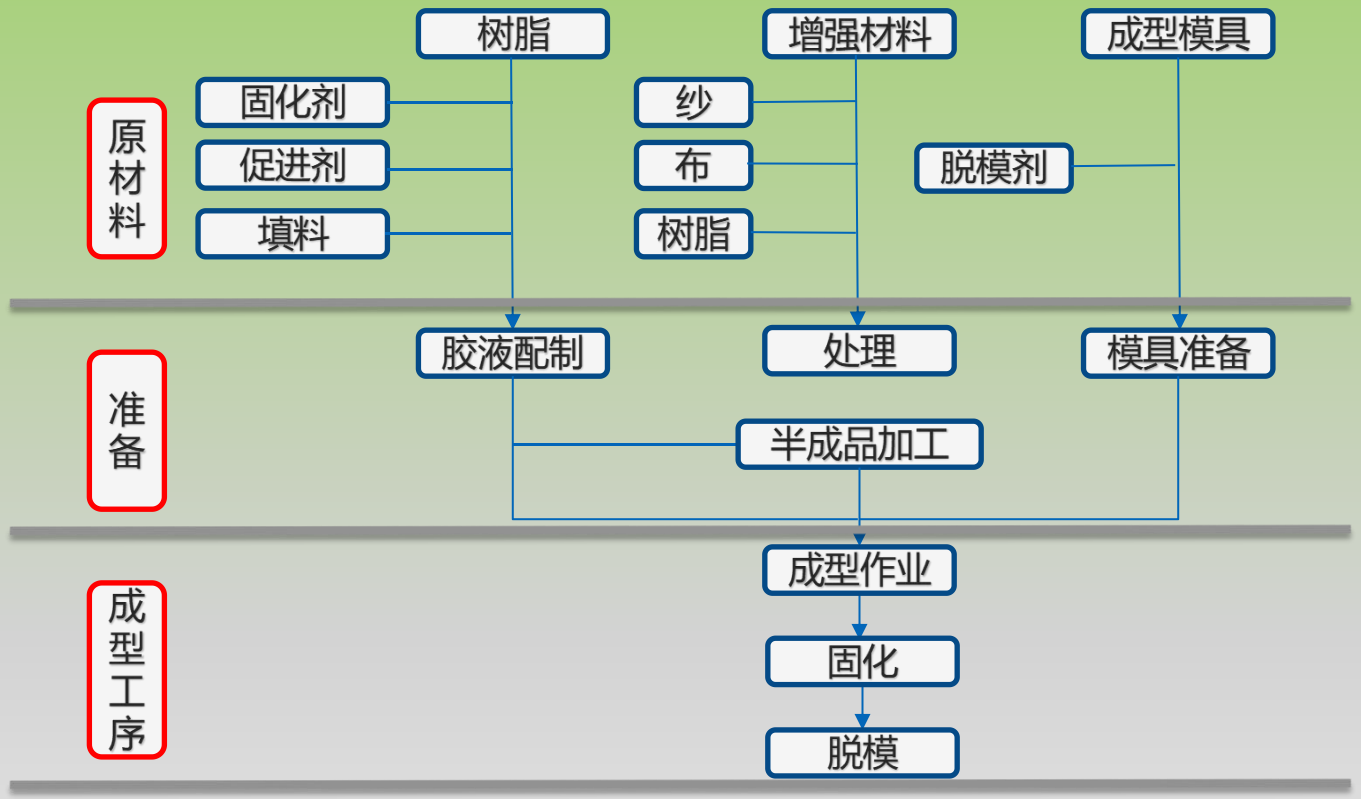
材料：项目过程中材料研究工作包括原材料特性测试、材料配方研究、板簧生产工艺等内容，对材料专业技术要求高，我司技术薄弱，研究成熟需投入大量的资源。

零部件：项目过程中零部件研究工作包括零部件结构设计与优化、特性测试与分析等内容，我司技术成熟，投入零部件试验设备后可快速取得研究成果。

整车：项目过程中整车研究工作包括整车性能设计与优化、特性测试与分析等内容，我司技术成熟，投入整车研发资源后可快速取得研究成果。

主要资源投入在零部件和整车领域工作，**建议：与板簧复合材料研究技术成熟的供应商合作研发，买断材料研究成果获得知识产权；投入零部件和整车研发资源，突破零部件及匹配应用技术；建立板簧零部件生产和研发基地，自主生产复合材料板簧。**

5.2 复合材料工艺简图:


树脂
增强材料
成型模具
固化剂
促进剂
填料
纱
布
树脂
脱模剂
原材料
胶液配制
处理
模具准备
准备
半成品加工
成型作业
固化
脱模
成型工序

5.3 项目资源

5.3.1 研发和生产总投资

成本和人力资源投入以形成研发、生产、质检等环节的产业链来估算。

序号	内容	费用（W）	备注
1	**研发阶段费用**	**1000**	
1.1	试制费、模具费	150	包括委外的技术研究投入，如表头附件
1.2	试验以及工装费用	50	
1.3	试验设备及夹具费用	300	
1.4	试验样车、路试费用	500	
2	**产业化阶段费用**	**5000**	
2.1	生产基地建设、生产设备	4550	
2.2	检测设备	450	
合计		**6000**	

5 项目研发方案、资源、投入产出与风险

5.3.2 人力资源

序号	职位名称	数量	薪资年(万)	薪资小计	基本要求
1	副总经理	1	60	60	汽车行业资深人士
2	销售副总	1	18	18	汽车零部件销售成功人士，汽车底盘零部件销售人际关系资源丰富。
3	采购经理	0.5	10	5	从事复材相关零部件采购5年以上
4	生产总监	1	18	18	有生产管理、公司管理丰富经验
5	设计工程师	1	12	12	复合材料产品设计5年以上
6	助理工程师	1	6	6	材料及复合材料专业，本科以上学历
7	质量工程师	1	10	10	复合材料产品质量3年以上，本科以上学历
8	工艺工程师	1	12	12	复合材料产品生产5年以上，本科以上学历
9	助理工艺师	1	6	6	材料及复合材料专业，本科以上学历
10	模具工程师	1	10	10	复合材料模具3年以上，本科以上学历
11	财务	0.5	8	4	熟悉税务、工商等业务
12	人事	0.5	8	4	熟悉人事、薪资、法务
13	工人	8	6	48	有复合材料生产经验者优先
14	司机	1	6	6	沉稳、敬业
15	人力总数	19.5	人力成本	219	

5.3.3 设备投入

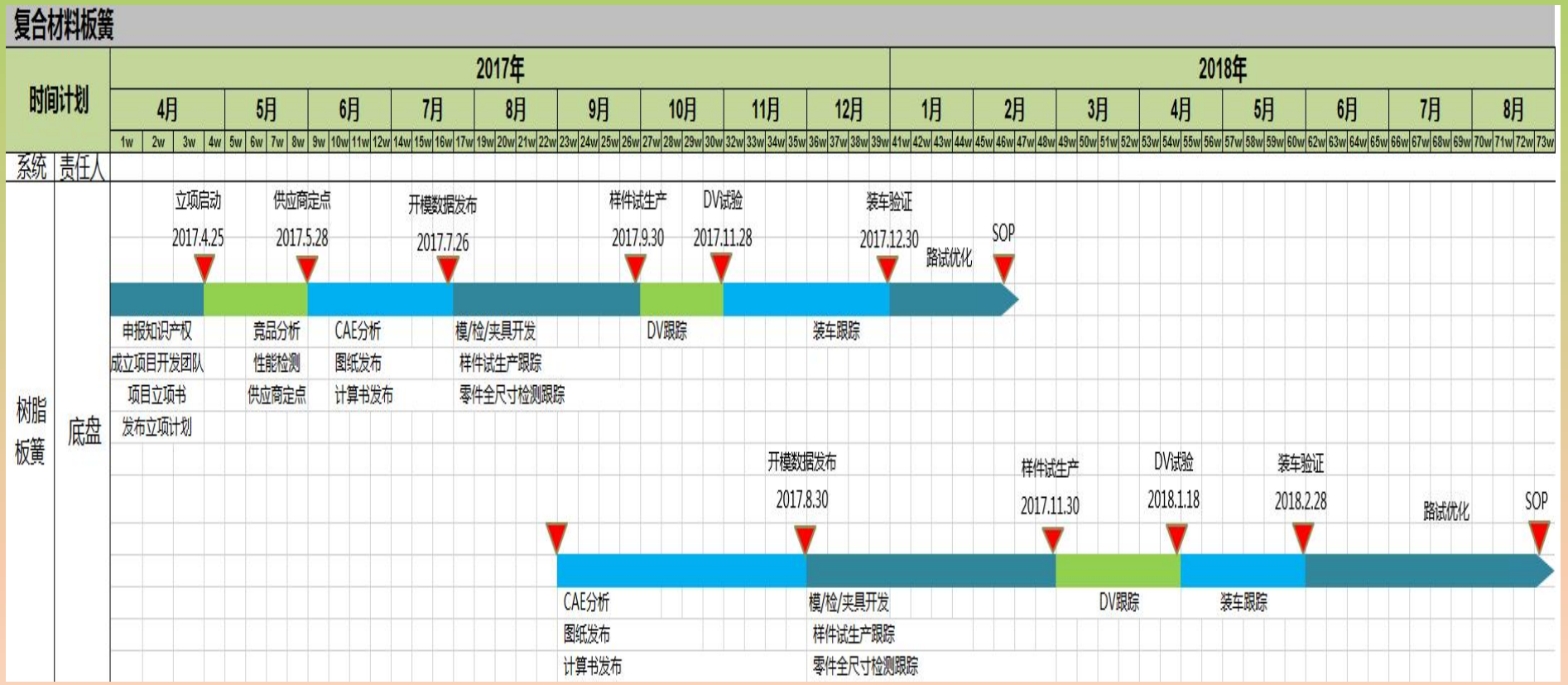
第一条生产线					
序号	设备名称	数量	价格（万）	投资小计（万）	
1	冷藏设备	1	11	11	
2	裁切设备	1	22	22	
3	铺设设备	1	58	58	
4	真空设备	1	10	10	
5	主液压机	1	200	200	1000T、台面2米X2.4米
6	摸温机	1	28	28	
7	数控中心	1	45	45	
8	辅助设备	1	5	5	
9	装配液压	1	3	3	
10	试验机	1	50	50	
11	叉车	1	20	20	
12	行车	1	10	10	
13	试制模具	1	8	8	
14	生产模具	1	38	38	
15	设备合计			508	

5.3.3 设备投入

第二条生产线				
序号	设备名称	数量	价格（万）	投资小计
1	主液压机	1	200	200
2	摸温机	1	28	28
3	辅助设备	1	4.5	4.5
4	装配液压	1	3	3
5	生产模具	1	38	38
6	设备合计			273.5

5 项目研发方案、资源、投入产出与风险

5.4 项目计划



5.5 生产节拍

片数					
序号	生产工艺	节拍	单班天产量（10小时）	单月产量（25天）	年产量（12月）
1	模压工艺	20分钟8片	240	6000	72000
2	RTM工艺				

5 项目研发方案、资源、投入产出与风险

5.5.1 成本及生产费用

序号	项目	金额
1	复合材料簧片成本（不含税）	648.0
2	钢簧片成本（不含税）	606.9
3	簧片生产成本25%（电费、工资、折旧）	162.0
4	钢簧片5%（运输、损耗）	30.3
5	管理费用5%（房租、管理人员工资等）	220/年
6	财务费用4%	25.9
7	营销费用4%（销售人员）	50.2
8	总成本	1523.3

5.5.2 销售额及利润

单台车销售价格，元		1900	2000	2100	2200	2300	2500
利润		114.6	200.8	287.0	373.2	459.4	631.9
单台车尽利润率		7.00%	11.65%	15.85%	19.68%	0.2	29.32%
序号	成本销售比	76.61%	72.78%	69.32%	66.17%	0.6	58.23%
	年销售额（万元）	年利润					
1	700	49.0	81.5	111.0	137.8	162.2	205.2
	本行是台数					3043	2800
2	900	63.0	104.8	142.7	177.1	208.5	263.9
	本行是台数				4091	3913	3600
3	1100	77.0	128.1	174.4	216.5	254.9	322.5
	本行是台数			5238.1	5000	4783	4400
4	1300	91.0	151.4	206.1	255.8	301.2	381.1
	本行是台数			6190	5909	5652	5200
5	1500	105.0	174.7	237.8	295.2	347.6	439.8
	本行是台数		7500.0	500	794	1034	1181
6	2400	167.9	279.5	380.5	472.3	556.1	703.6
	本行是台数	12631.6	12000	11429	10909	10435	9600
7	2700	188.9	314.5	428.1	531.3	625.6	791.6
	本行是台数	14211	13500	12857	12273	11739	10800
8	3000	209.9	349.4	475.6	590.4	695.1	879.5
	本行是台数	15789	15000	14286	13636	13043	12000
9	5000	349.9	582.4	792.7	984.0	1158.6	1465.9
	本行是台数	26316	25000	23810	22727	21739	20000
10	10000.0	699.7	1164.7	1585.5	1967.9	2317.2	2931.8
	本行是台数	52632	50000	47619	45455	43478	40000

5.6开发风险与防范

5.6.1 国内市场售后质量

目前复合材料板簧的市场保有量相对国外较低，失效模式以及故障表现统计较少，售后质量可能存在风险。

防范：增加供应商的走访，将失效风险列入FMEA进行管控。

5.6.2 设计风险

目前国内复合材料、板簧零部件、整车三者独立研究，研发中将会遇到目前没有出现过的问题，但可以借鉴横置簧经验。

防范：与供应商一起就现有失效模式进行分析，评估设计风险并避免。

5.6.3 复合材料板簧失效模式研究

① 设计横向导向机构的断裂失效：破坏形式为分层断裂；

复合材料板簧设计横向导向机构后的断裂失效模式：分层断裂。整片板簧由很多层组成，表面层断裂不影响整车安全性，安全系数高于多片钢板弹簧。**案例中超过设计寿命后安全破坏。**

复合材料板簧是由无数层玻璃纤维布锻压，发生化学反应后生成的厚片结构。本板簧失效模式中，只是受拉应力的最外层断裂。



疲劳试验二十万次出现

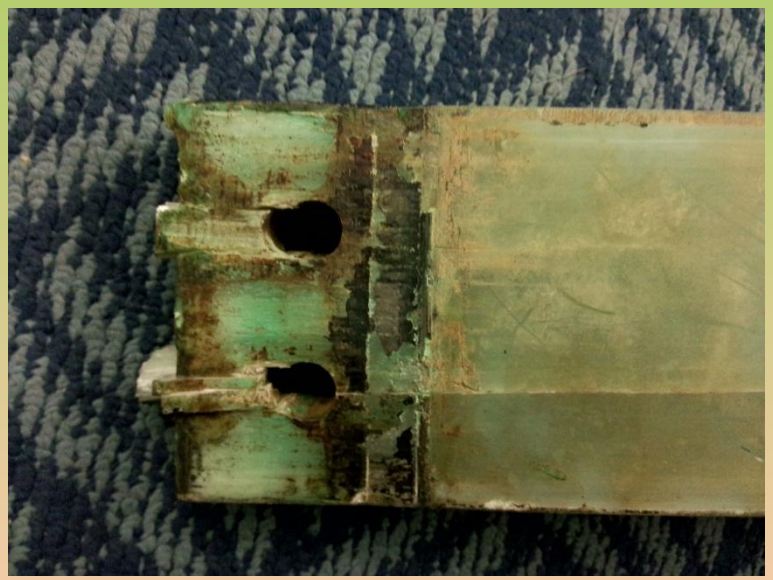


疲劳试验十五万次出现

案例中板簧超过设计寿命后，安全破坏失效。

5.6.3复合材料板簧失效模式研究

②单片复合材料簧断裂失效，失效形式为金属与非金属连接位置；



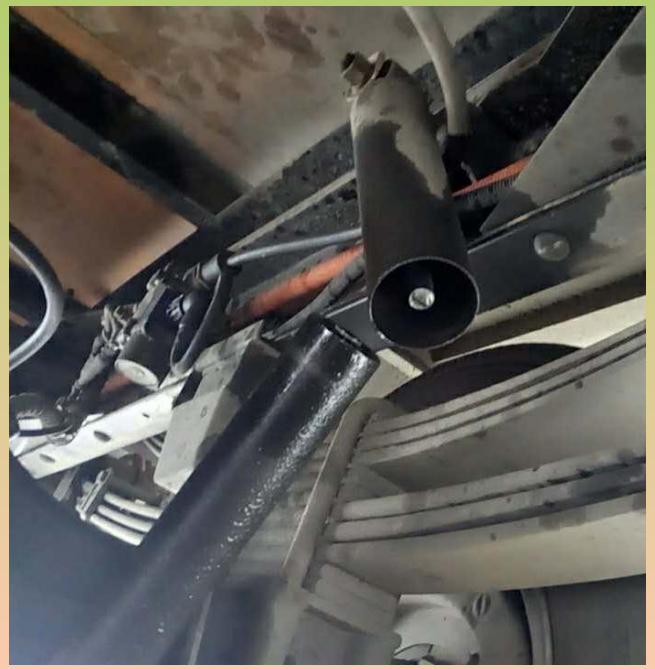


原因分析：板簧结构存在设计缺陷，单片复合材料板簧兼起横向导向作用，金属与非金属连接部位由于承受较大的剪切应力，该位置出现直接断裂。

解决措施：设计横向导向机构承受剪切力，避免板簧剪切受力，解决断裂失效问题。

5.6.3 复合材料板簧失效模式

③ 减振器烧结失效故障率异常高；



原因分析：板簧片间阻尼小，阻尼比增大。

解决措施：增加减振器的阻尼力和散热能力。

④ 钢材料主簧片卷耳部位断裂。



原因分析：主片强度小，比应力大。

解决措施：增加主片强度，降低钢材料主片比应力，延长板簧寿命。

6 项目阶段成果

1、完成技术方案；
2、完成生产工艺验证；
3、完成DVP试验；
4、完成台架试验；
5、完成两轮路试试验，共计12万公里。

谢谢