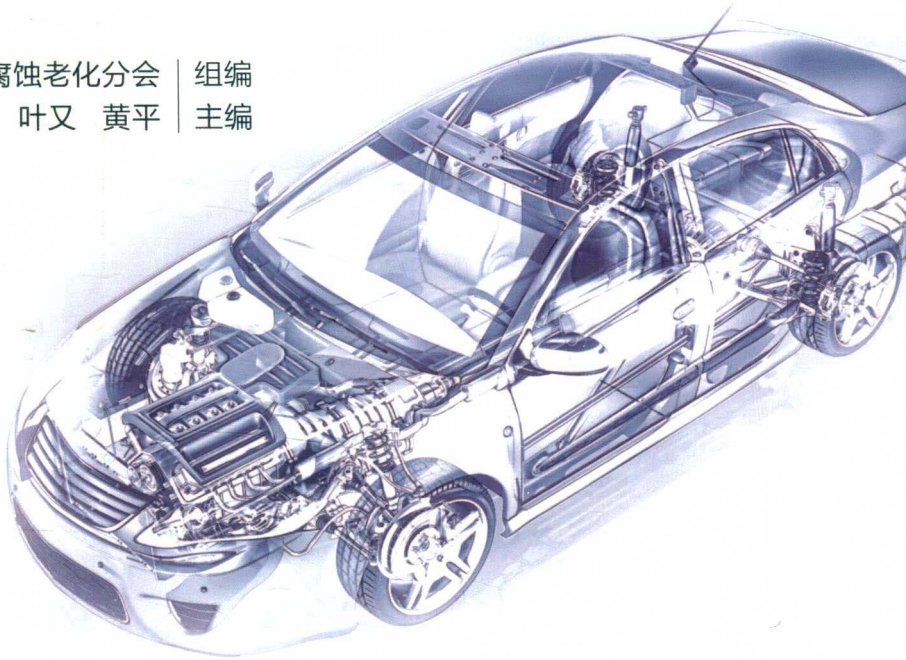
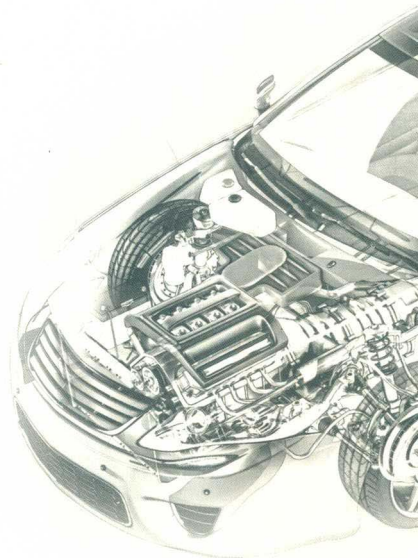
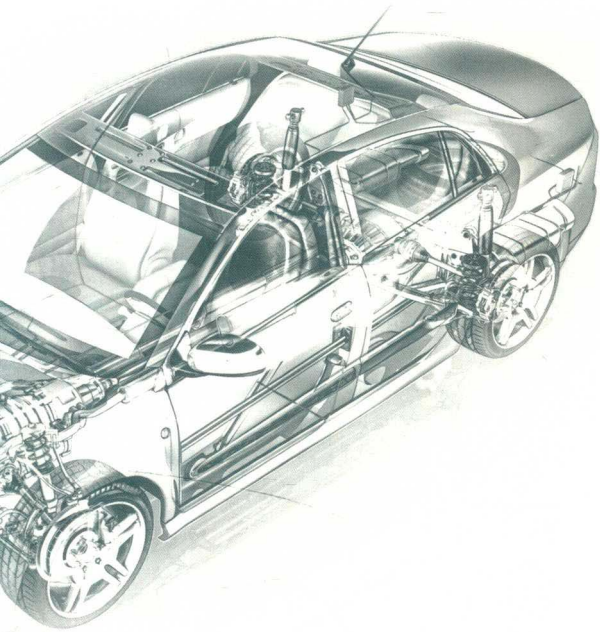




中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会 | 组编  
叶又 黄平 | 主编



# 汽车紧固件实用技术手册



 中国质检出版社  
中国标准出版社

# 汽车紧固件实用技术手册

中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会 组编

叶 又 黄 平 主编

中国质检出版社

中国标准出版社

北 京

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车紧固件实用技术手册 / 叶又, 黄平主编; 中国汽车  
工程学会汽车防腐蚀老化分会组编.

—北京: 中国质检出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5026-4648-6

I. ①汽… II. ①叶… ②黄… ③中… ④中… III. ①汽车—  
紧固件—技术手册 IV. ①U463-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 190799 号

中国质检出版社 出版发行  
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)  
北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 787×1092 1/16 印张 30.25 字数 657 千字  
2018 年 11 月第一版 2018 年 11 月第一次印刷

\*

定价 96.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话: (010) 68510107

# 编委会

主 编：叶 又 黄 平

副主编（以编写内容先后为序）：

石小岗 易超云 孔小兵 鲁 萍 李小花 施天寅  
朱海兵 赵宏达 张 伟 沈燕辉 季洋海 王 慧

编 委（以编写内容先后为序）：

晋占峰 黄 庆 徐彩凤 丁培良 曹向权 刘帅杰  
杨 平 孙玉坤 张智荣 陈小华 沈 健 段芝龙  
唐 勇 黎 艳 陈 静 张艳荣 张 弛 刘 东  
张 畅 赵 辉 苏仕晖 陈 雷 付平安 张 勇  
崔焕全 宋玉梅 邱莉珊 郭培升 萧胜元 朴阳顺  
白 振 冯雪桥 陈东晋 任鹏波 孙国峰 陈琦峰

# 前 言

汽车紧固件虽小，但作为重要的汽车基础零部件之一，已得到汽车主机厂及配套紧固件企业越来越多的关注和重视。紧固件看似简单，但其设计、制造、装配、测试等过程十分复杂。目前，中国已成为全球最大的紧固件制造国，但在材料、设计、生产、测试、服务、物流等方面与世界领先水平还存在着一定差距，汽车紧固件行业的整体发展也滞后于汽车行业的高速发展。

汽车紧固件应用数量大，一般来说，一辆轿车上应用约 1500 个整车紧固件，约 800 个发动机紧固件。汽车产量很大，一旦发生紧固件失效，往往造成众多车辆失效，以及更多车辆存在潜在失效风险，两者之间通常无法区分或区分成本很高，因此，为了安全起见，往往批量召回。这会给生产厂商带来巨大的损失，也会给客户造成巨大的不便甚至人身安全风险。

为引领中国汽车紧固件技术进步，提升行业整体水平，中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会于 2016 年、2017 年、2018 年连续三年举办了高端学术交流会议，搭建起汽车主机厂与汽车紧固件产业链上各单位之间的桥梁，得到了业界专家的广泛支持与好评。在此基础上，中国汽车工程学会凝聚行业优势资源，发挥专家集体智慧，组织编写了《汽车紧固件实用技术手册》一书。

本书共分 13 章，主要内容包括：绪论、汽车紧固件开发体系、内外饰紧固件开发、车身紧固件开发、底盘紧固件开发、动力总成紧固件开发、汽车紧固件常用材料、汽车紧固件成形、汽车紧固件热处理、汽车紧固件表面处理、汽车紧固件常用防松技术、汽车紧固件装配、汽车紧固件检测与失效分析。本书由中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会组织编写，内容系统全面，是一本科学性、实用性和先进性较强的工具书。

本书各章编写人员如下：叶又、晋占峰（第 1 章），石小岗、黄庆、徐彩凤、丁培良（第 2 章），易超云、曹向权、刘帅杰、杨平（第 3 章），孔小兵、孙玉坤、张智荣、陈小华（第 4 章），鲁萍、沈健、段芝龙、唐勇（第 5 章），李小花、黎艳、陈静、张艳荣（第 6 章），施天寅、张弛、刘东、张畅（第 7 章），朱海兵、赵辉、苏仕晖（第 8 章），赵宏达、陈雷、付平安、张勇（第 9 章），张伟、崔焕全、宋玉梅、邱莉珊（第 10 章），沈燕辉、郭培升、萧胜元、朴阳顺（第 11 章），季洋海、白振、冯雪桥、陈东晋（第 12 章），王慧、任鹏波、孙国峰、陈琦峰（第 13 章）。全书由叶又、黄平负责统稿和整理。

本书在编写过程中得到了中国汽车工程学会、泛亚汽车技术中心有限公司、重庆长安汽车股份有限公司、上海葑石汽车技术有限公司、北京汽车股份有限公司、福特

汽车南京研发中心、内德史罗夫紧固件（昆山）有限公司、富奥汽车零部件股份有限公司紧固件分公司、沃尔沃（中国）投资有限公司、众泰汽车工程研究院、上汽大众汽车有限公司、浙江国检检测技术股份有限公司、上海汽车集团股份有限公司乘用车分公司、宁波敏达机电有限公司、上海球明标准件有限公司、北京汽车研究总院有限公司、江苏华盛紧固件制造有限公司、宝沃汽车（中国）有限公司、北京新能源汽车股份有限公司、南京博郡新能源汽车有限公司、上海奥达科股份有限公司、卡迈锡汽车紧固件（中国）有限公司、宝钢股份钢管条钢事业部、宾科精密部件（中国）有限公司、沈阳东亿机械制造有限公司、冷水江天宝实业有限公司、浙江晋吉汽车配件有限公司、恩欧富涂料商贸（上海）有限公司、麦德美科技（苏州）有限公司、台湾瑞贤实业股份有限公司、耐落螺丝（昆山）有限公司、一汽-大众汽车有限公司、吉利汽车研究院有限公司、上汽大众汽车有限公司长沙分公司、浙江新东方汽车零部件有限公司各级领导和同事的支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。对关注本书编辑、出版工作的社会各界人士表示衷心感谢。

由于经验和水平所限，在编写过程中难免有遗漏或不妥之处，敬请各位专家、学者及广大读者批评指正。希望这本凝聚了行业众多专家心血和智慧的书藉，能够为我国汽车紧固件产业技术快速发展做出贡献。

中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会秘书长 黄平

2018年6月

# 目 录

第1章 绪论 .....	1
1.1 汽车紧固设计基本过程 .....	1
1.1.1 明确需求 .....	1
1.1.2 设计选择 .....	1
1.1.3 数模校核 .....	1
1.1.4 载荷校核 .....	1
1.1.5 子系统实验 .....	1
1.1.6 整车装配 .....	2
1.1.7 整车验证 .....	2
1.1.8 批量造车验证 .....	2
1.1.9 总结归档 .....	2
1.2 汽车紧固失效现象 .....	2
1.2.1 典型召回案例 .....	2
1.2.2 失效原因分类 .....	3
1.2.3 失效后果分类及控制策略 .....	4
1.3 汽车紧固连接分类 .....	4
1.3.1 夹紧力连接 .....	5
1.3.2 浮动连接 .....	7
1.3.3 公差调节连接 .....	8
1.3.4 连接结构 .....	11
1.4 汽车紧固件的发展及展望 .....	12
1.4.1 汽车轻量化的连接件技术 .....	12
1.4.2 紧固方案适应自动化装配 .....	15
1.4.3 紧固件与零件的集成 .....	15
1.4.4 新能源汽车的紧固件技术 .....	16
第2章 汽车紧固件开发体系 .....	17
2.1 概述 .....	17
2.1.1 汽车紧固件连接的特点与项目节点 .....	17

2.1.2	汽车紧固件库 .....	23
2.1.3	紧固件扭矩共用策略 .....	25
<b>2.2</b>	<b>汽车连接点开发过程 .....</b>	<b>26</b>
2.2.1	汽车连接点开发步骤 .....	26
2.2.2	连接点工作载荷的确定 .....	27
2.2.3	连接点工作载荷的分析 .....	27
2.2.4	连接点 CAE 分析 .....	29
2.2.5	紧固件规格的确定及扭矩的制定 .....	37
2.2.6	被连接件的匹配 .....	39
2.2.7	连接点设计过程的校核及管理 .....	41
<b>2.3</b>	<b>汽车连接点的验证 .....</b>	<b>41</b>
2.3.1	连接点的扭矩轴力测试 .....	42
2.3.2	连接点的台架试验验证 .....	45
2.3.3	连接点的整车验证 .....	47
<b>第3章</b>	<b>内外饰紧固件开发 .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1</b>	<b>概述 .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>内外饰常用紧固件 .....</b>	<b>49</b>
3.2.1	钣金紧固件 .....	49
3.2.2	自攻钉 .....	55
3.2.3	塑料紧固件 .....	60
<b>3.3</b>	<b>内饰典型紧固件开发 .....</b>	<b>67</b>
3.3.1	安全气囊 .....	67
3.3.2	仪表板和副仪表板 .....	68
3.3.3	方向盘和转向管柱 .....	71
3.3.4	扬声器 .....	72
3.3.5	座椅和安全带 .....	74
<b>3.4</b>	<b>外饰典型紧固件开发 .....</b>	<b>76</b>
3.4.1	牌照板 .....	77
3.4.2	雨刷 .....	79
3.4.3	后视镜 .....	80
3.4.4	翼子板 .....	82
3.4.5	尾灯 .....	85
3.4.6	保险杠 .....	87
<b>3.5</b>	<b>典型案例分析 .....</b>	<b>89</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>91</b>



第4章 车身紧固件开发 .....	92
4.1 概述 .....	92
4.2 焊接类紧固件 .....	92
4.2.1 类型 .....	93
4.2.2 性能 .....	96
4.2.3 钣金孔设计原则 .....	102
4.3 铆接类紧固件 .....	104
4.3.1 类型 .....	104
4.3.2 机械性能及应用要求 .....	114
4.4 车身特殊位置的紧固件选用 .....	115
4.4.1 车门铰链 .....	115
4.4.2 车门锁体 .....	117
4.4.3 车门锁环 .....	118
4.4.4 焊接螺纹管设计 .....	119
4.4.5 涉及感官质量的紧固件 .....	121
4.5 典型案例分析 .....	124
4.5.1 紧固件焊接问题 .....	124
4.5.2 SPR 铆接开裂 .....	128
参考文献 .....	129
第5章 底盘紧固件开发 .....	131
5.1 概述 .....	131
5.1.1 底盘用紧固件防松处理 .....	132
5.1.2 螺栓/螺母常用材料 .....	132
5.1.3 螺纹精度等级 .....	132
5.1.4 紧固件尺寸和结构设计 .....	133
5.1.5 装配方式的选择 .....	134
5.2 底盘常用紧固件类型 .....	137
5.2.1 套管连接类 .....	137
5.2.2 U型连接类 .....	137
5.2.3 板材连接类 .....	138
5.3 悬架设计的紧固件选用 .....	139
5.3.1 副车架连接点 .....	139
5.3.2 转向节连接点 .....	140
5.3.3 转向机内部连接点测试要求 .....	141
5.3.4 转向机外球头到转向节连接点测试要求 .....	141

<b>5.4 传动设计的紧固件选用</b> .....	142
5.4.1 发动机悬置连接点 .....	142
5.4.2 传动轴连接点 .....	142
<b>5.5 制动设计的紧固件选用</b> .....	143
5.5.1 车轮螺栓/螺母 .....	143
5.5.2 刹车系统 .....	145
5.5.3 制动盘 .....	146
<b>5.6 转向设计的紧固件选用</b> .....	146
5.6.1 转向系统扭矩复检要求 .....	147
5.6.2 转向管柱连接点 .....	147
<b>5.7 典型案例</b> .....	148
5.7.1 制动盘安装扭矩设计变更 .....	148
5.7.2 垫片设计不合理引起残余扭矩衰减严重 .....	151
5.7.3 底盘粘滑现象的解决方法 .....	153
5.7.4 底盘拧紧点扭矩加转角报警的解决办法 .....	153
<b>第6章 动力总成紧固件开发</b> .....	155
<b>6.1 概述</b> .....	155
<b>6.2 动力总成常用紧固件类型</b> .....	155
6.2.1 普通螺栓、螺柱、螺母 .....	155
6.2.2 耐热螺栓、螺柱、螺母 .....	160
6.2.3 异型件 .....	161
6.2.4 堵塞 .....	161
6.2.5 其他 .....	161
<b>6.3 动力总成紧固件设计</b> .....	162
6.3.1 曲柄连杆机构 .....	162
6.3.2 冷却润滑系统 .....	164
6.3.3 进排气系统 .....	165
6.3.4 燃油系统 .....	166
6.3.5 点火系统 .....	166
6.3.6 传动系统 .....	167
<b>6.4 典型案例</b> .....	169
6.4.1 曲轴前端正时连接螺栓失效分析 .....	169
6.4.2 预涂胶紧固件失效分析 .....	171
<b>6.5 发展趋势及展望</b> .....	172
6.5.1 新型材料螺栓的应用 .....	173
6.5.2 超高强度螺栓的应用 .....	174

第7章 汽车紧固件常用材料 .....	181
7.1 概述 .....	181
7.1.1 材料一般分类和典型表示方法 .....	181
7.1.2 材料相关检测用试验方法标准 .....	183
7.2 汽车紧固件常用钢材 .....	185
7.2.1 冷锻钢 .....	186
7.2.2 易切削钢 .....	188
7.2.3 普通不锈钢 .....	190
7.2.4 耐热钢 .....	192
7.2.5 高温合金 .....	193
7.2.6 紧固件钢材的主要缺陷及质量控制 .....	195
7.3 汽车紧固件常用铝合金材料 .....	195
7.3.1 国际4位数字体系铝合金牌号介绍 .....	195
7.3.2 铝合金热处理状态代号 .....	196
7.3.3 铝合金紧固件材料 .....	198
7.3.4 铝合金紧固件机械性能 .....	203
7.3.5 铝合金材料主要缺陷及质量控制 .....	203
7.4 汽车紧固件常用金属材料改制工艺 .....	205
7.4.1 钢丝线材改制工艺 .....	205
7.4.2 钢板钢带改制工艺 .....	209
7.5 汽车紧固件常用非金属材料 .....	212
7.5.1 树脂以及复合材料 .....	212
7.5.2 橡胶和弹性体 .....	215
参考文献 .....	217
第8章 汽车紧固件成形 .....	219
8.1 概述 .....	219
8.2 金属塑性成形 .....	220
8.2.1 金属塑性成形的定义 .....	220
8.2.2 金属塑性成形遵循的原理 .....	220
8.2.3 金属塑性成形的分类及定义 .....	222
8.3 冷锻成形基本工序介绍 .....	224
8.3.1 切料 .....	224
8.3.2 整形 .....	225
8.3.3 挤压 .....	225
8.3.4 锻粗 .....	227

8.3.5	冲孔 .....	228
8.3.6	切边 .....	228
8.3.7	工序的关联性 .....	229
<b>8.4</b>	<b>冷镦设备及选用 .....</b>	<b>229</b>
8.4.1	冷镦设备分类 .....	229
8.4.2	卧式冷镦机的选用 .....	229
8.4.3	搓丝机 .....	230
8.4.4	滚丝机 .....	230
8.4.5	攻牙机 .....	231
<b>8.5</b>	<b>典型紧固件成形工艺及实例 .....</b>	<b>232</b>
8.5.1	螺栓类成形工艺及实例 .....	232
8.5.2	螺母类成形工艺及实例 .....	235
8.5.3	异形件成形工艺及实例 .....	236
<b>8.6</b>	<b>冷镦模具 .....</b>	<b>238</b>
8.6.1	冷镦模具设计 .....	238
8.6.2	冷镦模具材料选择 .....	242
8.6.3	冷镦模具失效模式分析 .....	245
<b>8.7</b>	<b>钣金类紧固件冲压成形工艺 .....</b>	<b>246</b>
8.7.1	冲压与冷冲压模的概念 .....	246
8.7.2	冲压工序的分类 .....	247
8.7.3	冲压模具的分类 .....	251
8.7.4	板带材料种类 .....	252
8.7.5	板带材料性能 .....	252
<b>8.8</b>	<b>发展趋势及展望 .....</b>	<b>254</b>
	参考文献 .....	257
<b>第9章</b>	<b>汽车紧固件热处理 .....</b>	<b>258</b>
<b>9.1</b>	<b>概述 .....</b>	<b>258</b>
9.1.1	热处理基本概念 .....	258
9.1.2	金属热处理分类 .....	259
9.1.3	汽车紧固件常用热处理方式 .....	259
<b>9.2</b>	<b>钢的热处理工艺 .....</b>	<b>260</b>
9.2.1	钢的整体热处理 .....	260
9.2.2	钢的表面热处理 .....	266
9.2.3	钢的化学热处理 .....	269

<b>9.3 其他材料汽车紧固件的热处理</b> .....	275
9.3.1 铝合金紧固件的热处理 .....	276
9.3.2 高温合金紧固件的热处理 .....	278
9.3.3 不锈钢紧固件的热处理 .....	279
<b>9.4 网带炉热处理工艺与质量管理</b> .....	280
9.4.1 原材料的质量检验 .....	281
9.4.2 CQI 9 标准的应用要点 .....	281
9.4.3 设备风险点识别 .....	286
<b>9.5 典型汽车紧固件的热处理工艺</b> .....	288
9.5.1 螺钉渗碳工艺 .....	288
9.5.2 高强度螺栓热处理工艺 .....	291
9.5.3 高强度螺母热处理工艺 .....	294
9.5.4 车用滚花轮毂螺栓热处理工艺 .....	295
9.5.5 钢材的球化退火工艺 .....	296
<b>参考文献</b> .....	298
<b>第 10 章 汽车紧固件表面处理</b> .....	299
<b>10.1 汽车紧固件表面处理的目​​的及工艺类型</b> .....	299
10.1.1 汽车紧固件表面处理的目​​的 .....	299
10.1.2 汽车紧固件腐蚀类型 .....	299
10.1.3 汽车紧固件表面处理的工艺选择 .....	300
<b>10.2 电镀工艺的原理及应用</b> .....	301
10.2.1 电镀前处理 .....	301
10.2.2 电镀锌 .....	304
10.2.3 电镀锌镍 .....	309
10.2.4 电镀锌铁 .....	311
10.2.5 钝化 .....	314
10.2.6 封闭 .....	316
10.2.7 氢脆与去氢处理 .....	318
<b>10.3 涂覆工艺原理与应用</b> .....	323
10.3.1 涂覆前处理 .....	323
10.3.2 锌铝涂覆工艺原理 .....	328
10.3.3 锌铝涂覆工艺应用 .....	331
10.3.4 面涂及摩擦系数 .....	333
<b>10.4 其他表面处理</b> .....	335
10.4.1 磷化处理 .....	335

10.4.2 电泳涂装 .....	340
参考文献 .....	344
<b>第 11 章 汽车紧固件常用防松技术 .....</b>	<b>347</b>
<b>11.1 概述 .....</b>	<b>347</b>
<b>11.2 螺纹连接松动机理 .....</b>	<b>347</b>
11.2.1 旋转松动 .....	350
11.2.2 非旋转松动 .....	352
<b>11.3 常用防松技术分类 .....</b>	<b>354</b>
11.3.1 金属防松技术 .....	355
11.3.2 非金属防松技术 .....	369
<b>11.4 防松性能评定 .....</b>	<b>371</b>
11.4.1 横向振动 .....	372
11.4.2 零部件系统台架试验及整车路试试验 .....	374
11.4.3 典型防松技术对比 .....	377
<b>11.5 典型案例分析 .....</b>	<b>378</b>
11.5.1 金属防松技术案例分析 .....	378
11.5.2 非金属防松技术案例分析 .....	380
参考文献 .....	382
<b>第 12 章 紧固件装配 .....</b>	<b>384</b>
<b>12.1 概述 .....</b>	<b>384</b>
<b>12.2 紧固连接的分类 .....</b>	<b>384</b>
12.2.1 紧固连接的分类原则 .....	384
12.2.2 紧固连接的装配方法 .....	385
12.2.3 紧固件装配工具的控制和监控 .....	385
<b>12.3 紧固件装配的设计 .....</b>	<b>389</b>
12.3.1 紧固件装配设计的原则 .....	389
12.3.2 螺栓和螺母的配对 .....	390
12.3.3 紧固件装配空间的需求 .....	390
12.3.4 紧固件装配边界设计 .....	392
12.3.5 装配工具的选择 .....	393
<b>12.4 高精度电动拧紧设备的参数设置 .....</b>	<b>393</b>
12.4.1 推荐的参数设置流程 .....	395
12.4.2 找帽阶段（目标值：转角） .....	396
12.4.3 已预紧螺栓的找帽阶段（目标值：扭矩） .....	397

12.4.4	预紧阶段 1 (目标值: 扭矩) .....	398
12.4.5	预紧阶段 1 (目标值: 转角) .....	400
12.4.6	预紧阶段 2 (目标值: 扭矩) .....	401
12.4.7	终紧阶段 (目标值: 转角) 转角法 .....	402
12.4.8	终紧阶段 (目标值: 扭矩) 扭矩法 .....	403
12.4.9	参数设置规定 .....	404
12.4.10	常见的组合方案及实施可能性的建议 .....	404
<b>12.5</b>	<b>装配结果评价</b> .....	<b>406</b>
12.5.1	装配结果现场评价 .....	406
12.5.2	失效案例分析 .....	411
	<b>参考文献</b> .....	<b>418</b>
<b>第 13 章</b>	<b>汽车紧固件检测与失效分析</b> .....	<b>419</b>
<b>13.1</b>	<b>概述</b> .....	<b>419</b>
<b>13.2</b>	<b>汽车紧固件机械性能检测</b> .....	<b>419</b>
13.2.1	外螺纹紧固件机械性能检测 .....	419
13.2.2	内螺纹紧固件机械性能检测 .....	432
13.2.3	装配性能检测 .....	436
<b>13.3</b>	<b>汽车紧固件金相检测</b> .....	<b>442</b>
13.3.1	原材料及过程金相检测 .....	442
13.3.2	成品金相检测 .....	446
<b>13.4</b>	<b>汽车紧固件失效分析</b> .....	<b>451</b>
13.4.1	失效分析基础 .....	452
13.4.2	典型失效模式及案例 .....	457
	<b>参考文献</b> .....	<b>464</b>

# 第 1 章 绪论

## 1.1 汽车紧固设计基本过程

汽车紧固件的用量大，如果失效则容易造成客户抱怨，甚至是安全问题，因此，对其设计要求很高，要遵循严格的设计流程。

汽车紧固件的设计过程大致分为以下几个阶段。

### 1.1.1 明确需求

明确紧固点设计边界条件，包括载荷大小、是否疲劳载荷、环境温度、是否为外观件、是否会接触水、是否经常拆装、安装空间、布置空间、被紧固材料等。这往往需要进行 CAE 分析，以及对被连接件结构及常见问题的积累研究，对设计人员的经验和工程知识要求很高。

### 1.1.2 设计选择

从紧固件库中选择适用的紧固件。选择时不仅要考虑紧固性能，还要考虑是否易于装配、是否易于售后返修、是否满足美观要求、成本是否尽可能低等问题。这不仅要求设计人员熟练掌握各类紧固件特性，而且要熟悉装配及返修知识，同时还要具备有关紧固件单件成本及装配成本的基本知识，既要有质量意识，也要有成本意识和人机工程意识。

### 1.1.3 数模校核

在数模中进行装配检查，可以及早发现尺寸干涉、工具空间不足以及外观问题。

### 1.1.4 载荷校核

对于部分重要受力连接点需要进行计算校核、CAE 分析校核。主要是校核载荷是否满足设计需求。

### 1.1.5 子系统实验

对于部分重要连接点，需要进行实物子系统实验，以验证是否符合设计预期。



### 1.1.6 整车装配

能够发现尺寸配合、零件性能等问题，并检查物料是否完备。

### 1.1.7 整车验证

通过各类整车实验，模拟客户实际使用情况，发现各类潜在问题，如松动、断裂、腐蚀等问题。

### 1.1.8 批量造车验证

验证人机工程、零件批量稳定性、设计的稳健性。

### 1.1.9 总结归档

总结整个过程的经验教训，并进行内部学习分享，予以归档，完善流程，避免今后再犯类似错误。对于简单易见的错误，通过流程手段予以避免；对于复杂的紧固问题，可以立项进行长期研究，力求梳理分类、逐一突破，通过个别案例的解决，避免同类问题再次发生。

## 1.2 汽车紧固失效现象

汽车紧固件数量多、品种多，应用环境复杂，失效模式也种类繁多。常见的失效模式包括螺纹端部滑牙、螺纹中部滑牙、六角面打滑、内梅花打滑、紧固断裂、疲劳断裂、过载断裂、氢脆断裂、垫片碎裂、螺栓-螺母松动、被连接件相对滑移、被连接件压溃、被连接件开裂、紧固件腐蚀、漏水等。

### 1.2.1 典型召回案例

由于汽车产量很大，而单个紧固件的可追溯性差，一旦发生紧固件失效，往往造成众多车辆失效以及更多车辆存在潜在失效风险，两者之间往往无法区分或区分成本很高，因此，为了安全起见，往往批量召回。这会给生产厂商带来巨大的损失，也会给客户造成巨大的不便甚至人身安全风险。

据国家质检总局统计，2017年我国汽车召回251次，召回缺陷汽车2004.8万辆，在2016年突破1000万辆的基础上增加77%，连续第四年刷新年度召回数量纪录。自2004年我国实施缺陷汽车产品召回制度以来，已累计实施汽车召回1548次，召回缺陷汽车5673.8万辆。从总体数量上看，我国几乎每4辆车当中就有1辆曾经被召回，很多召回与汽车紧固件相关。

宝马(中国)汽车贸易有限公司、华晨宝马汽车有限公司于2014年召回汽车共计232098辆，召回原因为：由于发动机可变气门正时机构(VANOS)外壳上的固定螺