



GUIDAO JIAOTONG XIANGJIAO TANXING YUANJIAN

PEIFANG FENXI HE XINGNENGSHIYAN JISHU

轨道交通橡胶弹性元件 配方分析和性能试验技术

■ 王进 谭帅霞 林达文 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

轨道交通橡胶弹性元件 配方分析和性能试验技术

王 进 谭帅霞 林达文 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 1 3 年 · 北 京

内 容 简 介

本书详细介绍了轨道交通橡胶弹性元件的配方分析手段、流程以及产品的性能试验方法,同时列举了大量典型的分析案例。通过归纳整理和总结,实现和规范了轨道交通橡胶弹性元件的配方分析和产品性能试验技术,有利于指导轨道交通橡胶弹性元件配件企业的设计开发和配方设计人员的配方设计,方便检测试验人员的质量控制测试工作等。

本书既可以作为橡胶弹性元件研发人员的参考资料,也可以作为检测试验人员和质量监控人员的专业技术参考书,还可以作为橡胶、化学分析相关专业高等院校的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通橡胶弹性元件配方分析和性能试验技术/

王进,谭帅霞,林达文编著. —北京:中国铁道出版社,2013. 8

ISBN 978-7-113-17212-1

I. ①轨… II. ①王… ②谭… ③林… III. ①轨道交通—弹性元件—性能试验 IV. ①U239. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 210257 号

书 名: 轨道交通橡胶弹性元件配方分析和性能试验技术

作 者: 王 进 谭帅霞 林达文 编著

责任编辑: 王明容

电话: 010-51873138

邮箱: tdpres@126. com

封面设计: 郑春鹏

责任校对: 马 丽

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www. 51eds. com>

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

版 次: 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1 092mm 1/16 印张: 17. 5 字数: 373 千

书 号: ISBN 978-7-113-17212-1

定 价: 72. 00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

序

随着我国经济水平和工业技术的迅猛发展。橡胶弹性元件也以其优异性质,在汽车、铁道车辆、桥梁、机械工程等领域得到了大面积的推广和应用,并在某些领域已经逐步替代了金属弹性元件。轨道交通是公共交通的重要组成部分,尤其是随着轨道交通向高速化和重载化的发展、城市轨道交通向环保化和快捷化的发展,橡胶弹性元件在轨道交通车辆和线路上的应用越来越普及。

橡胶弹性元件的发展涉及橡胶材料配方技术、结构设计技术、试验检测技术、生产制造工艺技术等多种技术的系统综合应用。这些技术不仅为橡胶弹性元件的开发、预测产品的特性、降低产品研发成本提供了基础,同时为提高产品的可靠度和研发的准确度提供了良好的保证。而这其中配方分析和产品试验检测技术是提高研发速度和确保研发质量的最便捷和最有效方法之一。

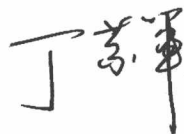
为了使橡胶弹性元件研发人员在选择橡胶弹性元件和借鉴国内外先进产品技术时有一定的参考,也便于检测实验人员和质量监控人员可以根据规范的检测流程对材料组分和性能进行有效把关,确保产品可靠性,非常有必要对轨道交通常用橡胶弹性元件的配方分析和产品性能测试方法进行研究、分析,并归纳总结。然而,目前针对各类橡胶弹性元件的配方分析及各种产品性能试验的完整的、规范的、系统的技术资料或相关标准一直未见出版。这也正是本书编著的初衷。本书实用性、先进性和可操作性强,理论介绍从简,实例说明问题为主,图表文并茂,非常便于查阅和参考。

王进博士长期从事橡胶弹性元件的产品开发和分析技术研究工作,主持和参与了包括国家“863”项目在内的 20 多项国家级和省级课题,并多次主持 IEC 和 TB 标准的起草,积累了丰富的橡胶弹性元件分析经验;谭帅霞博士长期从事高分子材料制备、表征与分析工作;林达文高工长期从事产品性能检测技术开发工作,他们均在工作实践中积累了不少经验与成果,为本书的编著打下了良好基础。本书依据橡胶材料配方组成、弹性元件产品关键性能指标,立足于株洲时代新材料科技股份有限公司的橡胶弹性元件产品的真实案例,规范化橡胶弹性元件的配方分析和性能检测技术,使全书内

容既有理论又有实践。

《轨道交通橡胶弹性元件配方分析和性能试验技术》一书的出版,将有助于推进本产业的技术进步与产品质量,是一本较为专业的科技参考书,愿它能成为本专业技术人员的良师益友。

中国工程院院士



2013年1月24日

前 言

随着轨道交通产业的迅猛发展,人们对轨道交通车辆运行的安全性、快捷性、稳定性和舒适性提出了更高的要求,从而促进了橡胶弹性元件在轨道交通领域的广泛应用。新型高性能弹性橡胶元件的大量采用,使轨道车辆 in 提高运行速度和载重的同时,还降低了运行噪声,减少了磨耗件和磨损件,减轻了轮轨磨耗。对高性能橡胶弹性元件配方和性能进行分析,不仅是对橡胶元件功能性、安全性把握的前提,也是获取先进技术的一种重要手段,尤其是对国外高新技术的消化、吸收甚至再创新的有效捷径。

全书以橡胶弹性元件的配方分析流程和性能测试方法为中心分为上、下两篇,共十一章。上篇包括第一至九章,第一章介绍了轨道交通橡胶弹性元件的分类,第二章概述了橡胶弹性元件的配方分析测试,第三章~第八章,分别介绍了胶种定性分析定量分析、有机助剂的定性定量分析、无机助剂的定性定量分析、橡胶及主要原材料中有毒有害物质的测定、炭黑的定性定量分析、卤素和全硫含量的分析,第九章列举了典型的轨道交通橡胶弹性元件的分析案例。下篇包括第十、十一章,第十章介绍了橡胶弹性元件的常用试验,第十一章介绍了典型的轨道交通橡胶弹性元件的性能试验。

书籍认真总结了各种轨道交通橡胶弹性元件的配方分析最新技术成果和性能测试方法,论述了轨道交通橡胶弹性元件配方分析及其产品性能测试的先进分析测试手段和分析流程,体现了橡胶弹性元件检测分析的技术积累和发展成果。全书突出实用性、先进性和可操作性,理论介绍从简,侧重于用实例说明问题,层次结构清晰,语言简练,且图表文并茂;同时考虑了目前国内关注较少,但欧盟指令越来越关注的有毒有害物质检测,针对橡胶中可能含有的有毒有害物质,细致地介绍了其检测方法、试验条件。

本书由王进、谭帅霞和林达文负责编著;参与各章节编写的人员还有周志诚、杨柳、邓江华、彭立群、李心、王叶青、徐娇、姚智平、杨慧、张志强、刘立峰、任申玥、昌慧娟、杨宗瑜、陈燕文、左斌、黄涛、刘国钧、倪玲、丁新艳等。

在本书的编写过程中,得到了时代新材公司董事长曾鸿平先生、总经理杨军博士、总工程师刘建勋先生、副总工程师程海涛博士、副总工程师姜其斌博士等各位领导的支持和督促,从而在基础研究数据不断积累的基础上,形成本书的各种素材,在此表示衷心的感谢。需要特别感谢中国工程院院士丁荣军先生和南车株洲电力机车研究有限公司总工程师冯江华先生,多年来一直支持株洲时代新材公司和笔者开展轨道交通橡胶弹性元件的测试分析与应用的基础研究。还要感谢时代新材公司技术管理部、技术中心和弹性元件事业本部开发中心等各相关部门同事的大力支持,尤其感谢卜继玲博士对本书结构等提出的宝贵意见,并对书稿进行了细致审核,本书正是大家的努力

工作的共同成果。最后要衷心感谢中国铁道出版社的领导和编辑,他们的辛勤工作促成了本书的及时出版。

本书既可以作为橡胶弹性元件研发人员的参考资料,也可以作为检测试验人员和质量监控人员的专业技术参考书,还可以作为橡胶、化学分析相关专业高等院校的参考书。

由于编者知识水平的限制,本书中难免存在疏漏,恳请读者不吝指正。

笔 者
2012年12月

目 录

上篇 轨道交通橡胶弹性元件配方分析技术

第一章 轨道交通用橡胶弹性元件概述	3
1.1 轨道交通用橡胶弹性元件的分类	3
1.2 几种典型的橡胶弹性元件	4
1.2.1 橡胶关节	4
1.2.2 轴箱弹簧(一系簧)	5
1.2.3 橡胶堆旁承(二系簧)	6
1.2.4 空气弹簧(二系簧)	6
1.2.5 橡胶垫	7
1.2.6 抗侧滚扭杆	8
1.2.7 车钩缓冲器	10
1.2.8 轨道减振器	10
1.2.9 轨道橡胶垫板	11
1.2.10 橡胶隔震支座	12
1.2.11 铁路桥梁橡胶支座	13
1.3 小 结	15
第二章 橡胶弹性元件的配方分析测试概述	16
2.1 橡胶弹性元件配方	16
2.2 轨道交通用橡胶材料的基本配方	19
2.3 橡胶弹性元件配方分析测试的基本流程	20
2.4 橡胶弹性元件配方分析方法及相关标准	22
2.5 主要检测仪器及设备	24
2.6 主要定义及其英文缩写	26
第三章 胶种的定性定量分析	28
3.1 傅里叶红外光谱法(FTIR)定性分析胶种	28
3.1.1 FTIR 工作原理	28
3.1.2 分析试剂和仪器	29
3.1.3 实验步骤	29
3.1.4 分析实例	30
3.2 差示扫描量热法(DSC)定性分析胶种	38

3.2.1 DSC 工作原理	38
3.2.2 仪器	39
3.2.3 实验步骤	39
3.2.4 胶种的 DSC 定性分析实例	39
3.3 热重法(TG)定性定量分析胶种	45
3.3.1 TG 工作原理	45
3.3.2 仪器	45
3.3.3 实验步骤	45
3.3.4 胶种的 TG 定性定量分析实例	47
第四章 橡胶中有机助剂的定性定量分析	59
4.1 气相色谱质谱联用仪(GC-MS)工作原理和分析方法	59
4.1.1 GC-MS 工作原理	59
4.1.2 GC-MS 定性分析方法	60
4.1.3 GC-MS 定量分析方法	60
4.1.4 GC-MS 操作要点	61
4.2 GC-MS 法定性分析橡胶中的有机助剂	62
4.2.1 仪器	62
4.2.2 实验步骤	62
4.2.3 分析实例	65
4.3 GC-MS 法定量分析橡胶中的防老剂	75
4.3.1 仪器	75
4.3.2 实验步骤	75
4.3.3 分析实例	77
4.4 典型有机助剂质谱图	77
第五章 橡胶中无机助剂的定性定量分析	108
5.1 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)工作原理和分析方法	109
5.1.1 ICP-OES 工作原理	109
5.1.2 ICP-OES 操作和分析要点	110
5.2 ICP-OES 法定性分析橡胶中的元素	110
5.2.1 仪器	110
5.2.2 实验步骤	111
5.2.3 分析实例	112
5.3 傅里叶红外光谱(FTIR)分析橡胶中的无机助剂	117
5.3.1 试剂与仪器	117
5.3.2 实验步骤	118
5.3.3 橡胶中典型无机添加物谱图	118
5.4 ICP-OES 与 FTIR 结合分析橡胶中的无机助剂实例	121

5.4.1 实例 1	121
5.4.2 实例 2	121
5.4.3 实例 3	122
第六章 橡胶及主要原材料中有毒有害物质的测定	125
6.1 ROHS 指令的检测方法	125
6.1.1 GC-MS 法定量分析橡胶中多溴联苯(PBB)和多溴联苯醚(PBDE)	125
6.1.2 ICP-OES 法定量分析氧化锌中的铅、镉、汞	135
6.1.3 ICP-OES 法分析炭黑中的铅、镉、汞	137
6.1.4 UV-vis 法定量分析橡胶中的六价铬	139
6.2 REACH 法规中与 SVHC 有关的检测项目	141
6.2.1 GC-MS 法定量分析橡胶中多环芳烃	141
6.2.2 GC-MS 法定量分析硫化胶中四种邻苯二甲酸酯	147
6.2.3 ICP-OES 法定量分析橡胶中铅、镉、汞、铬、砷、锡、钴、钼八大元素	151
第七章 橡胶中炭黑的定性定量分析	155
7.1 紫外可见分光光度法(UV-vis)的工作原理和分析方法	155
7.1.1 UV-vis 工作原理	155
7.1.2 UV-vis 的定性定量分析	155
7.2 UV-vis 法定性烃类硫化胶中的炭黑类型	156
7.2.1 试剂和仪器	156
7.2.2 实验步骤	156
7.2.3 单一炭黑分析	156
7.2.4 并用炭黑分析	157
7.3 UV-vis 法定性存在裂解残炭的硫化胶中的炭黑类型	158
7.3.1 实例 1:CR 中炭黑类型的分析	158
7.3.2 实例 2:EPDM 中炭黑类型的分析	158
7.3.3 实例 3:NBR/PVC 并用体系中炭黑类型的分析	159
7.4 热重分析法(TG)定量分析炭黑	159
7.4.1 对于不含裂解碳的烃类橡胶中炭黑含量分析	159
7.4.2 对于含裂解碳的橡胶中炭黑含量分析	160
第八章 橡胶中全硫和卤素含量的分析	161
8.1 离子色谱法(IC)的工作原理和分析方法	161
8.1.1 IC 分析原理	161
8.1.2 IC 的定性分析方法	162
8.1.3 IC 的定量分析方法	162
8.2 IC 法分析橡胶中全硫含量	163
8.2.1 试剂和仪器	163
8.2.2 实验步骤	163

8.2.3 分析实例	164
8.3 IC法分析橡胶中氯、溴含量	165
8.3.1 试剂和仪器	165
8.3.2 实验步骤	165
8.3.3 分析实例	167
第九章 轨道交通用橡胶弹性元件的配方分析实例	168
9.1 单一胶种的橡胶配方分析	168
9.1.1 某橡胶球纹产品样品(NR)	168
9.1.2 某抗老化橡胶产品样品(EPDM)	175
9.2 并用胶种的橡胶配方分析	183
9.2.1 某耐磨产品样品(NR/BR)	183
9.2.2 某衬套产品样品(NR/SBR)	191
9.2.3 某阻燃橡胶产品样品(NR/CR)	198
9.2.4 某密封产品样品(IIR和硅橡胶混用)	203

下篇 轨道交通橡胶弹性元件性能检测技术

第十章 常用橡胶弹性元件试验方法介绍	209
10.1 样品环境调节及试验温度	209
10.2 试验设备	209
10.2.1 加载试验机	209
10.2.2 变形测量仪器	211
10.2.3 试验工装和夹具	213
10.2.4 球铰疲劳试验工装设计与分析	214
10.3 橡胶弹性元件试验项目	218
10.3.1 静刚度性能试验	218
10.3.2 动刚度性能试验	220
10.3.3 蠕变性能试验	221
10.3.4 疲劳性能试验	222
10.3.5 粘接强度试验	223
第十一章 典型橡胶弹性元件试验	225
11.1 电机球铰试验	225
11.1.1 试验目的	225
11.1.2 试验方法	225
11.2 V形橡胶弹簧试验	227
11.2.1 试验目的	227
11.2.2 试验方法	228
11.3 锥形簧试验	232

11.3.1 试验目的	232
11.3.2 实验方法	232
11.4 橡胶堆旁承试验	235
11.4.1 试验目的	235
11.4.2 试验方法	235
11.5 JC 型常接触弹性旁承试验	239
11.5.1 试验目的	239
11.5.2 试验方法	239
11.6 空气弹簧试验	241
11.6.1 试验条件	241
11.6.2 试验方法	242
11.7 轴向橡胶垫试验	245
11.7.1 试验目的	245
11.7.2 试验方法	245
11.8 轴箱橡胶垫试验	246
11.8.1 试验目的	247
11.8.2 试验方法	247
11.9 抗侧滚扭杆试验	249
11.9.1 试验目的	249
11.9.2 试验方法	249
11.10 弹性胶泥缓冲器试验	253
11.10.1 试验目的	253
11.10.2 试验方法	253
11.11 轨道减振器试验	255
11.11.1 试验目的	256
11.11.2 试验方法	256
11.12 橡胶隔震支座试验	258
11.12.1 试验目的	258
11.12.2 试验方法	259
11.13 盆式橡胶支座试验	261
11.13.1 试验目的	262
11.13.2 试验方法	262
主要参考资料	265

上 篇

轨道交通橡胶弹性元件配方分析技术

第一章 轨道交通用橡胶弹性元件概述

随着我国现代铁路和高速铁路的发展,人们对列车舒适度、快捷性和安全性提出了更高的要求。橡胶弹性元件由于具有多项优点:①可以通过设计结构、调整橡胶性能来满足对各个方向刚度的要求;②兼具衰减和吸能两种能力,减振效果好,容易越过共振区;③弹性模量比金属小得多,能够产生较大弹性形变;④没有滑动部分,无磨损,易于保养;⑤重量轻,安装、拆卸方便等,因此,在轨道车辆的转向架上、车体的连接部位以及轨道线路上、铁路高架桥上得到了广泛应用。

1.1 轨道交通用橡胶弹性元件的分类

轨道车辆上的橡胶弹性元件的品种和规格繁多,主要应用于弹簧装置和定位装置,此外车体与摇枕、摇枕与构架、轴箱与构架、弹簧支承面等金属部件直接接触部位之间,也经常采用橡胶衬垫、衬套、止挡等橡胶弹性元件。除了轨道车辆上应用橡胶弹性元件进行减振降噪之外,在轨道线路上面,也大量使用橡胶弹性元件充当隔振和吸能部件。

按照橡胶弹性元件的结构可以分为四类:

(1)纯橡胶弹性元件,主体材料为橡胶。该类制品主要用于轨道减振上,如轨下橡胶垫板、枕下橡胶垫板等,起缓和冲动、衰减振动的作用。

(2)橡胶金属复合弹性元件,主体材料为橡胶和金属,其中金属起承载作用,橡胶起衰减振动、减少金属之间的磨耗作用。该类制品是轨道车辆上应用最为广泛、最主要的减振制品。

(3)橡胶液体复合弹性元件,主体材料为橡胶和液体,利用液体黏滞力所作的负功来吸收振动能量,优点在于它的阻力是振动速度的函数,其特点是振幅的衰减量与幅值大小有关,振幅大时衰减量也大。如车钩缓冲器中的黏弹性橡胶缓冲器,就是一种橡胶液体复合减振器。

(4)空气弹簧,主体材料为橡胶,但内腔冲入压缩空气,形成一个橡胶空气的复合弹性元件。空气弹簧工作时,其高度、内腔容积、承载力随着振动载荷的增减发生平稳的柔性传递,可有效限制振幅,避开共振,防止冲击。目前已广泛用于各种车辆的悬挂系统,抗冲击和振动隔离器等减振领域。

按橡胶弹性元件的用途可以分为:

(1)起缓和冲动作用的,如中央及轴箱弹簧。

(2)起衰减(消耗能量)振动作用的,如垂向、横向弹性制品。

(3)起定位(弹性约束)作用的,如轮对轴箱的弹性定位器、各种止挡、摇动台的横向缓冲器或纵向牵引拉杆。

按橡胶弹性元件的运用部位可以分为:

(1)机车车辆用橡胶弹性元件:牵引悬挂用橡胶关节、一系橡胶弹性元件、二系橡胶弹性元件、车钩缓冲器、弹性车轮。机车车辆用典型的转向架橡胶弹性元件如图 1-1 所示。

(2)轨道线路用橡胶弹性元件:轨道减振器、枕上橡胶垫板、枕下橡胶垫板,对于无砟轨道还有板下弹性垫、弹性支撑块下弹性垫层、橡胶靴套。

(3)铁路高架桥用橡胶弹性元件:各种橡胶支座。

下面将以橡胶弹性元件运用部位介绍几种典型橡胶弹性元件。

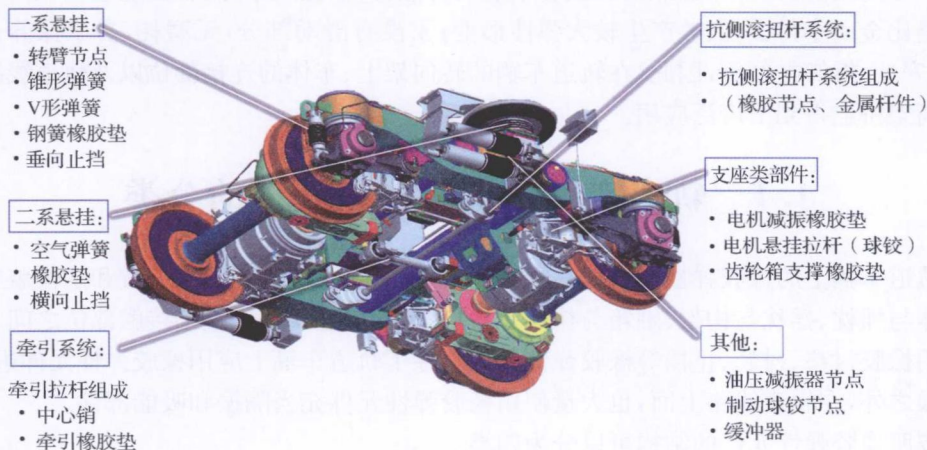


图 1-1 典型转向架的橡胶弹性元件

1.2 几种典型的橡胶弹性元件

1.2.1 橡胶关节

机车车辆发展的初期,机车牵引悬挂元件采用滚动或滑动轴承等传统刚性结构,使用中会产生摩擦,需要进行润滑,噪声较大,并易产生冲击,使用寿命较短,因此现代机车通常使用一种称为橡胶球铰的产品。橡胶球铰是由金属外套、金属芯轴和橡胶筒组成。由于橡胶的多方向形变、弹性和黏弹性,使其具有降低振动与噪声、无磨损、长寿命等特点,从而取代传统的刚性关节被广泛应用在机械、机车车辆以及汽车等领域,用于传递轴向、径向、扭转、偏转等多向载荷,同时在载荷传递过程中起到消减冲击和振动的作用,有效地调节和控制摆动实现平稳



图 1-2 橡胶弹性球关节

传递。

与刚性关节相比,橡胶关节有如下优点:

(1)采用特殊结构,可有效地消除因橡胶与金属热系数不同所产生的内应力,并形成径向预压,使球关节在受载时不通过交变零应变,产品始终在压、剪应力状态下工作,大大延长了产品的使用寿命。

(2)能够承受推、挽双向载荷,实现轴向、扭转、扭摆等方向较大变形,以适应轮对相对于转向架的万向运动。

(3)消除金属与金属间的接触,有效地调节和控制摆动,降低冲击,实现平稳传递。

此类产品的关键技术在于抗疲劳性能,时代新材料科技股份有限公司(以下简称TMT)通过炭黑原位接枝橡胶技术使球铰类产品的疲劳性能得到根本改善,目前已开始大批量出口到欧美等国家。

1.2.2 轴箱弹簧(一系簧)

轴箱弹簧是用于车辆转向架一系减振的元件(故又称为一系簧),它给构架提供垂向、纵向和横向的柔性支撑和定位,运行中起减振作用,改善车辆运行品质,提高乘坐舒适性,降低轮缘及轨道磨损。从外形上看,主要分为V形和锥形两种。

V形橡胶弹簧是一系悬挂橡胶减振器的代表产品之一,与金属悬挂相比,能有效地降低磨损,隔离噪音,并能提供所需的垂、横、纵三向刚度,控制横向、纵向摆动,提供适宜的牵引力。国外Dunlop、Phonex等公司已具有成熟技术。由于V形弹簧承受周向剪切和垂向压缩变形,因此橡胶的抗蠕变性能成为衡量该产品技术水平的主要标志。TMT的技术人员对提高产品的抗蠕变性能进行专题研究,实验室检测结果表明,新研制的V形橡胶弹簧抗蠕变性能优于国外同类产品。

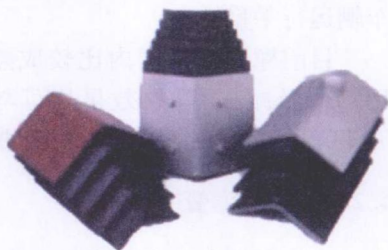


图 1-3 V形弹簧



图 1-4 锥形弹簧

锥型弹簧和V形弹簧相比,其特点主要有:

(1)采用圆柱衬套结构,可根据三向刚度要求进行槽孔的不同设计;

(2)根据橡胶弹簧的压、剪锥体理论,采用等应力层设计方法及特选的弹性橡胶,更有