

综述·专论

高性能特种弹性体的拓展(五) ——抗爆炸减压弹性体

谢忠麟, 马晓, 吴淑华

(北京橡胶工业研究设计院有限公司, 北京 100143)

摘要:综述近年来在非轮胎橡胶制品领域拓展应用的具有特殊性能和特种用途、能在苛刻条件下使用的高性能特种弹性体。本综述第5部分介绍在高压-高温油气田系统发生爆炸减压或称快速气体减压现象造成橡胶部件(如密封件)起泡和爆裂损坏的成因以及用作抗爆炸减压弹性体的胶种和类型。抗爆炸减压弹性体必须通过有关国际公认的标准检测和认证并获得合格证书才能给油气工业用户供货。列出主要的认证检测标准,包括挪威标准NORSOK M-710、美国标准NACE TM 0297、法国标准TOTAL GS EP PW 142、国际标准ISO 23936-2,其中NORSOK M-710采用最为广泛。列举了一些高性能抗爆炸减压弹性体的胶料配方和性能。

关键词:特种弹性体;抗爆炸减压;油气田;密封件;检测标准;NORSOK M-710认证

中图分类号:TQ333;TQ334

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)04-0313-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.04.0313

近年来,非轮胎橡胶制品用弹性体不断推出新品种、新牌号,以适应上游行业产品日益严苛的技术要求。本文介绍抗爆炸减压弹性体。

1 弹性体快速气体减压现象

20世纪末,一家国外石油公司在深海平台上第1次发现阀门发生快速气体减压(rapid gas decompression,简称RGD)或称爆炸减压(explosive decompression,简称ED)现象,阀门失效后该公司不得不停止作业数周以更换阀门,损失惨重。2002年美国石油学会标准API 6D管线阀门规定:设计压力高于ASME Class 600等级的阀门产品必须设计防爆炸减压功能。

油气田橡胶密封件发生爆炸减压的原因是:油气田系统高压和高温环境使气体(甲烷、二氧化碳和硫化氢等)渗入弹性体内,当高压含气系统压

力极速下降,会破坏系统中弹性体内外部气体压力的平衡,气体快速从弹性体中溢出,导致系统膨胀。若系统膨胀足够大,且压降速率比天然气扩散速率快会导致弹性体部件发生起泡或爆裂(内外裂缝、贯穿裂缝,见图1^[1-2])等严重问题,造成密封失效。

2 抗爆炸减压弹性体的检测标准及试验条件

应用于油气田气体快速减压配件用的弹性体称为抗爆炸减压[anti-explosive decompression(简称AED)或explosive decompression resistant(简称EDR),两者中文也称抗内爆]弹性体。生产商供应的抗爆炸减压弹性体必须通过有关国际公认的标准检测并获得合格证书才能给油气工业用户供货,主要检测标准有4个:挪威石油工业技术法规NORSOK M-710^[3]、美国腐蚀工程师协会标准

作者简介:谢忠麟(1941—),男,广东乐昌人,北京橡胶工业研究设计院有限公司教授级高级工程师(已退休),主要从事非轮胎橡胶制品研制及橡塑材料研究工作。

E-mail:7792xie@sina.com

引用本文:谢忠麟,马晓,吴淑华.高性能特种弹性体的拓展(五)——抗爆炸减压弹性体[J].橡胶工业,2022,69(4):313-319.

Citation: XIE Zhonglin, MA Xiao, WU Shuhua. Expansion of high performance elastomers (Part 5) —Anti-explosive decompression elastomers[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(4): 313-319.

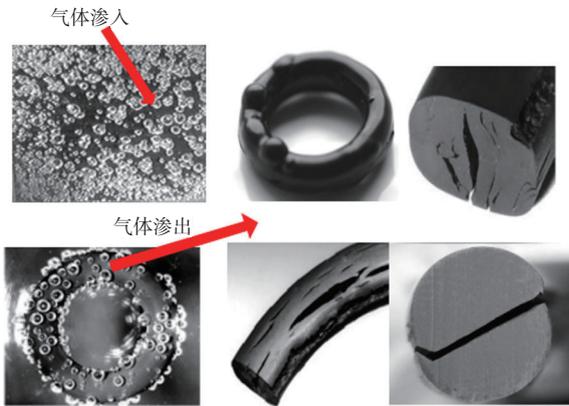


图1 快速气体减压引起的弹性体起泡和爆裂损坏
Fig. 1 Blistering and bursting damages of elastomers caused by rapid gas decompression

NACE TM 0297^[4]、法国道达尔石油公司标准 TOTAL GS EP PW 142^[5]、国际标准 ISO 23936-2^[6]，其中NORSOK M-710广泛扩展，现在已经为全球所公认，国内外许多公司都申请此认证。最新版的NORSOK M-710(2014年第3版)检测方法和要求按照国际标准ISO 23936-2—2011执行。GB/T 34903.2^[7]等同于采用国际标准ISO 23936-2。

表1列出弹性体快速气体减压最新检测标准及试验条件。国外有一些检测公司具有检测认证的资质，例如NORSOK M-710认证有名的单位：英国的元素材料技术公司(Element Materials Technology, 简称Element)和材料工程研究实验室有限公司(Materials Engineering Research Laboratory Ltd, 简称MERL)，我国橡胶制品企业基本由Element公司认证。

3 抗爆炸减压弹性体的认证

表2是选取国内外几家橡胶制品公司^[8-11]通过NORSOK M-710认证的抗爆炸减压弹性体的胶种及类型，胶种多数是氟橡胶，其次是氢化丁腈橡胶，少数是四丙氟橡胶和全氟醚橡胶。同一胶种也有不同类型，因为除了考虑弹性体的抗快速气体减压性能外，还要综合考虑其对接触的气液腐蚀性介质的耐受性能和耐高低温性能等。

目前尚未见到有关抗爆炸减压弹性体性能的国际标准、国家标准或行业标准。表3列出英国东部密封(Eastern Seals)公司^[9]和美国派克

表1 弹性体快速气体减压检测标准及试验条件

Tab. 1 Rapid gas decompression test standards and test conditions for elastomers

项 目	NORSOK M-710 ¹⁾ (2014, 第3版)	NACE TM 0297—2017 (第4版)	TOTALGSEP PW142(2009, 第5版)	项 目	NORSOK M-710 ¹⁾ (2014, 第3版)	NACE TM 0297—2017 (第4版)	TOTALGSEP PW142(2009, 第5版)
	ISO 23936-2: 2011(第1版)	GB/T 34903.2—2017			ISO 23936-2: 2011(第1版)	GB/T 34903.2—2017	
试样				压力/MPa	15	7, 17, 28, 38	19
密封件类型	O形圈	O形圈	O形圈	初始暴露时间/h	68		72
产品标准	ISO 3601-1	AS 568	ISO 3601-1	暴露时间/h	6与12交替	24	48
规格代码	312—329	325	349或425	减压速率/ (MPa·min ⁻¹)	2	7	12.67
横截面直径/mm	5.33	5.33	5.33或6.99	大气压下保持 时间/h	1		1
数量	4	9	5	减压循环	8	1	
压缩率/%	14.5	选择	13.5	损坏评级			
槽体积占比/%	80~85		73	截面数量	4—8		4 ³⁾
试验介质和组成 (物质的量比)	CH ₄ /CO ₂ (10:90 ²⁾)	CO ₂	CO ₂ /CH ₄ (20:80)	通过	0—3	1, 2	0—3 ³⁾
	CO ₂ /N ₂ (10:90 ²⁾)			未通过	4—5	3, 4	4—5 ³⁾
温度/℃	100	50, 100, 120, 150, 175, 230	75				

注：1) NORSOK M-710(2014, 第3版)的试验应按ISO 23936-2第7款要求；2) 酸性应用环境的RGD试验，混合气体中的硫化氢可用二氧化碳代替，虽然许多工作介质的气相中都含有硫化氢，但极少实施硫化氢(或含硫化氢的混合气体)的RGD试验，目前认为二氧化碳是一种适合的替代品；3) 按NORSOK M-710测试。

表2 部分公司通过NORSOK M-70认证的抗爆炸减压弹性体的胶种和类型
Tab. 2 Varieties and types of NORSOK-70 certified anti-explosive decompression elastomers of some companies

弹性体的胶种和类型及邵尔A型硬度	公司(国别)					弹性体的胶种和类型及邵尔A型硬度	公司(国别)				
	PPE (英) ¹⁾	ES (英) ²⁾	特瑞堡 (德) ³⁾	派克 (美) ⁴⁾	OH (中)		PPE (英) ¹⁾	ES (英) ²⁾	特瑞堡 (德) ³⁾	派克 (美) ⁴⁾	OH (中)
1型FKM(26型氟橡胶)						(90±5)度					
(90±5)度					√	HNBR(ACN质量分数为					
(95±5)度					√	0.36的氢化丁腈橡胶)					
2型FKM(246型氟橡胶)						(90±5)度	√	√	√	√	√
(90±5)度	√	√	√			(95±5)度					√
(95±5)度				√		HNBR-LT(ACN质量分数为					
3型FKM(耐低温氟醚橡胶, 例杜邦Viton GLT)						0.19的低ACN氢化丁腈橡胶)					
(90±5)度	√	√	√		√	(85±5)度	√				
(95±5)度					√	(90±5)度	√	√	√	√	
3型FKM(耐超低温氟醚橡胶, 例苏威VPL和VPLX)						(95±5)度					√
(90±5)度	√		√			FFKM(全氟醚橡胶)					
(95±5)度						(90±5)度	√	√			
4型EFPM(四丙氟橡胶, 例旭硝子Aflas 150P)						(95±5)度			√		
(85±5)度				√		FFKM-LT(耐低温全氟醚橡胶)					
						(90±5)度	√	√			

注:1)参考文献[8];2)参考文献[9];3)参考文献[10];4)参考文献[11]。

表3 通过NORSOK M-710认证的部分弹性体的指标和/或实测值
Tab. 3 Limits and/or measured values of some elastomers certified by NORSOK M-710

项 目	Eastern Seals公司(英)						Parker公司(美)	
	V90 AED TypeB (Viton B)		V90 AED GLT (Viton GLT)		HNBR90 AED (中ACN含量HNBR)		HNBR90 LT AED (低ACN含量HNBR)	V1041-85 (四丙氟橡胶)
	指标	实测值	指标	实测值	指标	实测值	实测值	实测值
邵尔A型硬度/度	90±5	93	90±5	93	90±5	88	90	86
拉伸强度/MPa	10(最小)	14.17	14(最小)	21.19	20(最小)	31.28	15	19.75
拉断伸长率/%	100(最小)	154	100(最小)	126	100(最小)	170	120	150
耐热空气老化性能								
老化条件	250 °C × 70 h		250 °C × 70 h		150 °C × 70 h		150 °C × 94 h	
邵尔A型硬度变化/度	≤+10	0	≤+10	+3	≤+10	-1	+5	
拉伸强度变化率/%	-25(最大)	-5	-25(最大)	-10	-25(最大)	-8	+10	
拉断伸长率变化率/%	-25(最大)	+16	-25(最大)	+10	-30(最大)	-13	-25	
耐液体性能								
测试条件1	燃油C, 23 °C × 70 h		燃油C, 23 °C × 70 h		IRM 901油, 150 °C × 70 h			
邵尔A型硬度变化/度	±5	-3	±5	-5	-5~+10	-1		
拉伸强度变化率/%	-25(最大)	-3	-25(最大)	-18	≤20	-7		
拉断伸长率变化率/%	-20(最大)	+1	-20(最大)	-16	≤30	-5		
体积变化率/%	0~+10	+1.9	0~+10	+4.3	±5	-0.7		
测试条件2			101 [#] 油,				IRM 902油,	
			200 °C × 70 h				100 °C × 168 h	
邵尔A型硬度变化/度			-15~+5	-12			-9	
拉伸强度变化率/%			-40(最大)	-24			+17	
拉断伸长率变化率/%			-20(最大)	-4			+18	
体积变化率/%			0~+15	+14.7			+11	
测试条件3					IRM 901油,		IRM 901油,	
					150 °C × 70 h		135 °C × 70 h	
邵尔A型硬度变化/度					-15(最大)	-10		-9
拉伸强度变化率/%					-40(最大)	-17		-14.7
拉断伸长率变化率/%					-40(最大)	-16		+13.3

(续表3)

项 目	Eastern Seals公司(英)						Parker公司(美)	
	V90 AED TypeB (Viton B)		V90 AED GLT (Viton GLT)		HNBR90 AED (中ACN含量HNBR)		HNBR90 LT AED (低ACN含量HNBR)	V1041-85 (四丙氟橡胶)
	指标	实测值	指标	实测值	指标	实测值	实测值	实测值
体积变化率/%					≤+25	+11.5		+13.7
压缩永久变形/%								
条件	200 °C×70 h		200 °C×70 h		150 °C×70 h		150 °C×70 h	135 °C×70 h
数值	≤50	35	≤50	18.9	≤30	19.5	32	34.3
脆化温度	-25 °C×3 min				-40 °C×3 min		-55 °C×3 min	
	不裂	不裂			不裂	不裂	不裂	
$T_{R10}/^{\circ}\text{C}$		-14.4		-30.2		-16		

(Parker)^[12]公司部分已通过MORSOK-710认证的抗爆炸减压弹性体的性能指标和/或实测值以供参考。

4 抗爆炸减压弹性体的配方

国内外生产油气工业用抗爆炸减压弹性体配件的企业对胶料配方设计和使用配方均保密,从为数不多的专利申请文件摘录部分实施例列于表4—11,由于专利文件的特点,并不能完全反映配方的真实性,但可以从中了解一些技术思路,以作参考。

表4 耐低温氟醚橡胶抗爆炸减压弹性体(-25 °C级)
Tab.4 Low temperature resistant fluoroether rubber anti-explosive decompression elastomers (-25 °C grade)

项 目	配方编号		
	1 [#]	2 [#]	3 [#]
组分用量/份			
助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.72)	6	3	6
双酚AF(有效成分质量分数为0.5)	6	6	3
胶料NORSOK M-710测试			
损坏评级	0	2	3
结论	通过	通过	通过

注:1[#]—3[#]配方^[13]其余组分及用量为氟醚橡胶Tecnoflon 958 100,炭黑N990 30,炭黑N110 25,氧化锌 5,有机硅烷分散剂 0.5,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.46) 2.3。

表5 耐低温氟醚橡胶抗爆炸减压弹性体(-30 °C级)

Tab.5 Low temperature resistant fluoroether rubber anti-explosive decompression elastomers (-30 °C grade)

项 目	配方编号							
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]
邵尔A型硬度/度	86	92	94	86	95	76	90	94
50%定伸应力/MPa	4.3	8.2	9.6	4.3	15.6	2.7	5.7	9.3
100%定伸应力/MPa	9.8	16.4	18.4	9.8	—	5.9	12.4	—
拉伸强度/MPa	23.2	22.7	27.9	23.2	18.2	23.6	21.0	13.8
拉断伸长率/%	205	141	162	205	85	286	197	81
撕裂强度(直角形试样)/(kN·m ⁻¹)	67	72	86	67	80			
$T_{R10}/^{\circ}\text{C}$						-29.6	-19.9	-31.4
$T_8/^{\circ}\text{C}$						-29.0	-19.4	-19.6
API挤出测定	一般	优	优	良好	优异	差	良	优
NORSOK M-710测试	未通过	通过	通过	通过	通过	未通过	通过	通过

注:1[#]—3[#]配方^[14]炭黑N990用量分别为40,35和30份,碳纳米管用量分别为0,5和10份,其余组分及用量为氟醚橡胶Viton GLT-600S 100,活性氧化锌 3,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 4,加工助剂Struktol HT 290 0.9,加工助剂Struktol WS280 0.8;4[#]—5[#]配方^[15]氟醚橡胶Viton GLT-600S用量分别为100和95份,芳纶浆粕用量分别为0和5份,其余组分及用量为炭黑N330 25,炭黑N990 15,硫酸钡 10,活性氧化锌 3,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 4,加工助剂Struktol HT290 0.9,加工助剂Struktol WS280 0.8;6[#]配方^[13]组分及用量为氟醚橡胶Viton GLT-600S 100,炭黑N990 40,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 3.4,加工助剂Struktol HT290 1.5;7[#]配方^[13]组分及用量为氟醚橡胶Viton GLT-600S 100,炭黑N990 15,导电炭黑(Ensaco 205G) 25,活性氧化锌 3,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 7.14,加工助剂Struktol HT290 0.9,加工助剂Struktol WS280 0.8;8[#]配方^[13]组分及用量为氟醚橡胶Viton GLT-600S 100,炭黑N990 15,导电炭黑(Ensaco 205G) 20,灯烟炭黑(Austin 325) 30,活性氧化锌 3,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 5,加工助剂Struktol HT290 1。

表6 耐低温氟醚橡胶抗爆炸减压弹性体(-40℃级)
Tab. 6 Low temperature resistant fluoroether rubber anti-explosive decompression elastomers(-40℃ grade)

项 目	配方编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
邵尔A型硬度/度	81	88	96	98
50%定伸应力/MPa	3.1	5.2	11.5	13.6
100%定伸应力/MPa	7.4	10.8	19.8	—
拉伸强度/MPa	15.9	18.1	21.9	19.8
拉断伸长率/%	200	167	111	88
T _{R10} /℃	-40.0	-40.1	-41.7	-41.5
T _g /℃	-39.4	-39.6	-39.8	-40.1
API挤出测定	差	良	优	优
NORSOK M-710测试	未通过	通过	通过	通过

注:1[#]配方部分组分及用量为炭黑N990 15,导电炭黑Ensaco 205G 20,加工助剂 HT290 1;2[#]配方部分组分及用量为炭黑 N990 20,导电炭黑Ensaco 205G 25,加工助剂 HT290 1.2;3[#]配方部分组分及用量为炭黑N774 20,导电炭黑Ensaco 205G 25,碳纳米管 5,加工助剂HT290 1.2;4[#]配方部分组分及用量为导电炭黑Ensaco 205G 25,灯烟炭黑Austin 325 20,碳纳米管 10,加工助剂 HT290 1.2。1[#]—4[#]配方^[16]其余组分及用量为氟醚橡胶Tecnoflon VPL 85540 100,活性氧化锌 3,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 4。

表7 过氧化物硫化高氟含量FKM抗爆炸减压弹性体
Tab. 7 Peroxide curable high fluorine content FKM anti-explosive decompression elastomers

项 目	配方编号				
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
组分用量/份					
Viton GF-600S	100	100	100	100	95
芳纶浆粕	0	0	0	0	5
炭黑N990	30	25	20	15	15
碳纳米管	0	5	10	0	0
胶料性能					
邵尔A型硬度/度	77	88	94	88	96
50%定伸应力/MPa	2.3	6.5	10.6	6.8	24.0
100%定伸应力/MPa	5.0	14.0	21.7	16.1	17.8
拉伸强度/MPa	18.1	28.5	34.1	27.1	25.1
拉断伸长率/%	256	208	179	159	106
撕裂强度(直角形试样)/(kN·m ⁻¹)	60	75	95	70	80
API挤出测定	差	一般	优	良	优
NORSOK M-710测试	未通过	通过	通过	通过	通过

注:1[#]—3[#]配方^[14]其余组分及用量为硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 4,活性氧化锌 3,加工助剂Struktol HT290 1;4[#]—5[#]配方^[15]其余组分及用量为炭黑N330 25,硫酸钡 10,活性氧化锌 3,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 4,加工助剂Struktol HT290 0.9,加工助剂Struktol WS280 0.8。

表8 HNBR抗爆炸减压弹性体
Tab. 8 HNBR anti-explosive decompression elastomers

项 目	中ACN含量HNBR配方 ^[15] 编号			低ACN含量HNBR配方 ^[15] 编号	
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
组分用量/份					
HNBR ¹⁾	100	95	80	0	0
HNBR-LT ²⁾	0	0	0	90	80
芳纶浆粕	0	5	20	10	20
胶料性能					
邵尔A型硬度/度	86	90	95	91	94
50%定伸应力/MPa	4.6	6.1	11.0	10.3	10.3
100%定伸应力/MPa	10.9	12.3	16.5	135.	13.7
拉伸强度/MPa	24.5	22.1	19.9	15.4	15.1
拉断伸长率/%	213	196	155	125	102
撕裂强度(直角形试样)/(kN·m ⁻¹)	68	69	78	52	63
API挤出测定	良	优	优	优	优
NORSOK M-710测试	通过	通过	通过	通过	通过

注:中ACN含量HNBR配方其余组分及用量为炭黑N550 70,炭黑N220 15,活性氧化锌(有效成分质量分数为0.4) 5,硬脂酸 1,防老剂445 1.5,防老剂MBZ 0.5,增塑剂TOTM 3,硫化剂BIBP(有效成分质量分数为0.4) 2.5,硫化剂DCP 2.1,助交联剂1,2-聚丁二烯(有效成分质量分数为0.6) 8,加工助剂Struktol WB222 1;低ACN含量HNBR配方其余组分及用量为炭黑N774 40,炭黑N550 30,活性氧化锌(有效成分质量分数为0.4) 5,硬脂酸 1,防老剂445 1.5,防老剂MBZ 0.5,增塑剂DOS 5,硫化剂BIBP(有效成分质量分数为0.4) 8,助交联剂1,2-聚丁二烯(有效成分质量分数为0.6) 8,加工助剂Struktol WB222 1,加工助剂Struktol TL 1。1)中ACN含量HNBR;2)低ACN含量HNBR。

表9 四丙氟橡胶抗爆炸减压弹性体
Tab. 9 Tetrafluoroethylene-propylene rubber anti-explosive decompression elastomers

项 目	配方编号		
	1 [#]	2 [#]	3 [#]
组分用量/份			
四丙氟橡胶	100	95	90
芳纶浆粕	0	5	10
胶料性能			
邵尔A型硬度/度	87	93	95
50%定伸应力/MPa	5.3	11.6	14.2
100%定伸应力/MPa	12.2	13.6	5.2
拉伸强度/MPa	19.6	15.0	15.3
拉断伸长率/%	166	143	103
撕裂强度(直角形试样)/(kN·m ⁻¹)	44	66	81
API挤出测定	良	优	优
NORSOK M-710测试	通过	通过	通过

注:配方^[15]其余组分及用量为炭黑N990 20,炭黑N550 40,硬脂酸钠 1,硫化剂BIBP(有效成分质量分数为0.4) 2.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 7,加工助剂Struktol HT290 1.2。

表10 5型FKM抗爆炸减压弹性体
Tab. 10 Type 5 FKM anti-explosive decompression elastomers

项 目	配方编号	
	1 [#]	2 [#]
邵尔A型硬度/度	90	87
50%定伸应力/MPa	7.0	
100%定伸应力/MPa	14.4	19.5
拉伸强度/MPa	20.6	22.1
拉断伸长率/%	143	110
压缩永久变形(200℃×70h)/%		35
T _{R10} /℃	-7.3	
API挤出测定	良	
NORSOK M-710测试	通过	
NACE TM-0297测试		通过

注:1[#]配方^[16]组分及用量为Tecnoflon BR9151 100,炭黑N990 20,导电炭黑Ensaco 205G 25,活性氧化锌 3,硫化剂BIBP(有效成分质量分数为0.4) 1.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.7) 4,加工助剂 Struktol HT290 1.2;2[#]配方^[17]组分及用量为Tecnoflon BR9151 100,炭黑N990 30,炭黑N330 20,氧化锌 5,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.5) 2,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.75) 3,加工助剂Tecnoflon FPA1(全氟聚醚) 0.5。

表11 全氟醚橡胶抗爆炸减压弹性体
Tab. 11 Perfluoroether rubber anti-explosive decompression elastomers

项 目	配方编号	
	1 [#]	2 [#]
邵尔A型硬度/度	93	91
50%定伸应力/MPa	9.8	5.0
100%定伸应力/MPa	16.7	9.2
拉伸强度/MPa	18.4	11.5
拉断伸长率/%	125	115
压缩永久变形(200℃×70h)/%	27	32
T _{R10} /℃		-30
NORSOK M-710测试		通过
ISO 23936-2	通过	

注:1[#]配方^[18]组分及用量为FFKM(Tecnoflon PFR 95HT) 100,炭黑N990 60,加工助剂PAT777(脂肪酸衍生物) 1,加工助剂Struktol WS280 0.5,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 1.5;2[#]配方^[19]组分及用量为FFKM-LT(Tecnoflon PFR LT) 100,炭黑N550 35,白炭黑 10,加工助剂PAT777(脂肪酸衍生物) 1,加工助剂Struktol WS280 0.5,加工助剂Armeen 18D(十八烷基伯胺) 0.3,硫化剂双2,5(有效成分质量分数为0.45) 2.5,助交联剂TAIC(有效成分质量分数为0.75) 5。

5 结语

随着应用市场对橡胶制品的性能要求不断提

高,橡胶制品用特种弹性体的品种不断丰富、性能不断拓展,本文所述抗爆炸减压弹性体材料只是众多高性能弹性体中的一个种类。我国生产的特种弹性体已涵盖各大品种,但大多商业化产品属于通用型品种,许多高性能特种弹性体仍需进口或处于研发/试产阶段。相信在“十四五”规划的指导和广大科研工作者的不懈奋斗下,我国将会有更多高性能特种弹性体实现产业化,为生产高性能橡胶制品提供优质原料。

参考文献:

- [1] MUNCH S M G, THOMSON B. Observing rapid gas decompression: A novel technique[C]. Proceedings of High Performance Elastomers and Polymers for Oil and Gas Applications. Aberdeen, Scotland: Smithers Rapra, 2012: Paper 3.
- [2] DuPont Performance Elastomers. Explosive decompression[DB/OL]. (2007-06-20). <https://www.o-rings.eu/UserFiles/Download/Explosive%20Decompression.PDF>.
- [3] Standards Norway. Qualification of non-metallic materials and manufacturers-polymers: NORSOK M-710: 2014[S]. Lysaker, Norway: Standards Norway, 2014.
- [4] NACE International. Effects of high-temperature, high-pressure carbon dioxide decompression on elastomeric materials: NACE TM 0297-2017[S]. Houston, Texas, USA: NACE International, 2017.
- [5] Total Company. General specification piping valves vessels-valves: TOTAL GS EP PW 142-2009[S]. Paris, France: Total Company, 2009.
- [6] International Standard Organization. Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Non-metallic materials in contact with media related to oil gas production-Part 2: Elastomers: ISO 23936-2: 2011[S]. Geneva, Switzerland: International Standard Organization, 2011.
- [7] 中国国家标准化管理委员会. 石油、石化与天然气工业 与油气开采相关介质接触的非金属材料 第2部分 弹性体: GB/T 34903.2-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
China National Standardization Administration Committee. Petroleum, petrochemical and natural gas industries-non-metallic materials in contact with media related to oil gas production-Part 2: Elastomers: GB/T 34903.2-2017[S]. Beijing: China Standards Press, 2011.
- [8] Precision Polymer Engineering. Explosive decompression resistant elastomers[Z]. Blackburn, UK: Precision Polymer Engineering, 2018.
- [9] Eastern Seals. NORSOK approved compounds[Z]. Northumberland,

- UK: Easter Seals, 2018.
- [10] Trelleborg Sealing Solutions. Oil & gas sealing systems product catalog & engineering guide[Z]. Stuttgart, Germany: Trelleborg Sealing Solutions, 2018.
- [11] Parker Hannifin GmbH & Co. Parker achieves NORSOK approval[Z]. Pleidelsheim, Germany: Arker Hannifin GmbH & Co., 2008.
- [12] Parker. Material report No.KK1644[DB/OL]. (1984-02-20). https://www.parker.com/static_content/literature/O-Ring%20Division%20Literature/Static%20Files/V1041.pdf.
- [13] Campbell R R. Rapid gas decompression-resistant fluoroelastomer composition and molded articles[P]. USA: USP 9 453 123 B2, 2016-09-27.
- [14] 李恩军, 苟文亮. 一种耐高温高压密封件用氟橡胶材料及其制备方法[P]. 中国: CN 106633544B, 2019-07-19.
LI E J, GOU W L. A fluororubber material used for sealing members resistant to high temperatures and high pressure and a preparing method thereof[P]. China: CN 106633544B, 2019-07-19.
- [15] 李恩军, 苟文亮. 橡胶密封制品及其制备方法和应用[P]. 中国: CN 105860179B, 2017-12-12.
LI E J, GOU W L. Rubber sealing product and preparation method and application thereof[P]. China: CN 105860179B, 2017-12-12.
- [16] 刘丽. 一种耐硫化氢腐蚀的氟橡胶组合物及其应用[P]. 中国: CN 110218405A, 2019-09-10.
LIU L. Fluororubber composition resistant to hydrogen sulfide corrosion and application thereof[P]. China: CN 110218405A, 2019-09-10.
- [17] JAGELS S, ARRIGONI S. The role of base resistant FKM technology in oilfield seals[C]. Proceedings of Oilfield Engineering with Polymers. London, UK: Smithers Rapra, 2006: Paper 15.
- [18] Solvay Specialty Polymers. Tecnoflon® PFR 95HT perfluoro-elastomer[Z]. Bollate (MI), Italy: Solvay Specialty Polymers, 2014.
- [19] Solvay Specialty Polymers. Tecnoflon® PFR LT low temperature perfluoroelastomer[Z]. Bollate (MI), Italy: Solvay Specialty Polymers, 2014.

收稿日期: 2021-11-04

Expansion of High Performance Elastomers (Part 5) —Anti-explosive Decompression Elastomers

XIE Zhonglin, MA Xiao, WU Shuhua

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry Co., Ltd, Beijing 100143, China)

Abstract: Several high performance specialty elastomers with special properties which can be applied in the field of non-tire rubber products and used under harsh environments in recent years are reviewed. Part 5 of this review introduces the blistering and bursting damage of elastomeric parts (e.g. seals) caused by explosive decompression or rapid gas decompression in high pressure and high temperature oil and gas field systems, as well as the varieties and types of anti-explosive decompression elastomers. Anti-explosive decompression elastomers must pass relevant internationally recognized standard testing and certification and obtain a certificate of conformity before they can be supplied to users in the oil and gas industry. Main certification testing standards, including NORSOK M-710 (Norway), NACE TM 0297 (America), TOTAL GS EP PW 142 (France) and ISO 23936-2 are listed. Among them, NORSOK M-710 is the most widely used. In addition, formulations and properties of some performance elastomers for anti-explosive decompression are cited.

Key words: specialty elastomer; anti-explosive decompression (explosive decompression resistant); oil and gas field; seal; testing standard; NORSOK M-710 certification

声明 《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》不向作者收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告，勿信诈骗信息。有任何疑问请及时与编辑部联系。