

汽车用中冷器进出气胶管的结构与技术

李 警

(海慕尼格(北京)技术有限公司)

摘要:本文介绍了带涡轮增压器采用闭式结构油气分离器系统的中冷器进出气胶管的特点,按中冷器进气胶管与出气胶管类别对其材料选择、胶管性能与胶管结构等方面进行了分析与介绍。具有优异性能的 FKM/VMQ 内氟外硅胶管及具有成本优势的 CM 胶管的研究与开发,不仅可以弥补国内相关产品的空白,在国际同类产品的应用也处于领先水平,同时还可大幅度降低成本,具有显著的经济效益。

关键词: 涡轮增压器; 中冷器; 胶管; 氟橡胶; 硅橡胶; CM 橡胶

Structure and technology of the intercooler air hose connecting with the Turbocharger

Lijing

(Heimelig (Beijing)Technology Co.,Ltd, Beijing,101400,China)

Abstract: This article introduces the characteristics of intercooler air hose connecting with turbocharger that adopting closed structure with the oil and gas separator system, according to three aspects including material selection ,hose performance and hose structure to analyze and introduce cold air intake and vent hose just via the characteristics category. with the Research and Development of the FVMQ which with excellent performance and CM hose that with cost advantage, Not only can make up for the domestic blank in related products and make us in the leading position in the application of international market among the similar products, at the same time also can greatly reduce the cost and with remarkable economic benefits.

Key words :Turbocharger ; intercooler; rubber hose; FKM; VMQ; CM

1、 前言

带涡轮增压器汽车发动机的进气及出气中冷系统,一般由空气滤清器、涡轮增压器、中冷器及其连接管路等构件组成(如图 1、图 2 所示),输气管路必须采用橡胶管与钢管或橡胶管与吹塑管或直接带波纹的吹塑管连接(其中乘用车上有中冷器出气管全采用带波纹吹塑管进行连接的),借助橡胶或带波纹的吹塑管良好的柔韧性与减振性,既可以方便管路布局和装配,又能显著提高输气管路系统缓冲振动的

能力。新鲜空气通过空气滤清器过滤和涡轮增压器增压后，介质气体经压缩会较大幅度温升，温度一般将达到 $150^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 之间，但对于高增压比的发动机而言，气体温度可超过 200°C ，甚至达 230°C 以上。气体介质经中冷器冷却后又降到 60°C 以下，从而提高了新鲜空气的密度，使发动机可以吸进更多的空气，并能喷入更多的燃油，促进燃烧更为充分，达到降低燃油消耗和排放、提高发动机功率的目的。

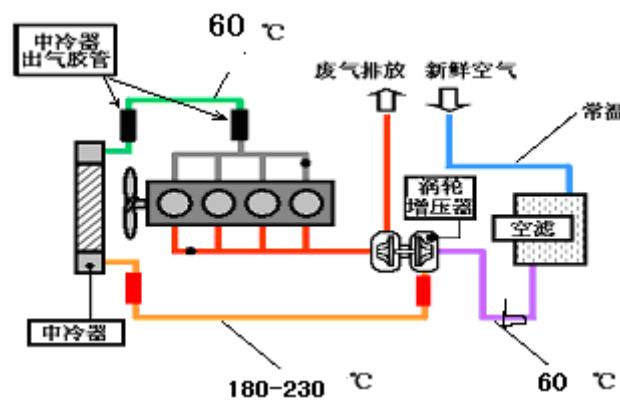


图 1：发动机进气管路分布示意图一

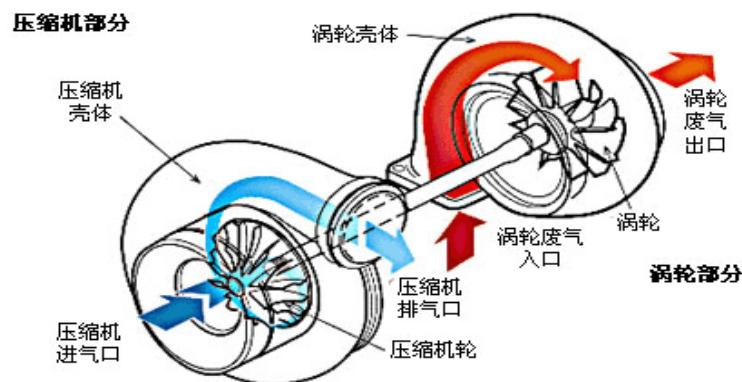


图 2：发动机进气管路分布示意图二

随着汽车工业的发展和越来越苛刻的环保要求，汽车发动机使用介质和环境中含油和含醇的燃烧气体进入整个发动机系统，虽然发动机普遍采取了油气分离技术，油气分离器分为二类，一类为开式结构，另一类为闭式结构，开式结构指未分离的油气是直接排放的，不再进

入整个进气系统，而闭式结构的未分离的油气没有直接排放，需再循环进入整个进气系统，如东风股份 F91A、T01 等车型采用的 ZD30 发动机采用的就是闭式油气分离技术，即曲轴箱系统产生的油气经油气分离器后再通过空气滤清器出气胶管再进入发动机进气系统。油气分离器分离技术不一，分离效果是太不一样的，其中国产油气分离器分离效果较好的仅能达到 50%，国外如博世产油气分离器分离效果最高能达到 80%，即仍有 20%~50% 含油气体将再循环进入进气系统，以避免大部份油气的直接排放而污染环境。

由于涡轮增压器出气胶管即中冷器的进气胶管在使用过程中温度高达 150℃~230℃，如何保证中冷器进出气系统用橡胶连接软管不会因高温油气产生早期溶胀、爆管、高温老化后和低温弹性较低而造成的管口密封不严漏气漏油等质量问题，从而影响车辆的正常运行，是一个值得研究与分析的课题。

2、 中冷器进气胶管（涡轮增压器出气胶管）

中冷器进气胶管（涡轮增压器出气胶管）使用温度高达 150℃~230℃，其材料必须满足优异的高低温性、良好的耐油性及耐气候性。

2.1 橡胶材料的选择

在应用广泛的橡胶品种中，常见的有天然橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶、三元乙丙橡胶、氯化丁基橡胶、硅橡胶、丙烯酸酯橡胶、氟硅橡胶、氟橡胶，它们典型的最高使用温度如表 1 所示。

表 1：常用橡胶的键能和使用温度 [1]

橡胶	键能/kcal·mol ⁻¹	使用温度/℃
----	---------------------------	--------

天然橡胶 (NR)	61.5	-40~80
丁苯橡胶 (SBR)		-35~110
丁腈橡胶 (NBR)		-30~80
三元乙丙橡胶 (EPDM)	80	-51~150
氯化丁基橡胶 (CIIR)		
硅橡胶 (VMQ)	185	-60~250
氟硅橡胶 (FVMQ)	143	-60~250
氟橡胶 (FKM)	116	-50~250
丙烯酸酯橡胶 (AEM/ACM)	98.5	-30~175
氯化聚乙烯橡胶 (CM)	66.3	-30~90
氯丁橡胶 (CR)	66.3	-30~90

从表 1 可以看出三元乙丙橡胶、氯化丁基橡胶均比较适合用于长期使用 120℃、短时使用 150℃条件下耐热老化技术要求的制品，显然不适应于中冷器进气胶管。而硅橡胶、丙烯酸酯橡胶、氟硅橡胶、氟橡胶耐高温都达到了 150℃及以上，其均可作为中冷器进气胶管。

在硅橡胶、丙烯酸酯橡胶、氟硅橡胶、氟橡胶等具有优异耐高温料中，唯一不具备良好耐油性的材料为硅橡胶，但硅橡胶又是这四种材中价格最便宜的，其中丙烯酸酯橡胶、氟硅橡胶、氟橡胶价格分别是硅胶的 2 倍、17 倍、6 倍左右。这样在闭式结构油气分离系统中的中冷器进气胶管中橡胶材料如果选择氟硅橡胶、氟橡胶，不具备成本优势，但丙烯酸酯橡胶耐高温仅 175℃左右，仅适用于小马力即排气量 1.5T 的发动机上。

采取高分子材料改性与结构化差异设计是一条十分有效的途径。如利用 PVC 改性用于改善 NBR 的耐臭氧性能、耐气候性、耐屈挠性及耐温性能；利用 EPDM 改进 PP 的增韧性等；利用不同材料对胶管进行复合结构设计是较常见的，如三复合油管 (FKM+ECO+ECO)、二复合油

管（NBR+CSM、NBR/PVC）。

将耐高温且价格便宜的硅胶与耐油性优异的氟硅橡胶、氟橡胶进行共混改性，即胶管的内衬耐油的胶层、其它部份为硅胶的“内氟外硅”结构，达到既满足发动机使用要求，同时又可降低成本的目的，是一种在国内外还未普遍采用的技术。

氟硅聚合物（FVMQ 或 FKM/VMQ 或氟树脂与硅胶的共混改性物等）既具有硅橡胶（VMQ）十分优异的耐高低性能及综合性能，同时具有丙烯酸酯橡胶（AEM、ACM）较好的耐油性能。内氟外硅胶管结构就是在胶管的内层胶复合成型一至二层 FVMQ 或 FKM/VMQ 或氟树脂与硅胶的共混改性物，中间层与外胶层仍采用硅橡胶（VMQ）的一种新型结构，解决了传统硅胶管耐油性不佳及 AEM、ACM 胶管在中重型商用车使用耐高低温性偏低的问题，同时又能满足汽车用中冷器进出气连接软管越来越苛刻使用条件的新型结构的高分子制品。

2.2 增强层材料选择

胶管的增强层主要承受管体的脉冲压力。在高温下，必须使用耐高温性能优异的芳纶纤维。芳纶纤维在 300℃左右甚至更高的温度下可长期使用，强力保持率可高达 70%以上。

2.3 胶管性能

根据国内相关主机厂技术要求，结合国外相关标准，可确定内氟外硅中冷器进气胶管的性能指标如下表 2 所示。

表 2：内氟外硅中冷器进气胶管的性能指标

序号	项目	技术要求
1	硬度（邵氏 A）	70±5
2	拉伸强度（Mpa）	≥7.0

3	扯断伸长率 (%)	≥ 200
4	抗臭氧性能 (50pphm \times 40°C \times 24h)	无裂纹
5	压缩永久变形 (%) (175°C \times 22h)	$\leq 35\%$
6	耐 ASTM1#油试验 (150°C \times 70h) 内层	
6.1	硬度变化	-10~+5
6.2	拉伸强度变化率 (%)	$\leq -20\%$
6.3	扯断伸长率变化 (%)	$\leq -30\%$
6.4	体积变化率%	$\leq 10\%$
7	耐 ASTM3#油试验 (150°C \times 70h) 内层	
7.1	硬度变化	-10~+10
7.2	拉伸强度变化率 (%)	$\leq -20\%$
7.3	扯断伸长率变化 (%)	$\leq -25\%$
7.4	体积变化率%	$\leq 20\%$
8	抗撕裂性能 KN/m	≥ 15
9	耐低温性能 (-55°C \times 4h)	无裂纹
10	耐热老化性 (200°C \times 168h)	无裂纹
11	常温爆破压力 (Mpa)	≥ 1.0
12	爆破压力 200°C (Mpa)	≥ 0.4
13	层间粘合力, N/mm	≥ 1.75

2.4 胶管结构

FKM/VMQ 内氟外硅胶管结构一般为内黑外红，此颜色组合在商用车上普遍使用，也有内黑白蓝及其它颜色组合结构。考虑到乘用车发动机机仓部件颜色的一致性及加工的通用性，采用黑+红+红+蓝或黑+黄+红+黑较多，也有其它颜色组合结构，乘用车大部份要求外部为黑色，商用车几乎为红色、也有在中冷器出气胶管上采用蓝色。

见下图 3。

内氟外硅胶管结构有：

纯胶

1~2 内胶层+1~4 层增强纤维层+外胶层

1~2 内胶层+1~4 层增强纤维层+外胶层+外增强钢丝层

1~2 内胶层+1~4 层增强纤维层+外胶层+外增强塑料层

1~2 内胶层+1~4 层增强纤维层+外胶层+带铝箔的玻纤层等。

为增强胶管的减振与小弯度的通用性，可将胶管设计成 2.5mm 厚的产品，此类产品在本田、雷诺乘用车上大量使用。

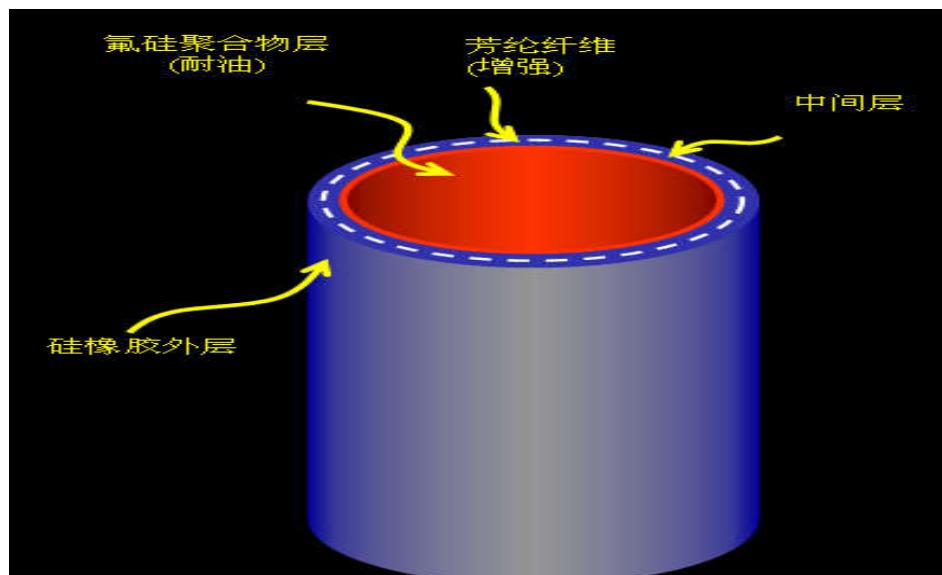


图 3：内氟外硅胶管结构示意图

3、中冷器出气胶管（发动机进气胶管）

中冷器进气胶管（发动机进气胶管）使用温度一般为 60℃ 左右，其材料以良好的耐油性及耐气候性为宜。

3.1 橡胶材料的选择

从表 1 可以看出，常规橡胶如天然橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶、三元乙丙橡胶、氯化丁基橡胶、CM 橡胶均可满足使用温度与环境要求，但仅有 NBR、NBR/PVC、CR、CM、CIIR 能同时完全满足闭式结构油气分离系统中冷器出气胶管的耐油特别是柴油机的要求。

EPDM 是由乙烯、丙烯和第三单体组成的共聚体，其特点是耐化学稳定性很好，具有突出的耐臭氧和耐候性，它在含臭氧 100PPhm 的介质中 2430 小时仍不龟裂，含有碳黑的三元乙丙硫化胶在阳光下曝

晒三年后仍未发现龟裂，是通用橡胶中耐老化性能最好的品种^[2]。其耐热温度经特殊配方设计后最高可达150℃左右，在120℃环境中能够长期使用，最低使用温度也可达-50℃以下。

EPDM在开式结构的油气分离系统中用于中冷器出气胶管自2004年在东风公司广泛应用，并在东风公司内部颁布了《中冷器用三元乙丙胶管技术条件》（Q/DFLCJ 1060—2005），现已推广至国内几乎所用商用车主机厂，但根据具体使用可靠性来看，非异形胶管可靠性较高，异性模压胶管仅在东风、中国重汽出现过批量爆管等质量事故而不得不进行材质更改，同时还未见其在闭式结构的油气分离系统中应用，主要是EPDM的耐油性不能满足使用要求。

氯化丁基橡胶工艺性能和物性较差，特别是撕裂性较差、与布层粘合力较差，带来管体减震与吸震性降低，容易形成胶管层间分离，造成胶管早期破坏，且价格偏贵。

以NBR为内胶层、NBR/PVC为外胶层结构的胶管虽然可以满足耐油及耐气候性要求，但当胶管环境温度较高时，其耐气候性较差，在气流的脉冲振动过程中，胶管会早期疲劳，造成爆管，同时管体表面易发黄。

CR橡胶具有规整的分子排列和可逆的结晶性能，因此以其制成的橡胶制品具有良好的稳定性和耐老化性，也通满足耐油性要求，在美国通用、福特等相关车型应用，但CR存在工加工艺性较差，主要体现为混炼、压片、压延及挤出过程中的粘辊、尺寸稳定性差等。同

时 CR 还存在低温性不好。为改善 CR 的相关性能，一般采取 CR 与 NBR 或 NBR+PVC 并用。

根据国内外相关技术资料及应用实例，目前无论是从性能还是从成本等方面考虑，在中冷器出气系统上使用 CM 橡胶具有极大的优势。

氯化聚乙烯是由高密度聚乙烯（HDPE）经氯化取代反应制得的高分子材料。根据结构和用途不同，氯化聚乙烯可分为树脂型氯化聚乙烯（CPE）和弹性体型氯化聚乙烯（CM）两大类。

氯化聚乙烯橡胶（CM）为饱和高分子材料，外观为白色粉末，无毒无味，具有优良的耐候性、耐臭氧、耐化学药品及耐老化性能，具有良好的耐油性、阻燃性及着色性能。韧性良好（在-30℃仍有柔韧性），与其它高分子材料具有良好的相容性，。

CM 是一种饱和橡胶，有优秀的耐热氧老化、臭氧老化、耐酸碱、化学药品性能。

CM 耐油性能优秀，其中耐 ASTM 1 号油、ASTM 2 号油性能极佳，与 NBR 相当；耐 ASTM 3 号油性能优良，优于 CR，与 CSM 相当。

CM 成本仅为 CR 的 70%、EPDM 的 60%、NBR/PVC 的 85%。

为保证乘用车整车的可靠性，乘用车中冷器出气胶管也有采有 FKM/VMQ 内氟外硅结构，其中硅胶可使用低成本的国产沉淀法硅胶，但配方须注意胶料的压缩永久变形偏大的问题。

3.2 增强层材料选择

满足中冷器出气胶管使用要求的纤维材料有：芳纶、涤纶、锦纶、维纶、玻璃纤维及碳纤维等。从性价比考虑，常规采用的

一般为涤纶、锦纶、维纶；但承受脉冲振动条件下的中冷器出气胶管，其增强层推荐使用芳纶纤维。

3.3 胶管性能

根据国内相关主机厂技术要求，结合国外相关标准，可确定中冷器出气胶管的性能指标如下表 3 所示。

表 3：CM 中冷器进气胶管的性能指标

序号	项目	技术要求
1	硬度（邵氏 A）	70±5
2	拉伸强度（Mpa）	≥10.0
3	扯断伸长率（%）	≥400
4	抗臭氧性能（50pphm×40°C×24h）	无裂纹
5	压缩永久变形（%）（125°C×22h）	≤35%
6	耐 ASTM1#油试验（70°C×70h）内层	
6.1	硬度变化	-8～+3
6.2	拉伸强度变化率（%）	≤-20%
6.3	扯断伸长率变化（%）	≤-30%
6.4	体积变化率%	≤10%
7	耐 ASTM3#油试验（70°C×70h）内层	
7.1	硬度变化	-8～+5
7.2	拉伸强度变化率（%）	≤-20%
7.3	扯断伸长率变化（%）	≤-25%
7.4	体积变化率%	≤20%
8	抗撕裂性能 KN/m	≥25
9	耐低温性能（-40°C×4h）	无裂纹
10	耐热老化性（120°C×168h）	无裂纹
11	常温爆破压力（Mpa）	≥1.0
12	层间粘合力，N/mm	≥1.75

3.4 胶管性能

3.4.1 针织（缠绕、编织）结构：内层胶+1~2 层纤维增强层+外层胶；

3.4.2 夹布结构：内层胶+3~4 层纤维增强层+外层胶

3.4.3 为了降低胶管的外径膨胀率，要外增强热收缩护套或外铠不锈

钢钢圈或塑料圈。

4 结语

汽车用带涡轮增压器的中冷器进出气胶管的结构与技术，随着汽车行业的发展，已由传统的材料向新型改性材料方向发展，高可靠性、低成本的高分子材料的应用，同时又推动了汽车工业的进一步发展。新型的 FKM/VMQ 内氟外硅胶管及 CM 胶管是带涡轮增压器的中冷器进出气胶管的先进技术，在国内外近年才开始规模应用，如宝马、大众、本田、日产、雷诺、VOLVO、吉利、长安、长城、宇通、中国重汽、东风、陕汽等汽车厂已批量使用，具有非常巨大的前景。

参考文献：

- [1] 傅政. 橡胶材料性能与设计应用 [M]. 北京:化学工业出版社, 2003:5-52.
- [2] 谢遂志, 刘登祥, 周鸣峦, 等. 橡胶工业手册第一分册 [M]. 北京:化学工业出版社, 1998:254-256.