

机械式硫化机自动调模智能化改造

蒋鸿斌，黄书伟*

(中化(福建)橡塑机械有限公司,福建三明365500)

摘要:本文介绍一种机械式轮胎定型硫化机的调模以及测力机构的组合功能装置,能够同时实现自动调模和冷模合模力记录、显示功能。通过增加旋转位移编码器,升级PLC程序实现,该装置结构简单、操作方便、通用性好,对现有硫化机智能化改造成本低,容易实现。

关键词:硫化机;调模;智能化;合模力;旋转位移编码器

中图分类号:TQ330.47

文献标识码:B

文章编号:1009-797X(2026)02-0027-06

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.02.006

轮胎定型硫化机用于轮胎生产的最后一道工序,该工序是轮胎成形定性重要一步,可以说轮胎定型硫化机是决定轮胎品质的关键设备;中国经过改革开放40多年,随着电气及信息化大发展,轮胎硫化设备逐步经过硫化罐、单体硫化机、硫化机群,以及纯电硫化机探索的阶段^[1~2]。在对硫化机追求创新过程中,无数厂家结合经营及发展阶段,提出对单体硫化机进行自动化、结构优化、节能、安全、电加热、智能化等改进,如罗永丰等^[3]对全钢轮胎硫化机定型压力、机械手、硫化控制程序进行了技术自动化改造并进行推广,既保证了生产连续性也提高了生产效率和硫化合格率;郭良刚等^[4]对机械硫化机液压替代动力水、双立柱机械手改造、蒸锅改热板、集成阀组应用等方面升级改造进行了探讨;宋培芬^[5]结合企业管理理念,对轮胎硫化机进行系列节能改进取得良好实效,如硫化机冷凝水排放采用PLC控制,故障率低,节约蒸汽30%~40%;郑万利等^[6]从硫化工艺本质安全出发,进行技术改造和管理提升,对硫化机安全杆进行强制点检、开合模电气系统的联动保护等措施改进硫化工序;尚荣武等^[7]为了提升硫化轮胎质量与性能,提出硫化机活络模电磁感应加热装置,分析了活络模漏磁屏蔽与电磁加热特性。

机械式轮胎定型硫化机的调模是通过调模装置进行匹配不同模具高度不一问题^[8],调模时候通过往复开合模观察模具下移距离多少,以及查看测力机构吨位表数值大小,来确定调模是否到位,这样的调模方式费时费力,不易操作。另外,测力机构主要是通过

安装在连杆的吨位表进行合模力的显示,每次读取合模力时候,需要远远观察吨位表,不易读取。为解决这些难题,夏厚辉等^[9]提出硫化机调模装置上增设对调模高度进行精确控制的传感机构,但未提供传感机构的具体实施方案;游利灿^[10]提出硫化机自动调模控制系统及方法,将调模编码器安装于调模电机上用于实时检测模具的高度;曹世良等^[11]使用了激光测距传感器测量更换模具后的实际高度进行自动调模;本文提出与以上方案不同,但更简便、经济的实施方案,通过在调模装置连轴节中装配空心轴旋转位移编码器,升级PLC代码的形式,实现对同一模具,一次数据校对调整,后续工控屏冷模合模力数值显示、一键自动调模功能,该装置结构简单、操作方便、劳动强度低、通用性好,对现有硫化机智能化改造成本低,容易实现。

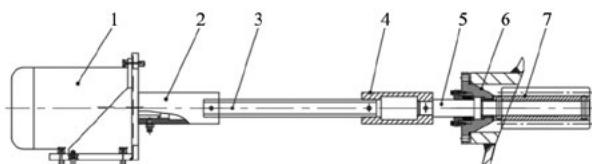
1 调模机构简述

硫化室是硫化机重要部件,是硫化轮胎的功能部件,生胎经过装胎装置放入下硫化室后,上硫化室在主传动驱动下进行合模动作,热工管道开始工作,生胎在硫化室中经过温度和压力的作用,最终形成成品轮胎。生胎依据硫化室安装的模具不同,形成不同规格的成品轮胎;不同模具具有不同高度,硫化室配备调模机构是为适应不同模具高度而设计。传统的调模

作者简介:蒋鸿斌(1991-),男,电气工程师,主要从事硫化机电气方面研究与设计工作。

*为通讯联系人

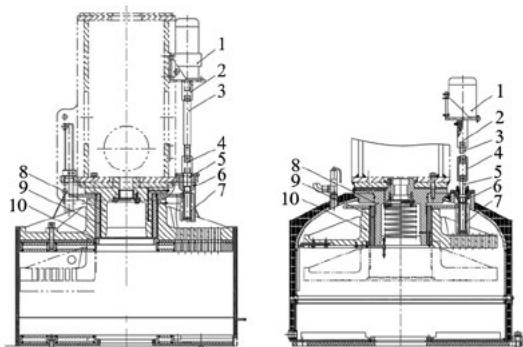
机构通过活动扳手转动小齿轮，随着电气自动化的发展，以及减小劳动强度等客观因素，当前几乎所有机械式硫化机调模机构已实现电动调模功能。图1 机械式硫化机调模机构，调模机构由调模电机、上连轴节、连接杆、下连轴节、轴、法兰座、小齿轮组成，上下联轴节将调模电机的转动传递到小齿轮，此处使用上下联轴节主要方便对小齿轮以及密封件进行拆卸维护。



1—调模电机；2—上连轴节；3—连接杆；4—下连轴节；5—轴；
6—法兰座；7—小齿轮

图1 机械式硫化机调模机构

整体调模机构通过调模电机支架安装在横梁腹板上，通过法兰座安装到横梁面板或蒸汽室封头上，调模机构的小齿轮设计厚度大，用以保证调模时，大齿轮上下运动，齿轮之间仍能啮合。图2 机械式硫化机硫化室，调模螺母内外侧采用梯形牙设计，端面与大齿轮裁丝形成组合件；调模电机将运动传至小齿轮，小齿轮与调模螺母端面的大齿轮啮合，调模螺母内梯形牙与法兰螺柱梯形牙传动，调模螺母外梯形牙与上固定板内梯形牙传动，由于法兰螺柱通过螺栓固定装配在横梁面板，因此通过小齿轮转动传递到调距螺母，最终反馈到上固定板的运动，上固定板连接的模具将实现两倍梯形牙螺距的运动。



1—调模电机；2—上连轴节；3—连接杆；4—下连轴节；5—轴；
6—法兰座；7—小齿轮；8—法兰螺柱；9—调模螺母；
10—上固定板

图2 机械式硫化机硫化室

2 结构设计

在本文对硫化机智能化改造中，机械结构的核心

在于旋转位移编码器的应用，采集调模电机的转动数据，应用最小二乘法线性拟合获取合模力-位移关系曲线，在PLC中进行编码控制，从而满足一键自动调模功能。

2.1 旋转位移编码器

旋转位移编码器是一种能记录旋转信号、将机械几何位移量转换成脉冲输出的传感器，绝对式空心轴旋转位移编码器可以通过电容、磁电或光电等原理实现对旋转信号的捕获；该编码器具有抗干扰强、精度高等特点，在工业控制领域，能够检测机械运动的距离、角度、位置、速度等参数，目前已作为信号检测的方法广泛应用于各个行业^[12-13]。本文中选择绝对式空心轴多圈旋转编码器，该编码器整体呈环状中空，适用于测量轴类旋转，具有量程大、上电即知位置、无需寻零的功能。

2.2 机械位移关系

在自动调模装置改造中，给调模机构增加旋转编码器，该旋转编码器安装在横梁腹板上，通过旋转编码器，测量下连轴节的旋转信号。图3 自动调模装置，使用绝对式空心轴多圈旋转位移编码器，直接测量下联轴节旋转信息，得到调模电机输出的圈数。假设通过该旋转编码器得到调模电机旋转圈数信号为X，大齿轮齿数为Z₁，小齿轮齿数为Z₂，调模螺母的梯形牙螺距为P，安装模具的上固定板移动距离为H，那么存在以下关系：

$$H=2 \times X \times Z_2 / Z_1 \times P \quad (1)$$

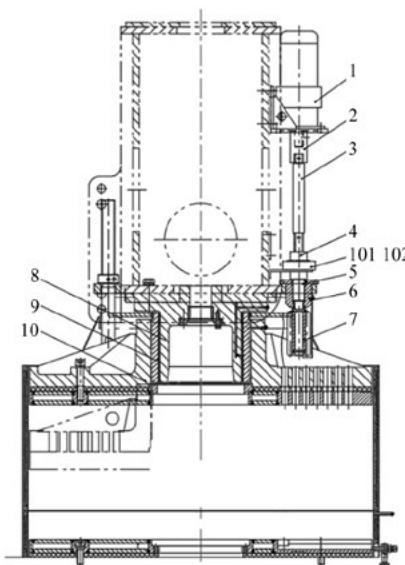


图3 自动调模装置

由于该旋转编码器具有上电即知位置、无需寻零的功能，因此可以在程序中得到上固定板任意位置信息；在进行换模或者重新调整参数数据时，可在程序中自由选择是否需要“归零”以设定 H 的零点值。

2.3 测力原理

机械式轮胎定型硫化机合模力的获取，主要通过连杆两端测力机构进行测定，连杆工作时受拉，一般有 $0.3\sim0.7$ mm 的变形量^[14]，测力机构的主要部件吨位表由千分表进行改装，通过吨位表测定连杆的微小弹性变形，结合胡克定律，即可得到连杆的拉力。测力机构测定连杆变形与拉力关系如下：

$$\Delta L = \sigma \times L / E \quad (2)$$

$$\sigma = F / A \quad (3)$$

式中 L 为连杆两轴孔距离， E 为连杆弹性模量， F 为连杆受的拉力， A 为连杆主板截面面积，通过以上式（2）和（3）即可得到连杆的拉力，计算得到吨位表的合模力。以上可以得出，传统合模力通过连杆变形的测定，基于弹性变形原理即力与变形的线性关系，从而得到合模力。

图 4 为硫化机合模力 – 变形图，取自橡胶机械手册中合模力 – 变形图^[14]，表明在合模过程中压力机构以及模型都会发生弹性变形，二者的受力与变形呈线性关系。对于机械式硫化机，合模时硫化机受力变形零件主要为连杆、横梁、模型，测力机构通过测定连杆的变形计算得到合模力。

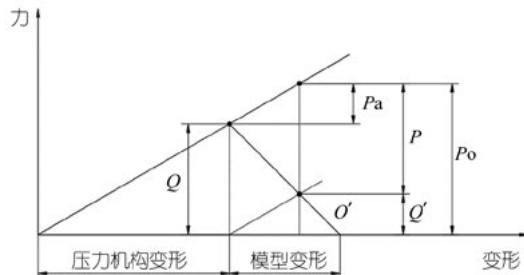


图 4 硫化机合模力 – 变形图

综合以上分析，橡胶机械手册中的合模力 – 变形图及测力机构均基于弹性原理，整体传力机构为机械结构变形相对稳定，整个装配尺寸链明确，因此合模力与压力机构或模型的位移也呈线性关系，二者可用线性方程描述。本文自动调模装置的合模力 – 位移曲线拟合正是基于合模力 – 位移的线性关系构建的，所取合模力数值为测力机构吨位表数值，所得位移值为旋转位移编码器测得上固定板位置。通过读取 3 组合

模力 – 位移 (F_i, H_i) 数据，采用最小二乘法实现合模力 – 位移线性拟合关系式，求解线性方程 $F = aH + b$ 来拟合合模力与位移关系。

现有三组数据点，假设为 $(F_1, H_1)、(F_2, H_2)、(F_3, H_3)$ ，如果三点共线，则存在精确解；但通常所测的三点不会严格共线，这时需要使用最小二乘法（Least Squares Method）来找到最佳拟合直线，最小二乘法采用误差平方和最小的原则来获取目标函数^[15]。最小二乘法中对一元线性拟合中，设对一组 N 个 (x, y) 样本数据做 $y = ax + b$ 线性拟合，则拟合重点在于求出拟合系数 (a, b) 值，进而解出函数关系式，拟合系数通过以下计算^[16]：

$$a = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sum N x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (5)$$

因此，通过手动开合模获取 3 组合模力和位移值，代入式（4）和式（5）即可获得合模力 – 位移曲线的函数关系式，获取硫化机合模力 – 位移曲线。

3 电气设计

3.1 电气设计工具

本文中对硫化机智能化改造中，电气部分的核心在于可编程控制器（PLC）与组态软件的应用。PLC 负责读取编码器数据，根据调模机构中机械位移关系计算模具当前位置，与目标位置进行比较，控制调模电机的动作。PLC 设计软件使用的是三菱 GX Works3，它是三菱电机开发的一款先进的编程软件，集成了编程、仿真、智能功能单元配置等多种功能的工程软件，为用户提供了高效的工程环境，提高开发效率，降低开发成本。该软件支持多种编程语言，以 LAD 语言（梯形图）为主负责实现复杂的控制逻辑与过程控制，以内嵌结构化 ST 语言为辅负责简单且数据量小的四则运算和处理数据，实现了在同一项目中使用不同编程语言，发挥 LAD 语言和 ST 语言的各自优点。

组态软件负责可视化与人机交互功能，在自动调模控制系统中读取数据，创建合模力 – 位移可视化曲线，根据目标合模力计算目标位置，通过 PLC 读取当前位置计算当前合模力，均通过组态软件实现高效可视化的人机交互。人机界面软件采用华富开物 controX 工业组态软件编写，它是一款跨平台通用组

态软件，该软件具有稳定性好，运行效率高，功能模块配置简单高效等优点，包含高效数据库系统，具有良好的开放性和移植性，简单高效的脚本系统，内嵌丰富易用的函数库，基于开放性结构设计的插件、图元、函数等组件易于扩展，可以处理相对复杂且数据量较大的数据运算，不易溢出等优点。

3.2 电气原理

硫化机自动调模控制系统电气设计适用于相同模具下，一次数据拟合，后续通过输入目标合模力获得所需合模力，实现自动调模功能。更换模具后，需要运行调模程序，图 5 硫化机调模流程图，启动调模程序，重置设定参数，然后进行手动开合模，从而获取合模力 – 位移曲线数据写入 PLC 程序中，客户可以根据已生成的合模力 – 位移曲线，在画面上设定当前设备所需的合模力（目标合模力），按下自动调模后，调模电机将自动运行，使设备自动调模至对应合模力的目标位置，达成一键自动调模功能。如模具不变，仅仅变更目标合模力，即已经存在合模力 – 位移曲线情形下，只需在设定参数中更改目标合模力即可，再按下自动调模，亦可达成一键自动调模。

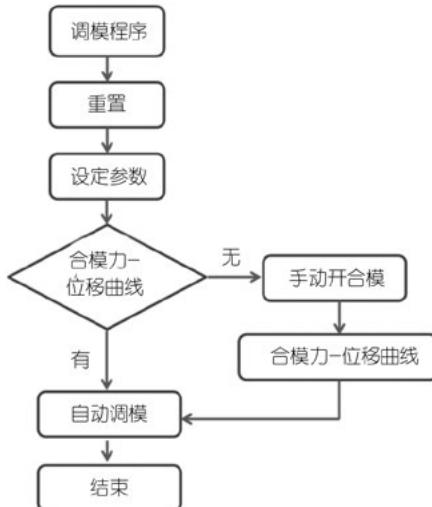


图 5 硫化机调模流程图

图 6 硫化机自动调模控制画面图, 画面需要设定参数含大齿轮齿数、小齿轮齿数、螺距、最大合模力、目标合模力信息, 通过将这些信息输入系统画面写入 PLC 中, PLC 会根据式 (1) 获得旋转编码器圈数信号与模具位置关系, 由于旋转编码器直接测得的是调模电机旋转信息, 因此知晓旋转编码器圈数信号与模具位置的关系, 即得到模具位置与调模驱动电机旋转

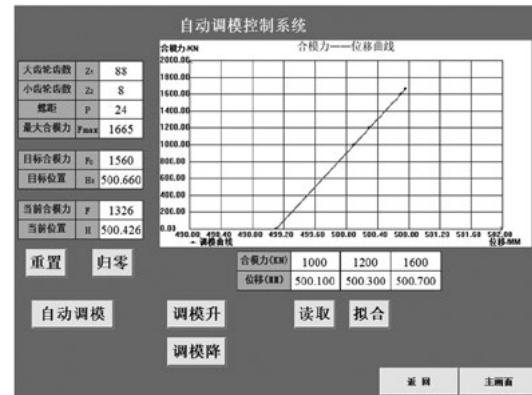
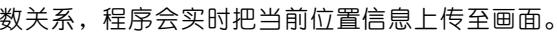


图 6 硫化机自动调模控制画面图

通过读取和拟合将手动开合模获得的 3 组合模力位移数据输入到组态软件中，求解最小二乘法得到合模力 - 位移曲线数据，画面脚本会根据合模力 - 位移曲线得到目标合模力对应的目标位置，自动调模程序会根据目标位置对当前位置数值与目标位置数值进行比对，驱动调模电机，调整当前位置与目标位置接近，从而实现一键调模功能。

3.3 电气关键程序

3.3.1 合模力 – 位移曲线

图 7 合模力 – 位移曲线脚本, 通过开合模获取 3 组合模力和位移信息输入自动调模控制系统, 读取拟合数据, 代入式 (4) 和式 (5) 应用组态软件编写最小二乘法脚本实现线性方程系数的计算, 从而在控制画面中创建合模力 - 位移可视化曲线。画面脚本还可以根据用户设置的目标合模力计算出目标位置, 将数值写入 PLC 的自动调模控制系统, 实时从 PLC 读取当前位置及计算出当前合模力, 实现高效可视化的人机交互。

图 7 合模力 - 位移曲线脚本

3.3.2 自动调模

图 8 自动调模程序, 按下自动调模键后, 立即复

位自动调模完成状态信号，同时 PLC 程序将实时根据当前位置与目标位置进行比较判断，根据运算结果输出自动调模升或者自动调模降信号，直至将当前位置移动进入目标位置区间内，此时自动调模过程完成，将自动调模完成状态信号置位。

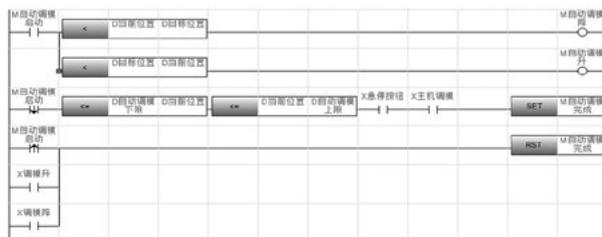


图 8 自动调模程序

当自动调模升或者自动调模降信号被触发时，对应的机械式调模控制功能块被执行，图 9 机械式调模控制程序，根据对应被触发的升降信号，PLC 输出调模升或调模降信号，控制调模电机正反转，实现了机械式轮胎定型硫化机调模装置的一键自动调模功能，提高了设备的操作便捷性和调模精度。



图 9 机械式调模控制程序

4 结束语

当前汽车工业的积极发展离不开轮胎品质的保证，硫化机作为生产轮胎的重要设备，经过不断发展、完善和创新，已逐步走向更加智能、绿色环保、安全

等方向；本文提供硫化机智能化改造方案，具有经济实惠，易于实现等优点，尤其该改造方案可以实现一次数据拟合，多次自动调模的功能，降低工人调模强度，对于硫化机智能化改造具有积极意义。

参考文献：

- [1] 丁振堂. 轮胎硫化机技术创新四阶段，践行节能降耗 [J]. 中国橡胶, 2025,41(08):43–49.
- [2] 杨顺根. 我国轮胎硫化机设备的发展历程 [J]. 橡塑技术与装备, 2016,42(05):25–30.
- [3] 罗永丰, 覃燚, 田忠安, 等. 全钢载重子午线轮胎硫化机自动化改造 [J]. 轮胎工业, 2013,33(02):113–115.
- [4] 郭良刚, 张维义, 张晓琳, 等. 全钢机械轮胎定型硫化机升级改造应用探讨 [J]. 橡塑技术与装备, 2020,46(23):25–29.
- [5] 宋培芬. 轮胎硫化机节能改进 [J]. 轮胎工业, 2010,30(02):121–123.
- [6] 郑万利, 李刚, 王小燕, 等. 浅谈硫化机设备本质安全的技术改造与管理提升 [J]. 橡塑技术与装备, 2022,48(07):59–62.
- [7] 尚荣武, 吕建峰, 尹飞, 等. 硫化机活络模电磁感应加热装置研究 [J]. 今日制造与升级, 2025,(04):35–38.
- [8] 姚峰转. 硫化机合模力异常故障分析与处理 [J]. 轮胎工业, 2015,35(02):112–114.
- [9] 夏厚辉, 杜家仁, 周艳玲, 等. 硫化机自动调模系统: CN201222143U[P].2020-08-11
- [10] 游利灿. 一种硫化机自动调模控制系统及方法:CN117656559A[P].2024-03-08
- [11] 曹世良, 陈世伟, 等. 自动调模方法及轮胎硫化机: CN104875303B[P].2020-06-02
- [12] 何利, 刘红华, 周灿, 等. 磁电式多圈旋转角度编码器磁场性能研究 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2025,56(06):2 257–2 265.
- [13] 施山菁, 黄晓滨, 马群. 旋转式脉冲输出编码器测量设备及校准方法 [J]. 工业计量, 2024,34(02):8–10.
- [14] 杨顺根, 白仲元. 橡胶工业手册 修订版 第九分册 橡胶机械 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1992:841–844.
- [15] 宗俊吉, 李洪亮, 艾博, 等. 基于最小二乘法的非线性系数校正算法设计及分析 [J]. 电子工业专用设备, 2025,54(04):33–36.
- [16] 莫小琴. 基于最小二乘法的线性与非线性拟合 [J]. 无线互联科技, 2019,16(04):128–129.

Intelligent transformation of automatic mold adjustment for mechanical curing press

Jiang Hongbin, Huang Shuwei*

(Sinochem (Fujian) Rubber Machinery Co. LTD., Sanming 365500, Fujian, China)

Abstract: This article introduces a combined device that integrates the functions of mold adjustment

and force measurement mechanisms for mechanical tire shaping and curing presses, enabling simultaneous automatic mold adjustment, recording, and display of cold mold clamping force. The device, achieved by adding a rotary displacement encoder and upgrading the PLC program, features a simple structure, convenient operation, and strong versatility. It offers a low-cost and easy-to-implement solution for the intelligent retrofitting of existing curing presses.

Key words: curing press; mold adjustment; intelligence; clamping force; rotary displacement encoder

(R-03)



玲珑轮胎荣获一汽解放“杰出贡献奖”

Linglong Tire wins FAW Jiefang's “Outstanding Contribution Award”

日前，一汽解放 2026 全球合作伙伴大会采购年会召开，玲珑轮胎荣获一汽解放“杰出贡献奖”，彰显双方三十余年紧密的战略伙伴关系。

作为汽车零部件的重要组成部分，玲珑轮胎始终以技术共研为引擎，携手各大车企共同构建“需求定义—技术开发—场景验证”的闭环创新体系。通过在生产制造、质量提升等环节与车企深度协同，持续关注市场需求与客户反馈，为合作伙伴提供创新领先、性能卓越、响应迅速的产品与解决方案。

玲珑与一汽解放合作三十多年来，围绕用户需求，聚焦安全与成本优化，持续研发低滚阻、高耐磨、高里程轮胎技术，为解放 J6、J7 等车型提供系统化解决方案，实现“省心、省钱、省力”的综合价值，多次获得一汽解放“优秀供应商”“协同发展奖”“TCO 贡献奖”等荣誉。

此外，依托吉林玲珑智能化生产基地，玲珑以世界级制造标准与一汽解放开展生产协同与质量共管，不仅保障产品高品质交付，更增强了供应链的稳定性与响应效率，有力支持一汽解放的市场拓展。

面向 2026 年，玲珑将全面落实一汽解放“做六个伙伴、打造六个一流”的供应链战略，做科技伙伴，打造创新能力一流的供应链；做创业伙伴，打造转型成效一流的供应链；做可靠伙伴，打造质量水平一流的供应链；做价值伙伴，打造 TCO 成本一流的供应链；做高效伙伴，打造保障韧性一流的供应链；做铁杆伙伴，打造互惠共赢一流的供应链，助力一汽解放夺取新胜利、共启新篇章。

面对全球汽车市场的深刻变革与挑战，玲珑也将持续聚焦科技研发、智能制造与绿色转型三大方向，以更高品质的产品体系和更前瞻的技术协同能力，赋能包括一汽解放在内的全球合作伙伴，共同推动汽车产业实现更高质量、可持续的发展。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)

