

巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统的优化与研究

王俊

(双钱集团(江苏)轮胎有限公司, 江苏 如皋 226500)

摘要: 为了降低巨型工程胎的生产成本, 满足小批量多规格的生产需求, 通过对上位机控制算法、挤出胶料稳流量装置、电气控制系统和机械装置等的优化与研究, 研发了巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统, 缠绕成型的半制品部件包括: 气密层、插入包、过渡层、胎肩、胎侧、基部胶和胎冠胶。经用户现场调试, 缠绕的巨型工程胎重量精度控制在 $\pm 1\%$ 以内, 满足用户工艺需求, 设备已投入生产。

关键词: 巨型工程胎; 半制品; 缠绕成型; 控制系统; 装置

中图分类号: TQ330.46

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)10-0035-06

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.10.008

0 引言

巨型工程胎的体积和质量很大、不间断工作时间长、工作条件苛刻, 主要应用于大型露天煤矿、金属和非金属矿的重型自卸车、装载机、挖掘机、铲运机等^[1]。由于大型和重型工程机械的规格品种繁多, 造成巨型工程胎的规格品种具备多样性。目前世界工程机械轮胎的产量约占轮胎总产量的0.5%左右, 而巨型工程胎与工程机械轮胎的占比约为2.5%, 但其附加值却比普通轮胎高20%~50%^[2]。综上所述, 造成了巨型工程胎的生产具备小批量多规格的特性。

目前巨型工程胎的生产工艺主要以挤出、压延各种半制品部件+缠绕胎面的方式来制造: 其中半制品气密层和过渡层通过压延生产线来生产, 半制品插入包、胎肩和胎侧通过挤出生产线来生产, 半制品基部胶和胎冠胶通过胎面挤出缠绕线来生产。2020年之后受到疫情、国际战争和国内外经济大环境下滑的影响, 巨型工程胎的竞争越来越激烈, 需求量减少, 各个轮胎厂的挤出和压延设备开工率严重不足, 亟待降低巨型工程胎的生产成本, 提升轮胎质量, 提高市场竞争力。

1 方案设计

为了解决上述现有技术中存在的难题, 开发了巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统, 缠绕的各种半制品部件包括: 气密层、插入包、过渡层、胎肩、胎侧、

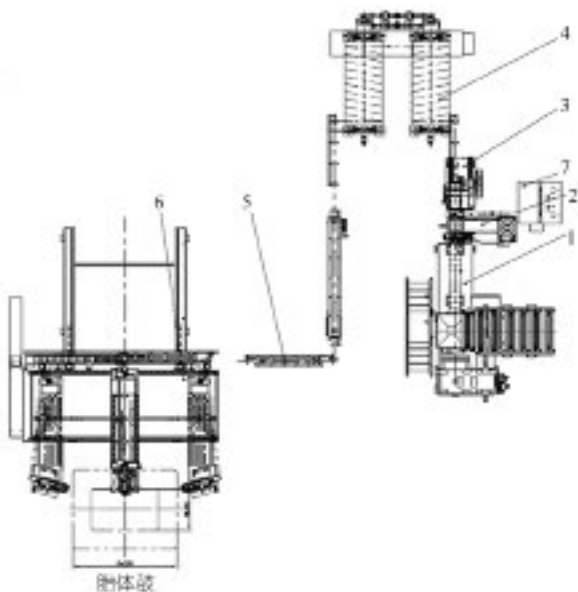
基部胶和胎冠胶。整个缠绕成型系统包含两个子分系统: 在巨型工程胎成型机的胎体鼓侧配套胎体挤出缠绕成型生产线, 主要作用是替代旧工艺的压延生产线和挤出生产线, 用于缠绕半制品气密层、插入包、过渡层、胎肩和胎侧; 配合巨型工程胎成型机成型鼓侧的胎面挤出缠绕成型生产线, 用于缠绕半制品基部胶和胎冠胶, 两子分系统相互配合即可完成巨型工程胎多种半制品部件的缠绕成型, 生产出合格生胎。对于巨型工程胎产量较少的轮胎厂, 能够大幅度降低设备采购成本, 灵活实现小批量多规格的生产, 满足用户个性化的需求。

巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统主要结构包含: 挤出机、齿轮泵组件、智能压延机、冷却装置、输送过渡架、缠绕装置和电气控制系统。具体布局根据用户车间布置及成型机进行排布, 某个项目的胎体挤出缠绕成型生产线布局如图1所示, 胎面挤出缠绕成型生产线如图2所示。

挤出机挤出预定型的梯形胶条, 通过智能压延机压出符合工艺要求尺寸的胶片, 经冷却装置和输送过渡架输送至缠绕装置, 再通过缠绕头上独立气缸驱动的多个压排辊压实到胎体鼓和成型鼓上, 胎体胚料经

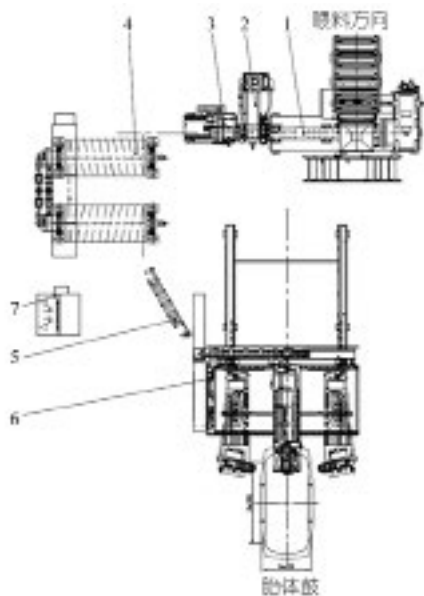
作者简介: 王俊(1980-), 男, 高级工程师, 装备总监, 主要从事轮胎生产装备管理、智能装备研发与应用、轮胎生产安全管理及装备优化方面工作。

成型机传递环输送至成型鼓贴合、辊压后成型为巨型工程胎生胎。



1—挤出机；2—齿轮泵组件；3—智能压延机；4—冷却装置；
5—输送过渡架；6—缠绕装置；7—电气控制系统

图1 胎体挤出缠绕成型生产线



1—挤出机；2—齿轮泵组件；3—智能压延机；4—冷却装置；
5—输送过渡架；6—缠绕装置；7—电气控制系统

图2 胎面挤出缠绕成型生产线

2 控制系统及结构优化设计

巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统需要缠绕气密层和内衬层半制品，缠绕的断面轮廓要求厚度更薄、致密性更好、精度更高，才能保证巨型工程胎在行驶

过程中不会漏气；同时由于需要缠绕插入包、胎肩和胎侧半制品，缠绕的断面轮廓为左右断开的对称轮廓。本系统从上位机控制算法、控制系统和核心机械结构上进行了优化设计及研究。

2.1 上位机控制算法

上位机控制算法是模拟仿真巨型工程胎半制品部件在螺叠过程中胶片的变形以及根据工艺提供的断面轮廓确定胶片的排列分布情况。计算机根据输入的巨型工程胎半制品断面轮廓参数，对断面轮廓进行分解，得到多个分解区域信息；再根据缠绕头反馈的当前堆叠胶片所处的分解区域信息，确定缠绕头的当前分解区域的堆叠轨迹信息和当前分解区域的移动速度信息，对巨型工程胎半制品部件进行胶片堆叠，螺旋缠绕成型巨型工程胎半制品部件断面轮廓^[3]。基于积分法原理的上位机控制算法，其上位机操作界面如图3所示，上位机编程序如图4所示。



图3 上位机操作界面



图4 上位机编程序

研发的上位机控制算法，既能实现气密层和过渡层整片连续半制品部件的水平螺旋缠绕，又能实现插入包和胎肩左右对称且分开的半制品部件二维螺旋缠绕，更能实现胎侧左右对称且分开的半制品部件三维

旋转螺旋缠绕。

2.2 挤出胶料稳流量装置

挤出机通过螺杆的旋转运动把胶料推向挤出机头，由于受到螺杆旋向、螺杆与机筒间隙不均匀及挤出喂料不稳定性的影响，导致智能压延机压出胶片产生波动，影响巨型工程胎断面轮廓的缠绕精度。为了提升智能压延机压出胶片精度的稳定性，通过在挤出机筒与挤出机头间增加齿轮泵系统（见图 5），将来自挤出机的高温胶料增压，经过齿轮泵的稳压后流量稳定地送入挤出机头，再供料给智能压延机，能够大幅度减少压出胶片的波动。

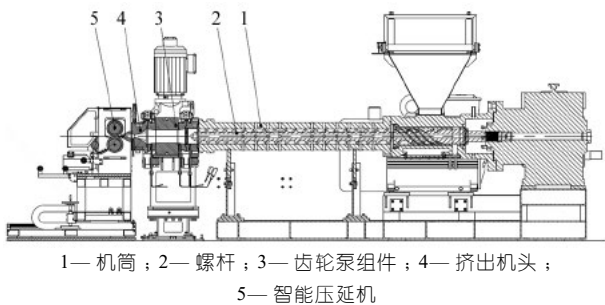


图 5 挤出胶料稳流量系统

挤出机挤出胶料的压力一般为 10 MPa 左右，经过齿轮泵组件的增加压力后，挤出胶料压力可以达到 35 MPa，提升了智能压延机压出胶片的紧密性；挤出胶料经过齿轮泵组件两个外啮合的圆柱齿轮相对转动来输送，达到挤出胶料的近线性输出，从而使智能压延机压出胶片的精度相比之前大幅度提升。

2.3 压出胶片闭环控制系统

巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统的上位机控制算法是基于智能压延机压片胶片的尺寸为基准进行计算，压出胶片闭环系统的控制，主要是从以下两方面进行优化设计。

2.3.1 不完全微分 PID 控制

通过测量智能压延机压出胶条的宽度，运用 PID 控制的方式来动态调节压出胶条宽度。在智能压延机出口处设计有激光测宽传感器，收集的压出胶片宽度信号反馈给 PLC，PLC 通过调节伺服驱动动态响应灵敏的压延机辊筒速度来拉伸或压缩压出胶片，从而使压出胶片宽度时刻保持在设定误差范围内。

为了改善常规 PID 控制容易受到外部突变干扰的缺陷，在微分控制环节加入一个低通滤波器，采用不完全微分 PID 控制。相较于完全微分，不完全微分在生产过程中，受到外部连续干扰时，微分依然起作用，

微分常数也会依次减小，且不会出现因为微分常数大而产生周期震荡，这就可以有效地防止外部的突变干扰^[4]。

在进行 PLC 程序编写时首先设置好不完全微分 PID 的环路数、扫面环路、采样周期、比例常数、积分常数、微分常数，以及微分增益等参数，具体设置如图 6 所示。

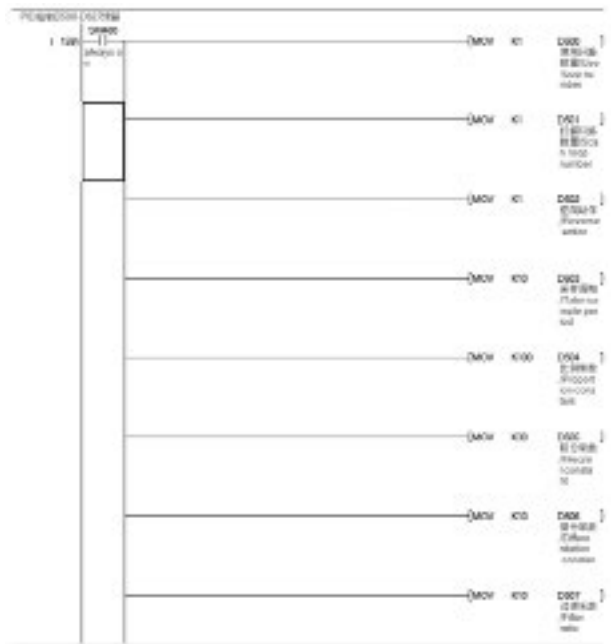


图 6 PID 控制参数设置

通过现场反复调试验证，缠绕成型系统 PID 调节的比例常数在 100 左右，积分常数在 40 左右，微分常数在 10 左右。

2.3.2 设备速度斜坡控制

经过不完全微分 PID 控制得到稳定宽度的压出胶片，在生产过程中，既要保证缠绕启动和停止时不能出现断料及压出胶片宽度异常变化，又要保证压出胶片在生产过程中不能出现拉伸或堆积现象。需要解决缠绕启停过程中的设备各部件的加减速匹配控制，以及匀速缠绕过程中各设备速度的匹配控制。

2.3.2.1 加减速斜坡控制

由于挤出机螺杆的转动惯量与智能压延机的辊筒转动惯量差距巨大，常规手段的线性曲线调节螺杆转速和辊筒速度时，会造成堵胶、缺料等不良现象。加减速时间设置的合理与否对电机的启动、停止运行及调速系统的响应速度都有重大影响^[5]。

首先，进行挤出机螺杆转速和压延机辊筒速度加减速斜坡控制，压延机辊筒速度按公式（1）进行控制：

$$v_c = K n_c \quad (1)$$

式中： v_c —智能压延机辊筒速度；

K —比例系数，一般设置为2~3；

n_c —挤出机螺杆转速。

在巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统的加减速控制过程中，需要把挤出机螺杆转速和压延机辊筒速度按式（1）进行分段式控制，一般设置有3~6段阶梯式控制，每阶段设置的 K 值都有区别，具体值需根据计算加减速时间公式计算后再根据实际项目进行微调。

2.3.2.2 匀速斜坡控制

其次，缠绕成型系统各个设备之间匀速斜坡控制按公式（2）进行控制。

$$v_{i+1} = K v_i \quad (2)$$

式中： v_{i+1} —下一步设备速度；

K —比例系数，一般设置为1.05~1.2；

v_i —当前设备速度。

2.4 胶片温度自动控制系统

为了避免压出胶片的焦烧缺陷，压出胶片温度控制在 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ；为了保证叠加的缠绕胶片黏性及减少胶片内部空气含量，成型工艺都会对到达缠绕装置的胶片温度有具体的要求： $60 \sim 68^\circ\text{C}$ （天然胶）， $70 \sim 80^\circ\text{C}$ （合成胶）。

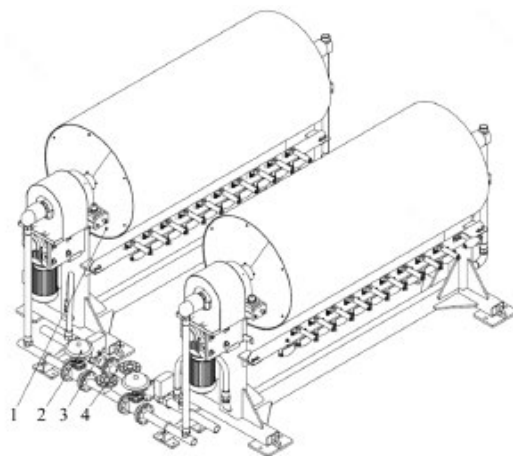
2.4.1 压出胶片温度控制

在压延机出口处设计有一套测温系统，检测的实际温度传输给PLC。正常的生产过程中，压出胶片的温度动态反馈给PLC与配方上设定温度做比较，如果压片胶片温度超过设定值，则通过PLC控制降低螺杆转速，如果温度过低，则通过PLC控制增加螺杆转速。

2.4.2 缠绕胶片温度控制

在缠绕装置处设计有一套测温系统，检测实际温度并传输给PLC。在冷却装置冷却水管入口布置有气动薄膜阀，当智能压延机压出胶片尺寸较小时，可通过配方设定自动关闭一个回路的冷却鼓体，避免缠绕胶片温度过低。在冷却水管出口布置有电动比例阀，PLC反馈的胶片实际温度后通过电动比例阀自动调节流经冷却鼓体内部的水量，从而达到控制缠绕前胶片温度目的。冷却装置温度控制硬件如图7所示。

在组态好的程序里，把缠绕前胶片温度实时读到电气程序D1中，经过模拟量—数字量转换后，在程序中使用缠绕前胶片温度D224控制冷却鼓电动比例阀的开合量。

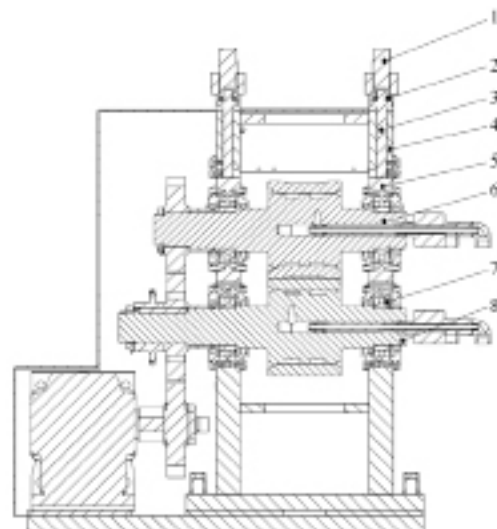


1—冷却鼓体；2—气动薄膜阀；3—电动比例阀；4—冷却水管路

图7 冷却装置

2.5 智能压延机辊距自适配结构

智能压延机下平辊通过调心滚子轴承固定安装于墙板，上型辊通过调心滚子轴承安装于轴承座，轴承座可沿墙板上下移动，蝶形弹簧维持施加一定的压力给顶杆，左右顶杆分别作用在左右轴承座上，使上型辊和下平辊的左边和右边辊面维持紧密接触，消除加工误差引起的装配间隙。当上型辊和下平辊使用磨损后，通过调节压紧螺杆继续维持上型辊和下平辊的左边和右边辊面维持紧密接触，消除辊体磨损引起的间隙。从而在长时间内维持上型辊与下平辊紧密接触，提高了压出胶片厚度的对称性，避免了压片胶片飞边等缺陷。优化改进的智能压延机辊距自适配结构如图8所示。



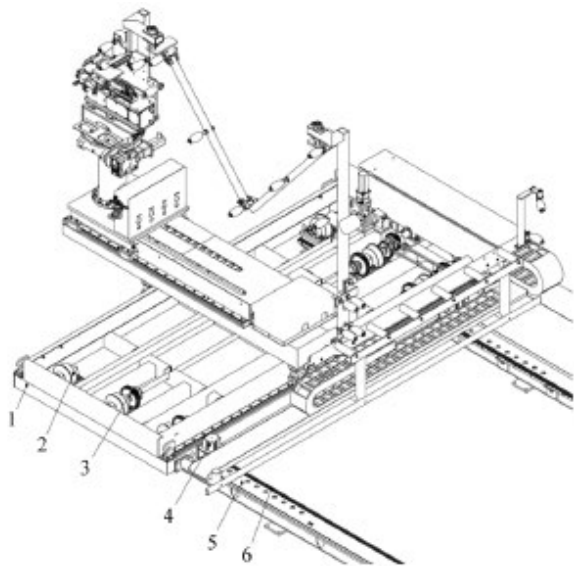
1—压紧螺杆；2—蝶形弹簧；3—顶杆；4—墙板；5—轴承座；6—上型辊；7—调心滚子轴承；8—下平辊

图8 辊距自适配结构

2.6 缠绕装置自定位结构

为了避免胎体鼓和成型鼓的操作维修空间，缠绕装置需要径向移动；当胎体鼓和成型鼓的轮胎规格发生变化时，受限于缠绕头的径向移动距离限制，缠绕装置的径向工作位置需要移到合适位置；缠绕头回转中心与胎体鼓和成型鼓的中心距离需要输入到上位机配方参数中，其对缠绕宽度有较大的影响。

优化改进的缠绕装置自定位结构如图 9 所示。缠绕装置的左右两侧布置有 4 组行走滚轮，行走滚轮在预埋的 H 型导轨上滚动，承受重力作用；伺服电机驱动的左右两侧 4 套驱动齿轮布置在定位齿条上方，用于缠绕装置的径向位置精确定位。在上位机操作界面上根据配方输入的缠绕装置工作位置，伺服驱动齿轮在定位齿条上行走直到工作位置时，PLC 程序自动驱动气缸插销插入 H 型导轨的定位孔。采用该自定位结构时能够完全实现自动化，避免人工操作导致定位孔错误，影响缠绕断面精度；在缠绕装置径向移动的同时，操作工并行操作挤胶动作，提升设备生产效率。



1—缠绕装置；2—行走滚轮；3—驱动齿轮；4—气缸插销；
5—H 型导轨；6—定位齿条

图 9 缠绕装置自定位结构

3 生产实际应用

巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统，上位机控制算法通过 PLC 和终端使各传动部件按预先设定的速度同步协调地运行，使胎胚缠绕同步提速或降速；根

据工艺要求的断面轮廓及重量，完成半制品部件的缠绕并提升断面精度和重量精度。经客户现场调试，该系统能够稳定、精准的缠绕出巨型工程胎的气密层、插入包、过渡层、胎肩、胎侧、基部胶和胎冠胶，各项指标均达到了轮胎厂的要求：重量精度 $\pm 1\%$ ，厚度精度 $\pm 1.5\text{mm}$ ，对称精度 $\pm 2\text{mm}$ ，设备已正式投入生产。其中缠绕胎侧部件测量数据记录如表 1 所示：第 3 行代表胎侧部分与中心线的距离，第 4 行代表该位置工艺要求的胎侧厚度，第 5 行代表相应位置实际测量的左胎侧厚度，第 6 行代表相应位置实际测量的右胎侧厚度。从表 1 中可看出，左右两条胎侧厚度与标准值正偏差最大为 $+1.5\text{mm}$ ，负偏差最大为 -1mm ，满足工艺要求。

表 1 缠绕数据记录

缠绕半制品部件数据记录表											
部件	胎侧	标准重 52(kg)					标准宽 570(mm)				
定位 (灯标)		410	480	530	580	630	680	730	780	980	
厚度 /mm	标准	3	21	32	40	40	35	20	12	3	
	左侧(实测)	3	21	33	41.5	41	36	21	13	2	
	右侧(实测)	2	20	32	41	40.6	34	20	12	2	

4 结束语

通过分析和结合国内外同类产品的最新技术、实现方法和优缺点，按照轮胎厂的客观需求，研发了巨型工程胎半制品部件缠绕成型系统，并对电控系统和机械核心结构进行了优化设计与改进，满足了巨型工程胎小批量多规格的生产，大幅度降低设备采购成本。

本文不足之处：

- (1) 上位机控制算法还不够完善，需要根据实际生产出现的缺陷持续改进。
- (2) 需要更深层次数字化和视觉检测技术的应用，提升缠绕成型系统的智能化水平。

参考文献：

[1] 王松威，徐维欣，李曰煜. 全球巨型工程机械轮胎发展概述及我国巨型轮胎制造业面临的机遇和挑战 [J]. 橡胶工业，2011,58(1):51-62.

[2] 刘月琴，李铎. 中国巨型工程轮胎的现状与前景展望 [J]. 价值工程，2012,35:295-296.

[3] 刘小军，李斌. 一种小胶片堆叠成轮胎胎面的方法及系统 [P]. 中国：CN 108227478 B，2020.11.10.

[4] 胡寿松. 自动控制原理 [M]. 北京：科学出版社，2015.

[5] 王俊. 工程胎胎面缠绕的高精度控制 [J]. 橡塑技术与装备，2023,49(3):37-42.

Optimization and research on the winding and building system for semi-finished components of giant engineering tires

Wang Jun

(Double Coin Group (Jiangsu) Tire Co. LTD., Rugao 226500, Jiangsu, China)

Abstract: In order to reduce the production cost of giant engineering tire and meet the production demand of small batch and multiple specifications, the winding building system for semi-finished parts of giant engineering tire was successfully developed through the optimization and research of the upper computer control algorithm, the steady flow device for extruding rubber compound, the electrical control system and the mechanical device. The semi-finished components formed by winding in this system include an airtight layer, an insertion pack, a transition layer, a shoulder, a sidewall, a base rubber, and a crown rubber. After on-site debugging by the user, the weight accuracy of the wrapped giant engineering tire is controlled within $\pm 1\%$, fully meeting the user's process requirements. The equipment has been put into production.

Key words: giant engineering tire; semi-finished products; winding forming; control system; device

(R-03)

倍耐力股权纷争，再遭施压 Pirelli's equity dispute faces further pressure

据彭博社 9 日报道，美国政府向意大利政府及轮胎制造商倍耐力（Pirelli）发出明确警告，称中国国有企业中化集团作为该公司的最大股东，其持股背景可能“威胁美国联网汽车数据安全”，并暗示可能对倍耐力在美业务施加限制。这一动作作为全球轮胎行业及跨国投资合作再次蒙上地缘政治的阴影。

据彭博社报道，美方此次表态是对意大利政府早前要求美澄清立场的回应。美国商务部工业与安全局（BIS）已直接介入与意大利政府的沟通，显示出美方在该问题上的强硬态度。

中化集团目前持有倍耐力 37% 的股份，是其第一大股东。倍耐力开发的“Cyber Tyre”智能轮胎系统——可实时收集并传输行车数据，被视为下一代轮胎技术的核心，也是企业未来增长的关键所在。然而，该类技术也成为美国审查的重点。美方声称，出于“数据安全考虑”，将严控由中国控股企业提供的联网汽车硬件与软件。

值得注意的是，倍耐力作为 F1 赛车独家轮胎供应商，约四分之一销售收入来自美国市场，若美方实施限制，其业务拓展将面临重大挑战。

意大利政府近年来已多次动用“黄金权力规则”，以限制非欧盟实体对意战略行业企业的控制。2023 年，意政府藉此机制削弱了中化在倍耐力的治理权限，强制修改公司章程，并下调其控制权评级。据统计，意大利迄今共七次启用该机制，其中六次针对中资交易。

然而美方仍认为意方措施“不足够”。今年 7 月，BIS 致信意大利官员，明确指出 2023 年的限制未能满足美方所谓“安全标准”。目前，意政府正考虑进一步施压中化集团减持股份，甚至完全退出。

倍耐力首席执行官卡萨卢奇（Andrea Casaluci）今年早些时候对意大利《晚邮报》（Corriere della Sera）表示，如果不能与中化集团达成谅解，关键技术的研发以及在美国的扩张可能“面临极大风险”。而中化集团则并不打算出售股份。

针对两国合作，中国外交部发言人林剑此前表示，中意投资合作互利互惠，从不针对第三方，也不应受到第三方干扰。中国政府一贯支持中国企业在市场化原则基础上开展国际合作，希望意方为中国企业提供公平、公正、非歧视的营商环境，切实保障企业的合法权益。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)