

从钢铁到橡胶： 农用轮胎的创新演变之路

章羽 编译

（全国橡塑机械信息中心，北京 100143）

轮胎创新往往是美国农业创新故事中被忽视的一环，但橡胶轮胎的耐用性、高效性和舒适性，却是当今农民取得成功的关键。

早期的农用轮胎由钢制成。拖拉机轮胎上装有凸块，以增强田间牵引力，但这不仅损害了农民的脊椎健康，也降低了拖拉机的燃油经济性。此外，汽车开始激发美国人的旅行热情，将尘土飞扬的小路转变为铺满沥青的自由之路，而那些带钢制凸块的轮胎却在这些崭新的道路上留下了深深的压痕。农业技术已到了亟待变革的时刻。

1 轮胎变革的开端

美国农业中使用橡胶轮胎的最早记载可追溯至1871年。道·D·威廉姆森当时主要致力于研制美国产蒸汽犁，于1869年赴苏格兰考察了配备宽橡胶轮胎的“汤姆森道路蒸汽机”。回到美国后，他改良了汤姆森的“道路蒸汽机”，制造出了“威廉姆森道路蒸汽机”和“蒸汽犁”，并在驱动轮上安装了橡胶轮胎。这些设备在加利福尼亚州的圣华金谷以及明尼苏达州和宾夕法尼亚州的农场进行了测试。但由于成功与否取决于机器本身而非轮胎，且因灰尘导致发动机出现故障，该实验在五年内便宣告失败。

1918年，国际收割机公司（International Harvester）在8-16型拖拉机上试用了橡胶轮胎。前轮采用实心橡胶轮胎，后轮则采用模压在钢制胎块上的实心橡胶块。这种轮胎在公路上表现良好，但在田间作业时缺乏所需的牵引力，因此该试验最终被终止。

20世纪20年代初，工业拖拉机虽已采用实心橡胶轮胎，但在草地或泥泞田地中的牵引力仍显不足。

1931年，B.F. Goodrich公司宣布开发出一种“零压”农用轮胎，其内部设有支撑外拱的实心支柱网，但此后未发现有关该产品的进一步记载。

当农民、轮胎公司和拖拉机制造商开始尝试使用卡车和飞机的轮胎时，一场重大突破应运而生——充气轮胎，其内部充有空气，不仅行驶更平稳，而且抓地力更强。此外，其从设计角度来看，本就具备更强的承载能力。

为了提升在佛罗里达州橘园沙质土壤上的作业性能，来自佛罗里达州温特加登的霍伊尔·庞兹（Hoyle Pounds）使用特制钢卡箍，将零压卡车轮胎安装在福特森（Fordson）拖拉机的轮辋上。1928年，庞兹获得了首款橡胶拖拉机轮胎的专利。这些轮胎在爱荷华州泥泞的玉米地中也表现出色，赫塞尔·鲁尔达（Hessel Roorda）曾为一辆Farmall拖拉机配备了低压轮胎。

随后，在1932年，哈维·菲尔斯通将采用低锯齿花纹设计的球形轮胎安装在一台拖拉机上，并在俄亥俄州哥伦比亚纳的菲尔斯通庄园农场进行了测试。艾利斯-查尔默斯公司则将一套菲尔斯通48×12规格的飞机轮胎安装在威斯康星州农民阿尔伯特·施罗德拥有的U型拖拉机上，以便在其奶牛场进行测试。这两次测试均取得了成功。艾利斯-查尔默斯公司委托菲尔斯通设计了一套拖拉机充气轮胎，并在Homestead农场进行了广泛测试。

1932年10月，艾利斯-查尔默斯公司宣布，其Model U型拖拉机今后将配备由固特异轮胎橡胶公司提供的充气轮胎。1933年的拖拉机竞速赛帮助激发了公众兴趣，而1934年在内布拉斯加州进行的一项对比测

试,则为美国农民提供了转向橡胶轮胎所需的决定性证据(图1)。

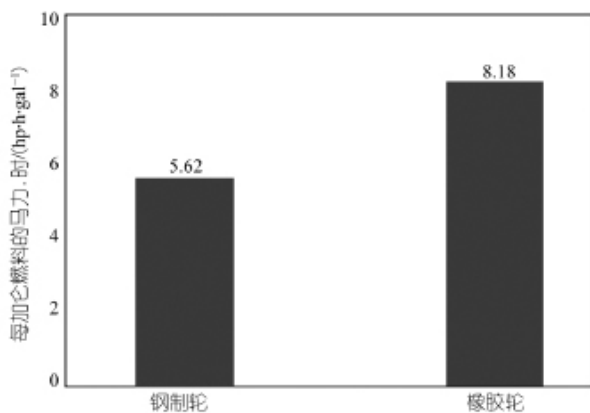


图1 橡胶轮毂相较于钢制轮毂的效率优势

2 为何选择橡胶轮胎

1932年,美国农场中约有100万辆配备钢轮的拖拉机。虽然这些钢轮在大多数田地里确实能提供牵引力,但它们也会使驾驶员和机械受到颠簸,尤其是在较坚硬的路面上。它们被禁止行驶在美国新铺设的道路上,此外,它们行驶速度较慢,且耗油量更大。

从钢轮转向橡胶轮胎的核心原因可以用四个词概括:牵引力、土壤压实、舒适性和效率。“充气轮胎比钢轮更能适应地面或土壤,”固特异农业公司现场工程高级经理格雷格·琼斯表示。“它们还减少了土壤压实,因为拖拉机的全部重量不再通过钢制履带直接传递到土壤中,而是分散在更大的接触面上。驾驶员也因舒适性提升而受益,因为轮胎允许轻微的弹跳,从而吸收了行驶过程中部分不平整路面的颠簸。”

针对首批试验轮胎的研究和测试表明,使用低压橡胶轮胎的拖拉机不仅燃油消耗减少了多达三分之一,而且在行驶更平稳的同时,工作效率提高了25%。这些初步结果激发了轮胎创新者克服轮胎设计挑战的动力,并促使农民在1940年之前订购的95%的拖拉机都配备了充气轮胎(图2)。

3 早期的农用轮胎

20世纪30年代,要说服向来保守的农民投资将钢制轮胎更换为橡胶轮胎,实非易事。当时正值大萧条最严重的时期,尽管拖拉机竞速宣传巡回活动既娱乐了农民,又给他们留下了深刻印象,但轮胎设计师们

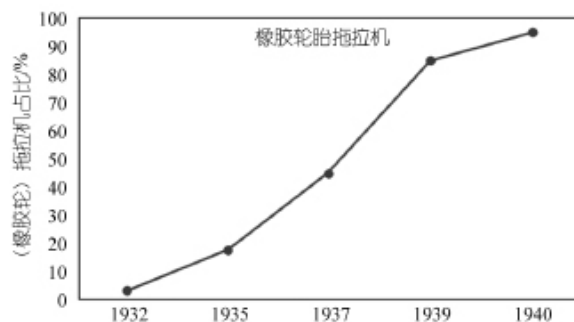


图2 拖拉机橡胶轮胎的快速普及

仍面临着诸多挑战。他们需要制造出能满足美国农民多样化需求的轮胎,因此将重点放在轮胎设计和配方上,以打造出耐用的农用轮胎。

虽然数据总体上支持使用橡胶拖拉机轮胎,但在将卡车和飞机轮胎改造为拖拉机及农用机械轮胎的过程中,轮胎设计师仍需解决一些功能性问题。这些早期轮胎属于斜交胎类别,包含胎体层、胎圈、胎侧和胎面等部件。工程师们将精力集中在胎侧和胎面设计上,这两者对于制造出既能承载重物,又能最大限度减少土壤压实或减轻驾驶员颠簸感的农业轮胎至关重要。

对于胎侧,轮胎设计师必须考虑以下几个变量:

(1) 直径:轮胎需要具有较大的直径,才能在不损坏作物的情况下驶过作物。

(2) 横截面:轮胎必须足够宽,以确保良好的土壤接触,同时又必须足够窄,才能在田地间通行。

(3) 气压:气压必须在确保良好土壤接触与避免过度压实之间取得平衡,同时还要防止轮胎在轮辋上打滑,并吸收颠簸以保障驾驶舒适性。

胎面设计是固特异和吉列(图3)面临的另一项挑战。固特异在开发出著名的“Ground Grip”设计之前,曾测试过浅纹和深纹人字形花纹,该设计采用成对的深纹倾斜条纹,通过连接增强强度。固特异最初采用菱形胎面,随后改用中央开孔的倾斜条纹。吉列则采用了块状花纹设计,并持续生产了多年。

在考虑轮胎材料时,汽车行业早已开展了大量关于轮胎胶料的研究,包括查尔斯·固特异于1839年发现的硫化工艺。然而,农业行业还有其他标准。橡胶轮胎需要承受田间作物秸秆、岩石和其他障碍物的冲击。为了满足各种需求,农业轮胎主要由天然橡胶制



图3 哈维·菲尔斯通希望通过设计气动拖拉机轮胎，实现“让农场跑上橡胶轮”的目标

成，因为它具有抗切割性。

他们还根据轮胎的使用场景，对由棉花制成的胎体帘布层进行了专门设计。帘布层直接影响轮胎的强度和耐用性。帘布层的数量是衡量轮胎强度和承载能力的重要指标。由此诞生的轮胎不仅为农民提供了舒适的驾乘体验，还具备了在不同田间环境中作业所需的牵引力，同时能减少土壤压实。轮胎内从胎壁延伸至另一侧胎壁的橡胶化合物和帘布层，形成了一层厚实的保护层，有效抵御作物秸秆、石块及其他田间隐患的损伤。

4 数十年来轮胎技术的创新

进入20世纪40年代，绝大多数拖拉机已开始使用充气轮胎，农业也由此步入了一个重大变革的时代。设备机械化及规模化的科学进步，为在减少劳动力投入的同时提高生产效率开辟了道路，这促使农民购置了更多土地。这些因素，加上作物生产中地形更加多样化，以及需要适应不可预测的环境条件，为轮胎创新的加速发展奠定了基础。

菲尔斯通轮胎橡胶公司于1950年推出了23°胎面设计，旨在改善中等至干燥土壤条件下的牵引力。这种角度设计使更多胎块与地面接触，从而在减少土壤压实的同时提供更好的牵引力。“在我看来，23°胎面设计至今仍能提供最佳的牵引力，”固特异农业事业部全国销售培训经理达斯蒂·希宁格表示，“它在田间作业时还能更省油。”

1973年，B.F. Goodrich轮胎公司向美国市场推出了子午线拖拉机轮胎。欧洲汽车工业自20世纪50年代起就开始研发子午线轮胎，该技术于20世纪60年代中期传入美国，应用于乘用车领域。子午线拖拉机轮胎在结构和性能上均与斜交胎有所不同。其采用两部分结构，帘布层从轮辋一端笔直缠绕至另一端，而斜交胎的帘布层则是斜向缠绕。此外，子午线轮胎还在帘布层与胎面之间设有钢带或织物带，使胎侧壁与子午线带能够独立弯曲。因此，子午线轮胎可在较低的充气压力下运行，同时提供更大的接地面积，从而进一步减少土壤压实，增强牵引力并提高燃油效率。

20世纪90年代，随着农机设备规模的扩大，市场对能够将重量分散到更大接触面积、从而最大限度减少土壤压实的轮胎需求日益增长。这促使Alliance公司在20世纪90年代初开发了斜交层浮动轮胎，随后几年又推出了子午线浮动轮胎。这些轮胎采用钢丝帘布结构，有助于改善散热效果，从而延长了使用寿命。它们可在较低的充气压力下运行以最大限度地减少土壤压实，同时仍能为操作员提供舒适的驾乘体验。浮力轮胎在松软潮湿的土壤条件下表现尤为出色，使农民能够继续进行田间作业，而无需等待更有利的条件。随后，Alliance进一步改进浮力轮胎，使其能够以高速公路速度行驶，并推出了首款超高柔韧性浮力轮胎。

21世纪初，米其林发明了增强柔韧性（IF）轮胎，几年后又推出了超高柔韧性（VF）轮胎。这些轮胎具有更柔韧的胎侧，从而提供了更大的承载能力并减少了土壤压实。IF轮胎在承载相同负荷时，胎压可降低20%，同时提供更大的接地面积以提升牵引力和浮力。VF轮胎则更进一步，在承载相同负荷时，胎压比标准子午线轮胎低40%。

农业轮胎主要创新的时间线包括以下内容：

- (1) 1932年：首款充气式拖拉机轮胎
- (2) 1935年：Firestone Ground Grip轮胎
- (3) 20世纪50年代：23°胎面花纹设计
- (4) 1973年：子午线拖拉机轮胎在美国问世
- (5) 20世纪90年代：浮力轮胎
- (6) 2000年初期：IF和VF轮胎

5 轮胎结构与材料的创新

深入探究农业轮胎的内部构造，可以发现轮胎结构（尤其是胎面设计和胎侧结构）以及轮胎材料方面的一系列进步，这些进步促成了前文所述的创新。

由于胎面直接与地面接触，其设计可能经历了最严格的审查和最显著的变革。轮胎与地面的接触面影响着关键性能指标，包括牵引力、土壤压实度、燃油效率、使用寿命以及驾驶舒适性。

自费尔斯通 Ag 早期推出的人字形花纹以来，胎面设计已经历多次革新。其变体包括23°和45°的胎面花纹块倾角，以及双倾角花纹块设计。

23度胎面花纹角度经过优化，可在田间作业时提供最大牵引力。该角度通过在接地印痕内以最佳牵引角度布置更多胎面花纹块，能够更高效地将动力传递至地面，驱动拖拉机前进。费尔斯通将此设计应用于广受欢迎的 Radial Deep Tread 23（深胎纹子午线轮胎，23度）及 Radial All Traction 23（全牵引子午线轮胎，23度）产品中。而在铺装路面行驶工况下，45度胎面花纹角度则更为适宜。

该角度旨在改善耐磨性并提升行驶舒适度，使其成为公路行驶的理想之选。费尔斯通将此设计应用于 Maxi Traction（麦克斯牵引）系列，以及 Radial All Traction DT（全牵引子午线双胎轮胎）和 Radial All Traction FWD（全牵引子午线前驱轮胎）等产品中。

Maxi Traction（麦克斯牵引）轮胎（图4）还在胎块前缘采用了双角度胎块技术。这不仅增加了与土壤的接触面积，还能在胎块脱离地面时最大限度地减少对土壤的扰动。其结果是牵引力更强、阻力（滚动阻力）更小，且燃油效率得到提升。



图4 Maxi Traction轮胎

普利司通专利的渐开线花纹块设计，其花纹块前缘呈弧形，在花纹块进入地面时增加了与土壤的接触面积，并使其能够笔直地从地面拔出，而不会飞溅土

壤。这种设计有助于减少轮胎打滑，从而最大限度地减少土壤扰动并提高燃油效率。

随着IF和VF轮胎的推出，侧壁创新的重点主要集中在提升轮胎性能，以适应体积更大、重量更重的新型农机设备。为了满足农民不断变化的需求，Firestone Ag研发了采用先进变形设计（AD2）侧壁技术的轮胎。AD2技术适用于IF和VF规格的轮胎，它融合了设计、材料与结构优势，使胎侧具备更强的柔韧性和更高强度。这使得轮胎能在更低的胎压下承载更大负荷，同时减少土壤压实，并提升牵引力和燃油效率。AD2技术在实现这些性能的同时，还能保障胎体结构的完整性和耐用性。

普利司通推出的另一项胎侧创新技术——S-Line技术，通过打造坚固的胎圈轮廓来强化胎侧结构，从而在传统VF技术的基础上实现了进一步提升。因此，这项专有的S-Line技术在保持耐用性的同时，提供了更强的柔韧性，并有助于减少土壤压实，即使在VF胎压下的重载条件下也是如此。

除了轮胎的结构外，轮胎工程师还需考虑轮胎的成分。“轮胎由多层不同的增强材料和橡胶化合物构成，”普利司通美洲公司高级农业产品战略经理比尔·杜里瓦奇解释道。“其中包括钢丝、聚酯纤维、尼龙、橡胶和油料。每种材料都经过专门设计，以实现特定的弯曲和拉伸性能，从而最大限度地减少断裂和耐用性问题，并能承受额外的变形以及轮胎频繁的旋转循环。轮胎不同区域所使用的橡胶配方，会根据该轮胎的预期用途设计出不同的材料特性。”

例如，像大田玉米这样的高产作物，其茎秆经过培育变得更粗壮、更坚韧，以支撑更重的玉米穗并抵御德雷科风。茎秆越坚韧，收获后的秸秆就越坚硬，可能刺破轮胎。普利司通和固特异已将高耐久性林业轮胎的橡胶配方融入其前轮拖拉机轮胎中（图5），从而增强了轮胎的抗割伤能力。其他配方方面的考量与技术进步还包括：

- （1）胎体帘布从棉质到如今的钢丝、尼龙和聚酯纤维的演变；
- （2）包含增塑剂和抗氧化剂的橡胶配方，使胎侧既能伸展弯曲，又能防止开裂和氧化；
- （3）有助于在高速行驶时散发轮胎内部热量的

橡胶化合物；

(4) 采用可再生且易于获取的大豆油替代石油化工油；

(5) 利用蒲公英和瓜尤莱等植物提取乳胶，建立本地化原料来源以替代天然橡胶。



图5 Firestone Ag推出了倍耐力高端拖拉机轮胎系列，其采用的新一代技术树立了新的性能标准，以满足农民不断变化的需求

6 展望未来

随着艾利斯-查尔默斯（Allis-Chalmers）U型拖拉机首次将充气轮胎作为原厂配置的100周年纪念日临近，一个问题随之浮现：未来100年将会如何？正如20世纪30年代的轮胎设计师们恐怕无法预见农业轮胎未来100年的发展，21世纪的轮胎工程师们也同样在思考未来100年可能发生的变化。或许10年是一个更合理的预测周期；但鉴于技术变革的速度，即便如此，这个预测可能也有些勉强。

无论如何，性能标准预计将保持一致：在提高

燃油效率的同时覆盖更广的作业范围并承载更重的负载；具备可靠的牵引力以应对多变的环境条件，同时尽量减少土壤压实；以及采用更耐用的轮胎，以延长使用寿命并减少废弃物。创新可能取决于与设备制造商的合作，从而使农民能够充分利用中央轮胎充气系统（CTIS）、传感器和射频识别等技术。

“对我来说，子午线轮胎和IF/VF技术是农业轮胎技术发展历程中的重要里程碑。它们在牵引力、土壤压实度、燃油效率、驾驶舒适性和耐用性等方面都展现出了优势，但普及速度仍然滞后。”杜里瓦奇说道。“我认为，当设备制造商将CTIS等技术集成到拖拉机驾驶室中时，应用将迎来一个转折点；这样农民就能更轻松地利利用我们融入轮胎中的技术。农民可以在驾驶室内根据负载调整胎压，并利用CTIS在公路和田间之间实现无缝切换。”

尽管推广可能需要时间，但前进的方向已然明朗。轮胎技术的价值取决于其实际应用效果。随着农机与轮胎技术的持续融合，农民将更有条件享受到现代轮胎设计在耐用性、效率和生产力方面带来的益处。优秀的轮胎并非凭空出现在田间，而是始终以农民的需求为出发点精心打造的。

译者：章羽

原文：RUBBER WORLD No.10/2025, by Bill Durivage,
Bridgestone Americas; and Greg Jones and Dusty Hininger,
Firestone Ag.

