

# 不同种类改性剂对 EPDM/MVQ 共混胶性能的影响

代欣，郝良赐，刘长顺，邓涛\*

(青岛科技大学高分子科学与工程学院，橡塑材料与工程教育部重点实验室，  
山东 青岛 266042)

**摘要：**依据“表面张力相近原则”，为提高三元乙丙橡胶（EPDM）与硅橡胶（MVQ）的相容性，本研究通过，向 MVQ 中加入不同种类的改性剂，以此提高其表面张力，缩小与 EPDM 表面张力的差距。实验表明，加入不同改性剂的 MVQ，其水接触角都会发生明显下降，对应的 EPDM/MVQ 共混胶相界面厚度有所增加，相容性变好。与未改性的 EPDM/MVQ 共混胶相比，老化前后的力学性能也有不同程度增加。

**关键词：**共混橡胶；接触角；表面张力；相界面；力学性能

**中图分类号：**TQ333.4 TQ333.93

**文献标识码：**B

**文章编号：**1009-797X(2026)01-0039-05

**DOI:**10.13520/j.cnki.rpte.2026.01.008

利用 EPDM 优异的耐水蒸气性和 MVQ 的优异耐热性，将两者进行共混，可获得综合性能优异的产品，这种共混胶的耐热性可比 EPDM 高 10~30 °C [1]，而且其具有较高强度和较小的压缩永久变形，性能价格比合理，满足了蒸汽密封制品的要求，适用于蒸汽清扫器、蒸汽锤、平板硫化机及注塑机等热压设备作为软性管路。

然而，EPDM 与 MVQ 共混存在着工艺相容性差的问题，二者直接共混时，两种橡胶分子间不可能生成牢固的分子间键合力，属于热力学不相容体系，分子结构的不同导致极性和表面张力等多方面的差异 [2]。一般，提高共混体系的相容性可从两方面入手，一是从加强高分子组分间的相互作用力的热力学角度，比如在组分间引入分子间氢键、偶极-偶极相互作用和化学反应等 [3]；另一方面是从改变温度、时间和添加第三组分相容剂的工艺角度实现。所以，本实验采用丙烯酸酯橡胶（ACM）、乙烯-乙酸乙烯酯橡胶（EVM）、丁腈橡胶（NBR）和硅烷偶联剂 KH-550 作为 MVQ 的改性剂，使其与 MVQ 产生一定的交联，交联后的 MVQ 共混胶提高了表面张力，实现与 EPDM 表面张力相近，加强两者之间的相互作用力，进而提高 MVQ 与 EPDM 的相容性。结果表明，采用 NBR 作为改性剂的 EPDM/MVQ 共混胶，其相界面厚度最大，相容性最好，耐老化性能也是最好的，而在

宏观力学性能上，由相容性和得到改善的橡胶-填料相互作用共同影响，以 KH-550 作为改性剂的共混胶老化前后的力学性能都是最好。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原材料

EPDM 2650C，阿朗新科；MVQ 9170 M，埃肯有机硅；ACM 121X，九江杜威；EVM 700，德国朗盛；NBR 1052，镇江南帝；其他配合剂均为常用工业品。

### 1.2 实验配方

编号	份				
	1#	2#	3#	4#	5#
ACM 121X	0	3	0	0	0
EVM 700	0	0	3	0	0
NBR 1052	0	0	0	3	0
KH-550	0	0	0	0	1.2

实验配方见表 1，其余配合剂均相同（单位：份）：EPDM 2650C 70、MVQ 9170 M 46.2、白炭黑 10、ZnO 5、SA 1、DCP 2、TAIC 1.5、防老剂 RD 1.5。

### 1.3 试样制备

按配方称量各种原材料。首先，在开炼机上放入 EPDM，待包辊后分批次加入白炭黑，打三角包 8 次，

**作者简介：**代欣（2000-），女，在读硕士研究生，主要从事橡胶共混与改性方面的研究。

打卷 5 次，取出，待用。其次，对改性 MVQ 进行制备，将 MVQ 放入开炼机中，包辊后分别加入改性剂，混合均匀后取出。然后将 EPDM 母炼胶和改性硅橡胶进行混合，打三角包 5 次，打卷 3 次后加入小料进行混合，最后加入硫化剂，混合均匀后取出，停放 16 h 后在平板硫化机上硫化，硫化条件为 170 °C × 10 MPa × t<sub>90</sub>。

## 1.4 分析与测试

### 1.4.1 相容性表征

在利用 Owens 二液法计算硫化胶的表面张力<sup>[4]</sup>的基础上（选用水和 α-溴萘两种测试液），并依据文献<sup>[5]</sup>计算共混硫化胶的相界面厚度以此对相容性进行表征，共混胶相界面厚度越大，说明相容性越好。

### 1.4.2 力学性能

拉伸性能采用台湾高铁有限公司生产的 I-7000S 型号的电子拉力试验机按照 GB/T 528—2008 进行测试，拉伸速度为 500 mm/min，测试温度为室温。

### 1.4.3 耐老化性能

热氧老化条件为 120 °C × 72 h。

### 1.4.4 磨耗性能

采用邵坡尔磨耗测试方法（负荷为 10 N）。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硫化特性数据

EPDM/MVQ 共混胶的硫化特性参数见表 2，五种共混胶的焦烧时间 t<sub>10</sub> 较短，加工安全性较差，4# 共混胶工艺正硫化时间 t<sub>90</sub> 最长，硫化反应速度相较于其余四种共混胶较慢。

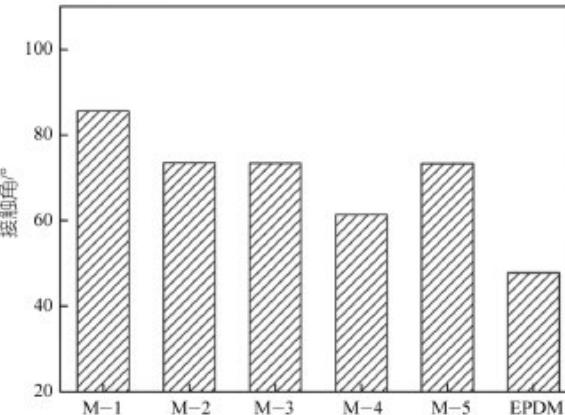
表 2 硫化特性参数

硫化特性数据 / 编号	1#	2#	3#	4#	5#
M <sub>H</sub> /(dN·m)	22.14	22.27	22.83	21.33	22.88
M <sub>L</sub> /(dN·m)	0.88	0.94	0.96	0.89	1.36
t <sub>10</sub> /(min:s)	0:45	0:46	0:45	0:47	0:45
t <sub>90</sub> /(min:s)	6:30	6:29	6:24	8:45	6:50

### 2.2 相容性表征

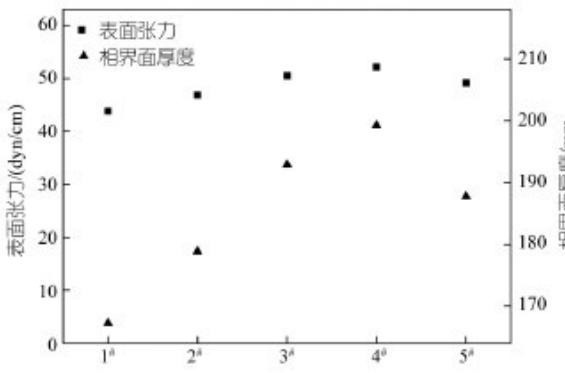
MVQ、改性 MVQ 和 EPDM 的水接触角测试的结果见图 1，共混胶的表面张力以及界面厚度见图 2。与纯 MVQ 水接触角相比，加入 ACM、EVM、NBR 和 KH-550 作为改性剂的 MVQ 的接触角有所减小，这说明其润湿性变好。而影响表面接触角大小的因素还与表面极性有关<sup>[6]</sup>，即加入改性剂后的 MVQ，由于极性基团（酯基、氰基）的存在其表面张力提高，KH-550 则在高温条件下一端的乙氧基水解成羟基，

另一端水解成氨基<sup>[7]</sup>，导致接触角减小，表面张力增加。其中，加入 NBR 可明显降低 MVQ 的接触角，加入 ACM、EVM 和 KH-550 也可以降低 MVQ 的接触角，但降低幅度没有加入 NBR 的大。



(注：M-1 为 MVQ，M-2 为 MVQ/ACM，M-3 为 MVQ/EVM，M-4 为 MVQ/NBR，M-5 为 MVQ/KH-550)

图 1 MVQ、改性 MVQ 和 EPDM 水接触角



通过改性 MVQ，提高其表面张力，缩小与 EPDM 的表面张力的差距，实现表面张力相近，提高 MVQ 与 EPDM 之间的相容性。由图 2 可知，NBR 的介入可大幅度提高 MVQ 相的表面张力，使其与 EPDM 相的相容性增加，两相相互吸引作用力增加，界面厚度增加。在五种 EPDM/MVQ 共混胶中，4# 共混胶的相容性最好，两相表面张力最接近，相互吸引力作用力最大，界面粘合作用最强，相界面最厚，未改性的 1# 共混胶相容性最差，相界面最薄。

### 2.3 力学性能

由表 3 可知，由于加入改性剂提高了 MVQ 相的表面张力，实现了与 EPDM 相表面张力较接近，二者相容性增加，界面粘合作用增强，抗拉能力以及耐撕

裂性增加，EPDM/MVQ 共混胶的拉断强度变化不大，基本在同一水平，加入 EVM、NBR 和 KH-550 作为改性剂的共混胶，撕裂强度得到了提高，且综合来看，3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 共混胶的力学性能相比未改性的共混胶较好。此外，5<sup>#</sup> 共混胶拉断强度的增加，也有 KH-550 提高了橡胶与填料相互作用，其扯断伸长率出现明显下降是因为 KH-550 产生的羟基与白炭黑表面的羟基缩合形成化学键，氨基白炭黑表面的羟基产生氢键，填料的聚集程度加大，应力集中点增加，即 5<sup>#</sup> 共混胶力学性能的变化是多个因素共同影响造成的。

表 3 EPDM/MVQ 共混胶的力学性能

编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
硬度 / 邵 A	60	59	61	60	59
拉断强度 / MPa	6.2	5.5	6.3	6.4	6.6
扯断伸长率 / %	457	428	465	422	387
50% 定伸应力 / MPa	1.1	1.1	0.9	1.0	1.1
100% 定伸应力 / MPa	1.4	1.5	1.3	1.4	1.6
200% 定伸应力 / MPa	2.1	2.1	2.0	2.2	2.8
300% 定伸应力 / MPa	3.2	3.2	3.0	3.4	4.4
扯断永久变形 / %	17.5	15.8	14.2	13.3	11.7
撕裂强度 / (kN·m <sup>-1</sup> )	19.9	19.3	22.6	21.2	23.5

## 2.4 磨耗性能

图 3 为不同 EPDM/MVQ 共混胶耐磨性的比较，一般来说，磨耗体积越大，耐磨性能就越差，由图可知，2<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 共混胶的磨耗体积较小，耐磨性较好，1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 和 4<sup>#</sup> 共混胶的磨耗体积较大，耐磨性较差。其中，采用 ACM 和 KH-550 改性的共混胶的耐磨性要比未改性的共混胶的好，采用 NBR 改性的共混胶的耐磨性能不如未改性的共混胶。

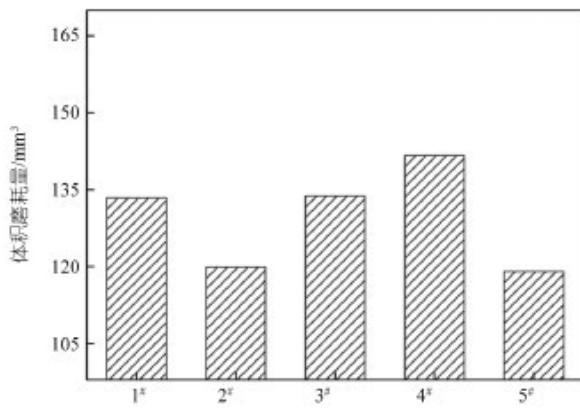


图 3 EPDM/MVQ 共混胶的耐磨性能

## 2.5 耐老化性能

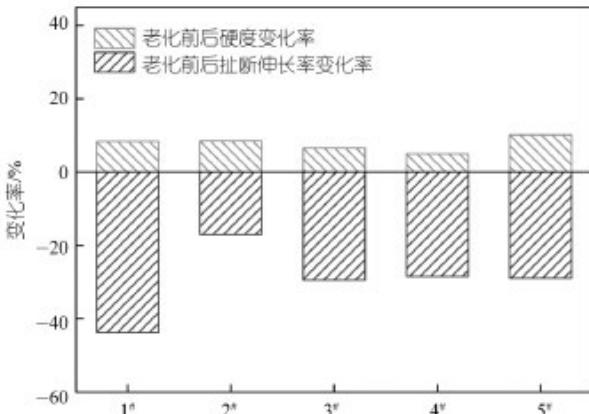
将 EPDM/MVQ 共混胶的试样在 120 °C × 72 h 的条件下进行热氧老化，在此过程中，共混胶的交联密度增加，硬度和定伸应力相较老化前有所增加，共混

胶老化后力学特性数据如表 4 所示。1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 和 4<sup>#</sup> 共混胶的拉断强度和扯断伸长率发生下降的原因是交联密度过大，导致交联网络不均匀，在外力的作用下应力集中点增加，容易发生断裂。2<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 共混胶拉断强度的增加，说明在热氧老化过程其硫化程度增加，且交联网结构较为均匀。综合来看，在相同老化条件下，改性后的共混胶的拉断强度和扯断伸长率要高于未改性的。

表 4 老化后的 EPDM/MVQ 共混胶的力学性能

编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
硬度 /邵 A	65	64	65	63	65
拉断强度 / MPa	5.6	5.7	5.7	5.8	6.8
扯断伸长率 / %	257	355	328	302	275
50% 定伸应力 / MPa	1.4	1.2	1.2	1.4	1.3
100% 定伸应力 / MPa	2.0	1.7	1.7	1.8	2.1
200% 定伸应力 / MPa	3.9	2.7	2.9	3.3	4.1
300% 定伸应力 / MPa	—	4.4	5.0	5.7	—
扯断永久变形 / %	5.8	13.3	10.0	7.5	2.5
撕裂强度 / (kN·m <sup>-1</sup> )	23.8	22.4	21.3	17.6	23.0

采用老化前后硬度和扯断伸长率变化率来衡量 EPDM/MVQ 共混胶的耐老化性能。由图 4 可知；5<sup>#</sup> 的硬度增幅最大，4<sup>#</sup> 的硬度增幅最小，且改性过的 EPDM/MVQ 共混胶的扯断伸长率变化率都小于未改性的共混胶，即结合两种变化率来看，4<sup>#</sup> 共混胶的耐老化性能最好，且相较于未改性的 1<sup>#</sup> 共混胶，2<sup>#</sup>~5<sup>#</sup> 共混胶的耐老化性能会更好一点。



注：1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup> 为 EPDM/MVQ 共混胶常温力学行为曲线，1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup> 为 EPDM/MVQ 共混胶 120 °C × 72 h 老化后的力学行为曲线。

图 4 共混胶老化前后硬度和扯断伸长率的变化率

此外，对比老化前后 EPDM/MVQ 共混胶的拉伸行为曲线，见图 5 可发现，未改性的 EPDM/MVQ 共混胶的拉伸行为在老化前后变化最大，再次验证改性剂的加入对共混胶的老化力学行为有所改善。同时，为深入研究该类型共混胶是否能在更苛刻的高温

环境下长期使用，又对 EPDM/MVQ 试样进行了 170 °C × 72 h 的热氧老化试验，见图 6。

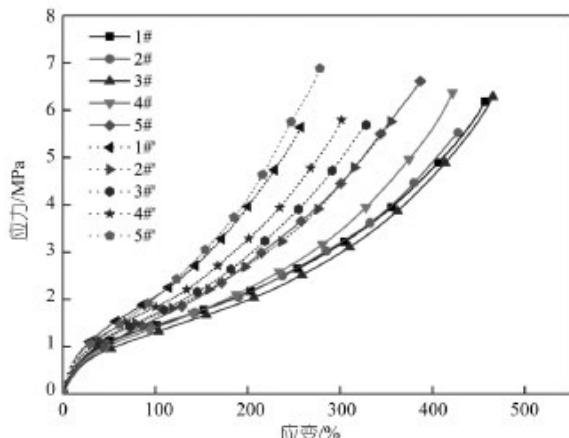


图 5 共混胶老化前后拉伸行为对比

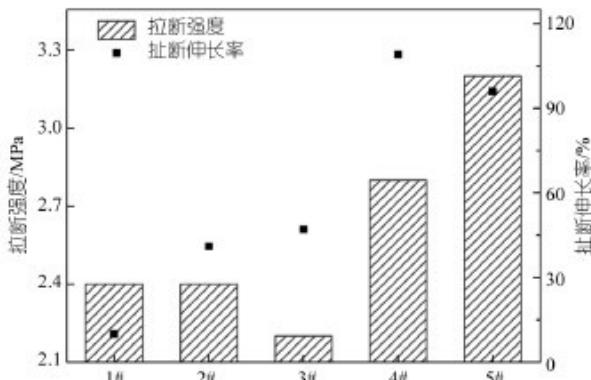


图 6 170 °C下共混胶老化后的拉断强度和扯断伸长率

共混胶试样经过长时间的高温历程，拉断强度和扯断伸长率相较于常温和 120 °C 的热氧老化发生了明显的下降。对比五种 EPDM/MVQ 共混胶发现，4# 加有 NBR 和 5# 加有 KH-550 的共混胶具有较高的强度和伸长率，且明显高于其余三种共混胶，说明 4# 和 5#

更耐受高温，使用寿命较长，可应用于苛刻的高温工作环境。

### 3 结论

(1) 采用 ACM、EVM、NBR、KH-550 作为 MVQ 高表面张力的改性剂，可明显降低其水接触角，缩小与 EPDM 的表面张力的差值，提高二者相容性。其中，加入 NBR 的效果最为明显，该种共混胶的相界面厚度最大，相容性最好。

(2) 从宏观力学性能来看，5# 共混胶的性能不仅受相容性的影响，还受到了填料—橡胶之间的相互作用，以及填料聚集度的影响，综合来看，其力学性能都是最好，4# 次之。

(3) EPDM/MVQ 共混胶分别经过 120 °C 和 170 °C 的热氧老化处理后，4# 和 5# 的拉断强度和扯断伸长率较高，耐老化性能优异。

### 参考文献：

- [1] 张巧莲, 高志龙, 张学祥, 等. MVQ/EPDM 共混改性用于生产耐热水蒸气橡胶制品的研究 [J]. 湖北化工, 1999,(04):12–14.
- [2] 杨科, 黄丽萍, 王建华, 等. 相容剂改善硅橡胶/EPDM 共混热防护材料性能的研究 [J]. 上海航天, 2017,34(05):99–104.
- [3] 郭艳. 浅析《高分子共混改性》课程中的“相容性”[J]. 广州化工, 2023,51(11):272–273+290.
- [4] 狄剑锋. 织物表面能的计算方法及其比较 [J]. 纺织导报, 2005,(09):77–79+94.
- [5] 韩笑. MPU/PA 热塑性弹性体的制备与结构性能研究 [D]. 青岛科技大学, 2022.
- [6] 马晓媛, 陈冬梅, 李荣勋. 液体聚异戊二烯橡胶对芳纶纤维/天然橡胶界面结构与性能的影响 [J]. 弹性体, 2023, 33(03):46–53.
- [7] 宋成芝, 车永兴, 张志广, 等. 硅烷偶联剂对炭黑/白炭黑增强丁腈橡胶填料网络结构及动态性能的影响 [J]. 合成橡胶工业, 2011,34(02):128–132.

## Effects of different types of modifiers on the properties of EPDM/MVQ blended rubber

Dai Xin, Hao Liangci, Liu Changshun, Deng Tao\*

(Qingdao University of Science and Technology, Key Laboratory of Rubber and Plastic Materials and Engineering, Ministry of Education, Qingdao 266042, Shandong, China)

**Abstract:** This study aims to enhance the compatibility of ethylene propylene diene monomer (EPDM) and silicone rubber (MVQ) based on the "principle of similar surface tension". Therefore, different types of modifiers are added to MVQ to increase its surface tension and narrow the gap with the surface tension of EPDM. Experiments show that the water contact angle of MVQ with different modifiers decreases significantly, and

the interfacial thickness of the corresponding EPDM/MVQ blend increases, resulting in improved compatibility. Compared with the unmodified EPDM/MVQ blend, the mechanical properties before and after aging also increase to varying degrees.

**Key words:** blended rubber; contact angle; surface tension; phase interface; mechanical properties

(R-03)

## 伊之密携多款注塑机亮相土耳其展会，以技术优势深耕欧亚制造业枢纽

**Yizumi showcases multiple injection molding machines at Turkish Exhibition, deepening presence in Eurasian manufacturing hub with technological advantages**

当地时间 12 月 3 日，为期四天的第 34 届土耳其伊斯坦布尔国际塑料工业展（Plast Eurasia Istanbul）在土耳其首都伊斯坦布尔 TUYAP 展览中心举行，伊之密联合当地代理 GENERAL MAKINA 携 FF160 电动注塑机、UN165V3R 立式注塑机、UN120A6 注塑机参展，反响热烈。

### 展机介绍 A6 系列高端智能注塑机

A6 系列注塑机以其智能化、精密化、绿色节能和高效率四大核心价值主张，为客户提供了更佳的注塑解决方案。

该机型搭载智能重量 V/P 控制功能，实现了产品重量重复精度高达 2‰，确保了生产的稳定性。同时，A6 系列配备了智能锁模力管理系统，提升了生产效率并优化了产品质量。采用的双驱驱动系统和电动同步熔胶技术，使注射速度与熔胶转速大幅提升，干循环时间缩短了 14%~25%，效率显著提高。

此外，A6 系列还通过全封闭式气凝胶保温装置等创新设计，大幅降低了能耗，为客户创造全生命周期价值升级。

### UN165V3R 立式注塑机

UN165V3R 立式注塑机适配“一上二下”模具，能有效降低产品的取放时间，缩短生产周期，进而提升整体产能，且操作轻松。该设备配备两个可 0~180° 旋转的工位，并与人工操作位结合，实现了自动化与人工干预的灵活配合。其采用独立控制的动力与定位系统，确保多个动作同步、稳定运行。这种独特模式在提升生产效率的同时，也保障了产品品质的一致性。

### FF160 电动注塑机

FF 电动注塑机以稳定精密、高效节能、自动化和智能化为核心价值，致力于为制造业客户提供高性能、高性价比的注塑解决方案。其采用高稳定性 TBF 无拉杆技术，使得开锁模既快又稳，同时可以显著降低能耗，确保生产环境洁净；结合高精度 TLGS 线性导轨支撑技术，显著提升运行平稳性与定位精度，开锁摸位置重复精度达  $\pm 0.03$  mm，负载平行度低于 0.05 mm，满足高复杂度零件生产需求。在节能方面，设备通过优化驱动系统与内部高压设计，实现能耗降低 30%~50%（依工况变化），并大幅提升开锁模速度及多轴同步运行效率，周期时间显著缩短。

### 深耕市场

土耳其作为横跨欧亚的制造业枢纽，其注塑机市场前景广阔。本土汽车、家电及电子行业持续增长，对高品质、高性价比的注塑设备需求旺盛；同时，其得天独厚的地理位置使其成为辐射欧洲与中东市场的理想生产基地，对高效、精密、自动化的注塑解决方案存在长期需求。

为深耕这一关键市场，伊之密采取一系列战略性举措。2025 年 5 月，伊之密成立土耳其子公司，这标志着从单纯的设备出口转向本地化运营的深度转型。此举的核心在于构建直接、敏捷的销售与技术服务体系，以子公司为支点，为当地客户提供从售前咨询、个性化方案定制到快速售后响应的一站式服务，极大提升客户体验与满意度。

未来，伊之密将把自身在稳定精密、高效节能及智能化方面的技术优势，与土耳其市场的具体需求更紧密地结合，致力于成为推动当地制造业升级的可靠伙伴，从而在潜力巨大的土耳其市场建立长期且稳固的竞争壁垒。

摘编自“伊之密”

(R-03)