

高温天气下某环形异形桥偏位及支座病害分析

黄筱淇, 李达宏, 曾天宝

(南昌市城市规划设计研究总院, 江西 南昌 330038)

摘 要: 以南昌市某环形立交桥为工程背景。其主桥为大圆盘带匝道主梁结构, 主桥与匝道采用牛腿连接, 在高温天气下发生朝北偏位, 且随着运营时间增加朝北偏位越来越大, 导致桥墩倾斜开裂、支座销钉剪坏、TD 匝道偏转等病害。通过长达三年的监控位移数据研究和有限元模型计算分析, 发现牛腿内支座失效是导致病害的主要原因, 并得到了主梁南北位移的运动规律、TC1 牛腿内板式橡胶支座和 ZX159 伸缩缝顶死的警戒温度。为了解决桥梁病害, 建议切除匝道牛腿, 新增桥墩支承, 解除主桥梁端约束, 使主桥与各匝道分离受力变形。

关键词: 环形立交桥; 牛腿; 偏位; 支座失效

中图分类号: U449.7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0091-05

0 引言

曲线梁桥在预应力、温度效应、汽车制动力或离心力等因素下发生偏位, 随着运营时间的增长而变大, 经研究发现温度效应对主梁的偏位影响最大^[1]。随着曲率半径的减小, 曲线梁桥向外侧向位移就越明显, 尤其是梁端的侧向位移最为明显, 还发现桥梁偏位后桥梁结构朝不利自身方向发展^[2]。当曲线梁桥的伸缩缝堵死或顶死, 改变桥梁结构边界条件, 引起桥梁在温度作用下“爬行”和偏位, 使受约束的桥墩发生开裂, 甚至导致上部主梁发生不同程度的开裂^[3-6]。环形异形桥在温度效应、车辆形式和收缩徐变等作用下会发生双向变形, 具有明显的曲线梁效应。当桥梁边界条件发生改变, 桥梁容易偏位且末端会产生明显的侧向变形, 导致桥梁产生严重病害。南昌某桥梁工程为带匝道的环形异形梁, 存在 7 条伸缩缝。其中与 5 条匝道采用牛腿连接, 边界条件约束多, 变形受力复杂, 导致桥梁在高温气候下产生病害的根源难以确定。因此需要对桥梁的病害原因进行深入研究分析, 掌握桥梁偏位的规律和病害根源。

1 工程概况

1.1 桥梁设计概况

坛子口立交桥 1993 年建成, 为半径 34 m 的两半圆接 37 m 长两直线段的环形桥。该桥为带 TA 匝道、TB 匝道、TC 匝道、TD 匝道, 以及主线梁的环形异形梁桥, 具体桥面布置详见图 1 所示。桥

梁上部均为钢筋混凝土连续箱梁。环形异形桥与 TA、TB、TD、TE、TC 匝道采用牛腿连接, 环桥牛腿搁置在匝道牛腿上方, 牛腿内设四氟滑板支座支承, 如图 2 所示。环形主桥其余均采用双向盆式橡胶支座, 各匝道牛腿下墩顶各设置 1 个单向支座和 1 个双向支座, 下部桥墩均为单桩接单柱结构。

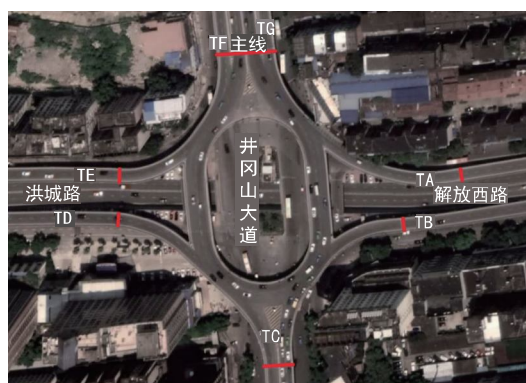


图 1 坛子口立交桥平面位置图

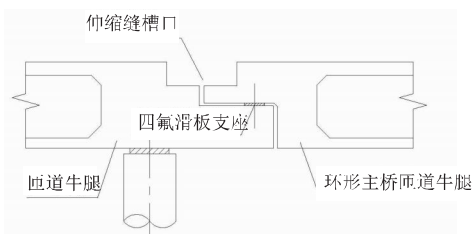


图 2 主桥与匝道牛腿连接图

1.2 桥梁病害

根据 2014~2017 年检测报告, 其主要病害如下:

(1) 高温时, ZX159 墩处出现梁体和伸缩缝顶死现象, 如图 3 所示。2014 年 7 月, TA3-2、TB1-2、TD2-2 和 TE2-2 单向支座完全顶死, 其中 TD2-2 单向支座位移出现突变, 梁体继续向北移动; 2016 年 7 月, 检查发现 TD2 墩单向支座销钉

收稿日期: 2020-05-31

作者简介: 黄筱淇(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁工程设计研究工作。

剪坏,如图 4 所示。



图 3 ZX159 主梁缝隙顶死之实景



图 4 TD2 支座剪坏滑移之实景

(2) 环形主桥偏位带动 TD 匝道主梁发生偏转, 朝北位移, 具体如图 5 所示; 其余位置环形主桥与匝道主梁在牛腿位置均发生错缝。TD1 墩顶双向支座上下钢板错位量达 64 mm, TD2 双向支座错位量达 114 mm, TD3 梁体错位达 66 mm, 梁体朝北位移; TD6、TD7 梁端朝南位移, TD 匝道梁体发生偏转。

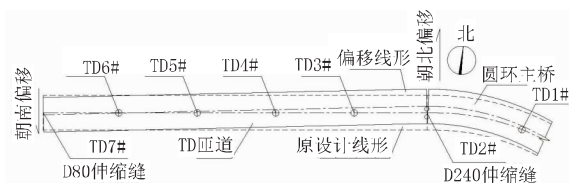


图 5 TD 匝道跟随主桥偏转示意图

(3) 2014 年, TA3-2 桥墩发生倾斜开裂; 2017 年 5 月, TD5 桥墩发生剪切开裂。如图 6、图 7 所示, 桥墩裂缝均为斜裂缝。



图 6 TA3-2 桥墩开裂之实景

1.3 桥梁病害原因分析

2011 年坛子口立交进行全桥支座顶升更换, 更换了所有盆式橡胶支座, 但未对牛腿内的板式

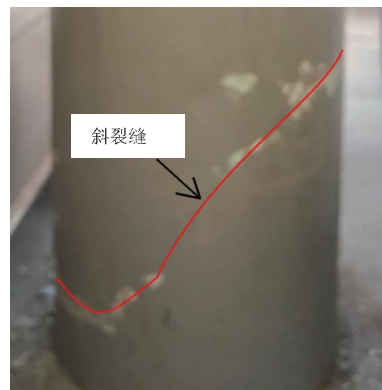


图 7 TD5 桥墩开裂之实景

橡胶支座进行更换。从建成至今, 板式橡胶支座使用约 25 a, 已达到支座使用寿命, 橡胶支座可能老化。从图 2 可知, 牛腿内支座无支座垫石, 空间小、泥沙容易堵塞难以清理且施工质量难以保证, 容易导致支座被泥沙包裹影响支座滑移和变形。因此, 橡胶支座老化或者被泥沙包裹是可能导致桥梁病害的主要原因。

2 监测位移分析

2.1 桥梁监测点布置

由于各牛腿下单向支座桥墩开裂, ZX159 梁段缝隙顶死、TD2 支座剪坏失效和主桥朝北偏位等病害接连发生, 考虑桥梁的安全和找出桥梁病害的原因, 从 2014 年 1 月开始至 2017 年进行位移监测, 具体位移监测点布置如图 8、图 9 所示。在主桥伸缩缝位置水平安装位移计, 监测伸缩缝梁端缝隙位移; 在梁底安装小棱镜, 通过全站仪定期测量坐标推算主梁的位移变形。

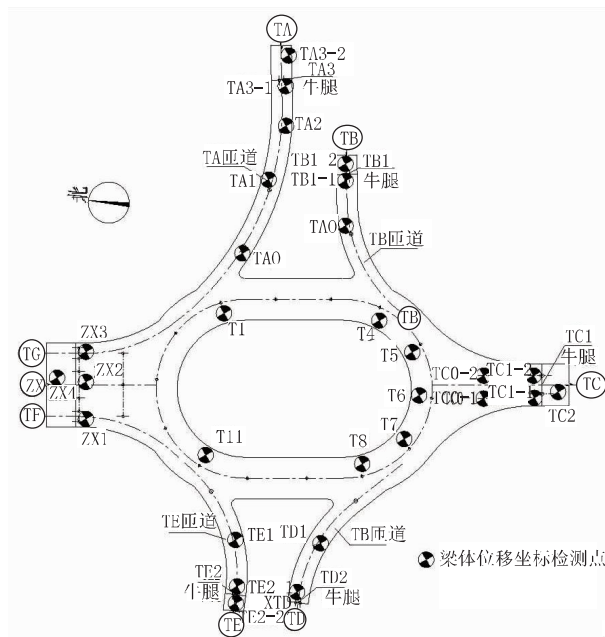


图 8 坛子口立交桥位移坐标监测点布置图

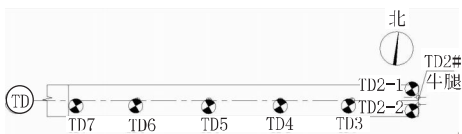


图 9 TD 匝道位移坐标监测点布置图

2.2 桥梁监测数据分析

2014 年对主桥进行全年的位移监测，全年大气温度和梁体平均温度变化如图 10 所示。大气最低温度为 3℃,最高温度为 37℃,温差达 34℃,监测初始温度为 9℃,初始位移为 0 mm;梁体最低温度为 0℃,最高温度 36℃,最大温差达 36℃。

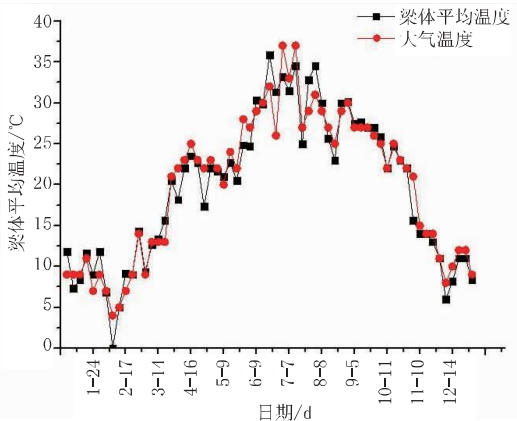


图 10 2014 年桥位处全年大气温度变化图

如图 11 和图 12 所示，降温到 3℃时,TB1、TD2 端朝北位移,ZX159、TA3、TE2 端朝南位移,ZX159 朝南位移达 8.8 mm,主桥内缩位移正常;从 3℃升温到 25℃时,TD2 端朝南位移,ZX159、TA3 端朝北位移，主桥膨胀位移基本正常;当升温到 30℃,TD2 端突然由南朝北位移;当最高气温 37℃时,TD2 端朝北位移达 25 mm,ZX159 端朝北位移达 32 mm,其余匝道端头均朝北位移;当降温至初始温度 9℃时,TD2 和 ZX159 端变形未能恢复初始状态,TD2 端残余位移约 9.6 mm,ZX159 端残余位移约 5.9 mm。

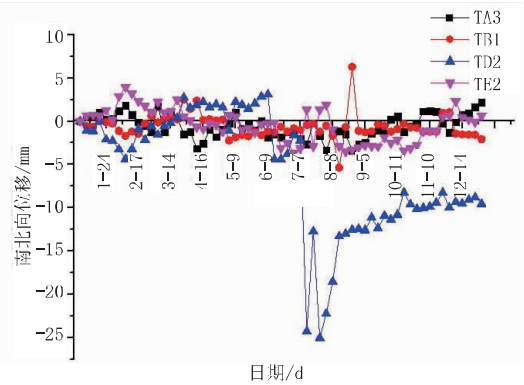


图 11 2014 年 TA3/TB1/TD2 和 TE2 端南北位移图(南为正)

如图 13 所示,2016 年 8 月~11 月监测数据,最高温 38℃时,TD2 朝北位移为 118.27 mm,

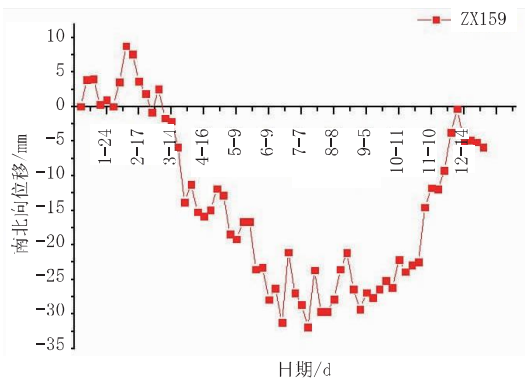


图 12 2014 年 ZX159 端南北位移图(南为正)

ZX159 朝北位移为 -56.33 mm;最低温为 7℃时,TD2 朝北残余位移为 66.8 mm,ZX159 朝北残留位移为 33.5 mm。通过对比图 10 和图 11 可知,随着运营时间的增加,梁体朝北积累偏位,TD2 端朝北偏位越来越大,相接 TD 匝道旋转偏位越来越严重,TD2 墩顶支座存在滑出主梁的风险;TD2-2 单向支座剪坏导致 TD2 端横向缺少约束,侧向变位从 25 mm 增大到 51.47mm,朝着更不利方向发展。

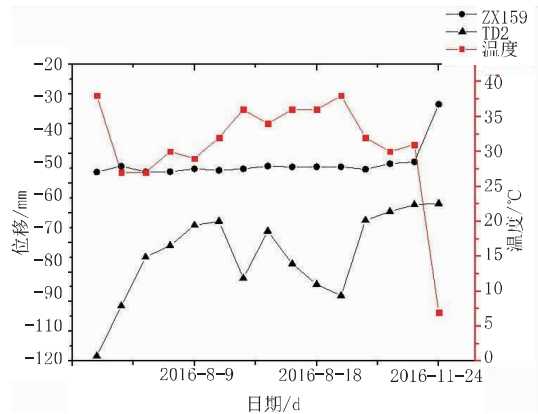


图 13 2016 年 8~11 月温度及 TD2 端南北位移图
(数据相对于 2014.1.7 位移,南为正)

3 模型计算及分析

3.1 模型计算

为进一步了解桥梁偏位的原因、运动规律,以及牛腿内支座病害对桥墩支座受力的影响,需要建立有限元模型进行分析。考虑桥梁的主要病害均在夏季高温天气发生偏位而产生的,因此有限元模型计算仅考虑温度升降对桥梁受力变形的影响,不考虑自重恒载和汽车荷载的影响。

现采用 Midas Civil 有限元软件建立全桥空间梁单元模型进行模拟,TA、TB、TC、TD、TE 匝道,以及主线梁与环形梁的连接采用刚性连接模拟,具体如图 14 所示。

坛子口立交共 43 个支座,由于牛腿内板式橡胶支座情况无法查明且支座使用年限较长,可能

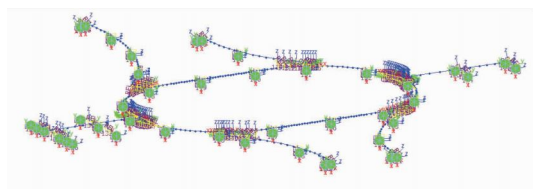


图 14 全桥梁单元模型

已经失去剪切变形能力,模型计算按照完全失效考虑。根据图 8 监测 2014 年温差数据,偏保守考虑整体升温 40℃下,桥梁的变形和受力情况,并按如下工况进行:

(1)工况 1:TA3、TB1、TD2、TE2 匝道端头横桥向约束;

(2)工况 2:TC1 牛腿约束;

(3)工况 3:TC1 牛腿约束,其余各个匝道端头横桥向约束;

(4)工况 4:ZX159 伸缩缝顶死,TA3、TB1、TD2、TE2 匝道端头横桥向约束;

(5)工况 5:TC1 牛腿约束、ZX159 伸缩缝顶死、各个匝道端头横桥向约束。

上述工况考虑牛腿内板式橡胶支座老化失效,仅考虑 TA3、TB1、TD2、TE2 牛腿失效的横向约束,模型不考虑相连匝道的连带作用。

3.2 计算分析

某立交主桥的盆式橡胶支座均为双向支座,与匝道连接牛腿内设置四氟乙烯滑板支座,正常状态下能自由伸缩,仅受支座的摩阻力,如表 1 所列。升温 40℃正常状态下,ZX159 梁端朝北位移 2.45 cm,TC1 朝南位移 3.5 cm,TD2 梁端朝南位移 0.244 cm;工况 1 约束下,主桥主体朝北位移约 0.35 cm,变形位移与正常状态下基本相同;TC1 牛腿约束导致主梁朝北偏移,连带各匝道末端均朝北偏位,ZX159 梁端朝北偏位达 70.5 mm,TD2 达 38.1 mm。

表 1 升温 40℃梁端位移表 mm

支座编号	正常	工况 1	工况 2
ZX159	-24.5	-28.3	-70.5
TC1	35.1	31.5	0.0
TA3	2.9	0.6	-36.2
TB1	7.4	0.2	-32.9
TD2	2.4	-1.9	-38.1
TE2	-2.9	-2.9	-47.5

注:DX 为南北方向,南为正;DY 为东西方向,东为正

从表 2 可以看出,升温 40℃条件下,工况 2 和工况 3 整个主梁整体朝北位移,工况 2 条件下 ZX159 梁朝北位移达 5.6 cm,与高温下现场监测

梁体朝北位移吻合(大气温差 34℃该处朝北位移约 4.08 cm);工况 4 梁体整体朝南偏移,工况 5 圆环南北向内东西向外变形,TA、TE 朝北位移,TB、TD 朝南位移,与现场监测数据不吻合。综上可知,TC1 牛腿约束是导致梁体朝北位移的主要原因。

表 2 升温 40℃各工况下主梁变形位移方向一览表

支座编号	工况 1/正常	工况 2/工况 3	工况 4	工况 5
圆环	向外膨胀	北移	南移	南北向内 / 东西向外
TA	南移	北移	南移	北移
TB	南移	北移	南移	南移
TD	南移	北移	南移	南移
TE	北移	北移	南移	北移

从表 3 可以得出,工况 1 状态下,TA、TB、TD 和 TE 匝道牛腿内四氟滑板支座失效,相应的牛腿内单向支座和桥墩承受一定的水平力;工况 3 状态下,TC1 牛腿内四氟滑板支座失效,TA、TB、TD 和 TE 匝道牛腿内单向支座反力急剧增大;工况 5 状态下 TC1 和 ZX159 伸缩缝顶死,两端顶力太大,不符合实际受力情况,变形位移必定传递给相邻跨。可知,TA~TE 牛腿内板式橡胶支座失效,在高温天气牛腿下的单向支座和桥墩承受较大水平力,可能会导致桥墩倾斜开裂和支座销钉剪坏滑移,计算与现场实际病害吻合。

表 3 升温 40℃各工况下单向支座受力表 kN

支座编号	工况 1	工况 3	工况 4	工况 5
TC1	—	-9 146.9	—	51 571
ZX159	—	—	8 760	-50 518
TA3-2	66.5	1 327.8	-1 027.5	592.7
TB1-2	-342.1	2 172.4	-2 965.1	-1 895.7
TD2-2	-54.7	2 030	-2 134.3	783.2
TE2-2	328.7	3 606.6	-2 626.6	-1 033.1

注:朝南为正,朝北为负

3.3 计算与监测数据对比分析

为进一步研究主桥位移与温度的关系,建立 ZX159 端南北位移与温度的关系图,如图 15 所示。当温度低于 25℃时,ZX159 端南北位移与温度线性相关性较好;当超过 25℃时,线性相关性交差;当温度超过 30℃后,ZX159 端朝北位移增加趋于水平线。结合图 11 和表 3 可知,当温度低于 25℃时,主桥能伸缩变形较为正常;当温度超过 25℃时,TC1 牛腿内橡胶支座顶死,导致梁体朝北位移突然增大,可将 25℃作为 TC1 牛腿内橡胶支座顶死的警戒温度;当温度达到约 30℃时,ZX159

伸缩缝顶死,随着温度升高,梁体的位移通过南北两侧相邻桥跨的桥墩变形和 TC1 牛腿内橡胶支座剪切变形产生,梁端增加变形减小。因此,可将 30℃ 作为 ZX159 伸缩缝顶死的警戒温度。

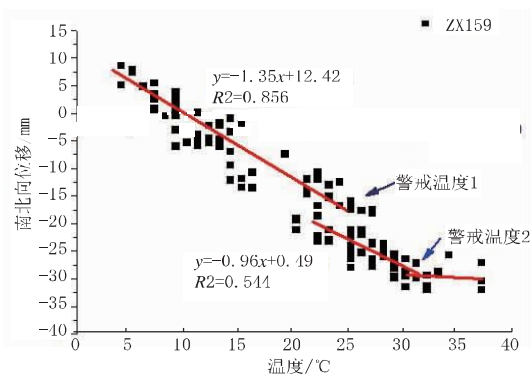


图 15 2014 年 ZX159 端南北位移与温度关系图

综上可知,主桥在温度较低时,牛腿内四氟滑板支座有一定的滑动空间,对主桥约束较小,主桥基本能正常变形;当超过 TC1 牛腿内支座顶死警戒温度时,主桥突然朝北位移,联动相接 TD 匝道一起朝北偏移;当超过 ZX159 伸缩缝顶死警戒温度时,主桥的变形传递给南北两侧相邻桥跨主梁和桥墩。

4 维修加固建议

考虑顶升更换牛腿内板式支座、清理牛腿缝隙内垃圾,能短期内确保桥梁运营正常,但牛腿内容易滞留泥沙等垃圾包裹支座,不能从根本上解决牛腿支座病害问题。现建议采用切割匝道下牛腿,在环形主桥匝道牛腿下新建桥墩支承,桥墩顶部设双向活动支座适应环形梁的双向位移特性,具体如图 16 所示。牛腿切割后,必须对切割钢筋表面涂刷渗透型阻锈剂,采用环氧砂浆封闭保护处理。

5 结论

通过详细分析主桥监测位移数据研究和有限元计算,得到了桥梁的南北位移规律和支座产生病害的原因,具体结论如下:

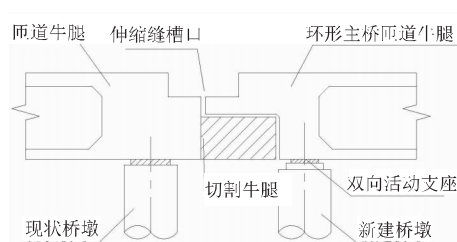


图 16 切割牛腿新增桥墩加固方案图

(1)各匝道牛腿内支座失效是导致主桥朝北偏位、桥墩开裂倾斜、支座剪坏的主要原因。

(2)随着运营时间增加,主桥朝北偏位越积累越大,带动 TD 匝道梁一起朝北偏转。TD2-2 单向支座剪坏使 TD2 梁端侧向位移增大,梁体位移朝着更不利方向发展。

(3)通过 2014 年全年监控位移数据,当温度超过 25℃ 时,TC1 牛腿内支座完全受限顶死;温度超过 30℃ 时,ZX159 伸缩缝完全顶死,可将 25℃ 作为 TC1 牛腿内支座顶死的警戒温度,将 30℃ 作为 ZX159 伸缩缝顶死的警戒温度,应加强对高温条件下主桥的异常位移监测。

(4)牛腿内四氟滑板支座老化失效且空间狭小难以更换,容易堆积泥沙垃圾难以清理,造成支座变形受限顶死,导致桥墩和支座承受较大的水平力,对桥梁存在安全隐患。为解决牛腿内支座病害,建议切除牛腿,新增桥墩支承,解除环形主桥梁端约束,使主桥与两侧相接匝道分离受力变形,防止桥梁进一步朝北偏位。

参考文献:

- [1] 刘柱国.曲线梁桥平面位移机理分析.交通科技,2007(3):20-22.
- [2] 周亮.曲线梁桥梁体偏位分析及处治方法研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.
- [3] 李琦.孤山川 11 号桥纠偏技术[D].西安:长安大学,2015.
- [4] 吕宏奎,安群慧,王夷.某小半径连续曲线梁桥偏位成因分析及纠偏方案研究[J].世界桥梁,2013.41(2):80-83.
- [5] 曾国梁,冯威,李琦.多孔连续曲线梁桥偏位成因分析及同步纠偏技术[J].公路交通科技(应用技术版),2015(3):173-176.
- [6] 孙宗光,孙占琦,李晓飞.曲线连续梁侧向失稳破坏机理与行为分析[J].公路交通科技,2006(7).

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

电话:021-55008118 传真:021-55008850 投稿及联系邮箱:cdq@smedi.com