

简阳市沱西快速路高路堑边坡高压铁塔支挡设计

吴 强, 文琪鑫, 杨靖柯

(中国建筑西南设计研究院有限公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 针对简阳市简州临港经济区沱西快速路高路堑边坡高压电塔的支挡设计方案进行比选, 推荐采用预应力锚索单排桩支护方式来支护边坡, 并采用有限元方法对该支护方案进行验证。结果表明: 所采取的支护方案稳定性验收安全系数为 2.313, 高压电塔控制性指标杆塔结构倾斜度为 0.105%, 均符合规范要求, 该支护方案能保障道路及高压电塔的运营安全; 对类似高路堑放坡困难地段, 采用预应力锚索抗滑桩支护可有效控制坡顶地面的沉降作用。

关键词: 高路堑; 单排桩支护; 双排桩支护; 高压电塔; 水平位移; 倾斜

中图分类号: U417

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)10-0066-05

0 引 言

随着我国城市化进程的不断推进, 城市建设逐渐向城市远郊的山区丘陵地带推进, 市政工程已无法避免高大路堑边坡等特殊工点的建设。然而, 市政道路边坡常受现状地形和边坡上既有建构筑物等条件限制, 抗滑桩作为一种刚性支护措施成为了此类边坡的主要支护形式。

南宁东电塔高边坡采用抗滑桩防护, 桩截面为圆形, 按桩径 3.5 m、桩间距 7.0 m、最大桩长 26 m 进行单排布置, 处理后边坡在变形和稳定性方面能满足规范要求, 且较放坡开挖减小了对坡顶地块的影响, 有较好的处理效果^[1]。四川省天府新区绵州路南段道路邻近高压电塔边坡采用锚索支护排桩防护, 桩截面为圆形, 按桩径 1.5 m, 桩间距 1.8 m, 最大桩长 17 m 进行单排布置, 并设置 2 道预应力锚索, 处理后边坡能较好地保障道路施工及行车安全^[2]。本文针对简阳市简州临港经济区沱西快速路(以下简称沱西快速路)高路堑边坡高压电塔的保护方案进行设计, 采用预应力锚索抗滑桩支挡, 对此类边坡设计及计算进行探讨。

1 工程概况

沱西快速路场地东侧为厦蓉高速公路及 318 国道, 场地内部有若干水泥路, 交通较为便利。项目建设过程中, 需要在里程桩号 K1+326.6 ~ K1+432.8

段形成挖方边坡, 边坡总长度约 106.20 m, 最大高差约 25.10 m, K1+380 左侧距离路中线 35.8 m 处有 1 座高压电塔, 为了道路及高压电塔的安全, 对该段边坡进行专项支护设计。

2 拟建场地地质概况

2.1 地形地貌

拟建场地属于浅丘地貌, 地形起伏较大, 山体呈馒头状, 沟谷呈浅 U 字型。山体自然坡度约 30°~50°, 坡表覆盖层较薄, 植被茂盛; 沟谷宽缓平坦, 覆土较厚。场区底面高程为 415.62~487.46 m, 最大高差约 72 m。

2.2 地层分布

根据地勘报告, 场地地层主要为第四系全新统杂填土(Q_4^{al})层、植物土层(Q_4^{pl})耕土和坡洪积层(Q_4^{al+pl})粉质黏土, 侏罗系上统蓬莱镇组上段(J_3^u)泥岩、泥质砂岩、砂岩。各土层的基本特征综述如下:

(1) 第四系全新统杂填土(Q_4^{al})层 ① 杂填土: 主要分布于沿线既有道路表层及本工程 K0+260~K0+780 段。分布于 K0+000~K0+260 段 318 国道道路表层的杂填土为杂色, 主要由泥质砂岩碎块组成, 呈稍密—密实状, 成分较均匀, 粒径以 2~20 cm 为主, 含量约 80%; 局部含有块石, 最大块石粒径 400 mm 左右, 为既有道路路基填料, 表层为混凝土面层, 厚 20~30 cm。分布于 K0+260~K0+780 段的杂填土为褐红色、灰绿色, 主要由全风化—中等风化岩石碎块组成, 呈松散—稍密状, 为施工开挖筑路形成。分布于其余地段的杂填土为杂色, 结构松散—稍密, 主要为村

收稿日期: 2021-02-03

作者简介: 吴强(1978—), 男, 本科, 高级工程师, 从事道路桥梁工程专业技术工作。

道路基填料。本层厚度 0.5~2.5 m,岩土类别为Ⅲ类。

(2)第四系全新统植物土层(Q_4^{pl})②耕土:褐红色,稍湿,松散—稍密,由黏性土及少量碎石组成,表层含大量植物根系,一般以农业耕作层形式分布于自然沟谷或以天然植被覆盖层形式分布于坡顶地表。本层厚度 0.4~3.0 m,岩土类别为Ⅱ类。

(3)第四系全新统坡洪积层(Q_4^{dl+pl}):主要位于丘间宽缓沟槽及沟谷的冬水田,表层多为中薄层可塑粉质黏土,局部呈软塑或硬塑,下覆土层多为软塑粉质黏土,局部呈软—可塑状。其中的③₁粉质黏土以褐黄色、灰褐色为主,呈可塑状,局部硬塑,土质均匀,刀切面规则,可搓成 0.5~2.0 mm 的土条。细捻有少量细颗粒感,稍有滑腻感,有黏滞感。无摇振反应,稍有光泽反应,干强度中等,韧性中等,标贯击数 5~8 击,主要分布在丘陵沟谷表层,沟谷内属地表硬壳层,硬壳层厚度跟所处季节及地下水位有关,勘察期间硬壳层厚度 0.5~9.5 m,岩土类别为Ⅰ类。③₂粉质黏土以灰褐色为主,呈软塑状,土质均匀,刀切面规则,可搓成 0.5~2.0 mm 的土条。细捻有少量细颗粒感,稍有滑腻感,有黏滞感。无摇振反应,稍有光泽反应,干强度中等,韧性中等,标贯击数 3 击,厚度 0.8~13.5 m,岩土类别为Ⅰ类。

(4)侏罗系上统蓬莱镇组(J_{3p}):其中的④₂₋₁强风化泥质砂岩以褐红色为主,主要矿物成分为长石、石英,粉粒结构,薄—中厚层构造,泥质胶结,胶结强度较低,局部为砂泥岩互层,节理裂隙发育,质软,具风化差异性,较破碎,呈碎块、圆饼及少量短柱状,岩芯手易扳断,场地部分地段分布,层厚 0.50~15.0 m,岩土类别为Ⅱ类。④₂₋₂中等风化泥质砂岩呈褐红、褐灰色,主要矿物成分为长石、石英,粉粒结构,巨厚层构造,泥质胶结,胶结强度较高,局部为砂泥岩互层,节理裂隙较发育,质软,钻探岩芯采取率约 98%,RQD 值为 80%~90%,岩芯较完整,主要呈短柱、长柱状,产状近于水平,层厚为 0.5~37.0 m。根据岩石单轴饱和抗压强度,属较软岩,岩体基本质量等级为

Ⅳ级,岩土类别为Ⅳ类。

拟建场地地质剖面图见图 1。

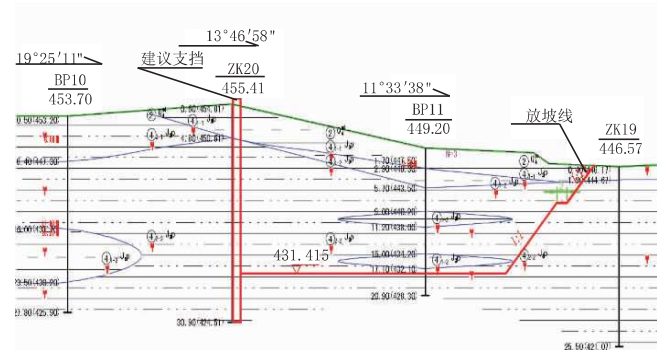


图 1 拟建场地地质剖面图

2.3 水文地质条件

(1)地表水特征:工程区地表自然水系不发育,无河流通过,亦无湖泊分布。

(2)地下水特征:拟建场地地下水类型主要为赋存于第四系松散堆积层中的上层滞水和基岩裂隙带中的基岩裂隙水。

(3)上层滞水:上层滞水赋存于第四系松散堆积层,主要受地表水下渗及大气降水补给。

(4)基岩裂隙水:场地基岩风化裂隙相对发育,但由于其大多呈闭合状,故透水性、富水性较差。

(5)勘察期间地下水分布情况:勘察期间揭示的地下水类型大多为上层滞水,于地势低洼处测得部分钻孔地下水稳定水位埋深 0~1.8 m。

2.4 场地水、岩、土腐蚀性评价

根据现场勘察,场地水、岩、土对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋及钢结构有微腐蚀性。

2.5 场地各岩土层主要物理力学指标

岩体、土体的工程特性指标建议值见表 1。

3 支护方案比选

3.1 方案一:预应力锚索单排支护桩

采用预应力锚索单排支护桩,桩截面为圆形,桩径为 1.5 m,桩间距为 3.35 m,桩长 18~40.5 m,并设 4 排预应力锚索,顶层锚索与桩顶间距 4 m,锚索间

表 1 岩体、土体的工程特性指标建议值

岩土名称	重度 γ / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	压缩(变形)模量 $E_s(E_0)/\text{MPa}$	承载力特征值 f_{ak}/kPa	单轴抗压强度标准值 /MPa		抗剪强度标准值				基底摩 擦系数
				天然	饱和	天然		饱和		
						C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	
杂填土	21.0									
耕土	19.0									
可塑粉质黏土	19.5	3.5	120			25	10			0.20
软塑粉质黏土	19.0	2.5	80			12	6			
强风化泥质砂岩	22.0		300	1.2		30	20			0.40
中风化泥质砂岩	23.5		1 500	14.0	10.0	350	34	300	30	0.50

距为3 m,桩间钢筋混凝土挡土板采用逆作法封闭。支护桩为钻孔灌注桩,成孔工艺采用机械成孔。

预应力锚索单排支护桩纵剖面、横剖面见图2、图3。

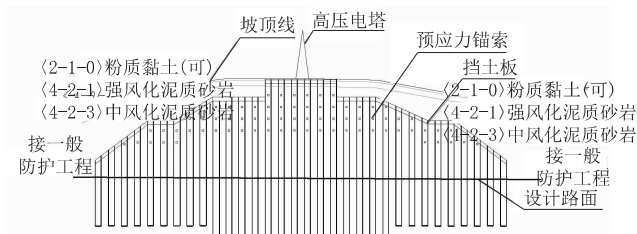


图2 预应力锚索单排支护桩纵剖面

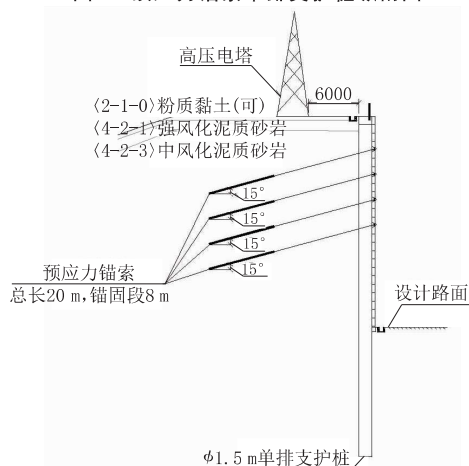


图3 预应力锚索单排支护桩横剖面

3.2 方案二:预应力锚索双排支护桩

采用预应力锚索双排桩支护结构^[3],桩截面为圆形,桩径为1.5 m,沿路线纵向双排正三角形布置,桩长27~36.0 m,桩间距3.35 m,并设3排预应力锚索,顶层锚索与桩顶间距2 m,锚索间距3 m,预应力锚索位于前排桩,相连3根桩间形成三角柱桁架结构,桩间钢筋混凝土挡土板采用逆作法封闭。支护桩为钻孔灌注桩,成孔工艺采用机械成孔。

预应力锚索双排支护桩纵剖面、横剖面和平面图见图4、图5和图6。

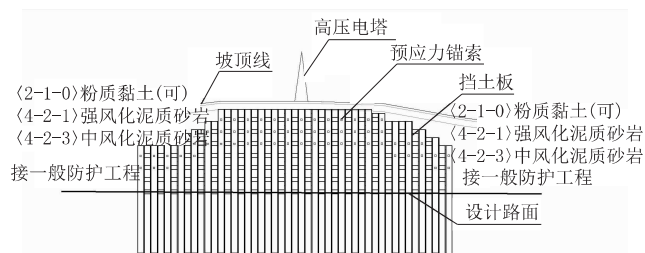


图4 预应力锚索双排支护桩纵剖面

3.3 方案比较

方案一优点:力学模型较为成熟;圆形截面桩,采用机械成孔,施工安全性好;施工工艺成熟,造价相对较低。

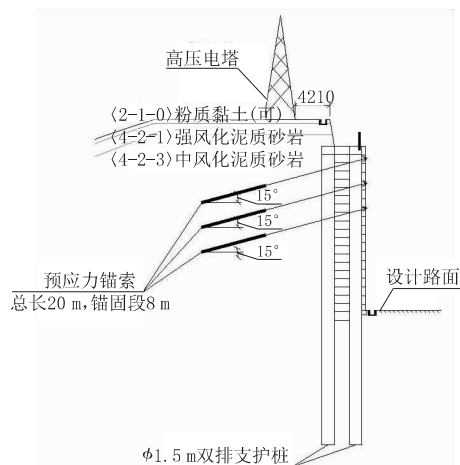


图5 预应力锚索双排支护桩横剖面

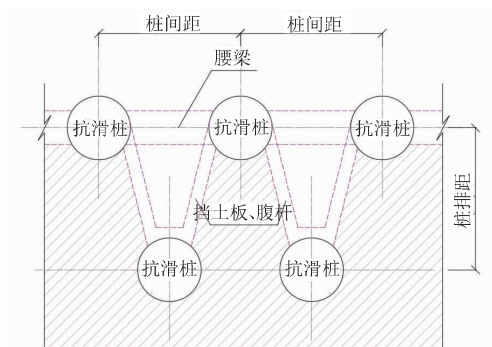


图6 预应力锚索双排支护桩平面图

方案一缺点:桩长较长,侧向刚度小,预应力锚索排数多。

方案二优点:侧向刚度大,桩长较单排桩短;预应力锚索排数少,桩间空隙有利于种植立体植物,景观效果好。

方案二缺点:尚未有统一力学计算模型;桩间空隙施工难度大,工期长,造价相对较高。

通过对比以上2种支护方案优缺点,并进行初算,发现2种支护方案均能满足保护高压铁塔要求。方案选用时,综合考虑运营安全、地质条件、施工条件、工期和造价等方面,特别是区域为强风化泥质砂岩和中风化泥质砂岩,其内摩擦角和黏聚力均较大,致使边坡的稳定性较好,有利于满足铁塔的沉降与倾斜要求,因此推荐采用造价较低的单排桩方案。

4 保护支挡设计

4.1 支护桩

支护桩平面布置图见图7。

边坡支护临空面与高压铁塔之间的斜交角度约45°,支护桩与铁塔最近基础净间距约6.0 m,高压铁塔矩形基础长宽为3.3 m×2.87 m。

支护桩:桩径1.5 m,桩间距3.35 m,在高压铁塔处支护桩临空面高25.1 m,设有4排锚索,其他位置

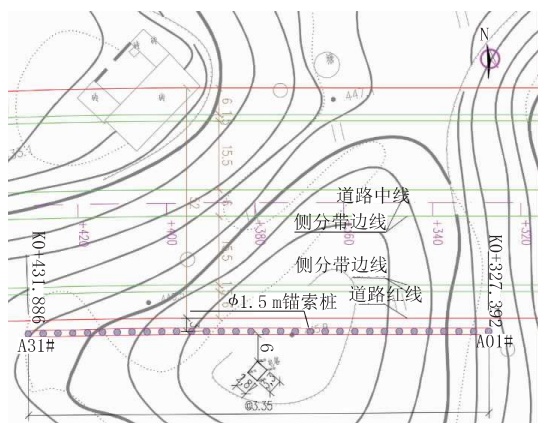


图 7 支护桩平面布置图

设 2~3 排锚索。支护桩为钻孔灌注桩,成孔工艺采用机械成孔,采用 C30 混凝土现浇。桩钢筋保护层厚度 50 mm。主筋采用机械连接,同一断面接头数量不超过钢筋总数的 50%。

冠梁:截面尺寸 1.5 m×1.0 m,采用 C30 混凝土现浇。钢筋保护层厚度 50 mm。

卧地梁:截面尺寸 0.4 m×0.4 m 和 0.5 m×0.5 m,采用 C30 混凝土现浇。

挡土板:板厚 0.3~0.4 m,采用 C30 混凝土现浇。

4.2 预应力锚索

锚索直接作用于支护桩上,锚索锚筋采用 s15.24 钢绞线(强度等级 1 860 MPa),注浆材料为 M30 纯水泥浆,水灰比 0.45~0.50。从锚孔底部进行注浆,注浆过程中严格控制注浆压力为 0.4~0.8 MPa,待 1 次注浆初凝后进行 2 次注浆。锚索钻孔直径 20 cm。预应力锚索下料时应预留张拉段长度,预留长度不小于 1.0 m。锚索入射角度为 15°。预应力为 200 kN,锚索自由段长度为 12 m,锚固段长度为 8 m,锚固段均位于中等风化泥质砂岩。

4.3 排水

桩间挡土板预留泄水孔,泄水孔竖向间距 1.0 m。电塔附近紧邻坡顶设置宽 50 cm、深 50 cm 截水沟,电塔 6 m 保护范围外在坡顶外侧 5 m 处设置截水沟,沟底坡度应随坡顶地面坡度,且不小于 1.0%。沟底坡度大于 40%时,沟底断面应砌成多级跌水。在距坡脚不小于 30 cm 外应设置宽 50 cm、深 50 cm 排水沟,沟底坡度 1%,将坡顶及坡面的来水排走。当坡面设置急流槽时,在急流槽汇入排水沟处设置集水井,井深 70 cm。

4.4 施工顺序

测放桩位→抗滑桩施工→桩顶冠梁施工(同时设置变形观测点)→桩前土开挖及桩间挡土板施工

(每次开挖高度不宜超过 2 m)→锚索施工→施加预应力→桩前土开挖及桩间挡土板施工,循环至设计标高。

5 支护结构验算

5.1 岩土计算

5.1.1 技术要求

边坡支护安全等级为按照道路快速路等级标准,设计稳定系数取值为:正常工况安全系数 $F_s=1.30$;非正常工况安全系数 $F_s=1.20$ 。

城市路基边坡支挡工程安全等级为一级;结构重要性系数 $\gamma_0\geq 1.1$ 。

经过与产权单位的技术对接,确定了 220 kV 高压杆塔组竖立及架线后,其结构位移允许值应符合表 2 要求。

表 2 高压杆塔位移允许值^[4]

位移允许项目	数值
悬垂杆塔结构倾斜 /%	0.3
转角杆塔结构中心与中心桩间横、顺线路方向位移 /mm	50
悬垂杆塔结构中心与中心桩间横线路方向位移 /mm	50

5.1.2 参数确定

为验证本文所提方法的准确性和合理性,依据边坡工程条件及支护设计建立有限元计算模型。

计算模型和材料参数以代表性勘察报告道路横剖面 B9~B9'为对象,采用 MIDAS GTS NX 有限元软件建立二维平面应变分析模型。边界上部取至边坡上缘 50 m,下部取到坡脚外侧 30 m。计算模型单元网格划分见图 8,单元以四边形和三角形组成,共划分 1 794 个单元,1 821 个节点。

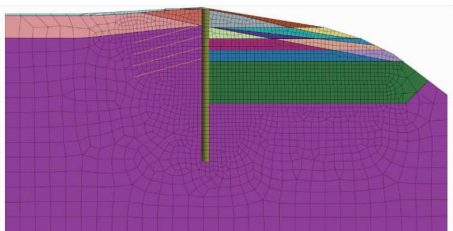


图 8 有限元计算模型

计算模型中材料类型共分为 6 种(耕土、可塑粉质黏土、强风化泥质砂岩、中风化泥质砂岩、桩体和锚杆),其中土体采用 Mohr-Coulomb 破坏准则,桩和锚杆为弹性模型的结构体。混凝土桩和锚杆的物理力学参数见表 3。

5.1.3 计算结果

计算模型的整体 X 向、Y 向位移云图见图 9、图

表3 有限元计算模型物理力学参数

序号	材料类型	弹性模量 E/MPa	泊松比 μ	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
1	混凝土(桩)	3 000	0.2	25
2	锚杆	210 000	0.3	78

10;最大剪应力云图见图 11;有效应变云图见图 12。

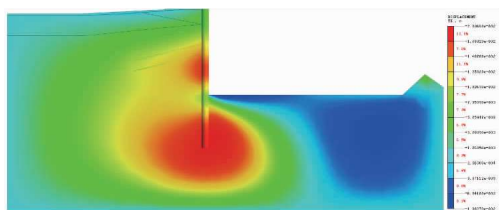


图9 整体 X 向位移云图

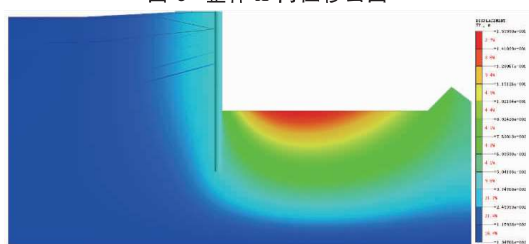


图10 整体 Y 向位移云图

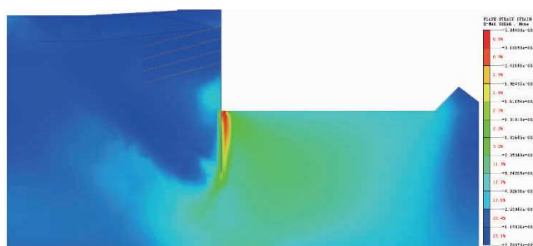


图11 最大剪应力云图

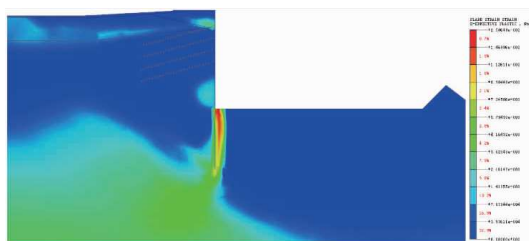


图12 有效应变云图

5.2 结构验算与分析

利用有限元软件对该铁塔保护所采用的单排桩进行分析,得到支护后最不利工况(非正常工况)的坡体位移云图、剪应力分布情况及应变云图。计算方法为强度折减法,得到其在运营阶段的安全系数 $F_s=2.313$,大于规范^[5]要求的 $F_s=1.30$;电塔位置最大水平位移 $m=0.517 \text{ mm}$,小于规范^[4]要求的 50 mm ;电塔位置前向两端最大竖向位移分别为 $V_1=26.7 \text{ mm}$, $V_2=22.2 \text{ mm}$;计算杆塔结构倾斜为 0.105% ,小于规范要求的 0.3% 。由此可见,坡体水平位移和杆塔结构倾斜均达到预期,能满足高压电塔的抗倾斜要求。

6 结 语

本文对高路堑边坡高压电塔保护支挡设计方案进行比选,推荐采用预应力锚索单排桩支护方式支护边坡,并采用有限元方法对支护方案进行验证,得到其稳定性验收安全系数为 2.313 ,高压电塔控制性指标杆塔结构倾斜度为 0.105% ,均符合规范要求;说明所采取的支护方案能保障道路及高压电塔的运营安全。对类似高路堑放坡困难地段,采用预应力锚索抗滑桩支护可有效控制坡顶地面的沉降作用。

参考文献:

- [1] 周禹,乐大维.路堑边坡存在高压电塔时的支挡工程设计[J].绿色环保建材,2018(6):205,207.
- [2] 陈宏飞.南宁东站电塔高边坡抗滑桩防护效果分析[J].城市道桥与防洪,2016(8):17,161-164,180.
- [3] 吴强.一种双排桩支护结构:ZL 2020 2 1119109.4[P].2021-01-05.
- [4] GB 50233—2014,110 kV~750 kV 架空输电线路施工及验收规范[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [5] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.

《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

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com