

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.11.034

# 桥梁抗震规范中关于防落梁搭接长度的研究

陈德权<sup>1</sup>, 潘剑超<sup>2</sup>

(1.中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北 武汉 430010; 2.浙江大学 建筑工程学院,浙江 杭州 310058)

**摘要:**对于梁式桥,设置足够的墩梁搭接长度是防止上部结构发生落梁破坏的较为有效措施。基于我国城市桥梁和公路桥梁抗震设计规范中关于防落梁搭接长度的相关规定,对不同规范中常规直线桥、斜交桥和曲线桥的墩梁搭接长度计算方法进行比较和作图分析,指出了计算流程和公式上的异同。对于公路桥梁,总结了斜交桥和曲线桥搭接长度的计算流程,根据回转可能条件是否满足的几何关系推导了判断公式。研究成果可为桥梁设计人员理解和应用抗震规范进行实际工程设计提供参考。

**关键词:**桥梁工程;抗震规范;防落梁措施;搭接长度;斜交桥

**中图分类号:** U442.5+1

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)11-0143-05

## 0 引言

历次大地震的震害表明,梁式桥上部结构发生落梁是比较常见和严重的震害现象之一。桥梁一旦出现落梁破坏事故,势必会造成严重的交通中断<sup>[1]</sup>,影响抗震救灾工作,震后修复也比较困难,因此需要采取有效且必要的构造措施进行防落梁设计,提升桥梁抗震防灾能力。

一般来讲,防落梁措施系统包括梁的支承长度、限位装置和连梁装置,而防止上部结构发生落梁破坏的较为有效措施是保证在梁端具有足够的防落梁搭接长度。我国原《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)<sup>[2]</sup>(后文简称《08 抗震细则》)参照日本桥梁抗震规范,规定了简支梁桥、斜交桥和曲线桥墩梁的最小搭接长度。左焯等<sup>[3]</sup>对中外桥梁抗震规范关于防落梁的规定进行了对比分析与研究。针对中小跨径简支梁桥,王克海等<sup>[4]</sup>建议通过适当增加盖梁宽度的抗震构造措施来增大纵向搭接长度,以降低主梁纵向发生落梁的概率。李守胜<sup>[5]</sup>通过对中美抗震规范防落梁搭接长度的规定进行比较及多联桥梁的墩梁相对位移参数分析,研究了规范中防落梁规定的适用性。

综上,国内学者对防落梁措施系统进行了大量研究,成果表明,合理的墩梁搭接长度在桥梁防落梁设计中具有重要意义。因此,对我国桥梁抗震规范中

防落梁搭接长度的计算方法进行研究十分必要。

## 1 常规直线桥

对于城市桥梁,现行《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)<sup>[6]</sup>第 11.2.1 条规定:6 度区,简支梁梁端至墩、台帽或盖梁边缘应有一定的距离(见图 1)。其最小值  $a(\text{cm})$ 按式(1)计算:

$$a \geq 40 + 0.5L \quad (1)$$

7 度区及以上时,第 11.3.2 条规定其最小距离  $a(\text{cm})$ 按式(2)计算:

$$a \geq 70 + 0.5L \quad (2)$$

式中: $L$ 为梁的计算跨径,  $\text{m}$ 。

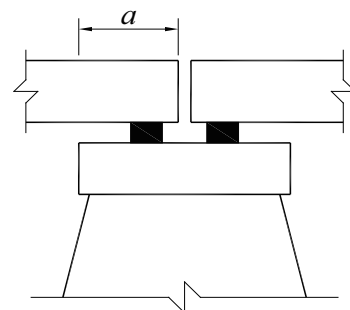


图 1 梁端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离

对于公路桥梁,《08 抗震细则》第 11.2.1 条规定:6 度区时,其最小值  $a(\text{cm})$ 按式(2)计算。现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01-2020)<sup>[7]</sup>(后文简称《20 抗震规范》)修订了原《08 抗震细则》,结合美国 AASHTO 规范,综合考虑桥梁墩高和梁长等因素的影响,修改了墩梁搭接长度计算公式,将公式的适用范围扩大到简支梁桥和连续梁桥。对于选择一级抗

收稿日期:2023-12-15

作者简介:陈德权(1988—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

震措施的公路桥梁,《20 抗震规范》第 11.2.1 条规定:简支梁桥和连续梁桥上部结构梁端至墩、台帽或盖梁边缘应有一定的距离(见图 1)。其最小值  $a(\text{cm})$  应按下式计算,且不应小于 60 cm。

$$a \geq 50 + 0.1L + 0.8H + 0.5L_k \quad (3)$$

式中: $L$ 、 $L_k$  分别为一联上部结构总长度和最大单孔跨径,m; $H$  为支承一联上部结构桥墩的平均高度,m,桥台的高度取值为 0。

现行《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002-2021)<sup>[8]</sup> 规定了抗震设防烈度 6 度及以上地区各类新建、改建、扩建建筑与市政工程抗震设防的基本要求。其中第 6.1.7 条规定:城市桥梁结构应采用有效的防坠落措施,且梁端至墩、台帽或盖梁边缘的搭接长度,6 度不应小于  $(400 + 0.005L)\text{mm}$ ,7 度及以上,不应小于  $(700 + 0.005L)\text{mm}$ ,其中, $L$  为梁的计算跨径(单位,mm)。该条明确了城市桥梁的防坠落要求及墩梁间搭接长度,经过对比发现,该条与《城市桥梁抗震设计规范》第 11.2.1、11.3.2 条规定保持一致。

通过对比 2 本规范<sup>[6-7]</sup>中关于常规直线桥防落梁搭接长度的规定,发现两者计算方法不同。6 度区,当桥墩的平均高度  $H$  取为 5 m 时,根据式(1)和式(3),作出最小距离  $a$  随总长度  $L$  和最大单孔跨径  $L_k$  的变化对比图,见图 2。

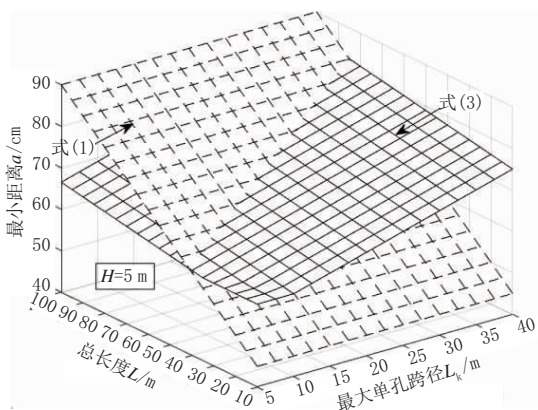


图 2 不同规范中最小距离随参数和的变化对比图

图 2 中,式(1)对应最小距离  $a$  为空间斜平面(图中虚线所示),随参数  $L$  的增大而增大,与参数  $L_k$  无关,计算值为 45~90 cm;7 度区及以上时,按式(2)计算值等于式(1)对应结果加上 30 cm,其值为 75~120 cm。图中实线所示为式(3)对应的计算值,均不应小于 60 cm,最小距离  $a$  随参数  $L$  和  $L_k$  的增大而增大,当  $L$  为 100 m 和  $L_k$  为 40 m 时,取得该范围最大值为 84 cm,计算值为 60~84 cm。

对于常规直线桥,城市桥梁防落梁搭接长度仅与梁的计算跨径有关,而公路桥梁还与桥梁墩高和最大单孔跨径有关,规范<sup>[7]</sup>考虑更加全面。

## 2 斜交桥

对于城市桥梁,《城市桥梁抗震设计规范》第 11.2.2 条规定:斜交桥梁(板)端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离  $a(\text{cm})$ (见图 3)应按式(1)和式(4)计算,取较大值。

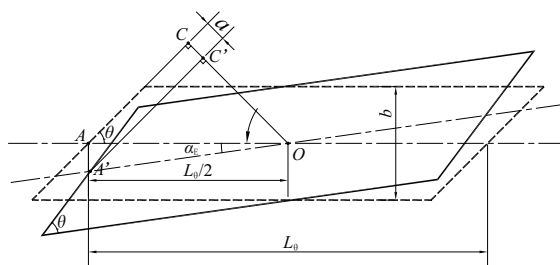


图 3 斜交桥最小距离

$$a \geq 50L_0 [\sin \theta - \sin(\theta - \alpha_E)] \quad (4)$$

式中: $L_0$  为计算长度,对简支梁桥取其跨径,m; $\theta$  为斜交角, $^\circ$ ; $\alpha_E$  为极限脱落转角, $^\circ$ ,一般取  $5^\circ$ 。

由图 3 可知,最小距离  $a(\text{cm})$  应大于或等于  $\overline{CC'}$ ,即  $a \geq \overline{CO} - \overline{C'O}$ ,则对应的公式如下:

$$a \geq \left[ \frac{L_\theta}{2} \sin \theta - \frac{L_\theta}{2} \sin(\theta - \alpha_E) \right] \times 100 \quad (5)$$

将式(5)进一步整理后即式为(4)。

对于公路桥梁,《20 抗震规范》第 11.2.2 条规定:当满足式(6)的条件时,斜交桥梁(板)端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离  $a(\text{cm})$ (见图 3)应按式(3)和式(4)计算,取大值。

$$\frac{\sin 2\theta}{2} \geq \frac{b}{L_\theta} \quad (6)$$

式中: $L_\theta$  为一联上部结构总长度,m; $b$  为上部结构总宽度,m。

当不满足式(6)的条件时,斜交桥梁(板)端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离  $a(\text{cm})$  应按式(3)计算。对于连续斜梁桥,当梁端设置有横向限位装置和纵向防落梁装置时,可以不受式(4)约束。

经过对比发现,2 本规范<sup>[6-7]</sup>中关于墩梁搭接长度的计算公式即式(4)保持一致,但计算流程和公式上存在一定的区别。《20 抗震规范》相比《城市桥梁抗震设计规范》,需要先判断式(6)的条件是否成立,当满足式(6)的条件时,应按式(3)和式(4)计算,取大值,否则应按式(3)计算。而《城市桥梁抗震设计规范》无须判断是否满足式(6)的条件,直接按式(1)和式(4)计算,取较大值。

根据《20 抗震规范》第 11.2 节规定,斜交桥的墩梁搭接长度对应的计算流程见图 4。

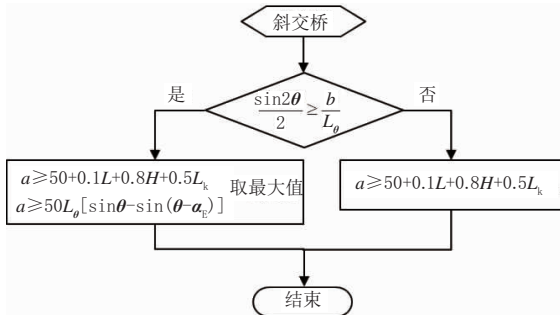


图 4 斜交桥搭接长度的计算流程图

因结构上的特性,窄长的斜交桥有可能发生由上部结构的转动引起的落梁,因此要考虑转动的影响来设置墩梁搭接长度<sup>[9]</sup>。当满足回转可能条件时(见图 5),长度  $\overline{AH} \geq \overline{AB}$ ,对应公式为

$$L_\theta \cos \theta \geq b / \sin \theta \quad (7)$$

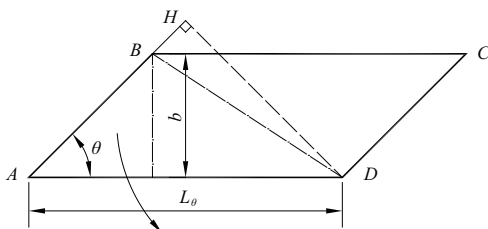


图 5 斜交桥回转可能条件

将式(7)进一步整理化简后即可得到式(6)。

现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018)<sup>[9]</sup>(后简称新《桥规》)第 4.2.4、9.2.6 条以及对应的条文说明中,斜交角  $\phi$  的定义为支承轴线的垂直线与桥纵轴线的夹角。由图 3 可知,式(4)中的斜交角  $\theta$  为支承轴线与桥纵轴线的夹角,也等于斜交桥梁(板)对应的锐角。经过对比发现 2 本规范<sup>[6-7]</sup>中关于斜交角  $\theta$  的定义相同,但与新《桥规》中关于斜交角  $\phi$  的定义并不一致,两者互为余角。斜交角  $\phi$  越大表示斜交的程度越大,而斜交角  $\theta$  则相反,斜交角  $\phi$  一般不超过  $45^\circ$ ,实际工程设计时应注意斜交角  $\theta$  和  $\phi$  的区别,以免混淆。

现对式(4)进行理论分析,可令

$$f(\theta) = \sin \theta - \sin(\theta - \alpha_E) = 2 \sin \frac{\alpha_E}{2} \cos(\theta - \frac{\alpha_E}{2}) \quad (8)$$

式(8)中:极限脱落转角  $\alpha_E$  一般取定值  $5^\circ$ ,斜交角  $\theta$  的取值范围通常在  $45^\circ \sim 90^\circ$  之间,则因变量  $f(\theta)$  是关于自变量斜交角  $\theta$  的余弦函数,为一个无量纲参数,可称为在斜交桥以重心为转动中心仅以临界脱落转动角转动时对应的转动系数。由式(8)作出斜交桥的转动系数  $f(\theta)$  随斜交角  $\theta$  的变化图,见图 6。

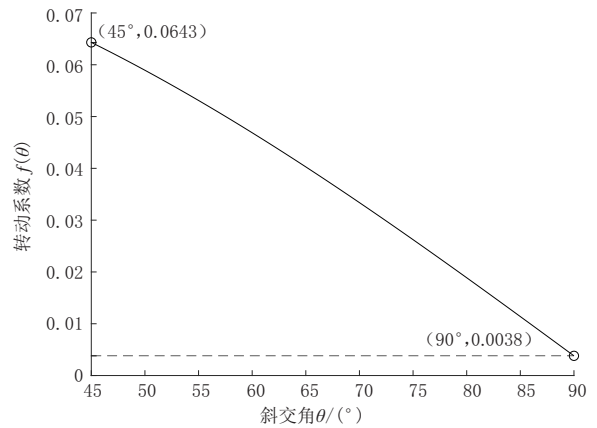


图 6 转动系数随斜交角的变化图

由图 6 可知,当斜交角  $\theta$  在  $45^\circ \sim 90^\circ$  之间变化时,转动系数  $f(\theta)$  随着斜交角  $\theta$  的增大而减小(单调递减)。当斜交角  $\theta$  等于  $45^\circ$  时, $f(\theta)$  取得最大值为 0.064 3;当斜交角等于  $90^\circ$  即为常规直线桥(正交)时, $f(\theta)$  取得最小值 0.003 8。

由式(4)可知,最小距离  $a$ (cm)的计算值与一联上部结构总长度  $L_0$  和斜交角  $\theta$  有关,当总长度  $L_0$  在 5~50 m 之间以及斜交角  $\theta$  在  $45^\circ \sim 90^\circ$  之间变化时,作出对应三维图,见图 7。

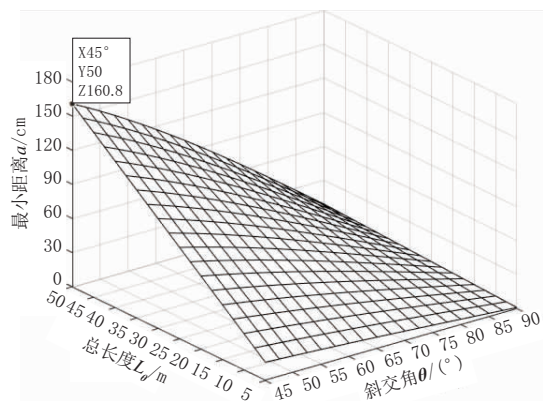


图 7 斜交桥最小距离随总长度和斜交角的变化图

由图 7 可知,最小距离  $a$  与总长度  $L_0$  和斜交角  $\theta$  的关系为空间光滑曲面。当斜交角  $\theta$  等于  $45^\circ$  以及总长度  $L_0$  为 50 m 时,按式(4)计算最小距离  $a$  的值等于 160.8 cm。对于城市桥梁,6 度区时按式(1)计算为 65 cm,则取较大值为 160.8 cm。对于公路桥梁,按照斜交桥搭接长度计算流程(见图 4),当满足式(6)的条件时,上部结构总宽度应不大于  $0.5L_0$ ,即  $b$  不大于 25 m;当桥墩的平均高度  $H$  和最大单孔跨径  $L_k$  均不超过 40 m 时,按式(3)计算最小距离  $a$  的值在 60~107 cm 之间;经过比较可知,此时最小距离  $a$  应取大值为 160.8 cm。当不满足式(6)的条件即总宽度  $b$  大于 25 m 时,应仅按式(3)计算,则最小距离  $a$  的取值在 60~107 cm 之间。



对于斜交桥,由上述分析可知,2本规范<sup>[6-7]</sup>中搭接长度的计算方法存在一定的区别,实际工程设计时应予以注意。

### 3 曲线桥

对于城市桥梁,《城市桥梁抗震设计规范》第11.2.3条规定:曲线桥梁端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离  $a$ (cm)(见图8)应按式(1)和式(9)计算,取较大值。

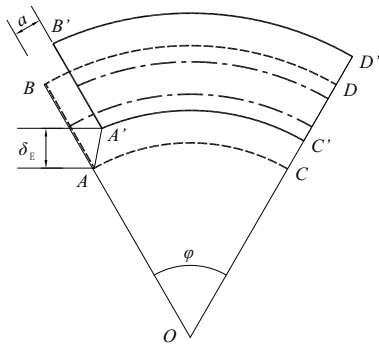


图8 曲线桥最小边缘距离

$$a \geq \delta_E \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi/2)} 30 \quad (9)$$

$$\delta_E = 0.5\varphi + 70 \quad (10)$$

式中: $\delta_E$ 为上部结构端部向外侧的移动量,cm; $\varphi$ 为曲线梁的圆心角或中心角,°。

对于公路桥梁,《20抗震规范》第11.2.3条规定:当满足式(11)的条件时,曲线桥梁端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离  $a$ (cm)(见图8)应按式(3)和式(9)计算,取大值。

$$\frac{115}{\varphi} \cdot \frac{1-\cos \varphi}{1+\cos \varphi} > \frac{b}{L} \quad (11)$$

式中: $L$ 为一联上部结构中心线弧线长度,m; $b$ 为上部结构总宽度,m。

当不满足式(11)的条件时,曲线桥梁端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离  $a$ (cm)应按式(3)计算。对于曲线桥梁,当梁端设置有横向限位装置和纵向防落梁装置时,可以不受式(9)约束。

经过对比发现,2本规范<sup>[6-7]</sup>中关于墩梁搭接长度的计算公式即式(9)保持一致,但计算流程和公式上同样存在一定的区别。与《城市桥梁抗震设计规范》相比,《20抗震规范》需要先判断式(11)的条件是否成立,当满足式(11)的条件时,应按式(3)和式(9)计算,取大值,否则应按式(3)计算。而《城市桥梁抗震设计规范》无须判断是否满足式(11)的条件,直接按式(1)和式(9)计算,取较大值即可。

根据《20抗震规范》第11.2节规定,曲线桥的墩

梁搭接长度对应的计算流程见图9。

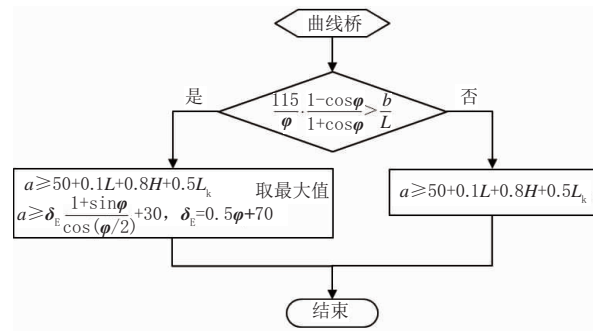


图9 曲线桥搭接长度的计算流程图

对于曲线桥,因结构上的特性,窄长的曲线桥有可能发生由上部结构的转动引起的落梁,因此要考虑转动的影响来设置墩梁搭接长度<sup>[9]</sup>。当曲线桥满足回转可能条件时(见图10),长度  $\overline{BH} \geq \overline{BA}$ ,即  $\overline{BO} - \overline{HO} \geq \overline{BA}$ ,对应的公式如下:

$$\left(R + \frac{b}{2}\right) - \left(R + \frac{b}{2}\right) \cos \varphi \geq b \quad (12)$$

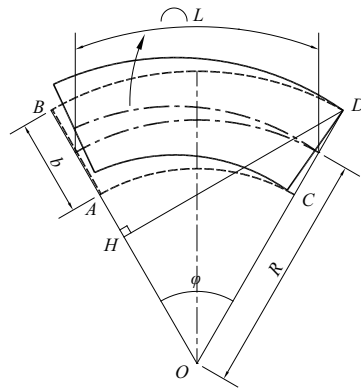


图10 曲线桥回转可能条件

曲线梁的圆心角(中心角) $\varphi$ 对应的一联上部结构中心线弧线长度  $L$  计算公式为

$$L = R \times \frac{\varphi \cdot \pi}{180} \quad (13)$$

式中: $R$ 为一联上部结构中心线的曲线半径。

由式(13)得到曲线半径  $R$  的表达式如下

$$R = \frac{180L}{\varphi \cdot \pi} \quad (14)$$

将式(14)代入式(12),消去曲线半径  $R$  可得

$$\left(\frac{180L}{\varphi \cdot \pi} + \frac{b}{2}\right) (1 - \cos \varphi) \geq b \quad (15)$$

进一步整理化简式(15)后得到式(16):

$$\frac{2 \times 180}{\varphi \cdot \pi} \frac{1 - \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} > \frac{b}{L} \quad (16)$$

式中: $2 \times 180 / \pi = 114.6$ ,近似向上取整数115,即可得到式(11)。

对于曲线桥,经过对比分析发现,2本规范<sup>[6-7]</sup>中搭接长度的计算方法存在一定的区别,实际工程设

计时应根据选用的规范进行正确计算。

### 4 结 语

对于城市桥梁和公路桥梁,通过梳理我国桥梁抗震设计规范中关于防落梁搭接长度要求的规定,并经过对比分析,指出 2 本现行规范<sup>[6-7]</sup>中常规直线桥、斜交桥和曲线桥墩梁搭接长度计算方法的异同,总结了规范<sup>[7]</sup>中关于斜交桥和曲线桥搭接长度的计算流程。对于斜交桥和曲线桥,由上部结构的转动引起的落梁应满足回转可能条件,根据几何关系推导了回转可能条件是否满足对应的判断公式。本文对规范中关于防落梁搭接长度的计算方法进行比较和理论分析研究,以期为桥梁设计人员在正确理解和应用规范的基础上进行实际工程设计时

提供帮助和参考。

#### 参考文献:

[1] 王东升,王吉英,孙治国,等.汶川大地震简支梁桥落梁震害与设计对策[J].防灾减灾工程学报,2011,31(5):595-602.

[2] JTG/T B02-01—2008,公路桥梁抗震设计细则[S].

[3] 左焯,孙广俊,李鸿晶.中外桥梁抗震设计规范有关防落梁的比较与研究[J].防灾减灾工程学报,2016,36(4):617-623.

[4] 王克海,张秉哲,郭威佐.中小跨径桥梁抗震的概念设计与构造措施[J].建筑科学与工程学报,2022,39(2):30-35.

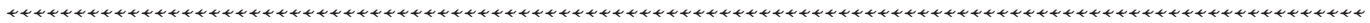
[5] 李守胜.中美规范防落梁搭接长度比较与参数分析[J].城市道桥与防洪,2023(7):114-117.

[6] CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].

[7] JTG/T 2231-01—2020,公路桥梁抗震设计规范[S].

[8] GB 55002—2021,建筑与市政工程抗震通用规范[S].

[9] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].



## 《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](mailto:cdq@smedi.com)