

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.250388

基于城市功能需求韧性城市评价指标体系研究

郭明鹏,赵丹阳,许建,张朔,高雪松

[济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司,山东 济南 250001]

摘要: 为了构建一套能体现“抵御、恢复、适应”城市韧性全过程的指标评价体系,基于国内外的研究成果,归纳出经济、设施、生态、管理、社会5个评价指标维度。在此基础上分析遭受灾害后城市功能曲线变化情况,将城市受灾过程划分为灾前、灾时、灾中、新阶段4个阶段,分析不同阶段下城市所需体现韧性功能,为评价指标选取提供方向。采用层次展开法,构建具有普适性和全面性的韧性评价指标体系。结合评价指标选取原则和来源,对评价指标进行等级划分,并提出了韧性城市综合指数概念,为韧性城市建设评估提供方法。

关键词: 韧性城市;指标体系;韧性指数;城市功能;可持续发展

中图分类号: TU984 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2025)09-0072-06

Research on Resilient City Evaluation Index System Based on Urban Functional Requirements

GUO Mingpeng, ZHAO Danyang, XU Jian, ZHANG Shuo, GAO Xuesong

[Jinan Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Jinan 250001, China]

Abstract: To construct a set of index evaluation system able to reflect the entire process of urban resilience of “resistance, recovery and adaptation”, based on the research achievements at home and abroad, five evaluation index dimensions of economy, facility, ecology, management and society are summarized. On this basis, the urban functional curve changes after a disaster are analyzed. The process of urban disaster is divided into four stages: before the disaster, during the disaster, in the disaster and the new stage. The resilience functions that cities need to demonstrate at different stages are analyzed. The above analysis provides the direction for the selection of evaluation indexes. The hierarchical expansion method is used to build a resilience evaluation index system with universality and comprehensiveness. Combined with the principles and sources of selecting the evaluation indexes, the evaluation indexes are classified into different grades, and the concept of comprehensive index of resilient city is proposed, which provides an approach for evaluating the development of resilience cities.

Keywords: resilient city; index system; resilience index; urban functions; sustainable development

0 引言

“韧性”最早由荷兰·戴弗利提出,其核心是系统在扰动中的自适应能力^[1]。韧性城市建设发展应遵循“前期规划→建设实施→实施评估→资源优化、策略调整→韧性安全达标”发展路径,评价指标体系作为实施效果评估、动态监测的重要工具,是指导资源、策略调整优化,提高资源利用效率的重要依据。建立一套系统全面、广泛普适的韧性评估指标,是城市主动进行风险监测、风险管理、提升城市韧性的基础性工作之一,对于城市“韧性”发展具有重要意义。

国内外科研机构、专家、学者对韧性评价指标已

有较为丰富的研究成果。国外研究方面,洛克菲勒基金会研究的《城市韧性指数》^[2],包括健康、经济、基础设施、领导力等4个关键领域。联合国减灾署^[3]在《ISO 37123 城市可持续发展——韧性城市指标》中从城市服务和生活品质两个角度,从经济、能源、环境等17个方面来衡量城市的可持续发展状态。纽约州立大学研究机构提出了《韧性能力指标》,由经济能力、人口情况、社区连通性3大领域组成^[4]。国内研究方面,2022年发布的《安全韧性城市评价指南》,以人员、设施和管理3方面作为评价内容^[5]。住房和城乡建设部为开展城市体检工作,发布《城市体检指标体系》,指标体系囊括生态宜居、安全韧性、交通便捷、创新活力等8个维度。

通过总结国内外研究成果,已有指标体系研究视角不同,尚未形成具有普适性的城市韧性评价指

收稿日期: 2025-04-09
作者简介: 郭明鹏(1993—),男,硕士,工程师,从事交通规划、交通设计工作。

标体系。本文经过归纳分析既有研究成果并进行深度整合,整理了经济韧性、设施韧性、生态韧性、管理韧性、社会韧性 5 个维度指标,作为一级评价指标。

1 韧性城市特征及功能分析

韧性城市有鲁棒性、冗余性、可恢复性、智慧性、适应性 5 个特性。鲁棒性:抵抗各类突发灾害,减轻灾害发生对城市造成的损失;冗余性:城市中重要的设施设置备用,主力设施受损后,备用设施可及时启用,保障城市重要功能不瘫痪;可恢复性:灾后城市具备最短时间内恢复常态化能力;智慧性、适应性,通过对以往灾害中的学习,增强智慧手段,实现灾害适应能力。

城市功能是指城市在政治、经济、社会活动中所承担的作用,包括经济功能、社会功能、文化功能、政治功能、生态功能、交通功能等。

城市功能曲线从遭遇外界冲击到恢复可分为 4 个阶段,包括灾前、灾时、灾后及新阶段。灾前阶段,指城市未遭遇外界冲击,城市应满足常态发展需求,具有可持续发展的能力。灾时阶段,指遭受外界冲击,城市具备刚性和弹性,拥有强大的耐灾能力。灾后阶段,指城市未抵抗外界冲击,城市应急、救援系统应足够完善和可靠,城市恢复能力强。新阶段,指在遭受一轮外界冲击后,城市各系统经历学习更加韧性。

韧性指标体系体现城市“灾前、灾时、灾后、新阶段”全过程功能需求(见图 1),应体现可持续发展、抵抗力、恢复力、转化力 4 方面功能。

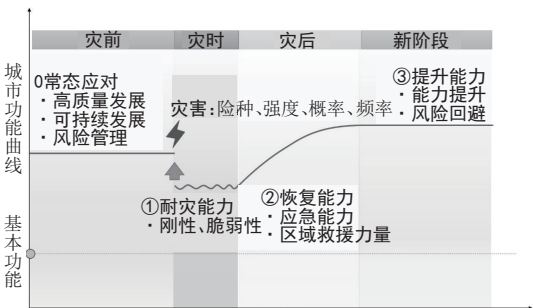


图 1 城市功能变化曲线图

2 评价指标体系构建

2.1 评价指标

2.1.1 经济韧性指标

肖翠仙^[9]将经济韧性分为经济实力、经济多样性和经济成长能力 3 个方面。学者提出 3 个领域体现功能与城市韧性功能吻合,但是经济恢复力功能

体现不明显。本文将经济韧性分为经济实力、经济拉动能力、经济成长能力,体现可持续、抵抗力、恢复力、转化力功能。

2.1.1.1 经济实力

城市经济实力一方面体现城市内部经济稳定,各行业、各领域发展强劲;另一方面城市经济发展外部依赖性弱,不会因外部波动动摇自身经济发展。

城市内部经济稳定方面,主要从城市、政府、居民 3 个层级考虑。城市层面体现整体经济发展强劲,经济密度、人均生产总值等指标可反映。从中国国情来看,以人口作为基准更合适,选择人均生产总值作为代表性指标。政府层面主要体现财政稳定,选择政府负债率作为代表性指标。居民层面体现收入稳定,选择居民人均可支配收入反应居民经济实力。

城市经济发展外部依赖性,主要从进/出口总额方面考虑,外贸依存度指标同时反映进口和出口情况,选择该指标作为表征指标。

2.1.1.2 经济拉动能力

根据宏观经济学,消费、投资与出口是推动经济增长的主要来源,指标从这 3 方面选择。

投资体现为政府和社会支出能力,可以通过人均财政支出水平、固定资产投资体现。消费表现为社会消费水平,可通过社会消费品零售总额占 GDP 比重体现。出口表现为出口额度,可以通过年出口总额体现。

2.1.1.3 经济成长能力

经济成长能力体现城市经济的转化力和创新活力。关于经济成长能力,肖翠仙^[9]提出了科学教育投入占比、产业结构高级化指数、专利授权数 3 个指标。管昌玲^[17]提出了地方财政支出中的教育事业支出、产业结构高级化指数和科研投入强度指数 3 个指标。对研究成果进行整合,选择地方财政支出中的教育事业支出占比、产业结构高级化指数、科研投入强度指数、万人有效发明专利数 4 个指标。

2.1.2 设施韧性指标

根据城市不同阶段功能需求,将设施韧性分为可持续发展、灾害抵御、创新提升三个维度,体现可持续发展、抵抗力、转化力功能。

2.1.2.1 可持续发展

国家标准^[17]围绕经济、环境、财政、休闲、固体废物、通讯与创新、交通、废水、水与卫生等 17 个方面衡量城市可持续发展的能力,与设施相关的是

交通、水资源、能源3个方面。

交通方面。2023年9月,交通运输部副部长李扬指出:“可持续交通,是把安全、便捷、绿色、高效、经济、包容、韧性作为发展方向。”交通可持续要求设施便捷,运行高效,出行绿色、经济。以此选择交通拥堵指数表征设施的便捷性,选择交通拥堵指数表征城市交通运行高效,选择绿色出行比例、95%单程平均通勤时间表征出行绿色、经济。

水资源方面。随着城镇化率不断提升,水资源需求量和质量要求不断增加,水资源供需矛盾日益突出。因此水资源评估指标主要从水资源的供给和水资源的利用角度选择。水资源供给方面,选择人均水资源占有量进行评估。水资源利用方面,可以选择城市水资源利用率、城市公共供水管网漏损率进行评估。

能源方面。在《节约能源法》中能源包括石油、天然气、煤炭、电力、热力等。与城市发展、居民生活息息相关的主要是电力和热力,因此主要从这两方面选取指标,包含能源供给、能源利用和能源绿色3个方面,选择平均停电时间、集中供热燃气覆盖率、人均年生活用电量、城市供热管网热损失率、非化石能源消费占比、可再生能源电量占总电量比重等指标。

2.1.2.2 灾害抵御

灾害抵御指在灾害发生后城市基础设施首先具有抵抗灾害的能力,在未抵御灾害后具备避难、救援的能力。因此将灾害抵御分为灾害抵御、应急避难、救援服务、应急供应4个方面。

灾害抵御。联合国减灾署2020年发布的*human Cost of Disasters——an overview of the last 20 years 2000—2019*^[12],人类面临的主要突发灾害气象灾害是发生频率最高的,因此选择洪涝灾害作为研究对象,选择雨水管渠标准达标率、河道防洪排涝标准达标率2个指标。

应急避难。应急避难从设施的服务能力和可达性两个方面考虑,选择人均应急避难场所面积、固定避难场所可达性2个代表性指标。

救援服务。灾害发生时城市需要提供应急救援服务,从医疗机构的服务能力选择指标,包括城市二级及以上医院覆盖率、医疗卫生机构每千人口床位数。

应急供应。灾害发生时,市政设施能正常运转满足城市应急需求,包括应急供水、应急供电、应急

供热、应急通信等。选择了水厂设防标准达标率(内涝、地震等)、重点设施备用电源设置率(医院、避难场所)、电力系统事故备用容量占比、备用燃气供应维持基本服务天数、互联网用户普及率5个代表性指标。

2.1.2.3 创新提升

创新提升维度体现城市创新转型能力、适应力。依据文献^[18],选择市政管线智能化监测率、道路交通智能化管理水平,分别体现市政设施、交通设施智慧化。

2.1.3 生态韧性指标

生态韧性指标重点聚焦城市生态化程度和城市污染治理成效两个方面,体现城市生态可持续性和恢复力。

2.1.3.1 生态化程度

潘明策^[13]关于生态化程度重点围绕城市土地开发、环境绿化、产业发展等方面展开,分别选择区域开发强度、人均公园绿地面积、单位GDP二氧化碳排放降低比例作为代表性指标。

2.1.3.2 污染治理成效

刘泽照^[14]关于污染治理成效主要围绕水、空气、噪声的污染治理,以及地表水保护效果、垃圾回收利用程度等方面,分别选取生活污水集中回收率、空气质量优良天数比率、城市环境噪声达标地段覆盖率、地表水优于Ⅲ类比例、生活垃圾资源化利用率作为代表性指标,体现城市面对慢性发展压力的恢复能力。

2.1.4 管理韧性指标

结合城市韧性概念及城市功能曲线,城市管理韧性可分为灾前管理、灾中管理和灾后管理。因此将管理韧性分为灾前管理、风险响应、综合管理3个评价维度。

2.1.4.1 灾前管理

根据灾前管理功能需求,所选指标应体现风险识别、风险预案、风险演练的功能。选择了编制韧性城市规划情况、应急预案体系、应急演练开展3个代表性指标。

2.1.4.2 风险响应

风险响应需要在灾害发生时满足两种功能。第一,灾害发生时做到及时预警,告知市民灾害即将发生提前做好预防;第二,灾害发生后,消防等救援人员及时达到灾害现场,降低灾害的人员伤亡和财产损失。

(1) 灾害预警指标

《国家突发公共事件总体应急预案》中提出公共卫生事件、事故灾难、自然灾害等突发公共事件。人类面临的主要突发灾害集中在自然灾害领域和公共卫生事件。基于以上分析,选择指标为气象灾害预警信息公布覆盖率、重点地区地震预警信息公众覆盖率、突发公共卫生事件预警信息响应率 3 个代表性指标。

(2) 灾害救援指标

灾害发生后最重要的是“时间”,因此选择处置、救援人员从接警到达现场的平均时间作为灾害救援表征指标。

2.1.4.3 综合管理

综合管理主要通过智慧化手段提升城市管理水平,包括灾害风险管理和日常智慧化管理。

(1) 灾害风险管理指标

《国家“十四五”防灾规划》提出,要利用可用资源,对灾害实施综合化治理,所选指标应具有综合性,选择城市应急管理综合应用平台作为代表性指标。

(2) 日常智慧化管理

体现城市智慧化安全管理,选择智慧社区覆盖率、重点公共区域监控覆盖率两个指标。

2.1.5 社会韧性指标

从当前国家和社会关注热点问题来看,主要包括老龄人口养育和全民健身。选择从人口素养、康养服务能力、社会稳定性 3 个角度构建社会韧性指标,体现社会发展的可持续和创新力。

2.1.5.1 人口素养

文献^[14]关于人口素养维度提出了万人口高等学校在校学生人数、人口年龄结构指数、接受高等教育就业人口比例。归纳分析发现,人口素养重点关注人口的社会年龄结构和受教育水平方面,选取具有代表性且容易获取的城市人口年龄中位数和每万人口高等学校在校学生人数作为代表性指标。

2.1.5.2 康养服务能力

重点测度城市缓解当今社会养老、健身等社会公共资源的补给能力,选取社区养老服务设施覆盖率、人均社区体育场地面积作为测度指标。

2.1.5.3 社会稳定性

社会稳定性指标侧重于政府、社会、家庭、个人等不同主体对于灾害风险的防范能力,重点关注社会保险制度保障和失业群体的控制两方面内容,选

取具有代表性且容易获取的基本医疗保险覆盖率、城镇登记失业率作为代表性指标。

2.2 评价指标值分级

评价指标分级按照 3 个原则进行等级划分:(1)既有规范标准中有明确指标划分等级,直接使用划分等级;(2)相关政策文件中明确推荐值,结合现状及政策推荐值明确等级;(3)无标准、政策、规划体系要求,依据全国各市统计值划分等级。以设施韧性指标为例进行说明。

2.2.1 标准规范已明确

高德、百度地图运营商针对城市交通拥堵程度划分畅通[1.00~1.50)、缓行[1.50~2.00)、拥堵[2.00~4.00)、严重拥堵[4.00~)四级,结合划分区间划分为五级,具体划分等级如下:

一级(1.0~1.5)、二级(1.5~2.0)、三级(2.0~3.0)、四级(3.0~4.0)、五级(≥ 4.0)。

2.2.2 政策文件要求

《中国人居环境奖评价指标体系》要求 95% 单程平均通勤时间 ≤ 30 min,《城市综合交通体系规划标准》要求城市建成区内 85% 通勤出行的单程平均时耗 ≤ 40 min。基于以上标准要求,将以上两个标准要求作为一、二等级要求,其他等级按照每 10 min 一档划分,划分等级如下:

一级(< 30)、二级(30~40)、三级(40~50)、四级(50~60)、五级(≥ 60)。

2.2.3 全国、地市均值

全国人均水资源占有量为 2 098.5 m³/人,山东省人均水资源占有量为 370.3 m³/人。基于以上数据,将全国平均值作为一级等级标准,山东省内平均值作为三级等级标准,划分等级如下:

一级($\geq 2 000$)、二级(1 000~2 000)、三级(300~1 000)、四级(100~300)、五级(< 100)。

2.3 评估模型

根据指标体系,设立 1 个韧性城市综合指数,经济韧性指数、设施韧性指数、社会韧性指数、生态韧性指数、管理韧性指数 5 个分项指数,计算公式见式(1):

$$F_i = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i \quad (1)$$

式中: F_i 为韧性指数; w_i 为指标组指标的权重; z_i 为指标评分。

根据指数计算原理,将韧性城市划分为 5 个等级,如表 1 所示。

表1 韧性指数划分等级

等级	一级	二级	三级	四级	五级
标准/分	90~100	80~90	70~80	60~70	60以下

3 指标权重模型

指标权重采用模糊层次分析法(FAHP)进行确定,其具体原理如下。

(1)构建模糊互补矩阵。模糊互补矩阵的表现形式为 $A=(a_{ij})_{n \times n}$,其中 a_{ij} 的取值为0.1~0.9, $i=1,2,3,\cdots,n$ 。当 $i=j$ 时, $a_{ij}=0.5$ 。模糊互补矩阵中各元素的含义如表2所示。

表2 元素取值含义

c_{ij} 赋值	重要程度分级
0.1	c_i 指标与 c_j 指标相比特别不重要
0.2	c_i 指标与 c_j 指标相比非常不重要
0.3	c_i 指标与 c_j 指标相比比较不重要
0.4	c_i 指标与 c_j 指标相比略微不重要
0.5	c_i 指标与 c_j 指标相比同等重要
0.6	c_i 指标与 c_j 指标相比略微重要
0.7	c_i 指标与 c_j 指标相比比较重要
0.8	c_i 指标与 c_j 指标相比非常重要
0.9	c_i 指标与 c_j 指标相比特别重要

(2)模糊一致矩阵构建。将第一步矩阵其转化为模糊一致矩阵,其中矩阵元素满足 $a_{ij}=a_{ik}-a_{kj}+0.5,i,j,k=1,2,3,\cdots,n$ 。计算公式如下:

$$f_{ij}=\frac{T_i-T_j}{2n}+0.5 \tag{1}$$

式中: $r_i=\sum_{k=1}^n r_{ik}$ 为矩阵按行求和。

(3)层次排序。根据第二步得到矩阵,计算各层指标相对于总目标的权重,公式如下:

$$\bar{s}_i=\frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \tag{2}$$

得到 $w_i=(\bar{s}_1,\bar{s}_2,\cdots,\bar{s}_n)$ 。

式中: $s_i=\left(\prod_{j=1}^n r_{ij}\right)^{\frac{1}{n}},i=1,2,3,\cdots,n$ 。

(4)层次总排序

计算方式如下:

$$w_j=\sum_{i=1}^n w_i w_{ij} \tag{3}$$

式中: w_j 为第 j 个指标层次总权重; w_i 为第 i 指标层相对于总目标层权重; w_{ij} 为第 j 个指标对应第 i 指标层的权重。

4 案例应用

以济南市作为案例应用分析城市,数据来源于规划资料、城市体检数据、政府网站数据、网站查询数据、专家定性分析数据。根据评估模型,评价指标权重通过调查问卷的形式,邀请市政、规划、交通等专业近10名专家,对韧性城市评价指标进行两两模糊比较分析,获取专家比较的平均值结果,将其转化模糊互补矩阵。依据模糊层次分析法的原理^[15],应用迈实FAHP软件对数据进行处理分析,得到各指标权重,进而得到各指标评分。

通过计算分析得到,济南市韧性城市综合指数为82.76分,评定等级为二级;管理韧性指数分值最高,为87.90分,评定等级为二级中上,5个维度中发展最好。生态韧性指数、经济韧性指数、社会韧性指数和设施韧性指数分值均处于80~85分之间,处于二级中下等级(见图2)。

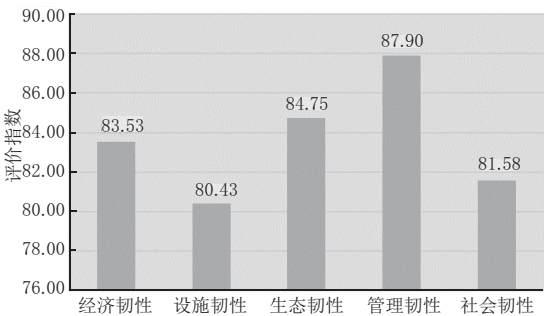


图2 济南韧性城市评价指数图

(1)经济韧性指数

经济韧性指数为83.53分,评定等级为二级。固定资产投资增速、社会消费品零售总额占GDP比重、地方财政支出教育事业支出占比3个方面需进行优化提升。

(2)设施韧性指数

设施韧性指数为80.43分,等级为二级。灾害抵御与创新提升相对评分高,可持续发展较低,体现城市设施抗灾、减灾能力具有一定的硬实力,常态下城市设施供需平衡能力、设施服务能力尚需提高。

(3)生态韧性指数

生态韧性指数为84.75分,等级为二级。污染治理成效指数达到86.50分,生态化程度指数为80.67分,生态化程度方面有待提升。

(4)管理韧性指数

管理韧性指数为87.90分,等级为二级。三项分类指标指数均达到了85分以上,城市韧性管理方面

整体较好。

(5) 社会韧性指数

社会韧性指数为 81.58 分,等级为二级。人口素养和社会稳定性评分为 80 分以下,是需要加强提升的领域。

5 结 语

建立韧性城市建设评价指标体系,是城市主动进行风险管理、提升韧性的基础性工作之一。提供了一套可以体现“抵御、恢复、适应”全过程的指标评价体系,数据相对容易获取,具备快速推广应用的可能。

研究成果提供了国内统一的标准框架,填补了当前城市韧性指标体系复杂多样、标准不一的空白,对于评估识别城市建设中的薄弱环节,帮助城市规划和政策制定者确定需要改进的领域,及时调整建设策略等方面具有重要意义。

参考文献:

[1] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual review of ecology and systematics, 1973(4):1-23.
[2] Rockefeller Foundation. City resilience framework[EB/OL]. (2020-8-5) [2024-12-16]. <https://www.rockefellerfoundation.org/app/uploads/City-Resilience-Framework1.pdf>. 2014.
[3] UNISDR. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives[EB/OL]. (2004-01-09) [2024-12-16]. http://www.unisdr.org/files/657_lwr1.pdf, 2004.

[4] Foster K A. Resilience capacity index[EB/OL]. (2020-8-9) [2024-12-16]. <http://brr.berkeley.edu/rci>.
[5] GB/T 40947—2021, 安全韧性城市评价指南[S].
[7] 李康晨. 城市韧性评价指标体系构建及应用研究[D]. 广州:暨南大学, 2018.
[8] 鲁钰雯, 翟国方. 城市空间韧性理论及实践的研究进展与展望[J]. 上海城市规划, 2022(6): 1-7.
[9] 肖翠仙. 中国城市韧性综合评价研究[D]. 南昌:江西财经大学, 2021.
[10] DUTTA S, SHINDE V. Disaster resilient infrastructure in Indian cities: A case study of Chennai floods[J]. Journal of Cleaner Production, 2018 (202): 466-476.
[11] CHELLERI L, WATERS J J, OLAZABAL M. Health and Green Infrastructure in Urban Planning: A Review[J]. Environmental Health Perspectives, 2015, 123(11): 1146-1155.
[13] 潘明策. 共同富裕视角下城市韧性与高质量发展耦合协调研究——以宁波市鄞州区为例[J]. 宁波经济(三江论坛), 2023(4): 32-37.
[14] 刘泽照, 马瑞. 防灾减灾视域下城市韧性评价体系构建及应用——基于江苏省 13 个城市研究[J]. 中国应急管理科学, 2021(5): 27-41.
[15] 唐少虎, 朱伟, 程光, 等. 暴雨内涝下城市道路交通系统安全韧性评估[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(7): 143-150.
[16] 关于加快推进韧性城市建设的指导意见[N]. 北京日报, 2021-11-11(3).
[17] GB/T 36749—2018, 城市可持续发展——城市服务和生活品质的指标[S].
[18] 刘辉, 程振超, 王丹. 城市消防韧性评价指标体系研究[J]. 灾害学, 2023, 38(2): 25-30.

《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

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

