高昊，冯刚，张建勋，等. 韧性大学校园的概念内涵、机制框架与规划实践路径[J]. 灾害学，2024，39(3)：117-125.[GAO Hao，FENG Gang，ZHANG Jianxun，et al.，Resilient University Campus：Concept，Framework and Planning Strategies[J]. Journal of Catastrophology，2024，39(3)：117-125. doi：10. 3969/j. issn. 1000-811X. 2024. 03. 018.]

韧性大学校园的概念内涵、机制框架与规划实践路径*

高　昊，冯　刚，张建勋，张小寒

（天津大学 建筑学院，天津 300072）

摘　要：厘清韧性大学校园的概念内涵、机制框架，并构建其规划实践路径，是深化韧性大学校园概念和推动韧性大学校园规划的重要抓手。通过综述当前韧性大学校园研究进展并引介韧性研究领域相关理论，探讨了复杂适应系统视角下的韧性大学校园概念内涵，构建了复合“压力-状态-响应”模型的韧性大学校园运行机制，并将大学校园韧性在制度、文化、生态、基础设施和空间五个维度进行解释。此外，基于迈向大学校园规划建设的思维转变，在韧性评价体系构建、韧性规划策略制定和现行相关规范完善等方面，提出了韧性大学校园规划的实践路径，以期解决当前大学校园语境下韧性理论与规划操作关联性不足的问题，并为相关研究提供参考和借鉴。

关键词：韧性；韧性大学校园；校园灾害；“压力-状态-响应”模型；规划实践

中图分类号：TU984. 2；X43；X915. 5　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000-811X(2024)03-0117-09

当代大学校园作为集聚产学研、人际交互、知识传播、社会服务等多种功能要素的“微缩城市”，面临社会、经济、环境等多方面的不确定性灾害与风险，其可持续发展议题日趋复杂。在面临多时空尺度失效风险和适应性挑战的背景下，大学校园迫切需要系统性应对复杂灾害集群的方法与能力，韧性大学校园也逐渐成为校园规划领域的研究新热点。但目前的相关研究仍处于简单效仿韧性城市、韧性社区理论的前期阶段，针对韧性大学校园进行系统性概念认知和实践路径构建的研究成果尚不多见，导致其概念深化与规划落地存在困难。本研究通过文献综述和相关理论引介，在讨论韧性大学校园概念内涵与机制框架的基础上，初步提出了韧性大学校园的规划实践路径。

1　韧性大学校园的研究缘起与概念内涵

韧性(resilience)是系统承受干扰并保持其基本结构和功能的能力[1]，20 世纪 70 年代由 HOLLING[2]将其发展至系统生态学后，韧性概念经历了工程韧性-生态韧性-演进韧性三个阶段的范式演变(图 1)，韧性思想也逐渐融入灾害学、城市规划、政策管理、演化经济地理等学科的多重语境。韧性城市是当前韧性理念在城市与区域研究领域的重要延展，韧性大学校园则是韧性城市的内涵与技术在中微观空间尺度上的演绎，其与当前的韧性社区、韧性乡村等城乡系统单元一起，成为多元韧性主体共建精细化管治网格的重要参与部分。

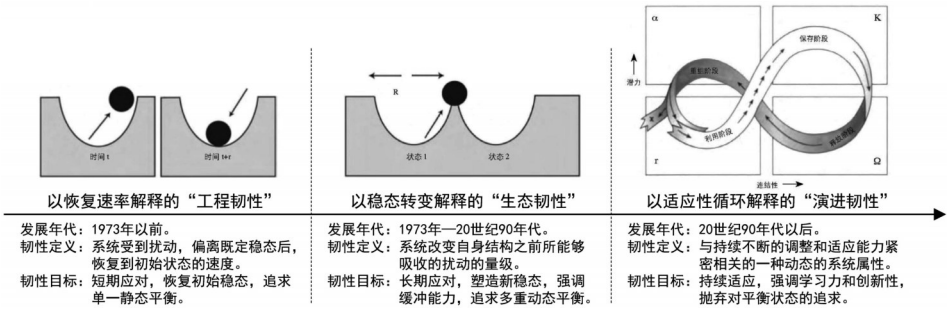

图 1　韧性概念范式演变

* 收稿日期：2023-10-30　修回日期：2024-01-01

基金项目：国家自然科学基金面上项目“基于多目标优化的既有高校校园绿色化改造评价与设计方法研究——以京津冀地区为例”(52078325)；天津大学自主创新基金-社会影响力项目“当代大学韧性校园规划设计理论与策略研究”(2023XS-0092)

第一作者简介：高昊(1991—)，男，汉族，山东潍坊人，博士研究生，主要从事大学校园关键基础设施适灾韧性机理与优化机制研究.E-mail：arch_gaohao@tju.edu.cn

通信作者：冯刚(1976—)，男，汉族，河北张家口人，教授，博士生导师，主要从事大学校园可持续规划理论及其设计研究. E-mail：fenggangarch@tju.edu.cn

当代大学校园是基于学缘和地缘建立的内外要素联系紧密的社会-生态系统，内部具备严密的组织体系和管理结构，外部与周边社区存在广泛的交往互动，具有人群密度高、公共空间多、内外流动性强、管理难度大等特征[3]。在当前复杂多变的社会背景下，大学校园面临内源性或外源性的多方面灾害应对挑战。一方面，我国高校在过去20年间大规模扩容、增量，校园人员密度不断增大，环境承载力逐渐不足，资源供给负担持续加重，且校园基础设施老化问题较为普遍，火灾、雨季内涝等安全事故频发。另一方面，高速城镇化导致人口膨胀、环境恶化、公共基础设施不足等大城市病，并蔓延至大学校园，尤其在校城联系愈发紧密的发展背景下，城市危机不断向校园危机转化，复杂社会灾害风险传播加速难以避免。

国外学界在近十年涌现了将韧性思维应用于大学校园管理与规划的思潮(表1)，其理论与实践显现出三点主要特征：①多数将大学校园作为特定社区类型进行研究，或将校园韧性从属于大学周边更为宽泛的社区韧性；②关注校园物质环境所发挥的韧性作用，同时重视对于公众参与、决策机制、管治网络和社会资本等软性力量的挖掘与调动；③普遍寻求框架式导则来提升韧性校园规划策略的灵活性和适应性。

表1 国外学界在韧性大学校园研究领域的代表性理论进展与学术实践

学者/机构	时间	出版物/学术活动/学术实践	理论进展/实践目标
艾尔(EYRE)、伊斯特霍普(EASTHOPE)[4]	2014	《高等教育机构的韧性：一个更新指南》(Resilience in Higher Education Institutions：An Updated Guide)	提出大学校园的灾害评估流程与管理方法
费舍尔(FISHER)[5]	2016	麻省理工学院(MIT)“大学可持续发展世界研讨会”(WSSD-U-2016)	讨论了韧性大学校园的复杂性与非线性特征
社区和区域韧性研究所(CRRI)[6]	2016	研发“校园韧性增强系统”(CRES)	帮助大学预测和应对威胁，并测试相关的资源、流程及工具
加州州立大学(CSU)[7]	2018	开设课程“减灾规划与设计”(Hazard Mitigation Planning and Design)	开发“校园韧性指数”(CaRI)(图2)
“第二自然”(Second Nature)[8]	2019	创建“韧性校园联盟”(Alliance for Resilient Campuses)	帮助大学应对气候变化带来的不利影响
斯托姆斯(STORMS)[8]	2019	基于城市韧性指标(CRI)构建校园韧性评估框架(图3)	为大学校园总体规划开发韧性工具

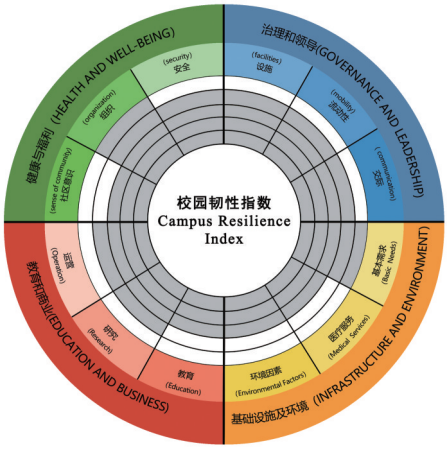

图2 加州州立大学“校园韧性指数”
注：改绘自SIEMBIED[7]

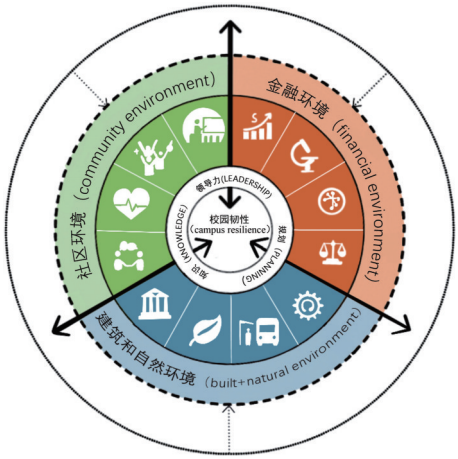

图3 斯托姆斯校园韧性评估框架
注：改绘自STORMS[8]

国内学界自2019年开始出现大学校园范畴的韧性探讨，主要围绕韧性大学校园的内涵与外延展开了广泛讨论(表2)。例如，容志[3]等认为校园韧性兼具工程韧性和演进韧性的属性，并将其联系于大学社区的组织战略、资源冗余、空间分配等多方面要素的协同与配合；向铭铭[9]等则认为韧性校园是建筑基础设施、多方主体、管理机制等多要素互相影响、关联的复杂系统，将韧性校园的规划程序划分为组织与准备、诊断与分析、规划编制、监测评估四个阶段。

通过梳理国内外相关研究进展可以发现：①当前多数韧性大学校园的概念构建包含了时空分异视角的风险审视，即在空间维度考虑不同地域、区位的校园所面临灾害的差异性，在时间维度考虑校园所需应对风险的突变性、长期性和渐变性；②普遍认为校园在应对灾害时，系统要素能够作出自适应反应，且系统的发展与变革是多方面要素基于对风险的共同认知而产生的集体结果，即具备复杂适应系统(complex adaptive system)的属性[14]。本文据此定义的韧性大学校园，是指为应对来自社会、经济、环境等维度的不确定性灾害和风险，通过吸收(absorb)、恢复(recover)、适应

表2　国内学界对于韧性大学校园的定义

研究者	时间	定义视角	韧性校园定义
向铭铭[9]	2019	校园规划设计	灾害或事故发生时，校园建筑及附属设施可以有效减缓和抵抗，管理机制能够迅速有效响应，并快速恢复、复兴的学校
郭璠[10]	2020	校园消防韧性	在平时、灾前、灾时、灾后均按照计划采取一定的措施，主动建立与灾害的共存关系，不断发展进步的校园
江立敏[11]	2022	校园系统运行	系统与要素在面临重大风险与挑战时，仍能保持适应性和弹性，维持学习、科研与生活持续运作的校园
曾露[12]	2022	校园灾害韧性	结合规划布局、安全设计和灾害教育，能够依靠自身稳定性保持正常运营，并以灵活灾害应对措施自行恢复原有功能的校园
何镜堂[13]	2022	校园环境育人	能够为师生提供健康、高效、绿色的教学与生活环境，对学生具有环境教育功能，与自然环境和谐共生的校园

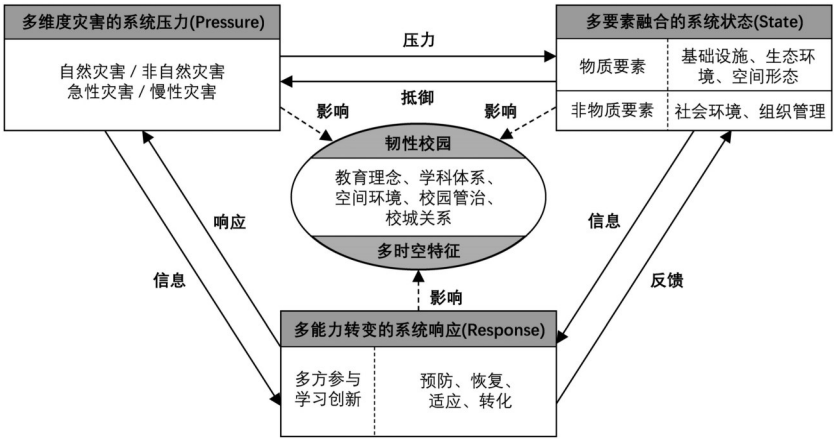

图4　韧性大学校园概念内涵

(adapt)等方式进行积极应对，维持校园基本结构和功能属性的动态平衡与稳定，确保原有稳态不受根本性破坏，或能够转换至新的适应性稳态的校园系统。与此同时，韧性大学校园考虑未来其在教育理念、学科体系、空间环境、校园管治、校城关系等方面的发展需求，能够通过对自身业态、形态和状态进行持续、合理的调整，不断优化系统的配置。因此，韧性大学校园是一个复合概念(图4)，主要体现于在急性/慢性、自然/非自然等多维度灾害的系统压力下，集成了社会、生态、空间、基础设施、组织管理等多要素融合的系统状态，具备预防、恢复、适应、转化等多能力转变的系统响应，并能够基于校园系统的多时空特征，整体、持续地进行韧性提升。

2　韧性大学校园的机制与维度

2.1　复合PSR的韧性大学校园运行机制

本研究借鉴联合国经济合作开发署(OECD)与环境规划署(UNEP)构建的“压力-状态-响应”(Pressure-State-Response，PSR)模型[15]，在韧性大学校园概念内涵的基础上分析了“校园面临的灾害”“校园具备的资本”以及“校园应灾的措施”三者间的相互作用关系。在韧性大学校园的灾害应对中，“压力”指外界环境对校园系统的干扰和胁迫，即问题产生的原因，是负效应过程；“状态”指外界压力下校园系统的当前状态，即系统面对灾害时所具备的能力水平和资本状况；“响应”指校园系统针对灾害所采取的应对措施，即系统对外界压力的正向反馈(图5)。

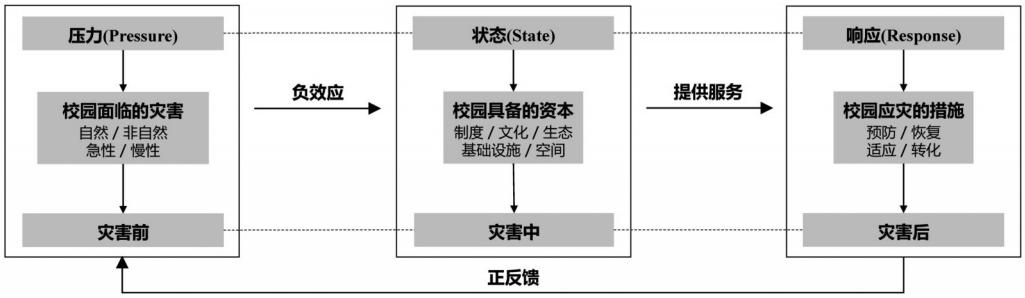

图5　韧性大学校园“压力-状态-响应”链式关系

复合PSR的韧性大学校园运行机制由保持、调整、转型三个部分构成(图6)：①系统保持：校园系统凭借要素间的固有联结关系吸收一定的扰动，维持基本功能与结构的稳定；②系统调整：校园系统要素间程式化的联结关系被打破，系统从局部或短期失效中恢复且不发生颠覆性改变，部分功能与结构取得新的发展；③系统转型：校园系统在灾害后通过经验积累和学习修正达到新的适应水平(或在前期阶段突破系统阈值后发生混沌性崩溃)，继而依靠资本和创新，优化(或重构)管治网络、物质代谢、空间环境和社会动力机制，建立起新的动态平衡并进入下一个循环。图6中a、b、c三条曲线分别代表了韧性大学校园的理想发展过程，以及不同“状态”和“响应”的校园系统在同等灾害下的差异化发展趋势。其中，系统状态决定了校园对于灾害的吸收能力及其发生紊乱的临界阈值；系统响应则决定了校园经历灾害后的恢复与适应能力，继而决定了校园后续的发展水平、转型方向以及进入下一个适应性循环所需要的时间。

2.2 基于系统要素构成的大学校园韧性维度

探讨大学校园韧性维度，旨向于明确其韧性组份的成分、功能以及相互作用关系，并据此建立大学校园韧性的操作框架。本研究依据大学校园中组织管理、科研教学、社会服务等社会性要素，以及生态环境、空间形态、基础设施等物质性要素，将大学校园韧性划分为制度韧性、文化韧性、生态韧性、基础设施韧性和空间韧性5个维度(图7)，并对具体的维度内涵进行了讨论(表3)。需要说明的是，鉴于国内公立大学多数不具备完整的经济生产功能，其运营经费也多依赖国家财政拨款，因此未将常见的经济类要素作为大学校园韧性的主要构成维度。

其中：①制度韧性起到协调政府、社区、校方、师生等多方利益相关者需求与矛盾的作用，包括校园发展与组织模式的调整与更新、多主体参与、多层级协作等内容；②文化韧性起到构建校园共同价值观念的作用，包含大学文化底蕴、历史环境意象的延续与保护，校园风险文化、危机意识的普及与深化；③生态韧性是校园生态服务的保障，主要通过多时空尺度的校园生态规划及生态技术支持，提升校园生态系统对于灾害的抵抗力和恢复力；④基础设施韧性是校园系统运行生命线，其内涵包括一般基础设施的可靠性，重要基础设施的冗余性，以及智慧基础设施网络的构建；⑤空间韧性则是其他多维度校园韧性的物质载体和操作界面，建构起校园系统要素的空间属性及其空间变化与校园韧性之间的联系。

3 迈向韧性大学校园规划的思维转变与实践路径

韧性大学校园规划是从物质空间层面增强校园系统韧性的重要途径，旨向于引领规划范式迭代，促进校园系统改良。剖析从蓝图规划到韧性规划的思维转变，探讨以韧性评价指导规划实践并完善现行相关规范的实践路径，是韧性大学校

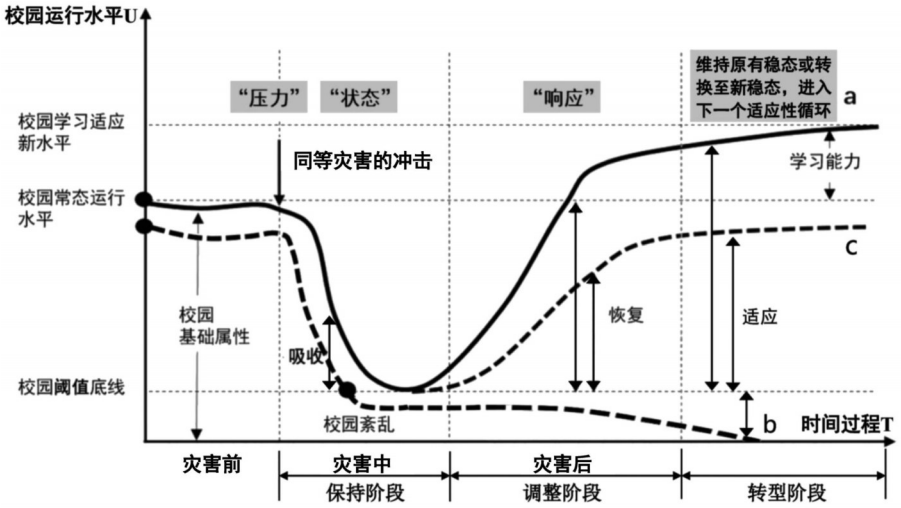

图6 复合PSR的韧性大学校园运行机制

(a:具备良好韧性能力校园系统的理想发展曲线;b. 不同“状态”的校园系统遭受同等灾害的过程;c. 不同“响应”的校园系统遭受同等灾害的过程)

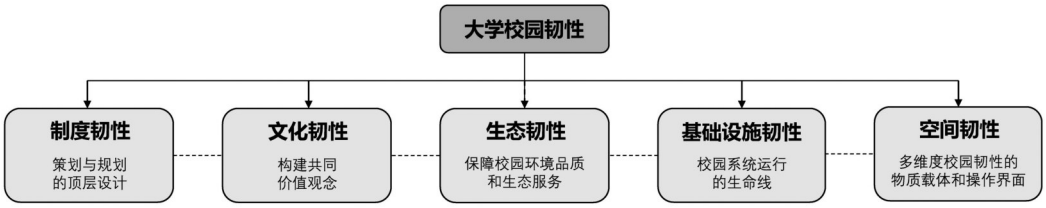

图7 大学校园的韧性维度构成

表 3　大学校园的韧性维度内涵

韧性维度	韧性内涵
制度韧性	循环式调整与更新：校园发展与组织模式跟随战略目标的变化进行调整与更新[16]
	多元主体参与：重视制度设计、规划实施中政府、社区、师生等多元主体的参与[17]
	多层级协作的管治网络：自上而下的管理机制与自下而上的反馈机制相结合[18]
文化韧性	精神内涵：灾害应对中延续大学理念与学术传统，满足校园和社会文化需求[19]
	环境意象：灾害应对中对校园历史建成环境的更新与保护[19]
	韧性文化：深化大学校园风险文化和危机意识[20]
生态韧性	生态规划：制定近期到远期的生态可持续发展计划，包含灾害防治、代谢调控、资源降耗、环境健康等[21]
	生态技术：部署生态景观、绿色建筑、蓝绿基础设施及其技术节点[22]
基础设施韧性	可靠性：基础设施的维护与更新，保障其在面临灾害时的正常运转或延缓失效[23]
	冗余性：部分基础设施重复设置，应对重要功能组件的短期失效和阶段性过量需求[24]
	智慧化：依靠大数据、物联网等技术实现校园基础设施的智能化和网络化[25]
空间韧性	空间规模韧性：决定了校园对人口和行为活动的承载力[26-27]
	空间结构韧性：决定了校园系统中功能、机构和基础设施的分布，以及校园应灾资源的共享能力和冗余度[26-28]
	空间密度韧性：决定了校园建设用地的开发强度和活力程度[26-28]
	土地利用韧性：以业态布局和多样性影响校园应灾能力[26,28]
	交通网络韧性：决定了校园系统的交通模式、连通度和可达性[26,28]
	公共开放空间韧性：影响校园人群身心健康，并决定了校园环境对灾害的缓冲能力[26,28]

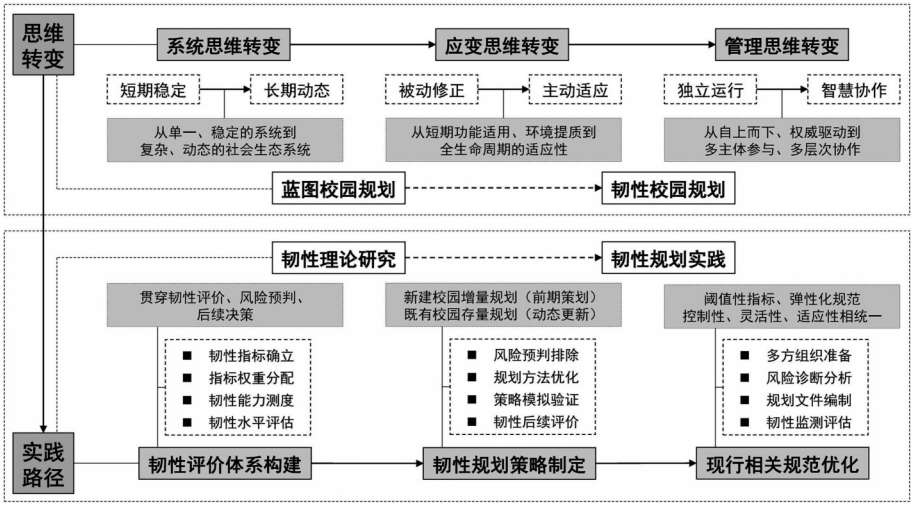

图 8　韧性大学校园规划的思维转变与实践路径

园规划的核心议题(图 8)。

3.1　从蓝图规划到韧性规划的思维转变

3.1.1　系统思维的转变：从“短期、稳定”转向“长期、动态”

区别于蓝图式校园规划的静态(有序、可预测)、单一系统视角，韧性校园规划将大学校园看作是动态(混沌、不可简单预测)的复杂适应系统，要求以长期发展眼光审视校园系统及其未来所处的整体环境，承认多种风险的存在和涌现，并通过框架式导则调控校园建设与更新，是一种以“动态、系统性统筹”代替“静态、针对性解决”的规划模式。

3.1.2　应灾思维的转变：从“被动修正”转向“主动适应”

蓝图式校园规划习惯通过一次规划、快速建成来实现短期的功能适用和环境提升，而在面对不确定性灾害与风险时，又往往因缺乏系统弹性而处于被动修正的状态。韧性校园规划则关注全生命周期内校园对于内外环境变化的适应性，强调经验学习和风险预测，并通过赋予系统要素以灵活性、多样性和智慧性等韧性特征，实现校园对多类型灾害和风险的主动适应。

3.1.3　管理思维的转变：从“独立运行”转向“智慧协作”

蓝图式校园规划将大学校园简单地定义为自上而下、权威驱动的乌托邦式独立系统，韧性校园规划则在两个方面与其存在显著区别：①强调公众参与和多方共治，通过塑造多层级协作、嵌套、反馈的管治网络，增强组织领导、决策部署、风险评估和应急响应的科学性；②强调校园与城市的一体化治理，通过搭建校园–城市互联互动智慧平台，实时动态分析校园系统和周边环境中的

风险要素与薄弱环节，提升应对突发事件的管治能力和响应速度。

3.2 韧性大学校园的规划实践路径

3.2.1 构建大学校园适用的韧性评价体系

大学校园韧性评价是针对校园系统进行韧性水平评估、多维风险预测以及规划策略制定的重要依托，能够为校园的规划、建设和灾害应对提供科学的参考依据。大学校园韧性评价主要通过构建评价指标体系来实施。

本研究以大学校园基本构成要素为核心，并

表4 大学校园韧性评价指标体系及其对应韧性特征和韧性过程

目标层	准则层	指标层	指标属性	对应韧性特征				对应韧性过程		
				鲁棒性	冗余性	快速性	多样性	压力	状态	响应
大学校园韧性水平	制度韧性	校园管理系统数字化率	D			√			√	
		公共安全应急演练数量	C			√				√
		灾害应对部门比例	D	√						√
		重大危险源监控率	C	√		√			√	
		应急预案数量	C			√	√			√
		师生志愿者参与度	D			√				√
		社会援助项目数量	D	√						√
		韧性校园建设、运行与改进	D	√					√	
	文化韧性	师生应急技能掌握程度	C	√		√			√	√
		师生对灾害安全隐患认知程度	C	√				√	√	√
		防灾相关课程数量	D	√					√	
		师生对校园防灾计划了解程度	D	√		√			√	√
	生态韧性	人均绿地率	D	√					√	
		蓝、绿景观数量与布局	D		√		√		√	
		污水处理率	C	√		√		√		√
		废弃物利用率	C	√				√		√
		水域面积占比	D		√		√		√	
		建筑节能效率	C	√					√	
		绿色建筑数量占比	D	√					√	
	基础设施韧性	建筑质量	C	√				√		
		应急避难场所面积及分布	C		√		√		√	√
		应急通道宽度	C			√			√	
		出入口数量与位置	C		√	√			√	
		道路质量与宽度	C			√			√	
		校医院床位数	D	√				√		
		灾害预警设施	C	√					√	√
		防灾设施数量与位置	C	√	√				√	√
		基础设施维护更新频率	C	√					√	
		基础设施智慧化程度	D			√			√	√
		重要基础设施备份数量	C		√				√	
	空间韧性	空间规模与尺度	D	√					√	
		功能和基础设施的分布	D			√	√		√	
		布局的模块化程度	D		√	√			√	
		建设用地开发强度	D		√				√	
		功能混合程度与多样性	C		√		√		√	√
		校园交通模式与可达性	D	√		√	√	√	√	√
		空间的连通度	D			√	√		√	√
		公共空间位置与数量	D		√		√		√	

注：指标属性栏中“C”为大学校园韧性评价与城市、社区韧性评价的共性指标（common indicator），“D”为差异性指标（differential indicator）。

借鉴相关规范文件、实践案例以及城市、社区韧性领域的既有评价指标，初步构建了包含38个影响因子的大学校园韧性评价指标体系（表4）。此外，本研究建立了具体评价指标与韧性4R属性（鲁棒性robustness、快速性rapidity、冗余性redundancy、多样性resourcefulness）[29]以及“压力–状态–响应”模型的对应关系，将评价指标与韧性特征、韧性过程相联系，以明确各个影响因子在韧性校园系统中的作用与定位。

从指标属性角度分析：①在制度与文化韧性方面，因大学校园管治具有明确的系统性和自组织性[30]，区别于相对松散的社会治理，其校园管理系统数字化率[31]、灾害应对部门比例（如欧美大学多数设置可持续发展办公室）[32]、师生志愿者参与度[33]、社会援助项目数量[34]、防灾相关课程数量[35]、校园防灾计划了解程度[36]等指标的确立取决于自身系统特性，多为差异性指标；②在生态韧性方面，因校园规划中绿色校园建设理念、蓝绿基础设施建设规模等与城市、社区规划存在差异，其人均绿地率[37]、蓝绿景观数量与布局[38]、水域面积占比[39]、绿色建筑数量占比[40]等指标也呈现出差异性；③基础设施韧性维度指标因侧重评价物理环境质量，以共性指标为主；④空间韧性维度指标因校园空间形态（空间功能、交通组织、建筑密度、公共空间等）明显区别于城市和社区空间[41]，以差异性指标为主。

在指标对应的韧性特征中，鲁棒性与快速性占据主要，表明校园系统的承受阈值[42]和恢复效率[43]在应对灾害时将发挥主导作用。在指标对应的韧性过程中，校园的“状态”与多数指标产生联系，即校园所具备的资本主要决定了其鲁棒性与冗余性水平；其次为表征校园应对措施的“响应”，其决定了校园韧性是否具有快速性特征，而系统多样性的提升则有利于增强校园灾害响应，进而影响快速性水平[44]。通过建立评价指标、韧性特征以及韧性过程三者间的对应关系，可进一步强化韧性评价对于规划操作的指导性。

3.2.2　制定韧性导向的大学校园规划策略

韧性大学校园的规划策略面向新建校园规划和既有校园更新两个范畴，涵盖风险预判排除、规划方法优化、策略实施验证和韧性后续评价等内容。

1）新建校园的韧性规划。新建校园韧性规划要基于多方面咨询和系统策划，在项目选址、空间规划、施工建设、功能使用和后期维护等各个阶段考虑潜在的扰动问题，进行合理的风险预判与排除。如水文地质的固有风险，分期施工对内外业态与交通产生的影响，基础设施和建设用地的预留与冗余，以及突发灾害事件中对师生科教、生活功能的维护等。此外，韧性规划需要优化既有校园规划范式，对组团式、网格式、总线式、集约式等传统校园空间布局形式进行韧性能力评价，并将低碳、绿色、海绵、生态、智慧等校园建设理念在韧性校园规划的操作框架中进行落位和整合。

2）既有校园的韧性更新。既有校园韧性更新的重点在于借助韧性评价工具发现建成环境中的短板，制定针对性改良策略，并对策略实施后的校园韧性水平进行后续评估，保持校园系统的持续性演进。既有校园的韧性更新可借鉴美国大学的“动态更新”校园总体规划模式（Dynamic Renewal Planning），即针对既有校园未来特定时间段的更新发展，建立框架式、弹性化的导向原则，并以该导则对校园的建筑扩建、景观改造、土地利用、交通改善等更新建设活动进行约束和控制；当该特定时间段结束后，再依据后来的校园现状和大学发展战略等，对上一阶段导则进行更新，并以之约束下一发展阶段的校园更新建设活动[45]。如此持续、动态的校园更新规划模式，实现了控制性、灵活性与适应性的统一，与韧性规划思想具有高度的一致性。

3.2.3　完善校园规划建设的现行相关规范

韧性大学校园规划建设的相关规范，主要指导规划实施中多方组织准备、灾害诊断分析、规划文件编制、韧性监测评估等实践活动。规范制定应具备普适性和灵活性，以兼容不同类型、不同地域的大学校园所面临扰动的差异。

从近年来国内高校规划建设相关规范的更新来看，无论是《普通高等学校建筑面积指标》（建标191—2018）[46]（简称“18指标”），还是《绿色校园评价标准》（GB/T 51356–2019）[47]，均以灵活、适用为原则对部分指标和标准进行了调整，在一定程度上体现了韧性思维，但尚未针对当前大学校园面临的复杂扰动问题进行系统性回应。例如，“18指标”根据高等教育现代化发展要求，在强调“校城一体化”的指标总则（新增第七条）、放宽的普通高校设置规模以及自主化设定的校舍项目构成中，体现了一定的韧性要素；但同时存在定额化指标范围过窄、校园应急场所指标相对滞后、校园防灾减灾缺乏专项规定等韧性不足的问题。因此，韧性大学校园规划的研究也应着眼于对现行相关规范的完善，增强指标确立的阈值性和规范制定的弹性化。

4　结论与展望

当前韧性大学校园建设思潮的兴起，推动了大学可持续发展模式的创新与转变。本研究在综述韧性大学校园研究现状和引介韧性相关理论的基础上，分析了韧性大学校园集聚“多维度扰动–多要素融合–多能力响应”的概念内涵，推演了韧性大学校园复合PSR的“保持–调整–转型”运行机制，讨论了大学校园韧性“社会–文化–生态–基础设施–空间”的维度构成；基于系统思维、应灾思维和管理思维三个方面的“蓝图–韧性”规划思维转变，提出了“韧性评价体系构建–韧性规划策略制定–现行相关规范完善”的韧性大学校园规划实践路径，并初步构建了包含“评价指标–韧性特征–韧性过程”对应关系的大学校园韧性评价指标体系。

在未来的研究工作中，仍需进一步明确在社会环境变革和高等教育演进背景下大学校园韧性的演化机理，深入解读大学校园的韧性需求、韧性目标、韧性主体和韧性对象，寻求大学校园适用的韧性提升途径，切实推动大学校园规划从基于空间形态的蓝图描绘，转向以实现校园可持续性为目标的韧性构建。

参考文献：

[1] WALKER B H，SALT D. Resilience Thinking：Sustaining Ecosystems and People in a Changing World[M]. Washington，DC：Island Press，2006.

[2] CARL F. Resilience：the emergence of a perspective for social－ecological systems analyses[J]. Global Environmental Change，2006，16(3)：253-267.

[3] 容志，赖天. 基于韧性理论的高校校园安全体系建设研究[J]. 广州大学学报(社会科学版)，2022，21(2)：44-59.

[4] EYRE A，EASTHOPE L. Resilience in higher education institutions：an updated guide[M]. London：Association of University Chief Security Officers，2014.

[5] BRIAN FISHER P. Resilience thinking in higher education：institutional resilience as a sustainability goal[M]//Handbook of Theory and Practice of Sustainable Development in Higher Education. Cham：Springer International Publishing，2016：209-222.

[6] PLODINEC M J，EDWARDS W C，WHITE R K. Applications of a "whole community" framework for enhancing community or campus resilience[J]. Procedia Economics and Finance，2014，18：9-16. DOI：10. 1016/s2212-5671(14)00907-1.

[7] SIEMBIED W. Developing a Resiliency Index for CSU Campuses[J]. Journal of Planning Practice & Education，2018，14(1)：123-124.

[8] STORMS K，SIMUNDZA D，MORGAN E，et al. Developing a resilience tool for higher education institutions：a must-have in campus master planning[J]. Journal of Green Building，2019，14(1)：187-198.

[9] 向铭铭，喻明红，彭黎君. 以韧性学校建设为导向的规划设计程序改革探索[J]. 新教育时代电子杂志(教师版)，2019(43)：249.

[10] 郭璠. 河北工业大学北辰校区消防韧性评价及优化策略研究[D]. 天津：河北工业大学，2020.

[11] 江立敏. 韧性校园规划的议题与框架[J]. 建筑技艺，2022，28(9)：6-8，126-127，9-11.

[12] 曾露. 成都高校校园灾害韧性评价与规划治理研究[D]. 成都：四川大学，2022.

[13] 何镜堂，江立敏. 江立敏对话何镜堂：生长与成长：以环境育人的韧性校园[J]. 建筑技艺，2022，28(9)：12-14.

[14] 仇保兴. 基于复杂适应系统理论的韧性城市设计方法及原则[J]. 城市发展研究，2018，25(10)：1-3.

[15] 陈丹羽. 基于压力-状态-响应模型的城市韧性评估：以湖北省黄石市为例[D]. 武汉：华中科技大学，2019.

[16] 刘宇波，卢倚天. 美国密歇根大学近55年校园规划更新文件分析[J]. 南方建筑，2015(6)：4-9.

[17] 董丹申，范须壮，陈瑜，等. 多主体共建、多人群共生的新型研究型大学：西湖大学(一期)的人性化设计实践[J]. 世界建筑，2023(8)：34-39.

[18] 汪安冉，王晓宇. 层级镜像与互嵌实践：高校劳动教育的空间样态及其行动策略[J]. 中国高教研究，2023(8)：80-87.

[19] POOR J P，SNOWBALL J D. The Valuation of Campus Built Heritage from the Student Perspective.[J]. Journal of Cultural Heritage，2010，11(2)：145-54.

[20] ANDO S. University teaching and learning in a time of social distancing：a sociocultural perspective[J]. Journal of Human Behavior in the Social Environment，2021，31(1-4)：435-448.

[21] CHEN S Q，LU M Y，TAN H W，et al. Assessing sustainability on Chinese university campuses：development of a campus sustainability evaluation system and its application with a case study[J]. Journal of Building Engineering，2019，24：100747.

[22] GENG Y，LIU K B，XUE B，et al. Creating a "green university" in China：a case of Shenyang University[J]. Journal of Cleaner Production，2013，61：13-19.

[23] GUTERMAN I，BROWN D. Sustainable construction and campus infrastructure improvements at the institute for advanced study[J]. Journal of Green Building，2008，3(4)：50-63.

[24] HICKS A，NERGARD M. Sustainability infrastructure insights from a campus sustainability survey[J]. Environmental Research：Infrastructure and Sustainability，2023，3(1)：011004.

[25] OMOTAYO T，MOGHAYEDI A，AWUZIE B，et al. Infrastructure elements for smart campuses：a bibliometric analysis[J]. Sustainability，2021，13(14)：7960.

[26] LU Y W，ZHAI G F，ZHOU S T，et al. Risk reduction through urban spatial resilience：a theoretical framework[J]. Human and Ecological Risk Assessment，2021，27(4)：921-937.

[27] 修春亮，魏冶，王绮. 基于"规模—密度—形态"的大连市城市韧性评估[J]. 地理学报，2018，73(12)：2315-2328.

[28] HAJRASOULIHA A. Campus score：measuring university campus qualities[J]. Landscape and Urban Planning，2017，158：166-176.

[29] BRUNEAU M，CHANG S E，EGUCHI R T，et al. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities[J]. Earthquake Spectra，2003，19(4)：733-752.

[30] 汤朔宁. 从"生活基本单元"到"功能基本单元"：大学校园规划设计方法探讨[J]. 城市规划学刊，2008(3)：96-103.

[31] STADNYK A，KHODUS O. "Digital Campus" of the University in Martial Law：Challenges and Prospects[J]. AD ALTA-Journal of Interdisciplinary Research，2023(13)：7-10.

[32] TAN H W，CHEN S Q，SHI Q，et al. Development of green campus in China[J]. Journal of Cleaner Production，2014(64)：646-653.

[33] YIN S，MA L J，DONG T，et al. Measuring the impact of the COVID-19 epidemic on university resumption and suggestions for countermeasures[J]. Frontiers in Public Health，2022，10：1037818.

[34] DE L M. Avaliação do Impacto do Auxílio Permanência Presencial na Vida dos Discentes do Instituto Federal de Brasília：Um Estudo Dd caso do Campus Samambaia[D]. Portugal：Instituto Politecnico de Santarem，2023.

[35] ZUO Y. Study on seismic design of primary and middle school campus planning of disaster prevention[J]. Applied Mechanics and Materials，2014，584-586：235-238.

[36] MURPHY S A，BROWN J，SHANKAR A，et al. A quantitative assessment of institutions of higher education disaster preparedness and resilience[J]. Journal of Emergency Management，2019，17(3)：239-250.

[37] RUIZ-ROBLEDILLO N，VELA-BERMEJO J，CLEMENT-CARBONELL V，et al. Impact of COVID-19 pandemic on academic stress and perceived classroom climate in Spanish university students[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2022，19(7)：4398.

[38] XU C Y. Campus Landscape Planning and Construction Based on the Concept of Sponge City[J]. Advances in Vocational and Technical Education，2021，3(4)：33-42.

[39] KURTASLAN B O，DEMIREL O，KONAKOGLU S S K. Investigation of Selcuk University Campus Landscape Design in Terms of Water Efficient Landscape Arrangement[J]. Journal of Environmental Protection and Ecology，2019，20(4)：2130-2140.

[40] HOPKINS E A. Barriers to adoption of campus green building policies[J]. Smart and Sustainable Built Environment，2016，5(4)：340-351.

[41] HAJRASOULIHA A H . Master-planning the American campus：goals，actions，and design strategies[J]. URBAN DESIGN In-

ternational，2017，22(4)：363-381.
[42] KRASNY M E，TIDBALL K G. Applying a resilience systems framework to urban environmental education[J]. Environmental education research，2009，15(4)：465-482.
[43] MCDANIELS T，CHANG S，COLE D，et al. Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems：Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation[J]. Global Environmental Change，2008，18(2)：310-318.
[44] 李雪伟，王瑛. 社会资本视角下的社区韧性研究：回顾与展望[J]. 城市问题，2021(7)：73-82.
[45] 卢倚天. 基于规划文件分析的当代美国大学校园动态更新规划设计方法初探[D]. 广州：华南理工大学，2016.
[46] 住房和城乡建设部，国家发展和改革委员会. 普通高等学校建筑面积指标：建标 191—2018[S]. 北京：中华人民共和国住房和城乡建设部，2018.
[47] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 绿色校园评价标准：GB/T 51356—2019[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2019.

Resilient University Campus：Concept，Framework and Planning Strategies

GAO Hao，FENG Gang，ZHANG Jianxun，ZHANG Xiaohan
（*School of Architecture*，*Tianjin University*，*Tianjin* 300072，*China*）

Abstract：Clarifying the concept and mechanism framework of resilient university campus and constructing its planning and practical paths is an important means to deepen the concept of resilient university campus and promote its planning. By summarizing the current research progress on resilient university campus，and introducing relevant theories in the field of resilience research，the concept of resilient university campus is explored from the perspective of complex adaptive systems，and the operating mechanism of resilient university campus is constructed based on the pressure state response model. The resilience of university campus is explained in five dimensions as institution，culture，ecology，infrastructure，and space. In addition，based on the transformation of thinking in the planning and construction of university campuses，a practical path for resilient university campus planning has been proposed in the construction of a resilience evaluation system，formulation of resilience planning strategies，and improvement of current relevant standards，in order to solve the problem of insufficient correlation between resilience theory and planning operations in the current context of university campuses，and provide reference and reference for relevant research.

Keywords：resilience；resilient university campus；campus disasters；the “Pressure-State-Response” model；planning practice

上接第 93 页

Abstract：To prevent natural disasters from affecting the structure and performance of mountainous road nodes，key node identification and anti-destruction analysis are conducted on the mountain road network. Considering the characteristics of mountainous roads，road gradient ratio and road grade are included in the factors of key node identification. A method for constructing an undirected weighted network of mountainous roads in L space considering mountainous characteristics is proposed. The original gravity model is improved by considering the comprehensive evaluation method of degree centrality value，betweenness centrality value，node core position，and characteristic vector centrality value. The maximum connectivity and global efficiency of the network are taken as the evaluation indicators of the network′s anti-destruction ability. Random and deliberate attack strategies are used to simulate the direct and indirect impacts when mountain roads are affected by disasters. To avoid the cascading failure effects caused by disasters，the network node destruction scale is used as the evaluation index to explore the optimal additional load required under different initial load parameters by varying the critical threshold. Based on the study of the Kunming mountainous area network，the results show that the improved gravity model is applicable for evaluating key nodes in the mountain network，and the comprehensive evaluation method enhances the comprehensiveness and accuracy of key node identification. The proposed cascading failure model effectively defines the reasonable range of initial load parameters，minimizing the additional load required for preventing disasters in the mountainous network.

Keywords：highway transportation；mountainous road safety；invulnerability simulation；mountainous road network；identification of critical nodes；cascading failure