国家自然科学基金材料化学学科规划和布局概况

姜玮^{1,2}, 梁振兴^{1,3}, 张国俊^{1*}

1. 国家自然科学基金委员会化学科学部, 北京 100085

2. 中国科学院化学研究所, 北京 100190

3. 华南理工大学化学与化工学院, 广州 510641

*通讯作者, E-mail: zhanggj@nsfc.gov.cn

收稿日期: 2021-01-26; 接受日期: 2021-01-26; 网络版发表日期: 2021-01-28

摘要 国家自然科学基金委员会正积极深化科学基金改革, 其中优化学科布局是重要任务之一。作为一门新兴的交叉学科, 材料化学是发展变革性和战略性功能材料体系的基础科学。2019~2020年期间, 化学科学部开展了材料化学“十四五”及中长期发展规划及申请代码调整, 本文概述了“材料化学”(申请代码: B05)在优化学科布局方面的工作, 供从事相关研究的科研人员参考。

关键词 国家自然科学基金, 材料化学, “十四五”及中长期发展规划, 学科布局, 申请代码

1 引言

材料是推动人类经济社会发展的物质基础, 先进材料的研究不断孕育产业变革并正催生新一轮世界科技革命。我国是材料基础研究和材料产业大国, 但关键战略材料受制于人的问题日益突出, 已成为制约国家经济社会发展和国家安全的瓶颈问题之一, 我国材料的基础研究与应用基础研究面临严峻挑战。

材料化学致力于在原子/分子“小尺度”下解决领域变革式发展的“大问题”, 注重发展原创性与标志性功能分子体系, 形成通用性理论认知, 制定方向性标准, 催生战略性新兴产业, 主导系列领域性重大突破, 催生材料领域的关键科学与技术体系。面向材料科学与能源科学中的化学问题, 国家自然科学基金委员会化学科学部于2017年组建了“材料化学与能源化学”学科(原申请代码: B05); 为推动学科建设, 2019年, 化学

科学三处着手制订了材料化学“十四五”及中长期发展规划; 2020年, 为进一步优化学科布局, 遵循知识体系结构和逻辑演化规律, 强化功能导向材料体系的分子基础, 化学科学部将原“材料化学与能源化学”学科一分为二, 设立了“材料化学”学科(申请代码: B05), 资助材料化学领域的相关基础研究。本文将对材料化学学科规划和布局情况进行简要介绍, 供从事相关研究的科研人员参考。

2 材料化学“十四五”及中长期发展规划

习近平总书记指出, 中国科技创新主攻方向必须“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”^[1,2]。根据2021~2035年国家中长期科技发展规划基础科学发展战略的总体目标, 围绕四个面向, 化学科学部制订了材料化学“十四

引用格式: Jiang W, Liang Z, Zhang G. Strategic development and discipline layout of Materials Chemistry of National Natural Science Foundation of China. *Sci Sin Chim*, 2021, 51: 451–457, doi: 10.1360/SSC-2021-0017

五”及中长期发展规划,明确了学科内涵、目标和特征,分析了学科现状,提出了未来学科发展布局和优先发展领域。

2.1 材料化学学科内涵、目标与发展逻辑

材料化学是功能导向材料体系的分子基础,其学科内涵是运用化学原理、方法和技术,在分子及聚集态尺度上研究材料的组成、设计、制备、结构、表征、性能及应用,为发展变革性和战略性材料体系奠定科学基础,是信息、能源、医学、环境、制造和国防等科技领域中不可或缺的先导学科。材料化学学科以“满足国家先进材料的战略需求,引领国际材料化学领域发展”为总体目标,凝练并解决系列重大基础科学问题,突破“卡脖子”的关键技术瓶颈,建设具有我国特色的材料化学和人才培养体系,为新产业孕育和发展提供物质基础。

“十四五”期间,材料化学的研究应结合智能化学和大数据的发展,注重精准创制新材料体系,精细调控材料的结构和性能;聚焦多学科的交叉,利用多种表征技术,深入探究材料体系的分子基础、原理和规律;瞄准国家重大需求,支撑特色资源的深度利用;探索材料的新功能应用,孕育变革性领域前沿。材料化学的发展主要面临三大方面的重大挑战:一是实现功能导向材料设计、合成与过程的精准控制;二是发展变革性和颠覆性技术,突破现有材料的性能极限和功能制约;三是为信息、能源、医学、环境、制造和国防等科技领域提供满足应用需求的核心材料和关键技术。材料化学的研究将围绕“材料的‘基因’式精准创制”、“材料功能的多级次拓展”和“贯通式需求导向的性能提升”三条主线,通过明晰决定材料功能的电子结构、原子组成等基本“基因”,结合理论计算和原位动态表征技术,跨尺度、多层次揭示原子、分子和化学键的结构与转化过程,实现关键材料及相关技术的突破,催生变革性的新产业和新领域。

2.2 材料化学的研究内容与发展布局

材料化学的研究内容包括:材料的分子创制、材料的功能调控与拓展、材料化学表征与机制等。

2.2.1 材料的分子创制

涵盖新功能物质的分子设计与合成、原子/分子

聚集方式的时空分辨操控、材料的化学创制新理念等,重点致力于在构效关系的指导下精准创制分子,在人工智能的辅助下高效发展材料,在实用需求的导向下精细调控功能物性,在产业的推动下实现高纯材料的宏量制备。

在化学键调控方面,融合丰富的原子种类和强相关作用的离子/(动态)共价/金属键,创制多级结构可调控的高性能材料,明晰材料功能与原子组成、化学键本质的关联规律,为发展变革性材料夯实基础;在维度调控方面,创新零维、一维、二维材料及其异质结构材料的可控制备、有序组装方法,实现若干标志性低维材料的高纯度、宏量制备,揭示材料功能低维度效应的化学本质;在微结构调控方面,从多尺度层次上揭示材料微结构的调控原理,认知材料微纳结构与材料功能的构效关系,开发具有多孔、拓扑、超长程有序、仿生结构特征等多级次微结构特征的聚集体系,发展高性能和特种功能材料,发展超材料制备新策略;在表界面调控方面,精细揭示表界面的传质、传荷和传能过程,创制表界面性质主导的新功能材料,跨尺度阐明材料的作用机制与规律,推动表界面材料在电子、能源、环境、健康、国防等领域的应用拓展;在人工智能辅助的材料化学创制方面,建立功能材料与材料功能的标准化数据体系,开发面向材料化学的人工智能算法及平台,探索建立智能材料化学的新研究范式。

2.2.2 材料的功能调控与拓展

围绕材料化学的功能导向与化学调控的本质问题,以发展材料物性的精细化学调控原理、方法和技术为主线,以突破材料的性能极限、满足领域的重大需求和孕育功能研究的新方向为目标。

(1) 面向信息领域的先进功能材料

在光功能材料方面,发展新型稀土发光材料、热活化延迟荧光材料、聚集诱导发光材料、室温磷光材料、圆偏振发光材料、发光自由基材料、钙钛矿发光材料、有机电泵浦激光和非线性光学材料等,建立液晶分子高纯合成、结构精准调控和宏量制备的方法;在电功能材料方面,创新材料的电荷输运等过程的工作机制,多级次揭示弱关联与强关联体系的化学调控本质,发展具有标志性性能和新功能的半导体、导体、超导体、铁电与生物电子材料;在磁功能材料方

面, 通过自旋、轨道、电荷、晶格等多自由度的关联与耦合, 调控材料的性能, 发展高性能材料, 探索在磁学、自旋电子学及量子信息科学中的应用.

(2) 面向健康和环境领域的功能材料

在生物医用材料方面, 开发生物相容的药物载体、成像、敷料、组织工程和植介入等材料, 设计满足医学需求的化学工具和功能模块, 从分子、细胞与组织水平阐述其医学效应、机制与生物安全性, 为现代医学快速发展奠定材料化学基础; 在生态环境材料方面, 采用绿色方法和途径, 开发生物基环境友好和天然材料的清洁制备新工艺, 解决废弃材料的后处理问题, 通过精准合成与结构设计实现材料最大程度的循环利用, 推动可持续材料化学领域的跨越式发展; 在分离材料方面, 创新分子/离子的分子识别和传递机制, 揭示分离材料多尺度结构调控及精准构建原理, 发展新结构和新功能的多孔吸附材料、离子交换材料和膜材料, 为相关行业的技术创新提供科学基础.

(3) 面向绿色能源的功能材料

围绕光、电、热、机械能与化学能之间的高效转化与存储, 突破能量转化效率或能量存储密度瓶颈, 发展新型高性能、高稳定性、低成本的能量转换与存储材料, 为能源技术的变革性发展与应用奠定基础^[3].

(4) 面向跨领域交叉前沿的多功能材料

在柔性光电子材料方面, 发展具有高柔性、可拉伸、高强度、高韧性、高刚度力学特征和优异光电功能的材料体系, 揭示力学特征下的功能演变规律, 建立力学多功能材料的基础理论, 为柔性光电等产业的发展夯实物质基础; 在多功能材料方面, 多层次创新功能调控的原理, 发展多功能导向的分子设计策略与组装方法学, 阐明不同功能融合与制约的基本规律, 发展材料功能调控的新范式, 孕育材料化学研究的新方向.

(5) 面向国家战略需求的多功能材料

在含能材料方面, 创新含能材料的能量结构单元, 揭示含能分子结构、能量水平与安全性的关联规律, 突破现有含能材料性能极限, 发展新一代全氮等超高能材料; 在涂层材料方面, 发展仿生防污、信号转换、先进吸波/吸振/吸声等涂层材料的制备技术, 突破高精度光刻胶材料的合成壁垒, 建立系统的测试方法和评价标准, 推动涂层材料在光电产业、航空航天、远洋作业等领域的应用; 在特种功能材料方面, 发展结构调控新方式, 揭示极端复杂环境下影响材料

物理化学性能的结构要素, 发展兼具高承载和多功能特征的使役材料, 满足航空航天、深海、极寒地带、核反应堆等高新技术领域尖端应用的重大需求.

2.2.3 材料化学表征与机制

针对材料化学尺度跨越大、功能导向多、服役条件与过程复杂的基本特征, 引导建立多尺度结构表征与解析技术, 发展服役过程中的原位多模动态表征方法, 创新特异功能和共性过程的理论计算方法.

在全尺度结构表征与解析的新技术和新方法方面, 结合新型表征技术以及同步辐射等大科学装置, 发展全尺度分析的表征技术, 表征材料凝聚态、表面态与局域电子态等结构信息, 建立材料化学的跨尺度结构表征与解析方法学; 在服役过程中的结构和功能演变过程方面, 发展多尺度、原位时空和化学分辨相结合的表征手段联用技术, 实现分子结构、电子结构、凝聚态结构及在工况条件下的动态监测, 阐明材料在服役行为中性能发挥和衰退的关键因素, 为高性能、长寿命材料的设计提供支撑; 在材料化学机制方面, 创新理论模型与计算方法, 阐明光子、电子、离子、自旋等输运、分离与耦合机制, 揭示光、电、磁、热、力、生物及其能量转换等功能的动力学过程, 理性指导高性能、新功能和多功能材料发展.

2.3 材料化学学科优先发展领域

“十四五”期间将进一步加强顶层设计, 明确重点和优先发展领域, 达到“夯基础、补短板、蕴特色、促交叉”的目的. 围绕材料化学发展的三条主线, 凝练了如下方向作为材料化学学科的优先发展领域: (1) 柔性智能材料与器件创制的分子基础; (2) 特色资源与战略材料的化学创制; (3) 面向生物医学应用的材料分子基础; (4) 仿生多功能材料的精准创制; (5) 复合与杂化材料化学; (6) 可持续发展的高分子材料化学与资源化利用; (7) 极端条件服役高性能材料; (8) 电子态可控的材料精准设计与宏量制备; (9) 趋于超稳矿化结构的选择性吸附材料; (10) 超分子组装功能材料; (11) 新型二维材料的化学制备与功能调控.

3 优化学科布局 and 申请代码调整

《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四

个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中提出通过优化学科布局等措施强化国家战略科技力量。为构建理念先进、制度规范、公正高效的新时代科学基金体系,国家自然科学基金委员会提出了明确资助导向、完善评审机制和优化学科布局等改革核心任务。材料化学秉承立足化学、功能导向的理念,化学科学部设立了兼容并包、开放融通的“材料化学”学科(申请代码: B05)。申请代码不仅是开展科学基金项目申请、评审、资助和管理的工具,还对学科发展起到重要的引领作用。

3.1 原申请代码介绍

2018年启用的以科学问题导向构建的“材料化学与能源化学”学科(原申请代码: B05)共包含10个二级代码^[4],其中材料化学领域包含6个二级代码、31个三级代码,详见表1。

上述两级申请代码基本涵盖了材料化学的研究方向,在三年来的项目申请和管理中发挥了积极作用。表2总结了2018~2020年材料化学领域面上项目、青年科学基金项目 and 地区科学基金项目的申请与资助情况,可以看出,项目申请量和资助量均呈逐年增加的趋势,其中青年科学基金项目增量最为突出,说明材料化学领域的青年研究队伍在不断壮大;与“材料化学与能源化学”学科整体情况一致^[5]。

3.2 申请代码调整情况介绍

根据材料化学“十四五”及中长期发展规划的主要内容,上述申请代码仍面临一些挑战,较为突出的问题包括: (1) 代码体系对学科方向的覆盖仍需扩充,如材料化学表征与机制研究尚未体现在申请代码中; (2) 学科面向前沿和面向需求的内在特征仍有待加强,如医用、信息、生态环境及特种功能材料等前沿交叉领域尚未在申请代码中体现; (3) 代码间颗粒度不一致,个别代码申请量过多或过少,如“B0504 复合与杂化材料化学”的申请量尤为突出,而“B0503 有机高分子结构材料化学”的申请量较低; (4) 部分申请代码内涵仍需优化,如“B050205 光电磁功能分子”包含的研究方向较多,不利于学科管理和资助工作。

化学科学部围绕材料化学发展的三条主线进一步优化了材料化学学科的申请代码,设立了“材料化学”学科(申请代码: B05),下设11个二级代码,54个研究

表 1 “材料化学与能源化学”学科中材料化学领域申请代码

Table 1 Application code of Materials Chemistry in the area of “Materials Chemistry and Energy Chemistry”

二级代码	三级代码
B0501 无机与纳米材料化学	B050101 晶态固体材料化学
	B050102 非晶态材料化学
	B050103 无机膜材料化学
	B050104 低维纳米材料化学
	B050105 团簇材料化学
	B050106 分子基材料化学
B0502 有机高分子功能材料化学	B050201 吸附与分离功能分子
	B050202 生物医用高分子
	B050203 药物传输与缓释
	B050204 液晶分子
	B050205 光电磁功能分子
B0503 有机高分子结构材料化学	B050301 高分子改性与反应加工成型
	B050302 高分子的降解、稳定与阻燃
	B050303 化学纤维与聚合物弹性体
	B050304 高性能聚合物
	B050305 生物质材料化学
B0504 复合与杂化材料化学	B050401 复合界面化学
	B050402 杂化材料化学
	B050403 聚合物基复合材料化学
	B050404 纳米复合材料化学
	B050405 多孔材料化学
	B050406 柔性可与穿戴材料化学
B0505 智能与仿生材料化学	B050501 可修复材料化学
	B050502 外场响应的材料化学
	B050503 结构与功能仿生材料化学
	B050504 表界面仿生材料化学
	B050505 生物矿化与过程仿生化学
B0506 含能材料化学	B050601 含能分子设计与合成
	B050602 含能材料性能调控与评价
	B050603 超高能材料化学
	B050604 含能材料安全性与稳定性

方向。本次代码调整体现了新时代科学基金申请代码的特点,体现了前沿新方向和学科发展空间。调整后的申请代码仅含有二级代码,不再设立三级代码,新的申请代码将于2021年启用。下面就申请代码内涵进行简要介绍,供项目申请人参考。

表 2 2018~2020年度材料化学领域面上项目、青年科学基金项目、地区科学基金项目申请和资助情况**Table 2** Application and Funding Statistics of General Program, Young Scientists Fund, and Less Developed Regions Fund in the area of Materials Chemistry in 2018–2020

年度	面上项目			青年科学基金			地区科学基金		
	申请项数	资助项数	资助率(%)	申请项数	资助项数	资助率(%)	申请项数	资助项数	资助率(%)
2020	887	194	21.9	1008	181	18.0	149	17	11.4
2019	765	167	21.8	813	168	20.7	128	23	18.0
2018	764	169	22.1	816	178	21.8	123	24	19.5

(1) 先进表征与理论机制(B0501)

材料理性设计、结构表征与机制. 本代码为新增代码; 对应于规划中的2.2.3部分.

研究方向具体包括: 材料设计与分子创制、反应状况下原位表征与机制、使役状况下材料结构与机制、器件层次上表界面结构与表征、结构表征技术与解析新方法.

(2) 无机功能材料化学(B0502)

无机功能材料的设计、凝聚态调控和功能拓展. 本代码继承了原二级代码“B0501 无机与纳米材料化学”及相应的三级代码, 新增“无机生物材料化学”作为研究方向.

研究方向具体包括: 晶态固体材料化学、非晶态材料化学、纳米材料化学、多孔与膜材料化学、团簇材料化学、分子基材料化学、无机生物材料化学.

(3) 有机功能材料化学(B0503)

有机功能材料的设计合成、结构调控和功能探索. 考虑到有机功能材料在材料化学体系中的基础作用, 此次代码调整将原代码中三级代码“B050205 光电磁功能分子”和二级代码“B0510 能量转换材料化学”中的有机功能材料部分升级为该二级代码.

研究方向具体包括: 电功能有机材料化学、光功能有机材料化学、磁功能有机材料化学、能量转换材料化学.

(4) 高分子功能材料化学(B0504)

高分子功能材料的导向设计、合成和性能调控. 本代码继承了原二级代码“B0502 有机高分子功能材料化学”及相应的三级代码、二级代码“B0510 能量转换材料化学”中的高分子功能材料部分.

研究方向具体包括: 分离功能高分子、导热与耐热功能高分子、光电磁功能高分子、医用与生物功能高分子.

(5) 复合与杂化材料化学(B0505)

复合与杂化材料的制备、结构表征和界面化学问题. 本代码继承了原二级代码“B0504 复合与杂化材料化学”及相应的三级代码, 将原来三级代码中的“B050406 柔性可穿戴材料化学”调整到其他代码.

研究方向具体包括: 金属基复合材料化学、无机复合材料化学、高分子基复合材料化学、有机-无机杂化材料化学、复合与杂化界面化学.

(6) 智能与仿生材料化学(B0506)

面向智能和仿生材料的价键、结构与功能调控. 本代码继承了原二级代码“B0505 智能与仿生材料化学”及相应的三级代码, 新增原三级代码“B050406 柔性可穿戴材料化学”作为研究方向.

研究方向具体包括: 软物质材料化学、智能响应材料化学、结构仿生材料化学、功能仿生材料化学、柔性材料化学.

(7) 医用材料化学(B0507)

医用功能导向的材料设计、结构组装与性能调控. 本代码为新增代码, 并升级了原三级代码“B050202 生物医用高分子”和“B050203 药物传输与缓释”中医用材料相关部分作为研究方向.

研究方向具体包括: 组织工程材料化学、载体与控释材料化学、植入与介入材料化学、成像与诊疗材料化学、医用粘合材料化学、医用包装材料化学.

(8) 信息材料化学(B0508)

先进信息材料的合成、电子级纯化和电子功能拓展. 本代码为新增代码, 并升级了原三级代码“B050205 光电磁功能分子”和二级代码“B0510 能量转换材料化学”中信息材料相关部分作为研究方向.

研究方向具体包括: 高纯电子材料化学、器件界面材料化学、介电与电子封装材料化学、感光与光刻

材料化学、生物电子材料化学、量子信息材料化学。

(9) 生态环境材料化学(B0509)

生态环境友好材料的化学改性与功能调控。本代码为新增代码,并升级了原二级代码“B0503 有机高分子结构材料化学”中生态环境材料相关部分作为研究方向。

研究方向具体包括:天然高分子材料化学、绿色转化材料化学、可降解材料化学、材料回收与循环利用化学

(10) 含能材料化学(B0510)

含能材料的设计合成、能量密度与安全性化学调控。本代码继承了原二级代码“B0506 含能材料化学”及相应的三级代码。

研究方向具体包括:含能分子设计与合成、含能材料性能调控与安全性评价。

(11) 特种功能材料化学(B0511)

多功能材料和特种材料的分子设计、合成与性能调控。本代码为新增代码,并升级了原三级代码“B050205 光电磁功能分子”和二级代码“B0503 有机高分子结构材料化学”中多功能和高性能材料相关部分作为研究方向。

研究方向具体包括:多功能材料与器件、吸波材

料化学、耐烧蚀与阻燃材料化学、防腐与密封材料化学、特种防护材料化学、极端服役材料化学。

4 总结与展望

(1) 材料化学源于化学与材料学科的基础交叉,以及与生物、信息、环境和能源等学科应用导向交叉,并将有机化学、无机化学、高分子化学、生物化学、物理化学、分析化学和化学工程等有机地结合起来,是具有大交叉特征的化学学科。材料化学“十四五”及中长期发展规划系统梳理了学科内涵和外延,分析了学科现状,并提出了未来学科发展布局。

(2) 材料化学学科秉承立足化学、功能导向的理念,突出支撑材料化学领域原创探索、前沿聚焦和需求牵引的内在特征。通过进一步优化学科布局,建立了兼容并包、开放融通的新代码体系。同时,需建立申请代码动态调整机制,积极吸纳学界建议,体现前沿新方向和学科发展空间。

(3) 申请代码是开展科学基金项目申请、评审、资助和管理的工具。建议申请人在充分理解申请代码内涵的基础上选择合适的二级代码、研究方向和关键词,利于基金管理工作和项目评审的精准化。

致谢 衷心感谢安全福、陈红、陈红征、陈玲、陈学思、褚良银、狄重安、段炼、段雪、范曲立、付英双、傅志勇、高松、高卫平、郭林、侯剑辉、黄辉、黄维、蒋尚达、焦丽颖、李建荣、李隽、李林、李彦、李永舫、李志波、刘国柱、陆明、庞思平、裴坚、邱介山、曲良体、孙俊良、唐智勇、田禾、王宝俊、王朝晖、王栋、王笃金、王建浦、王树、王树涛、王亚培、魏志祥、温晓东、闻利平、吴德成、吴骊珠、吴一弦、谢黎明、谢毅、邢华斌、严纯华、杨超、易院平、游雨蒙、张德清、张浩力、张洪杰、张加涛、张希、张献明、赵一新、郑智平、朱锦涛等专家学者对学科在制订材料化学“十四五”及中长期发展规划和优化学科布局工作中给予的帮助和支持。

参考文献

- 1 习近平. 在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上的讲话. 2016-05-30
- 2 习近平. 在科学家座谈会上的讲话. 2020-09-11
- 3 Liang Z, Jiang W, Zhang G. *Chin Sci Bull*, 2021 in Chinese, doi: 10.1360/TB-2021-0090 [梁振兴, 姜玮, 张国俊. 科学通报, 2021, doi: 10.1360/TB-2021-0090]
- 4 Zhang G, Fu X, Zheng Q, Chen Y. *Sci Sin Chim*, 2020, 50: 681–686 (in Chinese) [张国俊, 付雪峰, 郑企雨, 陈拥军. 中国科学: 化学, 2020, 50: 681–686]
- 5 Liang Z, Jiang W, Zhang G. *Sci Sin Chim*, 2021, 51: 55–61 (in Chinese) [梁振兴, 姜玮, 张国俊. 中国科学: 化学, 2021, 51: 55–61]

Strategic development and discipline layout of Materials Chemistry of National Natural Science Foundation of China

Wei Jiang^{1,2}, Zhenxing Liang^{1,3}, Guojun Zhang^{1*}

¹ Department of Chemical Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China

² Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

³ School of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China

*Corresponding author (email: zhanggj@nsfc.gov.cn)

Abstract: Optimizing the discipline layout is one of the important tasks of science foundation reform in the National Natural Science Foundation of China (NSFC). As an emerging interdisciplinary, Materials Chemistry was founded to lay solid foundation for developing transformative and strategic materials in the Department of Chemical Sciences. Strategic development plan and discipline layout of Materials Chemistry with the application code of B05, which have been completed in 2019–2020, are overviewed in this article for the researchers' reference.

Keywords: National Natural Science Foundation of China, Materials Chemistry, strategic development, discipline layout, application code

doi: [10.1360/SSC-2021-0017](https://engine.scichina.com/doi/10.1360/SSC-2021-0017)