

## 一、成果主要内容

本世纪以来，国家可持续发展战略和信息技术的广泛应用促进化学工业向“工艺绿色化、过程低碳化、控制智能化和产品高端化”快速发展。能源资源是化学工业的基础，我国能源禀赋导致油气进口逐年增加，严重威胁国家能源安全和化学工业的可持续发展。国家化工强国战略和能源战略需求对化工专业人才的“知识、能力和素质”结构提出更高要求。

国内诸多高校对化工专业人才培养进行了积极探索并取得一定成效，但仍然存在如下问题亟待解决。①专业培养目标、培养模式、知识体系与化工产业发展需求未实现同步匹配，学生工程责任意识淡薄；②实践育人平台和体系不完善，学生工程实践能力弱、创新开发潜能激发不足；③教学资源不能适应教学方法的高速更新，教学模式不能适应当代大学生需求。

北京化工大学作为新中国为“培养尖端科学技术所需求的高级化工人才”而创建的一所行业高校，针对化工专业建设和人才培养存在的问题不断实施教育教学研究与改革，近十年在 4 项国家级和 4 项省部级教改项目支持下，优化专业结构、重塑人才培养目标和模式、重构课程体系、改革教学模式，推进专业内涵式发展和多元化化工创新人才培养。

### 1. 面向化工产业创新发展需求，改革人才培养模式

以化工产业创新发展和学生职业发展需求为导向，改革“通用型过程工程”的化工人才培养传统定位，制订与时俱进的人才培养目标并创建培养新模式。

#### 1.1 形成多元化的化工创新人才培养目标

以国家能源战略需求为牵引，2011 年设立国内首批战略性新兴产业本科专业“能源化学工程”（简称能源化工），同年入选国家特色专业建设点。以化工产业可持续发展需求为导向，立足专业和学科优势，建立“化工卓越工程师培养计划”（2010 年）和“拔尖研究人才培养计划”（2015 年），分别入选教育部“卓越工程师教育培养计划”和“拔尖计划 1.0 试点”。结合学校办学定位，校企共同论证形成“面向实践创新的卓越工程、面向科技创新的拔尖研究、面向国家战略的能源化工特色、普遍成才的化工复合通用”4 类人才培养目标。

## 1.2 确立“1-2-3”人才培养模式

以新工科建设为契机，实施“绿色化工与新能源”1 个大类招生、2 个专业分流、“通识教育-学科与工程基础-专业特色”3 个阶段培养。大一实施通识教育，夯实自然科学知识，强化价值引领和三观塑造，树立担当化工强国责任感；大二传授学科与工程基础知识，培养工科基本技能；大三分流培养，学生自愿选择培养方向。卓越工程师实施本-硕贯通培养，拔尖研究人才实施本-硕-博贯通培养。

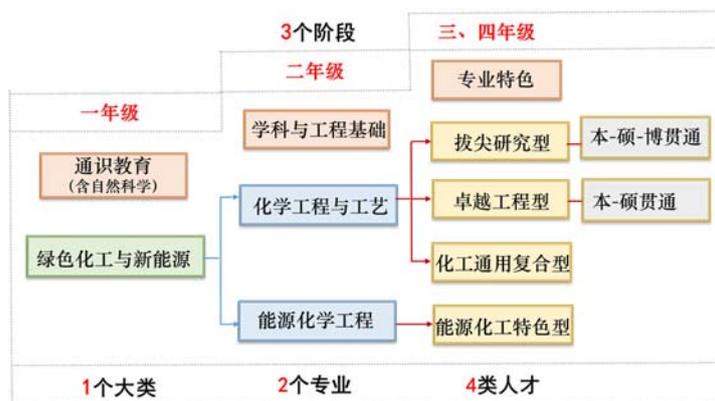


图 1. “1-2-3”人才培养模式和多元化化工创新人才类型

## 2. 以培养目标为依据，重构多元化全链条化工创新人才培养课程体系

分析 MIT、伯克利大学、莫纳什大学等高校的化工专业课程设置情况，对标《华盛顿协议》，依据人才培养目标，重构并形成“工程素质-基础理论-应用实践-特色培养”全链条专业课程体系，强化学生工程责任意识，培养学生主动适应现代化工科技与产业可持续创新发展的需要。

### 2.1 建立工程素质课程群

社会责任感、沟通与协商能力、工程管理能力等被认为是面向 2030 工程人才的核心素质。本专业率先开设“工程伦理学、工程经济分析与项目管理、文献检索与科技论文写作、化工安全与环保、能源转化中污染物控制基础、环境保护与绿色技术”等课程，构建了“绿色化工”工程教育品牌的工程素质课程群。

### 2.2 重构“基础理论-应用实践”课程模块，强化工程能力培养

注重传承与创新，在保持化工学科“三传一反”知识体系的基础上，针对信息技术发展增设 Python 语言、化工过程与大数据等理论课程，建立“启蒙-基础-高阶-应用”四年贯通递进式工程课程体系，形成“工程基础、学科基础、专业基础”理论课程模块和“实验-实习-设计”应用实践课程模块，实现基础理论课程与应用实践课程的有机衔接

并逐步深化。结合第二课堂的创新实践活动，彻底补齐学生工程实践能力和设计能力培养不足的短板。

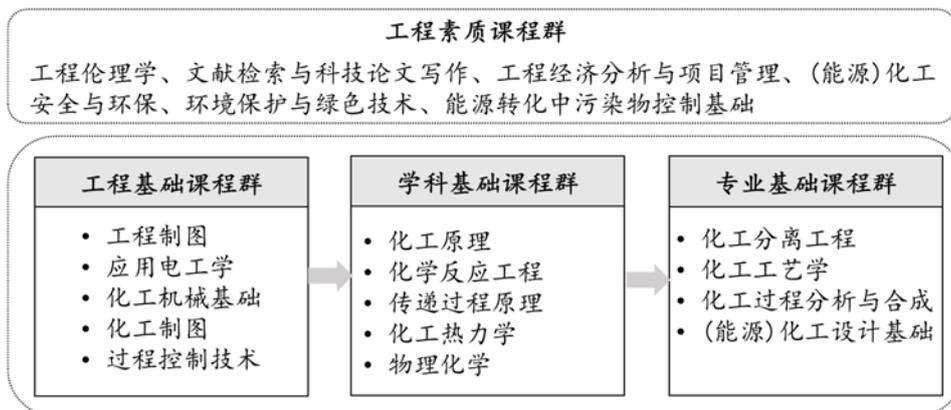


图 2. 工程素质与基础理论课程模块

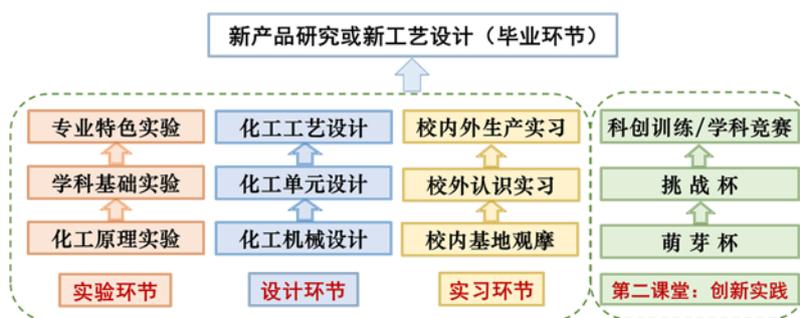


图 3. “实验-设计-实习-创新实践”四联动三层次应用实践模块

### 2.3 构建化工特色人才培养课程模块

根据化工产品研发和成果实施涉及的共性工程知识体系，构建面向实践创新的卓越工程师培养特色课程群，率先开设产品工程学、过程工程学、化工过程与系统设计、化学工程实践研讨、环境分析等工程特色课程群，结合案例式和问题导入式的小班化授课模式，强化产品工程—过程工程—系统工程的融合以及工程全局观，提高学生分析工程问题和解决化工技术难题中关键科学问题的能力。

依据化工科技创新对人才知识和能力的要求，构建化工拔尖研究人才培养特色课程群，开设科技英语、科学研究方法与实践、Hot Topics in Energy and Chem. Eng.、化工实验设计、国际化课程等，结合研究型双语甚至全英文小班化教学，强化研究方法传授、渗透科学精神、开拓创新意识、提升学生国际视野和国际交流能力。

面向国家能源战略需求，开设可再生能源化工基础、燃料电池、太阳能利用技术等新能源课程，以及煤化学与化工、石油化学与炼制工艺、能源化工节能原理与技术等主流能源课程，打造与能源化工产业发展相适应的能源化工特色人才培养课程群。



图 4. 化工特色人才培养课程群

### 3. 建立全方位多层次的课内外实践育人平台

实践育人环节薄弱是我国化工专业教学中所面临的突出问题，学校充分利用科研优势和产学研协同育人项目深化校企合作，解决企业实习难题、丰富教师工程实践经验；同步加强校内实践平台建设，形成“模块化实验-多维度实践-项目化科创训练-常态化学科竞赛”课内外实践育人平台。

#### 3.1 科教融合打造一流实验教学平台

随着新校区投入使用，化工类专业实验教学场地达 3770 m<sup>2</sup>。依托国家级化学化工实验教学示范中心，逐步建成了“化工原理-学科基础-专业特色-创新研究”四层次实验教学平台。在校级教改（如能源化工专业实验数字化建设的研究与实践）的支持下，化工原理实验达 17 类，其中设计型和研究型比例达 76%；学科基础实验涵盖化工热力学、反应工程和传递，共计 8 类实验；化工专业实验通过模块化衔接，实现从原料到产品的实验教学，能源专业实验涵盖碳基资源转化、污染物控制与新能源利用。通过科教融合，两类专业实验的设计型和研究型分别达 43%和 29%。创新研究实验来自科研成果转化，包括超重力、膜分离、反应萃取等。



图 5. 四层次实验教学平台

### 3.2 校企协同建立国家级实习育人平台

深化校企科研合作，带动人才培养实践平台建设。先后与北京燕山石油化工有限公司和开滦能源化工股份有限公司建立了 2 个国家级大学生校外实践教育基地，与齐鲁石化公司建立院级校外实习基地。利用学校在化工系统工程、仿真与优化等方面的优势，运用互联网、大数据等手段，建成 2 个国家级虚拟仿真实训教学基地（化工过程虚拟仿真和化工产品全生命周期虚拟仿真）。

建立吉化、华陆、北化常州院、北化安庆院等青年教师实践基地，开展现场学习、培训活动和技术交流，提高教师的工程实践能力。聘请企业兼职教师，遴选工程经验丰富的校内教师，校企共同组建 30 余人的实践育人团队。本着“能实不虚，虚实结合”的理念，强化学生工程实践能力培养。

### 3.3 立足一流学科，搭建创新实践能力平台

发挥一流学科优势，通过科创训练和学科竞赛，提升学生创新实践能力。面向不同年级，按照“启蒙-参与-训练-实战”原则，分层次开展萌芽杯、挑战杯、大学生创新实验项目、化工学科竞赛。常态化组织和开展校级-北京市-华北赛区-全国等不同级别的化工实验大赛、化工设计竞赛和 Chem-E-Car 竞赛，学生覆盖率达 80%以上。



图 6. 创新实践能力培养平台

依托创新实践平台，学科竞赛取得显著成绩。2017 年以来，学生完成国家级大创项目 43 项，发表论文 25 篇；获省部级以上竞赛奖励 360 余项，其中化工学科类国际和国家级一等奖以上奖励 12 项。

表 1. 国际和国家级一等奖以上奖励

学科竞赛类型	获奖情况
全国大学生化工设计竞赛	国家特等奖 2 项、一等奖 2 项
全国大学生化工实验大赛	国家特等奖 2 项、一等奖 2 项
中国大学生 Chem-E-Car	国家特等奖 1 项、“性能竞赛一等奖”、“SACHe 安全奖”
世界大学生 Chem-E-Car 邀请赛	第四名

#### 4. 丰富和升级教学资源，创建教学新模式

依托国家级化学工程教学团队，建成化工原理和化工过程分析与合成国家精品资源共享课、获批化工原理国家精品在线开放课（首批）和国家线下一流本科课程。出版 3 本数字化教材，实现典型化工工艺和设备可视化。校院两级推进，建成化工过程分析与合成、化工工艺学、传递过程原理和现代煤化工概论 MOOC，所有专业核心课程纳入北化在线教育综合平台。



图 7. 出版教材情况

电子教学资源与课堂教学相结合，化工原理、化工过程分析与合成、传递过程原理实施混合式教学，实现“以教为主”向“以学为主”、“以课堂为主”向“课内外结合”的转变。在多项校级教改项目的支持下，采用翻转课堂、雨课堂等教学手段，化工原理、化工热力学等推行基于问题导向的研究型教学，激发学生专业批判性对话思维。发表教改论文 3 篇，推广教学方法。卓越工程实施基于工程项目的小班案例式教学，培养学生专业性思考能力；拔尖研究实施小班全英文或双语研究型教学，提升科技创新和国际交流能力。

表 2. 教学模式改革项目与教改论文

类别	名称
教改项目	基于慕课的化工原理探究式教学实践
教改项目	借助雨课堂工具实现 BOPPPS 教学模式在《化工原理》双语教学中的应用
教改项目	化工原理研究性示范课程建设
教改项目	化工热力学研究性示范课程建设
教改文章	化工专业课研究性教学的探索与实践, 中国大学教学, 2021 年
教改文章	化工热力学基本关系式的教学方法改革与实践, 化工高等教育, 2021 年
教改文章	建以致用: 化工类专业慕课建设升级路径, 中国大学教学, 2019 年



图 8. 线上线下混合式教学模式

## 二、成果的创新点

### (1) 模式创新：面向新需求，确立了多元化人才培养目标和“123”人才培养新模式

针对国家能源战略需求，设立首批“能源化学工程”专业，结合行业变革需求，形成“卓越工程、拔尖研究、能源特色和化工通用”4类人才培养目标。确立了“绿色化工与新能源”1个大类招生、“化学工程与工艺、能源化学工程”2个专业分流、“通识教育、学科与工程基础、专业特色”3个阶段培养的“123”人才培养模式。通识教育阶段夯实数理化基础，强化价值引领和三观塑造，树立化工强国责任感；基础阶段聚焦化工“三传一反”和工程基础知识；专业特色培养阶段适应学生个性化发展需求，分类提升专业技能和创新能力、强化工程素质、拓展专业视野。

### (2) 体系创新：聚焦新经济，构建了全方位的化工一流本科创新人才培养体系

秉持“德能兼备、知行合一、融合创新”的育人理念，构建了“工程素质-基础理论-应用实践-特色培养”全链条课程体系，形成“工程素质、工程基础、学科基础、专业基

础”理论课程模块和“实验-实习-设计”应用实践课程模块。发挥国家一级重点学科优势，校企协同、科教融合，建立了多层次的“模块化实验-多维度实践-项目化科创训练-常态化学科竞赛”课内外实践育人平台。依托国家级教学团队，建设了一批优质课程与数字化教学资源，形成了丰富的教学资源体系。引育并举形成科教合一、学术水平高、教学能力强、国际视野宽的一流师资队伍。

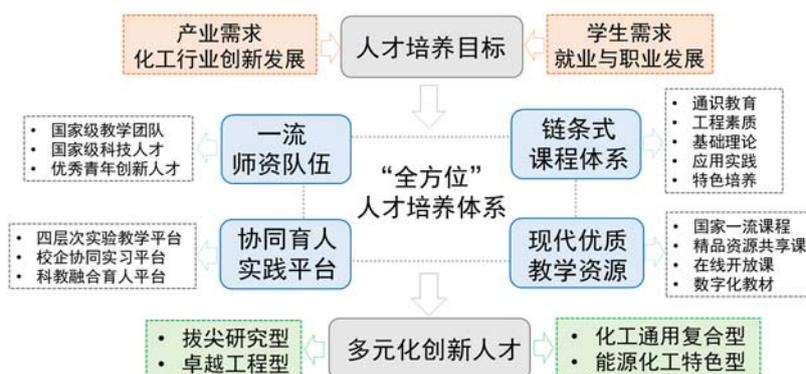


图 9. 全方位化工创新人才培养体系

### (3) 方法创新：适应新时代，形成了卓有成效的化工创新人才培养新途径

针对当代大学生成长于信息化时代的特点，以信息技术为手段，结合传统课堂教学的系统性和线上 MOOC 在知识点传授上的灵活性，核心课程开展混合式教学，课内与课外协同实现“以教为主”向“以学为主”转变。分类实施小班化案例式、问题导向式和研究型教学模式以及本研贯通培养模式，培养高层次化工创新人才。深化校企合作，校内与校外协同共建实践育人团队，提升实践育人质量。以创新能力突出的青年才俊为主力，科研与教学融合形成科创训练和学科竞赛指导教师团队。

## 三、成果成效及推广应用

### (1) 成果成效

两个专业均入选首批国家一流专业建设点、均通过工程教育专业认证，人才培养质量达到国际通行的专业胜任能力标准。建成国家一流课程 2 门（含精品在线开放课），国家精品资源共享课 2 门，北京高校重点优质本科课程 1 门；再版国家十二五规划教材 2 部，出版数字化教材 3 门和纸质化教材 2 门，获北京高校优质本科教材课件 3 项。

2017-2021 年实践期，受益学生 1320 余人，就业率平均 98% 以上。卓越工程班平均绩点 3.0 以上，深造率 95%；拔尖研究班平均绩点 3.5，深造率 91%（其中直博

生 58%)；能源特色班深造率 45%。学生完成国家级大创 43 项，发表论文 25 篇，获省部级以上竞赛奖励 360 余项，包括全国大学生化工实验大赛特等奖 2 项、一等奖 2 项，全国大学生化工设计竞赛特等奖 2 项、一等奖 2 项，世界大学生 Chem-E-Car 邀请赛第四名，中国大学生 Chem-E-Car 一等奖和性能竞赛第四名。

## (2) 成果推广应用

本成果富有成效地解决了传统化工教育内涵窄、培养目标单一、毕业生难以满足化工产业可持续创新发展需求等问题，所形成的多元化一流化工本科创新人才培养体系得到国内兄弟院校的普遍认同。2017 年内以来，浙江工业大学、兰州大学、合肥工业大学、中国石油大学等 20 余所高校线上或线下与我校进行化工类专业建设与人才培养交流。专业建设成果同时得到教育部高等学校化工类专业教学指导委员会的认可，被委托承办全国高校“化学反应工程”教学研讨会、全国首届能源化学工程专业建设暨工程教育认证研讨会，能源化工专业课程体系和实验建设成果参会高校的高度肯定。

成果完成人多次受邀在全国性教学研讨会上针对专业建设、课程建设、人才培养等进行专题发言，如刘伟教授多次受邀分享化工原理课程建设，刘清雅教授在“绿色工程教育暨未来工程师论坛”上分享未来化学工程师职业素养与职业精神的思考，丁忠伟教授应邀参加高等学校化工原理“金课”建设研讨会。

国家精品在线开放课“化工原理”累计受益学员 9.05 万人，国家精品资源共享课“化工过程分析与合成”累计受益 2.21 万人，“现代煤化工概论”慕课学员累计 6100 余名。《化工工艺学》累计印刷 8000 册，被 20 余所院校采用，被国内 20 余所高校采用；《化工过程分析与合成》累计印刷 6.2 万册，被国内 40 余所高校采用；《化工原理》（杨祖荣主编）累计印刷 18.0 万册，被全国 50 余所院校选用；《化工原理》（王志魁主编）累计印刷 68.3 万册，被国内百余所院校采用。