



建筑固废资源化正逆向协同理论与实践

肖建庄

广西大学双碳科学与技术研究院
同济大学绿色建造研究中心

2024年8月21日



目录

一、现状背景

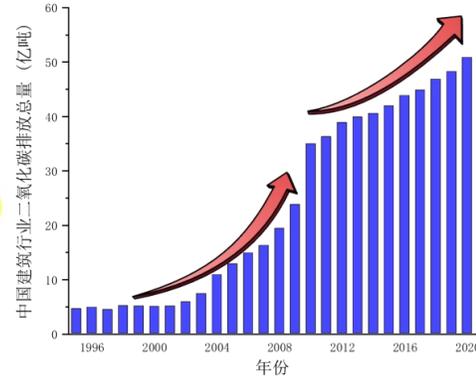
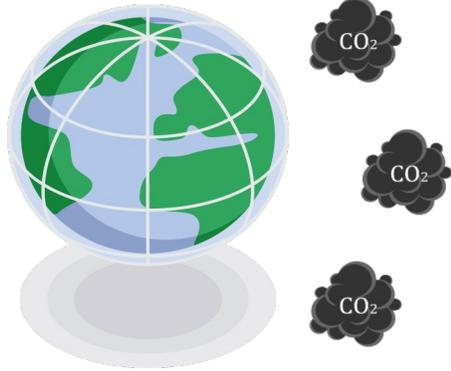
二、为什么要资源化正逆向协同

三、如何协同

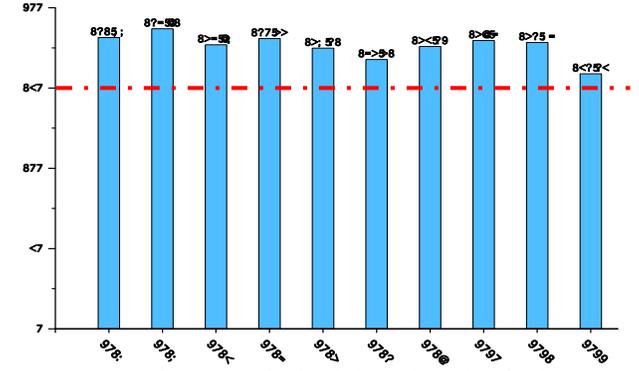
四、资源化正逆向协同案例

五、总结与展望

背景情况



1995-2019年全国建筑行业碳排放总量 (亿吨)



2013年至2022年全国砂石需求量 (亿吨)

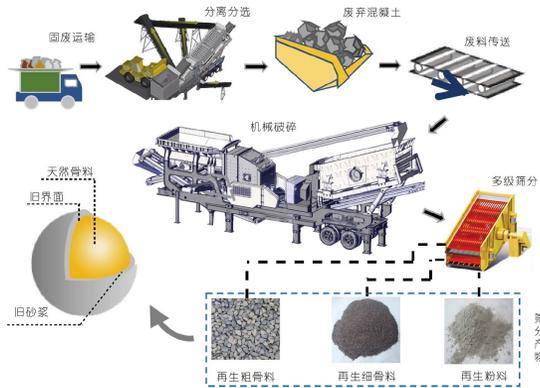
◆ “碳中和” “碳达峰”



◆ 我国建筑行业碳排放严重



◆ 砂石需求量巨大



◆ 混凝土再生全流程^[1]



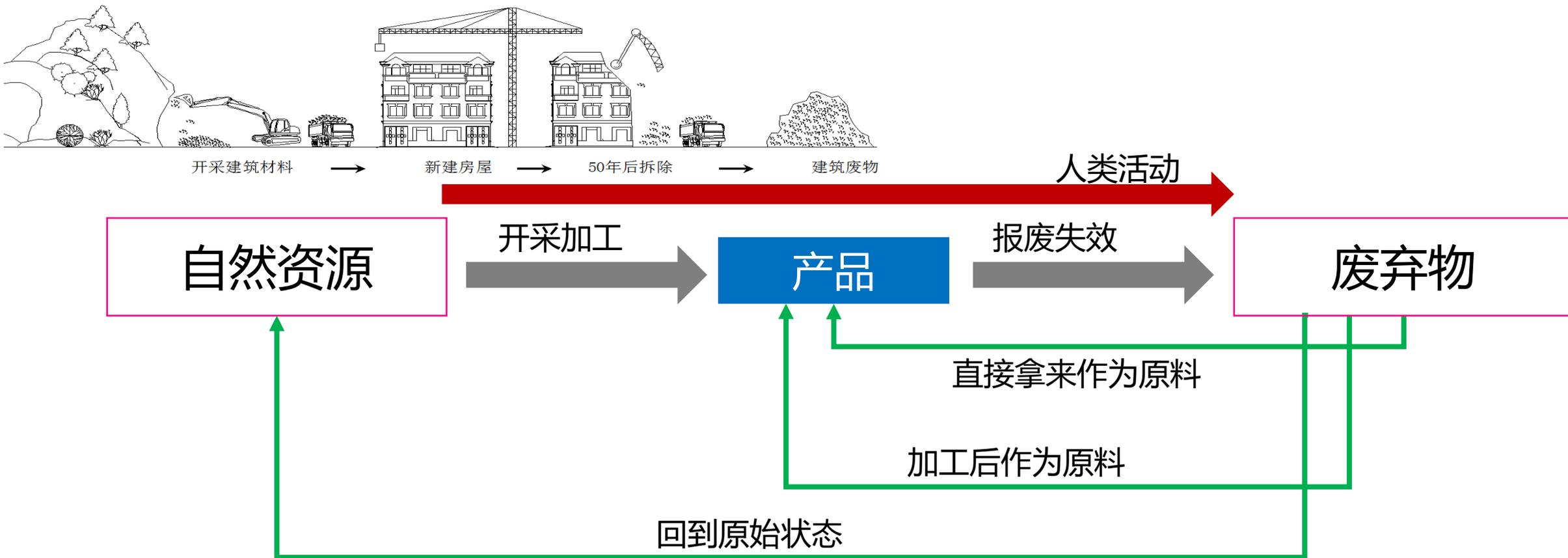
◆ 建筑废弃物堆积如山



◆ 生态环境严重破坏

- 中国建筑固废的排放量和存量很大，资源化问题引发学术界和业界高度关注
- **建筑固废的减量、再利用和再生利用**是当前建筑业低碳可持续发展的大趋势

研究背景



- 直接拿来作为原料；or加工后作为原料；or回到原始状态
- 传统建筑业发展模式，绝大部分建筑废物均直接排向自然界

背景情况

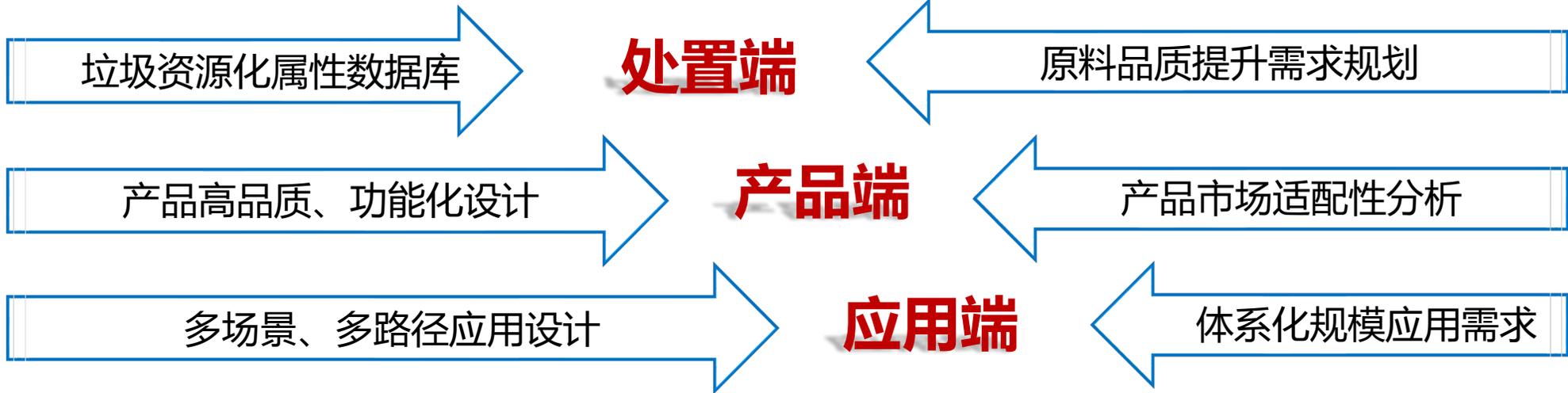


结构生命周期
线形 → 环状



● 资源化正-逆向协同规划应用理论

正向



逆向

背景情况



■ 建筑固废资源化有助于建筑业全产业链的闭环发展

背景情况

国务院、发改委连续发文：



地震灾区
垃圾处置
资源化

美丽乡村
绿色建造
高性能

建筑工业化/
固废资源化
精细化

国务院办公厅关于印发
**提高资源化利用水平
提高再生产品质量**

《“无废城市”建设试点工作方案》已经国

(此件公开发布)

2018.12

“无废城市”建设

“无废城市”是以创新、协调、绿色、开放、
绿色发展方式和生活方式，持续推进固体废物源
头减量、资源化利用和无害化处置，坚决遏制非
正规垃圾堆放点滋生，推进垃圾焚烧发电、餐厨
垃圾等资源化利用和无害化处理，实现固体废物
环境影响降至最低的城市发展模式。建设“无废
城市”是固体废物产生量最小、资源化利用充分、
处置安全的环境治理体系的重要载体，也是实现
“无废城市”建设试点，统筹经济、环境、社会
效益，推动固体废物源头减量、资源化利用和无
害化处置，坚决遏制非正规垃圾堆放点滋生，
推进垃圾焚烧发电、餐厨垃圾等资源化利用和
无害化处理，实现固体废物环境影响降至最低
的城市发展模式。制定本方案。

中华人民共和国中央人民政府
**到2030年，建筑固废
资源化率要达到55%**

关于印发“十四五”循环经济发展规划的通知

发改环资〔2021〕969号

国民经济管理、国有资产监管\重大建设项目

2021.07

国家发展改革委关于印发“十四

各省、自治区、直辖市人民政
部、水利部、农业农村部、商务
政局、供销合作总社：

《“十四五”循环经济发展规划》

**建筑固废资源
化率如何进一
步提高？**

国务院关于印发2030年前碳达峰
**推动建材循环利用，
推广绿色低碳建材，
推动建材行业碳达峰**

现将《2030年前碳达峰行动方案》印发给你们，请认真贯彻落实。

(本文有删减)

2021.10 2030年前碳达峰行动方案

为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰、碳中和的重大战略决策，扎实推进碳达峰行动，制定本方案。

一、总体要求

(一) 指导思想。以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神，深入贯彻习近平生态文明思想，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，坚持系统观念，处理好发展和减排、整体和局部、短期和中长期的关系，统筹稳增长和调结构，把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局，坚持“全国统筹、节约优先、双轮驱动、内外畅通、防范风险”的总方针，有力有序有效做好碳达峰工作，明确各地区、各领域、各行业目标任务，加快实现生产生活方式绿色变革，推动经济社会发展建立在资源高效利用和绿色低碳发展的基础之上，确保如期实现碳达峰、碳中和目标。

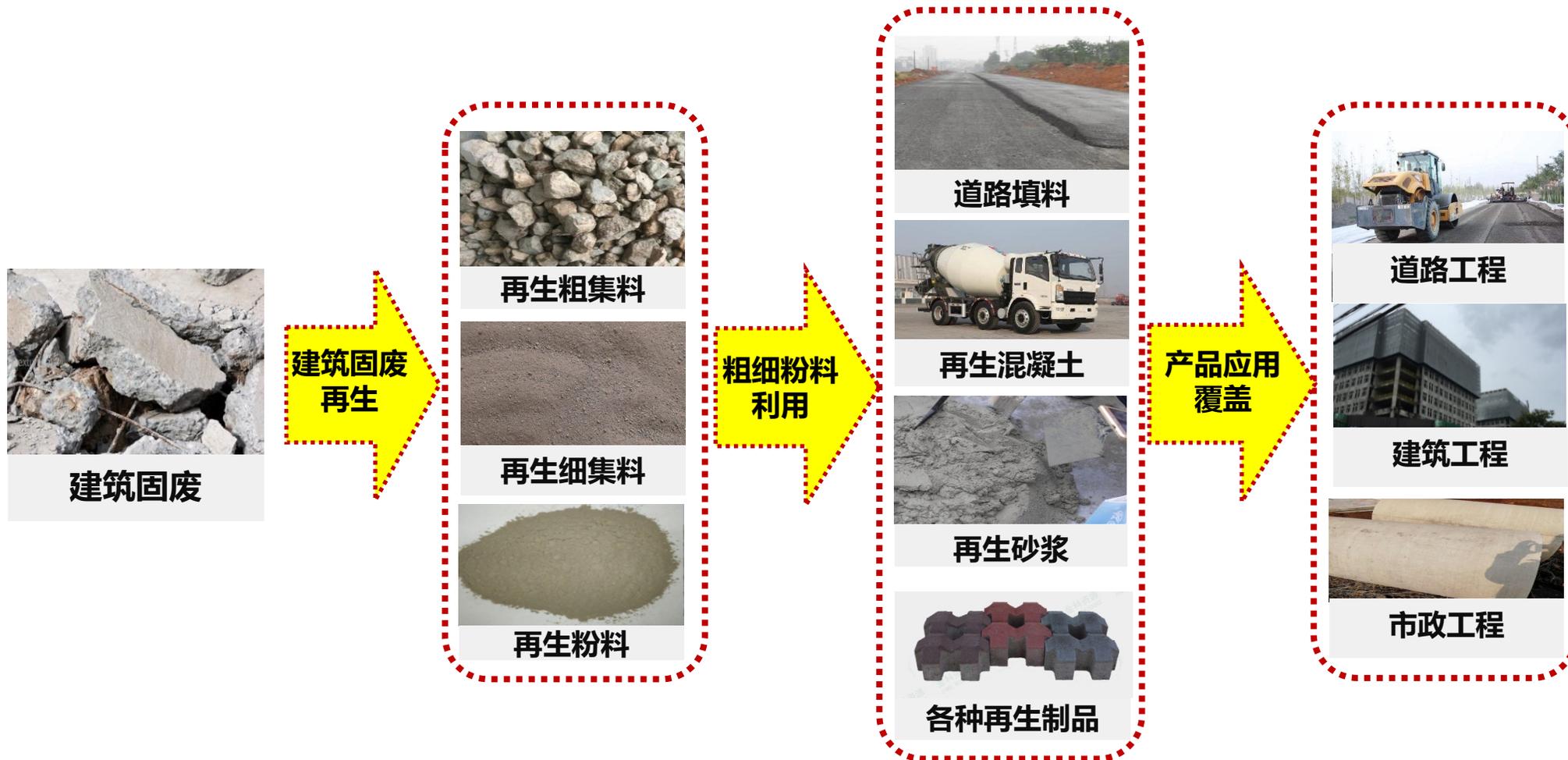


- 我国面向3060双碳目标的城镇可持续发展，资源化的重要性愈加显著
- 为实现2030年资源化率达到55%的战略目标，进一步提升建筑固废资源化率，助力无废城市建设

背景情况

□ 示范应用落地，打通了产业链

□ 2020年，建筑垃圾综合利用率达50%（发改委“十四五”循环经济规划）



背景情况

再生混凝土在多种场景下的应用示范



同济 道路 2004



复旦 道路 2007



2010世博会 3层



扬州 5层 2014



四川 灾后重建 2008



上海 12层 2016



济南5层大跨框架 2020
(最高100%取代率)



310m
泵送



目录

一、现状背景

二、为什么要资源化正逆向协同

三、如何协同

四、资源化正逆向协同案例

五、总结与展望

“固废”相关科技部立项

□ 重大专项牵引（部分）

- ✓ 国家重点研发计划“绿色建筑及建筑工业化”项目公示21项。
- ✓ 国家重点研发计划“固废资源化”重点专项2019年度指南项目公示。主要涉及建筑垃圾、工业固废、危险废物等共47项。

■ “十三·五”“绿色建筑及建筑工业化”重点专项

- ✓ 协同互补利用大宗固废制备绿色建材关键技术研究与应用
- ✓ 工业及城市大宗固废制备绿色建材关键技术研究与应用
- ✓ **建筑垃圾资源化全产业链高效利用关键技术研究与应用**

■ “十三·五”“固废资源化”专项

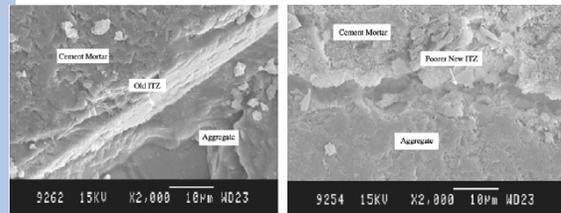
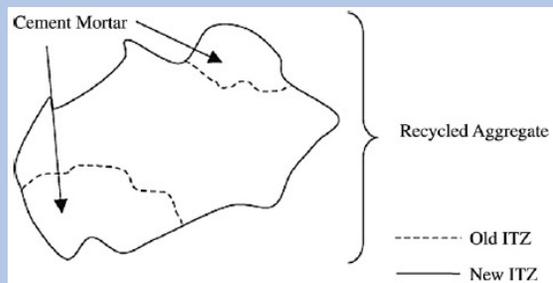
- ✓ 大宗低阶固废规模化制备高值矿物材料关键技术
- ✓ 大宗铝硅酸盐无机固体废物相重构与转化利用科学基础
- ✓ **城镇建筑垃圾智能精细分选与升级利用技术**
- ✓ 大宗工业固废协同制备低成本胶凝材料及应用技术
- ✓ 工业固废大掺量制备装配式预制构件技术
- ✓ 大型煤电基地固废规模化利用成套技术及集成示范
- ✓ **废弃混凝土砂粉多路径应用关键技术**

建筑固废资源化取得的发展

2006 “十一五” 2010

●地震灾区建筑垃圾资源化与抗震节能房屋建设科技示范

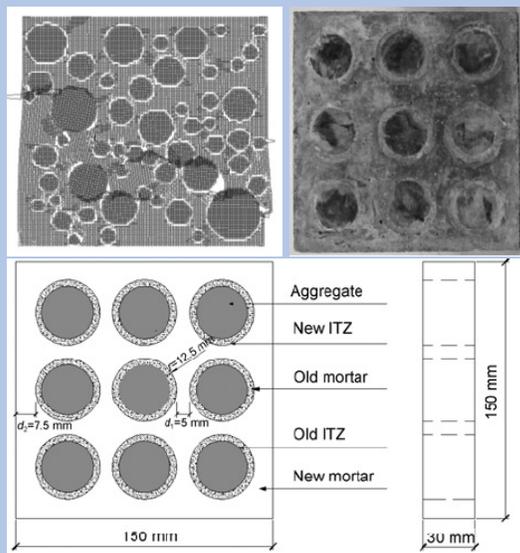
2007再生混凝土首部规范
2010再生粗骨料国家标准



XiaoJianzhuang, An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011)

2011 “十二五” 2015

●建筑工程绿色建造关键技术研究
与示范
●美丽乡村绿色农房建造关键技术研究
与示范



XiaoJianzhuang, Recent studies on mechanical properties of recycled aggregate concrete in China—A review

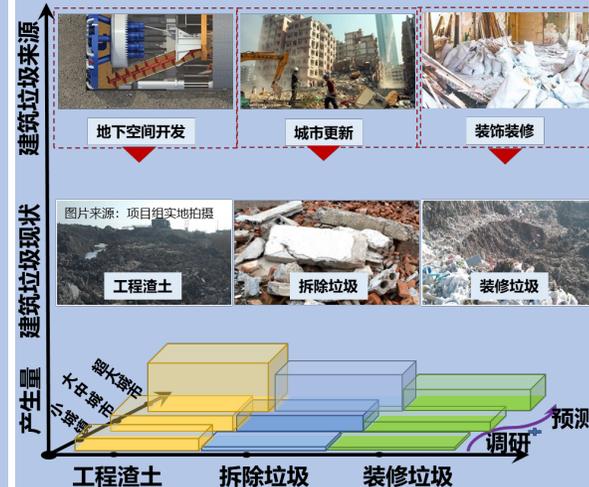
2016 “十三五” 2020

●建筑垃圾资源化全产业链
高效利用关键技术研究
与应用
●城镇建筑垃圾智能精细分
选与升级利用技术
●废弃混凝土砂粉多路径应
用关键技术



2021 “十四五” 目前

●城镇建筑垃圾体系化规模
应用关键技术研究
与示范
●建(构)筑物拆除及其绿色
消纳关键技术研究
与应用



垃圾处置
资源化

绿色建造
高性能

无废城市
精细化

可持续发展
体系化

建筑固废立项

■ 建筑垃圾资源化全产业链高效利用关键技术研究与应用

- ✓ 项目以减量化、无害化、资源化为总体方针，统筹建筑垃圾资源化全产业链关键环节，立足解决建筑垃圾产生、分类、再生处置及工程应用的关键问题，研发适用于城镇化建设、符合建筑工业化发展方向、利于大规模利用的材料与制品、工艺与装备、技术与标准。
- ✓ 重点研发突破“基于全生命周期的建筑垃圾源头减量、分类综合技术”；“再生骨料破碎、分选、分离模块化工艺和装备及品质提升技术”；“装配式再生混凝土系列构件及结构应用成套技术”；“高品质装饰、结构、功能一体化再生混凝土制品制备和应用技术”；“基于海绵城市理念的渗蓄功能材料制备和应用技术”；“渣土类建筑垃圾资源化利用集成技术”等关键技术。
- ✓ 解决“再生块体混凝土、再生混合混凝土设计统一理论框架”等2个科学问题。

建筑固废立项

■ 城镇建筑垃圾智能精细分选与升级利用技术

- ✓ 针对城镇建设建筑垃圾，研发建筑垃圾**人工智能分选**技术与成套装备，研究建筑垃圾**定向分类预处理**技术，研究建筑垃圾**升级利用技术与产品**，研究城镇建设建筑垃圾**回收利用技术研发-工程示范-产业推广-政策支持**一体化解决方案，开展工程示范。
- ✓ 形成2-3套城镇建筑垃圾人工智能分选技术及成套装备，核心装备国产化率达到100%，具有智能学习功能，建筑垃圾识别精度大于95%，**砖/混凝土分选率**大于85%，**有机/无机材料分选率**大于85%，处理成本降低20%以上；形成**可规模消纳建筑垃圾的升级利用新产品3-5种**。建成10万吨级/年规模建筑垃圾回收利用绿色示范工程2-3项，满足《绿色工厂评价通则》（GB/T 36132-2018）要求，实现经济稳定运行。提出城镇建设建筑垃圾回收利用技术研发-工程示范-产业推广-政策支持一体化解决方案，在全国不同区域建成2-3个集成应用示范基地。形成**覆盖研究内容的技术专利与标准体系**（申请发明专利10件以上，编制标准或规范3项以上），建立商业化推广创新模式。

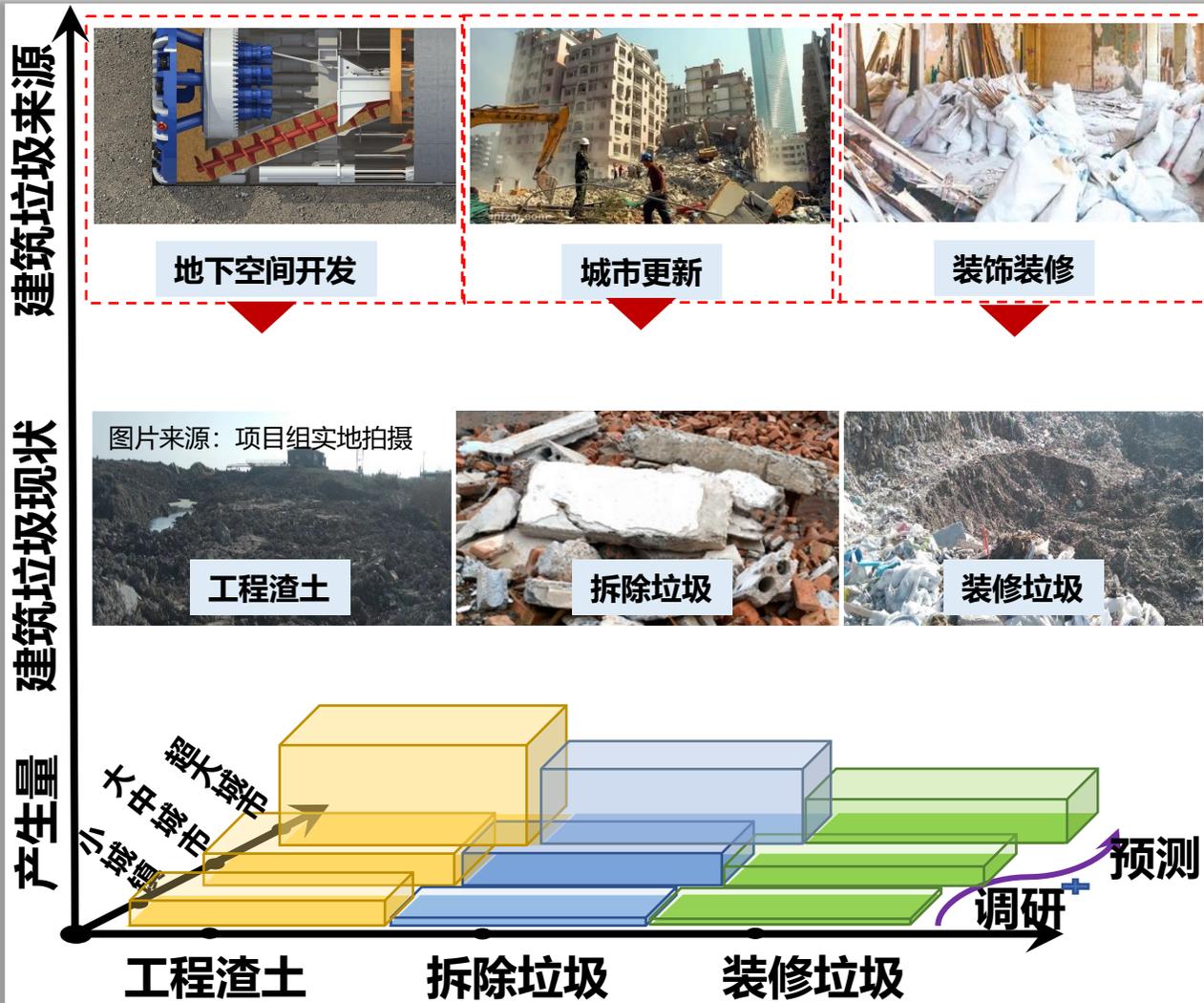
建筑固废立项

■ 废弃混凝土砂粉多路径应用关键技术

- ✓ 针对废弃混凝土破碎分选过程产生的再生砂粉活性低、利用难度大问题，研究再生砂粉高效破碎、研磨及改性技术，研究再生砂粉物理—化学联合增溶活化及定向级配优化技术；研究再生砂粉制备多品种再生砂浆及混凝土材料及制品技术；研究砖混再生骨料/再生砂粉高品质利用及结构性能调控技术；研究**再生砂浆及再生混凝土工程设计、施工与验收全流程应用集成技术**及全生命周期可持续性综合评价方法，开展工程示范。
- ✓ 形成废弃混凝土砂粉制备再生砂浆、再生混凝土及工程应用成套技术，解决其中再生微粉活性低、再生砂级配差的技术瓶颈，实现废弃混凝土再生砂粉高性价比利用，支撑其**资源化利用率翻倍提升**。其中：开发再生砂粉加工配套装备1套，研发**专用功能外加剂**2种以上，再生微粉28天活性指数大于75%；再生砂浆中再生砂占细骨料比例不低于85%，抗压强度不小于15MPa，保水率大于90%；再生混凝土中再生砂占细骨料比例不低于30%，再生粉、再生砂和再生粗骨料总替代率不低于50%，抗压强度不小于40MPa；构建废弃混凝土再生砂粉综合利用与评价方法2~3套；建成废弃混凝土再生砂粉制备再生砂浆及再生混凝土示范生产线各1~2项，单项示范生产线再生砂浆产量不小于30万吨/年，再生混凝土产量不小于40万方/年，生产成本降低40%以上。形成**覆盖研究内容的技术专利与标准体系**（申请技术发明专利10件以上，形成国家、行业或团体标准及规范征求意见稿3项以上），**建立商业化推广创新模式**。

全国建筑固废现状问题

建筑固废总体呈现“分布散、成分杂、地域差异大”的特征



	城镇建筑垃圾	工程渣土	拆除垃圾	装修垃圾
主要组分		黏土、砂土、粉土、砂石	砼、砖、钢筋、轻质物	砼、砖、加气块、轻质物、灰渣、玻璃、遗弃生活用品等
地域差异		成分特性随地域/深度变化集中大量产生	城多砼 镇多砖 集中大量产生	城多 镇少 分散少量产生
产生量趋势		急剧上升	逐渐减少	稳步上升
处理方式		回填、临时储运场	现场协同处置、资源化厂、回填	回填、中转站、资源化厂
资源化利用率		非常低	低，但有所提升	极低

城镇建筑固废痛点分析

城镇建筑固废

- 无精准计量;
- 排放总量大, 但零星分布, 且呈现鲜明的地域性特征和时空不确定性;
- 动态排放的时空分布不确定性与资源化工艺技术的不协同;
- 固定式: 散料不便送, 好料难收到; 移动式: 料少不值当, 料多来不及处置且应用难
- 怎么用、能用来做什么? 与需求 (政策、成本、性能) 之间的矛盾: 处置技术VS资源化需求

加工工艺与设备

再生原料

- 现场土质如何快速检测与复配;
- 吸水率高、压碎值高、级配不良、含泥量高、需水量大, 品质不稳定
- 很难满足现有国家标准
- 政策、市场、运距等对供需的影响?

制备技术

再生产品

- 性能离散性大
- 附加值不高
- 缺乏功能化设计
- 是否符合市场需求

施工技术与验收

工程应用

- 应用多, 但多是偷偷掺用, 有安全隐患
- 缺乏设计和标准体系支撑
- 缺乏再生产品协同应用
- 典型示范如何推广?
- 材料本身低碳, 但整体工程是否低碳?

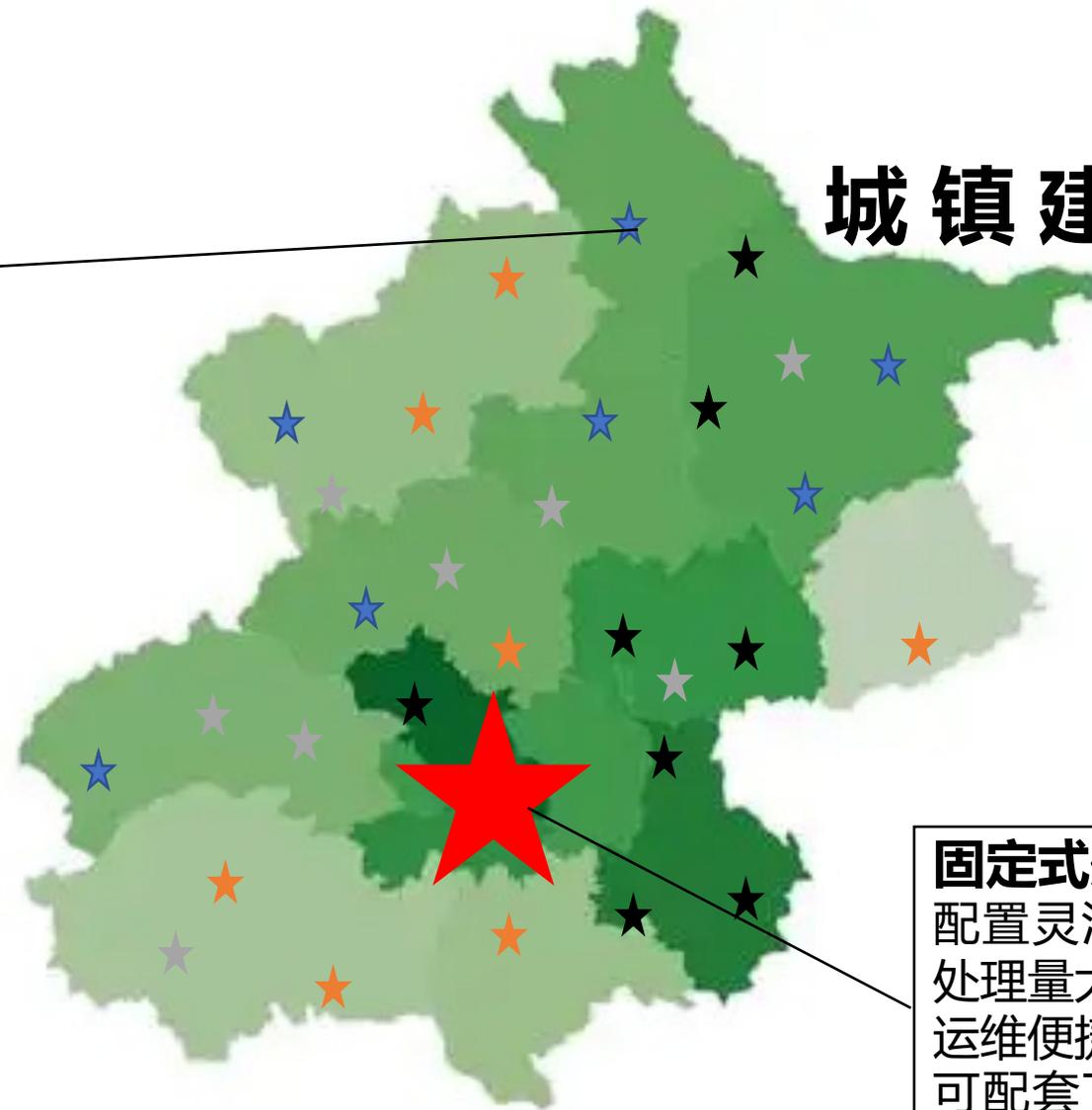
城镇建筑固废痛点分析（一）

散（分散）

移动式处置点：

方便灵活,生产场地不受限制;
移动灵活,就近生产;
自动化程度高

城镇建筑垃圾



聚（集中）

固定式处置点：

配置灵活,破碎比大,生产效率高,
处理量大;
运维便捷,损耗小,寿命长;
可配套下游产品生产链,有工业化
生产优势

城镇建筑固废痛点分析（二）

再生原料性能离散大
再生产品生产碳排高



再生产品高附加值应用难



亟需研发面向多场景
应用需求的**梯级消纳**技术

缩尺构件



尺寸不一、性能多样

如何**安全**再用？

原状拆除物



直接利用难、高质化应用难

如何**直接**利用？

再生原料



性能离散大、生产碳排高

如何**全再生**利用？

城镇建筑固废痛点分析（三）

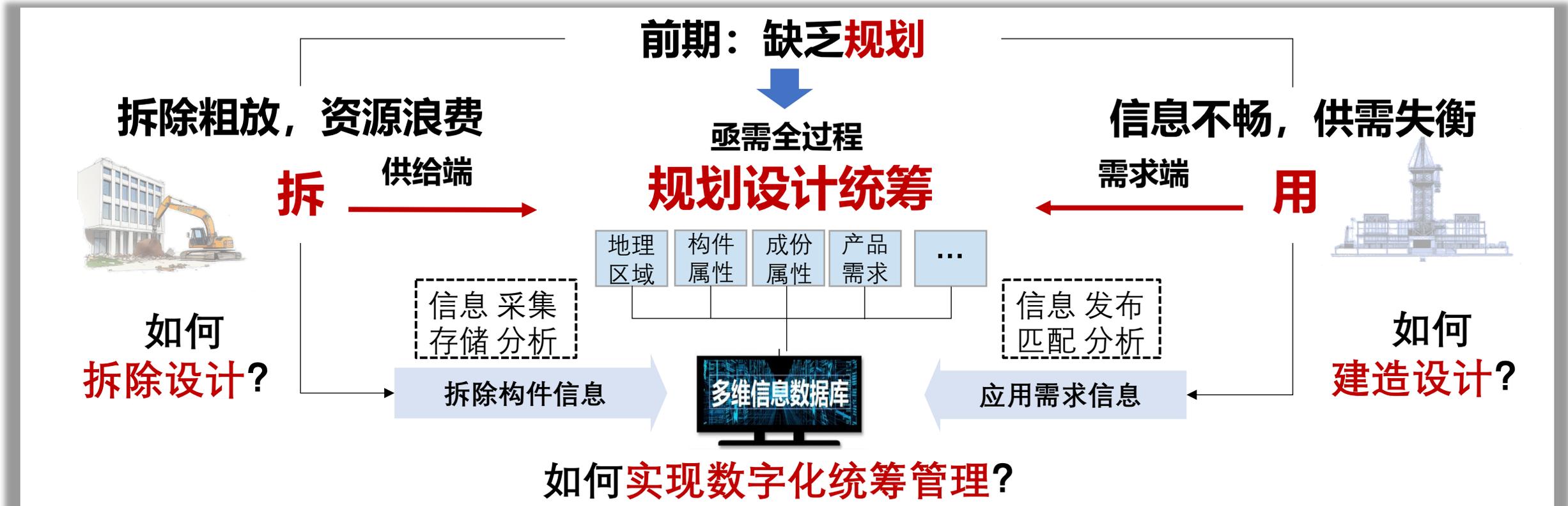
拆前缺乏**规划设计**
拆后缺乏**建造设计**



拆除消纳难协同



开展拆用**协同设计**
与**全过程统筹**



资源化正逆向协同的必要性

正向
设计

基于**固废的资源化属性**、**消纳需求**的正向规划与设计方法



解决
问题

(一)
工艺装备
难匹配

(二)
再生产品
难应用

(三)
应用技术
难推广



逆向
设计

基于**产品性能反馈**、**工程应用需求**的逆向指导设计与调控方法



目录

一、现状背景

二、为什么要资源化正逆向协同

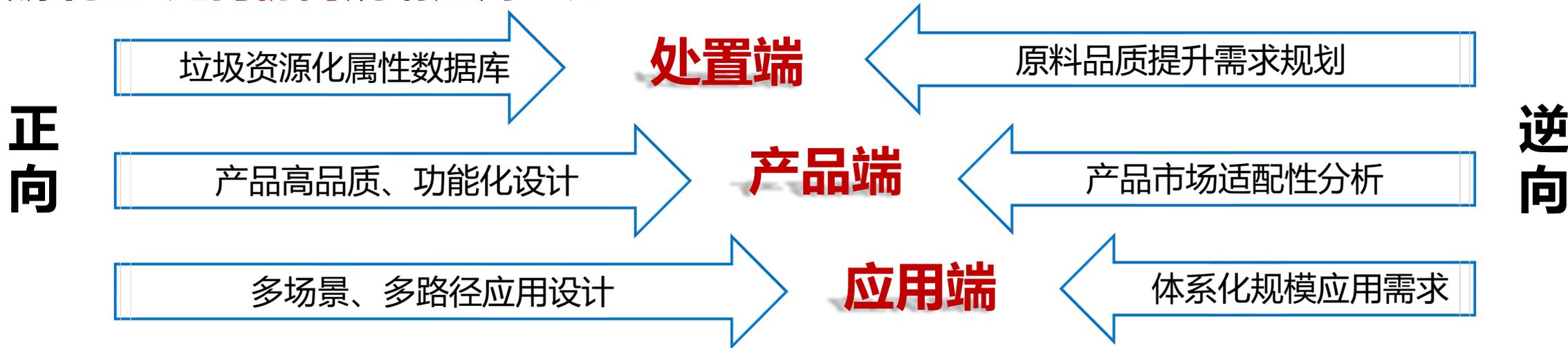
三、如何协同

四、资源化正逆向协同案例

五、总结与展望

资源化正逆向协同

● 资源化正-逆向协同规划应用理论



资源化属性

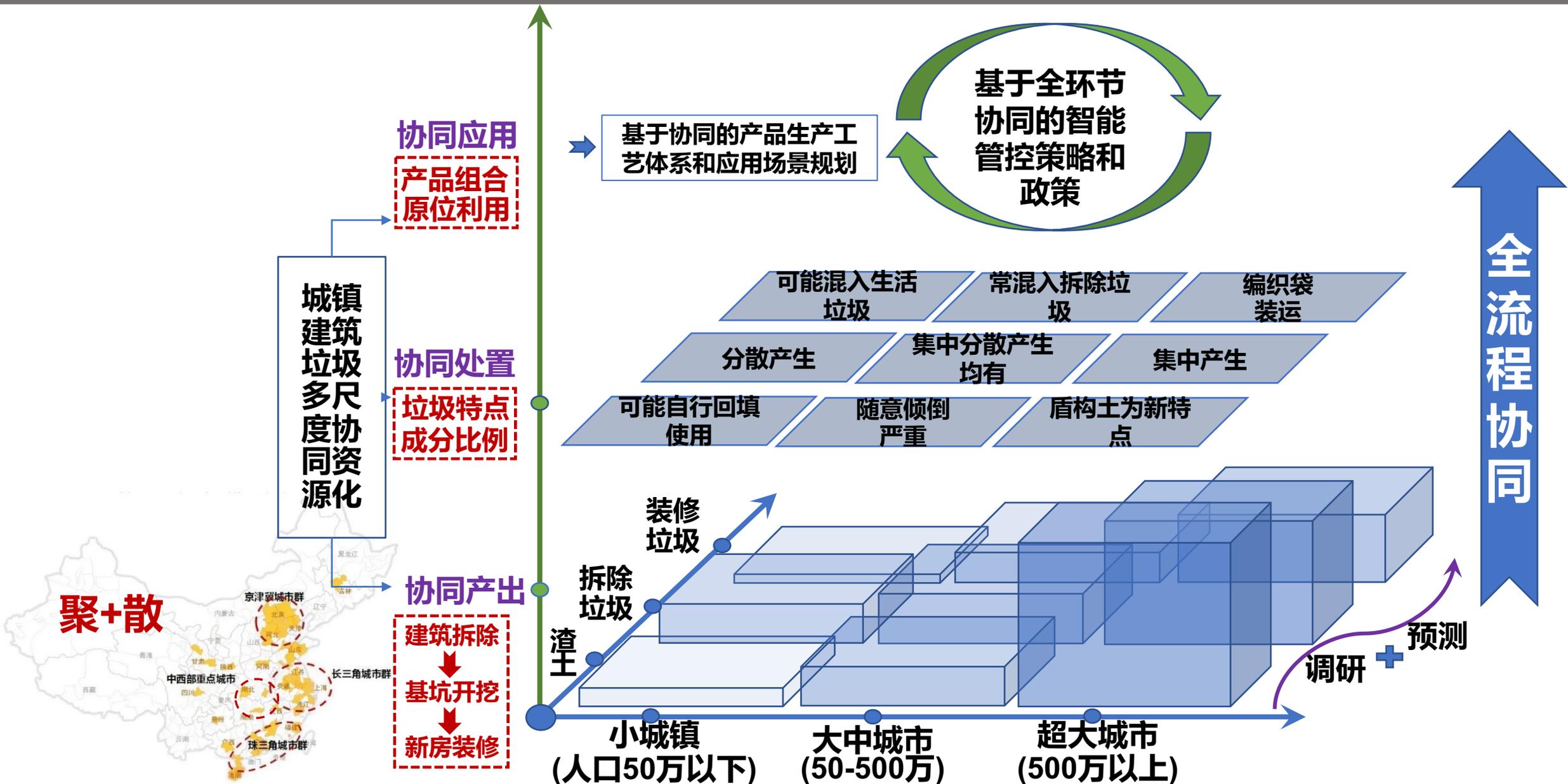


协同开发

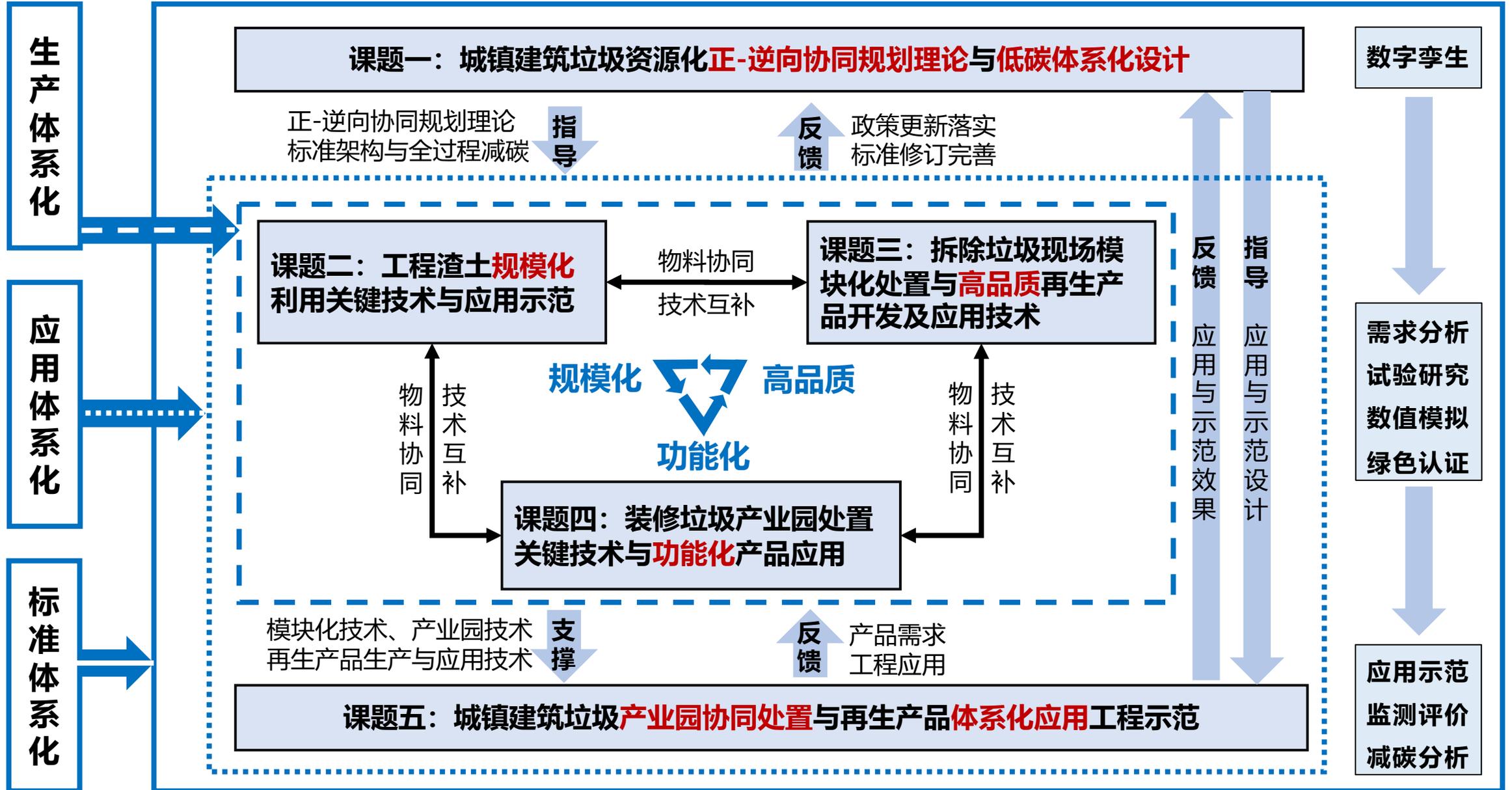


市场适配性

厘清城镇建筑固废真实现状



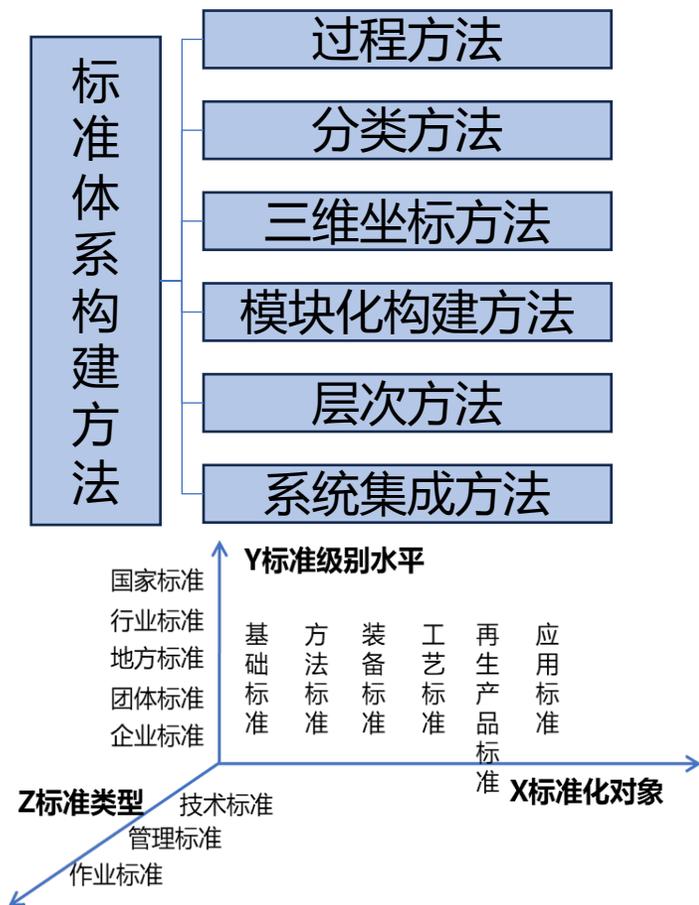
协同方案



顶层设计协同

● 标准体系构建

构建方法



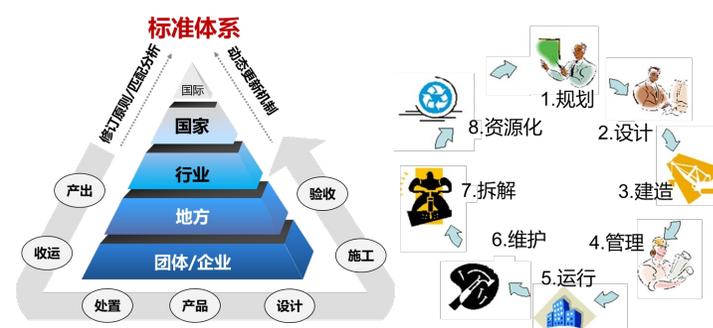
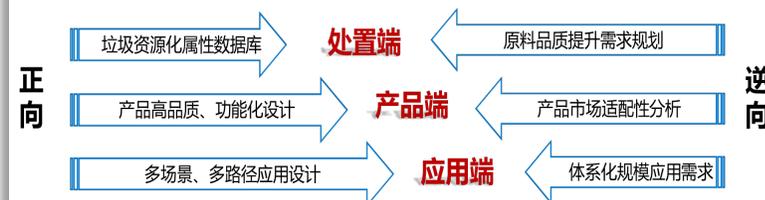
构建程序

- GB/T13016-2018 《标准体系构建与原则》
- GB/T12366-2009 《综合标准化工作指南》

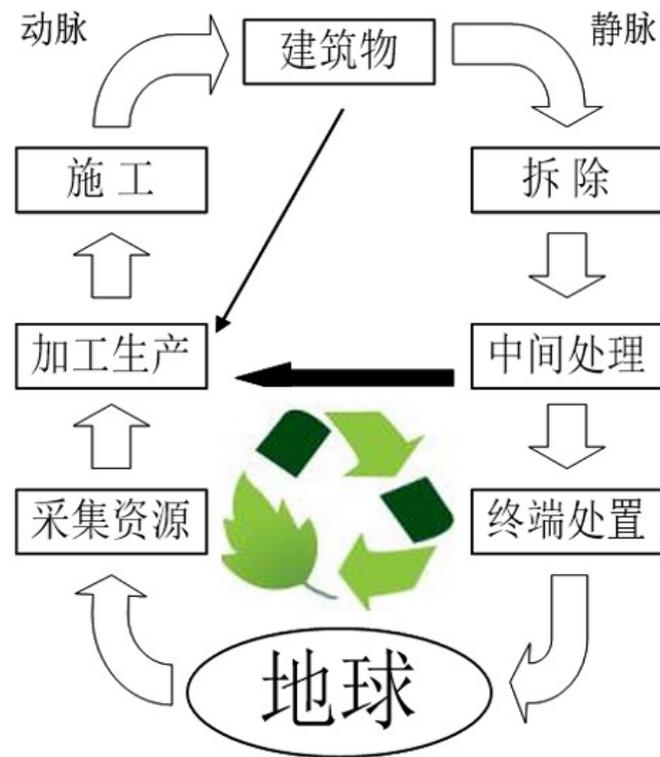
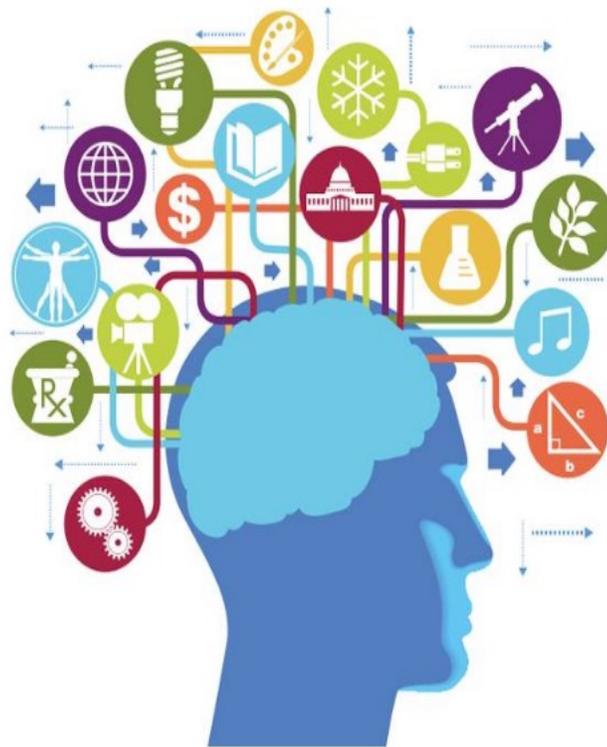
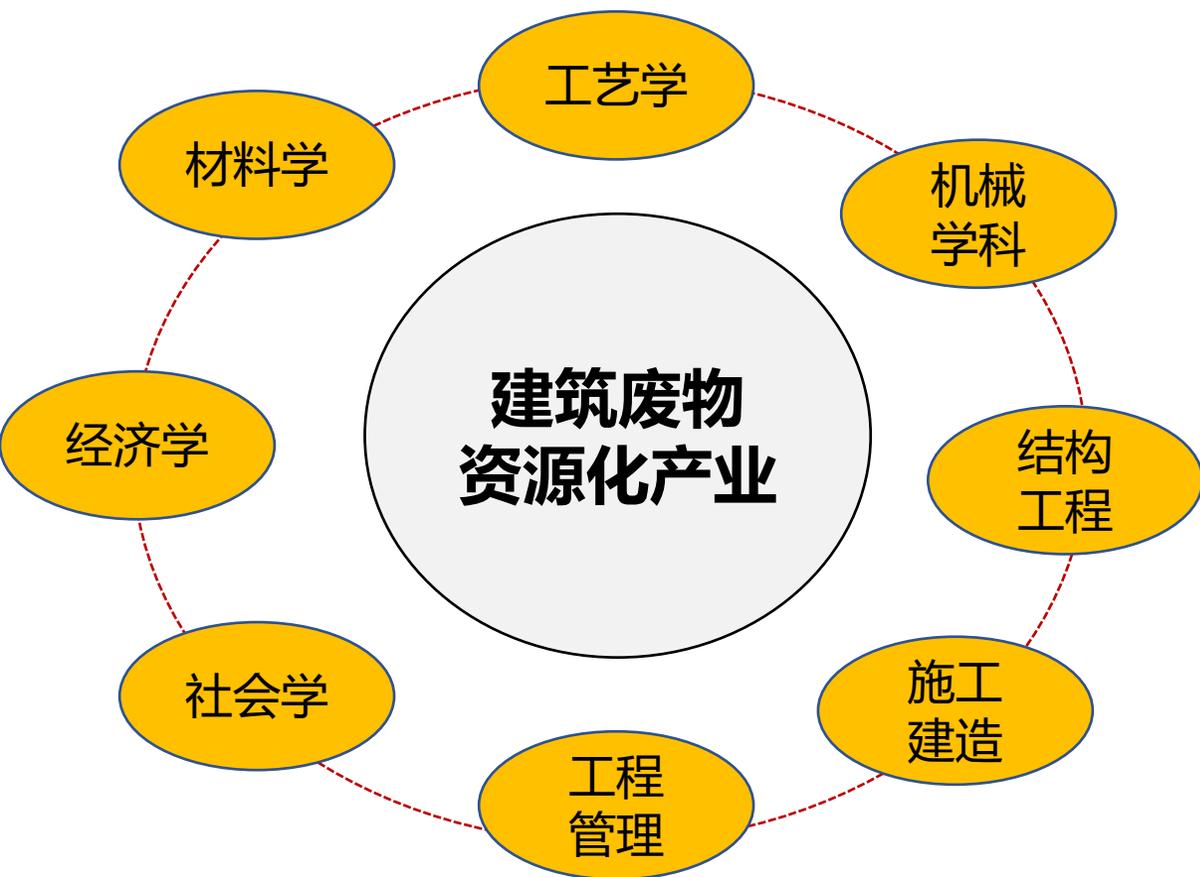


侧重点

- 资源化正-逆向协同
- 动态更新
- 全流程减碳机制



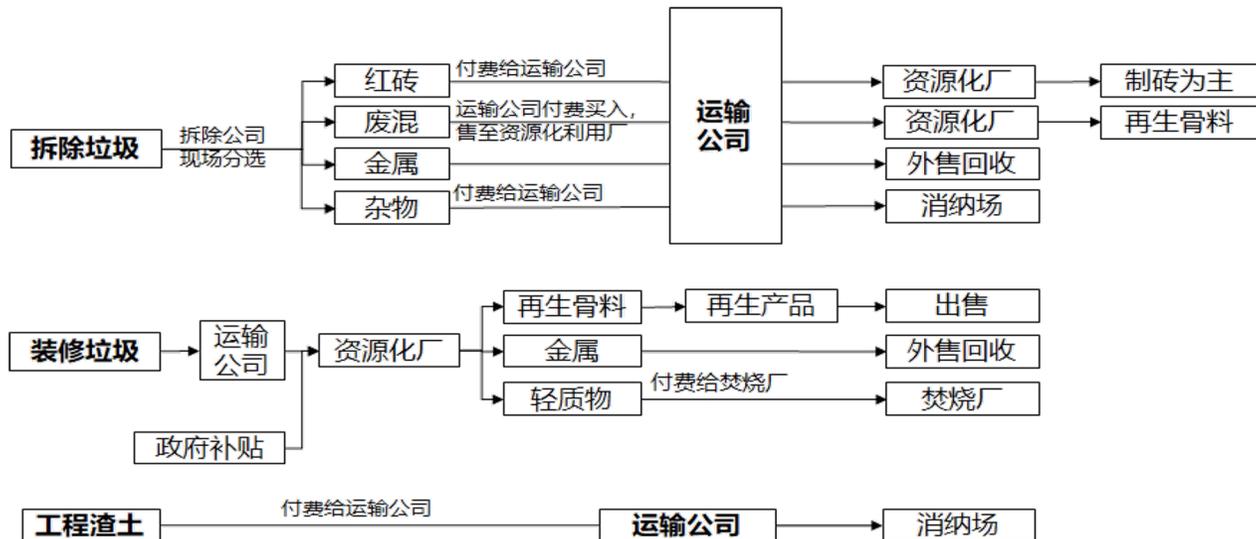
学科交叉协同



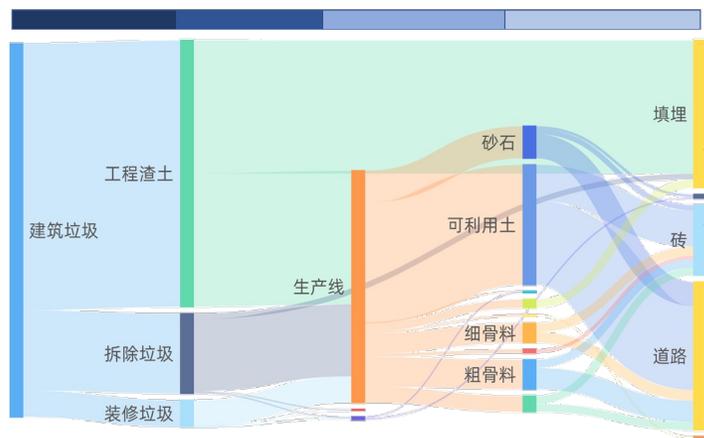
➤ 按照现在对资源化的理解，需要材料学、工艺学、设备、结构、施工、管理、经济、政策甚至文化方面的**学科交叉**

多源固废产出协同

建筑垃圾的收集、运输、利用现状与市场运作机制



生产 运输 处理 应用



运输：合理预测，对症下药
处理：物料流动，工艺协同
应用：组分互补，协同应用

“聚-散” 处置协同

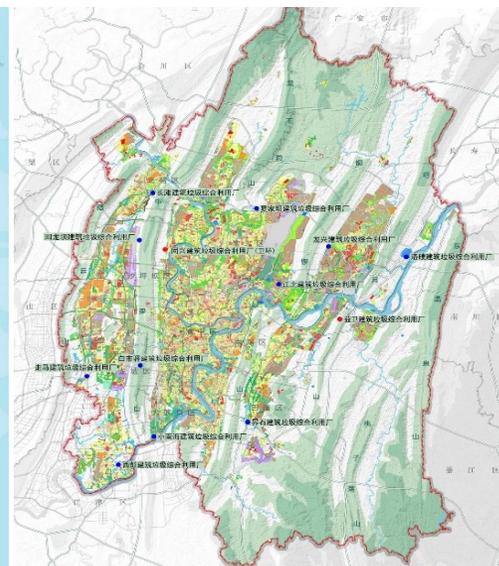
分散处置成本高 品质差
集中处置运距远 碳排高



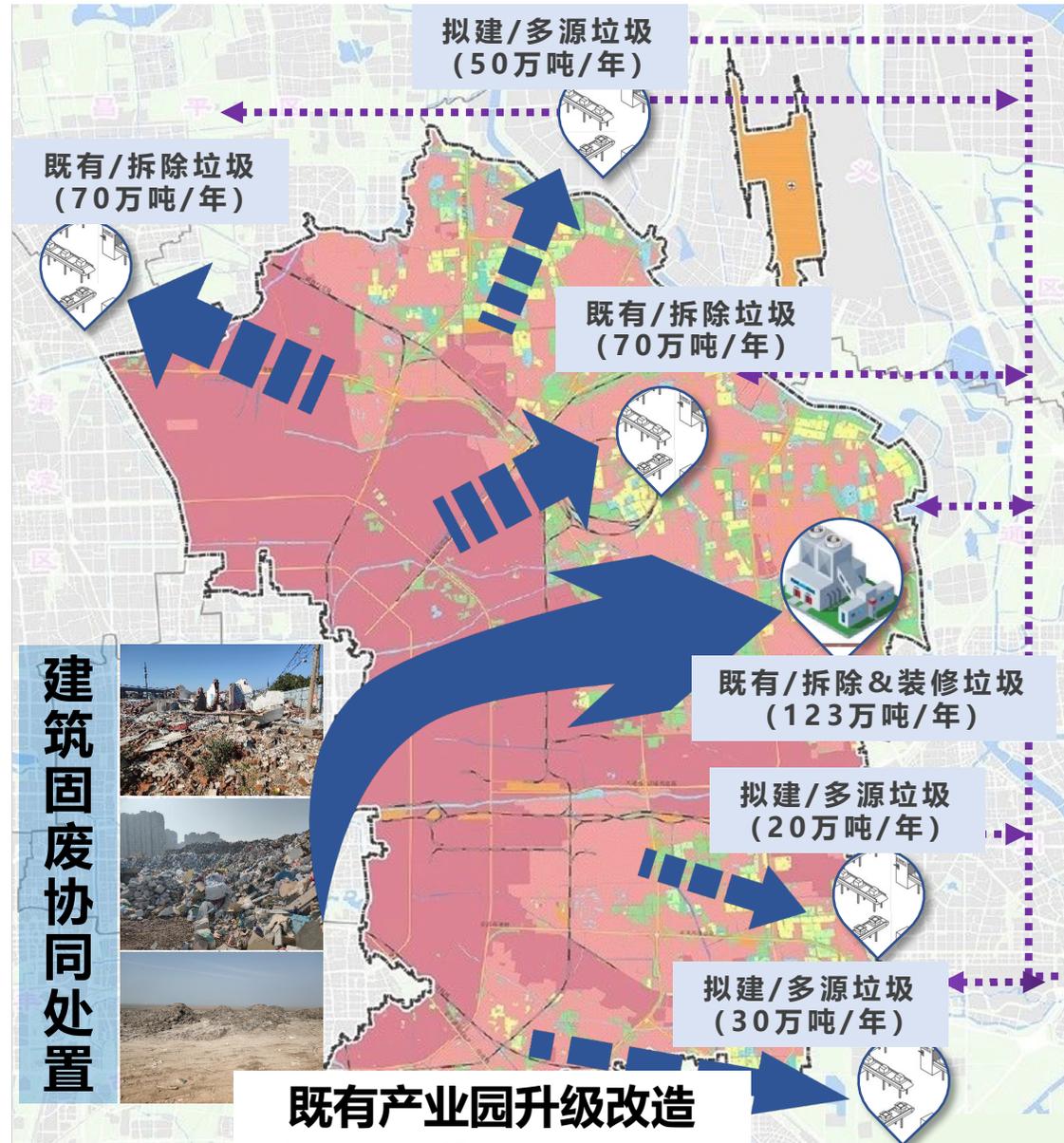
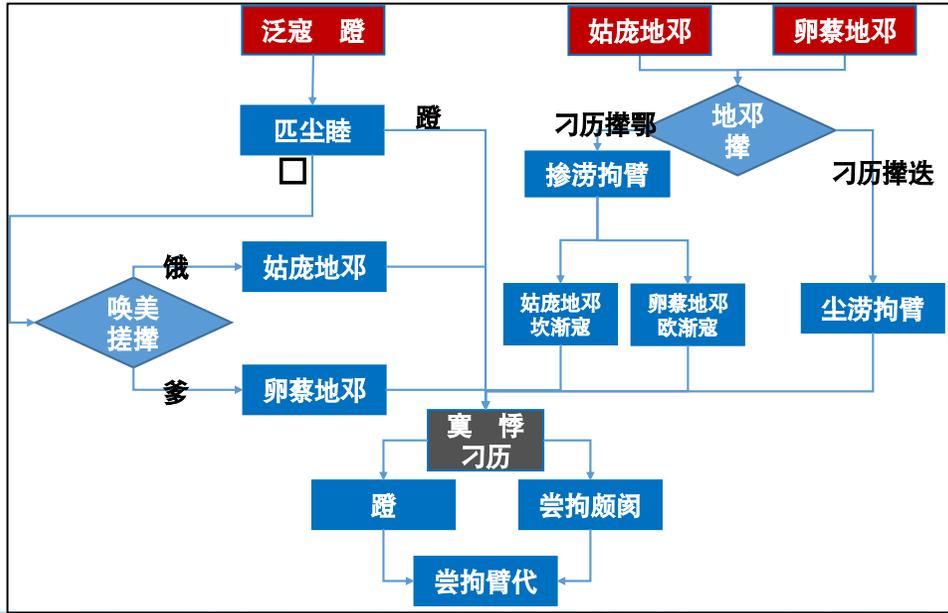
现场模块化高效处置与
产业园集中处置协同



城市尺度建筑垃圾资源化利用布局规划调研与分析



产业园协同处置



产生端



处置端

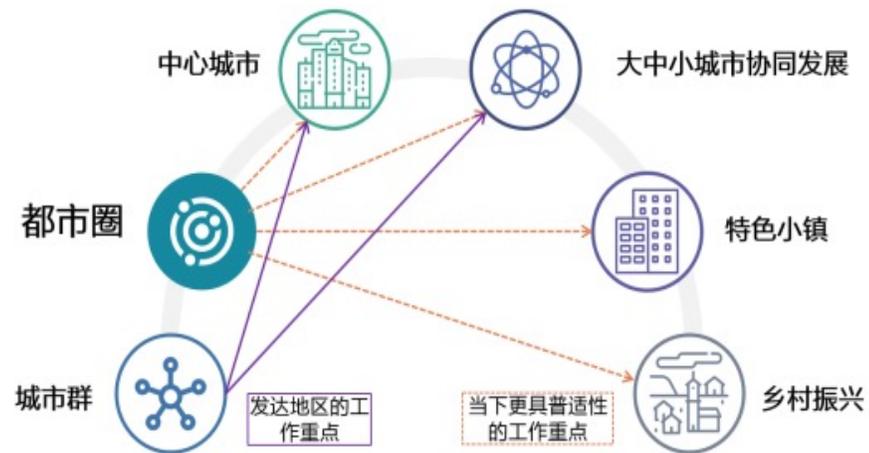
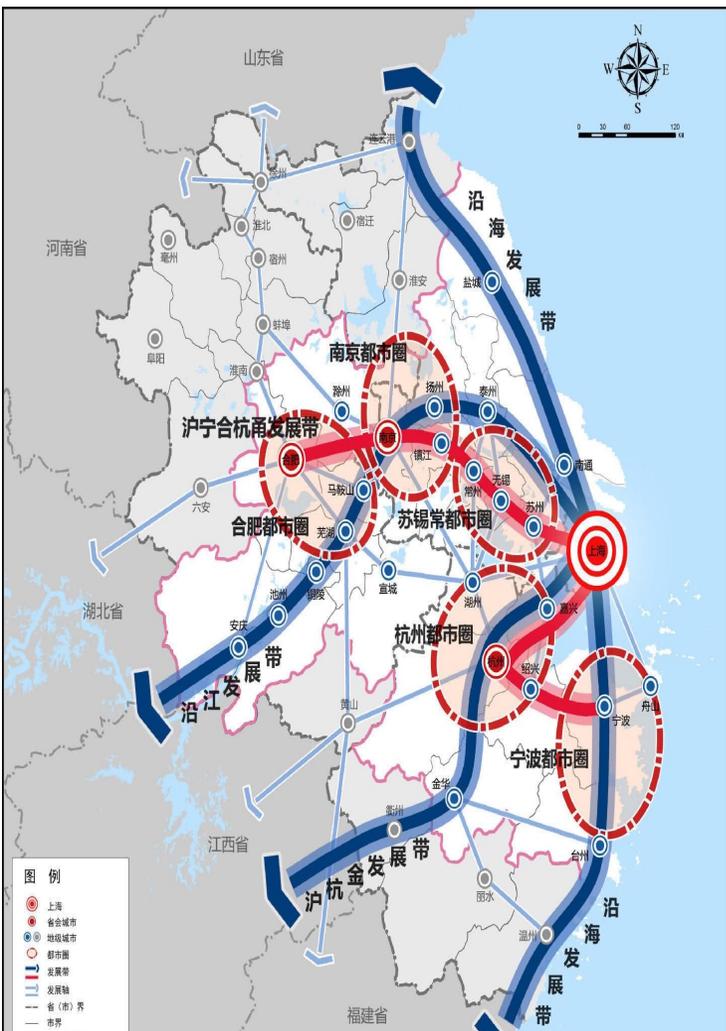


云端



协同处置新建产业园

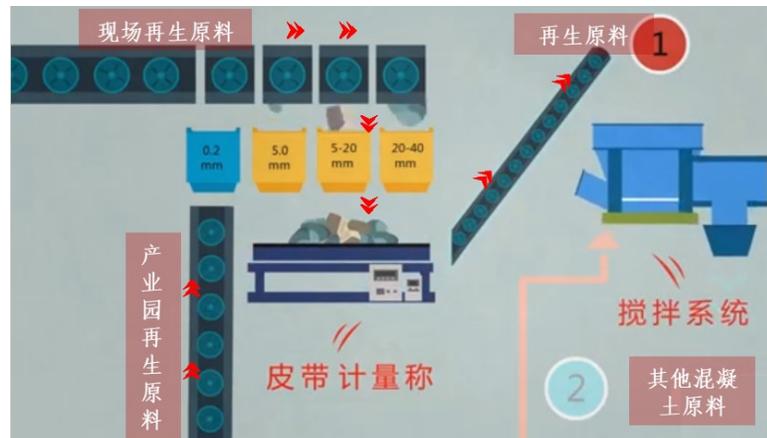
区域（地区）协同处置



产品枢纽化协同



多源建筑固废再生系统



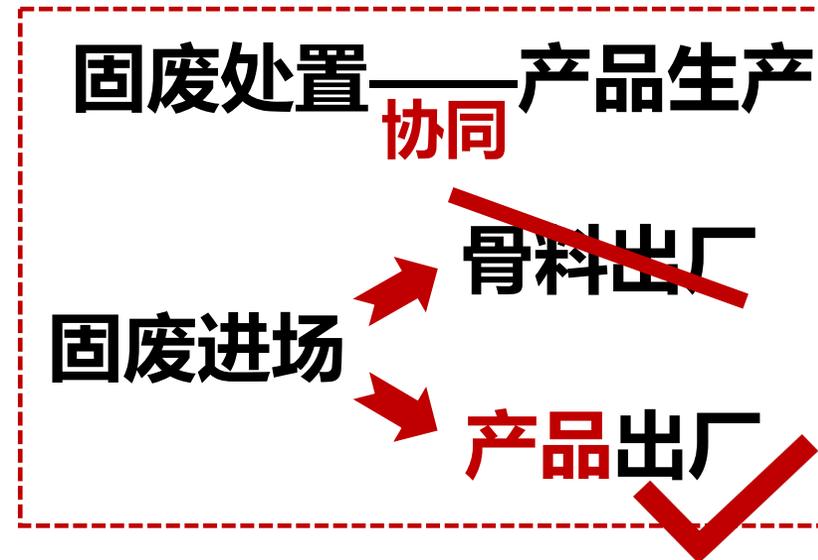
商砼搅拌站



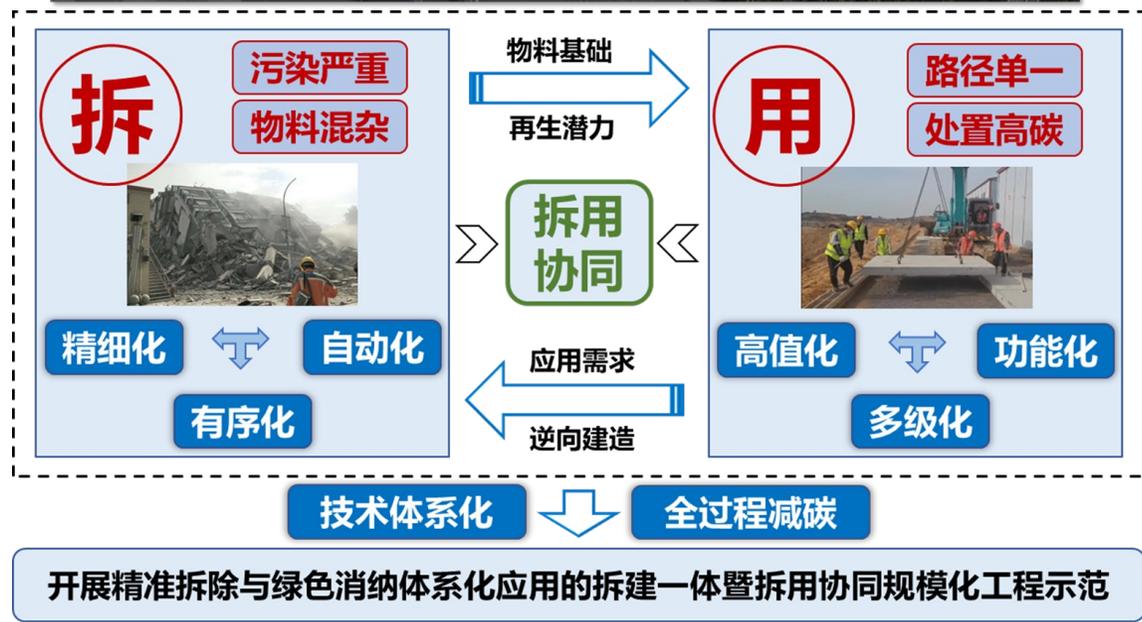
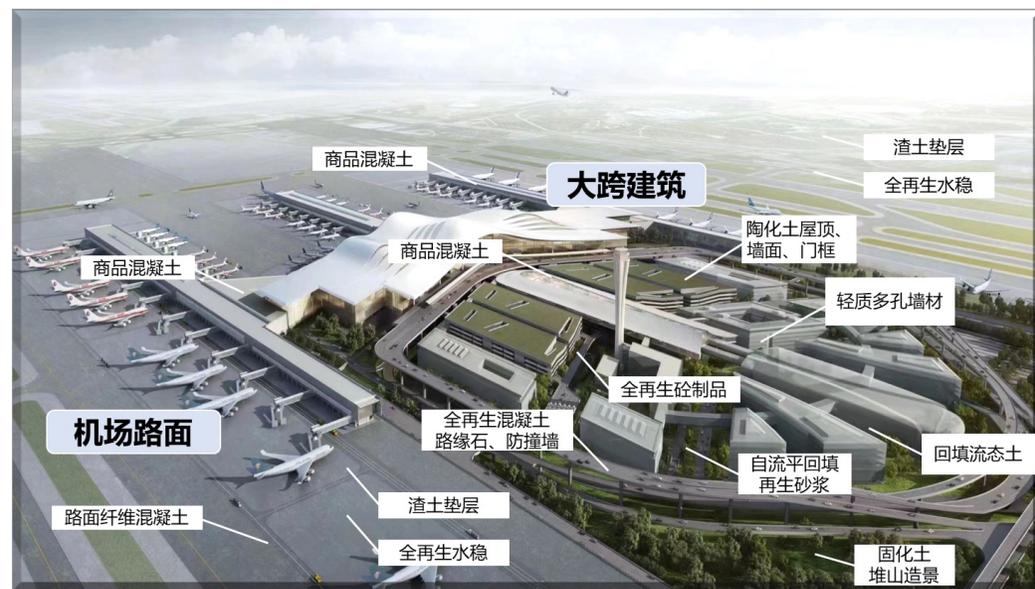
应用工程示范



预制厂



拆用应用模式与场景





目录

一、现状背景

二、为什么要资源化正逆向协同

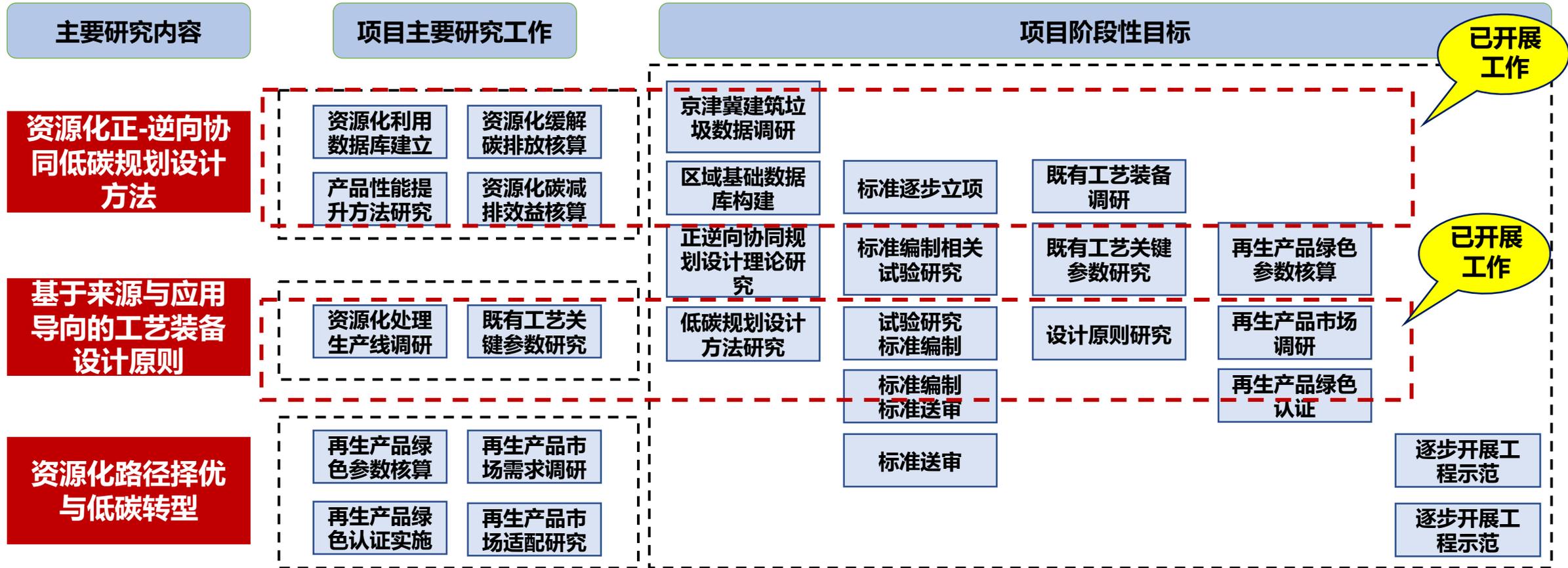
三、如何协同

四、资源化正逆向协同研究进展

五、总结与展望

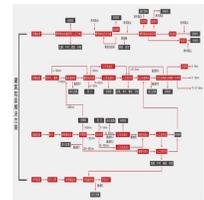
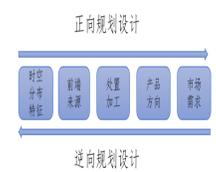
正逆向协同研究理论成果

城镇建筑垃圾资源化正-逆向协同的技术体系研究



已开展工作

已开展工作



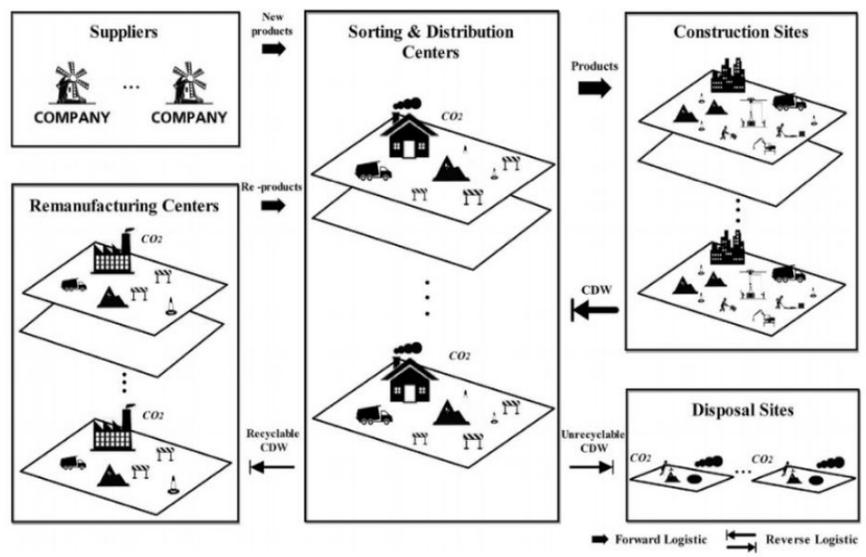
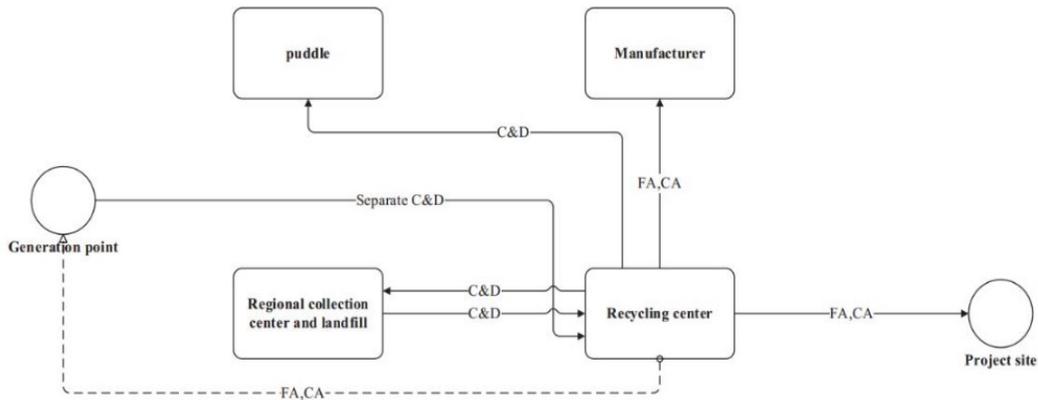
考核指标

- 京津冀地区建筑垃圾数据库
- 资源化正逆向协同规划理论
- 标准、规范3项
- 基于正-逆向工艺装备设计原则
- 基于正-逆向处置工艺模型
- 绿色认证产品2项
- 唐山、邯郸地区开展工程示范

正逆向协同研究理论成果

城镇建筑垃圾资源化正-逆向协同的技术体系研究

逆向



正-逆向

s.t.

$$\begin{aligned} \text{Min} C_1 &= \pi E + C \\ \text{Min} C_2 &= \pi(E - A_{\max}) + C \\ \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K Q_{ij}^k &= \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K Q_{jm}^k + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K Q_{jp}^k \\ \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K Q_{mj}^k + \sum_{k=1}^K Q_{spj}^k &= \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K Q_{ji}^k \\ x_j C a_j^{\min} &\leq \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K Q_{ij}^k \leq x_j C a_j^{\max} \\ x_m D a_m^{\min} &\leq \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Q_{jm}^k \leq x_m D a_m^{\max} \\ x_j C a_j^{\min} &\leq \sum_{m=1}^M Q_{mj}^k + Q_{spj}^k \leq x_j C a_j^{\max} \\ \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Q_{jm}^k &= \gamma \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J Q_{ij}^k \\ \sum_{j=1}^J Q_{mj}^k &= \lambda \sum_{j=1}^J Q_{jm}^k \\ Q_{ij}^k &\geq 0, Q_{jm}^k \geq 0, Q_{jp}^k \geq 0, Q_{mj}^k \geq 0, Q_{ji}^k \geq 0 \\ x_j &\in \{0, 1\}, x_m \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

基于运筹规划分析，提出城镇建筑垃圾资源化闭环供应链规划设计方法，综合正向和逆向物流，考虑再生产品的市场需求，针对不同城镇建筑垃圾处置的关键环节，以经济、环境、社会影响等规划控制建筑垃圾处置，并将如碳价等碳政策引入成本模型，建立基于正-逆向协同的城镇建筑垃圾规划设计方法，实现资源化价值的最大化。

正逆向协同研究理论成果

城镇建筑垃圾资源化正-逆向协同的技术体系研究

河北省住房和城乡建设厅

冀建节科函〔2023〕107号

河北省住房和城乡建设厅 关于发布河北省建筑垃圾再生利用 典型案例（第一批）的通知

各市（含定州、辛集市）城市管理综合行政执法局、住房和城乡建设局（建设局），雄安新区管委会建设和交通管理局：

为进一步推动建筑垃圾资源化利用工作，总结推广成熟有效的再生利用模式，我厅在全省征集了一批建筑垃圾再生利用典型案例，经各地推荐和专家审议，确定了6个案例作为第一批建筑垃圾再生利用典型案例，现予以发布，请结合实际学习借鉴。

附件：河北省建筑垃圾再生利用典型案例（第一批）



一、再生产品利用典型工程——沧州市永济路（迎宾大道-鞠官屯泵站）提升改造工程-道路排水工程

二、多种固废协同处置模式——迁安威盛全固废混凝土

三、建筑固废综合利用典型——秦皇岛红正建材再生基地项目

四、建筑垃圾处置和再生利用国企典范——张家口市建筑垃圾处置和综合利用工程

五、建筑产业全生命周期循环生态系统——邯郸宗楼建筑垃圾综合利用模式

六、地方典型的建筑垃圾资源化模式——唐山润腾建筑垃圾利用技术

ICS 13.020.10

CCS Z 00

JC

中华人民共和国建材行业标准

JC/T XXXX-XXXX

建筑垃圾再生建材产品评价技术要求

Technical requirements for evaluation of construction waste recycling building materials

（征求意见稿）

2020.08.25

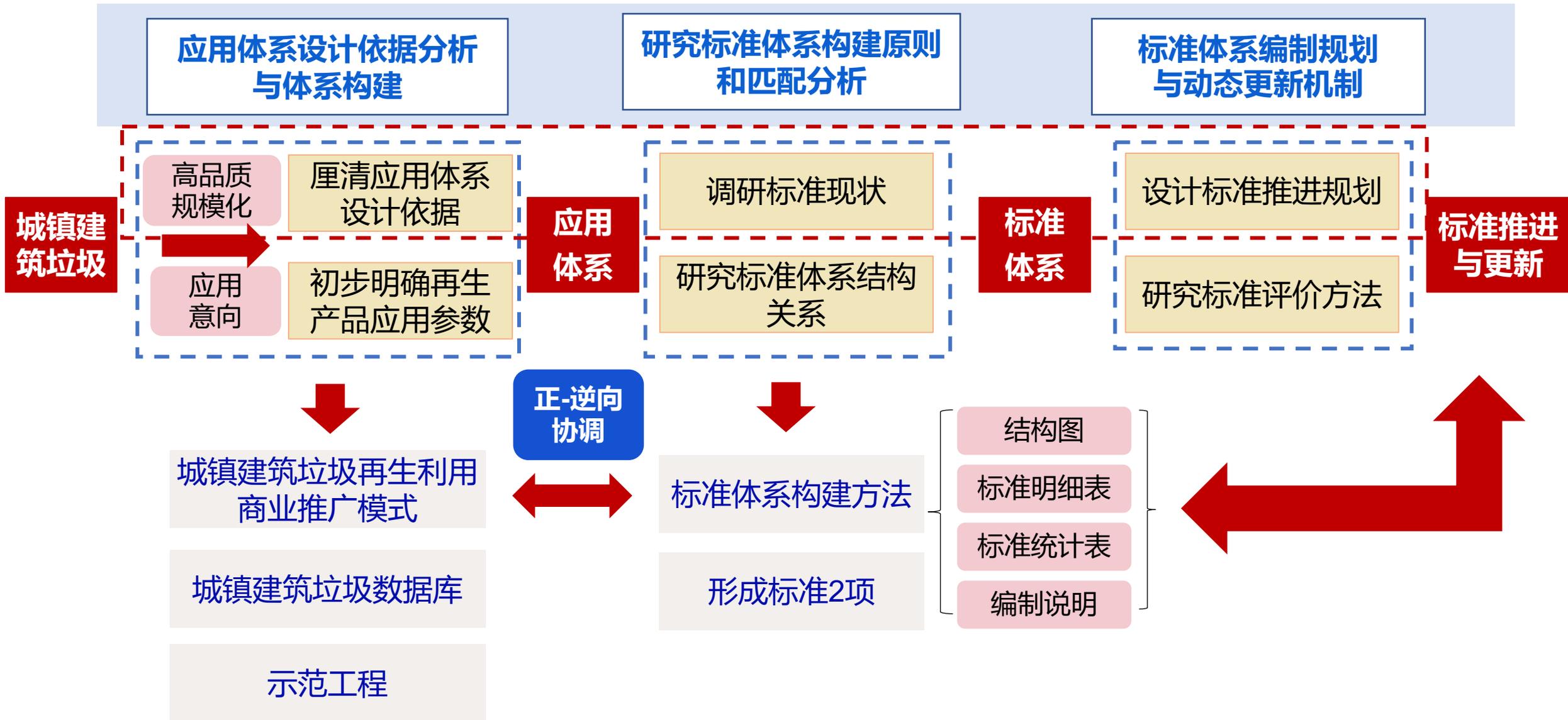
XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

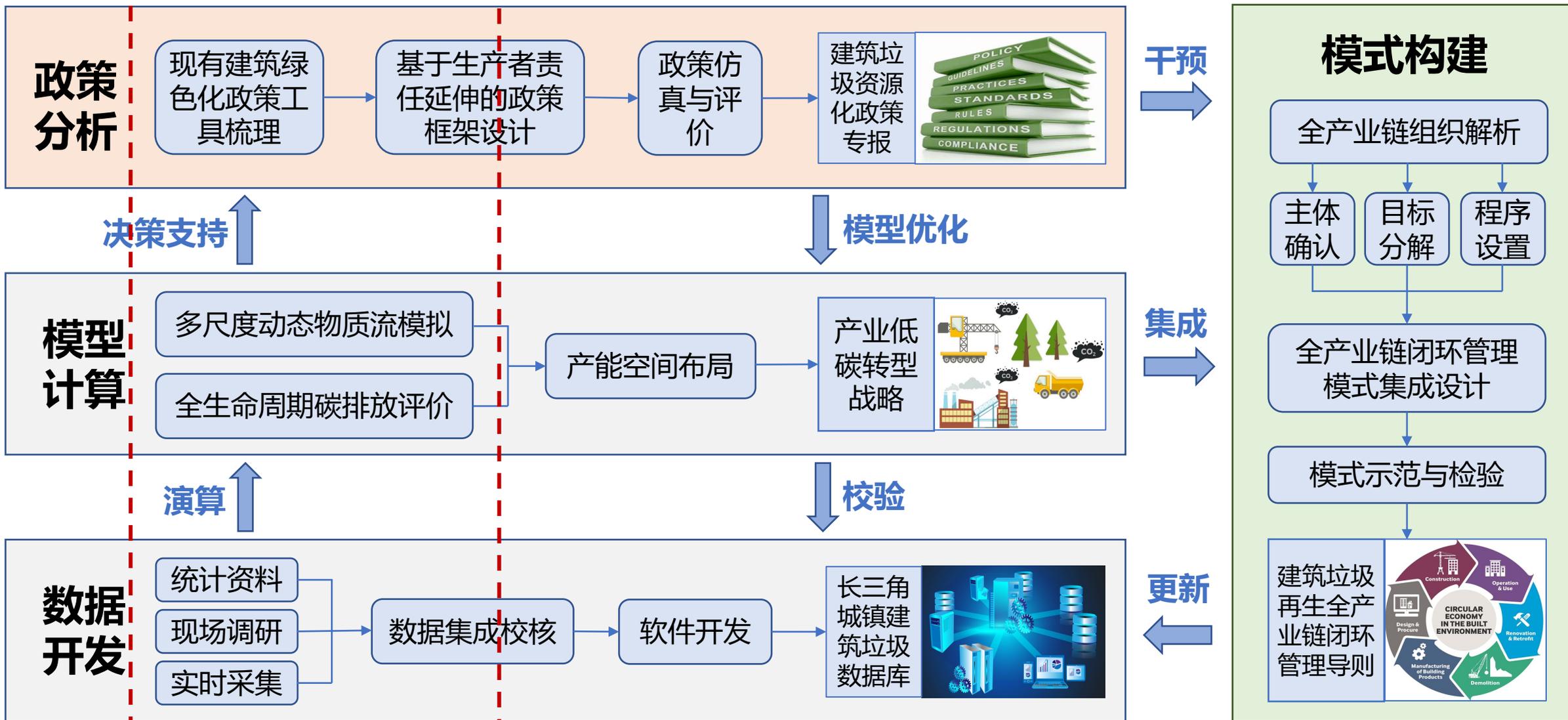
正逆向协同研究理论成果

资源化正逆向协同全程应用体系与标准化研究



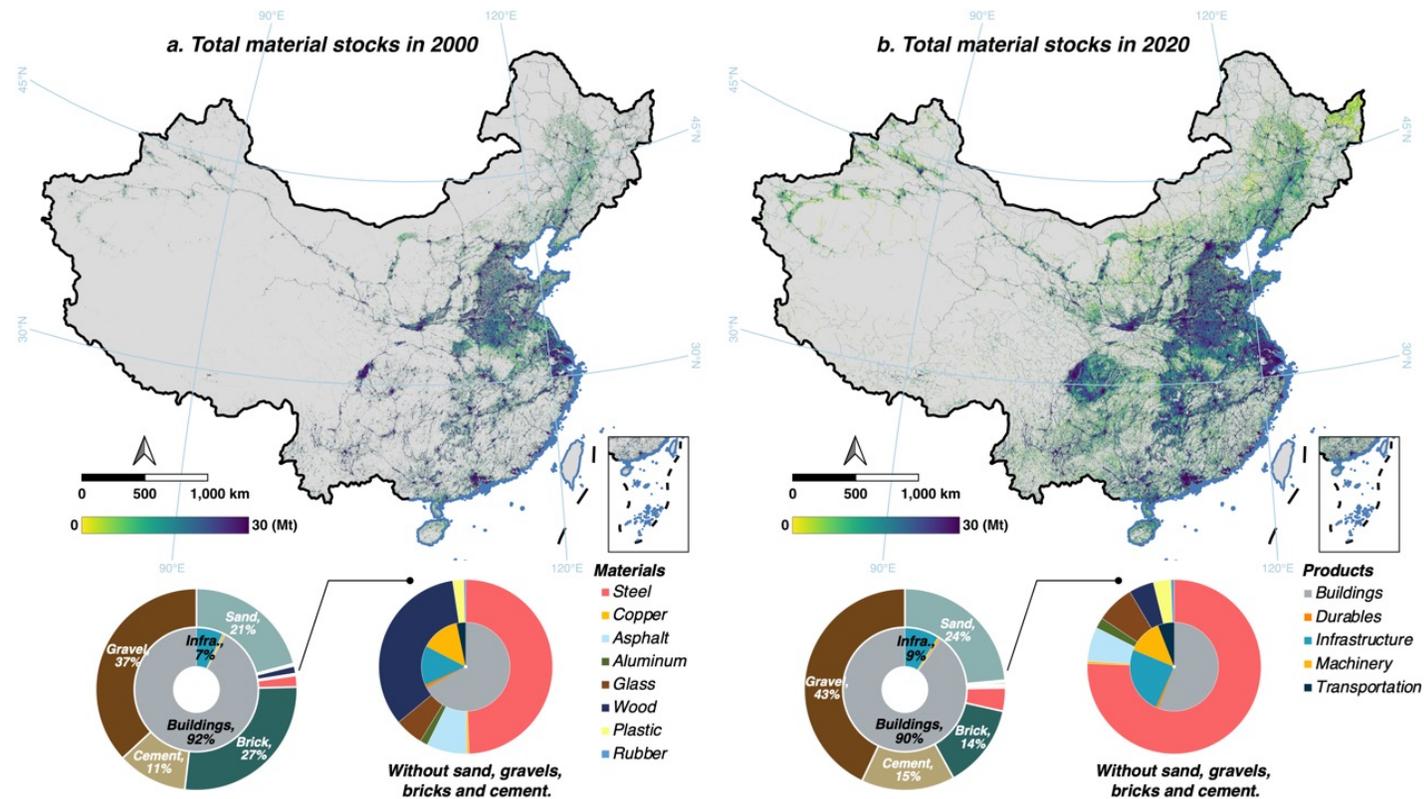
正逆向协同研究理论成果

资源化正逆向协同低碳循环战略、政策与管理体系

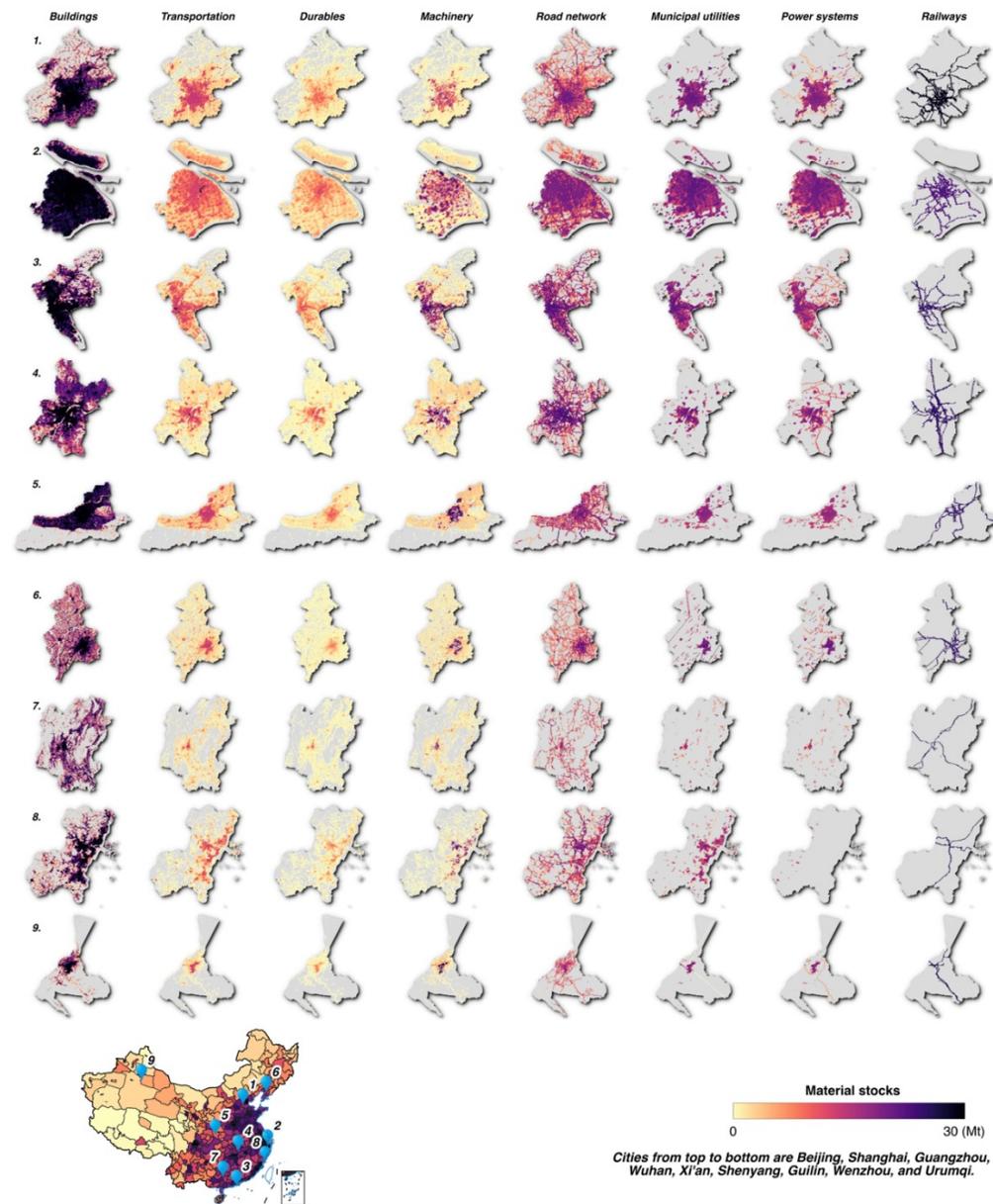


正逆向协同研究理论成果

资源化正逆向协同低碳循环战略、政策与管理体系



分析了建筑材料（砂、碎石、水泥、砖等）在中国各地的库存分布的时空变化情况（近20年）。该数据集可以支持对长期动态、社会经济发展和人类活动的研究，包括城市扩张、碳排放和资源化利用



协同实施案例-模块化设备



螺旋轴筛分机



风选机



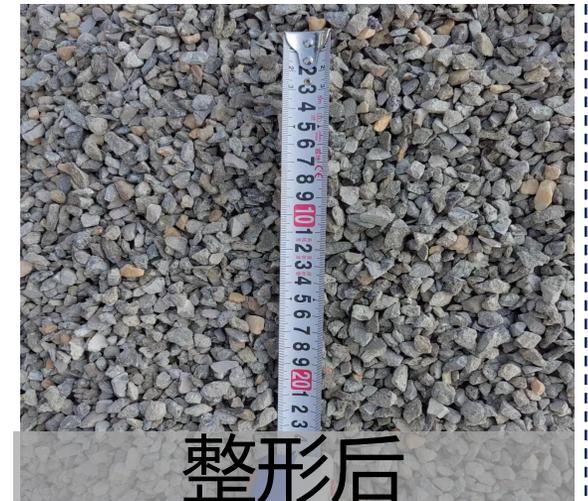
整形前



模块化移动筛分站



模块化移动整形破碎站



整形后

产品枢纽化协同

固废综合处置中心

传统处置模式



存在问题

- 管理过程复杂，可控制度低
- 破坏环境，污染水源
- 占用大量土地
- 山体滑坡风险高，安全隐患大

新型处置模式

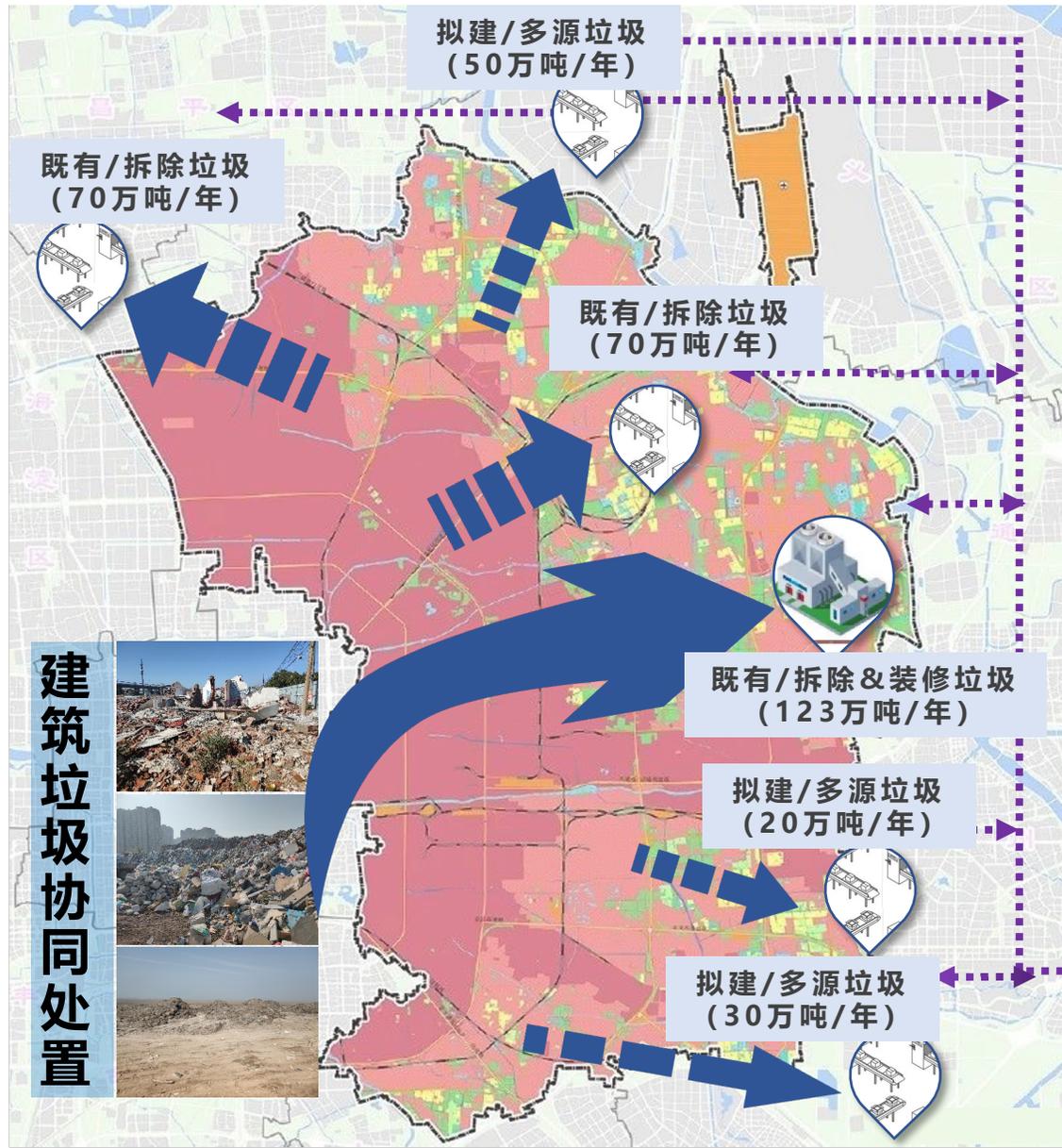
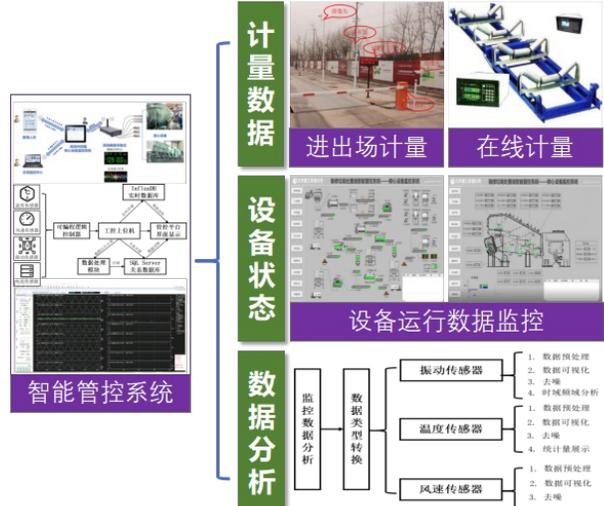


优势效益

- 管理单一
- 从固废到产品转变，经济效益显著
- 全过程可控、低碳环保
- 释放大量土地，生态效益显著

智能管控

建筑垃圾智能管控



产生端



处置端



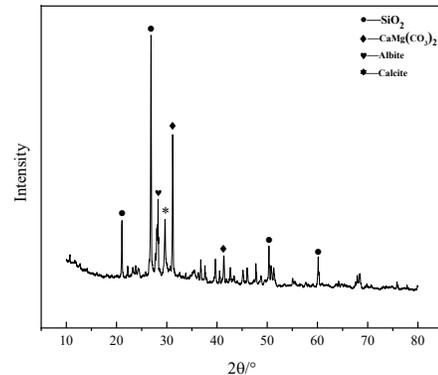
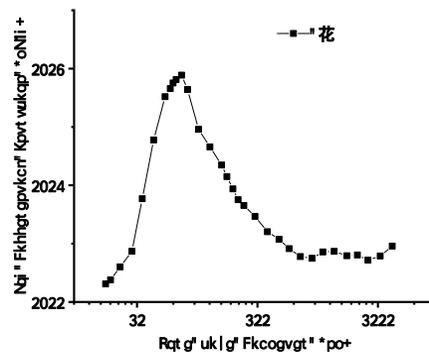
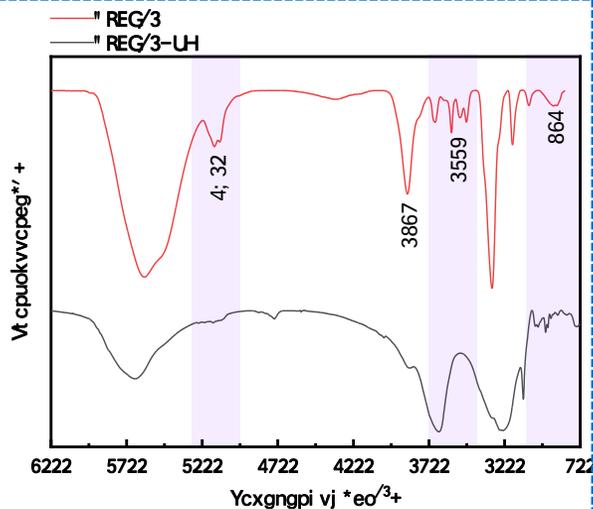
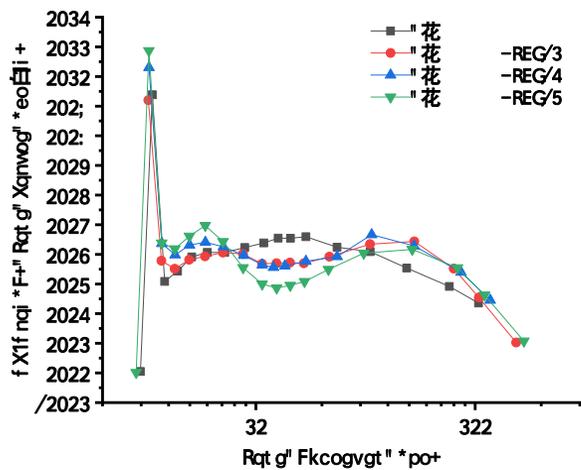
云端



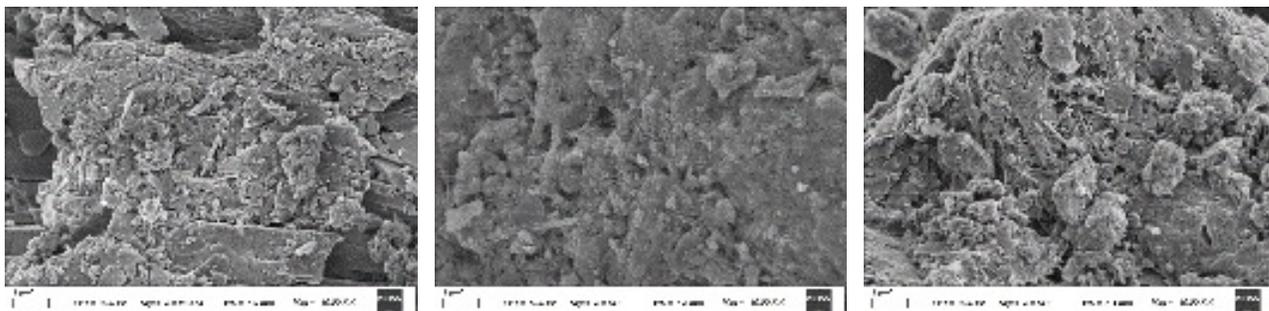
再生产品正逆向协同设计方法

高性能再生混凝土正-逆向优化设计与制备

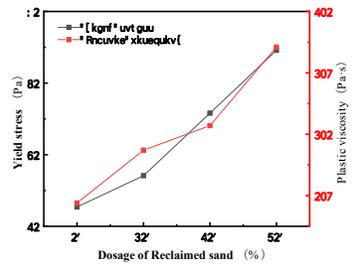
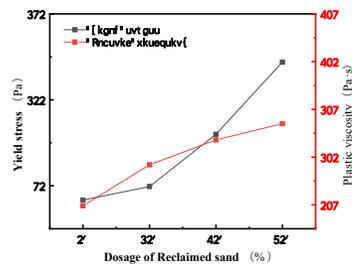
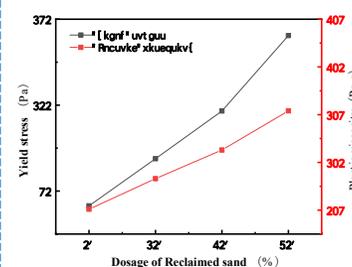
再生高性能混凝土性能正向优化——优化外加剂调配分析



再生砂粉孔径分布、物相分析



再生砂粉吸附前后，表面孔结构、微观形貌、官能团的变化情况



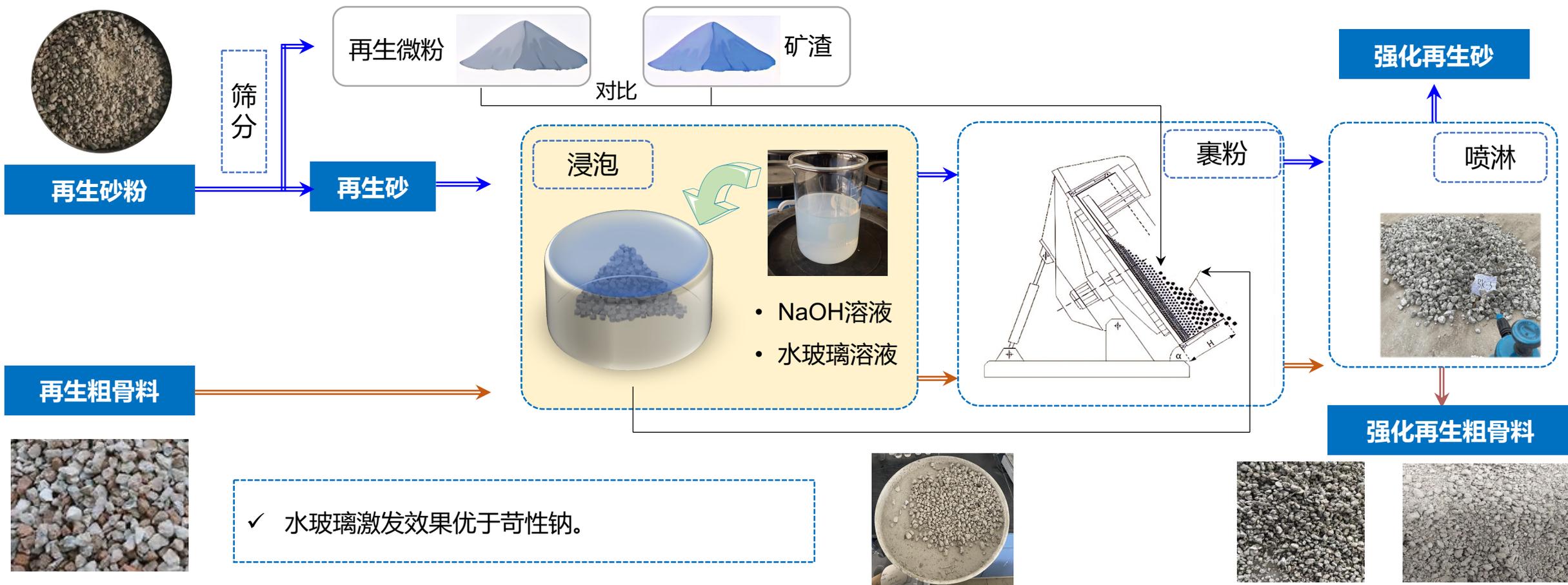
再生砂组分对砂浆流动性（屈服应力/塑性粘度）

➤ 再生砂粉中10~20nm微孔是造成聚羧酸减水剂无效吸附的主要原因，短主链长侧链减水剂抗无效吸附的能力较高

再生产品正逆向协同设计方法

高性能再生混凝土正-逆向优化设计与制备

再生高性能混凝土性能正向优化——再生骨料表面缺陷自修复与粒形修整



裹粉强化作用可极大消减再生粗骨料对混凝土强度的负面作用，合理调配甚至可使7天强度提高22%。

协同实施案例-拆用协同

● 以路桥改扩建工程为例，亟需与之匹配的逆向设计技术



拆 **建**

逆向

新建工程

应用场景规划

序号	分类	应用项目	数量	指标要求	参考规范	备注	
1	(一) 路面	再生水稳基层	18832m ²	无侧限抗压强度5MPa	《公路路面基层施工技术细则》(JTGF/T20-2015)	CDE匝道水稳基层	
2		再生混凝土路面	200m ²	C30; 磨耗量 ≤2.5kg/m ²	《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTGF/T30-2014)	地方路或收费站场混凝土路面	
3	(二) 小型预制构件	再生混凝土路缘石	100m	C25; 吸水率≤6.0%	《混凝土路缘石》(JCT 899)	可与生产厂家联合生产 视加工效果酌情增加加工量	
4		再生六角砖	500块	C20; 透水系数 ≥0.01;	《混凝土路面砖》(GB 28635-2012)	用于水沟砌筑, 项目具备加工条件, 可大面积使用	
5		再生一字砖	1500m	磨坑长度 ≤32mm; 防滑DPN值 ≥60			
6	(三) 附属工程	再生混凝土防撞墙	300m	C30	《公路桥涵设计通用规范》(JTGF/D60-2015)	建议在匝道SA级护栏上使用再生料, 视外观效果酌情增加使用范围	
7	(四) 站房	站房框架结构	120m ³	C30	《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)	东侧站房除柱基外, 其余框架结构及砖砌结构建议采用全再生结构, 并布设检测仪器, 作长期实验观测及展示。	
8	收费站房	站房砌体结构	全再生料生产	C25			
9	(五)	消防通道桥	桥梁结构	953m ³	C35	《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)	消防通道下部结构及梁板现浇混凝土使用
10	(六)	场地硬化	再生混凝土路面	待定	C20	《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTGF/T30-2014)	施工场地硬化

产品指标



耐磨性



抗离子侵蚀、碳化

➤ 桥梁、路面耐久性需求

正向



前端分类-再生原料/再用构件



再生混凝土摊铺

➤ 废混凝土再生

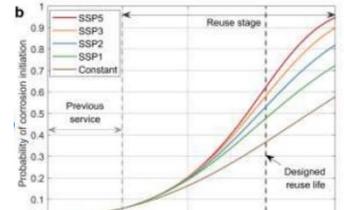
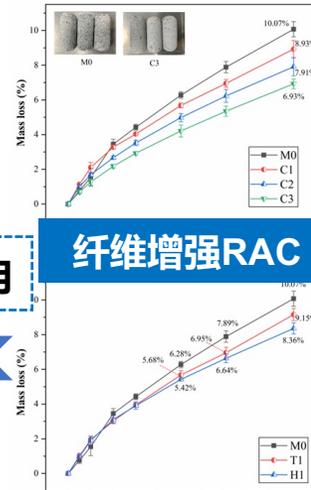


旧砼构件检测加固

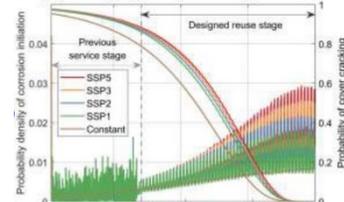
➤ 旧砼构件再用

高值利用

纤维增强RAC



耐久性评估



➤ 高附加值再生产品逆向设计

资源化正逆向实践

西部陆海新通道（平陆）运河跨线桥梁工程（2024）

旧桥拆除固废处置正向需求



保通桥原位建设逆向需求



沙井钦江大桥



南珠大街跨江桥



永福大桥



子材大桥



北环路跨江桥



金海湾大桥



兰海高速钦江大桥



固废原位利用

应用场景：桥面板

强度等级：C50

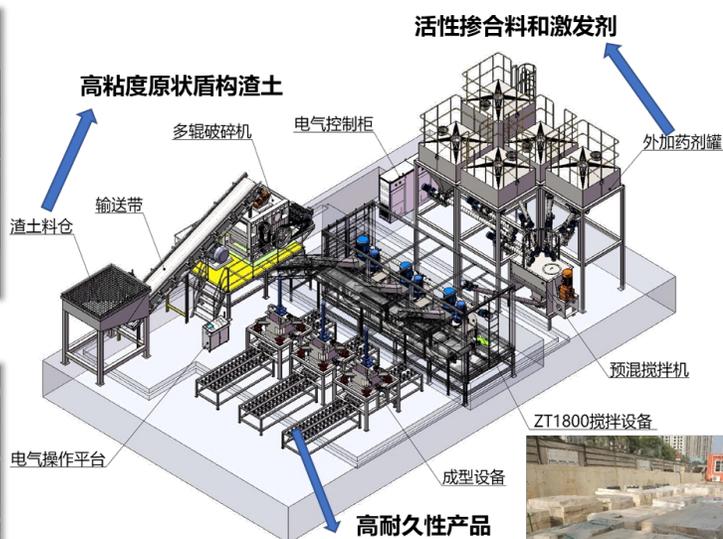
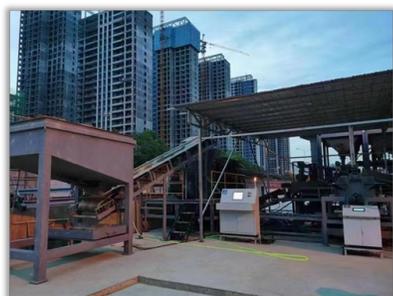
取代率：30%

资源化正逆向实践

基于多源渣土资源化特性的处置工艺体系



基于应用需求的产品产线



固化土拌合装备



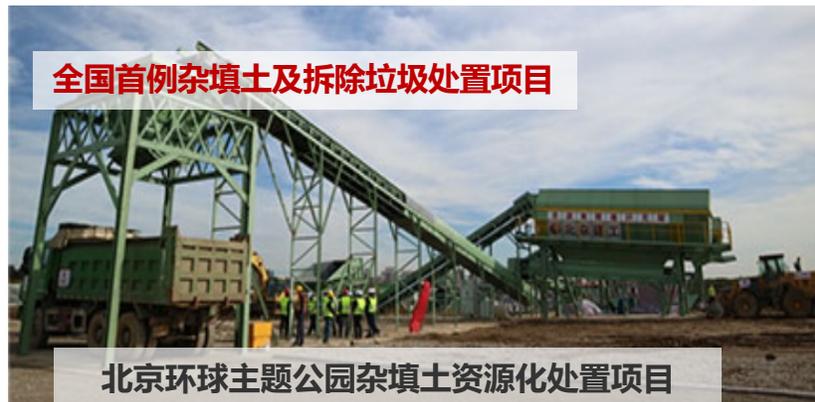
全自动码坯机



工程渣土处置装备-辊道窑



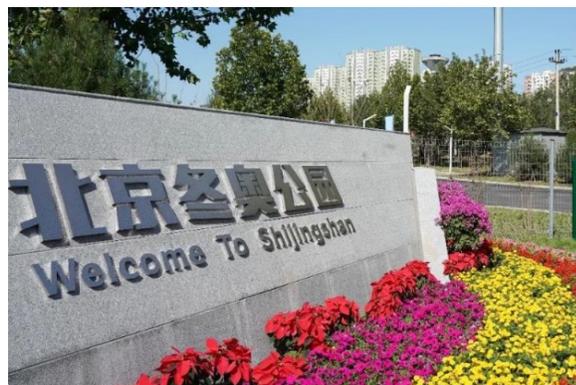
长沙原状盾构渣土中试线



全国首例杂填土及拆除垃圾处置项目

北京环球主题公园杂填土资源化处置项目

资源化正逆向实践





目录

一、现状背景

二、为什么要资源化正逆向协同

三、如何协同

四、资源化正逆向协同案例

五、总结与展望

结语

- 当前全国建筑固废资源化率虽有提升（35-40%），但**高品质、规模化、体系化应用技术**严重匮乏，距离 2030 年 55% 的目标仍有较大差距，且资源化过程减碳研究缺失。
- 进一步深化从**建筑垃圾理化性能到开发常规建材**的正向规划设计研究，兼顾**产品性能反馈、工程应用需求**等的逆向规划设计与调控，是资源化正-逆向协同规划应用理论的重点。
- 推动“**建筑固废资源化正-逆向协同规划与应用**”的顶层设计，有利于解决我国建筑固废资源化过程中的关键科学与技术难题，实现多场景、多层次的体系化应用。
- 建筑固废**源头预处理、收运处置、再生产品生产和规模化应用**等资源化环节的**减碳、固碳**潜力及其优化方法有待进一步完善。
- 国际交流、国际标准十分重要，亟待展开



谢谢！ 敬请批评指正！

肖建庄

**广西大学双碳科学与技术研究院
同济大学绿色建造研究中心**

2024年8月21日