

引用格式:张杰,李成磊,何帆,等.科研引领、新旧共生的工业厂房再利用改造更新——清华大学南口全国重点实验室基地 C10 实验室[J].工业建筑,2026,56(5):1-13. ZHANG Jie, LI Chenglei, HE Fan, et al. Scientific Research-Led Renovation and Adaptive Reuse of Industrial Workshops with Symbiosis of Old and New: a Case Study of C10 Laboratory at Nankou Base for State Key Laboratories, Tsinghua University[J]. Industrial Construction, 2026, 56(5): 1-13 (in Chinese). DOI: 10. 3724/j. gyjzG26040206

科研引领、新旧共生的工业厂房再利用改造更新^{*} ——清华大学南口全国重点实验室基地 C10 实验室

张 杰^{1,2} 李成磊³ 何 帆³ 侯志荣³ 张 郁³ 张 健³

(1. 清华大学建筑学院,北京 100084;2. 北京建筑大学建筑与城市规划学院,北京 100044;

3. 清华大学建筑设计研究院有限公司,北京 100084)

摘 要 结合清华大学南口全国重点实验室基地 C10 实验室改造工程,针对老旧工业厂房改造为国家级重点实验室过程中的遗产保护与科研功能适配的核心难题,搭建了“保护—重构—共生”的全流程改造实施框架。项目借助多源异构数据融合技术完成厂房现状的全维度诊断,建立工业遗产三级保护体系,形成了兼顾遗产风貌保留与建筑性能提升的成套改造技术,在实现工业文脉传承、科研功能落地与绿色低碳建设目标的同时,也为同类老旧工业厂区科创化改造项目提供了可复制的工程经验。

关键词 城市更新;工业厂房再利用;国重实验室;新旧共生;绿色低碳

Scientific Research-Led Renovation and Adaptive Reuse of Industrial Workshops with Symbiosis of Old and New: a Case Study of C10 Laboratory at Nankou Base for State Key Laboratories, Tsinghua University

ZHANG Jie^{1,2} LI Chenglei³ HE Fan³ HOU Zhirong³ ZHANG Yu³ ZHANG Jian³

(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Architecture and Urban Planning, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. Architectural Design and Research Institute of Tsinghua University Co., Ltd., Beijing 100084, China)

Abstract: Taking the renovation project of C10 Laboratory at Tsinghua University's Nankou Base for State Key Laboratories as the engineering background, this study focused on the core contradiction between industrial heritage conservation and the functional needs of national key laboratories in the adaptive reuse of old industrial buildings, and proposed a full-cycle renovation framework of "Conservation - Reconstruction - Symbiosis". With multi-source heterogeneous data fusion, this study completed a comprehensive diagnosis of the workshop, established a three-level industrial heritage conservation system, and developed integrated renovation technologies for heritage feature preservation and building performance improvement. The project achieved the coordinated goals of industrial context inheritance, scientific research function implementation and low-carbon development, and provided replicable engineering reference for the sci-tech innovation-oriented regeneration of similar old industrial areas.

Keywords: urban regeneration; reuse of industrial workshops; state key laboratory; symbiosis of old and new; green and low-carbon

^{*} 能源基金会项目“老旧片区更新减碳实施障碍与政策响应研究”(G-2511-37031)。

第一作者:张杰,教授,主要从事文化保护传承、城市更新与可持续发展领域的科学研究工作。

电子信箱:zjzhangjie@mail. tsinghua. edu. cn

收稿日期:2026-04-02

1 项目建设背景与总体规划理念

1.1 清华大学昌平南口全国重点实验室基地

为贯彻落实国家科技创新驱动发展战略,盘活城市存量工业资源,昌平区启动清华大学南口全国重点实验室基地(简称“国重基地”)建设。项目选址于北京市昌平区南口镇(图1),总用地面积约43 hm²,总建筑面积约47.3万 m²,是北京市城市更新重点工程。

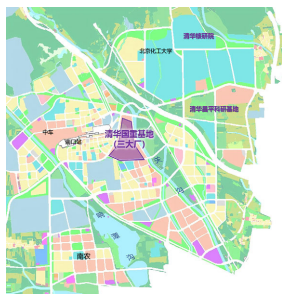


图1 国重基地区位图

Fig. 1 Site map of Tsinghua University's Nankou Base for State Key Laboratories

项目以城市更新为核心路径,对北京保温瓶工业公司、北京平板玻璃集团公司、北京市汽车钢圈总厂(简称“三大厂”)老旧厂区进行系统性改造(图2),核心功能为集中承接清华大学14个以上全国重点实验室,同步配套建设工业博物馆、商务酒店等服务设施。项目通过定制化设计,为科研人员打造“办公+实验+交流”一体化研发空间,服务国家基础科学研究、创新人才培养与科技成果转化,最终形成“配套完善—要素集聚—产业升级—区域发展”的良性循环,打造存量工业用地科创化更新的城市样板(图3)。

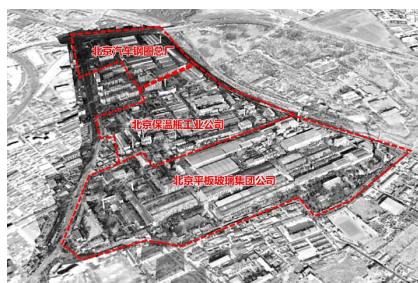


图2 “三大厂”厂区原貌

Fig. 2 Original appearance of the three major factory areas

1.2 核心理念与整体实施路径

项目秉持“人文日新、融合共生、科创引领、绿色低碳”的核心理念^[1],立足于南口镇工业遗产历史价值与清华大学科创功能需求,构建了“保护—重



图3 “三大厂”更新鸟瞰图

Fig. 3 Aerial view of the three major factories after renewal

构—共生”的全周期实施路径。

在改造全过程中,项目坚持“留、改、拆、补”并举的原则^[2]:一方面完整保留“三大厂”的山水格局、工业厂区肌理、核心建筑风貌与标志性工业构件,传承工业历史文脉(图4);另一方面融入清华校园的历史文脉与科研空间基因,通过“精准拆除+工业遗产保护利用”的模式^[3],对园区既有建筑开展安全性、适配性与建筑性能一体化提升设计,最终实现“空间盘活”与“文脉传承”的双赢,达成城市更新与工业遗产保护的双向赋能。

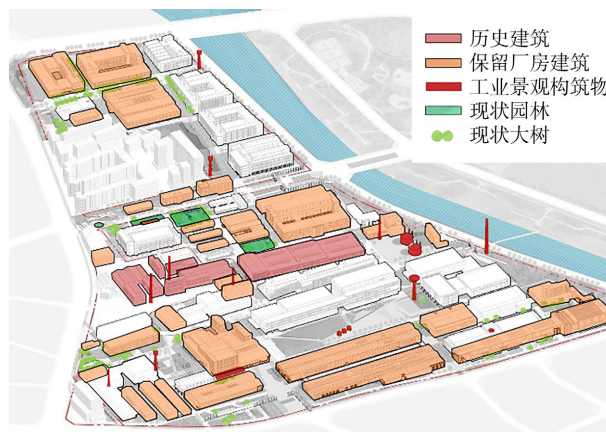


图4 厂区价值要素

Fig. 4 Value elements of the factory area

2 全维度诊断与价值评估

既有工业厂房的改造更新,必须以精准的价值甄别与完善的现状诊断为前提^[4]。项目建立了“数字化技术赋能—工业厂房价值甄别—现状问题诊断”的全流程评估体系,为后续改造设计提供精准依据。

2.1 基于多源异构数据的城市更新全生命周期设计方法及系统

针对城市更新项目现状资料缺失、多源信息整合难度大、全周期管理不足的行业痛点,项目搭建

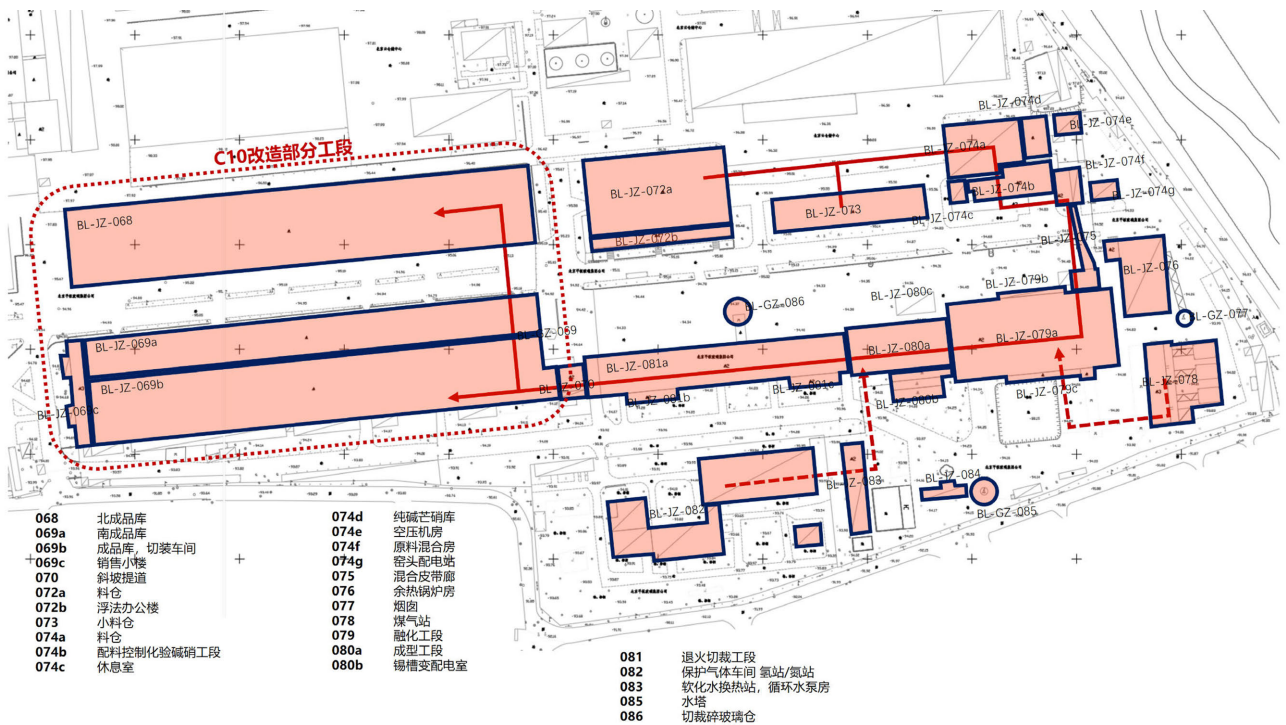


图 8 平板玻璃厂生产流程
Fig. 8 Production process of the flat glass factory

2.3 结构安全与建筑物理环境系统性检测评估

结构安全精准诊断——针对项目竣工资料缺失、抽样检测精度不足、基础承载力判定依据不充分三大行业痛点,项目团队为 C10 建筑建立了“全域实测一分系统还原一多方法验证”的全流程精准诊断体系。通过逆向建模技术(图 9),结合三维激光扫描、动力特性测试,完整还原了建筑的实际结构形式与刚度分布,为建筑构件的保留、加固、改造提供了精准的设计依据(图 10)。

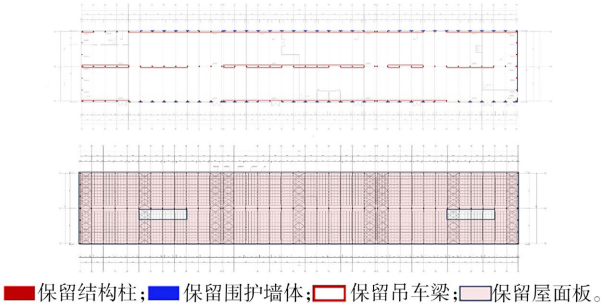


图 10 建筑保留信息
Fig. 10 Building preservation information

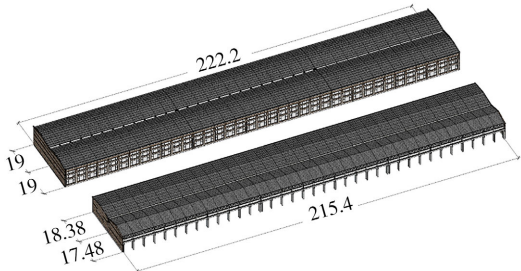


图 9 建筑测绘图模型复原 m
Fig. 9 Restoration model of the building based on architectural survey drawings

建筑物理环境与性能短板诊断——项目对既有厂房围护结构开展了热工性能、采光环境、风环境的系统性检测评估,明确了建筑性能的核心短板,为后续改造提升锁定了核心目标:

1)围护结构热工与防水性能不达标。原建筑外墙为 240 mm 实心砖墙,无保温构造(图 11);外窗气密性差,型材与玻璃传热系数高,热桥问题显著;屋面仅设瓦屋面防水层,无保温层且防水性能薄弱。围护结构的保温、密闭与防水缺陷,无法满足实验室环境稳定性要求与现代建筑节能规范。



图 11 厂房原门窗
Fig. 11 Original doors and windows of the factory building

2)室内天然采光不足且分布不均。建筑原南北向窗墙比仅 0.20~0.30,东西山墙窗墙比低至 0.08~0.15,天然采光系数不足 1.0%。原厂房进深过大,室内中部区域照度严重不足,高窗易引发眩光,与科研实验室对采光均匀性、稳定性、精细化控制的要求存在显著差距(图 12)。



图 12 厂房原内部空间

Fig. 12 Original internal space of the factory building

3)室内通风效率不足。厂房侧窗与高窗形成的穿堂风仅能满足基础换气需求,进深过大导致建筑中部气流滞缓、换气效率低下;既有通风系统老化严重,风量与气流组织无法匹配科研实验室对空气洁净度、温湿度稳定性的核心要求。

3 适配科研需求的工业厂房适应性改造设计策略

基于前期价值甄别与现状诊断,项目以“科创需求为核心、遗产保护为底线”,构建了兼顾历史文脉传承(图 13)与科研功能落地的适应性改造设计体系(图 14)。



图 13 整体现状鸟瞰图

Fig. 13 Overall aerial view of the site



图 14 整体更新鸟瞰图

Fig. 14 Overall aerial view of the site after renewal

3.1 国重基地的核心功能需求特征

交叉复合——C10国重实验室呈现高度复合化特征。实验室需同时承载基础研究、技术开发、成果转化、学术交流等多元功能,涵盖物理、化学、材料、信息等多学科实验类型,对环境参数、设备荷载、安全防护提出综合技术要求^[5]。科学研究复杂化推动实验环境向自动化、精细化升级,“人—机—环”关系重新定义,科研建筑从“实验容器”向“创新生态”转型(图 15)^[6]。

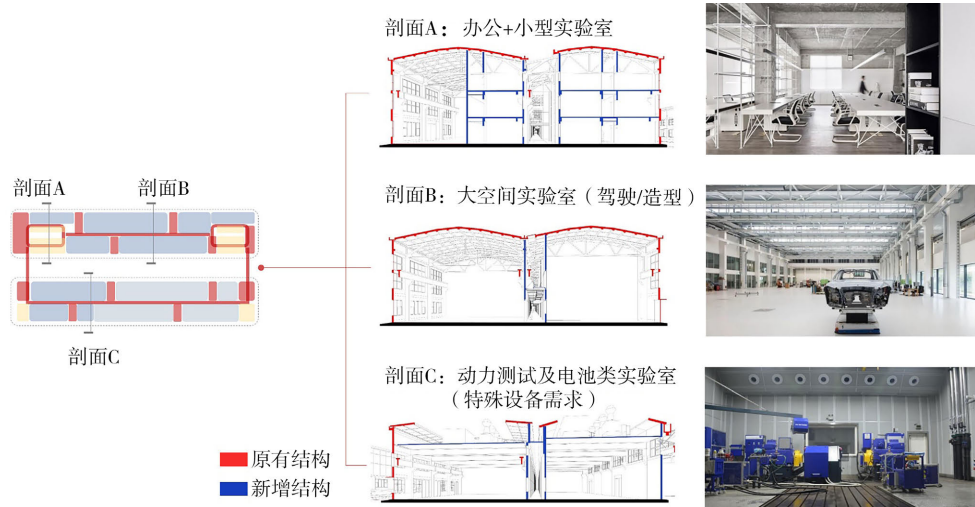


图 15 复合空间系统

Fig. 15 Composite space system

弹性可变——国重基地实验项目平均周期约 13 个月,科研组织的高流动性要求建筑空间具备快

速响应能力。设计采用标准化科研单元,各单元配置独立机电接口,可按课题组规模灵活拆分或合

并;结构选用大跨度、少柱网形式,统一提高层高与荷载标准,机电实施分区独立控制,管线采用集成管廊布置,为功能转换预留条件。总体规划预留扩建用地及管井扩容空间,屋顶与地下预留设备增设条件,以适配未来 10~20 年发展需求(图 16~18)。

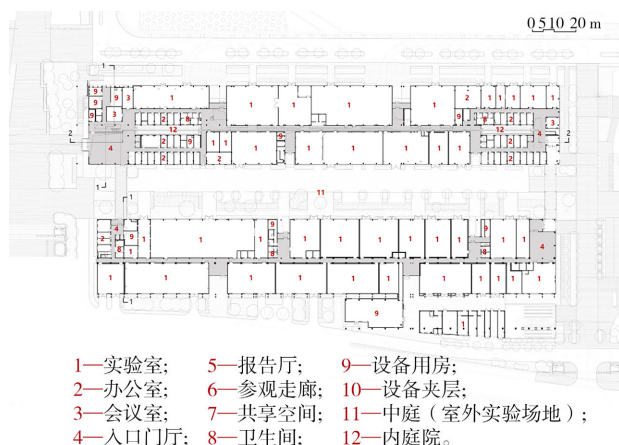


图 16 C10 实验室一层平面

Fig. 16 First floor plan of C10 Laboratory

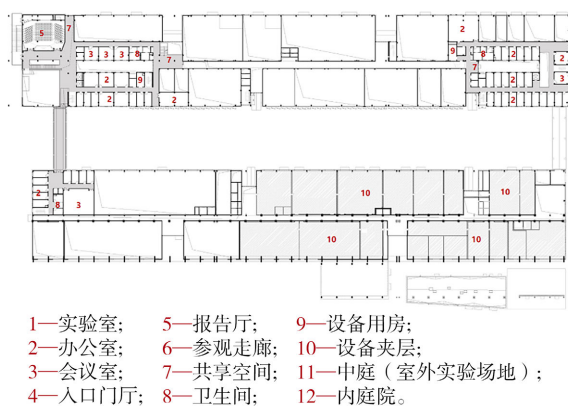


图 17 C10 实验室二层平面

Fig. 17 Second floor plan of C10 Laboratory

3.2 结合文化价值以及实验室功能的“留、改、拆、补”策略

既有建筑分级保护——针对平板玻璃厂等既有建筑,建立在对既有厂房建筑价值甄别、结构检测、建筑性能的多维评价体系上。核心保护要素分为三

个层级:不可移动要素包括车间主体结构,其大跨度钢桁架、带型天窗、清水红砖外墙必须严格保护;可识别要素包括吊车梁、牛腿柱、通风器等,需保持原有形制和可见性;可更新要素包括后期加建的附属设施、内部隔断等,可根据功能需求改造。

拆除、保留、改造的边界划定——新旧空间关系组织强调融合共生,通过并置、嵌入、连接三种策略,在保留建筑群中植入新建体量,以对比强化历史感;在既有建筑内部植入新的功能核;通过玻璃连廊、架空平台等轻量元素串联分散建筑,构建连续的交通网络。新旧界面处理注重技术可视化,将加固构件、新增设备暴露展示,使保护工程本身成为工业美学的延续,实现工业遗产保护与现代科研功能植入的有机统一(图 19)。

3.3 大空间排架厂房的功能复合利用

大跨度实验室功能植入——针对原有平板玻璃厂等大跨厂房,采用中部新增钢结构的改造方式,在保留原有建筑风貌的同时(图 20),实现功能的立体复合。底层空间利用高大层高和重载条件,布置大型设备测试类实验室和电池/化学类特殊工艺实验室,满足振动控制、废气处理、危险品存储等严苛要求;上层通过新增钢结构楼板划分出科研办公与辅助功能空间,形成“下实上虚”的空间格局。这种垂直分层策略既延续了工业建筑的大跨度特征,又适应了现代科研对“办公+实验+交流”一体化空间的需求,使历史空间载体支撑复杂科学实验平台的高效运转(图 21)。在占地及建筑形态基本不变的前提下,C10 实验室通过增设夹层增加建筑面积约 1708 m²,空间使用效率提高约 8%。

特色共享系统的嵌入——充分挖掘原有厂房的工业美学价值,将吊车梁、保留结构柱等特色构件转化为空间组织的核心元素。沿吊车梁下方植入贯穿厂房的共享系统(图 22),串联入口大堂(图 23)、各实验单元,形成可视化的科研展示界面(图 24);利用结构柱网围合的节点空间设置交流休憩区,配置休息区、研讨角等“第三空间”(图 25),促进非正式学术交流。这一系统既保留了工业遗产的真实性与可读

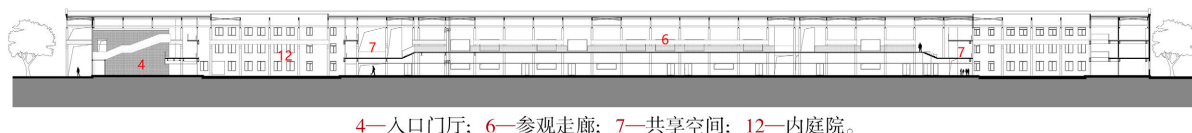


图 18 C10 实验室剖面

Fig. 18 Section of C10 Laboratory

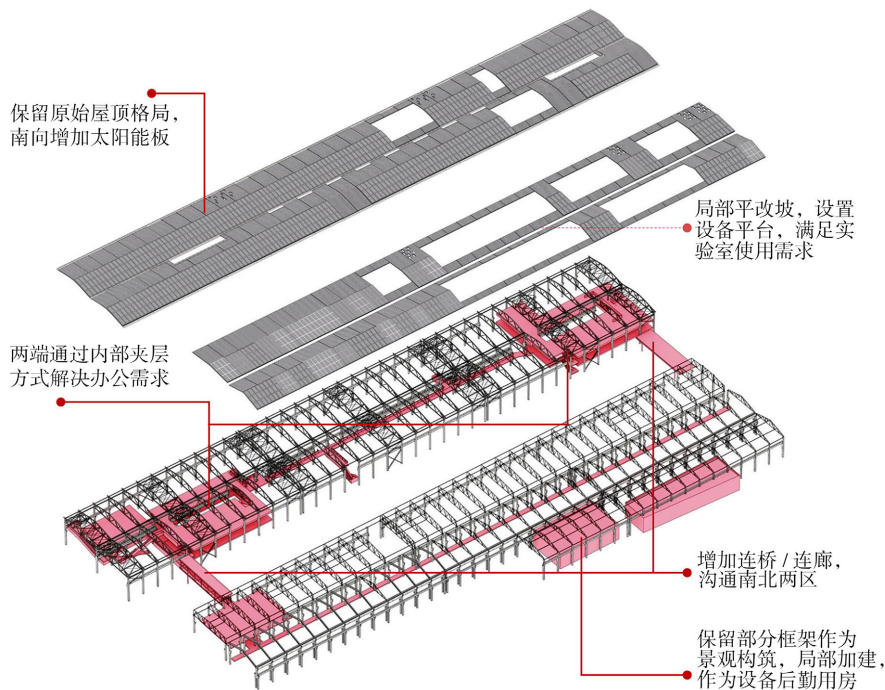


图 19 改造策略

Fig. 19 Renovation strategy diagram

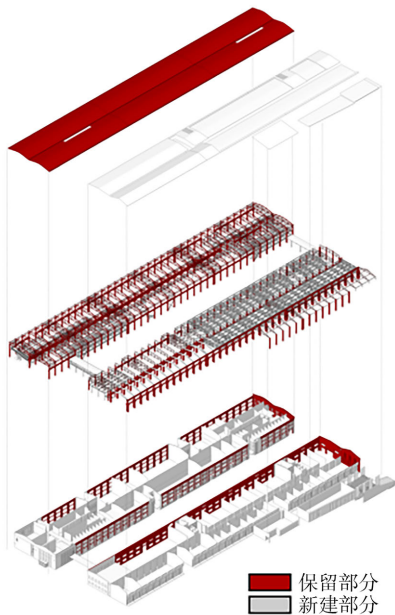


图 20 保留与新建信息

Fig. 20 Information on preserved and newly built components

性,又通过空间渗透实现了学科交叉与知识共享,使历史构筑物成为激发创新活力的场所媒介。

4 针对性提升

4.1 结构加固

基于现有钢筋混凝土工业厂房的专项结构检测与安全性鉴定结论,该建筑因长期服役导致材料

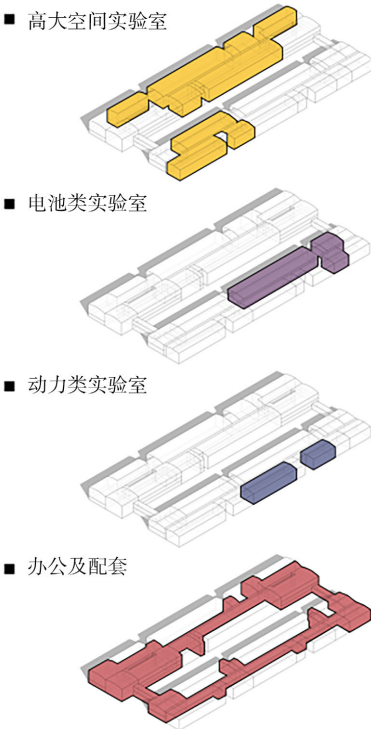


图 21 不同功能空间布局

Fig. 21 Layout of different functional spaces

性能退化,其钢筋混凝土框架构件的混凝土抗压强度、截面几何参数、抗震构造措施及整体抗震性能均不满足现行工程建设规范的指标要求,构件承载能力与结构体系延性储备无法满足建筑功能更新

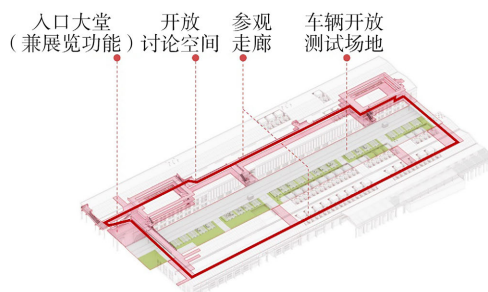


图 22 共享系统
Fig. 22 Shared system

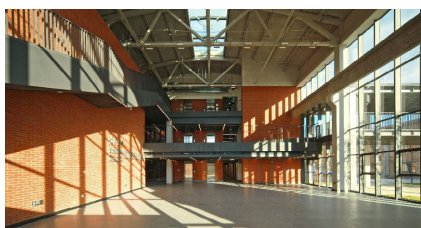


图 23 入口大堂
Fig. 23 Entrance lobby

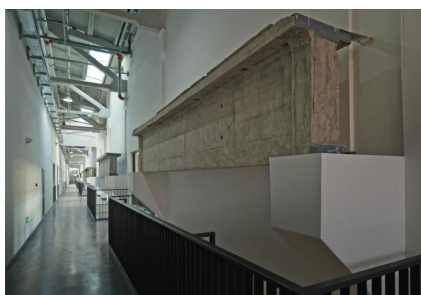


图 24 参观走廊
Fig. 24 Visitor corridor

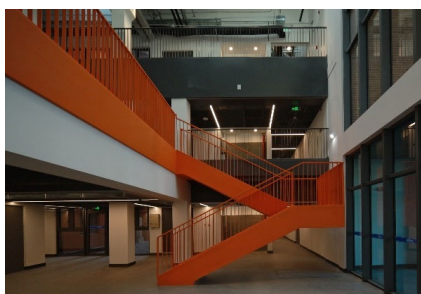


图 25 开放讨论空间
Fig. 25 Open discussion space

后对应的荷载效应需求与抗震性能目标。本项目围绕造成上述问题的破损主体构件、围护墙体以及连接节点,针对性构建了框架主体构件加固、砌体围护墙体性能提升、新老混凝土及钢-混凝土结合节点加强可靠性的三大核心技术体系,从整体到局部系统性地提升结构的承载能力、延性与耐久性以及抗震性能,为建筑后续 30~50 年设计工作年限内的

安全服役提供了可靠的结构保障。

1) 框架柱外包型钢与增大截面加固技术。针对本工程钢筋混凝土柱轴压承载力不足、抗震延性较差的核心性能缺陷,采用外包型钢加固技术为主、增大截面加固法为辅的组合加固方案。其中,外包型钢加固通过在柱体四角及侧面设置角钢、槽钢形成约束型钢套箍,采用环氧树脂结构胶、化学锚栓及压力灌注微膨胀混凝土实现型钢与原混凝土柱、外围砌体墙的有效黏结与锚固,构建“原混凝土柱—约束型钢—外围砌体墙”的协同受力体系(图 26、27)^[7]。该加固机制已被美国混凝土学会(ACI)《Structural Journal》的多项试验研究证实,矩形型钢套箍可同时显著提升非延性钢筋混凝土(RC)柱的轴向承载能力、抗剪性能与塑性变形能力,通过对核心混凝土的有效约束作用,可大幅改善构件的脆性破坏特征,尤其适用于本项目 24~30 m 大跨度排架结构中柱体与外围砖墙紧密结合的构造特点。设计阶段基于实测墙体刚度参数优化型钢截面规格与横向缀板的连接构造,施工全过程严格控制型钢与原构件表面的贴合度、砌体墙侧向约束连接件的锚固质量,并对钢-混凝土结合节点的承载能力进行专项验算;对于轴压比与承载力缺口较大的关键构件,同步采用增大截面加固法,通过配置新增受力钢筋与浇筑高强混凝土扩大构件有效截面,该方法可直接提升构件的截面惯性矩与轴向承载能力,是既有 RC 受压构件性能提升的成熟技术手段,其复合截面受力性能与设计方法已被国际学术界与工程界广泛验证,可有效解决原构件承载力严重不足的工程问题。

2) 砖墙构造柱与圈梁加固体系。针对现有工

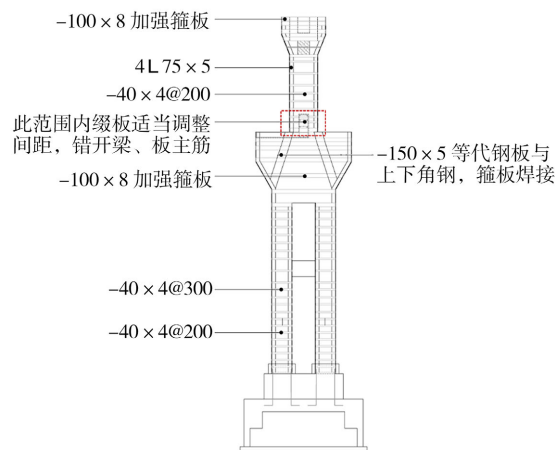


图 26 包钢加固法节点 mm
Fig. 26 Steel-jacketed joint



图 27 包钢加固现场
Fig. 27 Steel jacketing construction site

业厂房砌体砖墙存在承载能力不足、层间高度较大、结构整体刚度薄弱、抗侧移性能较差及整体性欠佳等核心问题,结合本项目老旧混合结构的构造特点,采用“增设构造柱+圈梁闭合”的加固方案,实现结构性能优化^[8]。在墙体纵横交接处、门窗洞口两侧等薄弱受力部位,增设钢筋混凝土构造柱;在墙体顶部、中部楼层标高处,通长设置钢筋混凝土圈梁,通过构造柱与圈梁的可靠连接,形成“构造柱—圈梁—原砖墙”的闭合协同受力框架,有效约束砖墙变形、传递水平荷载,提升砌体结构的整体刚度、抗裂性能与抗倒塌能力,精准适配老旧混合结构工业厂房的加固需求,同时为框架主体加固体系提供可靠的侧向约束支撑,保障整体结构体系的协同工作性能(图 28、29)。

3) 新旧结构节点可靠性设计。针对加固体系中节点连接这一薄弱环节,严格遵循“可靠连接、协同受力、适应变形”的核心设计原则,结合墙体实际检测强度参数适配节点连接方式,严格控制新旧结构材料的匹配性与长期耐久性,合理预留温度变形

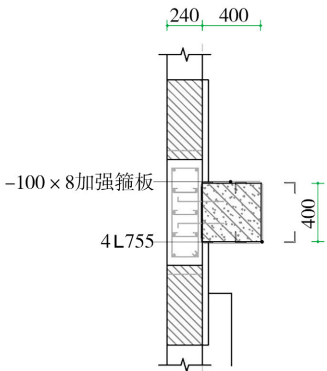


图 28 砖墙构造柱与圈梁加固节点 mm
Fig. 28 Strengthening joint of constructional column and ring beam for brick walls



图 29 砖墙构造柱与圈梁加固现场
Fig. 29 Strengthening construction site of constructional columns and ring beams for brick walls

及沉降变形空间,避免因变形不协调导致节点开裂、失效。对所有新旧结构连接节点开展专项承载力验算,确保节点承载能力满足加固后结构受力要求(表 1、2);对框架柱与圈梁、构造柱与原砖墙等关键节点,采用多重连接方式强化节点可靠性,进一步提升节点安全储备,保障加固体系的整体稳定性。

表 1 结构加固前后性能提升对比表
Table 1 Comparison of performance before and after structural strengthening

性能	鉴定结果	加固后	提升幅度/%
承载力	排架柱混凝土强度 C27,部分强度为 C13,承载力已无法满足相关荷载规范的要求	包钢加固(Q355)或新增高强混凝土加固后,折算柱强度不低于 C35,承载力提高 1 倍,满足现行规范要求	100~200
耐久性	屋架混凝土普遍锈蚀,部分锈蚀严重,鉴定结果为 C 级,抽检构件的混凝土碳化深度值均大于仪器量程	通过粘钢加固及剔除锈蚀混凝土,并采取高强水泥砂浆修补等措施提高了结构表面的致密性,保证结构在未来 30~50 年的耐久性要求	150~200

经上述系列加固措施实施后,厂房加固后结构核心性能实现跨越式提升,其构件承载能力、整体抗震性能及结构耐久性等各项指标,均全面满足现行工程建设规范及项目改造后使用功能的要求,为

建筑长期安全服役提供坚实保障。
4.2 建筑物理环境与性能提升
1) 光环境提升。在自然采光改善技术方面,原厂房因纵向进深大、屋顶封闭无天窗,内部采光通

表 2 结构加固前后抗震性能提升对比表
Table 2 Comparison of seismic performance before and after structural strengthening

抗震性能	原设计状态	加固后状态	提升幅度/%
抗震构造	柱配筋及箍筋间距不满足相关规范要求,排架柱抗震构造缺失,无法满足抗震需求	柱包钢加固,缀条加密。加设框架梁,结构形式改为抗震有利的框排架,满足“小震不坏,中震可修,大震不倒”的要求。	—
抗震计算	排架柱抗震计算承载力不足,只有要求的 30%~50% 屋架抗震计算承载力不足,只有要求的 50%~60%	柱包钢加固后满足抗震承载力要求 部分屋架采用 H 型钢桁架满足设备平台承载力要求	180~300

风先天不足;改造后空间重新分隔,通过增加人工照明提升实验室内部光环境(图 30)。项目通过结合原有屋架增设平开下悬铝合金断热采光天窗,构建顶部采光通道[图 31(a)],大幅提升中部空间光照舒适度,减少日间用电;同时在厂房中心局部拆除屋面,形成内部微庭院,为周边房间引入自然采光与通风,有条件的房间采用双侧开窗方案,将采光进深加倍,同时缓和实墙与窗洞间的亮度对比,提升采光通风性能[图 31(b)]。

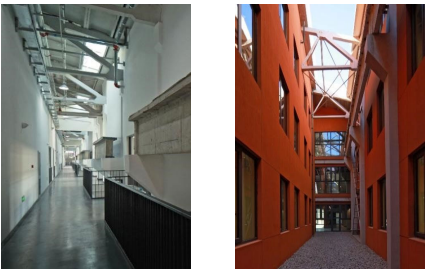


图 31 走廊光环境与建筑内庭院
Fig. 31 Corridor lighting environment and inner courtyard

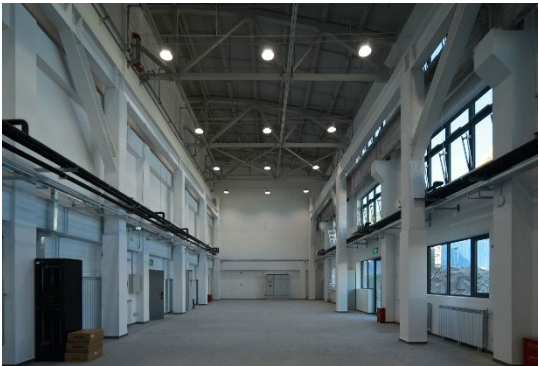


图 30 改造更新后实验室光环境
Fig. 30 Laboratory lighting environment after renovation and renewal

2)建筑性能提升。在环保节能的性能提升方面,针对 C10 实验室厂房保留结构柱进行节点加固,在保留原始砖立面的前提下,实现结构加固、保温及立面装饰的一体化(图 32~35)。原建筑为 240 mm 砖混墙体,围护结构传热系数 K 为 1.5~1.7 W/(m²·K),性能提升后砖墙加 80~100 mm 厚岩棉保温板, K 值降至 0.42 W/(m²·K),保温性能提升约 3 倍。

原建筑金属屋顶无保温层, K 约为 0.5~1.5 W/(m²·K),性能提升后设置 60~80 mm 厚挤塑聚苯板

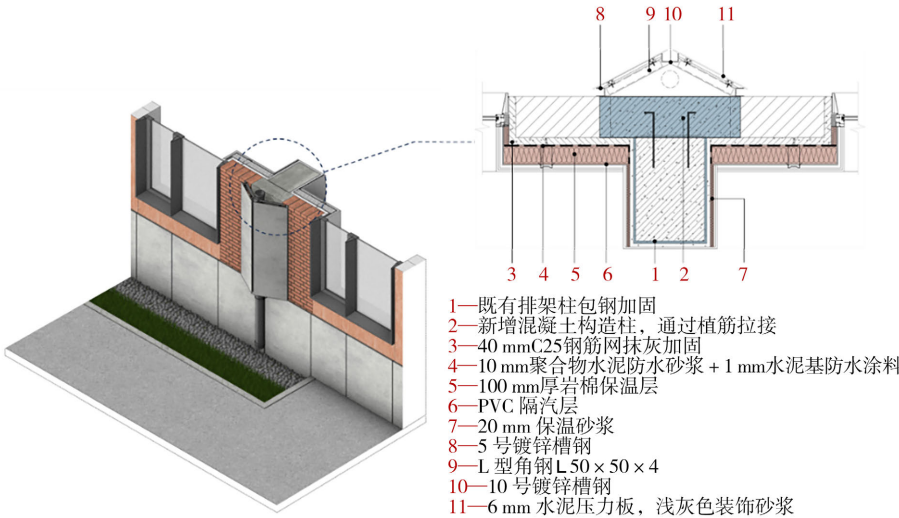


图 32 结构加固、保温及立面装饰的一体化节点图
Fig. 32 Integrated joint for structural strengthening, insulation, and facade decoration

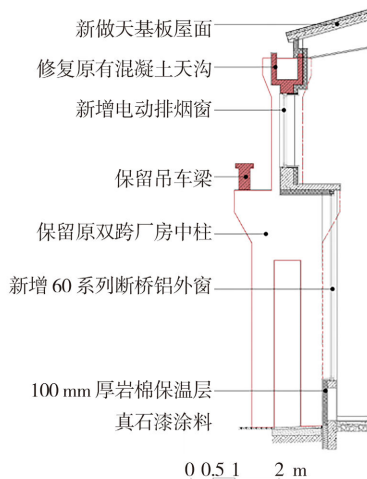


图33 结构及墙身构造

Fig. 33 Structure and wall construction



图34 保留墙身利用

Fig. 34 Utilization of retained walls



图35 改造更新后C10主入口

Fig. 35 Newly renovated C10 main entrance

保温层, K 值为 $0.34 \sim 0.35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 节能水平极大提高了整体建筑达到绿建一星标准。

3) 通风换气。原厂房没有机械通风系统, 仅靠外窗和屋顶天窗进行通风换气。本项目改造后, 通过新增的内部微庭院, 增加建筑自然通风窗口面积; 同时, 对特色实验室按照换气次数要求设置平时排风兼事故通风系统, 大部分空间自然通风换气由原来的 $2 \sim 3$ 次/h 提升至 $4 \sim 6$ 次/h。单体内的调度大厅、中央交流区、挑空中庭、门厅等采用地板辐射供暖作为辅助采暖, 既提高舒适度, 减少能耗, 又增强了建筑外围护气密性, 整体热舒适效果显著改善。

5 改造更新成效

5.1 攻克四大改造关键技术难题

本项目在施工全过程中, 聚焦老旧工业厂房改造适配实验室需求的核心痛点, 重点攻克了四项关键技术难题, 为项目落地提供了核心技术支撑:

1) 兼顾审美与安全的结构加固关键技术。在完成结构性能提升、满足实验室安全使用标准的同时, 完整保留了建筑原生工业美学特征, 实现了结构安全与空间风貌的统一(图35)。

2) 适配老砖墙的内保温体系技术。针对历史围护结构热工性能差的行业痛点, 构建了适配原有老砖墙的内保温体系, 在不破坏建筑外立面风貌的前提下, 完成了围护结构热工性能的升级。

3) 轻型屋面管线及荷载预留技术。设计完成轻型屋面的管线排布与荷载预留, 为实验室后续设备更新、工艺迭代预留了充足的适配空间, 保障了建筑的长期使用灵活性。

4) 超高空间专项墙体设计技术。针对实验室特殊工艺的空间需求, 完成了超高空间的墙体专项设计, 充分满足了特殊实验工艺的空间使用与安全标准。

5.2 造价控制

项目以“最大化复用、全链条控本”为核心原则, 从建设全流程实现了造价的精细化管控, 核心降本举措分为三个维度:

1) 主体结构源头控本。完整保留建筑外围护砖墙、混凝土梁柱、楼板等原有结构构件(涉及构件总体积约 962 m^3), 不仅直接节约结构材料采购成本约 50 万元, 还同步省去了旧构件拆除、场外运输、固废处置的全流程相关费用, 从建设源头实现了成本压降(图36、37)。



图36 改造更新前建筑西立面

Fig. 36 West facade of the building before renovation and renewal

2) 室内精装精准降本。室内空间延续建筑原生工业风貌, 以裸露保留的老柱、老墙体作为空间历史文化载体, 无需额外增设精装面层做覆盖处



图 37 改造更新后建筑西入口
Fig. 37 West entrance after renovation and renewal

理。相较于园区内同类型新建实验室,本项目每平方米装饰费用降低约 50%,在严控精装成本的同时,凸显了改造项目独有的设计品格与审美特质。

3)废旧材料循环提效。除建筑本体构件应留尽留外,项目对拆除过程中产生的红砖、混凝土、钢材等旧材料,全部完成回收加工,二次利用于园区景观建设(图 38),进一步压缩了建筑垃圾处理成本,实现了废旧材料的闭环利用。

5.3 全生命周期低碳减碳成效

1)材料利旧与建造阶段隐含碳大幅削减。通



图 38 建筑拆除构件二次利用于园区景观建设
Fig. 38 Secondary utilization of demolished building components for park landscape construction

过既有构件最大化复用的改造方案,项目从源头大幅削减了建材生产、拆除处置环节的隐含碳排放。专项碳排放测算数据显示,项目总计减少碳排放 5897.5 tCO₂,碳排放降幅达到 86.7%,高效实现了建造阶段的环保减碳核心目标(表 3)。

表 3 新建与改造方案的碳排放对比表

Table 3 Comparison of carbon emissions between new construction and renovation

方案	碳排放核心指标		方案对比减碳成效		
	项目总碳排放/tCO ₂	主要碳排放来源环节	主要环节碳排放占总排放比例/%	累计减少碳排放量/tCO ₂	碳排放整体降幅/%
假定拆除重建方案	6799.6	建材生产环节	83	—	—
保留改造方案	902.1	结构加固环节	61	5897.5	86.7

2)建筑性能提升与运营阶段长效节碳减排。项目通过围护结构节能升级、设备能效提升、可再生能源应用,实现了运营阶段的长效低碳运行,核心改造成效为:围护结构热工性能全面升级后,运营能耗与碳排放长效降低。建筑全生命周期中,运营阶段碳排放约占总碳排放的 70%,本项目将运营阶段减碳核心聚焦于电力与热力消耗管控,重点针对实验设备、暖通空调系统的高能耗环节完成优化。本次改造后,建筑空调采暖能耗降低约 35%;按单栋 2.16×10⁴ m²实验室核算,项目改造前年空调采暖能耗 4.20×10⁶ kW·h,改造后年节省能耗 1.47×10⁶ kW·h,折合年节约标准煤 180.6 t,年减少碳排放约 850 tCO₂。同时结合屋面光伏等可再生能源利用设计,参考实验室屋面可用面积及光伏组件发电效率,项目实现可再生能源替代率 18%,最终形成“被动节能优先、主动能效提升、清洁能源补充”的完整碳中和路径,在为科研实验室提供稳定运行环

境的同时,实现了长期低碳运营。

5.4 园区低碳示范与体系化建设

作为国家级重点低碳园区的示范项目,C10 实验室的改造实践,为园区整体低碳建设提供了可复制、可落地的实践参考。

目前园区已以本项目为标杆,围绕工业厂房建筑保留、原生乔木保护、低碳能源中心构想(图 39)、太阳能光伏应用、建筑节能率提升、绿色建材推广、智慧交通管理、碳排放全流程管控等多个维度,建立了系统化的低碳建设控制机制,将低碳理念全面落地到园区建设、运营、管理的全环节。

6 结束语

在国家创新驱动发展、城市更新与“双碳”战略深度融合的背景下,老旧工业厂区是城市存量更新的核心载体,兼具突出的工业遗产价值与科创转型潜力。现有工业建筑改造多聚焦文创、商业等低



图 39 低碳能源中心建设

Fig. 39 Low-Carbon Energy Center

门槛功能场景,针对国家级重点实验室高等级科研需求,仍缺乏兼顾遗产保护、功能适配与低碳发展的系统性路径,这是本研究的核心出发点。

本文以清华大学南口国重基地 C10 实验室改造项目为对象,针对工业遗产保护与科研功能适配的核心矛盾,构建“保护—重构—共生”全周期改造路径。通过多源数据融合搭建全维度评估体系,建立工业遗产三级保护框架;提出适配国重实验室需求的差异化改造策略,实现工业生产空间向科研创新生态的转型;研发兼顾风貌保护与性能提升的关键技术,达成文脉传承、功能落地与低碳发展的多元目标协同。

本项目攻克四大核心技术难题,实现建造阶段碳排放降幅 86.7%、运营采暖能耗降低 35% 等成效,填补了老旧工业厂房适配高等级科研功能的研

究空白,为同类科创化更新提供了可复制的实践样板。未来将进一步深化相关理论体系,拓展技术的多场景适配性,推动文绿融合理念在城市更新领域的广泛落地。

参 考 文 献

- [1] 张杰,李旻华. 老旧片区保护更新设计方法:文绿融合、新旧共生[J]. 建筑技艺(中英文),2024,30(5):12-17.
- [2] 张杰. 文绿融合:中国城市老旧片区保护更新理论、技术与实践[J]. 当代建筑,2025(2):7-20.
- [3] 中国城市规划学会. 老工业区工业遗产保护利用规划编制指南:T/UPSC 0009——2021[S]. 北京:中国城市规划学会,2021.
- [4] 张杰,李旻华,解扬. 工业遗产保护利用引领城市更新的技术创新:景德镇现代瓷业遗产保护与更新系列实践[J]. 建筑学报,2023,653(4):6-11.
- [5] 叶依谦,邵韦平,崔彤,等. 高校科研建筑设计在思考[J]. 当代建筑,2024,50(2):6-13.
- [6] 刘玉龙,王彦. 大学科研建筑的平台集成模式研究[J]. 当代建筑,2022,48(1):31-34.
- [7] ABOUTAHA R S, ENGELHARDT M D, JIRSA J O, et al. Rehabilitation of shear critical concrete columns by use of rectangular steel jackets[J]. ACI Structural Journal, 1999, 96(1): 68-78.
- [8] 赵来柱. 既有工业厂房加固改造技术[J]. 施工技术(中英文),2024,53(21):37-40.