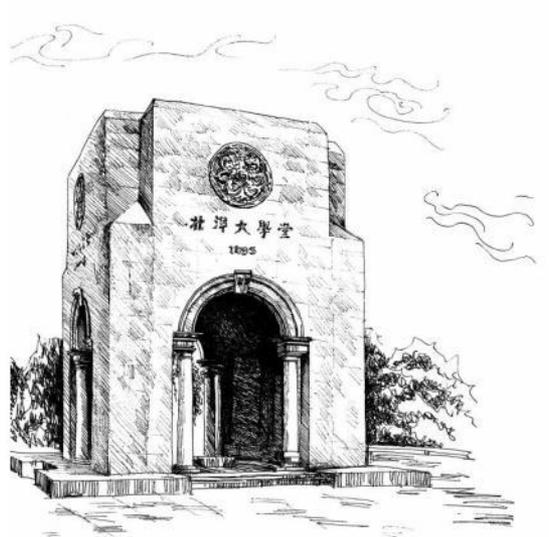


# 既有办公建筑绿色化改造流程 与技术策略研究



天津大学建筑学院  
刘丛红 教授  
2015年3月25日

# 提出问题

- 我国既有建筑面积**500亿平方米**，办公建筑是存量最大的建筑类型之一，大部分不满足建筑节能和绿色建筑标准，具有改造潜力
- **十二五国家科技支撑计划**重大项目“既有建筑绿色化改造关键技术研究”——“**办公建筑绿色化改造**技术研究与工程示范”
  - 研究报告三项（室内环境绿色化改造技术、节能节水技术、设备系统提升改造关键技术）、参编既有办公建筑绿色化改造技术指南、参编《天津市公共建筑节能设计标准》DB29/153-2014、发表论文9篇（不含会议论文），SCI2区一篇
  - 三个示范工程、两项绿色建筑评价、为绿色化改造案例集和年鉴提供素材
  - 建筑生命周期碳排放核算模型软件注册

## 示范工程1：天津大学生命科学学院办公楼



天津大学建筑学院 2015年3月

## 示范工程2：天津大学建筑学院办公楼



天津大学建筑学院 2015年3月

# 示范工程3：天津五大道先农商旅区绿色化更新



天津大学建筑学院 2015年3月

# 软件注册：建筑生命周期碳排放核算模型软件

## 中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第0856703号

软件名称：建筑生命周期碳排放核算模型软件  
[简称：建筑LCA碳排放软件]  
1.0

著作权人：天津大学

开发完成日期：2014年11月05日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2014SR187467

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



No. 00593366

### 建筑生命周期碳足迹核算模型

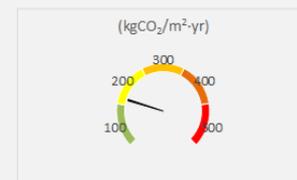
#### LCA-Based Carbon Footprint Modeling for Buildings



天大1895 新建办公建筑

生命周期碳足迹 226705.55 tCO<sub>2</sub>  
123.15 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·yr

阶段	碳排放量 (tCO <sub>2</sub> )	碳排放强度 (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·yr)
<b>建材生产和运输阶段</b>	<b>129657.50</b>	<b>0.01</b>
建材生产	120266.09	0.01
建材运输	9391.41	0.00
<b>建筑施工阶段</b>	<b>485.55</b>	<b>0.26</b>
<b>建筑运行阶段</b>	<b>90368.73</b>	<b>94.08</b>
既有改造前		
新建改造后	90368.73	94.08
<b>建筑拆除阶段</b>	<b>436.99</b>	<b>#N/A</b>
<b>废料回收和处理阶段</b>	<b>6368.02</b>	<b>0.01</b>
废料运输	6347.05	0.00
垃圾处理	20.98	0.01
<b>碳汇固碳</b>	<b>-174.25</b>	<b>-0.09</b>



# 提出问题

- 既有办公建筑绿色化改造的目标是什么？
- 绿色化改造的影响因素有哪些？
- 如何进行分类，不同类别对应不同的策略系统？
- 改造设计流程如何保证科学高效？

# 绿色化改造目标

- 节约资源、减少排放、保护环境
- 满足业主的功能诉求，提升室内外环境质量
- 性价比高：性能提升与经济投入
- 延续文脉、创造新的美学价值

# 绿色化改造的影响因素

- 地理气候因素
- 初始建造时间
- 改造对象的基础情况
  - 形态尺度、结构形式、建筑材料、设备类型、室内环境质量
- 造价控制

# 改造对象分类

参考国内外相关研究，从既有建筑结构、表皮和空间布局组合出**六种建筑类型**。

- 厚重结构/内部主导/开敞式平面
- 轻型结构/内部主导/开敞式平面
- 厚重结构/表皮主导/走道式平面
- 厚重结构/表皮主导/开敞式平面
- 轻型结构/表皮主导/走道式平面
- 轻型结构/表皮主导/开敞式平面

建筑分类	说明
厚重结构/内部主导/开敞式平面	<p><b>特征：</b>外围护结构可设置保温隔热层，窗户可替换为节能窗；建筑开间进深很大，在提升表皮调节室内环境的同时需兼顾暖通空调系统效率的提升；内部空间结构开敞，人工照明用电量较大。</p> <p><b>问题：</b>此类型能耗较高。能耗大部分来自空调系统和外围护结构的热损，另外自然采光的不足，造成人工照明加大，照明能耗和制冷负荷相应加大。</p> <p><b>措施：</b>针对采暖降温和照明。开敞式平面和较大的体形系数，对暖通空调和照明的要求增高。提升外围护结构的性能；利用反光设施等增改善室内采光环境。</p>
轻型结构/内部主导/开敞式平面	<p><b>特征：</b>外围护结构多由大面积无遮阳的玻璃构成，直接太阳得热量很高；建筑开间进深很大，在提升表皮调节室内环境的同时需兼顾暖通空调系统效率的提升；内部空间结构开敞，人工照明用电量较大。</p> <p><b>问题：</b>此类型能耗最高。能耗大部分来自空调系统和外围护结构的热损，另外自然采光的不足，造成人工照明加大，照明能耗和制冷负荷相应加大。</p> <p><b>措施：</b>针对采暖降温和照明。开敞式平面和较大的体形系数，对暖通空调和照明的要求增高；提升外围护结构的性能；利用反光设施等增改善室内采光环境。</p>
厚重结构/表皮主导/开敞式平面	<p><b>特征：</b>外围护结构可设置保温隔热层，窗户可替换为节能窗；建筑开间进深不大，利于通过表皮调节室内环境；内部空间结构开敞，人工照明用电量较大。</p> <p><b>问题：</b>采暖降温需求较大。由于外围护结构的热损、通过窗户和夏冬季节的通风造成的热损。另外自然采光的不足，造成人工照明加大，照明能耗和制冷负荷相应加大。</p> <p><b>措施：</b>针对采暖降温和照明。提升外围护结构的性能；利用反光设施等增改善室内采光环境。</p>
轻型结构/表皮主导/开敞式平面	<p><b>特征：</b>外围护结构多由大面积无遮阳的玻璃构成，直接太阳得热量很高；建筑开间进深不大，利于通过表皮调节室内环境。</p> <p><b>问题：</b>采暖降温需求较大。由于外围护结构的热损、通过窗户和夏冬季节的通风造成的热损。</p> <p><b>措施：</b>针对采暖降温。提升外围护结构的性能配合减少制冷需求会显著降低能耗。</p>
厚重结构/内部主导/走道式平面	一般走道式平面进深不大，多为表皮主导，故不考虑此种情况。
轻型结构/内部主导/走道式平面	一般走道式平面进深不大，多为表皮主导，故不考虑此种情况。
厚重结构/表皮主导/走道式平面	<p><b>特征：</b>外围护结构可设置保温隔热层，窗户可替换为节能窗；建筑开间进深不大，利于通过表皮调节室内环境；内部空间结构由小房间和走道组成，利于自然采光，人工照明用电量较低。</p> <p><b>问题：</b>此类型能耗最低。能耗主要部分在于采暖，由于外围护结构的热损以及夏冬季节通风造成的热损。</p> <p><b>措施：</b>针对采暖，提升外围护结构的性能可以极大降低能耗。进一步提高暖通空调的性能，节能潜力会更大。</p>
轻型结构/表皮主导/走道式平面	<p><b>特征：</b>外围护结构多由大面积无遮阳的玻璃构成，直接太阳得热量很高；建筑开间进深不大，利于通过表皮调节室内环境；内部空间结构由小房间和走道组成，利于自然采光，人工照明用电量较低。</p> <p><b>问题：</b>此类型能耗较低。太阳得热是采暖的重要部分，但遮阳的不足相应会提高制冷能耗。外围护结构的性能是关键。</p> <p><b>措施：</b>针对采暖降温，减少夏季不必要的太阳得热。</p>

# 改造对象分类

- ❑ 厚重结构/内部主导/开敞式平面
- ❑ 轻型结构/内部主导/开敞式平面
- ❑ 厚重结构/表皮主导/走道式平面
- ❑ 厚重结构/表皮主导/开敞式平面
- ❑ 轻型结构/表皮主导/走道式平面
- ❑ 轻型结构/表皮主导/开敞式平面

策略体系	具体措施			
采暖、降温	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>提升墙体和屋面保温隔热性能</li> <li>加强门窗框料的热阻</li> <li>提高门窗挡风雨条气密性</li> <li>采用中空玻璃、Low-E 玻璃、热反射玻璃等节能玻璃</li> </ul>	
		被动式太阳能的利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>太阳能围护结构<sup>1</sup></li> <li>建筑太阳能空间<sup>2</sup></li> <li>光线控制<sup>3</sup></li> </ul>	
		夜间通风调节热量		
		使用裸露的蓄热体		
	过渡季节的自然通风			
	主动式策略	可再生能源的利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>太阳能光热转换技术</li> <li>太阳能光电转换技术</li> <li>地源热泵空调技术</li> <li>组合采暖供电</li> </ul>	
		综合的空调自控与运行系统	<ul style="list-style-type: none"> <li>采用空气热回收技术</li> <li>使用蓄冷空调系统</li> <li>使用地板空调系统</li> <li>利用智能控制系统</li> </ul>	
	采光	被动式策略	自然采光	<ul style="list-style-type: none"> <li>合理的窗墙比</li> <li>天窗采光</li> <li>采光中庭或边庭</li> <li>光导管</li> </ul>
			反射装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>反光板</li> <li>反光棱镜</li> <li>反光顶棚</li> </ul>
		主动式策略	利用智能照明控制系统	
采用工作岗位式照明				
使用节能照明灯具				
通风	被动式策略	自然通风	<ul style="list-style-type: none"> <li>建筑朝向与空间设计</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>通风中庭（边庭）空间</li> <li>通过设施和构件促进通风<sup>1</sup></li> </ul>	
		夜间通风		
	主动式策略	提升机械通风的效率和新风技术		
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制		
节水	建筑节水器具			
	雨水收集与回用			
	中水利用			
	设置计量水表			
节材	原有结构再利用			
	原有围护体系再利用			
	使用可循环利用的结构和材料			
	使用节能环保型绿色建材			
	旧物再利用			
生态景观	垂直绿化（墙面绿化、屋顶绿化）			
	景观设施利用可再生能源			
	植被涵养（植物选择、森林保护）			
	水体保护（水体微生物控制、径流控制）			
地形保护（护坡技术、固土措施）				

汇总

# 改造对象分类

策略体系	改造策略	具体措施
采暖制冷	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能 <ul style="list-style-type: none"> <li>墙体保温、</li> <li>加强门窗密封</li> <li>提高门窗气密性</li> <li>采用中空玻璃、Low-E玻璃、反射玻璃等节能玻璃</li> <li>特朗勃墙</li> <li>太阳房和中庭</li> <li>遮阳板和垂直绿化遮阳</li> </ul>
		被动式太阳能的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>采用空气热回收装置</li> <li>碳酸酯等新工质</li> </ul>
		夜间通风调节热量
	主动式策略	可再生能源的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>太阳能光热转换技术</li> <li>太阳能光电转换技术</li> <li>地源热泵空调技术</li> <li>组合采暖供电</li> </ul>
		综合的空调自控与运行系统 <ul style="list-style-type: none"> <li>采用空气热回收装置</li> <li>使用蓄冷空调系统</li> <li>使用地板空调系统</li> <li>利用智能控制系统</li> </ul>
		过渡季节的自然通风
采光	被动式策略	自然采光 <ul style="list-style-type: none"> <li>合理的窗墙比</li> <li>天窗采光</li> <li>采光中庭或边庭</li> </ul>
		反射装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>反光板</li> <li>反光棱镜</li> <li>反光顶棚</li> </ul>
		综合的空调自控与运行系统
	主动式策略	利用智能照明控制系统
		采用工作岗位式照明
		使用节能照明灯具
通风	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
节水	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
节材	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
景观	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制

策略体系	改造策略	具体措施
采暖制冷	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能 <ul style="list-style-type: none"> <li>更换保温隔热密封幕墙</li> <li>采用中空玻璃、Low-E玻璃、反射玻璃等节能玻璃</li> <li>双层玻璃幕墙、(TIM)墙</li> <li>与幕墙整合的遮阳</li> </ul>
		被动式太阳能的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>采用空气热回收装置</li> <li>碳酸酯等新工质</li> </ul>
		使用裸露的蓄热体
	主动式策略	可再生能源的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>太阳能光热转换技术</li> <li>太阳能光电转换技术</li> <li>地源热泵空调技术</li> <li>组合采暖供电</li> </ul>
		综合的空调自控与运行系统 <ul style="list-style-type: none"> <li>采用空气热回收装置</li> <li>使用蓄冷空调系统</li> <li>使用地板空调系统</li> <li>利用智能控制系统</li> </ul>
		过渡季节的自然通风
采光	被动式策略	自然采光 <ul style="list-style-type: none"> <li>天窗采光</li> <li>采光中庭或边庭</li> <li>光导管</li> <li>反光板</li> <li>反光棱镜</li> <li>反光顶棚</li> </ul>
		反射装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>反光板</li> <li>反光棱镜</li> <li>反光顶棚</li> </ul>
		综合的空调自控与运行系统
	主动式策略	利用智能照明控制系统
		采用工作岗位式照明
		使用节能照明灯具
通风	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
节水	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
节材	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
生态景观	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>设置中庭</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> <li>双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制

策略体系	改造策略	具体措施
采暖制冷	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能 <ul style="list-style-type: none"> <li>提升墙体和屋面保温隔热性能，设置保温层</li> <li>加强门窗框料的热阻</li> <li>提高门窗挡风雨条气密性</li> <li>采用中空玻璃、Low-E玻璃、热反射玻璃等节能玻璃</li> </ul>
		被动式太阳能的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>太阳房、中庭空间</li> <li>遮阳板、垂直绿化遮阳</li> </ul>
		夜间通风调节热量
	主动式策略	可再生能源的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>太阳能光热转换技术</li> <li>太阳能光电转换技术</li> <li>地源热泵空调技术</li> <li>组合采暖供电</li> </ul>
		综合的空调自控与运行系统 <ul style="list-style-type: none"> <li>利用智能控制系统</li> </ul>
		过渡季节的自然通风
采光	被动式策略	自然采光 <ul style="list-style-type: none"> <li>合理的窗墙比</li> <li>天窗采光</li> <li>采光中庭或边庭</li> </ul>
		反射装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>反光板</li> <li>反光棱镜</li> <li>反光顶棚</li> </ul>
		综合的空调自控与运行系统
	主动式策略	利用智能照明控制系统
		采用工作岗位式照明
		使用节能照明灯具
通风	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>建筑朝向与空间设计</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
节水	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>建筑朝向与空间设计</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
节材	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>建筑朝向与空间设计</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
景观	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>建筑朝向与空间设计</li> <li>开口的朝向、位置、大小</li> <li>设置导风板</li> </ul>
		夜间通风
		提升机械通风的效率和新风技术
	主动式策略	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
		提升机械通风的效率和新风技术
		楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制

**类型三**

**类型二**

**类型一**

# 改造对象分类

策略体系	改造策略	具体措施
采暖制冷	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 更换保温隔热幕墙</li> <li>• 采用中空玻璃、反射玻璃等节能玻璃</li> </ul>
		被动式太阳能的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 双层玻璃幕墙 (TIM) 墙</li> <li>• 与幕墙整合的遮阳板</li> </ul>
	夜间通风调节热量	
	使用裸露的蓄热体	
主动式策略	可再生能源的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 太阳能光热转换技术</li> <li>• 太阳能光电转换技术</li> <li>• 地源热泵空调技术</li> <li>• 组合采暖供电</li> </ul>	
	综合的空调自控与运行系统 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 采用空气热回收技术</li> <li>• 使用蓄冷空调系统</li> <li>• 使用地板空调系统</li> <li>• 利用智能控制系统</li> </ul>	
采光	被动式策略	自然采光 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 采光中庭或边廊</li> </ul>
	反射装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 反光板</li> <li>• 反光顶棚</li> </ul>	
主动式策略	利用智能照明控制系统	
	采用工作岗位式照明	
通风	被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 设置中庭</li> <li>• 开口的朝向、位置</li> <li>• 双层玻璃幕墙、风帽等热压通风</li> </ul>
	夜间通风	
主动式策略	提升机械通风的效率和新风技术	
	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制	
节水	• 建筑节水器具	
	• 雨水收集与回用	
	• 中水利用	
	• 设置计量水表	
节材	• 原有结构再利用	
	• 原有围护体系再利用	
	• 使用可循环利用的结构和材料	
	• 使用节能环保型绿色建材	
生态景观	• 屋顶绿化	
	• 景观设施利用可再生能源	

**类型四**

策略体系	改造策略	具体措施
采暖制冷	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 提升墙体和设置保温层</li> <li>• 加强门窗框</li> <li>• 提高门窗挡</li> <li>• 采用中空玻璃反射玻璃等节能玻璃</li> </ul>
		被动式太阳能的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 太阳能围护</li> <li>• 建筑太阳能</li> <li>• 光线控制</li> </ul>
	夜间通风调节热量	
	过渡季节的自然通风	
主动式策略	可再生能源的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 太阳能光热</li> <li>• 太阳能光电</li> <li>• 地源热泵空</li> <li>• 组合采暖供</li> </ul>	
	综合的空调自控与运行系统 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 利用智能控</li> </ul>	
被动式策略	自然采光 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 合理的窗墙</li> </ul>	
	反射装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 反光板</li> <li>• 反光棱镜</li> <li>• 反光顶棚</li> </ul>	
主动式策略	利用智能照明控制系统	
	采用工作岗位式照明	
被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 建筑朝向与</li> <li>• 开口的朝向</li> <li>• 设置导风板</li> </ul>	
	夜间通风	
主动式策略	提升机械通风的效率和新风技术	
	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制	
节水	• 建筑节水器具	
	• 雨水收集与回用	
	• 中水利用	
	• 设置计量水表	
节材	• 原有结构再利用	
	• 原有围护体系再利用	
	• 使用可循环利用的结构和材料	
	• 使用节能环保型绿色建材	
生态景观	• 垂直绿化	
	• 景观设施利用可再生能源	
• 植被选择本地植物		

**类型五**

策略体系	改造策略	具体措施
采暖制冷	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 更换保温隔热密闭性能好的玻璃幕墙</li> <li>• 采用中空玻璃、Low-E 玻璃、热反射玻璃等节能玻璃</li> </ul>
		被动式太阳能的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 双层玻璃幕墙、透明热阻材料 (TIM) 墙</li> <li>• 与幕墙整合的遮阳板</li> </ul>
	夜间通风调节热量	
	使用裸露的蓄热体	
主动式策略	可再生能源的利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 太阳能光热转换技术</li> <li>• 太阳能光电转换技术</li> <li>• 地源热泵空调技术</li> <li>• 采用空气热回收技术</li> <li>• 使用蓄冷空调系统</li> <li>• 使用地板空调系统</li> <li>• 利用智能控制系统</li> </ul>	
	综合的空调自控与运行系统 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 利用智能控</li> </ul>	
被动式策略	反射装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 反光板</li> <li>• 反光顶棚</li> </ul>	
	利用智能照明控制系统	
主动式策略	采用工作岗位式照明	
	使用节能照明灯具	
被动式策略	自然通风 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 双层玻璃幕墙、屋顶通风架空层、风帽等热压通风</li> </ul>	
	夜间通风	
主动式策略	提升机械通风的效率和新风技术	
	楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制	
节水	• 建筑节水器具	
	• 雨水收集与回用	
	• 中水利用	
	• 设置计量水表	
节材	• 原有结构再利用	
	• 原有围护体系再利用	
	• 使用可循环利用的结构和材料	
	• 使用节能环保型绿色建材	
生态景观	• 屋顶绿化	
	• 景观设施利用可再生能源	

**类型六**

天津大学建筑学院 2015年3月

# 典型案例

1

天津天友绿色设计中心

厚重结构/内部主导/开敞式平面



天津大学建筑学院 2015年3月

# 典型案例

2

北京凯晨世贸中心

轻型结构/内部主导/开敞式平面



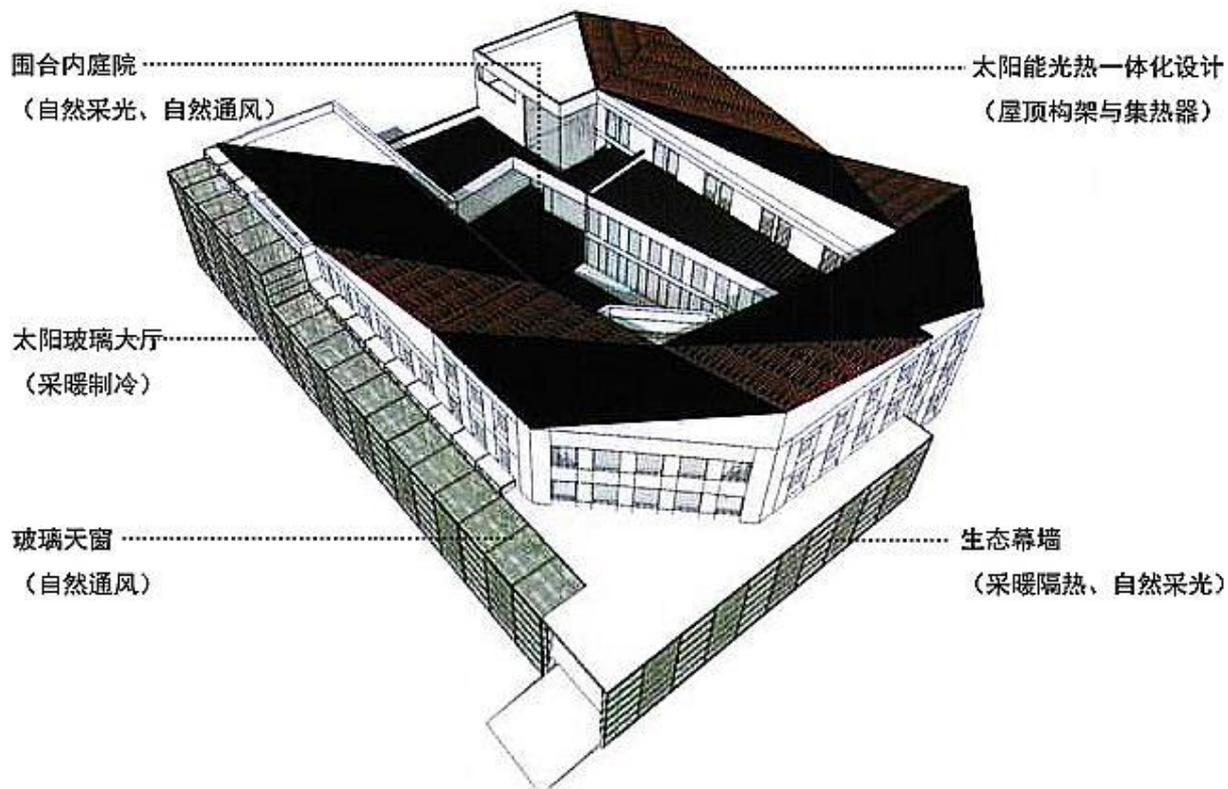
天津大学建筑学院 2015年3月

# 典型案例

3

中新天津生态城城市管理服务中心

厚重结构/表皮主导/走道式平面



天津大学建筑学院 2015年3月

# 典型案例

4

新西兰惠灵顿奥拉基大厦改造

厚重结构/表皮主导/开敞式平面



改造前

Before



改造后

After

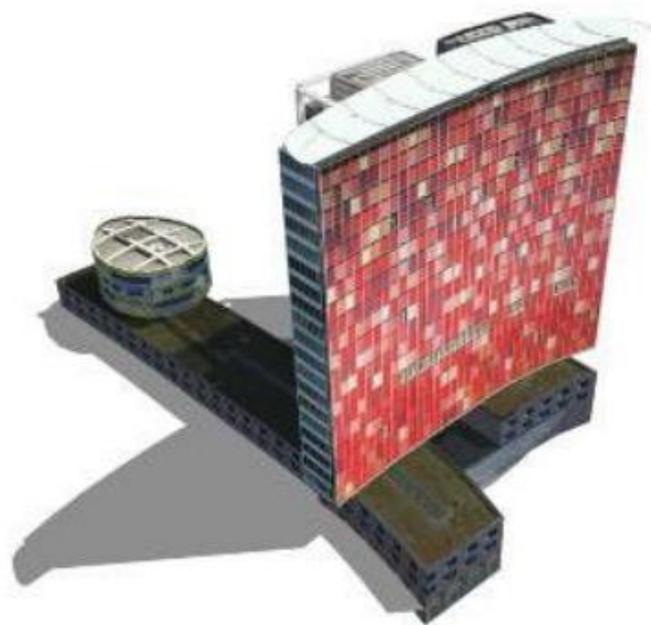


# 典型案例

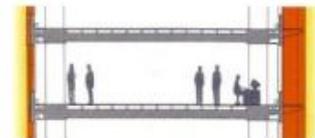
5

GSW公司总部改建与扩建工程

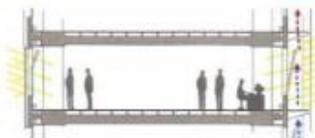
轻型结构/表皮主导/走道式平面



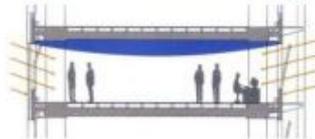
采暖



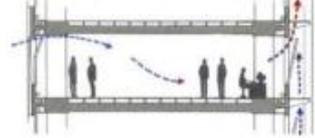
遮阳



采光



通风

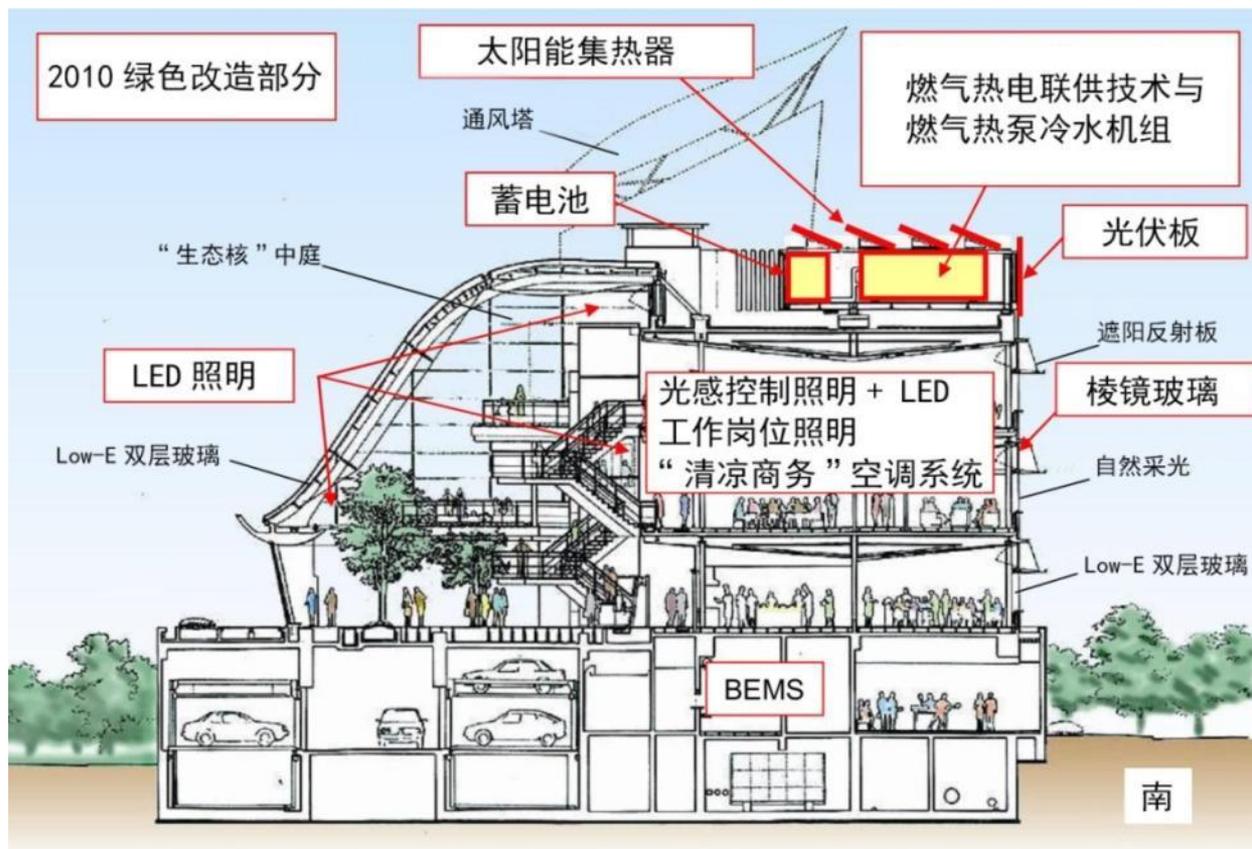


# 典型案例

6

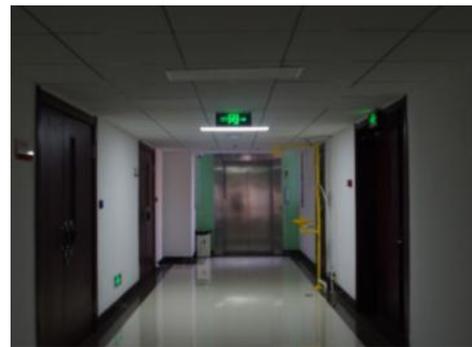
日本东京燃气有限公司办公建筑绿色化改造

轻型结构/表皮主导/开敞式平面



# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

- 工程基本信息：
- 建成时间：1970年代末
- 建筑功能：教学和办公
- 建筑结构：墙承重结构
- 建筑面积：5400平方米
- 存在问题：建筑能耗、水耗高，舒适性差



# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 改造目标

- 改造成为新建的**生命科学学院**科研办公楼
- 满足使用要求，**提高舒适度**
- 达到绿色建筑**星级标识**，实现**节能、节水、节材**的目标
- 通过绿色化改造实现**建筑形象创新**，**控制造价**

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

1

## 外围护结构

- 砖混结构，360厚墙体。可设置保温隔热层，窗户可替换为节能窗

2

## 建筑开间进深

- 建筑进深18.5m，有利于通过建筑表皮调节室内环境

3

## 平面布局

- 内部空间由小房间和走道组成，有利于自然采光

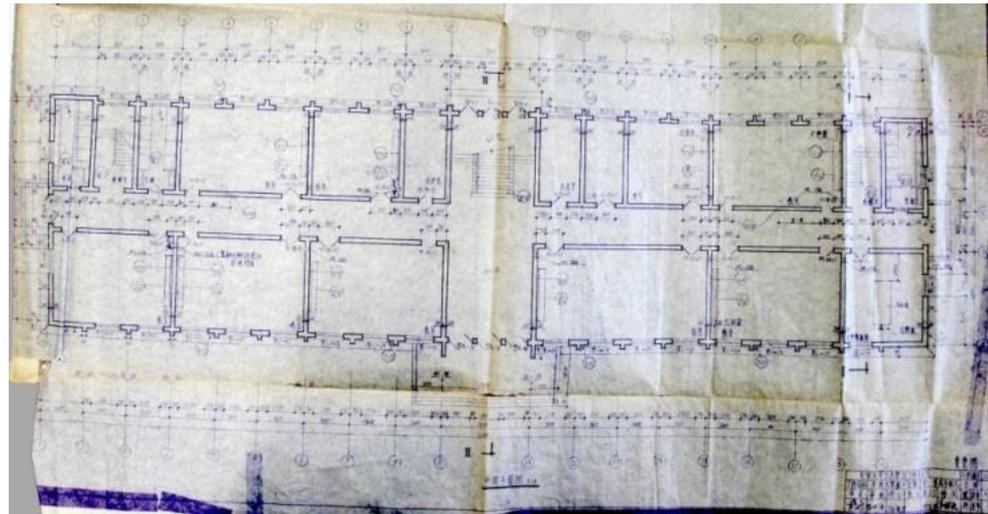
厚重结构/表皮主导/走道式平面



天津大学建筑学院 2015年3月

# 科学学院教学办公楼绿色化改造

策略体系	改造策略		具体措施
采暖制冷	被动式策略	提升建筑外围护结构的性能	• 提升墙体和屋面保温隔热性能，设置保温层
			• 加强门窗框料的热阻
			• 提高门窗挡风雨条气密性
	被动式太阳能的利用		• 采用中空玻璃、Low-E 玻璃、热反射玻璃等节能玻璃
			• 太阳能围护结构
			• 建筑太阳能空间
夜间通风调节热量		• 光线控制	
过渡季节的自然通风			
主动式策略	可再生能源的利用	• 太阳能光热转换技术	
		• 太阳能光电转换技术	
		• 地源热泵空调技术	
综合的空调自控与运行系统		• 组合采暖供电	
		• 利用智能控制系统	
采光	被动式策略	自然采光	• 合理的窗墙比
		反射装置	• 反光板
			• 反光棱镜
	主动式策略		• 反光顶棚
			利用智能照明控制系统
采用工作岗位式照明			
使用节能照明灯具			
通风	被动式策略	自然通风	• 建筑朝向与空间设计
			• 开口的朝向、位置、大小
	主动式策略	提升机械通风的效率和新风技术	• 设置导风板
			楼宇自动管理系统优化窗户的自动控制
节水			• 建筑节水器具
			• 雨水收集与回用
			• 中水利用
			• 设置计量水表
节材			• 原有结构再利用
			• 原有围护体系再利用
			• 使用可循环利用的结构和材料
			• 使用节能环保型绿色建材
			• 旧物再利用
生态景观			• 垂直绿化
			• 景观设施利用可再生能源
			• 植被选择本地植物



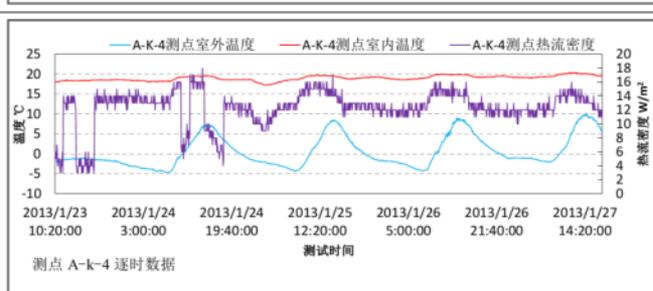
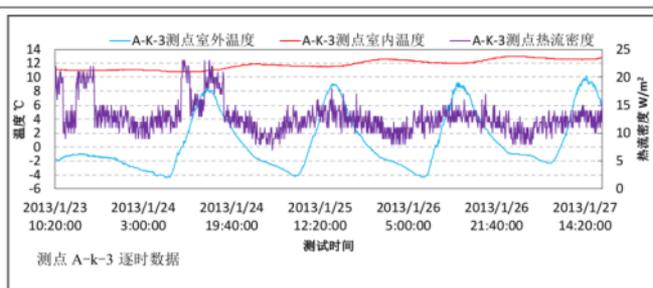
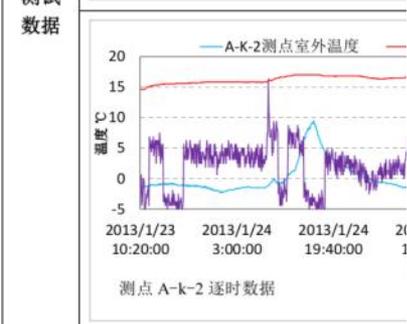
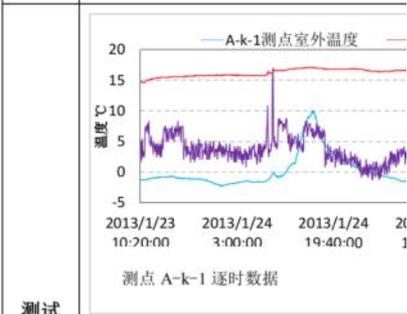
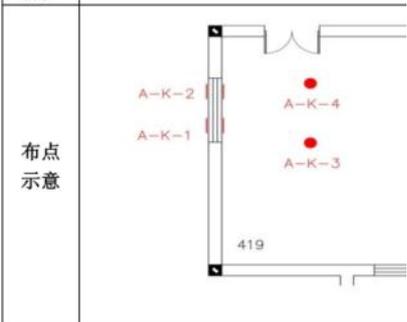
天津大学建筑学院 2015年3月

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色



# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

测试时间	2013年1月23日起至1月27日结束
测试对象	天津大学第十五教学楼外墙主体围护
对象特征	砖混结构，主体围护结构厚 360mm，



围护结构传热系数 $W/(m^2 \cdot K)$	
A-k-1	1.042
A-k-2	0.696
A-k-3	0.983
A-k-4	0.635

外墙围护结构的传热系数为  $0.85 \pm 0.1 W/(m^2 \cdot K)$ ；屋顶结构无吊顶为  $0.98 \pm 0.1 W/(m^2 \cdot K)$ ，有 20mm 厚空气层吊顶与屋顶复合结构传热系数为  $0.635 \pm 0.1 W/(m^2 \cdot K)$

冬季采暖供暖温度恒定，室内温度较为平稳；23 日至 27 日天气晴朗，室外气温波动随太阳辐射强度变化明显；热流密度每日的峰值较室内外温差有延迟，延迟时间在 5-6 小时左右，该既有建筑的非透明围护结构热惰性较差。

测试分析

测试结论

- 按照《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005 规定，屋面传热系数应不大于  $0.55 W/(m^2 \cdot K)$ ；外墙传热系数应不大于  $0.60 W/(m^2 \cdot K)$ ，15 教学楼为 70-80 年代建筑未达到此要求，墙体保温主要依靠结构厚度，进行节能改造时建议增加外保温。
- 楼板、檐口及门窗过梁在做外保温时应加厚处理以减轻热桥现象。
- 设计墙体时应使热流密度高峰滞后于室内外温差的高峰值，滞后时间接近 12h 时有利于建筑冬季采暖的节能。

## 结论

- 屋面和外墙传热系数超过节能标准限值，建议增加外保温。
- 楼板和门窗过梁应减轻热桥现象。

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 现状

依据《天津市公共建筑节能设计标准》DB29-153-2010，进行PKPM能耗计算。

表1 PKPM公共建筑节能计算书之屋顶热工性能分析（改造前）

屋顶:普通屋顶 每层材料名称	厚度 (mm)	导热系数 W/m. K	蓄热系数 W/(m <sup>2</sup> . K)	热阻值 (m <sup>2</sup> . K)/W	热惰性指标 D=R. S	导热系数 修正系数
沥青油毡,油毡纸	10.	0.170	3.30	0.06	0.19	1.00
水泥砂浆	20.	0.930	11.31	0.02	0.24	1.00
水泥焦渣	140.	0.630	10.21	0.15	1.51	1.50
水泥砂浆	20.	0.930	11.31	0.02	0.24	1.00
钢筋混凝土圆孔板	125.	1.740	17.06	0.07	1.23	1.00
石灰,砂,砂浆	20.	0.810	9.95	0.02	0.25	1.00
屋顶各层之和	335.			0.35	3.66	
附加热阻	0.00					
屋顶传热阻RO=Ri+ΣR+Re	0.50	(m <sup>2</sup> . K/W)				
屋顶传热系数	1.98W/(m <sup>2</sup> . K)					
屋顶传热系数大于 0.55不满足标准要求。						

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 现状

表 2 PKPM公共建筑节能计算书之外墙热工性能分析（改造前）

外墙:370硅酸盐砌体墙 每层材料名称	厚度 (mm)	导热系数 W/m. K	蓄热系数 W/(m <sup>2</sup> . k)	热阻值 (m <sup>2</sup> . K)/W	热惰性指标 D=R. S	导热系数 修正系数
水泥砂浆	20.	0.930	11.31	0.02	0.24	1.00
轻砂浆粘土砖	360.	0.760	9.93	0.47	4.70	1.00
石灰,砂,砂浆	20.	0.810	9.95	0.02	0.25	1.00
墙体各层之和	400.			0.52	5.19	
附加热阻	0.20					
墙体热阻RO=Ri+∑R+Re	0.88 (m <sup>2</sup> . K/W)					
墙体传热系数	1.14 (W/m <sup>2</sup> . K)					

各朝向墙平均传热系数:

朝向	平均传热系数 (W/(m <sup>2</sup> . K))	平均热惰性指标	传热系数限值 (W/(m <sup>2</sup> . K))	是否满足 标准要求
南	1.41	4.78	0.60	不满足
东	1.39	5.17	0.60	不满足
北	1.41	4.81	0.60	不满足
西	1.39	5.17	0.60	不满足

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 现状

表 3 PKPM公共建筑节能计算书之**楼板热工性能**分析（改造前）

房间的楼板:钢筋混凝土楼 板	厚度	导热系数	蓄热系数	热阻值	热惰性指标	导热系数
每层材料名称	(mm)	W/m. K	W/(m <sup>2</sup> . K)	(m <sup>2</sup> . K)/W	D=R. S	修正系数
细石混凝土	35.	1.740	17.06	0.02	0.34	1.00
钢筋混凝土圆孔板(180厚)	125.	0.620	10.88	0.20	2.19	1.00
石灰,砂,砂浆	20.	0.810	9.95	0.02	0.25	1.00
楼板各层之和	180.			0.25	2.78	
楼板热阻 $RO=R_i+\sum R+R_e$	0.48 (m <sup>2</sup> . K/W)					
楼板传热系数	<b>2.10W/(m<sup>2</sup>. K)</b>					
<b>楼板传热系数大于 1.50不满足标准要求。</b>						

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 现状

表 4 PKPM公共建筑节能计算书之外窗热工性能分析（改造前）

外窗(或透明玻璃幕墙)类型号	窗名称	玻璃名称	传热系数 (W/(m <sup>2</sup> .K))	玻璃遮阳系数	备注
1	断热铝合金低辐射中空玻璃窗	5+6A+5	2.70	0.63	
2			2.70	0.63	

门窗参数的朝向平均值:

朝向	窗墙比	传热系数 W/(m <sup>2</sup> .K)	遮阳系数	传热系数限值 W/(m <sup>2</sup> .K)	遮阳系数限值	窗墙比 限值	是否符合 标准要求
东	0.20	2.84	0.63	2.70	1.00	0.70	不符合
南	0.32	2.75	0.63	2.70	0.70	0.70	不符合
西	0.20	2.84	0.63	2.70	1.00	0.70	不符合
北	0.32	2.75	0.63	2.70	1.00	0.70	不符合

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 现状

表 5 PKPM公共建筑节能计算书之外窗可开启面积比判定表（改造前）

外窗可开启面积(m <sup>2</sup> )	外窗面积(m <sup>2</sup> )	外窗可开启面积比(%)	外窗可开启面积与外窗面积比例的限值(%)	备注
163.67	786.83	20.8	30.0	
外窗可开启面积不满足要求。				

- 结 论：1、**屋顶**不满足标准要求；
- 2、**外墙**不满足标准要求；
- 3、**外窗**不满足标准要求；
- 4、采暖房间和非采暖房间**楼板**不满足标准要求。

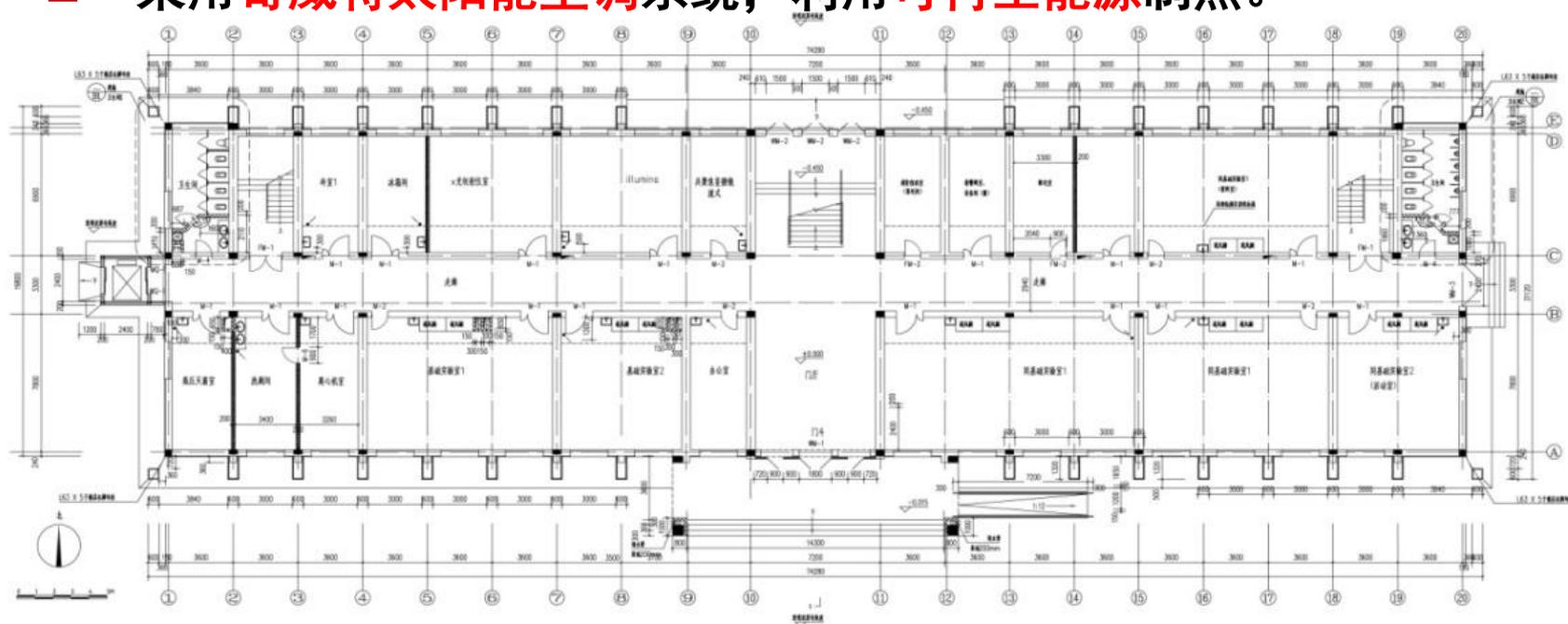
# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 改造方案

	方案效果图	方案特点	绿色建筑得分
低造价方案		外围护结构节能改造，内部给排水设备改造，分类分项计量，增加必须的太阳能空调设备，适当考虑遮阳。	67
中等造价方案		外围护结构节能改造，内部给排水设备改造，分类分项计量，将室外遮阳、立体绿化、太阳能空调设备与外立面钢构架整合设计，保持原建筑荷载基本不变。	79
高造价方案		采用集热墙、双层表皮等特殊技术降低能耗；使用再生材料的外墙板；扩充建筑使用面积，建筑形象处理具有一定的象征意义；给排水设备、空调系统同前。	83

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

- 改造方案
- 满足**科研办公、实验室**功能需求、增设**电梯**一部
- 进行**外围护结构**节能改造、采用**节水设备、分类分项计量**；
- 采用**奇威特太阳能**空调系统，利用**可再生能源**制热。



天津大学十五楼改造后方案首层平面图

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

- 改造方案——中等造价方案（兼顾成本、需求、性能）
- 造价**1000万**左右；
- 达到现行《绿色建筑评价标准》**二星**水平；
- 外立面钢框架将**遮阳、竖向绿化、实验室通风装置、设备装置**等整合，并保持**原建筑荷载**基本不变；
- 保留基地**现有树木**，用**本地经济性植物**和学院**试验田**营造景观，创造“**生命学院**”崭新的形象。



正南透视图



西南透视图



西北透视图

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## 改造方案



设计方案及主被动节能措施

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 实施方案



# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造



天津大学建筑学院 2015年3月

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 改造方案

依据《天津市公共建筑节能设计标准》，对改造后的方案进行PKPM能耗计算。

表7 PKPM公共建筑节能计算书之屋顶热工性能分析（改造后）

屋顶1:普通屋顶 每层材料名称	厚度 (mm)	导热系数 W/m. K	蓄热系数 W/(m <sup>2</sup> . K)	热阻值 (m <sup>2</sup> . K)/W	热惰性指标 D=R. S	导热系数 修正系数
沥青油毡,油毡纸	10.	0.170	3.30	0.06	0.19	1.00
水泥砂浆	20.	0.930	11.31	0.02	0.24	1.00
挤塑聚苯板	50.	0.033	0.25	1.52	0.38	1.00
水泥砂浆	20.	0.930	11.31	0.02	0.24	1.00
钢筋混凝土圆孔板	125.	1.740	17.06	0.07	1.23	1.00
石灰,砂,砂浆	20.	0.810	9.95	0.02	0.25	1.00
屋顶各层之和	245.			1.71	2.53	
附加热阻	0.00					
屋顶传热阻RO=Ri+ΣR+Re	1.87	(m <sup>2</sup> . K/W)				
屋顶传热系数	0.53W/(m <sup>2</sup> . K)					
屋顶传热系数不大于 0.55满足标准要求。						

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

□ 改造方案 表 8 PKPM公共建筑节能计算书之外墙热工性能分析（改造后）

外墙1:370硅酸盐砌体墙 每层材料名称	厚度 (mm)	导热系数 W/m. K	蓄热系数 W/(m <sup>2</sup> . k)	热阻值 (m <sup>2</sup> . K)/W	热惰性指标 D=R. S	导热系数 修正系数
水泥砂浆	20.	0.930	11.31	0.02	0.24	1.00
挤塑聚苯板	50.	0.033	0.25	1.52	0.38	1.00
轻砂浆粘土砖	360.	0.760	9.93	0.47	4.70	1.00
石灰,砂,砂浆	20.	0.810	9.95	0.02	0.25	1.00
墙体各层之和	450.			2.04	5.57	
附加热阻	0.20					
墙体热阻RO=Ri+∑R+Re	2.39 (m <sup>2</sup> . K/W)					
墙体传热系数	0.42 (W/m <sup>2</sup> . K)					

各朝向墙平均传热系数:

朝向	平均传热系数 (W/(m <sup>2</sup> . K))	平均热惰性指标	传热系数限值 (W/(m <sup>2</sup> . K))	是否满足 标准要求
南	0.46	5.11	0.60	满足
东	0.46	5.13	0.60	满足
北	0.46	5.11	0.60	满足
西	0.46	5.18	0.60	满足

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 改造方案

表 9 PKPM公共建筑节能计算书之**楼板热工性能**分析（改造后）

房间的楼板1:钢筋混凝土 楼板 每层材料名称	厚度 (mm)	导热系数 W/m. K	蓄热系数 W/(m <sup>2</sup> . K)	热阻值 (m <sup>2</sup> . K)/W	热惰性指标 D=R. S	导热系数 修正系数
细石混凝土	35.	1.740	17.06	0.02	0.34	1.00
钢筋混凝土圆孔板(180厚)	125.	0.620	10.88	0.20	2.19	1.00
石灰,砂,砂浆	20.	0.810	9.95	0.02	0.25	1.00
超细无机纤维	20.	0.035	0.26	0.57	0.15	1.00
楼板各层之和	200.			0.82	2.93	
楼板热阻RO=Ri+∑R+Re	1.05 (m <sup>2</sup> . K/W)					
楼板传热系数	<b>0.95W/(m<sup>2</sup>. K)</b>					
<b>楼板传热系数不大于 1.50满足标准要求。</b>						

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 改造方案

表 10 PKPM公共建筑节能计算书之外窗热工性能分析（改造后）

外窗(或透明玻璃幕墙)类型号	窗名称	玻璃名称	传热系数 (W/(m <sup>2</sup> .K))	玻璃遮阳系数	备注
1	PVC塑料低辐射中空玻璃窗	5+6A+5	2.40	0.63	

门窗参数的朝向平均值:

朝向	窗墙比	传热系数 W/(m <sup>2</sup> .K)	遮阳系数	传热系数限值 W/(m <sup>2</sup> .K)	遮阳系数限值	窗墙比 限值	是否符合 标准要求
东	0.19	2.56	0.47	2.70	1.00	0.70	符合
南	0.30	2.46	0.44	2.70	1.00	0.70	符合
西	0.11	2.40	0.45	2.70	1.00	0.70	符合
北	0.30	2.46	0.52	2.70	1.00	0.70	符合

注：现有外窗传热系数不满足标准，考虑未来发展可以替换现有外窗从而满足标准。

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 改造方案

表 11 PKPM公共建筑节能计算书之外窗可开启面积比判定表（改造后）

外窗可开启面积 (m <sup>2</sup> )	外窗面积(m <sup>2</sup> )	外窗可开启面积 比(%)	外窗可开启面积 与外窗面积比例 的限值(%)	备注
361.14	773.09	46.7	30.0	
外窗可开启面积满足要求。				

注：现有外窗可开启面积不满足标准，考虑未来发展可以替换现有外窗从而满足标准。

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 改造前后能耗对比（根据实施方案模拟，软件Design Builder）

	全年采暖总 能耗 (kWh)	全年空调总 能耗 (kWh)	全年用电能 耗 (kWh)	建筑总能耗 (kWh)
改造前	334649.2	110639.79	249979.29	<b>695268.28</b>

	全年采暖总 能耗 (kWh)	全年空调 总能耗 (kWh)	全年用电能 耗 (kWh)	太阳能 空调系统 节能 (kWh)	全年建筑总 能耗 (kWh)
改造后	251161.91	147312.30	253164.67	-274500	<b>377138.78</b>

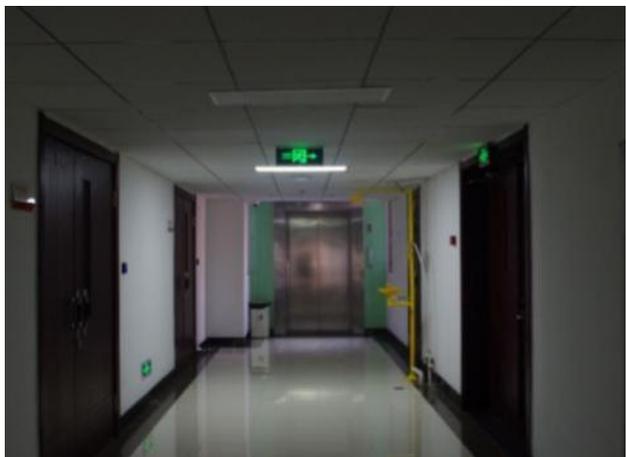
# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

## □ 建成效果



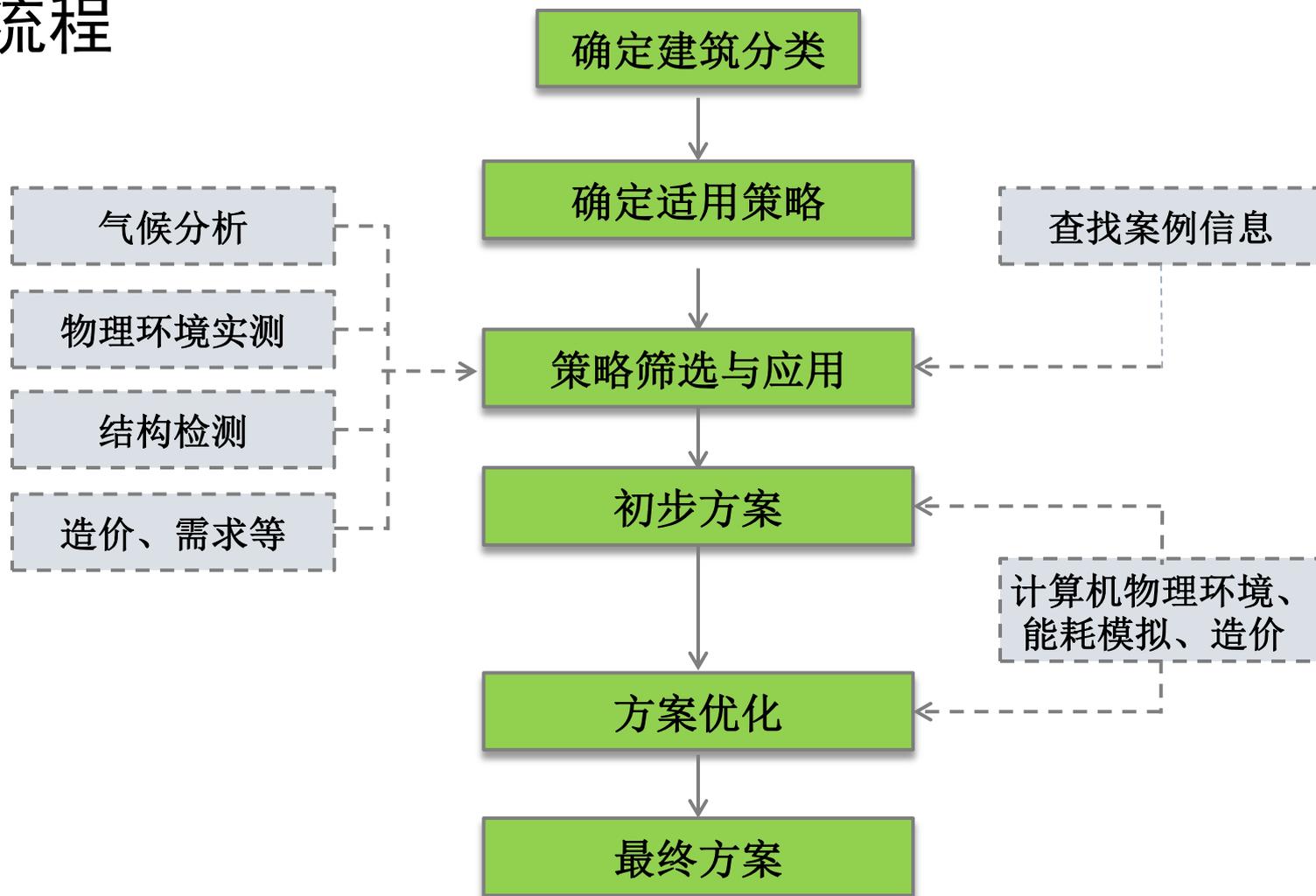
天津大学建筑学院 2015年3月

# 工程实践——天津大学生命科学学院教学办公楼绿色化改造

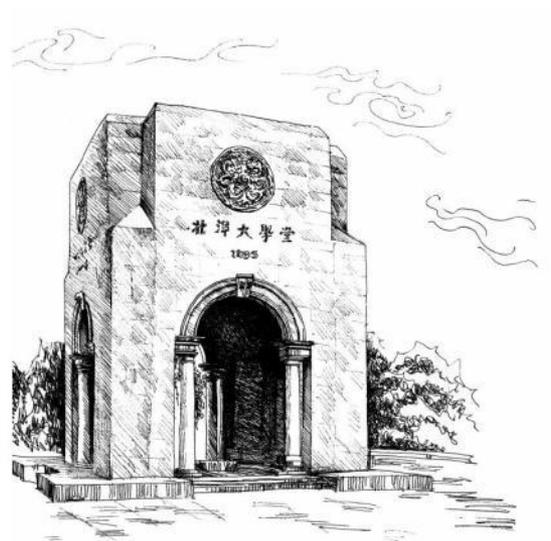


天津大学建筑学院 2015年3月

# 设计流程



# 感谢聆听



天津大学建筑学院

刘丛红 教授

[Conghong\\_liu@163.com](mailto:Conghong_liu@163.com)

2015年3月25日