

武汉建设大厦节能改造及运行效果^{*}

华中科技大学 陈 宏[☆]

武汉市建筑节能办公室 彭 波

中信建筑设计研究总院有限公司 王 凡

摘要 结合该项目的改造实践,探讨了既有建筑在绿色改造过程中的设计理念及适宜技术。该项目低能耗运行的主要原因在于其有效的设计策略:1) 通过对建筑功能的优化设计,减少空调区域面积并利用自然通风,大大降低了过渡季及夏季空调能耗;2) 通过平面优化设计,有效减少了照明能耗;3) 提高了围护结构的隔热与遮阳性能,在提升室内环境质量的同时降低能耗;4) 通过空调系统的优化设计,提高了能源的利用效率。

关键词 既有建筑 节能改造 被动式技术 设计策略 绿色建筑

Energy saving retrofit and operation performance of Office Building of Wuhan Urban and Rural Construction

By Chen Hong[★], Peng Bo and Wang Fan

Abstract Combined with the experiences of the project, discusses the design concept and appropriate technology of green retrofit for existing building. The energy efficient operation of the building mainly results from its effective design strategies; 1) Greatly reducing the energy consumption of air conditioning in transitional seasons and summer through optimal design for the building function such as reducing air conditioned area and actively using natural ventilation; 2) Effectively reducing the energy consumption of lighting through optimization design of plan; 3) Effectively improving the indoor thermal insulation and sunshade performances of building envelope, which improves the environmental quality as well as reduces the energy consumption during operation after optimal design of envelope; 4) Improving energy efficiency through optimal design of air conditioning.

Keywords existing building, energy saving retrofit, passive technology, design strategy, green building

[★] Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China

①

1 概况

武汉建设大厦位于武汉市常青路与振兴路交汇处,该项目为既有建筑改造工程,2012年由原闲置的商业建筑改建为武汉市城乡建设委员会办公楼,于2012年10月获得三星级绿色建筑设计标识,2013年获得全国绿色建筑创新奖一等奖。

武汉建设大厦占地面积 6 360 m²,总建筑面积 25 318 m²,其中地下室面积 3 934.90 m²,地上 5 层,地下 1 层,1,2 层之间局部含有夹层。

武汉建设大厦的原有建筑外观如图 1 所示。该建筑始建于上世纪 90 年代中期,原设计为大型商场,项目建成后闲置了一段时间即改造为军事博

物馆,此后三江航天集团购买该楼用于办公,2008 年后再次闲置。2011 年武汉市城乡建设委员会决定租赁该楼,实施综合改造作为武汉市建委机关的办公用房。该建筑改造后的外观如图 2 所示。

项目主要改造内容为:平面使用功能转化改造、共享空间功能改造、屋顶构造改造、窗户及外墙改造、地下室及停车系统改造;内部装饰;空调通风系统、供电照明系统、消防系统、弱电系统、给排水系统、绿化与景观系统的改造等。

①[☆] 陈宏,男,1967 年 8 月生,工学博士,教授,博士生导师
430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号华中科技大学
建筑与城市规划学院

(O) 18086680653

E-mail: chhwh@hust.edu.cn

收稿日期:2014-06-25



图1 原有建筑



图2 改造后建筑

2 节能关键

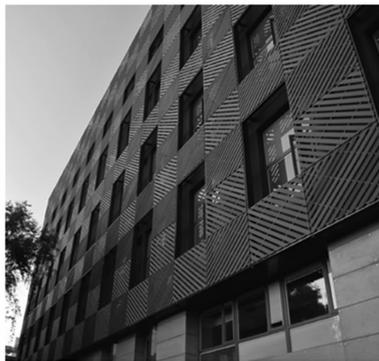
武汉建设大厦充分利用了既有建筑的建筑主体和部分原有设备。与新建筑不同的是,既有建筑的绿色改造,在选用绿色技术方面会受到一定的限制,这对选用绿色技术的适宜性提出了较高的要求。因此,设计者在制定整个项目的绿色改造技术路线的初期,提出不追求建筑某一方面性能最佳,而以在充分利用建筑原有条件与建筑性能优化之间寻求平衡作为设计原则。在此基础上,结合建筑的实际情况,尤其是在保留原有大部分设备系统的基础上,经过反复比较和甄选,提出了一套有别于常规绿色建筑的技术措施,实践了以被动优先、主动优化为原则的绿色建筑理念。

2.1 建筑设计

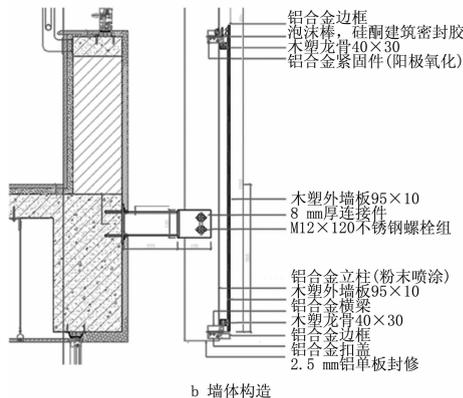
武汉建设大厦在绿色改造过程中系统地采用了双层隔热表皮、高效节能窗与中空玻璃内置百叶窗、垂直绿化、可透水地面、自然通风、自然采光等被动式技术。

1) 在围护结构方面:建设大厦改造过程中在保留原有外墙的同时,在外墙的外侧采用木塑板增加一层格栅形成双层构造(以下称为“双层隔热表皮”,如图3所示),可通过外侧表皮中格栅的遮阳与空气间层的通风作用,提高围护结构的隔热性能,有效降低夏季外墙内侧表皮的表面温度。

2) 自然通风:通过夏季及过渡季的室外自然



a 立面照片



b 墙体构造

图3 双层隔热表皮

通风模拟可知,在夏季及过渡季的主导风向下迎风面与背风面的压力差均在 1.5 Pa 以上,有利于促进室内自然通风。同时,将原建筑的封闭式中庭的玻璃穹顶下部改为开敞式,如图4所示,进一步促

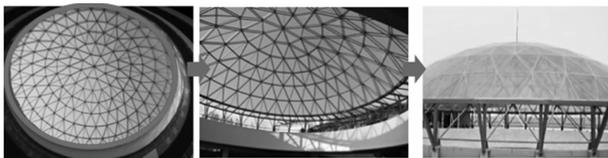


图4 玻璃穹顶改造

进了大厦的室内自然通风。玻璃穹顶改造前后对比如图5所示,可看出玻璃穹顶改为开敞式对于自然通风的促进效果十分明显,使中庭部分的平均风速从改造前的 0.1 m/s 左右提高到 0.3 m/s 以上。实际使用过程中在穹顶的开口部通风效果十分明显。

3) 自然采光:由于原建筑设计为商场建筑,因此进深大、室内自然采光不足。在改造过程中通过保留原有中庭,并沿中庭周边的办公空间采用玻璃隔断的方式,使中庭周边办公空间的自然采光效果大为改善;将1层的多功能厅的顶部设计为玻璃顶,使多功能厅可直接利用中庭上部的自然光进行

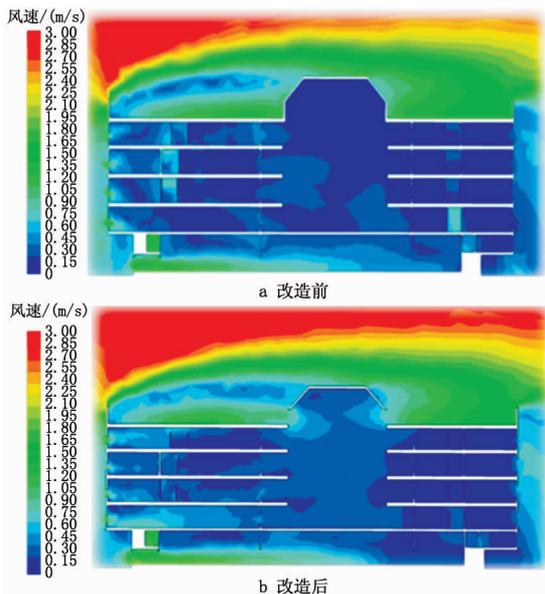


图5 玻璃穹顶改造前后室内风环境对比

采光,同时也具有良好的视觉效果(如图6所示),实现建筑艺术与技术的完美结合。

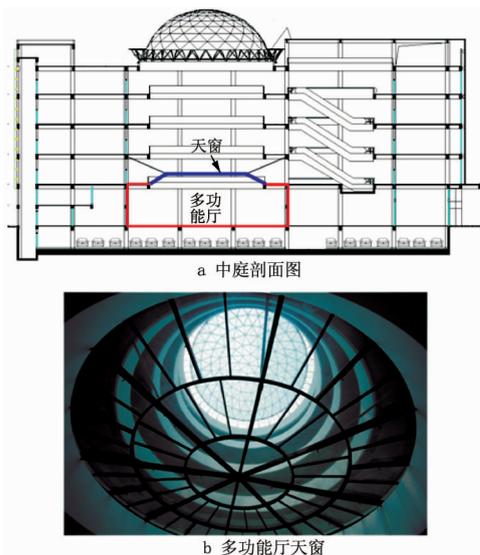


图6 多功能厅的天窗(上部浅蓝色部分为玻璃穹顶)

4) 在功能转化设计过程中,针对原建筑大进深的平面形式不利于办公建筑的自然采光与自然通风的问题,通过采用保留中庭空间以及将穹顶下部改造成开敞式的设计策略,将原属于建筑室内的中庭空间变更为建筑的室外空间(中庭周边的墙体按照外墙要求设置保温),减少室内面积约 $2\,340\text{ m}^2$,从而减少了需要供暖与空调的室内体积约 $41\,418\text{ m}^3$ 。通过采用 PKPM 软件计算,该项目改造后建筑节能率为 53.48% 。同时,

将中庭作为室外空间,不仅有利于自然通风,而且降低了空调供暖能耗,经计算,除去中庭后,建筑基准年能耗减少了 12.47% 。因此,本项目综合节能率达到 65.95% 。

2.2 空调系统设计

2.2.1 空调冷热源

经计算,夏季日最大冷负荷约为 $2\,450\text{ kW}$,冬季热负荷约为 $1\,050\text{ kW}$,该工程原有设备容量完全满足负荷需求,因此本改造工程仍使用原有冷热源设备,并针对使用功能和负荷的变化情况,对原冷热源进行适当改造,主要内容为:1) 冷水系统改为一次泵变流量系统,冷水泵变频运行;2) 根据冷却水回水温度调节冷却塔运行台数,达到节能目的;3) 电热水锅炉由分量蓄热改为全量蓄热;4) 冷水系统按分区设置计量装置;5) 对使用时间特殊的区域增加了变频多联机空调系统。

除了集中空调系统外,由于1层夹层层高受限,5层高级办公室使用时间的特殊要求,故设计考虑在以上2个区域采用变频多联机空调系统。

原空调供暖系统按分量储热模式设计,配备2台 540 kW 的电热水机组,储热装置设计采用 $\text{O}4\,400\times 3\,000\text{ mm}$ 的储热罐3个,容积 45 m^3 /个,经计算蓄热罐总蓄热量为 $5\,499.4\text{ kW}\cdot\text{h}$,蓄热时间 5.25 h ,日总负荷约为 $5\,266\text{ kW}\cdot\text{h}$,系统改造为全量蓄热模式。该系统主要优点为:1) 有利于电网削峰填谷,提高电网的安全性;2) 充分利用廉价的低谷电降低运行费用;3) 系统运行的自动化程度高;4) 无噪声、无污染、无明火、消防要求低。

2.2.2 空调风系统

由于整个建筑结构无法改变,且经检测,原有末端空气处理机组性能良好,故充分利用原有空调系统,改造主要内容为:风道、末端以及空调机房。图7为空调风系统改造前中后对比。

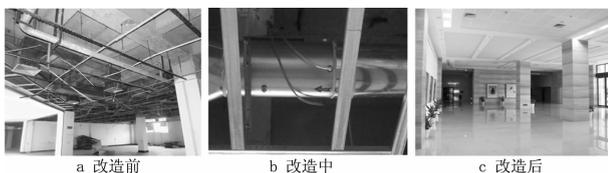


图7 空调风系统改造前中后对比

本工程1层大堂及公共办公区采用全空气系统,上送下回气流组织形式,过渡季节可以全新风

运行。2~5层办公区采用变风量空调系统(VAV)、单风管型变风量末端。系统运行时,由变风量空调箱送出的一次风经末端装置内的风阀调节后送入空调区域。为解决室内空气污染问题,在变风量空调机组主送风管内安装NC纳米光子空气净化装置。本工程变风量系统采用定静压控制模式,该系统与其他空调系统相比具有以下优势:1)部分负荷时风机可实现变频调速,运行节能;2)有效控制噪声,气流组织良好,人体舒适度增强;3)送风系统及室内空气质量各参数精确控制和显示,提高智能化程度;4)区域温度可独立控制。

为避免集中空调在建筑同时使用系数较小时部分负荷性能较差的现象发生,对食堂、重要会议室、高级办公区设置变制冷剂流量(VRF)多联空调系统。由于原有的玻璃纤维复合风管使用年限较长,已经出现断裂、剥落等现象,故拆除原有风管,全部风管改为采用镀锌钢板制作。在空调机房改造中,为适应新的节能设计标准,将空调机组加装了风机变频控制器,主要有2个作用:实现空调系统的变风量运行;使原有设备与改造后的设计工况相匹配。

2.2.3 空调水系统

原空调水系统为两管制定流量系统,分2个立管系统,均为异程布置。本次改造保留了所有空调水系统,但冷水系统由定流量改为变流量,在空气处理机组的回水管上加装了比例积分调节阀,根据回水温度调节流量。

2.2.4 自控系统

1) 空调风系统

① 室内温度的控制:每个VAV BOX末端在相应的位置设置温度感应及控制器,可以根据室内的具体设定及负荷情况调节VAV BOX的阀片开度,调节一次送风量,以达到室内最佳的舒适度。

② 变风量空调送风采用定静压控制方式。根据送风静压调节送风机转速;设置风管静压值为250 Pa,在送风管上设置静压传感器,与设定值比较,根据送风静压的变化调节送风机频率,保证送风管静压稳定在设定值,控制精度为 ± 10 Pa。

③ 新风量的控制:设置回风CO₂浓度传感器,根据其浓度值调节新风阀开度,保证房间新风要求。

2) 空调水系统

① 根据送风温度的变化,自动调节冷水回水管上的温控比例积分电动两通阀的开度,当送风温度高于设定值时,调节电动两通阀使其开度变大;当送风温度低于设定值时,调节电动两通阀使其开度变小,从而确保送风温度恒定。

② 空调冷水泵增加了变频装置,水泵调节幅度76.4%~100%,干管控制压头为15.6 m。根据供回水管之间的压差情况调节水泵转速,进而调节系统水流量,适应负荷变化的需要。

③ 冷却塔开启台数根据冷水机组开启台数来确定,并根据冷却水温度启停风机,达到节能目的。

2.2.5 自然通风系统

通过在原有室内中庭顶部开启外窗,形成自然通风通道。温度较低的空气从下面的门窗进入,吸收室内热量后温度升高,然后从顶部排出。这样可以在过渡季节实现室内的全面通风,改善室内空气质量,也有利于自然采光。在过渡季节可以减少空调能耗。

2.2.6 空调用电计量系统

根据《湖北省国家机关办公建筑和大型公共建筑用能计量设计暂行规定》,需要对大型公共建筑空调系统配置相应的用电计量系统。目前,分类能耗数据采集指标中,电量应分为4项分项能耗数据采集指标,包括照明插座用电、空调用电、动力用电和特殊用电,其他分类能耗不需分项。

本工程为空调冷热源安装了独立的电表,冷热总管上安装了能量表,各层空调水支管上也安装了能量表,可以对空调的能耗进行计量和管理。

2.3 太阳能光热建筑一体化设计

项目采用太阳能光热建筑一体化技术供给生活热水及厨房热水。其中太阳能光热设备组件——平板式太阳能光热板作为建筑顶层乒乓球的屋面(见图8,9)围护构件,直接成为屋面围护结构的组成部分,在其下部仅增加一层格栅吊顶,



图8 太阳能热水与屋面一体化

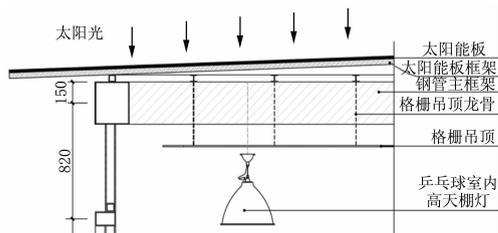


图9 太阳能光热屋面构造

形成乒乓球室的屋面。太阳能光热组件与建筑有机结合,一方面提高了可再生能源的使用量,另一方面也减少了材料消耗。其产生的生活热水可满足大厦全年生活热水消耗量的86.7%。

3 室内设计参数

武汉建设大厦依据相关的国家及武汉地方设计标准,选用的供暖与空调系统设计室内参数见表1。

表1 空调室内设计参数

	夏季		冬季		最小新风量/(m ³ /(人·h))	A声级噪声/dB
	设计温度/℃	相对湿度/%	设计温度/℃	相对湿度/%		
门厅	27	65	18	40	20	
多功能厅	25	65	20	40	20	
开敞办公区	25	65	20	40	40	45
办公室	25	65	20	40	30	45
接待室	26	65	20	40	30	45
餐厅	26	65	18	40	40	50
包房	25	65	20	40	40	50
资料室	27	65	18	40	30	45
会议室	25	65	20	40	40	45

4 室内环境与实测能耗

4.1 围护结构隔热性能

2012年7月17—19日针对武汉建设大厦双层隔热表皮的热工性能进行了实测,设置了3个测点:楼顶测点、3层测点、5层测点。楼顶测点用于测量背景气象数据,测量项目包括风速、风向、太阳辐射照度、气温、相对湿度。3层及5层测点设置在西南墙体中间部分(3层实测点如图10所示,5层实测点与其对应设置),测量项目为格栅外表面温度及热流量、墙体内外表面温度及热流量、室内

温度、空气间层温度及风速。另外,3层及5层测点测定室内的内墙表面温度的房间均为未使用空调的自然通风房间。

图11显示了表面温度实测结果。从图11可以看出,内侧墙体外表皮的表面温度较表皮外侧的温度低4~6℃,内侧墙体内表面温度白天基本维持在30℃,较好地抑制了室内气温的上升(室内房间未使用空调),使室内气温基本维持在29℃。并且如图3所示,双层隔热表皮形成深窗的形式,提高了外窗的遮阳效果,从而降低了夏季空调能耗。

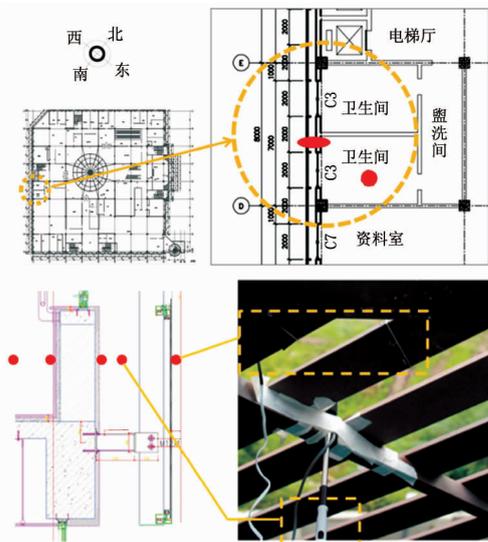
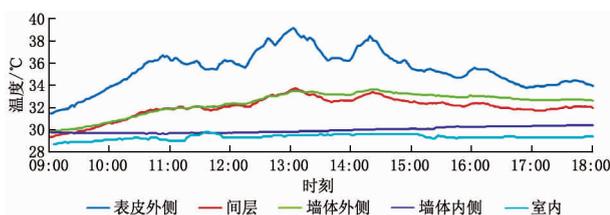


图10 3层测点及各仪器安装位置



注:间层及室内分别为空气间层与室内的气温,室内为一个未使用空调的自然通风房间。

图11 表面温度实测结果

4.2 实际运行能耗

武汉建设大厦能耗主要为供暖空调、照明、办公设备及特殊功能设备的电耗。在改造过程中增设能耗监控平台,并提供大厦逐日的分项能耗数据。大厦中的一个职工食堂,因安全的原因不使用燃气,而以电力作为能源,在能耗数据中

其能耗被列入特殊功能设备能耗。此处以 2013 年全年的能耗数据对武汉建设大厦的能耗状况进行分析。

图 12 显示了武汉建设大厦逐月建筑能耗状况。武汉建设大厦 2013 年全年的总能耗为 154.91

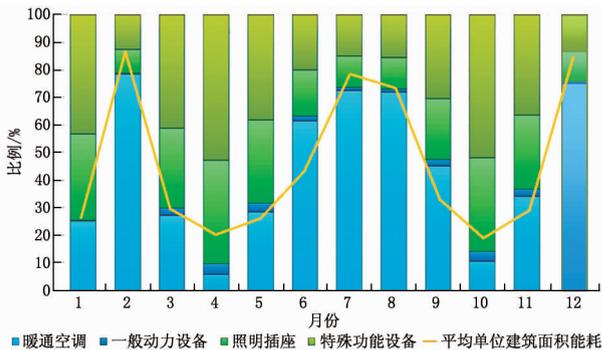


图 12 武汉建设大厦全年逐月建筑能耗分析图

万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，平均单位建筑面积能耗为 $61.19 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。大厦的能耗水平明显低于武汉市政府办公建筑的平均能耗水平，属于低能耗办公建筑。大厦能耗中各部分比例：1) 暖通空调能耗为 $43.44 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ （占大厦全年总能耗的 71%），其中冬季的供暖能耗为 $26.45 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，较夏季的空调能耗（ $16.99 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ）高出 56%，其原因在于大厦在改造过程中将建筑原有保养良好的电锅炉及蓄热罐保留，在夜间进行加热蓄能，一方面节约建设成本，另一方面也利用峰谷电价，实现了建筑原有条件保留与建筑性能优化的平衡；2) 特殊功能设备能耗为 $9.79 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ （占大厦全年总能耗的 16%），特殊功能设备能耗占比偏高的原因在于其除了包含信息中心的弱电系统及其 VRF 空调设备用电，还包含了职工食堂的食物加工用电；3) 照明插座能耗为 $7.21 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ （占大厦全年总能耗的 12%），照明能耗较低的原因在于建筑改造的平面设计过程中保留了中庭空间，并根据采光模拟分析的结果，将对采光要求较高的办公室设置在外墙及中庭附近，而将对采光要求不高的会议室及档案室等辅助用房设置在采光条件不好的区域，充分利用了自然采光，降低了照明能耗。

5 案例分析与总结

武汉建设大厦在基本闲置的既有建筑基础上通过建筑功能的转化（由商场建筑转化为政府办

公建筑）实现绿色改造，通过建筑设计与机电设备的优化设计，基本实现了原有建筑和机电设备的保留改造与改建后建筑性能提升之间的良好平衡，这一成果丰富了既有建筑绿色改造的内涵，又保证了闲置建筑在全寿命周期内的可持续使用。

武汉建设大厦的单位建筑面积能耗为 $61.19 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，明显低于武汉市 2 万 m^2 以上政府机构办公楼的平均能耗。通过对上述模拟及调研的结果进行分析，为夏热冬冷地区建筑的绿色改造提供如下启示：

1) 在实现既有建筑功能转化的同时，根据新的建筑功能需求，通过优化建筑平面布局与室内空间组织，促进建筑的天然通风，能有效降低建筑夏季及过渡季的空调能耗；结合建筑原有围护结构进行隔热构造设计，可有效控制建筑外墙的内表面温度，在提高室内热舒适的同时，减少空调能耗。此外，对于大进深建筑通过利用中庭空间进行自然采光，能有效减少照明能耗。

2) 武汉建设大厦在大量保留原有空调设备的基础上，对原有设备进行升级改造与再利用，并通过合理设计，采用高效节能技术，使原有系统可用于改造后的建筑。通过基于原机电系统的改造与升级设计，使保存状态良好的原有设备的寿命得到了延续，同时也提高了能源的利用效率，实现了保留与性能提升相互平衡的绿色改造设计原则。

参考文献：

- [1] 彭波,陈宏. 绿色建筑评价设计标识三星级项目——武汉建设大厦既有商业建筑改造为绿色办公建筑创新实践[J]. 建设科技,2013(13):41-43
- [2] 彭波,陈宏,郑国庆. 既有建筑绿色改造的设计策略与适宜技术——武汉建设大厦改造[J]. 新建筑,2013(4):70-73
- [3] 甘月朗,彭波,李保峰,等. 夏热冬冷地区既有建筑改造的气候适应性设计策略——以武汉建设大厦综合改建设计项目为例[J]. 南方建筑,2013(6):43-45
- [4] 甘月朗,彭波,袁黎,等. 既有建筑绿色改造的被动式设计策略研究——以武汉建设大厦综合改造工程为例[C]//第9届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集——S05:既有建筑节能改造技术及工程实践. 北京,2013