

低碳建筑设计指南

Low Carbon Building Design Guideline

概念方案阶段

Concept and Scheme Design Stage



Architecture 2030

我们促进建筑环境的大规模变化。

我们推进实现可持续、韧性和公平的

碳中和建筑与社区

的实践和政策。

我们的作用是推动

行业行动的一致性，

以加速这一转变。



Architecture 2030

目录

> 背景.....	4
《巴黎协定》与中国的减排目标.....	4
建筑业的碳排放.....	4
> 分析气候.....	7
> 建筑体形.....	9
1) 建筑的朝向.....	9
2) 体形系数.....	10
> 建筑遮阳.....	12
1) 建筑自遮阳.....	12
2) 室外遮阳.....	14
> 窗户与玻璃设计.....	17
1) 窗墙比.....	17
2) 采光与视野.....	18
3) 开窗与通风.....	19
建筑通风.....	20
4) 其他策略.....	22
> 建筑可再生能源.....	23
光伏发电.....	23
1) 晶硅类光伏发电板.....	24
屋顶光伏与屋顶花园相结合.....	25
光伏与停车场结合.....	25
2) 非晶硅类光伏发电板.....	25
光伏发电计算工具.....	26
风力发电.....	27
案例 8: 珠江城大厦.....	27
> 结语.....	29
> 参考文献.....	30

背景

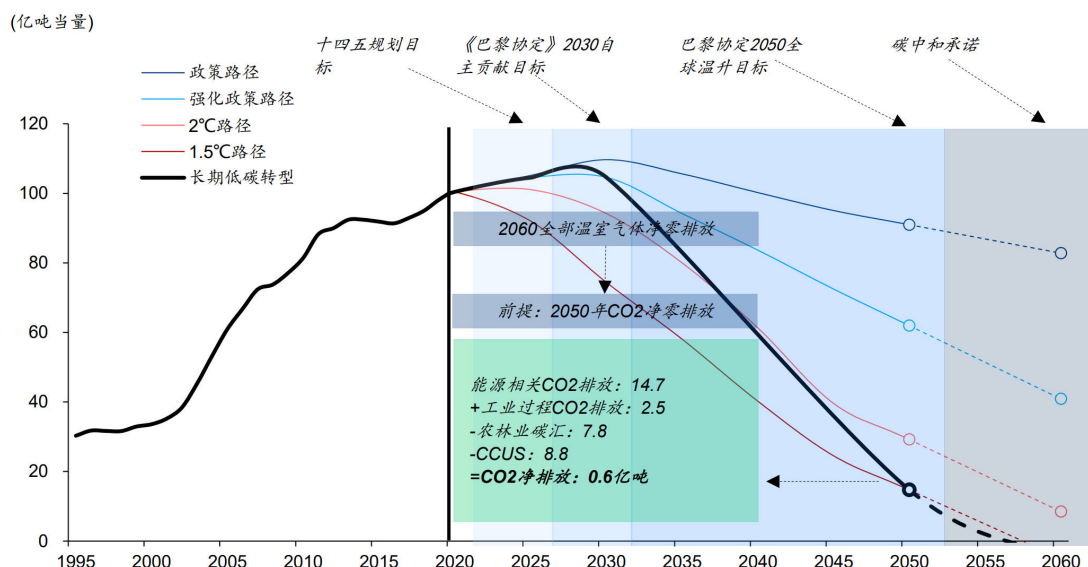
► 《巴黎协定》与中国的减排目标

为了应对全球气候变化的灾难性后果，2015年12月12日近200个缔约方在巴黎气候变化大会上达成《巴黎协定》，协定的长期目标是将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在2摄氏度以内，并努力将温度上升幅度限制在1.5摄氏度以内。

中国目前已经是全球二氧化碳排放大国。在2018年，中国的二氧化碳排放达到了101亿吨，位列全球第一位，占全球二氧化碳排放量的27.6%；居世界排放量第二位的国家为美国，年排放量为54亿吨，占全球排放的14.8%。在人均排放量上，中国在2018年人均碳排放量达到了7吨/人，已经超出了全球平均水平4.8吨/人，而全球人均碳排放量最大的是美国，达到了16.6吨/人。

2020年9月22日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。

图1：中国能源相关CO₂排放量：长期低碳转型路径



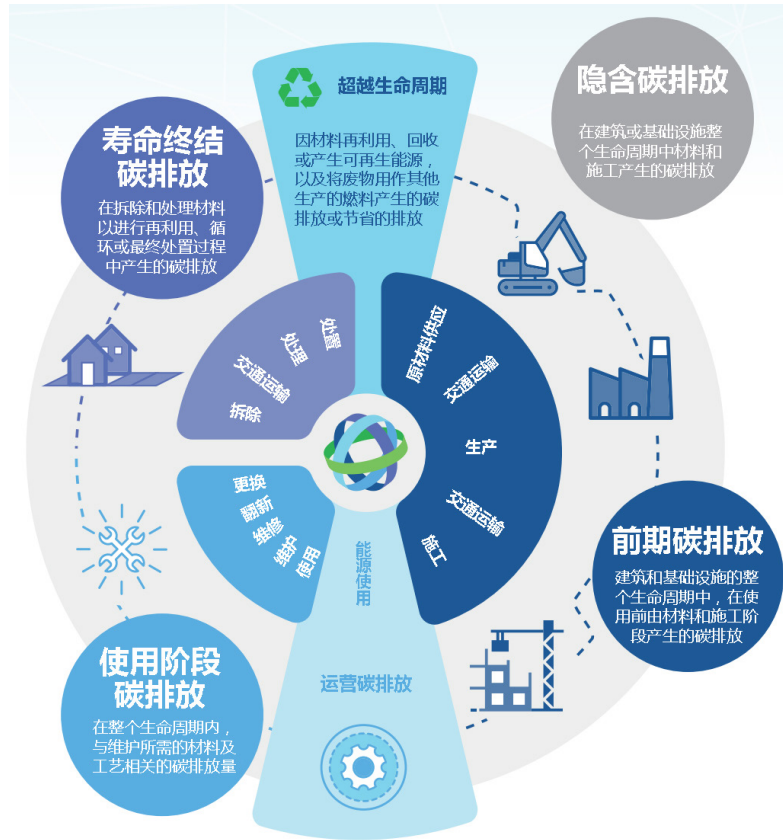
来源：清华大学气候变化与可持续发展研究院《中国低碳发展战略与转型路径研究》，波士顿咨询，Wind，华泰研究

在“碳达峰碳中和”的背景下，中央和地方政府发布了一系列的政策，例如建立全国碳排放权交易市场。在未来的几十年，实现“双碳”目标需要各个行业共同努力，因此建筑行业也需要进行节能减排，早日实现碳达峰及碳中和。

► 建筑业的碳排放

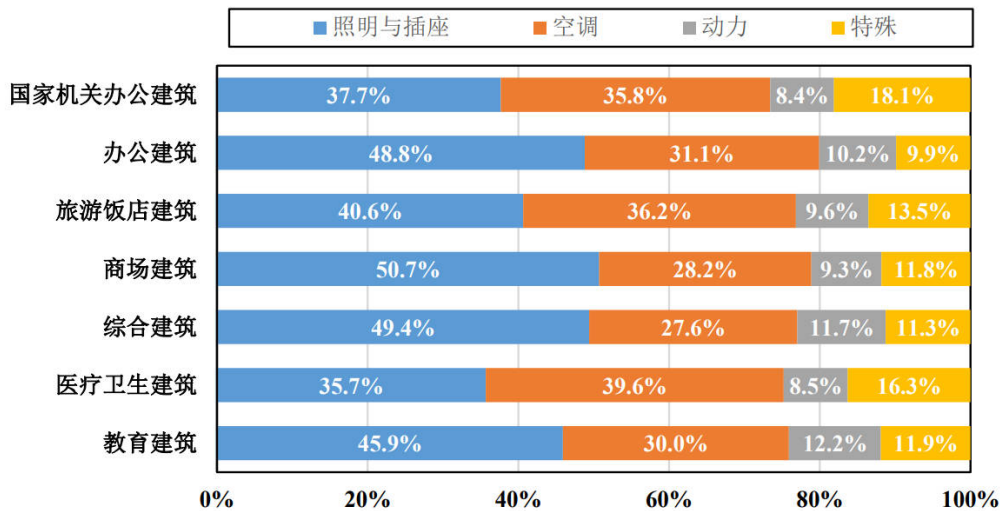
目前的低碳建筑主要聚焦于**建筑运营阶段的碳排放**，即建筑在运营过程中消耗化石能源产生的碳排放，研究表明这部分的碳排放占建筑生命周期碳排放的60-80%。对于建筑材料的生产、运输、施工安装、运营维护、废弃等阶段的碳排放的数据库及计算方法尚不完善，往往有争议。因此目前在建筑设计中会考虑建筑运营阶段的能源消耗及相应的碳排放，也会考虑建筑的隐含碳，例如不同的结构形式如钢筋混凝土结构、钢结构、木结构等。

图 2：建筑生命周期碳排放



来源：World GBC，《亚太地区隐含碳入门》

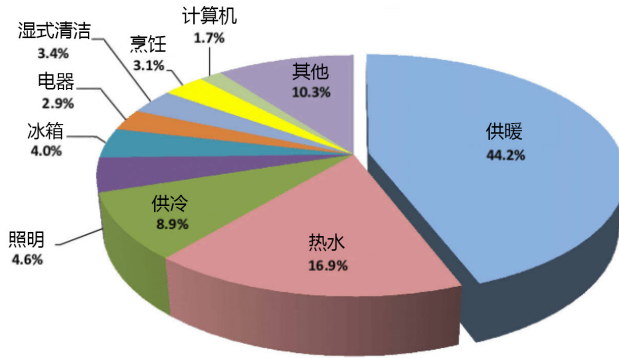
图 3：2021 年上海市国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测平台中各类建筑的分项用电比例



来源：2021 年上海市国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测及分析报告

目前政府、业主对于建筑的碳排放越来越重视，开始在概念及方案设计阶段对于设计提出要求，希望设计方案能够展示低碳设计策略。**本文希望探索概念及方案设计阶段的针对建筑专业的低碳设计策略，帮助建筑师更好地将低碳设计策略与方案设计相结合，以更好地适应市场的需求。**

图 4：一栋典型的美国居住建筑的能耗分项



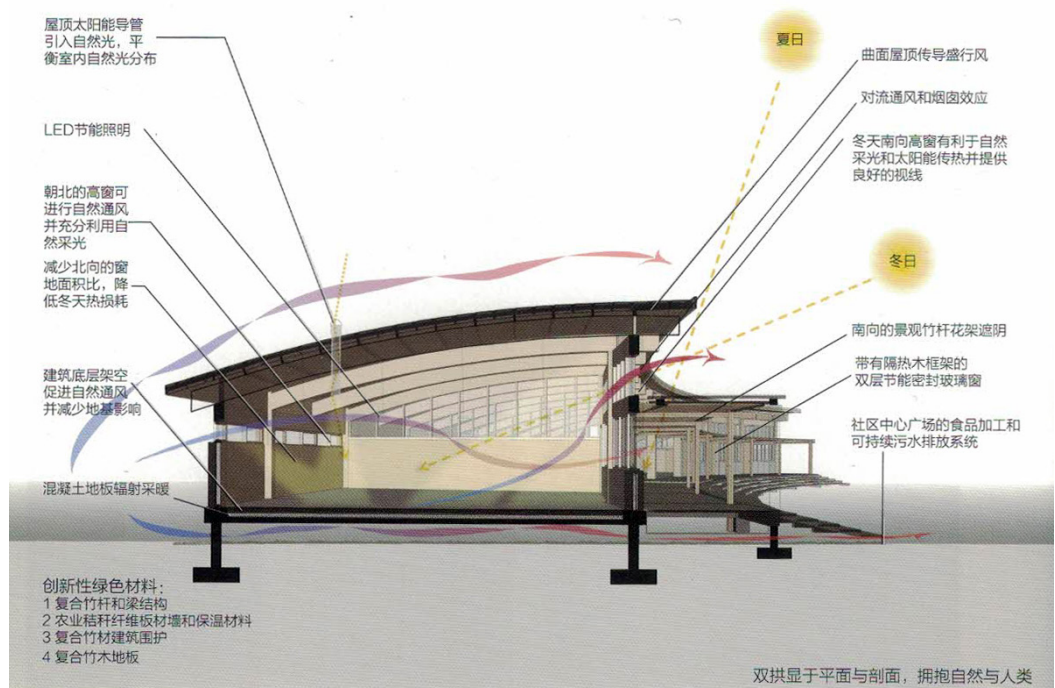
来源：Maasoumy and Sangiovanni-Vincentelli, Smart Connected Buildings Design Automation: Foundations and Trends

目前国内对于建筑的隐含碳相关研究正在进展中，相关的数据库也正在开发中，本文暂不涉及建筑的隐含碳。未来可能将编制隐含碳相关的设计导则。

表 1：概念与方案阶段的设计考虑

设计考虑因素	目标
气候分析	展示对于当地的气候进行了深入的分析，初步分析适宜的设计策略
建筑形体	根据气候分析确定建筑的朝向、体型系数以及体形
遮阳	选择合适的遮阳方式，减少夏季太阳得热
窗户与玻璃设计	合理的设计建筑围护结构的透明部分，兼顾采光与视觉的需求，提升围护结构的节能表现，促进建筑自然通风
可再生能源利用	根据当地的气候条件，在建筑设计中合理的运用可再生能源，降低建筑能耗

图 5：四川省毕马威安康社区中心分析了夏热冬冷的气候特征并采用多种设计策略



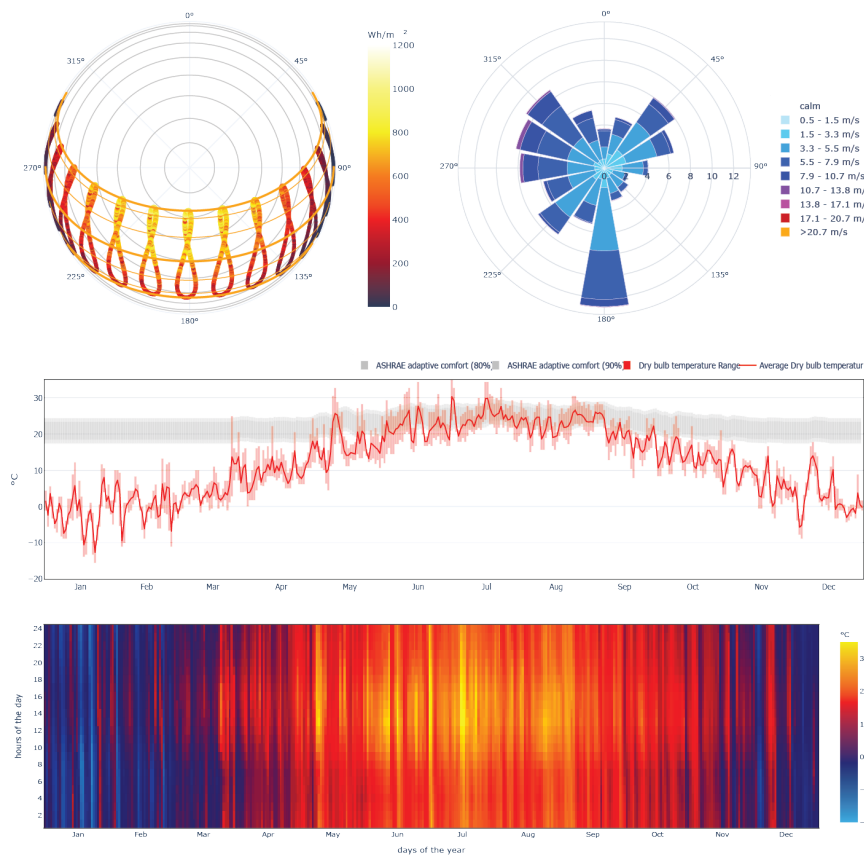
来源：郝琳，《建筑先锋绿见未来》

分析气候

气候直接影响了建筑的自然采光、自然通风的需求及暖通空调系统的设计。在进行设计时，为了实现建筑的低能耗及低碳运营，**应首先分析当地的气候，再选择合适的被动式设计策略。**

全年干球温度和相对湿度的变化，主要用于对围护结构保温措施的选取的依据。全年日照情况设计或太阳轨迹，主要用于建筑自然采光和遮阳设计的策略选取。风玫瑰图主要显示当地全年的主要风向和风速变化，用于辅助建筑体形的设计、后期开窗方式的确定、室内自然通风和室外风环境的优化等。

图 6：利用 Ladybug 软件进行气候分析（包括太阳轨迹、风玫瑰及气温分析图）



来源：<https://discourse.ladybug.tools/>

表 2：不同气候区的设计策略

气候区	设计策略
寒冷和严寒气候区	热量收集与存储：通过围护结构收集和存储太阳的热量 采光与遮阳：利用自然光源，在立面的透光部分设置遮阳板、采用高性能的玻璃，将自然光引入室内
夏热冬暖气候区	遮阳：通过自遮阳或遮阳装置，避免立面受到太阳直射 采光：运用遮阳板和反光板，在减少太阳辐射得热的同时，充分利用自然光源 通风：促进过渡季的自然通风
夏热冬冷气候区	遮阳：在炎热季节，使用遮阳装置减少阳光直接照射门窗洞口 热量收集与存储：在寒冷季节收集太阳能 采光：利用自然光源，在立面上的透光部分设置遮阳

图 7: 利用气候顾问软件分析上海的焓湿图并提出设计策略

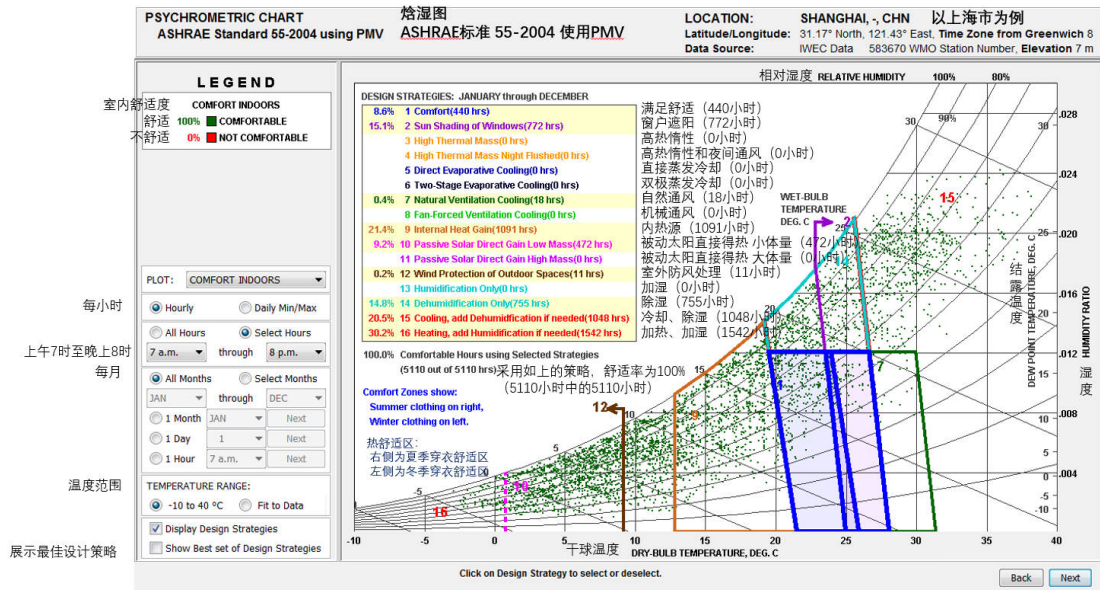
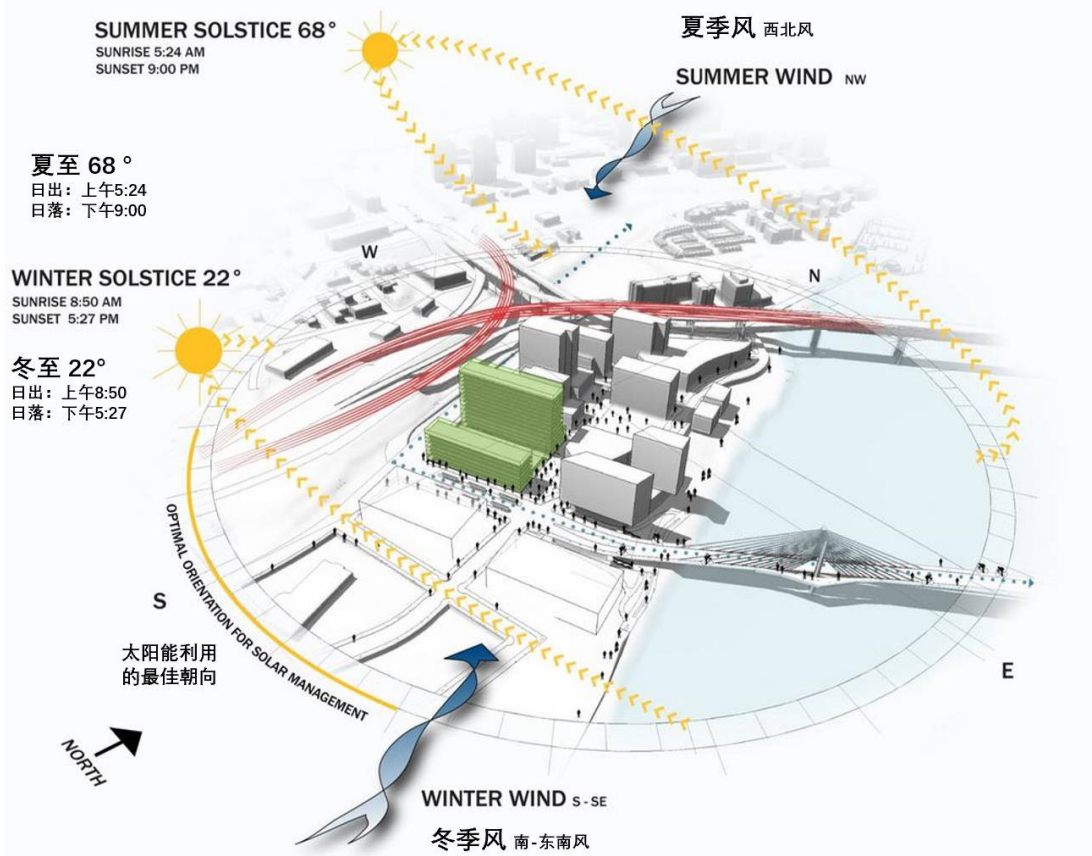


图 8: 对于基地的气候分析图



建筑体形

➤ 1) 建筑的朝向

根据 Ajla Aksamija 的《Sustainable Façade: High Performance Building Envelopes》书中的能耗模拟分析，**在北半球，从严寒到炎热的气候区，坐北朝南一直是最佳的建筑朝向，可以减少建筑的供暖及供冷能耗** [1]。南北向有利于建筑的采光及利用太阳得热，北向在全年大部分时间无直射光，仅有散射光，基本不需要遮阳，南向的太阳高度角较高，便于建筑采光及设置遮阳——在夏季遮挡直射阳光，在冬季获得阳光及热量；东西向的太阳高度角较低，采用固定遮阳的效果较弱，同时难以平衡自然采光、减少不需要的太阳得热以及控制眩光。

在建筑设计中，应当尽可能使建筑的长边位于南向，减少东西向外墙的长度。建筑的朝向也可根据当地的具体情况进行稍许旋转。如果基地的条件有限，无法实现理想的南北朝向，则应当考虑遮阳设计策略减少过多的太阳辐射并优化采光。

案例 1：广州珠江城大厦

图 9：广州市风玫瑰图

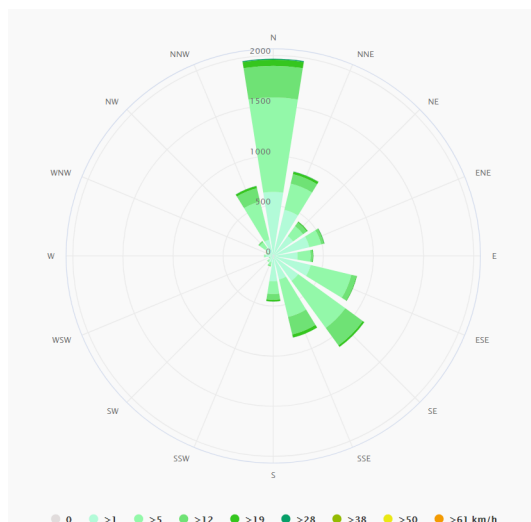
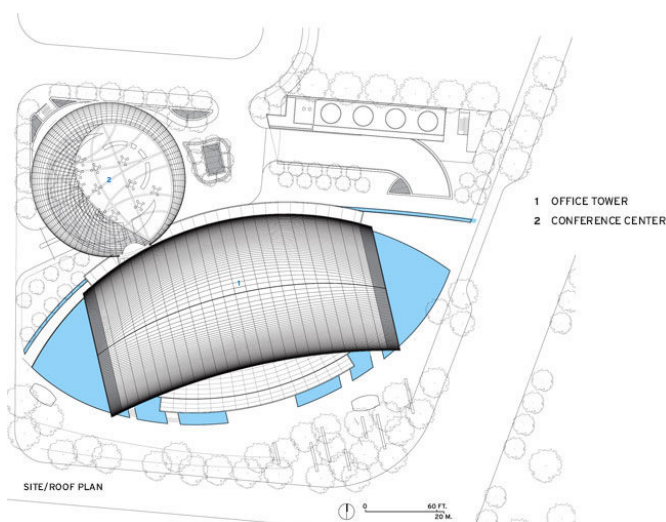
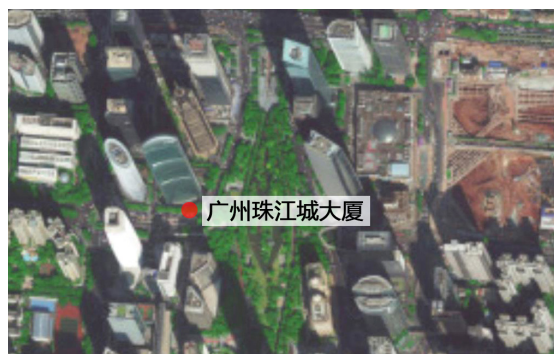


图 10：广州珠江城大厦的照片及总平面



来源：architecturalrecord.com



来源: cunman.com

从建筑的总平面图上可以看到，珠江城大厦的朝向是南偏东 12.6 度，这样不仅可以在南向获得更好的景观，远眺珠江，还可以获得最佳的风力和日照。设计研究发现，**长方形的平面如果偏转 13~15 度，东西向立面接受的热能是最少的。**此外对于风力资源进行分析，**南北向接受的风力是最大的，可促进建筑自然通风及风力发电。**

➤ 2) 体形系数

建筑节能规范对于建筑的体形系数进行了控制，《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015 规定寒冷和严寒气候地区的大于 800 平方米的公共建筑的体形系数应小于等于 0.4。

表 3：严寒和寒冷地区公共建筑体形系数

独栋建筑面积 A (m ²)	建筑体形系数
300 < A ≤ 800	≤ 0.50
A > 800	≤ 0.40

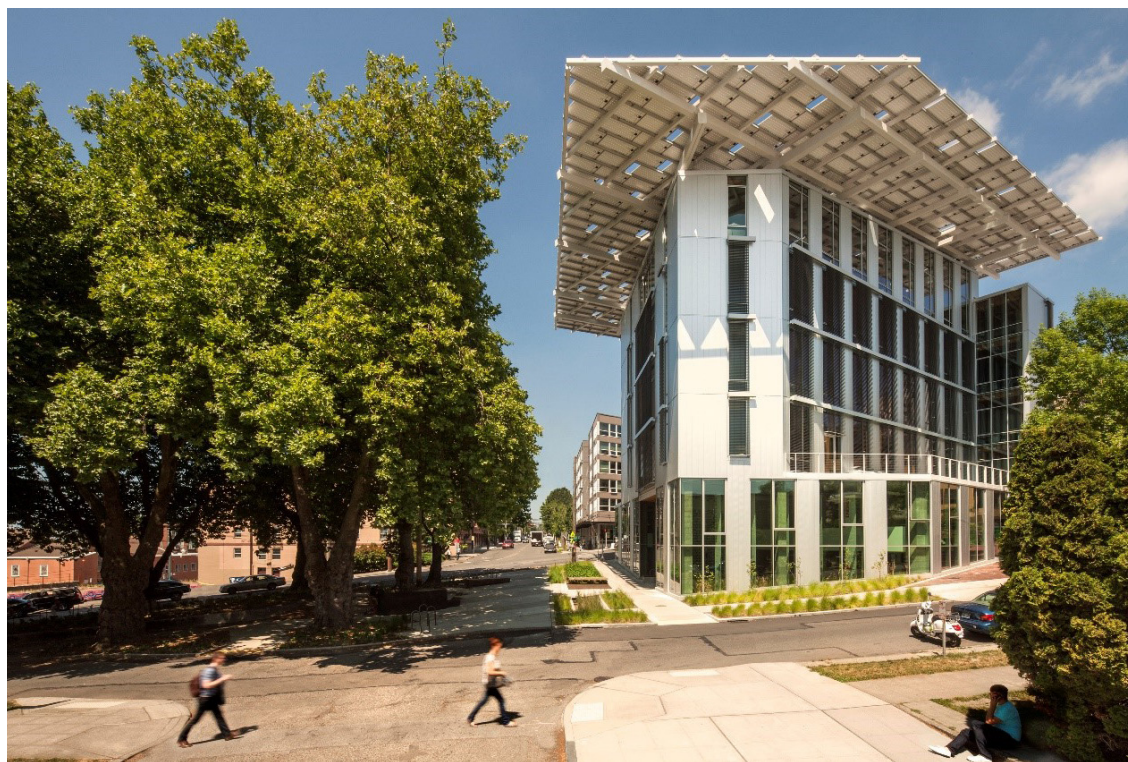
来源：《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005

当体形系数较大时，建筑的外表面积增加，会导致冬季围护结构损失更多的热量。一般而言，在寒冷或严寒气候区，建筑的体形设计首先考虑建筑冬季的供暖负荷，需要减少体形系数（即减少外表面），从而减少冬季的供暖负荷。

案例 2：美国西雅图布利特中心的体形设计的方案比较^[2]

布利特中心位于美国的西雅图，与我国大兴安岭地区处于同纬度。属于温带海洋性气候，冬季漫长而寒冷（10月到次年5月），供暖能耗在建筑总体能耗中占三分之一。**因此在建筑体形分析中，主要考虑降低供暖的能耗。**

图 11：美国西雅图布利特中心的照片



来源：www.uli.org

图 12：布利特中心的建筑体形能耗分析



方案1采用将建筑的体形切去一角
供暖能源使用强度为10kBTU/SF/year



方案2采用C形平面布局
供暖能源使用强度为12.08kBTU/SF/year



方案3采用退台式的L形平面布局
供暖能源使用强度为11.46kBTU/SF/year

来源：Robert B. Peña, Living Proof: THE BULLITT CENTER, High Performance Building Case Study, 作者翻译

项目早期考虑了三个不同的体形方案，分别为：

1. 将建筑的体形切去一角，供暖系统的能耗强度为 10kBTU/sf/year。
2. 将建筑的体系设计为 C 形平面，供暖系统的能耗强度为 12.08kBTU/sf/year。
3. 采用退台式的 L 形平面布局，供暖系统的能耗强度为 11.46kBTU/sf/year。

设计团队对这三个方案进行能耗分析后，选择了方案 1，该方案的体形系数较小，能够减少冬季供暖的能耗。

建筑遮阳

建筑遮阳可以显著减少夏季建筑立面开口或透明部位的太阳辐射得热，阻止热量进入室内，从而降低建筑供冷的负荷，同时也能阻挡直射的阳光，形成适宜的室内光环境。在我国的严寒、寒冷地区、夏热冬冷、夏热冬暖地区的大部分城市，夏季气温较高而且阳光辐射强烈，建筑的遮阳措施可以显著减少阳光直射的得热。建筑遮阳有多种方式，包括建筑形体的自遮阳、室外遮阳及室内遮阳等。

➤ 1) 建筑自遮阳

利用建筑自身形体的错落变化来形成阴影，以此为自身遮阳，比如采用巨大的挑檐、建筑南向或西向的上大下小的体形设计等。

图 13：位于意大利米兰 Bosco Verticale 住宅项目采用自遮阳策略，建筑通过挑出的阳台为下方的门窗洞口提供遮阳



来源：lifegate.com



来源：cottodeste.us

图 14：新加坡国立大学设计与环境学院使用巨大的挑檐进行遮阳

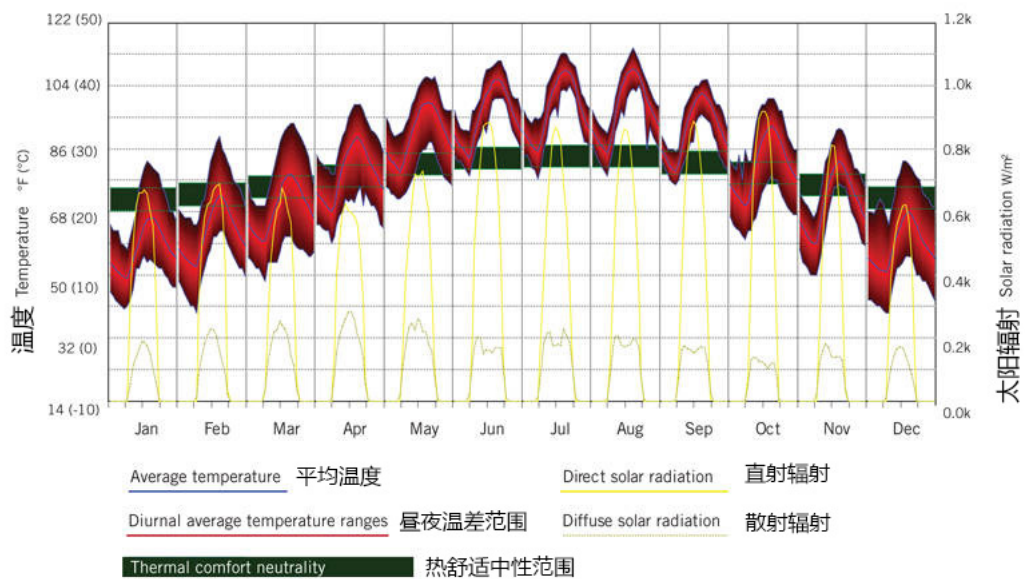


来源：Rory Gardiner

案例 3：阿卜杜拉国王金融区 4.01 地块^[1]

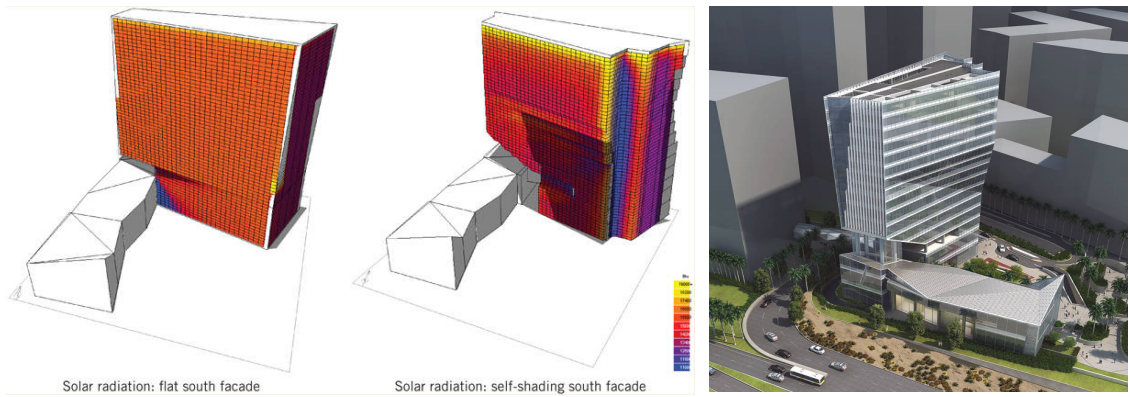
该高层建筑项目位于炎热的沙漠气候区，一年中大部分时间白天很热，从 4 月至 10 月特别炎热，全年的太阳辐射都非常强。

图 15：当地的气候分析



设计分析时比较了方案（1）平整南立面以及方案（2）上部略微向外凸起的南立面。方案（2）的建筑体形形成了自遮阳，可以减少建筑立面下部的太阳辐射量。

图 16: 建筑体形的太阳辐射分析及建筑效果图



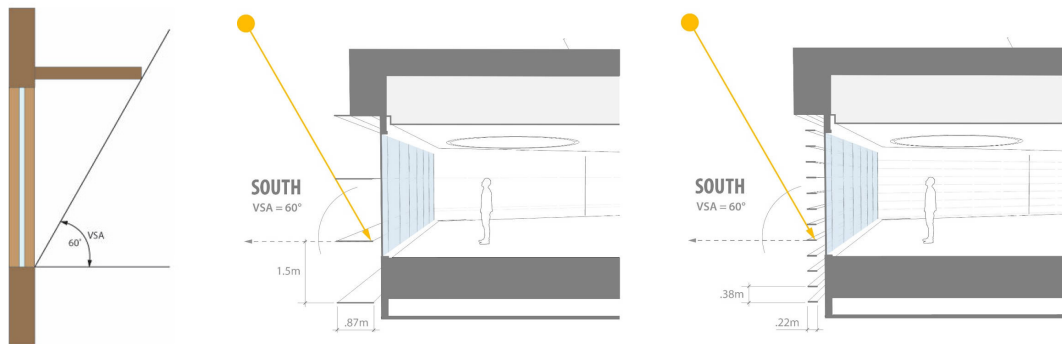
来源: Ajla Aksamija, Sustainable Façade: High Performance Building Envelopes

2) 室外遮阳

指在室外安装的水平式、垂直式或其他形式的组件来形成阴影。一般而言，建筑外遮阳的效果优于内遮阳，好的外遮阳设计可以消除 30-70% 的太阳得热。但是由于长时间暴露在室外，对材料的构造和耐久度要求较高，并且对于高层建筑而言维护比较麻烦。

室外遮阳有很多的方法，最常见的方式是向室外挑出水平或垂直组件，而**设计的关键是在炎热时期必须形成有效的阴影区来遮挡建筑的透明部分，同时在寒冷时期不阻碍阳光进入室内**。因此设计时需要进行权衡判断：如果悬挑的遮阳组件空隙太大，如穿孔铝板的孔隙率控制在 50% 以上或挑出的深度不够，遮阳的效果就会达不到预期。

图 17: 水平遮阳的几何关系



来源: Pablo La Roche, Carbon-Neutral Architectural Design

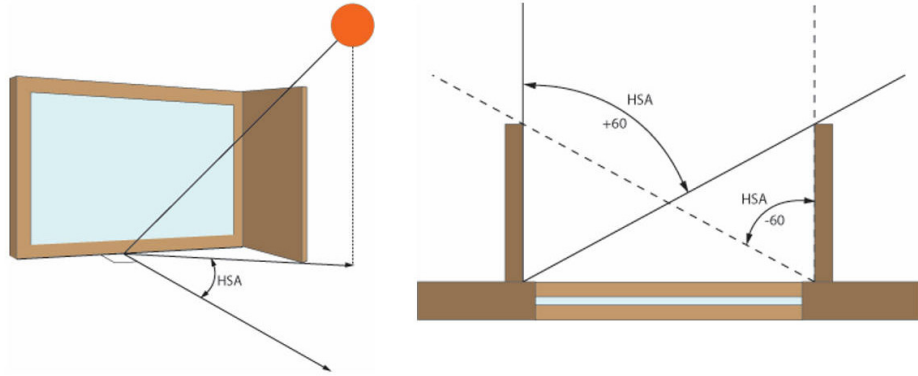
如果建筑的窗口设置了水平遮阳部件，考虑在太阳高度角下，水平遮阳部件的投影。

公式: $OP = HP / \tan VSA$ [3]

OP 为水平部件挑出部分的投影，HP 是水平挑出遮阳构件到窗户底部的距离，VSA 为垂直阴影角。

如果建筑的窗口设置了垂直遮阳部件，考虑在太阳高度角下，垂直遮阳部件的投影。

图 18: 垂直遮阳的几何关系



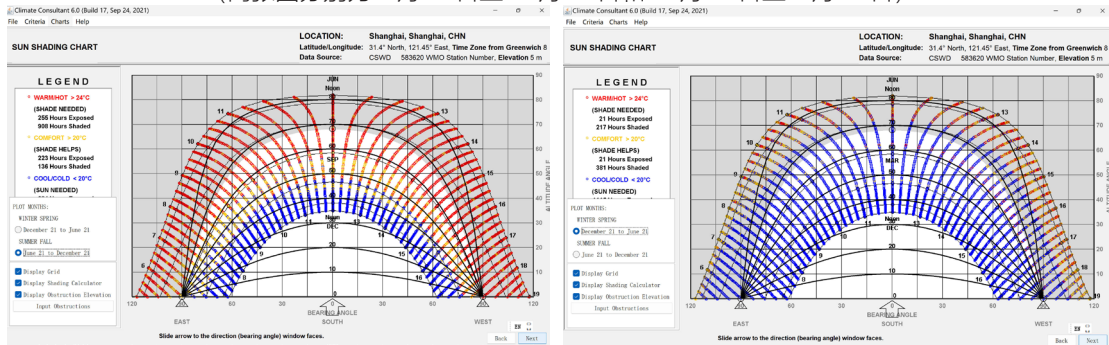
来源: Pablo La Roche, Carbon-Neutral Architectural Design

$$FP = WW / \tan HSA [3]$$

FP 是垂直部件的投影, WW 是垂直部件的阴影所防护的窗的宽度, HSA 指水平阴影角。

设计的难点是如何获得太阳高度角、方位和温度信息, 并利用这些信息来设计和分析遮阳系统。遮阳系统设计涉及到建筑的外观、造价、未来的维护以及对于暖通空调负荷的影响, 传统的经验法则不一定能全面考虑到当地气候的实际状况, 因此最好借助一定的辅助工具来更好的分析遮阳设计, 例如气候顾问软件 (Climate Consultant, 下载网址: <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant>)。

图 19: 以上海市为例使用气候顾问软件进行遮阳角度分析
(两张图分别为 6 月 21 日至 12 月 21 日和 12 月 21 日至 6 月 21 日)



在气候顾问软件的遮阳分析图中, 红色的数字代表了室外气温较高需要遮阳的时间段, 黄色的数字代表位于舒适度区间的时间段, 而蓝色代表了室外气温过冷的时间段。图中, 纵坐标代表了水平遮阳的角度, 横坐标代表了方位角, 三个箭头代表了东、西、面向赤道 (北半球为南向) 三个方向。在设计分析时, 可以调整水平遮阳及垂直遮阳的角度, 灰色区域代表了实现了遮阳效果。当灰色区域覆盖了红色的点和线时代表了在过热时间段达到了遮阳的效果, 如果遮住了蓝色的点和线就代表遮阳设计阻挡了过冷时期的日照, 遮阳会妨碍太阳得热。

除了常见外挑的水平或垂直组件, 另一种常用的遮阳策略是窗户外设置穿孔板或者百叶窗, 可以像窗户一样直接打开或关闭, 可以同时满足遮阳和通风的需求。甚至有些项目将半户外的空间设置成镂空或半镂空的空间, 在实现遮阳及采光同时兼顾了建筑立面的整体风格。

图 20: 建筑外遮阳



来源: Pablo La Roche, 被动式供冷策略

其他的遮阳设计, 包括电动遮阳、内遮阳、中置遮阳等。一些高档项目中会采用电动遮阳, 可以根据太阳高度角及日照状况来开启和关闭遮阳, 并调整角度。但电动遮阳较为少见, 因为成本较高而且需要维护。内遮阳 (主要为室内窗帘、百叶等) 和中置遮阳 (在玻璃内设置遮阳) 也是项目中经常采用的遮阳策略, 但是阳光已经进入了室内, 增加了室内的得热, 因此效果不及外遮阳, 在方案和概念设计阶段一般较少考虑这两种遮阳方式。

窗户与玻璃设计

建筑的围护结构一般分为透光部分和不透光部分。透光部分一般为窗户及各种玻璃，而不透光部分为砖墙、砌块或金属板，往往设置保温隔热层，也具有更好的蓄热性。为了提升采光和视野，建筑设计通常在主要功能区设置大量的透光玻璃及窗户。多项研究表明，在拥有自然采光和视野的空间内，用户的工作效率更高，病人也能更快的康复。美国康奈尔大学的教授 Alan Hedge 的研究显示：在靠近窗户采用自然采光的环境下，员工的眼睛疲劳、头痛和视力模糊症状减少了 84%，平均工作效率提升了 2%[4]。英国 2012 年的一项研究显示，在拥有自然光的病房中，病人住院的时间减少了 16-41%[5]。

窗户与玻璃的设计需要综合考虑采光、视野以及热工性能，与建筑的立面设计紧密相关，应在设计的早期阶段就确立可持续设计策略。

➤ 1) 窗墙比

衡量立面的一个重要标准是窗墙比，即立面透光部分与总立面面积的比值。**即使是性能良好的透光立面，其隔热性能也一般低于不透光立面。**有研究表明，在冬季和夏季，建筑围护结构 60% 的热损失来源于窗户。因此在大多数情况下，窗墙比越高，建筑的能耗也越高。所以在立面设计中需要结合建筑的功能，巧妙的设计立面的透光部分，在采光、视野以及热工性能中进行平衡。

案例 4: Hector Garcia 中学^[1]

Hector Garcia 中学位于美国德克萨斯州的达拉斯市，位于湿热气候带。建筑坐北朝南，沿着东西向延伸以减少暴露于东西向的外墙，由于教室沿北向布局，从而减少严酷的南、东、西阳光照射，最大限度地减少了冷负荷。北立面的窗墙比为 70%，利用了自然光并提供了视野。建筑二层和三层立面为幕墙，一层为带金属框架的砖墙，并设置一系列长条形窗户。项目在南立面设置大空间教学空间及其他较少需要自然光的空间。南立面的窗墙比为 30%。

图 21: Hector Garcia 中学的北立面（上图）及南立面（下图）



来源: Ajla Aksamija, Sustainable Façade: High Performance Building Envelopes

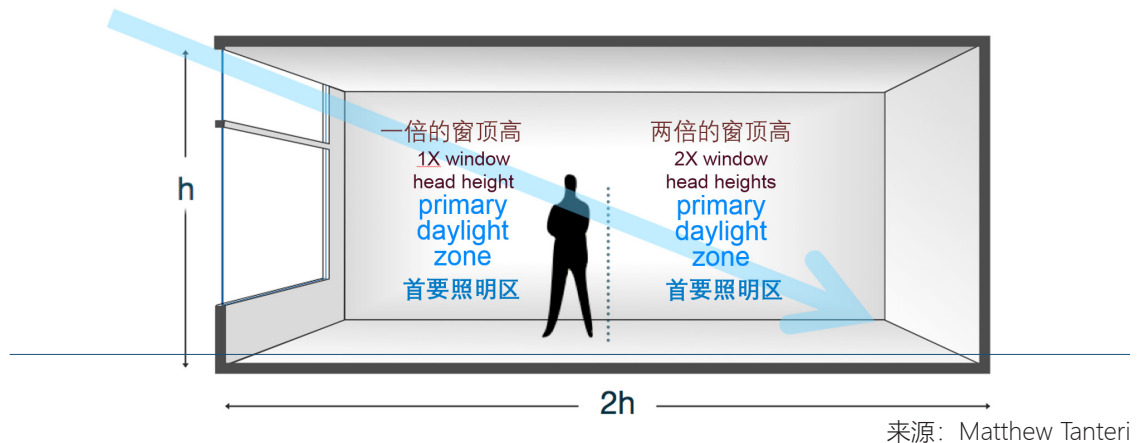
东西立面主要由砖墙构成，并尽可能减小开口，东立面的窗墙比为 0%，西立面的窗墙比为 10%。

> 2) 采光与视野

很多现代建筑喜欢采用全玻璃幕墙的设计，因为全玻璃的设计提升了建筑的采光以及视野，改善了用户的体验，但是**全玻璃的设计会降低建筑的热工性能，增加建筑的供冷及供暖负荷，并导致过多阳光直射而引起眩光的可能**。特别是在特别炎热或寒冷的地区，要慎用全玻璃幕墙，尽可能的考虑节能设计策略，否则会影响空调的效果、增加运营的成本、以及降低热舒适性。

从室内采光的角度看，**侧向采光区的深度等于窗顶高度的两倍，窗顶的高度直接决定了有效的光线投射到室内的距离，因此应当尽可能提升窗顶的高度**。一般认为 90cm 以下的采光区域是无效的，因为工作面的高度为 70-80cm。从 90cm 到窗顶（往往是梁底）的玻璃面积已经完全满足采光和视野的需要。因此在建筑幕墙中，如果没有设置可开启扇，90cm 以下的局部区域可以设计成阴影盒，在玻璃内衬金属板和保温层，与层间的部位保持一致。这样在保证采光、视野及立面外观的同时，也提升了建筑的热工围护性能。

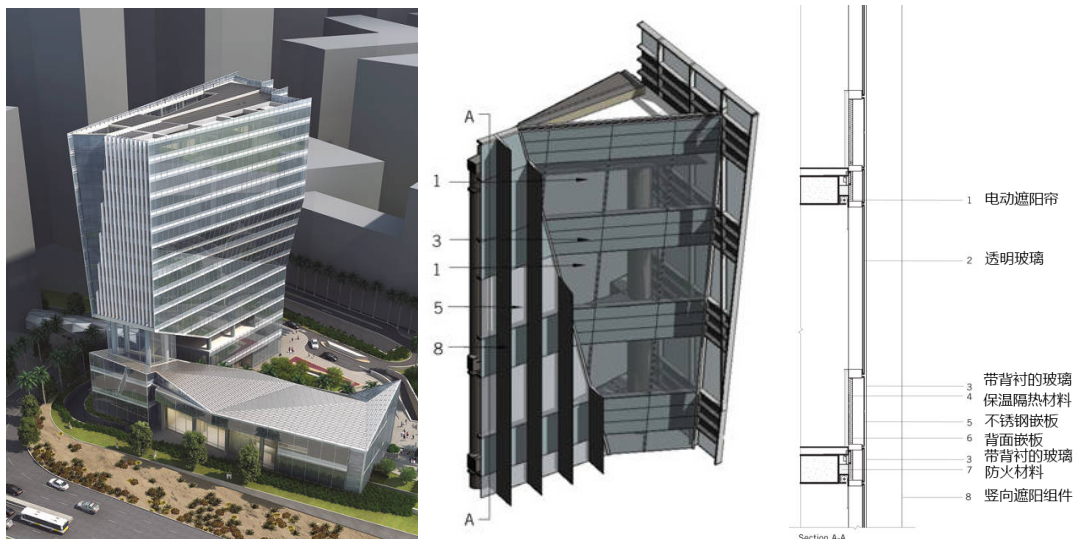
图 22：建筑侧面采光的范围



来源：Matthew Tanteri

案例 5：阿卜杜拉国王金融区 4.01 地块项目^[1]

图 23：建筑幕墙的隔热设计



来源：Ajla Aksamija, 《可持续性建筑立面设计》

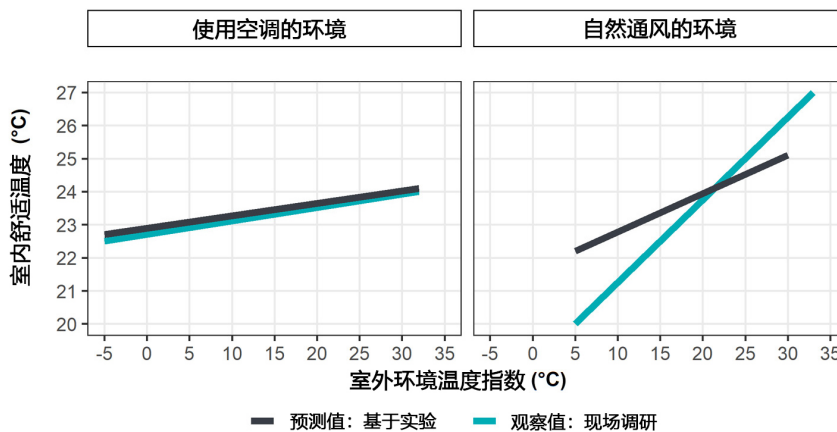
项目位于炎热的沙漠气候区（相关的气候分析请见前文），需要提升幕墙的隔热性能，除了设置室外竖向遮阳组件和室内电动遮阳帘外，对于玻璃幕墙也进行了特殊设计，将90cm以下的局部区域设计成阴影盒，在玻璃内衬金属板和保温层，提升了幕墙的热工性能，并在外观上与层间的部位保持一致。

3) 开窗与通风

可开启窗的设计将影响建筑的通风。常见的通风策略为对流通风。

在湿热气候条件下，提高风速可以使汗液的蒸发效率提高，从而使人感到舒适。特别是当室内温度高于室外温度时，通风可以将室内热量转移至室外。一般而言，自然通风适用于室外气温低于30摄氏度。研究表明，当风速为0.57和0.85m/s时，人们的体感温度下降了2.2°C和2.7°C。**处于自然通风的环境下，人体对于平均辐射温度和风速的感受与使用空调时不同，会有着不同的耐热性。**这一热舒适度的模型被称为自适应模型，“将室内的设计温度或可接受温度范围与室外气象相联系的模型”（ANSI/ASHRAE Standard 55-2017）。这一模型考虑用户与环境动态互动，用户通过衣着、可开启的窗户、风扇、个人供暖设备和遮阳帘来控制其热环境，从而在更高的温度范围下感到舒适。自适应舒适模型已成为设计和运行自然通风建筑的全球标准，并能全球范围内实现节能减排。

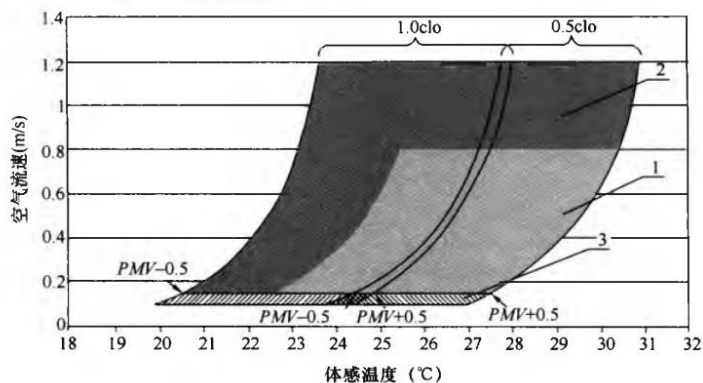
图 24：在使用空调和自然通风的条件下人体感到舒适的范围



来源：<https://cbe.berkeley.edu/research/adaptive-comfort-model/>，作者翻译

美国 ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 以及中国的《民用建筑室内热湿环境评价标准 GBT50785-2012》都对温度、空气流速、衣着以及人体舒适度进行分析。

图 25：衣着在 1.0 和 0.5 clo 的工作温度和空气流速的可接受范围

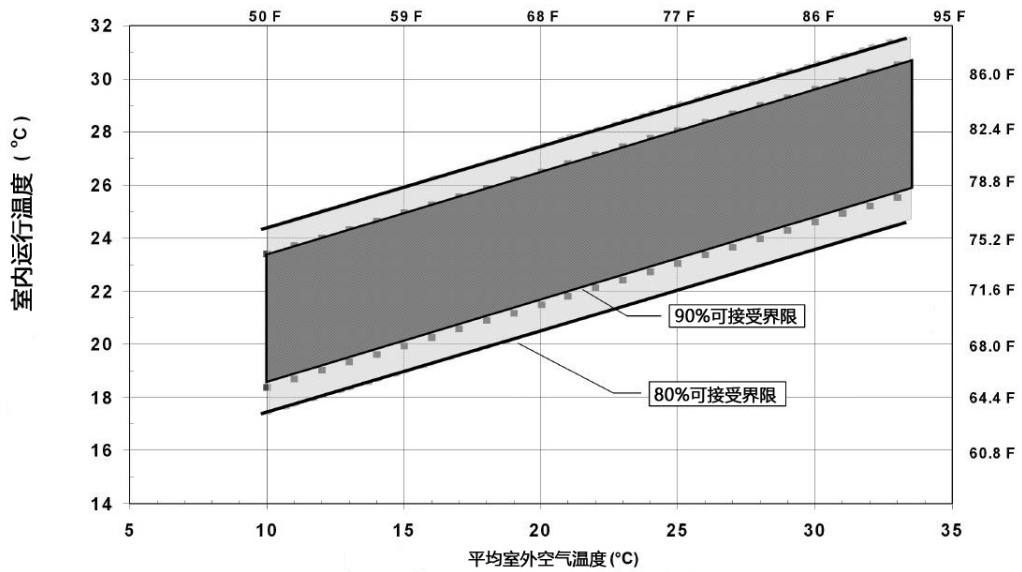


1—服装热阻为 0.5clo 的 II 级区（不具备风速控制条件）；2—服装热阻为 0.5clo 的 II 级区（具备风速控制条件）；3—服装热阻为 0.5clo 的 I 级区（斜线阴影区域）；浅色阴影区—不具备风速控制条件；深色阴影区—具备风速控制条件

来源：《民用建筑室内热湿环境评价标准 GBT50785-2012》

注：1.0 clo 等同于用户穿长裤、长袖衬衫及外套，0.5 clo 等同于用户穿长裤和短袖上衣

图 26：自然条件下空间的可接受温度范围

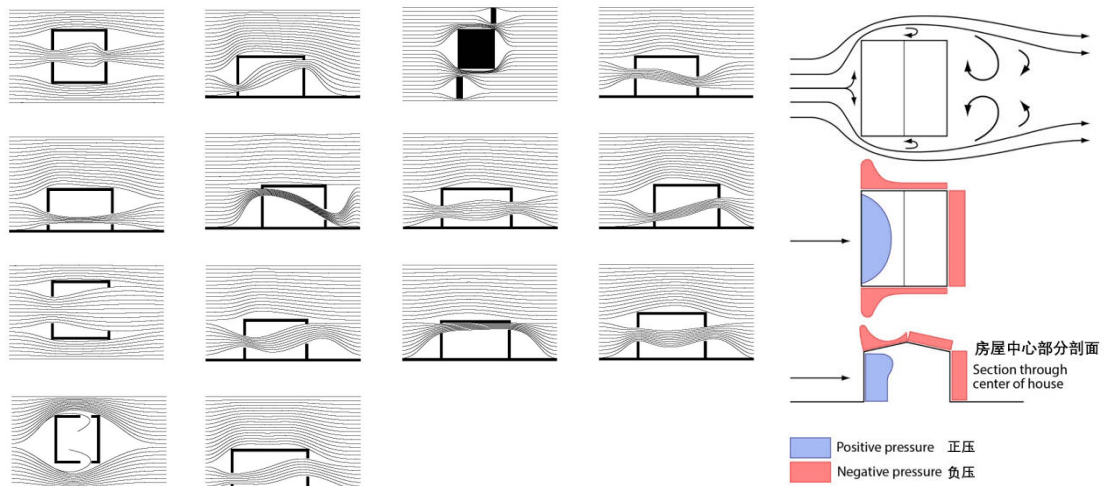


来源：ANSI/ASHRAE Standard 55-2017

> 建筑通风

当风到达建筑物的迎风面时，风滞止而形成正静压区，同时在建筑物的另一侧形成负静压区。如果两边都有窗户，迎风高压侧（入口区）和背风低压侧（吸入区）之间的压差会产生穿过建筑的气流。

图 27：建筑通风及风压示意图



来源：Pablo La Roche, 被动式供冷策略

为了促进对流通风，应在建筑的墙体上设置空气的进口及出口，可在面向主导风向的立面上开窗，并在相对或相邻的墙面开窗（尽量在两面外墙上开窗），从而促进空气进入和离开室内并带走室内的热量，俗称穿堂风。自然通风一般适用于春末夏初以及夏末秋初时间段。

案例 6：深圳市建筑科学研究院

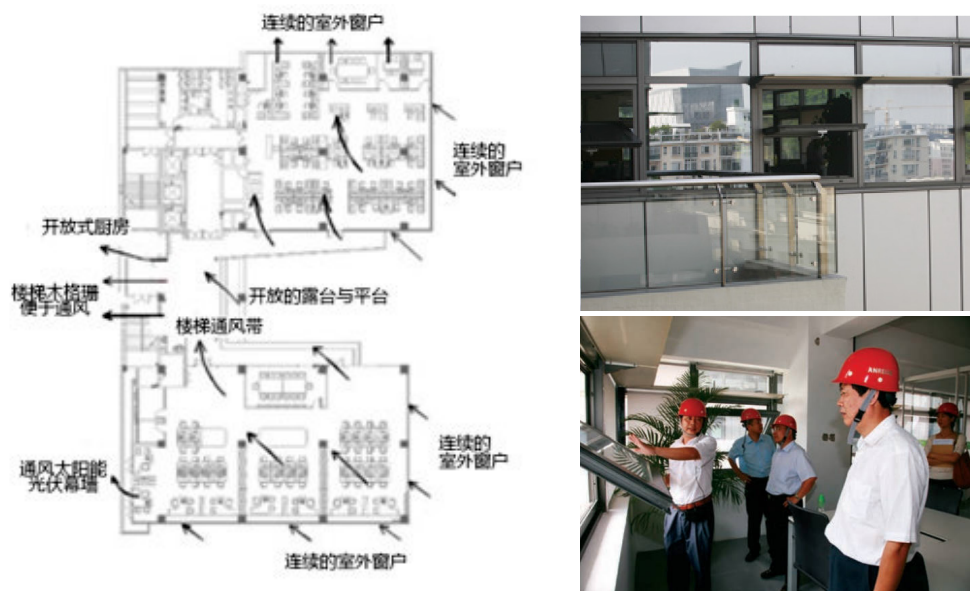
深圳市建筑科学研究院大楼的高层部分采用了 U 形平面，在四面的外墙上设置了不同类型的窗户，促进了过渡季节的建筑室内通风。

图 28：深圳市建筑科学研究院大楼的照片



来源：fdcjxxx.com

图 29：建筑平面的通风示意图及多种类型的窗户



来源：Richard Diamond and Wei Feng, Sustainability by Design: How One Building in China Could Change the World

自然通风在现代建筑中变得越来越重要，因为建筑运营需要考虑空调失灵、特殊情况空调无法运行（例如新冠疫情）等情况。

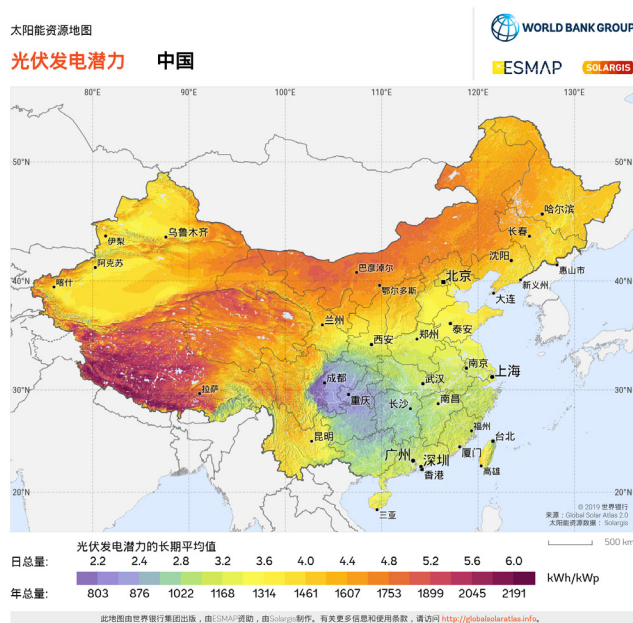
➤ 4) 其他策略

建筑项目也可通过提升玻璃的热工性能，例如窗户或幕墙采用三片或四片玻璃、镀 Low-E 膜、玻璃间的空腔充入惰性气体、窗框的热断桥等。为了减少日光直射，也可以使用彩釉玻璃或半透明玻璃，通过漫反射将阳光均匀地扩散到室内。

建筑可再生能源

目前常用的可再生能源包括太阳能、风能、地热、生物质能等。**目前最适宜建筑尺度的可再生能源是太阳能。**也有一些建筑利用地源热泵来获得地热资源，但是利用地热的设计和计算较为复杂，而且需要进行地热资源的勘探，在建筑概念和方案设计中考虑得较少。

图 30 1999-2018 年全国太阳能资源分布图

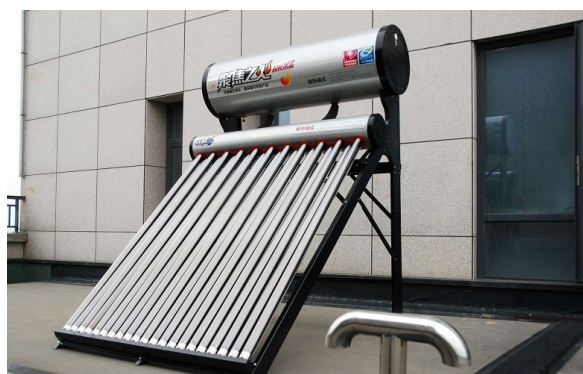


来源: <https://solargis.com/cn/maps-and-gis-data/download/china>

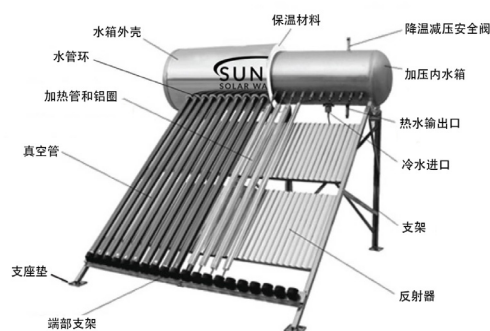
太阳能是分布广泛的可再生能源，一般分为光热和光电两种方式。

太阳能热水器是最常见的光热利用方式，效率较高，可以满足生活热水甚至室内供暖的需求。在进行设计时，可以按照太阳能热水器的规格以及气候条件估算可提供的年度热水总量。一些住宅建筑中会考虑设置太阳能热水器，在公共建筑中也会按照热水的需求设置太阳能热水器。

图 31: 太阳能热水器



来源: aixiu.net



来源: greenterrafirma.com, 作者翻译

➤ 光伏发电

光伏发电是建筑中最常用的可再生能源。光伏发电分为两类：晶硅类和非晶硅类。光伏

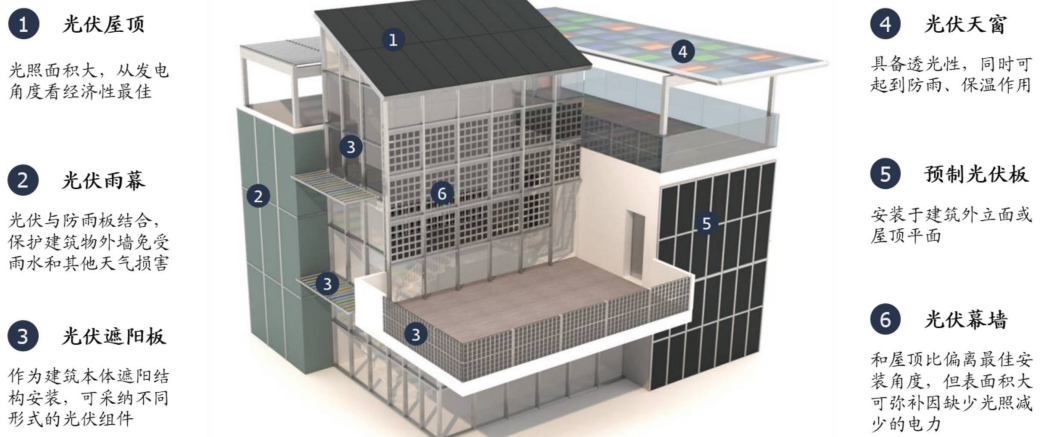
发电组件的寿命一般为 20-25 年。

➤ 1) 晶硅类光伏发电板

晶硅类包含单晶硅和多晶硅两类，发电效率较高，外观为蓝色或深蓝色。此类光伏发电板对于阳光直射的要求较高，不适用于遮挡或弱光的环境。屋面的全天累计阳光辐射最强，因此晶硅类的光伏发电板往往安装于屋面上。

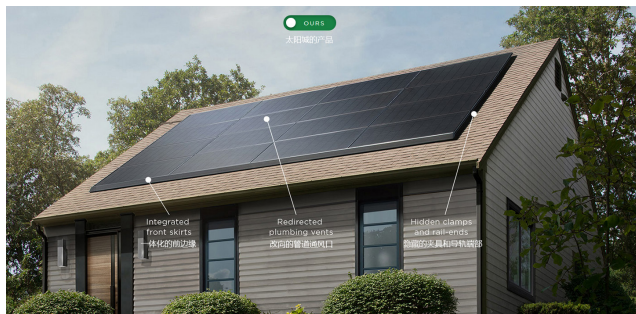
晶硅类光伏发电板一般要求在上午 9 点至下午 4 点期间不能有明显遮挡（建议在发电时段遮挡不超过 10%），否则会影响发电效率甚至导致发电板的损坏，因此需要考虑周边建筑或者树木的遮挡。光伏板的朝向可以为南向、西南向或西向，倾斜度一般为 15 至 40 度 [6]。

图 32：建筑与光伏的结合



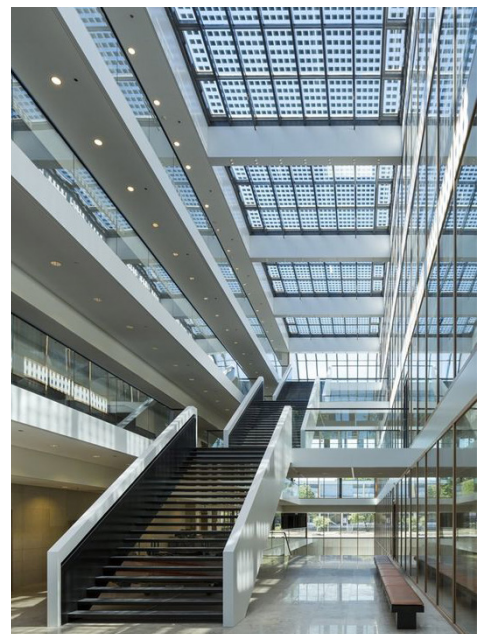
来源：BIPVBOOST，国盛证券研究所

图 33 坡屋面的建筑附加光伏，美国太阳城公司



来源：www.solarcity.com

图 34 中庭的光伏天窗，荷兰的格罗修斯大厦



来源：www.frameweb.com

图 35 光伏屋面一体化，安吉县鄞吴镇游客中心，浙江省



来源：www.zedfactory.com

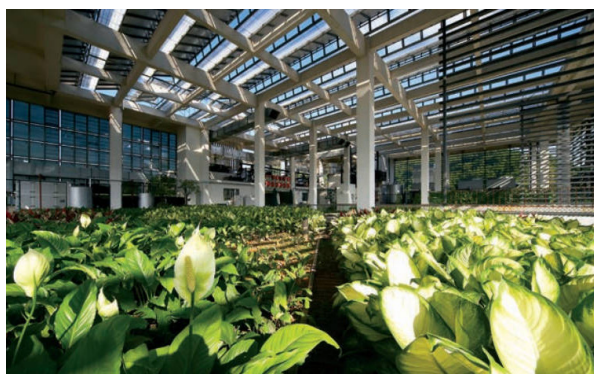
➤ 屋顶光伏与屋顶花园相结合

这是比较好的设计手法，一般屋顶的直射阳光过于强烈，在夏季或正午屋顶温度会过高。而屋顶光伏提供部分遮阴，降低了屋面温度，为植物生长及人们的休憩创造了良好的环境。

➤ 光伏与停车场结合

在停车位上方安装光伏发电板也是常见的设计手法，在夏季可以给车辆遮阴。如果光伏发电板面积较大，可以设置机电设备并与汽车充电桩相结合。

图 36：屋顶光伏与屋顶花园相结合，
深圳市建筑科学研究院



来源：Rick Diamond et al, Model for China's Future:
Shenzhen Institute of Building Research Headquarters

图 37: 光伏发电与停车位相结合



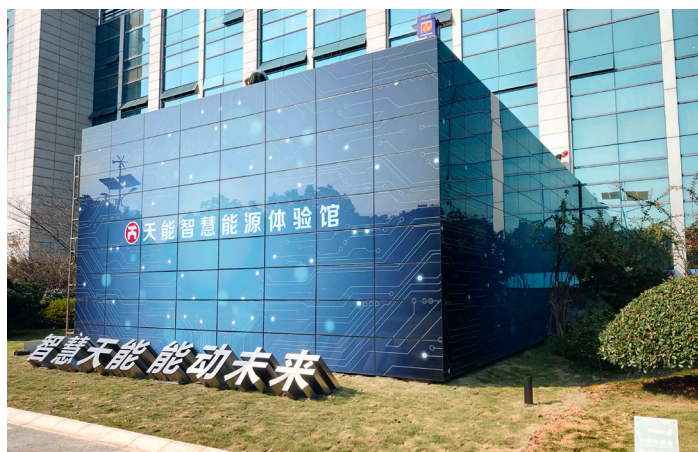
来源：AIA, Architect's Primer on Renewable
Energy

➤ 2) 非晶硅类光伏发电板

非晶硅类光伏发电板也称为薄膜发电，发电效率低于晶硅类，外观和颜色多种多样，可以模仿金属板、石材和陶板等，因此更容易配合建筑设计的需求，在弱光的环境下也具有发电能力，寿命一般为 10-15 年。在建筑设计中更适合用于非正南向、幕墙和气候阴冷的地区。

光伏发电幕墙目前处于示范阶段建筑，其成本高于普通的建筑幕墙，而且投资回报期较长，其发电能力及经济回报低于晶硅类发电板。

图 38：碲化镉光伏发电幕墙，天能智慧能源体验馆，浙江杭州



来源：龙焱能源科技（杭州）有限公司

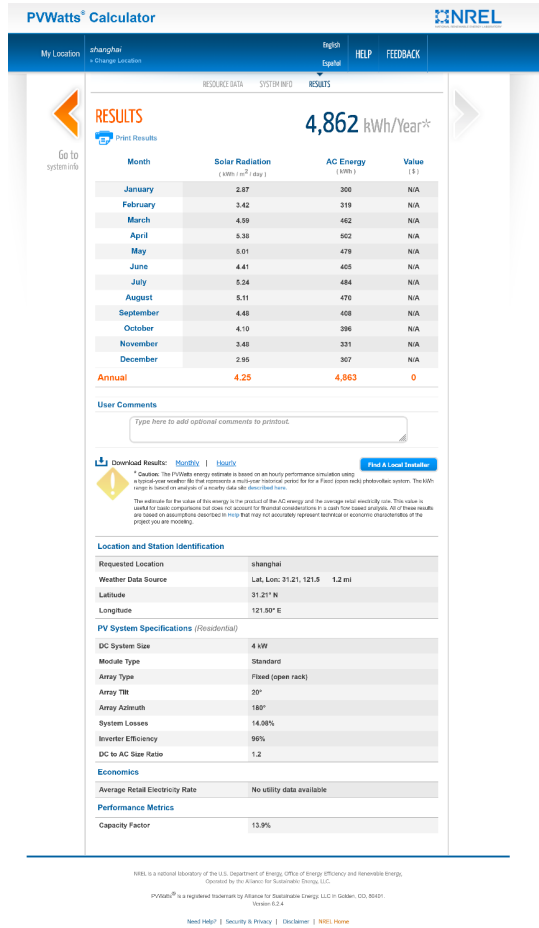
▶ 光伏发电计算工具

在进行光伏发电计算时，可以利用网上的计算工具进行初步估算，目前的可用的工具包括：

PVWatts Calculator

Zero Code Energy Calculator

图 39: PVWatts Calculator



来源: <https://pwwatts.nrel.gov/index.php>

图 40: Zero Code Energy Calculator



来源: <https://zero-code.org/energy-calculator/>

> 风力发电

风力发电并不是建筑尺度上的可再生能源，因为设备成本高，而且对于风力的要求较高。一般在超高层建筑或者沿海、沿江等风力资源丰富的建筑场地中采用。而且风力发电机组会产生震动，需要对建筑进行防震处理。由于建设成本很高，一般的中小型建筑一般不考虑设置风力发电设备。但个别项目，例如教育建筑希望设置小型风力发电设备起到展示和教育的作用。

图 41：典型水平轴小型风力涡轮机和垂直轴风力涡轮机



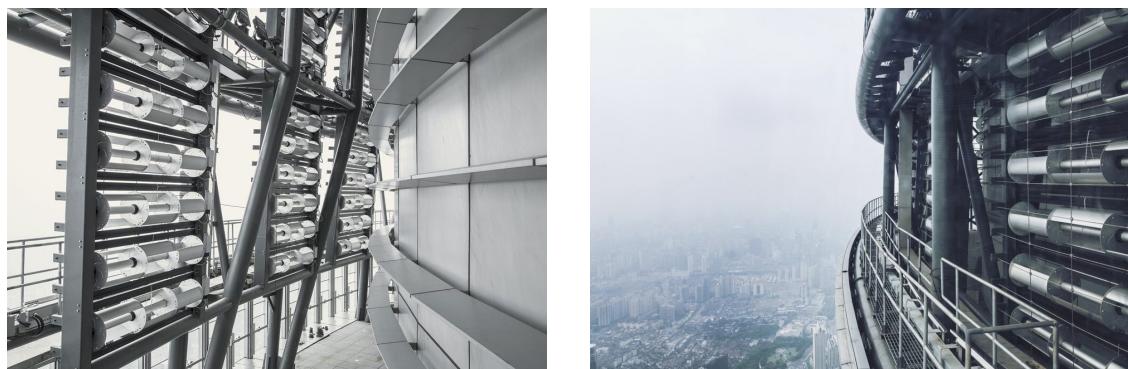
来源：AIA, Architect's Primer on Renewable Energy

使用在建筑中的风力发电设备与一般风力涡轮机有所不同，外形更加紧凑。风力发电设备需要与周边空出足够的距离。

案例 7：上海中心的风力发电机

上海中心在 580 米的屋顶外幕墙上，安装配备有 270 台 500 瓦的垂直轴涡轮风力发电机，总额定功率为 135 千瓦，每年可以产生 118.9 万千瓦小时的绿色电力。

图 42：上海中心顶层的风力发电设备



来源：pinimg.com

来源：emap.com

案例 8：珠江城大厦

珠江城大厦的设计运用了空气动力学的原理，在 24 层及 50 层的设置了四个凹洞，在凹洞处配置了 4 台 7 米高风力发电机。这样的设计不仅仅能实现将周边的风力转化成电力的作用，同时还可以为整个玻璃幕墙泄压。

图片 43：珠江城大厦的风力发电分析图及风力发电设备



来源：SOM

风力发电的潜力较难测算，需要考虑当地的气候、风力发电机周边的风环境以及设备选型，一般需要专业顾问进行测算。

结语

在“碳达峰碳中和”的背景下，建筑业将逐步走向“低碳”和“零碳”，这一政策压力将逐步传达到建筑设计领域——要求更好的设计建筑系统，更加重视节能，促进项目运营后实现低碳运营。

在建筑设计早期阶段，应当首先分析气候，选定合适的可持续设计策略，并且重视建筑的体形、遮阳、窗户及玻璃设计以及运用可再生能源，如果条件许可，可选取其他的可持续设计策略。总而言之，在设计中展现充分低碳设计的理念，从而打造低碳建筑。

回顾过去，展望未来——绿色建筑运动在国内开展了十几年，已经大范围的推广，并将可持续设计的理念传达给了设计界。“双碳”目标下建筑设计领域可能再次经历类似的过程，并逐步改变设计师、领导及专家的价值观，将碳排放作为更重要的考虑因素。在这转变的过程中，我们希望这份设计导则能帮助设计师在设计的前期阶段更好的考虑可持续设计策略，将建筑的节能作为更加重要的考虑因素。我们也建议设计师更多的关注国内的超低能耗建筑、近零能耗建筑，以及一些优秀的示范项目，通过知识和经验的积累为未来的零碳建筑做准备。

参考文献

- [1] AKSAMIIJA Ajla, Perkins+Will. Sustainable Façade: High Performance Building Envelopes [M]. New Jersey: John Wiley&Sons, Inc, 2013.
- [2] Robert B. Peña, Living Proof: THE BULLITT CENTER, High Performance Building Case Study, <http://betterbricks.org/resources/living-proof-the-bullitt-center-high-performance-case-study>, 2014.
- [3] La Roche Pablo. Carbon-Neutral Architectural Design [M]. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2017.
- [4] View, Inc. Study: Natural Light Is the Best Medicine for the Office. <https://www.prnewswire.com/news-releases/study-natural-light-is-the-best-medicine-for-the-office-300590905.html>, 2018.
- [5] Choi JH, Beltran L and Kim H. Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility. Building and Environment 2012; 50: 65-75
- [6] American Institute of Architect. Architect's Primer on Renewable Energy. <https://www.aia.org/resources/6381389-architects-primer-on-renewable-energy>, 2021.

这一设计指南由建筑 2030 的中国团队于 2022 年撰写。

审阅者

蔡正乾, LEED AP
殷明刚

如果您对指南的内容有任何问题和建议,
欢迎联系: info_china@architecture2030.org。



Architecture 2030

www.architecture2030.org
China.architecture2030.org



建筑 2030 微信公众号