

# 行进中的可持续性

本案例由彼得威廉姆森教授撰写。它的目的是用于课堂讨论，而不是说明任何一种有效或无效的行政管理情况。

剑桥大学嘉治商学院2014版权所有。未经允许，不得复印。

## “人类能够找到一条真正可持续的道路，通往更高的生活品质 and 更少的环境破坏”

—— 远大集团总裁 张跃

2012年的新年，远大可建集团在YouTube上发布了一则定时拍摄的视频展示了一座30层酒店如何在360小时（15天）内建成。<http://www.youtube.com/watch?v=Hdpf-MQM9vY>目前这则视频已超过580万次点击。远大可建有限公司为远大科技集团的子公司。当人们皆惊叹于其建造速度之快时，远大集团董事长兼CEO张跃却更关注于其可持续性。第三方测试证实这栋建筑可抗9度地震。其制热、制冷、照明能耗只有传统酒店的20%。室内空气品质较室外洁净20倍。造价比传统建筑低10%~30%，可减少30%的钢耗和85%的混凝土。它的建造过程无一例安全事故，建筑垃圾仅为1%。建筑所用的全部材料都不含甲醛、铅、石棉，建材大部分都可回收。

2014年初，远大使用同样的可建技术开始生产一栋88层楼。现在远大可建计划建造其首栋202层的“天空城市”，它将以838米的高度成为世界第一楼。天空城市将为3万个居民提供住宅，30万平米集办公、学校、医院、娱乐、体育场所于一体。8000平米的开放式“空中花园”和86,400平米的立体有机农场。自2008年以来，历史上首次达到城镇人口超出世界人口数量的一半，而据联合国评估，到2030年世界城镇人口将膨胀至50亿。张跃将天空城市所运用的远大可持续建筑技术视为解决未来城市可持续性的钥匙。缓解城市扩张、车位占地和通勤交通所带来的压力。只要人们愿意去落实，他相信我们已经具备这样的科技能力同时实现可持续性和快乐地生活。其他很多人质疑这样的乐观而更愿意相信实现可持续性另有途径。

### 旧瓶装新酒

1988年6月5日，张跃和他弟弟张剑以3000美金在湖南郴州注册了远大，主要是开发制热设备。在大学期间，张跃主修美术，他的弟弟主修热力学。创立者们认识到，安全问题及需要许可证束缚了压力热水锅炉的市场。因此，他们研发的无压热水锅炉，在1990年获得了中国发明金奖及在1991年法国巴黎获发明银奖。这项发明在中国市场迅速地取得了成功，并为下一个想法提供了资金。他们又从中国经济迅速发展所

产生的摩擦中有了新的认识：大量需要空调的高层建筑正在兴建，但是电力供应短缺。兄弟两人构思出了简单而意义深远的解决方案：非电空调。他们坚信这个构想的市场前景，并准备投入所有的资金来实现这一想法。

非电空调并非新的技术。吸收式制冷技术由法国科学家费迪南德在1858年发明，在美国内战期间开始用于保存军队的食物。其基本原理很简单：溴化锂溶液加热产生水蒸气，水蒸气冷凝后变成水，该冷凝水随后进入真空装置中迅速蒸发并带走空调盘管周围大量的热量。由此而产生的水蒸气又被溴化锂浓溶液吸收，从而降低真空装置中的气压让更多的水进行汽化吸热。稀释的溴化锂溶液再次被加热循环制冷。

这个技术并未被遗忘：以瑞典伊莱克斯AB公司为例，它在20世纪60年代冷藏车上就运用了这项技术。20世纪70年代石油危机后，日本当地天然气公司推广到日本空调行业，随后传播到韩国。但它从未被市场大规模应用，只是默默无闻地被搁置在空调行业角落里。

远大激活了这项技术，并在1992年研制出了第一台直燃型吸收式空调。同年公司迁移到湖南省省会长沙的一个量身打造的“园区”，开始大规模生产非电中央空调设备。在设计这一设备过程中，远大研发了100多项专利技术。张跃将其描述为“旧瓶装新酒”。

### 火中拾金

传统的电空调用电动马达驱动压缩机。压缩机将制冷气体在高压盘管中压成液体。接着液体通过调节阀被泵送到低压盘管中，使得制冷剂蒸发为气体，吸走了周围空气中的热量。接着，风扇将被冷却的空气吹进室内。

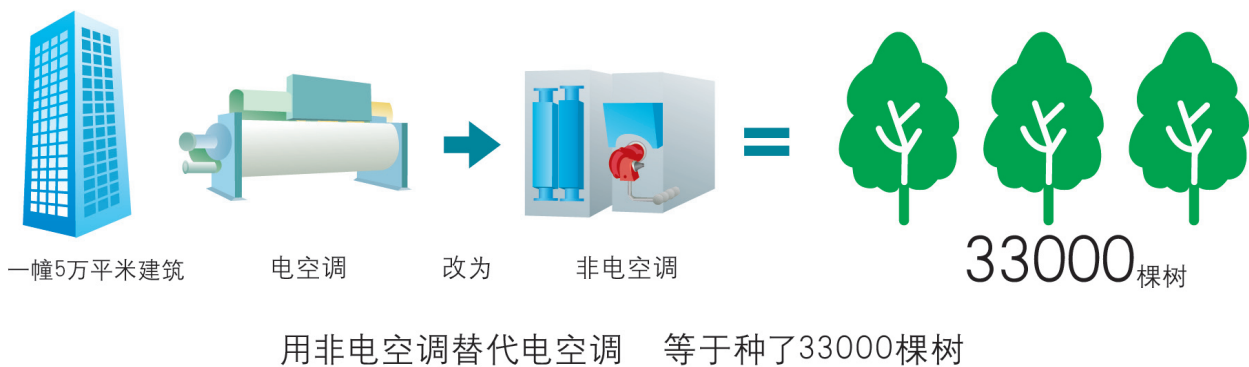
因此电空调制造冷气的方法需要5次能量转化：燃料→热能→机械能→电能→机械能→冷气。然而直燃吸收式空调却恰恰相反，它

仅仅只有一次能量转化：从燃料到冷空气。任何热量来源都可以利用：天然气、生物燃料、太阳能或者任何95°C以上的废热。

热力学第二定律告诉我们，每次发生能量转化都会有能量损耗。因此只有一次能量转化（而不是用电的五次能量转化）的吸收式制冷技术能够比传统制冷节能将近两倍。并且其能够利用废热来驱动，空调几乎是免费的。抛开行业术语，张跃总结道：如果用电制冷，等于把金子扔进火里；如果用天然气制冷，等于是在烧钞票；但是如果利用废热制冷，那就是从火里捡金子和钞票。

同时吸收式制冷机还有重要的环境效益。远大非电空调只产生传统电空调四分之一的温室气体排放量，并且不像使用氟利昂(CFCs)那样对全球温室效应有着1800倍于CO<sup>2</sup>的危害，吸收式制冷机使用无污染的溴化锂作为制冷剂。基于这些优点，远大集团测算出：用一台非电空调代替一台电空调所减少的温室气体排放量相当于种植33000棵树。同时，这种投资成本（含能源供应端）比电空调少大约30%（见图示1）。

图示1：非电空调的效率及气候收益

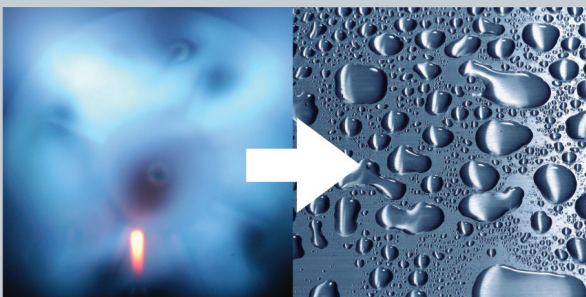


## 非电空调为何节能？

热力学第二定律证实，能源的每次转换必然伴随着损耗（转化为无用的低品位能量）



**电空调** 能源经过5次转换，总效率约83%  
(如加2-4次电力变压共7-9次)



**非电空调** 能源仅经过一次转换，总效率约153%



(如果用废热而不是燃料，效率更高)

注：以上是按300万大卡直燃机全年运转3000小时节省的能源计算。

一棵树平均一年吸收18.3公斤二氧化碳。

### 持续不断的创新

在第一代远大非电中央空调成功安装后，张跃坚信这项技术还有很大的改进空间。因此，他致力于公司的研发团队建设及创新能力。设计工程师都是经过他亲手培养；同样重要的是，远大决定基于机器在现场的运行信息反馈和运行维护数

据从事其研发工作。创新不只局限于寻找机器停运故障，更重要的是迅速地，循环升级设备。从1992年到2010年从第一代产品升级到第十代产品。第十代产品更紧凑，节能效率更高并且装备更多智能化控制系统来监视系统的运行情况，达到更好的服务和维护效果(见图2)。

图示2：远大一体化空调系统



朱立，设计了世界上第一个一体化系统

20型 (233kW)、50型 (582kW) 外观

远大空调部门拥有300多人的研发服务团队，致力于机械工程升级，程序完善以及设备设计。平均每年使用的研发经费超过年度销售额的5%，张跃总裁估算自己有70%的时间用于研发：主要在于，“提出自己的新想法，然后整个团队来实现它们”。他自己承认，有些人觉得研发很痛苦，但他对研发充满激情，他说：“我对于技术的迷恋就像球迷对足球的迷恋一样。”

今天，远大的非电空调设备已经在全球80多个国家广泛应用，在许多国家的非电空调市场中有着极高的市场份额，比如在中国40%，美国45%，印度55%，澳大利亚75%，土耳其80%，俄罗斯80%。远大的设备被应用在马德里机场、伊斯坦布尔国际机场、韩国中央政府、南美第一高楼——智利圣地亚哥康斯坦娜中心。在2010上海世博会所有250个场馆均采用了远大非电中央空调。在184天期间，远大中央空调共为上海世博会节电1.8亿度，减少二氧化碳排放7.3万吨（相当于种树400万棵）。这对上海成功举办以“城市让生活更美好”为主题的低碳世博做出了突出贡献。

## 延伸生产线

“保护生命”的价值观引导远大关注空气污染问题。它研究显示，当今没有任何一个城市的空气是洁净的。美国环保局估计空气污染造成全球每天超过2万多人死亡（等同于一百多架飞机失事，无一人幸免）。环保局还发现很多科学家都认为如果没有空气污染，全球人类寿命可延长30年，同时，社会学家们空气污染会对身心造成影响，导致人类的幸福指数降低30%。

2003年起，远大开始研发用简洁、经济的科技来制造新鲜空气。诞生了成套可支付得起的“空气”产品，具备制冷、静电除尘、活性炭除毒和缺氧保护的功能。此设备能净化比人类细胞更小的颗粒物，99.9%消除空气中的PM2.5（主要来自汽车尾气、发电厂、木材燃烧、某些工业生产等），这些可以穿透到肺部的颗粒物被认为是对健康的极大危害。

## 开发可持续建筑

为了准确的计算其空调设备能耗，远大收集了大量建筑释放热量、吸收阳光和冬季排放到大气层的数据。通过这些数据，远大从2004年开始对用户的不同建筑进行系统性的能耗对比调查，从而发现了一些有趣的事情：同一城市或同一气候条件下的建筑面积相同的建筑，其能耗差别巨大。进一步调查显示建筑能耗的差别原因就是外保温质量（或数量）的差别。张跃通过研究这个现象发现，制冷和采暖消耗了世界30%~40%的能耗，而这些很多是由缺乏墙窗的保温而导致。认识到这一问题的严重性后，他立即下令将远大城的十几栋建筑进行节能改造，增加15公分的墙体保温和三层玻璃窗。2009年，远大开始为用户提供建筑保温培训，来降低他们的80%的空调费用，希望别人能效仿他们做建筑节能改造。

尽管远大的厚保温技术既简单又节省能源消耗费用，可是问津者依然不多。大多数建筑商和开发商只想着快速卖楼，却没有考虑长期的投资，反而把这项技术认为是一份额外的成本，能不做就不做。还有一些人甚至怀疑远大的动机：一家空调公司为什么老想着推广这么一个会降低自己产品销量的技术？

张跃很不满意这么久以来很少有人愿意跟紧他的脚步。他坚信，外墙保温是这个世界面临的最紧迫的问题。为什么呢？因为这项技术根本不是什么高科技，但依然没什么人重视。他想到，唯一的解决方案，就是远大自己来为它的顾客做建筑。因此在2008年，张跃带领了一支工程师队伍来攻关建筑达到80%保温的技术难题。就在不久后，一场7.9级地震发生在中国四川省，这场地震造成了建筑物倒塌并带走了8.7万条无辜的生命。在此次灾难后的思考中，张跃开始更加全面的考虑问题，建筑抗震问题就像建筑保温问题一样：“人们重视的还远远不够”张跃决定将研发队伍增加至300人，并将设计宗旨立为：建造经济，环保，并且能在地震中屹立不倒的建筑。

在6个月的摸索中，张跃和他的队伍意识到，传统建筑建造模式根本达不到他们的要求：“传统建筑的建造模式太混乱，我们应该在工厂里做好它。”远大决定将建筑物90%的建造工作放到工厂生产线上做具有很多优势：远大可以良好的利用制作大型中央空调的经验来确保生产的成本控制，废料处理以及品质控制；专业的机械部件更加容易的开发和使用；相比较于在建筑工地上召集的临时工，工厂能够招聘、训练具备良好专业技能的正式工人。与此同时，传统建筑建造过程中的合同层层转包，工人消极怠工，管理混乱，以及层出不穷的行业贪腐现象能够得到有效的防止。

带着这项挑战，远大工程师们设计了一套预制可持续建筑的生产系统。在研发过程中，在2009年8月24日，一栋3层楼的可持续住宅建造在了远大城，只用一天时间。在2010年初，远大在6天时间内建造了15层楼的新方舟宾馆。新方舟宾馆采用了塑料结构的三层玻璃窗、15公分外墙厚保温，窗外遮阳以及热回收新风机（冬天从排气中吸热，夏天从进气中吸热）等这些技术来达到相比较于传统建筑80%节能效果的目标。

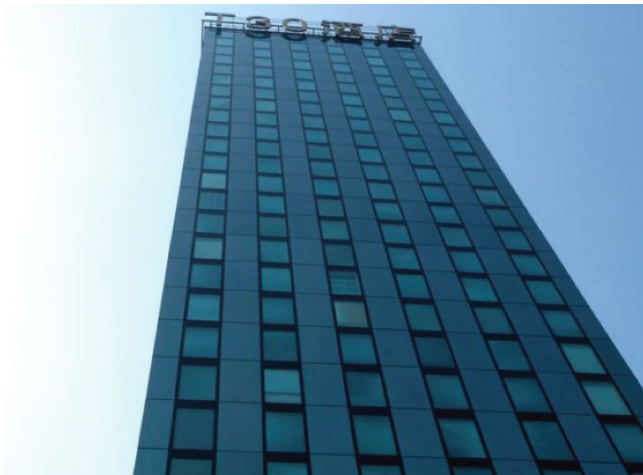
新方舟宾馆在建材使用上也很经济。每平米建筑仅仅使用了53公斤的钢材和125公斤的混凝土。相比较之下，传统建筑每平米使用了70公斤的钢材以及900公斤的混凝土。这意味着二氧化碳排放量从883公斤/平米降到了新方舟宾馆的147公斤/平米。

为了更进一步测试这个概念，远大决定在2010上海世博园建起一栋6层楼2000多平米面积的远大馆。这栋建筑从头到尾在24小时内完成——这震惊了全世界（见图3）。

图示3：远大早期的可持续建筑



2010年3月6日，一天建成世博远大会馆。 2010年6月，一周建成新方舟酒店。



2011年12月，15天建成T30酒店。 照片：Lloyd Alter 摄

为了扩大世界影响力，2010年11月，远大运送了一栋两层楼高，1060平米面积的建筑物至第16届联合国气候变化会议（COP16）举办地——墨西哥坎昆。这栋楼用了8天就完成搭建了，墨西哥总统卡尔德隆出席了12月10日的开馆剪彩仪式并发表了名为“世界建筑业的一次新革命”的长篇演讲。

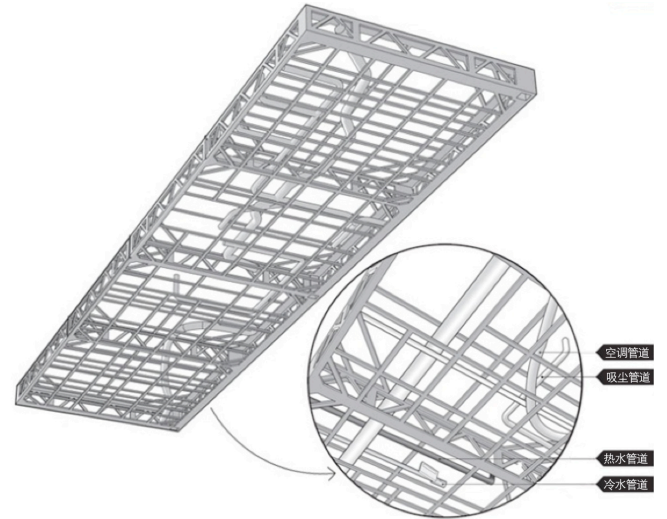
### 研发大规模的生产系统

远大可持续建筑针对设计和生产流程保持不断创新，像上文提到的，2011年T30完工，一栋30层楼高的宾馆，15天之内完成，建筑成本低于1000美元每平方米，这相比较于使用传统方式建造起来的高层建筑1400美金每平方米的造价低了不少。T30采用了20公分保温及4层玻璃窗（两个双层玻璃之间有空气隔层）并全部采用LED光，自动发电电梯（空载上升、满载下降均发电）外遮阳帘根据光照强度自动调节，节省了80%的能源消耗。楼宇智能控制系统根据外界温度以及屋内人数调节灯光和窗帘闭合。T30还包含了一套8种不同垃圾分类的管道投放系统来回收不同垃圾。2012年5月，12层楼，14000平米的可建在中国山东省建造起来，整个建筑结构只用了62小时，保温厚度达到30公分。类似的建筑，迄今已建成30多栋。

远大可建改善了它的生产流程，使其能高效的生产60m<sup>2</sup>的建筑模块（远大可建称之为“主板”）。每一块钢构模板在生产过程中都进行了防腐处理。以后只要每60年进行一次防腐处理。每块模板在可建工厂生产阶段就已预装好地板、天花板、水电、空调和垃圾分类系统（见图4）。每块模板中都有一个45公分的中空设计，作为日后的维修通道。然后，所需的柱子、斜撑、门、

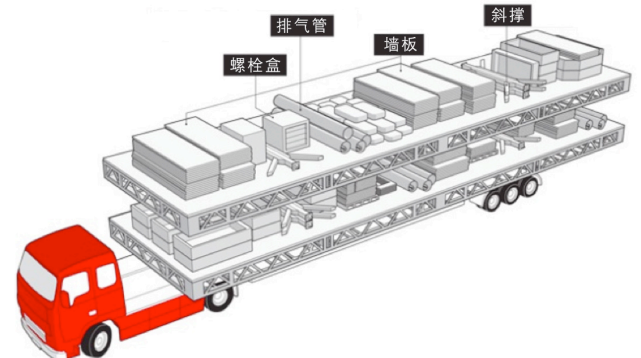
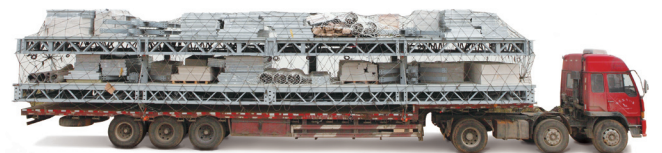
窗、墙、洁具、厨卫都按顺序预先摆放在主板上用于高效装配。一辆卡车可以装载2块完整的主板运往安装现场（见图5）。

图示4：远大的主板 插图：Jason Lee 制



可建湘阴厂主板结构，照片：纽约时报Timothy O'Rourke摄

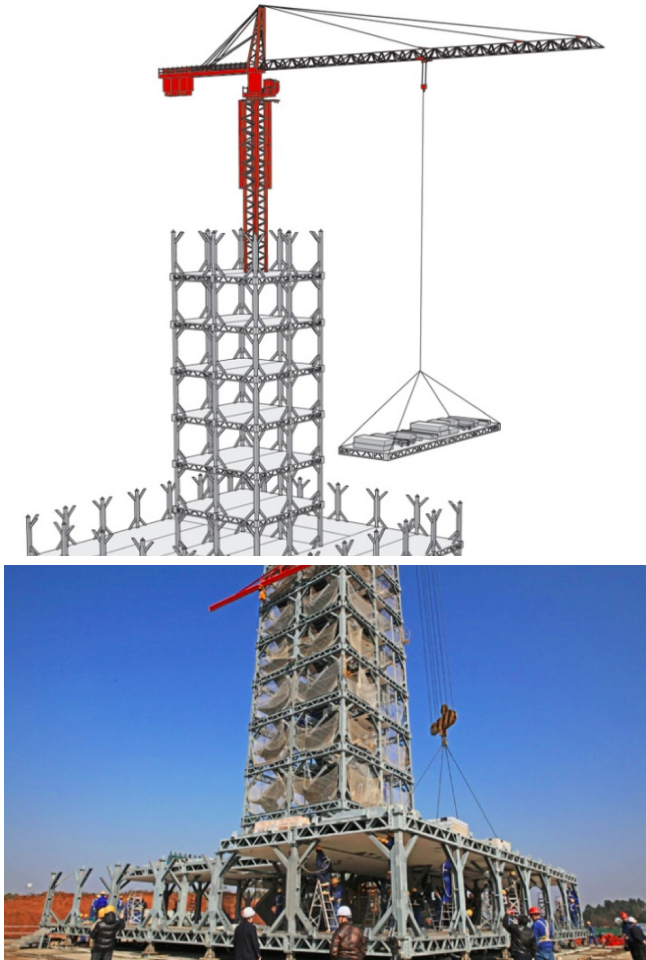
图示5：远大主板装运至现场



插图：Jason Lee 制

主板的吊装到位是由一群自爬升式塔吊来实施的，这些塔吊能随着建筑的施工而向上移动（见图6）。随后，主板由巨型螺栓相互连接。接着再由施工工人将其固定，做好主板间的连接，并完成刷漆和装修。整个建造活动中，只有不到10%的工作是在现场完成。因此，可建的材料浪费大大减少，而建筑过程却更快速，更高质，更安全。

图示6：可建现场安装 插图：Jason Lee 制



20台自爬升式塔吊昼夜工作。照片：Noah Sheldon摄

为了实现这些建筑科技的创新，远大可建与许多伙伴共同合作。例如，远大可建公司胡总回忆到，当可建决定使用4层玻璃窗节能时伴随而来却是窗户透明度降低的问题。因此可建与一家玻璃制造商合作对其产品和生产流程进行升级，开发出“超透明”的玻璃板以至于即便是4层玻璃的厚度也不会造成视图的变暗。可建还与天津消防所（中国顶尖消防机构）、中国建筑科学研究院（进行了地震测试）、中国结构工程和减灾研究所、中国电子工程设计院、以及大量政府认证机构共同合作。此外，可建在其位于湘阴的总部也有一个大型的检测实验室，用于检测来自供应商的产品是否环保（比如确保产品不含某些有毒材料）并达到远大的质量和节能标准。虽然远大还未能开发出复杂的体系来追踪外协材料和装置在生产过程中的能耗，但已采取措施大幅减少对高能耗材料的使用，比如水泥（如上所述）。

远大可建持续对其建筑进行改进。包括调研如何减少耗材量和允许更多种配置选择。同时研究如何通过改进感应装置，监控装置以及调整相应技术以配合云计算时代的到来，使建筑更加“智能化”。可建公司有超过150人的研发团队（分别在远大城和可建城），另外也有450名员工在从事新技术和创意的研究实验和尝试，工厂有一条单独生产线专门用来进行这些试验工作。远大可建工厂其他5条生产线计划达到1000万平米的年产量（相当于60幢80层高的建筑），并且可建城的占地可供多达10条生产线的产能。

远大可建在中国已发展6家加盟商。起初，可建公司将招募重点放在了地产开发商和投资集团，包括大量的国有企业上。然而，可建公司发现制造能力和相关经验才是加盟商获得成功的关键。加盟商同时也需要招聘一支有相关技能的稳定的工人队伍，而非临时工。远大可建现在专注于帮助合作伙伴形成联盟，各尽其长的在金融、制造、房地产以及土地征收和发展方面发挥作用，来扮演加盟商的角色。远大可建总厂为加盟商提供培训，约20名经理和80至100名生产员工组成一个队伍来接受为期2至3个月(根据经验程度)的在职培训。远大可建的目标是每年在中国发展2-4个加盟商。

与此同时，远大可建也设立了要在全世界范围发展加盟商的目标，在2020年，年产能达到7亿平方米的建筑面积。负责远大可建海外加盟的江燕说：要实现这个目标将需要时间和投资，因为远大可建是“建筑行业的一场革命”。为了实现这个目标，远大可建提供免费的加盟商培训（仅要求加盟商为其培训员工支付在可建的最低食宿费用）。然而，在发展中国家，人们在购买远大可建决议中并不很看重其可持续性价值，而是更在意长期资产占用中试用新技术所带来的风险。与此同时，世界各国传统建筑技术标准的条条框框也成为障碍。

以主板为基础的远大可建工厂化预制建筑体系可以为在海外建设的可持续建筑提供标准的平台，内部设计以及装修也可以根据当地需求量身定制。例如外墙可适应地域气候条件改变厚度，江燕也指出，远大可建的模块化建筑与传统建筑方法相比可以轻而易举的调整建筑本身的用途（例如从写字楼变为住宅）避免建筑需要拆除并重建来满足新的用途，这是远大可建更可持续的另一层意义。

### 朝着可持续城市的目标：天空城市

远大可建技术得以发展、锤炼和完善，并且在30多幢可持续建筑中得以验证。张跃开始谋划他迄今为止最为宏大的项目：建造202层高的天空城市。

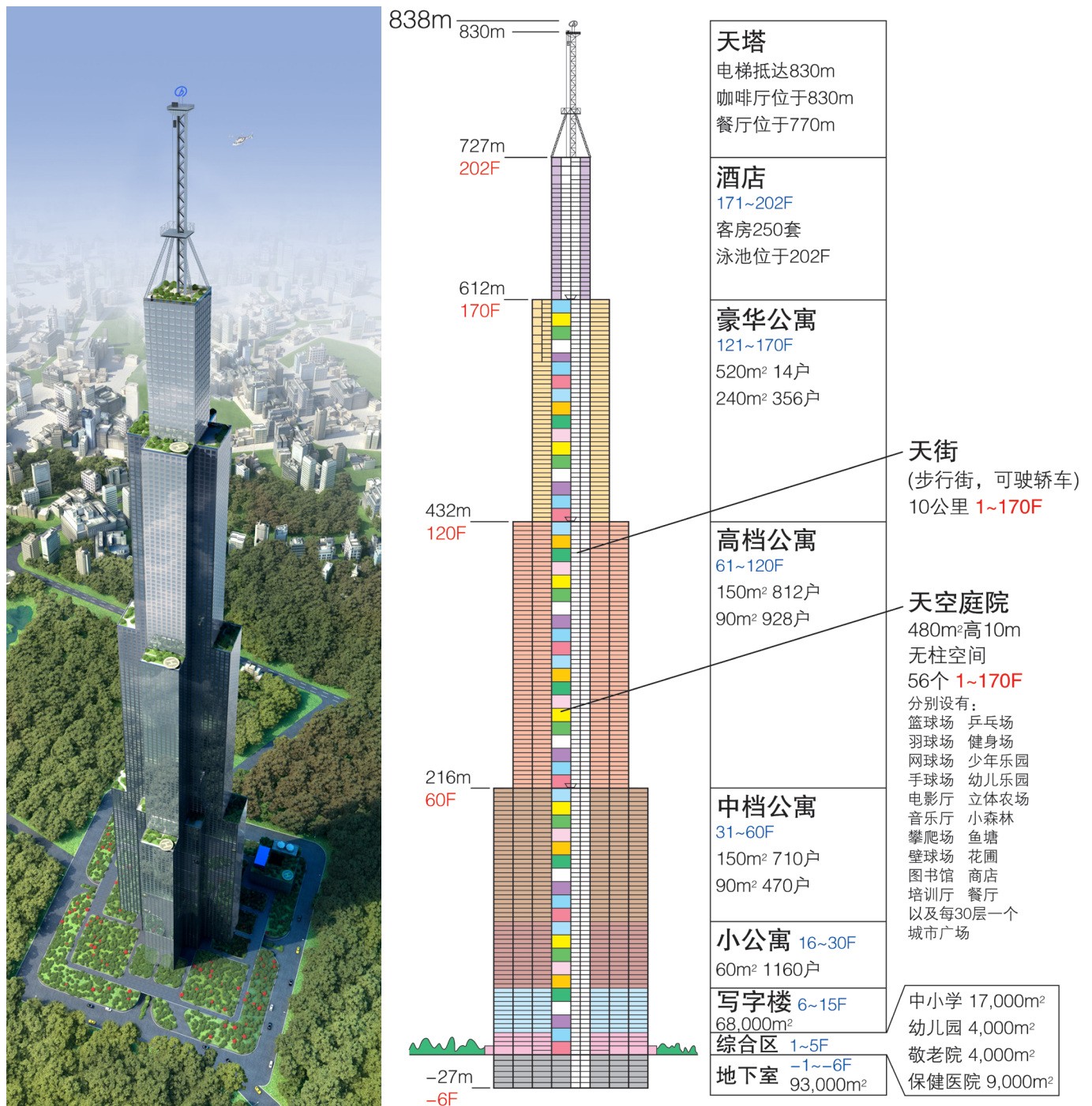
张跃建造天空城市的想法起源于思考如何找到一条可持续解决方法来满足城镇化需求。下一波中国消费者开始考虑拥有自己的房产。2013年，中国城镇居民大约占54%（基本与19世纪50年代的英国，1915年的美国以及20世纪50年代的日本处于同一

水平)。政府的目标是在接下来的十年内为2.7亿人口向城市迁移创造机会。根据世界银行统计，2014中国每个月城市新增人口达到180万人。

如果中国继续用现行的密集程度和建筑设计来扩张城市区

域，那么每一个新增城市人口将占用500m<sup>2</sup>土地面积。这意味着下一个十年将蔓延出13.5万平方公里新城市范围（这一数量比希腊全部国土面积还大）。因此，张跃构建如此高楼的第一原则是节地：天空城市规划人均占地仅4m<sup>2</sup>，含建筑周边地块（见7图）。它能住4,450户家庭，共计30,000人。

图示7：天空城市的规划



第二条原则是将交通需求和城市拥堵降至最低。远大可建作此预计是因为绝大部门居民将生活、工作和娱乐集于天空城市内，与传统城市相比减少了2000辆车。露天空中花园、立体有机农场、比篮球场更大更高的56个无柱空间，还有一条10公里长街道从直通170层，这些措施都极大增强了天空城市的居住舒适性。

第三点考虑基础是天空城市的设计要节约能源。天空城市将会配备：20公分厚的墙体保温材料，可减少70%的常规热损失；四层玻璃窗，以及窗外遮阳。天空城市会使用远大自行开发的冷热电联产系统即一套燃气涡轮机提供电能，利用其尾气置入远大非电空调中，提供制冷，制热和卫生热水。天空城市的照明全部运用LED灯，93台电梯反馈发电及集合派梯系统和远大独创的热回收新风系统。远大可建经过计算得出，这栋楼减少的能量消耗等同于每年减少12万吨二氧化碳排放（相当于植树650万棵）。

第四点考虑是在天空城市的设计中避免了所谓的“楼宇综合症”，从而保护人们的健康。世界卫生组织的报道指出世界范围内多达30%的新建和重修建筑会因糟糕的室内空气质量而遭到健康投诉。天空城市计划采用远大的空气净化科技（如上文所述）运用了三层过滤可以99.9%消除PM2.5，提供100%的新风（大型建筑通常只有30%的新风及70%内部循环风），能为楼内提供每人40m<sup>3</sup>/小时的新风量。每一间住房将有一个空气质量管理器监测颗粒物含量，易挥发有机复合物（VOCs）和二氧化碳浓度。

天空城市的设计的第五个考虑是安全。与其他远大可建项目相似，这栋高楼也已通过中国全国超限高层建筑专家委员会的评审，完全满足抗震设防规范要求，并且通过4个机构的风洞测试，以保证建筑内的人在狂风时的舒适度。10条火灾逃生通道将使整栋建筑内人员在火灾中可以于15分钟内疏散。

最后，天空城市运用了远大可建的工厂化建造，主板技术来保证低成本的高建筑质量。远大可建预计将在6个月的时间内完成天空城市的预制。天空城市的安装过程大约需要3000人在工地现场工作3个月（完成地基后）。有人质疑天空城市的

建造速度，张跃将此看成回到过去，他指出1930年纽约的帝国大厦建设周期也只花了13个月。张跃问道：是不是人类非要退步不可呢？

## 领导力和视野

基本上远大集团的商业发展的方方面面都是基于张跃的对未来的愿景。他回忆1992年当他和弟弟研发第一台直燃空调时的动机只是挣钱。财富给他带来的好处之一是让他沉迷于飞行。早在1997年，当张跃花费1000万美元购买了他的第一架塞斯纳公务机时就吸引了媒体关注，他也成为中国首位拥有私人飞机的中国企业家。他接着又采购了另外五架飞机。他也是中国首位拥有私人飞行执照的人。

张跃如此描述而后突如其来的顿悟：“有一天我了解到一颗树每年可以吸收18.3公斤的二氧化碳。而8棵树要用60年才能吸收我的飞机从长沙往返北京一趟的碳排放。我相当震惊。”他卖掉了其中3架飞机。剩余的飞机被停在机库。从2008年起，张跃只乘坐民航航班，这就意味着“不得不忍受机场搜身式的安检、枯燥的等待、不时的延误、僵硬的座椅……”他的深蓝色劳斯莱斯加长豪华车、黄色法拉利也停进了车库。

张跃开始担忧“我们的子孙要如何生存”。面对全球变暖，从2006年开始把他的全部精力放在节能减排上。张跃引以为豪地说“远大公司打破了所有传统观念来提高我们的生活品质。这种理念深入远大商业法则的方方面面，最后归结为远大“七不一没有”的道德底线：不污染环境、不剽窃技术、不蒙骗客户、不恶性竞争、不搞三角债、不偷税、不行贿，没有昧良心行为。

在张跃的领导下，远大集团继续将可持续发展落实到行动上。通过新技术和运用已知的新方法减少能源和资源的消耗，管控有毒材料，改善生活方式和提升幸福感，尽可能取缔低效产品和生产流程。远大将通过生产和提供给客户“其他厂商无法实现的产品和服务质量”实现如上愿景。而那些愤世嫉俗的人，无论如何都还是会怀疑，还将质疑远大的商业模式能否证实其可持续性。