

Brief Introduction of Solar Decathlon(SD)

“太阳能十项全能”竞赛（SD）简述

撰文 李苑 宋晔皓 清华大学建筑学院

1 竞赛概况

“太阳能十项全能竞赛”（Solar Decathlon，以下简称SD）是面对全球高校的住宅建筑与可再生能源科技竞赛，由美国能源部于2001年发起并首次主办，两年一届，旨在探索面向21世纪的太阳能建筑，推动建筑、节能与新技术的结合。



图1 2009年SD竞赛运输、装配与参观现场 资料来源：组委会提供

该项竞赛要求每所参赛的大学设计并实际建造一座以太阳能是唯一能源来源、建筑投影面积不超过74m²的住宅，如图1是2009年SD竞赛住宅运输、装配与参观现场。在竞赛期间，该住宅的所有运行能量完全由太阳能光电、光热提供。大赛通过对房屋性能的测试指标和评审专家的主观评价，分别给出每个参赛方案10个单项的得分，并按照单项分数和总分分别排名。2002年，14个来自美国各高校的设计小组在华盛顿国家展览馆（National Mall）搭建起自己的方案形成“太阳村”（solar village）。此后，2005年、2007年和2009年华盛顿举

办三届，2005年参赛学校的数量增加到18所，之后稳定为20所，来自美国、加拿大、欧洲与南美等国家的高水平大学成为参赛的主要成员。目前2011年SD竞赛正在进行之中。2013年，SD将由中国国家能源局、美国能源部联合主办，具体比赛城市尚未确定。

SD竞赛可以基本分为竞赛申请、设计与实验报告提交、模型提交、施工图提交、现场安装比赛和拆卸阶段，整个竞赛过程历时两年。前一届竞赛结束之后，由竞赛组委会在第一年的秋季面向全球高校发布新一轮的竞赛方案征集，次年的3月间方案征集结束，一个月后确认最终入围的设计团队，入围方案在华盛顿展出。此后组委会召开搭建前的咨询会，由若干咨询小组就搭建过程及展览事宜对入围的20个小组进行答疑咨询，包括太阳能建筑设计规范、电力供应、场地运营、搭建过程中的健康与安全事务、公众展览、网站建设、设计图纸表达、竞赛策略、造价及可支付性、展览组织、与组委会主席会晤、能源部所能提供的资源等12个方面。第三年年初1月间再次举办所有参赛队参加的讨论会，就已经完成的情况和后续工作进行讨论。同年的9月底至10月间在华盛顿的国家展览馆进行方案的搭建和展览，之后在为期一周面对公众开放的展览中，由评委会对方案的10个方面进行评估，最后依据得分进行排名。

表1. 2002—2011SD竞赛评分内容比较

项目	SD2002		SD2005		SD2007		SD2009		SD2011	
	项目	分值	项目	分值	项目	分值	项目	分值	项目	分值
1	建筑设计与可居住性	200	建筑设计	200	建筑设计	200	建筑设计	100	建筑设计	100
2	展示与模拟	100	文档记录	100	工程建设	150	工程建设	100	工程建设	100
3	表达与交流	100	公众交流	100	公众交流	100	公众交流	75	公众交流	100
4	舒适性	100	舒适性	100	舒适性	100	舒适性	100	舒适性	100
5	冰箱使用	100	家电设计	100	家电	100	家电	100	家电	100
6	热水供应	100	热水供应	100	热水	100	热水	100	热水	100
7	能源平衡	100	能源平衡	100	能量平衡	100	净流量	150	能量平衡	100
8	照明设计	100	照明设计	100	照明设计	100	照明设计	75	可负担性	100
9	家庭办公	100	居住适宜性	100	市场可行性	150	市场可行性	100	市场可行性	100
10	太阳能出行	100	太阳能出行	100	太阳能出行	100	家庭娱乐	100	家庭娱乐	100
合计	1100		1100		1200		1000		1000	

2 竞赛内容

“太阳能十项全能”的名称源于竞赛评审的10个方面，在往届的美国SD竞赛中，10项内容每次均有差异，分值的比重也有微差，如表1所示。

比较这5届SD竞赛的10个得分项比例可以看到，每届的竞赛分数均有调整，在合并一些项目的同时将一些重点项分列为单项，由此也可以看出主办方的某些导向。例如，从2007年起，评分取消了文档记录的分值，与其他包括建筑围护结构、室内环境控制、能源利用的分析等并入工程建造中。2009年的竞赛中将原先“太阳能出行”一项中“通过太阳能产生电能提供电动车出行”的要求并入“净流量”中占50分，2011年则取消了此项要求，而是将造价的可负担性单列一项，并将原先照明的单项与其他娱乐附加项共同合并入家庭娱乐项目中。建筑设计、交流（网站建设）、舒适度、家电、热水以及能源平衡几个单项在历届竞赛评分中始终占据重要地位。2011年10项内容详细列表如表2所示。

太阳能十项全能竞赛涉及到建筑设计、工程设计、照明设计、供水排水、市场可行等诸多方面，需要各方面协调配合，与建筑设计很好地融为一体，通过博弈达到节能与太阳能利用的最佳效果，因而需要设计团队中各个领域的组员通力合作，以达到总体最优。从近年来10项内容的构成可以看出，各种分项虽看似繁复，各项指标的考察近年来也渐趋详细，然而通过太阳能产生尽可能多的能源并提高能源利用效率以提供房屋的各项活动始终是竞赛评分中的核心。

经过四届竞赛的不断尝试，各个参赛队伍不断努力与进步，在太阳能光电系统产生电能方面的平均水平逐年提高。同时，良好的保温隔热、尽可能利用日光照明、利用多余热能加热水、节能家电的使用等方面都是作为生态设计的关键而被积极尝试运用与完善的。太阳能屋的建造成本较为高昂，主要依靠相关厂商的赞助与支持。从2009年开始，入围太阳村的20支队伍每队获得10万美元的资助。2011年，得分项中将经济实用性单列为一项，将包括建筑材料、电器设备、人工劳务、运输安装等太阳屋搭建过程中所有发生费用的总价均纳入到竞赛评分内容之中，并附有详细的评分标准，以求得到参赛队伍的重视，这也是未来太阳屋得以推广的重要条件。

3 历届SD竞赛前三名方案介绍

3.1 2002年前三名参赛作品简介（总分1 100分）

第一名：科罗拉多（University of Colorado at Boulder, 875.302分）

科罗拉多在单项舒适性测试、能量平衡和图表与交流中均获得第一名，并取得总分第一名的成绩。其设计出发点在于建造一种能够普适于任何住宅的太阳能建筑，因此在建筑设计上使得建筑具备普通美国家庭住宅的特性，达到使建筑成为“优雅且具有高效太阳能”的目的，提出了“BASE+”的概念，将公众的接受和认同作为其要旨，突破了“太阳能”生产的原则（图2）。

第二名：弗吉尼亚（University of Virginia, 48.521分）

弗吉尼亚方案的表皮系统在当时可算是特殊的一个，如图3所

表2 2011年SD竞赛评分内容（资料来源：整理自竞赛官方网站）

序号	评分项	分数	分项	分数	评分内容
1	建筑设计	100			建筑元素，包括尺度、房间比例、立面要素、室内室外联系；建筑和环境设计的整体性；自然光和灯光的设计；对参观者的启发；包括图纸、说明书、音像介绍等在内的文档资料
2	市场可行性	100			图纸、建筑计划书、建筑模拟视频及最终建筑的市场吸引力，要求针对特定的目标用户，考虑可居住性、可建造性和市场推广性
3	工程	100			能源系统的功能性，能源的有效利用，设计中的创新性，系统的可靠性，工程设计的文档管理
4	公众交流	100			通过网站、视频模拟与房间 VRML 游览及现场公共展示推广方案与观众交流
5	可负担性	100			预算评估，通过图纸以及建筑计划书评估造价，需说明能源的有效利用如何帮助消费者节省开销，同时太阳屋的造价成为评分的指标之一，造价等于或少于 25 万美元的太阳屋将获得满分，超过 60 万美元的将为零分
6	舒适度	100	温度	75	温度范围控制在 22℃~24℃
			湿度	25	湿度小于 60%
7	热水	100			10min 内可放出 15 加仑平均温度在 43℃的水，每周放水 16 次
8	家电	100	冰箱	10	1℃~4℃
			冷冻	10	-29℃~-15℃
			洗衣机	20	竞赛周内 8 次成功洗干净衣服，每次洗衣量相当于 6 条浴巾
			干衣机	40	竞赛周内 8 次成功将洗好的衣服烘干，每次干衣量相当于 6 条浴巾
			洗碗机	20	竞赛周内 5 次成功洗碗，每次洗碗量相当于 6 套餐位餐具
9	家庭娱乐	100	照明	40	整个夜间所有室内外灯光按最大照度点亮，足够照明的的工作区域以及在特定时间保证室内室外照明
			烹饪	20	竞赛周内成功完成 4 次模拟烹饪，每次烹饪任务为 2h 内蒸发掉 5 磅水
			晚餐聚会	10	举办两次邀请客人不多于 8 人的晚餐聚会，参赛队互评
			家用电子设备	25	在规定的时间内使用电视和电脑等其他设备
			电影之夜	5	邀请邻居来看电影，使用家庭影院，参赛队互评
10	能量平衡	100			参赛周内生产能量至少要满足使用量
总分		1000	19 个独立竞争项共包含 515 个评审团投票得分点和 485 个测评得分点		

示，他们采用从屋顶回收的铜覆层作为表皮，并且包含了从航运托板回收的雨屏，通过将木材研磨放入铝框中，多孔木板能够阻止大部分的雨水对于铜的影响。同样托板也被用来作为百叶窗，可以向下开启遮挡太阳光或者向上开启将光线引入室内，最为吸引人的是“智能墙”的中枢，它是一座大型的发光二极管墙，能够通过改变颜色反映室内温度。该队在设计与能量平衡两个单项中均获得第一名。

第三名：奥本（Auburn University, 840.33分）

位于美国阿拉巴马州的奥本团队的建筑方案受其传统民居启发并结合现代的设计，平面设计包括中央门廊和分为两半。同诸多南方建筑一样，它能够很好地引导气流通风，并且大量应用太阳能发电、采暖、热水、采光、节能窗等技术，创造高性能的太阳能建筑（图4）。在室内，其采用“太阳能扩大器”扩大日照采光面积，并采用大水箱起到调节温度的作用。

3.2 2005年前三名作品简介（总分1 100分）

第一名：科罗拉多（University of Colorado, 853.716分）

作为2002年竞赛的冠军，2005年该组同样希望融合传统，建立高效节能的家用太阳能体系（图5）。在方案中，大豆、玉米、向日葵、油菜籽、椰子等特殊的有机材料被用于许多构件与家具甚至是餐具中。他们推出生物结构的绝缘板BIO-SIP作为墙体材料，它和高性能玻璃的运用保证了住宅能源利用效率。同时，该团队用计算机模拟计算太阳能热水的热量需求，由两块太阳能板在南墙上收集冬季阳光；屋顶光伏系统与建筑一体化光伏檐篷能够在提供遮阳的同时供给电力；采用太阳能热水地板采暖，将房间分为3个区域独立供热，节约能源，热水箱通过模拟计算容积，同时满足生活用热水和采暖需求。

第二名：康奈尔（Cornell University, 826.039分）

一方面，该方案将建筑模数化处理，使使用者能够负担费用，且能够被工业化大量生产。另一方面，康奈尔大学的定制能量回收呼吸机（ERV）能够通过非常有效的通风减少额外的能量负担。但通风需要耗费大量的能源来进行空气的加热或除湿等，因此，ERV的关键在于旋转轮的材料采用硅胶，在夏季能够除湿后再进行空气处理，并能够被回收利用，有效降低了加热与冷却空气所需的能耗，成为整个设计成功的关键（图6）。

第三名：加利福尼亚理工大学（California Polytechnic State University, 809.13分）

“简单、根本、优雅”是加利福尼亚理工大学的设计口号。在设计中看不到许多高技的构件或是复杂的形式，不仅保证了所有构件能够通过一辆卡车进行运输，同时符合其被动建筑设计的策略（图7）。与许多团队尽可能采用各种自动化设施来武装建筑，该队希望通过用户的控制来提高建筑能效。这意味着建筑结合大量能够调节的窗户、遮阳和控制装置，便于用户根据实际天气条件及时调节。

3.3 2007年前三名作品简介（总分1 200分）

第一名：达姆施塔特（Technische Universität Darmstadt, 1 024.85分）

该队首次参加SD竞赛便夺冠，并获得建筑设计、工程、照明和能源平衡4项单项第一。如图8所示，其建筑设计简洁明了，房屋内部以简单的几何线条装饰。树脂玻璃单元构成了厨房、浴室和卫生间，也构成了房屋的核心部分，房屋的两端分别为卧室家具和座席区，这些简单的外观之中却隐藏着许多高技设备。房屋的表皮包括4层，每一层都能起到节能的作用。最外面的一层采用木制百叶结合光电板，这些百叶能够随着太阳的运动最大化地产生电能。

第二名：马里兰（University of Maryland, 999.807分）

该队项目名为“叶屋（Leaf House）”，灵感来自于树叶（图9）。在屋脊的木支架之上设置了铁制支撑，用以安装大面积的玻璃窗，便于自然采光。朝南的墙上采用绿色的植物墙。“叶屋”采用智能房屋系统SHAC（Smart House Adaptive Control）用以控制房间，使其时刻处于理想的舒适程度，并检测房屋的湿度、温度、光线等情况，甚至能进行天气预报。该项目还采用了室内瀑布，这是一套液态干燥剂墙构成的系统，起到控制房间湿度的作用。

第三名：圣塔克拉拉（Santa Clara University, 979.959分）

由美国圣克拉拉大学以及加州大学美术学院组成的加州大学队凭借“Refract House”的设计获得季军（图10）。该建筑采用动态智能，根据外部条件自动调节室内舒适度。电致变色窗户能够调节日照，另外，其采用吸收式制冷来调节室内热环境亦是方案的一大亮点。建筑能够通过电池向电网供电，当其回到校园中时，能够通过合适的变电器连接到学校电网，并将多余的电力出售。



图2

图3

图4

图5

图6

图7

3.4 2009年前三名作品简介（总分1 000分）

第一名：达姆施塔特（Technische Universität Darmstadt，908.297分）

该队2009年的方案吸收和延续了2007夺冠方案的优势，设计出发点是“关注建筑表皮”、“用尽可能多的新技术去推进建筑外皮的设计”（图11）。室内采用两层的方盒子形式提供开敞空间，屋顶40块单晶硅板和侧墙250块薄膜的铜铟镓二硒太阳能板组成了太阳屋的11.1千瓦光电系统，整个系统产生了比所需要多一倍的能源，这在参赛队伍中遥遥领先。立面围护结构中良好、干燥的隔热保温层使得室内保持了舒适的温度，自动百叶窗隔离了不需要的太阳能。

第二名：伊利诺伊（University of Illinois at Urbana-Champaign，897.300分）

伊利诺伊大学的方案设计出发点是传统建筑形式与新技术的结合，采用了美国中西部传统的斜坡屋顶，在立面上重新运用了谷仓木材。如图12所示，与采用水平屋顶以获得最大的太阳能板安装面积不同，坡屋顶太阳屋仅有一半屋顶朝向南面。墙面、屋顶和地面均采用接近30.5cm的高品质保温隔热材料填充；分层竹纤维结构比木材更结实并更环保；小型而高效的空气加热、通风以及空调系统被设计成更适用于家庭需求；特殊的热水供应系统可以同空气加热设施、通风设施和空调进行热交换；高效的发光二极管照明有效降低了电力需求。太阳能板产生出太阳屋所需要的4倍能量；分层的竹纤维结构将热桥降低至最少；运用低能耗的微波炉、洗碗机和冰箱等电器以及感应式水龙头。

第三名：加利福尼亚（Santa Clara University, California College of the Arts，863.089分）

该方案旨在将设计和技术结合形成一个优美的功能良好的太阳能住宅——折屋（图13）。它在20个入围的方案中造型非常具有特点，在平面上朝向南面弯折的建筑尽可能利用南向的朝向，而且使建筑内部空间看起来更为宽敞。建筑充分利用加州充足的光照，吸收太

阳热能的冷凝装置，通过辐射制冷板为室内降温。展示太阳屋运行状态的监控系统通过苹果手机能让用户在任何地方控制屋内的温度和照明；设计了用以浇灌园林的中水系统；室外窗户采用low-e中空玻璃，附带隔热膜以及氟或氩充气隔热；吸热装置多余的热量用于给水加热。

4 小结

2002~2009年美国太阳能十项全能竞赛共举行了4届，吸引了全球范围内72所高校、12 000名学生参与，产生了若干专利，并已经诞生了5家新的公司，越来越多相关的企业参与到赞助商队伍中，公众影响力持续增加。基于在欧洲推动太阳能利用和可持续建筑研究的想法，通过马德里理工大学、西班牙驻美大使馆和美国能源部有关代表的协商，于2010年在西班牙马德里开始举办首届“欧洲太阳能十项全能”，简称SDE，中国的同济大学和天津大学参与了此次竞赛。随着欧洲太阳能十项全能竞赛的开展，美国和欧洲每年轮流进行的该项活动将进一步扩大其影响力，得到更为广泛的关注。

SD竞赛为太阳能住宅和低碳住宅的探索提供了平台并且起到了很好的推进作用。从往届的竞赛方案来看，太阳屋面积不大，通常住宅建筑设计简洁而技术占据很大的比重，尤其是新技术、新材料的运用在竞赛中起到很重要的作用。如何提供更加人性化的空间、尝试更为大胆巧妙的技术手段获取更高效的太阳能资源，使得材料、电子技术与建筑更加一体化是历届竞赛始终探索的要点。作为建筑师，了解各项技术的利弊并不懈努力加以协调运用，使组合效率得以提升，获得最优的解决方案，是始终要努力追求的。AT

注：文中所有图片与其它资料均由竞赛组委会和官方网站提供，具体可见美国太阳能十项全能官方网站 <http://www.solardecathlon.gov>、欧洲太阳能十项全能官方网站 <http://www.sdeurope.org/>。



图8



图9



图10



图11



图12



图13