

基于BIM的可持续设计在黑瞎子岛植物园项目中的创新实践

The Innovative Practice of BIM-based Sustainable Design in Hei Xia-zi Botanical Garden

撰文 苏昶¹ 王万平² 苏骏¹

1 上海建筑设计研究院有限公司 2 上海现代建筑设计（集团）有限公司

摘 要 通过介绍基于BIM的参数化技术在黑瞎子岛植物园项目设计中的创新实践，借助于一系列的三维软件及相关技术手段和方法，解决了项目本身空间关系复杂、全过程协作等难点问题。同时，通过建筑信息模型的建立，更好地完善了设计、施工等多家项目参与方之间的数据共享与传输，探索并实践了真正意义上的BIM思想。

关键词 黑瞎子岛植物园 BIM 参数化 曲面造型技术 设计优化 数据交换 项目协作

1 工程概况

黑瞎子岛植物园位于中俄边境的黑龙江省抚远县黑瞎子主岛上，黑瞎子岛是中国最东方的位置（图1），于2008年正式回归，具有重要的战略和经济地位，作为黑瞎子岛战略性开发的第一步——黑瞎子岛植物园，是首个在岛上兴建的民用公共建筑。

将确定曲线唯一性的变量设为运算器的输入条件，这样建筑专业既可以继续开展诸如网壳表皮细分、室内外空间规划等深化设计工作，结构专业也可在Midas中导入BIM衍生的模型进行诸如考虑几何非线性的屈曲分析和在Ansys进行同时考虑材料非线性和几何非线性



图1 黑瞎子岛地理位置

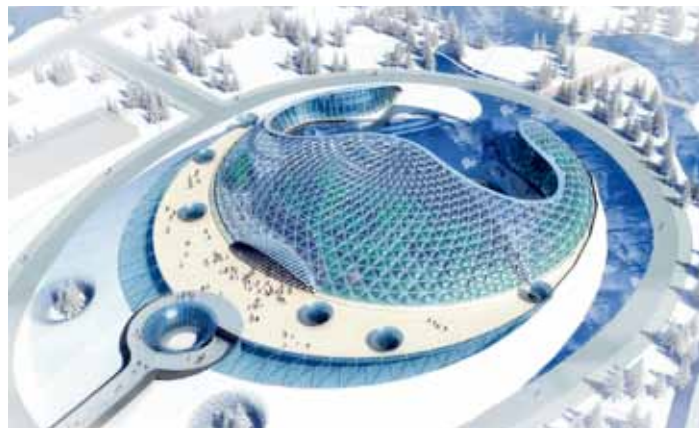


图2 黑瞎子岛植物园

2 建筑形态的优化处理

黑瞎子岛植物园取寓于东方升起的太阳，内院呈环抱东方之势，内部引入环境水系，整体为椭球体局部，形态完整（图2）。植物园地上部分为半径75m的圆，内院呈曲线状；建筑最高点为20m。建筑造型新颖，具有一定的不规则性。

通过对方案造型的分析，此类造型容易遇到曲面收敛点问题。如果曲面结构不合理，不仅造型光滑度受损而影响视觉感官，而且曲面收敛点位置往往也是应力集中突变的区域（图3），如果处理不好到了施工安装环节甚至会直接导致预制件加工失败。

结构工程师同时也认为单层网壳计算除满足规范规定的强度、刚度计算外，还需要验算网壳的稳定性。靠近椭球表面中心的部分对于单层网壳的整体稳定计算起到控制作用，同时也是结构设计重点和难点，此处较为平坦，很难形成很好的拱度。

为了找到一条既符合建筑美学又满足结构合理性的网壳基线，

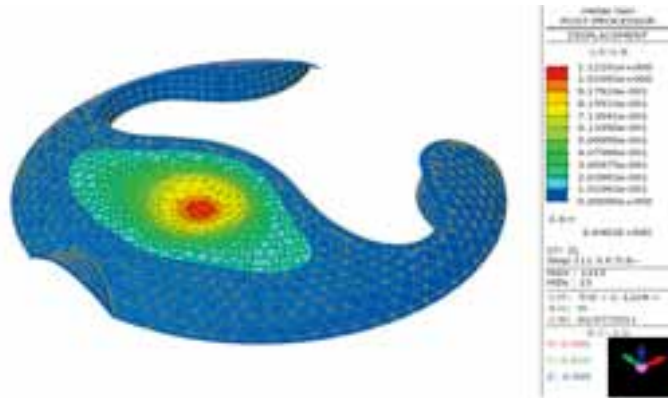


图3 屈曲分析

性的屈曲分析。结构计算所得的结果输出后只需在运算器中替换输入条件就能实时地反馈在建筑深化模型上，便于理解和沟通（图4，5）。最可贵的是借助BIM起到的桥梁作用，建筑和结构两个专业各自在原有工作上向前迈进一步，在这个过程中改变了以往相互反复等待对方提交资料的情况，由流水作业转变为平行作业，大大提高了效率。

3 网架构造形式优化

曲面表皮划分无论使用何种方法都必须考虑曲面等参线的特点（图6）。本项目由于收敛点问题，在其附近会出现杆件排布过于紧密的情况（图7）。设计师巧妙地将单体内院立面做倾斜处理，形成相对独立的内院环境。这样做的好处是既合理地组织流线，使这幅曲

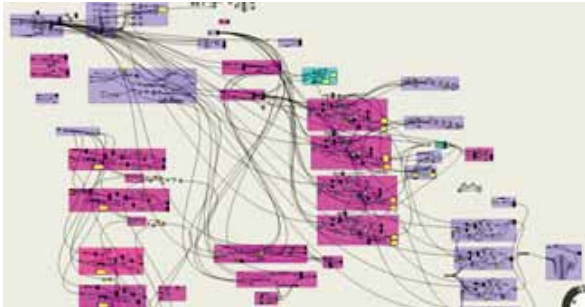


图4 Grasshopper运算器

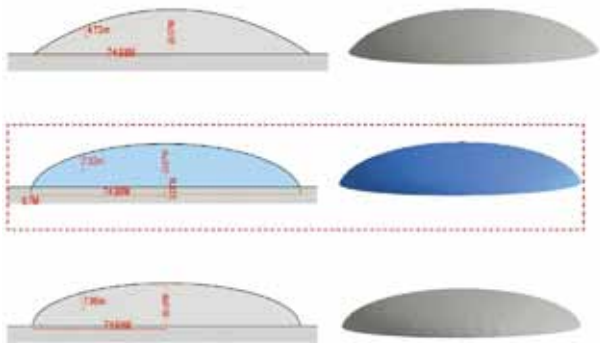


图5 体型优化

面幕墙成为室内植物园的室外展示部分，而且可以将收敛点消失于造型之外。之后，通过配合图形算法编辑器生成不同的网架形式供设计团队比较评估，选择了结构最为合理的网架形式（图8~10）。

4 日照辐射优化

项目中之所以使用ETFE膜替代传统玻璃幕墙的围护体系，主要出于植物对高透光性和保温性的需要。设计师遵循以植物为本的指导思想，以植物需求定位建筑物的朝向，从而获得充足的阳光。Ecotect是方案阶段可持续设计最常用的定性分析软件，但复杂建筑造型在跨环境交换下数据难免有损。计算网格划分费时费力而且调整周期长，影响方案推敲的实用性。

为了更好地配合设计主业提升设计品质，设计团队使用一种暂称为“基于可持续设计的参数化找型”的BIM衍生技术（图11），即在造型环境下直接调取当地的气候数据，设定计算参数，自动生成

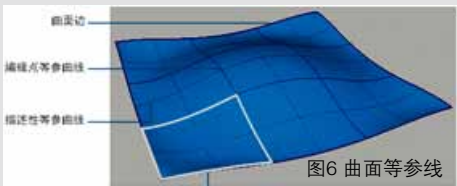


图6 曲面等参线

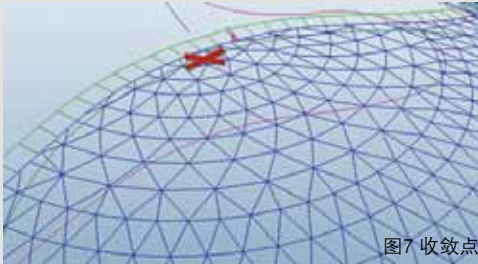


图7 收敛点

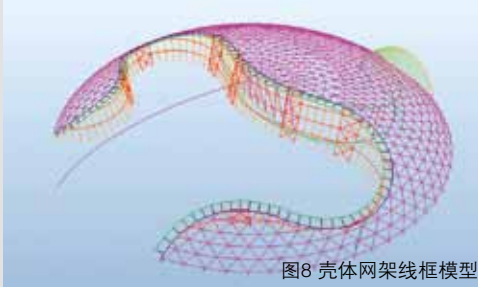


图8 壳体网架线框模型

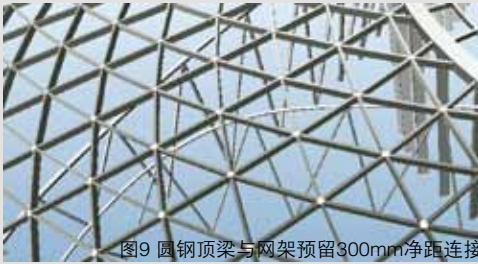


图9 圆钢顶梁与网架预留300mm净距连接

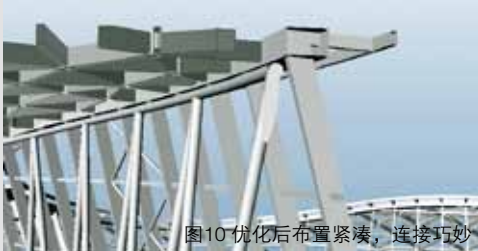


图10 优化后布置紧凑，连接巧妙

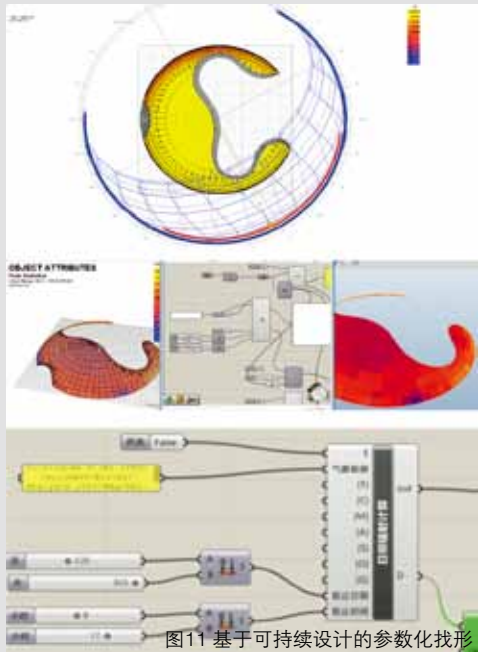


图11 基于可持续设计的参数化找形

计算网格，网壳表面每块膜材的物理量能以颜色和数值随建筑造型的调整实时更新反馈，甚至用这些反馈的物理量驱动建筑造型的自生长。由此，热带植物区和暖温带植物区就能设置在日照最充足的部位，可操作性更强，建筑师更能从容拿捏感性和理性的平衡点。

5 室外风环境优化

黑瞎子岛位于东经134° 27'，北纬48° 17'，海拔高度81.2m。结合CFD技术模拟计算室外风环境，进一步调整建筑朝向，从室外风速矢量图（图12，13）可以看出夏季主导西南风，此时底部窗户和ETFE膜同时开启，引导空气向室内导风，加强室内自然通风效果；建筑椭球体表面使得室外风自然分流，绕建筑两侧前行，并在椭球中后部出现边界层分离，两股气流交汇前行。整个建筑外部区域没有出现大的旋涡和气流死角，很好地避免了热量堆积，及时将建筑外部余热带走，避免产生局部热岛效应；同时也避免了旋涡区域空气停留聚集，加强了建筑外部通风换气，营造了一个良好的室外风环境。

6 室内通风与空气调节优化

展览温室是由人工控制的、展示生长在不同地域和气候条件的植物及其生存环境的空间。而不同地域和气候条件下的植物要求不同的生存环境，为此，采用空气调节技术对展览温室内部环境进行调节。即通过科学技术手段，以空调、采暖、通风等技术措施来模拟展览植物原生长地的温度、相对湿度、通风状况和CO₂浓度，再造展览植物的原生长地生态环境，营造植物健康成长的室内环境，同时保证全年公众观园游览的舒适性。

在夏季和过渡季节，采用可开启ETFE膜进行自然通风，同时顶部适当遮荫，满足夏季植物区降温要求；在建筑下、中部设置可开启侧窗引风，顶部天窗排风，开窗面积为建筑面积的14%，利用室内外温差所造成的热压以及室外风力所造成的风压来实现自然通风换气，这一过程不仅引入了大量室外新风提高了室内舒适程度，同

时使室外风通过温室植物区，带走温室热量，达到自然通风降温的目的，大大降低了建筑空调能耗。

从室内Z=1.5m标高平面自然通风矢量图来看，室外风通过外窗和可开启ETFE膜进入室内，外窗和可开启ETFE膜起到很好的导风作用，促使室外自然风进入室内各植物区，为植物呼吸带来新鲜空气的同时，带走室内热量，使得植物处于一个适宜的热湿风环境下，保证植物的健康成长；同时，室内各区域自然风在各植物区域流动畅通，没有出现大的旋涡和气流死角，避免了污浊空气和粉尘在房间内聚集，及时将其排出室外，保证了植物区和人员活动区域的空气品质。

展览温室是以热带、亚热带及其他具有特殊气候或地域的植物种类为主要对象，根据植物生长需求，夏季植物区温度保持35℃以下便可不影响其生长，所以从节约能源出发，并征询了有关植物学专家意见，温室内仅人行道局部区域由空调进行控制，保证游人区域适当的舒适性。人行道空调送风采用全新风机器露点送风，夏季新风处理到温度20℃。

1.5m高度是人体活动的重要范围，其范围内的温湿度直接关系到人体舒适。为此，此区域的风速和温度需要重点考虑。图14给出了1.5m标高处室内温度分布云图，从图中温度分布来看，人体主要活动的道路范围内，温度基本维持在23℃~26℃左右，这一范围正好能满足人体的舒适性需求；而道路两侧的温度相对较高一些，平均约为28℃~30℃左右，这一温度范围也是植物生产需求的合适温度区域。

从温度分布云图还可以看出，路面下送风形式仅仅对温室内人体活动的小部分范围（道路）进行局部空气调节，保证人体舒适性，同时也达到满足植物生产的合适温度需求。这样设计的路面“置换式（通风）”送风形式不仅达到了设计目的，而且起到了很好的节能效果。新鲜空气从开启的门窗进入，利用热压通风和风压通风实现自然通风，排出的空气在中庭上空汇合，从顶部可开启膜拔出。中庭天窗出口空气在太阳直接辐射作用下温度进一步升高，同时反作用于出口处，加强了天窗拔风效果。

从剖面温度分布（图15，16）来看，路面下送风置换式通风形式取得的效果更为直观、更明显。室内出现了明显的温度分层，梯度十分明显。下部1~2m范围内为人体活动区域，其温度控制在23℃~26℃范围内；这一范围内空气在吸收室内余热余后温度升高、密度将小，热空气慢慢上浮，与室外风一起汇合从屋顶天窗导出。室内人体活动的范围形成了一个相对的“低温空气湖”，不仅很好地满足了人体的舒适性需求，同时达到了明显的节能效果。

7 雨雪荷载解决方案

由于项目地处高寒地区，膜结构的雪荷载融雪构造深化尤为重要。本项目外形上没有一根雨管，所有在表面形成的雨雪在重力作用下顺着膜夹片兼扫雪天沟导向建筑底层的雨水收集渠。以往工程中，膜结构等专业公司在设计阶段只提供常规的通用节

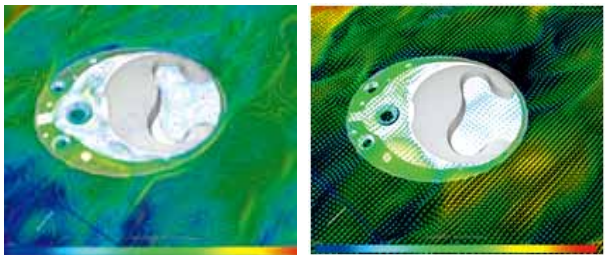


图12-1 风速矢量图

图12-2 风速云图

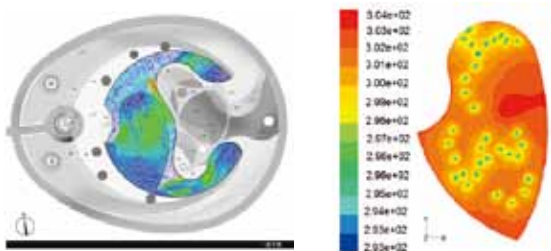


图13 CFD模拟

图14 室内温度分布云图

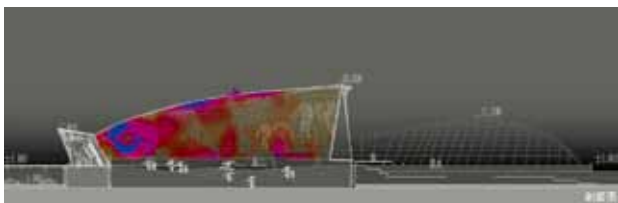


图15 CFD模拟剖面温度分布图

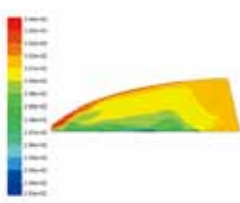


图16 温度分布图



图17 膜结构装配



图18 模型局部剖切节点



图19 排雨雪解决方案与膜结构二次设计结合

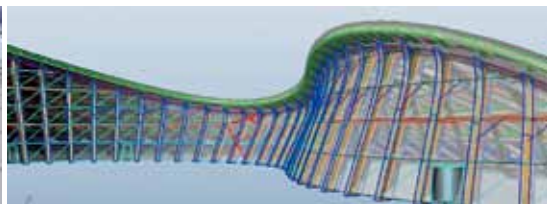


图20 玻璃幕墙、金属幕墙及结构龙骨装配

点，大部分的节点构造都是在施工安装过程中发现再临时增补的。这种边施工边设计的方式对于设计总包单位而言很难保证最终交付成果的品质，对业主而言也不利于项目质量、进度和造价的控制，后期还会衍生诸如协调管理成本增加、互相推诿等次生问题。这个项目中BIM团队协助设计团队和膜结构专业公司前后解决了节点错漏、施工构造二次设计、曲面造型上膜结构节点错边拼缝等问题（图17~19）。

8 幕墙表皮优化

由于本项目内庭幕墙独特的创意和生长肌理，首先对这幅幕墙进行重塑，使其曲面流向与结构构造吻合，也更有利于幕墙深化的需要。但是，如果按常规思路，内庭幕墙势必是由许多单双曲面的玻璃组成的。本着对业主和社会资源负责的态度，必要的成本控制和技术优化是不能忽略的，首先我们尝试将每块幕墙玻璃拍平，即在相邻立挺间设计一系列鳞片状的单元式幕墙，但是这导致每片玻璃至少有一个点不在拟定的幕墙完成面上，其中误差最大的地方达

27mm，而一般幕墙安装允许的误差只有 $\pm 5\text{mm}$ 以内。随后我们又尝试三角形的幕墙形式，这样每块玻璃的端点就能和既定幕墙完成面贴合，这幅呈环抱东方之势的幕墙被随曲面韵律舞动的立挺装饰所包裹，在内院水系的映衬下形成独特的效果。这样的创意使幕墙安装单位日后不需要定制一块曲面玻璃一根曲线龙骨就能达到预期的立面效果，在现有技术和造价上保证了施工质量（图20）。

9 结语

尽管工程建设领域的可持续性设计在中国尚处于发展早期，但是对于致力于可持续发展的中国来说已经变得尤为重要，“绿色建筑”不仅仅是一种风潮，更应该是一种现实的需要。除了贯彻绿色建筑的理念，在整个设计、施工、运营等各阶段全面采用能帮助实现“可持续性”标准的三维技术。凭借BIM，以更为精确的方式可视化、模拟分析该项目在未来世界的真实表现，从而为客户减少不必要的成本消耗，减少施工过程中和建成后的碳排放量，在细节中确保绿色设计的尽善尽美。AT

参考文献

- [1] 百度百科.BIM建筑信息模型[OP].
- [2] MCGRAW-HILL.ConstructionSmartMarket Report. 建筑信息模型——设计与施工的革新，生产与效率的提升[R].2009.
- [3] CLIVE ROBINSON. Structural Bim:discussion, case studies and latest developments[J].Struct. Design Tall Spec.Build,2007(16): 519-533.
- [4] CHUCK EASTMAN, et al.BIM handbook[M].USA: John Wiley & Sons, Inc,2007.
- [5] 云朋.ECOTECT 建筑环境设计教程[M].中国建筑工业出版社, 2007.
- [6] 周培德. 计算几何：算法设计与分析（第3版）[M].清华大学出版社, 2008.

投资方：黑龙江省农垦总局建三江分局

设计单位：上海建筑设计研究院有限公司（方案、扩出、施工图设计）

主要设计人：袁建平、苏昶、谭春晖、金欢（建筑），苏骏、王万平、陆扬、陈芳（BIM）

获奖情况：2011年“创新杯”BIM设计大赛（建筑设计类二等奖、工程设计类二等奖、协同设计类一等奖、绿色设计类二等奖）



苏昶

作者简介

苏昶，男，2002年毕业于浙江大学建筑系。现任上海建筑设计研究院有限公司第三建筑所主任建筑师，国家一级注册建筑师。主要代表作品有：复旦科技园、黑瞎子岛植物园、合肥滨湖国际会展中心、上海世博会中国馆等。

王万平，男，现就职于上海现代建筑设计集团，专门从事BIM等数字化技术的研究与应用工作。

苏骏，男，工学硕士，计算结构力学专业，现任上海建筑设计研究院有限公司数字建筑集成设计与咨询中心主任。