奥雅纳：建立水立方

专供T. Chen使用，2018年。

  正如我们今天所知，水立方是建筑师和工程师并肩工作的结果。 没有这种合作，Bubble Box就不可能实现。

-Mark Butler，PTW建筑事务所前副总监兼高级设计师

2009年6月7日在希思罗机场着陆时，奥雅纳校长和高级结构工程师崔斯特拉姆卡尔弗考虑了即将到来的晚餐，他已经飞行了12,000英里。在奥雅纳悉尼办公室的另外四名成员的陪同下，Carfrae在伦敦参加了皇家工程学院颁奖晚宴，届时将宣布第40届麦克罗伯特奖得主。该奖项首次颁发于1969年，旨在表彰工程领域创新理念的成功发展，并被视为该领域最负盛名的奖项之一。北京国家游泳中心，广为人知的水立方，是四个入围奖项之一。工程公司Arup与位于悉尼的建筑公司PTW Architects和中国建筑设计院（CCDI）合作设计了水立方。

一个看起来像一盒泡泡的水上运动中心，水立方已经赢得了一些有声望的奖项（见图1）。它在北京近代的巨大影响源于它在反映中国传统的同时高效利用自然资源的方式。其设计目标包括环境，社会和经济可持续性。该结构在工程和建筑领域设置了新的标志，并挑战传统的思想，即更高的质量需要更大的投资和更长的设计和建造时间。

该团队的多学科虚拟样机和整体设计方法在设计和建筑行业中是一种新方法。拥有不同专业培训，文化背景和个人愿望的专家们紧密合作，共同打造这座标志性建筑。为了在演讲中讲述他将在颁奖晚宴上发表的演讲，Carfrae开始思考可以吸取哪些经验教训，无论是对于该公司将执行的其他项目还是整个工程和建筑行业。

奥雅纳

奥雅纳爵士于1946年由奥雅纳爵士创立，六十年后奥雅纳聘用了超过10,000名专业人士。最初在伦敦和都柏林设有办事处，该公司已扩大到在非洲，美洲，大洋洲和欧洲大陆设立分支机构，并于2009年在37个国家设有90多个办事处。 （奥雅氏在世界各地的办公地点见图2，奥雅氏办公地点见图3）这是一家私人公司，没有外部股东或投资者.a尽管2008年经济形势严峻，其收入仍然继续增长那一年达到了11亿美元.b它一直名列行业顶级公司，既是首选的商业合作伙伴，也是首选雇主。

在二十世纪六十年代初期，该公司创建了奥雅纳协会，旨在展示革命性和当时多学科总体设计的争议性概念。 Arup Associates是一个基础广泛的设计实践，在一个工作室内集成了建筑，结构工程，成本咨询，城市设计和产品设计。从一开始，它就试图通过给予团队内不同学科的同等重视来提供高质量的服务。在同一个十年期间，奥雅纳在澳大利亚悉尼开设了一个办事处，负责设计成为该国最具象征性建筑之一的建筑设计：悉尼歌剧院。该项目于1973年完工，并与巴黎蓬皮杜中心等其他突破性建筑一起确立了该公司在创新方面的声誉。

在该公司的第四个十年中，奥雅纳将可持续发展作为其工作方式的一部分。对能源使用，效率和节能的日益关注导致低能耗设计的额外要求。 1987年，奥雅纳环保集团成立，公司对这一问题的承诺正式化。次年，澳大利亚悉尼足球场又创造了另一个创新结构。凭借其尖端设计和革命性的弧形斜拉屋顶，体育场成为奥雅纳在南半球的首个主要体育设施。

大约在同一时间，Arup Australasia拥有300多名员工，其中包括工程师，规划师，项目经理以及各种专家，包括管理顾问和软件开发人员。该公司曾在多个获奖结构中工作过，并多次被该领域的领导者引用，不仅在该地区，而且在全球范围内。到1993年，奥雅纳和PTW一起参与了悉尼国际水上运动中心的设计工作，该中心将举办2000年夏季奥运会的游泳和跳水比赛。正是这种参与使得这两家澳大利亚公司成为北京举办的2008年第二十届奥运会设计竞赛的强力候选人。

北京和第29届奥运会

第二十九届奥运会倒计时开始于2001年7月13日，当时莫斯科国际奥委会选择中国首都举办2008年奥运会.1次年底，北京国有资产管理公司（BSAM）已成为国家游泳中心的提名所有者，届时将举办游泳，潜水和水球比赛。这是在新闻发布会上宣布的，该新闻发布会也启动了游泳中心的国际设计大赛。 Carfrae表示：“中国监管当局向国际参与者开放竞争的事实具有重大意义。”与去年的两个奥运城市不同，2004年的雅典和2000年的悉尼为外部参赛者保留了大门，北京试图吸引有经验的设计公司为世界级的奥运场馆创造条件，并为中国首都的问题提供创新解决方案。来自众多工厂和燃煤电厂的空气污染日益严重，交通量增加和交通堵塞，水资源短缺，村庄向城市迁移不可阻挡以及城市持续扩张等问题只是需要解决的一些挑战。奥运专区 - “奥运绿色”的名称并不令人意外。

水上运动中心的国际竞赛鼓励中国设计公司寻找西方合作伙伴，反之亦然。双向搜索将奥雅纳，PTW建筑事务所和中国建筑工程公司（CSCEC）结合在一起。 “我们派一些人到北京去探索与当地公司合资的可能性，中国国家派代表前往悉尼，”巴特勒回忆道。 “最终，奥雅纳和PTW建筑事务所在悉尼奥运会游泳设施方面的经验以及PTW Architects参与雅典第二十八届奥运会的经验，使得它们成为中国建筑工程公司，比赛当时是中国最大的建筑公司。该联盟成立于2003年初。随后，中国建筑国际招聘了中国建筑设计国际（China Construction Design International，CCDI），这是一家位于上海的建筑公司，也是中国建筑集团的子公司。

包括澳大利亚，丹麦，法国，德国，希腊，荷兰，英国和美国在内的12个不​​同国家的33家设计公司和设计联盟参加了竞赛.2经北京市政府批准，10家设计公司/财团被选中继续进行最后一轮.3奥雅纳集团，PTW建筑师和CCDI组成了10个团队。团队有10周的时间提交最终设计。由中国和国外的设计师和操作专家组成的小组进行组装，以选择前三名的设计。获胜者将通过公众投票决定。

国家游泳中心的设计必须满足奥运要求，其中包括一个50米的比赛池，一个33米长的跳水池和一个50米的热身池。主要的泳池大厅有17000个座位，整个设施不得不满足奥运期间所需的一切操作。奥运会结束后，主泳池大厅将减少至7,000个座位，并增加其他设施，使水上运动中心成为至少50年寿命的设施。建设工程将于2003年底前开始，至少在奥运会前六个月完成，以便有充足的时间进行试验性竞赛。此外，该设计需要符合北京奥运会在世界级场馆举办最佳“绿色游戏，高科技游戏和人类游戏”的雄心壮志。最后，它必须满足北京市政府希望奥运会后最好的奥运游泳场地可以成为一个受欢迎和使用的休闲和训练设施的目标。它还希望在奥运会之前花费不超过1亿美元，并且花1000万美元转换为公共设施传统模式。

概念阶段

Arup，PTW建筑师和CCDI团队很早就同意Aquatics Center应该描绘人类与水有关的方式。 中纪委将其四名建筑师派往PTW悉尼办事处，使协作更顺畅，更快捷。 他们协助合作伙伴跨文化交流设计理念，克服语言障碍，为中国高级官员编写文件。 联盟中的三家公司都发现了四名中纪委代表的作用。

在这个阶段，来自不同学科的专家对建筑表达了他们的期望。 “Carfrae解释说：”这个项目和其他项目之间的显着区别在于，我们汇集了所有学科的工程师，并在建筑设计开始前开始集思广益。“他继续说道：

从机械角度来看，我们可以做的最好的事情是建立一个隔热的温室。这将是最节能的解决方案。灯光人士表示，他们想要很多日光，但不能直接进来，因为它可能会从水中反弹而使人难以看清。在结构上，我们认为由于建筑物的大小，它将是钢铁。但是，我们也尽可能地尽量减少腐蚀环境的影响。理想情况下，支撑元件既不在室外，也不在泳池大厅内。然后我们有了声学，我仍然认为它对最终结果有很大的影响。我们认为，“你怎么能让游泳中心听起来很好？”水和所有的瓷砖对声音都非常反光，如果我们要建造一个温室并用玻璃来追求这个选择，那么它就会变得更响。那么，我们应该用什么来代替玻璃？这是我们第一次说ETFE.c

最初为航天工业开发的乙烯四氟乙烯（ETFE）自1983年以来一直是一种产品，但从未用于主要建筑物。 “当时，”Carfrae指出，“它在德国和荷兰的小型项目中越来越受欢迎，并且已经在伊甸园项目中使用，但这实际上是一个真正的温室，而不仅仅是一个外壳。 ，我们也意识到慕尼黑的安联体育场正在走上正轨。它的整个外墙将由ETFE空气面板构成。“塑料材料ETFE的特点对团队已经达成的设计理念的各个方面做出了响应。它将为温室理念提供一种具有成本效益的解决方案，其透明度意味着充足的日光。 ETFE能够抵御阳光和污染空气的腐蚀作用这一事实可以完全回收利用，并且每次下雨都会彻底清洁自身，这些都是说服团队继续使用颇具创新性的材料的其他因素。

现有设计比赛的前几周还花费在开发团队成员提出的不同概念上。巴特勒详细阐述说：“我们玩过各种与水有关的形状。我们有像冰山，波浪，肥皂泡，甚至瀑布的形式。其中一些想法很快就被拒绝了，但还有一些想法仍在继续发展。“然而，团队创造的概念似乎并没有占主导地位，设计合作伙伴在最终形式上争取达成共识。大约在同一时间，联盟被告知需要做出的改变。为了释放更多景观空间，最初的矩形结构区域必须减少30％，从而留下建筑物的平方英尺。

逐渐出现了两个主要概念。 描绘冲浪力量的波浪形结构是由PTW建筑师推动的，而他们的北京同事则倾向于采用腐蚀的矩形形状。 “在我看来，”巴特勒说，“有两个阵营：中国设计师坚持以正方形为基础，PTW的建筑师开发了一个曲线绚丽的建筑。”詹姆斯作为VectorChemilce代表，曾在中国建筑工程有限公司担任项目经理和业务发展经理的Vector Foiltece代表评论道：“中国和澳大利亚设计师之间有些紧张。”另一位中国建筑师协会专家补充道：“这是几乎就像两个设计过程同时进行。 CCDI团队秘密工作，悉尼的建筑师们正在做他们自己的事情。“北京的建筑师认为这个波浪形的建筑不适合文化，并且试图用另一种设计来保护自己。 “中国设计师心中知道，这个想法（来自PTW）不会赢得比赛，并希望有一个备用计划，”一位CSCEC代表总结说。

由于提交截止日期之前剩下的时间有限，因此必须及时作出决定。 PTW的内部分歧导致最终表格的一致性进一步复杂化。巴特勒回忆说：“由于我们的团队似乎分成两组，所以决定设计是非常困难的。 “一些高级职员显然支持曲线设计，而另一些人并不完全相信这是一个成功的建议.f我们如何继续下去并不十分清楚。显而易见的是，我们的中国设计合作伙伴变得越来越焦虑，希望得到解决方案。“

这是国家体育场蜿蜒的鸟巢设计揭幕，推动球队冒险一切，并在比赛截止日期前四周进行完全不同的概念。“当我们看到鸟巢的红色弯曲结构时，我们知道我们将会是蓝色和正方形的，“Carfrae回忆道。国家体育场将在邻近的水上运动中心的场地上，这两个场地由受保护的历史轴线隔开，与北京的紫禁城隔开。在截止日期前四周举行的紧急设计会议上，团队成员一致同意放弃最初的设计理念。据CSCEC工程师介绍，PTW的常务董事John Bilmon在此阶段扮演了至关重要的角色，因为他“说服悉尼的建筑师走向新的方向”。最终，设计团队同意并继续前进。 “考虑到花费时间和精力开发本身就是高质量解决方案的时间和情感投资，将波浪形建筑投入垃圾箱是一个了不起的困难时刻，”奥雅纳水立方项目负责人Rob Leslie-Carter说。管理团队。

在同一次会议上，小组同意水立方概念的主要组成部分。这座建筑将与国家体育场并肩而坐，反映了中国文化的阴阳概念.h水立方将力图塑造人与自然和谐相处，这在中国文化中是人生的终极祝福。该团队还同意平屋顶 - 这象征和平与稳定的特征。 Leslie-Carter解释说：“从已经在早期竞争理念上进行的规划工作中，我们知道需要整个方形场地来满足客户的要求，从而有效地为建筑物设置一个平方英尺。”当时同意立方体的概念将吸引中国人对典型美的理解方式 - 这是一种微妙的，发人深思的设计，代表了平静而不受干扰的水的美丽和宁静。作为鸟巢令人兴奋的能量赋予和阳刚的形象的对应物，水立方将呈现出宁静和情感上的吸引力，不断变化的情绪响应人们，事件和变化的季节.4

Carfrae提供了拼图游戏的最后一部分，他进行了广泛的研究，以了解结构将如何或应该居住在太空中。这类似于如何将空间划分为相等体积的单元格以及它们之间的最小面积。这项研究是由于两层ETFE包层需要提供足够的绝缘材料。这使得结构可以放置在两层ETFE之间形成的空腔中。由于结构是唯一占据这个洞穴的东西，Carfrae对它应该怎么做感兴趣。搜索将他带到了Weaire-Phelan泡沫结构中，这是当时最为人所知的解决方案。（有关几何结构及其在水立方中的应用的更多信息，请参见图表4）。这与自然界使用的结构相同活细胞，矿物晶体，甚至肥皂泡。 “我们突然想到，”Carfrae说，“它不仅会看起来像泡沫，而且整个结构的几何形状将基于气泡的几何形状。”他发现了经常性的自然结构几何创造了水立方结构，以及它的外部和内部外观。

从概念到模型

水立方的尤里卡时刻在设计比赛过程中迟到了。尽管如此，这个团队的背后是一个他们认为可以赢得国际设计竞赛的理念，并且这个理念满足了一个顶级的可持续水上运动中心的所有建筑和工程要求。竞赛以一种对竞争法官和投票公众都有吸引力的方式表达了这个想法。在比赛的最后三周内，这个概念必须完全以三维数字化的方式进行建模，并创建一个物理模型。 “由于方形和泡沫结构，我们之前讨论过的所有想法都汇集在一起​​。我们现在必须做到这一点，“巴特勒说。

设计竞赛的规则要求建筑物的物理模型要呈现。 IT专家和3D技术人员尝试使用不同的数字模型来概念化。几何图形首先通过3D CAD软件包中的手动重复方法生成为线框模型。然后编写脚本将近似的物理构件尺寸和连接添加到中心线。一种称为快速原型的技术被用来从虚拟设计中构建物理模型.

与建筑设计受结构边界限制的传统方法不同，水立方试图证明结构可能是设计的一个要素。 Leslie-Carter指出：“这是第一次使用这种方法制作出如此复杂的物理模型。事实上，尽管有时间限制，但我们能够在截止日期截止之前成功完成交付是由于一个完整的团队努力。工程师，IT专家和建筑师们聚在一起建立了一个协调的建模系统。“水立方的实体模型于截止日期前三天于2003年6月17日送达中国首都。由来自世界各地的52位卓越设计师，专家和学者组成的国际小组评估了10份提交材料。经过九天的封闭式评估后，北京国际展览中心选择了三种设计供公众观看：由美国公司RafaelViñoly建筑事务所设计，由上海设计研究院设计，以及由联盟设计的水立方设计。最终，Arup，PTW Architects和CCDI的设计是国际设计大赛的明显赢家，获得超过100万票的公众 - 超过其最近竞争对手的10倍票数。

将愿景转化为现实

赢得设计大赛后，联盟面临重大挑战。 Leslie-Carter说：“这个概念本身就具有巨大的影响力。 “它基于坚实的工程因素，但许多概念都非常尖端，以至于仍需要多个研究和开发流程来向中国监管机构和我们自己证明设计。”

比赛前的建设预算包括非灵活的开始和完成日期，建设奥运场馆1亿美元的固定预算，另外还有1000万美元用于将其转化为具有培训和商业空间的休闲设施在奥运后。资助该项目所需的相当一部分资金来自捐赠。该大楼将由国有BSAM全资拥有和经营。以非营利模式运营，奥运后设施预计将产生足够的收入，运营至少50年。

设计合同规定了设计合作伙伴之间的分工，Arup和PTW建筑师主要参与概念和设计阶段，并负责将设计移交给中纪委以制作施工文件。这种安排部分是由于客户努力通过从北京本地采购详细设计和现场监督元素来限制总体费用报价。奥雅纳提出的在建设过程中保持监督作用以确保设计意图得以实现的建议被中国合作伙伴认为是不必要的成本，并没有得到同意。最重要的是，设计团队必须将一个非常雄心勃勃的概念转化为完整计算所支持的开发设计，并在四个月内向中国当局提交。

“高科技”水立方

设计和文档图纸的开发需要团队成员之间的大量合作。各种学科通过定制开发的脚本和工具来开发整个模型和设计图纸。奥雅纳团队使用了一种名为建筑信息模型（BIM）的技术。 BIM有能力将建筑信息附加到3D数字模型，从而允许建筑师，工程师，承包商和各种利益相关者之间无缝交换信息。使用BIM创建设计过程各个阶段的3D表示并模拟真实世界的表现，从而简化过程并提高设计解决方案的质量。水立方项目中与BIM相关的主要问题包括概念设计，结构优化，热力性能，机械系统操作，照明分析，火灾和烟雾建模，图纸生成以及生成材料采购过程中使用的投标文件。

在比赛阶段，3D建模被用于分析几何数据并生成结构的物理模型。在为设计竞赛创建了中心线3D数字模型之后，结构工程师不得不发明一个全新的程序，以便迭代执行多个详细分析以确定梁，柱和相关结构部件的合适尺寸。该建筑物需要22,000个钢梁单元通过大约12,000个球形节点单元连接。 “由于所有元素都是相互关联的，”Carfrae阐述说，“改变一个元素的大小会影响其他21,999个元素的大小。为了在数学上解决这个问题，你需要一台前一年的计算机的支持。我不是指大学里超级强大的计算机，而是像我们这样的工程公司的普通计算机。“6迭代过程确定了每个钢铁元素的最小尺寸，以使其满足所有设计要求并导致最小结构重量.7这种新颖的结构优化技术在竞争获胜后四个月特别有用，由于北京政府的预算缩减，水上运动中心的规模必须从194x194平方米减少到177x177平方米。通过BIM，所有事情都能及时重新排列，原有设计中所包含的所有组件都不会被淘汰。该程序还允许团队成员之间轻松交换3D模型，以便共享信息。由于可以使用相同的几何数据构建不同的虚拟样机，并由不同的专家同时考虑，因此设计团队可以实现更高效和更好的协调设计流程，从而通过最佳使用材料提高建筑性能。 （参见图表5了解过程的图示。）

在随后的施工阶段，作为BIM设计流程的一部分，开发了一个辅助施工图的转换程序。它保证了结构分析中的所有元素都被转移到软件包中，从而生成所需格式的施工图。“我们使用的软件是商业可用的，可以由任何感兴趣的人购买。然而，我们的优势是，我们的一些IT专家非常了解它，并且可以编写脚本来帮助我们以一种创新的方式使用它，“Arup高级3D技术员Stuart Bull指出。该程序在不到半个小时的时间内对整个结构进行建模，而不是手动完成这个工作所需的几个月，并且从该集成模型中，设计团队能够提取最终文档图纸的高程，剖面和细节。它还允许客户，潜在承包商和机械专家以他们所需的格式查看建筑物的不同部分。公牛总结说：在项目中使用这种技术的能力是最重要的。在过去的四到五年里，软件和硬件变得越来越强大，使我们能够更快地完成许多事情。如果没有这些技术和我们的IT专家的脚本编写能力，我们将无法做到这一切。我们实际上曾尝试过一次手动绘制一幅图。我们花了三个小时，而我们所做的只有一面墙。因此，要在25分钟内实际重现整个水立方模型，并以正确的顺序排列正确的设计特征，这几乎是难以置信的.BIM还允许悉尼建筑师和工程师之间不断交换信息。 “由于我们的信息系统非常相似，”巴特勒指出，“我们可以轻松地相互交换文件。”建模软件还确保将建筑信息移交给中国设计师，以正确的格式在截止日期前完成在原始合同中指定。

“人民”水立方

几乎在奥运会期间，北京国家游泳中心预计将有20,000人参与使用，其中包括运动员，官员，辅助人员和观众。这意味着建筑必须在不牺牲奥运体验的情况下以最小化风险的方式进行建造。

消防和幕墙工程由于非常规结构和创新的ETFE材料，证明设计提供了可接受的安全水平，这是一项特别具有挑战性的任务。由于水立方没有遵循中国建筑规范的规定要求，设计团队采用了基于绩效的方法来说服中国当局，该建筑将是安全的.9玛丽安娜弗利，水立方的首席消防工程师和高级Arup的副经理解释说：“基于性能的设计方法是在不常规或复杂建筑物中提供适当水平的防火安全的首选方法，这些方案不包含在传统的规范建筑规范中。”尽管ETFE具有有效的绝缘和声学特性，可燃物和中国建筑法规不允许使用高度易燃物质。弗莱详细阐述说：“我们需要向中国当局证明，如果发生火灾，ETFE燃烧的水滴不会在人们的头上下雨，那么烟雾将从屋顶排出，人们将会安全。”事实上， ETFE的主要特征是其能够在火灾中收缩，从而将烟雾排出建筑物外。

应用基于绩效的方法涉及复杂的分析，研究数据的使用以及向中国设计合作伙伴和中国监管部门提交的多个演示文稿。 “与北京当局进行谈判对于获得他们的批准非常重要，”Foley说道，“中纪委对我们的谈判非常协助。”消防工程设计是第一个获得消防工程批准的奥运场地，并为该地区的其他奥运项目

设计安全11安全问题超出了水立方的结构。奥雅纳的项目管理团队致力于探索在水上运动中心建设期间可能发生的风险活动，并确定设计合作伙伴如何遵循“安全设计”方法来降低事故风险。其中包括编制能够提高安全意识的文件，并提出建设和维护的计划和合理的方法。 “设计安全”旨在确保在设计阶段尽可能消除或控制异常的风险和危害（如奥运后对内部装修和维修中涉及高空工作的危害）。

“绿色”水立方

水立方的设计就像一个巨大的温室。领导奥雅纳可持续发展集团的高级协理Haico Schepers解释说：“从第一天开始，我们想建立一个温室。由于泳池的热量依赖性很强，我们希望利用太阳能，而不是传统的方式来密封箱子，并使用化石燃料从内部产生热量。“这种效果是通过将建筑物覆盖在ETFE垫子上实现的，捕获20％的太阳能落在建筑物上。阳光的力量将被用于被动地加热建筑物和泳池水.12 ETFE垫子还将允许大量自然光照射入建筑物。据估计，休闲游泳池的热能消耗降低了30％，人造照明需求减少了55％。

除了减少能源消耗外，Schepers和他的团队还试图最大限度地保护水资源。北京地区的水是一种有价值的商品，中国的首都缺乏有效的水回用和循环系统。根据奥雅纳可持续发展集团提出的计划，从屋顶集水区，水池反冲洗系统和陆上水流收获的水的80％将通过纳入水敏感的城市设计原则进行再利用和回收利用。Schepers指出：“我们在尽力减少对当地供水系统的依赖和压力。“

为了评估建筑不同部件的可持续性，奥雅纳公司使用了一种名为可持续项目评估程序或SPeAR®的评估工具。 SPeAR®从四个方面对项目进行评估：自然资源，环境，社会和经济。该工具还提供了改进建议（见图6）。 SPeAR®在水立方中的应用部分得益于北京市政府的要求，该政府要求建立一个长期的水上运动中心，该中心将在后奥运模式下运行至少50年，具有生态性，并且能够经济地维持自身。

除了结构边界之外，水立方还促成了中国首都的“绿化”，作为催化剂，鼓励人们更有效地消费，并渴望改善其城市的环境条件。它也是本地和外国设计师争取更可持续设计解决方案的鼓舞人心的先例。根据莱斯利 - 卡特的观点，它可以作为“从传统的巨大共产主义建筑到未来的垫脚石，更多的是关于节约资源和建设更精细，更可持续”。

管理项目

奥雅纳创始人奥雅纳奥雅纳推出的“总体设计”概念是基于从项目任务开始时就涉及所有专业设计和工程学科。这被认为有助于开发一个设计过程，在这个过程中所有的设计方面都被彻底考虑。从概念上讲，每个项目都会被许多不同的学科仔细考虑和评估，有助于确保项目总体目标得到满足。将所有必要的技能和技术汇集到一起，可以在运营成本，能源效率以及从设计阶段到职业后期的环境质量方面优化建筑。 （传统设计与总体设计之间的比较见图表7）。“全面设计”的部分设想还包括让客户参与到设计过程中，并与他们建立密切的关系，这些关系将在项目完成之后继续下去。

水立方的设计基于“整体设计”方法。奥雅纳团队包括80多名工程师和专家，分布在澳大利亚（悉尼），中国（北京），香港和英国（伦敦）等20个学科和办事处。奥雅纳，PTW建筑师和CCDI的专家在设计过程的早期加入了工作，并继续合作，直到设计图纸交给中国合作伙伴的过程的后期。 “同时包括所有的学科，”莱斯利卡特指出，“有巨大的好处。

但是，这显着增加了项目的复杂性。这些不仅来自专业，还来自文化差异。“

为了应对与“全面设计”方法相关的挑战，水立方的工作分为四个主要的独立但平行的流程：（1）设计，（2）产品研究，（3）利益相关者参与，以及（4） ）商业问题，如范围，合同和费用，这是奥雅纳项目管理团队的责任。在Leslie-Carter的带领下，该团队由具有扎实技术背景和良好发展的人际关系和领导能力的项目经理组成。 Leslie-Carter解释说，

那些在日常设计中合作的人不必介入可能更为混乱的合同和商业对话。同时，谈判不应该影响设计关系。因此，我们的工作是协调这些设计流程，并确保它们都以最终的共同目标汇聚在一起。

在选择水立方设计后不久举行为期两天的研讨会期间，奥雅纳的项目管理团队制定了实施计划，并制定了战略以解决由于工作的综合性质而产生的挑战。其中一些策略包括传达明确的愿景，创建安全的设计环境，以及界面和文化管理。 （参见图表8了解实施计划战略的完整列表。）

创建一个安全的设计环境

四个设计流程部分建立起来，可以让技术人员获得更多自由，并消除特定关键人员（如高级工程师和员工）的潜在任务负担。莱斯利卡特指出，“我们的专家正在处理材料和结构，在某些方面是相当新颖的。以ETFE或消防工程或结构优化为例。这意味着我们必须让我们的人民获得进步的自由，并能够失败并再次站起来。我们必须给予某些人一定程度的自主权，以便他们能够完成工作。“

这个策略也是项目管理团队对另一个因素的认可，这个因素对于设计活动的顺利性被认为是重要的。 Leslie-Carter继续说：“就团队动态和领导力而言，这些人通常会抵制被领导，抵制工作时间，并且不喜欢集中管理结构。领导力必须表现出他们的尊重。“因此，项目管理团队专注于为这些人提供一个安全的设计环境，让他们可以进行实验并保护他们免受管理问题的困扰。例如，专家项目经理负责内部报告，商业问题和技术界面的协调。

接口管理16

设计团队所面临的挑战包括整合和协调项目的许多界面 - 涉及需求冲突的多个利益相关方。协调运动员，官员，贵宾，媒体，广播公司，劳动力队伍，赞助商和观众的要求是一项复杂的任务，需要微妙的平衡。借鉴奥雅纳在伦敦希思罗机场5号航站楼的先前工作，项目管理团队引入了“界面管理”策略，将水立方划分为基于物理和时间边界的“容量”，如项目容量注册表中所述。每卷都由一个子项目团队拥有。当任何事物触及或跨越界限时发生界面。最初，高级和低级别界面被识别并记录在一个注册表中，并召开了涉及所有相关方的定期界面协调会议。

界面管理方法在内部和外部均适用。外部接口分为四组：

•物理：两个或更多方面存在物理相互依赖关系的共同点或平面。物理接口的例子是地下服务或管道路线。

•功能性：存在性能依赖性的双方之间的关系。示例包括电源要求和数据连接。

•组织或合同：双方在范围划分或合同责任存在的情况下的关系。一个例子是土木工程和建筑景观文件之间的接口。

•运营：双方在划定运营责任方面的关系。例如，维修设备在保修期内由操作员进行维护和更换。

接口管理成为奥雅纳项目管理团队最重要的职能之一。根据Arup项目经理的说法，“在短期内，消除接口错误意味着文档准确而快速地交给中国设计合作伙伴。从长远来看，我们相信，它在目前的行业实践中产生了最大的可能节约之一。“

管理文化差异

设计团队的一个重大挑战来自两种不同文化的互动。在联盟内部，CSCEC在原始设计合同中确定CCDI和PTW的角色，部分解决了挑战。通过交换熟悉两种文化的专家，克服文化差异。它们不仅有助于克服语言障碍，而且有助于弥合整个项目中规范，实践和期望方面的文化差异。最后，由所有设计合作伙伴的代表出席了内部会议，以决定小组处理差异的方法。

这些会议还侧重于维护合同协议以及尽量减少与联盟范围之外的文化误解相关的风险。北京缺乏监管透明度，不同的工作方法和基于关系的商业文化是设计团队在项目环境中认为具有挑战性的因素之一。项目管理团队还确保与政府和奥运官员等中国利益相关方的所有互动涉及尽可能最高的服务质量，无论是在发放材料还是派员直接与这些不同利益相关者会面。奥雅纳北京和香港办事处备受尊敬的高级工程师参与了审批流程的每个关键阶段。

建筑设计中的静悄悄革命？

2009年6月9日，第40届MacRobert奖授予奥雅纳水立方的工作。根据评审团的资料，水立方以三项标准超越其他入围者：创新，商业成功和社区效益。

北京国家游泳中心诞生于虚拟的协作世界。计算机辅助协作使全球的设计团队能够在短短六个月内完成设计。水上运动中心的设计，测试和优化的程度使得最终的建筑信息模型直接用于建筑，而不是以前的项目，其使用仅限于概念阶段和优化。虚拟样机的革命性使用是一个里程碑。它证明每座建筑不再需要在地面上进行测试，而是在施工前使用BIM在虚拟的数字世界中分析和优化所有的表演。 “气泡盒”为每个人带来了智能解决方案。 ETFE板的作用类似于隔热的温室捕集热量，让其轻盈并节约用水。

在奥雅纳的内部，水立方产生了一个满意的团队，并加强了对“全面设计”的承诺。该项目取得了财务上的成功，该公司获得了可以接受的利润，尽管在开展快速项目方面存在相当大的风险与国际合作伙伴和利益相关者一起参与涉及开创性设计技术和材料的项目。一些新的方法，如结构优化和多学科虚拟样机已经用于其他项目，包括吉萨大埃及博物馆，新加坡滨海湾大桥，悉尼国王街码头和纽约富尔顿街交通中心市。奥雅纳在中国的水立方和该公司参与的其他奥运项目为该地区的未来扩张提供了平台。自2000年以来，奥雅纳从香港传播到上海，深圳再到北京。 2009年，奥雅纳在中国设有八个办事处，该公司全球员工中有25％驻扎在中国办事处。

更广泛地说，“气泡盒”改变了外国设计师与中国合作伙伴合作的方式。一位Vector Foiltec工程师解释说：“直到北京水上运动中心的典型情况是，那些大牌的外国建筑师会以傲慢的态度来到中国，他们必须遵守，并且当地的中国公司应该成为他们设计的仆人想法。水上运动中心的团队没有发生这种情况。这不是进入中国的品牌个人，而是真正的合作关系。这不仅仅是一种伙伴关系，它是共同领导。“

水立方设计融合了很多人的许多想法。这些想法并没有完全形成，而是通过具有不同技能，不同观点和不同文化背景的专业人员之间的互动而形成的。通过不断的讨论和合作，他们变成了无缝设计。 Carfrae评论道：“回想起来，将任何一个想法或部分想法归咎于任何一个人是不可能的。 “这不是一个单一作者的设计，而是一个授权和管理良好的集体的工作。或许令人惊讶的是，这样一个过程应该导致建筑物的目的非常明确 - 利用最少的资源创造一个令人愉快的场地，一箱游泳的气泡。“

在将这一想法变为现实的过程中，水立方也挑战了传统观念，认为更高质量需要更大投资，尽管存在众多风险，但在合同规定日期之前完成。用奥雅纳专家的话来说，“它正在为建筑设计创造一场安静的革命，并证明可持续发展不再是一种矛盾。”它对公司的影响是什么以及如何最好地利用和管理它，这些都是问题Carfrae和他的团队仍然需要回答。