

“水立方”变“冰立方” 体育场馆不分冬夏一馆多用

哈工大团队新技术助力冬奥会，降低体育场馆运营成本，将向全国推广

□本报记者
万佳

从2月2日北京冬奥会首场冰壶混双循环赛开始至今，哈尔滨工业大学教授陆诗亮一直关注着变身“冰立方”的国家游泳中心，自豪感一直在心里升腾。“水立方”变身“冰立方”凝聚了哈工大多个团队的研究成果。为了在水面上安装可拆卸冰面，哈工大土木工程张元教授的团队创造性地提出了冰水转换赛场的结构方案、设计详图、性能指标和评价体系；为了减少微小震动对冰壶运行轨迹的影响，土木工程学院副教授丁勇带领团队设计了结构安全健康监控，实现对冰面影响因素的全过程监控。而保证室内温度恒定，给“水立方”顶棚安上“窗帘”的是建筑学院教授陆诗亮团队。

中国首例、世界独有
科研团队独家详解“冰立方”变身

冬奥会上，“冰立方”受到各方关注。“它的内部环境是等差温度，身处场馆的不同位置，温度会有不同：冰面的温度要保证在-5℃以下，提高冰的硬度来保障运动比赛要求；1.2米以上则使温度控制在5℃以上；到观众席的位置，则要保证温度在10-12℃以上，使观众有最佳的观赏体验。”陆诗亮说，团队设计的天幕是保障室内环境等差恒温的“幕后英雄”。

“水立方”最初设计的房顶是半透明式的，这样能更好地将自然光引进馆中，增加室内亮度。但是如果改成冰上项目，半透明的房顶会导致冰面温度发生剧烈变化，影响比赛效果。“我们就是在棚顶中间，研究安装一层遮挡物，将自然光线遮挡掉，通俗地说就是给它拉上一层可移动的‘窗帘’。”陆诗亮说。

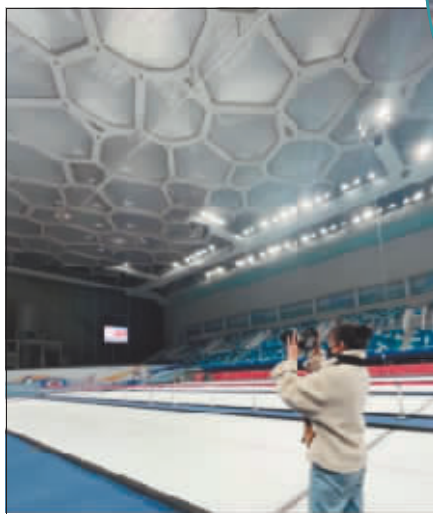
陆诗亮20多年一直专注于冰上体育建筑领域，从设计、生产到科研，其所在团队在全国体育场馆设计领域一直走在前头，曾设计过大连体育中心、亚洲杯大连比赛中心、十三届、十四届全国冬运会冰上场馆等国内重大体育比赛赛场，积累了丰富的设计经验。

正是因为冰雪体育建筑方面的成就，2019年，受冬奥组委会委托，对“水立方”进行整体环境改造，邀请到了陆诗亮团队。“这个改造项目难度巨大，组委会对如何将游泳馆高温高湿的环境变成冰壶场低温低湿环境精准控制没有把握，于是邀请了北京院、清华和我们等国内顶尖的多家建筑设计机构参与。”陆诗亮说，在进行改造之前，团队首先进行了实地调研顶棚遮阳问题。大家知道，“水立方”原来的屋顶采用的是白色ETFE膜，现在的任务就是找到一个合适的材料进行遮挡。经过团队反复模拟，最终选择一种厚约0.26毫米的pvc膜材，这种材料又薄又轻，既能起到遮挡作用，又能对室内温度湿度进行调节，还美观不突兀。

材料选定了，其次就是在哪放、如何放的问题。“‘水立方’上方顶棚有六七米高的层高，这六七米的距离之间夹着两层顶棚膜，中间是金属结构。我们就是利用两层膜之间的金属结构空间铺设一层遮挡物。”陆诗亮说，而且，这层膜并不是一张平整的大网，而是由几百块“小窗户”组成，需要安装人员一块一块整齐精准地排列好。

实施过程对科研团队来说也充满挑战。研究人员需要站在几十米高的顶棚爬高测量、安装测试仪器。经过半年多的努力，到2021年年中该部分改造项目全部完成。经过科学监测，改造后实现制冰节能20%至30%，满足冰上大型比赛要求。

“遮挡物安装完毕后，真的就像给窗户拉上了窗帘，场馆的温度明显下降，并且有效降低热辐射对制冰系统运转的负荷。”陆诗亮说，这种改造模式不仅是中国首例，在世界上也是独一无二。



科研人员用热成像仪观测“冰立方”顶棚温度分布。

白色设备为辐射表，用来测量太阳辐射量。

收集全国冰上体育馆数据
水立方里的顶尖科技
将推向全国

“这种改造的好处是冬奥会过后，场馆还能恢复成原来的样子，不改变原场馆使用功能。”陆诗亮说，未来“水立方”将实现双轮驱动，既可以举办国际级别的游泳赛事，也能够举办大型冰上赛事。

一馆多用，尤其是从水上项目到冰上项目的大幅度改造，这在过去是从来没有过的。如果能把这种模式加以推广，那么将让全国体育场馆受惠，迅速走上科技节能之路。正是基于这一初衷，受国家科技部委托，陆诗亮团队又和同济大学、北京建筑设计院联合进行体育场馆可持续运维的研究。陆诗亮先后派遣二三十名博士、硕士、博导等科研人员分别赶赴黑龙江、北京、新疆、内蒙古、福建、四川等省市15个冰上项目场馆进行数据收集工作。

研究人员在收集数据时发现，各个场馆在运营时管理千差万别。比如，有的场馆将冰面温度控制在-5℃至-7℃之间，而有的场馆将温度控制在-6℃至-9℃，不同温度每小时耗电量是不一样的，温度高低直接影响冰面硬度。

“过去，场馆运营管理没有一个统一的模式，管理团队有的也不够专业，管理模式多是粗放式的。”陆诗亮说，研究人员收集场馆的几乎所有数据，每一个场馆收集的数据多达200多项，比如场馆空间、高度、能耗、管理人员、运营成本、场馆开放时间等。回来后整理到数据库中在进行提取、建模、分析等后续工作。

接下来，团队还计划收集10个至15个场馆数据，计划在半年内全部完成数据库建设。“经过整理人员的进一步整理归纳和研究，可以看到各个场馆的运行状况，以及其控制的主导因素，最后总结归纳成十几个至二十几个板块，这些核心板块成为控制一个体育场馆的关键。”陆诗亮说，这些要素控制好，就能为体育场馆建设提供充足的借鉴和指导。未来这些数据最后会整理成文字、策略，对外分享。

“以哈尔滨为例，就解决了体育场馆单一使用功能的问题，使一个体育场馆可以一场多用，而且通过大数据实现低碳环保可持续管理运营。”陆诗亮说，通过科学规划管理，使管理成本大大降低。

加速拥抱体育建筑多元化时代
细分的同时边界无限延伸

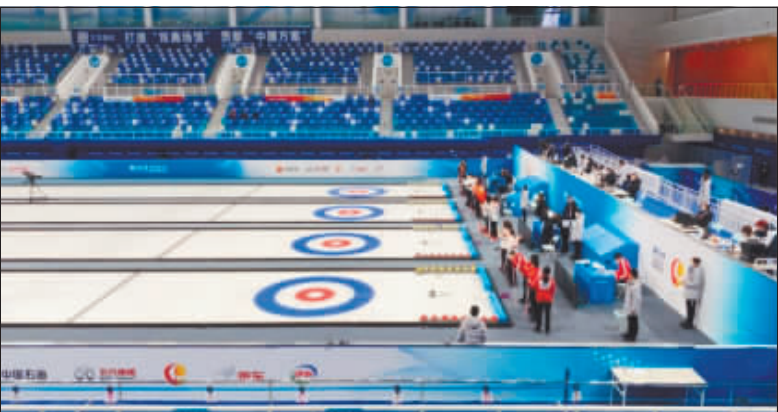
20多年来，陆诗亮一直专注体育场馆设计、运营，陆诗亮亲眼见证了中国体育产业翻天覆地的变化，同时也看到了中国体育场馆多元化时代的到来。“过去中国体育场馆很少，一个城市可能只有一个体育馆。设计难度也很大，因为需要满足大跨度、大空间的设计要求，需要多专业互相配合。”陆诗亮说，最近这些年，国家大力支持体育产业发展，尤其是各地体育场馆建设。如今各地体育场馆建设呈高速发展的趋势，建设数量和规模是之前的四五倍之多。“从模式、到技术、到理念，体育产业发生了巨大的变化，我们的目的就是使体育建筑真正走向民间”。陆诗亮说，以前的体育场馆是高高在上的，只在专业比赛时才开放。当然，当时的考虑是运营成本高，一旦开放，支出太多，一个小时几百几千的费用。现在主张可持续运营模式，就是尽量降低运营成本，打1个小时球，可能二三十块运营成本就够了。也就是说，从过去粗放型的运营管理到如今精细化、科学化运营管理，让更多人受惠。

如今，体育场馆的分类更加专业、清晰、细化。城市综合体、专业场馆和社区健身休闲场所、全民健身中心、专业足球场等都针对不同的运动人群。“比如，过去足球场一般是足球和田径混合，仅2021年全国各地出现了八九座专业足球场，这是过去从来没有过的。”陆诗亮说，专业足球场对观众来说更加友好，观看更清晰，感受更直观，同时也跟国际模式接轨。

体育场馆多元化不仅体现在分类更加精细，更体现在边界无限延伸。“它可以是一个复合多元的综合体，它既可以体育运动，也可以餐饮娱乐，甚至可以购物，满足一家不同消费需求。”陆诗亮说，像网球、高尔夫、马术等高端运动场地也将不断出现，而且价格亲民，几百块钱能体验一下。观众的观赏体验更佳，舒适、温湿度适宜，服务更加到位。



在“冰立方”顶棚两层钢结构气枕间敷设遮挡膜。



国家游泳中心“水立方”内部实景图。