

顶棚安“移动窗帘”、游泳道“变身”冰壶道……哈尔滨科研团队助力“水立方”变身“冰立方”，实现世界独有复合型“双奥场馆”循环利用，并推动全国体育场馆“一馆多用”走上科技节能之路——

水立方
冰立方

冰城“水冰转换”黑科技推向全国

本报记者 万佳文/视频制作

从2月2日北京冬奥会首场比赛——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，自豪感在心里升腾。

承办冰上比赛项目，是国家游泳中心“水立方”的首次。从高温、高湿的“水立方”变成低温、低湿的冰上项目“冰立方”，并不是将室内温度降低到结冰那么简单。“在不破坏原有建筑结构的基础上，我们和北京市建筑设计院、清华大学等多家国内顶尖的建筑设计研究机构联手，按照‘水冰转换，双轮驱动’的策略，开展了结构、温度、湿度、照明、声学等方面的攻关和改造，使‘水立方’实现‘冰场—泳池’复合型‘双奥场馆’循环利用。”参与改造项目的哈工大土木工程学院教授张文元说。

“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，张文元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测，实现对冰面影响因素的全过程监控。而为了保证室内温度恒定，给“水立方”顶棚安上“窗帘”的是哈工大建筑学院教授陆诗亮团队。



国家游泳中心“水立方”已在冬奥期间转换为“冰立方”。

A

中国首例 世界独有

冰城科研团队“水冰转换”助力冬奥

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，使观众有最佳的观赛体验。”陆诗亮说，我们团队设计的天幕是保障室内环境等差恒定的“幕后英雄”。

“水立方”最初设计的房顶为半透明式，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‘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列，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场馆，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，于是邀请了我们和北京建筑设计院、清华大学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”原屋顶采用的是白色ETFE膜，我们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，美观不突兀，既能起到遮挡作用，又能对室内温度湿度进行调节。

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6—7米的高，这6—7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，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，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%—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。

白色设备为辐射表，用来测量太阳辐射量。



科研人员在安装表面热电偶，用来测量增速太阳膜后的顶棚表面温度。

科研人员用热成像仪来观测“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。

B

一馆多用 顶尖科技

“水立方”模式将推向全国

“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，即既可以举办国际级游泳赛事，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。而且，2022年冬奥会每一座场馆的新建、改建，都凝聚了来自全国各地科研团队的最新科技成果。一个“水立方”改造项目，实际上凝结了目前中国最顶尖的科技成果。改造成功后，如果能把“水立方”模式加以推广，就能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，受科技部委托，陆诗亮团队又和同济大学、北京市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、四川等省市区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再进行提取、建模、

分析等后续工作。

接下来，团队还计划收集10—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。

因为受制于行业壁垒、商业秘密等因素影响，体育场馆数据库建设之前无论是在国内，还是在海外都是从未进行过的。此次陆诗亮团队通过各种方式突破行业壁垒，相当于给全国体育场馆亮家底、排位次。让那些管理不善的体育场馆管理人员向高效运营场馆借经验学习。

“以哈尔滨为例，哈尔滨有许多体育运动场馆，但许多场馆的功能都是单一的，游泳馆只能游泳，冰球馆只能打冰球，如果“水立方”模式可以复制，那么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馆多用，而且通过大数据实现低碳环保可持续管理运营。”陆诗亮说，比如，过去制一块冰需要2度电，而通过科学规划管理，可能只用1度电就够了，使管理成本大大降低。甚至在科学精准计算的前提下，还可以举办多种大众冰水融合娱乐活动。



“水立方”改造后外景图。

C

政策扶持 科学管理

加速拥抱体育产业多元化时代

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产业多元化时代的到来。“过去中国体育场馆很少，一座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，不仅如此，过去中国人均体育场地仅1.05平方米左右，可以说大部分人基本没有健身锻炼的场所。现在上升到人均2平方米，但这个数字跟国外相比，还是太少了。跟我们邻国日本相比，他们人均体育场地达到17平方米，是我们国家的8倍多。

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，再到理念，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。现在我们主张的可持续运营模式，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模式到如今精细化、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体育场馆分类更加精细，更体现在它的边界也在无限延伸。“它可以是一个复合多元的综合体，它既可以用于体育运动，也可以用于餐饮娱乐，甚至可以购物，满足不同消费需求。”陆诗亮说，像网球、马术等高端运动场地也在层出不穷，而且价格也开始亲民，几百块钱能体验一下。观众的观赏体验更佳、更舒适，温湿度适宜，服务更加到位，观众看冰上比赛不会冻得瑟瑟发抖。

“在国家政策的大力扶持下，中国体育产业将迎来高速发展期。让体育健身融入到每个人的生活中。”



扫“冰城+”二维码看视频

在“冰立方”顶棚两层钢结构构架上安装辐射表。

