



## 国家速滑馆正式对外开放，总工程师详解——

# “冰丝带”的科技范儿

刘 晓 彭元元

近日，北京冬奥会标志性场馆、唯一新建冰上运动场馆国家速滑馆“冰丝带”正式对外开放。北京冬奥会上，各国运动员在此创造世界纪录并多次刷新奥运纪录，高亭宇实现了中国冬奥男子速度滑冰金牌“零的突破”。

除了近距离接触“最快的冰”，公众还可以在开放后的“冰丝带”中领略科技的神奇。对外开放期间，“冰丝带”以模型等方式立体展示国际领先的二氧化碳跨临界直冷环保制冰技术以及索网幕墙等具有创新意义的硬件建设成果，彰显绿色、科技冬奥和北京“双奥之城”发展风采。

北京城建集团总工程师、国家速滑馆总工程师李久林在接受采访时说，“冰丝带”在场馆策划和设计之时，便考虑到满足所有冰上运动需要。科研团队从设计理念、技术工艺、材料选取、施工技法等多个方面都实现了创新和突破。“冰丝带”将成为集体体育赛事、群众健身、文化休闲、展览展示和社会公益五位一体的多功能体育场馆。

### 创新制冰技术

走进“冰丝带”，曾见证多项新纪录的冰面最受游客青睐。据统计，“冰丝带”开放首日，仅上午入场的游客中就有近1000人上冰体验。

李久林说，建设团队在整个研究和建设过程中，始终把“最快的冰”作为最重要目标。

“影响‘最快的冰’的因素很多，其中一个最重要因素就是冰面的质量和温差。”李久林说，在“冰丝带”制冰过程中，建设团队采用了多项技术，包括首次研发和应用二氧化碳跨临界直冷制冰系统。

“最早设计采用的是使用R507制冷剂、乙二醇载冷剂的制冰系统，这个技术跟国际上常用制冰技术一样。后来，围绕‘最快的冰’和绿色低碳目标，创新了二氧化碳跨临界直冷制冰系统，这套制冰系统不但将节能环保GWP（全球变暖潜能值）由最初将近4000降为1，同时还能控制冰温。”

李久林说，为了让“冰丝带”的冰更快、更好，团队还采取了很多措施，比如通过激光扫描与建筑信息模型进行比对，检验、保证冰场下12万米不锈钢制冰管道处于精准位置，让冰温更均匀。为保证冰板混凝土平整度，采用激光测量技术，使1.2万平方米冰场平整度偏差从原来5毫米验收标准最终达到最大不超过3毫米。

“整个冰场温差原来理论极限值是0.26摄氏度，通过几次制冰检验达到0.5摄氏度冰面温差以下。当然还有风速、湿度等一系列因素的管控，包括基于数字孪生场馆室内环境的精

细调控，所有这些都为打造‘最快的冰’作出了贡献。”李久林说。

### “天幕”索网国产化

除了上冰体验外，游客还可以在“冰丝带”开放期间，按照场馆方设计的路线，在场馆内外感受“冰丝带”的建筑之美，拍照“打卡”。

“冰丝带”之美，首先美在外观。李久林说，“冰丝带”的建设注重绿色环保低碳理念，采用了高性能结构体系，通过索网结构实现大跨度屋面建造目标，只用几百吨索网就编织出大型场馆屋顶。通过拉索充分发挥材料性能，使索网像网球拍一样扣到速滑馆的屋顶上。

“冰丝带”屋顶的“天幕”采用了全世界体育场馆里最大、最扁的椭圆形单层双向正交马鞍形索网。李久林说，单层双向正交索网，加上环桁架和幕墙斜拉索体系，是第一次创新采用的技术。

“高矾密闭索过去长期依赖进口。依托国家速滑馆重大工程，我们和国内厂家及相关单位共同研究攻关，首次实现索网国产化。目前，国内大量工程都采用了国产高矾密闭索，使得材料从价格到供货期都已经大大压缩。”李久林说。

如此复杂而宏伟的索网是如何搭建的？李久林介绍，团队做了大量的数字仿真，在计算机里模拟整个过程，并在实验室里进行了1:12模型试验，把索网建造过程模拟出来。整个索网体系张拉成形，非常巧妙，而计算机则控制这些设备实现同步张拉。

“在国家速滑馆建设过程中和建成后，我们通过1100个传感器对数据进行监测，比如在屏幕上能够看到

北京大风大雪天气时整个屋面的反应。”李久林说。

### 玻璃材料节能环保

“冰丝带”这样一个大玻璃房子，会不会像玻璃大棚一样夏天很热、冬天很冷？时值盛夏，北京户外最高温度超过35摄氏度。艳阳高照的正午，“冰丝带”场馆内仍十分凉爽。

“冰丝带”的冬暖夏凉，离不开如水波流动般玻璃幕墙的“保护”。李久林说，“冰丝带”选用四层夹胶中空玻璃作为材料，实现节能环保的建筑效果，再组合场馆中的遮阳帘、自然通风系统，实现节能环保。

每到夜幕降临时，“冰丝带”外玻璃幕墙流光溢彩。李久林说，如何实现飘逸灵动的建筑效果，实际上是曲面玻璃如何兼顾多个方面的问题。

“在设计方面，我们通过平曲玻璃的耦合分析，使所有玻璃的弧度都一样。通过曲面玻璃和平面玻璃的组合，减少工程建造难度，从而实现飘逸灵动的建造效果。”李久林介绍，针对保温、光污染等问题，团队也做了非常详细的研究，实现了既兼顾建筑效果，又节能环保。

“在场馆建造安装玻璃时，我们也做了包括数字模型在内的大量技术工作，通过激光扫描把所有实际结构和形状都扫描进去，再跟玻璃单元板块拟合，最终实现了飘逸灵动的建筑效果，既实现了三星级节能环保的建设目标，又实现了建筑工艺美术学新高度的建造效果。”

### 打造智慧场馆

“冰丝带”是一座智慧场馆。李

久林说，“冰丝带”建造过程中采用了智能方式。“像混凝土构建、看台、钢结构、索网、屋面等，全部是在工厂建设完成，在现场就像组装汽车一样，把它们组装在一起，这个过程中大量应用了自动化和智能化技术。”

“比如钢结构桁架，一个8000多吨的钢结构实际上是在场馆外侧87米远的地方‘拼’起来，通过计

算机控制爬行机器人推动桁架滑移到场馆上面。场馆里面混凝土结构在施工，外侧的钢结构也在施工，两个同时完成混凝土封顶。那边钢结构拼完了，通过机器人滑过来安装到位，大大节约了工期。”李久林说。

除了建造实体场馆，科研团队还在计算机里同步建造数字场馆。李久林介绍，基于建筑信息模型技术，从设计施工到最后的交付，“冰

丝带”从图纸变为现实的同时，还有一个跟它一模一样的数字速滑馆也“落成”了。

在运行过程中，“冰丝带”上面有大量传感器。通过管理平台，各种数据实时传输到数字场馆上，实现数字孪生，对实体场馆进行精细调控。

本文部分素材来自大型科普融媒体节目《人民冰雪·冰雪科技谈》



游客在国家速滑馆体验滑冰。

新华社记者 鞠焕宗摄

## 问天实验舱近日择机实施发射



本报电（立风）近日，中国空间站问天实验舱与长征五号B遥三运载火箭组合体转运至发射区，将于近日择机实施发射。

问天实验舱主要面向空间生命科学研究，配置了生命生态、生物技术和变重力科学等实验柜，能够支持开展多种类植物、动物、微生物等在空间条件下的生长、发育、遗传、衰老等响应机理研究。

迎来问天实验舱后，航天员将进入舱内启动生命维持系统，完成科学实验柜的组装，开展交叉科学实验。全新的太空授课也将在问天实验舱开展，航天员还会择机首次从问天实验舱的出舱口出舱。

此外，空间站梦天实验舱也于近日在天津顺利完成正样热试验。按照真空热试验大纲的要求，梦天实验舱依次完成了全部工况试验，并在试验过程中穿插

开展了密封舱内有害气体采集测试和噪声测试。

整个试验过程中，梦天实验舱上设备和地面试验设备均工作正常，试验条件满足试验大纲规定的试验要求，完成了全部既定工况，试验数据有效，达到了试验目的，为梦天实验舱出厂奠定了坚实的基础。

梦天实验舱主要面向微重力科学研究，配置了流体物理、材料科学、燃烧科学、基础物理以及航天技术试验等多学科方向的实验柜，支持开展重力掩盖下的多相流与相变传热、基础燃烧过程、材料凝固机理等物质本质规律研究以及超冷原子物理等前沿实验研究。

同时，在天宫二号空间冷原子钟的基础上，梦天实验舱将建立世界上第一套由氢钟、铷钟、光钟组成的空间冷原子钟组，构成在太空中频率稳定性和准确度最高的时间频率系统，开展引力红移、精细结构常数测量等前沿的科学研究。

上图：问天实验舱与长征五号B遥三运载火箭组合体在转运途中。

左图：问天实验舱飞行任务标识。

中国载人航天工程办公室供图

## 中国科学家破译裸燕麦基因密码

据新华社电 日前，我国科学家在裸燕麦基因组研究方面取得重大进展，破译了起源于我国并广泛种植的六倍体裸燕麦基因密码，打开了裸燕麦基因组大门。7月18日晚，国际知名学术期刊《自然·遗传学》在线发表了研究论文《基于参考基因组揭示六倍体燕麦的起源和进化》。

燕麦依种子带壳与否，分为皮燕麦和裸燕麦两大类，相比于皮燕麦，裸燕麦加工更加简单，我国主要种植的是裸燕麦。据国家燕麦荞麦产业技术体系首席科学家、吉林省白城市农业科学院研究员任长忠介绍，裸燕麦基因组由约110亿个碱基对组成，分布在细胞核3个亚基因组的21对染色体中。其基因组庞大而复杂，体量约为水稻基因组的40倍，且有约87%的基因组DNA为重复序列，致使其基因组测序研究非常困难。

在本项研究中，任长忠研究员领衔的以

四川农业大学和吉林省白城市农业科学院为核心的燕麦联合研究团队选择了我国裸燕麦起源中心的燕麦品种为材料，针对六倍体燕麦亚基因组构成及其高重复序列含量导致基因组中可能遇到的问题，设计了选用可进行更长DNA片段高精度测序的超长测序技术，并利用团队近20年的燕麦物种研究经验积累，选择了栽培燕麦最可能的四倍体和二倍体祖先，结合Hi-C、二代测序、全长转录组测序和转录组测序等不同技术手段，最终完成了中国六倍体裸燕麦的染色体组装、挂载和注释，获得了裸燕麦的高质量参考基因组。

任长忠表示，研究团队一直把源于中国的裸燕麦基因组测序工作应该由中国人率先完成作为目标，这也是把中国特有的裸燕麦种质资源牢牢掌握在自己手里的资本，这对掌握燕麦种质“芯片”、提升国内燕麦产业竞争力、保障粮食安全等方面都具有重要意义。



## 禁毒宣传进校园

在“全民禁毒宣传月”期间，福建泉州禁毒办走进当地学校，开展一系列禁毒宣传活动。图为禁毒民警向学生讲授新型毒品防范知识。

杨青摄（人民视觉）

