



1月22日拍摄的国家速滑馆内景。

新华社记者 鞠焕宗摄



北京冬奥会开幕倒计时1周年海报。张琰作 新华社发

场馆建造 中国智慧破难题

深冬时节，在阳光的映衬下，3360块曲面玻璃拼装而成的国家速滑馆“冰丝带”显得分外飘逸。在玻璃外墙之下，则是总长20450米的钢索网。

“‘冰丝带’是东西两侧上翘，南北两侧下探，整体呈马鞍型。”国家速滑馆总工程师李久林介绍道，“就像羽毛球拍的线一样，我们利用钢索编织好曲面屋顶，南北跨度有200米，东西跨度接近130米。”

殊不知，关于这个钢索“天幕”的施工方案，建设团队曾与外界有过分歧。

2018年初，当李久林提出“冰丝带”索网结构计划采用国产高钒密索时，外界曾提出许多不同声音：“以前都是使用进口钢索，为何这次非要使用国产？”“万一出现风险，责任谁来承担？”……

有人好言相劝，建造冬奥场馆不敢冒任何风险，但李久林不为所动。“其实，我们国家早就具备了生产高钒密索的技术条件，缺的只是验证其可行性的载体。”李久林坚信，中国已经具备钢索国产化的基础。为此，他花费3个月的时间跑遍全国寻找厂家，又带头试验进行技术攻关，最终成功研制出第一根试索。

事实证明，中国创新的确可为冬奥场馆建设“实力破题”。“冰丝带”的整体用钢量仅为传统钢架结构的四分之一，成为全球跨度最大的单层双向交叉马鞍形索网结构。

国家雪车雪橇中心的赛道，既是全球第一条雪车雪橇赛道，也是全球第一条360度回旋奥运赛道。但从工程开始之初，施工方北控京奥建设团队就面临着一道躲不开的难题——技术垄断。

高强度双曲面喷射混凝土技术是赛道建设的主要工艺，但这项技术却长期被国外垄断。“这项技术非常复杂，涉及喷射角度、混凝土湿度、温度和力度等各方面问题，而且咱们国内还没有相关标准和工程做参考。”混凝土喷射团队队长向茂盛告诉记者。

2022年的冬奥会是在中国举办，难道不能依靠自身力量来完成技术创新？

为了找到技术参数，54岁的向茂盛扛起60多斤的喷枪，几乎天天泡在模块基地，研究图纸、设备参

数、材料性能，经常深夜观察模块养护情况。从一无所知到了如指掌，无数个深夜的独自钻研终于结出硕果。

不仅如此，建设团队还从上千名优秀喷射手中层里选拔出了21名人员，跟随向茂盛进行技术训练。夏天，密不透风的小海坨山施工现场极其闷热，普通人站5分钟就受不了，而喷射手们拿起喷枪就是20个小时以上的作业。“大家不敢喝一口水，更不敢去厕所，出来之后像是蒸了桑拿一样，身上直冒热气儿。”北控京奥副总经理夏巍感叹道。

最终，历经342天的日夜奋战，喷射团队攻克4项技术难关，完成了全长1975米的赛道喷射，成功填补了中国在雪车雪橇赛道建设上的空白。

在冬奥场馆改造建设工作中，“反复利用、综合利用、持久利用”的“中国方案”引人注目，其中最具代表性的便是国家游泳中心“水立方”的“水冰转换”。通过在比赛大厅中部搭建冰场可转换结构，并安装可拆装制冰系统，形成具有4条标准赛道的冰壶场地，这在冬奥会历史上尚属首次。

看似是在泳池里“搭架子”，但在“水冰转换”的设计考量堪称周密。

“人在冰面上打球时，人和地板的振动频率在2赫兹左右。根据冰壶赛场地的要求，其冰面结构自振频率需达到30赫兹。”国家游泳中心总经理杨奇勇说，为达到赛事指标，对于支撑冰面的预制混凝土板，施工方派专人从生产环节就开始校核生产精度；安装时，每名工人还需用卡尺进行精密微调，保证将转换结构的总误差控制在毫米级。

此外，利用调平动态监测技术，冰场可转换结构的安装耗时仅有10天。“现在配备的10台高精度传感器能实时反映高差变化，调平一次性到位。随着这项技术的成熟，未来‘水冰转换’还能继续提效。”杨奇勇信心满满地表示。

绿色奥运 节能工艺展身手

在北京冬奥建设中，洁净可持续

“我们看到所有场馆都使用环保能源，这为可持续发展和冬季运动的可持续性做出了巨大贡献。”在北京2022年冬季奥运会倒计时一周年之际，对于赛事筹办所使用的智能技术，国际奥委会主席巴赫赞叹道。

科技冬奥是北京冬奥筹办工作的重要组成部分。如今，一大批技术成果的广泛应用，对提升冬奥筹办水平、展示中国科技亮点、促进绿色场馆建设等都产生了至关重要的作用。赛场左右无处不在的科技“底色”，更彰显出2022北京冬奥的中国智慧。

的环保理念贯穿始终。随着多种节能工艺的相继亮相，“绿色、共享、开放、廉洁”的申奥承诺正一步步高效兑现。

中空开放的形态、“双奥之城”的传承、内外飘带缠绕……2月4日，北京冬奥会、冬残奥会火炬——“飞扬”正式问世。轻量小巧的奥运火炬，更实现了艺术设计与创新节能的完美融合。

“飞扬”火炬的最大科技亮点便是使用氢气作为燃料。高级工程师韩宗捷解释说：“氢气是最清洁环保的燃料，燃烧时产物只有水，可以实现完全零的碳排放，这是我们选取它作为火炬燃料的主要原因。”

事实上，以氢气为燃料的落实应用之路并非一片坦途。

“最大的问题就是高压储氢，因为火炬的内部空间非常狭小，要实现大比例的减压极其困难。”

韩宗捷说：“好在经过我们的不懈努力，终于研制出一款小型氢气减压装置，保证了火炬能在极寒天气中使用，并可抗风10级。”

冰面是冬奥场馆的“灵魂”所在。而今，一项绿色高效的制冰“黑科技”已在北京冬奥赛区的7块冰面中投入使用。

除了建设追求“科技范儿”，国家速滑馆的环保设计也是“绿意十

足”。“这里有着全世界最大的由二氧化碳跨临界制冷系统制成的冰面，也是全球首个采用该系统的冬奥速度滑冰场馆。”“冰丝带”制冰工程专项负责人马进自豪地说。

二氧化碳跨临界制冷技术，是世界上先进的制冰技术。据了解，它可使冰面温差控制在0.5摄氏度以内，不会出现各个部位温度不一样、冰面硬度不均匀的情况。在以0.001秒计时的高水平竞技中，这些都是影响比赛结果的关键因素。

更难得可贵的是，除高效、环保地制冰外，“冰丝带”的二氧化碳制冰系统还具备高效的全热回收能力。当前运转的机组可回收其它机组的余热，用于运动员生活热水、融冰池融冰、冰面维护浇冰等，余热回收效率超过75%。“每年仅制冷部分就能节省200万度电。”马进指出，这相当于减少近3900辆汽车的二氧化碳年排放量。

“用张北的风点亮北京的灯”，随着去年6月世界首条50万伏张北柔性直流输电工程投用，这句颇具诗意的口号正成为现实。大规模风电、抽水蓄能等清洁能源的输送，将助力北京冬奥会成为奥运历史上第一届全部使用绿色清洁电能的奥运会。

除供“绿电”外，为减少损耗，多个冬奥场馆还在照明节能方面

狠“下功夫”。通过安装光伏发电系统，五棵松冰上运动中心可实现年供电约70万千瓦时；“冰立方”则采用了更节能的LED光源照明，针对性解决普通灯光照射冰面产生的热辐射影响；国家体育馆则依靠仿冰玻璃砖设计，充分引入自然采光，最大限度减少照明能耗……

营造绿色奥运，水资源的循环利用也是重要课题。

在延庆赛区，为了给国家高山滑雪中心赛道造雪，每次用水量大约都在几十万方。如何最大限度降低水资源消耗？从赛区规划初期，水资源全收集、全处理、再利用的节水理念便被摆在优先位置。

为加大水资源的循环利用，国家高山滑雪中心建有两个海拔在900米和1050米的蓄水塘坝，既可收集融化雪水，还能实现对自然降水的循环利用。除此之外，赛区还配有分散和集中的污水处理设施，各类建筑的节水型生活用水器具普及率达到100%。

赛事举办 智能体验谱新章

冬奥会的成功与否，不只取决于运动技能的精彩比拼，还在于赛事参与者的体验质量。根据参赛、观赛、赛后保障的不同需求，大批前沿技术理念与创新方案被投入应用，共同为冬奥会赛事举办贡献行业智慧。

走进刚刚完成第二次“水冰转换”的“冰立方”，虽然观众席距离冰面很近，但人却并未感受到明显的温差变化。

原来，为保障“冰立方”的室内环境条件符合冰壶比赛标准，场馆专门设置了由4000多个传感器组成的环境智慧调控平台，将制冰系统、除湿系统、空调系统等汇集在一起，同步监测、控制场馆内的温度、湿度等环境变化。

在环绕冰场的观众台下方，不难发现直径1米的蓝色长条“布袋”，这便是调控平台的除湿送风口。杨奇勇告诉记者，依托传感器，低温低湿空气被快速除湿后，就能均匀地吹送到场地上空。

据悉，在智能平台的精准调控下，赛场冰面温度可维持在零下8.5摄氏度，冰面1.5米高处温度始终保持在8至12摄氏度，看台观众区温度则恒定在16至18摄氏度，真正做到“同室不同天”。

随着业务、终端等技术的逐步成熟，5G网络也已成为推动奥运赛事服务智能化的核心力量。

北京冬奥组委技术部部长喻红在接受本报采访时表示，目前，北京冬奥会的所有比赛场馆及连接场馆之间的道路，均已实现了5G全覆盖，“此次冬奥会可以说是奥运会历史上5G应用最全面的一届”。

正是基于5G网络建设，诸如“冰丝带”等比赛场馆成功引入“室内外一体化定位导航系统”“全域数字孪生系统”等技术，为观赛服务配备“智慧大脑”。

“拥有‘大脑’后的‘冰丝带’就像一部智能手机。”李久林介绍，未来，“冰丝带”将上线专用APP，制定精准的室内定位导航。观众进入场馆后，可以通过手机享受定位导航服务，匹配出到达目的地的最佳路径，还可以体验机器人问路、餐饮无人售卖等多元化服务。

新冠肺炎疫情的暴发，为冬奥筹办工作的交流沟通增添了些许困难。而不少“虚拟技术”的适时登场，令许多赛事承办难题迎刃而解。例如，受疫情影响，奥林匹克转播服务公司的工作人员无法来到现场确认转播时的摄影点位。将建筑、技术等分散数据转为可视化的虚拟场馆仿真系统，便可以轻松远程部署转播点。

与此同时，媒体对该项技术的积极反馈，也激发了其他业务领域的需求。“像运动员及观众入场路线等很多工作都可以基于这套系统来优化我们的设计。”喻红说。

为降低赛事转播服务成本，提高转播团队的制作效率，基于云计算、人工智能和互联网高速传输技术的“云转播”，也将在北京冬奥会上迎来“首秀”。

通过这套云转播技术，在轻量级转播需求下，仅需前方将内容进行拍摄采集，后方就可以利用云上采编进行转播。“这相当于将我们的播、制作、剪辑等工作从传统的转播车移到云端。”北京冬奥组委开闭幕式工作部部长常宇表示，“境内外各家电视台在云上就可以完成制播流程，真正实现奥运赛事高画质、低成本转播，从而带给观众更优质的观赛体验。”



▼1月28日，北京2022年冬奥会及冬残奥会冰球比赛场馆国家体育馆完成首次制冰工作，目前场馆具备比赛测试条件。
新华社记者 彭子洋摄

▲2020年12月19日拍摄的国家跳台滑雪中心。
新华社发

▲2月4日，北京2022冬奥会重点工程之一——国家会议中心二期项目基本完成赛时钢结构施工，预计2021年7月，项目将按时交付北京冬奥组委。
本报记者 贺勇摄