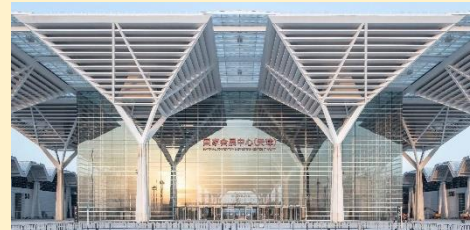


天津国家会展中心结构设计介绍

作为服务京津冀协同发展、承接北京非首都功能、服务“三北”地区的标志性建筑，中国北方最大的国家会展中心——国家会展中心（天津）项目，一期展馆区已于2021年6月建成并投入使用迎来首展，综合配套区酒店、写字楼，计划于今年5月完工。二期工程建设正加速推进，计划也将在今年内全面完工。

天津国家会展中心项目总建筑面积135.2万平方米。一期总建筑面积79万平方米，其中展馆区47.6万平方米，配套区31.4万平方米，二期总建筑面积56.2万平方米。一、二期在建筑功能及布局上基本类似。



结构概况

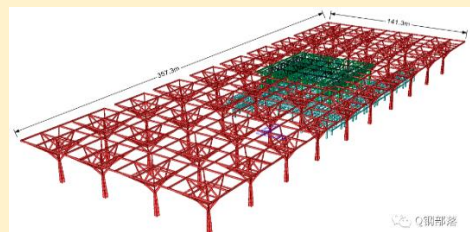
一期、二期展厅分别由16个约1.25万平方米的单层23.9米高展厅组成，中央大厅位于展厅中部，主空间为一层，高33.9米，内部局部两层，中央大厅通过两层高的交通连廊将左右展厅联系在一起，交通连廊延伸至

项目东侧的东入口大厅，东入口大厅高21米，空间内部局部两层。通过分缝，形成了各自独立的结构体系，同时也避免了超长结构带来的不利影响。

中央大厅

中央大厅屋盖是树状钢柱支承的大跨钢结构，柱距36或39m，结构总高32.0m，屋面总尺寸141.3m*285.3m。树形柱延伸至地下室底板。每个柱单元之间以刚接钢梁进行连接，钢梁的跨度为9米及12米，将树形结构连成连续的框架，形成刚度较大的整体结构体系。

二期中央大厅与一期相比，向北侧延伸了两排伞柱，在中间位置抽掉4根伞柱，布置了国家会议中心。



展厅

展厅为单层大跨钢结构，每个展厅总长度186m，跨度约为84m，屋面结构高度23.28m，每两个展厅合并为一个屋面结构单元，每个屋面结构单元总尺寸为186.36m*159.7m，采用钢柱

及桁架的结构体系。

展厅抗侧力结构体系分为两大部分：刚接的柱脚所形成的人字悬臂柱提供一定的抗侧刚度（人字柱面内）；大跨度方向（人字柱面外），在中间两列柱间设置支撑体系。



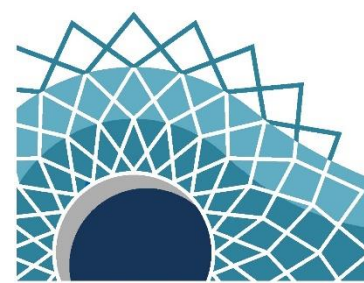
通廊及餐厅

连接各展厅的交通廊屋顶为大跨钢结构，屋面结构高度23.28m，每个屋面结构单元总尺寸为186.36m*73.9m，采用与展厅外观一致的钢柱及桁架的结构体系。

通廊屋面和展厅采用同样的水平抗侧力体系以及截面形式。因为其桁架间距（受荷面积）远大于展厅，所以增加了短柱，以减小其跨度。

餐厅屋面桁架结构体系及外形同展厅，保持建筑效果一致。

（整理自央视新闻、Q钢部落公众号）



空间结构

简讯

2022年第1期 总191期 2022.03

SPATIAL STRUCTURES

通讯地址：【100013】北京 北三环东路30号 中国建筑科学研究院建筑结构研究所 投稿邮箱：spast@cabrtech.com

本期内容

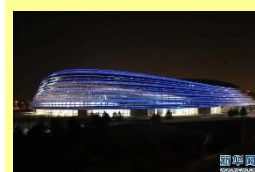
第十九届空间结构学术会议暨第十届结构工程新进展论坛将在浙江举办

国际壳体与空间结构协会年会暨第13届亚洲太平洋空间结构学术会议将于今年9月在北京举办 (IASS/APCS2022)

天津国家会展中心结构设计介绍



北京2022冬奥场馆中的空间结构



学术 活动

第十九届空间结构学术会议暨第十届结构工程新进展论坛将在浙江举办

1982年3月，在老一辈空间结构专家的倡导下，首届空间结构学术交流会在福州召开。四十载光辉岁月，四十载风雨兼程，空间结构学术会议作为全国性空间结构领域盛会已成功举办十八次，见证并促进了我国空间结构的蓬勃发展。为了空间结构事业的传承与坚守，“第十九届空间结构学术会议”暨“庆祝空间结构学术会议四十周年大会”拟于2022年秋季在杭州隆重召开，会议将与第十届结构工程新进展论坛联合举办，由浙江大学承办。

会议主题：空间结构的创新与发展

会议议题包括：

★创新发展：空间结构理论研究、结构体系、分析方法、设计技术、制作与施工技术等方面的创新与可持续发展。

★概念、形式与工程设计：空间结构的新概念、新方案与结构新体系；已建成或正在规划设计的空间结构工程。

★分析、计算与试验：新的分析理论与设计计算方法；抗震分析、风荷载与稳定计算；模型与节点试验。

★计算机信息技术：计算机辅助设计与制造技术；BIM技术研发与应用；参数化设计。

★试制、生产与施工：新材料的研发；新型体系与节点的试制；制作与施工中的新工艺、新技术。

★健康监测和检测：健康监测和检测理论、新方法、新设备；健康监测项目的最新成果。

大会组织委员会

主任：罗尧治
委员：高博青 赵阳 邓华 袁行飞 许贤 马明 张高明 张强 林祥
秘书长：许贤

学术会议学术委员会

顾问

蓝天 董石麟 沈世钊 马克俭 王俊 刘锡良 曹资 甘明 罗永峰 钱若军 单建 严慧 杨联萍 姚念亮 张毅刚 赵基达 赵希平 朱丹

主任委员

刘枫

副主任委员

范峰 冯远 薛素铎 杨庆山

委员

曹正罡 陈波 陈昕 陈伟刚 陈务军 陈志华 崔家春 杜文凤 范重 冯若强 高颖 葛家琪 顾磊 郭静 郭小农 郭彦林 郝际平 纪晗 贾水钟 姜绍飞 李霆 李海旺 李丽娟 李雄彦 李中立 刘红波 刘彦生 刘宜丰 罗斌 骆治安 孟亚丹 牟在根 欧阳元文 潘国华 裴永忠 钱基宏 秦杰 秦凯 区彤 任俊超 孙海林 孙文波 唐虎 完海鹰

★管理、维护与加固：设计、生产与施工中的技术与质量管理；工程事故及原因分析；既有空间结构工程的改造、维护与加固。

★防灾与减灾：抗震、抗风与防火；防连续倒塌；振动控制。

★绿色建筑：绿色、低碳空间结构建筑有关的概念、方法和实践。

会议征文

欢迎投送未在各类期刊及会议论文集上发表过的论文。作者可先将800字左右的详细摘要以邮寄或电子邮件方式提交给学术会议秘书处。

本次会议论文集由两部分组成，第一部分为特邀报告人对演讲内容进行深度展开或延伸而成，充分表达其学术成果，由中国建筑工业出版社出版；第二部分为参加论坛的代表自由投稿，收录于会议论文集，并由论文作者在会议上交流发言。

会议论文投稿：spast@cabrtech.com

特邀报告论文征文时间

论文提要截止：2022年03月10日

录用通知：2022年04月10日

全文投送截止：2022年06月05日

大会交流论文征文时间

论文提要截止：2022年04月15日

录用通知：2022年05月15日

全文投送截止：2022年08月05日

王启文 王文渊 王秀丽 王元清 王泽强 魏德敏 温四清 吴金志 吴耀华 武岳 向新岸 闫翔宇 姚亚雄 叶继红 尹越 张峥 赵伯友 赵鹏飞 赵仕兴 支旭东 周岱 周健 周观根

论坛指导委员会

顾问：董石麟 周福霖
主任：戚大庆 滕锦光 李国强
委员：韩林海 李宏男 吴智深 徐正安 任伟新 苏三庆 史庆轩 肖建庄 周云 罗尧治 赵梦梅 刘婷婷

学术 活动

国际壳体与空间结构协会年会暨第13届亚洲太平洋空间结构学术会议将于今年9月在北京举办(IASS/APCS2022)

国际壳体与空间结构协会（IASS），于1959年9月由国际著名结构大师Eduardo Torroja创立，迄今已发展成为空间结构领域最具影响力的国际学术组织，每年在不同国家举办学术年会，近年的会议均有来自世界不同国家的著名专家和数百名代表参会。2022年第24届冬奥会在我国举办，北京不仅建设了像国家速滑馆（冰丝带）这样优秀的大跨度空间结构，还对2008年夏季奥运会的多个比赛场馆进行了改造。为了向国内外同行展示我国空间结构的最新成就，国际壳体与空间结构协会2022年学术年会（IASS 2022）将于9月在北京召开。会议期间，将同时召开第13届亚洲太平洋空间结构学术会议（APCS 2022）。该会议将是一次非常好的国际交流和宣传机会，欢迎广大学者、工程师、建筑师和工程管理人员，也欢迎广大空间结构相关的单位参加并宣传。（详情见大会网站：<http://www.iass2022.org.cn>）

主办单位：国际壳体与空间结构协会（IASS）

承办单位：北京工业大学

联合承办单位：中国钢结构协会、中国钢结构协会空间结构分会、中国建筑科学研究院有限公司、重庆大学、哈尔滨工业大学、天津大学、同济大学、浙江大学、《建筑结构》杂志社（排名不分先后）

大会技术交流：本次会议将邀请国际著名专家作特邀报告，包括IASS主席Lazaro教授、IASS前主席美国加州理工学院Pellegrino教授、IASS副主席美国普林斯顿大学Adriaenssens教授、英国诺丁汉大学Chilton荣誉教授、日本东京大学Kawaguchi教授、韩国空间结构协会主席Seung-Jae LEE教授、新加坡工程院院士Richard Liew教授、澳大利亚皇家墨尔本理工大学谢亿民院士以及空间结构分会理事长薛素铎教授、重庆大学杨永斌院士，李兴钢、丁洁民、朱忠义大师，同时还将邀请国内工程院院士、全国工程勘察设计大师等作特邀报告。

组织委员会：

主席：薛素铎 执行副主席：吴金志

副主席：范峰、韩庆华、刘枫、罗尧治、王彬、许成顺、杨庆山、张其林

委员：陈波、胡洁、李娜、李雄彦、芦燕、罗晓群、马明、孙国军、吴明儿、武岳、许立准、许贤、张秀华

北京 2022 冬奥场馆中的空间结构

北京 2022 冬奥会、冬残奥会已于 3 月落下帷幕。北京也成为了世界上首个夏季奥运会和冬季奥运会都举办过的“双奥之城”。北京冬奥会最大程度上使用了 2008 年夏季奥运会的遗产，同时为满足冬奥赛事的需求，也诞生了一批新建场馆，处处体现着精益求精的匠人精神，彰显着我国举办一场体育盛会的决心！

国家雪车雪橇中心“雪游龙”

1. 概况

雪车雪橇比赛是冬奥会雪上竞赛中速度最快、危险性系数高、专业性强的项目，对竞赛场地要求严苛，场馆建设费用昂贵，后期运行和维护投入不菲，到目前为止，全世界总共只有 17 座标准雪车雪橇场馆，分布在 12 个国家。中国国家雪车雪橇中心为世界第 17 座、亚洲第 3 座满足奥运比赛要求的雪车雪橇场馆，也是中国第 1 座雪车雪橇场馆，其建设创造了从“0”到“1”的冬奥奇迹。



国家雪车雪橇中心位于北京 2022 年冬奥会延庆赛区西南侧，依托海拔 2198 米的小海陀山天然山形建设，与被称为“雪飞燕”的高山滑雪中心、冬奥村（距离延庆冬奥村 1 千米，行车 5 分钟）和山地新闻中心相邻，形成整体的赛区场馆群。

国家雪车雪橇中心赛场提供观众坐席 2000 个和站席 8000 个。是本届冬奥会设计难度最高、施工难度最大、施工工艺最为复杂的新建比赛场馆。国家雪车雪橇中心由赛道形状和遮阳设计带来的独特建筑形态，宛如一条游龙飞腾于山脊之上，被形象地称为“雪游龙”。

国家雪车雪橇中心以赛道为核心，遮阳棚覆盖于赛道上。根据体育功能的需求，沿着赛道的标高布置出发区、结束区、制冷机房以及训练道冰

屋、运营区等附属建筑，与媒体转播区、观众主广场等场地构成了完整的雪车雪橇场馆。

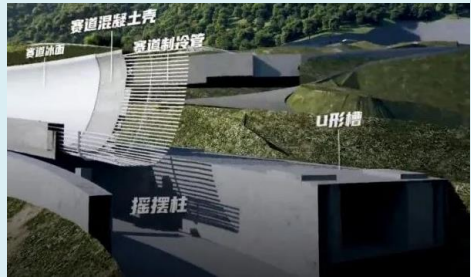
2. 赛道

国家雪车雪橇中心赛道起点海拔高度 1017 米，终点海拔高度 911.6 米，垂直高度差 121 米。赛道全长 1975 米，竞赛赛道长度 1615 米，弯道数量 16 个，其中包含 1 个 360° 螺旋弯，最高设计时速 134.4 公里，产生的离心力最高可达 4.5g，堪称“冰上 F1”。

360° 螺旋弯根据赛道的坡度要求下部每隔 18 米设置一个基础支座，由四根分叉柱与赛道相连，受赛道工艺要求和场地影响每个 V 形柱角度、长短不一。360° 螺旋弯赛道 U 形槽基础距地面最高达 15 米。



国家雪车雪橇中心采用世界顶尖的赛道设计，赛道底部是一个 U 形槽，U 形槽内布置钢筋混凝土摇摆柱支撑赛道。赛道设计成复杂的空间三维曲面，其找形与内部设置的卡具息息相关，建设弯道时，会按照赛道的形状布置相应的卡具，在卡具上铺设制冷管（卡具和制冷管道是赛道的骨架和血液），然后再铺设经过特殊处理的钢筋网片，最后设置找平管。并采用喷射混凝土成型。在赛道外侧设置保温层，冬季比赛和训练时赛道内侧浇筑 50mm 厚的冰面。



赛道通过防震缝分为 47 段，仅有 10 段是直线段，其余都是曲线段，最长赛道段长度达 70m。赛道为空间扭曲双曲面壳体结构，赛道结构表面平整误差要控制在 1 毫米以内，且结构中则预埋了近 11 万米的制冷管线，用于通冷

制冰。

为确保赛道高速比赛的安全性，赛道不同滑面内部均要达到相同的密实度和表面空间成型精度。

赛道采用常规的施工工艺无法实现，只能通过人工喷射成型。为此，研发了全新的混凝土材料，在历经了百余组 1:1 足尺模块制作、300 余次配合比调整、600 余次喷射试验、上千次测量及检测、近两千方喷射混凝土消耗后，最终成功攻克了赛道喷射混凝土的配比难题。赛道所用的喷射混凝土的强度是 C40。采用“毫米级”双曲面混凝土喷射及精加工成型技术，实现 1.9 千米的赛道一次性喷射浇筑成型，且赛道的抗冻性能达到了 F400。其中喷射时要克服系列困难，如喷射只要一开始就必须完成一个赛段的喷射，喷枪实际喷射时加上混凝土的重量达 60 斤，可产生巨大的后坐力。本项目是国内首次将喷射混凝土用于主体结构，通过此次施工自主培养了国内首支混凝土喷射队伍。



3. 遮阳棚

与其他国家赛道不同，国家雪车雪橇中心增加了一个赛道遮阳屋顶，其遮阳棚主体结构采用了全球首创的钢木组合单边悬挑结构体系，单边最大悬挑长度 12.65m。钢筋混凝土 U 形槽、V 形钢柱、木梁、木瓦屋面共同组成了为冰道遮光挡雨的遮阳棚系统。

遮阳棚木梁采用了三明治结构，外层为两片胶合木梁，中间层为钢木组合结构，由拉索将悬挑端的拉力经屋脊传递至 V 形钢柱，高效地解决了单边长悬挑的力学要求。



国家速滑馆“冰丝带”

1. 概况

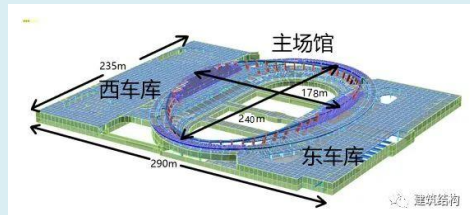
国家速滑馆（又名冰丝带）位于奥林匹克公园南园西侧，总建筑面积为 126,000 m²。作为北京 2022 年冬奥会北京赛区标志性的体育场馆，也是北京赛区唯一新建冰上竞赛场馆，冬奥会期间国家速滑馆将承担速度滑冰项目的比赛和训练；冬奥会后，该馆将成为能够举办滑冰、冰球等国际赛事及大众进行冰上活动的多功能场馆。与国家游泳中心“水立方”、国家体育场“鸟巢”遥相呼应，共同组成了北京这座世界上首座“双奥之城”的标志性建筑群。



国家速滑馆主场馆建筑面积约 8 万平方米，高度 33 米，拥有亚洲最大的全冰面设计，冰面面积达 1.2 万平方米，能容纳约 12000 名观众，平时可接待超过 2000 人同时开展冰球、速度滑冰、花样滑冰、冰壶等所有冰上运动。北京冬奥会后，将成为能够举办滑冰、冰球和冰壶等国际赛事及大众冰上活动的多功能场馆。

2. 结构特点

国家速滑馆是世界上跨度最大的采用单层双向正交索网结构的体育馆，南北向跨度达 198 米，设计首创采用了金属单元柔性屋面和冰丝带幕墙系统。工程项目主要由主场馆及外围地下车库组成，其中地下主体结构东西长 290m，南北宽 235m，地上主体南北长约 240m，东西宽约 178m。



地上主体结构采用现浇钢筋混凝土框架结构。钢结构屋顶支撑在 48 根看台斜柱上。外围护幕墙结构上端固定于顶部的巨型环桁架上，下端固定于混凝土主体结构首层顶板外圈悬挑梁端。

北京 2022 冬奥场馆中的空间结构

首层顶板从 32 根外围巨型柱挑出悬挑梁支撑拉索幕墙，最大悬挑长度约 5m，外围巨型柱截面尺寸约为 900*3100mm。主场馆地上部分建筑高度为 17~32m，平面尺寸为 178m*240m。地下室、看台及支承屋顶部分为混凝土结构，屋顶和周边幕墙为钢结构。



首钢滑雪大跳台“雪飞天”

1. 概况



首钢单板滑雪大跳台位于北京首钢园区旧址，北望石景山，东临群明湖，西临永定河，是世界首例采用钢结构建设的永久性保留和使用的滑雪大跳台场馆。

场地由北向南依次分布着原首钢发电主厂房、4 座 70m 高的冷却塔及原首钢制氧厂等工业设施及厂房。

大跳台主体结构为钢结构，呈西北-东南方向布局，主体结构长度 160m，最大宽度 30m，高度 60.05m，赛道结构弯折飘逸。

首钢滑雪大跳台的设计灵感来源于中国非常知名的世界文化遗产敦煌壁画中“飞天”造型里飘带那一部分。“飞天”的含义与滑雪大跳台项目的英文 Big Air 一词，都有向空中腾跃、飞翔的意思，而飞天飘带的曲线与首钢滑雪大跳台的曲线又十分契合，因此首钢滑雪大跳台得名于“雪飞天”。

2. 结构特点

首钢单板滑雪大跳台主体结构为钢桁架结构，主要结构形式包括斜箱形格构柱，变截面 V 形箱型柱，赛道钢桁架等。

结构构件截面形式多样且形状复杂，钢板较厚使得焊接难度大，焊接过程中变形控制要求高。整体结构复杂，构件在空间上定位困难，整体安装精度不易保证。

跳台赛道基底为钢板，钢板与雪摩擦力小难附着，融雪水排水，钢板导热系数高对雪层影响等难题，是面临的新挑战。

首钢滑雪大跳台的设计亮点主要有三个地方：选址、结构本身和永久跳台能够适应将来竞赛剖面的变化。

选址方面：中奥运场馆和工业遗产相结合，永久性坐落在工业遗产里，是全世界第一例。

结构本身方面：单板大跳台“Big Air”这项运动从出现至今不到 40 年，它的场馆建设基本就是依赖在修高速、高架桥的时候，把钢脚手架堆成结构曲线的样子，运动员就在上面比赛，比赛结束之后就把结构拆掉。单板大跳台项目场馆一般都是建设在城市中心广场里，这是第一次在工业遗产里采用永久的钢结构做法。一方面要确保它足够的轻盈，体现出永久建设的好处，另一方面还要考虑赛后的利用。

永久跳台带来的好处是能够适应将来竞赛的剖面变化。跳台的曲线是不停变化的，如果用脚手架搭临时的设施，每一次搭完可以有不一样的效果。



此外，可持续发展理念融进设计的方方面面。整个大跳台比赛项目全部是不需要灯光系统的，但是考虑到赛后大跳台区域一定会是晚上比赛比较多，而且还会存在各种各样的演出、文艺活动等，为此安装了永久性的可拆卸的灯光系统。另外大跳台结束区的部分做成了能够进行各种各样的文艺演出的区域，同时它旁边还有很多设施，比如电厂酒店、制氧厂，从方方面面做到了保证了大跳台的赛后利用。

节选自《建筑结构》公众号