

# 航天技术量身打造开幕式舞台

本报记者 刘苏雅



北京2022年冬奥会开幕式亮点纷呈,科技感十足。新华社记者 武疆摄

上万平方米的LED地面舞台、晶莹剔透的“冰立方”、绿色环保的氢能主火炬……在北京2022年冬奥会开幕式舞台上,相关的11项重大技术保障项目均由中国航天科技集团冬奥专项工程团队承担。这些航天人将“航天模式”带上了开幕式舞台,把导演团队的创意转化为一条条精准的技术参数,攻克一道道技术难关,实现了航天科技与艺术表达的完美融合。

## 用造火箭的标准管舞台

2019年底,中国航天科技集团接到了2022年北京冬奥会和冬残奥会开幕式技术保障任务,航天科技集团一院承担起这一专项工程的抓总任务。作为我国运载火箭的主要研制、生产单位,十多个型号的长征系列运载火箭从一院诞生,我国的载人航天、探月工程、探火工程等历次重大航天任务,他们都从未缺席。

“开幕式的保障工作涉及专业面非常广、体量大、设计施工要求高。”航天冬奥专项办副主任张雯雯说,来到鸟巢的每一名航天人,都有着参与历次航天重大任务的丰富经验。但技术保障团队的任务是要将导演团队的创意落地成为现实,既要统筹抓总开幕式的11项关键技术任务,也要承担起具体任务的承制,“对我们来说,确实是一个全新的挑战。”

综合计算用钢量、总装机功率等因素,本次舞台建造规模达到2008年北京奥运会开幕式的3倍以上。面对庞大的项目体系,航天冬奥专项工程团队将航天系统工程的管理模式带到了舞台上。

“就在鸟巢的400米跑道区域,最多的时候有7个项目,800多人的施工团队同时作业,光吊车就有十几台。”航天冬奥专项办主任刘照智回忆,在最紧张的交叉施工阶段,团队项目的复杂接口管理、多进度管理等系统工程理念发挥了巨大的作用。同时,多项目协调必然带来摩擦,这时,“总体最优”理念能让工程实现效率和效果的平衡,“每个部件未必是最顶尖的,但一定是最合适的。”

当然,在工作推进过程中难免会出现小意外。这时,航天技术人员便会进行“归零”。“归零”是指一旦出现故障或问题,必须从头对每个步骤进行逐一检查,直到问题全部解决为止。张雯雯表示,重大项目的统筹中,“头疼医头、脚疼医脚”的心态绝对要不得。在前期测试中,一块地面屏幕显示故障,团队立刻“归零”,从反复复盘并多次调整试验,从根源解决技术隐患。

“我们就是在用造火箭的标准,来管理整个开幕式技术保障项目。”刘照智说,开幕式首次彩排时,预计用时6小时的11大项目,仅用2个半小时就流畅完成,“成熟的流程管理模式,才能保证向全世界展示出最完美的舞台。”

## 五环“薄如纸”的奥运五环

开幕式上,随着“冰立方”的逐渐破碎,奥运五环逐渐被“雕刻”显现。43秒,奥运五环稳稳升至13米高,升降精度控制在毫米级。作为开幕式舞台最核心的装置之一,让奥运五环实现完美亮相,自然是技术保障团队工作的重中之重。

本次开幕式升起的奥运五环长达19米,高8.75米,厚度却仅有35厘米,依靠鸟巢上空的威亚系统提升并悬挂在半空,最终又缓缓沉入舞台之下。而尺寸的设计仅仅是个开始,由于鸟巢是开放式舞台,风力等气候因素也必须纳入考量。返回时,五环要

准确落入“冰立方”上一道仅50厘米宽的槽内,也就是下落时摆动幅度不能超过7.5厘米。

“说得夸张一点,这个操作的难度,就像用两条线把一张白纸全程平稳地提起来、放下去。”航天一院十五所冬奥项目总师何冠杰说,考虑到威亚系统的承重能力,五环要不断“减重”以降低负荷,但更换轻便材料后,其抗风性能又会下降。新材料还必须具备足够的强度,保证如此巨大尺寸的五环在悬挂中不会变形。除了技术指标外,导演团队对五环视觉效果也提出了极高的要求。

总重量减至标准以下,更换悬挂点保证姿态稳定,实现视觉柔光效果,结合局部天气预测进行威亚操作调整……面对一连串的需求,五环的设计稿改了一份又一份。

“就是它了!”参考航天结构设计的方法,经过反复迭代,奥运五环图终于定稿。它总重约3吨,骨架为铝合金,既坚韧又轻巧;内部是360度无死角的LED显示屏,可以实现任意画面的显示,为导演团队留出了最大限度的创作空间;最外层的扩散板为显示屏做了“美颜”,保证视觉效果清晰而柔和。

## 主火炬 航天技术和艺术的完美结合

主火炬的研发和保障任务,则落到了中国航天科技集团六院北京11所的肩上。作为我国最早从事液体火箭发动机研制的单位,将航天技术应用到民用产业的道路,他们已经走了近40年,工业火炬就是航天燃烧技术在化工领域的典型应用。“火炬”一词,在北京11所技术人员口中,早在40多年前就是个“高频词”。

“从火箭到火炬,对于北京11所来说,技术契合度是很高的。”火炬项目技术负责人刘悦介绍,主火炬以绿色环保的氢能作为燃料,而承担了我国空间站、探月、探火等重大任务的长征五号运载火箭,使用的便是氢氧发动机,相关技术在国际上处于领先地位,“我们对氢气太熟悉了。”

点燃主火炬,是整场开幕式最激动人心的环节。重达260吨的钢结构快速升降,依靠航天软件系统的精细

控制,在69秒内将主火炬从地下10米的位置抬升到舞台中央。火炬手持火炬嵌入“雪花”中心,主火炬在威亚和地面装置的配合下“飞”上高空,奥运火焰与96朵晶莹剔透的雪花、6条飘逸的橄榄枝交相辉映。

这是一种全新的奥运之火点燃方式,但摆在技术人员面前的难题是,要如何为悬在半空且不断旋转的主火炬提供足够的燃料?技术人员在悬挂主火炬的威亚上设计了一套姿态调节执行机构,配合地面装置实现主火炬的翻转、提升动作。氢气储存和减压装置就藏在其中,减压后的氢气通过软管源源不断地输送至火炬中心,并应用航天氢氧发动机燃烧技术,保证不熄火、不回火、不脱火。为了让主火炬在360度旋转时也能高效稳定燃烧,配套的氢气软管、电缆、控制线缆均可卷

伸,让氢、电、控制信号能连续、稳定、可靠地供应传输。

火炬燃烧效果也同样重要。刘悦解释道,相比于传统丙烷燃料,氢气燃烧更快速,在空气中火焰呈淡蓝色,如果不作处理,势必会影响主火炬效果。结合导演团队创意,团队设计出氢气燃烧稳焰结构,并将火焰显色剂固化其上,使燃烧的氢气呈现出温暖、跳动的视觉效果。

“主火炬决定着开幕式的成败。”北京11所党委书记李晓峰坦言,火炬保障团队最大的压力在于必须保证整套系统的高可靠性,不容有失,依靠丰富的研发设计经验,航天科研团队将导演的创意一步步变为现实,“相信在这之前,没人能想到冬奥会主火炬是这样奇特的形态,这一次,就是技术和艺术的完美结合。”

## 特写“冰面”下的航天人

“10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0!”这串数字,对于航天人来说已经深入骨髓。在火箭发射场上,倒计时结束时,火箭顺利升空,标志着任务圆满完成。但在开幕式舞台上,这意味着万里长征刚刚迈出第一步。

从鸟巢的观众席下去,开幕式地面舞台被总计1万余平方米、目前世界最大的LED屏幕覆盖着,可以实现8K视觉效果。舞台下方则有洞天——地下是一片深达10米的钢结构空腔,数十套电机与刚性链条、滑轮带动着大型升降台等活动设备,实现舞台的平移、升降、翻转。

此时,冰立方装置现场指挥赵彪正和另外三名同事一起,静静地站

在舞台“冰面”下5米的位置,背景音乐和观众的掌声清晰地传入他们耳中。在他们身边,冬奥会主火炬、冰立方、奥运五环也安静地栖身地下,等待着惊艳亮相的那一刻。

头顶的活动挡板缓缓移动,舞台灯光透过缝隙洒下,威亚吊钩缓缓下落,到了赵彪和同事们最紧张的环节——他们要检查并确保威亚与奥运五环连接稳固。

此刻在中控室内,专项办技术管理负责人刘小旭也捏着一把汗。这套重型威亚系统,是从2008年北京奥运会开幕式的系统升级而来,但与当年相比,这次开幕式的威亚系统承重需求明显增加,道具需要借助威亚实现的姿态也更多,要做到姿态精确控

制并不容易。

检查无误后,确认信号发出,一道冰瀑直落而下,晶莹剔透的“冰立方”从“冰面”缓缓凝结升起。四人又再次隐于黑暗,和他们一起,在地台下、鸟巢顶、中控室,近400名中国航天人在岗位上忙碌着,他们距离开幕式舞台最近,却无法看到台上盛况。

绚烂的烟花盛放在鸟巢上空,全世界共同见证了2022年北京冬奥会的开幕。这时,何冠杰却回忆起了彩排结束后的深夜:奥运五环的灯熄了,被地面屏幕映成淡蓝色,静静地悬在半空中,四下无人,月亮刚升到天际,“那天晚上,和今晚一样梦幻”。

冬奥会开幕式揭秘

## 激光加冰立方3D视效“雕刻”出品莹璀璨五环

本报记者 孙颖

2月4日晚8时,北京2022年冬奥会开幕,当“冰立方”缓缓被激光“雕刻”成晶莹剔透的五环时,点燃了现场,也点燃了屏幕前观众的激情。五环是如何被“雕刻”出来的呢?海淀高科技企业利亚德承担了北京冬奥会开幕式地屏、冰瀑、冰立方、南北看台屏和播放系统等装置生产、安装任务。“雕刻”的视觉是在激光与冰立方3D视效的结合下产生的。”利亚德集团董事长李军介绍。

冰立方长22米、宽7米、高10米,是由LED屏组成的。五环本身也是一个LED屏,当它亮相的时候,位于看台4层的激光照射在冰立方上,对冰立方进行“雕刻”,随着冰立方上部顶盖的下翻,配合着激光的“雕刻”,底部的五环缓缓上升,冰立方四面的LED屏一边缓缓下降,一边播放冰碴四溅的三维视觉效果,三方面完美配合,就形成了五环被一点点“雕刻”出来的视觉效果。

除了冰立方外,现场还有11626平方米的地屏以及高60米的冰瀑,也都是由LED屏组成的。

开幕式第一个节目中,小草复苏,幻化成一朵巨大的蒲公英,小男孩轻轻一吹,蒲公英飞散开来,天空中绽放出烟火,“立春”两个字清晰显现。这个精彩转换也离不开地屏、冰瀑的合作。利亚德集团冬奥会开幕式技术负责人王加志介绍,大屏上的小男孩剪影吹起蒲公英,蒲公英的种子通过地屏四散,飘到冰瀑上,缓缓向上升起,当蒲公英飘到冰瀑的顶端与鸟巢“碗口”持平,烟花绽放,宛若蒲公英飘散在空中,呈现出梦幻般的画面。这个效果的实现,需要精确的时间控制,背后是开幕式的一个“时间轴”,所有的设备运动都是跟着时间去运转,达到分秒不差,才呈现出整场演出的精彩。

北京冬奥会开幕的地屏为观众呈现了一场精彩的视觉盛宴。它是由46504个50厘米见方的单元箱体组成的,总面积达到了11626平方米,是目前世界上最大规模的LED三维立体舞台。

别看面积大,地屏很“聪明”。比如黄河之水天上来,水流从冰瀑上飞流直下,地屏上汹涌的波涛宛若扑面而来,层层叠叠,带给人无比震撼的感觉。利亚德集团冬奥会开幕式项目经理王定芳介绍,地屏整体能够呈现裸眼3D效果。此外,地屏四周有一圈“黑场”,其实那也是屏幕,比如雪花飘下时,在这一区域翻转,给人的视觉效果就是雪花纷纷扬扬地撒下。地屏还带有动作捕捉互动系统,在鸟巢的“碗口”处安装有摄像头,能够实时捕捉地屏上人的动态,既美化了场景,也使得场景更具有真实感。

开幕式现场多个显示屏装置整体显示一幅完整的画面。利亚德集团冬奥项目总负责人刘海一介绍,播放系统整个地屏LED负责显示4个8K播放素材,冰屏负责显示2个8K播放素材,冰立方负责显示1个8K播放素材,再配合播控系统实现多个播放器视频输出同步,误差不得超过2帧。

在2019年国庆盛典、2008年北京奥运会、建党百年《伟大征程》文艺演出、春晚等重大场合都有利亚德的身影,与以往相比,此次冬奥会开幕式首次使用了系统四备份和像素四备份,主设备一旦发生故障,备份设备可以立即自动或手动切换上线,确保万无一失。

北京冬奥会开幕式整个项目周期跨越了北京七八月的夏季、雨季以及12月至次年2月的冬季、春季,如何保证LED屏能够历经阳光暴晒和雨水冲刷,又能承担秋季风沙和冬季冰雪的侵蚀?李军介绍,根据开幕式现场应用超大面积LED显示模组时面临的复杂内外部环境,他们研究开发出具有防水、防雾、防眩目、高荷载的高性能LED显示模组,能够适应户外低温冰冻等极端环境,LED显示屏及其部件全部达到IP66防护标准,完全防止外物侵入,承受强烈喷水时电器的进水量不会产生有害的影响。

## 我国自主研发开幕式观众口罩两个参数让佩戴更舒适

本报记者 孙颖 韩迪 曹小蕊

北京冬奥会开幕式上,观众席上五颜六色的口罩宛若绽放的海洋,这款看着非常舒服的口罩,其实是一款N95口罩。

如何让N95口罩在保证产品性能的同时佩戴更加舒适?鼻中宽和鼻中高两个关键参数的“加入”,让开幕式口罩脸型贴合度更高,佩戴更舒适。

记者看到,观众席上观众戴的口罩特别亮眼,有浅蓝渐变、深蓝渐变、浅紫、正紫、中国红、霞光红等多种颜色,口罩上有北京冬奥元素、雪花等中国元素。

据悉,这款口罩是我国自主研发设计的一种可变形平面——腔式结构口罩,完全是中国设计、中国专利、中国制造。外层采用高清数码印花无纺布,保证图案清晰美观,同时满足医用防护口罩标准所需的抗湿阻燃等十几项检测指标,选取的5毫米高弹柔软耳带,在保障很好密封性的前提下也兼顾了佩戴舒适性。

记者了解到,开幕式口罩能够实现实时完整的面部覆盖,滤除效率达到95%以上,同时它在结构上拥有独特的中国实用新型专利。在设计之初就分析比较了我国不同民族2011人的脸型特征,在此基础上优化设计而来,特别提出了实现口罩密封的关键参数——鼻中宽和鼻中高,填补了此前口罩参数的空白,让这款口罩更加贴合不同民族人群的脸型,在保证产品性能的同时佩戴更加舒适。

这款口罩将用于北京2022年冬奥会开幕式、闭幕式及北京2022年冬残奥会开幕式、闭幕式共4场仪式的全部活动中,这款口罩不会对公众销售。不过冬奥比赛场馆观赛观众专用口罩同款将会对公众销售,预计2月中旬将开通各大电商平台销售渠道,届时广大市民也可以拥有冬奥场馆观众同款口罩。

## 3万帧数字动画呈现中国风“数字水墨”铺垫“冰雪五环”

本报记者 王琪鹏

2月4日晚,北京冬奥会开幕式盛大举行。在开幕式的核心环节“冰雪五环”展示中,一组充满“中国风”的水墨动画揭示了冬季奥林匹克运动的发展历程。水墨动画团队负责人、北京印刷学院新媒体艺术高精尖创新中心教授高妍玫透露,这组水墨动画是在测试上千张纸质效果、绘制近三万帧数字动画基础上,前后历经6次修改最终敲定的。

2021年11月12日,距离北京冬奥会开幕式还有84天之际,高妍玫领衔的数字水墨动画创新设计团队接到了一项重要任务:为冬奥会开幕式的“冰雪五环”升起设计绘制水墨动画。

“如何高度领会和理解总导演的创意,使其呈现得更加完美,让作品既时尚现代,又有中国风的韵味,如何将中华民族独特的艺术理念和审美风格充分地展现在全世界面前,非常之难。”高妍玫说。

为深刻领会导演在原有运动人形科技化设计的基础上,又提出用水墨的形式赋予人物传统质感和生命精神的要求,水墨动画团队通过宣纸水墨手绘和数字水墨笔刷两种方式进行效果尝试。通过上千张纸上的手绘尝试,团队运用中国传统文化中的“观象取意”的方法,实现对运动人形内在“神情”“妙意”的提取,把握人形运动的轨迹,将书法笔触化作一种生命的表达形式。为了提升制作效率,团队将毛笔手绘的经验参考运用到数字水墨笔刷绘制当中,通过加强对书法的运笔、连笔、枯笔、顿笔等,来强化从纸质到数字的触感气势转化。通过短时间内的高强度开发,水墨团队实现了使用两种全新水墨数字笔刷进行绘制的突破,从而在满满科技感中呈现出了中国风的水墨动画效果。