

零距离

冬奥火炬 冰与火之歌

让风洞技术

中青报 中青网记者 邱晨辉

主火炬点火仪式彩排开始！凌晨1点，对讲机中传来导演团队的通知，早早地在国家体育场鸟巢待命的火炬项目团队瞬间打起了精神。冬奥火炬技术负责人、中国航天科技集团六院北京11所事业部总工程师刘悦期待作品成果得到检验。

这一天，距离北京冬奥会开幕还有一个半月，场馆里气温达到零下10℃，研制团队顾不上寒冷，或盯着火炬每一处细节，或奔跑在控制室与外场之间，或与导演团队沟通预判衔接过程中可能出现的问题。所有这些努力都是为了迎接最后的时刻。

2月4日，随着最后一棒火炬手手持火炬插入雪花中心，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，这就是北京冬奥主火炬。微火、屏显、冰与火实现完美相融。

这一刻，刘悦激动不已，他甚至有一种错觉：他们这群研制火炬的航天人似乎身处火箭发射成功的现场，振臂欢呼，喜极而泣。为了这一天，他们足足奋斗了两年。

给火焰上色 在家中煤气灶上做起实验

火炬，一直以来都是历届奥运会关键一环，集万千瞩目于一身。北京冬奥会的火炬家族包括三位主力，分别是手持火炬、主火炬、三胞胎场外火炬。这其中，最后一棒的手持火炬转化为主火炬，主火炬也在奥运历史上首次使用了微火方式，惊艳世界。

刘悦至今记得，第一次看到创意方案是在2020年年底，那是一个3D效果图，是创意团队最想看到的结果。

研制团队很兴奋，几乎每个人都认为，只有他们能实现这个创意。刘悦所在的航天六院北京11所，是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。

不过，刘悦最初还是有些担忧，工业火炬和奥运火炬的差别还是非常大的，如何支持火炬空中移动、旋转并维持一定时间的稳定燃烧，面对这样一个创意和任务，最初，他们不知道如何下手。

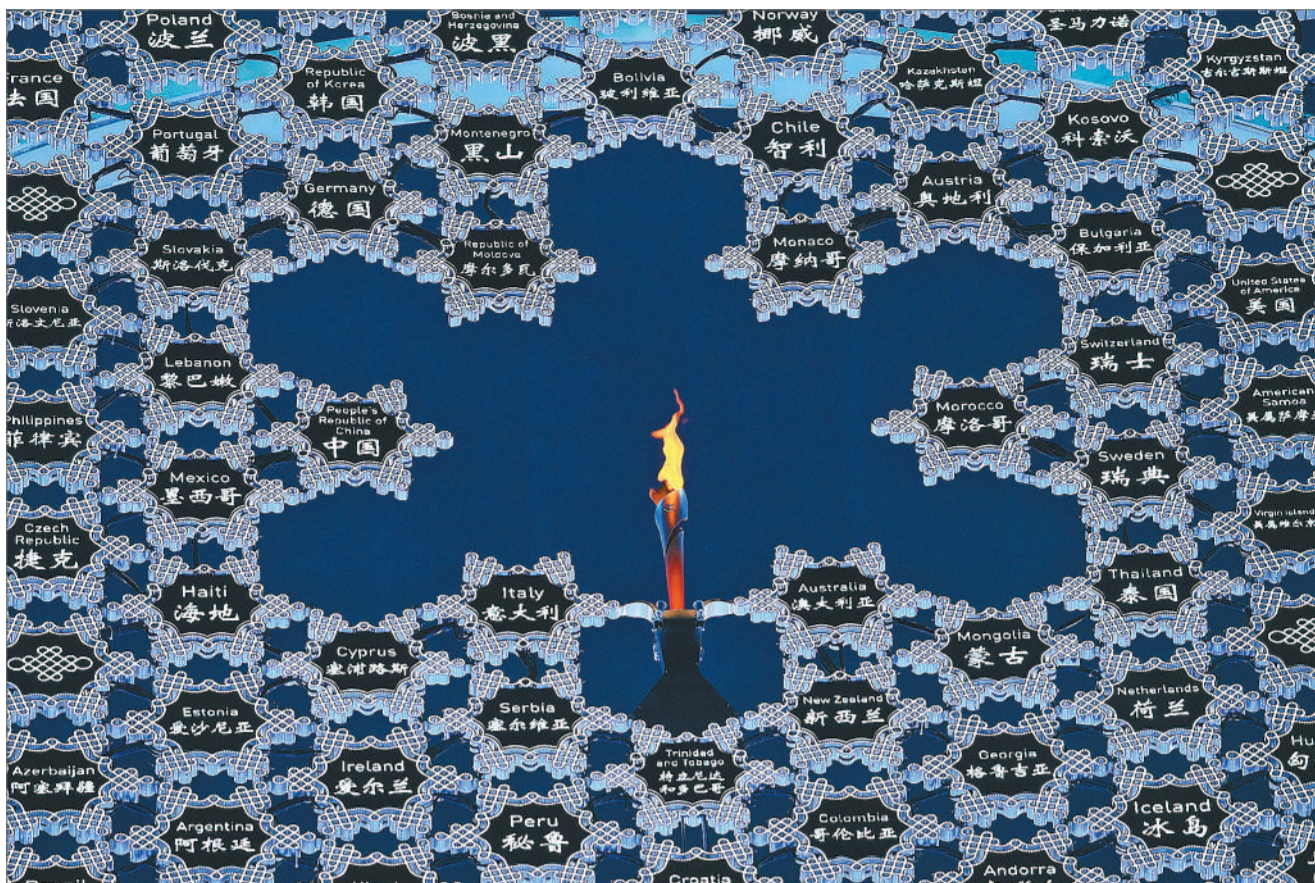
后来，团队渐渐找到了方向，技术人员在悬挂主火炬的威亚上，设计了一套姿态调节执行机构，配合地面装置实现主火炬的翻转、提升动作，氢气储存和减压装置就藏在其中，减压后的氢气，通过软管源源不断地输送至火炬中心，并应用航天氢氧发动机燃烧技术，保证不熄火、不回流、不脱火。

刘悦告诉中青报 中青网记者，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。

整个过程中，几乎每一步都有难题。比如，他们需要给火焰上色。火炬使用的是氢燃料，燃烧呈现的是透明火焰，所以，研制团队要想办法给火炬上色。

航天六院北京11所燃烧系统工程师韩宗捷说，在设计时，研制人员不但要满足飞行复杂曲面特征的结构要求，还要在出口处做出创新设计，实现焰色的可视性，让火焰显示出颜色。

研制初期，正值新冠肺炎疫情蔓延，彼时，火炬燃烧系统处在主力研发阶段，大量优秀的工程师特别是燃烧方面的专家，被迫居家办公，燃烧实验完全无法开展。



2月4日，2022北京冬奥会开幕式上，火炬冉冉升起。

视觉中国供图

韩宗捷、李泓达等团队成员为了实现火焰着色，尝试了很多方法，甚至在家里煤气灶上做起了文章。焰色反应实验，这才有了现在稳定可视的火炬火焰。

韩宗捷告诉记者，为了满足高安全性、高稳定性，研制团队对整个燃烧系统进行了300多次可靠性试验，使得火炬通过了在极寒环境、十级狂风、雨雪天气等情况下的测试。最终让飞扬火炬拥有了“钢筋铁骨”。

作为国家队成员，只要国家需要，我们一定会挺身而出。航天六院北京11所所长岳文龙说，为了实现手持火炬的燃烧系统技术，我们拿出了完成国家重点航天工程任务、确保不带任何隐患上天的劲头和航天人严谨细致的工作作风。

打造火炬 绿心 为1毫米连续加班到两三点

北京冬奥火炬拥有一颗绿色的“心脏”，这是与以往冬奥会一个显著的不同。虽然在2020年夏季奥运会上，日本已经首次采用了氢燃料的火炬，但与东京奥运火炬不一样的，我国采用的是高压储氢火炬，这是世界首套高压储氢火炬，首次实现了冬奥会历史上火炬的零碳排放。刘悦说。

他告诉记者，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。

当然，用氢气做火炬燃料并不容易。在北方冬季严寒的室外环境，如何确保火种不熄灭，同航天任务一样，冬奥火炬对可靠性要求也很高，如何保证氢在运输和传递过程中不泄漏？火炬火焰不能像火箭发动机一样喷射而出，怎样才能有曲线美感？这些都是研制团队需要解决的问题。

2020年8月17日晚10点，航天六院101所项目总师姜联东清晰地记得这个时间。看着火炬原理样机在台钳上又一次成功点火，他毫不犹豫地把手握在了火炬上。

这一刻，参与项目研制的团队成员都无比激动，信心剧增。

一个月后，手持火炬的造型确定了，火炬以祥云纹样打底，自下而上从祥云纹样逐渐过渡到剪纸风格的雪花图案，旋转上升。

惊艳，外观设计团队的创意非常惊艳，流线型的造型，律动感很强。这是第一眼看到火炬外壳时，航天六院北京11所特种阅事业部常务副总经理丁英仁的感受。

在见到最终外观之前，研制团队以2008年北京奥运会火炬外壳尺寸及造型作为参考进行设计。此时，燃烧系统研制已经进入尾声，外壳与内芯要进行匹配，而创意团队公开的造型，与想象中的火炬外形差别较大，现有的燃烧系统从尺寸到造型，都难以匹配。

火炬的内外飘带，如丝带飘舞，旋转上升，最后呈现为飞扬的火焰，这样包含着美好寓意的火炬造型，却给火炬燃烧系统带来了前所未有的难题。姜联东说，火炬内外飘带的造型，使得储氢气瓶不可能像外形一样上粗下细，若减少储氢气瓶尺寸，必然不能满足氢气的燃烧用量。

想着之前的努力可能要白费了，项目研制成员有人叹了一口气，愣愣地看着飞扬的造型出了神。

我们可以做一个小小的储氢气瓶，再连接一个小的。不行不行，连接结构也占空间，根本不节省多少尺寸。

会上，研制团队成员你一言我一语，激烈地讨论了起来，刚刚沉闷的气氛很快就被一扫而空，每个人都出谋划策。

经讨论，大家达成一致意见，决定缩小储氢气瓶的尺寸，提高设计压力，而这就意味着有无数个未知和难关，等待研制团队去发现和攻破。

想要把燃烧系统装进火炬的内部空间，除了要精简阀门外形、优化内部空间外，非常重要的一点，就是要将气瓶中的压力由35兆帕提升至42兆帕。

7兆帕压力差，看似很小，对于技术团队是一个巨大的挑战。它考验的是阀门的

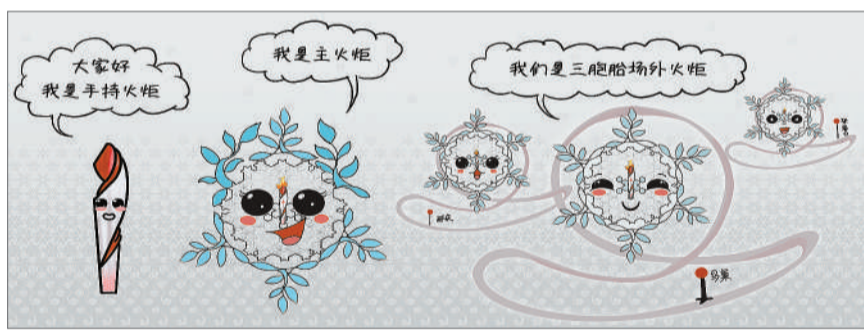
密封技术、降压技术、火焰稳定技术、可靠性等，都需要一一攻克。我们的减压阀同时要起到减压、充气、开关及密封四重作用，所以非常关键。压力的再次提升，要求我们要把密封等全部重新算一遍，材料重新换一批。丁英仁说，他们还要考虑高压情况下，如何在关上火炬时减阻减摩，如何从42兆帕高压降低到常压，维持火焰燃烧的稳定性等。

这也是我们团队研制最紧张的阶段。韩宗捷说，我们短时间内绘制了20余套图纸，进行了3D打印进行匹配，最终第一手持火炬工程样机顺利诞生。

打造火炬 三巨头 80后90后是主力

2021年十一月期间，北京某试验场，一群技术人员正在紧张地进行综合演练。刘悦告诉记者，在过去一年多的时间里，项目团队不知加过多少次班，熬过多少次夜，但这次的熬夜对于他们意义不同，他们要亲自主持“雪花”在空中绽放了。

创意团队选择富有文化气息的小雪花和橄榄枝造型。雪花，的中心，手持火炬插



手持火炬、主火炬、三胞胎场外火炬漫画。

中国航天科技集团六院北京11所供图

入后作为主火炬进行燃烧，冰与火的碰撞中，将艺术照进现实。

这天凌晨3点，火花与雪花缓缓升起，项目团队的泪水决堤而下。

团队里大部分都是80后，家里大都还有孩子，但必须克服一切困难，全力以赴投入项目研制中，他们都很不容易。刘悦说。

步步惊心，这是团队这一年多来的心路历程。

这次冬奥火炬的创意，是对传统奥运主火炬方案的颠覆。主火炬工作时间为1.5小时，显示方案也在不停地进行调整，供气方案也进行了多次的选择和安全论证，火炬展示程序及动作在过程中不断增加。这些都是对我们技术实力和应变能力的考验。刘悦说。

他以火炬控氢阀为例，这是安装在气瓶口的组合阀门，其作用主要是将气瓶内的高压氢气减压稳压到常规出口压力。为了契合冬奥会手持火炬曲面外壳设计，在内部空间十分有限的情况下，项目团队对控氢阀做了大胆的创新。

我们采用了微型的轻量化技术，对其进行了瘦身，以便腾出空间给氢气瓶，确保火焰的大流量，同时实现了该轻的地方轻，该重的地方重，该承受力的地方结实。丁英仁说。

艺术实现与技术现实，在不断地进行磨合。

他告诉记者，在压力提升20%的情况下，阀门长度从最初的162毫米降至110毫米，重量减轻至290克，重量仅相当于一袋牛奶。

在这支不断攻坚克难的团队里，80后、90后是主力，王星凯就是其中一员，他主要负责设计和现场施工管理工作。火炬是开幕式的核心机密，相关工作大多安排在彩排结束后的深夜进行，入冬后，北京夜间的温度有时会逼近零下10℃。

整个后半宿，我们基本是一站到底。王星凯说。每当天光微亮，即使是年轻人，腿也酸得不行。

2月4日立春，腹有火炬的雪花，面向全球亮相。

主火炬决定着闭幕式的成败。航天六院北京11所党委书记李晚峰坦言，火炬保障团队最大的压力就来自于必须保证整套系统的高可靠性，不容有失。

他说，数十年的产品研发经历与众多项目的实践磨砺，让团队在主火炬的研制过程中能够不畏困难，迅速制定解决方案，并进行有效验证测试，将导演团队的创意一步步变为现实。

与此同时，三处场外火炬完美亮相。北京奥运会共设有三处场外火炬，分别位于延庆城区、张家口太子城冰雪小镇、北京奥林匹克森林公园中心区。三处场外火炬与主火炬同一点燃，这是对储氢、运氢、燃烧等多重技术的考验。

我们有信心，三胞胎场外火炬也将有完美的表现。场外火炬负责人张范说。他相信，雪花绽放的这一历史性画面，将定格在许多人的记忆深处。

崔春说，这个体育风洞里测力传感器非常灵敏，可以感受到小到0.1牛的变化。风洞最高风速可以达到42m/s，几乎涵盖了所有体育运动的速度范围，包括速滑、雪车、游泳、自行车等等。

他介绍，自体育风洞投入使用以来，每天运转8到10个小时，不少运动员都在这里训练过，比如东京奥运会夺冠的游泳运动员张雨霏、自行车运动员钟天使等等。运动员风洞训练到底怎么练？

崔春介绍，训练分为两大部分，一部分是运动员动作姿态。运动员训练时，先做一系列连贯的动作分解成独立动作，然后在风洞中摆好姿势，静止不动，风洞开始吹风，工作人员通过测量阻力和比对，确定哪个动作阻力最小，把它们固定下来，形成一套最优的技术动作。运动员再通过训练形成肌肉记忆，在比赛中力争获得更好的发挥。

另一部分是体育装备，比如衣服、头盔。崔春说：它们对阻力的微小影响或许就是制胜的关键，这些装备也需要在风洞内测试，降低风阻。目前有许多科研人员在做这方面的研究。

崔春告诉中青报 中青网记者，速滑运动员武大靖、任子威的参赛服就是在这里测试过。先用激光扫描他们的身体，再用3D打印还原出1:1人体模型，套上衣服，放在风洞里吹，就能从减小风阻的角度优化参赛服的设计。

你可能想不到，这样一座神奇的风洞，是从北京丰台区的一个废旧厂房中诞生的。

崔春说，考虑到绿色环保办奥运等因素，崔春由二七厂原有的机车发动机试车厂房改造而来。他说：风洞设计很复杂，它每个部位的设计都很有讲究，如果设计不好，指标就很难达到。因此，往常我们建设一座风洞，先设计风洞再设计厂房，用厂房来匹配风洞，而这次不同，先有了厂房，再设计风洞，关键是这个厂房有点偏小，设计难度一下增大很多。

为了让运动员早日用上风洞训练技术，和时间赛跑了6个月之后，这座风洞就奇迹般地建成了。风洞调试半个月后，就开始有运动员训练和测试。白天运动员测试训练，晚上我们接着调试完善测试设备。虽然很辛苦，但看到运动员在用我们的东西来真的很开心。崔春说。

（整理：中青报 中青网记者 叶雨婷）

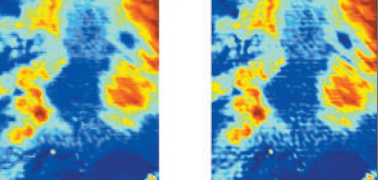
盘点冬奥会上高校的“黑科技”

让大雪花经受住风的考验

2月4日，立春之日。晶莹的大雪花在鸟巢绽放，冬奥开幕式盛典如约而至。艺术与创意完美的结合离不开科学的验证，有一支队伍负责将想象落地。他们是来自北京交通大学的一群了解风、分析风、利用风的驭风人。



内场大雪花1/20缩尺模型风洞试验。北京交通大学供图



北理工团队的太赫兹遥感技术。北京理工大学供图



3D打印火炬内飘带。哈尔滨工业大学供图



科技冬奥重点专项研发的L4级智能汽车。清华大学供图

倾斜于地面，火炬手将火炬插入，继而起吊升空、旋转。凭借着提供建国70周年庆典花车、建党百年庆典红色拱门等重要项目的抗风咨询工作。李波意识到，保障大雪花点火功能是关键，立马组成了攻关团队设计方案。

这期间，他们反复试验，初版大雪花模型质地轻薄，无法进行传统的建筑物风洞试验模型搭建，团队经过多次修正，最后采用铝合金3D打印制作出试验所需的高保真缩尺模型，逼真程度让主火炬设计团队大为赞叹。

经过多次试验，团队发现按照原方案，无论风速如何，大雪花总是控制不住地左右摇摆，火炬手根本无法将火炬插入到大雪花中。最终，团队提出建议将原方案调整为悬挂+支架的方式，保证大雪花稳定性，确保点火仪式顺利举行。

冬奥火炬零排放背后的奥秘

2月4日晚，北京冬奥会开幕式在国家体育场隆重举行，随着最后一棒火炬手将火炬放入雪花中央，星光璀璨，雪花绽放。在这其中，哈尔滨工业大学材料学院苏彦庆教授团队的3D打印技术有效助力了北京冬奥会零碳排放火炬的研发和制造。

苏彦庆教授团队对多种3D打印材料进行了测试和优化，对火炬内部结构进行了成形工艺优化，对燃烧器3D打印工艺进行了系统验证和改进，最后成功制备出完全满足要求的氢火炬及其燃烧系统，保

冬奥赛区里的无人驾驶汽车总动员

障了冬奥会主火炬燃烧的可靠性。此外，为保证火炬外观质量和燃烧效果，除要求尺寸精度准确外，还需要保证3D打印火炬内部的致密度接近锻态，以保证内部燃烧器气密性要求和火炬表面抛光质量要求。苏彦庆教授团队及哈特三维技术团队对3D打印装备进行了改进，配套研发了新型打印工艺，进一步提升了打印效率和打印火炬内部质量，满足了火炬生产的各方面要求。

为冬奥赛场的大气层做CT

高山滑雪、跳台滑雪、越野滑雪，每一项运动都与天气的变化密不可分，准确把握风向、温度、湿度等信息对赛事保障至关重要。北京理工大学张军院士、集成电路与电子学院吕昕、胡伟东团队与国家卫星气象中心合作，采用风云三号气象卫星获取北京张家口区域的遥感数据，为冬奥赛场提供精准的湿度、湿度、风场和降雪等天气预报信息。

要对冬奥天气作出预测，首先要有足够的天气数据，需要通过风云三号气象卫星搭载的微波成像仪(MWRI)来获取海量信息。团队负责人胡伟东介绍道。风云三号气象卫星可全天候、全天时观测大气，在探测波段方面实现了紫外、可见、红外和微波的全波段探测。依托强大的风云三号气象卫星，北理工科研团队可以获取全球、全天候、三维、适时准确的大气参数、地表参数、海洋动力环境参数等数据。同时，北理工团队利用微波太赫兹遥感技术探测卫星所搭载的微波成像仪



扫一扫看视频