

用晶莹的雪花与灵动的丝带点燃冬奥圣火

——清华助力冬奥会三大赛区火炬台设计

从2008到2022，清华美院“双奥人”

2008年北京奥运会开幕式上，2008人击缶而歌，呐喊声震天，震撼场面历历在目；2022年的立春，北京冬奥会开幕式，屏息凝神间，主火炬于“雪花”中央燃起，完成了一个时代的跨越。14年过去，在北京这座“双奥”之城，承继传统，孕育新声，回溯也望远，清华美院人的实践从不停歇。

早在2008年美术学院的多位老师就曾参加北京夏季奥运会开闭幕式的设计工作。当时，马赛作为青年教师，在史习平教授的带领下深度参与了北京夏季奥运会开闭幕式的设计，和团队一起出色地完成了开幕式上“缶”“龙柱”等演出道具的设计。时隔14年，作为清华大学美术学院



马赛教授（右1）与团队讨论设计方案

党委书记，马赛教授带领美术学院设计团队与清华大学机械系、土木系教授团队通力合作，充分发挥美术学院设计学科的优势以及清华大学综合学科的优势，贯彻习近平总书记2021年考察清华大学美术学院时提出的“美术、艺术、科学、技术相辅相成、相得益彰”的指示精神，将艺术与科学完美融合，圆满完成了此次北京2022年冬奥会场外火炬台设计，成为了名副其实的“双奥人”。

2020年11月，马赛教授团队受邀来到位于顺义的张艺谋导演工作室，张艺谋导演向大家介绍了近几届奥运会主火炬的设计趋势，指出主火炬越来越贴近群众，更有利于群众的打卡互动，因此火炬台尺寸不宜过大；同时火炬台要突出简约、纯粹、环保、科技理念，要满足开幕式表演及赛期内观众近距离合影留念需要；由于此次冬奥会赛场分为北京城内、延庆以及张家口三地，因此火炬台要在三地同时设立，要满足抵御严寒、强风等不利的气候条件，并将在赛后永久保留。出于保密原因，张艺谋导演只简单介绍了国际奥委会通过的主火炬的核心图形是直径10米的圆形薄片，希望美院团队能够从设计的角度赋予核心图形更多的艺术美感，同时在满足功能、安全的前提下，实现核心图形更多精妙、复杂的运动。

接到设计任务后，马赛教授组织工业

设计系、雕塑系的师生进行了多次分析、讨论，最终锁定了雪花形象，并在此基础上从艺术造型、结构、燃气功能、运动等多方面展开论证与设计，在短时间内提交了多套设计方案。此后，在与张艺谋导演的多次汇报、交流中，团队的设计思路不断清晰。由于核心图形直径达10米，其自重就很重，再加上张家口强风作用，因此火炬台要想稳定，必须要有坚实的结构进行支撑，而这些支撑结构在保证强度和稳定性的前提下，体量不能过粗过大，在造型上要与核心元素相得益彰，不能喧宾夺主。开幕式上的主火炬由威亚悬吊，携带的氢气只能燃烧两个多小时，场外的火炬台必须充分考虑氢气管线的连接，同时还要考虑张艺谋导演要求的运动效果，设计工作具有多方面的挑战。团队拿一些简易的材料制作了许多初始模型，不断推敲论证，最终排除其他方案，提出了“同心双向旋转”的设计方案，并通过动画演绎了灯光效果和旋转效果，得到了张艺谋导演团队的充分肯定。

2021年3月份，团队设计的方案在激烈的竞争中胜出，得到了中央领导、奥组委和总导演的一致认可。最终，由美院的马赛教授、李鹤教授、陈洛奇副教授、博士生任续超、硕士生查星宇和谢让等组成了核心设计团队，开始了为期一年的设计深化工作，以及与航天集团、雕塑工厂的施工对接、监制工作。

独特造型诠释艺术与科学的融合

火炬台的造型在开幕式主火炬的基础上增加了环绕的“银丝带”以及镜面底盘，起到支撑、稳定的作用，将开幕式上的大雪花以中轴固定的方式予以呈现。

“银丝带”造型完美诠释了冬奥会的理念，紧紧萦绕着象征世界各国携手走向未来的由小雪花和橄榄枝组成的大雪花。随着底盘的旋转，它在不同角度下呈现出高低起伏的形态，是对冬奥会众多赛事项目速度、激情、节奏、跃动以及群山等自然形态的抽象表达，通过镜面的映射以及流动的灯光，让观赏者在火炬台的旋转中既能感受到“燕山雪花大如席”的意境和“银丝带”轻舞飞扬的姿态，又能感受到冰雪运动的速度、激情、优雅与纯洁。

为了兼顾火炬夜间的动态效果，团队在“银丝带”、橄榄枝和底座转台上均随形设置了灯带，并在灯带外层添加镂空的小雪花格栅以修正光强效果。整体灯光效果以橄榄枝为核心，“银丝带”、底盘灯光与之配合，营造出冬奥运动强烈的速度感、节奏感和冰雪的圣洁感。

受燃气、材料、加工工艺以及力学结构等工程技术的制约，设计方案进行了多轮修改，为了降低反复调整带来的不确定性与不可解释性，团队采用参数化设计，从“银丝带”基础主干曲线阶数的控制，到每一个控制点的坐标调整，支撑结构件的数据化生成，再到每一个小雪花位置的



火炬台造型效果图

排布，都有数值可依。并且每一次调整、修正的数据都被完整记录，通过数值的优化迭代，使火炬台既满足工程的要求，又能达到设计的艺术性要求。

由于场外火炬台必须与开幕式上的主火炬形象一致，基于燃气等现实条件的影响，美术学院设计团队与航天团队合作，对火炬台的橄榄枝形态以及小雪花的排布结构进行了修改，充分体现了艺术美学和结构工程相辅相成的关系。张艺谋导演提出以代表每个参赛国的小雪花与四周橄榄枝拼合成大雪花的构想，但是由于参赛国的数量一开始无法确定，小雪花如何排布？如何与橄榄枝进行连接？如何既保证强度又能减小风阻？这些都是在深化设计时团队遇到的极具挑战性的问题。团队在推敲橄榄枝艺术造型的同时，还需要考虑其结构的强度与迎风面积等问题，通过有限元分析以及拓扑优化等方式提出了多个结构上较为合理的创意图案，并针对这些图案进行计算分析得出可能采用的材质、整个火炬的重量以及结构的合理分布。最终，再结合多项仿真模拟实验数据，决定发挥小雪花六边形的特点，采取蜂窝状的稳定结构，无需任何外部结构介入，实现了艺术造型与工程结构的完美融合。

团队在设计和深化过程中，始终坚持贯彻“简约、精彩与安全”的理念，在确保安全的前提下，各部分造型在满足实际结构强度需求的同时兼顾了美学的表达，在艺术与科学相结合的创新路径下，整个装置的研制过程充分体现了清华大学美术学院在学科交叉方面的优势，也充分彰显了习近平总书记所说的“美术、艺术、科学、技术相辅相成、相互促进”的特点。

巧妙运用材质肌理表达作品艺术性

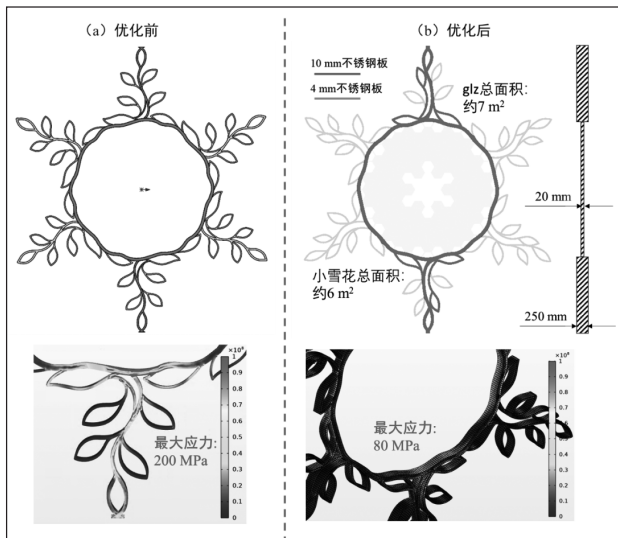
李鹤教授与团队成员一道，经过对鸟巢等三个场地的实地考察，考虑到大众对冬奥冰雪的感知体验以及火炬台将在三地永久保留等多方面的因素，对与材质感官紧密相关的色泽、质感进行大量的材质表面实验，最终选择了易弯折、高强度、耐腐蚀、耐高温和耐低温特性的不锈钢材质，并运用8K抛光工艺。

不锈钢表面经过抛光研磨后光可鉴人，并作为一种艺术媒介，延伸着作品的艺术性，也加强了作品的完整性。灵动的旋转和对周边环境的映射弱化了雕塑的体量感和轮廓清晰度，使得作品整体产生失重的轻盈感，四周的环境、观赏者通过镜面映射都融入了作品，成为火炬台的一部分，与之浑然一体、晶莹剔透、交相辉映，诠释了“全世界更团结”“一起向未来”的奥运主题。

机械传动为雕塑注入“动”的灵魂

不同于传统的静态火炬，此次火炬台的设计围绕着雪花核心图形，增加了动感的表达，增添了雪花所带来的活力与魅力，引发人们对圣洁的冰雪以及激情的运动的无限遐想。“银丝带”与“大雪花”非匀速的双向同心运动，为火炬增加了时间维度及动态视觉体验。

项目早期尝试以雪花为整体形态，橄榄枝作为枝干结构，该方案具有很高的艺术美学，但是其结构强度以及工程实现上都存在问题。若要满足整个雪花重量都压在一根细小的枝条上且实现转动，就要求整个雕塑厚度约为100毫米，团队通过有限元受力分析，证实该结构是不可能实现



优化前后中心图案的受力分析

的。深化设计过程中，针对旋转运动支撑结构提出以上下两点支撑的方式，并以萦绕周围的“银丝带”作为中心结构加持，但大雪花自身结构却无法满足结构受力边界条件。土木系石永久教授根据相关国家标准，以及雕塑所在地历史天气数据等确定了整个装置设计校核时应采用的载荷工况，综合考虑风载、雪压以及自重等因素，与美术学院团队一起最大限度地保留“银丝带”的美学理念；机械系田煜教授团队通过将上下橄榄枝条中的叶子与枝条搭接，构成双支撑结构，有效地提高了橄榄枝支撑点的强度。中心圆环与上下支条采用10毫米厚度的不锈钢板，形成主要承力结构，其余枝条与叶子采用4毫米厚度的不锈钢板，以降低整体重量。上下枝条与中心圆环连接处焊接采用内部支撑的方式，并增加肋条以提高局部力集中部位的强度，为橄榄枝成为动态雕塑的重要受力结构提供了基础，进而完成最终优化

图案。

在此基础上，由机械系田煜教授牵头组织，带领其团队骨干成员王子羲老师、高志老师、李新新博士和李远哲博士，针对中心图案刚度较低、整体装置上下支点跨度的问题，提出上下运动支点均采用调心轴承支撑，以适应加工、安装等带来的上下端不同轴问题；通过一端固定、一端预紧的轴承定位方式，以提高薄板的刚度，减小变形，降低失稳风险。电机固定在地面，采用齿形联轴器或双向万节等柔性联轴器连接齿轮箱和薄板转轴，以适应转轴末端较大的偏转，氢气通

过旋转连接器、内部中空管道进入到火炬，对轴承、电机等零部件进行选型与校核，最终实现大尺寸动态雕塑“动”的灵魂。

此次冬奥火炬台的设计，是美术学院继国庆70周年天安门广场“红飘带”景观雕塑之后，又一次与土木、机械等学科交叉合作的结果，充分体现了艺术与科学的完美融合，彰显了绿色、人文、科技的特点，融汇了冬奥文化与中国传统文化。

随着冬奥的开幕，火炬台成为冬奥期间的亮点，并将在冬奥之后作为奥运遗产永久留在张家口、延庆等地，充分落实习近平总书记所说的“把更多美术元素、艺术元素应用到城乡规划建设，增强城乡审美韵味、文化品位，把美术成果更好服务于人民群众的高品质生活需求”的讲话精神，将冬奥文化深深植根于人民群众的生活中，成为永久的、美好的记忆。

（美术学院分会）