

自然与人工的对话

——李兴钢谈冬奥会延庆赛区设计及其他

A Dialogue Between Nature and Man-made Environment: The Interview of LI Xinggang about the Design Concept of the Beijing Winter Olympic Games Yanqing Competition Zone

陆少波 | LU Shaobo 李兴钢 | LI Xinggang

中图分类号: TU-201

文献标志码: A

文章编号: 1001-6740 (2023) 03-0077-14

DOI: 10.12285/jzs.20230412002

摘要: 本文通过访谈, 探讨了冬奥会延庆赛区的设计背景和挑战, 以及大规模建设与复杂山地环境的融合, 结构的“自然建造”与传统转译, 冬奥八景的山水感知与想象等创作的方法和理念。

关键词: 冬奥会延庆赛区、技术、结构、生态、山水

Abstract: Through the interview, this paper discusses the background and challenges of the design of the Beijing Winter Olympic Games Yanqing Zone, mainly about the integration of large-scale construction with the complex mountain environment, the structure construction of the tradition translation, the perception and imagination of the landscape etc.

Keywords: Winter Olympic Games Yanqing Competition Zone, Technology, Structure, Ecology, Landscape Environment

采访时间: 2021 年 9 月 28 日及后续多次补充采访

采访地点: 李兴钢建筑工作室、冬奥会延庆赛区现场

引言

延庆赛区是北京 2022 年冬奥会和冬残奥会三大赛区之一, 位于北京延庆区海坨山区域, 风景秀丽、山高林密, 总占地面积达 799.13hm²。2022 年北京冬奥会延庆赛区总设计师李兴钢带领设计团队, 通过体育、建筑、景观、基础设施等方面的联动设计, 打造了冬奥场馆历史上新的里程碑, 使建筑与自然环境有机结合, 在满足呈现精彩赛事要求的基础上, 建设了一个融于自然山林中的冬奥赛区。

冬奥会延庆赛区的创作, 其重要意义之一在于项目自身的挑战性。延庆赛区建设周期之短、规模之巨大、地况之复杂给项目的全周期设计带来了极大挑战。设计团队不懈寻求突破性的工程技术和原创性的设计方法, 以保障项目的高水准实现。尤为可贵的是, 设计团队在历经数年的工作中, 由巨而微地贯彻“山林场馆, 生态冬奥”的总体规划设计理念, 提出了 61 项生态可持续措施。实现了复杂工程设计与生态环境可持续的有效平衡, 也为国内外同类型项目提供了系统化的参照样本。

重要意义之二在于延庆赛区独特的文化统一性。赛区内各个场馆的功能、规模悬殊, 而建筑师从更宏观的文化维度着眼, 通过构建人对山林环境的内外动态体验完成多元场景的整合, 即一种“当代桃花源”的“行、望、居、游”。在延庆

作者:

陆少波, 建筑师, 上海交通大学设计学院博士研究生;
李兴钢, 中国建筑设计研究院有限公司总建筑师。

录用日期: 2023-04

赛区，人工的建造物与四周山野的岩石、远山共同组成了画境。在此，对画境的体验是综合了触觉、听觉等感知方式的“多重感知的复调”。四季气候的变化、树木的荣枯、鸟鸣山风与人的运动体验一起成为大自然生息的片段，共同构建起超越单一视觉体验的人文胜景。

一、设计背景与挑战

陆少波（以下简称陆）：冬奥会延庆赛区是2022年北京冬季奥运会三大赛区之一，这个赛区的设计背景是怎样的？

李兴钢（以下简称李）：身在中国建筑设计研究院这样的大平台，我有更多机会去创作一些关系到重大公共空间和事件的项目，它们往往规模大、复杂度高。在针对技术性问题提案的同时，我坚持把自己长期的专业思考渗透在其中，要求自己的每个项目都能在建筑学意义上有所突破。北京冬奥会延庆赛区就是这样的项目，包括国家雪车雪橇中心、国家高山滑雪中心、延庆奥运村和一系列相关配套设施。该项目与2008年我参与的国家体育场“鸟巢”项目不一样，在“鸟巢”项目的前期，我的工作参与瑞士建筑师赫尔佐格与德·梅隆的创作，包括方案的创意、

设计等；项目后期，我的主要工作是负责重要的技术落地。而延庆这个项目则是由我们自己的团队来把控全局，可以主动提出自己的专业思考，并让我们的思考在这样一个大型的项目中实现（图1、图2）。

陆：“鸟巢”是城市中的单体，而冬奥会延庆赛区是自然中的城市综合体，两个项目的技术难度和重心不同，您能否从结构、施工、管理等技术层面再分享一下两次做国家项目中自己和相关团队的差异？以及主体管理层面面对您的要求、挑战在哪里？

李：国家体育场“鸟巢”本身是一个标准的体育场单体，同时位于成熟的城市环境，有完善的市政条件，已经有不少相关的建设经验。延庆赛区的雪上场馆并不是标准的体育场馆，需要根据现状场地的条件来布置，没有完全可以照搬的经验。延庆赛区位于山区，自然环境条件复杂，基础设施较弱，要建设总建筑面积26.9万 m^2 的场馆和相关配套服务，需要为此配备大量的市政设施。相比于市内建设项目，延庆赛区涉及的相关专业和技术

门类更多，除了场馆本身的特殊技术要求，还涉及市政、道路、岩土、污水处理等方面的专项设计。由于涉及的内容十分复杂，我不仅要作为总设计师把控我们团队的建筑设计，还要作为总规划师把控延庆赛区的整体规划和建设。

在延庆赛区设计联合体中，中国建筑设计研究院有限公司是总牵头单位，加拿大伊克森（Ecosign）公司负责高山滑雪雪道设计并负责前期赛区规划的顾问工作，德国戴勒（Deyle）公司负责雪车雪橇赛道及其制冷系统设计。高山滑雪中心和雪车雪橇中心都是定制产品，有很多技术要求，还要根据现场山地条件来量身定做。北京市市政设计研究总院有限公司主要负责赛区的市政道路以及污水处理站、垃圾转运站等市政设施的设计工作。同时，中国建筑设计研究院对污水处理站、110kV变电站等赛区内的市政设施的选址、外观、景观等做了控制，我们也绘制了部分的施工图，另外即使一些不是我们自己设计的配套建筑，也会对建筑立面外观等方面尽可能地把控到位（图3）。



图1：延庆赛区鸟瞰图

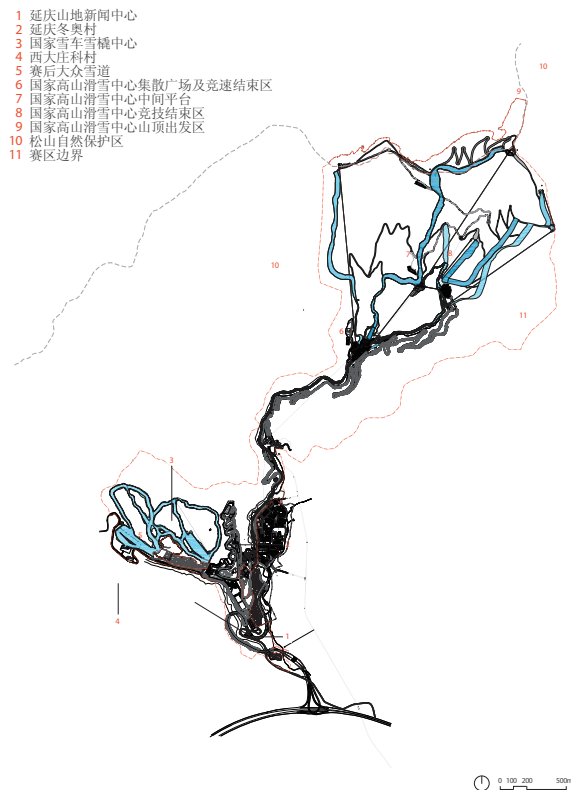


图2：延庆赛区总平面图

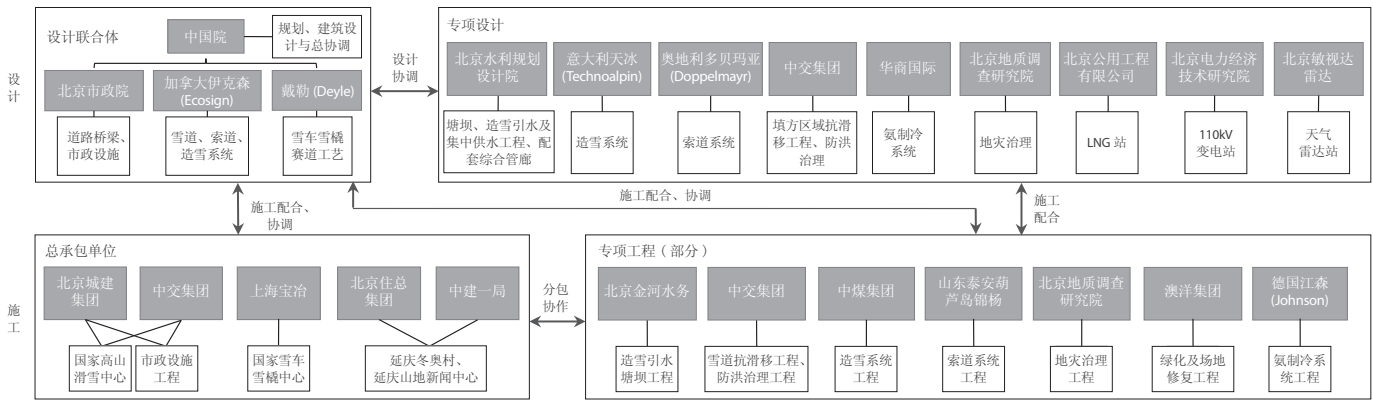


图3：延庆赛区设计工作框架

二、大规模建设与复杂山地环境的融合

陆：如此复杂的项目，感觉并不容易平衡建设与山地环境的关系。有批评声音认为冬奥会选址在一个国家森林公园保护区附近，是破坏当地自然生态的行为。您是怎么理解和定义这个项目中的生态因素？

李：延庆赛区的总体规划设计理念是“山林场馆，生态冬奥”，这是我们团队的愿景。其中，“山林场馆”是重要的设计前提。现实的情况是，过于粗暴地介入或者完全不介入。而在延庆项目中，需要的是恰当地介入，创造一种人文文化的生态；而冬季奥运会本身是当代的大事件，期望回到田园牧歌时代的生活状态，那也是不现实的。所以我认为，这是当代现实的“山林文化”的愿景。“生态”本身的含义不应局限在纯生态的定义，执着于保存一种蛮荒的环境是不现实的。这是对当代现实条件的反馈。

陆：冬奥会这样重要的国家事件，必然需要大规模的建设。您能否介绍一下如此大规模的延庆赛区的主要设计策略？

李：冬奥会延庆赛区，在平衡大规模的建设与原有场地的生态系统之间的关系上，进行了大量的思考和尝试。

现在的奥运会，越来越强调大量的临时设施，强调奥运会短时间的服务与长时期的场馆遗产有相对的平衡关系。这其实包含着两方面的考虑：

一方面，永久性的设施做到什么样的

程度是合理的。试想如果所有建设都是临时设施，也是有问题的，因为只要建设，就会对环境造成干扰，但又没有给未来留下可再利用的遗产，这反而会造成浪费，所以不能极端化。

陆：延庆赛区是永久设施较多吗？

李：在延庆赛区，冬奥会的永久设施是比较多的，因为，当地道路等市政配套设施非常缺乏，可利用的基础设施基本没有，新建的道路设施和索道系统的成本非常高，而且无法移除。所以，需要一定量的永久性配套设施协助运营，才能提升基础设施的价值。这些永久设施既可以成为冬奥会的遗产，也可以作为当地长久发展的基础，增进冰雪运动的开展，带动当地的经济。与此同时，延庆赛区仍旧有不少临时设施，特别在高山滑雪中心区域，大量的场馆设施都是以临时方式建设。

另一方面，针对建设场馆及配套设施的土地如何形成。原始陡峭的山地很难使用，除了雪道之外，其他方面的建设常规都需要“填土造地”，这个过程本身就会对自然生态产生干扰，而且高山深谷地段的填土方式效率极低。我们试图设计一种“临时性的土地”，代替“填土造地”的方式成为永久或临时设施的基础框架。

在不破坏山体场地环境的前提下，我们设计了一层层架空的、顺着山体坡度迭落的立体人工平台，平台上再进行永久或临时的建设。这种平台是装配式构造，与土地是点接触的，必要的时候还可以拆解移除，所以对原生土地的影响是可逆的。

1. 基础设施

陆：我注意到您的团队设计了场地中大量的基础设施建筑，类型十分多样，像供电站、索道站、供水泵房、造雪泵房等。介入这些建筑的设计工作之中，是否有什么困难？

李：延庆赛区的总占地面积有799.13hm²，建设用地面积76.55hm²，其实建筑的占比并不算大，大量的工作是和配套基础设施打交道。这些基础设施具有非常专项的功能，一般都由各自业内的专业设计单位来完成。同时，这些基础设施的权属也比较复杂，各自有主管的部门，以往像电力公司所属的变电站基本上是很小由电力系统之外的设计单位设计，当然现在这种情况正在改变。为了把这些建筑融入赛区，使赛区形成和谐的总体环境，我们耗费了相当大的精力。

陆：您的团队是如何改变既有的基础设施的设计模式？

李：我们从这些设施的选址工作就开始深度介入，比如，场地中两个变电站的选址，常规来讲，变电站选址的评判标准会根据电力需求和各种技术要求来确定，一般会选在负荷中心的位置。开始电力公司选定变电站的场地位置靠近负荷中心，但却刚好位于赛区景观非常好的地方，这对赛区的整体环境造成了负面影响。随后我们提出了几个对环境影响较小的建议位置，经过和电力公司多次交流沟通，最终说服了电力公司，选定了两个位置。



图 4：基础设施“山林”（从左到右依次为：A1、A2 索道中站，1 号生活泵房，1050M 塘坝）



图 5：“融入地景”的海坨变电站



图 6：高山滑雪中心的雪道与缆车

每个变电站的面积大约有 4000m^2 ，体量并不小，处理不好对景观影响很大。海坨变电站采用站体下沉的方式以减少对环境的影响。靠近冬奥村的玉渡变电站，最初我们也希望是一个可以藏在地下的建筑，但电力公司认为地下站不能满足电力运行的要求。经分析，我们发现在 2 号路旁边，大众雪道西侧有一段非常陡峭的坡，它的高度和规模可以容纳下变电站，与道路连接也方便，如果放在这里，变电站的顶面可以覆土恢复成大众雪道，在技术上也能满足变电站的使用功能，这样可以做到在满足功能的基础上最大程度地降低对赛区景观的影响。对于这个方案，电力公司和电力设计单位是存有疑虑的，经过多次协商解决相关问题之后，最终确定了玉渡变电站选址的可行性。赛时，变电站顶部作为停车场使用，赛后可以恢复成大众雪道。

这是其中的一个例子，也是在设计过程中碰到的众多的棘手问题之一（图 4、图 5）。

陆：缆车也是延庆赛区中很重要的基础设施，其设计应该有很强的技术要求，这对建筑设计有什么影响？

李：缆车有很多复杂的技术要求。由于延庆赛区场地条件复杂，对缆车的选线产生了很多限制条件。比如轿厢距地高度有要求，每条缆车线路转弯也有要求，等等。因此，赛区内设置的缆车有 11 条线路，只有这样才能满足各处场馆设施和赛道的使用需求。另外，缆车不仅有独立的站点，还有结合山顶出发区、冬奥村的站点，这就需要与周边的环境相协调。

陆：这些缆车站点的设计有什么特殊的处理吗？

李：我们的设计策略是使山顶出发区高度不超过山顶的最高点，同时将山顶出发区嵌入山体之中，融为一体。因为缆车终点需要有一段水平回转的空间以使乘客能安全上下车，同时缆车站点对应的位置接近山顶的最高点，所以缆车终点部位嵌入山体是较多的。山顶出发区仅一侧靠山壁，考虑到安全因素，需要建筑结构与山体实际脱开，但在功能和视觉上保持与山体连接。最终呈现的是山顶出发区的建筑与山体之间完美地融合在一起。

冬奥村的缆车站点位于公共区旁边，公共区临近处设置了一个大空间的大厅，在冬奥会后该大厅可以改成大众雪道的雪具大厅，并通过坡道与缆车站点相连，营造舒适的滑雪体验。另外，站点的屋顶采用了与冬奥村主体相似的坡屋顶策略，和冬奥村形成整体，屋顶宽度和高度则是根据索道的技术要求确定的（图 6）。

2. 高山滑雪中心

陆：整个延庆赛区海拔很高，小海坨山顶最高点是 2198m，位于低点的山地新闻中心也有 907m。这样的地理条件，有没有给设计团队带来设计方面的挑战？

李：小海坨山冬季严寒，山顶的极端低温可达 -37°C ，是需要有相应的措施应对这样的特殊气候。高山滑雪中心的装配式钢结构，采用了抗低温耐候钢，本身是为了保持钢结构在低温情况下的性能，同时采用耐候钢也可以减少定期涂刷防腐涂

料的工作，减少对环境的影响和降低维护成本。该区域的停车平台采用了 F50 抗冻混凝土配筋面层，以达到高标准的抗盐冻性要求和受力要求。

另外，在面对特殊地形时，高山滑雪中心的山顶出发区也在体量上采取了嵌入地形的策略，并结合了缆车出发区，山体挡土墙的技术要求，但整体上保持了低于山顶最高点的谦逊姿态。除了山顶出发区的建筑，高山滑雪中心的工作主要是在梳理雪道的地形（图 7~ 图 10）。

陆：高山滑雪区域的雪道，位于南坡，由于日照等原因，人工造雪量十分巨大，为此需要设置三级蓄水设施，蓄水量达到 $15\sim 18\text{万 m}^3$ ，看似十分自然的场地，实际上消耗的资源还是非常巨大的。请问当时选址为何选择在南坡？

李：高山滑雪中心的选址，尤其是竞速雪道，有其特定的要求。比如需要有大于 800m 落差，并需要满足一定的坡度和宽度要求的场地。按照这些要求筛选后，在延庆地区符合高山滑雪比赛要求的场地并不多。即使是现在选址对应的北坡也不能满足赛道的技术要求，而且北坡距离城市更远，市政道路等基础配套更少，建设开发的成本相对较高，同时对赛后的运营也不利。甚至延庆作为冬奥赛区被确定下来，很大程度上是由于高山滑雪中心选址的确定。所以，最终选址在南坡是一个综合比选决策的结果。

陆：我可以理解成高山滑雪的雪道选址是优先级最高的吗？

李：可以这么说。高山滑雪的速降项目被称为“冬奥会皇冠上的明珠”，是冬

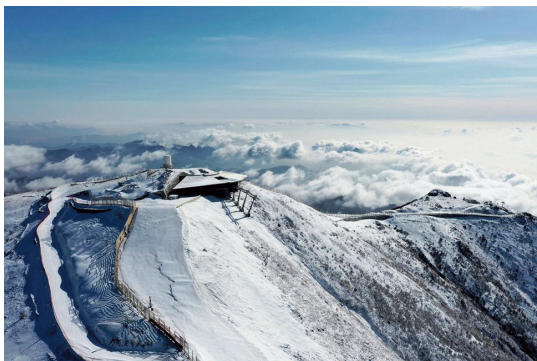


图 7：高山滑雪中心山顶出发区

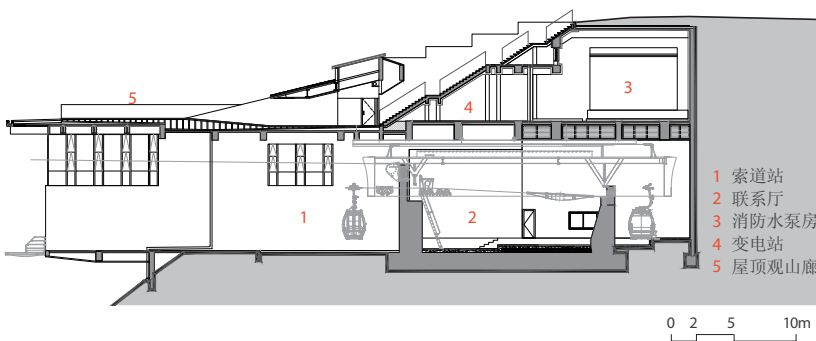


图 8：高山滑雪中心出发区剖面图

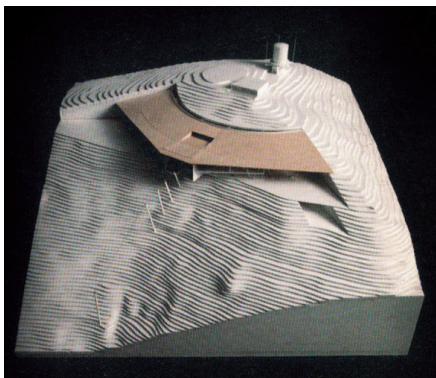


图 9：高山滑雪中心出发区剖面草图

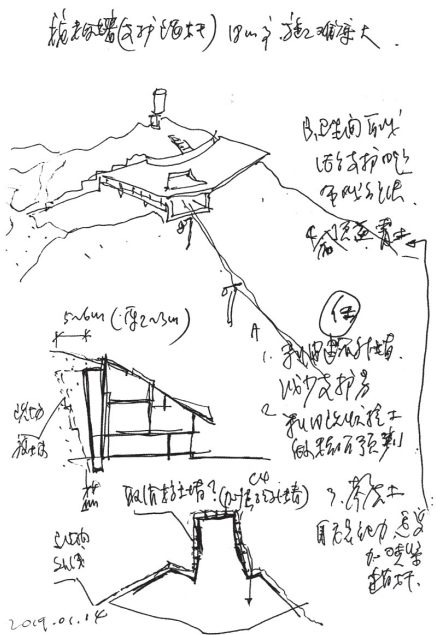


图 10：高山滑雪中心出发区过程模型

冬奥会赛事的起源之一，雪道的选址是尤为重要的。延庆赛区的场馆选址，是先确定了高山滑雪项目的选址，再确定雪车雪橇场馆的选址。冬奥村的选址则没有十分特殊的技术要求，可相对灵活。

陆：高山滑雪的雪道海拔落差很大，沿途风景体验的变化很多，当时是如何选定具体的雪道路线？

李：雪道的选择和设计是有一定的主观性，需要有一定专业比赛经验的团队才能设计体验。我们这次与雪道设计师鲁西（Bernard Russi）先生合作完成了雪道的设计。鲁西先生是国际滑雪联合会高山滑雪委员会主席，也是冬奥会高山速降的世界冠军，同时他也设计了 1988 年以来冬奥会的所有速降雪道，他对于滑雪过程中的体验感，比如美和舒适、滑行状态以及安全性的判断是从专业运动员的角度出发的。另外，我们在选线时会尽量贴合原始地形并加以利用，尽量不破坏山体，展现场地的原生之美。

三、结构的“自然建造”与传统转译

1. 雪车雪橇中心

陆：木结构在延庆赛区有多次运用，例如在雪车雪橇中心，使用了木结构梁；在冬奥村中，则有木结构的细部意向。您能分享一下设计意图吗？

李：木材和木结构运用确实是整个延庆赛区中比较强调的。屋面材料大量使用了木瓦片，凡是坡屋面都采用了木瓦，高山滑雪中心的山顶出发区，整个冬奥村和整个雪车雪橇中心都有使用。最后统计下来，延庆赛区的屋面共使用了接近 8 万平方米的木瓦。雪车雪橇中心的遮阳棚采用

了木结构与 V 型钢柱组合，并布有平衡钢索，是一种单面悬挑的结构，采用木结构是有其合理性和必然性的，这和雪车雪橇中心的遮阳系统（地形气候保护系统，TWPS）的特点有关。遮阳棚需要遮挡延庆此地各季各种随机变化的太阳光线，以保护赛道，每一片遮阳梁的尺寸都不一样，这是真正的参数化设计。如果采用钢结构，构件的种类和相互的交接会非常复杂，但如果采用数控（简称 CNC）技术加工的木结构就简单很多，250 组各不相同的木梁的切割工作量和相同尺寸木梁的工作量是一样的。因此，我们选择了木结构，结构的选择和特定的技术需求有着密切的关系。同时，木梁和木瓦屋面跟延庆赛区的山林环境无疑是很匹配的，而高山架空平台层层跌落的水平板片意向与其下钢结构支撑格架的通透意向也是同山林环境匹配的。

这可以说体现了“自然建造”的理念，或者说是一种“自然而然”的建造。建筑设施一部分采用了自然的材料，但也有不使用自然材料的部分，强调的是在现实技术条件下“自然而然”的建造。中国的传统建筑也是这样，并不排斥当时当地现实条件下的应对性选择，这种策略很具有当代性（图 11~ 图 14）。

陆：雪车雪橇中心的结构单元十分巧妙。在设计过程的草图中，雪车雪橇中心的典型结构单元有数次不同的提案，我曾经有五边形几何形的膜结构单元，最终为何会选择现在的钢木混合结构？

李：在设计的前期阶段，雪车雪橇中

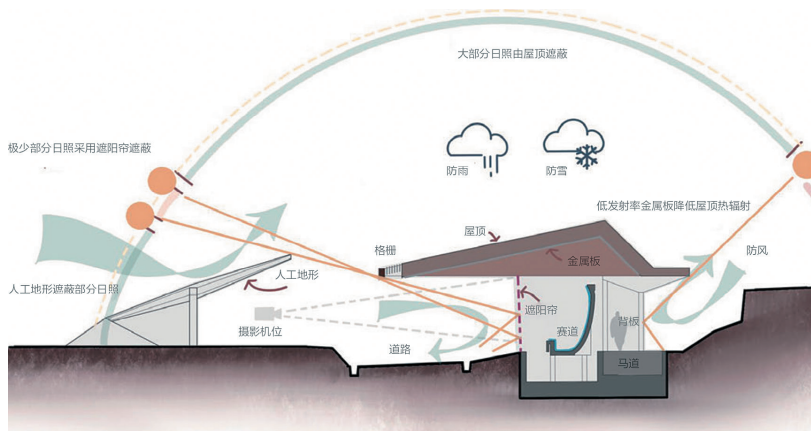


图 11: 雪车雪橇中心的 TWPS 遮阳结构系统

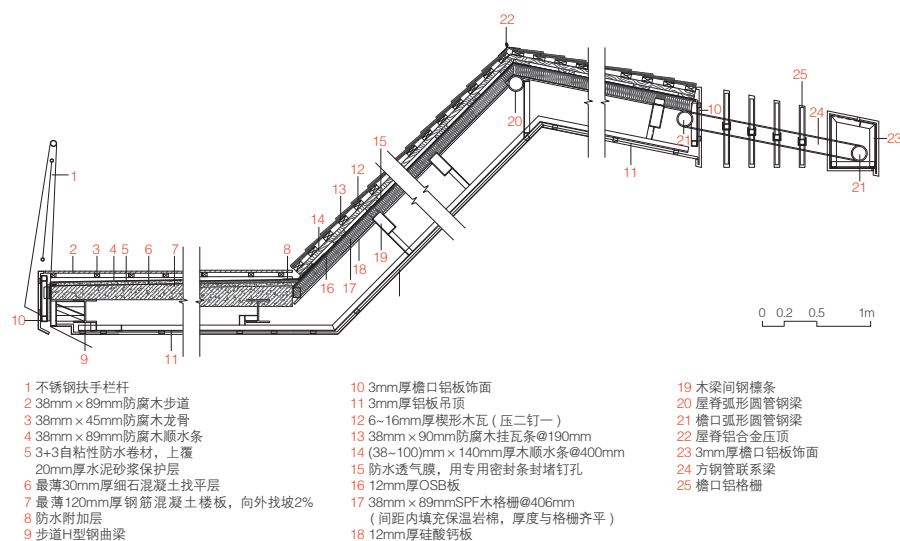


图 12: 雪车雪橇中心赛道屋顶构造详图



图 13: 鸟瞰雪车雪橇中心



图 14: 雪车雪橇中心赛道与运营区、观众主广场

心的遮阳结构曾考虑采用膜结构。结构的单边悬挑策略是很早就确定的，这主要还是考虑赛事观看和转播的需求——如果是两边立柱，会遮挡赛道，影响观赛和转播效果。在深化设计的过程中，我们做了阳光的辐射计算模拟，结果很多部位遮阳棚的悬挑跨度要达到差不多 10m 才能满足要求，由于建筑曲折朝向各不相同，部分遮阳悬挑则需要达到 13m。采用膜结构，面

积过大，大片的白色膜结构屋顶在延庆的山地环境中过于突兀。也曾过程中尝试过金属屋面等做法，但总体上不如木瓦屋面来得自然，木瓦与山林环境还是最为融合的。

结构设计本身，也有很多推敲和商讨的工作。曾思考过五边形的结构，几何上很完美，但很难应对现状复杂的地形和不同尺寸的悬挑。在设计过程中，对于结构

最大的争论是选择钢结构还是钢木混合结构。一般认为钢结构是更经济的结构系统，但雪车雪橇中心结构单元尺寸连续变化，几乎没有一个是相同的尺寸，如果要使用钢结构，每个构件的尺寸都不一样，还有大量的非标连接构件，这实际上会极大地增加施工的困难。另外，钢结构相比木结构刚度和自重小，需要考虑钢结构的自身稳定和面外稳定的问题，场地又位于多风强风的地区，这样的大跨悬挑设计，还需要考虑风作用时的上掀和下压的力带来的屋盖变形等问题。

我直觉上认为雪车雪橇中心木结构屋架是与山林场地环境最为契合的结构系统。我们的结构设计团队，经过反复试验、计算后，得出胶合木实体异形梁的结构反而能更好地解决大跨悬挑的问题。构造上，木梁内设钢柱，并有拉索，与木梁一起，各自发挥其材料的特性，各种不同悬挑跨度的木梁用 CNC 方式加工的速度很快，工厂加工好运到现场后，通过整体吊装就可完成，适合复杂山地条件的施工。这种钢木混合结构体系，可以说是唯一可能的选择，最符合场馆的需求和结构及材料的本性和逻辑（图 15~ 图 17）。

陆：虽然木结构本身是十分生态环保的，但是在这样大尺度的体育建筑中，使用钢木混合结构仍旧是较为少见的。木屋架在规范和审批过程上有没有遇到什么阻力？

李：木结构的使用，还涉及现有的防火规范问题。在防火等级的认定上，整个雪车雪橇中心是由不同的部分组成的。赛道部分，实际上是一种构筑物，并非封闭的建筑室内空间。在与出发区、结束区等建筑相邻的区域，则局部采用了钢结构的屋架，以满足防火间距的要求。在防火分区上，作为建筑物的附属建筑与作为构筑物的赛道遮阳棚互相独立。

陆：在雪车雪橇中心的建筑上，有一条随着屋顶蜿蜒的游步道，您是怎样设想这个空间元素的？

李：如何处理雪车雪橇的场馆原本是一个难题。首先，这个场馆原本就可能是

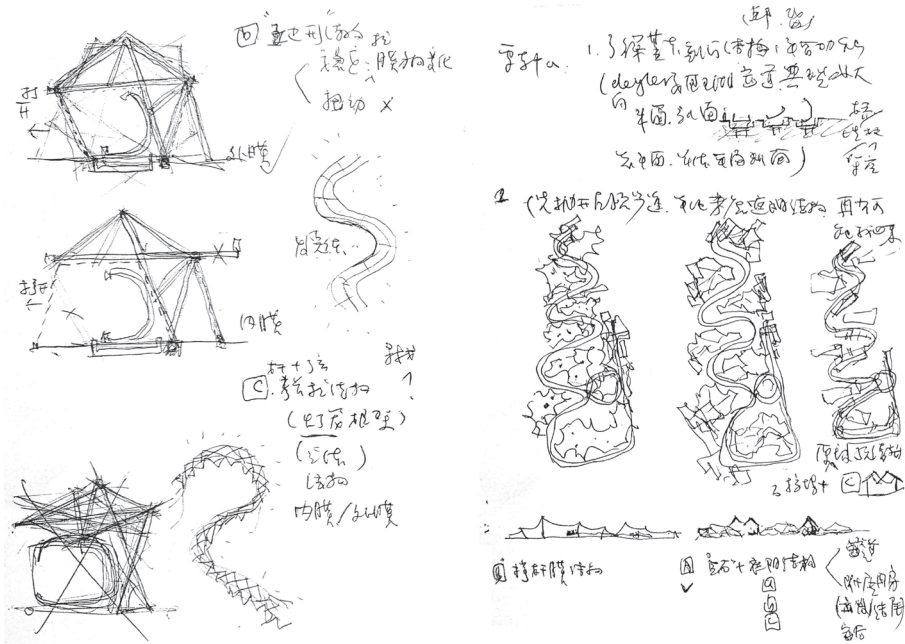


图 15: 雪车雪橇中心结构草图

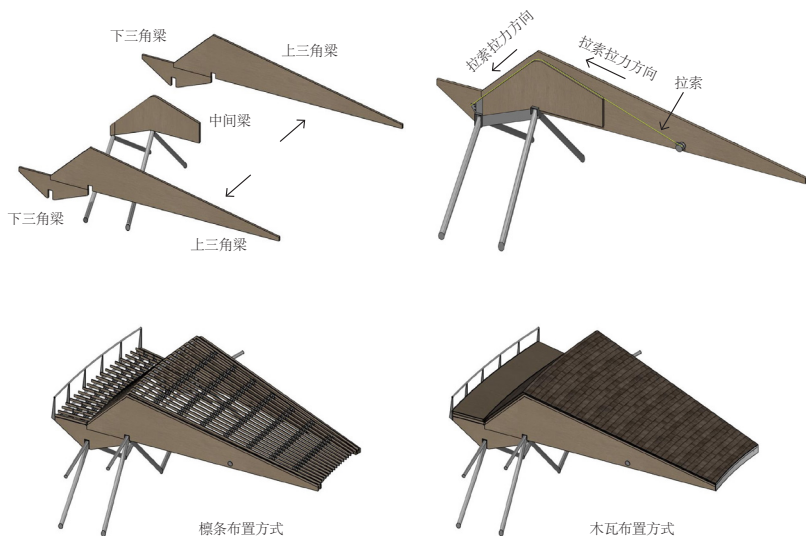


图 16: 雪车雪橇中心木结构与屋面体系组成

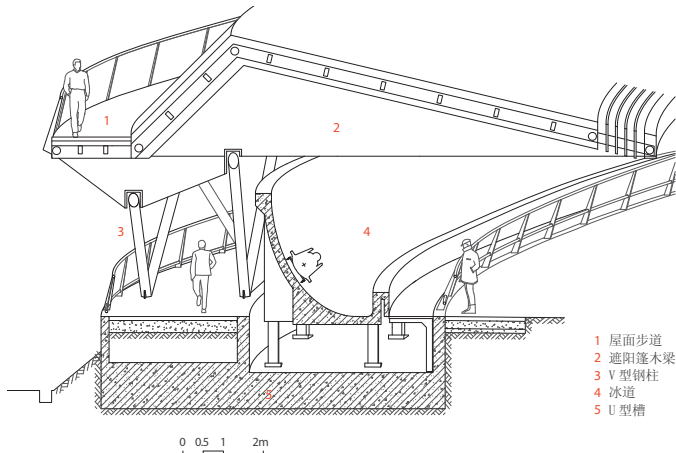


图 17: 雪车雪橇中心结构剖面

一个独立的、比较张扬的形式。它不像高山滑雪区域的建筑是点状的，也不像奥运村或新闻中心——奥运村是山村式布局的建筑组群，而山地新闻中心直接是 80% 覆土埋地式的建筑。雪车雪橇场馆由于依附于变化多端的赛道而形成，作为一个单体，是场地中非常活跃的要素。赛道本身为了精确应对场地复杂的山地条件，其形态十分复杂，所以需要有一个恰当的策略去化解这个问题，构建建筑与环境的恰当关系。我们化解的措施，一是通过木结构和大片的木瓦屋面，用自然的材料赋予建筑宁静的气质，以匹配山林自然环境；二是建筑采用了单边悬挑梁结构，柱子支撑点的反向端部需要配重，特别在越大悬挑的地方越需要反向三角梁支撑的配重，我们就把配重位置设计为人行步道。而这就创造出了一条场馆屋顶上的山中游廊，或者说把雪车雪橇场馆变成了一条长长的山中游廊（图 18）。

陆：游廊在雪车雪橇比赛里有实际的使用功能吗？

李：通常观众观看雪车雪橇比赛是在场馆赛道外的“伴随路”上，赛道本身在不停转弯（延庆赛道有 16 个弯道），观众也需要不停地跨越赛道来观看不同弯道处的比赛，因此，场馆本身就有跨越屋顶的步道需求。

我们把观看的行为立体化了，使常规的伴随路成为更有特色的立体游廊。在观众跨越赛道的地方设计了休息亭，联系起上下两侧的步道。这样从山下到山顶可以顺着屋顶游廊一路盘旋而上，既可由特殊视角欣赏下方赛道内的比赛，又可在漫步中欣赏不断变换方位的周边山林景观。这里成为人工营造的特殊的“行、望、居、游”流线，和高山区域的情况完全不同（图 19、图 20）。

2. 干阑式木构的转译与感知

陆：在《建筑学报》关于高山滑雪中心的文章中，您引用了日本京都清水寺的



图 18: 雪车雪橇中心屋顶游廊



图 19: 从出发区俯瞰雪车雪橇中心

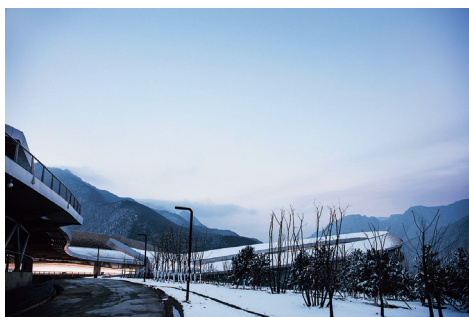


图 20: 雪车雪橇中心赛道回旋弯和伴随路



图 21: 鸟瞰高山滑雪中心立体人工平台

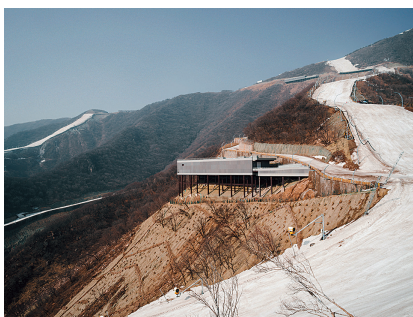


图 22: “悬浮构筑”的高山滑雪中心的造雪泵房

意象图。

李: 清水寺的意象是这么来的: 一开始就希望不建造永久性土地, 而是板片构成的人工立体土地。那么这种立体土地怎样能支撑在土地上呢? 延庆的山都很陡峭, 虽然能建设的地方相对平缓, 但仍然坡度很大。我当时一下子想到了清水寺, 也是建在很陡的山坡上面, 有很密的格架式支撑结构, 先在上面建造了一个较大的人工平台, 再在上面建造主体的佛堂。这与我们设计条件很相似, 但我并不认为一定要用木结构来建造。冬奥会的设施尺度与清水寺是不同的, 要大不少 (包括很大规模的媒体转播车、高山大巴停车场等), 还有气候、规范、成本和结构计算等问题, 所以, 最后选用抗低温耐候钢的结构是更适合的。最初的意象是来自于清水寺, 但我们将木结构的意象转化为了钢结构的意象 (图 21)。

虽然清水寺是日本的古建筑, 但与中国佛寺建筑有很多相似之处, 更多地代表了一种源于中国的东方木构建造智慧。在陡峭的山地盖房子, 中国西南部山区的干阑式民居也是一种较小的居住尺度样例。山西大同悬空寺的佛寺建筑, 也是具

有参考价值的传统建筑, 都是“干阑”式木构策略的思考来源。

陆: 除了高山滑雪中心的人工架空平台, 我注意到还有其他的“干阑”式建筑。这些建筑有什么差异?

李: 规模和使用上有差异。人工架空平台主要是用来搭建临时建筑用于赛事转播和活动, 还有小规模造雪泵站。这类“悬浮构筑”, 多位于高山滑雪区域的雪道附近, 地势陡峭, 施工难度高, 以类“吊脚楼”的形式悬浮在山地上以减少工程量。

陆: 在高海拔建造“悬浮构筑”意象的小型基础设施建筑, 有没有什么困难?

李: 像 PS200、PS300 造雪泵站是在高海拔的高山滑雪区, 这些建筑的建造还是比较有挑战的。场地的坡度很陡, 地质条件也一般。一开始我们是希望做成嵌入式的地景建筑, 但这样对山体破坏太大, 开挖量太大, 造价特别高, 而且道路建设也困难, 所以, 最后选择采用架空悬浮的结构策略, 这样建成之后与其他低海拔的区域形成了反差, 自然形成了一种独特的类型 (图 22)。

陆: 整体上看, 冬奥村的结构表现

是较克制的, 基本没有直接露明的结构构件。比如坡屋顶外露部分与高窗交接的地方有钢结构的悬挑, 但仍旧用铝板包住钢结构构件。请问这是为什么?

李: 这本身和延庆地区的寒冷气候有关, 直接露明就有冷桥、钢结构表面效果处理等保温构造的问题, 虽然露明更有山野粗犷感, 但对于国际赛事接待的冬奥村来讲, 还是有很多问题不容易解决。另外, 弱化结构表现, 更有日常的生活感, 也符合冬奥会后改造成酒店的氛围。当然, 从整个赛区来看, 高山滑雪中心迭落式架空平台下面的钢框架支撑结构是直接暴露的, 雪车雪橇中心赛道遮阳棚的钢木组合结构也是直接暴露的, 这些外露结构一方面都是处在室外, 也并不强调它们的力量感和表现性。

陆: 您曾经提到, 国家体育场“鸟巢”给您的启示是“结构就是形式”, 若从这个视角看, 冬奥会延庆赛区和“结构就是形式”还是挺不一样的。“鸟巢”外围的结构表现性非常强, 是一种物体感十分强烈的公共性。您觉得相比“鸟巢”, 冬奥会延庆赛区的结构策略有什么差异?

李: 和国家体育场位于城市中心不

同，延庆赛区的山林环境和现状条件决定了对人工建造的“消隐”是最佳策略。整个延庆赛区的所有建筑在结构层面都有消隐的意图。高山滑雪中心的架空平台是一种更容易融于山林环境的“干阑”式结构，采用了几乎不做任何表现的多层水平板片，就好像是被几何化的山体等高线；雪车雪橇中心的钢木结构实际上被隐藏在铺满木瓦的连续坡屋顶下面；虽然山地新闻中心采用半覆土的形式消隐，但是内部的两个大空间还是有清晰的结构逻辑表现，方、圆两种形态的天窗单元与结构支撑逻辑相匹配。

在冬奥村，通过减小建筑体量、分散布局的方式融入环境，减少对山林的影响，我们期待在这里呈现自然放松、日常的生活场景，实现建筑与环境的无缝结合。带给冬奥村更多结构挑战的是需要小心翼翼地嵌入地形，减少开挖。在接地层采用混凝土结构抵消岩土侧向压力，而上部结构则采用施工阶段对环境压力更小的钢结构，在屋顶部分采用以“片梁”的形态强度伸出坡屋面的结构逻辑，还特别使用了更自然的“木质”肌理，呈现亲和的氛围。

四、冬奥八景的感知与想象

陆：项目公开发表的照片有很多是鸟瞰的角度，单看这些照片和图纸，会让人疑惑建筑的尺度会不会太大。尤其是雪车雪橇中心，单体的面积就有5.2万平方米。但是在现场，人的观看体验完全不同——现在的树木已经长起来了，从不同的角度看，建筑的轮廓有时候很清晰，有时候遮挡在植物后面，是一种时隐时现的感受；登上屋顶，在休息亭中观看远山时，如同飘在天空之中，场馆似乎消失了。

李：真正在场地中、走到场馆里面，或者走上屋顶漫步的时候，确实会有那么大的场馆“消失”了的感觉，人们看到的更多是局部的环境，反而鸟瞰的大视角不太会体验到的。建筑未建成的时候，大家都很难想象这个空间是怎样的，但建成后实地体验，人们的理解会有很大的不同。

雪车雪橇中心的设计和施工的阶段，我们把步道称为“检修步道”，没敢提这还可以成为漫游步道，因为担心各方会认为这是没用的设施，但我心里知道这个设计是有更大价值的。项目建成之后，无论是国外的专家，还是国内的领导和专家们，一致认为这个设计有给场馆增色的价值，大家都很享受在步道上体验山林风景的感受，这是一种人性的共鸣。

陆：是否可以理解为在传统转译的基础上，同时关注了普适性价值？

李：因为这是冬奥会，我们的目标之一是在国际化的语境中去探索。与传统有关的有长久价值的文化，更多应该是潜移默化的，能够被感知的，而不是宣教式、被生硬转化的。我相信这是人类情感的共识。真正好的传统应该是某种人类的共识，否则就不会有那么强的生命力。

1. 冬奥八景与“立体实景山水画”

陆：您在冬奥会场馆设计中使用了“冬奥八景”来点题不同区域的设计。另外，您曾经提到过石守谦研究东亚“八景”文化的《移动的桃花源：东亚世界中

的山水画》，在古代，“八景”不仅仅是中国的文化，也传播到韩国、日本等东亚地区，产生了深刻的文化共鸣。请问这在您的设计有怎样的具体体现？

李：延庆赛区的八景是指“海坨飞鸢、晴雪揽胜、丹壁幽谷、凌水穿山、秋岭游龙、双村夕照、层台环翠、迎宾画廊”。八景的命名体现了对人工和自然环境的整体性感知。“丹壁幽谷”等命名强调了北方山水的特征，与以江南为代表的南方山水是非常不同的，这种广袤的地理背景就有很大的差异。八景原本是古代诗歌的一种体例，其特点是强调多样的感知与文化想象，形成意境的对偶与互文。我经常提及的“行、望、居、游”也是如此，希望设计创造的环境让人能够有丰富的体验。

陆：在现场，感觉延庆赛区的风景确实很特别，是北方特色的苍凉大地景观。各种不同规模的建筑散布在场地中，与山林环境结合十分紧密。这与古代的大型园林的气质十分接近，比如北京的颐和园、承德的避暑山庄。这类园林也是以北方的皇家园林最有代表性（图23）。您在设计中对于场地是如何构思的？



图23：承德避暑山庄

李：你的感觉是对的，我确实是把它当作一个山地公共园林的营造来理解和构思的。我曾经讲过，这个项目的愿景是一幅超大型的“立体实景山水画”——对场地原始自然环境中叠加了大型山地人居环境的一种实地的描绘。

从要素上来讲，延庆赛区具备天然的高山、深谷、密林、河流——山水画的平远、高远、深远三重意境在这里都可以实现。而赛事为其注入了人的活动，如何营造体验的丰富性就成为关键。在我的想象中，奥运村和高山滑雪设施就如生活性村庄和纪念性庙宇，雪车雪橇中心和山地新闻中心等场馆如同山中的亭台楼阁，应消融于环境。复合性的手法使山地的“行、望、居、游”实现，也创造出空间的丰富差异（图24、图25）。



图24：延庆赛区布局草图



图25：鸟瞰延庆赛区

陆：把环境的复杂性转化为人的体验的丰富性。

李：对，这是我从最开始就有的愿景。所以最初画的草图是按照立轴山水来画的，画中包含高山、深谷、平地、密林、河流，包含高山滑雪中心、雪车雪橇中心、山地新闻中心等场馆、奥运村，甚至包含现代的索道缆车系统，它们共同构成了一种新的人居环境。人工与天工相得益彰。

陆：您在踏勘场地时，经常会记录一些草图。您前往场地时，会较为关注场地的哪些内容？

李：场地原始的山野林地，我曾一步步走过很多遍，对于场地原貌的自然之美完全了解，这是大自然的原生之美。延庆的山地风景本身就和中国其他地区的风

景不同，它属于燕山沉降带西端，地形陡峭，特别有雄浑苍劲之美。而当我们加入了人居活动设施，其实是将场地人文化，增进场地的原生之美。依托奥运会这样的当代国际大事件，是可以产生独特的人文之美的，人居设施在原生自然中提供了行、望、居、游的条件，以此提升了人对于自然的体验和审美感受。我认为这完全是有可能实现的（图26~图28）。

2. 遗迹的感知与想象

陆：在您的设计草图，有时候也会让人有一种感受，新构思的建筑貌似就是从场地中生长出来的。我注意到您记录在冬奥村的区域中保留了一个山村的遗迹，这处遗迹被保留作为冬奥村的遗址公园。您能分享一下为何画这张草图吗？

李：这张是现场踏勘时画的。冬奥村场地的山坡上原是一大片密密麻麻的树林，当我们钻进树林踏勘时，惊喜地发现里面有一处山村的遗迹，后来知道是1940年代被毁弃的小庄户村。我决定把其中的村落遗迹连同遗址区的成片树林保留下来，改造利用为新“冬奥山村”中的遗址公园。同时，这也启发了我对冬奥村的基本设计策略，即再造一座新的“山村”。

“山村”的设计策略与场地的地形有关。冬奥村的场地是延庆赛区中相对平缓的场地，但即使说平缓，东西和南北实际也分别有30~40m的落差，依然是典型的山坡地。如何在山地中盖房子呢？民间的山村聚落就是一种颇具启发性的设计样板。

由于在土地利用和场馆运行方面的确效率不高，这个想法一度受到了一些质



图26：延庆小海坨山风景



图27：高山滑雪区现场草图



图28：冬奥村水驿站设计草图，化整为零如山居聚落

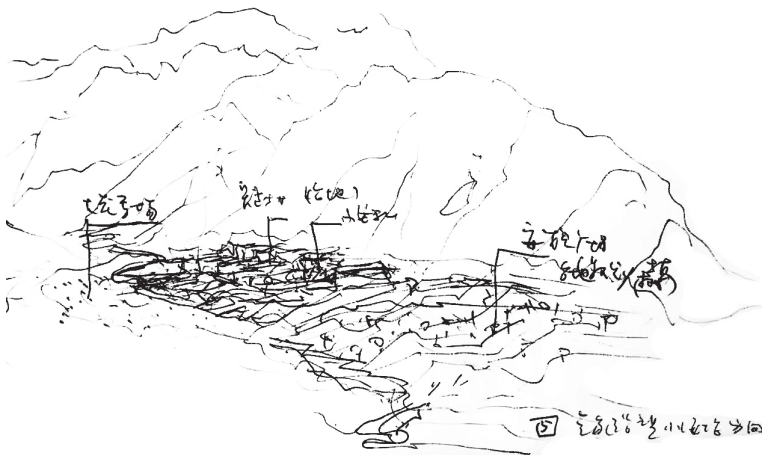


图 29：冬奥村草图



图 30：小庄户村遗址

疑，以往的冬奥村，要么在城市中设计得像住宅区，要么就在山里面盖高楼，赛后转为大酒店。我们的10几万平方米的延庆冬奥村要满足1430位运动员和随队官员的赛时生活需求，在冬奥会之后也会转变为两个山地酒店，这个场地是十分紧凑的，局部建筑也已经达到了5层之高。盖大高楼显然各种效率要高一些，但实在是与此地的山林环境不匹配的，所以我们坚持了“冬奥山村”的方案。当然这种坚持的背后，必须要解决各种对应的问题，特别是在满足运行中功能、流线的要求方面，整体上是通过车行道路和人行步道、庭院、平台来串联各种功能（图29、图30）。

陆：其中室内“暖廊”的设计，是您主动提出的，还是业主使用方要求的？

李：这和我刚讲的体量策略有关系，不盖大高楼是与山地环境更为和谐，但也有些使用上的问题。冬奥村大多位于寒冷地带，如果采用相对集中的高楼形式，则可以让运动员和随行官员方便地在室内自由活动，而不用频繁更换室内外的衣着。

对于我们冬奥村的布局是否能做到这样，使用方提出了疑虑。如何解决这个问题，我们提出设立暖廊的策略。通过这个室内“暖廊”系统，将各种功能组团之间以全程室内无障碍的方式连接起来。这样就把山村格局相对于“高楼酒店”的不利点都基本上解决了，又能舒适地欣赏多样的室外山林和遗迹的风景（图31、图32）。

陆：除了保留了山村遗址，冬奥村同时还保留场地中的原生树木。保留这些树木对于建筑的设计和施工有什么影响？

李：肯定有一些影响，村落遗址是相对独立的区域，其位置是较为明确的。在确定了村落遗址和保留树木的位置后，对冬奥村的设计进行了调整，设计图纸根据精确的测绘资料重新改一遍，并依此确定了树池和遗址的做法。对于施工，由于树木较为分散，建筑的施工设备的操作面不太容易展开，像吊车装吊之类的工作会更复杂。甚至施工队提出过是否可以施工时先移走树木再移回的方案，但这样的话已经失去了原址保护的意义，对树木成活率

也有影响。虽然给施工带来了一些困难，但我们一直努力和各方协调沟通。建成后再回头看，这些付出是值得的，保留树木对冬奥村室外环境氛围的影响绝不是通过移栽景观能比的（图33）。



图 31：冬奥村暖廊布局图

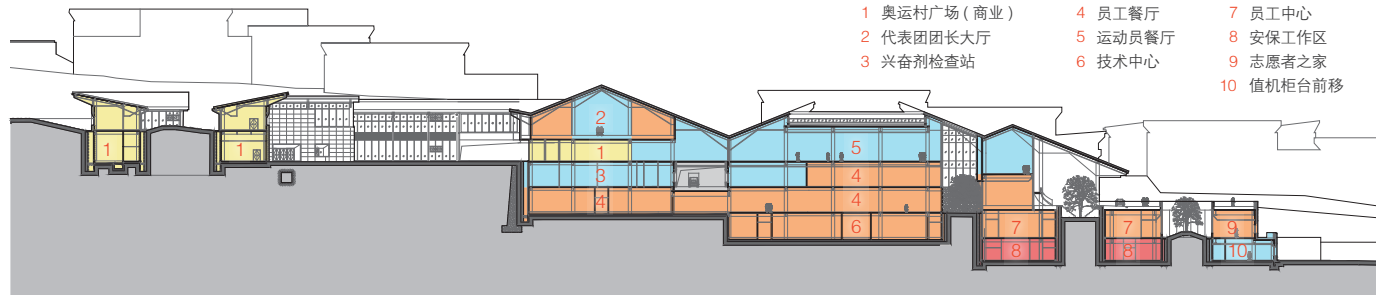


图 32：冬奥村赛时功能剖面

- | | | |
|-------------|---------|-----------|
| 1 奥运村广场（商业） | 4 员工餐厅 | 7 员工中心 |
| 2 代表团团长大厅 | 5 运动员餐厅 | 8 安保工作区 |
| 3 兴奋剂检查站 | 6 技术中心 | 9 志愿者之家 |
| | | 10 值机柜台前移 |

陆：感觉圆形的树池有点睛之笔的效果。请问一开始就设计成圆形的台阶状树池吗？

李：由于树木原状的标高和整理后的地形多少会有些差距，有高有低。因此必须选择一个能涵盖高台和地坑各种在地条件，符合树木生存保护条件，施工上好实施，并且形式上具有统一性的语言。从一开始建筑和景观两个专业一起协商，基本上很自然地就选择了目前的圆形挡土树池形式。这个圆形树池的形式能够比较好地和自然错落的树木结合。当然，在实施过程中，我们也对距离较近，成组的圆台组合方式进行了细致的推敲。

圆形的树池高度各不相同，高的有视线遮挡的作用，下凹的又有围绕树的小休憩空间的感觉。与冬奥村新的地面标高有自然而然的高差变化，在现场走的时候产生了一种并不刻意的丰富感。又提示了树池中的树作为树木遗存的特殊性（图34、图35）。

陆：八景中的“双村夕照”，是指冬奥村和山村遗迹吗？

李：是的，两者对偶，组成了新的文化胜景。

陆：除了冬奥村的遗迹，在您之前的项目中也有关注场地中的遗迹。比如楼纳露营服务中心的民居旧墙，首钢仓阁酒店的工业筒仓都是您在设计中重点关注的既有遗迹，您是如何理解这些遗迹的？

李：首钢仓阁酒店的工业筒仓可以称之为工业遗产。而楼纳露营服务中心的旧墙，严格来讲，则只是一篇普通的山村民居的石墙，从历史遗迹的角度看价值并不高。但这种过往的物质痕迹，都是值得尊重并与之对话的。这种自然与构筑物混合的场景，我称之为“废墟园庭”，我曾经被蔚县东堡的废墟场景深深打动。这种诗意之美，是超越单纯的历史价值的。

在冬奥村，庭院是半开放式的，并不是四面围合，而是局部打开的，这样可以

将周围的山林和山村遗迹的景观渗透进庭院中来。过往历史的遗迹，经过使用者的“行、望、居、游”，与自然山林融为一体。遗迹的价值超越了单独地点的遗存，与延庆赛区更大范围的山水环境更是一个整体。

延庆八景中的“晴雪揽胜”“秋岭游龙”等名胜，虽然并不是具体指冬奥村，但又与冬奥村的风景是互文对偶的，在冬奥村也可以游赏延庆山地的秋景与冬景。特别是冬天的雪景，既是具有古典文化意境的场景，又是与现代的冬季冰雪运动结合在一起的公共空间。通过这样种种的设计策略的落地实施，以及具有文化意境的感知与想象，人们在延庆赛区的实地体验才会符合“立体实景山水画”的设计意向（图36）。

五、教育、写作与理念

陆：您在清华大学带的本科设计课程，选址在清华校园内的近春园，近春园曾经是圆明园的一部分，而圆明园与颐和园一样都是古代的大型园林，这种园林场地的教学任务书设置与您冬奥会场馆设计中关注的“山林场馆”概念是否有关系？

李：我对园林的兴趣和思考是由江南私家园林或者“城市山林”开始的，后来因为园林和山水画的密切关联，去了真正的大山大水中实地旅行、观察、思考，比如黄山、五台山、长江、敦煌等，有很多的触动和收获，对实地山水与山水画作以至于与园林营造的关系有了更深的理解。圆明园、颐和园都是城市之外的大型实景园林，特别是颐和园，北京西部群山脚下的真山实水中的造园，常去游览，不同季节、不同时间，多有感触。当然我心里始终想的如何结合当代的需求营造出新的理想世界。清华教学中的“近春亭馆”和冬奥延庆赛区的“山林场馆”都可视为一种用“造园”的理念进行当代建筑设计的做法。不过，延庆赛区的海坨山是高山深谷密林的典型北方山林，有一种巍峨、雄浑和高远、深远之美，在我心目中对应着



图 33：冬奥村庭院



图 34：院落中的梯级挡墙

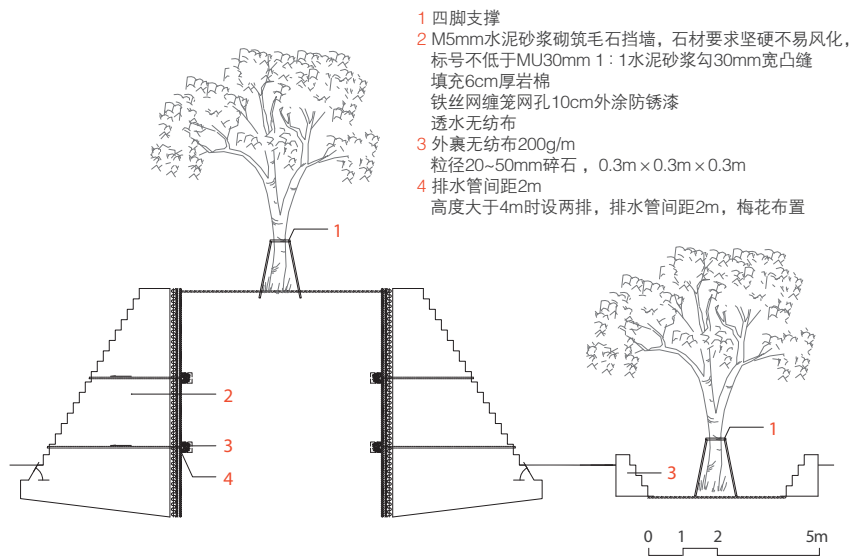


图 35：梯级挡墙施工图

《溪山行旅图》(北宋范宽)或《早春图》(北宋郭熙)中立轴山水的潜在气质。当然这里需要建设的不是亭台楼榭、庙宇村庄,而是超大规模的冬奥场馆建筑群,如何完成这一当代条件下大型山水图景的实地营造,是我们必须要面对的巨大挑战。

陆:您是边实践,边参与设计教学的状态。那您是怎样理解实践与设计教学的关系?

李:开始参与设计教学特别是本科设计课程的教学,是因为清华大学的邀请。职业建筑师参与建筑教育是国际上常见的一种做法,这是符合建筑设计教育特点的一种做法,也是建筑师承担社会责任的一种机会。培养出越多热爱建筑设计并拥有良好专业素养的学生,对整个行业的职业环境越有好处。

另外,我越来越倾向于把自己在建筑实践中的思考内容,渗透进建筑教学中。我们的思考是长期积累下来的,也经过了实践的检验,把这些内容教给学生,与之共享,能起到比较积极有效的作用。如果是教一些自己没有深度思考或实践检验的内容,我觉得反而会是一种对学生的误导。因此我倾向于一种结合个人实践方向的教学。

现在我在清华的设计教学题目是“由结构/空间单元衍生的建筑设计”。这和我建筑理念有部分的关系,比如“胜景几何”理念里“显示理想空间营造范式”五要素中的“结构场域”,其中就包含了结构/空间单元生发和构成的设计路径,即先设计一个有空间意义的结构单元,再用这个单元的变化和组合来生成完整的建筑。这些设计方法或路径的背后其实是有着更高层面的学术性思考的,包括人工和自然的交互,技术和艺术的融合等。如何由设计结构意义和空间内涵高度整合下的局部单元出发,最终完成一个动人的空间和环境的整体设计,它并非只是关注那个局部本身,而是从局部点的学习切入,最终获得有关建筑设计整体思考的一种教学方法。

陆:您把设计课程的功能定为梁思成

纪念馆/图书馆,同时最近您也发表了一篇分析梁思成作品的文章《结构环境,初手经典——梁启超墓园体验释读》。您除了要处理日常设计实践中的大量工作,还花费了很多精力在写作上,像梁思成作品的解读,以及您最近出版的《胜景几何论稿》等书。您觉得写作对设计实践有怎样的帮助和价值?

李:写作从来不是我的擅长,每次写东西都很煎熬。梁启超墓园那篇文章一开始倒是有感而发的,感觉顺畅得多,但大多数时候是我强迫自己写。生活或工作或旅行的过程中,观察、思考或实践的过程中,会有很多感触、想法、结论等,有时

一闪而过,有时又反复浮现。写作可以把这些模糊、零碎、浅层甚至稍纵即逝的东西清晰化、系统化、深化和固化下来,写的时候是一个痛苦思索的过程,而一旦完成,这些文字化的东西有点像“蛹化成蝶”,对我是很大的收获。它们来自于观察和实践,是思考的成果,又对后续的观察和实践有很强的反馈作用,所以我称之为“观、想、做”三位一体。但我也希望三者保持一种既相互关联又各自独立的关系,防止过于体系化或者系统化的东西对自我的束缚,特别是写作或者“理论性”思考对设计实践的束缚,因为建筑是一种如此生动的东西(图37)。



图36:鸟瞰冬奥村

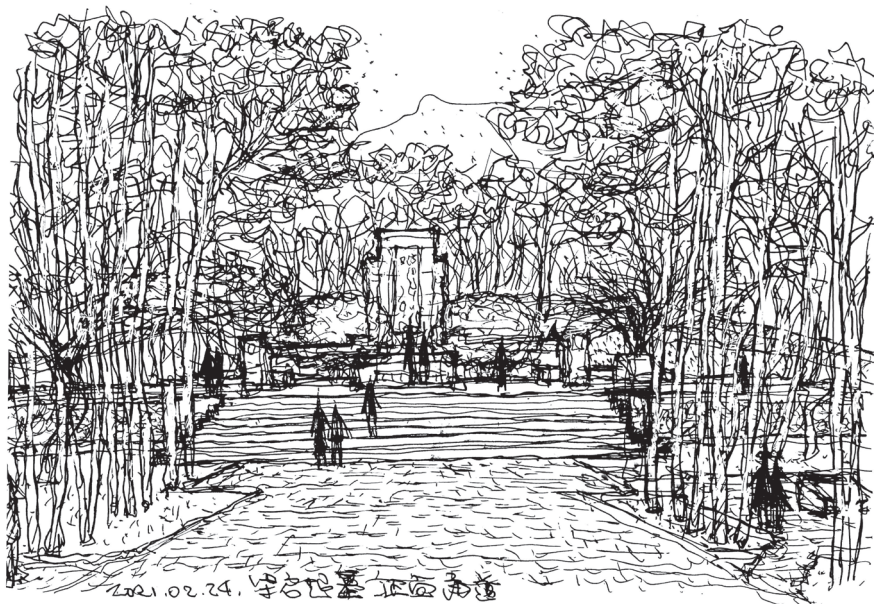


图37:梁启超墓园的结构环境分析

陆：关于思考建筑的方式，还有一种方式是对经典案例的实地探访学习。在冬奥会场馆的设计中，您直接提到了清水寺等案例，而您以前也提到了对于一些案例的感悟体会，比如您在“十二匠造”中分析的案例，以及您多次提到登上景山观看故宫风景的体验。这些案例中，既有当代建筑师的作品，也有古代的建筑遗产，涵盖的范围和类型是非常广的。您是如何看待如此不同的案例之间的关系，以及这些案例对您的设计有什么作用？

李：这个有关案例的问题，和建筑师旅行的道理是一样的。在旅行的过程中，一定会有某些建筑的场景、形式、空间、结构、建造，甚至细节，让我有所触动，故宫也好，罗马的废墟也好，家琨的鹿野苑也好，都是如此，不分古今中外，这些触动可以逐渐积累而变成我的建筑师工作中深度思考的一部分和系统思考的某种方向。这些内容在《行者图语》这本厚厚的小册子中有详尽的记录。

陆：您不断更新自己的设计理念，从早期的“胜景几何”，到之后“桃花源”、“静谧与喧嚣”，再到最近提出的“自然与人工互成”的理念。如何去理解这些理念之间的关系？

李：这些理念实际上都是一体的，一直贯穿在一起。比如“静谧与喧嚣”和“桃花源”的意向是完全对应的，是一种对空间体验营造的；“胜景几何”是在追求人可以在空间中体验到的诗意情境，我讲了五点要素：风水形势，这是关于格局作相的选择；结构场域是通过建筑空间氛围的营造来形成特定的空间和构造；人作天工把人工和自然结合在一起，人工向自然转化，自然向人工转化；还有叙事空间，关注人的体验；最终形成胜景情境。通过操作和体验的过程，达成人工和自然共融的状态，这和“桃花源”也是息息相关的。包括我最近提到的工程建筑学，技术与艺术的融合实际上与“胜景几何”也有密切的关联。所谓的“胜景”更多是对应人文的、自然的事物。几何更多对应人工和物质的部分，更多是建筑和工程本体的部分。两者之间需要共生互成的关系，胜景和几何之间需要互成，工程和建筑学之间需要互成，技术和艺术之间需要互成。互成的关系是十分重要的，其中最重要的是人的体验，提升人的物质和精神生活，这是最重要的目标。人工和自然的互成，需要有人介入，体验与享受，这是建筑师的任务。

后记

冬奥会延庆赛区是凝聚了李兴钢与其团队二十年来建筑实践和思考的集大成之作。延庆赛区的各单项设计中因地制宜地提出多种原创性策略，如雪车雪橇中心的结构单元策略，冬奥村的散布策略，高山滑雪中心的人工平台策略等。多样化的空间策略与GIS一体化协同、室外场地与场馆BIM融合、地形气候保护系统等技术手段相结合，是双碳目标下的高品质建设理念的成功实践。

同时，该项目立足中国文化，以造景、借景等方法使得延庆赛区的建筑、景观、基础设施与四周的山水环境融为一体，营造出独特的“立体实景山水画”。作为国际级体育建筑集群和中国体育事业发展的重要里程碑，该项目充分展示了技术与艺术并举、生态与人文共生的整体策略。

参考文献

- [1] 李兴钢. 行者图语[M]. 杭州: 浙江摄影出版社, 2020.
- [2] 李兴钢. 胜景几何论稿[M]. 杭州: 浙江摄影出版社, 2020.
- [3] 李兴钢. 静谧与喧嚣[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [4] 石守谦. 移动的桃花源——东亚世界中的山水画[M]. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 2015.
- [5] 李兴钢. “工程建筑学”理论、方法、技术概要和应用实践[J]. 当代建筑, 2021(10): 15-22.
- [6] 李兴钢. 文化维度下的冬奥会场馆设计——以北京2022冬奥会延庆赛区为例[J]. 建筑学报, 2019(1): 35-42.
- [7] 李兴钢, 武显锋. 山林场馆·生态冬奥[J]. 建筑学报, 2021(7+8): 69-76.
- [8] 张哲等. 冬奥山村——基于“山林环境、文化传承和自然持续”的延庆冬奥村[J]. 建筑学报, 2021(7+8): 116-121.
- [9] 李兴钢, 金秋野. 自然与感知的拟合[J]. 建筑技艺, 2021(12): 40-53.

图片来源

图1、图16、图21: 孙海霆摄影
图7: 北京2022年冬奥会和冬残奥会组织委员会
图10、图15、图24、图27、图28、图29、图37: 李兴钢绘
图14: 张玉婷摄影
图23: 纪昀等 纂修. 钦定热河志·避暑山庄[M]. 北京: 团结出版社, 2012: 1.
图26: 陆少波摄影
图33: 张音玄摄影
其余图表均由中国建筑设计研究院有限公司提供