

北京冬奥会国家雪车雪橇中心赛道精密检测工程

1. 工程立项背景

我国首条雪车雪橇赛道——国家雪车雪橇中心赛道，位于北京市延庆区海坨山，设计全长 1935 米，弯道 16 处，平均坡度 9.8%，垂直落差 127 米，最大设计时速 134.4km/h，最大加速度 4.7G，是所有冬奥项目设施建设中难度最大、精度要求最高的项目。为确保赛道精确施工，保障参赛选手安全，需要对赛道施工进行精密检测。

2. 资金来源

项目资金源于企业自筹，合同金额 759.85 万元。

3. 工程概况

国家雪车雪橇中赛道海拔高度 900~1000m，且坡度较陡。一方面，赛道是复杂双曲面结构，层次设计复杂，赛道中心线型不规则，且起伏较大；另一方面，对施工精度要求达到毫米级。因此，测量与施工难度极大。该工程于 2018 年夏开始施工，至 2019 年 9 月完成赛道施工，并于 2020 年 3 月完成制冰，具备举行测试赛的条件。

4. 整体设计

赛道精密检测工作紧密结合施工进度。进场阶段对现场的首级控制网进行检测；施工测量开始阶段对赛道控制网进行检测；赛道基础施工阶段对固定立柱钢棒和轴线放样点进行检测；管道

夹具精密定位阶段对管道夹具上的特征点进行抽样检测，必要时进一步精调。确保各道施工工序的基础正确。赛道轮廓面完成后进行抽样扫描。

5. 关键技术问题及处理

1) 山区高程归化对边长的影响

由于雪车雪橇赛道位于山区，高程约 1000m，高程归化会把边长的相对精度拉低到 $1/6400$ 左右。也就是说即便不考虑其他误差的影响，也满足不了本工程的毫米级的精度要求。同时，要考虑设计所用地形图、设计坐标、首级控制等各方对高程归化的不同处理方式，结合施工测量单位水平，给出施工控制中如何处理高程归化对边长影响的合理建议。

2) 温度气压变化对边长的影响

山区昼夜温差大，日常温差可达 20°C ，影响约 $2.2\text{mm}/100\text{m}$ 。山区海拔高气压低，比城区气压约低 50mbar ，影响约 $1.5\text{mm}/100\text{m}$ 。故应综合考虑温度气压变化，及时调整参数，确保边长测量精度。

3) 钢棒中心点精确测量问题

对固定立柱钢棒进行检测时，待测点位位于直径 2cm 钢棒底端截面中心，看不见摸不着，而钢棒本身在检测时不竖直。为达到 3mm 的检测精度，我们设计了一种用于高精度测量小型圆柱体中心坐标的模具及方法，模具通过 3D 打印，很好的解决了这个问题。目前该模具及方法正申请发明专利。

4) 隐蔽点精确测量问题

对夹具特征点进行检测时，待测点往往与控制点不通视（即隐蔽点）。为了测量隐蔽点，我们采用了双棱镜按一定方式组合，先精确测量两个棱镜的三维坐标，然后通过简单严密的公式推算特征点的三维坐标。

5) 连续不规则曲面精确扫描问题

对赛道完成面进行扫描时，既要解决扫描点位精度的问题，又要解决站站之间的拼接精度的问题。我们采用能投点和对后视的徕卡 MS60 全站扫描仪直接获得曲面高精度绝对坐标的方式来解决。间接产生的全站扫描仪摆站点三维坐标的高精度测量问题，我们是通过全站扫描仪配专用手柄再加装棱镜的方式来解决。

6. 工程质量管理

我院通过了 ISO9001 质量管理体系认证，且质量管理体系运行正常。本工程制定了详细的质量保障措施，严格执行两级检查一级验收制度。最终检测成果通过相关质量检验机构的检验，并通过了建设单位的验收。

7. 工程运行情况

2020 年 3 月 10 日，北京冬奥会国家雪车雪橇中心赛道顺利完成制冰工作。我院在赛道建设过程中科学设计，精准施测，及时提供检测数据指导赛道施工，确保赛道精确建成，有力保障了国家重点项目的顺利实施、安全运行。2022 年北京冬奥会期间，国家雪车雪橇中心将承担雪车、钢架雪车、雪橇三个项目的全部比赛。