

开卷知新



精密测量——

科学探索的“眼睛” 高端制造的“尺子”

科学家门捷列夫说：“科学是从测量开始的。”“现代热力学之父”开尔文有一条著名结论：“只有测量出来，才能制造出来。”人类科学研究的革命，工业制造的迭代升级，都离不开测量技术的精进。在当代科技和工业领域，高水平的精密测量技术和精密仪器制造能力，是一个国家科学研究和整体工业领先程度的重要指标，更是发展高端制造业的必备条件。随着精密测量技术不断进步，其在科学研究、工程科技、现代农业、医疗卫生和环境保护等领域发挥着越来越重要的作用。

精密测量是工业生产的倍增器

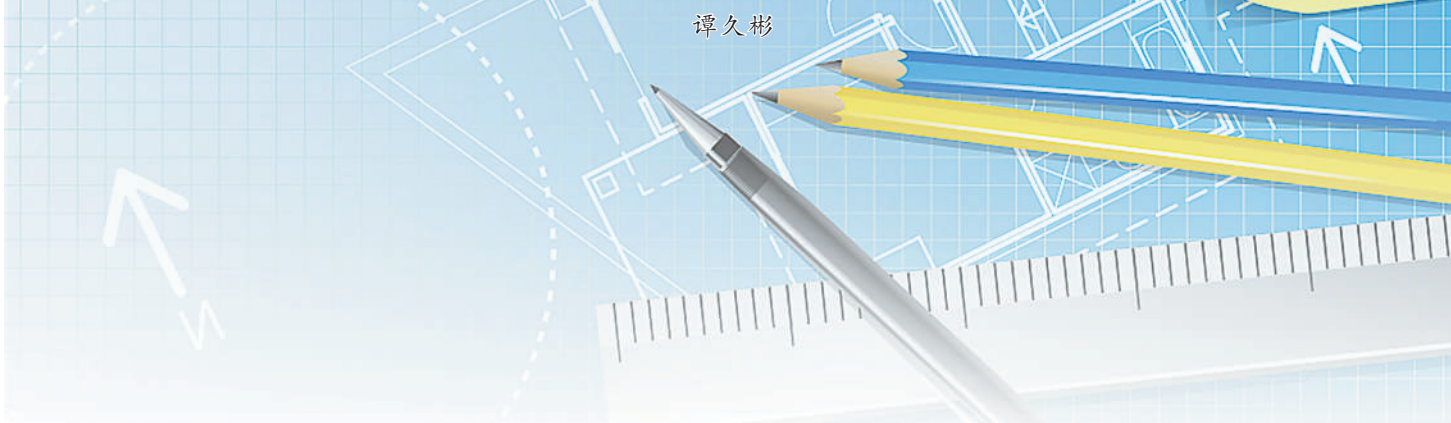
精密测量是一个大的泛指的范畴。凡是准确度很高的各类测量，都可称之为精密测量。在精密和超精密工程领域，精密测量有具体的数量级，是指测量准确度在1微米至0.1微米量级的测量，超精密测量是指测量准确度优于100纳米，如10纳米、1纳米，甚至皮米(千分之一纳米)量级的测量。

精密测量兴起于工业大生产。规模化大生产是现代工业的重要特征，产业分工与专业化配套越来越细化，地域分布越来越广，产业链遍布全世界。也就是说，一个产品由成百上千甚至成千上万个零部件组成，这些零部件不可能由一个厂家生产，需要联合遍布各地的多个优势厂家。比如一部智能手机有1600多个零件和元器件，由分布在世界上10多个国家和地区的150多家工厂提供。这样做，能大批量标准化生产，生产效率、质量高、成本低，优势明显。但技术层面存在一个难题——面对如此多零件、元器件，其中任何一个的尺寸精度或其他技术指标不合格，就无法集成到一起。

为解决这类问题，国际标准化组织(ISO)和国际计量局(BIPM)制定了一系列标准与规范。依据这些标准与规范，国际计量局将公认的标准量值传递给每一台测量仪器，以保证这个标准量值在全世界范围内一致。之后，生产厂商使用测量仪器，对产品的每一个零件和元器件的所有技术参数进行精密测量。这样才能保证所有的测量仪器都是精确的，测量数据都是精准的，进而成千上万的零件或元器件具有互换性。通俗地说，就是不同厂商的产品都是合格的、好用的。由此而来，精密测量已成为促进科技发展新兴学科。

精密仪器助力科学新发现

怎样进行精密测量？这就需要实施精密测量的工具——精密仪器。精密仪器包括各类高端测量仪器、分析仪器、成像仪器、诊疗仪器和各类实验仪器等。在帮助工业生产“把关”的同时，精密仪器也是科学研究的有力工具。纵观各国科技发展历史，不难发现，科技强国一定是基础研究



谭久彬

强国，基础研究强国一定是测量与仪器强国。大多数现代科学发现和基础研究突破，都是借助先进的精密测量方法和尖端测量仪器实现的。引力波探测就是一个典型例子。

引力波探测是直接验证爱因斯坦广义相对论、探索宇宙起源和演变的实验，具有重大科学价值。但引力波信号极其微弱，探测难度极大，采用超高分辨率的远距离激光干涉测量方法探测，是目前最有优势的技术途径。也就是说，激光干涉测量仪的测量准确度，将直接决定探测引力波的极限能力。如果激光干涉测量仪建立在地球上，其互垂为垂直的两路激光测量臂至少要达到4000米。只有满足这一条件，引力波引起的激光测量臂长极其微小的变化(不超过质子直径的万分之一)才能被测量到。如果按比例放大，这一超高分辨率测量相当于在绕地球1000亿圈的长度上，检测出不超过一根头发丝直径的长度变化。经各国科学家共同努力，2016年人类首次直接测量到高频段引力波，3位相关科学家因此项成果获得诺贝尔物理学奖。

就科学研究而言，这样的探测还远远不够。为测量到低频段引力波，必须将激光干涉测量仪建立在太空环境中。这样，其互垂为垂直的两路激光测量臂长才能够达到数十万千米到数百万千米，激光干涉测量仪的测量准确度有望达到1皮米。

引力波的例子很好地证明了，测量技术有多精密，科学探索就能走多远。

只有测量出来，才能制造出来

对国家而言，精密测量与装备制造业水平紧密相关。装备制造行业向中高端跨越的

关键是提升制造质量，而提升制造质量的关键则是提高精密测量能力。只有通过精密测量，才能知道产品哪里不合格；只有通过大量精密测量数据的积累，才能找到产品不合格的根源与规律；只有基于精密测量数据建立起成体系的误差补偿模型，才能有效实现制造精度和产品性能的精确调控，产品质量才能在不断的精确调控中逐渐提升。

超精密光刻机的研制，很好地证明了这个结论。超精密光刻机被称为“超精密尖端装备的珠穆朗玛峰”，挑战着人类超精密制造的精度和性能极限。超精密光刻机是在超精密量级上把最先进的光机电控等几十个分系统、几个零部件集成在一起，使其高性能协同工作。它是人类装备制造史上复杂程度最高、技术难度最大、综合精度性能最强的尖端装备之一。它在高速和高加速度下，达到纳米级的同步精度、单机套刻精度和匹配套刻精度等，这与传统的精度提升环境完全不同。超精密光刻机的制造精度已接近现有制造能力的极限，其精度提升一点点，通常都要付出几倍十几倍的努力。比如，用于28纳米节点制程的DUV光刻机拥有7万多个光机零件，涉及上游5000多家供应商。这些零部件对精度和稳定性的要求极高，只有发挥供应链上所有顶尖制造商的技术优势，才能全部达到标准，超精密光刻机才能研发成功。

任何一个重要零件的不合格，都会导致超精密光刻机研制失败。以其中一个构件——激光反射镜的制造精度为例。它由微晶玻璃制成，有108项尺寸公差和62项形状、位置、方向公差，还有内部应力等技术要求。要完成这样一个复杂构件的超精密测量，需要20多种专用超精密测量仪器。而光刻机有7万多个光机零件，其中80%以上的零件属于精密和超精密级，需要700多种专用精密和超精密测量仪器。如果没有成体系的专用超精密测量技术与仪器来管控制

造精度，就不可能制造出合格的零件，也就不可能装配调试出合格的部件与分系统，更不可能制造出合格的光刻机整机。

精密测量技术还推动了各国建立国家测量体系。它能够有效管控工业测量体系，保障整个制造链的质量，赋能高科技产业高质量发展。对大众而言，直观感受就是所购买的工业产品质量变好了，更好用了。目前工业发达国家的工业产品都经历了从低质量向高质量的曲折发展历程。正是因为建立起了完整的精密测量体系，培育起了一批顶尖超精密仪器企业，才能对高端装备制造形成强有力支撑，才能打造出诸多国际知名品牌。

我国正在向世界科技强国、制造强国和质量强国迈进，构建新一代国家测量体系成为关键一环。今年1月，国务院印发《计量发展规划(2021—2035年)》，明确提出加快构建国家现代先进测量体系，推进计量标准建设。我国精密测量领域科研工作者将继续勇担重任，以与时俱进的精神、革故鼎新的勇气、坚忍不拔的定力，为中国制造备好“尺子”，为科技强国建设不懈奋斗。

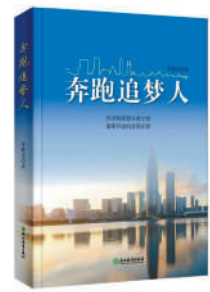
(作者为中国工程院院士、哈尔滨工业大学教授)

制图：赵德汝

推荐读物：

- 1.《中国古代计量史》：丘光明著；安徽科学技术出版社出版。
2.《精密激光测量技术与系统》：胡鹏程等编著；科学出版社出版。
3.《精密测量中的误差补偿技术》：谭久彬著；哈尔滨工业大学出版社出版。

新书架



《奔跑追梦人》：李朝全著；浙江教育出版社出版。

讲述优秀人才在深圳的创新创业故事，彰显“劳动创造幸福、奋斗成就梦想”的信念和主题。



《云顶》：殷健灵著；新蕾出版社出版。

取材于真实故事，讲述一对夫妻带着孩子返乡，成为大山里留守儿童的教育者、守护者和陪伴者。

用剧作反映广阔社会生活

仲呈祥

年届古稀的唐栋是我敬佩的剧作家。他选取一生创作的28部话剧和15部歌剧、舞剧、情景剧文学剧本，集成厚厚四卷《唐栋剧作选》。

唐栋剧作的一个特色是立意高远，格局宏大，追求独到深刻的思想发现。剧作的灵魂在思想。读唐栋的剧作，强烈感受到他坚持正确的世界观和历史观，胸中有大义，心里有人民，肩头有责任。面对革命历史题材，他独具慧眼，能够发现尚未被发现或有待深入挖掘的思想意蕴，从而抓住不放，在审美化、艺术化呈现上深下功夫。譬如，写红军长征题材的作品不少，话剧《天籟》却另辟蹊径，在部队文化建设上深入开掘，通过战士剧社几个个性鲜明的红军宣传员传播“天籟之声”的感人故事，形象揭示文化建设对严明纪律、凝聚士气的关键作用。面对现实题材，唐栋能够把准时代脉搏，捕捉人民群众的精神共鸣点，聚焦于此，写出深度。譬如，在众多表现触及亿万百姓的医患关系题材作品中，他与编剧蒲逊合作的《麻醉师》通过麻醉师陈绍强大夫珍视生命价值和医生职业尊严的感人故事，反映广阔的社会生活，传达深刻的思考和厚重的内涵，风格独树一帜。唐栋剧作另一特色，是艺术追求上一以

贯之地传承中华美学精神，彰显中华审美风范。综观他的作品，一是在艺术构思上讲究托物言志、寓理于情，如话剧《柳青》里的“猎枪”“吊带裤”，《天籟》里的“留声机唱针”等；二是在台词和剧作结构上讲究言简意赅、凝练节制，话剧《支部建在连上》体现得尤为突出；三是在整体审美效果上讲究形神兼备、意境深远，如话剧《红帆》《今夜星辰》等，剧名本身就显示出这种鲜明的美学追求。

唐栋剧作中的一些剧名，如《共产党宣言》《国际歌》《支部建在连上》很有特点，他成功地把这些作品审美化、艺术化。奥秘何在？以话剧《支部建在连上》创作过程为例，剧作者在学习从1927年大革命失败到建立井冈山革命根据地这段艰难而非凡的历史过程中，不断提高思想认识，逐步抽象概括出“支部建在连上”的重大意义，从而坚定了创作好这部作品的决心；再之后，他把这种先抽象概括出的思维成果转化到剧本创作内在思想的驱动力，严格遵循审美思维去建构全剧、编织故事、塑造人物。最后创作出环环相扣、情节跌宕、人物鲜活的话剧《支部建在连上》。这部话剧的创作，深化了观众对革命历史、毛泽东军事思想和“党指挥枪”“支部建在连上”的认识。这启示创作者在处理重大革命历史题材时，首先要

正确观念指引，进入剧本创作阶段，则一定要把这种先期的思想理论准备，尽可能地转化为审美化、艺术化的形象思维。

唐栋的这番创作甘苦极为珍贵。当我们的作家艺术家在创作思维上，面对丰富多样的题材，能够自觉全面辩证地理解、生动活泼地诠释时，攀登艺术高峰之路便会更进一步。喜无止境。愿古稀之后的唐栋，老骥伏枥，创作更丰。



《唐栋剧作选》：唐栋著；文化艺术出版社出版。

14年前，我应北京奥组委邀请，有幸全程跟踪采访2008年北京奥运会，创作了长篇报告文学《五环旗下的中国》。14年后，我再续前缘，书写北京冬奥故事。北京是世界上唯一的“双奥之城”，我决心用全部精力创作好这部报告文学。

我的采访历时3年半。先是前往8个世界冰雪运动强国实地考察，与国外冰雪运动专家、爱好者交流，了解各项冰雪运动起源和发展。带着对冬奥历史的理解，我在国内的采访更加深入。

从黑龙江、吉林到北京，从北京赛区的“雪飞天”“冰丝带”，到延庆赛区的“雪飞燕”“雪游龙”，再到张家口赛区的“雪如意”“冰玉环”。每到一处冬奥建设工地和训练现场，我都与建设者、运动员、教练员推心置腹地深谈，先后采访200多人。写作过程中，我还思索和探究如何做强冰雪运动产业、推动冰雪经济发展。在张家口崇礼，我走进农家，聆听北京冬奥会、冬残奥会促进京津冀一体化、帮助崇礼百姓脱贫致富的真实故事。

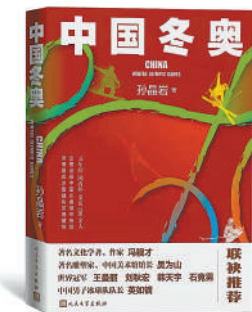
用文学为中国奥运留史，必须用心塑造人物。我笔下既有叶乔波、杨扬、刘秋宏等顽强拼搏的中国冰雪运动员，也有孟庆余、赵小兵、周宇迪、王岩等为普及冰雪项目日夜奔忙的教练员；有武晓南、郑方、刘文浩、贾茂亭等奋战在冬奥场馆一线的建设者，也有对冬奥开展冰雪运动鼎力相助的外国友人。我想用手中的笔，呈现北京冬奥会、冬残奥会背后无数人的拼搏、付出，刻画人们在坚定信念引领下所迸发的蓬勃生命力。

过去14年里的两次“战役式采访”，让我深切感受到祖国的日新月异。最初，从北京市区到延庆采访要早晨5点起床赶路，到崇礼更是旅途艰辛。在奔波中我亲眼见证崇礼高速和京张高铁的开通，一小时生活圈大大方便了百姓出行。我在延庆小海陀山蹲点采访，亲眼这座其貌不扬的野山，在冬奥建设者的手中，于最短时间建成了世界高水平高山滑雪赛道和雪车雪橇赛道。在河北张家口，冬奥会、冬残奥会的举办促进了京津冀一体化，改善了崇礼老百姓的生活，创造了很多就业机会。相关工作人员告诉我，以往点燃奥运火炬，碳排放量巨大，北京冬奥会、冬残奥会点火仪式以“微火”形式宣传双碳目标，大大减少碳排放，冰场采用二氧化碳直冷制冰，低碳环保可持续成为一大亮点。

采访中遇到了数不清的困难，但这种大跨度的扎实采访，使我收获许多冬奥故事的生动细节。过去我们的冰雪运动装备简陋，冬奥会亚军叶乔波当年出征国际大赛，临近比赛时冰刀和鞋子居然断开；世界冠军刘秋宏穿着普通滑冰服，训练中意外摔倒被冰刀划破，大腿上留下伤疤。而今，中国运动员的装备焕然一新，冰刀鞋制作精良，防切割滑冰服可以有效保护运动员；我们建成智慧冰场，使用先进设备，科研人员和教育者有的放矢地指导运动员训练，使中国的速度滑冰有了长足进步。

完成采访只是万里长征第一步，创作长篇需要谋篇布局、巧妙结构、潜心打磨。我怀着敬畏之心，在海量采访素材中细心筛选，用心用情塑造冬奥人物。我用两章篇幅讲述冬奥历史和冰雪运动强国现状，通过世界视角传递冬奥知识，普及冰雪文化。我用抒情笔墨描写中国冰雪运动场馆，呈现冰雪运动的壮美境界，用细腻笔触记录冰雪运动健儿，讴歌冰雪运动中人类所展现出来的智慧、勇气和魅力。

短短十几年，“双奥之城”发生新变化。壬寅虎年春节，在北京什刹海、颐和园冰场，游客络绎不绝，尽情嬉戏；北京周边各大雪场，人山人海，一票难求。在北京冬奥会、冬残奥会带动下，中国已经有3.46亿人参与冰雪运动。北京正在成为国际奥林匹克文化传播重镇，搭建起文化交流互鉴的新舞台。从2008年北京奥运会开幕式的“大脚印”到2022年北京冬奥会开幕式的“一片雪花”，我有幸见证中国与奥运的相互成就，更加有幸书写伟大的奥林匹克精神，向世人展示拼搏、自信、奋进的中国！



《中国冬奥》：孙晶岩著；人民文学出版社出版。



亲见中国与奥运的相互成就

孙晶岩