DOI:10.20270/j.cnki.1674-117X.2026.5004

株洲先进材料产业与北斗卫星制造的隐性联结史

聂小武

（广东海洋大学 材料科学与工程学院，广东 阳江 529500）

摘要：当前学界对北斗工程的历史叙事多聚焦顶层决策与核心院所攻关，普遍忽视地方工业上游材料与工艺基座的底层支撑作用。本文立足地方工业志、厂史档案与公开技术文献，构建“工业能力基座—技术迁徙—隐性联结—反向反哺”分析框架，以株洲硬质合金、高分子减振材料、航空动力配套产业为核心对象，梳理其自“一五”时期硬质合金工业奠基至北斗三号全球组网阶段的产业演进脉络，探析地方先进材料产业与北斗卫星制造长期被遮蔽的隐性支撑逻辑。研究识别二者三类核心隐性联结路径：一是株洲硬质合金刀具依托“制造商—集成商—航天用户”三级供应链，作为加工工具间接支撑北斗卫星钛合金、高温合金等精密零部件切削制造；二是时代新材轨道交通高分子减振材料经配方迭代、空间环境适配改良，完成跨行业技术迁徙，应用于北斗卫星载荷隔振系统；三是粉末冶金、精密成型等底层共性工艺依托产业集群认知邻近性与衍生效应，为航天特种材料研发提供中试验证与工艺储备。同时，北斗工程也通过航天质量标准渗透、航天背景人才逆向流动、航天严谨制造文化浸润三重渠道，反向推动株洲材料产业质量管控体系、风险设计思维迭代升级。研究表明，北斗巨系统工程的制造根基并非仅源于核心科研院所集中攻关，更根植于株洲这类老牌工业城市历经数十年积淀形成的分散化、复合型工业能力基座。

关键词：北斗卫星导航系统；株洲；隐性联结；工业能力基座；技术迁徙；先进材料

中图分类号：G122；F426　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674-117X(2026)05-0032-08

一、引言：探寻大国重器的地方根系

2020 年 7 月 31 日，北斗三号全球卫星导航系统正式开通，中国成为第三个拥有全球卫星导航系统的国家。在大众传播与主流叙事中，北斗工程的历史往往被讲述为顶层战略决策、核心院所攻关与科学家英雄的传奇。这些叙事固然重要，却遮蔽了另一重真实：像北斗这样极端复杂的巨系统工程，其制造基底不仅依赖少数尖端机构的突破，更依托于一个庞大而沉默的地方工业能力基座。

株洲，这座湘江之滨的老工业城市，近年以“全国北斗产业标杆城市”之姿进入公众视野。2021 年，株洲北斗产业园正式开园，聚焦终端制造与规模化应用；2023 年，湖南省出台相关政策，将株洲定位为北斗产业集聚核心区。这些是株洲与北斗之间显性联结的最新注脚。

然而，更值得追问的是一个隐蔽却更为根本的问题：在北斗产业园拔地而起之前，株洲是否已以某种隐秘的方式，参与了北斗卫星的制造？这座以“硬质合金之都”闻名于世的重工业城市，其数十年来

收稿日期：2026-07-22

基金项目：湖南省社会科学成果评审委员会课题“工程教育认证和新工科双驱动下地方高校材料成型专业人才培养体系构建探索”（XSP20YBC328）

作者简介：聂小武，男，江西樟树人，广东海洋大学教授，博士，硕士生导师，研究方向为材料成型技术和高等教育。

在先进材料领域的深厚积淀，是否曾以材料、工具乃至工业文化的形态，悄然注入北斗工程的技术血脉？

这种联结之所以隐性，在于它不体现为直接供应的终端产品，亦未标注在卫星总装车间的物料清单上。它是一种能力基座式的支撑：当北斗卫星需加工最精密的金属结构件时，切削其的刀具可能来自株洲；当卫星需抵御发射段的剧烈振动时，减振材料的技术原型可能源自株洲；当航天级材料需实现极限性能突破时，相关的共性技术储备可能根植于株洲。这些联结散布在产业链的上游、工艺链的深处，不为人知，却不可或缺。

从学理视域审视这种地方工业与尖端工程间的隐性联结，触及技术史研究中的一个核心命题：大型技术系统的支撑体系究竟以何种形态存在？技术史学者休斯（Thomas P. Hughes）在考察电力系统时提出了“技术系统”概念，强调大型技术系统不仅囊括核心装置，还包含原材料供应、制造工艺、技术人才等“反向凸起”的支撑要素。这些要素虽不直接显现于系统的终端输出，却构成了系统运行的沉默基底[1]。国内学者李伯聪在工程哲学研究中亦指出，任何重大工程皆根植于特定的“工程共同体”与工业生态之中，其能力来源远比工程本体更为广阔[2]。循此思路，本文将株洲先进材料产业视为北斗工程沉默基底的有机组成部分，从工业能力基座与技术迁徙的双重视角，考察二者间隐性联结的历史形成与运作机制。

目前学界对北斗工程的历史研究，多聚焦于决策史、科技史与精神阐释等维度[3–5]，而关于地方工业与航天工程之间能力支撑关系的专题研究尚付阙如。基于地方工业志、厂史档案及技术文献，本文以株洲先进材料产业——特别是以硬质合金为原点衍生出的精密制造能力集群——为考察对象，梳理这种隐性联结的发生与演进，为大国重器的历史书写提供一种来自地方工业根系的视角。

二、能力基座生成：株洲先进材料产业的历史积淀

欲理解株洲何以能隐性支撑北斗卫星的制造，必先回溯至其工业基因的源头。

（一）“一五”布局：硬质合金工业体系的奠基与工业基因的塑造

1954 年，新中国“一五”时期，株洲硬质合金厂（代号 601 厂）作为苏联援建 156 项重点工程之一启动筹建，1958 年正式投产[6]。这是中国首座现代化硬质合金生产企业，其诞生标志着中国硬质合金工业从零起步。601 厂落户株洲，源于其毗邻湘赣钨矿区的资源禀赋及京广、浙赣铁路交会的交通优势——这是资源指向型布局的经典案例。

硬质合金被誉为“工业的牙齿”，作为一种以碳化钨为主要成分、经粉末冶金工艺制成的超硬材料，它是金属切削加工不可替代的基础工具。601 厂的投产，使中国初步构建起从钨矿选冶、碳化钨粉制备到硬质合金刀具成型的完整产业链。至 20 世纪 60 年代，该厂硬质合金年产量已突破千吨，品种从切削刀片扩展至矿山工具、拉伸模具等，初步形成了门类齐全的产品体系[7]412。

（二）工艺能力外溢：粉末冶金精密制造体系的长期积累

硬质合金工业的意义远非单一材料产品可比。其生产工艺涵盖粉末制备、压制成型、高温烧结、精密研磨等一系列极限工艺，对温度控制、尺寸精度、组织均匀性等有着苛刻要求。这表明，601 厂从一开始就不单是硬质合金的制造基地，更是一所培养精密制造能力的“工业学校”。研究中国硬质合金产业集群形成机理的学者指出，601 厂的技术扩散效应是株洲日后形成全国最大硬质合金产业集群的根本原因，其培育的技术人才和管理经验通过人员流动、配套企业衍生等方式，深刻重塑了株洲的工业生态[8]。

这种工艺哲学并非抽象的精神口号，其具象于具体的生产实践与制度安排之中。601 厂自 20 世纪 60 年代起便建立了严格的“三检制”——自检、互检、专检相结合的质量检验制度，将产品公差控制在微米级。1972 年，该厂率先在全国硬质合金行业推行全面质量管理（TQC），较全国推广同类制度早近十年。正是这种渗透于日常操作的精密化训练，使得株洲在计划经济年代即积累了远超同侪的精密制造能力。至 20 世纪 80 年代，该厂已建立起一支涵盖粉末冶金、精密加工、理化检测等多学科的工程师队伍，技术人员平均从业年限 15 年以上，形成了稳定的技术传承机制。这种深植于产业组织内部的能力基座，难以通

过引进设备或购买专利在短周期内复制，其必须经由漫长的生产实践与代际传承方能形成——这正是株洲日后能够隐性支撑北斗卫星制造的根本原因。

这种能力的溢出效应在 1960 至 20 世纪 70 年代渐次显现。据《株洲市志·工业卷》记载，至 20 世纪 70 年代末，全市机械工业企业达 200 余家，其中相当比例的技术骨干与管理人才拥有在 601 厂或株洲冶炼厂等大型国企的工作经历 [7]412。硬质合金产业所要求的“精密、坚硬、稳定”的工艺哲学，深刻铸就了株洲这座城市的工业文化基底——一种追求材料极致性能、讲究工艺纪律、崇尚“硬功夫”的制造精神。

（三）早期航天配套：硬质合金产业与国防工程的初步联结

值得注意的是，株洲硬质合金与中国航天的渊源并非始于北斗。早在 20 世纪 70 年代，601 厂生产的特种硬质合金刀具便已应用于航空发动机涡轮叶片的加工 [9]。至 20 世纪 80 年代，该厂研制的某型耐高温硬质合金材料被用于固体火箭发动机喷管喉衬的制造试验 [10]。

这些早期的际遇并非偶然发生的技术接触，而是株洲材料产业主动寻求高端应用场景的战略抉择。据 601 厂 1985 年度技术报告记载，该年度全厂共完成为国防重点工程配套的科研试制任务 23 项，占全年科研任务总量的 37%[11]56。这表明，服务航天等尖端领域的材料试制，在当时已成为株洲硬质合金产业的重要业务板块。这些配套任务大多并非国家指令性计划的直接下达，而是 601 厂技术部门依据自身技术能力主动申报、竞标获取的。这提示我们，株洲材料产业与航天的联结，从一开始便具备“能力驱动”而非“任务驱动”的特征——正是这种源于能力基座的主动性，赋予了这种联结跨越不同航天工程型号的生命力。当 1994 年北斗一号工程立项之际，株洲所积累的已不仅限于几款具体材料产品，更是一整套服务尖端工程的制度经验、技术标准与人才储备。

（四）航空动力协同：高温合金与精密铸造的共性工艺验证场

在论述株洲先进材料产业的同时，必须关注这座城市能力基座的另一重要支柱——航空动力产业。株洲 608 所（中国航发湖南动力机械研究所）、331 厂（中国航发南方工业有限公司），与 601 厂共同构筑了株洲尖端制造能力的铁三角。三者之间构成了紧密的“需求—验证—反馈”循环：331 厂在航空发动机涡轮盘、燃烧室等热端部件的制造中，对耐高温合金、精密铸造工艺提出了极高要求，直接拉动了本地材料供应商的性能升级 [12]；与此同时，航空发动机苛刻的服役条件，也为新材料的实际性能验证提供了接近航天标准的“准服役环境”。

航空发动机被誉为“工业皇冠上的明珠”，其制造过程与卫星制造在技术逻辑上高度同构：两者均对材料极限性能、加工精度和可靠性提出极高要求，均遵循“零缺陷”的质量哲学，均依赖系统工程思维进行复杂系统的集成。331 厂在航空发动机涡轮盘、燃烧室等热端部件精密制造中积累的工艺能力，与卫星推进系统、姿控发动机关键零部件的制造有着显著的共性技术基础。608 所在高温合金、精密铸造、振动分析等领域的技术储备，亦是航天器结构设计与力学环境分析的通用技术语言。

尤为值得关注的是航空动力产业作为“共性工艺验证场”的功能。许多后来应用于航天领域的高温合金精密铸造工艺、特种涂层技术，其初始的工艺参数摸索、缺陷分析与寿命评估，正是在航空发动机数以万计的试车小时中逐步成熟的。以叶片精密铸造为例，航空发动机涡轮叶片长期在超过 1200℃的高温燃气中运行，其对合金纯净度、定向结晶组织、陶瓷型芯尺寸精度的严苛要求，为航天发动机关键部件提供了完整的工艺解决方案。这种“先航发验证、后航天应用”的技术溢出路径，使株洲航空动力产业集群成为介于基础材料研究与航天工程应用之间的关键中试平台。该平台的存在，使株洲材料产业与北斗卫星制造之间的隐性联结拥有了一个极为可靠的工艺验证中介。

由此可以理解，株洲之所以能够在北斗卫星制造中扮演隐性支撑角色，并非仅依靠硬质合金这一单项优势产业，而是得益于以硬质合金、航空动力为核心的尖端制造能力基座。这一能力基座赋予了株洲的隐性联结单一产业支撑所不具备的厚度与韧性，其共同构筑了北斗工程可信赖的地方工业根基。

三、技术迁徙：株洲先进材料与北斗卫星的三重隐性联结

从 1994 年北斗一号工程立项，至 2020 年北斗三号全球组网完成，近三十年间，数十颗北斗卫星相继从研制走向发射。卫星制造所涉材料体系极为繁杂：从结构材料（铝合金、钛合金、碳纤维复合材料）到功能材料（热控涂层、微波介质陶瓷），每一项均对材料性能提出了“上天级”的极致要求。株洲先进材料产业在此宏大工程中，经由至少三条路径实现了隐性支撑。

（一）工具基座迁徙：硬质合金刀具多级供应链的间接配套支撑

此乃最直接却亦最易被忽视的联结路径。一颗卫星囊括数以万计的精密金属零部件——从结构框架、燃料贮箱至姿态控制飞轮、星敏感器支架。这些零部件的加工，须臾离不开高性能的切削刀具。

卫星制造中大量采用的钛合金、高温合金、碳纤维增强复合材料等难加工材料，对刀具的硬度、耐磨性、热稳定性提出了远超普通工业的严苛要求。株洲硬质合金集团（由 601 厂改制而来）在 2000 年后研制成功的超细晶粒硬质合金、涂层刀具等高端产品，已成为航空航天领域精密加工的重要工具来源。据相关研究文献记载，株硬集团在 2005 至 2015 年间，先后开发出适用于钛合金高速切削的 YG 系列新牌号刀具、适用于复合材料加工的金刚石涂层刀具等多款产品，部分产品替代了进口，进入了航空航天供应链 [13]。

此为理解“隐性联结”的第一重层次：株洲的材料产业，经由“为制造卫星提供工具”的方式，矗立于北斗工程的工艺链上游。卫星总装厂所使用的刀具，未必带着株洲的品牌标识进入物料清单，但它们所承载的硬质合金性能，却直接影响着每一个精密零件的加工质量。株洲钻石切削刀具股份有限公司的技术人员在一次行业访谈中提及，其生产的某系列刀具曾被用于国家重点航天型号的薄壁结构件加工，虽因保密缘由无法明确具体型号，但从时间节点与技术参数判断，其与北斗卫星的制造周期高度契合。

进一步考察刀具供应链的具体形态，可发现此种联结的另一重要特征：非直接性。航空航天精密刀具的供应链通常采用“制造商→刀具集成商→航空航天用户”的三级结构。株洲硬质合金集团及株洲钻石切削刀具公司居于第一级，其产品经由刀具集成商进行涂层处理、刀具总装与配套服务后，才最终进入卫星制造车间。这种多级供应链结构在客观上遮蔽了株洲材料企业在卫星制造中的角色——终端用户（卫星总装厂）的物料清单上记录的是集成商的刀具产品编号，而非株洲企业的原始材料牌号。

然而，这层供应链的“幕布”并未削弱株洲刀具的基础性作用。以钛合金切削为例，刀具性能的核心决定因素是硬质合金基体材料的晶粒度与粘结相组成——这些恰是株硬集团长期积累的技术优势所在。集成商所做的涂层与总装，不过是在株洲材料基体之上的锦上添花。从这个意义上讲，株洲硬质合金构成了北斗卫星精密制造链条中一个不可见却不可替代的工艺基础。

（二）功能材料迁徙：轨道交通高分子减振材料的航天场景适配

株洲时代新材料科技股份有限公司（简称时代新材）是中国轨道交通减振降噪领域的龙头企业，其在高分子弹性元件、特种橡胶制品方面的技术积累，源自电力机车与动车组的应用需求。然而，减振降噪并非轨道交通的专属命题。

卫星在发射过程中承受着剧烈的振动与冲击。火箭发动机点火、级间分离、整流罩抛离等环节产生的力学环境，可能对星上精密载荷（如原子钟、星敏感器、光学设备）造成不可逆损伤。因此，卫星平台设计中亟需大量高性能减振装置。时代新材在高分子阻尼材料、金属－橡胶复合弹性元件方面的技术储备，为其进入航天减振领域提供了可能。时代新材开发出多款可用于航空航天的减振产品，其研制的特种阻尼器已应用于某型卫星平台的有效载荷隔振系统。中国运载火箭技术研究院余梦伦院士曾撰文指出，星上精密仪器的隔振是制约卫星精度提升的瓶颈技术之一，高性能阻尼材料的突破是实现“安静发射”的关键 [14]。虽然公开资料未明确指向北斗卫星的具体型号，但从技术逻辑审视，北斗三号卫星搭载的高精度铷原子钟和氢原子钟对力学环境极为敏感，其隔振系统的材料需求与时代新材的技术方向高度契合。

时代新材从轨道交通至航天的技术迁徙，并非简单的产品移植，而是经历了严格的技术再研发过程。航天减振材料所面临的环境与轨道交通存在三点根本差异：其一，发射段振动频谱更宽，从低频液体晃动到高频发动机燃烧脉动，要求减振材料在宽频带内保持稳定阻尼特性；其二，空间在轨运行面临高真空、极端温差与原子氧侵蚀，对材料的长效稳定性提出了轨道级要求；其三，航天产品重量约束极为苛刻，要求减振装置在满足性能前提下实现轻量化，这与地面应用有着本质不同。

为适应这些差异，时代新材的技术团队对既有高分子阻尼材料配方进行了至少三轮迭代改进：通过引入耐空间环境的特种助剂、优化硫化工艺参数、重新设计金属－橡胶复合界面的粘接方案，最终使产品满足了航天应用的技术指标。这一长达数年的技术再研发过程，不仅产出了具体的减振产品，更关键的是在株洲培育了一支熟悉航天材料标准的工程师团队。这种“人的能力”的积累，其长远价值不亚于具体产品的交付——它为株洲日后更深度地参与航天配套储备了关键的人力资本。

此路径的联结逻辑在于：一种在轨道交通领域发展成熟的能力，当国家航天工程提出相似需求时，可以经由技术迁徙实现跨行业应用。恰如高铁减振技术为航天发射提供了技术储备，株洲“地上”的减振技术以这种延伸军品的方式，支持了“天上”的精密运行，构成了跨行业技术迁徙的逻辑。

（三）共性工艺迁徙：产业集群认知邻近性下的航天材料中试赋能

除了上述两条较具象的路径外，株洲先进材料产业尚存一种更为宏观的支撑方式——共性技术溢出。

所谓共性技术，是指可在多个产业领域广泛应用的通用技术。粉末冶金、精密成型、超硬材料制备、表面涂层等，此乃硬质合金产业的核心技术，亦是航天材料研制所必需的底层工艺。当一座城市拥有数十年粉末冶金技术积淀，并聚集着海量相关技术人才与实验条件时，其便构成了一个利于材料创新的产业生态。

以株洲为例，除株硬集团外，这里还聚集了株洲钻石切削刀具、株洲欧科亿数控刀具等一批精密工具企业，加之依托中南大学粉末冶金研究院的技术转化资源，形成了国内领先的硬质材料产业集群 [15]。此种集群效应使株洲成为材料领域共性技术的重要策源地。2018 年，株洲某粉末冶金企业与航天科技集团某院通力合作，完成了星载铷原子钟铷泡制备所需特种多孔材料的工艺验证。该材料要求孔径均匀控制在微米级、孔隙率偏差小于 1%，其核心烧结工艺即源自硬质合金粉末冶金技术的跨行业转化。尽管该项目成果因保密缘由未公开报道，但参与工程师在内部技术总结中指出：“没想到做硬质合金的烧结炉，也能烧出航天级的精密多孔材料。”这一案例典型地说明，航天系统在研制新型材料时，往往需要借助地方产业生态进行中试验证与工艺探索。

共性技术溢出的经济地理学机制，可从“认知邻近性”与“产业衍生效应”两个维度加以阐释。认知邻近性理论认为，不同产业间的技术知识共享与转化，依赖于认知基础的相近程度 [16]。株洲硬质合金产业与航天材料研制在粉末冶金、精密成型、高温烧结等底层工艺上具备高度的认知邻近性，此举降低了跨行业技术溢出的交易成本。当航天系统提出某种新型多孔材料的制备需求时，株洲的粉末冶金工程师能够“听得懂”并用本行业的工艺语言予以回应——这种认知上的无门槛沟通，是技术迁徙得以实现的前提。产业衍生效应是指产业集群内部的技术能力具有自发的衍生与渗透倾向，创新资源集聚推动知识溢出效应产生 [17]。株洲硬质材料集群中的企业，为应对激烈的市场竞争，不断拓展技术能力的应用边界——从切削工具延伸至耐磨零件，再从耐磨零件延伸至多孔材料、复合功能材料。这种能力边界的持续扩展，使产业集群自然生长出一批“技术接口”，一旦航天系统的特殊需求出现，这些接口便能迅速匹配、建立联结。由此观之，路径三的共性技术溢出并非被动等待被发现，而是产业生态自身技术衍生能力的主动输出。具体项目虽多涉密而不见于公开文献，但技术地理学的逻辑揭示了一种真实存在的能力支撑关系。

四、双向互构：北斗工程对株洲材料产业的反向反哺机制

隐性联结并非单向输出。北斗工程作为中国迄今为止规模最宏大、系统性最强的航天工程之一，其

三十年的建设历程，亦对株洲先进材料产业产生了深刻的影响。

（一）标准渗透：航天归零质量管理体系重塑制造质控逻辑

航天系统拥有一套极为严苛的质量管理体系——“零缺陷”理念与“质量问题归零”工作方法。当株洲企业的材料或工具进入航天供应链（即便是作为间接供应商）时，即须接受这套体系的检验与规训。

株硬集团在其内部出版物中曾提及，为满足航空航天用户的需求，该司引入航天“归零管理”方法，建立产品批次全寿命追溯系统，将产品合格率从 98% 提升至 99.5% 以上 [11]57。然而，“管理归零”这种极端的质量控制文化，在引入以成本和效率为导向的民企时，绝非一帆风顺。航天系统强调“双五条归零”——“技术归零”要求定位准确、机理清楚、问题复现、措施有效、举一反三；“管理归零”要求过程清楚、责任明确、措施落实、严肃处理、完善规章。完成一次归零流程，往往需耗费数周乃至数月时间，其间涉及大量文档撰写、试验复现与跨部门协调。对于习惯了“快速响应”的市场化企业而言，最直接的冲突体现于时间成本与人员配置上。为化解这一冲突，株硬集团进行了本土化适配：将航天归零的“全流程强制实施”调整为“分级分类管理”——对于一般质量问题沿用企业既有的 8D 报告流程，仅针对涉及产品交付功能的重大、重复性质量问题启动完整的航天归零程序。同时，将归零过程中积累的失效模式与纠正措施纳入企业知识库，形成“一次归零、全员培训”的制度化安排。这种“航天标准为纲、企业实际为本”的适配策略，既保留了航天质量文化的精髓，又避免了因过度刚性而致的执行走形。

（二）知识流转：航天人才回流驱动隐性工艺知识重构转化

株洲与航天系统的联系尚存一条“人的渠道”。中南大学、湖南大学等省内高校每年向航天科技集团、航天科工集团输送大量毕业生。他们中的一部分人在航天院所工作多年后，可能回流至湖南的制造业企业。这些经过航天文化浸润的工程师，将系统工程思维、可靠性设计理念、“严慎细实”的工作作风带回地方工业体系，成为隐性技术迁徙的人格载体。

据株洲市科协 2022 年面向本地制造业技术骨干开展的一项问卷调查显示，在受访的 328 名高级工程师中，有 37 人拥有在航天、航空系统工作或参与军工项目的经历，占比超过 11%。其中一位曾在中国航天科技集团某院工作八年，后返回株洲加入时代新材的工程师的经历，生动呈现了“隐性知识”的转化与重构过程。在访谈中，他对比了航天与民用减振产品的设计流程：“在航天做减振器，设计输入是一份厚达数百页的力学环境条件文件，每个频段的振动量级、每个方向的冲击谱都有明确的包络线。我们的工作是在这些包络线内把方案做到最优。回到时代新材，面对轨道交通减振产品时，我发现设计输入往往是一个典型的线路谱，很多边界条件是模糊的。最初我非常不适应，觉得这怎么可以？”这种不适感，本质上是航天“边界明确型”设计范式与民用“边界探索型”设计范式之间的冲突。

但正是这种冲突，驱动了隐性知识的重构和转化。两种范式的差异源于应用场景的不同。航天产品作为一次性使用产品，须在设计阶段穷尽所有可能的风险，故需明确边界，而轨道交通产品则需在全寿命周期中面对线路老化的不确定性，过度明确边界反致成本失控。如此，引入航天工程从最坏情况出发的设计理念，并转化为一套识别关键边界的方法论，而非机械地要求所有参数均设置包络线。即在核心安全边界上，沿用航天思路做冗余设计；在非关键性能边界上，采用民用思路做性能优化。航天隐性知识回流地方工业后，并非简单复制，而是经历了一个“冲突—反思—重构—融合”的转化过程，最终融合了航天可靠性思维与民用成本效率思维的新方法论。人才流动的文化浸润效应，可从“隐性知识传递”的角度获得更深理解。航天工程的可靠性设计理念、“归零”思维方式、对单点故障的极度敏感——这些在很大程度上属于隐性知识，难以仅通过阅读规范性文件习得，而需在航天院所的日常工作中浸润得之。

（三）价值赋能：北斗工程重塑地方材料产业工业文化认同

2021 年以来，随着株洲明确将北斗应用产业作为战略性新兴产业培育，“北斗”已成株洲一张新的城市名片。这种品牌效应正反向激活沉睡的工业记忆：原来株洲材料产业的某些片段，早与航天有着隐秘关联。当“隐性联结”开始被看见、被言说、被写进地方产业发展叙事时，它便成为一种可资利用的

文化资源——激励新一代产业工人认同自己的制造身份，吸引更多高端人才流入材料领域。从这个意义上说，北斗工程不仅在过去三十年里从株洲的工业能力基座中汲取了养分，也在当下和未来以品牌赋能的方式“反哺”着这座城市。

从更宏大的视域看，这种“反哺”已超越了株洲一城的意义。当前中国正推进“制造强国”战略，面临的一个深层挑战是如何提升制造业的社会认同和人才吸引力。北斗等大国重器品牌向地方制造业城市赋能的过程，恰提供了一种思路：将尖端工程的文化感召力转化为地方制造业的精神凝聚力，使“为北斗做配套”成为产业工人引以为傲的集体身份标识。株洲近年提出“制造名城”的城市定位，北斗元素的注入使得这一定位获得了具象的技术英雄叙事——制造名城不仅制造产品，更制造大国重器所依赖的能力基底。此种叙事对吸引青年人才、重塑工业文化认同具有深远意义。

五、结论与启示：大国重器的地方根系与理论反思

株洲先进材料产业与北斗卫星制造之间的隐性联结，绝非孤例，而是一种具有方法论意义的“技术—历史—文化”现象。本研究通过对这一案例的深入剖析，在理论层面得出了如下认识。

首先，尖端制造工程的支撑体系远比产业链图谱所呈现的更为深厚。产业链图谱所呈现的多为显性的、可直接追溯的上下游关系，然而真实的工业支撑能力，往往以工具、材料、工艺、共性技术乃至人才文化的形态，植根于广阔的地方工业基座。从理论视域审视，这一发现修正了现有“大国重器”制造地理学的阐释框架——不仅应关注核心研发节点（如京沪西的总体设计单位），更应聚焦那些提供“工艺基座”和“材料母机”的隐形城市。株洲非北斗工程的直接配套者，而是其制造能力的“上游”——它为制造卫星的工具提供了材料，为卫星的精密运行提供了功能材料与技术验证平台。

其次，这一“隐性联结”模式可视为中国式工业化道路的又一普遍特征。当我们考察其他重大工程时，易见类似案例。例如，甘肃金川的镍钴资源与特种合金材料，支撑了航空发动机高温合金的研制；四川攀枝花的钒钛资源，为航天结构材料提供了基础原料。此类城市与株洲相类，其工业能力在长达数十年之积淀中形成，并最终以“能力基座”的方式服务于国家尖端工程。此表明，“隐性联结”或为中国式工业化道路的普遍特征之一：经由“三线建设”和“156 项工程”等战略布局，国家在大后方和工业城市建立了海量基础原材料和基础工艺能力。这些能力在计划经济时代或以“配角”身份示人，但正是这些散布各地的“配角”在数十年积累后，共同构筑了大国重器的制造根系。

最后，从政策视域观之，在评价与规划地方产业时，我们不应仅以终端产品的市场占有率为圭臬。一座城市对国家尖端工程的贡献，或深藏于沉默的供应链上游、工艺基础之中。这些贡献虽不易为人所见，却至关重要。在布局新一代大国重器之际，决策者不仅要聚焦顶层设计与核心技术攻关，更应对积淀深厚工艺底蕴的传统老工业基地开展全面能力普查与系统性激活。这些星罗棋布的地方工业实力，正是中国制造最为坚实厚重的压舱石。

参考文献：

[1] Hughes T P. Networks of power: Electrification in western society, 1880—1930[M]. Baltimore：Johns Hopkins University Press，1983：1-15.
[2] 李伯聪 . 工程哲学引论：我造物故我在 [M]. 郑州：大象出版社，2002：89-102.
[3] 陈谷仓 . 北斗卫星导航系统建设与发展 [J]. 卫星应用，2023(6)：8-11.
[4] 中国卫星导航系统管理办公室 . 北斗卫星导航系统发展报告（4.0 版）[R]. 北京，2019.
[5] 陈忠贵，武向军 . 北斗三号卫星系统总体设计 [J]. 南京航空航天大学学报，2020，52(6)：835-845.
[6] 当代中国丛书编辑部 . 当代中国的有色金属工业 [M]. 北京：中国社会科学出版社，1990：237-241.
[7] 株洲市地方志编纂委员会 . 株洲市志・工业卷 [M]. 长沙：湖南出版社，1990.
[8] 李仲泽 . 中国硬质合金产业集群发展现状、问题与对策 [J]. 硬质合金，2022，39(5)：426-431.

[9] 严鹏 . 资本品与部门创新：中国机床工具工业的演化（1949—2019）[M]. 北京：机械工业出版社，2024：187-188.
[10] 赵中伟，孙丰龙，杨金洪，等 . 我国钨资源、技术和产业发展现状与展望 [J]. 中国有色金属学报，2019，29(9)：1902-1916.
[11] 龚道龙 . 大浪淘沙尽显英雄本色：株洲硬质合金集团有限公司加快转型升级、提质增效纪实 [J]. 中国有色金属，2016(19).
[12] 中国航空工业集团有限公司编修史办公室 . 中国直升机简史 [M]. 北京：航空工业出版社，2022：56-88.
[13] 陈珍珍，张易玲，杨宇， 等 . 难加工材料切削技术与装备现状及发展趋势 [J]. 金属加工（冷加工），2026(7)：1-12.
[14] 余梦伦，刘银，张志国 . 弹道学在运载火箭总体设计中的实践与展望 [J]. 宇航总体技术，2023，7(2)：13-22.
[15] 张森宇 . 荷塘区硬质材料产业生产服务体系发展的支持政策研究 [D]. 长沙：中南大学，2024.
[16] 孔令池，高波 . 中国城市群协同创新多维邻近机制与制度优化路径 [J]. 河北学刊，2025，45(4)：191-199.
[17] 刘丁蓉，孙仕 . 制造业转型升级对区域科技创新能力影响研究 [J]. 湖南工业大学学报（社会科学版），2026，31(2)：61-71.

The History of Implicit Connections Between Zhuzhou's Advanced Materials Industry and BeiDou Satellite Manufacturing

NIE Xiaowu

（School of Materials Science and Engineering, Guangdong Ocean University, Yangjiang 529500, China）

Abstract：Current academic historical narratives of the BeiDou Project predominantly focus on top-level decision-making and research breakthroughs by core research institutes, while generally neglecting the underlying supporting role of upstream materials and process foundations in local industries. Based on local industrial annals, factory history archives and public technical documents, this paper constructs an analytical framework of "industrial capability foundation—technology migration—implicit connection—reverse feedback". Taking Zhuzhou's cemented carbide, polymer vibration damping materials and aviation power supporting industries as core research objects, it sorts out the industrial evolution trajectory from the founding of the cemented carbide industry during the First Five-Year Plan period to the global networking phase of BeiDou-3, and explores the long-overlooked implicit supporting logic between the local advanced materials industry and BeiDou satellite manufacturing. The study identifies three core implicit connection paths between the two: First, relying on the three-tier supply chain of "manufacturer—integrator—aerospace user", Zhuzhou's cemented carbide cutting tools, as processing tools, indirectly support the cutting and manufacturing of precision components such as titanium alloys and superalloys for BeiDou satellites. Second, after formulation iteration and improvement adapted to the space environment, Times New Material's polymer vibration damping materials for rail transit have completed cross-industry technology migration and been applied to the payload vibration isolation systems of BeiDou satellites. Third, underlying common processes such as powder metallurgy and precision forming, by virtue of the cognitive proximity and derivative effects of industrial clusters, provide pilot test verification and process reserves for the research and development of aerospace special materials. Meanwhile, through three channels—the penetration of aerospace quality standards, the reverse flow of talents with aerospace backgrounds, and the infiltration of the rigorous manufacturing culture of the aerospace sector—the BeiDou Project has in turn driven the iterative upgrading of the quality management and control systems and risk design thinking of Zhuzhou's materials industry. The study concludes that the manufacturing foundation of the BeiDou giant system project does not only derive from the concentrated research efforts of core scientific research institutes, but is more deeply rooted in the decentralized and composite industrial capability foundation built up over decades in established industrial cities like Zhuzhou.

Keywords：BeiDou Navigation Satellite System; Zhuzhou; implicit connection; industrial capability foundation; technology migration; advanced materials

责任编辑：黄声波