DOI: 10.3969/j.issn.1000-6826.2024.04.2485

柯俊先生参加国内织构会议给我们的启示及材料科学中的织构概念

The Inspirations on a Photo of Domestic Texture Meeting Attended by Master Ko Jun and the Texture Concept in Materials Science

供稿|杨平 / YANG Ping

内容导读

基于笔者从事织构研究及课程讲授织构概念的背景，对一张柯俊先生早年参加全国织构会议的照片进行了分析，讨论了 3 个学会共同组织第一次国内织构会议的目的、意义及柯先生和老一代织构研究学者的贡献，分析了其课程思政的作用。此外，本文分析了织构基本含义，学生理解时面临的困难及克服的方法，织构研究的历史及涉及的范围。最后，从一流课程建设的角度分析了“两性一度”教学要求下讲授织构知识点的方式与方法，并与柯先生“大材料”试点班的教改理念进行了比较，提出了将织构知识点凝练成体现课程“两性一度”特点的案例设想与方法。

笔者在《柯俊画传》[1] 中看到一张他于 1979 年参加国内织构学术会与参会者的合照（图 1），不禁有些好奇：柯俊院士是我国著名金属物理学家，他的主要研究方向是贝氏体相变、马氏体相变及透射电镜应用技术等；虽然织构也是早期金属物理领域重要研究内容之一，但笔者尚未看到那个时期柯先生研究织构的论文。因此，本文首先分析了柯先生参加这个会议的主要目的，他以怎样的方式参加这个会议；其次，作者研究织构也有 32 年了，这个会议在 45 年前召开，与国际织构会议有何联系，参加这个会议的研究织构的前辈有哪些；再次，织构是笔者讲授的材料科学基础课程中的一个知识点，也是学生感觉很抽象、较难理解的一个概念，如何讲好织构概念及其应用值得探讨；最后，作为国家级一流课程，如何体现课程的“两性一度”（高阶性、创新性和挑战度），以及挖掘课程思政元素，能否将这些元素体现在织构概念的教学中，以及在教材编写中如何展示几十年来人们对织构的新认识。图 2 给出这些问题相互间的关系。

作者单位：北京科技大学材料学院，北京　100083

图 1　1979 年 3 个学会组织的全国织构学术交流会全体代表合影[1]，部分参会代表有：符锡仁（前排左一，参照文献 [2–3] 推测）、李恒德（前排左二）、徐端夫（前排左三）、钱人元（前排左五）、柯俊（前排左六）、严东生（前排右四）、李家治（前排右二）、梁志德（后排左二，白柱子前）、刘维鹏（第二排左六）

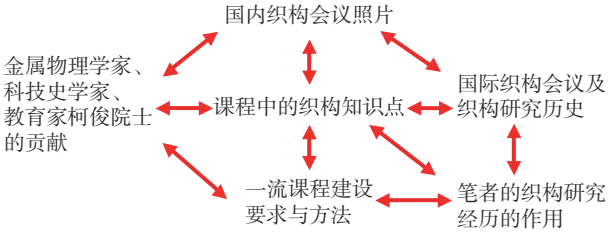

图 2　本文讨论的各方面的关系图

织构会议照片给我们的启示

这张照片（图 1）拍摄于 45 年前的 1979 年，那时国内研究织构的学者还很少，通过文献检索找到 3 条报道这次会议的信息[4–6]，得知照片上方显示的“三会”是中国金属学会、中国化学会和中国硅酸盐学会。这 3 条信息中的 2 条是化学类刊物报道的，1 条是硅酸盐类期刊报道的，没有见到金属类期刊的相应报道。共有 24 个单位 46 名代表参加会议，其中有很多著名学者，如柯俊先生（金属领域），严东生先生（无机硅酸盐领域），李恒德先生（金属领域）、徐端夫先生（高分子领域）、钱人元先生（高分子领域）。这些学者后来都成为中国科学院或中国工程院院士。说明这次会议汇聚着 3 个材料领域的顶尖学者，他们共同关注材料中的织构现象。会议共收到论文 39 篇，其中关于金属材料方面 20 篇，无机非金属材料方面 11 篇，高分子材料方面 8 篇。可见，金属材料中研究织构的较多。这次会议显然是一次跨学科交流的重要活动，其落脚点在织构上。文献 [4–5] 的一段描述（应该是会议纪要）如下：“柯俊、严东生、符锡仁、钱人元、徐端夫就金属、无机非金属和高分子材料学科的发展动向及其相互联系等问题作了有意义的阐述。李恒德、李家治等就发展新型材料中的织构问题作了有启发性的报告。”在当时材料科学日新月异的发展形势下，针对如何克服存在的专业过窄、分工过细、各学科孤立隔绝的某些弱点，开展这类学术活动显得十分重要。那时柯先生等就指出了专业过窄、各学科孤立隔绝的一些不足。再有，柯先生等老一辈科学家那时就关注不同材料领域同一名称术语的相似性与差异性问题。文献 [6] 的一段描述如下：“会议就织构的含义进行了讨论。建议把：金属、陶瓷、高分子的晶体的晶胞结构以及高分子的链结构统称为结构；把光学显微镜、电子显微镜下观察到的金属的金相结构、陶瓷的显微结构、高分子的超分子结构统称为显微织构；把 3 种材料中的择优取向称为取向织构。”可见，不同领域的织构术语或含义还不够统一，甚至有差异。其中显微织构被建议是指在光学显微镜下可观察到的组织。从以上会议纪要部分内容推测，柯先生的报告主要是金属材料学科的发展动向，而不是具体的织构问题。作为教育家的柯先生对学科发展、学会工作、人才培养等各个方面都很关心且都有兴趣。

会议中，李恒德、李家治（无机陶瓷专家，世界陶瓷科学院院士）先生做的是织构方面报告，织构虽然只是他们广泛的研究领域中的一个方面，但是他们仍是我国织构研究前辈。此外，还有两位笔者认识的织构研究老前辈，一位是东北大学的梁志德先生（图 1 中最后一排左二位置，即白色柱子的前面）。梁志德先生早在 70 年代就开展织构定量分析术的研究，即三维取向分布函数（ODF）的研究，他于 1986 年出版了我国第一部织构定量分析术专著[7]，见图 3(a)，由此也被称为中国 ODF 计算第一人[8]。特别应注意的是，他在其书的前言中特别注明了“在柯俊教授的倡导及鼓励下”完成此书的出版，见图 3(b)；并说明其初稿完成时间是 1980 年，即这次会议 (1979 年 12 月) 以后的很短时间内。因此，柯先生对我国老一代织构研究者的织构技术推广给予了很大的推动作用。图 4(a) 为 1993 年笔者代

表德国亚琛工业大学第一次参加第 10 届国际织构会议（ICOTOM-10）时与梁志德先生的合照。交流中他简单给我介绍了他的最大熵法计算织构的特点和优势，同时也介绍了他们代表中国申办下一届（第 11 届）国际织构会议（1996 年在西安举办）的打算。图 1 照片中的另一位是北京工业大学的刘维鹏教授（图 1 中第二排左六），他是国际上最先（1969 年）研究出级数展开法计算 ODF 的 H.J. Bunge 教授培养的博士。Bunge 教授上世纪 90 年代访问过我国，1993 年被北京工业大学聘为荣誉教授[9]。图 4(b) 为 1996 年北京工业大学材料系主任左演声教授给 Bunge 教授颁发客座教授证书的照片。笔者是在 2005 年比利时鲁汶举办的第 14 届国际织构会议上结识刘维鹏教授的。

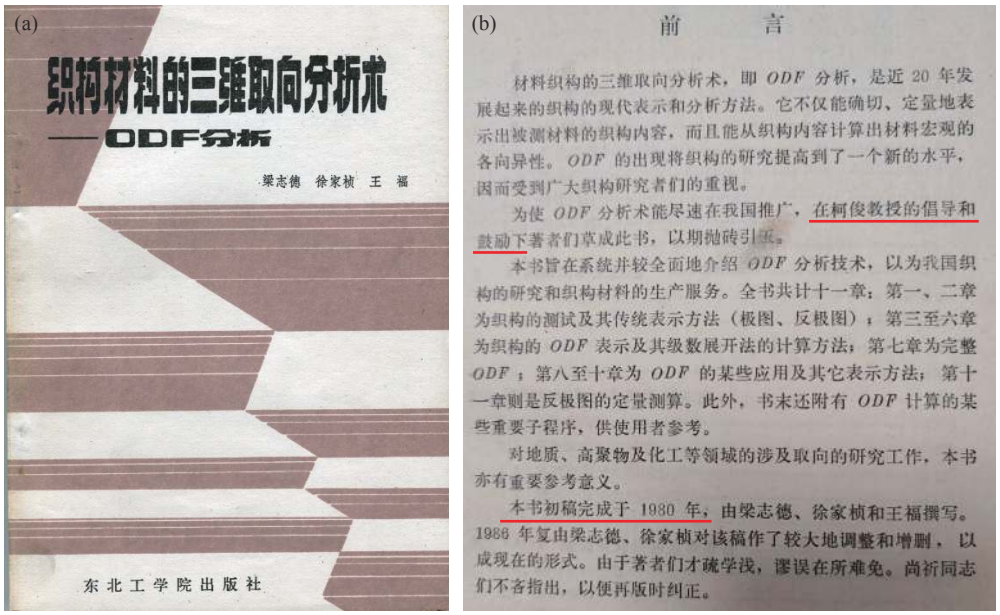

图 3　梁志德先生等 1986 年出版的织构专著[7] 封面 (a) 及前言 (b)

图 4　(a) 笔者 1993 年与梁志德先生在德国 Clausthal 第 10 届国际织构会议上的合影; (b) 1996 年 9 月北京工业大学授予 Bunge 教授客座教授的照片（照片由刘丹敏研究员提供）

进一步检索我国上世纪 1950—1960 年发表的织构论文可见，颜鸣皋院士[10]、陈能宽院士[11]、周邦新院士[12] 及戴礼智先生[13] 等都是我国开展织构研究最早的一批学者，颜鸣皋院士被称为中国金属织构理论的先行者[14]，他早在 1947 年就在美国耶鲁大学硕士论文中研究形变织构形成原理，1949 年博士论文期间发表了织构研究论文[15]，并且提出过 3 种典型结构的金属滑移系与形变织构类型关系的理论。所以他应该是我国织构研究最早的学者。北京钢铁研究总院的戴礼智先生是我国磁学家和冶金学家，1937 年获得英国伦敦大学博士学位。1948 年出版了中国第一部《磁性材料》专著。图 5 是颜鸣皋院士在 1981 年参加第一届中美双边冶金学术会议及 1986 年在北京科技大学与耶鲁大学同学 R. Maddin

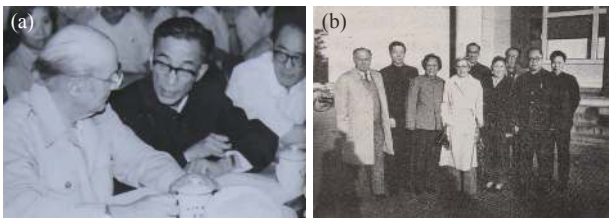

图 5　颜鸣皋院士进行国际交流时的照片: (a) 1981 年参加第一届中美双边冶金学术会议时的照片[16]（左一为美国 MIT 的马氏体相变专家 Cohen 教授，中间为颜鸣皋院士，右一为肖纪美院士）; (b) 1986 年颜鸣皋先生在北京科技大学的照片[14]（接待耶鲁大学同学，哈佛大学的 Maddin 教授（左一）及夫人，陈能宽院士（左二）、颜鸣皋院士（左五）、傅君诏先生（右二））

教授、陈能宽院士、我校时任副教务长的傅君诏先生（留学美国卡内基梅隆大学，毕业于宾夕法尼亚大学）的合照。梁志德先生回忆曾经通过阅读颜鸣皋先生 1963 年发表的会议论文学习用 X 射线测定织构的技术[14]，此外，他还介绍，1993 年在德国举办的第十届织构会议上他们是第二次申请在中国举办下一届（第 11 届）国际织构会议，最后以一票优势获得举办权。

国际织构会议 ICOTOM 始于 1969 年，第一届在德国的克劳斯塔尔（Clausthal）召开，由国际织构领域的创始人、Clausthal 工业大学金属学及金属物理所（简称金属所）所长 G. Wassermann 发起[17]，Bunge 教授于 1976 年接替 Wassermann 教授领导该金属所；第 10 届国际织构会议（1993 年）又回到 Clausthal 召开，Bunge 教授是组委会主席。2024 年在法国召开第 20 届国际织构会议，这个织构会议上将金属、无机非金属及地质学中矿物岩石中的织构现象都纳入到交流主题中，但尚未注意到高分子材料和液晶中织构研究论文。笔者推测，这两类材料中织构的含义与金属、陶瓷材料差异太大。相比之下，尚未见到第 11 届国际织构会议后国内织构会议的报道。

材料科学基础课程中的织构概念及难点

北京科技大学材料专业材料科学基础教材中织构概念的介绍在国内教材中应是最多的，书中详细介绍了形变织构、再结晶织构、二次再结晶织构的含义，图形（极图、反极图及取向分布函数 ODF）表示方法；面心立方（FCC）、体心立方（BCC）、密排六方（HCP）金属中的织构类型及形成原因；在生产中织构现象的典型案例。此外，也简单介绍了铸造织构。在“晶体学”一章中还介绍了极射赤面投影图，为后续介绍极图用以表示织构打下基础。课程中还介绍了学习织构的重要性，已知单晶具有各向异性，多晶中出现织构后会带来类似单晶那样的各向异性，因此影响材料的各种性能，需要按出现的织构是所希望的还是不希望的而加以控制。但在早期，1980 年由刘国勋先生主编出版的《金属学原理》教材中，织构的介绍还很少；而 2000 年出版，由余永宁先生独编的《金属学原理》[18] 中织构就介绍的比较多了。在 2006 年出版的《材料科学基础》教材中基本保留 2000 版教材中织构的介绍深度。而上世纪 80 年代，织构概念及理论常在《X 射线金属学》、《金属 X 射线衍射与电子显微分析技术》、《金属物理》等教材中介绍。

金属材料中，织构定义为多晶中晶粒取向的（择尤）分布现象或状态。晶粒取向则定义为其晶体坐标系（[100]–[010]–[001]）相对于样品坐标系（轧向 X–横向 Y–法线 Z）的旋转关系，用一组密勒指数 $(h\ k\ l)[u\ v\ w]$ 或一个 3×3 旋转矩阵表示。取向（或织构）不能通过一般的显微镜直接观察，要通过衍射法显示并计算出来，一般用 $\{h\ k\ l\}$ 极图或 ODF 图表示出来。取向用 $(h\ k\ l)[u\ v\ w]$ 表示时，其含义是晶体的 $(h\ k\ l)$ 晶面平行于轧面 X–Y，晶体的 $[u\ v\ w]$ 晶向平行于板材的轧向 X。习惯上用极图或取向分布函数表示取向及织构。如果极射赤面投影原理掌握的不好，理解用极图表示的取向或织构就比较吃力。此外，一些同学不理解 (001) 标准投影图和{001}极图的差异。

针对织构理解上的困难，在教材中专门给出一个将高斯（Goss）取向 (110)[001] 表示在 {001}、{111}、{110}极图中，并与对应的单胞俯视图对照的例题，以加深对取向概念的理解。课堂上还采用相关软件展示了取向及织构的数字、图形表示法，将一个取向对应的单胞方位与其二维极射投影关系对应起来。此外，还给出用电子背散射衍射（EBSD）技术表示的取向成像图，指出晶粒形貌与取向的差异及其关联性。最后，在课程网站中提供了一定的织构控制的案例。但即便如此，不少学生还是难以投入较多的时间进行练习，因而总是觉得织构抽象难懂。笔者写过几篇与织构有关的教改文章[19–22]，通过介绍与织构相关的历史人物与经典文献，期望学生课下能看看这些文章，从历史人物角度和实际应用角度等提升学习兴趣及理解程度。

织构研究对课程中讲述织构的帮助

德国有两个世界闻名的研究织构的大学研究所，一个是前面提到的德国 Clausthal 工业大学的金属学及金属物理所（简称金属所），另一个是德国 Aachen（亚琛）工业大学金属学及金属物理所。

Clausthal 工业大学金属所由取向分布函数（ODF）分析技术创始人[23]、中国人民的老朋友 Bunge 教授领导（图 4(b)）。我国一些织构研究学者都到过此研究所学习交流或攻读博士学位，这显示了 Bunge 教授对我国人才培养做出了贡献。Bunge 教授于 1976 年接替金属织构研究大师 G. Wasserman 成为 Clausthal 工业大学金属所主任。Wassermann 1986 年去世后的纪念文章为 Bunge 教授所撰写（图 6）[17]。Wasserman 于 1935 年发现了钢中 γ↔α 相变的 Nishiyama–Wasserman 取向关系，1939 年出版德文的《金属中的织构》一书，并首次对金属中的织构进行了定义；他还首次提出面心立方低层错能金属中的黄铜型织构是形变孪生所致；此外他的研究还涉及 Al–Cu 合金的脱溶析出、Fe–Ni 合金的马氏体相变诱发塑性（形状记忆效应）、粉末冶金技术等。他是国际织构方面的期刊 *Textures and Microstructures* 的第一任主编。Wassermann 的导师就是晶体塑性变形专家 E. Schmid（即形变一章“Schmid 因子”术语对应的学者）。德国亚琛工业大学金属学及金属物理所在 K. Lücke 教授领导下，也培养了不少我国的织构研究者，如中南大学的张新明教授，北京科技大学的毛卫民教授；笔者则是 Lücke 教授的接班人 Gottstein 教授所培养（实际指导者是 O. Engler 博士，当时 O. Engler 博士正在做 Habilitation 工作，即讲师资格或教授资格考试）。Lücke 教授与柯俊先生非常熟，他们早在哥廷根大学学习工作时就认识；他又是 1980 年我校与亚琛工业大学校际合作关系的首批联系者，见文献 [24]。

Textures and Microstructures, 1988, Vols. 8 & 9, pp. 3–6
Reprints available directly from the publisher
Photocopying permitted by license only
© 1988 Gordon and Breach Science Publishers Inc.
Printed in the United Kingdom

In Memoriam
Günter Wassermann

Prof. (em.) Dr. phil. habil. Dr.-Ing. E.h. Günter Wassermann died on September 30, 1986 at the age of 84. In him, we lose the initiator and most prominent representative of the field of textures and the first editor of this journal. His book “Texturen metallischer Werkstoffe” (1939) summarized for the first time what was then known about crystal orientation and its influence on the physical

3

图 6　Bunge 教授撰写纪念 G. Wassermann 文章的首页[17]

织构现象普遍存在于多晶材料中，其测试方法随时间在变化。早期都用 X 射线衍射 (XRD) 技术，测定宏观织构，德国亚琛工业大学金属学及金属物理所拥有自制的当时世界最先进的一次可顺序连测 6 个样品的织构仪。笔者读博期间 EBSD 技术刚出现不久，该所也是最先在扫描电镜上安装 EBSD 探头。EBSD 技术具有直接将微区晶粒取向分布（即所谓的微观织构）与组织形貌相关联的优势，更便于解释组织织构演变机理，因此越来越多的研究者使用 EBSD 技术。笔者回国后在从事教学的同时开展科研，从未离开过对织构的关注。近 32 年的织构研究使笔者体会到，织构普遍存在于各种多晶材料的制备工艺中，织构是“广义”的组织内涵中不可缺少的一部分信息。“狭义”的组织是我们眼睛或通过显微镜可以直观观察到的，它指晶粒大小、形状、分布，以及不同的相分布等；而晶粒取向分布、取向差分布、晶粒内取向梯度、不同相之间的取向关系，也是组织信息的一部分，显然对性能也产生重要影响，所以织构并不是很特殊、很偏僻的研究领域。通过 EBSD 获得的取向成像图可使织构概念更形象化，也更容易被理解，所以在教学中常加入一些取向成像图。笔者的另一点体会就是金属与陶瓷、高分子、地质中的矿物岩石、液晶、生物及化石等材料或物质中都存在织构，且不同领域的织构含义可能差异非常大。除了在国内检测技术、织构分析技术交流中笔者提出过这些观点及看法外，笔者还将这些内容编入材料专业研究生《工程材料结构原理》教材中[25]，目的也是希望研究生了解各个领域中的织构概念差异，拓宽知识面。这个思想也许与柯先生 1979 年参加“三会”组织的织构学术交流会的初衷（提倡克服专业过窄、各学科孤立隔绝的

某些不足）“不谋而合”。

织构概念起源于拉丁文“编织物”。19 世纪初地球科学界将织构定义为粒子的空间分布，这与现在该学科对结构概念的定义非常相似。1939 年 Wassermann 将织构首次定义为多晶体中晶粒取向的整体（状态），以区别于地质学中的织构概念。现在，一般将织构定义为多晶中晶粒取向的（择尤或择优）分布。但织构不能通过肉眼直接观察到，是要用衍射技术来揭示。有些早期书籍或教材中将织构定义为多晶中晶粒取向分布的组织。笔者感觉这里用的“组织”一词不妥，除非组织具有广义的织构信息的含义。另外，笔者个人的看法是织构也没有必要一定加上“择优”的要求。

美国加州大学伯克利分校地球与行星科学系教授 H-R. Wenk 教授指出[26]：1833 年 Omalius d’Halloy 提出，岩石中的织构是矿物晶体的定向排列所致。1922 年 K. Weissenberg，1928 年 W. Voigt，1929 年 A. Reuss 定量化了晶体择优排列与物理性能的关系；Texture 一词是 C. F. Neumann 1850 年最先提出的。

织构广泛存在于各种材料制备的每一个环节中，也存在于地球不同深度的岩石层中，通过织构信息不仅可以确定工件经历了怎样的加工过程，也可确定地球某位置的岩石经历了怎样的应变作用而发生地质演变。织构还存在于生物中，图 7~8 分别给出一些软体生物贝壳和恐龙化石中的织构信息。

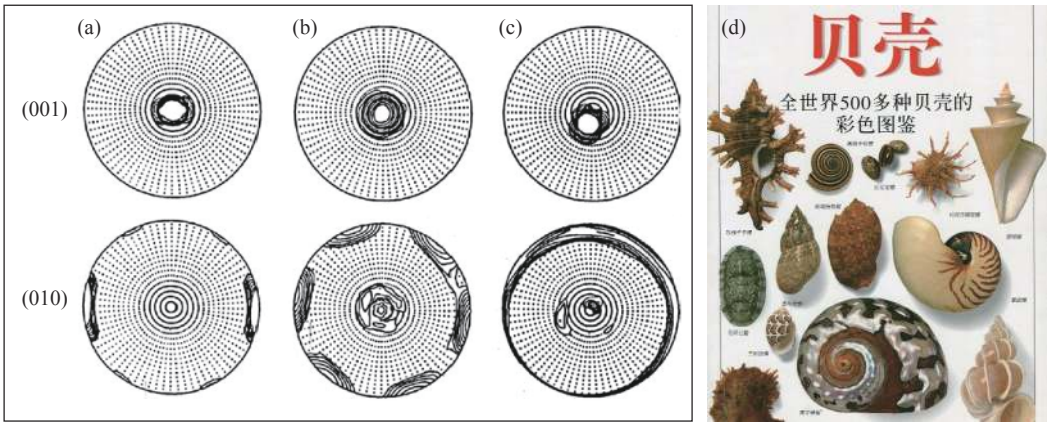

图 7　软体动物贝壳（以 $CaCO_3$ 为主，称为文石或霰石）生长织构[27] 及贝壳实物照片：(a) 珍珠母贝壳中的织构；(b) 鹦鹉螺贝壳中的织构，孪生导致呈现伪六次对称性；(c) 鲍鱼贝壳中的织构 ((010)、(001) 极图，投影到壳表面，等面积法投影；对数强度值 0.5, 0.7, 1, 1.4…)；(d) 贝壳实物照片

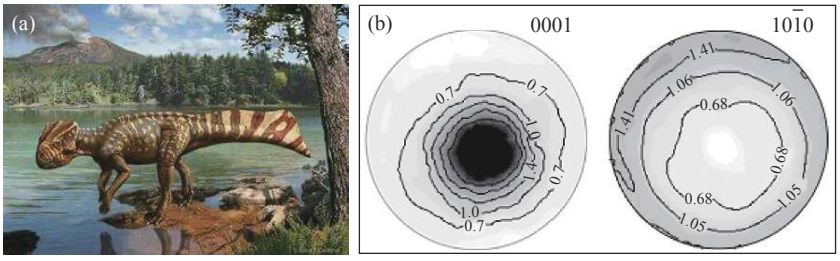

图 8　恐龙图片 (a) 及用同步辐射技术测定的恐龙肌腱组织——六方结构羟基磷灰石的织构[27]（极图中心为肌腱轴方向，等面积法投影）(b)

从一流课程建设的要求看织构概念的讲授方式

国家级一流课程建设要求课程教学要体现“两性一度”，即课程内容具有高阶性、创新性和挑战度。高阶性指知识、能力、素质的有机融合，培养学生解决复杂问题的综合能力和高级思维；创新性指课程教学要反映前沿性和时代性，教学形式体现先进性和互动性，学习结果具有探究性和个性化；挑战度指课程有一定难度，要求学生与老师一起努力，

学生在课上课下要有较多的学习时间和思考。由此，笔者思考如何结合自己多年对织构的教学、科研、相关历史人物与经典文献收集的经历，讲好、讲精织构这个知识点，使其体现课程的“两性一度”，同时使其成为一个恰当的课程思政元素。图 9 给出一个设想的介绍织构概念的关系图。图中黑体字为按教学大纲在课上介绍的内容，其余为简单展示，更具体的在课程网站或微信群展示。

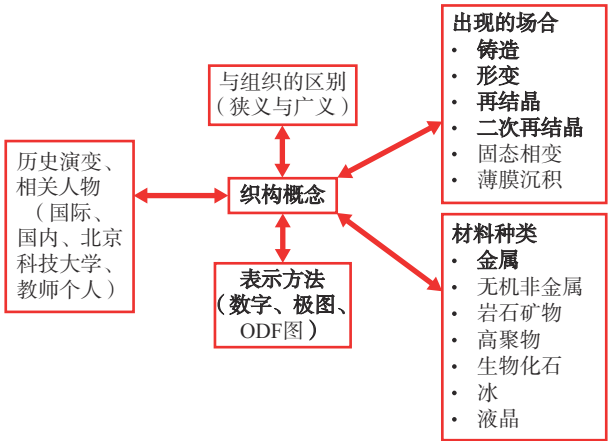

图 9　织构概念涉及的各方面关系图

从对图 1 早年织构会议照片及相关文献[4–6] 的分析可见，那么多位后来成为院士的不同材料领域的学者都关注到专业融合、学科交流的重要性。柯俊先生也是教育家，一方面他通过广泛的国际学术交流、邀请国外专家讲学、组织国际国内会议、推荐研究生与青年教师出国、鼓励倡导出版教材专著译著、扩大专业知识的社会影响，推动人才培养和学科进步；另一方面，在本科生培养理念上，他亲自主持开展了“大材料”试点班的工程教育改革，其培养学生的理念是：少学时、多自学、多实践、提高适应能力，防止“技师”型只会执行操作的专业技能，而向“工程师”型的会思考、有创造性思维、适应环境能力强、有终生学习意识的专业能力方向培养学生。这与“两性一度”的一流课程建设思路中的“给学生课上课下较多的学习时间和思考的重要性”一致。这项教育改革获得国家级教学成果一等奖。织构是课程中的一个抽象但很实用的知识点，织构普遍存在于各种材料的各个制备阶段，就说明它的普遍性、实用性和复杂性；织构信息要用二维极图和三维 ODF 图显示才更形象、信息才更全面，这显示了其难度；织构是不是“组织”，如何辩证地看待这个问题，似乎没有唯一的答案，这也显示了其挑战度；对织构概念的不断再认识再提高、织构检测技术的不断发展、以及更好地揭示广义组织信息，显示其创新性。虽然课上没有时间全面介绍织构相关的历史、不同材料中织构概念的差异，但将这些信息放在课程网站上，推荐给学生，使其较全面地了解织构理论与实践，再回过头看课堂上介绍的基本织构知识，能更好地理解相关知识，同时也锻炼了综合能力。类似地，我们可以对课程其他难度较大的知识点开展研究，改进讲授思路或方法，不断提高、推进专业课程教学水平，跟上时代步伐。

另外需要指出，在教材编写方面，国内材料科学基础教材很多，对织构介绍的深浅程度差异很大，这取决于不同学校对该知识点深度及应用程度要求的差异。北京科技大学本科教材中对织构的介绍较多，至于它是否有广泛的用途，或绝大多数学生未来的材料领域工作中会不会根本用不上，不同的教师会有不同的体会。其实，通过织构知识点的能力培养本身更重要，应用在其它知识点上也同样有意义。我校材料学院材料加工专业在编写《材料成形理论基础》教材[28] 中，认为织构是很重要的一个知识点，需要用一章来讲述，但又不能介绍的太难、太多。因此笔者根据学时及难度的要求，以及当前织构研究信息及方法的进展、不同领域织构概念的差异，写出该章等待读者的评判。在该章后面的参考文献中，给出了一些介绍不同领域织构的文献，有兴趣的学生可进一步查找阅读，一般同学在教材中看不到这么复杂的内容。笔者还将金属与陶瓷材料、地质学矿物岩石、高分子材料及液晶领域对织构的定义上的差异，编入到材料专业的研究生教材《工程材料结构原理》[25] 中，并在研究生材料结构课程中介绍，以个例的方式拓展学生的视野。

结束语

（1）基于笔者从事织构研究及课程讲授织构概念的背景，对柯俊先生早年参加全国织构会议照片进行了分析，讨论了中国金属学会、中国化学会、无机硅酸盐学会共同组织的第一次国内织构会议的

目的、意义及柯俊先生的贡献，分析了老一代国内及国际织构学者的贡献。

（2）基于织构既是课程中的一个知识点及较大篇幅对织构的介绍，又是学生学习的难点，分析了其难以理解的原因、解决方法及注意事项；也分析了织构含义的演变–相关历史人物–应用发展，以及笔者多年的织构研究而形成的对织构认识的变化。

（3）从一流课程建设的角度分析了“两性一度”高要求在织构知识点介绍中的应用，并对比了与柯先生“大材料”试点班的工程教育教改理念的共性内容，探索了将其凝练成体现“两性一度”特点的案例，提出授课教师的教改思路和一些做法。

致谢：感谢东北大学沙玉辉教授、北京工业大学刘丹敏研究员对本文图片分析提供的帮助。

参考文献

[1] 北京科技大学. 柯俊画传. 北京：冶金工业出版社，2016
[2] 俞善庆. [留苏百年] 肩负科学进军令 六友同聚硅酸盐——记六位学友在苏联研修简况. (2020–12–18)[2024–04–24]. https://www.china-sorsa.org/detailpage/zz202006-9a43a97e-a0e1-11ec-8bbe-0c9d92738f92.html
[3] 综合办公室. 上海硅酸盐所党委在“七一”前夕亲切慰问老党员、老干部. (2011–07–04)[2024–04–24]. https://www.sic.ac.cn/dj/gzdt/201306/t20130613_3865087.html
[4] 中国化学会、中国金属学会、中国硅酸盐学会联合召开织构学术交流会. 硅酸盐学报，1980(1)：106
[5] 刘惠. 积极开展学科交流 促进学科相互渗透：三学会联合召开《织构学术交流会》. 化学通报，1980(4)：62
[6] 卜海山. 织构学术交流会在昆明召开. 化学世界，1980(2)：63
[7] 梁志德，徐家帧，王福. 织构材料的三维取向分析术：ODF 分析. 沈阳：东北工学院出版社，1986
[8] 孙巍巍，胡艺轩. 材料科学与工程学院关工委举办“我和我的祖国”主题讲座. (2019–11–05)[2024–04–24]. https://neunews.neu.edu.cn/info/1005/223731.htm
[9] Schwarzer R A, Chateigner D. Hans-Joachim Bunge (1929—2004). *J Appl Crystallogr*, 2005, 38: 708
[10] 颜鸣皋，陈克铭. 国产钝铝轧制织构与各向异性的研究. 金属学报，1957(2)：185
[11] 陈能宽，刘长禄. 矽钢片的加工织构及再结晶织构. 金属学报，1958(1)：30
[12] 周邦新，王维敏，陈能宽. 铁硅合金中立方织构的形成. 物理学报，1960(3)：155
[13] 戴礼智，张信钰. 国产纯铁的轧制与再结晶织构. 物理学报，1958(1)：17
[14] 沙志亮. 特殊材料铸人生：记中国科学院院士颜鸣皋. 北京：航空工业出版社，2011
[15] Yen M K. A study of textures and earing behavior of cold rolled (87–89 pct) and annealed copper strips. *JOM*, 1949, 1: 59
[16] 李政，刘媛媛. 百年鸣皋 国士无双：纪念颜鸣皋诞辰 100 周年. 军工文化，2020(6)：50
[17] Bunge H J. In memoriam Günter Wassermann. *Textures Microstruct*. 1988, 8/9: 3
[18] 余永宁. 金属学原理. 北京：冶金工业出版社，2000
[19] 杨平.《材料科学基础》课程的基本概念与相关名人典故：再结晶形核机制、立方织构及胡郁先生. 金属世界，2011(4)：73
[20] 杨平. 再结晶及晶粒长大国际会议的 Smith 奖及其获奖者：《材料科学基础》课程中的基本概念与名人典故. 金属世界，2013(5)：77
[21] 杨平. 特殊钢中的“工艺品”：取向硅钢 材料科学基础知识和经典人物. 金属世界，2015(1)：6
[22] 杨平. 极射投影法与极图的演变过程及其应用. 金属世界，2021(1)：27
[23] Bunge H J. *Mathematische Methoden der Texturanalyse*. Berlin: Akademie Verlag, 1969
[24] 杨平. Cottrell 教授科学生涯中与金属学有关的故事拾遗. 金属世界，2020(3)：1
[25] 杨平，毛卫民. 工程材料结构原理. 北京：高等教育出版社，2016
[26] Wenk H R. Texture and anisotropy. *Rev Mineral Geochem*, 2002, 5(1): 291
[27] Wenk H R, Houtte P V. Texture and anisotropy. *Rep Prog Phys*, 2004, 67(8): 1367
[28] 李静媛. 材料成形理论基础. 北京：冶金工业出版社，2022

基金项目：国家自然科学基金资助项目（51931002）。

作者简介：杨平（1959—），博士，北京科技大学材料科学与工程学院终身教授，博士生导师，《金属世界》杂志编委、特邀撰稿人。主要研究方向为金属材料形变、再结晶、相变过程的晶体学行为及织构控制技术；背散射电子衍射（EBSD）技术的应用；电工钢、高锰钢、钛合金等材料的组织结构表征及性能改善。负责国家自然科学基金 6 项，参加国家 863 计划 3 项，国家 973 计划项目 1 项，配套项目 1 项，国家自然科学基金重点项目 1 项。负责企业横向课题 10 余项等。在国内外刊物上发表论文 460 余篇，获发明专利 4 项，获省部级一等奖、三等奖各 1 项，编著《电子背散射衍射技术及其应用》《材料科学名人典故与经典文献》《工程材料结构原理》，参编《材料科学基础》《材料织构分析原理与检测技术》《电工钢的材料学原理》《材料科学与工程基础》《金相实验基础》等。