



2012-2013

*Report on Advances in
Stereology*

中国科学技术协会 主编
中国体视学学会 编著

學
科
發
展
報
告

体视学
学科发展报告

中国科学技术出版社



014033759

Q5-12
02
2012-2013

2012—2013

体视学 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN STEREOLOGY

中国科学技术协会 主编
中国体视学学会 编著



中国科学技术出版社



北航

C1722137

Q 5-12

02

2012-2013

图书在版编目 (CIP) 数据

2012—2013 体视学学科发展报告 / 中国科学技术协会主编; 中国体视学学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.2

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-6553-9

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 三维结构—学科发展—研究报告—中国—2012—2013 IV. ① Q501

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 010806 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	高立波
责任校对	赵丽英
责任印制	王 沛
装帧设计	中文天地

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62103354
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	250 千字
印 张	11.25
版 次	2014 年 4 月第 1 版
印 次	2014 年 4 月第 1 次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6553-9/Q · 180
定 价	42.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

2012—2013

体视学学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN STEREOLOGY

首席科学家 刘国权

专 家 组

组 长 康克军

副组长 赵忠明 唐 勇

成 员 (按姓氏笔画排序)

王 忠	王 浩	王卫国	王德文	尹立新
左 良	申 洪	田 捷	邢宇翔	朱佩平
李 杨	李 亮	李兴东	杨 平	杨正伟
宋晓艳	张 朋	张 跃	张晓鹏	陈志强
赵咏秋	赵荣椿	姜志国	彭瑞云	韩 焱
焦宗夏	曾 理	谢凤英		

学术秘书 刘克音 王 锂 黄雪丽

序

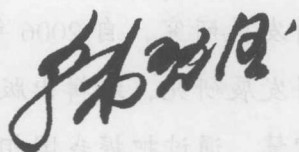
科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

中国科协立足科学共同体自身优势，动员组织所属全国学会持续开展学科发展研究，自2006年至2012年，共有104个全国学会开展了188次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告155卷，力图集成全国科技界的智慧，通过把握我国相关学科在研究规模、发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作等方面的最新进展和发展趋势，为有关决策部门正确安排科技创新战略布局、制定科技创新路线图提供参考。同时因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，系列学科发展报告不仅得到我国科技界的关注，得到有关政府部门的重视，也逐步被世界科学界和主要研究机构所关注，显现出持久的学术影响力。

2012年，中国科协组织30个全国学会，分别就本学科或研究领域的发展状况进行系统研究，编写了30卷系列学科发展报告（2012—2013）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，当前的学科发展更加重视基础理论研究进展和高新技术、创新技术在产业中的应用，更加关注科研体制创新、管理方式创新以及学科人才队伍建设、基础条件建设。学科发展对于提升自主创新能力、营造科技创新环境、激发科技创新活力正在发挥出越来越重要的作用。

此次学科发展研究顺利完成，得益于有关全国学会的高度重视和精心组织，得益于首席科学家的潜心谋划、亲力亲为，得益于各学科研究团队的认真研究、群策群力。在此次学科发展报告付梓之际，我谨向所有参与工作的专家学者表示衷心感谢，对他们严谨的科学态度和甘于奉献的敬业精神致以崇高的敬意！

是为序。



2014年2月5日

前 言

体视学 (Stereology) 是一门研究三维结构 (高维结构) 的科学, 重点关注对于三维结构表征的科学方法研究。体视学的研究范畴, 既包括基于其低维截面或投影推估三维结构的定量表征参量, 又包括三维结构的低维截面或投影图像自身的研究, 也包括三维结构或其图像的完整重建及三维直接观测分析。体视学形成于 20 世纪 60 年代, 随着科技的发展与进步, 目前体视学已经成为一门跨理、工、医等多个领域的交叉性很强的应用技术学科, 其原理与方法的发展研究高度依赖于方法学、数学、计算机技术、图像技术等, 其应用则涉及材料、医药、生物、能源、环境、农业、地质、矿业、冶金、建筑、航空、航天、遥感、国防等需要对立体结构或三维结构进行定量表征和可视化表达的不同领域; 尤其在材料和生物医学两大领域, 体视学更是发挥着不可替代的作用。

本报告重点选择学科发展比较成熟、与当前国民经济和社会发展中重大热点问题紧密相关的部分分支学科, 力求多方位展示学科发展的动态和趋势, 分析学科发展的战略需求, 系统收集了近 5 年来的研究成果, 反映体视学学科的最新研究进展以及在国民经济和社会发展中的应用、成效和前景, 预测学科的发展趋势。由于本报告是首次撰写, 为了便于读者对体视学有更多的了解, 我们在撰写过程中尽量简要地把体视学的定义和学科特点以及过去长期积累下来的部分优秀成果概括进来。

本报告的撰写得到了中国体视学学会生物医学分会、材料科学分会、图像分析分会、CT 理论与应用分会、金相和显微分析分会、仿真与虚拟现实分会以及参与此项研究工作的专家学者所在单位的大力支持。在此, 对所有参与编写人员的辛勤工作表示衷心感谢!

在本报告的编撰过程中, 我们力图做到内容尽可能丰富全面, 阐述尽可能深入细致。但由于开展此项研究的时间较短, 且是首次撰写, 加之参与编写的骨干人员工作较忙、所掌握的资料有限, 文中可能有一些需要改进之处, 恳请读者批评指正。

中国体视学学会

2013 年 11 月

目 录

序	韩启德
前言	中国体视学学会

综合报告

体视学学科发展研究	3
一、引言	3
二、体视学近年最新研究进展	4
三、体视学学科国内外对比研究	35
四、体视学学科的发展趋势与对策	38
参考文献	42

专题报告

生物医学体视学发展现状与趋势	47
材料体视学发展现状与趋势	68
图像分析研究现状与趋势	87
CT 技术发展现状与趋势	107
体视学与图像分析系统发展现状与趋势	137
附录	148

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Abstract of the Synthesis Report	157
--	-----

Reports on Special Topics

The Development Status and Trends of Biomedical Stereology	159
The Development Status and Trends of Materials Stereology	160
The Research Status and Trends of Image Analysis	162
The Development Status and Trends of Computed Tomography (CT)	163
The Development Status and Trends of Stereological Measurement Instruments	164
索引	165

Index

14	159
20	160
28	162
101	163
121	164
84	165

综合报告

体视学学科发展研究

一、引言

体视学对应的英文词“stereology”问世于20世纪60年代初。1961年5月12日,来自多个国家多个不同学科的11位科学家聚集在德国黑森林(Black Forest),举行了一次国际性非正式学术会议。他们发现并确认了他们在不同学科所从事的研究具有一个共同点,即均深切关注“从组织结构的截面所获得的测量值推断其三维组织结构参数”即“截面的立体诠释”这一共同命题,从而创造了“stereology”(中文译为“体视学”)一词,随之组建了国际体视学学会[The International Society for Stereology (ISS)]^[1]。80年代中国体视学学会成立时,采用了“体视学”作为其学会与学科的名称。

根据构词学解释,体视学(Stereology, stereo- + -logy)是一门研究三维结构(或立体结构、空间结构)的科学^[2]。也就是说,体视学研究的主要对象是三维结构。体视学的研究范畴,既包括基于其低维截面或投影推估三维结构的定量表征参量(体视学的传统定义范畴),又包括三维结构的低维截面或投影图像自身的研究,也包括三维结构或其图像的完整重建及三维直接观测分析。体视学的主要功能,是在不断发展体视学新原理、新方法、新技术和新仪器的基础上,帮助其他学科将其涉及的形形色色的三维结构量化、数值化和图像重建,使其从原始的定性研究层次进入更高级的定量研究层次;或者,极大地提高其定量分析的效率,使其过去难以实现的大规模三维结构高可靠性的定量研究成为可能。在材料科学与工程和生物医学两大领域,均不乏体视学做出了不可替代贡献的杰出实例。例如,在材料学科由定性走向定量的历史过程中体视学功不可没,被称为“20世纪中量化革命为金属学与后继的材料科学带来深刻变化的绝好例子”^[3]。

经过几十年的发展,体视学已经成长为一个多学科交叉的独立学科,建立了自己明显区别于其他学科的体视学原理和方法体系,形成了自己的学术建制,其原理和方法在生物医学、材料科学与工程等诸多领域或行业获得了广泛应用,影响力不断扩大。

二、体视学近年最新研究进展

(一) 近年来的体视学新观点与新理论

自 1961 年 “stereology” 一词问世以来, 国内外从未对其定义进行专门的讨论。因为体视学 (stereology) 是一个高度交叉的新学科, 已广泛应用于生物医学、材料科学、图像科学、冶金学、建筑学、工业、农业等众多领域, 尤其是生物医学与材料科学领域, 导致国内外不同场合不同应用领域的体视学定义不同甚至严重歧义, 包括若干国际上权威辞典以及国内外各种标准 (例如我国国家标准) 对体视学的定义亦常常不一致。在我国, 体视学的定义的不一致性更是直接影响了人们对体视学学科的准确理解和了解, 也在一定程度上阻碍着中国体视学学会的学会工作与学术建制的建设。

针对中国科学技术协会 2012—2013 体视学学科发展报告项目的学科发展研讨活动中最引人关注的体视学定义与体视学学科两大问题, 中国体视学学会组织了跨材料体视学、生物医学体视学、图像分析、CT (computed tomography, 计算机断层成像技术或计算机层析成像技术) 和仿真等领域逾百名专家进行了国内外首次对体视学 (stereology) 学科与定义的学术大讨论, 广泛听取各方面的专家意见, 并将主要研究结果于 2013 年 9 月在太原召开的中国体视学学会第六次会员代表大会暨第十三届中国体视学与图像分析学术会议上, 以大会特邀报告的形式作了通报^[4]。

1. 体视学基本定义的核心内容

本次学科讨论对如下问题获得了共识: 自 20 世纪 60 年代起, 体视学就形成了一个高度交叉但已独立的学科, 具有国内外公认的学科名称与显明的学科特点, 形成了其自身的理论与方法体系。体视学一词 (英文为 stereology, stereo- + -logy) 至今已形成多种定义, 但其基本定义的核心内容应保持为 “研究立体或三维 (stereo-) 结构的科学”。在此基础上, 则应当允许不同学科分支或领域为满足需求而给出不违背上述基本定义的体视学扩展定义; 但不应当喧宾夺主, 不应当偏离体视学的研究目的是对立体结构或三维几何结构定量表征与准确表达这一核心含义。例如, 国际体视学学会给出的比较通俗易懂的体视学定义为: “体视学是基于其截面或投影确定材料空间结构 (the spatial structure of materials) 的一门科学。体视学也包含平面图像本身的分析, 以及材料的三维探查。”

2. 由投影数据重建三维 CT 图像属于体视学范畴

国际体视学学会虽然一直认可由低维的投影图像确定空间结构是体视学的重要组成部分, 但至今尚未将基于一维投影数据重建三维 CT 图像这一学科分支纳入体视学范畴。而在我国, 中国体视学学会 1997 年 4 月即已接纳 CT 理论与应用分会隶属于我学会, 将基于

一维投影数据重建三维 CT 图像的理论与技术研究及时纳入了体视学学科领域和学会的工作范围。在本次学科讨论中,绝大多数专家支持和确认了“从沿射线的投影数据重建三维 CT 图像属于体视学研究范畴”的学术观点,正式认可三维 CT 图像重建理论与技术是体视学理论方法体系的有机组成部分。而 CT 理论与技术也有力地进一步拓展了体视学的理论与方法体系。

3. 关于体视学定义中“维”的认识

本次学科讨论中一些专家也多次质询通常的体视学定义中“空间结构”或“三维结构”是否指的就是三维几何结构;尤其是当将体视学定义为由“低维”截面或投影确定“高维”结构的科学时,“高维”的维数有无限制?从目前国内外能检索到的所有体视学文献资料来看,体视学定义中的“三维结构”或“空间结构”、“立体结构”就是指几何结构,这一点是没有疑问的。但由于维数又可泛指数学中独立参数的数目,并不仅限于几何维数,从而在包括 *Science* 等国际上有影响的刊物上刊登的某些相关文献中亦采用了诸如“四维空间中的显微组织 (microstructures in 4D)”等表述^[5]。经核对,所谓的“4D”,实际上指的是随时间变化的三维几何结构(即在 3D 几何维数基础上增加了一个时间维而成为 4D 时空空间)。此类显微组织并未改变其仍然属于三维空间几何结构这一基本实质。

作为独立参数的其他信息变量(例如材料科学中的质量、能量、温度、化学组成、晶体学取向等等)还可能附加在三维几何结构中的每个体素(体积元素)上,如此具有更丰富特征与信息结构在数学上当然可以作为维数 $D>3$ 的体系来处理。对于不同领域中提到的维数大于 3 的高维结构或不均匀介质里的高维几何结构,建议在对体视学基本定义不会引起混淆和混乱的前提下,就相应的体视学理论与方法开展必要的探索与研究。

中国体视学学会并不反对针对特定学术领域对体视学进行不同的专业性表述,但并不一定建议将其推广应用于其他体视学分支学科。例如在图像技术领域常提及“流形 (manifold) 学习”,我国 CT 专家提出的如下的专业性表述中也使用了“流形”概念:“体视学涵盖了由所获取的低维流形上的统计或测量信息重建或估计高维流形信息……包括高维信息的定量分析、可视化、图像理解、形态结构分析及其应用”。但鉴于流形概念的复杂性,故不建议将其推广应用于各体视学学科分支通用的体视学定义中。

(二) 生物医学体视学方法研究进展

近年来,在建立并完善生物医学体视学方法方面,我国生物医学体视学界取得了多项重要进展。主要包括:

1. 不断建立并完善生物医学体视学方法

1) 建立了定量研究大脑皮质、海马、胼胝体等结构及其内有髓神经纤维的无偏体视学方法:通过连续脑组织切片和透射电子显微镜,运用体视学方法(包括卡瓦列里原理的

运用和等距测点框、无偏计数框等的应用),建立了定量研究大脑皮质、白质、海马、胼胝体等结构及其内有髓神经纤维的体视学方法。

2)建立了定量研究海马结构内神经元数目和突触数目的无偏体视学方法:通过突触素的免疫组织化学染色和尼氏体染色,在组织图像上叠加测试框,依照光学体视框的计数原则计数神经元或突触的数目,并运用光学分合法,按照公式计算海马结构各亚区神经元或突触的总数目。

3)建立了辐射剂量效应关系研究的数学模型及其计算机程序:线性无阈模型用于高 LET 低剂量率照射,凸向下模型用于高 LET 高剂量率照射等,并建立实现利用上述数学模型的计算机处理程序,用于辐射剂量效应关系。

4)建立了虚拟组织切片的体视学模型:以数学手段描述组织切片可能出现的二维形态特征,模拟切片过程,将所得到的数据进行数值分析,与经验公式进行了拟合比较。

5)建立了空间随机分布粒子系统:用数学方法描述所定义的粒子的分布及其三维形态特征,建立应用程序。

6)建立了可用于定量检测转录因子活性的免疫化学染色的图像分析方法:转录因子进行免疫化学染色后,应用图像分析仪检测细胞核与细胞浆中转录因子阳性染色的灰度值,计算核/浆灰度值比来判定其活化程度。

7)建立了急性放射病外周血细胞计数与照射剂量和照后时间的定量关系的分析模型和程序。用分层曲线拟合法获得了由淋巴细胞或白细胞计数和照后时间推算照射剂量的量效、时效模型;用面积积分法获得了照后不同时间段由淋巴细胞或白细胞计数积分面积推算受照剂量的公式。

8)阐明了光衍射现象、滤光片、不同染色方法及组织切片厚度对细胞核 DNA 含量检测的影响:适宜的滤光片可提高细胞核 DNA 含量测量结果的精确性和准确性;Feulgen 染色测量结果精确性和准确性明显高于天青 B 染色。

2. 不断加强体视学方法在实验病理学研究和临床病理诊断中的应用

1)体视框在生物医学研究中的应用:利用突触素标记神经终末膨大结合光学体视框计数神经终末膨大,准确地反映了组织和器官内所有的神经终末的分布;将免疫组织化学、光学体视框及图像分析方法相结合,研究了大鼠松果体的神经支配及双侧颈上交感神经节摘除后对松果体细胞分泌活动的影响。

2)体视学方法在放射病理学研究中的应用:①建立了立体定向照射放射性脑损伤模型并实现了靶区的三维重建;②建立了凋亡细胞核的三维重建方法;③建立了大鼠皮肤创伤愈合瘢痕的三维重建和体积定量方法;④建立了反映放射性肝损伤特征性变化的定量病理学研究方法;⑤建立了反映放射性肺损伤特征性变化的定量病理学研究方法;⑥建立了反映骨髓放射损伤特征性变化即造血细胞凋亡的定量病理研究方法;⑦建立了放射损伤机制和防治研究中分子病理学和分子生物学检测技术的定量分析方法。

3)体视学在电磁辐射损伤研究中的应用:开展了电磁辐射损伤效应的定量研究,并

定量研究电磁辐射损伤的分子机制。

4) 体视学在正常组织结构或各种疾病动物模型研究中的应用: ①正常组织结构研究。主要包括睾丸组织结构(睾丸网的厚度、睾丸内生精小管、间质及间质内的空隙、生精细胞核的体积分数等)、脊髓组织结构(脊髓腰膨大横截面面积、灰质和白质平均厚度、脊髓灰质和白质的面积比等参数)的研究。②疾病动物模型研究。主要包括对于肺损伤模型(运用体视学方法测定大鼠肺实质红细胞体积密度、支气管残余管腔体积密度、肺泡体积密度等参数, 定量研究 SD 大鼠细菌性重症肺炎模型病理的三维形态结构特点及变化规律)、肾损伤模型(通过鲍曼氏囊腔面积、肾小球周长、系膜区面积等参数, 研究氟中毒大鼠肾组织损伤的形态定量病理变化特点及抗氧化微量营养素对肾脏超微结构的保护作用等)的研究。

5) 体视学在临床病理诊断中的应用。例如: ①肿瘤病理研究中的应用: 包括对于肺癌(定量研究痰涂片中肺癌脱落细胞巴氏染色的色度学特征)、消化道肿瘤(运用体视学方法研究食管鳞癌细胞核的有关体视学参数在食管鳞癌诊断方面的意义、胃管状上皮性肿瘤细胞三维形态结构的特点及变化规律; 测试腺上皮细胞中形态正常的和空泡变性的线粒体的体积密度、表面积密度、数密度等多个参数, 从三维水平定量揭示大肠腺癌、腺瘤及正常黏膜上皮线粒体的超微结构特点和变化规律)、肝癌(测量 DNA 干系倍体值及细胞核形态学参数, 分析成人正常肝和肝细胞癌 DNA 干系倍体及细胞核形态学参数的变化)、甲状腺肿瘤(测试上皮性细胞核的体积密度、表面积密度、数密度等参数, 结果表明上述参数的变化在甲状腺良、恶性肿瘤及正常甲状腺组织之间具有显著的差异性及规律性)等的研究。②红外热像定量技术: 基于红外辐射原理, 把不可见的体表温度变化转变为可视性的和可定量的红外热图, 实现了机能与结构多元信息的转换和表达。③皮肤镜图像分析技术: 将皮肤病学的临床宏观图像与组织病理学的微观图像科学地联系起来, 其中偏振光皮肤镜数字图像分析技术是一种以获取色素性皮肤病数字图像信息为基础的定量智能化系统; 多光谱皮肤显微偏振光与数字图像处理技术, 可测量目标皮损形状、面积、灰度、积分光密度及色素颜色参数的变化等。④骨形态计量技术: 利用普通玻片上的大组织标本、硬组织切片机切取的不脱钙塑料包埋大块骨组织标本及旋转切割机切取的含金属植入物的塑料包埋磨片标本, 分别采用普通显微镜、大视野显微镜、自动显微镜及图像拼接软件采集, 上述各方法在一定程度均能满足大块骨组织图像采集及体视学分析需求。⑤其他疾病研究与诊治中的应用: 如联合应用 RT-PCR、ISH、IHC、FCM 及图像分析技术进行糖尿病分子发病机理的研究; 使用体视学方法研究血管性痴呆(VD)皮肤基底细胞微管的生物学诊断意义, 对 VD 和正常健康老年人皮肤基底细胞微管进行测量和定量分析; 采用卡瓦列里原理测量颅内血肿体积等。

3. 2008 年以来生物医学体视学研究与应用所获得的科技奖励

例如: ①体视学技术在军事病理学及相关领域中的推广应用。中国体视学学会 2013 年度科学技术奖科技进步奖一等奖(完成单位: 军事医学科学院放射与辐射医学研究所)。

②体视学在临床病理领域中的应用研究。中国体视学学会 2013 年度科学技术奖科技进步奖二等奖（完成单位：南京军区南京总医院）。③军用电磁辐射武器装备健康危害评估和综合防治措施研究。中国人民解放军总后勤部 2013 年度科学技术进步奖一等奖（完成单位：军事医学科学院放射与辐射医学研究所）。④老年期痴呆的临床与基础系列研究。军队 2012 年度医疗成果奖（完成单位：中国人民解放军总医院）。⑤脂肪性肝病发病机制、病理特点及临床对策研究。河北省 2011 年度科技进步奖一等奖（完成单位：河北医科大学第三医院、中国人民解放军第三〇二医院）。⑥ TAU 蛋白病异常神经网络新靶点研究。重庆市 2010 年度自然科学奖（完成单位：重庆医科大学）。⑦ 25946 例中国军民肝穿病例肝病谱、临床病理、流行病学及转归研究。军队 2009 年度医疗成果奖一等奖（完成单位：解放军第三〇二医院、香港中文大学威尔士亲王医院）。⑧中子放射损伤的分子病理特点和防治措施研究。军队 2009 年度科技进步奖二等奖（完成单位：军事医学科学院放射与辐射医学研究所、军事医学科学院附属医院）。

（三）材料体视学最新研究进展

在材料体视学领域，近年来在组织结构三维重建与直接观测表达研究、组织形态及其演变动力学的数值计算、体视学与组织演变三维仿真的无缝耦合、材料显微组织与晶粒的取向成像技术（orientation mapping 或 orientation imaging，包括电子背散射衍射即 electron back scatter diffraction，简称 EBSD 等）、晶界特征及其分布（grain boundary character distribution，GBCD）三维量化等方面，获得了较明显的发展，辅助材料科学揭示和解释了微观组织结构演变行为、组织与性能之间的关系等若干规律与现象，并进一步扩展了体视学学科“三维结构研究”的覆盖领域。例如：

1. 材料三维组织的量化有力推动了材料组织结构的精确表征和设计开发的进程

在材料科学与工程领域，体视学、计算材料学与图像分析之间的关系伴随着三个领域近年来的迅速发展而愈加密切，其相互促进作用也越来越明显了。

1) 随着图像分析技术从光学显微镜到扫描电子显微镜和透射电子显微镜的迅速发展，尤其是随着电子背散射衍射（EBSD）技术的商用化及推广，材料组织信息的内涵从人眼直接观察到的组织形貌拓展到包含形状、尺寸、含量、分布、取向、取向差、取向关系、晶体缺陷密度等广义的组织信息。由于 EBSD 技术获取的晶粒取向、晶粒间取向差、相邻相之间的取向关系等晶体学信息实际是通过衍射得到的三维组织结构信息，与之相关的图形或图像表达则在体视学和图像分析领域增加了新的理论内容和图像表达方式。目前，利用 EBSD 技术测定晶体学数据已达到每秒 800 多个取向的标定速度，这种集组织形貌信息和晶体学数据为一体的图像分析技术对现代材料体视学的发展起到了重要的推动作用。

2) EBSD 技术的日趋成熟和普及有力促进了我国晶界工程（GBE）的研究和应用。晶界工程是材料体视学应用的代表性领域之一，是利用体视学的原理和方法，测定和表征晶