

中国科学院赴英国、西德机械工程考察团工作总结

张作梅 单藩圻 干东英

朱琪 沈潜德

中国科学院赴英国、西德机械工程考察团于1983年11月27日至12月3日在英国考察了一个星期，然后于1983年12月4日至12月18日在西德考察了两个星期。

我们考察团这次考察的目的，主要是了解英国和西德在机械科学方面的情况，目前进行的工作及展望，以便作为我院和有关部门开展机械科学的研究工作以及调整加强我院机械科学研究组织时参考。

在我们访问英国的五个单位中，我们访问了他们的国家工程研究所，一个动力工程公司的机械工程研究所和三个大学的机械系和一个大学的冶金系。我们基本上了解了这些单位目前对机械科学的研究工作以及对这些工作的展望。在西德我们访问过的十三个单位中，有慕尼黑的巴伐利亚发动机厂、夫琅和费学会和马—普学会的研究所，慕尼黑大学的机械制造系和两个研究所，斯图加特大学的两个研究所，亚琛高等工业学校的两个研究所和不伦瑞克大学的三个研究所。这些单位都是西德有代表性的机械科学的研究单位。我们也重点了解了他们目前进行的工作以及他们对将来的研究工作的设想。

总的看来，英国和西德的机械工业和机械科学技术都是很发达的。他们有国家一级的研究所，如英国的国家工程研究所(N.E.L.)，但许多研究所，特别是在西德，主要是设在大学里，而在英国则在大学的机械系里进行的研究工作较多。这些研究所或大学的教研室一般方向都是比较稳定的，大都是建立在学科基础上的。他们的课题主要来自两个方面，一方面是工厂委托和资助的；另一方面是自己提出申请，国家和有关方面资助的。由于他们的工厂一般技术水平较高而且都有较强的研究能力，因此他们向专业研究所和大学提出的研究课题一般有三个特点：一为基础性的，是为生产积累资料；二为探索性的，是为生产开拓新的方向的；三为综合性的，是为生产提供新技术的。

由于英国皇家学会和西德马—普学会安排得很好，我们这次考察已达到预期的目的。总结我们参观过的单位的情况，我们可以把这两个国家在机械科学技术方面的研究工作的一些动向归纳如下：

(一) 计算机的普遍应用

一个研究所(或高等学校的专业教研室)都至少有3~5台微计算机及一个较大的计算机形成一个网络，用几十个终端与全校的大型计算机联成一个系统，可以作计算机辅助设计(CAD)，计算机辅助制造(CAM)和计算机辅助工程(CAE)。这两个国家在机械设计、制造、检测和控制等方面都普遍使用了计算机，这对机械学的工作可以减少大量的实验研究，研究成果具有通用性。同时还可以提高效率、精度和实现自动控制。特别是在机械设计方面，使用了计算机可以优化选择、合理综合各种零、部件，使机器零件少、寿命长、运

动和动力学性能精确、优良、可靠性大。用计算机辅助制造 (CAM) 可以使加工程序合理。

(二) 普遍重视机械手、机器人的研究和应用

机器人主要用于高质量、高精度及经常更改型号的产品生产和在人类无法工作的恶劣环境中。例如，在英国帝国理工学院的机械系有机器人试验室，他们有五个自由度的示教用的机器人，另有一个计算机控制的六个自由度的机器人，用来作教学和研究工作，同时也用来观察和清理放射性物质。他们还有一个日本制的机器人，有五个自由度，可用于取肉内的骨头。他们还制造了一个有十个自由度的机器人和室内四轮遥控小车，据说可用于有放射性辐射环境中。我们在慕尼黑巴伐利亚汽车制造厂内还看到利用机器人、机械手进行车身点焊，其加工量占焊接量的80%，全厂有280个机械手和机器人，三班内可制造2140件产品。

(三) 基础研究普遍而深入

例如，慕尼黑大学精密仪器制造及机构学研究所正在试验齿面的疲劳强度，试验齿轮的磨损和寿命，进行圆柱齿轮的长期疲劳试验，在齿根上贴上应变片来测变形。在该校的机器零件研究所还在研究齿轮的负载能力及噪音、振动以及啮合精度对噪音的影响。又如英国帝国理工学院的机械工程系有摩擦学部 (Tribology Section) 在研究润滑膜，并用应变片来测量摩擦力，研究“油泵润滑膜的成因”。他们用激光来测量弹性动态液膜，用红外光谱仪测油膜温度分布，还研究水与乳化剂润滑剂的油膜厚度。

(四) 大量研究新材料、新工艺、新的设计方法

例如，慕尼黑大学机械制造系在研究设计流程，比较廉价的设计并在研究设计方法学和经济性的设计学，这些工作都使用计算机辅助设计。英国的利兹大学在研究高压挤压、液压挤压和爆炸焊接等新工艺。英国谢菲尔德大学机械系和冶金系正在研究复合材料的缺陷和特点，材料的疲劳断裂及环境的影响等。又如西德的马一普学会的金属研究所正在研究金属的位错、塑性、超导，铂合金的高温氧化等问题。西德的不伦瑞克大学力学中心研究核电站热交换用金属管高温蠕变中的弹塑性问题等。

(五) 精密机械研究比较深入细致

在精密机械方面，我们在西德的慕尼黑大学精密仪器制造及机构学研究所内看到他们用计算机控制测量仪器来测几何尺寸，如用计算机控制一个用空气轴承、空气导轨、圆光栅和长光栅组成一个可测量具有复杂几何形状的行星轮的几何尺寸偏差的试验装置，计算机可分别给出各部分的几何偏差和综合偏差。

现在扼要地介绍一下我们在英国和西德访问过的单位的一些情况。

一、帝国理工学院机械工程系

帝国理工学院于1907年由查德 (Charter) 王室所建, 至今已成为伦敦的一所综合性大学。全校共4700名学生, 其中三分之一是研究生, 而其中女研究生占15%。帝国理工学院由三个紧密相连的分院所组成——帝国科学学院、帝国矿业学校和工企业学院。在下列广泛领域中开展工作: 如物理科学、生命科学、地球科学、矿业、冶金、包括计算工程在内的各种工程等。

帝国理工学院机械系有一个比较完整的材料强度实验室。有一台麦耶 (Mayer) 厂产25 t 试验机, 配用PET2001微计算机控制, 最快达1m/s, 最慢达1mm/h, 可在500℃高温和液氮-185℃下作试验, 此试验机亦可用来作疲劳试验, 频率为100 Hz 有计算机控制, 可在1000℃下作疲劳试验的50 t 试验机。有10 t、2 t、 $\frac{1}{2}$ t 试验机 (Instron厂造), 试验台电炉加热到200℃, 液氮冷却达-185℃, 拉压速度为1m/min至 $\frac{1}{2}$ m/min。正在研究高密度脆性材料拉、压速度的影响。一般用显微放大镜观察裂纹发展, 用高速照相机摄象。其摩擦学室 (Tribology section) 中“油泵的轴承润滑膜的成因”课题研究铜与合金材料间的摩擦。该室用光学干涉仪观察润滑膜, 用应变片电阻法测摩擦力, 用氦氛激光器测量弹性流体动力润滑膜。把染料放入油中, 观察油膜厚度 (0.1~1 μ m) 与流动情况。在油内加添加剂, 加负载后用红外光谱仪记录金属球与塑料套之间接触点分子膜温度分布。利用半反射面上各种光波长测量油膜厚度等。通过有孔轴承用光学装置观察高速、重载滚动接触疲劳中油的流动。该室设计的弹性流体动力润滑膜测定仪在金属接触处可看到牛顿干涉光环, 并用摄象机观察、拍照。研究汽车油缸加载摩擦、润滑和边界润滑等。该室有重载传动试验机, 该机用三轴挤压心棒摩擦滚动来模拟直升飞机不同表面硬化处理齿轮的加速疲劳寿命试验。在机器人实验室中有一台计算机控制的、早期示教型液动 Unimate 机械手供学生实验用。有一台学生实习用, 计算机控制的数控机床。有一台美国 PUMA 六自由度机器人, 其关节用直流电机驱动, 负载二公斤, 用两台微计算机控制, 其重复精度 2 mm, 用以观察、清理放射性物质。有一台日本造 LANSING 工业机器人, 5 自由度, 关节用直流电机驱动, 谐波齿轮减速, 用以试验其精度与动作范围与姿态 (正在作猪肉剔骨试验), 可用于柔性制造系统、焊接 (焊接精度 0.2mm) 及测三维表面形状 (如透平叶片)。在一宽阔试验场上正在按装一自制10自由度机器人, 有4个管子将后面700W电机力矩传到手腕部 (手腕有3自由度), 用日本 HITRO 速比为200/1的谐波齿轮减速, 承重200kg。正在组装一个遥控四轮具有前后触感的小车 (前后均有用橡皮包住的微动开关保护板, 遇障碍时可以后退)。据称机器人装在遥控小车上后可用于辐射环境中中和试用于柔性制造系统中, 以减少固定式机器人的数量。计算机室中有计算机终端20余台进行计算机辅助设计工作, 曾用有限元法优化设计10自由度机器人。成功地进行计算机控制喷墨绘制图片。精密测定室中用计算机辅助测量三维表面光洁度, 计算机绘出三维表面粗糙度立体图。

二、利兹大学机械工程系

利兹大学有一万多学生是英国最大的大学之一。机械系有340名学生,其中32名是学位研究生。其研究项目大部份与工业部门有协作关系,及时取得经济效益。①固体力学方面主要与汽车工业有关,如具有穿孔圆筒疲劳强度问题;道路车辆动力学;超速车闸系统制动拖车时的纵向振荡;内燃机部件热应力分析等。②成型工艺方面主要从事复合材料新型工艺研究,如研究高压挤压(非圆空截面),液压挤压,模具钢的磨损试验,拉制塑料,超拉伸管成型工艺,爆炸焊接,高压压力试验,冲压扭转试验,高压冲击锻造(用计算机计算锻压力),采用计算机设计锻件,用光弹性冻结法测应力,用蜡或铅模拟静压挤压下金属流动等。③热动力学及流体力学方面如:环流热传导,双相流中的空气动力噪音,滑动轴承中的超层式流体,正向位移鼓风机等。④燃烧研究方面如:在混合气体中点火及火焰传播,激光测速仪在紊流爆炸性燃烧基础研究中的应用,高强度燃烧室计算机模拟,在燃烧中细尘的作用等。⑤微处理机及计算机方面如:动态系统数字模拟,微处理机在测量的应用,计算机辅助制造,在线交互计算机系统,计算机辅助设计中用有限元法在理论上进行应力分析(用光弹性作实验),用光笔将标准件从数据库中提出来,按比例放大、缩小,置于屏幕机械图中,可以随时标出零、部件尺寸和角度,画出剖面图和任意投影(自编软件)。⑥摩擦学方面(包括摩擦、磨损、润滑方面)主要研究弹性动力润滑。该校1967年在机械系下面成立摩擦学研究所。1968年英国政府在此建立工业摩擦学中心,为各厂矿提供技术支援,此中心为欧洲摩擦学中心成员,亦为欧洲各国提供技术支援和教育资料。研究项目如:弹性动力润滑膜研究,液膜轴承稳定性,活塞环润滑和磨损,有限元法在摩擦学中的应用;交互计算机辅助设计轴承,具有轴承沟的油流,试验凸轮、齿轮、滚动轴承润滑时不稳定振动动力过程,试验密封和金属屑形成过程,用微计算机测试活塞环形状、表面粗糙度和薄膜润滑状态,用光学仪器通过孔洞观察润滑油流动速度和温度等。⑦生物医学工程如:日常生活中选择动作中下肢受力的研究,直接测试人体惯量,人工韧带,踝骨处滑液铰链的研究,髓白的磨损特性,带有陶瓷和陶瓷复层的超高原子量聚乙烯的磨损特性,骨关节炎与应力,高胫骨截肢与膝一大腿关节有关的生物力学,评价在膝关节模拟器中整个膝关节被置换的评价和交接面温度对聚乙烯磨损的影响,有一台自制关节力测定和接触摩擦、磨损、润滑试验机。

三、谢菲尔德大学

该大学是由谢菲尔德药学院、第五学院和谢菲尔德技术学院组成,其中药学院于1828年成立,第五学院于1879年成立,技术学院于1886年成立。1905年5月31日这三间学校合并成为谢菲尔德大学。在1905年该大学有100名全日制学生,1918年便增加到1000人。目前该大学有全日制学生7712人,其中6702人为大学本科生,1010人为研究生。

该大学有九个系:即文学、自然科学、医学及牙医、法律、工程、材料、社会科学、建筑、教育,共七十个专业。

在工程系中有五个专业,即化学工程和燃料技术、土木和建筑工程、管理工程、电子和

电工工程、机械工程。该系有902名全日制学生，其中760人为本科生，142人为研究生。

机械工程专业中目前有34位教师，其中四名为教授，即K.J.Miller, B.A.Bilby, J.K.Royle, D.S.Dugdale教授，有170名全日制学生，35名研究生。机械工程课1884年便开始上课了，第一名教授是于1889年任命的。目前该专业有十六个实验室，可进行下列试验项目：气流与流体、无回声试验和声音分析、计算、电粘性、实验应力分析、断裂力学，齿轮特性、热传导、液体动力系统、内燃机、冰冻和空气压缩、计量（精密工程测量）、动力射流技术、轧制和重金属加工、摩擦学（轴承的摩擦磨损和润滑）、蒸汽动力发生器，材料的强度与结构。

在材料系中有冶金、陶瓷玻璃和聚合物、以及材料理论三个专业，其中玻璃专业于1915年便建立了，1973年才联合成立陶瓷玻璃和聚合物专业，而材料理论专业则于1966年成立。该系有146名本科学生，有87名研究生。在冶金专业中有四名教授，即G.J.Davis, G.W.Greenwood, B.B.Argent, 和C.M.Sellers教授，34名全日的教师。

（一）工程系机械工程专业

这是一个中等规模的专业，其研究工作有：计算机辅助设计和计算机辅助制造方面，有一个可以从数据库中提取标准零件图进行组装图的软件，可以自动标出尺寸，画出剖面图。计算机用 TEKTRONIX 4050 (美)，有计算机制图仪。能用有限元法及边界元法用计算机从事传动轴刚度分析，进行零件优化设计。能用计算机绘制齿轮面铣切过程工艺绘图。有简易计算机（2000英镑一台）可以提取过去设计图，存入新尺寸和角度，（计算机型号为 SIRIUS 和 VICTOR）。有一个由5个步进机驱动的小型、由计算机控制的机械手（3016系列），自编软件可以使其自动抓火柴。其振动、噪音试验室中使用美国和丹麦购来的测振、噪声和传递函数、快速富氏函数分析仪等，进行齿轮噪音、机构动力学、齿轮传动误差理论研究。在新技术、新工艺研究方面，主要进行复合材料、塑料材料研究，如玻璃纤维、碳纤维编布用树脂一层层压在一起的玻璃加强塑料，进行它们的疲劳、断裂试验。研究将薄塑料板在模型上加热软化，再用真空吸住成型的工艺。金属表面粘塑料未加温后金属表面敷涂塑料的工艺，压铸机压铸塑料工艺等。有一台电子计算机控制的电子显微镜，可放大17000倍，供新工艺研究之用。该专业有一个规模宏大的金属疲劳强度试验室。在一个大型调温、调湿试验室，有一台花了100万美元制作的双轴加载疲劳试验机，有20台 SCHENCK 厂出产的疲劳试验机，试验有各种裂缝的试样。有汽车零件磨损试验机，有一台高温扭转脉冲疲劳试验机，由博士研究生在上面作扭转、拉力下蠕变、疲劳试验。在加热和空气冷却下试验透平叶片，研究韧性及脆性断裂（50 t）。配合金属疲劳试验有金相室和冶金室。据该专业主任米勒教授（K.J.MILLER）介绍与我国中国科学院力学所、航空材料研究所、成都科技大学、兰州大学和中国科学院冰川研究所均有学术上联系。现在存在问题是人员老化、没有经费建立新的研究室。但在校内、英国国内有关学术单位协作关系非常好，这就节省了大量的研究经费和人员，较快地出研究成果。

(二) 材料系冶金专业

该专业进行的工作有下列各项：

1. 化学冶金方面：

金属与非金属材料的化学分析，进行多方面的分析以比较各种分析方法的精确程度和分析的极限，研究金属的腐蚀和氧化，研究不锈钢在电弧炉中冶炼时受耐火材料的浸蚀问题，研究合金的热力学问题以及金属和合金的凝固和气化问题，采用激光来研究金属和合金的凝固过程。

2. 固化和铸造冶金方面：

快速凝固问题方面，如快速冷却的超合金带的形成过程和性能的研究（镍基和铁基合金），玻璃合金（非晶态合金）粉末和丝的铸造和其磁性；在快速凝固过程中冷却速度的测量问题，一些高强度非晶态合金的形成和其性能，玻璃合金的摩擦磨损性能；快速凝固的铁—稀土合金的结构和性能的研究；铸造金属和合金的结构研究，如铜合金的凝固开裂，铜合金的气孔问题，连续铸造不锈钢的表面和内部质量问题的研究等；另外还进行新的冶金过程如铝基合金的液态性能和其流动特性等。

3. 变形方面：

镁1%锰铝合金1%在多次热加工时的显微结构变化，奥氏体合金的热变形和温变形，不锈钢的变形，镍基超合金的热变形和显微结构的发展，上述研究工作都是在高温、高应变速率下进行的。在高温、低应变速率的变形方面，他们研究了惰性气体对铁基和奥氏体钢的蠕变和破裂、奥氏体钢在低应力下的蠕变、奥氏体不锈钢中杂质（不纯物）对其蠕变性能的影响。他们还研究了不锈钢在低压下量和低变形速率热轧时的负荷和扭转力（应变速率为 $0.01\sim 1.5\text{s}^{-1}$ 压下量为 $0\sim 15\%$ 等），热挤压时在坯料中的热流动。

在冷变形方面，他们研究了合金在冲击载荷下其结构和纤维组织对性能的影响，纤维结构对钢的疲劳性能的影响和对性能的各向异性的影响等。

4. 断裂方面：

他们研究了马氏体不锈钢的应力腐蚀，在模拟油及气体环境下线材的应力腐蚀，在自然界海水环境中钢的腐蚀疲劳。

5. 扩散和分界面方面：

他们研究了晶粒分界面上的结构。

6. 转变、沉淀和沉淀的生长方面：

他们研究了含铌的工具钢中碳化物的形态和分布，在稳定的冷加工下奥氏体不锈钢的沉淀和重结晶。

7. 焊接方面:

他们研究了钢铸件的可焊性, 焊接技术对制造管道的钢的影响 (如焊缝的显微结构和机械性能), 焊接碳—锰钢板的显微结构和机械性能, 钛及钛合金的可焊性等。

四、英国国家工程研究所

该所建立于1947年, 主要从事机械工程科学的研究和开发工作, 近年来重点转移到有特殊要求的顾客所要求的应用研究、设计、开发和试验工作。1981年就有220多个公司、国家政府部门和其他私人企业订立全有偿业务合同, 与260个机构订立资助性研究工作协议。该所存有国家标准, 如: 流量测量标准、齿轮测量未来标准、座标测量机 (用以改进透平机的试验准则)。正在研究纤维加强塑料管标准。存有鼓风机噪音标准。他们是有限元法研究的国家机构, 由此处提出国家标准。计算机辅助设计方面有20年历史了, 有画图机制三维图。有三个微计算机同时作元、部件单独设计, 然后通过键盘转到一个小型计算机上画总图。在零件设计时, 由数据库中提出标准件, 给以不同尺寸, 画出不同投影。所绘立体图可以转动显示, 也可以画截面图, 标出尺寸, 求体积、表面面积、重心。可以用大小不同字体写出文字。能将计算出来的各点标在图上, 并用实、虚线相连。画图机上 (荧光屏上) 的图和文字可以用光笔擦去, 这种设计方法可以节省设计和准备时间。节省设计时间方面, 从几何尺寸和应力方面优化零、部件重量, 有重要显示能力和易于修改, 使设计者和绘图者有直观三维印象, 有利于商品价格市场竞争, 使设计人员节省了全部画图时间, 集中精力从事创造性活动。据称, 他们这方面的工作是前沿性科学研究工作。他们用廉价计算机在数据库中取零件、变尺寸、画机械草图, 软件可以用来变动图纸零件和部件尺寸。在计算机辅助制造方面, 在计算机编程中心产品工程师进行计算机编制工艺程序, 进行工具设计。所编程序装入数控机床或机器人以改变加工顺序。在精密加工车间配备有数控铣床、数控车床和数控线切割电加工机床。典型产品有冲压件、锻造、压铸、塑料成型的模具和工具, 样板, 混合、双曲面的表面——如: 艺术品铸模、复杂凸轮、透平叶片、计算机涡轮形盘等, 4轴或5轴加工和电火花腐蚀加工的电极等。计算机辅助制造的优点是: 降低单位成本, 有较好的材料使用率, 精密控制复杂形状产品的重复生产, 有较高的机床利用率, 减少人操作过程的误差, 减少加工预备时间, 有较大的竞争能力。该所用 UNIMATE PUMA 机器人来组装小型马达, 每45秒钟能组装和试验一台套。机器人与该所自制工业视觉系统相配 (NELSON II), 此视觉系统还能自动识别和检验工程元件如: NELSON II 摄象机聚焦在有几个元件的传送带上, 它识别其中一个元件并确定其位置, 此系统的机器人用此信息将元件拣出来并放置到机床上去。不同形式元件被连续加工出来后, 由摄象机逐个检查, 挑出有毛病的部件 (如打错孔洞或凹耳安错地方等) 扔掉。检查操作速度为每分钟30个元件。锻造机将元件抛出来后, 元件在传送带上以不同姿态放置着, NELSON II 确定部件姿态并指示机器人采用正确手的位置和接近方向以抓取元件。此系统配用计算机为PDP11/34, 该所为某些公司建造柔性制造系统 (FMS), 这种系统能将微电子技术和机械工程结合起来为小批量生产带来经济效益。一个中心在线计算机控制机床和其他工作站和控制传输元件和工具。该所有许多先进的结构试验设备如: 12.5MN的静态拉压试验机, 最大试样可达9 m。模拟地震的试验机能同时作垂

直和水平两方向运动，目前正在模拟核电站配电板经受地震的试验。有多台大型蠕变试验机作薄壁筒拉伸—扭转蠕变试验、圆柱棒纯扭转蠕变试验、双切向蠕变试验机等。在海水腐蚀下的零件试验中，悬臂梁弯曲试样按海浪频率 0.17Hz 运转，试验样品在间歇受潮和样品阴极保护的性能。在工艺方面，该所用失蜡铸造制造许多零、部件，如用不锈钢制造铣刀和透平叶片，用镍、钴、铬合金钢作人工膝关节等。1954年建立精密测定室，温控达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，将来希望达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，主要从事校正测试仪器。用29点碳纤维架铰结钢球的空间座标标准器，此架由于用碳纤维制造，所以重量轻、刚度大、有低的温度系数。各钢球间球面间距精度为 $0.5^5 \mu\text{m}$ ，在实验室中测试精度为 $2\mu\text{m}$ 。由于温度所引起的扭曲可忽略不计。用激光干涉仪或三座标测量仪检查空间坐标（如机器人手指轨迹）。齿轮标准校正仪使用DIN3962二级和三级标准齿轮，标准正齿轮模数为 1、1.75、2、6，齿数为48、60、40、和30。左旋和右旋标准斜齿轮模数为 1、2、4、5、6，模数为 1、2 的螺旋角为 45° 而模数为 4、5 的螺旋角为 30° ，而模数为 6 的螺旋角为 15° 。有三台齿轮传动误差测试仪。最大的一台，圆光栅有43200条线，在 360° 内精度为 ± 0.5 秒。中间一台有36000条线，最小一台有10800条线。传动误差记录在磁带上；然后由一个特别的富氏分析程序在计算机上分析，富氏分析可达5000次谐波。测试齿轮的回转精度试验台上用空气轴承，用小型激光干涉仪测传动误差（精度0.5秒）。由于液压系统在工业中的广泛应用，该所有一个庞大的液压系统研究室，与UDI公司合作研究制出一种遥控、四轮海床上驱动车，带缆类似拖拉机，用液压驱动和操纵，还有一些辅助设备使能在任意深度工作，由于其由水面供电，所以它在水下工作时间没有限制。为适应海下高低不平地形，采用悬挂轴。为适应不同海床状态，使用多种可选择的轮和轮胎，其控制可由海面母船或与其他深潜系统相连的工作部位提供如：饱和潜水员、深潜器等。在1978年7月这种小车进入商业使用阶段，用于墨西哥湾新敷设石油管路监护。最近5年该所一直研究海水介质液压系统，海水介质马达能消除污染、简化液压回路，降低密封要求。高功率重量比的马达对于在重量作为主要指标的场合是很适宜的，如：潜水员操作工具，深潜器等等。在深海工作时，马达的回路和油源可以取消，手持工具因只有一根管子改善了推持条件，这套带有潜水泵的系统，其压力可以自动调节，因此可以用于任意深度。海水介质液压系统正考虑用于海床液压控制管路和海底操作器（机器人）的液压油缸。该所的海水马达为130mm直径、190mm长、重15kg，也可以做得更小一些。海水马达钻孔机在40mm厚钢板上可钻20mm直径的孔洞。目前已试制出在30—100bar下，提供5kW（700 rpm）寿命为100—200小时的实物。发展方向是研究在更深海底、有更大功率、轻型的海水马达和其他海水介质装备，他们认为这是一项科学前沿性课题。航空上液压部件的噪声可以用研究部件振动特性来消减。液压元件声学 and 振动性能理论上和实验上的分析能使设计师和工艺师生产低噪声元件。在理论上可用有限元技术模拟现存和计划制作的元件。消声室（无回响室）用来测量元件的噪音辐射特性（约 130m^3 ）。用测振设备测自振频率和振型。微计算机的应用使数据处理工作全部自动化了。液压实验室使用计算机辅助设计和仿真研究液压系统，这样就可以保证在模型和产品制造之前就有最优化设计，如：动态性能预测、伺服控制系统和阀的优化设计、失效分析、摩擦、游隙、油路滞后、继电器开闭等非线性影响等。为了迅速而精确测量复杂的工程部件，该所发明一种激光技术，当从物体得到条纹模型用计算机分析以后，就能得到三维表面座标，这就有可能避免成象过程而直接得到表面的测量座标数据。该所研究各种能源供应的新方法，以提供建筑供热，如用热泵从空气中取热，将空气用风扇吹入蒸发器中，压缩后在冷凝器中进行热交换。还研究空气去湿、太阳能热水、太阳能供电等节能设备等。

五、英国通用电器公司机械工程研究所

该研究所已成立25年，于1969年从英国电器公司(EEC)转入英国通用电器公司。现有12个课题组：①热传导、②涡轮机械、③结构分析、④摩擦学、⑤应力分析及材料强度、⑥控制、⑦燃烧、⑧能源系统、⑨工程设计、⑩数字装置应用及程序、⑪噪声及振动、⑫结构动力学。每组6~12人，主要与英国通用电器公司订合同。主要研究对象有气体透平、柴油机、大电机等，有1/3的人与公司外订合同（主要与马可尼公司合作，进行航空、防务、鱼雷等工作）。对外咨询服务项目有：①一般咨询，②理论分析及元件和系统试验，③在实验室或现场的实验研究，④为设计工程师提供材料性能数据，⑤设计、模型制造和试验，⑥研制特殊和一般目的用的计算机程序。该所在快速反应堆中用有限元法进行热传导、空气动力学、金属蠕变和弹塑性变形计算，建立设计条例，用计算机进行非线性应力分析。该所研制一个具有结构特色的机器人。是六轴悬挂式，根据六轴滚球丝杠运动杆长短不同使机械手灵活地进行装配工作。机械手为多级控制，有反馈信息。抓捕器有3自由度、4指、抓取力240牛顿，抓取、放置物品种类达50种之多。快速控制(船、坦克)的液压系统(功率250kW)的研究和分析是卓著成绩的(使用PDP11/70微计算机)。在摩擦学方面，自编有MELBA设计程序(MELBA即机械工程研究所轴承分析之意)，能快速设计静液轴承、气体轴承、滚动轴承和磁悬浮轴承。研究温度对油粘度影响。进行高压水润滑轴承(用于军工)及其腐蚀、磨损研究。正从事轴承温度分布计算、轴承尺寸变化、轴承阻尼刚度和透平长轴振动引起的问题。该所的噪声功率环境模拟实验室中的噪音发生器为165dB、频率为25和50Hz，主要进行原子发电设备零件试验(要求保证有30年寿命)。飞机发动机透平噪音为6000声瓦。火箭发射后90s内噪音声级为160dB。用压缩空气作噪声源，声功率最大1/2MW。该所有一个规模较大而且很有效率的计算中心。中心计算机通过卫星与美国大计算机连系，将计算结果发回到公司使用。与该所协作的原子反应堆中有大、小计算机进行控制和测量，起该所大计算机不能起的特殊作用。由于该所软件工作很强，其微计算机较之一般在其他学校、研究所用同类型计算机作用大20倍。该所微计算机有：PDP11/70、GEC 6340、TEKTRONIX4054、APPLE II、INTELMDS、EPSOH HZ20、VAX11/780。模拟机有PACE10/PACE20、CLEARWAY等。在强度分析方面，正研究透平机罩在不同设计方法下(不同气管角度及罩厚度)应力集中，用应变仪、150个应变片进行应力测定。应用BASIC、FORTRAN IV、PLM、CORAL、PASCAL、ASAS、ADINA、ADINAT、PRIM、CYCLOPS等程序进行结构分析、应力分析和材料强度计算，用脆漆法、光弹性冻结法进行应力测定。用塑料模型模拟1000t压力的坑道压力支撑板。用激光全息法测定透平在不同频率下产生的变形、振动、弯曲、扭曲三维影相及残余应力。用各种软件(MELTAN、ASASHEAT、ADINA、ADINAT、HTFS等)进行高温应力分析。另外还进行热传导、流体力学、空气动力学、能源系统及特殊能源计划等。

六、慕尼黑工业大学

该校建于1827年，称为综合工业中央学校，几经易名，于1970年改为慕尼黑工业大学，现有20,000名学生。

(一) 机械制造系统设计教研室

机械制造系有2,400名学生，200名学机械设计。机械系内有8个研究所，27个教研室。设计教研室成立于1965年，1965~1976年由罗德纳克尔教授(W.G.Rodenacker)负责，1976年起由埃伦施皮尔教授(K.Ehrlenspiel)负责。有10名科研工作者，其中2名为长期工作者，4名为合同职员，4名为外面资助的研究工作者，还有40名学生作为辅助人员。

教学方面的课程有：设计学、控制方法学、产品形状学、计算机辅助设计、FORTRAN语言等，还有讨论会，实习及毕业设计。

研究工作主要有：设计流程介绍，廉价设计，计算机辅助设计；后两者结合在一起形成最佳成本设计与方法，即技术与经济性设计学。

设计流程，即系统学：研究的内容是按照一定步骤，从提出问题，经过分析问题，问题定义，系统综合，系统分析，系统评价到系统选择（选择最佳系统）；如果不合适，再循环考虑，最后设计出新机器。

廉价设计：在用计算机进行工件设计时，在图象显示屏上同时也给出加工费用，工时（准备工时，附加工时，主要工时），并给出最佳成本的零件结构建议，在何处更改结构可以节省费用，根据批量给出每件价格。这是计算机辅助设计结合成本计算的一种新方法。

计算机辅助设计的应用：该教研室不研究软件，而是在市场上选购与计算机容量相适应的软件（有关工具、零件、数控、设计等）。因此研究工作放在：CAD的画图成本，程序最佳化，加工时间、价格的粗略估算等方面。CAD的应用例子：由平板冷轧成型材，要经过几个轧辊，过去的工艺靠经验，现在利用已编好的程序对可能轧制的形状先存入计算机（如轧辊形状，不同轧制方法，力和材料等），这样在显示屏上就知道用几组轧辊能完成产品，以及每个轧辊的形状和尺寸。CAD用的设备为美国PRIME400型（16位，768KB），绘图机为TEKTRONIX 4014及RAMTEK（彩色），使用FORTRAN语言。

(二) 精密仪器制造和机构学研究所

该所由海因茨尔教授(J.Heinzel)负责。所里的研究课题较为广泛，特点是光、机、电综合性强。空气轴承和导轨、计量光栅、微计算机技术用得较多，尤其是电子技术在精密机械中的应用结合得较好。正在进行的研究工作有：

行星轮的测量：摆线针轮行星传动的行星轮，其齿形为短幅外摆线的等距曲线，目前尚无完善的测试方法。该所的方法是将工件装在空气轴承的转台上，测角用Heidenhain厂的ROD700型2秒分辨率的圆光栅传感器，径向用分辨率为 $1\mu\text{m}$ 的长光栅传感器，测头装在花岗石空气导轨的滑架上，整套仪器放在花岗石平台上，下面用空气弹簧支承，调节支承点的

压力可改变径向导轨的倾斜度，使得滑架自动地向里或向外移动并达到改变测力的目的，测试数据用计算机采集、计算，得出动态误差并用记录仪描绘成误差曲线。

磁头接触面形状的测量：用金刚石触头来测量磁头接触面的形状，金刚石的尖端半径为 $2\mu\text{m}$ ，测力为 $7/1000\text{N}$ ，测头装在可以上下左右移动的空气导轨上，用 $1\mu\text{m}$ 分辨率的长光栅系统测量位移，测试数据由计算机采集和处理并画出磁头截面形状和给出误差。

彩色图象的复印技术：其原理是利用喷墨技术喷出四种颜色可以组成彩色图画，三种基色为蓝、黄、红，再组合成一种深色，用光学系统读出原图的灰度送入计算机再控制喷头的组合得到彩色图画。

中文打字机的新原理：其原理不是根据固定的码，而是根据人们熟悉的汉字特征，语音特征，词源或字形的特征，把汉字输入到计算机的储存器中，再用 28×22 或 32×24 点阵显示出汉字。3800个标准汉字需要32K内存。

此外这个研究所还研究喷墨压力与速度的关系并计算出墨点的形状和大小；对空气轴承的理论分析、计算公式进行深入的研究。

(三) 机器零件教研室——齿轮及传动制造研究所

该所是在1951年由尼曼教授(G. Niemann)创建的，他在1938年在不伦瑞克就已经从事齿轮方面的方向性工作。目前该所由温特尔教授(H. Winter)负责，有45~50名工作人员，其中一半是科技人员，一半是金相、制图、秘书、工厂方面的辅助人员。大多数的研究工作是由年青的助教来完成的。有四名长期工作人员(教授、高级工程师)，2~4名客籍科学家。27名工作人员的工资是州政府给的，另外一些人员由德意志联合基金研究会、传动联合会给的。课题经费是由工业联合会及传动联合会提供的，也有一些课题是由工厂提供经费。该所有 1600m^2 面积，其中 1000m^2 为车间及检测室，其余为办公室及实验室。

主要工作有教学及研究两部分。研究工作的重点为齿轮的剥蚀、咬粘，齿部断裂、磨损、摩擦、润滑，动态齿部受力、噪音、效率、发热等。研究的对象为圆柱齿轮、锥齿轮、偏斜锥齿轮、蜗轮、摩擦轮、摩擦副、结构零件等。

下面介绍其部分研究工作。

圆柱齿轮的承载能力：

它是受剥蚀、咬粘或齿部断裂所限制。许多基础研究工作都是在该所研制的FZG-圆柱齿轮传动试验台上进行的(图1)。试验台的原理如下：被测小齿轮(1)和被测大齿轮(2)装两根平行轴上，这些轴在另一端上通过具有相同传动比的齿轮箱(3)彼此进行连接。在静止状态传动装置可以通过止动螺钉进行锁住。用加载杆(6)通过加载联轴节(4)的旋转加上一个预紧扭矩，这个扭矩同时在扭矩测量联轴节上指示出来。这种试验台的优点在于通过负荷循环只要求比较小的驱动负荷来填补其损耗。在这个试验台上可以研究不同参数对剥蚀的影响，润滑剂对咬粘的影响等。

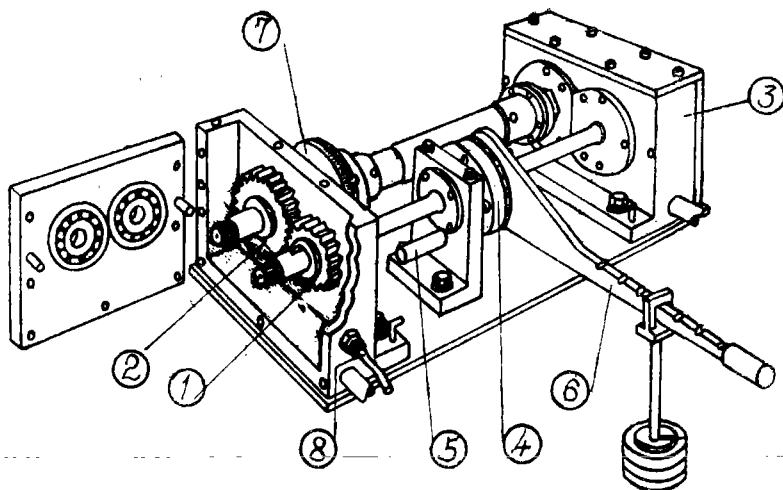


图1 FZG-齿轮试验台

- ①被测小齿轮 ②被测大齿轮 ③传递齿轮箱 ④加载联轴节
⑤止动螺钉 ⑥有砝码的加载杆 ⑦扭矩测量联轴节 ⑧温度传感器

锥齿轮及偏斜锥齿轮的承载能力和效率。

锥齿轮及偏斜锥齿轮的研究工作也是在几台由该所研制的FZG-锥齿轮和偏斜锥齿轮试验台上进行的(图2, 图3)。图2的试验台用于研究齿根强度和剥蚀强度以及偏斜锥齿轮油试验; 试验台的偏斜锥齿轮传递齿轮箱(4)是尺寸加大的传动。图3的试验台用于研究轴偏移、啮合几何、表面特性、润滑、轴承结构等等对效率的影响。四台相同的齿轮箱通过加载联轴节使得全部传动箱都加上载荷, 每个锥齿轮都以相同的齿侧进行工作; 在扣除单独求得

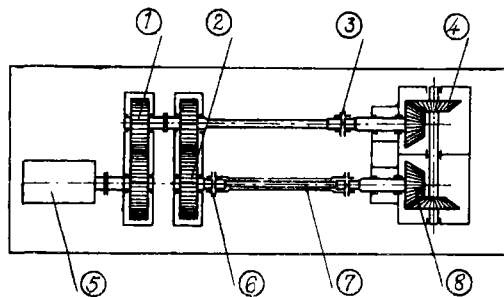


图2 FZG-偏斜锥齿轮试验台

- ①传动装置 ②圆柱齿轮传递齿轮箱 ③加载联轴节 ④偏斜锥齿轮传递齿轮箱
⑤直流电动机 ⑥扭矩读数 ⑦校准过的扭转轴 ⑧被测偏斜锥齿轮传动

的圆柱齿轮及轴承损失之后, 可以很精确地求得偏斜锥齿轮传动的效率。在偏斜锥齿轮传动增加轴偏移时, 由于加大了滑动成份, 从而引起增强损失和咬粘的倾向, 加快了试验速度。

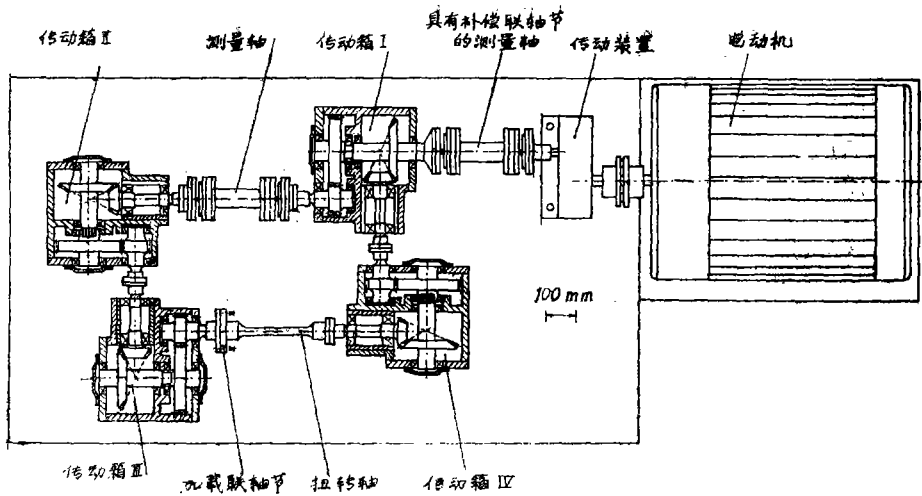


图 3 偏斜锥齿轮试验台

齿轮噪音：

有一个声强室用于测量齿轮噪音，室内只放被测传动（图 4）。试验台用一个无级调速的电动机驱动，可在高速大载荷下进行研究。

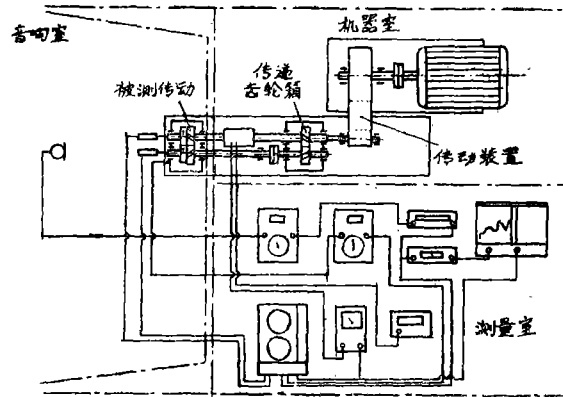
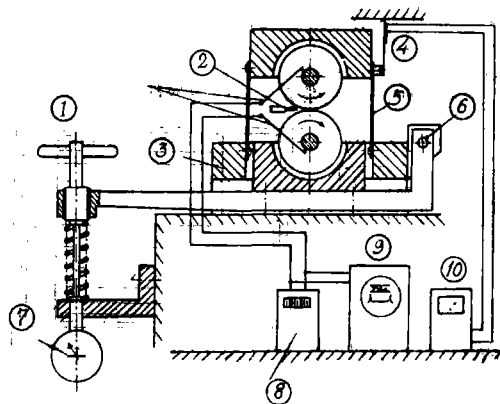


图 4 齿轮噪音的测量

滑动-滚动-接触的研究

在齿轮传动中在啮合线上不断地改变从滑动到滚动的比例，在模型试验台上进行基础研究，试验台允许调整具有正的及负的滑差率的任意的和固定的滑动-滚动比，理论研究及计算补充这个实验。

研制了各种双盘试验台用于润滑剂的基础研究（图 5）。两个盘的驱动是单独可调节的，通过一个弹簧设法得到可调的压紧力，试验台允许以非常小的滑差率进行试验，测出摩擦力。接触区域的润滑状态不断地用电流测量来监视。研究的重点是流体的摩擦性能，在接触范围内可调的润滑缝隙厚度以及压力分布和温度过程。



- ①用于传输电流的水银导电环
- ②喷油
- ③框架
- ④测量摩擦力的测力
- ⑤弹簧带
- ⑥可调整的回转支点
- ⑦法向力测量 $F = 20 \cdots 4400\text{N}$
- ⑧数字电压表
- ⑨阴极射线示波器
- ⑩指针式载频放大器

图5 双盘试验台

见到的试验设备有:

23台圆柱齿轮封闭式试验台(中心距有: 91.5mm, 112.5mm, 140mm, 200mm), 2台内齿轮封闭式试验台, 2台蜗杆传动试验台, 1台偏斜锥齿轮传动效率测量用的试验台, 1台摩擦传动试验台, 1台研究汽车变速箱同步装置的试验台, 1台研究安全离合器的试验台, 3台双盘试验台, 1台具有四个偏斜锥齿轮传动的封闭式试验台, 1间具有噪音和振动试验台的音响室, 1台测量传动热传导的试验台, 2台谐振脉动机(200kN和400kN), 3台液压脉动机(60kN和 $2 \times 100\text{kN}$), 1台断裂试验机(到 10^6N)

齿轮测量设备有:

1台PFSU1200型(Klingelberg工厂)渐开线检查仪, 1台UP400型(Höfler工厂)周节检查仪, 1台中模数齿轮单面啮合综合检查仪(Goulder Mikron工厂), 1台双面啮合综合检查仪(Schoppe & Faeser工厂)

计算机设备有:

2台终端接到慕尼黑工业大学(Leibniz计算中心)的大型计算机CDC Cyber175, 2台HP9835A台式计算机(包括外围设备), 1台TEK31型台式计算机(Tektronix), 2台RAT型模拟计算机(Telefunken)

另外还有研究摩擦及润滑的各种基础试验台, 测量力、应变、振动、噪音、温度等的电子测量仪, 检验仪及调节仪, 包括传感器、记录仪、滤波器、分析仪等在内的外围设备。

该所为ISO及DIN标准提供了“齿轮承载能力的计算方法”, 还提供了检验齿轮油的试验方法(利用齿轮试验), 该方法已为欧洲(GEC)和美国(AGMA)所公认。

七、巴伐利亚发动机工厂

这一工厂在慕尼黑市, 有六个分厂共有57,000名工作人员, 分别在慕尼黑、柏林等地, 这个发动机厂在世界上也是较大的。由于该厂在慕尼黑占地面积太小, 所以非用机器人不可。该厂用机械手、机器人进行原料的粗加工, 由于汽车生产竞争激烈, 7~8个月就要换型, 所以机器人控制程序的软件工作很繁重。如果用普通的自动线加工, 则该厂的面积只够

一个工序使用,下一个工序便没有地方安排了,所以该厂被迫使用机械手、机器人。该厂使用一般机器人加工的工序达50%,加上该厂自己设计制造的机器人则达到全部焊接工序的80%。在使用机器人加工时,该厂首先把产品标准化,每班能完成800辆汽车的加工。该厂共有两条生产线,每条线上每班生产两种型号,400辆车,两条生产线便生产四个型号。该厂使用机器人加工的另一个原因是:如果一条生产线停下来,另一条生产线还可以完成50%的产品加工。使用机器人加工的第三个原因是机器人加工的连续工作时间可以比用人工加工长一倍。该厂在焊接方面,点焊是用机器人干的,只有小量缝焊是用人工焊接的。他们主要用西门子(Siemens)系统,全是标准化的,共用了四种机器人,280台,其中96台为门式,43台KUKA,70台ASEA,43台Unimate,还有一些其他型号。每个产品有4700个焊点,三班内可以制造2140个产品。另外有一个系统可以制造600套产品,其中150套是由其他工厂来的,还有五个系列由另一个工厂加工。在柏林的工厂每天可造120辆摩托车,在慕尼黑的发动机厂制造四气缸的小发动机,以及大的六缸发动机。另外一些地方制造塑料部分,还有一些地方制造齿轮和轴。

八、夫琅和费学会的生产技术及自动化研究所

生产技术及自动化研究所(简称IPA)是学会中最大的研究所,有130人,所长为瓦内克教授(H.J. Warnecke),他兼任斯图加特大学工业制造研究所(简称IFF)所长,该所有40人。夫琅和费学会的另外两个单位:工艺技术发展组(简称TEG)和劳动经济及组织研究所(简称IAO,有80人)。这四个单位关系甚为密切,主要研究工作有:工厂规划,表面喷镀技术,生产系统自动化,质量控制自动化,工业机器人的发展和应用,工作规划,人员规划,人类工程学,办公室组织等。

生产技术及自动化研究所的重点是自动化组,其中有一个工业机器人小组,有30名工作人员和15台西德、日本、美国的各种机器人,其负载能力为1.5 kg到60kg。另外还有机器人用的光学及触觉传感器、定位装置、微计算机等。主要的研究工作有:柔性定位装置的研制,装配自动化,传感器的研制,机器人测试方法的研究等。

该所对市场销售的世界各国四、五十台工业机器人进行了性能测试,如工作空间及地面面积、工作速度、噪音、振动、轨迹形式、精度等各种参数均用传感器测量记录下来。由此建立了一个机器人数据库,因为选择合适的机器人是非常费钱的工作,对此进行规划并计算出一套方法,可以选择合理的机器人。

该所还进行柔性加工系统,无人操作感应控制自走式小车等研究工作。

九、马一普学会金属研究所

马一普学会是西德的一个研究组织,其所属的研究所是为西德的利益而进行科研工作的。这些研究所主要进行自然科学的研究工作,特别是大学中不适合进行研究的一些新的科学问题,大部分工作是关于药物和生物、各种物理和化学领域以及一些关于社会科学的问题。此外,该学会的研究所还在十分贵重和复杂的装备方面为大学的研究工作服务,同时也

为与该学会工作无关的科学家服务，例如在天文学、射电天文学和固体形态方面的研究。

该学会有50个研究所、研究单位，大小结构和活动都是很不相同的，这些单位分布于整个西德。该学会有8000名全日工作人员，其中约2100名为科学家以及3300名技术人员。此外还约有1400名客座科学家和公费生，此外还有8000名从外国来该学会的研究所短期或长期工作的科技人员。

马一普学会金属研究所于1921年成立。所内有两个分所：一为材料科学所，由Fish教授负责，有250人，其中有45名科学家，还有45名从外单位来工作的博士；另一为物理所，由Seeger教授负责，有120人。这两个所是相互独立的，其主要研究领域集中在金属和其合金的外形和原子结构，以及其物理、化学冶金和技术性能及其内部结构的关系。一方面这些研究工作是纯基础性的，另一方面是与技术发展有关的；因为需要愈来愈多的材料用于极端条件下，如有些材料用于很高和很低的温度下，而且负荷很高，有时还暴露在高能粒子辐射和强磁场中。

该所的主要装配有：两台高电压的电子显微镜（650kV和1.2MV），另有十台普通的电子显微镜，一台扫描电子显微镜，两台显微探针，一台质谱仪，此外还有特别高真空的熔炼和退火装置，四台可全部控制的拉力试验机，同时还有跟踪分析与处理放射性和有毒材料的装置。在材料科学所内有粉末冶金实验室和一个高纯度材料的实验室。

（一）物理所

该所的最主要研究工作是发展应用实验和理论方法来研究对结构和化学疵病有敏感性的晶体材料的性能。这些研究工作的目的是在原子和量子的基础上对其物理性能有定量的了解。另外他们还研究晶体缺陷的结构和性质，其形成机理以及对机械、电磁性能的作用，例如研究位错。他们还研究塑性、超导和如何用显微镜的新技术。

（二）材料科学所

该所的研究工作包括材料的结构、多种组成系统的性能，在固体和液体金属和合金中的结构和结合情况，以及金属系统的热力学。此外，他们还研究高能粒子束碰撞到金属材料上的情况，加入物质时的加强作用和晶体缺陷对性能的影响，研究特殊材料的生产和性能。还研究粉末冶金问题，以及气体—金属和碳—金属的相互作用，晶面间的现象，扩散过程等。

我们在参观过程中看到了他们在研究：

1. 金属中的气体及碳，如吸收气体的动力学，如何能把气体去掉，金属的氧化，铂金属在高温下的氧化问题。

2. 非晶态金属和金属的内摩擦。

3. 金属与陶瓷的密固化和相互作用，粉末冶金和陶瓷，金属—陶瓷材料的弯曲试验和表面分析。

4. 热变形过程中热力学研究和金属的破裂性质。

5. ZrO_2 多晶体新材料，准备用于柴油发动机上。

我们还看到他们有真空高温试验机，真空度为 10^{-6} ~ 10^{-7} ，温度为 $1500^{\circ}C$ ~ $1600^{\circ}C$ ，有相分析用的电视照相机，附有计算机可定量测定，有测液膜的仪器等。

十、斯图加特大学

该校建于1829年，当初称为文法和职业学校，1840年改为综合工业学校，1890年改为高等工业学校，1967年改称斯图加特大学。

(一) 机器零件及型体学研究所

主要有这三部分工作：密封技术、驱动技术及CAD。

密封技术：

高压轴密封：研究密封中的摩擦，使得密封圈在高压时不变形，应力分布均匀。径向轴密封环：结构有液压活塞杆密封，不受压密封，圆柱片密封，滑动环密封，螺纹轴密封等。还有一种PTFA材料密封环，摩擦力小，无爬行现象，但是价贵。不接触密封：结构有采用塑料做的导油齿槽，间隙0.2~0.3mm；另一种导油齿槽的间隙为0.2mm，外部固定环为铝，内部转动环为钢，用滚压方法加工在一起，在密封处有油或液体；还有一种O形环，型号为X-EL，外面喷着0.2mm厚的材料，上面有微孔，由美国Shamban公司制造，密封性能好。滑动圈密封：用于循环泵，工作在20~25bar，可高转速（线速度达100m/s），通常用陶瓷，塑料，中间有碳，为避免发热则注入油冷却，可密封油、水和脏水。

驱动技术和CAD：

齿根强度的研究：求外齿和内齿的齿根应力，采用有限元法应用ASKA程序进行计算，通过计算得出齿数与应力的关系，齿数少时，应力就大，齿数多时，应力基本不变；同时还得出应力最大位置，另外也用应力光学实测得应力图。应力光学：利用等差线图可计算出应力情况，过去用照相方法得出光弹性照片再用人工测量计算。现在用偏振光，电子照相机镜头（CCD），用步进电机控制方法进行扫描，把信息读入计算机（PROSA 3）储存到磁带上，在不同位置有不同灰度，得出等应力线，用电视机显示图面为80×80mm（一个点为16×16μm），屏幕上可看图象5000×6000点。光源用白光通过滤色片得单色光。齿轮单面啮合检验方法的研究：在西德Höfler双面啮合检查仪上做研究工作，主动轴上装一个飞轮和一个DIN 2级标准齿轮，在从动轴上装一个有特征齿的DIN 3级齿轮，轴上有测切向加速度的传感器（该产品用于测量火箭再入大气时的加速度，灵敏度为 10^{-6}m/s^2 ），加速度传感器和发送器的电源采用与轴一起旋转的可充电的镍镉蓄电池，以免干扰，因为齿轮有误差就有加速度，用两次积分可求得切向误差，用计算机处理后可以画出小周期误差的变化细节。CAD：内容不限于计算机辅助制图或设计，而是把计算机作为机器零件（CME）和计算机辅助工程与测试（CAE）。该所的CAD用的硬件由工业部门供给，自己搞程序，形成数据库（测量数据），方法库（设计方法、试验方法），再由设计者用程序任意联系起来，实现画图、计算、试验。也可进一步形成小系统把结果输出与加工连系起来。该所用PRIME 150计算机进行CAD，有1MB容量，与学校的IBM-CRAY机（有380MB）相连。

此外学生用计算机作杆件的运动轨迹分析及显示，采用计算机研究载重汽车变速箱换挡

同步器啮合过程和振动模拟分析, 利用三坐标测量机(蔡司WMM850型) 测量凸轮及偏斜锥齿轮的程序设计等。

(二) 机床控制技术及其制造设备研究所

该所有45名研究工程师, 分三个室, 共七个组。第一室: 数字控制, 1组为数字基本功能, 2组为专用的数字控制。第二室: 过程计算技术, 3组为过程接近的控制仪器, 4组为过程进行及过程监控, 5组为制造技术的程序系统。第三室: 调节系统和工业机器人, 6组为调节系统及驱动, 7组为轨迹控制的工业机器人。

第7组主要研究传感器控制、轨迹控制的机器人用于铣切、焊接、喷漆等工作。不搞简单动作的搬运、操作机器人。

该所的研究工作有:

用感应控制方式行走的小车, 改善这种车辆的控制技术。FMS(柔性加工系统), 包括四个加工中心, 一个工件库, 一个工具库; 进行系统的研究工作, 工件和工具的配合完全自动进行, 全部由计算机控制。喷涂用机械手, 控制系统由该所与奔驰汽车厂共同研制, 要求快而准, 全部用液压系统不能用电, 以防油漆材料爆炸。汽车挡泥板的焊接和磨光, 用四个接触式差动变压器位移传感器跨在焊缝上, 在运动过程中传感器发出信号给控制系统得出磨光砂轮的距离和角度, 机械手再沿此轨迹重复运动。机械手在运动中消除抖动的方法研究: 在机械手上装有两个加速度计, 通过反馈加以阻尼来消除运动轨迹转到突变处产生的抖动。

十一、亚琛高等工业学校

该校建于1870年, 当时称为工艺学校, 于1880年改为高等工业学校, 1945年改为莱茵-威斯特法伦高等工业学校(Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen), 因在亚琛市, 故有时称为亚琛高等工业学校。这是欧洲最大的工业大学, 有35,000名学生。

(一) 机械制造系普通设计技术研究所

研究所由柯勒教授(R. Koller)负责。研究工作有: 设计方法的研究, CAD的研究。

设计方法的研究是系统化研究的先决条件, 德国这方面的专业从1965年开始, 以后有4~5个大学中的研究所从事这方面的工作。这种设计方法认为设计过程实际上也是综合过程, 主要有以下几个步骤: 功能结构综合, 原理综合, 质的设计成形综合, 尺寸综合(测定、计算、公差)。有关设计方法的研究已在柯勒教授的书中有详细介绍(书名为“机械、仪器和器械设计方法”科学出版社1982年出版)。

CAD研究工作: 研制了一种叫RUKON的程序系统——即机器部件和仪器部件的设计及制图用程序系统, 它又分基础程序及设计程序两大部分, 共24种程序:

基础程序	几何	GEO 2D/3D——处理和管理二维和三维的几何形体
		BEMAS——用对话方式手动地或者自动地标注零件或部件的尺寸
		TOLSYN——计算机辅助公差分析和公差综合
	尺度	TPS 10——用于确定复杂的强度问题及尺寸问题的有限元程序
		OSKON——多自由振动系统的固有值及固有振动形式的动力学计算的辅助手段
	图示	HIGS——(硬件独立的图示系统),在不同的图形输入和输出装置上图形信息的输入和输出程序
		ZEIPRO——(符号处理器),用于产生零、部件各种视图,剖面图及符合DIN图纸的程序
		RISNID——产生平面图及断面图的程序
	共同的	SELEKON——(物理效果的选择),用于系统的原理求解的程序
		GESTALT-2D——二维几何形体的程序系统,如点、直线、圆、圆弧、曲线
GESTALT-3D——三维零、部件的形体程序系统,如任意截面的平面、圆柱体、锥体、截锥体、平行六面体及棱柱体		
ASKON——用二维视图及剖面图转换成三维形体		
ZAKOH——齿轮设计程序系统		
设计程序	专用的	FEKOH——弹簧设计程序系统
		WELKOH——轴设计程序系统
		BIKOH——连接件设计程序系统
		HYKOH——液压件控制单元设计程序系统
		KUKOH——凸轮传动设计程序系统
		SWEKOH——切削刀具设计程序系统
		VOKOH——夹具设计程序系统
资料	GESTALT-SP——适合切削加工方法的形状	
	GESTALT-SL——适合无削加工方法的形状	
	GESTALT-GL——适合铸造方法的形状	
	SIKO——设计过程的程序设计及标准化提供要考虑的条件,如“是否适合加工”及“是否适合安全”	

全部程序都用 FORTRAN IV 语言而与所用的硬件无关。这个程序系统的核心是 GEO 2D/3D, 它来自 Olympia 工厂研制的 OLYKON 程序。

如以 ZAKON 为例, 该程序可检查齿轮几何形状, 啮合过程, 跨量棒测量尺寸, 齿的强度, 重合度, 齿的弯曲应力, 安全系数, 许可受力, 沿齿高的应力曲线, 啮合是干涉或有间隙等, 并能画出啮合相对位置图。

(二) 传动技术及机器动力学研究所

该所是由 Meyer zur Capellen 教授创建的, 1972 年起由 G. Dittrich 教授任所长。有

29人，10名为科研人员，3名博士，10名大学生助手。研究工作主要是运动学及动力学。

机构技术：研究不均匀的运动，有一个组专门分析杆件机构，及凸轮机构。另一部是机构综合，找出合适的机构及最佳方法，例如要找出机械手的最佳方案，作了一个小的用计算机控制的MINIMOVER机械手。

动力学：研究转子动力学，小型分子真空泵转子系统的参数，转子轴的偏移，编制程序计算各种参数，如自然频率、阻尼、弹性系数等。

供学生实验的实验设备有：单质量振动体试验台，可测振幅及相位角；另外有机座外壳受激励后，用地震计及加速度计测加速度；内燃机试验台做凸轮阀门驱动系统的动力学试验，用教学模型及实验方法测出两个元件的四个未知数（弹性系数及阻尼）。

该所有个大计算机与学校的主计算机相连，另有三个台式计算机。有一台转子实验装置，用于解决工业中真空泵的O形密封圈弹性系数及阻尼，用HP 9845计算机解微分方程式（可解16个自由度）求出转子上任一点的振幅与频率的关系。

十二、不伦瑞克工业大学

该校建于1745年，现有学生约16,000名。

（一）普通力学及强度学研究所

该所有三个教授和八个工作人员，工作人员主要是在五年内做博士论文的研究生，毕业后分到工业部门。三个教授分别从事于振动力学、理论基础、天体动力学及恒星轨迹计算，固定力学计算，数值方法，机械力学计算。

研究所实际上是一个力学中心，教基础课，如机械制造中的工程力学，应用力学（结构力学），机械原理和机械动力学，建筑静力学，飞行力学。研究的方向是机械制造中的力学，固体力学，塑性力学（高温下塑性理论，非脆性材料的力学，塑性变形下的力学）。

研究课题有：

金属在高温下的特性：如核反应堆中金属在1000℃时进行热交换，就会形成蠕变，用计算机进行理论分析得出工作寿命的推断，使核电站受益。研究下列材料的机械性能：弹性流体（聚合物、玻璃），非弹性固体（金属、石头、盐、土壤），松散材料。研究高温反应堆中人造石墨砖容器受中子打击后的内应力：天然石墨中的晶体是均匀排列的，而人造石墨是非均匀排列的；高温反应堆中人造石墨砖受中子打击后，晶体由不均匀排列变成均匀排列，体积缩小，产生内应力。目的就是计算出内应力是否超过许可应力，运行中的反应堆是不能检测的，只能计算，后人的一些计算结果与他们相同。

（二）精密机械及调节技术研究所

该所有两名教授。一名教一般精密机械制造技术与光学，内容有调节技术，各种元件的连接方法，微电子技术的焊接，特殊加工技术，金属在真空中的蒸镀，光学仪器基础，光电子学，光电接收器等。另一名教电子学与电子技术，内容有模拟电子学，数字电子学，电磁

效应，小型电动机，控制技术等。

研究工作有：

半导体设备中的掩膜装置：在研究中发现接触式掩膜磨损快，改用光学投影到硅片上，效果较好，结构采用空气导轨，移动距离为150mm。照相机快门时间的测量：用光导纤维把快门处接收的光引到光电二极管，再由计算机取样进行计算，得出各点的曝光时间及平均曝光时间；快门处有九个接收位置，可以有不同的排列方法，从测试结果中设法改进快门的结构。精密仪器用的快速动作小阀门：这是一种电液阀门，通过液压脉冲宽度来开关阀门位置，是数字液压脉冲驱动。用毛细管来控制液体流量：用电来加热改变毛细管的粗细，由此控制液体流量。研制SERVATOR 02型（FWM）的装配机器人：六轴，最大负荷为7.5kg，工作范围500×500mm，重复精度±0.05mm，印刷电动机、测速机、谐波减速传动（日本制造）、角度传感器等紧凑地装在同一轴线上。

（三）设计学、机器零件及精密机械零件研究所

不伦瑞克大学机械制造系有2,000名学生，共有十个专业。有40名学生学设计技术专业，有220名学生上设计技术基础课，有35名学生上设计学的应用方法和精密机械技术的功能部件课，有70名学生上CAD课。

该所于1975年建立，所长为罗特教授（K. Roth）。现有13名科学工作者，10名职员、工人。有三个研究方向：设计方法学、CAD、特种齿轮传动。

设计方法学：这是该所的一个重点方向。由罗特教授编写的“Konstruieren mit Konstruktionskatalogen”（“用设计目录进行设计”）（Springer出版社1982年）一书，其中“设计目录”是由该所发明的，就是为方法学设计进行系统的有目的的准备技术资料，对于设计者有用的每一步都有准备好的信息。设计步骤是按下列三部分进行：文字化模型（文字说明），完成某些功能的模型（创造），设计出形状模型（形体设计）。

CAD：用计算机设计化工装置，过去都是先做模型，现在用CAD方法设计大型化工装置，可以先设计各个罐的形状、位置，用立体图表示，同时可显示出各支承点的位置，一切管道阀门都在显示屏上表示，易于修改，利用这种程序替BASF工厂设计的化工装置可以节省设计成本40%。

特种齿轮传动：专门研究在市场上买不到的齿轮传动。一种为楔斜齿轮，各个截面角度相同，有圆柱形及锥形，可以平行和交叉工作。一种为带锥度齿轮，通常是小半径与大半径相啮合，齿面连续移动，这种啮合的齿面负荷均匀，可用在机器人驱动齿轮箱中消除侧隙。另一种为少齿数的渐开线齿轮，最少齿数为1，实际应用为6个齿，可用于手电钻中减速增大扭矩，用于精密仪表传动较多，传力用得较少，寿命达一万小时才能实际使用，这种传动效率高。