

高等学校试用教材

互换性与测量技术基础

华中理工大学 李柱 主编
西安交通大学 赵卓贤

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

高等学校试用教材

互换性与测量技术基础

华中理工大学 李 柱
西安交通大学 赵卓贤 主编



机械工业出版社

本书包括互换性与标准化概论、测量技术基础、尺寸公差与圆柱结合的互换性、形状和位置公差、表面粗糙度及其测量、滚动轴承的外互换、量规与光滑工件尺寸的检验、锥度和角度公差及圆锥结合的互换性、键和花键结合的互换性、螺纹结合的互换性、圆柱齿轮传动的互换性、尺寸链基础等共十二章。

本书为大学本科教材，也可供工程技术人员参考。

互换性与测量技术基础

华中理工大学 李 柱
西安交通大学 赵卓贤 主编

*

责任编辑：高文龙 版式设计：乔 玲
责任印制：王国光 责任校对：熊天荣

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $18\frac{3}{4}$ · 字数 459 千字
1989年6月北京第一版·1989年6月北京第一次印刷

印数 0,001—6,700 · 定价：3.75 元

*

ISBN 7-111-01444-8/TG · 361(课)

前 言

1983年9月,高等工业学校“互换性与技术测量”教材编审小组成立,其工作重点主要是制订本课程及有关选修课程的教学大纲。这几年来,由各校自行组织编写出版或内部发行的本课程教材有三十几种版本,总发行量达数百万册,这在一定程度上反映了本学科兴旺发达的形势,因此,教材编审小组对这些版本的教材都是持支持态度。1987年4月,教材编审小组召开第三次(最后一次)扩大会议,决定组织编写两种风格本的本课程教材,本书即其中一种。本书力图反映我国机械工业发展的实际需要、高等学校三十多年开设本课程的教学经验,以及本学科的发展动向;以互换性与标准化原理为基础,重视基本概念、基本知识与基本方法的阐述;重视分析和加深基本理论;重视应用并与微机结合。本书编写分工如下:第一章,李柱(华中理工大学);第二、五章,袁长良(太原工业大学);第三、六、七章,过馨葆(同济大学);第四章,赵卓贤(西安交通大学);第八、九章,王旭蕴(清华大学);第十章,谢璟华(清华大学);第十一章,林洪桦(北京理工大学);第十二章,谢铁邦(华中理工大学)。全书由李柱、赵卓贤主编,由梁晋文(清华大学)主审。

本书经高等工业学校“互换性与测量技术基础”课程教学指导小组同意作为高等学校试用教材出版。

本书在编写过程中,得到机械电子工业部教材编辑室和许多院校关心与支持,谨致谢意。

编者热忱欢迎对本书的评论与指正。

本书编著者

1988年8月

目 录

绪论	1	§ 5-6 表面粗糙度的测量	137
第一章 互换性与标准化概论	4	思考题与作业	140
§ 1-1 机械制造中的互换性	4	第六章 滚动轴承的外互换	141
§ 1-2 标准化及优先数系	9	§ 6-1 概述	141
思考题与作业	14	§ 6-2 滚动轴承精度等级及其结合面 几何参数公差的特点	141
第二章 测量技术基础	15	§ 6-3 滚动轴承与轴和轴承座孔的配 合及其选用	145
§ 2-1 概述	15	思考题与作业	149
§ 2-2 长度单位和尺寸传递	15	第七章 量规与光滑工件尺寸的检验	151
§ 2-3 计量器具的分类及其度量指标	17	§ 7-1 概述	151
§ 2-4 测量方法的分类	20	§ 7-2 光滑极限量规	153
§ 2-5 测量误差与数据处理	22	§ 7-3 光滑工件尺寸的检验	156
§ 2-6 测量转换装置	34	思考题与作业	161
思考题与作业	41	第八章 锥度和角度公差及圆锥结 合的互换性	162
第三章 尺寸公差与圆柱结合的互 换性	42	§ 8-1 圆锥结合概述	162
§ 3-1 概述	42	§ 8-2 圆锥各参数误差对结合的影响	164
§ 3-2 尺寸公差标准化	44	§ 8-3 锥度与角度及圆锥公差的标准化	167
§ 3-3 配合的标准化	47	思考题与作业	176
§ 3-4 公差与配合的选用	60	第九章 键和花键结合的互换性	178
§ 3-5 应用计算机选择公差与配合	73	§ 9-1 键结合的互换性	178
思考题与作业	80	§ 9-2 花键结合的互换性	181
第四章 形状和位置公差	82	思考题与作业	192
§ 4-1 概述	82	第十章 螺纹结合的互换性	193
§ 4-2 形位误差的评定	84	§ 10-1 螺纹结合的应用与分类	193
§ 4-3 形位公差标准化	89	§ 10-2 螺纹结合的主要几何参数	193
§ 4-4 形位公差和尺寸公差的关系	100	§ 10-3 螺纹结合主要几何参数误差及 其影响	194
§ 4-5 形位公差的选用	106	§ 10-4 螺纹中径的种类及合格性判断 准则	198
§ 4-6 形位误差的检测	113	§ 10-5 普通螺纹的公差与配合标准	201
思考题与作业	120	§ 10-6 梯形螺纹	208
第五章 表面粗糙度及其测量	124	§ 10-7 机床丝杠和螺母的公差	213
§ 5-1 基本概念	124	思考题与作业	218
§ 5-2 表面粗糙度的评定基准	124	第十一章 圆柱齿轮传动的互换性	219
§ 5-3 表面粗糙度的评定参数	126		
§ 5-4 表面粗糙度的影响和评定参数 及其允许值的选取	132		
§ 5-5 表面粗糙度特征代号及其标注	135		

§ 11-1 概述	219	思考题与作业	26
§ 11-2 齿轮传动的使用要求	219	第十二章 尺寸链基础	268
§ 11-3 圆柱齿轮的加工误差分析	222	§ 12-1 尺寸链的基本概念	268
§ 11-4 分析齿轮误差的基本方法	226	§ 12-2 尺寸链的分析计算	273
§ 11-5 渐开线圆柱齿轮精度的评定指标	228	§ 12-3 统计尺寸公差	286
§ 11-6 圆柱齿轮精度的综合评定指标	244	思考题与作业	291
§ 11-7 圆柱齿轮精度标准及其应用	248	主要参考书	292

绪 论

机械电子工业是国民经济的装备部,机械电子工业的发展对国民经济的振兴有特别重要的意义。无论是过去、现在还是将来,互换性、标准化及测量技术,都是机械电子工业发展的技术基础。

本课程的任务在于使学生获得互换性、标准化及测量技术方面的基本知识与一定的工作能力,为从事机电产品的设计、制造、开发工作及科学研究工作打下坚实的基础。

本课程是机械类和机电结合类、各专业的主干技术基础课。在教学计划中,本课程有联系设计类课程与制造类课程的纽带作用,也有从基础课及其他技术基础课教学过渡到专业课教学的桥梁作用。

本课程与“机械制图”、“机械原理”、“机械零件”等课程有密切联系。

通过“机械原理”与“机械零件”课程的教学,使学生初步具备对机器设计进行结构、运动、受力分析以及强度与刚度分析、计算的能力。在此基础上,本课程进一步使学生了解机器的精度分析和有关互换性基础标准,从而合理地确定公差与配合,保证制成的机器能满足使用要求。

由于互换性基础标准内容广泛,而公差与配合在应用上又有较大的灵活性,牵涉的问题多,所以在本课程教学中,只能使学生了解其基本原理、原则与应用的基本方法。通过“机械零件”课程设计,应要求学生针对所设计的具体结构选择公差与配合,并按规定标注在图样上,以进一步提高学生选用公差与配合的能力。

因此,在教学计划中,本课程应安排在“机械原理”课之后,而稍后于“机械零件”课或与之并行,但宜在“机械零件”课程设计结束之前讲完。

本课程与“机械制图”有关。产品图样必须标注公差与配合,方能付诸制造。而图样标注又必须与使用要求、加工及测量方法等相联系。但是,学生在学习“机械制图”时,对这些知识尚未掌握。因此,本课程对公差与配合在图样上的标注应给予一定的重视,并注意进一步提高学生图样标注的能力。

本课程与工艺课程有密切联系。工艺课程着重分析各种典型零件加工误差的来源,以及减小误差和提高加工精度的措施,而本课程着重讲述典型加工误差的意义、影响、限制及测量方法。只有具备一定工艺知识以后,才能正确选择公差。故在学习本课程之前,要求学生通过“金属工艺学”教学及工厂实习获得机械加工的一般感性认识,例如关于圆柱形零件(孔、轴)、螺纹、锥体、花键及齿轮等的加工知识,而在以后“机械制造工艺”等专业课教学中,应使学生进一步充实、提高学会应用从本课程获得的知识。

本课程与专业课的课程设计及毕业设计也有密切联系。学生从本课程获得的知识,必须在以后的这些教学环节中,进行多次应用,才能逐步巩固并深化。

从根本上讲,“公差”反映机器零件的使用要求与制造要求之间的矛盾,或者说反映了设计与工艺的矛盾;而测量技术则是保证“公差”得以贯彻的技术措施。因此,本课程的教学,必须以学生具有一定的设计与工艺知识为基础;后续的设计与工艺课程的教学,又进一步使

学生加深对本课程的理解；而熟练掌握和应用本门学科的知识，则有待于毕业后的实际工作锻炼。

从结构特点讲，本课程系以互换性原理和精度理论为主线，基本上由“公差配合”与“测量技术”两部分组成。这两部分有一定的联系，但又自成体系。“公差配合”属标准化范畴，而“技术测量”属计量学范畴，它们是独立的两个系统。而本课程正是将公差配合标准与测量技术有机地结合在一起的一门技术基础学科。

从学科特点讲，本课程是从“精度”或“误差”的观点去分析研究零件及机构的几何参数；而“机械原理”是从运动学及动力学的观点去分析研究机构，“机械零件”则是从强度与刚度的观点去分析研究机构。

本学科的基本理论是精度理论，研究中心是机器使用要求与制造要求的矛盾，解决办法是规定公差，并用计量测试手段保证其贯彻实施。

长期以来，本学科主要限于研究几何参数的互换性。本门学科的发展，将逐步从研究几何参数的互换性，扩展到研究物理机械性能参数的“功能互换性”；从主要分析“误差”与机器“精度”的关系，扩展到研究“误差”与机器“运动”、“强度”、“刚度”等的关系。而“测量技术”部分也由局限于几何参数的测量，适当扩展到其他物理参数的测量，并以探讨测量原理、测量方法、新技术的应用，以及研究各参数之间的关系为主。

本课程的教学环节有课堂讲授、实验、作业、现场教学、课堂讨论及上机计算等。

课堂教学是本课程的主要教学环节，它对提高本课程的教学质量具有决定性作用。课堂讲授内容的重点是：有关互换性、公差配合与测量技术的基本概念，基本原理（原则），基本规律，基本知识，以及贯彻始终的基本思想方法。公差与测量比较，公差是讲授重点，测量内容仅在需要时才宜在课堂上适当介绍。公差部分，又以“尺寸公差与圆柱结合的互换性”、“形位公差”、“圆柱齿轮传动的互换性”为重点对象，应保证有较充分的学时。对这些公差制的结构、特点、规律等应阐述清楚，并在此基础上讲好应用。对其他结合的公差与配合，如滚动轴承、键、花键、螺纹、锥体等，可视情况，重点分析，或只概括地讲述特点，指定自学，并用作业检查其自学效果。

实验是本课程的重要教学环节，它在完成测量技术教学任务方面具有独立作用。因此，实验环节的设置及效果，应受到足够的重视。

实验内容应根据专业要求及设备情况选定。一般分两个循环进行，以便与讲课进度配合，并便于分组轮换。对实验的基本要求是：原理清楚、方法正确、数据准确、报告工整。对于误差分析与数据处理，按专业及学生情况，可提出不同要求。除保证完成基本实验外，对新型、精密测量仪器可作示范表演，以扩大学生视野。

作业是本课程不可缺少的教学环节，它不仅有巩固课堂教学效果的作用，而且是培养学生掌握公差配合选择方法，应用公差标准的重要手段。在全部作业中，互换性的基本概念、圆柱体公差与配合、形位公差、齿轮传动公差及尺寸链等作业是基本的，必须有足够的份量，使学生不仅会做，而且较熟练。综合作业对培养学生选择公差与配合的能力具有重要作用。但作业题目要结合专业，并适合学生水平，且应由教师给以必要的提示。

在本课程教学中，适当安排现场教学和课堂讨论是有益的。对基本度量指标、读数装置、典型测量器具及各种量规的特征等，安排现场教学的效果是较好的，可安排在实验开始之前。关于公差与配合的选择，也可安排现场教学，利用典型的机器或部件实物，讲解公差与配合

选用原则，也可配合综合作业，组织学生自己到现场搞调查研究，充分作好准备后，进行课堂讨论，由教师总结。经验表明，这样做虽然工作量大，但效果是好的。

在现阶段，要特别注意将微机的应用逐步引入本课程的教学。应用微机，不仅可使算法选择公差配合及形位误差评定、测量数据处理等简便易行，而且可进一步促进计算机辅助精度设计和计算机辅助精密测量的发展，这也是本学科向现代化方向发展的一个重要方面。

第一章 互换性与标准化概论

§ 1-1 机械制造中的互换性

一、互换性的意义

自行车、缝纫机、汽车、拖拉机等零件坏了，都可以迅速换上一个新的，并且在更换与装配后，能很好地满足使用要求。其所以能这样方便，就因为这些零件都具有互换性。

要使零件具有互换性，不仅要求决定零件特性的那些技术参数的公称值相同，而且要求其实际值的变动限制在一定范围内，以保证零件充分近似，即应按“公差”来制造，公差即允许实际参数值的最大变动量。

由此，可将机械制造中的互换性的含义阐述如下：“机械制造中的互换性，是指按规定的几何、物理及其他质量参数的公差，来分别制造机械的各个组成部分，使其在装配与更换时，不需辅助加工及修配便能很好地满足使用和生产上的要求”。

二、互换性分类

按决定参数与使用要求分，互换性可分为几何参数互换性与功能互换性。

几何参数互换性：通过规定几何参数的公差以保证成品的几何参数的充分近似所达到的互换性。此为狭义互换性，即通常所讲的互换性，有时也局限于保证零件尺寸配合要求的互换性。

功能互换性：通过规定功能参数的公差所达到的互换性。功能参数当然包括几何参数，但还包括其他一些参数，如材料机械性能参数、化学、光学、电学、流体力学等参数。此为广义互换性往往着重于保证除几何参数互换性要求以外的其他功能要求。

互换性按其程度可分为完全互换（绝对互换）与不完全互换（有限互换）。

若零部件在装配或更换时，不仅不需辅助加工与修配，而且不需选择，则具有完全互换性。当装配精度要求很高时，采用完全互换将使零件尺寸公差很小，加工困难，成本很高，甚至无法加工。这时，对某些形状误差很小而生产批量较大的零件，可将其尺寸公差适当地放大，以便于加工，而在加工完毕后，再用测量器具将零件按实际尺寸大小分为若干组，使同组零件间的差别减小，按组进行装配。这样，既可保证装配精度与使用要求，又可解决加工困难，降低成本。此时，仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换，即为不完全互换。

对标准部件或机构讲，其互换性可分为外互换与内互换。

外互换：指部件或机构与其外部相配件间的互换性。例如：滚动轴承内圈与轴的配合，外圈与轴承座孔的配合。

内互换：指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如，滚动轴承内、外圈滚道与滚动体（滚珠、滚柱等）的装配。

为使用方便起见，滚动轴承的外互换为完全互换；至于其内互换则因其组成零件的精度要求高，加工困难，故采用分组装配，为不完全互换。

一般而言，不完全互换只限于部件或机构的制造厂内部的装配。至于厂外协作，即使

产量不大, 往往也要求完全互换。

究竟采用完全互换、不完全互换或者修配, 要由产品精度要求与复杂程度、产量大小(生产规模)、生产设备、技术水平等一系列因素决定。

三、互换性的作用

从使用看, 若零件具有互换性, 则在磨损或损坏后, 可用另一新的备件代替。例如, 汽车、拖拉机的活塞、活塞销、活塞环等就是这样的备件。由于备件具有互换性, 不仅维修方便, 而且使机器的修理时间和费用显著减少, 可保证机器工作的连续性和持久性, 从而显著提高机器的使用价值。

从制造看, 互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时, 由于零、部件具有互换性, 不需辅助加工和修配, 故能减轻装配工作的劳动量, 缩短装配周期, 并且可以使装配工作按流水作业方式进行, 乃至进行自动装配, 从而使装配生产率大大提高。加工时, 由于各个零件都规定有公差, 同一部机器上的各个零件可以同时分别加工。大量应用的标准件还可由专门车间或工厂单独生产, 由于产品单一、数量多、分工细, 可采用高效率的专用设备, 进而采用计算机辅助加工。这样产量和质量必然会得到提高, 成本也会显著降低。

从设计看, 由于采用按互换原则设计和生产的标准零件和部件, 故可简化绘图、计算等工作, 缩短设计周期, 并便于用计算机进行辅助设计。这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改进, 都有重大作用。例如, 手表采用具有互换性的统一机芯, 发展新品种的设计周期和生产准备周期都可以缩短。这一点对于国防工业尤为重要。

综上所述, 在机械制造中, 遵循互换性原则, 不仅能显著提高劳动生产率, 而且能有效保证产品质量和降低成本。所以, 互换性是机械制造中的重要生产原则与有效技术措施。

在单件小批生产中, 特别是在重型机械和精密仪器制造中, 往往用到“修配法”与“调整法”。在装配时, 修配法是利用补充的机械加工或钳工修刮获得所需精度; 调整法是用移动或更换某个零件, 以改变其位置与尺寸来达到要求的精度。但是, 即使在这种情况下, 互换性仍然是必须遵循的基本原则, 因为除修配或调整用的那个零件外, 其他零件仍可按互换性要求生产, 且不可避免地还要采用具有互换性的刀具、夹具及量具等工艺装备, 更何况在整台产品中还会用到许多具有互换性的标准零件与部件。

就整台机器的制造来讲, 其互换性水平可用互换性系数来评定, 即

$$C_i = \frac{W_i}{W_i}$$

式中 C_i ——互换性系数;

W_i ——制造互换性零、部件的劳动量;

W_i ——制造全部零、部件的总劳动量。

显然, $C_i \leq 1$ 。对于不同的机器制造行业, C_i 的数值是不同的, C_i 愈近于 1, 则表明互换性水平愈高, 即生产技术的文明程度愈高。

从根本上讲, 按互换性原则组织生产, 就是按分工协作的原则组织生产, 而“分工与协作造成的生产力不费资本分文”, 因此, 按互换性原则生产能获得巨大的经济效益。

现在, 互换性生产的发展, 无论是从深度或广度来讲, 都已进入了一个新的阶段。不仅由装配互换性发展到功能互换性, 由几何参数的互换性发展到其他质量参数的互换性, 由成批、大量生产的互换性发展到单件、小批生产的互换性, 而且超出了机械工业的范畴, 扩大

到了其他行业。其中，最典型的例子就是近年来发展特别迅速的微电子工业。由于按互换性原则生产电子工业产品、元器件及插板等，使制造成本大幅度降低，从而极大地扩大了产量与销售量。这些电子产品的公差项目很多，对互换性要求很高，大大地丰富了公差标准的内容，并促进了测量技术水平的提高。

四、互换性原理

关于互换性原理，可将其要点概括如下。

1. 互换性生产的目标是产品功能与经济效益的综合最佳效应：

$$I = \underset{\substack{c_k \in C \\ k \in K}}{\text{opt}} \{G_k | G_k = f(c_k)\}$$

式中 I —— 互换性生产的目标；

G_k —— 产品功能指标；

c_k —— 制造成本与使用成本等经济指标。

产品功能指标，有的要求极大值，如效率、耐用度等；有的要求极小值，如噪声、油耗等；有的要求确定值，如速度、位移等。这些功能指标都与制造成本和使用成本等经济指标相联系。产品功能与经济效益的综合优化是互换性生产技术的目标。

2. 产品功能指标由有关互换性参数决定：

$$G_k = f_k(g_{ki} | i = 1, 2, \dots)$$

式中 g_{ki} —— 影响产品功能指标的互换性参数。

3. 产品质量由其功能指标允许的波动评定：

$$Q = \underset{k \in K}{\text{opt}} \{\Delta G_k | k = 1, 2, \dots\}$$

式中 Q —— 产品质量；

ΔG_k —— 产品功能指标允许的波动。

4. 产品功能指标的允许波动是决定互换性参数允许波动的依据；通过控制互换性参数的波动可以达到控制产品质量的要求。根据具体条件的不同，按功能指标允许波动，可用不同方法来决定互换性参数的允许波动，在一定范围内可按线性关系处理，如以下四种表达式：

$$\begin{aligned} \Delta G_k &= \sum_i \frac{\partial f_k}{\partial g_{ki}} \Delta g_{ki} \\ \Delta G_k &= \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f_k}{\partial g_{ki}} \Delta g_{ki} \right)^2} \\ \Delta G_k &= \frac{1}{N} \sum_i \frac{\partial f_k}{\partial g_{ki}} \Delta g_{ki} \\ \Delta G_k &= \sum_i \frac{\partial f_k}{\partial g_{ki}} \Delta g_{ki} - \Delta K \end{aligned}$$

式中 Δg_{ki} —— 影响产品功能指标的互换性参数允许的波动；

N —— 分组数；

ΔK —— 补偿量。

按以上四种方法达到的互换性，分别称为完全互换（极值互换）、概率互换（大数互换）、

分组互换、调整或修配互换。

5. 对互换性参数允许的波动必须用检测方法控制, 并应考虑检测误差及互换性参数概率分布的影响:

$$\begin{cases} g_{ki} = E(g_{ki}) \pm \Delta_1 \pm \Delta_2 P\% \\ g_{ki} \pm \Delta_3 \leq g_{ki} \end{cases}$$

式中 $E(g_{ki})$ —— g_{ki} 的期望值;

Δ_1 —— $\pm \Delta_1$ 为容差, 公差即 $2\Delta_1$;

Δ_2 —— $\pm \Delta_2$ 为公差带中心区范围, $P\%$ 为落在此范围内的最低频率限制;

g_{ki} ——互换性参数实测值;

Δ_3 ——测量误差。

6. 互换性生产的实质是按分工协作的原则组织生产, 故可获得巨大经济效益。

五、精度理论

产品功能指标的波动和互换性参数的波动, 均表现为对其期望值的偏差, 而相对误差的评定即表现为精度, 因此, 精度理论为互换性的理论基础。精度理论可包括以下一些基本内容:

1. 误差公理

误差公理适用于计量学, 也适用于互换性生产。在此, 误差公理可表达为: 在互换性生产的整个过程中 (包括制造、检测、装配、使用), 自始至终都存在误差。

2. 精度评定及其标准化

在互换性基础标准中, 精度评定的基本模式为

$$a = T/i$$

$$i = f(g_j | j = 1, 2, \dots)$$

式中 a ——精度系数;

T ——公差;

i ——公差单位;

g_j ——互换性参数。

即用公差中包含的公差单位数作为精度系数, 用以评定精度的高低, 并使之标准化, 而公差单位则为主要互换性参数的函数。

3. 精度设计

机械设计一般可分为三个阶段, 并分别称为一次设计、二次设计和三次设计, 其共同点是都要求优化。

一次设计即系统设计, 用于确定机器的传动系统, 选择适当的机构与元件, 保证实现预定的动作, 满足运动方面的要求。

二次设计即参数设计, 用于确定系统的参数, 包括确定机器零件合理的基本尺寸 (孔、轴直径, 齿轮模数, 滚动轴承规格、型号等), 使其工作时能承受规定的负荷, 满足强度、刚度方面的要求。

三次设计即精度设计, 用于确定互换性参数允许的波动, 包括确定机器零件合理的质量参数公差与极限偏差, 使机器零件能正确进行装配, 并保证在工作时满足精度方面的要求。

用类比法选择公差与配合属精度设计的初级阶段。严格意义上的精度设计包含精度的优化,是创造性工作,包括对于精度影响、评定、传递、分配、储备、保持及控制等的研究。与计算机的应用相结合形成的计算机辅助精度设计技术,大大促进了精度设计水平的提高,是精度设计的发展方向。

六、质量工程

保证产品质量是互换性的基本目标,因此,互换性与质量工程有着紧密的联系。质量工程研究产品的质量评估、控制、保证方法及体系,包括产品的规划、设计、研制、生产、销售、服务等全过程的对策等。

从互换性生产角度看,质量工程中的全面质量管理与质量损失观,特别值得注意。

1. 全面质量管理

全面质量管理(TQC)的主要特点是全面性,包括质量的全面性、范围的全面性、人员的全面性和方法的全面性等。

仅就质量而言,不仅包括产品质量,还包括企业的工作质量,而且后者会通过前者反映出来。

产品质量不仅包括性能、寿命、可靠性、安全性、经济性等产品本身的内在质量,还包括对产品内在质量有决定性影响的设计质量、制造质量及检验质量等,还包括反映产品内在质量的使用质量。

使用质量是产品在实际使用过程中所表现的质量,它是全部质量的综合反映,其表现为产品性能的适用性、有效性和经济性。适用性指产品适用于不同目的、不同条件下的使用性能。有效性指产品在整个寿命周期内处于完好可用状态的比例,是个时间对比的概念。

产品的有效性又包括可靠性、维修性和安全性。可靠性表示产品功能在时间上的稳定程度或特性。维修性表示产品维修的难易程度或特性。安全性一般用事故频率及事故严重程度表示。

产品的经济性表示产品总的经济效益,包括制造成本和使用中的耗费。

在可靠性工程中,用可靠度、维修度、有效度等表示可靠性。可靠度是指产品(包括系统、设备、零部件)在规定条件下和规定的时间内完成规定功能(无故障)的概率。维修度是指可修复的产品,在规定条件下和规定时间内,完成维修的概率。有效度是指可修复产品,在规定条件下和规定时间内,维持其功能处于正常状态的概率。

以上产品质量评价内容都与互换性有着不同程度的联系。

全面质量管理中,最基本的要求是将质量要求包含在产品内,即使质量成为产品的内在属性。按此要求,测量技术的重点应是产品制造过程的监控。通过对制造过程工艺因素的监控,或通过对产品互换性参数的实时测量、建模、预报和反馈控制,达到全合格品的生产,或进而达到按期望值生产。这种情况下的计量可称为“先决计量”,是生产中测量技术的发展方向。

2. 质量损失观

一般的概念,对于商品的质量,多用价值或价格来衡量。但实际上,价值取决于需要,价格取决于供需关系。因此,日本学者田口玄一反对用价格来衡量质量,并对商品质量给出了与众不同的定义:“所谓质量是商品上市后给予社会的损失。但是,由功能本身所产生的损失除外”。作为质量定义的损失,田口玄一认为应限于功能波动的损失和弊害项目(副作用)

的损失。所谓质量好的商品，应该是其本来的功能没有波动或波动很小，因而给社会的损失小，且包含使用成本等在内的弊害项目损失也较小。功能波动的损失可用损失函数表示，由此可求得功能界限及容差。田口玄一的质量观和关于质量损失函数的概念，把质量和经济两个范畴的概念统一起来，为质量波动的定量统计分析创造了前提。他提倡的优值概念是趋向目标值，而不是符合公差的概念，也不是符合控制界限的概念。他开发的三段设计法（系统设计、参数设计、容差设计）在日本企业界得到广泛应用。对参数设计和容差设计，采用实验设计法，可有效地达到优化设计的目的。这些都是有实用意义并值得借鉴的。

§ 1-2 标准化及优先数系

在机械制造中，标准化是广泛实现互换性生产的前提，而公差与配合等互换性标准都是重要的基础标准。

一、标准化的意义

从概念讲，标准化是指制订、贯彻技术标准，以促进全面经济发展的整个过程。

技术标准（简称标准）是从事生产、建设工作以及商品流通等的一种共同技术依据，它以生产实践、科学试验及可靠经验为基础，由有关方面协调制订，经一定程序批准后，在一定范围内具有约束力。

从内容讲，标准化的范围极其广泛，几乎涉及人类生活的各个方面。因此，技术标准种类繁多。按标准化对象的特征，技术标准大致可归纳为以下几类：

1. 基础标准

基础标准是以标准化共性要求和前提条件为对象的标准。如计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、公差与配合、零件结构要素等标准；

2. 产品标准

产品标准是以产品及其构成部分为对象的标准。如机电设备、仪器仪表、工艺装备、零部件、毛坯、半成品及原材料等基本产品或辅助产品的标准。产品标准包括产品品种系列标准和产品质量标准，前者规定产品的分类、型式、尺寸和参数等，后者规定产品的质量特征和使用性能指标等；

3. 方法标准

方法标准是以生产技术活动中的重要程序、规划、方法为对象的标准。如设计计算方法、工艺规程、测试方法、验收规则及包装运输方法等标准；

4. 安全与环境保护标准

安全与环境保护标准是专门为了安全与环境保护目的而制订的标准。

标准可以按不同级别颁布。我国技术标准分为国家标准、部标准（专业标准）、地方标准和企业标准四级。此外，从世界范围看，还有国际标准与区域性标准。

从学科属性讲，标准化是一门系统工程，其任务就是设计、组织和建立标准体系，以促进人类物质文明及生活水平的不断提高。标准化也是一门重要的综合性学科，它与许多学科交叉渗透，是技术与管理兼而有之的学科，同时具有自然科学与社会科学的属性。

从作用讲，标准化的影响是多方面的。标准化是组织现代化大生产的重要手段，是实现专业化协作生产的必要前提，是科学管理的重要组成部分。标准化同时是联系科研、设计、

生产、流通和使用等方面的技术纽带,是使整个社会经济合理化的技术基础。标准化也是发展贸易、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。搞好标准化,对于高速度发展国民经济、提高产品和工程建设质量、提高劳动生产率、搞好环境保护和安全卫生、改善人民生活等,都有着重要作用。

二、标准化的基本原理

标准化的基本原理(原则)是一个值得探讨的理论问题。标准化的基本原理应揭示标准化的发展规律,即反映标准化内在的矛盾运动。由于标准化涉及的面很广,其内涵与外延极其丰富,相当复杂,人们的认识、理解不一,因此,关于标准化的原理,国内外学术界众说纷纭。主要代表性学说可归纳如下:

1. 国际标准化组织标准化科学原理研究常设委员会(ISO/STACO),于1972年以ISO名义出版了由桑德斯主编的《标准化的目的与原理》一书,首次提出标准化的七条原理。这七条原理是:简化原理、一致同意原理、实施价值原理、选择固定原理、定期修改原理、检验测试原理、法律强制原理。这七条原理概括了标准化的特征以及制订和贯彻标准的全过程,因此被认为是较全面的。这七条原理是ISO/STACO集体研究的结果,因此被英、法、美、日等国标准化学术界普遍接受。

2. 我国标准化学术界关于标准化原理的提法不尽一致,大体上有简化、统一、协调、优化、重复利用…等等。在标准化的宏观管理方面,有系统效应原理、结构优化原理、有序原理及反馈控制原理之说。

3. 比较新颖的原理是有序化原理,即认为标准化的实质是抑制状态从有序向无序发展的过程以延缓熵的增加。在此,借用热力学中的熵作为标准化的度量。根据热力学第一定律,能量既不能凭空产生,也不能被消灭;而根据热力学第二定律,能量只能沿着一个方向——即耗散的方向——转化。熵就是不能再被转化作功的能量的总和的测定单位。因此,热力学第一定律与第二定律也可概括为“宇宙的能量总和是常数,总的熵是不断增加的”,而熵的增加就意味着有效能量的减少,当宇宙有效能量告罄时,则达到宇宙的热寂。标准化的目的与实质是通过有序化以延缓熵的增加,即充分经济地利用有效能量,由此可见标准化的特别重要意义。

4. 笔者将标准化的基本原理概括如下,供参考。

(1) 最佳协调原理 在标准化系统中的各组成要素之间,在一定范围和条件下,按技术经济的全面要求,可以找到最好的平衡状态。

标准化系统的组成要素即其构成成分,从大的方面讲,包括科研、设计、生产、流通、使用等;按具体技术参数讲,包括各有关技术参数。

标准化的范围,可以限于一个企业内、一个行业内、一国之内、或国际之间。分别表现为企业标准、专业标准、国家标准或国际标准的制订与推行。

标准化有一定的条件,即应用技术标准的条件或前提。对标准化的要求有技术要求和经济指标的要求,前者如精度、寿命、可靠性、承载能力等;后者如成本、消耗、生产率等。

标准化系统各组成要素之间的平衡,也就是它们之间的协调,即对立面的统一。例如,从使用方面讲,要求产品品种多样化;而从制造方面讲,要求减少产品品种、增加批量。协调产品品种与批量,即平衡。平衡是有条件的相对平衡。协调是多方面的,从各个大的方面的协调,到具体技术参数的协调,包括概念之间的协调,还包括标准之间的协调。协调的依据

是生产实践、科学实验和可靠经验。这种协调是人为的，但应尽可能符合客观规律。

各组成要素之间最好的平衡一般按技术经济指标全面衡量。对一定范围和条件，可能有许多协调方案，从中可找到最好方案。

最佳协调原理是标准化的依据，用于产品，体现为优质产品；用于工艺或试验方法，体现为先进工艺或先进试验方法；用于设计，体现为优化设计；用于结构，体现为合理结构；用于标准的数学模型，体现为数学模型及参数的最佳化，等等。总括而言，一个先进的技术标准就是最佳协调原理的主要体现。

(2) 简化统一原理 在标准化系统中，对由许多要素构成的集合体，可以通过定性或定量的组成参数，实现简化、统一。

集合体即标准化对象，它由许多要素构成，其特性可用若干定性或定量参数表示。而且在这些参数中必有主参数，其对集合体的影响处于支配地位，并且影响其他参数的变化（与其他参数关系为函数关系或相关关系）。主参数可以是一个或若干个。例如，动力机械的功率和转速，车床的中心高（或工件最大直径），滚动轴承的配合尺寸，齿轮的模数，孔、轴配合直径，螺纹外径（大径）等。

各种技术参数通常都可以有许多不同数值。从生产要求讲，应尽量减少参数数值的个数，扩大数值的间距，以增加具有同一参数数值的产品批量，使有利于生产管理，采用先进工艺和降低成本。而从使用要求讲，参数数值的间距过大是不好的，但过小的间距也无必要，甚至反而会不方便。因此，对技术参数数值进行分档归并，只选用其中有限个数值，以实现简化和统一是必要的和可能的。

简化统一原理用于产品，表现为产品的系列化；用于零部件，表现为零部件的通用化；用于结构要素，表现为结构要素的标准化。

在公差与配合中，互换性参数的确定、基本尺寸的标准化、尺寸分段、公差分级、配合分类、基孔制与基轴制等，都是体现简化统一原理的例子。

(3) 分解合成原理 标准化系统中的集合体，都可层层分解为基本标准化单元；反之，各个基本标准化单元也可合成为标准化集合体。

在标准化系统中，对具有不同个性的集合体，通过层层分解为基本单元后，可以从基本单元上找到更大的共性和相似性，这是进行标准化的基础。而通过基本标准化单元的合成，则可达到集合体的标准化。例如，组合机床和组合夹具就是体现分解合成原理的典型，这是实际领域的例子。再如，国际公差制中的标准公差系列与基本偏差系列，也是体现分解合成原理的典型，这是抽象领域的例子。

(4) 优选再现原理 对标准化系统中，由许多要素构成的集合体，可以主动重复再现其组成要素间的最佳协调。

所谓优选，即探求并确定各组成要素处于最佳协调时的集合体。例如探求并确定优质机器、先进工艺等。这是一种创造性、探索性的劳动。

由于各组成要素间的最佳协调是有条件的，故可通过实现此条件来主动重复获得要素间的最佳协调，而且这是一种自觉的、有组织的社会活动。例如，主动发展优质产品，推广先进工艺等。

按优选再现原理，充分利用创造性劳动成果，免除重复探索性劳动的损失，反复应用成功的经验，故可获得巨大经济效果。