人体测量学在工业领域中的应用

王 桂 伦

一 人机系统概念与人体测量学

按照人类学的基本理论，工具和人类是同时在我们这个星球上诞生的，二者相伴的历史已达数百万年。研究工具与人之间关系的过程是一个有趣的问题，当然，最初的工具是简单粗糙的，只要可以用便行，谈不上有高效、舒适、完全等方面的要求，即便是在资本主义社会以前的阶级社会中，人们也不会对人与工具之间的关系专门研究，在漫长的几千年中，人与工具之间关系发生重大变化的一个最令人称道的例子，便是马鞍和马镫的出现。

工效学是在第一次世界大战以后出现的，它出现的原因可以归纳为具有该学科出现的必需性和可能性二个方面。

它的可能性表现为，当时的科学技术已发展到了相当程度；而它的必需性在于，商品化生产需要不断提高个人的生产率，同时为了保护熟练工人的人力资源和缓和劳资间的对抗，这二者都要求变革人机关系，使人和他使用的机械（设备，工具等）之间的关系变得更为合理一些，以便使操作者用较少的精力生产出较多的产品。工效学首先在英国出现，因而也是毫不奇怪的。

工效学自出现之日，就与工程科学和劳动科学发生了关系，同时又有别于这二门科学。工程科学在设想提高生产率时，着眼于提高机器的转速，运输工具的装载量，自动化，电器化；劳动

科学在研究如何保护劳动力和提高生产率时，往往仅从人体着眼，最多也只考虑直接对人产生伤害的那一部分机械部位以及噪声、化学毒害……。而工效学的独特之处，就在于它将操作人员和所操作的机器看作是一个完整的系统，研究的目的在于如何使这个系统合理化，就是所谓的人机系统的概念。

第二次世界大战期间及其以后，工效学得到了迅速的发展，其以人机系统概念作为基本出发点的特色也发展得更为突出。追究其原因，我们可以发现：1、由于大型和复杂机器系统的产生，如高速战斗机、大型运输机、导弹发射系统、现代化舰船……，使操作人员更处于人机系统的中枢位置（而不是人和锄头间的双边关系），这种地位上的转变，使得人机之间的关系更加紧密；2、现代化设备的操作人员面临着许多前所未有的特定操作环境，如：航天器上升时产生的巨大加速度，飞船作轨道运行和高速飞机作抛物线飞行时产生的失重环境，空中、公路、水上、水下应急状态时脱险过程中的特定环境……；3、系统愈先进，效能越高，人机之间的关系愈紧密，操作人员就越不能放松操作状态；在许多系统中，放松警戒状态的机率愈大，危险也愈大，所以，保证操作人员在长时间内不产生疲劳，保持有效的操作状态的要求变得急迫了；4、由于生活水准的提高，人们要求更多的舒适和安全。鉴于上述四个特点，二次大战以后，工效学的中心转到了美国（被称为人类工程学，或人素学）。

一个理论上的人机系统可分为二个亚系统，即人体亚系统和机器亚系统。

二个亚系统之间的关系可用一个简图来表达：（见144页图）。所以，人机系统是否合理，主要看机器信息能否有效和合理地通过人机界面传入人体和人的指令能否有效和合理地通过人机界面输入机器。工效学研究的一个重大内容便是人机界面上显示器和操纵器布置得是否有效和合理。

不言而喻，人机系统中的“人”，绝大部分情况下是一个群体，这便决定了它与人类学和人体测量学有着密切的关系。

人机关系设计过程所需要的人体参量必须反映群体特性，而群体特性（体质的、形态的、生理的……）调查正是人类学人体测量工作的主要成份。

人机关系设计所需的人体参量同人类学人体测量工作一样，属于随机变量，在样本选取的指导思想，确定测量方法的原则，数据分析中使用的数学手段是基本一致的。

事实上大量人类学者所调查的体质资料已被应用在工业领域中。然而，工业领域中所需要的人体特征参量包含的范围要比经典人类学的更多，方法更复杂，因而形成了一门独特的技术学科——工程人体测量学。

那么，人体测量学是如何与工程发生关系的呢？我们可随便举个例子，如我们着手设计一种公共汽车，应为乘客考虑如下问题：

上车时，车门下的踏板离地不能太高，使得乘客觉得不吃力，特别要考虑腿脚不灵便的老年人，体弱者的方便。这一问题涉及到人群的大腿长，小腿长，上车时大、小腿形成的角度，这一角度范围的下蹬力。乘客在座位上要觉得舒适（特别是长途客车），包括椅高、深宽、靠背高度、后倾角。这一问题涉及到人体的坐高、大腿深、小腿高、肩宽、髂棘间宽，人取松弛状态下坐势的脊柱曲度变化……。

对于站着的乘客说来，扶手和柱杆的高度和直径要适当尺度

要能使人体有关的肌群轻松而有效地发挥力量，涉及到人的身高、肩高、上臂长、前臂长，手部各节段的测量，肩、肘、腕、指诸关节在作用时组成了运动链，必须考虑这些关节能有效发挥力量的角度（即功能角）。车窗的高度和宽敞程度足以使乘客视野开阔，有利于他们保持愉快的心境。涉及到人的坐眼高。

我们为驾驶员考虑以下问题：

驾驶时，驾驶员处于警戒状态，他的椅座使他能在舒适的同时保持足够的视野，肢体活动的自由和肌力的发挥。二者具有同等的重要性，前者使他保持旺盛的精力，不易产生疲劳，后者使他能有效地处理驾驶过程中所遇到的各种操作问题。

操作器的空间排置必须适当，便利操作不易发生操作错误，这除了需要各种人体尺度和角度以外，还需要活动范围和操作域（最佳活动范围）。

除以上内容外，车内坐位间距，走道宽度，车厢高度等，它们的设计需要人体资料来确保人们的满意程度，又要考虑客运量和经济效益，应在二者之间进行权衡。

应该说，汽车的人机关系设计并不复杂，但从上例我们已能看出工程人体测量学的重要性了。

二　人体测量学在工业应用中的基本思想和方法

传统只是作为人类学研究方法的人体测量学步入工程领域，它必然带有强烈的人类学领域的风格，同时又在一些新的方面区别于人类学。下面我们从这一观点出发讨论工程人体测量学的某些基本思想和方法。

（一）设计限度

群体变异对于人类学工作者说来是相当熟悉的，但对于工程

设计人员却不一定。在工效学兴起之初，设计人员往往只使用人群的平均数，追求“平均人”作为设计标准，不少设计人员甚至干将自己的身体作为标准，这样做的结果必然是产品的适应范围不广，造成很大的问题。

人类学工作者进入工效学领域之后，根据常态分布理论提出“设计限度”的概念。即在预计的产品使用者这一群体中，根据实际需要和人群的体质特征，确定该产品适用于该群体中成员的范围。

在数学处理上，设计限度常用百分位数（多用5—95百分位数）和均值加减若干个标准差来确定。例如，若该产品只考虑群体中处于一般长度的成员，使用 $\bar{X}\pm Sd$，若属于一般的人机产品设计，使用 $\bar{X}\pm 2Sd$；对于安全要求特别高的设计，使用 $\bar{X}\pm 3Sd$。工艺上通常用产品系列化或可调节性来解决设计限度问题。

（二）区域限度

由于地区间人群体质差异显著，所以这是又一个不可忽略的问题，如不注意会给地区间的贸易带来巨大损失，美国斯坦福研究所曾专门为此提出过专题报告。例如，五十年代，我国盲目搬抄苏联的东西，使我国战斗机不能适应本国飞行员的体质，从而造成效率下降，事故率上升。

之所以提出这一概念，还因为在当前的引进工艺、设备的过程中，对这一问题还是忽略，人类学工作者有必要呼吁有关方面的注意。

根据我们的实际工作和国内外对工程人体测量学的研究状况，工程人体测量学一般分为静态人体测量和动态人体测量。

静态人体测量　　静态人体测量主要对人体在确定的静止的状态下，用人类学的测量仪器进行直线、弧线、角度、面积以及体重和一些生理指数的测定。

为了具有良好的视野和活动范围，一般在驾驶室的设计中，特别是飞机的驾驶室的设计中，驾驶员的坐椅一般是要求通过上下（垂直位）、前后（矢状位）的座位调节使不同身材的驾驶员都能获得最佳的视野，如果这点不能实现，那么，较矮的驾驶员就不得不伸颈或加坐垫来获得充分的视野，而较高的驾驶员只能屈身缩颈。那么，应该如何设计这一调节的范围呢，我们可以通过测量驾驶员的身长、坐高、眼高、腿长和臂长等等，然后加以统计分析来考虑这一问题。由于群体的体质特征通常是呈常态分布的，我们取其百分位数的第5到第95这一区域的长度（高度）作为我们设计中的调节范围。例如，美国1958年为汽车司机的坐椅设计而作的人体测量调查，美国司机（男性）坐势眼高的范围是4吋（5th的27.7吋—95th的31.6吋），因此，他们就将椅座的调节范围定为4吋。这样的范围便称之为“设计限度”。

国外对人体测量工作非常重视，欧美以及苏联等国都有专门机构进行这项大量的工作，就美国俄亥俄洲的Wright Patterson空军基地自从四十年代开始就进行过数次美军的体质调查，现已拥有一个初具规模的人体数据库，人体测量值基本上取自以经典人体测量学方法为基础的静态人体测量，其共有身长、体重、坐高、眼高等等100多个项目，为美国空军人员的挑选和人机工程设计提供了大量客观的和基本的参考数据。

但是，由于全世界各国家、种族、民族和地区的人群的差异是很显著的，故对一国适应的人体标准，可能对另一国完全不能适用。就我国来说，地广人众，是一个多民族的国家，民族之间，地区之间可能有较大的差异，例如，北京和上海生产的鞋子在云南纳西族地区无销路，东北和西北地区的居民与华南地区的居民的差异可能会更大。

亚洲人和欧美人在体重、身高、坐高的比较

	体重（公斤）	身高（厘米）	坐高（厘米）
亚洲人：	62.95±8.045	168.17±6.00	39.54±2.321

欧美人：	76.76±10.41	177.36±6.22	48.±2

不仅群体间的差异，而且在性别、年龄组上的差异同样是非常明显的。

美军在1946和1966年进行的二次体质调查结果的平均值相比：

	体重（公斤）	身高（厘米）	坐高（厘米）	胸围（厘米）
46年：	70.22	173.91	90.88	92.41
66年：	72.23	174.52	90.69	93.77

由此可见，体重、身长、胸围在这二十年中都有明显的增加，但坐高基本上相等的结果来看，身长的增加主要是由于下肢的增加，这些因素都是应该考虑到人机系统之设计中去的。应该指出的是，身长的增加是与营养条件有着密切联系的。我国解放以来出生的青少年中的体质情况应该有较明显的变化，即使象我国西南边区亦是如此，大城市就更显著了。

傣、白、彝三族成、中年各组身长对照，单位厘米。

		男性	女性
傣族	成年	161.9	152.4
	中年	159.9	151.3
白族	成年	164.4	153.2
	中年	163.2	152.5
彝族	成年	163.3	151.2
	中年	162.8	151.5

所以对我国说来，为适应四化建设的需要，定期而全面开展人体测量这项工作，从而积累中国人的人体资料是完全必要的。

动态人体测量　　人机系统（包括操纵机器的人和他所操纵的机器在内的整个系统）的总体效能不仅取决于人和机器单独的效能，还取决于人和机器之间信息交往的效能。人和机器之间信息交往的效能是否良好这里有二个问题，一个是人对机器的适应，取决于人的体质和技能，也就是人员的选择和培训；另一个是机

""对人的适应，那就取决于各类显示器、控制器和整个操作空间的设计，这就牵涉到的因素繁多，如显示器和控制器的形状大小，在操作空间的排置，显示速度，照明与色彩等等，但其中不少涉及到人体的活动范围，人体的体形和体力等。一般说来各类驾驶员以及大部分机器操纵者甚至装备线上的工人多是坐着进行活动的，所以对于操纵器及其他物件的空间排置，不仅是使操纵者够得着的范围内就可以了，而应该置于对于操纵者说来是最好的空间位置。而坐势操纵一般多是以手或脚作为标准工作的，所以我们的工作是着重研究手或脚的运动的一般范围以及其用力的大小。这个研究不仅是传统的静态人体测量学，还必须进行动态的人体测量。

动态人体测量学认为人体是由若干体节构成的，体节间则由关节相连；对于每个体节说来，有各自的纵轴、长度、围度、体积、表面积、质量、质心和惯量；对于每个关节而言，有各自的转动轴（从单轴到多轴），有各自的形心和转动中心、活动范围等等。所有这些内容就构成了动态人体测量学的重大内容。

对于每一类型的活动范围，每一个关节的活动度，一般可细分为最大活动范围，功能范围和舒适范围。若我们指定受试者坐在靠背椅上，我们选择坐面和靠背的结合中央即椅背和椅坐面的交线的中点为参考点，将比点作为笛卡尔三维坐标系统的原点而建立空间坐标系统，将臀部固定之后，便可以研究指定动点（如手的中指指尖）的运动范围，任何一动点的最大活动范围都有一定的限度，对于一个指定的动点录下它在所有方向上最大限度的运动轨迹，这个运动轨迹的集合就成了一个有着一定大小和形状的空间，这个空间的表面，称之为“空间封套”，也就是该动点的最大抵及范围。对于伸臂径这样的测量项目，上述这三种活动范围，可以通过改变参考点的方法互换，如上述所测得中指指尖的最大活动范围，而现在需要的是大拇指腹的前伸径（为排置按钮所需）或抓握径（为排置操纵杆所需，假定操纵杆直径为30mm

的圆棒，以中指处的圆棒形心为参考点），那么，只要有它们之间的回归系数之后便可以互换。但是，手具有复杂的解剖学结构，每个关节都有它自己独特的这三种范围，最大范围取决于关节本身的构造，功能范围则要受到肌群的影响，舒适范围就更复杂了，除受上述二个因素影响外，还要受到个人的习惯和心理特性的影响，而在人机工程系统的研究中，这三种活动范围的基本数据都是很需要的。例如，我们在工程技术设计中应考虑在某些特殊情况或应急状态下（在空中或大海中的情况瞬息万变，驾驶员要应付处理各种复杂的特殊情况），人体的构形的改变对人的安全所产生的影响，那么控制器的排置和操纵必须在关节的功能范围之内（即肌肉能产生最大力的范围中），否则在操纵时会因力不从心而产生危险或容易产生急性疲劳（疲劳感剧烈而易通过休息得到恢复的疲劳）。在座位上，人体各关节的角度最好保持在舒适角度，这使驾驶员或机器操纵者保持高度饱满的情绪，并不易或不会产生慢性疲劳（疲劳的累积效应，一般反应在精神和情绪上，不易通过短期休息而消除）。动态人体测量的数据同样存在着国家、种族、民族、地区之间的差异以及性别、年龄组的差异。

三　应用范围与展望

工程人体测量学范围的轮廓以及有关可能实际应用的范围很广。笔者列下表以作粗略的介绍。

与欧美国家相比，我国工效学研究起步较晚，人类学工作者与工程设计相结合，乃是解放后的事。五十年代，科研工作者结合防毒面具密合性和舒适性问题进行国人头面部调查；六十年代曾为制订中国人服装标准系列及脚型进行了大规模的调查；七十年代以来，曾进行了人体各关节的 X 线测量和骨骼的测量研究、飞行员体质调查和人体脊柱自由落体电测应变研究和股骨光特性研究，这开拓了人体测量学和生物力学结合的途径。

研究项目	应用范围	所需人体资料范围
1. 舒适性研究	① 各种运载工具乘员座位设计。 ② 各种特殊装备（宇宙服、航空服、极地抗寒服……）设计。 ③ 一般个人用品(服装等)设计。 ④ 家具、室内空间、通道等设计。 ⑤ 生产线操作空间设计。	确定设计中产品的使用范围之后，测定该群体的各类动静态人体测量数据。
2. 安全性研究	① 运载工具应急时用的脱险装置的设计。 ② 控制器在操作域内的合理排置（以不易发生操作失误为评价基准）。 ③ 能防止疲劳的设计措施。 ④ 施工安全帽和保险带的设计。 ⑤ 高层建筑的窗、栏杆、扶手的设计。 ⑥ 防毒面罩的密合性研究。 ⑦ 生命维持设备设计。	人体静态尺度、动态尺度、角度、重心位置和移动轨迹，人体姿势，骨骼材料特性、软组织应变特性，各节段重心，质量和惯性矩等。
3. 人机效率研究	① 各种复杂系统的控制器空间排置设计。 ② 各种工具的设计	静态、动态尺度和角度，肌力的发挥，肌力方向，神经血管排置走向。
4. 商品的潜在使用者估计	用于估计该商品的最大出售量。	人群的一般体质特征的分布（包括年龄、性别、职业、人种、民族、阶层、居住情况，经济状况等）。

续 表

研究项目	应用范围	所需人体资料范围
5. 潜在操作者数目估价	根据设计限度在给定范围内挑选操作者。	给定人群体质特征分布和设计限度。
6. 零部件设计	球形捏手，操作杆，按钮，把手，门闩，转盘，曲柄等的适用性。	手部测量。

同时，国内其它部门也进行过某些工程人体测量学的研究，如建筑和轻工业等部门，都曾为建立我国有关的人体规范，进行过大量调查，某些劳动卫生部门曾进行过工作量的能耗水平调查，并取得相当成效。

值得指出的是，过去一些年，尽管有某些成效，但规模不大，不够系统全面，内容还不多样化。如追究原因，可以看到极左思潮的存在对人类工程学的发展起了相当大的阻碍作用，一些好的口号也被曲解，如舒适，会和资产阶级生活作风等同起来；提到安全，会被“不怕死”的声浪淹没；提到效率，则认为提高效率的唯一途径是“大干、苦干和拼命干”。很明显“一不怕苦，二不怕死”的口号是对的，但不能成为不尊重科学的借口，我们认为，现在是正本清源的时候了。

粉碎“四人帮”以后，尤其是党的十届三中全会以后，人类工程学在其应用方面取得了较大进展。1978 至 1980 年，科研工作者进行了相当数量的人体脊柱各个椎体的动、静态力学性能测试，为我国航空应急救生装置的工程设计提供了科学依据。目前，我国工程人体测量工作正在顺利地展开。