

人体工程学在结构设计中的应用

许昌继电器研究所 田 蓓

内 容 提 要

人体工程学是现代机器设计的一个新的理论。本文仅就其在结构设计中的应用予以论述,对继电器及成套保护装置的总体设计,也有一定参考价值。

人体工程学又称工效学、人类工程学、人的因素学,因为它是研究工程设计中人与机器所构成的人机系统的工作效率的,所以又称为人机学。

人体工程学是从本世纪五十年代开始发展起来的并逐渐广泛地用于工程设计中的一门新兴科学。在机器发展的早期,由于机器的操作简单,环境条件不太复杂,加上科学技术的落后,往往都是由人(操作者)去适应机器。在机器系统迅速发展,机器的操作和环境条件变得十分复杂,由人去适应机器不但远远不够了,而且会常常带来事故,直接影响机器效率的发挥。因而,研究和解决工程设计中机器与人体的各种要求相适应,从而使人机系统的工效达到最高,就成为必要。在人类进入电子计算机时代之后,人机系统中人与机器工作的分工也是人们要认真对待的一个问题。于是,人体工程学这门新兴科学便产生和迅速发展起来了。

一、概 述

人体工程学是研究解决机器系统的设计和人体有关的各种问题相适应,并考虑周围的环境条件,把“环境——人——机器”作为一个整体,使得工作效率最高的一门科学。人体工程学是一门实践科学,主要是为了提高人机系统的效率,研究人与机器相互关系的规律,因为它涉及到人体科学与技术科学,所以它又是一门综合性的科学。

人体工程学主要的研究内容大体包括以下三个方面:

1. 机器系统中直接由人操作或使用的部件如何适合于人的使用,这就要求工程设计人员熟悉人体的各种参数和心理特征,使得机器系统的设计适合于操作者的使用,从而发挥人的效率,进而提高整个人机系统的工作效率。

2. 环境控制和生命保证系统的设计要求。

人类在征服自然界的进程中,面临着种种特殊的环境条件,例如高温、低温、缺氧、振动、噪声、污染、幅射、气压变化及特殊环境刺激等等。为了发挥人的效率,就要控

制或改变环境，保护人的安全。人体工程学也为工程设计人员提出了这些方面的要求和数据。

3. 人机系统总体设计

在一个复杂的机器系统，除了要保证其各个部分，其中也包括它的环境系统要适应人体要求之外，也还必须解决整个机器系统与人体相适应的问题，亦即人机系统中人和机器的职能分工和互相配合的问题。这是近年来人体工程学迅速发展起来的一个新的领域。人体工程学为此也提出了它的理论和处理原则。

就电力系统二次结构设计（以下简称结构设计）这一比较狭小的范围来讲，人体工程学的应用也越来越显示出其重要性。本文结合结构设计中的一些问题，对人体工程学的应用谈谈一些肤浅的认识。

二、人体工程学与结构设计的关系

结构设计比电气设计给人们的反应更为直观，因而它对人的工作效率的影响也就更大。无论就一总体设计来说，还是对于某一具体元件的设计，结构部分给人们的印象总是首先的和直接的，一般通过人的感官便可形成好或坏的印象。人们在挑选商品时，往往通过其包装装潢、外观、造型等等就决定取舍，也正是这个道理。所以，人体工程学在结构上的应用，也就显得更为重要了。

就结构设计而言，前述人体工程学所研究的第三部分内容（人机总体设计），目前尚未成为重点；而其第一部分（结构设计如何适应人的特点）和第二部分（环境控制问题），则是经常遇到的，也是至关重要的。总之，结构设计（包括总体设计中的环境条件）如何适应于人（操作者），是人体工程学在结构设计中应用的重点。因此，结构设计人员必须熟悉和掌握人体工程学理论中的有关内容，使设计的结构能更好地适应人体条件，从而达到提高人机系统综合效率的目的。

三、人体基本参数

结构设计要适合于人的操作、监视和使用，首先涉及的问题是如何适应于人的体形、体力，包括人体的高度宽度、各部肢体长度、动作能及的范围、用力的大小等等。操作部分应与人体相应部位的高低位置相适应，操作力的大小要适宜，尤其不可超出人体最大用力限度；操作部分应尽量设置在人操作最方便、反应最灵活的空间范围之内；监视部分应在最有效，最方便的范围之内等等，这些都涉及到人体的基本数据。

人体参数的测量涉及到许多内容，主要包括：

1. 人体各部分高低，长度大小尺寸；
2. 人体活动范围；
3. 肢体用力范围；
4. 反应速度和准确度；

(二)、亚洲男子人体数据

亚洲男子人体数据见图2、图3及表2。这里所列数据比较齐全,但需要注意的是:当人体姿势发生变化时,人体参数会发生一些变化。所以在引用这些数据时,要根据变化的姿势作适当的修正。

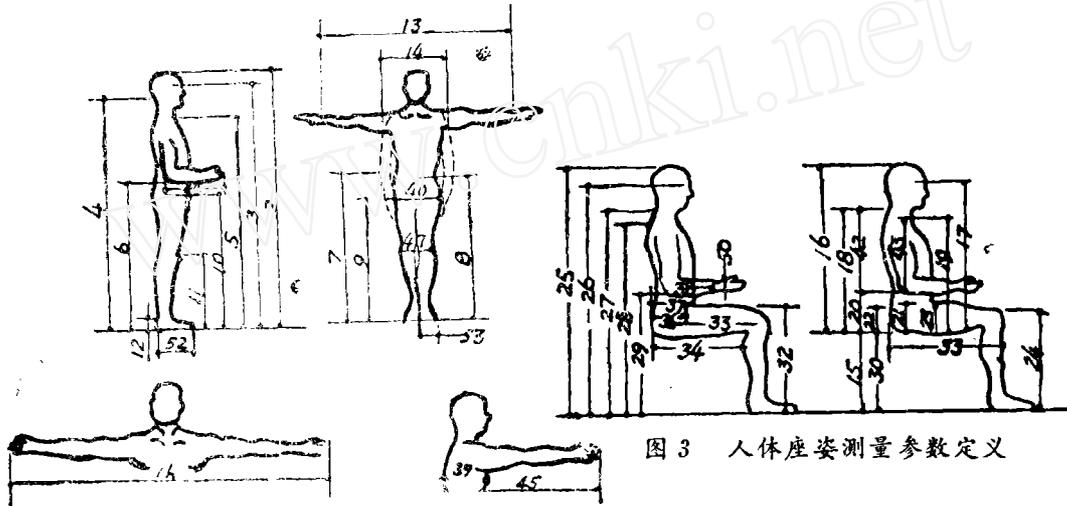


图2 人体站姿测量参数定义

图3 人体坐姿测量参数定义

表2 人体测量数据(男子)
(单位:体重为kg,其余为mm)

项 目	平均值±标准差(亚洲人) (括号内为欧美人)	最小~最大值 (亚洲人)
站 姿		
1. 体重	62.95±8.045(76.76±10.41)	43~94
2. 身高(站)	1681.7±60.17(1773.6±62.2)	1510~1880
3. 眼高(站)	1581.3±59.78	1400~1760
4. 颅底高(站)	1530.1±62.01	1370~1710
5. 肩高(站)	1387.7±55.97	1260~1575
6. 肘高(站)	1016.1±45.33	920~1170
7. 臀高(站)	1022.5±45.63	880~1170
8. 脐高(站)	1016.1±45.33	900~1170
9. 髋关节高(站)	879.6±51.04	760~1020
10. 腕关节高(站)	822.0±42.05	715~930
11. 膝高(站)	484.4±27.25	410~585
12. 踝高	63.5±3.62	50~80
13. 腕—腕距	1347.8±53.24	1200~1580
14. 肩—肩距	437.5±16.83	370~520

表2 (续)

项 目	平均值±标准差(亚洲人) (括号内为欧美人)	最小~最大值 (亚洲人)
15.座高	395.4±23.21	340~450
16.头顶一座距	890.9±33.05(913.0±39.5)	810~980
17.眼一座距	786.7±35.09(803.6±36.5)	685~870
18.颈一座距	653.4±39.61(652.2±30.4)	555~751.5
19.肩一座距	608.7±27.55(602.5±30)	540~680
20.肘一座距	250.8±26.48	185~320
21.臀一座距	227.5±22.04	170~280
22.背根一座距	144.0±21.07	90~195
23.腿一座距	144.2±14.76	110~240
坐姿		
24.膝高(坐)	500.4±32.12(540.9±19.6)	420~580
25.头顶高(坐)	1288.4±47.94	1140~1410
26.眼高(坐)	1184.5±53.41	1040~1310
27.身高(坐)	1045.5±50.96	920~1170
28.肩高(坐)	1004.2±41.09	900~1100
29.肘高(坐)	653.6±37.42	560~760
30.臀高(坐)	622.3±34.02	535~720
31.背根高(坐)	539.5±31.21	440~620
32.腿高(坐)	542.0±33.27(569.3±16.3)	450~630
33.臀膝距	576.4±27.89(608.4±22.9)	500~660
34.座深	483.4±28.53(519.7±22.0)	400~570
35.臀—臀关节距	123.9±15.14	80~160
36.臀深	190.1±21.39	130~240
37.臀—腹壁距	227.7±25.92(234.0±27.1)	160~320
38.肘—腕关节距	268.7±15.88	190~320
39.胸深	(208*±20)	
40.臀宽(站)	(360*±20)	
41.臀宽(坐)	(390*±20)	
42.躯干高(坐)	(605*±20)	
43.肩肘距	(373*±20)	
44.前臂 (包括手)长	(480*±20)	
45.背一指距	(890*±40)	
46.双手展宽	1820±70	

表 2 (续)

项 目	平均值±(标准值) (亚洲人) (括号内为欧美人)	最小~最大值 (亚洲人)
47.双膝(并立) 宽(站)	(210* ± 10)	
48.拇指长	(66.7 ± 4.6)	
49.握 长	(364.4 ± 13.5)	
50.手 宽	(89* ± 10)	
51.腰椎—1高(站)	(166.7 ± 27.6)	
52.足 长	(254* ± 10)	
53.足 宽	(102* ± 10)	

[注]: 1. 坐姿均取直坐下的数据, 在松弛的普通坐姿下高度一般再降低50mm左右。
2. *表示中间数, 并非平均值。

(三)、人体重心位置

根据人体测量学得知:

1. 人体躯干重心: 在脊柱伸直时, 处于肩和体轴中心, 即位于肩轴长度的0.56和躯干大腿轴长度的0.44处。
2. 上臂和前臂重心: 位于上臂长度0.47, 前臂长度0.42处(均取近身端之值)。
3. 大腿、小腿和跖重心: 位于大腿长度0.44, 小腿长度0.42, 跖长度 0.44 之处(均取近身端之值)。

(四)、肢体活动范围(手臂部分)

肢体活动范围主要包括两类情况: 一类是活动的角度; 另一类是肢体活动所能达到的距离范围。在结构设计中主要参考的是人体手臂的活动范围, 这部分数据见图 4 和图 5。

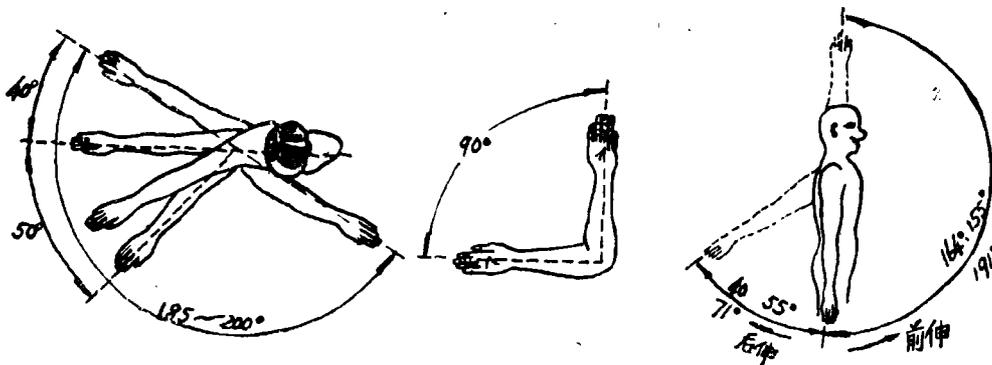


图 4 人体手臂活动角度
(有三个数字时, 分别为最小值, 平均值和最大值)

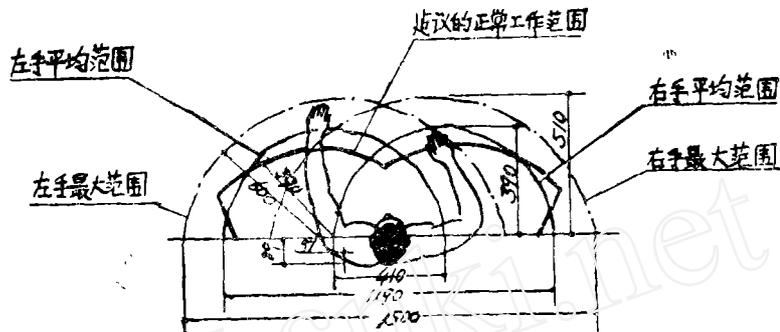


图5 人手能及时的最大活动范围与正常活动范围的关系(单位mm)

(五)、反应速率

人的反应速度是有限的,一般无条件反射反应时在 $0.1\sim 0.15$ 秒之间;听觉简单反应时比这一数值稍高;视觉简单反应时一般处在 $0.2\sim 0.25$ 秒之间;手指叩击的速度一般处在 $1.5\sim 5$ 次/秒之间,最大可达 $5\sim 14$ 次/秒。因为人的神经传递一般存在半秒左右的不应期,所以需要感觉指导的间断操作的间隙期一般应大于 0.5 秒。复杂的选择反应时间(需要分辨和判别)一般达 $1\sim 3$ 秒,需要复杂判断和认识的操作则反应时间更长。所以,在设计操纵部分时应考虑到操纵速度的要求不能超出人可能的反应速度范围。

操作反应速度还与许多因素有关,如操纵器的形状、位置、大小、操作方向,用力情况等。因而在操纵系统的设计中要考虑到这些因素的影响。

四、成套设备的总体设计

结构设计中的成套设备的总体设计,是一比较大的人机系统设计,其好坏将直接影响到系统的效率。对于电力系统的保护、控制设备,不仅要随时进行监视和操作,有时还要应付紧急情况(事故),在事故情况下的监视和操作变得更为复杂,因此,就要更充分考虑人体条件,使其效率得到更好的发挥。

(一) 监视元件的排列

1. 成套设备中的仪表、继电器、信号灯、光字牌等监视元件,在设备运行过程中要经常进行观测,因此应当尽量排列在视觉效率最优、最能引起注意的范围内。根据人体数据,视野中心 3° 范围之内效果最佳,其中又以仪表与视线垂直位置最合适; $20^\circ\sim 40^\circ$ 视野范围较好; $40^\circ\sim 60^\circ$ 区域较差; 80° 之外最差。人们又发现,在人眼鼻边 15° 附近,有一个宽 7° 、高 5° 的区域,被血管和视神经挡住了视线,形成一个“盲点”,最重要的警告信号装置尽量避开这个位置。监视元件应按其重要程度在上述视野有效范围内进行相应的排列。

2. 监视元件位置的安排, 应尽量避免操作者转头、动身。
3. 元件的空间排列顺序, 应当与它在实际操作中的使用顺序相一致, 相互联系较多的元件应当靠近, 同时要考虑它们在逻辑功能上的互相联系, 分区进行排列。
4. 元件应尽量集中, 以减少搜索范围。
5. 人的双眼为左右排列, 所以水平运动幅度比垂直运动幅度宽而且快; 人眼也习惯于从左往右、从上往下运动和顺时针的圆周运动; 人眼对于左上象限观察效果优于右上象限, 右上优于左下(即优越顺序为左上、右上、左下、右下)。所以, 元件安排时应注意使横向宽、竖向窄, 布置的象限、搜索顺序应注意上述一些特点。
6. 监视元件设计和排列应与操纵部分相协调, 尽量对应地放在一起, 顺序也应相一致。

(二)、监视面的空间位置

监视元件的具体位置设计合理了还远远不够, 因为安置这些元件的屏、盘、板等, 与操作者之间还有一个空间位置的关系。监视面的空间位置安排一般应遵循以下原则:

1. 监视面与操作者视线成直角为最佳, 至少不应使这个角度小于 60° 。一般在正常坐姿条件下, 监视面与地面成 60° 左右角度, 有利于近距离监视。
2. 监视面高度应于人眼相平, 不高于人眼 10° , 不低于 45° 。
3. 最佳监视距离为 710mm 左右。
4. 监视面很大时, 应做成弧形或八形, 后者两侧与中央夹角以 115° 为最优。
5. 监视面应尽量设置于操作者的正前方, 尽量避免侧视和环视。

影响视觉观察效果的因素很多, 如物体的形状、对比度(反差)、亮度、颜色、背景照明条件、边缘清晰程度, 观看时间等等, 在总体设计中除了要注意前述各项外, 也要适当考虑这些具体因素的影响。

(三)、操作器的选择和布置

电力系统成套设备上有很多属于值班人员经常操作的元件, 我们在这里把它们统称为操作器。操作器的形状, 大小的选择和空间位置的排列, 对操作效果有一定的影响, 特别是事故操作时, 更显得重要。

操作器的大小与使用目的, 方法有一定关系。就人手而言, 旋转手轮半径一般为 $20\sim 51\text{mm}$ (用于调节仪表指针)。旋钮大小以直径 70mm 为佳, 当为扁平形时, 厚度不应小于 5mm 。具体大小应根据元件结构, 操作力大小等综合因素考虑。

操作器的排列原则是:

1. 操作器的排列应以设计位置选择为主, 形状、标记为辅;
2. 操作器应按照其操作程序, 逻辑关系排列;
3. 操作器应首先布置在人手活动最灵敏、辨别力最好、反应最快的位置; 如操作器过多而位置拥挤, 应分明主次排列之;
4. 如按功能分区时, 最好用不同颜色区分;

5. 联系较多的操作器应尽量靠近；
6. 操作器应与相应的显示器在位置上互相对应；
7. 照顾人（操作者）对操作器的使用习惯；
8. 操作器的安排和空间位置应尽量不依靠视觉指导即具有较好的操作效率。

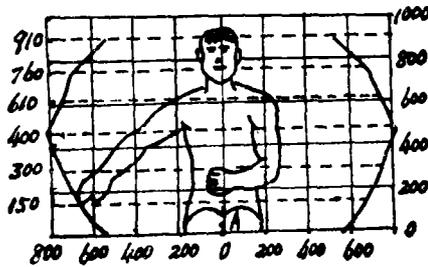
（四）设计实例

目前国内外对于成套设备的总体设计，一般都考虑了人体的特点，以适应操作者的监视和操作，对于发挥人机系统的综合效率，起到了很好的作用，这些设计的共同特点是：

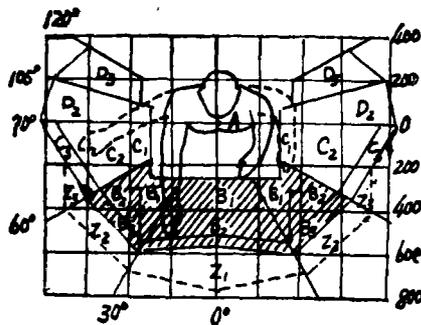
1. 操作器一般都布置在垂直或向外倾斜的板面上，这样布置的优点是可以避免人手前后动作时无意地带动或碰移某个操作器，操作器的位置也易于观察；

2. 操作按钮设置在中央前方区，工作效率最好，一般在躯干不动的情况下，操作按钮的适应区域设在以肩为中心，半径为610mm的球形区域内；若躯干可以活动，此区域可扩大到760mm。常用的按钮设在以肘为圆心，半径为356mm的球形区域内；如果肘可以活动，此区域扩大为406mm。按钮的排列方向，垂直排列比水平排列分辨率高。

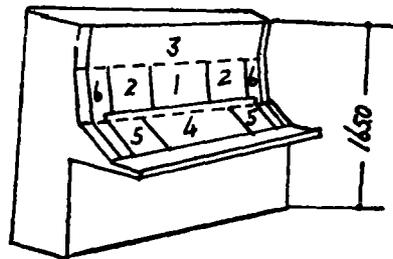
图6~10是国外几个设计实例，可以供结构设计时参考。



a. 人手的活动范围（单位 mm）



b. 操作器位置的分区（阴影区表示最好区域）



c. 操作器位置分区

图 6. 多块式操纵板的空间位置分布图说明

操作器和仪表的特征		建议的分布区域
使用 情况	常用	4, A ₁ , B ₁ , C ₁ , C ₂
	次常用	5
	不常用	6, A ₂ , B ₂ , C ₂ , D ₂ , D ₃ , Z ₁ , Z ₂ , Z ₃
	按仪表进行操作(不向外观察)	A ₁ , B ₂ , B ₃
	要求精确较高	A ₁ , A ₂ , B ₂ , B ₃ , Z ₁ , Z ₂
	视敏度要求较小	C ₁ , C ₂ , C ₃ , D ₂ , D ₃ , Z ₃
操作 条件	按钮	A ₂ , B ₂ , C ₃ , D ₃ , Z ₁ , Z ₂ , Z ₃
	手指操作	操纵点前方50~80mm区域
	手腕操作	A ₁ , B ₂ , C ₂ , D ₂
	操作运动细长	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂
仪表	最常用最重要者	1
	第二级	2
	较少用较次要者	3

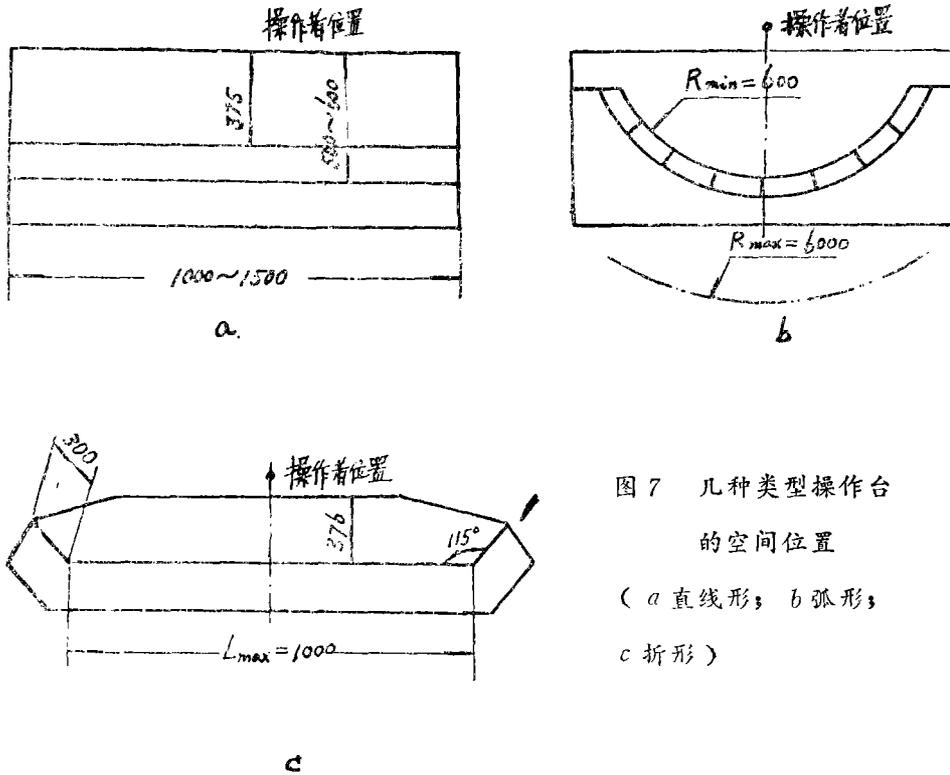


图 7 几种类型操作台
的空间位置
(a 直线形; b 弧形;
c 折形)

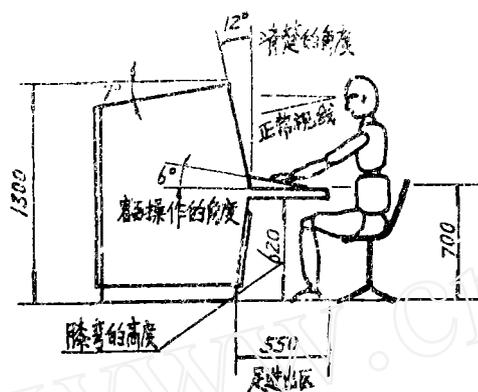


图8 操作台与操作人员的尺寸关系

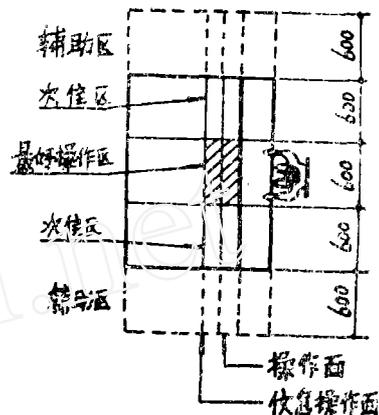


图9 操作台与操作人员的位置关系

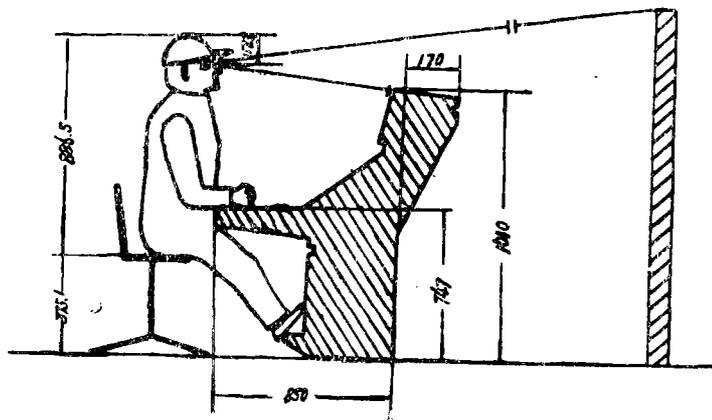


图10 操作台的标准尺寸(《OMRON TECHNICS》)

五、环境条件的控制

对于电力系统的结构设计来讲，环境条件的控制主要是指用于控制室的成套设备的色调搭配、照明条件的考虑、监视面板的设计对人的心理因素的影响等这样一些构成环境气氛条件的一些方面，与人机系统工效的一些关系。

(一) 色彩

根据对人体心理学的研究证明，红、橙、黄色对人有较强的刺激作用，称之为热色。热色的影响，会使人的瞳孔扩大，加速脉搏的跳动，刺激人的情绪。兰、绿色能使人安静，减轻人眼的疲劳程度，称之为冷色。

在成套设备的监视系统，通常把红色作为报警信号，因为红色醒目，容易引起人们的警惕。绿色则表示正常运行，使人感到宁静。为了使从事单调而又沉重的劳动的人们

不致产生疲劳感，周围的环境往往以热色为主；为了集中人的思考，使环境显得安静，则周围环境以冷色为主。用于电力系统控制室的设备，一般应以冷色调为主，模拟、报警、信号等部分则设计成热色。过去，国内主控室的设备多为浅灰或机器灰色，虽然属于冷色调，但由于色调低沉，使人看了感到精神倦怠，建议改成比较欢快的色调。

目前国内外成套设备的色调比较丰富，布置得和谐，有些设备把框架与面板做成两种不同的颜色，即调节了气氛又突出了重点，制造上又克服了色调难于保证一致的弊病。有的设备内部设计成白色，与电气元件、导线、端子排等相映，使操作维护人员感到醒目、清新。这些都是较好的设计，值得国内借鉴。

（二）、照明条件与面板色调的设计

照明可分为自然照明和人工照明两种情况。一般来说，在环境的照度与工作区照度大致相近的情况下，工作效率最高，周围照度不宜大于或小于工作区照度的10倍。对于主控室来说，控制台的照度不应过高，否则将影响操作者对仪表盘、返回屏的监视效果，这在人体工程学上叫做“暗适应”。

电力系统的主控室一般采用人工照明。对于人的视觉来说，照度太低，使人看不清东西；照度太高，人的视力到一极限值后就不再继续提高，反而会由于目标耀眼使人感到疲劳。所以照明条件要适当，才能获得较为满意的效果。由于周围环境色调对光线的吸收和反射，对于照明条件也会产生一定影响。所以，监视面板的色调的设计，对人眼的观察效果也将产生直接影响。

目前有一种设计倾向，是将监视面板设计成喷光亮漆或者铝喷砂、化学抛光或电抛光加阳极氧化，虽然喷砂后产生的麻点能使光线发生一些折射，但由于抛光、氧化后的耀眼光芒，加上面板上布置的红绿灯、数码管、光字牌等，使人感到眼花缭乱，分散了注意力，降低了观察效果。更有甚者，又在其四周加上了镀络银边，使人眼在整个监视面及周围一定范围内受到强烈刺激，始终处于紧张和疲劳状态，观察效果大为下降。这种“光亮美”的观点是不符合人体工程学理论的，而应当改成色调柔和、层次分明、与周围环境协调一致的完美设计。

以上所述，是对人体工程学在结构设计中的应用一点粗浅体会，所搜集的资料更不完整。随着技术的发展和进步，我们对人体工程学的理论和它的应用的认识，将会一步步加深。