

# 双眼视觉的心理物理学

荆其诚

(中国科学院心理研究所)

—

动物界的大多数种属的感觉器官和运动器官都是成对生长的。器官成对功能的生物学意义不仅在于当二者中的一个受损伤时，另一个可以作为后备或补充，用以代替丧失的功能，而且成对器官本身有其独特的功能，这种功能不能为任何一个单独的器官所完成。试以人的双手为例。每一只手都能体验握在手中的物体大小、形状、粗糙程度，甚至重量。但是用双手抚摸一个大物体，如两只手持着一个蓝球，我们会得到它的大小、形状、重量等方面更多的信息。我们要特别指出，虽然我们的左手触摸一个蓝球，右手触摸一个蓝球，而我们得的仍然只是一个蓝球，而不是两个蓝球的印象。这意味着，我们的两只手虽然各有其自己的功能，但在同时使用时，就具有获得较大物体特性信息的独特功能。换句话说，两只手同时使用似乎具有第三只手的作用。我们进一步追问，两只手是怎样作为一个单一的器官加工信息的，该信息加工过程的大脑机制又是怎样的，这是困惑不解的难题。心理学家和生理学家的任务是要解答这个谜。

我们用视觉来分析这个问题。视觉是研究得最透彻的一种感觉。人们很久以来就知道，双眼视觉具有对方向和深度进行信息加工的特殊功能。我们虽然有两只眼睛，我们并不把物体看成双的。为了获得单一的视觉，两只眼睛必须辐合到一个共同视觉方向上，注视同一空间物体，使物体的投影落到两个网膜的相对应的中央窝上面。这时，我们意识不到是在用两只眼睛进行观察，空间的物体好象是由一个单一的眼睛知觉到的。双眼视觉的单一性使我们假设，两只眼睛的共同活动是一个单一器官的功能，由一个假想的中央眼所代表。这个“中央眼”位于前额两只真眼的中间。如果重合两个网膜，使两只眼的中央窝完全吻合，于是这个重合的网膜代表着这个假想中间眼的网膜。中央眼的概念对于知觉空间的视觉方向是很重要的。我们对空间物体的定位既不依据左眼，也不依据右眼，而是以中央眼向正前方的延伸线为根据，这条延伸线告诉我们正前方的方向。

二

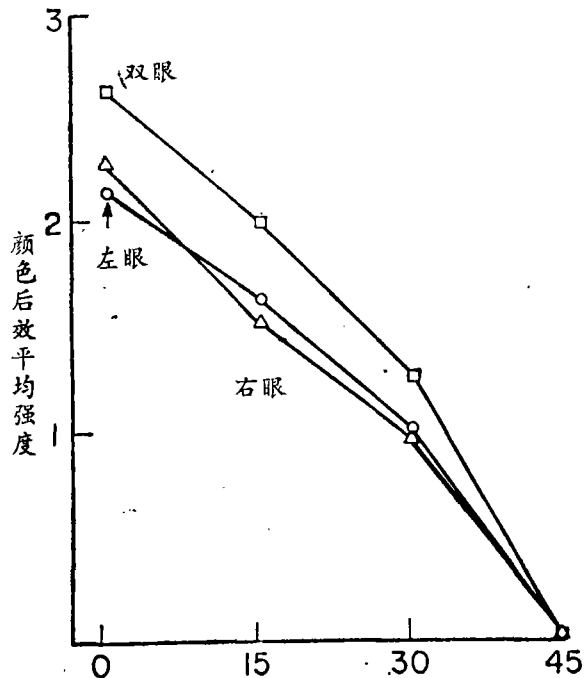
1838年Charles Wheatstone发明实体镜，表明两眼的象差产生深度印象。在60年代，B·Julesz〔1〕进一步论证了人类视觉系统的双眼功能。他用成对的随机点图形作成实体镜片，两图形中的多数点在两眼是对应的，少数点在两眼是错位的。在这种条件下，观察者看到错位的点形成图形，从背景凸起或凹陷。一些有斜视或弱视病史的人不能觉察这种深度效果，称为实体盲，可能由于他们自幼年便丧失两眼协调活动的功能。这证明视觉系统能够对两眼网膜视象作点对点的比较，而且两眼的协调活动在实体视觉中起着重要作用。

1

用。D·H·Hubel和T·N·Wiesel〔2〕用微电极记录猫视皮层的单个神经细胞,发现视皮层的某些细胞对来自两眼的信息进行加工。这些细胞叫做双眼细胞。因为只有在两只眼睛一定部位同时受刺激时产生活动。后来, B·Barlow, C·Blakemore, J·D·Pettigrew等人〔3〕进一步揭露双眼细胞的编码功能。这些细胞对形成双眼视差的成对刺激物进行选择反应,他们称之为视差察觉器。一般认为,大脑皮层的视差察觉器构成深度知觉的神经基础。

为了研究人类视觉系统的特征察觉功能,人们试图在视觉系统的生理学直接记录和知觉现象的心理物理测量之间确立某种相关。1965年C·McCullough〔4〕报告了一个经典实验。在屏幕上投射垂直和水平栅条,观察者交替观看红背景上的垂直栅条和绿背景上的水平栅条,经过适应以后,再呈现一个一半垂直一半水平的黑白栅条图形。他会看到垂直栅条是绿色的,水平栅条是红色的。测验图形的颜色决定于栅条的方向。由于所观察到的颜色依附于适应和测验栅条的方向,这个现象叫做颜色附随方向后效,或McCullough后效。McCullough为这种特殊的后效提出一个简单的神经生理假设。在适应过程中,对红色和垂直线条敏感的细胞发生疲劳,呈现一个垂直黑白栅条时,那些对绿垂直栅条敏感的对立性细胞更为活跃,产生相应的神经反应,使白背景的垂直栅条看来呈绿色。同样解释也适用于绿背景上水平栅条的适应。基本的假设是,在特定颜色背景上的垂直和水平的适应栅条,刺激了不同的颜色附随方向的细胞群,因而在测验时期对立的细胞群更强烈地活动,产生相应的神经反应。McCullough的最初研究推动了许多工作,如发现颜色附随运动后效和运动附随颜色后效。这些研究证明,人类视觉系统具有传递复合信息的特殊通道。

为了证明双眼视觉的一只眼不同于单眼视觉的同一只眼,即同一只眼睛既是单眼察觉器,又起着不同的双眼察觉器的功能,焦书兰、韩昭、荆其诚,Over〔5〕进行了类似Vidyasagar〔6〕的McCullough实验。让观察者的左眼适应红水平栅条、绿垂直栅条,右眼也适应红水平的栅条、绿垂直栅条,但是使双眼同时适应绿水平栅条、红垂直栅条。我们发现,观察者观看黑白栅条时,出现相反的单眼和双眼的McCullough后效。水平栅条单眼观看时(左眼或右眼)呈绿色,双眼观看时呈红色,而垂直栅条单眼观看时呈红色,双眼观看时呈绿色。图1是两种观察条件下栅条不同方向的平均后效强度。可以看到,双眼颜色后效强于单眼后效。当测验栅条的方向不同于观察栅条的方向时,即测验栅条超出适应栅条的谐调范围时,McCullough后效的强度显著地降低。我们可以认为



测验图形偏离垂直或水平的倾斜度(度)

图1 左眼(○-○)、右眼(△-△)和双眼(□-□)观察不同方向的测验图形时,McCullough后效的平均强度。随测验栅条偏离适应栅条方向的增大,单眼和双眼的相反颜色后效的饱和度降低。

颜色附随方向的察觉器既与一只眼有功能联系，同时也与双眼视觉有特殊联系。由互补刺激引起的同时存在相反的单眼和双眼后效，说明存在着独特的单眼和双眼视觉通道。

焦书兰、纪桂萍、张武田〔7〕进一步研究了单眼和双眼的相反 McCollough 后效的消退过程。后效的颜色强度是通过与三色目视色度计产生的颜色光相匹配来测量的，从而计算出后效的色度坐标。他们发现单眼后效和双眼后效的兴奋纯度（饱和度）都随时间而降低。最初三小时消退很快，24小时后完全消退。然而，在对 McCollough 图形双眼适应以后，要求被试闭眼 9 小时，几乎不发生消退，后效的强度与初适应后的强度差不多，如图 2。看来，颜色附随图形后效的恢复与网膜刺激有密切关系。McCollough 后效的消退过程与倾斜后效的消退过程不同。如果让被试观察反时针方向倾斜的栅条一段时间，于是垂直栅条看来向顺时针方向倾斜。当让被试睁开眼睛和闭上眼睛一段时间再检查消退过程时，二者没有差异。它们都随时间而逐渐消退，如图 3。可见，McCollough 后效和倾斜后效的神经过程是不同

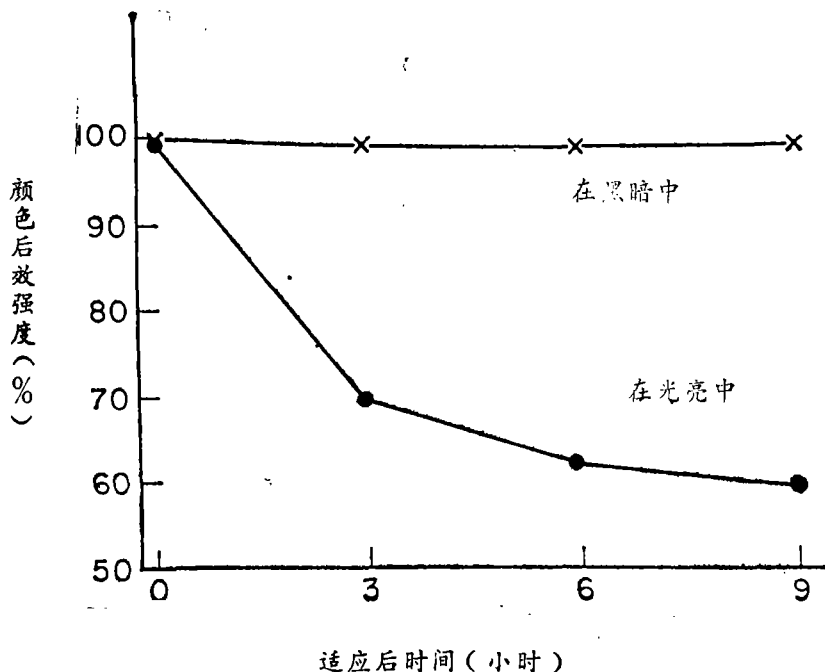


图 2 McCollough 双眼后效的消退。上面曲线表示观察者在暗室中 9 小时的 McCollough 后效饱和度（兴奋纯度）变化。后效几乎不消退。下面曲线表示观察者在光亮环境中 McCollough 后效的消退过程。后效随时间而消退。

的。倾斜后效的消退是神经疲劳的自发性恢复，不受网膜刺激的影响。相反，McCollough 后效的消退不能解释为神经疲劳的恢复。

McCollough 独特的单眼和双眼后效同时存在，似乎指出有独特的单眼和双眼颜色察觉器。研究颜色负后效或颜色诱导现象有助于说明这一问题。赫葆源、马谋超、许宗惠、陈冰〔8〕用互补色，如红和绿，分别刺激左、右眼和双眼，然后对一只眼和双眼呈现非彩色光，使观察者在目视色度计中复现原来适应的颜色。结果发现，对单眼和双眼呈现的互补色并不中和或抵消，而是单眼观察时出现了绿色后效，为复现原来的红色，需要增加更多的红色来补偿绿色后效，而使色度点移向长波区。双眼观察时出现了红色后效，为了复现原来的

绿色，需要增加更多的绿色来补偿红色后效，而使色度点更加移向绿色区，见图4。这说明单眼和双眼分别出现了互补色后效。当单眼适应红光时，对红光敏感的细胞的活动水平降低，而它的补色细胞的活动水平提高。依同理，双眼适应绿光时，双眼对绿光敏感的细胞的活动水平降低，而它的补色细胞的活动水平提高。由此可以推论，这里存在着特殊的双眼前色觉器，它独立于单眼前色觉器。

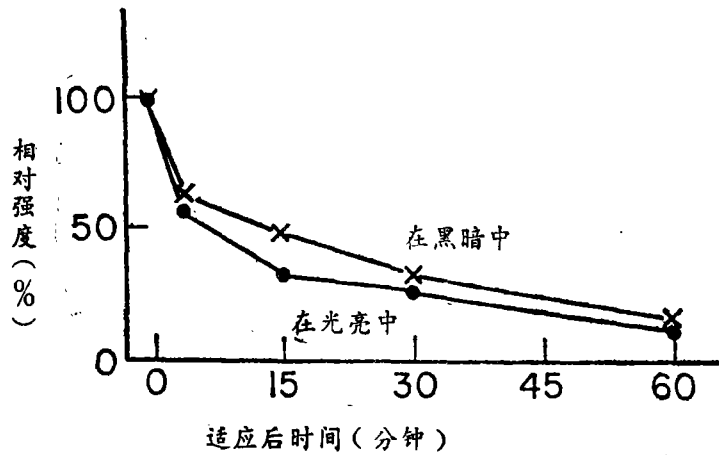


图3 倾斜后效的消退。倾斜后效强度随时间而降低。观察者在光亮环境中和在黑暗中的消退过程无大差别。

人们早已熟知实验心理学中的螺旋后效。如果我们给观察者看一个缓慢旋转的画有螺旋的圆盘，他会看到依圆盘旋转的方向螺旋在扩张或收缩。如果停止圆盘的旋转，让观察者继续注视静止的圆盘，螺旋看起来会向相反方向扩张或收缩。我们可以假定，这种后效是脑中具有方向性运动觉器的选择性适应的结果。在脑中存在着对立的对扩张敏感和对收缩敏感的运动觉系统，静止物体只能引起这些系统的低水平的活动。当我们观看扩张运动时，对扩张敏感的细胞高度兴奋，当圆盘停止运动时，对立的觉系统的平衡遭到破坏，而使对扩张敏感的细胞的活动转为抑制。由于我们是通过脑中对运动敏感的对立系统的相对活动水平获得外界信息，因而我们把静止的螺旋看成收缩的。在前面焦书兰等人〔5〕的实验中，我们考查能否在螺旋后效上产生单眼和双眼独特后效。我们让观察者左眼适应收缩的螺旋，右眼也适应收缩的螺旋，而双眼同时适应扩张的螺旋。实验结果证明，单眼和双眼后效并不抵消，而是单眼和双眼后效分别向相反方向扩张

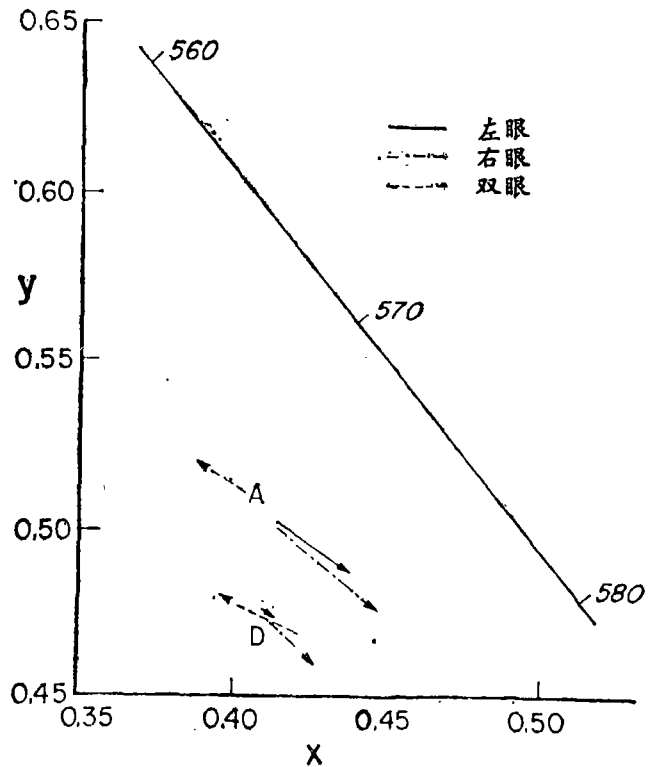


图4 观察者A和D的单眼和双眼特定颜色后效。单眼和双眼分别适应红、绿互补色以后，需要更大的红色位移来补偿绿色单眼后效，需要更大的绿色位移来补偿红色双眼后效。

和收缩。这又一次证明人类视觉系统的单眼和双眼独特功能。

### 三

先前研究者报告，用两维图形，不需要双眼视差，也可以产生深度知觉。H·Wallach和D·N·O'Connell〔9〕表演了这方面有趣的实验。他们在光源和半透明玻璃之间放一个旋转的物体，使屏幕上的影子不断地变形。当从屏幕的另一侧观察时，就看到一个三维物体在旋转。这个效应称为“深度运动效应”。D·Regan, K·Beverley和M·Cynader〔10〕认为深度运动的信息与两个网膜上的视象的比较有关，其信息加工是在两个不同的通道上进行的，最后汇合成为一个单一的深度运动阶段。若干年前我们用偏振片在观察者正前方两维屏幕上分别呈现给每只眼睛一个刺激物，而使两个眼睛保持一定的辐合状态，能够产生深度视觉效果。而且由此产生的深度运动现象与双眼辐合角度所形成的空间距离基本一致〔11〕、〔12〕。此外，荆其诚〔13〕在屏幕上对两眼分别呈现刺激的各种运动组合，刺激在屏幕上的侧向运动引导两个眼睛以交叉视觉或非交叉视觉观看刺激，从而引起两眼的辐合运动。观察者可以看到三维空间的单一的运动视觉效果。当两个眼睛视轴按照预先安排的角度关系变化时，可以看到不同运动轨迹的深度运动效应（荆其诚，1965）。这些运动效应包括纵深运动，侧向纵深运动，圆周运动和椭圆运动。

我们需要弄清楚引起深度运动现象的刺激的的最小运动速度，或者说确定深度运动视觉的眼睛辐合运动的阈限。另外，深度运动现象的阈限和运动视觉阈限有什么关系，二者是相同的，还是不同的。通过改变纵深运动和侧向纵深运动的刺激运动速度，我们研究了深度运动现象的阈限。由于观察者能在非常慢速的刺激条件下，仍能辨别出纵深运动或侧向纵深运动，所以有必要控制刺激的呈现时间。我们呈现刺激了3秒、5秒和8秒钟，在此时间内呈现不同速度的刺激，直到观察者恰可观察到深度运动现象，这一速度便作为在特定时间内的深度运动阈限。我们用这种方法测查了双眼、左眼和右眼的辐合运动的平均阈限。图5是6名观察者的平均结果。第一，随呈现时间的延长，造成深度运动效应的左眼、右眼和双眼辐合运动的阈限降低。第二，深度运动的双眼辐合阈限低于单眼辐合阈限。

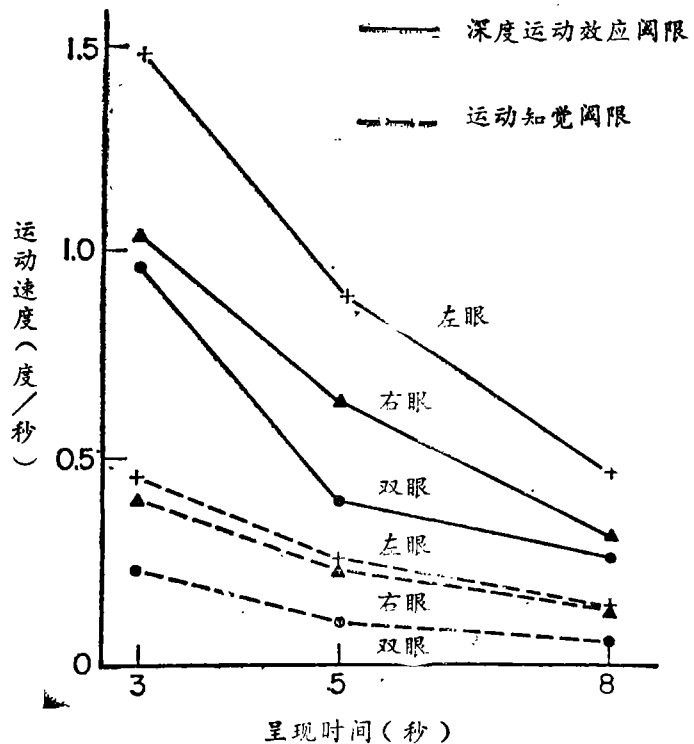


图5 6名观察者的深度运动效应和运动知觉平均阈限。运动知觉阈限低于深度运动效应阈限，后者高于前者2—4倍。此外，深度运动效应和运动知觉的双眼阈限低于单眼阈限。

第三, 呈现时间为 5 秒钟的实验结果进一步表明, 无论是双眼、左眼或右眼的辐合运动, 辐合运动(由远往近) 阈限总是低于分散运动(由近往远) 阈限。

为了确定深度运动效应的阈限是否与两维的运动知觉相同, 我们在相似实验条件下, 用相同的观察者测定了单眼和双眼的运动知觉阈限。6 名观察者平均结果的曲线也见图 5。运动知觉阈限一般都低于深度运动阈限——后者高于前者 2—4 倍。这些结果表明, 运动知觉与深度运动效应不同。足够引起运动知觉的速度远不能引起深度运动现象。另一个发现是, 双眼运动知觉阈限一般低于单眼运动知觉阈限。

我们实验中所表演的深度运动效应是由在两维空间上运动的刺激物产生的。实验条件是每只眼睛只接受一个刺激, 不太可能产生双眼视差。在我们日常生活经验中, 当我们在黑暗中看物体由远处移近时, 或由近处远离时, 每只眼睛只接受一个刺激, 通过眼睛的辐合和分散运动使我们看到物体在深度上的变化。上述实验满足了这些刺激条件和产生了眼睛的辐合运动, 因而引起三维空间的视觉运动现象。实验中的深度运动现象很附合两眼辐合运动所预测的轨迹。吴家尤和郑竺英〔14〕的研究证明, 在深度运动通道中, 眼睛的辐合运动能起到维持深度运动的作用, 而且能更准确地感知大幅度的深度运动。根据这些实验结果, 我们可以假定实验中的深度运动现象是建立在看远和看近的经验基础上的, 也为我们所观察到的实体运动现象提供了经验论的解释。

由于深度运动效应的阈限高于运动视知觉阈限, 很可能这两种不同的知觉具有不同的通道, 而且深度运动现象要求双眼的辐合和分散运动, 而不是单眼的功能。另外, 由远向近的深度运动阈限低于由近往远的阈限(图 5), 这可能是由于由远向近的辐合运动夹带着与物体相撞的信息, 更有生物学意义。在运动知觉阈限方面, 由左向右运动的阈限低于由右向左运动, 可能与阅读习惯有关。

总结以上介绍, 这些实验证明在三维空间的深度运动知觉中, 网膜刺激的信息与眼睛的动觉反馈信息交互作用。在观看 Julesz 图形时, 深度现象不是立即出现的, 而是需要两眼的探索运动, 直至两眼网膜刺激相互连锁(interlock)的信息输入到大脑时, 才产生深度现象。双眼视觉既要求来自网膜感受器的传入, 也要求两眼外周运动成分的输入, 并在高级水平对信息进行比较、分析和整合。运动成分的外周信息是双眼视觉信息加工的不可少的成分, 特别是对深度运动现象更是如此。

#### 参考文献

1. Julesz, B. 1971. Foundations of Cyclopean perception. Chicago: University of Chicago Press.
2. Hubel, D. H. and T. N. Wiesel. 1962. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. Journal of Physiology, 160, 106—154.
3. Barlow, H. B., C. Blakemore, and J. D. Pettigrew. 1967. The neural mechanism of binocular depth discrimination. Journal of Physiology, 193, 327—342.
4. McCollough, C. 1965. Color adaptation of edge-detectors in the human visual system. Science. 149, 1115—1116.

5. Jiao, S. L., C. Han, Q. C. Jing, and R. Over. 1984. Monocularcontingent and binocular-contingent aftereffects. Perception & Psychophysics, 35(2), 105—110.
  6. Vidyasagar, T. R. 1976. Orientation specific color adaptation at a central site. Nature, 261, 39—40.
  7. 焦书兰、纪桂萍、张武田：单眼和双眼特定的麦克勒效应及倾斜后效的消退过程，心理学报，1982年1期，88—91页。
  8. 赫葆源、马谋超、许宗惠、陈冰：视觉受野某些特征的实验探索，在中国心理学会普通心理学与实验心理学专业会议上宣读，1983年。
  9. Wallach, H. and D. N. O'Connell. 1953. The kinetic depth effect. Journal of Experimental Psychology, 45, 205—217.
  10. Regan, D., K. Beverley, and M. Cynader. 1979. The visual perception of motion in depth. Scientific American, 241, 136—151.
  11. 荆其诚、方云秋：辐合在大小知觉恒常性中的作用，心理学报，1963年4期，260—270页。
  12. 方云秋、荆其诚：辐合对大小—距离判断的影响，心理学报，1963年4期，251—259页。
  13. 荆其诚：由双眼辐合产生的深度运动现象，心理学报，1965年4期，323—332页。
  14. 吴家龙、郑竺英：辐合运动在双眼深度感知中的作用，心理学报，1982年4期，415—422页。
- 

## 心理测量科学研究所 在鞍山市成立

经辽宁省鞍山市政府批准，鞍山市心理测量科学研究所于今年四月二十八日正式成立。中国心理学会常务理事、吉林大学心理学教授车文博被聘为名誉所长，还有一些教授、专家被聘为顾问或兼职研究人员。这是全国第一家心理测量科学研究所，是继中国心理学会心理测量专业委员会成立之后，最先正式经过国家政府机关批准成立的，它直接在鞍山市科委的领导下，开展跨行业的心理测量研究工作，将为教育、医疗及科学管理、人才选拔等提供定量信息，为社会主义现代化建设作出贡献。

(鞍山市心理测量科学研究所赵声咏供稿)

## English Abstracts

### *Psychophysics of Binocular Vision*

*Jing Qicheng*

( Institute of Psychology,  
Chinese Academy of Sciences )

Psychophysical approach to the study of human binocular vision could yield information processing principles consistent with findings obtained from direct recording of the cortex of the brain of animals. It is shown that monocular and binocular stimulations with counteracting stimuli of motion and color could produce independent after-effects. Information from binocular image comparison as well as from motor components fed in from the two eyes is necessary for the perception of motion in the third dimension.

### *Development of the Concept of Equally Divided Area in Children*

*Aged 5 - 11*

*Lü Zing Zhang Zengjie  
Cheu Anfu*

In our research we see as follows:

1. Only a few children aged 5-7 can pass the exam. From the age of 8 upward, the older they are, the more problems they can solve. And at about 11, children can pass the exam on the whole. That is to say, they already have the concept of equally divided area.

2. several cognitive components are recognized in children's problem solving, such as sensory, motor and reasoning. Children younger than 8 solve problems mainly by sensory cognition, while in the elder children reasoning plays a main role.

3. Instruction also plays an important role in developing in children's the mathematical concept. Its importance increases with the age.

### *Evaluation of Social Psychological Climate in Business, and Management of Teams and Groups*

*Yu Wenzhao*

( Department of Psychology,  
East China Normal University )

This paper explains the way to evaluate the dimensional components of the social and psychological climate in the business group. The finding shows that there are ten main dimensions. In addition, the type of climate in a certain group can be distinguished according to the person-to-person relationship, unity and contradictions in it. There has been proposed in the study the objective indexes to distinguish advanced and unadvanced groups, and the effective way to manage teams and groups.