

553319

科學圖書大庫

光 學 錯 覺

譯者 郭 鴻 賓

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

光 學 錯 覺

譯者 郭 鴻 賓

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十五年十月四日初版

光 學 錯 覺

基本定價 1.00

譯者 郭鴻賓 德國國家工程師DIPL-ING

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 財團法人臺北市徐氏基金會 郵政劃撥帳戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧鏗氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

前 言

衡量學生自然課程內容涵義，僅選出一些能喚起學生興趣之光學錯覺圖形，期能使學生繼續發掘新光學錯覺，因此本書並未將所有光學錯覺包羅在內。

三幅透明紙重疊圖，係供教師重疊用，以驗證光學錯覺。學生得使用直尺、圓規及角規，以驗證各圖形之真實準確性。當然除用透明紙重疊圖外，也可用兩片幻燈片投影作光學錯覺實驗。

作者謹對柯來莫出版社能提供梅滋格所著“視覺定律”一書中之圖片致以最深謝意。

作者 卡爾•甄蒂

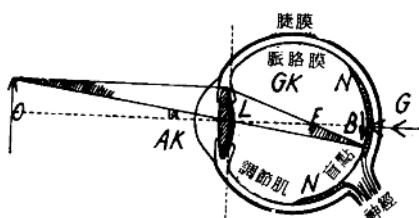
1962年7月

第一章 眼睛及其缺陷，視官錯覺之原因

我們眼睛，天生有適應周圍環境之能力，但這並不是說眼睛是完美無缺，究竟眼睛之那一部位會引起視官錯覺？眼之視網膜（圖一），有一部位沒有感光作用，此部位稱盲點，也可說是視覺漏洞，通常不易為人察覺。此一事實首先為法國物理學人馬約特（Edme Mariotte）提出。英王卡爾二世曾以此作樂（他看到宮廷人員沒有頭）。此一視覺漏洞非常之大，可以漏掉十一個滿月那麼大之影像。

圖 1. 眼睛之構造

- AK = 眼睛前室
- L = 眼透鏡
- GK = 玻璃體
- N = 視網膜
- F = 焦點
- B = 影像
- O = 物體
- G = 黃斑（視網膜窩）



實驗 1：閉上左眼，用右眼注視圖二中之白色十字。首先將圖二放置在眼前約 40 公分處，然後將其慢慢移向眼睛（右眼盯住十字）；當圖二移至眼前約 25 公分處時（正常眼明視距離），其中之白色圓點即從視覺中消失，此種現象係一種心理過程，因而產生虛覺。

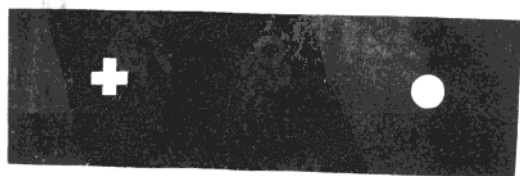


圖 2. 驗證馬約特盲點之圖形

實驗 2：蓋起夜光錶之數目字，只留一個數目字暴露發光。在暗室中間歇地瞥視此發光之數目字，我們可發覺一次較亮一次較暗；我們也可在暗室中作另外一種類似實驗，我們如果一直注視暗室內一微弱光點，此光點會從視覺中消失，此種現象稱為鬼點。如果一直注視一光點，則此光點在視網膜之中間部位（黃斑）成像（參考圖一），該處分佈很多司晝視之神經纖維，其數量愈接近視網膜邊緣區域愈少；相反地，司夜視之夜視神經纖維則愈向邊緣區域愈多。所以當我們觀看一較弱之發光體，即在視網膜之邊緣區成像，故看着較清楚。黃斑是視覺最明敏處，用以觀看微小物體；在晴朗天氣觀看高空中雲雀，有時會突然從視覺中消失，是因如此一小物體在視網膜上之影像有時未能落在黃斑上之故。網膜也會引起另外一種視官錯覺—光滲。

實驗 3：剪兩塊等寬等長之白色長方形紙塊，另剪一與長方形等長之窄紙條。將三者貼在一黑紙上，使兩長方形間之间距與窄紙條之寬度相等如第三圖。於是在感覺上，白色窄紙條之寬度遠較兩長方形間之间距為寬。比利時一位醫生柏拉圖（Joseph Plateau）首先提出此種光滲現象。白色面積之光滲現象，歸因於物體經眼透鏡所成之像不明晰，因不僅產生影像之神經受刺激，其鄰近之神經也被刺激，於是，神經末梢之六角形截面便失去辨別力（圖四）。

實驗 4：從一塊 6×6 公分之黑紙上剪下一 3×3 公分之方塊，然後將兩者緊鄰貼在一塊白紙上。則白色方塊雖然與黑色方塊相等，但看着却較黑色方塊大。很多學者，如天文學家巴黑（Tycho Brahe）、伽利略（Galileo Galilei），自然

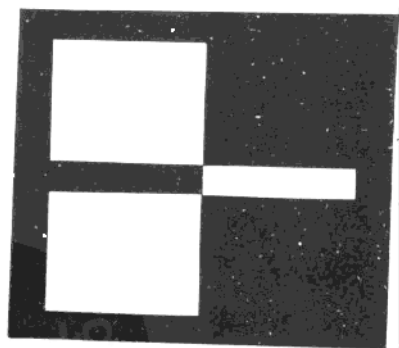


圖 3. 驗證柏拉圖光滲現象之圖形

學家哥特（J.W. Goethe）等都會從事過此種視官錯覺之研究，巴黑指出，新月之鉤狀部份圓直徑較灰色部份之圓直徑大。

實驗 5：用白紙剪一圓，將其貼在一塊灰紙上。然後在白紙圓上再貼一深褐色圓面，使白色與褐色二圓相互錯開，露出一白色環鉤；於是在感覺上，白色環鉤好像包圍着深褐色之圓。

實驗 6：實驗 4、5 可用幻燈片作道具。幻燈片可買到，也很容易自製。用兩塊玻璃板：一塊為黑色，中間留一透明之圓面，另一塊透明，中間塗一黑色同大小之圓面。在投影機上作相互移動即可作上面實驗。

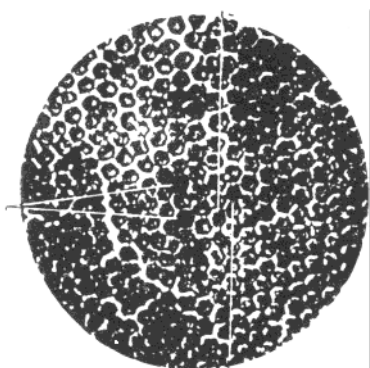


圖 4. 視網膜窩內畫視神經末梢之截面圖

伽利略曾觀察，當水星及金星繞經太陽時顯得較在夜空所見者為小。哥特在其所寫之“色學”內稱：黑色物體較同大小之光亮物體顯得小。在某一定距離內觀察，黑底上之白色圓形物體與白底上黑色圓形物體相較，後者較前者小五分之一。如果兩者看着相等時，則實際上是黑色圓形體較白色圓形物體大得多。諺云：“黑色苗條，白色肥胖”（帶白色手套較黑色手套，看着肥大）。光滲不僅擾亂天象觀察，對地上測量，如瞄準一半被日常照射之燈塔時也同樣有擾亂作用。

實驗 7：在一塗黑之玻璃板後面，手持一蠟燭焰左右移動，使燭焰上半部露出玻璃板之上緣。玻璃板上邊緣看着好像向下凹陷，而下半焰看着好像縮小。

實驗 8：一燈泡之電阻絲直徑實際上是 0.1 公厘，發光時的燈泡電阻絲直徑，因光滲作用實測得為 1 公厘！如在其後放一塊黑色返光鏡，鏡中燈絲影像之直徑又恢復真實之大小。手持一細針於一強光源前，針會消失不見。

實驗 9：圖五是一最好之光滲實例。右圖之白色扇形面看着好像較左圖

之間大小之黑色扇形面大。引起錯覺之另外一個原因為圖形周圍環境，即左圖之黑色扇形面被兩旁大白色扇形面夾着，而右圖之同大小白色扇形面則被兩小黑色扇形面夾着。有關周圍環境引起之視官錯覺見後面第 16 頁。

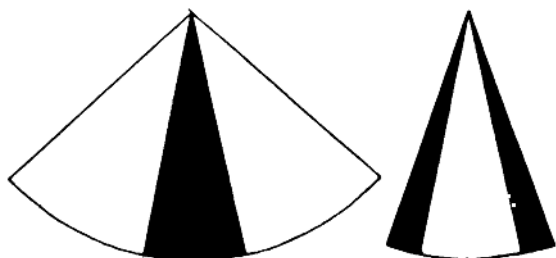
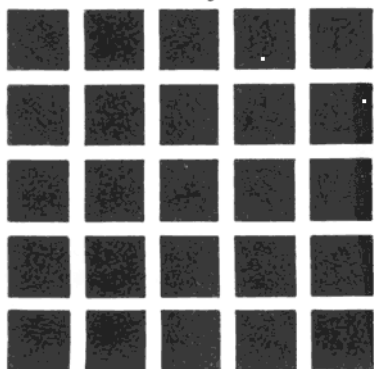


圖 5. 驗證光滲之圖形，右圖之白色扇形面較左圖之黑色扇形面看着大

實驗 10：將白色柵格紙貼在黑紙上，如圖六。如果我們注視中央一黑格子中間一白點時，則在白色十字口中央看到一模糊不清之灰點，反之，如只看單一十字口，則灰點消失不見。此種怪現象尚未能完全明瞭，我們將其歸因於眼睛無意中之運動關係及光滲作用。



◀ 圖 6. 十字柵欄引起之錯覺。
白色十字交口顯出灰點

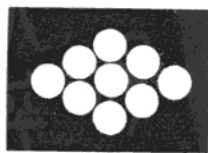


圖 7. 光滲實驗圖，由遠處望去，白色圖像六角形

實驗11：用白紙剪九個圓，將其貼在黑紙上如圖七。如從一至二公尺遠距離望去，則白色之圓看着好像六角形。因為圓之周緣鄰接處，因光滲作用，好像搭接在一起之故。

玻璃體、眼透鏡及眼睛前室之眼水內常有纖維及微小物體存在，稱為眼內物。眼內物在視網膜上之影像，隨着眼睛運動而飄浮，此種現象稱為飛蚊。此種微小之影像不會影響正常視覺。望向天空白雲或隔着毛玻璃看一發光之燈泡，都能發覺眼內物之存在。眼內飛蚊尚無藥可治，一般無大影響。在暗室內或閉着眼，都可看到異常之髮絲、星及條狀之影像，其形狀且經常變化飄動。此種錯覺稱為“黑暗視野之光塵”。



圖 8. 菲德立氏視網膜倒像之主觀驗證圖

我們視官由角膜、透鏡及玻璃體等組成（圖一），此處不能詳述。周圍環境內之正立物體與視網膜上倒像間之關係作用，可用孩童視覺習慣道理解釋，成人戴倒像眼鏡實驗為最好證明。戴倒像眼鏡，物體在視網膜上產生縮小正像，因此他看到周圍之物體皆是倒立，幾天後即對此種異常環境習慣，兩週後，即能行動自如如前。實驗過後，他必須像小孩一樣重新學習倒像之習慣。

實驗12：用剛殺死之動物眼睛，可證明物體在視網膜上之像為倒像。將剛殺死之動物眼睛放在一半球形容器內，用刮鬍刀片在眼上部割下一塊方形睫膜及脈絡膜，由孔中望向視網膜，就可看到周圍物體是倒置。

實驗13：視網膜上影像為倒像之主觀證明，菲德立氏（Artur-Friedrich）在一塊紙板上用針穿刺一小洞，閉上左眼，用右眼從小針孔望向天空或一毛玻璃燈泡，同時，手持一大頭針於眼與紙板洞間，在針孔中即看到一倒立之放大像（圖八），如果移動大頭針時，可覺察到大頭針之上與下，左與右相互顛倒，眼睛相當照相機之物鏡。

因視網膜為視官之主要組織機構，正負假像之生成尚要簡略提述。

實驗14：用白紙剪一十字，將其貼在一塊黑紙上。注視十字交口三十秒鐘，再望向白色牆壁，幾秒鐘之內即可看到一白色底之黑色十字，其顏色轉變為互補色，即白變黑（白色表示光波之存在，黑色表示光波之消失）或綠變紅，我們稱其為負假像；如光之顏色不轉變，稱為正假像。如短暫注視一強烈光源，如太陽或其他光源，則此等光源之正假像，很長時間不會消失，因視網膜組織被強光刺激後需長時間始能恢復原狀之故。前者與後者之實驗前提不同，因為十字形體之白色，刺激視網膜之時間較久，被照射刺激之視網膜組織陷入疲勞狀態，而未被照射之部份能被白色牆壁之光源刺激而有白色視覺，已被刺激陷入疲勞狀態之組織毫無作用。

實驗15：由黑紙上刻下一如圖九 a 之圖形，並將其貼在一塊玻璃板上向牆壁投影。三十秒後，將此玻璃幻灯片拿開，則負假像出現在牆上，即黑牆上出現白色圖形如圖九，負假像之大小與視距成正比，距離愈遠負假像圖形愈大。



圖 9. 驗證負假像之圖形



圖 9a. 驗證負假像圖形

第二章 線條平面圖之立體及遠近效果

數學教師都知道，大多數人對線條平面圖缺少立體感。如一立方體之十二個邊都用同樣粗細線條繪出，如圖十所示，很不易將其看成是個立方體。如果我們將KMRN看成是立方體靠近讀者之一表面，則我們能看到立方體之上表面；反之，如我們強迫自己將PLQG看成是立方體靠近讀者之一表面，則我們能看到立方體之下表面MRQL，而看不到其上表面。如果透視看不到之邊用細線或虛線繪，則可減少上述之前後表面任意顛倒之情形。奈克（Necker）在波根道夫年報中首先發表此種位置顛倒實驗。

史德（Schröder）在同一雜誌內發表一類似之顛倒圖形實驗。如果我們將圖十一內左下方之空白平面，看成該形體之靠近讀者之前面，則其形體為一階梯；反之，如將右上方之空白平面看成是靠近讀者之前面，則此形體為由上面倒掛之階梯。

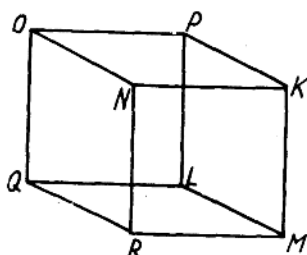


圖 10. 奈克立方體位置顛倒圖形

溫特（W. Wundt）在其幾何光學錯覺論文中描述一有趣之位置顛倒立體錯覺圖（圖十二）。如注視垂直稜邊b，讀者則位於此形體

之上方，看到稜柱頂表面，右方為一實體稜柱，而左方為空稜柱；反之，如一直注視垂直邊a，則我們所處之位置在下方，看到稜柱a之底表面，右方變為一實體稜柱，而左方為空稜柱。不論注視那一邊，此形體之一方為實一方為空稜柱。

鐵瑞（A. Thierry）之第十三圖為一有趣之顛倒圖形。該圖所示為一長方形石塊，在其一角處鑿掉一小長方塊（用一圓圈標示），該處遂凹入形成一長方形缺口。如果我們一直注視此缺口，則此圖形會突然翻轉，凹入之缺

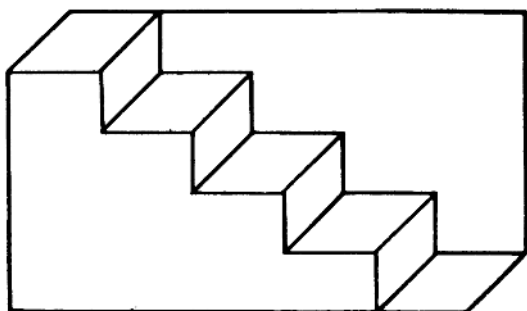


圖 11. 史德階梯位置顛倒隱形

口變為一個靠牆面而突出之長方塊；如將圖形逆時針方向轉 90° 則該長方形缺口變為一平放之香煙盒；再轉 90° 則又變為一牆角上之坐凳。圖形不轉動，也可看出不同之圖形。圖十四為一有趣之問題，圖中有幾個方塊？六個還是七個？

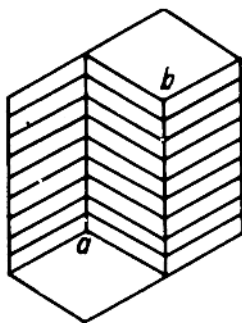


圖 12. 溫特寶空雙柱

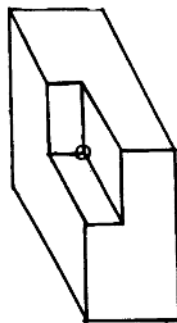


圖 13. 長方石塊之立體錯覺

實驗16：用透明紙描繪圖十四中之圖形，將其轉 180° ，然後放於原圖旁。原圖內有六個方塊，透明紙描繪之倒置圖內則有七個方塊。如果長時注視石塊圖之中點，則圖中方塊會突然翻轉顛倒成另一種排列方塊。

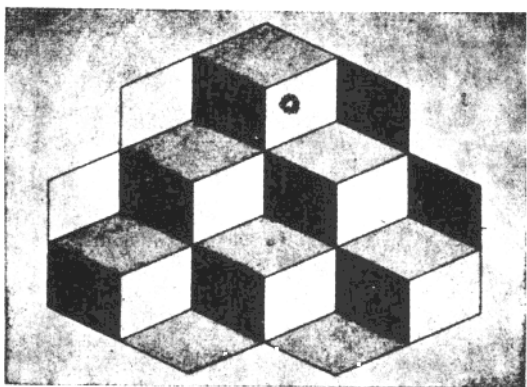


圖 14. 六個還是七個方塊？

探討平面圖之立體效果，我們可將立體圖區分為直覺看到之立體及推論而得之立體兩種。看測量圖，看到之形體是等高線或由等高線顯示之等高平原，由此而推論出地區之立體態勢；但是看溫壽突出浮雕圖（Wenschow）並不需推論。在此種突出之浮雕圖上，因射入之光線產生突起物影之陰暗面及光線照射之光亮面，立體感覺自然產生。

勞恩斯坦（Lauenstein）圖為另外一種平面顛倒圖（圖十五）。圖中盡是圓滑及鋸齒狀之突起。如將該圖倒轉 180° ，突起面變為凹入面。因轉 180° 後，光線照射之光亮邊變為光線照不到之陰暗邊，原來上方為光亮面，現變為下方。如果一形體之上方為光亮面則顯示凸出如山峰；反之，如形體下面為光線照射之光亮面，則顯示凹陷如山谷。

實驗17：中學生都知道遠近畫法之立體效果。圖十六為按此原則繪出之一房屋；很少有人能從此平面圖中獲得立體效果。

最簡單之圖形如愛賓好斯（Ebbinghaus）路標圖（圖十八）也會給人一立體感覺。斜線表示伸向後方，就如同向一點會集之線條有立體感覺一樣（透明紙圖表 I 內之第一圖）。如在該圖中由左前方向右後方會集之線間繪兩條等長之垂直線，則產生長短錯覺，右面之垂直線看着較長，因按遠近繪法原則，右面之垂直線應較短些，當然劃分效果也是錯覺之另一種原因。

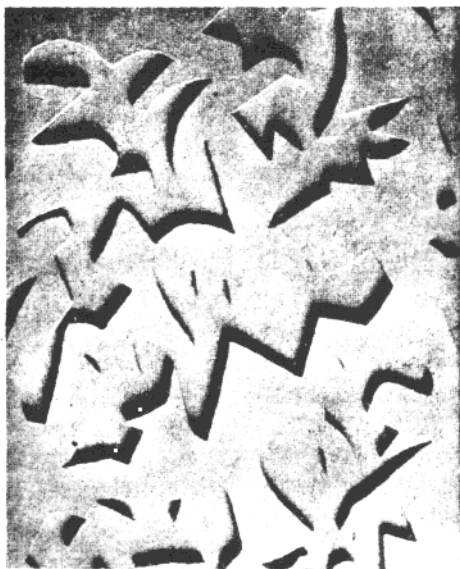


圖 15. 勞恩斯坦翻轉顛倒錯覺圖，是突出面還是凹陷面？

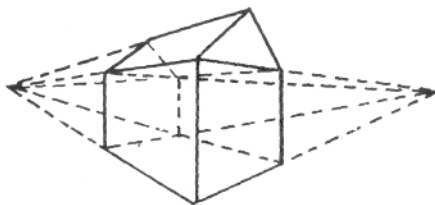


圖 16. 按遠近繪法繪製之房屋

如在一遠近畫圖中，如波克維斯基（Pokrowsky）顛倒錯覺圖形（圖十七）。其中之人並未完全符合遠近繪則，於是產生一種真實大小之錯覺。按遠近繪法原理，圖中之女士差不多應與其旁站立之男士繪成等高。此女士實際上與前面之男士等高，但看着却較此男士高得多，按規則繪之男士在女士旁看着好像侏儒。透明紙圖表Ⅱ第二圖內之三人，如不用尺去量，只將透明紙蓋上，就會看出三者之大小比例情形，高矮不等

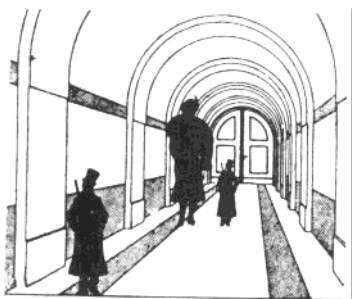


圖 17. 波克維斯基之遠近繪法圖形錯覺

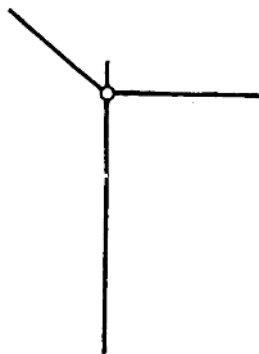


圖 18. 愛賓好斯路標錯覺圖形