

發行第六版，全美最暢銷地球科學讀本

觀念地球科學 IV

天氣・天文

Foundations
of
Earth Science

6th edition



by Lutgens/Tarbuck/Tasa

范賢娟、黃靜雅 譯

天下文化
科學天地

科學天地 504

觀念地球科學 IV

天氣・天文



原 著／呂特根、塔布克、塔沙
譯 者／范賢娟、黃靜雅
顧問群／林 和、牟中原、李國偉、周成功
科學館總監／林榮崧
責任編輯／林文珠、王季蘭（特約）
美術編輯暨封面設計／江儀玲

出 版 者／天下遠見出版股份有限公司
創 辦 人／高希均、王力行
遠見・天下文化・事業群 董事長／高希均
事業群發行人／CEO／王力行
出版事業部總編輯／王力行
版權部經理／張紫蘭
法律顧問／理律法律事務所陳長文律師
著作權顧問／魏啟翔律師
社 址／台北市 104 松江路 93 巷 1 號 2 樓
讀者服務專線／（02）2662-0012
傳 真／（02）2662-0007 2662-0009
電子信箱／cwpc@cwgv.com.tw
直接郵撥帳號／1326703-6 號 天下遠見出版股份有限公司
電腦排版／極翔企業有限公司
製 版 廠／東豪印刷事業有限公司
印 刷 廠／中華彩色印刷股份有限公司
裝 訂 廠／明和裝訂有限公司
登 記 證／局版台業字第 2517 號
總 經 銷／大和書報圖書股份有限公司 電話／（02）8990-2588
出版日期／2012 年 10 月 12 日第一版
2012 年 11 月 5 日第一版第 2 次印行

定 價／380 元

書 號／WS504

原著書名／FOUNDATIONS OF EARTH SCIENCE, 6th Edition

Authorized translation from the English language edition, entitled
FOUNDATIONS OF EARTH SCIENCE, 6th Edition, ISBN: 0321663020
by LUTGENS, FREDERICK K.; TARBUCK, EDWARD J.;
TASA, DENNIS, published by Pearson Education, Inc, publishing as
PrenticeHall.

Copyright © 2011, 2008, 2005 Pearson Education, Inc., publishing as
Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07548
Complex Chinese Edition Copyright © 2012 by Commonwealth
Publishing Co., Ltd., a member of Commonwealth Publishing Group
All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted
in any form or by any means, electronic or mechanical,
including photocopying, recording or by any information storage retrieval
system, without permission from Pearson Education, Inc.

本書由 Pearson Education, Inc. 授權出版。未經本公司及原權利人書
面同意授權，不得以任何形式或方法（含數位形式）複印、重製、
存取本書全部或部分內容。

ISBN: 978-986-320-041-3（英文版 ISBN: 0321663020）

BOOKZONE 天下文化書坊 <http://www.bookzone.com.tw>

※ 本書如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回本公司調換。



科學天地 504 World of Science

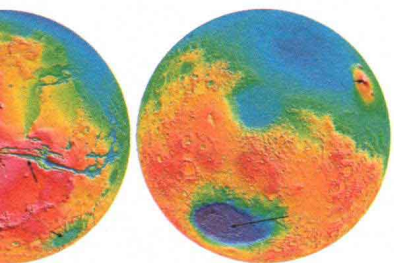
觀念地球科學 IV

天氣・天文

FOUNDATIONS OF
EARTH SCIENCE
Sixth Edition

by Frederick K. Lutgens Edward J. Tarbuck Dennis Tasa

呂特根、塔布克／著 塔沙／繪圖 范賢娟、黃靜雅／譯



觀念地球科學 IV

天氣・天文

目錄

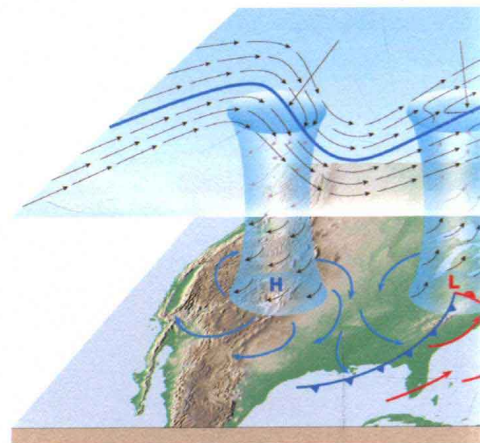
第六部 地球的動態大氣 006

第13章 運動中的大氣 007

瞭解氣壓／測量氣壓／影響風的因素／高壓和低壓／大氣環流／
西風帶／局部風／風如何測量

第14章 天氣型態與劇烈天氣 043

氣團／鋒面／中緯度氣旋／必也正名乎？／雷雨／
龍捲風／颶風（與颱風）



第七部 地球在宇宙中的地位 098

第 15 章 太陽系的特性 099

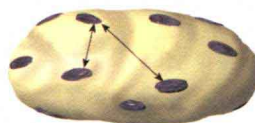
古天文學／近代天文學的誕生／我們的太陽系：綜合概述／

地球的月亮：舊世界的丁點兒線索／行星和衛星／太陽系中的小天體

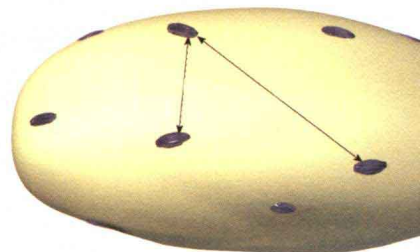
第 16 章 超越太陽系 181

像太陽一樣的恆星／變星／赫羅圖／星際物質／恆星演化／恆星殘骸／

銀河系／一般星系／大霹靂和宇宙的命運



A.



B.

觀念地球科學

[Foundations
of
Earth Science
6th edition]

《觀念地球科學 I》

序 如何閱讀《觀念地球科學》
第 0 章 地球科學簡介

第一部 構成地球的物質

第 1 章 礦物
——組成岩石的基本物質

第 2 章 岩石
——固態地球物質

第二部 刻劃地表

第 3 章 地景——水孕育大地

附錄 A 公制與英制單位對照
附錄 B 礦物檢索表
附錄 C 相對溼度表與露點表
附錄 D 地球的方格系統

《觀念地球科學 II》

第 4 章 冰川與乾旱地景

第三部 內營力

第 5 章 板塊構造——科學理論解密

第 6 章 地震、地質構造和造山運動
——永不停歇的地球

第 7 章 火山活動
——雄雄燃燒的內火

《觀念地球科學 III》

第四部 地球歷史解密

第 8 章 地質年代

第五部 地球的海洋

第 9 章 海洋——未知的邊境

第 10 章 永不止息的海洋

第六部 地球的動態大氣

第 11 章 加熱大氣

第 12 章 水氣、雲和降水

《觀念地球科學 IV》

第 13 章 運動中的大氣

第 14 章 天氣型態與劇烈天氣

第七部 地球在宇宙中的地位

第 15 章 太陽系的特性

第 16 章 超越太陽系

第六部

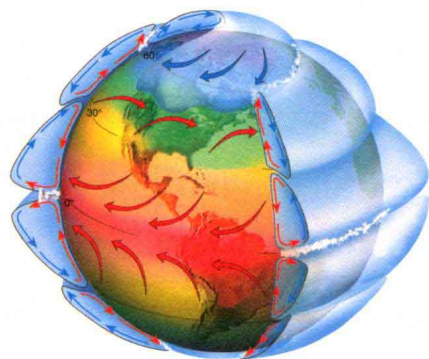
地球的動態大氣

運動中的大氣

學習焦點

留意以下的問題，
對掌握本章的重要觀念將相當有幫助：

1. 什麼是氣壓？隨高度不同，氣壓會如何改變？
2. 風是由什麼力產生的？其他還有哪些因素會影響風？
3. 氣壓中心有哪兩種類型？
與各氣壓中心有關的空氣運動及一般天氣狀況為何？
4. 什麼是理想狀態下的全球環流？
5. 什麼是中緯度的主要大氣環流？
6. 各種局部風的名稱和成因為何？



在天氣和氣候的各種要素中，氣壓變化是最不易察覺的。聽氣象報告時，我們通常會對水氣狀況（溼度及降水）、溫度或是風比較感興趣，很少有人會想知道氣壓狀況。雖然人們對逐時或逐日的氣壓變化總是渾然不覺，氣壓造成的天氣變化卻非常重要。各地氣壓的不同會導致空氣的運動，也就是我們所說的風，這是天氣預報中一項很重要的因素。在這一章我們將會學到，氣壓和天氣的其他要素有密切的因果關係。



瞭解氣壓

在第Ⅲ冊第 11 章中，我們介紹**氣壓**是上方空氣重量所施加的壓力。海平面平均氣壓約為 1 公斤／平方公分，大約等同於 10 公尺高的水柱所造成的壓力。只要用簡單的算術，就可以算出施加在學校書桌（50 公分×100 公分）上的氣壓超過 5000 公斤，也約等於一輛五十人座校車的重量。為什麼書桌受上方空氣之海的重量壓迫，卻不會被壓垮？很簡單，因為氣壓同樣施加在各個方向：上、下、左、右，因此對書桌向下施加的氣壓和向上施加的氣壓達到平衡。

為了更清楚這個現象，想像有一個很高的水族箱，尺寸和書桌的大小一樣，當水族箱中注入 10 公尺高的水時，底部的水壓正好等於 1 大氣壓。如果把水族箱放在書桌上，使所有的力都直接往下施加，想像會發生什麼事？反過來做個比較，如果把書桌放進水族箱，讓書桌沉到箱底，結果又會如何？水族箱裡的書桌將可倖存，因為水壓會施加在各個方向，而書桌上的水族箱只是往下施壓。書桌和我們的身體一樣，構造禁得起 1 大氣壓。雖然我們通常察覺不到周圍的空氣之海對我們所施加的壓力，只有在

搭電梯或飛機升降的時候除外，這時氣壓的感受是真實存在的。太空人在太空漫步時，身上穿的加壓太空衣，就是模擬地球表面的大氣壓力。如果沒有這些太空衣保護，體液將在真空中沸騰，太空人很快就會死亡。

氣壓的觀念也可利用氣態分子來解釋。氣態分子不同於液態或固態分子，不受彼此拘束而可自由運動，占滿所有可用的空間。兩個氣態分子碰撞時，它們會像彈力球一樣彼此彈開，這在常態下經常發生。如果氣體局限在容器中，其分子運動會受到容器壁的限制，就如同手球場的牆壁會使手球改變運動方向。氣體分子對容器壁的連續撞擊，會向外施加推力，也就是我們所說的氣壓。雖然大氣並沒有牆壁，底部卻受地表擋住而受限，頂部也因地心引力的作用而無法逃逸。這裡我們可把氣壓定義為氣體分子連續碰撞表面而施加的力。



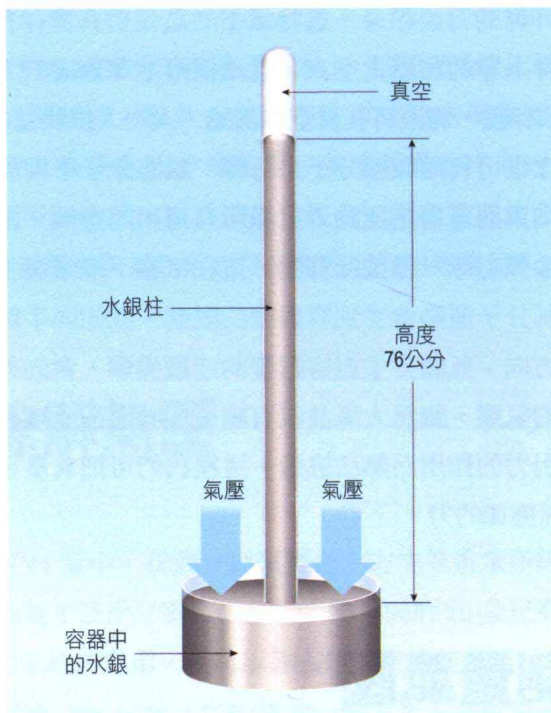
測量氣壓

氣象學家測量氣壓時所用的單位稱為毫巴 (mb)，標準海平面氣壓為 1,013.2 毫巴。雖然自 1940 年 1 月以來，美國所有的天氣圖就一直使用毫巴為測量單位，媒體卻習慣以「英寸汞柱」來描述氣壓。美國氣象局於是把毫巴轉換為英寸汞柱，提供大眾及飛航使用。

英寸汞柱很容易懂。利用水銀來測量氣壓可追溯自 1643 年，當時著名義大利科學家伽利略的學生托里切利 (1608-1647) 發明了**水銀氣壓計**。托里切利把大氣形容為浩瀚的空氣之海，這海對我們及周遭所有物體施壓。為了測量這個力，他把玻璃管的一端封閉後注入水銀，然後把玻璃管倒置於一盤水銀中 (圖 13.1)。托里切利發現水銀流出玻璃管，直到水銀柱重量

圖13.1 水銀氣壓計。

水銀柱的重量和水銀容器上方空氣所施加的壓力達平衡。如果氣壓降低，水銀柱會下降；若氣壓升高，水銀柱會上升。



與大氣施加於盤中水銀表面的壓力達平衡。換句話說，水銀柱重量與同直徑、從地面到大氣層頂高的空氣柱重量相同。

若氣壓升高，水銀柱會上升，反之若氣壓降低，水銀柱會下降。經過一番改良之後，托里切利水銀氣壓計如今仍是標準的氣壓測量儀器，標準海平面氣壓為 76 公分汞柱。

由於人們想要更小且更易攜帶的氣壓儀器，因而發展出**空盒氣壓計**。空盒氣壓計利用半真空的金屬盒（圖 13.2），取代受氣壓控制的水銀柱。金屬盒對氣壓變化的感應極為靈敏，會因而改變形狀，壓力升高時會壓縮，壓力降低時會膨脹。盒中的槓桿組把金屬盒的改變連結至刻度盤的指針，

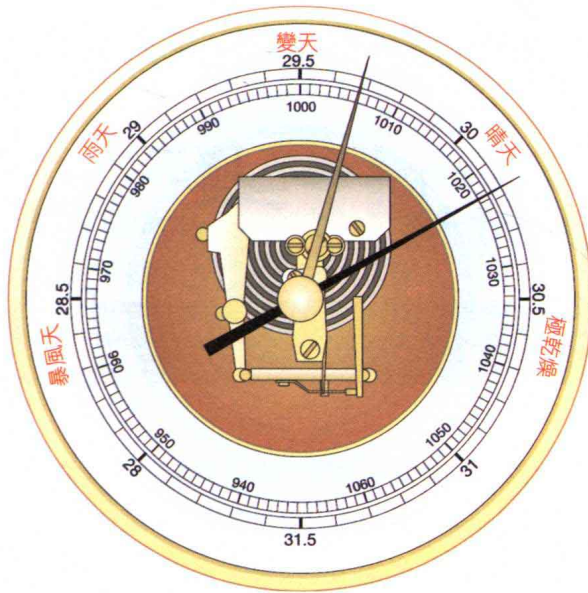


圖 13.2 空盒氣壓計。

空盒氣壓計為半真空的金屬盒，形狀可改變，氣壓升高時會壓縮，氣壓降低時會膨脹。

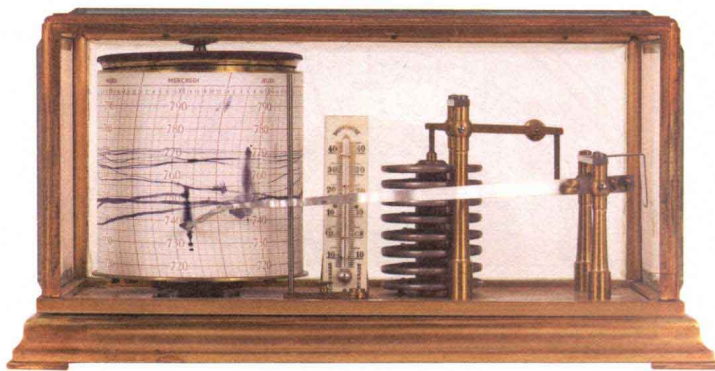
校準後便可讀取氣壓數值，單位可用英寸汞柱與（或）毫巴。

如圖 13.2 所示，家用的空盒氣壓計讀數以晴天、變天、雨天和暴風天來標示。注意其「晴天」對應到高壓，「雨天」則對應到低壓。然而氣壓計並不總是標示正確的天氣，指針可能會在雨天時指向「晴天」，或是在晴天時指向「雨天」。要「預測」當地天氣，過去幾小時的氣壓改變比目前的氣壓讀數更為重要。氣壓下降通常伴隨雲量增加及降水的可能性，而氣壓上升通常表示天氣晴朗。然而要記得，特定的氣壓讀數或趨勢並非總是對應到特定的天氣型態。

空盒氣壓計的好處之一，是它很容易連結到記錄裝置，這種儀器稱為**氣壓儀**，可提供氣壓隨時間變化的連續紀錄（圖 13.3）。氣壓儀的另一個重要的應用，是用來表示高度，例如飛機、登山者和地圖繪製者都會用到。

圖 13.3 空盒氣壓儀可連續記錄氣壓的變化。

(Photo by Hemera Technologies
© Getty Images/Photo Object.
net/Thinkstock)



你知道嗎？



氣壓計可利用任何不同的液體來製作，水柱氣壓計的問題在於其大小。因為水的密度比水銀小 13.6 倍，因此標準海平面氣壓如果以水柱高度來表示，將會是水銀氣壓計的 13.6 倍高，結果水柱氣壓計至少要 10.3 公尺高才行。



影響風的因素

在第 11 章中，我們曾探討空氣的上升運動及其在雲形成過程中扮演的角色。空氣的垂直運動很重要，但更多數的空氣是進行同等重要的水平運動，產生的現象也就是所謂的**風**。風是如何形成的？

簡單的說，風是氣壓在水平方向的差異所造成的結果。空氣會從高壓區流向低壓區。你可能有過這樣的經驗，在打開咖啡真空罐時，會聽到「啵」的一聲，那就是空氣從罐外的高壓區急速衝向罐內低壓區的結果。風

是大自然企圖平衡氣壓的不均等所造成的，由於地表加熱不均，才會產生這些壓力差異，因此可說太陽輻射是大部分風的基本能量來源。

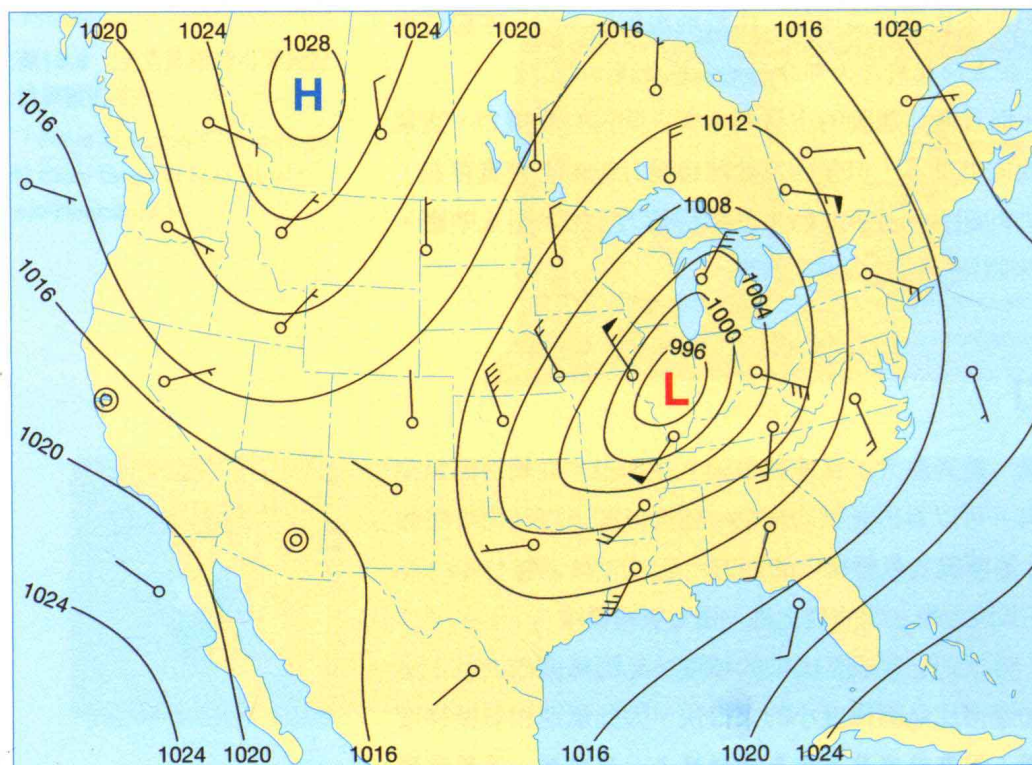
如果地球不自轉，而且假如運動的空氣和地表之間沒有摩擦力，空氣將會從高壓區以直線流向低壓區。但是因為地球自轉且摩擦力確實存在，因此風會被以下幾種力的組合所控制：（1）氣壓梯度力，（2）科氏效應，和（3）摩擦力。接下來將逐一探討這幾項因素。

氣壓梯度力

氣壓的差異產生風，差異愈大，風速就愈強。在地表，從幾百個氣象測站觀測到的氣壓資料，可以看出氣壓的變化。在天氣圖上可利用等壓線來顯示這些氣壓資料，**等壓線**為氣壓相同的地方所連成的線（圖 13.4）。等壓線的間距代表氣壓在某段距離之間的變化量，稱為**氣壓梯度**。

要瞭解氣壓梯度，可以把它想成是山坡的坡度。氣壓梯度較大就像是山坡較陡，空氣塊會加速得比氣壓梯度小的來得快。因此風速和氣壓梯度之間的關係很明確易懂：等壓線密集表示氣壓梯度大、風較強；等壓線稀疏表示氣壓梯度小、風較弱。次頁的圖 13.4 顯示等壓線之間的距離和風速的關係。注意在美國的俄亥俄、肯塔基、密西根和伊利諾等州的風速較強，該處的等壓線比較密集，西部各州的等壓線則較為稀疏。

氣壓梯度是風的驅動力，而且有大小及方向性。其大小取決於等壓線的間距，力的方向都是從高壓區指向低壓區，而且垂直於等壓線。空氣一旦開始運動，科氏效應和摩擦力就開始發揮作用，但它們只會改變運動，不會產生運動。



符號	風速 (英里／小時)
⊙	靜風
—	1-2
—	3-8
— —	9-14
— — —	15-20
— — — —	21-25
— — — — —	26-31
— — — — — —	32-37
— — — — — — —	38-43
— — — — — — — —	44-49
— — — — — — — — —	50-54
— — — — — — — — — —	55-60
— — — — — — — — — — —	61-66
— — — — — — — — — — — —	67-71
— — — — — — — — — — — — —	72-77
— — — — — — — — — — — — — —	78-83
— — — — — — — — — — — — — — —	84-89
— — — — — — — — — — — — — — — —	119-123

圖13.4 黑線代表等壓線，是氣壓相同的地方所連成的線。天氣圖上的等壓線顯示氣壓的分布情形，一般來說是曲線，在高壓或低壓中心附近通常是封閉的曲線。旗狀符號代表高壓胞或低壓胞周圍預期的氣流，看起來像是隨風飄揚的旗子。風速便是以旗子和「羽毛」來表示，如天氣圖右方的圖標。

你知道嗎？



到達低層大氣的太陽能約有 0.25% 會轉變成風能。

這比例雖然微不足道，實際上產生的能量卻非常驚人。

據估計，單是在美國的北達科他州，

理論上其潛在的風力發電量就足以供應全美三分之一以上的用電量。

科氏效應

圖 13.4 顯示伴隨高壓及低壓系統的典型空氣運動。一如預期，空氣從高壓區往外流向低壓區。然而，風並沒有如氣壓梯度力所驅使的那樣，以直角跨越等壓線。方向的偏離是地球自轉造成的，稱為**科氏效應**，以紀念首先完整的描述該現象的法國科學家，科里奧利（Gustave-Gaspard de Coriolis, 1792-1843）。

所有自由運動的物體或流體（包括風），在北半球會偏向運動路徑的右邊，在南半球則會偏向左邊。偏向的原因可以用下例來說明：想像從北極發射一艘火箭，射向位在赤道的目標（圖 13.5）。如果火箭到達目標需要 1 小時，飛行途中地球會向東自轉 15 度。對於站在地球上的人來說，看起來像是火箭偏離軌道，因而擊中目標以西 15 度的地球。火箭的實際路徑是直線，若站在太空來看，看起來也是直線。由於地球在火箭下方自轉，所以表面上看起來像是火箭方向偏離。

注意火箭的方向偏離，是偏向運動路徑的右邊，因為北半球的自轉是逆時針方向。在南半球，作用正好相反，地球順時針方向自轉會產生類似的方向偏離，但卻是偏向運動路徑的左邊。不管風流動的方向為何，都會發生同樣方向偏離的情形。

我們把這種表面上的風向偏離歸因為科氏效應，這種偏向會（1）和氣流的走向呈直角；（2）只影響風向，不影響風速；（3）會受風速影響（風愈強，偏向愈大）；（4）在兩極最強，向赤道逐漸減弱，在赤道就不存在。

自由運動的物體都會受科氏效應的影響而偏向，這很有意思。二次大戰期間，美國海軍發現，在目標攻擊演習時，戰艦上的長程槍砲連續未擊中目標，甚至偏了好幾百碼，直到做了彈道修正，把表面上看起來不動的目標位置改變，才解決問題。對短距離來說，科氏效應就相對來得小。