

各种预报失败。台风尖锐转向是台风运动中的一种突变现象，目前对这一突变现象的预报能力很低，是台风预报中的难点，也是台风研究中的热点。

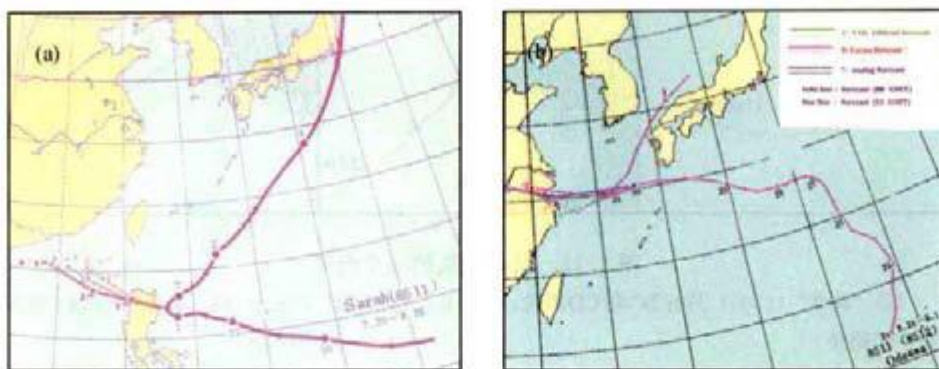


图 1.17 两个尖锐（突然）转向台风的路径
(a) 台风 Sarah (8611) 和 (b) 台风 Odessa (8511)

实际的台风运动也并不都像图 1.14 所示那样规律，而是呈现出多种奇怪的形态，从而使台风路径预报的难度很大。台风运动这样千变万化是受各种因素作用的结果，而其作用的机理一直是研究领域中的重点。

1.3.2 影响台风运动的物理因子

一个转动的大气涡旋在一个转动的地球上运动，它的运动路径和速度将会受到环境大气流场和海洋等物理因子的影响，今可将这些因素归纳为 5 个方面（图 1.18）。

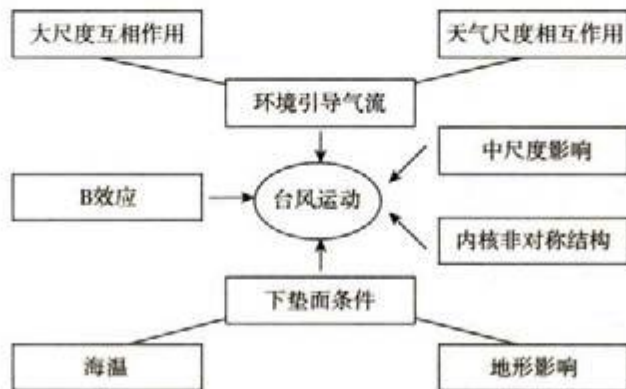


图 1.18 影响台风运动的诸因素

(1) 环境引导气流

观测和研究结果表明，台风运动受到周围环境气流的引导作用，这种环境

气流称为环境引导气流 (environmental steering flow)。环境引导气流的状态和改变会受到两种尺度环流与其相互作用的影响, 即行星尺度环流和天气尺度环流。西风带急流、长波槽、副热带高压、赤道高压、赤道缓冲带 (equatorial buffer zone) 等均为行星长波系统 (planetary wave), 热带气旋或台风、西风带长波槽中切断出来的冷涡、东风波这些属于天气尺度 (synoptic scale) 系统。

西风带长波槽和副热带高压之间的相互作用会引起副热带高压的进退, 从而导致台风周围环境引导气流的变化, 以致影响台风运动。当青藏高原上空为一个长波槽时, 高原高压便向东移出。长波槽前的西南气流会使东亚大槽 (位于 120°E 附近) 减弱, 东移的青藏高原高压与太平洋副热带高压脊合并, 使副高加强西伸。长波的这种调整和作用将使位于副热带高压南侧的台风向西运动 (图 1.19 (a))。另外, 注意图中低纬的环流, 如果是连续性的赤道辐合带, 也同样有利于台风的西移。反之, 当青藏高原为强盛稳定的反气旋高压气盘踞时, 有利于东亚长波槽的加强发展, 这将使台风在东部海面转向 (图 1.19 (b))。另外, 位于低纬洋面赤道辐合带 (ITCZ) 如被副热带高压南移而切断, 这将有利于台风转向后向东北方向移去。

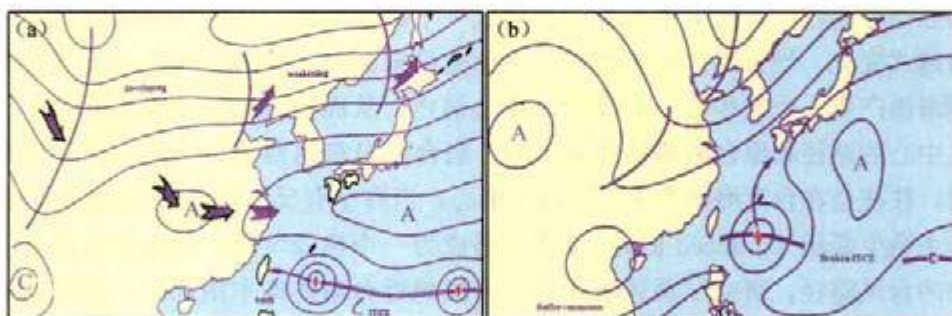


图 1.19 行星波 (长波槽和副热带高压) 相互作用对台风运动的影响
(a) 西移引导气流的形成, (b) 转向引导气流的形成

台风向赤道一侧是赤道高压和赤道缓冲带气流活跃区, 台风运动不仅受到副热带高压南侧东风气流引导, 又受到赤道高压进退和赤道缓冲带气流的影响。当赤道高压向北挺进, 缓冲带西风加强, 或副热带高压与赤道高压联合时, 大尺度环流的这种调整将会造成台风运动突然转向, 向东北方向移去。

台风周围天气尺度环流系统对台风运动也有重大影响。当两个台风靠近时 (一般 <10 个纬距), 这样两个大气涡旋会产生逆时针方向的互旋, 从而改变了它们后来的移速移向, 形成复杂路径。两个台风互旋后, 有的会在各自引导气流牵引下分道扬镳, 各奔东西; 有的会缩短两个台风之间的距离, 最后使两个台风环流合并。从长波槽南端切断下来的高空冷涡与台风靠近时也

会造成一定的互旋过程，这种互旋过程会造成台风路径的突变，而使预报失败。当一个东风波从台风北侧移过台风时，也会使台风路径产生大的摆动，这种摆动往往会形成蛇形路径。

行星波的调整和突变、天气尺度环流系统的靠近都会改变台风的环境引导气流，从而改变台风的运动路径。

(2) 下垫面条件

台风在它的下垫面上向一定方向移动，下垫面状况对它的运动同样造成影响。台风有一种趋暖运动，即在海面上弱引导环境中，它往往有移向暖海面（海表温度高值区）的趋势。1990年亚太台风委员会开展了代号为 SPECTRUM-90 的外场科学试验，与此同时，苏联代号为 TYPHOON-90 的外场科学试验对 9012 台风 Yancy 做了数值预报试验。结果表明，Yancy 有偏离引导气流移向暖海面的运动，这一趋暖运动的路径数值预报未能报出。

岛屿和陆地下垫面同样对台风运动有影响。西北太平洋有三个岛屿对台风运动会产生影响，即日本本岛、菲律宾吕宋岛和中国的台湾岛。当台风自南向北靠近日本岛时，有的台风会在日本岛以北的日本海产生一个诱生中心而原中心消亡，该次生中心有时会形成一个锋面气旋，从而使台风路径发生跨越式变化。当台风自东向西靠近菲律宾吕宋岛时，有的台风会在吕宋岛西侧海面产生一个次中心，而原台风中心消亡，从而使台风路径发生断裂，次生中心的路径和原台风路径完全不同。当台风自东向西靠近中国台湾岛南部时，往往会在台湾海峡产生一个诱生中心，当高空有反气旋环流与之耦合时，这个诱生低压（induced low）也会加强成为一个热带气旋，从而也会改变原来的台风路径。研究结果还表明，当台风趋近台湾岛屿东南部时，因岛屿对其环流的影响，有利于使路径向右偏折。

台风登陆以后在陆面上运动，也会受到陆地山脉地形、江面湖面等下垫面的影响，而产生一些次生中心，代替了原来的台风中心，从而改变了原来台风在陆面上的运动路径。

(3) β 效应

转动地球上物体或气流的运动都会受到因地球转动产生的一种虚拟力的影响，这种力称为科氏力。这种力因地球自转角速度、运动物体的速度和纬度而异， β 是地球自转涡度随纬度的变化（经向梯度），因此也反映了自转地球上柯氏力对运动物体作用的效应，称为 β 效应，它使北半球逆时针旋转的大气涡旋的运动有向极漂移、向西运动（westward trend）的趋势（不计环境引导气流）。另外，这种效应因不同纬度和南北半球而异；当 β 效应与环境引导气流叠加后，北半球副热带高压南侧盛行东风，台风有更大的偏西移动趋

势，转向以后到了西风带，台风运动也存在着明显的向极漂移趋势。 β 效应在不同路径阶段，都显示着这种效应。

(4) 非对称结构

台风环流区内等高线和风场的非对称分布也会影响台风的运动，尤其在弱引导气流的环境中更会如此。台风等高线或风场非对称结构常见如图 1.20 所示四种形态。当等高线稠密区出现在东北象限时，台风将向偏西或西北方向快速移动，一般不会转向（图 1.20 (a)）。当等高线密集区出现在西南象限时（从东北象限逆时针旋转到西南象限），台风向偏西方向移动的速度将显著减慢，较大可能将出现转向（图 1.20 (b)）。当等高线稠密区出现在西北象限时，台风有可能出现打转或向西南方向转折（图 1.20 (c)）。当等高线密集区出现在东南象限时（图 1.20 (d)），一般台风已转向到副热带高压的西北侧，台风将向东北快速移去。对于等高线或风速对称分布的台风，数值试验结果表明，如不考虑环境引导作用，其移速介于 (a) 和 (b) 之间。

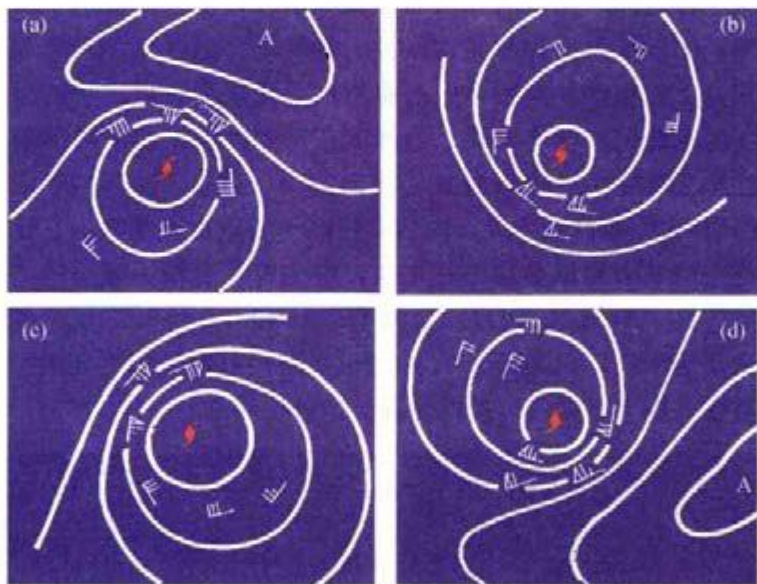


图 1.20 风场非对称分布对台风运动的影响

注：强风出现在 (a) 东北象限，(b) 西南象限，(c) 西北象限，(d) 东南象限

(5) 中尺度系统

台风运动不仅受周围天气尺度系统（例如另一个台风或高空冷涡）影响，中尺度对流系统也会对台风的运动产生影响。数值试验的结果表明，当中尺度系统出现在台风环流的东北方时，会使台风路径向西偏折，位于台风环流东南方向的中尺度系统也会使台风略向西偏折。反之，位于台风西南和西北

象限的中尺度系统会使台风比原来的路径偏东运动。

要特别注意出现在台风东北方向近距离的环流系统对其运动的影响。台风环流东北方向的中尺度系统会造成台风向西偏折，在这个部位的次天气尺度东风波 (easterly wave) 和另一个台风会造成台风更为明显的向西偏折。

1.3.3 台风的异常运动

如果把图 1.14 台风典型的全路径或其中某一段路径 (例如转向前的一段 AD) 视为正常运动, 则台风还经常出现一些复杂的异常运动和异常路径。例如台风的打转 (looping)、互相旋转 (rotation)、蛇形运动 (meandering/zig-zag)、移向突变 (sudden turning)、突然加速 (speed up) 和突然减速 (slow down) 等。台风产生异常运动或异常路径的原因通常是行星波调整突变或台风与不同尺度环流系统相互作用造成的。另外, 弱引导环境往往是出现异常运动的温床, 在实际预报中应小心应对。

西北太平洋台风的异常路径虽属小概率事件, 但只要发生一次, 往往造成预报失败, 影响很大。有的异常路径十分复杂。强台风 Wayne (8616) 是起源于吕宋岛上的扰动, 向西移入南海后加强发展为台风, 它的起源就很特殊。它在南海东北部、台湾海峡、台湾以东洋面和巴士海峡漫无目的地漂移达 20 天之久, 最后穿过琼州海峡, 移向越南 (图 1.21 (a))。强台风 Nat (9119) 在菲律宾以东洋面生成, 向西穿过巴士海峡进入南海, 它在南海东北部海面 and 巴士海峡来回漂移达半月之久, 中途曾在台湾恒春登陆, 最后在广东饶平登陆告终 (图 1.21 (b))。台风 Wayne 和 Nat 路径之复杂多变在半个多世纪以来实为罕见, 它和图 1.14 中的正常路径有何共同之处呢? 但有一点万变不离其宗, 那就是它的运动都受到上述引导气流的引导。

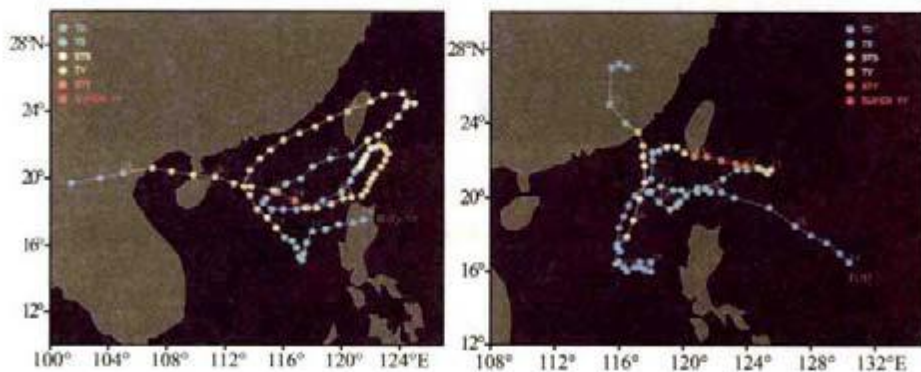


图 1.21 两个复杂的台风异常路径: 台风 Wayne (8616, 图左) 和 Nat (9119, 图右)

有两类突变异常路径要特别警惕，它会造成防御不及而酿成大灾。这两类异常路径即为东海（黄海）台风的突然西折和南海台风突然北翘（图 1.22 (a)）。在东部海面路径突然西折的台风会袭击浙北、长江口和上海、山东半岛、河北、天津甚至北京。由于对突然西折预见期不够、防御不及而多次酿成大灾。突然西折台风转折点附近路径呈逆时针方向弯曲，这与正常路径转向点附近呈顺时针方向弯曲完全相反。对于这种小概率的路径突变事件是对实时预报的挑战，往往不能报准。南海台风路径的北翘会造成对广东的突然袭击，因防御不及而加重灾害。

路径虽然正常，因台风运动速度突变也同样会加重灾害，台风移动过程中的突然加速或突然减速、停滞或打转（图 1.22 (b)）都可能会使预报失误而造成防御不足或过度防御。

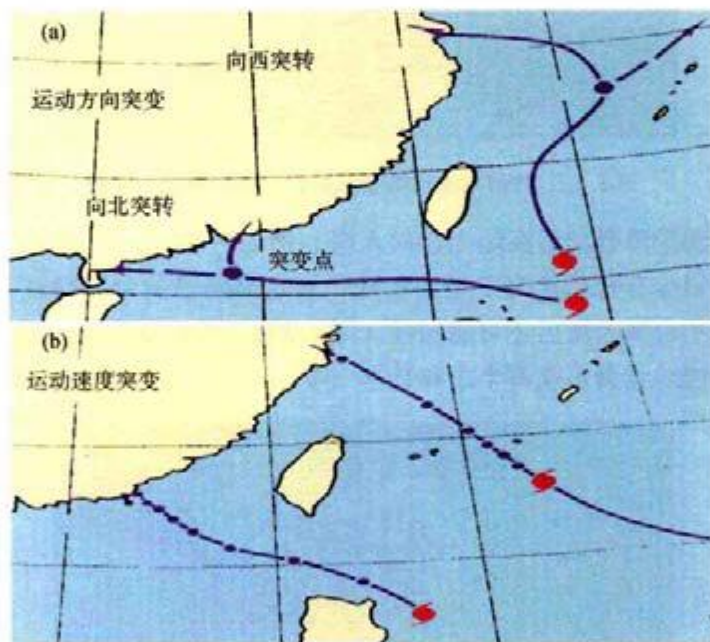


图 1.22 台风运动突变及其异常路径示意图

造成台风路径突变或异常运动的原因，有关专家过去虽做过一定研究，但所知甚少。例如：东海西折台风一般与台风西南方来自中纬度高空的切断冷涡或副热带高压脊的加强西伸等有关，南海北折台风一般与南海季风加强或越赤道气流的加强或副热带高压的减弱东撤等有关。不同尺度环流系统与台风环流的相互作用以及台风内部的非对称结构都是造成台风异常运动的因素。目前，对台风异常运动成因和机理的研究仍是台风研究中的热点。

1.3.4 台风的陆地路径

台风在陆地上的运动除了受环境引导气流的影响，还受到山脉地形的影响。在引导气流弱的环境中，地形影响更为突出。台风在陆上移动的方向决定了哪些省区将会受到这个登陆台风的袭击。一个在东南沿海或华南登陆的台风，它在陆地上的路径大致可分为六类（图 1.23）。

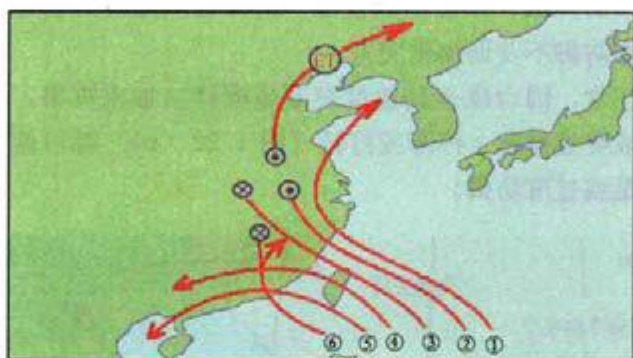


图 1.23 我国东南沿海登陆的台风陆上路径示意图

①在浙闽沿海登陆后在陆上转向入海。例如台风 Vera (8923) 的路径很典型，江苏很少有台风从海上正面登陆，而这类路径的台风对江苏有较重影响，而且此类台风入海后还可能加强（图 1.24），对山东半岛、辽东半岛造成威胁，并可能继续袭击朝鲜半岛和日本一带。



图 1.24 登陆台风入海再次加强示意图

②台风登陆后在陆面、山脉地形摩擦作用下逐渐耗散（dissipation），耗散的云系会使原有的台风中心消失，在地形辐合的作用下，新的中心会在残

涡环流中产生，这种过程会使路径出现断裂现象。如台风 Winnie (9711) 的陆地路径就出现断裂现象（图 1.25）。登陆台风原有中心消失，新的中心生成是常见现象。有的登陆台风在地形作用下，原有中心会出现分裂现象，可分裂为两个中心甚至多个中心，这类中心是环流辐合中心，不再具备典型的内核热力结构。登陆台风残涡中心的更替或多中心会给预报业务中的定位和路径预报带来困难，且在这类辐合中心所在区域会产生更大的降雨。

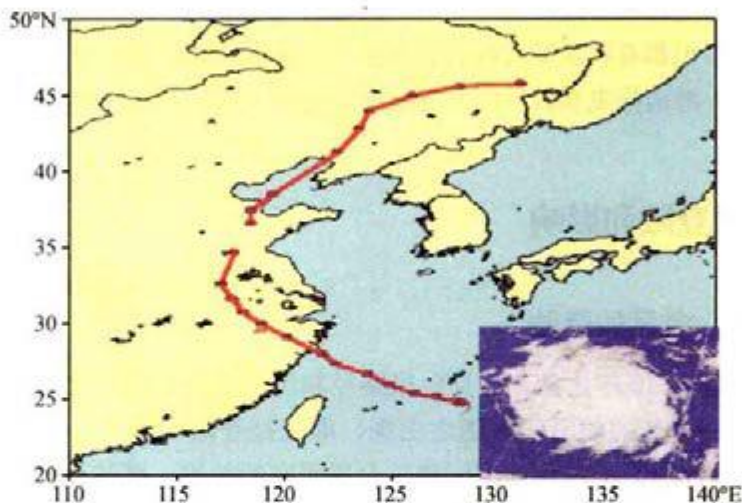


图 1.25 Winnie (9711) 台风陆地路径的断裂现象

③台风登陆以后向西北方向移动，深入内陆，在陆地山脉摩擦作用下，最后在陆地上耗损消失。任意一条陆地路径的台风都有可能是在陆地上减弱消失。

④台风登陆以后向西或西南方向运动，这类台风将影响广东西部，广西和云贵一带。

⑤这类路径与路径④的主要差异在于向西或西南方向移动入海（南海北部或北部湾），入海后的台风或残涡很可能会再度加强，并可能影响广东西部、海南岛，广西南部或越南沿海一带。

⑥台风在广东登陆后向偏北移动，其结果有两种可能，即消亡在陆地或转向东北方向移动入海，它将影响湖南、江西和浙江等省。

登陆台风残涡或扰动从陆地入海是一个很有意思的现象，入海的台风残涡是否会进一步发展是下游地区或国家所关注的问题。入海残涡有的能发展，有的未必会进一步发展，取决于入海的台风残涡是否有效地获得了新的能量。

上述六类陆地路径中有两类路径的台风是入海的，即路径①和路径⑤。但路径②和路径⑥的台风也有可能入海，前者会进入北方海域，后者会进入较偏南的东海海面。入海台风大部分在东部海面（黄渤海、东海）入海，少

部分在南部海面（南海、北部湾）入海，入海台风关键的预报问题是台风入海后的路径和强度。台风入海加强主要原因在东部海域和南部海域完全不同。东部海域纬度较高，海表温度较低（ $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ）。促使入海涡旋加强的原因主要是冷空气作用或涡旋变性过程获得斜压位能释放转换为动能引起的加强，或在低海温下垫面上经环境获得正涡度引起的加强。南部海域纬度低，海表温度高（ $\geq 26.5^{\circ}\text{C}$ ），入海涡旋的加强是重新获得潜热释放所致，这和这一海域高海温和丰沛水汽通量输入有关。另外，这一海域热带扰动或云团与之合并或进入季风槽的环境中也都对涡旋入海后的加强。外场科学试验 CBLAST 的结果表明，强风背景下，海面拖曳系数（ C_d ）有减少的趋势，这对入海台风增强有利。

1.4 台风登陆和影响

1.4.1 台风的登陆

台风登陆在 10 年之前，只是台风路径和海岸线交点的问题。随着探测技术的发展，一个新的前沿领域随之出现，那就是登陆台风（landfalling tropical cyclone）的研究。按目前国际登陆台风研究的共识，登陆台风是指移动到陆地上的台风或在近海活动趋向海岸的台风。根据我国实际情况，我们提出一个近海海域所包括的范围。该海域的廓线由下列各点连接，即：（ 37°N ， 126°E ），（ 35°N ， 124°E ），（ 30°N ， 126°E ），（ 21°N ， 122°E ），（ 16°N ， 110°E ），（ 16°N ， 108°E ）（图 1.26）。

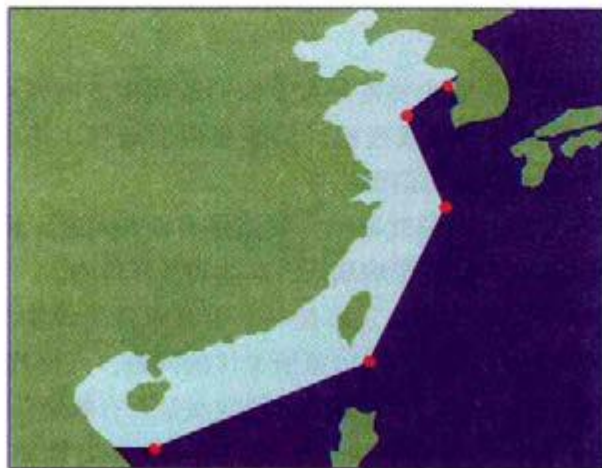


图 1.26 我国登陆台风活动的近海海域