

Reprint 1094

香港天文台在熱帶氣旋監測的最新發展

蔡振榮 & 李立信

第三屆南海風雲論壇

中國海南省三亞市，2013 年 11 月 29 日

香港天文台在热带气旋监测的最新发展

蔡振荣 李立信

(香港天文台, 中国香港)

摘要: 本文简要介绍香港天文台在热带气旋监测的最新发展, 并以 2013 年影响香港的热带气旋贝碧嘉、温比亚、尤特及天兔为例子, 讨论天文台在业务运作中如何应用遥感观测平台资料、飞机侦测以及地面观测数据, 监测热带气旋的位置、强度变化及风力分布。

关键词: 热带气旋监测, 季风低压, 飞机侦测数据

中图分类号: P457.8 **文献标识码:** A

1 引言

西北太平洋及南中国海每年均受到热带气旋的影响。强风、暴雨及风暴潮往往对沿海地区造成重大的破坏及人命伤亡。准确地监测热带气旋的位置、强度变化及风力分布对预测其路径及潜在影响尤其重要, 能让社会各界及早做好预防措施, 减低热带气旋所带来的损失。

本文简要介绍香港天文台在热带气旋监测的最新发展, 包括介绍天文台使用的遥感观测平台, 并以热带气旋贝碧嘉、温比亚、尤特及天兔为例, 讨论天文台在业务上如何应用遥感资料。文章亦会介绍天文台和香港政府飞行服务队在 2011 年开始进行的热带气旋侦测飞行, 并以 2013 年 6 月中旬南中国海的季风低压为例, 分享天文台在业务中应用飞行侦测数据来决定是否将该系统升格为热带低气压的经验。此外, 本文亦会介绍天文台在业务中应用地面观测数据的最新情况, 以及展望日后利用飞机作高空探测的发展方向。

2 遥感观测平台

2.1 气象卫星观测

香港天文台利用多个气象卫星的观测, 包括日本气象厅的 MTSAT 卫星图像及中国气象局的风云卫星图像, 监测位于西北太平洋及南中国海的热带气旋。由 2013 年开始, 香港天文台开始接收中国气象局的风云-2F 卫星的区域加密观测图像(Rapid-Scan)。相对于传统每 30 分钟更新一次的卫星图像, 加密观测图像的更新频率可达每 6 分钟一次, 而数据接收时间大约在观测后 30 分钟, 较传统卫星图像缩短约 15 分钟。较高的更新频率及较快的数据传递对实时监测热带气旋的短期移动趋势及强度变化有相当大的帮助。以下讨论应用区域加密观测图像的一个个案。

热带低气压温比亚于 6 月 28 日在菲律宾以东的西北太平洋上形成, 并向西北移动, 翌日增强为热带风暴, 横过菲律宾中部, 其后于 6 月 30 日进入南中国海中部(图 1)。香港天文台在当日开始接收更新频率达 6 分钟的风云-2F 卫星的区域加密观测图像。从 7

月 1 日上午 11 时至正午 12 时的可见光卫星图像中(图 2)，显示接近温比亚中心的组织在一小时内有所改善，而德沃夏克卫星云图分析法亦支持温比亚中心强度提升，天文台于正午左右将温比亚升格为强烈热带风暴。相对传统卫星图像，更新频率较高及数据传递较快的卫星图像令天文台更有效掌握热带气旋的强度变化，从而作出更快的升格决定。

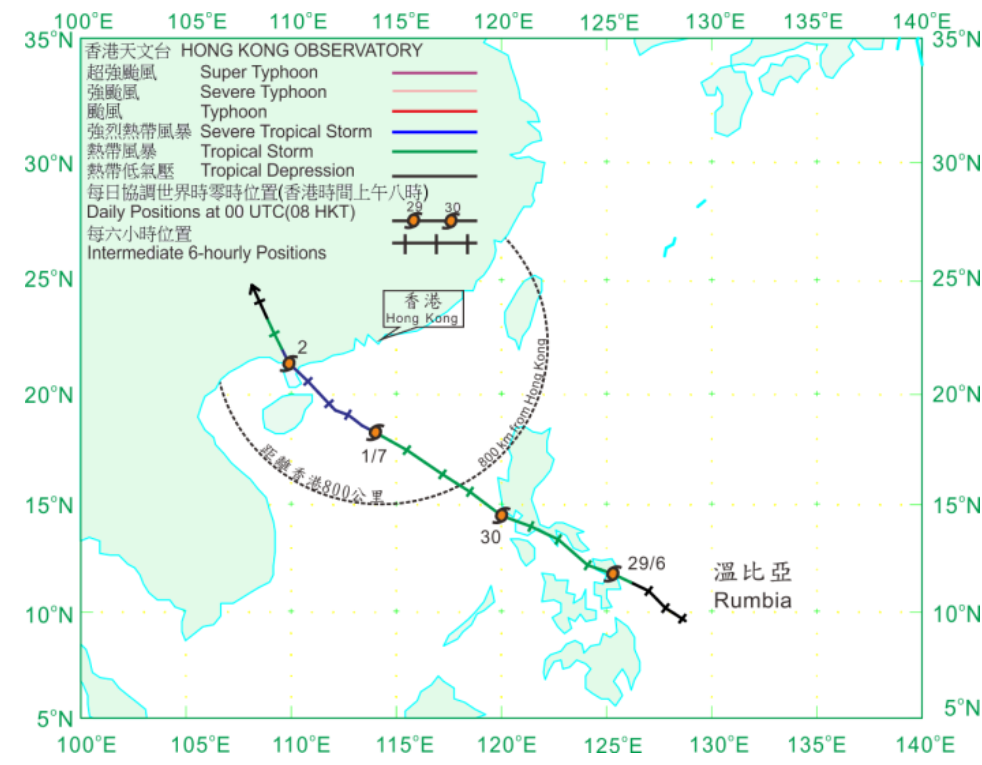


图 1 热带气旋温比亚在 2013 年 6 月 28 日至 7 月 2 日的路径图

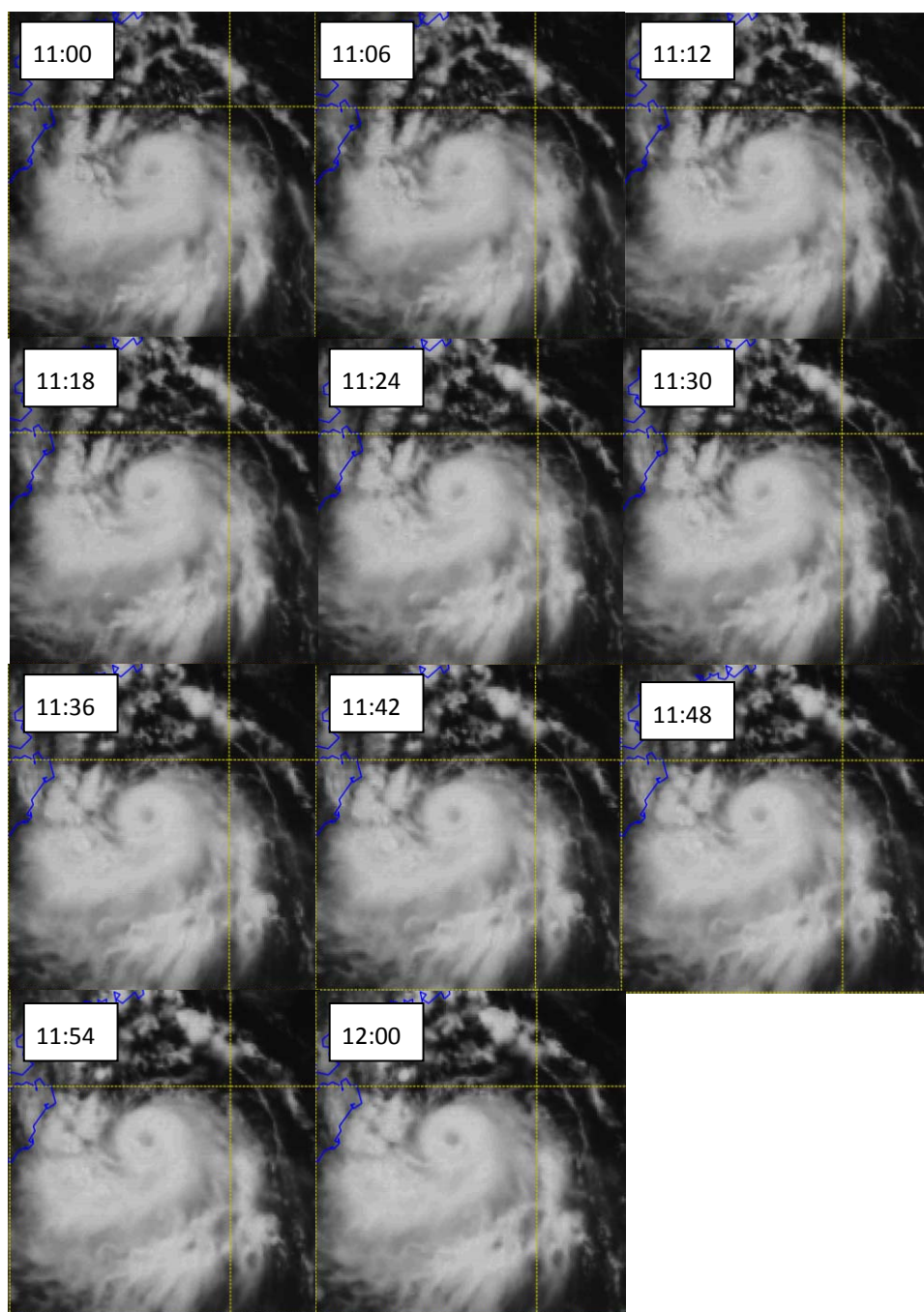


图2 2013年7月1日上午11时至正午12时每6分钟更新一次的风云-2F卫星区域加密观测图像，显示接近温比亚中心组织的改善。（来源：中国气象局）

2.2 卫星观测产品

除了传统的可见光及红外线卫星图像，香港天文台亦利用其他卫星观测产品，例如微波卫星图像及 ASCAT 海面风场分析等来监测热带气旋的位置、强度及风场结构。以下分别讨论应用微波卫星图像及 ASCAT 海面风场分析的个案。

2.2.1 应用微波卫星图像的个案

热带低气压尤特在 8 月 9 日下午在菲律宾以东海域形成，并于翌日下午迅速增强为台风(图 3)。在短短 24 小时之间，它的中心最高风速由每小时 25 海浬上升至 65 海浬(表 1)。

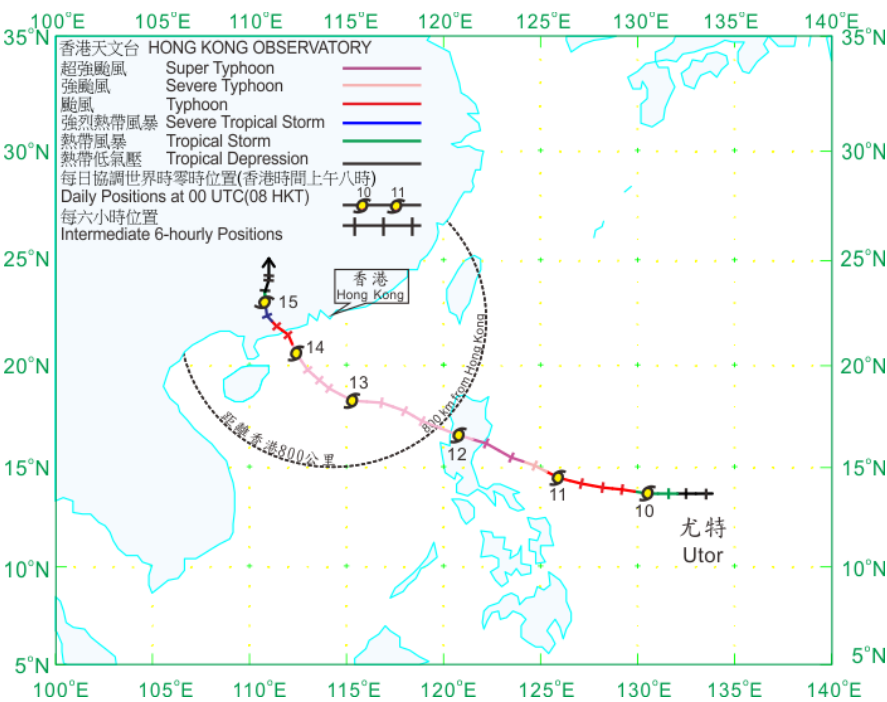


图 3 尤特在 2013 年 8 月 9 日至 8 月 16 日的路径图

香港时间	强度类别	尤特中心估计最高风速 (海浬每小时)
8 月 9 日 1400	热带低气压	25
8 月 9 日 2000	热带低气压	30
8 月 10 日 0200	热带风暴	35
8 月 10 日 0800	热带风暴	45
8 月 10 日 1400	台风	65

表 1 尤特在 2013 年 8 月 9 日下午 2 时至 8 月 10 日下午 2 时的强度及中心估计最高风速

文献 1 及 2 介绍在热带气旋风眼壁出现的「对流热塔」现象。「对流热塔」是指云顶高度极高的对流，该处上升运动剧烈，并可能伴随闪电。如热带气旋风眼壁出现「对流热塔」现象，热带气旋或会迅速增强。由于「对流热塔」的云顶高度极高，直达对流层顶部，它们都含有数量显著的冰晶。而这些冰晶可以利用 85-91 GHz 极化修正亮温(polarization corrected brightness temperature (PCT)) 的微波卫星图像来探测[3]。

天文台利用微波卫星图像监测「对流热塔」现象，从而得知热带气旋会否迅速增强。在 8 月 10 日上午的 91 GHz 微波卫星图像(图 4 及图 5)显示了尤特中心附近的「对流热塔」现象。图中红色的地方表示极化修正亮温低于绝对温度 192 度或以下，符合有关「对流热塔」的条件[1, 2]，亦是热带气旋迅速增强的先兆。而出现「对流热塔」的现象后，天文台亦在当日下午将尤特升格为台风。

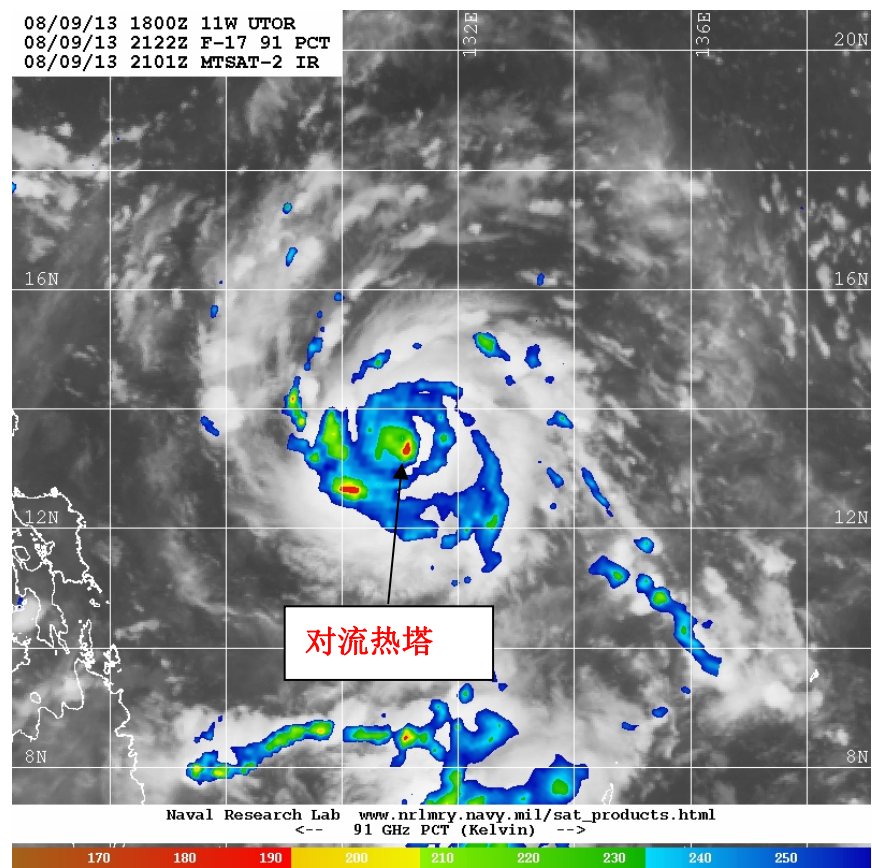


图 4 香港时间 2013 年 8 月 10 日 05 时 22 分(即协调世界时 2013 年 8 月 9 日 21 时 22 分)的 91 GHz 极化修正亮温的微波卫星图像。(来源: [NRL Tropical Cyclone Page](#))

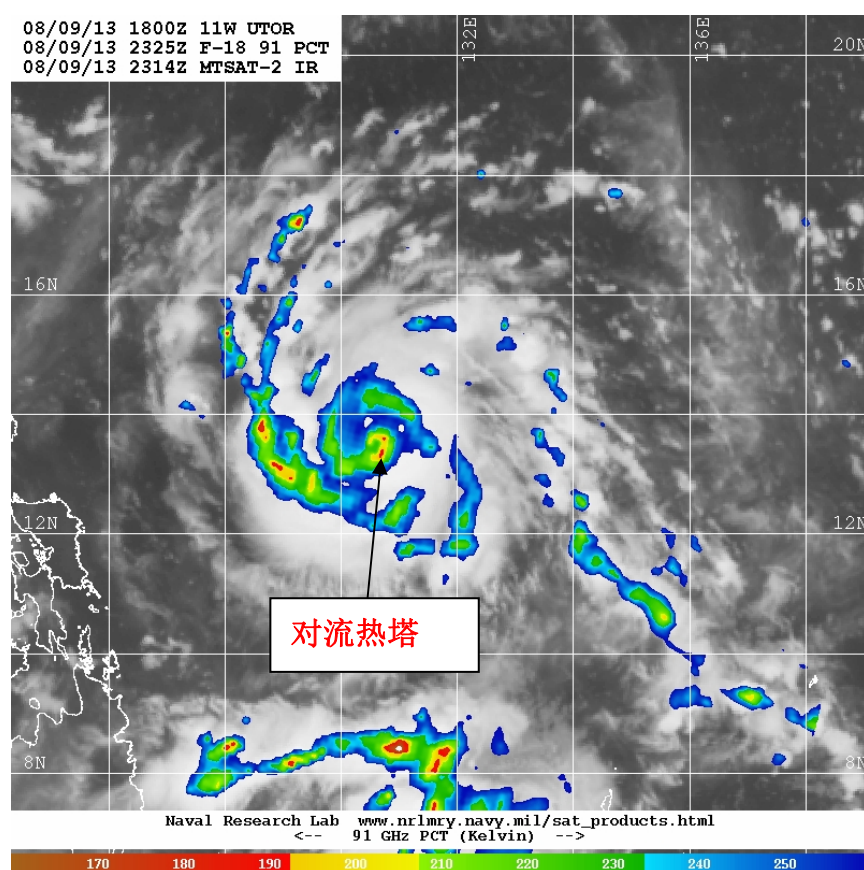


图5 香港时间2013年8月10日07时25分(即协调世界时2013年8月9日23时25分)的91 GHz 极化修正亮温的微波卫星图像。(来源: [NRL Tropical Cyclone Page](http://www.nrlmry.navy.mil/sat_products.html))

2.2.2 利用 ASCAT 海面风场分析图像

热带气旋在发展的初期,组织一般会较为松散,使用卫星图像(特别是红外线卫星图像)来估计热带气旋的中心位置有时会较困难。ASCAT 海面风场图像提供高解析度的海面风场资料,可辅助预报员找出热带气旋的中心位置。以下简要讨论其中一个应用 ASCAT 海面风场分析图像的个案。

热带低气压贝碧嘉于6月20日在南海中部形成(图6)。由当日晚上9时的红外线卫星图像显示(图7),贝碧嘉的结构仍不是很完整,单靠红外线卫星图像来估计贝碧嘉的中心位置存在较大的不确定性。而当时的 ASCAT 海面风场图像(图8)却能够清楚显示贝碧嘉的气旋式流场,大大协助预报员分析贝碧嘉的中心位置。

但要注意的是,使用 ASCAT 海面风场图像作分析有一定的限制,由于 ASCAT 载于极地轨道卫星上,覆盖范围有限,并不能持续观测某一固定位置。而且因散射仪的限制,ASCAT 在风速较大的情况下会低估风力[4,5]。在降雨率较大的情况下得出的风向风速资料亦会有较大的误差[6]。

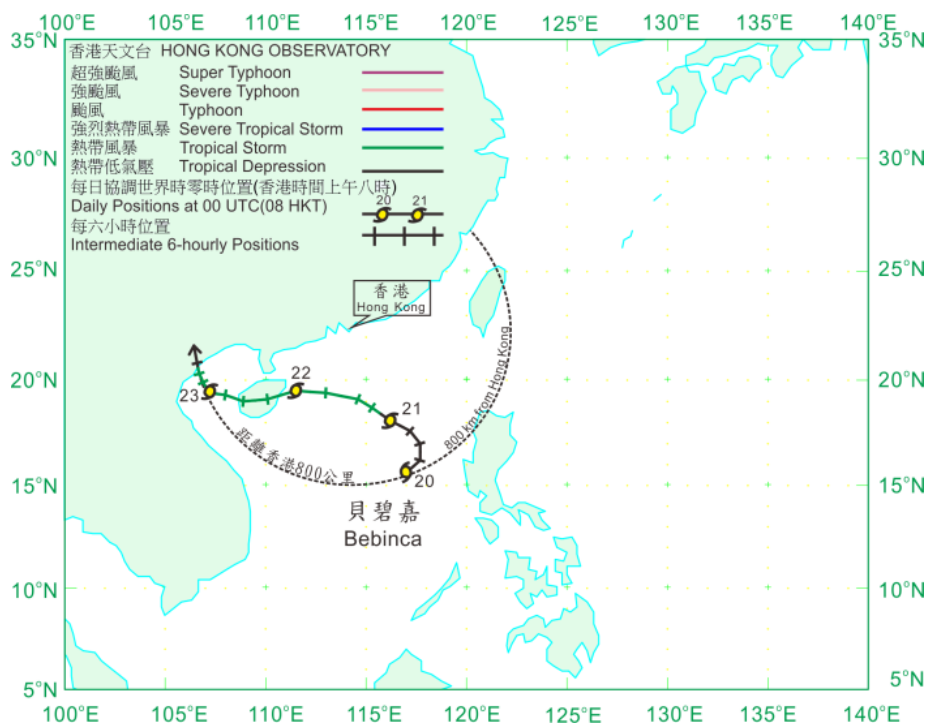


图6 貝碧嘉在2013年6月20日至24日的路径图

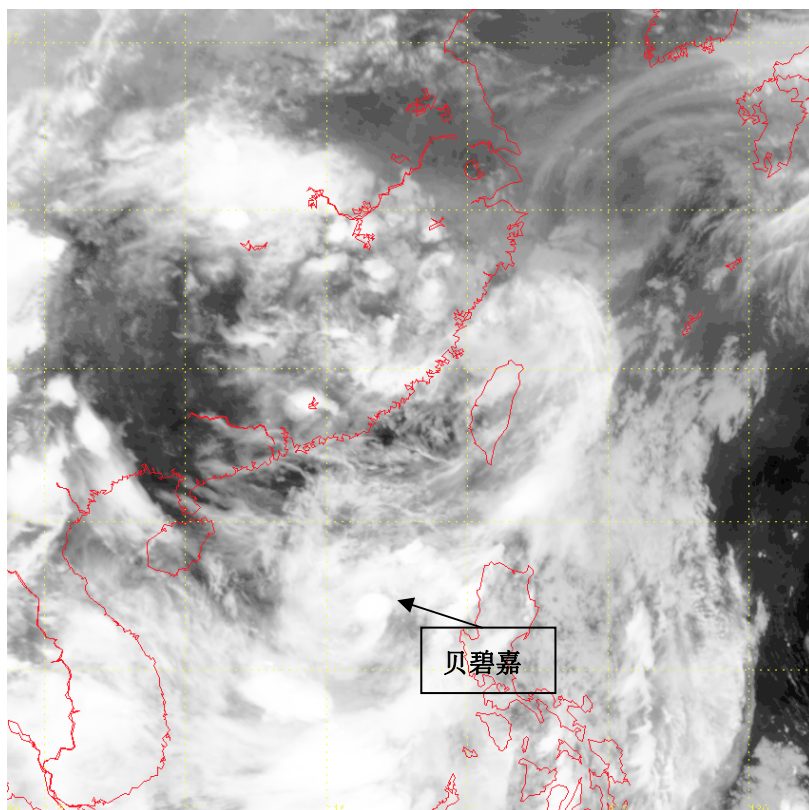


图7 2013年6月20日香港时间晚上约9时的红外线卫星图像(来源:日本气象厅)

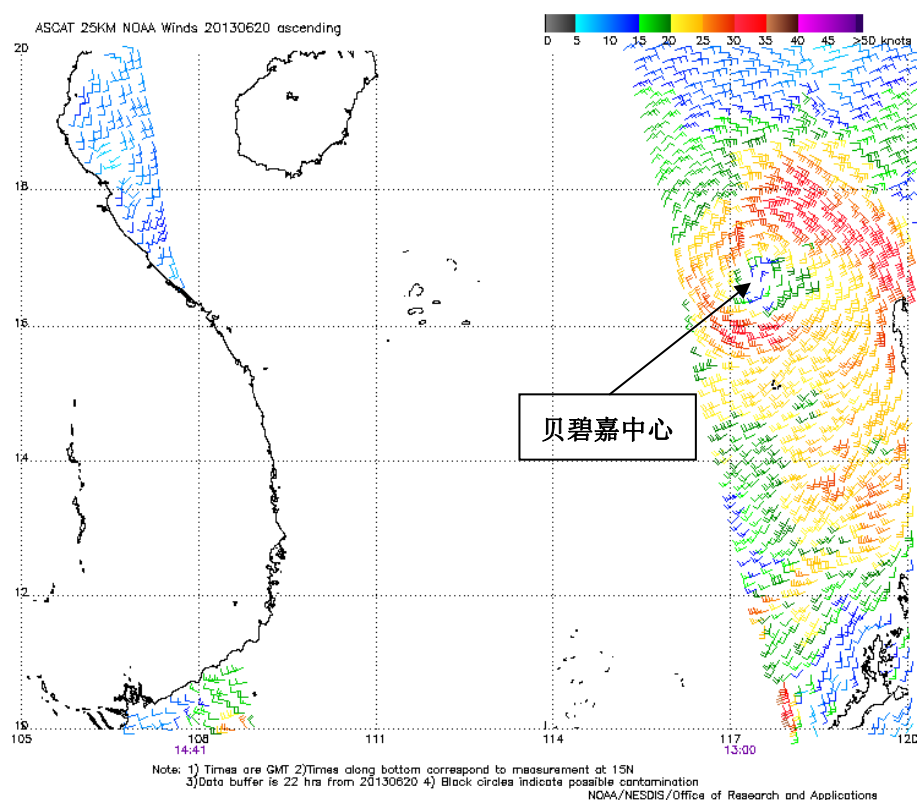


图 8 2013 年 6 月 20 日香港时间晚上约 9 时的 ASCAT 海面风场分析，清楚显示贝碧嘉的气旋式流场。（来源：[Center for Satellite Application and Research](http://www.casasr.org/)）

2.3 德沃夏克卫星云图分析法

在估算热带气旋的强度方面，香港天文台主要应用德沃夏克 (Dvorak) 卫星云图分析法 [7]，由目前强度值 (CI 值) 对照出接近海平面的最大风速。由于传统德沃夏克卫星云图分析法对照表使用等效 1 分钟的平均风速，香港天文台利用了 0.93 的转换因子将 1 分钟平均风速换转为 10 分钟平均风速 [8] 以作业务运作之用。

目前强度值 (CI 值)	1 分钟平均风速 (海浬每小时)	10 分钟平均风速 (海浬每小时) (由 1 分钟平均风速*0.93 换算)
1.0	25	23
1.5	25	23
2.0	30	28
2.5	35	33
3.0	45	42
3.5	55	51
4.0	65	60
4.5	77	72
5.0	90	84
5.5	102	95
6.0	115	107
6.5	127	118
7.0	140	130
7.5	155	144
8.0	170	158

表 2 天文台使用的德沃夏克卫星云图分析法对照表

应用德沃夏克卫星云图分析法有一定的限制，当热带气旋开始减弱时，传统德沃夏克卫星云图分析法要求 CI 值维持 12 小时不变。而在热带气旋减弱超过 12 小时后，CI 值需要较最终 T 指数(Final T number)大 1.0。但当热带气旋登陆后，减弱速度或会相当迅速。在这情况下，德沃夏克卫星云图分析法会高估热带气旋的强度。再者，在热带气旋减弱超过 12 小时之后，传统德沃夏克卫星云图分析法并没有详细讨论如何将 CI 值及最终 T 指数的差距收窄。

针对以上的限制，香港天文台于 2013 年试行改良的德沃夏克卫星云图分析法[9]：

1. 当热带气旋登陆及开始减弱时，CI 值并不需要维持 12 小时不变，而只需较最终 T 指数高 0.5；
2. 如最终 T 指数已 12 小时维持不变，CI 值便等同于最终 T 指数；
3. 如热带气旋在陆地再次发展，CI 值等同于最终 T 指数。

以下讨论应用了试行改良的德沃夏克卫星云图分析法的两个个案：

2.3.1 热带气旋温比亚

温比亚在 7 月 2 日上午 6 时左右在湛江附近登陆(图 1)。表 3 列出温比亚 7 月 1 日下午 8 时至 7 月 2 日下午 8 时之间利用德沃夏克卫星云图分析法估算的强度资料。

时间	最终 T 指数	传统 CI 值 (对应强度)	试行 CI 值 (对应强度)	天文台综合 分析强度	以传统 CI 值 估算与分析 强度差距	以试行 CI 值 估算与分析 强度差距
7 月 1 日						
下午 8 时	4.0	4.0 (60)	4.0 (60)	55	+5	+5
下午 11 时	3.5	4.0 (60)	4.0 (60)	55	+5	+5
7 月 2 日						
上午 2 时	3.5	4.0 (60)	4.0 (60)	55	+5	+5
上午 5 时	3.0	4.0 (60)	4.0 (60)	55	+5	+5
上午 8 时	3.0	4.0 (60)	3.5 (51)	50	+10	+1
上午 11 时	2.5	3.5 (51)	3.0 (42)	45	+6	-3
下午 2 时	2.5	3.5 (51)	3.0 (42)	40	+11	+2
下午 5 时	2.0	3.0 (42)	2.5 (33)	35	+7	-2
下午 8 时	2.0	3.0 (42)	2.5 (33)	30	+12	+3

表 3 温比亚在香港时间 7 月 1 日下午 8 时至 7 月 2 日下午 8 时利用德沃夏克卫星云图分析法估算的强度资料，表中的强度均为海涅每小时。

由最终 T 指数显示，温比亚在 7 月 1 日下午 8 至 11 时开始减弱。因传统 CI 值需维持 12 小时(即维持至 7 月 2 日上午 8 时)不变，而 12 小时之后需要较最终 T 指数大 1.0，所以由传统 CI 值估算的强度较天文台综合各方面资料，包括广东省气象局提供的自动气象站及浮标数据所分析的强度为高。

而试行 CI 值在温比亚登陆后只需较最终 T 指数高 0.5，表 3 显示，利用试行 CI 值估算的强度较传统 CI 值更贴近实况。

2.3.2 热带气旋天兔

天兔在 9 月 22 日下午七时左右在汕尾附近沿岸登陆(图 9)。表 4 列出天兔在 9 月 22 日下午 2 时至 9 月 23 日下午 2 时之间利用德沃夏克卫星云图分析法估算的强度资料。

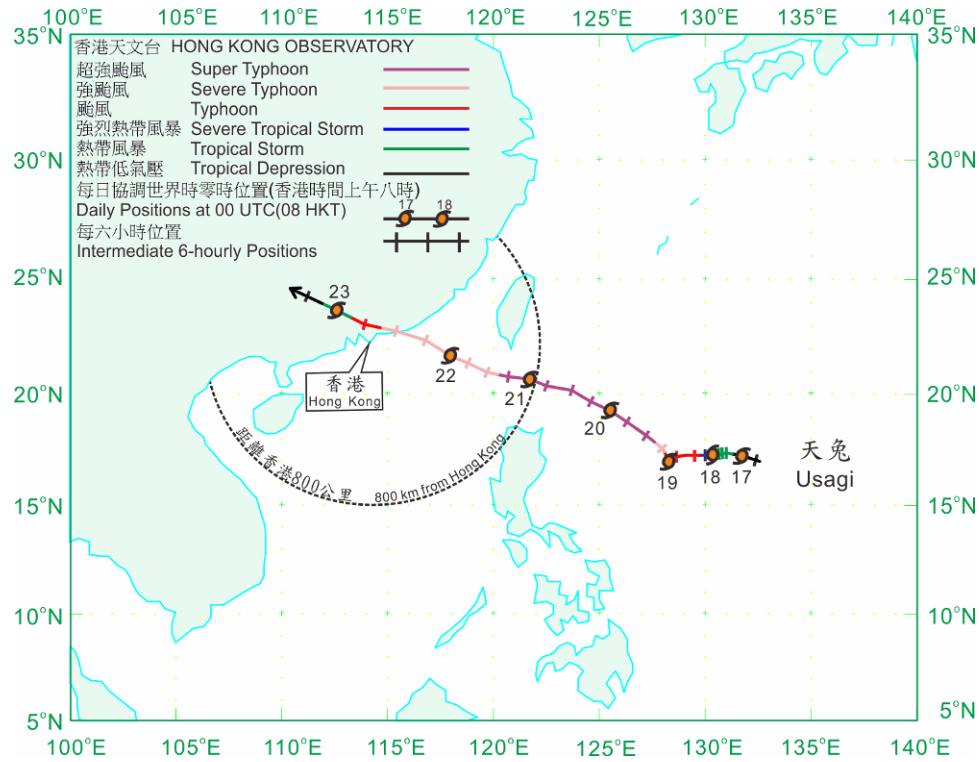


图 9 天兔在 2013 年 9 月 17 日至 9 月 23 日的路径图

时间	最终 T 指数	传统 CI 值 (对应强度)	试行 CI 值 (对应强度)	天文台综合 分析强度	以传统 CI 值 估算与分析 强度差距	以试行 CI 值 估算与分析 强度差距
9 月 22 日						
下午 2 时	5.5	5.5 (95)	5.5 (95)	90	+5	+5
下午 5 时	5.0	5.5 (95)	5.5 (95)	90	+5	+5
下午 8 时	5.0	5.5 (95)	5.5 (95)	85	+10	+10
下午 11 时	5.0	5.5 (95)	5.5 (95)	85	+10	+10
9 月 23 日						
上午 2 时	4.0	5.5 (95)	4.5 (72)	70	+25	+2
上午 5 时	4.0	5.0 (84)	4.5 (72)	60	+24	+12
上午 8 时	3.5	4.5 (72)	4.0 (60)	40	+32	+20
上午 11 时	3.5	4.5 (72)	4.0 (60)	30	+42	+30
下午 2 时	3.0	4.0 (60)	3.5 (51)	20	+40	+31

表 4 天兔在香港时间 9 月 22 日下午 2 时至 9 月 23 日下午 2 时利用德沃夏克卫星云图分析法估算的强度资料，表中的强度均为海涅每小时。

从最终 T 指数显示, 天兔在 9 月 22 日下午 2 至 5 时开始减弱。特别留意在 9 月 23 日上午 2 时, 德沃夏克卫星云图分析显示天兔的最终 T 指数由 5.0 下降至 4.0, 但传统 CI 值仍需维持 5.5。而由于试行 CI 值在天兔登陆后只需较最终 T 指数高 0.5 (即 4.5), 结果显示利用试行 CI 值估算的强度相对传统 CI 值较为贴近天文台综合各方面资料, 包括广东省气象局及国家海洋局提供的自动气象站、石油平台及浮标数据所分析的强度。

天兔的例子亦显示出在热带气旋登陆后使用德沃夏克卫星云图分析法的限制, 由于天兔在深入内陆后非常迅速地减弱, 无论是传统 CI 值或试行 CI 值估算的强度, 和实际分析的强度差距都相当大。

3 飞机侦测

由于海洋上的观测资料相对陆地稀少, 为增加分析热带气旋内部结构的资料, 美国国家海洋及大气管理局 (NOAA) 使用飞机侦测仪器和下投式探空仪监测影响大西洋和东太平洋的热带气旋。这些资料有助分析热带气旋的位置和强度[10]。

在南中国海北部方面, 香港天文台自 2011 年开始与香港政府飞行服务队合作, 开展了热带气旋的侦测飞行, 利用定翼飞机上安装的一套气象测量系统, 收集位于南中国海热带气旋包括风、气压、温度及相对湿度等资料。这些资料有助评定热带气旋的位置及强度, 以及用作数值预报模式的科研发展[11]。以下讨论应用飞行数据的其中一个个案。

3.1 2013 年 6 月 14 及 15 日南中国海的季风低压

季风低压是在季风槽中的一个低压系统。系统一般的覆盖范围较大, 闭合等压线的直径可达 1000 公里。季风低压和热带气旋在结构上有明显的差异, 一般来说, 季风低压的中心的对流活动较弱, 最大风速区域通常位于其外围。而受其他位于附近的天气系统影响, 大风区域更可能只集中在季风低压的某个方向。相反, 接近热带气旋中心的对流活动则较强和持续, 而最大风速区域亦靠近中心。

当季风低压系统附近的大气环境配合, 如微弱的垂直风切变、良好的高空辐散、充足的水气供应及较高的海面温度, 季风低压中心对流活动便能够增强及持续。当风速较大的区域逐渐由外围移至中心附近, 季风低压便有机会发展为热带气旋。如果以上提到的条件不配合, 季风低压转化为热带气旋的机会则较低。

在 2013 年 6 月 14 及 15 日, 一个季风低压影响南中国海北部 (图 10)。从 6 月 14 日的卫星图像显示 (图 11), 该低压区的结构较为松散, 对流主要集中在系统的东面, 而相反中心附近并没有持续的强对流, 使用德沃夏克卫星云图分析法并未能准确评估其强度 [12]。

受该季风低压及中国东南沿岸高压脊的共同影响下，季风低压的东至东北面的气压梯度相对较密(图 10)。而在 6 月 14 日下午 2 时的地面观测资料显示(图 12)，该区曾录得达强风程度的偏东风。但由于该季风低压位处海洋范围，其中心附近的观测资料相对有限。

如前所述，把季风低压评定为热带低气压取决于系统中心附近是否录得持续的强风。为了更清楚知道低压系统中心附近的风力情况，香港天文台在香港政府飞行服务队的协助下，于当日下午进行了一次侦测飞行。图 13 及图 14 显示在该低压中心附近离地面 500 米的风向风速数据，全部均未达强风程度。由于该高度的风速一般较地面的风速为大，因此可推断出低压中心附近的地面风速并未达强风程度，不符合升格为热带低气压的标准。香港天文台最终并没有将该季风低压评定为热带低气压，飞机侦测在决定上起了非常关键的作用。

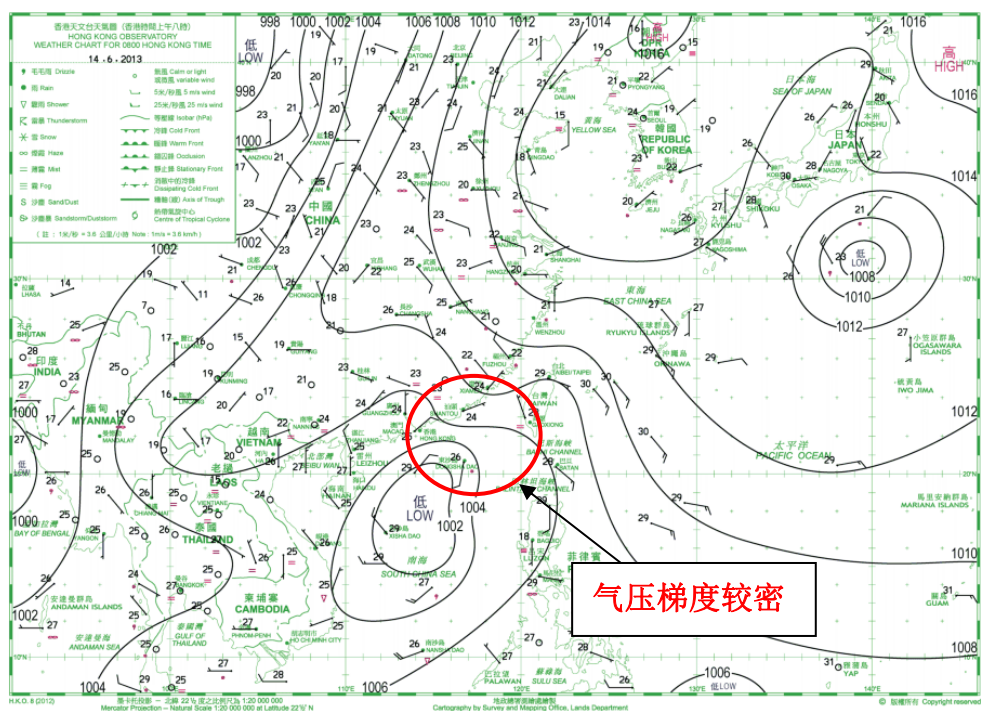


图 10. 2013 年 6 月 14 日上午 8 时的地面天气图

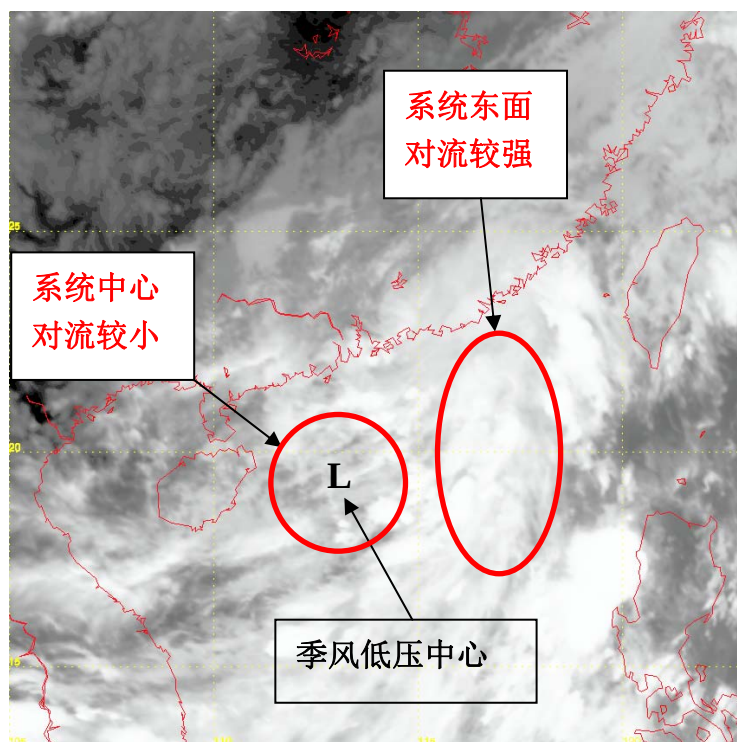


图 11 2013 年 6 月 14 日晚上约 7 时 30 分的红外线卫星图像(来源:日本气象厅)

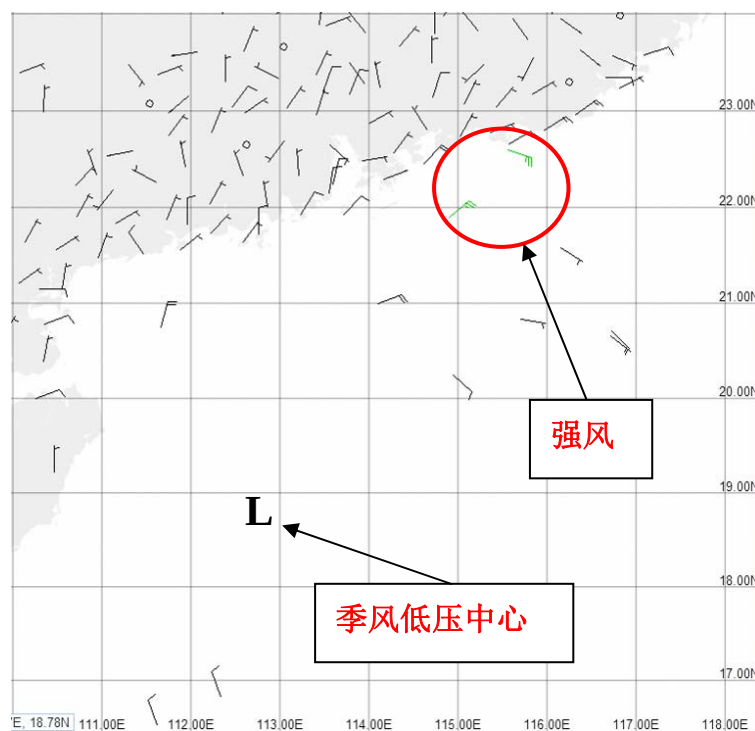


图 12 2013 年 8 月 14 日下午 2 时的地面观测资料，绿色的风矢表示风力达强风程度，但季风低压中心附近的观测资料相对有限。

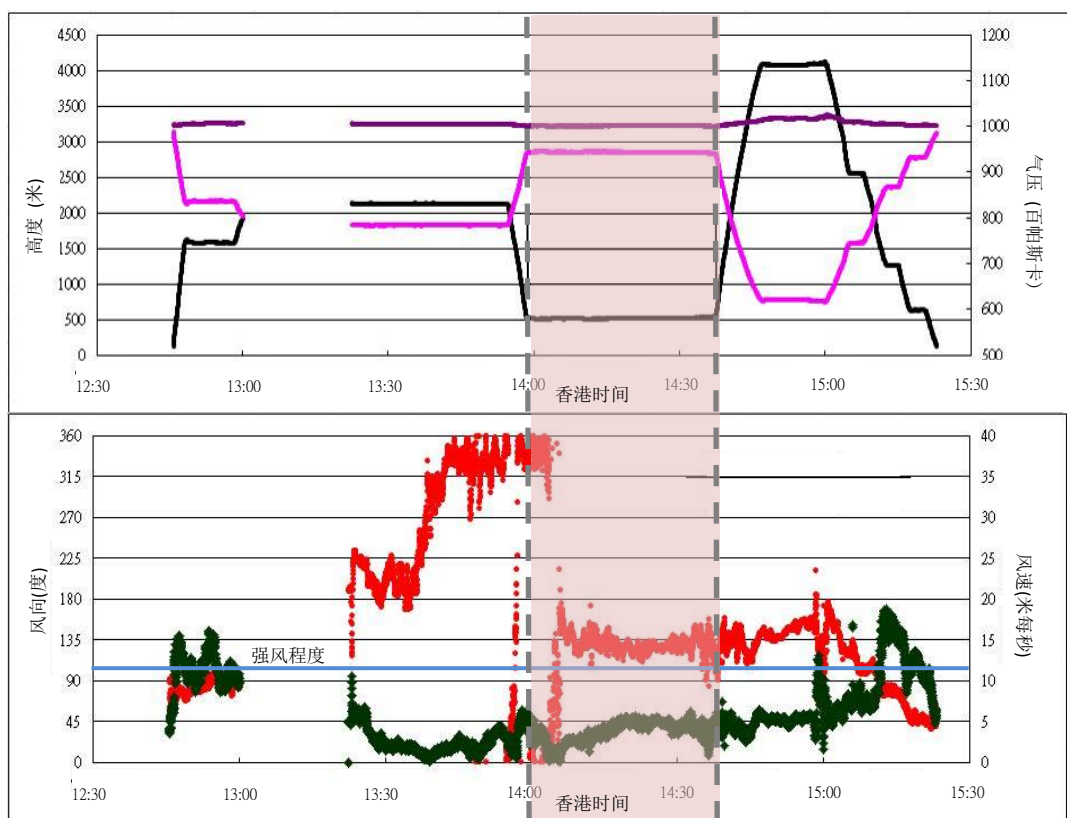


图 13 2013 年 6 月 14 日香港时间下午 12 时 30 分至 5 时 30 分所收集的气象数据。飞机在香港时间大约下午 2 时至 2 时 30 分(图中红色阴影区)接近低压中心,并在离地面 500 米附近(950hPa)飞行,而在这段时间录得的风速均未达强风程度。上图:飞行高度(黑线)、气压(紫线)和海平面气压(啡线);下图:风速(绿线)、风向(红线)。

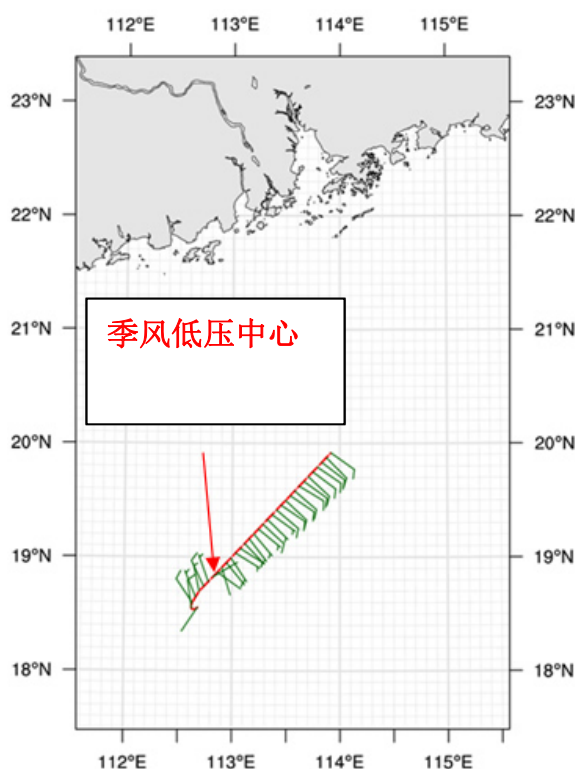


图 14 2013 年 6 月 14 日香港时间下午 2 时至 2 时 30 分政府飞行服务队定翼机所录得在离地面 500 米附近 (950hPa) 的风向风速数据。红线为定翼机接近低压中心时的轨迹，绿色符号显示风向风速 (全部均未达强风程度)

4 地面观测

地面观测是评估热带气旋位置及强度的一项重要基本数据。除了每三小时一次的传统地面观测资料外，香港天文台与广东省气象局及国家海洋局合作，取得广东地区的气象资料，以及南中国海北部的石油平台和浮标的观测资料，更新频率可达每五分钟一次，而接收数据时间亦大约是观测后的 20 分钟。以下讨论应用地面观测资料的两个个案。

4.1 利用石油平台及浮标的观测资料估算热带气旋的风圈半径

热带气旋尤特于 8 月 12 日上午进入南中国海，并采取西北偏西的途径移动(图 4)。由于南中国海传统观测资料相对有限，石油平台及浮标的观测资料可帮助预报员估算热带气旋的风圈半径。

图 15 显示香港天文台利用广东省气象局及国家海洋局提供的观测数据在地理信息系统平台展示的资料。图中的红圈是其中的一个石油平台自动观测站。该站的风力在 8 月 12 日下午 5 时开始达到强风程度，当时尤特中心距离该观测站大约 480 公里(即大约 260 海哩)，而天文台当时分析尤特的强风圈半径达 270 海哩。此项数据支持天文台对尤特的强风圈半径分析，亦吻合美国国家海洋及大气管理局对尤特风力分布的分析(图 16)。

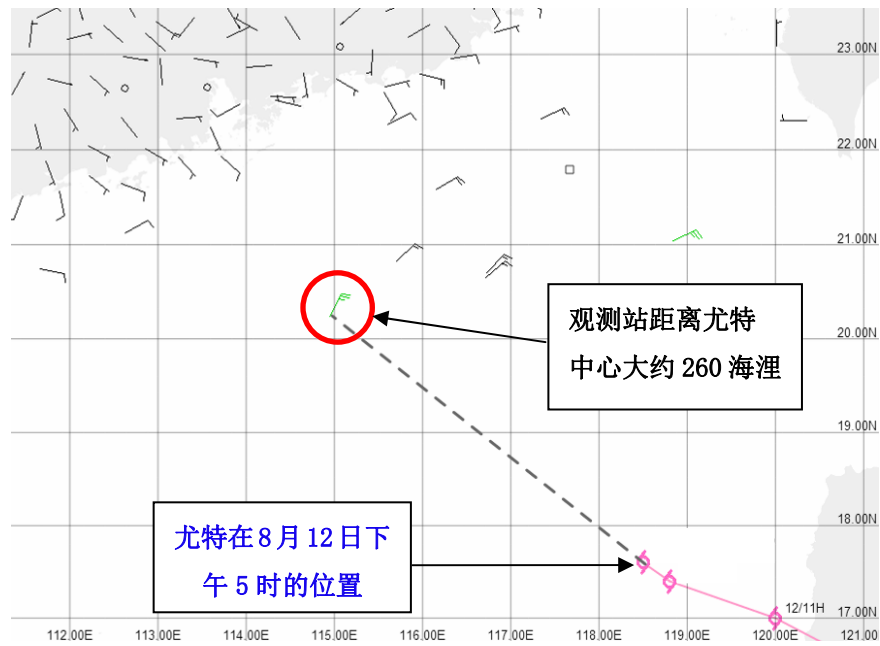


图 15 香港天文台利用广东省气象局及国家海洋局提供的观测数据在地理信息系统平台展示的资料。
(2013 年 8 月 12 日下午 5 时)

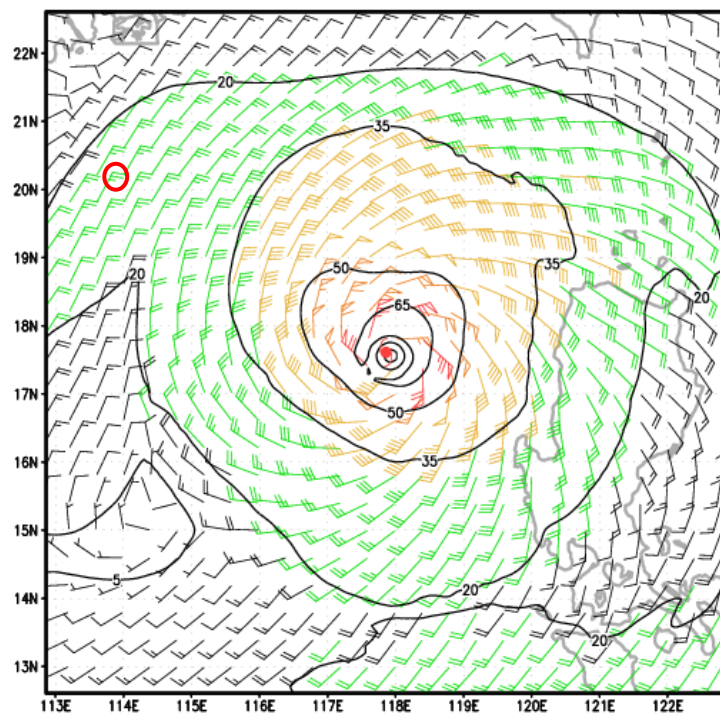


图 16 尤特在 8 月 12 日下午 8 时的风力分布分析(图片源自美国国家海洋及大气管理局)，图中的绿色区域表示风力达强风程度，而红圈是图 15 中石油平台的位置。

4.2 利用地面观测资料厘定热带气旋的中心位置

尤特于 2013 年 8 月 14 日下午 2 时左右在广东西部阳江附近登陆，并移入内陆(图 4)。当日晚上约 7 时 30 分红外线卫星图像(图 17)显示尤特登陆后组织变得松散，利用卫星图像分析尤特中心的位置存在较大的误差。相对传统地面观测报告(图 18)，广东省气象局提供的自动气象站数据(图 19)的密度明显较高，并清楚显示出尤特中心附近的气旋式流场，从而协助预报员更准确分析尤特登陆后的中心位置。

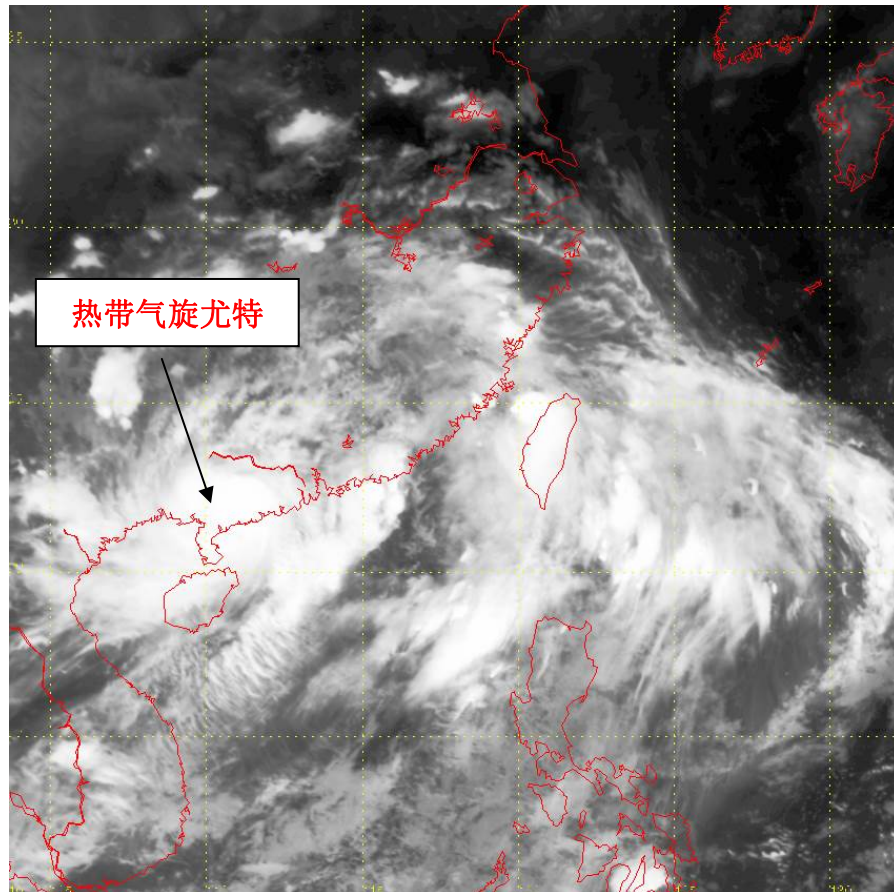


图 17 2013 年 8 月 14 日香港时间晚上约 7 时 30 分红外线卫星图像，显示尤特登陆后组织变得松散，分析中心位置存在困难。（来源:日本气象厅）

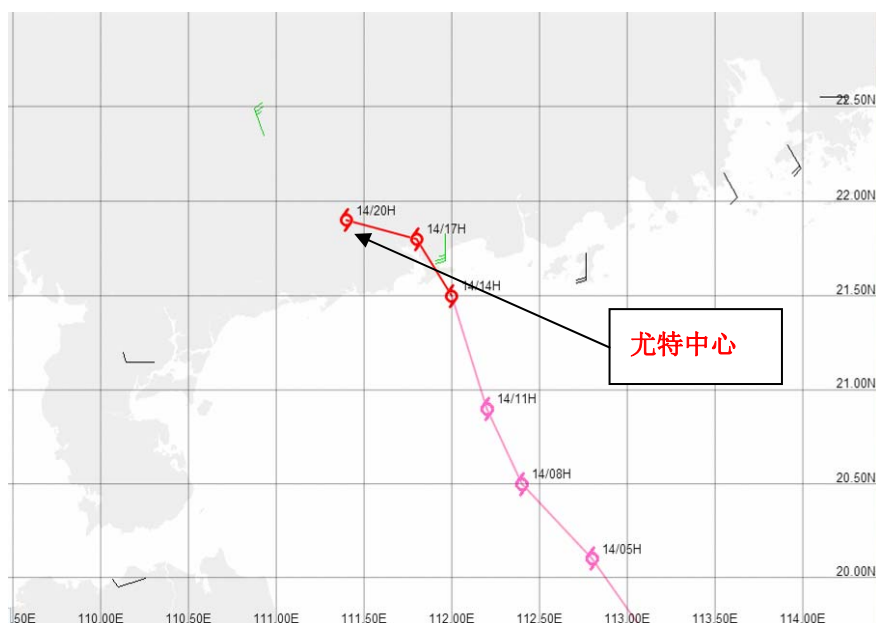


图 18 香港天文台利用传统地面观测报告在地理信息系统平台展示的资料
(2013 年 8 月 14 日晚上 8 时)

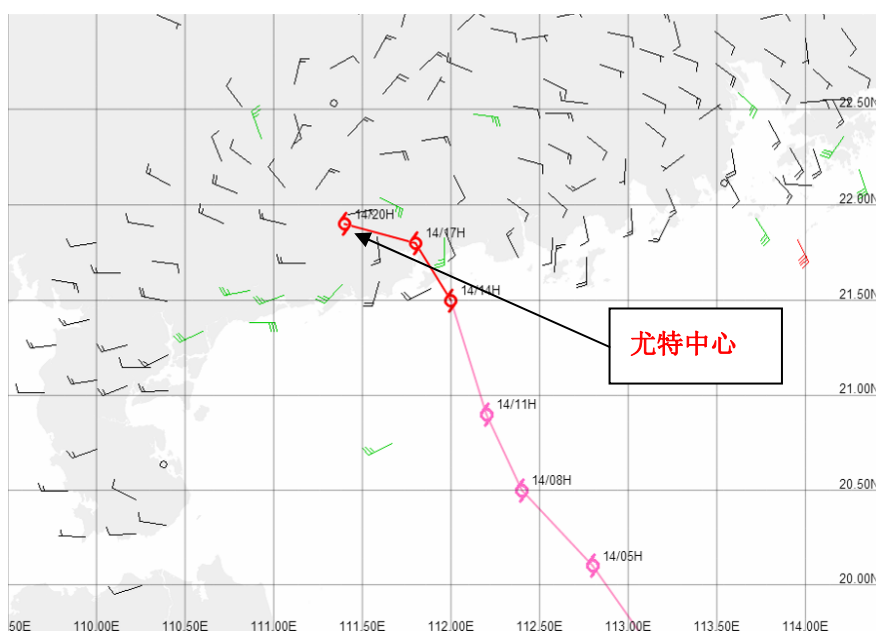


图 19 香港天文台利用广东省气象局提供的自动气象站数据在地理信息系统平台展示的资料
(2013 年 8 月 14 日晚上 8 时)

5 总结及日后发展

本文介绍了香港天文台在热带气旋监测的最新发展，包括在业务上应用遥感资料、飞机侦测及地面观测数据的经验。这些宝贵的资料令香港天文台对监测区内热带气旋的能力大大提升。

展望未来，香港天文台会继续与区内的气象组织紧密合作，交换更多气象数据，同时亦会加强与香港政府飞行服务队进行的热带气旋飞行侦测。现计划于 2014 年风季在新更换的香港政府飞行服务队飞机上安装一套下投式探空仪 (dropsonde) 的装置，以便在热带气旋上空掷下探空仪，量度气压、气温、湿度、风向风速等气象资料，提供风暴附近气象资料的垂直廓线。数据并可即时经由飞机直接传送至天文台，大大缩短数据传递时间，进一步加强对区内热带气旋的监测。

参考文献

- [1] Kelley, O.A., J. Stout & J.B. Halverson, 2004: Tall precipitation cells in tropical cyclone eyewalls are associated with tropical cyclone intensification. *Geophysical Research Letters*, Vol. **31**, L24112
- [2] 杨汉贤. 强台风韦森特 (1208) 的「对流热塔」分析. 第二十七届粤港澳气象科技研讨会, 广东韶关, 2013 年 1 月 9-10 日
- [3] Cecil, D. J., E. J. Zipser, and S. W. Nesbitt, 2002: Reflectivity, ice scattering, and lightning characteristics of hurricane eyewalls and rainbands, part I: Quantitative description, *Mon. Weather Rev.*, Vol. **130**, 769 - 784
- [4] J. Figa-Saldaña, J.J.W. Wilson, E. Attema et al., 2002: The advanced scatterometer (ASCAT) on the meteorological operational (MetOp) platform: A follow on for European wind scatterometers. *Can. J. Remote Sensing*, Vol. **28**, No. 3, 404 - 412
- [5] 林书正、周昆炫. ASCAT 卫星散射仪反演风场于热带气旋环境下的误差特征. 2011 年地球科学系统学术论坛论文集, 2011:144 - 150
- [6] Macros Portabella, Ad Stoffelen, Wenming Lin et al., 2012: Rain Effects on ASCAT-Retrieved Winds: Toward an Improved Quality Control, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **50**, 2495 - 2506
- [7] Dvorak, V. F., 1984: Tropical cyclone intensity analysis using satellite data. NOAA Tech. Rep. 11, **45** pp
- [8] Harper, B.A., J. D. Kepert, and J. D. Ginger, 2010: Guidelines for converting between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions. World Meteor. Org., TCP Sub-Project Report, WMO/TD-No. 1555
- [9] C. T. Shum and S. T. Chan, Application of Dvorak technique during the weakening stage of Tropical Cyclones, The 6th China-Korea Joint Workshop on Tropical Cyclones, Shanghai, China, 26-28 May 2013

- [10] Chan, J.C.L, and K.P. Wong, 1989: The impact of the termination of aircraft reconnaissance on tropical cyclone warnings and forecasts in western North Pacific. International Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate, 6-8 July 1989, Hong Kong.
- [11] W. K. Wong, S. M. Tse and P. W. Chan, 2013: Impacts of reconnaissance flight data on numerical simulation of tropical cyclones over South China Sea. Meteorological Application, published online [<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/met.1412/abstract>]
- [12] Velden, C., B. Harper, F. Wells et al., 2006: Supplement to: The D'vorak Tropical Cyclone Intensity Estimation Technique: A Satellite-Based Method that Has Endured for over 30 Years. BAMS, **87**, S6-S9