

2021 年陶特(Tauktae)氣旋侵襲印度之災害探討

郭文達、林又青、陳偉柏、何瑞益、張志新

國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

摘要

陶特(Tauktae)氣旋從 2021 年 5 月 15 日至 5 月 18 日歷時約四天，侵襲印度西部海岸地區，造成喀拉拉邦(Kerala)、卡納塔卡邦(Karnataka)、果阿邦(Goa)、馬哈拉施特拉邦(Maharashtra)以及古吉拉特邦(Gujarat)等地區多處發生暴雨、洪水、風暴潮以及強風等災害。陶特氣旋係近 23 年來第二次以特強氣旋風暴登陸古吉拉特邦，造成德里測站於 5 月 19 日之日累積雨量高達 119.3 毫米，刷新當地 70 年五月降雨最高紀錄。根據印度國家災害管理局(National Disaster Management Authority, NDMA)截至 5 月 22 日統計數據，此次風災總共造成 181 人死亡，約 12 萬棟房屋受損，以及約 1 千 4 百萬人受災。此外，根據全球巨災風險管理諮詢公司(Risk Management Solutions Incorporated, RMSI)之資料顯示，陶特氣旋造成的經濟損失，初步估計約 21 億美元。

一、 陶特氣旋路徑

圖 1 顯示為陶特氣旋侵襲印度的路徑[1]，根據印度氣象局(India Meteorological Department, IMD)資料顯示[2]，在 5 月 13 日上午 8 時 30 分，一個低氣壓(low pressure)在阿拉伯海東南部及鄰近的拉克沙群島(Lakshadweep area)附近形成，隨後在 5 月 17 日上午 5 點 30 分增強為極強氣旋風暴(IMD 的氣旋等級詳見表 1)[3]，最大持續風速高達每小時約 180 至 190 公里，且陣風可達每小時約 210 公里[4]，達到台灣中央氣象局強烈颱風標準。

表 1 印度氣象局對氣旋的等級分類(資料來源：IMD)[3]

No.	等級	風速	對應台灣中央氣象局之等級
1	低氣壓 (Depression, D)	每小時 31 ~ 49 公里 (17 ~ 27 knots)	熱帶低氣壓 (小於 33 knots)
2	強低氣壓 (Deep Depression, DD)	每小時 50 ~ 61 公里 (28 ~ 33 knots)	
3	氣旋風暴 (Cyclonic Storm, CS)	每小時 62 ~ 87 公里 (34 ~ 47 knots)	輕度颱風 (34 ~ 63 knots)
4	強烈氣旋風暴 (Severe Cyclonic Storm, SCS)	每小時 88 ~ 117 公里 (48 ~ 63 knots)	
5	特強氣旋風暴 (Very Severe Cyclonic Storm, VSCS)	每小時 118 ~ 166 公里 (64 ~ 89 knots)	中度颱風 (64 ~ 99 knots)
6	極強氣旋風暴 (Extremely Severe Cyclonic Storm, ESCS)	每小時 167 ~ 221 公里 (90 ~ 119 knots)	強烈颱風 (大於 100 knots)
7	超級氣旋風暴 (Super Severe Cyclonic Storm, SuCS)	大於每小時 222 公里 (大於 120 knots)	

5 月 17 日晚上 20 點 30 分，陶特氣旋於古吉拉特邦(Gujarat)之第烏(Diu)以東 Una Taluka 地區登陸，登陸時之最大持續風速降低至每小時約 150 至 175 公里，為特強氣旋風暴，相當於台灣中度颱風；隨後侵襲古吉拉特邦與第烏海岸，並在 5 月 19 日晚間進一步減弱為低壓

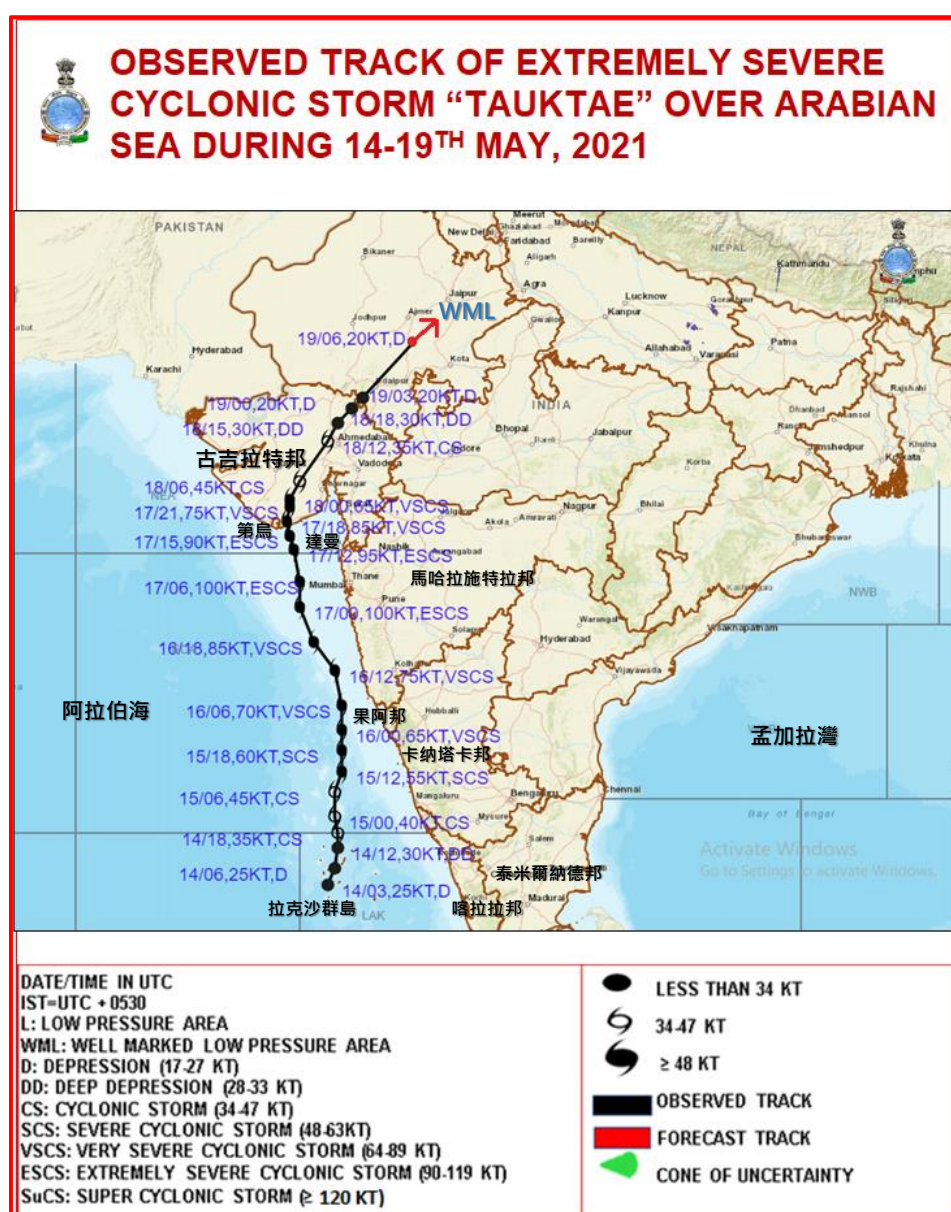


圖 1 陶特氣旋路徑圖(資料來源：IMD)[1]

二、 氣象與水文資訊

陶特氣旋帶來豐沛的降雨，根據印度水資源訊息系統(India Water Resources Information System, India-WRIS)之降雨觀測資料[5]，將氣旋影響印度西岸地區之一日總降雨量分布圖彙整於圖 2。

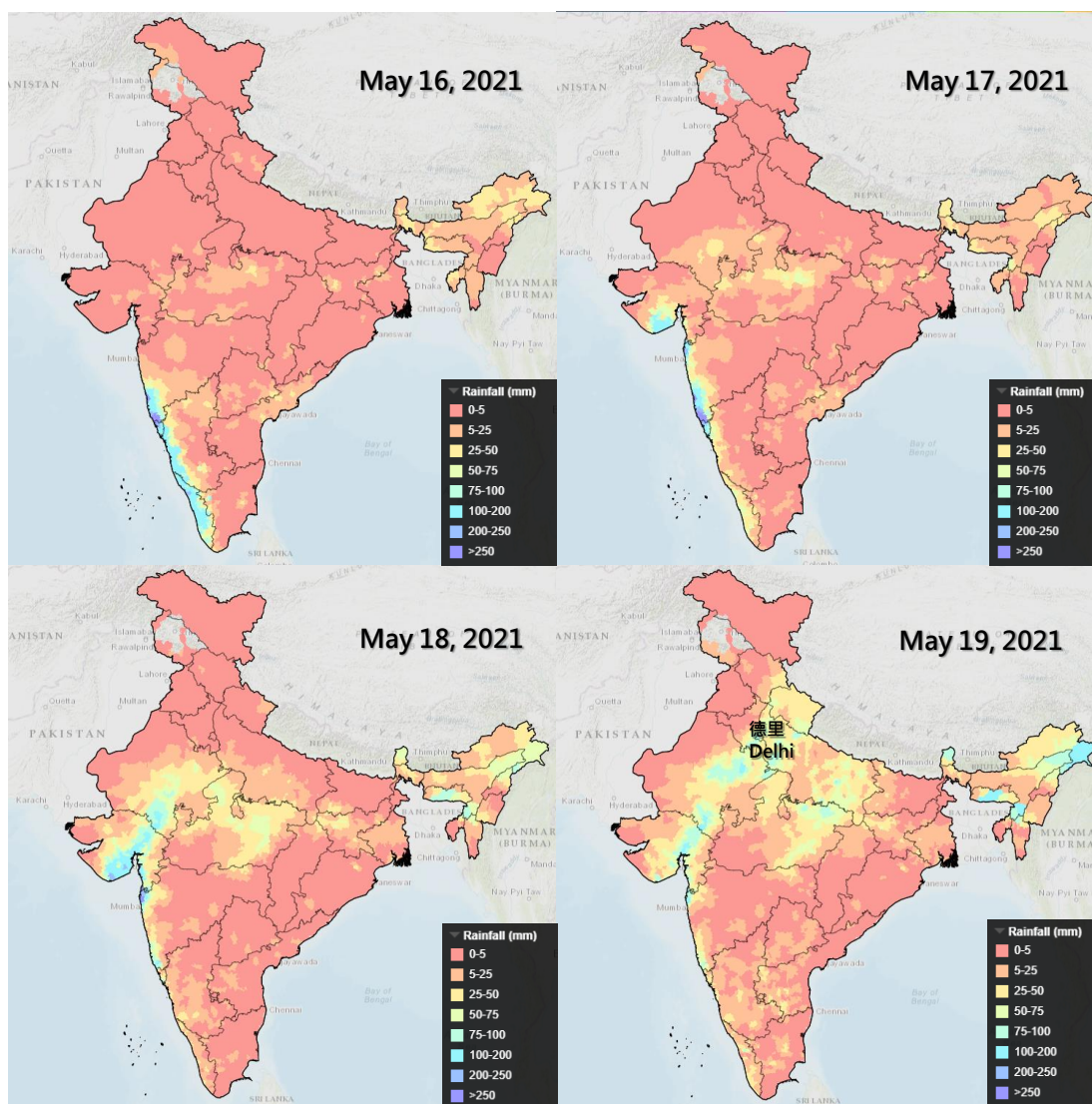


圖 2 陶特氣旋影響期間的之一日總降雨量分布圖(資料來源：IDM)[5]

結果顯示，陶特氣旋在印度西部各邦地區帶來豐沛雨勢，包括：古吉拉特邦(Gujarat)、馬哈拉施特拉邦(Maharashtra)、果阿邦(Goa)、

卡纳塔卡邦(Karnataka)以及喀拉拉邦(Kerala)之沿海地區。根據 IMD 降雨資料顯示，德里(Delhi)測站於 5 月 19 日之日累積雨量高達 119.3 毫米，創下自 1951 年以來五月降雨最高紀錄(1976 年 5 月 24 日的一日降雨量紀錄為 60 毫米)[6]，約為過去近 70 年最高紀錄的兩倍。

此外，豪雨造成印度西海沿岸的河川水位上升，圖 3 顯示為印度中央水利委員會(Central Water Commission, CWC)所發布的 5 月 15 日洪水預警資訊[7]，得知喀拉拉邦的 Kallooppa 與 Thumpamon 水位測站已達到嚴重洪水等級。

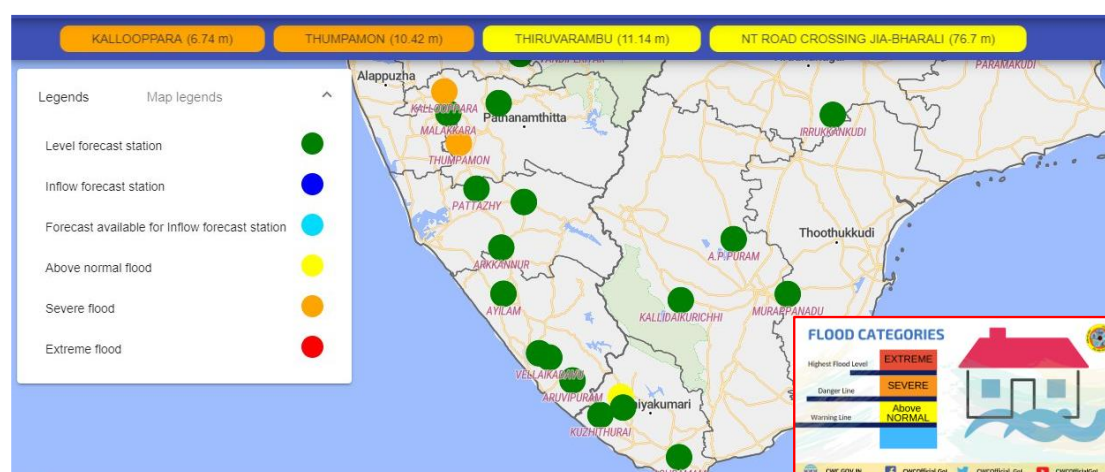


圖 3 陶特氣旋於 5 月 15 日在喀拉拉邦之洪水預警資訊(資料來源：CWC)[7]

CWC 監測印度全國的洪水水情，分為四個警戒等級(正常、高於正常、嚴重、極端)[8]，其中「正常」水情係以綠色表示，代表當下河川的水位係低於警戒水位(warning level)；「高於正常(above normal flood)」洪水係以黃色表示，代表河川水位已達或超過警戒水位，但

仍低於危險水位(danger level)；「嚴重洪水(severe flood)」係以橙色表示，代表河川水位已達或超過危險水位，但低於最高洪水位(highest flood level)，此測站會每三小時更新一次；「極端洪水(extreme flood)」係以紅色表示，代表河川水位已達或超過最高洪水位，此測站會每小時更新一次。

陶特氣旋尚未登陸古吉拉特邦之前，就已帶來印度西部沿海地區之風暴潮威脅。根據全球災害警報及協調系統(Global Disaster Alerting Coordination System, GDACS)之暴潮偏差模擬結果(圖 4)[9]，可看出陶特氣旋造成之風暴潮主要影響範圍係在古吉拉特邦、馬哈拉施特拉邦、果阿邦以及卡納塔卡邦之沿海區域，暴潮偏差量可達 1.5 至 3.0 公尺，陶特氣旋登陸地點以東的康貝灣(Gulf of Khambhat)係屬於漏斗形海灣(funnel-shaped bay)，此種港灣外型，非常適合聚集颱風風能，並提高風暴潮高度，故造成該地區最大暴潮偏差量達 3.3 公尺(18 May 2021 00:00)。

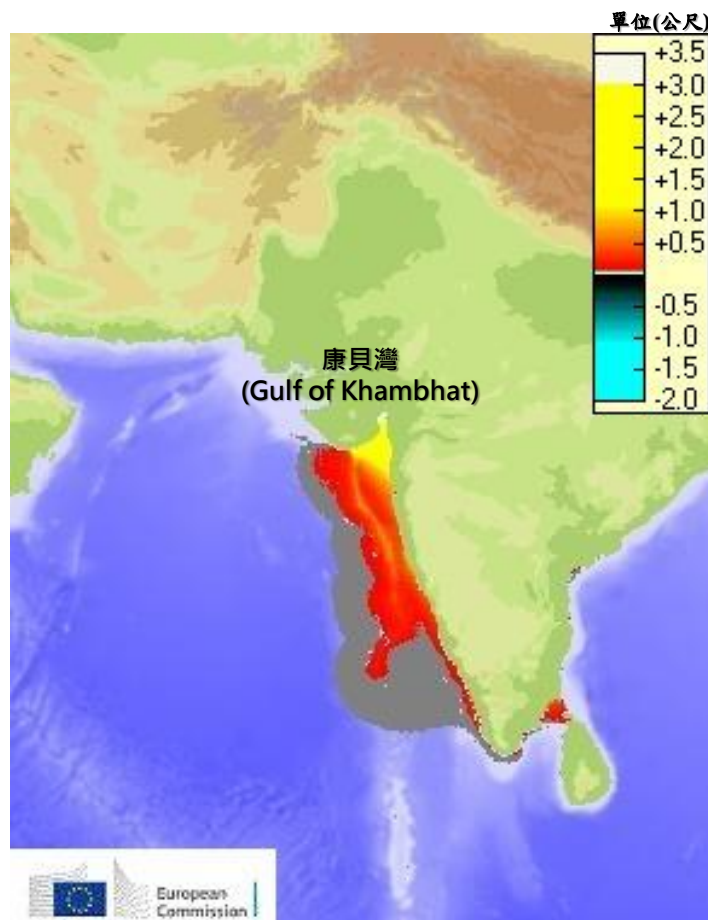


圖 4 陶特氣旋期間之暴潮偏差模擬結果(資料來源：GDACS)[9]

三、 災害衝擊

1. 災情記錄

陶特氣旋登陸之前，已造成印度西海岸多邦地區衝擊破壞，包括基礎設施、房屋受毀、樹木傾倒、電力中斷以及農業損失等災情，政府將受影響海岸附近之低窪地區共疏散了約 25 萬人，包含新冠肺炎(COVID-19)患者必須從沿海病房轉移到更遠的內陸醫院。圖 5 顯示為孟買受到風暴潮的衝擊，導致沿海洪水氾濫。此外，根據 IMD 降雨資料顯示，孟買於 5 月 17 日之日累積雨量高達 191.9 毫米，造成

市區淹水災情，如圖 6。除了風暴潮與洪水災害之外，陶特氣旋亦夾帶強風，導致孟買市的 COVID-19 疫苗接種中心的建築物受損，如圖 7。



圖 5 陶特氣旋造成孟買風暴潮侵襲之災情狀況[10]



圖 6 陶特氣旋造成孟買之洪水災情狀況[11]



圖 7 陶特氣旋造成孟買 COVID-19 疫苗接種中心受損[12]

隨著陶特氣旋登陸，古吉拉特邦沿海地區，遭受風暴潮衝擊，且由於大部分房屋結構強度不佳，導致受到氣旋破壞。圖 8 顯示陶特氣旋侵襲古吉拉特邦後於 5 月 19 日的鳥瞰圖，可清楚看出沿海地區之房屋與建築物受損壞的災情。



圖 8 陶特氣旋導致古吉拉特邦房屋與建築物受損情況[13]

在災害復原的部分，聯合國兒童基金會(United Nations Children's Emergency Fund, UNICEF)在當地支援印度政府，根據 UNICEF 於 5 月 20 日的報告指出[14]，在古吉拉特邦 1,400 個 COVID-19 治療設施中，有 16 家醫院的供電受到影響，其中 12 家已恢復供電；2,437 個受影響村莊中，484 個村莊恢復正常供電。此外，COVID-19 疫苗接種活動受陶特氣旋影響，於 5 月 17 日至 19 日暫停三天，並預計於 5 月 20 日恢復。

2. 災情衛星影像

圖 9 為空間與重大災害國際憲章(International Charter on Space and Major Disasters, ICSMD)所公布的洪水災害衛星影像圖資(5 月 18 日)[15]，可看出陶特氣旋於古吉拉特邦登陸區附近造成之淹水情況(圖中紅色代表主要道路、黃色為衛星覆蓋範圍、深藍色為河流、淺藍色則代表淹水範圍)。除了淹水災情，陶特氣旋所帶來的強風，亦導致樹木與建築物受損，圖 10 顯示為 ICSMD 於 5 月 20 日所發布的古吉拉特邦 Junagadh 區 Una taluk 的 Jaragli 村，農作物遭受陶特氣旋破壞之衛星影像圖資[15]。

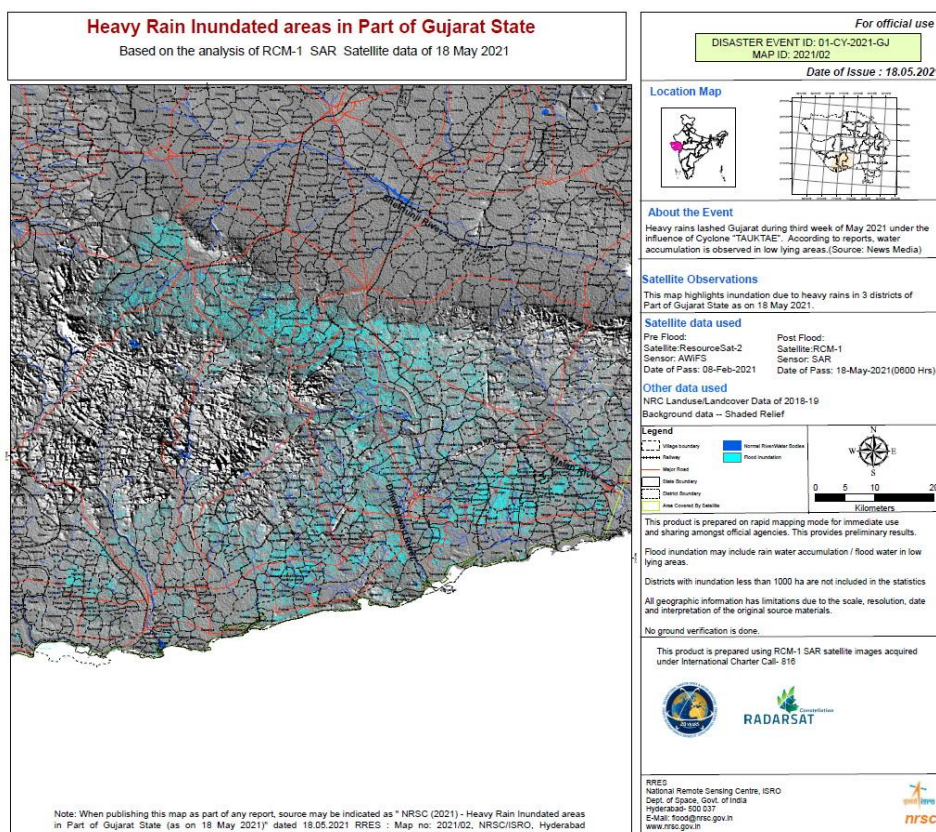


圖 9 陶特氣旋造成古吉拉特邦登陸區的洪水災害衛星影像圖(資料來源：ICMSD)[15]

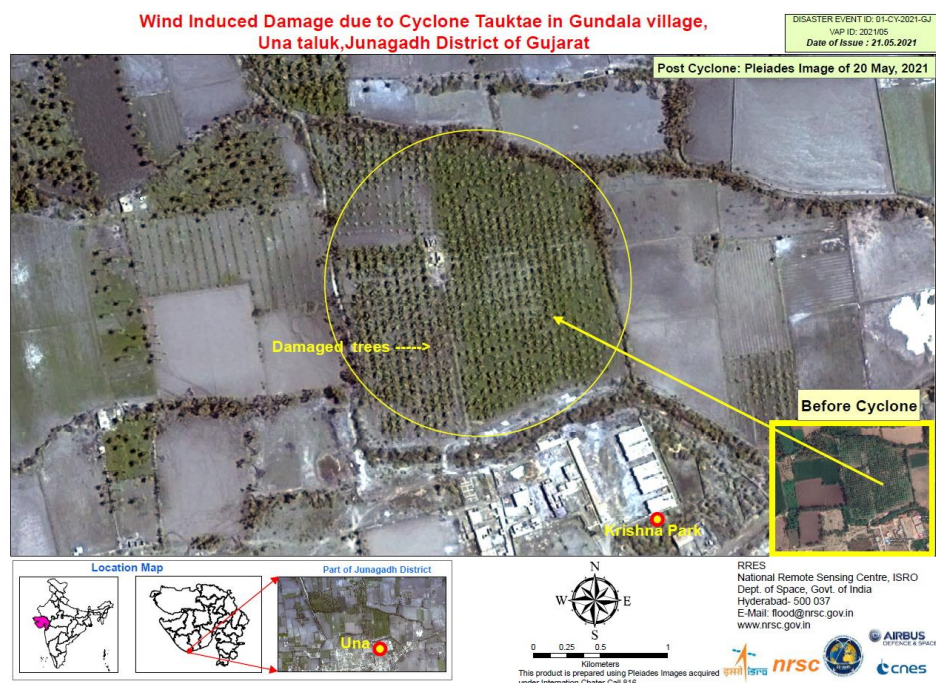


圖 10 陶特氣旋造成古吉拉特邦 Junagadh 區之風災衛星影像圖(資料來源：ICMSD)[15]

3. 災損統計

表 2 係依據印度國家災害管理局(National Disaster Management Authority, NDMA)截至 5 月 22 日所彙整之印度遭受陶特氣旋造成之災損統計，包括：死亡人數、災害影響人數、房屋損失以及經濟損失等[16]。結果顯示，陶特氣旋造成印度各地合計 181 人死亡(包含孟買外海一艘船隻沉沒造成的死亡人數)、101 人受傷、122,530 棟房屋受損(包含全毀與部分損失的合計)、農作物損失約 20,238 公頃、災害影響人數達 1 千 4 百多萬人，整體而言以古吉拉特邦所造成之損失最為嚴重。

表 2 陶特氣旋衝擊印度的災情統計(資料來源：NDMA)[16]

地區	災害影響人數(人)	死亡人數(人)	受傷人數(人)	房屋損失(棟)	疏散人數(人)	農作物損失(公頃)
果阿邦	594	3	7	711	-	10
卡納塔卡邦	3,200	9	3	510	547	229
喀拉拉邦	4,653	19	4	3,374	3,063	19,934.38
馬哈拉施特拉邦	-	19	37	13,102	13,425	-
古吉拉特邦	11,711,000	64	36	94,824	238,808	尚在評估
拉克沙群島	2,000	-	12	9,389	91	-
達曼-第烏 達德拉-納加 爾哈維利	52,591	-	-	498	1,461	-
泰米爾納德邦	2,343,734	5	2	122	220	64.73
船隻 P-305	-	62	-	-	-	-
合計	14,117,772	181	101	122,530	257,615	20,238.11

此外，根據全球巨災風險管理諮詢公司(Risk Management Solutions Incorporated, RMSI)之初步估計[17, 18]，陶特氣旋造成印度之災害經濟損失約為 21 億美元，其中 25 ~ 40%之損失係屬於農業損失，15 ~ 20%則來自交通運輸類例如港口損壞造成之損失，剩餘則為公共部門之電力損失。

四、 政府防災作為

為應對陶特氣旋，印度總理納倫德拉-莫迪(Narendra Modi)於 5 月 15 日以視訊方式召開高級別會議，以審視各機構對於陶特氣旋之準備情況。圖 11 代表印度災害防救相關組織架構，其中隸屬地球科學部(Ministry of Earth Sciences, MES)的 IMD，在 5 月 13 日已開始針對受影響地區發布強風、豪雨、以及風暴潮警訊；隸屬夏克提部(Ministry of Jal Shakti)¹的 CWC 則發布洪水預警資訊。內政部(Ministry of Home Affairs, MHA)主要負責災難管理的總體協調，全天候視察應變情況，並透過 NDMA，與邦災害管理局(State Disaster Management Authority, SDMA)及縣災害管理局(District Disaster Management Authority, DDMA)，以及其他相關機構保持聯繫；國家災害應變部隊(National Disaster Response Force, NDRF)在 6 個邦部屬 42 支專業部

¹ 為整合與水資源管理相關任務，印度政府於 2019 年 5 月將水資源部(Ministry of Water Resources)與飲用水衛生部(Ministry of Drinking Water and Sanitation)，進行整合並更名為 Jal Shakti 部。

隊，具有船隻、砍樹機以及電信等設備，作為災害救援使用，並預留 26 支部隊待命；此外，NDRF 亦協助邦國進行人員疏散準備工作，且宣傳如何應對氣旋情況。

電力部(Ministry of Power, MP)啟動緊急應變系統，並準備變壓器、發電機組等設備，以準備好立即恢復電力；電信部(Ministry of Telecom, MT)，密切關注所有電信網路之情況；衛生與家庭福利部(Ministry of Health & Family Welfare, MHFW)向可能受災害影響的地區，發布衛生健康諮詢，且預備了醫療隊與急救藥品；港口、航運和水道部(Ministry of Port, Shipping and Waterways, MPSW)則進行了所有船舶之保護措施，並部署緊急用使用的船隻。

為確保民眾能夠安全疏散，總理指示需要採取一切可能的措施，確保維持所有基本服務，如電力、電信、衛生、醫院醫療設施、飲用水等。

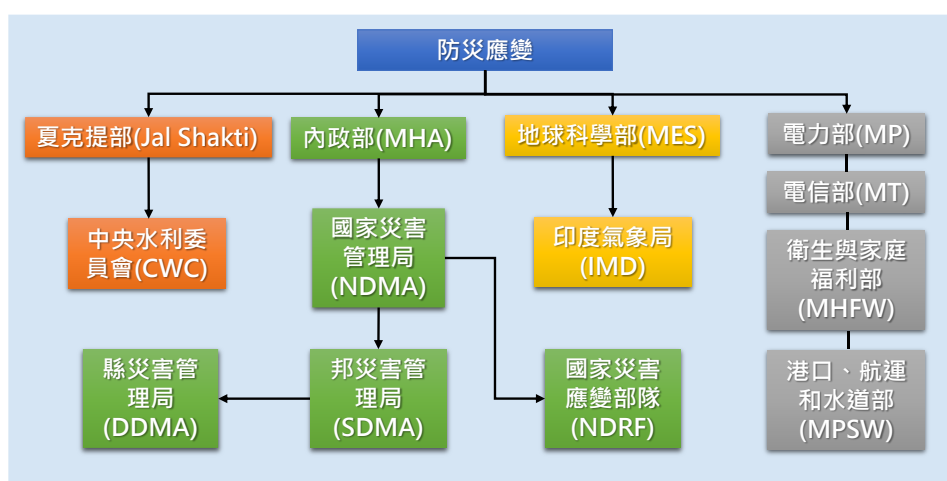


圖 11 印度災害防救相關組織架構(資料來源：MHA)[19]

五、 歷年氣旋比較

根據 IDM 資料顯示，陶特氣旋為 23 年來第二次以特強氣旋風暴規模襲擊古吉拉特邦，第一次係 1998 年的古吉拉特(Gujarat)氣旋。在氣候條件上，北印度洋較少發生熱帶氣旋，會衝擊印度西岸的氣旋更是甚少。圖 12 所示為印度近 7 年(2014 至 2021 年)氣旋事件之路徑與造成死亡人數統計資料，其中死亡人數數據係根據國際災害資料庫(EM-DAT)，氣旋路徑則係依據 GDACS 與國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)所彙整；此外，圖 12 中的數據統計係僅列出有登陸侵襲印度之氣旋風暴事件。

年份	氣旋	死亡人數(人)
2021	Tauktae	181
2020	Amphan	90
	Nivar	14
	Nisarga	6
2019	Fani	50
	Bulbul	12
2018	Titli	85
	Phethai	8
	Gaja	45
2017	Ockhi	884
2016	Vardah	24
2014	Hudhud	53

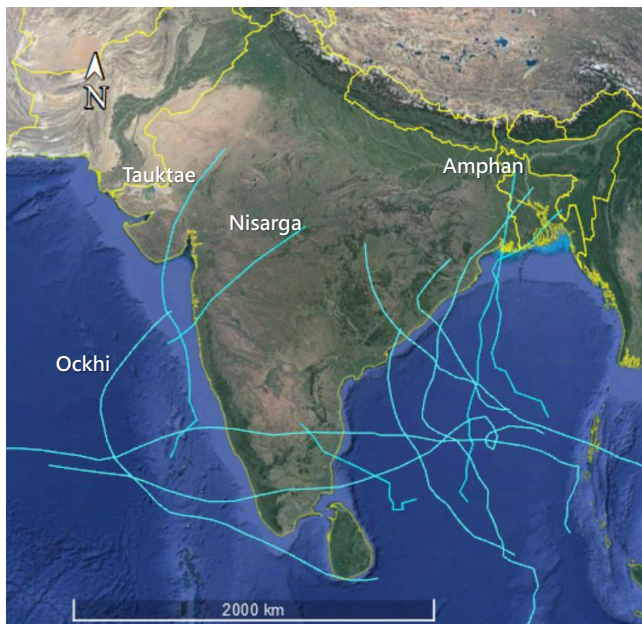


圖 12 近 7 年登陸侵襲印度之氣旋路徑與造成死亡人數統計數據(資料來源：EM-DAT、GDACS 與 NOAA)[20-22]

截至 2021 年 5 月 20 日，過去七年中，以氣旋風暴等級登陸的有 12 個氣旋，僅 2015 年無登陸侵襲氣旋事件；此外，12 個氣旋中，只有 2 個係由阿拉伯海生成發展：2020 年的尼薩爾加(Nisarga)氣旋與 2021 年的陶特氣旋。因此，由阿拉伯海生成，且登陸侵襲印度的氣旋，相當的少；然而陶特氣旋一次影響這麼多邦是非常罕見的，由氣旋路徑可以看出陶特氣旋係幾乎以平行印度西海岸來前進，所以在向北移動期間，距離海岸僅約 200 公里，陶特氣旋共影響了 6 個邦：泰米爾納德邦、喀拉拉邦、卡納塔卡邦、果阿邦、馬哈拉施特拉邦以及古吉拉特邦，以及 2 個聯邦屬地：拉克沙群島、及達德拉-納加爾哈維利與達曼-第烏(Dadra and Nagar Haveli and Daman and Diu)。因此，陶特氣旋造成之死亡人數超過去年(2020 年)的安攀(Amphan)氣旋，僅次於 2017 年奧基(Ockhi)氣旋。

六、 結論

2021 年 5 月 15 日至 18 日，印度西部(6 個邦與 2 個聯邦屬地)經歷了陶特氣旋衝擊，於德里測站帶來創新紀錄之降雨量，係自 1951 年以來五月降雨最高紀錄，約為過去近 70 年最高紀錄的兩倍。此外，陶特氣旋造成強風、風暴潮以及洪水等災害，截至 5 月 22 日為止，造成印度各地近約 1 千 4 百多萬人受災害影響、農作物損失約 2 萬公

頃、以及 181 人死亡，係過去 7 年侵襲印度氣旋死亡人數居第二。由於陶特氣旋侵襲期間，正值 COVID-19 疫情嚴重，導致風災後之復原工作將會更加挑戰。

參考文獻

1. 印度氣象局(IMD)
http://www.rsmcnewdelhi.imd.gov.in/archive-information.php?internal_menu=Ng==&pageno=1&menu_id=NQ==&search_year=
2. 印度氣象局(IMD)
<https://reliefweb.int/report/india/ministry-home-affairs-disaster-management-division-national-emergency-response-169>
3. 印度氣象局(IMD)
<http://www.rsmcnewdelhi.imd.gov.in/images/pdf/damage.pdf>
4. 印度氣象局(IMD)
http://www.rsmcnewdelhi.imd.gov.in/uploads/archive/1/1_404c36_23.%20National%20Bulletin%2020210517_0000%20UTC.pdf
5. 印度水資源訊息系統(India-WRIS)
<https://indiawris.gov.in/wris/#/rainfall>
6. 印度氣象局(IMD)
<https://twitter.com/Indiametdept>
7. 印度中央水利委員會(CWC)
https://twitter.com/cwcofficial_ff
8. 印度中央水利委員會(CWC)
<http://cwc.gov.in/flood-forecasting-hydrological-observation>
9. 全球災害警報及協調系統(GDACS)
<https://www.gdacs.org/Cyclones/report.aspx?eventtype=TC&eventid=1000782&episodeid=15>
10. Aljazeera
<https://www.aljazeera.com/news/2021/5/17/cyclone-tauktae-makes-landfall-in-indias-gujarat>
11. IndianExpress

- <https://indianexpress.com/article/india/cyclone-tauktae-mumbai-rain-weather-update-7318766/>
12. BBC
<https://www.bbc.com/news/uk-57139989>
 13. Rediff
<https://www.rediff.com/news/report/cyclone-tauktae-death-toll-climbs-to-45-in-gujarat/20210519.htm>
 14. Reliefweb
<https://reliefweb.int/report/india/unicef-india-humanitarian-situation-report-no-3-cyclone-tauktae-19-may-2021>
 15. 空間與重大災害國際憲章(ICSMD)
<https://disasterscharter.org/web/guest/activations/-/article/storm-hurricane-urban-in-india-activation-709->
 16. 印度國家災害管理局(NDMA)
<https://reliefweb.int/report/india/ministry-home-affairs-disaster-management-division-national-emergency-response-169>
 17. 全球巨災風險管理諮詢公司(RMSI)
<https://www.rmsi.com/>
 18. Mti News
<https://mtinews.in/rmsi-cyclone-model-estimates-losses-of-rs-15000-crore-caused-by-cyclone-tauktae/>
 19. 印度內政部(MHA)
http://sdmassam.nic.in/pdf/publication/undp/disaster_management_in_india.pdf
 20. EM-DAT
<https://www.emdat.be/>
 21. 全球災害警報及協調系統(GDACS)
<https://www.gdacs.org/default.aspx>
 22. 美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)
<https://coast.noaa.gov/hurricanes/index.html#map=4/32/-80>