

美國德州休斯頓都市洪災事件探討

傅鑣漩¹、吳啟瑞¹、張志新¹、林宗毅²

¹ 國家災害防救科技中心坡地與洪旱組

² 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

摘要

美國德州(Texas)自 2011 年 10 月以來到 2015 都是屬於乾旱的狀態，但是 2015 年 5 月起連續性的降雨，逐步減緩德州乾旱情況。但在 5 月 23 日受到地區風暴影響，旱澇急轉的德州卻遭受大雨侵襲，不僅解除旱象外還造成嚴重洪水災害，造成 28 人死亡，11 人失蹤，德州州政府於 25 日宣布「緊急狀態」，共有 110 郡列為「災害狀態」，其中 51 郡列為「重大災害狀態」地區，而德州主要城市之一休士頓為此次災害最嚴重都市。聯邦緊急事務管理署(FEMA)針對民眾援助共有 9454 戶，援助金額共計 3900 萬美元(相當新台幣 12 億)。此次洪災預估 30 億美元經濟損失(約新台幣 900 億元)。德州部分地區為工業發展區，此次亦受到洪災波及，水災再保公司初步預估，德州洪災將成為美國 2015 經濟損失最嚴重的災害，本文因而針對德州洪災災因進行分析探討。

一、 前言

德州(Texas)自 2011 年 10 月乾旱等級達 D₄「罕見乾旱」¹，70% 土地處於最嚴重乾旱等級，而長達四年乾旱狀態，到 2014 年還有 65% 處於「極端」與「罕見乾旱」狀態，2011 年和 2013 年州政府更是宣布乾旱危機 (drought emergency)，在 2015 年五月起連續性的降雨，逐步減緩德州乾旱情況(圖 1)。但在 5 月 23 日受到地區風暴影響，德州卻遭受大雨侵襲，不僅解除旱象外，由於降水過多，使得山洪暴發，洪水漫淹鄉村、道路和德州主要都市，造成道路中斷，德州工業區也在此次洪水中受災。在 2010 年德州也曾遭受洪災侵襲，但今年(2015)這起災害損失規模超越過去紀錄。

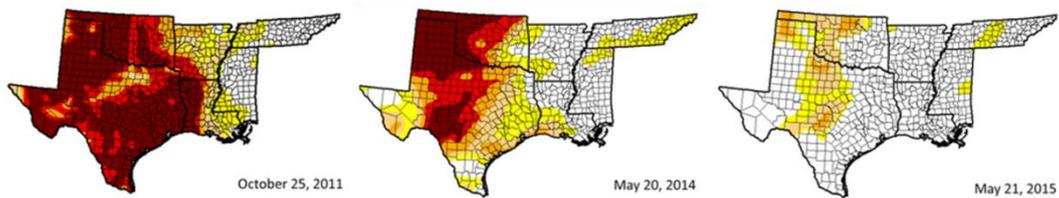


圖 1. 2011、2014 和 2015 美國南部乾旱情況(U.S. Drought Monitor)

二、 地理環境

德州位於美國南部地區(圖 2)，與墨西哥相鄰，面積約 70 萬平方公里，共有 2700 萬人之多，人口多集中於三大城市休斯頓(Houston)、達拉斯(Dallas)、聖安東尼奧(San Antonio)，是美國第二大州。德州地

¹美國乾旱等級由輕到最嚴重，分為 D₀:異常乾燥(Abnormally Dry)，D₁:中度乾旱(Moderate Drought)，D₂:劇烈乾旱(Severe Drought)，D₃:極端乾旱(Extreme Drought)，D₄:罕見乾旱(Exceptional Drought)。

勢西高東低，州內共有 5 條主要河流流經，其流經方向為西北往東南流，最終流入墨西哥灣。墨西哥灣為颶風侵襲地區，而德州地勢較低地區緊鄰墨西哥灣，故沿岸地區因而經常發生淹水災害。德州的雨量分布由東向西遞減，圖 3 為德州年雨量分布圖，東邊約 54 英吋(約 1400 毫米)至西邊 14 英吋(約 355 毫米)，而影響雨量的成因包括:地勢高低和距海的遠近；此外當地氣溫，以緯度影響最大，溫度由南向北遞減(圖 3 左)，其次是地勢高低的影響。



圖 2. 德州位置圖(en.wikipedia.org/wiki/Texas)

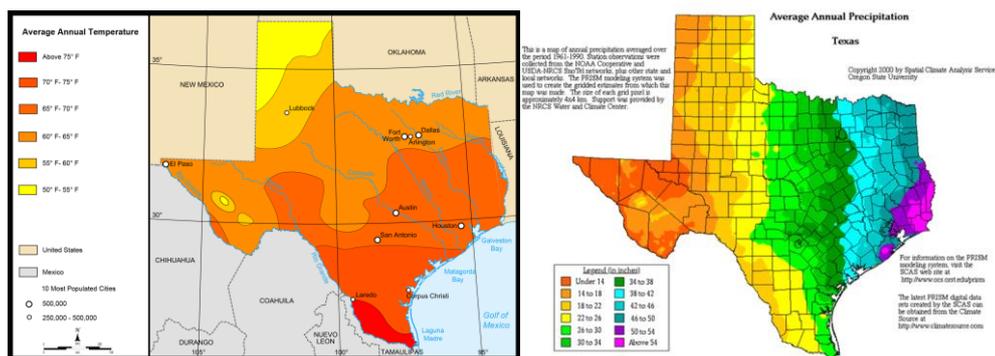


圖 3. 德州氣溫(左)(worldofmaps.net)和年雨量圖(右)(land with minerals)

三、 災害概述

美國德州洪水發生時間在 5 月 23 日至 26 日，由於多日連續性降雨，造成 28 人死亡，11 人失蹤，德州州政府於 25 日宣布緊急狀態，有 110 郡列為災害狀態，其中 51 郡列為重大災害狀態地區，而德州主要城市之一休士頓為此次災害最嚴重都市，故本文將以休士頓洪災深入探討，並說明休士頓都市洪災防洪歷程。

由於休士頓上游洪水暴漲，橋梁摧毀，主要道路成為排洪水路，德州地區有 10 萬戶無電可用，主要城市休士頓部分地區停止上班上課，而聯邦緊急事務管理署(FEMA)援助 9454 戶的民眾，援助金額共計 3900 萬美元(相當新台幣 12 億)。此次洪災預估 30 億美元經濟損失(約新台幣 900 億元)。德州部分地區為工業發展區，此次亦受到洪災波及，水災再保公司初步預估，德州洪災將成為美國 2015 經濟損失最嚴重的災害。

四、 氣象水文分析

德州地區連續性的降雨，可由 NOAA 的日累積雨量圖顯示:5 月 24 日至 5 月 27 日地區性低壓導致降雨，而降雨最劇烈時間集中在 5 月 24 日與 26 日這二日，由圖 4 為德州 5 月 24 至 27 日之日累積降雨，最大降雨約大於 250 毫米，24 日最大降雨集中在聖安東尼奧，26 日最大降雨集中在休斯頓。德州氣象資料有紀錄以來在 2004 年六月是

降雨最多月份降雨量為 6.66 英吋(約 169 毫米)，而今年五月超越過去紀錄。這是連續性的鋒面在德州與奧克拉荷馬州持續降水，雖然春季一直是美國南部州的雨季，但今年的雨季的雨量比往年來得多，甚至超過歷史紀錄，由圖 5 顯示 2015 年五月，德州中、北部都市達拉斯周邊雨量測站 Dallas 測得 14.98 英吋(380.5 毫米)降雨，周邊另一個測站 Dallas Fort Worth 測得 16.96 英吋(430.8 毫米)雨量，測站分別打破歷史紀錄，創下歷史第一紀錄；而德州南部都市休斯頓周邊雨量測站 Houston 測得 14.17 英吋(359.9 毫米)雨量，為該測站五月歷史排名第五，聖安東尼奧都市中雨量測站測得 8.57 英吋(217.7 毫米)雨量，為該測站五月排名第七。

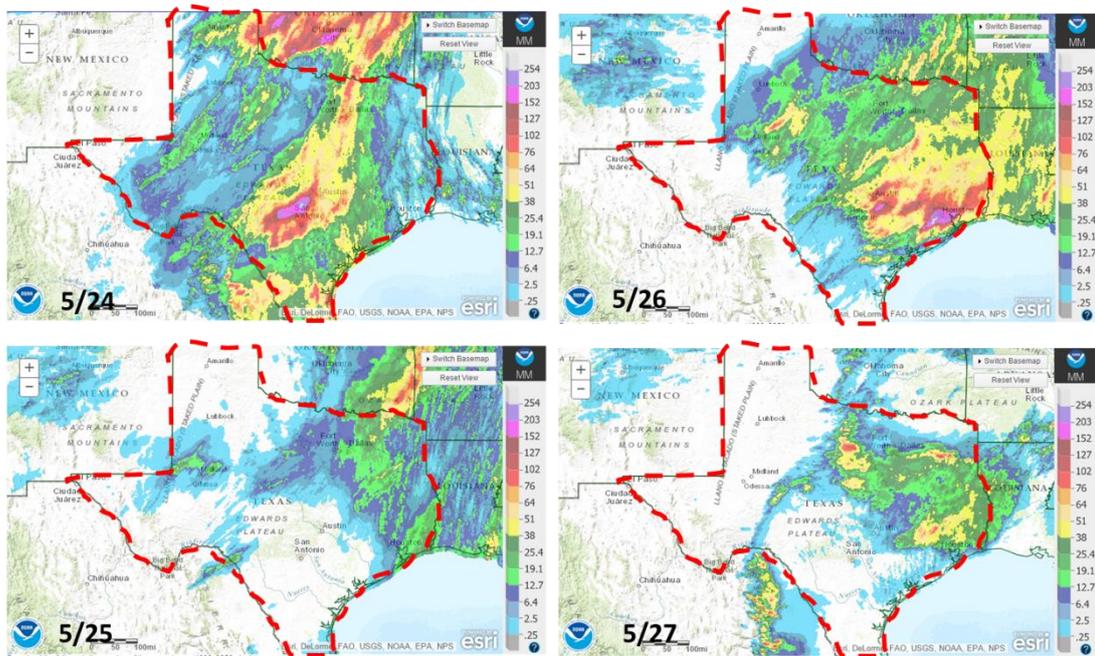


圖 4. 5 月 24 日至 27 日日降雨累積圖(單位:毫米)(NOAA)

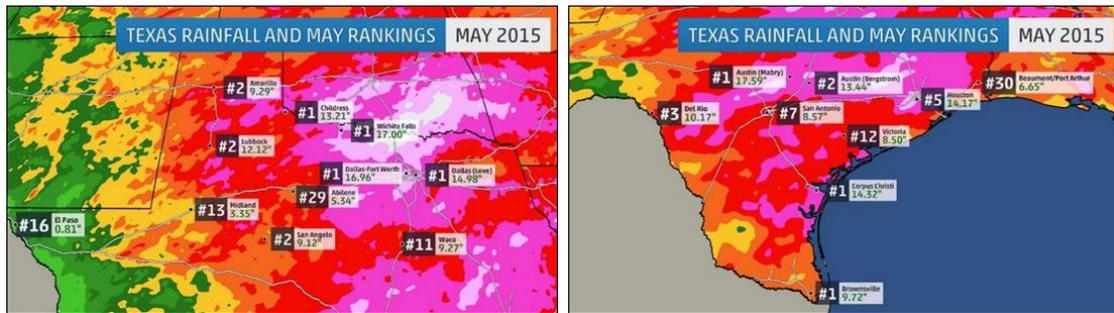
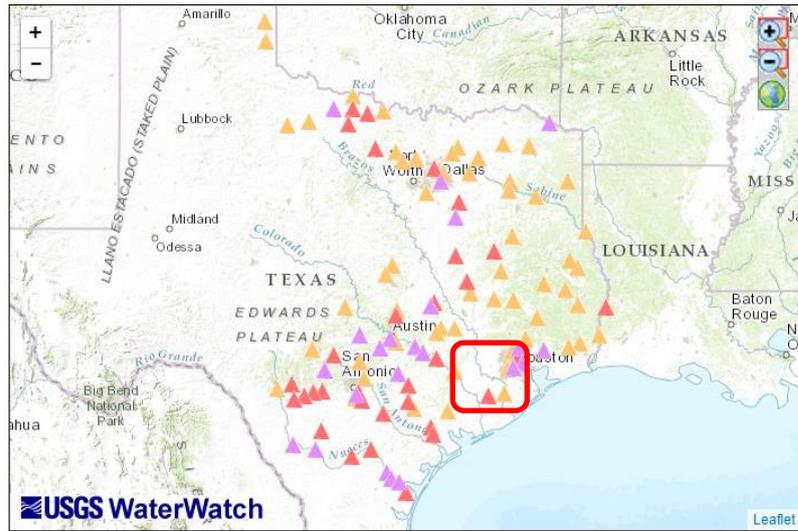


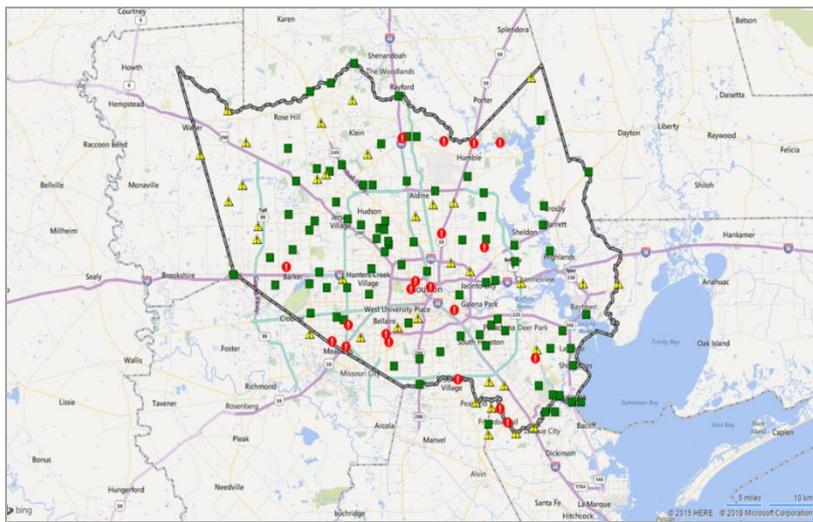
圖 5. 2015 年五月德州北部(左)、南部(右)累積降雨及歷史排序(NOAA)

由圖 6 左顯示為 5 月 26 日德州低窪地區和沿海地區已發生洪水災害，部分地區已達中度洪水和嚴重洪水狀態(圖 6 紅框)。另外，放大休士頓位屬哈里斯郡(Harris)的警戒情況，休士頓市中心和周邊外圍水位站，部分水位顯示紅標(圖 7)，表示水位已達堤頂溢堤情況。此外，將哈里斯郡分別取北、中、南三測站可得知降雨是由 5 月 25 晚間 8 時開始降雨(圖 8)，當南區降雨已經是晚間 11 時，可得知降雨雲雨帶是由北往南移動，而三區最大時雨量皆超過 40 毫米，而中部雨量站各測得二小時降下 112.76 毫米，相當於德州五月月雨量；另外，水位也隨著降雨增加因而上升，並在降雨 5-8 小時後水位達到峰值，甚至超過水位站之堤頂高，依水位重現期計算，此次洪水超過 10 年重現期，接近 50 年重現期之水位高。



註:橘色:列為已發生洪水地區、紅色:中度洪水地區、紫色:已達大洪水階段

圖 6. 德州地區洪水警戒(USGS Water Watch)



註:綠標:正常水位、黃標:警戒水位、紅標:水位已達堤頂溢堤

圖 7. 休士頓隸屬哈里斯郡水位警戒資訊
(Harris County Flood Warning System - Harris County, Texas)

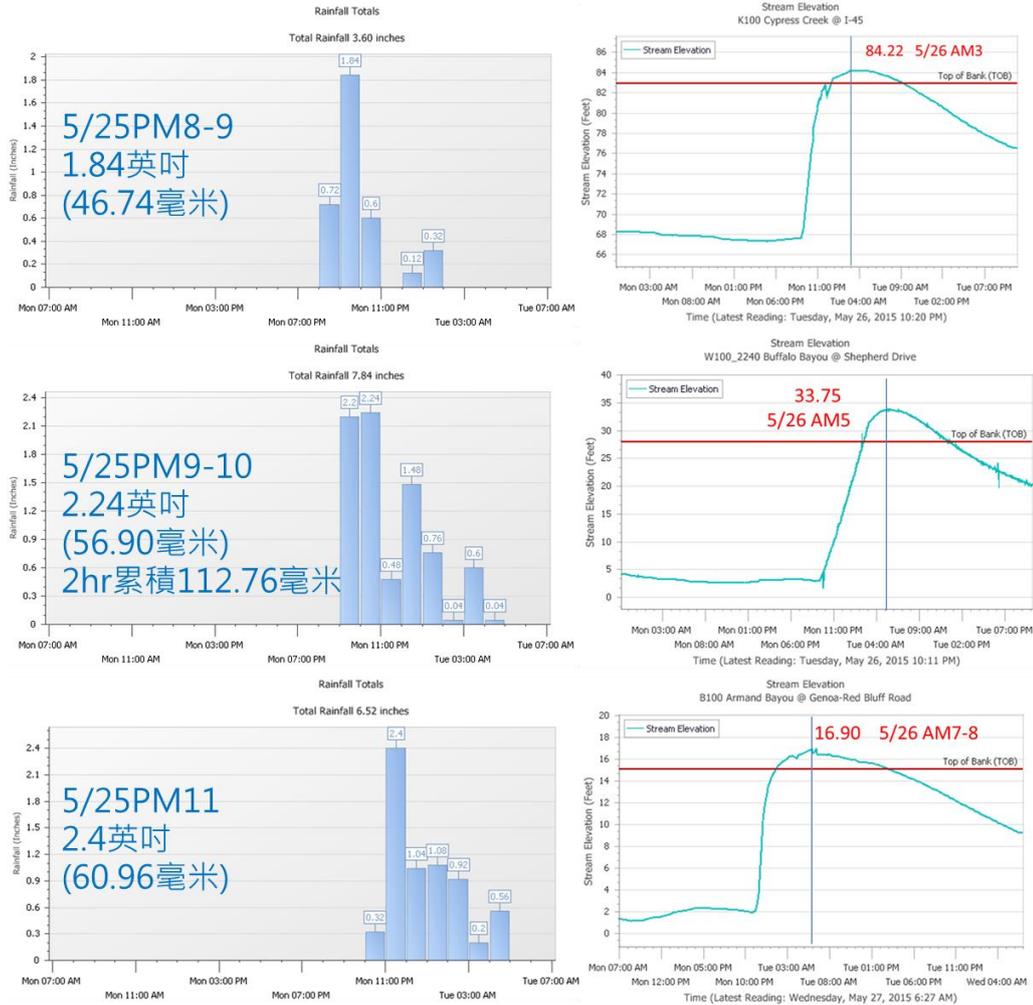


圖 8.哈里斯郡北、中和南部雨量組體圖(左)及水位歷線圖(右)
(Harris County Flood Warning System - Harris County, Texas)

五、 災害衝擊影響

由於休士頓幾乎每年都遭受洪水襲擊，所以為了減少洪水衝擊影響都會區，災害汛洪期間將道路即時改成水道(圖 9)，讓洪水可以順勢道路(人工水道)排除，但此洪水發生之時，道路確實發揮了蓄洪、排洪效用，但是道路改成水道時，宣導不及，使得在道路上的車輛因而困在水中，動彈不得甚至滅頂，而車上民眾對於突如其來的洪水無

處避難，因而求救警消脫困。

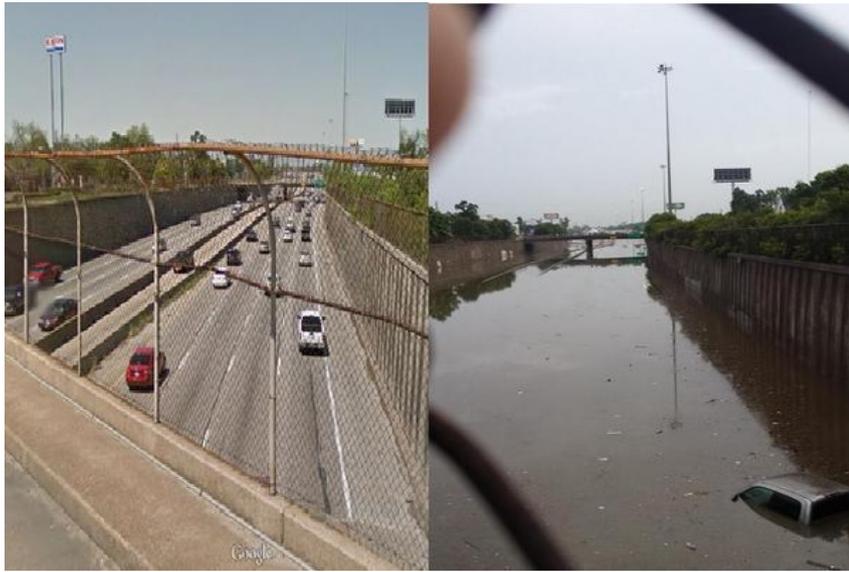


圖 9. 德州快速道路災前後對照圖(Richard Lewelling via twitter)

此次洪水，使得人口眾多的休士頓都會低窪地區淹水(圖 10)，也造成環市公路中斷。德州又是重工業地區，本次洪災也遭受波及，所以相關的再保公司聲明，德州洪災的經濟損失將會是本年度美國之最。



圖 10. 德州都市淹水照片(美聯社)

六、 其他洪災課題探討

(一) 防汛區的規劃

休士頓淹水事件不外乎受到颶風與雨季影響，而休士頓地勢相對低窪，所以僅只要瞬間大雨或連續性降雨，便造成淹水災害發生。表 1 分別為休士頓都市周邊水位站站名及羅列出近 15 年較大的三起洪水事件，分別是 2001 年艾里遜颶風(Allison)、2008 年艾克颶風(Ike)和 2015 年五月的洪災，這三場災害瞬間水位高，都超過堤頂高，造成河水溢淹的情況，而 Brays Bayou at Beltway 8 此站在今年五月的水位高逼近過去歷史紀錄。

表 1. 休士頓近年來重大洪水事件之水位(HCFCD)

水位站名 水位紀錄	Buffalo Bayou at Shepherd Drive(ft)	Brays Bayou at Beltway 8(ft)	Greens Bayou at Shepherd Drive(ft)
堤頂高	28	64.2	30
過去紀錄值	49	>65.91	44.01
2015 年 5 月 26 日	33.73	65.91	34.02
2008 年艾克颶風	32.42	58.7	36.24
2001 年艾里遜颶風	40.2	-	44.01

由於休士頓隸屬哈里斯郡中，這周邊遭受洪水侵襲的頻率高(圖 11)，如何解決都會區洪災，降低災害帶來的損失。因此德州州政府在 1937 年依法成立哈里斯郡防汛區(Harris County Flood Control District, HCFCD)，該防汛區成立目的為了減少洪水侵襲和降低災害

帶來的損失，因此將哈里斯郡劃分 22 個子集水區(圖 12)，每一個集水區都有各自淹水問題，因此規劃設計了多種方法(圖 13)，包含:滯洪池、增加綠帶、濕地劃設、回收河川氾濫用地及相關防災教育等，做為全面性規劃考量，以減少整個郡洪水災害。

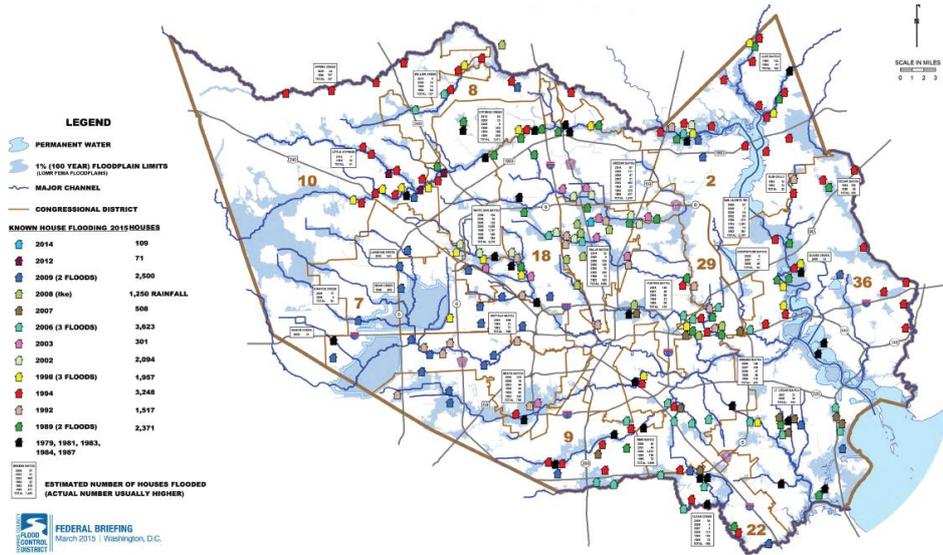


圖 11. 哈里斯郡歷史淹水房屋分布(HCFCF)

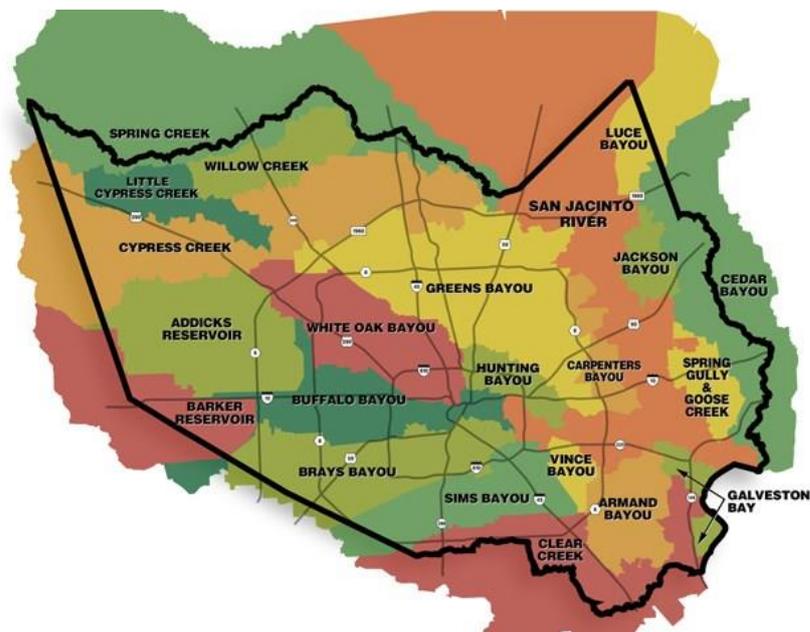


圖 12. 哈里斯郡 22 個子集水區(HCFCF)



圖 13. 哈里斯郡整治照片(HCFCD)

(二) 連續降雨水庫滿水

雖然德州在 2015 年五月以前處於乾旱災害型態，但五月起連續性的降雨，不僅讓乾枯的土地含有水分，甚至造成洪水氾濫，不過上游水庫也發揮效用，圖 14 是德州境內科羅拉多河(Colorado)上的馬歇爾福特水庫(Marshall Ford)水庫歷線圖，在超過月平均雨量的降雨下，使得水庫由原先低水位至五月立即飆升，水庫不僅解決旱象，另外亦發揮了蓄洪效用，削減河水流量降低水位高，不然河水溢堤漫淹情況會更加嚴重。

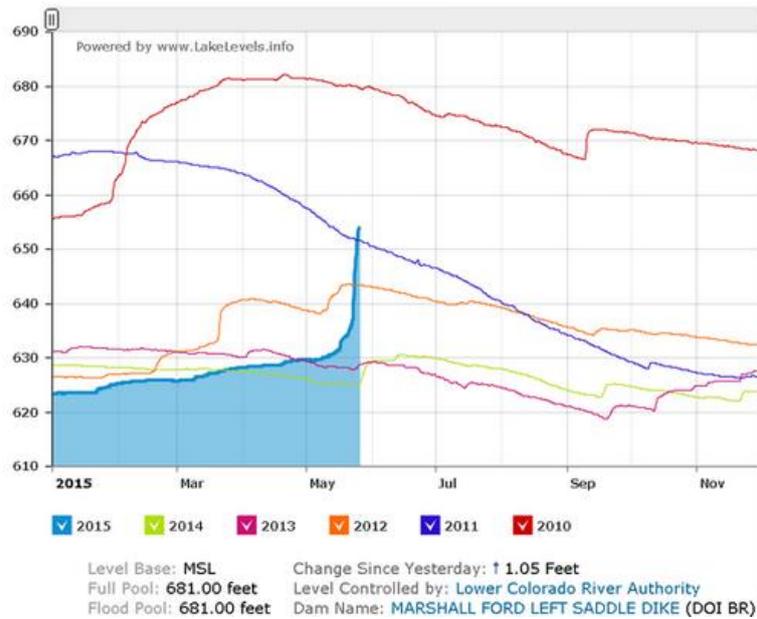


圖 14. 馬歇爾福特水庫 2010-2015 水位歷線

(<http://www.lakelevels.info/>)

(三) 都市擴張與河搶地

縱觀過去都市地帶，人們的居住地都坐落在河道旁邊，因為不僅提供了交通、能源、供水或肥沃土壤，儘管有這麼多的好處，但是這樣吸引力並非沒有缺點，居住在洪氾區相對的洪水災害發生機率來得高。德州也不例外，德州人口約 2700 萬人，是美國人口第二多的州，人口大多集中於德州三大城市，休士頓、達拉斯和聖安東尼奧(圖 15)，此三都市人口都超過 500 萬人，又稱德州人口三角地帶。由於人口持續在德州增加，僧多粥少地區，為求更多開發用地，河川氾濫平原地區因此加速開發，此次河岸邊遭受洪災影響，使得民眾必須強制撤離，千人流離失所。

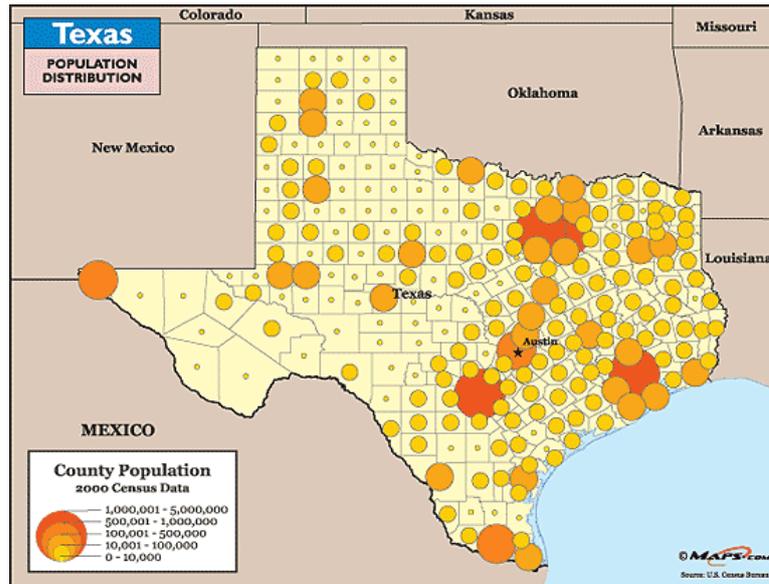


圖 15. 德州人口分布(Forourfamily.info)

結論

旱澇急轉近年世界各地屢見不鮮，此次美國德州也發生同樣的情況，乾旱不僅限制民生、工業和農業用水，付出龐大經濟損失，但突發的極端降雨造成都會型洪災發生，工業設備和關鍵基礎設施等，因而淹沒水中，造成更嚴重的經濟損失。因應極端氣候中，旱澇翻轉頻率高，必須重點加強防護計畫，持續改善防洪或蓄水能力與調適作為，以因應旱澇翻轉造成各項損失。

參考文獻

Federal Emergency Management Agency, FEMA

<http://www.fema.gov>

Forourfamily.info

<http://wsdn.info/domain/forourfamily.info>

Harris County Flood Control District, HCFCD

<https://www.hcfcfd.org/>

Harris County Flood Warning System - Harris County, Texas

<http://www.lakelevels.info>

land with minerals

<http://www.landwithminerals.com/>

National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA

<http://www.noaa.gov>

U.S. Drought Monitor

<http://droughtmonitor.unl.edu/>

USGS Water Watch

<http://waterwatch.usgs.gov>

worldofmaps.net

<http://www.worldofmaps.net/home.htm>

維基百科-德州

<http://en.wikipedia.org/wiki/Texas>

美聯社

<http://www.ap.org/>