

## 2021 中國山西省洪患探討

呂喬茵<sup>1</sup>、廖楷民<sup>2</sup>、黃柏誠<sup>3</sup>、何瑞益<sup>1</sup>、張志新<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

<sup>2</sup> 國家災害防救科技中心 體系與社經組

<sup>3</sup> 國家災害防救科技中心 氣象組

### 摘要

2021 年 10 月 2 日至 7 日，山西省遭受到有氣象紀錄以來最強烈的秋汛，長時間且強度大的降雨造成多處傳出坡地崩塌、河堤潰堤、淹水、道路中斷等災情，平時乾涸無水的烏馬河和經常因為水流不足出現斷流的汾河都出現潰堤溢淹的災情。此次洪災使農作物受災面積達 357.69 萬公畝，並短暫影響煤炭的產量，加上大雨影響公路、鐵路，造成運輸成本提高，使煤價有些微上漲。本文透過合成孔徑雷達影像的分析處理，更容易且大範圍的判釋淹水的影響範圍，可在未來災情評估與救災規劃上提供重要的參考依據。

### 一、環境背景

中國山西省位處於黃土高原的東邊，為典型黃土廣泛覆蓋的山地高原，地勢東北高西南低，山地、丘陵面積占全省總面積的 80.1% (圖 1)。山西屬於中緯度地區，在氣候類型上為溫帶大陸性季風氣候，具有四季分明、光照充足、南北氣候差異

顯著、冬夏氣溫懸殊、晝夜溫差大的特點。山西省各地年平均氣溫介於 4.2-14.2°C 之間，全省各地年降水量介於 358-621 毫米之間，6-9 月降雨相對集中，約占全年總降水量的 60%，降雨分布受地形影響較大。汾河是山西省內最大的河流，也是黃河的第二大支流，全長約 713 公里。山西是工業經濟發達的省份，礦產資源豐富，因此，山西省空氣污染、水污染、水資源破壞問題很嚴重，與其他省份的經濟發展速度相比，山西屬於中等發展速度省份，經濟總量居全國中等水平。山西省也是中華民族的發祥地之一，擁有豐厚的歷史文化遺產，早在舊石器時代就已經有人類在此活動的紀錄，全省共有 3 處世界文化遺產(平遙古城、雲岡石窟、五台山)，452 處全國重點文物保護單位，為全中國最多的省份[1]。



圖 1. 山西省地形圖。(底圖來源：google map)

## 二、氣象分析與致災原因

山西省主要降雨為每年的 6-9 月，10 月山西全省平均降雨僅為 31.1mm。此次事件從 10 月 2 日夜間開始，強降雨持續至少 5 天，最強降雨出現在 4 日及 5 日，連續兩天在山西中部出現區域性的暴雨，10 月 5 日的降雨為氣候值的 3 倍以上，部分地區更是氣候值 5 倍以上(圖 2)，從 10 月 2 日 20 時至 10 月 7 日 8 時，山西省平均降雨量達 119.5mm，另外全省有 18 個縣市降雨超過 200mm，有 51 個縣市降雨在 100~200mm 之間，主要降雨區為山西省的中部地區，此次最大累積降雨量達

285.2mm(如圖 3)。山西省共有 59 個國家氣象觀測站的日降雨量和 63 個國家氣象觀測站的累積降雨量超過同時期的歷史紀錄。此次強降雨過程，前期降雨伴有雷電，局部地區出現時雨量 20-30mm 的短延時強降雨，後期(4 日至 6 日)的降雨主要是穩定性降雨，時雨量維持在 10mm 以下，氣溫方面在降雨後期則持續走低，受到冷空氣的影響，7 日至 11 日，山西大部分地區平均溫度下降 8-10 度，在 10/11 日最低溫降至 1 度左右，更增加了救災的難度[2]。

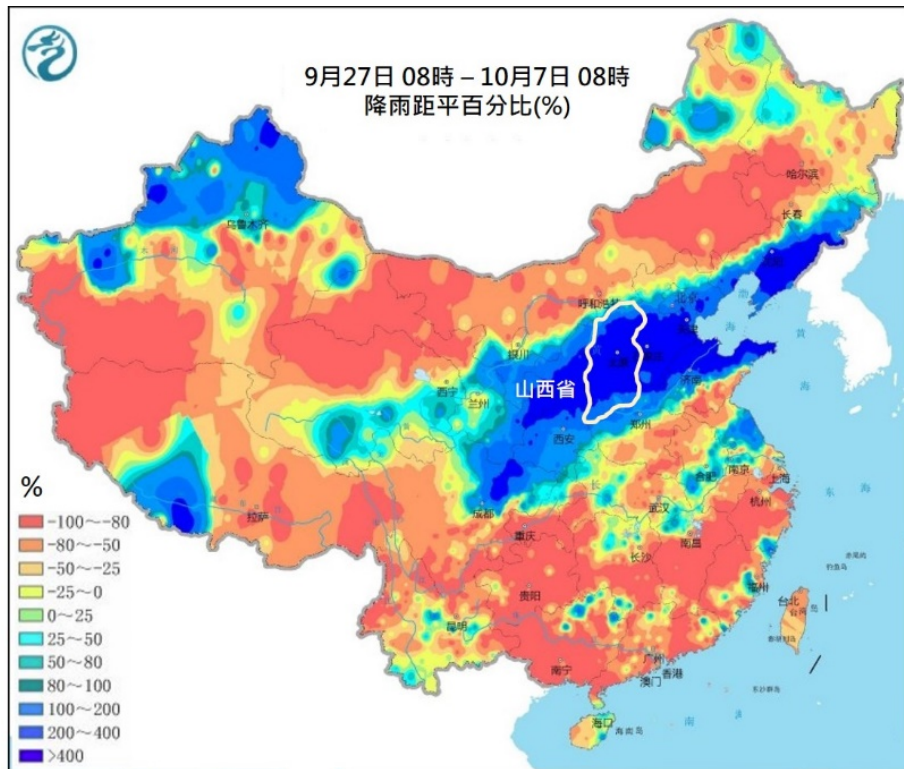


圖 2. 9 月 27 日 8 時至 10 月 7 日 8 時降雨距平百分比。(資料來源：中國中央氣象台[3])

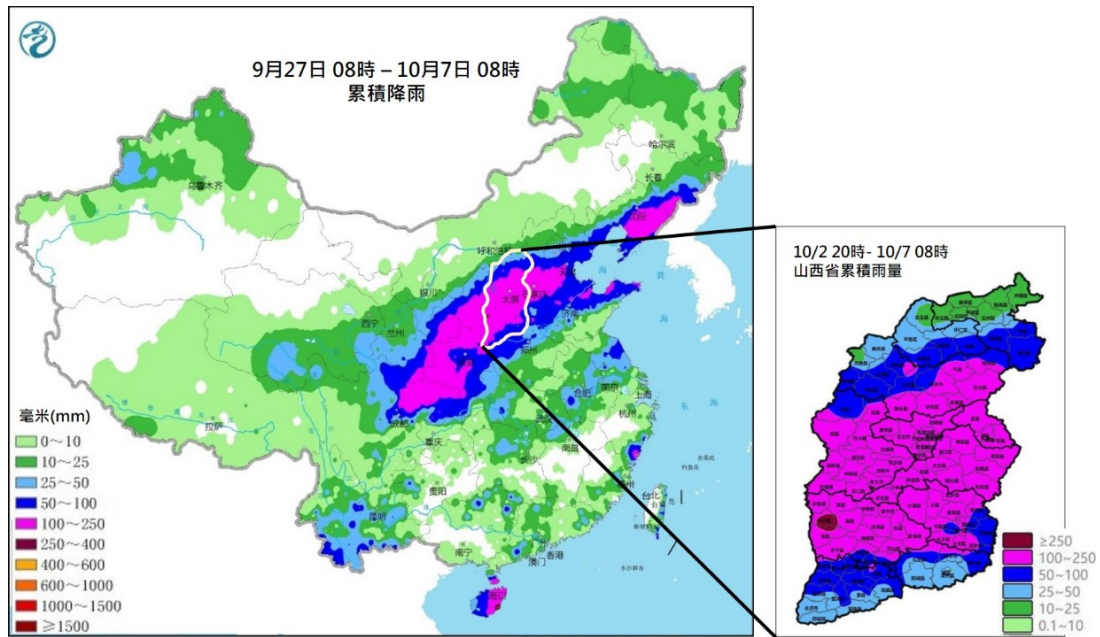


圖 3. 9 月 27 日 8 時至 10 月 7 日 8 時累積降雨圖(大圖為全中國、小圖為山西省)。(資料來源：中國中央氣象台[3])

此次降雨事件的主要原因是偏強的太平洋副熱帶高壓，往年 10 月副熱帶高壓已東退到太平洋海面上，今年 10 月初太平洋高壓卻異常偏北、偏西及偏強，且穩定維持在華中以南地區。此外，來自海洋的水氣則沿著副熱帶高壓的西側往北輸送到山西的中南部地區，與北方的乾冷空氣相遇後，形成鋒面降雨。

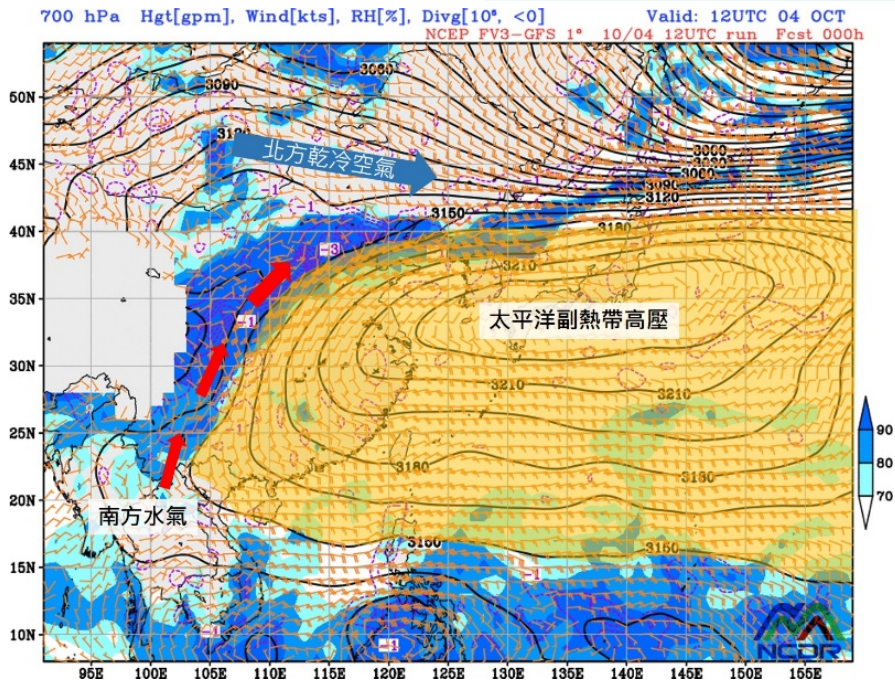


圖4. 10月4日大氣環境示意圖，黃色為太平副熱帶高壓區域，藍色為700百帕水氣。(資料來源：美國NCEP[4]，重製：國家災害防救科技中心)

這次的受災區域則是跟山西的地形有關，山西地勢兩側為高山、中間為盆地(如圖 1)，此次鋒面長時間停留經過山西中部地區，在山區迎風面造成大量降雨，雨水最終隨著地表逕流等匯聚到盆地當中，因此本次受災最嚴重的區域也集中在盆地地區。

### 三、災情紀錄

10月2日至7日，山西出現有氣象記錄以來的最強秋汛，許多地區遭遇到時間久且強度大的降雨，造成多處傳出坡地崩塌、河堤潰堤、淹水、道路中斷等災情。受到黃河北幹流水量升高的影響，黃河中游的潼關水文站在5日晚上11點，流量達到每秒5090立方公尺，中國水利部宣布為黃河2021年第3

號洪水<sup>1</sup>[5]。

山西省政府於防汛救災新聞發布會上表示[6]，截至 10 月 12 日上午，山西省內有 37 條河流發生洪患，高速公路、國省幹線、鐵路運行等都受到一定程度的影響。另外，山西也是全國文物最多的省份之一，受豪雨影響，山西全省截至 10 日有 1763 處文物出現了不同程度的屋頂漏雨、牆體開裂坍塌、地基塌陷、建築倒塌等災情。其中，屬中國觀光景點 5A 最高等級的平遙古城城牆受損和局部坍塌，引起各界關注。山西省內 11 個市 76 個縣（市、區）共 226 個村莊淹水，175.71 萬人受災，因災死亡 15 人，3 人失蹤，緊急轉移安置 12.01 萬人，農作物受災面積 357.69 萬畝，倒塌房屋 1.95 萬間，嚴重損壞 1.82 萬間，超過 33 萬戶停電，直接經濟損失約 50.29 億人民幣，公路累計受損 6523.36 公里，因災受損阻斷 3347 處，臨時關閉的風景區共 167 處[7]。

山西省重點災害事件描述如下：

### 3.1 河堤潰堤釀災

由於持續性的強降雨，使烏馬河清徐段、汾河新絳段、磁窯河汾陽段與孝義段等多處發生河堤潰堤，以下針對汾河和烏馬河的部分作較詳細的描述：

#### (1) 烏馬河

烏馬河為汾河的區域性支流，是一條季節河<sup>2</sup>，在烏馬河

---

<sup>1</sup>黃河洪水編號標準：上游唐乃亥水文站或蘭州水文站流量達到每秒 2500 立方公尺；中游龍門水文站或潼關水文站流量達到每秒 5000 立方公尺；下游花園口水文站流量達到每秒 4000 立方公尺；複式洪水：上游洪水時間間隔 48 小時或中下游洪水時間間隔達 24 小時。

<sup>2</sup> 季節河：又稱為間歇性河流，意旨河流在枯水期呈現斷流，豐水期才形成流水。

進入清徐縣境內後，因地勢增高，成為一條懸河<sup>3</sup>，高出周圍平地數米，平時乾涸無水。因連日強降雨，加上上游水庫洩洪，5日上午烏馬河河槽形成洪水，使設計條件為每秒20立方米的堤壩受到衝擊。從5日下午開始，烏馬河水量迅速增加，由每秒40立方米的流量迅速增長到每秒100立方米，洪水開始漫過河堤。隨著洪水繼續迅速增長，流量高達每秒130多立方米，部分地段堤防出現管湧等現象，並有潰堤的危險。當地政府迅速組織群眾撤離受到洪水威脅的村莊，包含小武村、孟封村等8個村莊，約15,000居民連夜撤離至安全地帶。10月7日降雨仍在繼續，烏馬河清徐縣、祁縣段已出現4處河堤潰口，當地組織全力投入救援[8]。



圖 5. 烏馬河清徐縣小武村與汾河新絳縣橋東村潰堤淹水位置圖。(底圖來源：google earth)

<sup>3</sup> 懸河：又稱為地上河，即河床高出兩岸地面的河流。



## (2) 汾河

汾河是山西省內最大的河流，也是黃河的第二大支流，根據水文資料顯示，汾河流域並無特別嚴重的水災紀錄，反而常因水流不足出現斷流的現象，最嚴重的斷流紀錄曾達一年內 320 天。然而在 10 月 7 日汾河新絳段的流量洪峰值達到每秒 1,125 立方米，是日常水流量的 30 倍，使汾河下游運城市內新絳段遇到近 40 年來最大的洪峰流量。位於上游的新絳縣橋東村汾河北段發生潰堤(圖 5、6)，潰口長度約 20 公尺，近 2 萬人被緊急撤離，經當地組織的緊急搶救，潰口於 10 月 8 日 16 時左右修復，但已對新絳縣的房屋與建設造成傷害[9][10]。



圖 6. 汾河潰堤後，洪水沖入新絳縣橋東村。(圖片來源：界面新聞[10])

## 3.2 平遙古城

位於山西省中部平遙縣的平遙古城，距今約有 2,800 年的歷史，為世界文化遺產之一，也是國家重點文物保護單位之一。

受到持續性強降雨的影響，10月5日凌晨平遙古城的城牆內部發生了崩塌的現象。由於整個城牆內側都是由夯土製成的，暴雨造成6公里長的城牆內有51段牆體受損，包括16處的內牆夯土坍塌(圖7)，最嚴重的城牆坍塌部分長約25公尺，高約10公尺，所幸未造成人員傷亡，已於第一時間進行搶修程序[11][12]。中國文化遺產研究院認為主要的問題出在建材，中國北方的建築為了保溫，需墊一層乾土層，一旦滲水會失去強度且會變重而容易崩塌，另外在古城牆的保存上，也缺乏對強降雨的防護規劃[13]。



圖 7. 10月8日所拍攝的平遙古城城牆坍塌處理情形。(照片來源:新華社[12])

### 3.3 鐵路地基掏空

10月6日，因受強降雨影響，祁縣境內昌源河水位上漲，

洪水沖毀路基，南同蒲線在祁縣內的昌源河大橋上的橋台被衝垮，造成鐵軌懸空(圖 8)，一列貨運列車緊急停在懸空的鐵軌上，所幸並未造成人員傷亡，截至 6 日晚上 11 時，中國鐵路太原局集團有限公司、晉中市縣政府已開始全力搶修[14]。



圖 8. 鐵路地基遭淘空，僅剩鐵軌在半空中(紅框處)。(圖片來源：新華社[15])

### 3.4 蒲縣荊坡村山崩

強降雨導致山西省西南部臨汾市蒲縣內的荊坡村於 10 月 5 日晚間 11 點發生山崩事件，從當地居民近距離所拍攝的影片中可見(圖 9)，當崩塌發生當下，下方道路不但有多台車輛停放，甚至有車子正從下方駛過，大量的崩塌塊體造成 5 人被埋在底下受困，導致 4 名交通警察死亡、1 人受傷治療[16]。



圖 9. 蒲縣荊坡村山崩過程，大量土石掩埋下方多台車輛。

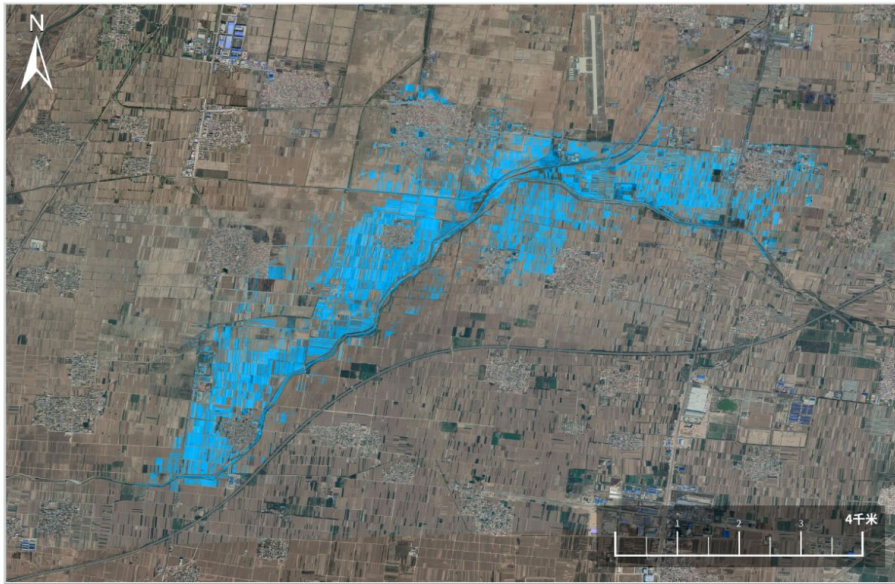
(圖片來源：截圖至中新視頻[17])

#### 四、遙測影像判釋

透過中國的海絲一號衛星<sup>4</sup>以及歐洲太空總署 Sentinel-1 衛星的最新雷達影像，可以從接近七百公里的高空更全面了解本次洪水的影響情況。利用 9 月 30 日還沒有受到強降雨侵襲的烏馬河流域雷達衛星影像，與 10 月 7 日烏馬河河堤潰堤後海絲一號所獲取的雷達衛星影像作比對，可以獲得烏馬河潰堤後所造成的淹水區域如圖 10 所示，圖 10 的底圖使用的是高分衛星所拍攝的光學影像，圖中顯示洪水不僅淹沒了大面積的農田，同時也漫延到民宅，對當地居民造成衝擊與影響[18]。

<sup>4</sup> 搭載合成孔徑雷達的衛星，於 2020 年 12 月 22 日發射，可全天候對陸地、海洋、海岸進行觀測，為中國海洋環境、災害監測、土地利用等提供服務。

乌马河流域受灾地区示意图



制图时间：2021年10月 制图单位：北京佳格天地科技有限公司 数据来源：天仪研究院-海丝一号，高分卫星

圖 10. 利用 10 月 7 日海絲一號所拍攝之雷達影像判釋烏馬河潰堤導致的淹水影響範圍。(資料來源：北京日報客戶端；製圖單位：北京佳格天地科技有限公司[18])

國家災害防救科技中心則透過 Sentinel-1 衛星於 2021 年 9 月 23 日、10 月 5 日、10 月 12 日、10 月 17 日所拍攝的雷達影像，來分析新絳縣橋東村汾河北段潰堤所造成的淹水狀況，皆以 9 月 23 日作為事件前的影像，其他三個時間的影像相對於 9 月 23 日進行比對，結果如圖 11 所示，深藍色的區域表示相對於事件前影像所增加的水體範圍，黃色區域代表當下的影像相對於事件前影像有較強的反射訊號，但並不是水體的訊號。汾河潰堤發生於 10 月 7 日，因此 5 日的成果顯示僅有少數地區因大雨而有積淹水現象，從 12 日結果可見汾河和水流量明顯增加，潰堤 5 天後橋東村仍有許多地方受淹水影響，至 17 日才逐漸復原。

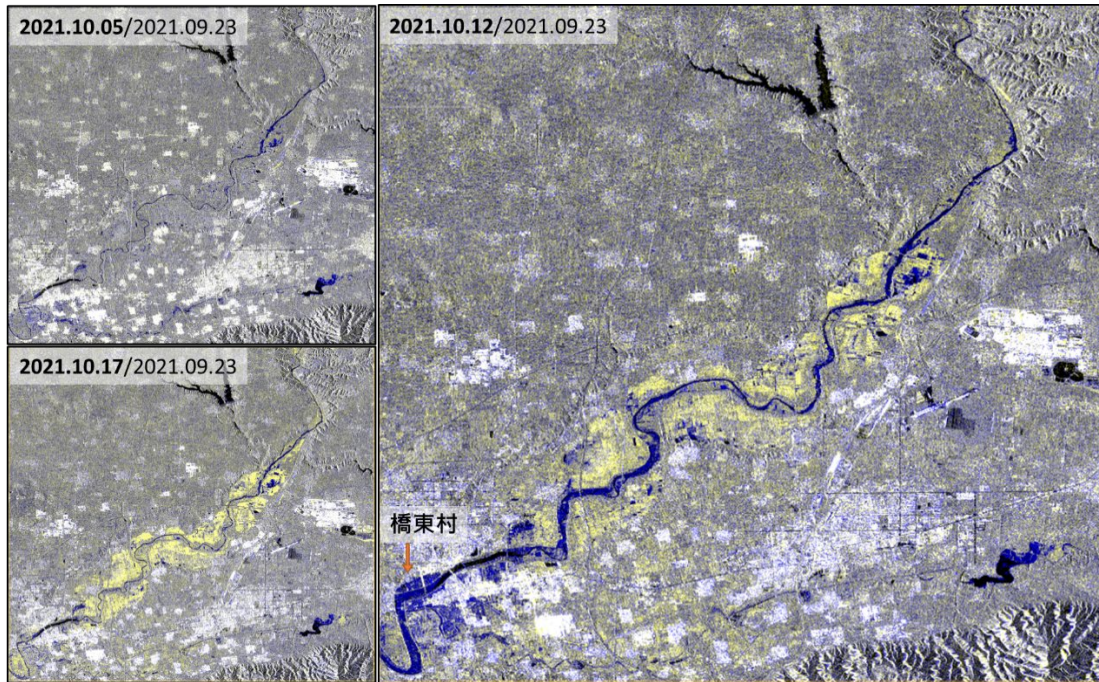


圖 11. 利用不同時期的 Sentinel-1 雷達影像，分析新絳縣橋東村汾河北段潰堤的淹水影響範圍。

## 五、政府作為與衝擊影響

### 5.1 應變

山西省防汛抗旱指揮部於 10 月 4 日 12 時啟動省級防汛 IV 級應急響應<sup>5</sup>，而中國國家減災委員會應急管理部也於 10 月 9 日 12 時，啟動國家 IV 級救災應急響應，並出動工作組至災區協助，主要工作項目包括瞭解災民安置與災民的基本生活保障情況，並實地踏勘房屋毀損、基礎設施受損與農作物損失情形。自 10 月 2 日災情發生以來，山西省消防救援隊伍共出動 889

<sup>5</sup> IV 級救災應急響應啟動條件：數省（區、市）同時發生一般洪水；數省（區、市）同時發生輕度乾旱；大江大河主流堤防出現險情；大中型水庫出現險情；多座大型以上城市同時因旱影響正常供水。

人次、消防車 1210 輛次、舟艇 51 艘次，搶救受困民眾共 196 人[6]

在災民安置方面，據山西省應急管理廳發佈之新聞稿提到，政府針對老幼病族群提供專門照顧，緊急改造體育場館、學校宿舍作為災民的臨時安置地點，針對低溫天氣，臨時調配取暖設施，災情較嚴重的介休市，則集中安置在旅店，而汾西縣等地以投靠親友為主，整體而言，旅店安置的配套措施較為完善[19]。

在物資援助方面，山西省財政廳針對受災地區採購開啟「綠色通道」，保持緊急採購的暢通，在防汛救災期間，各單位採購防汛救災、應急救援和古建築保護等緊急性、搶救性事項相關貨物、工程和服務，可不依照政府採購的法定程序，但仍須有完善的緊急採購內部控制與管理機制[20]。為防止洪患後出現大規模疫情，山西組織疾控中心等 50 多名專家至災區展開災害衛生防疫工作，完成蓄洪區、安置點、垃圾點等區域的消毒，並進行生活飲用水、食品安全監測[19]。

## 5.2 復原

按照《山西省防汛抗旱應急預案》有關規定，山西省防汛抗旱指揮部經會商後於 10 月 15 日 16 時終止省級防汛 IV 級應急響應，之後的復原工作會在春節前全面恢復基礎設施的正常運作，並對損毀房屋進行安全鑑定與修繕重建。山西省因洪災停課的學校也於 10 月 20 日全部恢復正常上課，教育廳將對學校的受損情形進行全面的調查，除加快硬體設施的重建外，也

要求特別是沿河（溝）道、地質災害易發區和地處水庫下游的學校，修訂完善防汛防災應變方案，設置防汛應變避難處所，做好各項防災工作[21]

### 5.3 對煤礦開採的影響

山西省為中國產煤量最高的省分，共有 682 座煤礦，原煤產量 10.63 億公噸，約佔全國的四分之一[22]。自 2021 年夏天以來多個省分出現用電荒的問題，原本於 10 月 8 日召開國務院常務會議中，決議擬透過煤礦增產解決[23]，恐受洪患影響，延長限電時間。據山西省應急管理廳資料顯示，10 月 1 日至 7 日，共有 60 座煤礦停產，雖可能短暫影響煤炭的產量，但不影響後續增產[7]，煤礦的價錢從八月開始就有向上漲的趨勢，11 月又稍調降回來[24]。然而暴雨使得山西向河北運煤的公路中斷，許多公路發生崩塌，鐵路也暫停營運，對煤礦運輸及下游產業有相當程度的衝擊，運煤車供應吃緊也導致運費暴漲，增加煤炭發電的成本[25]。

表 1. 臨汾焦煤市場價格變化

(數據來源:焦聯網[24]，國家災害防救科技中心製表)

臨汾焦煤市場價格變化				
品 種	價格(含稅出廠) 元/噸			
	8 月 13 日	9 月 13 日	10 月 13 日	11 月 12 日
一級焦	2920-2960	4040-4080	4240-4280	3640-3680
准一級焦	2740-2840	3860-3960	4060-4160	3460-3560
瘦煤	2210-2230	3200	3670	3670
1/3 焦煤	2250-2350	3000-3300	2950-3000	2900-3000
低硫主焦煤	3150	4600-4650	3950	3650



## 5.4 農業衝擊

此次山西洪患造成農作物受災面積達 357.69 萬公畝，由於正值山西三秋（秋收、秋耕、秋種）生產之際，為避免農業損失擴大，山西提出「減災減損搶收搶種」雙減雙搶作為，召集專家制訂作物減損減災增收的技術要點，並動員 3,000 多名專家至各村，以「技術二傳手」培訓、跨區域農機作業等辦法減少損失[19]，截至 10 月 17 日，山西秋糧收穫 2,028.3 萬畝，進度 52%；秋播面積 95.8 萬畝，進度 11.9%。此外，山西亦針對積水嚴重地塊，制定排水降漬方案，盡快排除積水；統籌調度農機作業，搶時收穫播種；加強秋種技術指導，確保應播盡播[26]。

## 六、結論

隨著氣候的變遷，發生極端降雨事件的機率越來越高，此次的山西省洪患，主要受到長時間且超過歷史紀錄的強降雨影響，造成多處傳出災情。山西省防汛抗旱指揮部於 10 月 4 日啟動省級防汛 IV 級應急響應，開始一連串的救災與復原，在 10 月 15 日終止省級防汛 IV 級應急響應，預計基礎設施的運作會在春節前全面恢復，後續將修訂完善防汛防災應變方案，設置防汛應變避難處所，以降低未來的受災風險與衝擊。2014 年底 Sentinel 衛星發射後，每 6-12 天提供一張免費的合成孔徑雷達影像，因此在時間條件符合的情況下，透過遙測雷達影像的分析處理，可以更容易且大範圍的判斷淹水的影響範圍，將會是未來災情評估與救災規劃的重要工具。

## 參考文獻

1. 中國政府網(2021)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自：  
[http://www.gov.cn/test/2013-03/25/content\\_2361890.htm](http://www.gov.cn/test/2013-03/25/content_2361890.htm)
2. 中國氣象報(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
[http://www.qxkp.net/zxfw/zjsd/202110/t20211011\\_3866223.html](http://www.qxkp.net/zxfw/zjsd/202110/t20211011_3866223.html)
3. 中國中央氣象台(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
<http://www.nmc.cn/>
4. National Centers for Environmental Prediction (2021)。檢索日期：  
2021 年 10 月。檢自：<https://www.weather.gov/ncep/>
5. 中華人民共和國水利部(2021)。檢索日期：2021 年 12 月。檢  
自：<http://mwr.gov.cn/>
6. 中國新聞網，山西省防汛救災新聞發布會(2021)。檢索日期：  
2021 年 10 月。檢自：  
[https://www.youtube.com/watch?v=IYnTtg\\_4U-Y](https://www.youtube.com/watch?v=IYnTtg_4U-Y)
7. 新華社 (2021/10/11)。檢索日期：2021 年 11 月 4 日。檢自  
[https://www.mem.gov.cn/xw/mtxx/202110/t20211011\\_399816.shtml](https://www.mem.gov.cn/xw/mtxx/202110/t20211011_399816.shtml)
8. 央視新聞(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
[https://m.china.com/news/13001813/20211007/40133631\\_1.html](https://m.china.com/news/13001813/20211007/40133631_1.html)
9. Foodlist(2021)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自：  
<https://floodlist.com/asia/china-floods-shanxi-october-2021>
10. 中國界面新聞(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
<https://www.jiemian.com/article/6688943.html>
11. 環球網(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
<https://china.huanqiu.com/article/455SWspFT00>

12. 新華社(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
[http://www.news.cn/photo/2021-10/08/c\\_1127937321.htm](http://www.news.cn/photo/2021-10/08/c_1127937321.htm)
13. 中國新聞週刊 (2021)。檢索日期：2021 年 11。檢自：  
<http://www.inewsweek.cn/life/2021-10-21/14147.shtml>
14. 央視新聞(2021)。檢索日期：2021 年 11。檢自：  
<https://m.news.cctv.com/2021/10/07/ARTIMHAOvFojdLs0cJwFdYPq211007.shtml>
15. 新華社(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
[http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/2021-10/08/content\\_5641379.htm#allContent](http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/2021-10/08/content_5641379.htm#allContent)
16. 自由時報(2021)。檢索日期：2021 年 11。檢自：  
<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3695699>
17. 中新視頻(2021)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自：  
<http://www.chinanews.com/shipin/>
18. 北京日報客戶端(2021)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自：  
<https://www.bjd.com.cn/index.html>
19. 人民日報(2021)。檢索日期：2021 年 10 月。檢自：  
[https://www.mem.gov.cn/xw/mtxx/202110/t20211014\\_400038.shtml](https://www.mem.gov.cn/xw/mtxx/202110/t20211014_400038.shtml)
20. 中國政府採購 (2021/10/18)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自：  
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1713925361063972905&wfr=spider&for=pc>
21. 新華網(2021)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自：  
[http://www.news.cn/2021-10/22/c\\_1127985144.htm](http://www.news.cn/2021-10/22/c_1127985144.htm)

22. CNN (2021)。檢索日期：2021 年 12 月 8 日。檢自  
<https://edition.cnn.com/2021/10/11/economy/china-power-crunch-economy-intl-hnk/index.html>
23. 中國政府網 (2021)。檢索日期：2021 年 12 月。檢自  
[http://www.gov.cn/premier/2021-10/08/content\\_5641406.htm](http://www.gov.cn/premier/2021-10/08/content_5641406.htm)
24. 焦聯網(2021)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自：  
<http://www.jiaolianwang.com/>
25. 時代在線 (2021/10/15)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自  
<http://www.time-weekly.com/post/285786>
26. 人民網 (2021/10/18)。檢索日期：2021 年 11 月。檢自  
<http://sx.people.com.cn/BIG5/n2/2021/1018/c189132-34961918.html>