

國家科學及技術委員會 112 年度科技行政
自行研究報告工作研究報告

跨部會協力-與經濟部水利署合作推動
尖端地層下陷防治技術研發合作研究計畫

撰寫人：自然科學及永續研究發展處

廖宏儒 副研究員

國科會業務規劃推動工作報告

跨部會科研合作案-與水利署合作推動「尖端地層下陷防治 技術研發合作研究計畫」

一. 背景、緣起

地層下陷是臺灣西南部地區長期面臨的問題，自 1995 年起經濟部與農業部（原農委會、內政部、交通部等各部會合作推動地層下陷防治，透過增供地面水、減抽地下水、地下水補注、加強管理、持續監測及法規修訂等措施，已有效減緩地層下陷速度，全臺地層下陷狀況由民國 90 年顯著下陷面積約 1,529 平方公里，108 年已減緩至 203 平方公里。

而臺灣西部的新的動脈-高速鐵路建造並自 2007 年啟用以來高鐵所扮演的交通輸運的角色日益重要，所行經的路線的安全性確保也成為政府極度重視的議題。其中高鐵經過中部大糧倉-彰化雲林正好位處濁水溪沖積扇，這裡有著地層下陷的潛在威脅。為掌握地層下陷原因、發展前瞻防治科技，並針對地層下陷引致之災害，提出解決方案，2019 年經濟部與當時科技部（現為國科會）由經濟部水利署與科技部自然司雙方長官共同簽署「尖端地層下陷防治技術研發」合作協議，倡議將透過雙方的優勢，深化研究與研發，掌握地層下陷原因、發展前瞻防治科技，並針對地層下陷引致之災害，提出解決方案。因讓地層下陷不再成為台灣西南部的代名詞。

二. 構想、理念、目標、及規劃過程

（一）構想與理念

經濟部水利署過去針對地層下陷防治議題進行相關的研究，但臺灣地層下陷成因複雜，涉及水文地質特性及地下水使

用等自然與社會經濟人文等因素，無法精準掌握地層下陷機制。為加速解決問題，有必要透過科學論證及新科技的導入，輔助相關防治政策擬定與推動。而國科會長期補助學研界進行基礎科學研究，可扮演提供學界與政府間合作之平台角色，希望透過學界的自由研究富有創新的研發能量，應可以發展新技術及跳脫業務實務單位的觀點協助政府部門解決問題。

（二）目標：

配合政府長期推動之「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫第二期」暨「雲彰地區地層下陷防治強化措施」，本會與經濟部雙方為達成 112 年雲林地區年下陷量降至 4 公分以內之目標，經濟部（水利署）與國科會（當時為科技部，下稱本會或本部）以協作形式，共同推動尖端地層下陷防治技術之相關科學與技術研究，主要以濁水溪沖積扇彰雲地區為對象，涵蓋地下水環境補充調查及資料分析與應用、地層下陷檢監測技術提升、地層下陷機制分析及預警管理、海水入侵定義及範圍界定等 4 大議題，希冀以學理為基礎，研發新一代地層下陷防治技術，提供政府決策之參考。

本計畫以濁水溪沖積扇彰雲地區為主要研究範圍，計畫內容包括：地下水環境補充調查及資料分析與應用、地層下陷檢監測技術提升、地層下陷機制分析及預警管理、以及海水入侵定義及範圍界定調查分析等 4 大子議題。各議題透過計畫整合管理，有效鏈結計畫工作項目，在地層下陷的機制、監測與分析技術、以及地層下陷減緩的決策與管理目標中，研發並提出具科學意義的學理論證及相關技術，以達提升臺灣地層下陷較嚴重地區的觀測、分析與管理技術，進而對該區的沉陷機制獲得明確的瞭解，提供水利及相關管理單位在減緩策略的規劃中，更準確的量化評估工具。

(三) 規劃與推動過程：

整體工作規劃推動分成兩大區塊：政府合作平台以及計畫徵求，

1. 政府合作平台：本於政府一體跨部會合作的精神，國科會與經濟部建立合作平臺，在此架構之下，商討雙方的合作議題。一開始先與水利署以及中央地質調查所針對濁水溪沖積扇地層下陷問題進行討論，國科會與經濟部雙方均認為這個議題 10 分重要，而且又有高鐵經過，對於釐清彰雲地區地層下陷的成因均有高度重視，因此在此合作平臺之下，雙方人員開始進行計畫規劃。
2. 計畫徵求：規劃研究計畫徵求主題的規劃過程如下
 - (1) 確定研究主題和目標：本研究計畫徵求主題必須與水利署政策目標以及學研界研究領域和目標相一致。
 - (2) 意見徵詢：由召集人協同防災學門、地科等相關領域學門，以及水利署應用機關等進行意見徵詢。對於學研界以及研究人員進行訪談並召開徵詢會議，確實瞭解並掌握這領域的最新研究進展和發展趨勢後提出徵求重點草案，這有助於研究計畫徵求時確定研究計畫徵求主題的創新性和可行性。
 - (3) 與其他研究人員進行交流：再將前徵求重點草案給與相關領域研究人員審閱，並依照他們的建議回饋再次修正文字內容，以此最後的徵求課題在與業務單位進行確認。這有助於計畫徵求課題如何研究人員思路，將可徵求到更有兼顧實務以及研究價值和前景的計畫團隊。

(4) 與業務單位進行溝通確認：將前面的徵求課題草案與水利署進行文字最後確認，研究人員與水利署進行溝通，確保瞭解資助機構的政策和要求。這有助於研究人員確定研究計畫徵求主題是否符合資助機構的資助條件。

(四) 內容：根據規劃內容所提出的計畫徵求主題如下：

1. 地下水環境補充調查及資料分析與應用

地下水環境基礎資料的蒐集與盤點是新技術研發應用的基礎，本議題的研究目的包括：(1)濁水溪地表及地下水環境調查資料蒐集與彙整，提供整體計畫中其他子議題的分析基礎；(2)地表及井下沉陷觀測資料蒐集、彙整、評析；(3)長期區域產業發展、區域用水與水資源管理作為資料蒐集與評估；(4)顯著下陷區補充調查規劃與策略研擬；(5)歷史調查與觀測大數據時空資料整合展示規劃與開發，以建構地下水含水層全貌及建置三維地質構造可視化。

2. 地層下陷檢監測技術提升

高解析度的監測與分析技術是提供下陷機制分析與管理技術開發的重要基礎，本研究議題主要目的包括：(1)蒐集評析國內外地層下陷觀測、監測與分析技術；(2)先進觀測與監測技術的引入、驗證與現地應用；(3)開發本土化的高解析度觀測與監測技術，同時進行相應尺度的試驗驗證與應用。(4)研擬、測試與驗證本土化高效沉陷即時監測技術架構，以作為管理單位即時管理與應變的應用工具。達成地層下陷測自動化與多元資料同化，研發成果至少含有 1 項有別於以往之新式創新之監測技術。

3. 地層下陷機制分析及預警管理

在地層下陷的防治與管理中，透過數值模式評估為一

必要手段，以達量化預測的目的。然而，在複雜的水文地質條件下，為真實呈現區域內的地下水流情形，往往須將模式趨向於複雜化，也因此導致模式中有許多大量的水文地質參數與刺激源(如補注或抽水)需要進行設定與率定。此外，在考量地層下陷模擬時，地下水流模式必須與力學模式進行耦合運算，而力學參數之輸入為必要條件，使得模式中的參數數量快速增加，形成所謂的高維度參數模式，進而導致模式率定上之困難。由於高維度參數數值模式為一個不可避免之情形，研析發展出一個能有效解決此一問題的數值逆推理論方法將有其必要性。本研究課題主要目的包括：(1)發展與應用水力-力學耦合模式，結合現地觀測數據重現下陷區時空變異特徵；(2)開發高效水力-力學參數推估模式，解決水力-力學耦合模式在率定時的高維度參數困境；(3)解析顯著下陷區域沉陷與回彈機制；(4)研擬、測試與應用顯著下陷區，沉陷及回彈機制控制方法。藉著利用科學論證深入分析地層下陷機制，進而提供決策擬訂及執行之依據。

4. 海水入侵定義及範圍界定調查分析與管理技術

臺灣西南沿海地層下陷地區通常伴隨著海水入侵或海水鹽化的問題，海水入侵及鹽化問題對區域產業、民生與環境生態都會造成不同程度的影響。因此，海水入侵或海水鹽化災害區域的鹽化機制瞭解、動態監測與分析技術開發，成為管理下陷區下游的沿海區域重要的工作。為達此一目標，本議題的研究目的將包括：(1)下陷區下游地下水鹽化區域的資料蒐集與評估；(2)研擬規劃鹽化區域補充調查，以作為解析、驗證區域地下水鹽化機制的基礎；(3)開發、測試與應用區域地下水鹽化分析與預測模式；(4)海淡水交界水力、力學及密度流傳輸模式開發與應用；(5)動態鹽化監測與鹽化範圍劃定技術開發與應用。並

透過範圍界定作為擬訂防止對策方向及方法之依據。

三. 架構、特色、內容重點

(一) 架構

本計畫是架構在「尖端地層下陷防治技術研發」合作協議之下，推動與執行主要是國科會與經濟部之部會合作，由本會自然處、經濟部水利署、前中央地質調查（現為經濟部地質調查及礦業管理中心）所跨部會行政面運作（基本分工架構詳如圖 1、2）。從底層架構來看，自然處與中央地質調查所分別負責基礎創新科研以及基礎調查分析，雙方補助或委辦的研究團隊研究成果，提供水利署作為監測與實務上的推動依據。

因此，本會（前科技部）自然處（前自然司）負責本專案之規劃與計畫徵求，以專案審查委員擔任計畫審查委員，進行計畫之審核，另外在計畫核定後，另組專家顧問團，除協助計畫團隊執行計畫外，也擔任每年度計畫期中、期末之評審。（分工詳如圖 3）。

(一) 分工架構

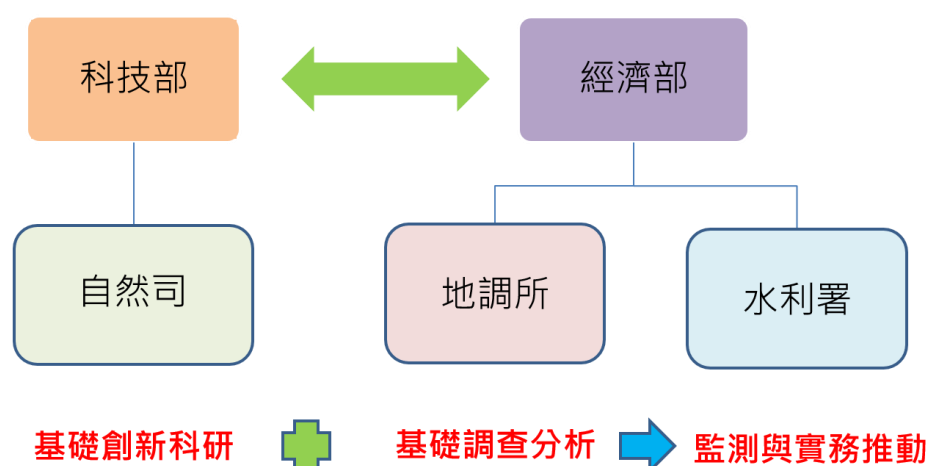


圖 1 中央部會分工架構

(二) 分工執行方式

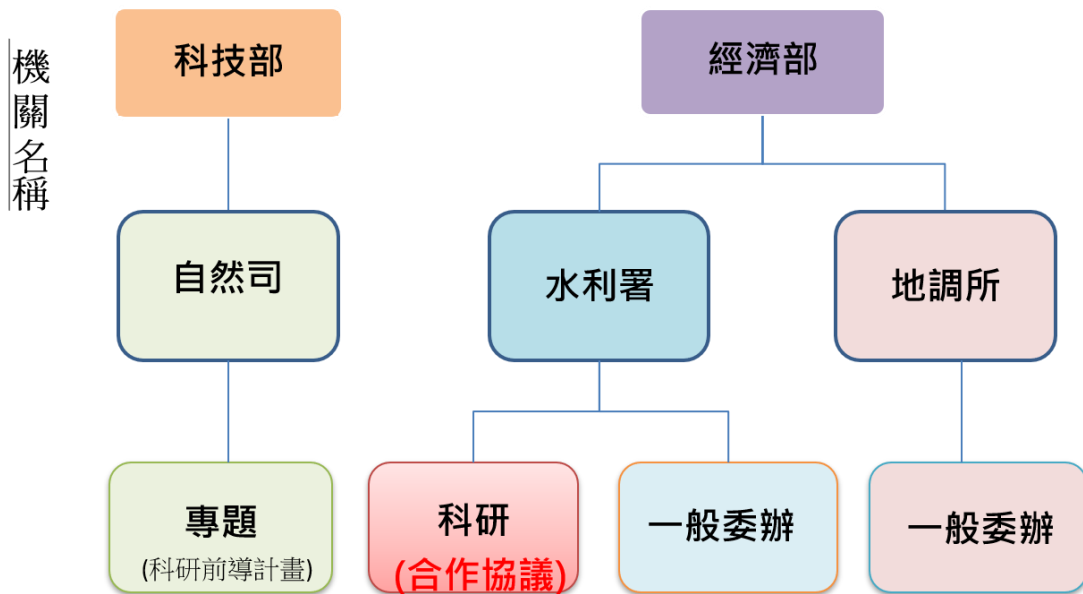


圖 2 政府單位分工方式

一、工作小組組織架構及運作機制

| 組織與成員 | 會議召集人 | 召開時間 | 任務 |
|--|------------------------|--|--|
| 工作小組會議 水利署、自然司、地調所 | 執行單位首長 | <ul style="list-style-type: none"> 每年6月及12月 | <ul style="list-style-type: none"> 年度合作議題及經費審議(6月) 成果與技術交流(12月) 建立雙方交流平台及計畫審議機制 訂定推動成效展現方式 |
| 協商小組 (工作小組會前會) 水利署、自然司、地調所 | 執行單位 (水利署副總工程師、自然司) | <ul style="list-style-type: none"> 原則以每年5月及11月召開並得視需要加開 | <ul style="list-style-type: none"> 工作小組會議議題擬定 年度合作細部計畫內容及經費擬訂 計畫執行進度控管 |

水利署：署長、副署長、總工程師、水規所所長、水源組組長、水政組組長及水文組組長) · 7 名代表
 自然司：司長、副司長、專家學者(泛地球科學學門召集人計6學門,依議題需求出席與會) · 至少3 名代表
 地調所：所長、副所長、組長 · 3 名代表

圖 3、工作小組架構

(二) 本案特色

本規劃計畫主要特色有以下幾項，期望除了能從實際運用中解析出新功能的需求外，亦可從所建置之系統中分析相關的訊息，以提供水利署或其他機關作為地層下陷防治規劃之科學基礎資訊。

1. 以政府單位業務需求為導向，本會補助的科研團隊提出客觀的科學證據及創新研究方法。
2. 水利署提供計畫經費，國科會協助辦理計畫徵求、審查與補助，充分展現政府一體，跨部會合作的創新模式。

(三) 規劃內容與執行重點

1. 地下水環境補充調查及資料分析與應用

- (1) 建置濁水溪區域水文與下陷監測展現模式，包括：濁水溪顯著下陷區監測大數據展示模型；濁水溪沖積扇 3D 地質模型建構技術研發與展示；濁水溪沖積扇 3D 水位及流動模型研發與展示；濁水溪沖積扇 3D 動態水力力學耦合模型展示；水文、區域用水監測與管理大數據展示與應用；顯著下陷區遷移歷程重建與預測；分層抽水行為與分層沉陷關係分析
- (2) 地層下陷地區地質鑽探資料研析，包括：基岩調查與沉積材料特性分析；地層下陷地區地質鑽探報告資料蒐集、數化及評估；深層補充鑽井位置與深度規劃；補充鑽井井內及岩芯物化及力學參數分析；顯著下陷區 300m 以上及以下地層分層沉陷特徵解析。

2. 地層下陷檢監測技術提升

- (1) 新式且具高效之沉陷即時監測技術架構研發，包括：技術架構研擬、技術測試與驗證；顯著下陷區沉陷歷程即時監測技術應用；結合衛星、遙測時序影像與地面實測

資料之多元監測模式開發與應用。

- (2) 先進井內監測技術研發，包括：實驗室尺度試驗；現地尺度試驗、驗證與應用。
- (3) 地層下陷區之地球物理調查技術開發與應用，包括：既有地球物理調查資料蒐集；補充地球物理調查方法、位置、數量規劃與評估；顯著下陷區地球物理調查技術驗證與應用

3. 地層下陷機制分析及預警管理

- (1) 地層下陷與土壤力學之研究，包括：下陷主控土壤類型標定及特性研析；下陷主控土壤類型標定及特性研析；水位變動與土層壓縮與壓密行為影響分析；現地動態水位與長期土層壓縮與壓密行為預測
- (2) 水力力學耦合模式架構研擬、模式開發、模式測試與顯著下陷區現地尺度應用。
- (3) 新式沉陷參數推估，包括：既有沉陷參數推估技術蒐集與評析；新式沉陷參數推估模式開發、測試；水力耦合參數推估模式現地尺度驗證；水力耦合參數推估模式現地尺度應用；提出非常規試驗之建置（新監測井）之建議。
- (4) 區域用水與沉陷關聯之研究與管理，包括：區域用水與沉陷時、空資料蒐集彙整；區域用水行為與區域沉陷歷程關聯性分析；區域用水與土地利用影響沉陷速率量化分析；下陷區用水管理與沉陷預警整合技術應用。
- (5) 地層下陷與回彈機制，包括：下陷區域沉陷及回彈機制分析方法資料蒐集與評估；現地沉陷及回彈機制控制方法研擬；沉陷及回彈機制控制方法測試與監測驗證；地下水位與沉陷及回彈機制控制方法應用。

4. 海水入侵定義及範圍界定調查分析與管理技術

- (1) 海水入侵地下水質物化監測與管理：包括既有海水入侵

地下水質物化監測技術與資料蒐集、補充調查規劃與技術測試、海水入侵管理方案與入侵範圍預測及應用。

- (2) 沿海區域含水層特徵與地下水鹽化研究：包括沿海區域含水層特徵與地下水鹽化資料蒐集、區域地下水鹽化機制分析與預測模式之開發、測試與應用。
- (3) 海淡水交介面水力、力學及傳輸模式之研究與開發：包括技術資料蒐集；水力、力學及密度流傳輸模式關鍵架構研擬；地層下陷與海水入侵耦合模式開發與應用；
- (4) 濁水溪沖積扇沿海地下水鹽化區域分層水文地質資料：包括濁水溪沖積扇沿海地下水鹽化區域分層水文地質資料蒐集、評估與調查；濁水溪沖積扇沿海地下水鹽化機制探討分析；濁水溪沿海地下水位推估地下水鹽化動態範圍與水力控制方法研析；濁水溪沿海地下水位推估地下水鹽化動態範圍與水力控制方法研析
- (5) 屏東平原海水入侵區域水文地質：包括基本資料蒐集、評估與調查；屏東平原地下水鹽化範圍推估；屏東平原地層下陷與海水入侵機制分析

四. 推動策略及執行方式(含計畫徵求、審核)

(一) 推動策略

考量本計畫在推動時，所需要的龐大研究人力，且避免課題分散，因此採用單一整合型計畫來推動，這樣將可使計畫主持人對於所有子計畫擔負絕大部分責任，並且有彈性進行調整。另外的防災學門召集人兼任計畫辦公室任務，在計畫正式執行期間，扮演本會以及學研團隊之橋梁，提供諮詢。

(二) 執行方式(含計畫徵求、審核)

本計畫公開徵求後直接收到不少的詢問訊息，因此以學門

召集人討論後，決定在計畫徵求期間於臺北以及臺南總共辦理 2 場計畫徵求說明會，對外說明計畫目的與在徵求書中不清楚之處。

本計畫最後共計有兩研究團隊提出申請，因為計畫是配合水利署的合作需要，在計畫審議時審查委員會的組成考慮需兼具學術專業性以及業務單位實務面，因此委員組成涵蓋學研界以及水利署、中央地調所等政府機關的研究人員，就各團隊研提之計畫書的可行性、團隊的經驗等綜合評審，經書面初複審與複審會議後，最後由中央大學籌組之團隊獲得本計畫補助，受補助金額大約每年是 2,500 萬。

（三）協調、輔導與考評

本計畫執行至今已經 2 年多，在計畫執行期間，計畫辦公室擔負重要的協調角色，協調學研團隊與水利署對於研究主題以及結果，計畫辦公室召集人時常主動拜訪水利署以及中央地質調查所業務長官與同仁，確實瞭解業務大會困難點與需求。另外本專案組成專家顧問小組，由於計畫審查複審委員會為主，再加上其他專家，在計畫執行過程中實際參與計畫團隊的研究討論，藉此輔導研究團隊，以讓最後的研究成果能夠符合業務單位的需求。

本計畫的考評方式定期於每季辦理一次成果交流會議，半年辦理期中考評暨交流會議，並且不定期辦理臨時性工作會議。而每一年度的年終考評，除邀請專家學者進行審查外，並將結果提到雙方首長主持的工作小組會議上確認，以使水利署有撥付經費之依據。

五. 成果

本計畫為 4 年期，自 111 年 1 月起至 113 年 12 月執行結束，以下僅述執行至 112 年的階段性成果。

(一) 技術交流論壇

為積極推動地層下陷防治工作，經濟部(水利署、地調所)與國家科學及技術委員會共同規劃，由「尖端地層下陷防治技術整合研究」計畫執行團隊中央大學於 111 年 9 月 19 日假桃園和逸飯店舉辦「尖端地層下陷防治技術整合研究」技術論壇。希望藉由各相關學研以及實務單位的共同參與，公開討論計畫執行期間發展以多元觀測技術有效分析及預警地層下陷調查。

論壇內容包含四大議題，結合國內，產、官、學領域相關人士，分享地層下陷分析模式及監測技術。除了展現跨部會的工作成果，亦期透過論壇交流經驗，彙整各方意見，以精進地層下陷監測技術，作為後續研究方向修正之建議，共同為保育永續國土提供有效策略，徹底改善地層持續下陷問題。

會中各議題由各子計畫團隊負責，各場次均有針對計畫團隊所做之研究結果與開發技術做出結論，這些討論將作為計畫團隊執行計畫時之參考。

(二) 研究執行團隊階段性成果

1. 地下水環境補充調查及資料分析與應用

運用雲端作業系統建立水文與下陷監測大數據資料庫，提供計畫內高效率使用地下水資料、建構與繪製 3D 地下層與地質圖、機器學習計算與平行運算等服務。運用 HTML、CSS、jQuery、Django、Restful API、QGIS、WebGL JavaScript API 等多樣應用程式，結合網頁圖台技術，實現高效能網頁圖台大數據傳輸，使用者只須開啟瀏覽器連線到系統瀏覽網頁並進行操作即可。

(1) 整合機器學習與地下水物理模式研發

(2) 地層下陷觀測資料清理、異常值偵測與補遺技術研

發

(3) 地層下陷地區地質鑽探資料研析與補充調查建議

(4) 觀測井尺度地下水位訊號分析模式建立與測試

2. 地層下陷檢監測技術提升

(1) 雷達遙測技術開發、驗證與資訊應用

(2) PSInSAR、GNSS、水準資料融合

(3) 先進井內分層監測技術研發

(4) 重力監測地陷區地下水量變異

3. 地層下陷機制分析模式及預警管理

(1) 地層下陷與土壤力學之研究

(2) 水力力學耦合模式架構研擬

(3) 新式沉陷參數推估

(4) 區域用水與沉陷關聯之研究與管理

(5) 地層下陷與回彈機制

4. 海水入侵及調查分析與管理技術

(1) 海水入侵水質物化監測與管理

(2) 區域地下水鹽化機制分析

(3) 海淡水交界面水力、力學及密度流傳輸模式

(4) 濁水溪沖積扇沿海地下水鹽化區域分層水文與沉積物特性

六. 國科會負責人所負責之工作

| 項目 | 學門召集人/計畫總主持人/總協調人 | 國科會承辦人 |
|---------|----------------------------|---|
| | 召集人聯繫水利署， | 協助召集人辦理 |
| 課題規劃 | 共同規劃撰寫 | 參與規劃，協助召集人召開研商會議，並彙整專家意見 |
| 徵求公告撰寫 | 協助檢視徵求公告 | 撰寫徵求公告草案，並經過專家以及召集人的審閱，修改後進行行政程序，對外徵求計畫 |
| 經費撥付 | | 與水利署業務承辦單位水文技術組以及雙方主計單位，進行雙方溝通協商 |
| 計畫審查及管考 | 1. 召開複審會議 2. 推薦專家委員顧問名單 | 訂定計畫辦公室計畫考評時程、 |
| 計畫核定 | | 辦理核定、經費調整、簽核等行政程序。 |
| 工作圈會議 | 主持人 | 協助召集人辦理工作圈會議，發送開會通知以及會議記錄 |
| 階段成果簡報 | 協助提供團隊資料素材 | 1. 製作成果簡報。 2. 向主委報告階段性執行成果。 3. 獲得主委同意加速配合計畫的支持。 |
| 技術交流論壇 | 由計畫團隊主辦 | 1. 構想規劃 2. 邀請長官出席論壇 |

七. 檢討、自評、與建議

1. 辦理本項業務時主動規劃整體架構，時常與相關專家、學門召集人、水利署同仁以及會內長官討論，並居中協調學界與水利署之意見，擬定初步架構與執行方式後，整理資料提供長官資料於本會主管會報報告，雖然規劃期不短，但在開始確定後短時間內即完成提報學術主管會報、經費來源、計畫徵求審查與核定、開始執行等工作，規劃與推動能力符合專案計畫之需求。
2. 本計畫是基於本會補助計畫機制賦予研究團隊高度的自由度，希望跳脫水利署原來長期推動之委辦計畫在地方實際操作時的盲點，可以先發現未知的潛在問題，以期在計畫結束後能有科學數據作為政策推動依據，並可提供業務單位提出更合適的雲彰地區地層下陷防治策略，目前已發現的優缺點及後續的解決方式如後，顯示辦理此項業務，能隨時且即時掌握計畫進度及找出需求及改善計畫之能力。

| | 執行分析 | 解決方式 |
|------|---|--|
| 部會單位 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 水利署業務單位對於科學團隊所做的研究結果無法立即解決業務上的問題，常表示有疑慮。 2. 資料與發展模式的版權及資料歸屬。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫是以科研方式，協助水利署進行(1)資料分析、建置、運用；(2)以科學研究找出地層下陷之成因，故期望以科研方式協調部會合作。 2. 與主管單位商議，獲取解決之行政程序。 |
| 學研機構 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 執行期間計畫團隊受到水利署業務單位關心，常因業務單位的需求隨時改變原規劃期程與進度。 2. 經費撥付因會計年度預算審查，無法於年度執行時完成撥款，對於計畫團隊中的研究人力的穩定有所影響。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 以辦理研究計畫與學者溝通的經驗，擔任計畫團隊與水利署之溝通橋樑，盡可能消弭研究團隊與水利署之間的歧見。 2. 依據第一年度辦理的經驗，第2年度則提早作業，在年底前即完成結報程序，並發文至水利署，請求撥款。 3. 同一時間完成下一年度核定作業，在水利署經費撥入科學發展基金國庫後，即將經費撥付至研究機構。 |

3. 本計畫的目標在於以科學研究與創新技術協助水利署解決雲彰地區地層下陷的問題，並藉此推動跨部會科研合作新模式。國科會協助各部會共同推動科技計畫，國科會擁有各領域專家學者，可與各部會共同推動中期綱要計畫。因地方政府為計畫最終服務目標，在推動正式計畫前，將先彙整地方政府對於科技研發的需求，以及目前中央政府的政策方向，讓政策與科學雙方面均能兼顧，相輔相成的融合在一齊，使政府推動科技計畫是能兼顧實務面與科學面，達到雙贏的目標。