

第三章 未來氣候變遷情境設定及風險評估

一、調適應用情境設定

(一) 國家調適應用情境

氣候情境為風險評估之依據，IPCC AR6 本次報告同時呈現排放情境（社會經濟共享情境，SSP）與全球暖化程度（Global Warming Level, GWL）。綜整 IPCC AR6 各情境推估與科學模擬依據，並考量前期行動計畫推動經驗檢討與操作之可行性，本期調適行動方案/計畫優先採「全球暖化程度」作為「國家調適應用情境」，以作為各部門進行風險評估與辨別調適差距之共同參考情境。

國家調適應用情境原則，相關情境說明如圖 3.1 所示：

1. 0°C：工業革命時期（1850-1900），為全球暖化的起始點，作為固定暖化情境的參考基準。
2. 1°C：現階段氣候基期（1995-2014），可作為現有風險評估及其未來缺口的參考基準。
3. 1.5°C：近期（nearterm, 2021-2040）的增溫情境。
4. 2°C：中期（midterm, 2041-2060）的增溫情境。
5. 3°C~4°C：考量 21 世紀末減碳失敗的增溫情境，將增溫 3°C~4°C（longterm, 2081-2100）之極端情境。

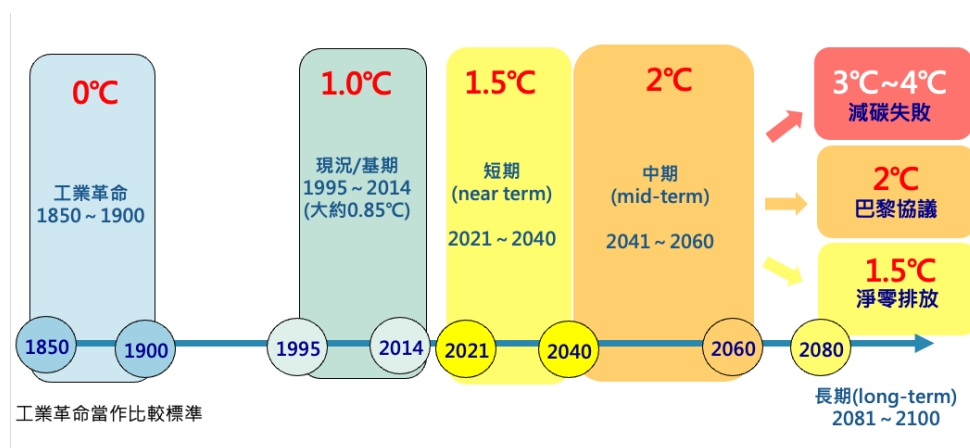


圖 3.1 固定暖化情境之參考基準、基期與增溫情境與時程

本期「國家氣候變遷調適行動計畫(116-119)」依據最新氣候變遷科學數據，將「國家調適應用情境」優先設定為「西元 2021-2040 年

升溫 1.5°C、西元 2041-2060 年升溫 2°C」，作為各部門進行風險評估與辨別調適差距之共同參考基本情境，以兼顧施政期程規劃與降低調適差距之目標設定，並強化國家整體風險評估之一致性，助於跨部門風險評估應用與整合。

（二）部門特定情境

IPCC AR6 報告中所呈現的兩種氣候變遷情境之設定方式皆有其優勢，例如：SSP 情境可依使用者需求或國際作法自訂未來期程，可在氣候變遷衝擊評估過程納入特定目標年，採用涵蓋目標年之期程作為未來分析時段，但此種情境設定作法則需面對 SSP 情境之不確定性(無法確定未來情境路徑為何)；而全球暖化程度(GWL)固定增溫條件作法則可排除 SSP 情境之不確定性，但其全球平均溫度符合固定增溫條件之發生時間區間較廣(可能從世紀中至世紀末)，不易與特定時間點連結。

為能呼應國家調適應用情境與巴黎協定所設定的各項調適目標，本領域採用 GWL 2.0°C 作為未來條件進行氣候變遷影響分析。在氣候變遷期程設定之部分，則參考 IPCC AR6 與國家氣候變遷調適工作推動現況，採用 1995 至 2014 年作為基期時段，2041 至 2060 年作為未來中期時段，並依此期程設定進行氣候變遷衝擊評估，與風險分析的參照依據。

此外，由於氣候變遷資料具有高度不確定性，而其不確定性來源包含氣候變遷情境不確定性、氣候變遷期程不確定性，以及氣候模式不確定性等。TCCIP 參考 IPCC 定義的可能性(模式機率分布)來量化不確定性的評估方法，使用第 25–75 百分位數(即 50% 機率分布)代表比較有可能範圍，第 5–95 百分位數(即 90% 機率分布)代表非常可能範圍。此外，依據水利署「國家氣候變遷水環境風險與調適行動」研討會(113 年 4 月 22 日)中專家所提之建議：「氣候變遷影響除以平均與中位數表示外，亦須呈現其不確定性」。為此，本領域針對 TCCIP 所提供之固定增溫 2.0°C 情境模式資料(雨量部分共 99 組情境與模式組合，溫度部分則共 86 組情境與模式組合)，於水文衝擊評估之分析上除了以平均值及中位數以表示情境模式表現之集中趨勢外，另採用 25 百分位數與 75 百分位數來呈現其可能區間，以期兼具氣候情境的代表性與整體性。

二、衝擊評估分析成果

(一) 氣候變遷下各區域雨量衝擊

透過基期與增溫 2°C 情境模式(99 組雨量模式)比較，可得到未來情境下之雨量衝擊變化。茲以臺灣 6 個重要集水區(翡翠水庫、石門水庫、德基水庫、集集攔河堰、曾文水庫、高屏溪攔河堰)以及臺灣北部、中部、南部及東部等四個分區，分別進行雨量於未來情境下之探討。

1. 月雨量衝擊分析

6 個集水區未來情境下月雨量變化趨勢分析如下：

- (1) 7 月~10 月之未來平均雨量均高於歷史觀測雨量(中位數則大多略高於歷史觀測雨量)，且各情境模式之變異較大。
- (2) 其餘月份未來平均(或中位數)雨量相較於歷史觀測雨量則較無一致性的增減變化，且各情境模式之變異較小。
- (3) 以降雨型態而言，歷史觀測與未來情境模式模擬之降水型態相同，主要集中在豐水期，月雨量呈現夏雨冬乾的特性，未受增溫情境影響。

4 個分區未來情境下月雨量變化趨勢分析如下：

- (1) 豐水期(5 月~10 月)各月份來平均雨量多數均高於觀測平均雨量(中位數則大多略高於觀測平均雨量)，各情境模式之變異較大。
- (2) 枯水期(11 月~4 月)各月份平均(或中位數)雨量相較於歷史觀測雨量則有增有減，各情境模式變異較小。

2. 季雨量衝擊分析

6 個集水區及北部、中部、南部、東部四個分區於未來情境下的季雨量變化趨勢分析如下：

- (1) 颱風季(7-9 月)未來平均(與中位數)雨量均高於歷史觀測雨量，未來呈現增加趨勢的機率相當高(增加的模式數量高於減少的模式數量)，99 個情境模式之變異較大。
- (2) 春季(2-4 月)、冬季(12-1 月)未來平均(與中位數)雨量則略低於歷史觀測雨量，未來呈現減少趨勢的機率較高，99 個情境模式變異較小。

(3)梅雨季(5-6 月)未來平均(與中位數)雨量相較於歷史觀測雨量較無明顯的變化，其中以翡翠水庫及石門水庫於未來呈現增加的趨勢機率較高，其餘集水區則於未來呈現減少的趨勢較高。

(4)秋季(10-11 月)未來平均(與中位數)雨量相較於歷史觀測雨量較無明顯的變化，其中以翡翠水庫、石門水庫及德基水庫於未來呈現增加的機率較高，其餘集水區則於未來呈現減少趨勢的機率較高。

4 個分區未來情境下季雨量變化趨勢分析如下：

(1)颱風季(7-9 月)於未來情境下平均(與中位數)雨量均大於歷史觀測雨量，且未來呈現增加趨勢的機率相當高，各情境模式之變異較大。

(2)春季(2-4 月)與冬季(12-1 月)於未來情境下平均(與中位數)雨量相較於歷史觀測雨量有增有減，且未來呈現減少趨勢的機率較高，各情境模式之變異較小。

(3)梅雨季(5-6 月)於未來情境下平均雨量略高於歷史觀測雨量(中位數則有增有減)，除北部地區未來呈現增加的機率較高外，中部、南部與東部地區則有較高的機率呈現減少趨勢。

(4)秋季(10-11 月)於未來情境下平均(與中位數)雨量大多高於歷史觀測雨量，北部與東部地區有較大的機率呈現增加的趨勢，而中部與南部地區則有較大的機率呈現減少的趨勢。

3.豐枯水期與連續不降雨日數衝擊分析

6 個集水區未來情境下豐、枯水期雨量變化趨勢分析如下：

(1)各集水區全年度及豐水期之未來平均(或中位數)雨量均呈現增加之情況。

(2)各集水區枯水期未來平均(或中位數)雨量則呈現持平或降低之情況。

(3)連續不降雨日數方面，則一致性的呈現增加的情況，即增溫 2℃ 情境下連續不降雨日數增加的機會將比以往更多。

4 個分區未來情境下豐、枯水期雨量變化趨勢分析如下：

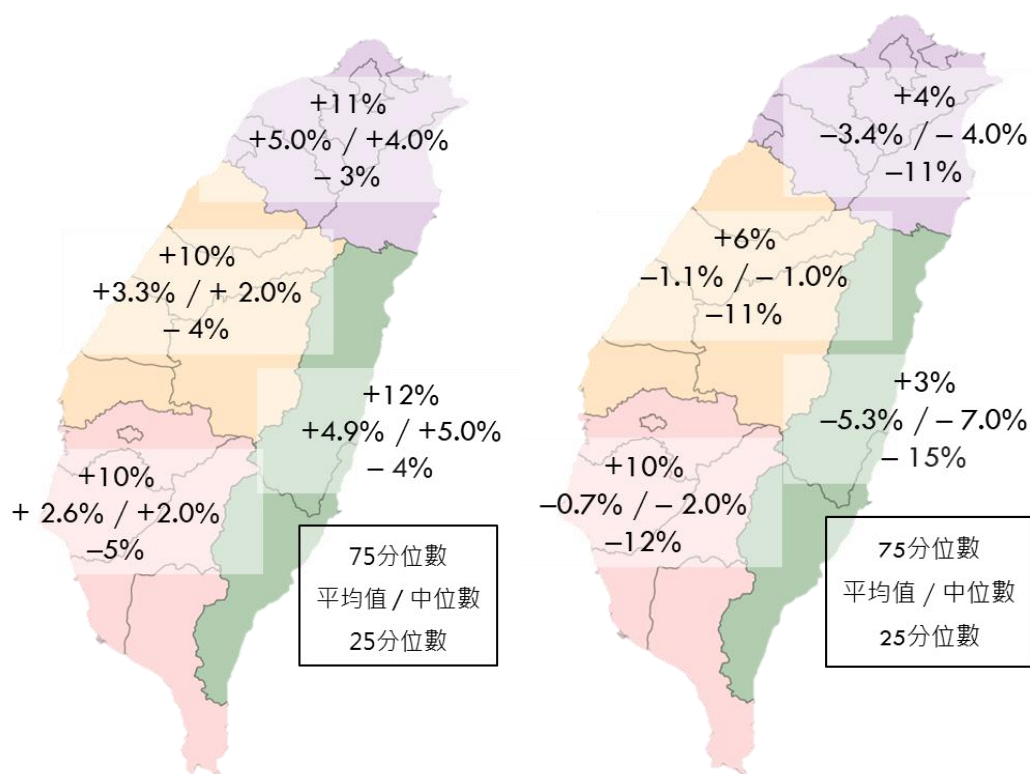
(1)全年度雨量而言有較大機率呈現增加之狀況。

(2)豐水期而言，有較大機率呈現增加之趨勢。

(3) 枯水期而言，有較大機率呈現減少之趨勢。

(4) 連續不降雨日數方面，各分區均呈現增加情況，增溫 2°C 情境下連續不降雨日數增加的機會將比以往更多。

為瞭解北部、中部、南部、東部等四個分區於氣候變遷衝擊下的雨量變化區間，茲繪製臺灣 4 個分區豐、枯水期未來雨量相較於基期觀測平均值變化百分比，如圖 3.2 所示。由圖中可看出，臺灣豐水期雨量普遍呈現增加趨勢(中位數增加幅度介於 2~5%)，以東部及北部增加幅度較大；枯水期雨量普遍呈現減少趨勢(中位數減少幅度介於 -1~-7%)，以東部及北部減少幅度較大。整體而言，於氣候變遷衝擊下，臺灣未來雨量呈現「豐愈豐、枯愈枯」之情況。



註：黑色方框內之數值由上至下分別為所有模式推估結果之第75百分位數、平均值/中位數、第25百分位數。

圖3.2 臺灣未來情境下豐(左)、枯(右)水期雨量之變化百分比

(二) 氣候變遷下各區域流量衝擊

AR6 GWL 2°C 情境模式中雨量情境模式共計 99 組，而溫度情境模式共計 86 組，故將取其交集之 86 組情境模式日雨量及日溫度資料進行降雨逕流模擬，據以進行基期與未來情境流量之衝擊分析。茲以臺灣 6 個重要集水區(翡翠水庫、石門水庫、德基水庫、集集攔河堰、曾文水庫、高屏溪攔河堰)、臺灣北部、中部、南部及東部等 4 個分區，分別進行流量於未來情境下之探討。

1. 流量衝擊分析

6 個集水區未來情境下流量變化趨勢分析如下：

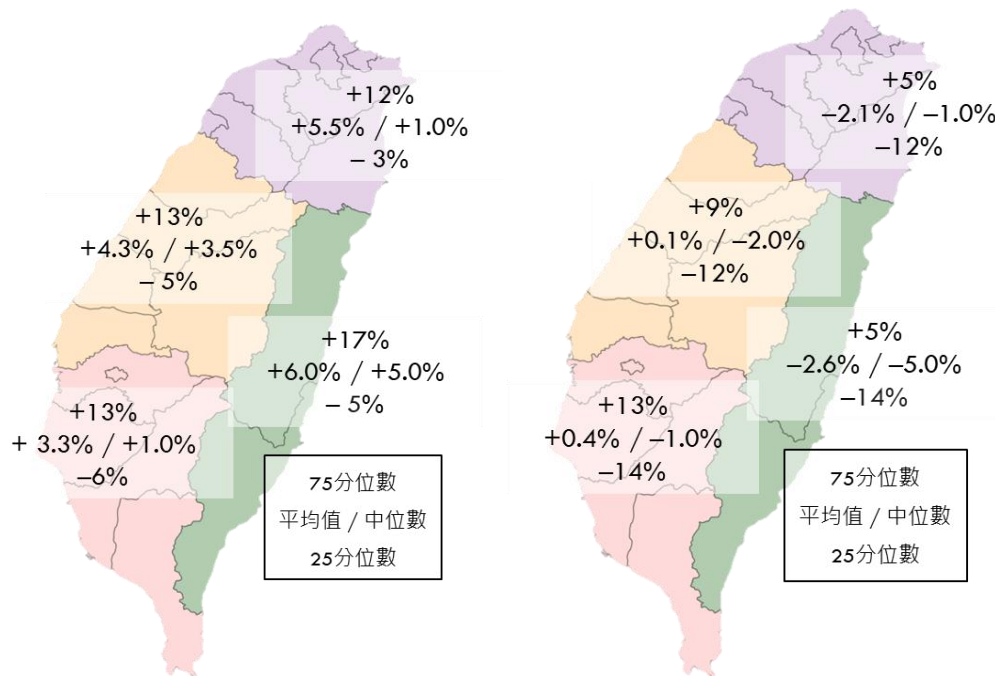
- (1) 翡翠水庫及石門水庫方面，全年度與豐水期未來平均(與中位數)流量均高於歷史觀測流量，且未來有相當大的機率呈現增加之情況(增加的模式大於減少的模式)，枯水期流量則有較大的機率將呈現減少之情況(減少的模式大於增加的模式)。
- (2) 德基水庫及集集攔河堰集水區方面，全年度流量、豐水期未來平均(與中位數)流量均略高於歷史觀測流量，且未來呈現增加的情況機率較大，而枯水期流量未來呈現減少的情況機率較大。
- (3) 曾文水庫及高屏溪攔河堰集水區方面，全年度流量、豐水期流量未來平均(與中位數)流量同樣高於歷史觀測，惟曾文水庫於豐水期流量未來呈現增加的機率較大，枯水期則增加與減少的機率相同。而高屏溪攔河堰集水區則是豐水期流量未來呈現增加與減少的機率相同，枯水期則有較大的機率呈現增加之情況。
- (4) 6 個集水區低於 Q85 日數方面，未來平均值與中位數均大於歷史觀測值，且未來呈現低流量的日數相較於歷史觀測低流量日數，將有很高的機率呈現增加的情況。

4 個分區未來情境下流量變化趨勢分析如下：

- (1) 北、中、南、東四分區之全年度流量與豐水期流量，未來均有較大的機率呈現增加的情況。
- (2) 北、中及東部地區枯水期流量有較大機率呈現減少的情況，南部地區枯水期流量未來呈現增加或減少之機率則相差不大。

為瞭解北部、中部、南部、東部等四個分區於氣候變遷衝擊下的流量變化區間，茲繪製臺灣 4 個分區豐、枯水期未來流量相較於基期觀測流量之變化百分比，如圖 3.3 所示。由圖中可看出，臺灣豐水期

流量普遍呈現增加趨勢(中位數增加幅度介於 1~5%)，以東部及中部增加幅度較大；枯水期流量普遍呈現減少趨勢(中位數減少幅度介於 -1~-5%)，以東部及中部減少幅度較大。整體而言，於氣候變遷衝擊下，臺灣未來流量呈現「豐愈豐、枯愈枯」之情況。



註：黑色方框內之數值由上至下分別為所有模式推估結果之第75百分位數、平均值/中位數、第25百分位數。

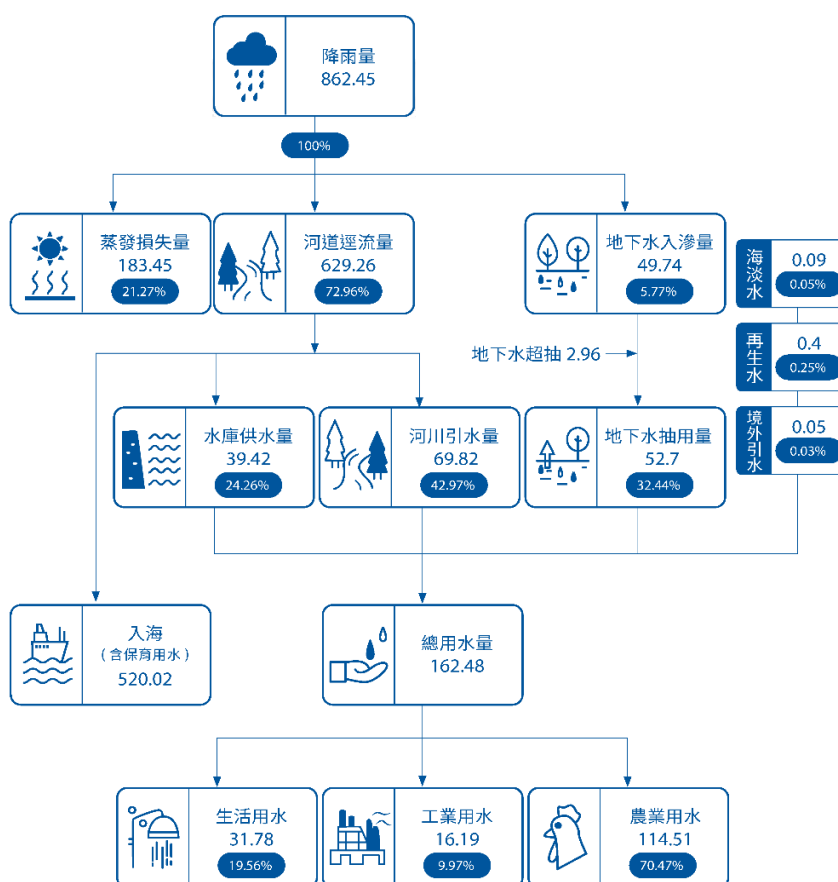
圖3.3 臺灣未來情境下豐(左)、枯(右)水期流量之變化百分比

(三) 氣候變遷下各區域水資源供給衝擊

依據水利署 113 年水利統計年報，臺灣近十年(103~112 年)平均年降雨量達 862.45 億噸，有效天然水資源量約為 629.26 億噸，實際年均用水量約 162.48 億立方公尺，用水結構以農業用水占大宗(約 114.51 億立方公尺，占 70.47%)，其次為生活用水(約 31.78 億立方公尺，占 19.56%)及工業用水(約 16.19 億立方公尺，占 9.97%)。而地下水抽水量仍有大於天然補注量之情況，如圖 3.4 所示。

103 年 - 112 年水資源量及利用量

單位：億噸



資料來源：113年水利年報，經濟部水利署，114年。

圖3.4 臺灣地區近十年平均水資源量及利用量(103~112年)

公共用水經推估，現況(114 年)供水能力約每日 1,252.2 萬立方公尺，尚滿足 113 年用水需求每日 1,072.4 萬立方公尺。未來如納高科技產業及重大產業進駐、觀光快速發展等因素，推估目標年130年北、中、南、東及離島等區域用水需求多數呈現上升趨勢。另在不推動任何水資源強化運用措施情境下，現況(114 年)供水能力尚不足以因應目標年 130 年社會經濟發展用水成長，預估供水缺口地區將產生約每日 111.8 萬立方公尺供水缺口，如表 3.1 所示。

農業用水部分由於農業部刻正推動「農田水利跨域整合永續發展計畫」及「農糧產業全面升級計畫」，未來將透過改善灌渠輸水損失、推廣智慧灌溉及加強推動旱作雜糧等措施，提高農業用水效率，並考量目前農業部仍持續推動擴大灌區服務及滿足三生(生產、生態、生活)用水，因此朝目標年 130 年農業用水維持現況推動，平水年用水目標值 118.83 億立方公尺。

表 3.1 各區域公共用水供需檢討表

單位：萬立方公尺/日

區域		現況(114 年) 供水能力 (A)	113 年 用水量	目標年 130 年 用水需求 (B)	目標年 130 年 供需缺口 C=A-B
北北基	基隆	44.1	40.4	41.2	-
	臺北	210.0	172.4	164.5	-
	新北	84.0	83.4	76.7	-
	合計	338.1	296.2	282.4	-
桃竹苗	桃園	135.4	123.1	147.2	-11.8
	新竹	74.2	64.0	81.1	-6.9
	苗栗	24.8	21.6	46.1	-21.3
	合計	234.4	208.7	274.4	-40.0
中彰雲投	臺中	167.8	140.2	176.9	-9.1
	彰化	43.8	40.7	43.8	-
	南投	30.2	26.4	28.7	-
	雲林	20.0	18.0	16.5	-
	合計	261.8	225.3	265.9	-9.1
嘉南高屏	嘉義	40.2	30.9	42.4	-2.2
	臺南	118.9	102.9	153.1	-34.2
	高雄	173.2	144.6	195.3	-22.1
	屏東	27.5	20.1	31.7	-4.2
	合計	359.8	298.5	422.5	-62.7
宜花東	宜蘭	22.9	18.6	19.4	-
	花蓮	16.4	12.1	12.9	-
	臺東	10.8	7.3	7.3	-
	合計	50.1	38.0	39.6	-
金馬澎	金門	3.8	2.2	2.8	-
	馬祖	0.5	0.4	0.4	-
	澎湖	3.7	3.2	3.6	-
	合計	8.0	5.7	6.8	-
全臺合計		1252.2	1072.4	1291.6	-111.8

資料來源：臺灣水資源經理基本計畫(草案)。

備註：1、公共用水包含生活用水及工業用水。前期經理計畫目標年125年全臺合計為每日1,149萬噸。

2、生活用水為參考國發會「中華民國人口推計(2024至2070年)」、自來水普及率(微幅上升)、

漏水率(降低)、每人每日生活用水量(維持現況)等趨勢資料推估(離島地區則包含國防與觀光用水)。

- 3、工業用水為參考現有工業用地用水成長趨勢、已核定用水計畫(包含現有、開發中、已編定工業區完成後用水量總和)，並依據國土計畫國土功能分區及分類納入產業用地面積等資料推估用水趨勢。
- 4、離島地區金門及馬祖地區主要用水以生活、觀光及國防用水為主，未來暫無工業用水需求。
- 5、東部主要以生活及觀光用水為主，未來暫無新增工業用水需求。
- 6、“-”代表供給大於需求，無用水缺口。
- 7、考量現況各區之間聯通管網仍有瓶頸，無法透過跨區調度填補供水缺口，因此各區域供需缺口係由地區之供需缺口相加，非為該區域合計供水能力與目標年用水需求相減。

臺灣各區水源設施(雙溪及基隆河水源聯合運用、新店溪水源聯合運用、大漢溪水源聯合運用、頭前溪水源聯合運用、中港溪永和山水庫水源運用、後龍溪明德水庫水源運用、大安大甲溪水源聯合運用、烏溪烏嘴潭人工湖水源運用、濁水溪湖山水庫與集集堰聯合運用、八掌溪蘭潭-仁義潭水庫串聯運用、曾文-烏山頭水庫串聯運用、南化水庫及高屏溪攔河堰聯合運用、東港溪鳳山水庫水源運用與四重溪牡丹水庫水源運用)於氣候變遷下供水能力變化分析成果如表 3.2 所示：

- 1.以氣候變遷中位數流量分析之供水能力變化範圍為-4.1~+0.2%，除烏溪烏嘴潭人工湖、南化水庫-高屏堰聯合運用與四重溪牡丹水庫呈現持平外，其餘水系之供水能力皆略微降低，以大漢溪水源設施聯合運用供水能力降低幅度最多(-4.1%)。
- 2.以氣候變遷平均流量分析之供水能力變化範圍為 0.4~+19.2%，各水系之供水能力皆略為提高，以後龍溪明德水庫供水能力提升幅度最多。
- 3.以氣候變遷 25 分位數流量分析供水能力變化範圍-53.6~-7.7%，供水能力均為降低，以雙溪及基隆河水源設施聯合運用供水能力降低幅度最小，後龍溪明德水庫供水能力降低幅度最多。
- 4.以氣候變遷 75 分位數流量分析之供水能力變化範圍為+2.4~+31.3%，供水能力均為增加，以東港溪水源設施聯合運用供水能力增加幅度最小，後龍溪明德水庫供水能力增加幅度最多。
- 5.北部區域以大漢溪水源設施聯合運用供水能力變化幅度較大(-23.1~+18.0%)，其次為頭前溪水源設施聯合運用(-18.4~+18.5%)。
- 6.中部區域除大安大甲溪水源系統以外，其餘河系受氣候變遷影響變化幅度較大，以後龍溪明德水庫供水能力變化幅度最大(-53.6~+31.3%)。

- 7.南部區域東港溪鳳山水庫與四重溪牡丹水庫受氣候變遷影響變化幅度較小，南化水庫-高屏堰聯合運用受氣候變遷影響變化幅度最大(-15.9~+19.1%)。
- 8.考量氣候變遷與極端氣候影響，可能發生區間之供水能力變化大，將影響各水源供水系統之供水能力，應提高備援能力以增加系統供水韌性。

表 3.2 氣候變遷下供水能力變化分析成果

區域	水源供水系統	缺水指數 SI	常態供水能力 (萬CMD)		氣候變遷下供水能力(萬CMD)/變化率(%)			
					25分位	中位數	平均	75分位
北部 區域	雙溪及基隆河 水源設施聯合運用	0.1	25.9		23.90	25.85	26.52	27.85
					-7.7%	-0.2%	2.4%	7.5%
	新店溪水源設施 聯合運用	0.1	317.6		274.3	309.8	322.1	356.6
					-13.6%	-2.5%	1.4%	12.3%
	大漢溪水源設施 聯合運用	0.5	148.4		114.2	142.3	150.2	175.1
					-23.1%	-4.1%	1.2%	18.0%
	頭前溪水源設施 聯合運用	0.5	加高前	36.5	29.8	35.8	37.5	43.2
					-18.4%	-1.7%	3.0%	18.5%
			加高後	37.4	30.5	36.7	38.4	44.2
					-18.5%	-1.9%	2.7%	18.0%
中部 區域	中港溪永和山水庫	1.0	13.9		11.2	13.6	14.5	16.8
					-19.4%	-2.2%	4.3%	20.6%
	後龍溪明德水庫	1.0	2.24		1.04	2.22	2.67	2.94
					-53.6%	-0.9%	19.2%	31.3%
	大安大甲溪 水源聯合運用	1.0	計畫前	146.6	133.3	146.5	150.1	160.5
					-9.0%	-0.1%	2.4%	9.5%
			計畫後	169.7	151.9	168.9	173.7	189.7
					-10.5%	-0.5%	2.3%	11.7%
	烏溪烏嘴潭人工湖	1.0	24.0		17.0	24.0	27.5	30.6
					-29.1%	0.0%	14.3%	27.3%
	濁水溪湖山水庫與 集集堰聯合運用	1.0	41.6		34.8	41.4	43.9	51.1
					-16.3%	-0.7%	5.4%	22.6%
南部 區域	八掌溪蘭潭-仁義潭 水庫串聯運用	1.0	14.4		11.9	14.1	14.7	16.3
					-17.1%	-2.0%	2.0%	13.2%
	南化水庫-高屏堰 聯合運用	1.0	加高前	55.9	47.0	55.9	59.0	66.6
					-15.9%	0.0%	5.6%	19.1%
			加高後	59.9	50.1	60.0	63.3	72.0
					-16.3%	0.2%	5.6%	20.2%
	東港溪鳳山水庫	1.0	42.9		37.5	42.3	43.1	43.9
					-12.5%	-1.4%	0.4%	2.4%
	四重溪牡丹水庫	1.0	9.9		8.9	9.9	10.2	11.1
					-10.4%	0.0%	2.9%	11.8%

整體而言，以氣候變遷情境模式分析所得到之中位數供水能力，除少部分河系呈持平外，其餘河系皆呈現略微降低情形；若以平均流量分析，則供水能力略為提高，顯示氣候變遷於中位數與平均流量下供水能力較現況影響較低。以氣候變遷 25 分位與 75 分位流量分析，則供水能力增減變化大，顯示氣候變遷對於供水系統之影響具有高度不確定性。

由於每個氣候變遷情境模式表現有所不同，造成豐枯水年流量差異懸殊(年際變化差異大)，使氣候變遷衝擊分析具有高度不確定，進一步影響水源系統供水能力。基此，應於管理面強化監測與預測技術，並超前部署相關節水與備援措施。

三、風險評估作業說明

依據「氣候變遷風險評估作業準則」所律定調適框架與風險評估架構，分別針對風險情境設定、風險因子辨識、風險評估指標及風險評估指標分級方式進行說明：

(一) 風險情境設定

基於「不同時間情境」與「設施系統狀態」考量，區分為三個主要情境：(1)基準年現況系統、(2)目標年現況系統以及(3)目標年調適作為。整體風險評估流程如圖 3.5。

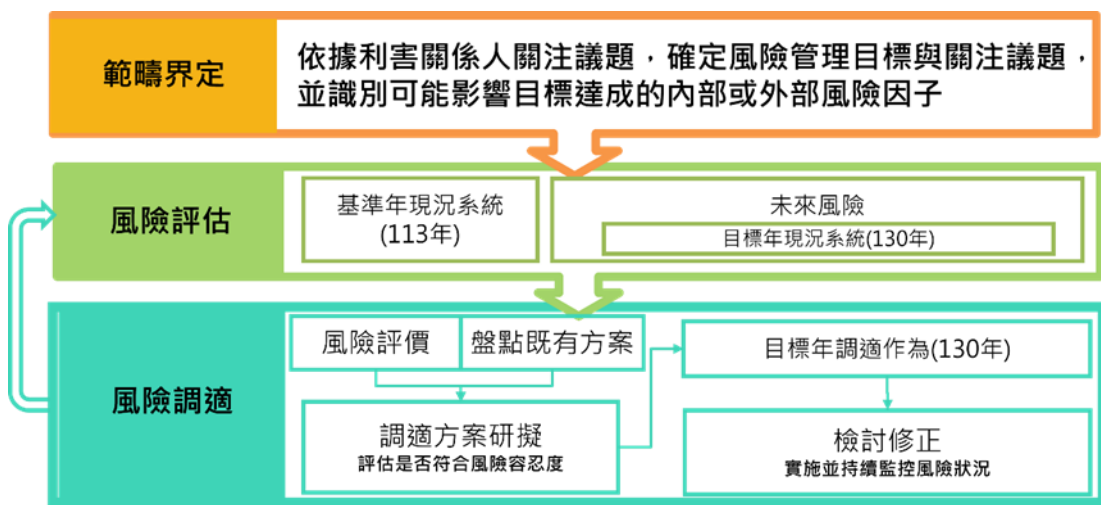


圖3.5 水資源領域氣候變遷風險評估流程

- 1.基準年現況系統：以民國 113 年為基準年，並考量至 113 年前已完工之設施。此情境反映當前系統的「現況」風險狀況，作為後續氣候變遷情境比較的基礎。
- 2.目標年現況系統：以民國 130 年為目標年，並考量至 113 年前已完工之設施。此情境反映未來「氣候變遷下」水文變化和需求增長對現有系統的風險影響，揭示未來風險積累效應。換言之，此風險評估情境為目標年(民國 130 年)受氣候變遷影響且無加入調適作為之情境。
- 3.目標年調適作為：以民國 130 年為目標年，除了考量 113 年已完成設施外，還包括已核定或實施中的設施及新提案設施與供水策略。此風險評估情境主要在評估實施調適作為後，水資源系統面對氣候變遷衝擊之風險應對能力。

(二) 風險因子辨識

依據經濟部水利署「109 年經理計畫滾動檢討」計畫相關成果，將水資源風險因子分為「設施」、「系統」及「供需」三大風險項目，並細分為九項風險因子，其中氣候變遷相關之風險因子為氣候變遷下供給減少(C1)。然而，為提升指標設計邏輯的一致性與實務適用性，細化供需風險結構，強化氣候因應考量，原有氣候變遷相關風險因子已於經濟部水利署「臺灣各區水資源經理計畫滾動檢討及調適策略」計畫中修正為「氣候變遷供需風險(C2)」。

惟後續為明確的區隔現況水文條件並辨識氣候變遷情境對於現況之衝擊影響，故將「常態水源供需風險(C1)」代表目前系統「現況」，以作為後續氣候變遷情境之比較基準，茲將「常態水源供需風險」及「氣候變遷供需風險」兩項因子定義如下：

- 1.常態水源供需風險(C1)：以反映「現況」水文條件下的長期供需關係。
- 2.氣候變遷供需風險(C2)：以考量未來「氣候變遷」對供需平衡的影響。

(三) 風險評估指標

主要參考「氣候變遷風險評估作業準則」將前期計畫原本「發生機率×影響程度」的風險評估架構，轉化為由危害度(Hazard)、暴露度(Exposure)、脆弱度(Vulnerability)三構面所構成的綜合風險評估架構，並依三構面之定義分別擇定適用指標。風險危害度、脆弱度與暴露度指標說明如下：

1.評估架構釐訂

風險評估方法為三構面評估架構(包含危害度、脆弱度與暴露度)，其定義如下：

- (1)危害度(Hazard)：指自然或人為導致之氣候危害事件嚴重度或變化趨勢，其可能加劇暴露對象之不利影響。
- (2)脆弱度(Vulnerability)：指暴露對象易受負面影響之程度，包括敏感程度、易致受損程度及缺乏應對、調適之能力。
- (3)暴露度(Exposure)：指實際或可能受衝擊之暴露對象存在之規模或程度。

2. 危害度指標選定

危害度用以量化風險因子本身之發生潛勢與強度，故採用事件發生機率作為主要指標。前述常態水源供需風險(C1)與氣候變遷供需風險(C2)之危害度評估指標定義為：乾旱發生機率($DPD > 1500$ 之發生年數與統計年數比例)。

3. 脆弱度指標選定

脆弱度指標旨在評估暴露系統面對衝擊時之受損可能性與調適能力。採「供水率」為脆弱度之核心指標，常態水源供需風險(C1)之脆弱度評估指標採用：歷史水文地區年平均供水率；氣候變遷供需風險(C2)之脆弱度評估指標採用：年平均供水率(%)。

4. 暴露度指標選定

暴露度用以衡量可能受到風險衝擊之系統規模，其反映區域內受影響對象的數量與經濟價值。考量水資源系統供應之產業結構，採用「工業產值」作為核心指標，用以反映區域產業對供水依賴程度，產值越高，則表示該區域暴露對象之經濟損失潛勢越大。此指標聚焦於產業面向之衝擊評估，應有助於精準辨識關鍵經濟暴露區，並作為分區調適與水資源治理優先順序之決策依據。

5. 風險評估

風險度評估係以危害度、暴露度與脆弱度三項指標之級分乘積為計算基礎。各指標最高為5級，總乘積最大值達125分。為確保風險分級之客觀性與代表性，評估機制採用等值相乘(如 $2 \times 2 \times 2$ 、 $3 \times 3 \times 3$ 、 $4 \times 4 \times 4$)作為切分閾值，並針對總分逾100分之極端區域獨立劃定級別，最終收斂為五個風險等級。此乘算機制能顯著放大各影響因子間交互作用之加乘效應，標定高風險熱區，進而作為後續擬定氣候調適策略、優化資源配置及推動風險管理行動之科學決策依據。

(四) 風險評估指標分級方式

風險評估指標分級採用五級制，以提升評估敏感度與區域差異的辨識能力，強化風險排序、資源配置及治理決策支援，並與國內其他領域風險評估接軌，促進跨域整合可行性。氣候變遷相關之風險評估指標分級制度如表 3.3~表 3.5，分級原則說明如下：

表 3.3 氣候變遷相關之風險評估因子危害度評估指標與分級

風險項目	因子 (分類編號)	危害度 評估指標	危害度分級				
			極低(1)	低度(2)	中度(3)	高度(4)	極高(5)
供需風險	常態水源供需風險(C1)	乾旱發生機率 (DPD>1500 之發生年數與統計年數比例)	$c1 \leq 1/20$	$1/20 < c1 \leq 1/10$	$1/10 < c1 \leq 1/5$	$1/5 < c1 \leq 1/2$	$c1 > 1/2$
	氣候變遷供需風險(C2)	乾旱發生機率 (DPD>1500 之發生年數與統計年數比例)	$c2 \leq 1/20$	$1/20 < c2 \leq 1/10$	$1/10 < c2 \leq 1/5$	$1/5 < c2 \leq 1/2$	$C2 > 1/2$

表 3.4 氣候變遷相關之風險評估因子脆弱度評估指標與分級

風險項目	因子 (分類編號)	脆弱度 評估指標	脆弱度分級				
			極低(1)	低度(2)	中度(3)	高度(4)	極高(5)
供需風險	常態水源供需風險(C1)	歷史水文地區年平均供水率	$c1 \geq 98$	$98 > c1 \geq 95$	$95 > c1 \geq 90$	$90 \geq c1 \geq 85$	$c1 < 85$
	氣候變遷供需風險(C2)	年平均供水率(%)	$c2 \geq 98$	$98 > c2 \geq 95$	$95 > c2 \geq 90$	$90 \geq c2 \geq 85$	$c2 < 85$

表 3.5 風險評估因子暴露度評估指標與分級

因子	暴露度分級				
	極低(1)	低度(2)	中度(3)	高度(4)	極高(5)
工業產值 (千元)	$\leq 154,670$	154,671 ~ 1,987,694	1,987,695 ~ 12,376,297	12,376,297 ~ 58,706,984	58,706,984 ~ 1,433,656,236

1.常態水源供需風險(C1)指標分級方式

- (1)危害度指標：透過歷史水文資料結合水源調配模式，評估乾旱事件發生機率，作為本項危害度量化依據。乾旱事件定義為DPD(Dryness Period Duration)大於1500，DPD係同時考量缺水強度與持續時間，如DPD=1500表示缺水率10%連續150日，或缺水率100%連續15日。依據近五年自來水公司操作記錄，分級標準依年平均發生頻率分為五級：少於20年一次、10年一次、5年一次、2年一次及多次，以反映穩定供水韌性程度。
- (2)脆弱度指標：透過歷史水文資料結合水源調配模式，模擬歷史條件長期年平均供水率，作為本項脆弱度量化依據。分級標準參考臺灣現行缺水應變機制啟動門檻，設定供水率 $\geq 98\%$ 、 95% 、 90% 、 85% 、 $<85\%$ 等五級，以反映系統穩定供水韌性程度。

2.氣候變遷供需風險(C2)指標分級方式

- (1)危害度指標：透過氣候變遷GWL2.0情境下之水文資料，結合水源調配模式，評估未來乾旱事件發生機率，作為本項危害度量化依據。乾旱事件定義為DPD指數大於1500，其中DPD同時考量缺水強度與持續時間，如DPD=1500表示缺水率10%連續150日，或缺水率100%連續15日。依據近五年自來水公司操作記錄，分級標準依年平均發生頻率分為五級：少於20年一次、10年一次、5年一次、2年一次及2年多次，反映氣候衝擊下穩定供水之韌性程度。
- (2)脆弱度指標：透過氣候變遷GWL2.0情境下之水文資料，結合水源調配模式，模擬氣候條件下的長期年平均供水率，作為本項脆弱度量化依據。分級標準參考臺灣現行缺水應變機制啟動門檻，設定供水率 $\geq 98\%$ 、 95% 、 90% 、 85% 、 $<85\%$ 區分五級，以反映系統在歷史水文下穩定供水之韌性程度。

3.暴露度指標分級方式

暴露度指標係以工業產值作為衡量潛在受風險衝擊系統規模的代表變數，反映產業用水的重要性。為呈現各地區在暴露風險上的相對差異，並且兼顧指標分布的公平性與可比較性，採用等量分級法將全臺各縣市工業產值資料依數值大小排序後，平均劃分為五個等級。此分級方式兼顧區域代表性與評估一致性，能有效辨識高暴露地區，並作為風險排序與調適資源配置的重要依據。

四、現況與未來風險評估

現況與氣候變遷下之水資源風險評估係分別針對研究區域「常態水源供需風險(C1)基準年(113 年)現況系統」及「氣候變遷供需風險(C2)目標年(130 年)現況系統」情境風險進行評估，以利瞭解現況水資源供需系統在未來氣候變遷下水文變化及需求增長之情境下所面臨之影響程度。分析成果說明如下：

(一) 危害度與脆弱度分析成果

危害度係透過歷史水文資料結合水源調配模式以評估乾旱事件發生機率(以 $DPD > 1500$ 之發生年數與統計年數比例，評估乾旱事件發生機率)；而脆弱度則透過歷史水文資料結合水源調配模式，模擬歷史條件下的長期年平均供水率進行評估。危害度與脆弱度分析成果分述如下：

1. 常態水源供需風險(C1)分析成果

針對各供水分區之常態水源供需風險進行評估，危害度與脆弱度評估成果如表 3.6 及圖 3.6~圖 3.7 所示，結果說明如下：

- (1) 危害度：以「歷史水文乾旱事件發生機率」進行評估，就「基準年(113 年)現況系統」而言，其危害度評估成果示如表 3.6，桃園、新竹、苗栗、臺中、雲林、臺南、高雄地區發生機率大於 20%，其危害度列為高度；雲林及嘉義地區發生比例大於 10%，其危害度列為中度，其餘地區危害度為低度與極低。
- (2) 脆弱度：以「歷史水文事件之平均供水率」進行評估，就「基準年(113 年)現況系統」而言，其脆弱度評估成果示如表 3.6，除苗栗地區供水率小於 95%，脆弱度列為中度，其餘地區供水率 95%以上脆弱度為低度與極低。

表 3.6 常態水源供需風險評估量表(基準年現況系統)

分區	供水地區	危害度(發生機率)				脆弱度(衝擊程度)	
		DPD>1500 發生年數	統計年數	發生比例 (%)	等級	常態水源年 平均供水率	等級
北北基	基隆	0	44	0.0%	極低(1)	99.34%	極低(1)
	臺北	1	67	1.5%	極低(1)	99.88%	極低(1)
	板新	1	67	1.5%	極低(1)	99.79%	極低(1)
桃竹苗	桃園	29	67	43.3%	高度(4)	95.33%	低度(2)
	新竹	17	54	31.5%	高度(4)	95.60%	低度(2)
	苗栗	23	50	46.0%	高度(4)	94.80%	中度(3)
中彰投雲	臺中	13	50	26.0%	高度(4)	96.05%	低度(2)
	彰化	3	45	6.7%	低度(2)	98.98%	極低(1)
	南投	0	45	0.0%	極低(1)	100.00%	極低(1)
	雲林	12	66	18.2%	中度(3)	96.90%	低度(2)
嘉南高屏	嘉義	11	58	19.0%	中度(3)	96.90%	低度(2)
	臺南	24	66	36.4%	高度(4)	95.08%	低度(2)
	高雄	12	57	21.1%	高度(4)	97.11%	低度(2)
	屏東	3	71	4.2%	極低(1)	99.91%	極低(1)
宜花東	宜蘭	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	臺東	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	花蓮	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
離島	澎湖	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	金門	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	馬祖	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)

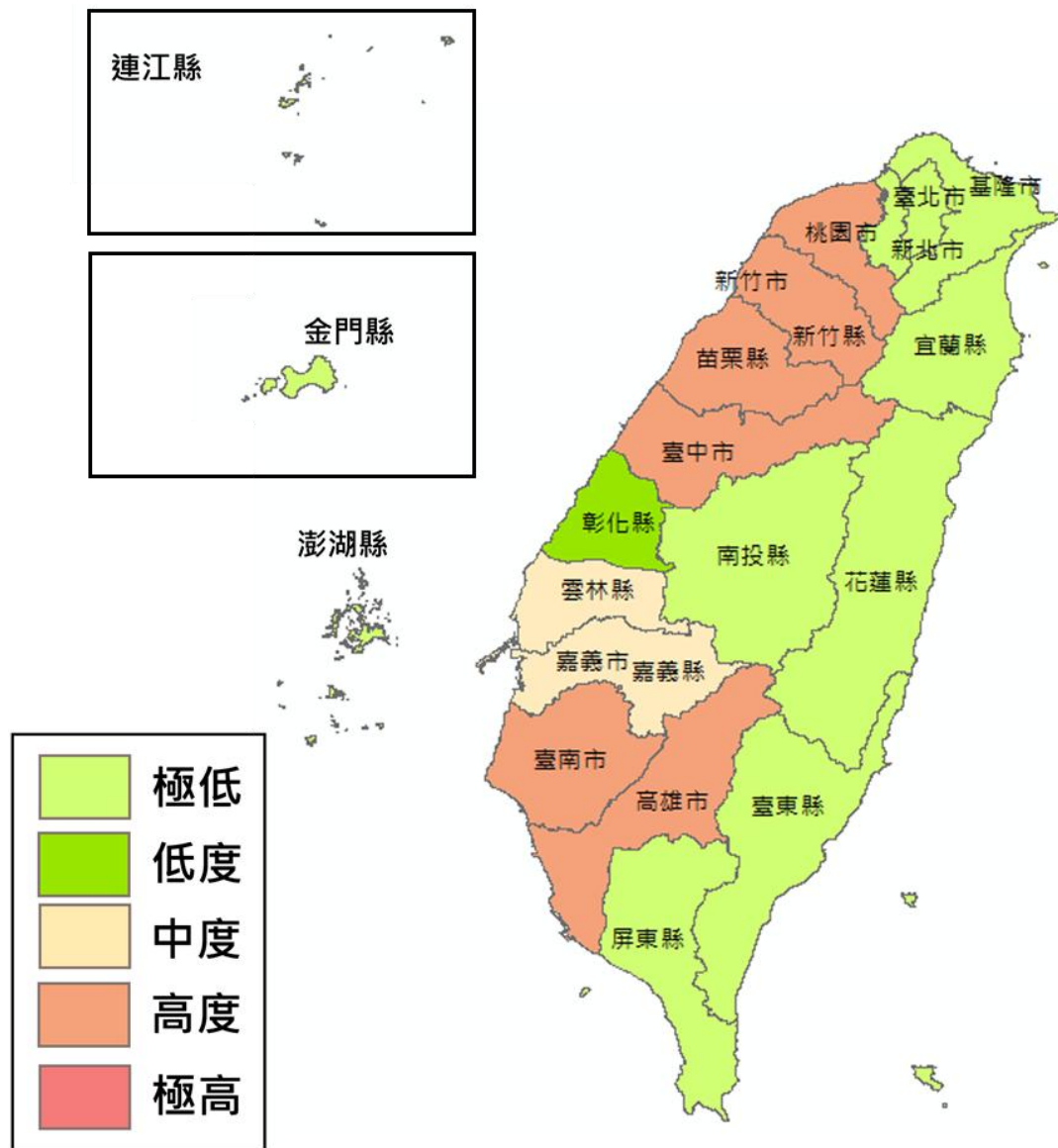


圖 3.6 常態水源供需風險危害度分布(基準年現況系統)

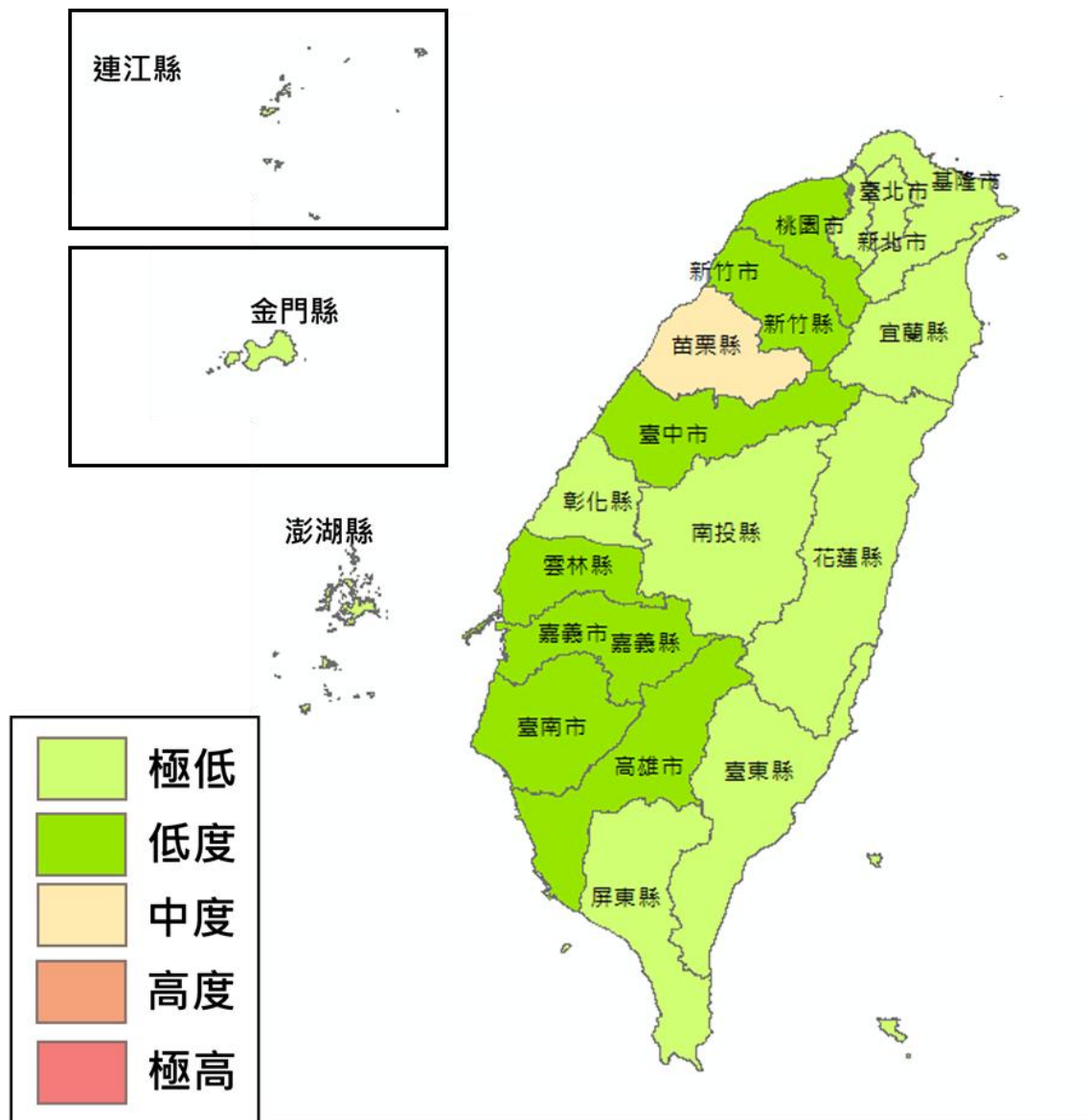


圖 3.7 常態水源供需風險脆弱度分布(基準年現況系統)

2.氣候變遷下供需風險(C2)分析成果

針對各供水分區之氣候變遷供需風險進行評估，危害度與脆弱度評估成果如表 3.7 及圖 3.8~圖 3.9 所示，結果說明如下：

- (1)危害度：以「氣候變遷 GWL 2.0 情境下之乾旱事件發生機率」進行評估，就「目標年(130 年)現況系統」而言，危害度評估成果示如表 3.7，桃園、新竹、苗栗、臺中、彰化、嘉義、臺南及高雄地區發生比例大於 50%，其危害度列為極高；雲林地區發生比例大於 20%，其危害度列為高度，其餘地區為低度與極低。
- (2)脆弱度：以「氣候變遷 GWL 2.0 情境下之平均供水率」進行評估，就「目標年(130 年)現況系統」而言，脆弱度評估成果示如表 3.7，苗栗地區供水率小於 85%，其脆弱度列為極高；新竹、臺中及臺南地區供水率小於 90%，其脆弱度列為高度；桃園、彰化、雲林、嘉義及高雄地區供水率小於 95%，其脆弱度列為中度，其餘地區為低度與極低。

表 3.7 氣候變遷下供需風險評估量表(目標年現況系統)

分區	供水地區	危害度(發生機率)				脆弱度(衝擊程度)	
		DPD>1500 發生年數	統計年數	發生比例 (%)	等級	年平均 供水率	等級
北北基	基隆	0	44	0.00%	極低(1)	98.42%	極低(1)
	臺北	1	67	1.49%	極低(1)	99.89%	極低(1)
	板新	1	67	1.49%	極低(1)	99.91%	極低(1)
桃竹苗	桃園	43	67	64.18%	極高(5)	92.88%	中度(3)
	新竹	41	54	75.93%	極高(5)	87.69%	高度(4)
	苗栗	50	50	100.00%	極高(5)	82.03%	極高(5)
中彰投雲	臺中	50	50	100.00%	極高(5)	85.49%	高度(4)
	彰化	45	45	100.00%	極高(5)	94.30%	中度(3)
	南投	0	45	0.00%	極低(1)	100.00%	極低(1)
	雲林	33	66	50.00%	高度(4)	93.29%	中度(3)
嘉南高屏	嘉義	32	58	55.17%	極高(5)	93.44%	中度(3)
	臺南	61	66	92.42%	極高(5)	87.42%	高度(4)
	高雄	44	57	77.19%	極高(5)	90.08%	中度(3)
	屏東	1	71	1.41%	極低(1)	99.17%	極低(1)
宜花東	宜蘭	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	臺東	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	花蓮	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
金馬澎	澎湖	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	金門	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)
	馬祖	-	-	-	極低(1)	100.00%	極低(1)

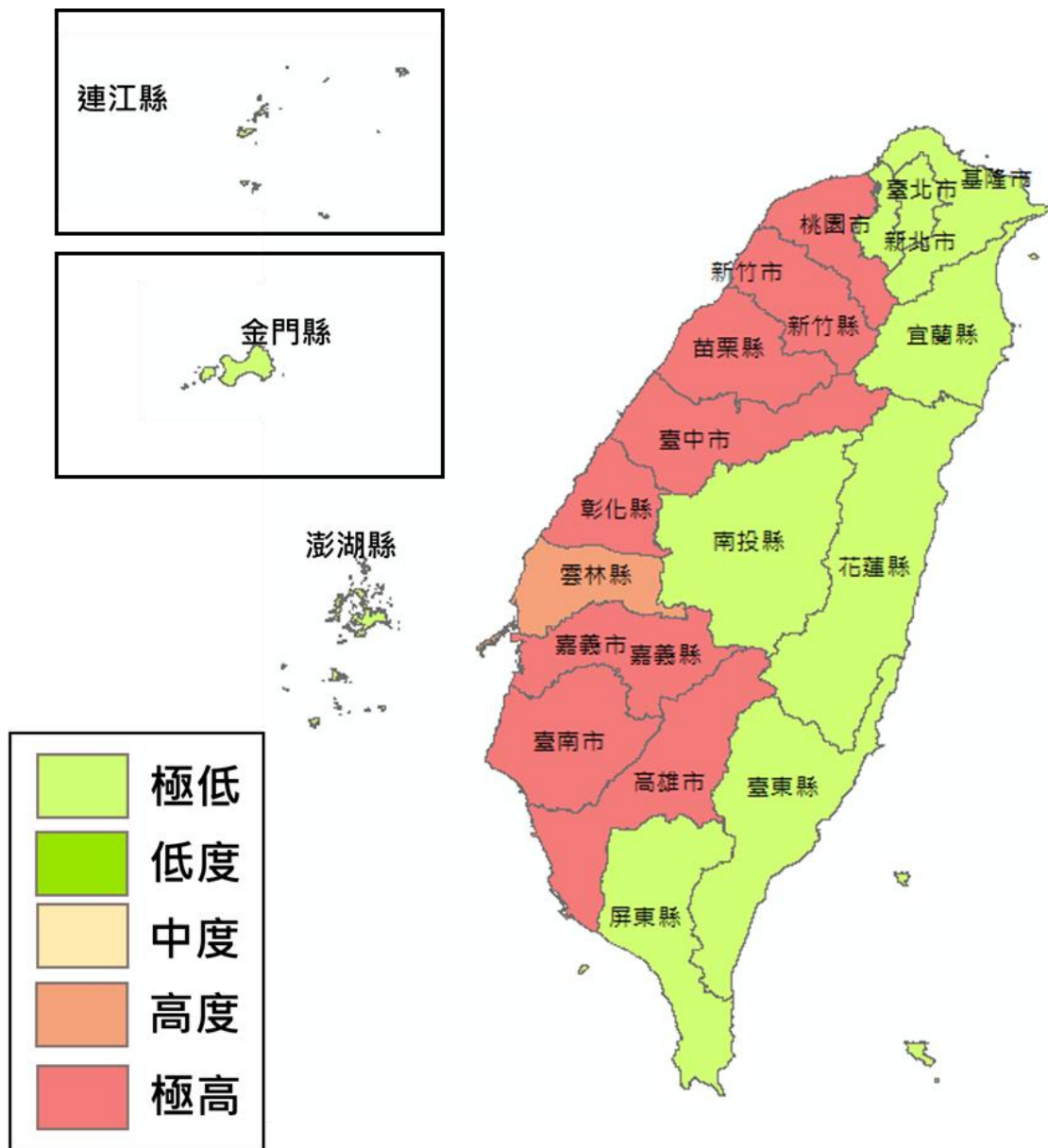


圖 3.8 氣候變遷下供需風險危害度分布(目標年現況系統)

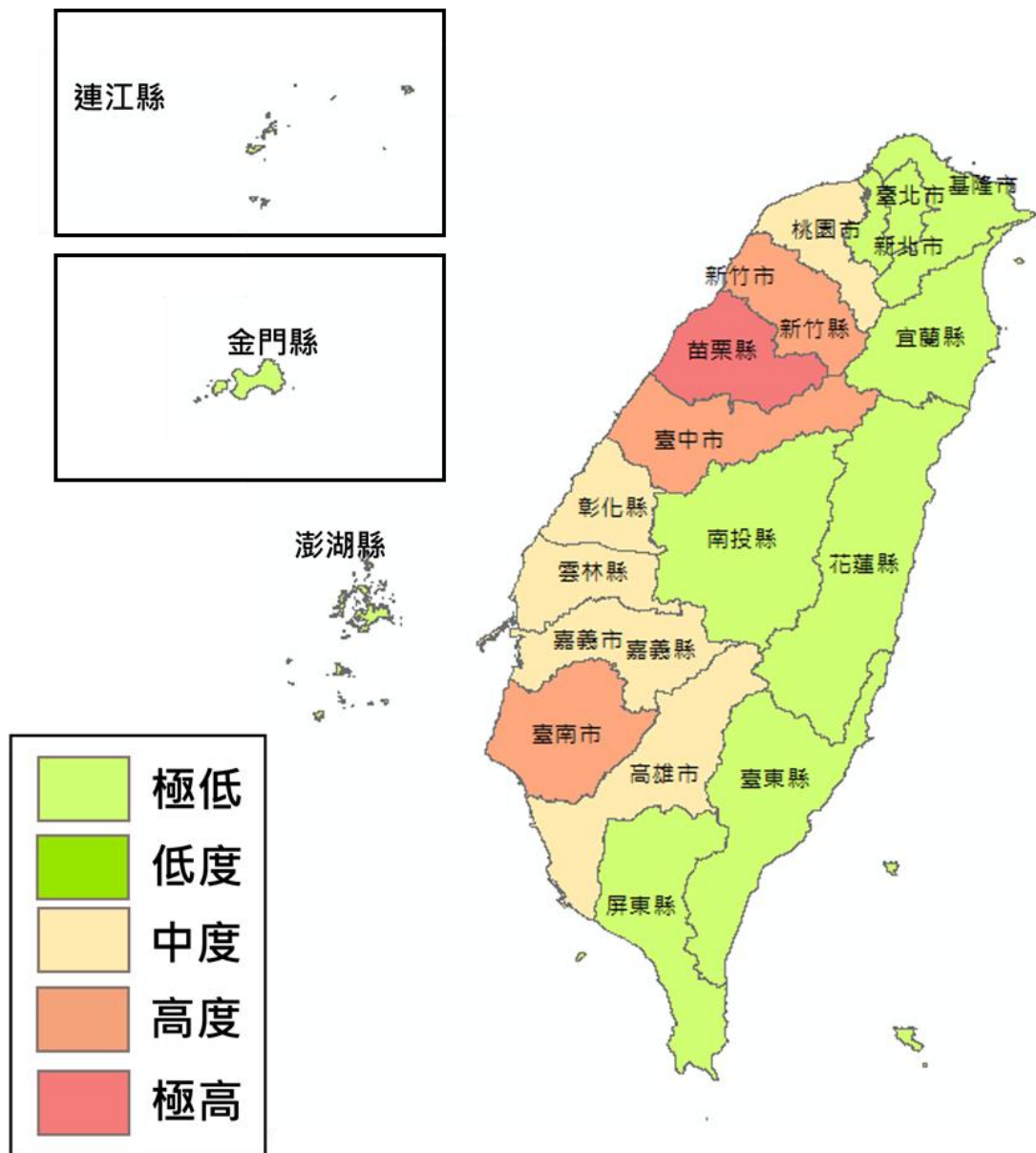


圖 3.9 氣候變遷下供需風險脆弱度分布(目標年現況系統)

（二）暴露度分析成果

暴露度指標係以工業產值作為衡量潛在風險衝擊系統規模之代表變數，採用縣市界為空間分析單元，並以等量分級法對工業產值進行分類。分析結果詳見圖 3.10。分析結果顯示，工業產值暴露度較高的區域主要集中於新北市、桃園市、新竹縣市、臺中市、彰化縣、雲林縣、臺南市、高雄市等設有科學園區、工業區、科技產業園區與自由貿易港區之行政區。

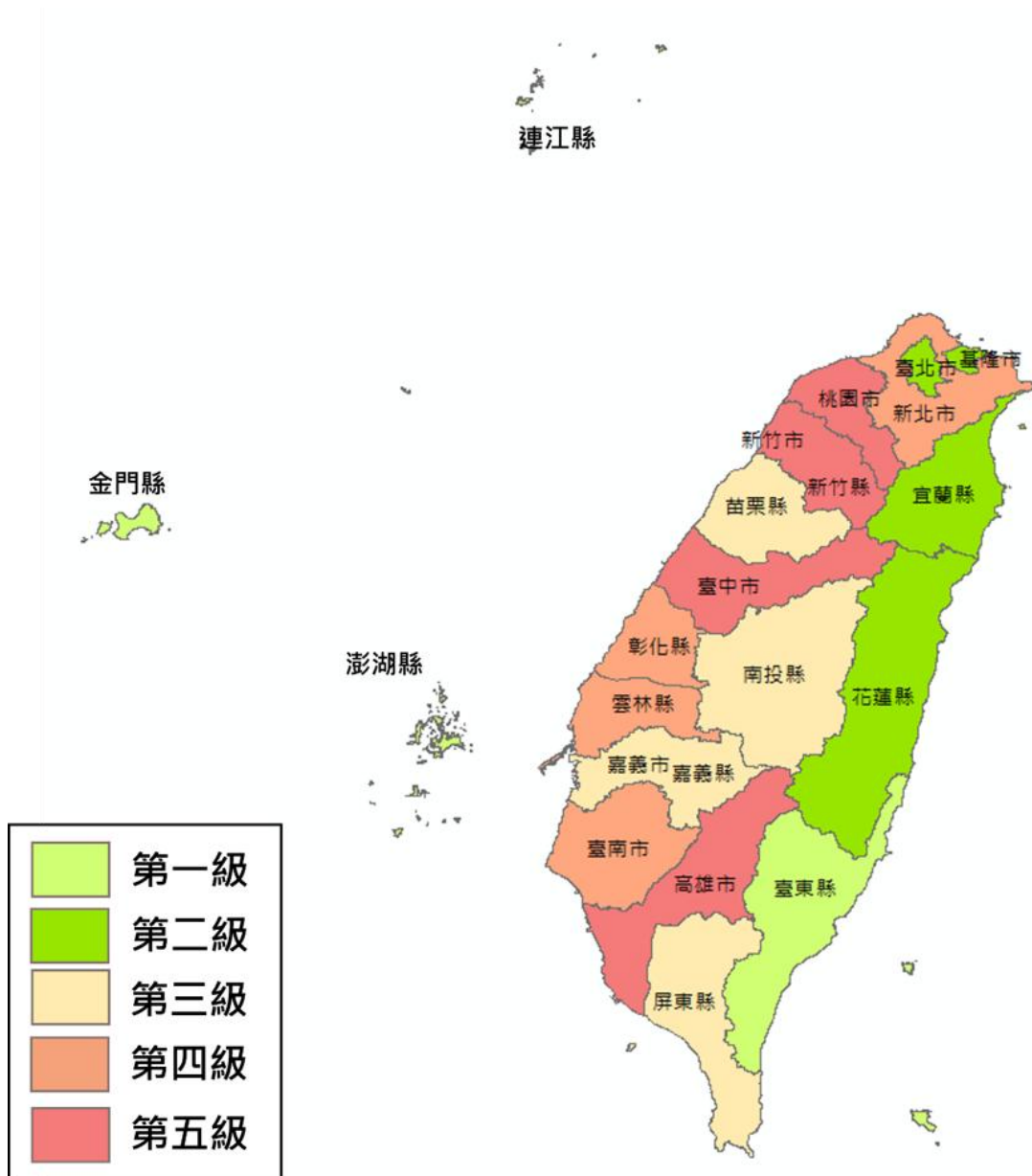


圖 3.10 工業產值暴露度分析

(三) 風險分析成果

風險地圖繪製係採危害度、暴露度、脆弱度各級分之乘積估計。
分析成果說明如下：

1. 常態水源供需風險(C1)分析成果

「常態水源供需風險(C1)基準年現況系統」風險圖示如圖 3.11。
除桃園市、新竹縣市、苗栗縣、臺中市、臺南市及高雄市等工業
與高科技重鎮屬中度風險(3)，其餘縣市皆為低度風險(2)以下。

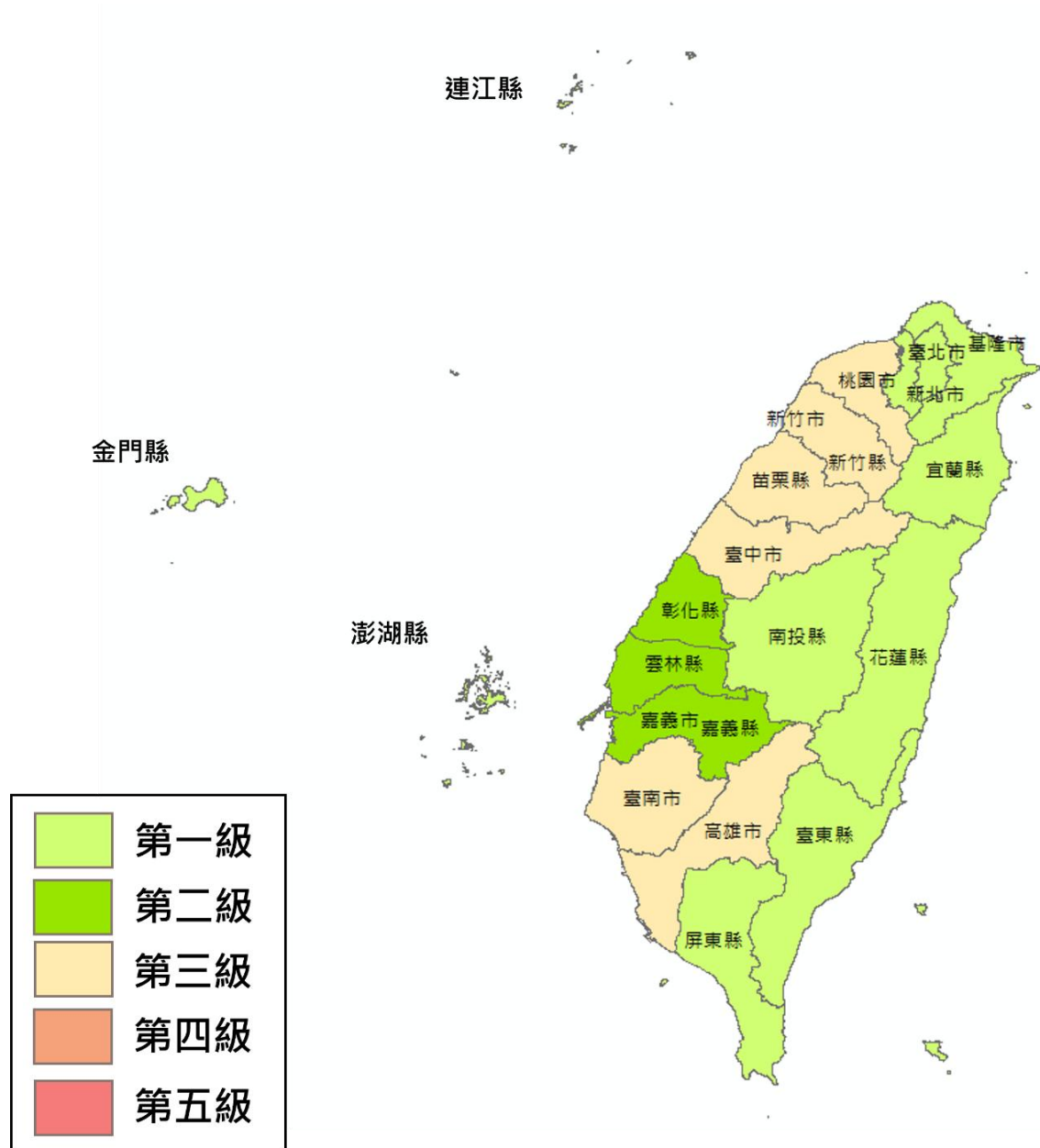


圖 3.11 常態水源供需風險之風險地圖(基準年現況系統)

2.氣候變遷下供需風險(C2)分析成果

「氣候變遷下供需風險(C2)目標年現況系統」之風險地圖示如圖 3.12。相較現況(圖 3.11)，氣候變遷導致臺灣西半部風險全面加劇，其中，新竹縣市與臺中市的情勢最嚴峻，由中度(3)遽升至極高(5)；桃園、苗栗、臺南及高雄等高科技重鎮則由中度(3)升至高度(4)；彰、雲、嘉地區亦由低度(2)升至中度(3)；其餘地區則維持不變。

風險提升程度可視為「調適差距」，具有調適差距的區域可作為擬訂調適因應策略的對象，期透過實施調適作為來降低該區域之風險程度。整體而言，風險程度提升區域多集中於高用水密集、產業發展迅速之區域，顯示水資源風險具明顯的空間集中性與複合性。後續可針對中度風險以上之鄉鎮市區，優先納入水源調配強化、備援體系建置與再生水利用等風險因應策略，以提升區域水資源系統之整體韌性與風險調適能力。

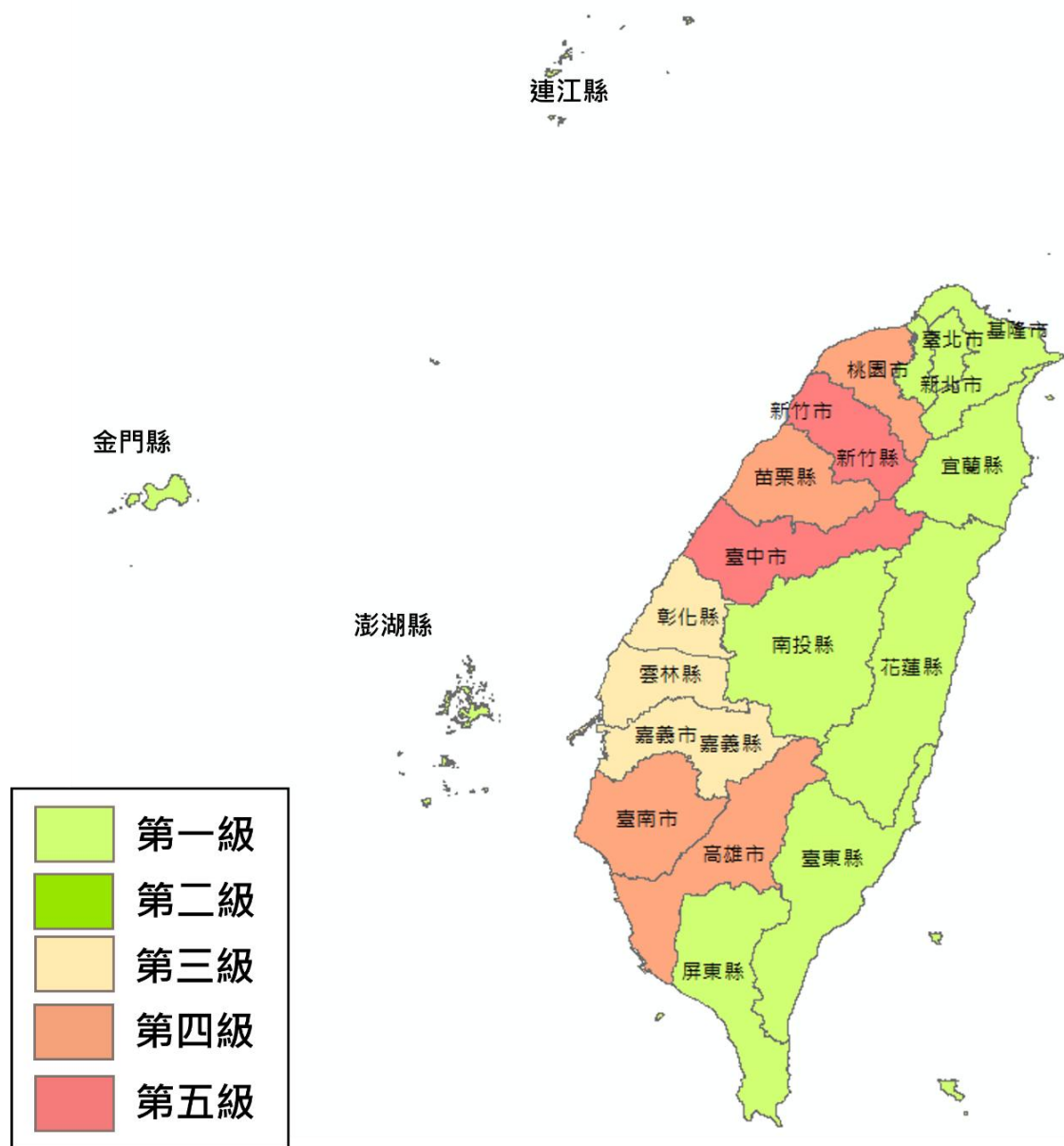


圖 3.12 氣候變遷下供需風險之風險地圖(目標年現況系統)

3.調適後氣候變遷下供需風險(C2)分析成果

在各項調適計畫全面推動之情境下，模擬結果顯示整體供水風險均能有效顯著降低(圖 3.13)，多數縣市可控制於低度(2)風險以下，顯示在目標年(130年)情境下，即便面對GWL 2°C升溫及用水需求持續成長，整體供水系統已具備基本韌性。而原本受氣候變遷衝擊最劇烈、高達極高(5)或高度(4)風險的新竹、臺中、桃園、臺南及高雄等產業重鎮，在調適策略強介入後，風險已大幅壓制並收斂至「中度(3)」可控範圍。鑑於未來氣候極端化與高科技產業發展的複合式不確定性，將風險由「極高」壓降並恆定於「中度」，已證實調適計畫能賦予系統足夠的氣候韌性。此中度風險屬於資源配置最佳化下的「動態可控狀態」，面對極端氣候，可透過既有的緊急備援與超前部署機制予以妥善因應。

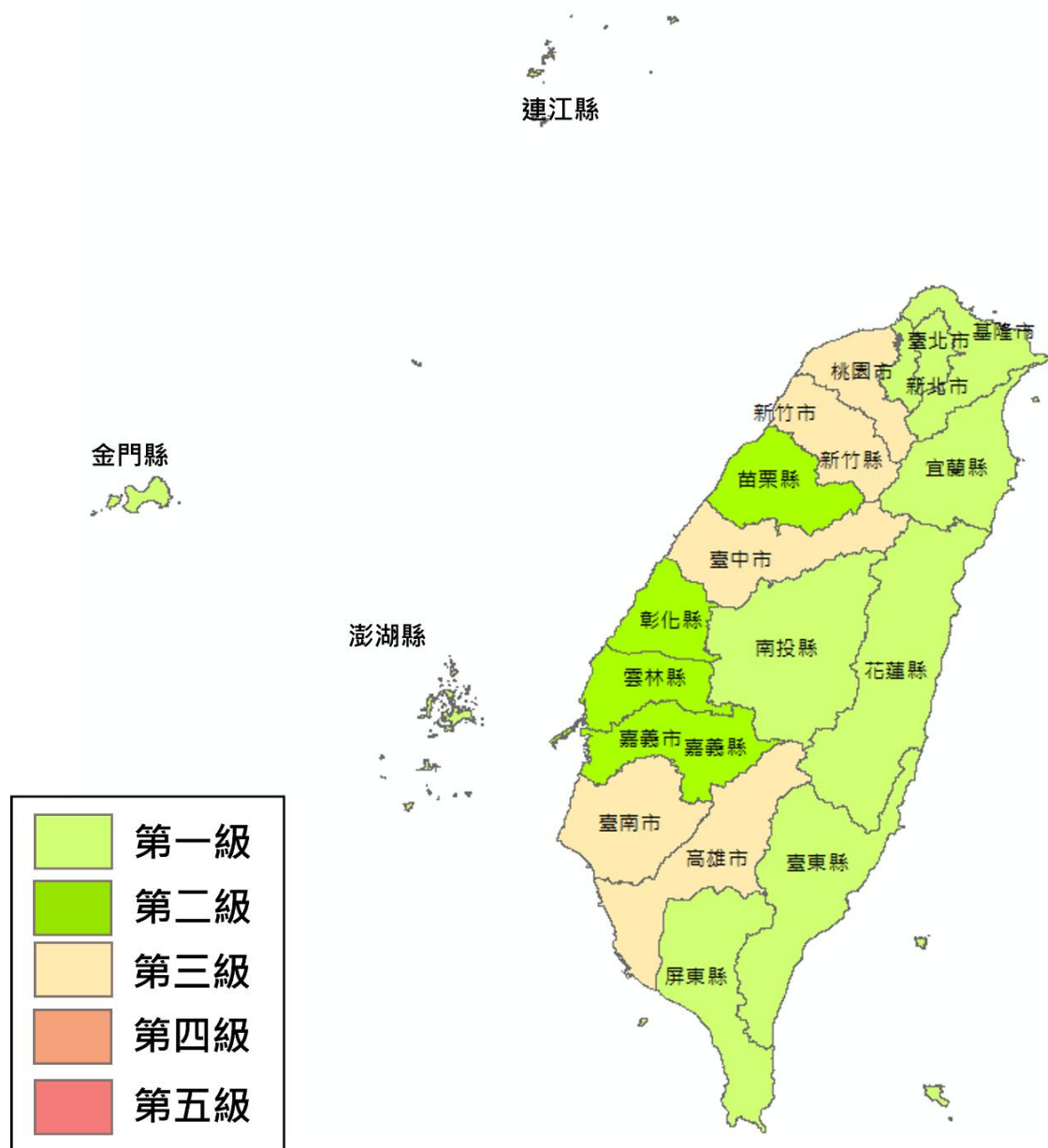


圖 3.13 調適後氣候變遷下供需風險之風險地圖(目標年調適作為)