

國立臺灣大學工學院環境工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Environmental Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis



海洋健康風險評估方法之研究

The Research on Ocean Risk Assessment

蕭彤恩

Tong-En Shiau

指導教授：馬鴻文 博士

Advisor: Hwong-Wen Ma, Ph.D.

中華民國 104 年 6 月

June, 2015

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書



海洋健康風險評估方法之研究

The Research on Ocean Risk Assessment

本論文係蕭彤恩君(學號 R02541209)在國立臺灣大學環境工程學研究所完成之碩(博)士學位論文，於民國 104 年 6 月 15 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

論文審查委員：

馬鴻文

馬鴻文博士
國立台灣大學環境工程研究所教授兼任所長

李公哲

李公哲博士
國立台灣大學環境工程研究所教授

關蔭德

關蔭德博士
國立台灣大學環境工程學研究所副教授

指導教授：

馬鴻文

所長：

馬鴻文

謝誌



要感謝的人太多了，很難在短短的謝誌中足以完整表達心中的感謝。謝謝老天爺讓我考上台大環工所，透過台大的資源讓我站在巨人的肩膀上，更精進的去學習及成長，讓我認識好多很棒的人，由衷感謝。

首先感謝我的指導教授—馬鴻文老師，回朔兩年前的四月，老師給予我這個機會加入馬家班研究室，開啟我碩士的生涯。老師總是讓我有很大空間去發揮，過程中也很仔細地教導我的論文，縱然老師兼任所長是相當忙碌，但時時刻刻還是很關心我們的學業，謝謝老師啟蒙我對環境領域的使命感，未來我會繼續加油，將所學好好回饋社會，努力傳遞環境管理思維之重要性，謝謝敬愛的馬老師。

感謝我的口試委員—李公哲老師及闕蓓德老師，謝謝兩位老師給予我肯定及鼓勵，兩位老師的建議對我的論文更有畫龍點睛之幫助，謝謝老師使得我的論文更加嚴謹及完整。

感謝我的大學老師—張時獻老師，是您啟蒙我對環境工程領域的興趣，您無私地將所學教予給我，帶著我們學會如何在有限的資源下發揮創造力，開發每位同學的潛能並激起研究的熱忱。亦師亦友的您，是我在求學過程中的恩師，準備考試時給我很大的鼓勵與幫助，謝謝張老大一直以來的提攜，謝謝您。

感謝我的學長姊—秀靜學姊、培群學長，您們帶著我更加熟知健康風險評估，不惜您們寶貴的時間和我討論，過程中遇到一些問題，學長姐也很認真和我討論如何解決，您們真的很厲害，是學妹我的榜樣與典範，謝謝您們的耐心與教導。也謝謝研究室的必晟、怡君、孟儀、銘誠、光利等學長姊，一直以來的支持與經驗分享，給予我很多的建議與幫助。感謝我的研究室同學—anny、瑞霞、安然、小雨、立衡，一路以來我們互相扶持、修課及研究討論，謝謝你們，讓我度過美好的兩年。謝謝我的好夥伴 anny，一起分享好多時刻，共同成長及克服困難；一同討論風險的瑞霞，謝謝妳讓我研究過程中不孤單；謝謝安然、小雨、立衡，兩年有你們陪伴真好。

最後感謝我最愛的爸爸、媽媽、弟弟，沒有你們支持就沒有今天的我，你們是我的後盾，讓我安心完成我的夢想。謝謝恆菁、怡泓、阿如、倚楨、蕙如，求學過程有你們支持與相伴，讓我逐夢踏實。帶著這份感謝繼續努力，「今日我以台大為榮，明日台大以我為榮」，莫忘初衷！

彤恩.2015.06



摘要

隨著人類活動的增加，陸上污染源所產生的污染物透過管線或河川被過量排放到海洋環境，尤其高生物累積特性之污染物會蓄積在我們所食用的海鮮中，造成嚴重的健康危害，因此海洋污染問題應被高度重視及採取預防管理措施。我國對於預防海洋污染之規範，針對放流水排放無法實質防治對於人體健康的危害，應透過海洋健康風險評估方法之建立，量化人體健康衝擊並採取預防管理措施，以達到污染防治的目的。

本研究建構的海洋健康風險評估方法包含八個階段，分別為污染源特徵描述、設定海域暴露情境、海洋模式模擬、估算海洋環境介質濃度、暴露量化、海洋風險值估算、不確定性分析、海洋風險管理，細分成 12 個步驟，並於每個步驟設計評估表單。架構中整合評估範疇內所有的海洋環境介質及受體之風險，並著重污染物之生物累積特性，量化不同暴露受體的健康衝擊影響。

本案例挑選為開發中之場址進行分析，其場址位於高雄港，放流水中共計 13 項，主要為重金屬類污染物，其排放濃度介於 5 至 400 ng/L；經評估後所量化的風險值為致癌風險 10^{-13} 至 10^{-8} 範圍及非致癌風險 10^{-9} 至 10^{-3} 範圍，皆低於可接受的風險值。進行海洋健康風險評估過程中，比較稀釋因子及 MIKE 21 模式(水理及水質)模擬兩種方法，稀釋因子低於模式模擬約 10 倍，其估算風險亦會較低。估算污染物於環境介質中的濃度為蝦貝及魚體中的濃度較高，可反應污染物具有生物累積特性；而蝦貝類體內濃度比魚類中高，原因與蝦貝類較易蓄積重金屬類污染物有關。暴露受體則以職業漁夫和水產養殖用戶的風險比一般民眾高，與較高的暴露頻率及時間有關。經由不確定性分析，95%風險值亦低於可接受的風險值，而不確定性因子中，水體濃度、一般民眾之食用量(IU)、職業漁夫及養殖用戶之食用量(IU)及皮膚接觸頻率(EF)皆為主要的影響因子。

關鍵字：海洋污染、海洋放流水、健康風險評估、生物累積性污染物、海洋模式

Abstract

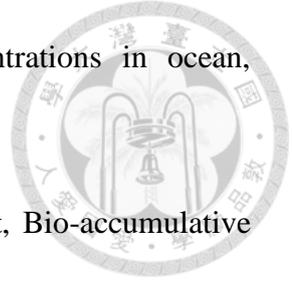
The ocean pollution is getting serious with the increase of discharges from drains and rivers, especially high bio-accumulations of pollutants lead to high concentration and accumulated in seafood. Moreover precaution and management of ocean should be concerned by the public and government. However in Marine Pollution Prevention Law in Taiwan, there are not enough rules and limitation for protecting human health from discharging. Hence in order to reduce the pollution in the marine environment, ocean health risk assessment should be established for precaution and assessment.

The eight stages for ocean health risk assessment methodology was established in this study, including Sources Characterization, Ocean Exposure Scenario, Ocean Model Simulation, Exposure Quantification, Ocean Risk Characterization, Uncertainty Analysis, Ocean Risk Management. The eight stages were classified into 12 steps with 11 forms in detail. Ocean health risk assessment methodology was constructed by form design, which was organized completely and procedurally for explaining the critical scenarios, exposures, receptors, and exporting outcomes. In order to quantify systematically the health risk exposed to marine pollution, sketching the overall picture from the pollution sources to the health of receptors is required, especially effect of bio-accumulative factor in marine ecosystem.

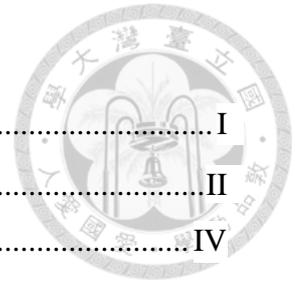
A plant is a developing plan in Kaohsiung port is chosen a case in this study, 13 heavy metals discharge into ocean in 5~400 ng/L; consequently the risks of cancer are from 10^{-13} to 10^{-8} , hazard quotients are from 10^{-9} to 10^{-3} , which are less than acceptable risk. Further the distribution of metal concentrations in ocean, bio-accumulative concentration, exposure pathway, and uncertainty of risk can be discussed in detail by the form design of ocean health risk assessment. Compared with the metal concentrations simulated by dilution factor and MIKE21, which is a hydrodynamic Model and dispersion Model. The concentrations simulated by dilution factors are 10 times lower than MIKE 21, hence the lower risks are estimated by dilution factors. Based on bio-accumulation of metals, which in shellfishes are higher than in fishes, the metal concentrations are easily accumulated in shellfishes and fishes. The risks of fishers and aquacultures are higher than general receptor, because of high frequency of exposure. Through uncertainty analysis, 95% cumulative risks are also less than

acceptable risk, and the sensitive parameters are metal concentrations in ocean, ingestion rate of general receptor and duration of dermal contact.

Keyword: Marine pollution, Ocean Outfall, Health risk assessment, Bio-accumulative pollutant, Ocean Model

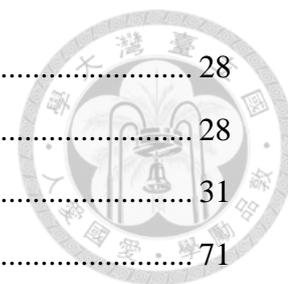


目錄



摘要	I
Abstract.....	II
目錄	IV
圖目錄	VI
表目錄	VII
表單目錄	IX
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究架構	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 海洋污染	4
2.1.1 範疇界定	4
2.1.2 污染排放源及排放途徑	5
2.1.3 污染物種類與特性	5
2.1.4 污染物遷移及轉化作用	6
2.1.5 環境衝擊影響	8
2.1.6 本節小結	9
2.2 台灣海洋污染防治法	10
2.2.1 海域環境分類及海洋環境品質標準	10
2.2.2 海域環境監測及監測站設置	13
2.2.3 放流水排放到海域之審核規定	13
2.2.4 本節小結	18
2.3 海洋健康風險評估方法介紹	19
2.3.1 海洋健康風險評估內容	19
2.3.2 採樣分析之海洋健康風險評估系統	24
2.3.3 模式模擬之海洋健康風險評估系統	25
2.3.4 本節小結	27

第三章	研究方法	28
3.1	海洋健康風險評估流程架構	28
3.2	海洋健康風險評估步驟及內容	31
3.3	海洋健康風險評估方法之限制與困難點	71
第四章	案例分析	72
4.1	污染源特徵描述	72
4.2	設定海域暴露情境	89
4.3	海洋模式模擬	92
4.4	估算海洋環境介質濃度	95
4.5	暴露量化	97
4.6	海洋風險值估算	99
4.7	不確定性分析	107
4.8	海洋風險管理	114
第五章	結論與建議	115
5.1	結論	115
5.2	建議	117
參考文獻	118



圖目錄



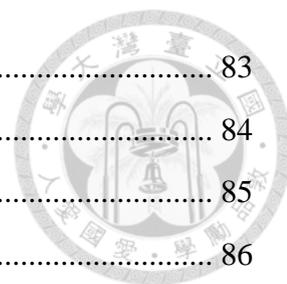
圖 1-1 本研究架構圖	3
圖 2-1 健康風險評估架構圖	20
圖 3-1 海洋健康風險評估流程架構圖	29
圖 3-2 篩檢生物累積性流程圖	38
圖 3-3 台灣地區沿海海域範圍及海域分類	39
圖 4-1 A 污染源模式模擬結果	95
圖 4-2 A 污染源一般民眾致癌風險敏感度分析	110
圖 4-3 A 污染源遊客致癌風險敏感度分析	110
圖 4-4 A 污染源職業漁夫致癌風險敏感度分析	111
圖 4-5 A 污染源水產養殖用戶致癌風險敏感度分析	111
圖 4-6 A 污染源一般民眾非致癌風險敏感度分析	112
圖 4-7 A 污染源遊客非致癌風險敏感度分析	112
圖 4-8 A 污染源職業漁夫非致癌風險敏感度分析	113
圖 4-9 A 污染源水產養殖用戶非致癌風險敏感度分析	113

表目錄



表 2-1 台灣地區沿海海域範圍及海域分類.....	11
表 2-2 甲、乙、丙三類海域環境水質項目及標準值.....	11
表 2-3 甲類海域環境水質項目及標準值.....	12
表 2-4 乙類海域環境水質項目及標準值.....	12
表 2-5 丙類海域環境水質項目及標準值.....	12
表 2-6 陸上污染源廢(污)水排放於特定海域排放許可審核規定.....	14
表 2-7 事業廢水設置管線排放於海域許可審核規定.....	15
表 2-8 甲類海域海洋放流管放流水標準.....	16
表 2-9 乙類海域海洋放流管放流水標準.....	17
表 3-1 海洋健康風險評估流程表.....	30
表 3-2 海域概念模型表.....	39
表 3-3 海域遊憩活動分類.....	43
表 3-4 甲、乙類海域概念模型表.....	43
表 3-5 甲、乙類海域情境表.....	44
表 3-6 水理動力模式簡介表.....	48
表 3-7 水質擴散模式簡介表.....	49
表 3-8 水理及水質模式輸入資料表.....	51
表 4-1 A 污染源排放項目表.....	73
表 4-2 A 污染源污染物判定表.....	74
表 4-3 砷危害性鑑定表.....	75
表 4-4 汞危害性鑑定表.....	76
表 4-5 鉻危害性鑑定表.....	77
表 4-6 鎘危害性鑑定表.....	78
表 4-7 銅危害性鑑定表.....	79
表 4-8 鎳危害性鑑定表.....	80
表 4-9 鉛危害性鑑定表.....	81
表 4-10 錳危害性鑑定表.....	82

表 4-11 鋅危害性鑑定表	83
表 4-12 銻危害性鑑定表	84
表 4-13 硒危害性鑑定表	85
表 4-14 鈷危害性鑑定表	86
表 4-15 鉍危害性鑑定表	87
表 4-16 A 污染源食用風險污染物篩檢表	89
表 4-17 A 污染源海域評估情境執行表	91
表 4-18 A 海洋模式設定細項(MIKE 21)	94
表 4-19 A 污染源海洋環境介質濃度表	96
表 4-20 A 污染源受體暴露量表	98
表 4-21 A 污染源一般民眾致癌風險結果表	101
表 4-22 A 污染源遊客致癌風險結果表	101
表 4-23 A 污染源職業漁夫致癌風險結果表	102
表 4-24 A 污染源水產養殖用戶致癌風險結果表	102
表 4-25 A 污染源一般民眾非致癌風險結果表	103
表 4-26 A 污染源遊客非致癌風險結果表	104
表 4-27 A 污染源職業漁夫非致癌風險結果表	105
表 4-28 A 污染源水產養殖用戶非致癌風險結果表	106
表 4-29 A 污染源一般民眾不確定性分析風險結果	108
表 4-30 A 污染源遊客不確定性分析風險結果	108
表 4-31 A 污染源職業漁夫不確定性分析風險結果	109
表 4-32 A 污染源水產養殖用戶不確定性分析風險結果	109



表單目錄



表單 1 污染源排放項目表	31
表單 2 污染物判定表	32
表單 3 危害性化學物質鑑定表	35
表單 4 食用風險污染物篩檢表	38
表單 5 海域評估情境執行表	45
表單 7 海洋模式模擬結果表	51
表單 8 海洋環境介質濃度表	56
表單 9 受體暴露量表(單位：mg/kg-day)	61
表單 10-1 一般民眾致癌風險結果表	63
表單 10-2 遊客致癌風險結果表	63
表單 10-3 職業漁夫致癌風險結果表	64
表單 10-4 水產養殖用戶致癌風險結果表	64
表單 10-5 一般民眾非致癌風險結果表	65
表單 10-6 遊客非致癌風險結果表	65
表單 10-7 職業漁夫非致癌風險結果表	66
表單 10-8 水產養殖用戶非致癌風險結果表	66
表單 11-1 一般民眾不確定性分析風險結果	68
表單 11-2 遊客不確定性分析風險結果	68
表單 11-3 職業漁夫不確定性分析風險結果	68
表單 11-4 水產養殖用戶不確定性分析風險結果	69
表單 12 風險管理表	70

第一章 緒論



1.1 研究緣起

海洋占地面積廣大，資源豐沛，對陸域及大氣的環境具有深遠的影響力。除了調節氣候外，對於整體生態系之食物供給，海洋生物資源扮演著重要的角色與地位(Moore et al., 2013)。海洋為諾大的水體，故比起其他水體，如湖泊、河川等有較佳的涵容能力，也因具有特殊的地理現象，如潮汐、洋流等水體流動，故當污染物排放到海域時，能有效將污染物濃度達到稀釋擴散。

在土地有限的情況下，我國優先考量將工廠、發電廠等建於沿岸地區，加上河川污染嚴重，需進行河川整治工程，故放流水排放可能多採用海洋放流處理。除此之外，工業區及生活污水集中處理後會以同一海洋放流管線排放。上述的排放行為皆是希望透過海洋對污染物的作用達到污染物稀釋的效果，以降低對陸域環境的危害。即便海洋對污染物有較佳的稀釋擴散能力，但短時間內污染物負荷量增加，遠以超過水體所能承載的，亦可能透過潮流等水體推移作用，污染物可能停滯於海岸區域或漂流至更遠的海域。放流水過量及不當的排放對於海洋的衝擊，除了造成生態破壞外，污染物在生物體內蓄積濃度高，當人類食用後導致中毒死亡案例，也可能從事海上遊憩活動，增加接觸到污染物的風險。污染物對於人體與生態環境的衝擊，在國內外也衍生出重大的污染事件。

回顧我國對於海洋污染所訂定的法規，可見我國對於海洋污染的管制有較完整的考量，相較於防治部分仍無法確實達到污染預防之管理理念。對於放流水排放到海域，卻無規範對海域環境及人體健康之衝擊影響進行評估。然而，海洋污染確實對海域生態及人體有極大的衝擊影響，將放流水排放到海洋有進行評估之必要性，才能真的達到海洋環境保護及污染防治的目的。

風險評估是以科學為基礎的量化方法，可以讓管理者及決策者以客觀的角度判斷相關措施的合理性，故對於決策可提供具代表性的預測結果與判定準則。本研究將回顧國際針對海洋進行的健康風險評估方法，擬建立海洋健康風險評估方法，並利用其方法進行案例分析，針對將來沿岸地區的開發計畫進行環評作業時，提供相關的參考依據，喚起政府及民眾對於海洋環境的保護與重視。



1.2 研究目的

由於放流水過量及不當排放到海洋，導致嚴重的海洋環境及人體危害。尤其以直接排放之排放途徑，對於環境是直接性的危害影響，故本研究將建立海洋健康風險評估方法，並以放流水為主要的評估範疇，以評估不同污染排放源排放污染物到海洋中，透過環境介質傳輸及對暴露受體的危害。研究目的為：

1. 建立具有完整架構性的海洋健康風險評估方法，在架構中建構評估步驟，詳細說明各步驟之必要程序及相關參考資料，並在各步驟中建構表單，以利評估者資料建立及進行後續步驟。
2. 提供國內於沿岸地區進行污染排放時，作為評估管理之指引方法。
3. 透過案例分析，將所建立之評估方法作應用，提供我國進行沿岸地區之開發計畫作為參考依據。

1.3 研究架構

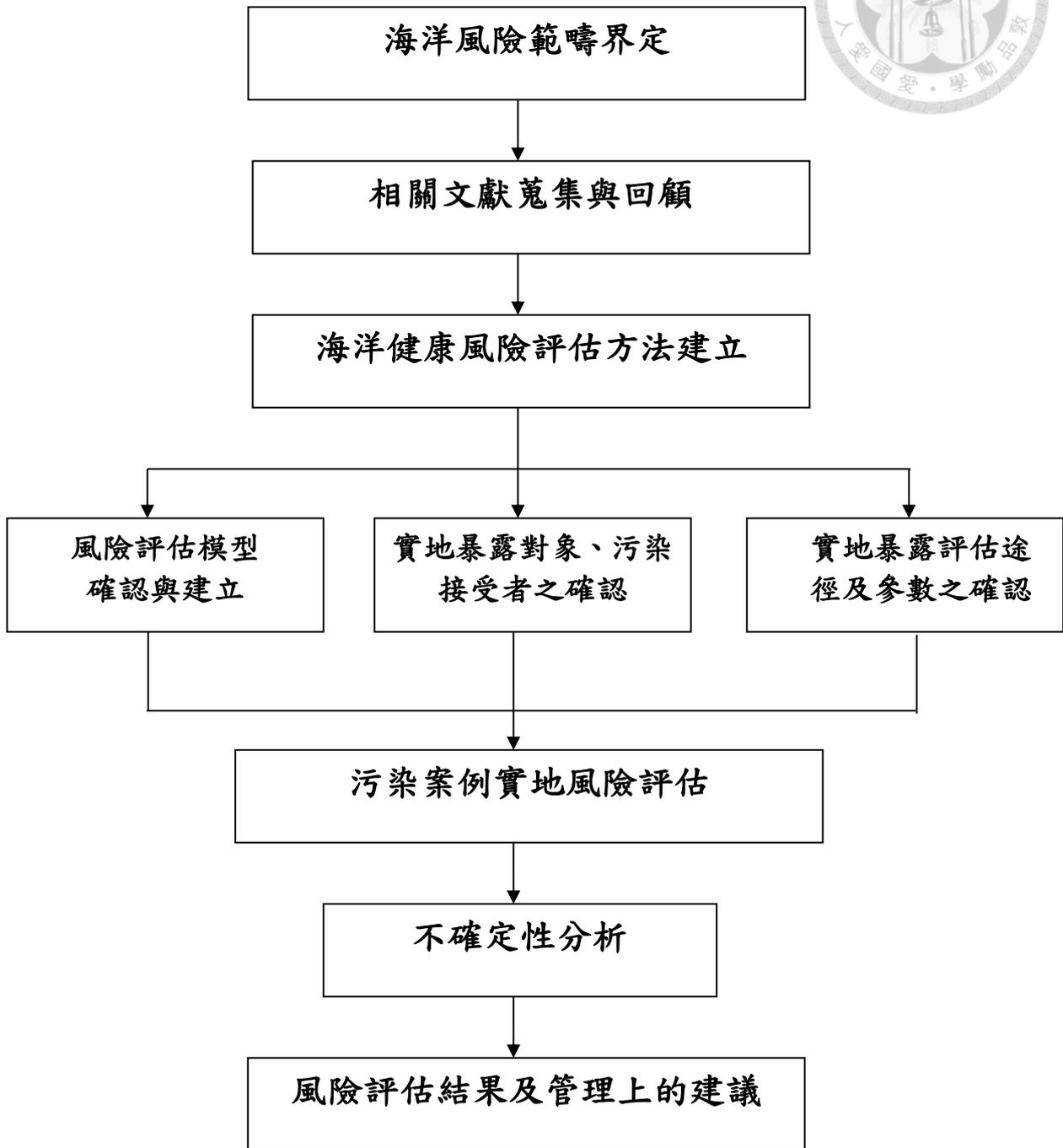


圖 1-1 本研究架構圖

第二章 文獻回顧



2.1 海洋污染

海洋約占地球面積的 71%，總面積大約為 3 億 5525 萬 5 千平方公里，因其涵蓋範圍廣大，扮演著相當重要的角色與地位。海洋具備調節氣候，擁有豐富的生態資源且生物物種繁多，提供人類食物及休閒等多方面的需求，我們對於海洋是相當依賴的，是地球上最大的生命維生系統(Moore et al., 2013)。若將海洋視為一個水體，則海洋是體積龐大的水體，且具有較佳的涵容能力及潮汐、洋流等特殊天然條件。當污染物排放到海洋時，污染物會被稀釋及擴散，使污染物逐漸減少或消失，因此認為海洋可能為較理想排放污染物之水體，並視為廢棄物的最終棄置區域。由於污染物排放到海洋具有一定的稀釋能力，加上海洋環境並非人類主要的生活環境，因此看待海洋較無對陸域環境的重視與警戒。在過量及不當的排放下，污染負荷可能會超過水體的涵容能力，對海洋環境的組成和性質產生直接或間接有害影響，進而導致「海洋污染」問題。

2.1.1 範疇界定

根據聯合國海洋法公約第一條定義，海洋環境的污染是指「人類直接或間接把物質或能量引入海洋環境，其中包括河口灣，以致造成或可能造成損害生物資源和海洋生物，危害人類健康，妨礙包括捕魚和海洋其他正常用途在內的各種海洋活動，損壞海洋使用質量及減損環境優美等有害影響。」。造成海洋污染的來源廣泛，海洋法公約中劃定之海水遭受污染物侵害的來源分為：「陸上污染」，指陸地上人類生活之廢棄物，農業、工業生產過程中所排放之廢料，經由溝渠、河川注入海洋；「船舶污染」，指海上運輸工具，所載運之油料洩漏、污水傾倒注入海洋者、核能動力船舶、或載運核能廢料之船舶，輻射物質外洩進入海洋；「傾倒廢棄物污染」，指人類將工業的污染廢棄物，或其他污染性物質，經由運輸工具運至海洋中傾倒而形成；「大氣污染」，從事核爆試驗所產生之輻射塵，透過大氣進入海洋而造成污染；「海床探勘與開採污染」，從事大陸礁層或海床之探測及開採時，因處置不當、設備不周、意外致使油、天然氣、泥漿外洩、進行採礦時，產生大量微粒物質、泥漿，所造成的海洋污染。經由國際海事組織(International Maritime Organization)分析，海洋污染約有 44% 來自陸上污染源，33% 來自大氣傳輸污染，

12%來自船舶污染，10%來自海洋棄置，1%來自海域工程，由此顯示大部分海洋污染皆來自於人類活動。由於上述造成海洋污染的來源過於廣泛，因此本研究將會以主要造成海洋污染的「陸上污染」做進一步的討論與介紹。



2.1.2 污染排放源及排放途徑

陸上污染源對於海洋排放之基本概念，大多指「藉助海水來稀釋污染物 (Dilution is the solution to pollution)」，將污染物透過溝渠、河川引入海洋。其污染排放源主要為工業區、發電廠、民生用水、畜牧業所排放的廢污水。污染源排放污染物到海洋之途徑為三種途徑，第一種途徑指直接以管線排放到海洋，其管線稱為海洋放流管，所排放之放流水，稱為海洋放流水。第二種途徑指經由污水下水道排放至河川，而河川最後匯流入海洋。第三種途徑指經由煙囪管道排放，經大氣傳輸後沉降至海洋。其中，以直接管線排放的排放途徑，對海域環境的衝擊影響最大且排放量有增加的趨勢(Knap et al., 2002)。

2.1.3 污染物種類與特性

污染源排放的污染物種類分別如下，共分成七大類 (Fischer et al., 1979)。這些污染物排放到海域環境具有共同的特性，包含污染源多且複雜、累積性及持續性強、污染擴散範圍廣、防治難且危害大(蔡, 2000)。

一. 天然污染物 (natural pollutant)

指無機鹽類、懸浮物質、沉積物等屬於無毒的物質。若大量被排放至水體時，會導致水體的混濁度增加，降低陽光透射，使浮游植物在進行光合作用時受到影響。

二. 一般有機廢棄物 (organic waste)

指含碳、氮、磷等有機化合物，主要來自於民生廢污水及畜牧業放流水。這些有機質為浮游植物生長所需食物及營養來源，若大量被排放至水體時，會造成優養化現象。



三. 合成有機化合物 (synthetic organic chemical)

指人工合成的化合物，具有不易分解的特性，容易在生物體內累積，尤其是脂肪組織。

四. 微量金屬 (trace metal)

指汞、砷、鉛等重金屬，原先在環境中的含量微量且無毒，可能透過與有機物的結合，如甲基汞，轉變成劇毒。此外，重金屬具有富集性，很難在環境中降解，容易在生物體內累積。

五. 廢熱 (waste heat)

指電廠等冷卻系統所排出之高溫放流水，導致海水溫度提高，超過海洋生物生存所負荷的溫度範圍，如珊瑚白化現象。

六. 放射性物質 (radioactive materials)

指核能發電廠等所排放的高放射性物質，皆屬高毒性物質且半衰期長，輻射會導致物種基因突變。

七. 致病菌 (pathogen)

指都市廢污水中可能含有大量的細菌，如大腸桿菌，會影響海域生態平衡。

2.1.4 污染物遷移及轉化作用

污染物被排放到海洋環境中，會透過物理、化學及生物作用而產生遷移或形態上的轉變。污染物經由遷移作用，在海洋環境中傳輸；透過轉化作用，污染物由一種形態轉變成另一種形態存在於海洋環境。分別在以下介紹污染物在海洋環境中的物理遷移及生化轉化作用：

一. 物理遷移作用

指污染物與水體中的天然物或其他物質混合、移動等各種物理傳輸作用，其傳輸作用可分成水體及海洋環境兩部分，分別陳述如下：

(一) 水體部分

1. 傳輸：指潮流或排放時具有流速的作用，使污染物受到水體帶動的現象，流速愈大，則污染物傳輸得愈遠，有助於污染物的稀釋。

- 
2. 對流：指水體的垂直傳輸現象，使污染物分散在水體中各階層。
 3. 顆粒沉降：指污染物因密度比水體密度大導致沉降的過程，污染物可能會沉澱吸附在底泥中。
 4. 分子擴散：指污染物在水體中因分子運動而隨機傳輸的現象，有助於污染物的稀釋。
 5. 紊流擴散：指污染物在水體中因紊流運動而隨機傳輸的現象，有助於污染物的稀釋。
 6. 剪力流：因污染物在不同位置與不同流速下受剪力影響之傳輸現象，有助於污染物的稀釋。
 7. 延散：因剪力流與橫向擴散聯合效應造成污染物顆粒或污染團散播的現象，有助於污染物的稀釋。
 8. 混合：指上述中的分子擴散、紊流擴散、延散等作用使污染物與水體產生混合或稀釋，均稱為混合。
 9. 蒸發和降雨：指水體的水以水蒸氣的型態逸散到大氣中，因水中的鹽分沒有改變，但水表面的鹽度增加，導致水體密度增加而增加對流的現象，降雨則反之。另外在降雨時，由於空氣中含有懸浮微粒或污染物，會隨雨水一起降落，而增加污染物的量。
 10. 水團浮昇：指排放的污染物水團之密度小於水體的密度時，則會因浮力而有上升現象。

(二) 海洋環境部分

1. 潮汐：海水表面受到太陽和月球的引力作用引起的漲落現象，因地球自轉而有週期性的變化。因港灣口積水深度的改變，潮位落差較大。潮汐水位差異較大時，海水交換率較好，對於污染物稀釋有較大的幫助，而有洋流流經的海域，更有助於污染擴散稀釋。台灣西岸受潮差影響較顯著，潮位變化較大；東岸則潮位變化較小。
2. 海流：指海水一致的往同一方向移動，可分為恆流、潮流、風驅流、沿岸流，會影響到污染物擴散的情況。
3. 波浪：有助於污染物的混合稀釋作用。

4. 海岸地形與深度：地形影響沿岸流之大小與方向，深度則影響水體結構與上下層混合程度，會影響到污染物擴散的情況。



二. 生化轉化作用

污染物除了受到物理遷移作用外，也會與海洋中天然的物質或其他污染物交互反應，或透過海洋生物的吸收，導致形態上的轉變，由於海洋環境相當複雜，污染物轉化作用較無法詳細釐清機制。污染物經由化學轉化過程中，與環境中的其他物質產生反應，透過氧化、還原、水解、離子化、光解等作用伴隨形態上的改變。污染物經由生物轉化過程中，則透過海洋生物的吸收、代謝、排泄、屍體的分解、碎屑沉降等作用在整個海洋生態系中流動。

● 小結

由上述的作用中可以了解，污染物除了受到水體本身的遷移作用外，也會受到海洋環境及豐富生態系中生物分解的作用影響。排放污染物到海洋，在水體可接受的污染負荷下，具有一定的稀釋及降解能力。倘若在過量及不當的排放情況下，污染物亦會因潮流在沿岸地區做往復運動，徘徊於海岸線，導致海域週圍不易擴散(范, 2006)。若在河口或峽灣地形下，污染物則比較會滯留。由於海洋無法像其他區域可將污染物轉移，對於不易分解的污染物會隨水體飄移或沉澱至底泥中，累積在生物體內。

2.1.5 環境衝擊影響

回顧我國因放流水過量及不當排放所造成的海洋重大污染事件，主要為重金屬、有機物、無機營養鹽污染、輻射及熱污染。

重金屬污染部分，於民國 75 年在茄苳海域發現養殖牡蠣呈現綠色，牡蠣含銅量高達 2,200 克/克乾重，其污染源為二仁溪河川之廢五金業區，稱為「綠牡蠣事件」。此事件雖非直接將放流水排放至海洋，主要是排放到河川但河川最後匯流至海洋導致重大污染事件。由此可見，即便污染物在河川中已部分稀釋與降解，但對海域的影響還是相當嚴重，主要原因在於生物體蓄積污染物，使污染物在生物體內濃度很高。

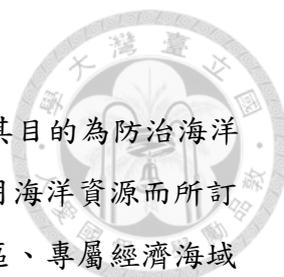
無機營養鹽污染部分，因台灣為海島型國家，海岸遊憩區觀光發展快速，所帶來的污染物衍生出海洋污染問題。墾丁國家公園、綠島及蘭嶼等離島地區遊客眾多，將大量的一般有機污染物排入海洋中，導致藻類大量生長，破壞珊瑚礁群，加速其死亡的速率。此外，因具有毒素的渦鞭藻(Dinoflagellate)大量生長，有民眾誤食導致中毒案例。

輻射及熱污染部分，由於國內發電廠，包括火力及核能電廠，需要大量冷卻水進行系統冷卻，考量利於大量冷卻用水之取得，因此大多建於海邊。因此，發電場所排放之溫排水，在未妥善的處理下造成熱污染問題，亦為台灣海域污染所面臨的重要議題，所衍生的污染事件包含「珊瑚白化」及「秘雕魚事件」，皆造成海域環境嚴重的衝擊影響。

回顧國外海域污染事件，最著名為日本水俣病事件，1956年8月日本學者發現水俣灣海水中含有污染物質，其物質為1932至1966年間當地製造氮肥的工場陸續將數百噸的有機汞排入水俣灣，排放期間因當地居民大量食用受污染的魚貝類導致汞中毒(水俣病)。此事件為有機汞經由生物累積導致魚貝類蓄積濃度高，人類食用而導致發病，除此影響外，懷孕婦女亦會將甲基汞傳遞給腹中胎兒。

2.1.6 本節小結

由於台灣海拔100公尺以下之平原面積僅約31.3%，在經濟快速發展下，可開發使用的有限土地已趨向飽和狀態。沿海地區因大部分土地之取得較容易，大量工廠、焚化爐、火力發電廠皆開始設立於沿海地區，在地緣考量下，排放途徑會優先以管線排放至海域。而原先非設立於沿海之污染源，因河川污染嚴重，需進行河川整治工程，因此排放途徑可能多採海洋放流處理為優先考量。對於放流水排放到海洋，皆普遍認為海洋對污染物具有良好的稀釋能力，致使在陸域水體中經常發生的水污染問題，在海域水體中顯得不是那麼引起高度重視。但必須了解，污染物的特性是持久及高生物累積性，長久累積在海域水體中，並累積在生物體內，而人體食用污染的生物導致嚴重的健康危害問題。本研究將在2.2節中回顧我國在海洋污染所訂定的法規，以檢視法規中對於放流水排放到海洋能否有效達到海洋環境保護及污染防治的目的。



2.2 台灣海洋污染防治法

我國針對海洋污染所訂定的母法為「海洋污染防治法」，其目的為防治海洋污染，保護海洋環境，維護海洋生態，確保國民健康及永續利用海洋資源而所訂定之法條。此法適用於我國管轄之潮間帶、內水、領海、鄰接區、專屬經濟海域及大陸礁層上覆水域，於前項所定範圍外海域排放有害物質，致造成前項範圍內污染者，亦適用於海洋污染防治法之規定。

由於本研究以「陸上污染」之海洋污染為討論範疇，而法規中的「海域環境分類及海洋環境品質標準」、「海域環境監測及監測站設置辦法」為主要的規範內容。此外，海洋污染防治法之「陸上污染源廢（污）水排放於特定海域許可辦法」及水污染防治法之「事業廢水管理辦法」及「海洋放流管線放流水標準」，皆對於放流水排放到海洋為重要的規範，因此本研究將上述的法規分別在本章節作細部介紹。

2.2.1 海域環境分類及海洋環境品質標準

海洋污染防治法第八條規定，中央主管機關視海域狀況，訂定「海域環境分類及海洋環境品質標準」，依海域環境分類、海洋環境品質標準及海域環境特質，劃定海洋管制區，訂定海洋環境管制標準。主要將台灣海域環境分為甲、乙、丙三類，以台灣本島及澎湖群島、蘭嶼、綠島等離島，由海岸向外延伸之領海為範圍作分類，目前公告分為甲及乙類，如表 2-1 所示。法規中將甲、乙、丙三類海域環境，分別訂定其水質項目及標準值，重金屬跟農藥之項目及標準值於甲、乙、丙三類皆相同，主要差異在於氫離子濃度指數、溶氧量等水質項目及標準值，如表 2-2 至 2-5 所示。各分類有訂定適用性質，說明如下：

- 一、甲類：適用於一級水產用水、二級水產用水、工業用水、游泳及環境保育。
- 二、乙類：適用於二級水產用水、工業用水及環境保育。
- 三、丙類：適用於環境保育。

表 2-1 台灣地區沿海海域範圍及海域分類

海域範圍	水體分類
鼻頭角向彭佳嶼延伸至高屏溪口向琉球嶼延伸線間海域	甲
高屏溪口向琉球嶼延伸至曾文溪口向西延伸線間海域	乙
曾文溪口向西延伸線至王功漁港向西延伸線間海域	甲
王功漁港向西延伸線至鼻頭角向彭佳嶼延伸線間海域	乙
澎湖群島海域	甲

表 2-2 甲、乙、丙三類海域環境水質項目及標準值

水	質	項	目	標準值
重 金 屬		鎳		0.01
		鉛		0.1
		六價鉻		0.05
		砷		0.05
		汞		0.002
		硒		0.05
		銅		0.03
		鋅		0.5
		錳		0.05
		銀		0.05
農 藥		有機磷劑（巴拉松、大利松、達馬松、亞素靈、一品松、陶斯松）及氨基甲酸鹽（滅必蟲、加保扶、納乃得）之總量		0.1
		安特靈		0.0002
		靈丹		0.004
		毒殺芬		0.005
		安殺番		0.003
		飛佈達及其衍生物 (Heptachlor, Heptachlor epoxide)		0.001
		滴滴涕及其衍生物(DDT,DDD,DDE)		0.001
		阿特靈、地特靈		0.003
		五氯酚及其鹽類		0.005
		除草劑（丁基拉草、巴拉刈、2、4 地）		0.1
備註：單位：毫克/公升。未特別註明之項目其標準值以最大容許量表示。				

表 2-3 甲類海域環境水質項目及標準值

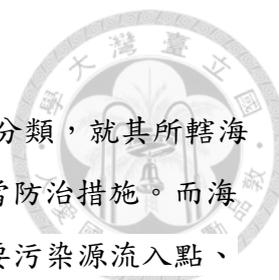
水 質 項 目	標準值
氫離子濃度指數(pH)	七·五 八·五
溶氧量	五·〇以上
生化需氧量	二以下
大腸桿菌群(CFU/100ml)	一〇〇〇個以下
氨氮	〇·三
總磷	〇·〇五
氟化物	〇·〇一
酚類	〇·〇一
礦物性油脂	二
備註：氫離子濃度指數：無單位。大腸桿菌群：每 100 毫升水樣在濾膜上所產生之菌落數。其餘：毫克/公升。未特別註明之項目其標準值以最大容許量表示。	

表 2-4 乙類海域環境水質項目及標準值

水 質 項 目	標準值
氫離子濃度指數(pH)	七·五 八·五
溶氧量	五·〇以上
生化需氧量	三以下
氟化物	〇·〇一
酚類	〇·〇一
礦物性油脂	二
備註：氫離子濃度指數：無單位。其餘：毫克/公升。未特別註明之項目其標準值以最大容許量表示。	

表 2-5 丙類海域環境水質項目及標準值

水 質 項 目	標準值
氫離子濃度指數(pH)	七·〇 八·五
溶氧量	二·〇以上
生化需氧量	六以下
氟化物	〇·〇二
酚類	〇·〇一
備註：氫離子濃度指數：無單位。其餘：毫克/公升。未特別註明之項目其標準值以最大容許量表示。	



2.2.2 海域環境監測及監測站設置

海洋污染防治法第九條規定，各級主管機關應依海域環境分類，就其所轄海域設置海域環境監測站或設施，定期公布監測結果，並採取適當防治措施。而海域環境監測站需設置的地點，包含：主、次要河川入海口、重要污染源流入點、港灣、潟湖、本法第十五條第一項所定之區域、一般海域水質之背景點、其他經中央主管機關指定之位置。海域環境監測站所監測的項目依污染源類別或海域特性而有所不同，其中，皆應監測項目包含：海域水文(流速、流向、水溫)、海域水質(鹽度、氫離子濃度指數、溶氧量、懸浮固體)、其他經中央主管機關指定之項目；可選擇監測項目包含：海域水文(波高、波向、波浪週期)、海域水質(水中光強度、葉綠素 a、大腸桿菌群、重金屬、營養鹽)、海域生物(浮游生物、底棲生物)。監測頻率採以每季一次為原則，若發生重大海洋污染事件時，應依中央主管機關指定之頻率辦理。

2.2.3 放流水排放到海域之審核規定

放流水排放到海域之規定主要為海洋污染防治法之「陸上污染源廢(污)水排放於特定海域許可辦法」和水污染防治法之「事業廢水管理辦法」。對於污染源以管線排放到海域者則須依據「海洋放流管線放流水標準」，分別以下介紹：

「陸上污染源廢(污)水排放於特定海域許可辦法」對於自然保留區、生態保育區域內之公私場所排放廢污水，每日達二十立方公尺以上者，應向中央主管機關申請取得許可文件後始得排放，經許可者應依許可內容排放。對於申請許可之相關審核規定，如表 2-6 所示。許可申請審核通過後，排放許可有效期間為五年，如需排放則再申請。

上述法規主要針對排放於特定海域的許可辦法，對於一般污染源排放到非特定海域則另有法規依據。目前已設置並運轉之聯合大型海洋放流管共計有八里、大林蒲、左營及中洲四條。大林蒲及左營海放管為收集及排放工業區前處理過後之工業廢水。八里及中洲海放管則收集及排放初級處理過之生活污水。除了收集工業區及生活廢污水之聯合海放管外，事業或污水下水道系統以海放管排放廢(污)水於海洋者，則依據「事業廢水管理辦法」申請辦理。法規中詳細規範申請設置

的審核規定，其審核規定與陸上污染源廢(污)水排放於特定海域無太大的差異，如表 2-7 所示。

「海洋放流管線放流水標準」為規範事業或污水下水道系統以海放管排放廢(污)水於海洋者，應符合規定限值，分為甲、乙類海域，如表 2-8 至 2-9 所示。

表 2-6 陸上污染源廢(污)水排放於特定海域排放許可審核規定

<p>申請許可檢具文件</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 申請書 ● 公私場所經政府機關核准登記證明文件 ● 負責人身分證明文件、住址及聯絡電話 ● 公私場所地址、座落位置圖及平面配置說明 ● 廢(污)水處理單元之名稱、處理量、處理效率與相關操作參數 ● 廢(污)水排放設施及放流水詳細水質、水量及排放頻率 ● 海域環境調查報告 ● 海域環境監測計畫 ● 符合本法施行細則第十一條規定之緊急應變計畫 ● 水污染防治法相關排放許可文件 ● 他經中央主管機關指定之文件
<p>海域環境調查報及海域環境監測計畫</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 排放設施應含縱剖面圖說、管線材質、放流管施工工期、警告標誌與放置地點、放流口定位資料。 ● 海域環境調查報告調查期間應為最近一年，調查頻率每季一次，並包括下列項目：海流流速、流向、波高、波浪週期、波向、水溫、鹽度、氫離子濃度指數、溶氧量、懸浮固體（或濁度、透明度）、葉綠素 a、浮游動物及浮游植物之現存量與分布、第三條第六款放流水詳細水質。 ● 海域環境監測計畫應包括監測區域、監測位置、監測項目、監測頻率、監測方式、分析方法及品保品管計畫。

表 2-7 事業廢水設置管線排放於海域許可審核規定

<p>設置管線檢具文件</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 申請書 ● 工程計畫書(含：排放事業廢水之水質及水量、管線設施及其採樣孔位置、稀釋及擴散評估、放流擴散管之位置、深度及採樣點、警示標誌) ● 埋設管線及排放口位置之平面圖、縱剖圖與說明書 ● 廢水排放前之海域生態環境調查報告書 ● 廢水排放之海域環境監測計畫書。
<p>海域環境調查報告及 海域環境監測計畫</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 海域生態環境調查報告書：包含海洋物理(海流、潮汐、波浪、漂流、水溫)、海洋化學(一般環境水質項目、排放水質相關之重金屬，農藥及其他有毒物質。)、海洋生物(生物種類與數量及漁業資源利用現況) ● 海域環境監測計畫書應包含採樣頻率及監測項目

表 2-8 甲類海域海洋放流管放流水標準

適用區域	項目	限值	備註
甲類海域	氫離子濃度指數	六·〇-九·〇	本標準各項目限值，除氫離子濃度指數為一範圍且無單位外，均為最大限值，其單位如下： ● 大腸桿菌群：每一百毫升水樣在濾膜上所產生之菌落數（CFU/100mL）。 ● 水溫：攝氏度（℃）。 ● 其餘各項目：毫克/公升（mg/L）。
	生化需氧量	一〇〇	
	化學需氧量	二〇〇	
	懸浮固體	一〇〇	
	大腸桿菌群	五、〇〇〇、〇〇〇	
	油脂(正己烷抽出物)	二〇	
	酚類	一·〇	
	氰化物	一·〇	
	砷	三·〇	
	鎘	〇·五	
	總鉻	二·〇	
	銅	二·〇	
	鉛	五·〇	
	總汞	〇·一	
	鋅	四·〇	
	鎳	一·〇	
	總餘氯	一·〇	
	水溫	四二	
	苯	〇·〇五	自中華民國一百零一年七月一日施行。
	乙苯	〇·四	
	二氯甲烷	〇·二	
	三氯甲烷	〇·六	
	1,2-二氯乙烷	〇·一〇	
	氯乙烯	〇·一〇	
	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)	〇·二	
	鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)	〇·四	
	鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)	〇·四	
	鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)	〇·四	
鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)	〇·六		
鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)	〇·二		

表 2-9 乙類海域海洋放流管放流水標準

適用區域	項目	限值	備註
乙類海域	氫離子濃度指數	六·〇-九·〇	本標準各項目限值，除氫離子濃度指數為一範圍且無單位外，均為最大限值，其單位如下： ● 大腸桿菌群：每一百毫升水樣在濾膜上所產生之菌落數（CFU/100mL）。 ● 水溫：攝氏度（℃）。 ● 其餘各項目：毫克/公升（mg/L）。
	生化需氧量	一五〇	
	化學需氧量	三〇〇	
	懸浮固體	一五〇	
	大腸桿菌群	一〇、〇〇〇、〇〇〇	
	油脂(正己烷抽出物)	二〇	
	酚類	一·〇	
	氰化物	一·〇	
	砷	三·〇	
	鎘	〇·五	
	總鉻	二·〇	
	銅	二·〇	
	鉛	五·〇	
	總汞	〇·一	
	鋅	四·〇	
	鎳	一·〇	
	總餘氯	二·〇	
	水溫	四二	
	苯	〇·〇五	自中華民國一百零一年七月一日施行。
	乙苯	〇·四	
	二氯甲烷	〇·二	
	三氯甲烷	〇·六	
	1,2-二氯乙烷	〇·一〇	
	氯乙烯	〇·一〇	
	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)	〇·二	
	鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)	〇·四	
	鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)	〇·四	
	鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)	〇·四	
鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)	〇·六		
鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)	〇·二		

2.2.4 本節小結

本節為回顧我國對於陸上污染源排放放流水到海域之相關法規，由前述之法規內容，在「海域環境分類及海洋環境品質標準」中，已針對我國海洋環境特質劃定海洋管制區，訂定海洋環境管制標準，並將水體做分類管理及規範用途。除此之外，透過「海域環境監測及監測站設置」及「海洋放流管線放流水標準」之規範，對於海域環境的控管具有一定的成效。由於污染源會將污染物排放到海域中，因此更進一步去檢視我國對於排放的相關法規。在「陸上污染源廢（污）水排放於特定海域許可辦法」及「事業廢水管理辦法」中，對於排放許可及設置管線的審核規定，除了要求基本申請文件、放流水相關資料、排放前海域環境調查報告、排放後海域環境監測計畫外，卻無規範對海域環境及人體健康之衝擊影響進行評估，然而，海洋污染確實對海域生態及人體有極大的衝擊影響，將放流水排放到海洋有進行評估之必要性。由於我國對於放流水排放到海域之需求量增加，而海洋是我們仰賴的生活環境，為了落實預防污染及海洋環境保護之管理理念，倘若能在污染排放前透過評估方法以量化污染可能的衝擊影響，對於每個污染源在排放前盡量降低對海洋環境的衝擊，才能真的達到海洋環境保護及污染防治的目的。因此，本研究將在 2.3 節中回顧國際文獻對於放流水排放到海域之評估方法，以建立並提供國內於沿岸地區進行污染排放時的評估方法。



2.3 海洋健康風險評估方法介紹

風險評估是系統性的流程方法，其評估結果可作為風險管理的有效工具，以提供管理者訂定相關規範的建議及採取預防管理之措施，降低污染行為所造成的危害。國外文獻針對海洋污染所採取的風險評估方法，分為生態風險、健康風險、污染風險、機率風險等，由於健康風險評估可以量化海洋污染對人體的衝擊影響，因此本研究將以健康風險評估方法作介紹，並回顧國際相關文獻之應用，以建立我國海洋健康風險評估方法。

2.3.1 海洋健康風險評估內容

健康風險評估(Human Health Risk Assessment)是以人體為主要的評估對象，評估環境中的毒性物質經由不同的暴露途徑所造成的健康危害。其評估架構一般是以NRC-NAS(National Research Council of the National Academy of Sciences)所發展的評估方法最為廣泛採納與應用。NRC-NAS所提出的評估流程及架構，將風險評估流程分為以下四個步驟，如圖(3-1)所示，包含：危害性鑑定(Hazard Identification)、暴露量評估(Exposure Assessment)、劑量效應評估(Dose Response Assessment)及風險特性描述(Risk Characterization)為基本架構來判定風險之專有名詞。由於大部分的海洋健康風險評估文獻，皆以NRC-NAS所發展提出的四大步驟為主，因此本研究除了介紹既有的健康風險步驟及其內容外，並分別將海洋健康風險應用在四大步驟之內容作詳細介紹。

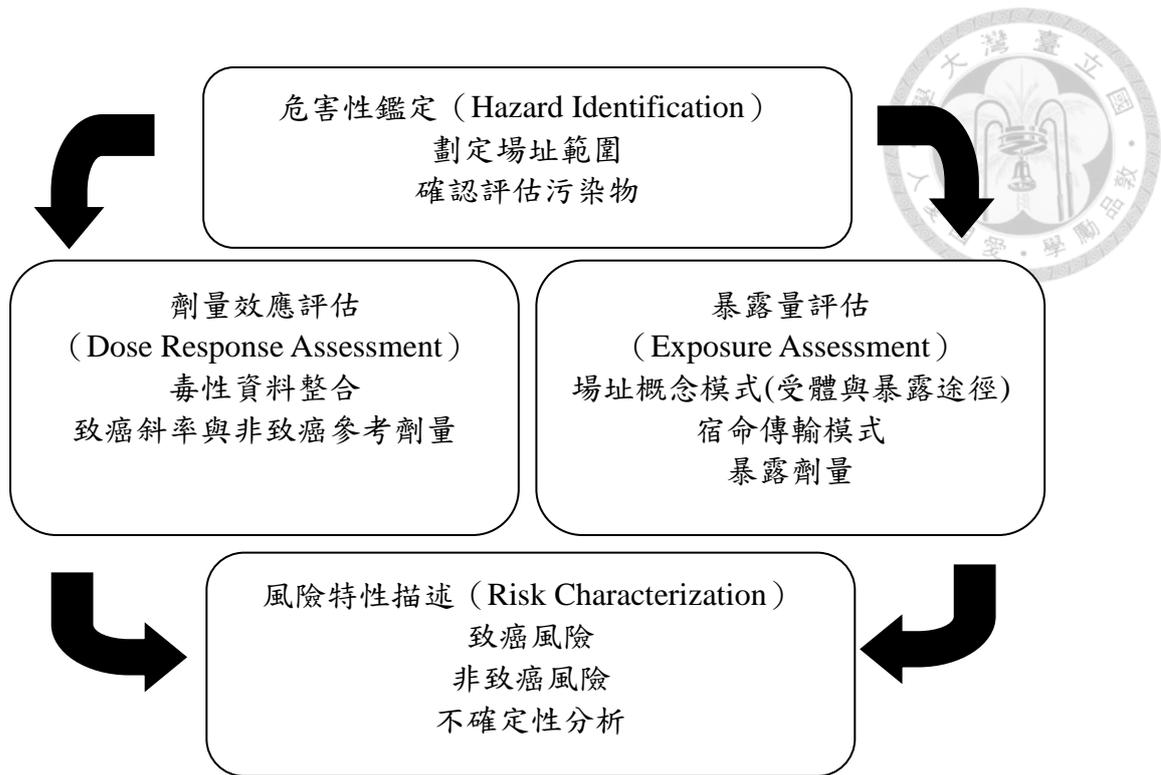


圖 2-1 健康風險評估架構圖(NRC-NAS, 1983)

一. 危害性鑑定 (Hazard Identification)

為健康風險評估的第一個步驟，主要蒐集現有的場址資訊與污染物檢測資料，來確認場址關切污染物種類及其濃度、可能影響危害性物質傳輸途徑及是否有受體 (Receptors) 可能受到該危害性物質的危害。在危害性鑑定步驟中，主要分為劃定評估場址範圍及確認評估污染物兩部分。劃定海域評估場址範圍部分，主要以評估海域之特性進行初步判定，意指先判斷所排放海域之潮汐推移範圍，並以此推判污染物可能擴散的主要影響區域，並由推判結果劃分評估場址範圍(Lin et al., 2008)。確認評估海洋污染物部分，大部分皆針對放流水中具「生物累積特性」之污染物作為評估污染物，如戴奧辛、汞等重金屬，主要原因在於這些具生物累積性之污染物，會因食用造成人體嚴重的健康危害(Marsh et al., 1995; Mulvad et al., 1996; Grandjean et al., 1997)。



二. 暴露量評估 (Exposure Assessment)

為探討人體是否有暴露於各種介質之機會及程度，即判斷危害性物質經由何途徑而被人體吸收，再計算進入人體的劑量。以健康風險評估而言，暴露量評估中需先以危害性鑑定所得的危害性物質，藉由污染模式計算出危害性物質於各環境介質中污染範圍與特性、危害性物質於環境介質中傳輸途徑、經由這些傳輸途徑有那些受體 (Receptor) 暴露其中，及所有可能之暴露途徑 (Exposure Pathway) 等資料，以上所涵蓋的內容總稱為暴露情境設定。其次依照暴露途徑等特性，估計危害性物質於環境介質中流佈的情形，及污染物最後與受體接觸時的濃度，再以此濃度來計算受體吸收關切污染物的劑量稱為暴露劑量，亦即暴露評估所獲致的最後結果，如公式 2-1 所示：

$$ADD_i = C_i \times IU_i \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (2-1)$$

ADD_i 指平均每天從暴露途徑 i 接觸之劑量，單位為 $mg/kg\text{-day}$ 。 C_i 指污染物於暴露途徑所接受之介質濃度，單位為 mg/L 。 IU_i 指吸收頻率，單位為 L/d 。 EF 指人與接觸介質之接觸頻率，單位為 d/yr 。 ED 指人與接觸介質之接觸期間，單位為 yr 。 BW 指平均體重，單位為 kg 。 AT 指平均時間，單位為 day 。

在設定海域暴露情境部分，受體主要區分為食用海鮮之族群與從事海上遊憩活動之族群。環境介質以海水、底泥、海洋生物為主，又以海洋生物為主要探討的環境介質 (Vieira et al., 2011)。暴露途徑主要為食入及皮膚接觸，若污染物為致病菌類，則須另考量吸入途徑 (Knap et al., 2002)。將暴露情境進行設定後，接著估算污染物在海洋環境介質中的濃度。由於污染物進到海洋環境後，污染物會遷移及轉化，所以污染物在海洋環境介質中的濃度並非為初始排放濃度，需透過方法才能估算污染物在海洋環境介質中的濃度。在此部分有兩種做法：第一種為實際採樣分析，透過採樣的海洋生物及海水以分析污染物的濃度；第二種為由公式計算或模式模擬以估算污染物的濃度。將上述兩種方法估算出污染物在海洋環境介質中的濃度，再進行受體暴露量之估算。



三. 劑量效應評估 (Dose Response Assessment)

為探討人體暴露於污染物中程度之高低、與其產生反應之機率，或嚴重程度之間有無關聯。一般的劑量反應評估係以毒理學動物研究或相關的人體流行病學研究為基礎，除討論污染物的致病機轉之外，並根據現有的實驗數據或統計結果，將暴露劑量與毒性反應程度之間的關係，量化成劑量反應曲線 (Dose-response Curve)。以這個量化的數學模式為出發點，來計算該污染物毒性因子 (Toxicity Factor) 的數值。目前在健康風險評估中，污染物的毒性被分為致癌性 (Carcinogenic) 及非致癌性 (Non-carcinogenic) 兩類。因此，毒性因子的計算方式也分為這兩大類。由於多數化學物質的毒性因子難以藉由人體研究中取得，多數的劑量值乃透過實驗室的動物實驗而取得。大多由已知的毒性資料庫中取得，由於個別場址相關性不高，故可以單獨估計。歐美的政府機關針對多種污染物已建置有健康風險評估毒理資料庫，並定時更新。

在海洋健康風險中主要是將評估污染物之毒性資料及致癌及非致癌之相關參數資料作收集，大多由已知的毒性資料庫中取得，根據相關單位所建置的健康風險評估毒理資料庫作查詢。

四. 風險特徵評估 (Risk Characterization)

為綜合上述三項步驟進行綜合性評估，將風險予以量化，以估計該污染物影響人體健康之風險程度高低與影響之方式。讓決策者瞭解在暴露評估的設定條件下，受體可能經由何種方式暴露於污染物中，進而對人體健康產生多大之影響，並依此擬定該污染源的風險管理策略。在量化風險時，將危害性區分為致癌性、非致癌性，並假設危害性具有相加性 (Additive)，即不同暴露途徑與危害性物質所產生的危害可直接相加，最後以總危害來表示污染對人體健康造成的風險。針對致癌性風險 (Cancer Risk, CR) 量化的公式，如公式 2-2 所示；針對非致癌性風險 (Hazard Quotients, HQ) 量化的公式，如公式 2-3 所示：

$$CR = ADD \times CSF \quad (2-2)$$

ADD 為每天平均暴露劑量，CSF 為某一致癌物的致癌斜率因子，CSF 參數會因評估的化學物質不同而異，並且同一個化學物質的 CSF 也會因暴露途徑的差異而有所不同，CR 為某致癌物經由某一途徑之致癌風險。將各暴露途徑的致癌風險相加，即為終生致癌風險。一般而言，百萬分之一(10^{-6})之致癌機率是大眾可以接受的致癌風險機率；而在職場中的致癌風險可接受風險機率為千分之一(10^{-3})(勞衛所, 2003)。

$$HQ = ADD/RfD \quad (2-3)$$

ADD 為每天平均暴露劑量，RfD 為參考劑量，參考劑量與致癌斜率因子一樣，會依化學物質及暴露途徑的不同而有所差異。HQ 為特定途徑之非致癌風險，而當該物質對受體的 HQ 大於 1 時，即表示該污染物可能對受體造成影響，將各途徑中所有非致癌之 HQ 相加，可得到總非致癌危害商數(HI)。HI 的值越大，表示對暴露受體的影響越大。

在海洋風險特性描述中，以食入途徑所造成的風險為較大的顯著影響。針對風險結果較高則需進行海洋風險管理階段，對於風險值的篩檢，區分為致癌風險(CR)及非致癌風險(HQ)。當致癌風險小於百萬分之一(10^{-6})及非致癌風險小於 1 的情況下，由於風險值很小則可忽略。若致癌風險介於百萬分之一(10^{-6})至萬分之一(10^{-4})及非致癌風險介於 1 至 3 的情況下，則須採取管理措施(ENSR, 2005; Sany et al., 2014)。其中，有文獻特別強調，評估場址排放污染物濃度值不高但食用風險值卻很高，可能是污染物透過生物累積作用增加風險值，因此並非排放值符合法規標準值就不需進行評估(Perrodin et al., 2012)。對於採取海洋風險管理措施，主要分為污染源、海洋環境介質、暴露受體。針對污染源管理部份，除了對污染源的排放量及濃度進行控管外，認為污染物對生態系統的影響是長期及複雜的，不能以單一污染物的毒性作評斷(Emmanuel et al., 2005)，建議需詳細探討污染物在海洋中完整的物化機制和生態毒理學特性及潛在毒性影響(Angerville et al., 2005)。對於海洋環境介質管理部份，由於微生物可迅速適應不斷變化的海洋環境中，故可用於監

測有毒化學物質或代謝有機污染物時的變化(Ford, 2000)。可制定生物指標以反應出海洋環境問題，利用測量生物之生理及其行為，建立一套長期預警的監控程序(Intergovernmental Oceanographic Commission 2001)(Knap et al., 2002)。尤其是貝類，因具有高度敏感性，可作為監測的指標生物(Aagaard et al., 1995)。對於暴露受體管理部份，則對較高風險之暴露受體進行暴露行為建議。比如，食用海鮮風險較高情況下，則會建議受體降低海鮮食用量(Vieira et al., 2011)。

● 小結

由上述所介紹的海洋健康風險評估內容可得知，將健康風險評估步驟應用在海洋污染，主要不同的評估內容為暴露量評估步驟，在估算海洋環境介質之污染物濃度時，主要區分為兩種估算方法，第一種為實際採樣分析，第二種為公式或模式模擬，由於兩種方法對於海洋進行健康風險評估的理念並不相同，因此本研究將由 2.3.2 及 2.3.3 兩小節中，分別詳細介紹及提出兩種評估系統之優缺點。

2.3.2 採樣分析之海洋健康風險評估系統

在海洋暴露量評估步驟中，對於估算污染物在海洋環境介質中的濃度，以「採樣分析」方法為主的評估系統，其評估概念為透過健康風險評估方法，以評估海域的污染情況。本研究將在以下列舉此部分文獻，並分別介紹其評估內容：

Vieira et. al (2011)針對當地海域較常食用及主要棲息且脂肪豐富的三種魚種，對於魚體內重金屬含量進行食用健康風險評估。分別在此海域作隨機捕捉，詳細將魚體之體重、大小、年齡、性別作分類，以評估重金屬的生物累積特性與生物體之間的相關性，並將捕捉到之魚體的肌肉進行重金屬含量分析。最後將所分析出來的重金屬含量，以估算不同年齡層的受體食用之致癌及非致癌風險情況。其風險結果為部分年齡層的受體有較高的食用風險，則會建議此年齡層的受體降低食用量。文獻中亦討論到體重較重、體型較大、年齡較長、性別為母魚之魚群，較會蓄積重金屬在體內。



Sany et. al (2014) 針對馬來西亞半島沿海受附近工業區污染的海域，其海水、底泥、當地常食用的貝類進行採樣，並分析其多環芳香烴化合物之含量，進行從事游泳、釣魚、撿拾貝類時皮膚接觸海水及底泥，以及食用受污染的貝類之兩種暴露途徑的健康風險評估。風險結果為貝類會蓄積多環芳香烴化合物，由於人體大量食用貝類增加人體暴露到多環芳香烴化合物的健康危害，應減少食用此海域的貝類。並且認為貝類可作為生物性指標，透過蓄積海洋環境中的多環芳香烴化合物，有效控制海域中多環芳香烴化合物的污染情況。

● 小結：

文獻研究以「採樣分析」方法為主的海洋健康風險評估系統，主要差異在於採樣的環境介質及分析的污染物之不同，因此本研究只列舉兩篇相關文獻作介紹。上述的文獻研究中，主要的評估理念皆是將可能已受污染的海域，以健康風險評估方法量化對人體的衝擊影響，並著重污染物和生物體之間的累積效應。此系統方法的優點為可確切測得污染物在海洋環境中的濃度及量化人體健康衝擊影響，對於具「生物累積特性污染物」和海洋生物之間的累積關係有較深入的探討；而此系統方法的缺點為海域可能已遭受污染，並無法透過評估方法以事先降低污染物的排放，且無法確切釐清及有效控管主要的污染排放源，僅能建議暴露受體減少暴露行為以降低人體健康危害，減少暴露在受污染的海洋環境介質中。

2.3.3 模式模擬之海洋健康風險評估系統

在海洋暴露量評估步驟中，對於估算污染物在海洋環境介質中的濃度，以「模式模擬」方法為主的評估系統，其評估概念為污染源尚未排放污染物，透過健康風險評估方法以預測排放後可能對人體的健康衝擊影響。

Roger et. al (2006) 針對紙漿廠排放廢水到貝爾海灣前進行海洋健康風險評估，詳細對污染源所排放的污染物進行盤查，並提出進行食用風險評估前，應篩檢污染物是否具有「生物累積特性」。由於污染物尚未被排放到海域中，因此先透過傳輸模式以推估污染物在海水中的濃度，以生物累積因子(Bioaccumulation Factor, BAF)估算污染物在魚體內的濃度，最後在進行食用魚體的致癌及非致癌風險量化估算。風險結果中有部分污染物超過可接受的風險，則建議污染源進行排放量或濃度的調整。

以「模式模擬」方法為主的海洋風險評估，估算污染物的模式皆不盡相同，有部分文獻針對海灣地形以「稀釋」的概念作估算(Angerville et al., 2005)。由於稀釋概念並無考量污染物的物理遷移及生化轉化作用，因此大部分文獻皆由傳輸模式進行模擬。模擬污染物排放至地面水體的模式，通常由水質擴散模式(Dispersion Model)進行污染物模擬；相較於其他地面水體，因海洋具備潮汐等特殊水理現象，而水質擴散模式無法模擬海域的水理現象，故須另由水理模式(Hydrodynamic Model)進行模擬。傳輸模式由水理動力模式(Hydrodynamic Model)與水質擴散模式(Dispersion Model)之組成，總稱海洋模式(Lee, 2011)，模擬程序為先由水理動力模式模擬污染物受到潮汐等物理遷移作用，再匯入到水質擴散模式模擬生化轉化作用。由海洋模式估算污染物在水體濃度後，大部分還是以生物累積因子(Bioconcentration Factor, BCF)估算污染物在海洋生物體內濃度，如公式 2-4 所示(Salgueiro-González et al., 2015)。

$$C_{\text{organisms}} = \text{BCF} \times C_{\text{water}} \quad (2-4)$$

● 小結：

文獻研究以「模式模擬」方法為主的海洋健康風險評估系統，主要的評估理念為污染源尚未排放污染物，透過健康風險評估方法以預測排放後可能對人體的健康衝擊影響。此系統方法的優點為達到預防管理之評估理念，可在污染問題產生前，透過評估方法降低對環境的衝擊影響，且可針對單一污染源進行控管；而此系統方法的缺點為無法確切得知污染物在海洋環境介質中的濃度，因此模式的準確度及挑選是相當重要的。

2.3.4 本節小結

回顧海洋健康風險評估之國際文獻，所採用的健康風險評估架構主要以 NRC-NAS 所發展提出的四大步驟，評估內容大致上具有相似的評估概念，大部分針對具生物累積特性之污染物進行食用健康風險評估。較為不同的評估內容為暴露量評估步驟，在估算海洋環境介質之污染物濃度時，區分為採樣分析及模式模擬兩種評估系統，評估理念有所不同且皆各有優缺點。雖然採樣分析之評估系統能確切測得污染物在海洋環境介質中的濃度，但評估的海域可能已遭受污染，無法發揮預防管理之評估理念；然而模式模擬評估系統，雖然無法精確模擬出污染物在海洋環境介質中的濃度，但目前海洋模式發展已久且種類繁多，對於海域環境之模擬已有相當的成熟度。並且可透過此評估系統在污染排放前對於污染源進行控管，有效降低海域環境的衝擊影響。因此本研究將以模式模擬之海洋健康風險評估系統為主要的評估架構，並完整考量海洋中可能的環境介質、暴露受體及途徑，整合建構在評估架構中。本研究將針對台灣現況，擬建立具完整架構性的海洋健康風險評估方法，以便未來沿岸地區進行環境影響評估作業中，本研究之成果能提供相關單位做為參考依據，對於放流水排放到海域達到預防管理之理念，喚起政府機關及民眾對於海洋的重視與管理。

第三章 研究方法

本研究參考美國國家研究委員會及國家科學院(NRC-NAS)所提出之風險評估紅皮書為架構，並針對放流水排放到海洋建立具有完整架構性的海洋健康風險評估流程及步驟。在本章節中會詳細介紹本研究所建立的流程架構及其步驟內容，評估者可依循本研究所建立的架構及步驟中所提供的相關資料進行評估及決策管理

3.1 海洋健康風險評估流程架構

本研究所建立的評估方法之流程架構是以既有的健康風險評估流程為評估框架，依序建立各階段及步驟。各步驟中提供評估方法及資料參考，評估者可依照步驟依序進行評估，並在各步驟中建立本研究所設計之表單以協助評估者進行後續評估及管理之資料參考。並將各步驟的主要內容及須建立的表單進行匯整，如表 3-1 所示。

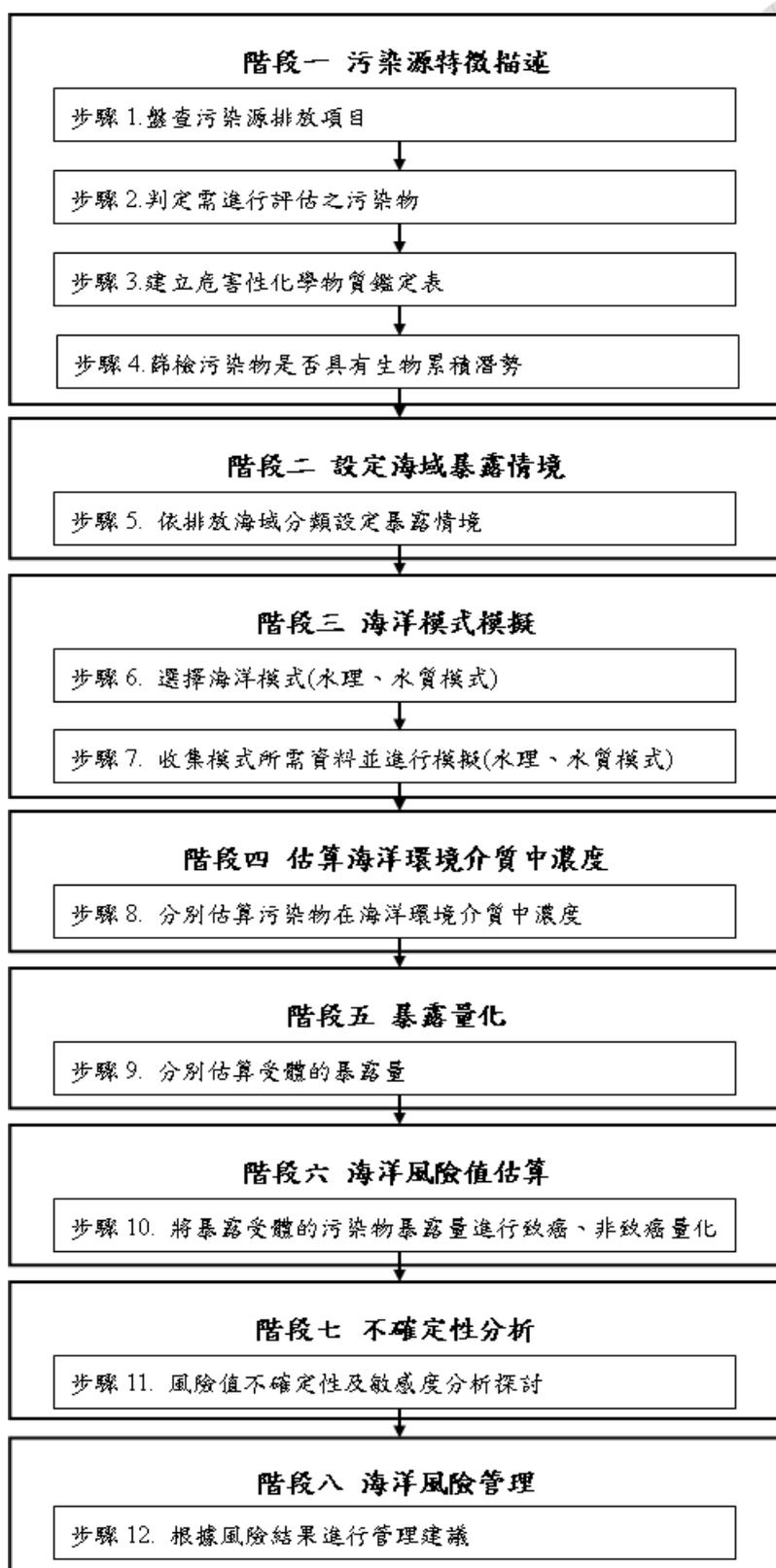


圖 3-1 海洋健康風險評估流程架構圖

表 3-1 海洋健康風險評估流程表

步驟	重要內容	評估者依循步驟建立表單
1	<ul style="list-style-type: none"> ● 盤查目的 ● 盤查污染源排放項目之建議 	表單 1 污染源排放項目表
2	<ul style="list-style-type: none"> ● 判定原則 	表單 2 污染物判定表
3	<ul style="list-style-type: none"> ● 鑑定表設計目的與說明 ● 鑑定表資料收集之建議 	表單 3 危害性化學物質鑑定表
4	<ul style="list-style-type: none"> ● 篩檢緣由與目的 ● 篩檢生物累積性流程圖之定義與方法 ● 圖 3-2 篩檢生物累積性流程圖 	表單 4 食用風險污染物篩檢表
5	<ul style="list-style-type: none"> ● 暴露情境設定概念與說明 ● 表 3-2 海域概念模型表 ● 表 3-5 甲、乙類海域概念模型表 ● 表 3-6 甲、乙類海域情境表 	表單 5 海域評估情境執行表
6	<ul style="list-style-type: none"> ● 模式篩選原則 ● 表 3-7 水理動力模式簡介表 ● 表 3-8 水質擴散模式簡介表 	表單 7 海洋模式模擬結果表
7	<ul style="list-style-type: none"> ● 表 3-9 水理及水質模式輸入資料表 	
8	<ul style="list-style-type: none"> ● 估算海水中濃度 ● 估算底泥中濃度公式(3-1~3-5) ● 估算養殖水體中濃度(3-3~3-4) ● 估算養殖底泥中濃度(3-1~3-5) ● 估算海鮮中濃度公式(3-6~3-8) ● 估算水產中濃度公式(3-6~3-8) 	表單 8 海洋環境介質濃度表
9	<ul style="list-style-type: none"> ● 食用海鮮、水產暴露公式(3-9) ● 誤食海水暴露公式(3-10) ● 皮膚接觸海水暴露公式(3-11~3-12) ● 皮膚接觸底泥暴露公式(3-13~3-14) 	表單 9 受體暴露量表
10	<ul style="list-style-type: none"> ● 致癌風險公式(3-15) ● 非致癌風險公式(3-16) 	表單 10-1~10-4 致癌風險結果表 表單 10-5~10-8 非致癌風險結果表
11	<ul style="list-style-type: none"> ● 不確定性與敏感度分析介紹 	表單 11-1 一般民眾不確定性風險結果表 表單 11-2 遊客不確定性風險結果表 表單 11-3 職業漁夫不確定性風險結果表 表單 11-4 水產養殖用戶不確定性結果表
12	<ul style="list-style-type: none"> ● 判定需進行海洋風險管理依據 	表單 12 海洋風險管理表



3.2 海洋健康風險評估步驟及內容

- **步驟 1：盤查污染源排放項目**

本步驟建立目的為盤查污染源可能排放的污染物並進行項目匯整以便進行污染物判定評估。盤查資料可使用放流口的監測項目，若無相關資料可參考相關場址的排放項目。

- **本步驟執行內容：**

將污染源可能排放之污染物進行盤查分析，盤查完後建立污染源排放項目表(表單 1)，將污染物種類及細項詳細列出，其表單內容如下所示：

表單 1 污染源排放項目表

污染源：	
污染物種類	污染物項目



● **步驟 2：判定需進行評估之污染物**

在進行風險評估前，須先將污染物進行“污染物判定”，篩選出必要進行評估之污染物，以下說明判定原則：

- 一. 海域環境監測項目中所列之污染物，皆應進行健康風險評估
- 二. 海洋放流管線放流水標準中所列之污染物，皆應進行健康風險評估
- 三. 除第一項及第二項應納入評估之污染物外，其他經主管機關要求應納入健康風險評估之污染物。依照我國環保署公告「健康風險評估技術規範」中規範的危害性化學物質：

(一) 依下列環境保護及安全衛生法規所列之化學物質：

- 1. 毒性化學物質管理法公告之毒性化學物質
- 2. 放流水標準所列之化學物質

(二) 依下列國際環境保護公約所規範之化學物質：

- 1. 海洋法公約
- 2. 斯德哥爾摩公約
- 3. 其他國際環境保護公約

(三) 依環保署環境影響評估審查委員會指定之其他有害化學物質

● **本步驟執行內容：**

將表單 1 所列的污染物項目進行污染物判定並建立污染物判定表(表單 2)，將符合上述原則之污染物進行勾選，其表單內容如下所示：

表單 2 污染物判定表

污染物項目	符合判定勾選					勾選需評估之污染物
	原則一	原則二	原則三			
			第一項	第二項	第三項	



● 步驟 3：建立危害性化學物質鑑定表

將污染物建立危害性化學物質鑑定表之目的，主要提供進行後續評估步驟所需的相關資料參考，表格內容除了依據環保署所規範的危害性鑑定表外，本研究另增訂細項於表單中。表單設計共六大部分，並於以下詳細說明：

一. 物質辨識

辨識污染物名稱、組成等基本資料。可由分子式中判定為純物質或混合物；可透過化學註冊號碼，細部查詢污染物相關資訊。

二. 物化性質

此部分把污染物本身主要的物化生性質作資料收集，其細項在進行後續步驟時，可提供資料參考，比如分子量，可提供步驟 4 篩檢時所需的資訊。

三. 排放來源及排放濃度

排放來源為盤查污染物於何項製程或設備排放，可協助步驟 13 進行風險管理時，針對此製程或設備進行改善以降低風險，其資料來源可參考相關場址。

排放濃度可提供步驟 7 模式模擬污染物時所需的數值，其資料來源可使用放流口的監測數據，若無相關資料可參考相關場址之排放值並予以推估。

四. 可能暴露途徑

意指人體暴露到污染物可能的途徑，為食入、吸入、皮膚接觸等途徑。可提供步驟 9 估算受體暴露量時，提供所需的資訊。

五. 人體健康危害

將污染物進行危害辨識，以透過查詢國外相關毒理資料，來判定污染物之危害程度，及判定污染物之致癌及非致癌性，可提供步驟 10 量化風險值所需的資訊。



六. 動物毒性研究

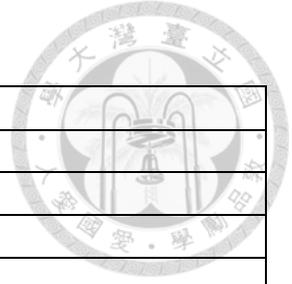
因部分物質在人體毒理資料中尚未確定或不足，而毒性研究亦以動物為主要的試驗對象，進而證實物質的毒性特徵，故需收集污染物之動物毒性研究，以了解可能會造成何者危害及是否有蓄積的特性，可由此部分予以推估在人體中可能造成的危害程度。

以上資料可參考美國國家醫學圖書館與國家衛生研究所聯合建立之危害性物質資料庫 (Hazardous Substances Data Bank, HSDB)、整合性風險資料系統 (Integrated Risk Information System, IRIS)、世界衛生組織設在里昂之國際癌症研究署 (International Agency for Research on Cancer, IARC)、美國環保署暫行毒性因子 (Provisional Peer Reviewed Toxicity Values, PPRTVs)、) 毒性物質與疾病登錄署 (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR)、美國環保署健康效應預警摘要表格 (Minimal Risk Level, MRL)、美國加州環境危害評估 (The Office of Environmental Health Hazard Assessment, OEHHA)、國際通用物質安全資料表 (Material Safety Data Sheets, MSDS)、化學物質摘要服務 (Chemical Abstracts Service, CAS)、我國 GHS 化學品分類及標示全球調合制度危害物質危害數據資料庫、環保署化學物質毒理資料庫、勞衛所物質安全資料表資料庫、德國默克集團台灣分公司。

● 本步驟執行內容：

將步驟 2 中經判定需進行評估之污染物，依照上述的內容分別建立各污染物之危害性化學物質鑑定表(表單 3)，其表單內容如下所示：

表單 3 危害性化學物質鑑定表



(一) 物質辨識	
1. 名稱：	
2. 別名：	
3. 分子式：	4. 化學註冊號碼：
(二) 物化性質	
1. 分子量：	5. 辛醇與水之分配係數：
2. 沸點：	6. 溶解度：
3. 熔點：	7. 蒸氣密度：
4. 密度及比重：	8. 蒸氣壓：
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：	
2. 排放濃度：	
(四) 可能暴露途徑	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：	
2. 非致癌毒性摘要：	
3. 致癌證據：	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：	
2. 非致癌毒性摘要：	
3. 致癌證據：	



● 步驟 4：篩檢污染物是否具有生物累積潛勢

污染物排放到海域所造成的影響，主要是污染物累積在生物體內，人類食用受污染的生物而導致風險，而這些污染物皆具備「生物累積」的特性。

Drew et. al (2006)評估紙漿廢水排放到貝爾海灣，提出進行食用海鮮風險評估(HHRA for seafood)時，認為主要的影響為具有生物累積性的污染物，故在進行評估之前，應先篩檢污染物本身是否具有「生物累積性」。

由於大部分重金屬無法被生物降解，使得生物體內的重金屬含量會高於水中的濃度，產生生物累積作用(Rainbow, 2007)。若排放的污染物為重金屬，因具有生物累積特性，皆需要進行食用風險評估，不須再進行篩檢流程；對於非重金屬類之污染物則需要進行篩檢。本研究依據上述文獻提出篩檢生物累積性流程圖(圖 3-2)，以較定量方式篩選出具有「生物累積特性」之污染物再進行後續的食用風險評估。以下說明流程圖中各步驟之定義與判斷方法：

一. 須進行評估之污染物

將步驟 2 經判定須進行評估的污染物列出，進行“分子量 > 1000”篩檢步驟。

二. 分子量 > 1000

當污染物分子量大於1000時，生物體內的器官細胞之細胞膜無法通過吸收，故不會造成生物體蓄積污染物(Connell, 1998)。將污染物進行分子量判定，是，則不需進行食用風險評估；否，則進行“由主管機關或文獻資料佐證具有生物累積潛勢”篩檢步驟。

三. 由主管機關或文獻資料佐證具有生物累積潛勢

判定物質本身是否具由生物累積特性，可由毒性資料庫或相關文獻中進行佐證，可以以下單位進行查詢。將污染物進行判定後，是，則污染物具有生物累積潛勢，須進行食用風險評估；否/不確定，則進行“ $\log Kow \geq 4$ 及 $BCF \geq 500$ ”篩檢步驟。

(1) 美國環保署(USEPA)

(2) 毒性物質與疾病登錄署 (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR)

- 
- (3) 歐洲化學總署(ECHA)公告具持久性强、生物累積和有毒性的化學品(PBT)及持久性和生物累積特強的化學品(vPvB)。
 - (4) 國際通用物質安全資料表 (Material Safety Data Sheets, MSDS)
 - (5) 行政院環保署公告毒性化學物質第一類毒性化學物質者。
 - (6) 勞衛所物質安全資料表資料庫

四. $\log Kow \geq 4$ 及 $BCF \geq 500$

許多文獻已支持有機物質之 $\log Kow$ 及 BCF 可衡量其生物累積潛勢(Cook, 1998)。因此，物質之 $\log Kow \geq 4$ 及 $BCF \geq 500$ 為可能具有生物累積潛勢的物質。但 $\log Kow$ 為測定 BCF 值的不充分替代值，故應以 BCF 作為優先考慮。將污染物進行判定後，是，污染物具有生物累積潛勢，需進行“評估污染物在生物體吸收及排除機制”篩檢步驟；否，則不需進行食用風險評估。

五. 評估污染物在生物體吸收及排除機制

生物累積作用為生物體對於外來物質吸收速率超過排除率，導致物質累積在生物體(Spacie et al., 1985)。污染物對於生物體造成危害主要是因為生物體對於污染物的代謝速率遠低於吸收及累積速率，並在體內造成累積效應(Leung et al., 2005)。故可由污染物在生物體內的吸收及排除機制以了解污染物是否會造成生物累積作用。可透過該污染物在水域生態之毒理研究，利用水域生物的累積性試驗，以了解該污染物在生物體內是否累積，才能準確評估區域性的污染對生物體有無累積性影響，因此水域生物已廣泛被用來探討污染物對生物體的影響(Leung et al., 2005)。將污染物進行判定後，吸收 > 排除，污染物具有生物累積潛勢，需進行食用風險評估；吸收 < 排除，則不需進行食用風險評估。

● 本步驟執行內容：

在進行“食用風險”評估前，依照篩檢生物累積性流程圖(圖 3-2)，將步驟 2 經判定需進行評估之污染物，建立食用風險污染物篩檢表(表單 4)，將具生物累積性污染物勾選，在後續進行食用風險評估時，將勾選的污染物進行評估，其表單內容如下所示：

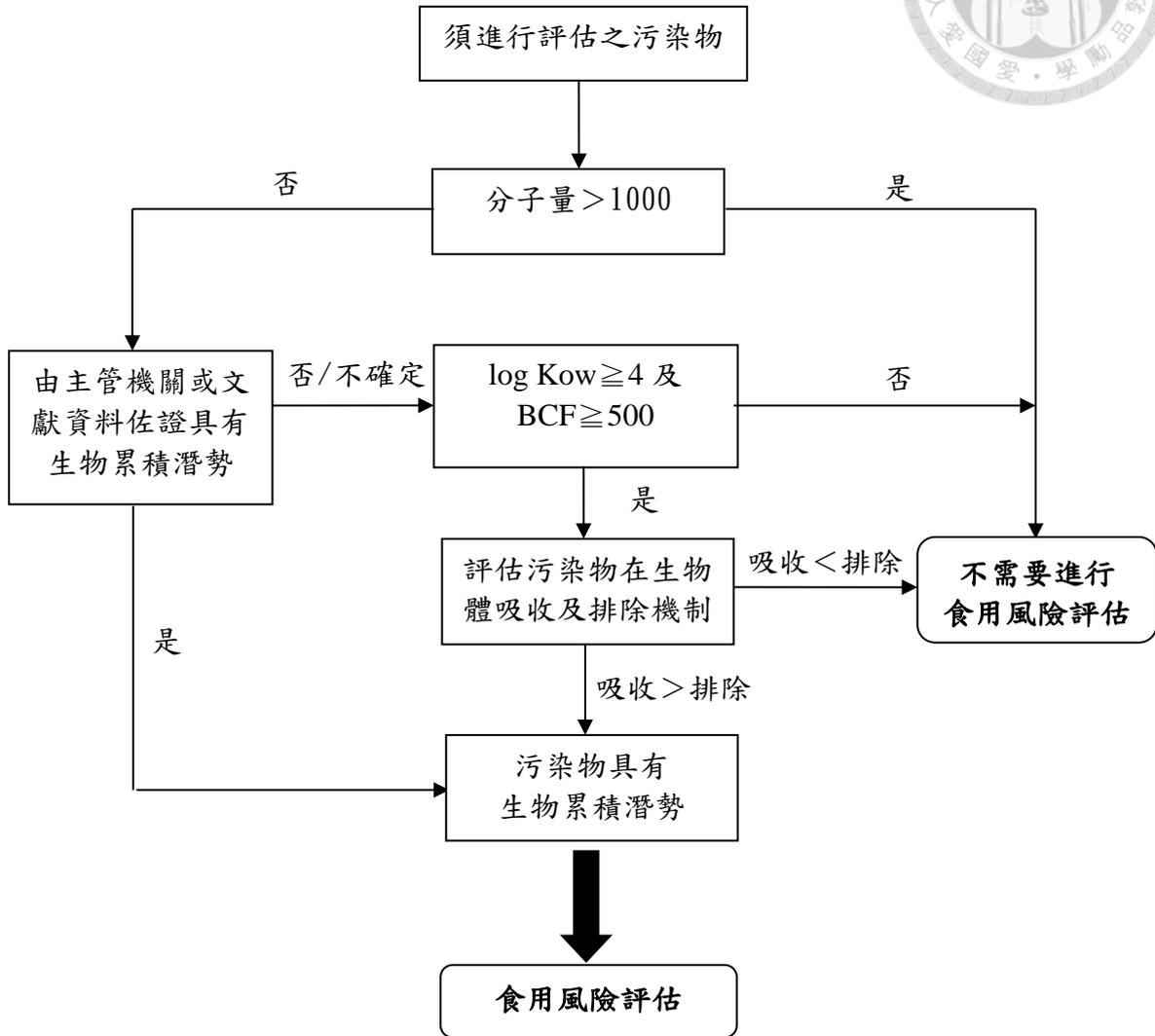


圖 3-2 篩檢生物累積性流程圖

表單 4 食用風險污染物篩檢表

污染物項目	具生物累積潛勢，需進行食用風險評估 (符合勾選)

● 步驟 5：依照排放海域分類設定暴露情境

「暴露情境」意指污染物、環境介質、暴露受體、暴露行為、暴露途徑之交互關係。本步驟內容依序為：構思海域概念模型→了解台灣海域法規之現況規定，調整海域概念模型→設定台灣海域暴露情境表→評估者依其情境表，建立海域評估情境表單。首先，在設定暴露情境之前，先構思海域概念模型，將海域中可能的污染物、環境介質、暴露受體、暴露行為、暴露途徑作概念性整理，即海域概念模型表(表 3-2)。目前台灣海域之相關法規，主要依據行政院環保署「海域環境分類及海洋環境品質標準」，將海域環境分為甲、乙、丙三類，如表 2-1 及圖 3-3 所示，其適用規範如下：

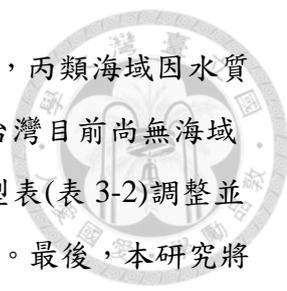
1. 甲類：適用於一級水產用水、二級水產用水、工業用水、游泳及環境保育。
2. 乙類：適用於二級水產用水、工業用水及環境保育。
3. 丙類：適用於環境保育。

表 3-2 海域概念模型表

項目	內容
污染物	化學物質、重金屬...等
海洋環境介質	海水、底泥、海洋生物(以下簡稱海鮮)
暴露受體	一般居民、遊客、職業漁夫
暴露行為	食用海鮮、從事近海遊憩活動、職業釣魚
受體暴露途徑	食入、誤食、皮膚接觸



圖 3-3 台灣地區沿海海域範圍及海域分類



由規範內容得知，不同的海域分類有不同的適用內容。另外，丙類海域因水質狀況差，適用於環境保育，即不宜對此水體再排放污染物，且台灣目前尚無海域歸類為丙類海域，故本研究將依照其適用規範，將海域概念模型表(表 3-2)調整並設定成甲、乙類海域概念模型表(表 3-4)，其詳細內容定義如下。最後，本研究將概念模型表(表 3-4)作細部整理並設定甲、乙類海域情境表(表 3-5)，評估者可參考情境表(表 3-5)作暴露情境設定。

一. 海洋環境介質

污染物經排放至海域時，隨著污染物本身型態的轉變，及潮汐、洋流等作用推移下，所污染的環境介質包含海水、底泥、養殖水體及底泥、海鮮、水產。海水及底泥為污染物排放後直接性造成污染的環境介質；而養殖水體及底泥、海鮮、水產較為間接性污染，分別在以下作說明：

1. 水產養殖水體及底泥部分

甲、乙類海域適用規範訂定可引灌海水作為水產養殖用水，故受到污染的環境介質擴大影響到水產養殖水體及底泥。另外，因養殖用水量，如：虱目魚養殖需要 $3.8 \times 10^4 \sim 4.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 用水量，加上水體交換性較差，屬於封閉水域，污染物質容易在此區作累積，因此於評估作業中，有必要對於水產養殖水體進行評估(吳,96)。水產養殖用水可分成淡水、鹹水、淺海養殖，會引用海水作為養殖水源為鹹水、淺海養殖：前者是利用引灌海水的方式作為魚塭用水，早期通常只在沿海地區以淺坪式作粗放養殖，稱為沿海魚塭。因鹹水魚養殖技術快速發展，現在大量被引灌至內陸使用，稱為鹹水魚塭；後者是利用自然環境中的天然生產力，在潮間帶及潮線以外的淺海區域進行養殖。因淺海養殖方式屬直接在海域範圍內進行養殖，養殖生物所暴露到的水質條件及水體流動情況皆與海域中天然生長的生物相同，因此不在此範疇內進行討論。而本研究設定的水產養殖水體，主要是以鹹水魚塭作為評估範疇。



2. 海鮮、水產部分

海洋生物(簡稱海鮮)及水產生物(簡稱水產)，因生長在受污染的海水及養殖水體，具有生物累積特性之污染物會累積在生物體內因人類食用而暴露到。在設定海鮮物種部分，由於種類繁多且污染物於各生物體內之生物累積因子(BCF 值)資料有限，故不細分物種。主要分為：生產者，指藻類，如海帶、紫菜...等；初級消費者，指蝦貝類，如櫻花蝦、扇貝、牡蠣...等；次級消費者，指魚類，如竹筴魚、沙丁、白帶魚...等。在設定水產物種部分，甲類海域可供一級水產用水，意指嘉臘魚及紫菜類等培養用水之水源；乙類海域可供二級水產用水，意指虱目魚、烏魚及龍鬚菜等培養用水之水源。由於上述的物種其相關資料缺乏，故皆視為同一物種進行評估，主要分為藻類、蝦貝類、魚類。

二. 受體的暴露行為，暴露途徑

暴露族群區分為一般民眾、遊客、職業漁夫、水產養殖用戶。年齡層設定部分，由於進行比較不同受體族群的暴露風險，而職業漁夫及水產養殖用戶主要暴露的年齡層為成人，故皆只設定成人暴露。年齡設定依據「台灣一般民眾暴露參數彙編」的估算，採用成人之 19-64 歲的年齡層，各族群設定內容及其暴露行為與途徑分別在以下作說明：

1. 一般民眾食用海鮮及水產，暴露途徑:食入

指居住在台灣的人民在]食用海鮮、水產下所造成的風險，暴露途徑為食入。

2. 遊客從事近海遊憩活動，暴露途徑: 誤食、皮膚接觸

指到海域從事遊憩活動的族群，活動中會誤食海水、皮膚接觸海水及底泥，故暴露途徑為誤食、皮膚接觸。因近海遊憩活動種類繁多，除了游泳在法規中有規範須進行評估外，由於不是所有水域活動為大多數的人都會從事，在考量實際暴露情況下，本研究依據內政部營建署墾丁國家公園管理處「海域遊憩活動分類」(表 3-3)，並於各分類中根據「全國人民從事海域活動細項參與度調查」作篩選，主要評估的近海遊憩活動分別為純戲水、釣魚、浮潛、遊艇、香蕉船、游泳。乙類海域在法規中並無強制規範不能進行近海遊憩活動，且海洋國家公園管理處所進行

的「澎湖南方四島海域活動與適宜性分析與安全管理規畫」報告中亦建議非直接皮膚接觸海水之遊憩活動可於乙類海域進行，故乙類海域設定為對釣魚、遊艇兩項遊憩活動進行評估。



3. 職業漁夫捕魚，暴露途徑:食入、皮膚接觸

指以捕捉海鮮為職業的族群，並設定其行為會食用自行捕捉的海鮮，且食用頻率會比一般民眾高。在捕捉過程中，部分皮膚會接觸到海水及底泥，故暴露途徑為食入、皮膚接觸。

4. 水產養殖用戶養殖，暴露途徑: 食入、皮膚接觸

指鹹水魚塭養殖業者，並設定其行為會食用自行養殖的水產，且食用頻率會比一般民眾高。在養殖過程中，部分皮膚會接觸到養殖水體及底泥，故暴露途徑為食入、皮膚接觸。

● 本步驟執行內容：

評估者可在進行後續評估前，參照甲、乙類海域情境表(表 3-5)，可根據實地暴露情況作細項調整並建立在海域評估情境執行表(表單 5)，於後續步驟中可清楚參照表單進行環境介質濃度、受體暴露量、海洋風險值等評估項目，其表單內容如下所示：

表 3-3 海域遊憩活動分類

活動類別	活動項目
第一類 (觀賞海底生物及景觀)	浮潛、水肺潛水(岸潛)、水肺潛水(船潛)、玻璃底船及潛水艇
第二類 (觀光海岸海上風景及海面休閒活動)	遊艇(快艇)及帆船
第三類 (追求速度、刺激、冒險之動力水上活動)	水上摩托車、海上拖曳傘、香蕉船、滑水板、拖曳浮胎及橡皮艇
第四類 (休閒運動、玩等非動力水上活動)	游泳、水上腳踏車、橡皮艇(非動力)、衝浪板及風浪板

表 3-4 甲、乙類海域概念模型表

項目	海域分類	
	甲類	乙類
污染物	化學物質、重金屬...等	化學物質、重金屬...等
海洋環境介質	海水、底泥、水產養殖水體及底泥、海鮮、水產	海水、底泥、水產養殖水體及底泥、海鮮、水產
暴露受體	一般民眾、遊客、職業漁夫、水產養殖用戶	一般民眾、遊客、職業漁夫、水產養殖用戶
暴露行為	<ul style="list-style-type: none"> ● 食用海鮮、水產 ● 從事近海遊憩活動 ● 職業釣魚 ● 水產養殖(一級水產) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 食用海鮮、水產 ● 職業釣魚 ● 水產養殖(二級水產)
受體暴露途徑	食入、誤食、皮膚接觸	食入、誤食、皮膚接觸

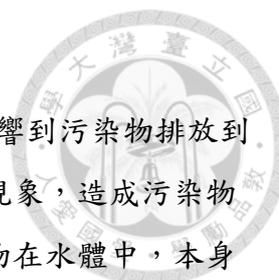
表 3-5 甲、乙類海域情境表

		海域範圍			
		鼻頭角向彭佳嶼延伸至高屏溪口向琉球嶼延伸線間海域	曾文溪口向西延伸線至王功漁港向西延伸線間海域	澎湖群島海域	高屏溪口向琉球嶼延伸至高屏溪口向西延伸線間海域
海域分類		甲		乙	
海洋環境 介質	海水	●		●	
	底泥	●		●	
	養殖水體	●		●	
	養殖底泥	●		●	
	海鮮	●		●	
	水產	●		●	
受體 暴露途徑	一般民眾	食用海鮮、水產(藻類、蝦貝類、魚類)		食用海鮮、水產(藻類、蝦貝類、魚類)	
	遊客	誤食、皮膚接觸海水及底泥 (純戲水、釣魚、浮潛、遊艇、香蕉船、游泳)		誤食、皮膚接觸海水及底泥 (釣魚、遊艇)	
	職業漁夫	食用海鮮、皮膚接觸海水及底泥		食用海鮮、皮膚接觸海水及底泥	
	水產養殖用戶	食用水產、皮膚接觸養殖水體及底泥		食用水產、皮膚接觸養殖水體及底泥	

表單 5 海域評估情境執行表



評估項目	評估項目填寫及勾選		列出細項
海域名稱			
海域範圍	鼻頭角向彭佳嶼延伸至高屏溪口向琉球嶼延伸線間海域		
	高屏溪口向琉球嶼延伸至曾文溪口向西延伸線間海域		
	曾文溪口向西延伸線至王功漁港向西延伸線間海域		
	王功漁港向西延伸線至鼻頭角向彭佳嶼延伸線間海域		
	澎湖群島海域		
海域分類 (甲或乙類)			
估算海洋環境介質中濃度 (步驟 8)	海水		表 2 勾選的污染物
	底泥		
	養殖水體		
	養殖底泥		
	海鮮(藻類、蝦貝類、魚類)		表 4 勾選的污染物
	水產(藻類、蝦貝類、魚類)		
估算受體暴露量 (步驟 9)	一般民眾	食用海鮮	藻類、蝦貝類、魚類
		食用水產	
	遊客	誤食海水	需評估的遊憩活動
		皮膚接觸海水及底泥	
	職業漁夫	食用海鮮	藻類、蝦貝類、魚類
		皮膚接觸海水及底泥	
	水產養殖用戶	食用水產	藻類、蝦貝類、魚類
		皮膚接觸養殖水體及底泥	
估算海洋風險值 (步驟 10)	一般民眾	食用海鮮	藻類、蝦貝類、魚類
		食用水產	
	遊客	誤食海水	需評估的遊憩活動
		皮膚接觸海水及底泥	
	職業漁夫	食用海鮮	藻類、蝦貝類、魚類
		皮膚接觸海水及底泥	
	水產養殖用戶	食用水產	藻類、蝦貝類、魚類
		皮膚接觸養殖水體及底泥	



● 步驟 6：選擇海洋模式(水理、水質模式)

當污染物排放到海洋時，會受到物理、化學、生物作用而影響到污染物排放到水體的初始濃度。物理作用，指潮汐、洋流等獨特的海洋自然現象，造成污染物遷移，包含傳輸、對流、分子擴散等作用；生化作用，指污染物在水體中，本身形態上的轉變過程，包含氧化、還原、經海洋生物的吸收、代謝、食物鏈傳遞等作用。

上述的作用機制需由模式或計算方法，才能將污染物在海洋中的濃度變化作一個較接近真實值的數值預測。模擬污染物排放至地面水體的模式，通常由水質擴散模式(Dispersion Model)進行污染物模擬；相較於其他地面水體，因海洋具備潮汐等特殊水理現象，而水質擴散模式無法模擬海域的水理現象，故須另由水理模式(Hydrodynamic Model)進行模擬。進行模擬方式為先由水理模式模擬污染物之物理遷移作用，再將其模擬數據匯到水質模式，模擬污染物生化轉移作用。

由於水理及水質模式皆已發展成熟且數量眾多，大部分皆以自行選定的模式進行模擬，難以提出最適用、統一的模式。本步驟將大部分常用且知名的水理及水質模式作匯整介紹，並提出模式篩選原則。篩選原則之訂定為參考國內外相關文獻及環保署的海洋水污染擴散環境影響評估技術之研究報告，將其相關判定方法作歸納並列出篩選原則。評估者可參考本研究所整理的水理動力模式簡介表(表 3-6)及水質擴散模式簡介表(表 3-7)，並依循篩選原則予以選擇較適用的模式進行模擬，其篩選原則及模式簡介表如下所示：

● 模式篩選原則

一. 數值模擬的精確度

指模式是否能忠實呈現所欲模擬之環境特性，及模式驗證後是否具有準確性，可從模式是否曾實際應用在海洋環境系統且模擬成效具相關單位認可中判斷。

二. 欲模擬污染物之特性及種類與模式的相關性

指模式是否能處理欲模擬的污染物。比如致病菌，於模擬時需考量較多的生化機制反應，並非所有的模式有足夠的理論基礎能進行模擬。



三. 輸入資料之可獲性

比如水體流速與平均深度，部分模式只要給予水體流量，模式可自行估算出流速與平均深度；若模式不具此估算功能，則需考量是否能取得水體的流速與平均深度。

四. 輸出值之考量

指考量模擬結果之數據是否符合使用者之需求，是否需另外處理。本研究建議模擬數據之輸出值以污染物的濃度值較佳，較易進行後續風險估算。

五. 操作與展示功能之評估

操作功能指操作介面是視窗互動回應操作的模態；或是提供原始方程式，可依需求自行改寫運用的模態，評估者可依需求判斷較適合的操作界面。展示功能部分，比如部分模式可以動態的方式呈現模擬過程；部分模式則不提供此展示功能，評估者可依需求評估判斷。

六. 資料庫支援模式系統之評估

指模式本身是否有建立相關資料庫(Database)，資料庫包括：物理、化學環境資料庫、GIS 資料庫、生態資料庫、水質資料庫等，如果模式操作上能結合資料庫，可增加模式操作上的方便度。

七. 水理與水質擴散模式組合之結合性

有些模式同時包含水理及水質模組，如 MIKE 21 系列，不需要額外考量到參數時變及格網劃分等結合時之相容性處理；若是各別使用水理及水質模式時，在模擬完水理部份後，其數據匯入到水質為輸入資料時，需特別注意兩模式間之相容性處理是否困難。

表 3-6 水理動力模式簡介表

水理動力模式					
模式名稱	模式簡介	模式維度	使用特色	模擬運動或地形	研發來源
MIKE 21 HD	模擬潮汐交替與海流、暴潮、港灣波動等作用，為廣泛應用的商業模式，具專業性。	2D	<ul style="list-style-type: none"> ● 操作界面完整，可提供其他模式在模擬時必備之水理動力基礎。 ● 可搭配 MIKE 21 系列之數學模式系統(AD、WQ、EU、ME、ST、SW) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 潮汐交替與海流、暴潮、二次環流與渦旋、港灣波動、壩體崩潰、海嘯 ● 海灣、沿岸海域範圍 	Danish Hydraulic Institute
POM	以原始方程式為基礎所架構而成的三維非線性海洋數值模式，已經廣泛地使用於不同海域的研究。	3D	<ul style="list-style-type: none"> ● 數值技巧方面，水平網格也可根據地形的需要，利用正交曲線網格，提高解析度並增加計算效率。 ● 提供原始方程式，可依需求自行改寫運用。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 海洋環流 ● 各種尺度海域空間 	Princeton University
TRISULA	可模擬潮汐和風驅動之非穩定流場，工研院已用來模擬許多海岸計畫。	2D, 3D	<ul style="list-style-type: none"> ● 設計可移動的路岸邊界，流場可隨陸岸改變，其餘模式均以固定作處理。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 潮汐和風驅動之非穩定流場 ● 河口、海灣、大部分海域範圍、沙洲、潮汐沙灘、阻隔島嶼、海岸地形 	Delft Hydraulics
CAFE	可模擬潮汐和風驅動流場，及沿岸水體環流，冷卻系統進口環流	2D	<ul style="list-style-type: none"> ● 網格設定在不規則的海岸地形可進行細分網格設定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 潮汐和風驅動流場、水體環流 ● 近海沿岸、海岸地形 	MIT(Wang and Connor)

表 3-7 水質擴散模式簡介表

水質擴散模式						
模式名稱	模式簡介	模式維度	使用特色	可處理污染物型態	結合水理模式	研發來源
WASP (WASP 5, WASP7)	用於觀測水體水質受物、化、生等自然現象影響，從對流、擴散、點源及非點源負荷，到邊界條件等均可用時間函數表示。	1D~3D	<ul style="list-style-type: none"> ● 模式結合力佳，可自行結合較佳的水理動力模式 ● 系統整合地理資訊系統 ● 免費下載使用 	熱污染、微量有機毒物、重金屬、一般污染物(營養鹽、有機物、金屬)、細菌	大部分皆可	USEPA
MIKE 21 (AD、WQ、 EU、ME、ST、 SW)	商業模式，極具專業性，廣泛應用於二維自由液面流動現象之模擬。	2D	<ul style="list-style-type: none"> ● 系統整合地理資訊系統 ● 須付費，軟件設計與教學服務完整 	熱污染、一般污染物(營養鹽、有機物、金屬)、重金屬、細菌	MIKE 21 HD	Danish Hydraulic Institute
WQMAP	對水質量、動量、成份質量、能量、鹽度、沉澱物等基礎守恆方程式求得時變數值解。	2D~3D	<ul style="list-style-type: none"> ● 系統整合地理資訊系統及環境資料 ● 操作方便，網格設定彈性，結合 GIS，展示能力佳。 	一般污染物(營養鹽、有機物、金屬)、熱污染、放射性污染物、優養化	邊界適用水理動力模式	ASA， Applied Science Associates, Inc.

CE-QUAL-W2	橫向平均的水理動力及水質模式，假設橫向均質，較適合用來處理狹長形的水體。	2D	<ul style="list-style-type: none"> ● 可呈現良好的縱向及垂直水質梯度變化 ● 系統整合地理資訊系統 	熱污染、一般污染物(營養鹽、有機物、金屬)	模式本身包含水理動力模式	Waterway Experimental Station, U.S. Army Corps of Engineer
IMPAQT	模擬懸浮固體及微量污染物在自然水體中傳輸模擬	1D~2D	<ul style="list-style-type: none"> ● 計算微量污染物在溶解項部分可區分為生物可利用吸收(bioavailability)及非生物利用吸收兩項 	一般污染物(營養鹽、有機物、金屬)、微量有機毒物、放射性(碘，銫)、熱污染、重金屬	無特別限制，通常建議結合TRISULA水理模式	Delft Hydraulics, DHL



● **步驟 7：收集模式所需資料並進行模擬(水理、水質模式)**

模式間性質相似，主要差別為模式操作以及部分輸入及輸出資料的不同，本研究整理大部分水理及水質模式所需的輸入資料項目，如表 3-8 所示，可提供使用者在模擬前收集參考。因模式輸出值是以點呈現資料，指每個點皆對應到座標上的 x 及 y，且每個點皆有一個濃度值，故模擬完數據量龐大。在估算風險時，生物及人體在接觸受污染的水體及底泥是以區域性的範圍作接觸，無法以點的資料作分別估算，所以須先將這些資料作平均濃度計算才能進行風險的估算。

● **本步驟執行內容：**

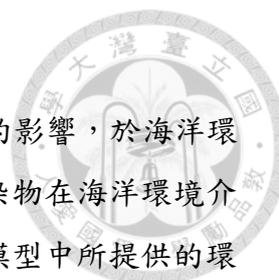
將模式所需輸入資料收集完成後，即可進行模擬，並將模擬結果作平均濃度計算並建立海洋模式模擬結果表(表單 7)，其表單內容如下所示：

表 3-8 水理及水質模式輸入資料表

水理模式輸入資料項目	外部資料連結、模式設計(傳輸項、渦流黏滯項、重力項、風應力項、底床應力項、科氏力項)、網格劃分設定、模擬總時間設定、邊界條件定義、海域幾何與地形分佈、地形水深、潮汐水位、海潮流、風速風向、波浪資料、颱風資料、紊流擴散係數、水體初始條件(流量、溫度、濁度、日照/雲層、底泥、鹽度...等)、污染物負荷量。
水質模式輸入資料項目	模式定義、參數設定、網格劃分設定、外部資料連結、結合水理動力模式需要其相關之輸入資料、模擬總時間設定、水體資料輸入、水質項目(pH 值、BOD、COD、懸浮固體...等)、生物因子、生態調查、底質有機物含量和粒徑分析、底質有機物含量和粒徑分析、底泥及毒性物質、邊界濃度、污染物負荷量(起始濃度、排放速率、排放量...等)。

表單 7 海洋模式模擬結果表

污染物項目	初始排放 濃度值(mg/L)	模擬結果 總平均濃度值(mg/L)



● **步驟 8：分別估算污染物在海洋環境介質中濃度**

污染物排放到海域時，會受到海洋本身的物、化、生作用的影響，於海洋環境介質中的濃度，並非為初始排放的濃度。本步驟為估算各污染物在海洋環境介質中的濃度值，其估算公式及相關參數依據美國環保署多介質模型中所提供的環境介質計算公式，其公式如下說明：

一. 估算海水中濃度

為海洋模式模擬結果的「平均濃度值」，可參見步驟 7。

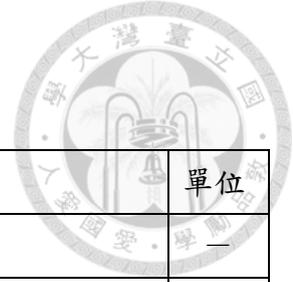
二. 估算底泥中濃度

在海洋模式模擬部分，部分模式可各別模擬出污染物在水體層(Water Column)及底泥層(Benthic Sediment)中濃度；部分模式只模擬水體層中的污染物濃度。對於模式只估算水體層部分，則需由下列公式估算污染物吸附在底泥層中的濃度。

$$C_{sb} = f_{bs} \cdot C_{wtot} \cdot \left(\frac{Kd_{bs}}{\theta_{bs} + Kd_{bs} \cdot C_{BS}} \right) \cdot \left(\frac{d_{wc} + d_{bs}}{d_{bs}} \right) \quad (3-1)$$

參數	定義	單位
C_{sb}	污染物吸附在底泥層中的濃度	mg/kg
f_{bs}	部分污染物沉澱在底泥層之濃度(註：由公式(3-2)推算求出)	—
C_{wtot}	污染物在總水體(包含水體層與底泥層)中的濃度 (註：由公式(3-3)推算求出)	mg/L
Kd_{bs}	污染物在土壤與土壤孔隙水中的分配系數	L /kg
θ_{bs}	土壤孔隙率(L water/ L sediment)	—
C_{BS}	底床泥沙濃度	g/cm ³
d_{wc}	水體層深度	m
d_{bs}	底泥層深度	m

$$f_{bs} = 1 - f_{wc} \quad (3-2)$$



參數	定義	單位
f_{bs}	部分污染物沉澱在底泥層之濃度	—
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度(註：由公式(3-5)推算求出)	—

$$C_{wctot} = f_{wc} \cdot C_{wtot} \cdot \frac{d_{wc} + d_{bs}}{d_{wc}} \quad (3-3)$$

參數	定義	單位
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度(註：由公式(3-4)推算求出)	mg/L
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度(註：由公式(3-5)推算求出)	—
C_{wtot}	污染物在總水體(包含水體層與底泥層)中的濃度	mg/L
d_{wc}	水體層深度	m
d_{bs}	底泥層深度	m

$$C_{dw} = \frac{C_{wctot}}{1 + kd_{sw} \cdot TSS \cdot 1 \times 10^{-6}} \quad (3-4)$$

參數	定義	單位
C_{dw}	為海洋模式模擬結果，為污染物的「平均濃度值」。	mg/L
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度	mg/L
kd_{sw}	污染物在土壤(底泥)與水的分配係數	L/kg
TSS	總懸浮固體物濃度	mg/L
1×10^{-6}	單位轉換係數	kg/mg

$$f_{wc} = \frac{(1 + kd_{sw} \cdot TSS \cdot 1 \times 10^{-6}) \cdot d_{wc} / d_z}{(1 + kd_{sw} \cdot TSS \cdot 1 \times 10^{-6}) \cdot d_{wc} / d_z + (\theta_{bs} + kd_{bs} \cdot C_{BS}) \cdot d_{bs} / d_z} \quad (3-5)$$

參數	定義	單位
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度	—
kd_{sw}	污染物在土壤(底泥)與水的分配係數	L/kg
TSS	總懸浮固體物濃度	mg/L
1×10^{-6}	單位轉換係數	kg/mg
d_z	水體總深度, $d_{wc} + d_{bs}$	m
θ_{bs}	土壤孔隙率(L water/ L sediment)	—
kd_{bs}	污染物在土壤與土壤孔隙水中的分配係數	L/kg
C_{BS}	底床泥沙濃度	g/cm^3
d_{wc}	水體層深度	m
d_{bs}	底泥層深度	m

三. 估算水產養殖水體中濃度

估算水產用水的部分，指鹹水魚塢中養殖的用水，其水源引用方式為以管線抽取海水作為使用，故污染物濃度與海域總水體層中濃度(C_{wtot})相同。先由公式 3-3 求出污染物在水體層中濃度(C_{wctot})，再由公式 3-4 求出污染物溶於水體層中濃度(C_{dw})。

四. 估算水產養殖水體之底泥中濃度

為估算污染物吸附在養殖水體之底泥層的濃度，其估算方式如公式 3-1 至公式 3-5 所示。

五. 估算海鮮中濃度

海鮮污染來自污染物溶於水體層及吸附在底泥層中，生物體接觸而蓄積污染物於體內。故需分別估算生物體接觸水體層與底泥層後所蓄積在體內的濃度，再將兩部分的估算值作加總，其公式與參數如下所示：

$$C_{sfw} = C_{dw} \cdot BCF \quad (3-6)$$

參數	定義	單位
C_{sfw}	生物體內污染物濃度，包含藻類、蝦貝類、魚類 (註：原公式稱為 C_{fish} ，在此稱為 C_{sfw})	mg/kg
C_{dw}	水中溶解態污染物濃度 (註：其值為海洋模式模擬值之「平均濃度值」)	mg/L
BCF	生物累積因子	L/kg

$$C_{sfb} = \frac{C_{sb} \cdot f_{lipid} \cdot BSAF}{OC_{sed}} \quad (3-7)$$

參數	定義	單位
C_{sfb}	生物體內污染物濃度，包含藻類、蝦貝類、魚類 (註：原公式稱為 C_{fish} ，在此稱為 C_{sfb})	mg/kg
C_{sb}	污染物吸附在底泥層中的濃度 (註：由公式(3-1)或模式模擬求出)	mg/kg
f_{lipid}	生物體內脂肪含量	—
OC_{sed}	底泥層有機碳含量比例	—
BSAF	生物-底泥累積係數	—

$$C = C_{sfw} + C_{sfb} \quad (3-8)$$

參數	定義	單位
C	生物體內污染物總濃度，海鮮指藻類、蝦貝類、魚類	mg/kg
C_{sfw}	生物體內污染物濃度 (註：由公式(3-5)求出)	mg/kg
C_{sfb}	生物體內污染物濃度 (註：由公式(3-6)求出)	mg/kg

六. 估算水產中濃度

水產污染來自污染物溶於養殖水體層及吸附在養殖水體之底泥層中，因生物體接觸而蓄積污染物，如公式 3-6 至公式 3-8 所示。

● 本步驟執行內容：

依照海域評估情境執行表(表單 5)，將已勾選的海洋環境介質，分別估算其細項中所列之污染物濃度，並將估算結果建立海洋環境介質濃度表(表單 8)，其表單內容如下所示：

表單 8 海洋環境介質濃度表

環境介質		單位	污染物項目				
海水		mg/L					
底泥		mg/kg					
養殖水體		mg/L					
養殖底泥		mg/kg					
海鮮	藻類	mg/kg					
	蝦貝類						
	魚類						
水產	藻類	mg/kg					
	蝦貝類						
	魚類						



● 步驟 9：分別估算受體的暴露量

本步驟為分別估算一般民眾、遊客、職業漁夫、水產養殖用戶之暴露量，估算各受體暴露公式如下說明：

一. 一般民眾暴露量

1. 食用海鮮、水產

食用海鮮、水產皆為食入的暴露途徑，其公式及相關參數定義如下：

$$ADD_{\text{seafood-oral}} = C_{\text{seafood-oral}} \times IU_{\text{seafood-oral}} \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (3-9)$$

參數	定義	單位
ADD _{seafood-oral}	平均每天攝取污染物之劑量	mg/kg-day
C _{seafood-oral}	污染物於海鮮及水產之濃度 (註：其值可參閱表 8 中經估算之「海鮮中濃度」、「水產中濃度」)	mg/kg
IU _{seafood-oral}	攝取海鮮及水產量	kg/day
EF	人與接觸介質之接觸頻率	days/year
ED	人與接觸介質之接觸期間	year
BW	平均體重	kg
AT	國人平均壽命	days

二. 遊客暴露量

1. 誤食海水

從事海上遊憩活動，於活動進行中誤食受污染的水體。誤食水體量部分，單次游泳時誤食水體量初估為日飲用水量之十分之一(Australian Government, 2008)，根據衛生署署暴露參數提供每日飲水量為 1.45 公升，因此估算單次游泳誤食量為 0.145 公升。其公式及相關參數定義如下：

$$ADD_{\text{water-oral}} = CW \times CR \times ET \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (3-10)$$

參數	定義	單位
ADD _{water-oral}	誤食海洋水體之每日平均暴露劑量	mg/kg-day
CW	污染物於水體濃度 (註：其值可參閱表 8 中經估算之「海水中濃度」)	mg/L
CR	遊憩活動時誤食水體量	L/h
ET	日暴露頻率	hr/day
EF	年暴露頻率	days/year
ED	終生暴露頻率	years
BW	平均體重	kg
AT	國人平均壽命	days

2. 皮膚接觸海水及底泥

從事海上遊憩活動，於活動進行中皮膚接觸受污染的水體及底泥，其公式及相關參數定義如下：

- 皮膚接觸海水

$$ADD_{\text{water-dermal}} = \frac{IU_{\text{water-dermal-event}} \times EF \times ED \times EV \times SA}{BW \times AT} \quad (3-11)$$

參數	定義	單位
ADD _{water-dermal}	皮膚接觸水體之每日平均暴露劑量	mg/kg-day
IU _{water-dermal-event}	皮膚吸附水體暴露率	mg/cm ² -event
SA	暴露表面積	cm ²
EV	日暴露頻率	events/day
EF	年暴露頻率	days/year
ED	終生暴露頻率	years
BW	平均體重	Kg
AT	國人平均壽命	days

$$IU_{\text{water-dermal-event}} = K_p \times C_w \times t_{\text{event}} \quad (3-12)$$

參數	定義	單位
$IU_{\text{water-dermal-event}}$	皮膚吸附水體暴露率	$\text{mg}/\text{cm}^2\text{-event}$
K_p	化學物質滲入皮膚之滲透率	cm/hr
C_w	污染物於水體濃度 (註：其值可參閱表 8 中經估算之「海水中濃度」)	mg/cm^3
t_{event}	單一事件暴露頻率	hr/event

● 皮膚接觸底泥

$$ADD_{\text{sediment-dermal}} = \frac{IU_{\text{sediment-dermal-event}} \times EF \times ED \times EV \times SA}{BW \times AT} \quad (3-13)$$

參數	定義	單位
$ADD_{\text{sediment-dermal}}$	皮膚接觸底泥之每日平均暴露劑量	$\text{mg}/\text{kg}\text{-day}$
$IU_{\text{sediment-dermal-event}}$	皮膚黏附底泥暴露率	$\text{mg}/\text{cm}^2\text{-event}$
SA	暴露表面積	cm^2
EV	日暴露頻率	events/day
EF	年暴露頻率	days/year
ED	終生暴露頻率	years
BW	平均體重	Kg
AT	國人平均壽命	days

$$IU_{\text{sediment-dermal-event}} = C_{\text{sediment}} \times CF \times AF \times ABS_d \quad (3-14)$$

參數	定義	單位
$IU_{\text{sediment-dermal-event}}$	皮膚黏附底泥暴露率	$\text{mg}/\text{cm}^2\text{-event}$
C_{sediment}	污染物於底泥濃度 (註：其值可參閱表 8 中經估算之「底泥中濃度」)	mg/kg
CF	轉換因子	$10^{-6} \text{ kg}/\text{mg}$
AF	皮膚黏附底泥因子	$\text{mg}/\text{cm}^2\text{-event}$
ABS_d	皮附黏附因子	—



三. 職業漁夫暴露量

1. 食用海鮮

漁夫會食用自行捕捉的海鮮，且食用量與頻率或比一般民眾較高。其估算公式同於一般民眾食用海鮮、水產暴露量公式，如公式 3-9 所示。

2. 皮膚接觸海水及底泥

漁夫於捕捉過程中會接觸到海水及底泥，且接觸的時間與頻率會比遊客較多。其估算公式同於遊客皮膚接觸海水及底泥暴露量公式，如公式 3-11 至 3-14 所示。

四. 水產養殖用戶暴露量

1. 食用水產

水產養殖用戶會食用所養殖的水產，且食用量與頻率或比一般民眾較高。其估算公式同於一般民眾食用海鮮、水產暴露量公式，如公式 3-9 所示。

2. 皮膚接觸養殖水體及底泥

水產養殖用戶於養殖過程中會接觸到養殖水體及底泥。其估算公式同於遊客皮膚接觸海水及底泥公式，如公式 3-11 至 3-14 所示。

● 本步驟執行內容：

依照海域評估情境執行表(表單 5)，將已勾選的暴露受體，估算其細項中所列之評估細項，並將估算的結果建立受體暴露量表(表單 9)，其表單內容如下所示：

表單 9 受體暴露量表(單位：mg/kg-day)



受體項目	暴露途徑		污染物項目				
一般民眾	食用海鮮	藻類					
		蝦貝類					
		魚類					
	食用水產	藻類					
		蝦貝類					
		魚類					
遊客	包含：誤食海水、 皮膚接觸海水、皮 膚接觸底泥	純戲水					
		釣魚					
		浮潛					
		遊艇					
		香蕉船					
		游泳					
職業漁夫	食用海鮮	藻類					
		蝦貝類					
		魚類					
	皮膚接觸海水及底泥						
水產養殖 用戶	食用水產	藻類					
		蝦貝類					
		魚類					
	皮膚接觸養殖水體及底泥						



● **步驟 10：將受體暴露量進行致癌、非致癌量化估算**

本步驟為分別將一般民眾、遊客、職業漁夫、水產養殖用戶之暴露量進行致癌、非致癌量化估算，公式與參數定義如下說明：

一. 致癌風險(CR)

$$CR = ADD \times CSF \quad (3-15)$$

參數	定義	單位
CR	致癌風險	—
ADD	每天平均暴露劑量 (註：其值可參閱表 9 估算之「暴露量」)	mg/kg-day
CSF	某一致癌物經由某一途徑之致癌斜率因子	1/(mg/kg-day)

二. 非致癌風險(HQ)

$$HQ = ADD/RfD \quad (3-16)$$

參數	定義	單位
HQ	非致癌風險	—
ADD	每天平均暴露劑量 (註：其值可參閱表 9 估算之「暴露量」)	mg/kg-day
RfD	某一物質經由某一途徑之參考劑量	mg/kg-day

● **本步驟執行內容：**

依照海域評估情境執行表(表單 5)，將已勾選的部分，估算其細項中所列之評估細項，並將估算的結果建立致癌、非致癌風險結果表(表單 10-1~10-8)，其表單內容如下所示：

表單 10-1 一般民眾致癌風險結果表

一般民眾-致癌風險							
暴露途徑		污染物項目				各途徑 總致癌 風險	貢獻 比例
食用 海鮮	藻類						
	蝦貝類						
	魚類						
食用 水產	藻類						
	蝦貝類						
	魚類						
污染物 總致癌風險							100%
貢獻比例						100%	

表單 10-2 遊客致癌風險結果表

遊客-致癌風險							
暴露途徑		污染物項目				各途徑 總致癌 風險	貢獻 比例
純戲水							
釣魚							
浮潛							
遊艇							
香蕉船							
游泳							
污染物 總致癌風險							100%
貢獻比例						100%	

表單 10-3 職業漁夫致癌風險結果表

職業漁夫-致癌風險							
暴露途徑		污染物項目				各途徑 總致癌 風險	貢獻 比例
食用 海鮮	藻類						
	蝦貝類						
	魚類						
皮膚接觸海水 及底泥							
污染物 總致癌風險							100%
貢獻比例						100%	

表單 10-4 水產養殖用戶致癌風險結果表

水產養殖用戶-致癌風險							
暴露途徑		污染物項目				各途徑 總致癌 風險	貢獻 比例
食用 水產	藻類						
	蝦貝類						
	魚類						
皮膚接觸 養殖水體 及底泥							
污染物 總致癌風險							100%
貢獻比例						100%	

表單 10-5 一般民眾非致癌風險結果表

一般民眾-非致癌風險							
暴露途徑		污染物項目				各途徑 總非致 癌風險	貢獻 比例
食用 海鮮	藻類						
	蝦貝類						
	魚類						
食用 水產	藻類						
	蝦貝類						
	魚類						
污染物 總非致癌風險							100%
貢獻比例						100%	

表單 10-6 遊客非致癌風險結果表

遊客-非致癌風險							
暴露途徑		污染物項目				各途徑 總非致 癌風險	貢獻 比例
純戲水							
釣魚							
浮潛							
遊艇							
香蕉船							
游泳							
污染物 總非致癌風險							100%
貢獻比例						100%	

表單 10-7 職業漁夫非致癌風險結果表

職業漁夫-非致癌風險								
暴露途徑		污染物項目					各途徑 總非致 癌風險	貢獻 比例
食用 海鮮	藻類							
	蝦貝類							
	魚類							
皮膚接觸海水 及底泥								
污染物 總非致癌風險							100%	
貢獻比例						100%		

表單 10-8 水產養殖用戶非致癌風險結果表

水產養殖用戶-非致癌風險								
暴露途徑		污染物項目					各途徑 總非致 癌風險	貢獻 比例
食用 水產	藻類							
	蝦貝類							
	魚類							
皮膚接觸 養殖水體 及底泥								
污染物 總非致癌風險							100%	
貢獻比例						100%		



● 步驟 11：風險值不確定性及敏感度分析探討

一. 不確定性分析

在風險評估過程中造成參數的不確定性或變異性、模式估算的假設值及誤差值等造成風險值具有不確定性，故需考量不確定性分析，才能計算出較準確的風險值。在進行不確定性分析前，須先了解不確定性來源有哪些，美國環保署出版的「暴露評估手冊」(Guidelines for Exposure Assessment)，將不確定性來源分成參數不確定性(Parameter Uncertainty)及模式不確定性(Model Uncertainty) (USEPA, 1992)。本研究主要探討為參數不確定性，參數包含環境參數及人體暴露參數，針對並非為定值之參數進行不確定性分析。由於海洋環境的分布型態及範圍資料缺乏，因此僅對養殖水體之環境參數進行分析。不確定性分析所採用的是蒙地卡羅分析法(monte carlo analysis)，建議重複計算次數採 1000 次，可得到較完整的結果。

二. 敏感度分析

進行不確定性分析後，將需進行不確定分析之參數作敏感度分析，可判斷哪個參數因子對整個風險為主要影響因子，並可得知其影響因子為正相關影響或負相關影響。

● 本步驟執行內容：

將風險計算過程之非定值的環境及暴露參數設為不確定性因子，進行風險值不確定性及敏感度分析，並將平均百分比 50% 及信賴百分比 95% 之風險值建立致癌及非致癌不確定性分析風險結果表(表單 11-1~11-4)，其表單內容如下所示：

表單 11-1 一般民眾不確定性分析風險結果

一般民眾不確定性分析風險結果							
致癌風險							
	食用海鮮			食用水產			總風險值
	藻類	蝦貝類	魚類	藻類	蝦貝類	魚類	
50%							
95%							
非致癌風險							
	食用海鮮			食用水產			總風險值
	藻類	蝦貝類	魚類	藻類	蝦貝類	魚類	
50%							
95%							

表單 11-2 遊客不確定性分析風險結果

遊客不確定性分析風險結果							
致癌風險							
	純戲水	釣魚	浮潛	遊艇	香蕉船	游泳	總風險值
50%							
95%							
非致癌風險							
	純戲水	釣魚	浮潛	香蕉船	游泳	游泳	總風險值
50%							
95%							

表單 11-3 職業漁夫不確定性分析風險結果

職業漁夫不確定性分析風險結果						
致癌風險						
	食用海鮮			皮膚接觸 海水及底泥	總風險值	
	藻類	蝦貝類	魚類			
50%						
95%						
非致癌風險						
	食用海鮮			皮膚接觸 海水及底泥	總風險值	
	藻類	蝦貝類	魚類			
50%						
95%						

表單 11-4 水產養殖用戶不確定性分析風險結果

水產養殖用戶不確定性分析風險結果						
致癌風險						
	食用水產			皮膚接觸 養殖水體及底泥		總風險值
	藻類	蝦貝類	魚類			
50%						
95%						
非致癌風險						
	食用水產			皮膚接觸 養殖水體及底泥		總風險值
	藻類	蝦貝類	魚類			
50%						
95%						



● **步驟 12：根據風險結果進行管理措施**

致癌風險部分，百萬分之一(10^{-6})之致癌機率是大眾可以接受的致癌風險機率；而在職場中的致癌風險可接受風險機率為千分之一(10^{-3})(勞衛所, 2003)。故本研究以上述為判定依據，對於一般民眾及遊客的致癌風險值結果大於等於 10^{-6} 之致癌機率，職業漁夫及養殖用戶大於等於 10^{-3} 之致癌機率皆需進行風險管理措施。

非致癌風險部分，當該物質對受體的 HQ 大於 1 時，即表示該污染物可能對受體造成影響，將各途徑中所有非致癌之 HQ 相加，可得到總非致癌危害商數(HI)。HI 的值越大，表示對暴露受體的影響越大。本研究以上述為判定依據，對於各受體之 HQ 值大於 1 時，皆需進行風險管理措施。

● **本步驟執行內容**

將風險結果進行上述之風險管理判定，如需進行風險管理措施者，須建立風險管理表(表單 12)，並透過控管方式降低風險，以減少對環境及人體的危害，其表單內容如下所示：

表單 12 風險管理表

控管細項	採用勾選	採取措施後 致癌風險	採取措施後 非致癌風險
降低污染物排放量及排放濃度			
針對污染物排放量高的製程或設備進行改善			



3.3 海洋健康風險評估方法之限制與困難點

本研究所建立的海洋健康風險評估方法，整體架構為針對單一污染源排放放流水到海域前所進行的評估方法。而方法中主要透過假設與模式推估，以量化污染排放對人體的健康衝擊影響，因此評估內容中有部分階段具有研究限制與困難點，分別在以下說明：

一、 設定海域暴露情境階段

本研究在設定海洋環境介質之海鮮及水產部分，僅以藻類、蝦貝類、魚類進行評估，然而，我們所食用的海鮮及水產物種繁多，各物種對於污染物亦有不同的蓄積情況。由於物種過於繁多，加上各物種在各污染物的生物累積因子(BCF,BSAF)資料有限，並無法針對每一個物種分別進行濃度推估，因此本研究僅以食物鏈中之各生物階層分別進行估算，以量化及呈現不同食物鏈階層下之食用風險評估。此外，由於魚類屬於活動範圍較大的物種，實際暴露情況可能並非只在污染區域內活動，對於此部分，研究中難以去量化及呈現魚類習性和可能的活動範圍，因此僅能假設近海之魚類皆暴露在此污染範圍內，屬於較保守的估算。

二、 海洋模式模擬階段

模式中所需的輸入資料包含海洋環境中的參數，相對於其他輸入資料，參數取得較為缺乏，比如海底地形資料，大部分為尺度及解析度較大的海底地形資料，較少有區域性近海範圍的資料。對於海洋環境參數的缺乏，皆會影響到模式模擬的準確性，因此建議我國應建立台灣各區域的海域參數資料庫，才能更精確評估海洋環境。

三、 不確定性分析階段

本研究主要探討為參數不確定性，參數包含環境參數及人體暴露參數。環境參數中包含海洋環境及養殖環境兩部分的環境參數，而海洋環境相當複雜且資料缺乏，難以取得其參數的分布型態及範圍，因此無法進行不確定性分析。而海域環境的不確定性分析會對於整個評估結果更加完整探討，對於此部分亦建議應對海域環境之參數作建置，才能更精確的評估海洋環境。

第四章 案例分析

本研究將海洋健康風險評估方法建構完成後，選擇某場址作為案例研究，並以該場址所排放的放流水作為評估範疇，依序進行所建構方法之步驟分析。在場址選定部分，主要是以目前台灣沿岸地區進行開發計畫之場址為優先選擇。本案例為 A 污染源，因其部分機組設備老舊，已達到需除役的階段，因此擬增建新的機組設備，而本研究將模擬 A 污染源在新的機組設備及既有的機組運作下，所排放放流水到海域的健康風險評估。可透過此案例分析將所建立之評估方法作應用，提供我國進行沿岸地區之開發計畫作為參考依據。

4.1 污染源特徵描述

● 步驟 1：盤查污染源排放項目

A 污染源之廢污水主要為生活用水及製程用水中所產生的廢水，其中以製程用水的用水比例最高(90~95%)，所產生的廢水量也較高。將 A 污染源之放流水排放項目進行盤查，放流水中主要監測的污染物包含砷、汞、鉻、鎘、銅、鎳、鉛、錳、鋅、銻、硒、鈷、鉍，經盤查後建立 A 污染源排放項目表，以進行後續步驟中人體健康危害之化學物質討論，如表 4-1 所示。

表 4-1 A 污染源排放項目表

污染源：A 污染源	
污染物種類	污染物項目
重金屬類	汞(Hg)
	鉻(Cr)
	鎘(Cd)
	銅(Cu)
	鎳(Ni)
	鉛(Pb)
	錳(Mn)
	鋅(Zn)
	銻(Sb)
	鈷(Co)
金屬類	鈹(Be)
非金屬類	砷(As)
	硒(Se)

● 步驟 2：判定需進行評估之污染物

將 A 污染源所排放之十三項污染物進行原則一、原則二、原則三之污染物判定。A 污染源所排放的海域隸屬高雄港沿海海域，符合原則一之高雄港沿海海域環境監測項目中所列的污染物包含鎘、鉻、銅、鋅、鉛、汞；符合原則二之海洋放流管線放流水標準中所列的污染物包含砷、鎘、鉻、銅、鉛、汞、鋅、鎳；符合原則三之健康風險評估技術規範所規範的污染物包含砷、汞、鉻、鎘、銅、鎳、鉛、錳、鋅、銻、硒、鈷、鈹。依上述原則進行判定，本案例需進行評估之危害污染物為砷、汞、鉻、鎘、銅、鎳、鉛、錳、鋅、銻、硒、鈷、鈹共計 13 項污染物，並將結果建立 A 污染源污染物判定表，如表 4-2 所示。

表 4-2 A 污染源污染物判定表

污染物項目	符合判定勾選					勾選需評估 污染物
	原則一	原則二	原則三			
			第一項	第二項	第三項	
砷(As)		*	*	*	*	✓
汞(Hg)	*	*	*	*	*	✓
鉻(Cr)	*	*	*	*	*	✓
鎘(Cd)	*	*	*	*	*	✓
銅(Cu)	*	*	*	*	*	✓
鎳(Ni)		*	*	*	*	✓
鉛(Pb)	*	*	*	*	*	✓
錳(Mn)			*	*	*	✓
鋅(Zn)	*	*	*	*	*	✓
銻(Sb)			*	*	*	✓
硒(Se)			*		*	✓
鈷(Co)			*	*	*	✓
鉍(Be)			*		*	✓

● 步驟 3：建立危害性化學物質鑑定表

A 污染源放流水中判定需進行風險評估之危害污染物共有十三項，包含砷、汞、鉻、鎘、銅、鎳、鉛、錳、鋅、銻、硒、鈷、鉍。依照危害性化學物質鑑定表所規範之內容，將上述危害物質之基本資料、物質特性、排放相關資料、暴露途徑、人體及動物毒性研究等項目分別整理於表 4-3 至表 4-15。

表 4-3 砷危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：砷(Arsenic)	
2. 別名：Arsen, Arsenic-75, Arsenia, Colloidal Arsenia, Arseniaals, Gray Arsenic, Arsenic Black, Arseniclas, Arsenic Solid, Colloidal Arsenic	
3. 分子式：As	4. 化學註冊號碼：7440-38-2
(二) 物化性質	
1. 分子量：74.9216	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：613°C	6. 溶解度：溶於硝酸，不溶於水
3. 熔點：817°C(28 atm)	7. 蒸氣密度：2.6
4. 密度及比重：5.727(14°C 以下)	8. 蒸氣壓：0 mmHg
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：15 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚或粘膜滲透吸收	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：將導致皮膚癌、膀胱癌、肝癌、腎癌、肺癌增加機率，在陰囊、腎部、腹部、鎖骨、下胸部，亦可能致癌	
2. 非致癌毒性摘要：對於皮膚、神經系統、肝及腎功能造成影響	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：砷的單獨致癌性並不強，會與其他致癌物反應誘發腫瘤形成	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 砷會和酵素 DNA 聚合硫醇(Thiol)基鍵結，因而會影響 DNA 的修護	
(2) 以三價砷離子濃度 500 mg/kg 的穀類餵大白鼠 35 天，腦部機能會功能不良	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對動物致癌	

表 4-4 汞危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：汞(Mercury)	
2. 別名：Colloidal mercury, Liquid silver, Mercury, metallic, NCI-C60399, Quicksilver, Metallic mercury	
3. 分子式：Hg	4. 化學註冊號碼：7439-97-6
(二) 物化性質	
1. 分子量：200.59	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：356.72°C	6. 溶解度：0.00028 μ mole/l (25°C)
3. 熔點：-38.87°C	7. 蒸氣密度：7
4. 密度及比重：13.534 (25°C)	8. 蒸氣壓：0.002 mmHg(25°C)
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：26 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實汞造成人體致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 急性吸入汞蒸氣會導致胸部疼痛、呼吸困難、咳嗽、咳血、肺炎、甚至死亡	
(2) 直接接觸於金屬汞或汞蒸氣皆會造成接觸性皮膚炎	
(3) 對中樞神經有一定的損害程度，影響語言能力、聽力和視力	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對人體致癌性	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：動物實驗中，發現氯化汞及甲基汞會增加腫瘤的生成	
2. 非致癌毒性摘要：導致神經系統損壞	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對動物致癌性	

表 4-5 鉻危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：鉻(chromium)	
2. 別名：chromium coating quality balzers 0.7-3.5 mm, ChromiumchipsNmmthick 99,99%, Chromium crystallites (99.99%), ChromiumpelletsNmm; ChromiumflakesNmmanddown, ChromiumpowderNmesh, Chromiumlumpelectrolytic, Chromium chips (99.8%), Chromium pellets(99.7%), Chromium flakes(99.3%), Chromium(III), Chromium solution 1000 ppm, Chromium solution 10 000 ppm, Chrome	
3. 分子式：Cr	4. 化學註冊號碼：7440-47-3
(二) 物化性質	
1. 分子量：52	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：2672°C	6. 溶解度：不溶於水、硝酸和王水，溶於稀硫酸和氫氯酸
3. 熔點：1907°C	7. 蒸氣密度：/
4. 密度及比重：7.14	8. 蒸氣壓：1 mmHg(1616°C)
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：20 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：	
(1) 喝下含有六價鉻的水會增加胃癌的發生機會	
(2) 長期暴露六價格，會增加肺癌的發生機會	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 吸入高濃度的六價鉻會造成鼻粘膜疼痛、鼻塞、流鼻水及呼吸問題	
(2) 皮膚接觸到六價鉻會造成潰瘍及紅腫與皮膚過敏症狀	
(3) 攝入高劑量六價鉻會導致腎臟和肝臟的損傷、胃潰瘍、痙攣甚至死亡	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對人體致癌(六價鉻)	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：生成胃部腫瘤機會增加	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 暴露於六價鉻後會造成雄性精子與生殖系統損傷	
(2) 暴露於六價鉻的動物對生長發育有影響	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對動物致癌(六價鉻)	

表 4-6 鎘危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：鎘(Cadmium)	
2. 別名：C I 77180, Colloidal cadmium	
3. 分子式：Cd	4. 化學註冊號碼：7440-43-9
(二) 物化性質	
1. 分子量：112.41	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：765 °C	6. 溶解度：不溶於水，溶於酸、硝酸
3. 熔點：321°C	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：8.65(25°C)	8. 蒸氣壓：1Pa (257°C)
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：6 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：針對鎘污染作業場所的一些研究指出肺癌和前列腺癌的危險性增加，但非職業性暴露族群並沒有類似的發現	
2. 非致癌毒性摘要： (1) 長暴露時間及高濃度下，尿液及血液中含有鎘含量高，並有腎小管障礙狀況 (2) 長期暴露會累積在腎臟中，導致腎功能不正常及骨質軟化症狀 (3) 吸入鎘氣會造成支氣管炎、肺炎、肺水腫，致死率為 20%	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：在動物實驗上，造成肺癌及睪丸癌	
2. 非致癌毒性摘要： (1) 大白鼠實驗發現，白鼠的腎小管有壞死的狀況 (2) 將金屬物(含鎘)植入實驗兔眼中，眼睛有嚴重化膿及白內障情況	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對動物致癌	

表 4-7 銅危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：銅(copper)	
2. 別名：1721 GOLD, ALLBRI NATURAL COPPER, ANAC 110, ARWOOD COPPER, BRONZE POWDER, CDA 101, CDA 102, CDA 110, CDA 122, CI 77400, CI PIGMENT METAL 2, COPPER BRONZE, COPPER M 1, COPPER POWDER, COPPER SLAG-AIRBORNE, COPPER SLAG-MILLED, COPPER-AIRBORNE, COPPER-MILLED, CU M3, GOLD BRONZE, KAFAR COPPER, M 1, M 3, M 4, M1 (COPPER), M2 (COPPER), M3 (COPPER), M3R, M3S, M4 (COPPER), OFHC CU, RANEY COPPER	
3. 分子式：Cu	4. 化學註冊號碼：7440-50-8
(二) 物化性質	
1. 分子量：63.546	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：2567-2595°C	6. 溶解度：不溶於水中，可溶於硝酸
3. 熔點：1,083°C	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：8.94	8. 蒸氣壓：1,628°C 時為 1 mm Hg
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：30 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實銅造成人體致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 攝入低劑量 250 mg 硫酸銅通常會導致迅速的胃腸道刺激作用及伴隨而來的嘔吐，也可能造成肝臟及腎臟傷害	
(2) 由空氣中吸入銅微粒或煙霧可能造成化學性肺炎及灼傷而導致全身性中毒	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對人體致癌性	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實銅造成實驗動物致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 投予銅避孕器 (IUDs)的猴子及對照組猴子作比較，發現實驗組猴子肝臟及腎臟會存積高劑量銅	
(2) 河口蛤(estuarine clam)暴露在 300µg/l 銅 96 小時，結果發現實驗組蛤體內胡蘿蔔素類增加，乳酸也增加，而肝醣濃度則減少	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對動物致癌性	

表 4-8 鎳危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：鎳(Nickel)	
2. 別名：Carbonyl nickel powder, Nickel 200, Nickel 201, Nickel 205, Nickel 207	
3. 分子式：Ni	4. 化學註冊號碼：7440-02-0
(二) 物化性質	
1. 分子量：58.7	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：2730℃	6. 溶解度：不溶於水、氨，溶於稀硝酸
3. 熔點：1455℃	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：8.90	8. 蒸氣壓：1mmHg(1810℃)
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：25 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：亞硫酸鎳及其氧化物之人類致癌證據充分，金屬鎳及鎳合金其氧化物之人類致癌證據則為不足，暴露到鎳粉塵會導致肺癌及鼻癌	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 鎳會引起接觸性皮膚炎，症狀包含濕疹	
(2) 暴露鎳及其化合物可能引起過敏性皮膚炎、氣喘、鼻腔炎及肺炎	
(3) 影響生殖能力	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 2B 物質，可能對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實鉛造成實驗動物致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 大白鼠暴露在含 99% 鎳粉、濃度 15 L/min 空氣中，每天六小時，每週暴露四~五天，發現牙槽骨結構和細支氣管上皮組織有不正常增生情況	
(2) 將鎳粉溶於飲用水並餵食懷孕中的大白鼠，發現其胎兒有畸形情況。鎳可能會影響母體的激素平衡，並影響著床前胚胎的發育，進而進入胎兒體內，而存活下的胚胎會導致不同類型的畸形	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 2B 物質，可能對動物致癌	

表 4-9 鉛危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：鉛(Lead)	
2. 別名：C.I. 77575, C.I. Pigment Metal 4, LeadingotN, LeadrodNmmdiacagcm, LeadwireNmmdiacagm, Leadpowdermesh, Leadsticks, Leadshot, LeadgranulesNmm, LeadpowderNmesh, LeadgranulesNmesh, Lead ingot (99.9995%) 5N5, Lead with added impurities (trace elements), Lead rod (99.999%) 5N, Refined pure lead (O), Electrolytically refined lead (trace elements), Thermally refined lead (trace elements), Lead rod (99.9999%) 6N, Lead wire (99.9995%) 5N5, Lead metal foil, Lead metal powder, Lead ribbon, Lead powder, lead(2+)	
3. 分子式：Pb	4. 化學註冊號碼：7439-92-1
(二) 物化性質	
1. 分子量：207.2	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：1740°C	6. 溶解度：不溶於水
3. 熔點：327.4°C	7. 蒸氣密度：7.14
4. 密度及比重：11.34	8. 蒸氣壓：~0 mmHg
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：61 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實鉛造成人體致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 長期暴露下，對於神經系統有受損情況	
(2) 對生殖及懷孕的影響，鉛使男性精蟲數量及活動量減少，導致不孕症	
(3) 對兒童會造成嚴重貧血、血色素形成減少、中樞神經及腎病變等症狀	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 2B 物質，可能對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：在動物實驗上，鉛可導致腎腫瘤的增加率	
2. 非致癌毒性摘要：在實驗動物中發現，若體內鉛含量較高，會降低免疫球蛋白白細胞的產生，進而影響到體內的免疫機制	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 2B 物質，可能對動物致癌	

表 4-10 錳危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：錳(Manganese)	
2. 別名：COLLOIDAL MANGANESE, CUTAVAL, MANGAN(POLISH)	
3. 分子式：Mn	4. 化學註冊號碼：7439-96-5
(二) 物化性質	
1. 分子量：54.938	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：1,962°C	6. 溶解度：可穩定溶於稀的無機酸中
3. 熔點：1,244°C 或 -3°C	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：7.43 (g/cc, 300K)	8. 蒸氣壓：在 1,292°C 時為 1 mm-Hg
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：417 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實錳造成人體致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 高劑量錳增加貧血的可能性	
(2) 慢性錳中毒會造成中樞神經系統病變	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對人體致癌性	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實錳造成動物致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：投予錳微粒或含錳化合物溶液會導致急性肺炎，包含肺泡壁及肺泡的上皮細胞脫落，並有廣泛單核細胞入侵現象	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對動物致癌性	

表 4-11 鋅危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：鋅(Zinc)	
2. 別名：65ZN, BUTTER OF ZINC, CLAYZIC, 'LGC' (2611), MARSCH REAGENT, PLATING SOLUTION Z-100ENC, RIEKE(R) ZINC, ZINC, ZINC-65, ZINC AA/ICP CALIBRATION/CHECK STANDARD, ZINC AA SINGLE ELEMENT STANDARD, ZINC, AAS STANDARD SOLUTION, ZINC AA STANDARD, ZINC, ANALYTICAL STANDARD, Zinc ashes, ZINC ATOMIC ABSORPTION SINGLE ELEMENT STANDARD, ZINC ATOMIC ABSORPTION STANDARD, ZINC ATOMIC ABSORPTION STANDARD SOLUTION, ZINC ATOMIC SPECTROSCOPY STANDARD, ZINC CHLORIDE	
3. 分子式：Zn	4. 化學註冊號碼：7440-66-6
(二) 物化性質	
1. 分子量：65.39	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：907°C	6. 溶解度：不溶於水
3. 熔點：420°C	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：7.14	8. 蒸氣壓：1 mm Hg (487 °C)
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：330 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實鋅造成人體致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：無毒性特徵，鋅為人類每日必須營養元素，維持健康、生長之必要元素。若鋅含量不足則會導致皮膚炎、腹瀉、掉髮、免疫與神經系統受損	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實鋅造成動物致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：導致動物生育能力下降，使胚胎神經系統受損、畸形	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對動物致癌	

表 4-12 銻危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：銻(Antimony)	
2. 別名：ANTIMONY BLACK, ANTIMONY, REGULUS, ANTYMON (POLISH), CI 77050, REGULUS OF ANTIMONY, STIBIUM	
3. 分子式：Sb	4. 化學註冊號碼：7440-36-0
(二) 物化性質	
1. 分子量：121.75	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：1635℃	6. 溶解度：不溶於水，溶於濃硫酸
3. 熔點：630℃	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：6.691(20℃)	8. 蒸氣壓：886℃時為 1 mm-Hg
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：36 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實銻造成人體致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：接觸或吸入銻之氣體或微粒，可引發皮膚病，皮膚角質化，結膜炎及鼻中隔潰瘍。	
3. 致癌證據：IARC 尚為歸類為致癌性物質	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實銻造成動物致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：長時間吸入低濃度的銻會造成動物眼睛發炎、掉髮、肺部損傷及心臟方面的問題，同時也會影響動物的生殖能力	
3. 致癌證據：IARC 尚為歸類為致癌性物質	

表 4-13 硒危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：硒 (Selenium)	
2. 別名：CI 77805, ELEMENTAL SELENIUM, SELEN (POLISH), SELENIUM (COLLOIDAL), SELENIUM ALLOY, SELENIUM BASE, SELENIUM DUST, SELENIUM ELEMENTAL, SELENIUM HOMOPOLYMER, CASWELL NO. 732, EPA Pesticide Chemical Code 072001, Gray selenium	
3. 分子式：Se	4. 化學註冊號碼：7782-49-2
(二) 物化性質	
1. 分子量：78.96 ± 3	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：690°C	6. 溶解度：不溶於水，可溶於硫酸
3. 熔點：170-217°C	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：4.26-4.81	8. 蒸氣壓：20°C 時大於 0.001 mm Hg
(三) 排放來源及排放濃度	
3. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
4. 排放濃度：56 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實硒造成人體致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 會導致黏膜刺激作用，打噴嚏，咳嗽及眼睛變紅	
(2) 高濃度暴露則出現呼吸困難及額頭疼痛	
(3) 長期暴露可能引起臉色蒼白，舌頭蓋上一層薄膜，胃部不適、神經緊張	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：無明顯證據證實硒造成動物致癌反應	
2. 非致癌毒性摘要：導致動物生長發育遲緩、生育能力下降，及胎兒在母體中有畸形的情況	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 3 物質，無法判斷對動物致癌	

表 4-14 鈷危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：鈷(Cobalt)	
2. 別名：Kobalt, NCI-C60311, CI77320	
3. 分子式：Co	4. 化學註冊號碼：7440-48-4
(二) 物化性質	
1. 分子量：58.9332	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：2870°C	6. 溶解度：可溶於稀硝酸、鹽酸、硫酸，不溶於水
3. 熔點：1493°C	7. 蒸氣密度：無
4. 密度及比重：8.92 (20°C)	8. 蒸氣壓：0mmHg (20°C)
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：15 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：暴露高濃度的鈷輻射會導致基因病變，可能導致癌症，目前又研究顯示會導致肺癌。	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 長期暴露下會導致咳嗽、哮喘與呼吸短促，嚴重的有肺部浸潤與纖維化的現象，皮膚接觸會導致發疹現象	
(2) 攝食高劑量會導致肺部及心臟疾病	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 2B 物質，可能對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：具雜質的鈷或當鈷直接進入動物肌肉或皮膚內會導致癌症	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 注入實驗兔的眼睛中，會有膿產生並累積成晶狀體	
(2) 實驗動物暴露高濃度鈷會對肝臟和腎臟影響	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 2B 物質，可能對動物致癌	

表 4-15 鈹危害性鑑定表

(一) 物質辨識	
1. 名稱：鈹(Beryllium)	
2. 別名：Beryllium Metallic, Beryllium-9, Glucinium, Glucinum, Beryllium Dust, Beryllium, Metal Powder	
3. 分子式：Be	4. 化學註冊號碼：7440-41-7
(二) 物化性質	
1. 分子量：4	5. 辛醇與水之分配係數：無
2. 沸點：2,970°C	6. 溶解度：不溶於冷水、水銀、硝酸，略溶於熱水，溶於稀釋的酸及鹼
3. 熔點：1,287°C	7. 蒸氣密度：0.31
4. 密度及比重：1.85 (20°C)	8. 蒸氣壓：10mm-Hg (1,860°C)
(三) 排放來源及排放濃度	
1. 排放來源(製程或設備)：燃煤設備	
2. 排放濃度：5 ng/L	
(四) 可能暴露途徑	
食入、吸入、皮膚接觸	
(五) 人體健康危害	
1. 致癌毒性摘要：有研究顯示對人體會導致肺癌的發生機率	
2. 非致癌毒性摘要：	
(1) 暴露到較高濃度的鈹(>100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，會導致急性肺炎	
(2) 暴露到較低濃度的鈹，會導致慢性疾病，其疾病特徵是呼吸困難、咳嗽、肺功能降低，以及其他症狀，如：體重減輕	
(3) 刮傷或割傷的皮膚接觸到鈹，會造成紅疹或是潰瘍	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對人體致癌	
(六) 動物毒性研究	
1. 致癌毒性摘要：實驗大白鼠吸入鈹化合物，其暴露結果導致肺部肉芽腫	
2. 非致癌毒性摘要：狗飲食中含有鈹會造成腸胃潰瘍	
3. 致癌證據：IARC 列為 Group 1 物質，確定對動物致癌	



● 步驟 4：篩檢污染物是否具有生物累積潛勢

本案例需進行評估之危害污染物共計 13 項污染物，其中為重金屬之污染物為汞、鉻、鎘、銅、鎳、鉛、錳、鋅、銻、鈷。其中，砷雖非為金屬類，但其比重高達 5.7 且化學性質與一般重金屬相似，故通常被歸類在重金屬群中。由於許多沿海及河口地區亦因人為排放重金屬而導致食用污染的問題(Lim et al., 1995; Lee et al., 1996)，因此歸類為重金屬之污染物包含砷、汞、鉻、鎘、銅、鎳、鉛、錳、鋅、銻、鈷皆須進行食用風險評估。另外，硒、鉍二項污染物則依篩檢生物累積性流程圖(圖 3-2)進行篩檢判斷。

將硒進行分子量是否大於 1000 判斷，其分子量為 78.96 ± 3 ，並不符合分子量大於 1000，故須由主管機關或文獻資料佐證具有生物累積潛勢。美國環保署認定硒具有生物累積特性，尤其水生生物對硒有蓄積情況。亦有多篇文獻證實硒會在生物體內轉變成二甲基硒(dimethylselenide, DMSE)和二甲基二硒醚(dimethyldiselenide, DMDS_e)，並累積在生物體內(Saiki et al., 1993; Maier et al., 1994)。由上述的資料可以判定硒具有生物累積潛勢，故須進行食用風險評估。

鉍的分子量為 4，並不符合分子量大於 1000，故須由主管機關或文獻資料佐證具有生物累積潛勢。美國環保署尚無將鉍列為具生物累積特性之污染物；美國毒性物質與疾病登錄署(ATSDR)認為鉍比較不會累積在生物體內而透過食物鏈達到富集；我國環保署亦將鉍列為第二類毒性化學物質。鉍及其化合物由於不溶於水，導致可能會長期累積於環境，但無證據顯示鉍會累積於生物體內(SC Gad, 2014)。由上述的資料皆認為鉍可能不具有生物累積潛勢，故須進行 $\log K_{ow} \geq 4$ 及 $BCF \geq 500$ 判定。鉍在藻類 BCF 為 141、無脊椎動物為 45、魚類為 62 (USEPA, 1999)，對於水生生物體之 BCF 皆小於 500，可以判定鉍可能不具有生物累積潛勢，故不須進行食用風險評估。

本案例經篩檢需進行食用風險評估之污染物為砷、汞、鉻、鎘、銅、鎳、鉛、錳、鋅、銻、硒、鈷，並將結果建立 A 污染源食用風險污染物篩檢表，如表 4-16 所示。

表 4-16 A 污染源食用風險污染物篩檢表

污染物項目	具生物累積潛勢，需進行食用風險評估 (符合勾選)
砷(As)	✓
汞(Hg)	✓
鉻(Cr)	✓
鎘(Cd)	✓
銅(Cu)	✓
鎳(Ni)	✓
鉛(Pb)	✓
錳(Mn)	✓
鋅(Zn)	✓
銻(Sb)	✓
硒(Se)	✓
鈷(Co)	✓
鈹(Be)	

4.2 設定海域暴露情境

● 步驟 5：依照排放海域分類設定暴露情境

A 污染源之場址位於高雄市小港區，放流水所排放之海域為高雄港沿海海域，此海域範圍為高屏溪口向琉球嶼延伸至曾文溪口向西延伸線間海域，屬乙類海域水體。雖然 A 污染源所排放的海域附近皆是工業區，由於國土地狹人稠，並無明顯界定工業區及人民居住活動區，加上乙類海域並無規範不能捕撈漁獲及從事海上遊憩活動，人類活動在此區域的暴露行為可能進行捕撈及從事遊憩活動。根據乙類海域水體適用規範，適用於水產用水、工業用水及環境保育，故污染的環境介質包含海水、底泥、水產養殖水體、水產養殖水體之底泥、海鮮、水產。放流口排放的區域鄰近漁港，分別是鼓山、旗后、旗津、上竹里、中洲、前鎮、小港臨海新村等歸類為第二類漁港，屬於區域性(近海漁業)，故放流水排放對於上述漁港的漁獲可能會造成影響。

在設定海鮮及水產之細項部分，由於海藻主要分布於東北角、恆春半島、小琉球與澎湖等地，主要生產之縣市為宜蘭、彰化、雲林、嘉義、台南等地區，高雄市並非海藻生長及生產之地區，為符合實地情況，故本案例設定海鮮及水產之細項只對魚類及蝦貝類進行食用評估。

在設定遊憩活動之細項部分，由於排放海域鄰近工業區，以非直接接觸海水之遊憩活動為考量，將以本研究建立之乙類海域遊憩活動項目作為評估項目，分別是釣魚及遊艇。依上述的實地暴露情況，暴露族群區分為一般居民、遊客、職業漁夫、水產養殖用戶，分別進行暴露評估。

本案例之暴露情境設定除了依照本研究建立的乙類海域情境設定(章節 3-2)進行設定外，會對實地暴露的情況進行了解，以更符合實地風險的暴露情況。將上述的暴露情況及乙類海域情境設定作細部整理，建立 A 污染源海域評估情境執行表，如表 4-17 所示，以進行後續步驟中環境介質濃度、受體暴露量、海洋風險值等評估項目之估算。

表 4-17 A 污染源海域評估情境執行表



評估項目	評估項目填寫及勾選		列出細項
海域名稱	高雄港沿海海域		
海域範圍	鼻頭角向彭佳嶼延伸至高屏溪口向琉球嶼延伸線間海域		
	高屏溪口向琉球嶼延伸至曾文溪口向西延伸線間海域		✓
	曾文溪口向西延伸線至王功漁港向西延伸線間海域		
	王功漁港向西延伸線至鼻頭角向彭佳嶼延伸線間海域		
	澎湖群島海域		
海域分類 (甲或乙類)	乙類		
估算海洋環境 介質中濃度 (步驟 8)	海水		✓
	底泥		✓
	水產養殖水體		✓
	水產養殖水體之底泥		✓
	海鮮 (蝦貝類及魚類)		✓
	水產 (蝦貝類及魚類)		✓
估算 受體暴露量 (步驟 9)	一般民眾	食用海鮮	✓
		食用水產	✓
	遊客	誤食海水	✓
		皮膚接觸海水及底泥	✓
	職業漁夫	食用海鮮	✓
		皮膚接觸海水及底泥	✓
	水產養殖 用戶	食用水產	✓
		皮膚接觸養殖水體及底泥	✓
估算 海洋風險值 (步驟 10)	一般民眾	食用海鮮	✓
		食用水產	✓
	遊客	誤食海水	✓
		皮膚接觸海水及底泥	✓
	職業漁夫	食用海鮮	✓
		皮膚接觸海水及底泥	✓
	水產養殖 用戶	食用水產	✓
		皮膚接觸養殖水體及底泥	✓



4.3 海洋模式模擬

● 步驟 6：選擇評估模式(水理、水質模式)

本案例除了選擇海洋模式進行數值模擬外，由於進行後續風險估算會將估算濃度平均化處理並以機率方式呈現，故本研究將透過案例分析將稀釋估算與海洋模式兩種方式對於污染物擴散濃度結果進行比較。

本案例模擬之海洋模式為 MIKE 21 系列模式，此模式已被運用在我國的海域環境模擬，皆具有相當的模擬成效(郭, 2010; 陳, 2013)。本案例先由水理模式(MIKE 21 HD)進行水體環境中潮汐漲退之水理影響，再由水質模式(MIKE 21 AD)進行水體環境中傳輸擴散之水理影響，其模式簡介說明如下：

一. 水理模式(MIKE 21 HD)

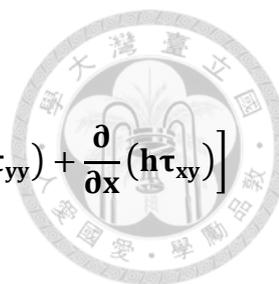
MIKE 21 HD 為丹麥水工研究所(Daitish Hydraulic Institute)所發展之水力計算模式(The Hydrodynamic Model)，其主要功能為模擬計算海域之潮汐變化、潮流、暴潮及近岸地區沿岸流，適用於河口、海灣及近海區之海域及感潮段模擬。因放流水自排放口稀釋混合於海域水體，受到潮汐漲退影響其擴散情況，故由 MIKE 21 HD 先模擬區域之水理流況進行分析，以作為水質模式之輸入資料及參數條件進行模擬。MIKE 21 HD 數值方程式為利用模型的二維有限差分 ADI 方法對連續方程式和運動方程式求解，可以計算海域潮汐、海流、漩渦、水面波動、潰壩、海嘯等各種水力現象之對流、擴散的流場分佈情況。模式主要控制方程式為連續方程式(contiunity equation)及 X 和 Y 方向運動方程式(momentum equation)，其中假設流體密度為不可壓縮，並忽略水深方向流速、流向之變化，其控制方程式表示如下：

(一) 連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial x} = I - e \quad (4-1)$$

(二) X 方向運動方程式

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p^2}{h} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{pq}{h} \right] + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - f \cdot VV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (Pa) = 0 \quad (4-2)$$



(三) Y 方向運動方程式

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{q^2}{h} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{pq}{h} \right] + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega p - f \cdot VV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (\text{Pa}) = 0 \quad (4-3)$$

參數	定義	單位	參數	定義	單位
$\zeta(x, y, t)$	水位變化	m	I	單位平面 Source 的大小	$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$
$h(x, y, t)$	水深	m	e	蒸發率	m/s
$p(x, y, t)$	x 方向流束密度	$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$	g	重力加速度	m/s^2
$q(x, y, t)$	y 方向流束密度	$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$	ρ_w	水體密度	kg/m^3
$C(x, y, t)$	底床阻力係數	$\text{m}^{1/2}/\text{s}$	Ω	科氏力係數	S^{-1}
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	有效剪應力項	—	f	風摩擦係數	—
V, V_x, V_y	風速及其 x, y 方向分量	m/s	Pa	壓力梯度	$\text{kg}/\text{m}/\text{s}^2$
u, v	x, y 方向速度	m/s			

二. 水質模式(MIKE 21 AD)

MIKE 21 AD 用來描述水體中傳輸及擴散的形式，主要考慮水體對流及延散兩項物理機制。其中對流項為水流對物質傳輸的影響；延散項表示物質於水中受剪力流、亂流、分子濃度擴散的影響。模式主要控制方程式為傳輸擴散方程式，其控制方程式表示如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \mathbf{V} \cdot \frac{\partial C}{\partial y} = \mathbf{D}_x \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \mathbf{D}_y \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (4-4)$$

參數	定義	單位
C	擴散物質濃度	mg/L
u, V	x, y 方向速度	m/s
D_x, D_y	x, y 方向擴散係數	m^2/s

● **步驟 7：收集模式所需資料並進行模擬(水理、水質模式)**

海洋模式模擬部分，其模式設定包含地形條件、模擬範圍與邊界條件、模擬時間、輸入條件等項目，如表 4-18 所示。模擬結果顯示若較接近沿岸之區域，由於水流動性較差且較靠近污染源注入點，濃度值會較高。本研究將模擬的數值作平均濃度計算，各項污染物的初始排放濃度及平均濃度值，如圖 4-1 所示。

稀釋估算部分，估算方法為海域體積與總放流量相除可求得稀釋倍數，由排放濃度除以稀釋倍數求得受體暴露濃度(Angerville et al., 2005)。經由計算後求得稀釋倍數約為 179 倍，各項污染物之稀釋估算結果，如圖 4-1 所示。

比較模式模擬及稀釋估算兩種方法，由於稀釋估算是較粗略的計算方式，僅假設水體能完全將污染物達到稀釋效果，並無考量海域的潮汐推移作用，因此估算出來的數值會比較低，且與模式模擬值相差約 10 倍。因污染物在水體的濃度與風險呈正比關係，由此可以推估兩種方法所估算出的風險將相差 10 倍。因此本研究認為稀釋估算方法雖然在估算污染物濃度時與模式模擬無太大的差異，但對於估算風險可能有較低的情況且判定風險管理措施時會有所影響。

表 4-18 海洋模式設定細項(MIKE 21)

地形條件	<ul style="list-style-type: none"> ● 資料來源：NOAA 及 NCOR 近海域水深量測資料 ● 高程系統：高雄港築港高程系統 ● 高程系統基準：各地之平均海平面 ● 平面座標系統：TWD67 座標。
模擬範圍與邊界條件	<ul style="list-style-type: none"> ● 網格最小尺度 20 m，巢狀網格佈置 ● 總邊界：約 14 公里× 6 公里之矩形範圍
模擬時間	<ul style="list-style-type: none"> ● 模擬時間：根據潮汐流況的特性
其他輸入資料	<ul style="list-style-type: none"> ● 風力資料：高雄港實測風速風向值 ● 初始水位輸入：高雄港平均潮位 ● 海域平均深度：-20 m

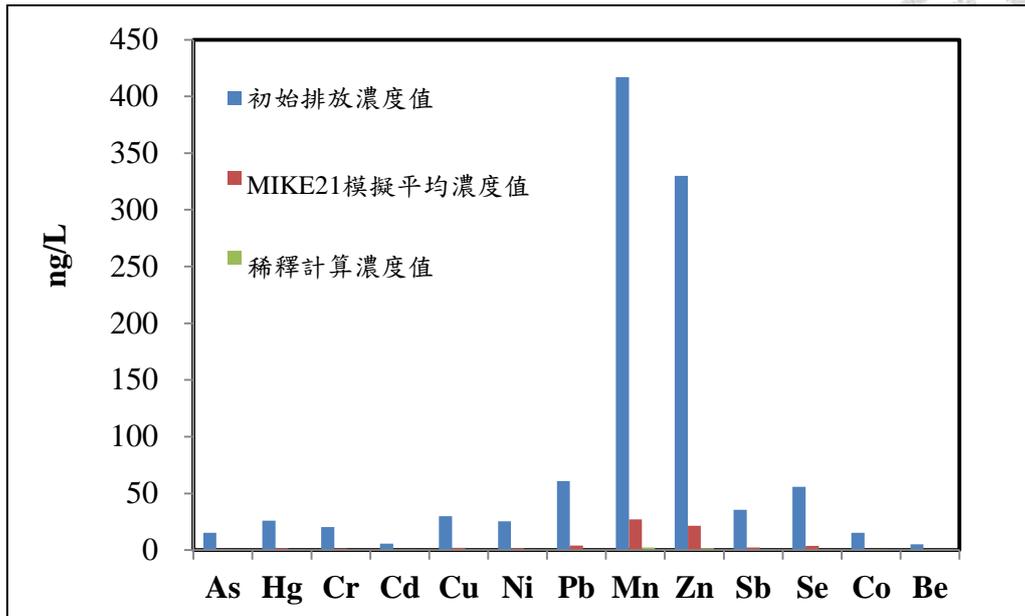


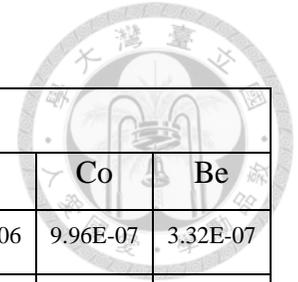
圖 4-1 A 污染源模式模擬結果

4.4 估算海洋環境介質濃度

● 步驟 8：分別估算污染物在海洋環境介質中濃度

本案例經由海洋模式及環境介質公式估算出各污染物在不同環境介質中的濃度，如表 4-19 所示。由結果中可以發現生物因長期暴露在水體及底泥環境中，透過生物累積因子(BCF)及生物-底泥累積係數(BSAF)以推估污染物在生物體內的濃度，而污染物在蝦貝類及魚類中的濃度皆比水體及底泥中的濃度高，由此可反應出污染物在生物體內具有生物累積作用。單以環境中的蓄積量，大部分污染物在蝦貝類的蓄積量比在魚類來的高，可能與棲身在固定環境中有關；對於重金屬類的污染物，與蝦貝類具有蓄積各種重金屬的能力(Woodwell, 1967)有關，其中又以軟體動物中的雙殼貝類更能從環境中濃縮重金屬(Windom et al., 1972)。

表 4-19 A 污染源海洋環境介質濃度表



環境介質		單位	污染物項目												
			As	Hg	Cr	Cd	Cu	Ni	Pb	Mn	Zn	Sb	Se	Co	Be
海水		mg/L	9.96E-07	1.69E-06	1.33E-06	3.65E-07	1.96E-06	1.66E-06	3.98E-06	2.72E-05	2.16E-05	2.32E-06	3.65E-06	9.96E-07	3.32E-07
底泥		mg/kg	2.89E-05	5.18E-03	2.52E-05	2.74E-05	6.87E-05	1.08E-04	3.65E-03	1.77E-03	1.34E-03	1.05E-04	1.83E-05	4.49E-05	2.66E-04
養殖水體		mg/L	9.12E-07	1.53E-06	1.23E-06	3.29E-07	1.79E-06	1.50E-06	3.60E-06	2.46E-05	1.95E-05	2.11E-06	3.52E-06	9.04E-07	2.99E-07
養殖底泥		mg/kg	2.64E-05	4.59E-03	2.34E-05	2.47E-05	6.26E-05	9.73E-05	3.24E-03	1.60E-03	1.21E-03	9.49E-05	1.76E-05	4.07E-05	2.36E-04
海 鮮	蝦貝	mg/kg	8.18E-05	9.40E-02	3.99E-03	1.30E-03	7.30E-03	8.06E-05	2.10E-02	3.06E+00	9.90E-02	4.94E-05	4.61E-03	8.33E-02	-
	魚		1.14E-04	1.89E-02	2.52E-05	3.31E-04	1.39E-03	1.29E-04	3.59E-07	8.71E-05	4.44E-02	9.29E-05	4.71E-04	3.15E-06	-
水 產	蝦貝	mg/kg	7.49E-05	8.50E-02	3.69E-03	1.17E-03	6.66E-03	7.27E-05	1.89E-02	2.76E+00	8.94E-02	4.48E-05	4.45E-03	7.56E-02	-
	魚		1.04E-04	1.71E-02	2.34E-05	2.98E-04	1.27E-03	1.17E-04	3.24E-07	7.86E-05	4.01E-02	8.43E-05	4.54E-04	2.86E-06	-



4.5 暴露量化

● 步驟 9：分別估算受體的暴露量

本案例各暴露受體所估算的暴露量，如表 4-20 所示。各暴露受體之暴露量分別以下說明：

一. 一般民眾暴露量部分

暴露情境設定為暴露期間 30 年，食用蝦貝類頻率 42 day/yr，食用海水魚頻率 47 day/yr (行政院衛生署國民健康局,2006)。暴露估算結果為食用海鮮的暴露量比食用水產的暴露量高，主要原因跟海鮮蓄積污染物濃度及國人食用海鮮的攝取量和頻率比水產高有關；依物種區分的暴露量則以食用蝦貝類的暴露量比魚類暴露量高，主要原因為蝦貝類蓄積污染物的濃度比魚類高，而導致人體暴露量較高。

二. 遊客暴露量部分

暴露情境設定為每次活動 2 小時，每年 12 次的族群 (RWDI, 2005)。暴露估算結果為釣魚的暴露量較高。由於從事遊艇活動並不會誤食海水和皮膚接觸水體及底泥，故暴露量化結果為 0。

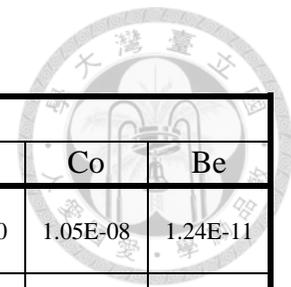
三. 職業漁夫暴露量部分

設定工作暴露期間 30 年，頻率 183 day/yr (漁業署, 2013)。暴露估算結果為食用暴露途徑之暴露量比皮膚接觸途徑高，原因與生物體蓄積污染物濃度比海水及底泥高有關；食用暴露量則以食用蝦貝類之暴露量較高，原因與蝦貝類蓄積污染物濃度較高有關。

四. 水產養殖用戶暴露量部分

設定工作暴露期間 30 年，頻率 303 day/yr。暴露估算結果為食用暴露途徑之暴露量比皮膚接觸途徑高，原因與生物體蓄積污染物濃度比養殖水體及底泥高有關；食用暴露量則以食用蝦貝類之暴露量較高，與蝦貝類蓄積污染物濃度較高有關。

表 4-20 A 污染源受體暴露量表(單位：mg/kg-day)



受體項目	暴露途徑		污染物項目												
			As	Hg	Cr	Cd	Cu	Ni	Pb	Mn	Zn	Sb	Se	Co	Be
一般民眾	食用海鮮	蝦貝	1.03E-11	1.18E-08	5.00E-10	1.63E-10	9.16E-10	1.01E-11	2.63E-09	3.84E-07	1.24E-08	6.19E-12	5.79E-10	1.05E-08	1.24E-11
		魚	2.75E-10	4.58E-08	6.11E-11	8.02E-10	3.37E-09	3.13E-10	8.68E-13	2.11E-10	1.08E-07	2.25E-10	1.14E-09	7.62E-12	4.98E-11
	食用水產	蝦貝	4.48E-12	5.07E-09	2.20E-10	6.98E-11	3.98E-10	4.34E-12	1.13E-09	1.65E-07	5.34E-09	2.67E-12	2.66E-10	4.51E-09	5.27E-12
		魚	5.06E-11	8.32E-09	1.14E-11	1.45E-10	6.18E-10	5.68E-11	1.58E-13	3.82E-11	1.95E-08	4.10E-11	2.21E-10	1.39E-12	9.02E-12
遊客	釣魚		1.50E-14	4.14E-14	3.93E-14	5.40E-15	2.92E-14	5.24E-15	1.74E-14	4.08E-13	1.95E-13	3.46E-14	5.40E-14	6.02E-15	5.74E-15
	遊艇		0.00E+00												
職業漁夫	食用海鮮	蝦貝	4.47E-11	5.14E-08	2.18E-09	7.09E-10	3.99E-09	4.41E-11	1.15E-08	1.67E-06	5.41E-08	2.70E-11	2.52E-09	4.56E-08	5.42E-11
		魚	1.07E-09	1.78E-07	2.38E-10	3.12E-09	1.31E-08	1.22E-09	3.38E-12	8.21E-10	4.19E-07	8.76E-10	4.44E-09	2.97E-11	1.94E-10
	皮膚接觸		4.40E-10	9.41E-10	1.17E-09	1.60E-10	8.62E-10	1.50E-10	3.15E-10	1.20E-08	5.73E-09	1.02E-09	1.60E-09	1.76E-10	1.56E-10
水產養殖用戶	食用水產	蝦貝	6.78E-11	7.69E-08	3.34E-09	1.06E-09	6.02E-09	6.58E-11	1.71E-08	2.49E-06	8.09E-08	4.05E-11	4.02E-09	6.84E-08	7.98E-11
		魚	7.66E-10	1.26E-07	1.72E-10	2.20E-09	9.36E-09	8.61E-10	2.39E-12	5.79E-10	2.96E-07	6.22E-10	3.35E-09	2.10E-11	1.37E-10
	皮膚接觸		6.67E-10	1.40E-09	1.79E-09	2.39E-10	1.30E-09	2.24E-10	4.67E-10	1.79E-08	8.56E-09	1.54E-09	2.55E-09	2.65E-10	2.32E-10



4.6 海洋風險值估算

● 步驟 10：將受體暴露量進行致癌、非致癌量化估算

本案例各暴露受體所估算的致癌風險結果，如表 4-21~4-24 所示，非致癌風險結果，如表 4-25~4-28 所示。其結果呈現各污染物在各途徑之風險值、各暴露途徑總風險值、各污染物總風險值及其對應百分比。各暴露受體之風險分別以下說明：

一. 一般民眾評估結果

評估結果為致癌風險($1.39E-09$)與非致癌風險($5.10E-04$)，風險值皆低於大眾可接受的風險數值($Risk < 10^{-6}$)。致癌風險主要貢獻途徑為食用海水魚，其致癌風險為 $7.48E-10$ ，所佔致癌風險比例為 53.90%。主要貢獻污染物為砷，其致癌風險為 $5.10E-10$ ，所佔致癌風險比例為 36.79%。非致癌風險主要貢獻途徑為食用海水魚，其非致癌風險為 $2.89E-04$ ，所佔非致癌風險比例為 56.65 %。主要貢獻污染物為汞，其非致癌風險為 $4.44E-04$ ，所佔非致癌風險比例為 86.88 %。

二. 遊客評估結果

評估結果為致癌風險($1.20E-13$)與非致癌風險($1.24E-09$)，風險值皆低於大眾可接受的風險數值($Risk < 10^{-6}$)。致癌風險主要貢獻途徑為釣魚，其致癌風險為 $1.20E-13$ ，所佔致癌風險比例為 100%。主要貢獻污染物為鎘，其致癌風險為 $8.10E-14$ ，所佔致癌風險比例為 67.44 %。非致癌風險主要貢獻途徑為釣魚，其非致癌風險為 $1.24E-09$ ，所佔非致癌風險比例為 100 %。主要貢獻污染物為銻，其非致癌風險為 $5.77E-10$ ，所佔非致癌風險比例為 46.43 %。

三. 職業漁夫評估結果

評估結果為致癌風險($7.99E-09$)與非致癌風險($1.67E-03$)，風險值皆低於職場可接受的風險數值($Risk < 10^{-3}$)。致癌風險主要貢獻途徑為皮膚接觸海水及底泥，其致癌風險為 $3.55E-09$ ，所佔致癌風險比例為 44.49 %。主要貢獻污染物為鎘，其致癌風險為 $3.86E-09$ ，所佔致癌風險比例為 48.30 %。非致癌風險主要貢獻途徑為食用海水魚，其非致癌風險為 $1.13E-03$ ，所佔非致癌風險比例為 67.23 %。主要貢獻污染物為汞，其非致癌風險為 $1.44E-03$ ，所佔非致癌風險比例為 85.88 %。

四. 水產養殖用戶評估結果

評估結果為致癌風險($9.73\text{E}-09$)與非致癌風險($1.62\text{E}-03$)，風險值皆低於職場可接受的風險數值($\text{Risk} < 10^{-3}$)。致癌風險主要貢獻途徑為皮膚接觸養殖水體及底泥，其致癌風險為 $5.34\text{E}-09$ ，所佔致癌風險比例為54.87%。主要貢獻污染物為鎘，其致癌風險為 $4.82\text{E}-09$ ，所佔致癌風險比例為49.55%。非致癌風險主要貢獻途徑為食用海水魚，其非致癌風險為 $7.96\text{E}-04$ ，所佔非致癌風險比例為49.19%。主要貢獻污染物為汞，其非致癌風險為 $1.27\text{E}-03$ ，所佔非致癌風險比例為78.65%。

● 小結

由風險結果可得知，所有暴露受體的風險值皆低於可接受的風險值。致癌風險主要暴露到的污染物為砷及鎘，非致癌風險主要暴露到的污染物為汞及鎘。由於職業漁夫及水產養殖用戶暴露到污染物的時間及頻率較長，故風險結果皆會比一般民眾及遊客高。雖然不同暴露受體具有不同暴露特性，但對於大眾而言，主要以食用途徑的風險為較大的影響。



表 4-21 A 污染源一般民眾致癌風險結果表

一般民眾-致癌風險										
暴露途徑		污染物項目							各途徑 總致癌風險	貢獻比例
		As	Cr	Cd	Ni	Pb	Co	Be		
食用海鮮	蝦貝	1.54E-11	2.50E-10	6.18E-11	0.00E+00	2.23E-11	0.00E+00	0.00E+00	3.50E-10	25.21
	魚	4.12E-10	3.05E-11	3.05E-10	0.00E+00	7.38E-15	0.00E+00	0.00E+00	7.48E-10	53.90
食用水產	蝦貝	6.71E-12	1.10E-10	2.65E-11	0.00E+00	9.60E-12	0.00E+00	0.00E+00	1.53E-10	11.03
	魚	7.59E-11	5.68E-12	5.51E-11	0.00E+00	1.34E-15	0.00E+00	0.00E+00	1.37E-10	9.85
污染物總致癌風險		5.10E-10	3.97E-10	4.48E-10	0.00E+00	3.20E-11	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-09	100%
貢獻比例		36.79	28.59	32.31	0.00	2.30	0.00	0.00	100%	

表 4-22 A 污染源遊客致癌風險結果表

遊客-致癌風險										
暴露途徑		污染物項目						各途徑總 致癌風險	貢獻比例	
		As	Cr	Cd	Ni	Pb	Co			Be
釣魚		2.25E-14	1.65E-14	8.10E-14	0.00E+00	1.48E-16	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-13	100
遊艇		0.00E+00	0.00E+00	0						
污染物總致癌風險		2.25E-14	1.65E-14	8.10E-14	0.00E+00	1.48E-16	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-13	100%
貢獻比例		18.70	13.74	67.44	0.00	0.12	0.00	0.00	100%	

表 4-23 A 污染源職業漁夫致癌風險結果表

職業漁夫-致癌風險										
暴露途徑		污染物項目							各途徑 總致癌風險	貢獻比例
		As	Cr	Cd	Ni	Pb	Co	Be		
食用海鮮	蝦貝	6.71E-11	1.09E-09	2.69E-10	0.00E+00	9.74E-11	0.00E+00	0.00E+00	1.52E-09	19.07
	魚	1.61E-09	1.19E-10	1.19E-09	0.00E+00	2.87E-14	0.00E+00	0.00E+00	2.91E-09	36.44
皮膚接觸		6.60E-10	4.89E-10	2.40E-09	0.00E+00	2.67E-12	0.00E+00	0.00E+00	3.55E-09	44.69
污染物總致癌風險		2.33E-09	1.70E-09	3.86E-09	0.00E+00	1.00E-10	0.00E+00	0.00E+00	7.99E-09	100%
貢獻比例		29.20	21.25	48.30	0.00	1.25	0.00	0.00	100%	

表 4-24 A 污染源水產養殖用戶致癌風險結果表

水產養殖用戶-致癌風險										
暴露途徑		污染物項目							各途徑 總致癌風險	貢獻比例
		As	Cr	Cd	Ni	Pb	Co	Be		
食用水產	蝦貝	1.02E-10	1.67E-09	4.02E-10	0.00E+00	1.46E-10	0.00E+00	0.00E+00	2.32E-09	23.84
	魚	1.15E-09	8.61E-11	8.35E-10	0.00E+00	2.03E-14	0.00E+00	0.00E+00	2.07E-09	21.29
皮膚接觸		1.00E-09	7.50E-10	3.58E-09	0.00E+00	3.97E-12	0.00E+00	0.00E+00	5.34E-09	54.87
污染物總致癌風險		2.25E-09	2.51E-09	4.82E-09	0.00E+00	1.49E-10	0.00E+00	0.00E+00	9.73E-09	100%
貢獻比例		23.14	25.77	49.55	0.00	1.54	0.00	0.00	100%	

表 4-25 A 污染源一般民眾非致癌風險結果表



一般民眾-非致癌風險																
暴露途徑	污染物項目														各途徑總非致癌風險	貢獻比例
	As	Hg	Cr	Cd	Cu	Ni	Pb	Mn	Zn	Sb	Se	Co	Be			
食用海鮮	蝦貝	3.42E-08	7.37E-05	1.67E-07	1.63E-07	2.29E-08	9.19E-10	6.13E-06	2.74E-06	4.14E-08	1.55E-08	1.16E-07	3.49E-05	0.00E+00	1.18E-04	23.11
	魚	9.16E-07	2.86E-04	2.04E-08	8.02E-07	8.43E-08	2.85E-08	2.02E-09	1.51E-09	3.59E-07	5.63E-07	2.28E-07	2.54E-08	0.00E+00	2.89E-04	56.65
食用水產	蝦貝	1.49E-08	3.17E-05	7.35E-08	6.98E-08	9.94E-09	3.95E-10	2.63E-06	1.18E-06	1.78E-08	6.68E-09	5.31E-08	1.50E-05	0.00E+00	5.08E-05	9.96
	魚	1.69E-07	5.20E-05	3.79E-09	1.45E-07	1.54E-08	5.17E-09	3.67E-10	2.73E-10	6.50E-08	1.03E-07	4.42E-08	4.63E-09	0.00E+00	5.25E-05	10.29
污染物總非致癌風險		1.13E-06	4.44E-04	2.64E-07	1.18E-06	1.33E-07	3.50E-08	8.77E-06	3.92E-06	4.83E-07	6.87E-07	4.41E-07	4.99E-05	0.00E+00	5.10E-04	100%
貢獻比例		0.22	86.88	0.05	0.23	0.03	0.01	1.72	0.77	0.09	0.13	0.09	9.78	0.00	100%	

表 4-26 A 污染源遊客非致癌風險結果表

遊客-非致癌風險															
暴露途徑	污染物項目													各途徑總非致癌風險	貢獻比例
	As	Hg	Cr	Cd	Cu	Ni	Pb	Mn	Zn	Sb	Se	Co	Be		
釣魚	4.99E-11	1.38E-10	1.31E-11	1.08E-11	7.29E-13	6.55E-12	2.49E-12	2.91E-12	6.51E-13	5.77E-10	1.08E-11	2.01E-11	4.10E-10	1.24E-09	100
遊艇	0.00E+00	0													
污染物總非致癌風險	4.99E-11	1.38E-10	1.31E-11	1.08E-11	7.29E-13	6.55E-12	2.49E-12	2.91E-12	6.51E-13	5.77E-10	1.08E-11	2.01E-11	4.10E-10	1.24E-09	100%
貢獻比例	4.02	11.09	1.05	0.87	0.06	0.53	0.20	0.23	0.05	46.43	0.87	1.61	32.99	100%	



表 4-27 A 污染源職業漁夫非致癌風險結果表

職業漁夫-非致癌風險																
暴露途徑		污染物項目													各途徑總非致癌風險	貢獻比例
		As	Hg	Cr	Cd	Cu	Ni	Pb	Mn	Zn	Sb	Se	Co	Be		
食用海鮮	蝦貝	1.49E-07	3.21E-04	7.26E-07	7.09E-07	9.97E-08	4.01E-09	2.67E-05	1.19E-05	1.80E-07	6.74E-08	5.04E-07	1.52E-04	2.71E-08	5.14E-04	30.69
	魚	3.57E-06	1.11E-03	7.93E-08	3.12E-06	3.28E-07	1.11E-07	7.88E-09	5.87E-09	1.40E-06	2.19E-06	8.88E-07	9.89E-08	9.70E-08	1.13E-03	67.23
皮膚接觸		1.47E-06	3.14E-06	3.88E-07	3.20E-07	2.16E-08	1.87E-07	4.49E-08	8.57E-08	1.91E-08	1.70E-05	3.20E-07	5.88E-07	1.11E-05	3.47E-05	2.07
污染物總非致癌風險		5.18E-06	1.44E-03	1.19E-06	4.15E-06	4.50E-07	3.02E-07	2.68E-05	1.20E-05	1.60E-06	1.93E-05	1.71E-06	1.53E-04	1.12E-05	1.67E-03	100%
貢獻比例		0.31	85.88	0.07	0.25	0.03	0.02	1.60	0.72	0.10	1.15	0.10	9.11	0.67	100%	

表 4-28 A 污染源水產養殖用戶非致癌風險結果表



水產養殖用戶-非致癌風險																
暴露途徑	污染物項目														各途徑總非致癌風險	貢獻比例
	As	Hg	Cr	Cd	Cu	Ni	Pb	Mn	Zn	Sb	Se	Co	Be			
食用水產	蝦貝	2.26E-07	4.81E-04	1.11E-06	1.06E-06	1.51E-07	5.98E-09	3.99E-05	1.78E-05	2.70E-07	1.01E-07	8.05E-07	2.28E-04	3.99E-08	7.70E-04	47.59
	魚	2.55E-06	7.87E-04	5.74E-08	2.20E-06	2.34E-07	7.83E-08	5.56E-09	4.14E-09	9.85E-07	1.55E-06	6.69E-07	7.02E-08	6.84E-08	7.96E-04	49.19
皮膚接觸		2.22E-06	4.67E-06	5.95E-07	4.78E-07	3.25E-08	2.79E-07	6.67E-08	1.28E-07	2.85E-08	2.56E-05	5.11E-07	8.83E-07	1.66E-05	5.21E-05	3.22
污染物總非致癌風險		5.00E-06	1.27E-03	1.77E-06	3.73E-06	4.17E-07	3.64E-07	4.00E-05	1.79E-05	1.28E-06	2.73E-05	1.98E-06	2.29E-04	1.67E-05	1.62E-03	100%
貢獻比例		0.31	78.65	0.11	0.23	0.03	0.02	2.47	1.11	0.08	1.68	0.12	14.15	1.03	100%	



4.7 不確定性分析

● 步驟 11：風險值不確定性及敏感度分析探討

本案例的不確定性分析所採用的是蒙地卡羅分析法(monte carlo analysis)。將蒙地卡羅分析法的模擬次數設定為 1000 次，信賴百分比訂為 95%，需進行不確定分析之參數，包含污染物在水體中的濃度分佈，另有風險評估中的參數，由於海洋環境參數資料缺乏，故僅以人體暴露參數及養殖水體環境參數部分進行分析。不確定性分析結果如表 4-29 至表 4-32 所示，包含了各暴露途徑其致癌與非致癌之平均百分比 50%及信賴百分比 95%之風險值。經不確定性分析後，信賴百分比 95%之風險值皆比平均風險值略增，皆低於可接受的風險值。各受體的暴露途徑之貢獻比例亦與原始無太大差別，惟食用水產部分，平均風險值的食用魚類略比食用蝦貝類高一些，經由不確定性分析後，則食用蝦貝類風險較食用魚類高。

因各暴露受體之暴露途徑皆有差異，故本案例分別就四種暴露受體之致癌及非致癌風險，進行其敏感度分析，如圖 4-2 至圖 4-9 所示。經敏感度分析後，由於污染物在水體濃度分佈範圍大，因此水體濃度為主要影響因子。而各受體暴露途徑皆有差別，其敏感參數也會有所不同。各受體之致癌及非致癌敏感度分析結果分別以下說明：

一. 一般民眾

致癌風險部分，由於食用海水魚為主要風險貢獻來源，因此海水魚之攝取量(IU)為主要影響因子，污染物則是砷為主要影響因子。非致癌風險部分，食用海水魚類為主要風險貢獻來源，故海水魚之攝取量(IU)為主要影響因子，污染物則是汞為主要影響因子。

二. 遊客

致癌風險部分，污染物鎘之水體濃度為主要影響因子。非致癌風險部分，污染物錒之水體濃度為主要影響因子



三. 職業漁夫

致癌風險部分，皮膚接觸為主要風險貢獻來源，因此皮膚接觸頻率(EF)為主要影響因子，污染物則是鎘為主要影響因子。非致癌風險部分，食用海水魚為主要風險貢獻來源，故海水魚之攝取量(IU)為主要影響因子；污染物則是汞為主要影響因子。

四. 水產養殖用戶

致癌風險部分，皮膚接觸為主要風險貢獻來源，因此皮膚接觸頻率(EF)為主要影響因子，污染物則是鎘為主要影響因子。非致癌風險部分，食用養殖蝦貝為主要風險貢獻來源，故養殖蝦貝之攝取量(IU)為主要影響因子；污染物則是汞為主要影響因子。

表 4-29 A 污染源一般民眾不確定性分析風險結果

一般民眾不確定性分析風險結果					
致癌風險					
	食用海鮮		食用水產		總風險值
	蝦貝類	魚類	蝦貝類	魚類	
50%	4.66E-11	1.11E-10	2.93E-11	1.32E-11	2.00E-10
95%	1.09E-09	2.70E-09	7.32E-10	5.84E-10	5.11E-09
非致癌風險					
	食用海鮮		食用水產		總風險值
	蝦貝類	魚類	蝦貝類	魚類	
50%	1.41E-05	2.96E-05	1.01E-05	3.14E-06	5.69E-05
95%	4.42E-04	9.97E-04	2.23E-04	1.92E-04	1.85E-03

表 4-30 A 污染源遊客不確定性分析風險結果

遊客不確定性分析風險結果			
致癌風險			
	釣魚	浮潛	總風險值
50%	8.32E-14	0.00E+00	8.32E-14
95%	4.06E-13	0.00E+00	4.06E-13
非致癌風險			
	釣魚	浮潛	總風險值
50%	1.03E-09	0.00E+00	1.03E-09
95%	4.33E-09	0.00E+00	4.33E-09

表 4-31 A 污染源職業漁夫不確定性分析風險結果

職業漁夫不確定性分析風險結果				
致癌風險				
	食用海鮮		皮膚接觸 海水及底泥	總風險值
	蝦貝類	魚類		
50%	2.51E-10	3.67E-10	2.22E-09	2.84E-09
95%	5.72E-09	9.03E-09	1.04E-08	2.52E-08
非致癌風險				
	食用海鮮		皮膚接觸 海水及底泥	總風險值
	蝦貝類	魚類		
50%	7.18E-05	1.26E-04	2.71E-05	2.25E-04
95%	2.61E-03	5.58E-03	1.18E-04	8.31E-03

表 4-32 A 污染源水產養殖用戶不確定性分析風險結果

水產養殖用戶不確定性分析風險結果				
致癌風險				
	食用水產		皮膚接觸 養殖水體及底泥	總風險值
	蝦貝類	魚類		
50%	2.70E-10	1.19E-10	2.42E-09	2.81E-09
95%	5.51E-09	4.96E-09	1.31E-08	2.36E-08
非致癌風險				
	食用水產		皮膚接觸 養殖水體及底泥	總風險值
	蝦貝類	魚類		
50%	8.15E-05	3.13E-05	2.91E-05	1.42E-04
95%	2.66E-03	2.05E-03	1.33E-04	4.84E-03

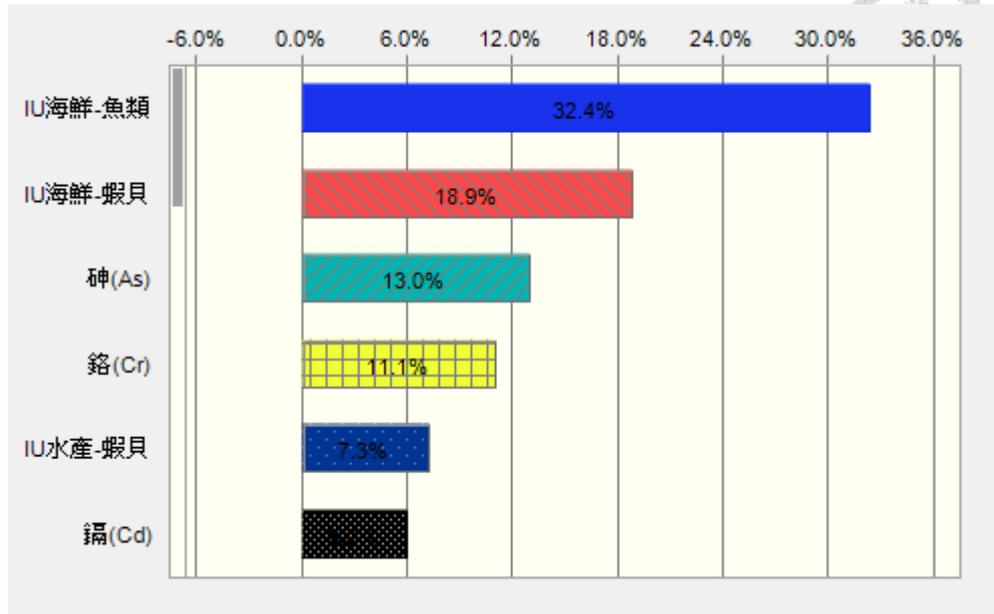


圖 4-2 A 污染源一般民眾致癌風險敏感度分析

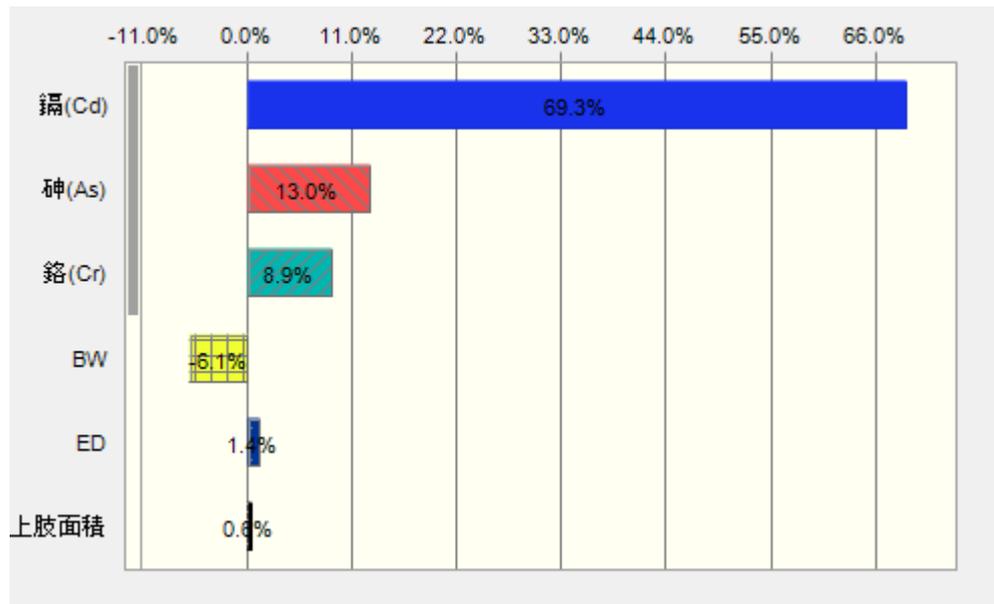


圖 4-3 A 污染源遊客致癌風險敏感度分析

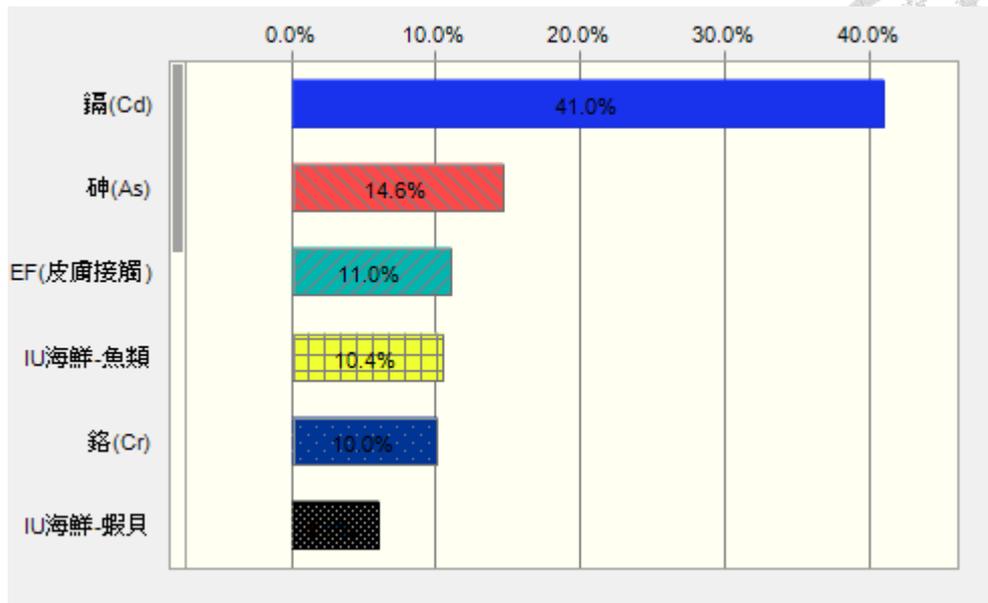


圖 4-4 A 污染源漁夫致癌風險敏感度分析

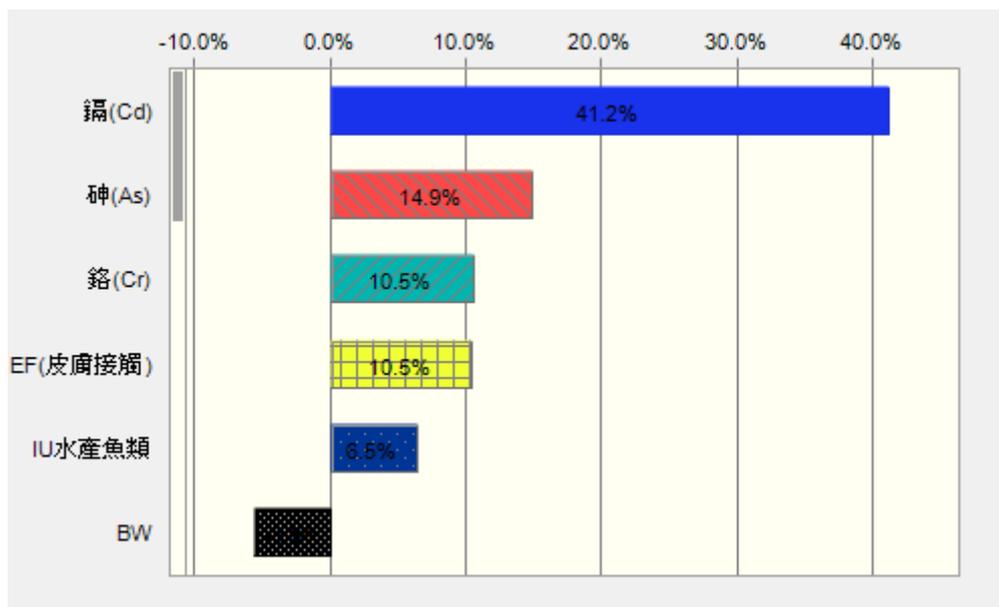


圖 4-5 A 污染源水產養殖用戶致癌風險敏感度分析

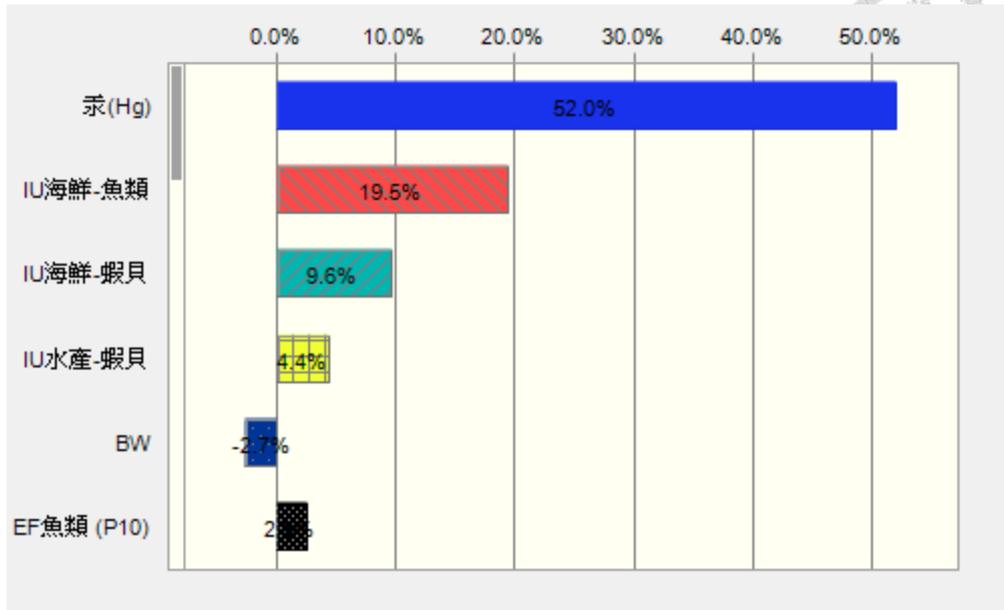


圖 4-6 A 污染源一般民眾非致癌風險敏感度分析

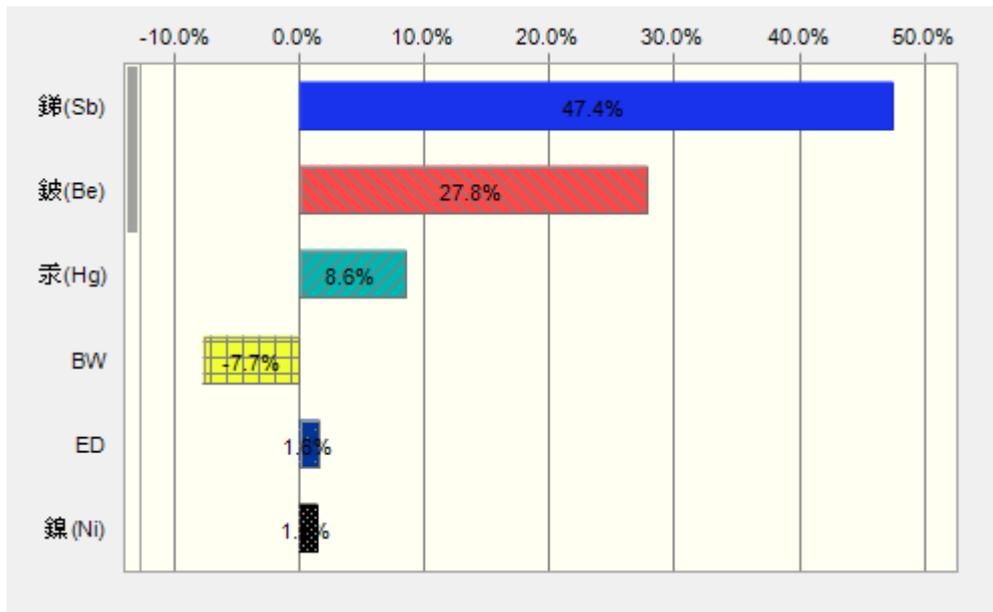


圖 4-7 A 污染源遊客非致癌風險敏感度分析

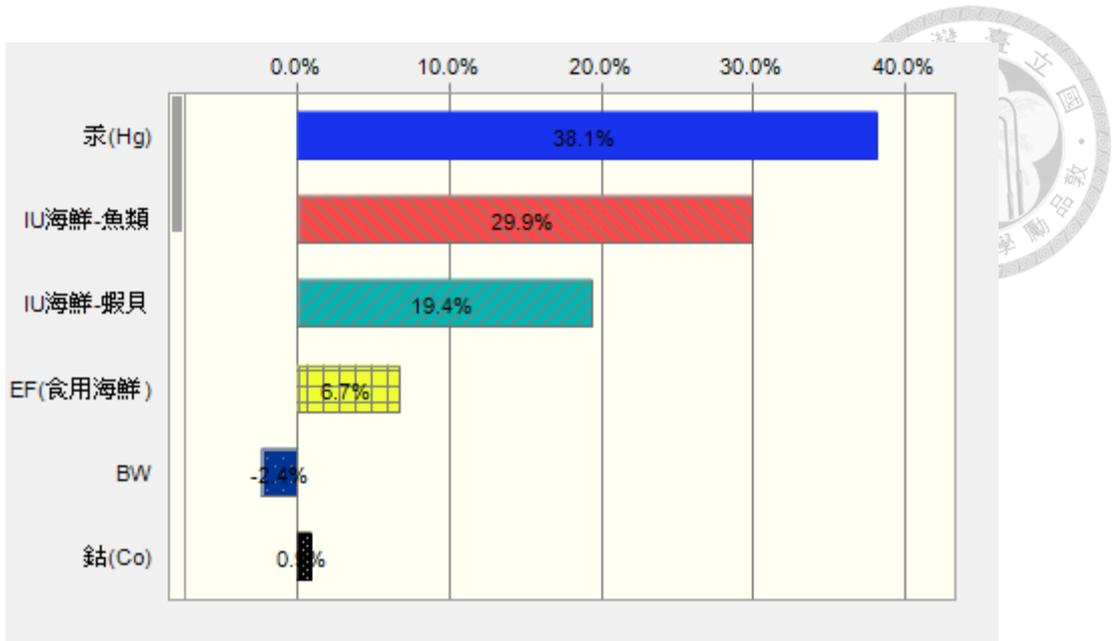


圖 4-8 A 污染源職業漁夫非致癌風險敏感度分析

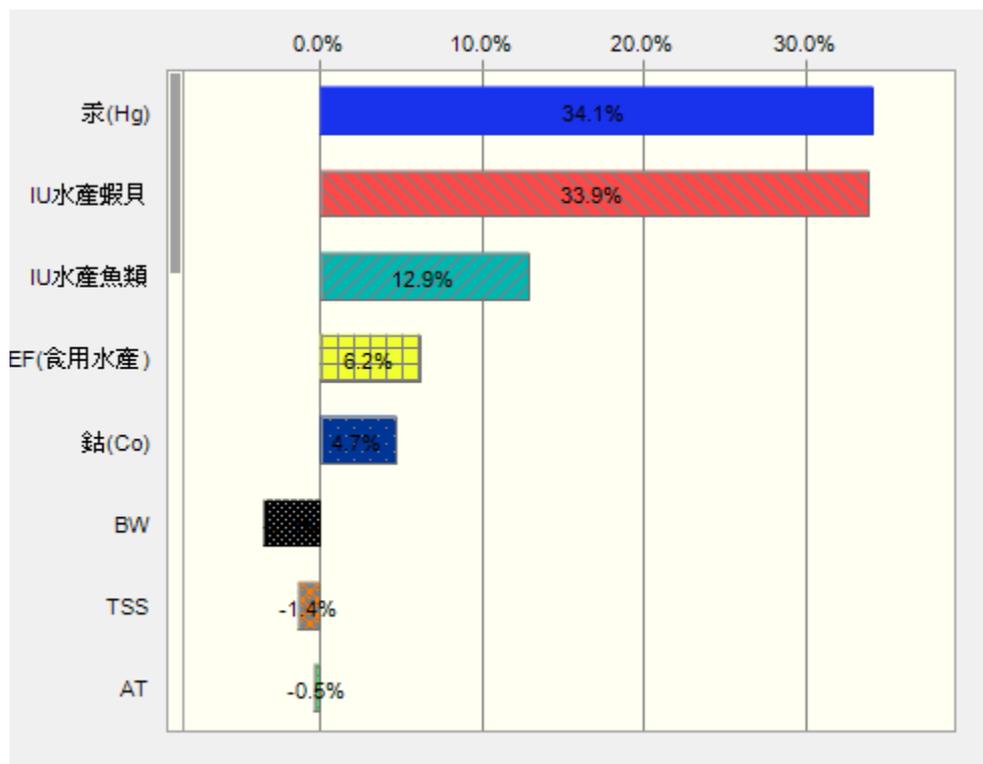


圖 4-9 A 污染源水產養殖用戶非致癌風險敏感度分析



4.8 海洋風險管理

● 步驟 12：根據風險結果進行管理措施，降低危害性

本案例 A 污染源經模擬新的機組設備及既有的機組運作下，所排放之放流水到海域的健康風險評估結果，皆符合可接受的風險值。對於一般民眾之暴露族群，總致癌風險為 $5.11\text{E}-09$ ，總非致癌風險為 $1.85\text{E}-03$ ，風險值低於大眾可接受的致癌風險數值 ($\text{Risk} < 10^{-6}$) 且 HQ 皆小於 1。對於遊客之暴露族群，總致癌風險為 $4.06\text{E}-13$ ，總非致癌風險為 $4.33\text{E}-09$ ，風險值皆低於大眾可接受的致癌風險數值 ($\text{Risk} < 10^{-6}$) 且 HQ 皆小於 1。對於職業漁夫之暴露族群，總致癌風險為 $2.52\text{E}-08$ ，總非致癌風險為 $8.31\text{E}-03$ ，風險值皆低於職業可接受的致癌風險數值 ($\text{Risk} < 10^{-3}$) 且 HQ 皆小於 1。對於水產養殖用戶之暴露族群，總致癌風險為 $2.36\text{E}-08$ ，總非致癌風險為 $4.84\text{E}-03$ ，風險值皆低於職業可接受的致癌風險數值 ($\text{Risk} < 10^{-3}$) 且 HQ 皆小於 1。由上述的結果得知，由於本案例的評估結果皆低於可接受的風險值，故本案例不需進一步採取風險管理措施。

本案例分析結果，A 污染源所排放的污染物濃度並不高，單位皆已達到 ng/L ，經評估後所量化的風險值為致癌風險 10^{-13} 至 10^{-8} 範圍、非致癌風險 10^{-9} 至 10^{-3} 範圍。由於台灣將放流水排放到海域之需求量增加，且部分大型管線之污染物排放濃度會更高，依據「海洋放流管線放流水標準」規定，污染物排放濃度單位可達 mg/L ，因此可能會對於海洋環境造成較大衝擊影響，由此可見，應在污染排放前進行評估，透過量化結果採取預防管理措施，以降低對海洋環境的衝擊危害。

第五章 結論與建議



5.1 結論

1. 研究中建立具體的海洋健康風險評估架構與流程，以利進行放流水排放到海域之評估方法。評估方法為八個階段，包含污染源特徵描述、設定海域暴露情境、海洋模式模擬、估算海洋環境介質中濃度、暴露量化、海洋風險值估算、不確定性分析、海洋風險管理，共分成 12 個評估步驟，步驟中詳細解釋評估過程中必要的程序與內容及匯整所需資料。
2. 研究中除了建構完整的海洋風險評估步驟外，並於每個步驟中設計表單，以提供評估者進行評估時，可透過表單建立評估資料及以利進行後續步驟。
3. 在污染源特徵描述階段，建立完整的污染源及其排放污染物的盤查步驟。並可透過「篩檢污染物生物累積潛勢」步驟，相較於常見的風險架構中提出較具定量而非定性的方式進行危害性鑑定評估。
4. 在設定海域暴露情境階段，依排放海域分別設定暴露情境，於情境中詳細考量海水及底泥、養殖水體及底泥、海鮮及水產等多項環境介質之健康衝擊；整合評估範疇內所有受體之風險，考量不同受體在不同的暴露特性之風險估算。
5. 在海洋模式模擬階段，提出模式篩選原則，以提供評估者在模式選用時的篩選依據；且匯整常用且知名的水理及水質模式簡介表及模式輸入資料表，以提供評估者參考。
6. 在估算海洋環境介質中濃度階段，詳細匯整各項環境介質之估算公式，可具體估算各項環境介質之污染物濃度。
7. 在暴露量化階段，詳細匯整各暴露受體之暴露量化公式，可估算出不同暴露特性的受體之暴露量。
8. 在海洋風險值估算階段，介紹風險量化公式，可估算出不同暴露受體之風險量化結果。
9. 在不確定性分析階段，提出評估架構中不確定性及敏感度分析要點，可將評估過程中具不確定性的因子進行不確定性及敏感度分析，可得較完整的風險估算結果。

- 
10. 在海洋風險管理階段，將風險結果進行風險管理判定，並透過相關管理措施以減少對海域環境及人體的危害，達到整體評估架構中預防管理及海洋環境保護之理念。
 11. 本研究將以 A 污染源之改建計畫作為案例分析，可透過此案例分析將所建立之海洋健康風險評估方法作應用，提供我國進行沿岸地區之開發計畫作為參考依據。
 12. 案例分析中海洋模式模擬步驟，除了選用 MIKE 21 模式進行模擬外，並增加稀釋計算作為估算比較。兩種方式估算結果為稀釋計算的估算濃度比海洋模式低，且與海洋模式相差約 10 倍，稀釋估算對於風險估算亦有較低的情況且判定風險管理措施時會有所影響。
 13. 案例分析中估算海洋環境介質濃度結果，具累積是潛勢之污染物在生物體內的濃度皆比水體及底泥高，由此可反應出此污染物在生物體內具有生物累積作用；估算生物體內濃度中，單以環境中的蓄積量，蝦貝類會比魚類體內濃度較高，主要為蝦貝類棲身於固定環境之物種習性及比較會蓄積重金屬類污染物有關。
 14. 案例分析中分別估算受體的暴露量結果，食用暴露途徑之暴露量比皮膚接觸途徑高，與生物體蓄積污染物濃度比水體及底泥高有關；食用暴露量則以食用蝦貝類之暴露量較高，與蝦貝類蓄積污染物濃度較高有關。
 15. 案例分析中海洋風險值估算結果，由於職業漁夫及水產養殖用戶暴露到污染物的時間及頻率較長，故風險結果皆會比一般民眾及遊客高。雖然不同暴露受體具有不同暴露特性，但對於大眾而言，主要以食用風險為較大的影響。
 16. 案例分析中不確定性分析結果會比平均風險值略增，皆為可接受的風險。敏感度分析結果，因污染物在水體分佈範圍廣，因此為主要影響因子。各受體的主要風險貢獻途徑之人體暴露參數(攝取量、皮膚接觸頻率)亦為主要的影響因子。
 17. 本案例所排放的污染物濃度皆已達到 ng/L 之單位，經評估後所量化的風險值為致癌風險 10^{-13} 至 10^{-8} 範圍、非致癌風險 10^{-9} 至 10^{-3} 範圍。由於我國將放流水排到海域之管線增加，且大型污染源之排放濃度更高，因此可能會對於海

洋環境造成較大衝擊影響，確實必要在排放前進行評估，透過量化結果採取預防管理措施，以降低對海洋環境及人體健康的衝擊影響。



5.2 建議

1. 由於排放污染物對於海域影響為生態環境及人體健康之衝擊，而本研究主要是以人體健康風險作為評估架構，並未將生態環境之衝擊納入架構中討論，此部分建議後續相關研究可將生態風險納入探討。
2. 由於海洋環境相當複雜，污染物排放到海域會受到物理、化學、生物作用的影響，而目前的海洋模式雖然在物理、化學作用上已發展成熟，但對於生物作用影響較少探討，此部分建議後續在模式研究中可更深入探討。
3. 整體評估架構是以排放前進行評估的方法，皆以模擬及估算公式為主。在估算生物體內濃度時，是以 BCF 及 BSAF 累積因子計算生物體內濃度，由於兩種參數會隨環境、物種、暴露時間長短等因素導致兩種參數分布範圍廣，故本研究僅能不分物種別作計算，此部分建議我國應建立完整的數據資料庫，以便在進行估算時更能接近實際生物體暴露濃度推估。
4. 在進行海域環境相關資料收集時，國內在此部分的資料較為缺乏，因此建議我國能建立台灣各區域的海域參數資料庫，才能更精確的評估及管理海域環境。
5. 污染物排放到海域對人體較大的影響，主要以污染物具生物累積特性導致生物體內蓄積濃度較高，而人類食用導致危害影響，此部分建議應對生物體作定期的檢測及持續追蹤，才能確保人類飲食的健康安全。

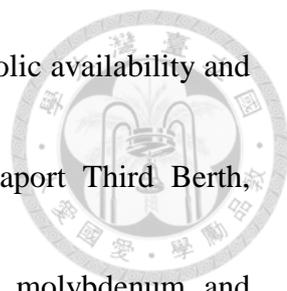
參考文獻



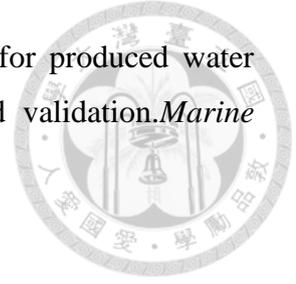
英文部分

- Aagaard, A., Warman, C. G., Depledge, M. H., & Naylor, E. (1995). Dissociation of heart rate and locomotor activity during the expression of rhythmic behaviour in the shore crab *Carcinus maenas*. *Marine & Freshwater Behaviour & Phy*, 26(1), 1-10.
- Angerville, R., Joseph, O., Emmanuel, E., & Perrodin, Y. (2005, May). Ecological risk assessment of heavy metals in paint manufacturing effluents of Port-au-Prince. In *15th Annual Meeting of SETAC Europe, Lille*, pp. CD ROM.
- Connell, D.W. (1998). Bioaccumulation of Chemicals by Aquatic Organisms. Chapter 14 from Schüürmann, G. and Markert, B. (1998). *Ecotoxicology. Ecological Fundamentals, Chemical Exposure, and Biological Effects*. John Wiley & Sons Inc and Spektrum Adaemischer Verlag Co- Publication.
- Cook, P. M., & Burkhard, L. P. (1998). Development of bioaccumulation factors for protection of fish and wildlife in the Great Lakes. In *National Sediment Bioaccumulation Conference Proceedings* (Vol. 823).
- Drew, R., Frangos, J., Consultants, P. (2006). Human Health Risk Assessment- Bell Bay Pulp Mill Effluent. Toxikos Document: TR081205-RJF.
- Emmanuel, E., Perrodin, Y., Keck, G., Blanchard, J. M., & Vermande, P. (2005). Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. *Journal of Hazardous Materials*, 117(1), 1-11.
- ENSR Corporation. (2005). Remedial investigation/feasibility study work plan: human health risk assessment work plan pines area of investigation AOC II Docket. Research Report No. V-W-04-C-784 of Human Health Risk Assessment.
- Fischer, H. B. (1979). *Mixing in inland and coastal waters*. New York.
- Ford, T. E. (2000). Response of marine microbial communities to anthropogenic stress. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7(1), 75-89.
- Gad, S. C. (Ed.). (2014). *Animal models in toxicology*. CRC Press.
- Grandjean, P., Weihe, P., White, R. F., Debes, F., Araki, S., Yokoyama, K., ... & Jørgensen, P. J. (1997). Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. *Neurotoxicology and teratology*, 19(6), 417-428.

- Knap, A., Dewailly, É., Furgal, C., Galvin, J., Baden, D., Bowen, R. E., ... & Unluata, U. (2002). Indicators of ocean health and human health: developing a research and monitoring framework. *Environmental Health Perspectives*, 110(9), 839.
- Lee, C. L., Chen, H. Y., & Chuang, M. Y. (1996). Use of oyster, *Crassostrea gigas*, and ambient water to assess metal pollution status of the charting coastal area, Taiwan, after the 1986 green oyster incident. *Chemosphere*, 33(12), 2505-2532.
- Leung, K. M., Dewhurst, R. E., Halldorsson, H., & Svavarsson, J. (2005). Metallothioneins and trace metals in the dogwhelk *Nucella lapillus* (L.) collected from Icelandic coasts. *Marine pollution bulletin*, 51(8), 729-737.
- Lee, K., Neff, J., & DeBlois, E. (2011). Produced Water: Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies. *Produced water*. Springer.
- Lim, P. E., Lee, C. K., & Din, Z. (1995). Accumulation of heavy metals by cultured oysters from Merbok Estuary, Malaysia. *Marine pollution bulletin*, 31(4), 420-423.
- Marsh, D. O., Turner, M. D., Smith, J. C., Allen, P., & Richdale, N. (1994). Fetal methylmercury study in a Peruvian fish-eating population. *Neurotoxicology*, 16(4), 717-726.
- Maier, K. J., & Knight, A. W. (1994). Ecotoxicology of selenium in freshwater systems. In *Reviews of environmental contamination and toxicology* (pp. 31-48). Springer New York.
- Moore, M. N., Depledge, M. H., Fleming, L., Hess, P., Lees, D., Leonard, P., ... & Viarengo, A. (2013). Oceans and human health (OHH): a European perspective from the Marine Board of the European Science Foundation (Marine Board-ESF). *Microbial ecology*, 65(4), 889-900.
- Mulvad, G., Pedersen, H. S., Hansen, J. C., Dewailly, E., Jul, E., Pedersen, M. B., ... & Middaugh, J. P. (1996). Exposure of Greenlandic Inuit to organochlorines and heavy metals through the marine food-chain: an international study. *Science of the total environment*, 186(1), 137-139.
- NRC(National Research Council).(1983), Risk assessment in the Federal Government: Managing the Process. NAS-NRC Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, National Academy Press, Washington, DC.
- Perrodin, Y., Donguy, G., Bazin, C., Volatier, L., Durrieu, C., Bony, S., ... & Moretto, R. (2012). Ecotoxicological risk assessment linked to infilling quarries with treated dredged seaport sediments. *Science of the Total Environment*, 431, 375-384.

- 
- Rainbow, P. S. (2007). Trace metal bioaccumulation: models, metabolic availability and toxicity. *Environment international*, 33(4), 576-582.
- RWDI. (2005). Roberts Bank Container Expansion Project, Deltaport Third Berth, File:W04-127.
- Saiki, M. K., Jennings, M. R., & Brumbaugh, W. G. (1993). Boron, molybdenum, and selenium in aquatic food chains from the lower San Joaquin River and its tributaries, California. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 24(3), 307-319.
- Salgueiro-González, N., Turnes-Carou, I., Viñas-Diéguez, L., Muniategui-Lorenzo, S., López-Mahía, P., & Prada-Rodríguez, D. (2015). Occurrence of endocrine disrupting compounds in five estuaries of the northwest coast of Spain: Ecological and human health impact. *Chemosphere*, 131, 241-247.
- Sany, S. B. T., Hashim, R., Rezayi, M., Salleh, A., Rahman, M. A., Safari, O., & Sasekumar, A. (2014). Human health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons from consumption of blood cockle and exposure to contaminated sediments and water along the Klang Strait, Malaysia. *Marine pollution bulletin*, 84(1), 268-279.
- Spacie, A., & Hamelink, J. L. (1985). Bioaccumulation. In: Rand, G.M. and Petrocelli, S.R., Editors, 1985. *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications*. Hemisphere Publishing Corporation Washington Dc, 495-525.
- USEPA. (1992). Guidelines for Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C.
- USEPA. (1999). Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities Peer Review Draft. Appendix C: Media-to-receptor bioconcentration factors (BCFs), Washington, D.C.
- Vieira, C., Morais, S., Ramos, S., Delerue-Matos, C., & Oliveira, M. B. P. P. (2011). Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: intra-and inter-specific variability and human health risks for consumption. *Food and chemical Toxicology*, 49(4), 923-932.
- Windom, H. L., & Smith, R. G. (1972). Distribution of iron, magnesium, copper, zinc, and silver in oysters along the Georgia coast. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 29(4), 450-452.
- Woodwell, G. M. (1967). *Toxic substances and ecological cycles* (Vol. 1066). WH Freeman.

Zhao, L., Chen, Z., & Lee, K. (2008). A risk assessment model for produced water discharge from offshore petroleum platforms-development and validation.*Marine pollution bulletin*, 56(11), 1890-1897.



中文部分

蔡嘉一、楊磊、邱文彥、董正欽，2000，「研訂海洋污染相關法規-研訂海洋污染防治法施行細則草案暨緊急應變計畫及海域水質分類基準」。

范光龍，2006，「台灣沿海環境特色與油污擴散」。台北：台灣西書出版社。

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2004，「勞工作業場所化學危害暴露之風險評估」。

吳冠儀，2007，「沿海地區健康風險評估模式建立-以麥寮工業區為例」，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文。

陳正龍，2013，「桃園海淡廠鹵水擴散數值計算之研究」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文。

郭順儒，2010，「氏布河二維與三維水質擴散數值模擬研究」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文。

行政院衛生署，2008，「台灣一般民眾暴露參數彙編」，國立台灣大學公共衛生學院健康風險及政策評估中心。

行政院衛生署，1999，「海洋水污染擴散環境影響評估技術之研究」。

行政院衛生署，2006，「人體血液中汞濃度背景值調查研究計畫」。

漁業署，2013，沿近海漁船全年出海天數平均值



