

MOTC-IOT-IHMT-89-011

台中港南填方區(I)對台中電廠溫排水 擴散影響水工模型試驗

交 通 部
運輸研究所

港灣技術研究中心 委託

國立成功大學水工試驗所 辦理

中華民國 八十九 年 十二 月

MOTC-IOT-IHMT-89-011

台中港南填方區(I)對台中電廠溫排水 擴散影響水工模型試驗

著作：楊瑞源、許弘莒、周裕文、王南景

交通部
運輸研究所

港灣技術研究中心 委託

國立成功大學水工試驗所 辦理

中華民國 八十九 年 十二 月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：台中港南填方區(I)對台中電廠溫排水擴散影響水工模型試驗			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 009254890320		港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-89-011
本中心主辦單位：數學模式組 主管：簡組長仲璟 計畫主持人：簡組長仲璟 研究人員：曾副研究員哲茂 聯絡電話：(04)6564216 轉 333 傳真號碼：(04)6571329	合作研究單位：成功大學水工試驗所 計畫主持人：黃副研究員國書 研究人員：楊瑞源、許弘莒、周裕文、 王南景 地址：台南市成功大學水工試驗所 聯絡電話：(06)2371938		研究期間 自 89 年 3 月 至 89 年 6 月
關鍵詞：水工模型試驗, 台中火力發電廠, 溫排水擴散, 近域			
摘要： 本研究計畫旨在以水工模型試驗探討台中港南填方區填築之後對台中火力發電廠溫排水擴散之影響。計畫中之填方區緊鄰電廠溫排水導流堤北側，且向海拓展至導流堤堤頭處。試驗模擬範圍涵蓋出水口附近約2,000公尺×3,000公尺之海域以及整段溫排水導流堤，而試驗重點則為其近域擴散行為，因此乃進行潮流停滯條件下，在最低低潮位、平均低潮位、平均高潮位與最高高潮位時之溫排水擴散試驗。試驗長度縮尺為1/35，模擬之溫排水流量分別為219CMS(8部機)與278CMS(10部機)。試驗結果顯示距放流口500公尺圓弧上之溫升以無填方狀態平均低潮位下，10部機運轉時之溫升值3.1℃最大，而在相同條件有填方區時亦達3.0℃；其次在最低低潮位下10部機運轉時所形成之溫升則為2.7℃~2.8℃；而在平均高潮位條件下10部機運轉時所形成之溫升則為1.6℃~1.7℃左右。相同水位條件，8部機運轉時所形成之500公尺圓弧上之溫升則平均約較10部機運轉時下降0.3℃~0.5℃。而以本計畫不考慮潮流流動情況下，南填方區之構築與否對500公尺方圓內相同點位溫升之影響是互有增減，然而在放流口偏南堤附近，南填方區構築後均於此區產生較未填土前溫升為大。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
89 年 12 月	71	NT.650	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐ 限閱 ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Hydraulic Model Studies on The Thermal Diffusion for the Taichung Power Plant after The Construction of the South Reclamation Area			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 009254890320	IHMT SERIAL NUMBER MOTC-IOT-IHMT-89-011	
DIVISION: INSTITUTE OF HARBOR AND MARINE TECHNOLOGY DIVISION CHIEF: Chang, Chien-Kee PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hwang, Kao-Shu PROJECT STAFF: Yang, Ruey Yuan, Hsu, Homg-Jeu, Chou, Yu-Wen, Wang, Nan-Jing PHONE: 06-237-1938 FAX: 06-384-0206		PROJECT PERIOD FROM March 2000 TO June 2000	
KEY WORDS: Taichung Power Plant, thermal diffusion, hydraulics modelling tests, near field			
ABSTRACT: Taichung Harbour Bureau is planning to construct a reclamation area, named the South Reclamation Area (SRA), in Taichung Harbour. Since the SRA will be located next to the thermal discharge jetty of Taichung Power Plant, the diffusion behavior will, more or less, be changed. The major objective of this project is to investigate the thermal diffusion before and after the construction of the SRA by hydraulics modelling tests. The model simulated a bathymetry of 2000m*3000m in the vicinity of the outlet as well as the whole thermal discharge jetty. Focusing on the near field thermal diffusion behavior, all the tests were conducted under four tide conditions without simulating currents. The model to prototype length scale was 1/135 and two quantum of thermal discharge, which were 219CMS and 278CMS, were simulated. The results show that the maximum temperature rise on the 500m circle would up to 3.1°C and 3.0°C under M.L.W.L for no SRA case and with SRA case respectively when the warm water discharge is 278CMS. While under L.L.W.L., with other conditions the same as mentioned, it would become 2.7°C~2.8°C. For case M.H.W.L., this becomes 1.6°C~1.7°C. As for cases of 219CMS discharge, the temperature rise would be 0.2°C~0.5°C less than cases of 278CMS in general. The effect of the SRA is not remarkable for most area within the 500m circle, except for a local region around the south end of the outlet, where the temperature rises after SRA constructed are always larger than those of no SRA cases.			
DATE OF PUBLICATION December 2000	NUMBER OF PAGES 71	PRICE NTD. 650	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Institute of Transportation.			

目 錄

目錄.....	I
表目錄.....	II
圖目錄.....	III
照片目錄.....	VI
第一章 前言.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 實體概述.....	1
1.3 計畫目的.....	4
第二章 試驗條件與模型律.....	5
2.1 模型建立之基本考量	5
2.2 試驗條件.....	6
2.3 模型律.....	8
第三章 試驗布置、設備與步驟	13
3.1 試驗佈置與設備.....	13
3.2 試驗步驟.....	18
第四章 結果與討論.....	24
4.1 流速量測結果.....	24
4.2 溫升分布	27
4.3 填方區構築後對溫升之影響	31
4.4 放流口型式改為明渠截流排放之結果	32
第五章 結論.....	61
參考文獻.....	62
附錄：期末報告審查意見與回覆	63

表目錄

表1	試驗條件.....	9
表2	不同點位上各試次之射流中軸表面平均流速.....	27

圖目錄

圖1	台中火力電廠溫排水擴散試驗範圍示意圖	7
圖2	不同溫度下海水淡水之密度	12
圖3	溫排水擴散試驗布置示意圖	14
圖4	溫排水供應系統.....	15
圖5	溫度計率定曲線.....	22
圖6	速度量測點位分佈示意圖	25
圖7	不同水位與流量下，射流中軸上之軸向流速比較	26
圖8	溫度隨時間之變動曲線.....	28
圖9	放流口附近等溫升圖 (最低低潮位，8部機，無填方區).....	33
圖10	放流口附近等溫升圖 (最低低潮位，8部機，有填方區).....	34
圖11	放流口附近等溫升圖 (最低低潮位，10部機，無填方區).....	35
圖12	放流口附近等溫升圖 (最低低潮位，10部機，有填方區).....	36
圖13	放流口附近等溫升圖 (平均低潮位，8部機，無填方區).....	37
圖14	放流口附近等溫升圖 (平均低潮位，8部機，有填方區).....	38
圖15	放流口附近等溫升圖 (平均低潮位，10部機，無填方區).....	39
圖16	放流口附近等溫升圖 (平均低潮位，10部機，有填方區).....	40
圖17	放流口附近等溫升圖 (平均高潮位，8部機，無填方區).....	41

圖18	放流口附近等溫升圖 (平均高潮位，8部機，有填方區).....	42
圖19	放流口附近等溫升圖 (平均高潮位，10部機，無填方區).....	43
圖20	放流口附近等溫升圖 (平均高潮位，10部機，有填方區).....	44
圖21	放流口附近等溫升圖 (最高高潮位，8部機，無填方區).....	45
圖22	放流口附近等溫升圖 (最高高潮位，8部機，有填方區).....	46
圖23	放流口附近等溫升圖 (最高高潮位，10部機，無填方區).....	47
圖24	放流口附近等溫升圖 (最高高潮位，10部機，有填方區).....	48
圖25	南填方區構築前後溫升差值圖 (最低低潮位，8部機).....	49
圖26	南填方區構築前後溫升差值圖 (最低低潮位，10部機).....	50
圖27	南填方區構築前後溫升差值圖 (平均低潮位，8部機).....	51
圖28	南填方區構築前後溫升差值圖 (平均低潮位，10部機).....	52
圖29	南填方區構築前後溫升差值圖 (平均高潮位，8部機).....	53
圖30	南填方區構築前後溫升差值圖 (平均高潮位，10部機).....	54
圖31	南填方區構築前後溫升差值圖 (最高高潮位，8部機).....	55

圖32	南填方區構築前後溫升差值圖 (最高高潮位， 10部機).....	56
圖33	放流中心軸上之溫升比較圖	57
圖33	(續)放流中心軸上之溫升比較圖	58
圖34	明渠截流式放流口佈置示意圖	59
圖35	放流口附近等溫升圖 (最高高潮位，10部機，無填方區，放流口型式為明 渠截流式).....	60

照片目錄

照片1	試驗水池與週邊設備.....	16
照片2	玻璃管面積式流量計與溫排水供應系統	16
照片3	熱偶式溫度計.....	20
照片4	流速儀.....	20
照片5	以流場可視化輔助觀測溫水排放	21
照片6	模型放樣與鋪設過程.....	21

第一章 前言

1.1 計畫緣起

台中港務局預定於台中火力發電廠出水口導流堤北側填築一塊陸地(圖1)，導流堤之功能為導引溫排水至較深海域，使溫水與周圍大量之低溫海水混合而迅速擴散。由於整個填築區向海拓展至導流堤堤頭處，有必要了解此一造陸工程完工後可能對電廠溫排水擴散效應之影響。

就電廠與鄰近環境之互動而言，循環冷卻水之溫水排放若無法迅速擴散，將威脅附近之海域生態平衡，目前我國之環保法規主要乃規範其在距放流口500公尺之表面溫升不得超過 4°C ，以及放流口溫度不能高於 42°C ，其影響因素則包括放流速度、放流口附近海域水深與潮流流動等，另對於像台中火力發電廠所採用之表面排放型式，則在溫水流經導流堤過程中也受導流堤幾何尺寸，導流堤堤面糙度之影響，放流口附近溫排水排入海域時與週遭海水混攪，其中之力學機制十分複雜，尤其在受放流水體本身動量所主導之近域擴散，雖然有關之數值模式已較以往成熟，惟目前尚難完整模擬之，若能透過熱擴散水工模型試驗相互印證，則其可靠度當更高，基於此，本所乃接受交通部運研所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)之委託進行本項水工模型試驗計畫。

1.2 實體概述

1.2.1 電廠運轉資料

台中火力發電廠目前共有八部機，其中第一至第四部機之裝置容量各為550MW，溫排水流量合計為101CMS，冷卻水經冷凝器後之溫排水初始溫 8.4°C ；第五至第八部機之裝置容量同樣各為550MW，溫排水流量合計為118CMS，冷卻水經冷凝器後之溫排水初始溫升為 7°C 。近年來國內經濟持續成長及國民生活水準提高，因此用電需求日益迫切，台灣電力公司為因應此一情況，計畫於台中火力發電廠增設第九及第十部機，其裝置容量各為550MW，溫排水循緊急灰塘與環港道路間向南由長約1200公尺之排水渠道引出而送至導流堤入口處，然後沿著長約750公尺，寬約60公尺之導流堤排放流入大肚溪口北側海域。第一至第八部機溫排水流量合計219CMS，若再加上第九及第十部機則達278CMS。

1.2.2 潮汐

依據港研中心所提供之”台中港南填方區(I)對台中電廠溫排水擴散影響研究
期中報告”(以下簡稱參考文獻1)，台中港海域之潮型為典型之半日潮，各項潮汐
統計資料如下：

最高高潮位 H.H.W.L. =5.86m(60.9.23)

大潮平均高潮位 M.H.W.O.S.T. =4.93m

平均高潮位 M.H.W.L. =4.45m

平均潮位 M.W.L. =2.63m

平均低潮位 M.L.W.L. =0.82m

大潮平均低潮位 M.L.W.O.S.T. =0.09m

最低低潮位 L.L.W.L. =-0.55m(77.1.21)

以上數值是以台中港潮位為基準，若要換算成基隆平均潮位為基準則
各潮位值均須再減2.43m。

1.2.3 潮流及海流

台中港海域之流況主要由潮流、近岸流、風驅流和黑潮支流所組成。依據
港研中心1995年6月在近岸海域之海氣象調查研究結果顯示，其近岸海流受地形
或海岸結構物之影響很大。在北防沙堤測站測得之潮流振幅約在0.5m/sec，主要
沿著平行海岸方向，漲潮時往北北東方向流動，退潮時往南南西方向流動。北
防沙堤測站海流成份主要為風驅流，流向西南最大流速0.9m/sec。北堤堤頭測站
海流成份主要為恆流和強制裂流，流向明顯分佈於西向及北向，鋒面來襲時風
速增強，強制裂流成份明顯流向向西，最大流速可達1.2m/sec，當鋒面離境時風
速減弱，恆流成份較明顯，流向向北。南防波堤測站海流成份主要為潮流及恆
流，流向分佈較分散，大致在北向及東向之間，最大流速0.6m/sec，北堤北側海
流成份與北堤堤頭測站相同，流向分佈相近，但流速稍偏小些。

綜合實測結果顯示台中港海域之海流平均流速約0.25m/sec至0.35m/sec，冬

季受東北季風引起之風驅流影響，最大流速超過1.0m/sec，三、四月間之最大流速則約在0.7m/sec至0.9m/sec間。最常發生之流向冬季時偏西南方向，三、四月季風轉型期則為偏東北方向。黑潮形成之恆流向北，曾測得約0.16m/sec之流速，於冬季季風盛行時常受向南之風驅流影響而抵消。

1.2.4 波浪

本區域海域波浪依據台中發電廠發電計畫之環境影響說明報告書(吉興工程顧問有限公司)實測結果顯示冬季東北季風影響浪高以1至2公尺出現機率最高，佔全年冬季之48.4%，週期在5至7秒之間；其間因為海峽吹風區域受到限制，所以波浪之成長與衰退迅速，因此風速與波浪有良好之關係。例如在北防砂堤測站之結果，風速在5m/sec左右時，示性波高在1公尺以下，示性週期在4至5秒之間；風速在10m/sec左右時，示性波高在1至2公尺，示性週期在5至7秒之間；風速在15m/sec左右時，示性波高在3至4公尺，示性週期在6至8秒之間，波向在北北西至北北東之間。夏季波浪以波高小於1公尺出現機率最高，約佔全夏天之79%，週期約於5至6秒之間。

1.2.5 風力

台中港區風力之長期連續觀測最早開始於北防波堤測站，其後為防風林測站之延續觀測。依據港研中心整理之資料(參考文獻1)可得結果如下：

- 1.北堤測站夏季(4月~9月)風向分佈是多向性，幾乎各方向均有，但仍以NNE向(佔17.9%)及S向(佔16.5%)為主，夏季風速大於10m/sec之機率為13.89%，大於15m/sec之機率為3.66%，夏季平均風速為5.8m/sec。
- 2.北堤測站冬季(10月~3月)風向以NNE向(佔53.3%)及NE向(佔20.6%)佔大部份。風速大於10m/sec之機率為49.4%，大於15m/sec之機率為23%，冬季平均風速為10m/sec。北堤測站全年平均風速為8m/sec，全年風速超過10m/sec的機率約佔27.5%。
- 3.防風林測站夏季(4月~9月)風向分佈亦呈多向性，以NE向(佔16%)、NNE向(9.7%)及S向(10.2%)發生率較多，夏季風速大於10m/sec之機率為7.68%，大於15m/sec之機率為1.17%，夏季平均風速為4.6m/sec。
- 4.防風林測站冬季(10月~3月)風向以NE向(佔45.9%)、NNE向(佔18%)及ENE向

(佔14%)為主，風速大於10m/sec之機率為33.2%，大於15m/sec之機率為6.7%，冬季平均風速為7.8m/sec，防風林測站全年平均風速為6.2m/sec，全年風速超過10m/sec的機率約佔21.8%。

1.2.6 地形水深

台中港區為平坦之濱海沖積平原，屬幼年期海岸平原，地勢低平，沿岸平原屬全新世現代沖積層，其來源為鄰近地區個河川所帶下之砂石，以及海岸漂砂之淤積所造成。在電廠出水口導流堤附近海底地形大致呈東北—西南走向，平均坡度-5m~-20m水深間約為1/50~1/435之間；-5m等深線以內約為1/117~1/170。

1.3 計畫目的

本研究計畫預定完成填築區施工前後在潮流停滯情況下之溫排水熱擴散量測，模擬之溫排水量分別為8部機與10部機，模擬外海潮位則分別為最低低潮位，平均低潮位，平均高潮位以及最高高潮位。

第二章 試驗條件與模型律

2.1 模型建立之基本考量

影響溫排水擴散的因素有很多，除了溫排水本身之流場與流體特性，如溫度、流量、出流速度與排放型式以外，外在之環境條件，如潮汐、海潮流、波浪、風力以及海域背景溫度等亦有相關。對一般溫擴散水工模型實驗而言，只要模型比尺夠大，能滿足試驗溫排水於放流口排放時之流況為紊流，再依動力相似性做為原型與模型間各物理量轉換之控制準則，則將可十分精準地模擬一個溫排水之排放行為，這其中包含溫度、流量、出流速度與排放型式等，尤其針對近域擴散試驗，通常必須在水平、垂直等比(undistorted)之條件下進行，因此更能夠準確重現溫排水本身在排放口附近之運移(convection)與擴散特性。在另一方面，就上述提到之外在環境因素而言，風力顯然並非一般水工模型實驗室所能模擬者，不過在試驗室中風場近乎完全靜止之狀態下所進行之模擬，其結果會傾向保守，所以站在對環境衝擊越小之觀點，此一試驗方法上所難以突破之限制是可被接受的；其次，波浪因素也已經過前人證實可提高海水之稀釋能力(參考文獻2, 3)，當然對溫擴散有正面效應，因此除了少數基礎研究之外，鮮少有溫擴散水工模型試驗有模擬波浪運動者；再其次，海潮流流動主要影響溫水在逐漸失去原入射動能之情況下可能運移之範圍，換言之，即所謂之遠域擴散行為中，海潮流的確佔有最主導之地位，不過這並不意味海潮流在近域擴散行為中不具影響力。一般在近域擴散過程中海潮流之流動會增加海水之稀釋率，所以不考慮海潮流之情況理論上是屬於較為嚴苛之條件，應可被接受，然而在另一方面，海潮流之流動也影響溫水之水平擴散方向，考慮及此，則放流口附近之海域地形地貌與人工結構物等邊界條件與海潮流流動間之互動關係就必須再加以探究。依據參考文獻1之數值模擬結果，在大潮退至最低水位時刻，將於電廠溫排水導流堤北側形成一大尺度順時鐘方向旋轉之渦漩，其涵蓋範圍約自放流口向北平行岸線構成一長軸2.0公里，短軸1.0公里之橢圓形區域，當然嚴格說來，這樣的流場特性是原本已存在此區者，並非源自於填方區之構築，然而其對於溫擴散之影響顯然仍須正視之，為此港研中心與本所曾研究在本計畫之模型試驗中加入海潮流模擬之可行性，惟若冀於模擬一完整之流況者，則模擬範圍勢必擴大至台中港北防波堤以外，在試驗場水池尺寸受限之情況下，唯有再縮小水平比尺並以歪比模型進行試驗才可能為之，如此一來將盡失原本

探討近域擴散特性之本意，因此本試驗不模擬海潮流流動的部份；此外，依據參考文獻1，本區海域背景溫度在冬、夏兩季平均相差約 6.0°C 以上，因此即使電廠控制一定之溫升值排放溫水，然而由於排入之海域背景溫度差異亦將影響溫排水之擴散程度，惟其中顯然在夏季背景溫度較高之情況下對溫排水之擴散行為較為不利，是以夏季條件乃一較具指標性之條件，就本計畫試驗進行之4~6月中，試驗水池內水溫平均約在 27°C ~ 29°C 之條件而言，恰可代表夏季之排放條件。

2.2 試驗條件

1. 試驗模擬範圍：

本計畫旨在模擬台中火力電廠之溫排水排放，並考慮台中港南填方區填築前後，溫排水之擴散情形；試驗著重於檢視距排放口500公尺之表面溫升，模擬範圍為出水口附近 $2,000\text{m} \times 3,000\text{m}$ 之海域，詳如圖1所示。

2. 潮位：

既是要模擬潮位停滯下之擴散行為，則潮位之選定是以轉潮時刻為主，其中以平均高潮位與平均低潮位較具統計之代表性，此外由於當放流口前水深較淺時通常較不利溫排水之擴散，因此乃再選定最低低潮位為試驗條件，另者，在期末簡報進行之前港研中心再提出進行最高高潮位之試驗，茲將上述四水位高程條列如下：

- (1) 最高高潮位 H.H.W.L.+3.43 m
- (2) 平均高潮位 M.H.W.L.+2.02 m
- (3) 平均低潮位 M.L.W.L.-1.61 m
- (4) 最低低潮位 L.L.W.L. -2.98 m

以基隆平均潮位為零基準。

3. 配置：

- (1) 南填方區建構前。
- (2) 南填方區建構後。

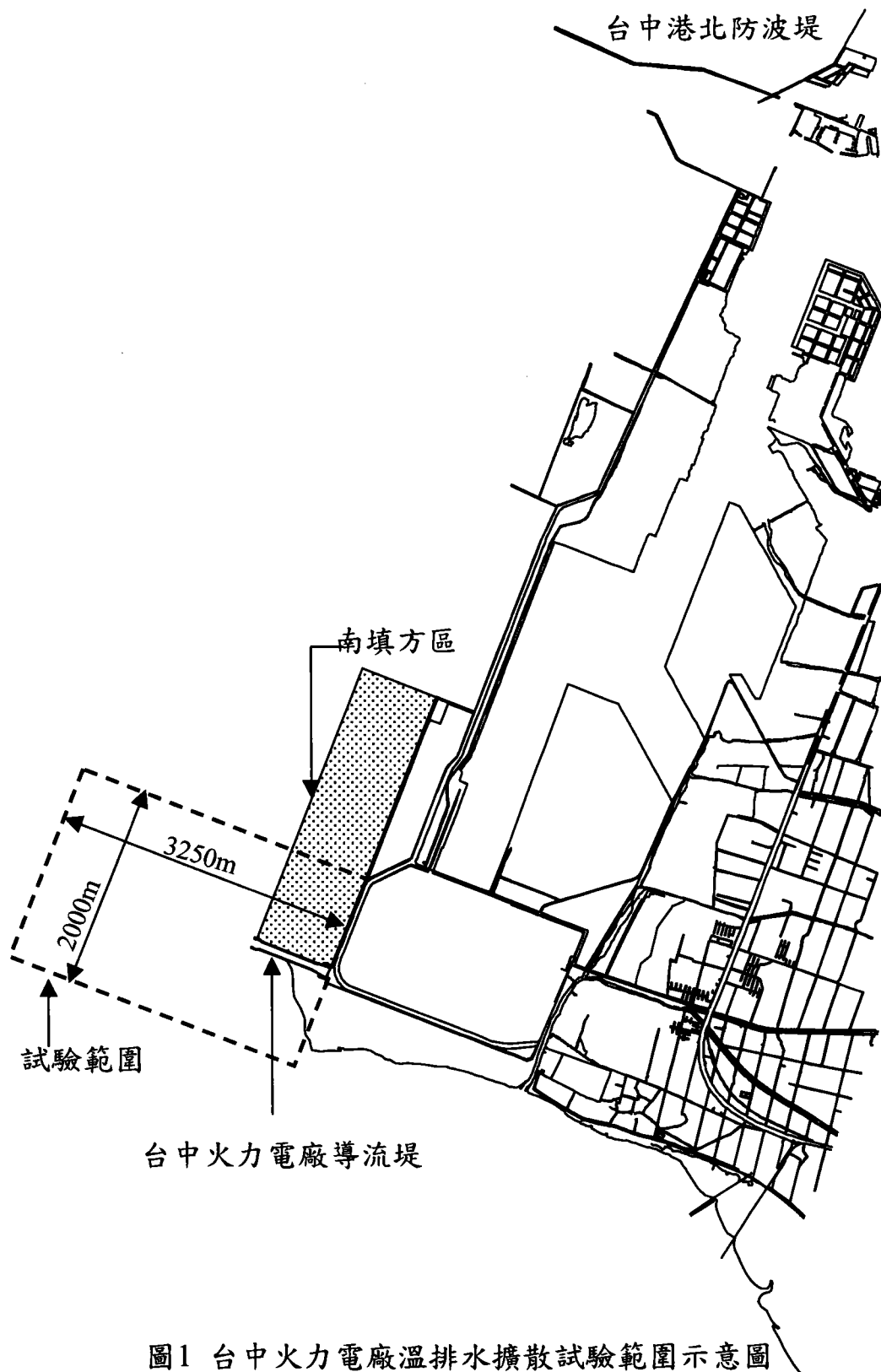


圖1 台中火力電廠溫排水擴散試驗範圍示意圖

4. 出水口布置：

(1) 明渠表面排放(現況)。

(2) 明渠截流排放，此乃應港研中心於期末簡報會議中之要求，僅進行最高高潮位，10部機，無南填方區之條件。

5. 出水口高程：

EL.-8.67m，此數值乃為出水口所在位置之海域地形水深。

6. 溫水排放流量：

(1) 219 CMS(8部機)。

(2) 278 CMS(10部機)。

7. 出水口初始溫昇：

(1) 7.6°C(8部機)。

(2) 7.5°C(10部機)。

以上出水口初始溫升乃港研中心所提供。

8. 試驗長度縮尺：

水平1/135； 垂直1/135。

2.3 模型律

由於整個流場主要乃重力主導，模型與現場間之模擬必須滿足福祿律(Froude Law)，模型與現場間之各種動力因素模擬應以滿足密度福祿數相似律(densimetric Froude number similarity) $(F_d)_m = (F_d)_p$ 為原則，

$$F_d = u / \sqrt{(\Delta\rho / \rho_0) \cdot gd} \quad (1)$$

其中 u 為排水口流速， d 為水深， g 為重力加速度， $\Delta\rho$ 為溫升造成之水體密度差值， ρ_0 為周圍水體之密度，而下標 p 代表原型， m 代表模型。其中雖然排水口溫升所引起之浮昇效應(buoyancy effect)在海水及淡水是有差異，但此一差異可由

排水口之流速加以調整；但若假設海水及淡水在同一溫升下其浮昇效應不變，並以此來決定流速、流量等縮尺，初步衡量評估之下，其結果應比考慮海水及淡水之浮昇效應而以調整排水口流速來滿足密度福祿數相似律所進行的試驗結果更為保守，此一觀點將於後續段落詳述之。根據前述之假設，則密度福祿數相似律將可簡化為福祿數相似律 $F_m = F_p$ ， $F = u/\sqrt{gd}$ ，由此可求得相關變數之縮尺如下：

- (1) 水平縮尺 $\lambda_x = X_m / X_p = 1/135$
- (2) 垂直縮尺 $\lambda_z = Z_m / Z_p = 1/135$
- (3) 流速縮尺 $\lambda_v = \lambda_z^{1/2} = 1/\sqrt{135}$
- (4) 流量縮尺 $\lambda_Q = \lambda_x \lambda_z^{3/2} = (1/135)^{5/2}$
- (5) 時間縮尺 $\lambda_T = \lambda_x \lambda_z^{-1/2} = 1/\sqrt{135}$

依此計算模型放流口附近在高潮位條件時之雷諾數約為 8.7×10^3 ，仍屬紊流流況。試驗條件如表1所示。

表1 試驗條件

試驗編號	潮位	溫排水出流量		配置
		現場(CMS)	試驗(c.c.)	
HHQ1Y1	最高高潮位	219	1034	原布置
MHQ1Y1	平均高潮位	219	1034	原布置
MLQ1Y1	平均低潮位	219	1034	原布置
LLQ1Y1	最低低潮位	219	1034	原布置
HHQ2Y1	最高高潮位	278	1312	原布置
MHQ2Y1	平均高潮為	278	1312	原布置
MLQ2Y1	平均低潮位	278	1312	原布置
LLQ2Y1	最低低潮位	278	1312	原布置
HHQ1Y2	最高高潮位	219	1034	有南填方區
MHQ1Y2	平均高潮為	219	1034	有南填方區
MLQ1Y2	平均低潮位	219	1034	有南填方區
LLQ1Y2	最低低潮位	219	1034	有南填方區
HHQ2Y2	最高高潮位	219	1034	有南填方區
MHQ2Y2	平均高潮為	278	1312	有南填方區
MLQ2Y2	平均低潮位	278	1312	有南填方區
LLQ2Y2	最低低潮位	278	1312	有南填方區
HHQ2Y2-1	最高高潮位	278	1312	無南填方區 明渠截流式 排放

圖2為不同溫度下現場海水(鹽度約為千分之三十五)及試驗室內淡水(假設鹽度為0)時其相對密度與溫度之關係，橫軸為溫度，單位為攝氏度數，縱軸為以4°C之純水做為1000kg/m³之密度，本試驗並不考慮壓力之影響，密度值之計算乃參考Fofonoff(1962)而得到。以下使用之下標 p 代表原型， m 代表模型， $\Delta\rho$ 代表溫升造成之水體密度差， ρ_0 為周圍水體之密度。

由此圖已可粗略看出，在同一溫升之條件下，海水中 $(\Delta\rho/\rho_0)_p$ 之值較試驗室中 $(\Delta\rho/\rho_0)_m$ 之值為大，但為求確實，仍以實際數字來檢驗之，假設周圍水體之水溫為25°C，海水及淡水之密度分別為1023.36kg/m³及997.07kg/m³，在7°C之溫升下，海水及淡水之密度分別為1021.05kg/m³及995.05kg/m³，則

$$\left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]_m = \frac{997.07 - 995.05}{997.07} = 2.026 \times 10^{-3} \text{ (淡水)} \quad (2)$$

$$\left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]_p = \frac{1023.36 - 1021.05}{1023.36} = 2.26 \times 10^{-3} \text{ (海水)} \quad (3)$$

假設周圍水體水溫為15°C，海水及淡水之密度分別為1025.99kg/m³及999.13kg/m³，在7°C之溫升下，海水及淡水之密度分別為1024.24kg/m³及997.8kg/m³，則

$$\left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]_m = \frac{999.13 - 997.85}{999.13} = 1.33 \times 10^{-3} \text{ (淡水)} \quad (4)$$

$$\left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]_p = \frac{1025.99 - 1024.24}{1025.99} = 1.709 \times 10^{-3} \text{ (海水)} \quad (5)$$

在本試驗中假設在原型及模型下之浮昇效應相同而有

$$\frac{u_m}{u_p} = \sqrt{\frac{d_m}{d_p}} \quad (6)$$

但若要考慮在原型及模型下不同之浮昇效應，應用

$$\frac{u_m}{u_p} = \frac{\left(\sqrt{\Delta\rho/\rho_0}\right)_m}{\left(\sqrt{\Delta\rho/\rho_0}\right)_p} \cdot \frac{\sqrt{d_m}}{\sqrt{d_p}} < \frac{\sqrt{d_m}}{\sqrt{d_p}} \quad (7)$$

表示流速比尺更小，亦即代表有 smaller 之流量。由本所過往所做台電電廠溫排水熱擴散水工模型試驗(參考文獻4，5)或數值計算等研究之經驗可知，當排水口流量愈小，則溫排水擴散之範圍通常亦較小，故本試驗假設原型及模型下有相同之浮昇效應，其結果應更為保守。

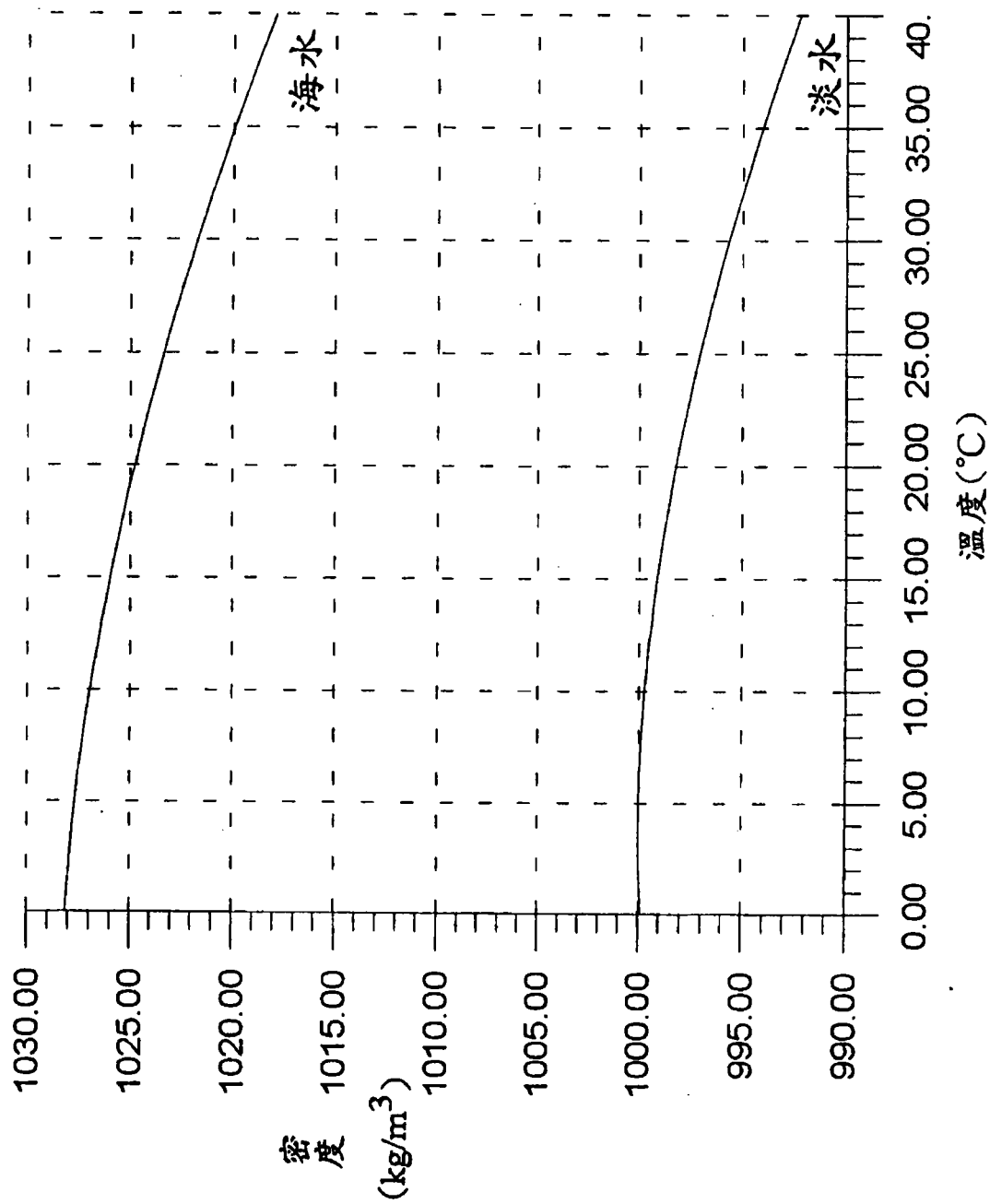


圖2 不同溫度下海水淡水之密度

第三章 試驗佈置、設備與步驟

3.1 試驗佈置與設備

3.1.1 試驗水池

圖3為試驗佈置示意圖。試驗於本所安南校區擴散試驗水池進行，該水池長40公尺寬16公尺，深1公尺。水池四周以帆布遮蔽俾降低外在環境之影響，同時亦長期持續於水池布設溫度計觀測逐時溫度變化，統計本場所溫度較為穩定之時段，並且在試驗進行中仍持續監測環境溫度，如有異常現象則停止試驗。依照統計結果，本場所在試驗進行之夏季中，以每日之晚上7時至晚上10時之間溫度最為穩定，因此所有試驗均於該時段進行。照片1顯示整個擴散實驗水池與周邊設備。

3.1.2 溫水供應系統

試驗溫排水流量經比尺換算後為1.31升/秒(10部機)，以每次進行最少40分鐘之試驗計算，則每次試驗之溫水需求量必須超過3,150公升，因此在溫排水溫度以及流量之控制上乃有別於一般較小規模之溫排水試驗。溫排水之溫度控制系統使用本所研發之邏輯控制加熱系統，其流量則是利用雙水箱之差流系統控制。首先，吾人必須先將一大型絕熱水箱內約4,500公升之水體加熱至預定溫度，於整個加熱過程間並同時開啓大水箱內部之循環馬達不斷攪拌水體以達溫度均勻分布，再以沉水馬達抽出進入另一小型水頭箱內，由此提供穩定流量進入放流渠道。小水頭箱內另裝置一加溫棒，並以一溫度計作即時回饋，以確保流出溫水之溫升為指定溫升，溫水在近入導流堤前以塑膠管線輸送，因此在其甫進入渠道時另以一溫度計檢驗管線所排出之水溫，是為另一道溫度控制上之。此外水體在抽進小水箱前並流經一串聯玻璃管面積式流量計，由此可確定溫水出流量。此一溫度與流量之控制系統架構如圖4所示。照片2為玻璃管面積式流量計與本控制系統串聯之情況。

3.1.3 水位之控制

由於試驗之比尺較大，在有限之空間內無法模擬現場進水口抽水之情況；再者，台中火力電廠之進水口乃位於台中港區水域，機本上其抽水之運作將不致對放流口產生影響，故在試驗上乃是於遠離放流口端設置溢流堰，讓水體直

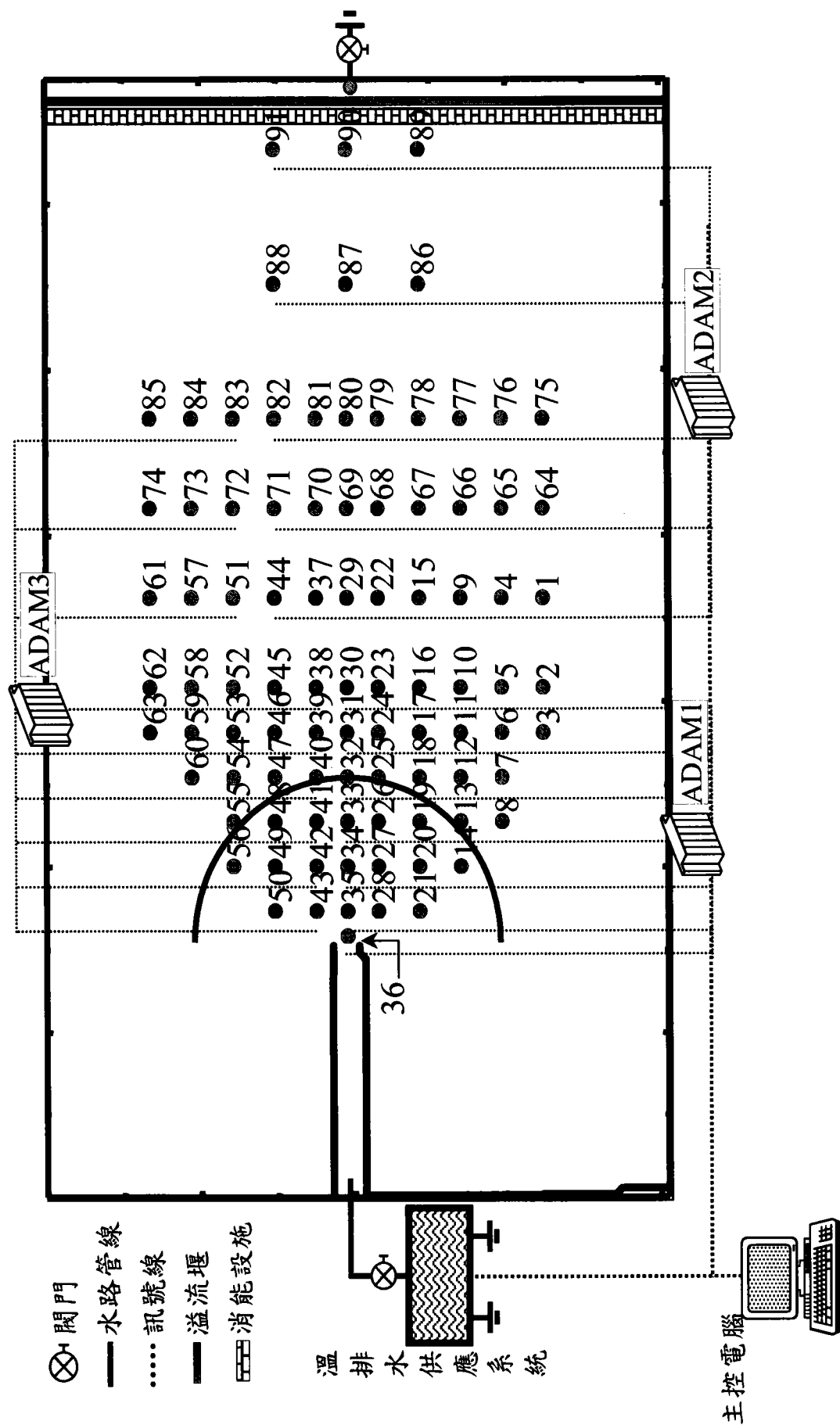


圖3 溫排水擴散試驗布置示意圖

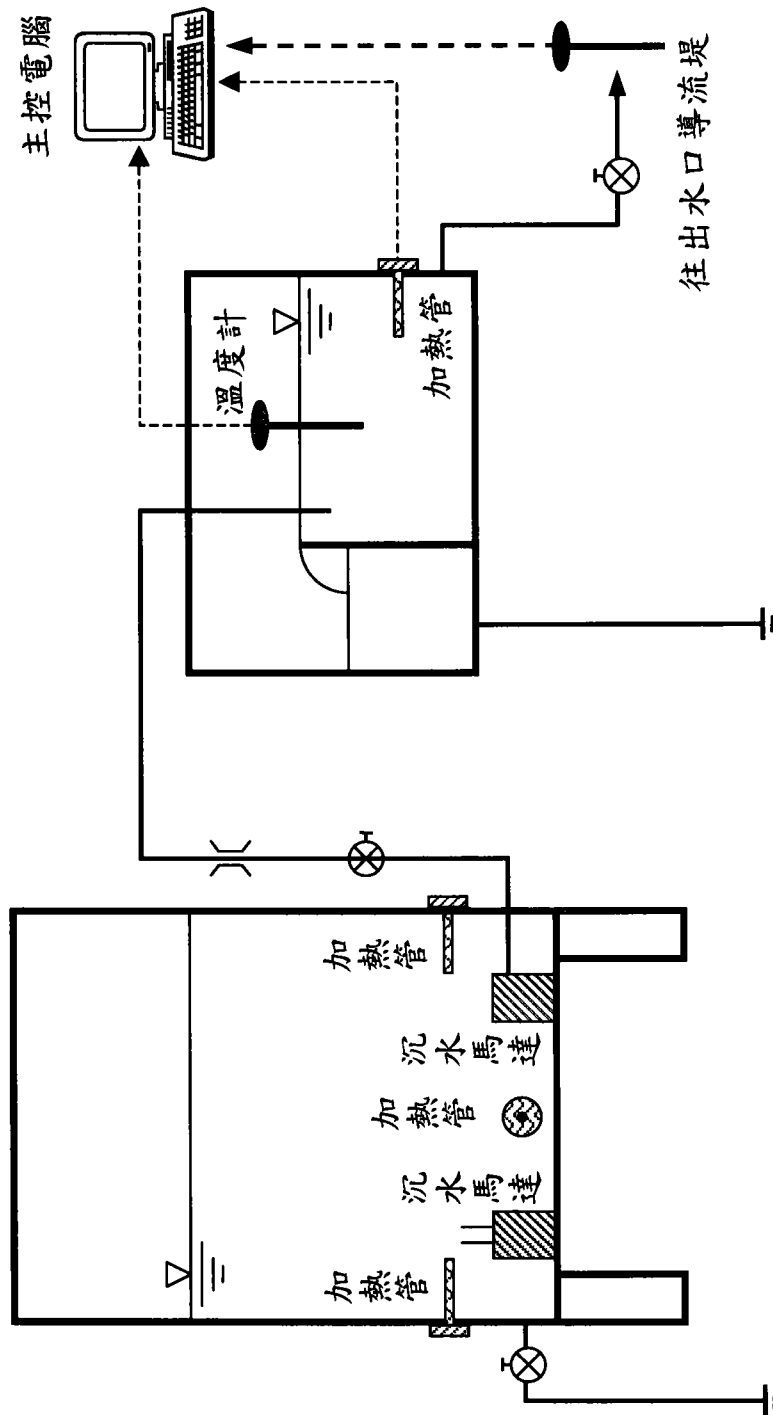


圖4 溫排水供應系統



照片1 試驗水池與周邊設備



照片2 玻璃管面積式流量計與溫排水供應系統

接漫出以控制水位。以試驗最大流量1.3公升/秒在長約15公尺之溢流面上排出，則其可能引起之流動幾乎可以忽略；在另一方面，溫排水自放流口射出後受到海域地形變化之影響亦可能於水池中行成殘餘流動並隨放流時間之增加而增加，凡此種種因有限空間所可能引起之邊界問題，本所除於水槽周邊佈置消能設施，並均於前置試驗中量測側邊界與溢流端邊界附近之流速，其值均十分微小。

3.1.4 溫度量測

為量測試驗區域內水溫變化，首先於水池安裝網架，並於網架上以角鋼組成格網系統，再將溫度計固定於格網系統之特定控制點上，以測定該處之表面水溫。由於試驗之觀測重點在距離現場排水口500公尺之圓周以及方圓以內之範圍，因此乃在此區佈置較密測點，平均約間隔0.8m~1.0m(相當現場約100m~135m)一測點。熱電偶式(thermocouple)溫度計為祐承公司所製造，如照片3所示，其量測範圍為15°C~45°C，精度為0.1°C。熱電偶式溫度計之工作原理為利用兩種膨脹係數不同之材料，兩端相接而形成閉合迴路，當兩端接點有溫度差時，因溫度差發生熱起電力(thermo-electromotive force)而在迴路中有電流通，如兩端之一溫度為已知，則另端之溫度可由電路之起電力測出。此一由熱能(溫差)產生電流的效應稱之為熱電效應或席貝克效應。通常在研究工作中，需要溫度有非常小的時間常數並能遠距離讀數和記錄時，熱電偶之使用相當普遍。

3.1.5 資料收錄系統

溫排水開始放流後即開始收錄資料。由於溫度計總數達92支，再加上取樣時間較長，因此所有訊號均連接至本所自行開發設計之多節點資料擷取系統(Multi Node Data Acquisition System，簡稱MNDAS系統)，該系統除了特別為此一多頻道同步收錄試驗所設計外，並改善以往經常發生於長距離傳輸所造成之訊號減衰現象。大型溫排水擴散試驗常面臨量測座標點數目多且分佈廣大之情況。若資料收錄集中於單一設備，距離較遠之溫度計需要佈置較長之訊號線，除導致溫度計訊號線、電源線佈置龐雜外，訊線受雜訊干擾之機率亦增多，再者訊號線需求長度過長可能超過儀器本身設計之規格。此外，若量測點位數目太多，往往非單一資料收錄設備所能負荷。MNDAS可依試驗需求將量測區域畫分為若干區域，每一區域均有一獨立之資料收錄子系統，再利用RS-485通訊介面進行串聯來構成量測網路，並將各區域資料收錄結果傳回主控室。如此可大

大減低量測儀器訊號線佈線之負擔，並提供足夠之資料收錄頻道。

3.1.6 流速量測

放流口附近之流速乃是以兩部電磁式流速儀量測之，其中一部來回移動於不同規劃點位上量測流速，另一部則自始至終固定於一某一點位上量測流速，以作參考之用。電磁式流速儀乃根據法拉第電磁感應定律，將水作為導體，當導體在磁場中運動時，切割磁力線使導體兩端產生感應電動勢，藉由感應電動勢的量測，即可測得定點上之二維流速，本試驗採用之U-TECH2000型量測精度為 $1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ ，空間解析度為2mm (照片4)。流速量測之取樣率(sampling rate)為20Hz，每一次量測時間為600秒，將此12000筆數據作長時間平均即代表每一點位上之流速。其中取樣率20Hz為該流速儀所能達到之最快反應，以本試驗所著重之噴口平均流速而言，這樣的取樣率應已足夠。

3.1.7 溫排水擴散範圍流場可視化觀測

流場可視化(flow visualization)有助吾人於從事定量量測前對流場形態有初步之認識，並可提供更多流場結構之細微資訊，以彌補單點離散式量測之不足，因此近半世紀以來，不但提昇流體力學之研究層次，本身亦發展成流體力學研究之重要一環。本試驗之流場可視化乃於溫水中分別羈入過錳酸鉀以及Rhodamine 6G ($\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{ClN}_2\text{O}_3$)染料幫助流場顯影，再利用數位式專業相機(Nikon Coolpix 950) 記錄影像，以了解溫排水之運移與擴散行徑(照片5)，同時作為溫度計架設位置之參考。

3.2 試驗步驟

溫排水擴散試驗之影響因素極多，試驗過程之控制繁雜，稍有不慎即引起試驗誤差，因此由試驗之開始至試驗完成之各項準備工作必需小心從事，以下謹將各試驗步驟按序說明之：

3.2.1 模型放樣與鋪設

水工模型試驗首重模型製作之精度與試驗參數之控制，由於熱擴散研究之主題在於測定溫度之分佈狀態，以判定其溫度之傳播狀況與溫度迴流之問題，因此現場區域地形必需有詳盡之資料。根據港研中心提供之水深地形資料，依

縮小比尺放樣於試驗水池中，經填沙、踏實、鋪敷水泥後，模型已然完成。由於模型製作精度要求較高，因此各點之高程每次必需應用水準儀反覆檢驗之，另於模型製作完成後放水，根據水體上升之界面檢查模型中等深線製作是否正確，依此進行細部修正工作，待細部修正完成，最後再於模型表面塗上顏料，標示主要點位所在，俾流場可視化實驗時可直接於影像中清楚判斷染劑行進之相關位置。照片6顯示模型之建構過程。

台中火力電廠之溫排水採表面排放型式排放，在自然現場條件下，溫排水在到達排放口放流入海之前的溫度變化與這一段約750公尺的渠道有關，包括渠寬與渠底坡度等幾何形狀因子以及堤內側糙度等等，都需儘可能重現於模型之中，其中幾何形狀之模擬固為試驗之基本要件之一，另根據本所過去之經驗，堤內側糙度與流場紊流能量消長之關係亦須考慮。幾何形狀部分經港研中心提供導流堤詳細平面圖與剖面圖，按比例縮尺之後，非常細緻地建構於水槽之中，而堤內側糙度部分則是依照現場導流堤內側覆面消波塊之尺寸，亦是依比例縮尺後，於模型堤表面水泥粉光過程中以號數最符之鋼刷作來回交叉塗刷以模擬之。

3.2.2 率定溫度計

溫度計之率定乃於一矩形玻璃水箱當中進行。玻璃水箱長45cm，寬30cm，高30cm，於水箱中注入約1/3清水，利用加熱棒加至固定溫度，過程間並以小型馬達不斷攪動水體務使水箱內之水溫均勻。水箱中之水溫由一經過校驗之標準溫度計讀出，而各熱電偶式溫度計則依其實際連接之訊號線長與MNDAS系統連線，記錄其輸出電壓，由此獲得不同水溫與電壓間之相關性，如圖5所示。

3.2.3 佈置溫度計

在試驗室中欲完全偵測出溫度之分佈，必須於每試次前根據試驗水流，進出水量條件，於出水口處施放過錳酸鉀染料觀測其傳播擴散狀況，藉此則可佈置測溫計之位置。

3.2.4 率定溫水進出水流量

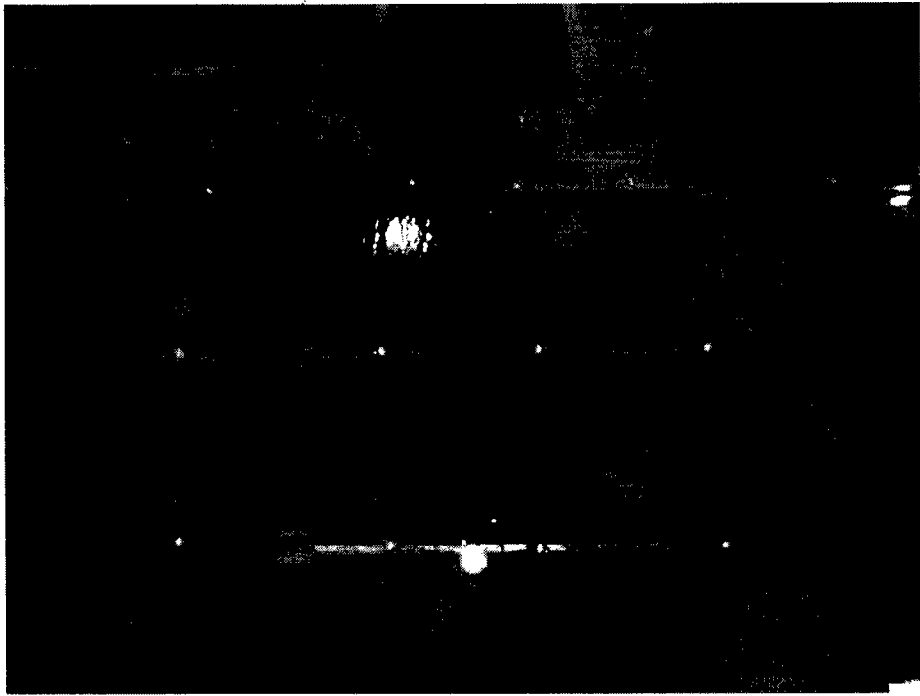
當排放水溫調整時即可跟著進行進出水口流量之率定，由於流量影響溫排水之擴散面積及擴散型態，是故流量之率定必需十分準確，因此本所控制出水口流量乃以玻璃管面積式流量計實測之。



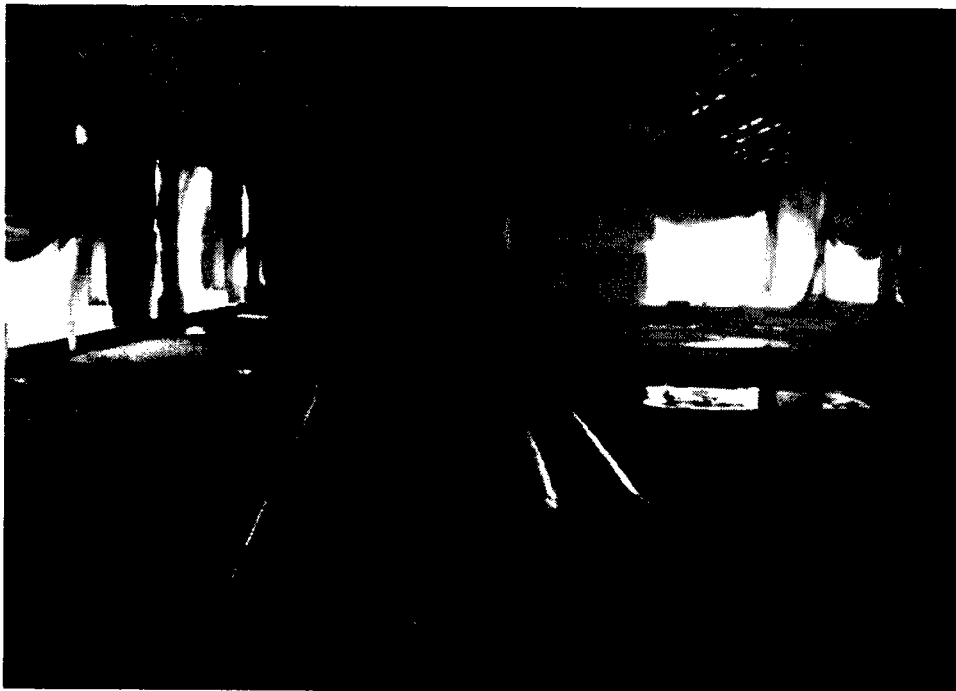
照片3 熱偶式溫度計



照片4 流速儀



照片5 以流場可視化輔助觀測溫水排放



照片6 模型放樣與鋪設過程

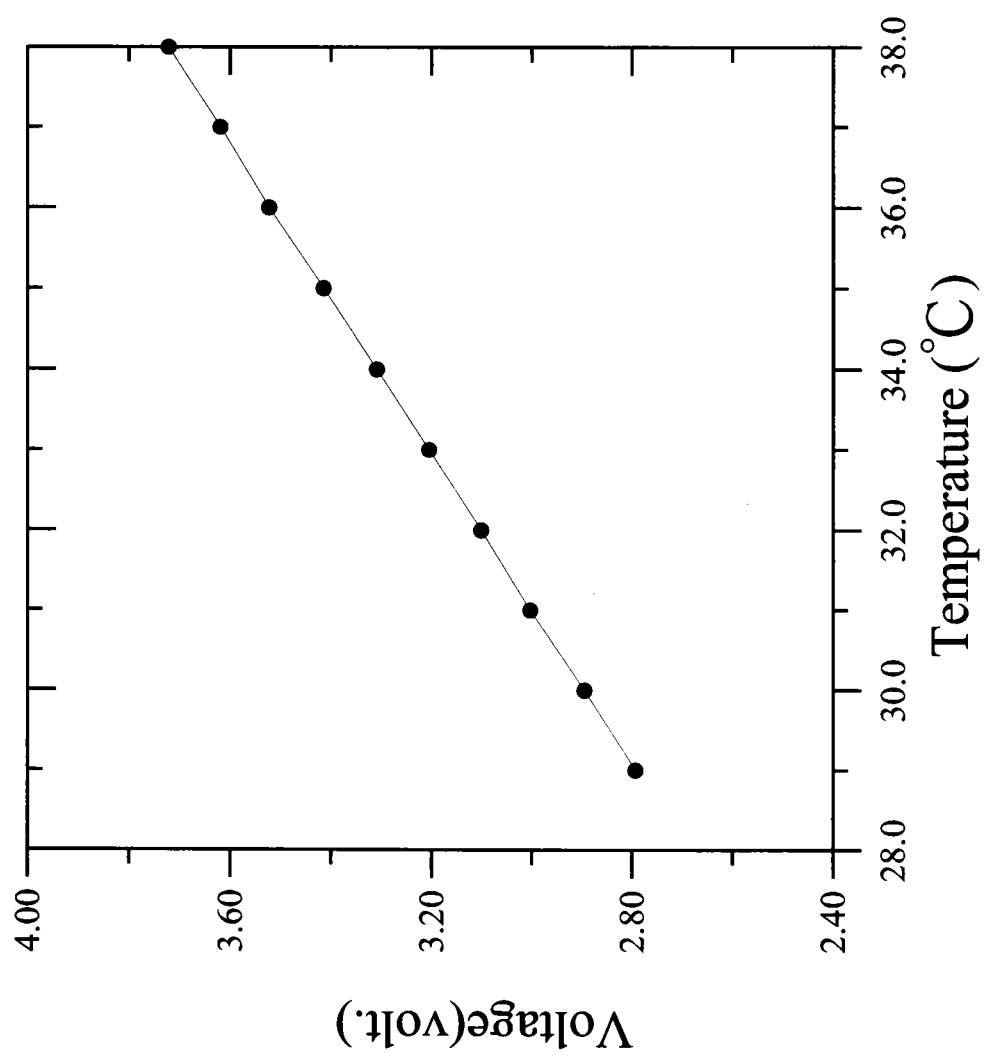


圖5 溫度計率定曲線

3.2.5 水體充分混攪

無論是水池內或是溫水箱內的水體均需於試驗前充分攪拌均勻。水池內溫度之均勻性是以 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 為控制標準。

3.2.6 調整排放水溫度

試驗開始之前首先應用測溫計檢視擴散試驗水池之水溫 T_a ，則可決定當次試驗之排放水溫，據此則啓動溫度加熱器，並不時以測溫計檢核或調整排放水溫。

3.2.7 開啓資料收錄系統再排放溫水

在溫排水放流前先開啓收錄系統開始測溫可再次確定整個水池之背景溫度是否均勻，同時亦可完整記錄每一量測點位上之溫度變化。

第四章 結果與討論

一般經由明渠導流堤以表面排放方式排放溫水者，其起始稀釋效應受潮位影響相當大，潮位較低時，相同出流量下溫排水相對具有較大動能，在射流入海之後迅速捲增周圍低溫海水，此一作用亦是溫排水擴散初期最重要之機制，不過，在另一方面，此刻卻也由於放流口水深較淺，所能混攪之水深方向水體相對較少，因此減低部分擴散之能力。而當潮位較高時則由於溫排水排出時所遭遇之壓力增大，較不利其擴散行為，不過也由於水深較大，可混攪之水體較厚，這一部分是有利溫水擴散的。整體觀之，以近域擴散行為而言，溫排水排入海中時之動能大小乃為最關鍵所在，因此以下在進入溫擴散結果討論之前，將先探討幾個代表性點位上在不同外海潮位時其速度分布特性。

4.1 流速量測結果

本計畫在速度量測方面是以射流中心軸為主，自放流口至500公尺半徑位置上共量測5點，量測高程均在水表面，而所有量測均以放流口點位(A0)之速度為參考流速，圖6為速度量測點位分佈示意圖。

表2顯示各試次在不同點位上之軸向平均流速($\bar{U}_x$)。每一測點每次取樣時間為5分鐘，取樣頻率為20Hz，再將各測點所收錄之12,000筆數據作長時間平均，即為表2上所顯示之數值。放流口軸向平均流速($\bar{U}_{A0}$)依水位遞增而遞減，以10部機流量為例，在最低低潮位時 $\bar{U}_{A0}$ 約為3.2m/s，而在平均高潮位時則 $\bar{U}_{A0}$ 已降至約0.85m/s。每一試次在射流中軸上軸向平均流速均隨距放流口距離增加而明顯遞減，其中尤其以最低潮位的兩個試次遞減幅度最大，在行進至點A1時，與平均低潮位之對等流量條件下之速度相比，兩者平均仍顯著相差約1.5倍，然而行進至點A2時，兩者速度已經幾乎是一致的，到了點A3時比值變為0.9，表示一樣的出流量下，在該點位上來自於最低低潮位之軸向流速反而比在平均低潮位下者為小，及至距放流口500公尺之點位上時(點A4)，其平均軸向流速與相同流量在平均低潮位條件下者之比值已降至約0.8，而造成在最低低潮位時射流中軸向流速衰減如此迅速之原因，應與該水位條件下，溫排水於海域靜水面上產生較大擾動，因而在前進過程中損耗較多能源所致。圖7為各試次各測點上之軸向流速比較圖。

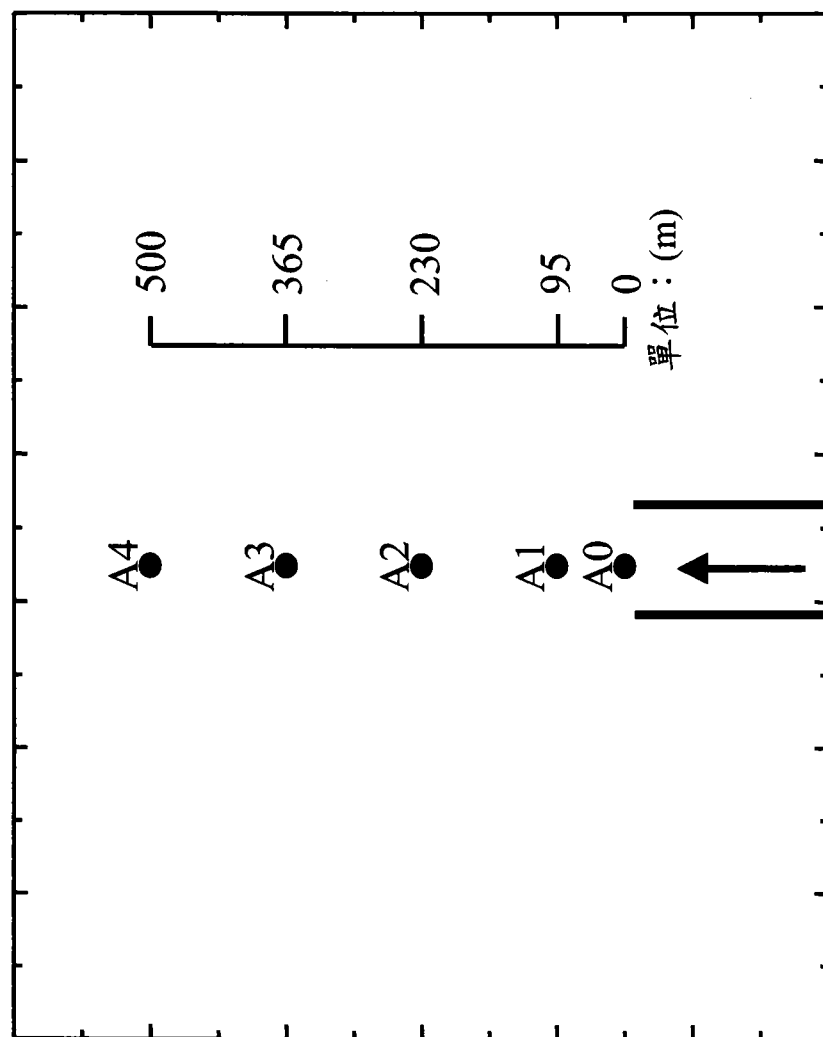


圖6 速度量測點位分佈示意圖

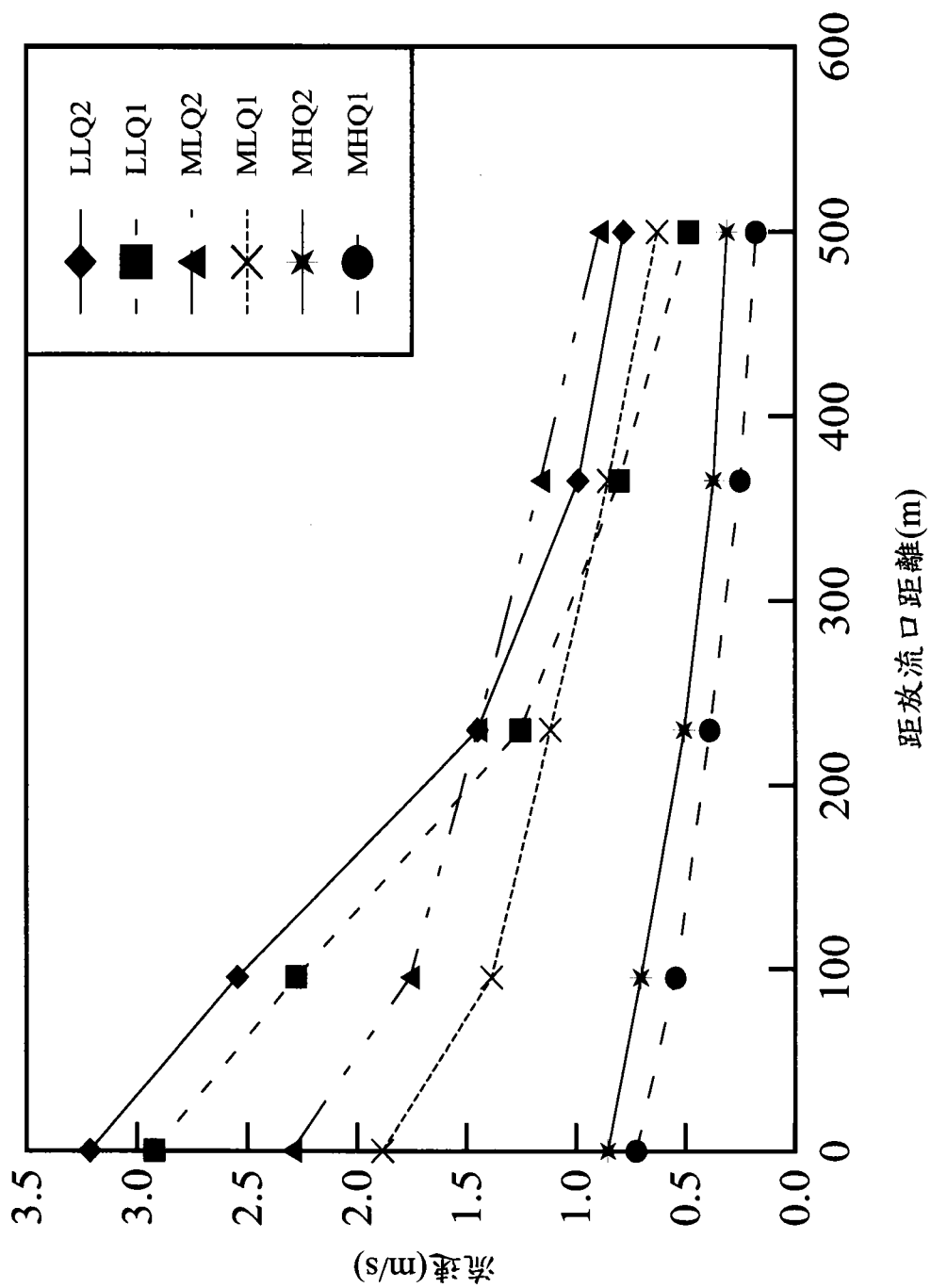


圖7 不同水位與流量下，射流中軸上之軸向流速比較

表2 不同點位上各試次之射流中軸表面平均流速

點位代號	距放流口 距離(m)	LLQ2	LLQ1	MLQ2	MLQ1	MHQ2	MHQ1
A0	0	3.21	2.92	2.30	1.88	0.85	0.72
A1	95	2.54	2.28	1.76	1.38	0.70	0.54
A2	230	1.45	1.25	1.45	1.12	0.50	0.39
A3	365	0.99	0.80	1.16	0.85	0.37	0.25
A4	500	0.78	0.48	0.89	0.63	0.31	0.18

單位：公尺/秒

4.2 溫升分布

4.2.1 溫度隨時間之變動特性

溫度量測之取樣率為1Hz，並每3秒鐘平均一次數據輸出。圖8顯示一組典型之溫度隨時間之變化曲線，不同位置上之溫度計在溫水未到達前均無溫度變化，而且彼此溫度十分接近，顯示試驗水池內之背景溫度相當均勻。俟溫水到達，可見溫度計在極短時間內即躍升至一定溫度，而後漸趨穩定，並在某一平均值附近呈現些許擾動。其中溫升最大之點位36恰位於放流口上，因此明顯為最早感應到溫度升高者，同時亦為最早到達穩定狀態者，且由於其所在位置屬於射流之勢能區(potential core)內，理論上外圍低溫水體無法進入此區，故在溫度上升後即保持十分穩定。自點位35以降，可看出距離放流口越遠者其感測到溫度上升之時間較慢，且上升幅度亦較小。值得一提者，在離開放流口一段距離之後，整個溫度隨時間之變動曲線雖大致保持穩定，不過其擾動成份亦相當顯著，而彼等之擾動頻率乃明顯隨著距放流口之距離增加而漸減，代表此一水平紊亂射流(turbulent plane jet)之捲增渦流尺度隨距離之增加而增大，因此在計算各點之代表溫度時均取至少涵蓋一擾動週期之數據點做平均。理論上，俟距離放流口500公尺點位上之溫度到達穩定時即可結束觀測，並將此一穩定值減去其背景溫度即為該點位之溫升值，不過本所之作法則是在溫水供應不虞匱乏與邊界條件不影響情況下，儘可能持續觀測，以本計畫而言，觀測時間均超過40分鐘，相當現場約8小時。

4.2.2 最低低潮位結果

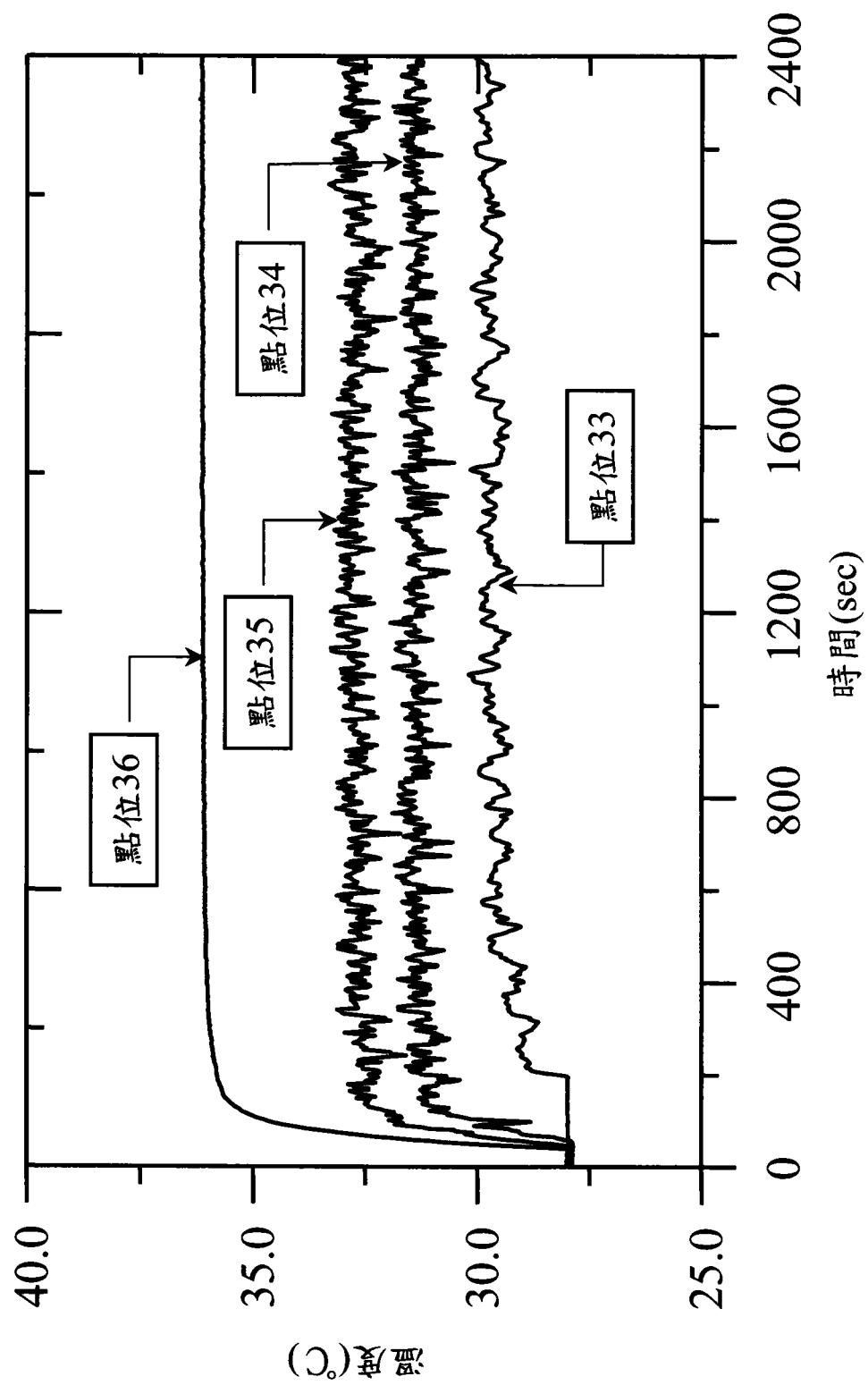


圖9為最低低潮位，南填方區未填築前，8部機出流量在放流口附近之等溫升圖。本水位條件下放流口水深僅約5.8公尺，因此在219CMS溫水源源不絕排放之下，在放流口可清楚觀察到射流引起之水面擾動，圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升介於 2.0°C 至 2.5°C 之間，而點位32(參考圖3，即為射流中軸與500公尺圓弧之交點)之最大溫升則為 2.3°C ，圖10為相同潮位與出流量下，南填方區填築後之溫升圖，顯示500公尺圓弧上之最大溫升約為 2.5°C 。

圖11為最低低潮位，南填方區未填築前，10部機出流量在放流口附近之等溫升圖，圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升介於 2.5°C 至 3.0°C 之間，而點位32之最大溫升值為 2.8°C ，圖12為相同潮位與出流量下，南填方區填築之後之溫升圖，顯示500公尺圓弧上之最大溫升約為 2.7°C 。

4.2.3 平均低潮位結果

圖13為平均低潮位，南填方區未填築前，8部機出流量在放流口附近之等溫升圖，圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升約為 2.5°C ，而相同潮位與出流量條件下，南填方區填築之後500公尺圓弧上之最大溫升則介於 2.5°C 至 3.0°C 之間，在點位32上之最大溫升值為 2.7°C ，如圖14所示。

圖15為平均低潮位，南填方區未填築之前，10部機運轉下於放流口附近之等溫升圖，圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升介於 2.5°C 至 3.0°C 之間，而點位32測得之最大溫升值為 3.1°C ，圖16為相同潮位與出流量下，南填方區填築之後之溫升圖，顯示500公尺圓弧上之最大溫升約為 3.0°C 。

4.2.4 平均高潮位結果

圖17為平均高潮位，南填方區未填築前，8部機出流量在放流口附近之等溫升圖。由於本海域平均高潮位與平均低潮位高程差距達3.63公尺，再參考兩者在放流口之起始流速之差異(4.1節)，因此其等溫度線分佈型態與前述兩較低潮位下者明顯不同：首先，本圖之等溫度線分佈大抵以放流口為中心，呈半橢圓形向遠端遞減，而前述兩較低潮位下之等溫度線則較集中於射流中軸上而呈長條狀之分佈，換言之，在本水位條件下，由於射流在軸向上所受之阻力較大，故而溫度有較顯著朝側向(traverse direction)擴散之趨勢；其次，本潮位下可能因為射流衝到500公尺時已消耗大部分動能，因此就500公尺方圓上之點位而言，其溫度變化在空間上之分佈型態顯得較為不穩定，不像前述兩水位時其500公尺

方圓上之最大溫升位置均在射流中心軸上(亦即點位32)。圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升約為 1.5°C ，而相同潮位與出流量條件下，南填方區填築之後500公尺圓弧上之最大溫升則介於 1.0°C 至 1.5°C 之間，其中最大溫升值為點位41所測得之 1.4°C ，如圖18所示。

圖19為平均高潮位，南填方區未填築之前，10部機運轉下於放流口附近之等溫升圖，圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升介於 1.5°C 至 2.0°C 之間，而點位41測得之最大溫升值為 1.6°C ，圖20為相同潮位與出流量下，南填方區填築之後之溫升圖，顯示500公尺圓弧上之最大溫升約為 1.7°C 。

4.2.5 最高高潮位結果

圖21為最高高潮位，南填方區未填築前，8部機出流量在放流口附近之等溫升圖，隨著水位再向上抬升1.31公尺，則上一小節(4.2.4)所述之等溫度分佈特性更加顯著。圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升介於 0.5°C 至 1.0°C 之間，而相同潮位與出流量條件下，南填方區填築之後500公尺圓弧上之最大溫升亦是介於 0.5°C 至 1.0°C 之間，如圖22所示。

圖23為最高高潮位，南填方區未填築之前，10部機運轉下於放流口附近之等溫升圖，圖上顯示距放流口500公尺圓弧上之最大溫升介於 1.0°C 至 1.5°C 之間，而點位13測得之最大溫升值為 1.3°C ，圖24為相同潮位與出流量下，南填方區填築之後之溫升圖，顯示500公尺圓弧上之最大溫升亦是介於 1.0°C 至 1.5°C 之間。

綜整上述，就距500公尺圓弧上之溫升而言，所有試次中以平均低潮位下，10部機運轉時之溫升值 3.1°C 最大，而相同條件有填方區時亦達 3.0°C ，另在同一潮位下8部機出流量則分別造成 2.5°C (無填方區)與 2.7°C (有填方區)之溫升，雖然試驗結果顯示最大之溫升值仍在環保法規所規範之 4.0°C 以內，然而由於本試驗僅考慮近域結果，因此就現場而言仍需再加上長期累積背景溫升值(build up)，亦即考慮所謂之綜合溫升以符實際，而一般此一長期背景溫升值均是以數值模式進行遠域模擬，歷經多次潮水往復漲退後得之；其次在最低低潮位下10部機運轉時所形成之溫升則分別為 2.8°C (無填方區)與 2.7°C (有填方區)，在同一潮位下8部機出流量則分別造成 2.3°C (無填方區)與 2.5°C (有填方區)之溫升；而在平均高潮位條件下10部機運轉時所形成之溫升則分別為 1.6°C (無填方區)與 1.7°C (有填方區)，在同一潮位下8部機出流量則分別造成 1.5°C (無填方區)與 1.4°C (有填方區)之溫升。以上結果顯示有、無填方區對500公尺方圓上之溫升影響並無一定

趨勢，且相同潮位與出流量下，有、無填方區所造成500公尺方圓上之溫升差異平均約在 0.2°C ，關於本項結果將在下節再詳述之。再者，外海潮位對500公尺方圓上之溫升影響亦無一定趨勢，最大溫升發生於平均低潮位10部機之條件，而最小溫升則發生於最高高潮位時，再回顧上節所測得之中軸平均流速，顯然在平均高潮位下其出口流速遠小於另外兩組潮位者，自然其溫度稀釋能力較弱，因此高溫區域都集中在500公尺方圓之內，在500公尺圓弧上之溫升反比其他兩組為小；在另一方面，最低低潮位時其射流行進速度自放流口起明顯先盛後衰，及至500公尺圓弧上甚至降至比相同出流量下在平均低潮位時之流速更小，由於在這範圍內溫度之擴散主要乃受水流之運移所主宰，因此其溫升值比平均低潮位者略小。

4.3 填方區構築後對溫升之影響

為便於比較南填方區構築前、後所產生之溫升變化，僅將上節所顯示之各相同潮位，出流量條件下，有填方區之各點溫升值減去無填方區之對應點位上之溫升值，再將溫升差值繪出，如圖25至圖32所示。

基本上，由於表面排放之溫水在射入海域之後除了不斷向兩側捲增周圍較低溫水體之外，也同時向下捲增，其間在不同空間位置上所形成之渦流尺度各不相同，彼此在傳遞過程中又不斷相互作用，益增溫度擴散機制之複雜性，因此即使是初始條件與邊界條件均在良好之控制與監控之下，重覆進行相同試驗條件之試次仍不易在各對應點位獲得相同之溫升結果，因此在離開放流口較遠的點位上，就有、無南填方區這個變數而言，在不同潮位與出流量條件下並未形成一較清楚之趨勢，而且互有增減，顯見在不考慮潮流流動情況下，南填方區之構築與否對500公尺方圓外的溫升影響相當有限。在另一方面，500公尺方圓內雖然有、無填方區對相同點位溫升之影響亦是有增有減，然而有一個比較明顯的趨勢是在放流口偏南堤附近，在每張圖上均顯示為正值，即南填方區構築後均於此區產生較大溫升。此一現象應與放流口附近之射流捲增行為有關：基本上在填方區未構築前於放流口南、北兩端之外圍水體之補充通量較為對稱，因此會大致以射流中軸為中心形成一對大尺度對稱循環流，且在放流口後方，亦即其之東南角落或是東北角落亦會有水體向射流補充，而當南填方區構築之後，相當於東北角落之水域被填平，然而在放流口北側依然需要足夠水體補充，因此形成一股較強之流動沿著填築區海堤由北向南流。

圖33(a)~(h)為各試次於放流中心軸上之溫升變化圖，每張圖均顯示填築前(實線)與填築後(虛線)在不同位置上之溫升，以便於比較南填方區構築前、後之變化。基本上填方區構築前、後沿射流中心軸之溫升變化趨勢與大小均十分一致，以最低低潮位與平均低潮位而言，距放流口100公尺以內是溫升值下降幅度最大之區域，平均約下降 3.0°C ，然後在100公尺至300公尺間變化漸趨平緩，在300公尺至500公尺之間則大致保持穩定；在平均高潮位與最高高潮位時則是於前200公尺下降幅度最大，而自200公尺至500公尺之間則約呈線性遞減之趨勢。

4.4 放流口型式改為明渠截流排放之結果

港研中心於期末簡報會議中提出一明渠截流排放之構想，如圖34所示，傳統之溫排水排放型式大抵分成表面排放與潛式排放兩類，目前台中火力電廠之排放型式即屬前者，而一般之潛式排放則多利用鋼管直接拉到定點海床上排放。由於表面排放僅需自岸上構築明渠導流堤至足夠水深處，工程成本自然較低，惟其排放流速易受外海潮汐漲落之影響，因此近年來開始有較多設計將出口部分以沉箱擋住，並依出流量估算最佳開口截面積，此即所謂明渠截流排放型式之基本概念，目前在台灣本島僅有麥寮電廠以此型式排放，而設計中之大潭電廠亦屬此類。

本所利用最後進行之最高高潮位，無南填方區，10部機運轉之流量條件進行此一試驗，結果如圖35所示。雖然在500公尺圓上其溫升值與相同條件下原排放型式者十分接近，不過在出口附近等溫線之型態均較為尖長，集中，而原排放型式(圖23)之結果則其等溫線較為圓扁、分散，顯示在最高高潮位條件下，經由明渠截流式排放之溫水其出口流速較大，對擴散之初始混擾較為有利。

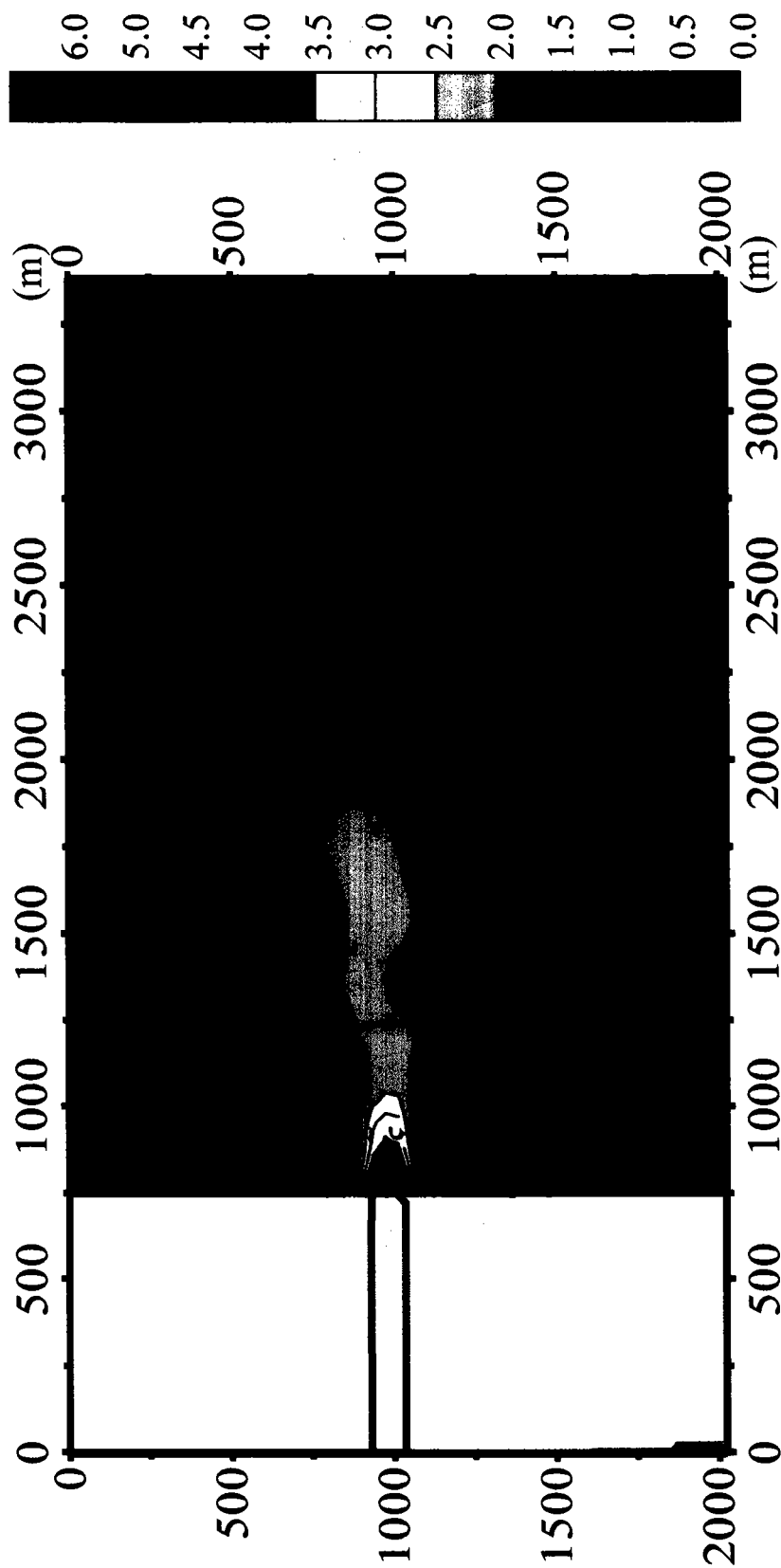


圖9 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，8部機，無填方區)

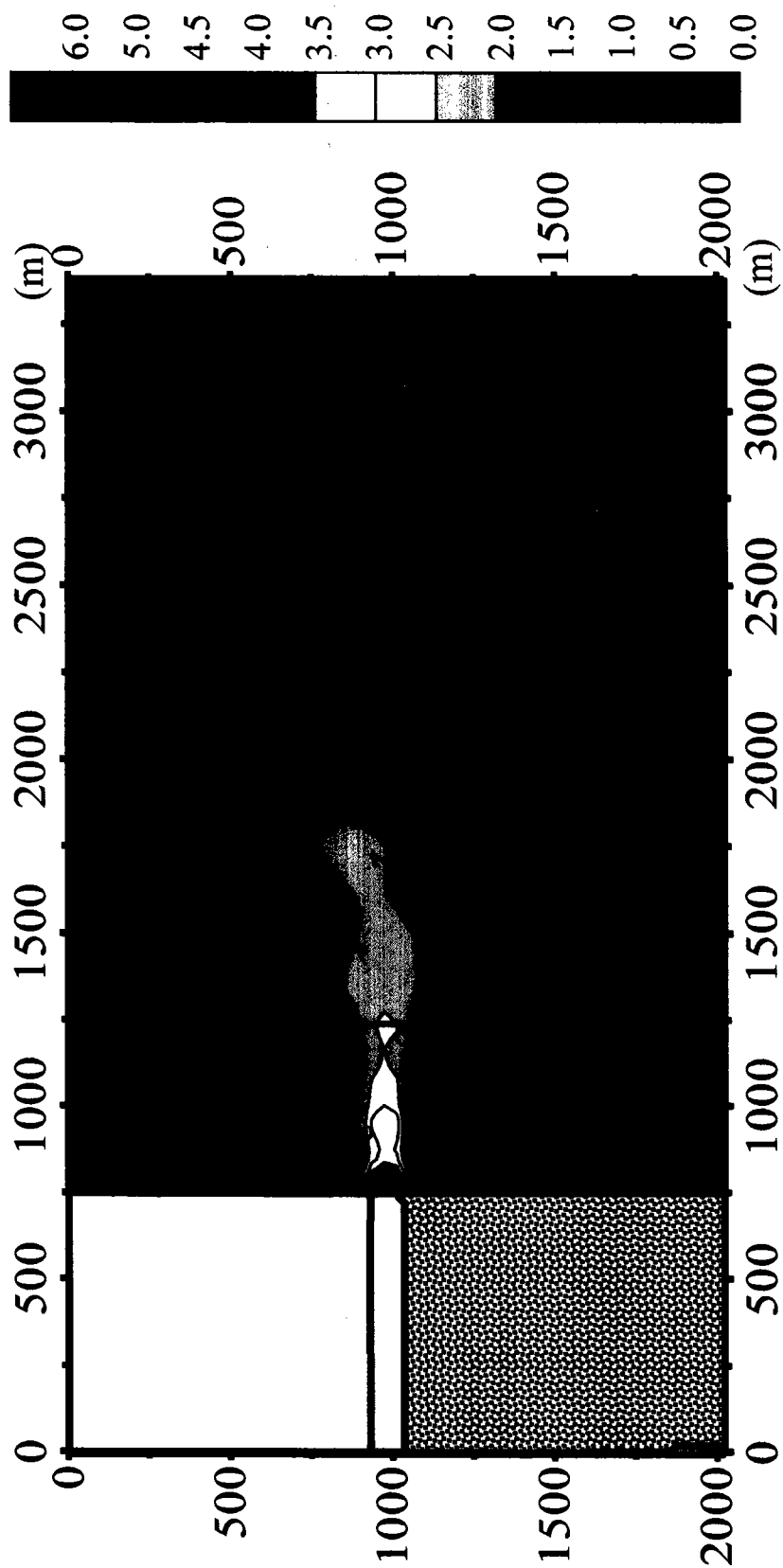


圖10 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，8部機，有填方區)

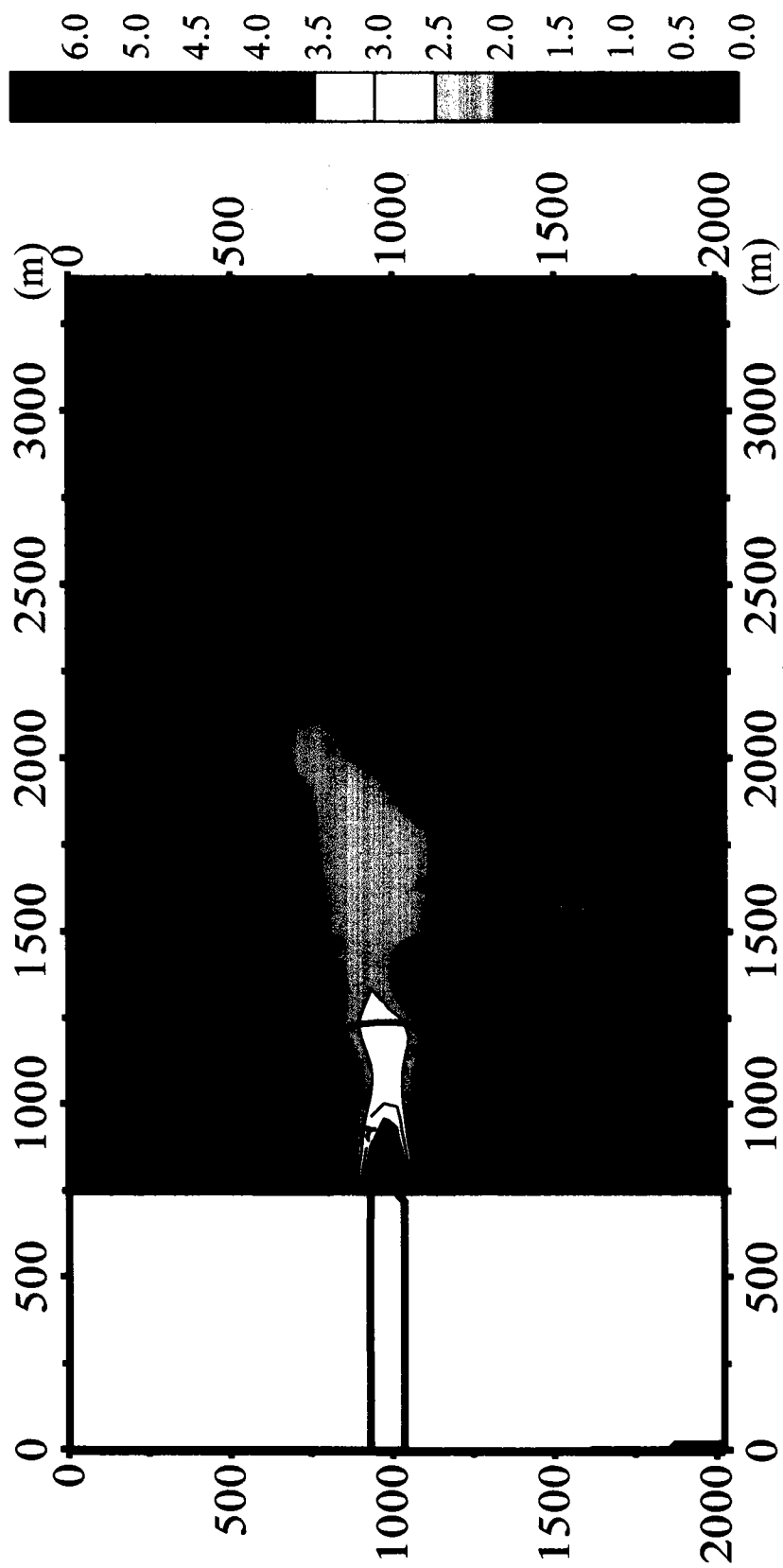


圖11 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，10部機，無填方區)

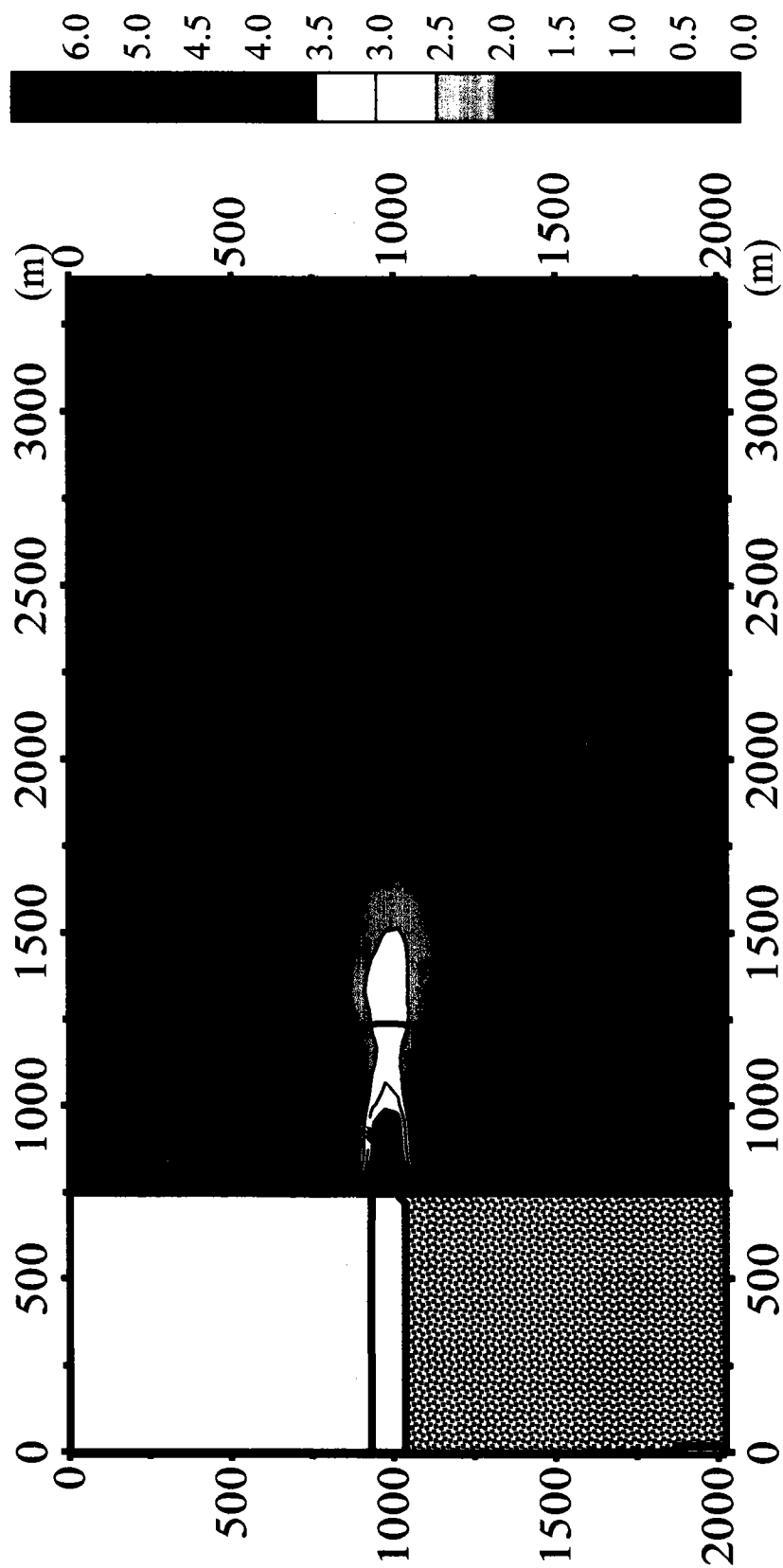


圖12 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，10部機，有填方區)

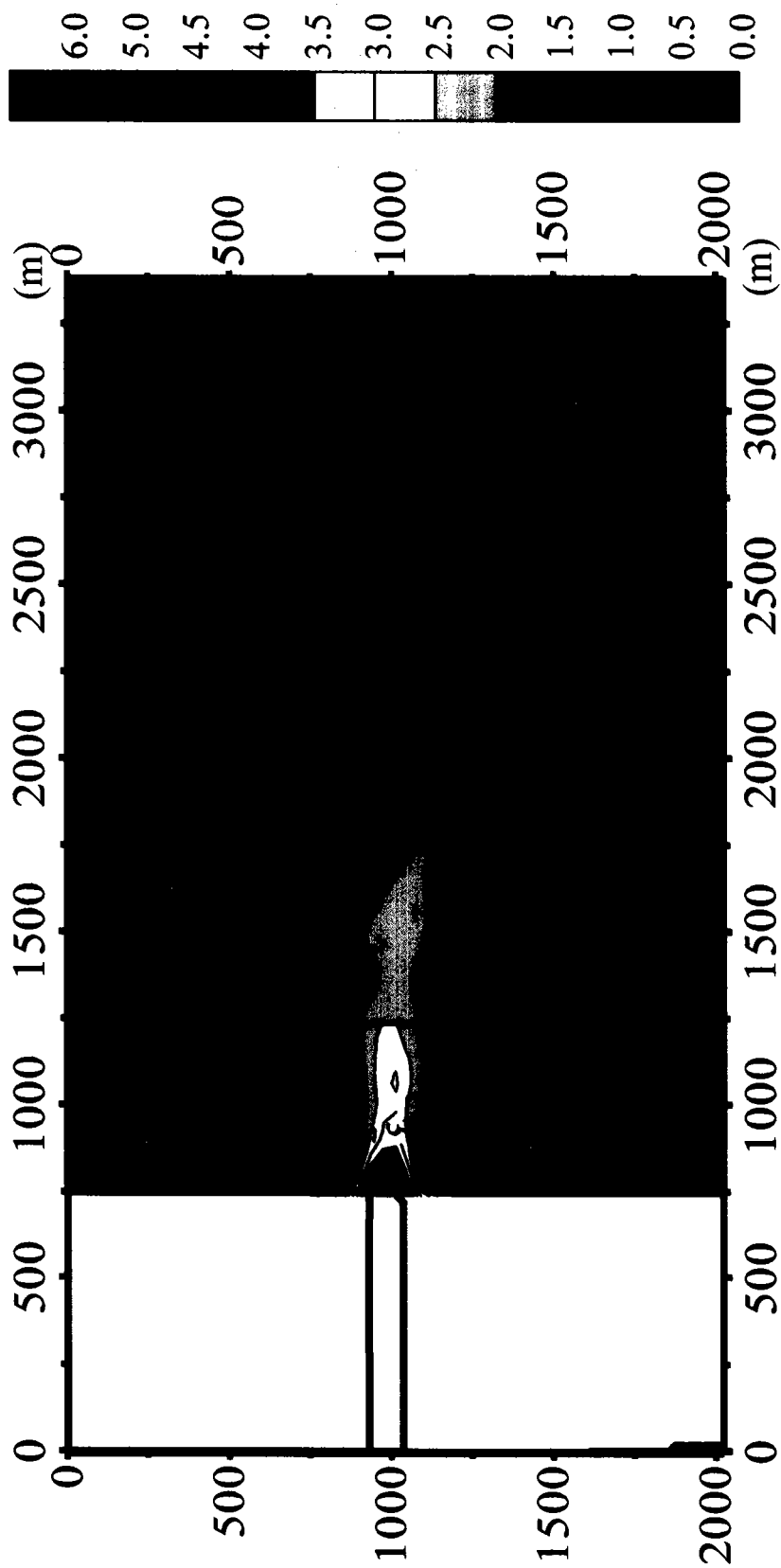


圖13 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，8部機，無填方區)

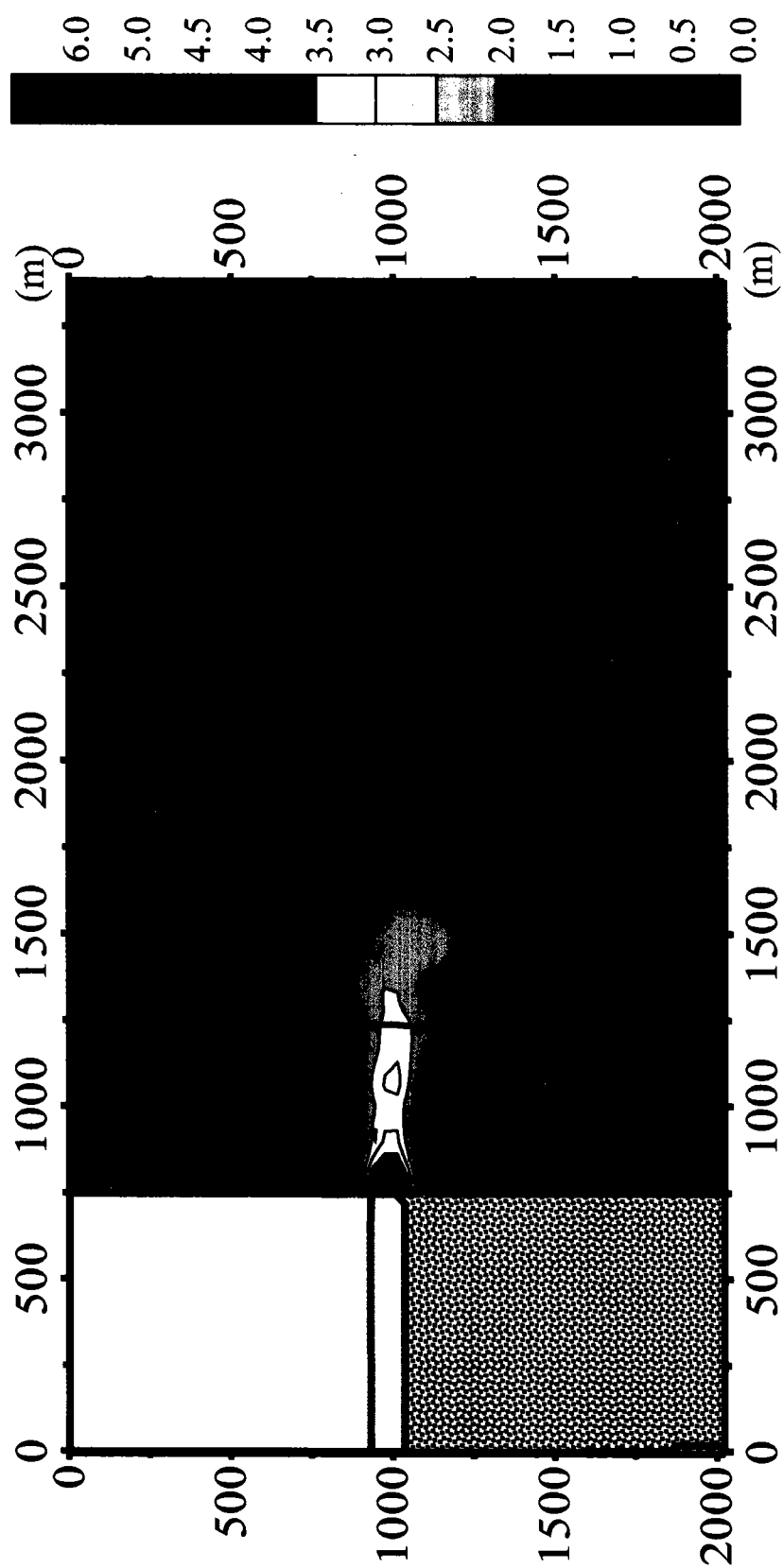


圖14 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，8部機，有填方區)

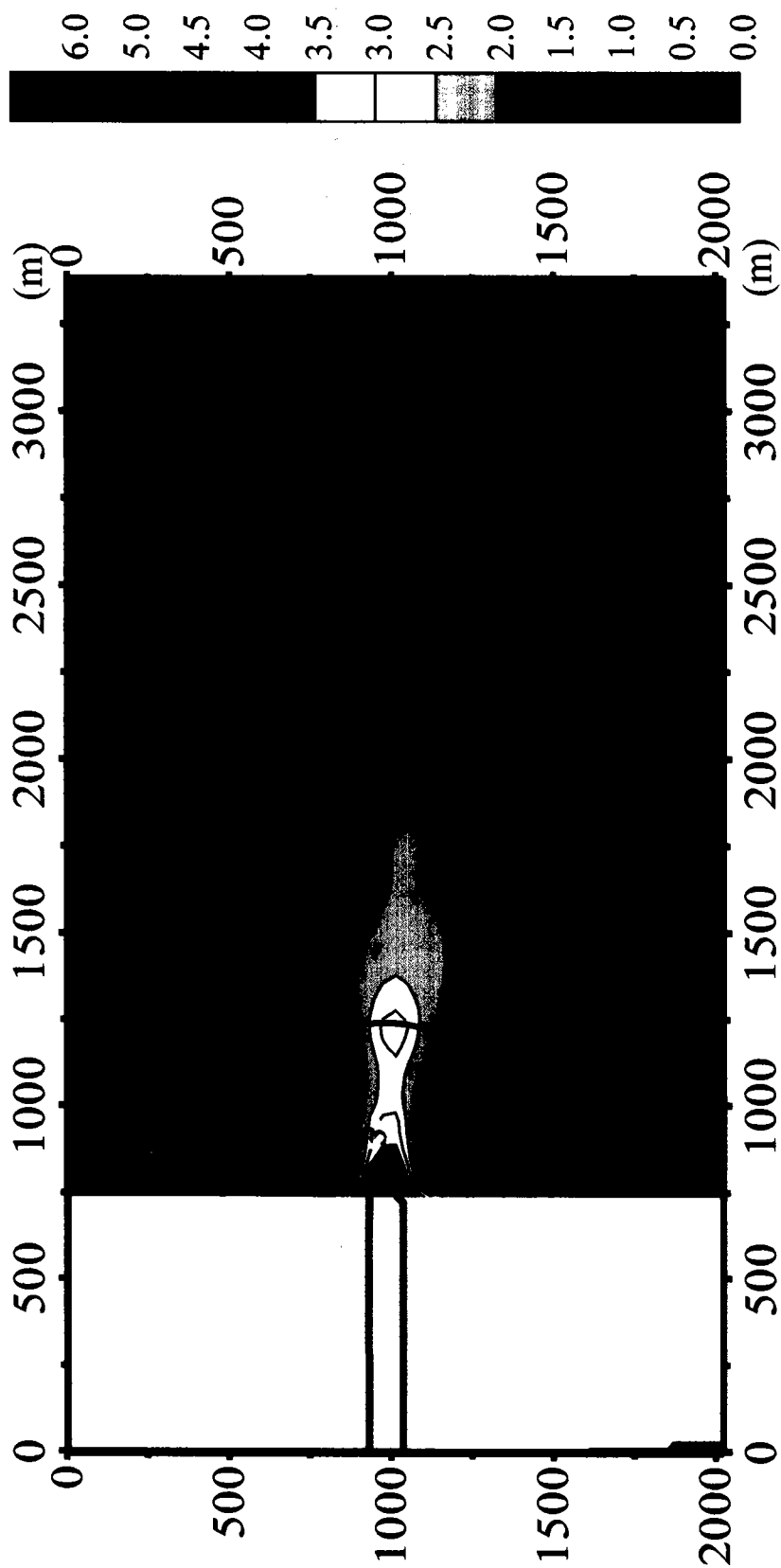


圖15 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，10部機，無填方區)

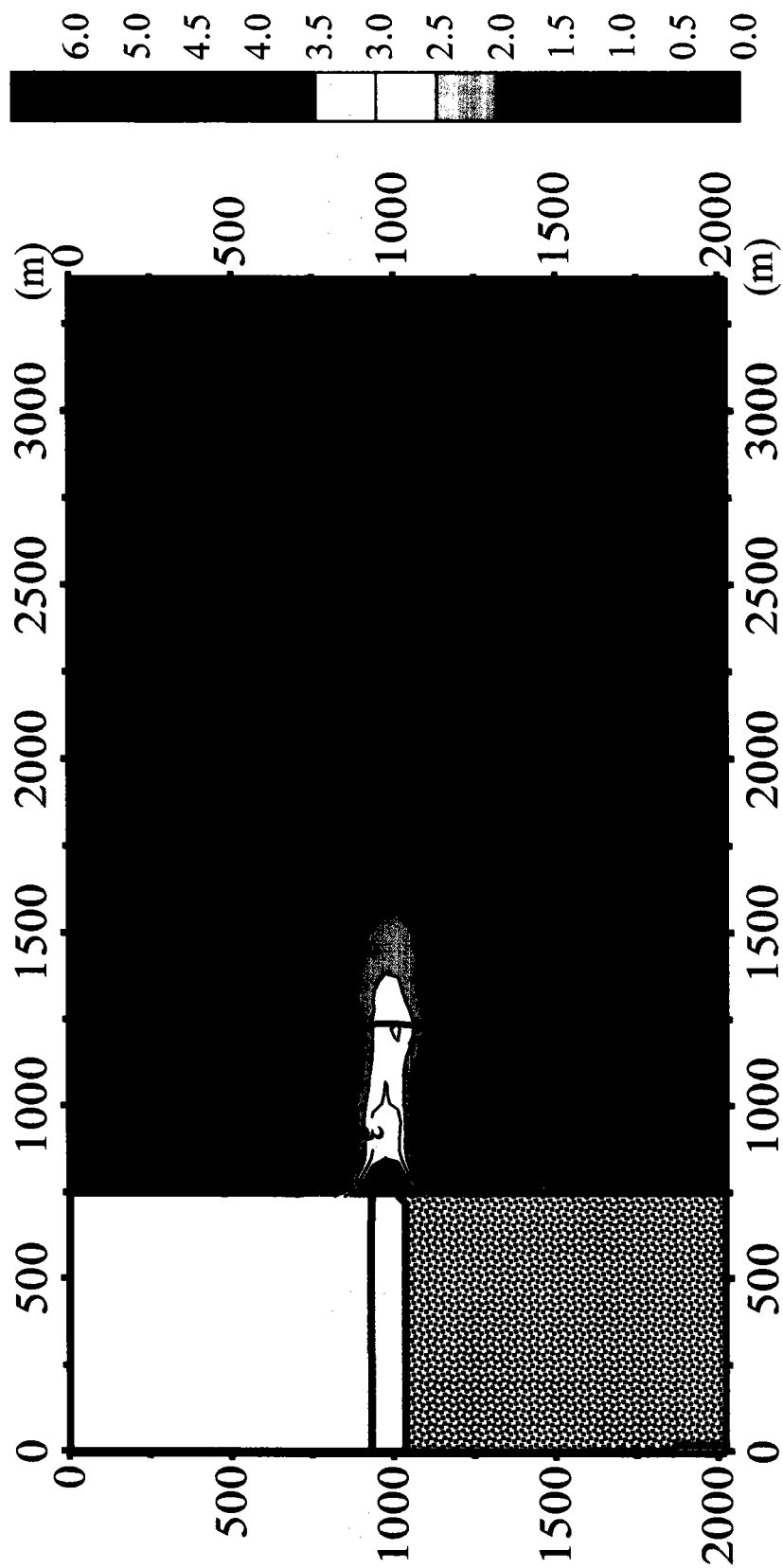


圖16 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，10部機，有填方區)

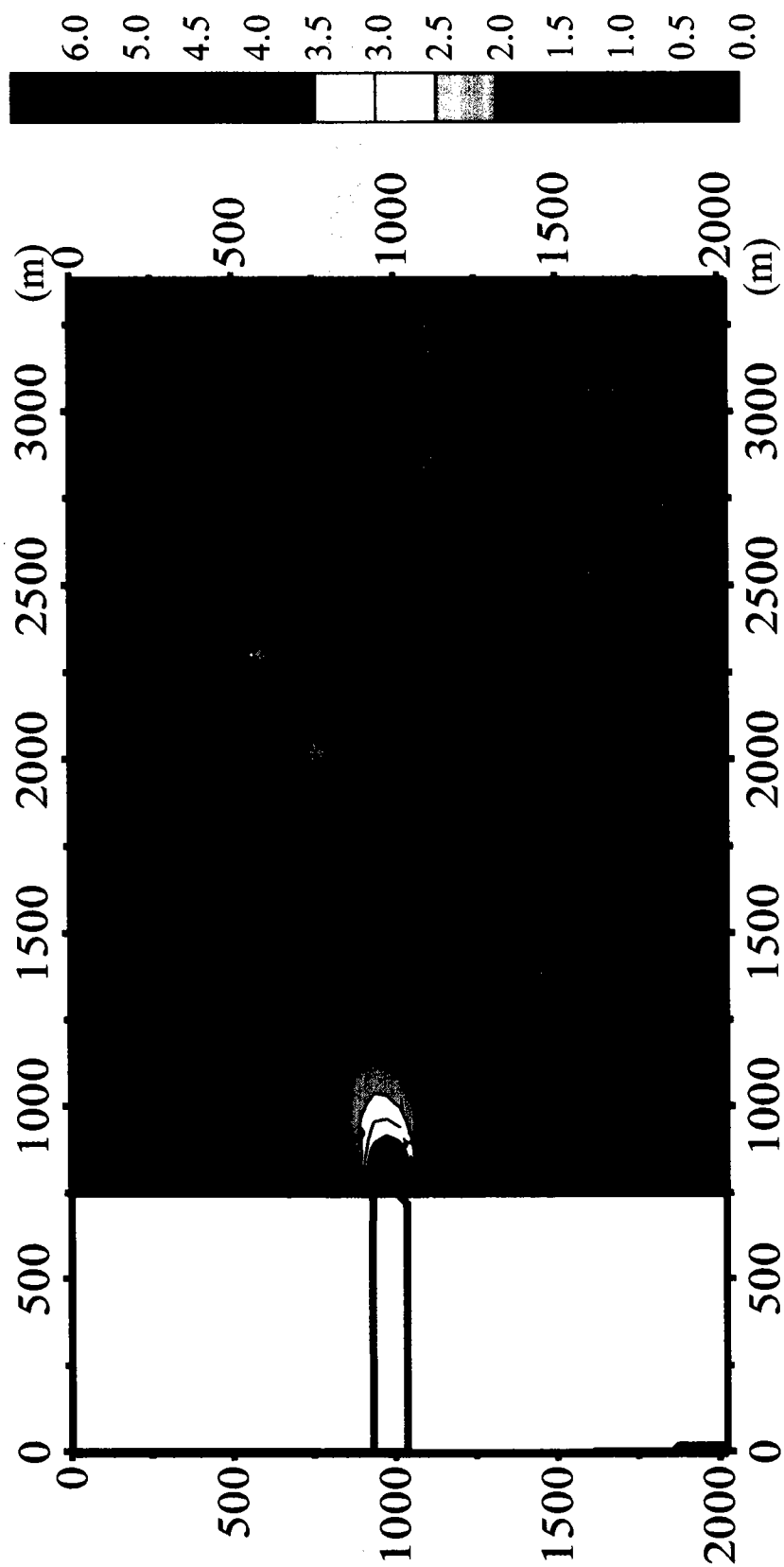


圖17 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，8部機，無填方區)

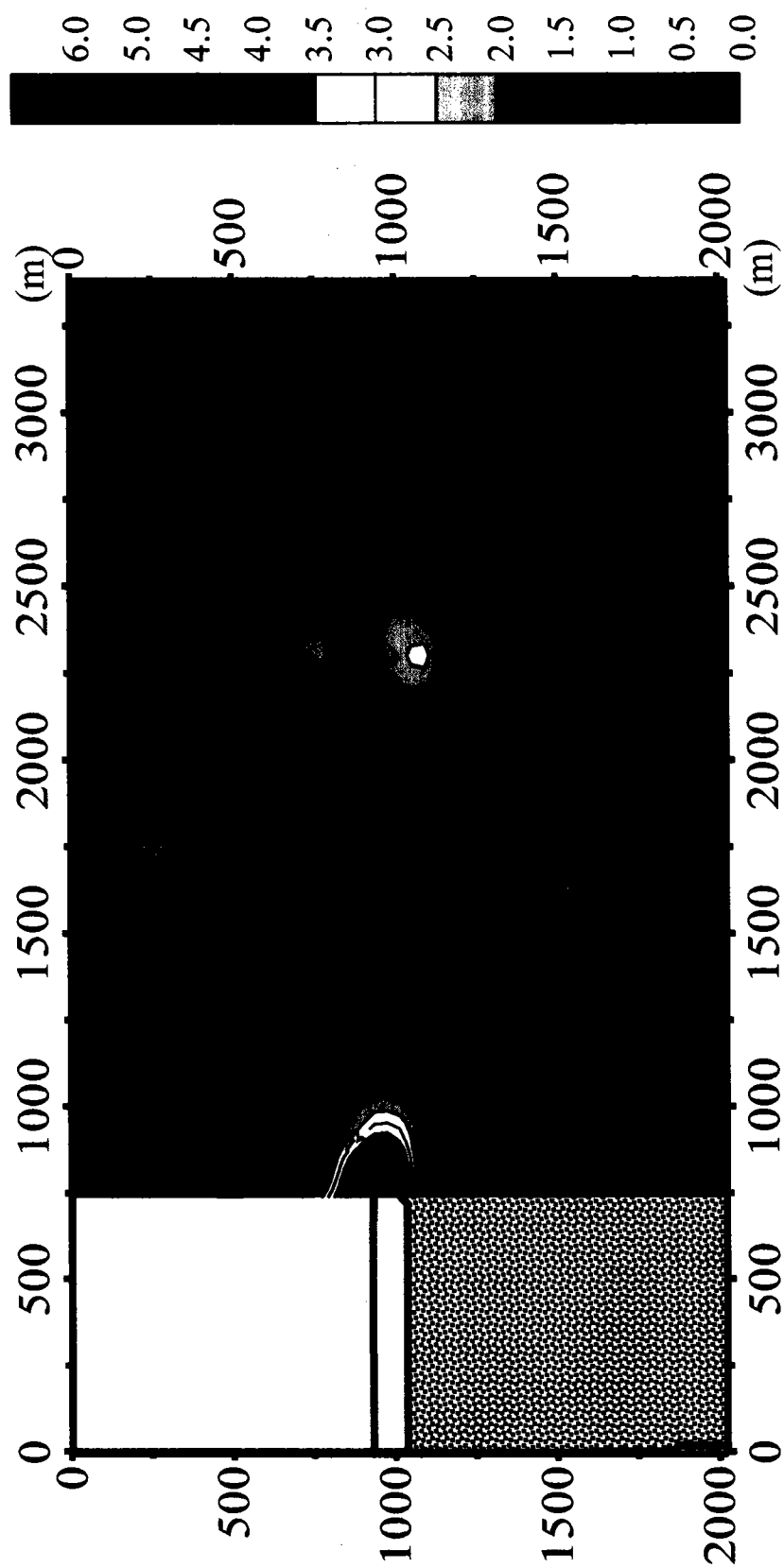


圖18 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，8部機，有填方區)

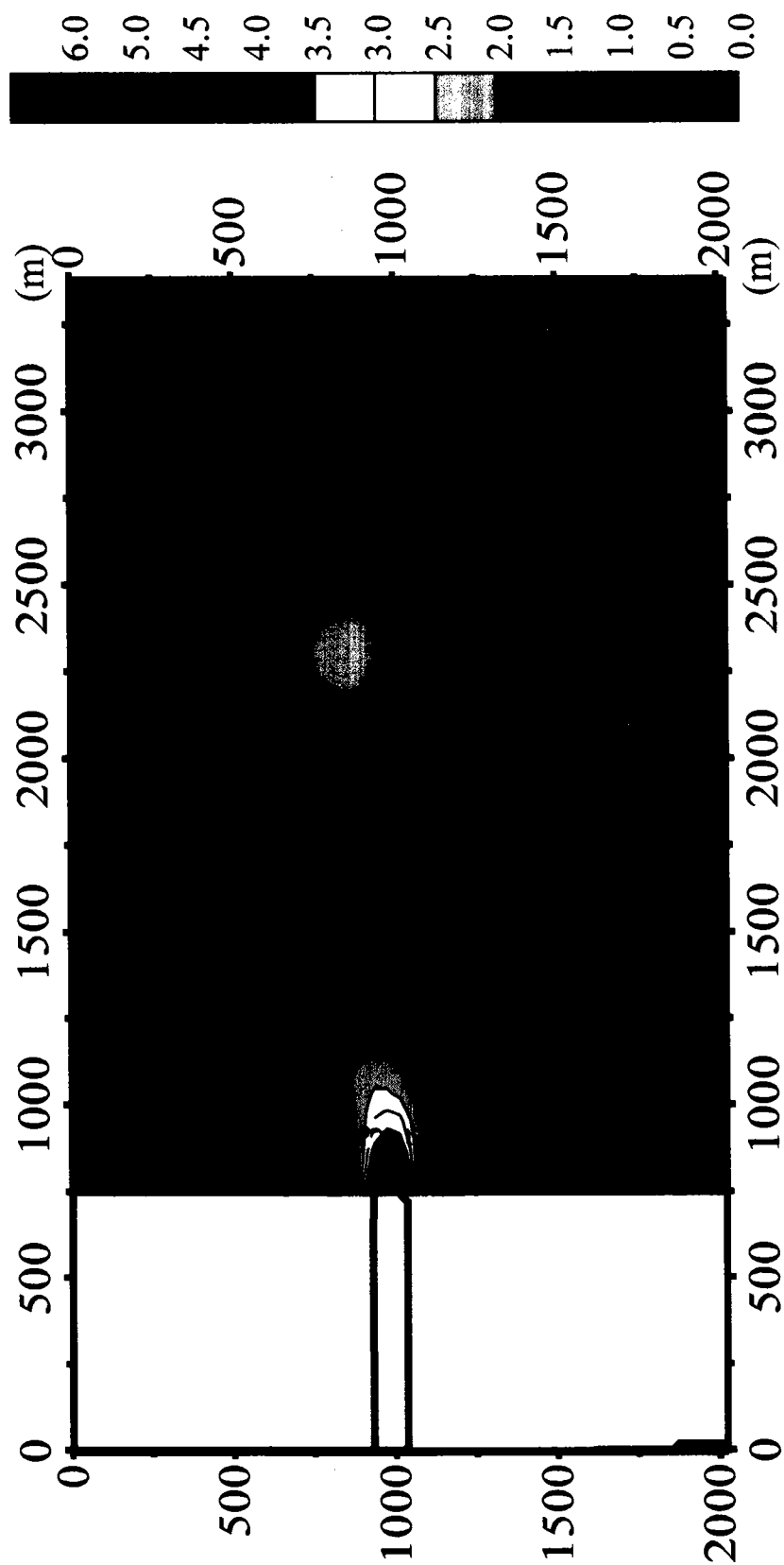


圖19 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，10部機，無填方區)

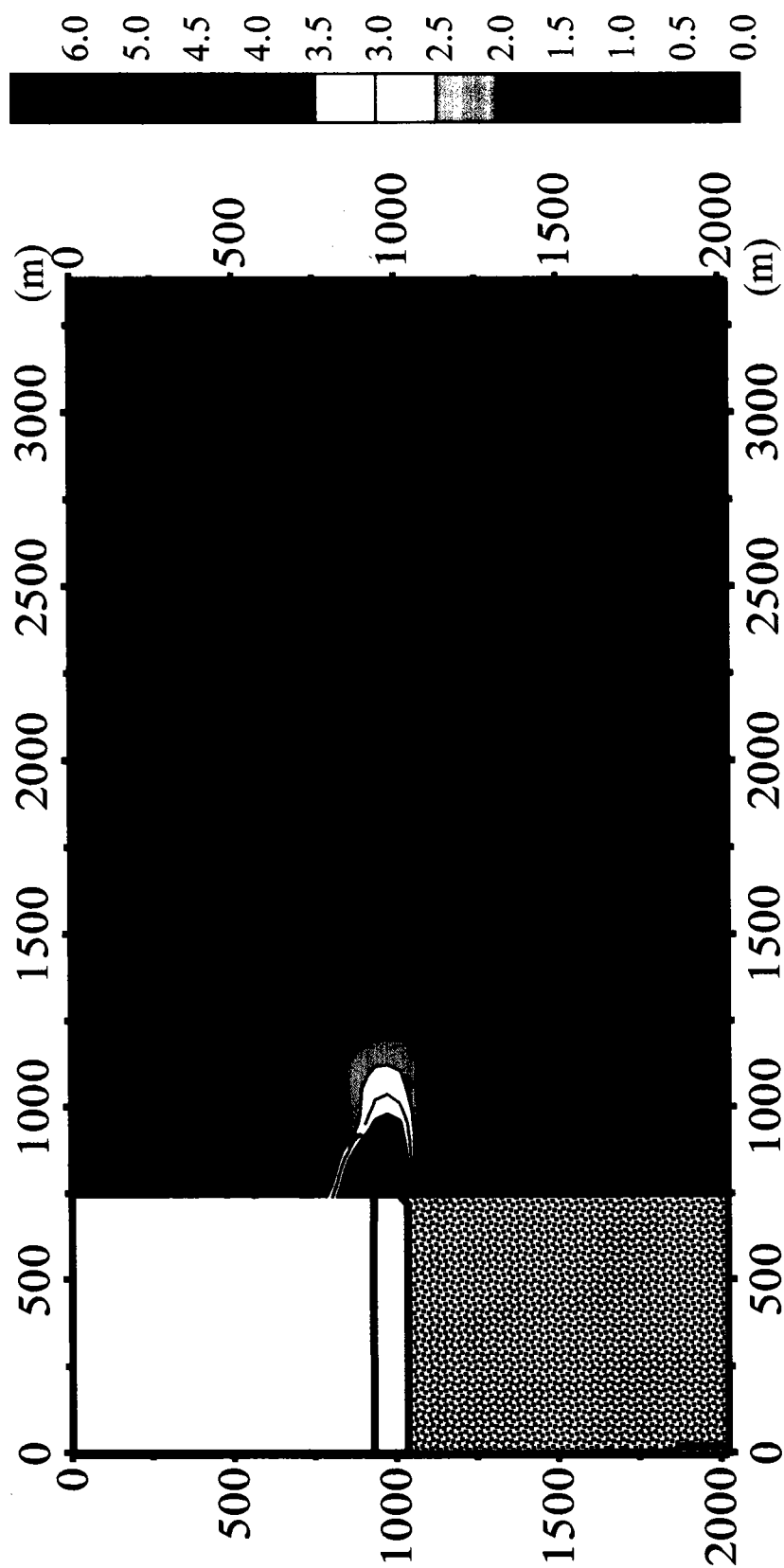


圖20 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，10部機，有填方區)

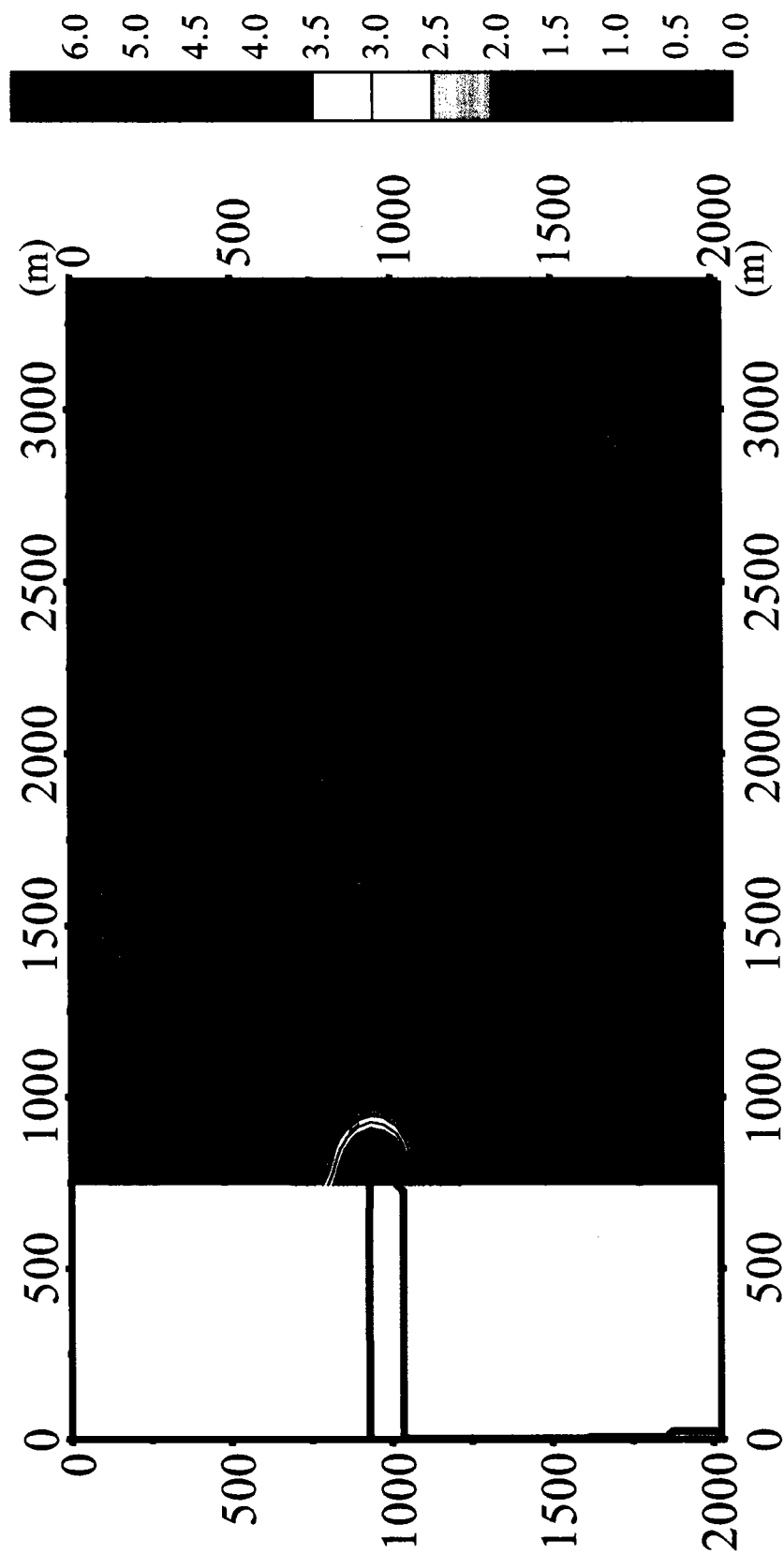


圖21 放流口附近等溫升圖(最高高潮位，8部機，無填方區)

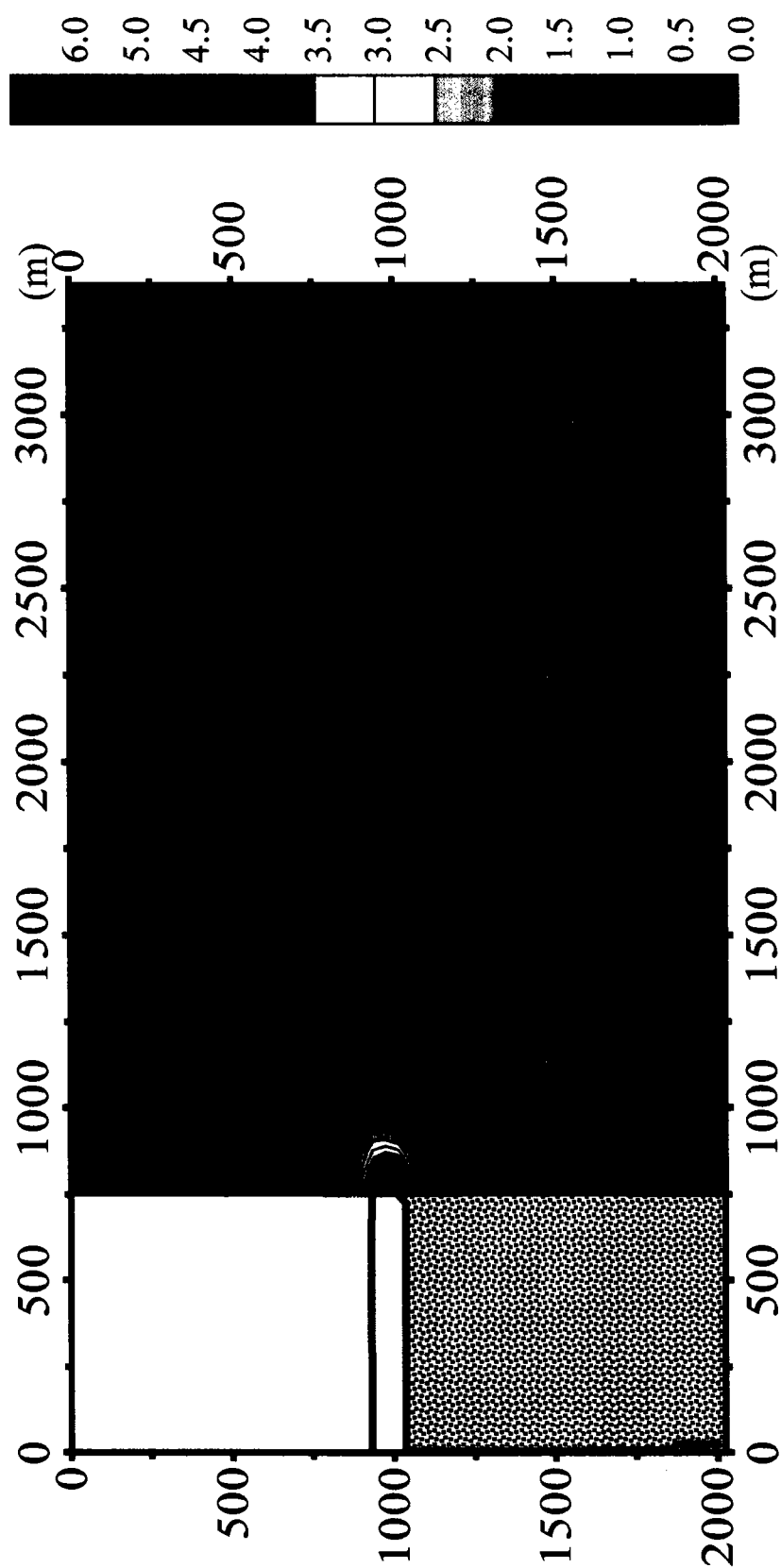


圖22 放流口附近等溫升圖(最高高潮位，8部機，有填方區)

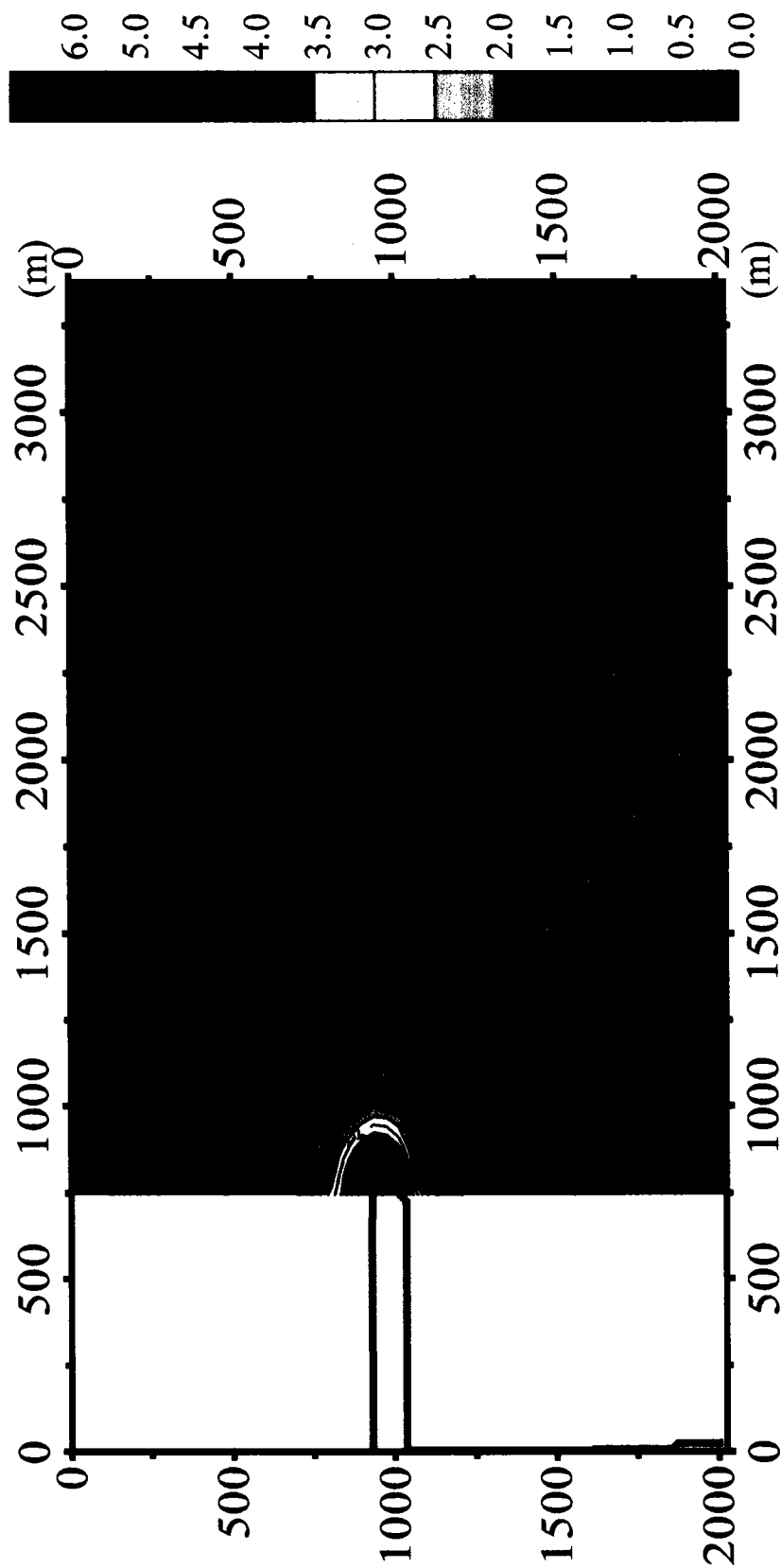


圖23 放流口附近等溫升圖(最高潮位，10部機，無填方區)

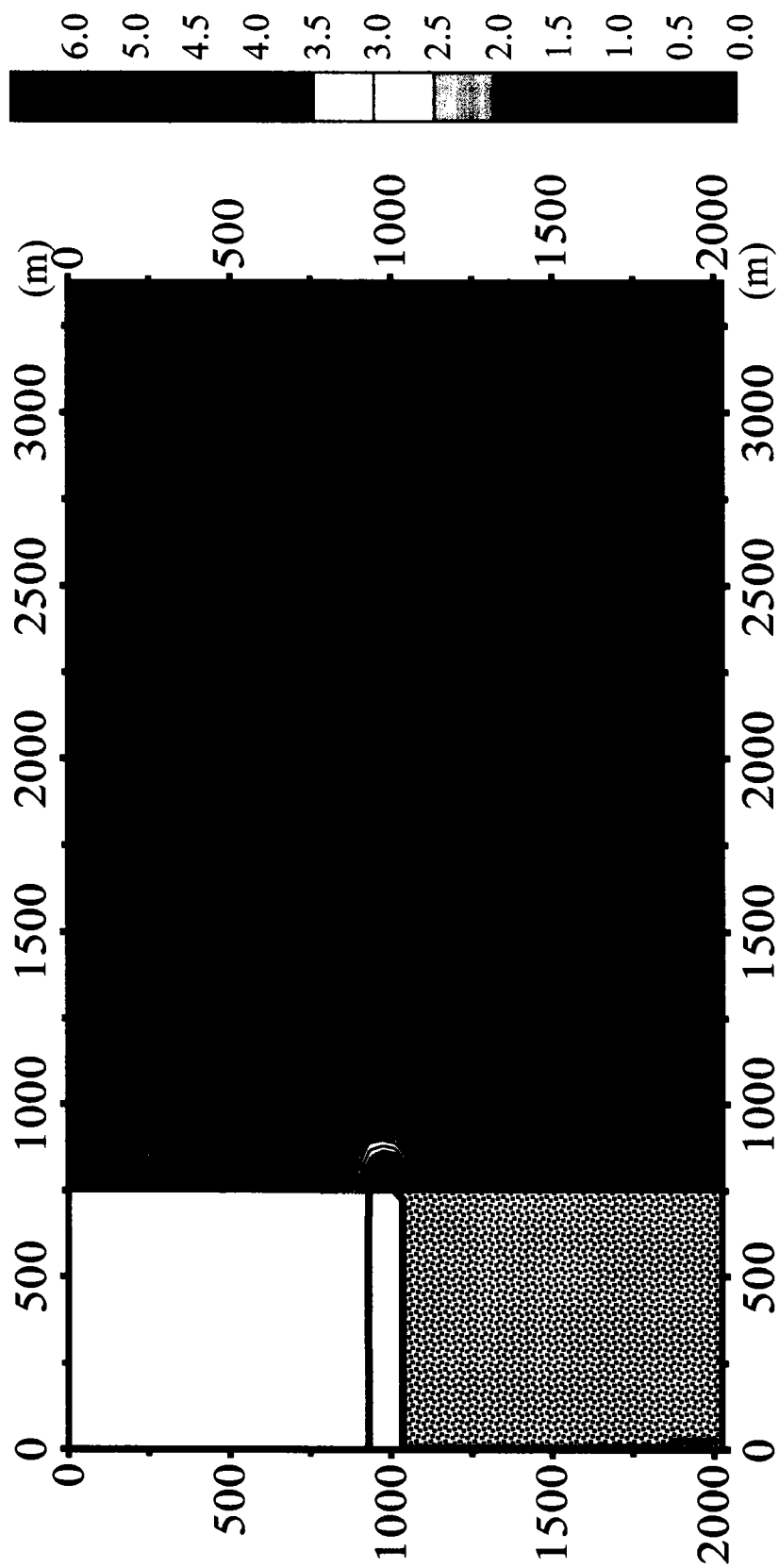


圖24 放流口附近等溫升圖(最高潮位，10部機，有填方區)

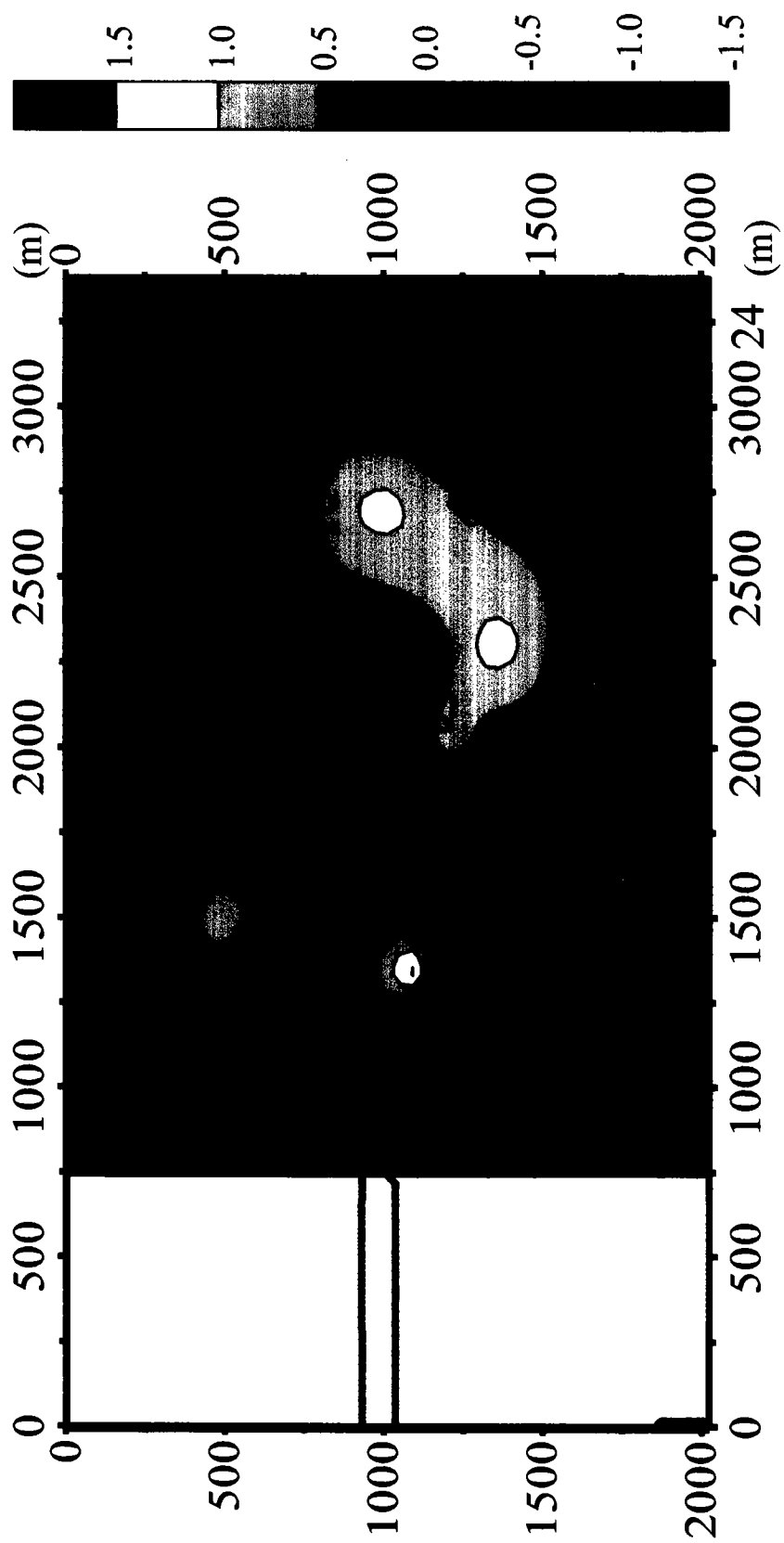


圖25 南填方區構築前後溫升差值圖(最低低潮位，8部機)

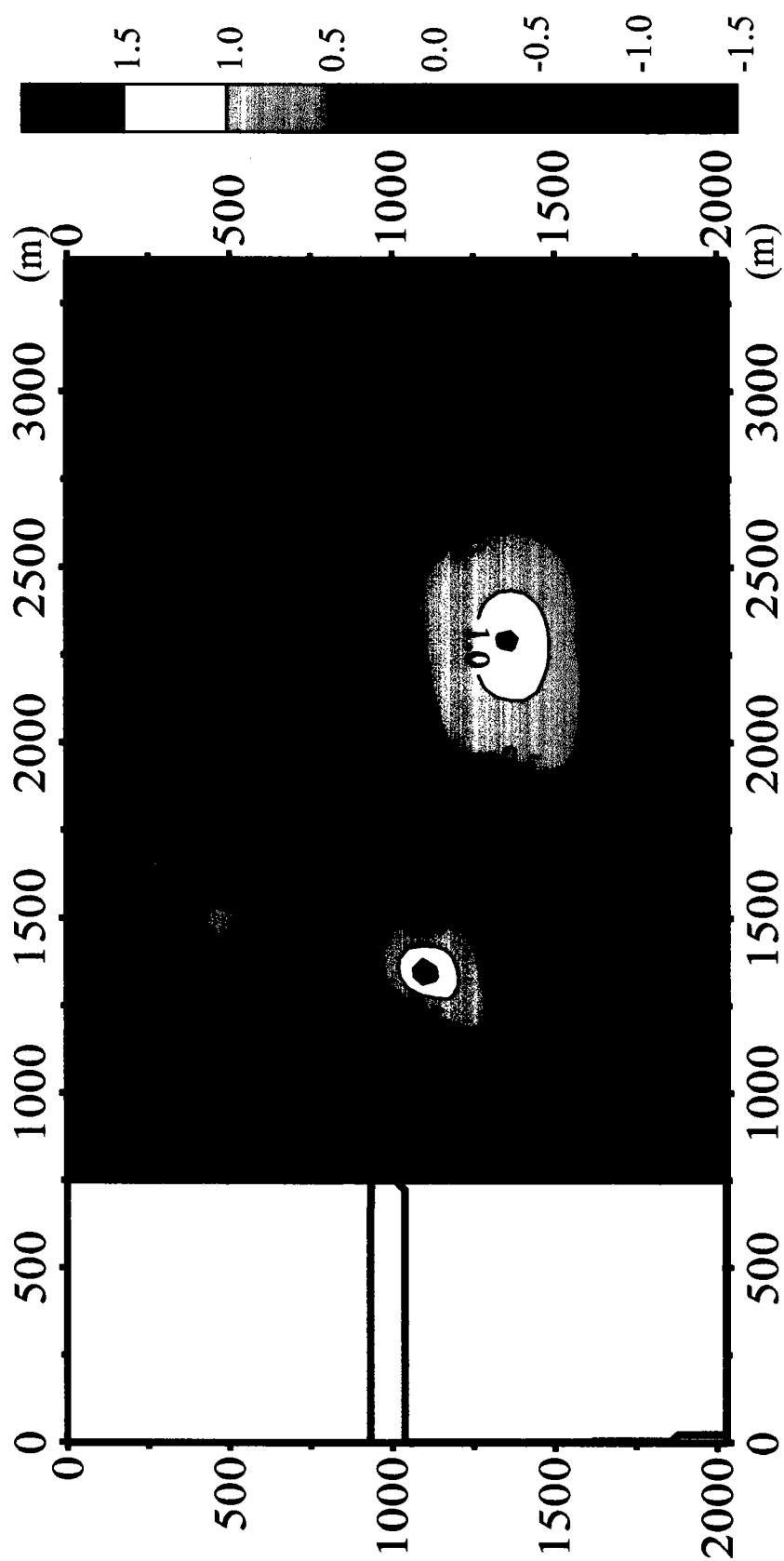


圖26 南填方區構築前後溫升差值圖(最低低潮位，10部機)

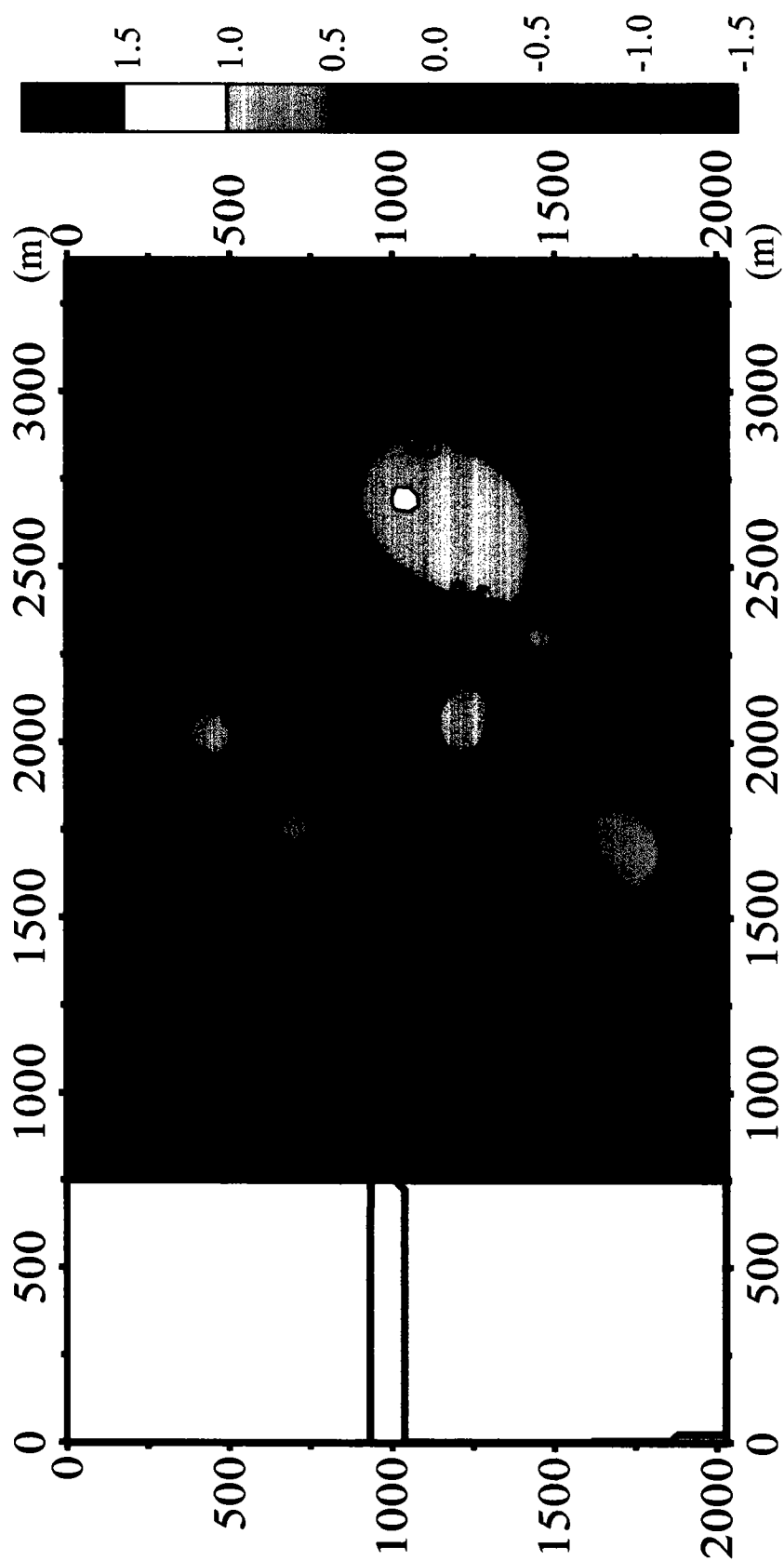


圖27 南填方區構築前後溫升差值圖(平均低潮位，8部機)

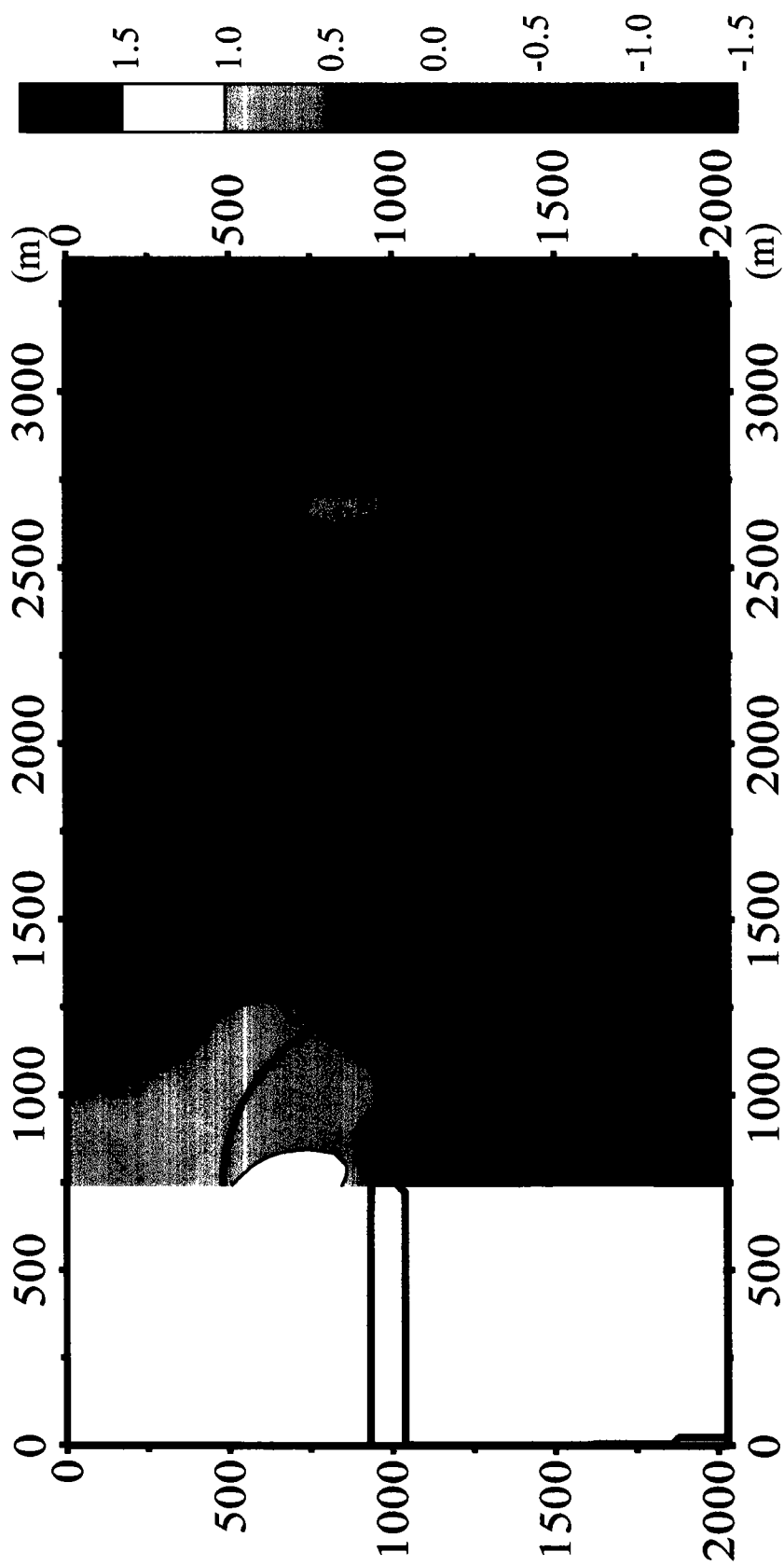


圖28 南填方區構築前後溫升差值圖(平均低潮位，10部機)

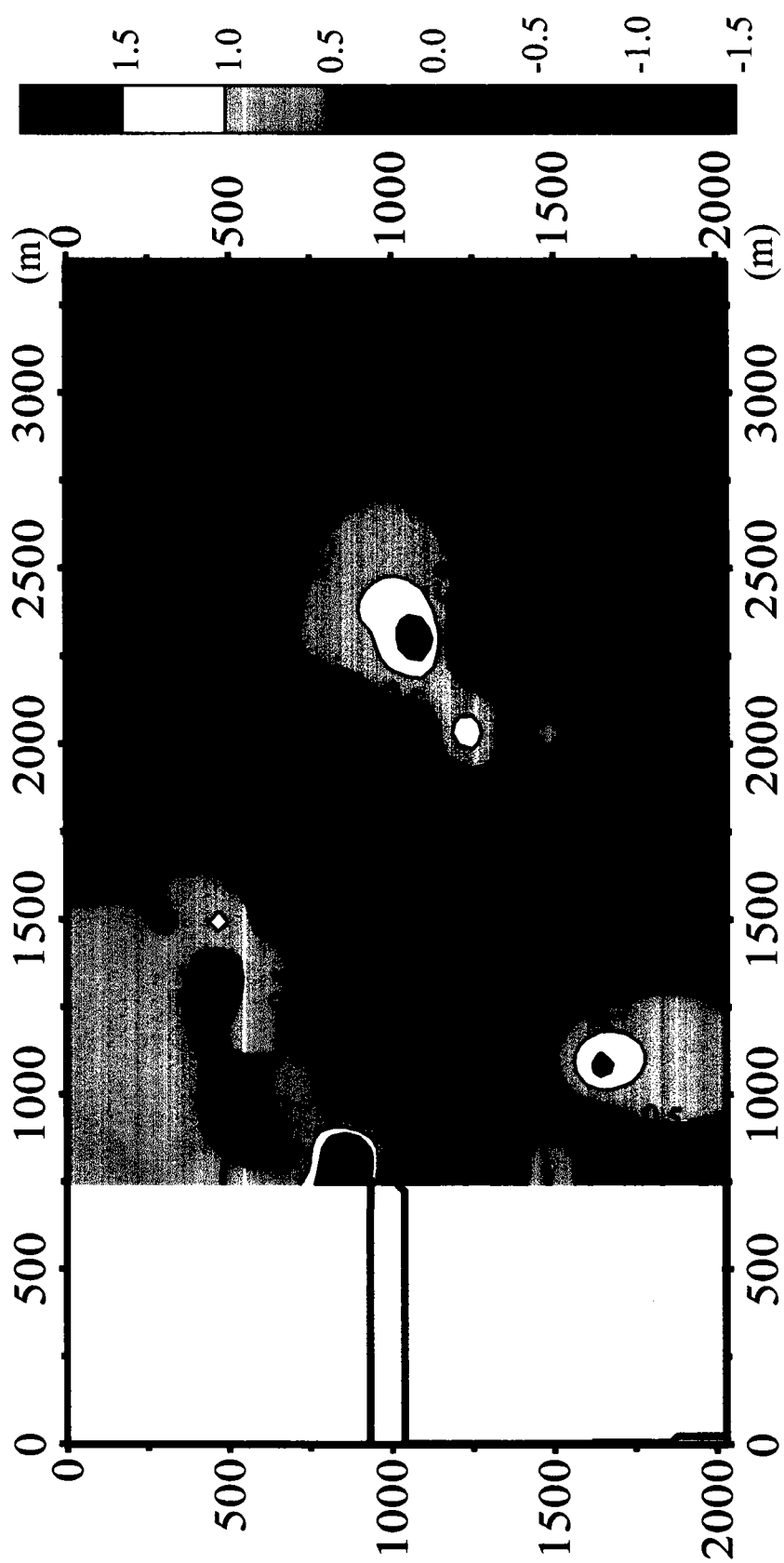


圖29 南填方區構築前後升溫差值圖(平均高潮位，8部機)

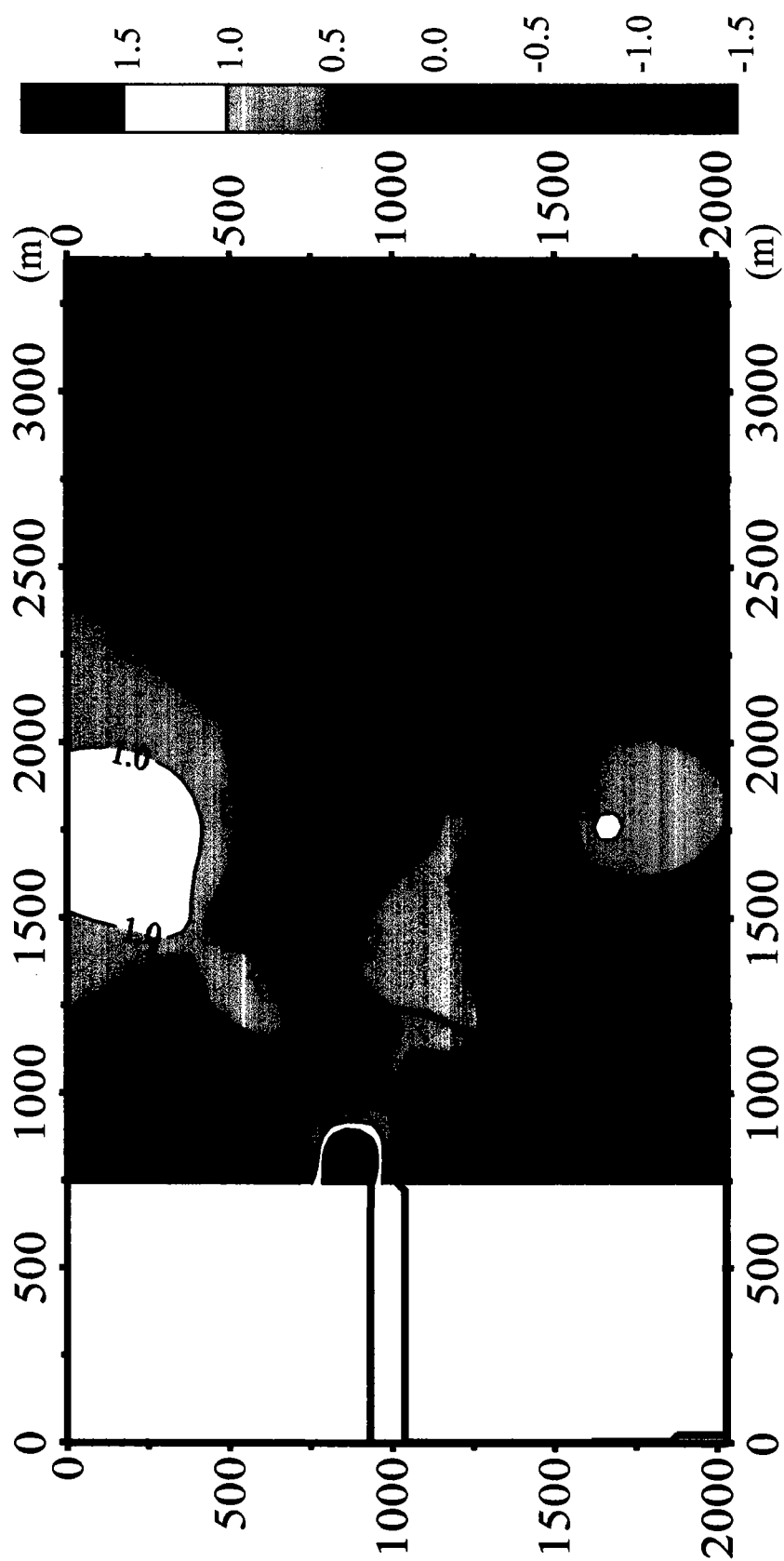


圖30 南填方區構築前後溫升差值圖(平均高潮位，10部機)

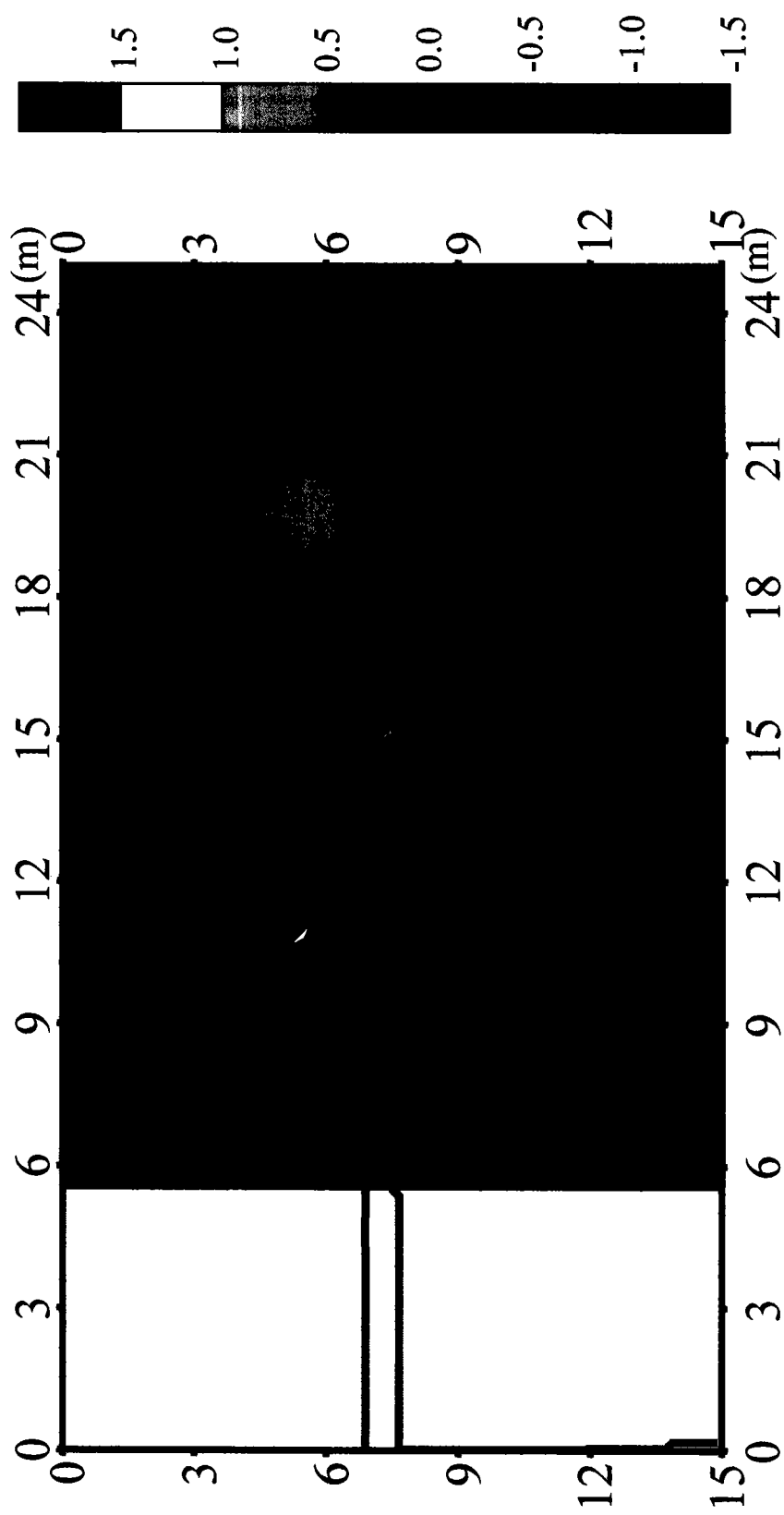


圖31 南填方區構築前後溫升差值圖(最高高潮位，8部機)

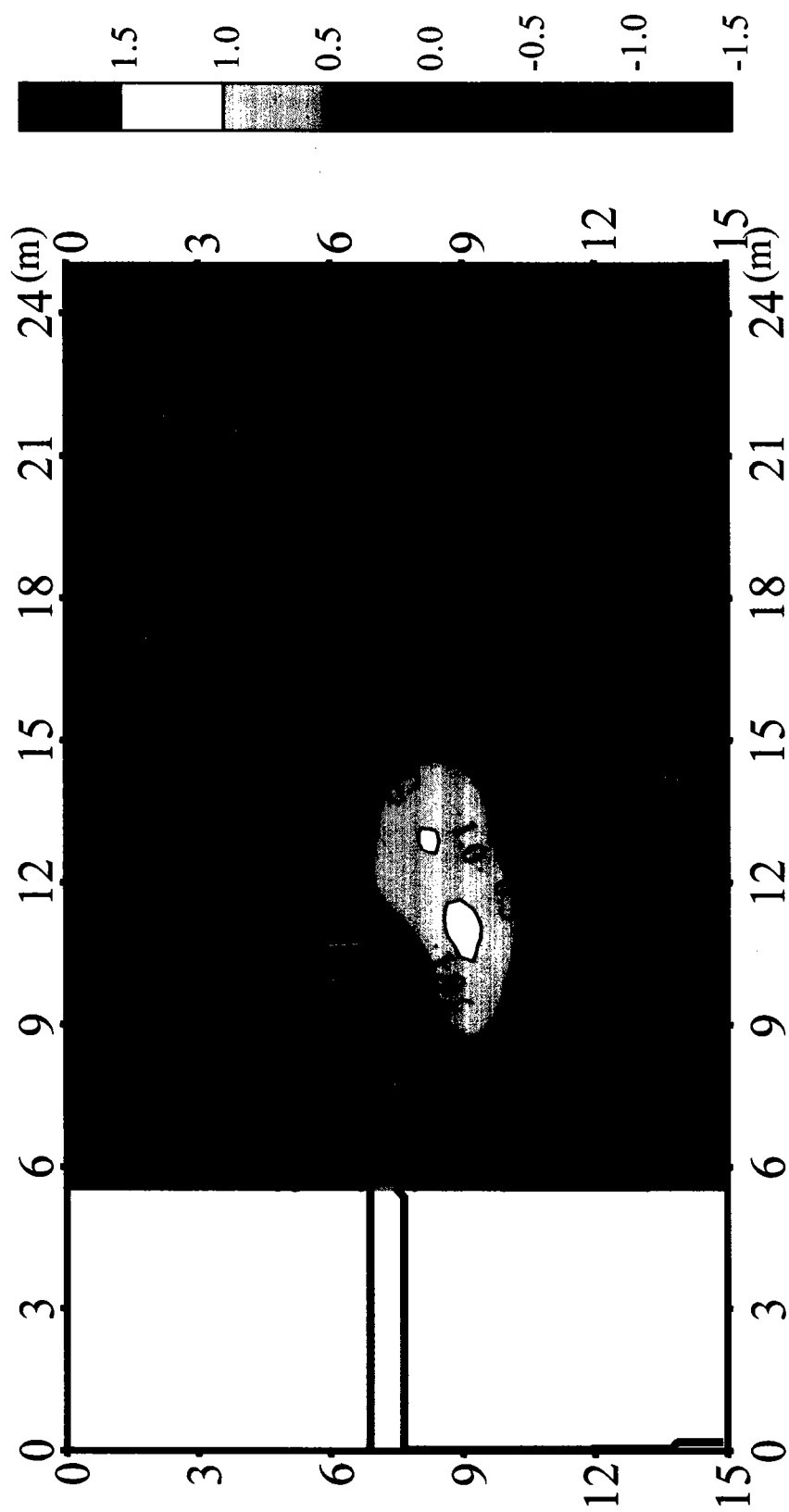


圖32 南填方區構築前後溫升差值圖(最高高潮位，10部機)

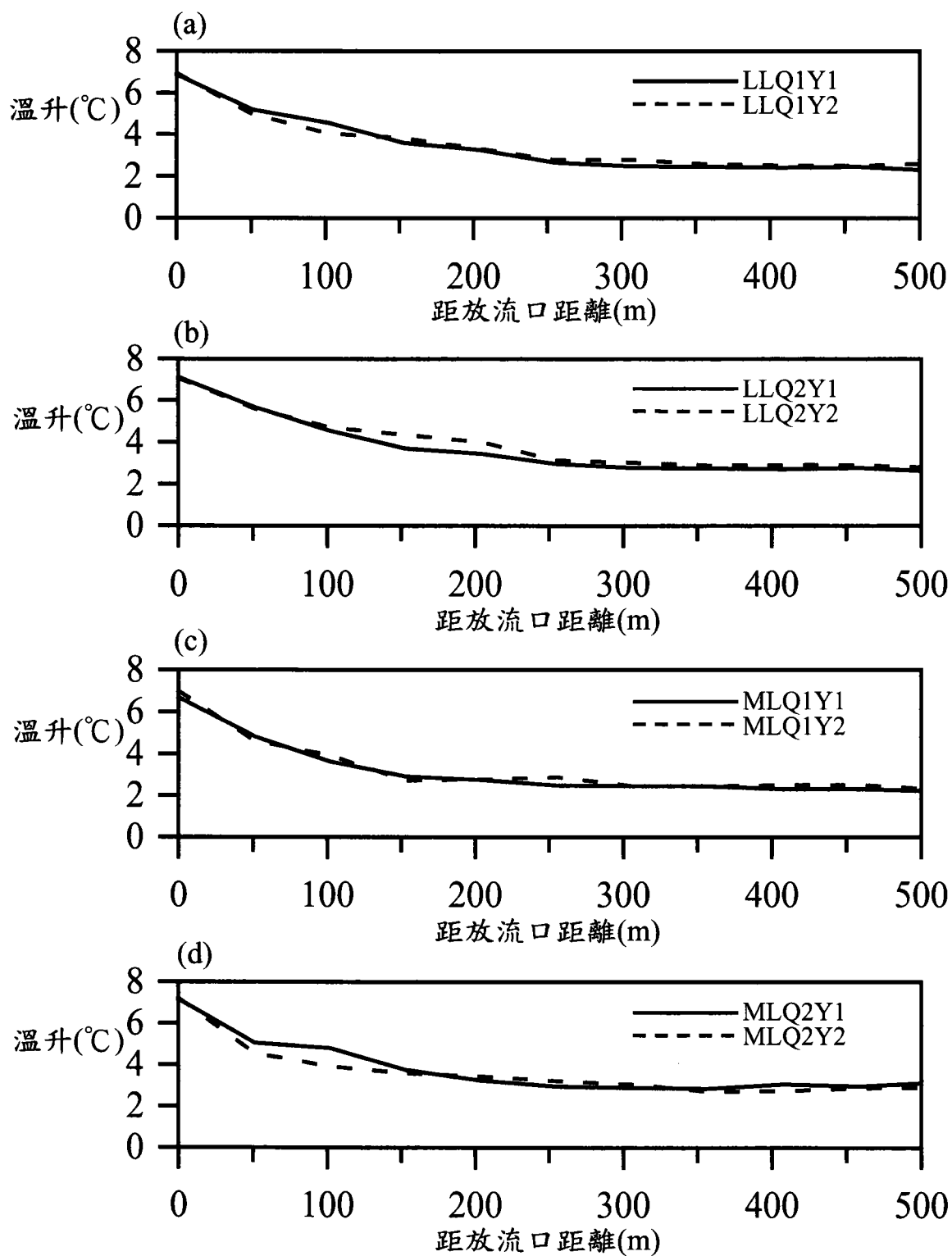


圖33 放流中心軸上之溫升比較圖

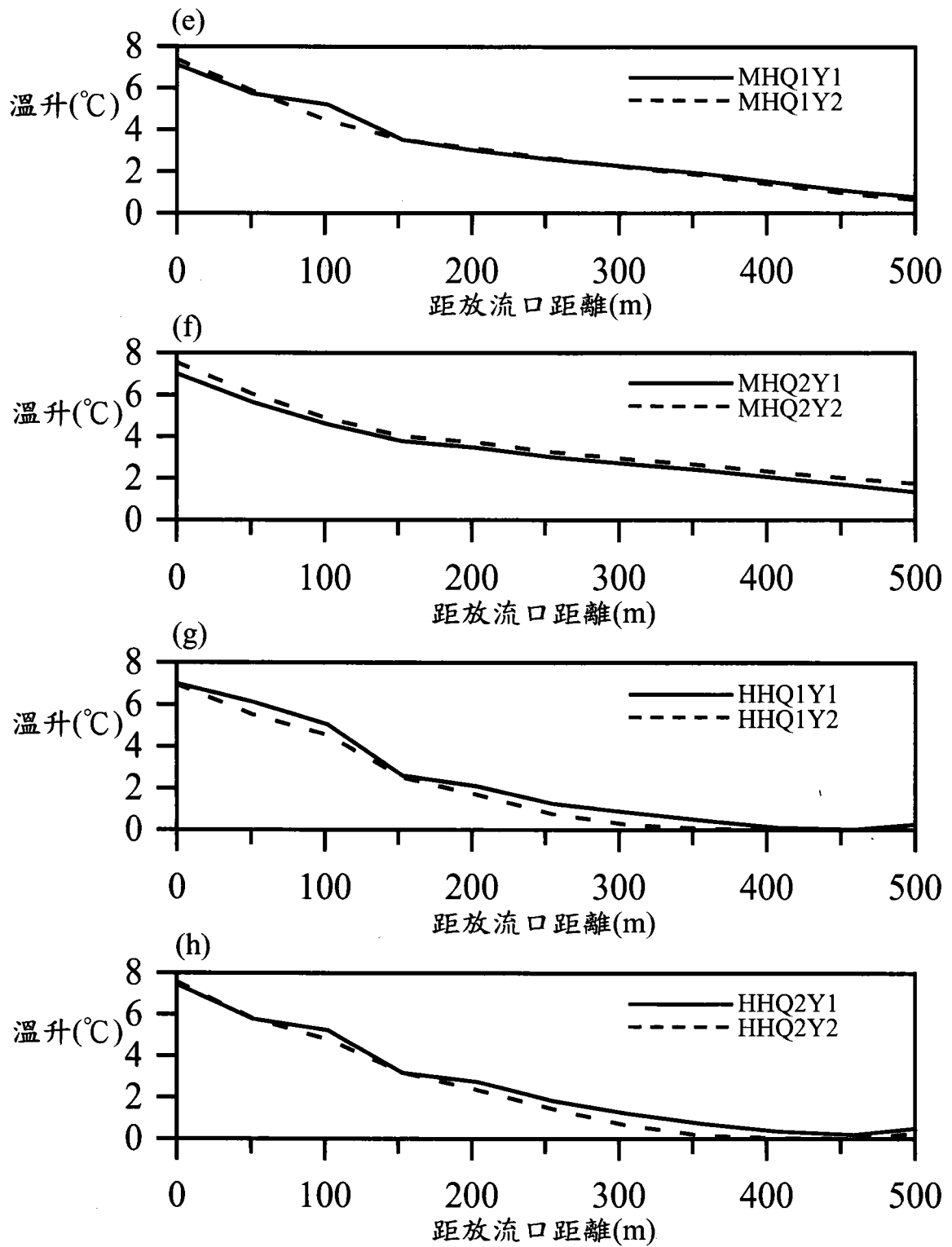


圖33 (續)放流中心軸上之溫升比較圖

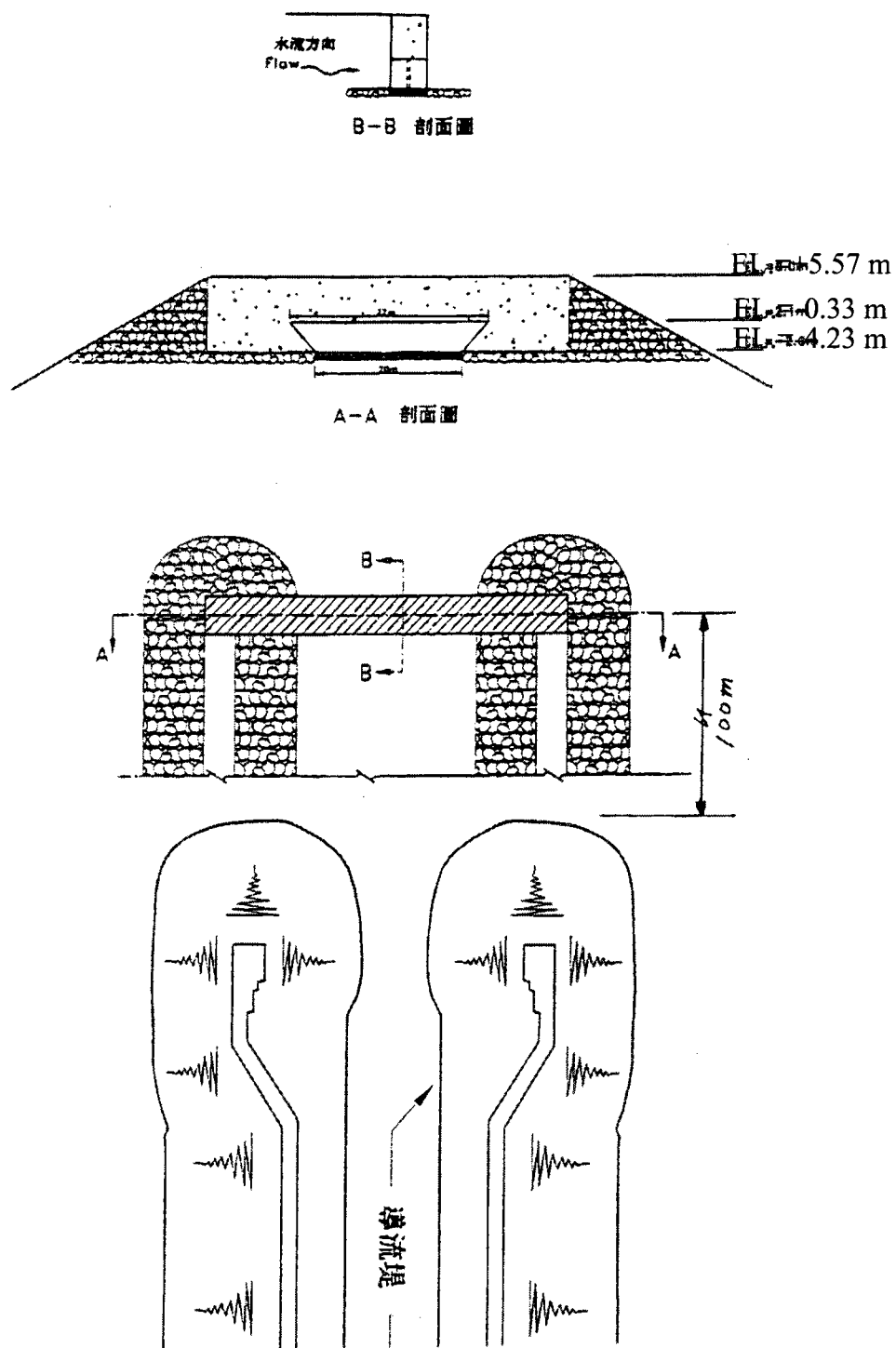


圖34 明渠截流式放流口佈置示意圖

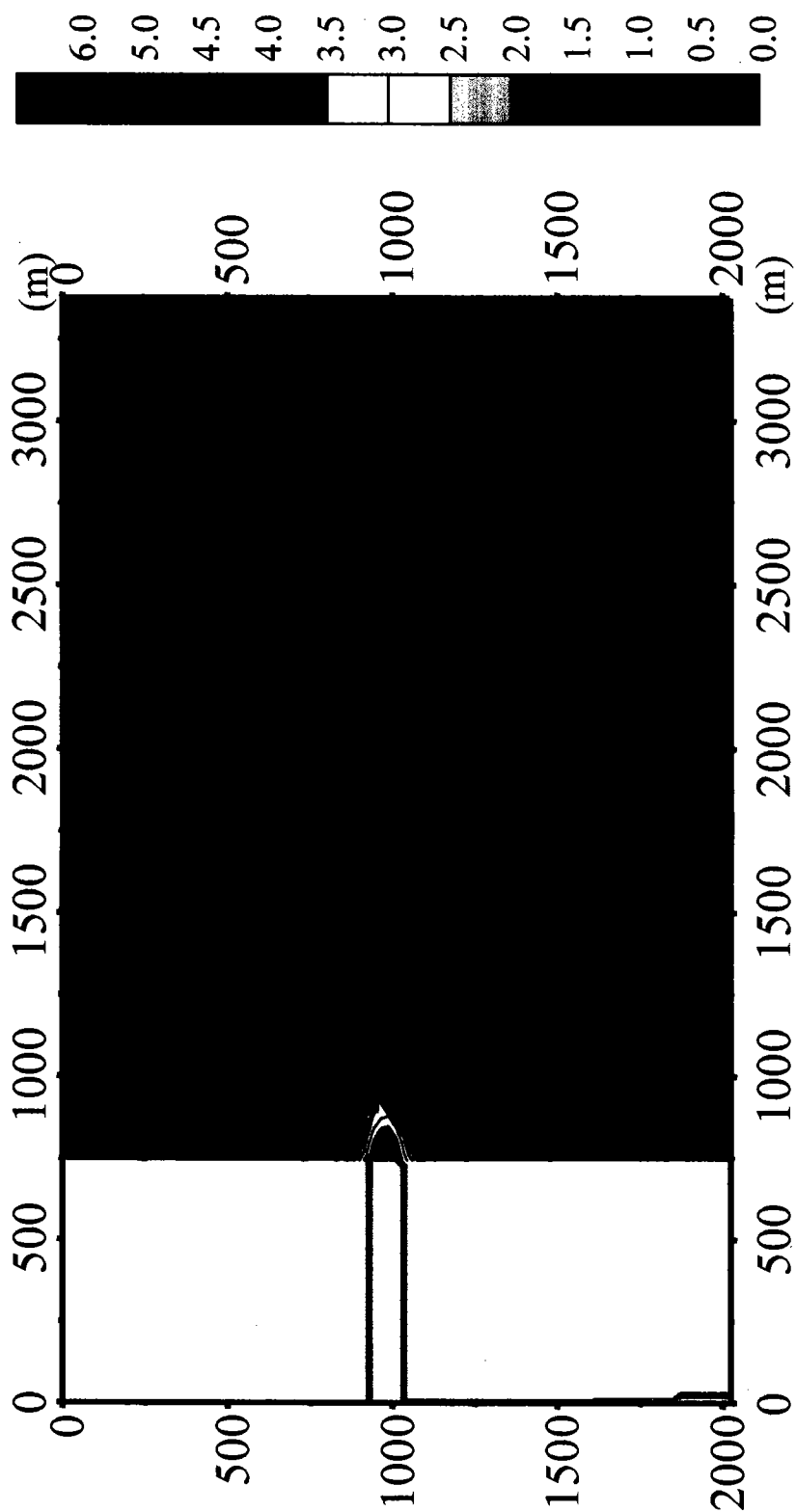


圖35 放流口附近等溫升圖(最高高潮位，10部機，無填方區，放流口型式為明渠截流式)

第五章 結論

本計畫旨在以水工模型試驗探討台中港南填方區構築前後，台中火力電廠溫排水之近域擴散行為。在控制不同外海潮位與溫排水出流量下，針對有、無填方區之試驗共進行17個試次，僅將試驗結論摘要敘述如下：

1. 放流口軸向平均流速($\bar{U}_{A0}$)依水位遞增而遞減，10部機流量在最低低潮位時 $\bar{U}_{A0}$ 為3.21m/s，在平均低潮位時 $\bar{U}_{A0}$ 約為2.30 m/s，而在平均高潮位時則 $\bar{U}_{A0}$ 已降至0.85 m/s；8部機流量在最低低潮位時 $\bar{U}_{A0}$ 約為2.92 m/s，在平均低潮位時 $\bar{U}_{A0}$ 為1.88 m/s，而在平均高潮位時則 $\bar{U}_{A0}$ 降至0.72 m/s。每一試次在射流中軸上軸向平均流速均隨距放流口距離增加而明顯遞減，其中以最低潮位的兩個試次遞減幅度最大，在放流口點位上時，其平均軸向流速與相同流量在平均低潮位條件下者比值平均約為1.5，而在距放流口500公尺之點位上時，此一比值已變為約0.8。
2. 距放流口500公尺圓弧上之溫升以無填方狀態平均低潮位下，10部機運轉時之溫升值3.1°C最大，而在相同條件有填方區時亦達3.0°C；其次在最低低潮位下，10部機運轉時所形成之溫升為2.7°C~2.8°C；而在平均高潮位條件下10部機運轉時所形成之溫升則為1.6°C~1.7°C左右，在最高高潮位條件下10部機運轉時所形成之溫升介於1.0°C至1.5°C。雖然試驗結果顯示最大之溫升值仍在環保法規所規範之4.0°C以內，然而由於本試驗僅考慮近域結果，因此仍需再加上長期背景溫升值(build up)以符實際。相同水位條件，8部機運轉時所形成之500公尺圓弧上之溫升則平均約較10部機運轉時下降0.3°C~0.5°C。
3. 以本計畫不考慮潮流流動情況下，南填方區之構築與否對500公尺方圓外的溫升影響相當有限。而在500公尺方圓內雖然有、無填方區對相同點位溫升之影響亦是互有增減，然而在放流口偏南堤附近，南填方區構築後均於此區產生較未填土前溫升為大。

參 考 文 獻

- [1] 台中港南填方區(I)對台中電廠溫排水擴散影響研究，交通部台中港務局
期中報告，89 年 2 月。
- [2] 黃煌輝，平面紊亂射流與微小振幅波作用後速度與溫度分佈之研究，台南
水工試驗所研究論文第二號。
- [3] 錢紀銘，波動場中垂直紊亂射流之起始稀釋過程之特性，博士論文，國立
成功大學環境工程學系。
- [4] 台灣電力公司核能四廠熱污染擴散研究，台灣電力公司核能發電工程處，
台南水工試驗所研究報告第 58 號，70 年 7 月。
- [5] 台灣電力公司澎湖火力發電廠循環冷卻水系統海底取排水管路規劃設計
熱擴散水工模型試驗研究，中興工程顧問股份有限公司，台南水工試驗
所研究報告第 184 號，85 年 6 月。
- [6] 台灣電力公司台中火力發電廠循環水出水口導流堤水工模型試驗研究，台
南水工試驗所研究報告第 101 號，77 年 5 月。

附錄:期末報告審查意見與回覆

(一)逢甲大學黃東池教授：	
1.在做溫排水擴散試驗時，是否曾考慮分夏、冬兩季測試，由於外在氣溫之不同亦會影響其試驗之結果，故環境水溫如何控制？	一般溫排水擴散試驗均以較為不利之夏季條件進行，補充說明如P.6第1行起。
2.P2-1, 出水口高程：EL.-8.67m，如何設定？有無考慮底床摩擦，及降流之現象？	出水口高程為現場實際條件(港研中心提供)。在導流堤內有考慮邊界摩擦，出導流堤後則沒有。
3.所有操作條件應於報告詳載說明，例如P1-2初始溫昇之數據應由何而來，有無實測資料，P2-3條件7.6°C與7.5°C又如何而來？	敬悉，初始溫昇數據為電廠之設計條件，本試驗則由港研中心所提供，已補充說明如P.8第7項。
4.模型試驗安排及其限制條件應敘明清楚，例如有無考慮輻射、蒸發及潮流等所造成實際溫差之影響亦應最好列表說明清楚。	敬悉，補充說明如P5。
5.P3-4加入過錳酸鉀以及Rhodamine 6G染料是否會影響溫控及流量？	染料施放僅做為定性觀察流體擴散方向與範圍之用，並未用於溫度量測時，且其加入量遠小於溫排水流量，故不影響。
6.P4-1流速量測之測點如何決定？量測水深為何？如可能請加流速場分佈或回流情況。	速度量測點位在射流中心軸之水表面，補充說明如P.24，4.1節第1段。
7.P4-3，4-6 LLWL流速自放流口起先盛後衰之原因，其物理意義？	L.L.W.L.潮位時溫排水在進入海域水體之後於行進過程產生較大能量損耗，因此其射流中軸之軸向流速衰減較快，補充說明如P.24第4.1節第2段。
8.報告中請加上摘要。	遵照辦理。

(二)中興大學蔡清標教授：	
1.報告第三章試驗佈置與步驟請分節項詳細說明清楚。	遵照辦理，已補充說明如P.13~P.23。
2.文章應載明使用之設備及限制條件有那些。	遵照辦理，補充說明如P.5第2.1節與P.13~P.18第3.1節。
3.本試驗並無考慮潮流動力因子，請說明緣由。	敬悉，補充說明如P.5第2.1節第15行起。
4.所有的結果圖示，建議還原為現場尺寸，以便參閱。	遵照辦理。
5.等溫升圖，請補充中心軸之二維X-Y圖，以便理解。	遵照辦理。詳見P.57~P.58
6.4-3之標題建議修正為“填方區構築後對溫升之影響”。	遵照辦理。
(三)逢甲大學林朝福教授：	
1.由於試驗條件簡化後，試驗結果最好能與現場實際量測的結果做檢核。	敬悉。希望日後電廠監測之結果可提供本所以檢核之。
2.這次試驗主要是針對填築南填方區對電廠溫排水擴散效應所造成影響是否能符合環保規定，在報告結論中最好強調清楚。	敬悉，由於本試驗主要為模擬近域擴散部分，還須加上背景累積溫升才能代表此區之綜合溫升，補充說明如P.30。
3.本次試驗對於模型邊界效應部份及底床摩擦等因素是否有考慮清楚，請說明。	敬悉，本試驗對可能產生之邊界效應均預作必要措施以儘量降低邊界效應之影響，補充說明如P.13第3.1.3小節，P.18第3.2.1小節。
(四)邱永芳組長：	
1.在報告中試驗佈置的“佈”全寫成“布”，請更正。	遵照辦理。

2.潮流對溫差擴散影響很大，請說明忽略之原因。
敬悉，補充說明如P5第2.1節第15行起。
3.出水口如以堰的方式來排放會造成局部水流加快，是否會影響量測，請說明。
敬悉，以試驗最大流量1.3公升/秒在長約15公尺之溢流面上排出，則其可能引起之流動幾乎可以忽略，補充說明如P13，第3.1.3小節。
4.所使用儀器應說明其精度，率定曲線亦應列出。
遵照辦理。詳見P.13~P.18，P.22。
5.在出水口處，有填方區之溫升圖較無填方區對稱，請說明。
依照本試驗之結果，有填方區之後對台中火力電廠之近域擴散並未造成太大改變，因此由圖9至圖24當中雖然有部分顯示有填方區之溫升較無填方區時對稱(如圖15、圖16)，不過也有部分顯示相反之結果(如圖21、圖22)，而就等溫線之對稱程度而言在其餘圖形上並無一特別趨勢。事實上等溫線予人對稱或不對稱之觀感則多半來自較外圍之點位上整體呈現之結果，然而出水口附近之溫度變化除了點位36(參考P.14圖3)會在一段放流時間之後達一穩定狀態之外，其餘各點位均呈現不同尺度之擾動(參考P.28圖8)，尤其在射流與周圍水體界面上之點位為甚，因此等溫線產生較對稱或較不對稱之形態。
6.十部機與八部機之比較可否採無因次比較。
敬悉。
7.請說明放水的試驗時間有多久，而排放水後隔多久才量測溫度，以及何加溫。
敬悉，補充說明如P27，第4.2.1小節。
8.染料流場與溫場應有比較（可利用彩色照片），染料如何丟放？又如何觀測應說明。
染料施放僅做為定性觀察流體擴散方向，範圍之用，並未用於溫度量測時。

(五)簡仲璟組長：

1.這次試驗計畫乃台中港委託本中心研究，主要探討台中港南填方區(I)填築後對台中火力發電廠溫排水擴散之影響而其中分為數值模擬計算及水工模型試驗，數值模式分析依溫排水射流發展區域之不同，分為近域模式及遠域模式，其中近域模式由於導流堤排放口附近溫排水排入海域時與週遭海水混攪，以放流水體本身動量所主導之力學機制十分複雜，雖然有關之數值模式已較以往成熟，惟目前尚難完整模擬掌握，因此本研究輔以水工模型試驗進行溫排水之近域擴散探討。

2.台電配合增設第九、十號機組，導流堤口將做改善。改善後堤口佈置請納入實驗。

遵照辦理。詳見P.60

3.最高高潮位實驗結果應納入結論中。

遵照辦理。詳見P.45~P.48。

4.排放口南側局部溫升較高原因請補充說明。

敬悉，補充說明如P33，第2段。

5.本中心出版品有一定的規格，請參照出版品管理作業要點編寫。

遵照辦理。

(六)結論事項：

1.本報告請加上摘要。

遵照辦理。

2.在報告結論中其結果是否能符合環保法規，請詳細說明。

敬悉，回覆同(三).2。

3.本次所採用試驗設備應詳細說明，限制條件亦應在此載明。

遵照辦理，補充說明如P5第2.1節與P14~P20第3.1節。

4.不考慮潮流動力因子，其依據為何，請說明。

敬悉，補充說明如P5第2.1節第15行起。

5在報告中請說明模型邊界效應及底床摩擦等因素是否會影響其溫度。

回覆同(三).3。

6在出水口處，有填方區之溫升圖較無填方區對稱，請說明。

回覆同(四).5。

7試驗結果最好能與現場實際量測的結果做檢核。

敬悉。希望日後電廠監測之結果可提供本所以檢核之。

台中港南填方區(I)對台中電廠 溫排水擴散影響水工模型試驗

期末簡報

黃國書

經濟部水資源局 水工試驗所
國立成功大學

中華民國八十九年八月十四日

研究內容

- ❖ 模擬電廠冷卻水之排水過程，並考慮台中港南填方區填築前後，溫水之擴散程度。
- ❖ 本項試驗僅模擬海域水流停滯時溫排水之擴散。

研究方法

❖試驗布置與設備

- 試驗水池：長40公尺，寬16公尺，深1公尺。
- 溫度與流量控制
- 溫度計
- 流量計
- MNDAS收錄系統
- 流場定性觀測

模型率：滿足密度福祿數相似

試驗條件

一、潮位

平均高潮位 M.H.W.L. = +2.21m (+1.6cm)

平均低潮位 M.H.W.L. = -1.53m (-1.13cm)

最低潮位 L.L.W.L. = -2.75m (-2.0cm)

以基隆平均潮位為零基準

二、出水口佈置：明渠表面排放

三、出水口高程：E.L. = -8.67m (-6.4cm)

四、溫水排放流量：

a. 八部機：219 CMS (62 ℓ /min)

b. 十部機：278 CMS (78 ℓ /min)

五、出水口初始溫昇：

a. 八部機：7.6 °C

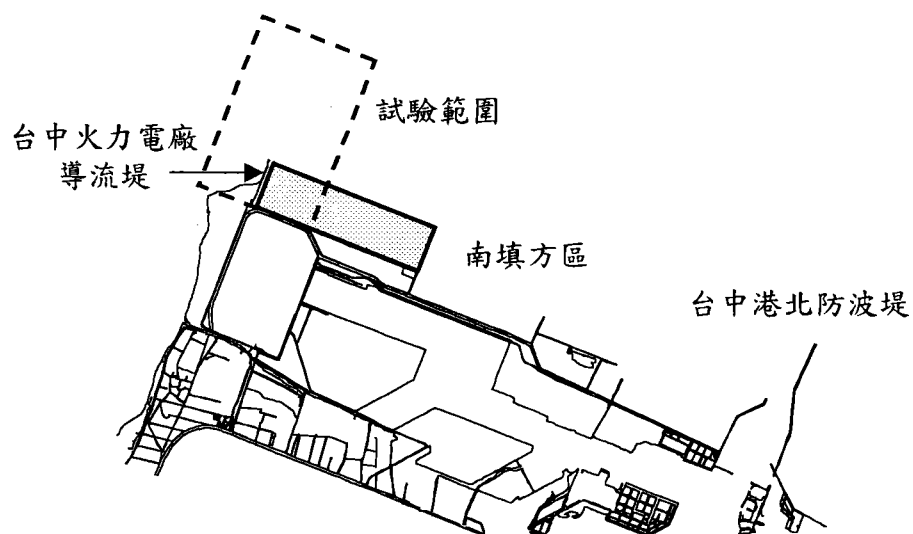
b. 十部機：7.5 °C

六、試驗長度縮尺：

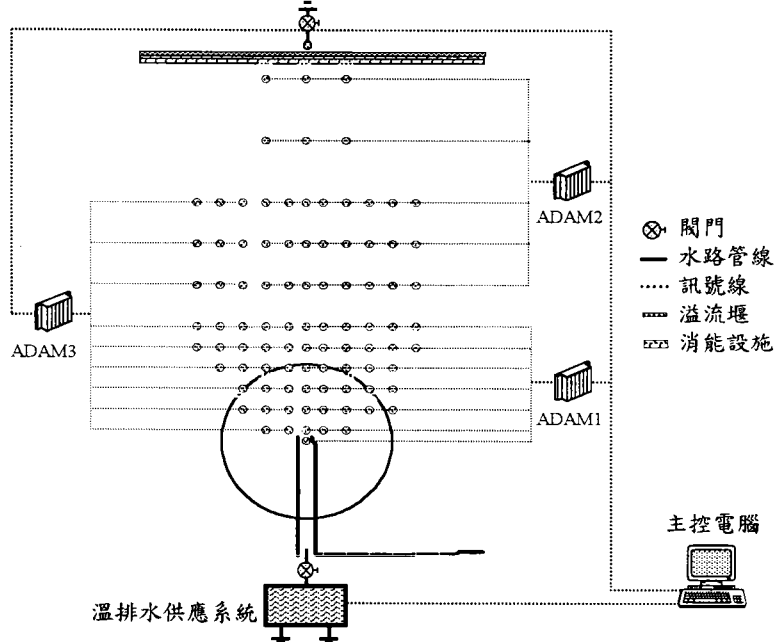
水平：1/135

垂直：1/135

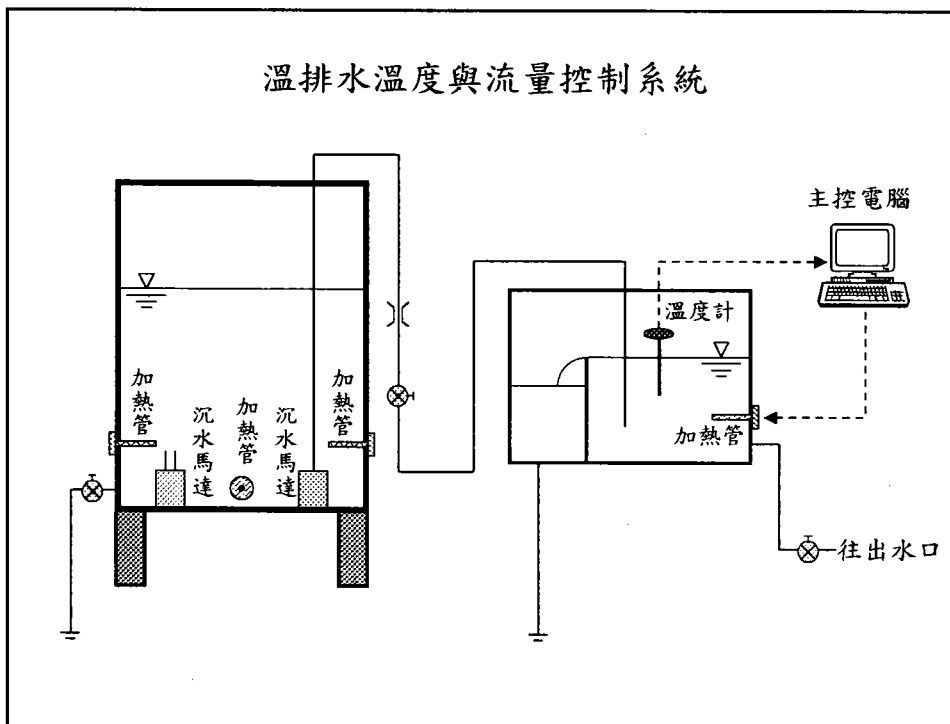
溫排水擴散試驗範圍示意圖



溫排水擴散試驗布置示意圖



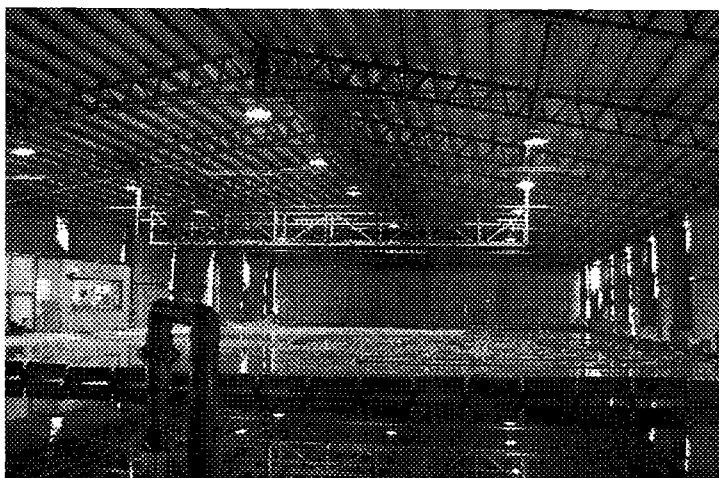
溫排水溫度與流量控制系統



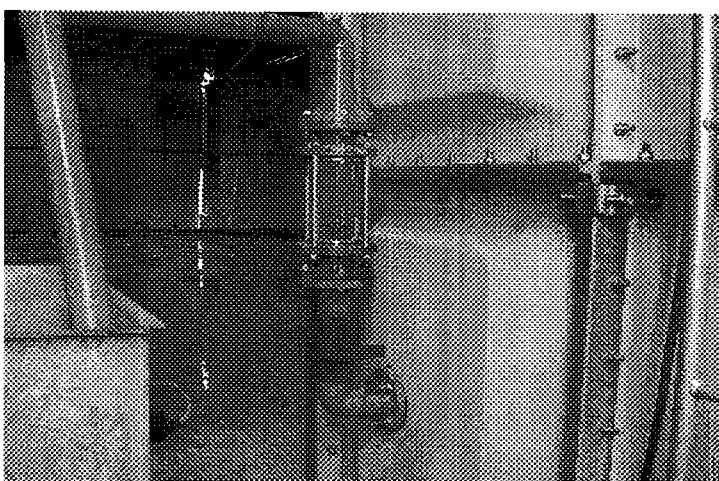
進行步驟

- ❖ 率定溫度計
- ❖ 佈置溫度計
- ❖ 率定溫水進出水流量
- ❖ 水體充分混攪
- ❖ 調整排放水溫度

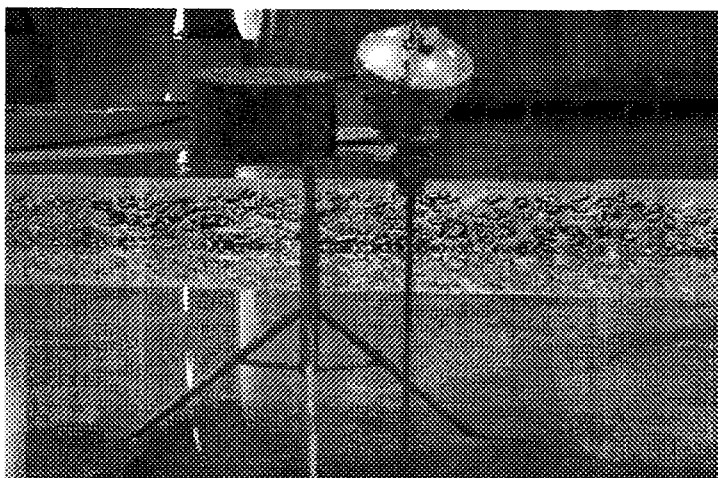
試驗水池與週邊設備



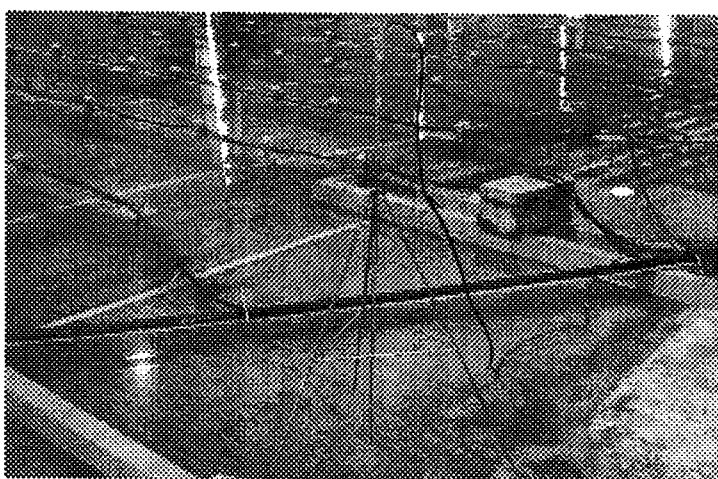
玻璃管面積式流量計與溫排水供應系統



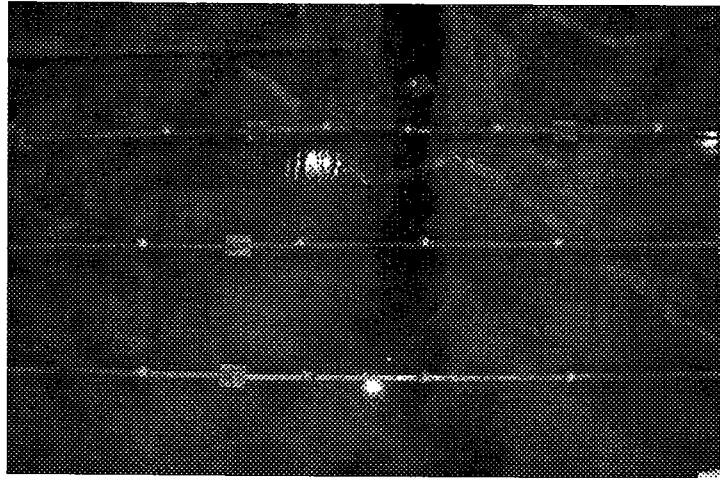
熱偶式溫度計



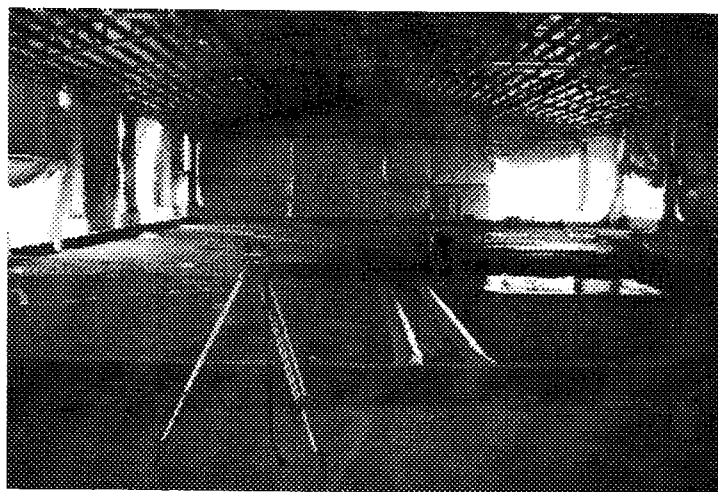
流速儀



以流場可視化輔助觀測溫水排放



模型放樣與鋪設過程



現勘圖片(89年5月19日)



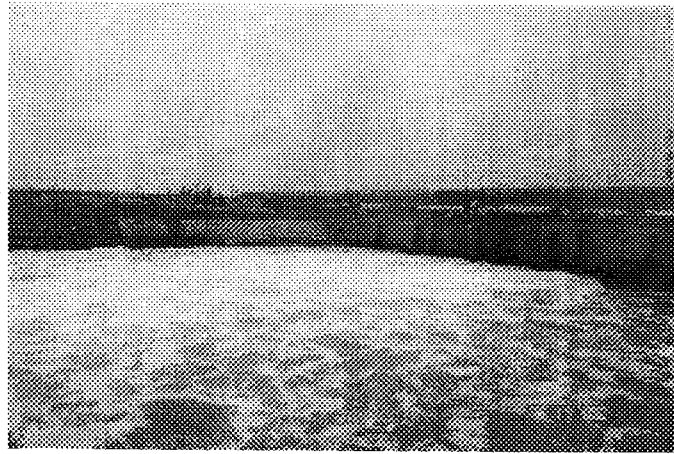
漲潮(上午10:10)

現勘圖片(89年5月19日)



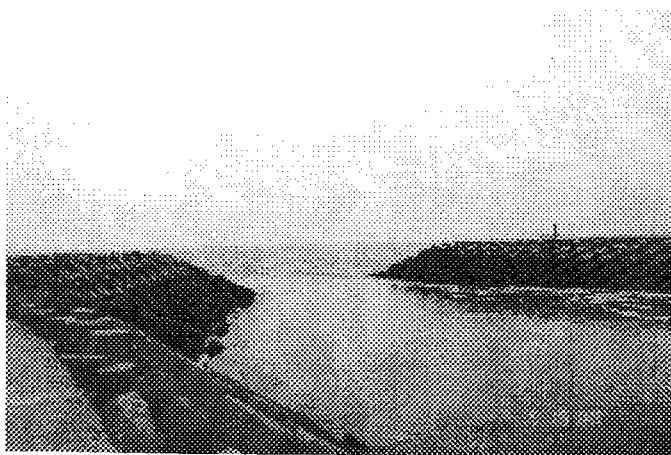
漲潮(上午10:10)

現勘圖片(89年5月19日)



退潮(下午16:10)

現勘圖片(89年5月19日)



退潮(下午16:10)

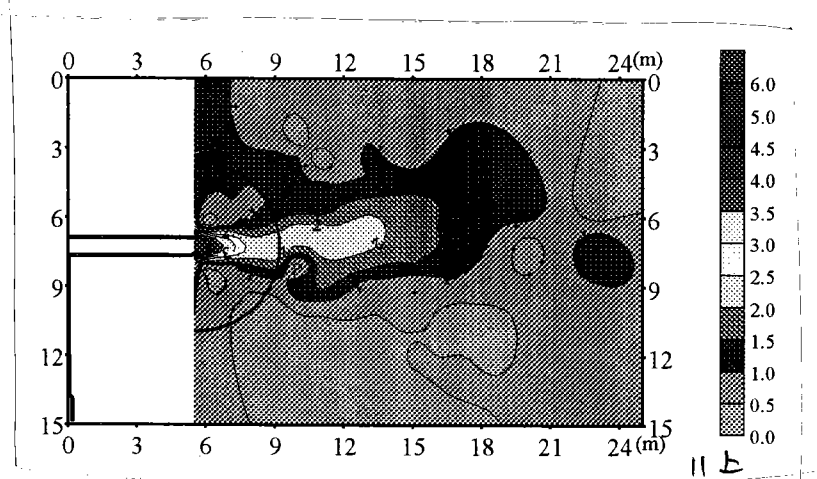


圖4-3 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，8部機，無填方區)

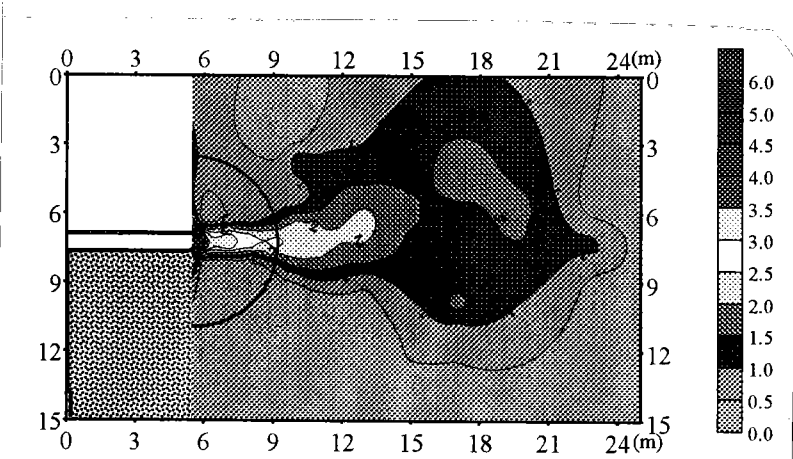


圖4-4 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，8部機，有填方區)

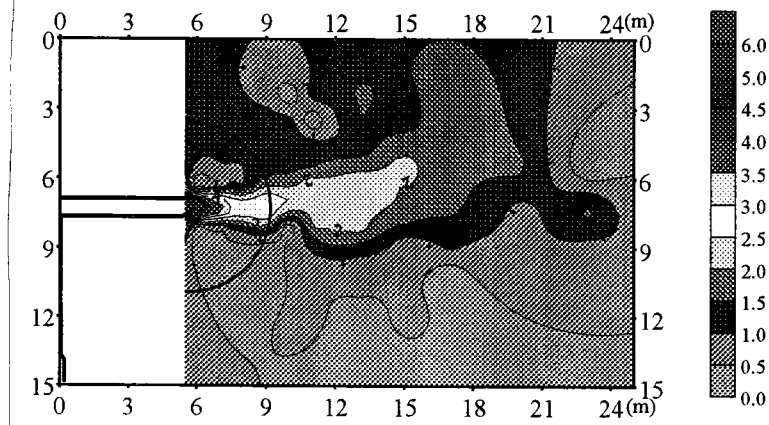


圖4-5 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，10部機，無填方區)

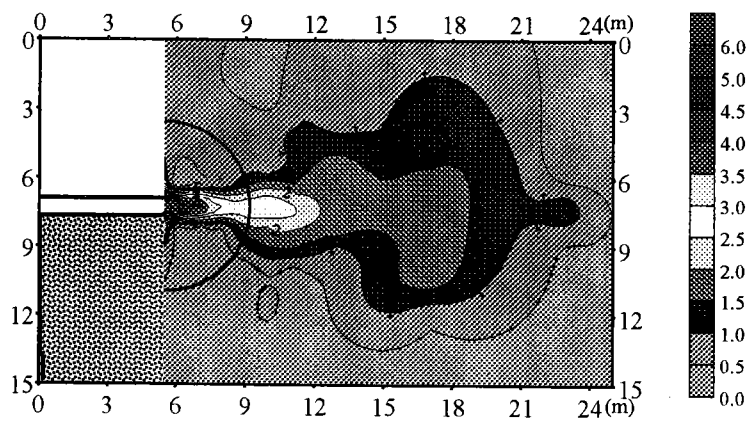


圖4-6 放流口附近等溫升圖(最低低潮位，10部機，有填方區)

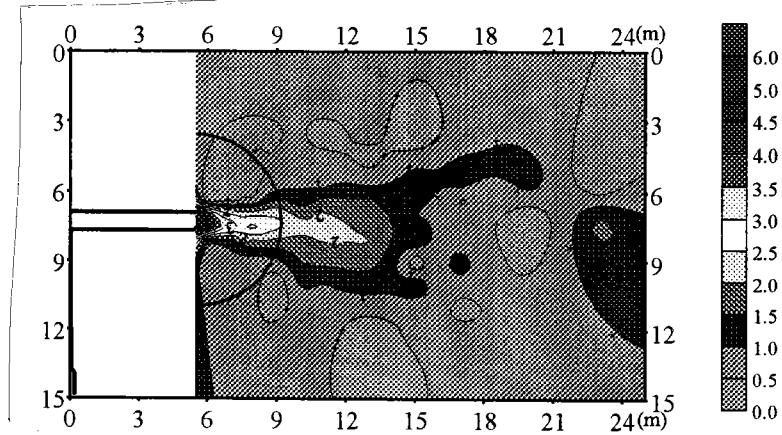


圖4-7 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，8部機，無填方區)

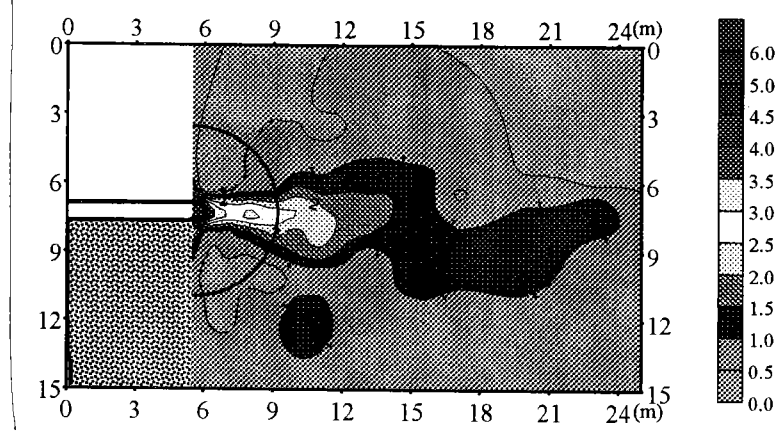


圖4-8 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，8部機，有填方區)

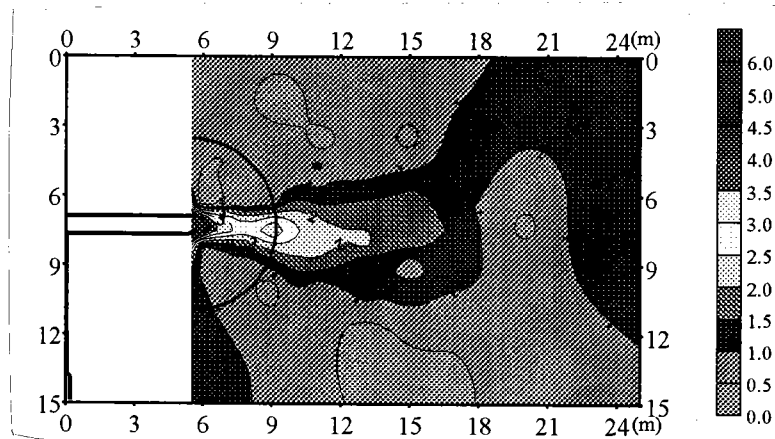


圖4-9 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，10部機，無填方區)

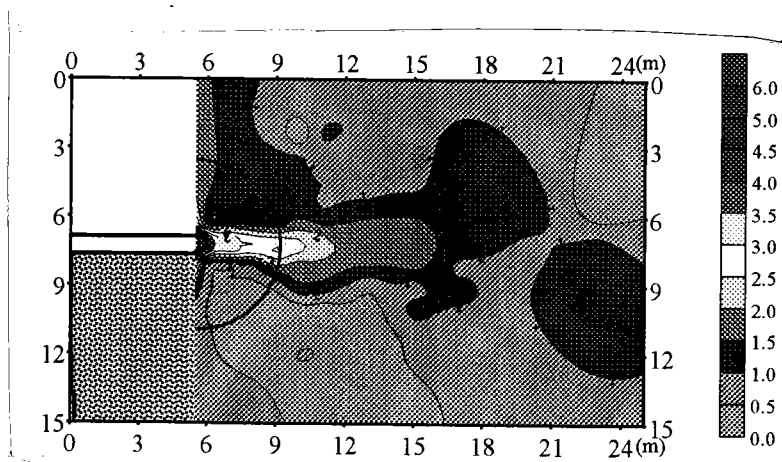


圖4-10 放流口附近等溫升圖(平均低潮位，10部機，有填方區)

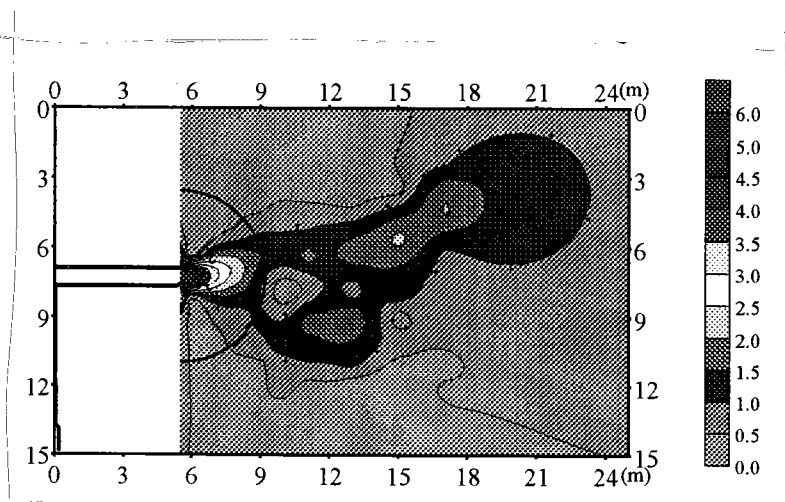


圖4-11 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，8部機，無填方區)

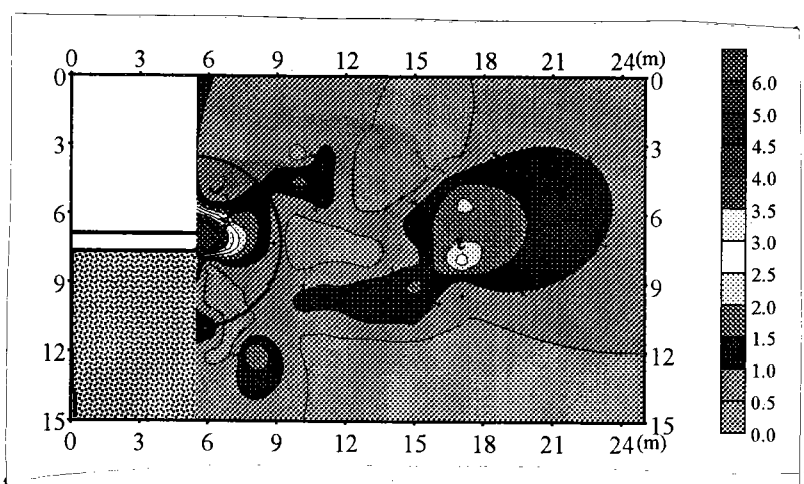


圖4-12 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，8部機，有填方區)

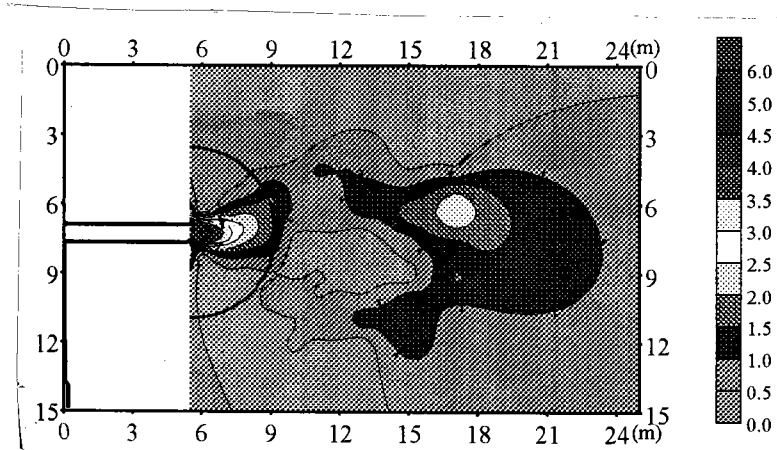


圖4-13 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，10部機，無填方區)

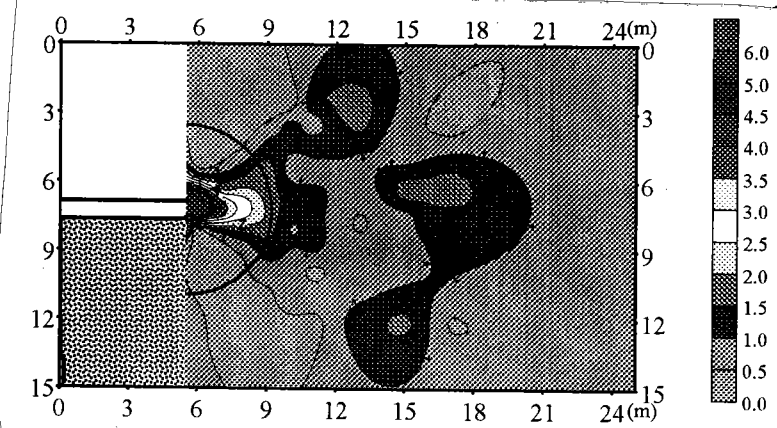
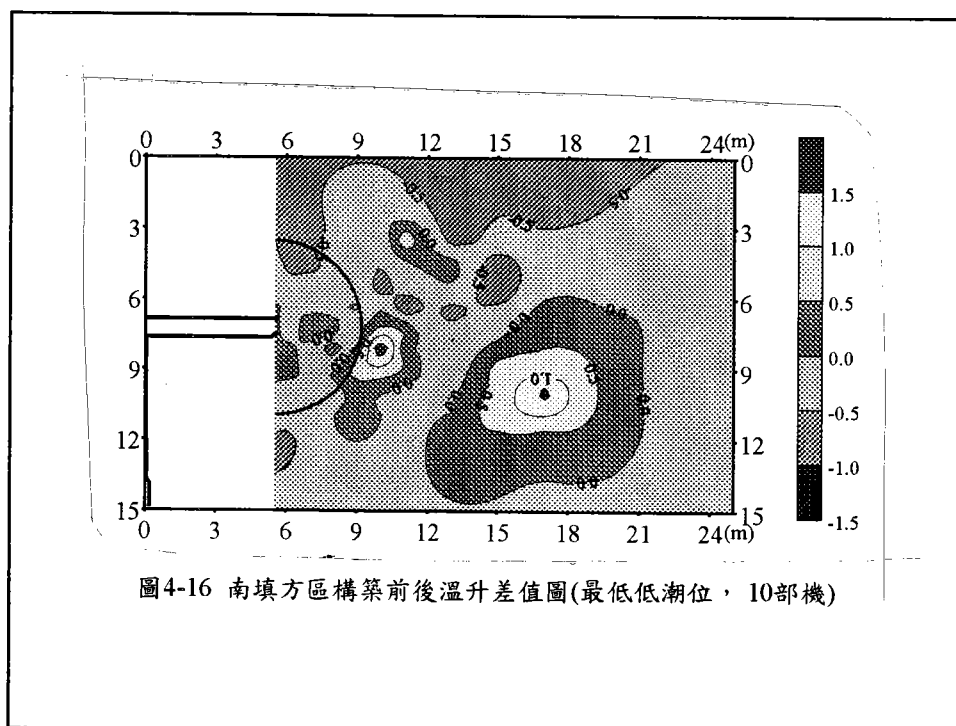
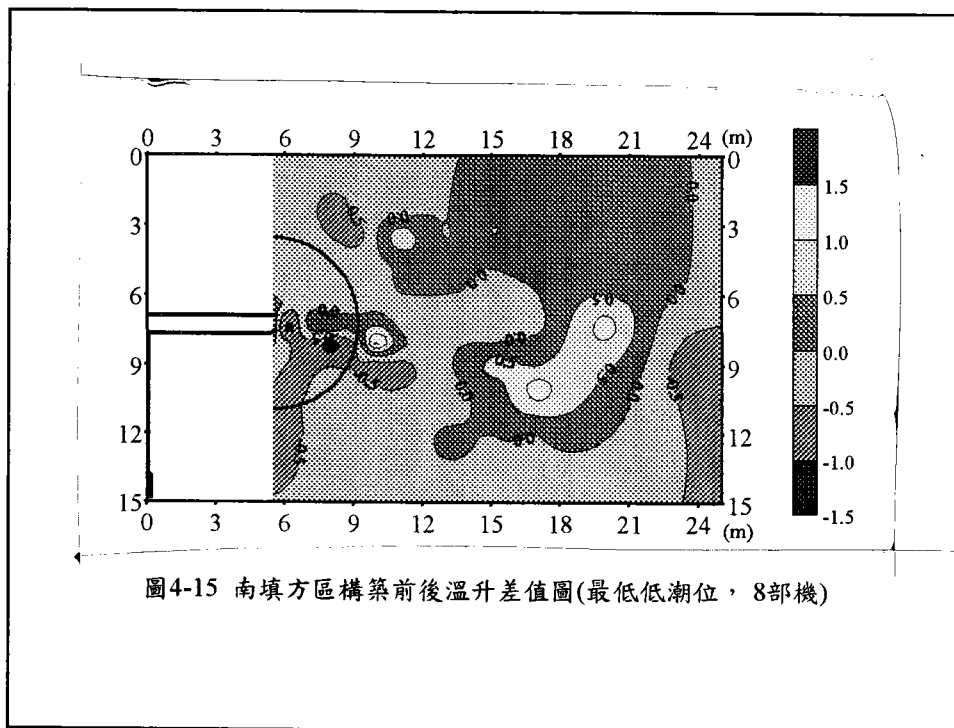


圖4-14 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，10部機，有填方區)



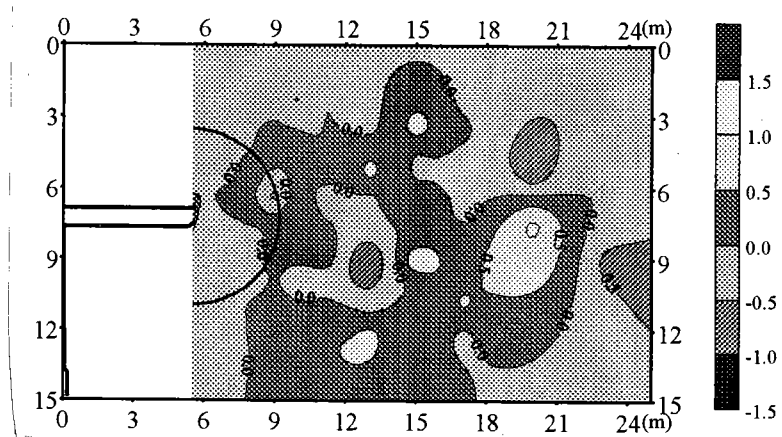


圖4-17 南填方區構築前後溫升差值圖(平均低潮位，8部機)

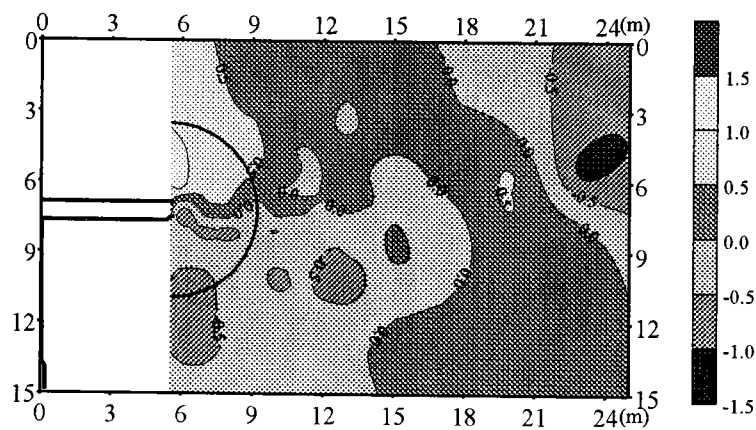


圖4-18 南填方區構築前後溫升差值圖(平均低潮位，10部機)

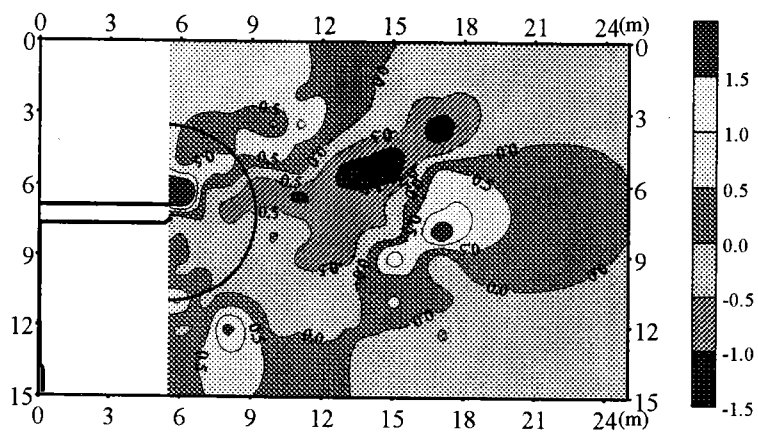


圖4-19 南填方區構築前後溫升差值圖(平均高潮位，8部機)

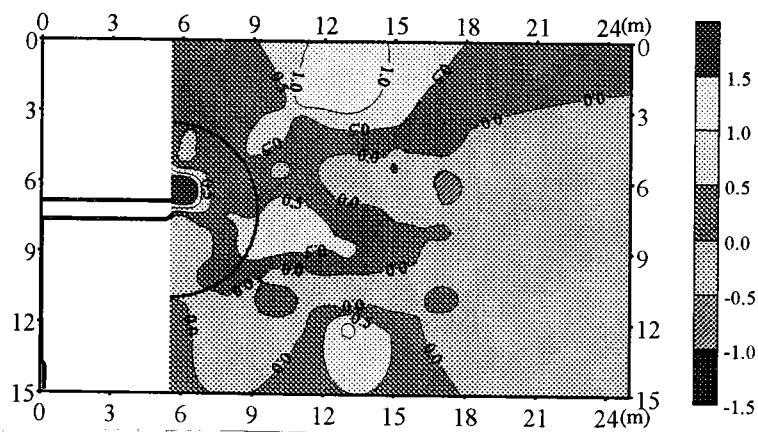


圖4-20 南填方區構築前後溫升差值圖(平均高潮位，10部機)

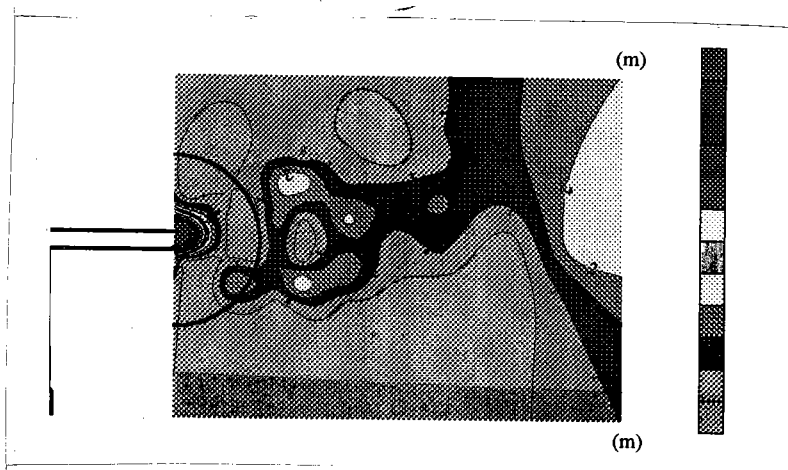


圖4-21 放流口附近等溫升圖(最高高潮位，8部機，無填方區)

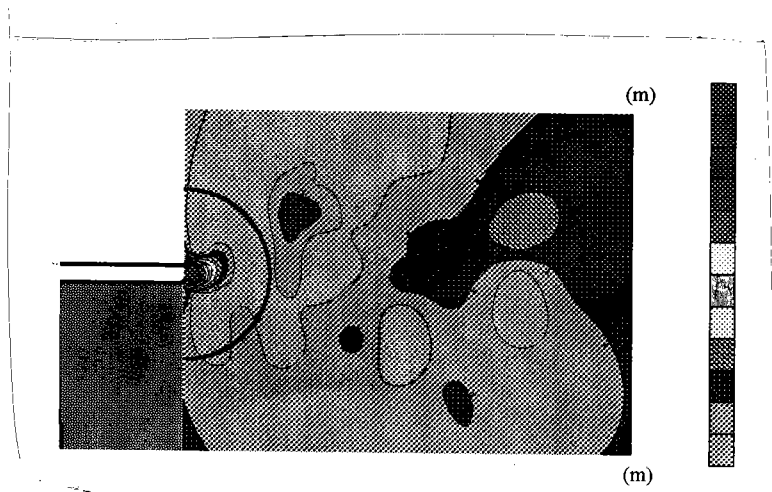


圖4-22 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，8部機，有填方區)

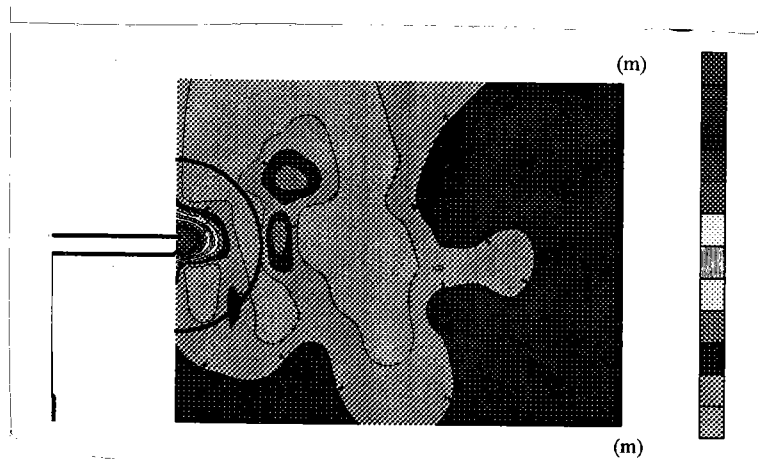


圖4-23 放流口附近等溫升圖(最高高潮位，10部機，無填方區)

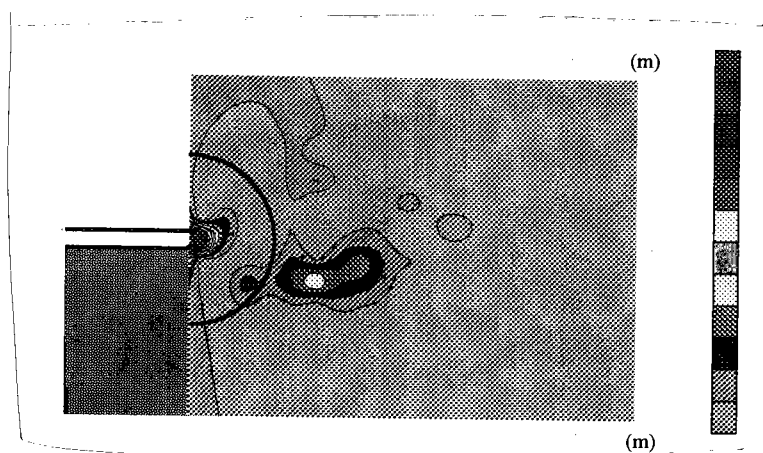


圖4-24 放流口附近等溫升圖(平均高潮位，10部機，有填方區)

