

電廠內通風系統之研究

期末報告

計畫編號：NSC 89-TPC-7-009-001

執行時間：88 年 08 月 01 日至 89 年 07 月 31 日

計畫主持人：曲新生 教授

行政院國家科學委員會

88 年度電力科技產業學術合作研究計畫

電廠內通風系統研究

Study on the ventilation system
of generating station

中華民國 89 年 7 月

中文摘要

關鍵詞：發電廠，通風系統，二氧化碳濃度

由於發電廠內部空氣之流場、溫度場以及氧氣和二氧化碳之濃度場的分佈情形，將會直接影響到內部操作人員的安全性及其健康，因此良好通風系統之設計及其功效具有著不可忽視的重要性。

本計畫主要應用理論模式分析及電腦模擬的方法，對發電廠內部之空氣流場、溫度場及二氧化碳濃度場進行分析，進而找出其室內 CO_2 之濃度分佈區域，以期能更確切的掌握發電廠內部之流場、溫度場以及濃度場的分佈情形。經由上述的分析，提出發電廠內通風系統之最佳化設計和最佳進口速度，以保障內部操作人員的安全性。

發電廠內部的流場、溫度場以及濃度場的數值模擬分析：包含理論模式之建立，以 STAR-CD 之軟體來進行計算與分析，研究成果顯示：進氣口溫度分佈比速度分佈來得重要，進氣口位置應在控制室天花板上均勻配置，所得之最佳設計即使有 20 位工作人員在控制室裡，其 CO_2 濃度亦不會使人產生不舒服感。

ABSTRACT

Keywords: Generating station 、 Ventilation system 、 CO₂ concentration

The distribution of the airflow field, temperature field and CO₂ concentration field of the inside of the generating station will directly influence the safety and the health of the people working in the generating station. Hence, it is very important to design a good ventilation system that has high performance in the inside of the generating station.

The purpose of this project is that: develop the theoretical model and computer simulation method to analyze the airflow field, temperature field and concentration field and to determine the high concentration zone of CO₂. Finally, we present the optimum design of ventilation system and the best inlet velocity to assure the safety of the workers.

The results show that the inlet temperature distribution is more important than its velocity distribution. According to the optimal design, even 20 persons at generation room, the concentration of carbon dioxide does not make workers uncomfortable.

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	iii
表目錄	v
圖目錄	vi
符號說明	xxi
一. 緒論	1
1-1 簡介	1
1-2 相關文獻回顧	4
1-3 研究背景及目的	6
二. 理論模式之建立	12
2-1 物理模型之建立	12
2-2 基本假設	12
2-3 統御方程式	12
2-4 邊界條件	14
2-5 紊流模式	21
2-6 壁函數	23
三. 數值方法	33
3-1 STAR-CD 軟體簡介	33

3-2 SIMPLE 演算法則	34
3-3 上風差分法.....	38
3-4 收斂條件.....	40
3-5 數值方法之驗證	41
3-5-1 格點測試	42
3-5-2 數值結果比較	43
四. 數值模擬結果分析	53
4.1 入口條件對流場的影響.....	53
4.1.1 入口速度變化對流場影響.....	53
4.1.2 入口溫度變化對流場影響.....	54
4.1.3 進氣口位置及數目對流場的影響.....	55
4-2 出口數目及位置對流場的影響	57
4-3 控制平台大小對流場的影響	58
4-4 二氧化碳濃度的控制	60
五. 結論與建議	205
參考文獻	208

表 目 錄

表 1-1	空氣污染指標二氧化碳濃度之容許限度[2].....	8
表 1-2	二氧化碳對人體影響[2].....	9
表 1-3	各國之二氧化碳(CO ₂)基準[2]	10
表 3-1	不同傳遞方程式之正規化因子	44
表 3-2	驗證 Kato 等人[31]之三組格點組合比較.....	45

圖 目 錄

圖 1-1 空氣污染物質分類[1].....	11
.....	
圖 2-1 電廠控制室之幾何尺寸圖（四個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口）	26
圖 2-2 電廠控制室之幾何尺寸圖（一個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口）	27
圖 2-3 電廠控制室之幾何尺寸圖（二個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口）	28
圖 2-4 電廠控制室之幾何尺寸圖（二個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口）	29
圖 2-5 電廠控制室之幾何尺寸圖（四個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，一個 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 出風口）	30
圖 2-6 電廠控制室之幾何尺寸圖（四個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，四個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口）	31
圖 2-7 電廠控制室之幾何尺寸圖（八個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口）	32
圖 3-1 數值計算所使用之網格(a)非交錯式網格(b)交錯式網格	46
圖 3-2 驗證 Kato 等人[31]模型之幾何尺寸圖	47
圖 3-3 驗證 Chung 等人[32]模型之幾何尺寸圖	48
圖 3-4 驗證 Kato 等人模型之格點測試圖	49
圖 3-5 驗證 Chung 等人模型之格點測試圖(a) $t=5$ 秒 (b) $t=10$ 秒	50
圖 3-6 Kato 等人之不同平面流場結果圖(a) $Y=1.92\text{m}$ 平面 (b) $Z=1.6\text{m}$ 平面	51

圖 3-7 驗證 Kato 等人之不同平面流場結果(a)Y=1.92m 平面(b)Z=1.6m 平面	52
圖 4-1(a) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 y=1 截面速度向量及溫度場圖	62
圖 4-1(b) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 y=2.5 截面速度向量及溫度場圖	63
圖 4-1(c) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 y=3.5 截面速度向量及溫度場圖	64
圖 4-1(d) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 y=6.5 截面速度向量及溫度場圖	65
圖 4-1(e) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 y=8.9 截面速度向量及溫度場圖	66
圖 4-1(f) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 y=9.5 截面速度向量及溫度場圖	67
圖 4-1(g) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 x=0.1 截面速度向量及溫度場圖	68
圖 4-1(h) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 x=2.5 截面速度向量及溫度場圖	69
圖 4-1(i) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 x=4 截面速度向量及溫度場圖	70
圖 4-1(j) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 z=1 截面速度向量及溫度場圖	71
圖 4-2(a) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 y=1 截面速度向量及溫度場圖	72
圖 4-2(b) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 y=2.5 截面速度向量及溫	

度場圖	73
圖 4-2(c) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=3.5$ 截面速度向量及溫度場圖	74
圖 4-2(d) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=6.5$ 截面速度向量及溫度場圖	75
圖 4-2(e) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=8.9$ 截面速度向量及溫度場圖	76
圖 4-2(f) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=9.5$ 截面速度向量及溫度場圖	77
圖 4-2(g) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $x=0.1$ 截面速度向量及溫度場圖	78
圖 4-2(h) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $x=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖	79
圖 4-2(i) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $x=4$ 截面速度向量及溫度場圖	80
圖 4-2(j) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $z=1$ 截面速度向量及溫度場圖	81
圖 4-3(a) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=1$ 截面速度向量及溫度場圖	82
圖 4-3(b) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖	83
圖 4-3(c) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=3.5$ 截面速度向量及溫度場圖	84
圖 4-3(d) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=6.5$ 截面速度向量及溫度場圖	85

圖 4-3(e) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=8.9$ 截面速度向量及溫度場圖	86
圖 4-3(f) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=9.5$ 截面速度向量及溫度場圖	87
圖 4-3(g) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $x=0.1$ 截面速度向量及溫度場圖	88
圖 4-3(h) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $x=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖	89
圖 4-3(i) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $x=4$ 截面速度向量及溫度場圖	90
圖 4-3(j) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $z=1$ 截面速度向量及溫度場圖	91
圖 4-4(a) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=1$ 截面速度向量及溫度場圖	92
圖 4-4(b) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖	93
圖 4-4(c) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=3.5$ 截面速度向量及溫度場圖	94
圖 4-4(d) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=6.5$ 截面速度向量及溫度場圖	95
圖 4-4(e) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=8.9$ 截面速度向量及溫度場圖	96
圖 4-4(f) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=9.5$ 截面速度向量及溫度場圖	97
圖 4-4(g) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $x=0.1$ 截面速度向量及溫	

度場圖	98
圖 4-4(h) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $x=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖	99
圖 4-4(i) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $x=4$ 截面速度向量及溫度場圖	100
圖 4-4(j) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $z=1$ 截面速度向量及溫度場圖	101
圖 4-5(a) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	102
圖 4-5(b) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	103
圖 4-5(c) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	104
圖 4-5(d) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	105
圖 4-5(e) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	106
圖 4-5(f) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	107
圖 4-5(g) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	108
圖 4-5(h) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	109
圖 4-5(i) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	110

圖 4-5(j) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	111
圖 4-6(a) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	112
圖 4-6(b) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	113
圖 4-6(c) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	114
圖 4-6(d) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	115
圖 4-6(e) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	116
圖 4-6(f) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	117
圖 4-6(g) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	118
圖 4-6(h) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	119
圖 4-6(i) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	120
圖 4-6(j) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	121
圖 4-7(a) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	122
圖 4-7(b) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫	

度場圖	123
圖 4-7(c) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	124
圖 4-7(d) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	125
圖 4-7(e) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	126
圖 4-7(f) 入口數為一時，電廠控制室在 $x=0.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	127
圖 4-7(g) 入口數為一時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	128
圖 4-7(h) 入口數為一時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	129
圖 4-8(a) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	130
圖 4-8(b) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	131
圖 4-8(c) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	132
圖 4-8(d) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	133
圖 4-8(e) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	134
圖 4-8(f) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	135

圖 4-8(g) 入口數為二時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	136
圖 4-8(h) 入口數為二時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	137
圖 4-8(i) 入口數為二時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	138
圖 4-9(a) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	139
圖 4-9(b) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	140
圖 4-9(c) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	141
圖 4-9(d) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	142
圖 4-9(e) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	143
圖 4-9(f) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	144
圖 4-9(g) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	145
圖 4-9(h) 入口數為二置於控制台正上方時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	146
圖 4-10(a) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=0.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	147
圖 4-10(b) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=1.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	

度場圖	148
圖 4-10(c) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	149
圖 4-10(d) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=4.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	150
圖 4-10(e) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	151
圖 4-10(f) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	152
圖 4-10(g) 入口數為八時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	153
圖 4-10(h) 入口數為八時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	154
圖 4-10(i) 入口數為八時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	155
圖 4-10(j) 入口數為八時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	156
圖 4-11(a) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	157
圖 4-11(b) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	158
圖 4-11(c) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場	159
圖 4-11(d) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	160

圖 4-11(e) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	161
圖 4-11(f) 出口數為一時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	162
圖 4-11(g) 出口數為一時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	163
圖 4-11(h) 出口數為一時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	164
圖 4-12(a) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	165
圖 4-12(b) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	166
圖 4-12(c) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	167
圖 4-12(d) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	168
圖 4-12(e) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=7.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	169
圖 4-12(f) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	170
圖 4-12(g) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	171
圖 4-12(h) 出口數為四時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	172
圖 4-12(i) 出口數為四時，電廠控制室在 $x=2\text{m}$ 截面速度向量及溫度	

場圖	173
圖 4-12(j) 出口數為四時，電廠控制室在 $x=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	174
圖 4-12(k) 出口數為四時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	175
圖 4-13 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 電廠控制室幾何尺寸圖	176
圖 4-14(a) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	177
圖 4-14(b) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	178
圖 4-14(c) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	179
圖 4-14(d) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	180
圖 4-14(e) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	181
圖 4-14(f) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	182
圖 4-14(g) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	183
圖 4-14(h) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $x=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	184
圖 4-14(i) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $x=6\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖	185
圖 4-14(j) 控制台為 $4\text{m}\times 1\text{m}\times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度	

向量及溫度場圖	186
圖 4-15 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 電廠控制室幾何尺寸圖	187
圖 4-16(a) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度 向量及溫度場圖	188
圖 4-16(b) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=2\text{m}$ 截面速度 向量及溫度場圖	189
圖 4-16(c) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速 度向量及溫度場圖	190
圖 4-16(d) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速 度向量及溫度場圖	191
圖 4-16(e) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速 度向量及溫度場圖	192
圖 4-16(f) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度 向量及溫度場圖	193
圖 4-16(g) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $x=1\text{m}$ 截面速度 向量及溫度場圖	194
圖 4-16(h) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $x=3.5\text{m}$ 截面速 度向量及溫度場圖	195
圖 4-16(i) 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度 向量及溫度場圖	196
圖 4-17 電廠控制室內有兩位工作人員時之不同截面濃度擴散圖 (a) $y=2.5\text{m}$ (b) $y=3.5\text{m}$	197
圖 4-18 電廠控制室內有兩位工作人員時之不同截面濃度擴散圖 (a) $y=7.5\text{m}$ (b) $y=9.5\text{m}$	198
圖 4-19 電廠控制室內有兩位工作人員時之不同截面濃度擴散圖 (a) $x=0.5\text{m}$ (b) $x=5.75\text{m}$	199

圖 4-20 電廠控制室內有兩位工作人員時在 $Z=1\text{m}$ 截面濃度擴散圖	200
圖 4-21 電廠控制室內有二十位工作人員時之不同截面濃度擴散圖 (a) $y=2.5\text{m}$ (b) $y=3.5\text{m}$	201
圖 4-22 電廠控制室內有二十位工作人員時之不同截面濃度擴散圖 (a) $y=7.5\text{m}$ (b) $y=9.5\text{m}$	202
圖 4-23 電廠控制室內有二十位工作人員時之不同截面濃度擴散圖 (a) $x=0.1\text{m}$ (b) $x=2.5\text{m}$	203
圖 4-24 電廠控制室內有二十位工作人員時在 $Z=1.25\text{m}$ 截面濃度擴散圖	204

符 號 說 明

A	截面積[m ²]
C	經驗常數
D	擴散係數
d	直徑[m]
F	作用力[N]
f	摩擦因子
G	浮力項[N]
Gr	Grashof 數， $\equiv g\beta\Delta TL^3/\nu^2$
h	焓值[J/kg]
I	紊流強度
g	重力加速度[m/s ²]
K	穿透率
k	紊流動能值[m ² /s ²]
L	特徵長度[m]
l	紊流混合長度[m]
m	質量[kg]
P	壓力[N/m ²]
Pr	Prandtl 數， $\equiv \nu/\alpha$
R	殘差值[kg/s]
Ra	Rayleigh 數， $\equiv Gr \cdot Pr$
Re	Reynold 數， $\equiv \rho VL/\mu$
S	源項
T	絕對溫度[K]

T^*	溫度尺寸變數
t	時間[s]
U	入口速度[m/s]
u	x 方向之速度分量[m/s]
u^*	速度尺寸變數
V	體積[m ³]
v	y 方向之速度分量[m/s]
w	z 方向之速度分量[m/s]
y^*	距離尺寸變數

希臘字母

ρ	密度[kg/m ³]
Φ	不同傳遞方程式中的主要變數
ϕ	體孔積率
Γ	擴散項
β	熱膨脹係數[K ⁻¹]
α	熱傳導係數[W/mK]
ν	動力黏滯係數[m ² /s]
μ	黏滯係數[kg/ms]
ε	紊流消散率[m ² /s ³]
λ	均勻度
ζ	正規化絕對殘差值和
γ	收斂條件
η	經驗常數

上標

* 預估值

' 擾動量

— 時均值

下標

am 附加質量

dr 阻力

E 能量

h 熱源

i X、Y、Z 三個方向

l 層流

m 不同物質

nb 待測格點之所有鄰近格點

p 粒子相

t 紊流

第一章 緒論

1-1 簡介

在發電廠內，通風系統之設計及功效對室內工作人員之安全及健康有極重大的影響。而由於大部分時間都處於室內環境，室內空氣品質（Indoor Air Quality, IAQ）自然成為影響人體健康及舒適程度的重要因素。IAQ 是室內污染源，通風效率及室內空氣污染濃度與外氣稀釋率三者交互作用的結果。若考慮外氣的品質和污染物因沈澱而改變或消除，可歸納出下列影響 IAQ 之因素：

1. 室內污染源的釋放率
2. 通風外氣的稀釋率
3. 外氣的品質
4. 室內具改變污染物密度的物質或系統。

室內污染源的釋放率是影響 IAQ 決定性的因素，它包括了建材、清潔器具、室內設備、積水或潮濕面之微生物的生長及室內的人員等。而空調系統除了提供適當的溫度、濕度及空氣分佈外，也需將室內污染濃度及能源消耗控制在合宜的範圍內，其範圍可參考美國冷凍空調協會（ASHRAE）之標準 62-1989 所定各種換氣率和空氣品質，此規範中可接受的室內空氣品質的空氣污染程度由公認機構確認不致對人體產生傷害，且使多數人（80%以上）不產生抱怨。

控制 IAQ 的對策大抵上可分為：室內污染物之移除、室內污染源控制及室外污染源控制三個方向。在「室內污染物之移除」方法上又可分為自然通風與機械通風兩種方式：

- (1) 自然通風係利用室內外溫差、風力、氣體擴散及慣性力等自然現象為原動力，實施換氣的方法，其方法如下：

(a) 利用室內外溫差

在廠房頂部或是牆壁上方開設空氣流出口，而在牆壁下方開設空氣流入口，當廠房內因機臺或人員活動而產生熱量時，內部溫度較外部溫度高，廠房內熱空氣因浮力作用而經空氣流出口排出場房外，此時廠房外部的冷空氣將自動由空氣流入口進入補充，而達到通風的目的。

(b) 利用風力

將窗戶打開，讓空氣自然流通廠房內的方法，雖不耗金錢，但因容易受到風向、風速、窗戶大小與位置的影響，很難獲得穩定的換氣效果。

(c) 利用氣體擴散

氣體會由高濃度的區域往低濃度的區域擴散，但是因為擴散的速度太慢，所以較少作為通風的用途。

(d) 利用慣性力

利用污染物由其發生源所產生的特有動力，將排出口設置於該動力作用之方向，即可排除。

(2) 機械通風係利用機械動力強制實施通風之方法。有以下三種方式：

(a) 排氣法

在排氣方面以機械動力實施，而進氣則利用窗口等開口部份自然流入之方法。此法較適用於污染物之排除。

(b) 供氣法

在供氣部份利用機械動力，排氣部份則利用開口部份之自然流出。此法對於污染物之排除效果較差，但較適合於供給勞工新鮮空氣或是引入室外低溫空氣以降低高溫作業環境

之溫度。

(c) 供排氣並用法

供排氣均以機械動力實施，其效果較前兩者為大。

而就室內空氣污染物質的種類而言，包括了 CO_2 、 CO 、 NO_x 、 SO_x 、粉塵、甲醛、氬、有機微生物及 VOC_s 等，其分類如圖 1-1[1] 所示。而室內空氣中污染物的濃度若過高，超過正常人新陳代謝的速度與承受能力的話，便會對健康造成不利的影響。在 ASHRAE 之標準 62-1989 以 CO_2 濃度指標來訂定通風換氣量標準， CO_2 的主要來源為人員的活動，由室內人員及燃燒器具產生，人員所產生的二氧化碳是經由肺部的呼吸作用排出體外，在燃燒器具產生的二氧化碳是經由燃燒過程釋出。由於二氧化碳所產生的量較易於測量，因此常將其濃度做為室內污染指標。表 1-1[2] 為不同 CO_2 濃度所代表的意義，除了在高濃度的情況之外，一般而言，二氧化碳是無毒的，對人體沒有直接的危害。但在換氣不良的室內，室內人員多數聚集的場所，二氧化碳濃度不斷升高而超過人體容許限度，久處這種高污染環境下，易引起呼吸道疾病或中樞傷害，表 1-2[2] 為二氧化碳對人體健康的影響說明。此外，人體所產生的其他空氣污染還包括：氧氣減少，溫度上升，水蒸氣的增加以及抽煙、活動、流汗、咳嗽等行為所造成的污染物質，而 CO_2 濃度會隨人員活動量的多寡而增減，我們也將以此做為空氣污染品質檢測的一部份。表 1-3[2] 為各國二氧化碳(CO_2)基準值規定。

由於通風系統的室內側之流場、溫度場以及濃度場的分佈情形，將會直接影響到室內工作人員的健康及安全，因此通風系統的流場、溫度場以及濃度場均需控制在合理範圍內，才能促進工作人員的舒適度及安全性。因此建立好的通風系統，進行一室內側的流場、溫度場

及濃度場的理論模型與軟體分析測試，進而找出通風系統之最佳化設計以及最佳進口速度，然後再實地精確的量測每一位置的風速、風量和溫度值，與模擬的數值作一對照性的比較，以期達到更確切的掌握通風系統室內側之流場、溫度場以及濃度場的分佈情形，以使本通風系統能符合工作人員健康及安全的需求。

發電廠為了達到安全的緣故必須全天 24 小時輪班做安全監測的工作，而且就監控的設備和控制的儀器來說，在適當的溫度、濕度下，儀器才能正常的運作，相對地，故障的機率就大大的降低很多，故發電廠內之良好的通風設備，對操縱的設備以及發電廠內工作同仁的健康和安全有不可忽視的重要性。

1-2 相關文獻回顧

在 1973 年能源危機時，ASHRAE(美國冷凍空調協會)擬定出 62-1973 標準最小換氣量為 5 cfm/人，希望以此標準來降低能源的損耗以解決能源問題。此後，國外便有不少學者研究室內空氣品質不佳的因素與實際調查。而在 1987 年 NIOSH(美國國家職業安全衛生機構)經 529 個案例調查，發現室內空氣品質 IAQ 問題日益嚴重，故將 IAQ 也納入室內通風環境的考量。美國冷凍空調協會致力於通風量之研究，並提出種種通風標準，作為實施法規的依據。

多年來，以數值方法做二維或三維空間流體的熱流場分析一直都是學術界或工業界所努力的方向。早在 70 年代就有 Hirt 和 Cook[3]求算三維空間突起物四週的流場分佈。接著 Brown 和 Solvason[4]則討論矩形隔板兩側的自然對流。近年來，由於電腦科技的進步，更有不少的學者積極投入此方面的研究，例如 Weathers 和 Spilter[5]即以實際尺寸對室內空氣做實驗和數值法的比較，並同時以層流，壁函數的 $K-\epsilon$ 模型、低雷諾數的 $K-\epsilon$ 模型，在空間表面設計不同位置的氣

流的入出口，做速度場的分析。而 Chen 及 Van Der Kooi[6]則以有限元素法陸續對室內空氣的品質、氣流的流場、空調耗能等做多項討論，並以不同數值模式、不同邊界條件來看室內氣流的變化。

Murakami 等人[7]更在紊流對流型式的潔淨室內擺設不同位置的障礙物及污染源，研究污染物在室內的濃度大小分佈，如此才可以安心的將儀器設備擺設在低污染的區域，並有效地架設出風口，以利污染物的排出。常見的通風方式可分為兩類，一為供氣式，利用風扇引入外界的空氣，降低室內的有害氣體，另一為抽氣式，利用風扇，將室內有害氣體排除。Garrison 等人[8]、[9]、[10]對這方面問題，以 N_2 、 CO_2 、 SF_6 等不同的氣體進行模擬量測有害氣體在室內不同位置的濃度，所測量得到的實驗數據，建立一資料庫，並推導一簡單之數學模式，求得在不同時間，有害氣體的濃度變化。結果得知採用供氣式的通風效率，較抽氣式來得高，且密度較空氣大的 CO_2 、 SF_6 等氣體，會在底部殘存濃度較高的有害氣體。由以上的研究可看出通風效率的好壞，決定於進排氣位置的選擇及流量的選定，因此作業環境，排氣出口盡量選擇接近污染源的位置。導引室內有害氣體有效的排除，不致使有害氣體擴散停留於室內不易排出，節省能源，降低成本。

有關供氣式進排氣口的位置排列及不同位置的室內污染源的研究，Woods[11]在 1983 年以實驗方法找出室內有害氣體濃度最高位置，並以相對暴露指數評估何處是屬高危險區域或安全區域。1988 年 Kuenh[12]、[13]對於 10 級的全面層流型式潔淨室作風速和污染粒子擴散的研究，其指出風速的分佈雖然可以用數值模擬的技巧有效地掌握，但是污染粒子的擴散係數卻因不易確定而失去準確性。

1993 年 Fujita[14]利用數值與實驗的方法，討論直管型空氣艙的潔淨室氣流特性，並提出使用此型式的潔淨室可得到潔淨度為 100

級的均勻流場。1994 年 Lang 等人[15]利用數值方法，討論多區潔淨室內，因某特定區域機台發熱，造成室內流場與濃度場的變化，並且建議，當室內有高溫熱源時，可考慮使用向上垂直層流方式通風，以避免因自然對流與強迫對流的衝突，而造成紊流現象。Nishioka 等人[16]以實驗的方式，用 1：10 尺寸的模型，找出影響 HEPA 過濾器的氣流均勻性之參數。所獲得結論如下：

- (1) 空氣艙高度須低，噴氣孔位置須作沖孔網(即整流網)或整流柵欄。
- (2) 靠近噴氣孔位置的過濾器，須調整過濾器之材質，使得空氣流經其過濾器的壓降較小，以及此處過濾表面流速較小。

在 1998 年，Awbi[17]做了關於交換式和混合式通風系統的分析，其分析針對污染物以及熱的移除效率的比較，利用 CFD 模擬房間內空氣的移動，並且在交換式通風系統模擬下，並房間中放置一個被加熱過的假人，來量測房間的溫度變化情形。最後他得到的結論是，在利用 CFD 模擬和測量下，我們可以說交換式的通風系統會比混合式的來得有效率，更能節省能源。

在 1998 年，Bearg 等人[18]發表了用監控來改善室內空氣品質，監控的目標是二氧化碳和露點，他表示用這一種方法有兩個好處：

- (1) 維持好的空氣品質。
- (2) 在入口速度、換氣量改變之後，仍然可以知道系統是否如預期的在運作。

1-3 研究背景及目的

本人過去曾經主持過一個三年期之國科會計畫，從事環境控制室之研究，研究內容除了應用 FLOW-3D 電腦軟體模擬分析環境控制室 (Environmental Control Room) 之流場、溫度場之外，並設計建造了一

座環境控制室供空調機測試其效率之用。

最近本人之研究群更應用 STAR-CD 電腦軟體分析微小型潔淨室 (Minienvironmental Clean Room) 流場及污染源控制技術，此項研究針對不同形狀之進氣口及進氣速度研究其對室內流場及污染源濃度擴散之影響，根據模擬結果可提出最佳化之設計。

本計畫主要分成數值模擬及實驗量測兩大部份：其中一部份為發電廠內部的流場、溫度場以及濃度場的數值模擬分析，包含理論模式之建立，以 STAR-CD 之軟體來進行計算與分析，而其所得的結果將成為設計通風系統的依據；而另一部份則為實驗量測部份，首先建立風速計，再以風速計來量測發電廠內部之不同位置的風量、風速與溫度並將量測的數據與數值模擬值做一比較，並對設計結果進行細部微調。

表 1-1 空氣污染指標二氧化碳濃度之容許限度[2]

濃度(ppm)	意 義
700	多數人持續在室內狀態的容許限度（不使用燃燒器具）
1000	一般場合之容許限度（不使用燃燒器具）
1500	在換氣計算使用之容許限度（不使用燃燒器具）
2000~5000	被認定為相當不良之情況（含燃燒器具）
>5000	被認定為有害之情況

表 1-2 各國之二氧化碳(CO₂)基準[2]

	制訂組織或法律名稱	基準值 (ppm)	備註
一般 環境	日本建築基準法、大樓衛生管理法	1000	中央空調方式
	WHO IAQ	920	
	ASHRAE	1000	
勞動 環境	日本辦公室衛生基準規則	1000	中央空調方式
	(勞動安全衛生法)	5000	無空調

表 1-3 二氧化碳對人體影響[2]

濃度(ppm)	人體影響
1000	呼吸器、循環器及大腦機能上被影響。
10000	呼吸深度增加
30000	呼吸增大及臉上有溫熱感
40000	耳鳴、頭痛及血壓上升之症候現象。
60000	皮膚血管擴張、噁心、嘔吐
70000-80000	精神活動混亂，呼吸困難
80000-100000	意識混濁及痙攣而發生呼吸停止。
20000	中樞障害的發生，構成生命的危險。

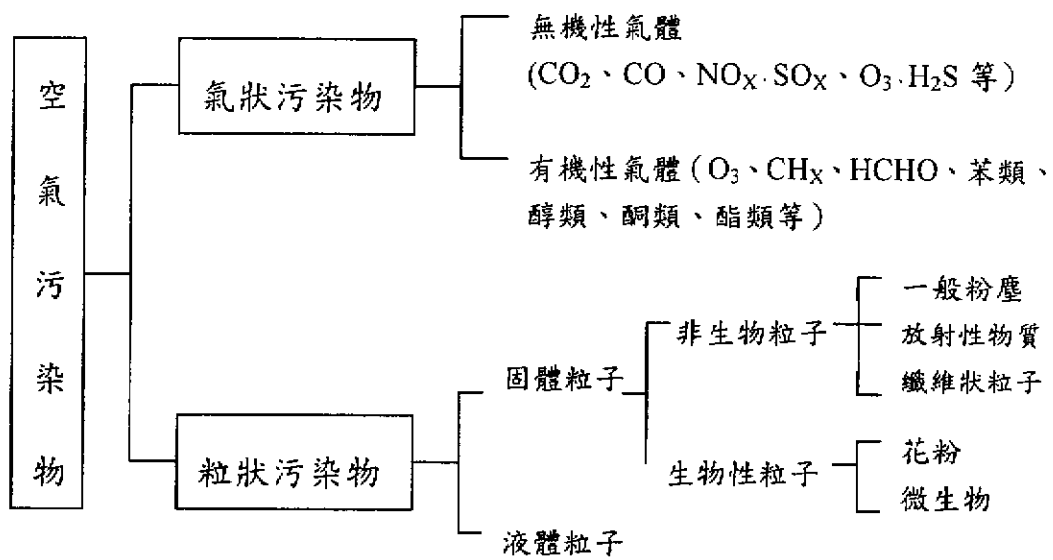


圖 1-1 空氣污染物質分類[1]

第二章 理論模式之建立

2-1 物理模型之建立

為了解電廠控制室內部速度及溫度變化情形，我們採用實際尺寸來建立物理模型，以三維數值方法來計算真實尺寸大小通風系統之流場、溫度場及濃度場。圖 2-1 所示為控制室之幾何尺寸圖，控制室內之控制台緊靠牆壁放置，控制室大小為 $10\text{m} \times 8\text{m} \times 4\text{m}$ ，空間上方有四個獨立通風系統 ($1\text{m} \times 1\text{m}$)，將溫度為 296K 的乾淨空氣從上方垂直吹入室內，並經由面積為 $2\text{m}^2 (2\text{m} \times 1\text{m})$ 之出風口排至外部。為了設計出控制室通風系統之最佳設計，本計畫又針對通風系統之不同進氣、出風口的數量、大小與位置來做速度、溫度及濃度場的分析，其各種之物理模型詳列於圖 2-2 至 2-6。

2-2 基本假設

在未進行此模擬時，我們先得個別討論速度場、溫度場及濃度場的問題。本問題的分析需要一些基本假設：

1. 空間為三維直角座標系統
2. 空間內之流體為牛頓流體且為不可壓縮的理想空氣流體
3. 流場為穩態紊流流場
4. 黏滯耗散和輻射效應可忽略不計
5. 考慮浮力的影響並滿足 Boussinesq 近似

為了探討氣流遇到內部物體所產生回流的現象，本計畫引用標準 $k-\varepsilon$ 紊流模式來進行模擬。

2-3 統御方程式

本文研究之流場空間為三維穩態紊流流場，所應用的紊流模式為

Renormalization Group(RNG) $k-\varepsilon$ model，故其主要的統御方程式 (Governing Equations) 為連續方程式、動量方程式、能量方程式、紊流動能及紊流耗散率的傳輸方程式 (Transport Equations)。

流場統御方程式

流場統御方程式可藉由下列傳輸方程式的通式表示之：

$$\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \rho \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S \quad (1)$$

其中下標 i 表 X 、 Y 、 Z 三個不同方向， t 為時間， ρ 為流體密度， Φ 為不同的傳遞方程式中的主要變數， Γ 為擴散係數， S 為源項。如果流場是穩態、不可壓縮及有熱傳現象產生時，則各傳遞方程式將為：

連續方程式 (Continuity Equation)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad i=1,2,3 \quad (2)$$

動量方程式 (Momentum Equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g_j \beta \Delta T \quad i,j=1,2,3 \quad (3)$$

$\rho g_j \beta \Delta T$ 代表動量方程式中的浮力項 (Buoyancy Term) 作用。其中有效黏滯係數 μ_{eff} 為層流黏滯係數 μ_l 和紊流黏滯係數 μ_t 之和，而 β 為熱膨脹係數 (Thermal Expansion Coefficient)。

能量方程式 (Energy Equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + (\tau_{ik})_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + S_h \quad i,k=1,2,3 \quad (4)$$

其中 S_h 為熱源項，且忽略黏滯能量耗散函數 (Viscous Energy Dissipation Function)，因為通常只在音速或高速運動下之潤滑油的情形，此項才予以考慮。

2-4 邊界條件

本計畫之邊界條件乃依發電廠控制室之進氣口與出風口幾種不同的情況而做如下之假設：

(1) 進氣口：以入口之速度、溫度變化及數目來探討流場變化。

(a) 速度：分別以 0.05m/sec、0.1m/sec、0.15m/sec 及 0.2m/sec 討論，入口與出口位置為：

進氣口 1：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$2\text{m} \leq y \leq 3\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 2：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$6\text{m} \leq y \leq 7\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 3：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$2\text{m} \leq y \leq 3\text{m}$$

$$z=4\text{m}$$

進氣口 4：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$6\text{m} \leq y \leq 7\text{m}$$

$$z=4\text{m}$$

出風口 1：

$$x=0\text{m}$$

$$3\text{m} \leq y \leq 4\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

出風口 2：

$$x=8\text{m}$$

$$3\text{m} \leq y \leq 4\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

(b) 溫度：分別以進口空氣溫度為 20°C、23°C 及 25°C 討論，進氣口與出風口之位置則以 (a) 部分之邊界相同。

(c) 入口數目：在換氣率相等的前提之下，分別採取一、二、四與八個進氣口，其進口的速度與溫度分別為 0.1m/sec 與 23°C，出風口位置不變。

i. 一個入口（圖 2-2）

$$0\text{m} \leq x \leq 1\text{m}$$

$$0\text{m} \leq y \leq 1\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

ii. 二個入口（圖 2-3）

進氣口 1：

$$3.5\text{m} \leq x \leq 4.5\text{m}$$

$$2\text{m} \leq y \leq 3\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 2：

$$3.5\text{m} \leq x \leq 4.5\text{m}$$

$$6\text{m} \leq y \leq 7\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

iii. 二個入口（圖 2-4）

進氣口 1：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$9\text{m} \leq y \leq 10\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 2：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$9\text{m} \leq y \leq 10\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

iv. 四個入口（圖 2-1）

進氣口 1：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$2\text{m} \leq y \leq 3\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 2：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$6\text{m} \leq y \leq 7\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 3：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$2\text{m} \leq y \leq 3\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 4：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$6\text{m} \leq y \leq 7\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

v. 八個入口（圖 2-7）

進氣口 1：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$2\text{m} \leq y \leq 3\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 2：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$4\text{m} \leq y \leq 5\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 3：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$6\text{m} \leq y \leq 7\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 4：

$$2\text{m} \leq x \leq 3\text{m}$$

$$8\text{m} \leq y \leq 9\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 5：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$2\text{m} \leq y \leq 3\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 6：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$4\text{m} \leq y \leq 5\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 7：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$6\text{m} \leq y \leq 7\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

進氣口 8：

$$5\text{m} \leq x \leq 6\text{m}$$

$$8\text{m} \leq y \leq 9\text{m}$$

$$z = 4\text{m}$$

(2) 出風口：在出風口面積相等的前提之下，分別採取一、二與四個出風口，其進口的速度與溫度分別為 0.1m/sec 與 23°C ，進氣口位置不變來做討論。

i. 一個出風口

$$x = 8\text{m}$$

$$3\text{m} \leq y \leq 5\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

ii. 二個出風口

出風口 1：

$$x = 0$$

$$3\text{m} \leq y \leq 4\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

出風口 2：

$$x = 8\text{m}$$

$$3\text{m} \leq y \leq 4\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

iii. 四個出風口

出風口 1：

$$x = 0\text{m}$$

$$3\text{m} \leq y \leq 4\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

出風口 2：

$$x = 0\text{m}$$

$$7\text{m} \leq y \leq 8\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

出風口 3：

$$x = 8\text{m}$$

$$3\text{m} \leq y \leq 4\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

出風口 4：

$$x = 8\text{m}$$

$$7\text{m} \leq y \leq 8\text{m}$$

$$0\text{m} \leq z \leq 2\text{m}$$

2-5 紊流模式

由於紊流中所有的性質都會隨時間與空間的方向，在一個平均值上下迅速而不規則的變動，所以大多數學者皆認同在紊流的理論分析中，可將瞬時量視為時間平均部份和擾動部份之和。Reynolds [6]即以此觀念代入 Navier-Stokes 方程式，並取其時間平均，整理可得雷諾平均方程式(Reynolds Averaged Equation)：

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \rho X_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) \quad i,j=1,2,3 \quad (5)$$

其中對流項所產生的六個雷諾應力(Reynolds Stress) $\rho \overline{u'_i u'_j}$ ，造成方程式個數少於變數個數的現象，即只擁有四個傳遞方程式(連續方程式及三個不同方向之雷諾平均方程式)，卻欲求解十個未知變數(平均壓力、三項平均分速及六個雷諾應力)的情況。為了解決這個問題，便需要仰賴紊流模式的引入。

鑑於近年來學者們對於紊流模式的努力，已有許多不同的紊流模式產生，其主要可分為三種型態：單方程式模式(One Equation Model)、雙方程式模式(Two Equations Model)及應力模式(Stress Equation Model)。而在雙方程式模式方面，紊流效應是以等方向性之渦流或紊流黏滯係數來表示，並以紊流動能 k 值和紊流耗散率 ε 值來計算。

Jones 和 Launder [21]所提出的標準 $k-\varepsilon$ 模式是最為人所熟悉的

模式之一。其半經驗模式公式是基於流場為完全紊流和忽略分子黏性效應的假設而導出，因此標準 $k-\varepsilon$ 模式應只適合於完全紊流流場型式。但由於此模式對於多種不同的紊流流場型式，仍有著尚可接受的準確性，並且具有簡單、經濟效應等優點，故可解釋此模式在流場和熱傳模擬應用的普遍性。對於室內只有局部紊流區域的流場，其具有相當高準確性。故本文採用此模式進行模擬，其是先將雷諾平均方程式中六個雷諾應力以 Boussinesq 假說[23]來表示：

$$-\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (6)$$

並對上式中紊流黏滯係數項，以紊流動能和耗散率關係式來計算：

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

其中 $C_\mu = 0.085$ 。此模式所提出的紊流動能和耗散率傳輸方程式為：

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \mu_t S^2 - \rho \varepsilon + G_b \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \varepsilon) = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} [\mu_t S^2 + (1 - C_{3\varepsilon}) G_b] \\ & - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - \frac{C_\mu \rho (Sk/\varepsilon)^3 (1 - Sk/\varepsilon \eta_0) \varepsilon^2}{1 + \eta_1 (Sk/\varepsilon)^3} \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (9)$$

其中經驗常數 $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 、 $C_{3\varepsilon}$ 、 η_0 、 η_1 分別為 1.42、1.68、0.2、4.38

及 0.012；紊流動能和紊流耗散率之 Prandtl number 的倒數值 α_k 、 α_ε ，皆約為 1.393；而平均應變率張量 S 和浮力項 G_b ，則分別為：

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (10)$$

$$G_b = \beta g_i \alpha_E \mu_t \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (11)$$

其中紊流能量之 Prandtl number 的倒數值 α_E 為 1.11。浮力項表示著紊流動能和空氣流勢能(Potential Energy)間的關係式。若在穩定成層流動且勢能增加的情況下， G_b 則變為一個吸收項(Sink Term)，使得紊流效應逐漸減少。

2-6 壁函數(Wall Function)

由於紊流參數在接近壁面區域改變地非常快速，導致傳遞方程式無法正確地描述流場及溫度場的邊界層問題。因此，本文應用壁函數(Wall Function)來替代壁面邊界的格點，以避免在邊界的格點發生太過密集的情形。這樣不但能減少計算的時間，也可降低誤差的產生。

接近壁面的流場可分為三種不同的層次：黏性底層(Viscous Sublayer)、過渡區(Buffer Zone)和完全紊流層(Fully Turbulent Layer)。在黏性底層區域，層流效應遠比紊流效應來得明顯；反之，在完全紊流層中，紊流剪應力則變得非常重要。壁函數的主要概念則是假設紊流邊界層中只分為黏性底層和完全紊流層兩個區域，其不考慮過渡區的影響，並針對速度、座標和溫度，分別定義以下之尺寸變數：

$$u^* \equiv \frac{u(C_\mu^{1/4} k^{1/2})}{\tau_w \rho} \quad (12)$$

$$y^* \equiv \frac{y(C_\mu^{1/4} k^{1/2})}{\nu} \quad (13)$$

$$T^* \equiv \frac{(T - T_w)(C_\mu^{1/4} k^{1/2})}{(q_w / \rho C_p)} \quad (14)$$

若令 y_0^* 為黏性底層與完全紊流層間的分隔點(對於平滑壁面而言，其值約為 11.6)，則壁函數則可描述如下：

$$u^* = \begin{cases} y^* & y^* < y_0^* \\ \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^*) & y^* > y_0^* \end{cases} \quad (15)$$

$$T^* = \begin{cases} \sigma_t y^* & y^* < y_0^* \\ \sigma_t \left[u^* + f\left(\frac{P_r}{\sigma_t}\right) \right] & y^* > y_0^* \end{cases} \quad (16)$$

$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{\kappa y} \quad (17)$$

其中 Von Karman 常數 κ 為 0.4187，而由 Jayatilleke 公式[24]定義式中 $f(p_r/\sigma_t)$ 為：

$$f\left(\frac{p_r}{\sigma_t}\right) \equiv 9.24 \left[\left(\frac{p_r}{\sigma_t} \right)^{0.75} - 1 \right] \times \left\{ 1 + 0.28 \exp \left[-0.007 \left(\frac{p_r}{\sigma_t} \right) \right] \right\} \quad (18)$$

簡言之，Launder 和 Spalding[25]為解決紊流邊界層的問題，其於 1974

年提出一種利用代數形式將高擾動性流場的性質與近壁區通量連接起來之壁函數。其基本假設將近壁處流場視為一維的柯提流流場，即平行壁面的速度可由近壁對數法則(Logarithmic Law of Wall)描述，並將此區域的剪應力視為定值。在此區域中之紊流動能生成率和耗散率相等，即達到局部平衡。紊流之距離尺寸變數將與距壁面距離呈線性變化。

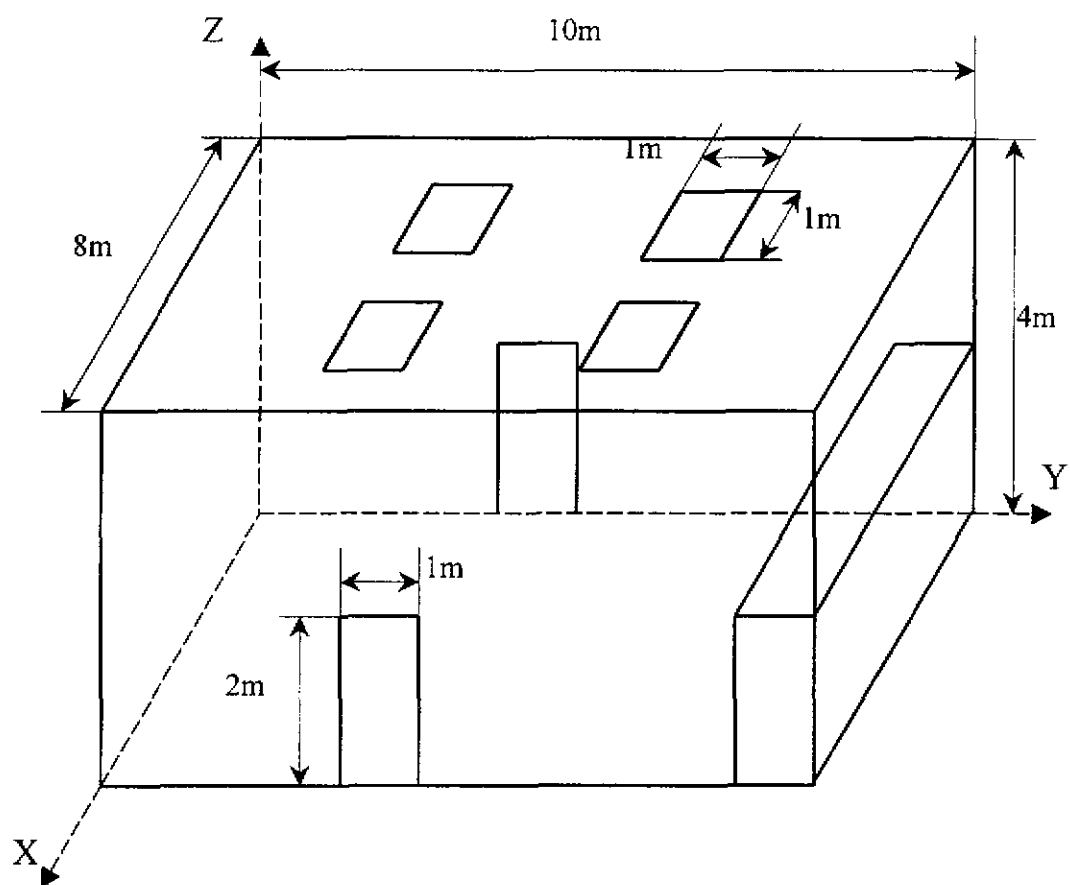


圖 2-1 電廠控制室之幾何尺寸圖(四個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，
二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口)

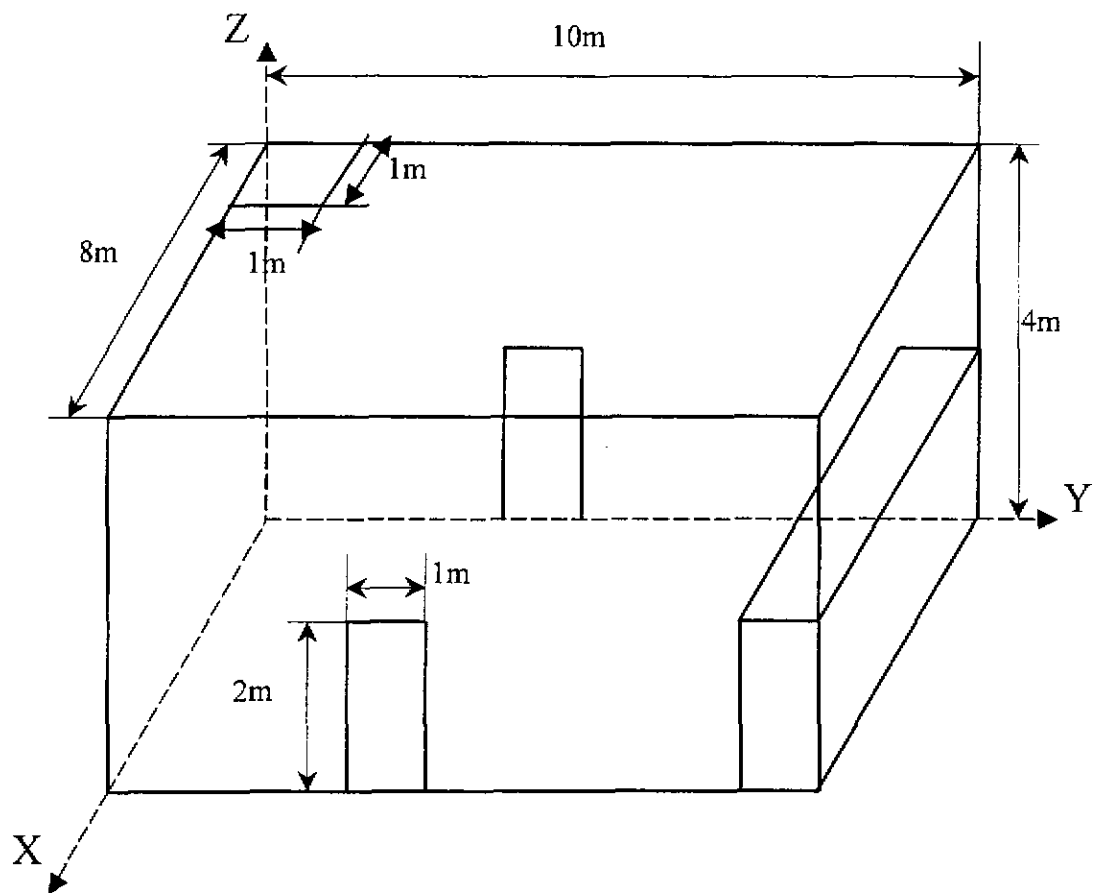


圖 2-2 電廠控制室之幾何尺寸圖(一個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，
二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口)

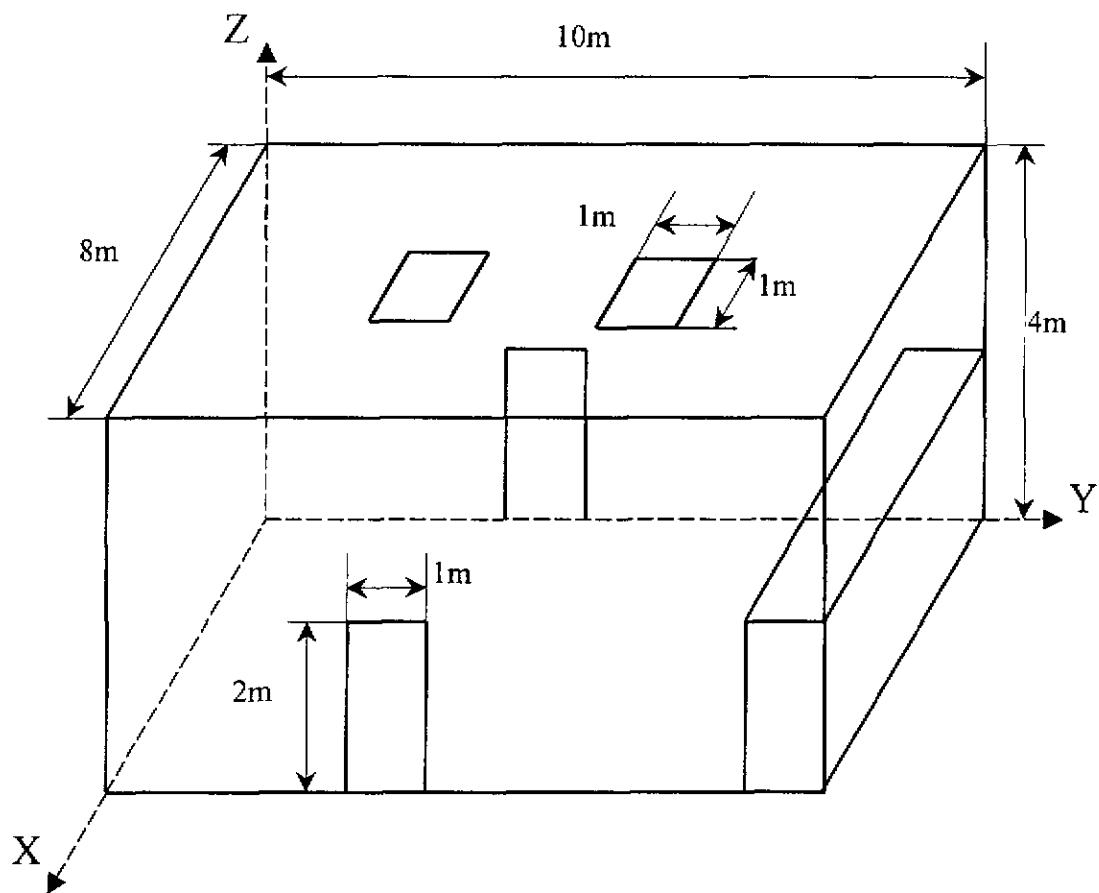


圖 2-3 電廠控制室之幾何尺寸圖(二個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，
二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口)

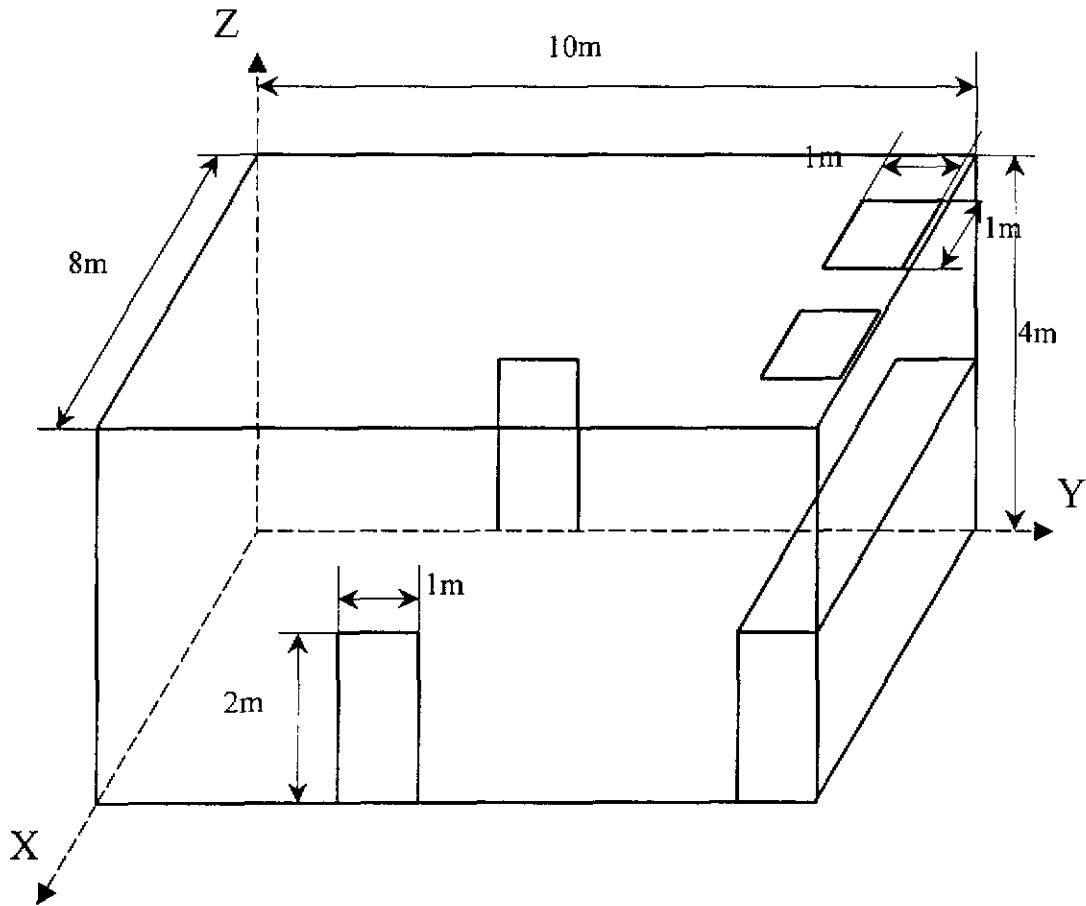


圖 2-4 電廠控制室之幾何尺寸圖(二個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，
二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口)

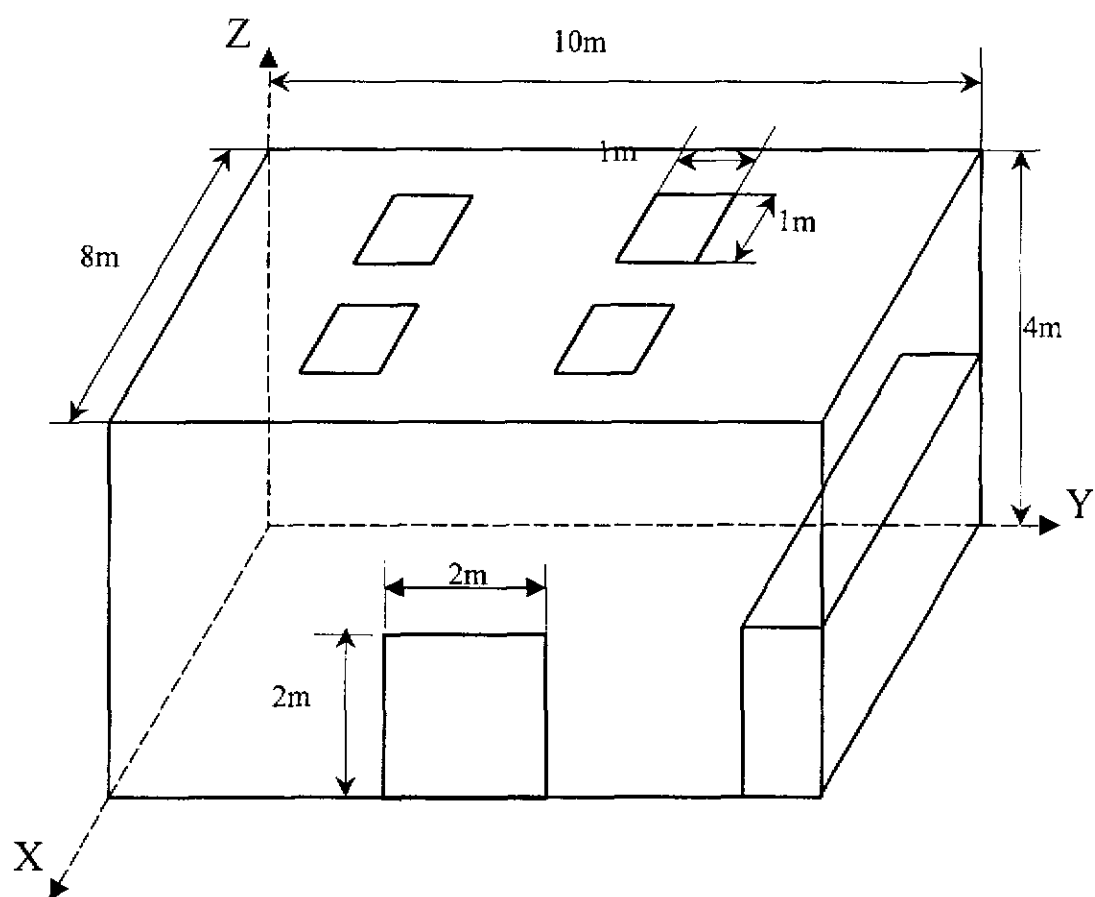


圖 2-5 電廠控制室之幾何尺寸圖(四個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，
一個 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 出風口)

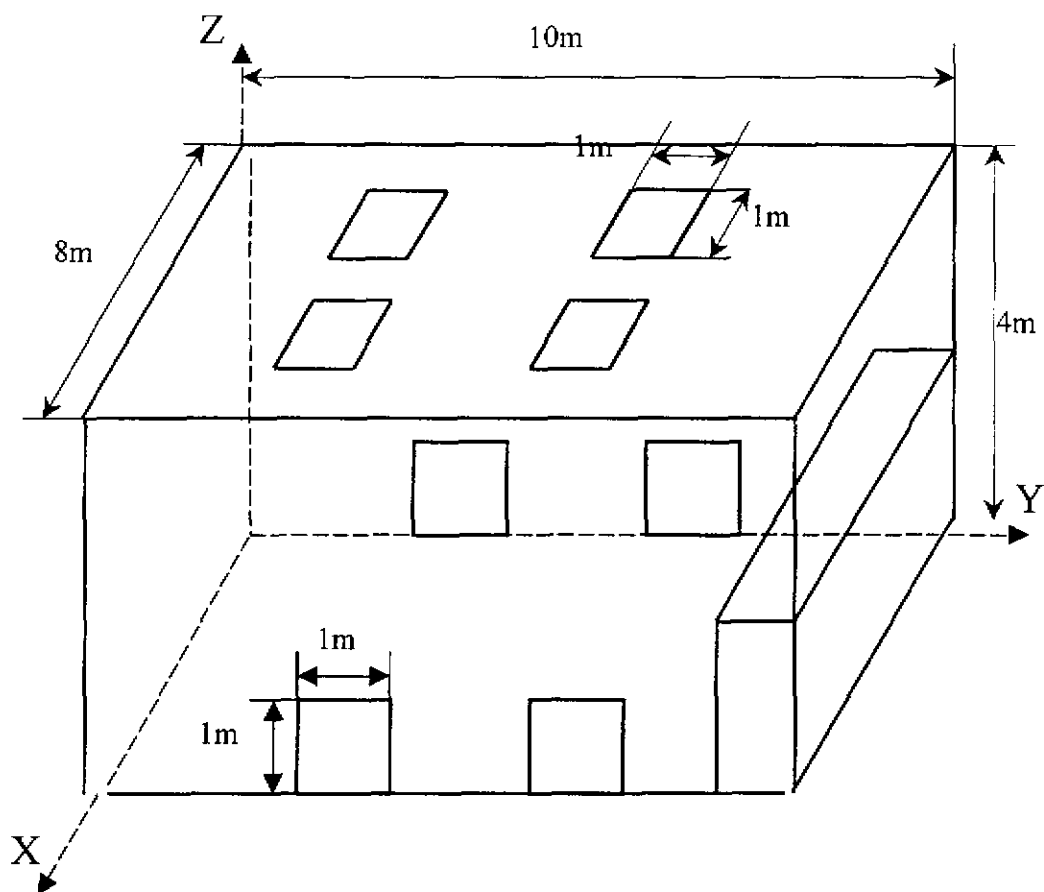


圖 2-6 電廠控制室之幾何尺寸圖(四個 1m×1m 進氣口，
四個 1m×1m 出風口)

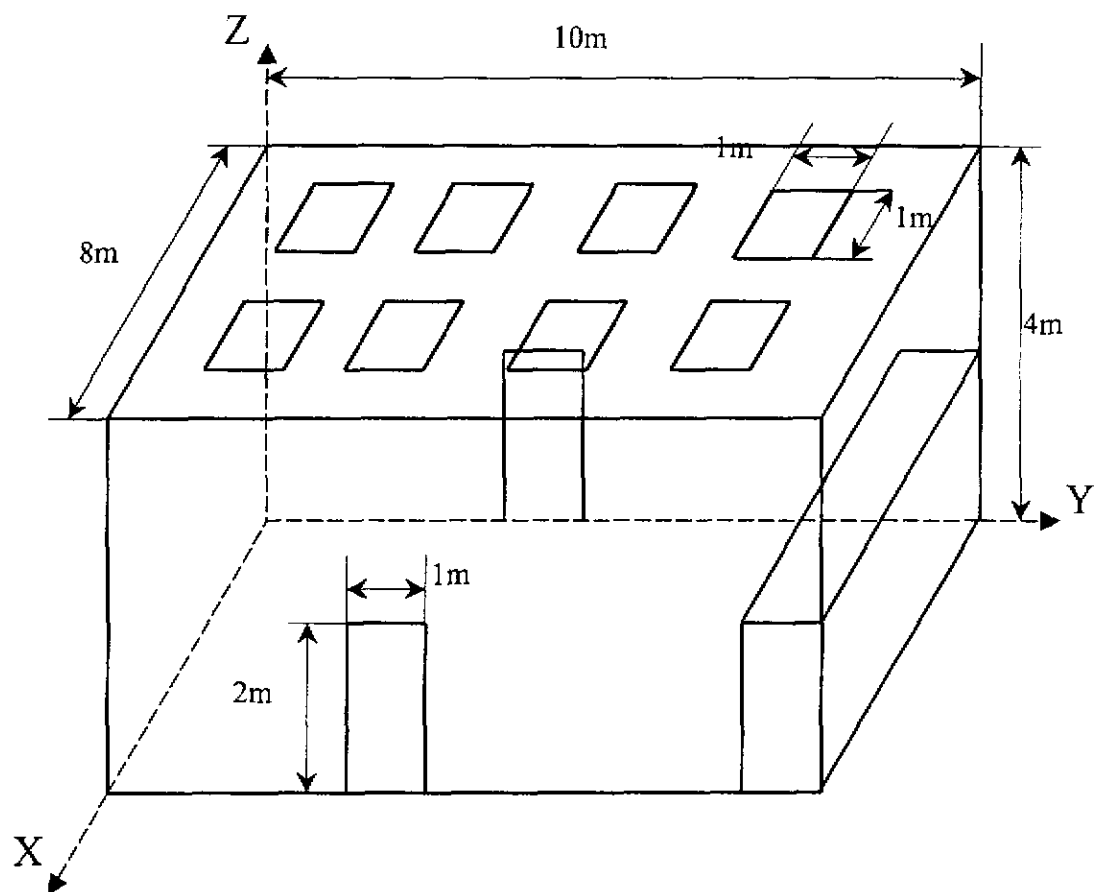


圖 2-7 電廠控制室之幾何尺寸圖(八個 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 進氣口，
二個 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 出風口)

第三章 數值方法

3-1 STAR-CD 軟體簡介

本文中的數值模擬部份，乃是利用 CDL(Computational Dynamics Limited)公司發展多年的 STAR-CD 套裝軟體，其中 STAR 名稱為取自於 Simulation of Turbulent flow in Arbitrary Regions 之縮寫而來，而 CD 即為 CDL 公司名稱之代表。近年來，此軟體經許多專家學者使用於各種流體問題，其計算結果不但精確度高，並有許多利用此軟體\模擬分析的論文發表。STAR-CD 的主要架構分為三個部份：前處理部份(建立物理模型、格點劃分及邊界條件訂定等)、程式運算核心部份及後處理部份(結果繪圖及數據分析等)。而上述三部份皆在 CAE(Computer Aided Engineering)環境介面下操作。

STAR-CD 可分析的問題包括層流、紊流、可壓縮流、不可壓縮流、自然對流流場、強制對流流場、共軛熱傳流場、濃度擴散流場、多相流、燃燒流場、非牛頓流體流場、旋轉流場、粒子擴散流場、化學反應流場、穩態或暫態流場、多孔性介質流場及含輻射流場等。而其統御方程式除了基本的連續方程式、動量方程式、濃度方程式及能量方程式外，更對上述各問題領域有很多的物理數學模式可供選擇並加以運用，以計算各式各樣的流場問題。

此軟體在數值方法方面，有關對流項可選用上風差分法(Upwind Differencing)、中間差分法(Central differencing)、LUD(Linear Upwind Differencing)、SFCD(Self-filtered Central Differencing)、BD(Blended Differencing)、QUICK(Quadratic Upstream Interpolation of Convective Kinematics)、Gamema 等差分法，而速度和壓力求解方程式則可用 SIMPLE、SIMPISO、PISO 等演算法則。至於紊流流場模式亦包括標

準 $k-\varepsilon$ 、RNG $k-\varepsilon$ 和 Chen's $k-\varepsilon$ 模式等選項，其中還可利用壁面數或雙層函數(Two-Layer Function)來處理紊流邊界問題。

除了廣泛應用範圍和多種數值方法的選項之外，STAR-CD 在網格建立部份，提供了強大的非結構性網路(Unstructured Meshes)建立功能。簡單來說，使用者可利用不同形狀的網路來輕易地建立形狀複雜的幾何。不只如此，其還與一些著名的 CAD(Computer Aided Design)/CAE 系統連結，可將外界不同系統所建立完成的模型輪廓外形，經由此套裝軟體來自動產生網路分佈及進行數值模擬。

3-2 SIMPLE 演算法則

在處理不可壓縮穩態流場之橢圓型 Navier-Stokes 方程式，由 Patankar 和 Spalding [26]所提出的 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation)演算法，則是個最普遍應用的方法。Navier-Stokes 方程式經離散化後可以整理出在 X 方向上的動量方程式為：

$$a_e u_e = \sum a_{nb} u_{nb} + b + (p_P - p_E) A_e \quad (19)$$

其中下標 nb 代表著所有鄰近的格點，P 為現在所欲求值的格點，E 為右邊相鄰的格點，e 則代表著位於 P 格點和 E 格點間的控制容積表面的點。而 $\sum a_{nb} u_{nb}$ 項為對流和擴散效應的結合，b 項為源項，其主要為體力， A_e 則為壓力作用下的面積。同理，Y、Z 方向的方程式為：

$$a_n v_n = \sum a_{nb} v_{nb} + b + (p_P - p_N) A_n \quad (20a)$$

$$a_t w_t = \sum a_{nb} w_{nb} + b + (p_P - p_T) A_t \quad (20b)$$

假設 $p = p^* + \alpha_p p'$ ，其中 p^* 為預估壓力 (Estimated Pressure) 及 p' 為修正壓力 (Pressure Correction)，而 α_p 為壓力鬆弛因子 (Under-Relaxation Factor of Pressure)。由於 p^* 值的不同，則會產生不同的速度對應值 u^* 、 v^* 、 w^* 。即可令

$$u = u^* + \alpha u' \quad (21a)$$

$$v = v^* + \alpha v' \quad (21b)$$

$$w = w^* + \alpha w' \quad (21c)$$

其中 α 值為速度鬆弛因子。若將此預估值代入 (20)、(21) 式，可得

$$a_e u_e^* = \sum a_{nb} u_{nb}^* + b + (p_P^* - p_E^*) A_e \quad (22)$$

$$a_n v_n^* = \sum a_{nb} v_{nb}^* + b + (p_P^* - p_N^*) A_n \quad (23)$$

$$a_t w_t^* = \sum a_{nb} w_{nb}^* + b + (p_P^* - p_T^*) A_t \quad (24)$$

將 (22) 式減 (19) 式可得

$$a_e u_e' = \sum a_{nb} u_{nb}' + (p_P' - p_E') A_e \quad (25)$$

消去 $\sum a_{nb} u_{nb}'$ 項可得

$$u_e = u_e^* + \frac{A_e}{a_e}(p_P' - p_E') \quad (26a)$$

$$v_n = v_n^* + \frac{A_n}{a_n}(p_P' - p_N') \quad (26b)$$

$$w_t = w_t^* + \frac{A_t}{a_t}(p_P' - p_T') \quad (26c)$$

若將上述三式之速度值代入連續方程式，則可以得到一壓力修正方程式：

$$a_P p_P' = a_E p_E' + a_W p_W' + a_N p_N' + a_S p_S' + a_T p_T' + a_B p_B' + b \quad (27a)$$

其中

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_T + a_B \quad (27b)$$

$$a_E = \rho_e d_e \Delta y \Delta z \quad (27c)$$

$$a_W = \rho_w d_w \Delta y \Delta z \quad (27d)$$

$$a_N = \rho_n d_n \Delta z \Delta x \quad (27e)$$

$$a_S = \rho_s d_s \Delta z \Delta x \quad (27f)$$

$$a_T = \rho_t d_t \Delta x \Delta y \quad (27g)$$

$$a_B = \rho_b d_b \Delta x \Delta y \quad (27h)$$

$$b = \frac{(\rho_P^0 - \rho_P)}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z + \left[(\rho u^*)_w - (\rho u^*)_e \right] \Delta x \Delta y \\ + \left[(\rho v^*)_s - (\rho v^*)_n \right] \Delta z \Delta x + \left[(\rho w^*)_b - (\rho w^*)_t \right] \Delta x \Delta y \quad (27i)$$

上式 b 可視為質量源(Mass Source)。若 $b = 0$ ，亦即 $u^* \ v^* \ w^*$ 滿足 $\nabla \cdot \bar{V}^* = 0$ ，此時 $p^* = p$ 即為所求。簡言之，SIMPLE 演算法之程序可作如下之歸納：

1. 假設一個估計壓力值 p^*
2. 由(22)、(23)、(24)式三個動量方程式推算出 $u^* \ v^* \ w^*$
3. 解 p' 方程式
4. 因為 $p = p^* + p'$ ，可得 p
5. 由(26)式，可得 $u \ v \ w$ 之值
6. 將求得之 p 值代回先前的 p^* ，重覆第 2 步驟，直至收斂。

SIMPLE 中半隱性(Semi-Implicit)字眼，乃是取決於忽略了 $\sum a_{nb} u'_{nb}$ 此項的緣故。此項表示著一個對於速度間接或隱性的壓力修正影響；鄰近位置的壓力修正項可以改變附近的的速度，也因此會導致待測格點的速度修正。由於此演算法並無包括此項的影響，所以只能稱為半隱性而非全隱性。當然，一般而言，忽略任何項數將會導致不正確的結果產生。但就此演算法而言，最後一次疊代並不需要 p' 方程式的正確解，所以任何導出 p' 方程式的假設都不致於影響收斂結果。

以上所述為 SIMPLE 演算法之介紹，但是在某些特定的例子中，SIMPLE 演算法則會有收斂速度較慢的情形發生，所以有 Patankar [27]提出的 SIMPLER 及 Van Doormaal 和 Raithby [28]提出的 SIMPLEC 的修正方法。三種演算法則在相較之下，SIMPLER 法在計算時並不需要疊代步驟，故可省去不少 CPU 花費時間；而 SIMPLEC 則不需要壓力鬆弛因子調整，故可較不受因鬆弛因子選取不當所引起收斂的困難。但很可惜的是，在 STAR-CD 此套裝軟體中，並沒有此兩種修正演算法的存在。不過若在時間充裕之條件下，可以試著調整多種不同的鬆弛因子來改善問題所在。

3-3 上風差分法(Upwind Differencing)

演算法則確定之後，想從複雜的偏微分方程式中求解尚不可得，我們仍然必須以有限元素法(Finite Element Method)或有限差分法(Finite Difference Method)來進行格點運算。一般來說，在計算流體力學中常使用有限差分法，而在有限差分法中不同的插值法(Interpolation Method)有著不同的適用性及優缺點。例如 CD 及 LUD 雖具有比上風差分法較高階的截斷誤差值(Truncation Error, T.E.)，但往往模擬結果會產生不合於實際物理情況的現象；另外，BD 差分法在實際使用時，則有時需要一些繁瑣的試誤步驟；而 Gamma 差分法特別很難對於動量方程式求解收斂等。故在比較之下，本文使用上風差分法做為運算的插值法。

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} + a(x)\frac{d\theta}{dx} = c(x) \quad (28)$$

上式為二階常微分方程式，此需要兩個邊界條件來求得存在且唯一的解。若將式中一階微分項係數 a 趨近於無限大值，則此式會降為一階常微分方程式，因而只需要其中一個邊界條件即可。就數值方法觀點而言，此代表著下游格點的權重係數(Weighting Factor)應該自動減成為零，因此下游邊界條件並不會影響到求解過程。根據這個觀念，當流場為朝著 $+X$ 方向移動($a \leq 0$)時，對流項是以使用後差分(Backward Difference)來離散化；相反地，當流場為朝著 $-X$ 方向移動($a > 0$)時，對流項則是使用前差分(Forward Difference)來離散化。所得到的差分方程式如同下列的型式：

$$a_W \theta_W - a_P \theta_P + a_E \theta_E = a_R \quad (29)$$

$$a_W = \begin{cases} 1-z & \text{if } z \leq 0 \\ 1 & \text{if } z > 0 \end{cases} \quad (30)$$

$$a_E = \begin{cases} 1 & \text{if } z \leq 0 \\ 1+z & \text{if } z > 0 \end{cases} \quad (31)$$

$$a_P = a_W + a_E \quad (32)$$

$$a_R = c(\Delta x)^2 \quad (33)$$

其中 $z = a\Delta x$ ，且下標 W 、 P 、 E 、 R 分別表西邊、現在格點、東邊及方程式的右手邊。如同預期般，(29)式的權重係數總為正值，也就是滿足著將方程式離散化的基本法則。對於 $|z| = \infty$ 的情況，(31)式和(32)式的係數變為

$$a_W = \begin{cases} -z & \text{if } z \leq 0 \\ 1 & \text{if } z > 0 \end{cases} \quad (34a)$$

$$a_E = \begin{cases} 1 & \text{if } z \leq 0 \\ z & \text{if } z > 0 \end{cases} \quad (34b)$$

方便起見，(29)式的方法被稱為上風差分法；而對於沒有二次微分項的(34)式情況，則被稱為完全上風法(Fully Upwind Differencing)。

值得一提的是，當格點 Peclet 數(Grid Pelect Number $\equiv a\Delta x$)為足夠大時，完全上風法具有很好的解析能力；相對地，中間差分法對於格點 Peclet 數足夠小時，則具有很好的解析能力。Spalding [30]因而結合此兩種方法的特性優點，提出了混合差分法(Hybrid Differencing)。為了確定權重係數不為負值，此方法在 $|z| \leq 2$ 時為中間差分法，而在 $|z| > 2$ 時變為完全上風法。

3-4 收斂條件

本文所有數值模擬計算的結果，在質量流率、不同方向之速度分量、紊流動能、紊流耗散率、濃度與焓值等之收斂條件皆為 10^{-5} 或疊代1000次。不同傳遞方程式則依不同正規化因子(Normalisation Factor)來定義其正規化絕對殘差值和(Normalised Absolute Residual Sum)，如表 3-1 所示。在此僅以傳遞方程式中的連續方程式，針對其收斂條件來做以下的說明。

在上節中，SIMPLE 演算法則之收斂與否的取決，可依(27i)式中 b 項是否趨近於零來做判斷。主要是因為其具有連續方程式的差分型式，若其值大小趨近於零，則代表著滿足質量守恆定理。基於這個觀念，STAR-CD 軟體對於某個特定位置的格點和疊代次數 K，定義質

量殘差值 R 為：

$$R^K \equiv \frac{\rho^0_P}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (35)$$

而正規化絕對殘差值和 ζ^K 被定義成質量殘差值與正規化因子之比值：

$$\zeta^K \equiv \frac{\sum |R^K|}{\sum \dot{m}_{in}} \quad (36)$$

其中 $\sum$ 和 $\sum_{in}$ 分別表示所有格點和及所有入口和， $\dot{m}_{in}$ 為流經入口的質量通量。接下來此套裝軟體會依使用者所設定之值 γ ，做為收斂條件：

$$\zeta^K < \gamma \quad (37)$$

3-5 數值方法之驗證

以數值方法計算的物理模型，通常必須經過實驗量測的數據或引用曾發表在公認的學術期刊的論文，來支持個人的研究方法。Kato 等人[31]藉由改變三維空間的出入口數目，以入口速度 1m/s 來模擬其室內流場方向，並探討污染物可能累積的位置，其幾何模型尺寸如圖 3-2 所示。而 Chung 等人[32]亦以數值模擬充滿 CO₂ 氣體之房間，若以入口空氣體積量 80ft³/hr 持續供給通風，探討其室內不同位置濃度值隨時間的變化量，其幾何模型尺寸如圖 3-3 所示。本文將針對此兩

篇期刊論文之流場結果圖及濃度衰減曲線，分別做定性及定量部份的驗證。在數值模擬方面，皆採用 $k-\varepsilon$ 模式在紊流流場的模擬上，並以壁函數來解決靠近壁面的紊流邊界層問題。採用 SIMPLE 演算法，配合上風差分法來求解。

3-5-1 格點測試

為了使內部網格區分的大小、多寡，不至於影響到最後結果的正確性。因此在數值模擬之前，格點測試的工作有其必要性。而網格空間分佈主要有準確性、數值穩定性和花費時間等三大考量。通常而言，網格區分愈細密，則所計算出來的值也會愈精確，相對地花費時間也較多。但在某些特殊情況下，網格區分愈細密，因四捨五入誤差 (Round-Off Error) 和網格變形的緣故，反而會導致結果的不正確及數值的不穩定現象。因此可藉由格點測試的工作，在有限的電腦資源中尋得網格分佈的最佳化：即為利用最少量的網格數，且其存在著最小的變形量，以獲得相同結果的正確解。

圖 3-4 所示為 Kato 等人的物理模型之格點測試圖。在 $X=4m$ 的平面上，且距離地面 $1.6m(Z=0.8m)$ 處，做三種不同格點組合的平均速度值曲線。可知 $50 \times 38 \times 15$ 與 $75 \times 50 \times 30$ 格點分佈所呈現的速度大小值相差無幾，而 $25 \times 19 \times 15$ 格點分佈之速度值，卻與其它兩組格點之速度值相差甚多。再由表 3-2 可看出 $75 \times 50 \times 30$ 此組格點所花費數值時間遠大於 $50 \times 38 \times 15$ 格點組合所需的時間。基於以上理由，故採用 $50 \times 38 \times 15$ 此組格點做為 Kato 等人的物理模型之格點取決依據。以同樣方式觀察圖 3-5 及表 3-3 結果，則對 Chung 等人之物理模型，將以 $80 \times 40 \times 30$ 此組格點模擬之。

3-5-2 數值結果比較

圖 3-6 為 Kato 等人之流場結果圖，而圖 3-7 則為本文驗證之結果。根據驗證的結果，氣流由入口處進入之流動方向為沿著壁面前進，並在牆角及接近出口區域產生迴流的現象。此驗證結果與 Kato 等人數值結果相較之下，並無明顯地差異存在。反倒是由於本文所取決之網格分佈較為細密，更能清楚地顯示細微的流場變化。

表 3-1 不同傳遞方程式之正規化因子

傳遞方程式	變數 ϕ	正規化因子 M_ϕ
連續方程式	P	$M_p \equiv \sum_{in} \dot{m}_i$
動量方程式	u、v、w	$M_{u,v,w} \equiv \sum_{in} \dot{m}_i (\bar{u}_i^2 + \bar{v}_i^2 + \bar{w}_i^2)^{1/2}$
紊流動能方程式	K	$M_k \equiv \sum_{in} \dot{m}_i (\bar{u}_i^2 + \bar{v}_i^2 + \bar{w}_i^2)$
紊流耗散方程式	ε	$M_\varepsilon \equiv \frac{M_k}{(L/V_{nom})}$
能量方程式	H	$M_h \equiv \sum_{in} \dot{m}_i \left(\bar{C}_p \bar{T}_m + \sum_j C_j H_j \right)_i \equiv h_{in}$ or $M_h \equiv \max \{ (h_{in} - h_{ref}), (h_{out} - h_{ref}) \}$
濃度方程式	C_j	$M_{C_j} = \max \left\{ \sum_{in} \dot{m}_i C_i, \sum_{out} \dot{m}_i C_i \right\}$
備註	1. L 為特徵長度 2. V_{nom} 為平均入口速度	

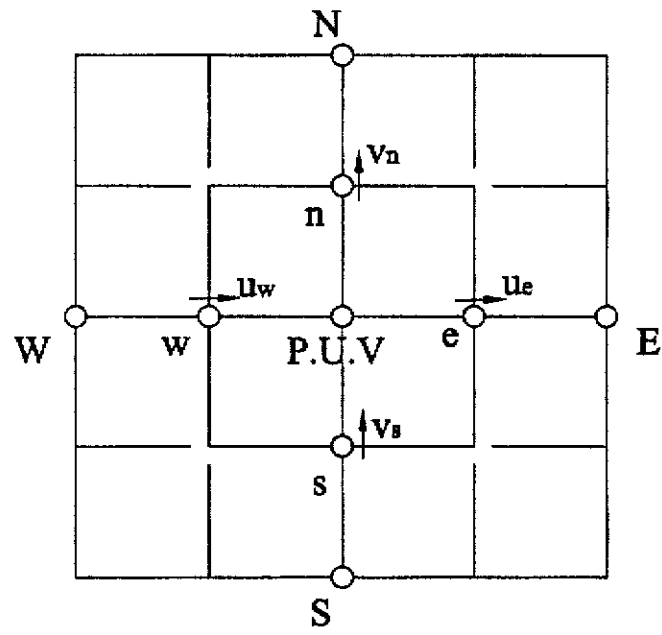
表 3-2 驗證 Kato 等人[31]之三組格點組合比較

	CPU 計算時間 (SEC.)	質量正規化絕對殘差值和 ζ^{Final}
25×19×15	2.97E+3	1.63E-3
50×38×15	6.08E+3	8.72E-4
75×50×30	3.35E+4	9.14E-4

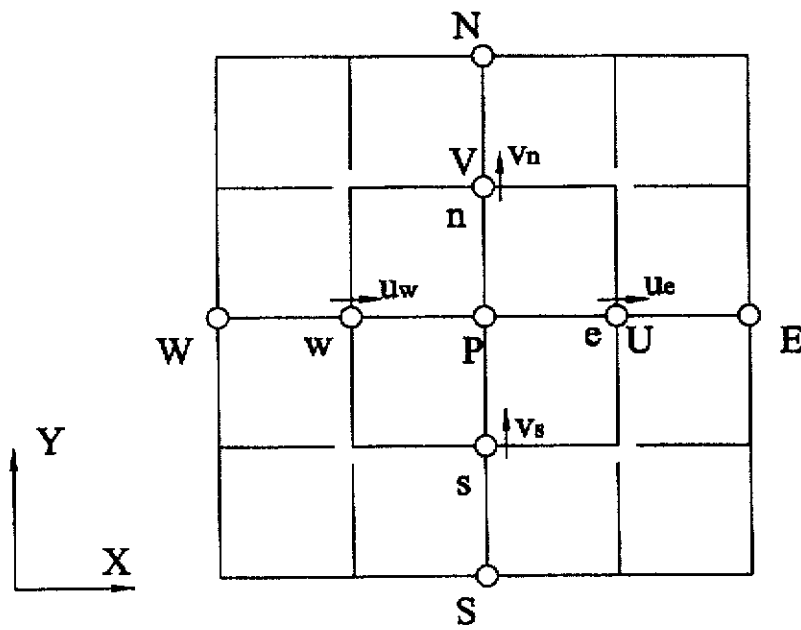
表 3-3 驗證 Chung 等人[32]之四組格點組合比較

	CPU 計算時間 (SEC.)	質量正規化絕對殘差值和 ζ^{Final}
20×10×10	623.45	2.31E-3
40×20×15	6049.56	6.92E-4
80×40×30	76,425.09	3.34E-5
80×50×40	115,084.50	2.79E-5

(t = 10 秒)



(a)



(b)

圖 3-1 數值計算所使用之網格

(a)非交錯式網格 (b)交錯式網格

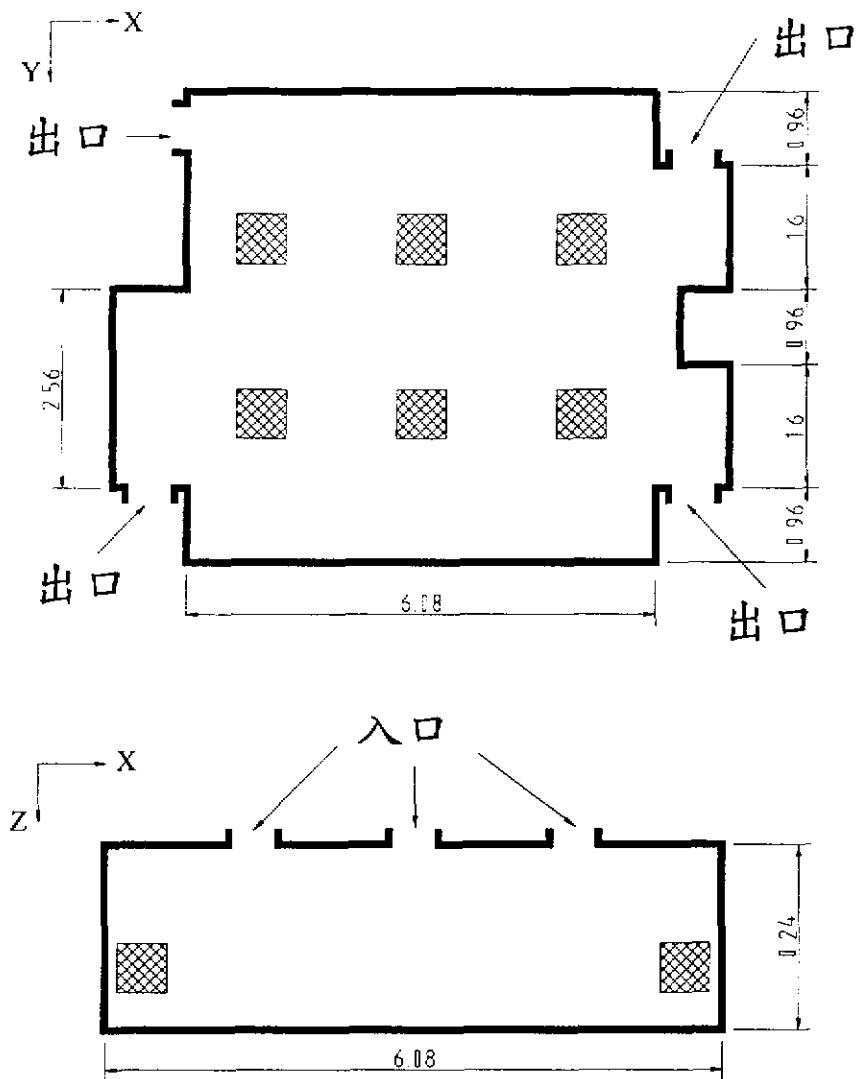


圖 3-2 驗證 Kato 等人[31]模型之幾何尺寸圖

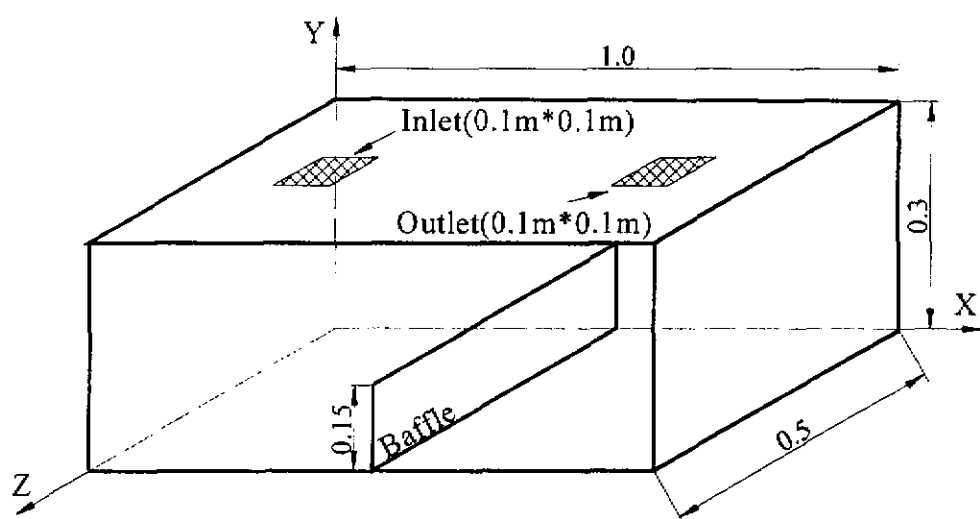


圖 3-3 驗證 Chung 等人[32]模型之幾何尺寸圖

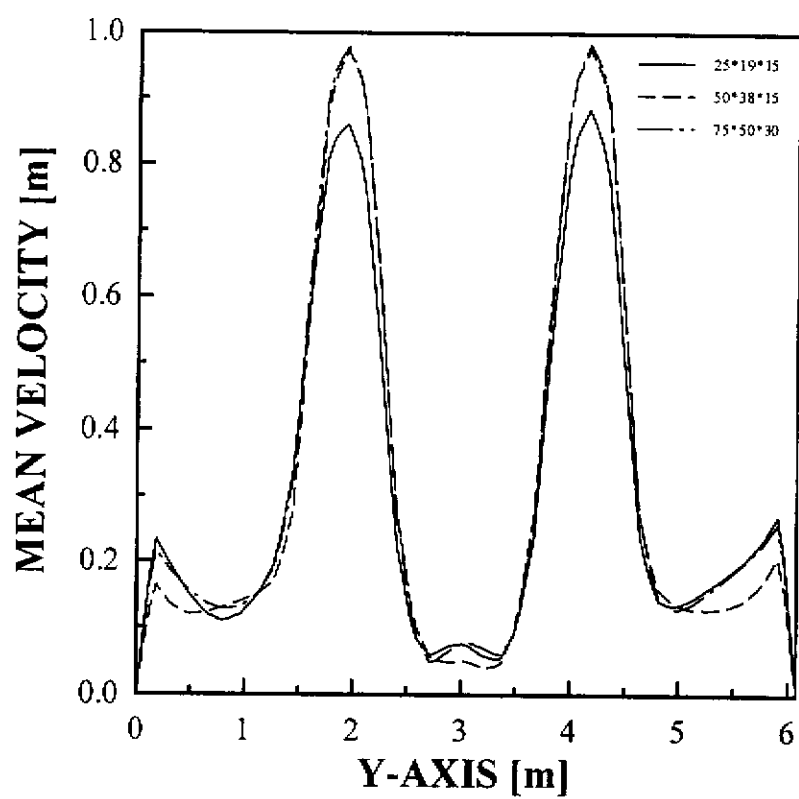
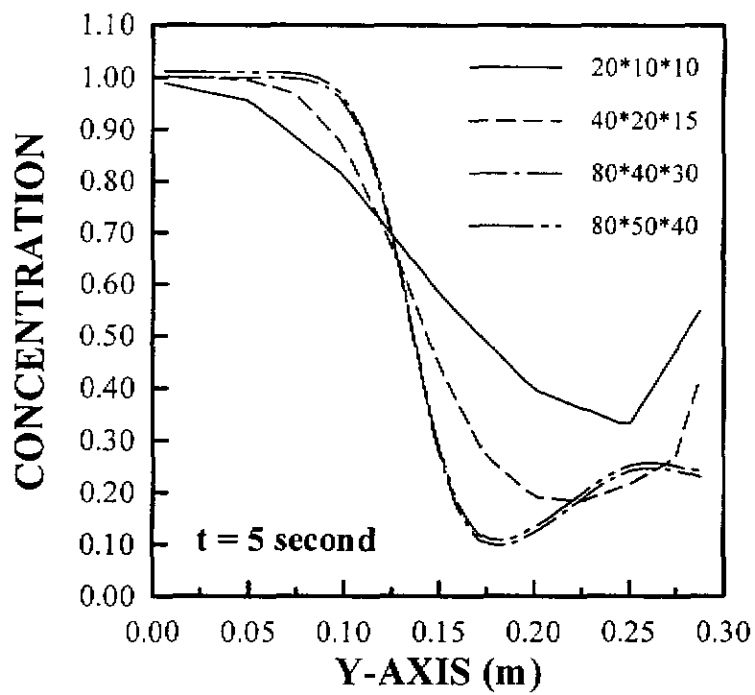
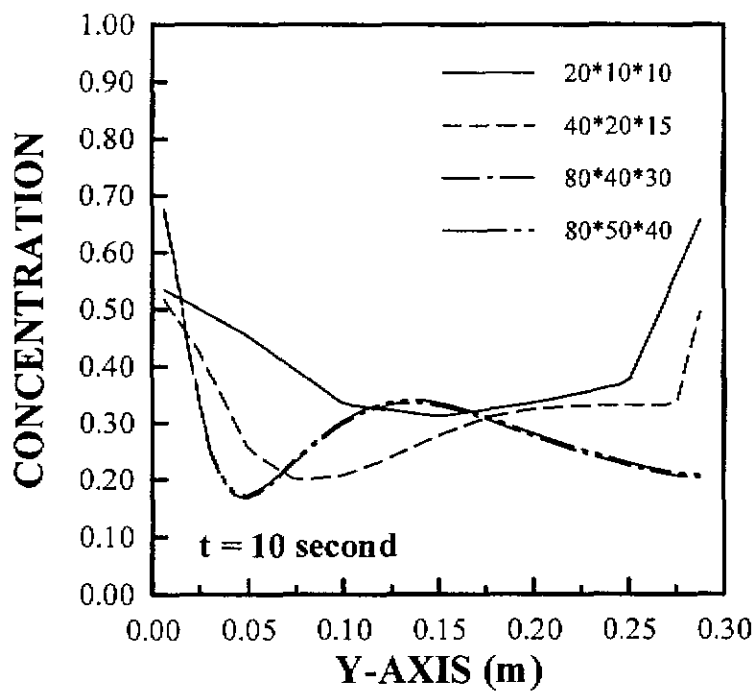


圖 3-4 驗證 Kato 等人[31]模型之格點測試圖

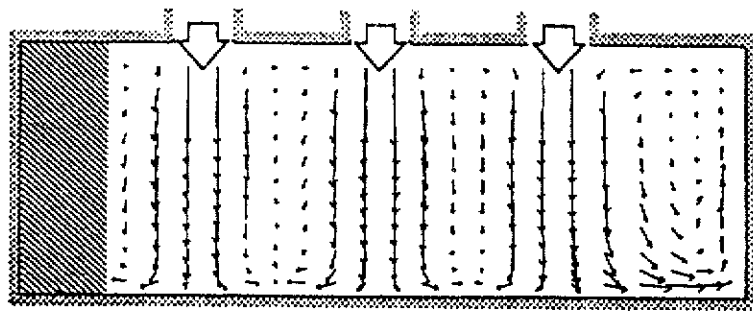


(a)

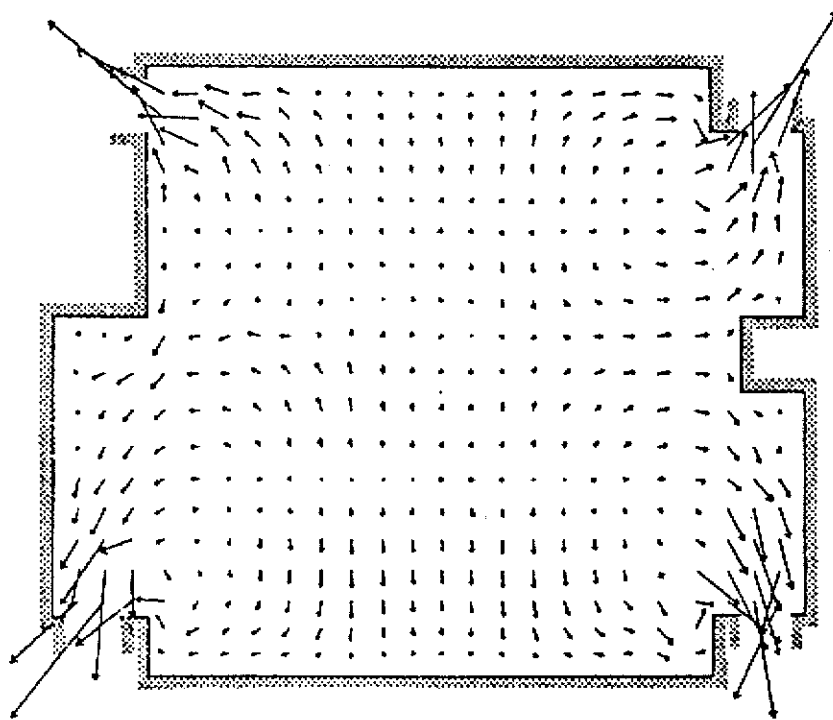


(b)

圖 3-5 驗證 Chung 等人[32]模型之格點測試圖
(a) $t = 5$ 秒 (b) $t = 10$ 秒



(a)



(b)

圖 3-6 Kato 等人[31]之不同平面流場結果圖
(a) $Y=1.92\text{m}$ 平面 (b) $Z=1.6\text{m}$ 平面

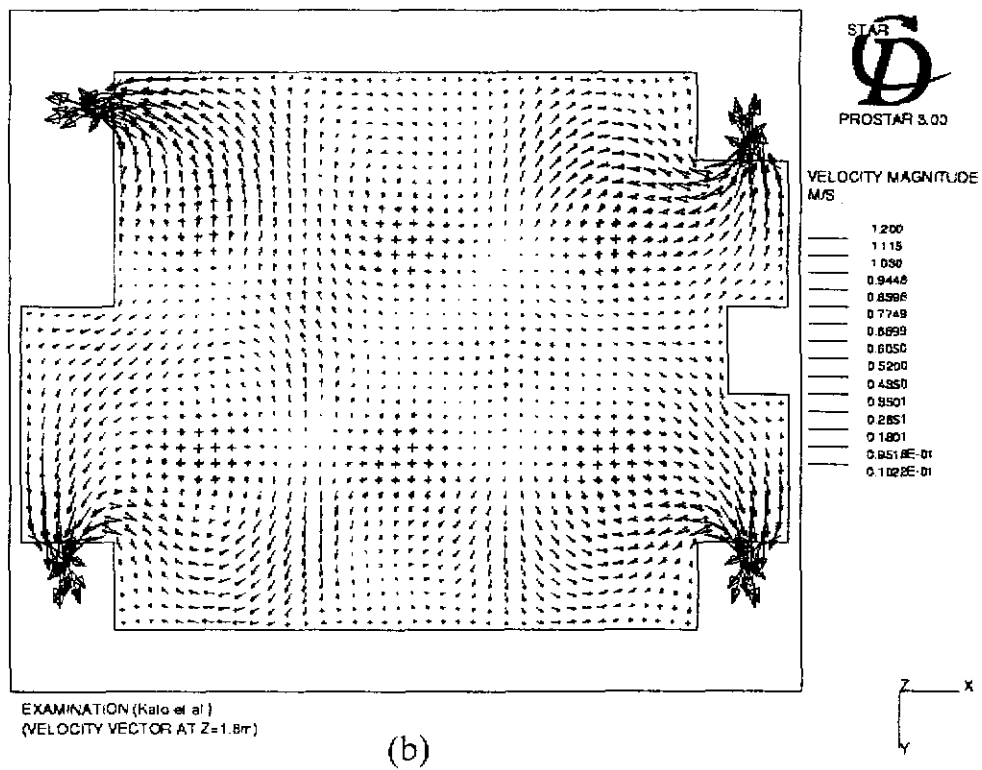
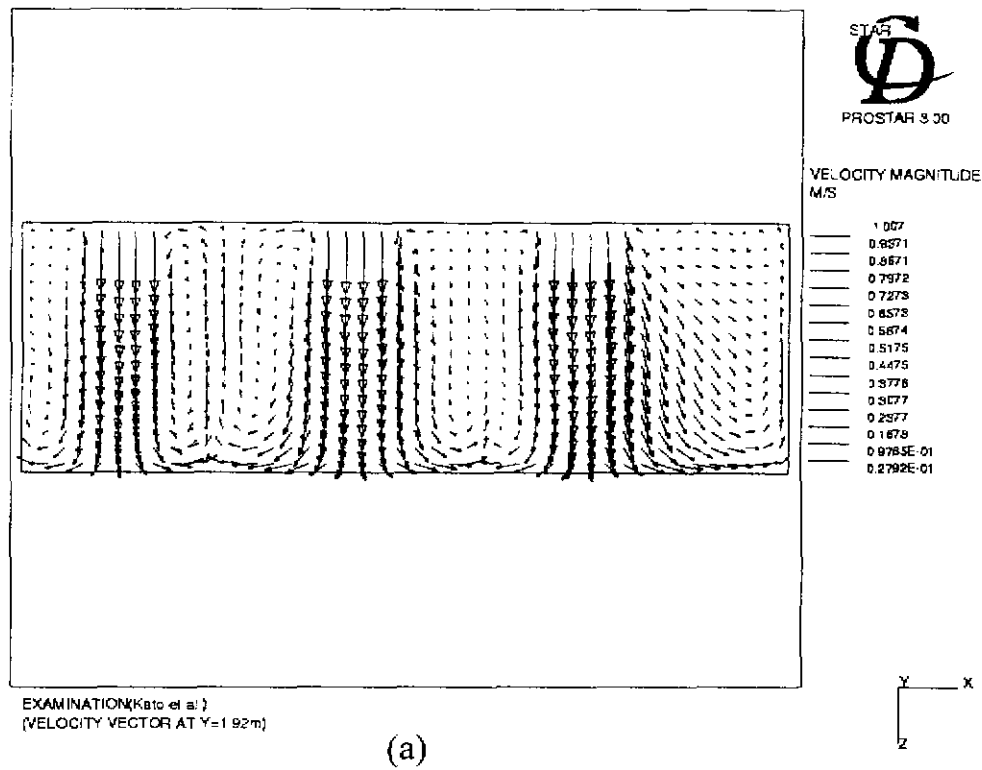


圖3-7 驗證Kato等人[31]之不同平面流場結果圖
(a)Y=1.92m平面 (b)Z=1.6m平面

第四章 數值模擬結果分析

4.1 入口條件對流場的影響

4.1.1 入口速度變化對流場影響

本節將入口速度變化分別取 0.05m/s、0.1m/s、0.15m/s 及 0.2m/s 四種情形來探討流場變化，其假設及邊界條件如前所述，在此不重複說明。

圖 4-1(a)到圖 4-1(j)為入口吹進 0.05m/s、23℃ 新鮮空氣之速度向量及溫度變化圖，可以發現在速度方面 $y=2.5\text{m}$ 及 $y=6.5\text{m}$ 時速度吹入所以在入口下方量值較大而溫度也較低，溫度最高的情形出現在靠近控制台附近，達 25.13℃，整體而言速度變化很小，而在圖 4-1(j)所示是在工作人員坐時高度的溫度變化情形，平均而言為 24℃，在靠近控制台處略大。整體換氣率為 26 分鐘 36 秒一個循環。

圖 4-2(a)到圖 4-2(j)為 0.1m/s 速度進氣的的速度及溫度變化圖，在 $y=2.5\text{m}$ 及 $y=6.5\text{m}$ 時的上方速度偏大溫度略低，溫度最高處亦在靠近控制台處是 24.94℃。在圖 4-2(j)可得知工作人員所活動高度的平均溫度為 23.5℃，整體換氣率為 13 分鐘 13 秒室內空氣循環一次。

圖 4-3(a) 到圖 4-3(j)是入口速度 0.15m/s 時速度向量及溫度變化圖，同樣地如圖 4-3(b)及圖 4-3(d)表示在入口處下的速度值較大，而

圖 4-3(h)所示在靠近出口處時速度最大為 0.32m/s ，會使人較不舒服。最大溫度在靠近控制台處為 24.97°C 與入口處速度 0.1m/s 的情況幾乎一樣。圖 4-3(j)顯示工作人員所活動高度的區域溫度為 23.4°C 。換氣率為 8 分 53 秒更換一次室內空氣。

圖 4-4(a)到圖 4-4(j)所示為 0.2m/s 入口速度的速度變化及溫度變化圖，圖 4-4(b)及圖 4-4(d)表示在入口處時速度及溫度變化情形，入口處下方溫度較低為 23.2°C ，圖 4-4(c)所示在靠近出口處的速度值較大達 0.59m/s ，最高溫度在靠近控制台處為 24.56°C ，圖 4-4(j)在 $Z=1\text{m}$ 高度時人活動的溫度值平均為 23.15°C ，室內換氣率為 6 分 40 秒。

綜合以上結果可得知在 0.05m/s 到 0.2m/s 之入口速度所造成的室內溫度變化並不大，都在 23°C 至 24°C 間，室內的速度及溫度分佈也頗均勻，但若考慮室內換氣率影響下，入口速度為 0.05m/s 時要半小時才循環一次。再考慮成本前提下 0.15m/s 及 0.2m/s 的換氣率都在 10 分鐘以下就換氣一次，所以以進氣口 0.1m/s 來設計較適宜。

4.1.2 入口溫度變化對流場影響

我們考慮在入口速度及面積固定之下，進口溫度對室內流場及溫度場變化情形做討論，假設分別以 20°C 、 23°C 及 25°C 探討。在圖 4-5(a)至圖 4-5(j)表示在入口處吹進 20°C 新鮮空氣其各位置上速度向

量及溫度變化圖，在 $Y=1\text{m}$ 時上方空間較熱下方較冷，差為 2°C ，其他位置也有類似情形，最高溫發生在控制台上，為 24.49°C ，在 $Z=1\text{m}$ 處溫度則介於 21°C 到 22°C 間。 23°C 的狀況則以之前圖 4-2(a)到圖 4-2(j)所示，室內各位置溫度都介於 23°C 到 24°C 間。圖 4-6(a)到圖 4-6(j)為入口溫度 25°C 時各位置之速度向量及溫度場圖，溫度大致呈現上方較低上方較高的趨勢，溫度則介於 25°C 到 26.5°C 間，最高溫度亦發生在控制台上為 26.48°C 。

從以上結果可發現進氣口溫度為影響室內溫度的主要因素，在入口 20°C 及 25°C 條件上室內溫度分佈並不適合工作人員長時間辦公，故在入口溫度 23°C 狀況下較為合適。

4.1.3 進氣口位置及數目對流場的影響

在進氣口溫度固定(23°C)及和換氣率相同的情形下來探討入口位置及數目多寡對流場的影響，其邊界條件在 2-3 節已述，在此不再重複。

圖 4-7(a)到圖 4-7(j)為一個入口處之速度和溫度變化圖，幾何尺寸如圖 2-2 所示。在圖 4-7(a)為 $Y=1$ 即入口處截面之速度及溫度變化圖，在入口處下的溫度較低，而速度也較大，達 0.5m/s ，圖 4-7(c)所示為在出口處附近之速度及溫度變化圖，在出口處附近的溫度較低，顯示有些氣流從進氣口處便直接流到出口處，是一個不好的設

計。在圖 4-7(e)為控制台上的速度及溫度變化，在控制台上左側的溫度較高，達 24.9°C 。

圖 4-8(a)到圖 4-8(i)為兩入口處位於室內天花板置中均勻的位置之速度向量及溫度變化圖，其幾何尺寸如圖 2-3 所示。在圖 4-8(b)及圖 4-8(d)顯示在入口處之下的速度及溫度變化圖，其溫度範圍在 23°C 到 24.5°C 間，且越往上方溫度越高。速度最大值在入口處附近為 0.3m/s 。

圖 4-9(a)到圖 4-9(h)為兩入口處位控制台正上方位置時之速度向量及溫度變化圖，幾何尺寸如圖 2-4 所示由這些圖可發現除了在靠近控制台及控制台上方的位置外，其餘溫度變化皆在 25°C 到 30°C 間。在控制台上方的速度變化劇烈，產生了四個迴流區，而溫度則由入口處下 23°C 均勻向兩旁升高到 29.48°C 。整個室內平均溫度也在 27°C 到 28°C 間，亦為不恰當的設計。

圖 4-10(a)到圖 4-10(i)為入口處有八個情形下之速度及溫度場圖，幾何尺寸如圖 2-7 所示，在圖 4-10(b)、圖 4-10(c)、圖 4-10(d)及圖 4-10(e)顯示各入口處截面之速度及溫度變化圖，由於本節以換氣率相同為考慮前提，故各入口處下之速度比其他入口形式之速度略小，最大值為 0.2m/s ，在此入口處下之風速度不致對工作人員有不適之感，室內溫度最高處出現在控制台上方，為 24.76°C ，如圖 4-

10(f)所示

由以上結果可得知在一個入口處且放在角落時，其室內氣流分佈較不均勻，且有些新鮮空氣會直接往出口處流出，在入口處下的速度值達 0.5m/s ，對人體會有不舒適的感覺。而二入口處位於控制台上天花板處會導致進口氣流與控制台上因空氣受熱而上升的氣流混合，形成四個迴流區，也導致室內其他區域無法獲得新鮮空氣流通，並造成溫度普遍較高，亦為不良的設計。所以在設計時應避免將進氣口設於角落或受熱機台上，才能達到良好通風效果。在入口處為四個的結果在之前已說明過，入口處為八個時不但室內空氣流速很小，溫度也很均勻都在 23°C 到 24°C 間，所以若不考慮建造成本前提下，八個進氣口比之前幾個進口形式要好些，而四個進氣口形式也能達到良好的效果。

4-2 出口數目及位置對流場的影響

考慮入口條件固定（即四個入口處，速度 0.1m/s ，溫度 23°C ），以及出風口面積固定，假設出風口數目為 1 個、2 個及 4 個情況下室內速度及流場變化的情形。

圖 4-11(a)到圖 4-11(h)為只有一個出口處之速度向量與溫度變化圖，幾何尺寸如圖 2-5 所示，在圖 4-11(c)所示為在 $Y=3.5\text{m}$ 即出口處之剖面圖，溫度呈現越往上方溫度越高的趨勢，而速度在出口處

附近則達 0.64m/s ，室內最高溫出現在控制台附近為 24.84°C 。在兩個出口條件下其溫度與速度變化結果如圖 4-2(a)到圖 4-2(j)表示，已在之前說明。

圖 4-12(a)到圖 4-12(k)為四個出口之速度向量及溫度變化圖，幾何尺寸如圖 2-所示。在圖 4-12(c)及圖 4-12(e)顯示在出口處截面之速度及溫度變化圖，在 $Y=7.5\text{m}$ 截面時入口氣流會直接向下流出出風口，導致在控制台附近溫度無法降低，不能達到新鮮空氣循環的目的。而在圖 4-12(k) $Z=1\text{m}$ 高度時速度向量及溫度變化圖，在速度方面在鄰近兩出口處有明顯迴流區，造成了這兩區域的溫度無法降低。

由以上結果可得一個出口狀況下，氣流最後會集中向此流出，造成此區域附近速度值較大，工作人員若在此活動會較不舒適，而在四個出口情形下，若出風口離進氣口太近會造成部分入口氣流會直接向著出口流出，不但未達到循環目的也浪費能源。故應採取適當出風口數目，且出風離進氣口不宜太近以免造成不必要的浪費。

4-3 控制平台大小對流場的影響

為了瞭解電廠控制室內部控制台大小對室內流場變化情形，我們模擬三種不同尺寸之控制台情形，幾何尺寸如 4-13 所示，內部控制台離出風口較遠處靠近角落，長方向(Y 軸)高方向(Z 軸)，唯一改變寬方向(X 軸)尺寸，三種不同長度分別為 2m 、 4m 及 8m ，發熱

量為 8w/m^2 ，入口條件設為 0.1m/s 、 23°C 及兩個出風口，探討控制台大小對室內流場及溫度分佈的問題。

圖 4-14(a)到圖 4-14(j)所示為長度 2m 之控制台在各位置之速度向量及溫度變化圖，圖 4-14(e)為在 $Y=9.5\text{m}$ 截面之速度向量及溫度場圖，可看出在靠近控制台處由於空氣受熱密度變小所以沿著控制台邊速度會往上升，控制台上方形成一個迴流區，控制台旁空間也形成兩個小迴流區，溫度最高在控制台上靠近牆角處為 24.73°C 。

圖 4-16(a)到圖 4-16(j)所示為長度 4m 之控制台各截面之速度向量及溫度變化圖，圖 4-16(e)顯示在控制台上方有迴流區產生，且速度值較大。圖 4-16(j)顯示 $Z=1\text{m}$ 高度時，速度及溫度變化圖，此區域的平均溫度為 24°C 。而圖 4-2(a)到 4-2(j)表示在控制台為 8m 時各截面之速度向量及溫度變化圖，在圖 4-2(e) $Y=9.5\text{m}$ 處即在控制台上方流場觀測圖，有四個迴流區產生。

從控制台大小變化對室內流場變化可看出在控制台長度若越長，其在上的迴流區域就愈多，而溫度也會略微提高，但不會有太大的影響。

4-4 二氧化碳濃度的控制

在前三節已求出在入口條件及出口位置數目狀況下對流場的影響，並得到在入口數目為四及速度為 0.1m/s 、溫度 23°C 和兩出風口

時可得最佳的室內空氣均勻度及室內溫度，本節考慮在此狀況下，有兩工作人員在此值班，其呼出 CO_2 之濃度在室內擴散的情形作討論，與假設若在控制室內開會時（20 人），其共同呼出之 CO_2 濃度擴散情形來探討。

圖 4-17 為兩工作人員在控制室內時 $Y=2.5\text{m}$ 及 $Y=3.5\text{m}$ 時之濃度擴散圖，在 $Y=2.5\text{m}$ 截面上，其入口處下方的濃度值較低，但與此截面濃度堆積最高處的值相比，差距不到 80ppm ，顯示此處的濃度相當均勻，約為 330ppm 。在 $Y=3.5\text{m}$ 截面上，情況如上圖類似，濃度呈現均勻狀態，此截面濃度最大與最小值差不超過 70ppm 。圖 4-18 $Y=7.5\text{m}$ 截面是兩工作人員所在的位置，所以 CO_2 濃度在此處為最大，為 4000ppm ，但 CO_2 馬上就被帶走。不會堆積在控制室內。而圖 4-18(b)表示在控制台上方濃度擴散的情形，在這區域間的 CO_2 堆積情形並不嚴重。圖 4-19 則顯示在 $X=0.5\text{m}$ 及 $X=5.75\text{m}$ 處時 CO_2 濃度擴散的情形，在 $X=0.5\text{m}$ 靠近壁面處，濃度值呈現均勻的狀態。 $X=5.75\text{m}$ 工作人員所在位置所呼出 CO_2 濃度擴散情形，清楚顯示 CO_2 馬上被帶走，不會堆積在室內。此設計可有效使 CO_2 快速帶走，不繼續留在室內堆積，對工作人員健康也沒有傷害。

圖 4-21 到圖 4-24 為假設在控制室裡若有 20 人在內開會其呼出 CO_2 濃度在各位置的擴散情形。圖 4-21 表示在 $Y=2.5\text{m}$ 截面時 CO_2 擴

散的情形，可發現在入口處下的 CO_2 濃度較小，人附近的 CO_2 濃度較大，而 $Y=3.5\text{m}$ 截面時所示有兩人員呼出 CO_2 ，且其濃度向兩旁均勻擴散，不會堆積到其他區域。圖 4-22 所示為 $Y=6.5\text{m}$ 截面 CO_2 濃度擴散情形，坐左側工作人員的 CO_2 濃度向外擴散，而右側工作人員因坐在入口處下方，所以 CO_2 濃度沒有堆積， $Y=9.5\text{m}$ 截面為在控制台上 CO_2 濃度擴散情形，在控制台上面右方有濃度堆積情形，但仍是在可接受的範圍內，此區域的 CO_2 濃度最高值為 860ppm 。圖 4-23 為在 $X=0.1\text{m}$ 時 CO_2 濃度擴散情形，其 CO_2 濃度有向出風口下方擴散的趨勢。在 $X=2.5\text{m}$ 截面之濃度擴散圖顯示在 10 位工作人員所在位置之濃度擴散圖，在室內大部分區域的 CO_2 濃度仍在可接受範圍內，約為 700ppm 。圖 4-24 為 $Z=1.25\text{m}$ 處截面濃度擴散圖，可看出在 20 位工作人員所在位置的濃度值為最大，再向兩旁擴散往出口處擴散。

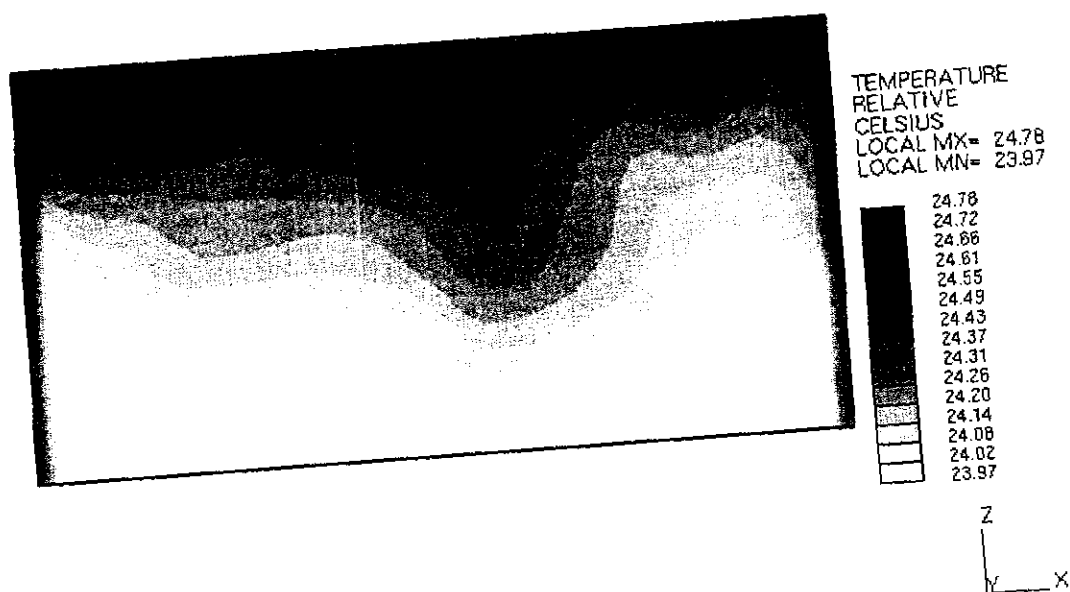
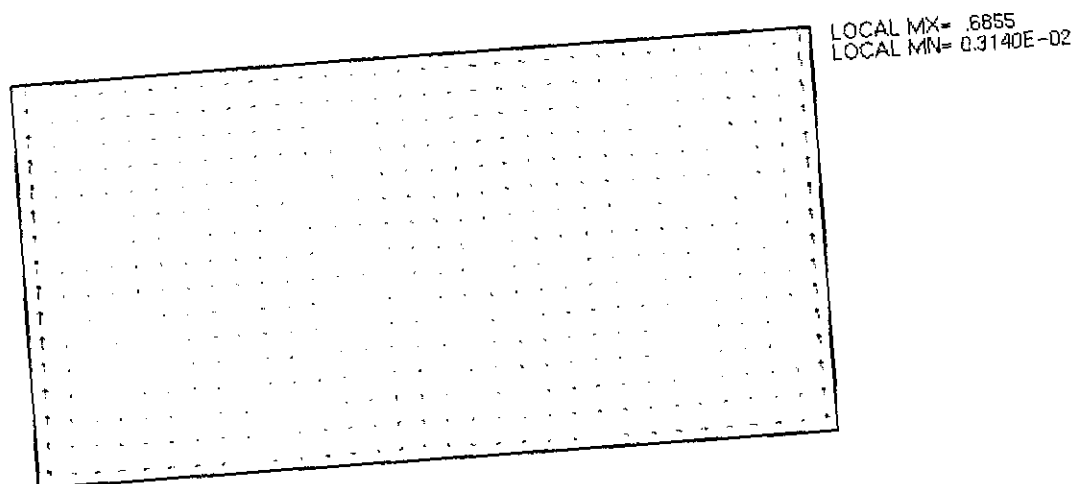


圖4-1(a) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $y=1$ 截面速度向量及溫度場圖

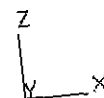
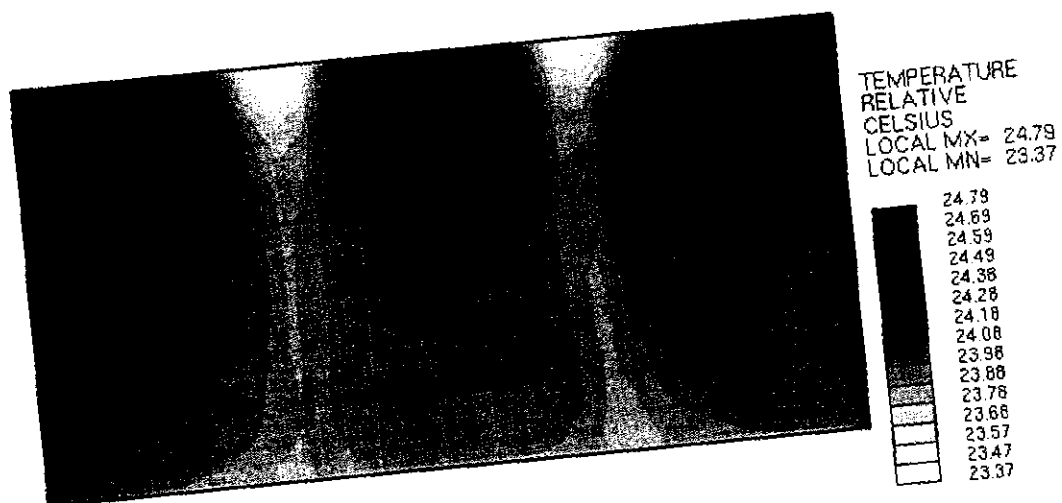
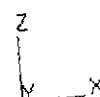
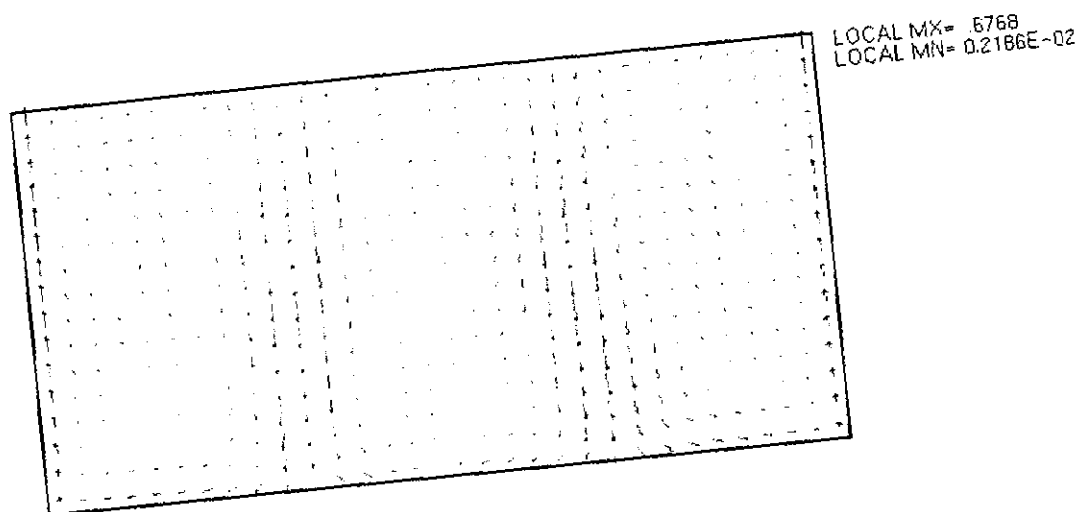


圖4-1(b) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $y=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖

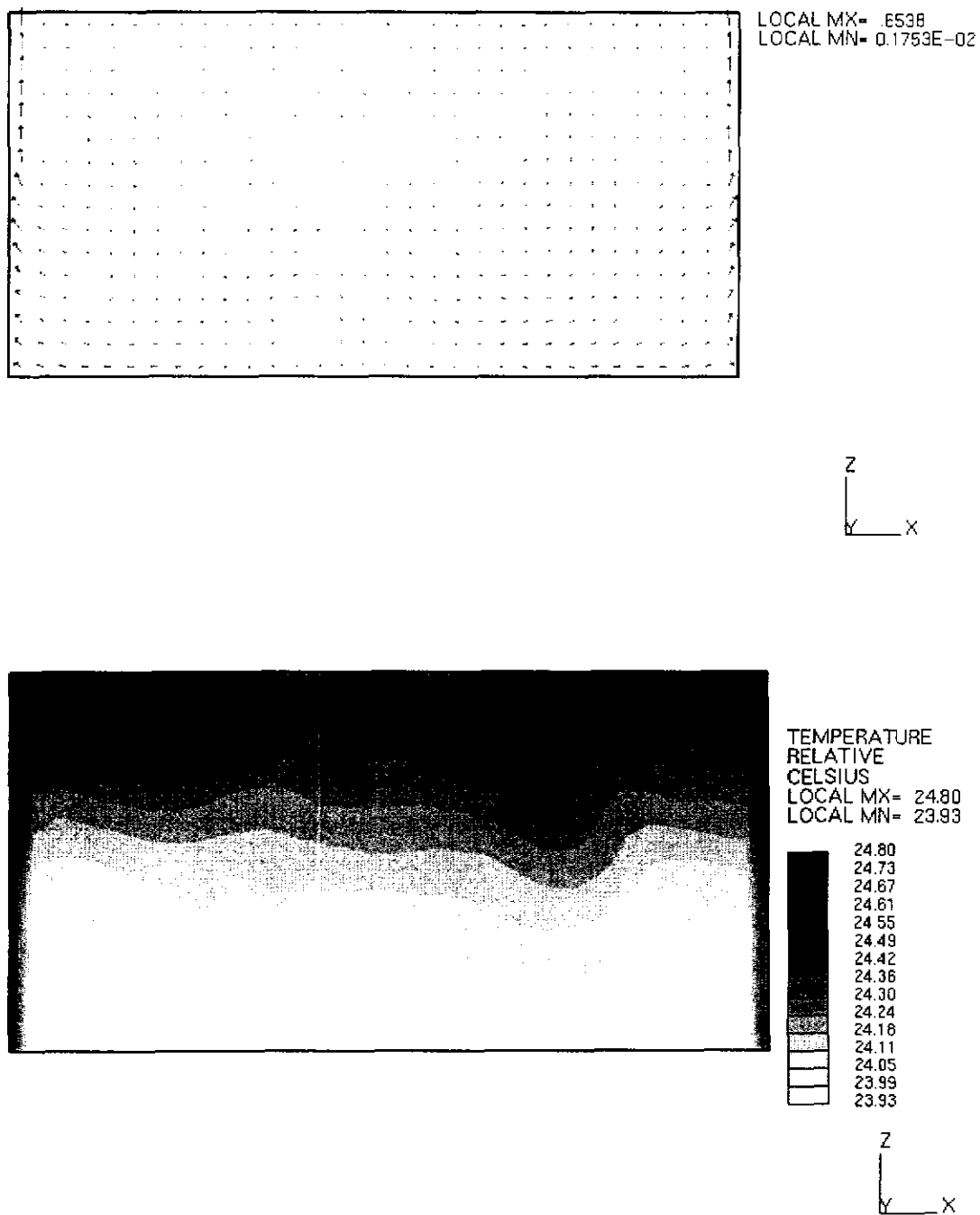


圖4-1(c) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $y=3.5$ 截面速度向量及溫度場圖

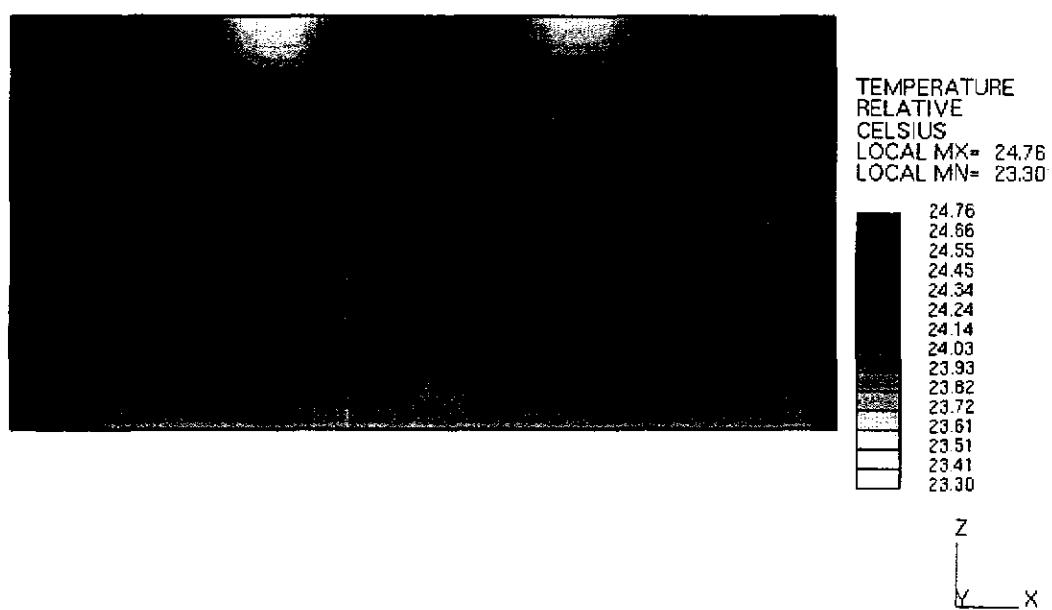
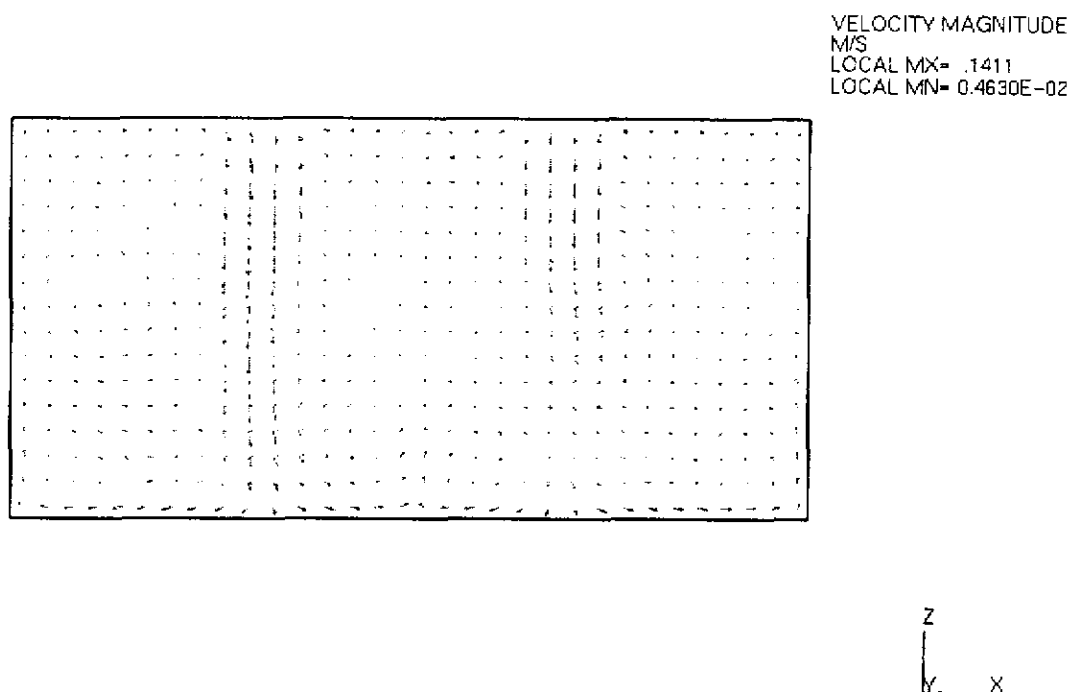


圖4-1(d) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $y=6.5$ 截面速度向量及溫度場圖

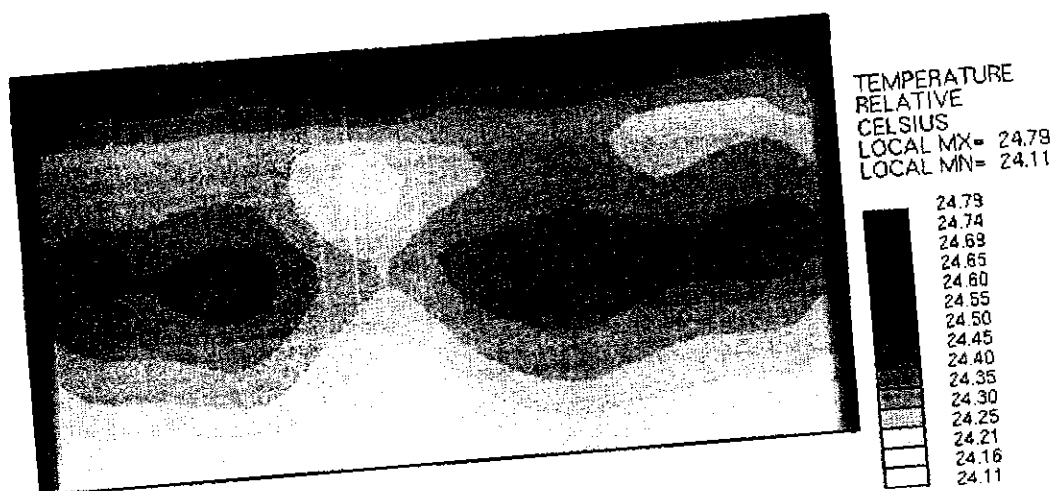
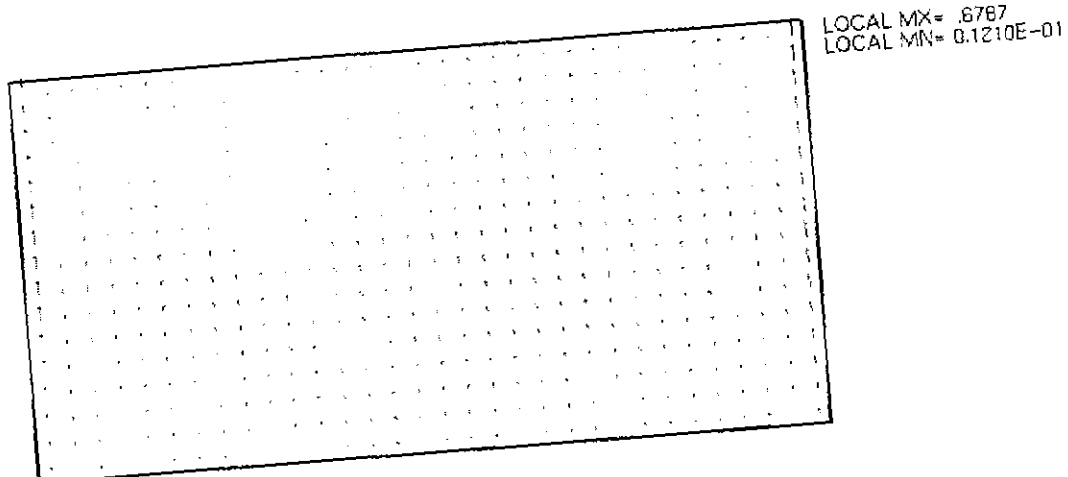
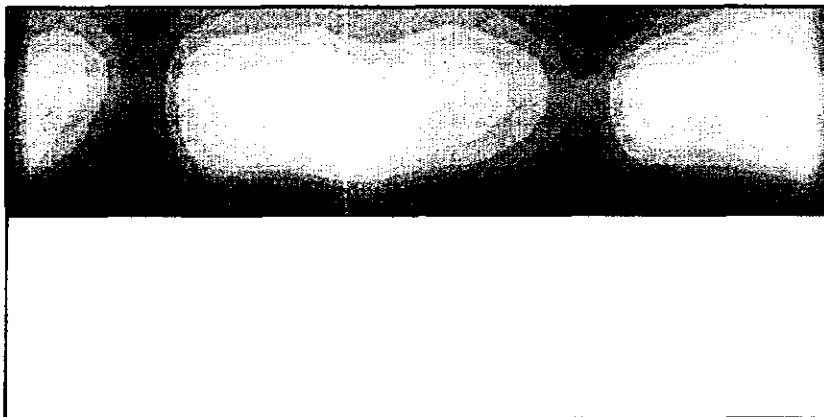
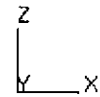
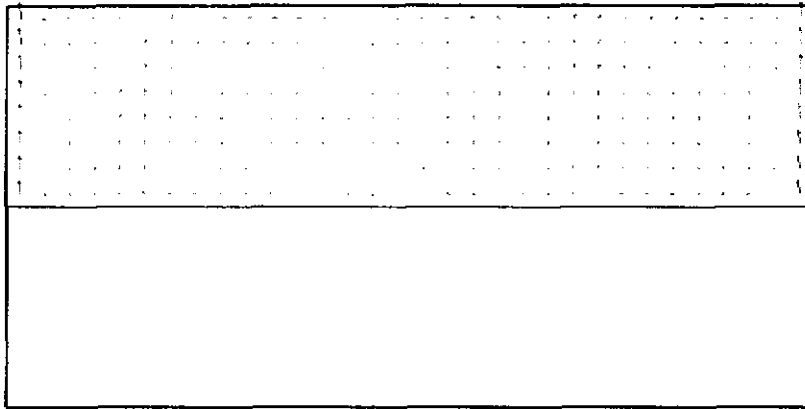


圖4-1(e) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $y=8.9$ 截面速度向量及溫度場圖

LOCAL MX= .7190
LOCAL MN= 0.5816E-02



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 25.13
LOCAL MN= 24.30

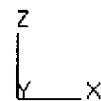
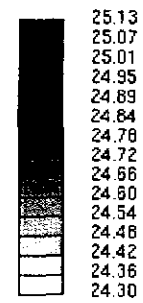
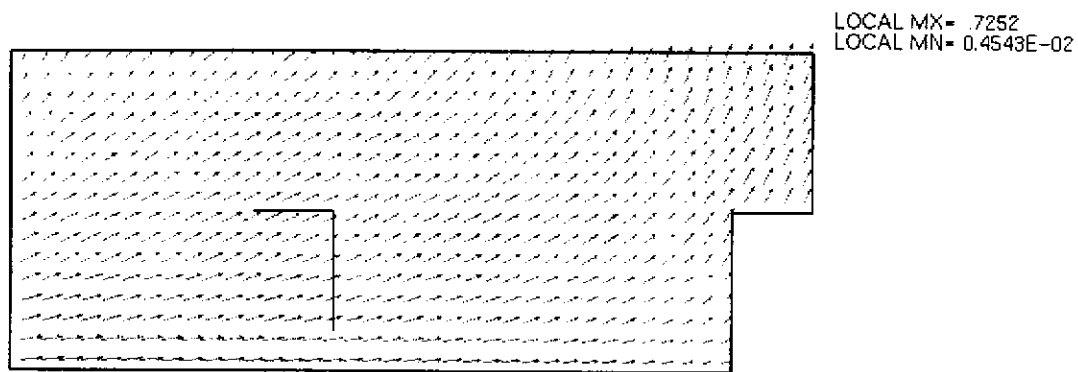


圖4-1(f) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 y=9.5 截面速度向量及溫度場圖



Z
X Y

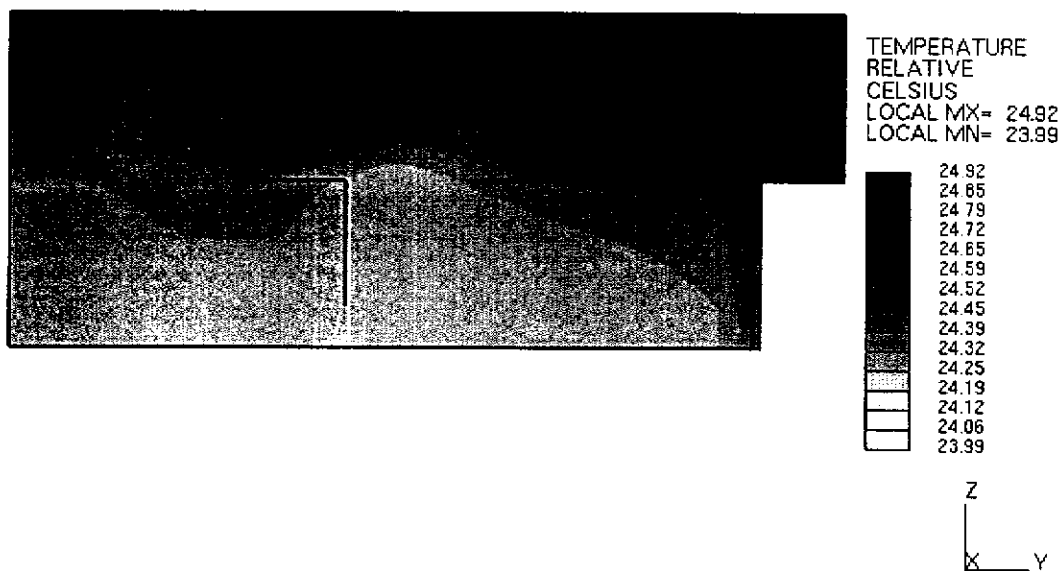


圖4-1(g) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $x=0.1$ 截面速度向量及溫度場圖

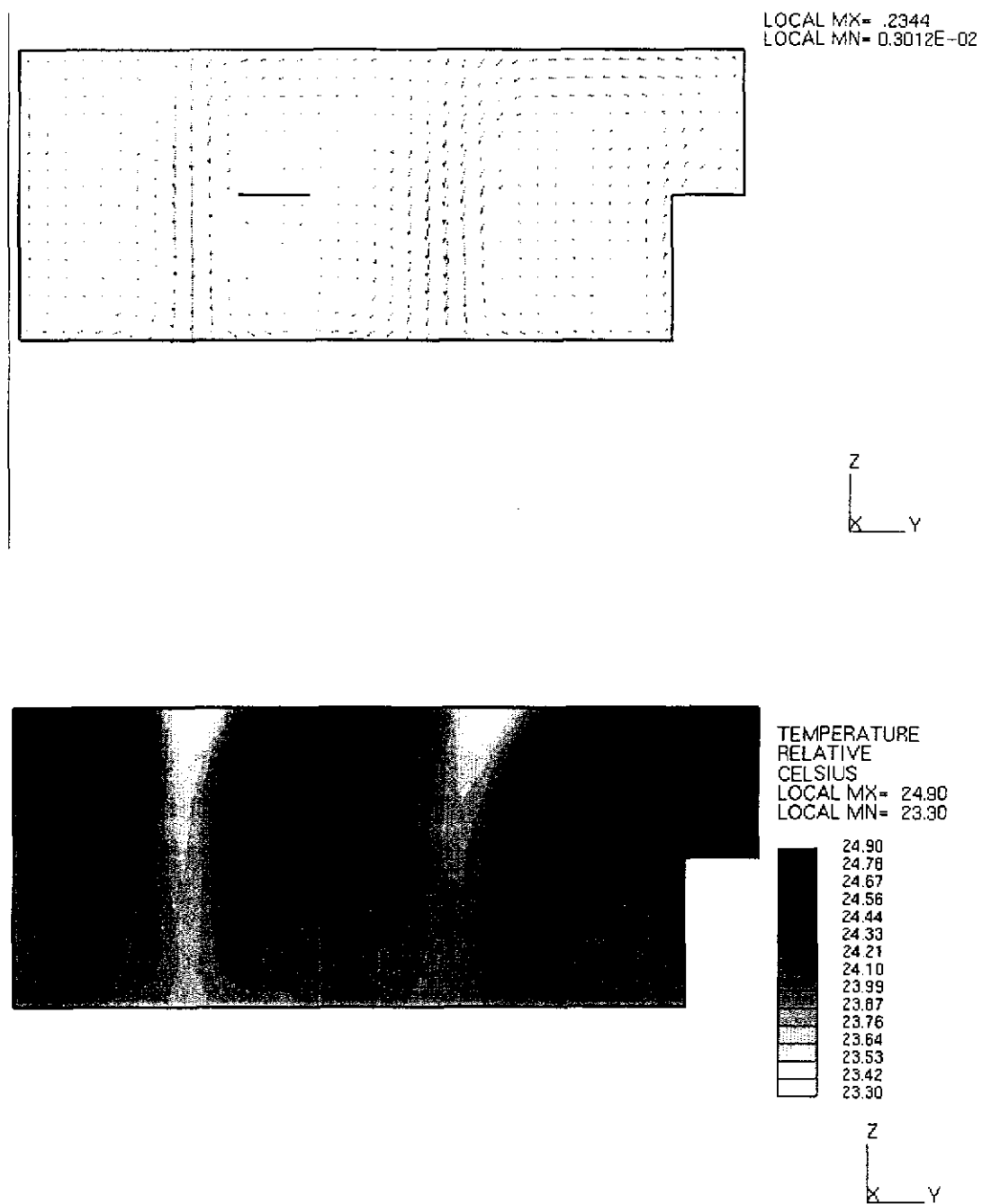
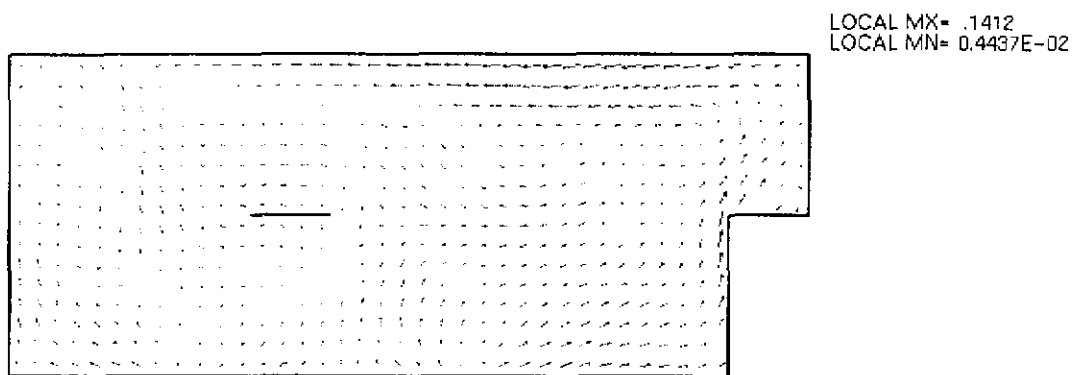
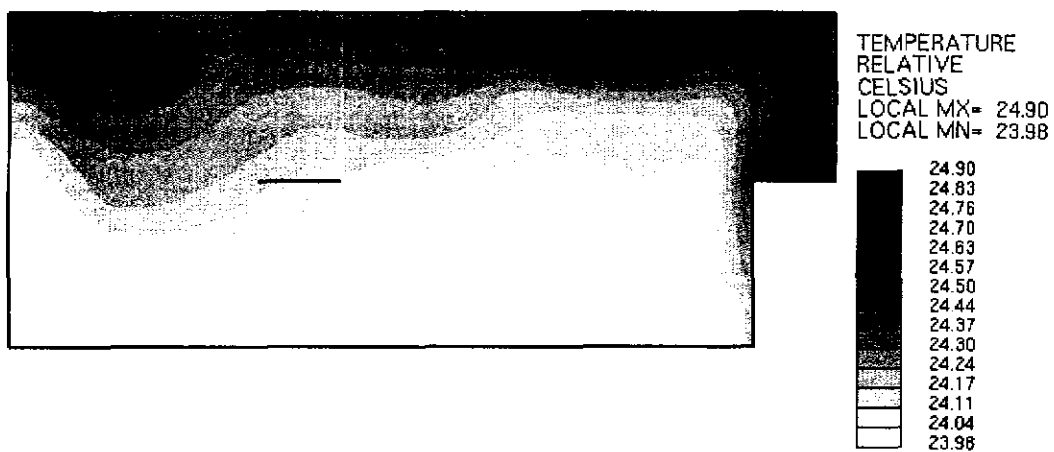


圖4-1(h) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $x=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖

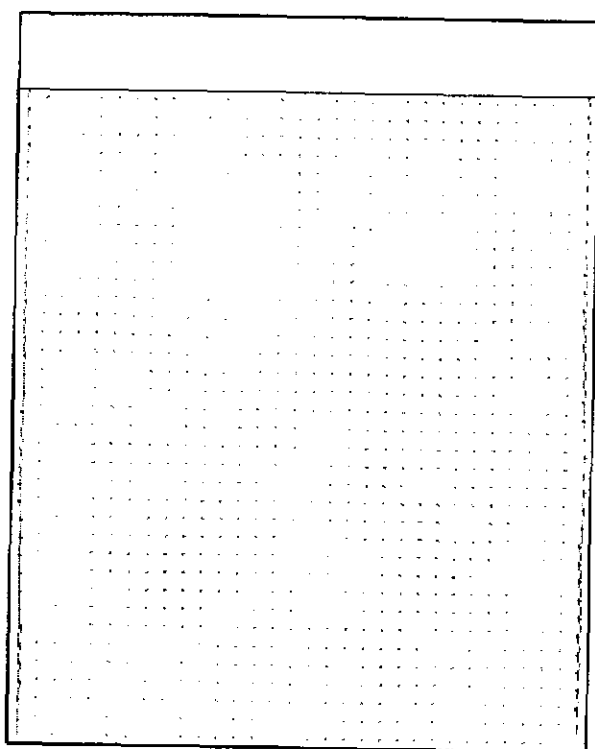


Z
Y

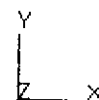


Z
Y

圖4-1(i) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $x=4$ 截面速度向量及溫度場圖



VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .6612
LOCAL MN= 0.2052E-02



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.78
LOCAL MN= 23.81

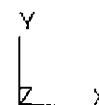
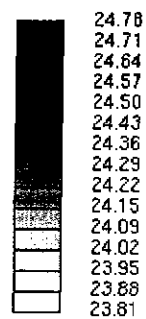


圖4-1(j) 速度為 0.05m/s 時，電廠控制室在 $z=1$ 截面速度向量及溫度場圖

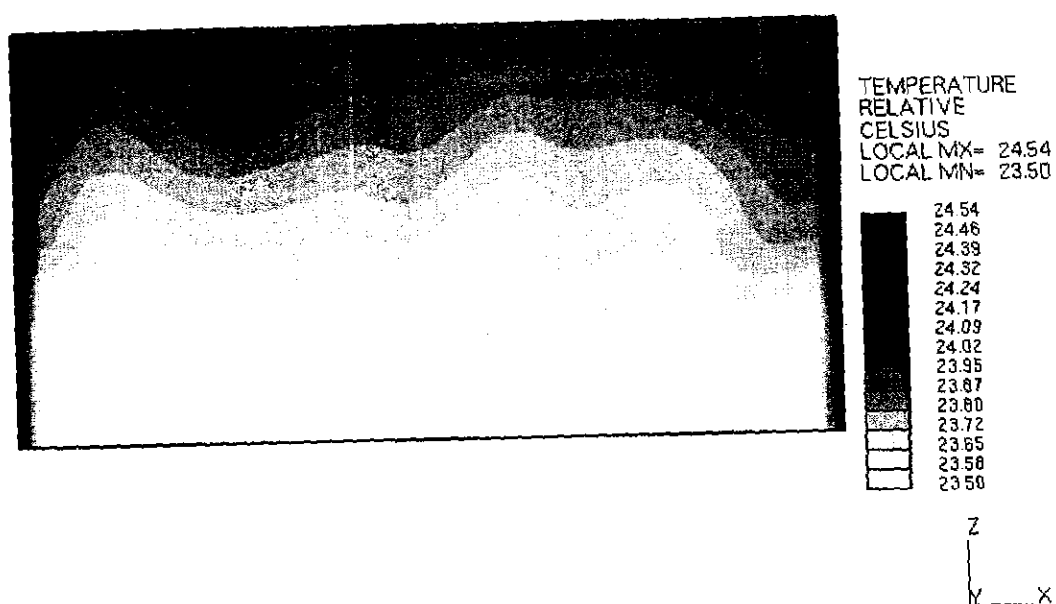
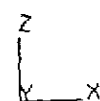
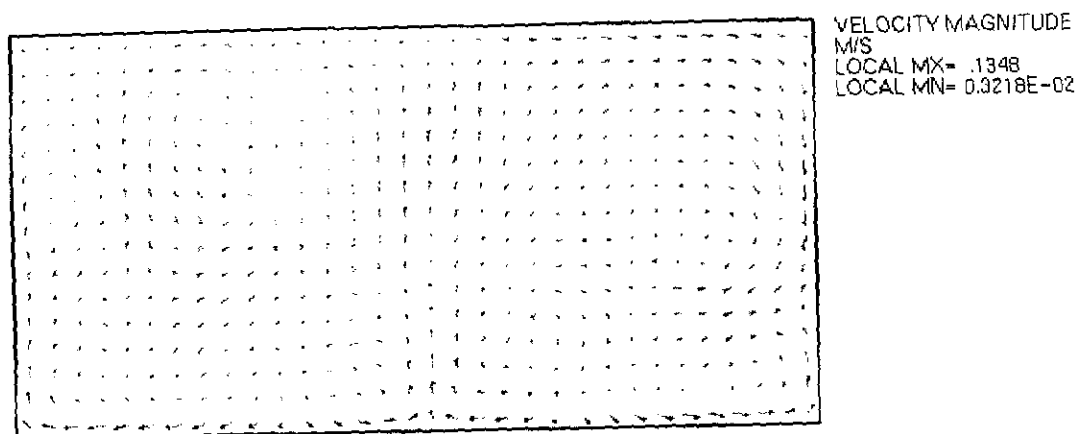


圖4-2(a) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=1$ 截面速度向量及溫度場圖

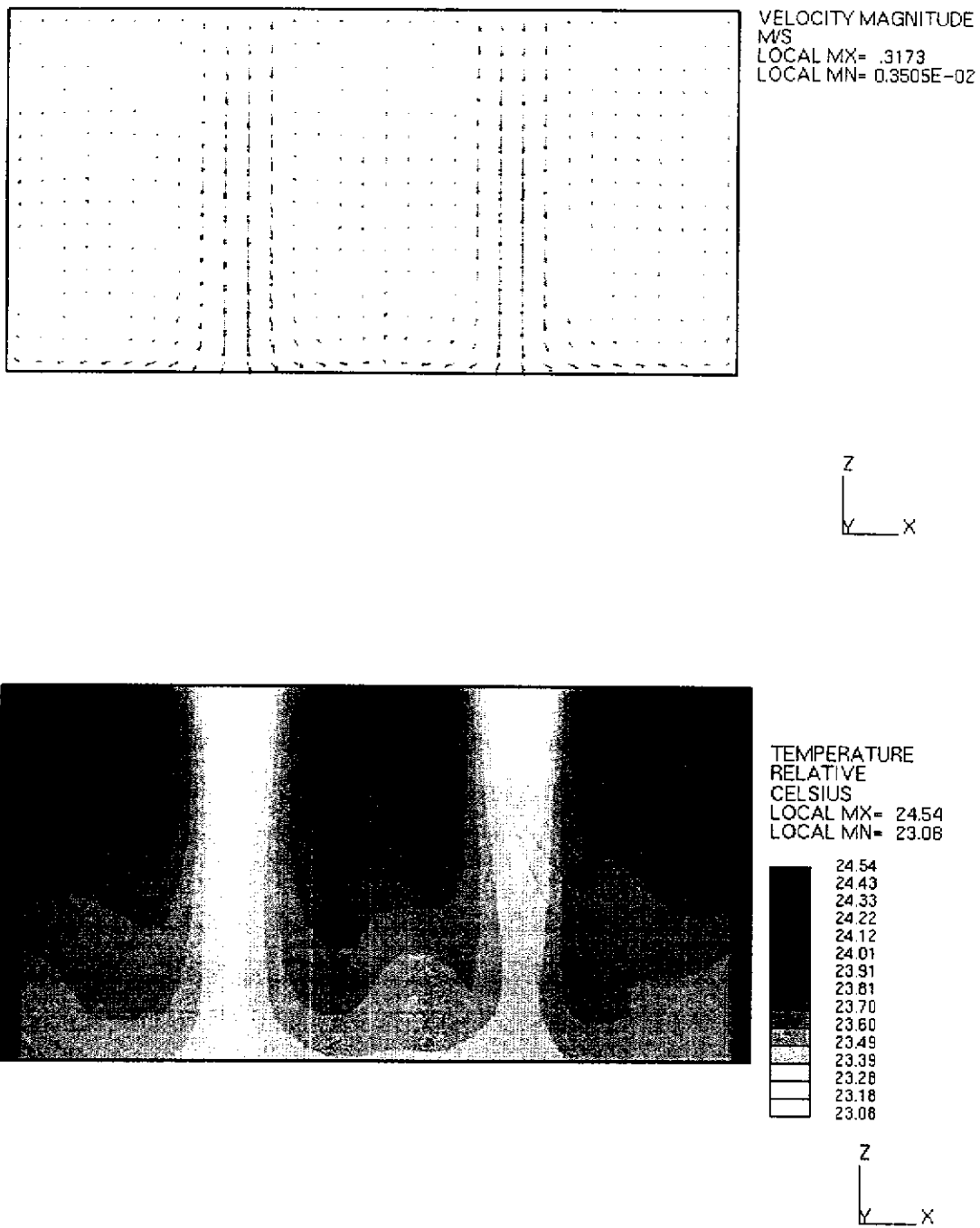


圖4-2(b) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=2.5$ 截面速度向量及溫度場圖

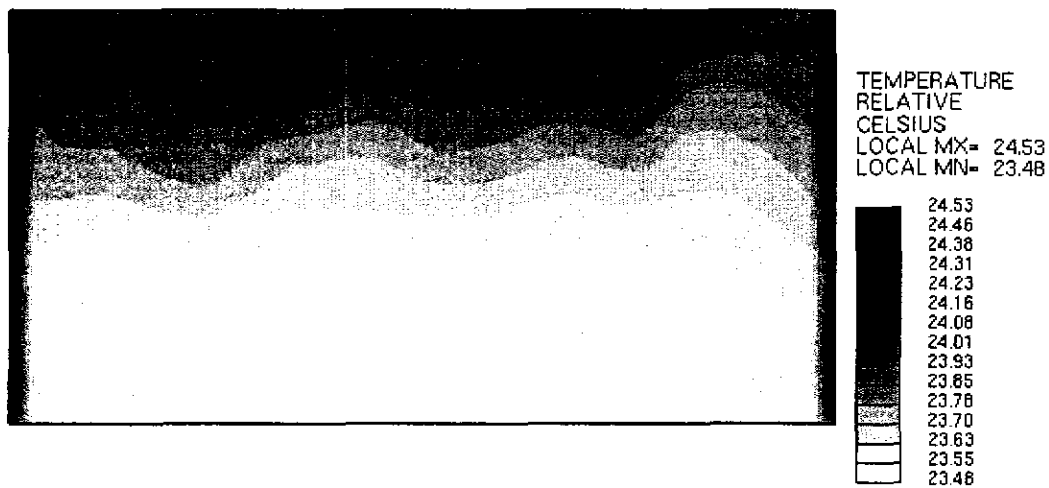
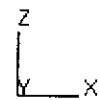
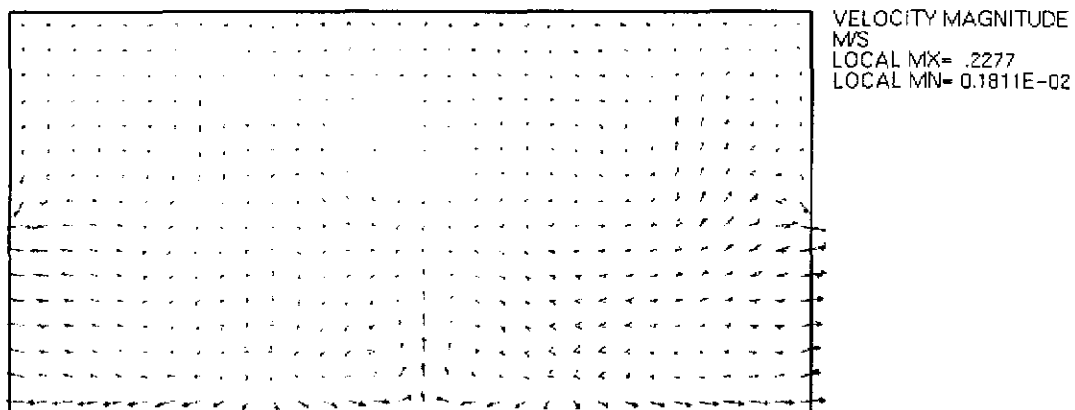


圖4-2(c) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=3.5$ 截面速度向量及溫度場圖

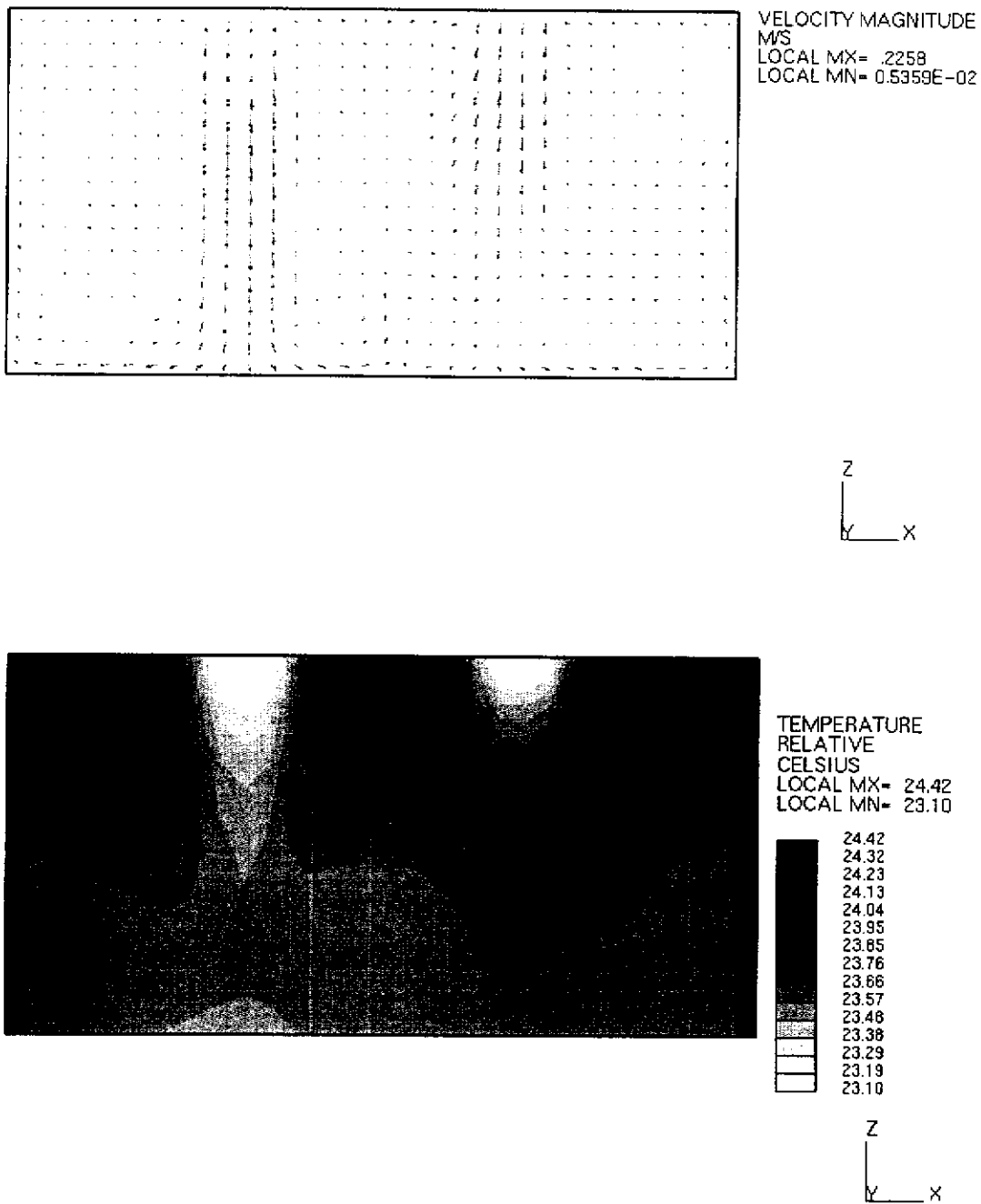


圖4-2(d) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=6.5$ 截面速度向量及溫度場圖

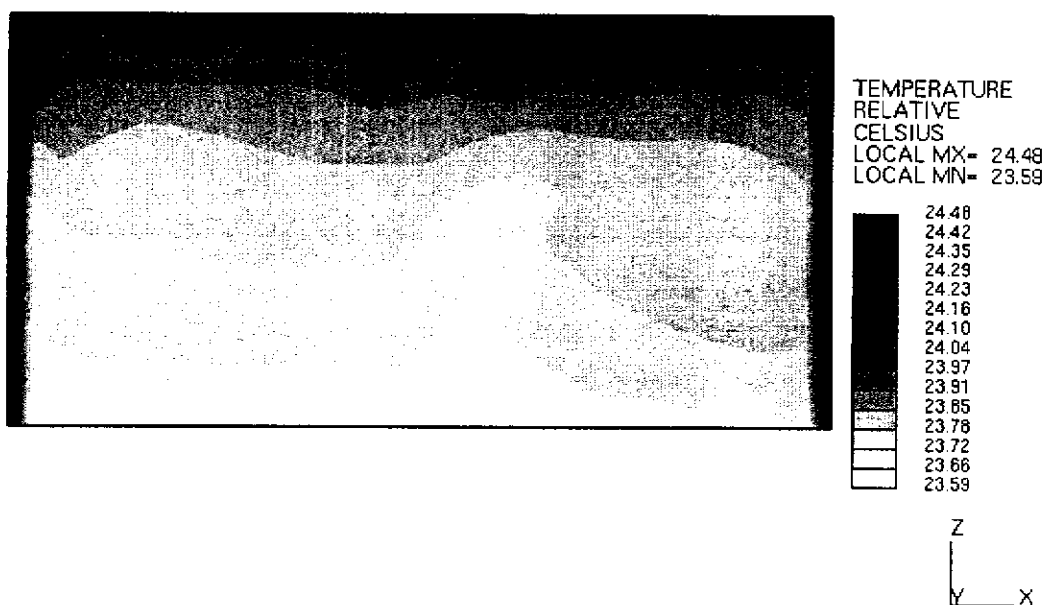
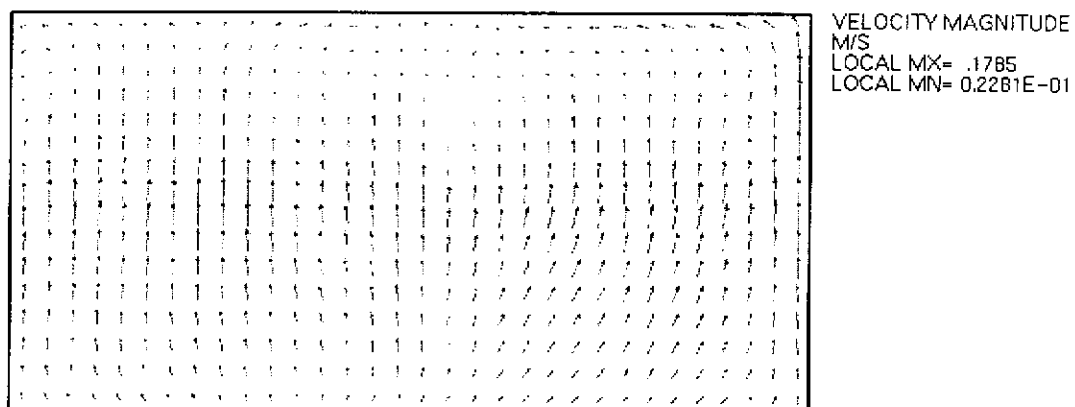


圖4-2(e) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=8.9$ 截面速度向量及溫度場圖

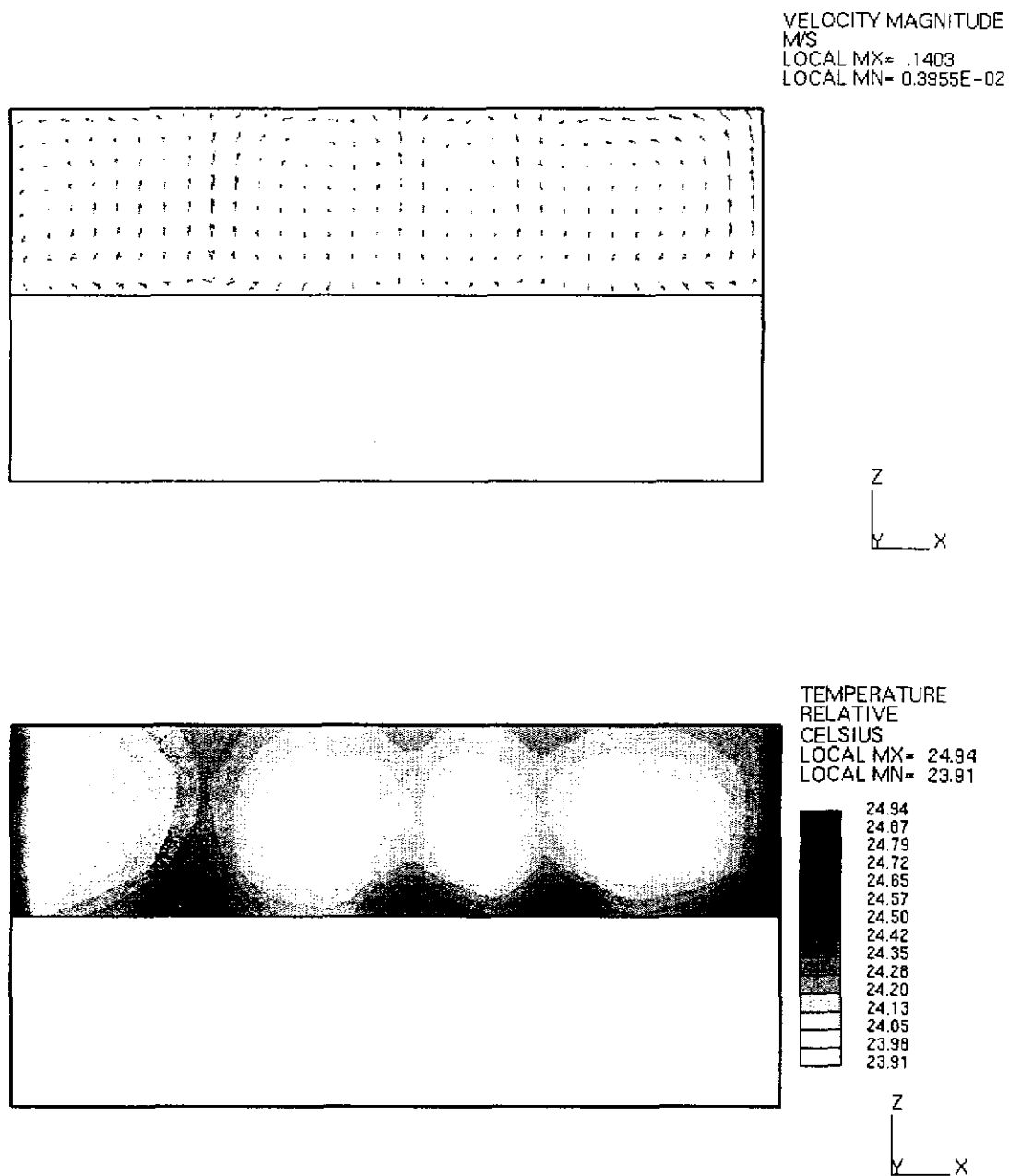


圖4-2(f) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $y=9.5$ 截面速度向量及溫度場圖

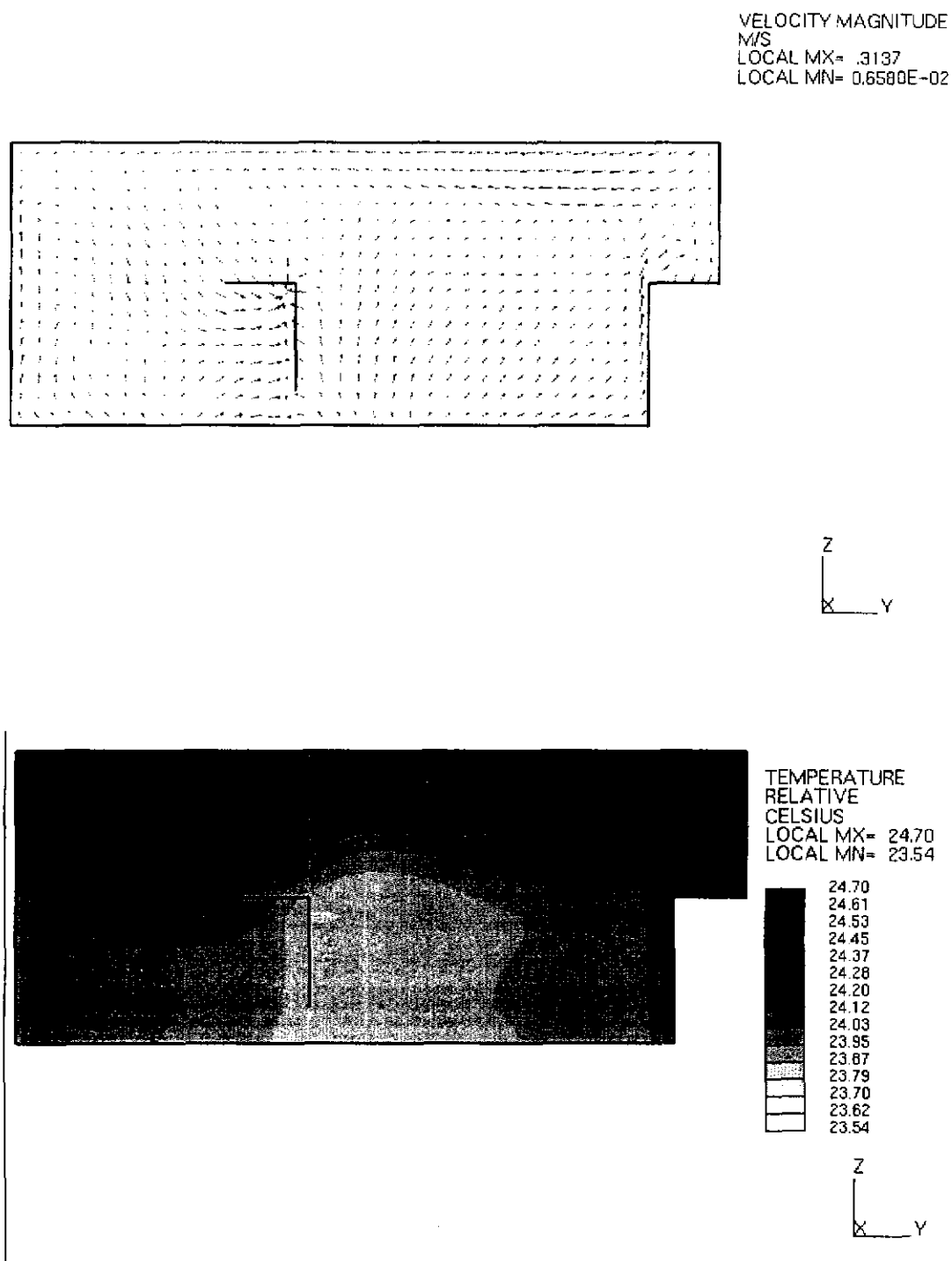
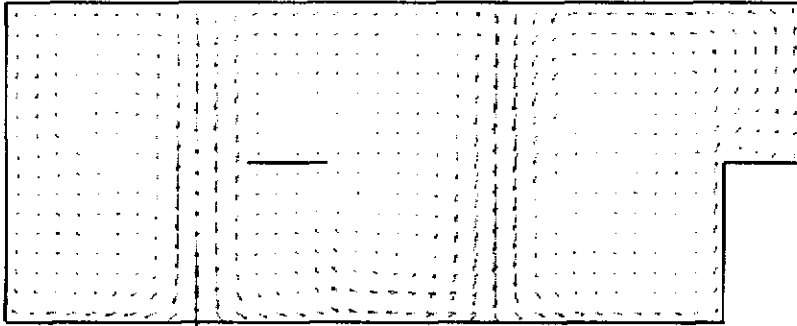


圖4-2(g) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $x=0.1$ 截面速度向量及溫度場圖

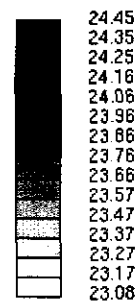
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .3173
LOCAL MN= 0.2575E-02



Z
Y



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.45
LOCAL MN= 23.08



Z
Y

圖4-2(h) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 x=2.5 截面速度向量及溫度場圖

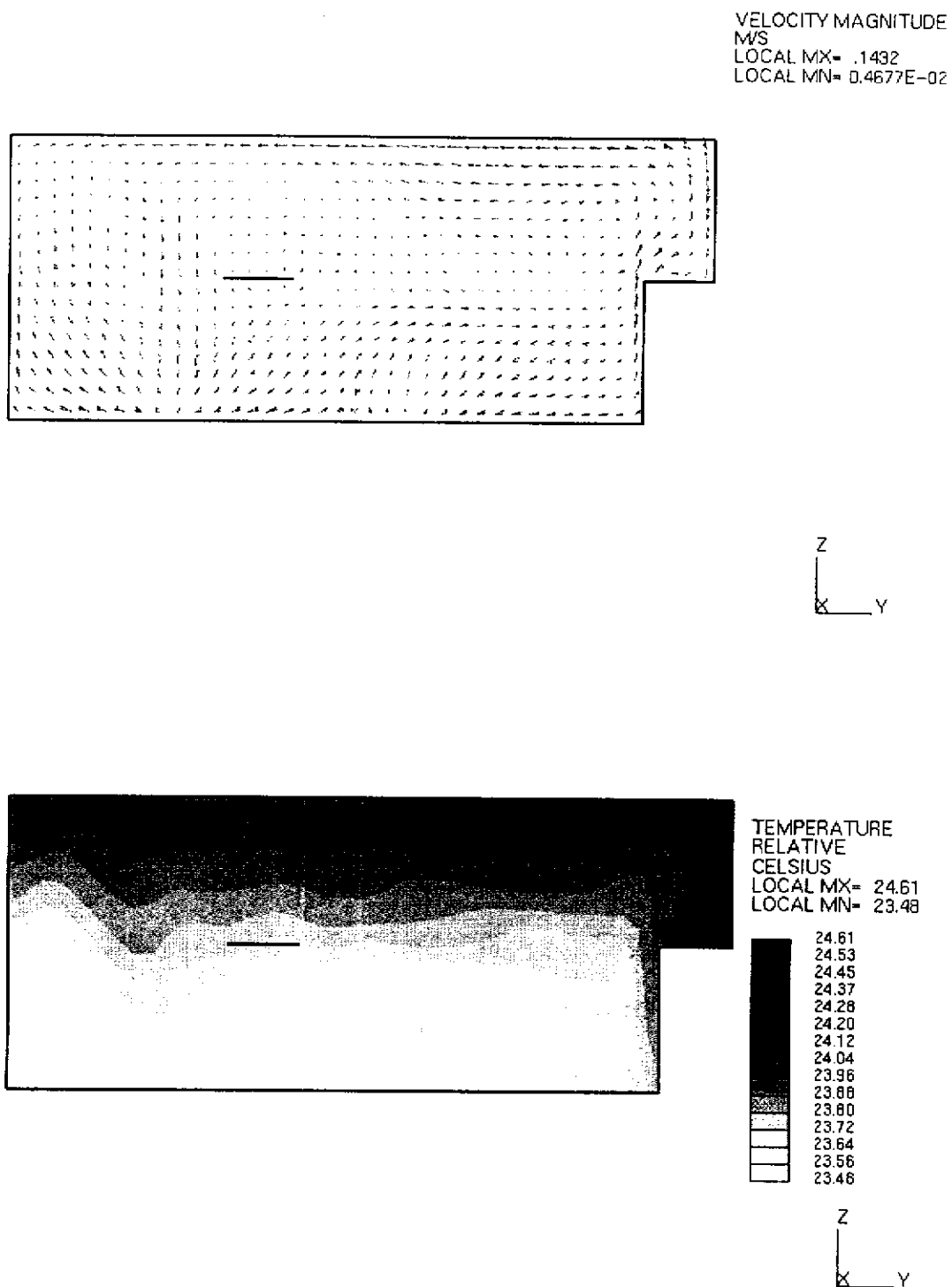


圖4-2(i) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $x=4$ 截面速度向量及溫度場圖

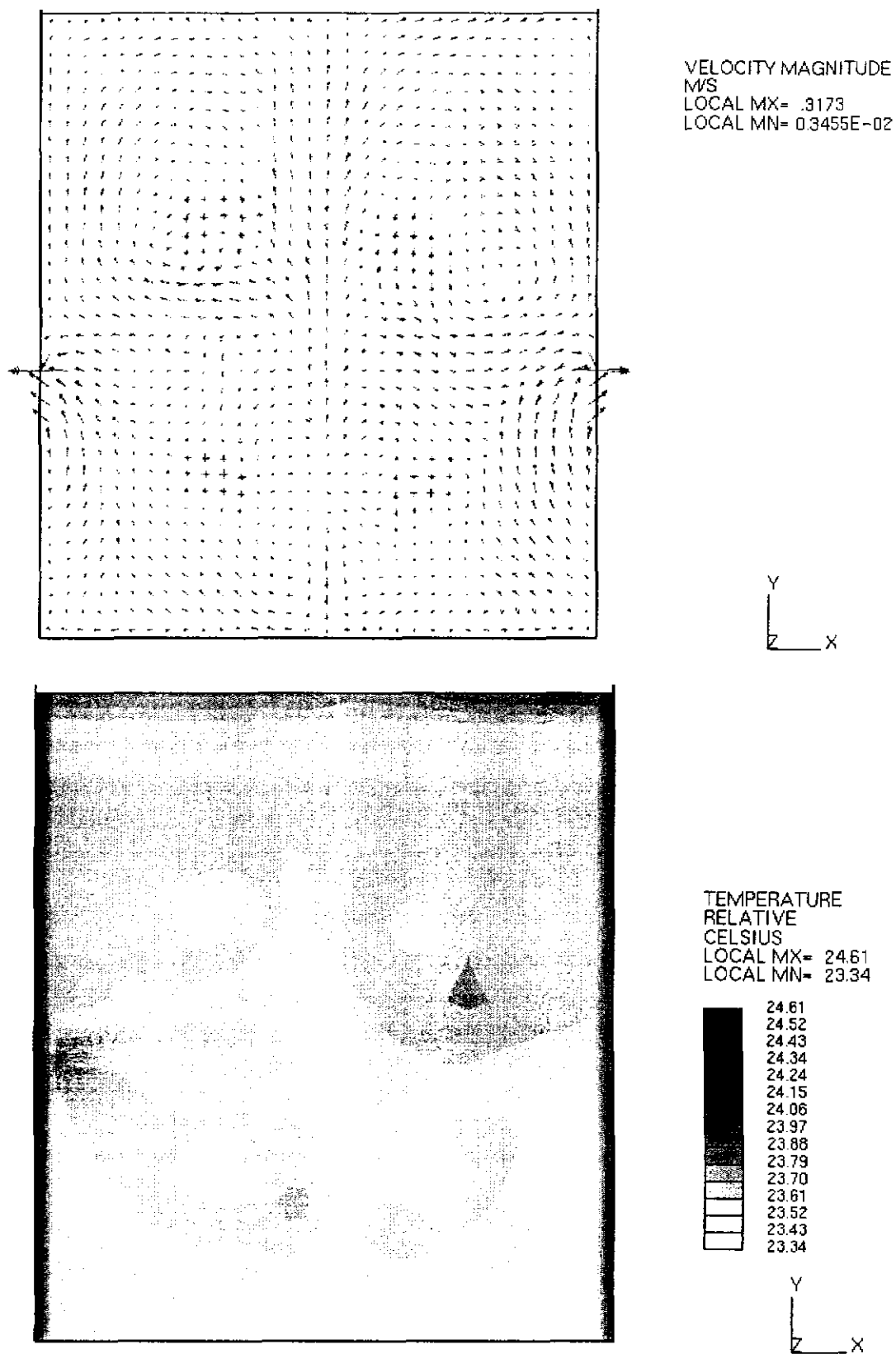


圖4-2(j) 速度為 0.1m/s 時，電廠控制室在 $z=1$ 截面速度向量及溫度場圖

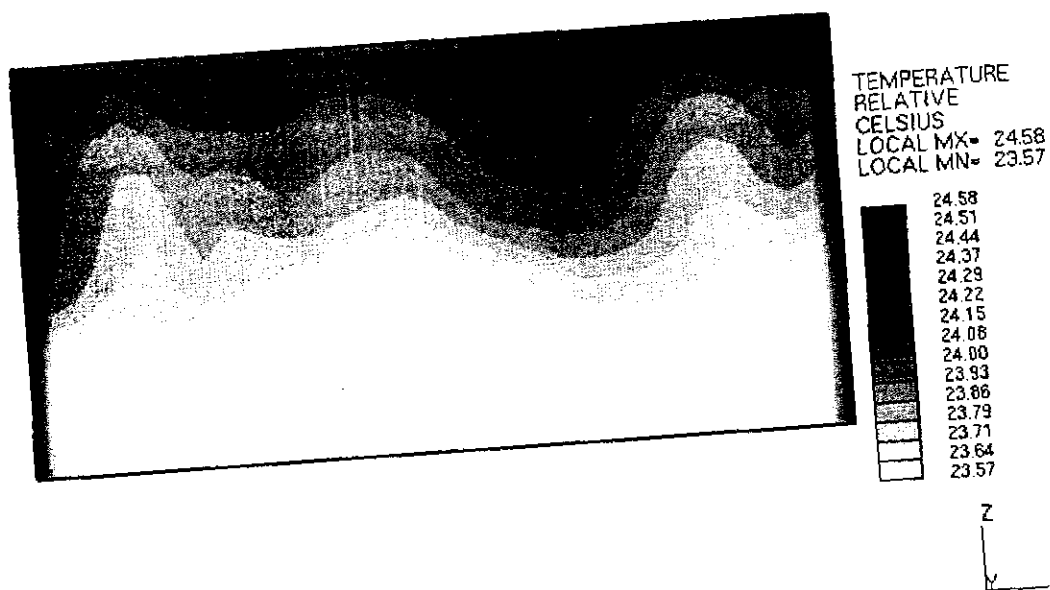
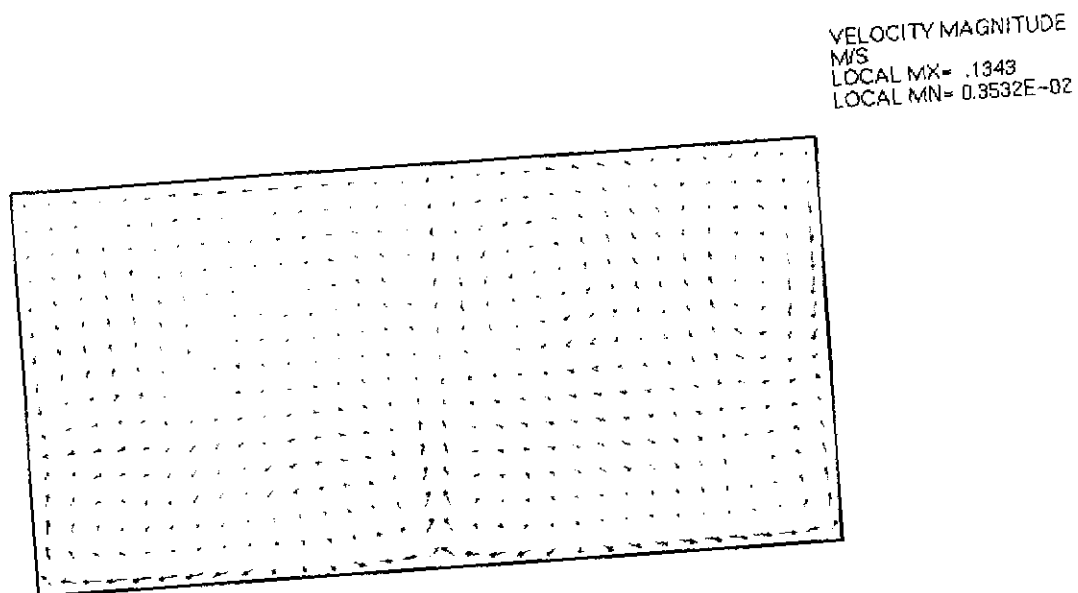
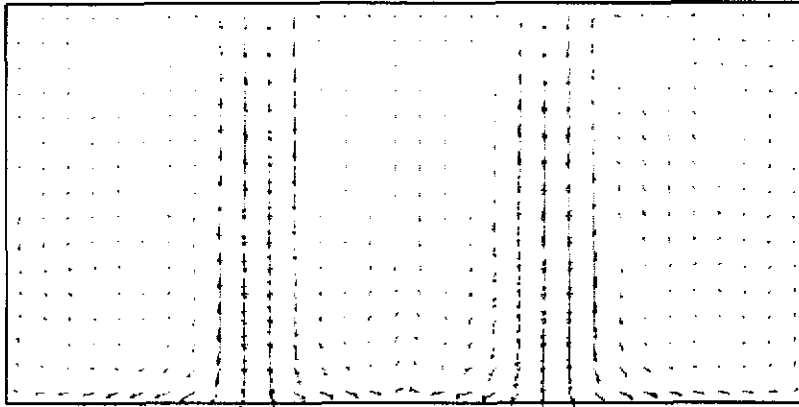
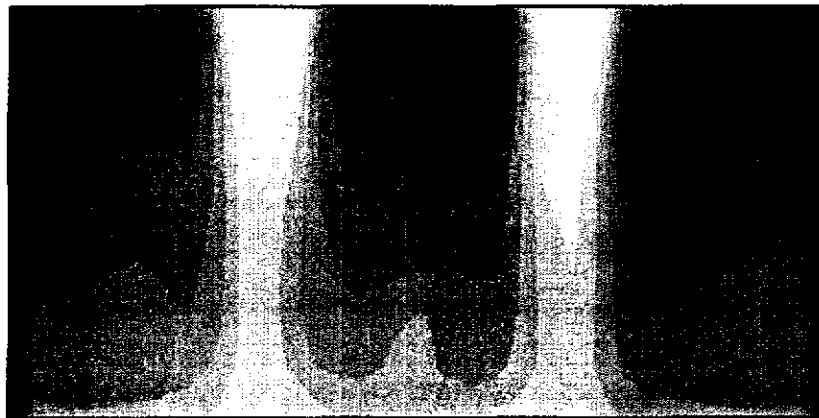


圖4-3(a) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

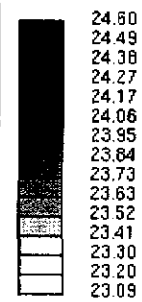
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .3223
LOCAL MN= 0.4353E-02



Z
Y X



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.60
LOCAL MN= 23.09



Z
Y X

圖4-3(b) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

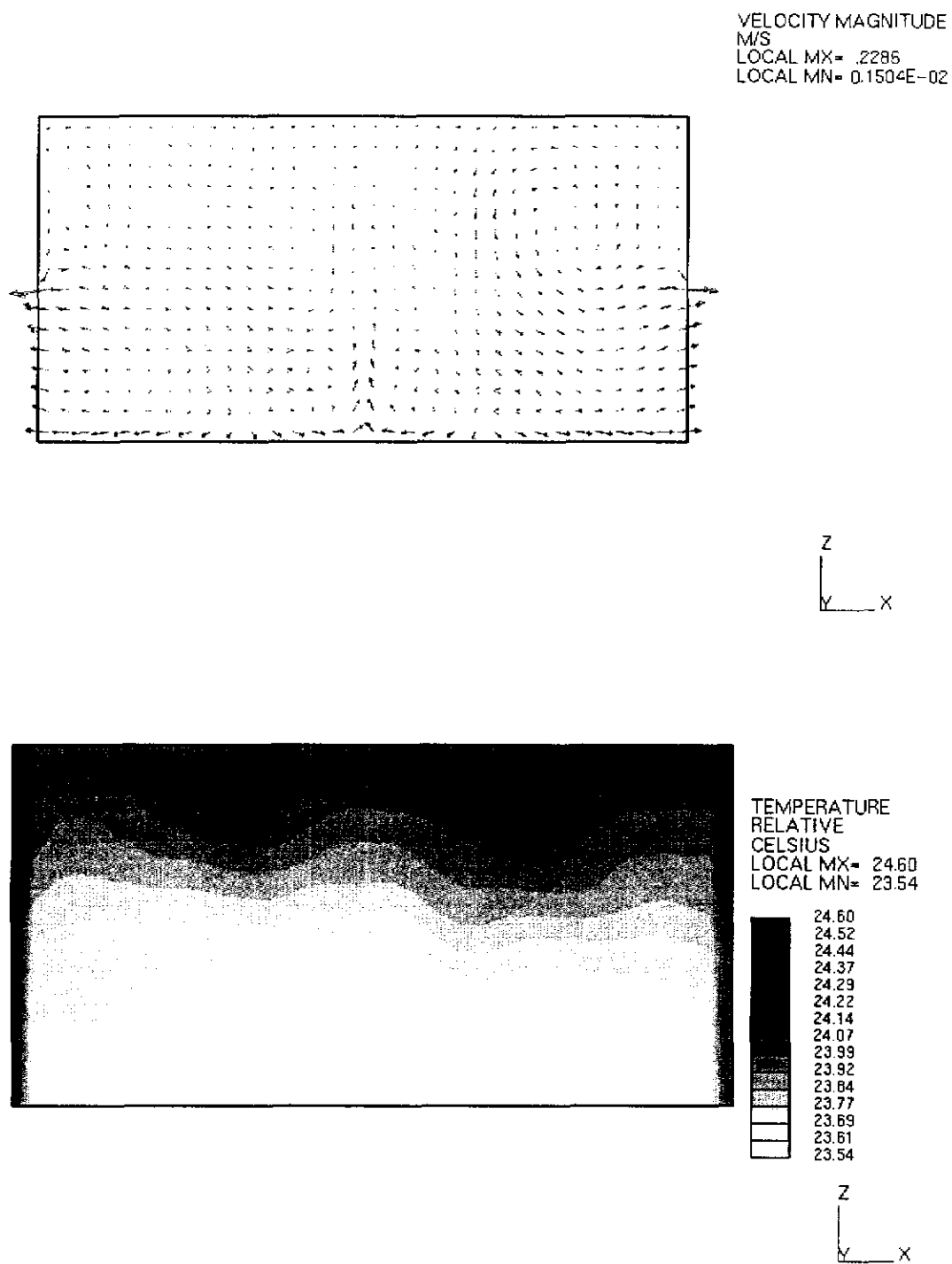


圖4-3(c) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

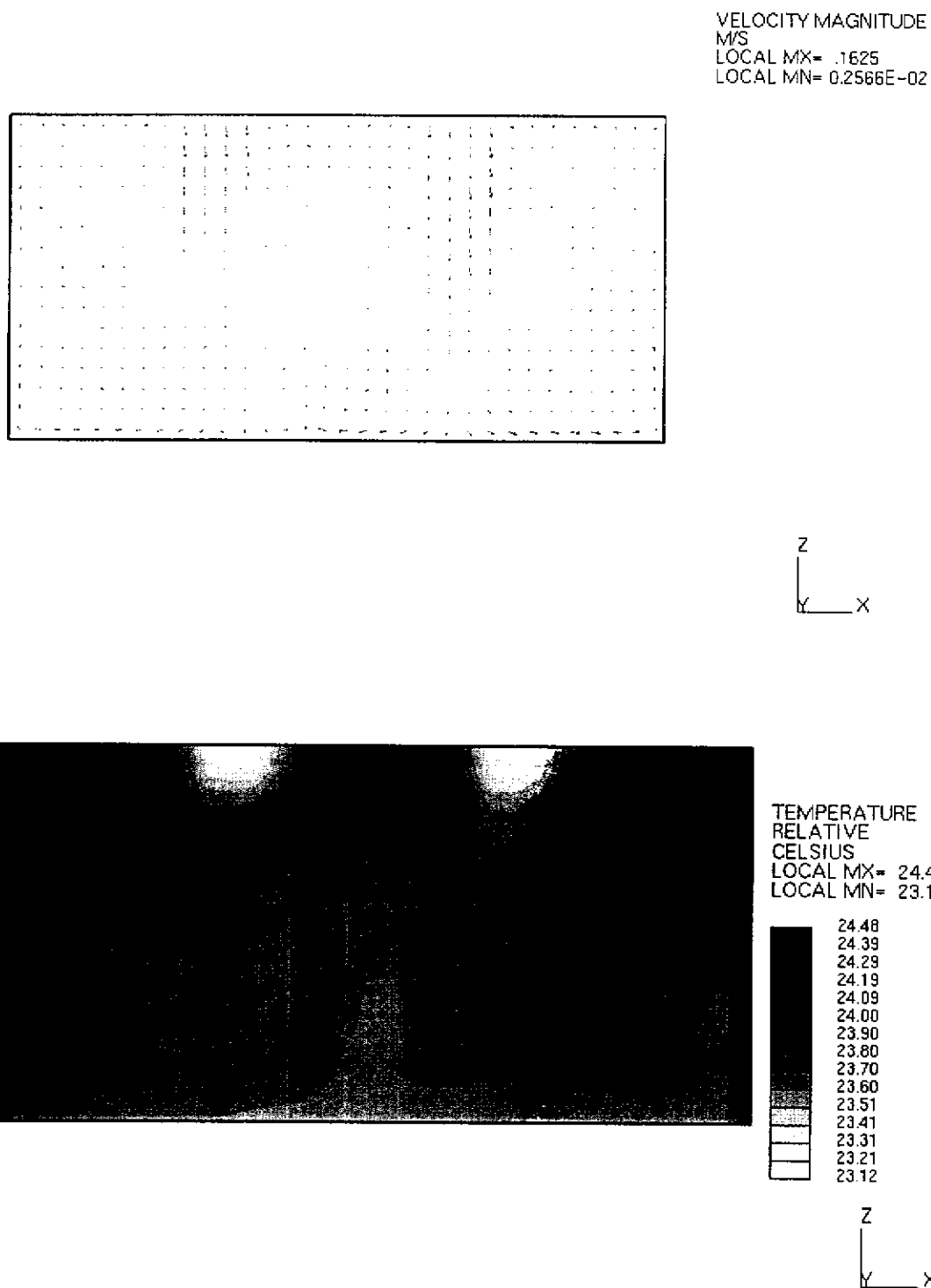


圖4-3(d) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

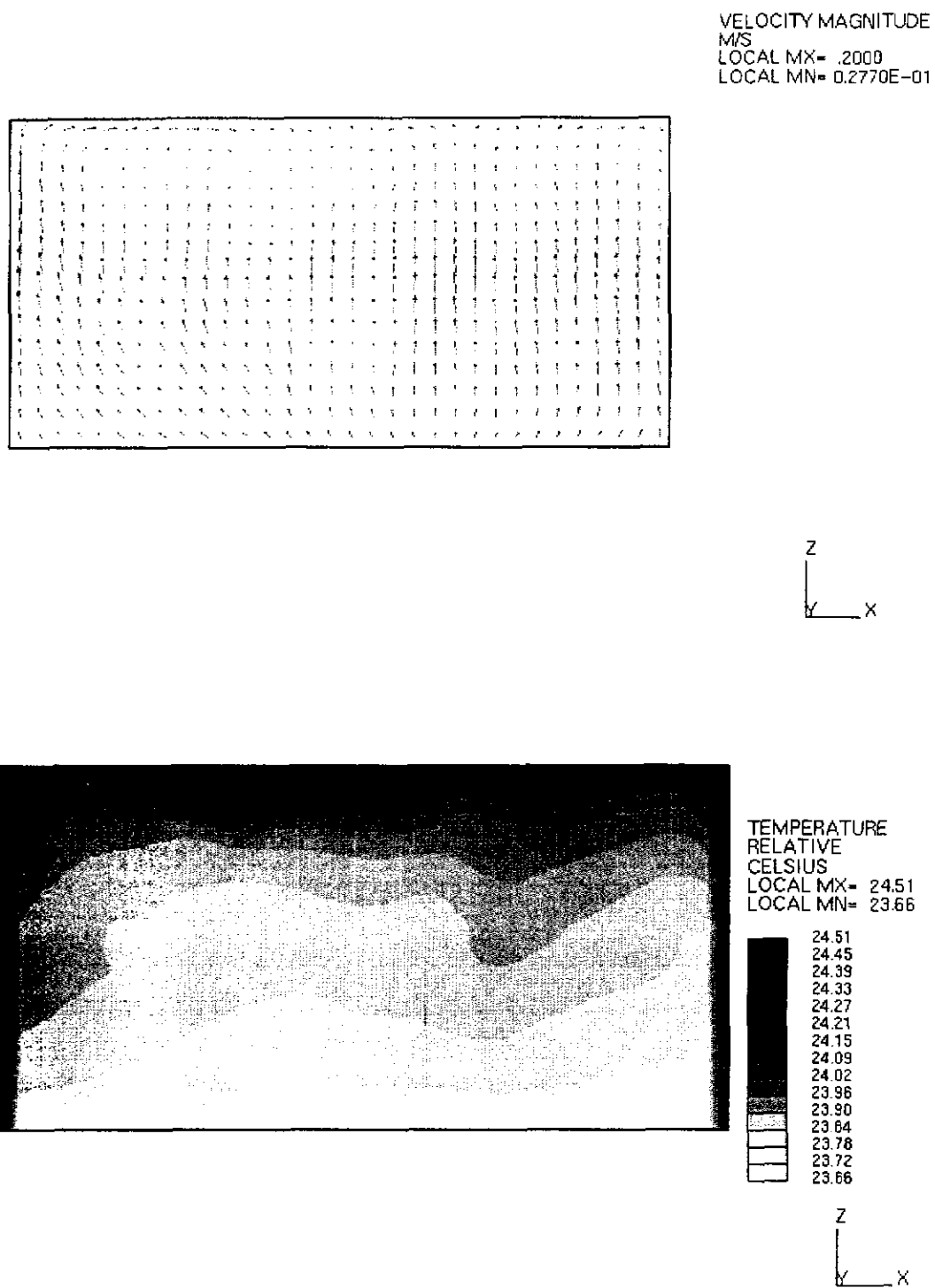
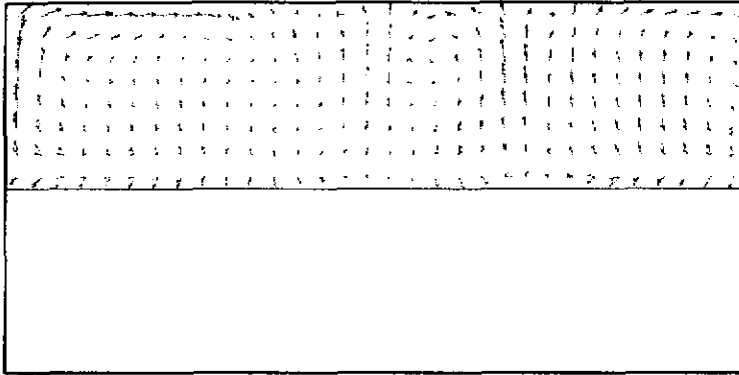


圖4-3(e) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 y=8.9m 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1314
LOCAL MN= 0.1466E-01



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.97
LOCAL MN= 24.04

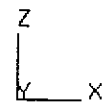
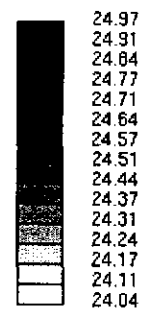
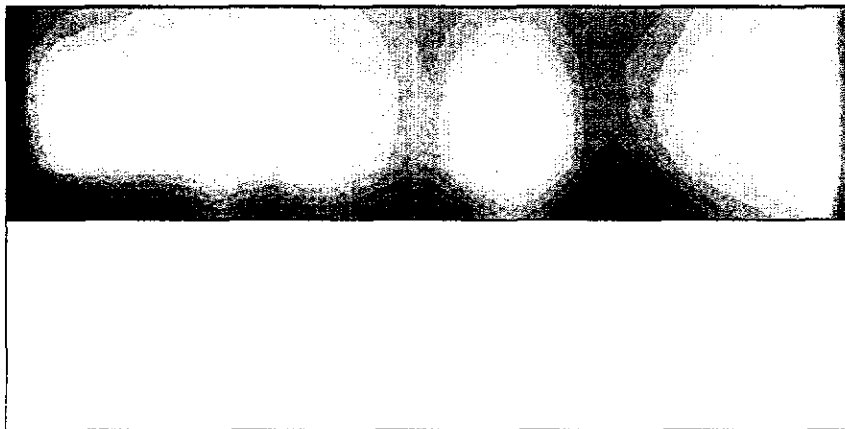
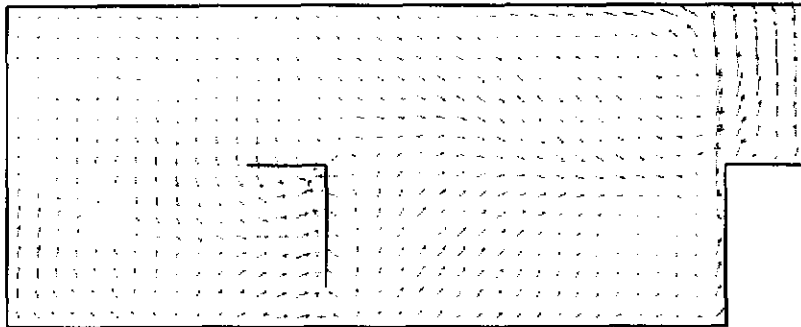
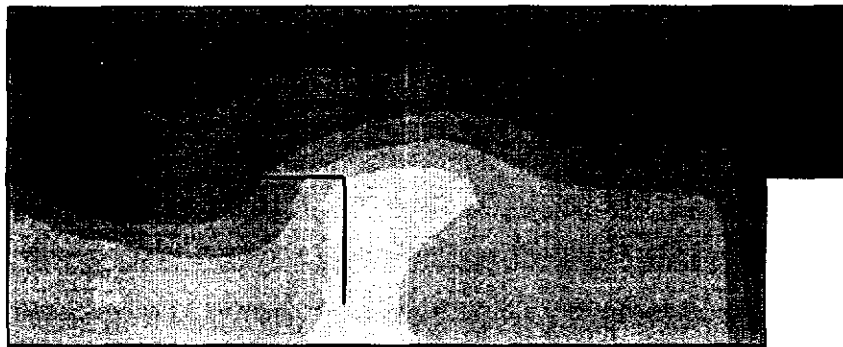


圖4-3(f) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 y=9.5m 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .2923
LOCAL MN= 0.7279E-02



Z
X Y



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.97
LOCAL MN= 23.61

24.97
24.86
24.76
24.68
24.58
24.49
24.39
24.29
24.19
24.10
24.00
23.90
23.81
23.71
23.61

Z
X Y

圖4-3(g) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

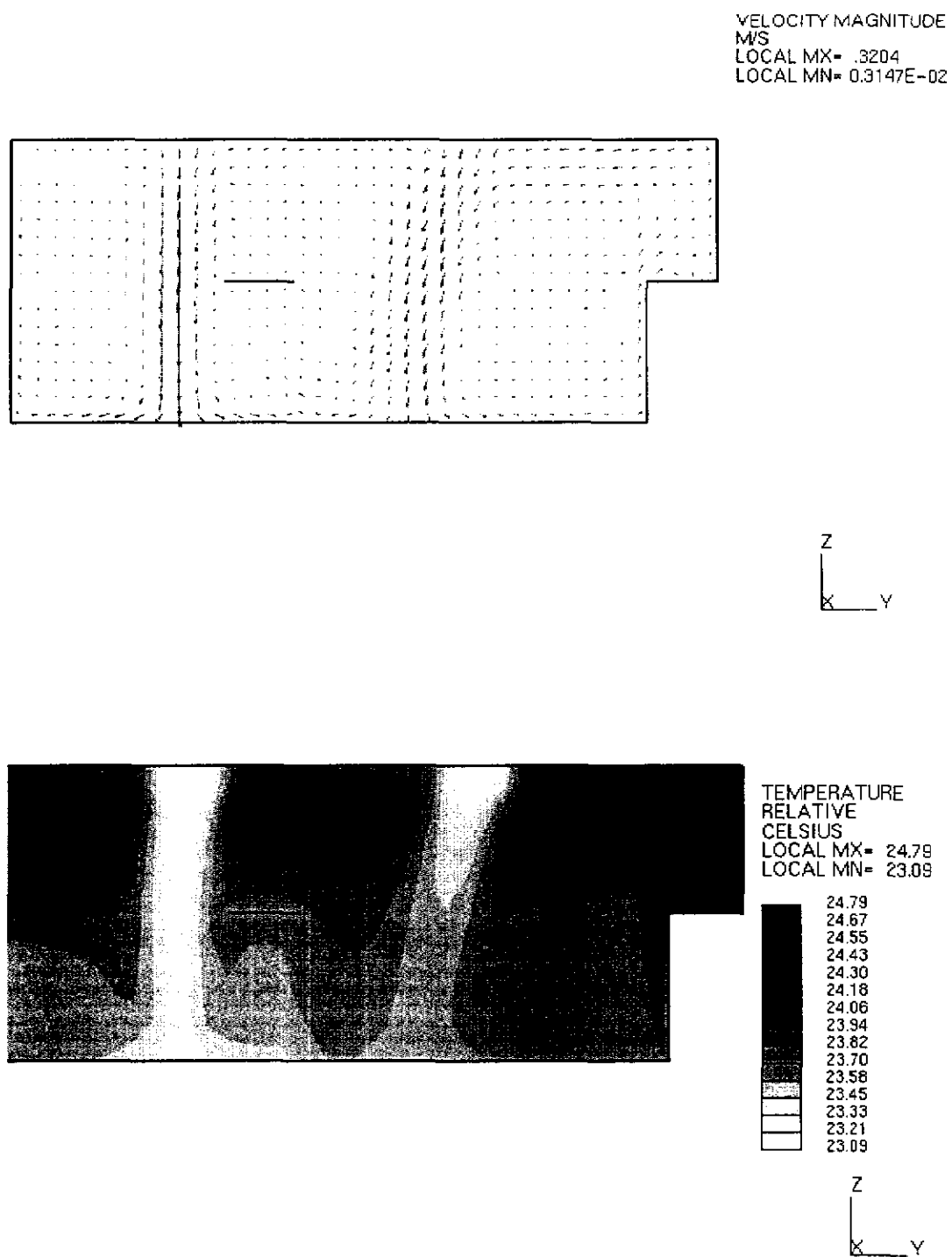


圖4-3(h) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

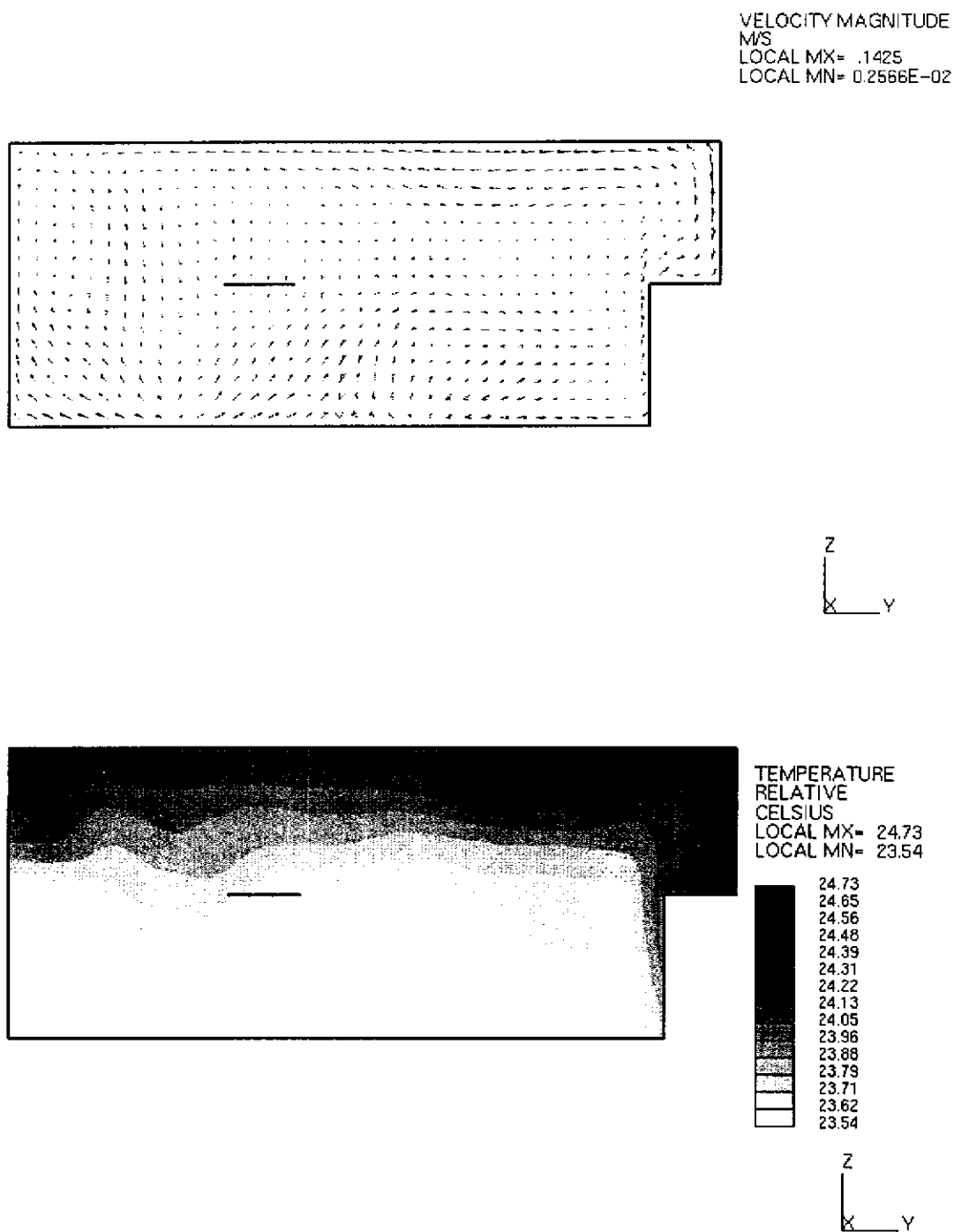


圖4-3(i) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 x=4m 截面速度向量及溫度場圖

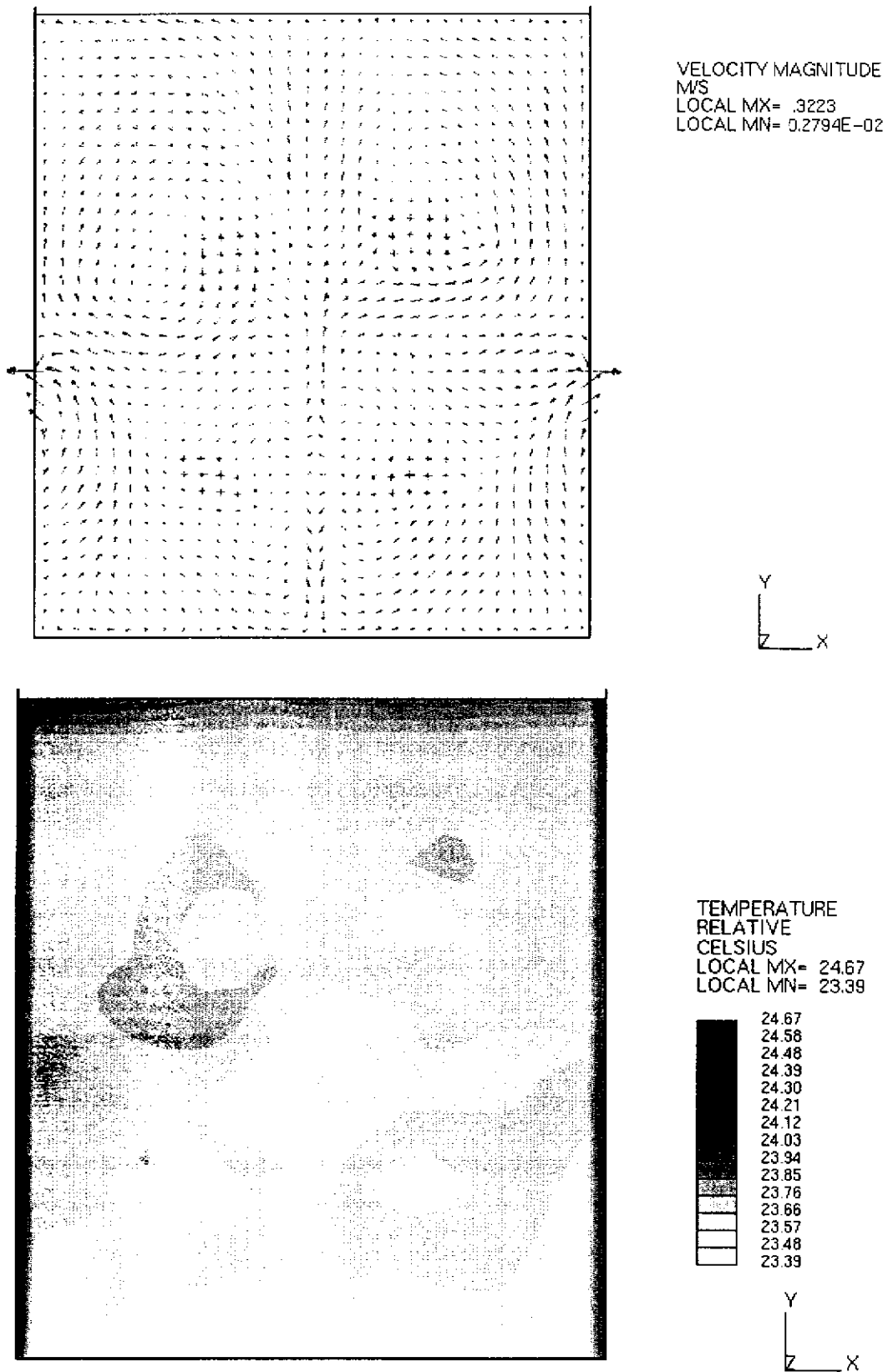


圖4-3(j) 速度為 0.15m/s 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

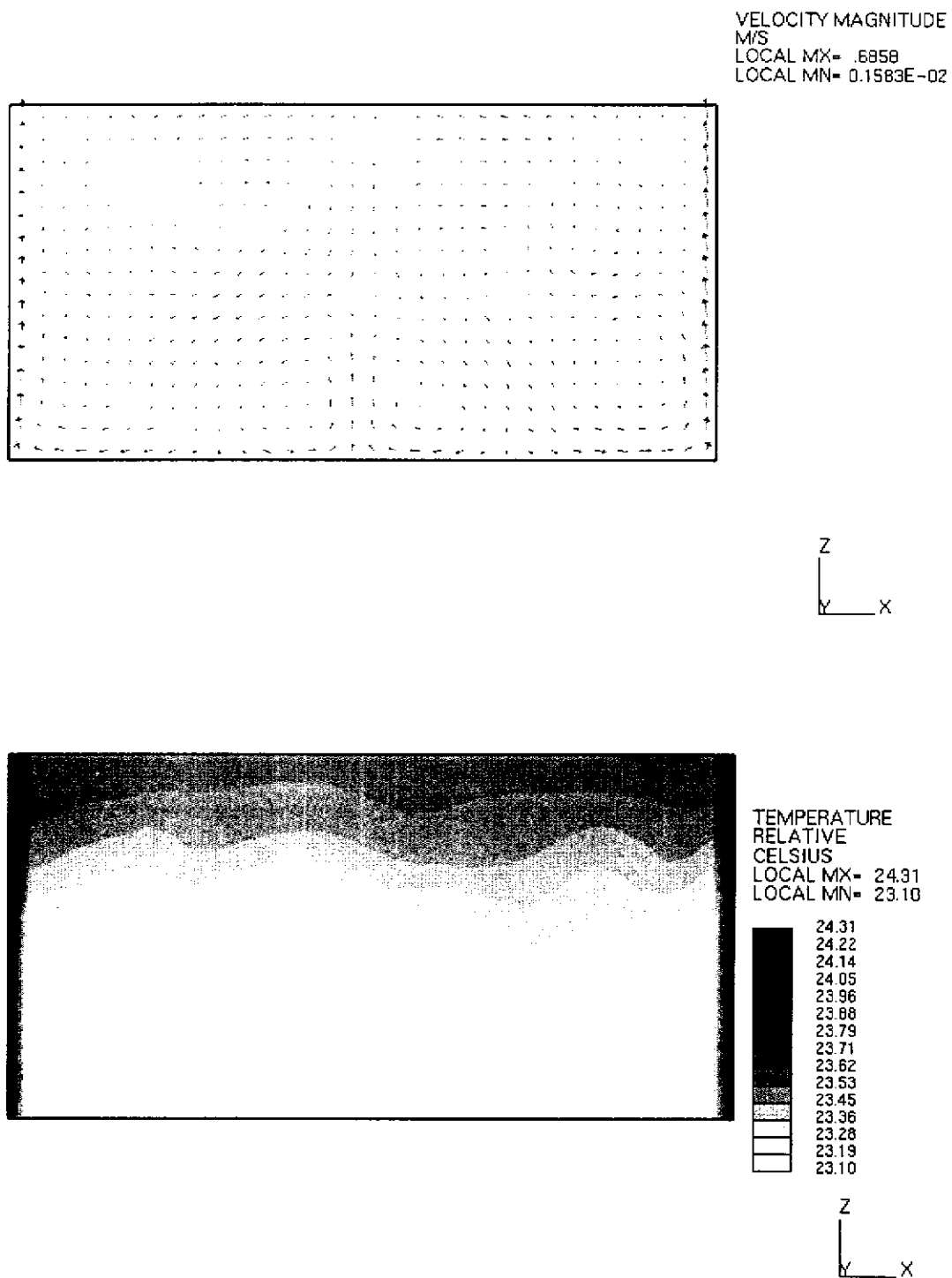


圖4-4(a) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

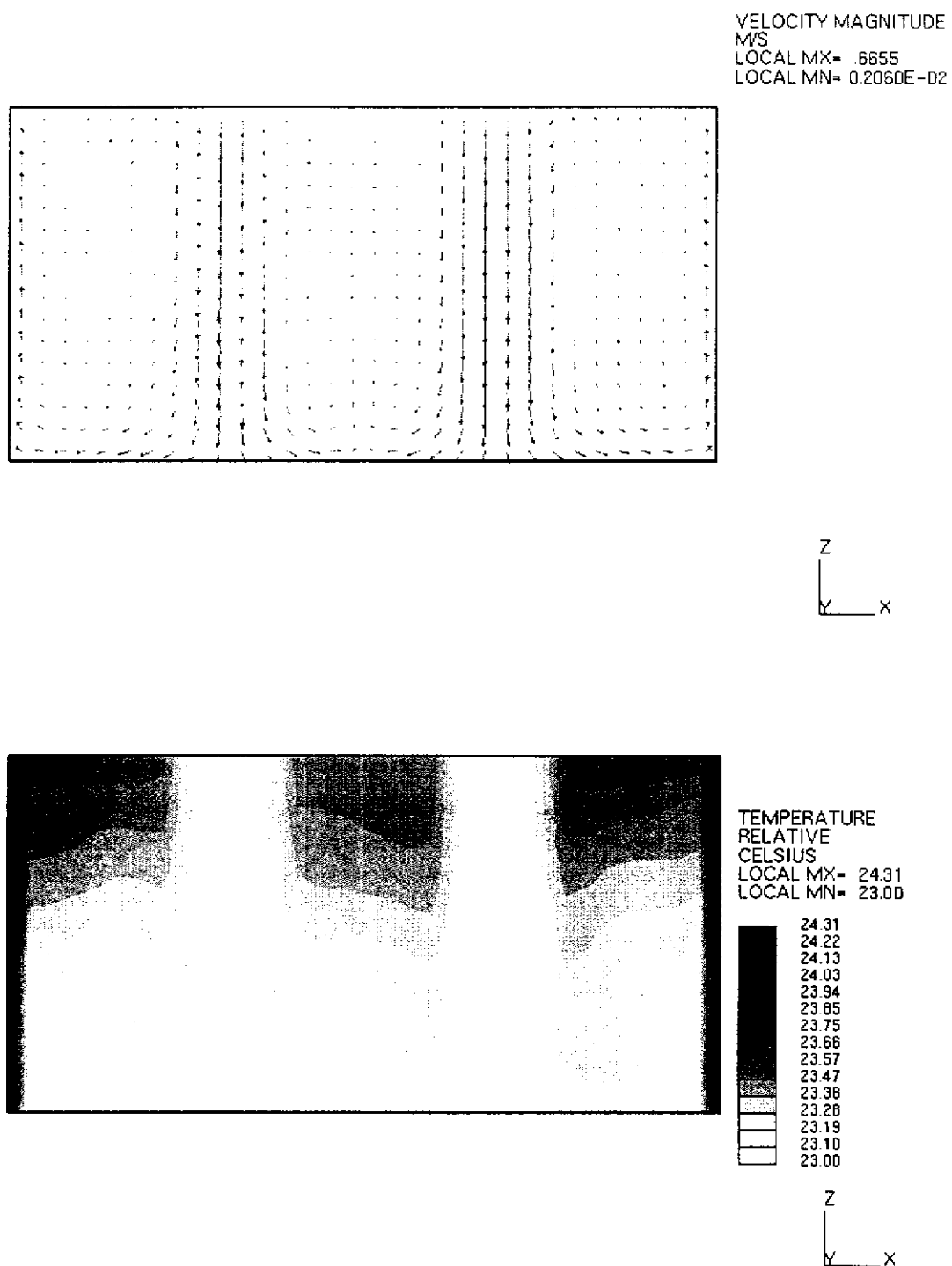


圖4-4(b) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

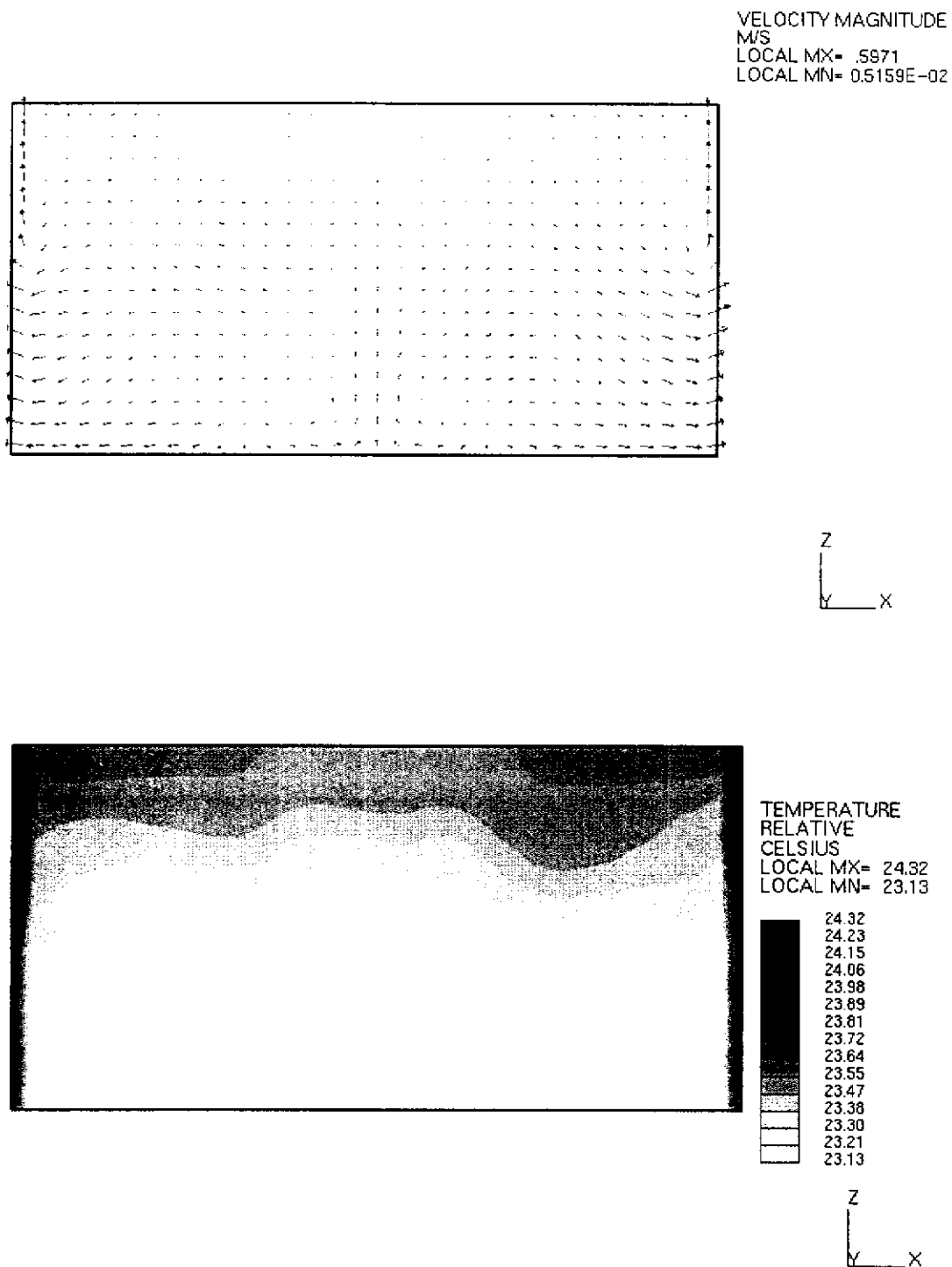


圖4-4(c) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

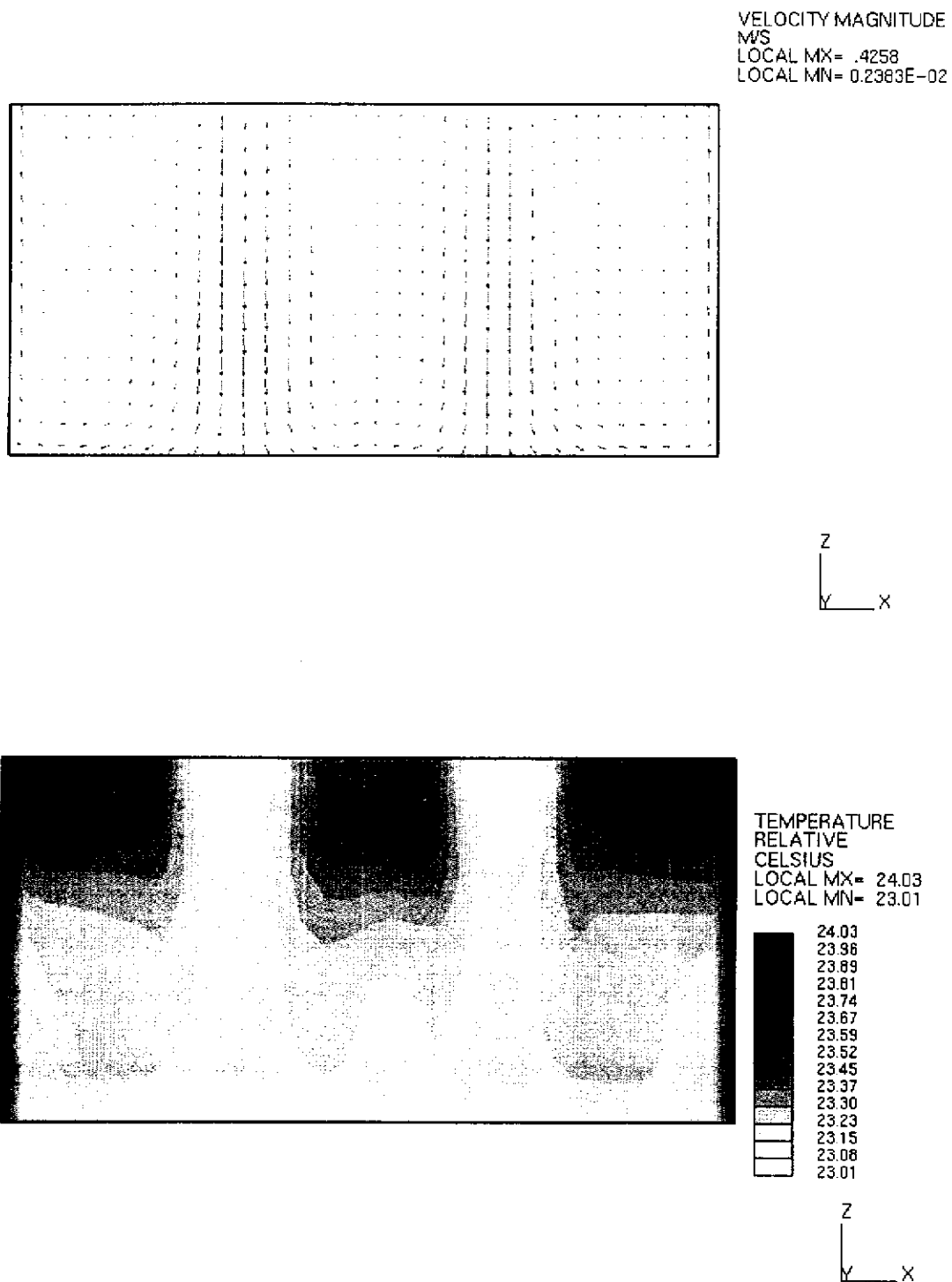


圖4-4(d) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

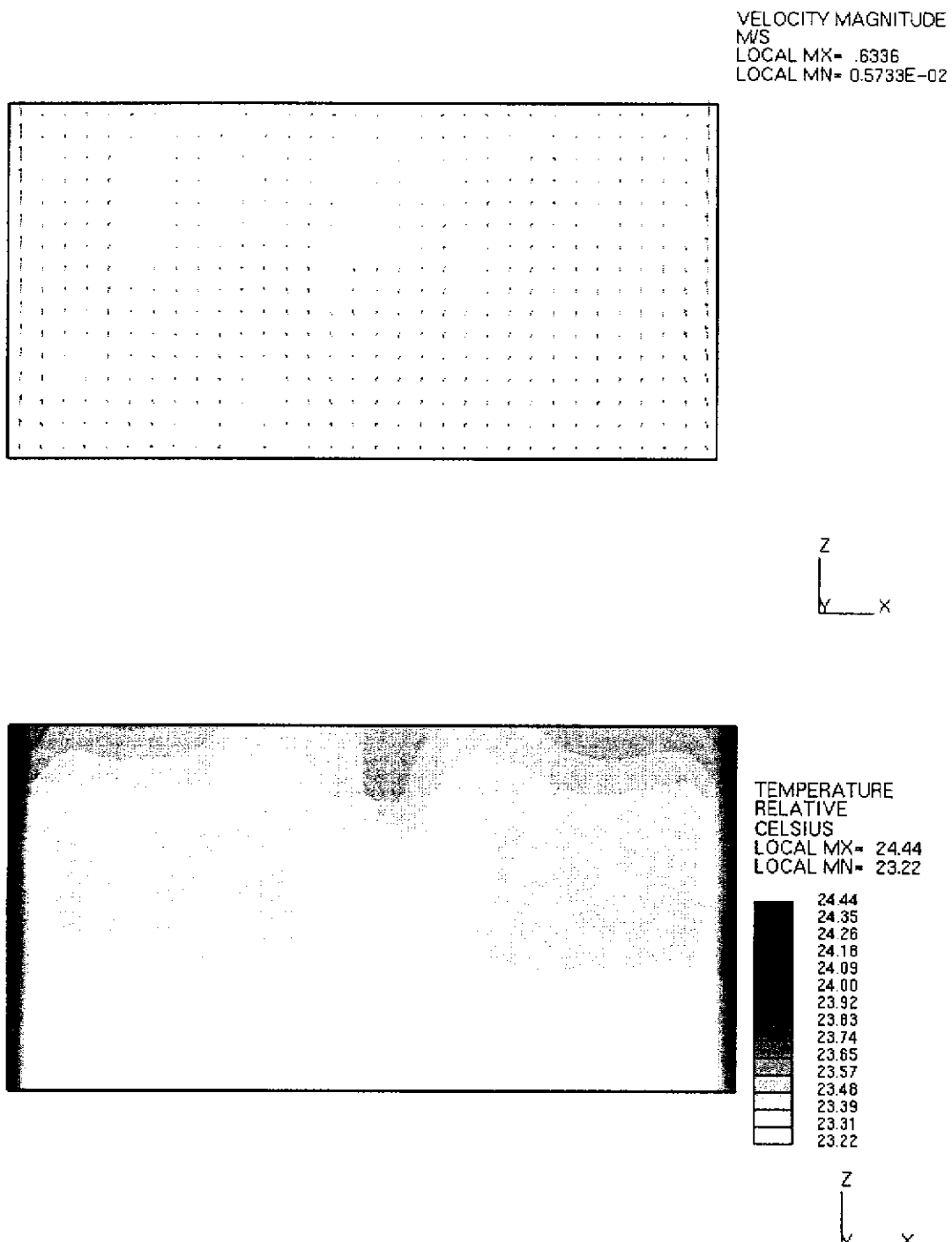
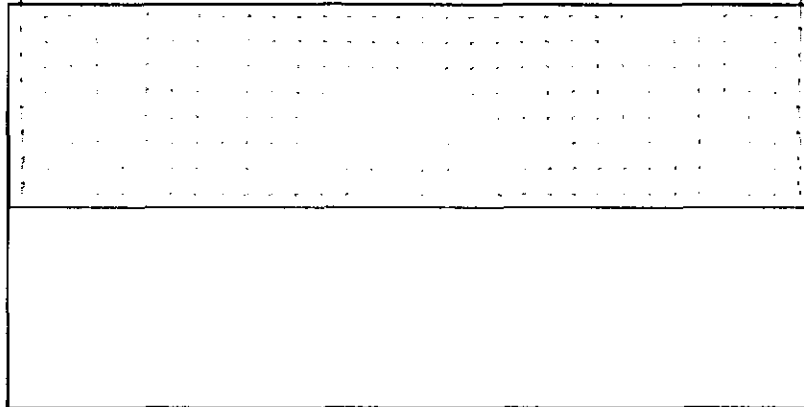


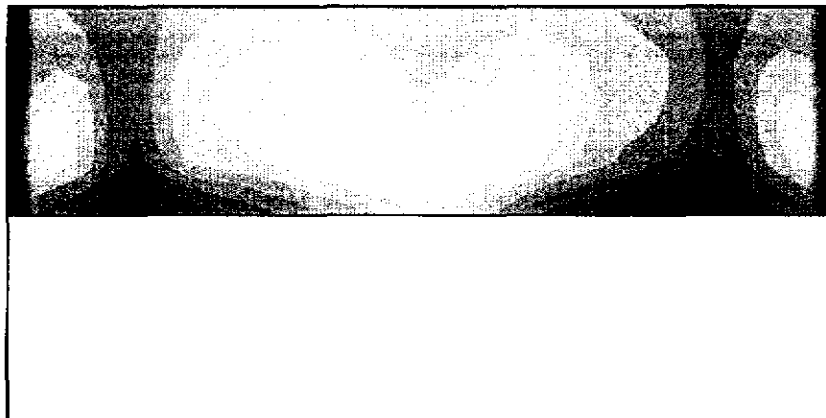
圖4-4(e) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= 6912
LOCAL MN= 0.4479E-02



Z
Y X

TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.56
LOCAL MN= 23.31

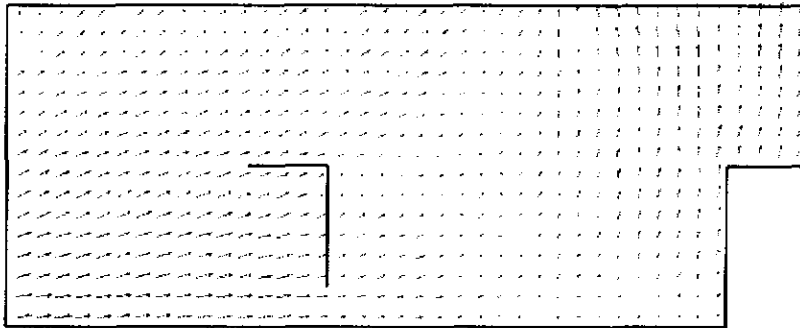


24.56
24.47
24.38
24.29
24.20
24.11
24.02
23.93
23.84
23.75
23.67
23.58
23.49
23.40
23.31

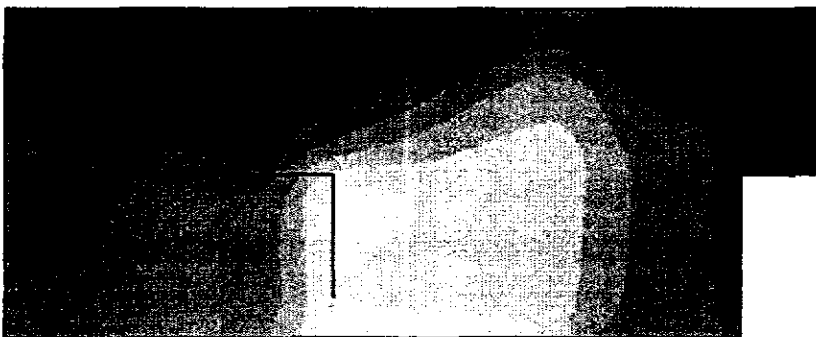
Z
Y X

圖4-4(f) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 y=9.5m 截面速度向量及溫度場圖

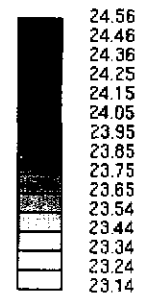
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .7159
LOCAL MN= 0.2060E-02



Z
Y



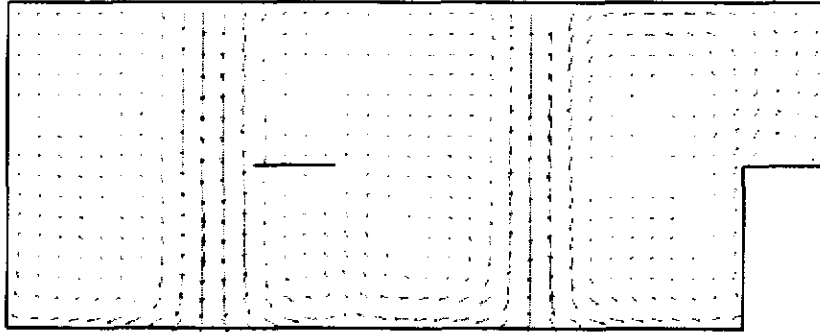
TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.56
LOCAL MN= 23.14



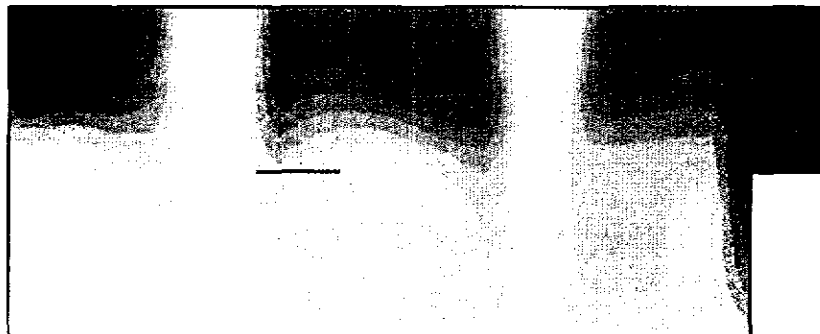
Z
Y

圖4-4(g) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

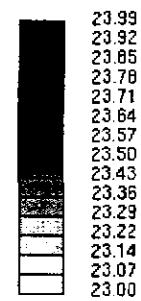
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .2925
LOCAL MN= 0.1587E-02



Z
Y



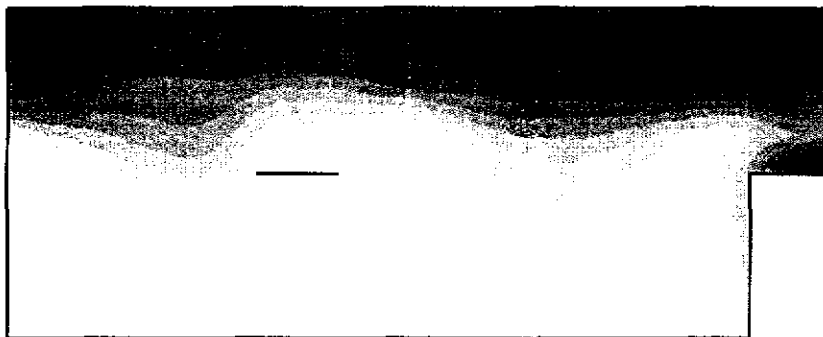
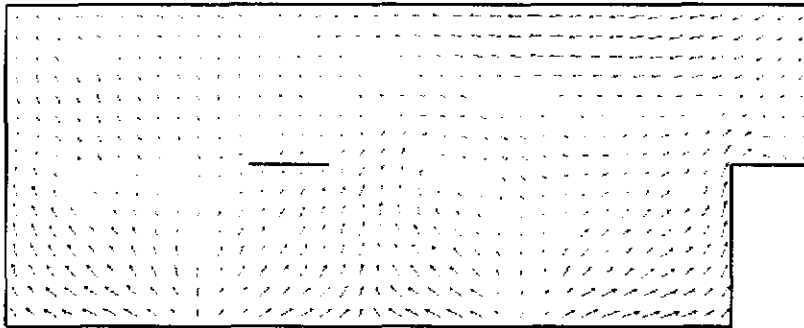
TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 23.99
LOCAL MN= 23.00



Z
Y

圖4-4(h) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 x=2.5m 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1363
LOCAL MN= 0.2363E-02



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 23.93
LOCAL MN= 23.12

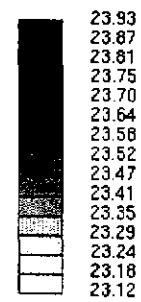


圖4-4(i) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 x=4m 截面速度向量及溫度場圖

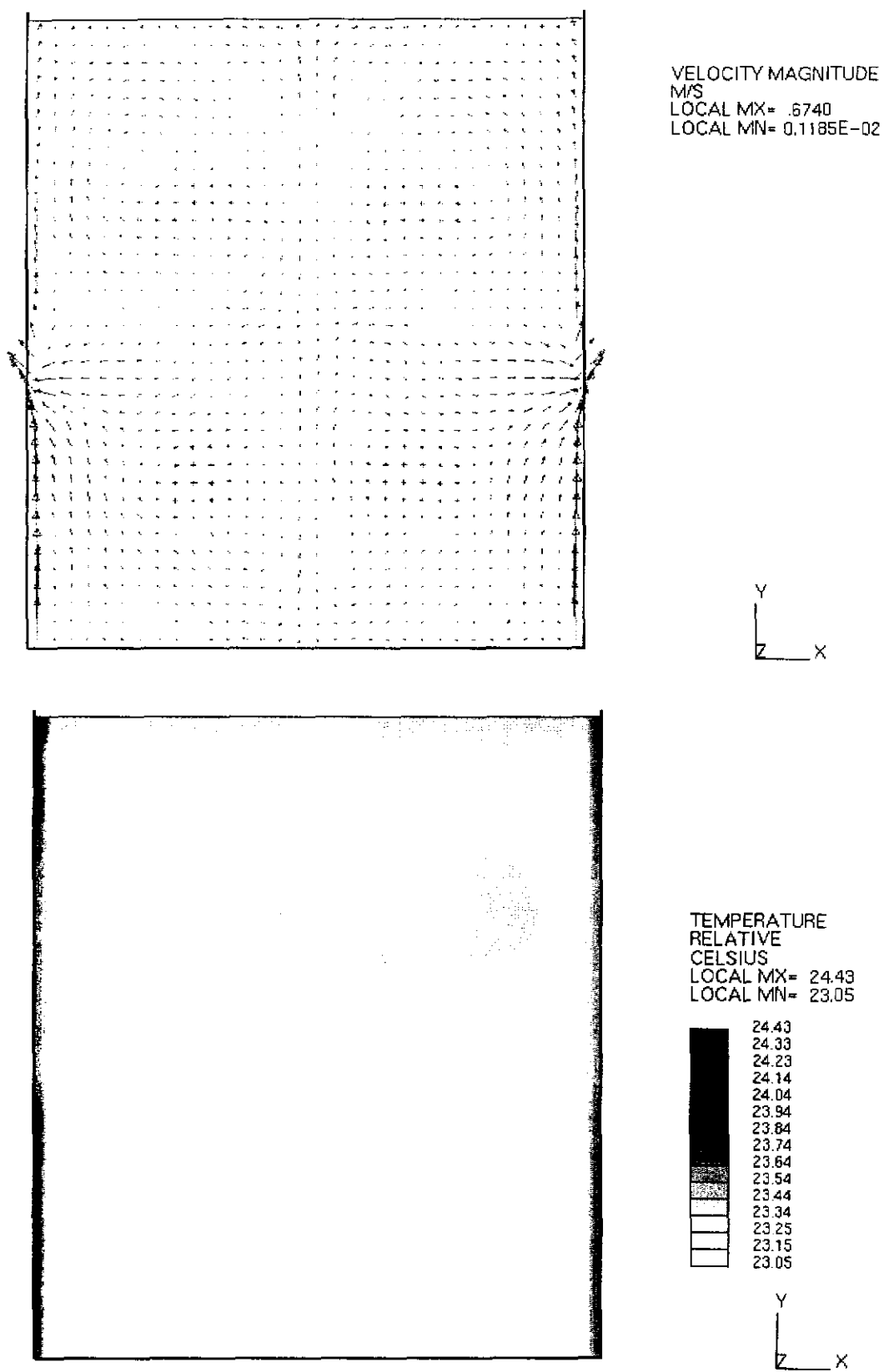


圖4-4(j) 速度為 0.2m/s 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

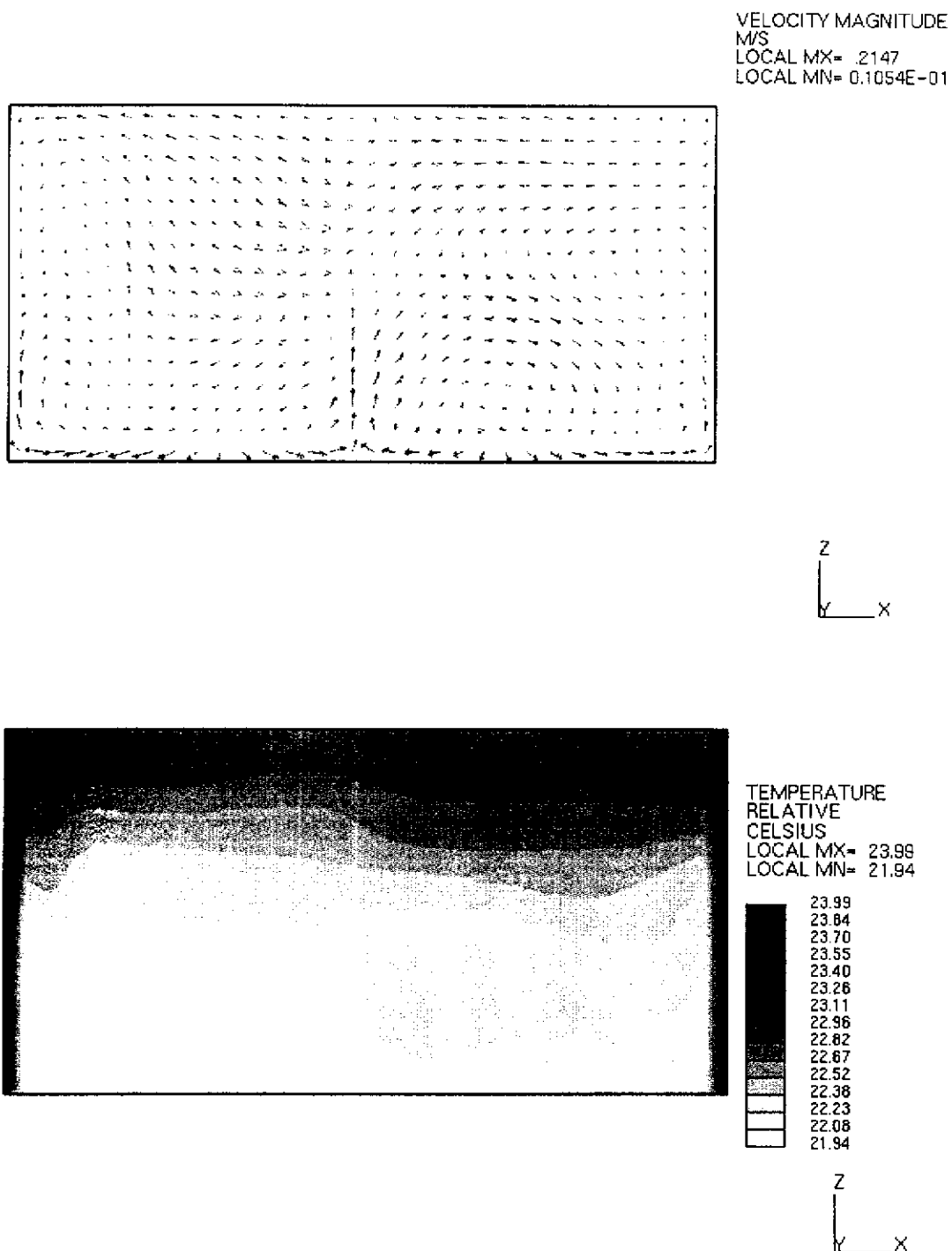


圖4-5(a) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

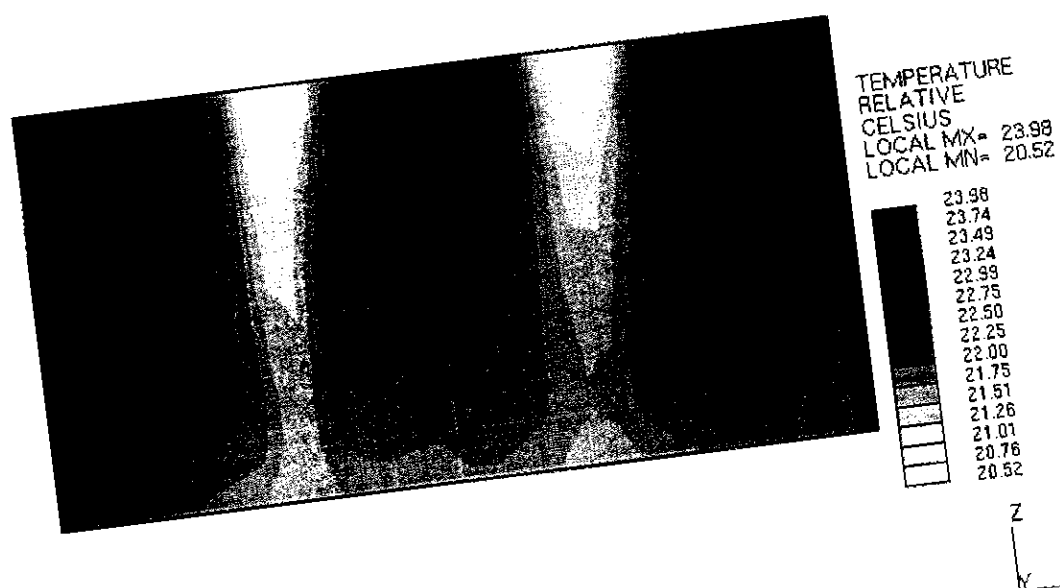
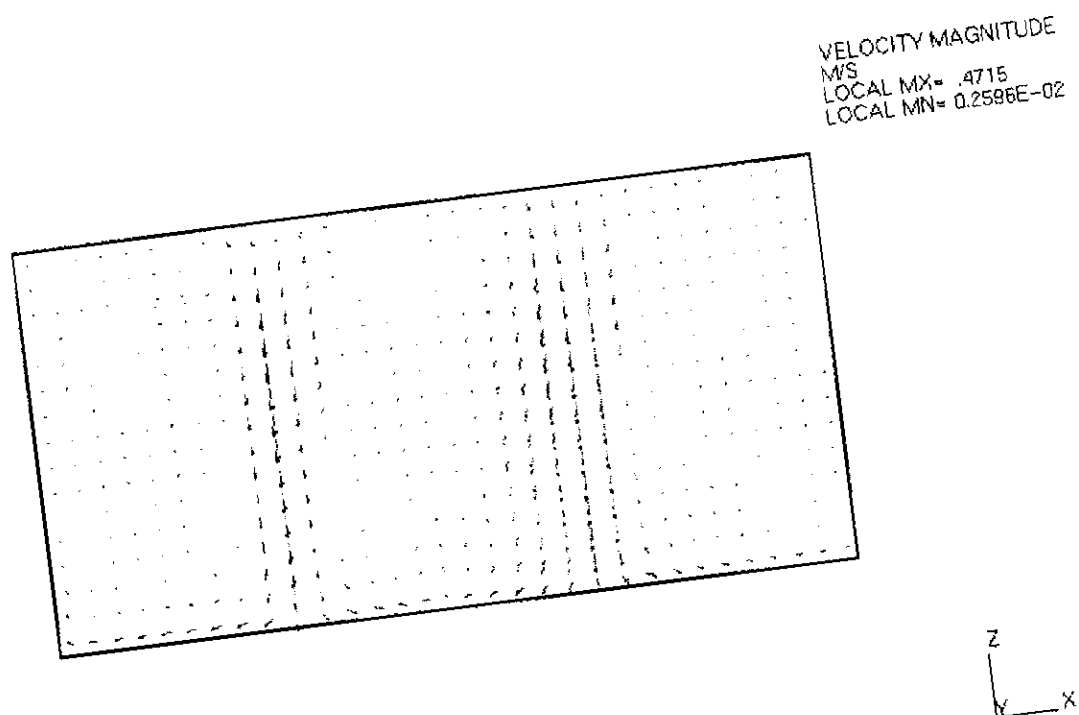


圖4-5(b) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

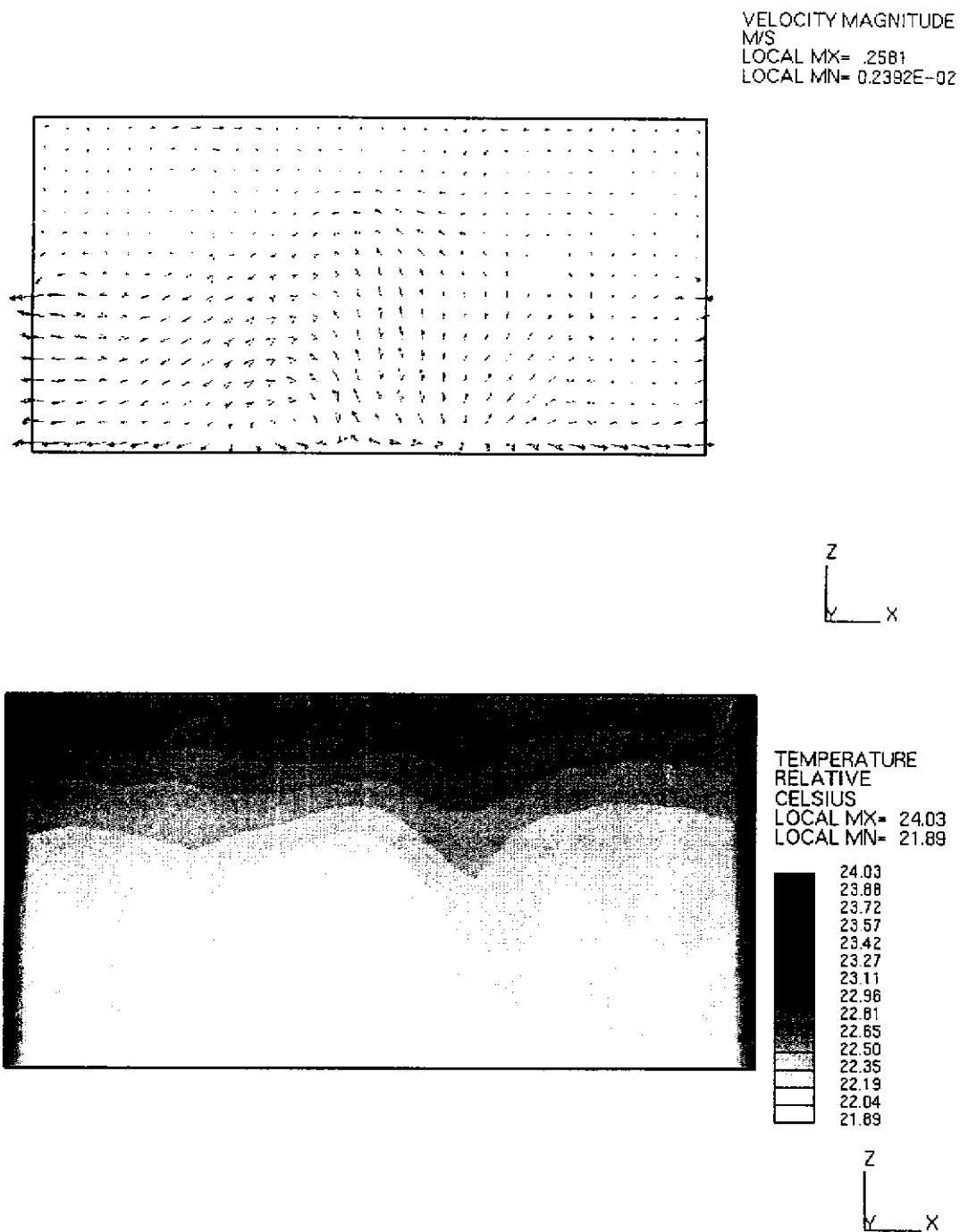


圖4-5(c) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

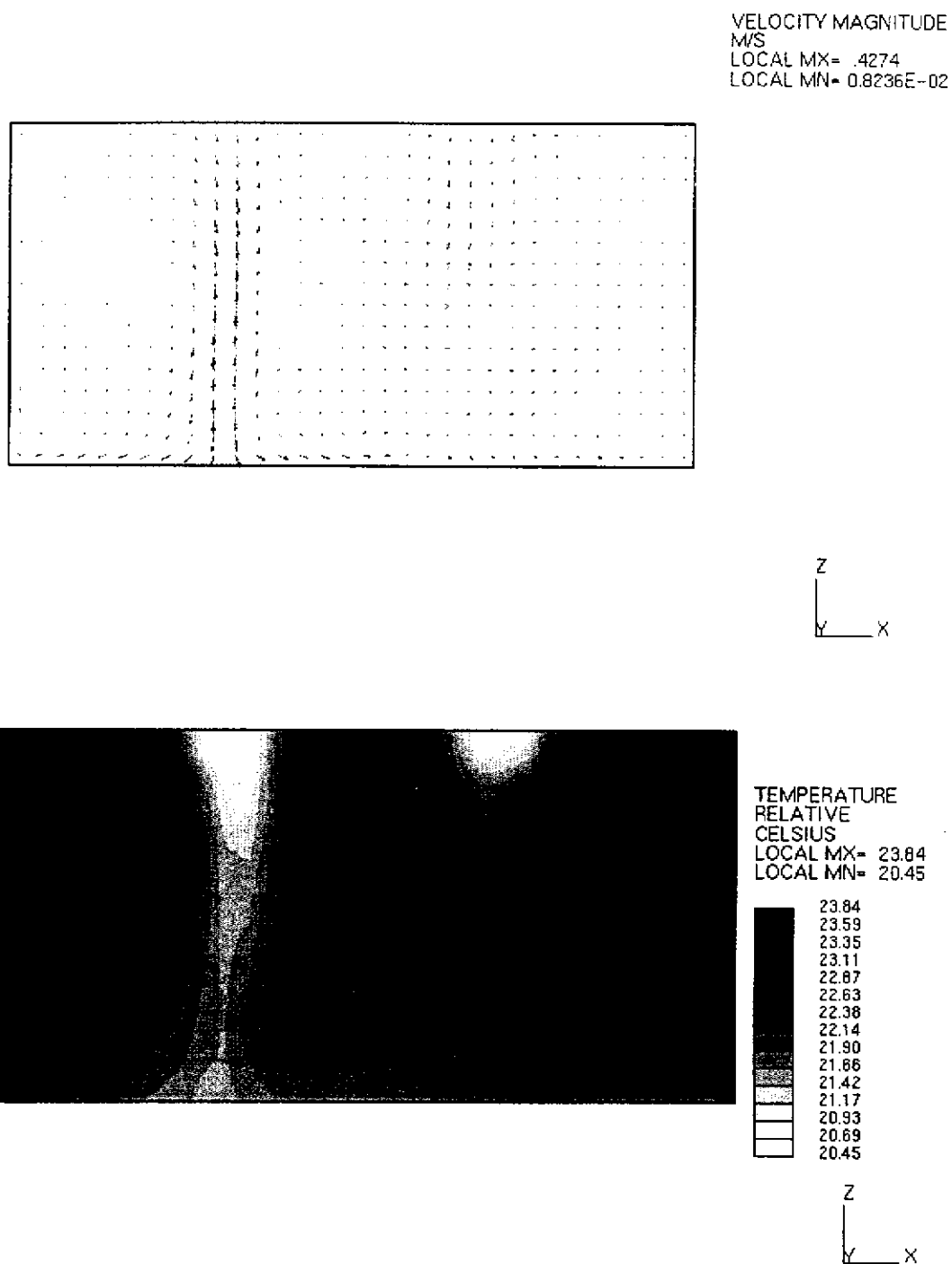


圖4-5(d) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

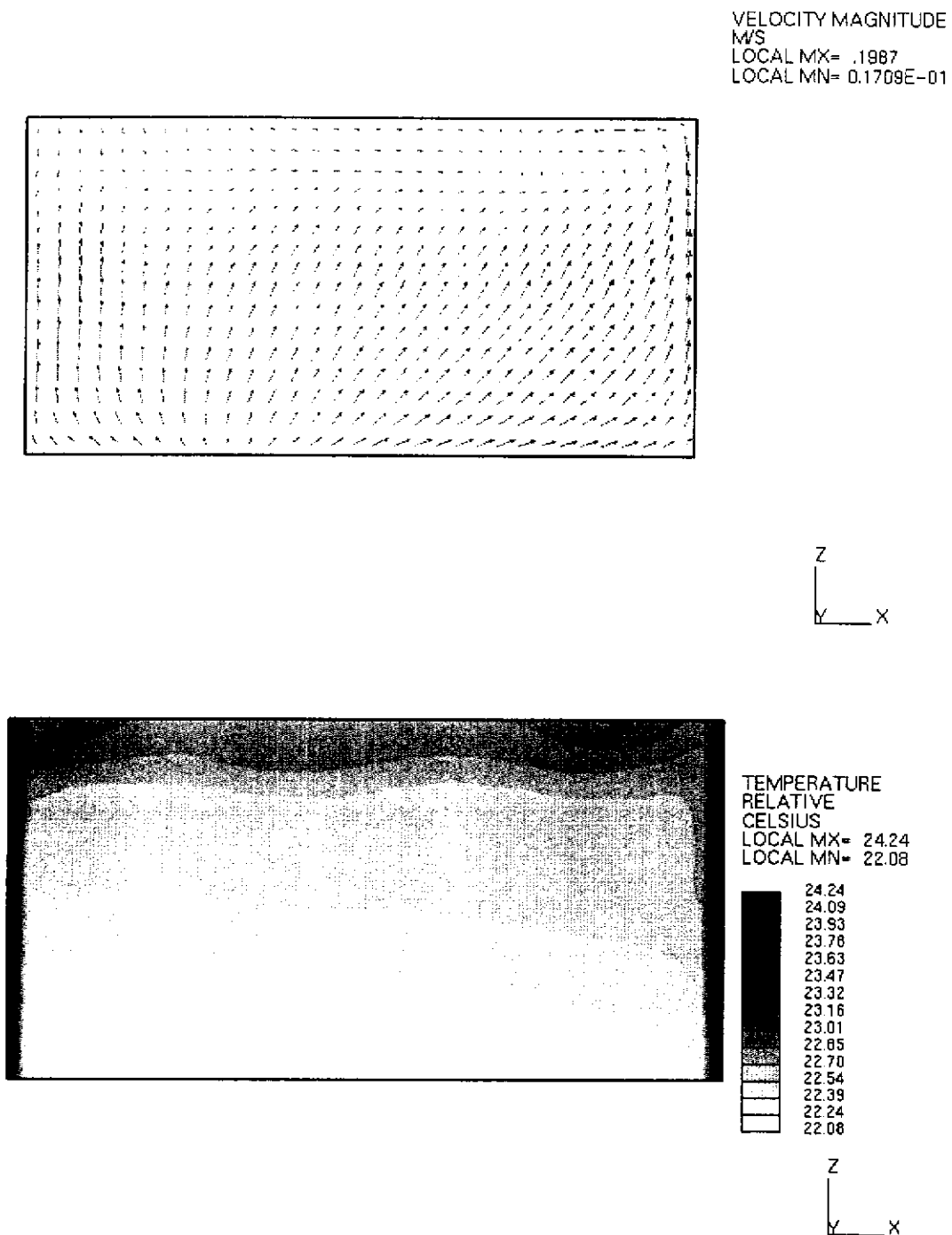


圖4-5(e) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

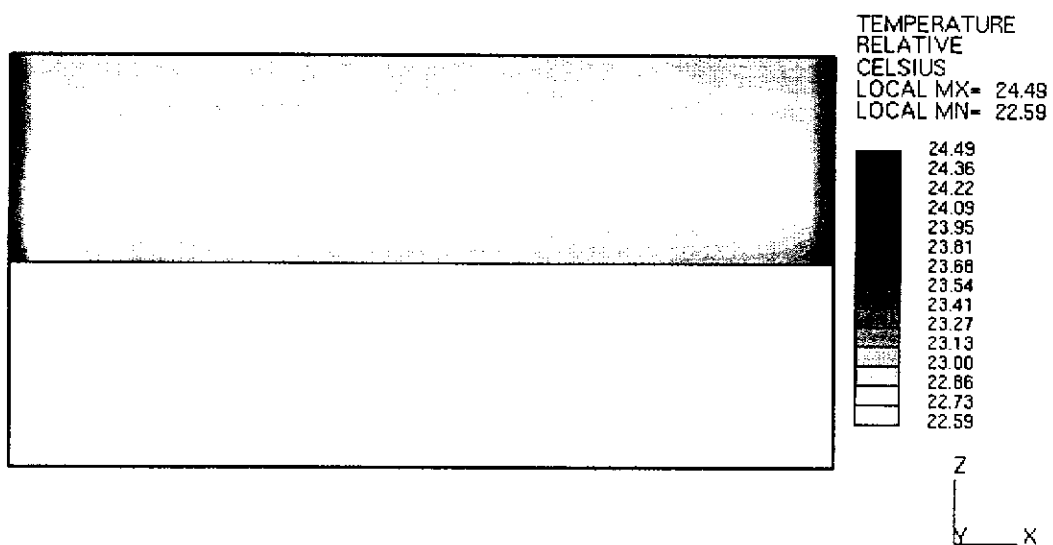
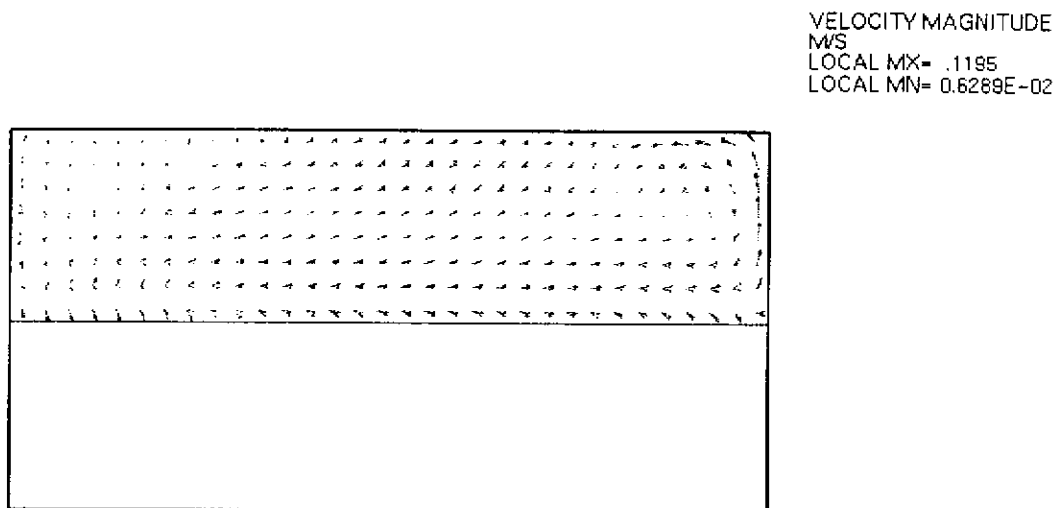


圖4-5(f) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 y=9.5m 截面速度向量及溫度場圖

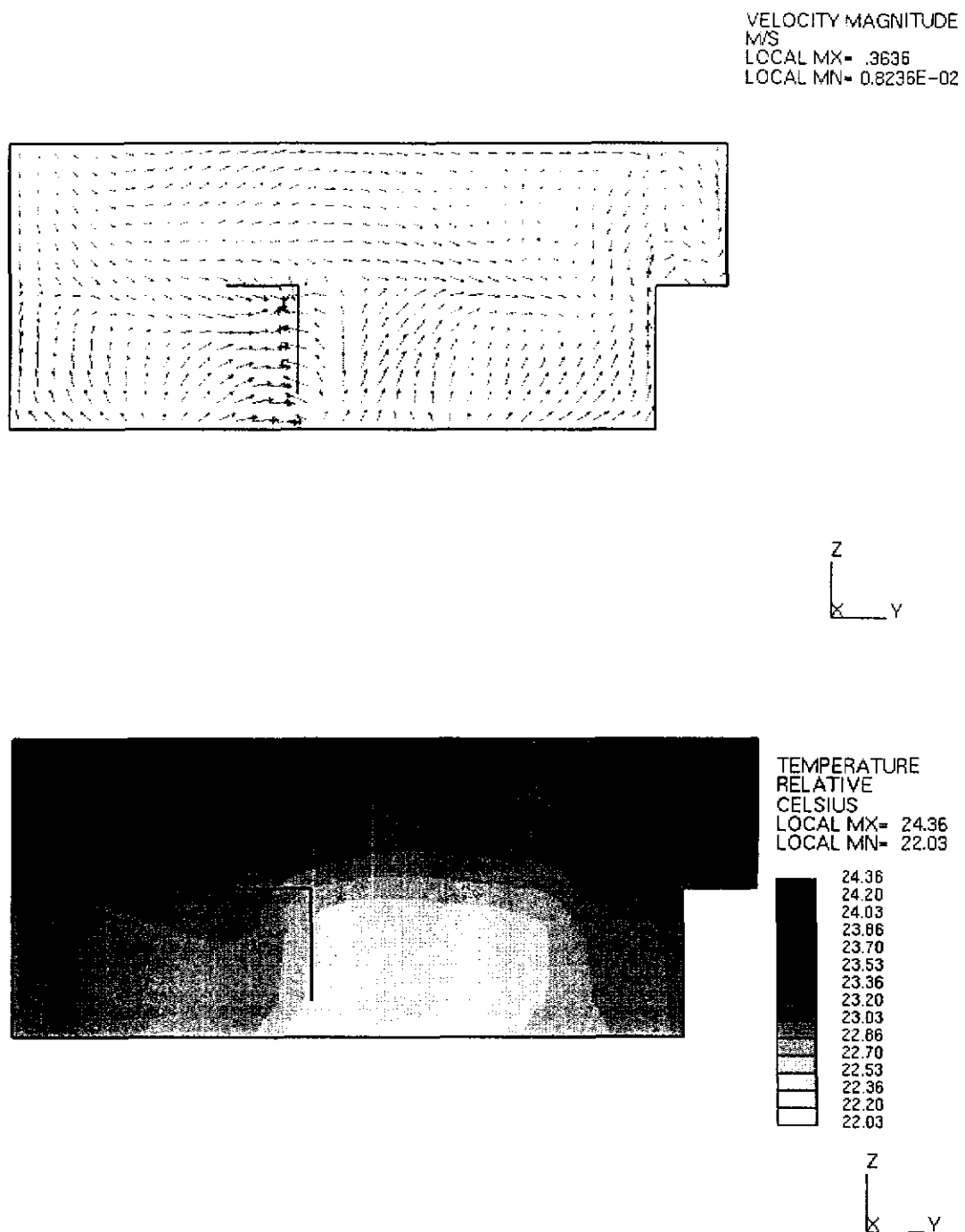


圖4-5(g) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

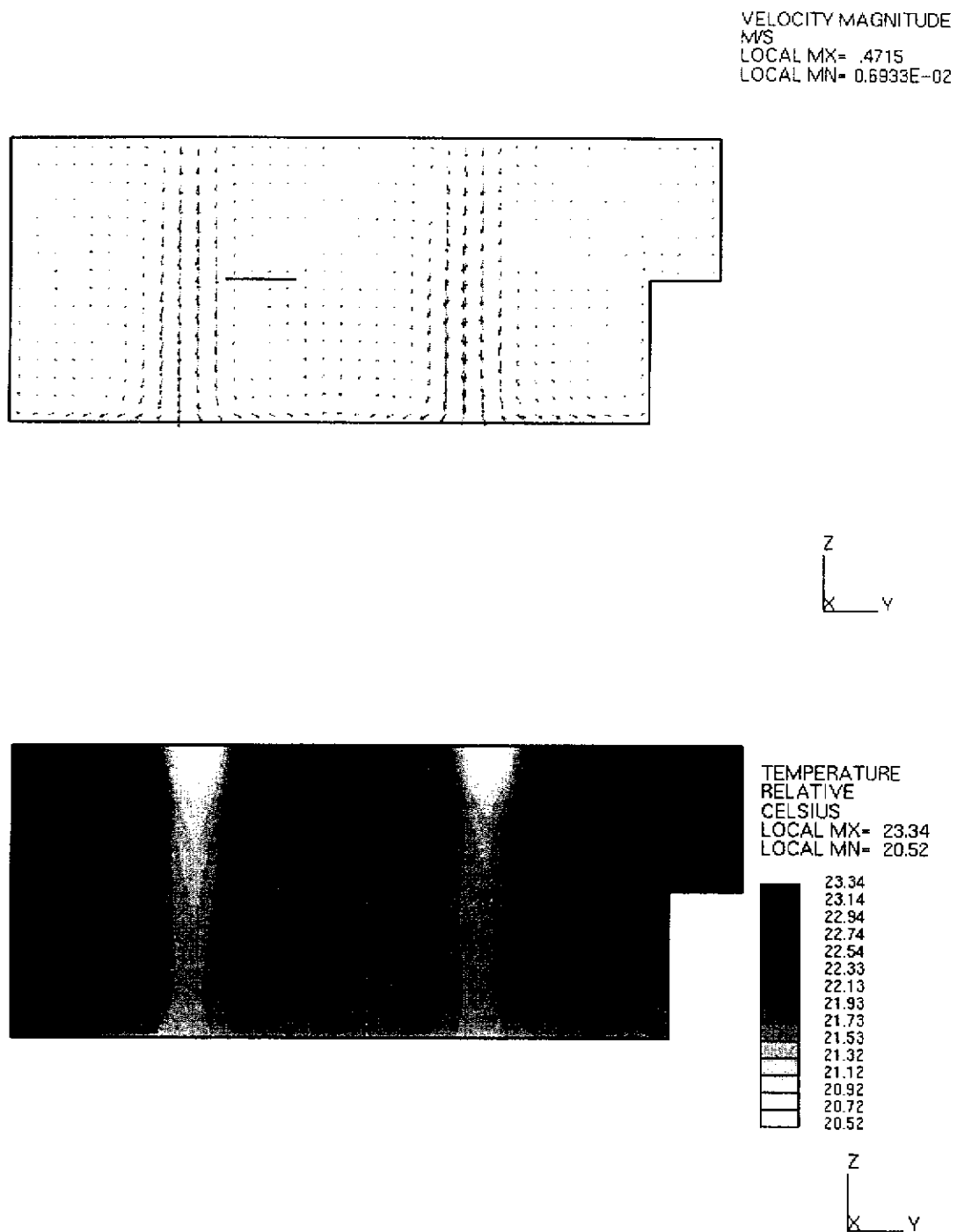


圖4-5(h) 入口溫度為 20℃時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

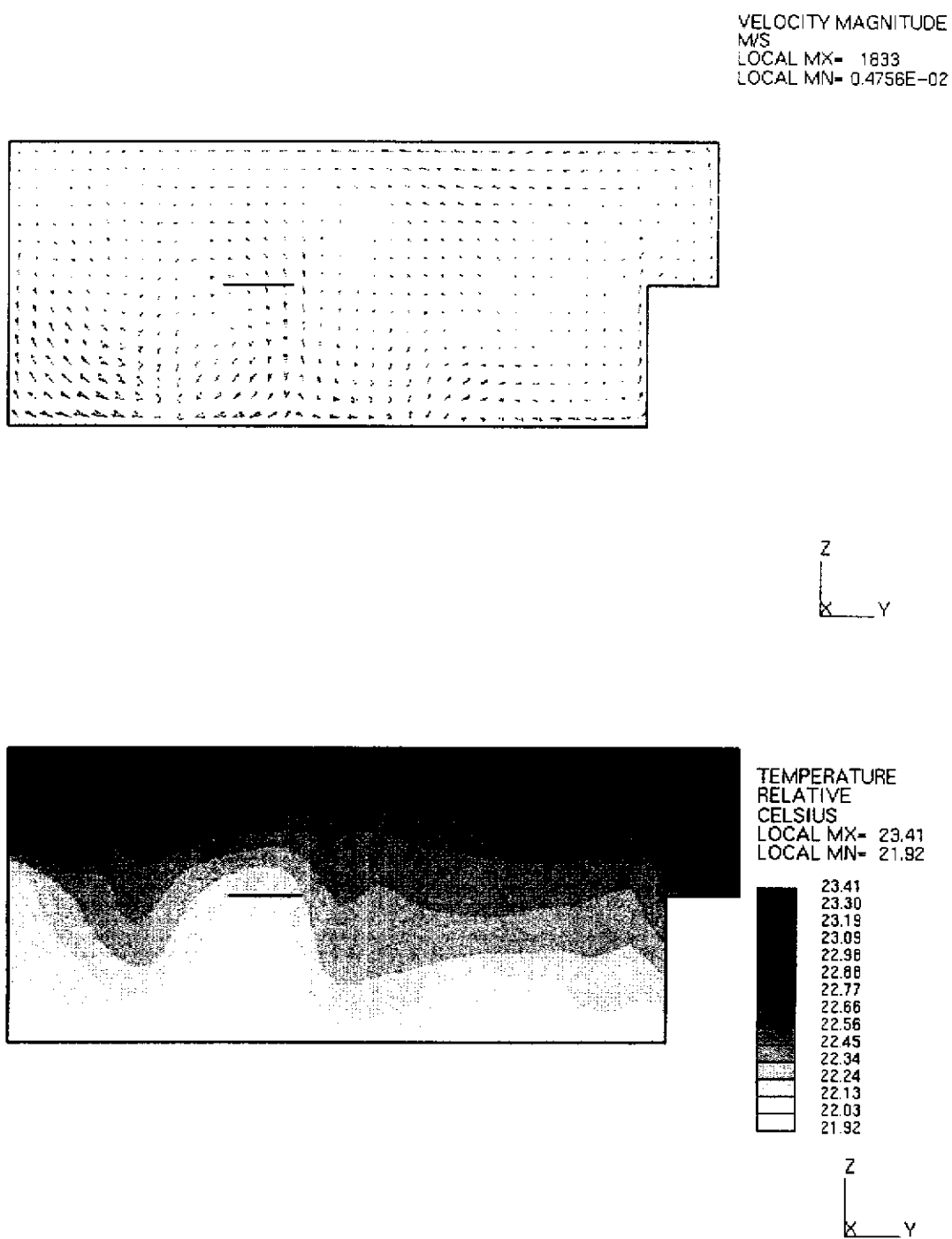


圖4-5(i) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 x=4m 截面速度向量及溫度場圖

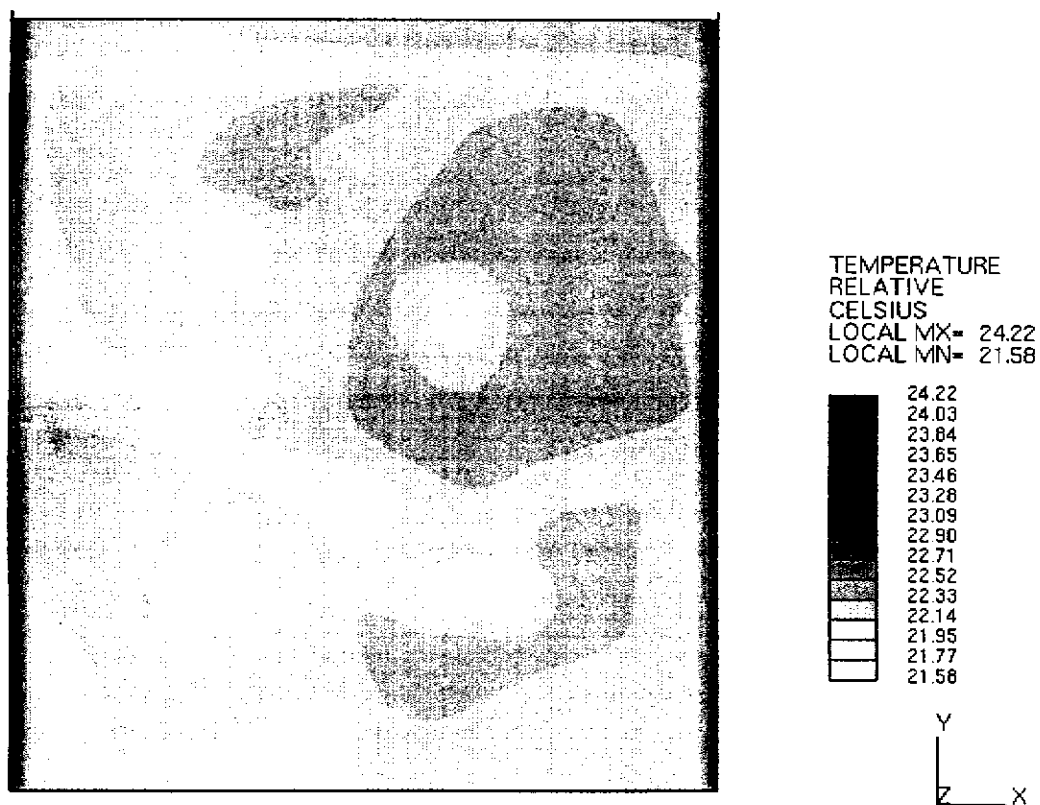
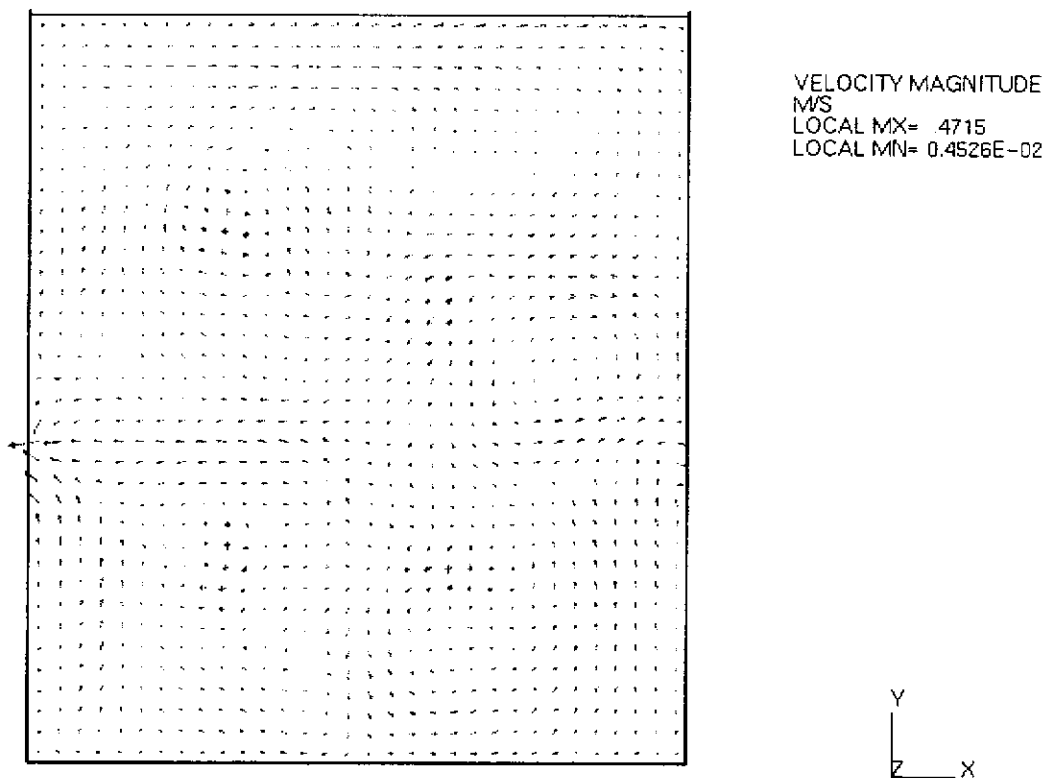


圖4-5(j) 入口溫度為 20°C 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

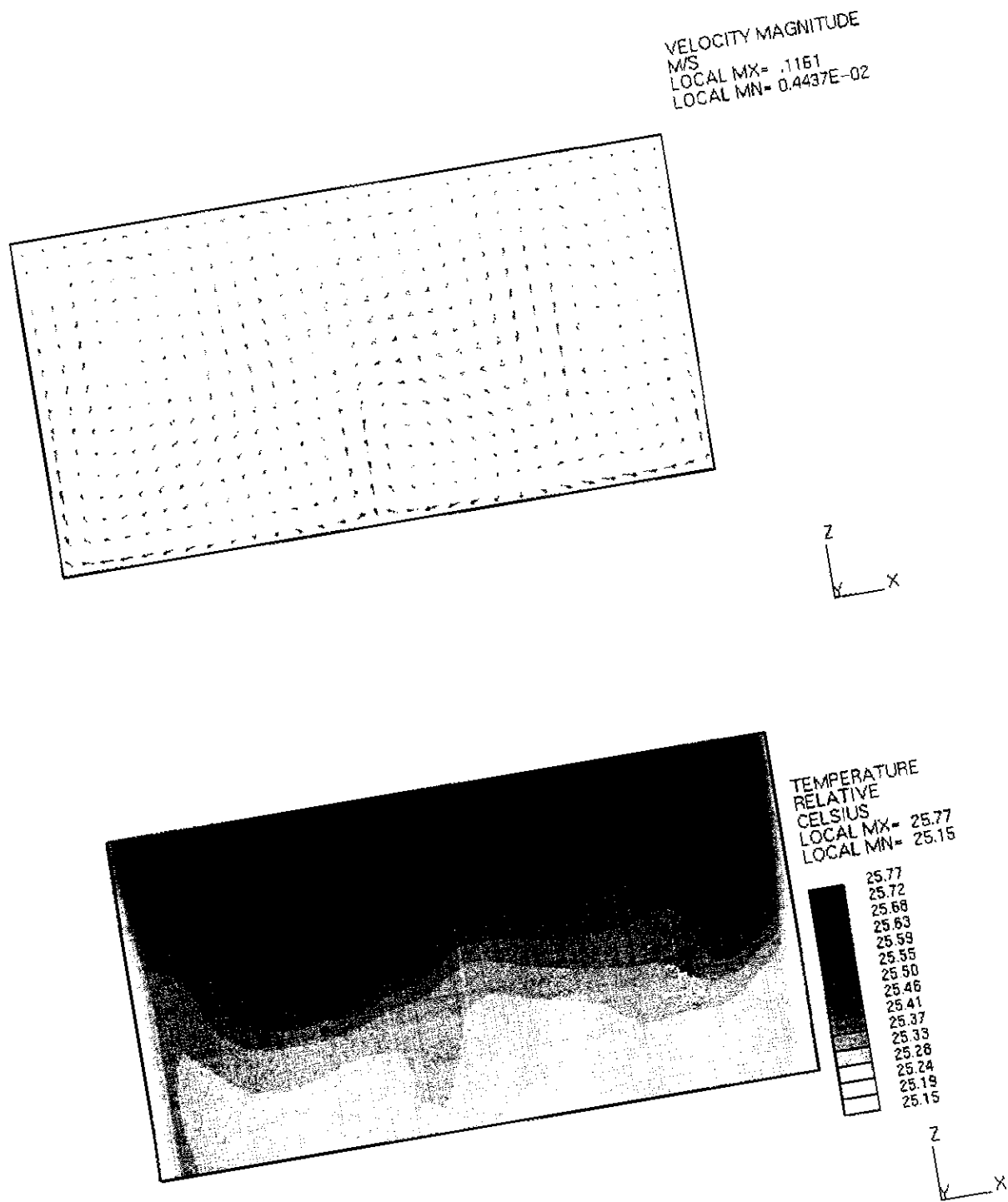


圖4-6(a) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

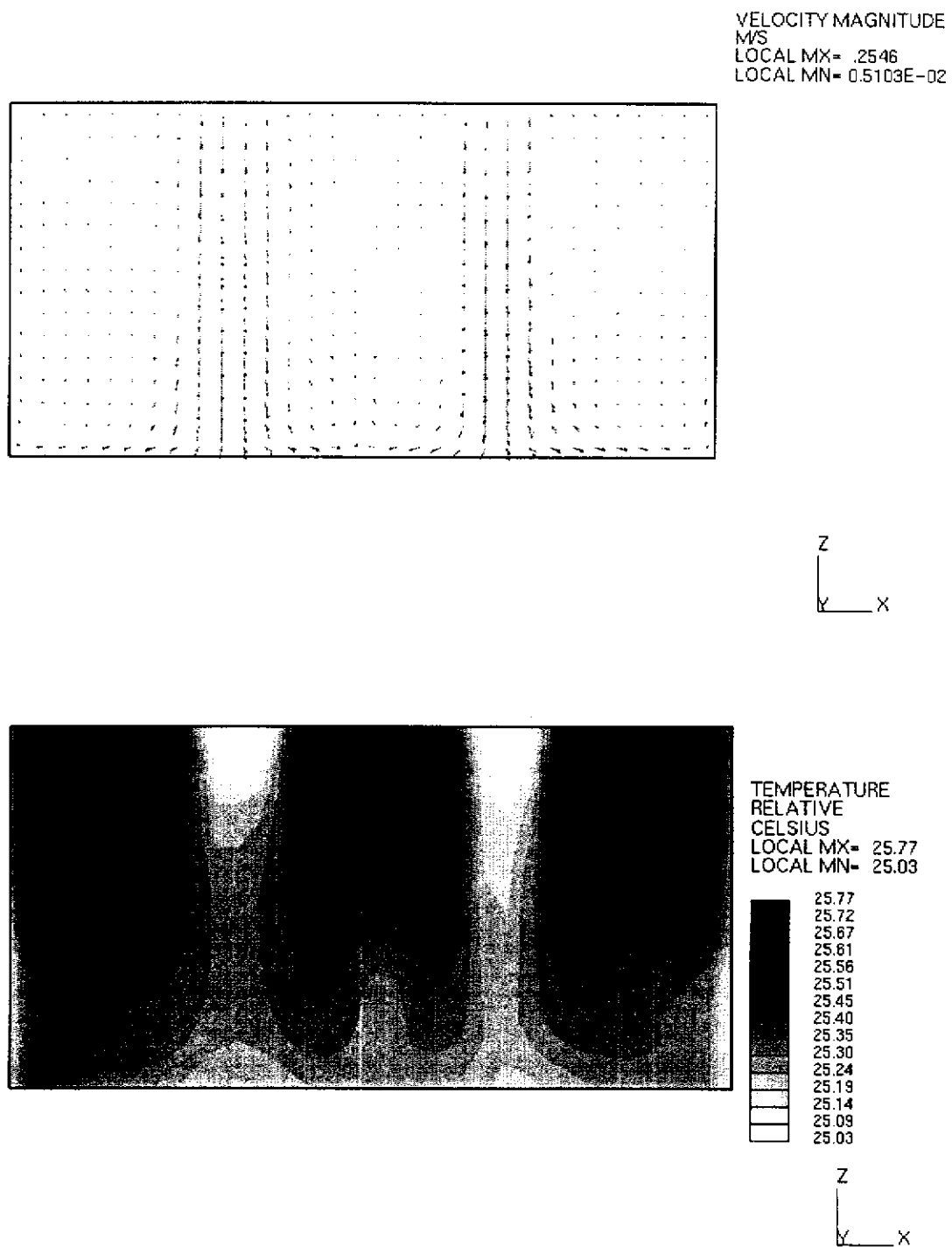


圖4-6(b) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

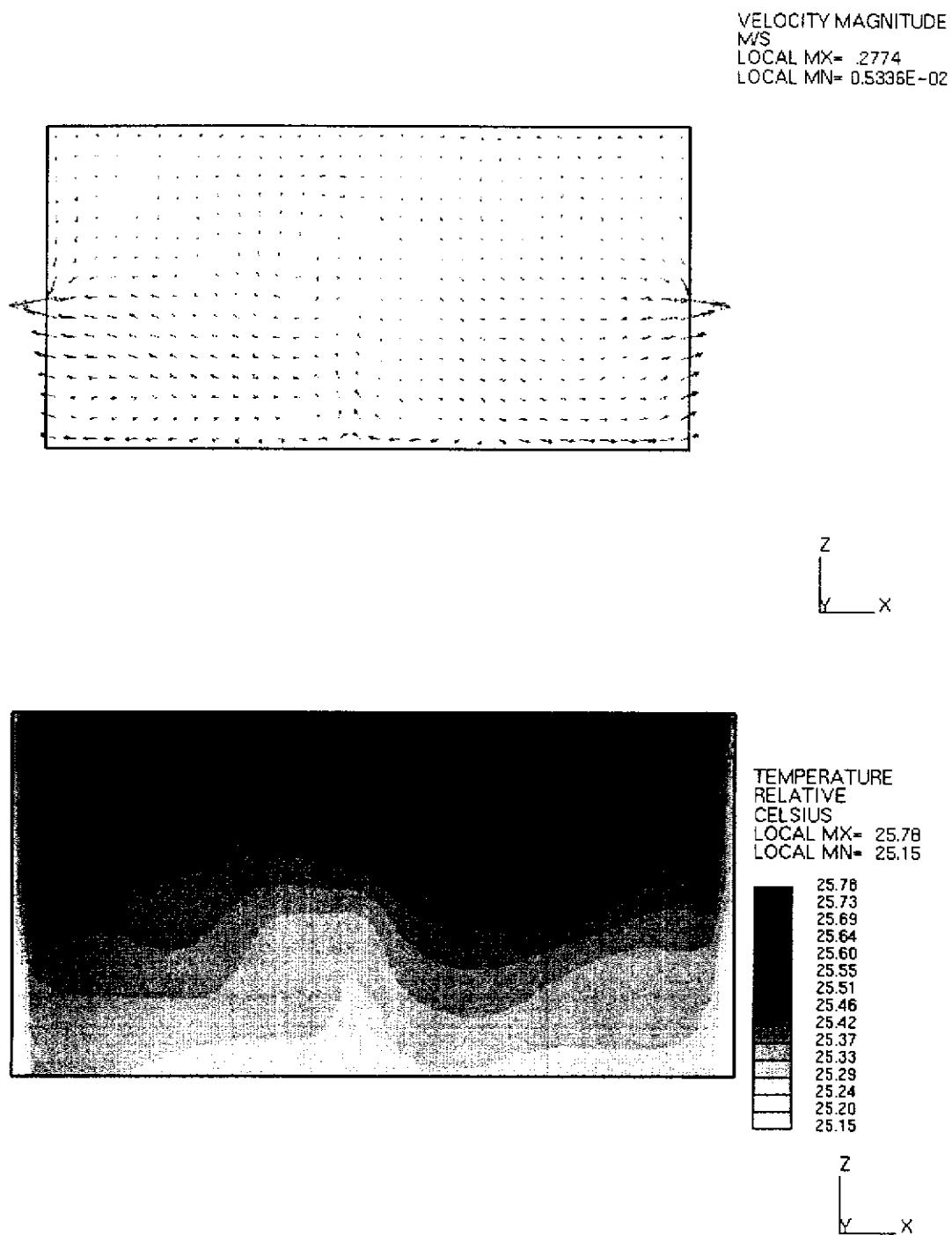


圖4-6(c) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

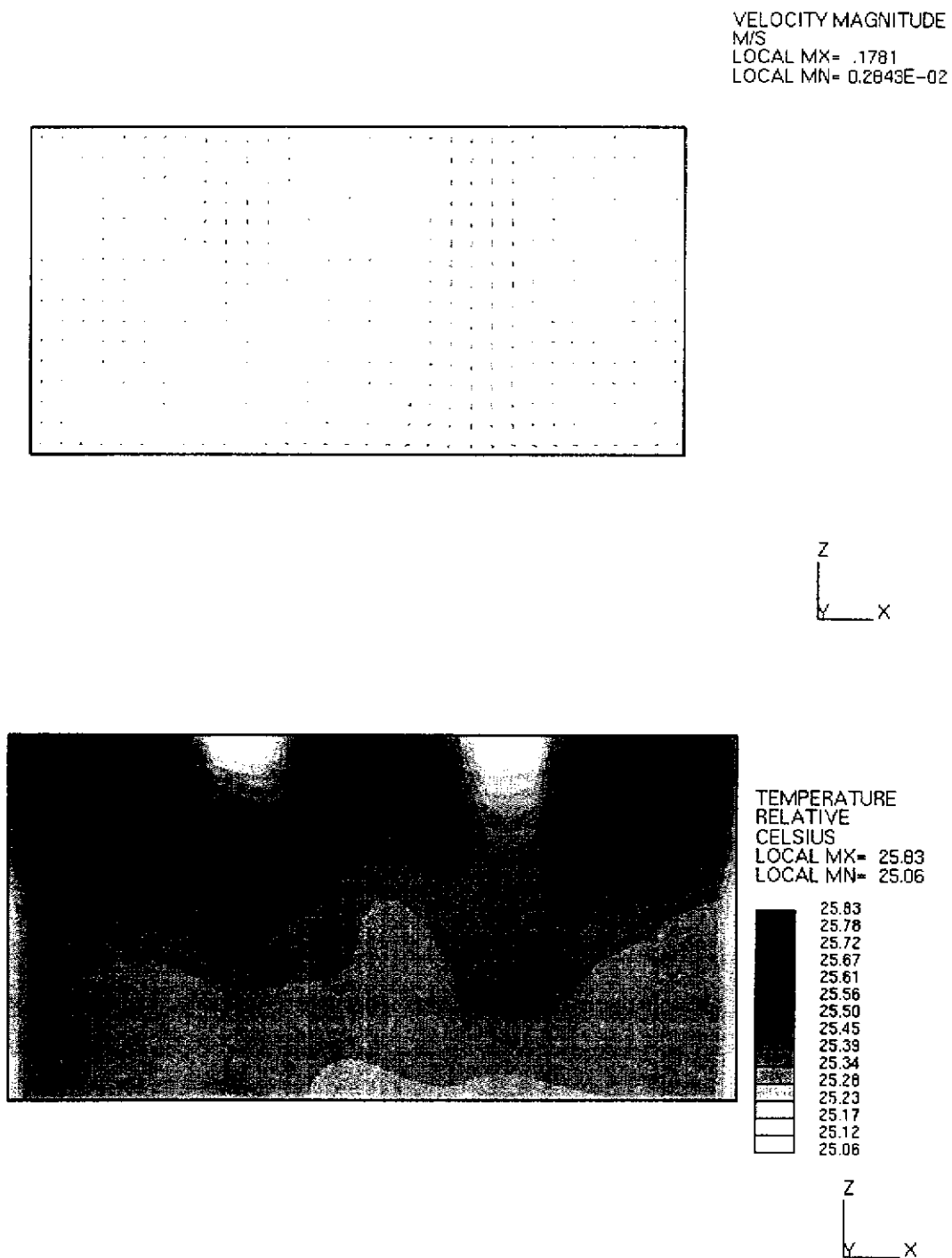


圖4-6(d) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 y=6.5m 截面速度向量及溫度場圖

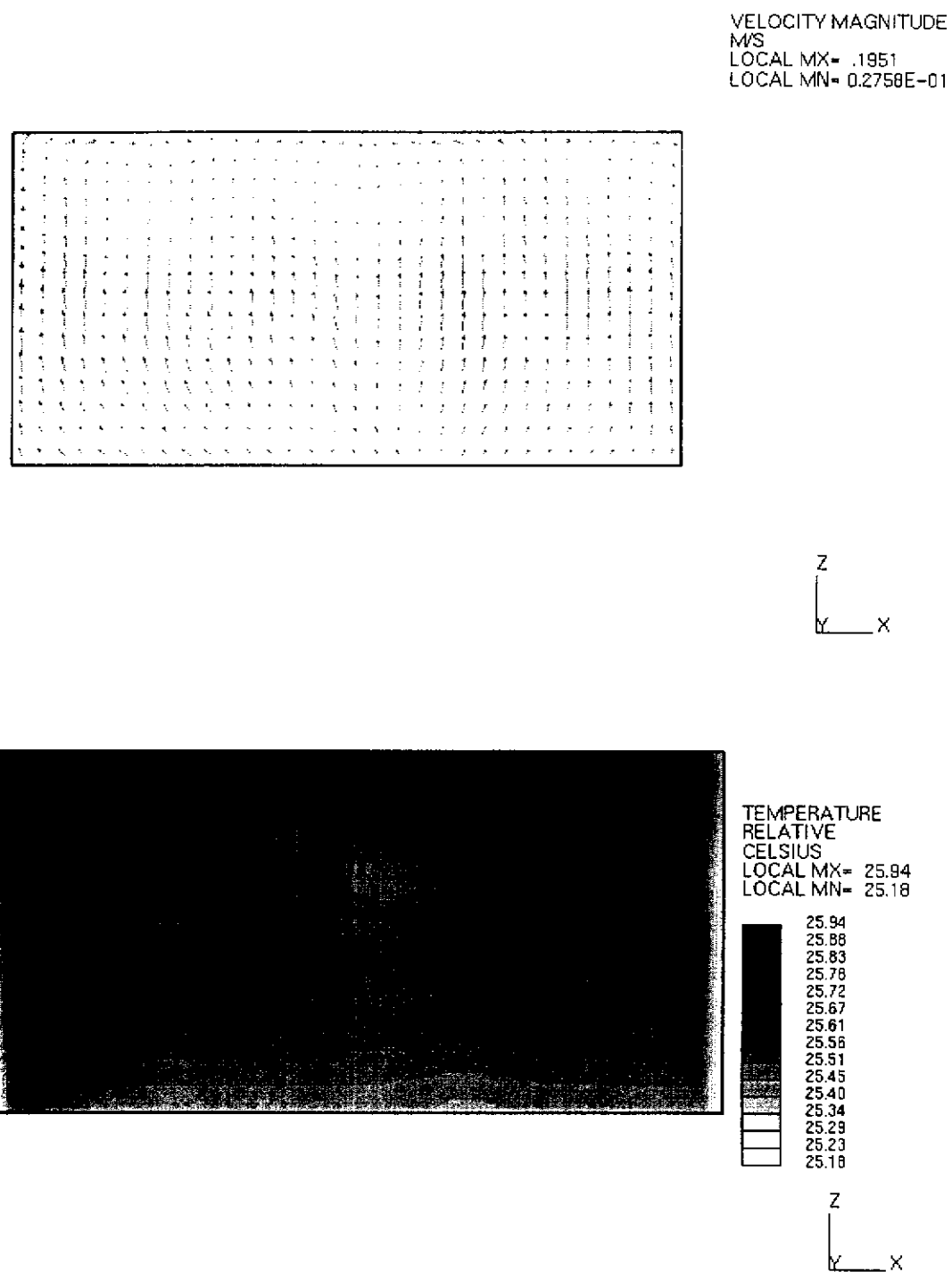
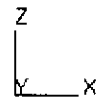
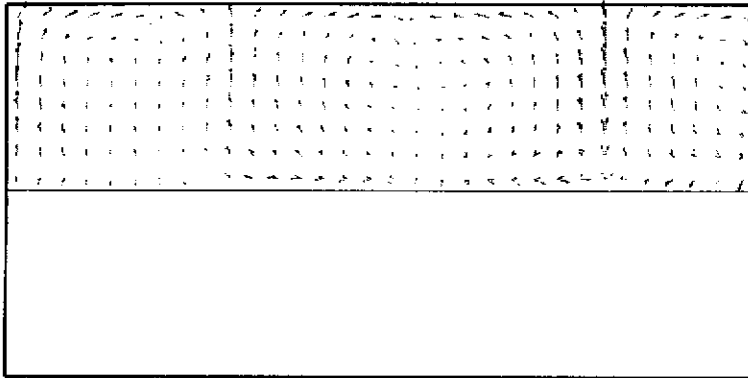


圖4-6(e) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1343
LOCAL MN= 0.5666E-02



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 26.48
LOCAL MN= 25.28

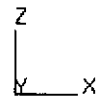
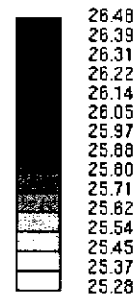
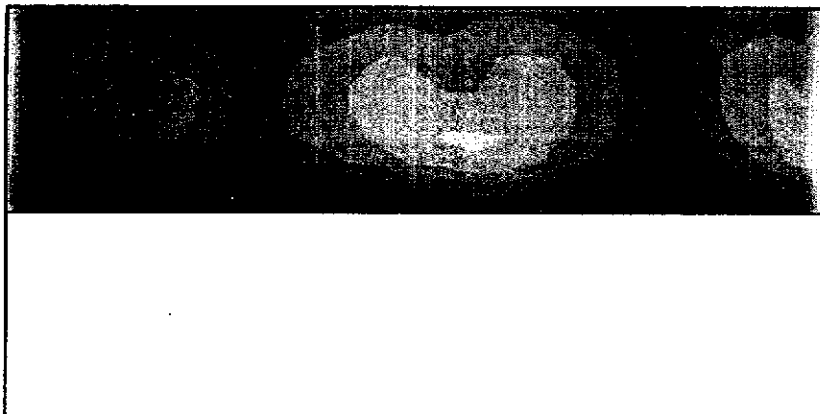


圖4-6(f) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 y=9.5m 截面速度向量及溫度場圖

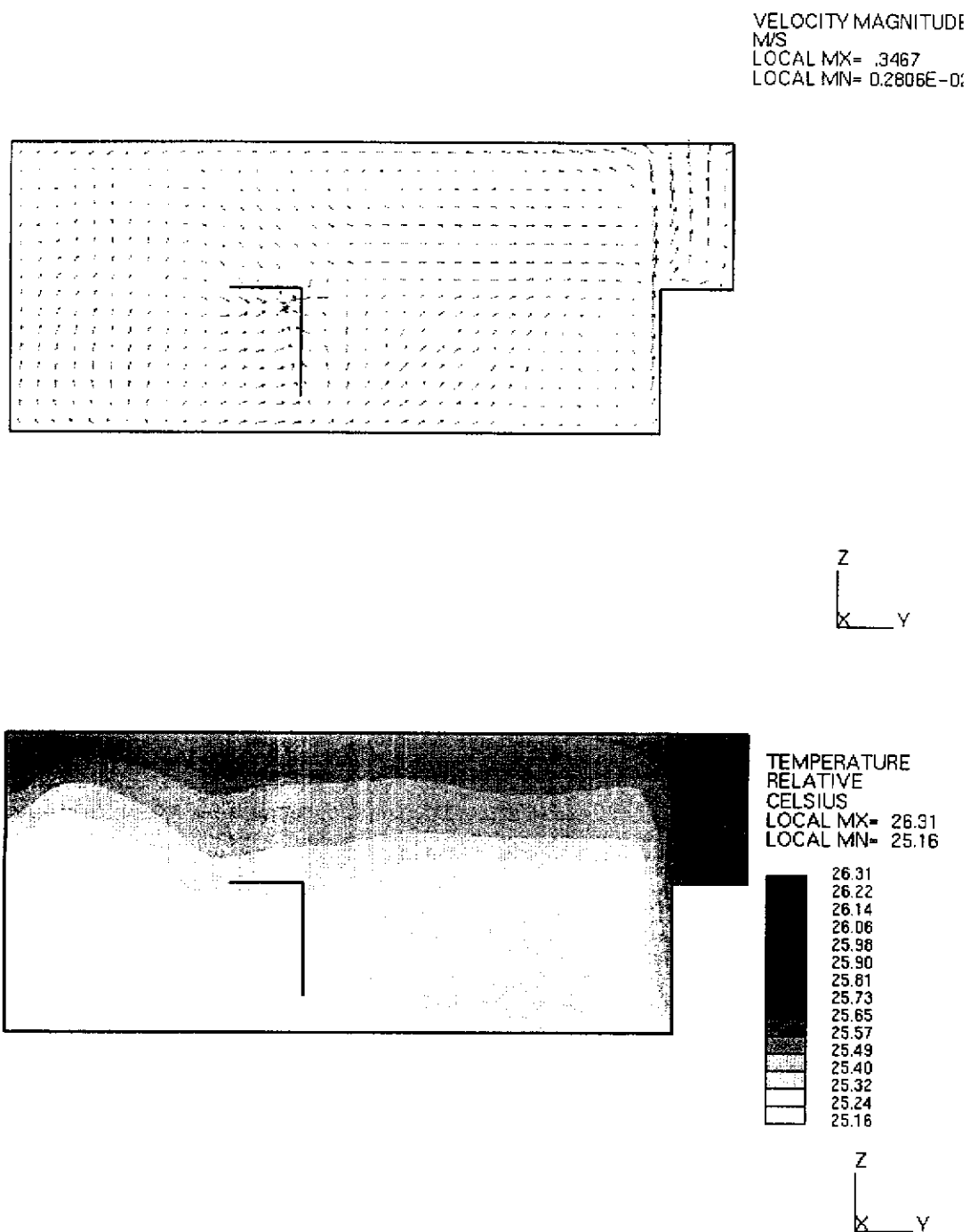


圖4-6(g) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

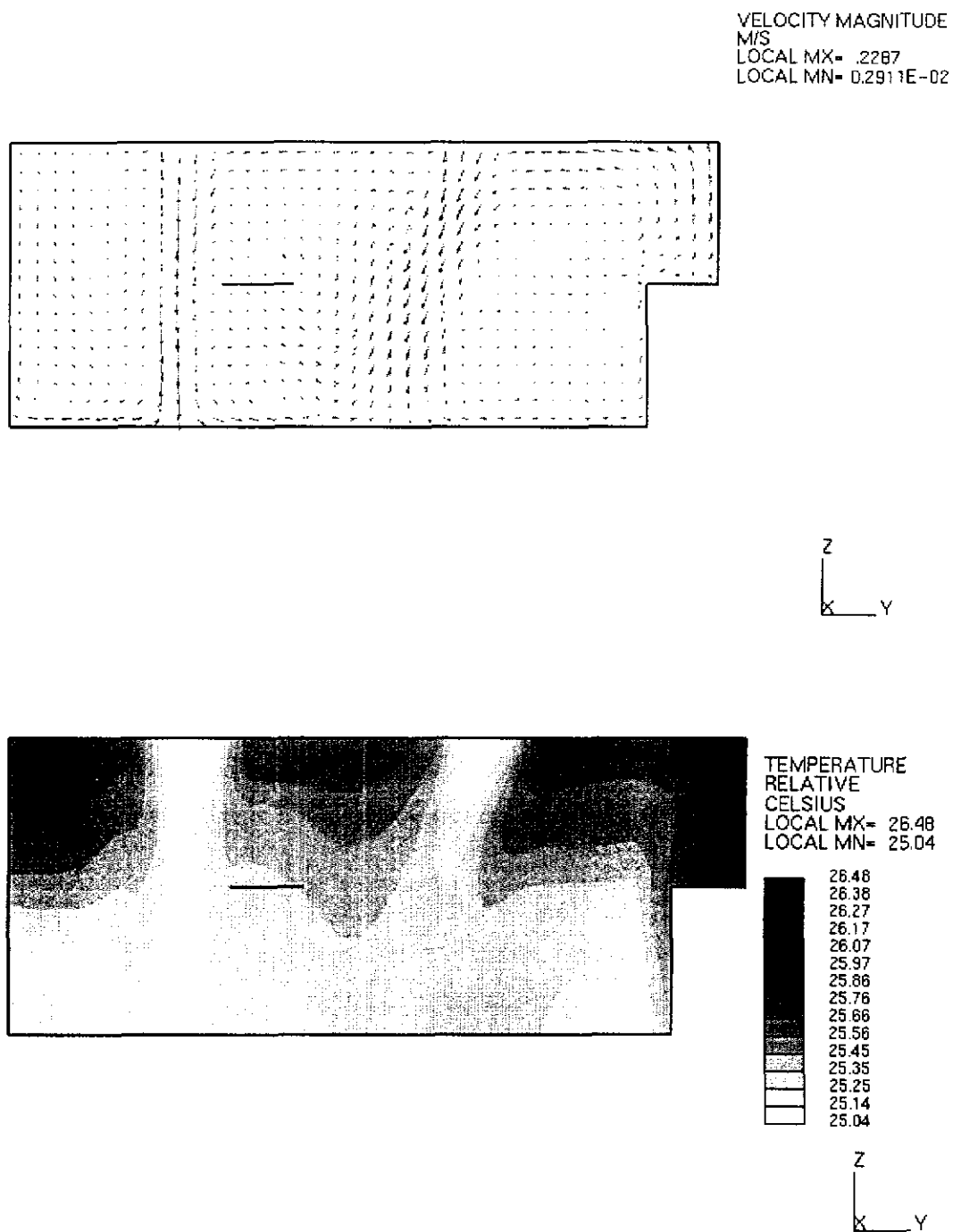


圖4-6(h) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

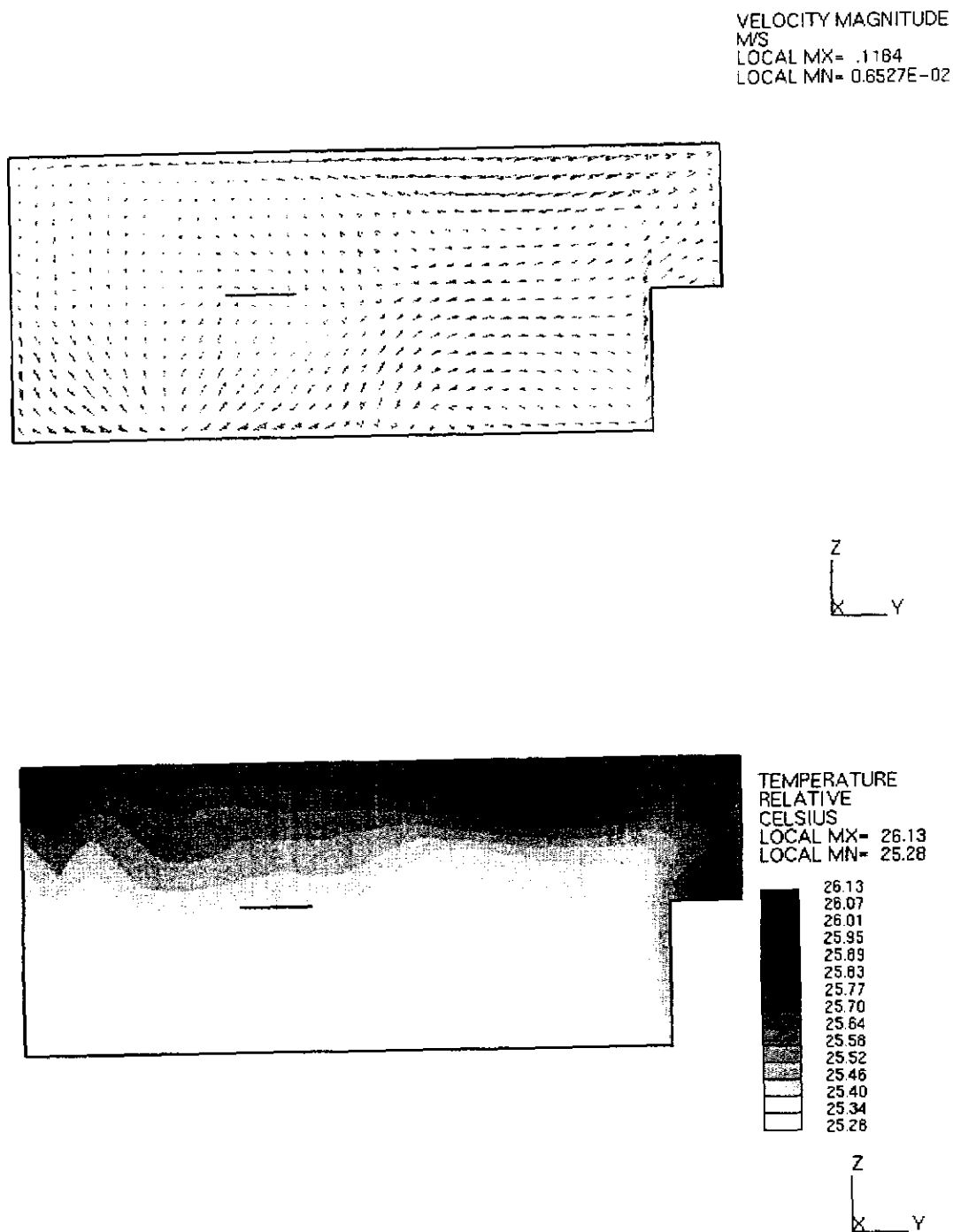


圖4-6(i) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

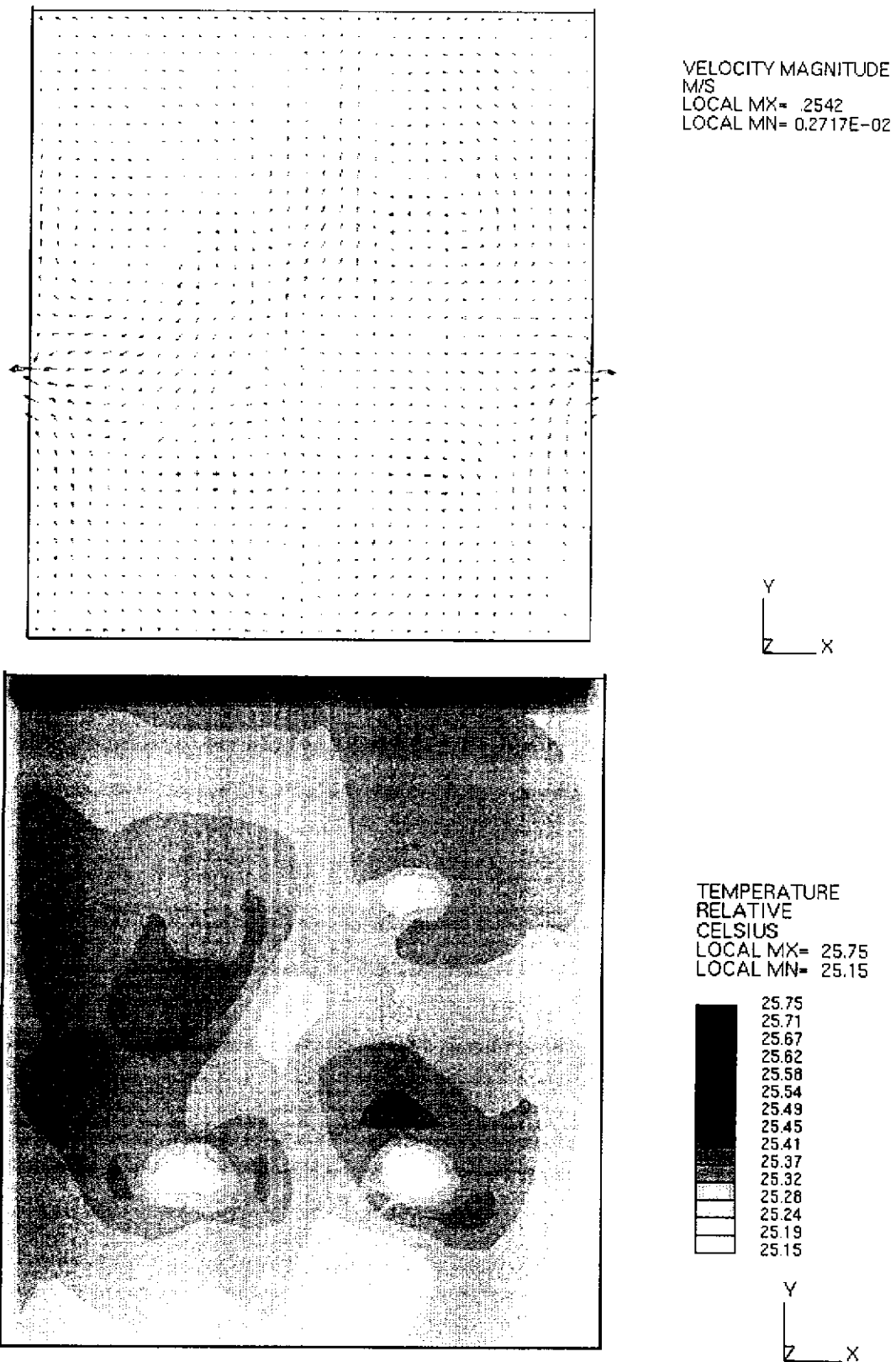


圖4-6(j) 入口溫度為 25°C 時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

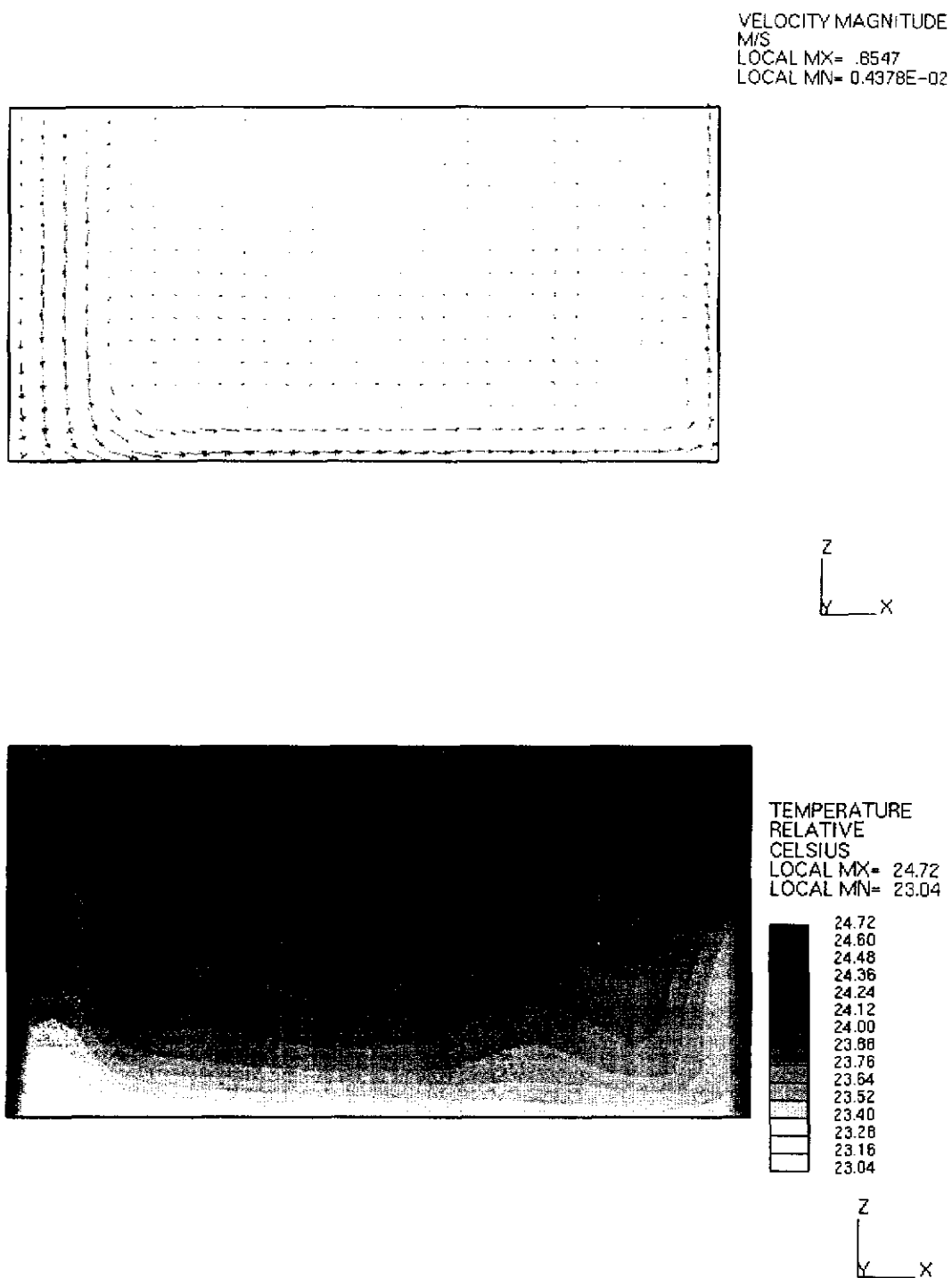


圖4-7(a) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

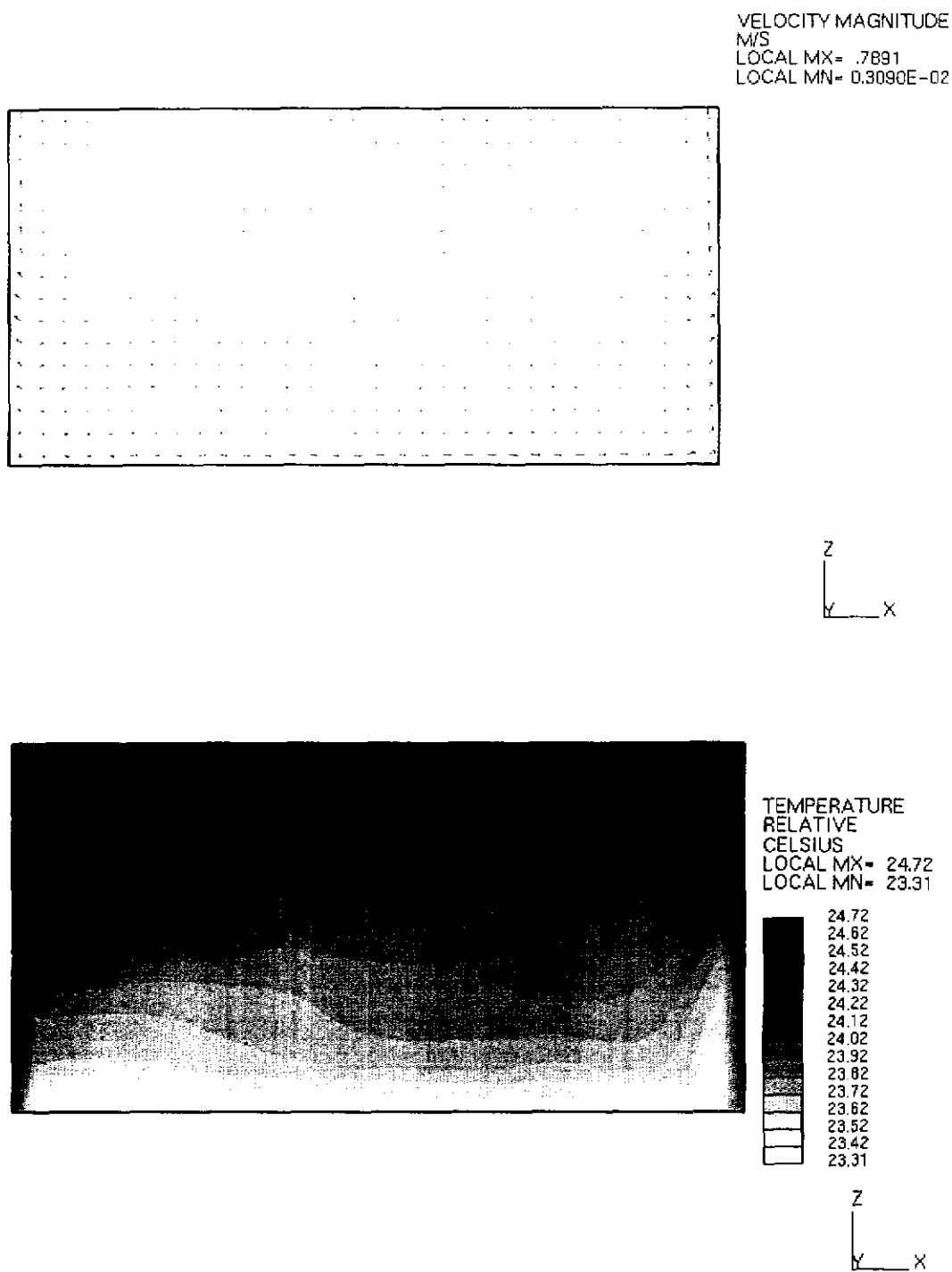


圖4-7(b) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

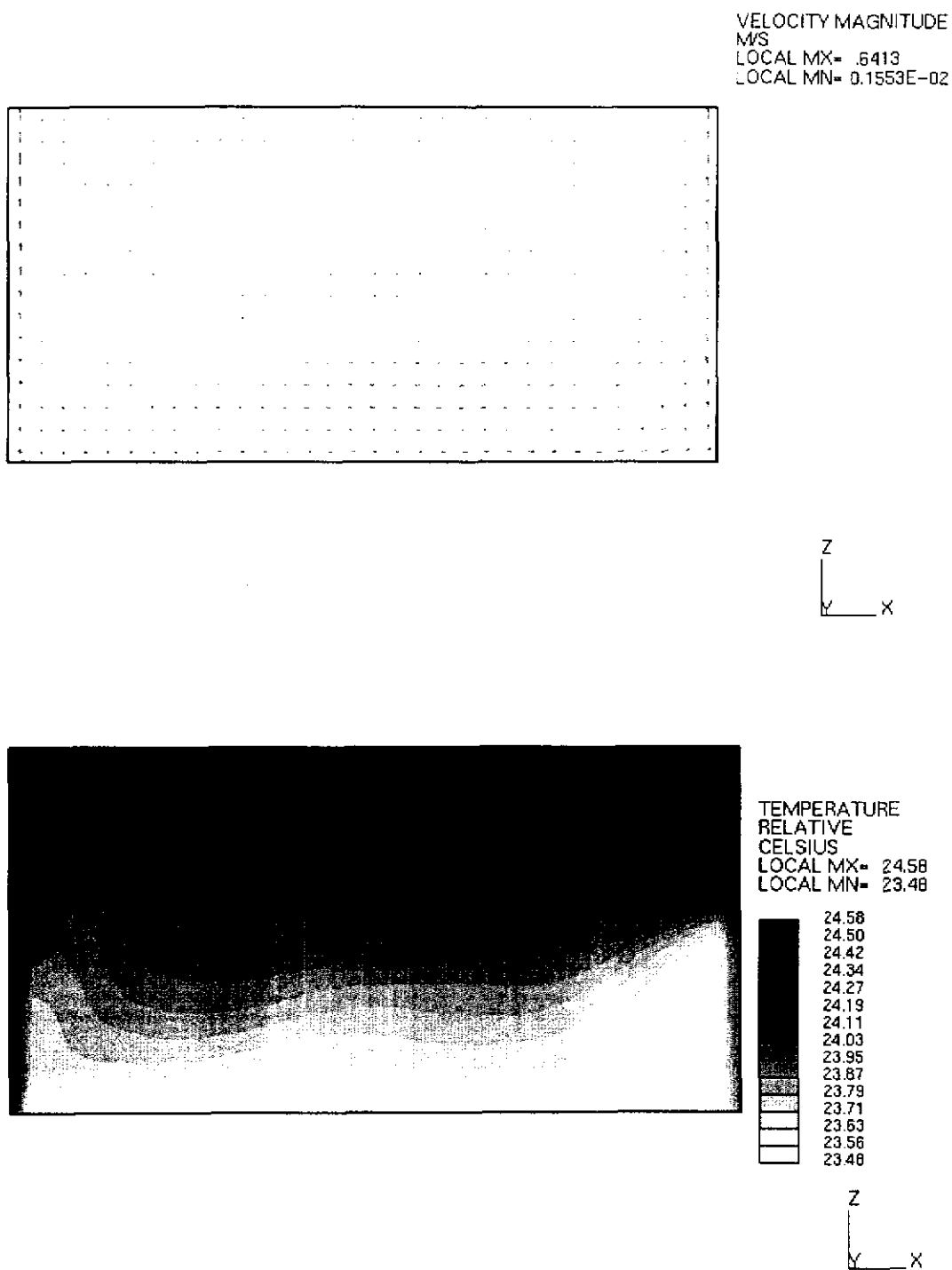


圖4-7(c) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

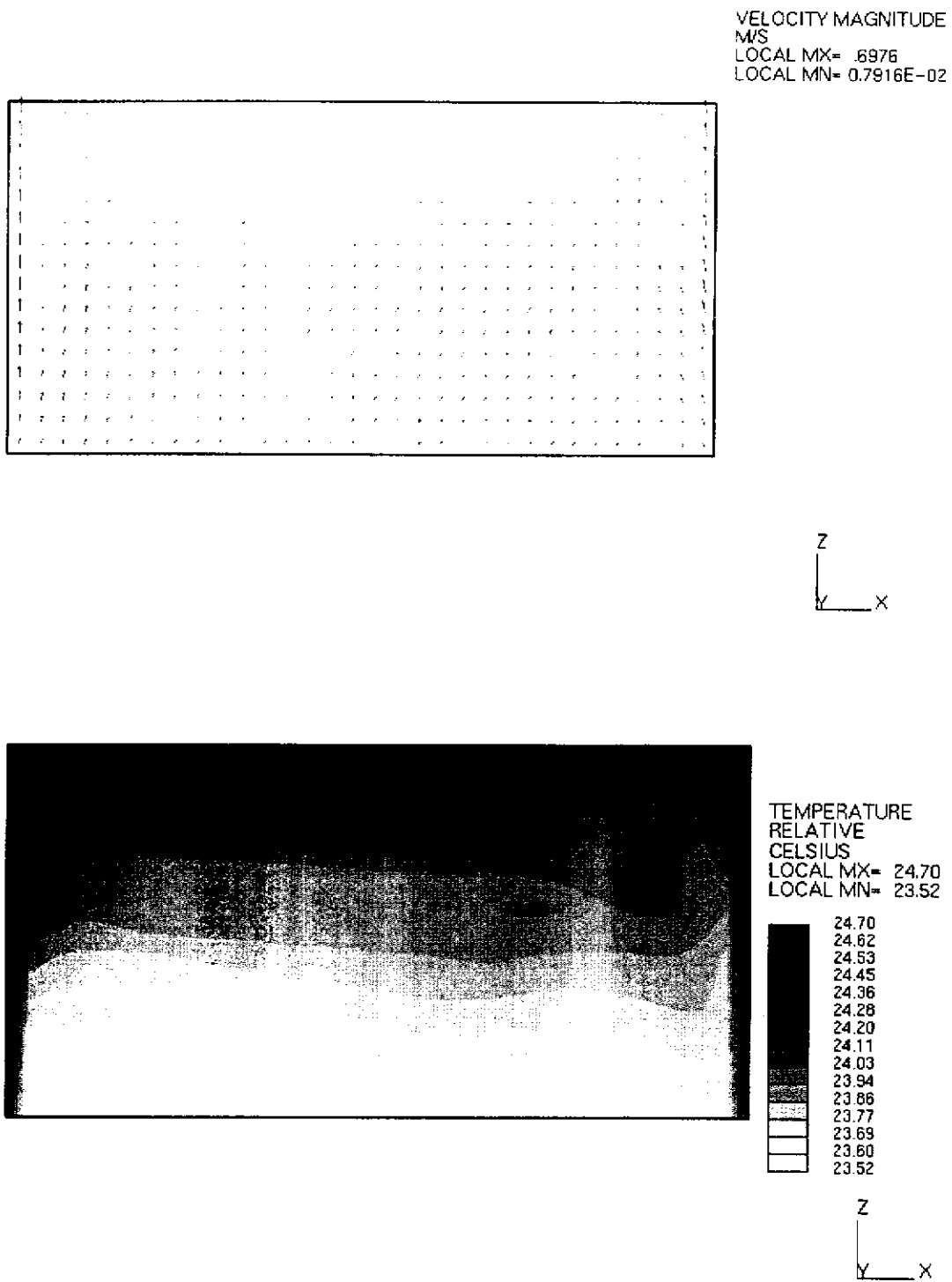
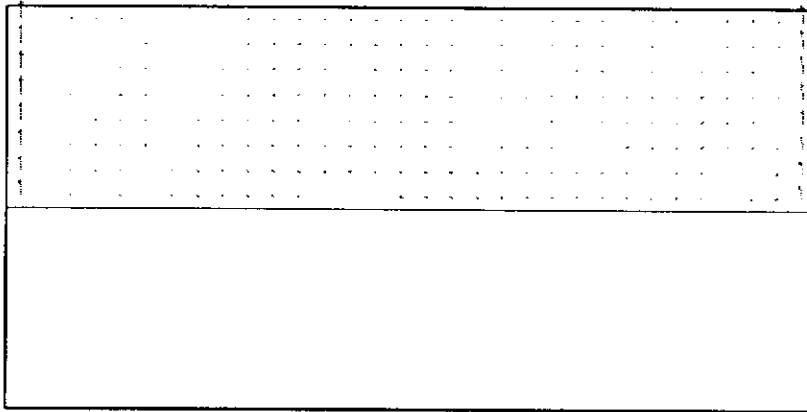


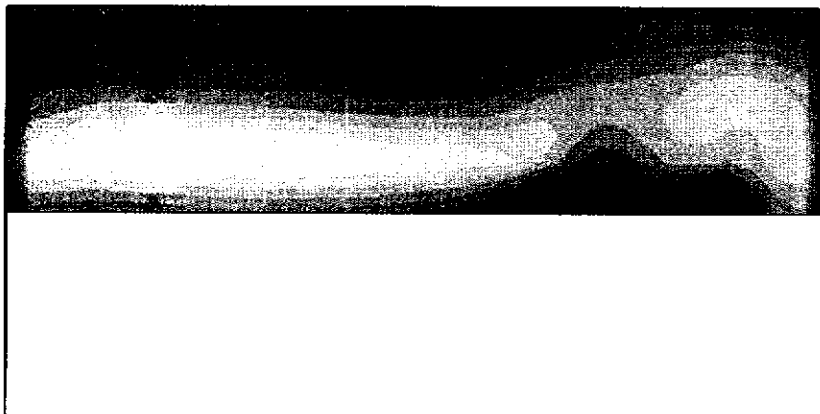
圖4-7(d) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .7439
LOCAL MN= 0.7306E-02



Z
Y X

TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.94
LOCAL MN= 23.96



24.94
24.87
24.80
24.73
24.66
24.59
24.52
24.45
24.38
24.31
24.24
24.17
24.10
24.03
23.96

Z
Y X

圖4-7(a) 入口數為一時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

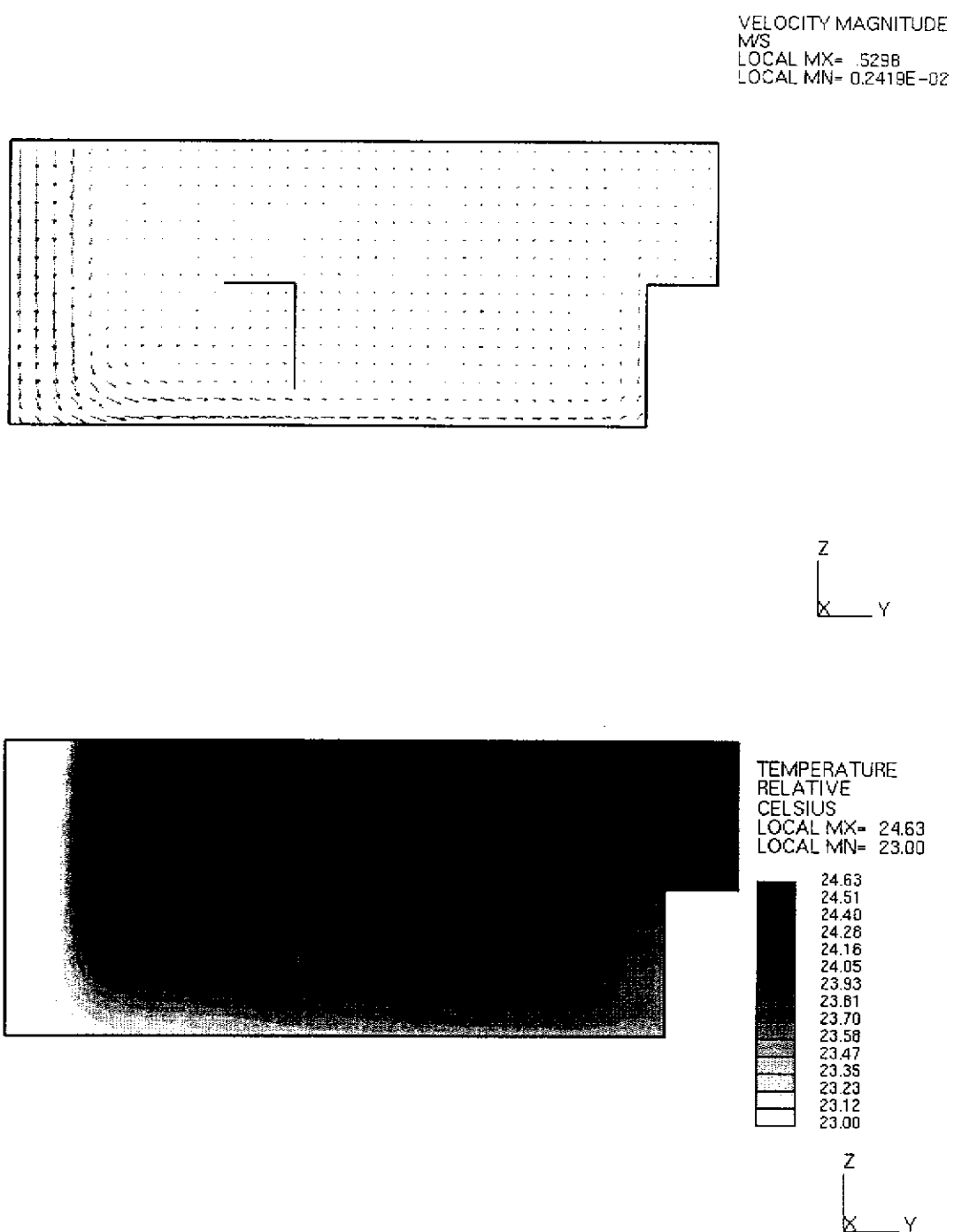


圖4-7(f) 入口數為一時，電廠控制室在 $x=0.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

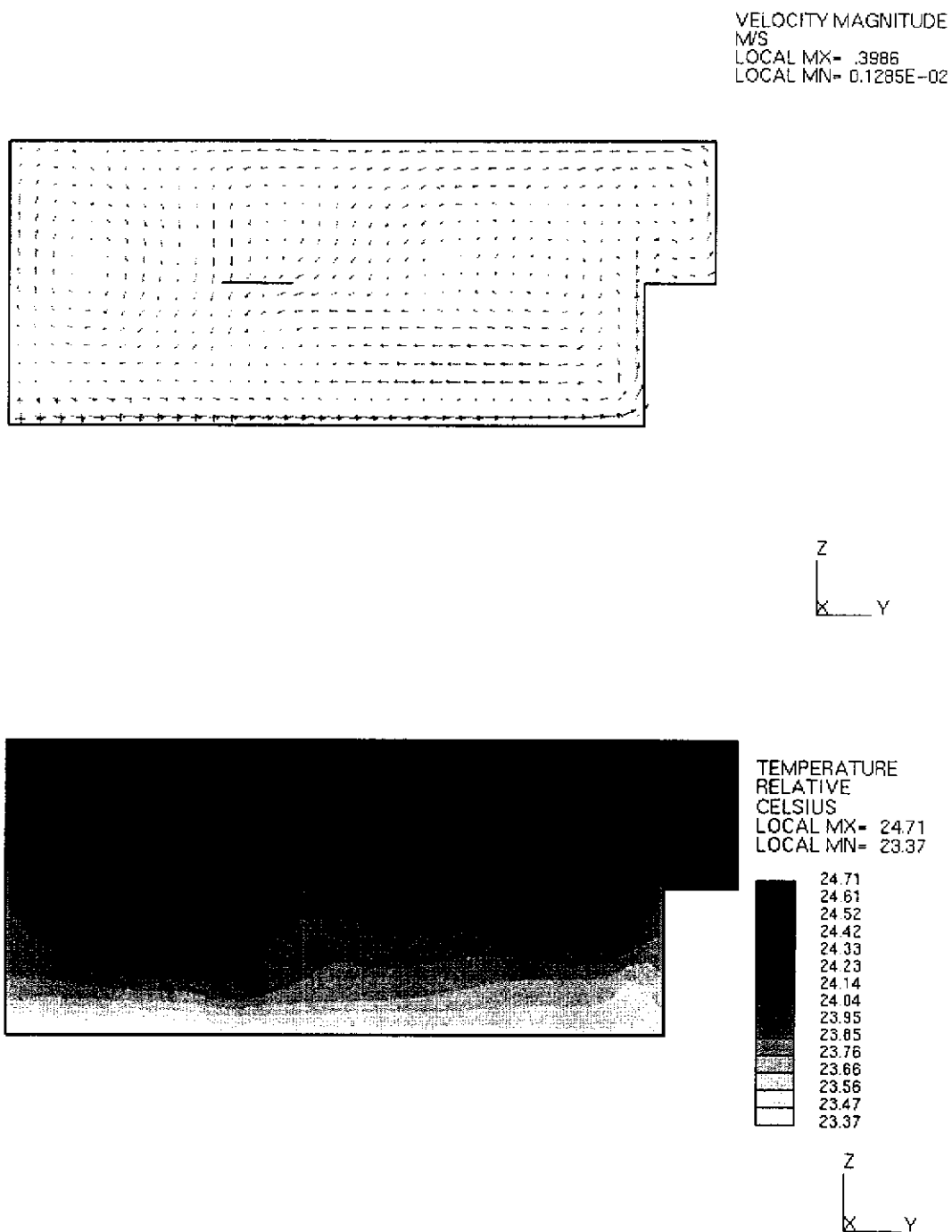


圖4-7(g) 入口數為一時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

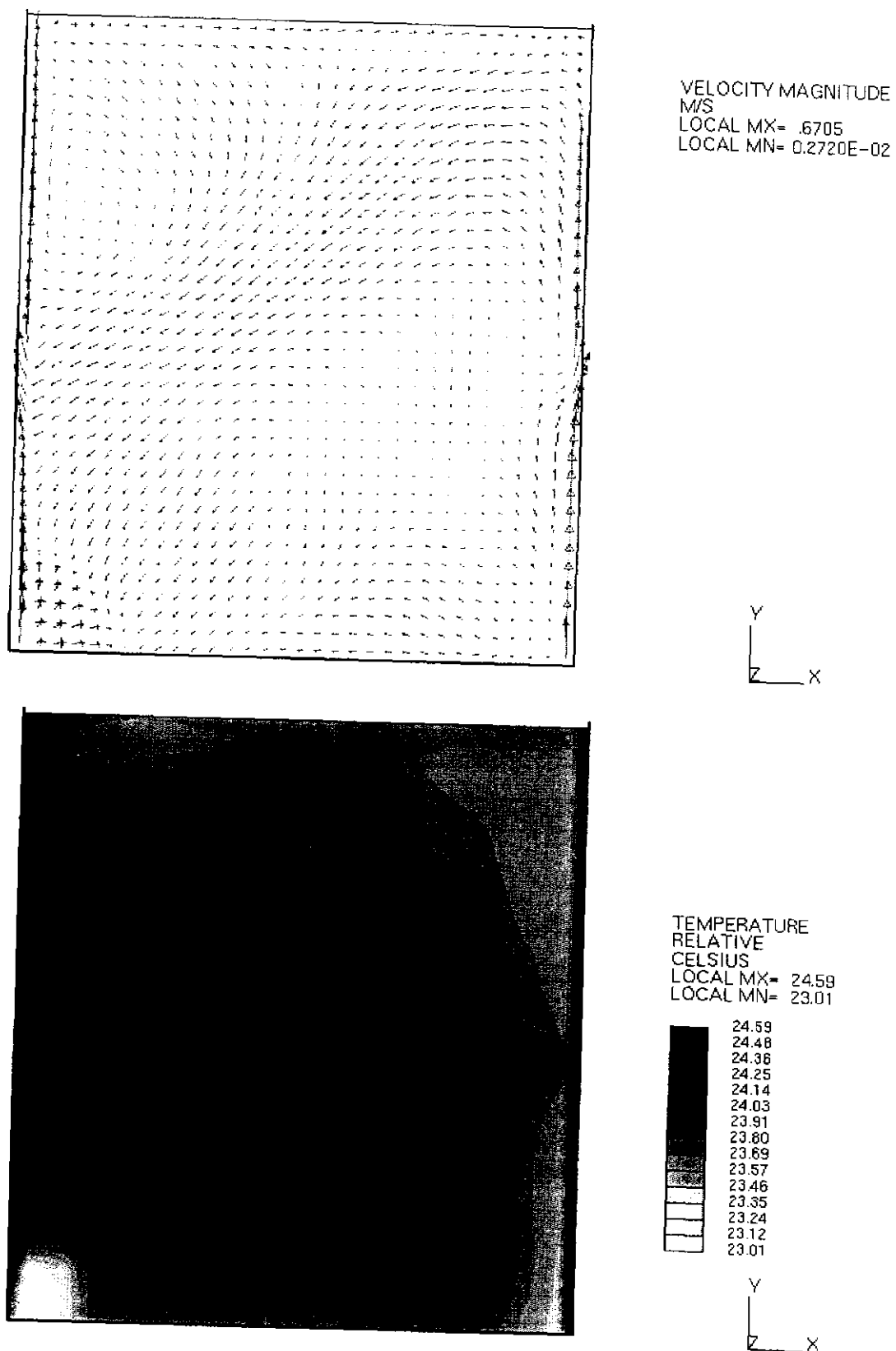


圖4-7(h) 入口數為一時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

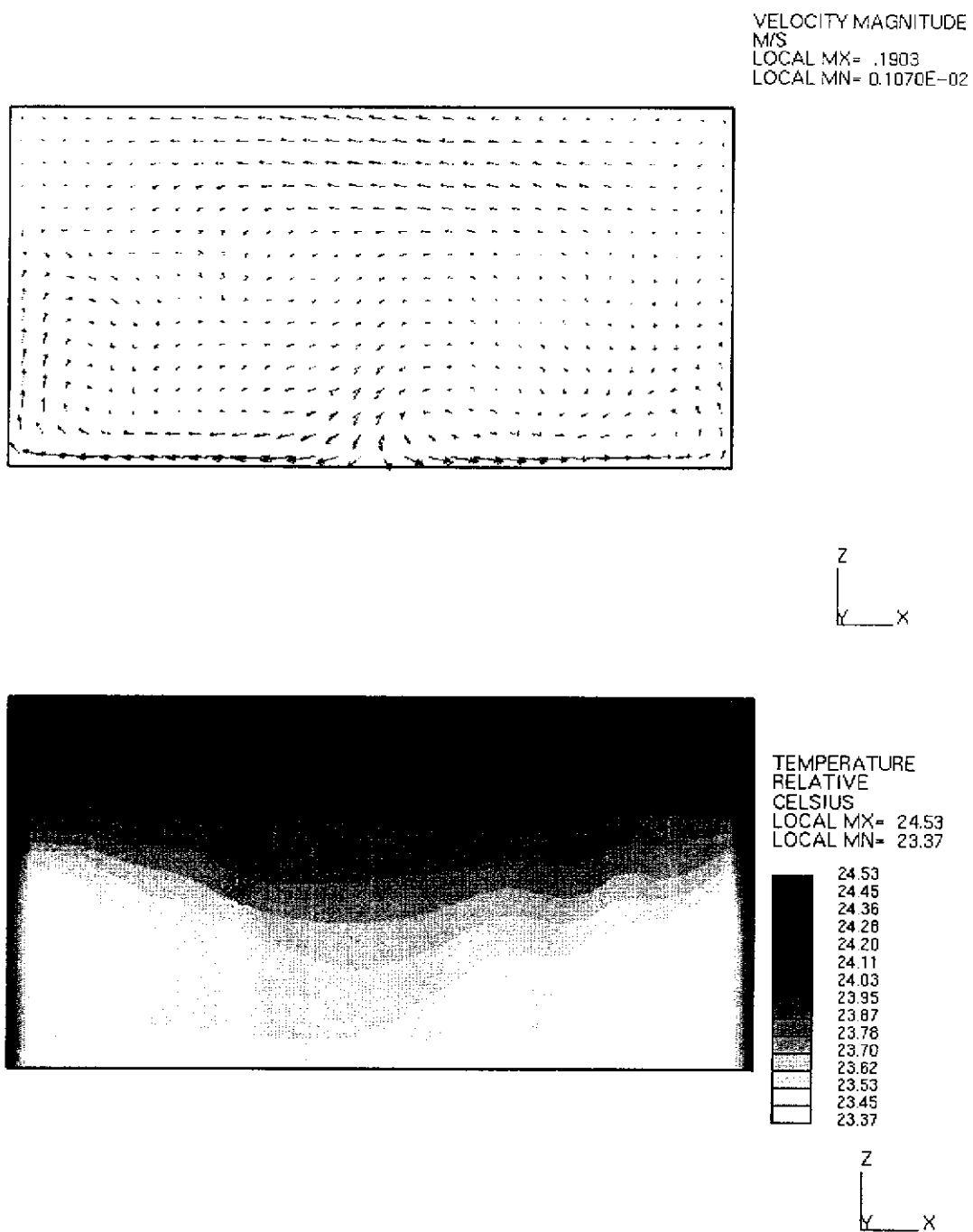


圖4-8(a) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

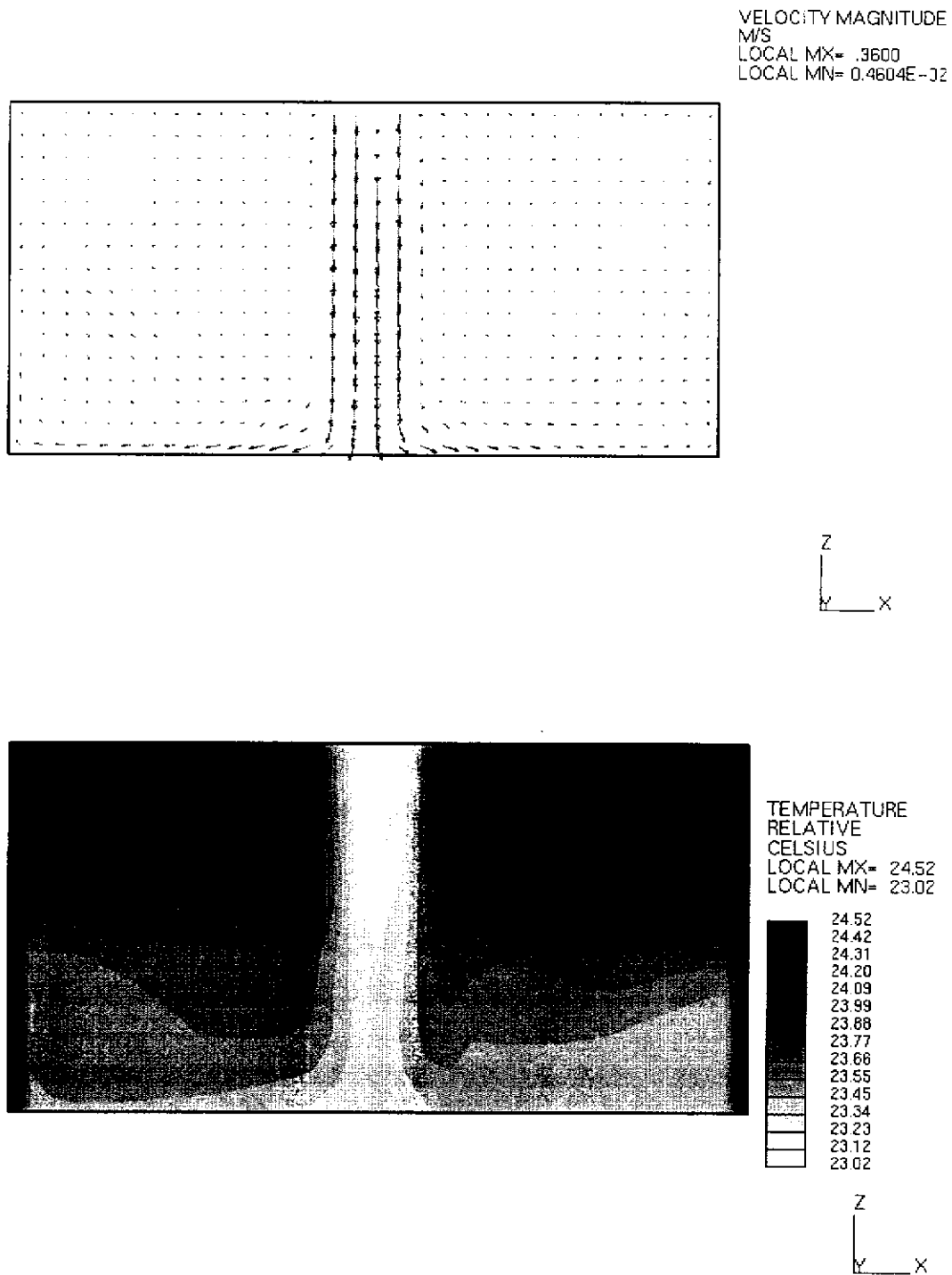


圖4-8(b) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

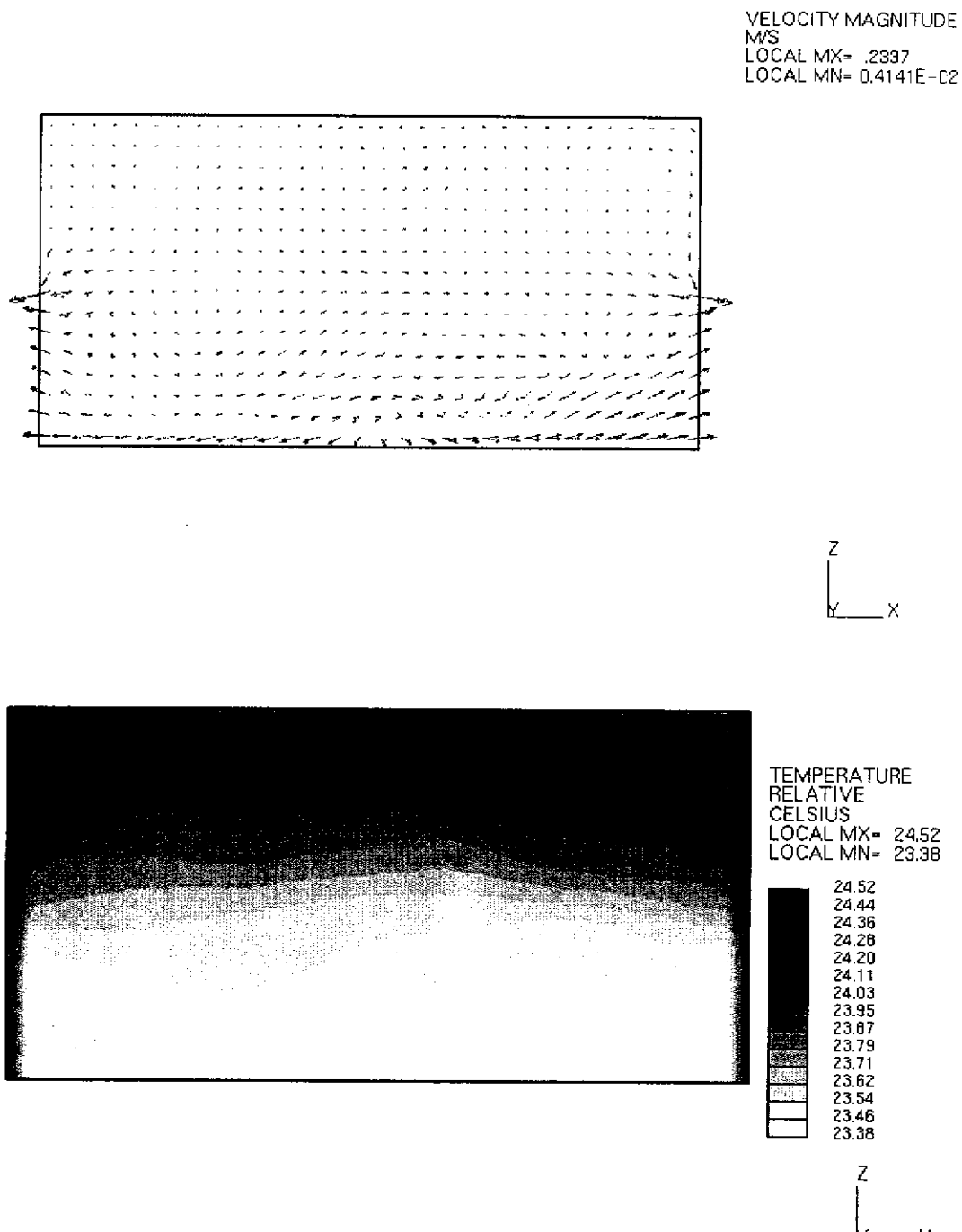


圖4-8(c) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

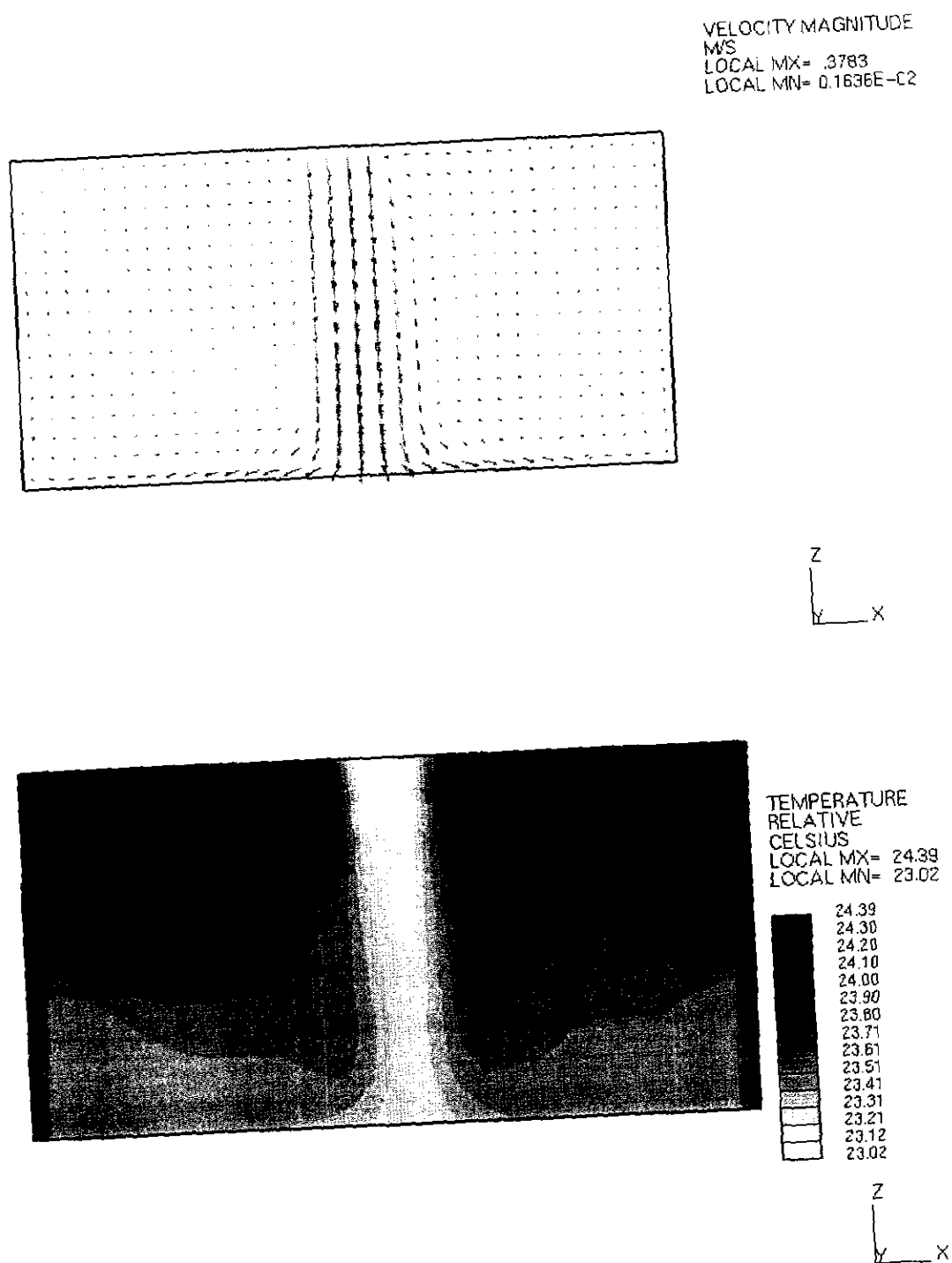
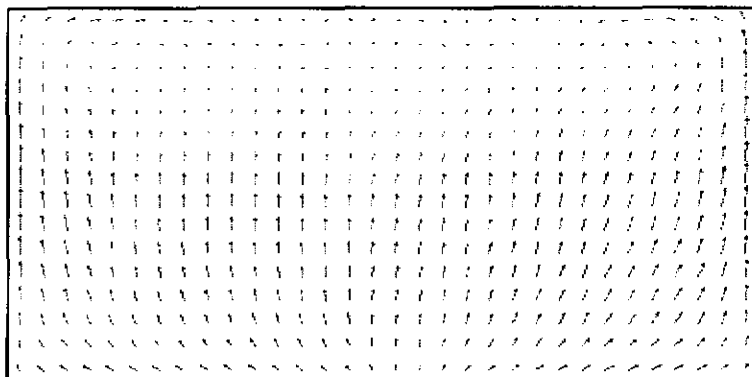
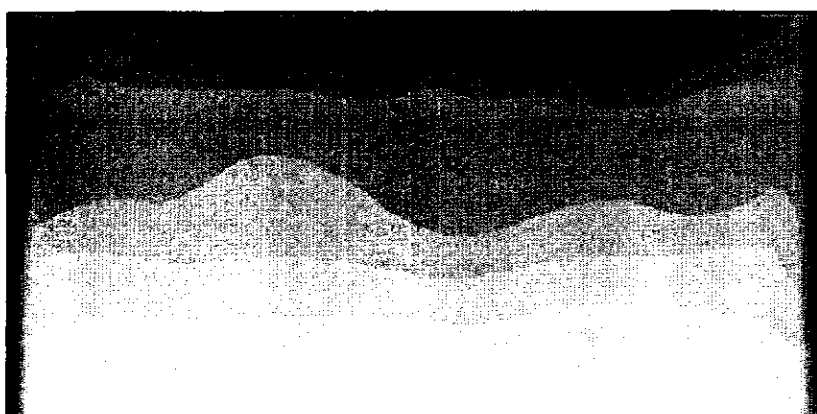


圖4-8(d) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

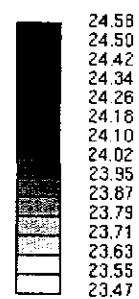
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .2077
LOCAL MN= 0.1767E-01



Z
Y X



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.58
LOCAL MN= 23.47



Z
Y X

圖4-8(e) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

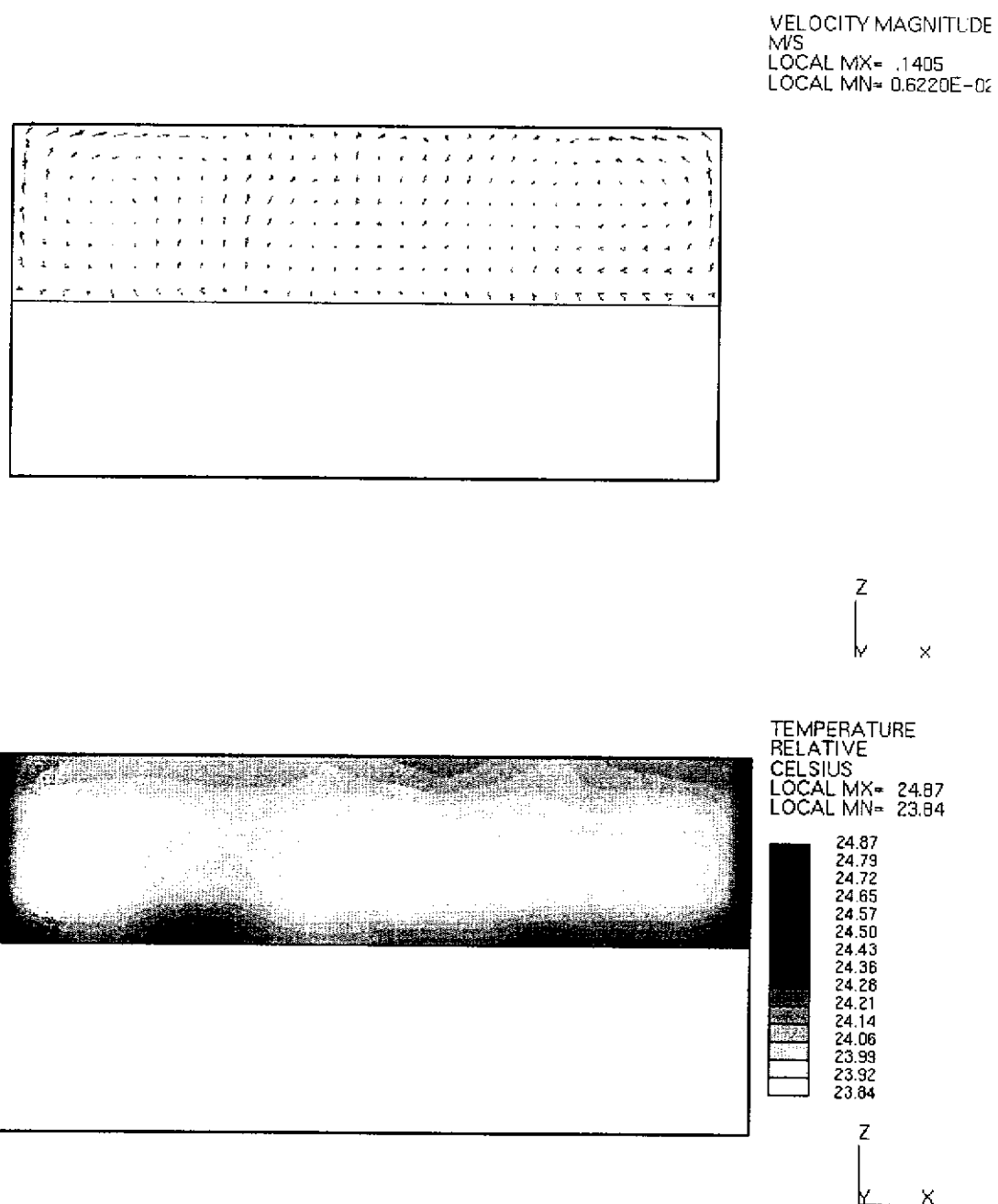
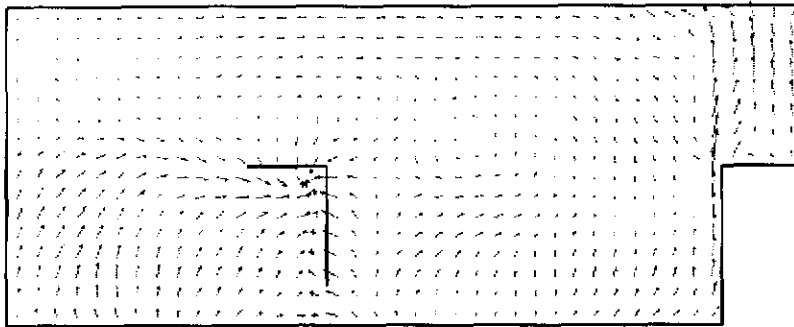
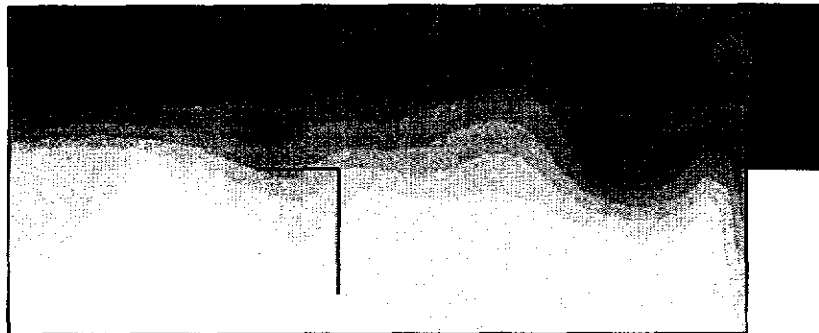


圖4-8(f) 入口數為二時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

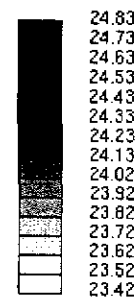
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .3116
LOCAL MN= 0.2268E-02



Z
Y



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.83
LOCAL MN= 23.42



Z
Y

圖4-8(g) 入口數為二時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

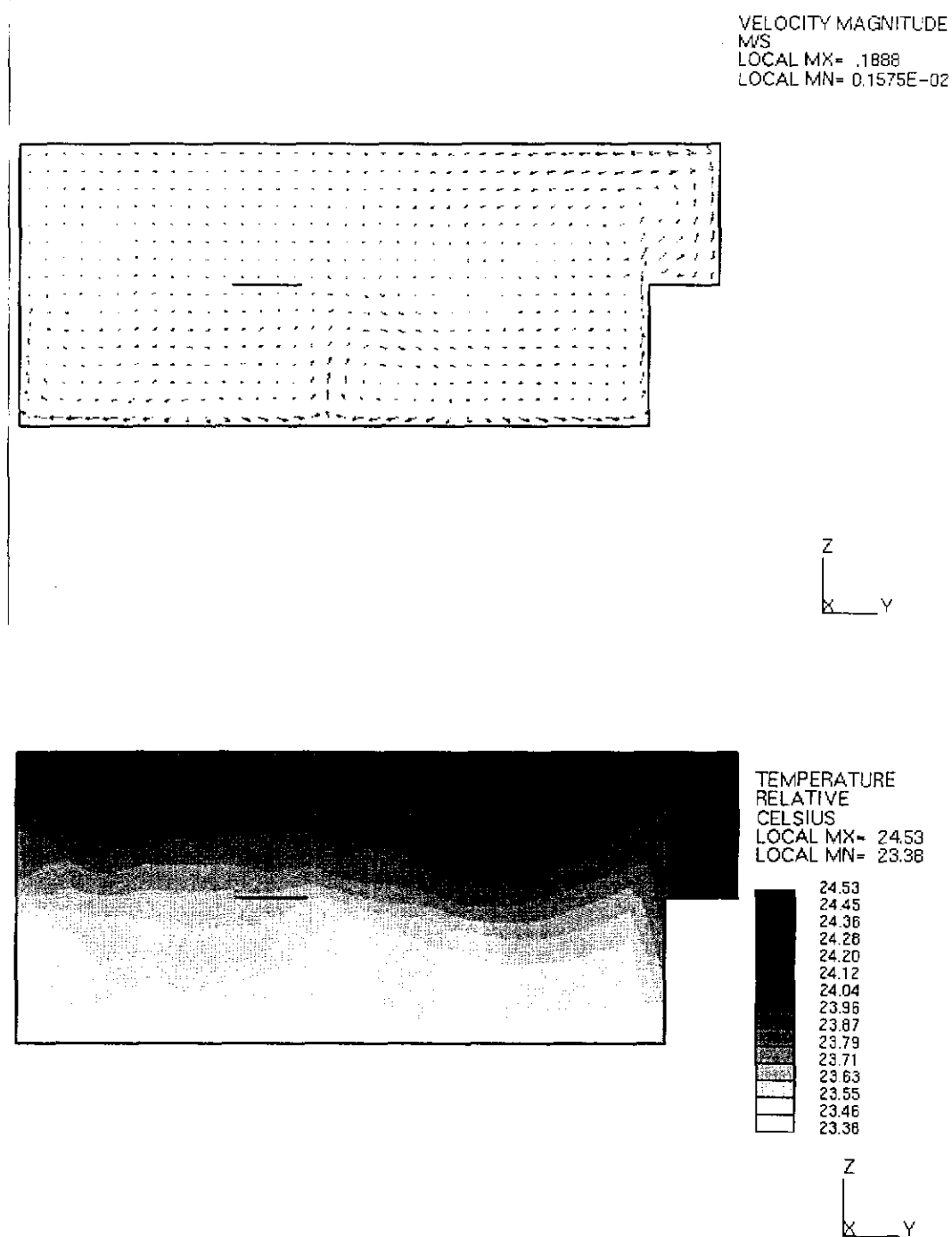


圖4-8(h) 入口數為二時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

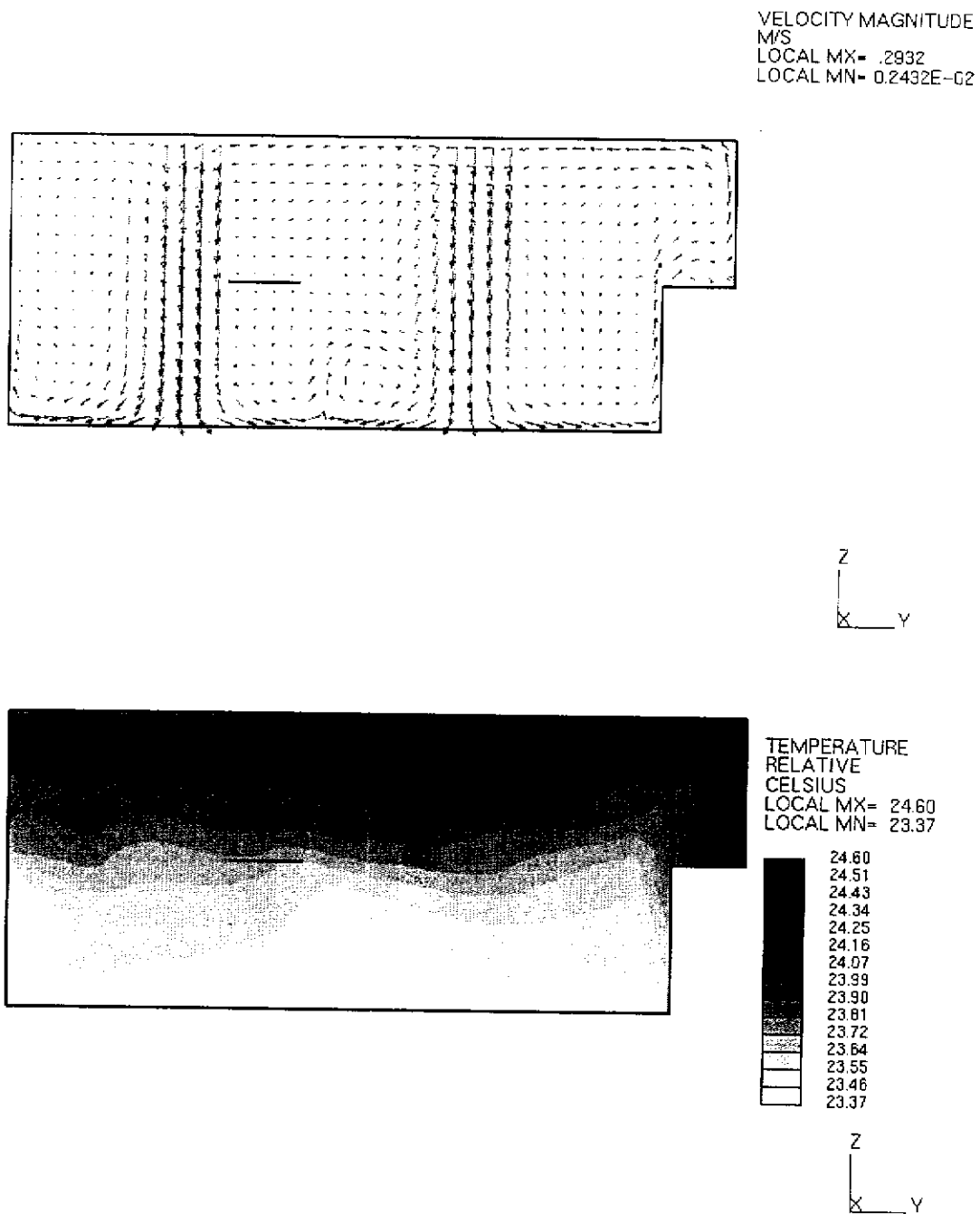


圖4-8(i) 入口數為二時，電廠控制室在 $x=4\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

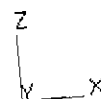
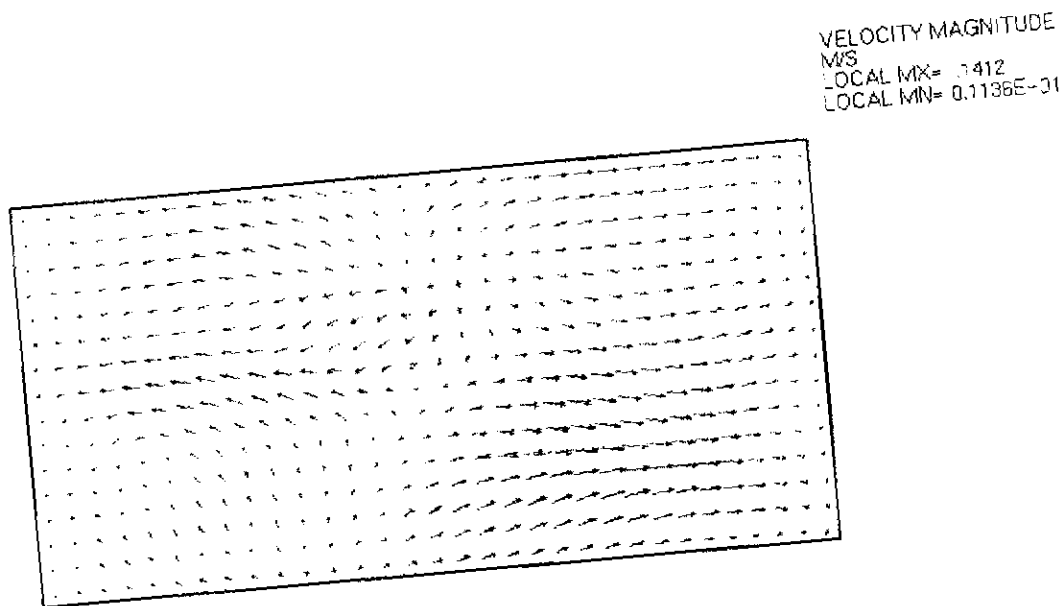


圖4-9(a) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在 $y=1m$ 截面速度向量及溫度場圖

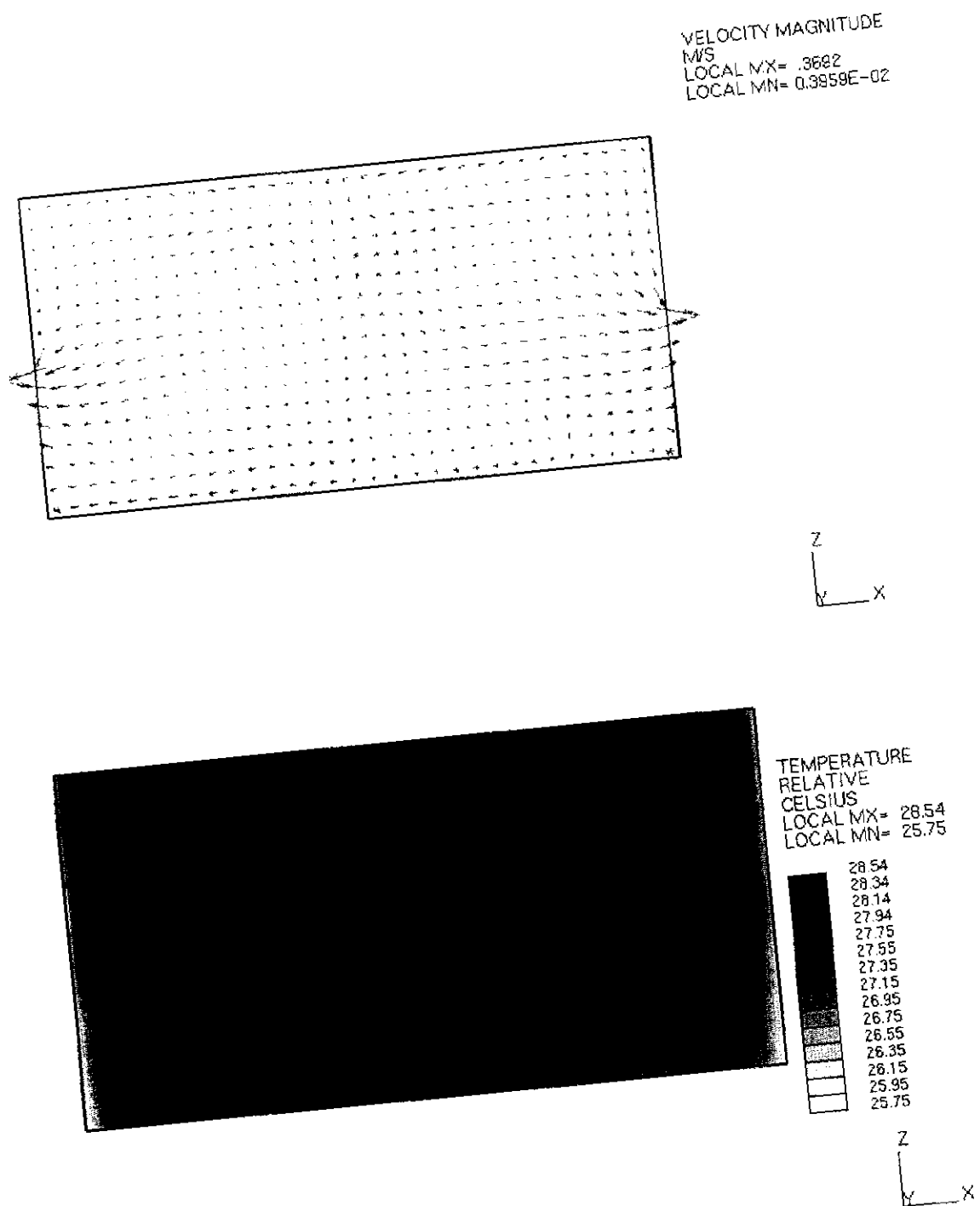


圖4-9(b) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在
y=3.5m 截面速度向量及溫度場圖

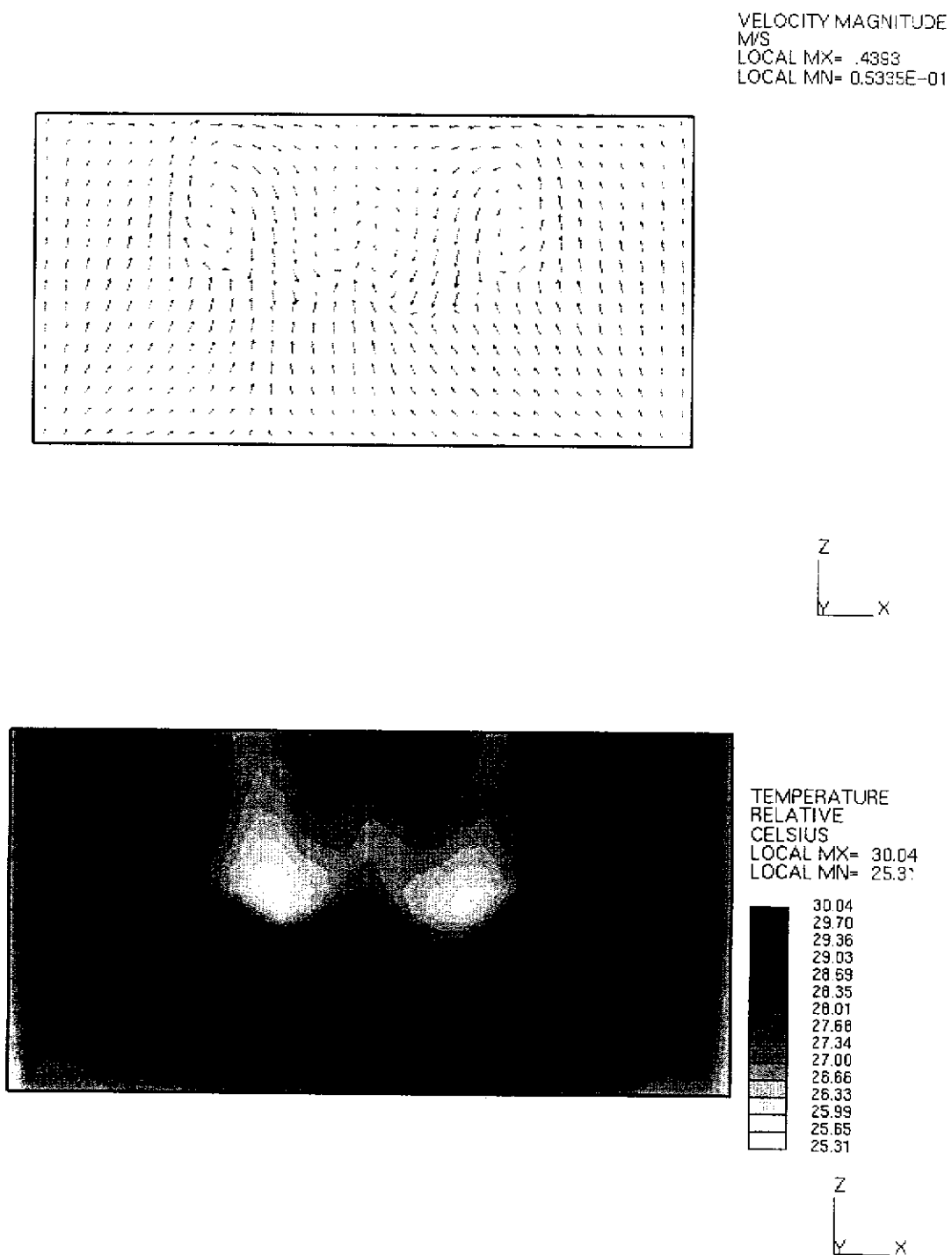


圖4-9(c) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在
y=8.9m 截面速度向量及溫度場圖

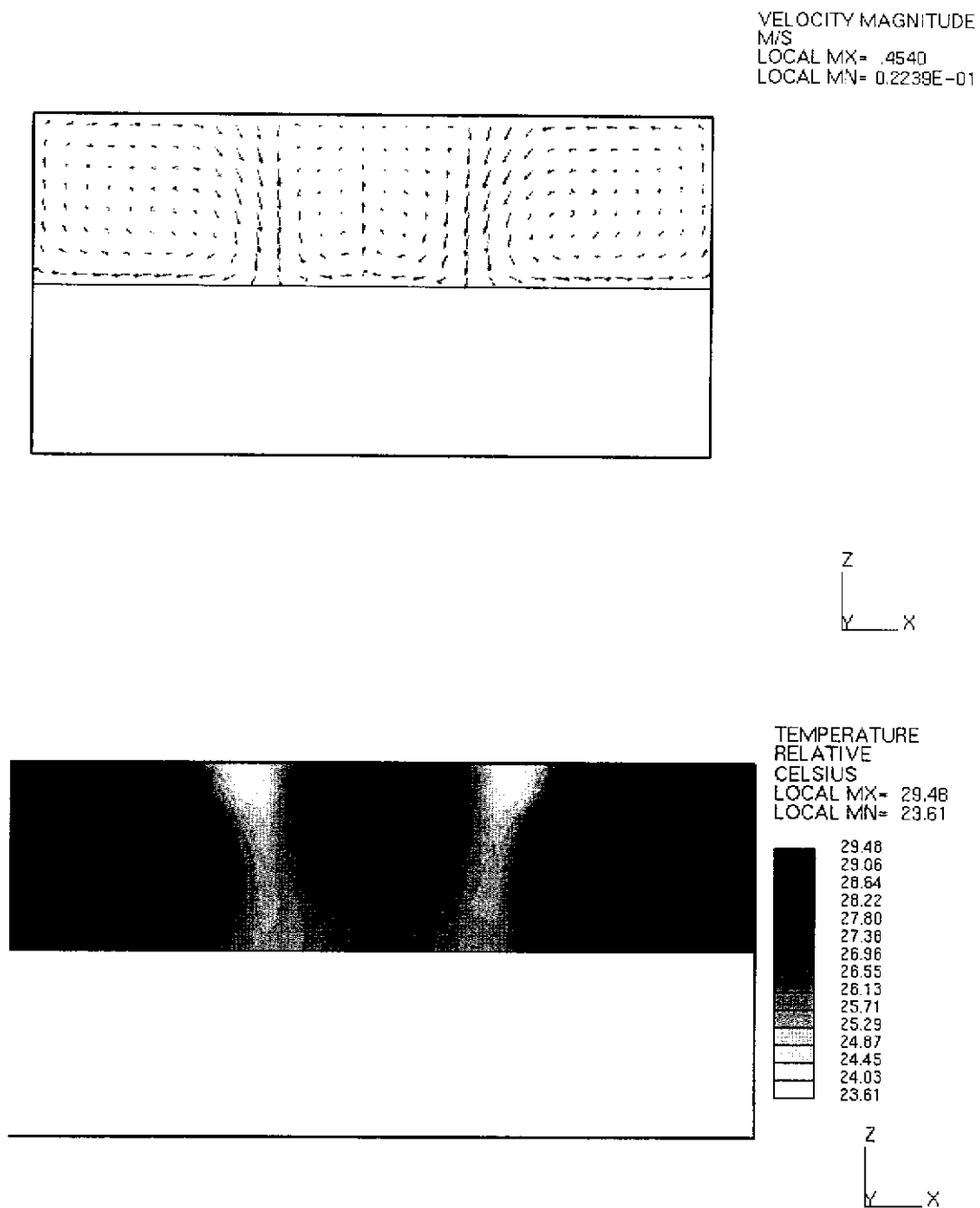


圖4-9(d) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在
y=9.5m 截面速度向量及溫度場圖

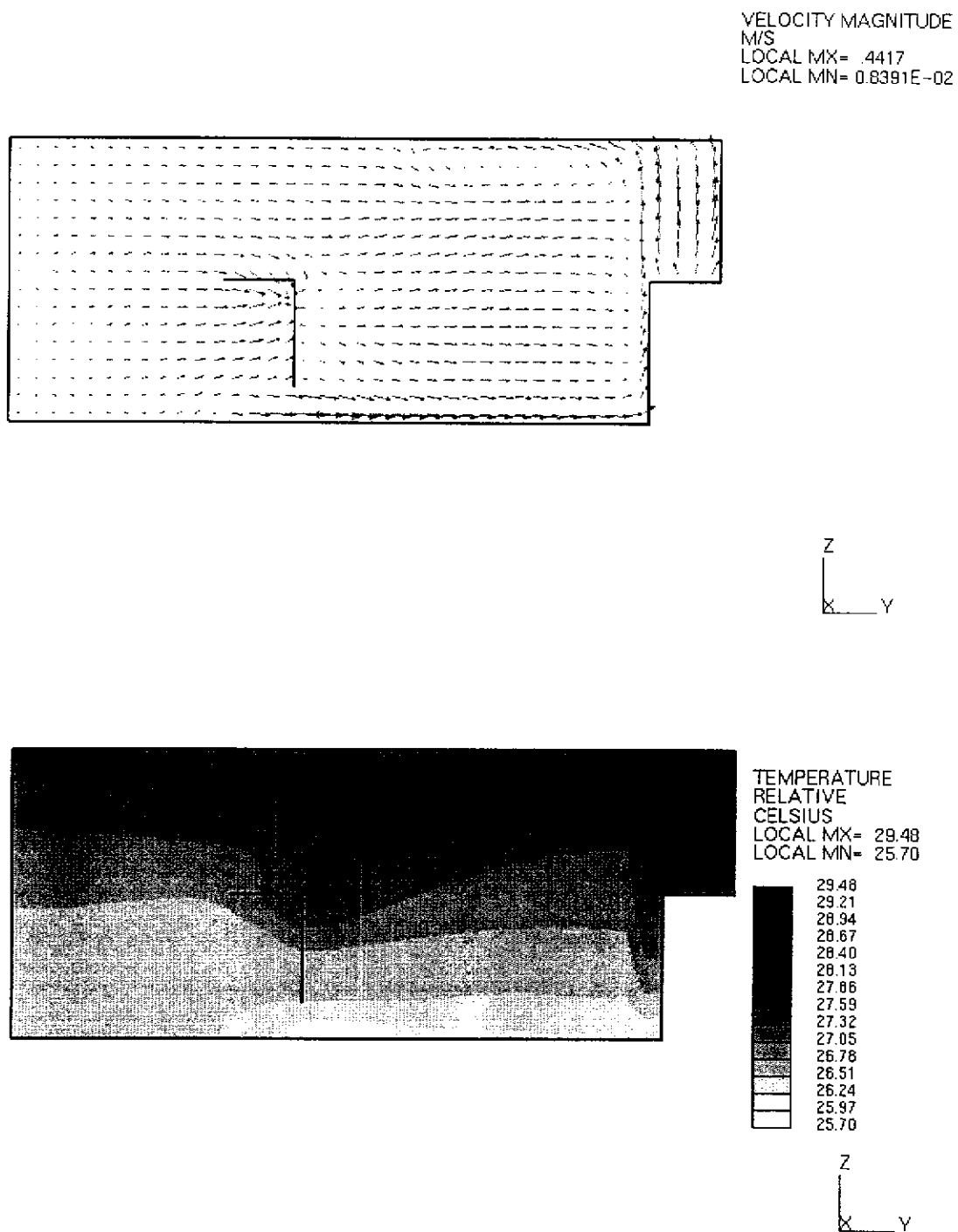


圖4-9(e) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在
 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

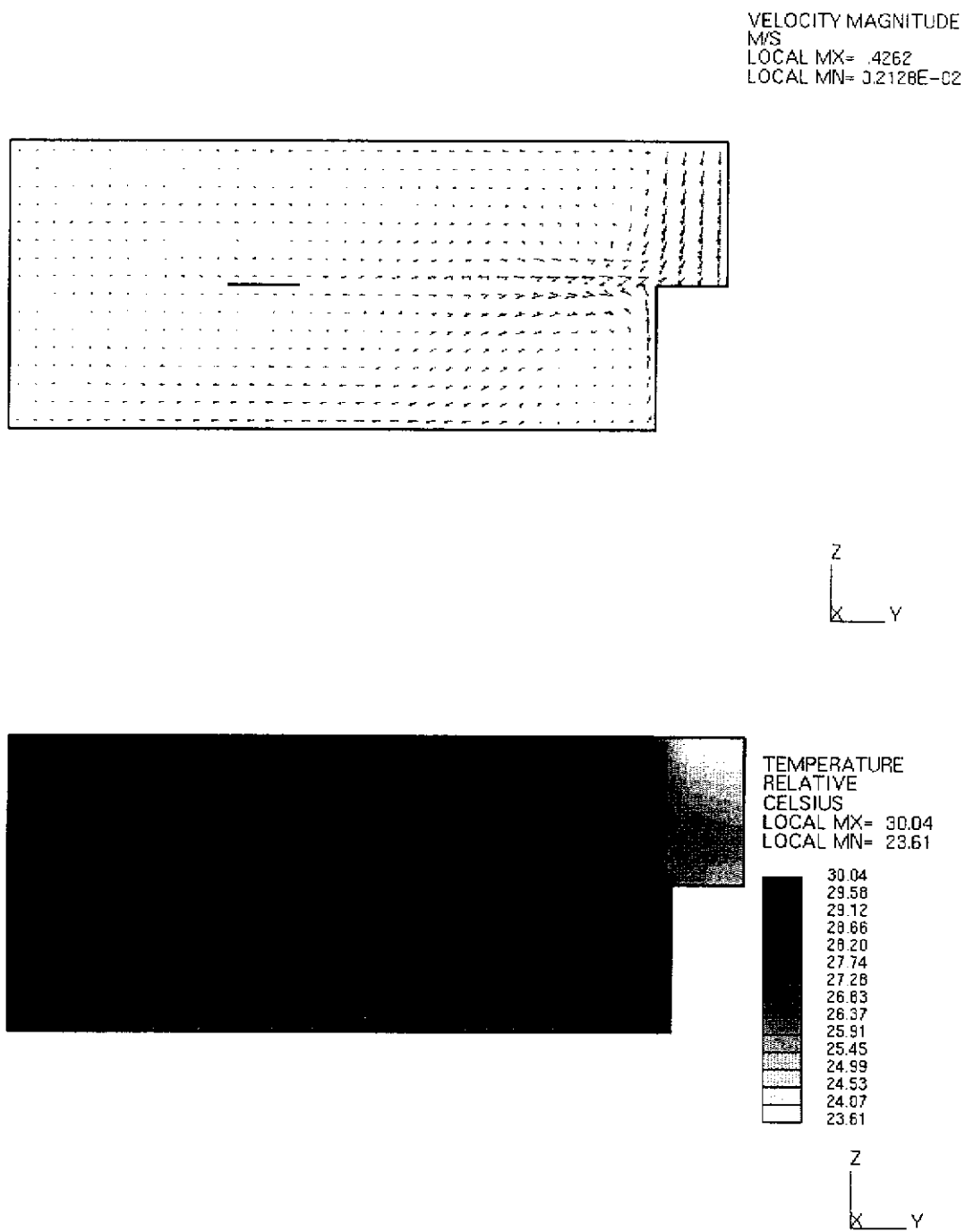


圖4-9(f) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在
x=2.5m 截面速度向量及溫度場圖

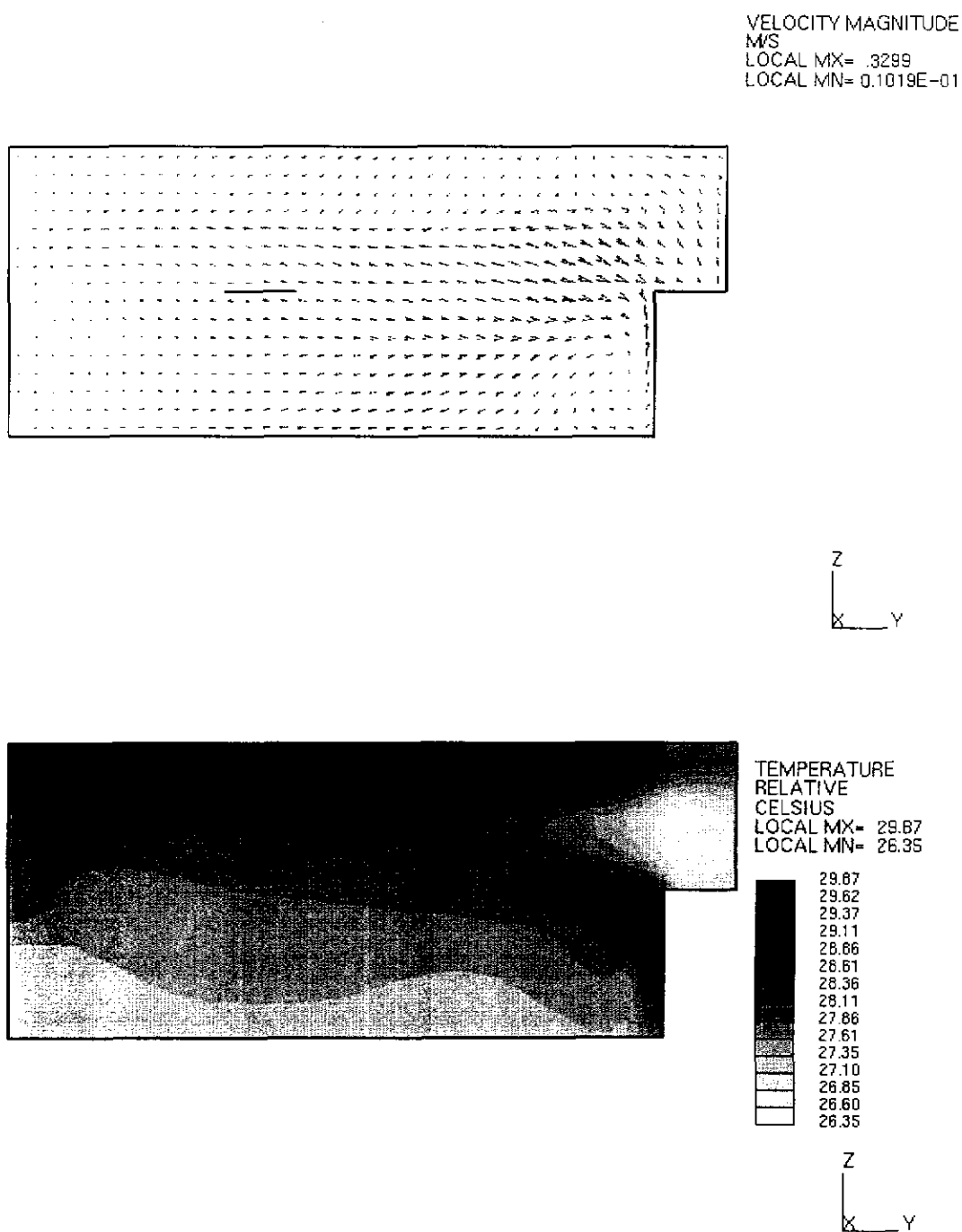


圖4-9(g) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在 $x=4m$ 截面速度向量及溫度場圖

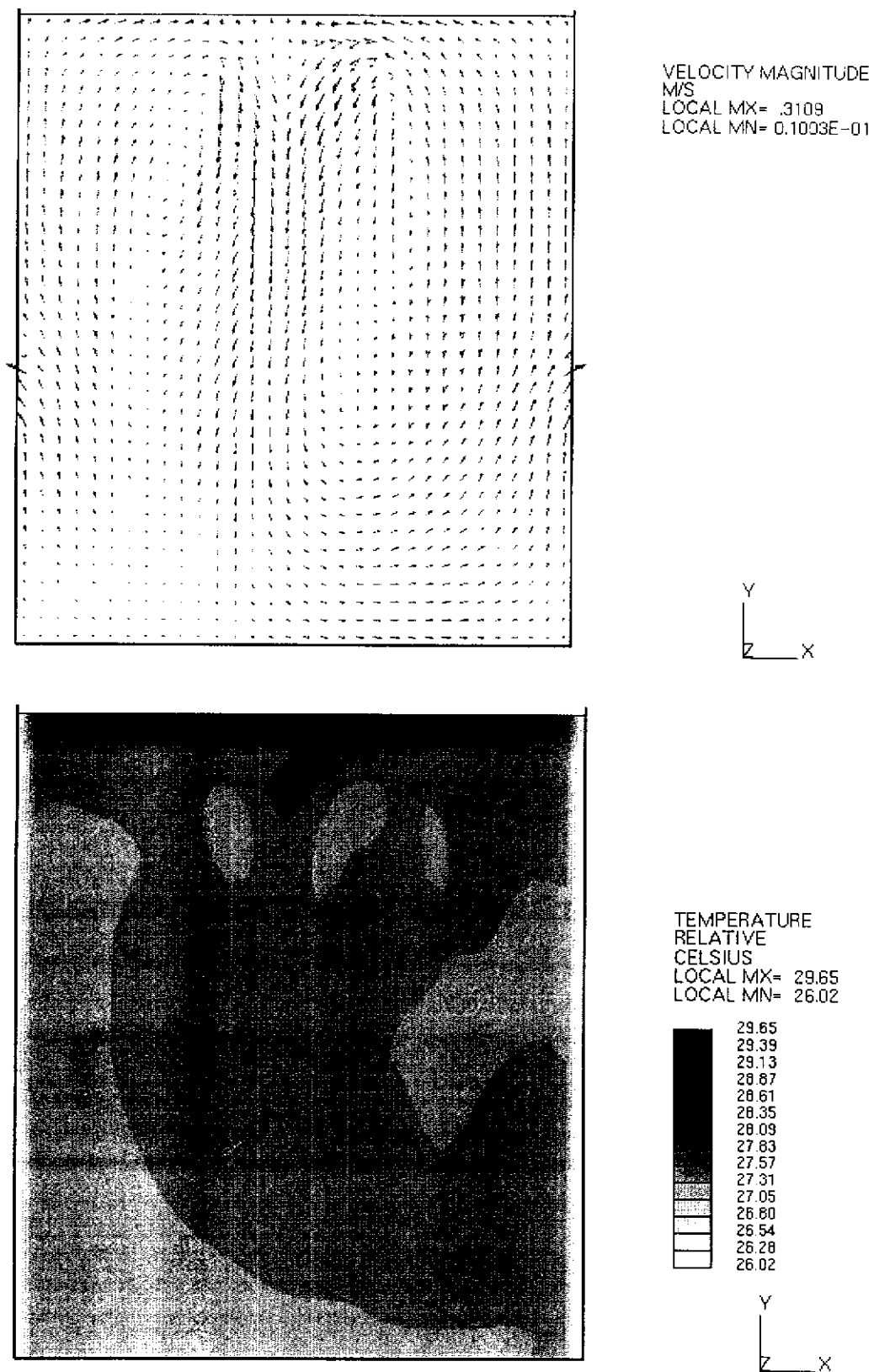


圖4-9(h) 入口數為二置於控制台上正上方時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

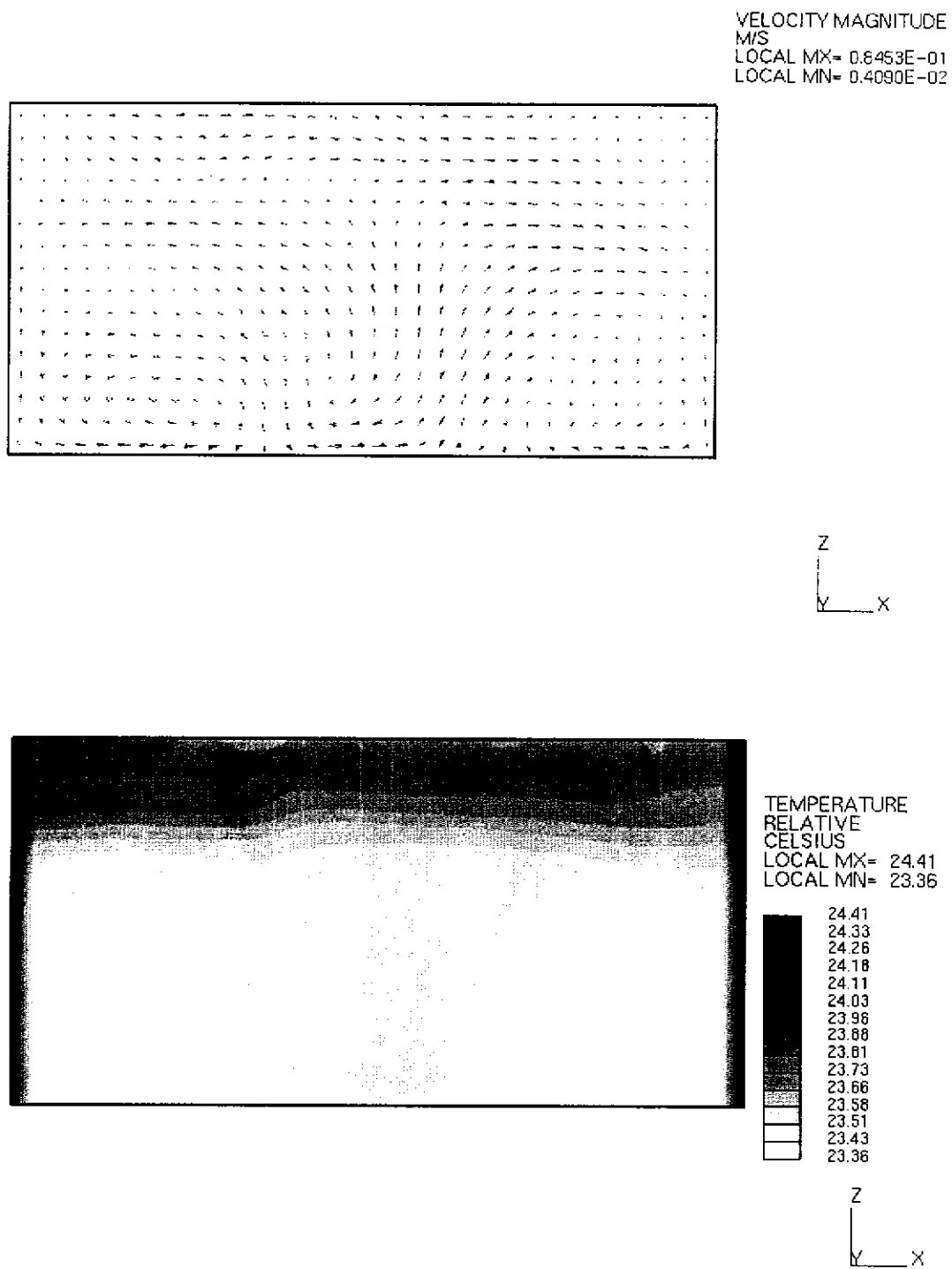


圖4-10(a) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=0.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

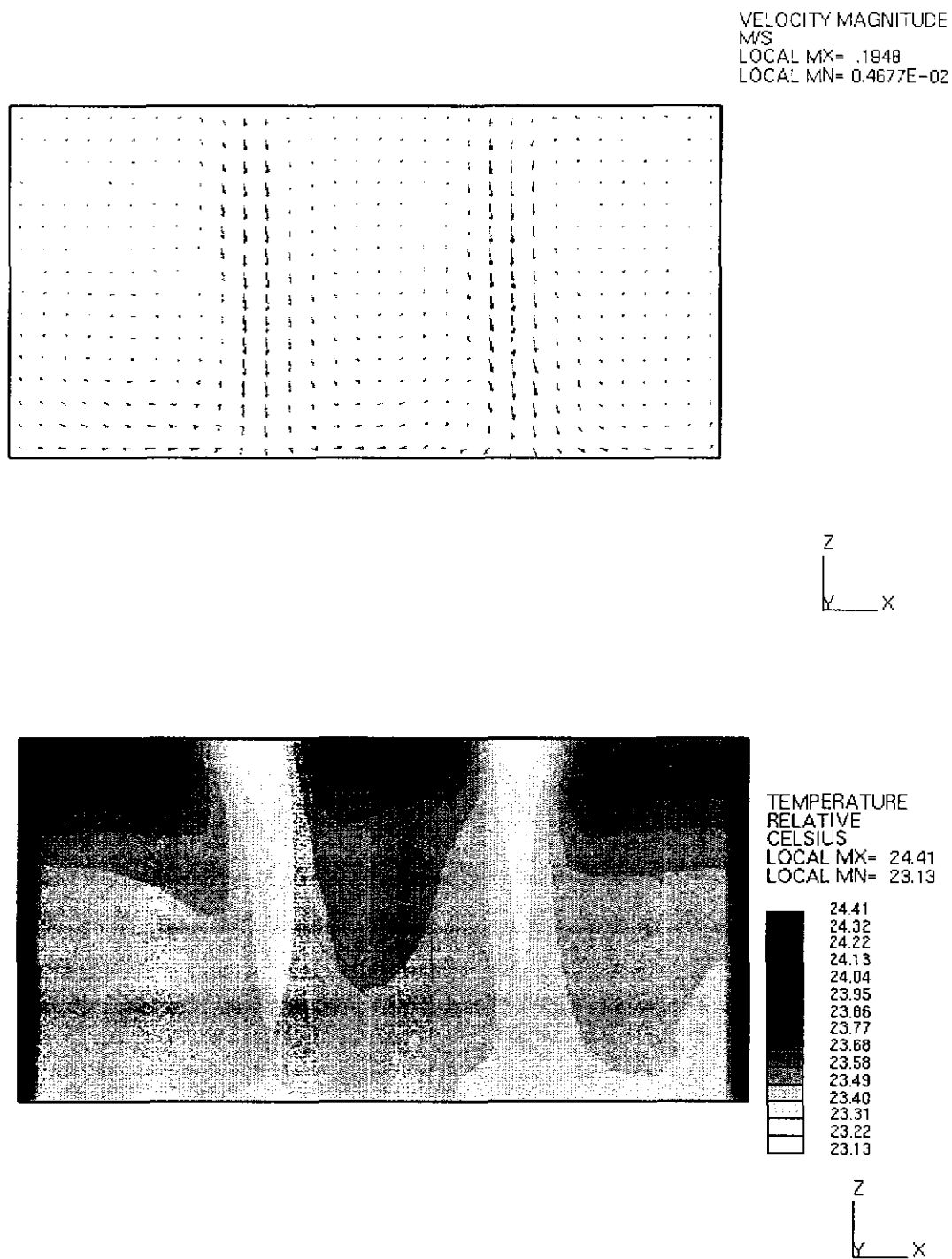


圖4-10(b) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=1.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

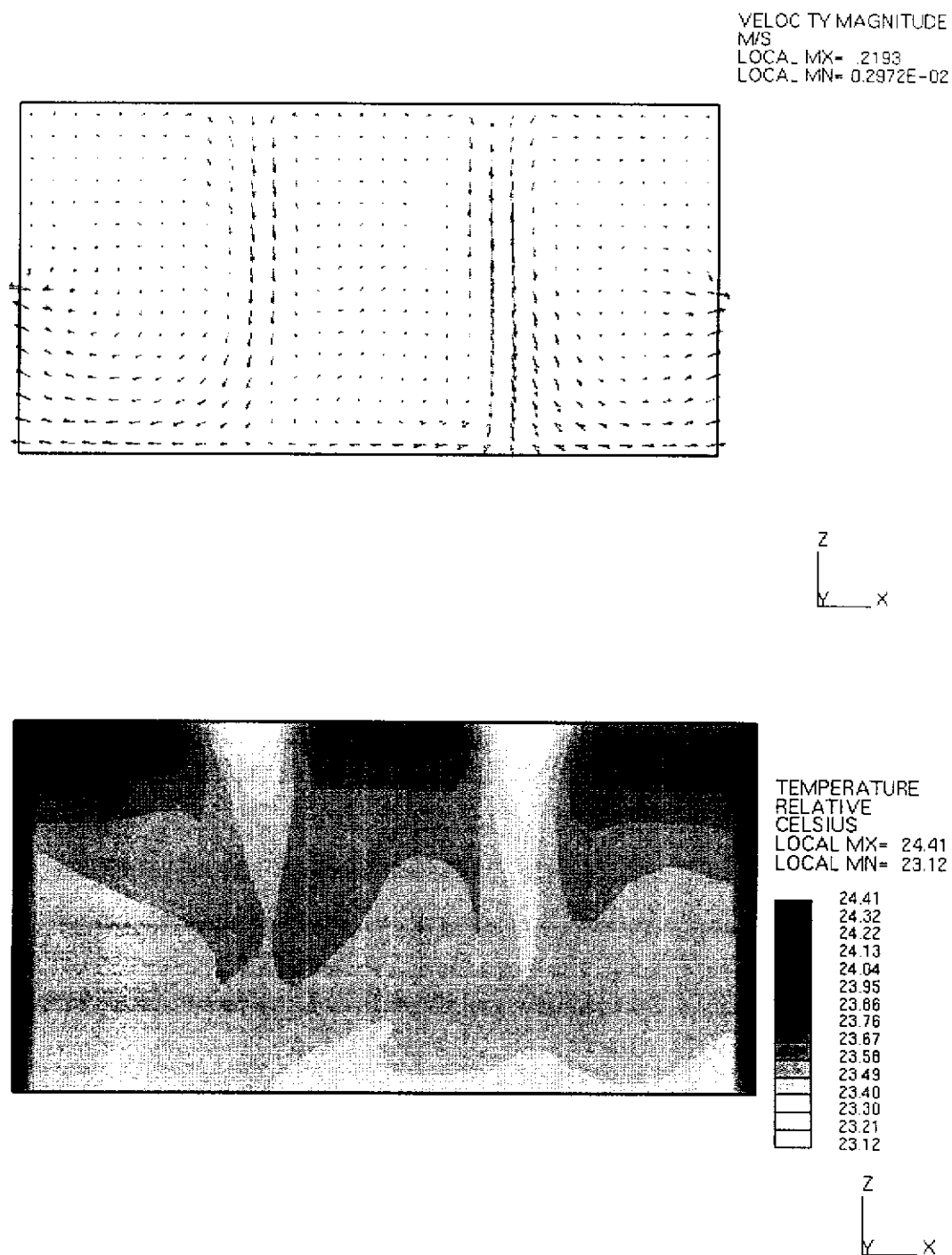


圖4-10(c) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

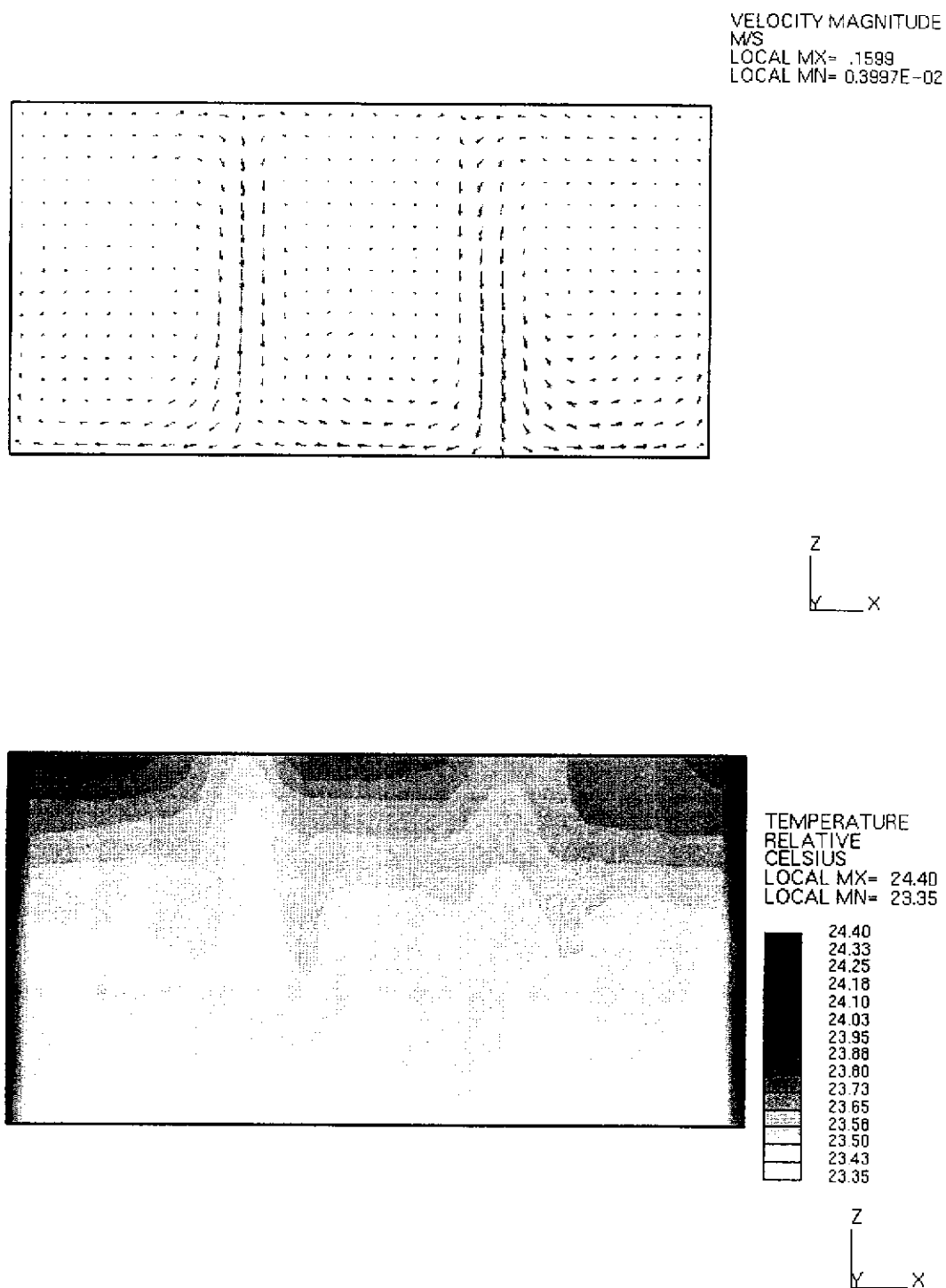


圖4-10(d) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=4.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

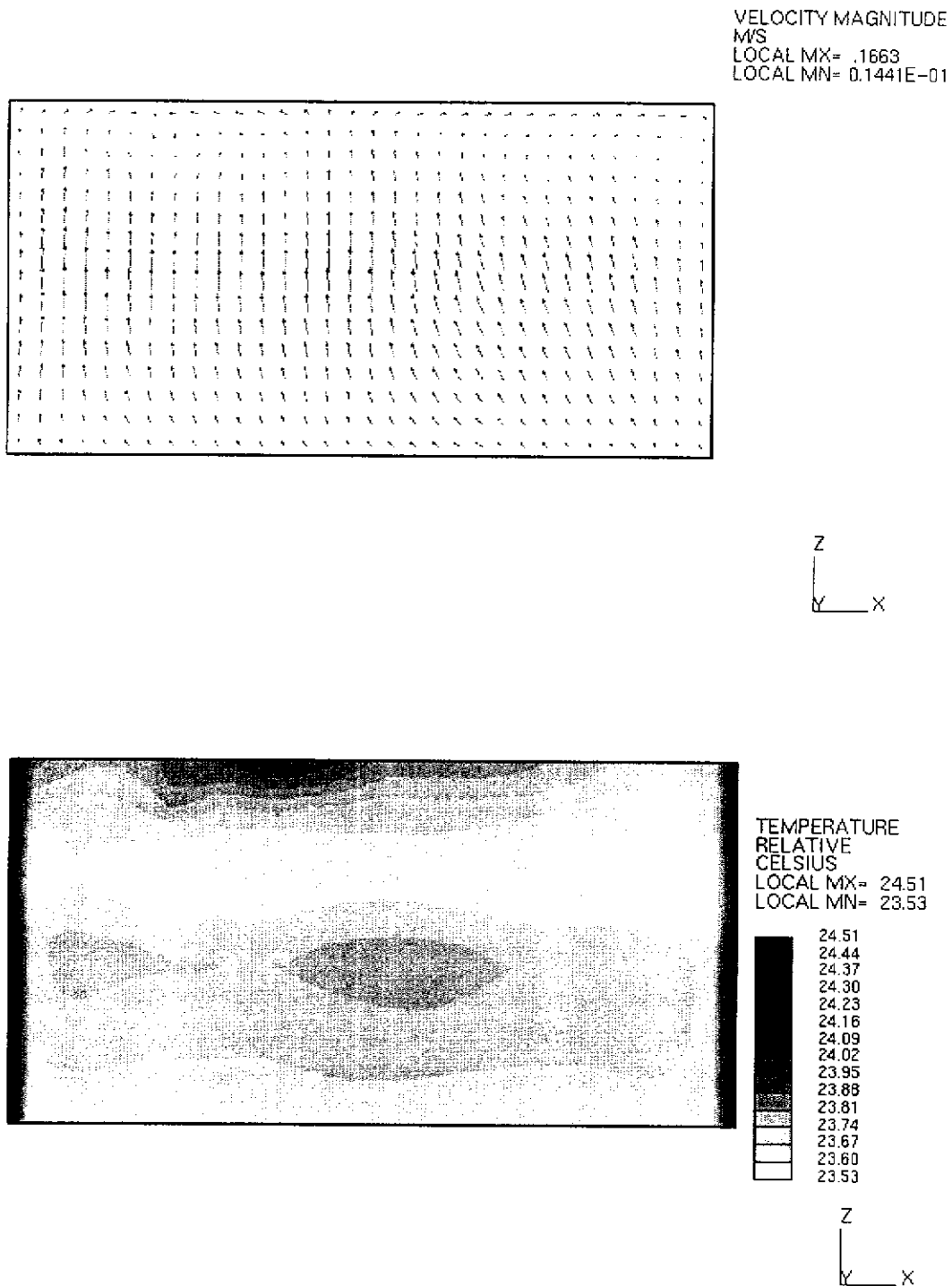
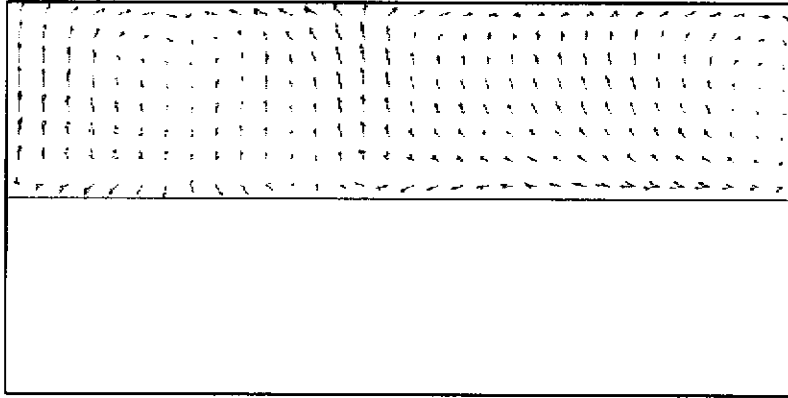


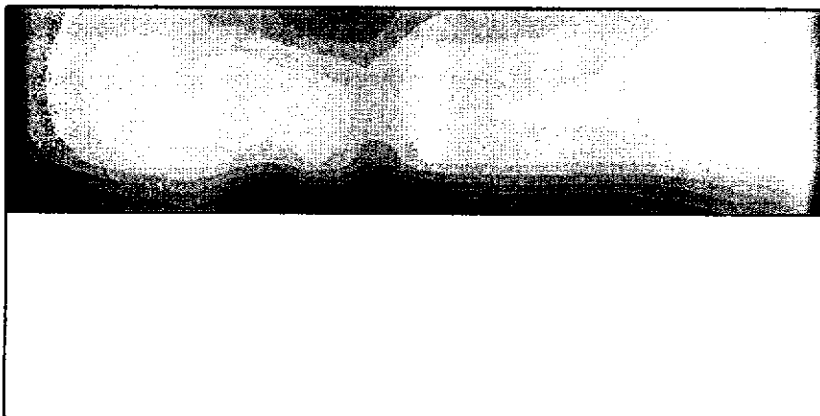
圖4-10(e) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1256
LOCAL MN= 0.6435E-02



Z
Y X

TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.76
LOCAL MN= 23.59



24.76
24.68
24.59
24.51
24.43
24.34
24.26
24.18
24.09
24.01
23.93
23.84
23.76
23.67
23.59

Z
Y X

圖4-10(f) 入口數為八時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

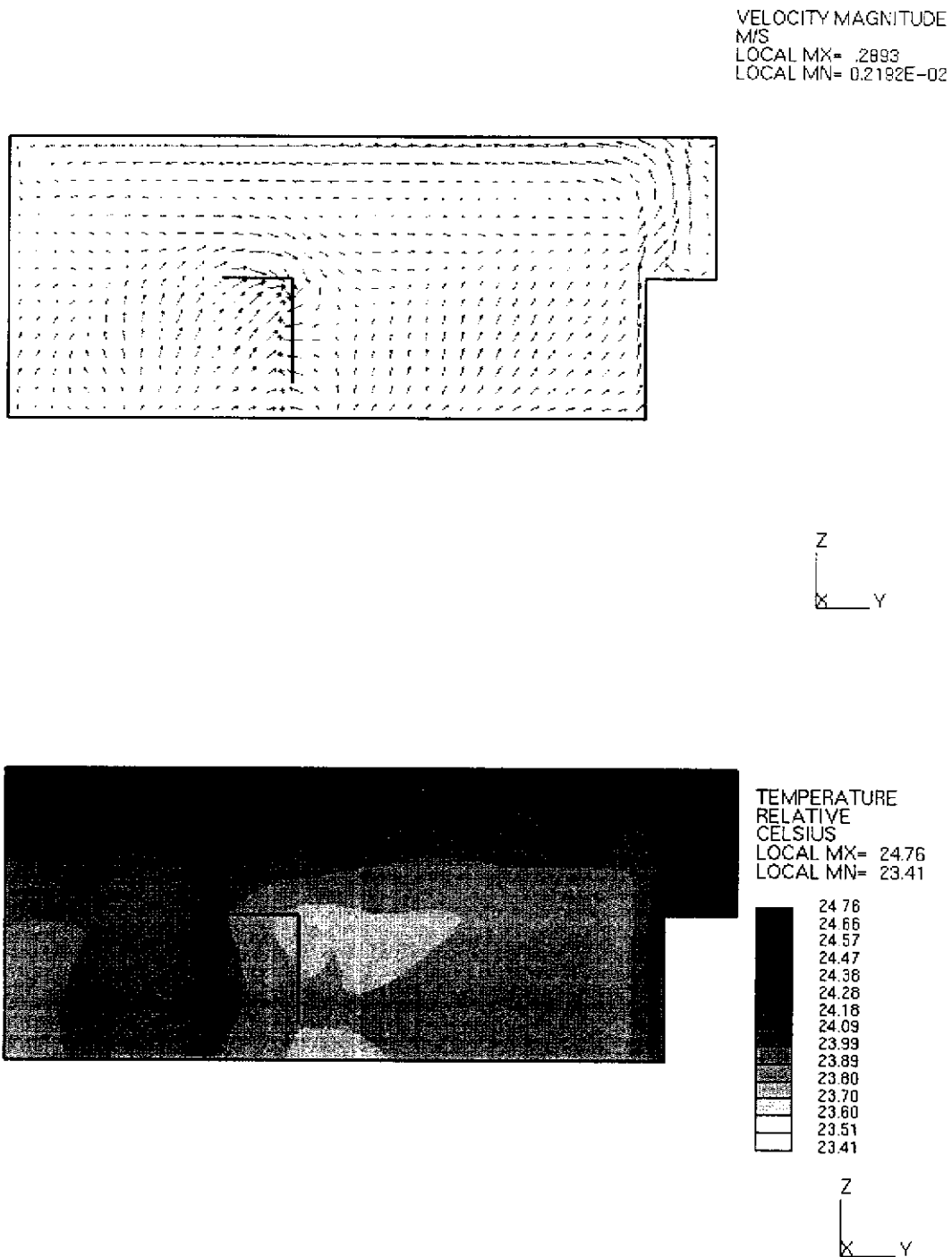


圖4-10(g) 入口數為八時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

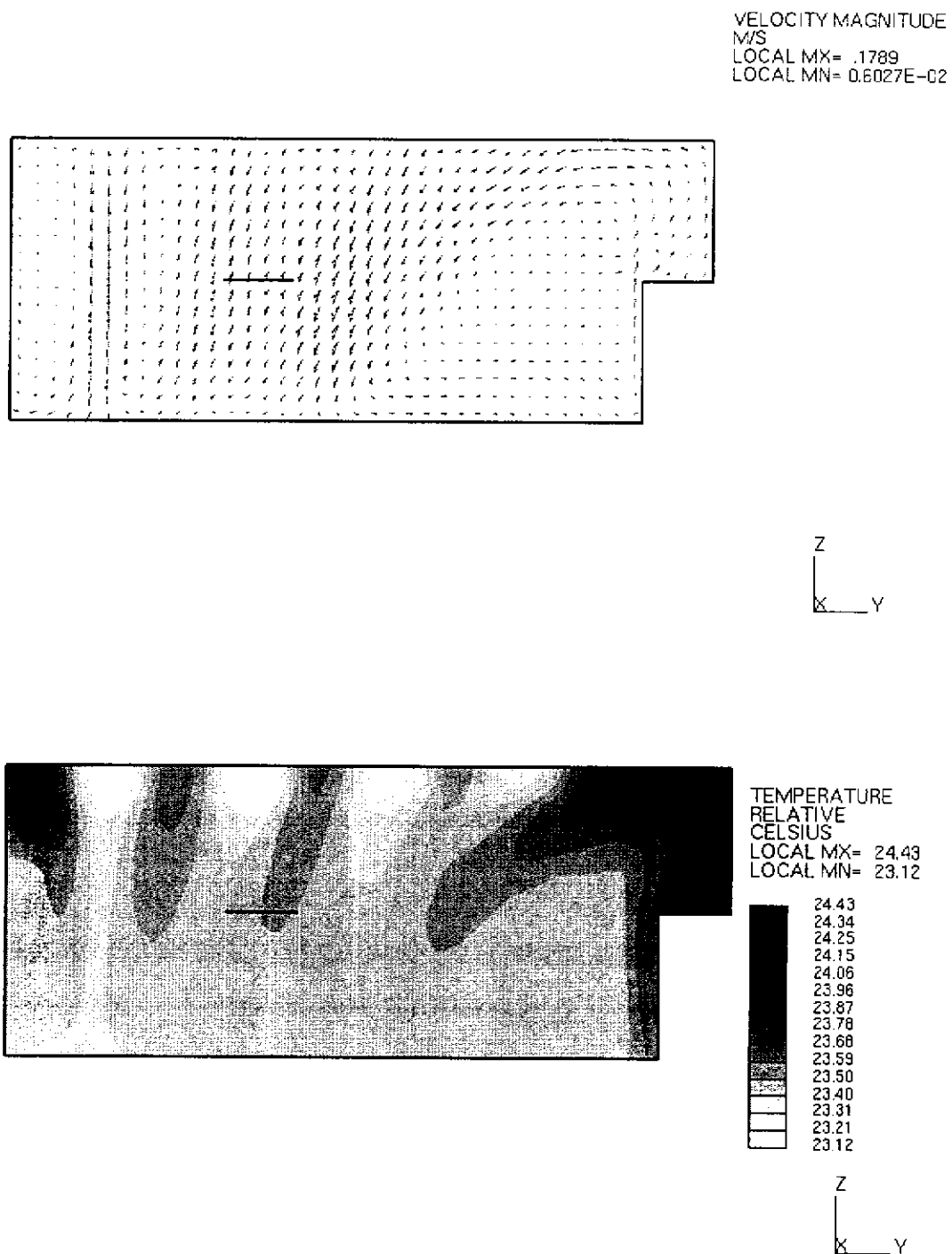
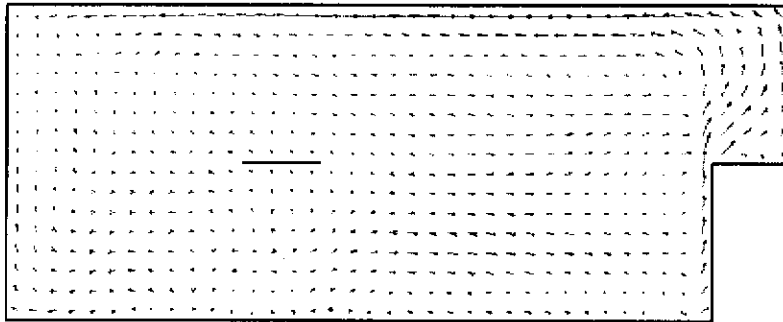
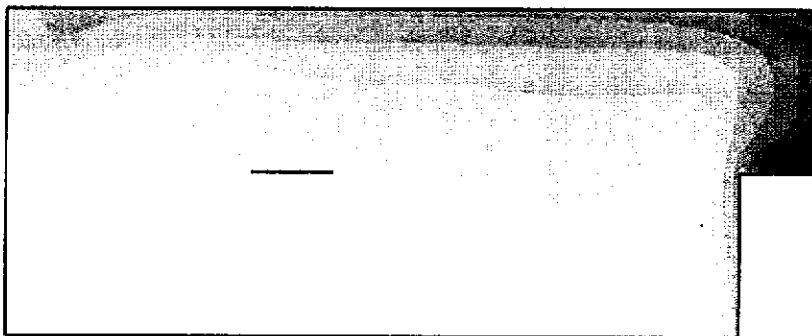


圖4-10(h) 入口數為八時，電廠控制室在 $x=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

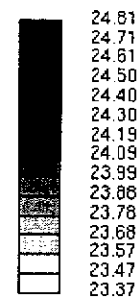
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1584
LOCAL MN= 0.1103E-02



Z
Y



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.81
LOCAL MN= 23.37



Z
Y

圖4-10(i) 入口數為八時，電廠控制室在 $x=4m$ 截面速度向量及溫度場圖

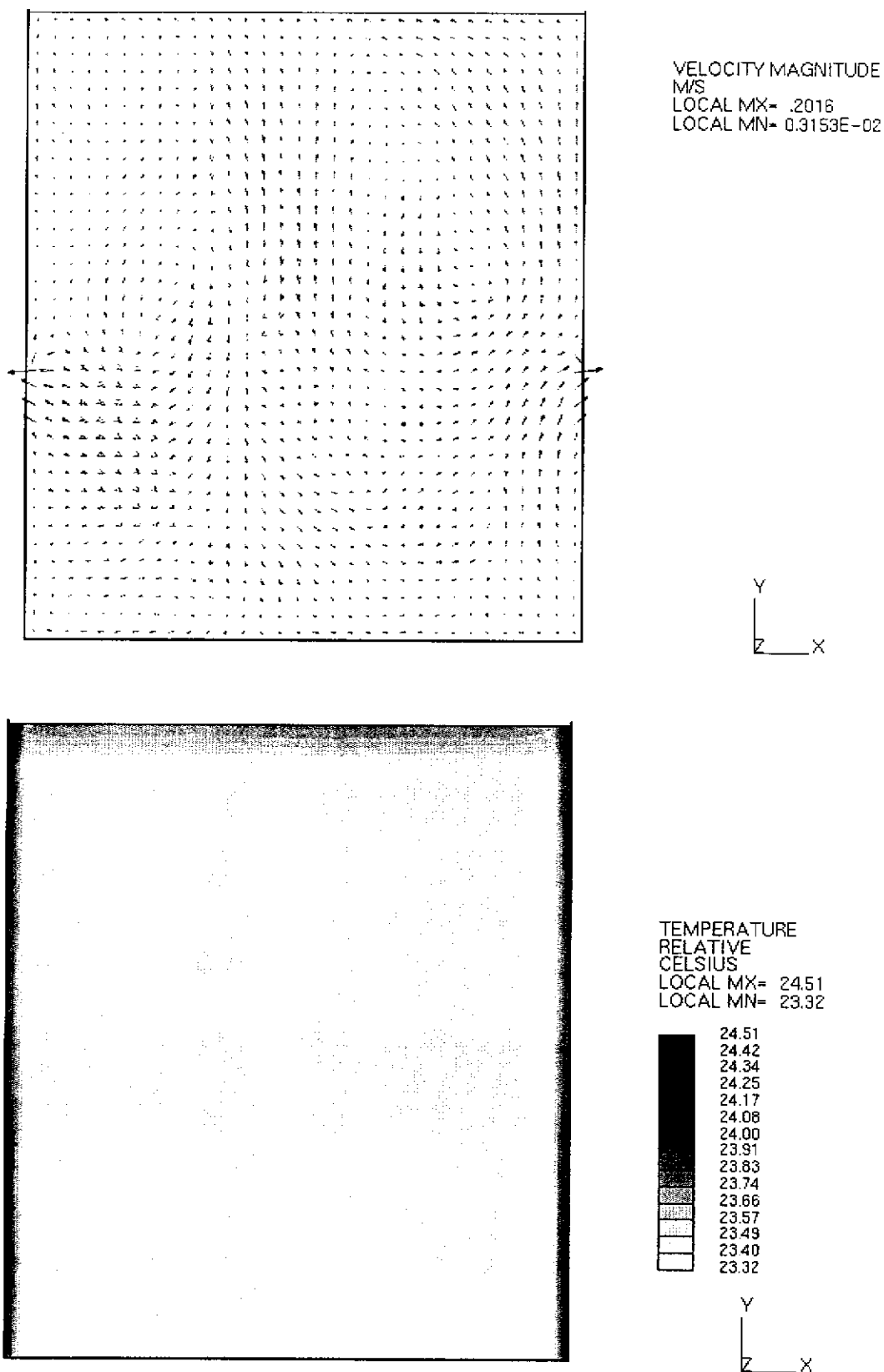


圖4-10(j) 入口數為八時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

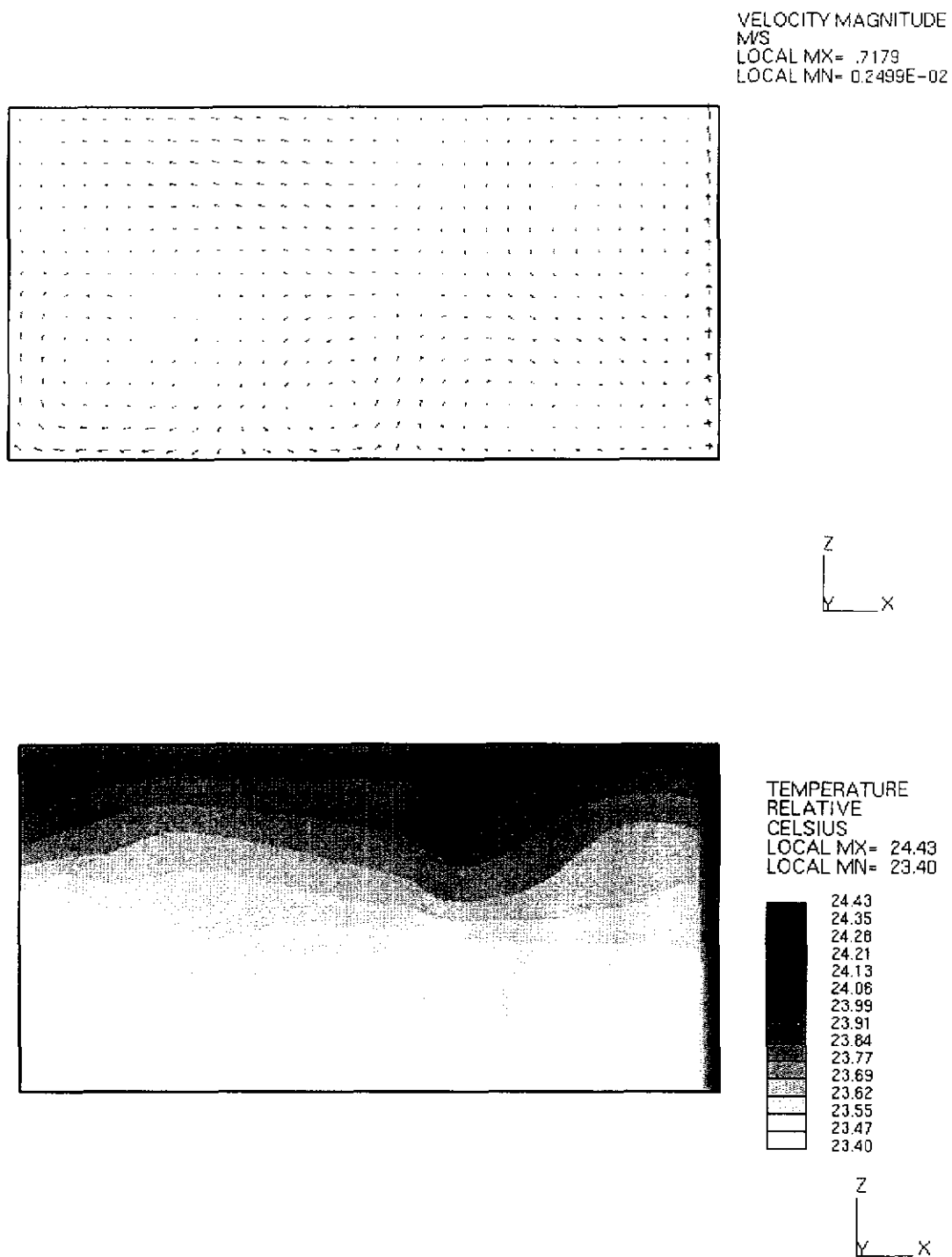


圖4-11(a) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

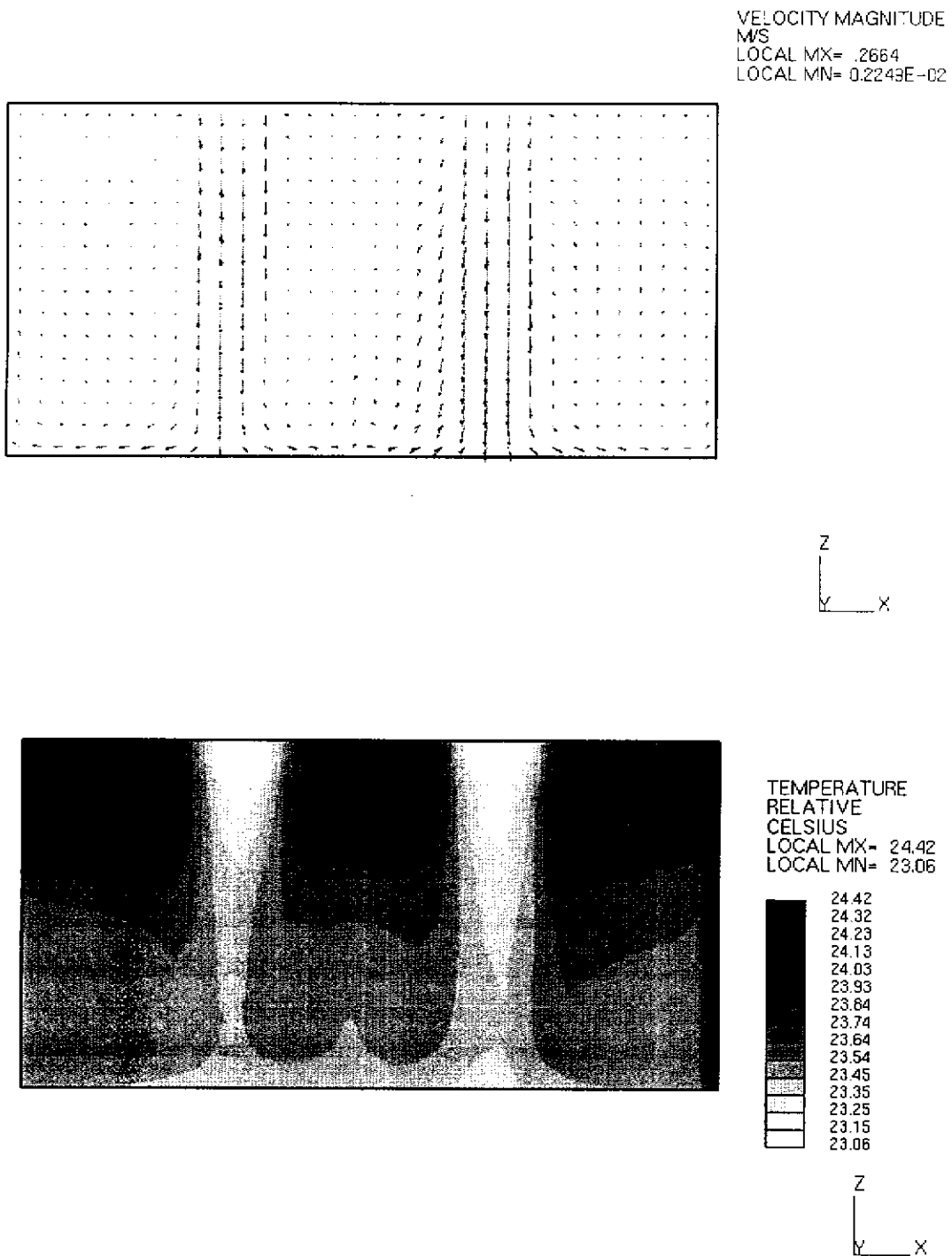


圖4-11(b) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

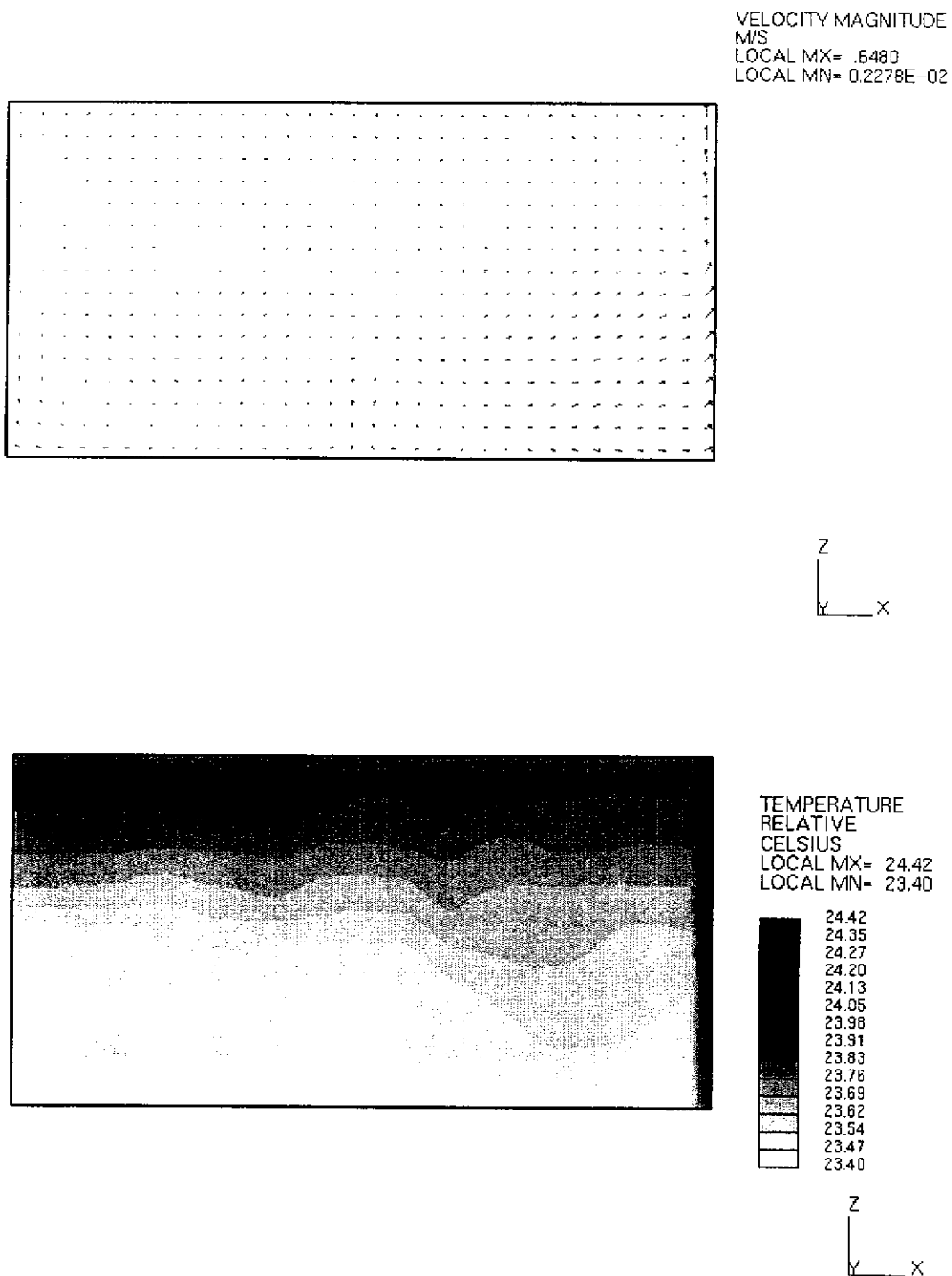


圖4-11(c) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

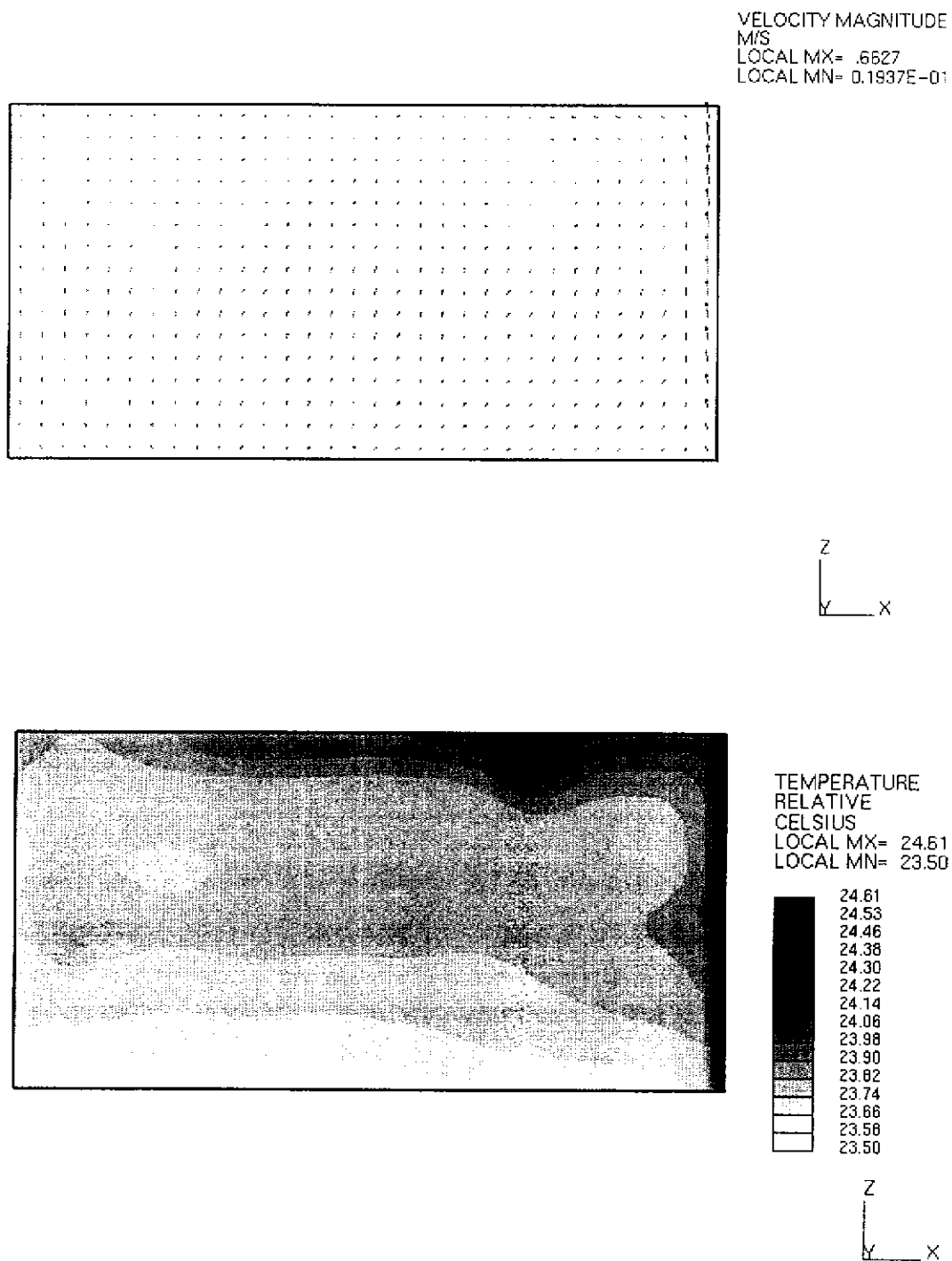


圖4-11(d) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

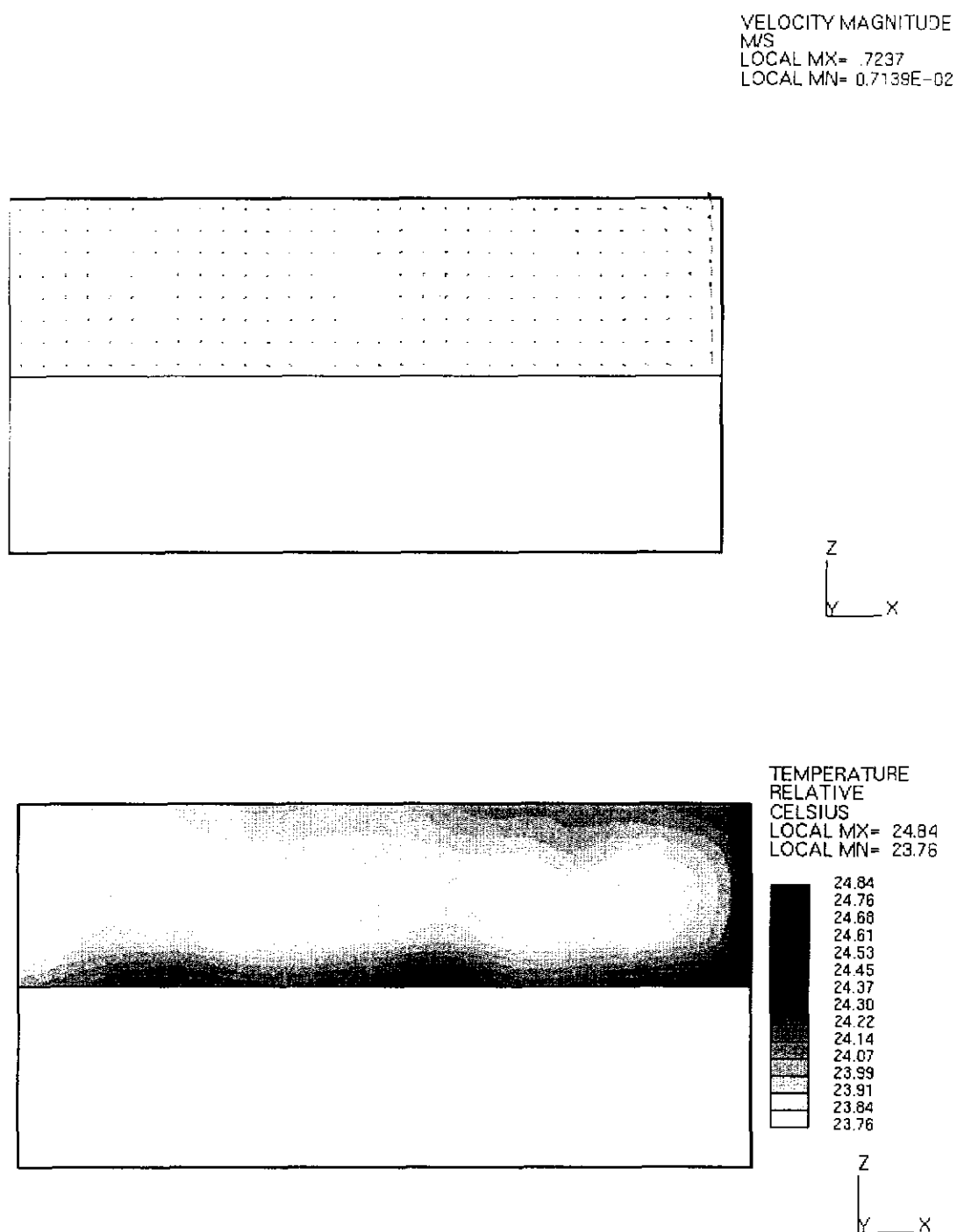
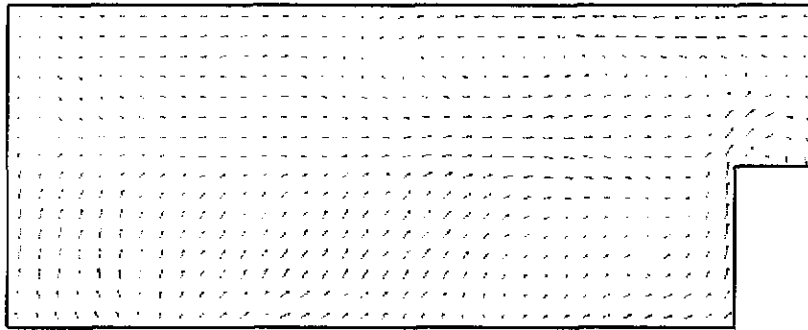


圖4-11(e) 出口數為一時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

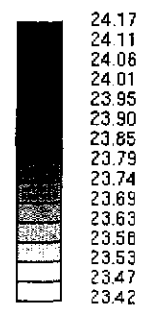
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1372
LOCAL MN= 0.7207E-02



Z
Y



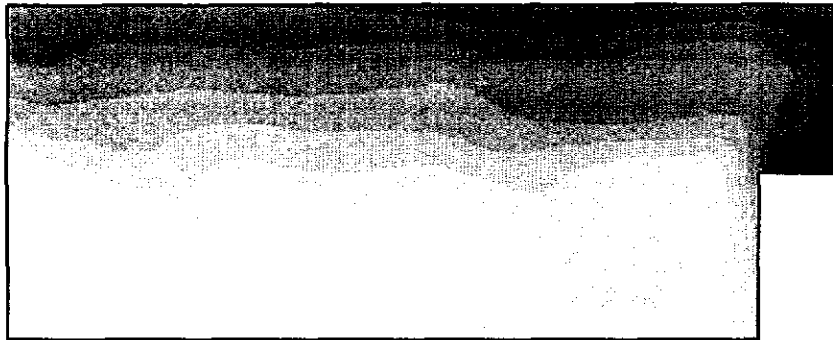
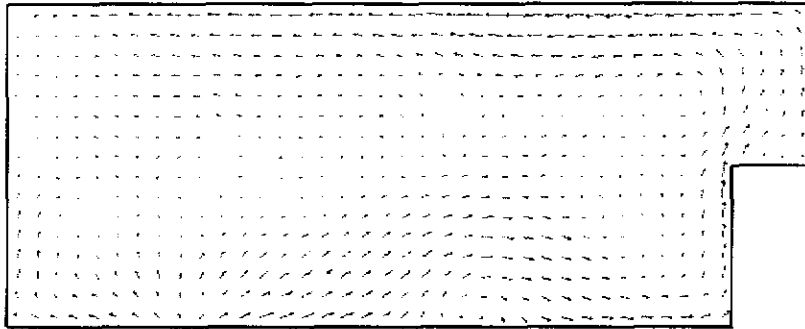
TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.17
LOCAL MN= 23.42



Z
Y

圖4-11(f) 出口數為一時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1426
LOCAL MN= 0.2205E-02



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.58
LOCAL MN= 23.41

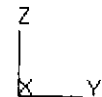
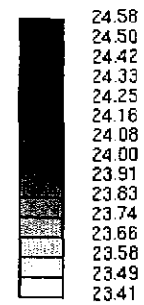


圖4-11(g) 出口數為一時，電廠控制室在 $x=4m$ 截面速度向量及溫度場圖

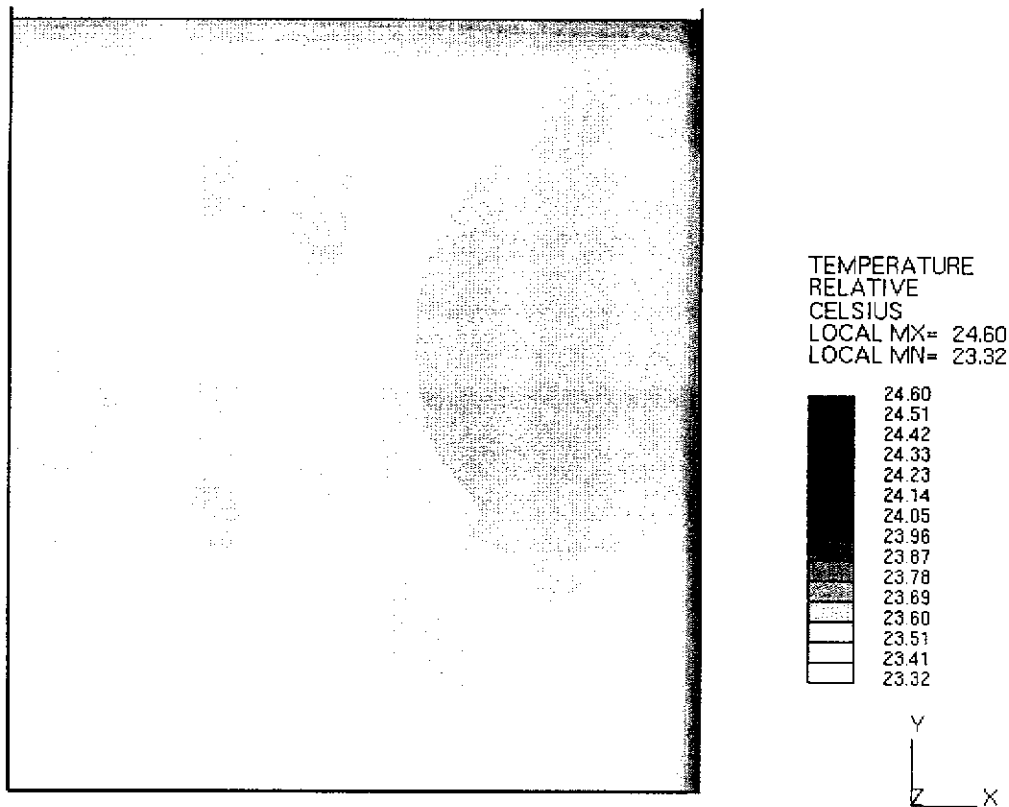
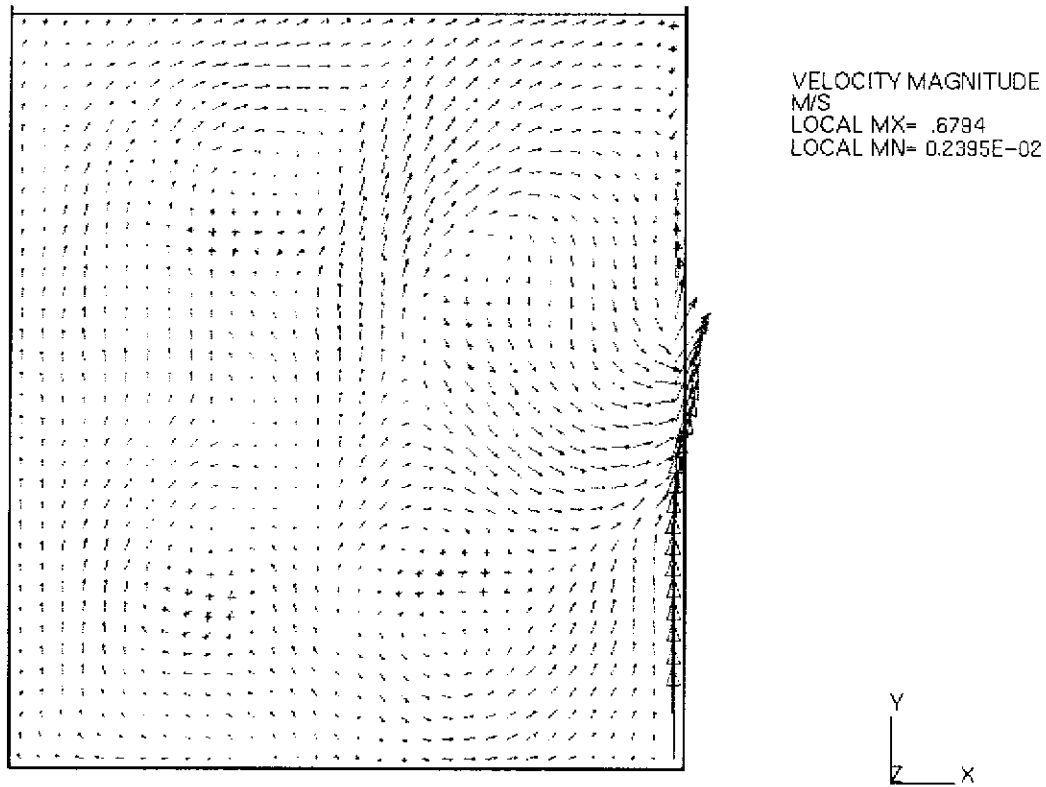


圖4-11(h) 出口數為一時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

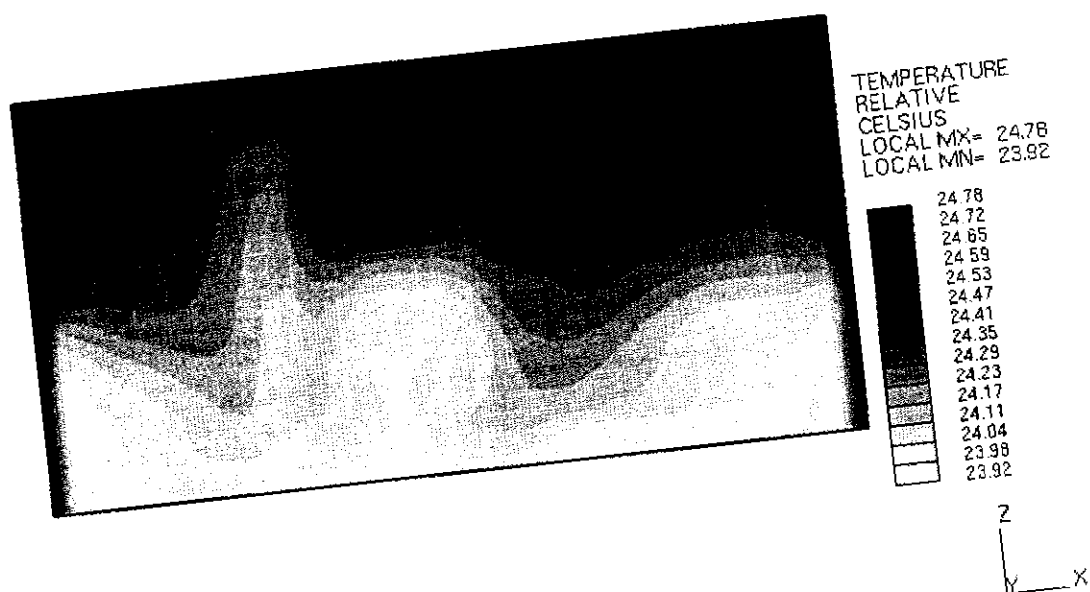
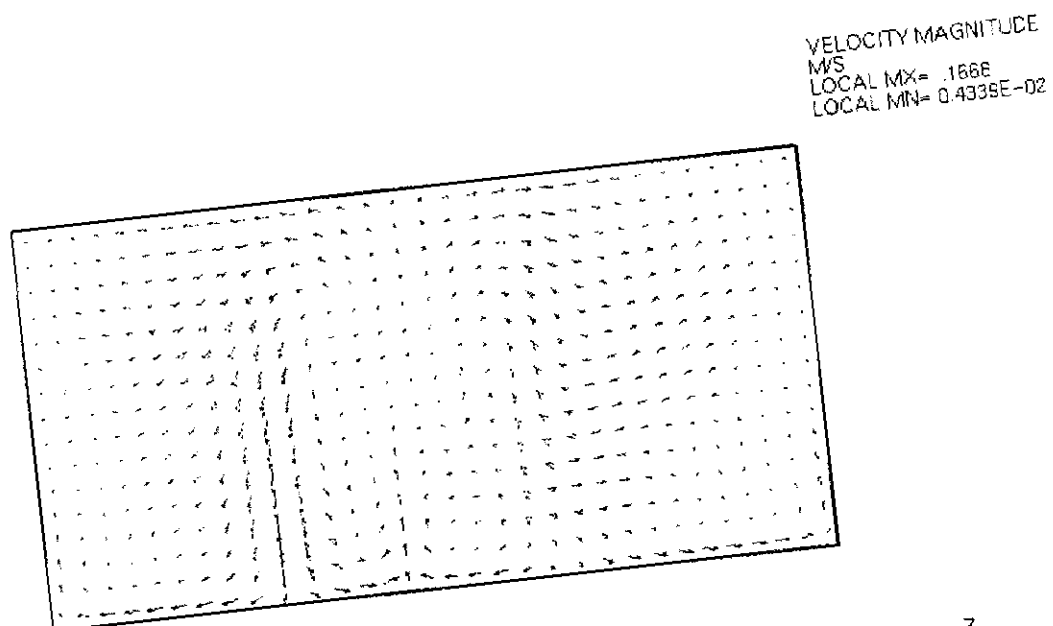


圖4-12(a) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

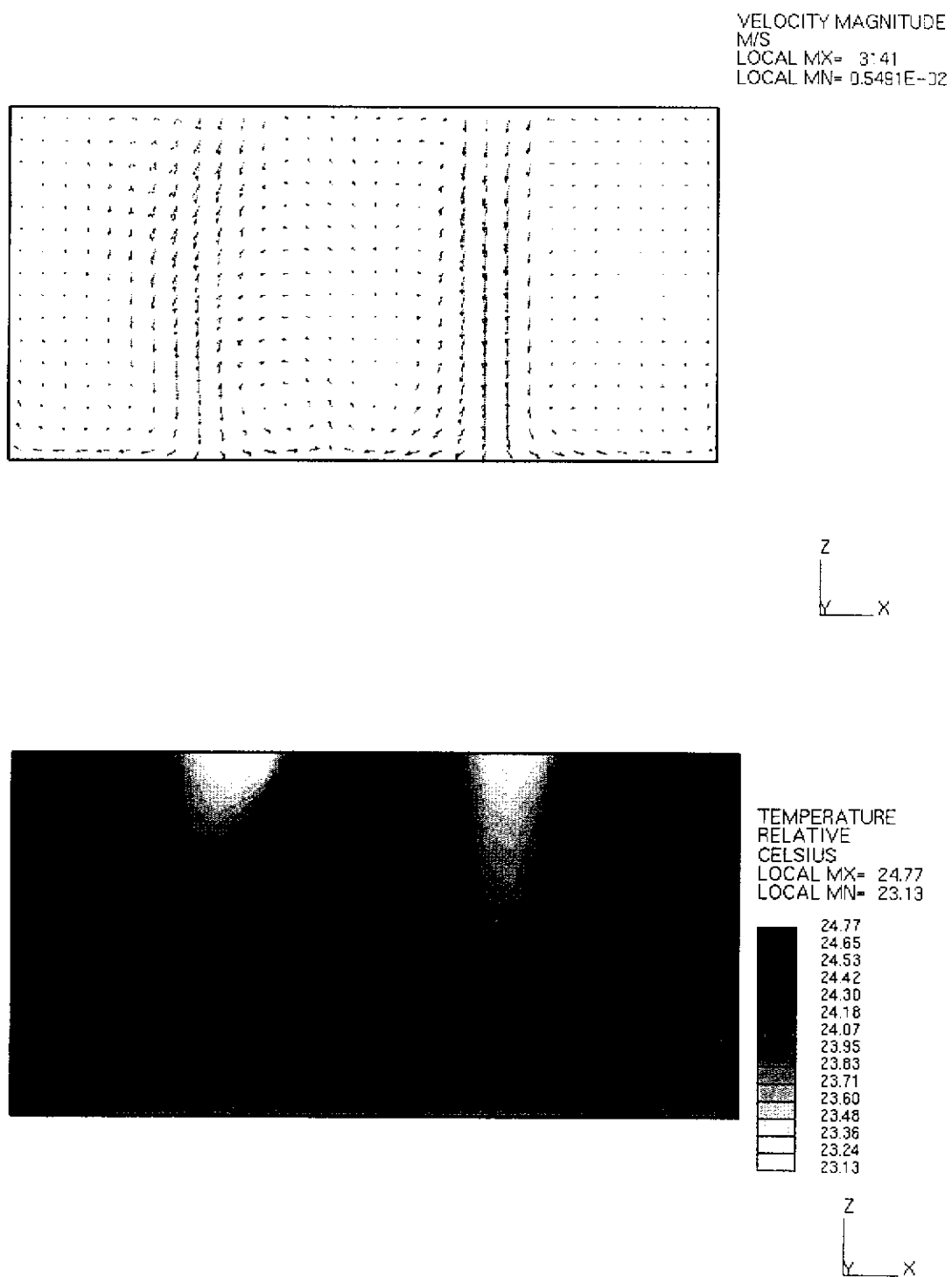


圖4-12(b) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

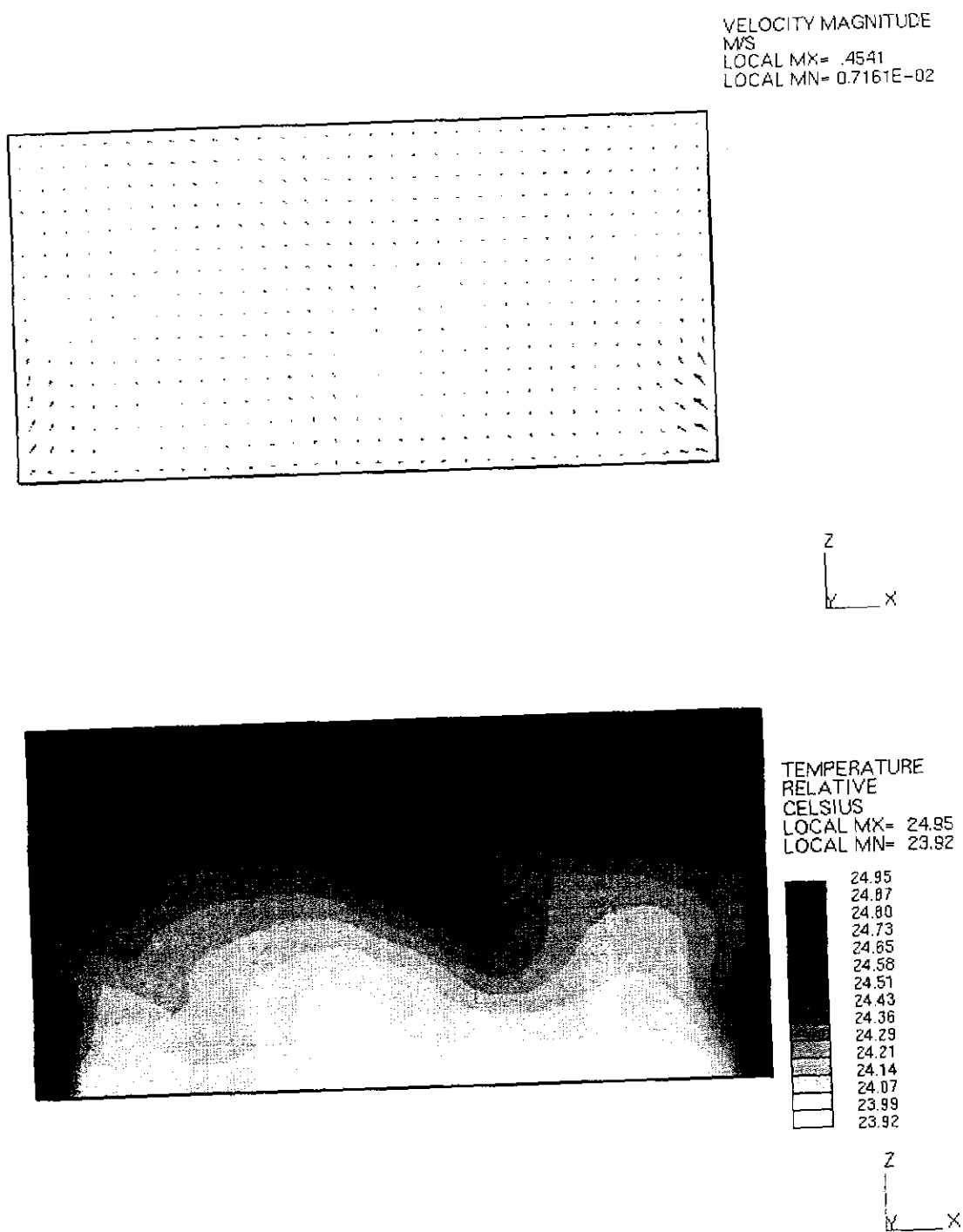


圖4-12(c) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

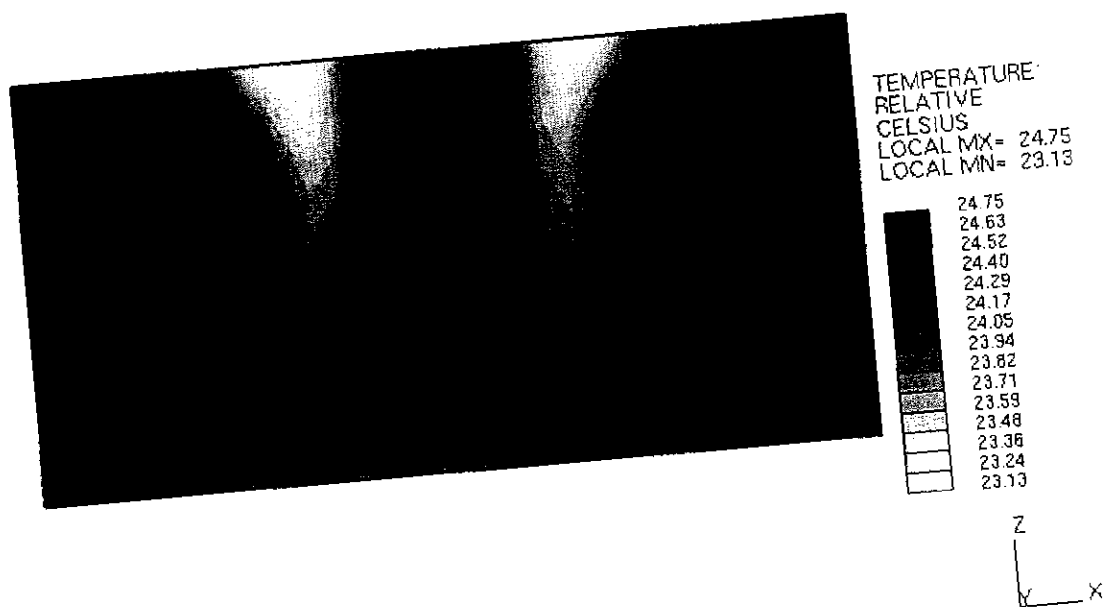
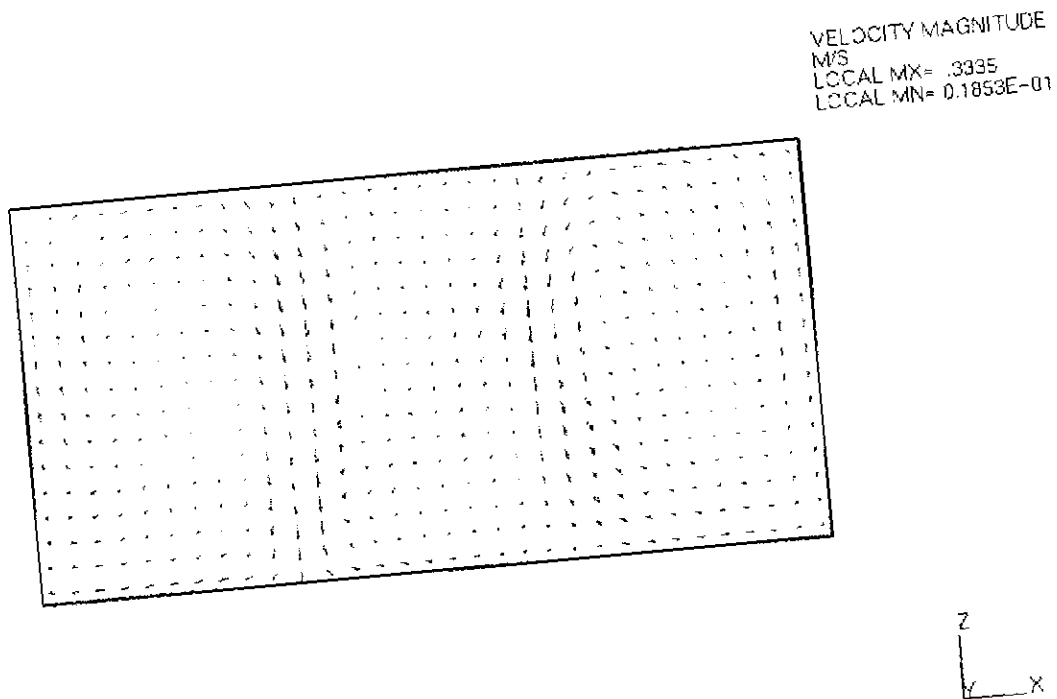


圖4-12(d) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=6.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

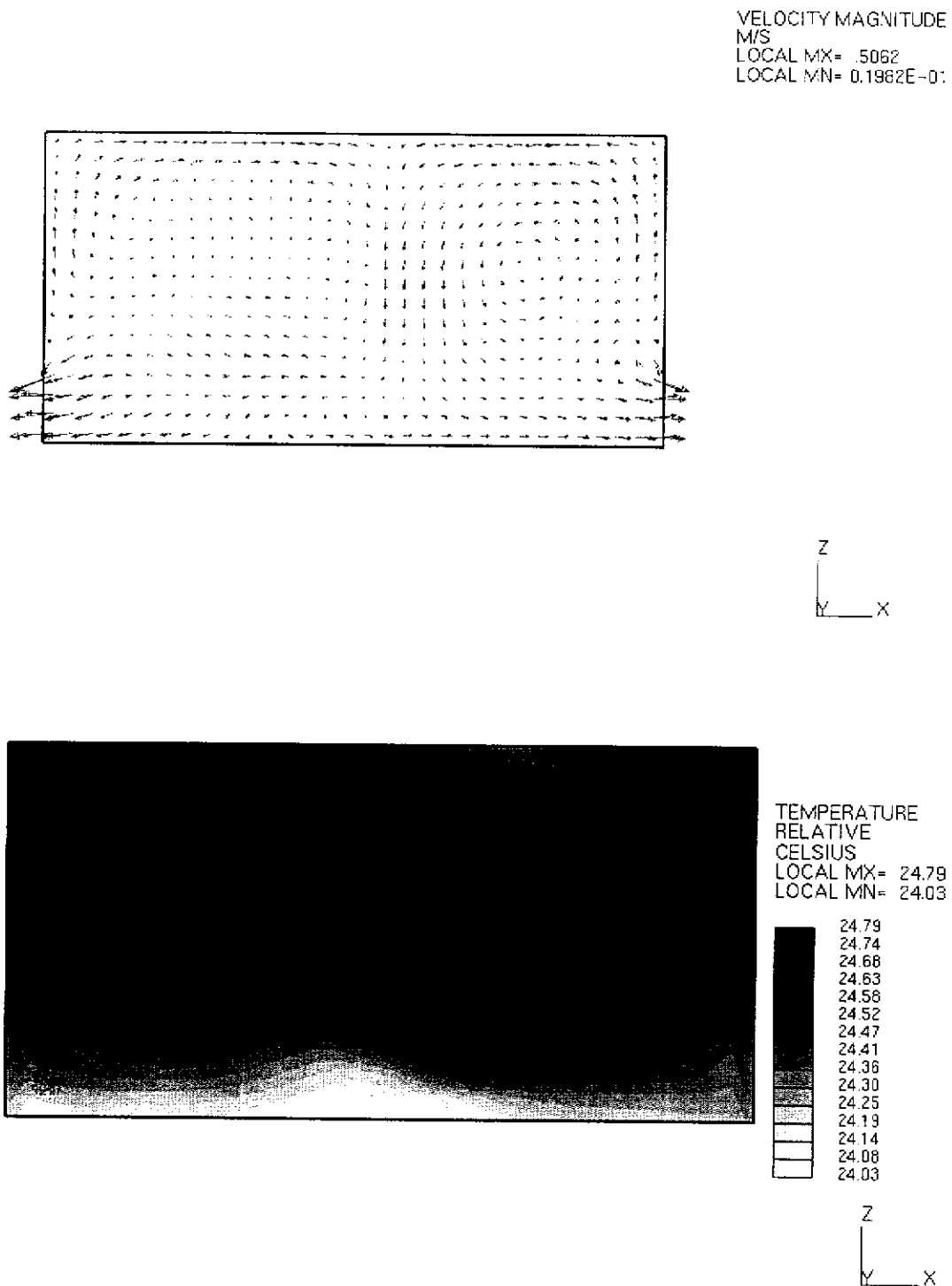
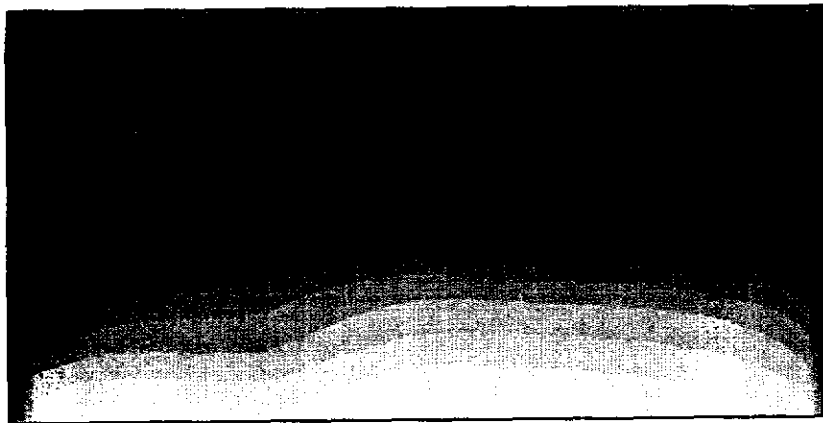
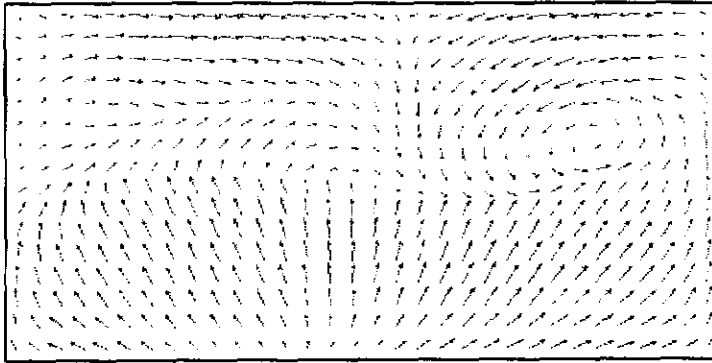


圖4-12(e) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=7.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1658
LOCAL MN= 0.4408E-01



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.97
LOCAL MN= 24.12

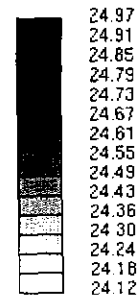
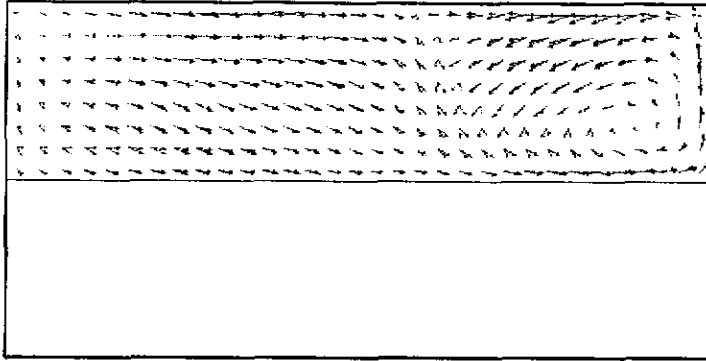


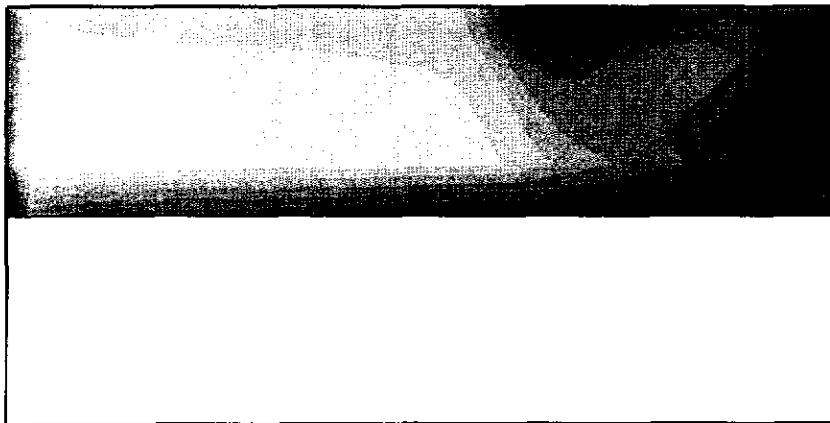
圖4-12(f) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=8.9\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

VELOCITY MAGNITUDE
MS
LOCAL MX= .1525
LOCAL MN= 0.9807E-02



Z
Y X

TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 25.09
LOCAL MN= 24.48



25.09
25.05
25.01
24.96
24.92
24.87
24.83
24.79
24.74
24.70
24.66
24.61
24.57
24.52
24.48

Z
Y X

圖4-12(g) 出口數為四時，電廠控制室在 $y=9.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

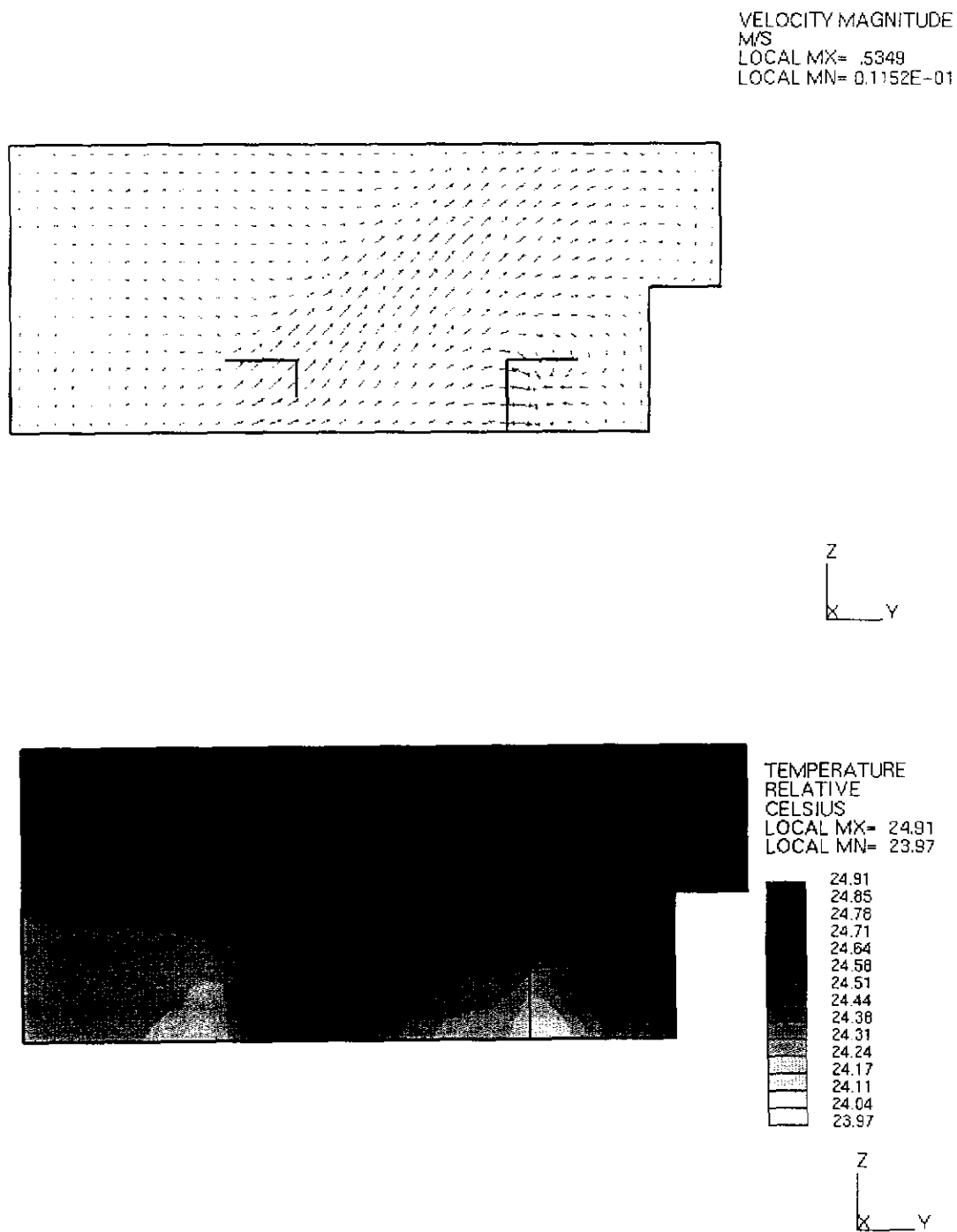


圖4-12(h) 出口數為四時，電廠控制室在 $x=0.1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

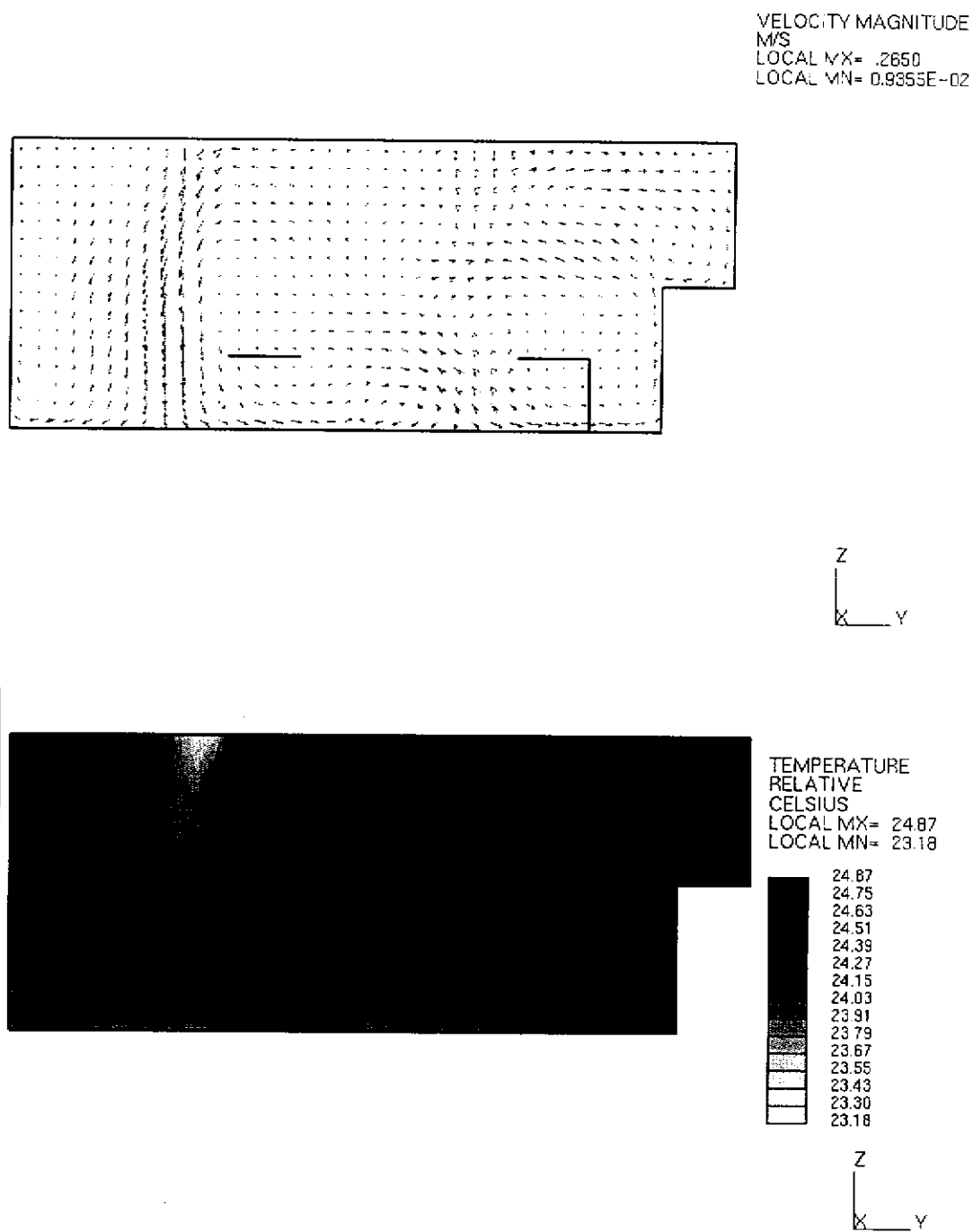


圖4-12(i) 出口數為四時，電廠控制室在 $x=2\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

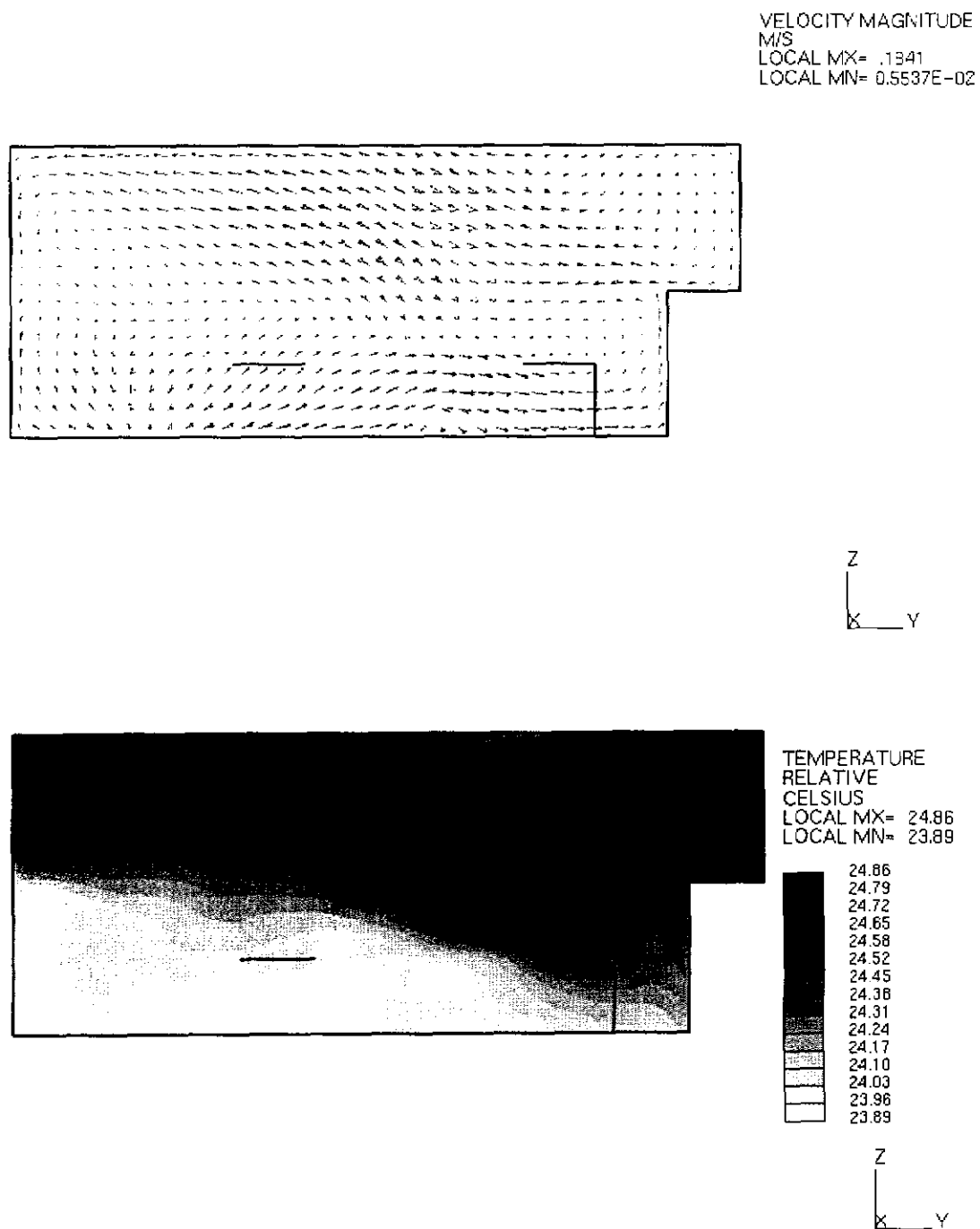


圖4-12(j) 出口數為四時，電廠控制室在 $x=3.5\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

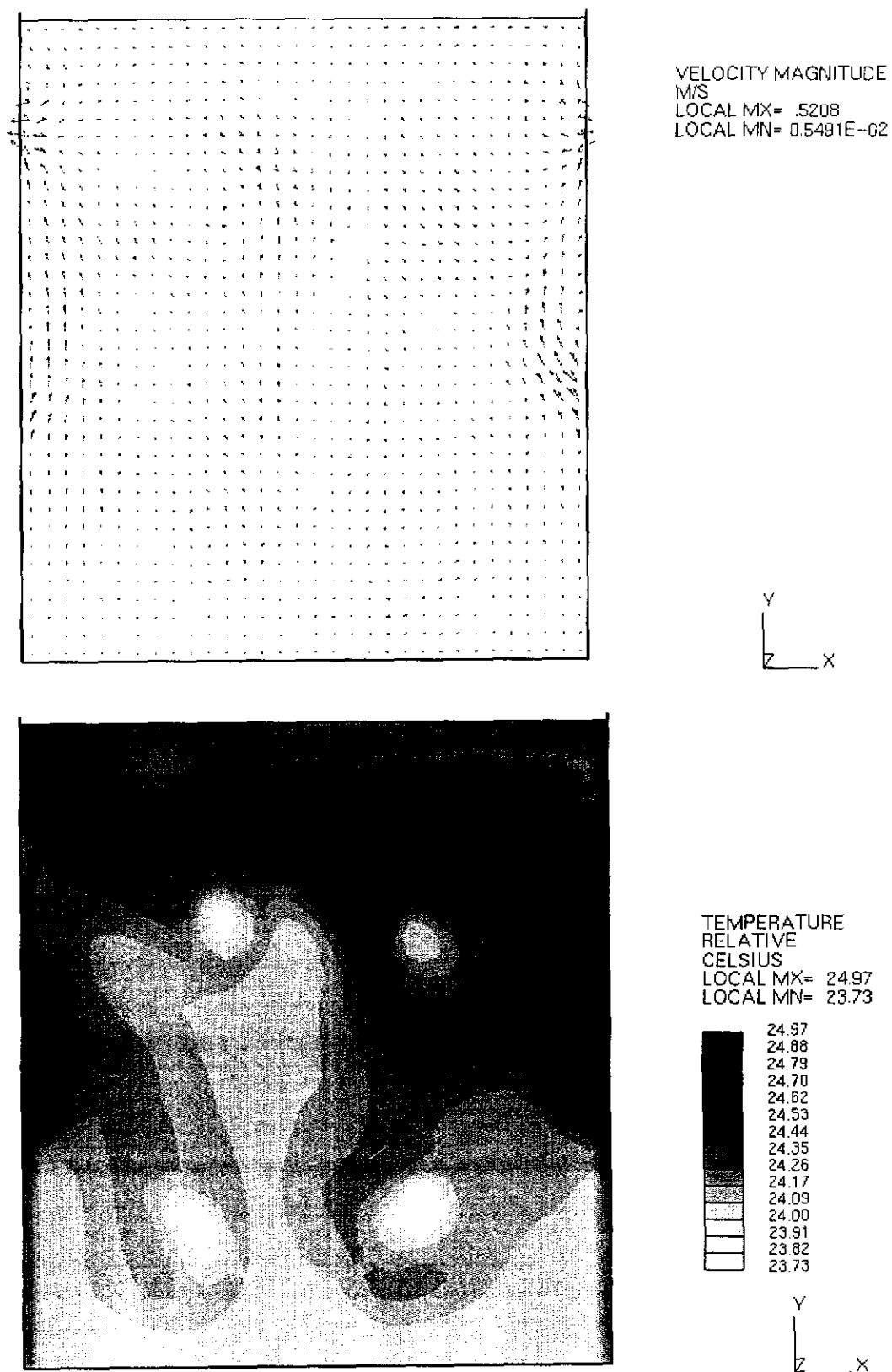


圖4-12(k) 出口數為四時，電廠控制室在 $z=1\text{m}$ 截面速度向量及溫度場圖

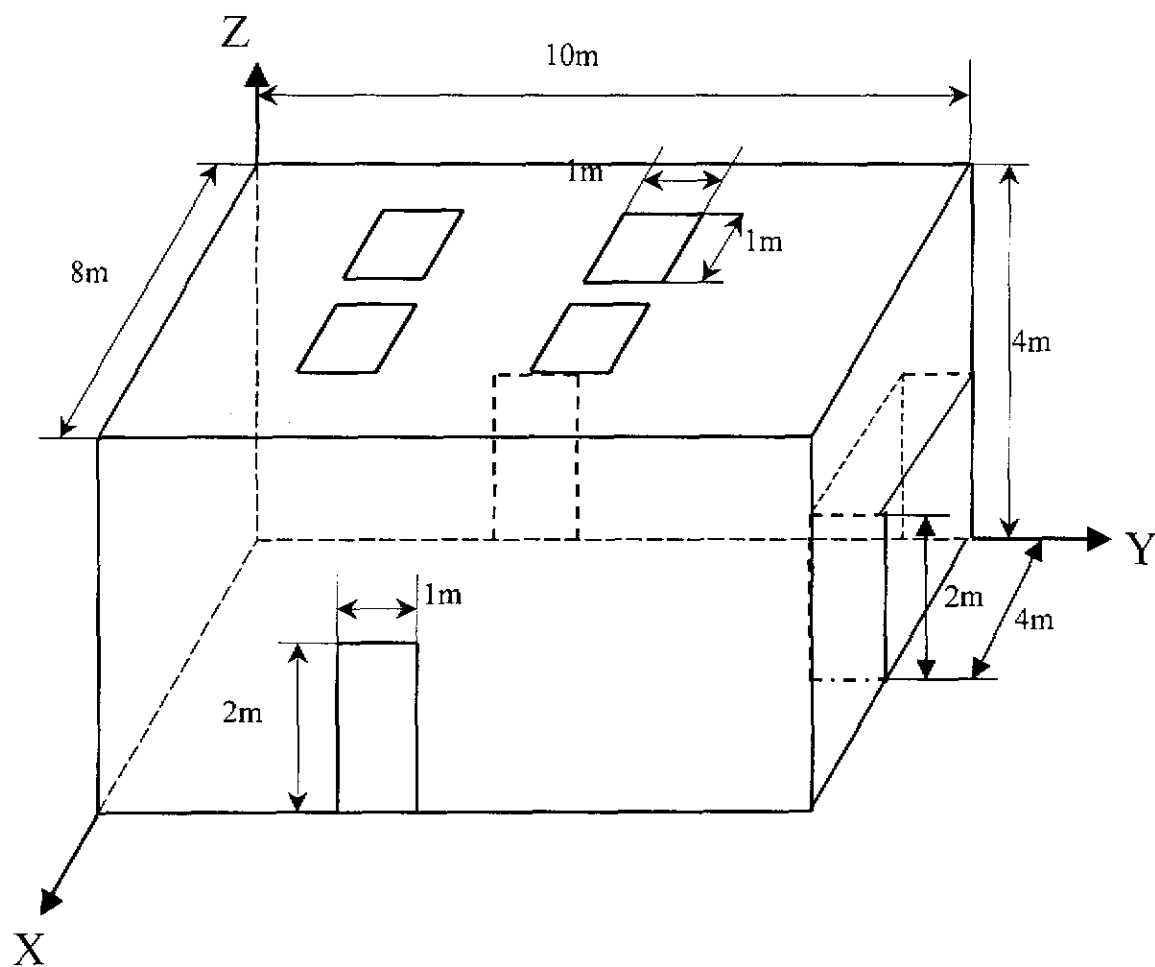


圖 4-13 控制台為 $4\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 電廠控制室幾何尺寸圖

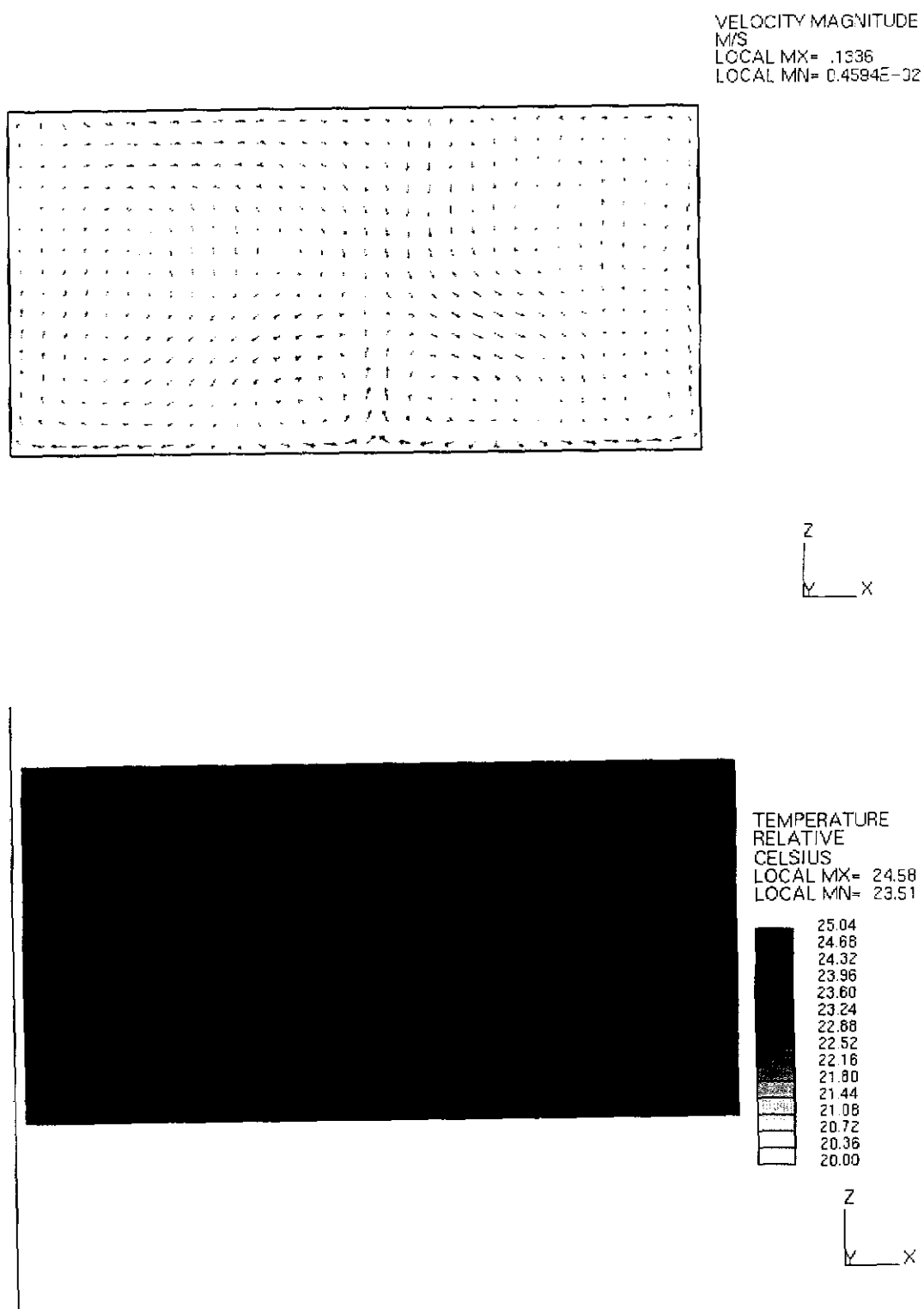


圖4-14(a) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在y=1m 截面
速度向量及溫度場圖

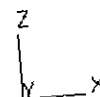
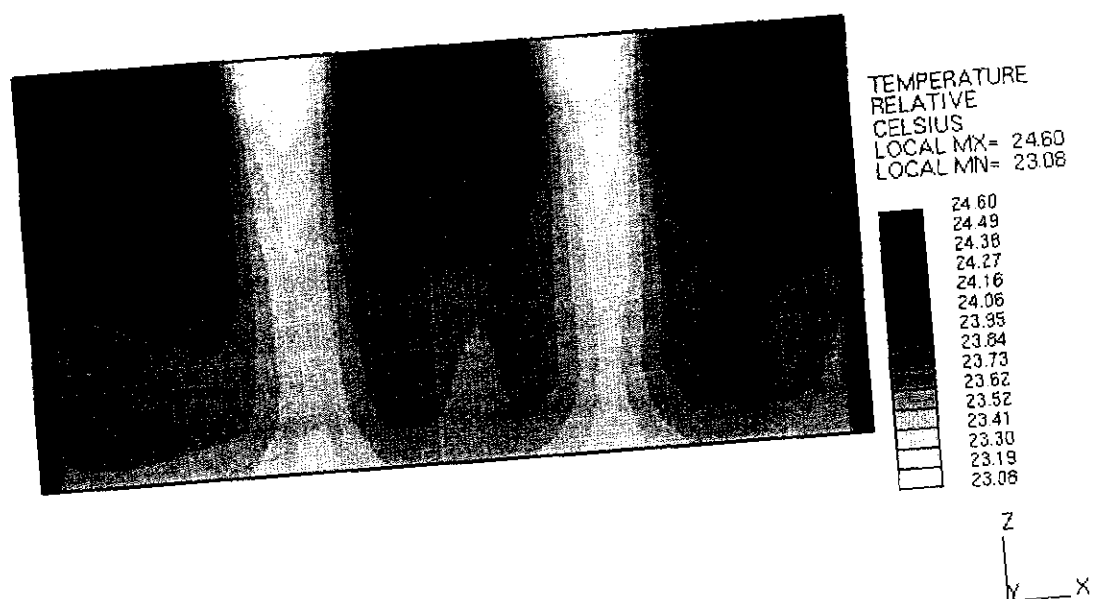
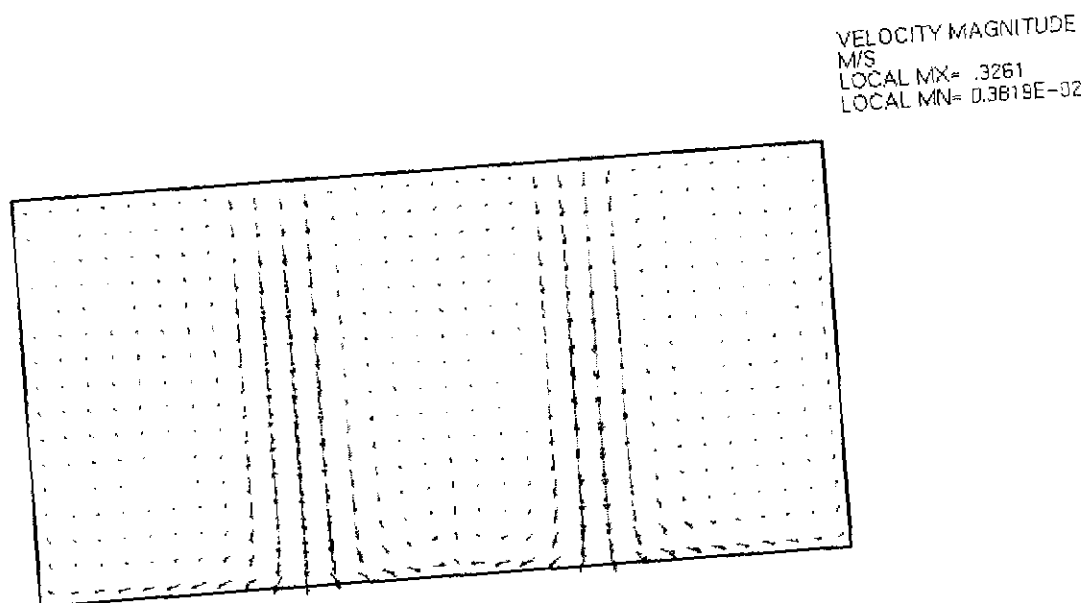


圖4-14(b) 控制台為 $(4\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m})$ 時，電廠控制室在 $y=2.5\text{m}$ 截面
速度向量及溫度場圖

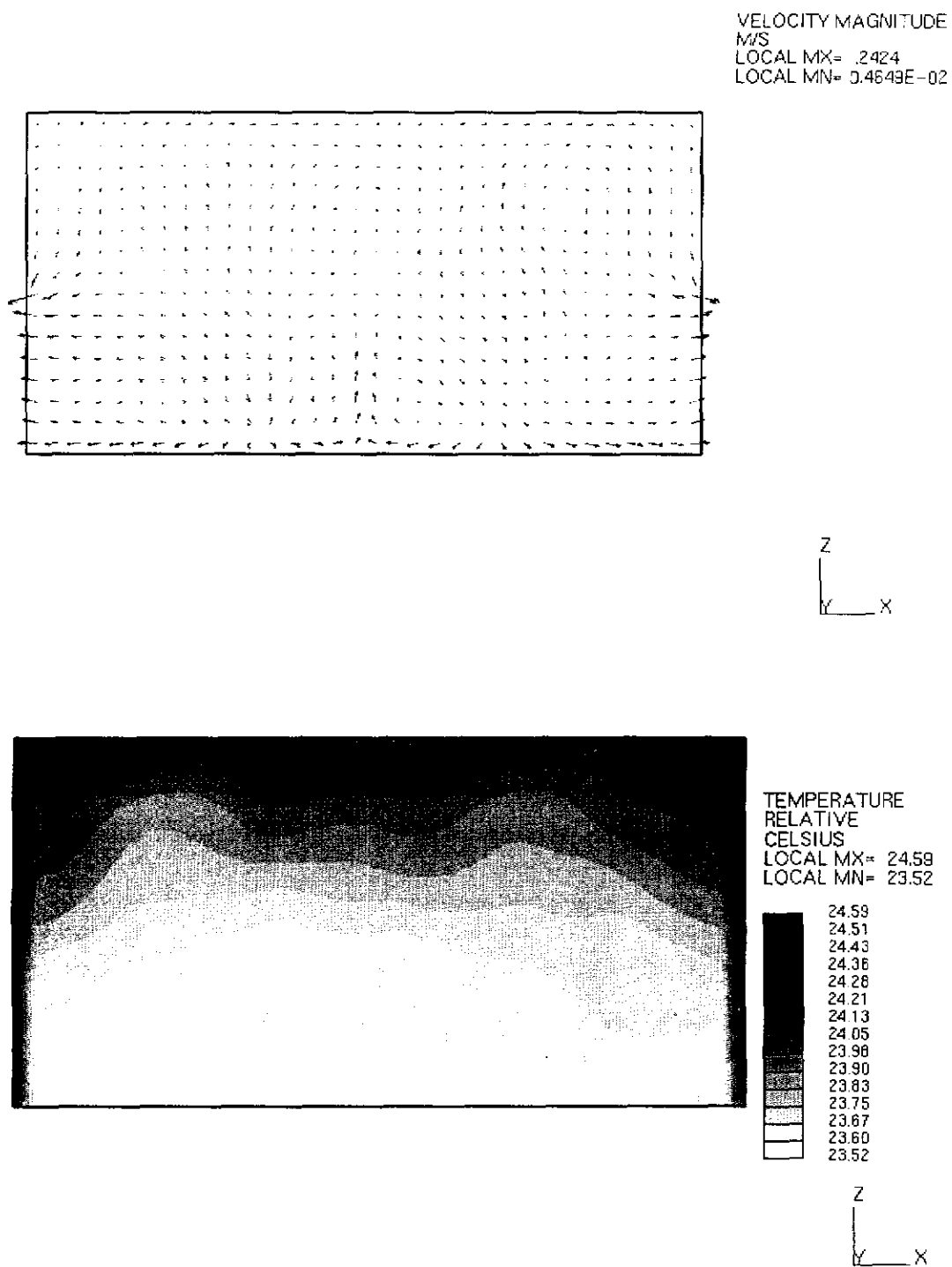


圖4-14(c) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在y=3.5m 截面
速度向量及溫度場圖

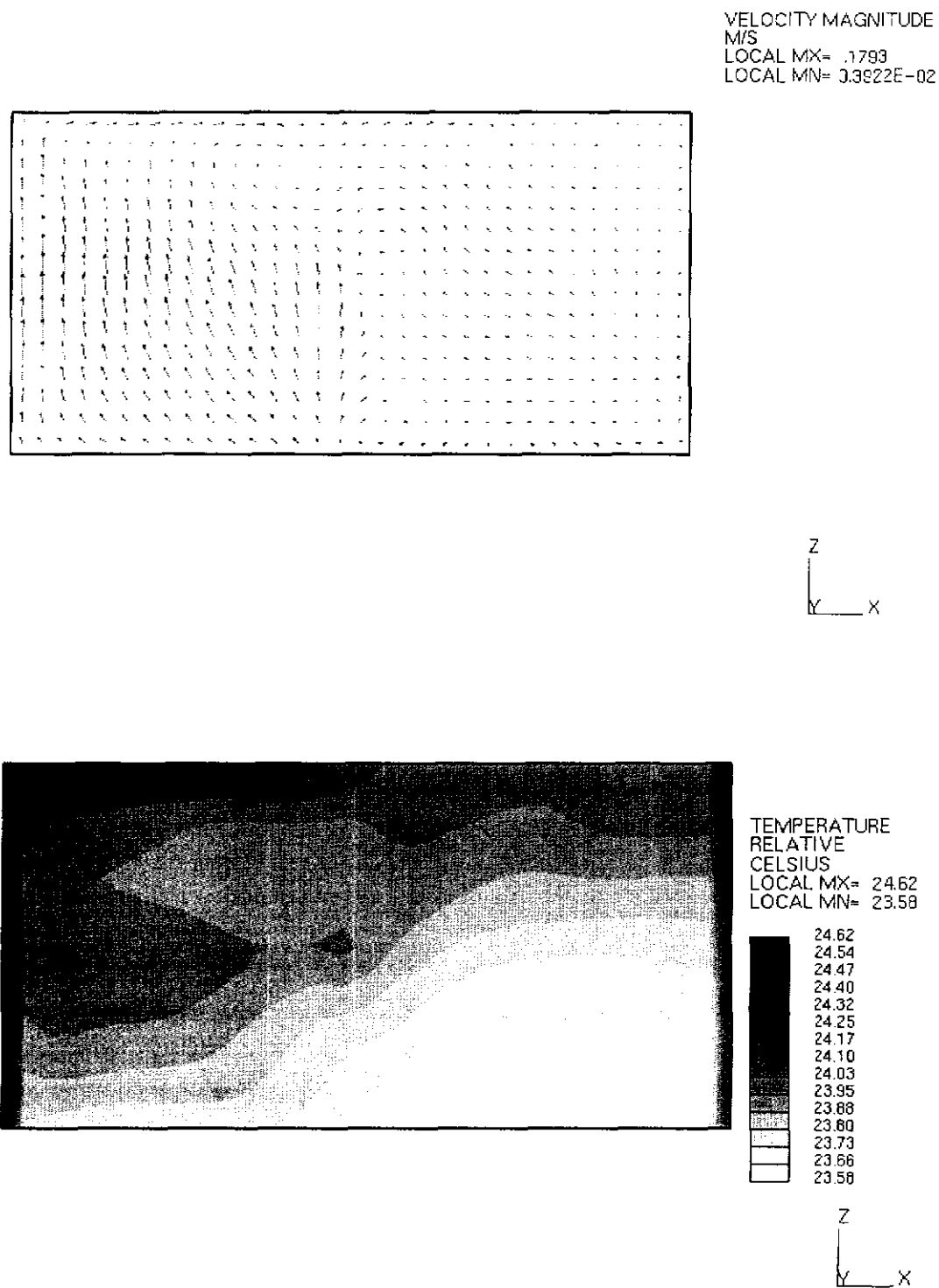


圖4-14(d) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在 y=8.9m 截面
速度向量及溫度場圖

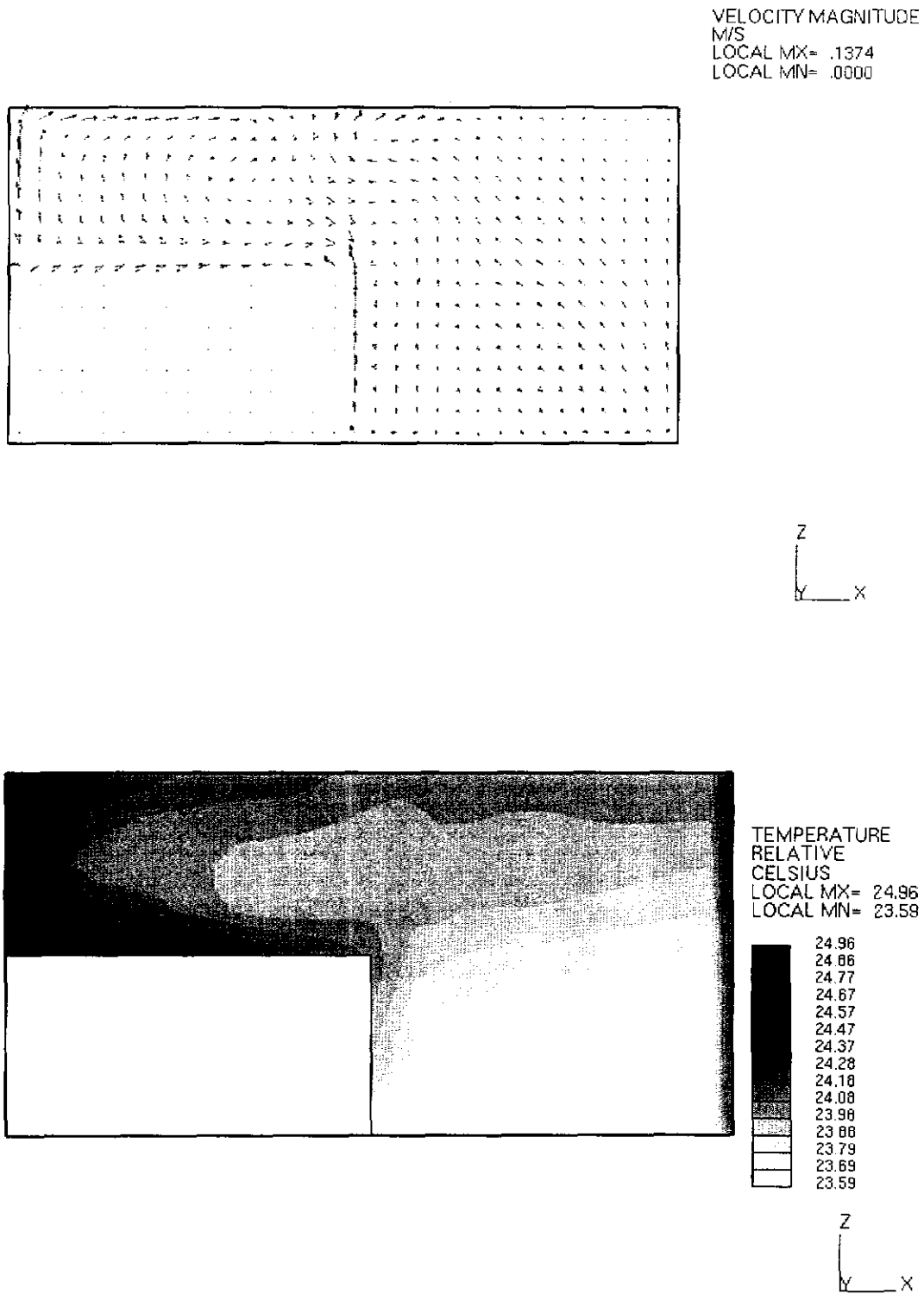


圖4-14(e) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在y=9.5m 截面
速度向量及溫度場圖

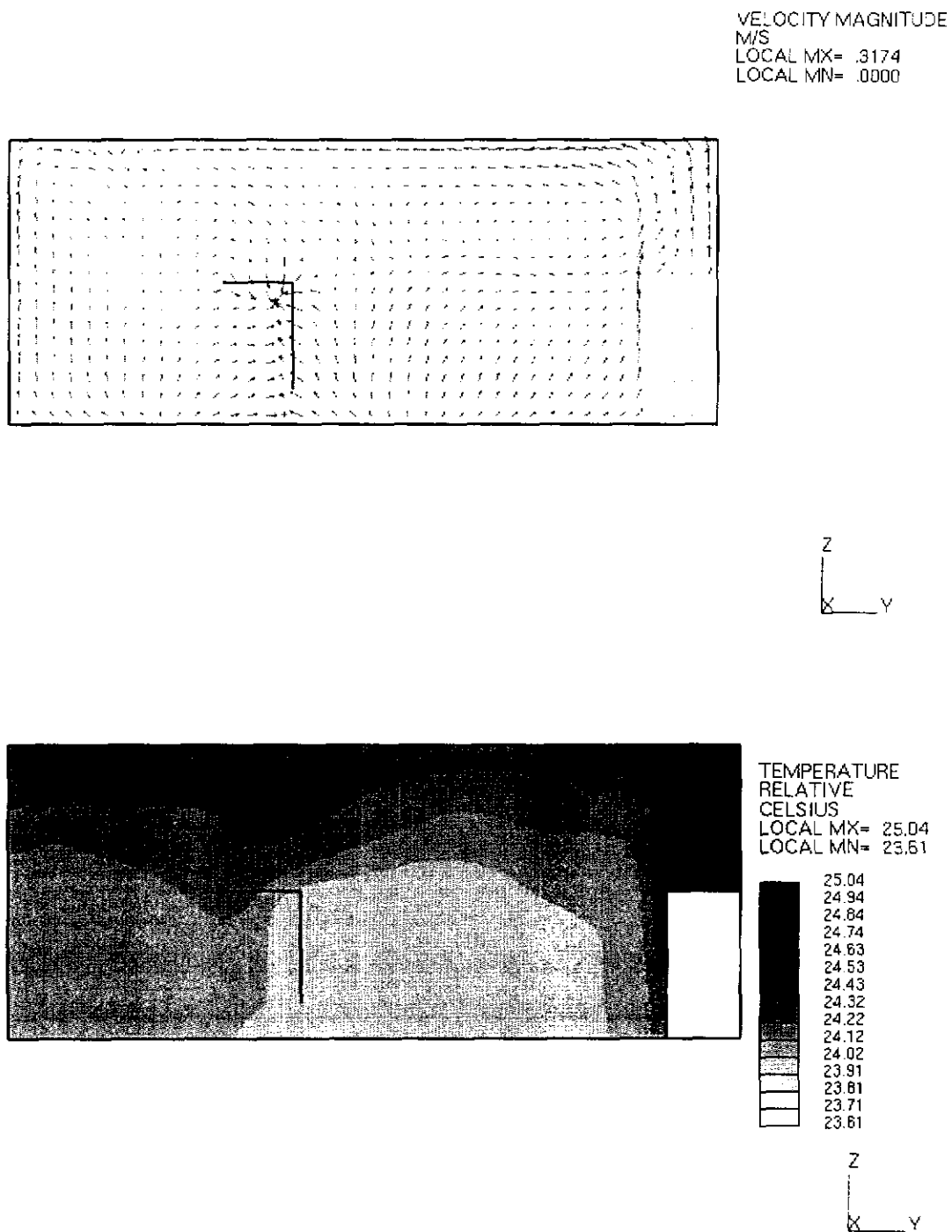


圖4-14(f) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在x=0.1m 截面
速度向量及溫度場圖

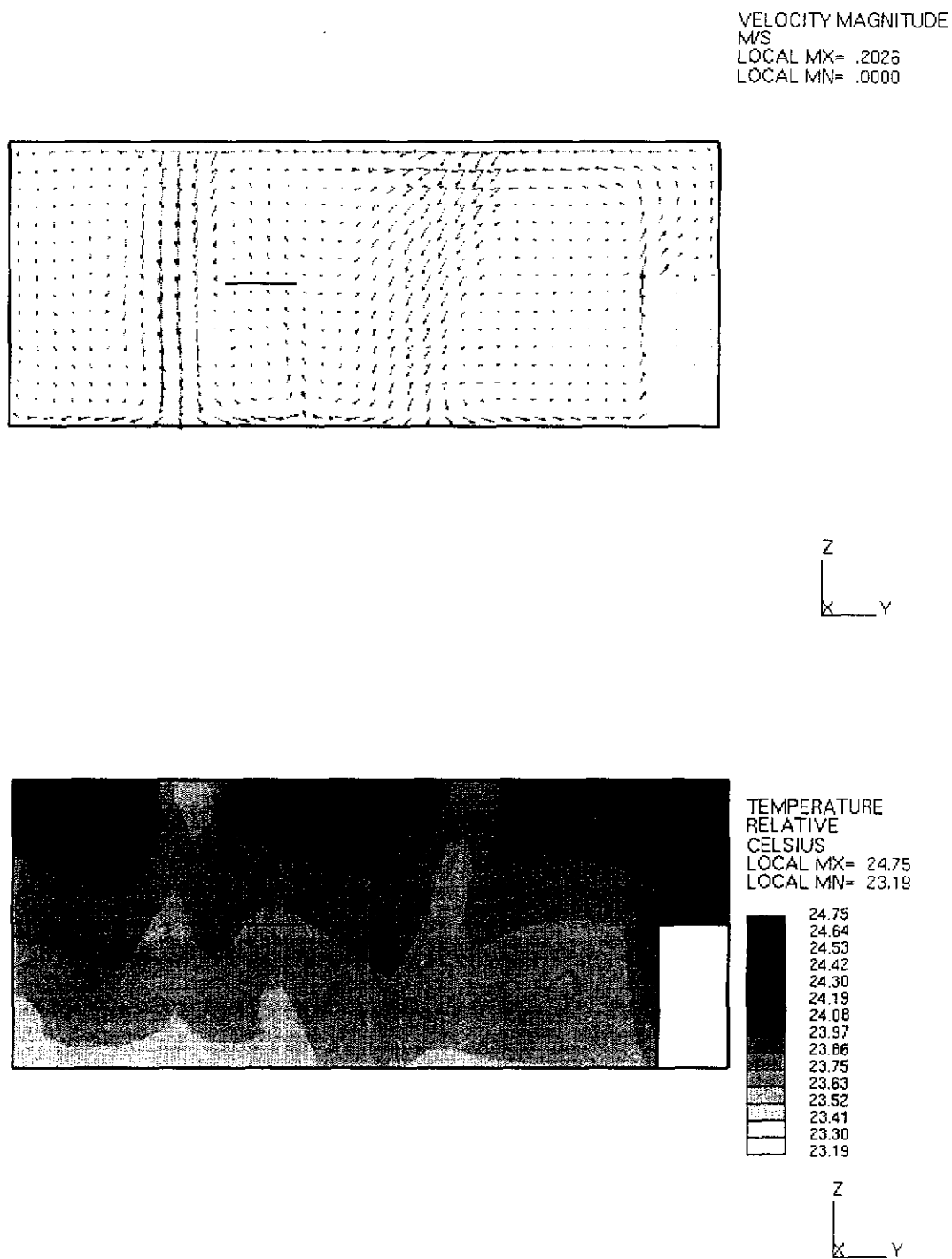


圖4-14(g) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在x=2.5m截面
速度向量及溫度場圖

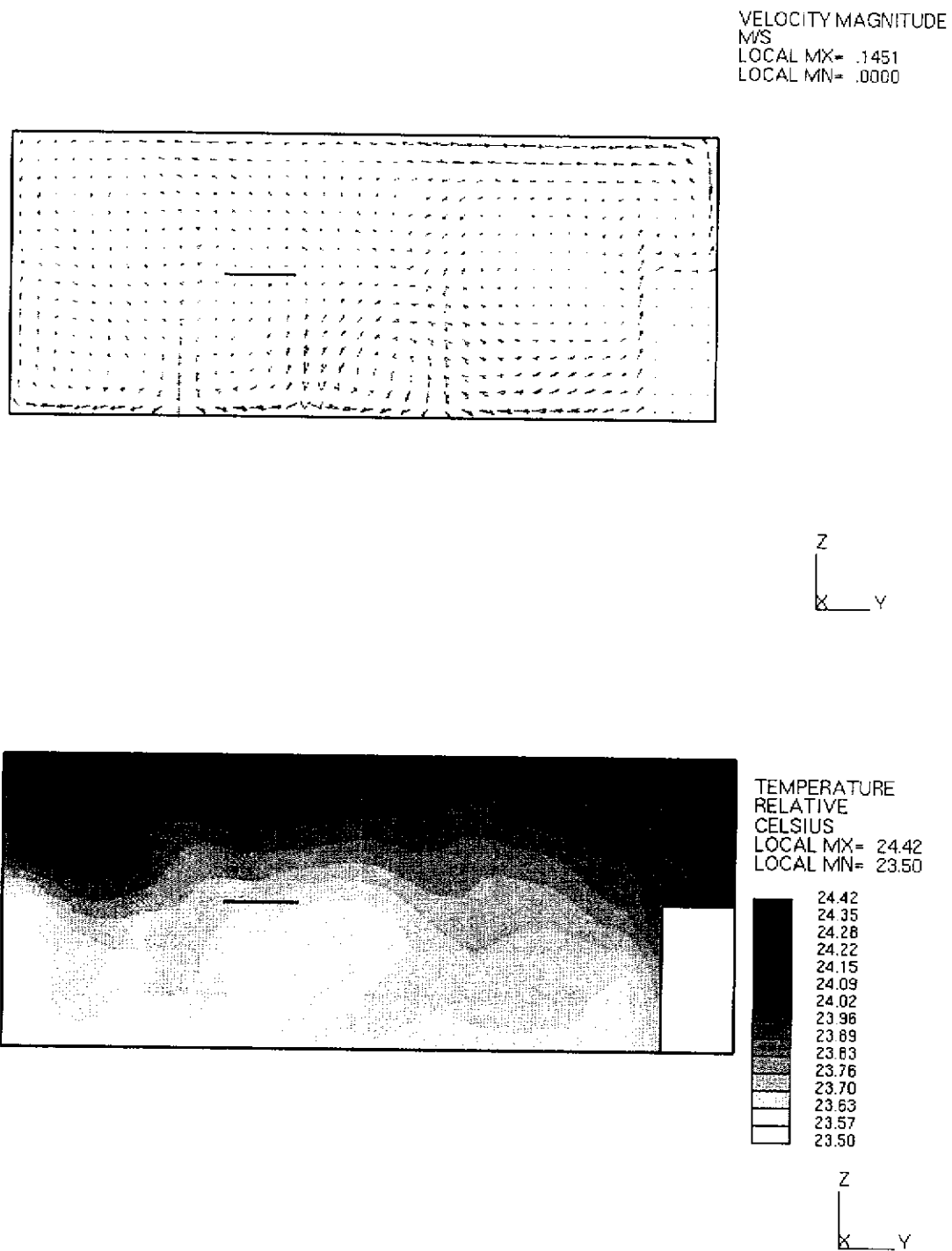


圖4-14(h) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在 x=3.5m 截面
速度向量及溫度場圖

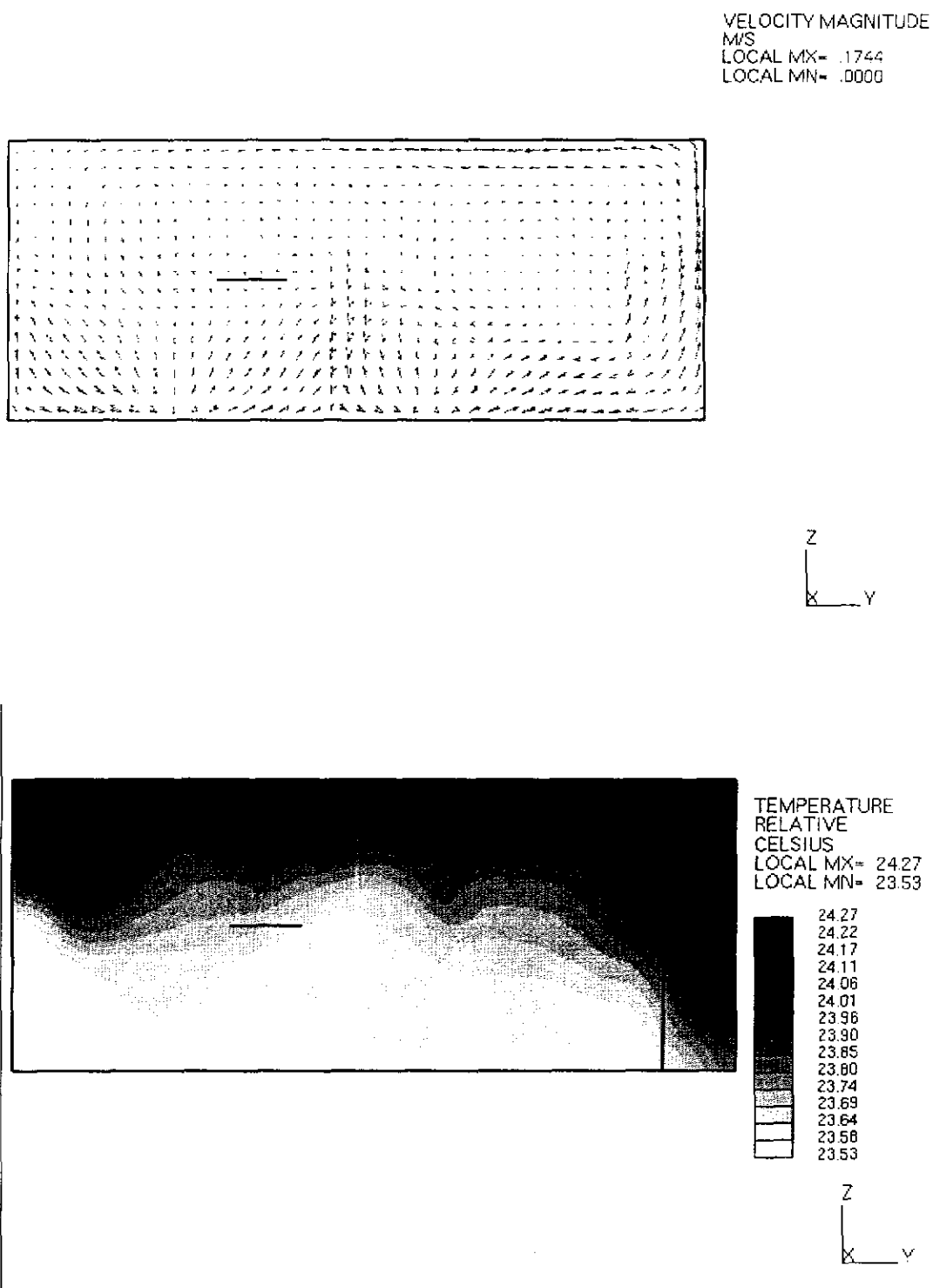


圖4-14(i) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在x=6m 截面
速度向量及溫度場圖

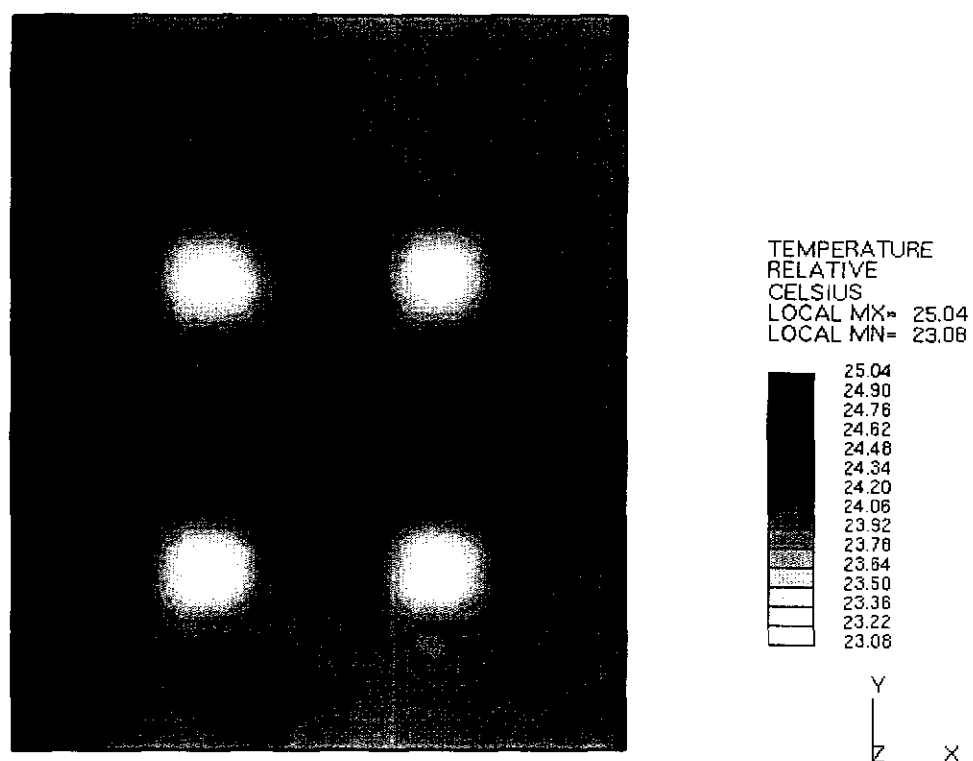
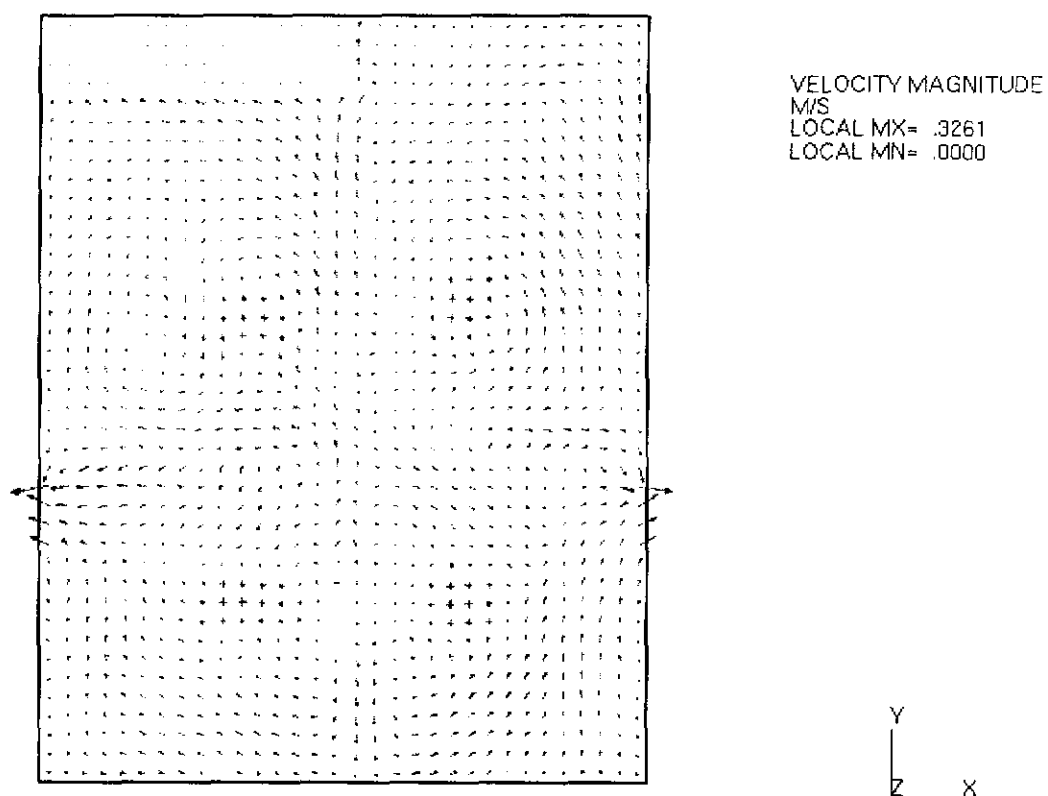


圖4-14(j) 控制台為(4m×1m×2m)時，電廠控制室在 z=1m 截面
速度向量及溫度場圖

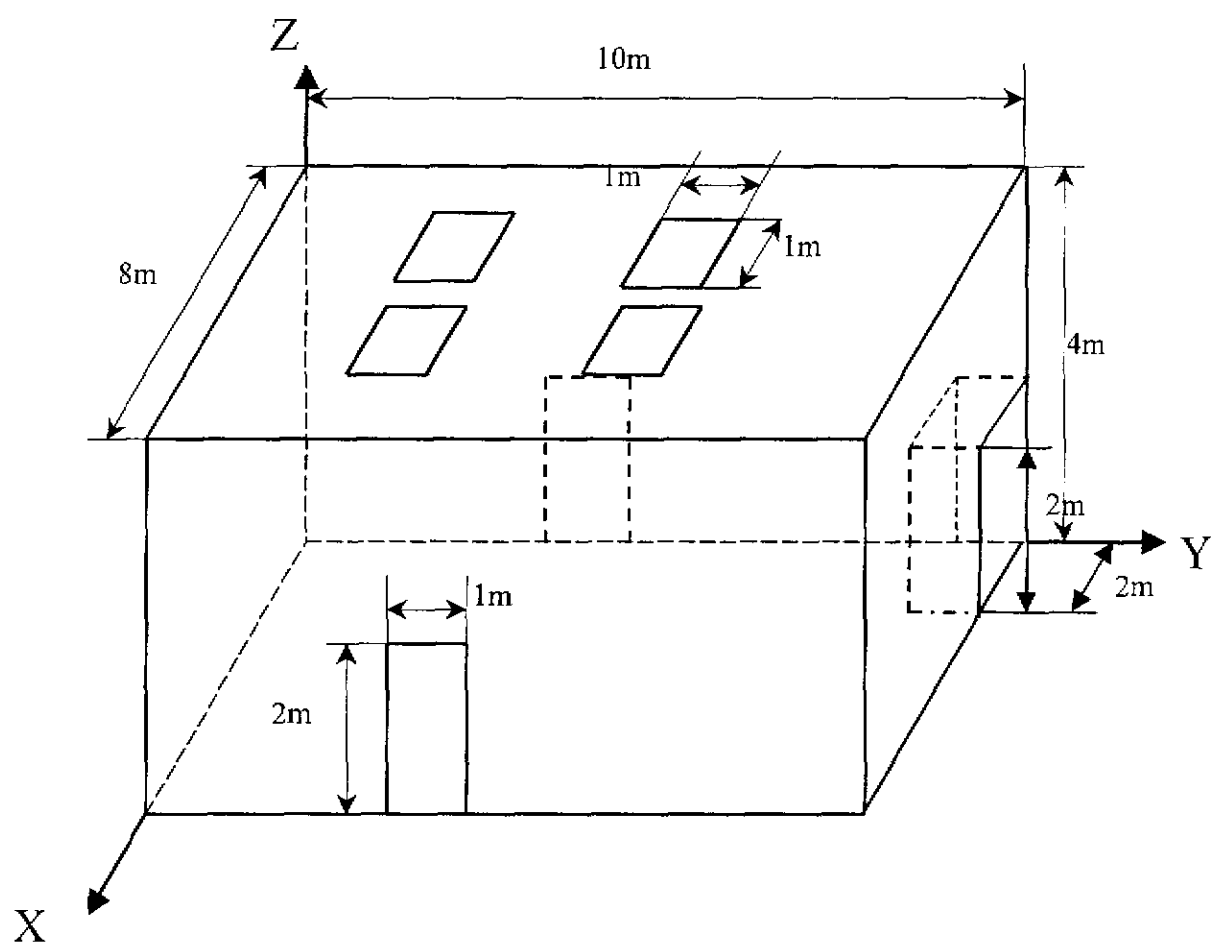


圖 4-15 控制台為 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m}$ 電廠控制室幾何尺寸圖

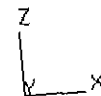
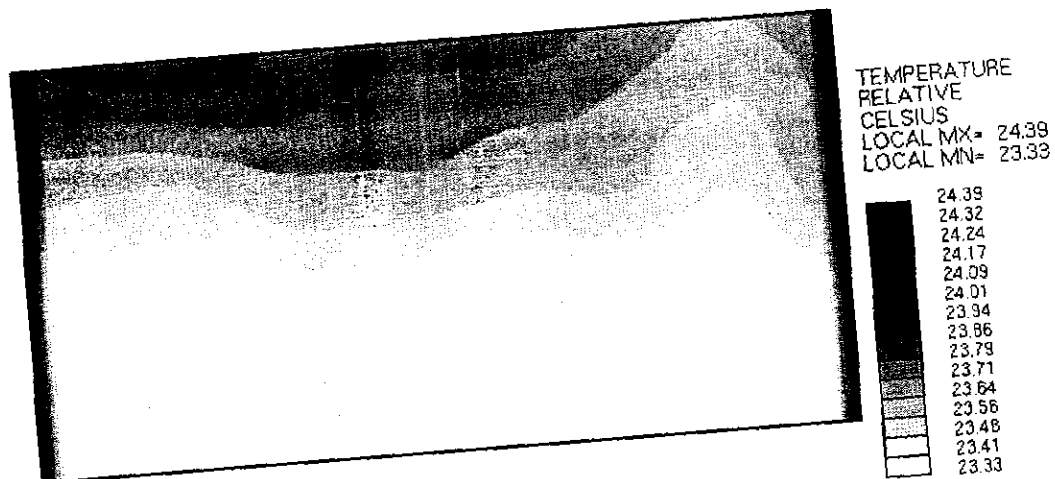
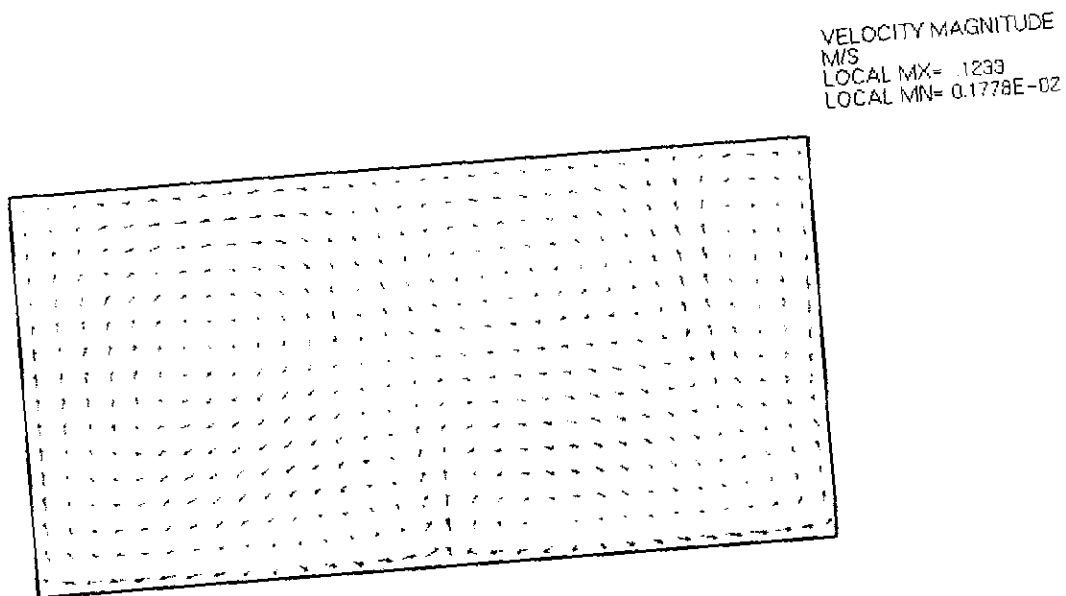


圖4-16(a) 控制台為 $(2\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m})$ 時，電廠控制室在 $y=1\text{m}$ 截面
速度向量及溫度場圖

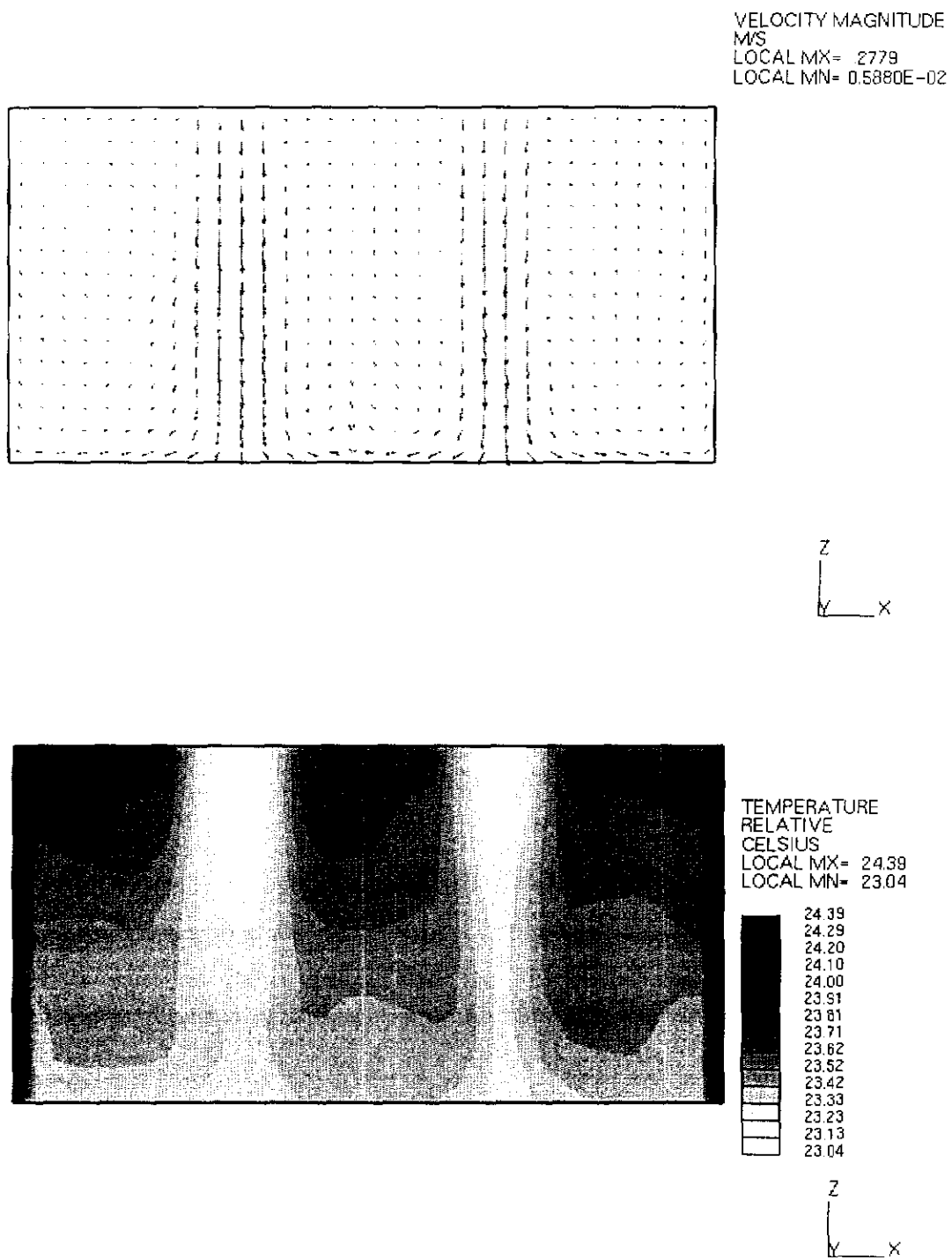


圖4-16(b) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在y=2m 截面
速度向量及溫度場圖

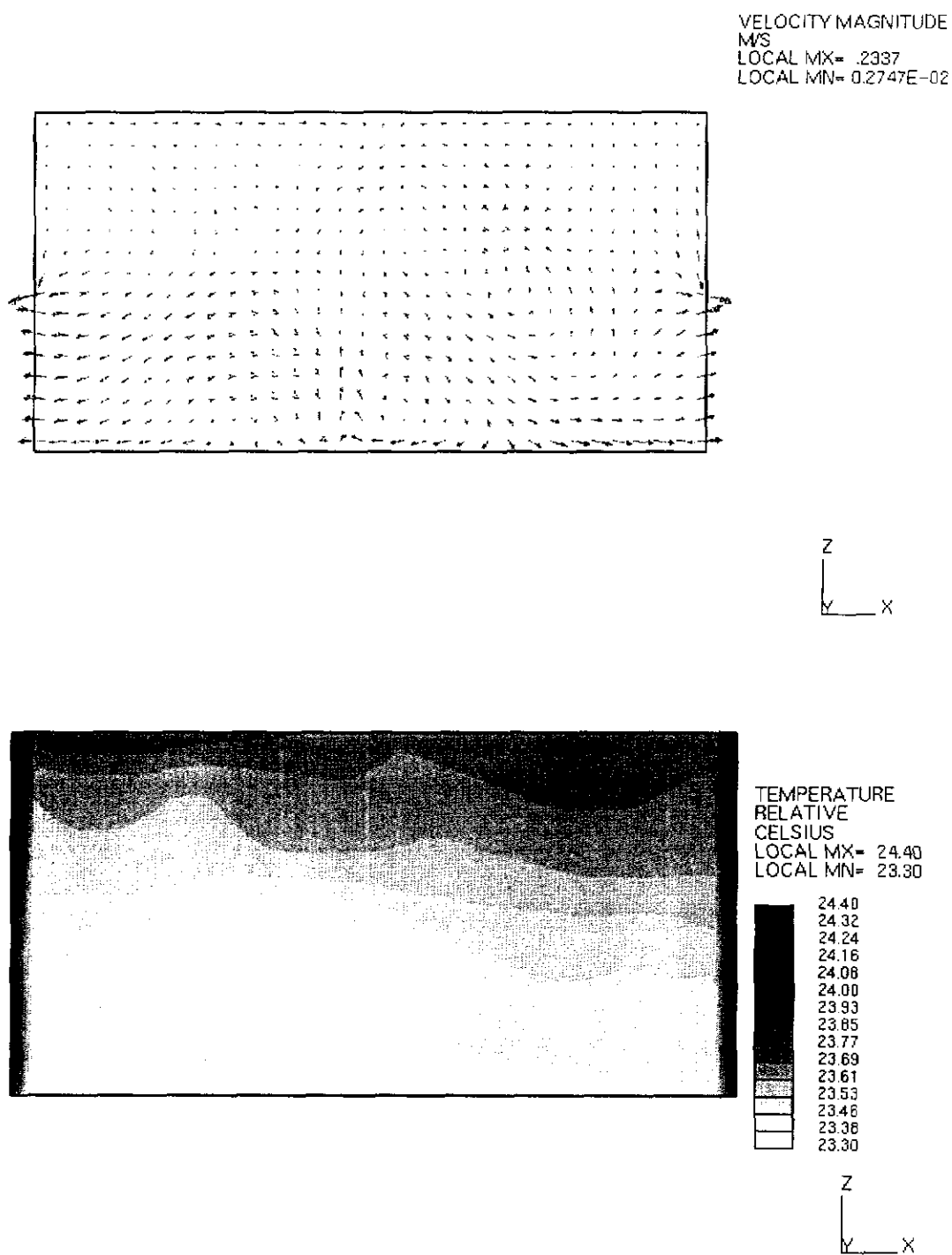


圖4-16(c) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在 y=3.5m 截面
速度向量及溫度場圖

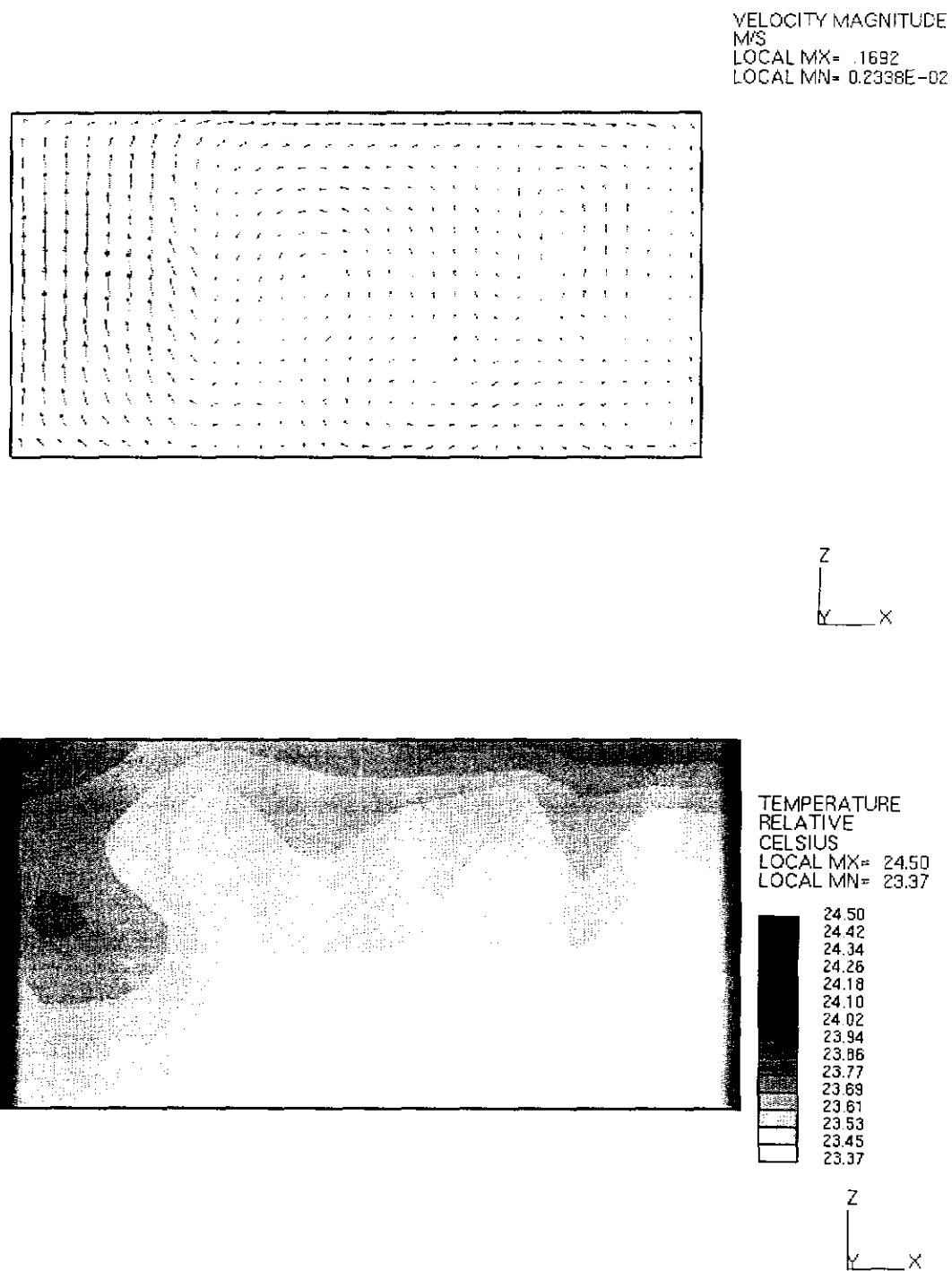


圖4-16(d) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在y=8.9m 截面
速度向量及溫度場圖

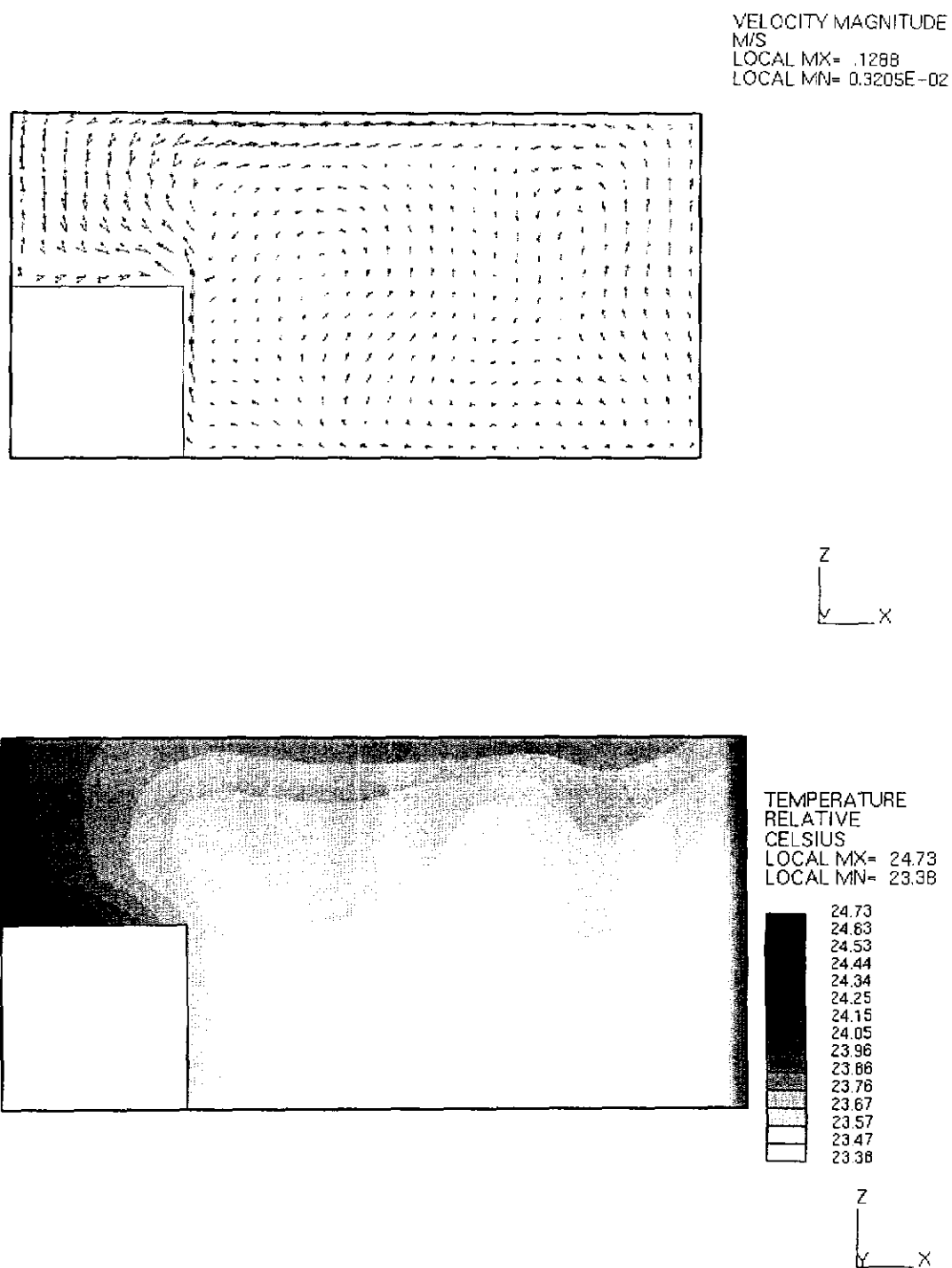


圖4-16(e) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在y=9.5m 截面
速度向量及溫度場圖

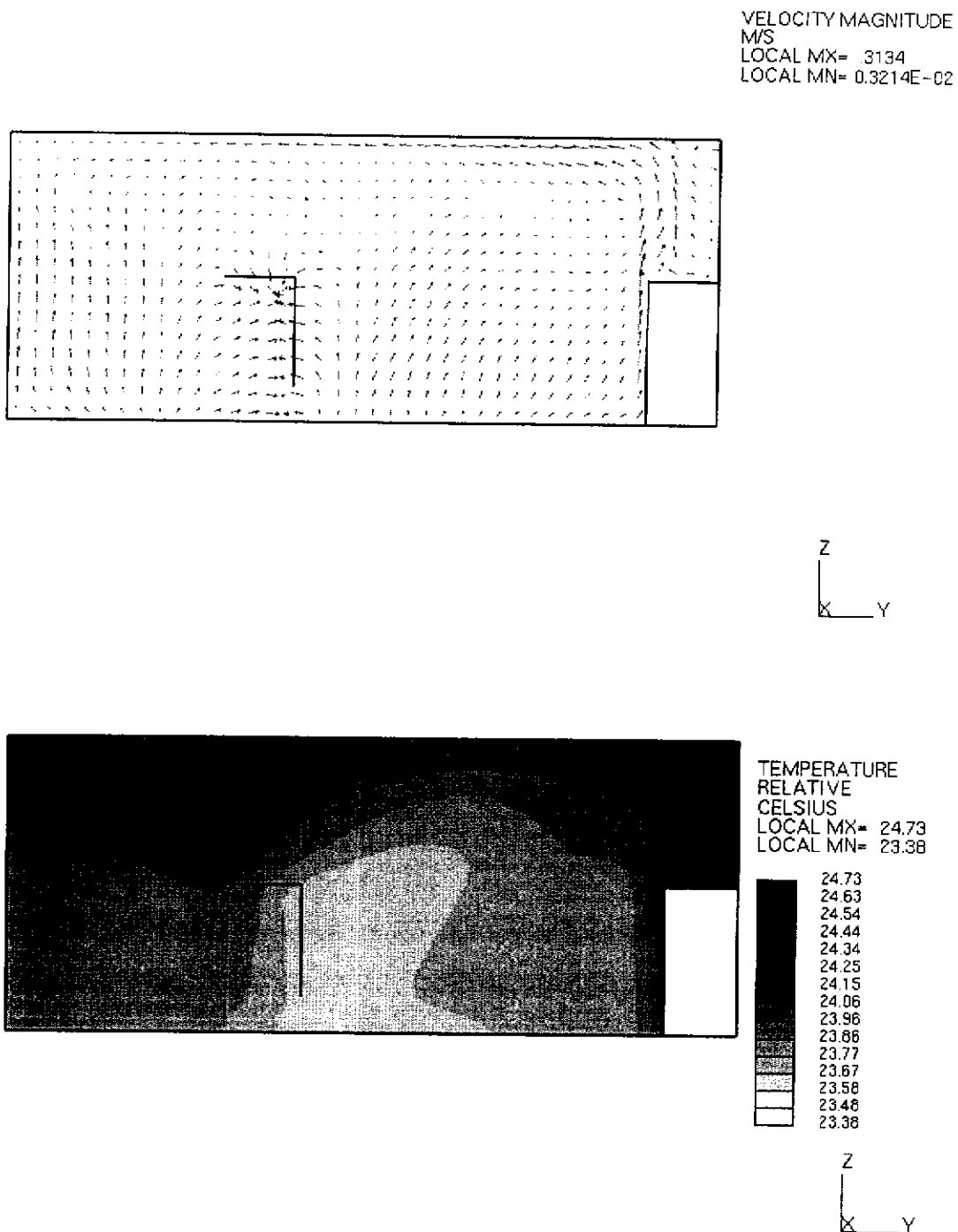
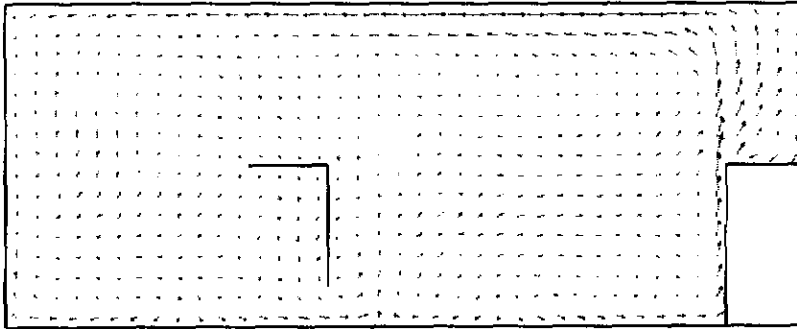
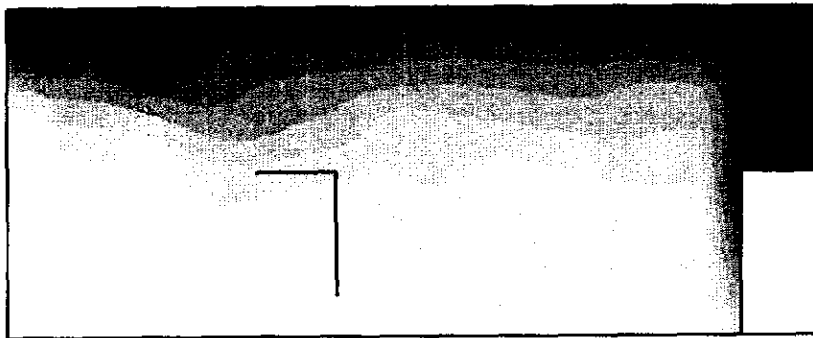


圖4-16(f) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在x=0.1m 截面
速度向量及溫度場圖

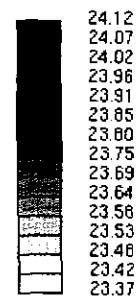
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
LOCAL MX= .1531
LOCAL MN= 0.1790E-02



Z
Y



TEMPERATURE
RELATIVE
CELSIUS
LOCAL MX= 24.12
LOCAL MN= 23.37



Z
Y

圖4-16(g) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在x=1m截面
速度向量及溫度場圖

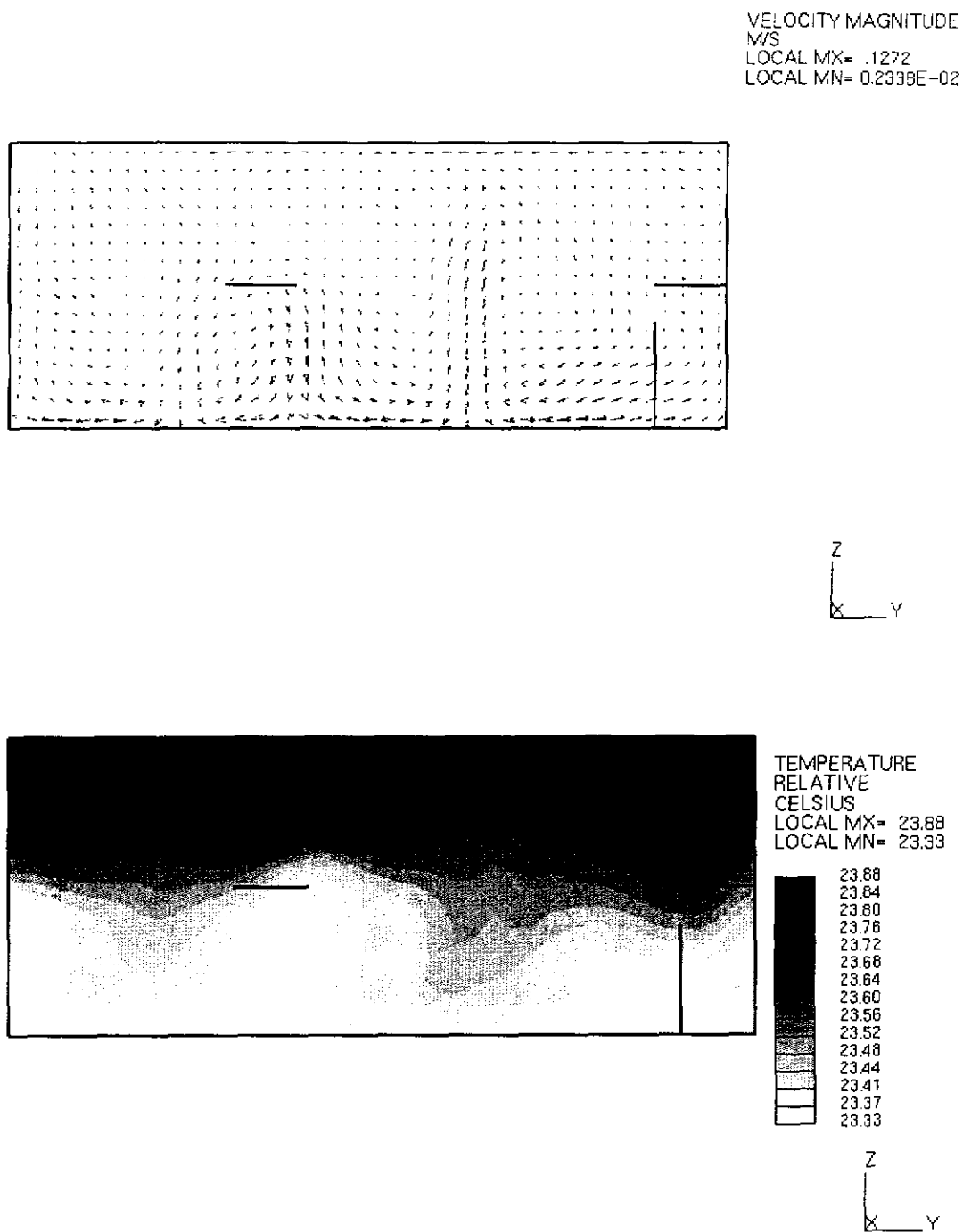


圖4-16(h) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在x=3.5m 截面
速度向量及溫度場圖

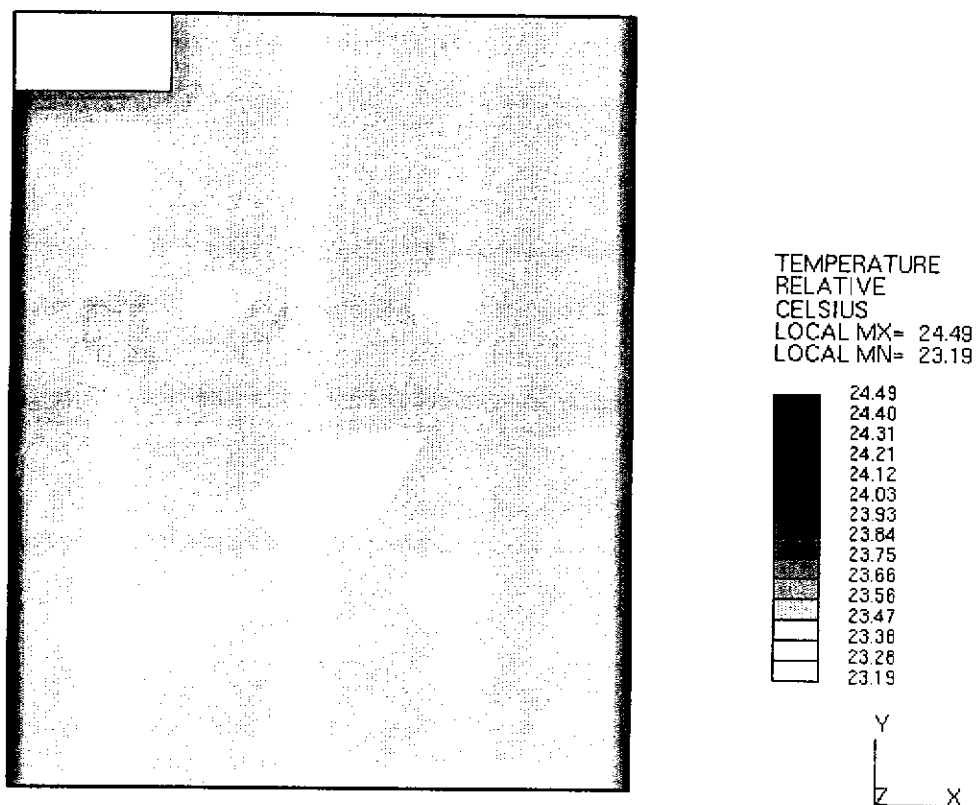
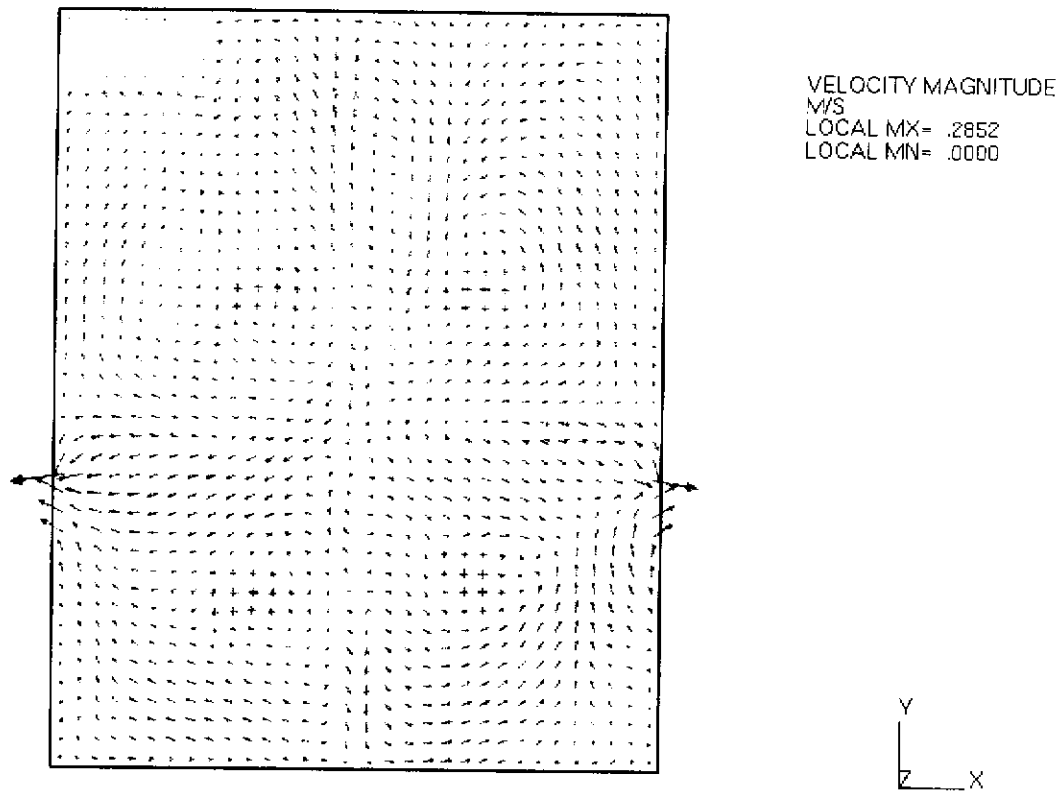


圖4-16(i) 控制台為(2m×1m×2m)時，電廠控制室在z=1m截面速度向量及溫度場圖

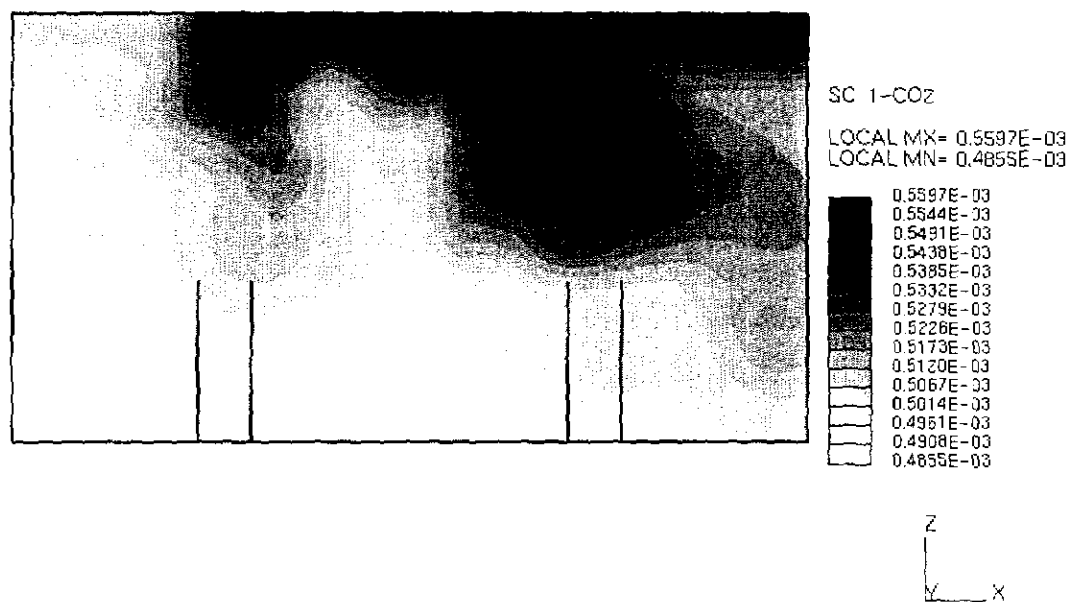
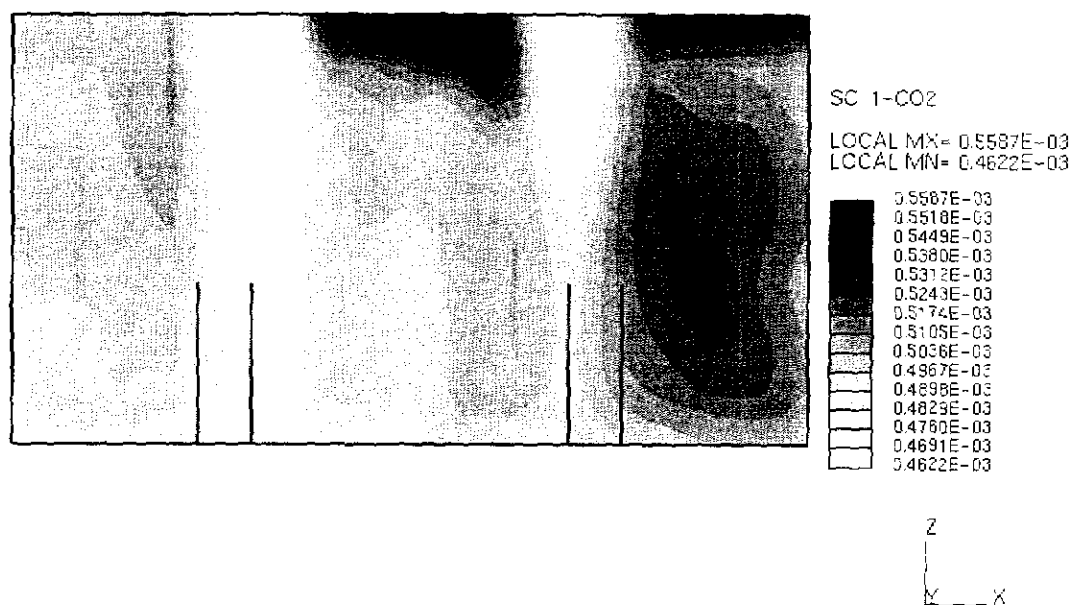


圖4-17 電廠控制室內有兩位工作人員時之不同截面濃度擴散圖
(a)Y=2.5m (b)Y=3.5m

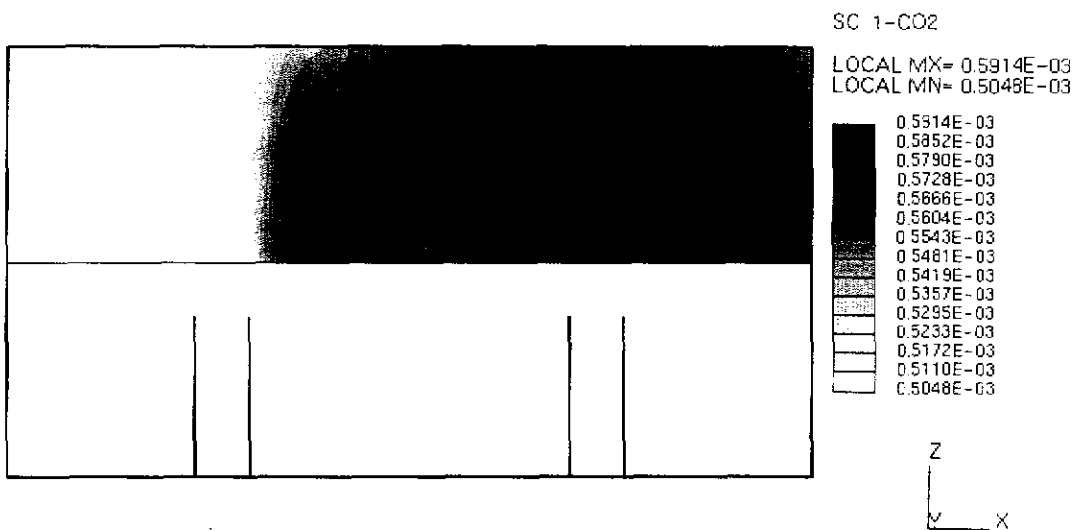
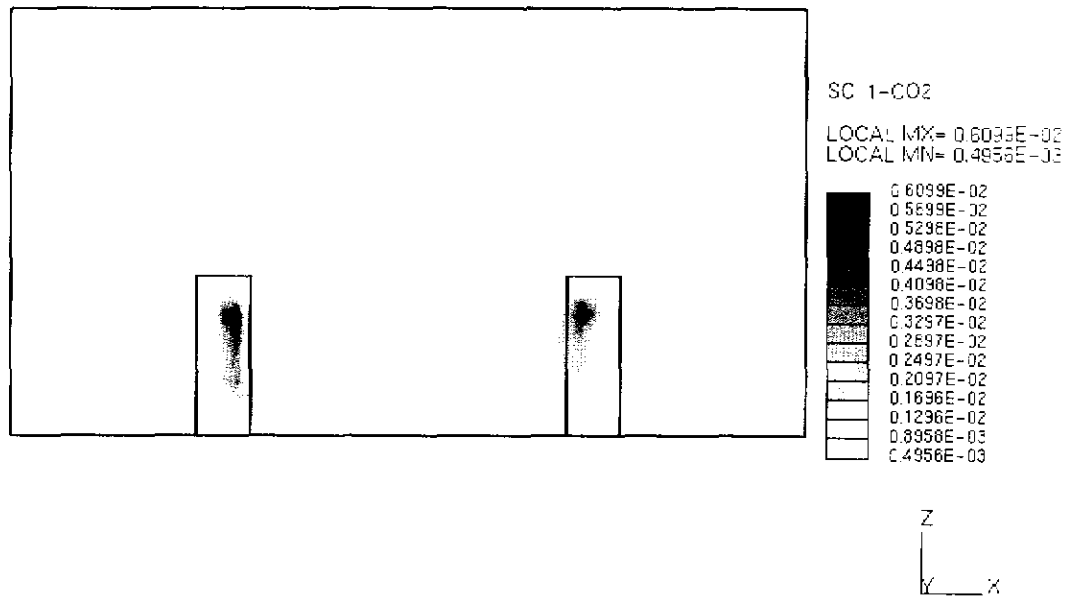


圖4-18 電廠控制室內有兩位工作人員時之不同截面濃度擴散圖
(a)Y=7.5m (b)Y=9.5m

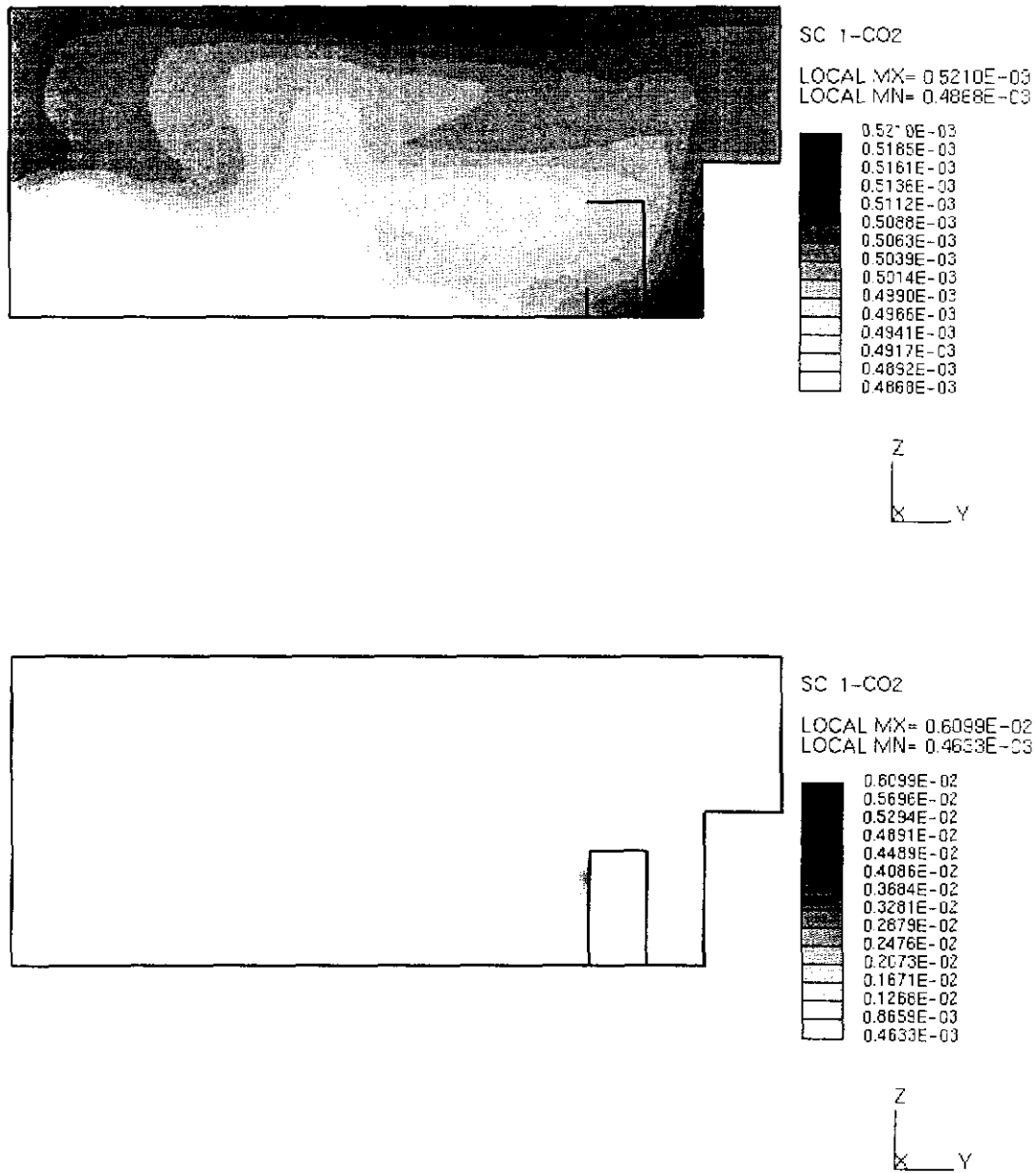


圖4-19 電廠控制室內有兩位工作人員時之不同截面濃度擴散圖
 (a)X=0.5m (b)X=5.75m

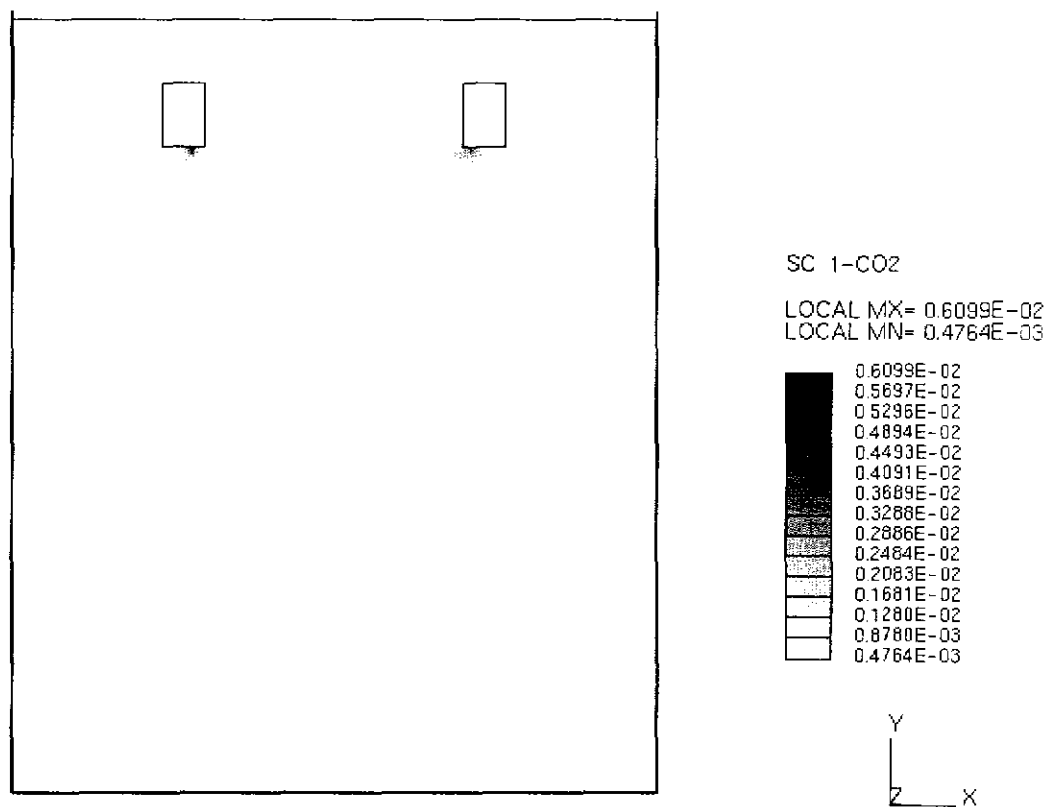


圖4-20 電廠控制室內有兩位工作人員時在 Z=1m
之濃度擴散圖

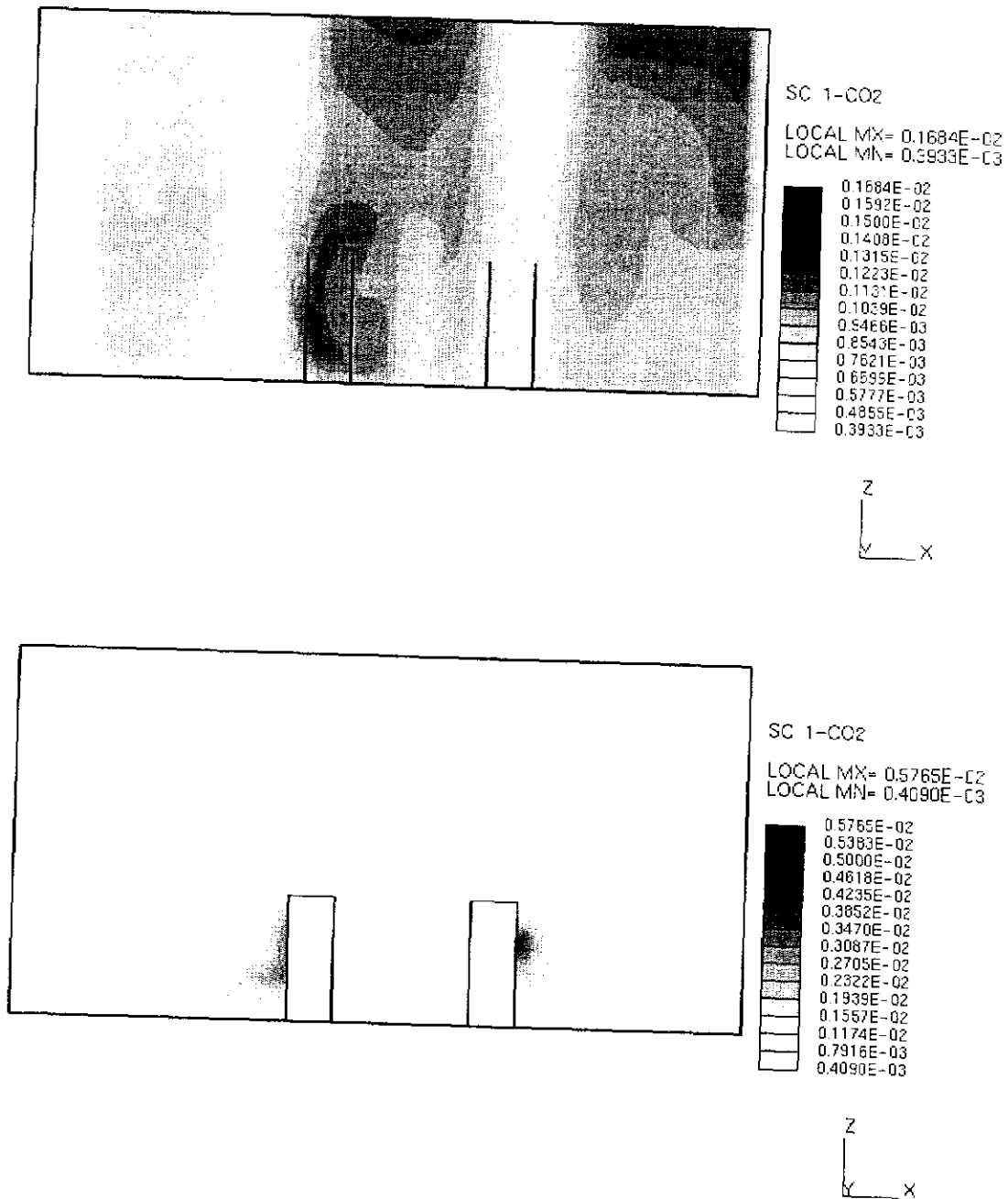


圖4-21 電廠控制室內有二十位工作人員時之不同截面濃度擴散圖
(a)Y=2.5m (b)Y=3.5m

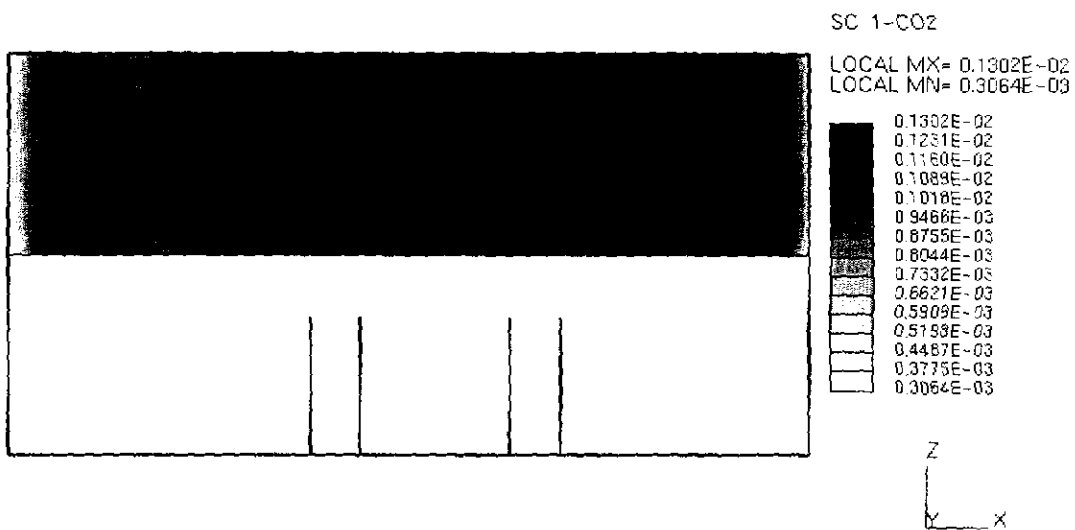
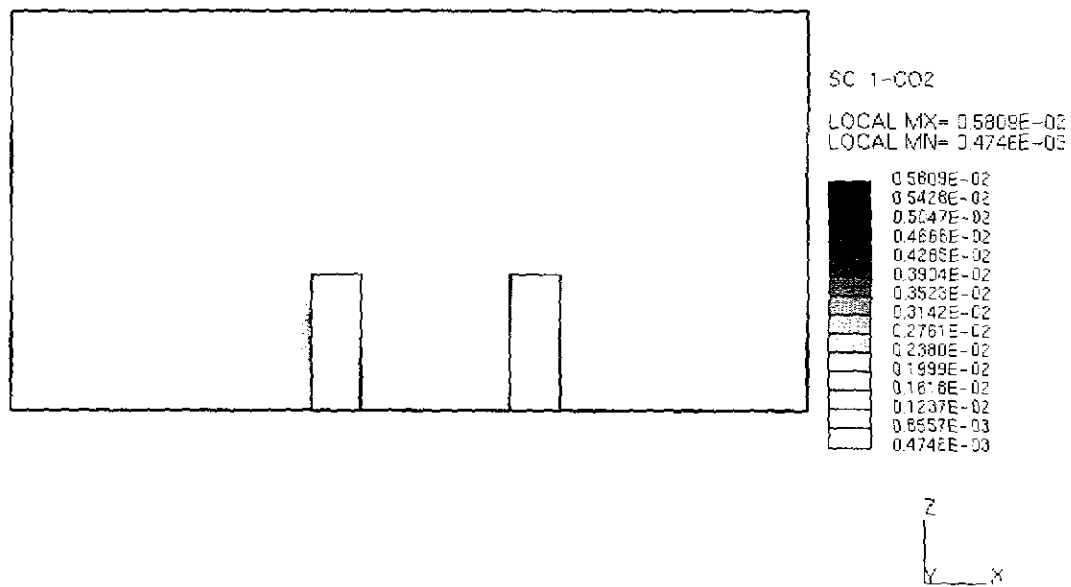


圖4-22 電廠控制室內有二十位工作人員時之不同截面濃度擴散圖
(a)Y=6.5m (b)Y=9.5m

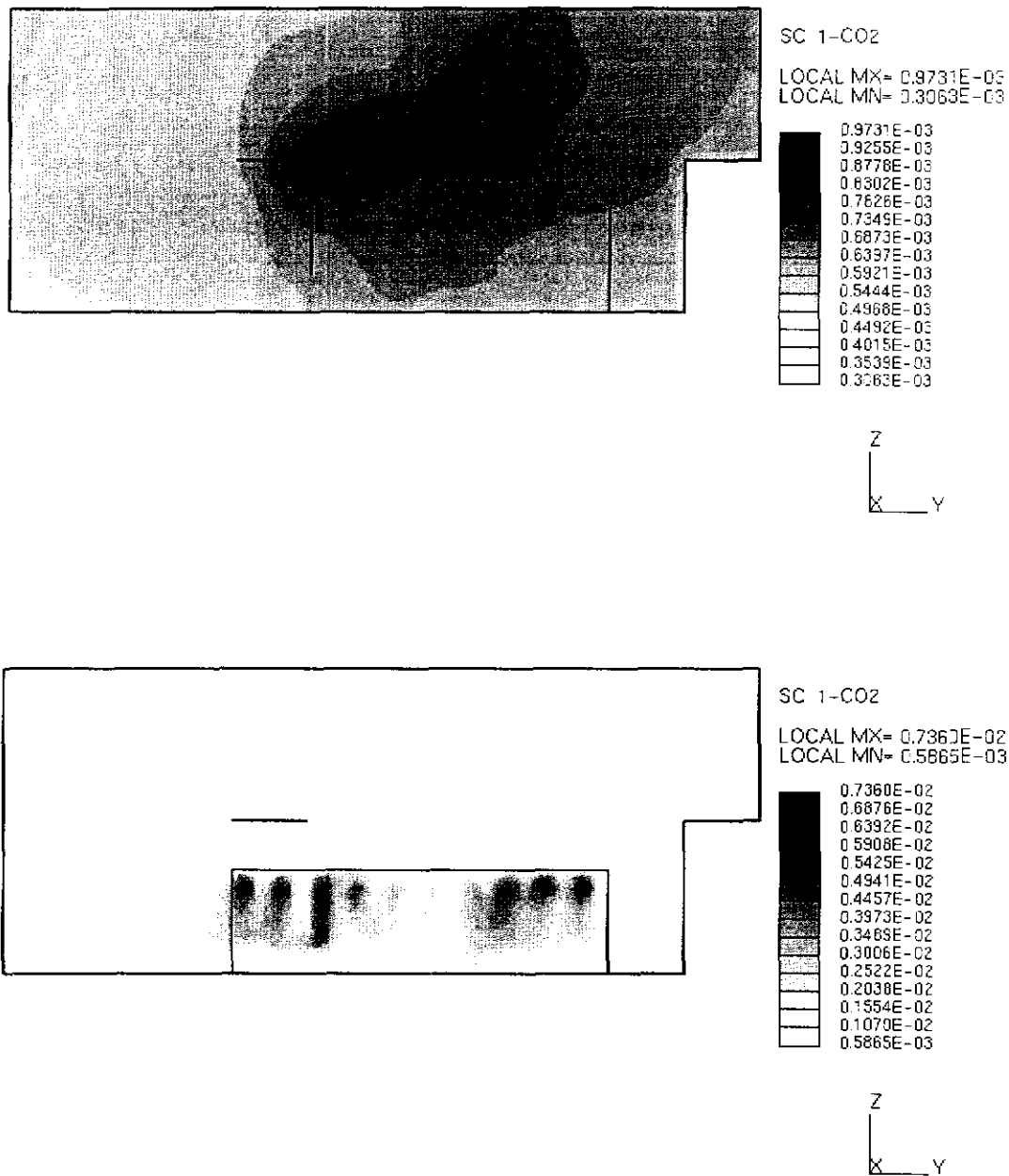


圖4-23 電廠控制室內有二十位工作人員時之不同截面濃度擴散圖
(a)X=0.1m (b)X=2.5m

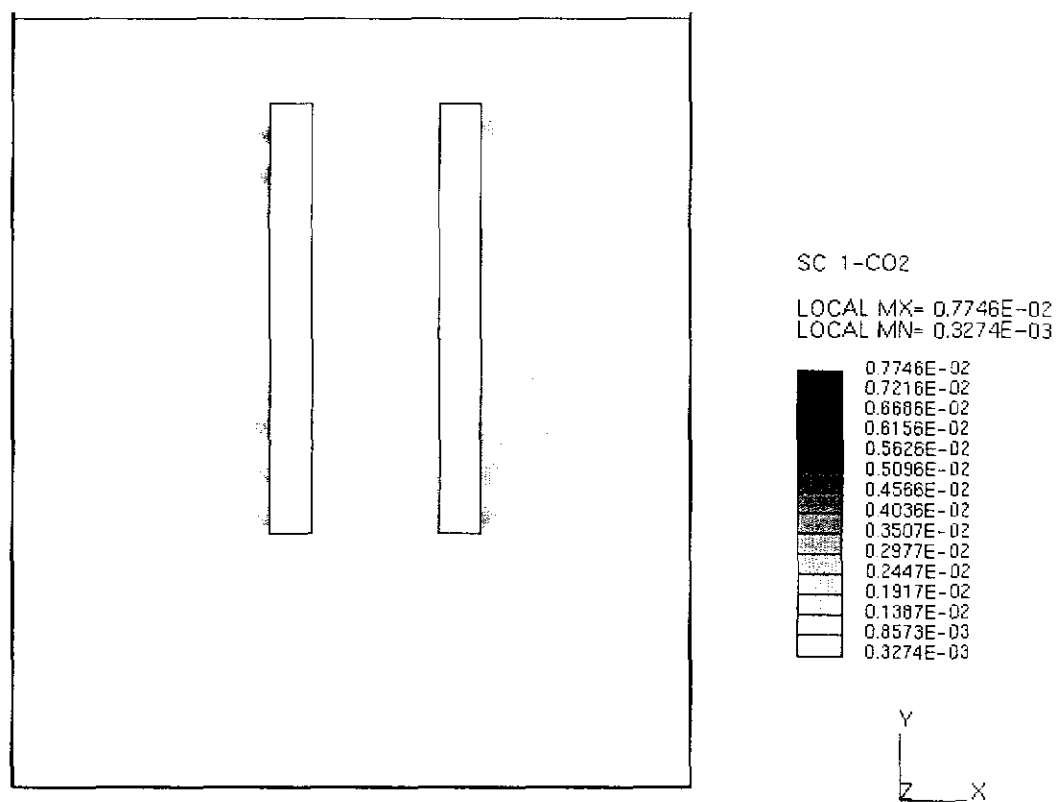


圖4-24 電廠控制室內有二十位工作人員時在 $Z=1.35\text{m}$ 截面
濃度擴散圖

第五章 結論與建議

本計畫係研究電廠控制室內流場、溫度場及濃度場之分佈情形，並將此通風系統內流場、溫度場、及濃度場控制在合理範圍內，確保工作人員的舒適性及安全性。藉由數值模擬方式，設計出電廠控制室內通風系統最佳化狀態。

本研究藉由各種參數變化來瞭解其對流場的影響。主要的參數變化有：入口速度大小、入口溫度高低、入口數目的多少、出口位置及數目的變化和控制平台大小等。首先探討入口條件對流場、溫度場的影響，考慮室內速度分佈及溫度範圍是否適當。接下來探討出口數目及位置變化對流場、溫度場影響，最後求得最佳化的解，再考慮以此狀況下工作人員在值班或開會時 CO_2 濃度擴散情形，判斷其是否會對人體產生影響。經過數值模擬結果，可以得到以下結論：

1. 在入口速度為 0.05m/s 到 0.2m/s 之間對控制室內溫度分佈並無太大變化，其溫度為 23°C 到 24°C 間。在入口速度 0.2m/s 其室內換氣率為 26 分 26 秒一個循環，入口速度 0.1m/s 時為 13 分 13 秒室內換氣一次，在入口速度 0.05m/s 時為 8 分 53 秒，入口速度為 0.2m/s 時為 6 分 40 秒，在考慮換氣率影響之下，以 0.1m/s 以上到 0.2m/s 可得較好之換氣率，但若考慮能源消耗情況下，入口速度 0.1m/s

為適當的設計依據。

2. 在進氣口溫度分別以 20°C、23°C、25°C 模擬，發現入口溫度為影響室內溫度分佈重要的因素。在入口溫度為 20°C 及 25°C 時，室內溫度分佈並不適合工作人員長時間辦公，故在入口溫度 23°C 狀況下較為合適。
3. 在換氣率相同前提下，進氣口的位置及多少亦為影響室內流場及溫度場重要因素。結果指出：把進氣口置於角落或放置在控制平台上天花板處對控制室內流場較不均勻，溫度也偏高。而將入口處擺設在出口處附近會使進氣口新鮮空氣部分直接流向出風口，導致能源消耗，亦為不良的構造，在設計時應注意到這點。而進氣口數目愈多室內流場愈均勻，若考慮到成本則以本文所設計之四個進氣口為較佳之設計。
4. 在出風口面積固定前提下，兩個出風口比一個出風口及四個出風口得到較佳的效果，而出風口與進氣口不宜太近以免導致能源的耗費。
5. 當控制平台愈長時，氣流受阻礙所形成的迴流區會愈多，速度值也會變大，但是室內溫度分佈並無劇烈變化，所以電廠控制室內控制台長度不會對室內工作人員有明顯的影響。
6. 綜合以上結論得到之最佳化設計，在控制室內只有兩名工作人員

值班所呼出 CO₂ 分佈不會影響室內人員的健康，其 CO₂ 濃度會隨著氣流帶出出風口，平均的 CO₂ 值只有 350ppm 左右，未達到危險的標準，可確保工作人員的安全且不會覺得不適。若以控制室內有 20 名人員開會時其 CO₂ 濃度會增加，但對人體仍不會覺得難受，平均約為 700ppm，在一般容許限度 1000ppm 之下。

參考文獻

1. 內政部建築研究所籌備處 “辦公建築室內空氣品質與空調設備之診斷研究”, 1998.
2. 內政部建築研究所籌備處 “辦公建築室內空氣品質(CO_2 、 CO 、 PM_{10})之研究”, 1997.
3. Hirt C. W. and Cook J. L., “Calculation three-dimensional flows around structures and over rough terrain.,” *Journal of Computational Physics* 10, 1972
4. Brown W. G. and Solvason K. R., “Natural convection through rectangular openings in partitions.,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 5, pp. 859-868, 1962.
5. Chen Q. and Van Der Kooi J., “A methodology for indoor airflow computations and energy analysis for a displacement ventilation system.,” *Energy and Buildings*, Vol. 14, pp. 259-271, 1990.
6. Reynolds, O., “On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion,” *Philosophical Transaction*, Part A, Vol. 186, 1895.
7. Murakami, S., Kato, S. and Suyama, Y., “Numerical and experimental study on turbulent diffusion fields in conventional flow type clean rooms,” *ASHARE Transactions*, vol.95, no.2, pp.469-493, 1988.
8. Garrison, R., Nabar P. N. and Erig, M., “Ventilation to eliminate oxygen deficiency in a confined space-part I: A cubical models,” *Appl. Ind. Hyg.* Vol.4, pp.1-11, 1989.

9. Garrison, R., Nabar P. N. and Erig, M., "Ventilation to eliminate oxygen deficiency in a confined space-part II: noncubical models," *Appl. Ind. Hyg.* Vol.4, pp.260-268, 1989.
10. Garrison, R., Nabar P. N. and Erig, M., "Ventilation to eliminate oxygen deficiency in a confined space-part III: heavier-than-air characteristics," *Appl. Occup. Environ. Hyg.* Vol.6, pp.131-140, 1991.
11. Maldonado, E. B. and Woods, J. E., "A method to select locations for indoor air quality sampling," *Building and Environment*, vol.18, no.4, pp.171-180, 1983.
12. Kuehn, T. H., and Thomas, H., "Computer simulation of airflow and particle transport in cleanrooms" *Journal of Environmental Sciences*, Vol.31, No.5, pp.21-27, 1998.
13. Kuehn, T. H., Marple, V. A., Han, H., and Liu, D., "Comparison of measured and predicted airflow patterns in a clean room," *Proceedings-Institute of Environmental Sciences*, Vol.98, No.2, pp.331-336, 1998.
14. Fujita, Tsutomu., Sueda, Akira., Ura, Hitoshi., Shiraishi, Takeshi., "Airflow fields in line-type cleanroom," *Kawasaki Steel Technical Report.*, no.29, Nov pp.83-99,1993.
15. Egon, Lang., Beat, Kegel., Sulzer., Brothers Limited., "Optimization of air flow patterns in cleanroom by 3-D numerical simulation," *International Committee of Contamination Control Societies*, no.1, vol.1, pp.48-56, 1994.
16. Nishioka, T. and Xie, G., "Studies on the flow in a full downflow cleanroom and the ceiling chamber configuration," *The Future Practice of Contamination Control*, vol.3, no.1,

- pp.23-28, 1992.
17. Awbi, H. B., "Energy efficient room air distribution," *Renewable Energy*, vol.15, pp.293-299, 1998.
 18. Bearg, D. W., "Improving indoor air quality through the use of continual multipoint monitoring of carbon dioxide and dew point," *AM. IND. HYG. ASSOC. J.*, vol.59, no.9, pp.636-641,1998.
 19. Weathers J. W. and Spitler, "A comparative study of room airflow: Numerical prediction using computational fluid dynamics and full-scale experimental measurement.," *ASHRAE Transactions*, 1992.
 20. Chen Q. and Van Der Kooi J., "A methodology for indoor airflow computations and energy analysis for a displacement ventilation system.," *Energy and Buildings*, Vol. 14, pp. 259-271, 1990b.
 21. Jones, W. P., and Launder, B. E., "The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 15, pp.301-314, 1972.
 22. Orszag, S. A., Yakhot, V., and Flannery, W. S., "Renormalization group modeling and turbulence simulations," *Near Wall Turbulent Flows : Proceedings of the International Conference on Near-Wall Turbulent Flows*, pp. 1031-1046, Elsevier, Amsterdam, 1993.
 23. Hinze, J. O., *Turbulence*, McGraw-Hill Publishing Co., New York, 1975.
 24. Lu, W., Howarth, A. T. and Jeary, A. P., "Prediction of airflow and temperature field in a room with convection heat source," *Building and Environment*, Vol. 32, No. 6, pp. 541-550, 1997.
 25. Lauder, B. E. and Spalding, D. B., "The numerical

- computation of turbulent flows,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 3, pp. 269-289, 1974.
26. Patankar, S. V. and Spalding, D. B., “A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 1787-1806, 1972.
 27. Patankar, S. V., “A calculation procedure for two-dimensional elliptic situations,” *Numer. Heat Transfer*, Vol. 4, pp. 409-425, 1981.
 28. Van Doormal, J. P., and Raithby, G. D., “Enhancements of the SIMPLE method for predicting incompressible fluid flows,” *Numer. Heat Transfer*, Vol. 7, pp. 147-163, 1984.
 29. Issa, R. I., “Solution of the implicitly discretised fluid flow equations by operator-splitting,” *Journal of Computational Physics*, Vol. 62, pp. 40-65, 1985.
 30. Spalding, D. B., “A novel finite-difference formulation for differential expressions involving both first and second derivatives,” *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 4, pp. 551-559, 1972.
 31. Kato, S., and Murakami, S., “New ventilation efficiency scales based on spatial distribution of contaminant concentration aided by numerical simulation,” *ASHRAE Transactions*, Vol. 94, pp.309-330, Part 2, 1988.
 32. Chung, I. P., and Derek, D. R., “Using numerical simulation to predict ventilation efficiency in a model room,” *Energy and Buildings*, Vol. 28, pp. 43-50, 1988.
 33. Murakami S., Kato S., Nagano S. , and Tanaka Y., “Diffusion

- characteristics of airborne particles with gravitational settling in a convection-dominant indoor flow field,” ASHRAE Transactions, 1990.
34. Sandberg M., “Some confinement effects of jets in ventilated rooms,” ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1B, pp. 1748-1754, 1998.
 35. Chen Y.C. Barber E. M., and Zhang, Y., “Method to measure dust production and deposition rates for a ventilated airspace without recirculation systems,” ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt.1B, pp. 1692-1698, 1998.
 36. Liu ,Y., Maghirang R. G., and Chung D. S., “Method for measuring fan ventilation rates in livestock buildings-velocity pressure measurement,” ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1B, pp.1679-1684, 1998.
 37. Haddad, K. H. and Elmahdy, A. H., ”Comparison of the monthly thermal performance of a conventional window and a supply-air window,” ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1B, pp. 1261-1270, 1998.
 38. Emmerich ,S. J. and McGrattan, K. B., ”Application of a large eddy simulation model to study room airflow,” ASHRAE Transactions, Vol. 1B, pp. 1128-1140, 1998.
 39. Nielsen ,P. V., “Selection of turbulence models for prediction of room airflow,” ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1B, pp. 1119-1127, 1998.
 40. Kwork ,A. G., “Thermal comfort in tropical classrooms,” ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1B, pp. 1031-1047, 1998
 41. Varley ,J. O. and Ghorashi B., “Effect of turbulent structures on hood design-a review of CFD and flow visualization studies,” ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1A, pp.710, 1998.

42. Sensharma, N. P., Woods, J. E., and Goodwin A. K., "Relations between the indoor environment and productivity: A literature review," ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1A, pp. 686-701, 1998.
43. Dorgan, C. B., Dorgan, C. E., Kanarek M. S., and Willman A. J., "Health and productivity benefits of improved indoor air quality," ASHRAE Transactions, Vol. 104, Pt. 1A, pp. 658-666, 1998.
44. Skimming, J. W., Stephan P. J., Blanch P. B., and Banner M. J., "Propagation of nitric oxide pools during controlled mechanical ventilation.," Journal of Clinical Monitoring & Computing, Vol. 14, No. 3, pp. 171-176, Apr 1998.
45. Krylov V. V. and Ferguson C. C., "Contamination of indoor air by toxic soil vapors: The effects of subfloor ventilation and other protective measures.," Building & Environment, Vol. 33, No. 6, pp. 331-347, Nov 1998.
46. Kacira M., Short T. H., and Stowell R. R., "CFD evaluation of naturally ventilated, multi-span, sawtooth greenhouses.," Transactions of the ASAE, Vol. 41, No. 3, pp. 819-824, May-Jun 1998.
47. Verlinde W.,Gabries D., and Christiaens J. P. A., "Ventilation coefficient for wind-induced natural ventilation in cattle buildings: A scale model study in a wind tunnel.," Transactions of ASAE, Vol. 41, No. 3, pp. 783-788, May-Jun 1998.
48. Naas I. A., Moura D. J., Bucklin R. A., and Fialho F. B., "Algorithm for determining opening effectiveness in natural ventilation by wind.," Transaction of the ASAE, Vol. 41, No. 3, pp.76-771, May-Jun 1998.
49. Colbeck I., "Nitrogen dioxide in the workspace environment.,"

Environment Monitoring & Assessment, Vol. 52, No. 1-2, pp. 123-130, Aug 1998.

50. Bellia L., Betta V., and Cascetta F., "Description of velocity fields in front of exhaust axisymmetric inlets by means of new empirical equations.," Building & Environment, Vol. 33, No.4, pp. 189-195, Jul 1998.
51. Drakou G., Zerefos C., Ziomas I., and Voyatzaki M., "Measurement and numerical simulations of indoor O₃ and NO_x in two different cases.," Atmospheric Environment, Vol. 32, No. 4, pp. 595-610, Feb 1998.