

# 大型FBRにおける原子炉容器上部プレナム ガス巻き込み防止対策の検討（Ⅱ）

Baffle Ring設備およびPorous UIS設備の検討

1992年11月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## 大型FBRにおける原子炉容器上部プレナムガス巻き込み防止対策の検討（Ⅱ）

### －Baffle Ring 設備および Porous UIS 設備の検討－

村松 寿晴\*、一宮 正和\*\*、山口 彰\*  
中大路道彦\*\*、永田 敬\*\*\*、菅原 悟\*

### 要 旨

大洗工学センター技術開発部プラント工学室では、電気事業者による FBR 実証炉の設計研究を適切に支援するため、大型 FBR 設計研究の一環として、電気出力60万kW級のプラントを対象に設計研究作業を実施してきている。この内、上部プレナム内に発生する熱流動挙動は、プラント設計自体に直接影響を及ぼすと考えられることから、平成2年度より単相多次元熱流動解析コード AQUA を用いた評価解析を継続して実施してきている。平成4年度上期の作業では、液面近傍流速低減化方策の一つとして Baffle Ring 設備および Porous UIS 設備を取り上げ、その有効性を明かした。具体的には、原子炉容器壁への Baffle Ring 設備と Porous 型 UIS 設備を検討の対象とし、以下の結果を得た。

#### [Baffle Ring設備]

- (1) 原子炉容器壁に設置する Baffle Ring 幅は、20cmの場合よりも40cmとした場合の方が液面近傍流速低減化に有効である。
- (2) 上記設備の採用により、液面近傍最大流速を約40cm/sまで低減させることができる。

#### [Porous UIS設備]

- (1) UIS スカート部と UIS 胴上部との流配は、50%-50%とした場合が最も効果的に液面近傍最大流速を低減化させることができる。
- (2) 上記設備の採用により、液面近傍最大流速を約52cm/sまで低減させることができる。

更に、上記解析結果を踏まえ、ガス巻き込み防止のための原子炉構造として、Baffle Ring 設備（40cm幅×2段）と Porous UIS 設備（流配条件50%-50%）との組み合わせを提案し、解析を行った。この結果、液面近傍最大流速値として、約0.33m/sが得られた。

---

\* :大洗工学センター安全工学部原子炉工学室  
\*\* :大洗工学センター技術開発部プラント工学室  
\*\*\* :大洗工学センター機器構造開発部構造工学室

## Investigation of Preventive Measures of Gas Entrainment Phenomena for Large Scale FBR

### --Investigation on Baffle Ring and Porous-Type UIS--

Toshiharu MURAMATSU\*, Masakazu ICHIMIYA\*\*,  
Akira YAMAGUCHI\*, Michihiko NAKAOHJI\*\*,  
Takashi NAGATA\*\*\*, Satoru SUGAWARA\*

### Abstract

In-vessel thermohydraulic analysis with multi-dimensional code AQUA was conducted to investigate efficiency of a baffle ring and of a porous-type UIS (upper instrumentation structure) for prevention of gas entrainment to coolant from gas plenum of reactor vessel. Through the analysis using the AQUA code and the discussion based on their results, the following results have been obtained:

#### [Baffle Ring Equipment]

- (1) In order to reduce maximum surface velocity, the effect with the width 40 cm of the baffle ring equipment better than the width 20 cm.
- (2) Maximum surface velocity is  $\sim 40$  cm/s using the baffle ring equipment of width 40 cm.

#### [Porous-type UIS]

- (1) Effective mass flow ratio of the UIS porous to the UIS skirt is 50 % to decrease maximum surface velocity.
- (2) Maximum surface velocity is  $\sim 52$  cm/s using the porous-type UIS with the above mass flow distribution.

Furthermore analysis with the AQUA code were carried out for the combined condition of the baffle rings with 40 cm width and the porous-type UIS with the condition of the effective mass flow ratio 50 %. Maximum surface velocity 0.33 m/s closer to the MONJU condition (0.3 m/s) was obtained from the analysis.

---

\* :Reactor Engineering Section, Safety Engineering Division, OEC, PNC

\*\* :Plant Engineering Office, Technology Development Division, OEC, PNC

\*\*\*:Structural Engineering Section, Systems and Components Division, OEC, PNC

## 目 次

第1章 緒 言 .....	1
第2章 原子炉構造 .....	2
第3章 Baffle Ring設備 .....	3
3.1 概 要 .....	3
3.2 解析条件 .....	3
3.3 解析結果 .....	4
3.4 検 討 .....	5
第4章 Porous UIS設備 .....	8
4.1 概 要 .....	8
4.2 解析条件 .....	8
4.3 解析結果 .....	9
4.4 検 討 .....	10
第5章 ガス巻き込み防止設計に対する提案 .....	12
5.1 概 要 .....	12
5.2 解析条件 .....	12
5.3 解析結果 .....	12
第6章 結 言 .....	14
参考文献 .....	15

## List of Figures

Fig.2.1	Cross-Sectional View of Reactor Vessel	.....	16
Fig.2.2	Cross-Sectional View of Outer Barrel of Outlet Nozzle	.....	17
Fig.3.1	Illustration of Flow Pattern in the Upper Plenum with Baffle Ring	.....	18
Fig.3.2	Mesh Arrangements for the Upper Plenum with Baffle Ring	.....	19
Fig.3.3	Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Ring(J=1-24)	.....	20
Fig.3.4	Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Ring(K=36)	.....	32
Fig.3.5	Effective Energy Distribution in the Upper Plenum with Baffle Ring(K=36)	.....	33
Fig.3.6	Local Froude Number Distributions in the Upper Plenum with Baffle Ring(K=36)	.....	34
Fig.4.1	Cross-Sectional View of Porous UIS	.....	35
Fig.4.2	Mesh Arrangements for the Upper Plenum with Porous UIS	.....	36
Fig.4.3	Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(J=1-24)	.....	37
Fig.4.4	Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(K=36)	.....	49
Fig.4.5	Effective Energy Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(K=36)	.....	50
Fig.4.6	Local Froude Number Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(K=36)	.....	51
Fig.5.1	Cross-Sectional View of Reactor Vessel with Baffle Rings and Porous UIS	.....	52
Fig.5.2	Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Rings and Porous UIS	.....	53
Fig.5.3	Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Rings and Porous UIS	.....	56
Fig.5.4	Effective Energy Distribution in the Upper Plenum with Baffle Rings and Porous UIS	.....	56

## 第1章 緒 言

大洗工学センター技術開発部プラント工学室では、電気事業者によるFBR実証炉の設計研究を適切に支援するため、大型FBR設計研究の一環として、電気出力60万kW級のプラントを対象に設計研究作業を実施してきている。この内、上部プレナム内に発生する熱流動挙動は、プラント設計自体に直接影響を及ぼすと考えられることから、平成2年度より单相多次元熱流動解析コードAQUAを用いた評価解析を継続して実施してきている<sup>1,2,3)</sup>。

これまでに得られている解析的評価結果によれば、定格負荷運転時の原子炉容器上部プレナム液面近傍では、炉容器壁から炉心上部機構壁に向う液面流速が1m/s程度となり、炉心上部機構壁近傍での下降流の存在により、冷却材中へのカバーガス巻き込みの発生が懸念される。このため、平成3年度下期の解析評価作業では、液面近傍に部分ディッププレート設備を設けることを前提として、その幅および設置深さをパラメータとした解析を実施した。この解析結果では、部分ディッププレートの幅および設置深さの最適化により、液面近傍最大流速を「もんじゅ」での値（約0.3m/s）程度に低減可能であることが示されたものの、上部プレナム内温度成層化現象に起因する軸方向温度勾配については「もんじゅ」での値を上回る可能性が示唆された。

平成4年度上期の作業では、液面近傍低減化方策の一つとしてBaffle Ring設備およびPorous UIS設備を取り上げ、その有効性を明らかにする。更に、過渡解析により、当該設備が設置された条件下での軸方向温度勾配の程度についても言及する。

## 第2章 原子炉構造

ここで検討の対象となる原子炉は、Fig.2.1に示す電気出力60万kW級の大型炉である。なお、出口配管外筒設備は、Fig.2.2に示す様に、プラント工学室による平成3年度設計から変更がなされている。これは、外筒入口面での縮流圧損を低減させるため、当該入口面に出口配管断面積（ $0.519\text{m}^2$ ）の約2倍の値を与えたことによる。

以下に、プラント主要目を列記する。

原子炉出力	160万kWt (60万kWe)
ループ数	3
原子炉入口温度	380℃
出口温度	530℃
1次冷却系流量	8410kg/s
原子炉容器内径	8400 $\phi$
炉心上部機構外径	3000 $\phi$
炉心槽外径	4700 $\phi$
原子炉入口配管内径	736.6 (12.7 $\phi$ )
出口配管内径	812.8 $\phi$
上部プレナム高さ	6000 (炉心槽上端より)
炉心構成要素数	
内側炉心燃料	156体
外側炉心燃料	132体
主炉停止制御棒	19体
後備炉停止制御棒	6体
SUS遮蔽体	138体
B <sup>4</sup> C遮蔽体	252体



### 第3章 Baffle Ring設備

#### 3.1 概 要

Fig.3.1に、本報において検討の対象となるBaffle Ring設備の概念とこの設置により上部プレナム内で発生が予想される流動状況のイメージ図（右図）を示す。なお、同図中には、Baffle Ring設備を設置しない場合の流動状況（左図）も合わせて示した。

Baffle Ring設備を設置しない場合の上部プレナム内流動（左図）は、概ね次の通りとなる。すなわち、炉心より流出した冷却材は、炉心上部機構下端に衝突した後上部プレナム内に流入する。この後、冷却材は、原子炉容器壁に沿って上昇して液面に到達し、炉心上部機構に向う流れに転じる。さらに、冷却材は、炉心上部機構壁に衝突して下降流となり、炉心上部機構下端近傍で上部プレナム内に流入する流れと合流する。結果として、Baffle Ring設備を設置しない条件では、原子炉容器壁に沿って上昇する流れによってこの近傍の液面が盛り上がり、また、炉心上部機構壁に沿って下降する流れによって液面がくぼむこととなり、冷却材中へのガス巻き込みが懸念される。

一方、Baffle Ring設備を設置した場合（右図）は、原子炉容器壁に沿って上昇する冷却材が液面に到達する前に、原子炉容器壁上に設置したBaffle Ringに衝突し、液面に到達する軸方向運動量を抑制する。また、炉心上部機構壁上に設置したBaffle Ringにより、液面近傍に発生する2次渦の発達を抑制する。この結果、液面の盛り上がりとかぼみの発生を同時に抑制し、ガス巻き込みを効果的に防止できると期待される。

#### 3.2 解析条件

解析検討上のパラメータは、以下の2点である。

- (1) 原子炉入口配管と原子炉出口配管との周方向設置角度（30°，60°）
- (2) Baffle Ringの幅（20cm，40cm）

また、以下に解析条件をマトリックス表示する。

		Circumferential Angle	
		30°	60°
Baffle Ring Condition	None	Case-A	-----
	20 cm	Case-B	Case-C
	40 cm	Case-D	-----

解析で適用する数値計算条件は、次の通りである。

- 座 標 系 :  $r-\theta-z$ , 3次元円筒座標系
- メッシュ分割 :  $29^i \times 72^j \times 36^k$  (Fig.3.2参照)
- 時間積分法 : 完全陰解法
- 対流項差分法 : 1次風上差分法
- 乱流モデル : 層流モデル
- 入口境界条件 : 平衡炉心第5サイクル末期条件

### 3.3 解析結果

Fig.3.3に、垂直断面における流速分布の比較 (J=1-24) を示す。まず、Baffle Ringを設置しない条件 (Case-A) での結果は、第3.1節で述べた様に、炉心から流出した冷却材が原子炉容器壁を上昇し、炉心上部機構壁を下降するものとなっている (例えばJ=2参照)。この結果、液面では、原子炉容器壁側から炉心上部機構壁に向う流れが顕著である。一方、20cmの幅を持つBaffle Ringを設置した条件 (Case-B) での結果では、原子炉容器壁に沿って上昇する冷却材がBaffle Ringと衝突し、軸方向運動量を半径方向の広い範囲に拡散させている (例えばJ=3参照)。この結果、液面に到達する冷却材は、Baffle Ringによって軸方向運動量が大幅に減衰した後のものとなる。なお、液面近傍に生じる2次渦の発達は、炉心上部機構に設置したBaffle Ringによって阻止される。原子炉入口配管と原子炉出口配管とを周方向に60°で配置した条件 (Case-C) での結果は、Base-Bの結果と大きな差異は生じていない。40cmの幅を持つBaffle Ringを設置した条件 (Case-D) での結果は、概ねCase-Bでの結果に近い傾向を示すものの、Baffle Ring上部の液面近傍に発生する2次渦は大きなものとなっている (例えばJ=3参照)。

Fig.3.4に、液面に相当する軸方向位置 (K=36) での水平方向流速分布の比較を示す。また、以下に各条件での液面近傍最大流速値を比較する。

		Circumferential Angle	
		30°	60°
Baffle Ring Condition	None	Case-A 1.32m/s (1.0)	-----
	20 cm	Case-B 0.40m/s (0.30)	Case-C 0.42m/s (0.32)
	40 cm	Case-D 0.40m/s (0.30)	-----

なお、上記表中の括弧内の値は、Case-Aにおける液面近傍最大流速値を1.0とした場合の比率である。

まず、Baffle Ringを設置しない条件（Case-A）での結果では、上部プレナム内が原子炉容器壁を上昇する流れと炉心上部機構壁を下降する流れに支配されることから、液面近傍においては原子炉容器壁側から炉心上部機構壁側に向う流れが顕著となる。この断面での最大流速は、上表に示した通り1.32m/sとなり、この値はもんじゅ条件での値（約0.3m/s）の約4.4倍に相当する。一方、Case-B（20cm幅Baffle Ring設置）の条件では、原子炉容器壁に沿って上昇する流れと炉心上部機構壁に沿って下降する流れがBaffle Ringにより抑制されることから、液面近傍最大流速は0.40m/sにまで低減する。この値は、Case-A条件での値の約30%に相当すると共に、もんじゅ条件での値の約1.3倍に相当する。なお、原子炉入口配管と原子炉出口配管とを周方向に60°で配置した条件（Case-C）での結果およびBaffle Ring幅を40cmとした条件（Case-D）での結果共に、Case-B条件での結果に近い液面近傍最大流速値を示す（それぞれ、約0.42m/s、約0.40m/s）。

### 3.4 検 討

Fig.3.5に、液面に相当する軸方向位置（K=36）での状態量（流速3成分、U、V、W）を用い、下式により算出した実効運動エネルギーKの水平方向分布（図中の太線は、軸方向流速成分Wの符号が変化する水平空間位置）を示す。

$$K=0.01 \times (U^2 \times V^2)^{1/2} \times W \quad [m^2/s^2] \quad (3.1)$$

なお、(3.1)式により算出された実効運動エネルギーは、径方向流速成分Uと周方向流速成分Vとから計算される実効流速（(3.1)式中の $(U^2 \times V^2)^{1/2}$ ）が、軸方向流速成分Wにより自由液面を持ち上げようとする力あるいは沈ませようとする力を表すと解釈できる。以下に、各条件での液面近傍最大実効運動エネルギー値 $K_M$ を比較する。

		Circumferential Angle	
		30°	60°
Baffle Ring Condition	None	Case-A 0.39m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (1.0)	-----
	20 cm	Case-B 0.09m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (0.23)	Case-C 0.08m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (0.21)
	40 cm	Case-D 0.04m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (0.10)	-----

なお、上記表中の括弧内の値は、Case-Aにおける液面近傍最大実効運動エネルギー値 $K_M$ を1.0とした場合の比率である。

まず、Baffle Ringを設置しないCase-Aの条件での結果では、原子炉容器壁に沿う周方向領域で自由液面を持ち上げようとする力が大きく働き、一方、炉心上部機構壁に沿う周方向領域で自由液面を沈ませようとする力が大きく働いている様子が分かる。更に、自由液面を持ち上げようとする力が働く領域と自由液面を沈ませようとする力が働く領域とが、水平断面内で明確に分離されている。一方、Baffle Ringを設置した3条件での結果（Case-B、CおよびD）では、自由液面を持ち上げようとする力が働く領域が上部プレナム内の半径方向中心領域近傍に現れると共に、自由液面を持ち上げようとする力が働く領域と自由液面を沈ませようとする力が働く領域とが、水平断面内に分散されている点が、Case-Aでの結果と大きく異なる。

なお、興味深い点は、前節で示した液面近傍最大流速の内、Case-Bでの値とCase-Dでの値が0.40m/sと等しいにも係わらず、上表に示した液面近傍最大実効運動エネルギー値 $K_M$ の値が異なることである。すなわち、Case-Bでの液面近傍最大実効運動エネルギー（ $0.09\text{m}^2/\text{s}^2$ ）とCase-Dでの値（ $0.04\text{m}^2/\text{s}^2$ ）が、約2.25倍の差異を持つことである。このことは、自由液面からのガス巻き込み現象を評価しようとする場合、単に液面近傍最大流速を低減させるだけでなく、液面近傍最大実効運動エネルギー等（液面に勾配を発生させようとする効果）も低減させなければならないことを示唆していると考えられる。

Fig.3.6に、下式により計算された局所フルード数 $Fr_L$ の水平方向分布を示す。

$$Fr_L = 0.01 \times U^2 / (gL) \quad [-] \quad (3.2)$$

ここで、

U：実効流速(= $(U^2 \times V^2 \times W^2)^{1/2}$ ) [m/s]

g：重力加速度[m/s<sup>2</sup>]

L：代表長さ(0.762m、原子炉入口配管直径)

である。なお、(3.2)式により算出された局所フルード数 $Fr_L$ は、慣性力と重力（ポテンシャルエネルギー）との割合を表す指標であると解釈でき、この値が小さい程自由液面の勾配が水平に保たれていると理解できる。また、図中に示した等値線間隔が密な程、自由液面勾配が大きいことを表す。結果より分かる通り、Baffle Ringを設置しないCase-Aの条件での結

果では、局所フルード数 $Fr_L$ の値が大きく且つ等値線間隔が密となっていることから、自由液面が大きく傾いていると解釈できる。一方、Baffle Ringを設置した3条件での結果（Case-B、CおよびD）では、局所フルード数 $Fr_L$ の値がCase-Aでの値に比べて全体的に減少しており、また等値線間隔が粗くなっていることから、自由液面の勾配はCase-Aの場合に比べて小さなものとなっていることが考えられる。

## 第4章 Porous UIS設備

### 4.1 概 要

Fig.4.1に、Porous UIS設備の構造概念図を示す。ここで想定するPorous構造は、UISスカート部（炉心構成要素上端から熱遮蔽板下端までを周方向に覆う円筒部）とUIS胴上部との2種類に分類される。UISスカート部におけるPorous構造の役割は、熱遮蔽板下端領域から上部プレナム内に流入する冷却材の慣性力を平坦化させることにより、原子炉容器壁に沿って上昇する冷却材流れと自由液面に衝突する軸方向運動量とを低減化させる。一方、UIS胴上部におけるPorous構造の役割は、自由液面近傍に生じる原子炉容器壁側からUIS壁側に向う流れを、UIS胴上部から原子炉容器壁側への逆向きの流れにより相殺して、液面近傍流速を低減化させる。

### 4.2 解析条件

解析検討上のパラメータは、UISスカート部からの冷却材流量とUIS胴上部からの冷却材流量との流量配分である。以下に、解析条件をマトリックス表示する。

		UIS胴上部流配割合(%)			
		0	20	40	50
UISスカート部流配割合 (%)	100	Case-E			
	80		Case-F		
	60			Case-G	
	50				Case-H

解析で使用する数値計算条件を、以下に列記する。

- 座 標 系 :  $r-\theta-z$ 、3次元円筒座標系
- メッシュ分割 :  $29^i \times 72^j \times 36^k$  (Fig.4.2参照)
- 時間積分法 : 完全陰解法
- 対流項差分法 : 1次風上差分法
- 乱流モデル : 層流モデル
- 入口境界条件 : 平衡炉心第5サイクル末期条件

4.3 解析結果

Fig.4.3に、垂直断面における流速分布の比較を示す (J=1-24)。まず、Case-Eの条件 (UISスカート部流配100%、UIS胴上部流配0%) での結果では、熱遮蔽板下端領域から上部プレナム内に流入する冷却材の慣性力が境界条件入力により平坦化しているものの、原子炉容器壁に沿って上昇する流れは、前章におけるBaffle Ringを設置しない条件 (Case-A) での結果に酷似している。UISスカート部とUIS胴上部との流配をそれぞれ80%、20%とした場合 (Case-F) は、UIS胴上部から上部プレナム内に流入する冷却材の慣性力が小さいため、UISスカート部から上部プレナム内への流入冷却材により生じる循環渦に取り込まれる。したがって、上部プレナム内における全体的な流動状況は、Case-Eでの結果から大きく変化しない。一方、Case-Gの条件 (UISスカート部流配60%、UIS胴上部流配40%) では、UIS胴上部から上部プレナム内に流入する冷却材の慣性力が相対的に増加するため、上部プレナム内での流動状況に影響を与え始める。更に、UISスカート部とUIS胴上部との流配をそれぞれ50%、50%とした場合 (Case-H) は、UIS胴上部から上部プレナム内に流入する冷却材が原子炉容器壁にまで到達し、原子炉容器壁に沿って上昇する主流を遮るようになる。したがって、原子炉容器に沿って上昇する軸方向慣性力は、UIS胴上部からの冷却材層に阻まれ、自由液面にまでは到達しない。

Fig.4.4に、液面に相当する軸方向位置 (K=36) での水平方向流速分布を比較を示す。また、以下に各条件での液面近傍最大流速値を比較する。

		UIS胴上部流配割合(%)			
		0	20	40	50
UISスカート部流配割合 (%)	100	Case-E 1.16m/s (0.88)			
	80		Case-F 0.83m/s (0.63)		
	60			Case-G 0.68m/s (0.52)	
	50				Case-H 0.52m/s (0.39)

なお、上記表中の括弧内の値は、前章で述べたCase-Aでの液面近傍最大流速値を1.0とした場合の比率である。

まず、UISスカート部とUIS胴上部との流配をそれぞれ100%、0%としたCase-Eの条件での結果は、Case-Aでの結果と比較して若干液面近傍最大流速が減少している（0.88）ものの、概ね同様な流動状況となっている。Case-FおよびCase-Gでの結果は、上表より分かる通り、UISスカート部とUIS胴上部との流配を変化させてゆくに従って液面近傍最大流速が徐々に減少（0.63、0.52）しているものの、流動状況はほぼ相似なものとなっている。なお、UISスカート部とUIS胴上部との流配をそれぞれ50%、50%としたCase-Hの条件での結果は、今回評価を行った流配ケースの中で、最も液面近傍最大流速の低減割合が大きく、Case-Aでの値の約0.39となっている。ただし、液面近傍最大流速値そのもの（0.52m/s）は、もんじゅ条件での値（0.30m/s）の約1.73倍に相当しており、必ずしも十分な値であるとは言えない。

4.4 検 討

Fig.4.5に、液面に相当する軸方向位置（K=36）での状態量を用い、(3.1)式により算出された実効運動エネルギーKの水平方向分布を示す。また、以下に、各条件での液面近傍最大実効運動エネルギー値 $K_M$ を比較する。

		UIS胴上部流配割合(%)			
		0	20	40	50
UISスカート部流配割合 (%)	100	Case-E 0.26m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (0.67)			
	80		Case-F 0.14m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (0.36)		
	60			Case-G 0.11m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (0.28)	
	50				Case-H 0.05m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (0.13)

なお、上表中の括弧内の値は、Case-Aにおける液面近傍最大実効運動エネルギー $K_M$ の値を1.0とした場合の比率である。

まず、UISスカート部とUIS胴上部との配流をそれぞれ100%、0%としたCase-Eの条件での結果は、Case-Aでの水平方向分布（Fig.3.5参照）に極めて近い分布を与える。ただし、液面近傍最大実効運動エネルギー値 $K_M$ は、Case-Aでの値に比べ、約7割程度まで減少している。



Case-FおよびCase-Gの結果からは、液面近傍実効運動エネルギーの水平方向分布が徐々に平坦化してゆく様子（等値線間隔の拡大）が認められ、また上表よりこれらの最大値が大きく減少（ $0.14\text{m}^2/\text{s}^2$ 、 $0.11\text{m}^2/\text{s}^2$ ）していること等から、自由液面を持ち上げようとする力と沈ませようとする力とが急速に減衰してゆく様子を示唆している。更に、Case-Hの条件では、液面近傍実効運動エネルギーの水平方向分布が広い範囲に分布し、且つその最大値も $0.05\text{m}^2/\text{s}^2$ にまで低下している。なお、この条件での液面近傍最大実効運動エネルギー値 $K_M$ は、Case-Aでの条件での値の約13.0%に相当する。

Fig.4.6に、(3.2)式により算出された局所フルード数 $Fr_L$ の水平方向分布の比較を示す。結果より分かる通り、UISスカート部とUIS胴上部との流配を大きくしてゆく（Case-E→Case-H）に従って、水平方向分布の等値線間隔の拡大が見られると共に、その絶対値も急激に減少してゆく様子が認められる。このことは、Case-E条件での自由液面の大きな傾きが、流配の程度に従って極めて急速に水平状態に戻ろうとすることを表していると解釈できる。

## 第5章 ガス巻き込み防止設計に対する提案

### 5.1 概 要

本章では、ガス巻き込み防止設計として、Fig.5.1に示す原子炉構造を提案する。ここで提案した原子炉構造は、第3章で検討を行ったBaffle Ring 設備（40cm幅×2段）と第4章で検討を行ったPorous UIS設備（流配条件50%-50%）との組み合わせである。期待される効果は、以下の通りである。

- (1) 原子炉容器壁とUIS壁に沿う軸方向運動量のBaffle Ring 設備による抑制
- (2) 上部プレナム内流入運動量のPorousスカート設備による平均化
- (3) 原子炉容器壁に沿う軸方向運動量のPorous UIS設備による抑制

### 5.2 解析条件

数値計算条件は、以下の通りである。

- |        |   |
|--------|---|
| 座 標 系  | : r- $\theta$ -z、3次元円筒座標系                           |
| メッシュ分割 | : 29 <sup>i</sup> ×72 <sup>j</sup> ×36 <sup>k</sup> |
| 時間積分法  | : 完全陰解法   |
| 対流項差分法 | : 1次風上差分法   |
| 乱流モデル  | : 層流モデル   |
| 入口境界条件 | : 平衡炉心第5サイクル末期条件                                    |

### 5.3 解析結果

Fig.5.2に、垂直断面における流速分布（J=1-24）を示す。結果より分かる通り、上部プレナム内の流況は、Baffle Ring設備（40cm幅、単段）およびPorous UIS設備（50%-50%流配）をそれぞれ単独で考慮した場合のものと大きく異なっている。すなわち、Baffle Ringより下側の上部プレナム領域には、その軸方向中心位置を境として、上下2つの大きな循環渦が発生している。これは、Porousスカートより流出した冷却材（原子炉容器壁上昇流）とUIS胴上部より流出した冷却材（原子炉容器壁下降流）とが原子炉容器壁上の軸方向中心位置で衝突し、各運動量が半径方向に拡散されることにより発生する。なお、Baffle Ringより上側の上部プレナム領域では、Porous設備を単独で考慮した条件（Case-H）に近い流況を示している。

Fig.5.3に、液面に相当する軸方向位置（K=36）での水平方向流速分布を示す。ここでの

結果についても、Baffle Ring設備（40cm幅、単段）およびPorous UIS設備（50%-50%流配）をそれぞれ単独で考慮した場合のものと大きく異なっており、前章までに示した8種類の条件（Case-A～Case-H）での何れの結果よりも、穏やかな流況となっている。これは、上記の様に、Porousスカートより流出した冷却材とUIS胴上部より流出した冷却材とが原子炉容器壁上の軸方向中心位置で衝突して、それぞれが持つ運動量を半径方向に輸送し、自由液面に到達する軸方向運動量が減少したことに起因する。なお、液面近傍最大流速値は、約0.33m/sとなり、この値はCase-Aでの値の約25%、またもんじゅ条件での値の110%に相当する。

Fig.5.4に（3.1）式により算出された実効運動エネルギー $K$ の水平方向分布を示す。ここでの結果についても、上記流況の場合と同様に、水平方向に極めて穏やかな分布を持ち、その値も $-0.012\text{m}^2/\text{s}^2 < K < 0.014\text{m}^2/\text{s}^2$ の範囲に収まる。なお、液面近傍最大実効運動エネルギー $K_M$ の値は、Case-Aでの値の約4%に相当する。また、この値は、Baffle Ring設備（40cm幅、単段、Case-D）およびPorous UIS設備（50%-50%流配、Case-H）それぞれを単独で考慮した場合の約35%（対Case-D）、約28%（対Case-H）に相当し、それぞれの設備を単独で考慮した場合に比べて極めて高い効果が発生させている。

## 第6章 結 言

大洗工学センター技術開発部プラント工学室で設計研究が進められている大型炉について、液面近傍流速を効果的に低減できる設備を検討するため、多次元コードAQUAを用いて解析を行った。具体的には、原子炉容器壁と炉心上部機構壁へのBaffle Ring設備とPorous型UIS設備を検討の対象とした。

解析により得られた結果は、次の通りである。

### [Baffle Ring 設備]

- (1) 原子炉容器壁に設置するBaffle Ring幅は、20cmの場合よりも40cmとした場合の方が液面近傍流速低減化に有効である。
- (2) 上記設備の採用により、液面近傍最大流速を約40cm/sまで低減させることができる。

### [Porous UIS 設備]

- (1) UISスカート部とUIS胴上部との流配は、50%-50%とした場合が最も効果的に液面近傍最大流速を低減化させることができる。
- (2) 上記設備の採用により、液面近傍最大流速を約52cm/sまで低減させることができる。

更に、上記解析結果を踏まえ、ガス巻き込み防止のための原子炉構造として、Baffle Ring設備（40cm幅×2段）とPorous UIS設備（流配条件50%-50%）との組み合わせを提案し、解析を行った。この結果、液面近傍最大流速値として、約0.33m/sが得られた。この値は、もんじゅ条件での値にほぼ等しいものである。

## 参 考 文 献

- 1) 村松他、大型FBRにおける内筒設置の是非に係わる検討、PNC SN9410 90-147、1990年10月
- 2) 村松他、大型FBRにおける外筒設置効果に係わる検討、PNC SN9410 91-089、1991年3月
- 3) 村松他、大型FBRにおける原子炉容器上部プレナムガス巻き込み防止対策の検討、部分ディッププレートの検討、PNC ZN9410 91-318、1991年10月

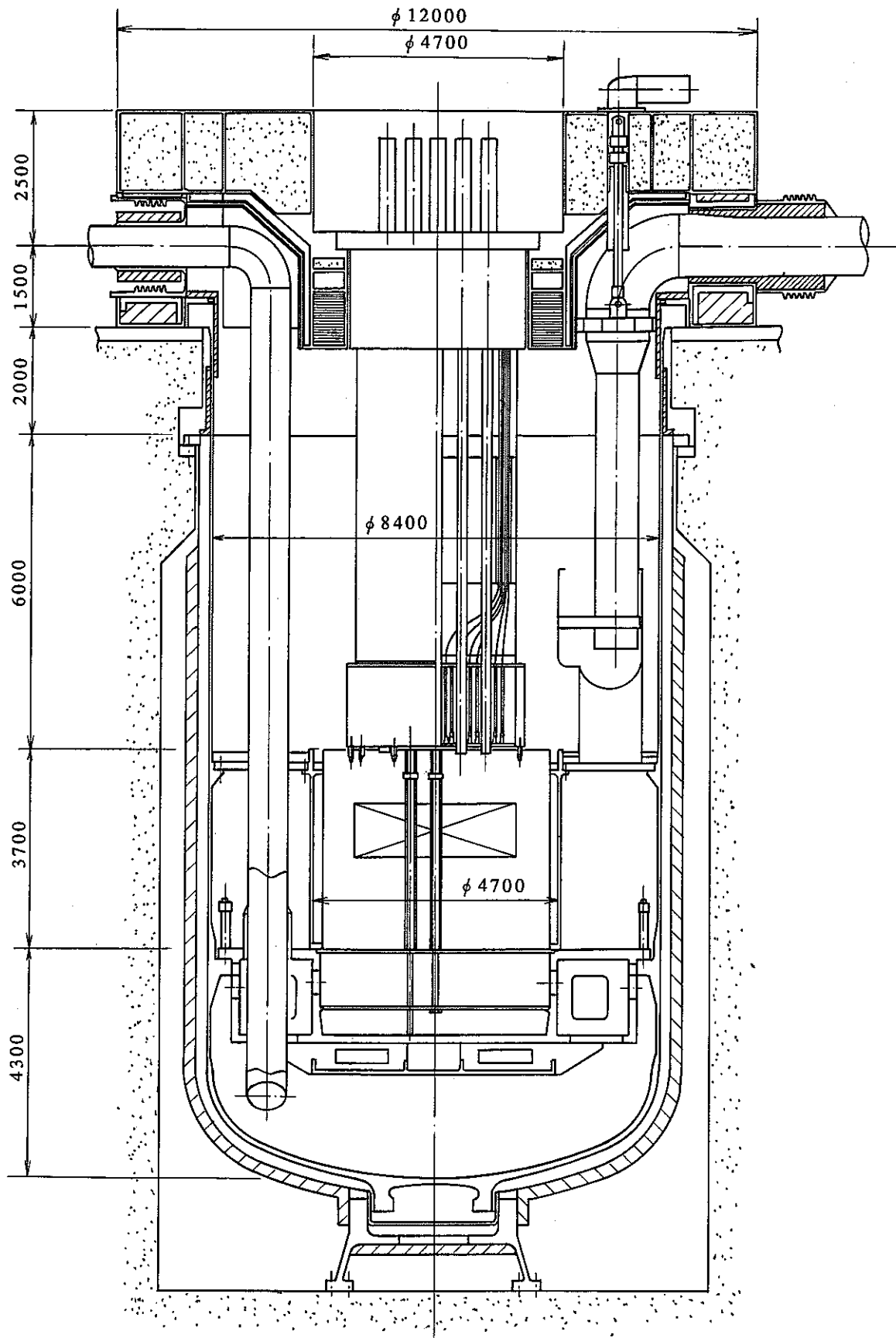


Fig.2.1 Cross-Sectional View of Reactor Vessel

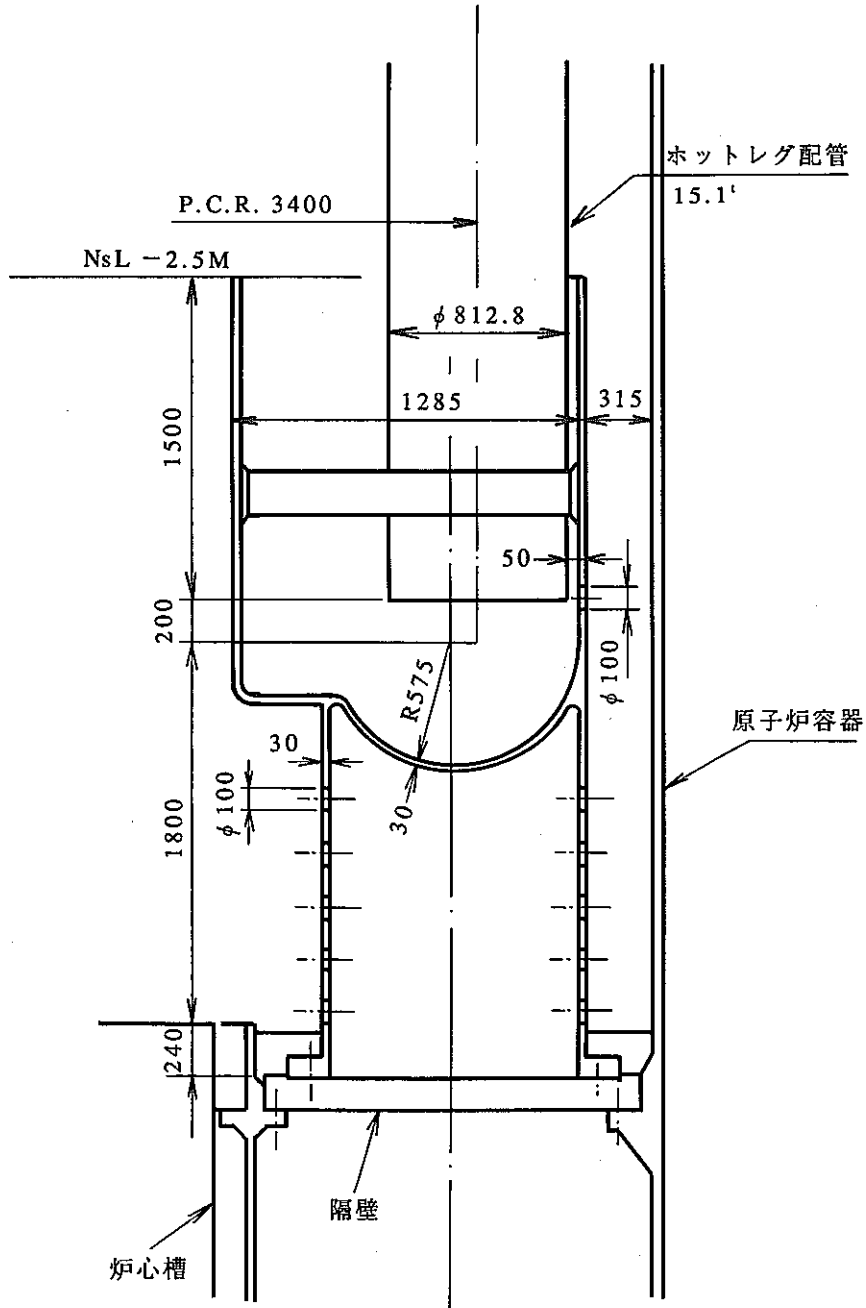


Fig.2.2 Cross-Sectional View of Outer Barrel of Outlet Nozzle

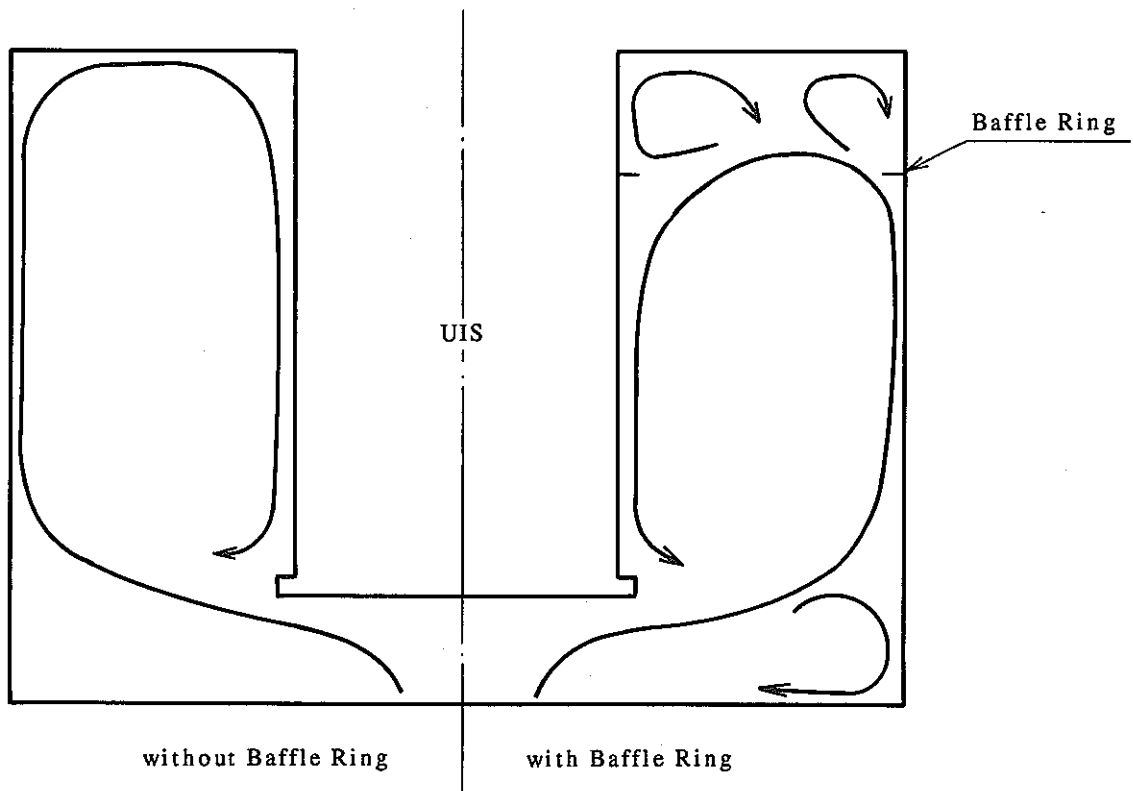
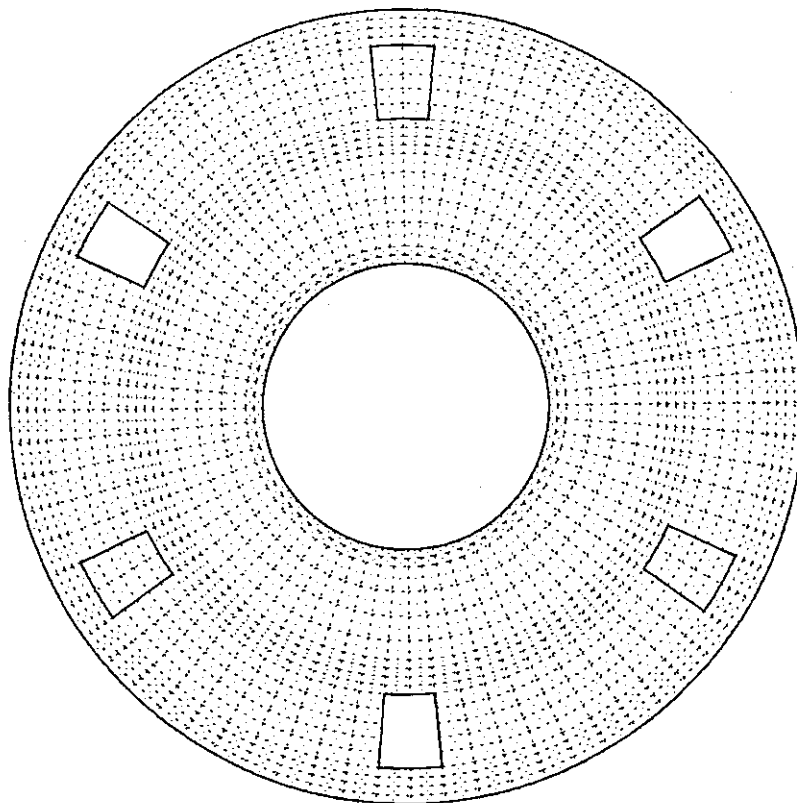
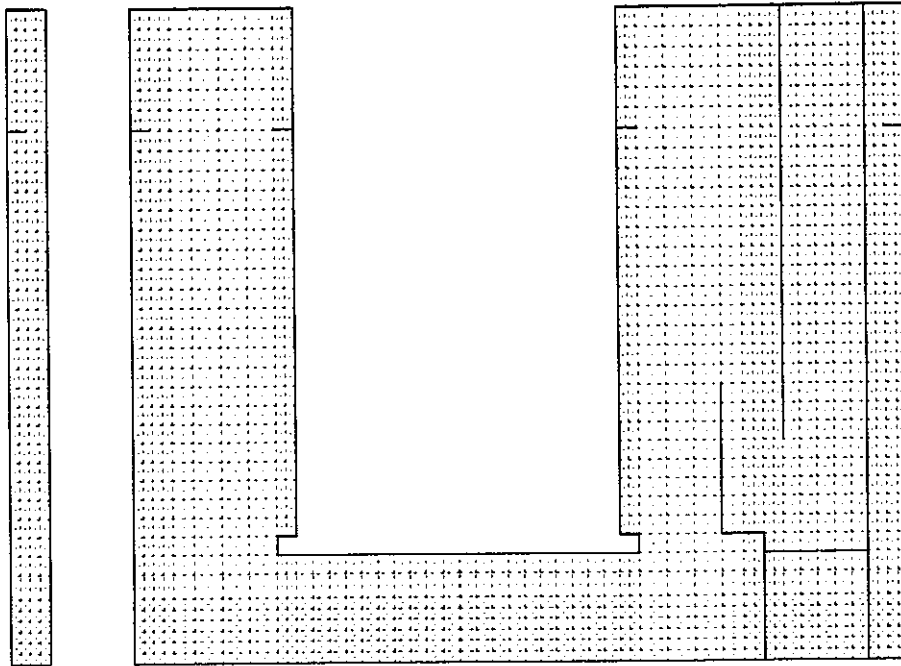


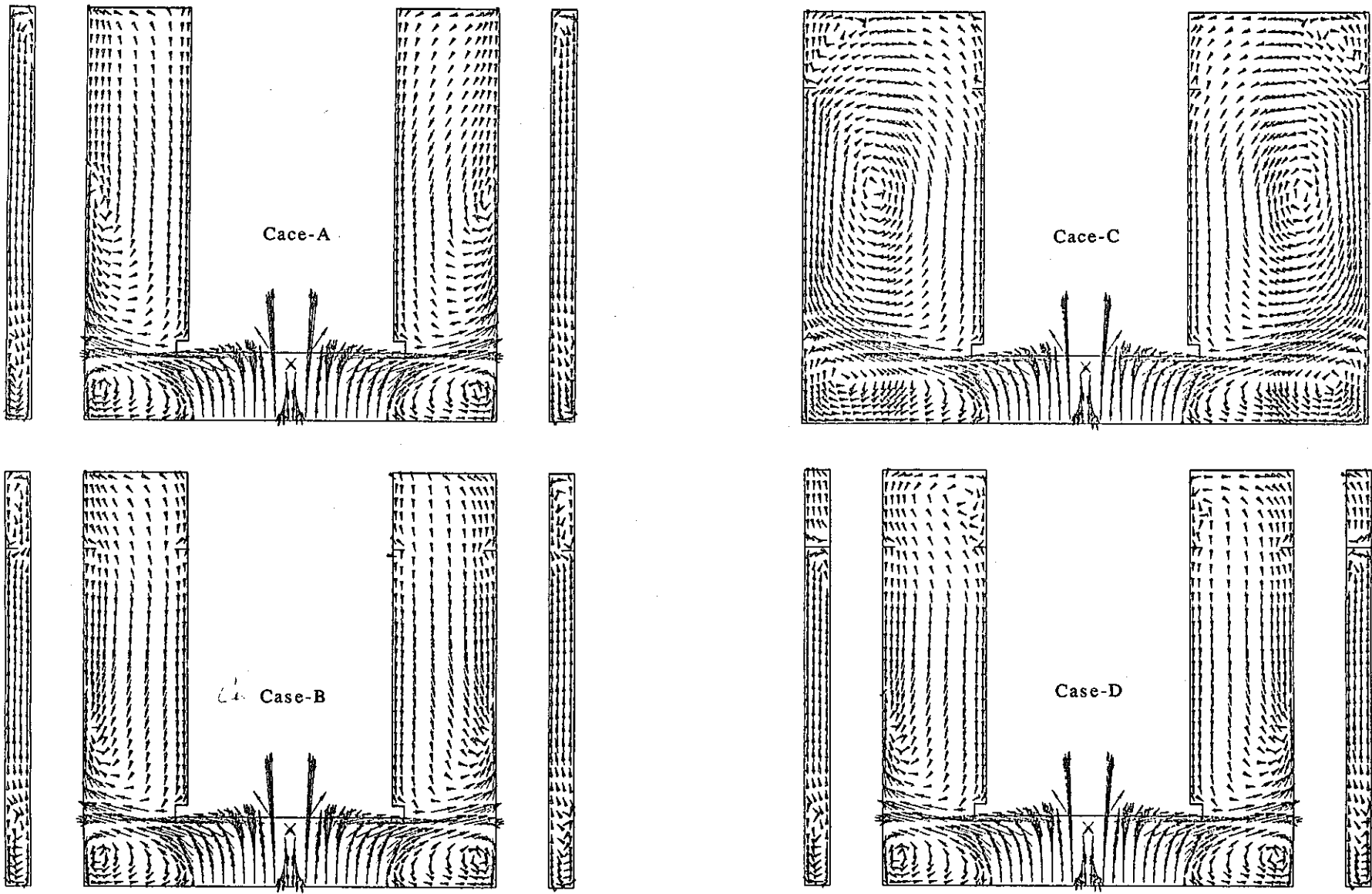
Fig.3.1 Illustration of Flow Pattern in the Upper Plenum with Baffle Ring





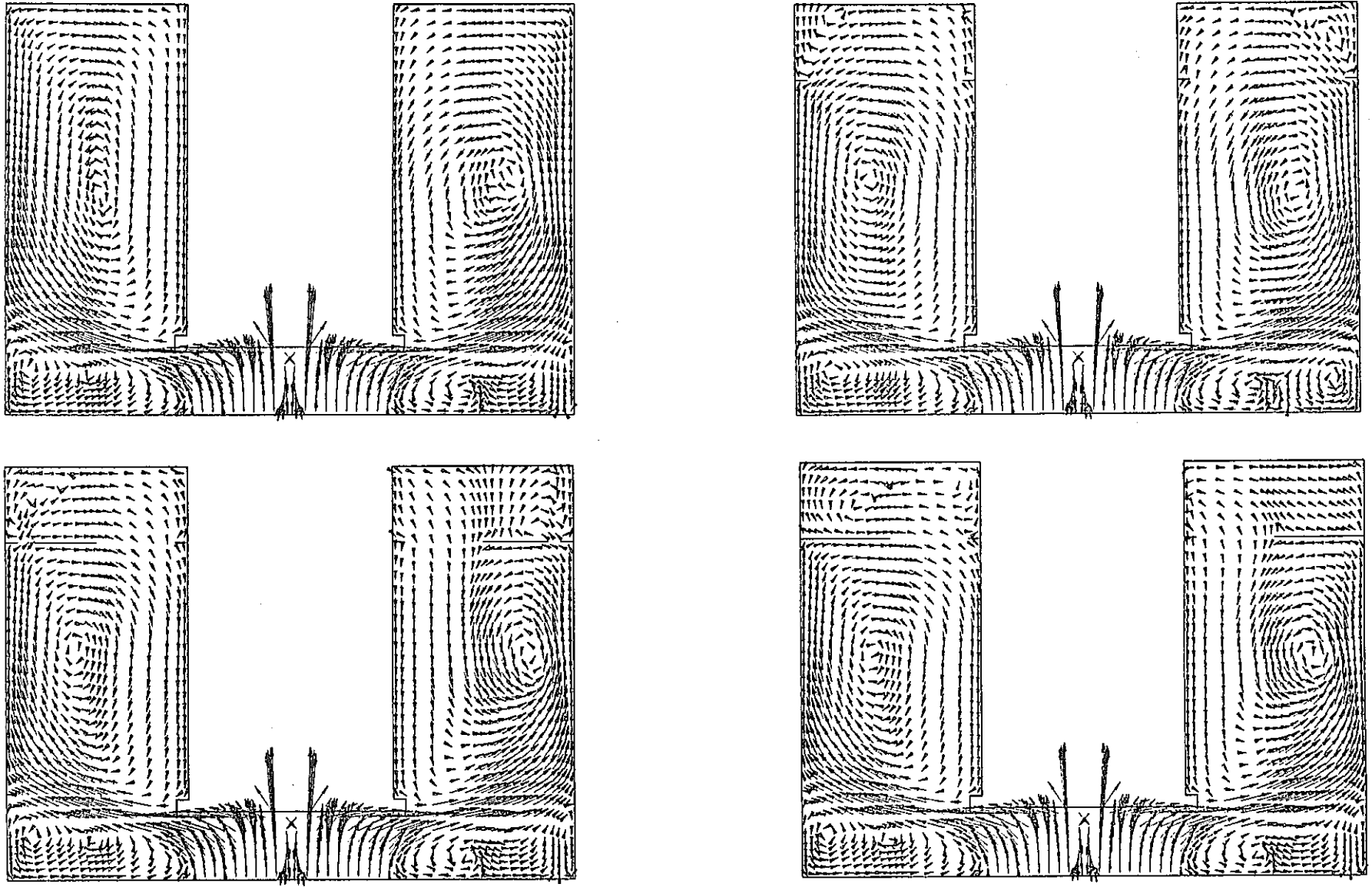
$K = 36$

Fig.3.2 Mesh Arrangements for the Upper Plenum with Baffle Ring



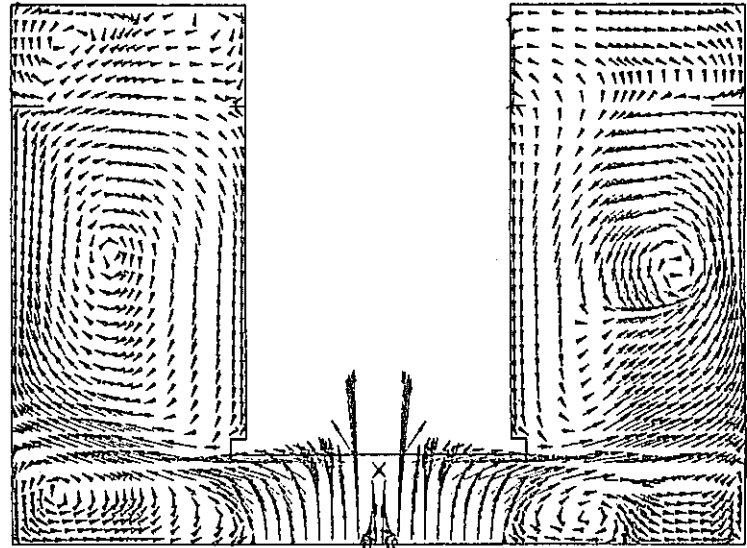
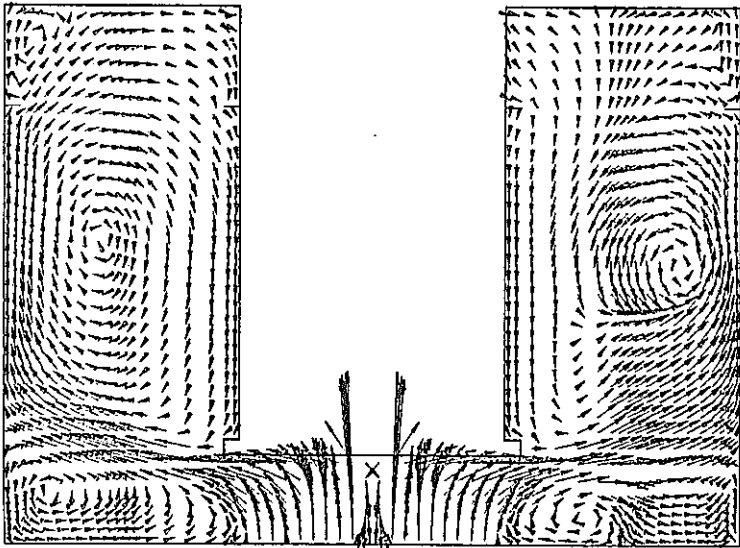
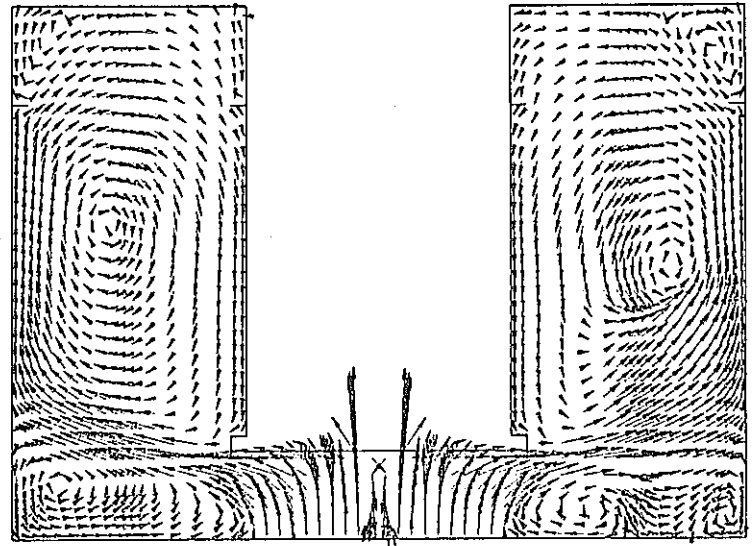
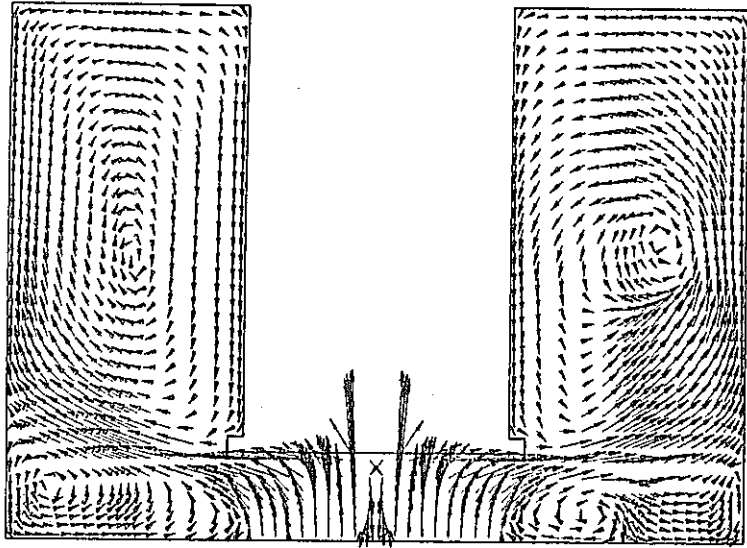
$J = 1, 24$   
10.00 M/S

Fig.3.3 Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Ring(J=1-24)



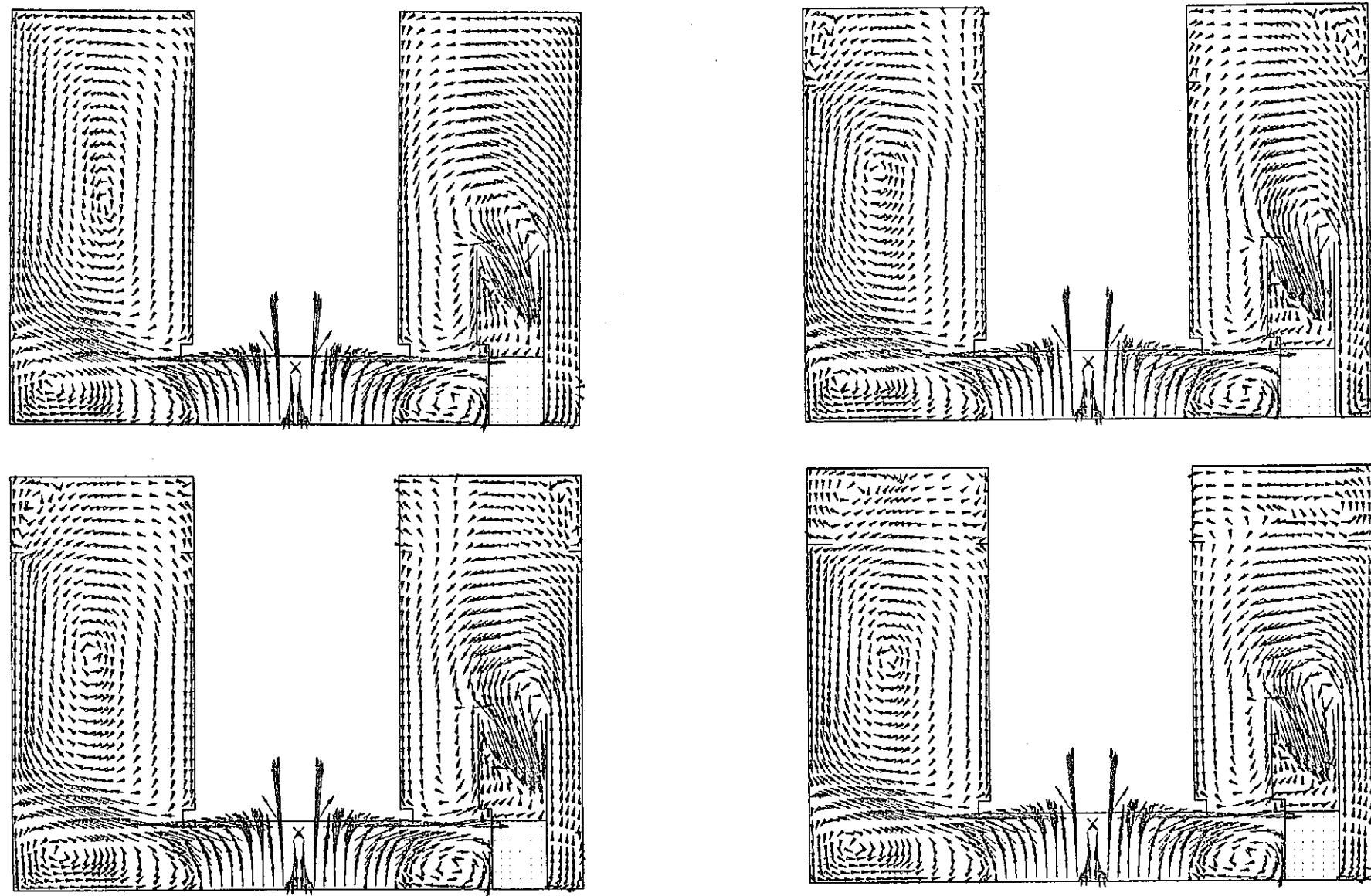
$J = 2, 23$   
→ 10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



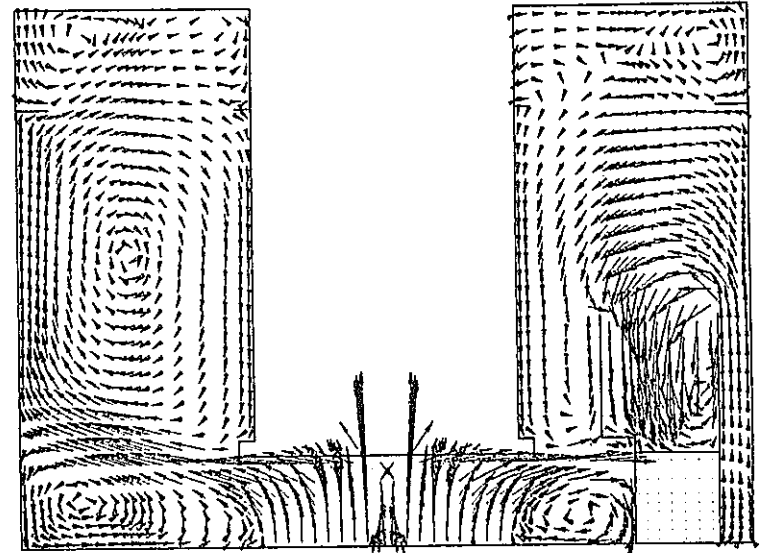
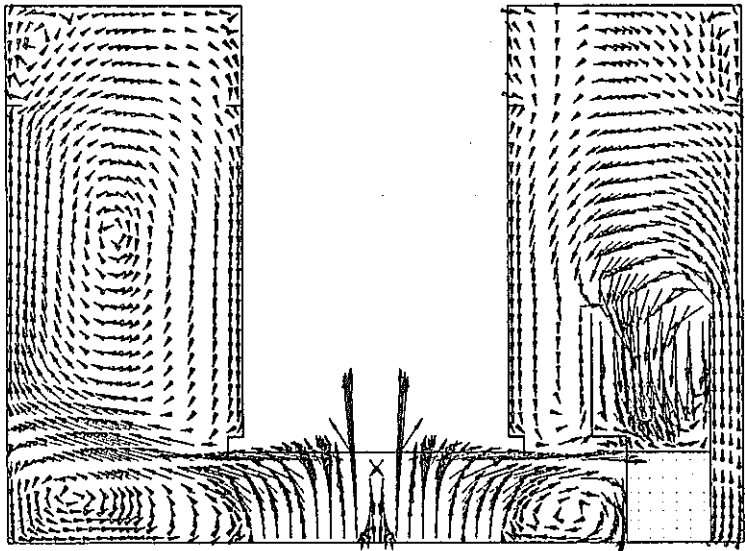
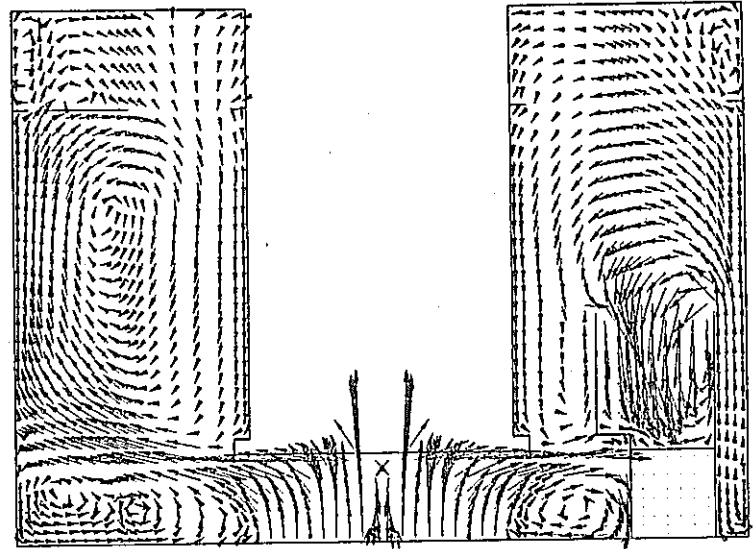
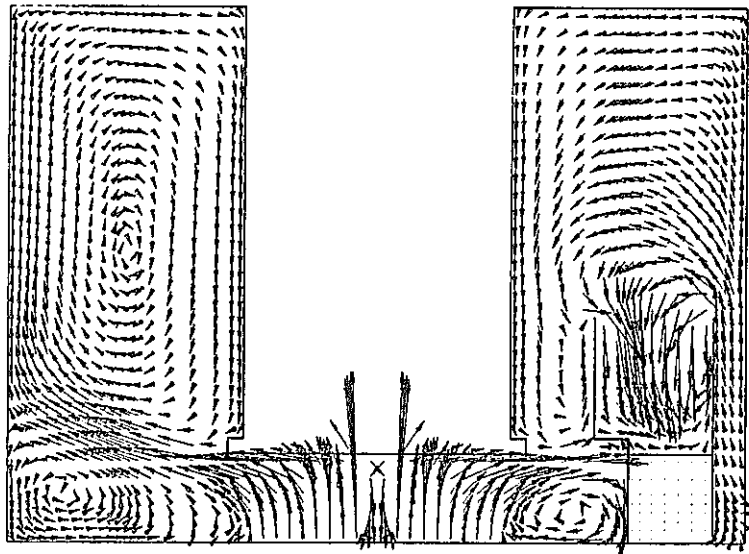
$J = 3, 22$   
10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



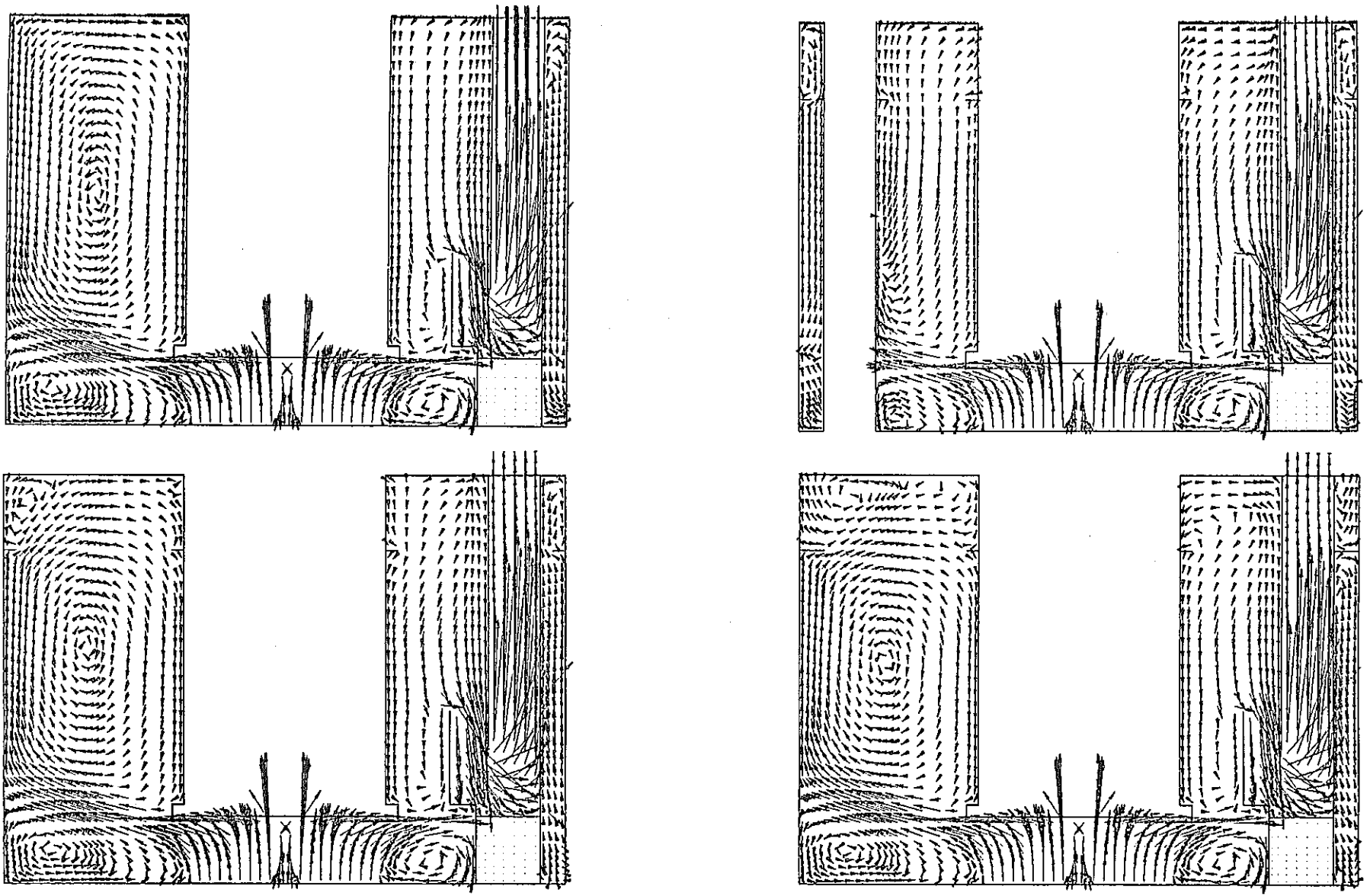
$J = 4, 21$   
10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



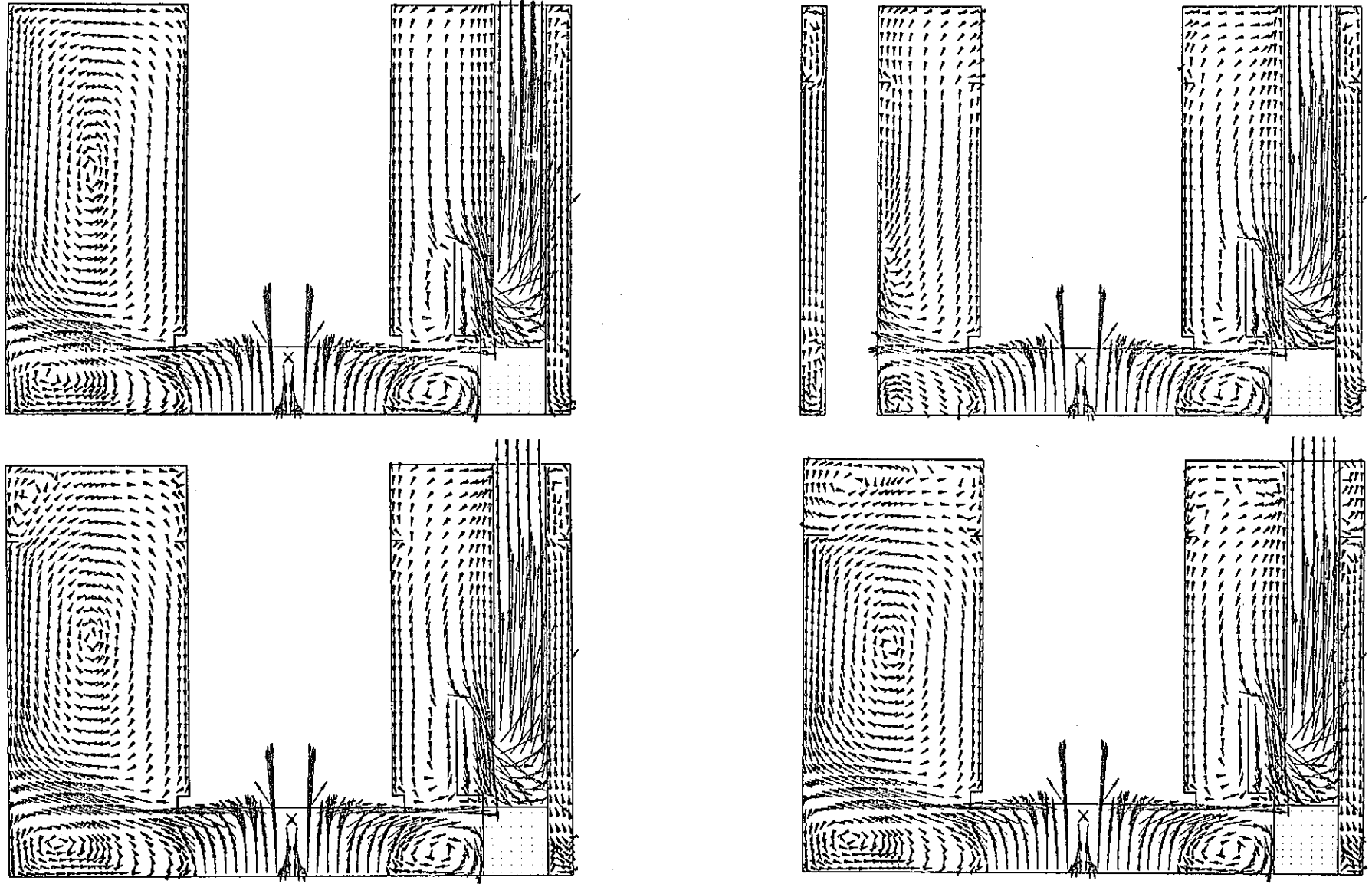
$J = 5, 20$   
10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



$J = 6, 19$   
10.00 M/S

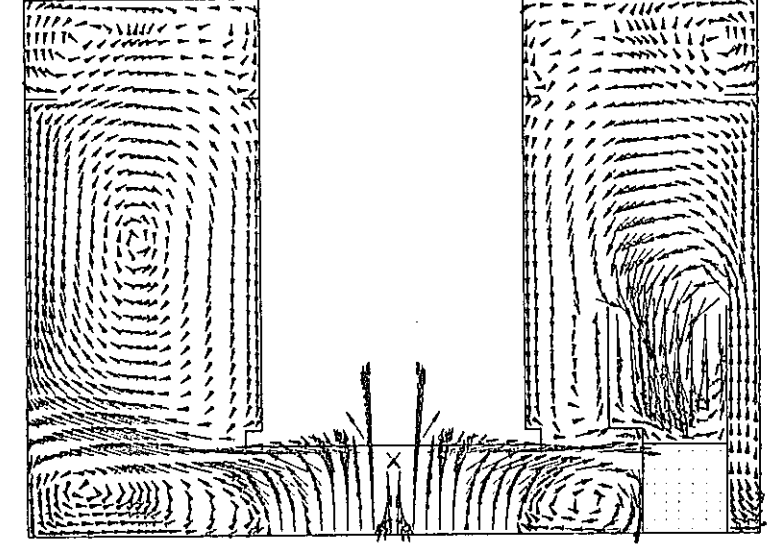
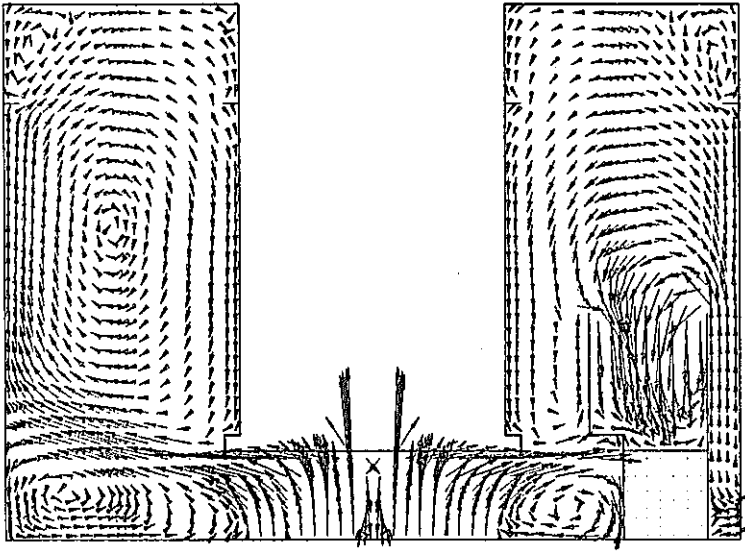
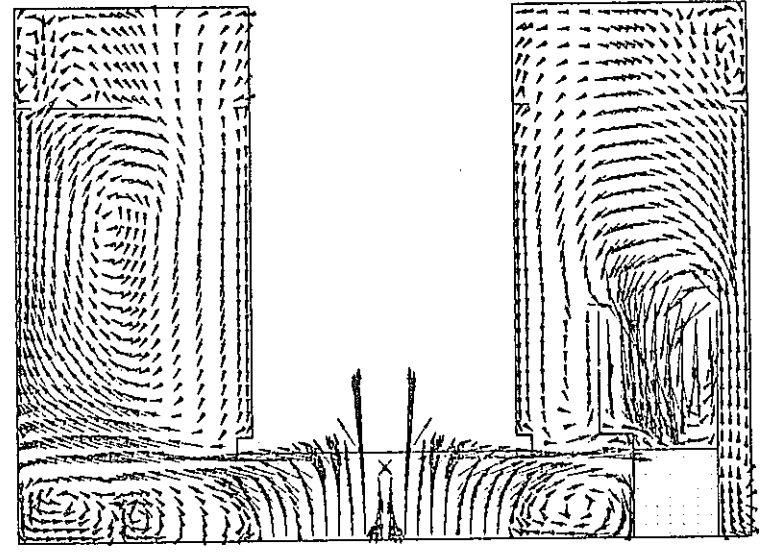
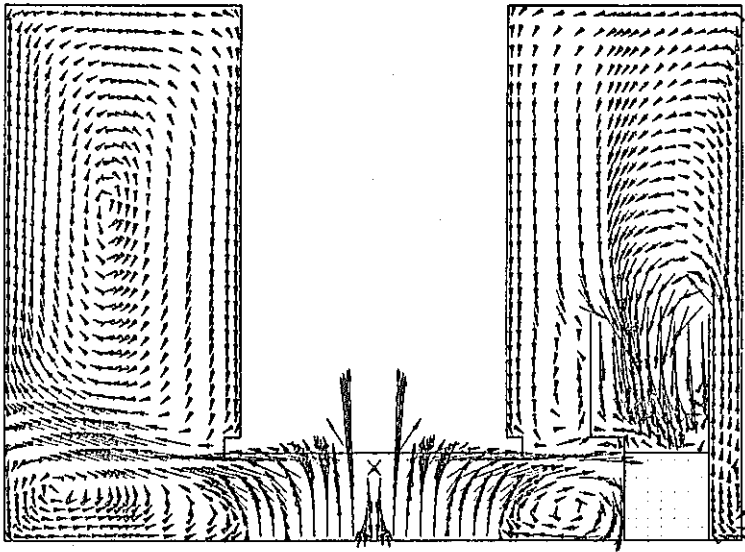
Fig.3.3 (Continued)



$J = 7, 18$   
10.00 M/S

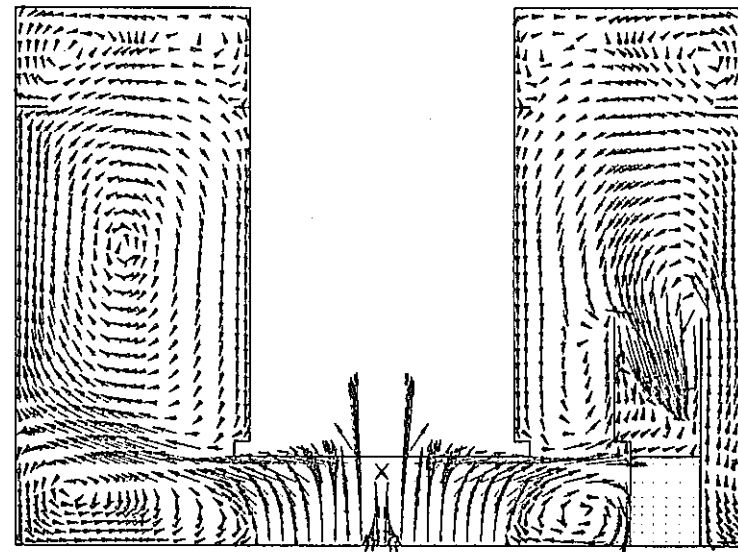
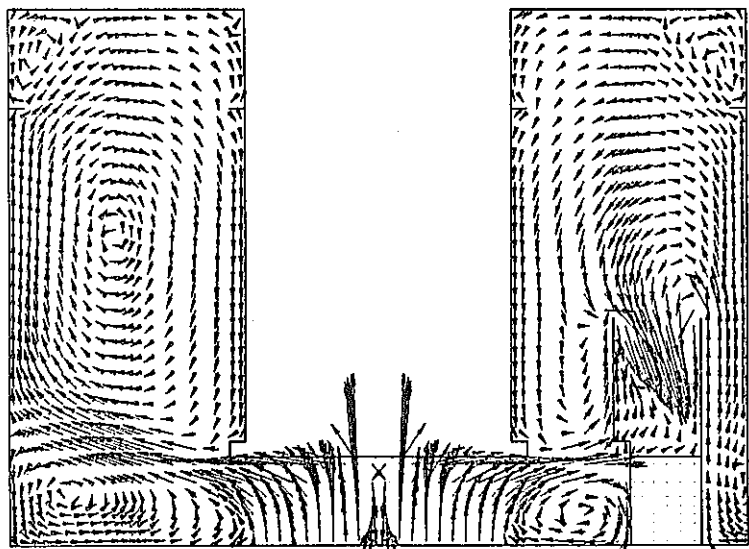
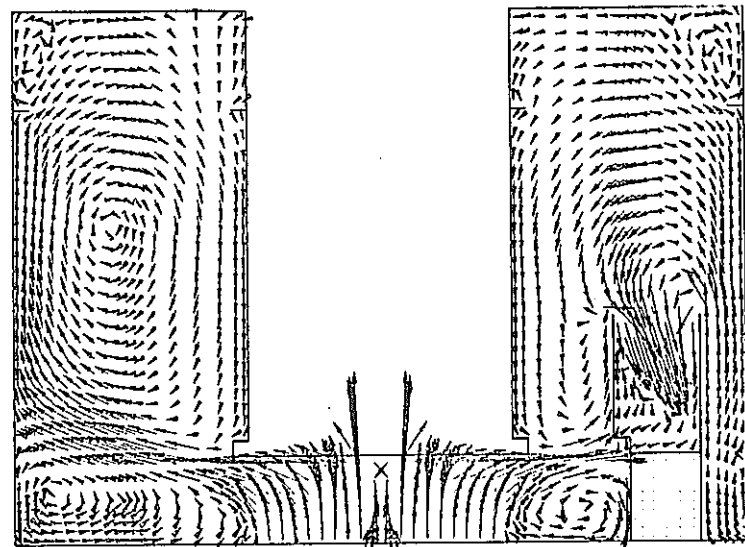
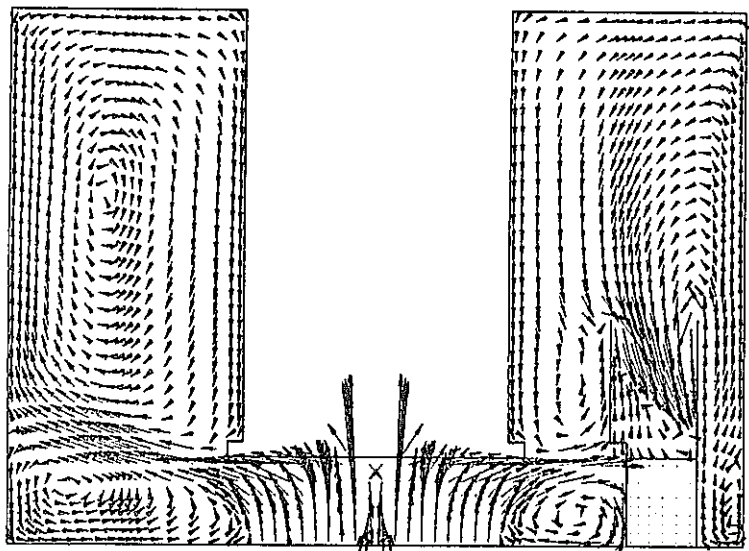
Fig.3.3 (Continued)





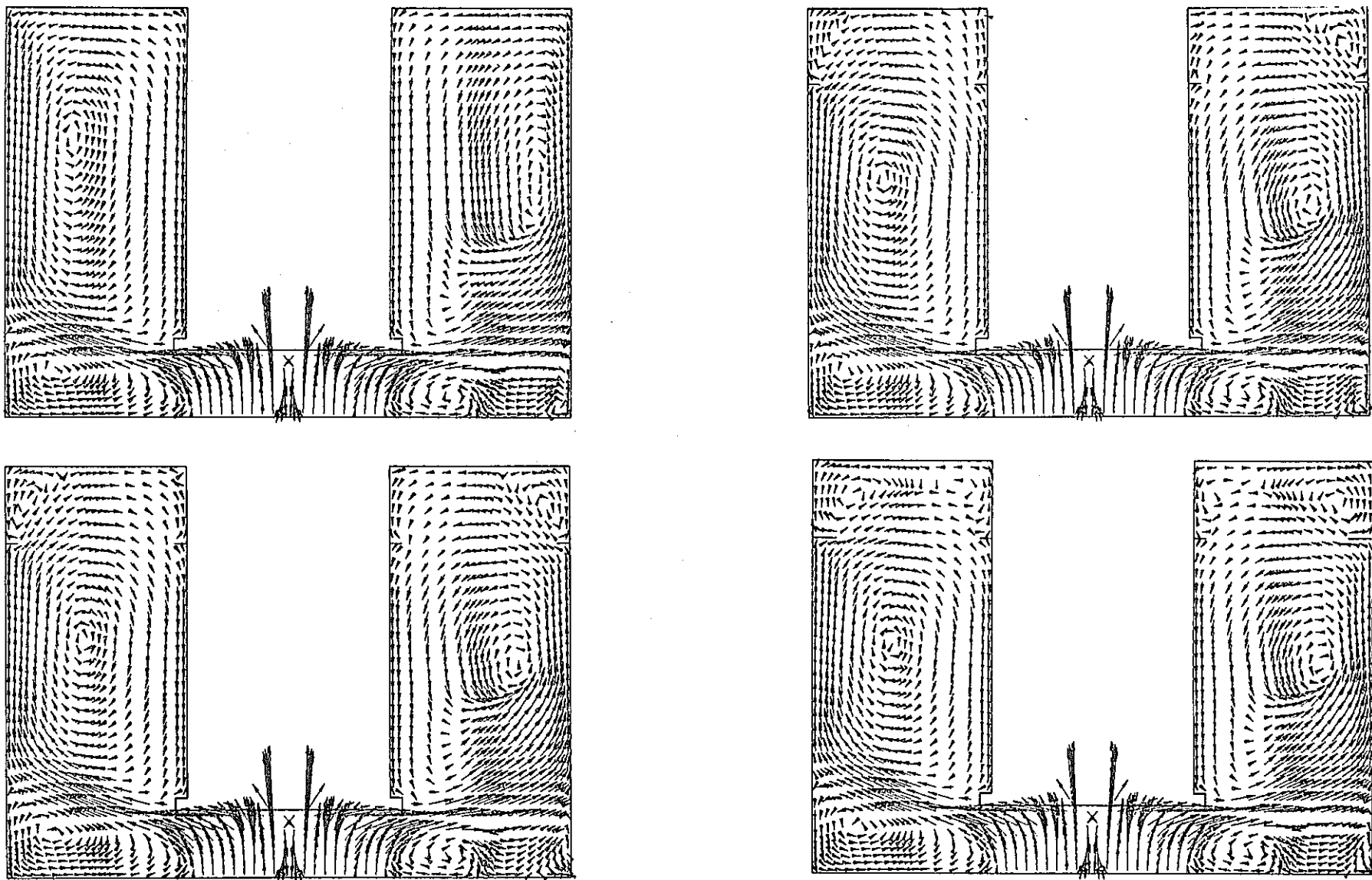
$J = 8, 17$   
10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



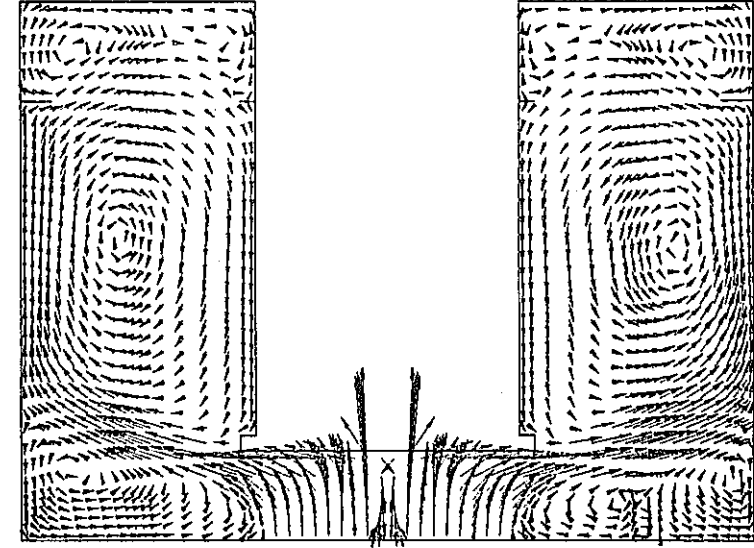
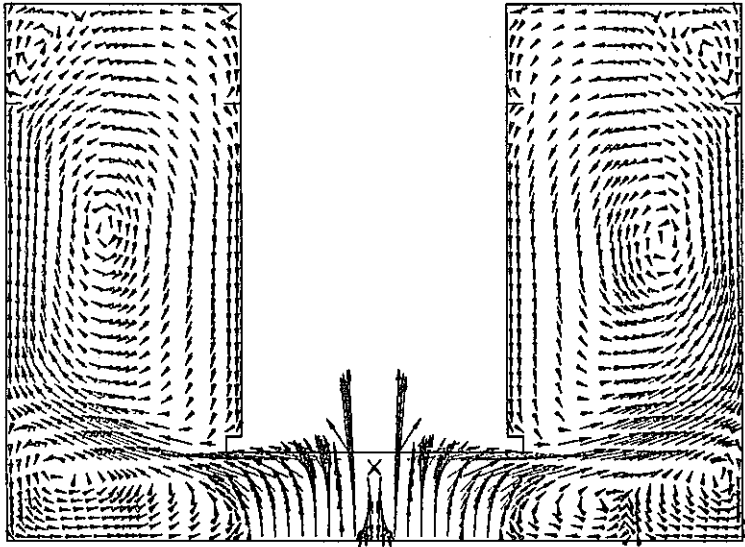
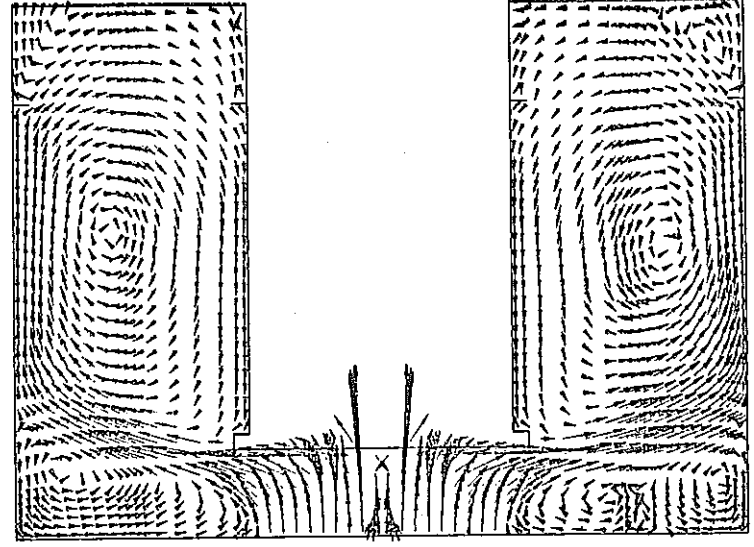
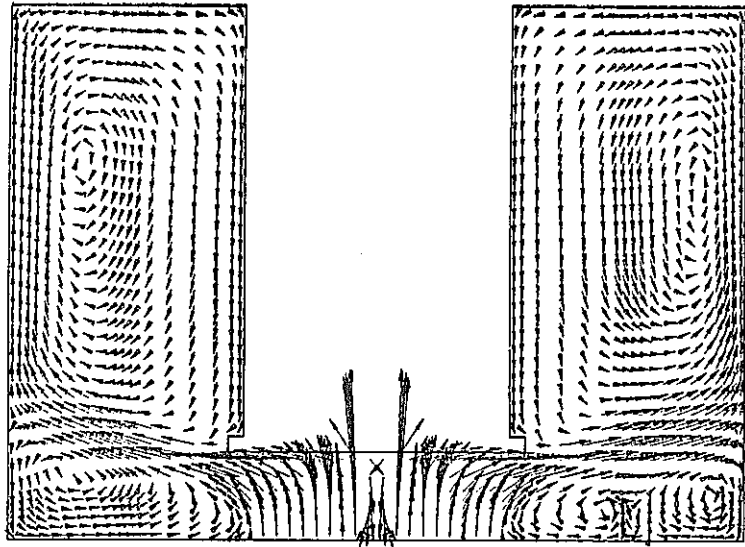
$J = 9, 16$   
10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



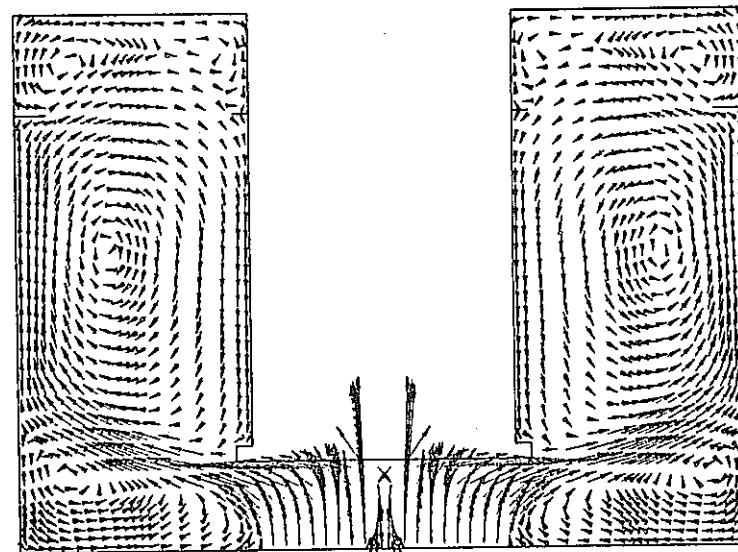
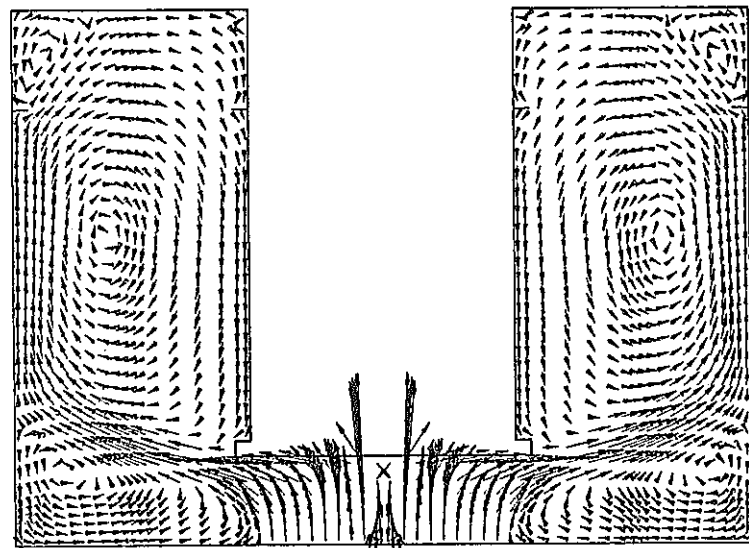
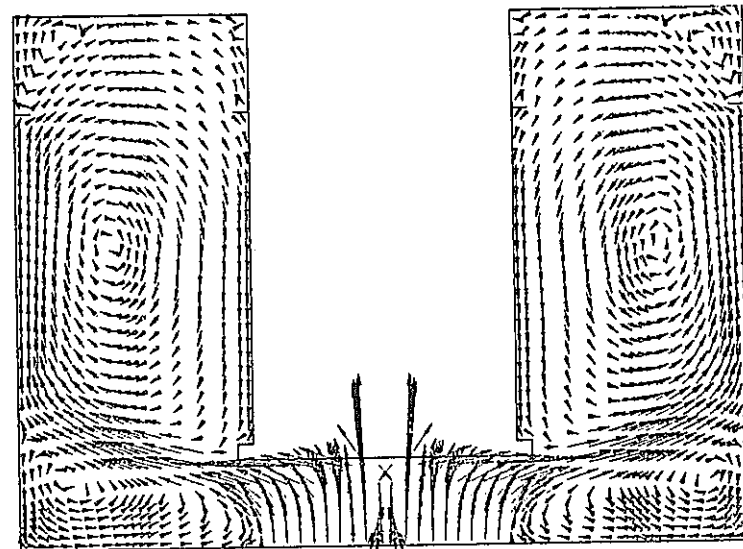
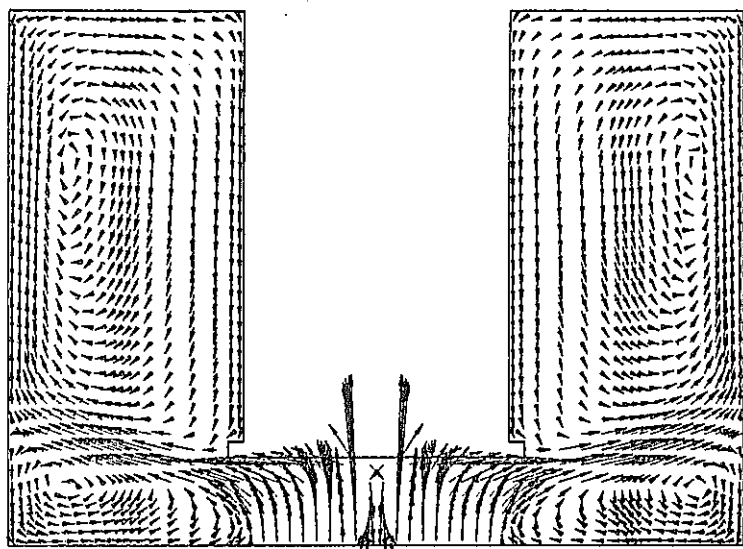
$J = 10, 15$   
10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



$J = 11, 14$   
→ 10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)



J = 12, 13 10.00 M/S

Fig.3.3 (Continued)

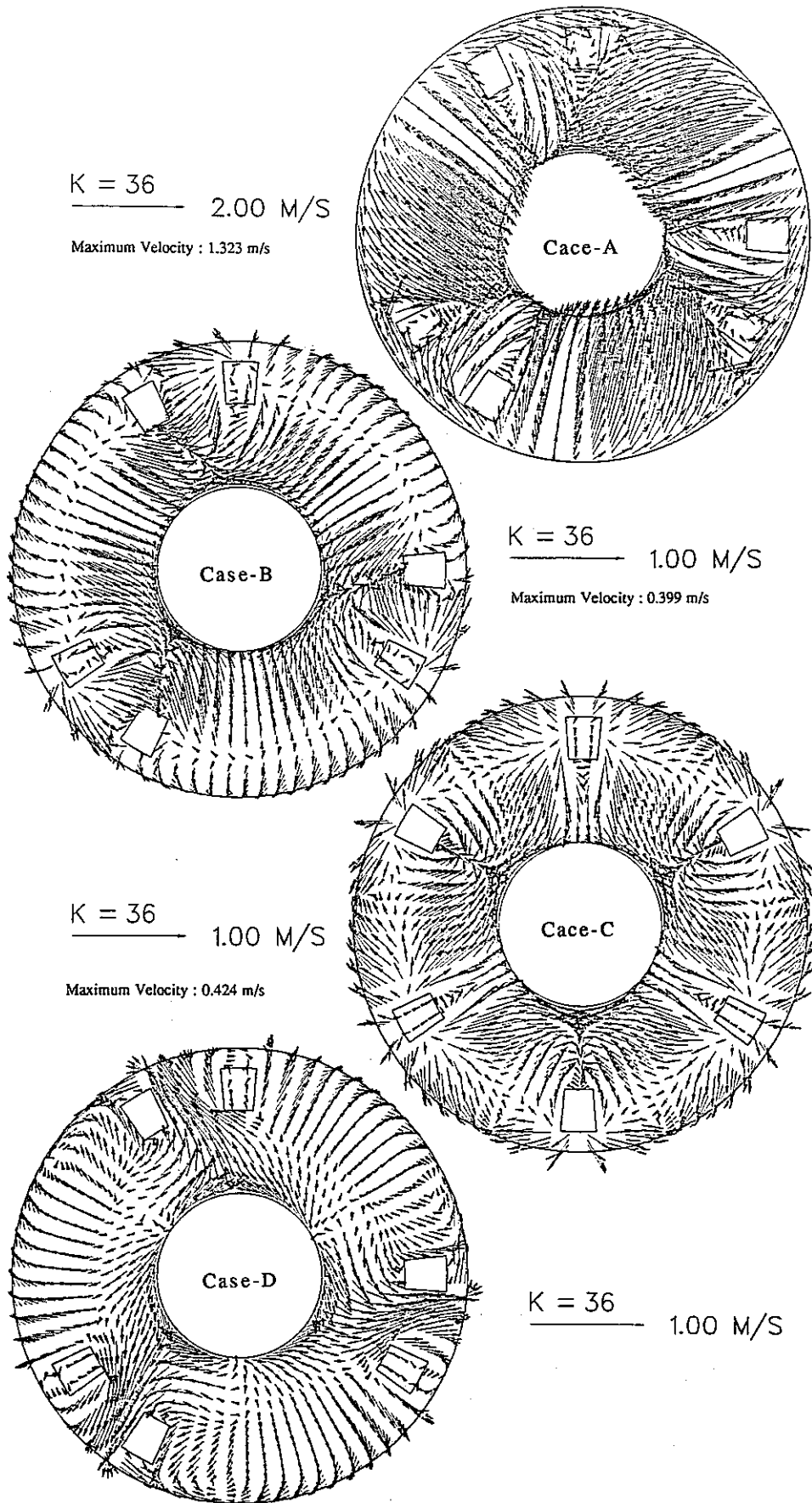


Fig.3.4 Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Ring(K=36)



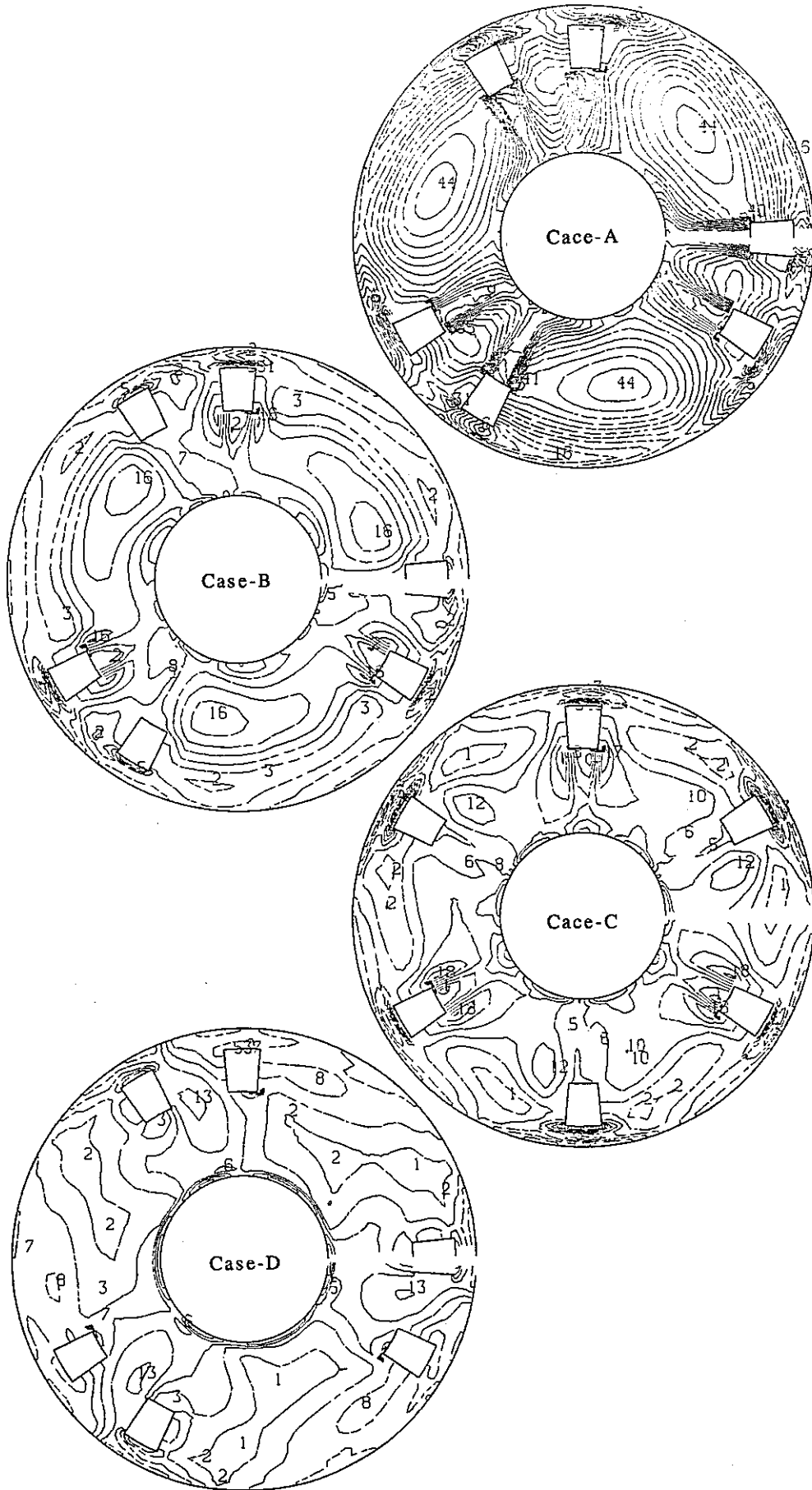


Fig.3.6 Local Froude Number Distributions in the Upper Plenum with Baffle Ring(K=36)



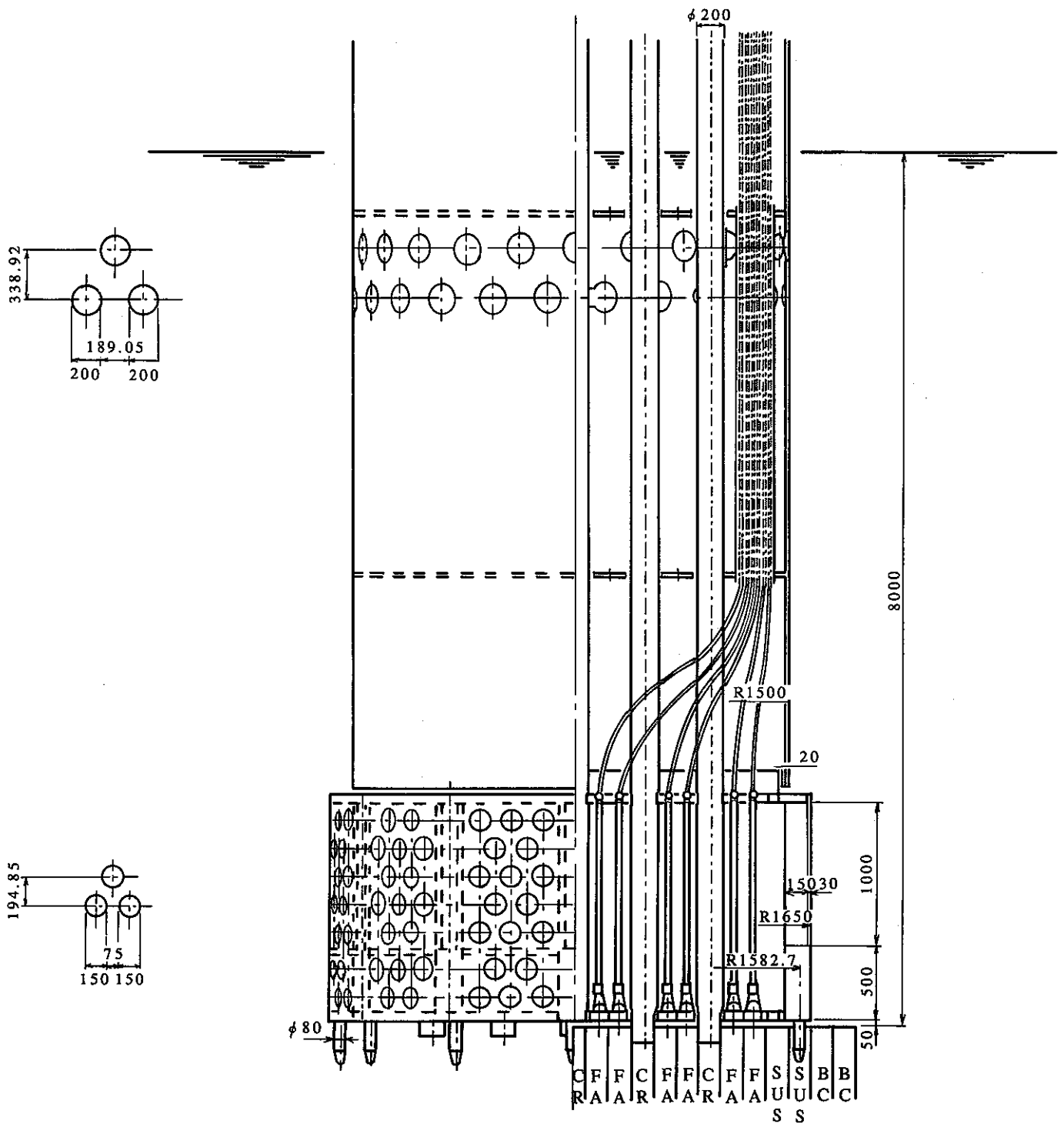
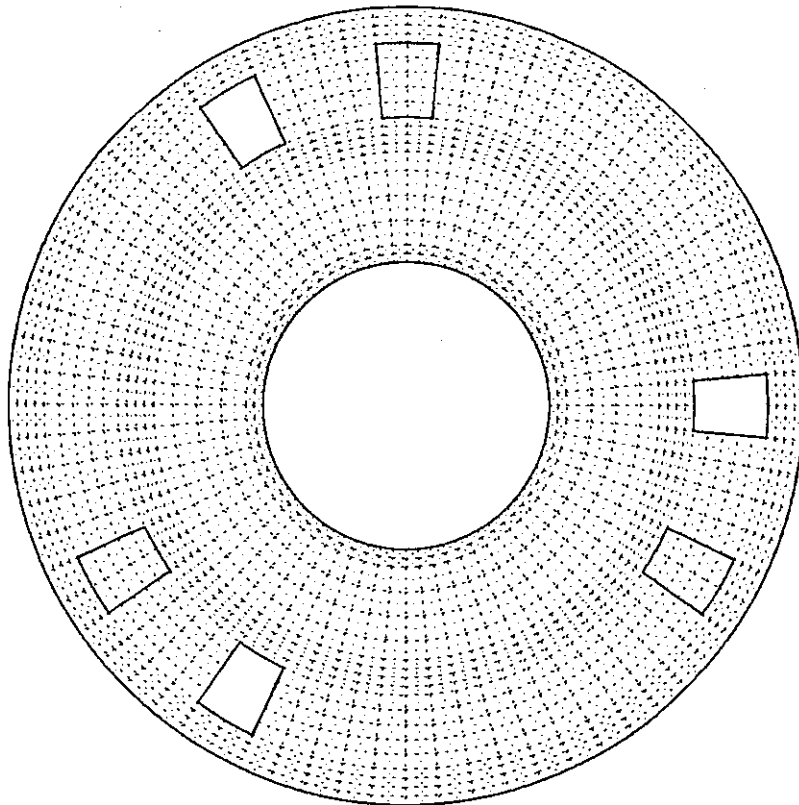
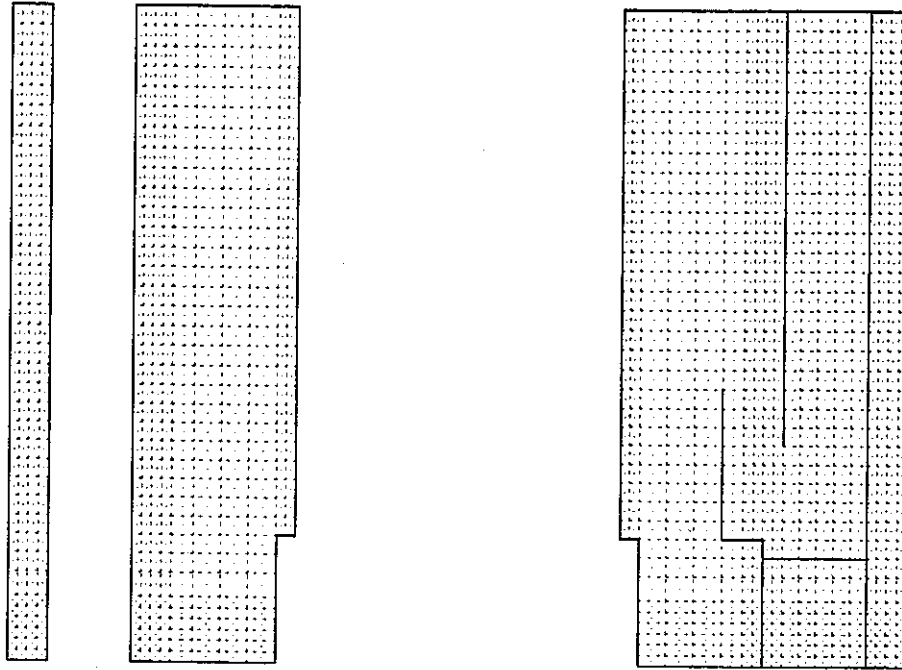


Fig. 4.1 Cross-Sectional View of Porous UIS



$K = 36$

Fig. 4.2 Mesh Arrangements for the Upper Plenum with Porous UIS

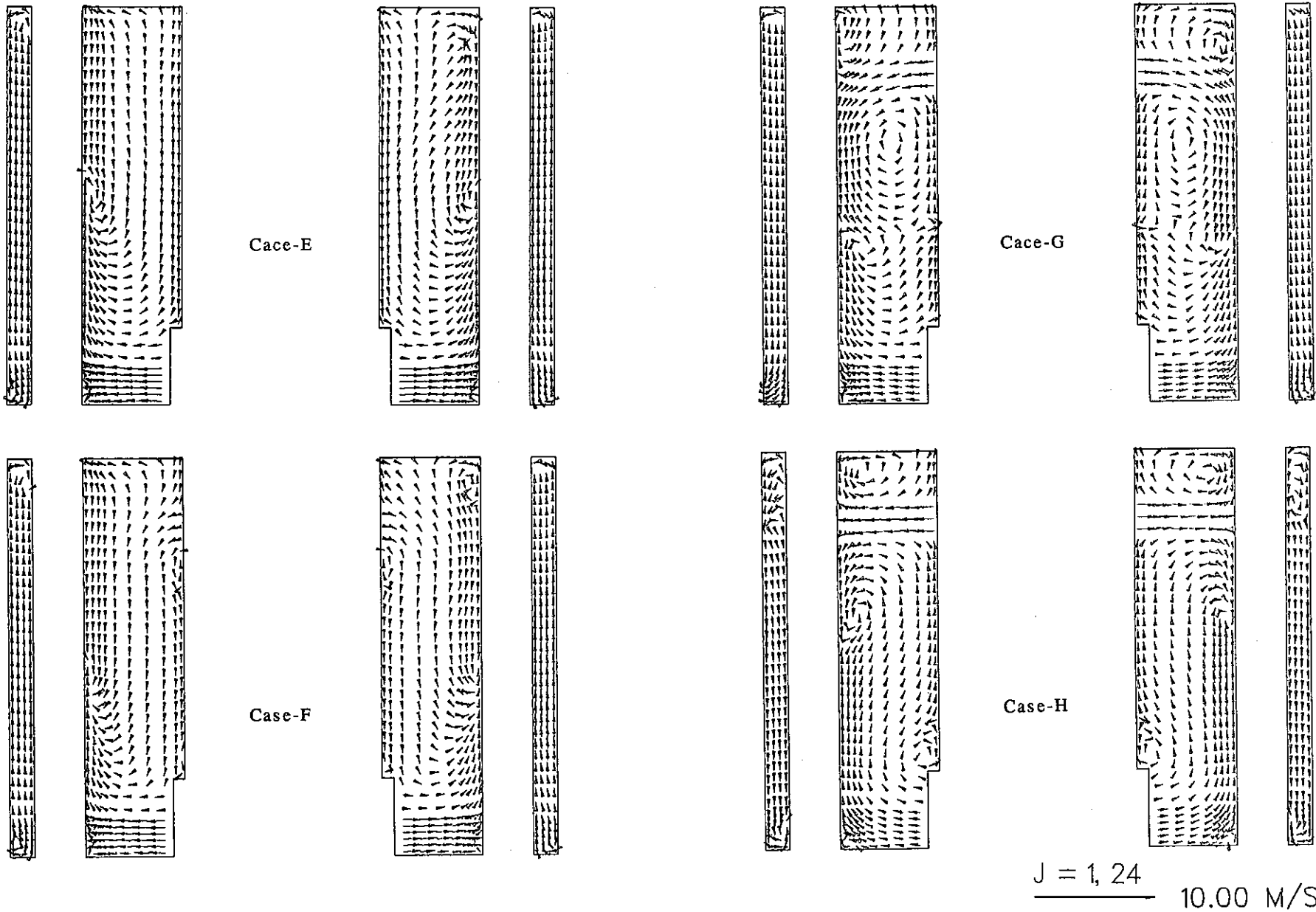
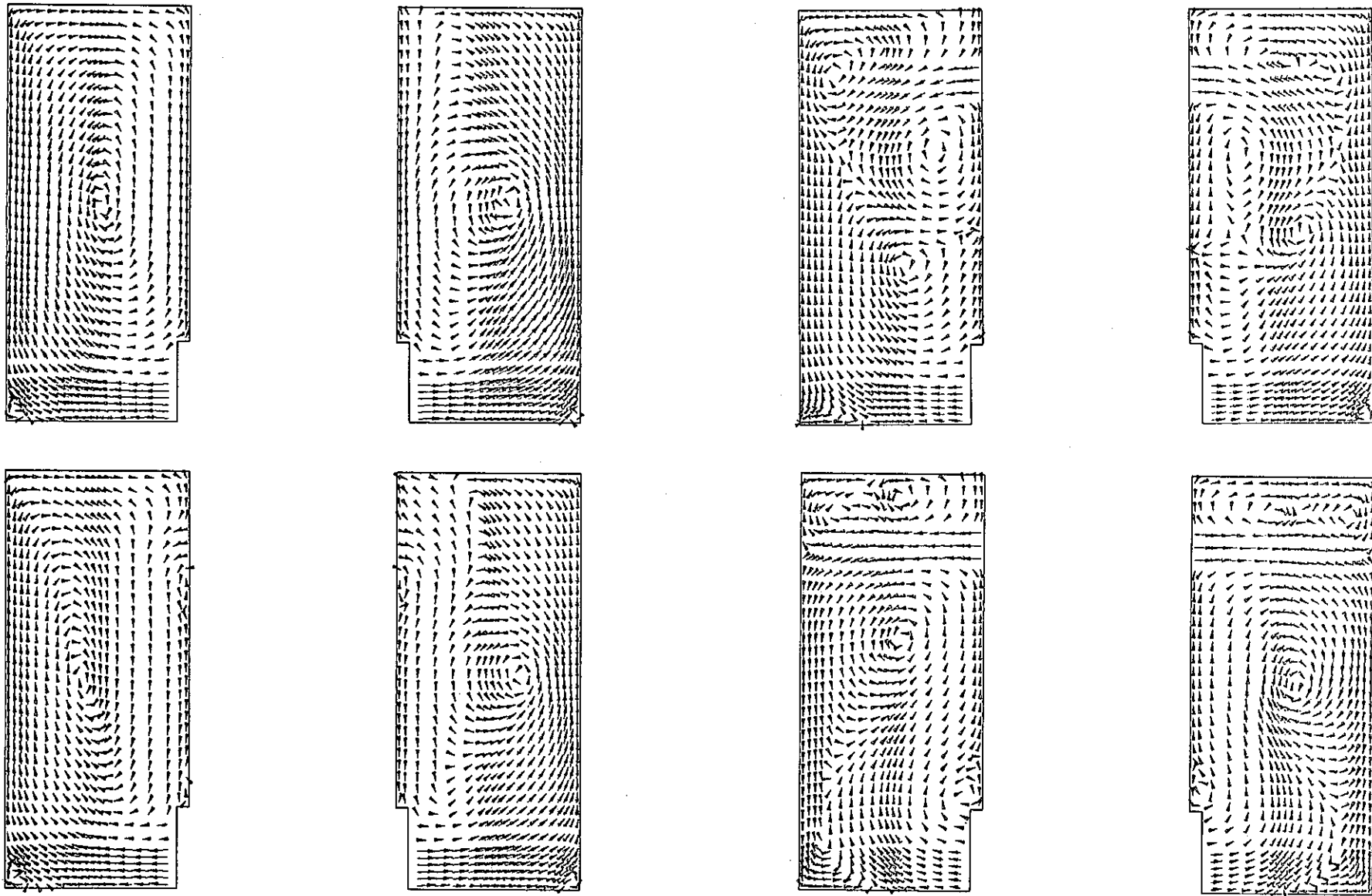
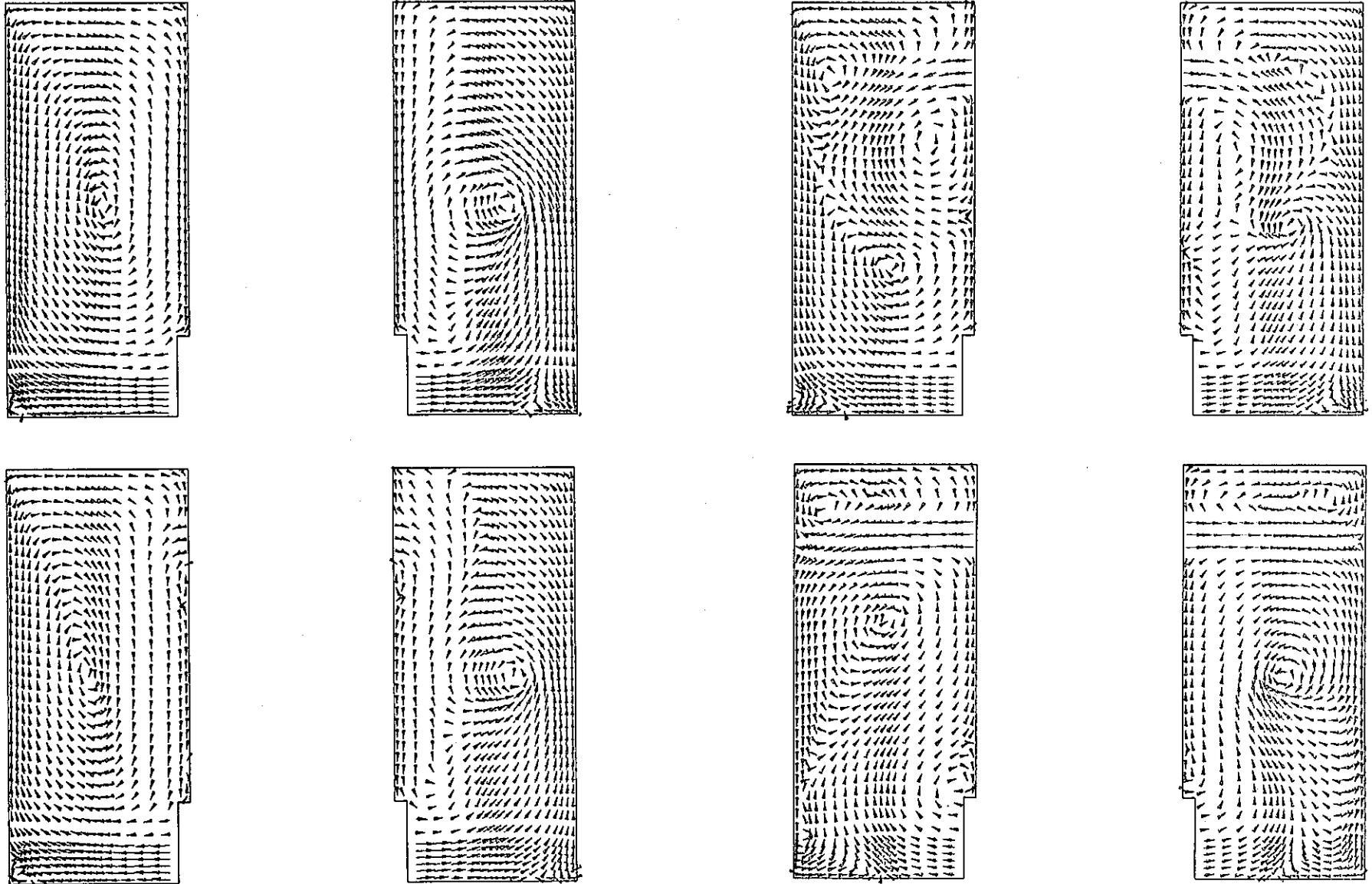


Fig. 4.3 Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(J=1-24)



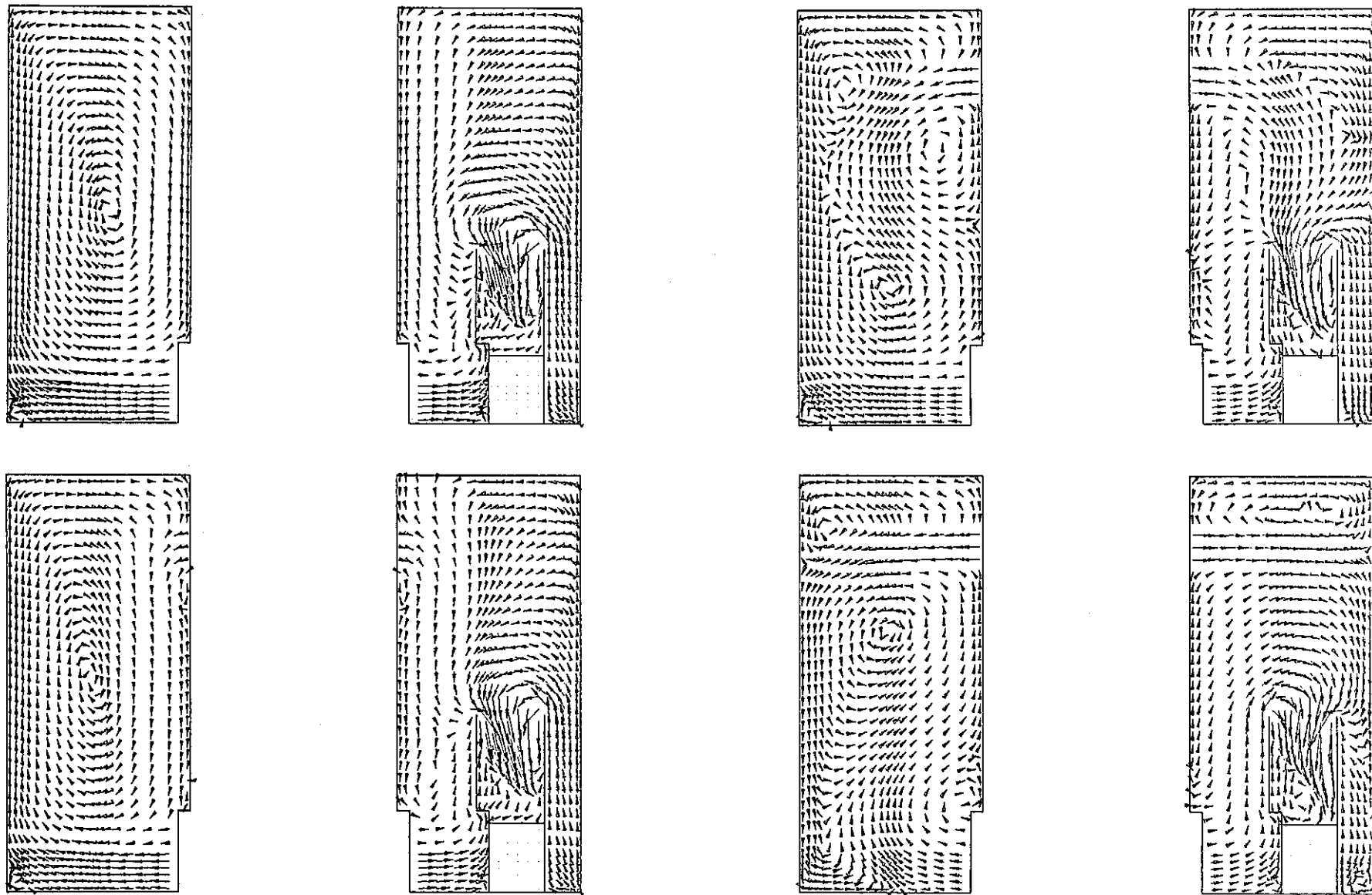
$J = 2, 23$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



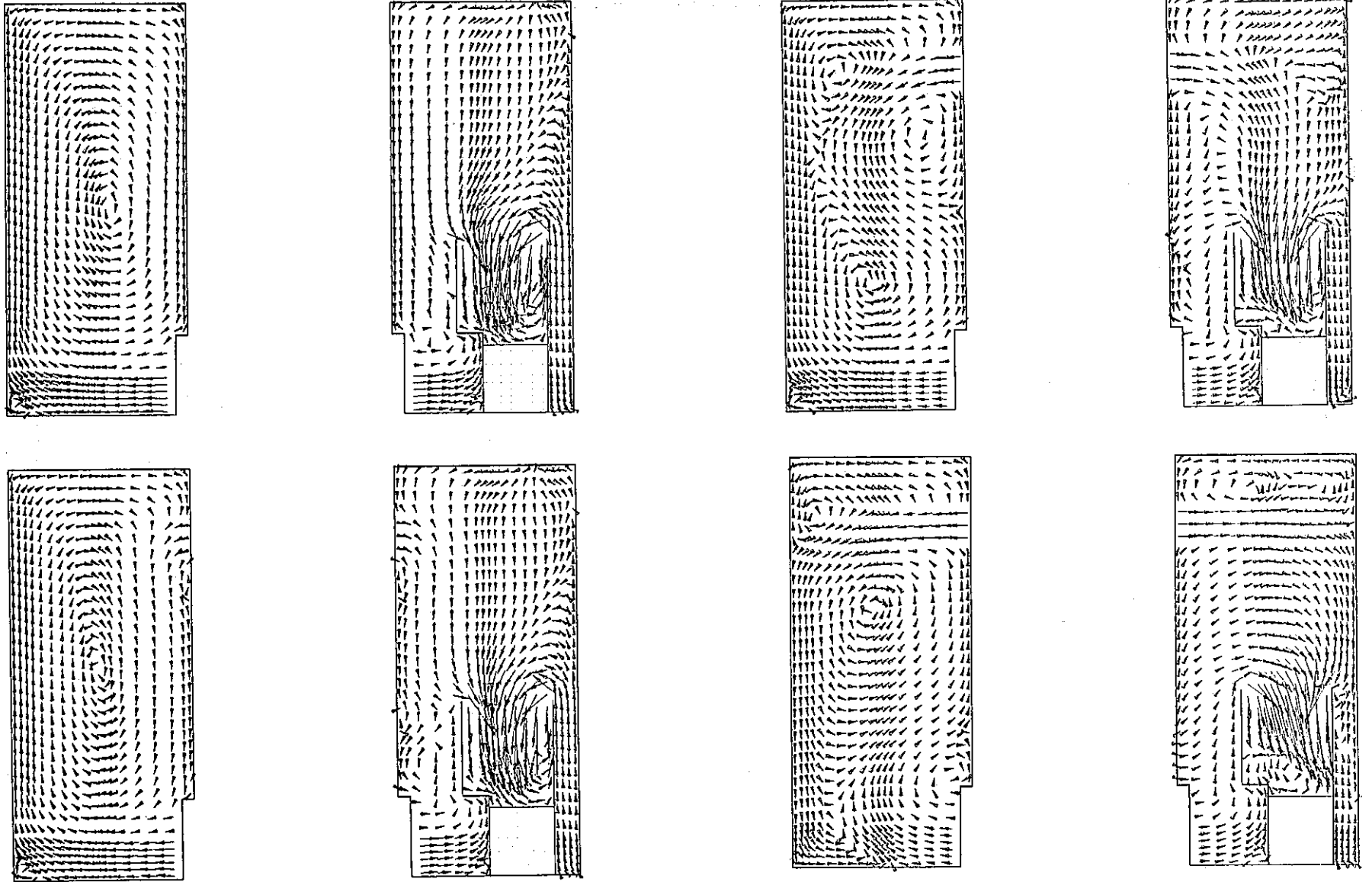
$J = 3, 22$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



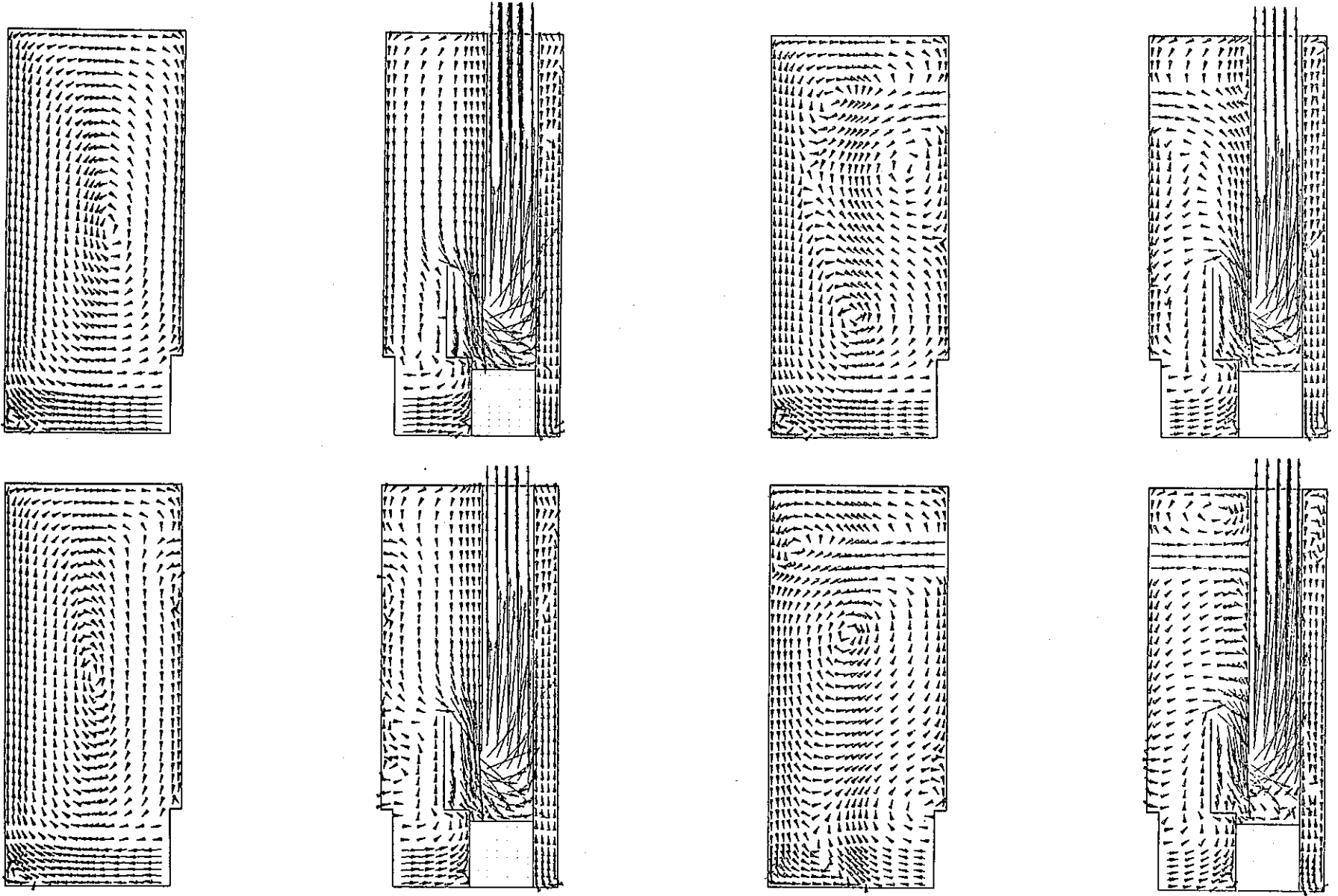
$J = 4, 21$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



$J = 5, 20$   
10.00 M/S

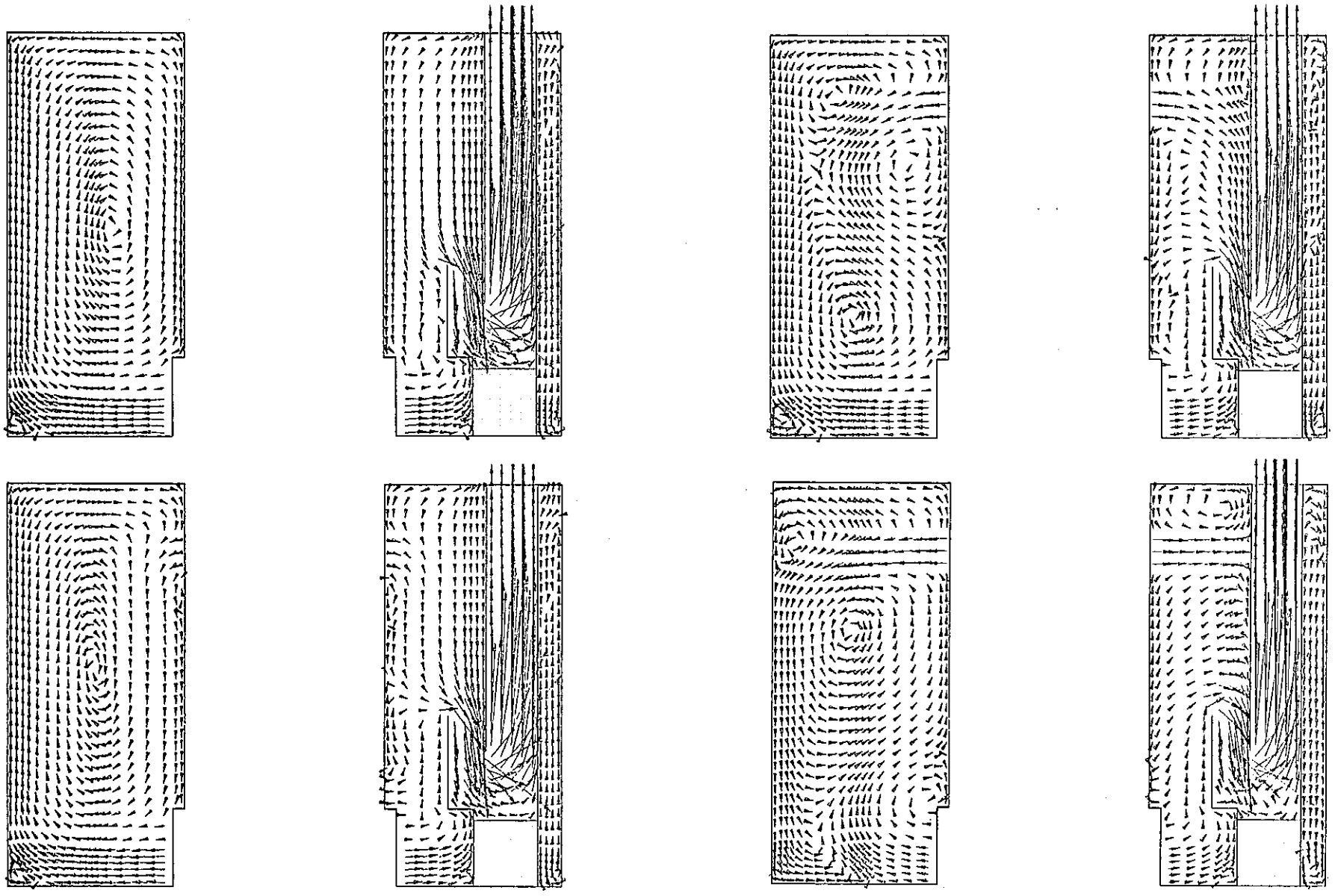
Fig.4.3 (Continued)



$J = 6, 19$   
10.00 M/S

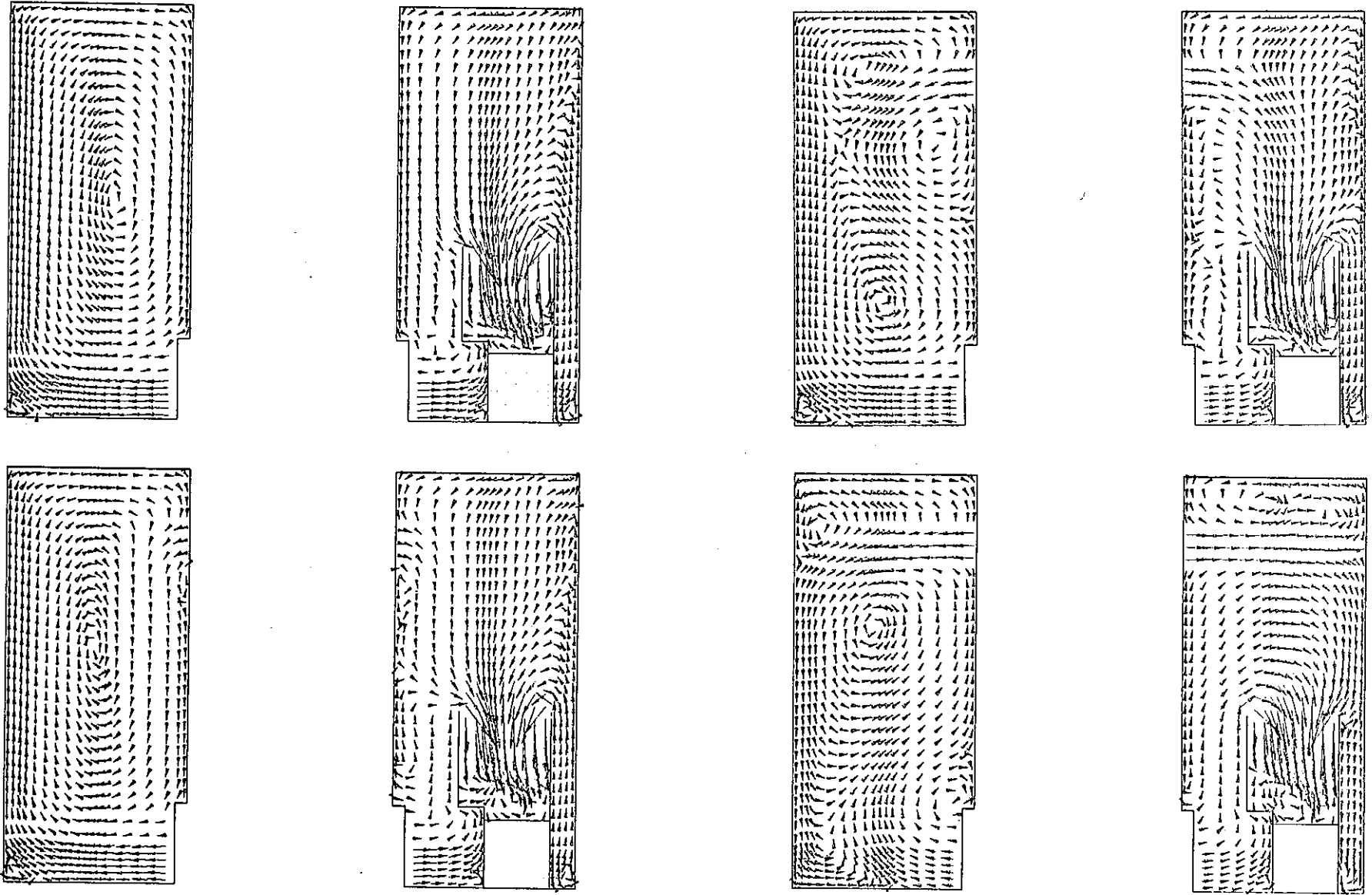
Fig.4.3 (Continued)





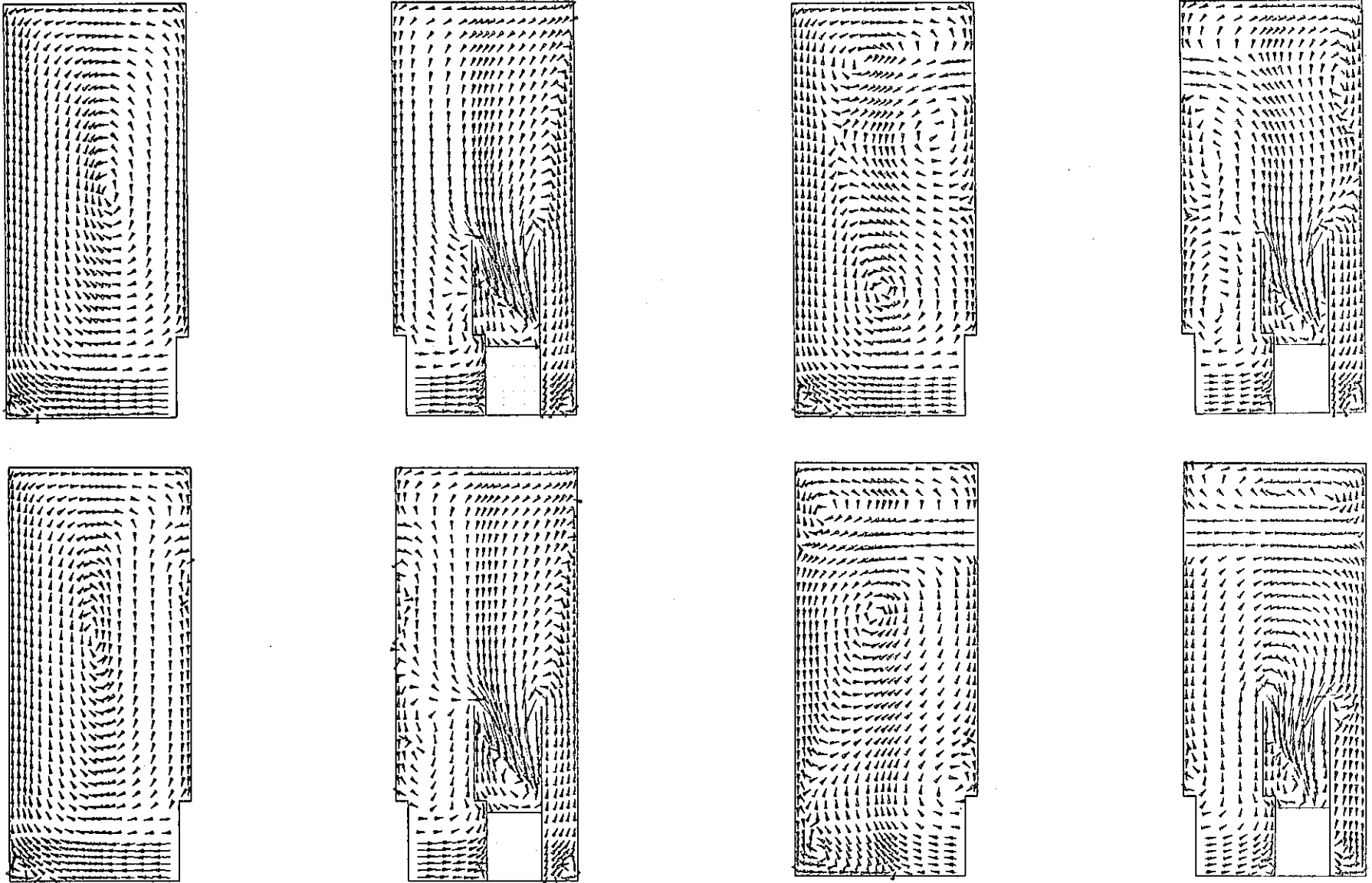
$J = 7, 18$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



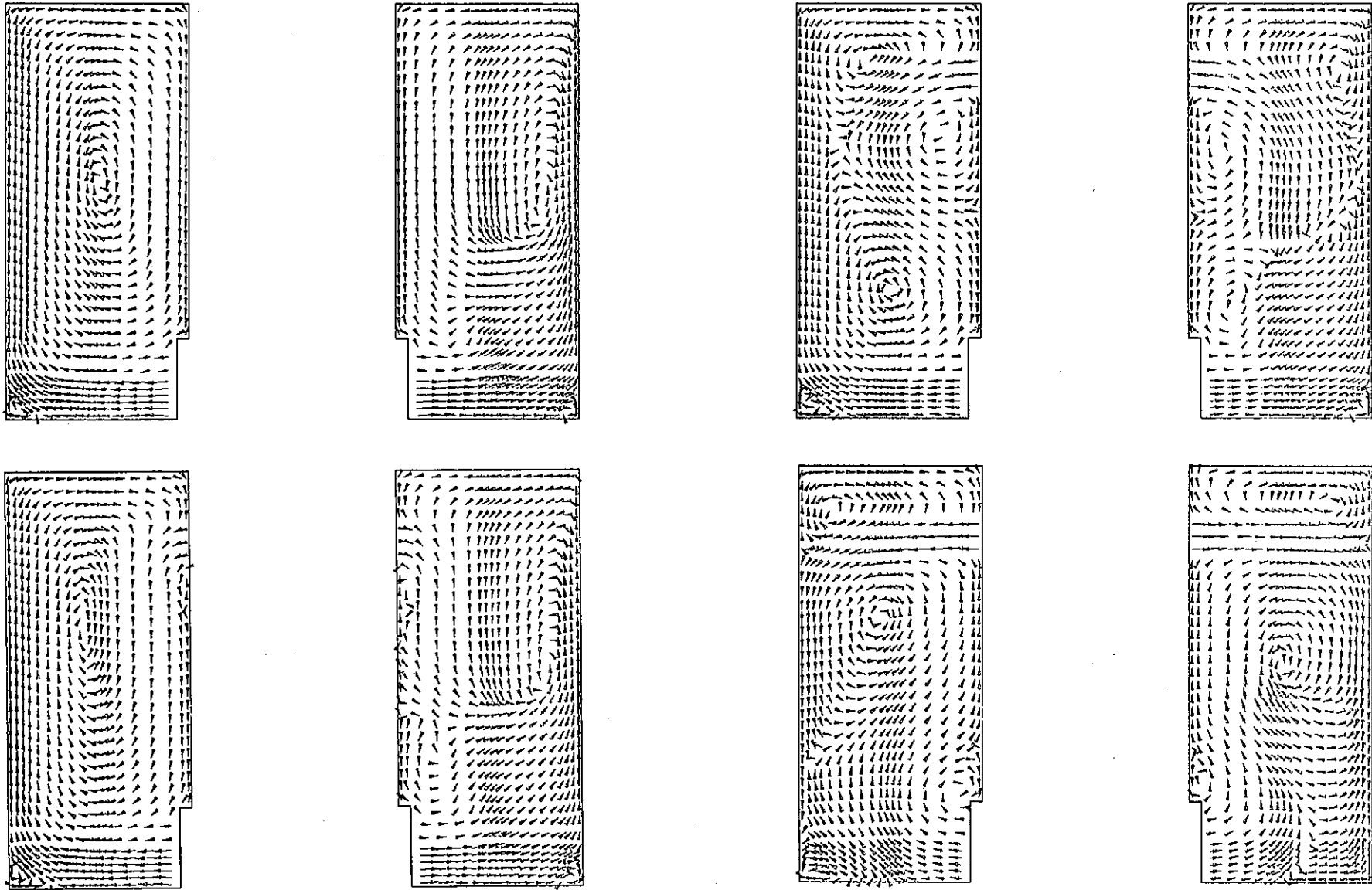
$J = 8, 17$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



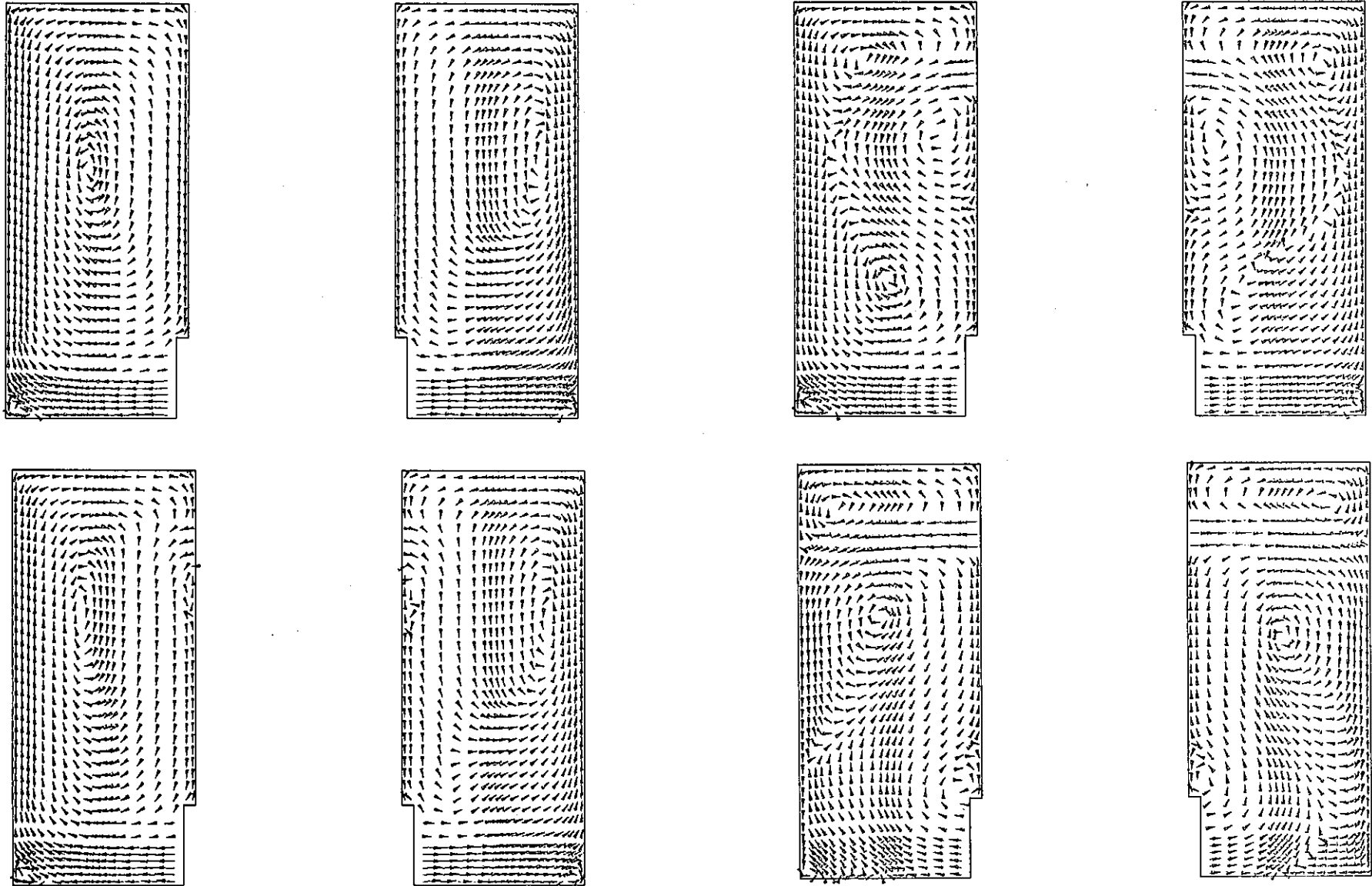
$J = 9, 16$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



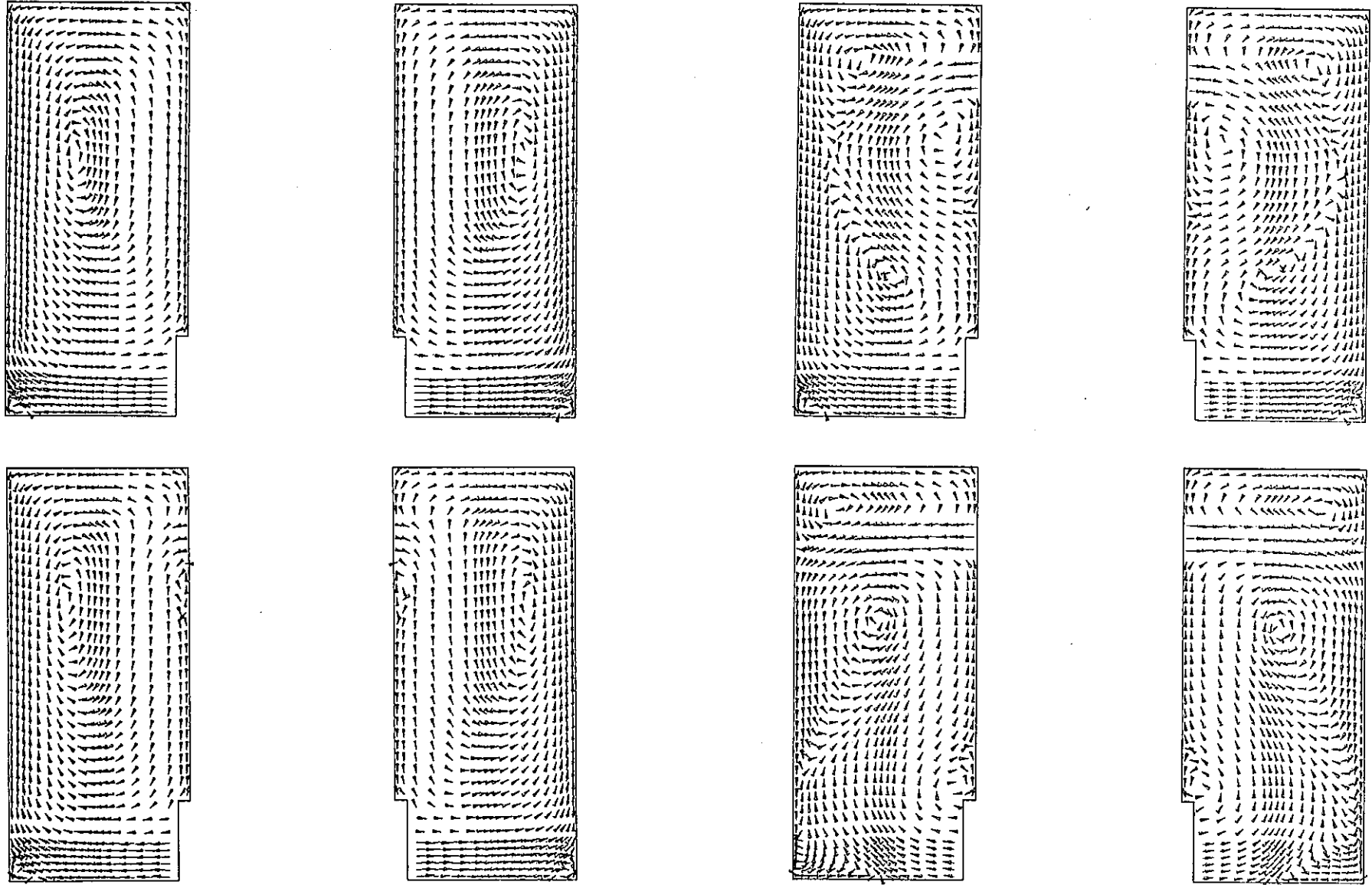
$J = 10, 15$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



J = 11, 14 10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)



$J = 12, 13$   
10.00 M/S

Fig.4.3 (Continued)

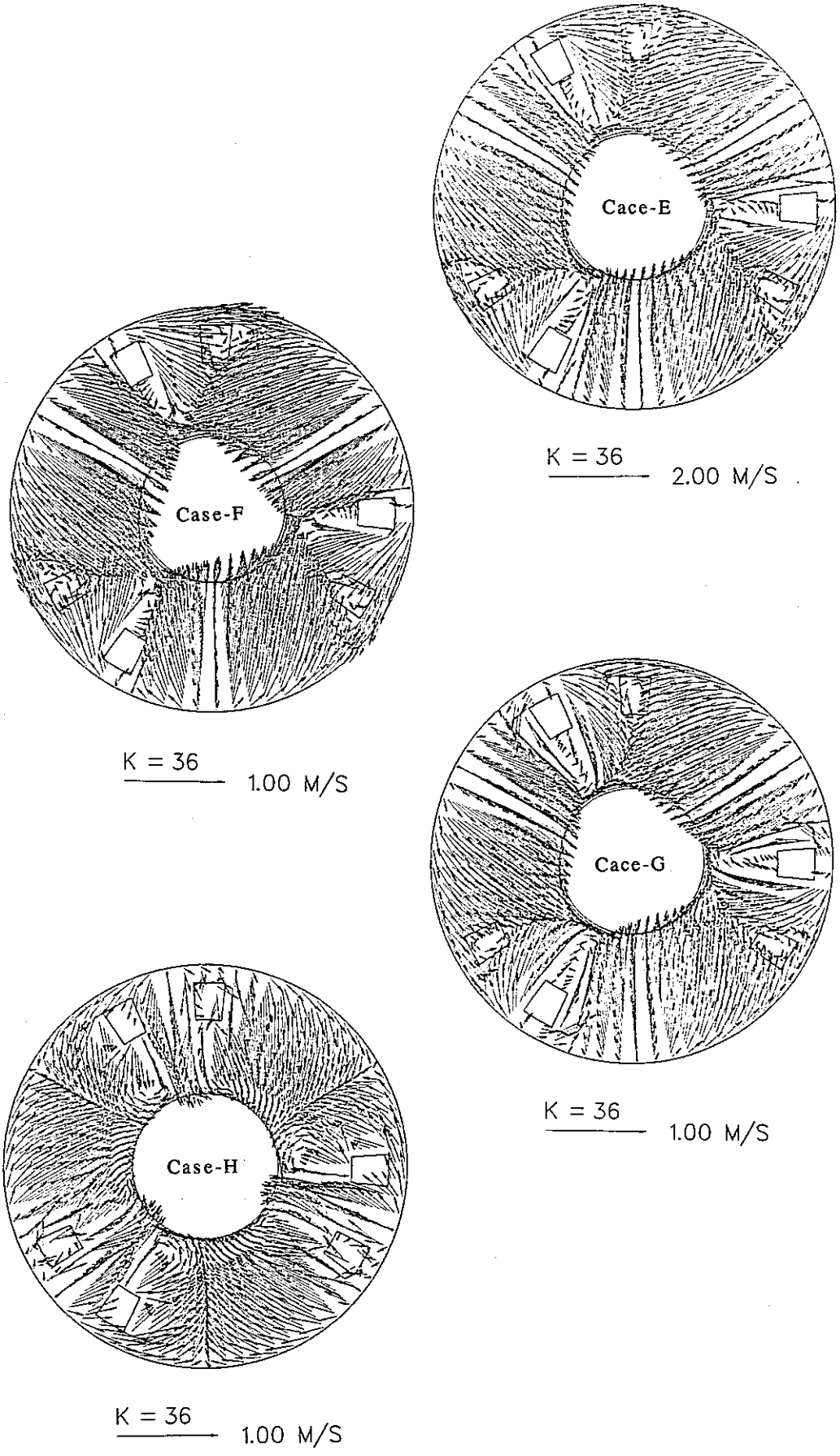


Fig. 4.4 Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(K=36)

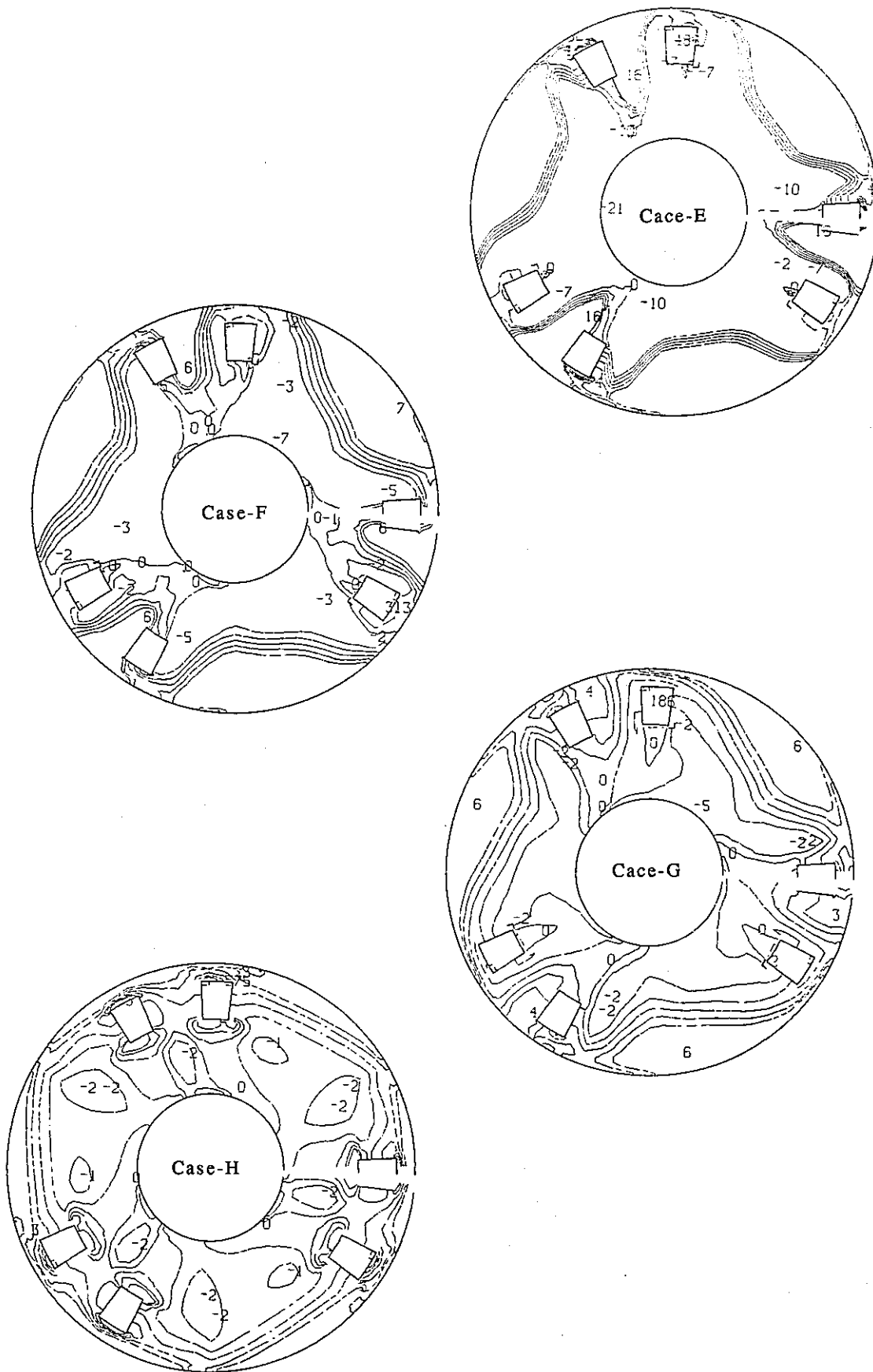


Fig. 4.5 Effective Energy Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(K=36)



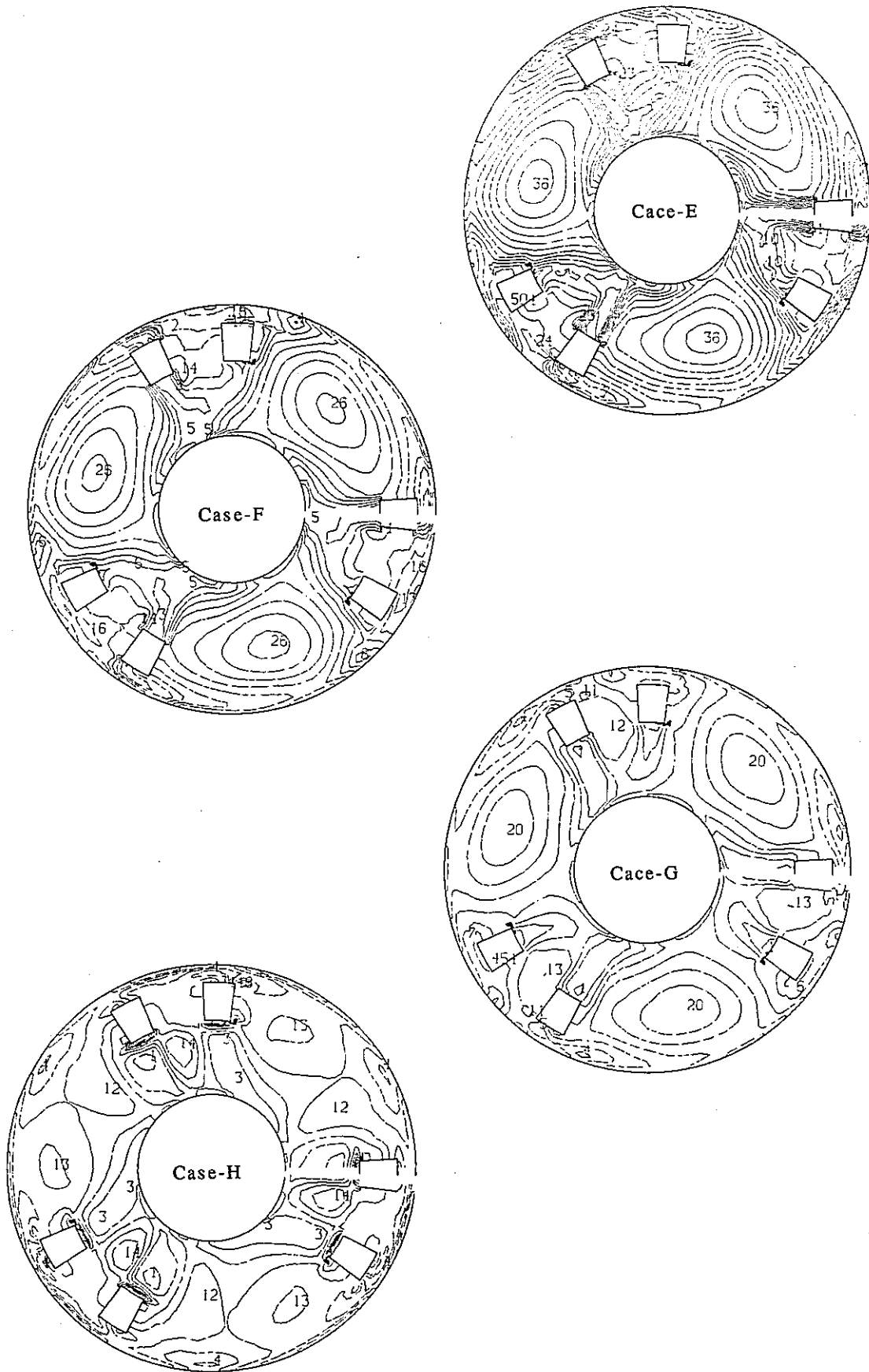


Fig. 4.6 Local Froude Number Distributions in the Upper Plenum with Porous UIS(K=36)

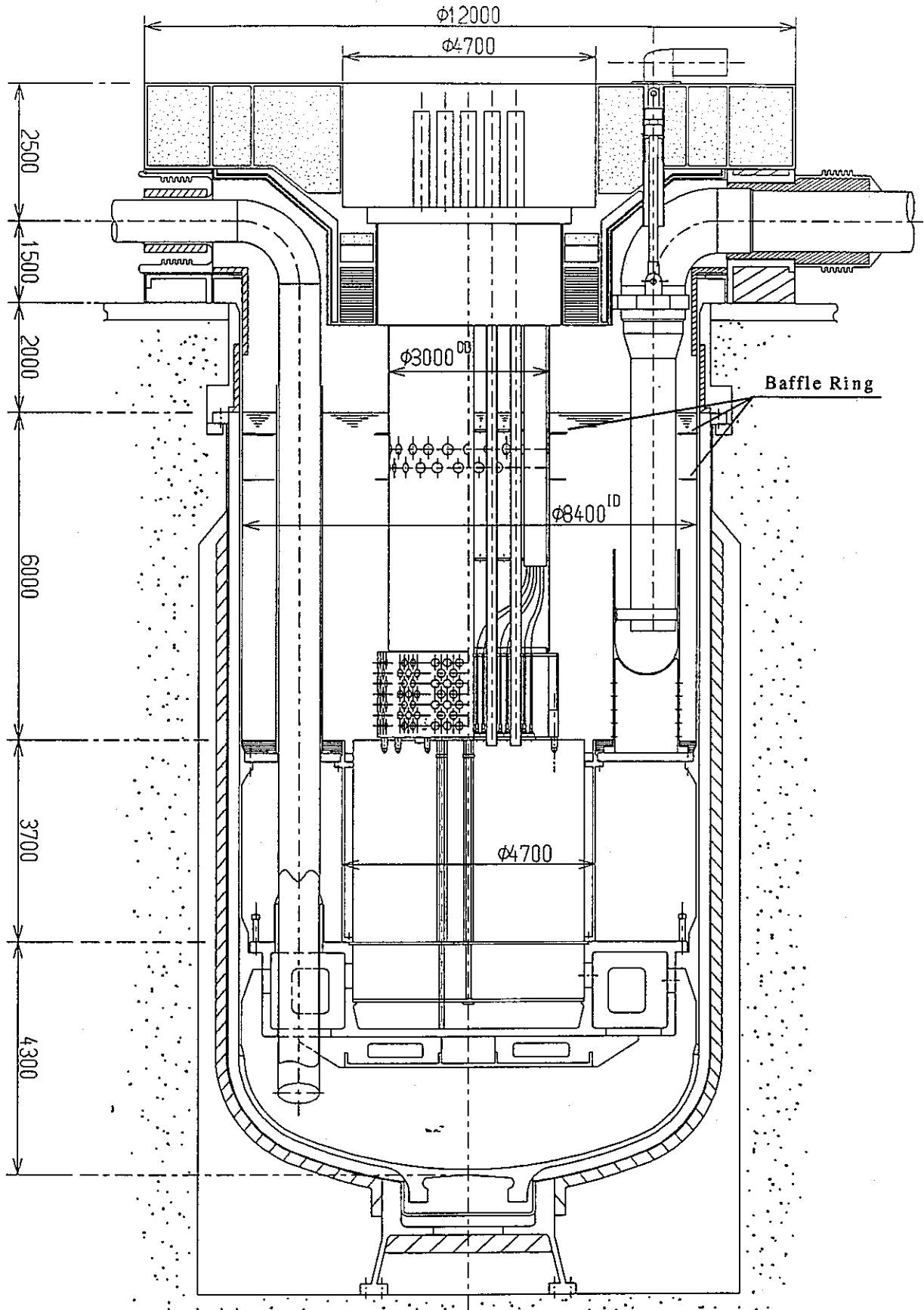


Fig. 5.1 Cross-Sectional View of Reactor Vessel with Baffle Rings and Porous UIS

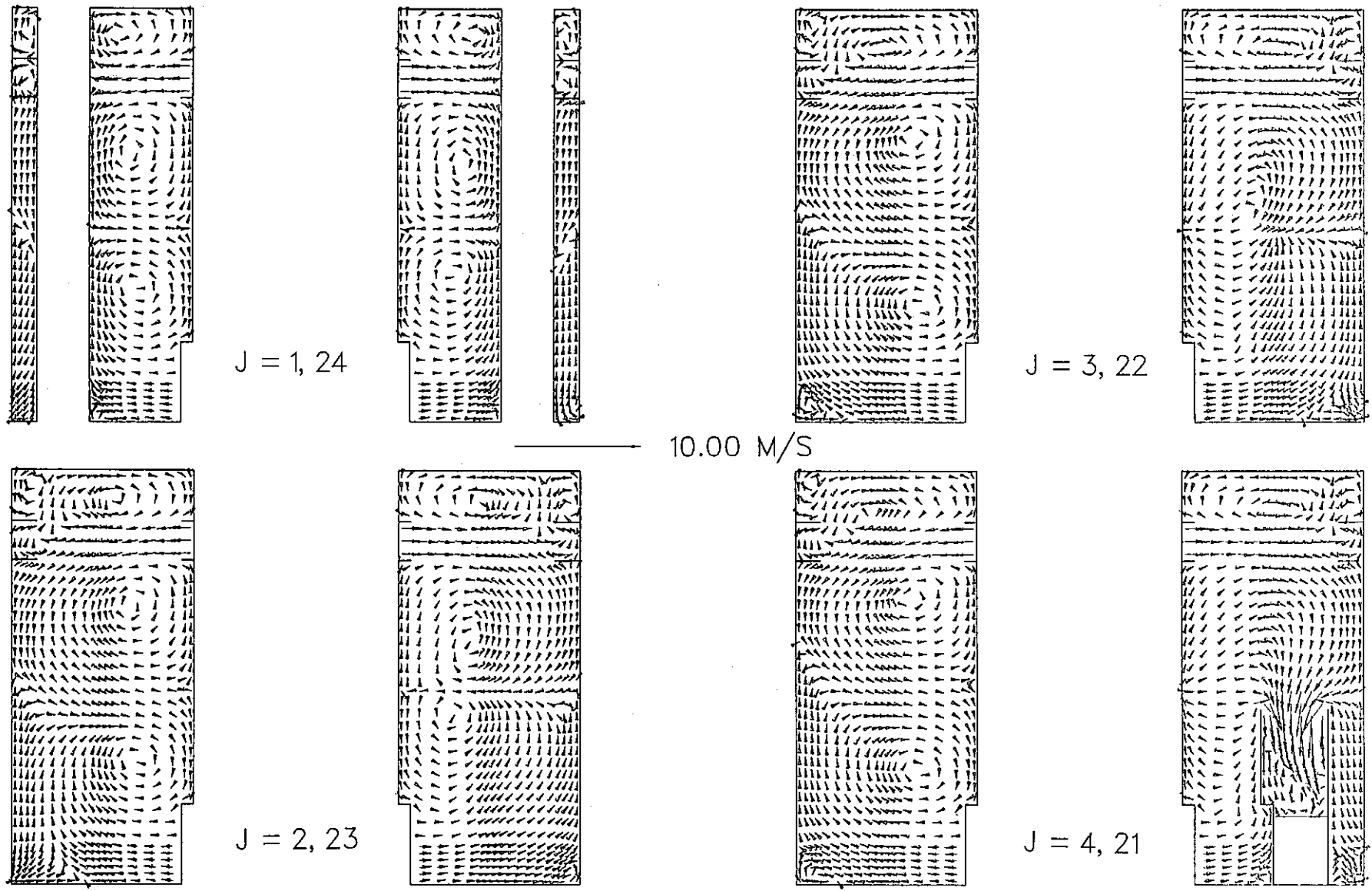
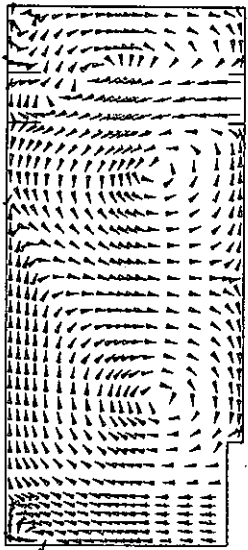
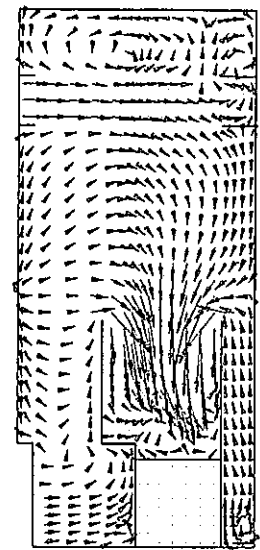


Fig. 5.2 Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Rings and Porous UIS

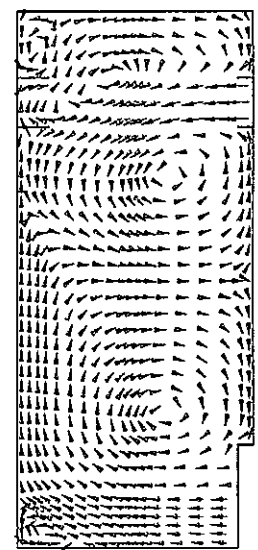


J = 5, 20

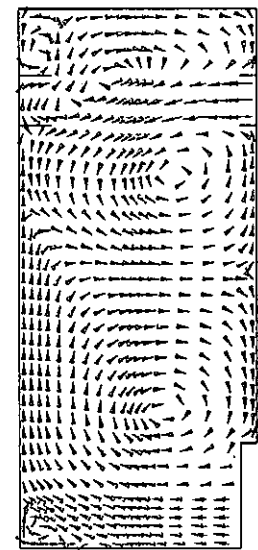


J = 6, 19

10.00 M/S



J = 7, 18



J = 8, 17

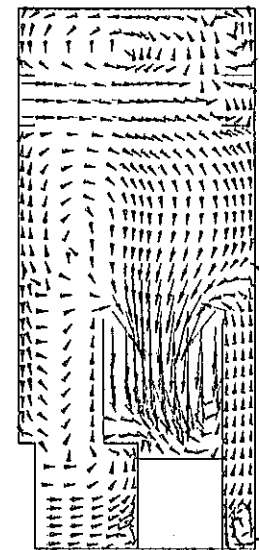
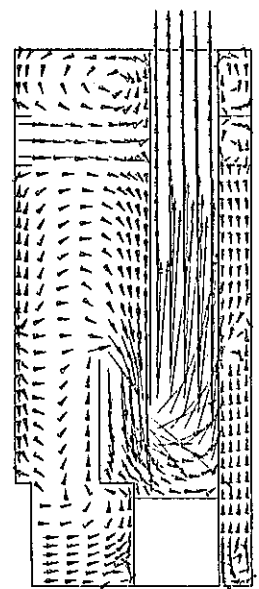


Fig.5.2 (Continued)

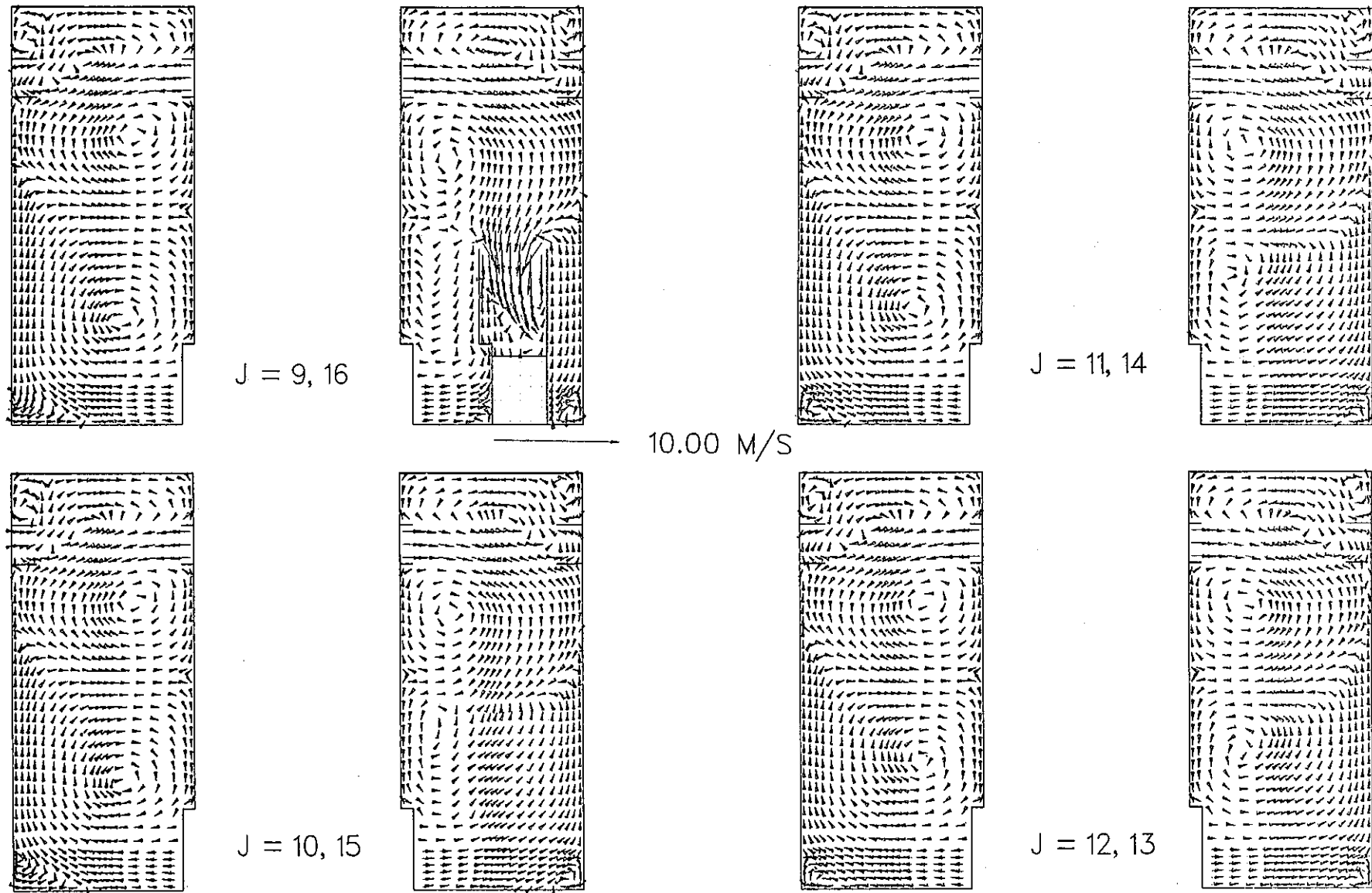


Fig.5.2 (Continued)

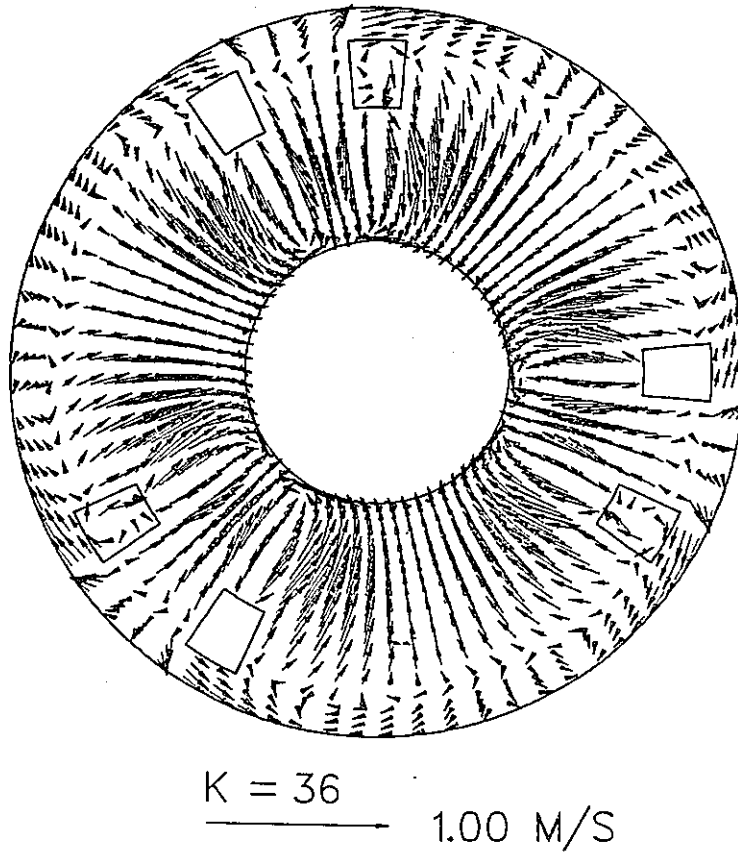


Fig. 5.3 Velocity Vector Distributions in the Upper Plenum with Baffle Rings and Porous UIS

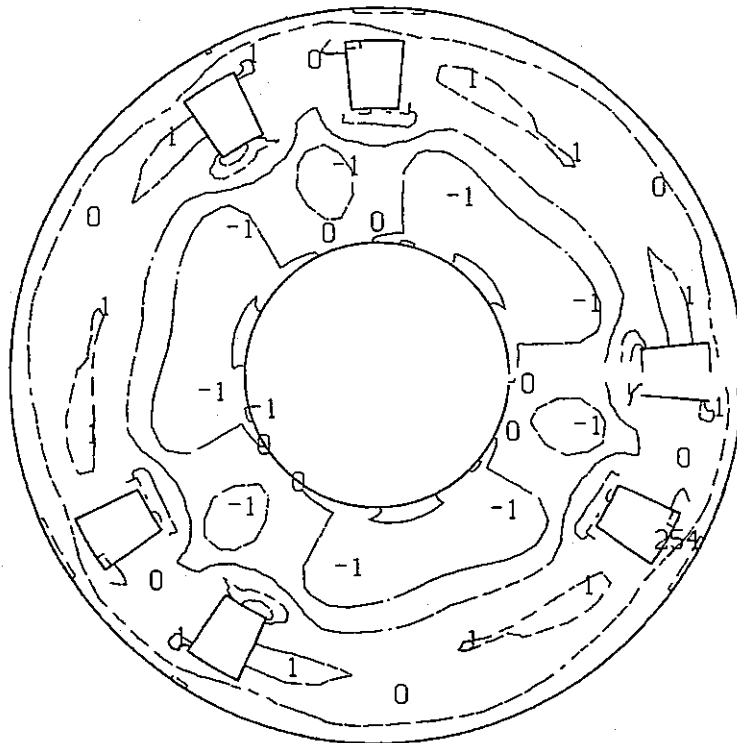


Fig. 5.4 Effective Energy Distribution in the Upper Plenum with Baffle Rings and Porous UIS