

## 第二章 電壓閃爍

### 2.1 電壓閃爍之產生及其特性

如第一章所述，間歇性快速變化的負載，如點焊機、電焊機、電弧爐、空氣壓縮機等，隨機性或週期性的導通或切斷，其劇烈變動的負載遂造成饋線或電源匯流排電壓變動，稱為電壓閃爍，其中以電燈對電壓變動最為敏感。

以國內煉鋼廠一般最常採用的電弧爐煉鋼為例，每次冶煉時間約在3~5小時之間，會因原料之粗細、純度、塊狀或顆粒而有所增減。一般狀況下，每日（24小時）煉鋼約6~8爐。全部過程分為三個階段，即：

（1）熔解期、（2）氧化期及（3）精煉期，其中熔解期由於電弧電阻之不穩定性，電弧長度依負載情況隨機變動，加上鐵屑碎片，不斷熔於電極之間，使電極之間開路、短路等現象交互產生，電弧爐遂成為大幅度變動的無效功率負載，造成饋線的電壓變動及電壓閃爍，嚴重影響供電品質。在進入精煉期後，鐵片全部熔解，此期間鐵熔於爐底，電弧之長度可藉由自動電壓調整器之控制而致電弧爐成為三相高功因的負載。當碎片熔化後短路現象消失，電弧爐自系統所吸收的電流減少。由於此上述三個階段重複發生，負載遂呈不規律的變化，負載電流亦隨之變動，所以就全部煉鋼過程而言，負載變動頻繁，尤以熔解期為甚。通常負載由最大至最小約需10~20週波，由於負載變動劇烈，引發電壓閃爍問題，使電燈及電視機畫面發生閃動現象。

日本中央電力研究所(CREPI)[1-3]發表以 $\Delta V_{10}$ 衡量電壓閃爍的嚴重程度，提供量測方法，以等效的量化數據，而不再以人眼的感受表示之。參考[1-3]，短時間間距內，電壓閃爍現象可用一組複合振幅的調變方程

式表示之：

$$V(t) = \sqrt{2}V_{rms} \left[ 1 + \frac{1}{2} \sum_n \Delta V_n \sin(2\pi f_n t) \right] \times \sin(2\pi f_{sys} t) \quad (2.1)$$

其中， $f_n$  為電壓閃爍之振幅調變頻率， $\Delta V_n$  為相對應的振幅調變量， $f_{sys}$  為系統頻率， $V_{rms}$  為系統頻率下電壓的有效值，如圖 2.1-1 所示。

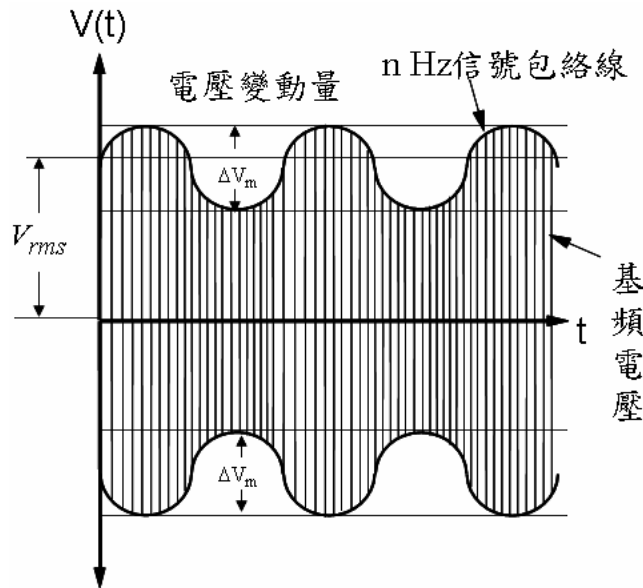


圖 2.1-1 電壓閃爍示意圖

所稱  $\Delta V_n \%$  的定義為：

$$\Delta V_n \% = \frac{\Delta V_m}{\sqrt{2}V_{rms}} \times 100\% \quad (2.2)$$

其中， $\Delta V_m$  為含 nHz 調變基頻最大振幅與最小振幅之差。

## 2.2 電壓閃爍與視感度係數之關係

為瞭解人類對閃爍的視覺反應程度，IEC 推薦採用不同波形、頻率、振幅的調幅波及基頻載波作為 230V/60W 的白熾燈電源，對觀察者抽樣 (>500 人) 調查其閃爍覺察率 F(%)：

$$F = \frac{c+d}{a+b+c+d} \times 100\% \quad (2.3)$$

其中  $a$ ：對測試白熾燈光線變化無感覺的人數

$b$ ：對測試白熾燈光線變化略有感覺的人數

$c$ ：對測試白熾燈光線變化有明顯感覺的人數

$d$ ：對測試白熾燈光線變化有強烈感覺的人數

電壓波動引起照度變化對人的視覺反應程度稱為暫態閃爍視感度 (Instantaneous flicker sensation level)。通常以閃爍察覺率  $F=50\%$  作為暫態閃爍視感度的衡量單位，訂之為  $S=1$  個察覺單位 (Unit of perceptibility)。IEC 係以  $S=1$  個察覺單位相對應的電壓波動值  $d(\%)$  表示電源電壓的閃爍程度，其中， $d(\%)$  的定義同公式(2-2)的  $\Delta V_n\%$ 。IEC 係以表 2.2-1 及圖 2.2-2 之  $S=1$  個察覺單位下的正弦波與矩形波電壓波動曲線，作為研究閃爍的實驗依據[24]。

週期性或近似週期性的電壓波動對照明波動產生的影響甚大，由表 2.2-1 可知：8.8Hz 的調幅波最為敏感，此為察覺單位值為 1 且其正弦波的電壓波動  $d\%=0.25\%$  的情況，此情況係出現在圖 2.2-2 的曲線圖底端。由表 2.2-1 可知：閃爍較為敏感的區域分佈於 6-12Hz 範圍內。

矩形波在頻率 8Hz 以上，其諧波影響甚小，茲以 8.8Hz 為例，由頻譜數據分析，基波主幅值約佔矩形波幅值比  $4/\pi$ ，它與表 2.2-1 的波形因數值 1.26 相當。但矩形波在 5Hz 頻率以下其諧波則影響嚴重，譬如在 1Hz 矩形波電壓波動為 0.471% 即可由肉眼察覺，而正弦波卻要 1.432% 的波動值才會有等效的觀感度。

燈具照明的波動會使視覺感到不舒適，經實驗對觀察者進行抽樣調查統計，一般的人腦記憶、眼睛感受、及燈光變動等之間具有關聯性，

其感受的頻譜範圍約 0.05 到 35Hz，超過 35Hz 稱為停閃頻率。經統計人類較敏感的範圍約在 6 到 12Hz，最刺眼為 8.8Hz，故 IEC 以 8.8Hz 的正弦波電壓波動值作為閃爍頻譜相對於其它頻率點的視感度係數值。

表 2.2-1 的波形因數定義為：

$$K(f) = \frac{S=1 \text{ 個察覺單位相對應的正弦波電壓波動 } d\%}{S=1 \text{ 個察覺單位相對應的矩形波電壓波動 } d\%} \quad (2.4)$$

表 2.2-1 的視感度係數定義為：

$$R(f) = \frac{S=1 \text{ 個察覺單位相對應的 } 8.8\text{Hz 正弦波電壓波動 } d\%}{S=1 \text{ 個察覺單位相對應的 } f\text{Hz 正弦波電壓波動 } d\%} \quad (2.5)$$

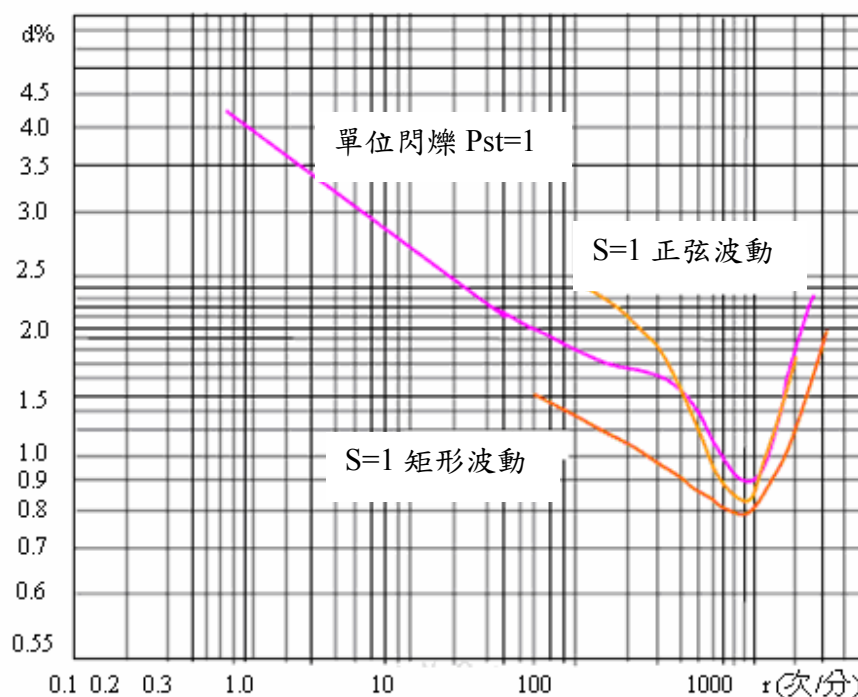
表 2.2-1 S=1 個察覺單位相對應的電壓波動與視感度係數[24](待續)

頻率 f (Hz)	頻度 r (Min <sup>-1</sup> )	電壓波動 d (%)		波形因素 K (f)	視感度係數 R (f)
		正弦波	矩形波		
0.5	60	2.340	0.514	4.55	0.107
1.0	120	1.432	0.471	3.04	0.175
1.5	180	1.080	0.432	2.50	0.231
2.0	240	0.882	0.401	2.20	0.283
2.5	300	0.754	0.374	2.01	0.332
3.0	360	0.654	0.355	1.84	0.382
3.5	420	0.568	0.345	1.65	0.440
4.0	480	0.500	0.333	1.50	0.500
4.5	540	0.445	0.316	1.41	0.561
5.0	600	0.398	0.293	1.39	0.628
6.0	720	0.328	0.293	1.32	0.762
7.0	840	0.280	0.217	1.29	0.893
8.0	960	0.256	0.201	1.27	0.977
8.8	1056	0.250	0.199	1.26	1.000
9.5	1146	0.254	0.200	1.27	0.984
10.0	1200	0.262	0.205	1.27	0.962

表 2.2-1 S=1 個察覺單位相對應的電壓波動與視感度係數[24](續)

頻率 f (Hz)	頻度 r (Min <sup>-1</sup> )	電壓波動 d (%)		波形因素 K (f)	視感度係數 R (f)
11.0	1320	0.282	0.223	1.26	0.887
12.0	1440	0.312	0.246	1.27	0.801
13.0	1560	0.348	0.308	1.27	0.718
14.0	1680	0.388	0.308	1.26	0.644
15.0	1800	0.462	0.344	1.26	0.579
17.0	2040	0.530	0.421	1.26	0.472
19.0	2280	0.640	0.506	1.26	0.391
21.0	2520	0.760	0.603	1.26	0.329
23.0	2760	0.890	0.713	1.25	0.281
25.0	3000	1.042	0.834	1.25	0.240

註：本表測試時當作載波的基頻電壓為 230V 50Hz(如圖 2.1-1)。



註： $P_{st}=1$  曲線即為 IEC 所規範的短時電壓閃爍嚴重程度上限值。

圖 2.2-2 S=1 個察覺單位相對應的矩形波電壓波動值與頻度值之間的關係曲線[24]

如前所述：S=1 個察覺單位係表示閃爍的察覺率  $F \geq 50\%$ ，依表內的視感度係數（加權）值所繪製的曲線稱為 de-Lange 特性曲線，此曲線可用於換算不同頻率下的視感度，據之研製閃爍儀，如法國 EDF 及德國 FGH 所規範的閃爍儀

日本方面，係透過九大電力公司共同合作，以 100V/60W 的白熾燈在 100V/50Hz 電源系統及 10Hz 的電壓變動  $\Delta V_{10}$  作實驗，取觀察者的樣本(580 人)，分十三次試驗，調查  $\Delta V_{10}$  與閃爍察覺率之間的關係：

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{d}{a+b+c+d} \times 100\% \\ F_2 &= \frac{c+d}{a+b+c+d} \times 100\% \\ F_3 &= \frac{b+c+d}{a+b+c+d} \times 100\% \end{aligned} \quad (2.6)$$

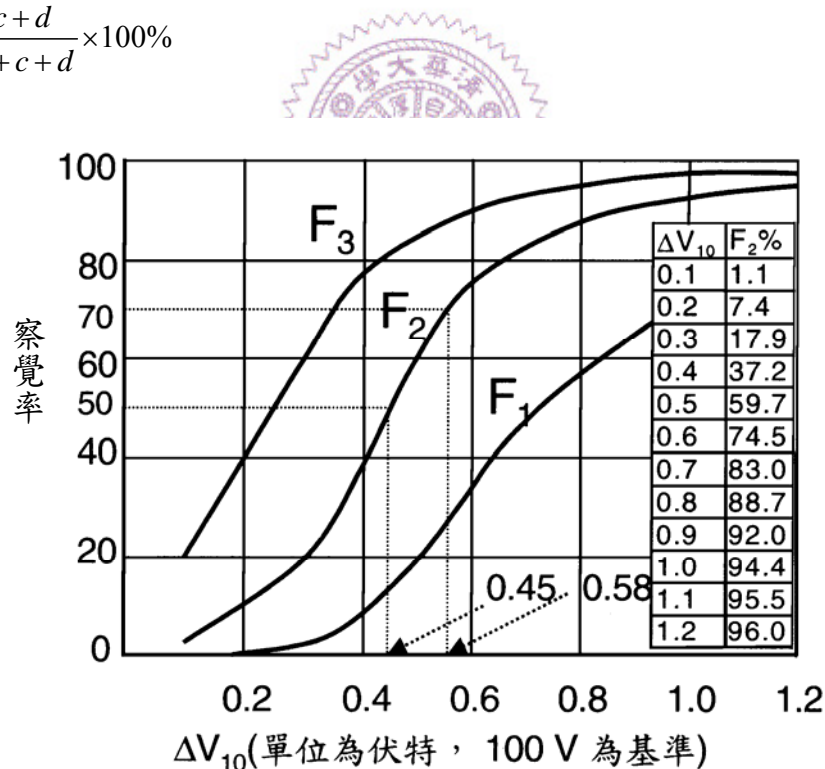


圖 2.2-3 電壓閃爍值與察覺率之間的關係[2]

根據日本中央電力研究所的報告[1-3]，以每秒十次變動對肉眼刺激

最為敏感，故日本以 10Hz 的正弦波電壓波動值作為閃爍頻譜相對於其它頻率點的視感度係數值，將不同的頻率變動成分換算為相對於 10Hz 等效值。電壓變動量 $\Delta V$ 與電壓閃爍 10Hz 等效值 $\Delta V_{10}$ 分別如(2.7)與(2.8)所示。圖 2.2-4 為日本中央電力研究所發表之視感度曲線。

$$\Delta V = \sqrt{\sum_n (\Delta V_n)^2} \quad (2.7)$$

$$\Delta V_{10} = \sqrt{\sum_n (a_n * \Delta V_n)^2} \quad (2.8)$$

其中 $a_n$ 為頻率在 n Hz 電壓閃爍變化量等效至 10Hz 變化量的相對視覺敏感度係數， $\Delta V_n$ 為頻率 n Hz 的電壓變化量。

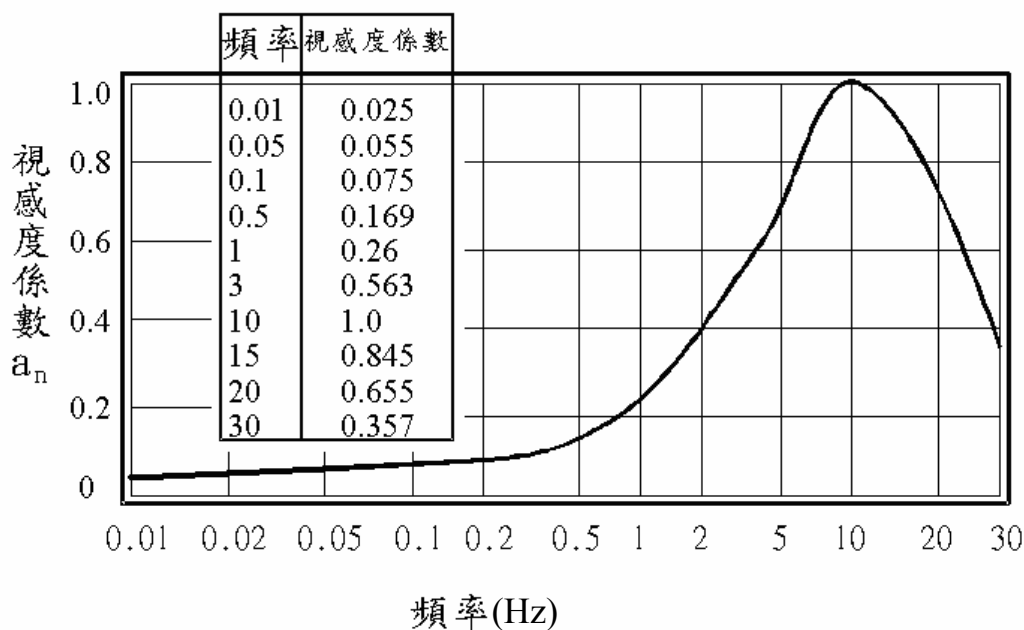


圖 2.2-4  $\Delta V_{10}$  之視感度曲線[2]

## 2.3 電壓閃爍相關規範

### 2.3.1 日本中央電力研究所之閃爍標準



台灣與日本皆採用  $\Delta V_{10}$  衡量電壓閃爍的程度。根據本國「屋內線路裝置規則」第 431 條電弧爐等驟變負荷應符合下列之規定：電弧爐等驟變負載在共同點之電壓閃爍值，其每秒鐘變化十次的等效電壓最大值 ( $\Delta V_{10\max}$ ) 以不超過 0.45% 為準。所謂「等效每秒變化 10 次的電壓閃爍 ( $\Delta V_{10}$ )」，是指基頻 (60Hz) 的電壓變化量等效至 10Hz 的變化量。

### 2.3.2 IEC 之閃爍標準

IEC 61000-4-15 電壓閃爍測量標準提供電壓閃爍測量的規格。圖 2.3-1 為 120V/60Hz 系統的 IEC 電壓閃爍測量流程。

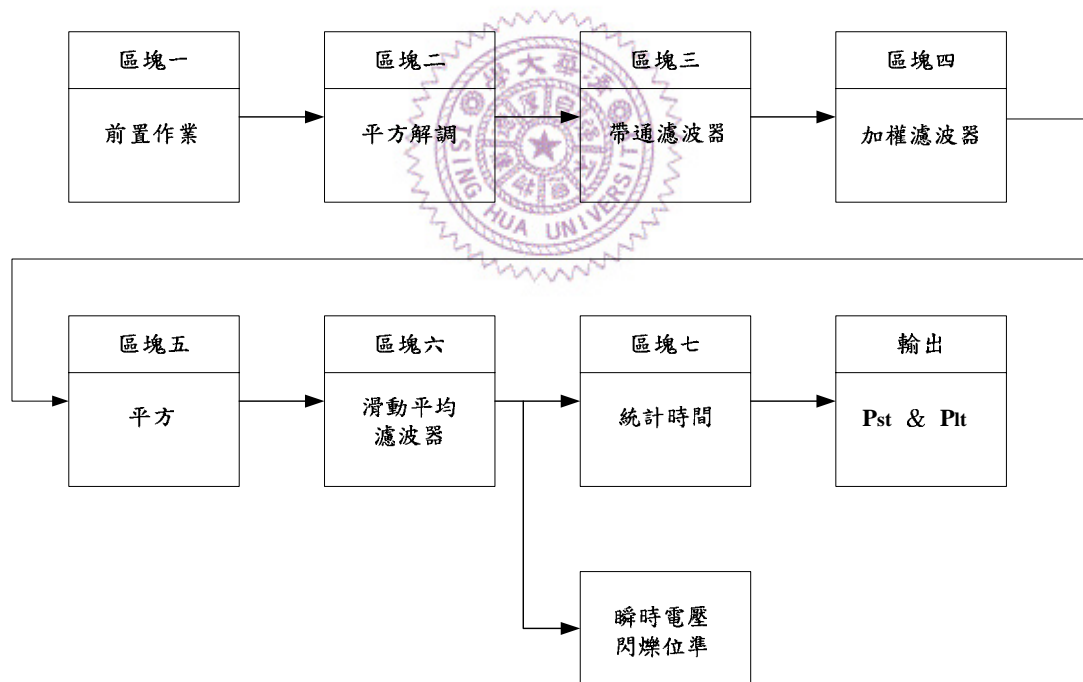


圖 2.3-1 120V/60Hz 系統的 IEC 標準閃爍測量流程

圖 2.3-1 所示區塊 1 係選擇校準閃爍測量的訊號產生器，是將訊號經過內部的參數轉換器產生均方根電壓值。區塊 2 是對訊號的平方值進行解調變，得到電壓變動的波形。區塊 3 所採用的帶通濾波器(3dB 截止



頻率為 0.05Hz - 42Hz)，是由一個低通與一個高通濾波器所組成，此濾波器可消除直流部分與解調器平方所引起的兩倍頻(120Hz)成分。區塊 4 為加權濾波器，它是用來模擬視覺敏感度，並以正弦波之電壓波動頻率表示頻率響應的 X 軸。區塊 5 是將加權濾波器的輸出平方，以模擬人類眼睛到大腦的視感度的非線性放大效應。區塊 6 將訊號經過滑動平均濾波器（此為一階的低通濾波器）模擬大腦的視覺暫留效應，其輸出值稱為瞬時電壓閃爍位準 IFL(Instantaneous flicker level)。區塊 7 用於執行 IFL 的時間統計分析，並記錄結果。根據統計結果，依計算時間長短可分為短時間（十分鐘）的閃爍嚴重程度  $P_{st}$  與長時間（二小時以上）的閃爍嚴重程度  $P_{lt}$ 。依據 IEC 標準， $P_{st}=0.71$  是肉眼可開始察覺到燈光閃爍的臨界值， $0 < P_{st} < 0.71$  是肉眼無法察覺閃爍之範圍， $0.71 < P_{st} < 1$  是肉眼可察覺但不至於感覺干擾或刺激的閃爍程度，IEC 規定電力系統或電氣設備所產生之電壓閃爍必須小於  $P_{st}=1$  始符合規範。

### 2.3.3 國際的電壓閃爍管制標準

英、美、德、日等國各有不同的閃爍標準及管制值如表 2.3-2。

表 2.3-2 英、美、德、日等各國的電壓閃爍管制標準[2]

電壓變動/變動參數	國別	管制值(%)	備註
瞬間值	德國	0.4 ~ 0.5	110V 為 0.75% 220V 為 0.5%
	澳大利亞	1	
	南斯拉夫	1	
	挪威	0.5	
Pst(短時間嚴重性) Plt(長時間嚴重性)	英國 IEC 1000-3-3/5	$P_{st} = 1.25\text{pu}$ , $P_{lt} = 1.0\text{pu}$ $P_{st} = 1.0\text{pu}$ , $P_{lt} = 0.8\text{pu}$ $P_{st} = 1.0\text{pu}$ , $P_{lt} = 0.8\text{pu}$	(1)132kV 及以下 (2)132kV 以上適用低壓系統 220~250V(對中性點)
10Hz 等效值 $\Delta V_{10}$	法國、意大利	0.3	兩種推薦值，各電力公司可依實際用電環境選用增減。
	美國	0.5	
	日本	(1)最大 0.45 平均 0.32 (2)最大 0.58 平均 0.41	
	台灣	0.45	
	巴西、阿根廷、 伊朗	0.5	
	中華人民共和國	一般性照明負載 0.6 要求較高之白熾燈 0.4	
電壓變動 $\Delta V_f$ 累積機率評估	英國	$\leq 132\text{kV}$ 為 0.25 $> 132\text{kV}$ 為 0.2	
	中華人民共和國	$\leq 10\text{kV}$ 為 2.5 $> 35 \sim 110\text{kV}$ 為 2 $> 220\text{kV}$ 為 1.6	
	前蘇聯	0.018 ~ 0.079	
電弧爐額定容量 系統斷路容量	瑞士	單台為 1.2~1.6， 兩台為 2~2.7， 三台以上為 2.8~9.7	
短路電壓衰減比(指單台電弧爐，若為多台電弧爐時需換算為等值單台爐)* 註：可疑表示接近限制值之臨界區需嚴格審查。	英國	2	132kV 以上為 1.6% 2%~2.5%為可疑* 兩台為 2% 110kV 以上為 2%
	瑞典	2.5	
	荷蘭	1.75	
	南斯拉夫	2.5	
	日本	2	
	巴西	2	
	伊朗	2	