

懸板配置對高桶式旋流漏斗排砂器排砂效率 影響之試驗研究

Experimental Study on the Effect of Deflectors on Sediment Removal Efficiency of a Deep-Depth Vortex Chamber Type Sediment Extractor

國立成功大學
水利及海洋工程學系
特聘教授

詹 錢 登
Chyan-Deng Jan

國立成功大學
水利及海洋工程學系
博士候選人

徐 郁 超*
Yu-Chao Hsu

國立成功大學
水利及海洋工程學系
研究助理

林 程 翰
Cheng-Han Lin

國立成功大學
水利及海洋工程學系
博士生

曾 奕 超
Yi-Chao Zeng

摘 要

本研究進行水工模型試驗探討懸板配置對高桶式旋流漏斗排砂器排砂效果之影響。試驗在直徑 48 cm 及高度 115 cm 的旋流漏斗排砂器內進行，水平懸板的配置方式包括：無懸板、單一懸板、雙懸板及三懸板等四種。試驗包含清水渦流觀察試驗及渾水排砂試驗，其中渾水排砂試驗時入流渾水的含砂濃度(\bar{C}_i)介於 35.0 g/L 至 45.0 g/L 之間，渾水中泥砂的中值粒徑為 3.69×10^{-3} mm。試驗結果顯示懸板配置有利於穩定渦流及提升排砂效果。在圓柱桶上、中、下均配置懸板(三懸板)的情況下，經過旋流排砂後，表層溢流含砂濃度(\bar{C}_o)約為 0.37 g/L，排砂效率為 98.9%。比較不同懸板配置試驗結果顯示，配置三懸板情況下的溢流含砂濃度比雙懸板情況下低約 26.0%~56.0%，比單一懸板情況下低約 63.0%~79.2%，比無懸板配置情況下低約 78.5%。試驗結果顯示設置懸板有助於排除細顆粒泥砂，而且不同懸板配置對於排砂效果也有所不同，在本研究範圍內以圓柱桶上、中、下均配置懸板(三懸板)的情況下有較佳的排砂效果。

關鍵詞：旋流排砂器，排砂效率，懸板。

ABSTRACT

This study investigates the effects of horizontal deflectors on the sediment removal

*通訊作者，國立成功大學水利及海洋工程學系博士生，70101 台南市大學路 1 號，n8897105@mail.ncku.edu.tw

efficiency of a deep-depth vortex chamber type sediment extractor. The vortex chamber used in this study has a total height of 115.0 cm and an internal diameter of 48.0 cm. The arrangement of deflectors in experiments includes no deflector, one deflector, two deflectors and three deflectors. The inflow sediment concentrations are between 35.0 g/L and 45.0 g/L. The median diameter (d_{50}) of the sediment used in experiments is 3.69×10^{-3} mm. An experimental result shows that the deep-depth vortex chamber type sediment extractor installed with three deflectors, the overflow sediment concentration is 0.37 g/L and its corresponding sediment removal efficiency is 98.9%. Comparisons of experimental results under different arrangements of deflectors show that the overflow sediment concentration in experiments with three deflectors is about 26.0%~56.0% lower than that with two deflectors, 63.0%~79.2% lower than that with one deflector, and 78.5% lower than that without deflector. The experimental results indicate that the deflectors installed in the deep-depth vortex chamber type sediment extractor is helpful for removing fine sediment particles from sediment-water mixtures, and the device with three deflectors has better sediment removal efficiency.

Keywords: Vortex chamber, Sediment removal efficiency, Deflector.

一、前言

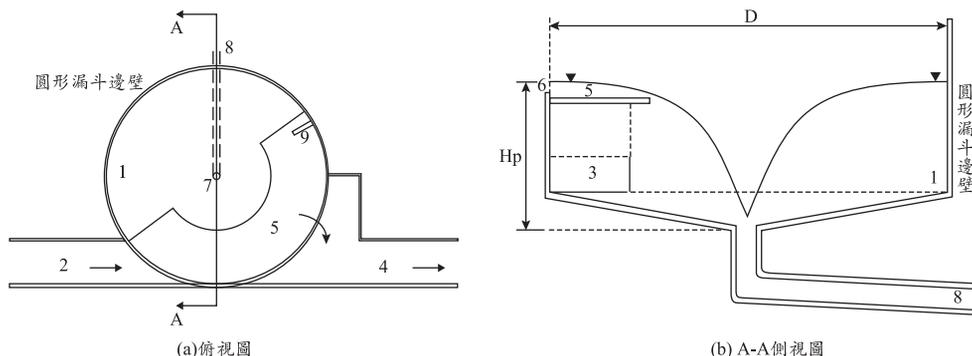
如何有效排除渠道水流中過高的含砂量或過粗的泥砂顆粒，一直是水利工程中的重要課題。傳統的排砂方式主要包括：沉砂池(Settling basins)、渦動管(Vortex tube)及隧道式(Tunnel type)等排砂方式。近年來許多學者逐漸開始針對水力旋流漏斗排砂器進行相關研究及應用。水力旋流漏斗排砂器主要是將含砂水流引入圓形漏斗室做圓周運動，利用離心力與重力之交互作用，將泥砂顆粒由漏斗底部之排砂管排出，如圖 1 所示。經過旋流排砂後，含砂濃度較小之水流則經由排砂器上層出流渠道流入導水路以茲利用。水力旋流漏斗排砂器的漏斗邊壁水深(H_p)與漏斗直徑(D)的比值(H_p/D)越大，表示漏斗槽內的相對水位越高。為了區別方便本文將旋流漏斗排砂器 H_p/D 大於等於 1.0 者，稱為「高桶式旋流漏斗排砂器」，反之小於 1.0 者則稱為「低桶式旋流漏斗排砂器」。

由表 1 可知前人在水力旋流漏斗排砂器之試驗研究方面，所採用的排砂裝置大多為低桶式旋流漏斗排砂器(Curi *et al.*, 1979; Paul *et al.*, 1991;

譚初冬等 1998; 邱秀云等 1999; Athar *et al.*, 2002; 劉均善等 2003; 李琳等 2004 及 2007; 詹錢登等 2007; 黃聰憲 2007; 徐郁超 2008)。前人研究顯示低桶式旋流漏斗排砂器(圖 1)對於粗顆粒泥砂($d > 0.054$ mm)之排砂效果良好，其排除效率可達 90%以上，但對於排除細顆粒泥砂($d < 0.054$ mm)的效果較差，大約只有 35%~70%，對於越細之泥砂排除效果則更差。渾水中細顆粒泥砂受到水流的影響遠大於重力的作用，因此較容易隨著水流紊動而懸浮。因此為降低泥砂受到水體的擾動，並增加泥砂在桶內的沉降機會，有人開始採用高桶式旋流漏斗排砂器($H_p/D > 1.0$)之設計，利用排砂器於垂直面上三個區域(柱體區、錐體區及過渡區)的水流特性，排除細顆粒泥砂。目前高桶式旋流漏斗排砂器($H_p/D > 1$)之相關研究文獻不多，近年來中國大陸有部分學者開始研究高桶式旋流漏斗排砂器(邱秀云等 2006; 徐燕等 2006; 劉芬等 2007; 陳偉東等 2007; 余新豔等 2008)，國內詹錢登等(2010)也開始探討入流量、渾水含砂濃度、水平懸板配置及排砂底孔大小等因素對高桶式旋流漏斗排砂器排砂效果的影響。

表 1 前人水力旋流漏斗排砂器試驗中漏斗邊壁水深與漏斗直徑比值之範圍

研究者	排砂漏斗直徑 D(m)	漏斗邊壁水深 H_p (m)	H_p/D 之比值
Curi <i>et al.</i> , (1977)	0.9	0.069~0.148	0.069~0.148
Esen (1989)	1.35	0.185~0.313	0.185~0.313
IPRI (1989)	3.66~4.57	0.421	0.115~0.092
Paul <i>et al.</i> , Model-I (1991)	0.55	0.18	0.327
Paul <i>et al.</i> , Model-II (1991)	5.0	0.68	0.136
譚初冬等(1998)	12.0	1.46	0.122
邱秀云等(1999)	0.26	0.031	0.119
Athar <i>et al.</i> (2002)	1.0	0.15~0.28	0.150~0.280
劉均善等(2003)	2.67~4.0	0.22~0.48	0.055~0.180
李琳等(2004)	8	1.05~1.12	0.131~0.140
徐燕等(2006)	1.1	1.265	1.15
李琳等(2007)	15	2.05~2.11	0.136~0.141
黃聰憲(2007)	0.5	0.08~0.09	0.160~0.180
詹錢登等(2007)	1.0	0.075~0.126	0.075~0.126
徐郁超(2008)	1.0	0.1~0.12	0.100~0.120
詹錢登等(2010)	0.48	0.707~0.72	1.473~1.500



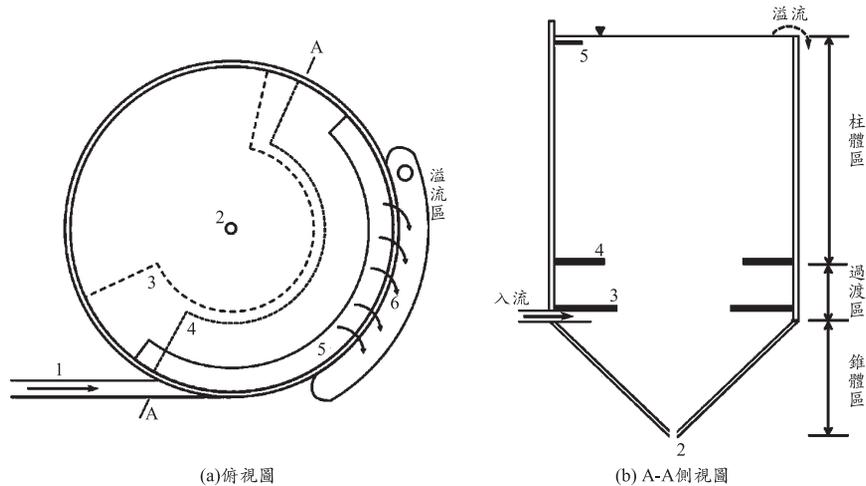
1.圓形漏斗槽；2.進水渠道；3.進水涵洞；4.引水渠道；5.半圓環狀懸板；6.溢流堰；7.排砂底孔；8.排砂廊道；9.導流墩

圖 1 低桶式旋流漏斗排砂器結構配置圖(詹錢登等 2010)

泥砂顆粒在高桶式旋流漏斗排砂器內的運移及沉降，大致可分為三個區域：柱體區(重力區)、錐體區及過渡區(錐體區與柱體區之間)，如圖 2 所示。高含砂濃度的水流由下層入流管沿漏斗圓周邊壁以切線方向流入漏斗排砂器的錐體區做圓周運動形成渦流，在錐體區中靠著渦流機制及重力作用將泥砂顆粒自排砂底孔排出。柱體區部分使細顆粒泥砂有較長的時間進行沉降運動。當整個系統達到平衡時，柱體區的水位會維持在固定水位(高於溢流口位置)，泥砂於重力作用下持續進行沉降運動，在柱體區水體的表層將

出現清水層，此清水層經由排砂器上層之溢流口所流出，以達到水砂分離及汲取清水之目的。

在高桶式旋流漏斗排砂器運行時，部分入水流會呈現向上流動，但隨著水位高度增加，水體受入流水的影響則越來越小，而柱體區內的流場大致上為強制渦流，自由渦流較不明顯(邱秀云等 2006)，泥砂在重力作用下逐漸沉降，因此該區為泥砂之沉降區；在錐體區部分，由於受到入射水流的影響離心力較大，且有明顯呈現自由渦流與強制渦流的組合渦流現象，而中心軸向流速向下延伸至底孔，此區有利於沉降泥砂之排除；



1.入流管；2.排砂底孔；3.下懸板；4.中懸板；5.上懸板；6.溢流堰

圖 2 高桶式旋流漏斗排砂器(修改自陳偉東等 2007)

而過渡區的流況，因受到入射水流的影響呈現較為紊亂狀態。

入流量決定漏斗槽內流場的紊動程度，當入流量越大，紊動程度也越大，此時溢流量也相對增加，且較不易出現清渾水交界面，故溢流水體的含砂濃度也較大。依據以往低桶式漏斗排砂器(Mashauri, 1996；Paul *et al.*, 1991)及高桶式漏斗排砂器(詹錢登等 2010)設置懸板之經驗，顯示懸板配置會有穩定水流及提升排砂效果之功能。在前述詹錢登等(2010)的研究當中，有關於水平懸板配置方向僅考量二種情形：無懸板配置及三懸板配置。本研究則進一步想探討不同懸板配置情況對於排砂效率之差異。

二、模型試驗配置與條件

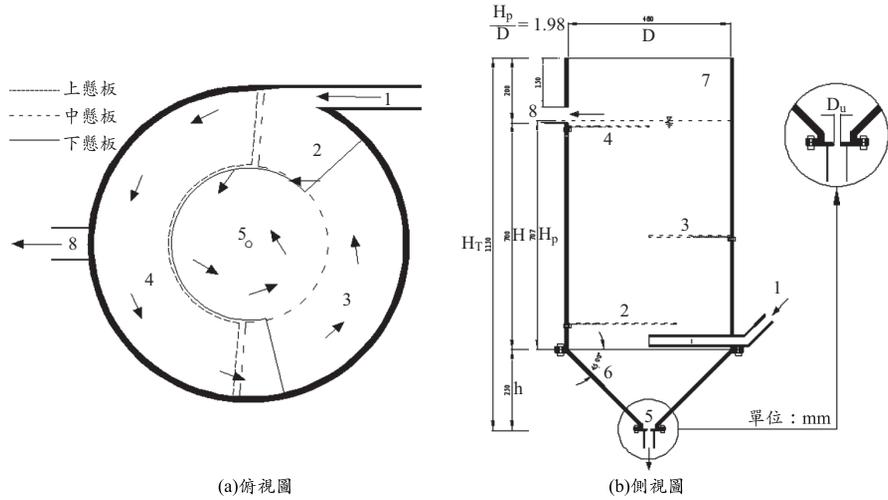
2.1 模型試驗設備

高桶式旋流漏斗排砂器的基本結構主要是由入流管、圓形漏斗室、圓形柱體室、溢流管及排砂底孔所組成，在細部結構上，為提升排砂效率，在排砂器內部增加不同的水平懸板配置。本研究所使用的高桶式旋流漏斗排砂器，如圖 3 所示，其設置於離地面 105 cm 處，所建構材質為厚度 1.0 cm 之透明壓克力，以方便觀察排砂器內部之流況。入流管直徑(D_i)為 2.0 cm 以 45°的傾斜

角度分別銜接在定水頭箱底部以及圓形柱體室底部，且水流以切線方向進入排砂器內部。圓形漏斗室直徑(D)為 48 cm，深度(h) 25 cm (由排砂底孔至圓形漏斗室上緣)，底床坡度(S_b)為 45°。圓形柱體室直徑(D)為 48 cm 及高度(H)為 75 cm；溢流管直徑(D_o)為 5.0 cm，其位於圓形漏斗室底部起算 95 cm 至 100 cm 處，而溢流水體得以回流至蓄水槽，而形成一循環系統。圓形漏斗室底部之排砂底孔直徑(D_b)為 0.6 cm。水平懸板可分為下懸板、中懸板及上懸板，可分別裝置於圓形柱體室的 33.7 cm、61.5 cm、92.5 cm 處，懸板寬度 12 cm 與厚度 0.5 cm。上懸板與中懸板均為圓心角 180°的半圓環狀懸板，下懸板則為圓心角 250°之扇形環狀懸板，並覆蓋於入流管的入射水流之上，可避免入射水流直接擾動圓形柱體室之流況。本研究改變水平懸板配置位置及數量，探討其對排砂效率之影響。入流管的上游端設有水頭箱及加砂設備，以控制入流管之流量 Q_i 及含砂濃度 C_i 。當高桶式旋流漏斗排砂器排砂系統達到穩定平衡情況下，入流管之流量等於排砂底孔流出流量與溢流管溢流量之合，即 $Q_i = Q_u + Q_o$ 。

2.2 試驗條件及分析項目

本研究包含清水試驗與渾水試驗兩部分。試



1.入流管；2.扇形環狀下懸板；3.半圓環狀中懸板；4.半圓環狀上懸板；5.排砂底孔；6.圓形漏斗室；7.圓形柱體室；8.溢流管

圖 3 本研究所採用之高桶式旋流漏斗排砂器的配置圖(詹錢登等 2010)

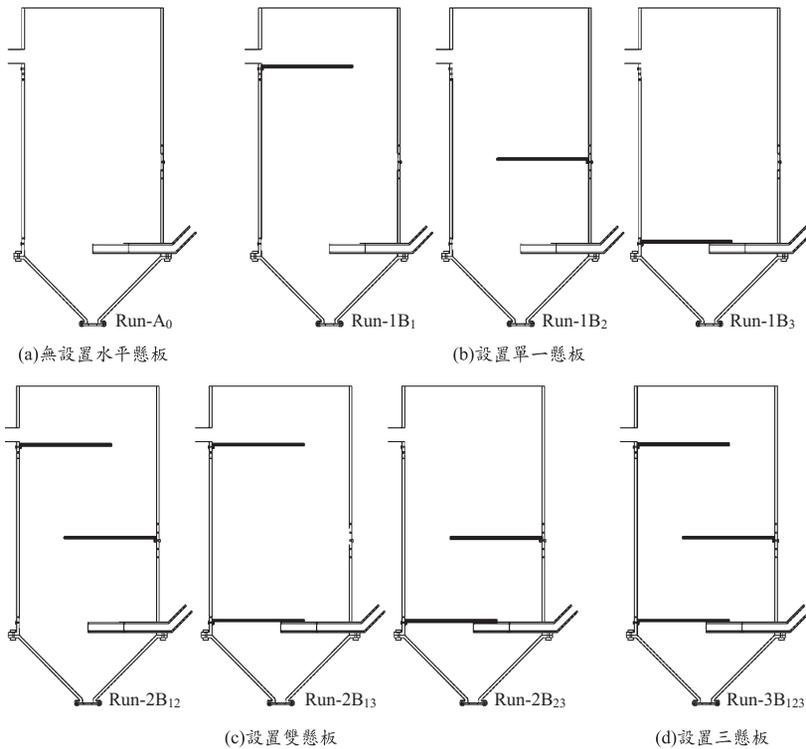


圖 4 本研究高桶式旋流漏斗排砂器水平懸板配置方式及其對應之編號

驗中水頭高度固定為 98.1 cm (自排砂底孔起算) 及入流量固定為 0.137×10^{-3} cms。渾水試驗時平均入流含砂濃度為 35 g/L~45 g/L。試驗調整項目

為水平懸板配置位置及數量，如：設置單一懸板 (Run-1B₁、Run-1B₂、Run-1B₃)、雙懸板 (Run-2B₁₂、Run-2B₁₃、Run-2B₂₃)、三懸板 (Run-3B₁₂₃) 及未設

表 2 本研究高桶式旋流漏斗排砂器之清水及渾水試驗條件

試驗編號	懸板數量	懸板位置	入流管直徑 D_i (cm)	入流量 Q_i (cms)	排砂底孔直徑 D_u (cm)	泥砂平均粒徑 d_m (mm)	泥砂中值粒徑 d_{50} (mm)	平均入流含砂濃度 \bar{C}_i (g/L)
Run-A ₀	0	無	2.0	0.137×10^{-3}	0.6	2.45×10^{-3}	3.69×10^{-3}	35.0~45.0
Run-1B ₁	1	上						
Run-1B ₂	1	中						
Run-1B ₃	1	下						
Run-2B ₁₂	2	上-中						
Run-2B ₁₃	2	上-下						
Run-2B ₂₃	2	中-下						
Run-3B ₁₂₃	3	上-中-下						

置懸板(Run-A₀)，如圖 4 所示。模型試驗條件，如表 2 所示。試驗觀察與分析主要項目包括觀測懸板配置方式對渦流特性的影響，對圓形柱體室內清渾水交界面的影響以及對高桶式旋流漏斗排砂器之排砂效率之影響。

在渾水試驗中所使用的泥砂與詹錢登等(2010)所使用之泥砂相同，是經由抽泥船自石門水庫抽出後置於沉砂池之泥砂。泥砂比重為 2.65，而泥砂粒徑皆小於 0.1 mm，且將近 80% 的泥砂小於 0.01 mm，平均粒徑(d_m)與中值粒徑(d_{50})則分別約為 2.45×10^{-3} mm 與 3.69×10^{-3} mm。在排砂效果分析方面，本研究以排砂濃度效率(η_c)探討高桶式旋流漏斗排砂器之排砂效果。

$$\eta_c = [(C_i - C_o) / C_i] \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

式中， C_i ：流入排砂器內之渾水含砂濃度； C_o ：由排砂器溢流出之溢流水含砂濃度，單位 g/L 或 ppm。

三、試驗結果分析與討論

在高桶式旋流漏斗排砂器設計上，引導含砂水流由入流管沿著圓形漏斗室內側牆壁的切線方向流入圓形漏斗室做圓周運動，亦受到渦流運動影響於圓形漏斗室中心軸附近形成空氣柱。其主要受到入流管位於高桶式旋流漏斗排砂器單側影響，於模型內部之渦流中心位置與模型幾何中心並不重合，而渦流呈現些微偏心之情況，因此高桶式旋流漏斗排砂器內部流場是屬於三

維非軸對稱之複雜流況。泥砂顆粒隨著水流在圓形漏斗室內作螺旋圓周運動，以利用離心力與重力之交互作用，促使粗顆粒泥沙接觸漏斗室的邊壁而快速落淤，進而增加排砂的效果。但細顆粒泥砂則受到入流條件影響於過渡區產生紊動流況，造成泥砂顆粒向上運動，因此利用加高之圓形柱體室，使泥砂在重力作用下逐漸沉降至圓形漏斗室，在經過旋流排砂器內螺旋渦流排砂後，含砂量較低的水流則由溢流管流出。本研究試驗配置條件及結果列於表 3，結果之說明如下：

3.1 清水渦流特性的觀測

3.1.1 無設置水平懸板(Run-A₀)

在觀察沒有懸板配置(Run-A₀)條件下的水體流動試驗中瞭解，當水位在 25 cm (自排砂底孔起算)時，在圓形漏斗室內水體受到入射水流的影響，渦流流動較為強烈；待水位上升至 52.5 cm 時，形成渦流空氣柱，但受到入射水流及入流氣泡影響產生偏移與不穩情況，如圖 5 所示；當水位到達 61.5 cm 時，入流氣泡逐漸消失且影響程度變小，因此渦流空氣柱也相當穩定，隨著水位由 70.5 cm 逐漸上升至 95.7 cm 時，已沒有入流氣泡的影響，而渦流空氣柱也變得更加穩定，呈現完全發展的渦流空氣柱，自水面向下延伸至底孔，但當水體開始溢流一段時間後，接近底孔的渦流空氣柱會逐漸消失。在排砂器內水體開始溢流十分鐘後的渦流空氣柱則向下延伸約 48.0 cm。

表 3 高桶式旋流漏斗排砂器之配置條件及試驗結果

試驗編號	懸板數量	懸板位置	入流管直徑 D_1 (cm)	排砂底孔直徑 D_u (cm)	清水試驗	渾水試驗		
					渦流空氣柱深度 (cm)	平均入流含砂濃度 \bar{C}_i (g/L)	平均溢流含砂濃度 \bar{C}_o (g/L)	平均排砂濃度效率 $\bar{\eta}_c$ (%)
Run-A ₀	0	無	2.0	0.6	48.0	35.0~45.0	1.72	96.1
Run-1B ₁	1	上			18.0		1.00	97.7
Run-1B ₂	1	中			13.0		1.78	96.0
Run-1B ₃	1	下			9.0		1.44	96.5
Run-2B ₁₂	2	上-中			9.0		0.84	98.3
Run-2B ₁₃	2	上-下			3.0~4.0		0.66	98.2
Run-2B ₂₃	2	中-下			3.0~4.0		0.50	98.5
Run-3B ₁₂₃	3	上-中-下			2.0~3.0		0.37	98.9



圖 5 無設置水平懸板時排砂器內清水渦流觀察

3.1.2 設置單一懸板(Run-1B₁、Run-1B₂、Run-1B₃)

在單一懸板中分為 Run-1B₁ (上懸板)、Run-1B₂ (中懸板)及 Run-1B₃ (下懸板)三種配置進行觀測。從下懸板(Run-1B₃)配置的觀測試驗中得知，因下懸板設置於入流管上方對於流速較快的入射水流進入圓形漏斗室有穩定流況的作用，而隨著水位的上升亦能降低及壓制入射水流紊動其上方之流況，有增加圓形漏斗室排砂效能及穩定圓形柱體室流況之功效；在此配置條件下的渦流空氣柱向下延伸約 9.0 cm。設置中懸板(Run-1B₂)時的渦流空氣柱長度則約 13.0 cm，顯示下懸板配置對於壓制入射水流紊動及穩定圓形柱體室內流況的能力較優於中懸板。在設置上懸板(Run-1B₁)時的渦流空氣柱向下延伸約 18.0 cm，

其渦流空氣柱長度較長顯示其對於壓制入射水流紊動之效果較差，但從觀測中瞭解上懸板將可降低水體表層紊動，進而達到穩定渦流表面(取水層)之情況。綜觀設置單一懸板的觀測渦流空氣柱長度變化得知，當水平懸板設置於不同的位置時，對於排砂器內部流場穩定有著不同的功用。

3.1.3 設置雙懸板(Run-2B₁₂、Run-2B₁₃、Run-2B₂₃)

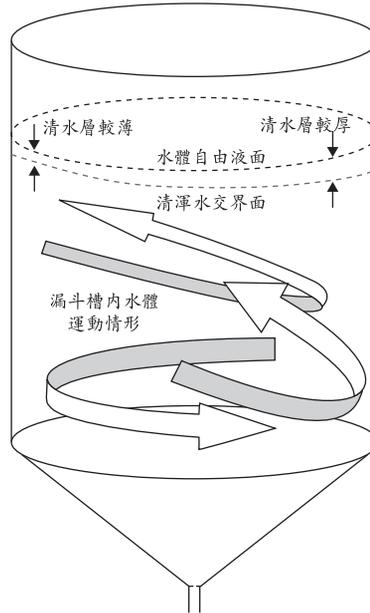
雙懸板的配置可分為 Run-2B₁₂ (上-中懸板)、Run-2B₁₃ (上-下懸板)及 Run-2B₂₃ (中-下懸板)等三種。在配置上-中懸板(Run-2B₁₂)的條件下，渦流空氣柱向下延伸長度約為 9.0 cm，相較於單一懸板配置上懸板(Run-1B₂)與中懸板(Run-1B₂)條件下，空氣柱長度減短約 6.0 cm~8.0 cm，但與 Run-1B₃ (下懸板)配置時之空氣柱長度相同。而



(a)無設置懸板(Run-A₀)



(b)有設置上下懸板(Run-2B₁₃)



(c)清渾水交界面水流波動

圖 6 清渾水交界面之觀察

於 Run-2B₁₃ 與 Run-2B₂₃ 的配置條件下，當水體溢流十分鐘後，渦流空氣柱的長度僅自水面向下延伸 3.0 cm~4.0 cm，相較於 Run-2B₁₂ 的試驗條件，其空氣柱減短約 5 cm。由設置兩懸板的觀測試驗得知，隨著懸板數量的增加，漏斗槽內流況有趨於穩定的現象，尤其當有設置下懸板的情形，則對於壓制入射水流紊動並穩定流場有較顯著的影響。

3.1.4 設置三懸板(Run-3B₁₂₃)

從上述說明中大致可瞭解改變懸板配置及數量對於渦流空氣柱之間的相互關係，根據觀測三懸板(Run-3B₁₂₃)配置結果瞭解，在表層水體溢流十分鐘後的渦流空氣柱長度約 2.0 cm~3.0 cm，因此於三懸板配置情況下，將使漏斗槽內水體更加穩定。各種懸板配置於排砂器中發揮各種不同穩定流場的特性，進而達到提升排砂效果之功用。

3.2 清渾水交界面之觀察

在渾水試驗平均入流含砂濃度為 40 g/L 時，觀察上層溢流口附近清渾水交界面之變化，清渾

水交界面位置隨著時間的增加，其交界面位置也有逐漸下降的趨勢，因此於溢流口之水體會較為清澈。清渾水交界面位置的高低將直接影響溢流含砂濃度。但除此因素之外，另一個影響排砂能力之因素為排砂器內水體進行渦流運動所造成的水面波動，於清渾水交界面產生忽高忽低的現象，當渾水界面之波峰到達溢流口時，溢流含砂濃度將會升高，反之渾水界面波谷到達溢流口時，則會有較低的溢流含砂濃度。清渾水交界面產生忽高忽低的現象，僅發生於未設置上懸板的條件下。上懸板配置對於抑制清渾水交界面不穩定的波動現象有明顯的效果。反觀在沒有設置上懸板時，即使水體表面流速呈現穩定狀態，但其所產生的清渾水交界面仍將受到水流的影响而呈現波動且不穩定，清渾水交界面受水流波動影響示意圖，如圖 6 所示。所以上懸板有其存在的必要性，除了有穩定表面流況的作用外，尚有減緩清渾水交界面波動的功效及區隔清水與渾水之功能，避免清渾水交界面下濃度較高的水體被帶往溢流口，進而提升高桶式旋流漏斗排砂器之排砂能力。

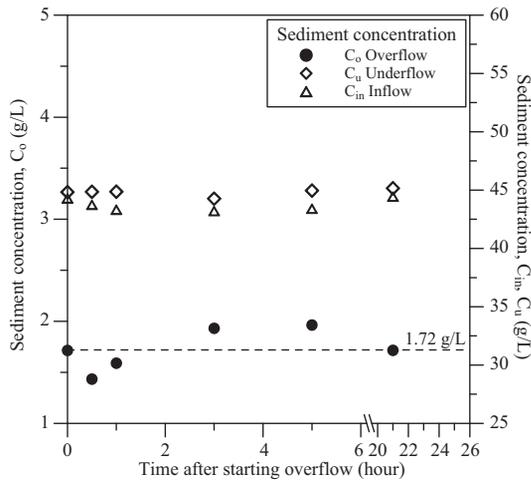


圖 7 無懸板配置下入流、底孔出流及頂部溢流之含砂濃度隨時間變化

3.3 排砂效果分析

3.3.1 無水平懸板(Run-A₀)

在無設置水平懸板情況下的排砂效果試驗中，入流含砂濃度(C_i)、底孔出流含砂濃度(C_u)及頂部溢流含砂濃度的變化，如圖 7 所示。圖中顯示入流及底孔出流含砂濃度較無明顯的變化，顯示隨著時間變化下無設置懸板時的入流及底孔出流含砂濃度是相當均勻。而溢流口出水平均含砂濃度(\bar{C}_o)變化約在 1.45 g/L 至 2.0 g/L 之間，平均約為 1.72 g/L。經試驗觀察瞭解受到排砂器內水體產生清渾水交界面，因此其含砂濃度值低於入流及底孔含砂濃度甚多，但溢流出的泥砂濃度值亦受到清渾水交界面波動的影響產生跳動，並導致溢流水體將清渾水交界面下含砂濃度較高的水體帶出。在無設置水平懸板情況下入流濃度約為 45.0 g/L，底孔出流濃度約為 43.5 g/L，頂部溢流濃度約為 1.72 g/L，平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 96.1%。

3.3.2 設置單一懸板(Run-1B₁、Run-1B₂、Run-1B₃)

單一懸板配置試驗中瞭解，試驗過程前 5 個小時的入流含砂濃度(C_i)與底孔出流含砂濃度(C_u)的範圍約介於 40 g/L~45 g/L，但隨著時間增加，配置中懸板(Run-1B₂)與下懸板(Run-1B₃)的情況下，入流以及底孔出流的含砂濃度會略為下降，

其原因為部分泥砂會沉積於中懸板及下懸板區域導致回流的泥砂量略為減少所致。在溢流含砂濃度(C_o)方面，在試驗過程前幾小時的清渾水交界面並不清楚且清水層混濁，因此開始的溢流含砂濃度(C_o)較高，但隨著時間的增加，泥砂在圓形柱體室持續進行沉降運動，數小時後會產生較清晰且明顯的清渾水交界面，此時清水層透光度較高。在底部配置懸板(Run-1B₃)時的平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)約為 1.44 g/L，排砂濃度效率(η_c)最高約為 98.3%，最低為 94.8%，其平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 96.5%。在配置單一中懸板(Run-1B₂)情況下，平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)約為 1.78 g/L，排砂濃度效率(η_c)最高約為 97.7%，最低為 93.2%，其平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 96.0%，相較於無懸板配置(Run-A₀)的情況其排砂能力並無顯著的提升，如圖 8 及圖 9 所示。

在配置單一上懸板(Run-1B₁)的條件下，其入流含砂濃度(C_i)的範圍約介於 42.5 g/L 至 45 g/L，而隨著時間增加入流以及底孔出流的含砂濃度無太大的變化，主要是因為在上懸板區域之泥砂顆粒較細，較不會產生泥砂沉積的現象。在配置下懸板(Run-1B₁)情況下之排砂濃度效率(η_c)最高約為 98.5%，最低為 97.1%，其平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 97.7%，而平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)則約為 1.00 g/L，相較於無設置懸板配置(Run-A₀)時的平均含砂濃度約略降低 40% (0.72 g/L)，顯示配置上懸板(Run-1B₁)確實能有效抑制渦流槽內水體表面的波動並提升排砂能力。

3.3.3 設置雙懸板(Run-2B₁₂、Run-2B₁₃、Run-2B₂₃)

在雙懸板配置試驗中，入流含砂濃度(C_i)的範圍介於約 30 g/L 至 55 g/L，而隨著時間增加於入流及底孔出流含砂濃度會逐漸下降，如圖 10 所示，其中以中-下懸板配置(Run-2B₂₃)所下降之幅度為最大，其原因在於部分泥砂落淤於中懸板及下懸板導致回流的泥砂量略為減少所致。在上-中懸板配置(Run-2B₁₂)的試驗結果顯示，平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)約為 0.84 g/L，排砂濃度效率(η_c)最高約為 99.0%，最低為 96.6%，其平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 98.3%，相較於單一上懸板配置(Run-1B₁)時的平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)降低約

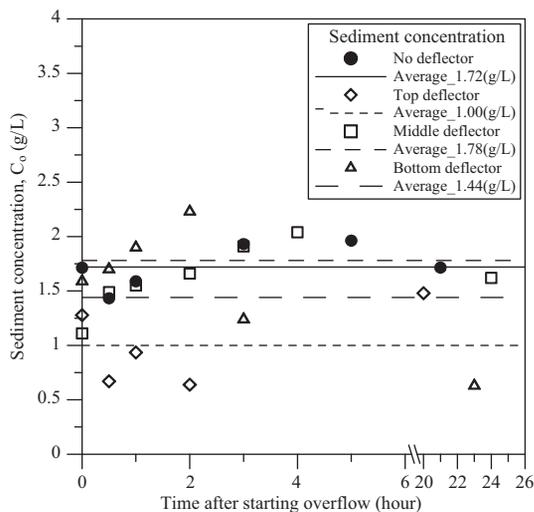


圖 8 無懸板與單一懸板配置下，溢流含砂濃度隨時間之變化

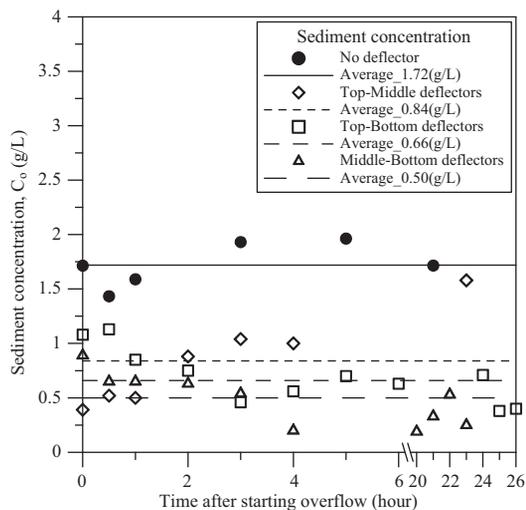


圖 10 無懸板與雙懸板配置下，溢流含砂濃度隨時間之變化

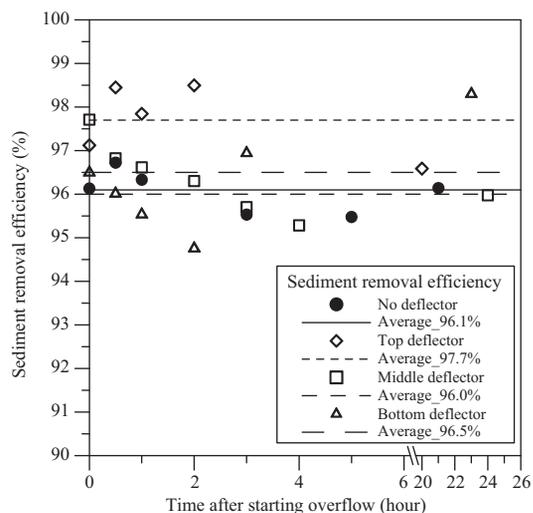


圖 9 無懸板與單一懸板配置下，排砂濃度效率隨時間之變化

16%，而相較於單一中懸板配置(Run-1B₂)情況下降低約 53%。在配置上-下懸板(Run-2B₁₃)情況下，平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)約為 0.66 g/L，較配置 Run-2B₁₂ 的平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)約降低 21%，而排砂濃度效率(η_c)最高約為 98.9%，最低為 97.2%，其平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 98.2%。在中-下懸板配置(Run-2B₂₃)條件下試

驗所得到的結果，平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)約為 0.50 g/L，相較於配置 Run-2B₁₂、Run-1B₁ 及 Run-A₀的平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)，則分別降低約 40%、50%及 71%，顯示在中-下懸板配置(Run-2B₂₃)條件下，對於排砂系統之排砂能力有顯著的提升，而排砂濃度效率(η_c)最高約為 99.4%，最低為 97.8%，其平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 98.5%。在雙懸板配置下排砂濃度效率隨時間的變化圖，如圖 11 所示，在此三種形式下的雙懸板配置(Run-2B₁₂、Run-2B₁₃、Run-2B₂₃)，在排砂效率差異不大，且平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)皆在 98.0%以上。而排砂濃度效率亦隨著時間變化有些微的變動，由圖中得知於配置 Run-2B₁₂ 的條件下，初始的排砂濃度效率為最高，卻隨著時間的增長而下降；配置 Run-2B₂₃ 的排砂濃度效率大約維持在 98.5%；而配置 Run-2B₁₃ 之排砂濃度效率則隨時間的增加呈現提高的現象。整體而言，高桶式旋流漏斗排砂器在雙懸板配置下的排砂能力皆優於單一懸板的配置。由此可知將具有區隔清渾水交界面的上懸板與抑制入射水流紊動及穩定圓形柱體室內流場的中懸板及下懸板進行搭配應用，對於排砂效能會有顯著之提升。

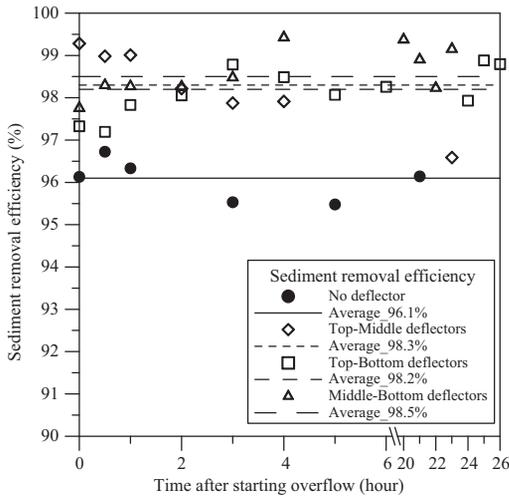


圖 11 比較無懸板與雙懸板配置下排砂濃度效率隨時間之變化

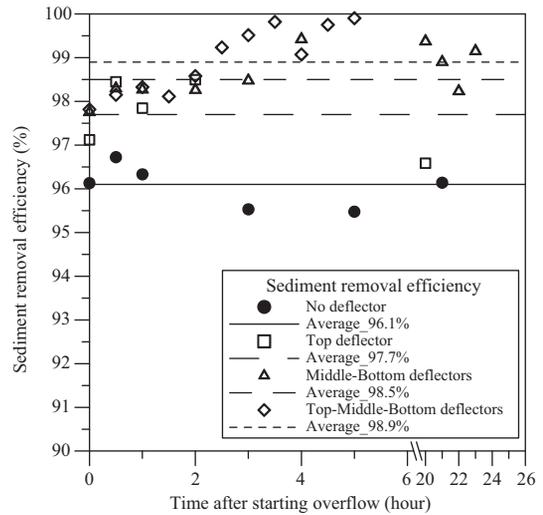


圖 13 比較無懸板、單一懸板、雙懸板與三懸板配置下排砂濃度效率隨時間之變化

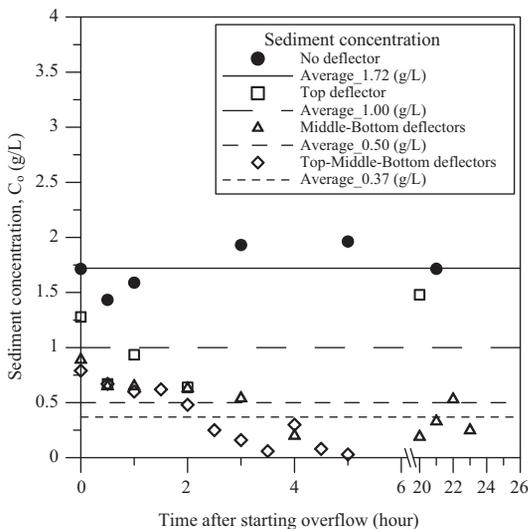


圖 12 比較無懸板、單一懸板、雙懸板與三懸板配置下溢流含砂濃度隨時間之變化

3.3.4 設置三懸板(Run-3B₁₂₃)

在圓柱桶內上、中、下均配置懸板(三懸板)的情況下，其溢流含砂濃度皆維持在 1.0 g/L 以下，而平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)則約為 0.37 g/L，如圖 12 所示，相較於無懸板配置(Run-A₀)之平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)降低約 78.5%。在此三懸板配置(Run-3B₁₂₃)的條件下，其平均排砂濃度效

率($\bar{\eta}_c$)則約為 98.9%，如圖 13 所示，相較於無懸板配置(Run-A₀)時之平均排砂濃度效率，則提高約 2%~3%。因此由平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)及平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)中瞭解，高桶式旋流漏斗排砂器於三懸板配置下的排砂效率優於雙懸板及單一懸板之配置。在三懸板配置情況下，各懸板皆能有效發揮其主要功用，下懸板抑制圓錐體室內入射水流之紊動；上懸板發揮穩定清渾水交界面之作用；中懸板則能有效穩定圓形柱體室內之流況，並進而達到穩定渦流槽內流況之功效，增加泥砂顆粒於渦流槽內沉降的時間，提升排砂器對於細顆粒泥砂之排砂效率。

四、研究結論

高桶式旋流排砂器將渾水引入漏斗槽內進行旋流運動，並利用重力及離心力作用下，達到水砂分離之效果，本研究針對「高桶式旋流漏斗排砂器」進行水工模型試驗，並改變水平懸板配置位置及數量，以探討懸板配置對內部渦流特性及排砂效率之影響，本試驗研究結論說明如下。

1. 在清水渦流特性觀察試驗中得知，在無懸板配置時的渦流空氣柱自水面向下延伸約 48.0 cm，而單一懸板(Run-1B₁、Run-1B₂、Run-1B₃)配置

下的渦流空氣柱分別為 18.0 cm、13.0 cm 及 9.0 cm，雙懸板(Run-2B₁₂、Run-2B₂₃、Run-2B₁₃)配置時的渦流空氣柱則約介於 3.0 cm~9.0 cm，而三懸板(Run-3B₁₂₃)配置時的渦流空氣柱長度約 2.0 cm~3.0 cm 之間，因此隨著設置懸板數量的增加，渦流空氣柱長度則逐漸減短，於三懸板配置(Run-3B₁₂₃)時更為明顯。設置懸板確實能有效減緩漏斗槽內之流速，進而降低渦流表面紊動的情況，達到穩定流場之功效，尤其以設置下懸板的作用最為明顯，其次為中懸板，而上懸板則對於穩定水體表面流況有明顯作用。

2. 在渾水試驗得知，表層溢流口附近清渾水交界面的位置隨著時間的增加，其交界面位置也有逐漸下降的趨勢，因此於溢流口之水體會較為清澈，而排砂器內所進行之渦流運動將造成清渾水交界面產生忽高忽低的現象，渾水界面之波峰到達溢流口時，溢流含砂濃度將會升高，所以清渾水交界面位置的高低將直接影響溢流含砂濃度。上懸板配置對於抑制清渾水交界面不穩定的波動現象有明顯的效果，可避免含砂濃度較高的水體被帶往溢流口。
3. 在渾水試驗方面，本研究以平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)及平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)兩參數分析排砂器之排砂效率。單一懸板配置條件下於排砂濃度效率方面，以配置上懸板(Run-1B₁)為最佳，其次為下懸板(Run-1B₃)與中懸板(Run-1B₂)，其中配置單一中懸板(Run-1B₂)與無配置懸板(Run-A₀)的結果相當。有雙懸板配置的排砂效果皆優於單懸板配置的排砂效果，其中以配置中、下懸板(Run-2B₂₃)的排砂效果最佳。各懸板位於不同位置上皆有其特殊之功用，下懸板能抑制圓形錐體附近入射水流所造成之紊動；上懸板能達到區隔清渾水交界面之作用；中懸板則能有效穩定圓形柱體室內之流況，因此在設置上、中、下三懸板(Run-3B₁₂₃)的情況下，會有較佳之排砂效果。
4. 高桶式旋流漏斗排砂器於配置三懸板(Run-3B₁₂₃)的情況下平均溢流含砂濃度(\bar{C}_o)則約為 0.37 g/L，此溢流濃度比雙懸板配置時低

26.0%~56.0%；比單一懸板配置時低 63.0%~79.2%；相較於無懸板配置時低 78.5%。在三懸板配置條件下，平均排砂濃度效率($\bar{\eta}_c$)則約為 98.9%。試驗結果顯示設置三懸板時的排砂效果優於雙懸板，更優於單一懸板的配置。但懸板配置的數量是否越多越好，或者三懸板之配置是否為最佳配置，則有待進一步之研究。

5. 此外，高桶式旋流漏斗排砂器利用其較高之桶身使泥砂顆粒有較長的時間進行重力沉降，以利用於細顆粒泥砂之排除。目前本文以 H_p/D 大於 1 或小於 1 作為高桶式及低桶式旋流漏斗排砂器之分類，只是為了分辨方便，尚未經過嚴格之物理條件探討是否 $H_p/D = 1$ 為最適當之分類基準值，此部分有待未來研究加以探討。

謝 誌

本研究承蒙行政院國家科學委員會計畫「水力旋流器排除懸浮泥砂之力學機制研究」(NSC 100-2221-E-006-202-MY3)的經費補助，特此誌謝。

參考文獻

1. 余新豔、邱秀云、劉芬、牧振偉、李琳(2008)，「渾水水力分離清水裝置溢流性能的影響因素試驗研究」，新疆農業大學學報，第 31 卷，第 2 期，第 81-84 頁，中國大陸。
2. 李琳、牧振傳、周著(2004)，「漏斗式全沙排沙技術在陝西東雷抽黃灌區泥沙治理的成功實踐」，新疆農業大學學報，第 27 卷，第 3 期，第 46-51 頁，中國大陸。
3. 李琳、牧振傳、周著(2007)，「排沙漏斗截沙率計算」，水利水電科技進展，第 27 卷，第 4 期，第 50-54 頁，中國大陸。
4. 周著、王長新、侯杰(1991)，「強螺旋流排沙漏斗的模型試驗和原型觀測」，水利水電技術，第 11 期，第 44-48 頁，中國大陸。
5. 邱秀云、肖俊、周著、侯杰(2006)，「渾水水力分離清水裝置清水流場特性試驗研究」，新疆農業大學學報，第 29 卷，第 4 期，第 56-61 頁，中國大陸。

6. 邱秀云、侯杰、周著(1999)，「排沙漏斗的流場特性及輸沙機理」，中國農村水利水電，第4期，中國大陸。
7. 徐郁超(2008)，「導流墩對漏斗式排砂器內流場穩定效果之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
8. 徐燕、邱秀云、李琳(2006)，「渾水分離清水裝置無懸板時的流場數值模擬」，新疆農業大學學報，第29卷，第1期，第58-62頁，中國大陸。
9. 陳偉東、徐燕、邱秀云、劉芬(2007)，「渾水水力分離清水裝置的流場數值模擬」，水力發電，第33卷，第5期，第27-30頁，中國大陸。
10. 黃聰憲(2007)，「漏斗式排砂器水流特性及排砂效率之試驗研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
11. 詹錢登、阮光長、徐郁超、林程翰(2010)，「高桶式旋流排砂器排砂效率之試驗研究」，中華防災學刊，第二卷，第二期，第137-150頁。
12. 詹錢登、羅偉誠、蔡長泰(2007)，「水力旋流漏斗排砂之試驗研究(2/2)」，經濟部水利署水利規劃試驗所。
13. 劉芬、邱秀云、陳偉東、李琳、趙濤(2007)，「渾水水力分離清水裝置的優化試驗研究」，新疆農業大學學報，第30卷，第2期，第81-86頁，中國大陸。
14. 劉善均、張建民、曲景學、伊曉林(2003)，「排砂漏斗優化及輸砂特性試驗研究」，四川大學學報，第35卷，第4期，第6-9頁，中國大陸。
15. 譚冬初(1998)，「烏斯圖河渠首的排沙漏斗設計」，水利水電科技進展，第18卷，第6期，第50-53頁，中國大陸。
16. Athar, M., Kothiyari, U. C., and Garde, R. J. (2002), "Sediment Removal Efficiency of Vortex Chamber Type Sediment Extractor." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128(12), 1051-1059.
17. Curi, K. V., Esen, I. I., and Velioglu, S. G. (1979). "Vortex type solid liquid separator." *Prog. Water Technol.*, 7(2), 183-190.
18. Esen, I. I. (1989). "Solid liquid separation by vortex motion, solid-liquid flow." 1(1), 21-27, 31005, Toulouse, Cedex, France.
19. IPRI (Irrigation and Power Research Institute) (1989) "Design norms for vortex settling basin." Rep. No. HY/R/17/89-90, Amrista, Punjab, India.
20. Paul T. C., Sayal S. K., Sakhuja V. S., and Dhillon G. S. (1991), "Vortex-settling basin design considerations." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 117, No. 2, pp. 172-189.

收稿日期：民國 100 年 4 月 8 日

修正日期：民國 100 年 6 月 30 日

接受日期：民國 100 年 7 月 6 日