邊界受限豎井進水口附近水理試驗研究

Experimental Study of Flow Field near Boundary Limited Intake Pipe

國立成功大學 國立成功大學		國立成功大學	經濟部水利署	經濟部水利署	
水利及海洋	水利及海洋	水利及海洋	南區水資源局	第六河川局	
工程學系	工程學系	工程學系	副工程師	管理課課長	
副教授 教授		博士後研究員			
呂 珍 謀*	賴泉基	詹 勳 全	蕭維德	謝 瑞 章	
Jan-Mou Leu	Chan-Ji Lai	Hsun-Chuan Chan	Wei-Te Hsiao	Jui-Chang Hsieh	

摘 要

本文以水工模型試驗探討豎井式進水口在不同流況情形下(包括:浸沒型、臨界 浸沒型與自由流型三種)和進水口設置結構物與否之流場特性。試驗用聲波都卜勒流 速儀(ADV)量測進水口之二維流場,討論在各種試驗條件下之其流量率定曲線、流 速分佈和紊流動能分佈特性。

本研究所進行試驗,其出口管徑福祿數 F_D 介於 1.10~2.51 之間、浸沒水深福祿數 F_h 介於 1.51~3.09 之間、出口管徑雷諾數 R_D 介於 3.84×10⁴~8.80×10⁴之間及浸沒水深雷諾數 R_h 介於 9.21×10³~1.76×10⁵之間。試驗結果顯示自由流型流況時,同溢頂水深,無設置結構物的試驗組較有設置結構物的試驗組流量為大;到達浸沒型流況時,進水口設置結構物與否對流量已無影響。就流場特性而言,相同流況下,流速向量進入角的範圍值隨高程上升而遞減;與無設置結構物之試驗組相較,進水口設置結構物會導致自由流流況之流速極大值降低;但浸沒流況時,受壓力流的影響,流速極大值降低現象不明顯。紊流動能較高區域集中在流場之左上角;不同流況下,以浸沒型流況之紊流動能較高,進水口有無配置結構物,於紊流動能平均值差異不顯著;自由流型流況時,進水口有結構物配置,明顯可以看到紊流動能極大值降低的趨勢。

關鍵詞:進水口,流速,紊流動能。

ABSTRACT

Detailed measurements of flows near a vertically flowing downward intake pipe with

and without attached structures were presented. Emphasis is given to the effect of attached structures on the flow properties of different flow types. The experiments comprised measurements of rating curves for three flow types, including submerged type, critical submerged type and free-flow type, and detailed measurements of flow characteristics by using an acoustic Doppler velocimeter (ADV) for two flow types, including submerged type and free-flow type.

It is shown that a significant reduction of the intake discharge by the attached structures for critical submerged type and free-flow type. The intake discharge is only dependent on the flow depth rather than the attached structures for the submerged type. With attached structures, the maximum velocity decreases by 40% compared to that without attached structures for free-flow type. The existence of large turbulent kinetic energy is present at upper left area. Flows of submerged type with the highest turbulent kinetic energy, compared to the other two flow types. With attached structures, the maximum turbulent kinetic energy decreases by 19% compared to that without attached structures for free-flow type.

Keywords: Intake pipe, Velocity, Turbulent kinetic energy.

一、前言

井式進水口被廣泛地應用於高水位的水 庫、低水位的河床取水站及防洪池排水系統。眾 所周知,為了防止雜物進入進水口內部,在豎井 開口處常加設攔污柵;為了使進水口水流流速較 為均匀,在豎井開口處常加設導流墩;為了防止 進水口附近渦流對結構物產生破壞,在豎井開口 處常加設抗渦板。這些設施均是進水口所必需之 結構物,但其存在卻或多或少會對進水口附近之 流場造成影響。以往對於進水口流場的研究,大 多集中在進水口未設置結構物的情況下,水位與 進水口捲氣渦流的關係,即進水口的臨界浸沒 (critical submergence, 定義為進水口捲氣渦漩的 頂點剛好到達進水口入口)條件,對於進水口渦流 的結構甚少有研究提及,更遑論進水口設置結構 物對水理影響。進水口流場主要存在自由表面渦 流與邊界形成的渦流,當渦流進入進水口內部可 能造成取水效率降低、進水口結構物的震動與結 構物損害,藉由進水口流場的瞭解,對將來反應 在進水口設計條件甚為重要。

目前在豎井式進水口之設計上,雖然有一些 基本規範可供參考,但是仍無法找到完全無問題 (trouble-free)豎井式進水口。一般工程實務或研 究上,要尋找新設計進水口潛在問題,或針對已 經發生問題的進水口尋求解決方案,多透過模型 建置,以染料(dye injection)注入的方式進行觀察 試驗,然後對面臨的問題提出修正方案,以往這 樣的試驗方式,主要是基於時間與經費的考量, Melville 等人(1994)在回顧進水口這類的研究時 曾經做過綜合性的評估,指出隨著量測科技的進 步,進水口流場的觀測可以用比較新穎的方式進 行,提供較為準確可信的試驗資料。

有鑑於豎井式進水口為水利工程常見的設施,而現有可供參考之準則又無法滿足實際複雜 之進水口加置結構物的設計,基於由簡而繁的研 究邏輯,本文乃針對進水口水理進行試驗量測, 探討進水口有無加置結構物對流場所造成之影 響。

二、前人研究

過去關於進水口流場之研究可大致分為兩 個部分,一是進水口幾何型態對於臨界浸沒 (critical submergence)形成之影響,另一則是探討 進水口周圍渦流形成之原因和條件。根據不同的 設計目的,由進水口設置的角度可以分為:垂直

向上、傾斜向上、水平、傾斜向下與垂直向下等 五種形式(Anwar, 1965; Hite 及 Mih, 1994; Denny, 1955), 一般水庫與河川採用的進水口設計, 主要 以以重力方式取水,所以多採用垂直向上的形 式。進水口可能設置於渠道或水庫中,而導致進 水口有不同的入流條件,其入流條件可以分為有 漸近流速(with approaching velocity)與無漸近流 速(without approaching velocity), 針對垂直向上型 進水口不同幾何型態與入流條件,從事臨界浸沒 研究的有 Anwar (1965, 1967, 1968); Jain 等人 (1978); Odgaard (1986); Hite 及 Mih (1994); Gulliver 及 Rindels (1987); Yildirim 及 Kocabas (1995, 1998, 2000, 2002)。Jain 等人(1978)的研究 考慮了環流對渦漩生成的影響。Gulliver 及 Rindelsn (1987)提出臨界浸沒與雷諾數、環流 數、韋伯數、福祿數及一些未知因素的經驗關係 式,但由於公式太過複雜,造成實際應用上的困 難。Yildirim 及 Kocabas (1995)利用解析解分析渠 道均匀漸近流速的進水口,並與試驗結果比對, 發現有均勻漸近流速時臨界浸沒水深等於水面 洩降所形成圓形(Critical Spherical Sink Surface, CSSS)的半徑,流向進水口的徑向速度(radial velocity)為渠道均匀入流速度的一半。Yildirim 及 Kocaba (1995)指出 CSSS 仍適用於靜水無漸近 流速的情況,但進水口流速與流場的幾何特性有 關,且隨著進水口與邊界的距離改變。Yildirim 等人(2000)研究臨界浸沒水深受進水口與邊界 的距離影響時,發現所發展的解析模式對臨界浸 沒水深超估了80%,可見進水口捲氣渦漩的複雜 性。Yildirim 及 Kocabas (2002)針對其發展的解 析模式再進行改良,對預測臨界浸沒水深則有了 較好成效。

進水口周圍渦流形成方面,多利用試驗的方 式探討,但研究多集中在垂直向下型進水口,此 型式的進水口無法經由重力排水,一般以外力 (馬達)抽水的方式取水。以往 Denny (1956)、 Anwar (1966)、Ouick (1970)、Anwar 等人(1978)、 Jain 等人(1978)與Odgaard (1986)針對此類問題研 究的焦點在於自由表面渦漩在進水口附近形成 的研究,忽略進水口前漸近流速分佈的影響。近 來,Ansar 及 Nakato (2001)利用超音波都卜勒流 速儀(acoustic Doppler velocimeter, ADV)量測無 橫流(without cross-flow)和有橫流(with cross-flow) 之三維垂直向下型進水口流場,結果發現在無橫 流之情形下,進水口前流速呈現均匀分佈,並在 進水口附近產生輕微的自由表面渦漩;在有橫流 之情形下,進水口前方會產生一旋轉流區域,進 水口附近可觀測到強烈之自由表面渦漩,進水口 下方則產生強烈之水下渦漩。林(2003)以超音波 都卜勒流速儀對進水口前方閘門設置與否進行 試驗比較發現;閘門配置下,進水口流場之流速 分佈頗為均匀;在有閘門配置下,水體通過閘門 後,會在閘門後方發生分離現象並明顯形成渦 流,可見進水口附近結構物的設置影響流場頗 大。

由前述討論可知,藉由試驗量測資料和理論 分析,探討不發生捲氣渦漩之浸沒水深和流場參 數、幾何條件的關係是前人研究的一個重點。在 工程實務上則是在進水口設置抗渦板,減少進水 口渦漩發生的機會,但以往的文獻仍未針對抗渦 板設置對進水口流場特性的影響進行探討。

三、進水口流況概述

進水口由於捲氣(Air entrainment)狀況發生 與否,使流況產生極大的差異,亦增高其複雜 性。一般而言,可以用臨界浸沒發生時的水位(*S_c*) 做為分界,將近水口的流況概分為三種型態,分 別為浸沒型(Submerged Type)、臨界浸沒型 (Critical Submerged Type)與自由流型(Free-flow Type),三種不同型態的流動方式如圖 3-1 所示, 以下將對此三種流況作說明:

(1)浸沒型

進水口上方浸沒的溢頂水深 h 大於 S_c,進水 口並無捲氣現象,水流進入進水口內後以滿管的 型態流動,驅動水流的能量為重力與壓力,所以 管內的流量隨浸沒水位增加而遞增。

(2) 臨界浸沒型

進水口所捲入的空氣剛好接觸到進水口開



圖 3-1 進水口流況分類(修改自 Yildirim 等人, 2000)

口處,上方溢頂水深 h 等於 S_c,由於捲氣現象形 成空氣心渦漩(Air-core vortex),當進水口有捲氣 而發生水面洩降形成圓形區域,水流進入進水口 內後雖然以滿管的型態流動,但是在管路末端會 有空氣進入並形成自由液面,由於流況屬於臨界 現象,可能因為水位些微的變化,即破壞平衡狀 態,而管內的捲氣效應,可能造成結構物震動、 損壞或出流量不穩定。

(3)自由流型

進水口水流以自由溢流的方式入流,上方溢 頂水深 h 小於 S_c,水流進入進水口內後以非滿管 的型態流動,整個管路內部都有自由液面存在, 一般流量的估算可以採用堰流公式為之。

一般而言,將進水口流況自由流型隨著水位 上升變化到浸沒型的過程,稱為漸變段流況,呈 現的動態變化,在觀測上有相當的困難度。

四、試驗設備器材與方法

本研究由水槽內試驗觀測點所量測得到的 流速,相同水位各觀測點量測結果組合成整個流 場,並進行進水口有加置結構物前後臨界浸沒、 流量溢頂水深關係、流速分佈與流場型態差異的 說明與分析。以下就試驗儀器與佈置等方面加以 說明。

4-1 試驗水槽佈置

本實驗係於國立成功大學水利及海洋工程 學系生態水力實驗室河工試驗場試驗水槽進 行。水槽長 300cm,寬134cm,高172cm,水槽 的流量由大型渦旋式抽水馬達將水由儲水槽抽 至定水頭水箱,待定水頭水箱自然溢流後流量能 穩定流出,利用導流管引流提供;流量以導流管 加設的金屬控制閥門控制;並以三角銳形堰做為 控制水槽內水位的溢流堰;水流經導流管進入試 驗水槽入口處後設置整流設施,以利有效整流期 使流況達到均勻流目的;進水口下方以塑膠管連 接至直徑 5cm 的出水口,以利進行出流量觀察與 檢定。試驗水槽的整體佈置如圖 4-1 所示。

4-2 流速儀

試驗量測流速採用挪威 NORTEK 公司生產 之二維側視型(2-D side-looking)聲波都普勒流 速儀(acoustic Doppler velocimeter,簡稱 ADV), 配件包括流速儀本體、訊號傳輸線與數據處理 卡,流速儀本體含機身與探頭兩部分,機身長 40.79cm、直徑 63.5cm,探頭由聲波發射器與接 收器構成,數據處理卡需與電腦 ISA 插槽配合使 用。ADV 流速儀可以同時擷取 x 軸與 y 軸之 點流速,資料取樣頻率為 25Hz,可量測介於± 3cm/sec~±250cm/sec 間的流速,量測解析度為



圖 4-1 試驗水槽的整體佈置



圖 4-2 進水口模型及其各部位名稱

0.01cm/sec,量測誤差為±0.5%。各測點相關之流 動特性計算依下列公式處理:

上式中,*U、V*=分別為 x 方向與 y 方向之時間平 均速度;*T*=量測的延時;*u、v*=分別為 x 方向與 y 方向之瞬時速度;TKE=紊流動能。

4-3 進水口模型

試驗研究之進水口模型,採用透明壓克力製 作,以利觀察進水口的流況,進水口設施包括漸 變段、導流墩、導流堤、下蓋與溢洪管頂上蓋, 其中導流墩與導流堤皆有 12 座,相關尺寸為 1.內徑:7.5cm;2.導流墩:長7.2cm、寬1.5cm、 高11.5cm;3.導流堤12座:長2.2cm、寬1.5cm、



圖 4-3 進水口模型各部位尺寸(單位:公分)

高 11.5cm;4. 上蓋: 直徑 35cm、厚 0.5cm;5. 下蓋直徑:38cm、厚 1.5cm;6. 模型整體高度: 49cm。圖 4-2 為製作完成的進水口模型及其各部 位名稱,圖 4-3 進水口模型各部位尺寸。本研究 試驗重點集中在有無結構物對流場的影響,進水 口無結構物之試驗組,即是將進水口模型之導流 墩、導流堤蓋與溢洪管頂上蓋拆除,僅以下蓋與 漸變段進行試驗。

4-4 進水口模型架設

試驗進行時,進水口模型以腳架加上固定裝 置才能直接放置於水槽內。腳架為角鋼製成的長 方體,其長度為45cm、寬度為45cm、高度設計 為試驗者自行調整的方式,因為試驗水槽得水位 為固定值,將進水口模型放置於腳架上時,藉由 腳架高度的調整,即可以控制進水口上方的溢頂 水深,進行不同流況的流場觀測;待腳架高度調 整完成後,進水口以塑膠繩固定於腳架上,腳架 底部並壓置磚塊,防止腳架受盡水口浮力發生位 置偏移;試驗進行前並以水準氣泡盒放置於進水 口上蓋,檢定進水口與腳架整體的水平狀況。

4-5 試驗條件

本文旨在比較近水口有無結構物時對於附 近流況的影響,試驗過程中當臨界浸沒型的流況

代號	結構物	流況	h (cm)	Q (cms)	U _{ave} (m/sec)	F _D	F_h	R _D	R _h	量測 平面(cm)
А	有	浸沒型	10.0	2.94×10 ⁻³	1.49	2.14	1.51	7.50×10^4	1.50×10^{5}	Z=1,-2
В	有	自由流型	1.20	1.51×10^{-3}	0.77	1.10	2.24	3.84×10^{4}	9.21×10^{3}	Z=0.5,-2
С	無	浸沒型	10.0	3.46×10 ⁻³	1.76	2.51	1.78	8.80×10^{4}	1.76×10^{5}	Z=1,-2
D	無	自由流型	1.20	2.08×10 ⁻³	1.06	1.51	3.09	5.30×10^4	1.27×10^{4}	Z=0.5,-2

表 4-1 流場量測試驗組試驗條件表



圖 4-4 試驗進行所採用的坐標系統

發生,由於捲氣現象形成空氣心渦漩,此時流場 為非穩定狀態,捲氣現象時而發生時而消失,水 面有明顯波動情況,試驗的觀測條件不易控制, 所以在流場量測試驗,並不對臨界浸沒型的流況 進行量測。本研究共進行以下各試驗的觀測試 驗:

- 近水口有無結構物率定曲線量測:共有兩組 試驗組。
- 近水口有無結構物流場量測:包括浸沒型有 無結構物流場量測與自由流型有無結構物 流場量測,總共進行四組試驗流場量測; 而每個試驗組共量測不同深度的兩個平面 流場,所以共獲得八個流場平面進行分析探 討。

表 4-1 為本研究進行流場量測試驗組之試驗 條件表,表中也列出相關之無因次參數,其中 $U_{AVE}=Q/(1/4\pi D^2)$ (D=5cm 為出口直徑)為出口平 均流速; $F_D=U_{ave}/(gD)^{0.5}$ 為出口管徑福祿數; $F_D=U_{ave}/(gh)^{0.5}$ (h 為溢頂水深)為浸沒水深福祿 數; $R_D=U_{ave}D/v$ 為出口管徑雷諾數; $R_h=U_{ave}h/v$ 為浸沒水雷諾數。本研究所進行試驗之 F_D 介於 1.10-~2.51 之間、 F_h 介於 1.51~3.09 之間、 R_D 介於 3.84×10⁴~8.80×10⁴ 之間及 R_h 介於 9.21× 10³~1.76×10⁵之間。



圖 4-5 量測平面上流速量測點之空間上分佈

4-6 流速量測點位

圖 4-4 為本研究所採用的坐標系統,在 X-Y 平面上將坐標原點社置於水槽的右下角,進水口 模型頂蓋的圓心位於 X-Y 平面坐標(-67cm, 67cm) 的位置,由於每個試驗組需量測不同深度的平面 流場,所以需要訂定高程 Z 的坐標軸,本研究在 觀測溢頂水深時以進水口下蓋上平面為溢頂水 深的起算點,所以在平面流場的量測時,亦採用 相同方式訂定坐標軸 Z,浸沒型流況量測 Z=1cm 及-2cm 的平面流場;自由流型由於溢頂水深較 小,量測 Z=0.5cm 及-2cm 的平面流場,不同平 面的流場可用於比較垂直方向不同水層間的差 異。

圖 4-5 為每一量測平面上流速量測點位在空 間上之分佈,虛線為流速量測之測線,X 與 Y 方向測線交會點代表流速量測點。流速量測點分 佈考慮流速儀受水槽固體邊壁之影響,X 方向測 線,由距離邊壁 13.5cm 處開始佈置,每隔 6cm 佈置一條測線,共有 20 條測線;Y 方向測線, 由距離邊壁 6cm 處開始佈置,每隔 6cm 佈置一





條測線,共有 21 條測線。理論上共有 420 個流 速量測點,但進水口附近之量測點受結構物影 響,流速儀無法直接量測,本研究針對流場量測 之量測點共有 374 個,試驗進行時每測點的量測 延時為 30sec。

五、結果分析與討論

由於進水口流場之主要動力源自於水體落 入進水口內部重力之作用,水體自進水口不斷被 排出,靠近進水口處,進水口吸入效應明顯,流 線會向進水口集中;距離進水口愈遠,進水口吸 入效應逐漸式微。

5-1 流量率定曲線特性

在流量率定的過程中發現,進水口由於捲氣 狀況發生與否,如文獻中所述可將流況概分為 三種,分別為浸沒型、臨界浸沒型與自由流型, 進水口有無結構物將會導致這三種流況發生的 時機有所差異。相同的水位時,會因為結構物設 置與否而有不同的流況。圖 5-1 之縱坐標代表 流量Q(cms)與橫坐標代表溢頂水深h(m),兩個 坐標皆採用對數值,可以清楚看出自由流型流況 流量隨著溢頂水深增加而迅速上升,臨界浸沒型 之流量隨著溢頂水深增加而正上升的速度已經開 始減慢,浸沒型之流量隨著溢頂水深增加而上升 的情況已經相當緩慢。自由流型流況時,同溢頂 水深無設置結構物的進水口有較大的流量,原因 在於進水口結構物會阻滯水流的通過;臨界浸沒



圖 5-2 進水口有佈置結構物於浸沒型流況(代號 A) 之流速場

型流況時這種現象逐漸減緩;到達浸沒型流況時,進水口設置結構物與否對流量已無影響,原因在於浸沒流況屬於壓力流,水流動力主要由進水口上層覆蓋水體所驅動,結構物的阻滯效應相較之下並不明顯。

5-2 流場特性

圖 5-2 為進水口有佈置結構物於浸沒型流況 (代號 A)之流速場,若以 Y=67cm 為角度之起算 水平線,採用右手定則,定義進水口附近流速向 量進入進水口所涵蓋的角度範圍為進入角時, Z=1cm 之平面流場,進入角介於 45°~270°之間,



圖 5-3 進水口有佈置結構物於自由流型流況(代號 B)之流速場

而流場統計特性之平均流速為 1.03cm/sec、流速 極大值為 3.84cm/sec; Z=-2cm 之平面流場,進入 角介於 45°~180°之間,流場統計特性之平均流 速為 1.00cm/sec、流速極大值為 2.91cm/sec。 圖 5-3 為進水口有佈置結構物於自由流型流況 (代號 B)之流速場,流場左上角明顯可以看到有 一渦流存在,流場右半部顯示流向進水口趨勢, 尤其右方流場可清楚看到一股水流直接流向進 水口,流場左半部顯示出水流遠離進水口趨勢, 但距離進水口較遠的流速向量較流向進水口 小,左右半部流場相比較,左半部流場似乎不合 理,造成此現象的原因,可能是自由流型流況溢



圖 5-4 進水口無佈置結構物於浸沒型流況(代號 C) 之流速場

頂水深小(僅 1.2cm),流速儀探針頭大小相較於 水深的比例顯得較大,導致探針頭進入流場內 的擾動效應明顯,這部分結果有需要後續研究 進一步釐清。Z=0.5cm之平面流場,進入角介於 270°~90°之間,而流場統計特性之平均流速為 0.55cm/sec、流速極大值為 1.69cm/sec; Z=-2cm 之平面流場,進入角介於 270°~90°之間,流場統 計特性之平均流速為 0.53cm/sec、流速極大值為 1.85cm/sec 及。不同高程之流場比較發現,流場 內平均流速隨高程上升而遞增。

圖 5-4 為進水口無佈置結構物於浸沒型流況 (代號 C)之流速場, Z=1cm 之平面流場,進入角



圖 5-5 進水口無佈置結構物於自由流型流況(代號 D)之流速場

介於 90°~180°之間, 而流場統計特性之平均流速 為 1.03cm/sec 及流速極大值為 3.33cm/sec; Z=-2cm 之平面流場,進入角介於 180°~270°之 間,流場之平均流速為 1.01cm/sec、流速極大 值為 3.10cm/sec。不同高程之流場比較發現,浸 沒型流況流速極大值隨高程而遞增;與有結構 物流場比較,結構物設置與否對流速極大值影 響不大,推斷應該是浸沒型流況為壓力流所驅 動,流速受浸沒水深影響較大, 而兩個浸沒試驗 組(代號 A 與 C)具有相同的浸沒水深。圖 5-5 為 進水口無佈置結構物於自由流型流況(代號 D)之 流速場,與有結構物自由流型之試驗組相較,流 場結構性較完整,Z=0.5cm 之平面流場,進入角 介於 270°~135°之間,而流場之平均流速為 0.66cm/sec 及流速極大值為 2.88cm/sec;Z= -2cm 之平面流場,進入角介於 315°~135°之間, 流場之平均流速為 0.51cm/sec 及流速極大值為 1.92cm/sec。不同高程之流場比較發現,流場內 平均流速雖然隨高程上升而遞增。針對佈置結 構物與否,自由流型流況為比較對象,可以發現 進水口設置結構物會使流場之流速平均值與極 大值降低,其幅度約分別為 17%與 40%。以上述 之討論亦條列於表 5-1 中。

5-3 紊流動能分佈特性

紊流動能大小可以代表流場內部渦流運動 時速度擾動的特性,且最能表示紊流流場中紊流 特性之通用指標,藉由流場內紊流動能之分佈 吾人可以瞭解渦流運動之紊動能量之大小為 何。相同地本節紊流動能分佈之比較以進水口 有無結構物及不同流況為主,圖 5-6(a)、(b) 與圖 5-7(a), (b)分別為試驗代號 A 至 D 之紊流動 能分佈圖,圖中紊流動能之單位為 cm^2/sec^2 ,紊 流動能分佈特性亦條列於表 5-1 中。由圖 5-6 至 圖 5-7 相互比較可以歸納出,所有試驗組紊流動 能較高區域集中在流場之左上角;不論進水口有 無配置結構物,浸沒型流況之紊流動能均高於 自由流型流況,以進水口有佈置結構物為例, 浸沒型(代號 A)流況之紊流動能,其平均值為 0.33 cm²/sec²、極大值為 1.80 cm²/sec², 自由流 型(代號 B)流況之紊流動能,其平均值為 0.17 cm²/sec²、極大值為 0.66 cm²/sec²;考慮進水口有 無配置結構物時,不同流況於紊流動能平均值差 異不顯著,但比較紊流動能極大值可以發現,進 水口設置結構物具有降低紊流動能極大值的趨 勢,以自由流型流況為例,紊流動能降低之幅度 約為19%。

六、結 論

本文旨在以試驗的方式探討進水口加置結 構物前後流場的差異,過程中以體積量測法進行 率定曲線觀測,並以二維側視型聲波都普勒流速

項目	流況	代號	Z (cm)	進入角	流速 (cm/sec)	紊流動能 (cm ² /sec ²)
進水口 有設置 結構物	浸沒型	А	1	45°~270°	AVE=1.03 MAX=3.84	AVE=0.33 MAX=1.80
			-2	45°~180°	AVE=1.00 MAX=2.91	
	自由流型	В	0.5	270°~90°	AVE=0.55 MAX=1.69	AVE=0.17 MAX=0.66
			-2	270°~90°	AVE=0.53 MAX=1.85	
進水口 無設置 結構物	浸沒型	С	1	90°~180°	AVE=1.03 MAX=3.33	AVE=0.36 MAX=1.69
			-2	180°~270°	AVE=1.01 MAX=3.10	
	自由流型	D	0.5	270°~135°	AVE=0.66 MAX=2.88	AVE=0.18 MAX=0.81
			-2	315°~135°	AVE=0.51 MAX=1.92	

表 5-1 進水口流場統計特性

註:AVE 代表物理量之平均值,MAX 代表物理量之極大值





儀進行流場量測,試驗結果共獲得兩組率定曲線 與八個流場平面分佈,利用試驗結果分析比較了 進水口加置結構物前後流場的差異與不同流況 進水口附近流場的變化,包括率定曲線、流場特 性與紊流動能分佈。根據本研究所得之分析比較 結果提出以下數點結論:

- 就流量溢頂水深關係而言,自由流型流況,流 量隨著溢頂水深上升而迅速增加,浸沒型流 況,流量隨著溢頂水深上升而緩慢增加;自由 流型流況時,同溢頂水深,無設置結構物的進 水口有較大的流量;到違浸沒型流況時,進水 口設置結構物與否對流量已無影響;在進水口 加設結構物,會導致相同流況需要較高水位才 會發生。
- 2. 就流場特性而言,相同流況下,流速向量進入 角的範圍值隨高程上升而遞減;平均流速隨高 程上升而遞增,但程度並不顯著;流速極大值 隨高程上升而遞增。與無設置結構物之試驗組 相較,進水口設置結構物會導致自由流流況, 流場之流速平均值與極大值降低,以本文之進 水口佈置為例,約分別可降低 17%與 40%;浸 沒流況流速降低現象不明顯,主要原因為壓力 流的影響。
- 3. 以紊流動能分佈而言,紊流動能較高區域集中 在流場之左上角;不同流況下,以浸沒型流況 之紊流動能較高,進水口配置結構物與否,於 紊流動能平均值差異不顯著,但進水口配置結 構物具有降低流場紊流動能極大值的趨勢,以 本文之進水口佈置為例,約可降低 19%。

參考文獻

- Ansar, M., and T. Nakato, 2001. Experimental study of 3d pump-intake flows with and without cross flow. J. Hydr. Engrg., ASCE, 127(10), pp. 825-834.
- Anwar, H. O., 1965. Flow in a free vortex. Water Power, Apr., pp. 153-161.
- 3. Anwar, H. O., 1967. Flow at low head intakes. Water Power, Nov., pp. 455-457.
- Anwar, H. O., 1968. Prevention of vortices at intakes. Water Power, Oct., pp. 393-401.
- Denny, D. F., 1956. An experimental study of air-entraining vortices in pump sumps. Proc., Inst. of Mech. Engrs., London, 170(2), pp. 106-116.
- Gulliver, S. J. and A. J. Rindels, 1987. Weak vortices at vertical intakes. J. Hydr. Engrg., ASCE, 113(9), 1101-1116.
- Hite, J. E. Jr. and Mih, W. C., 1994. Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. J. Hydr. Engrg., ASCE, 120(3), pp. 284-297.
- Jain, A. K., R. J. Garde, and K. G. Ranga Raju, 1978. Vortex formation at vertical pipe intakes. J. Hydr. Div., ASCE, 104(10), pp. 1429-1445.
- Melville, B. W., R. Ettema and T. Nakato, 1994. Review of flow problems at water intake pump sumps. EPRI Rep. TR-103474, Res. Proj. RP3456-01 Final Rep., Iowa Inst. of Hydr. Res.,

University of Iowa, Iowa City, Iowa.

- Odgaard, A. J. 1986. Free-surface air core vortex. J. Hydr. Engrg., ASCE, 112(7), pp. 610-620.
- Ouick, M. C., 1970. Efficiency of Air-Entraining Vortex Formulation, J. of Hydr. Div., ASCE, Vol. 96, No. 7, pp. 1403-1416.
- Yildirim, N. and F. Kocabas, 1995. Critical submergence for intakes in open channel flow. J. Hydr. Engrg., ASCE, 121(12), pp. 900-905.
- Yildirim, N. and F. Kocabas, 1998. Critical submergence for intakes in still-water reservoir. J. Hydr. Engrg., ASCE, 124(1), pp. 103-104.
- Yildirim, N. and F. Kocabas, 2002. Prediction of critical submergence for an intake pipe." Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 40, No. 4, pp. 507-518.
- Yildirim, N., F. Kocabas, and S.C. Gülcan, 2000. Flow boundary effects on critical submergence of an intake pipe. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 4, pp. 288-297.
- 16. 林仲柏,"協和電廠進水口閘門對於抽水井 流場影響之研究",國立成功大學水利及海 洋工程學系碩士論文,2003。

收稿日期:民國 96 年 4 月 13 日 修正日期:民國 96 年 5 月 8 日 接受日期:民國 96 年 5 月 16 日