

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.01.013

张军, 侍克斌, 高亚平, 等. 圆中环沉沙排沙池特性研究[J]. 水利水运工程学报, 2016(1): 87-92. (ZHANG Jun, SHI Ke-bin, GAO Ya-ping, et al. Flushing characteristics of sediment basin with circular-ring[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(1): 87-92.)

## 圆中环沉沙排沙池特性研究

张 军<sup>1,2</sup>, 侍克斌<sup>1</sup>, 高亚平<sup>2</sup>, 王 进<sup>2</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 圆中环沉沙排沙池是新型二级水沙分离设施, 采用物理模型试验方法研究中心出水环不同高度工况下的排沙特性及最大沉沙粒径。研究表明: 圆中环利用倒锥底坡上的高速水流将沉沙汇入冲沙槽, 保证了在小于设计流量运行时排出沉积泥沙。同时要求冲沙槽起点至冲沙廊道后有适当的落差, 保证水流在冲沙槽内形成高速环流及强挟沙力将泥沙自动排入下游河道。在设计流量条件下, 中心出水环不同高度工况处理的泥沙粒径范围为 1~84 mm。相比中心出水环不加高工况, 中心出水环加高 9 cm, 沉沙分布更均匀, 有效沉沙体积及沉沙量增加, 排沙时间稍有缩短, 沉沙时间增加, 排沙耗水率更小。圆中环依靠水力作用并以间歇排沙方式处理推移质泥沙, 加高中心出水环可提高处理悬移质能力, 减小排沙耗水率。

**关键词:** 圆中环沉沙排沙池; 中心出水环; 排沙特性; 排沙耗水率

**中图分类号:** TV673

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2016)01-0087-06

我国西北地区水资源短缺, 河流含沙量大, 河道引水比高, 二级泥沙处理设施作为引水工程的常用建筑物, 其主要功能是沉沙、排沙保护引水渠道及引水式发电机组不受泥沙直接冲蚀而产生破坏, 同时它们也在农业节水灌溉方面发挥重要作用。目前已有排沙涡管<sup>[1-3]</sup>、复合型沉沙池<sup>[4]</sup>、排沙漏斗<sup>[5-8]</sup>、微灌用新型沉沙池<sup>[9-11]</sup>等泥沙处理设施。水利工作者通过物理模型研究其排沙特性并取得良好效果。

圆中环沉沙排沙池(以下简称圆中环)是一种新型二级泥沙处理设施, 利用水工模型研究其排沙特性及最大沉沙粒径, 为“圆中环”优化结构设计和施工提供依据, 对其推广应用具有重要意义。

### 1 材料与方 法

圆中环主要由进水渠、进水廊道、汇流槽、冲沙槽、倒锥底坡、中心出水环、溢流堰、冲沙廊道、环流闸、冲沙闸、出水渠等建筑物组成<sup>[12-13]</sup>, 基本结构如图 1。呼图壁圆中环外径为 32 m, 内径为 30 m, 中心出水环直径 2.0 m。本次模型以呼图壁圆中环为原型, 根据重力相似准则, 模型几何比尺  $\lambda_L = \lambda_H = 14$ , 浑水模型设计流量为 2.72 L/s。为保证悬沙沉降相似, 模型沙采用河道天然粉沙, 密度为 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 模型沙水下重度比尺为 1, 悬移质泥沙沉降相似比尺为 3.74, 粉沙最大粒径 1.0 mm, 中值粒径  $d_{50} = 0.15$  mm, 小于 0.075 mm 颗粒含量为 14.6%。浑水含沙量 2 kg/m<sup>3</sup>。沉沙、排沙时间比尺  $\lambda_t = 3.74$ 。为保证推移质沉降相似, 模型沙采用天然粗砂, 推移质泥沙沉降相似比尺为 14, 最大粒径 10 mm, 密度 2.66 g/cm<sup>3</sup>, 中值粒径  $d_{50} = 1.3$  mm。排沙特性试验模型沙为天然粉沙, 含沙量由南京水利科学研究院生产的 CYS—III 型智能测沙颗粒分析仪测试, 读数

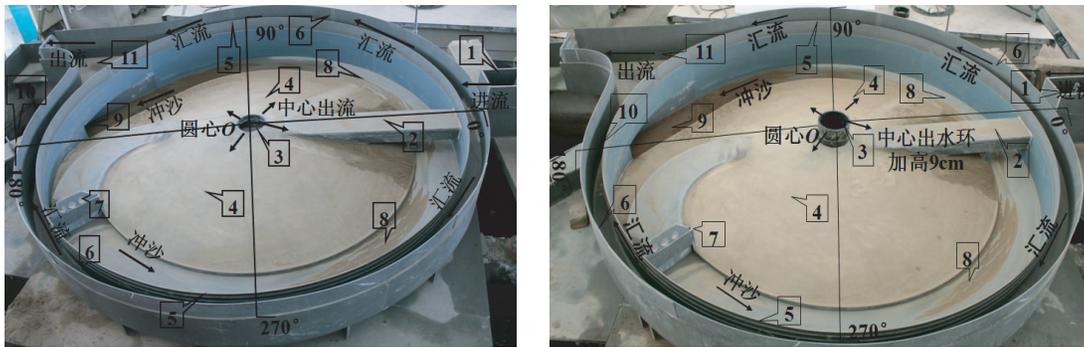
收稿日期: 2015-03-10

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2014211B001)

作者简介: 张 军(1981—), 男, 四川资中人, 高级工程师, 博士, 主要从事水利水电工程设计、施工理论及方案优选研究。E-mail: zhang244183367@163.com

精度为  $0.01 \text{ kg/m}^3$ 。最大粒径测试的模型沙选取天然粉沙及粗砂,颗粒粒径试验对圆中环内及出口沉沙进行取样,结合筛析法及密度计法进行沉沙颗粒最大粒径测量,圆中环内最大沉沙粒径按推移质泥沙比尺 14 进行原型粒径换算,出口最大沉沙粒径按悬移质泥沙比尺 3.74 进行原型粒径换算。

圆中环中心出水环不同加高工况的流速分布规律研究表明:中心出水环加高 9 cm 工况比中心出水环不加高工况的流速分布更均匀,但中心出水环加高后顶高程不宜超过溢流堰顶高程<sup>[12]</sup>。因此,本文针对圆中环中心出水环不加高及加高 9 cm 工况进行其排沙特性试验研究,描述排沙过程及计算排沙耗水率,进一步测试分析最大沉沙粒径。



(a) 模型中心出水环不加高

(b) 模型中心出水环加高9 cm

1: 进水渠; 2: 进水廊道; 3: 中心出水环; 4: 倒锥底坡; 5: 溢流堰; 6: 汇流槽; 7: 环流闸; 8: 冲沙槽; 9: 冲沙廊道; 10: 冲沙闸; 11: 出水渠

图 1 圆中环结构布置

Fig. 1 “Circular-ring” structure diagram

## 2 试验结果与分析

### 2.1 排沙特性试验

在中心出水环不加高条件下,浑水进入时,开始记录时间,并测出口含沙量,当圆中环出口含沙量迅速增加时,水流流速增加并挟带较多较粗沉沙颗粒排出圆中环,同时沉沙不断向溢流堰内侧推进并淤堵部分冲沙廊道出口,如图 2(a)所示,说明圆中环沉沙效率迅速降低,截沙率迅速降低,停止试验,记录沉沙时间及用沙质量。同时打开冲沙闸至孔口最大,记录排沙时间,圆中环内水位迅速下降,如图 2(b)所示,随着圆中环内水位迅速下降,由于较陡倒锥底坡的坡度较陡,水流出中心出水环后形成具有较强冲刷能力的高速水流,首先将倒锥底坡的沉沙汇入冲沙槽,同时部分泥沙随水流通过冲沙廊道进入下游河道,试验中发现,  $0^\circ \sim 180^\circ$  范围沉沙汇入冲沙槽的速度快于  $180^\circ \sim 360^\circ$  范围沉沙,分析原因主要是由于  $0^\circ \sim 180^\circ$  范围倒锥底坡坡度比  $180^\circ \sim 360^\circ$  范围陡,导致  $0^\circ \sim 180^\circ$  范围水流流速较大,水流动能较强,冲刷能力更大。



(a) 沉沙形态

(b) 冲沙闸打开

(c) 排沙后泥沙淤积

图 2 中心出水环不加高工况排沙过程

Fig. 2 Ejection process in the central outflow ring without being heightened

当倒锥底坡的沉沙大部分汇入冲沙槽内,打开环流闸,高速水流再将冲沙槽内泥沙自动排出圆中环进入下游河道。分析原因主要是由于冲沙槽过水断面面积束窄,冲沙槽起点至冲沙廊道后的渠道高差,水流在冲沙槽内迅速形成高速环流,以高流速及强挟沙力迅速将泥沙自动排出圆中环。通过试验发现,当环流闸孔口开度为0.5时,冲沙槽内环流流速可达到最大,水流动能大,冲刷能力强,排沙时间短,排沙效果较好。

当圆中环内沉沙基本冲洗干净后,关闭冲沙闸及环流闸进入正常运行工况,并记录排沙时间,如图2(c)所示,从该图可见圆中环内泥沙淤积死角为进水廊道顶部及环流闸后。同时,在冲沙槽的凸岸淤沙,延长排沙时间,分析原因主要是由于差异惯性力作用,在冲沙槽内产生弯道环流效应,凸岸淤沙,排沙效率降低。但上述淤沙量很小,不影响圆中环正常运行,总体排沙过程顺畅,可判定圆中环内沉沙基本冲洗干净,进入正常运行状态。

上述分析表明:圆中环排沙是利用进水水流在较陡的倒锥底坡上形成强冲刷能力的高速水流,能快速将倒锥底坡的沉沙汇入冲沙槽,由于冲沙槽过水断面面积束窄,冲沙槽起点至冲沙廊道后的渠道高差,水流在冲沙槽内迅速形成高速环流,以高流速及强挟沙力迅速将泥沙自动排出圆中环进入下游河道。

由图2可见,圆中环沉沙分布不均匀,135°~225°范围沉沙量较多;315°~15°范围沉沙量次之,其余范围沉沙量较小。分析有效沉沙体积较小的原因,主要是由于圆中环结构的影响,进水廊道位于0°及180°方向,180°方向受到水流惯性力作用,导致该断面及相应的影响范围水流流速较大,水流紊动扩散作用较强,含沙量大,所以该断面及其135°~225°范围沉沙量较多。中心出水环不加高工况下,沉沙和排沙时间分别为560和37 min,排沙耗水率为6.6%。

中心出水环加高9 cm 工况下,圆中环起始出口含沙量 $0.11 \text{ kg/m}^3$ ,截沙率为94.5%,沉沙时间700 min,出口含沙量 $0.14 \text{ kg/m}^3$ ,截沙率为93.0%,截沙率变化幅度小;沉沙时间790 min及800 min,观察到0°~360°范围沉沙接近水面,尤其是315°~15°范围沉沙水流流速增加并挟带较多较粗沉沙颗粒排出圆中环,同时沉沙不断向溢流堰内侧及冲沙廊道出口推进,如图3(a)所示,相应出口含沙量由 $0.30 \text{ kg/m}^3$ 增至 $0.36 \text{ kg/m}^3$ ,截沙率由85.0%下降到82.0%,截沙率每分钟下降0.3%。以上结果表明:圆中环截沙率及沉沙效率迅速降低,下游引水含沙量迅速增加并影响冲沙,需停水排沙。

中心出水环加高9 cm 工况排沙过程基本同圆中环中心出水环不加高工况一样,不再赘述。当圆中环截沙率迅速降低时,停止试验,打开冲沙闸,圆中环内水位迅速下降,如图3(b)所示,首先是0°~180°方向倒锥底坡的沉沙随水流汇入冲沙槽,分析原因主要是由于该范围倒锥底坡坡度较大,水流冲沙动能更强。随着冲沙时间延长,180°~360°方向沉沙随水流汇入冲沙槽,该范围冲沙时间较长。同时圆中环内存在进水廊道顶部及环流闸后泥沙淤积死角,如图3(c)所示。

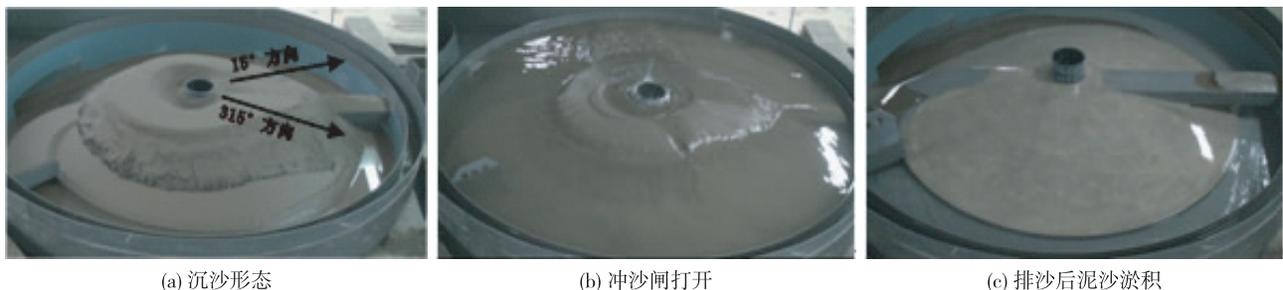


图3 中心出水环加高9 cm 工况排沙过程

Fig. 3 Ejection process in the central outflow ring with its height raised by 9 cm

由图3可见,中心出水环加高9 cm 工况沉沙形态和沉沙量分布均较均匀,究其原因主要是由于中心出水环加高9 cm 后,改变了“圆中环”的出水结构,中心出水环的各方向受到水流惯性力作用基本一致,导致流速及水流紊动扩散作用分布较为均匀,含沙量分布较均匀,所以沉沙量分布较均匀。

由表 1 及图 3 可见,中心出水环加高 9 cm 工况有效沉沙体积大,沉沙量多,沉沙时间长(800 min),排沙耗水率为 4.37%。在相同进口水流条件下,相比中心出水环不加高工况,中心出水环加高 9 cm 工况沉沙量分布均匀,有效沉沙体积增加,沉沙量更多。同时,中心出水环加高 9 cm 工况的出口含沙量更小,沉沙时间更长,排沙时间稍减小,截沙率增加,排沙耗水率小。

表 1 中心出水环不加高和加高 9 cm 工况排沙过程

Tab. 1 Sediment ejection result in the central outflow ring with and without heightening conditions

工况	时刻	出口含沙量/(kg·m <sup>-3</sup> )	时间差/min	工况	时刻	出口含沙量/(kg·m <sup>-3</sup> )	时间差/min
中心出水环 不加高	9:00	0.18	0	中心出水环 加高 9 cm	9:00	0.11	0
	14:00	0.18	300		17:45	0.12	545
	17:10	0.19	190		20:20	0.14	155
	18:00	0.24	50		21:40	0.22	80
	18:10	0.32	10		21:50	0.30	10
	18:20	0.39	10		22:00	0.36	10

### 2.2 最大沉沙粒径试验

对于中心出水环不加高工况,在清水模型设计流量  $Q=2.727\text{ L/s}$  条件下,进口水深为 17.2 cm。采用粉沙进行浑水试验时,含沙量  $C=2\text{ kg/m}^3$ ,当进口水深由 17.2 cm 增至 17.5 cm 时,粉沙由进水廊道通过中心出水环进入圆中环,进口水深增加至 17.8 cm 时大量粉沙涌出,中心出水环处出现粉沙淤积,如图 4(a)所示。

进行粗砂浑水试验时,含沙量  $C=2\text{ kg/m}^3$ ,当进口水深由 17.2 cm 增加到 17.8 cm 时,少量粗砂由进水廊道通过中心出水环进入圆中环,沉沙最大粒径 1 mm;进口水深增加到 19.0 cm 时部分粗砂涌出,沉沙最大粒径 4 mm;进口水深增加到 20.5 cm 时大量粗砂涌出,沉沙最大粒径 6 mm,随后继续试验,进口水深基本不增加,中心出水环处出现淤积,如图 4(b)所示。

上述试验结果表明:中心出水环处部分泥沙落淤使得进水口水深增加,但该处泥沙落淤不影响圆中环排沙。所以在实际运用中应适当加高进水渠道,满足安全运行要求。

圆中环内沉沙颗粒最大粒径按推移质粒径比尺 14 进行原型换算。在原型设计流量  $Q=2\text{ m}^3/\text{s}$  条件下,最大沉沙粒径为 84 mm。中心出水环不加高工况的截沙率为 90.9%,对粒径大于 1 mm 的泥沙颗粒完全沉积在圆中环内<sup>[13]</sup>。这表明:在设计流量条件下,圆中环主要处理泥沙粒径范围 1~84 mm,沉沙效率高,处理以推移质为主的多泥沙河流具有优势。

对于中心出水环加高 9 cm 工况,在相同进口浑水条件下,最大粒径试验过程及结果与不加高工况基本相同,不同的是进口水深变化,中心出水环加高 9 cm 工况进口水深比不加高工况的大,以下不再赘述。中心出水环加高 9 cm 工况的最大沉沙粒径为 84 mm。由图 5 可见,出口最大粒径按悬移质泥沙比尺 3.74 进行原型换算,中心出水环加高 9 cm 工况的出口最大粒径也为 1 mm,相对中心出水环不加高工况,中心出水环加高 9 cm 工况的出口小于 0.075 mm 颗粒含量增加,中值粒径减小,排沙耗水率减小。同时,两种工况的沉沙粒径范围相同。究其原



(a) 中心出水环处粉沙淤积 (b) 中心出水环处粗砂淤积

图 4 中心出水环不加高工况最大沉沙粒径

Fig. 4 Maximum particle-size of sediment in the central outflow ring without heightening conditions

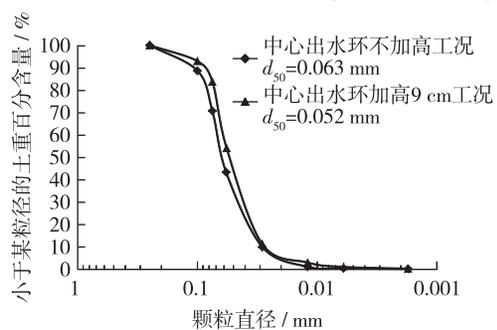


图 5 不同中心出水环高度工况出口沉沙颗分曲线

Fig. 5 Export desilting curves in the central outflow ring with different heightening conditions

因,主要是在相同进水廊道条件下,两种工况的进水流量相同,进口水流动能及挟沙力基本相同。进入廊道泥沙粒径基本相同,在中心出水环处,水流动能降低,部分较粗颗粒泥沙落淤,随着泥沙落淤,进水口处水深增加,直到进入廊道最大沉沙粒径可进入圆中环内,所以两种工况最大沉沙粒径范围相同,而进口水深不同。以上分析表明:在设计流量条件下,中心出水环加高 9 cm 工况不仅处理 1~84 mm 范围推移质泥沙效果较佳,而且还可提高圆中环处理悬移质泥沙能力。

### 3 结 语

通过对圆中环中心出水环不同高度工况的排沙特性及最大沉沙粒径研究,得出以下结论:

(1)圆中环排沙方式为间歇排沙,依靠水力作用并以较少的排沙耗水量迅速将沉沙自动排出。较陡的倒锥底坡为圆中环在小于设计流量运行时排出沉积泥沙奠定良好基础。为了圆中环迅速排出泥沙,要求冲沙槽起点至冲沙廊道后有适当的落差,以保证泥沙顺利进入河道。

(2)在设计流量及含沙量条件下,圆中环中心出水环不加高工况的沉沙分布不均匀,沉沙量及有效沉沙体积较小,排沙耗水率为 6.6%,中心出水环加高 9 cm 工况沉沙分布较均匀,沉沙量及有效沉沙体积较大,排沙耗水率为 4.37%,两种工况主要处理泥沙粒径范围 1~84 mm。圆中环处理推移质泥沙更具优势,但加高中心出水环可提高处理悬移质能力,排沙耗水率减小,同时在实际运用中应适当加高进水渠道超高,以满足安全运行要求。

### 参 考 文 献:

- [1] 张开泉,刘焕芳. 涡管螺旋流排沙的研究与实践[J]. 水利水电技术, 1991(11): 49-54. (ZHANG Kai-quan, LIU Huan-fang. A study of water-diverting and sand trapping by vortex tube and its application[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1991(11): 49-54. (in Chinese))
- [2] 王庆祥,李养志,程永华,等. 螺旋流排沙的试验研究和应用[J]. 泥沙研究,1990(2):63-70. (WANG Qin-xiang, LI Yang-zhi, CHEN Yong-hua, et al. Experimental study on the scour tube with spiral current and its application[J]. Journal of Sediment Research, 1990(2): 63-70. (in Chinese))
- [3] 李养志. 螺旋流排沙管泄流量计算方法[J]. 西北水资源与水工程, 1997, 8(1): 16-19. (LI Yang-zhi. Method of calculation of flow discharge in scour tube with spiral current[J]. Northwest Water Resources and Water Engineering, 1997, 8(1): 16-19. (in Chinese))
- [4] 黎运菜,冯英颜,王振平,等. 黄河禹门口提水枢纽工程复合型沉沙池的布置与模型试验[J]. 水利水电技术, 1992(1): 24-27. (LI Yun-fen, FENG Ying-yan, WANG Zhen-ping, et al. Layout and model experiment of composite sedimentation basin of Yumenkou key project for water lifting on Yellow River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1992(1): 24-27. (in Chinese))
- [5] 王顺久,周著,侯杰,等. 漏斗式全沙排沙设施模型试验及原型观测[J]. 水力发电, 2000(7): 31-33. (WANG Shun-jiu, ZHOU Zhu, HOU Jie, et al. Model test on the funnel-shaped desilting works and its prototype observation[J]. Water Power, 2000(7): 31-33. (in Chinese))
- [6] 周著,王长新,侯杰. 强螺旋流排沙漏斗的模型试验和原型观测[J]. 水利水电技术, 1991(11): 44-48. (ZHOU Zhu, WANG Chang-xin, HOU Jie. Model test on the sand funnel of strong swirling flow and its prototype observation[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1991(11): 44-48. (in Chinese))
- [7] 周著,邱秀云,侯杰,等. 漏斗式全沙排沙技术及其应用[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 95-98. (ZHOU Zhu, QIU Xiuyun, HOU Jie, et al. The total sand flushing funnel and application[J]. Advances in Water Science, 2001, 12(1): 95-98. (in Chinese))
- [8] 刘善均,张建民,曲景学,等. 排沙漏斗优化及输沙特性试验研究[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2003, 35(4): 6-9. (LIU Shan-jun, ZHANG Jian-min, QU Jing-xue, et al. Experimental investigation on sediment transport of sand funnel[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2003, 35(4): 6-9. (in Chinese))
- [9] 刘焕芳,宗全利. 溢流槽对定期冲洗式沉沙池沉淀效率的影响分析研究[J]. 泥沙研究, 2007(1): 44-48. (LIU Huan-

- fang, ZONG Quan-li. Study on effect of spillway trough on deposition efficiency of intermittent scouring sand basins[J]. Journal of Sediment Research, 2007(1): 44-48. (in Chinese))
- [10] 宗全利, 刘焕芳, 吴均. 连续冲洗式沉沙池截沙率试验研究[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(1): 16-19. (ZONG Quan-li, LIU Huan-fang, WU Jun. Experimental study on sand interception rate of continuous flushing sedimentation basin[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(1): 16-19. (in Chinese))
- [11] 宗全利, 刘焕芳, 李强, 等. 一种新型冲洗式沉沙池的设计探讨[J]. 长江科学院院报, 2005, 22(2): 13-16. (ZONG Quan-li, LIU Huan-fang, LI Qiang, et al. Design discussion on a new-type scouring sedimentation basin[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2005, 22(2): 13-16. (in Chinese))
- [12] 张军, 侍克斌, 高亚平, 等. 中心出水环高对圆中环沉沙排沙池流速分布影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(10): 113-115. (ZHANG Jun, SHI Ke-bin, GAO Ya-ping, et al. Study on the effect of velocity distribution by heightening central outflow ring in the circular rings desilting and sediment ejection basin[J]. Journal of the China Rural Water and Hydropower, 2014(10): 113-115. (in Chinese))
- [13] 张军, 侍克斌, 高亚平, 等. “圆中环”沉沙排沙池浑水沉沙特性[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 86-93. (ZHANG Jun, SHI Ke-bin, GAO Ya-ping, et al. Turbid water desilting characteristics in circular rings desilting and sediment ejection basin[J]. Journal of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13): 86-93. (in Chinese))

## Flushing characteristics of sediment basin with circular-ring

ZHANG Jun<sup>1,2</sup>, SHI Ke-bin<sup>1</sup>, GAO Ya-ping<sup>2</sup>, WANG Jin<sup>2</sup>

(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;  
2. Xinjiang Scientific Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** A model test method is applied to study the characteristics of sediment flushing and the maximum particle diameter of the sediment in the basin with the circular-ring which is a new water and sediment separation device with different heightening conditions of the central outflow ring. The research results show that the desilting inflow flushing trough by using high velocity flow on inverted cone bottom slope guarantees the discharge flow of depositing sediment to be less than design flow. Meantime, proper difference in height is required between the starting point of the flushing trough and the end of the flushing gallery, thus the desilting flow is automatically discharged into the downstream river course by high-speed circulation and strong sediment-carrying capacity in the flushing trough. Under design discharge conditions, the range of the maximum particle-size of sediment is 1 ~ 84 mm with the central outflow ring of different heights. When the central outflow ring is height by 9 cm, the desilting is distributed more uniformly, and effective desilting production and desilting volume increase. The sediment ejection time decrease and desilting time increases while the water consumption rate is smaller. The experiment results indicate that the “circular-ring” achieves automatically the discharge of sediment in an intermittent way, and can drain coarse-grain bed sediment. The treatment capacity of suspended load is increased and water consumption rate is decreased by appropriate heightening of the central outflow ring.

**Key words:** circular-ring desilting and sediment ejection basin; central outflow ring; sediment ejection characteristics; water consumption rate