

梭锥管内锥圈水沙分离机理及锥圈设计参数

李琳,谭义海,杨海华,王苗,邱秀云

(新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:从梭锥管内特有的泥沙沉降特性出发,根据泥沙运动力学和沉淀理论,重点分析梭锥管内锥圈对泥沙沉降特性的影响。以絮团为研究对象,通过力学分析和数值分析给出了满足泥沙不淤积且以较大速度沿锥圈内表面下滑的锥圈倾角范围,并根据沉淀理论推导出锥圈的最佳倾角为 45° 。理论推导出锥圈长度和锥圈间距,研究这两个参数对泥沙沉降速度的影响,结果表明在相同的水沙条件下,梭锥管可使更多泥沙发生沉降,其沉降能力大于没有加锥圈的普通容器。泥沙沉降速度与锥圈长度和锥圈间距的比值有关,比值越大,泥沙沉降速度越大,设计时建议选择较大的比值。

关键词:梭锥管;水沙分离;泥沙沉降;锥圈设计参数

中图分类号:TV149.3

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2013)03-0005-05

Water sediment separation mechanism and design parameters of conical circles in shuttle-conical tubes//LI Lin, TAN Yihai, YANG Haihua, WANG Miao, QIU Xiuyun (College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: According to the sediment movement mechanics and precipitation theory, the influences of conical circles in shuttle-conical tubes on sediment deposition characteristics are analyzed based on their unique sediment settlement characteristics. Taking flocs as the study object, the angle range of the conical circles to meet the sediment deposition at greater speed along their inner surface is presented by means of the mechanical analysis and statistical regression. Based on the precipitation theory, the deduced best angle of the conical circles is 45° . The influences of length and spacing of the conical circles on sediment settling velocity are also theoretically derived. The results show that the shuttle-conical tubes can make more sediment settle than the ordinary devices under the same water and sand conditions. The sediment settling velocity relates to the ratio of the length to the spacing. The larger the ratio is, the higher is the sediment settling velocity. Therefore, a larger ratio of the length to the spacing of the conical circles is suggested.

Key words: shuttle-conical tube; water sediment separation; sediment deposition; design parameter of conical circle

我国北方众多河流具有高度浑浊的特性,河水的泥沙质量浓度达数十甚至数百 kg/m^3 ,并且泥沙粒径极细,粒径小于 0.03 mm 的泥沙占含沙总量的40%以上,处理起来十分困难,致使高含沙流域的水资源有效利用率很低。目前,对于高度浑浊且含极细沙的水,一般都先用自然沉淀的方法进行预处理,再加混凝剂和絮凝剂进行絮凝,继而通过机械与水力共同作用将絮凝后的泥沙或其他固体颗粒排出,最后得到标准的工农业用水和生活用水。但研究发现,常用的絮凝剂聚丙烯酰胺遇到铁器极易分离为有毒的单体,水中残留物对人体健康的危害性很大。另外,排出的淤泥中含有聚丙烯酰胺,呈胶泥状,目前的处理方法是将其深埋在地下。这不仅占用空间,而且会污

染周边环境。因此,如何高效率、低能耗、低水耗且无化学污染地将高度浑浊水流中的水与沙或水与其他固体颗粒分离,并获取可以使用的城市用水和工农业用水成为研究人员极为关注的课题。本文介绍的新型水力分离水沙装置——梭锥管浑浊流体分离装置(简称梭锥管,专利号:zl200720146643.2)具有水沙分离效率高、耗水率低、无能耗、无化学污染的特点。锥圈作为梭锥管内泥沙沉降运动过程中重要的边界条件,对梭锥管的水沙分离性能起着关键作用。目前,谭义海等^[1-5]在前期已完成了梭锥管几何结构尺寸的优化以及内部锥圈布置角度、数量和位置的优化,分别从梭锥管外形尺寸、转轴偏离角度、内部锥圈倾角和泥沙的沉淀面积等方面分析了梭锥管的水

沙分离机理和影响梭锥管水沙分离效果的因素。但研究人员尚未从梭锥管内泥沙的沉降特性出发,探讨对梭锥管水沙分离起重要作用的锥圈倾角、锥圈长度和锥圈间距的理论确定方法。根据沉淀理论,颗粒的沉降速度是沉降面积的函数,而与沉降深度、时间无关。本文将两锥圈之间的小空间看作一单元进行运动学分析,从理论上推导出锥圈倾角、锥圈长度和锥圈间距对梭锥管水沙分离的影响及其设计原则,为设计人员提供参考。

1 梭锥管的工作原理

梭锥管主要由上锥管、下锥管、锥圈、浑水进流管、环状布水管、转轴、清水出口和浑水出口组成,如图1所示。上锥管与下锥管在锥底边缘处连成一体,呈梭形,上锥管顶部连接清水出口,下锥管底部连接排沙管,上锥管与下锥管连接形成的腔内轴向固定多个相互套叠的锥圈,锥圈与上锥管和下锥管内壁有间隙,浑水进流管固定在上锥管和下锥管连接部位外壁,并与沿上锥管和下锥管连接部位内壁固定的环状布水管连通。通过由装置内的锥圈构成的液体上升通道和悬混固体物质下降通道,使浑浊流体在重力作用下快速分离。梭锥管沉沙原理不同于斜板沉沙箱^[6],随着浑水进入,泥沙不断下沉并随挟沙水流通过浑水出口排出。同时清水从上部清水出口溢出。下锥管的锥形结构有利于泥沙排出,而不致于淤积在底部。整个梭锥管的梭形设计有利于整个装置绕转轴旋转和倾斜。前期试验研究^[5]表明,在待处理的浑水含沙浓度较低时,倾斜放置梭锥管有利于水沙分离。

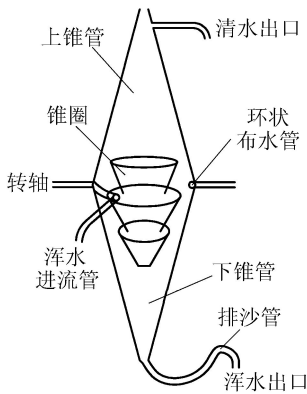


图1 梭锥管浑浊流体分离装置

梭锥管内水沙两相流运动轨迹如图2所示,图中实线表示水沙沿梭锥管边壁的清水流通道和中心的泥沙流通道做大循环的水沙流,即分离后的清水流沿清水通道上升并经清水出口流出,同时,梭锥管上部的泥沙不断下沉;虚线表示水沙在相邻锥圈间做小循环流动,即泥沙在梭锥管内受重力作用沉降,

当泥沙到达锥圈内表面时沿锥圈的内表面从锥圈上边缘流向下端;清水流则沿锥圈外表面从下边缘向上流动,这样在相邻锥圈之间形成环流。最终,经过各相邻锥圈分离后的泥沙流进入梭锥管中心处的排沙通道,并经过排沙管排出。

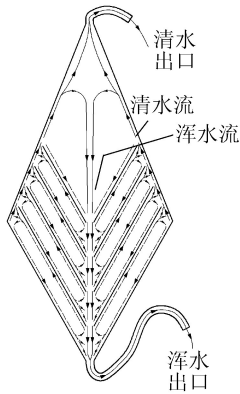


图2 梭锥管内水沙两相流运动轨迹

2 锥圈对泥沙沉降特性的影响及其设计参数

前期研究表明梭锥管内特有的锥圈结构加速了泥沙沉降,促进了水沙分离。从梭锥管内特有的流动现象可知,考虑单颗粒或单个絮团的沉降运动时,无论是静水沉降过程还是动水沉降过程,与普通容器内的泥沙自由沉降相比,锥圈作为梭锥管内泥沙沉降运动过程中重要的边界条件,迫使泥沙运动轨迹发生变化,即由沿着锥管竖直方向做自由沉降运动变化为自由沉降运动和贴锥圈壁面流动的组合。由泥沙运动力学可知,泥沙自由沉降速度与其粒径有关,当粒径不变时,自由沉降距离越短,其沉降时间越短,因此,梭锥管内的自由沉降时间与锥圈间距或个数有关,间距越小,自由沉降时间越短。在泥沙沿锥圈壁斜面下滑运动的阶段,泥沙受沿斜面流动方向的合力作用,下滑速度远大于自由沉降速度。通过锥圈的设置,减小了泥沙自由沉降的时间,加快了泥沙的下滑速度,与普通容器相比,梭锥管内的泥沙下沉同样的距离所需要的时间大幅度减少,达到了快速分离水沙的目的。考虑泥沙群体沉降时,沙粒之间的相互阻尼使每颗泥沙的沉速都降低。含沙浓度越高,泥沙的沉降速度也越小。但是梭锥管内每一对相邻锥圈间特有的逆时针或顺时针旋转的循环流促进泥沙颗粒不断碰撞,形成大于单颗粒的絮凝团,使循环水流携带泥沙上升的过程中水流拖曳力小于泥沙自重,从而使泥沙不断沉降,从循环水流中分离出来。另外,由沉淀理论^[7]可知,沉淀效率是沉淀面积的函数,沉淀面积越大,沉淀效率越高。在梭锥管中装设相互套叠的锥圈后,加大了沉降面

积,有利于加速泥沙的沉降。因此,合理的锥圈设计对于梭锥管内的水沙分离至关重要。锥圈的设计主要包括锥圈倾角、锥圈间距和锥圈长度的取值。

2.1 锥圈倾角

由沉淀理论可知,沉淀效率是沉淀面积的函数,沉淀面积越大,沉淀效率越高。锥圈倾角的大小决定了锥圈在水平面的投影面积,因而锥圈倾角是影响泥沙沉降的重要因素。理论上,为了增大沉淀面积,以提高梭锥管中泥沙沉降效率,在锥圈母线长度相同的情况下,锥圈倾角越小越理想,但锥圈倾角过小将影响泥沙沿板面下滑,所以锥圈倾角应满足以下两点要求:①落在锥圈壁面上的泥沙能够顺利地下滑;②锥圈水平投影尽可能大,以增大沉降面积。

试验使用的泥沙中值粒径为 0.019 mm,其中粒径小于 0.01 mm 的泥沙占 35%。粒径小于 0.01 mm 的泥沙为黏性颗粒,它们之间会发生絮凝现象,即许多颗粒凝聚在一起呈絮团状^[8]。宋根培^[9]按含沙量的高低将含黏性颗粒的混合沙群体沉降分为两类:①离散絮团和离散颗粒的组合沉降(低含沙量);②絮网结构体和离散颗粒的组合沉降(高含沙量)。含沙量的高低界限并不明确,有研究人员提出用 200 kg/m³ 作为标准。在梭锥管的水沙分离研究过程中,其待处理浑水含沙质量浓度小于 60kg/m³,属于低含沙量时的离散絮团和离散颗粒的组合沉降,此时离散絮团或颗粒的沉降主要受重力作用。泥沙静水群体沉速规律十分复杂,其原因主要是絮凝结构的影响,以致目前难以得出比较满意的结果。但试验中的含沙水流黏粒含量较小,加之含沙质量浓度较低,与单颗粒沉降类似,少部分微小的絮凝团沉降至锥圈壁上后沿锥圈滑落,因此,本文按照离散颗粒的沉降来考虑离散絮团的沉降。试验观察到在自由下沉过程中细颗粒之间相互碰撞形成微小的絮团,直径约为 1 mm。已知泥沙颗粒的密度为 2 650 kg/m³,絮团中的孔隙率为 0.4^[10],其中孔隙全部由水填满,得泥沙絮团的密度 $\rho_s = 1\,990\text{ kg/m}^3$ 。浑水的运动黏滞系数 $\nu = 1.01 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$,试验沙的水下自然休止角 $\varphi = 30^\circ$ ^[11]。泥沙沉降到锥圈内表面时,受到水流阻力 F_D 、有效重力 G' 、壁面支持力 F_R 及摩擦力 F_f 等的作用,如图 3 所示,各力及泥沙絮团所受到的沿斜面方向的合力表达式为

$$F_D = C_D \frac{\pi d_s^2 \rho \omega^2}{4} \quad (1)$$

$$G' = \frac{\pi d_s^3}{6} (\rho_s - \rho) g \quad (2)$$

$$F_R = G' \cos \beta \quad (3)$$

$$F_f = f F_R \quad (4)$$

$$\sum F_x = G' \sin \beta - F_D - F_f \quad (5)$$

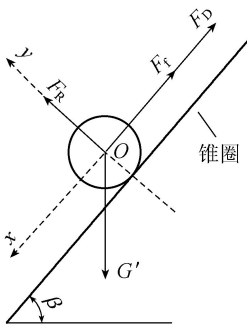


图 3 泥沙颗粒受力示意图

式中: C_D 为阻力系数; ω 为锥圈斜面上泥沙的下滑速度, mm/s; ρ 为水的密度, kg/m³; d_s 为泥沙絮团粒径, mm; g 为重力加速度, mm/s²; f 为泥沙颗粒与斜面间的摩擦因数, $f = \tan \varphi$ ^[8]; β 为锥圈倾角。

谭义海等^[4]在梭锥管的结构优化试验研究中锥圈倾角的试验范围为 $\beta < 70^\circ$, 本文联立以上各式, 采用试算法求得泥沙絮团在不同 β ($\beta < 70^\circ$) 时泥沙沿锥圈内表面的下滑速度 ω , 见表 1。通过数值分析, 对 β 和 ω 进行回归分析, 可得

$$\omega = -12.661 + 0.525\beta - 0.003\beta^2 \quad (6)$$

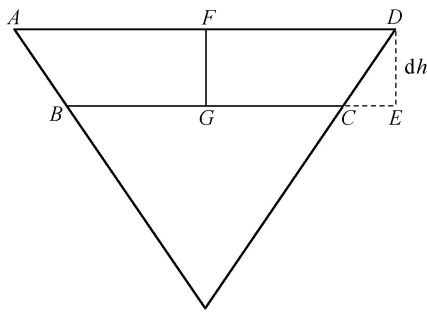
表 1 梭锥管内锥圈倾角与泥沙下滑速度的关系

锥圈倾角 $\beta/(^\circ)$	$G' \sin \beta /$ 10^{-6} N	$F_f /$ 10^{-6} N	$F_D /$ 10^{-6} N	C_D	下滑速度 $\omega/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$
70	4.87	1.02	3.85	1.01	98.3
60	4.49	1.50	3.00	1.10	83.2
50	3.97	1.92	2.05	1.25	64.5
40	3.33	2.29	1.05	1.57	40.9
35	2.97	2.45	0.52	1.97	25.9
31	2.69	2.56	0.21	2.68	0.8
30	2.59	2.59			

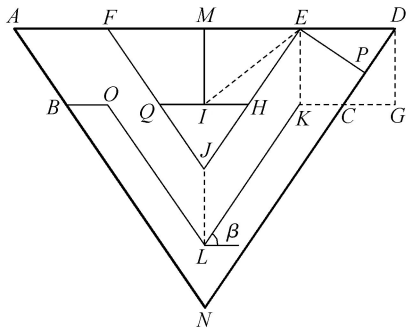
注: 当 $\beta = 30^\circ$ 时锥圈表面产生泥沙淤积。

由式(6)可得, 当 $\beta = 80^\circ$ 时, ω 最大; 当 $\beta < 80^\circ$ 时, ω 随 β 的减小而减小, 当 $\beta = 30^\circ \sim 31^\circ$ 时, 锥圈表面产生泥沙淤积。而试验沙的水下自然休止角 $\varphi = 30^\circ$, 说明泥沙在锥圈上的最小淤积角与泥沙水下的自然休止角有关且略大于自然休止角。因此, 当泥沙絮团粒径不大于 1 mm 时, 要保证泥沙沿锥圈内表面快速下滑的最小锥圈倾角应大于 31° , 最大锥圈倾角应小于 80° 。梭锥管在水沙分离过程中, 上部清水层的厚度决定了流出清水量的多少, 清水层厚度越大, 相同条件下, 流出的清水量越多。因此, 在保证泥沙沿锥圈表面快速下滑的基础上, 按清水层面积最大对梭锥管锥圈倾角进行推导计算。

设无锥圈普通容器和有锥圈梭锥管内浑水沉降分离 dt 时间后形成的清水层面积分别为 s_1 、 s_2 , 其中 s_1 等于图 4 (a) 中四边形 ABCD 的面积。图 4 (b)



(a) 无锥圈普通容器



(b) 有锥圈梭锥管

图4 浑水沉降 dt 时间后形成的清水层面积示意图

中, AD 的长度为 b , 锥圈母线 EJ 长度为 l , 锥圈间距为 d , 泥沙从初始位置 AD 沉降到 BC , 设经过 dt 时间沉降了 dh 距离。梭锥管内浑水沉降 dt 时间后形成的清水层面积为 s_2 (即多边形 $FQHE$ 和 $AFJEDCKLOB$ 面积之和), 泥沙是在两个空间里沉降, 即泥沙在锥圈 FJE 内和锥圈 FJE 与容器壁面 AND 所围成的空间中同时沉降, 经过 dt 时间泥沙从初始位置 FE 、 AF 、 FJ 、 JE 、 ED 沉降 dh 距离至 IH 、 BO 、 OL 、 LK 、 KC 。 s_2/s_1 表明梭锥管与普通容器中清水面积之比, 将其近似看作二者内泥沙沉降速度之比。设 $f(\beta) = s_2/s_1$, 由于 dt 和 dh 较小, 可视 $ABCD$ 为矩形, 则

$$s_1 = b dh \quad (7)$$

由于梭锥管为对称装置, s_2 为多边形 $EJLK$ 、三角形 MIE 、矩形 $EKGD$ 面积之和的 2 倍, 故

$$s_2 = 2 \left[l dh \cos \beta + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2} - \frac{d}{\sin \beta} \right) dh + \frac{d}{\sin \beta} dh \right] \quad (8)$$

$$f(\beta) = 1 + \frac{\frac{l}{2d} \cos \beta \sin \beta}{\frac{l}{d} \sin \beta \cos \beta + 1} \quad (9)$$

$$f'(\beta) = \frac{\frac{l}{d} \cos 2\beta}{\left(\frac{l}{d} \sin 2\beta + 1 \right)^2} \quad (10)$$

当 $f'(\beta) = 0$ 且 $f''(\beta) < 0$, $f(\beta)$ 取最大值。当 $\cos 2\beta = 0$ 时, $f'(\beta) = 0$, 即 $\beta = 45^\circ$ 时, $f(\beta) = s_2/s_1$ 取得最大

值。即当式(8)中的 b 、 dh 不变时, 梭锥管内清水层面积在 $\beta = 45^\circ$ 时得到最大值。

综上所述, 在设计梭锥管时, 锥圈倾角 β 应满足以下两点要求: ①锥圈倾角必须大于泥沙水下自然休止角。根据待处理的泥沙粒径或可能形成絮团的大小确定其水下自然休止角进而确定锥圈倾角的最小值。②在锥圈母线长度确定后, 为了使锥圈水平投影尽可能大, 即为获得最大沉降面积时, 可取 $\beta = 45^\circ$ 。查阅《泥沙手册》^[12] 可知, 当泥沙粒径为 0.01 mm 时, 其水下自然休止角为 $28^\circ \sim 32^\circ$; 当泥沙粒径为 32 mm 时, 其水下自然休止角为 $41^\circ \sim 45^\circ$ 。因此, 当梭锥管内形成的泥沙颗粒絮团小于 32 mm 时, 其水下自然休止角均小于 45° , 因此锥圈最佳倾角可选 $\beta = 45^\circ$ 。

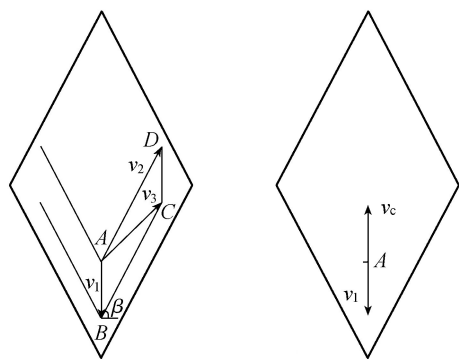
2.2 锥圈长度及锥圈间距

锥圈的设置加快了梭锥管内泥沙的沉降速度, 然而影响泥沙沉降速度的不仅仅是锥圈倾角。在锥圈倾角已定的情况下, 锥圈长度和锥圈间距也会影响梭锥管内泥沙沉降能力, 锥圈间距过小会影响清水和泥沙之间的对流, 甚至造成锥圈间淤堵。因此, 对锥圈长度和锥圈间距进行理论推导, 为设计提供参考。将无锥圈普通容器与有锥圈梭锥管进行对比, 如图 5 所示, 假设 A 处有一沉降速度为 v_1 的泥沙絮团, 随着速度为 v_2 的流体向上运动。在向上运动的过程中, 该絮团可能随水流沿锥圈外壁面 AD 上升并进入壁面处的清水通道, 最终溢出, 还有可能在竖直向下的沉降速度 v_1 和上升流速 v_2 的共同影响下沿 v_3 方向运动, 由矢量图分析可知, 要使泥沙絮团不随清水溢出而沉降至锥圈 BC 上并最终沿锥圈下滑至浑水出口排出, v_1 、 v_2 的合速度 v_3 与锥圈的交点必须在 C 点之下, 即满足如下几何关系:

$$\frac{v_2 \sin \beta}{v_1} = \frac{l \sin \beta}{d} = \frac{l}{2d} \sin 2\beta \quad (11)$$

显然, 在式(11)中, $\sin 2\beta \leq 1$, 由梭锥管结构可知, $l \gg d$, 所以 $\frac{v_2 \sin \beta}{v_1} > 1$, 即 $v_2 \sin \beta > v_1$ 。

而在图 5(b)所示的无锥圈普通容器中, 若泥沙絮团以相同的速度 v_1 下沉, 流体以相同速度 $v_c = v_2 \sin \beta$ 上升, 当且仅当 $v_1 \geq v_c$ 时, 泥沙絮团才能沉降; 否则, 泥沙随水流做上升运动。因此, 与无锥圈普通容器相比, 有锥圈梭锥管可使泥沙在水流上升速度大于泥沙下沉速度的水流条件下完成沉降运动, 而无锥圈普通容器中只有在泥沙沉降速度大于水流上升速度时泥沙才能下沉。以 $l = 1 \text{ m}$, $d = 5 \text{ cm}$, $\beta = 45^\circ$ 为例, 根据式(11)计算得 $v_2 \sin \beta / v_1 = 10$,



(a)有锥圈梭锥管 (b)无锥圈普通容器

图5 泥沙沉降速度示意图

可知水流上升速度大于10倍的泥沙沉降速度时泥沙依然能够沉降。这进一步说明,在相同的水沙条件下,加锥圈的梭锥管可使更多泥沙发生沉降,其沉降能力大于无锥圈普通容器。由式(11)可知,泥沙沉降能力与锥圈长度和锥圈间距的比值有关,其比值越大, $v_2 \sin \beta$ 与 v_1 之比越大,表明泥沙沉降能力越好。因此,设计梭锥管时,在锥圈个数和倾角一定的情况下,选择较大的锥管长度与锥管间距的比值作为设计值。

3 结 语

本文从梭锥管内特有的泥沙沉降特性出发,重点分析了梭锥管内锥圈对泥沙沉降特性的影响,以絮团为研究对象,通过力学分析和数值分析给出了锥圈倾角、间距及长度的设计原则。在设计梭锥管时,锥圈倾角应该满足两点要求:①锥圈倾角必须大于泥沙水下休止角。设计时根据待处理的泥沙粒径或可能形成絮团的大小确定其水下自然休止角,进而确定锥圈倾角的最小值。②在锥圈长度确定后,为了使锥圈水平投影尽可能大,即为获得最大沉降面积,取锥圈倾角为 45° 。同时,在锥圈个数和倾角一定的情况下,选择较大的锥圈长度和锥圈间距比值作为设计值。

参考文献:

[1] 谭义海. 梭锥管混浊流体分离装置的结构优化试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2011.

[2] 谭义海,李琳,邱秀云,等. 梭锥管内锥圈对水沙分离的影响[J]. 水利水电科技进展,2011,31(1):79-82. (TAN Yihai, LI Lin, QIU Xiuyun, et al. Influences of conical circles in shuttle-conical tube on separation of water and sediment [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(1): 79-82. (in Chinese))

[3] 谭义海,李琳,邱秀云,等. 梭锥管混浊流体分离装置排泥方式优化试验研究[J]. 中国农村水利水电,2011

(5): 66-68. (TAN Yihai, LI Lin, QIU Xiuyun, et al. Optimization experiment for mud ways of the turbid flow isolation device-shuttle-conical tube [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(5): 66-68. (in Chinese))

[4] 谭义海,李琳,邱秀云,等. 梭锥管混浊流体分离装置水沙分离影响因素优化试验研究[J]. 中国农村水利水电,2011(5):50-52. (TAN Yihai, LI Lin, QIU Xiuyun, et al. Optimization experiment for factors of the turbid flow isolation device shuttle-conical tube [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(5): 50-52. (in Chinese))

[5] 谭义海,李琳,邱秀云. 梭锥管浑浊流体分离装置水沙分离实验研究[J]. 新疆农业大学学报,2010(6):521-526. (TAN Yihai, LI Lin, QIU Xiuyun. Experimental study of hydraulic characteristics on shuttle-conical tube cloudy fluid separation device [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2010 (6): 521-526. (in Chinese))

[6] 王喜良,黄云平,周兴龙,等. 斜板沉降固液分离理论及设备进展[J]. 金属矿山,1999(2):21-24. (WANG Xiliang, HUANG Yunping, ZHOU Xinglong, et al. The progress of lamella solid-liquid separation theory and equipment [J]. Metal Mine, 1999 (2): 21-24 (in Chinese))

[7] 于尔捷,张杰. 给水排水工程快速设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1996:70-72.

[8] 陕西省水利厅. 高含沙引水及淤灌技术[M]. 北京:水利电力出版社,1995:62-63.

[9] 宋根培. 混合沙沉降特性的试验研究[J]. 泥沙研究,1985(3):40-50. (SONG Genpei. Experimental study on settling of sediment mixtures [J]. Journal of Sediment Research, 1985(3): 40-50. (in Chinese))

[10] 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社,1983:60-61.

[11] 沙玉清. 泥沙运动学引论[M]. 北京:中国工业出版社,1965.

[12] 中国水利学会泥沙专业委员会. 泥沙手册[M]. 北京:中国环境科学出版社,1989:220-225.

(收稿日期:2012-06-29 编辑:骆超)

