

深水水库低扰动取样器机械设计

杨 勇^{1,2}, 郑 军^{1,2}, 陈 豪^{1,2}

(1. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 水利部堤防安全与病害防治工程技术研究中心, 河南 郑州 450003)

摘要:为了获取深水水库低扰动淤积泥沙样品, 研制了内径 90 mm、管长 10 m 的低扰动取样器。借鉴深海海底淤积物保真取样技术, 对该取样器的导流装置、触发装置、取样装置等部分进行了优化设计, 分别对螺纹连接进行强度计算, 对取样管进行压杆稳定分析, 对刀头参数进行合理设计, 最终设计出合理的取样管外径和刀头参数。

关键词:低扰动取样器; 强度计算; 压杆稳定分析; 刀头参数; 深水水库

中图分类号:TV149.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2012)S2-0018-02

黄河是世界上泥沙含量最多的河流, 致使库区泥沙淤积严重, 减小了水库有效库容, 缩短了水库使用寿命, 泥沙淤积问题成为黄河治理的症结所在。水库淤积物组成与容重是水库泥沙设计中的一项重要参数, 要想处理好库区泥沙问题, 必须获取可靠的淤积泥沙资料^[1]。现有取样方法较为粗糙, 淤积物特性等资料极其匮乏, 为此, 设计并研制低扰动取样设备的需求非常迫切。

1 低扰动取样技术

深水水库低扰动取样器基于重力活塞式原理, 主要由导流装置、触发装置、取样装置等部分组成, 如图 1 所示。设计的取样器内径为 90 mm, 取样管长为 10 m, 适合深水库区低扰动取样。

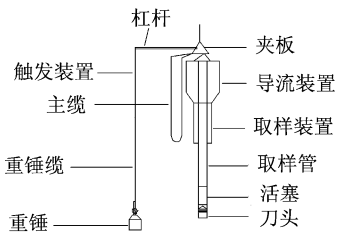


图 1 低扰动取样器结构

当取样器下放到距离库区底部还有一段距离时, 重锤先触及库区底部, 释放机构动作, 松开主缆, 使得低扰动取样器在自重作用下插入库底淤积泥沙中, 此后活塞便不再下落而是停留在库底淤积泥沙表面处, 取样管在重力和惯性的作用下继续下落。活塞

的吸力作用抵消了样品和管壁之间部分摩擦阻力, 样品可以较为顺利地进入取样管, 取样过程见图 2。

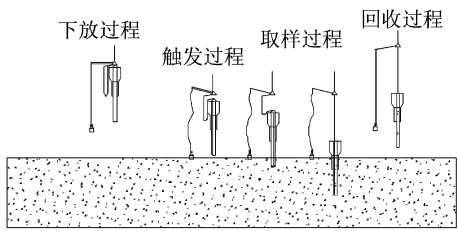


图 2 取样过程示意图

取样器快速插入使得淤积泥沙中的孔隙水流动很少, 取样管中放置的有机玻璃衬筒表面十分光滑, 再加上活塞的吸力作用, 很大程度地减小了样品和管壁之间的摩擦阻力, 实现了取样的低扰动。

2 取样器机械设计

导流装置的作用是减少取样器的水阻, 触发装置采用基于支撑反力控制的触发机构, 取样装置利用活塞获取低扰动样品。取样装置设计的好坏对取样质量影响很大, 是机械设计的重点内容。

2.1 设计载荷

低扰动取样器在自重作用下插入库底淤积泥沙中, 取样器与淤积泥沙接触的瞬间产生很大的相互作用力, 称为冲击载荷。最大冲击载荷计算公式为^[2]

$$P_d = P(1 + \sqrt{1 + 2H/\Delta_{st}}) \quad (1)$$

式中: P_d 为最大冲击载荷; P 为取样器的质量; H 为取样器底端与底部淤积泥沙间的距离; Δ_{st} 为静位

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201201085)

作者简介: 杨勇(1972—), 男, 河南鹤壁人, 高级工程师, 博士, 主要从事水利量测研究。E-mail: user_yycn@yahoo.com.cn

移。根据取样器拟操作情况,简化取 $H=0$ m,设计低扰动取样器加配重总质量为 750 kg。由式(1)计算得 $P_d=15$ kN。

2.2 螺纹强度计算

每节取样管之间采用螺纹连接,而螺纹连接处一般为钢管的薄弱环节,因此应对螺纹连接处进行强度计算。根据材料力学第三强度理论^[2],拧紧时螺纹要承受轴向力和剪切力,总载荷取 P_d 的 1.3 倍。螺纹承受的最大主应力 σ_1 计算公式为

$$\sigma_1 = \frac{1.3P_d}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} \quad (2)$$

式中: D 为取样管的外径; d 为取样管的内径。

根据 GB/T 699—1999《优质碳素结构钢》可知,45 号钢的屈服极限 σ_s 为 355 MPa;容许应力 $[\sigma]$ 为 177.5 MPa。取样管内径 d 取为 90 mm,由式(2)可得,取样管外径 $D \geq 90.8$ mm。

考虑到取样管属于典型细长杆,为保证取样器取样时不发生失稳现象,应适当加大取样管的外径,初步选取 $D=110$ mm。

2.3 取样管稳定校核

取样管单节长度可取 2~3 m,单节之间采用螺纹连接,取样管最长可达 10 m。取样管属于细长杆,需要运用压杆稳定理论分析取样时是否会产生失稳现象。临界载荷 P_{cr} 计算公式为

$$P_{cr} = \pi^2 EI / (\mu l)^2 \quad (3)$$

式中: E 为材料的弹性模量; I 为惯性矩,由材料的断面形状决定,圆环的惯性矩 $I = \pi(D^4 - d^4)/64$; μ 为长度系数; l 为杆的长度。对 45 号钢, $E=210$ GPa, $\mu=2$, $l=10$ m, $d=90$ mm, $D=110$ mm,代入式(3)计算得临界载荷 $P_{cr}=20.5$ kN,因此, $P_{cr}>P_d=15$ kN,取样时不会发生失稳现象。

2.4 刀头参数分析

为了实现样品的低扰动,根据淤积泥沙的性质和取样器的实际工作情况,设计合适的取样器刀口形状和尺寸,其中面积比、内径比、外径比和刀头刀口的形式和角度都是重要的参数^[3]。刀口的形式主要有单倾斜刀口和双倾斜刀口。根据取样器和淤积泥沙情况分析,刀口形式设计为单倾斜刀口,刀口角度为 10° 。刀头设计参数如图 3 所示。

各设计参数的计算公式为

$$C_a = (D_w^2 - D_e^2) / D_e^2 \quad (4)$$

$$C_i = (D_s - D_e) / D_e \quad (5)$$

$$C_o = (D_w - D) / D \quad (6)$$

式中: C_a 为面积比; C_i 为内径比; C_o 为外径比; D_w 为刀口的外径; D_e 为刀口的内径; D_s 为取样衬筒的内

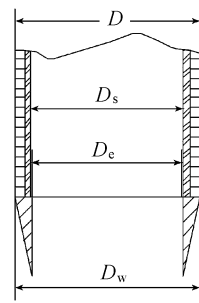


图3 刀头设计参数图

径; D 为取样管的外径。

理论上 C_a 应尽可能地小,以减少样品的扰动。但是过小的 C_a 会导致取样管很脆弱,取样时易发生失稳现象。普通的薄壁取土器取样长度不超过 1 m,长细比较小,因此较小的 C_a 即能满足要求。考虑到取样管长细比很大,不宜参照取土器规范中的要求来设计。因此管壁不宜太薄, C_a 不宜太小;选取的有机玻璃 D_s 为 80 mm, D_e 可稍小于 D_s ,以减小样品进入衬筒后的摩擦力,因此设计 D_e 为 79 mm;为了减少取样管外壁摩擦力, D_w 应不小于 D ,因此设计 D_w 为 110 mm。将以上参数代入式(4)~(6)可得, $C_a=93.9\%$, $C_i=1.3\%$, $C_o=0$ 。

3 结 论

a. 基于重力式活塞原理,设计了管长 10 m 的深水水库低扰动取样器,能够采集较深的淤积泥沙的低扰动样品。

b. 取样管之间采用螺纹连接,运用第三强度理论对螺纹连接处进行强度计算。结果表明,选用的 45 号钢有较大的屈服极限, $D \geq 90.8$ mm 即可满足螺纹强度要求。

c. 取样管属于典型细长杆,根据压杆稳定理论校核,需要足够的壁厚才能保证取样时取样管保持稳定,验算外径 $D=110$ mm 时可以保证在取样时不发生失稳现象。

d. 刀头的形状和尺寸对取样是否成功非常关键,在保证不发生失稳破坏的前提下,应尽量优化刀头的参数以降低样品进入衬筒的摩擦阻力。

e. 深水水库低扰动取样器的实际工作性能,有待于在现场试验中进行进一步验证优化。

参考文献:

- [1] 焦恩泽. 黄河水库泥沙[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2004.
- [2] 单祖辉. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2004.
- [3] 秦华伟. 海底表层样品低扰动取样原理及保真技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2005.

(收稿日期:2012-07-30 编辑:熊水斌)