

乌斯图河渠首的排沙漏斗设计

(12)

50-5-3

谭冬初 周 著 侯 杰 王长新

(新疆农业大学水利与土木工程学院 乌鲁木齐 830052)

TV673

TV671

摘要 乌斯图河底栏栅式渠首进入引水渠中的泥沙,是采用排沙漏斗进行二次处理的。排沙漏斗不同于其它型式的沉沙池,它具有竖向螺旋水流结构,能连续引水排沙;其排沙流量仅占漏斗设计流量的 7% 左右,排沙率大于 90%,是节水型的排沙设施,这对于干旱缺水的地区有着现实的意义。本设计考虑了上游引水渠和下游冲沙廊道布置对漏斗水流整体的影响。该工程自 1992 年建成至今,引水排沙效果良好。

关键词 排沙漏斗 泥沙 螺旋流 引水渠 排沙廊道 渠首

山区多泥沙河流修建的渠首在汛期要排除 70% 以上的泥沙,剩余的泥沙一般由沉沙池进行第二次处理,以符合灌溉和发电等使用要求。新疆自 50 年代以来修建了不同类型的渠首,相应修建了不同类型的沉沙池建筑物,如箱形沉沙池、曲线形沉沙池、带挡沙坎的袋形沉沙池、纵向螺旋流排沙涡管和竖向螺旋流排沙漏斗等,它们都有各自的结构特点、功能、使用条件;但它们都有某些共同要求,如选择较高的地形,消耗某一流量和一定的水头差为代价,用水力冲洗泥沙。排沙漏斗的排沙流量仅占漏斗设计流量的 7% 左右,排沙率大于 90%,排除的泥沙粒径在 0.25 ~ 100 mm 之间^[1]。

新疆托克逊县乌斯图河底栏栅式渠首,采用排沙漏斗处理二次泥沙,在 1990 年设计该工程时,考虑了上游引水渠道冲沙廊道的布置对漏斗的整体影响。该工程 1992 年建成,已运行多年,引水排沙效果良好。

1 排沙漏斗的位置选择、布置及其组成

乌斯图河位于托克逊县城西南约 55 km,

属于发育型的山溪性多泥沙河流,多年平均径流量 0.43 亿 m³,缺少水文系列和泥沙资料。新建的底栏栅式渠首座落在出山口处,栏栅栅条间隙宽度 14 mm,河道中小于 14 mm 的部分泥沙可以进入干渠中。图 1 标出了排沙漏斗各建筑物的名称和位置。

排沙漏斗选在右岸阶地上,距渠首约 396 m,阶地地面与河床主槽之间的竖直高差为 8 m;阶地为砂砾第四纪覆盖物,地形条件满足各建筑物的布置要求。建筑材料就地取用河床中的砂砾和卵石,可降低工程造价。

上游引水渠、排沙漏斗和排沙廊道是排沙漏斗的三个基本部分。进水闸与干渠中心线的夹角为 35°(不宜过大),要求水流平稳、集中地流向涵洞进口。在枯水期或检修时可关闭进水闸,漏斗停止运行。调流墩的作用是:从涵洞流出的泥沙碰到调流墩上后改变运动方向,迫使部分泥沙流向底孔,利用惯性力排沙。

总的设计原则是,从渠首来流中的泥沙不允许在渠道、漏斗和廊道中淤积。

第一作者简介:谭冬初,男,副教授,从事渠首引水防沙工程研究,曾发表《底栏栅式水流动力方程的解析解及其应用》等论文。

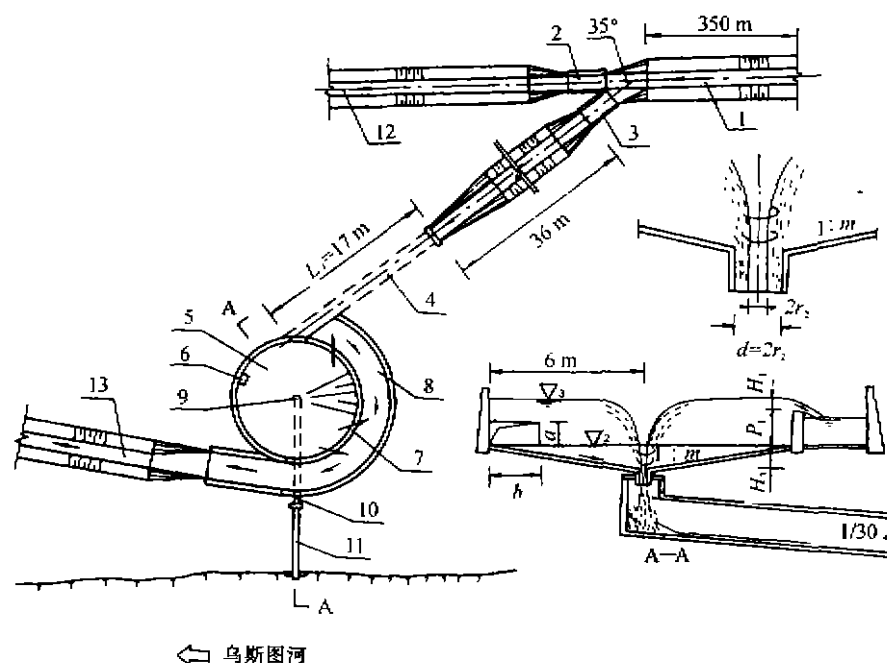


图1 排沙漏斗平剖面

- 1.上游引水渠;2.节制闸;3.进水涵洞;4.进水涵洞;5.排沙漏斗;6.调流墩;7.溢流堰;8.侧槽;9.底孔;
10.排沙明渠;11.排沙明渠;12.引水干渠;13.侧槽后明渠

2 排沙漏斗各建筑物的设计计算

2.1 上游引水渠道

设计流量 $4 \text{ m}^3/\text{s}$, 加大流量 $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$; 为深挖方段渠道, 纵坡为 $1/163$, 断面为梯弓 (或称圆弧) 形, 边坡 $1:1$, 底宽 1.4 m , 弓形矢高 0.29 m , 为干砌卵石灌浆衬砌, 糙率 $n = 0.033$ 。采用均匀流公式 $Q = AC \sqrt{Ri}$, 计算结果见表1。

表1 上游引水渠水力要素

流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	水深 h_0/m	面积 A/m^2	流速 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
4.30	1.25	2.55	1.68
4.00	1.21	2.41	1.65
3.00	1.06	1.95	1.54
1.63	0.79	1.24	1.32
0.21	0.29	0.28	0.76

建成后的明渠在汛期或中水期均无泥沙淤积现象, 水流满足挟沙要求, 即便直径 25 cm 的孤卵石也能在渠底滚动向前。圆弧底渠道除了反拱受力条件好外, 可使主流归槽, 水力半径增大, 提高流速。

2.2 进水涵洞和溢流堰过流能力计算

引水明渠的水流通过涵洞进入漏斗, 注满漏斗后溢流堰开始溢流, 底孔同时出流排沙, 漏斗中心成立轴空气漏斗旋涡, 四周形成径向水面坡降。假设在某一流量时, 漏斗内水面处于相对平稳的恒定状态, 溢流堰和底孔出流分别进行计算。

a. 进水涵洞目前按有压淹没出流设计, 以使出口有一定的初速度, 采用公式为

$$Q = \mu \omega_1 \sqrt{2g\Delta H} \quad (1)$$

式中 $Q = 4.3 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q = Q_1 + Q_2$, Q_1 为溢流堰溢流流量, Q_2 为底孔出流量, 一般 $Q_1 = 0.93Q$, $Q_2 = 0.07Q$; 流量系数 μ 取 0.65 ; ω_1 为矩形过水断面面积, $\omega_1 = a(\text{高}) \times b(\text{宽}) = 0.8 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$; ΔH 为作用水头, 等于涵洞上下游水面的高程差。有压洞进口水流要求满足

$$h_x/a > 1.5 \quad (2)$$

式中 h_x 为洞前水深, $h_x = h_0 + \Delta h$, h_0 为明渠水深, Δh 为壅水高度 (壅水不宜过高, 否则将造成洞前淤积), 本设计取 $\Delta h = 0.2 \text{ m}$,

代入已知数据,由式(1)算得 $\Delta H = 1.36 \text{ m}$, 相应的流速 $v_0 = Q/\omega_1 = 3.52 \text{ m/s}$ 。涵洞全长 17 m ,分为两段,前段长 15 m ,底坡 $1/10.3$;后段长 2 m ,底坡为零。涵洞进口底板设计高程为 85.92 m ,洞前水位 97.37 m ,洞出口底板高程为 84.46 m 。

b. 溢流堰采用下面的公式:

$$Q_1 = \frac{1}{2} m \pi D \sqrt{2g} H_1^{3/2} \quad (3)$$

式中 $Q_1 = 0.93Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$; H_1 为堰上水头;堰长为漏斗的 $1/2$ 圆周长,即 $\frac{1}{2}\pi D$, D 为漏斗直径,本设计采用模型试验提供的数据 ($D = 12 \text{ m}$);流量系数 m 大于折线形堰而小于曲线形堰,取 $m = 0.36$ 。代入已知数据,由式(3)可算得 $H_1 = 0.26 \text{ m}$,堰顶设计高程 85.66 m ,水面高程 85.92 m ,非溢流段加超高 0.5 m 。

另外,笔者利用有压涵洞进口设计底板高程、水面高程及洞出口的漏斗水面高程与溢流堰水面高程相等的条件,推得直接计算漏斗直径的公式为(推导过程从略)

$$D = \frac{2Q_1}{m\pi\sqrt{2g}[h_x - (\Delta H)^2 - P_1 + i_1 L_1]^{3/2}} \quad (4)$$

式中 i_1, L_1 分别为涵洞设计底坡和长度,建议 i_1 取 $1/10 \sim 1/12$; P_1 为堰高(具有挡沙坎的作用),其它符号意义同前。该公式考虑了进口涵洞和溢流堰的边界因素的影响,具有一般性,可使设计更趋合理经济。

当进水涵洞为无压流时,排沙漏斗也能继续工作,由原型观测知,流量由 $5.32 \text{ m}^3/\text{s}$ 降至 $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$,排沙廊道含沙量达 8.69 kg/m^3 时,尚能运行;但降至 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,内涡旋减弱,排沙效果变差,此时涵洞进口水流可按半有压或明流进行验算。

3 侧槽和明渠尺寸的确定

溢流堰过堰水流自由跌入侧槽中,槽内水流运动方向与漏斗内水流方向相反,水流为沿程增量流,应按动能方程计算其水面曲线;考虑到流量较小,设计时应控制槽内不发生淹没的同时兼顾下游明渠的水面连接。侧槽底坡取 $1/50$ 、底宽 3 m 的等宽设计(便于施工);侧槽末端水深用堰流公式近似计算,算得水深为 0.96 m 、槽底高程 84.58 m 。

侧槽末端引水渠与下游干渠连接,也为圆弧形断面,边坡 $1:1.25$,干砌卵石灌浆衬砌,设计水深 1.03 m ,流速 1.81 m/s 。

4 底孔流量验算

溢流堰在溢流的同时,底孔也同时泄水排沙,底孔出流公式为

$$Q_2 = \mu_0 \omega_0 \sqrt{2g(H_3 + P_1 + H_1)} \quad (5)$$

$$H_3 = \frac{D}{2} \tan(\tan^{-1} m^{-1}) \quad (6)$$

式中 H_3 为漏斗锥台高度, $H_3 = 1 \text{ m}$; m 为漏斗边坡系数,本工程取 $m = 6$ (具体应视地形条件和泥沙粒径而定,取小值为宜); ω_0 为底孔过水面积,分两种情形考虑:①空气漏斗在底孔以上某处尖灭,底孔为全断面过水, $\omega_0 = \pi r_1^2$, r_1 为底孔半径;②空气漏斗在底孔出口某处尖灭,此时过水面积为环形, $\omega_0 = \pi(r_1 - r_2)^2$, r_2 为空气漏斗半径(见图 1); μ_0 为不计行近流速的流量系数,计算公式为^[2]

$$\mu_0 = 0.079 \sqrt{Q' - 2} \quad (7)$$

$$\text{化引流量 } Q' = 100(0.9 - \frac{r_1}{r_2}) \quad (8)$$

采用式(5)~(8),已知, $r_1 = 0.15 \text{ m}$, $H_3 = 1 \text{ m}$, $P_1 = 1.2 \text{ m}$, $H_1 = 0.26 \text{ m}$,底孔水力计算结果

表 2 漏斗底孔两种过流情形计算结果

过流情形	r_2/r_1	r_2/m	$Q/(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	μ_0	ω_0/m^2	$Q_2/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
$\omega_0 = \pi r_1^2$	0	0	90	0.741	0.071	0.366	5.15
$\omega_0 = \pi(r_1 - r_2)^2$	0.3	0.045	60	0.601	0.035	0.146	4.17
$\omega_0 = \pi(r_1 - r_2)^2$	0.4	0.060	50	0.547	0.025	0.095	3.80
$\omega_0 = \pi(r_1 - r_2)^2$	0.5	0.075	40	0.487	0.018	0.061	3.39

列于表 2 中。

5 排沙廊道水流挟沙能力估算

由于排沙漏斗的上口径与底孔直径之比达 40 倍,通过廊道的流量约占 7%,而挟带的泥沙量占总量的 90% 以上,且多为粗颗粒泥沙。这种高含沙量的二相流,目前尚无较准确的公式计算其推移质输沙率。根据渠首和其它型式沉沙池设计和运用的工程经验,以断面平均流速作为控制判断的依据,采用小流量、陡底坡和大流速的设计方法。冲沙廊道底坡为 1/30,宽 0.6m,底断面为半圆形,衬砌为铸铁(或掺硅粉混凝土)等耐磨材料,糙率 $n=0.012$,对应 $Q_2=0.3\text{ m}^3/\text{s}$ 时的弓形过水断面的水深约为 0.22 m,流速约 3.5 m/s;群体泥沙运动方式以滑动、滚动为主。实践表明,这种设计方法是有效可行的。冲沙廊道后的明渠出口设计高程为 80.81 m,高于主河槽 2.60 m。

6 结 语

a. 由于流量系数取值的影响,以上水力计算是近似的,但其结果可满足工程设计要求。

b. 在设计排沙漏斗时,要兼顾其上游引水渠和下游排沙廊道的水流泥沙运行条件,不允许发生淤积;排沙明渠末端一定要高出河床床面,切忌二者齐平。

c. 漏斗直径不宜超径设计,因为合适的斗径可形成有效的涡旋,有利于排除泥沙。当设计流量达几十立方米每秒时,可考虑并联设计几个排沙漏斗。

d. 在枯水期关闭漏斗前的进水闸门,如果漏斗内淤积有少量的泥沙,汛期可用设计流量冲洗干净。另外,须防止人为地将大河卵石或粗树干抛入漏斗内,造成底孔堵塞。

e. 本工程建筑物衬砌材料多为就地取材,故造价低廉(1992 年竣工结算价约为 12 万元),这有利于排沙漏斗的推广应用。

f. 乌斯图河渠首的排沙漏斗建成运行至今,使用情况良好,发挥了节水排沙的工程经济效益。

参考文献

- 1 周著等.强螺旋流排沙漏斗的模型试验和原型观测.水利水电技术,1991(11):44~48
- 2 斯里斯基 C M.高水头水工建筑物的水力计算.毛世民等译.北京:水利电力出版,1984.244

(收稿日期:1997-11-17 编辑:熊水斌)

(上接第 35 页)

2.2 保证顶枢正常工作的措施

a. 合理选择顶枢拉杆的材料、严格控制拉杆的加工工艺。顶枢拉杆应采用优质锻钢件,保证拉杆材料有较高的强度及良好的塑性及韧性。拉杆的加工制造,应按设计图纸轮廓尺寸直接锻造成型,不应气割,以免引起材质变脆,并可适当增大拉杆设计断面,降低设计应力。

b. 精心组织施工安装。认真分析影响顶枢工作的各种因素,对整个人字门结构及顶、底枢和承压条进行精确定位和装配、承压条的安装偏差宜为上大下小的“V”型,以免关门时上部卡阻而使顶枢拉杆超载。另外,在闸门施工安装时,还应考虑到大型人字门

门叶变形、闸墙变位、温度变化及承压条磨损等各种因素的影响,以使闸门在正常运行时上述各种因素的不利影响降到最低。

c. 加强人字门的运行管理,严格按照运行程序正常操作和管理。对闸门支承运转件定期润滑、维护和保养,以改善其工作条件,从而保证整个人字闸门安全可靠运行。

参考文献

- 1 陈家伟.葛洲坝船闸人字门几次重大事故处理及探讨.金属结构,1983(2):36~54
- 2 沈伯明.船闸技术改造概况.水运工程,1996(3):37~42
- 3 王建民.船闸运转件磨损实验简介.水运工程,1993(3):64~71

(收稿日期:1997-08-27 编辑:张志琴)