

涡管排沙技术研究的发展与前瞻

⑤
16-18

张开泉, 刘焕芳

(石河子大学, 新疆石河子 832003)

TV673

TV142

摘要:通过对涡管排推移质泥沙机理的分析及试验研究, 提出涡管排沙的三个参数: 涡管分流比、截沙率及挟沙能力, 对涡管与渠道水流方向的夹角、渠中水流的佛劳德数及涡管开口宽度等参数与排沙效率的关系也分别进行了研究. 通过对悬移质分选沉降的理论研究, 提出了悬移质涡管排沙的计算方法, 该方法已成功地应用于沙湾县金沟河渠首水电站沉沙池的设计上. 文中还提出了涡管排沙技术有待研究的问题.

关键词: 涡管; 推移质; 悬移质; 排沙; 综述

中图分类号: TU992.23

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2000)02-0016-03

涡管排沙是利用涡管内产生的螺旋流排除渠道中来沙的一种技术. 本文对涡管排沙技术的研究分成两个阶段, 1981~1991年为涡管排推移质的研究阶段, 1992年后为涡管排悬移质的研究阶段.

1 涡管排推移质的研究阶段

80年代初, 笔者在研究影响环流强度因素的同时, 涉及各种形式的螺旋流^[1], 发现螺旋流都是受边界条件制约的, 在主流内部形成能独立的副流. 各种副流都有较强的输沙作用, 特别是埋设在渠底涡管中的螺旋流, 完全和渠中的主流分离, 经过排沙道通向渠外. 涡管螺旋流的水流结构十分复杂, 数学方程难以表达, 我们借助于水槽试验加强对螺旋流的认识. 通过对试验资料的分析, 得到涡管分流比、截沙率及挟沙能力三个参数^[2].

1.1 涡管分流比

涡管分流比:

$$Q_T = \mu A \sqrt{2g(h + \Delta h) + (v \cos \theta)^2} \quad (1)$$

式中: A 为涡管出口断面面积; h 为槽中水深; Δh 为涡管中心到开口的距离; v 为槽中平均流速; θ 为涡管轴线与水流方向夹角; μ 为流量系数.

涡管分流比:

$$R = Q_T / Q \quad (2)$$

式中 Q 为槽中来流量.

1.2 涡管截沙率

同一时间内涡管截获的泥沙 G_s 与来沙量 G 之

比称为涡管截沙率, $E = G_s / G$. 笔者根据理论分析和试验资料整理出来的截沙率计算公式如下:

$$E = K_1 \left(\frac{b_0 D}{b D_0} \right)^2 \left(\frac{b - d}{d} \right) \cdot \frac{\sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \left(\frac{h}{d} \right)^{1/2}}}{\left[Fr - 1.14 \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \left(\frac{h}{d} \right)^{1/3}} \right] \sin \theta} \quad (3)$$

式中: D_0, b_0 为确定经验系数 K 而取的某一确定的管径和开口宽度; D, b 为设计中采用的涡管直径及开口宽度; d 为泥沙粒径; γ_s, γ 为泥沙及水的容重. 根据试验资料, 当取 $D = D_0 = 50 \text{ mm}$, $b = b_0 = 30 \text{ mm}$ 时, $K_1 = 0.21$; Fr 为佛劳德数.

由式(3)可知, 当涡管开口宽度 b 一定时, 泥沙粒径愈大, 截沙率愈小; Fr 增大时截沙率减小, θ 角增大时截沙率也减小.

试验中所用的最小泥沙粒径为 $d = 2.5 \text{ mm}$, 在一般水流条件下都不会转化为悬移质. 如果用更小的泥沙粒径, 当水流速度大于扬动流速或 Fr 过大时, 推移质容易跃过涡管开口甚至转化为悬移质而不进入涡管. 所以, 这一规律有一定的局限性, 即仅适用于 $d \geq 2.5 \text{ mm}$ 的推移质.

1.3 涡管挟沙力

涡管挟沙力指的是涡管在临界不淤条件下单位涡管水体所能挟带的泥沙重量. $S = G_s / Q_T$, 单位为 kg/m^3 .

根据影响挟沙力的众多因素, 用量纲分析法建

立了涡管挟沙力公式:

$$S = K_2 \left(\frac{2gh + v^2 \cos^2 \theta}{gR} \cdot \frac{v \sin \theta}{\omega} \right)^m \quad (4)$$

式中: K_2, m 为常系数和指数; R 为涡管水力半径; ω 为沉速. 根据试验资料定出 $K_2 = 2.34 \text{ kg/m}^3$, $m = 0.77$. 上式是在 $Fr = 0.69 \sim 1.93$ 范围内得到的.

1.4 涡管排沙对渠道水流佛劳德数的要求

以往一些学者的研究认为在 $Fr = 0.7 \sim 1.1$ 范围内排沙效果好, 最好是 $Fr = 0.8 \sim 1.0$. 笔者也作过这种推荐. 但经过两个水电站引水渠的试验和实践, 在低 Fr 条件下 ($Fr = 0.316$ 和 $Fr = 0.275$), 只要设计合理 ($\theta = 90^\circ$, 开口 b 稍小), 仍能得到高截沙率 ($E > 90\%$). 当排除较细颗粒的泥沙及悬移质时, 为了减小水流的紊动, 最好采用较低的 Fr .

1.5 涡管轴线与水流方向的夹角

过去根据试验, 有人认为 $\theta = 45^\circ$ 或 60° 排沙效果好. 笔者认为, θ 角度应根据水流条件的不同而变. 当水深小, Fr 较大时, θ 可取较小的角度, 不仅截沙率高, 还可以加大涡管中的纵向流速. 但当水深较大, Fr 较小时, 应取 $\theta = 90^\circ$ 的方向, 这样渠中水流的纵向流速可全部转化为涡管中的旋转速度, 加强涡管的输沙能力.

1.6 涡管的开口宽度 b 及开口长度 L

排推移质时要求开口宽度大于最大泥沙粒径, $b \geq (1.2 \sim 2.0) d_{\max}$, 开口所对中心角 $\beta = 75^\circ \sim 90^\circ$. 开口过宽, 远离涡管出口的一端将会因入流速度太小而淤塞. 涡管的开口长度 $L \leq (5 \sim 8) D$. 如果涡管开口宽度不能减小, 涡管的开口长度就要缩短, 此时可并排设两道涡管, 两管开口位置错开, 分别排除渠底中线两边输送的泥沙. 对于排较细的推移质泥沙及悬移质泥沙, 涡管开口宽度可以减小, $b = (0.1 \sim 0.3) D$, 开口长度可放大至 $L = (8 \sim 10) D$.

1.7 悬移质泥沙问题

通过对某火力发电厂引水渠泥沙问题的研究, 认识到悬移质泥沙问题不仅应当解决, 也是可以解决的, 涡管不仅能排推移质, 也能排悬移质中的较粗部分.

2 涡管排悬移质的研究阶段

对某火力发电厂引水渠泥沙处理的研究, 使我们认识到, 悬移质在水流强度减弱的情况下将分选沉降转化为推移质, 然后可用涡管加以排除, 还有临底运动的泥沙也可以通过涡管加以排除. 另一方面, 从已建涡管排沙工程解决了推移质问题的引水式水电站机组磨损情况发现, 水轮机过流部件的磨损现象并未明显减轻. 由此证明, 对水轮机磨损危害最大

的是悬移质中的较粗部分, 通称有害粒径. 这部分泥沙在排推移质时尚处于悬浮状态, 很难进入涡管, 可以通过改变水流条件, 使悬移质中的较粗部分能在渠道中分选沉降后加以排除. 这样不仅推移质泥沙可以用涡管排除, 悬移质泥沙也可以用涡管处理, 只不过推移质和悬移质要分别加以处理.

针对涡管排悬移质问题, 笔者曾建立了悬移质涡管截沙率 E 与分流比 R 之间的关系^[3]:

$$E = \frac{1 - e^{-\beta R}}{1 - e^{-\beta}} \quad (5)$$

式中 $\beta = 6\omega / (\kappa u_*')$, 是反映泥沙沉降特性和水流强度对比关系的参数. 当分流比相同时, β 值愈大 (泥沙颗粒粗), 截沙率愈高. 反之, 截沙率低, 排沙效果不佳. 因此, 涡管排悬移质不适用于泥沙颗粒细、沿垂线分布较均匀的高含沙水流.

笔者沿用谢鉴衡教授的方法, 将悬移质沿垂线分布公式的参考点选取在平均含沙量所在位置, 采用对数型流速分布关系, 通过近似积分, 得出绝对含沙量沿垂线分布公式:^[4]

$$S_i = \frac{S_{*i}}{\left(1 - \frac{\sqrt{g}}{CK} J_1 - \frac{\sqrt{g}}{CK} J_2\right)} \left(\frac{1}{\xi} - 1\right)^{2i} \quad (6)$$

式中: J_1 和 J_2 为两个积分式, 其数值可以从有关手册中查得. 用数值积分法利用式(6)可求得分界流线相对高度 $\xi = y/h$ 时的排沙比.

综上所述, 涡管对粗颗粒泥沙的截沙率远大于排沙分水比. 因而可以用较小的水量排除较多的有害泥沙. 这一论点为根据分选沉降理论处理悬移质中较粗粒径泥沙奠定了基础.

沙湾县金沟河渠首电站设计水头 69 m, 引水流量 $15 \text{ m}^3/\text{s}$, 装机 $3 \times 2500 \text{ kW}$, 设计时吸取了以往经验教训, 分三级处理泥沙. 第一级在底栏栅渠首处理 20 mm 以上的卵石质推移质; 第二级在引水渠 0 + 125 处设排沙涡管处理 2 ~ 20 mm 的砾石及粗砂; 第三级用涡管排沙式沉沙池处理悬移质中的有害部分. 这种沉沙池实质上是一个断面扩大的渠道, 边坡按护坡设计, 池中设 7 排排沙涡管. 悬移质泥沙中较粗部分在沉沙池中分选沉降, 然后用涡管加以排除. 这种沉沙池未见有先例, 先进行模型试验检验其排沙性能. 试验结果表明^[5], 模型中悬移质的分选沉降规律及涡管排沙效果都与设计意图一致. 渠首电站于 1997 年建成, 1998 年沉沙池投入正常运行, 3 台机组全部投产发电. 原型水沙观测表明, 经过涡管排沙式沉沙池对泥沙处理, 水质大为改善, 出池水流中的悬移质泥沙 $d > 0.25 \text{ mm}$ 的部分仅占 4.4%. 汛后拆检水轮机组, 经过近两个汛期的运行, 水轮机磨

损现象轻微,但有明显空蚀现象,说明涡管排沙式沉沙池排除悬移质中有害泥沙效果良好。

3 涡管排沙技术有待研究的问题

10多年来,我们从涡管螺旋流的感性认识出发,通过水槽试验、模型试验及工程实践,逐步加深对涡管排沙规律的认识,提出了一些半经验半理论的涡管设计方法^[6,7],在工程中不断推广应用。据不完全统计,在新疆、甘肃两省(区),已建成涡管排沙工程10余处。大部分效果良好,但也有少部分因设计人员对涡管排沙的理论理解不深、设计不周,工程存在这样或那样的问题。作为一项研究课题,尽管我们提出了判断涡管排沙效果的三个参数及涡管设计中的几个控制条件,然而这些参数还是半经验性质的,条件也是定性的,达不到规范设计的要求,还有很多问题没有解决或没有完全解决,有待继续深入研究。初步考虑,以下几个问题值得研究:

a. 涡管内的水流结构、流速分布;涡管螺旋流的发生、发展及衰减机理;螺旋流的挟沙能力。必须研制测量涡管内流速分布的仪器,知道了涡管内流速分布的规律才能了解泥沙进入涡管后是如何被卷扬悬浮起来并向下输送的。

b. 涡管截沙率公式的简化,使之既包括主要影响因素,又不失之过繁,难以掌握。作为涡管排沙的主要判断准则,物理含义要明确并便于分析。

c. 涡管开口宽度 b 与开口长度 L 的关系,沿涡管开口长度入流流速分布规律。在一定的开口宽度下,涡管开口长度越大,远离涡管出口的人流速度及入管后的纵向流速就越小,如果此流速不足以带动泥沙进入涡管或入管后不能被输送出去,就会造成涡管的淤塞。目前在涡管设计中存在的问题多半是这方面的。今后应从建立涡管入流速度和渠中平均流速或渠中泥沙不淤流速之间的关系加以研究。

d. 涡管排沙式沉沙池的构造、尺寸及设计方法与一般箱式沉沙池的设计方法类似,它可连续排沙,不中断供水。今后应探讨如何根据粒径要求确定沉

沙池长度及溢流部分的长度以及涡管在沉沙池中的布置等。

e. 涡管水流的数学模型、涡管排沙式沉沙池分选沉降排沙的数学模型的建立。

f. 涡管排沙式沉沙池的连续排沙、轮换排沙和间歇排沙的运行方式。研究如何最优组合排沙效率高且省水。

g. 高含沙水流的泥沙处理能否应用涡管排沙、引黄渠系及抽黄引水以及环境工程中高浑浊度沉淀池能否应用浓缩絮凝剂使悬浮物聚合成大颗粒加以沉降后由涡管排除。

4 结 语

涡管不仅可以排除推移质泥沙,也可以排除悬移质中的较粗部分。涡管排沙技术不仅可以用于灌溉及水电站引水渠道的泥沙处理,还可应用于城镇及工业用水的初步处理,具有较大的推广价值。涡管排沙技术是一项发展中的技术,尽管在解决推移质泥沙问题和悬移质泥沙问题的过程中,取得了一些理论成果和工程经验,但尚达不到设计规范的要求,还存在许多不足之处,值得进一步研究。

参考文献:

- [1] 张开泉. 环流强度的判断和螺旋流排沙[J]. 新疆水利科技, 1982(4): 35~43.
- [2] 张开泉, 刘焕芳. 涡管分水排沙规律的研究及其工程应用[J]. 泥沙研究, 1991(4): 1~11.
- [3] 刘焕芳, 张开泉. 悬移质涡管排沙分析[J]. 人民黄河, 1995(1): 1~4.
- [4] 张开泉, 刘焕芳. 用涡管排沙技术解决水电站泥沙问题[J]. 泥沙信息, 1995(4): 46~52.
- [5] 刘焕芳, 张开泉. 水电站引水渠上涡管排沙式沉沙池试验研究[J]. 水电站设计, 1997, 13(2): 55~60.
- [6] 刘焕芳, 张开泉. 涡管排沙工程设计中的几个控制条件[J]. 水利水电技术, 1999(增刊): 5~7.
- [7] 刘焕芳, 张开泉. 涡管分流量计算[J]. 西北水电, 1998(4): 9~12.

(收稿日期: 1999-05-10 编辑: 张志琴)

·简讯·

第8届国际随机水力学会议将在北京召开

第8届国际随机水力学会议(ISSH'2000)将于2000年7月25~28日在北京召开,会议主题是了解随机水力学在河流力学、泥沙输运、流域水力学、地下水、波浪与海岸过程、水力网络与建筑物、水文学、水力学设计风险与可靠性及世界水资源等诸方面应用的发展状况。主要议题如下:①随机方法在明渠水力学中的应用;②紊流;③泥沙输运;④风浪相互作用;⑤随机水力学在河流整治中的应用;⑥水资源管理;⑦水工建筑物风险分析;⑧随机水文学;⑨洪水估算与控制;⑩全球气候模型;⑪山川河流;⑫波浪与海岸过程;⑬城镇排水系统实时控制;⑭水利工程随机分析;⑮水库管理可能性控制。

(摘自《水信息》2000年第1期)