

关于双层泄流排沙孔进口斜门槽 涡带性质的研究

勾兆莉 柴炳钦

胡占国

张良书

(黄委会水科院, 郑州 450003)(郑州工业大学产业办)(通许县水利局, 452200)

摘 要 从减压、常压试验发现的双层泄流排沙孔进口斜门槽的涡带现象, 经二元水洞试验验证, 证明它是 1 条气带, 并解释了这条气带的成因。该成果对正确判断三门峡双层孔斜门槽导轨的破坏原因和筛选工程改善措施, 具有现实指导作用。

关键词 斜门槽; 旋涡带; 噪声谱

中图分类号 TV673.2

0 前言

在三门峡双层泄流排沙孔的减压、常压水工模型试验中, 发现在进口斜门槽内有 1 条弓形涡带, 见图 1。

关于这条涡带的性质, 有两种根本不同的观点: 一种认为, 斜门槽内的涡带是 1 条空化带, 应设法予以消除; 另一种则认为, 斜门槽内的涡带是 1 条气带, 无需担忧其危害性^[1]。鉴于斜门槽内涡带的性质直接影响到正确判断斜门槽内导轨的破坏原因和选定工程改善措施, 很有必要进一步澄清斜门槽内涡带的性质。

1 二元水洞试验

1.1 模型布置、试验设备及量测仪器

708 所水洞工作断面尺寸为: 600mm×600mm 的正方形断面, 正常运转水速 $v=5\text{m/s}$, 能达到的最低空化数 $k=0.5$, 来流空化数 $k=1.0$ 以下时水洞扩散段下游即出现空化。

斜门槽模型比尺选用 1:30, 矩形槽体开设在水洞有机玻璃观察窗上。门槽体型共有 3 种方案, 每种方案做两块模, 一块供观察和激光测速用, 另一块供测压和噪声量测用, 同时安装在水洞工作段的观察窗上。门槽体型的 3 种方案是:

(1) 原方案: 宽深比大体为 1:2, 尺寸为 39mm×18mm;

(2) 有错位的修改方案, 宽深比大体为 2:1, 尺寸为 39mm×18mm, 下游方角处有错位

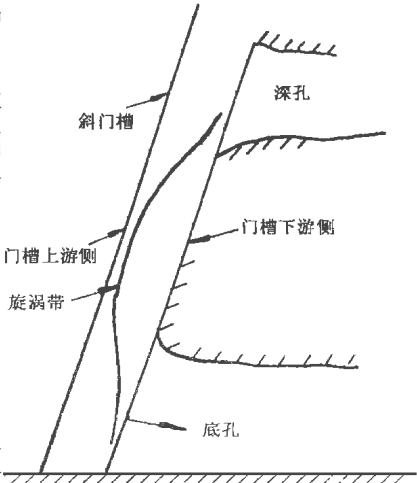


图 1 斜门槽内的旋涡带

收稿日期: 1998—01—20

第一作者 女 1954 年 11 月生 大学本科 工程师

3mm,斜坡长 40mm;

(3)宽深比为 1:1 的方案:尺寸为 39mm×39mm。

矩形槽与水流方向斜交(1:0.15),槽高 240mm,期盼尽可能达到二元流动特性,在模型的 B 点处设测压孔,测得的静压为 P_B ,水洞段静压为 P_0 。

压力测量用静压管;噪声测量用 B&K8103 水听器经 B&K2010 频谱分析仪放大处理后由 B&K2307 记录,记录噪声谱的频率范围为 20Hz~20kHz;矩形槽内流速分布的测定由美国 TSI 公司 9100—9 型激光测速仪(IDA)进行,方框图如图 2。



图 2 激光测速方框图

1.2 试验成果

在确定测量内容时,主要从以下 3 条途径来判断涡带的性质。

1.2.1 测量压力和速度分布,计算涡带中心最低压力系数 $CP_{\min}=P_0-P_i\sqrt{\left(\frac{1}{2}\cdot\rho V_0^2\right)}$,式中 P_0 为水洞工作段压力, P_i 为涡带中心压力, ρ 为水的密度, V_0 为水洞工作段平均流速;定义来流空化数 $k=P_0-P_v/(\frac{1}{2}\rho V_0^2)$, P_v 为饱和蒸气压力。于是当 $k<CP_{\min}$ 时,旋涡空化起始或发展。

1.2.2 噪声谱测量:如斜门槽内在有明显透明涡带时,其噪声谱的高频成分明显地丰富并大于无透明涡带在该频段内的分贝值,即表明涡带是旋涡空化带,反之则为气带。

1.2.3 水洞中的水质经除气后,观察在低空化数 $k=0.5$ 时是否出现透明涡带。若出现则有可能是旋涡空化带,应采用上述两种途径进行判断;若未出现,则表明无旋涡空化带发生。

在上述原则指导下,量测的主要成果为:

(1)压力量测成果,见表 1。表中 P_0 为水洞工作段绝对压力, P_B 为斜门槽内 B 点的绝对压力。

表 1 $P_0、P_B$ 量测成果表

方案	来流空化数 K	7.88	0.913	0.50
原方案	$P_0(\text{kPa})$	99.737	12.435	7.257
	$P_B(\text{kPa})$	94.157	10.376	6.669
有错位方案 (修改方案)	$P_0(\text{kPa})$	99.737	12.435	7.257
	$P_B(\text{kPa})$	94.079	10.621	5.188
宽深比 1:1 方案	$P_0(\text{kPa})$	99.737	12.435	7.257
	$P_B(\text{kPa})$	94.275	10.621	6.424

(2)斜门槽内速度分布

门槽上游水洞边界层流速分布和门槽内 B 点处垂直于门槽侧壁的速度分布见图 3 所示。

(3)噪声谱和总声级

为能较好地比较门槽内有无透明涡带在谱级和总声级上的差别,判断透明涡带是气带还是空化带,考虑了两点:一是对水洞中的水质不除气,以便能观察到透明涡带,这是进行比较的前提;二是选择了 3 个典型的有比较意义的工况: $k=7.88$, 无透明涡带; $k=0.913$ 有微

弱透明涡带或明显透明涡带, 视门槽尺寸不同; $k=0.5$ 有明显透明涡带, 水洞扩散段下游有强烈的空泡溃灭声, 即水洞已空化, 水中充满气泡。

原方案, 有错位的修改方案和宽深比 1:1 方案等 3 种斜门槽在不同运行工况下的噪声谱和总声级见图 4(a)至图 6(c)。

除上述工况下的噪声测量外, 还观察了除气后空化数 $k=0.5$ 时的斜门槽内流态, 未发现任何透明涡带, 表明没有旋涡空化带。

1.3 成果分析

1.3.1 从各方案斜门槽内旋涡带的速度分布和压力看是否存在旋涡空化带

从图 3 可知, 斜门槽内水流的流动构成了一个明显的强迫涡, 速度分布接近于势涡中的涡核区的流动, 如果旋涡中心的压力为 P_i , 边界上的压力为 P_B , 速度为 V_B , 那么 P_i 可由下式求得

$$P_i = P_B - \frac{1}{2} \rho V_B^2 \tag{1}$$

式中 ρ 是水的密度, V_B 是门槽内 B 点处之流速。

比较图 3 可看出, 原方案的 $V_B=1.25\text{m/s}$ 为最大, 门槽内旋涡强度最强, 容易发生空化; 有错位的修改方案的 $V_B=0.89\text{m/s}$, 门槽内旋涡强度较弱, 不易产生空化; 宽深比为 1:1 方案的 $V_B=0.71\text{m/s}$, 槽内旋涡强度最弱, 亦就最不易产生空化。

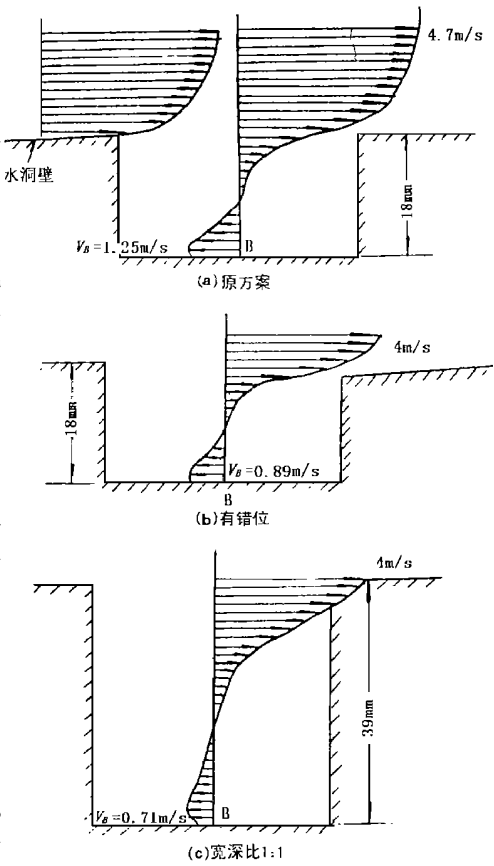


图 3 各方案门槽内流速分布

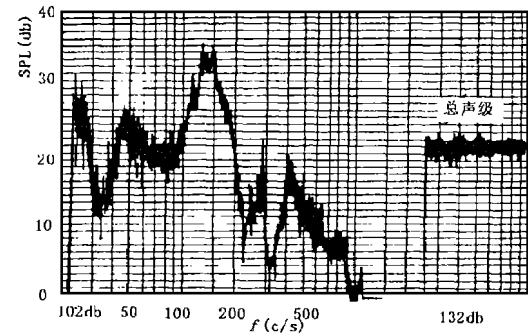


图 4(a) 原方案 $k=7.88$ 噪声谱

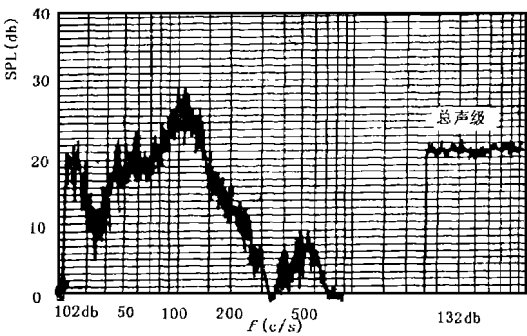


图 4(b) 原方案 $k=0.913$ 噪声谱

尽管以上 3 种门槽尺寸在旋涡强度上存在着一些差别, 但总的来说门槽内的水流速度都远较门槽外的来流速度为小, 旋涡强度较弱, 旋涡中心压力下降也不会很大, 它表明这类门槽都是不易产生旋涡空化的。

1.3.2 从原方案斜门槽内旋涡带的临界空化数看是否存在旋涡空化带

作为粗略估算, 旋涡空化的起始可以用涡心最低压力系数 CP_{\min} 作为判据, 只有在 $k <$

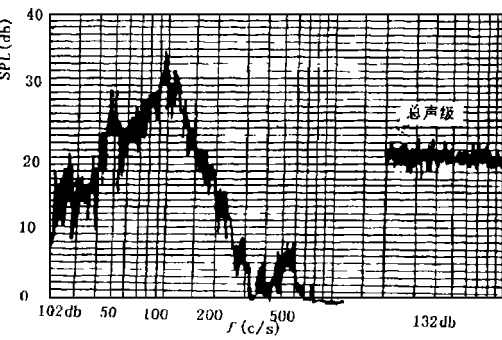


图 4(c) 原方案 $k=0.5$ 噪声谱

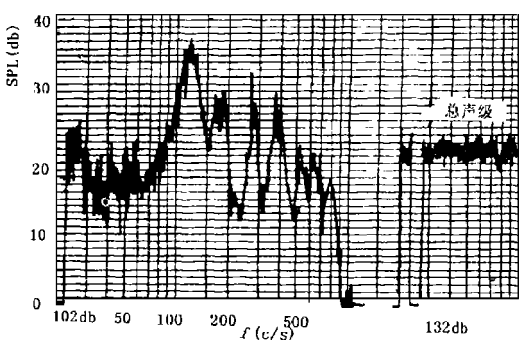


图 5(a) 修改方案 $k=7.88$ 噪声谱

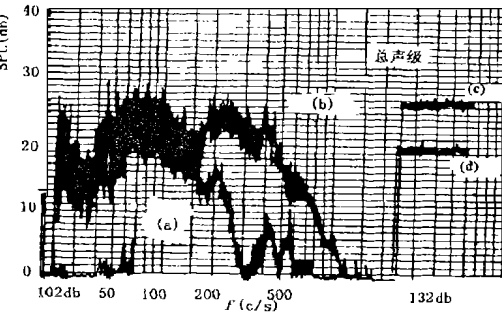


图 5(b) 修改方案 $k=0.5$ 噪声谱

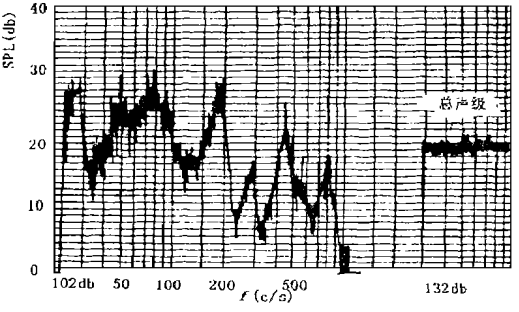


图 6(a) 宽深比 1:1 方案 $k=7.88$ 噪声谱

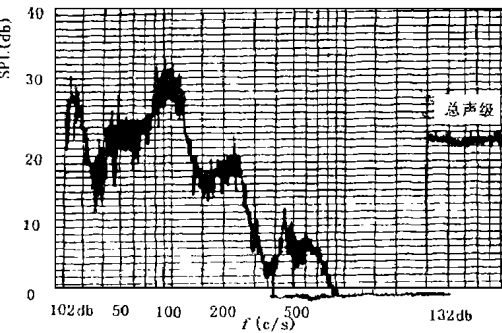


图 6(b) 宽深比 1:1 方案 $k=0.913$ 噪声谱

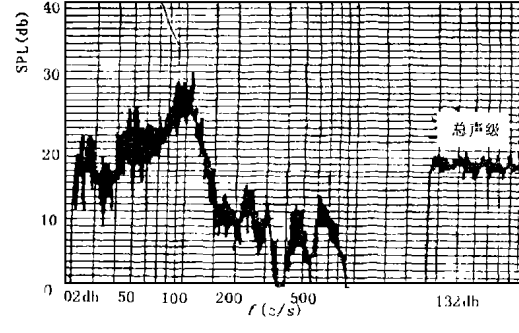


图 6(c) 宽深比 1:1 方案 $k=0.5$ 噪声谱

CP_{\min} 时,旋涡空化才会起始或发展,矩形门槽内旋涡中心的压力系数可由下式计算

$$CP_{\min} = \frac{P_0 - P_i}{\frac{1}{2} \rho V_0^2} = \frac{P_0 - P_B}{\frac{1}{2} \rho V_0^2} + \frac{V_B^2}{V_0^2} \tag{2}$$

将试验中测得的各参数 V_0, P_0, V_B, P_B 值代入,得到的 CP_{\min} 值列入表 2。

表 2 不同 k 值时由式(2)计算出的 CP_{\min} 值

k	7.88	0.913	0.50
CP_{\min}	0.509	0.225	0.11

由表 2 可见,在任何来流空化数条件下都有 $k > CP_{\min}$,因此,可以认为即使在原方案的

矩形方角门槽内也不会产生旋涡空化带。

1.3.3 用声测法判断原方案斜门槽内是否发生了旋涡空化带

比较图 4(a)和图 4(c),前者来流空化数高, $k=7.88$,无透明涡带;后者来流空化数低, $k=0.5$,有明显的螺旋形透明涡带。但后者与前者的噪声都集中在低频,无表明空泡噪声的高频成分,总声级甚至还略低于前者,由此可以看出,这条透明涡带并不具备空化所具有的声学特性,它只能是 1 条充满空气才变得透明的气带。

最后,水洞水质在除气后, $k=0.5$ 的工况下,斜门槽内透明涡带消失,也无发现门槽其它部位有透明的预示空化的迹象,从直观上说明了空化带的不存在。

1.3.4 门槽下缘错位(修改方案)对旋涡空化强度的影响

门槽错位会减小门槽内的水流速度,测得的门槽内侧壁 B 点流速 $V_B=0.89\text{m/s}$,小于原方案无错位的 B 点流速 $V_B=1.25\text{m/s}$,见图 3,对推迟空化起始有利。

将试验测得的各参数 V_0, P_0, V_B, P_B 值代入式(2)得到的 CP_{\min} 值列于表 3。

表 3 不同 k 值时由式(2)计算出的 CP_{\min} 值

k	7.88	0.913	0.50
CP_{\min}	0.48	0.175	0.05

在任何来流空化数条件下,都有 $k > CP_{\min}$,无旋涡空化发生,并且 CP_{\min} 值都低于原方案的 CP_{\min} 值,因而更不易发生空化。

比较图 5(a)和图 5(b)的频谱(α 线)可知,后者空化数低,有微弱的透明涡带,与无透明涡带的图 4(a)所示的噪声谱相比,并无象征空化特性的高频噪声出现,总声级反略有降低,因此,可以认为有错位的门槽内出现的这个微弱透明涡带也是 1 条气带。

1.3.5 宽深比为 1:1 的矩形门槽的空化起始

宽深比为 1:1 的矩形门槽测得的 $V_B=0.71\text{m/s}$,比有错位的门槽的 $V_B=0.89\text{m/s}$ 还要小,旋涡强度应更弱。相应的最低压力系数 CP_{\min} 列于表 4。

表 4 不同 k 值时由式(2)计算出的 CP_{\min} 值

k	7.88	0.913	0.50
CP_{\min}	0.436	0.158	0.03

该方案的 CP_{\min} 值最小,最不易发生空化,其原因就是 V_B 值小。

通过声测所得的频谱图 6(a)和图 6(c),也可以同样看出,有明显涡带的噪声谱图 6(c)不比无透明涡带的频谱图 6(a)有更多的高频噪声贡献,总声级也与无透明涡带时的相等。由此可见,宽深比为 1:1 的矩形槽内出现的透明涡带也是 1 条气带。

2 结 论

2.1 由双层泄流排沙孔减、常压试验发现的进口斜门槽内的透明涡带现象,经二元水洞进一步试验,从最小压力系数、噪声谱诸因素综合判断,可以明确它是 1 条气带。这条气带的形成是由于在减压箱(或水洞)试验中为得到相似真空度(或低来流空化数)必须的高真空度运行工况所产生的,高真空度的运行可使在常压情况下本来就溶解于水中的空气分离出来,在减压箱(或水洞)中形成可见的空气泡,因为空气泡比水轻,一旦它们接近斜门槽旋

涡流动区就被卷入旋涡中心,形成 1 条透明的涡带,水洞试验在除气后,透明涡带即消失,但门槽内的旋涡运动仍存在,减压水箱无除气装置,所以透明涡带始终存在。由此看来,这条透明的气带说明那里有旋涡运动。

2.2 斜门槽旋涡空化起始的临界空化数 k_i :经水洞试验(包括前述 3 种门槽体型),其值小于 0.5。三门峡双层泄流排沙孔在汛期最高运用水位 325m 时,斜门槽来流空化数 k 值为 3.7, $k > k_i$ 甚多,所以原型斜门槽是不易产生旋涡空化带的。因此在选择三门峡双层孔斜门槽改善方案时,应注意考虑如何防止或减少高含沙水流的冲击、磨损危害,据上述试验,有错位的门槽在这方面优点更多。

参考文献

- 1 柳康宁. 矩形门槽内旋涡空化形成的物理机制. 上海交通大学学报, 1984(5): 10~12

Study on the Property of the Turbulent Belt over the Access Gate Chute to a Discharging Bi-layer Tunnel

Gou Zhaoli Chai Bingqin

(*Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission*)

Hu Zhanguo

Zhang Liangshu

(*Zhengzhou University of Technology*) (*Water Conservancy Bureau of Tongxu County*)

Abstract The result of the two dimensional hydraulic test conducted by the authors has proved that the turbulent belt over the access gate chute to a discharging tunnel, which was found in the cavitation and normal hydraulic tests, is an aerified flow belt. And the authors explain the reasons for its forming. The research results are of great practical importance both in finding the reasons for the failure of the gate chute to the discharging bi-layer tunnel through Sanmenxia Dam and in selecting the improved engineering measures.

Keywords gate chute; turbulent belt; noise spectrum