

大型泵站箱涵式双向进水流道试验研究*

周济人 刘超 袁家博 鄢碧鹏 汤方平
陆林广 仇宝云 冯旭松 张平易 张仁田

(扬州大学水利与建筑工程学院水利水电工程系, 扬州, 225009; 江苏省水利厅, 南京, 210006; 江苏省水利勘测设计研究院, 扬州, 225009)

摘要 通过模型试验研究了箱涵式双向进水流道内的涡带发生规律及有效的消涡防涡措施,并对影响工程投资及装置性能的主要尺寸如悬空高、流道宽度及吸水喇叭管进行了试验研究. 结果表明:流道尺寸在常规取值范围内对装置效率的影响较小,而这类流道的主要问题是其内部的涡带.

关键词 泵站; 泵装置; 箱涵式双向进水流道; 模型试验

中图法分类号 TV 675

箱涵式双向进水流道泵站是近年来在总结双向钟形流道及开敞式进水池研究成果基础上发展起来的一种新的泵站结构形式,如图1所示. 这种型式的泵站通过流道闸门的协调控制实现自引、自排、抽引、抽排等功能,集“一站四闸”于一体,采用立轴开敞式轴流泵,水泵支承于进出水流道间的隔板上. 流道断面均为矩形,采用喇叭管吸水. 但是,这种形式的泵站也存在装置效率不高,进水流道内易产生吸气漩涡等问题^[1],结构尺寸还未得到较好的优化. 本文结合泰州引江河工程泰兴泵站在扬州大学高精度水泵通用试验台进行的泵装置模型试验,对箱涵式进水流道进行流态及尺寸优化研究,获得了有价值的成果.

1 流态特点及消涡措施

1.1 流态特点

这类进水流道内水流的基本特征是水流在进入叶轮室前的流动分为两个阶段: 在流道内向喇叭管的汇集阶段; 在喇叭管内的流场调整阶段^[2]. 在第1阶段,由于一部分水流直冲流道盲端再折回流入喇叭管,水流条件极为复杂,易于形成漩涡. 若涡带伸入水泵可能引起机组甚至泵房振动,影响工程安全,从而成为主要问题. 在第2阶段,由于喇叭管出口即为水泵叶轮的进口,喇叭管整流效果的好坏决定了叶轮进口断面的流场,从而直接影响水泵性能.

1.2 流道内的涡带

这类进水流道内的涡带三类,附底涡、侧壁涡和盲端涡(喇叭管后部的附顶涡). 本次试验中,对两种情况的喇叭管下部导流形式进行了消涡防涡试验,试验时流道尺寸为:流道宽度 $B = 2.867D$,悬空高 $P = 0.483D$ (D 为叶轮直径, $D = 300\text{ mm}$).

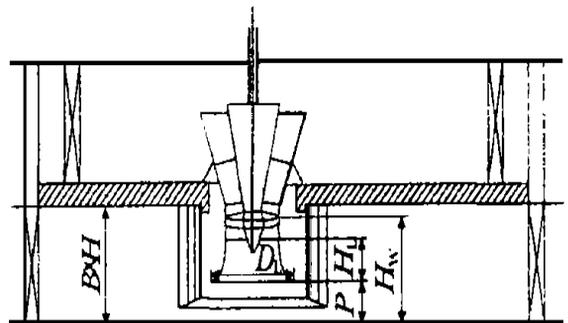


图1 箱涵式双向进水流道示意图

* 国家重点工程试验研究项目

收稿日期: 1999-09-06

1) 喇叭口下部设置隔板. 曾有人试验,在喇叭管下方设置一定高度的隔板可防止涡带的产生,但在本次试验中,当 $Q > 250 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ 时 (Q 为试验转速下的实测流量,下同),喇叭口下部出现涡管直径约为 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 的涡带,涡带起始于进水流道底板,并位于隔板的左右两侧,伸入喇叭管. 出现频率随流量的减小而降低,大流量时 ($Q > 310 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$),涡带出现频率 $f > 10 \sim 15 \text{ 次} \cdot \text{min}^{-1}$,但规律性并不十分明显,时有时无,涡带滞留时间很短. 涡带起始点位置如图 2 所示,距中心约 5 cm 左右,紧靠隔板,并偏向来流方向.

进水流道盲端亦有涡带产生,涡带起始于盲端顶壁,伸入喇叭管,且在隔墩的两侧均有出现,在实测流量 $Q = 323.4 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,两侧涡带几乎同时出现,并连续进气,接连不断,涡带较粗,涡管直径约 8 mm 左右,位置如图 3 所示. 随着流量的减小,涡带出现的频率降低,当实测流量 $Q = 272.7 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,在约 10 min 观察时段内仅出现 2 次,在 $Q = 256 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,涡带消失. 试验发现,当盲端顶壁有气囊时,特别容易产生盲端涡带.

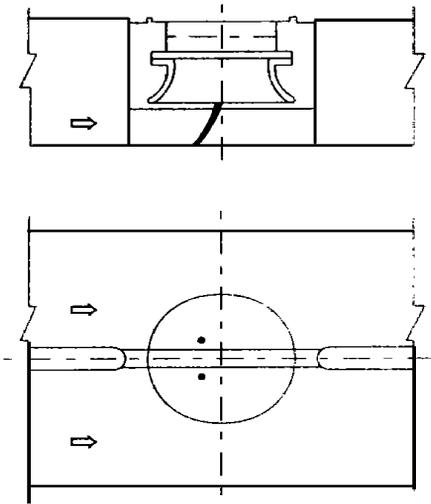


图2 附底涡发生位置示意图

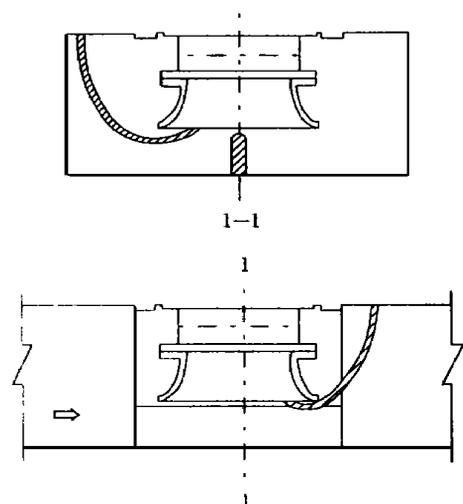


图3 盲端涡带示意图

在流道侧壁,当实测流量 $Q > 261 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,仅在图 1 中迎面侧观察窗处有明显的水流旋转现象,偶见细小涡带形成.

2) 喇叭口下设导流锥. 将隔板改为导流锥后,喇叭口下部的附底涡带完全消除,导流锥的设置,有效地改善了喇叭管下部的进水流态,但是,盲端涡带依旧存在,侧壁涡带情况与设置隔板情况相似.

根据试验观察,涡带进泵时,均未出现明显的振动声,这可能有两种原因: 涡带在叶轮进口前即已碎裂,由于在叶轮室未开观察窗,无法看到涡带是否伸入叶轮,但根据以往钟形流道的试验经验,如此粗的涡带应该伸入叶轮; 叶轮室被水体包围,涡带入泵产生的振动被水体所吸收. 后者的可能性较大. 从泵装置的性能来看,两种不同的进水导流措施,对水泵装置的性能几乎没有影响.

3) 消涡防涡措施. 喇叭口下设置隔板和导流锥均不能有效消除流道内的全部涡带. 为此,根据涡带的生成原理^[3],设计了独特的消涡防涡栅(已获国家专利,专利号 ZL96231988.0),贴于涡带可能发生的部位,有效地消除了涡带,且对装置性能没有影响. 下述试验均在设置消涡防涡栅条件下进行.

2 喇叭口悬空高对装置性能的影响

喇叭口悬空高是对应于流道高度的一个主要参数,喇叭口悬空高对减小泵站挖深、减少土建投资有很大影响,同时,对泵站装置性能亦有一定影响.

在其他条件相同的情况下,通过改变流道底板高度,对 3 个不同喇叭管悬空高 P/D 分别为 0.32, 0.483, 0.687 进行了比较试验,试验时流道宽度保持 $B = 2.867D$, 结果表明:当 P/D 为 0.32 和 0.483 时,装置效率变化差异较小,但当 P/D 为 0.687 时,装置效率有所提高,与前者的悬空高情况相比,最高效率点提高了 1.3% ~ 1.6%。低扬程情况下,效率增幅值较高,小流量情况下,效率趋于接近。在 $B = 2.3D$, P/D 由 0.68 减至 0.48 时,效率曲线最高点值下降约 1.5%。这是因为当悬空高过低时,喇叭口下部的流速过大,阻力损失增加,同时由于流速高,喇叭管对管内流场难以及时有效地调整,导致叶轮进口的流速分布不均匀,从而降低了装置的效率。在悬空高 $P/D = 0.687$ 时,最高效率点的运行工况与其余两种悬空高相比略有偏移,流量约大 $10\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, 扬程约低 0.18 m。

3 喇叭管形式对装置性能的影响

喇叭管在中小型泵站中是一种常见的吸水结构,其形状尺寸对水泵叶轮进口流速分布和压力分布有直接影响,大型泵使用喇叭管作为进水结构应予以重视,为此共设计了 4 种不同形式的喇叭管进行试验,其尺寸如表 1 所示。

上述 4 种喇叭管口中 1 ~ 3 号为铸铁,壁厚 8 mm, 4 号为混凝土结构,外壁为圆柱面,圆柱直径 430 mm,如图 4 所示,试验时流道总高度及叶轮中心高程保持不变,流道宽度 $B = 2.867D$ 。

表 1 进水喇叭管的特征尺寸

喇叭管编号	喇叭管高度 H_L/mm		进口直径 D_L/mm		出口直径 D_1/mm	
	H_L	H_L/D	D_L	D_L/D	D_1	D_1/D
1	162	0.540	432	1.440	292	0.973
2	162	0.540	492	1.640	292	0.973
3	162	0.540	540	1.800	292	0.973
4	100	0.333	430	1.433	292 </td <td>0.973</td>	0.973

试验表明,装设 1 号、2 号、3 号喇叭管时的装置性能几乎一

样, $H-Q$ 、 $N-Q$ 、 $\eta-Q$ 3 条曲线几乎重合,取消喇叭管,叶轮进口直径仅为 430 mm 的叶轮室法兰,且为锐缘,这时其装置性能最高效率与前面 3 种喇叭管情况相比低 0.8%,但在大流量情况下,由于进口损失的增加及流态的恶化,效率有较大降低,约低 3%。装设 4 号喇叭管时与装设 1 号喇叭管相比,最高效率点效率高 1.3%, (此时喇叭口悬空高分别为 $P/D = 0.687$ 和 0.483)。在大流量工况,装置效率提高值较大。如当流量为 $399\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,效率提高 4.9%,这对低扬程泵站来说,节能效果是非常明显的。

上述试验结果表明: 在高度一定、喇叭管进口直径在 $(1.44 \sim 1.80)D$ 范围内变化对装置性能影响甚微,这也为数值模拟所验证; 一般认为,较大的喇叭管高度利于管内流场的整流,但在流道总高度不变的情况下,由于悬空高度的减少,喇叭管进口流速加大,管口流态相对恶化,加长了的喇叭管难以达到较为理想的整流效果。根据对开敞式进水池的研究^[4],当保持喇叭管高度一定,在悬空高 $P < (0.50 \sim 0.60)D$ 时,叶轮进口的流速均匀度随 P 的增大而增大,而当悬空高保持一定时,增大喇叭管高度,同样使叶轮进口均匀度提高,反映到装置性能上即效率提高,因此对箱涵式流道,在总高度不变时,喇叭管高度、悬空高对装置性能的影响是互相制约的。曾有研究表明,增加悬空高(减小喇叭管高度),使叶轮进口的流速分布均匀度得到了提高。这也进一步说明,在箱涵式进水流道设计中,在流道总高度一定的情况下适当加大悬空高是非常重要的; 对于双向箱涵式进水流道,采用小喇叭管较为有利,这一方面减少了喇叭管造价,另一方面,对加大自引、自排过流能力以及减小过流时因水流绕喇叭管流动而可能引起的振动亦有利。

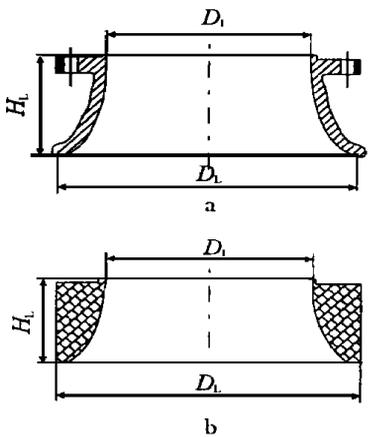


图 4 喇叭管形状示意图

a. 13 号; b. 4 号

4 流道宽度对装置性能的影响

流道宽度是影响泵站投资的重要因素,对装置性能亦有一定的影响. 模型试验在悬空高 $P/D = 0.687$ 情况下,对4个不同流道宽度进行了试验研究,流道宽 B/D 分别为 2.973、2.867、2.587 和 2.267,在流道宽度 $B/D = 2.973 \sim 2.587$ 范围,流道宽度对装置性能无显著影响,当流道宽度 $B/D = 2.267$ 时,装置效率略有降低,比最高效率点约低 1%,低扬程大流量时则降低值较大. 上述结果说明,流道宽度可在 $B/D = 2.973 \sim 2.587$ 范围内选择,但在不影响泵站上部结构布置及满足自流能力情况下,可取小值,过大的流道宽度无实际意义,反而增加工程投资.

5 结论

1) 箱涵式双向进水流道虽结构简单,但流道内流态复杂,易在侧壁、底壁及盲端顶壁产生吸气涡带. 导流锥可消除附底涡,消涡防涡栅可根本上消除各部涡带,且对装置性能没有影响.

2) 在相同喇叭管高度下,喇叭管进口直径在 $(1.44 \sim 1.80)D$ 范围变化对装置性能没有影响. 在进水流道高度不变的情况下,喇叭管高度、悬空高对装置效率的影响相互制约. 箱涵式进水流道的设计应适当减少喇叭管高度,增加悬空高,以提高装置效率. 采用小喇叭管较为有利.

3) 流道宽度 $B = (2.973 \sim 2.587)D$ 范围时,对装置性能影响较小.

4) 试验表明,影响箱涵式流道泵站装置效率的最关键因素是出水结构,出水结构优化后,模型装置的最高效率可达 71.4%,与常规的出水结构相比提高了 6%~7% (另文发表).

6 参考文献

- 1 刘超. 低扬程水泵及其装置的研究与发展. 江苏农学院学报, 1998, 19(水利专辑): 5~12
- 2 陆林广,周济人,叶健,等. 泵站进水流道的流态分类及优化水力设计. 江苏农学院学报, 1998, 19(水利专辑): 19~24
- 3 陈玉璞主编. 流体力学. 南京: 河海大学出版社, 1990. 82
- 4 陆林广,张仁田. 泵站进水流道优化水力设计. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 32~33

MODEL TEST ON THE TWO-WAY SUCTION BOX OF LARGE PUMPING STATION

Zhou Jiren Liu Chao Yuan Jiabo Yan Bipeng Tang Fangping
Lu Linguang Qiou Baoyun Feng Xushong Zhang Pingyi Zhang Rentian

(Dept of Hydr and Hydroelec Engin, Hydr and Civil Engin Coll, Yangzhou Univ, Yangzhou, 225009;
Jiangsu Prov Water Consv Dept, Nanjing, 210006; Inst of Surv and Des of Jiangsu Prov, Yangzhou, 225009)

Abstract The regularity of vortex happening and the methods of eliminating and preventing vortex in two-way suction box have been studied in this model test. The factors, which notably influence on the capital investment of pumping station and the performance of pump system, such as bottom floor clearance, box width, etc., also have been tested. The results show that the efficiency of pump system is hardly effected by the variety of suction box size within the normal range. Vortex is the main problem for this kind of suction box.

Keywords pumping station; pump system; two-way suction box; model test

(本文责任编辑 晓文)