

突扩突跌体型侧墙负压区的演变特征

聂孟喜 段 冰 李琳琳

(清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室(筹), 北京 100084)

摘要 针对突扩突跌体型泄水建筑物侧墙上呈现出的复杂水力特性, 通过大比尺模型试验, 测量了突扩突跌体型侧墙上的平面压力分布, 绘制了侧墙等压线分布图, 并对其分布特征及演变规律进行研究。结果表明, 突扩突跌体型侧墙上存在呈椭圆形分布的负压区域, 负压区的范围、负压值等随水头变化较大, 但是负压区的中心位置具有相对稳定性, 其相对稳定位置与侧空腔的长度有关。

关键词 泄水建筑物; 突扩突跌体型; 建筑物侧墙; 压力分布; 负压区; 等压线

中图分类号: TV131.6

文献标识码: A

文章编号: 1006-764X(2006)06-0034-03

Evolution characteristics of zones of negative pressure along sidewall of discharge structure with a shape of sudden lateral enlargement and vertical drop // NIE Meng-xi, DUAN Bing, LI Lin-lin (State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering (Preparation), Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract The pressure distribution along the sidewall of a discharge structure with a shape of sudden lateral enlargement and vertical drop was measured through large scale model tests. The isobar distribution along the sidewall was plotted, and the characteristics of pressure distribution and its evolution pattern were studied in detail. The results show that the zones of negative pressure are elliptically distributed along the sidewall, and that their range and the value of negative pressure fluctuate greatly with water head, while the center of the zones of negative pressure always keeps steady, which is related to the length of lateral cavity.

Key words: discharge structure; shape of sudden lateral enlargement and vertical drop; sidewall of structure; pressure distribution; zone of negative pressure; isobar

随着坝工技术的提高和我国水利水电建设事业的快速发展, 高水头、高流速泄水建筑物正在迅速增加, 一批坝高在 200 ~ 300 m 的超高坝和超高速水流的巨型水电工程将陆续建成。泄水建筑物中的高速水流问题、空蚀破坏问题日益突出, 成为高坝设计、建设的制约因素之一, 因而备受工程界及研究人员的关注。

突扩突跌体型侧墙既可以作为掺气设施, 满足掺气减蚀的要求, 又适合于偏心铰弧门采用同曲面液压密封框止水, 以保证闸门止水的安全可靠和优良运行, 因此在工程中应用日益普遍。由于侧向突扩的存在, 高速水流从有压段流出后发生横向扩散, 在侧墙上形成高压冲击带, 随后, 由于扩散水流受到折冲作用, 侧墙压力迅速下降, 在流速较高的情况下, 有可能产生负压, 造成不利影响。由于缺乏成熟的工程经验和理论依据, 国内外已建工程中均有侧墙发生空蚀破坏的实例。因此, 通过试验来研究突扩突跌体型侧墙压力的分布及演变特征, 揭示其对

侧墙空化空蚀的影响, 具有现实意义。

1 模型设计与试验内容

试验研究在三峡工程泄洪深孔突扩突跌体型水工模型上进行。原型尺寸: 有压洞出口高 9 m, 宽 7 m, 侧扩 0.5 m, 跌坎高 2 m。模型按重力相似准则设计, 模型比尺为 1:30, 采用有机玻璃制作, 模型最大流量为 250 L/s, 出口断面流速为 4.5 ~ 7 m/s。在模型的侧墙上, 布置了 3 排时均压力测孔, 以测量突扩突跌体型侧墙上的时均压力分布特征及演变规律。模型立视图及侧墙时均压力测点布置如图 1 所示。

2 试验研究成果

图 2 为试验测得的侧墙一维时均压力曲线(试验水头 2.5 m, 中排压力测点)。图示结果表明, 由于侧扩水流受到侧墙的折冲作用, 冲击带下游的侧墙压力迅速降低, 若流速较高, 则会在侧墙上形成一定范围的负压区域。经过负压区后, 侧墙压力逐步回

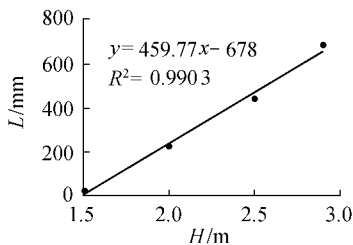


图4 负压区长度 L 与试验水头 H 的关系

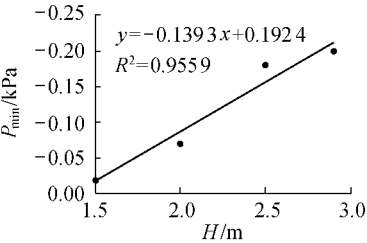


图5 最小负压值 $P_{\min}$ 与试验水头 H 的关系

根据图4所示的负压区长度与试验水头的函数关系,可以得出负压区长度为零时试验水头为1.47 m;根据图5所示的最小负压值与试验水头的函数关系,可以得出最小负压值为零时试验水头为1.38 m。两者水头基本接近,按平均值计算,试验水头为1.43 m时模型侧墙上即产生负压,此时有压段出口流速约为4.37 m/s。按模型比尺1:30换算至原型,可以得出突扩突跌体型侧墙上产生负压的临界流速约为24 m/s。这一临界流速与实际工程中侧墙发生空蚀破坏的初始流速相近^[3]。超过临界流速后,突扩侧墙上即产生负压,此时仅靠控制侧墙表面的平整度不足以防止空化空蚀现象的发生。

2.3 负压区中心位置的相对稳定性

试验中观察到在水头为2.0 m 2.5 m 2.9 m的情况下,虽然负压区的长度随水头升高而向上、下游方向迅速增长,但是负压区中心点(即最小时均压力值点)的位置却大致稳定,如图6所示。按照有压段出口流速计算,这一稳定范围对应的模型流速为5.3~6.4 m/s,原型流速为28.9~35.2 m/s,在此范围内负压区的中心位置保持稳定。根据模型试验的测量结果,负压区中心点的相对稳定位置与跌坎的距离约为633 mm,换算至原型时该距离为19 m。

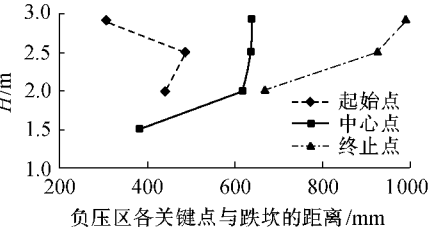


图6 负压区中心位置的相对稳定性

从试验结果来看,负压区中心的相对稳定位置与侧空腔的长度相关,如表2所示,试验水头为1.5 m时侧空腔较短,相应地,最小负压值点的位置

表2 最小负压值点的位置与侧空腔长度的关系

试验水头/m	最小负压值点位置/mm	侧空腔长度/mm
1.5	387	108
2.0	620	156
2.5	638	159
2.9	640	163

也比较靠近上游(此时负压尚不明显);当试验水头上升至2.0 m 2.5 m 2.9 m时,侧空腔的长度基本稳定,约为160 mm(侧空腔中部长度),相应地,最小负压值点的位置也表现出了稳定性。一般而言,负压中心的相对稳定位置是由突扩突跌体型所决定的,突扩比、侧墙折流器等都会影响侧墙空腔的长度,从而影响负压中心的位置。已有的试验结果表明^[4],增设侧墙折流器后,侧墙冲击带后移,侧空腔加长,侧墙负压区也随之向下游移动。

负压区中心位置的相对稳定性对于侧墙空化空蚀特性的研究具有积极意义,可以根据负压区中心的相对稳定位置,有针对性地布置工程措施进行防护。对于特定的突扩突跌体型,可以预先通过试验确定侧墙最小时均压力的稳定位置(通过改变体型、设置侧墙折流器等手段,亦可对此位置进行调整);以此为中心,估算负压区域向上、下游方向延伸的长度,根据工程要求,确定重点防护位置及范围,达到保护侧墙、减免空蚀破坏的目的。

3 结 论

- 当模型有压段出口流速达到4.37 m/s时,下游侧墙上即开始产生负压。换算至原型,突扩突跌体型侧墙上产生负压的临界流速约为24 m/s。
- 侧墙负压区呈现出以最小时均压力值点为中心的椭圆形区域。随着水头的升高,椭圆形负压区的覆盖范围迅速扩展,其长度可达到有压段出口高度的2.3倍以上。
- 侧墙负压区的中心位置具有相对稳定性。当负压区充分发展后,负压区中心点(即最小时均压力值点)的位置即趋于稳定,不再随水头的升高而改变。负压区中心点的相对稳定位置是由突扩突跌体型所决定的。

参考文献:

- [1] 聂孟喜,吴广镐,王小明.掺气折流器对侧空腔和底空腔长度的影响[J].水利学报,2002(5):91-96.
- [2] ERIVINE D A.紊流结构与掺气[J].水利水电快报,1996,17(6):1-6.
- [3] 于琪洋.挑坎型掺气减蚀措施过流掺气特性研究[D].北京:清华大学,1993.
- [4] 聂孟喜,吴广镐.侧向折流器对侧空腔和底空腔掺气参数的影响[J].清华大学学报:自然科学版,2003,43(8):1116-1119.

(收稿日期:2005-12-26 编辑:高建群)