

高扬程泵站水锤消除器特性的试验研究

吴建华^① 王 涛 康成兴
(太原工业大学) (西安理工大学) (山西省农机公司)

贾贺民 郑怀山
(运城三门峡库区管理局) (稷山县水利水保局)

提 要 为有效防止高扬程泵站机组因意外失电发生水锤事故,引起水大量倒流、机组逆转,对山西杨范泵站采用的下开式水锤消除器水力特性诸参数进行了现场测试与分析,同时采用特征线法模拟,在计算机上编程进行理论计算分析对比,结果表明实测值与理论计算值基本吻合。说明:该数值模拟方法可用于解决类似复杂边界条件的水力过渡过程计算;泵站使用的水锤消除器消锤效果良好。

关键词 高扬程泵站 水锤消除器 水力特性

Test and Research on Properties of Down-opened Water Hammer Arrest at High-lift Pump Station

Wu Jianhua Wang Tao Kang Chengxing
(Taiyuan University of Technology) (Xian University of Technology) (Shanxi Agriculture and Machine Company)

Jia Hemin Zhen Huaishan
(Yuncheng San men xia Reservoir Management Bureau) (Hydroelectric and Conservancy Bureau of Jishan County)

Abstract Accidental power interruption at high-lift pump station often causes water flowing backward and machine running inversely. This is called water hammer accident. In this paper, a simulation and spot tests were given in a down-opened water hammer arrest at shanxi yangfan station. The results show that the arrest had a good performance.

Key words Water hammer arrest Water hammer Test

1 引 言

高扬程泵站的压力水管中,由于机组失电水锤事故屡有发生,为防止水锤事故的发生,国内外学者在此领域曾进行了广泛的研究,并取得了一些研究成果,但对目前广泛采用的水锤消除器特性试验研究较少见报道。

山西省杨范二级泵站属于高扬程离心式泵站,始建于1974年。为了充分发挥泵站的工程效益,1991年对机级进行了全面技术改造。但出水管路限于投资未进行改造,管路安全防

收稿日期:1994-12-20 1995-04-08 修订

① 吴建华,讲师,太原市迎泽西大街 太原工业大学水利系,030024

护仍采用原来设计的下开式水锤消除器(二个串联运行),其防护效果一直为人们所关心。而且山西省高扬程泵站采用水锤消除器较多,但对其使用性能及水力特性缺乏全面了解。为此,我们在杨范泵站进行了水锤消除器特性的现场试验研究,以取得有关资料和数据为泵站安全运行提供可靠依据。

2 试验情况与方法

2.1 试验现场概况

杨范泵站位于黄河小北干流中部,临猗县杨范村,分 4 级扬水。其中 2 级站技改前安装 14sh-6B 型号泵 6 台,在同一厂房内机组安装采用每两两串联、三组并联的输水方式,出水管径为 0.8 m 的钢筋混凝土管。技改后,仍沿用这种运行方式,机组改为 20 sh-6x(上海水泵厂特制,6 台泵同型号),配套电机为 JSQ15-6 型(750 kW),设计扬程 174.15m,单机流量 0.54 m³/s,额定转速 970 r/min,机组转动惯量 3763.2 N·m²。为防止由于意外原因事故失电后,水大量倒流,机组高速逆转,在每组水泵出水支管上安装 H44H-40 型旋启式逆止阀。为避免逆止阀的突然关闭而引起管中水锤压力,在阀后安装了 2 台口径为 0.164 m 下开式水锤消除器。机组布置如图 1 所示。

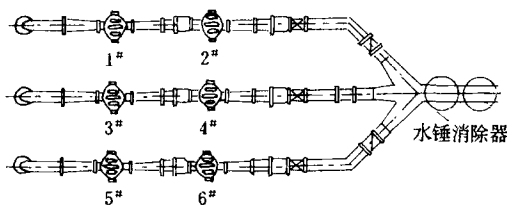


图 1 试验机组平面布置图

2.2 试验项目及测点布置

在水泵突然断电情况下,对泵及下开式水锤消除器水力过渡过程有关参数进行量测。

1) 突然失电后,4[#]机组出口处、逆止阀后、主管起始处和主管变坡处压力随时间的变化规律。

2) 水锤消除器的泄流量随时间的变化规律。

3) 突然失电后,3[#]、4[#]机组转速随时间的变化规律。

4) 利用分支管测流法量测主管流量随时间的变化规律。

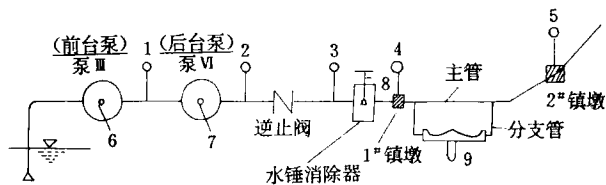
5) 突然失电后,水泵转速随时间的变化规律。

各测点布置如图 2 所示。

2.3 试验设备与量测方法

2.3.1 瞬态压力的量测

利用 ZQ-Y 型压力传感器,测点接头如图 3 所示,通过 SC-18 型光线示波器及紫外线感光纸自动记录。为了校核,在各压力测点上装有圆型金属弹



1~5. 压力传感器 6,7. 转速传感器
8. 水锤消除器(二个) 9. 差压变送器

图 2 试验测点布置图

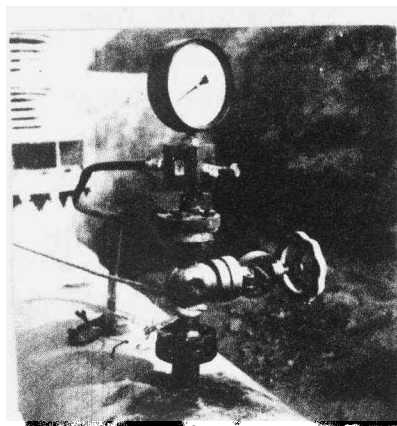


图 3 测压点接头示意图

簧压力表, 专人同时进行目测。

2.3.2 机组转速测定

采用红外线转速传感器, 旋转水泵带动敏感光学元件每转动一周, 红外线传感器感应出一个电脉冲信号, 把转速变成电量输出, 据此推得转速变化规律。

2.3.3 主管瞬态流量的量测

采用分支管测流法^[1](如图4所示)。由位移式差压变送器(SBCC型, 西安仪表厂生产), 输出标准直流信号4~20mA, 通过SC-18型光线示波仪进行记录。

分支管流量求得后, 依据“关联管段水头损失相等”, 推导出主管流量。即

$$Q = K \cdot q \quad (1)$$

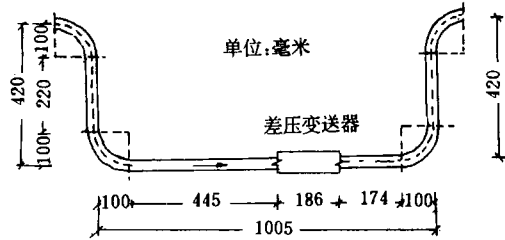


图4 分支管测流量装置

式中 Q 、 q 分别为主、支管流量(m^3/s); K 为流量倍数。

K 的取值决定于主、支管的面积比以及管材的情况^[1]。可由下式计算求得:

$$K = \left(\frac{D}{d}\right)^2 \sqrt{\frac{S_{\pm}}{S_{\text{支}}}} + 1 \quad (2)$$

式中: D 、 d 为主、支管直径(m); S_{\pm} 、 $S_{\text{支}}$ 为主、支管阻力系数。

2.3.4 水锤消除器泄流量的测定

下开式水锤消除器结构如图5所示, 安装在并联后管道的起始处。其活塞周长0.515 m, 高度2.35 m, 活塞直径0.164 m, 泄水管内径为0.2 m。其泄流量同样采用分支管原理测量, 差压变送器改用上海光华仪表厂生产的LD-25A型电磁流量计, 如图6所示

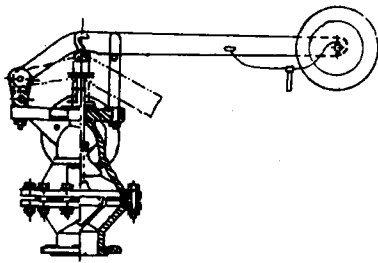


图5 水锤消除器

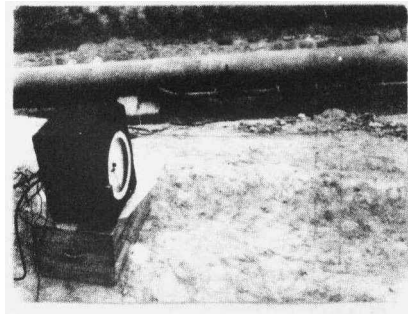


图6 消除器泄流量试验装置

3 理论分析与试验结果对比

杨范泵站的水力过渡过程, 采用目前国内流行的特征线法^[2], 在XT-386微机上模拟求解, 理论分析编程中考虑了如下假设:

- 1) 由于串联的两台泵紧联在一起, 两台泵之间的短管长度, 主管前的支管长度相对于主管较短, 故未考虑其水头损失;
- 2) 限于条件, 未对逆止阀的关闭行程进行实测, 其阻力系数采用文献[3]提供的资料;

3) 由于压力水管出流为自由式,考虑管路出水端的边界条件时,认为水锤发生后断面压力按一定时间随水柱长度的变化而变化。

理论计算与现场试验结果见表1。

表1 现场试验与理论分析结果对比

失电时间 /s	压力 /MPa		主管流量 /m ³ ·s ⁻¹		消除器泄流量 /m ³ ·s ⁻¹		机组转速 /r·min ⁻¹		备注
	理论值	实测值	理论值	实测值	理论值	实测值	理论值	实测值	
0.00	1.71	1.71	1.070	1.070	0	0	970	970	
0.10	0.72	0.74	0.940	0.930	0.092	0.095	911	926	0.1s时消除器打开
0.50	0.43	0.45	0.790	0.770	0.109	0.125	899	909	0.65s压力降至最低0.343MPa
1.10	1.95	1.98	0.680	0.630	0.198	0.212	814	825	1s左右逆止阀全部关闭
1.50	1.81	1.60	0.401	0.411	0.173	0.206	798	806	1.1s时出现最高压力1.98MPa
2.00	1.45	1.47	0.397	0.400	0.169	0.197	796	801	1.1s时消除器泄流量最大
2.50	1.71	1.74	0.400	0.399	0.174	0.195	758	799	
3.00	1.68	1.66	0.394	0.381	0.180	0.194	741	766	
3.50	1.61	1.56	0.358	0.369	0.173	0.191	608	742	
4.00	1.66	1.63	0.349	0.361	0.161	0.170	601	641	
4.50	1.56	1.61	0.350	0.359	0.163	0.167	534	601	
5.00	1.57	1.56	0.252	0.209	0.166	0.164	508	526	主管流量在5.25s以后开始倒流
5.50	1.58	1.63	0.114	0.137	0.168	0.165	424	502	
6.00	1.57	1.56	0.006	-0.002	0.168	0.166	354	440	
6.17	1.38	1.43	-0.042	-0.061	0.146	0.152	296	394	
7.00	1.40	1.42	-0.084	-0.096	0.133	0.136	208	320	
8.00	1.40	1.40	-0.172	-0.172	0.122	0.198	111	214	
9.00	1.38	1.40	-0.210	-0.210	0.100	0.112	-11	123	9s时出现最大倒泄流量。现场表明泵未出现倒转现象。整个管路无负压产生,不会出现水柱中断现象
10.00	1.38	1.39	-0.167	-0.194	0.099	0.110	-41	66	

说明 ① 表1结果为4台机组同时失电工况; ② 压力限于篇幅,仅列出具有代表性的3#压力传感器的理论分析与实测结果值; ③ 失电时间0.00秒时的状况,系指4台机组正常运行工况。

从表1可见,理论计算与实测结果基本吻合,说明数值模拟计算方法可行。存在一定误差的原因是:

1) 自由出流的边界条件较为复杂,本文采用的近似方法尚不能准确地反映其压力和流量随时间的变化,有待进一步研究。

2) 对于水锤消除器及逆止阀的水力阻力计算,由于缺乏实测资料,引用了与之相近的资料分析计算。

3) 由于缺乏比转速为60的水泵全特性数据,用比转速为77的代替,产生一定误差。

4) 含砂水流中的“含砂”对水锤的传播速度影响,亦是产生误差的原因之一。

4 水锤消除器防护管路的初步评价

下开式水锤消除器只要在发生水锤的瞬间正常动作,则最大升压力仅为正常时的16%,满足SD204-86《泵站技术规范》最高升压不应超过水泵出口额定压力的30%的要

求。泵站管路起坡处为钢管,直径 $D=0.8\text{ m}$,壁厚 $\delta=0.007\text{ m}$,当升压至 $P=1.98\text{ MPa}$ 时,钢管所产生的应力:

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2\delta} = \frac{1.98 \times 0.8}{2 \times 0.007} = 113.12 \text{ (MPa)} \quad (3)$$

小于钢管的许用应力 $[\sigma]=166.6\text{ MPa}$ 。因此消除器的正常运行有力地保证了机组安全运行。

5 结 语

1) 对杨范泵站复杂边界条件采用特征线法进行模拟计算,取得与实测吻合较好的结果,说明这一数值模拟方法可行,为解决这类复杂边界条件水力过渡过程计算提供了依据。在一般情况下,也可免除耗时费时具风险性的室内外实验。

2) 研究表明下开式水锤消除器是一种消锤效果良好的管路安全防护设备。杨范泵站在主管安装 2 台直径各为 0.164 m 的水锤消除器,当量过流面积为 $4.22 \times 10^{-2}\text{ m}^2$,泄流量为 $q=0.212\text{ m}^3/\text{s}$,泄流量为主流量的 0.198 倍。为防止水锤消除器产生拒动作,应注意适时进行维修保养。

3) 将与逆止阀联用的下开式水锤消除器和二阶段关闭蝶阀相比,两者消除水锤效果相当,但前者结构简单,安装、维修方便,价格远比后者低廉,在中心型高扬程泵站中仍有推广使用价值。如能设计制造出微阻逆止阀与之配套使用,减少能耗,则更具有应用前景。

(本试验研究得到西安理工大学栾鸿儒教授、朱满林、杨晓东副教授及山西省水利厅姜凯教授级高工的指点,深表谢意!)

参 考 文 献

- 1 孙晓祥. 分流法在大管道测流中的应用:[学位论文]. 西安:陕西机械学院,1989,5
- 2 [美]E B 怀利, V L 斯特里特著,清华大学流体传动与控制教研组译. 瞬变流. 北京:水利电力出版社,1983.80~90
- 3 杨晓东. 水泵管路泄流消除水锤的试验和计算方法研究:[学位论文]. 西安:陕西机械学院,1986