

某电厂排水管路水锤防护应用

洪国仁 杨红伟 张建鹏 段宇

南网储能股份有限公司鲁布革水力发电厂

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6644

[摘要] 曲靖某电厂排水管道在停泵时出现强烈的水锤现象,通过对管线进行稳态模拟分析,决定安装防水锤空气阀来解决这一问题。通过对空气阀的选型和安装位置进行了详细计算,在工程实施后,结合实际应用情况与停泵水锤模拟分析结果来看,空气阀的安装能够有效防止管道断流弥合水锤的发生。

[关键词] 水锤; 停泵水锤; 空气阀; 管线断流弥合; 水锤防护

中图分类号: TH3 **文献标识码:** A

Application of water hammer protection in drainage pipe of power plant

Guoren Hong Hongwei Yang Jianpeng Zhang Yu Duan

Lubuge Hydropower Plant, China Southern Power Grid Energy Storage Co., LTD

[Abstract] A power plant in Qujing experienced severe water hammer during pump shutdowns in its drainage system. Through steady-state pipeline simulation analysis, engineers determined the installation of a water hammer air valve as the optimal solution. Detailed calculations for valve selection and installation positioning were conducted. Post-implementation evaluation, combined with field application data and simulated water hammer analysis, confirmed that the air valve effectively prevents water hammer-induced pipeline rupture and seal failure.

[Key words] water hammer; pump shutdown water hammer; air valve; pipeline break sealing; water hammer protection

前言

某电厂供排水管网复杂,在日常运行过程中,由于各种原因而积存在管内的空气可能存留在管线的多个位置,水泵停泵时,流速突然变化而引起的一系列急剧的压力交替升降的水力冲击现象,管线水力过渡过程中出现负压^[1],当压力降至同温度下水的饱和蒸气压时,很可能发生水柱分离;若分离水柱具备回流的条件,两股水流很快弥合,引发极具破坏性的断流弥合水锤,造成破坏事故。

1 管段基本参数

排水管道长度约801.5米,提水静高差约34米。在低水泵停泵过程中,由于管道变径(主输水管DN300、150)及管道地形变化在水泵停泵时由于流态的急剧变化产生强烈水锤现象,泵站止回阀处瞬间最高压力达到0.9MPa,引起管道振动和噪声,严重时会导致排水管道破裂及逆止阀损坏,影响系统的安全与稳定运行。

本工程设计供水规模为485m³/h。正常情况下单泵运行,单台水泵型号及水泵参数:单台水泵设计流量Q=485m³/h,单台水泵设计扬程H=41m,转速均为1480转/分钟,水泵效率78%,采用非

自灌式吸水,吸水池水位773m,水泵、止回阀处标高775m,止回阀采用单板旋启式止回阀,口径为DN250,流量系数Kv值为696,止回阀处设计流速为:2.75m/s,止回阀处静高差32m,管线末端池水位标高807m。输水管数据:输水管管径为DN300、150,输水管材质为钢管,其摩擦系数-海森威廉系数取130,主管设计流速为1.91、7.63m/s,水锤分析按单管考虑。

1.1 水锤波速、水锤相的计算

根据管道设计参数及输送介质,利用水锤分析软件计算水锤波速如下(管径DN300、150),水锤波速计算公式:

$$a = \sqrt{\frac{K}{\rho}} * \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{KD}{Ee}}} = 1196\text{m/s}$$

因为此工况水锤波是从管线末端J-13(标高807)处开始反射,故:

水锤波速a=1196m/s;

故水锤相: u=2L/a=2×801.5/1196=1.34s。

1.2 管线数据

节点(桩号)	累计距离X	标高Y	管段	长度m	管径
J1	0	775			
J2	3	775	P-1	3	250
J3	5	777	P-2	2	250
J4	237	791	P-3	232	300
J5	397	799	P-4	160	300
J6	411	799	P-5	14	150
J7	541	788	P-6	130	150
J8	581	792	P-7	40	150
J9	604	805	P-8	23	150
J10	653	804	P-9	49	150
J11	654.5	804	P-10	1.5	150
J12	799.5	807	P-11	145	150
J13	801.5	807	P-12	2	150
				801.5	

2 稳态水力分析

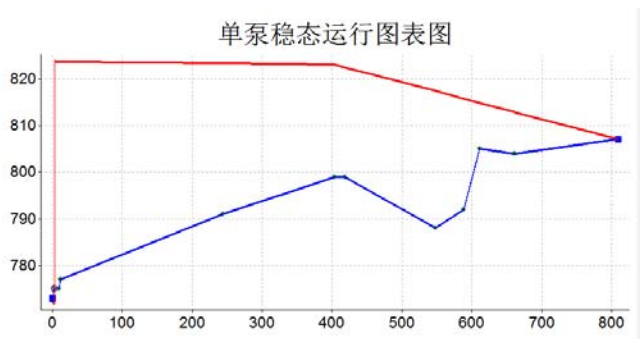
2.1 管段静态参数(考虑局部水损)

管段编号	起始节点	节点	长度	管径	曾威廉系数	局部阻力系数
P-1	J1	J2	3	250	130	0.2
P-2	J2	J3	2	250	130	0.2
P-3	J3	J4	232	300	130	0.2
P-4	J4	J5	160	300	130	0.2
P-5	J5	J6	14	150	130	0.2
P-6	J6	J7	130	150	130	0.2
P-7	J7	J8	40	150	130	0.2
P-8	J8	J9	23	150	130	0.2
P-9	J9	J10	49	150	130	0.2
P-10	J10	J11	1.5	150	130	0.2
P-11	J11	J12	145	150	130	0.2
P-12	J12	J13	2	150	130	0.2
P-13	R-1	J-1	2	150	130	0.2
P-14	J-1	I-Pump-1	1	150	130	0.2
P-15	O-Pump-1	I-AV-1	1	250	130	0.2
P-16	O-AV-1	J-2	1	250	130	0.2
P-17	J-2	J1	2	250	130	0.2
P-18	R-2	J13	1	150	130	0

2.2 输水管线水力坡度

使用KPIPE SURGE 2010水锤分析软件建立水锤分析数学模型及泵站、管线模型图。

经稳态模拟分析后,供水工程的整条输水管线水力坡度线如图红线所示,纵坐标为高程(m),横坐标为水平距离(m)。



3 停泵水锤分析

水泵工作在吸水池水位773m时,在其稳态水力分析及调整设计参数之后的基础上,对因突然断电导致的停泵水锤进行瞬

态水力分析。

水泵出口止回阀未关闭情况下的停泵水锤属于一种特殊工况,它是在电力突然中断且水泵出口止回阀无法正常关闭的条件下出现的事故停泵水锤。在模拟分析中,设定水泵在额定工况下稳定运行,突然遭遇断电,此时水泵出口止回阀因故障无法关闭。通过水锤分析软件,详细记录了从断电瞬间开始,水泵转速的急剧下降过程,以及由此引发的倒泄流量的迅速增加。在极短的时间内,水泵达到最大反转转速,同时倒泄流量也达到峰值,这一过程中,管道内的压力发生剧烈波动,出现最大和最小水锤压力值。

特别值得注意的是,在模拟过程中,发现管道某些关键位置出现了过低负压,这一现象极易导致水柱分离,进而可能引发断流弥合水锤,对管道系统构成严重威胁。通过进一步分析,确定了这些关键位置,并详细记录了负压出现的时间点及其持续时间,为后续的水锤防护措施提供了重要依据。

4 水锤解决

本工程主要问题是事故停泵水力过渡过程中存在的负压和汽化引起的水柱分离现象^[2],其产生的主要原因是严重的负压引起水体汽化,而后在压力波动的升压过程中气泡溃灭,水柱弥合,引发事故。水柱弥合指的是水蒸气在瞬间还原为体积微小的液态水。鉴于相同质量的水蒸气体积远大于液态水,一个体积庞大的水蒸气团瞬间转变为体积微小的液态水时,将会产生强大的冲击波,进而对设备造成破坏。为有效解决上述问题,需采取针对性的水锤防护措施。首先,在防护措施选型方面,经过综合考量,防水锤空气阀成为理想选择。防水锤空气阀具备独特的工作原理,在管道正常运行时,它处于关闭状态,防止空气进入管道影响水流;而当管道内出现负压,水柱即将分离时,空气阀迅速打开,允许外界空气进入管道,平衡管道内压力,避免水柱分离现象的发生;当管道内压力恢复正常后,空气阀又自动关闭,防止空气再次进入。对于空气阀的安装位置,经过详细计算和模拟分析,确定在管道的关键位置,如管道变径处、地形起伏较大处以及容易出现负压的区域进行安装。这些位置是水锤现象容易发生且危害较大的地方,在此安装空气阀能够最大程度地发挥其防护作用。在工程实施过程中,严格按照设计要求进行空气阀的选型和安装,确保每一个空气阀的性能和质量都符合标准。工程实施后,结合实际应用情况与停泵水锤模拟分析结果来看,空气阀的安装取得了显著成效。管道内的负压现象得到了有效控制,水柱分离现象基本不再发生,极大地降低了断流弥合水锤产生的可能性,有效防止了管道断流弥合水锤的发生,保障了排水管路的安全稳定运行,减少了管道振动和噪声,避免了排水管道破裂及逆止阀损坏等事故的发生,提高了整个系统的可靠性和使用寿命。

4.1 水锤防护措施及其特征

对于本系统来说,为避免事故停泵、泵出口阀门关闭后造成的管路前段水体放空以及其他点出现的水柱分离现象,可在相关位置安装防水锤空气阀以破坏真空。

4.2 防水锤空气阀原理

防水锤空气阀应用于给水、排水管线,当管路或容器压力降至大气压力以下,达到极小负压(-6.9kpa)时便会开启,吸入大量空气以破坏真空。在压力恢复为正压时,它会自动关闭高速孔口,此时不会进行高速排气,但会通过微量孔口(气囊缓冲)缓慢排出高速吸入的空气,从而保护输水管路,使其免受“水柱拉断型断流弥合水锤”的破坏,专门用于消除断流弥合水锤。

5 总结

输水管线上布置四个防水锤空气阀后,水锤效应明显改善,管道震动产生的噪音基本完全消失,并且水泵出口处压力最大(小)值变化量均下降(水泵出口静态压力为0.31Mpa)。

水锤是压力管道水流中的常见现象^[3],它不仅会出现在高扬程泵站的水泵出口处,当压力管道上的阀门关闭速度过快,或者压力管道上某处的管径急剧改变时,管内流速会突然发生变化。一旦这种变化产生的压力超过了管道及其附属设备所能承受的范围,就会引发事故^[4]。简单实用的水锤消除设备,以降低水利管道压力流工程的管理成本,空气阀较好地应对了这一难题,并且在实际使用中取得了不错的效果。

此外,空气阀的选型也愈发重要,设计人员需依据工程实际情况,构建计算模型,科学地计算并布置排气阀。单纯增加空气阀数量、增大排气阀口径,对工程中的某些工况可能会适得其反。唯有进行合理的计算、布置与选型,才能为后续工程的安全运行提供保障。

[参考文献]

[1]刘信,杨伟明,吕国云,等.某大型泵站推力轴承推力头的设计及制造[J].机械管理开发,2025,40(10):129-130+168.

[2]安荣云.长距离加压输水工程的停泵水锤防护研究[D].上海:上海理工大学,2010.

[3]周雪杨,许国栋,李永成,等.超压泄压阀对调水工程有压输水管道的水锤防护分析[J].水利水电技术(中英文),2024,55(S2):22-31.

[4]金锥,姜乃昌,汪兴华.停泵水锤及其防护[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.

作者简介:

洪国仁(1997--),男,汉族,云南昆明人,本科,助理工程师,研究方向为水锤防护。