

射流折向器的正确使用与改进

何庆宇

(凉山州西昌农场)

西昌农场电站水头270米，流量 $0.4\text{米}^3/\text{秒}$ ，两台水轮发电机组，容量各为320千瓦与500千瓦。水轮机的型号及主要参数见下表：

表 1

参 数 \ 型 号	CJ22-W-55/1×5.5	CD26-W-65/1×7.5
转轮节圆直径 (毫米)	550	650
射流直径 (毫米)	55	75
喷针行程 (毫米)	60	100
实际水头 (米)	270	270
实际流量 ($\text{米}^3/\text{秒}$)	0.166	0.234
实际出力 (千瓦)	320	500
实际转速 (转/分)	1000	1000
实际调速方式	手动(电机拖动)式	手动(电机拖动)式

水轮机在喷嘴与转轮之间都装有射流折向器，其作用是：当突用负荷时，折向器能在1~2秒内将部份或全部射流隔离和折向，有效地制止机组飞逸，使喷针能缓慢地关闭（5~10秒内完成），从而把管道中水击压力限制在允许的范围内。

但在实际操作中往往起不到上述作用，究其原因：一是折向器和喷针如何配合联动；二是水轮机出厂说明书也没有标明折向器应如何安装、调整。因此在水轮机安装过程中，一旦出厂时的调整被破坏，以及当使用条件与水轮机出厂试验时的条件相差较大时，如调整不当，将使射流折向器失去应有的作用。我场电站曾在80年6月17日；81年7月13日；84年5月23日三次发生水锤。前两次仅将压力管道纵焊缝的薄弱处压破，后一次则将2号镇墩顶部震飞，伸缩节被压开，险些机毁人亡。三次事故除使电站直接损失1.12万元外，还停电十天，损失严重。本文初步分析我场电站三次水锤的产生原因，并提出一点改进意见，以供参考。

(一) 折向器、喷针及缓冲器的联动过程

为使射流折向器得到正确使用达到预期目的，首先必须了解折向器、喷针及缓冲器三者的联动过程。其联动系统由一系列扛杆、拉杆、转臂和转轴等组成（图1）。水轮机不论采用何种调速方式，当开机或增速，或减速及关机时，都是使转轴1转动。当开机或增速操作时，调速装置使转轴1反时针方向转动（面对水轮机正视），带动转臂2、拉杆3、转臂4，使折向器轴5也反时针方向转动。折向器从水平挡水位置向左上

方移动, 逐渐让开喷嘴。与此同时, 转轴1又通过转臂7, 框架8, 滑块9, 联动杆10, 使喷针和缓冲器活塞杆产生左移的趋势, 当此趋势产生的力大于回复弹簧的弹力和

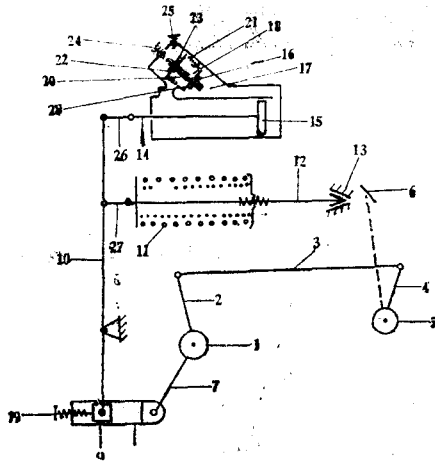


图3 折向器与喷针联动结构示意图

1. 转轴 2. 联动折向器转臂 3. 拉杆
4. 折向器转臂 5. 折向器转轴 6. 折向器
7. 联动喷针转臂 8. 空心框架 9. 滑块
10. 喷针联动杆 11. 复位弹簧 12. 喷针
13. 喷嘴 14. 活塞杆 15. 活塞 16. 螺帽
17. 控制孔 18. 限量回油孔 19. 调整螺杆
20. 油孔 21. 弹簧 22. 调整针
23. 螺母 24. 油位螺塞 25. 注油螺塞
26. 联接片 27. 联接片 28. 阀门

缓冲器活塞左移的阻力时, 喷针与缓冲器活塞才能随联动杆10的上端一起左移, 喷针离开喷嘴, 压力管道内的高压水冲击水斗, 使水轮机轴开始转动, 其中有部份射流冲击在折向器上而被折向。随着开机过程不断进行, 折向器让开喷嘴愈多, 射流被折向的部份减少; 同时喷针的开度也随着加大, 使冲在水斗上的射流量增加, 水斗受到的水击力迅速增大, 满足负荷增加时的需要。当负荷减小或突甩负荷时, 水轮机出力必须随之减小。此时折向器由轴5带动向右下方运动, 折向器切入射流增多, 射流的大部分以致全部被折向, 水斗受到的水击力迅速减小以致为零; 与此同时转轴1, 通过与开机或增速时相反的联动过程, 使滑块9在框架8内呈自由状态。如果此时缓冲器活塞右移阻力大于回复弹簧弹力, 喷针开度不变。但由于折向器已被带动且发挥功能, 水轮机轴转速的迅速降低满足了减负荷或突甩负荷状态的需要, 也就无必要非使喷针减小开度, 减小

射流或关断射流。喷针与折向器及缓冲器的上述联动不但可完全避免水锤的产生, 而且在喷针开度所给定的负荷范围内, 负荷发生变化时, 提高水轮机的应变能力; 更重要地是使前池水位较为稳定。当滑块9在框架8内为自由状态时, 习惯上往往将回复弹簧的弹力调整得大于缓冲器活塞右移的阻力, 目的是想随着折向器将射流折向的同时, 使喷针缓慢右移自动减小开度直到断流。事实上喷针还受到一个大小和方向均随喷针开度而变化的动水作用力。据实际观察表明, 喷针开度在总行程的 $2/3$ 以下时, 动水作用力吸合喷针向右移动。动水吸合力相当于增加了回复弹簧的弹力, 也随着喷针的开度减小而增大。当喷针开度在总行程的 $2/3$ 以上时, 动水作用力不但不再吸合喷针右移, 反而因射流冲击水斗后的反作用力作用在喷针上, 使喷针左移, 形成的动水压开力相当于减少了回复弹簧的弹力。另外, 喷针与缓冲器活塞杆只能平移, 联动杆10的上端又只能绕定点转动, 当喷针开度超过 $2/3$ 行程时, 两者的运动轨迹差甚大, 产生一个结构阻力阻止喷针右移。结构阻力和动水作用力均无法消除也无法调整其大小, 两者都是不断变化地作用在喷针上。当滑块9在框架8中呈自由状态时, 欲使喷针能自动右移, 仅将回复弹簧的弹力调整得大于缓冲器活塞右移阻力, 只能保证在喷针开度小于 $2/3$ 行程时出现右移; 当喷针的开度大于 $2/3$ 行程时, 因结构阻力和动水压开力抵消了回复弹簧的弹力, 喷针右移的合力为零。此时应千万注意, 不得将回复弹簧的弹力调整得过大, 若过大, 喷针开度在 $2/3$ 行程之上时, 喷针虽可实现右移, 一旦关机操作过快时, 喷针在右移过程

中, 由于动水压开力变为动水吸合力以及结构阻力的消失而作加速运动, 快速关断射流形成水锤。为使喷针能随关机操作大大低于折向器转动的速度自动关闭喷嘴, 联动系统须进行以下改进(图2)。将调整针22加长并穿出油位螺栓24, 在油位螺栓上再拧入压紧螺母, 中间压紧填料, 防止调整针22运动时漏油。去掉调整针上的固定螺母, 并在调整针穿出油位螺栓部份安装手轮和定位装置。这样改装后, 即可实现机组在运行状态下人为改变缓冲器活塞右移阻力的大小。因为当缓冲器活塞右移时, 右油室的润滑油被压缩压力升高, 阀门28在油压力和弹簧21的弹力作用下关闭, 右油室内的润滑油只有通过调整针所控制的控制孔17和限量回油孔18而流入左油室, 缓冲器活塞才能右移。当喷针开度大, 产生结构阻力和动水压开力时, 可将调整针拧松使缓冲器活塞右移阻力减小, 在回复弹簧的弹力大于结构阻力和动水压开力时, 喷针即自动右移减小开度。一旦结构阻力消失, 产生动水吸合力之后, 可将调整针拧紧, 使缓冲器活塞右移阻力增大; 必要时可将调整针拧到底关闭控制孔, 切断润滑油通路, 缓冲器活塞则不能右移, 喷针虽在较大的回复弹簧的弹力作用下也不能右移, 避免快速关断射流情况的发生, 水击压力也被控制在允许的范围內。

由此可见, 该型号的水轮机联动系统, 在结构上能实现折向器与喷针的同步开启, 使水轮机出力较快增大。当减负荷或突甩负荷时, 若回复弹簧的弹力小于缓冲器活塞右移阻力, 联动机构使折向器单独动作将射流切断或折向, 喷针则不自动关闭喷嘴。这种系统具有回增负荷迅速、前池水位稳定及不会产生水锤压力等优越性; 但也带来不能自动关断射流的弱点。若需减小或关断射流时, 须要人为地推动联动杆10的上端或者关闭压力管道上的主闸阀来实现。若为了使喷针能自动地关闭喷嘴而将回复弹簧的弹力调整得过大是很危险的, 因喷针受力是变化的, 很难预先确定受力方向和量值。运行中喷针受力一旦不符合预想的要求, 喷针将过快地断流, 极易造成事故。为克服此缺陷, 可按图2将系统改装。改装后的喷针受力情况可以控制, 缓冲器活塞右移阻力可人为调整, 以确保喷针缓慢地关闭喷嘴, 这样联动系统的功能更加适合人们的愿望。

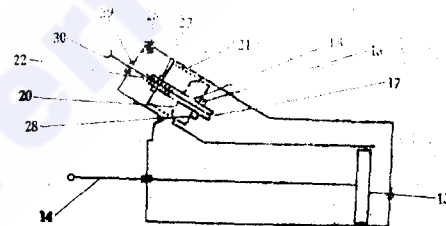


图2 缓冲器改进后结构示意图

14. 活塞杆 15. 活塞 16. 螺母 17. 控制孔 18. 限量回油孔 20. 油孔 21. 弹簧 22. 加长之后的调整针 23. 螺母 25. 注油螺栓 28. 阀门 29. 油封与锁定装置 30. 调整手轮

一旦不符合预想的要求, 喷针将过快地断流, 极易造成事故。为克服此缺陷, 可按图2将系统改装。改装后的喷针受力情况可以控制, 缓冲器活塞右移阻力可人为调整, 以确保喷针缓慢地关闭喷嘴, 这样联动系统的功能更加适合人们的愿望。

(二) 农场电站三次水锤产生的原因及预防措施

电站总装机容量820千瓦, 通过按钮、交流接触器、电动机、减速器等手动操纵联动系统进行开机、关机与调速, 电站装有800千瓦假负荷一大小六个水煮。理应能有效控制机组飞逸状态, 没有必要使喷针快速关闭喷嘴实行断流。由于两台机组的联动系统存在着下述不正常状态, 连续三次发生水锤:

1. 折向器初始位置调整不当, 只能挡住喷嘴1/3的位置(其中320千瓦机组折向器根本没有挡住喷嘴), 这样一开机操作, 喷针就离开喷嘴, 折向器同步动作, 进一步让开喷嘴, 射流立即全部冲击在水斗上, 水轮机轴就随之转动。当折向器在正确位置时, 折向器随着开机而逐渐让开喷嘴, 喷针同步开启到全行程的1/5以上时射流始能击到水

斗上,水轮机轴才开始转动。因误认为后一种情况不正常而人为地破坏了出厂时折向器的正确安装位置。

2. 缓冲器内注入的是透平油而不是粘度较大的柴油机用机油,且未加注到油位螺栓孔的高度。

3. 在压力管道主闸阀关闭,喷针的开度在全行程的 $1/4$ 以内时,回复弹簧的弹力本来就不能将喷针推动到关闭喷嘴的位置,虽然关机操作仍在进行,转臂7仍在向左推动框架8,但框架8上的调整螺丝19并不能拉动滑块9左移,而是在框架内相对右移远离调整螺丝。喷针因无动水吸合力和回复弹簧弹力小于缓冲器活塞右移阻力而停止不动,这本来是正常现象,却又误将回复弹簧的预压力加大,使喷针右移关闭喷嘴,从而造成严重的非正常状态。

上述非正常状态完全是人为错误调整所造成。因不理解折向器、缓冲器、喷针三者之间的联动关系及其联动系统的独特结构,故开机或增负荷时,就使喷针的开度增大;减负荷或关机时,喷针的开度就该减小或关闭。正因为如此,喷针开度处于全行程的 $2/3$ 以内时,喷针在回复弹簧的弹力和动水吸合力的作用下,能保证喷针随关机操作而同步地减小开度或关闭喷嘴。但当喷针开度在全行程的 $2/3$ 以上时,(CJ22-W-55/ 1×5.5 型水轮机,喷针开度在行程刻度尺的45以上时;CD26-W-65/ 1×7.5 型水轮机,喷针开度在行程刻度尺的65以上时),由于结构阻力和动水压开力的出现,喷针右移作用力减小,喷针有可能不与关机操作同步而处于停止状态。此时联动系统只是驱动折向器向挡水位置运动,折向器由于初始位置不正确,不能将射流全部或大部折向。在这种状态下一旦需要紧急减速时,例如在突甩负荷超过了假负荷的容量(80年6月17日事故因主水煮被烧热容量降低),或假负荷失灵(81年7月13日事故时,一个250千瓦水煮的交流接触器失灵),发电机组即进入飞逸状态,值班人员加速关机操作,但因喷针不同步关闭喷嘴,折向器又不能将射流全部或大部折向,机组转速降不下来。当发现喷针没有移动时,不是用脚蹬就是用榔头打联动杆10的上端,强使喷针向右运动。因缓冲器阻力很小(第二点不正常现象所造成的后果),结构阻力减小甚至消失,动水压开力逐渐变为动水吸合力等使回复弹簧的弹力相对加强,促使喷针向右加速运动,只要联动系统中的滑块在框架内不与调整螺丝抵碰,喷针将一直运动到与喷嘴相接触才停止。于是造成迅速断流,产生水锤,结果使压力管道纵焊缝薄弱处压破。通过这两次事故,认识到关机操作而喷针没动时,联动杆10的上端不能强行施加外力。在机组呈飞逸状态时,操作人员往往忽视这一点。今年5月23日又因同一原因再次发生水锤,压力管道的2号镇墩顶部被震飞,伸缩节被压开,险些造成机毁人亡的严重事故。但仍按过去的想法查找水锤产生的原因,采取了在滑块9与框架8相对滑动的空间加装弹簧的措施(将195型柴油机汽门弹簧连同汽门弹簧座一起加入框架内),滑块9不能在框架8内相对滑动,当关机操作时,转臂7向左推动框架8,框架8通过所加装的弹簧向左推动滑块9,滑块9再不能远离调整螺丝向右相对滑动,只能随框架左移,迫使联动杆10的上端右移,喷针在人为控制下关闭喷嘴,实现了喷针右移与关机操作的同步,避免了水锤的产生。进行上述改进后,能保证不会发生水锤,但前池的水位却经常变化。虽然该站根据负荷量的变化,采用带甩假负荷的办法减少前池水位的波动,但却使通断假负荷的交流接触器

动作频繁,除易发生故障外也给机房增加噪音。这从另一个侧面反映出加装弹簧的办法并不科学,也给我们分析联动系统的工作过程提供了信息,从而得出了如第一部分分析所得的结论。该站在明年枯水季节将停机检修,机组上的缓冲器调整针将按图2进行加长,通过控制调整针来改变缓冲器活塞右移阻力,使喷针在自由状态时能按人的意志运动;按折向器、缓冲器、喷针三者联动过程的要求进行有关调整;缓冲器内加注合格润滑油并确保加满;使联动系统充分发挥其功能,从而使机组在正常状态下运行。

* * * * *

中国水力发电建设工程咨询公司 成立“岩石工程部”

中国水力发电建设工程咨询公司岩石工程部,于今年三月在昆明成立。“岩石工程部”为该公司的常设机构,在技术上同时接受水电部科技司,水电建设总局的领导。

“岩石工程部”前身为“水利水电岩石力学仪器咨询组”,主要担负:①水电部属大中型水电工程的岩石力学咨询,为水电总局把好技术关;②归口管理水电部门岩石力学仪器的研制、鉴定、组织生产、发放许可证以及岩石力学技术与测试仪器引进等。并拟将水电部科技司计划成立的“岩石力学研究中心”设在昆明,与“岩石工程部”一起,成为一个更完善的研究机构,使得近期与长远的岩石力学监测和研究工作有一统筹的规划和安排,进行一些重大课题的研究。“岩石工程部”日前将着手抓好鲁布格水电站地下厂房、高边坡和地下厂房锚固吊车梁等的监测与长期观测;今年六月召开一次有关仪器生产厂家会议;九~十月将在郑州举行该部第二次工作会议,并对一批试制仪器进行技术鉴定。

“岩石工程部”挂靠云南鲁布革工程管理局(昆明27号信箱),并聘请岩石力学、工程地质方面的专家23人,使两专业更密切地合作,相互渗透,互为补充,为实现水电建设翻两番的宏伟目标,开创水电建设前期工作的新局面作出贡献。

(唐少甫)