

53-57

低水头水闸水能应用装置的研制

吴军 谢伟东

TV66

(江苏省水利勘测设计研究院 扬州 225001)

摘要 沉箱可移式闸孔发电装置是一种利用低水头水闸水能发电的应用装置。该装置由沉箱体、挡水闸门、撑杆等组成,水力发电机组及进出水流道均布置在沉箱体内,并利用沉箱体內的空腔配以充排水系统形成使沉箱体沉浮的压载舱。发电时,沉箱体沉靠在水闸底板上,用撑杆固定于闸墩,利用水闸泄放的水发电;泄洪时,可快速将沉箱上浮移运出闸孔,对水闸的功能及结构安全无影响。该装置可用于平原地区具有2m以上水头的泄、引水水闸上,不需另占土地,经济效益高,运行管理方便,为开发平原地区低水头水能资源开辟了一条新路。

关键词 沉箱结构 水闸 闸孔 发电装置

江苏省水系发达,河网交错。自50年代以来,兴建了数十座水利控制枢纽,用于泄洪引水灌溉,为城市、农村提供工、农业及生活用水,在这些水利控制枢纽中蕴藏着十多万千瓦的水能资源,50~70年代已先后开发了数万千瓦。由于水头较低(一般在2~5m),进入80年代后,各项建设费用上涨幅度大,加上这些水利枢纽工程已基本定型,另建电站受到地形条件的限制,因此开发这些低水头水能资源非常困难。最具典型的是淮阴闸,该闸共30孔,每孔宽10m,位于淮阴市境内,是分淮入沂、淮水北调淮阴的枢纽主体工程,同时还担负着向下游沿线提供工、农业生产及生活用水、保证通航的任务。该闸具有常年送水且水头稳定的特点,灌溉期(4~10月份)年平均流量 $138\text{m}^3/\text{s}$,水位差2.69m。由于淮阴闸工程已定型,另建电站受到地形条件限制,若利用闸孔改建电站则必须做到不影响分淮入沂时的排洪功能。

为开发低水头水能资源,江苏省水利厅

在1991年下达了《闸孔发电应用装置研究》的水利科研项目,研制设置在水闸闸孔内的可移发电装置,要求既能利用水闸水能发电,又不影响水闸原有功能及结构安全,试验地点选择在淮阴闸。

1 沉箱可移式闸孔发电装置的研制

1.1 总体设计与布置

闸孔发电装置是利用水闸闸孔空间来设置电站的,要求平时能安全稳定运行发电,操作管理方便,在泄洪时,发电装置应能快速拆除移运出闸孔。另一方面,水闸结构已定型,发电装置设置在闸孔内不能影响闸孔结构原有的受力条件,因而电站的布置受到闸孔条件的种种限制。这种特定的条件对电站设计提出了全新要求,技术难度较大。

根据淮阴闸的具体情况并总结了前人在闸孔发电装置研究试验中的经验教训,我们提出了沉箱可移式闸孔发电装置的设计研究

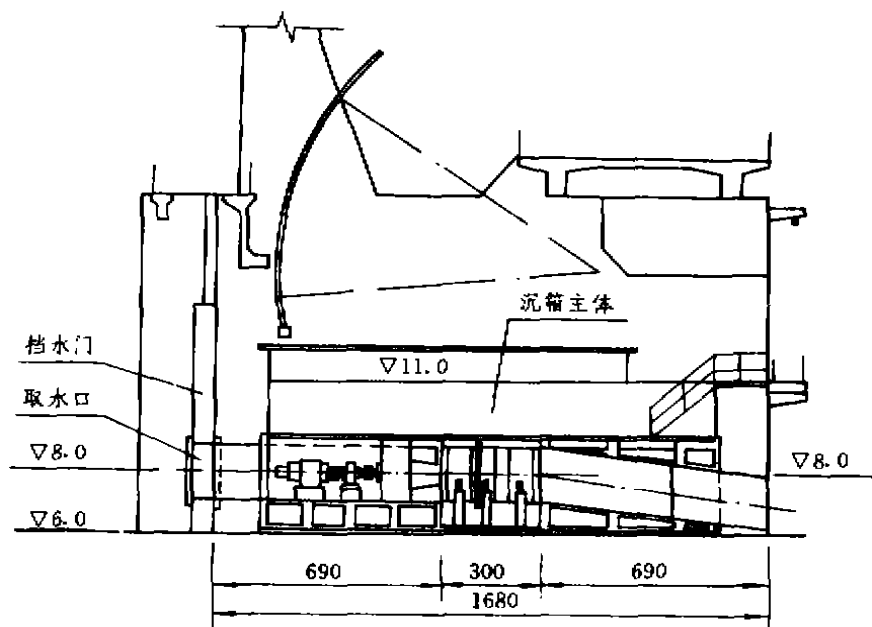


图1 立面示意图(单位:水位m;尺寸mm)

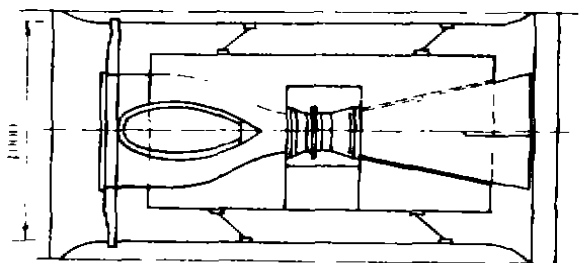


图2 平面示意图(单位:mm)

方案。发电装置由沉箱体、挡水闸门、撑杆支承系统等组成,水力发电机组、进出水流道均布置在沉箱体内,利用沉箱结构的空腔设置了前、后封闭的充水压载舱,并配置充排水系统。安装时首先在该闸原检修门槽内放入设有取水口的挡水闸门,原弧型工作闸门吊起锁定;然后将沉箱体浮运至闸门内,向压载舱内充水使沉箱体下沉,与此同时,控制沉箱体上进水流道进水口与挡水门取水口对接,待完全沉靠在闸底板上后,用两端带铰的撑杆将其定位支承在闸墩上。吊出取水口上的电

站检修门,开启水轮机活动导叶即可过流发电。该发电装置的总体布置见图1和图2。水闸需泄洪时,拔掉撑杆上的铰轴,抽排沉箱体压载舱内的水,沉箱体即上浮,并可移运出闸孔,放下原弧形工作闸门吊出挡水闸门即可恢复水闸泄洪功能,整个拆除时间不超过6小时。

1.2 进水口与取水口的对接技术

发电装置进水口与挡水建筑物取水口的联接是可移式闸孔发电装置的技术关键和难点。这个联接部位的止水密封效果如果不好,将使该部位漏水,进水流道内的水流紊乱,影响机组出力,甚至引发装置结构的严重振动,使其无法正常运行。另一方面,由于该发电装置要求在泄洪前快速拆除,如果在该部位采用紧固件联接,将有一半以上的紧固件位于水深1.5m以下,给快速拆除发电装置带来了极大的不便。本装置采用了内水压止水技术,即在流道进水口前端外缘设一平面,将P型橡皮用螺栓、压板固定在该平面上。在沉箱体安装就位时,用手拉葫芦牵引沉箱体使之

进水口前端外缘平面上的 P 型橡皮压靠在挡水闸门的取水口上。这样,进水流道充水后,流道内的水压力使 P 型橡皮紧紧压在挡水闸门上止水,其水头差越大止水效果越好。从而实现了进水口与取水口对接部位无紧固件软联接的止水密封方案,方便了发电装置的拆除。

需要指出的是,本装置 P 型止水橡皮是紧靠在挡水闸门上的,在设计时应考虑到 P 型橡皮的变形应与挡水闸门相适应;此外, P 型橡皮的止水效果还与其所预留的悬臂长度、水头大小有关,设计时应根据水位差变化情况预留合适的悬臂长度。

1.3 沉箱的结构与支承

沉箱体为可移式闸孔发电装置的主体结构,采用钢板与型钢制造,为肋板箱形结构,集进水流道、水轮机室、出水流道、厂房的功能于一身,外形尺寸为 $16.8\text{m} \times 6.0\text{m} \times 4.85\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高);在高度 3.0m 处设运行操作平台,为方便机组检修吊出沉箱体,顶部设活动挡雨棚,利用沉箱体内的空腔设计成前后两个封闭的充水压载舱,整体结构布置合理、紧凑。

由于沉箱体为钢质,自重轻,整体刚度不大,为防止机组运行时各扰力频率的影响,在设计中采用北京大学编制的 SAP84 结构分析通用程序对沉箱结构进行内力及自振频率计算。计算成果表明,机组各扰力频率对沉箱结构虽有影响,但不会使沉箱体产生谐振现象,并采用了增加沉箱体充水量、降低上部结构重量以及在沉箱体底部设置缓冲垫块的措施来减小振动的影响。

发电装置在运行状态下,沉箱体承受轴向水平推力,在下游水位较高的情况下还将产生一定的上浮力。为克服作用在沉箱体上的浮力,水平推力和机组运行时水流对沉箱体的不稳定因素,在沉箱体两侧分别设两根承受水平力的撑杆和两根承受上浮力的撑

杆。撑杆为钢质箱形截面,撑杆一端与沉箱体铰联接,另一端固定在闸墩预设的铰支座上,为方便沉箱体的安装定位,撑杆长度可由螺杆调节。

沉箱体在拆除、安装情况下处于浮运状态,需对沉箱体进行浮运平衡及稳定验算,并根据情况调整前后两个封闭压载舱的水体体积。

1.4 机组选型

1.4.1 基本参数(淮阴闸)

a. 特征水位。上游:最高水位 12.84m ;最低水位 10.49m ;平均水位 11.48m 。下游:最高水位 9.88m ;最低水位 7.77m ;平均水位 8.82m 。

b. 水头:最大水头 4.38m ;最小水头 1.22m ;平均水头 2.69m 。

c. 流量:灌溉平均流量 $Q=138\text{m}^3/\text{s}$ 。

d. 年利用小时数: $t=5400\text{h}$ 。

1.4.2 机组选型

为便于移运及受闸孔空间的限制,宜采用重心较低的卧式机组。贯流式机组是该装置的最佳型式。灯泡贯流式机组效率高,但技术要求高,耗钢量大,造价高。三侧进水竖井式机组进口断面高度大,布置在闸室内,进口淹没深度不能满足要求。因此,装置型式在轴伸贯流式和二侧进水竖井贯流式两方案之间进行了比选。

根据淮阴闸闸孔尺寸和上、下游水位等条件,经设计论证,转轮直径宜为 1.6m 。选用 GDB-WZ-160 轴伸式和 GDB-WS-160 竖井式机组进行装置型式比选。两个方案有关参数比较见表 1。从表中可以看出,竖井式方案装置高程较低,沉箱体结构稳定性较好,受进口高程控制的上游最低发电水位低,因而实际年利用小时数、年发电量均大于轴伸式方案;轴伸式进口流速相对较大,故二方案装置效率相差不大;竖井式的发电机和齿轮箱基础可直接固定在沉箱体底部,结构简单,且可

减少振动,而轴伸式的发电机和齿轮箱基础横跨在尾水管上,钢材用量大,若处理不当还易产生振动。因此,选用了二侧进水竖井式方案。GDB-WS-160 型机组运行特性曲线见图 3,其主要性能参数见表 2。

表 1 不同方案参数比较

比较内容	轴伸式	竖井式
装置高程(m)	8.90	8.10
上游最低发电水位(m)	11.10	10.30
下游最低发电水位(m)	8.15	8.15
模型效率(%)	78	76
设计工况点进口流速(m/s)	3.0	1.26
设计工况点出口流速(m/s)	1.20	1.20
进口水头损失(cm)	10~15	2~3

表 2 GDB-WS-160 型机组主要性能参数

转轮直径(m)	设计水头(m)	流量(m ³ /s)	原型效率(%)	水轮机转速(r/min)	发电机转速(r/min)	发电机出力(kW)
1.7	2.45	11.22	82.5	150	600	200

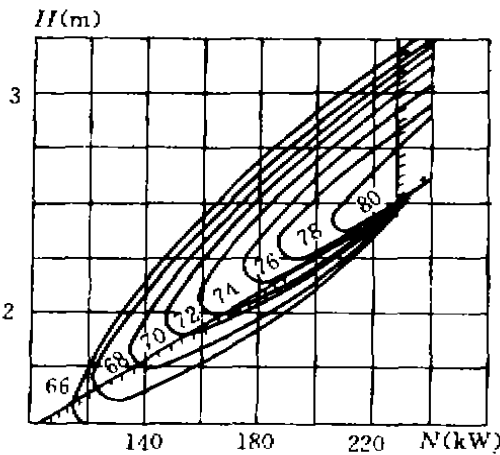


图 3 GDB-WS-160 型机组运行特性曲线

1.5 事故停机的保护措施

该装置设在闸孔内,受闸孔结构条件的限制,难以设置常规的事故快速闸门。因此,在电网失电或其它类型的事故停机时无法按常规方式实现断流。为防止机组飞逸保证装

置的运行安全,在设计中采用了盐水电阻抗器和利用发电机飞逸时发出的电能关闭导叶的方法,为防止调节电机因电压过低或过高而损坏,回路中设置了过电压和低电压保护。

1.6 对水闸结构的影响

发电装置设在闸孔内,要根据闸孔结构特点合理地分配发电装置对闸孔的作用力,使之不影响闸孔结构安全。装置对闸孔的作用力主要有轴向水平推力、上浮力、沉箱体的重力。一般来说,水闸大多都设有检修门槽,并具有单孔抽干检修工况,这就为发电装置的布置带来了方便。利用检修门槽设置挡水闸门并使沉箱体与挡水闸门软联接,这样可使水压力大部分由检修门槽承担,由沉箱体传至闸墩上的水平推力仅仅是作用在取水口上的水压力,其值在 500kN 以内,且由 4 根水平撑杆承受,所产生的局部应力及内力,闸墩是完全能承受的。上浮力只在下游最高发电水位以上产生,其值在 100kN 以内,且由 4 根垂直撑杆承受,对闸墩安全不构成威胁。沉箱体座落在闸底板上,在正常运行时,可通过调整沉箱体内的充水压载舱的充水量,使沉箱体的重力既不对闸底板内力构成威胁,又能使沉箱体稳定。在发电装置拆机、安装或检修需抽干闸室内的水时,沉箱体的重力对水闸稳定是有好处的,对闸底板产生的局部压应力在许可范围之内。

1.7 快速拆除方案

沉箱体在泄洪前需快速移运出闸孔。由于沉箱体是靠向压载舱充水而沉靠在闸底板上,用撑杆将沉箱体铰支固定在闸墩上,而沉箱体进水口与挡水闸门取水口采用无紧固件软联接,因而给沉箱体的快速拆除带来极大的方便。拆除时,先用 4 只手拉葫芦斜向下拉住沉箱体,用于替代垂直撑杆所承受的上浮力,拆下撑杆任一端的支铰轴,再用排水泵按规定顺序抽排压舱水,并慢慢松开手拉葫芦,使沉箱均匀上浮,将沉箱体移运出闸孔,整个

过程不超过 6 小时。

2 运行情况及经济分析

2.1 运行情况

沉箱可移式闸孔发电装置第一台套试验机组于 1993 年 12 月在淮阴闸建成,1994 年 2 月并网发电运行,至 1994 年 12 月共运行 216 天。运行实践表明,各项技术指标均达到设计要求。上、下游流态稳定,沉箱体无异常振动,机组在各种工况下运行平稳,噪音小,流道进水口与挡水门取水口对接处无漏水现象,撑杆支承可靠。

2.2 经济分析

根据淮阴闸水文资料分析,该装置年运行时间可达 7 000h,年发电量 140 万 kW·h,按当地实际上网售电价格 0.24 元/kW·h 计算,年售电收入为 33.6 万元。该套装置总造价为 93.5 万元,单位千瓦造价为 4 675 元。而在相同水头条件下按常规方式建电站其单位千瓦造价在 1 万元以上。经济效益十分显著。另外还具有建设周期短、可分期实施等优点。

该发电装置在额定水头 5m 范围内使用,在挡水闸门、沉箱体、水轮机等主要结构、设备不变的条件下,只需配以相应的发电机、

变压器和齿轮箱,在几个不同水头下该装置的有关参数及单位造价见表 3。

表 3 不同水头下装置参数及造价

额定水头 (m)	流量 (m ³ /s)	装机容量 (kW)	发电机 转速 (r/min)	单位 造价 (元/kW)
2.45	11.32	200	600	8 000
3.00	11.3	250	600	6 800
3.60	13.0	320	750	5 625
4.1	13.4	400	750	4 625

注:单位造价按 1994 年价格计算。

3 结 论

沉箱可移式闸孔发电装置结构新颖独特,巧妙地利用了水闸闸孔空间,使水闸泄放的灌溉水所具有的能量转化为电能,并可在行洪前快速拆除,移运出闸孔,对水闸的功能和结构安全无影响,土建工程很小,不需另占土地。该装置经近一年的运行实践,运行稳定安全,操作方便,装置效率高。

该发电装置实用性强,经济效益显著,可在 2~5m 设计水头的引、泄水闸使用,相应的单台装机容量为 200~400kW。具有建设周期短、可分期实施、边建设边收益等优点。可在平原地区同类型水闸上推广应用。

(收稿日期:1995-01-14)

· 新书介绍 ·

《建设监理工程师手册》——建设监理工程师手册/简玉强,钱昆润主编。——北京:中国建筑工业出版社,1994.8

本手册是为我国建设监理工作提供的简明实用、可检索性和可操作性的监理工具书。主要内容为:建设监理的基本理论,国家有关政策、法规;建设监理业务的开展,监理程序、实施方法和手段;合同条例、索赔策略等。手册着重项目的投资、质量及工期控制。此外,还有国际工程项目监理、世行贷款项目监理和国内外监理实例。手册包括了建设监理全过程、全方位、多目标的内容,以当前最新资料、文献、规范为依据,是建设监理工程师操作的工具书,可供建设、施工、设计单位进行建设项目监理之用。

(余清芬 供稿)