

平原水闸泵站枢纽布置与整流措施研究

严忠民¹, 周春天¹, 阎文立², 张平易²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210098; 2. 江苏省水利勘测设计研究院, 江苏扬州 225001)

摘要 通过江苏、上海等地 10 余座闸站合建工程的物理模型试验成果分析, 总结出闸站合建枢纽的三种主要布置型式, 即平面对称布置、平面不对称布置和立面分层布置。在各类整流措施中, 闸站结合部加设导流墙和泵站前池加设潜墩, 可以有效地改善由于主流偏斜所诱发的回流、螺旋流等不良流态。

关键词 枢纽布置; 整流措施; 水闸; 泵站

中图分类号: TV663

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2000)02-0050-04

在平原水闸、泵站枢纽布置中, 传统的方式往往将水闸与泵站分开布置, 以便较好地解决枢纽上下游水流的衔接问题^[1]。但这种布置方式占地面积大, 在人均耕地面积少的平原地区, 极易引起征地拆迁和移民安置等难以解决的社会问题。因此, 与传统布置方式相悖的水闸、泵站结合的新布置方式便脱颖而出, 并以其布置紧凑、占地面积少而得到迅速推广。以泰州引江河高港枢纽为例, 若采用传统的闸站分开布置方式, 则泵站需要另开挖引河, 比闸站结合布置要多占耕地 28 hm², 多开挖土方 182 万 m³, 增加投资近 1 500 万元。此外, 由于少征用土地, 因而减少了征地拆迁和移民安置, 社会效益也十分显著。

另一方面, 闸站结合布置方式虽然解决了征地面积大的问题, 但却容易引起枢纽上下游水流流态的特殊化和复杂化^[2]。在闸站各自单独运行时, 水流流向与河床形成一定夹角, 从而改变了原河道的流态和动量分布, 使河床左右动量不平衡, 在枢纽上下游引起剧烈的回流和横向水流, 恶化了水闸泵站进水流态, 从而使水闸泄流能力或泵站效率降低, 甚至严重淘刷岸坡, 危及建筑物基础, 威胁工程安全。这些水流问题若处理不当, 则会导致整个枢纽布置的失败。

本文通过江苏、上海等地 10 余座平原水闸泵站合建工程枢纽布置与试验资料的分析, 对闸站结合不同的布置型式及由此引起的水流问题作一阐述和宏观分析, 并对整流措施作一些探讨。

1 闸站合建工程枢纽三种布置型式

当前, 工程设计人员进行平原水闸泵站结合布置设计中, 根据枢纽河势、地质、闸站规模、枢纽的功能及水流条件, 常采用三种主要布置型式。

1.1 平面不对称布置(图 1)

在该枢纽布置中, 水闸与泵站分居河道两侧。由于泵站集中布置在一侧, 因而有利于泵站安装、检修和运行管理, 适合泵站规模较大的大中型水利枢纽, 如江苏泰州引江河高港枢纽、无锡白屈港水利枢纽、浦东国际机场二期排水工程枢纽及上海张家塘、外环河、大涨泾等水利枢纽工程。

1.2 平面对称布置(图 2)

在该枢纽布置中, 水闸位居河道中间, 泵站则对称布置在水闸两侧, 适合以水闸引排为主兼具开通闸通航的中小型水利枢纽, 如上海龙华港泵闸枢纽工程、木桠港泵闸枢纽工程等。

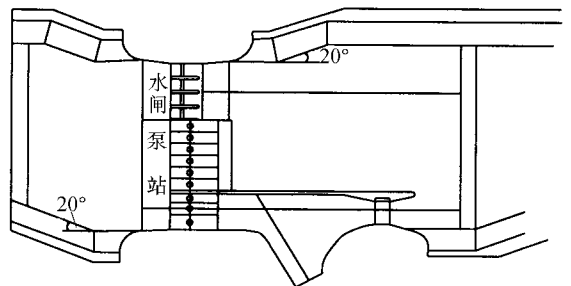


图 1 平面不对称布置(高港枢纽)

Fig.1 Plane asymmetric layout(Gaogang project)

1.3 立面分层布置(图 3)

在枢纽布置中,泵站布置在水闸的上层,下层闸(涵)室可代替水泵流道,适合规模较小的小型水利枢纽或双向引排的水利枢纽.如上海化工区排水工程泵涵枢纽.若泵站中使用潜水泵,则闸站立式布置所需的高度因电机层省除可进一步减小,因而该布置方式有着较广泛的应用前景.

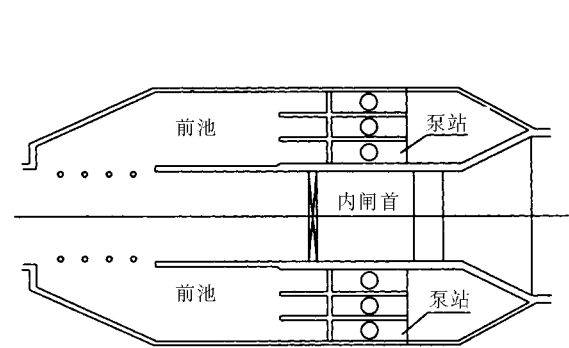


图 2 平面对称布置(上海龙华港枢纽)

Fig.2 Plane symmetric layout
(Shanghai Longhuogang project)

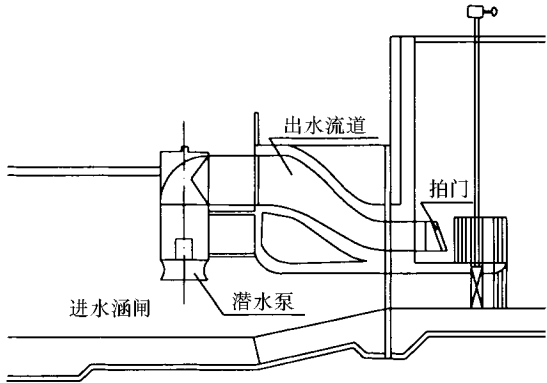


图 3 立面分层布置(上海化工区排水枢纽)

Fig.3 Vertical stratified layout (Shanghai Chemical Engineering Zone Drainage project)

2 不对称布置水流特性与整流措施

高港枢纽是泰州引江河的控制口门,具有引水、排涝和航运等多项功能.枢纽包括节制闸、泵站、船闸等水工建筑物.节制闸闸室共 4 孔,每孔净宽 10 m,为整体式平底板梯形小坎堰结构.闸室底板顺水流方向长 25.6 m,顶高程 - 6.35 m,堰顶高程 - 5.5 m.泵站共 9 台机组,引排能力达 300 m³/s,配合式双层矩形流道,双向排水,底层流道在泵站停机时还可兼作地涵使用.每个底层流道顺水流方向长 31.9 m,净宽 7.8 m,净空 4.45 m,中间设一层分隔墙.流道底板顶高程 - 6.85 m,分别以斜坡方式与上下游河床相接.在枢纽布置中,节制闸中心线与河道中心线一致,泵站紧靠节制闸右侧布置,并在闸站结合部上下游分别布置长 20.5 m 和 20 m 的导流墙,该工程枢纽为典型的平面不对称布置(图 1).

平面不对称布置枢纽中的主要水流特性是:在建筑物各自单独运行时,上游来流发生偏折,主流流向与河床形成夹角,引起河床左右动量不平衡,在枢纽前形成强烈的回流和横向流速.在节制闸单独运行时,泵站前形成大片滞水区,闸前右侧则水流收缩明显,横向流速显著,致使水流与闸站结合部导流墙脱离,在水闸一侧处形成回流.闸室进口断面回流区最大宽度约为 2/3 闸孔宽,回流区尾部则一直延伸至水闸右边孔闸室出口断面,使右边孔有效过水宽度减少,泄流能力降低.在泵站单独运行时,上游来流偏向泵站,左侧来流绕闸站结合部导流墙进入前池.无论是高水位还是低水位,在导流墙端部水流均发生分离并在前池左侧产生较大回流区,水位越低,回流范围越大,且一直延伸至泵站进水口门.由于回流区的存在,最右侧的一台泵斜向进水,致使进水口门右侧墩前产生阵发性旋涡,尤其是在低水位时,旋涡持续发生.在枢纽下游,由于单侧泄流,闸下河道两侧出现大小不同的回流,主流区与回流区之间形成的压差产生横向水面坡降,使主流沿河道一侧前进,形成偏流.

上述水流特性给枢纽运行带来不利影响,既恶化了枢纽进水流态,使泵站效率和节制闸泄流能力降低,又增加了下游消能防冲的负担,因此必须采取相应的整流措施.首先对闸站结合部导流墙形态和平面位置进行比较试验.试验结果表明,此种措施可以改善节制闸入流流态,但却恶化了泵站前池水流流态.其次对导流墙的长度进行比较试验.若导流墙长度为零,即取消导流墙,闸前横向流速显著增加,不仅右边孔内有回流存在,在邻近的中孔内也有小回流存在,致使右边两孔的平均流速减小,泄流能力较原方案反而降低.若增加导流墙的长度,闸前回流虽不能消失,但回流区则随导流墙长度的增加而逐渐上移,当导流墙增至 34.4 m 时,回流区尾部仅延伸到闸孔入口处.若增加至 42 m 时,则右边孔闸室内回流完全消失,泄流能力较原方案明显增加,若再增加导流墙的长度,则泄流能力无明显变化,故试验确定闸站结合部导流墙长度由原来 20.5 m 增加至 42 m.试验发现,由于引江河来水主流完全在泵站左侧,若仅仅通过延长闸站结合部导流墙的长度来改

善前池流态,效果并不明显,需要在前池内采取整流措施。经多种整流措施比较,在前池入口两侧布设3个长度为14.5 m的导流墩,可以明显改善池内流态,消除回流,均化泵站进水口前流速分布。最后对枢纽下游左侧岸坡体型和扩散角进行调整,使主流偏流强度有所减缓。采用上述整流措施后,枢纽上下游水位流态有所改善,从而提高了该布置方案下枢纽运行的安全性和可靠性。

3 对称布置水流特性与整流措施

龙华港套闸泵站工程是上海淀北片排水的主要咽喉,通过调度引淀浦河清水,改善该地区水质。套闸由内外闸首和闸室组成。内闸首位于内河侧,外闸首位于外江侧。闸首和闸室底板高程为-1.0 m,闸首净宽12 m,闸室净宽20 m。泵站对称布置于内闸首两翼,两侧各设3台水泵,单泵流量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ 。在内闸首上游端两侧边墙各设5个高2.8 m、宽2.4 m的底孔。水流由底孔侧向进入泵站前池,底孔顶高程为1.8 m,所以高水位时为孔流,低水位时为明流。进入前池的水流转向 90° 进入泵室,再由水泵抽至闸室内,排至下游。前池净宽9.2 m。

该枢纽布置为典型的平面对称布置(图2)。由于水闸居中,在水闸单独运行时,主流流向与水闸泄流方向一致,故进口水流流态较好。但水流集中下泄,在下游河道两侧形成强烈的回流。回流挤压主流,致使出闸水流单宽流量集中,水面陡降,垂线平均流速超过 5 m/s ,大大增加下游消能防冲的负担,不得不严格限制水闸运行时闸门的开启高度。在泵站单独运行时,由于两侧泵站前池采用侧向底孔进水布置,水流由闸首转 90° 进入前池上游段后又转向 90° 进入前池下游段,且在高水位时底孔呈孔流出流,低水位时又呈明流出流,因而前池内水流流态相当复杂。试验表明:在内河高水位时,水流呈孔流进入前池上游段,孔口处的表层水流受底部主流卷吸;另一方面,底部主流在外侧边墙约束下转向流入下游段的同时也有部分水流沿边墙进入表层朝孔口方向流动,形成断面环流。在前池下游段,进口断面上底流流向偏向外侧,表流流向偏向内侧。池内主流位于外侧底层,在主流的卷吸作用下更促使相邻底层水流向外侧流动,而表层水流则向内侧流动再沿内侧边墙转入下层补充底流。因此,整个前池横断面形成底流流向外侧、表流流向内侧的断面环流,前池水流呈螺旋流态流向泵室。在低水位时,水流呈明流进入前池上游段,这时前池中不会形成螺旋流。由于水流的惯性作用,靠上游端底孔的进水流量少于靠下游端底孔的进水流量。随着内河水位的降低,流速的加大,这种不均匀进流现象更为明显,而下游端底孔水流进入前池后几乎以 90° 转向,所以在前池内侧形成大片回流区,主流集中在前池外侧。在前池内形成的螺旋流和回流,都将影响泵室进流条件,降低水泵效率,故需采取消除此种水流的整流措施。

在内河高低水位时前池下游段分别产生螺旋流和回流的重要原因是,水流进入下游段时流速方向迅速偏斜。在高水位时是底流向外侧,表流向内侧,低水位时表、底流均偏向外侧。试验中曾尝试改变底孔立柱断面型式,做成带有不同偏斜角度、类似导流板的结构来调整水流流向,但试验表明,因其长度有限,只能对局部水流发生影响,根本无法改变前池中的总体流态。如果将立柱做成导流墙并适当延长,在上游段前池内做成顺外侧边墙转向的弯曲流道,则由于在不同内河水位时各底孔入流的流量分配不相同,将会造成在某些水位情况下前池内断面流量不均。分析和试验证实,在前池上下游段分界处设两个轴线与泵闸轴线相平行的导流墩则可以有效地改善泵室进口流态,使水流基本正向进入泵室,但流速分布尚不够均匀。由于高低水位时泵室前池流速分布具有两种相反的倾向,所以单靠调整导流墩的位置和长度还不能取得满意的效果。因此,在导流墩下游加设3个三角形潜墩,对水流再次进行调整,特别在低水位时更能进一步均化水流,取得良好的效果。

4 结 语

平原闸泵枢纽工程采用水闸泵站结合布置方式,具有布置紧凑、占地面积少等优点。与传统的闸站分开布置方式相比,在人口稠密和人均耕地面积少的地区更有广泛的应用前景。但此种布置方式产生的水流问题却不容忽视。若处理不当,将直接关系到枢纽布局的成败。为此,笔者建议:

a. 重视闸站结合部导流墙的设计。在平面不对称布置中,主流偏折势必使闸前产生横向流速和回流。导流墙虽不能彻底消除闸前回流,但可使回流区上移,减小对水闸泄流的影响。导流墙的长度与上游来流流速的大小、方向以及水闸泄流宽度与上游河宽的比值等影响因素有关,一般应通过物模试验确定。对中小型工程,在初步设计时,导流墙长度可按水闸泄流宽度选取或参照类似的工程选取。

b. 注意改善河道消能衔接流态. 水闸泄流时下游河床的冲淤原因一般有两个 :一是消能设施选择不当 ,消能率不高 ;另一个是泄流消能流态发生了变化 ,水流能量分布不均匀. 在平面对称布置中 ,主流集中在河床中间下泄 ,造成两侧回流压缩主流 ,使单宽流量集中. 在平面不对称布置中 ,主流集中一侧下泄 ,造成偏流. 因此 ,在闸站结合布置枢纽中 ,不仅要研究消能工的消能率 ,更应注重研究泄流消能衔接流态 ,使其尽快恢复到原有河道流态 ,甚至有所改善 .

c. 加强泵站前池的设计. 泵站前池水流流态的好坏直接影响泵站的效率. 有资料表明 ,前池流态紊乱将使泵站效率降低 20% . 在枢纽布置中 ,前池进流条件应尽可能顺应上游水流态势 ,一般不宜采用侧向进水方式. 若非如此 ,则应采取相应的整流措施 ,如在前池内设置导流墩、水面梁、导流坎、潜墩等整流设施 ,也可使这些整流设施与泵站其它设施结合起来布置 ,比如导流墩与拦污栅墩结合. 不管采用何种整流措施 ,都应保证前池水流正向进入泵室 ,且泵室进口流速分布较为均匀 .

参考文献 :

[1] 田家山. 水泵及水泵站[M]. 上海 :上海交通大学出版社 ,1989. 269 ~ 276.
[2] 严忠民. 侧向进水前池水流特性的试验研究[J]. 河海大学学报 ,1991 ,19(5) :49 ~ 54.

Study on the Layout of Combined Sluice-Pump Station
Projects and Modification of Flow Pattern

YAN Zhong-min¹ , ZHOU Chun-tian¹ , YAN Wen-li² , ZHANG Ping-yi²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 ,China ;
2. Jiangsu Water Conservancy Investigation , Design and Research Institute , Yangzhou 225001 ,China)

Abstract Three main types of project layout including plane asymmetric layout ,plane symmetric layout and vertical stratified layout are investigated by means of analysis of model test results of more than ten combined sluice-pump station projects in Jinangsu and Shanghai. Of the various schemes studied ,the best one is to install diversion wall on the upstream between the sluice and pump station and the underwater piers in the forebay of the pump station ,which can help to improve the flow pattern such as recirculation and spiral flow induced by main flow deviation .

Key words project playout ;modification of flow pattern ;sluice ;pump station