

中石油深圳 LNG 项目配套码头工程的进水前池及流道物理模型试验研究

陈卓英，张从联，朱红华，苗青，钟伟强等

(广东省水利水电科学研究院；广东省水动力学应用研究重点实验室，广州，510610)

摘要：通过试验研究对进水过滤池、进水前池、流道的水流流态、水流均匀性及稳定性进行观测、研究和分析，提出改善流态的工程技术措施，提出改善泵前流态的推荐方案，保证吸水室内的水流均匀平稳，避免回流和涡流的产生，满足泵房安全运行要求；在不同的运行工况下，测定从进水前池至水泵流道进口之间的各种水头损失；定性研究循环水泵房进水前池可能发生的泥沙淤积情况，并提出相应的防淤工程措施。

关键词：流道 涡流 淤积 水头损失 试验研究

1 工程概况

深圳 LNG 项目接收站海水泵房取水口位于整个接收站址的东北侧，接收站的最左前方(工程布置图见附图 1)，取水由引水暗沟、进水前池以及流道和泵室组成，一期安装 4 台海水泵，二期增加 3 台，一期海水泵房设 3 个引水暗沟，2 套滤网及清污设备，1 个泵房取水前池，4 个进水流道及泵室，二期海水泵房布置形式与本期海水泵房相同。流道及泵室位于进水前池的末端，前池长度为 18m，为扩散段，进水前池前为引水暗沟，引水暗沟按照接收站一、二期需要的海水量一次建成，按 $49800\text{m}^3/\text{h}$ 水量进行设计。

进水前池及流道的水力性能设计对保证海水泵的安全和高效运行至关重要，对降低海水泵房的土建投资也有重要作用。为了验证进水流道结构设计是否合理，能否满足吸水室水流均匀平稳、无涡的设计要求，通过试验提出有利于海水泵安全、高效运行的工程布置方案。

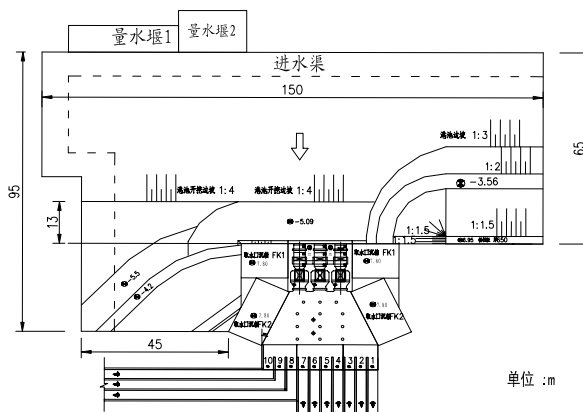


图 1 深圳 LNG 流道模型试验平面布置图

2 设计方案流道试验成果

2.1 方案布置

设计方案的流道布置见图 2。流道由过滤段(引水暗沟)、水泵进水前池及吸水泵室三部分组成，过滤段设计了 3 个相同的滤网间，滤网间第一道清污设备是拦污栅，第二道为旋转滤网，旋转滤网为侧面进水。水泵进水前池共设计了 9 根直径为 80cm 圆柱。吸水泵室是一泵一室的无胸墙布置，共 10 个吸水泵室，从左往右的布置为 3 台消防泵室(本报告自编 1~3 号泵)，紧接一期 4 台工作泵(4~7 号泵)和二期 3 台工作泵(8~10 号泵)。

2.2 试验成果

在相同的水位时，当开机台数越多，泵站抽水总流量越大，进入过滤段、进水前池及泵室内的流态越混乱，回流强度越强，形成漩涡个数越多；当泵站开机台数越少，泵站抽水总流量越小，

进入过滤段、进水前池的流速越小，进水池内的回流和环流强度越弱，泵室内水流所受的剪切作用越弱，回流强度越弱，形成漩涡个数也越少。

设计方案的三个过滤段（引水暗沟）的流速分布较均匀，不会出现较不利的偏流现象，经过旋转滤网后从两侧出流再汇合经第二道检修闸门进入进水前池，在旋转滤网后从两侧出流至第二道检修闸门的胸墙之间，左侧形成顺时针立轴式漩涡、右侧形成逆时针立轴式漩涡，漩涡为凹陷贯穿式，其漩涡的表面直径大小随流量增大及水位的降低而增大，其中高水位开启 6 台工作泵加 2 台消防泵（工况 1）及低水位开启 6 台工作泵（工况 3）运行，其漩涡强度最强，漩涡直径约为 0.5m~0.6m，漩涡贯穿第二道闸门的胸墙。考虑到试验研究方法的局限性（不可能模拟旋转滤网的运转方式）以及水流的流动方向，漩涡的存在和工程中的实际情况会有些差异，试验中存在的漩涡应不会对璇转滤网的安全运行带来明显不利的影响，并且此漩涡出现的位置离水泵较远，因此，通过试验资料分析初步判断该位置漩涡不会危及水泵的正常运行。

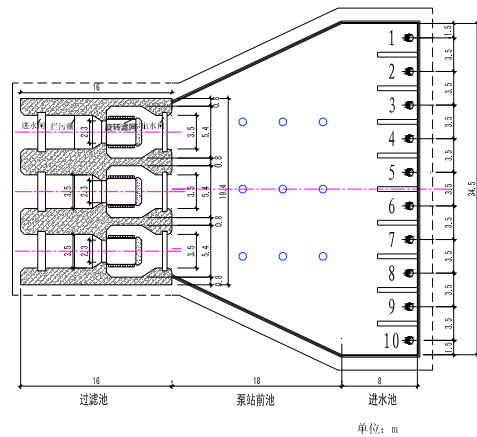


图 2 设计方案流道布置示意

在相同开启泵数及相同水位下，机组的开启方式也会对前池及流道内流态产生影响，当机组单侧集中开启时，流道内的水流流态，除了受前池的回流所造成的流道进口横向流速影响，边孔（如二期的 3 台工作泵，其中以 10 号泵较为明显）流道还受边壁水流绕流流态影响，引起边孔流道的绕流生涡。

在不同运行工况下，进水前池表面均产生环流流态，其环流的强弱随抽水流量的增大而增大，但不会产生涡流和明显不利的偏流，因此，进水前池的设计方案基本可行。在不同运行工况下泵室内均产生间歇性 2~4 级游动性漩涡，其中在极端低水位-0.29m、10 号泵单独运行时，出现的是间歇性 4 级游动漏斗漩涡，对水泵安全运行最为不利。对一期 6 号泵、二期 8 号泵和 10 号泵单独进行加大流量的涡流试验表明，三台工作泵均产生贯穿性 3~5 级游动性漩涡，漩涡直径约为 0.4m~0.7m（见照片 1）。漩涡的存在降低了机组运行效率，也为工程的安全运行带来了隐患，需要采取消涡工程措施。



照片 1 设计方案泵前漩涡（组次 3）

3 推荐方案试验成果

3.1 方案布置

针对设计方案各水泵运行时出现有害漩涡的情况，并考虑到水泵的工作性质以及运行情况，利用我院在此方面的工作经验，进行了消涡工程方案的修改，在 4~10 号的工作泵室进口各隔墙之间设置了防涡梁，防涡梁在高程 3.3m ~ -1.3m 之间均匀布置三道，每道防涡梁的高度为 1m、厚 0.25m，其具体布置见图 3。

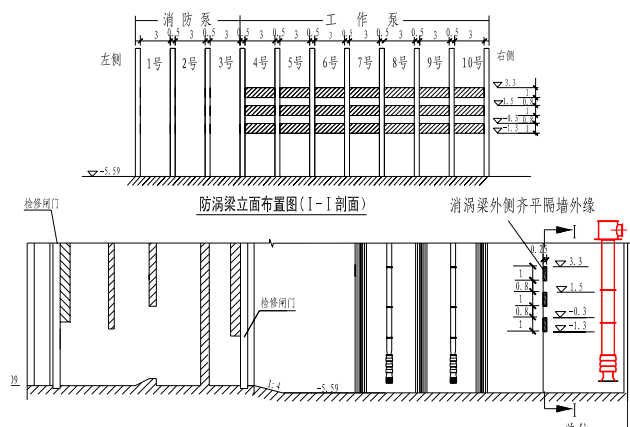
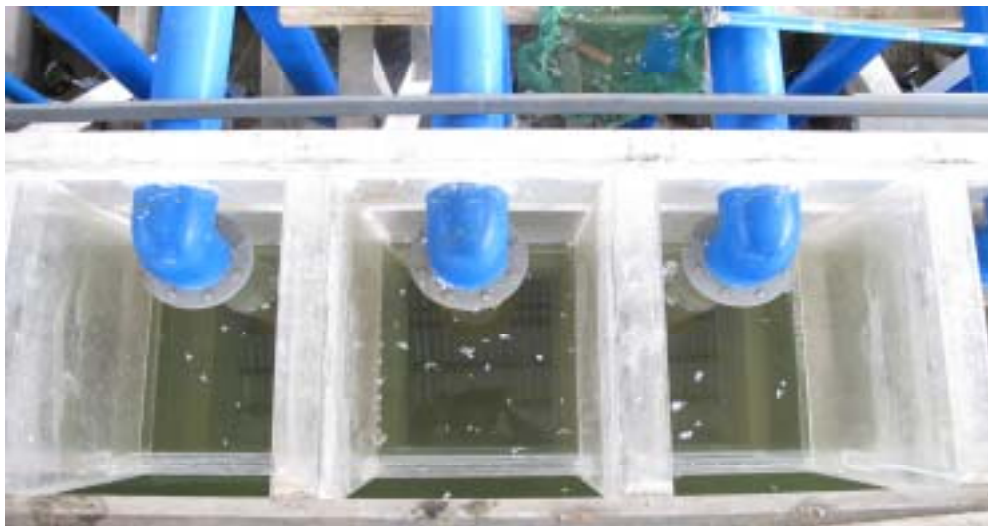


图 3 推荐方案流道布置示意

3.2 试验成果

试验表明：

(1) 设置防涡梁后，进水前池内流态较设计方案改变不大，进水前池内水流总体较平稳（见照片 2），防涡梁对进入吸水室内的水流进行了整流，泵室内流态有了较为明显的改善，特别是在极端低水位（-0.29m）运行时水流比较均匀、稳定，流速的脉动较小（见照片 2）。防涡梁后水体面层回流较弱，泵室内水流与设计方案的比较为平静，水泵周围流态较设计方案均匀。



照片 2 推荐方案取水泵室流态（组次 5）

(2) 推荐方案加大流量涡流试验表明：水流经过滤段和进水前池进入水泵吸水室，在防涡梁后形成稳定的水平轴向环流，在吸水室内亦无强回流及诱导漩涡等较强剪切运动的流态，也没有出现漏斗涡。防涡梁后吸水室上层水流存在一定负向流，形成局部回流，但没有出现吸气漩涡也

就是无空气吸入，整个吸水室内水面较为平稳，无明显不利漩涡出现。

总的来说，吸水室流态观测、流速测量和涡流模拟试验表明，推荐方案流道内无明显涡体出现，断面流速分布较均匀，基本满足水泵房吸水室的流态要求。在涡流试验中，流态基本稳定，不会在吸水头部附近出现吸气等有害漩涡，整个吸水室内水面较为平稳，无明显不利漩涡出现，不会对水泵运行产生明显不利影响。

4 运行管理建议

不同水位、不同机组运行试验证明：泵站最不利的开机组合为机组集中开启，尤其单侧集中开启工作泵中的二期（8~10号）较易形成边孔的绕流流态，特别是10号泵运行引起边孔流道进口的局部回流加强，当机组为均匀间隔开启时，流道进口绕流现象有所减弱。因此，在泵站的运行管理中，应尽量避免机组集中单侧集中开启，尽可能均匀、间隔、对称开启的管理方式，使流道保持均匀、稳定、无涡的流态。

另外，试验表明，拦污栅和旋转滤网的清洁程度可直接影响水头损失的大小，拦污栅和旋转滤网清洁程度越高，造成的水头损失越小，反之，造成的水头损失增加比较明显。为了保证水泵的安全运行，建议工程管理及运行单位加强工程运行期间的清洁工作和原型观测等工作，尤其是在水位较低时更应关注和加强拦污栅和旋转滤网的清洁，以确保水泵的安全有效运行。

5 结语

根据深圳 LNG 电厂流道布置的特点和规模，选定并建造几何比尺 $\lambda_L = 8$ 的正态物理模型进行试验研究，模型设计合理，能给满足水流动力相似和阻力相似的要求，亦能大大提高流态的相似度和测量精度。

试验的推荐方案水流能均匀平稳地进入水泵吸水室，无明显不利漩涡出现，不会对水泵运行产生明显不利影响。

参考文献和资料：

- [1] 广东省水利水电科学研究院，茂名热电厂循环水系统改造工程流道试验，2008年8月。
- [2] 广东省水利水电科学研究院，台山发电厂一期工程循环水泵进水流道水力性能试验研究，2008年6月。

作者简介：

陈卓英（1973-），女，本科，广东省四会人，工程师，从事水动力学应用研究工作。