对提高水泵装置性能有关问题的再认识

刘丽君[1]，刘 军[2]

（1.江苏省水利工程科技咨询中心，江苏 南京 210029；2.江苏省水利工程建设局，江苏 南京 210000）

摘 要：根据国内近十多年来大型泵站工程建设的实践，分析了有关水泵模型装置试验、泵站进水设计模型试验等方面存在的问题；为实现水泵装置性能的进一步提高、满足南水北调东线工程建设的高标准、高要求，提出了建立具有权威性的独立实验室、对水力模型进行统一的测试、加大对原型泵生产监造的力度、重视泵站进水设计模型试验和出水流道优化设计等建议。

关键词：探讨；水泵装置；提高性能

中图分类号：S277 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-6254(2004)01-0013-03

0 引言

水泵装置主要由泵本体和进、出水流道三部分组成，是泵站的主体。大中型泵站工程在建设前期机泵设备招投标时，一般由业主提出水泵主要运行参数，例如：流量、扬程、效率等，设计部门选择适合的泵型同时完成进、出水流道的初步设计，投标厂商据此研发泵型并配置相应的进出水流道。在泵站建设过程中，由于种种原因目前不以泵站现场测试为验收依据，而以模型试验得出的水泵装置性能指标换算至原型作为设备验收并进行支付的主要依据。根据近十多年来国内泵站工程建设的实践，发现在提高水泵装置水力性能方面存在着一些问题。为不断提高我国泵站建设的水平，确保南水北调东线工程达到现代化的高标准、高要求，有必要对有关问题进行深人探讨。

1 存在的问题

1.1 缺乏对水泵装置各部分性能的了解

对中标厂商提供的进、出水流道及水泵本体组成的水泵模型装置试验的验收，只有水泵装置性能整体指标、而对泵站的进水、出水流道的水力特性和水泵水力模型各部分的性能指标缺乏定量的测试和了解，不便于分析、比较和改进。此外，某一具体泵站的水泵装置试验结果不具有普遍性，每一个泵站都需要做水泵模型装置试验，容易导致低水平或同等水平的重复试验，难以提高设计水平。

1.2 水泵厂商难以承担流道设计任务

在大型泵站机电设备招、投标中，由于将水泵与进、出水流道联系在一起作为整体进行水泵模型装置试验，并以试验结果为验收的主要依据，故而进、出水流道水力设计的责任往往最后是由水泵厂商承担。但大多数水泵厂商对泵站土建设计缺乏了解，难以胜任此项工作。

1.3 进水流态试验的原模相似准则不明确

水泵装置进水流态试验（如进口临界淹没深度试验）也是水泵模型装置试验的重要内容。在带泵试验的条件下，采用什么试验准则，国内尚未有统一的认识。目前有三种准则：

①按 $nD=C$，则 $Q_{原型}/Q_{模型}=\lambda^{2.5}$，

②按 $\mathrm{Fr}=C$，则 $Q_{原型}/Q_{模型}=\lambda^{2.0}$，

③按 $Q_{原型}/Q_{模型}=\lambda^{2.2}$。

式中 n 为水泵转速；D 为叶轮直径；$Q_{原型}$、$Q_{模型}$ 分别为原、模型泵流量；Fr 为佛罗德数；λ 为原模型几何尺寸比；C 为常数。按上述三种相似准则换算得的原、模型流量之比有较大差异。

1.4 水泵装置性能的换算误差较大

水泵装置性能的原、模型换算问题，从理论上讲，相似律可适用于水泵。实际应用于水泵装置有较大误差，尤其是低扬程泵装置的效率换算，由于进、出水流道的水力损失在水泵扬程中所占比重较大，相应加大了换算误差。

另外，在行业标准《水泵模型验收试验规程》(SL140—97)中，只给出了泵段的换算公式，未提及水泵装置性能的换算。

作者简介：刘丽君(1962－)，女，江苏无锡人，高级工程师，江苏省水利工程科技咨询中心副主任。

1.5 水泵水力模型未能进行统一的测试

20世纪80年代以来，我国一些科研机构、高等院校和水泵厂家研制、开发了一批性能优秀的低扬程、大流量泵水力模型，有些厂家还从国外引进了先进的泵水力模型。这些泵水力模型的应用，对于提高我国轴流泵和导叶式混流泵产品的水力性能发挥了决定性作用。但是，由于未能在一定范围内、在基本试验条件相同的情况下对泵水力模型的性能进行统一的测试，因而很难进行优选，很难真正做到优秀的水力模型优先得到应用。

2　泵站进水设计模型试验

2.1 泵站进水设计的目的和内容

就进水条件而言，水泵装置试验台可为进水流道进口提供平顺均匀的进水条件，且无旋涡及横向流速等不良流态。但是，这样一种近乎理想的进水条件与泵站的实际情况不完全一致。因此，在试验台上进行的水泵装置试验不能全面反映引水渠及前池流态对水泵装置性能的影响。泵站进水设计的优劣直接关系到水泵进口的流态，从而影响到水泵装置的能量性能和汽蚀性能。国外较为重要的泵站均要求进行泵站进水设计模型整体试验研究。

水泵进水设计模型试验研究的目的是：在各种可能的流量、水位及水泵机组运行组合的情况下，考察进水池的流态、检验水泵进口的流态，若进水流态不符合要求，则采取必要的和有效的措施改善进水流态，以保证所有水泵在所有可能的工况下都获得良好的进水流态。泵站进水设计的范围包括从引水渠、前池、进水池（进水流道）直至各台水泵叶轮室进口的所有进水建筑物的水力设计，是一个整体的概念。

2.2 需注意避免的进水条件

如果水流在进入水泵之前，除了轴向分速之外还有切向分速，那就存在预旋。预旋将改变叶片进口的速度向量，导致水泵能量性能和汽蚀性能变差，甚至可能引起水泵振动。此外，如果进水池内产生水面涡或水下涡，且其强度大到能够引起水泵叶轮的局部压力降低时，就将产生有害影响，较强的旋涡可能引起水泵叶片上水压力的波动及汽蚀。对这一类问题应在水泵的进水设计中予以充分重视。以下情况均可能导致水泵进口的预旋或有害旋涡:

1）引水渠偏短，形成侧向进水；

2）进水池长度偏短、形状欠佳、容量偏小；

3）进水池水位偏低；

4）进水流道设计不合理；

5）水泵机组的不对称运行；

6）从有较大横向流速的水流中取水。

2.3 关于试验标准

我国过去也做过一些泵站整体模型试验，试验的目的主要是检验和修正进水设计。由于到目前为止我国尚未有试验标准，试验的基本原则一般套用水工模型验收试验的规定，试验方法还有一些问题。例如：在泵站整体模型试验中注重观察和测试前池及进水池内的流态，忽视了水泵进口（进水流道出口）的流态，修正进水设计不是以改善水泵叶轮室进口处的流态为依据，等等。

目前，国外对泵站进水设计模型试验较多采用美国国家标准《水泵进水设计》(ANSI/HI 9.8—1998)。该标准具有以下特点：

1）泵站进水设计的模型试验范围从引渠起，经前池、进水流道到水泵叶轮室进口;

2）将引渠、前池和进水流道作为整体考察进水流态，除按常规注意观察前池、进水池流态外，还特别注重检验水泵叶轮室进口处的流态;

3)对水泵进口处的流态检验特别注意检测由于进水条件不同而引发的水泵进口处的涡流；

4）模型试验的相似准则明确，由于不带泵试验，在重力流的情况下，明确地规定按佛罗德数相等为模拟准则。

3　出水流道的水力损失

出水流道是水泵装置的重要组成部分，出水流道对水泵装置的性能有非常明显的影响。出水流道的水力设计至今仍建立在传统的一维流动理论的基础上，这种理论与出水流道实际的三维流动情况出入很大。若设计不当，在虹吸式出水流道、贯流式出水流道及斜式出水流道内都可能不同程度地存在旋涡、脱流等不良流态，从而增大流道水力损失。出水流道的水力损失对水泵装置能量性能影响较大，尤其是对于低扬程泵站，影响特别显著。在过去相当长的一段时期内，人们对进水流道内的流态比较注意、比较了解，而对出水流道内的流态则缺乏较为深入的了解。

最近，结合南水北调东线工程江苏省宝应泵站建设的需要，采用了对出水流道的水力特性进行单独试验及考核的方法，对宝应泵站虹吸式出

水流道的水力设计进行了优化对比模型试验研究，取得一些进展，得到下列初步结论：

1）在试验流量范围内，虹吸式出水流道的水力损失与流量之间完全符合SQ^2的关系；

2）采用三维优化水力设计方法可明显改善出水流道内的流态，减少流道水力损失。

4 几点建议

一个水力性能优良的水泵装置一定具备三方面的条件：第一，所选择的水泵水力模型性能优异，水泵厂据此生产的原型泵质量满足要求；第二，从引渠、前池、进水流道直至各台水泵叶轮室进口的所有进水建筑物的水力设计合理，能为水泵叶轮室进口提供优良的进水流态；第三，出水流道设计合理，出水流态好、水力损失小。

鉴于目前我国泵站水泵装置模型试验中存在着若干的问题，为进一步提高水泵装置性能，满足已经全面开工的南水北调东线工程大型泵站建设和改造的需要，提出如下一些建议：

1）在一定范围内，对适用于低扬程、大流量泵站的水力模型水力性能进行统一的测试。考虑到许多水泵装置不含出水弯管，为便于比较，受试水力模型的范围宜从水泵叶轮室进口至出水导叶出口，将出水弯管的水力损失扣除。

2）建立有权威的、独立的水泵水力模型及水泵装置模型试验室。为保证试验的公正性，独立试验室本身不介入与所试验的结果存在利益关系的工作。

3）进、出水流道的设计不再交给承包商负责，应由设计研究单位负责；

4）对机泵承包商供货的考核以水泵水力性能为主要依据，同时要真正发挥业主、监理驻厂监造的作用，引导水泵生产厂家加大投入、改进加工工艺，确保原型泵的加工精度和产品质量；

5）对较为重要的泵站，进行进水设计模型试验，以便对进水设计作出评价，必要时可通过模型试验修正进水设计，在我国未出台相应的试验规程前，试验可按美国国家标准《水泵进水设计》(ANSI/HI 9.8—1998)进行；

6）对较为重要的泵站，进行进、出水流道模型试验，观察进、出水流道内的流态、测试进、出水流道的水力损失，以便进行进、出水流道的水力设计优化和水力性能的评价；

7）研究提高水泵装置中水泵工作点预测正确度的方法；

8）在泵段水力模型及进、出水设计已分别考核的前提下，进行水泵装置模型试验，测试并验证水泵装置在理想进水条件下的水力性能，为完善水泵装置的设计研究和考核提供条件。

参考文献：

[1] American National Standard for Pump Intake Design (ANSI/HI 9.8-1998): 22～28.

[2] 左东启. 模型试验的理论和方法. 北京：水利电力出版社，1984：53～55.

[3] 南水北调东线工程宝应站虹吸式出水流道优化设计对比模型试验研究报告. 扬州大学. 江苏省南水北调三阳河潼河宝应站工程建设局. 江苏省水利工程科技咨询中心.

[4] 朱红耕，等. 水泵进口预旋及涡流强度测试新技术. 灌溉排水. 2003, 6: 57～60.

Further Recognition on Some Problems About the Performance of Pump System

LIU Li-Jun[1], *LIU Jun*[2]

(1. Jiangsu Consulting Center of Water Conservancy Engineering, Najing, Jiangsu 210029, China; 2. Jiangsu-North Water Supply Bureau of Jiangsu Province, Najing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: Based on the practice of construction of large pumping stations in the recent years in our country, some problems about model tests for the hydraulic performance of a pump system, model test for pump intake design, etc. are analyzed. In order to further improve the performance of a pump system, and so as to satisfy the high standard and high requirements for construction of the South-to-North Water Transfer Project Engineering, a series suggestions are put forward, such as to found an authoritative laboratory, to measure pump hydraulic model with the same standard, to reinforce the manufacture supervision of a prototype pump, to pay attention to model test for pump intake design and hydraulic optimization of a outlet conduit.

Key words: Further recognition; Pump system; Performance improvement