

# 南水北调低扬程水泵装置水力性能指标的探讨

扬州大学 刘 超

**摘要:** 阐述南水北调东线工程低扬程水泵装置及其水力特性, 分析了国内在这一领域的研究现状, 提出在南水北调工程要建成世界一流工程总体目标下, 泵站工程也要建成世界一流工程, 进而从国内泵站工程领域的实际出发提出南水北调低扬程泵装置水力性能考核的指标。这对实现一流工程的目标、泵站工程的技术进步有促进作用。

**关键词:** 南水北调, 泵站, 水力模型, 装置

目前我国宏伟的世纪特大工程—南水北调工程已经开始实施, 这将对我国国民经济的发展产生巨大影响。泵站是南水北调东线的主要工程, 水泵是泵站的“心脏”。因此, 对大型泵站工程水泵装置的设计和建设要求更高, 泵站运行必须高效节能、稳定可靠。

南水北调东线工程泵站特点是扬程低、流量大、年运行时间长等, 有些站还要兼顾排涝, 国内目前已有的技术储备、产品及有关水力设计方法不能完全满足南水北调泵站工程的要求。我国在大型泵站的建设方面虽然已经积累较丰富的经验, 但仍然对低扬程水泵水力模型及装置等一些对泵站工程的建设运行有重大影响的技术问题还没有完全掌握。低扬程轴流泵型谱还不够全、水泵水力模型性能、泵装置的性能与国际先进水平相比还有差距。如, 国外公布的轴流泵水力模型的叶轮效率为 87% 以上, 直径 3m 的大型立混流泵装置的效率达到 85%, 轴流泵装置效率也比较高。因此, 要实现世界一流的目标, 首先要求水泵及水泵装置的水力性能达到世界当前的水平。正因为南水北调工程泵站年运行时间长, 可能在 5000h 以上, 因而对于降低运行成本, 提高泵装置运行效率是最重要的, 同时汽蚀性能也是泵装置运行的一个重要的可靠性指标。笔者通过分析对比国内外低扬程水泵及水泵装置研究和应用的情况, 提出泵装置应当达到的效率指标和汽蚀性能指标, 供工程设计、研究和验收等有关人员参考。这对于提高水泵及其装置运行的经济性和可靠性、延长水泵使用寿命、减少维修费用节省投资, 降低成本, 对工程建设和运行管理均具有重大意义。

## 一、低扬程水泵装置

泵装置包括进水流道、出水流道和泵段(水力模型)三部分。工程应用不仅要求泵段性能好, 而且要求包括泵段在内的泵装置整体性能好。主要的泵装置形式有立式、斜式、卧式(包括贯流式、机泵一体式)。国内众多专家、学者和工程技术人员经过长期的努力, 近十多年取得了一系列好的水力模型成果, 并用于工程建设, 提升了泵站工程技术水平, 可用于南水北调工程。

### 1. 立式泵装置

立式装置形式种类最多, 如图 1 所示, 使用最普遍。这种装置泵轴线(铅直), 水流在进入水泵时转弯  $90^\circ$ , 容易引起水流脱离、流速分布不均匀甚至产生旋涡。旋涡对水泵运行极其有害, 需要谨慎设计进水流道。进水流道有肘形、钟形、箕形和箱涵几种, 而出水流道有虹吸、直管和

开敞或对称平面蜗壳几种。一般立式泵装置的高度较大，对大泵来说，扬程低于 3m 已不适合。

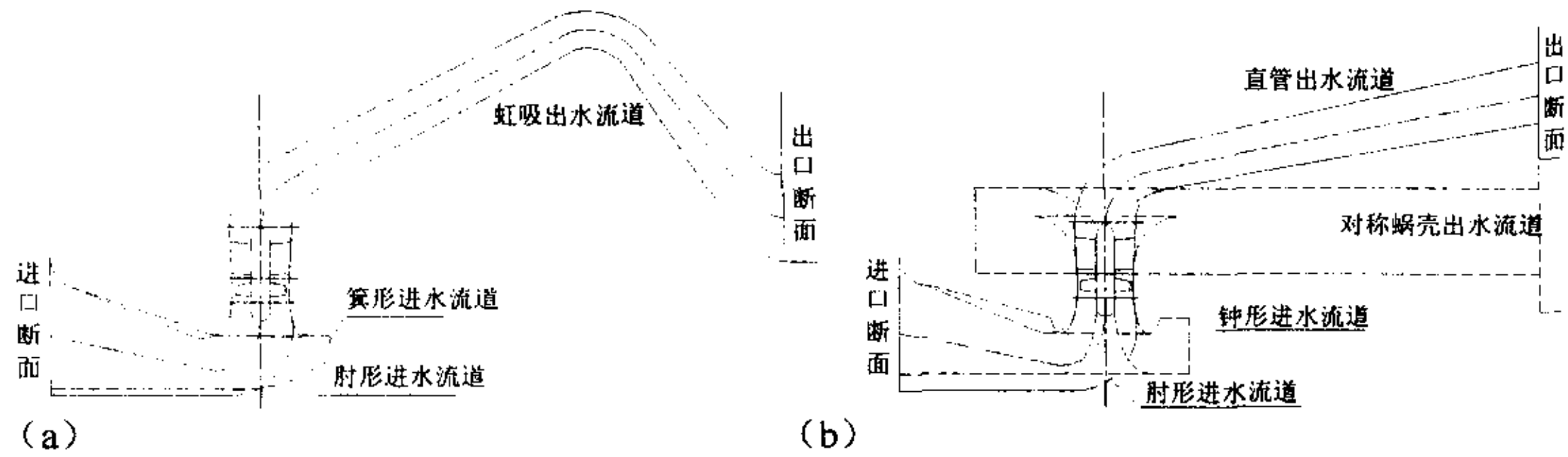


图 1 立式泵装置

2. 斜式泵装置

斜式泵装置（如图 2）的进水流道水流转向的角度小( $<90^\circ$ )，阻力损失小，其出水流道转弯角 $<60^\circ$ ，阻力损失也较小，装置效率较高，对斜  $15^\circ$  装置，可与贯流泵装置接近。

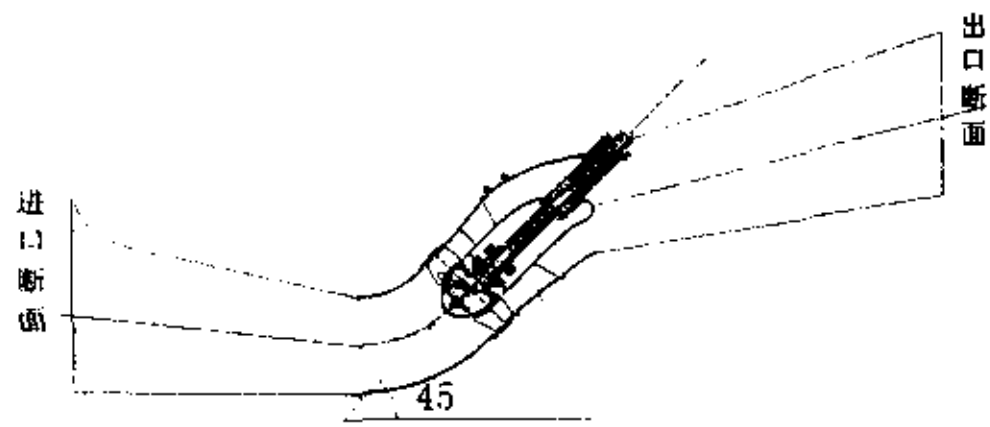


图 2 斜式泵装置

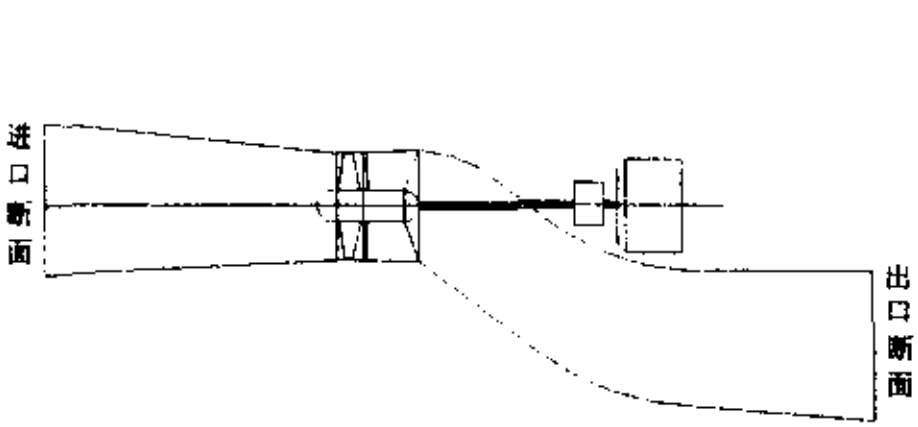


图 3 平面 S 形卧式泵装置

3. 卧式泵装置和贯流装置

卧式泵装置的泵轴线水平，进出水流道呈 S 形布置，如江苏秦淮新河泵站。贯流式装置采用灯泡贯流泵或电机泵(机泵一体)，进出水流道与泵机组轴线一致，图 8 和图 9 为卧式和贯流式泵装置。江苏淮安第三抽水站即采用贯流泵装置。

斜式、卧式或贯流式泵装置，一般只能采用异步电动机，又因大泵转速较低，须通过传动装置带动水泵运转，常用齿轮减速装置传动。因此，也多了一个功率传动损失。

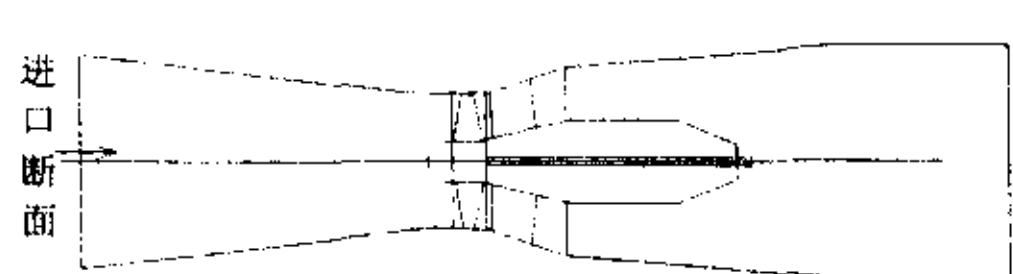


图 4 贯流泵装置

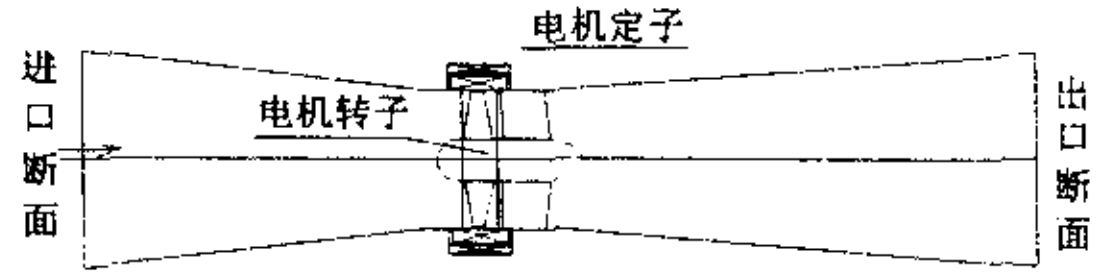


图 5 电机泵(机泵一体) 卧式泵装置

通常斜式、卧式或贯流式泵装置这 3 种泵装置的水力效率比立式装置高。因为这三种泵装置的进出水流道比较顺直，水力损失小。但这三种泵装置往往需要一个传动装置，以齿轮减速装置

为例，其传动效率在 0.93~0.98 左右，故这类装置可比水力效率(包括传动效率)为 0.74 左右，与立式装置相比略高或相当。

各种流道装置形式具有不同特点，适用于不同的场合，究竟采用何种装置形式为最妥，要根据实际情况来决定，因站制宜。机泵一体的电机泵结构最简单，水泵转轮与电机转子合一，有很多优点，我国应用也比较早，唯装置效率不够理想，需进一步研究，现在尚未推开。

## 二、 泵装置性能现状

经过多年的努力，我们在低扬程泵装置方面的研究取得了一定的进步，无论是装置能量性能还是装置汽蚀性能都达到了新的水平。这里介绍几种有代表性的泵装置性能。

### (1) 贯流泵装置模型试验性能（泵站扬程 4m 以下）

图 6 是淮河入海水道贯流泵装置模型试验性能曲线。该装置是类似图 4 的一个后置式灯泡的装置。在试验研究中通过大量的试验和不断的改进，获得了较为理想的性能。泵装置的最高效率已达到 76%以上，最高效率点的扬程为 3m，流量为 330l/s，NPSHr 为 6.5m；在扬程为 2m 时，装置效率为近 72%。国内曾有贯流泵装置模型效率更高的报告，但其考核点的流量较小，偏高。比较之下，图 6 的中的指标是实用的、有代表性的。

### (2) 轴流泵装置模型试验性能（泵站扬程 3—4.5m）

图 7 是江苏省泰州引江河高港泵站泵装置的模型试验性能曲线。该装置是类似图 1 (b) 中虚线的装置，采用钟形进水流道和对称蜗壳出水流道，高度较小，适合 3-4m 扬程的泵站。经过反

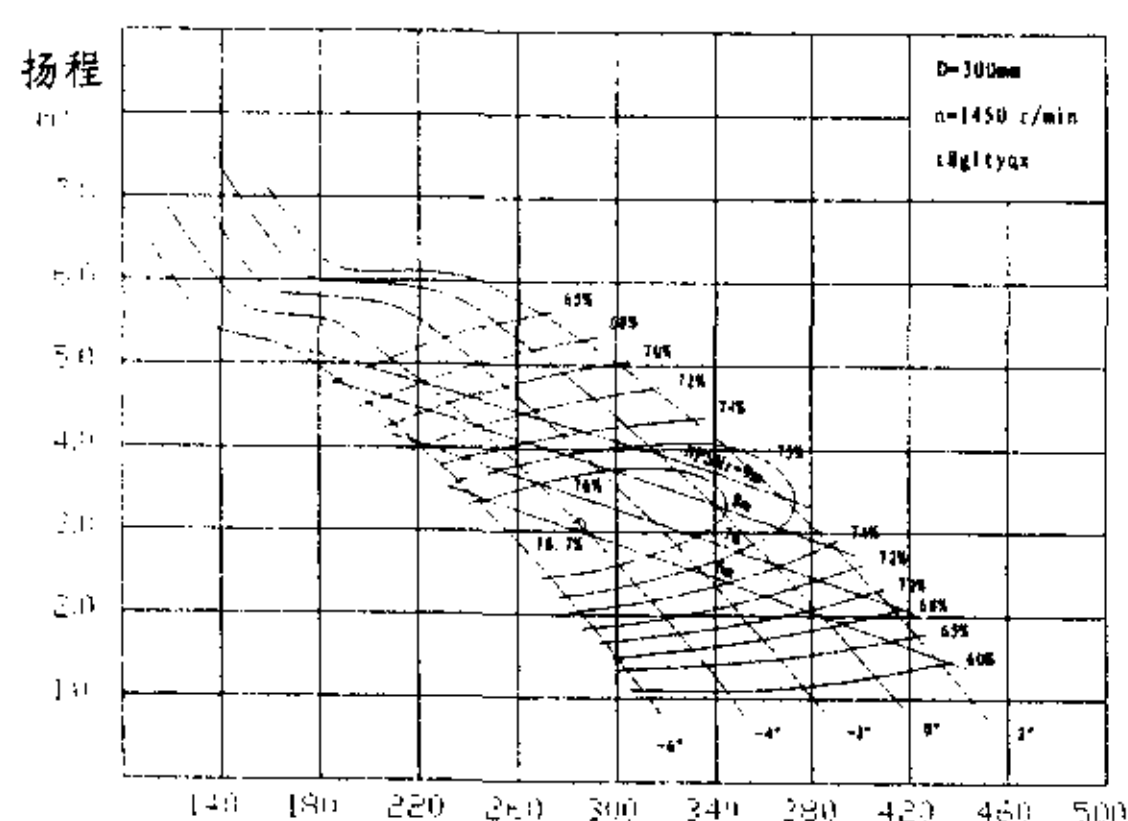


图 6 贯流泵装置模型性能曲线

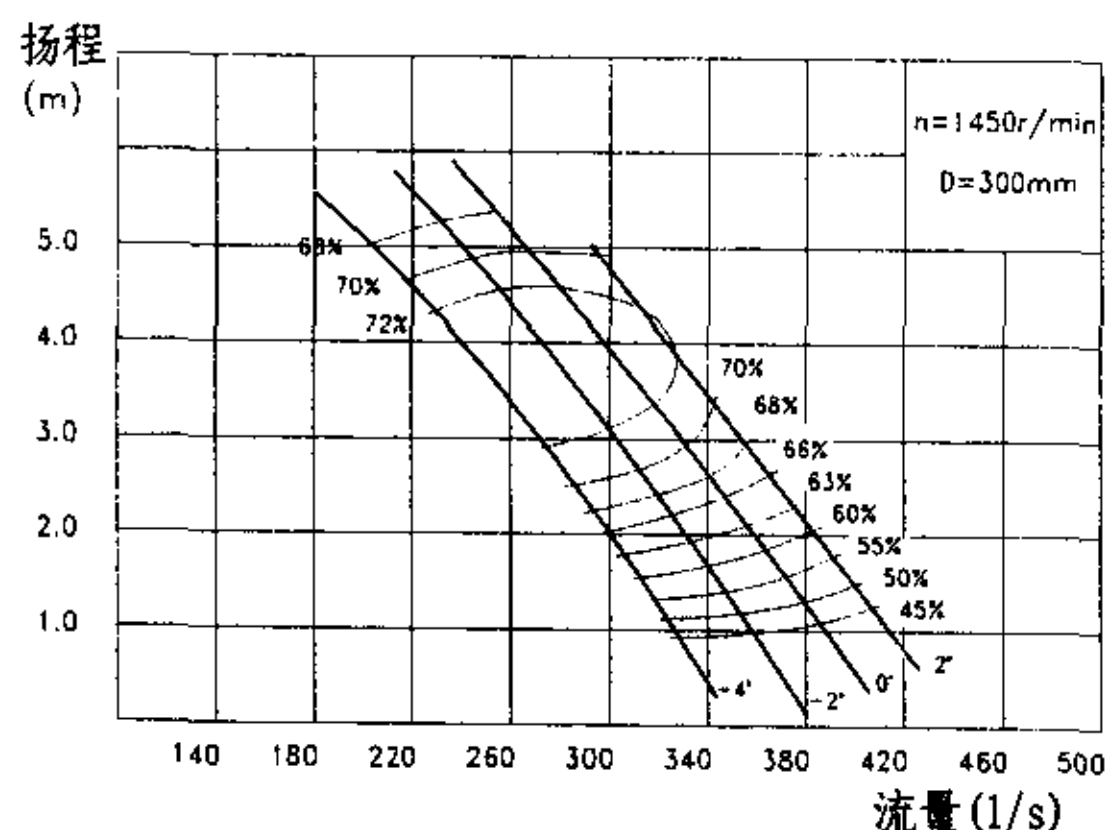


图 7 立式轴流泵装置模型性能曲线 1

复的计算分析，选择了这种形式的流道，并通过优化改进使装置性能得到较大幅度的提高。泵装置的最高效率已达到 72%以上，最高效率点的扬程为 3.5m，流量为 330l/s，NPSHr 为 6.8m；在扬程为 2m 时，装置效率为近 65%。

### (3) 轴流泵装置模型试验性能（泵站扬程 4m 以上）



图 8 是广东省东江—深圳供水工程太园泵站泵装置的模型试验性能曲线。该装置是类似图 1 (a) 中实线表示的装置, 采用肘形进水流道和虹吸出水流道。试验结果表明, 这种最为典型的装置形式仍然是比较好的形式。泵装置的最高效率已达到 76% 以上, 最高效率点的扬程为 6m, 流量为 340l/s, NPSHr 为 6.0m; 在扬程为 5m 时, 装置效率为 75%。

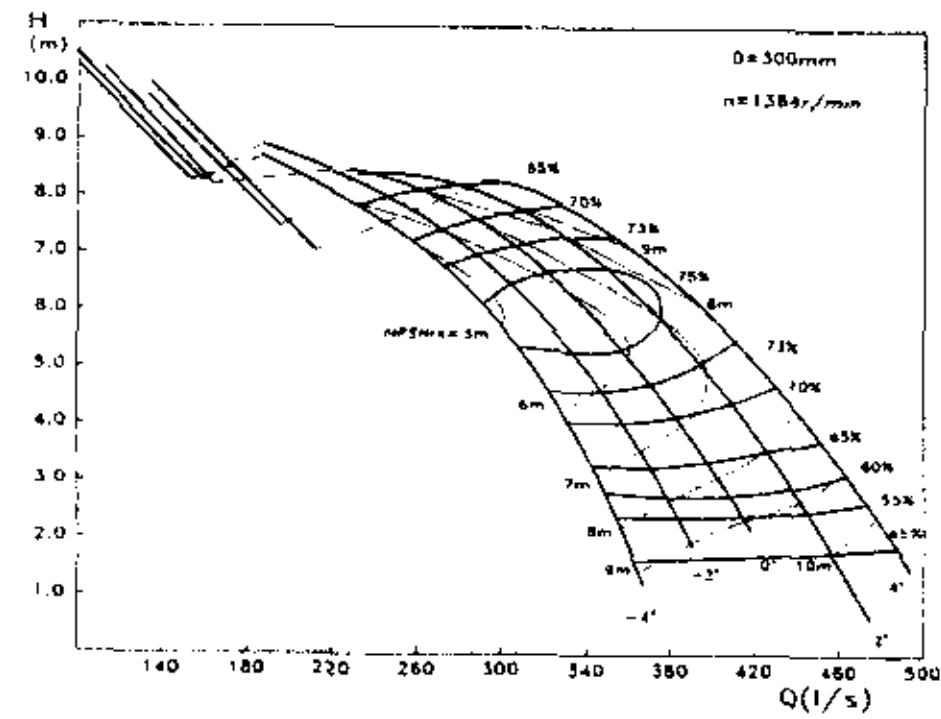


图 8 立式轴流泵装置模型性能曲线 2

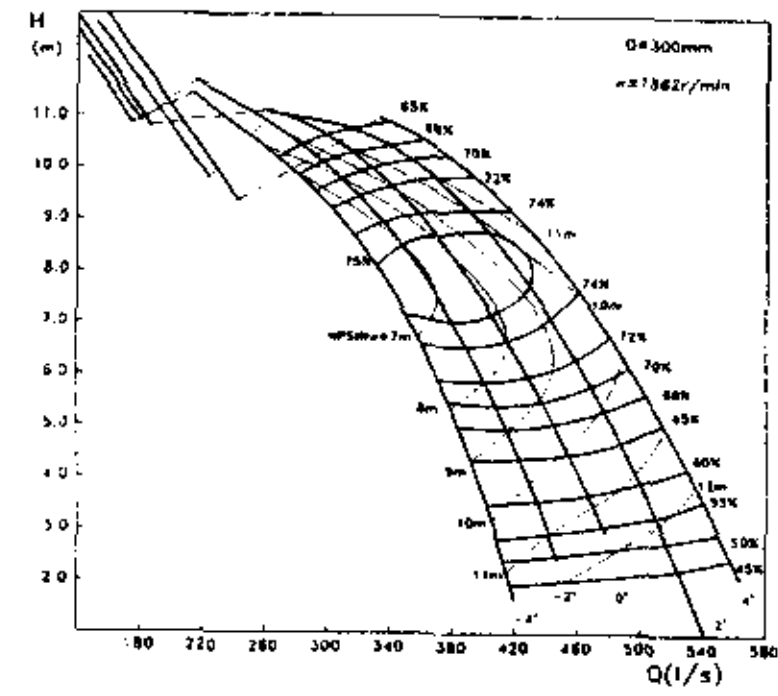


图 9 立式轴流泵装置模型性能曲线 3

(4) 立式轴流泵装置模型性能（泵站扬程 7m 以上）

图 9 是广东省东江—深圳供水工程太园泵站泵装置转速提高 12.86% 后的模型试验性能曲线。泵装置的最高效率已达到 76% 以上, 最高效率点的扬程为 8m, 流量为 380l/s, NPSHr 为 7.8m; 在扬程为 6.5m 时, 装置效率为 74%。

三、 低扬程泵装置水力性能考核指标

以上泵装置的性能均已超过国家标准“泵站设计规范”的要求, 具有一定的代表性。对于用户来说, 泵装置性能更为重要。南水北调工程是特大型工程, 其泵站工程的泵装置水力性能指标无疑应达到国内领先水平。为此, 根据上述各不同泵装置的水力性能现状和同类泵装置的研究结果分析, 笔者提出南水北调低扬程泵装置水力性能的考核指标如表 1, 用于指导泵站设计参考。混流泵装置水力性能的考核指标可以参考立式轴流泵装置。

表 1 泵装置模型水力性能建议指标

| 泵装置类型       |   | 考核点流量<br>l/s | 考核点扬程<br>m | 考核点效率<br>% | 考核点<br>汽蚀比转速 C | 备 注                                                   |
|-------------|---|--------------|------------|------------|----------------|-------------------------------------------------------|
| 贯流泵装置       | 1 | 330.0        | 2.0        | >72.0      | >1000          | 各式泵装置<br>仅包括泵水<br>力模型和进<br>出水流道, 不<br>包括动力机<br>和传动装置。 |
|             | 2 | 330.0        | 3.0        | >76.0      | >1000          |                                                       |
|             | 3 | 330.0        | 4.0        | >77.0      | >1000          |                                                       |
| 立式轴流泵<br>装置 | 1 | 330.0        | 3.0        | >71.0      | >1000          |                                                       |
|             | 2 | 330.0        | 4.0        | >72.0      | >1000          |                                                       |
|             | 3 | 340.0        | 5.0        | >73.0      | >1000          |                                                       |
|             | 4 | 340.0        | 6.0        | >75.0      | >1000          |                                                       |
|             | 5 | 340.0        | >7.0       | >75.0      | >1000          |                                                       |
| 斜式轴流泵<br>装置 | 1 | 330.0        | 2.0        | >71.0      | >1000          |                                                       |
|             | 2 | 330.0        | 3.0        | >74.0      | >1000          |                                                       |
|             | 3 | 330.0        | 4.0        | >75.0      | >1000          |                                                       |

应当指出，表中所列为模型泵装置的水力性能。不同泵装置之间的水力性能的比较还需要考虑到真机的结构，如传动、支撑等问题。对贯流泵装置和斜轴泵装置通常均需要齿轮箱减速传动，增加了损失，传动效率在 96% 左右；贯流泵装置的灯泡体需要特别的支撑，支架对水流增加了阻力损失，影响泵装置效率约 1 个百分点。对于这两种装置的可比水力性能尚需打一个折扣，对效率的影响系数，贯流泵装置为 0.95 左右；斜轴泵为 0.96 左右。

#### 四、 结语

南水北调工程泵装置的水力性能应当有一个参照的指标，否则很难保证达到一流工程的要求。本文提出的指标是从现有水平出发的，只要精心设计和研究就完全能够达到或超过，我国泵站建设的水平就一定会上提升到一个新的台阶。

#### 参考文献

- 1 刘超等，高性能低扬程轴流泵水力模型开发与应用，水泵技术，2001（3）： 3-6
- 2 刘超，低扬程双向流道泵装置研究，农业机械学报，2001（1）： 49—51
- 3 刘超、汤方平，双速双高效点轴流泵模型试验与应用，中国给水排水 2001(12)
- 4 关醒凡，南水北调工程大型轴流泵选型中值得注意的几个问题，水泵技术 2002（2）