南水北调东线工程水泵机组选型方法探讨

兰才有[1]，仪修堂[1]，段桂芳[1]，王 力[2]
（1.中国农业机械化科学研究院，北京 100083；2.吉林省农业机械研究院，吉林 长春 130021）

摘 要：南水北调东线工程水泵机组选型问题是业内人士关注的焦点。选型是否合理对工程的设计、施工、运行和经济效益会产生重大影响。对机组选型所涉及到的主水泵、主电动机、传动装置和调节机构等组成部件分别进行了深入的探讨和剖析，并指出了它们之间的相互联系和影响。得出的结论和建议对该工程及其类似大型调水工程的决策机构和设计人员具有指导意义和参考价值。

关键词：南水北调；水泵机组；选型；探讨
中图分类号：S277 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-6254（2004）01-0001-08

0 引言

南水北调东线工程是一项由多级串联泵站群逐级提水的大型调水工程，因而泵站就成为该工程的关键核心部位。其中的水泵机组选型问题更是业内人士关注的焦点。

根据总体规划，南水北调东线工程共设13个梯级，总扬程65 m，共需新建泵站51座，安装水泵机组278台，总装机流量7197.3 m^3/s，总装机功率52.9万kW。整个工程分三期实施，其中第一期工程除利用江苏省江水北调工程现有的6个梯级14座泵站（包括5座加固改造泵站）外，另需新建泵站21座，安装水泵机组96台，新增装机功率22.766万kW。

目前，虽然南水北调东线工程已开工建设，但绝大多数泵站的水泵机组型式尚未最终确定。再者，即使已经确定了初设方案，由于该工程建设周期长，随着科学技术的进步，可能也需要对既定方案做出调整。另外，该工程的前期准备工作已持续了几十年，关于水泵选型方面的文献也不少，但大多仅涉及到某单一性能参数、结构或泵型，对该工程水泵机组选型问题进行全方位研究探讨的文献尚未见到。鉴于上述分析，本文拟就该工程水泵选型涉及到的主要热点问题进行探讨，希冀对该工程的决策和设计部门有所裨益，并藉此与业内专家学者交流。

一般认为，大型水泵机组包括水泵、动力机（电动机）、传动装置和调节机构等，选型问题的探讨将围绕这些组成部分进行。

1 南水北调东线工程水泵机组运行特点

与我国已经建成的提水灌溉泵站、排涝泵站和灌排两用泵站相比，南水北调东线工程水泵机组主要有以下运行特点。

1）低扬程大流量。根据该工程总体规划，各个泵站的流量大多为150 m^3/s，单台机组流量为30 m^3/s左右，每座泵站的装机数量为4～5台，设计扬程在2.3～9.0 m之间，大多数泵站设计扬程为5.0 m左右。

2）扬程和流量变化幅度不大。笔者目前尚未得到这方面的详细资料，做此推测基于如下理由：①该工程从江苏省扬州市附近的长江下游干流取水，此处的长江水位应变化不大。②该工程泵站为多梯级串联式提水，各泵站之间统一联网调度，完全能实现对各泵站的水位变化幅度进行有效控制。③已开工建设的宝应泵站验证了这一推测。该泵站共安装4台立式混流泵，单台机组流量33.4 m^3/s，设计扬程7.6 m，最低扬程6.4 m，最高扬程8.0 m，扬程变化幅度很小。

3）运行时间长，可靠性要求高。该工程泵站设计年运行时间大多为5 000 h，少数泵站为6 000～8 000 h。

目前有这样一种倾向，一是对该工程泵站的功能和特点认识不足；二是过分夸大该工程对水泵机组的技术要求。因此，在进行选型工作时，首先应全面了解所研究的对象。

作者简介：兰才有（1953－），男，河南洛阳人，研究员，中国农业机械工业协会排灌机械分会理事长，主要从事排灌机械的科研。

2 水泵类型的选择

2.1 适用于该工程泵站的水泵类型

水泵的种类很多，但适用于南水北调东线工程的泵型并不是很复杂。即按主轴方向可分为卧（轴）式、立（轴）式和斜（轴）式；按叶轮种类可分为混流式（泵）和轴流式（泵），混流泵也称斜流泵。注意不应将按主轴方向划分的斜轴泵与按叶轮种类划分的斜流泵混淆。将上述两种分类方式组合，就构成了卧式轴流泵、卧式混流泵、立式轴流泵、立式混流泵、斜式轴流泵、斜式混流泵等。至于贯流泵，可以认为是一种特殊结构（流道形式）的卧式泵，由于适用的扬程较低，所以叶轮多为轴流式。

2.2 各种水泵的优缺点分析

在选择水泵以前，必须对适用范围内的各种水泵有一个比较全面的了解。以下简要分析这些水泵的优缺点。

2.2.1 卧式泵

1）卧式泵的主要优点：①水泵的主要部件经常处于水面以上，比立式泵受腐蚀的影响小；②检查、维修和保养方便，拆卸时不必像立式泵那样搬移电动机；③单位面积上的荷重小，对软地基有利；④起重机的起吊荷重小，提升高度小，泵房结构简单。

2）卧式泵的主要缺点：①占地面积较大；②启动时必须灌引水（排气）操作；③受吸入性能（汽蚀）限制，水泵安装层不能太高并需采取措施保证进水池处于高水位时动力机房内不进水。

2.2.2 立式泵

1）立式泵的主要优点：①叶轮淹没在水里，有利于保证不发生汽蚀；②启动时不必灌引水（排气），上水快，有利于实现自动运行；③占地面积小。

2）立式泵的主要缺点：①主要部件浸没在水里，表面有水垢附着，容易被腐蚀；②拆卸时需移动电动机；③拆卸时起吊高度大，泵房高度也随之增高；④载荷集中，单位面积地基上的荷重大，对软地基不利；⑤泵房结构比较复杂；⑥水泵本身的价格比卧式泵高。

2.2.3 斜式泵

斜式泵是近几年发展起来的一种安装方式，使用量有逐渐增长的趋势。国内外关于斜式泵研究的文献较少，一般认为它主要有以下优缺点。

1）优点：①进出水流道弯度小、水力损失小，因而装置效率通常高于立式泵和卧式泵；②水工建筑物投资比立式泵低。

2）缺点：泵轴斜置后，受力复杂，对导轴承要求较高，且安装不便。

2.2.4 贯流泵

贯流泵实际上是一种适用于低扬程泵站的具有特殊结构和进出水流道形式的卧式轴流泵。贯流泵的结构型式较多，在我国的应用也已有20多年的历史（主要是中、小型泵），但对其研究，尤其是装置性能方面的研究却相对较少。该泵型主要有以下优缺点。

1）优点：①进出水流道为一近似直线，水力损失小，装置效率高，尤其适用于设计扬程低、运行时间长、重视运行成本的场合；②水工建筑物简单，泵站投资低；③载荷分散，单位面积地基上的荷重小，适用于地基不良的场合。

2）缺点：①对密封要求较高；②为了减少灯泡比，需采用行星齿轮减速器，泵结构比较复杂。另外，有学者认为贯流泵的机组效率并不像人们期望的那样高。

2.3 水泵选型应遵循的若干基本原则

对于南水北调东线工程这样的多梯级大型泵站群，水泵选型涉及到技术、经济、地质、气象、环境、人文等方方面面的影响因素，是一个系统工程，很难制定出一个统一的标准。但是，水泵选型应遵循若干基本原则。

2.3.1 国家标准中与之相关的规定

国家标准GB/T 50265—1997《泵站设计规范》（以下简称《规范》）由建设部批准实施。其中与水泵选型相关的主要规定如下：

1）在平均扬程时，水泵应在高效区运行；在最高与最低扬程时，水泵应能安全、稳定运行。

分析：对于最高与最低扬程，含义应该是很清楚的，此不赘述。需要提醒一点，在最高扬程时，进水池往往处于最低水位，选泵时一定要对该运行工况进行“汽蚀校核”，才可能保证水泵“安全、稳定运行”。

对于平均扬程，《规范》中也有具体规定，即按下式计算加权平均净扬程，并计人水力损失确定；或按泵站进、出水池平均水位差，并计入水力损失确定。

$$H=\frac{\sum H_i Q_i t_i}{\sum Q_i t_i}$$

式中 H 为加权平均净扬程，m；H_i 为第 i 时段泵站进、出水池运行水位差，m；Q_i 为第 i 时段泵站提水流量，m^3/s；t_i 为第 i 时段历时，d。

分析：由于南水北调东线工程泵站的运行时间长，所以笔者认为应按上式计算的加权平均净扬程，并计入水力损失确定平均扬程。

2）应优先选用国家推荐的系列产品和经过鉴定的产品。当现有产品不能满足泵站设计要求时，可设计新水泵。新设计的水泵必须进行（泵段）模型试验或装置模型试验，经鉴定合格后方可采用。采用国外先进产品时，应有充分论证。

分析：必须把好泵段模型试验和装置模型试验这一关。我国已加入WTO，进口产品也不能例外，应与国内产品享受“同等待遇”，不能认为外国人说好就是好，花高价钱进口低质量产品的项目也并非少见。

3）具有多种泵型可供选择时，应综合分析水力性能、机组造价、工程投资和运行检修等因素择优确定。

4）对于叶轮名义直径大于或等于1 600 mm的轴流泵和混流泵，应有装置模型试验资料；当对过流部件型线做较大更改时，应重新进行装置模型试验。

5）轴流泵站和混流泵站的装置效率不宜低于70%；净扬程低于3 m的泵站，其装置效率不宜低于60%。

分析：该规定是泵站的主要经济指标，对南水北调东线工程这样运行时间长的泵站尤其重要。一个不符合相关标准的产品是不合格品或废品；同样，一座不符合规范的泵站就是不合格工程或劣质工程。从目前情况看，人们对水泵（泵段）效率已经引起了足够重视，但对装置效率和机组效率尚未引起高度重视。

2.3.2 根据泵站设计扬程初选水泵

这实际上涉及到各种泵型的适用范围。在这方面，没有严格的界限。对南水北调东线工程这样的低扬程大流量泵站，大致是：卧式轴流泵，设计扬程3 m以下；立式轴流泵，5 m以下；卧式混流泵，3～7 m；立式混流泵，4 m以上；斜式泵介于立式和卧式之间；贯流泵应视为卧式泵。

2.3.3 通过综合经济分析初定水泵类型

从上述分析可以看出，仅根据泵站设计扬程，常常无法确定出唯一适用的泵型。例如，南水北调东线工程相当一部分泵站的设计扬程为5 m左右，则立式轴流泵、卧式混流泵、立式混流泵以及斜式轴流泵和混流泵都在适用范围以内，这时候就需要从经济上对它们进行综合对比分析，才能筛选出最适宜的泵型。从经济角度考虑，各种水泵型式的大致排序为：卧式轴流泵→卧式混流泵→立式轴流泵→立式混流泵。

经济分析的内容不仅应包括一次性投资的设备费和土建工程费，也应包括运行动力费和维护管理费。

2.3.4 进行汽蚀性能校核，最终确定泵型

我们知道，水泵一旦发生汽蚀，会产生一系列危害现象，因此，在进行水泵选型和泵站设计时，必须避免水泵发生汽蚀。对于南水北调东线工程这样运行时间长的泵站，更需对水泵汽蚀引起高度重视。不但确保水泵在设计工况下运行时不发生汽蚀，也须确保在进水池水位最低（对于倒灌装置，此时灌注水头最低；对于吸上装置，此时几何吸上高度最大）时不发生汽蚀。

1）水泵发生汽蚀时的危害现象：①产生振动和噪音；②对过流部件的某些部位产生腐蚀和破坏；③性能曲线下降，严重时甚至出现断流，不能工作。

2）避免发生汽蚀的方法。一台水泵在运行中发生了汽蚀，但在完全相同的条件下，换上另一台水泵就可能不发生汽蚀，这说明水泵是否发生汽蚀与其本身的抗汽蚀性能有关。反之，同一台水泵在某一吸入装置条件（例如几何吸上高度3 m）下运行时发生了汽蚀，但在改变装置条件（例如几何吸上高度2 m）下则不发生汽蚀，这说明水泵是否发生汽蚀还与装置条件有关。由此可见，水泵发生汽蚀的条件是由泵本身和吸入装置两方面决定的。

知道了水泵发生汽蚀的条件，也就找到了避免发生汽蚀的途径。首先，在水泵选型中应尽可能选用抗汽蚀性能好的水泵。但水泵的抗汽蚀性能不可能无限度地提高。另一方面，过度提高水泵的抗汽蚀性能，常常以降低水泵的效率为代价。实际上，对大型泵站而言，在水泵抗汽蚀性能难以大幅度提高的情况下，泵站设计者只能通过改变安装形式和吸入方式来避免水泵发生汽蚀。

例如一座设计扬程为5 m的泵站。仅就扬程而言，可选用卧式泵，也可选用立式泵。但由于卧式泵的安装高度较高，可能无法避免水泵发生汽蚀，就只能选用立式泵。在这种情况下，即使立

式泵站的装置效率比卧式泵站低，可能仍然是合算的。因为水泵一旦发生较严重的汽蚀，其效率的下降幅度常常很大。

3）水泵发生汽蚀时的对策。一旦水泵发生汽蚀，可采取如下对策：①增大吸水管直径；②降低水泵安装高度；③将水泵限制到小流量工况运行；④将叶轮的材质更换为抗汽蚀性能更好的材料。对于南水北调东线工程这样的大型泵站，一旦建成，要实现上述①和②几乎是不可能的。③和④实际上是以牺牲泵站的容量为代价。列出此条，目的并不在于介绍水泵发生汽蚀时的补救方法，而是想进一步说明在水泵选型和泵站设计中，避免水泵发生汽蚀的重要性。

3 主电动机的选择

电动机的种类很多，适用于南水北调东线工程水泵机组配套用的电动机主要是三种交流电动机，即鼠笼式异步电动机、绕线式异步电动机和同步电动机。同步电动机和异步电动机的特性对比见表 1。

表 1 同步电动机和异步电动机的技术经济性能对比

项　目	同步电动机	异步电动机
起动电流	500%~650%	鼠笼式 500%~650%，绕线式 100%~150%
起动转矩	小	大
效　率	比两种异步电动机都高	比同步电动机稍低
功率因数	100%（能超前）	为滞后功率因数
滑　差	无	有（1%~4%）
励磁装置	需要	不需要
设备费	比两种异步电动机都贵	比同步电动机便宜
运行费	比异步电动机低	比同步电动机高
维护保养	稍复杂	简单

注：就异步电动机而言，绕线式比鼠笼式的结构稍复杂。

从表 1 可以看出，三种电动机各有其优缺点。最终选择哪一种电动机，取决于优先考虑哪方面的因素。如果主要考虑水泵的起动问题，并减少一次性设备投资，应选择异步电动机；如果进一步考虑减少起动电流，避免对电网造成冲击并减小泵站配电设备容量，则应选择绕线式异步电动机。如果主要考虑泵站运行费用，则应选择同步电动机。需要强调是，同水泵一样，不管最终选择哪一种电动机，都需要进行综合经济分析。

4 传动装置

就大型水泵而言，电动机与水泵之间的动力传递方式有联轴器（直联）和齿轮减速器两种。对于高扬程水泵，由于转速比较高，绝大多数采用直联传动。对于低扬程水泵，由于转速大多很低，采用直联传动时电动机体积庞大、造价高，故而需要考虑采用齿轮减速器传动方案。

4.1 齿轮减速器的类型和适用范围

适用于南水北调东线工程泵站的齿轮减速器主要是圆柱齿轮减速器、圆锥齿轮减速器和行星齿轮减速器。

1）圆柱齿轮减速器的传动轴线平行，单级推荐传动比 $i \leqslant 8 \sim 10$。其主要特点是结构简单，制造精度容易保证。适用于卧式泵以及电动机与水泵轴线平行的立式泵。

2）圆锥齿轮减速器的两条轴线垂直或成一定角度相交，单级推荐传动比 $i = 8 \sim 10$。该类减速器适用于水泵和电动机轴线垂直相交（例如立式泵配卧式电动机），或水泵与电动机轴线成一定角度相交（例如斜式泵配卧式电动机）的场合。其主要缺点是制造和安装比较复杂，成本高。

3）行星齿轮减速器的动力输入和输出轴在一条轴线上，单级推荐传动比 $i = 2 \sim 12$。其主要优点是传动效率高（单级可达 96% ~ 99%），承载能力大，工作平稳，体积和重量比普通齿轮减速器小得多；缺点是结构较复杂，制造精度要求较高。该类减速器适用于所有泵型，尤其适用于贯流泵，可减小灯泡比。换句话说，如果不采用行星齿轮减速器，或者该类减速器的质量不能保证，南水北调东线工程中的泵站就不可能选用贯流泵（采用直联或其他类型齿轮减速器时，灯泡比太大）。

4.2 采用齿轮减速器传动的优缺点

1)优点:①重量轻,造价低。南水北调东线工程用泵的转速一般不大于200 r/min。在这种情况下,假定电动机的转速为1000 r/min,则低速大功率电动机的重量和造价,比相同功率高速电动机与齿轮减速器之和的重量和造价高。由于大功率电动机的重量减轻,制造、运输和安装也都比较方便。②泵机组分成了电动机、齿轮减速器和水泵三大部分,使泵站的起吊装置荷重变小,不但能降低泵站造价,拆卸维修也比较方便。

2)缺点:①与直联用的联轴器相比,齿轮减速器结构复杂,可以认为多了一个故障点。②与联轴器相比,齿轮减速器的传动效率稍低。

通过上述分析可以看出,任何事物都具有多面性,减速传动也一样。南水北调东线工程水泵机组是否采用齿轮减速器传动,应进行综合技术经济分析。有人提出采用齿轮减速器传动后,机组效率不应降低。这种提法有一定的片面性。

4.3 什么情况下考虑采用齿轮减速器传动

国内文献中关于这方面的报道不少,但究竟水泵转速低到多少时才应该采用,或者说应该考虑采用齿轮减速器传动方案,目前还没有一种统一的说法。日本的低扬程泵站比较多,整体技术也可以代表国际先进水平,举两个该国的例子供参考。

1)日本《泵站工程技术手册》中建议:"对于低扬程泵站,当电动机极对数大于10(相当于同步转速低于600 r/min)时,就有必要对直联方案和带齿轮减速器的方案进行对比,然后再做出决定。"对此建议应注意两点:①它给出了一个定量指标。据此指标,南水北调东线工程水泵机组都应该考虑采用齿轮减速器传动方案。②它只是建议进行方案对比,是否采用,要看对比结果,即看两种方案中哪一种方案的综合经济效益高。

2)该《手册》后面所附的"水泵设备工程设施布置图集"中列举了6个低扬程泵站,除我国内蒙古红圪卜泵站的斜式轴流泵未采用齿轮减速箱外,其余3座安装立式泵和2座安装卧式泵的泵站均采用了齿轮减速器传动。

5 水泵叶片安装角的调节及调节机构

南水北调东线工程用泵是否需要进行叶片安装角调节,或者说是否需要配备叶片安装角度调节机构,目前在业内尚有争议。要想弄清这个问题,需要首先弄清叶片安装角调节的作用。

5.1 叶片安装角调节的作用

1)减小起动转矩,改善水泵的起动性能。叶片安装角越小,相应的流量和轴功率也越小,所需的起动转矩和起动电流也随之减小。因此,可将叶片安装角调到最小时起动水泵;待起动后再将叶片安装角调到所需的角度运行。

2)根据泵站扬程的变化调节叶片安装角,使水泵在高效区运行。需要指出的是,这种方法适应扬程变化的范围不大,主要适用于等效率曲线倾斜($n_s<1\,000$)的水泵。对于一些扬程变化范围大的泵站,仅采用调节叶片安装角的方法来达到保持水泵在高效区运行的目的是不可能的。在这种情况下,最有效的方法是调节水泵的转速。

3)根据泵站所需的流量调节叶片安装角,使水泵的流量满足要求,而效率保持不变。这种调节适用于等效率曲线平坦($n_s>1\,000$)的轴流泵。

5.2 南水北调东线工程用泵是否需要配备叶片安装角调节机构

根据上述对水泵叶片安装角调节作用的分析,结合南水北调东线工程泵站的特点,不难得出结论,即该工程绝大多数泵站所用水泵实际上不需要配备叶片安装角调节机构。其理由如下:

1)目前我国已建成的大多数大型排水泵站,配套的动力机均为同步电动机,它的起动转矩比异步电动机小。但据业内某资深专家介绍,他们曾在多个泵站做过试验,即使将叶片安放角调到最大,也未曾发现存在起动困难问题。如果该工程新建泵站中的一部分水泵机组配套异步电动机,则起动更不存在问题。再者,我国的中小型离心泵(包括潜水泵)基本上全部采用异步电动机。按规定应采用关闭出水口阀门起动,实际使用中常常不加出水口阀门,或保持出水口阀门开启,也未曾发现有报道存在起动困难问题。由此可见,所谓的调节叶片角度起动并无必要。

2)如果泵站的扬程和流量变化幅度不大,则通过调节叶片安放角,来改变扬程或流量,使水泵保持在高效区运行的功能也无必要。需要说明的是,参考文献[1]中仅列出了设计扬程和设计流量,未列出最高扬程、最低扬程、最大流量和最小流量等泵站参数,该结论就不一定是全面的。

3)就整个水泵而言,叶片调节机构加工精细,造价高,操作维护也比较复杂。从经济角度看,可能也不合算。

由此可见，那种仅依据南水北调东线工程泵站所选水泵是否配备了叶片调节机构，来评价水泵优劣或选型是否合理的观点值得商榷。

6 变速调节及调速装置

变速调节是指水泵在运行过程中，当装置流量和扬程发生变化时，通过改变水泵转速，以满足泵站装置要求的调节方法。上一节中讨论的齿轮减速箱传动，是一种动力传递方式。一旦齿轮箱传动比确定，泵站建成后，在运行过程中无法改变水泵转速，所以也就谈不上调节。一些文献将其列入变速调节范畴，似不妥。

6.1 变速调节的作用

1）变速调节适用于流量和扬程，尤其是扬程变化幅度较大的泵站。我们知道，水泵转速改变时，其流量和扬程分别和转速之比的一次方和二次方成正比。通过改变水泵转速就可以相应改变其流量和扬程，满足装置变化的需求。

2）变速调节能使水泵在高效区附近运行，降低运行费用。当转速变化不大时，水泵效率变化很小，但轴功率与转速之比的三次方成正比。与调节泵站装置，即调节闸阀开度的方式相比，采用变速调节的装置效率高，运行费用低。

3）降速调节可改善水泵的抗汽蚀性能。当转速n降低时，$n \cdot D$值也随之下降，即水泵的圆周速度降低。试验证明，这时水泵的抗间隙汽蚀性能明显提高，抗翼型汽蚀性能也得到一定改善。

4）改善水泵起动性能。由于水泵的轴功率与转速之比的三次方成正比，所以可将其调节到低速状态起动，从而减小起动功率。当配套动力机为同步电动机时，由于其起动转矩小，需要选取较大的配套功率备用系数，即加大电动机功率。采用低速状态起动后，可选取较小的配套功率备用系数，适当减少配套电动机功率，从而降低泵站的配电装置容量和投资。

6.2 变速调节方式及调速装置

变速调节方式主要有三种，即改变电动机极对数以及采用液力耦合器传动和变频调速。

1）改变电动机极对数。电动机的转速随极对数改变而变化。如果将电动机做成双极对数，则该电动机就有两个额定转速。通过改变电动机的极对数，就可以改变水泵转速，达到调速的目的。这种调节方式已在广东省东深引水工程中成功采用。其主要优点是比较经济可靠；缺点是“有级”变速，不能满足泵站参数“渐变”的需求。

2）液力耦合器是一种传动装置，也可以起到离合器和调速装置的作用。其调速功能是通过增加或减少耦合器内的工作油量来实现的。它的主要优点是可以实现大范围无级调速，缺点是在低速下工作时传动效率比较低。

3）变频调速。变频调速是近20多年来发展起来的一种调速技术，目前已在中小型低压电动机上广泛采用。其主要优点是运行可靠，可实现大范围无级调速，缺点是设备费比较高。国内一生产企业称其已研制出高电压大功率（最高电压10 kV，最大功率3 150 kW）变频调速器，并在电力、化工等行业较大范围推广应用。

6.3 南水北调东线工程水泵机组是否需要采用调速装置

前面假定南水北调东线工程泵站的流量和扬程变化不大，但这只是笔者的一种假设。是否需要采用变速调节，则取决于这两个参数变化的幅度有多大，以及变化的参数是流量还是扬程。

如果流量和扬程都在整体规划控制之中，变化幅度不大，则不必进行调节。如果变化的主要参数是流量，则最佳调节方式是改变泵站的水泵机组运行台数。如果变化的主要参数是扬程，且变化幅度较大，为了减小运行费用，应考虑采用变速调节。笔者认为，综合考虑技术上的可行性、运行可靠性、经济性等诸多因素，其优选顺序应是：双速电动机→变频调速器→液力耦合器。

7 结语和建议

7.1 结语

1）卧式轴流泵、卧式混流泵、立式轴流泵、立式混流泵、斜式轴流泵和贯流泵等，都是适宜南水北调东线工程泵站的备选泵型，这些泵型本身并无先进和落后之别。重要的是应“因站制宜”，综合考虑设备费、泵站投资、运行维护费用和可靠性等因素，进行技术经济对比分析，选择合理的泵型。

2）水泵（泵段）效率固然重要，但最终反映运行经济性的是装置效率和机组效率。在水泵选型以及泵站设计和建设中应引起足够的重视。

3）我国已建成的相当一部分低扬程泵站，水泵长期运行在汽蚀工况。这是一种“病态”，除运行效率大幅度降低外，还会引起一系列严重

后果。在已建成泵站改造中，采取将过流部件(主要是叶轮)材质更换为抗汽蚀性能更好的材料，是不得已而为之。在南水北调东线工程水泵选型和泵站设计中，一定要对是否发生汽蚀进行认真校核，实行"一票否决"。

4)在保证制造质量和可靠性的前提下，应尽可能选配交流异步电动机，尤其是绕线式异步电动机。

5)对于流量变化幅度较大的泵站，应采用运行台数调节。对于扬程变化幅度大的泵站，可采用变速调节，并优先选用双速(双极对数)电动机调节方式。水泵叶片安装角调节方式应尽可能不采用。

6)齿轮减速器传动对低扬程泵站(低速水泵)具有较明显的综合优势，应在进行综合技术经济分析对比的基础上，尽可能采用。

7.2 建议

1)南水北调东线工程是一项举世瞩目的大型跨流域调水工程，水泵机组是该工程泵站的关键和核心。该工程建设周期长，世界科学技术又在不断发展和进步，因此，必须树立科技领先，科研跟进的思想，才能将该工程真正建成同期"世界一流工程"。

2)经过几代人30多年的努力，我国在大型水泵水力模型研究方面已经取得了长足的进步和发展，但与世界先进水平相比还有一定差距，一部分比转数还有缺档。因此，应继续抓紧高效率、高抗汽蚀性能轴流泵和混流泵水力模型的研究。

3)对于各种泵站的装置效率，目前似乎有了定性结论。例如斜式泵站装置效率高于立式和卧式，贯流式泵站装置效率高，等等。当然，也有学者持不同看法。究竟高不高，高多少，不能凭想象，要通过大量的装置模型试验来验证。因此，应抓紧对各种装置模型进行试验研究，为水泵及泵站装置形式的选择提供切实可信的科学依据。

4)某些关键配套设备将严重影响水泵及泵站形式的选择，例如没有质量可靠的大功率行星齿轮减速器就无法采用贯流泵，导轴承不过关就无法保证斜式泵可靠运行，等等。因此，建议抓紧大功率绕线式异步电动机、大功率行星齿轮减速器、高强度耐磨导轴承、高电压大功率变频调速器等关键部件的攻关研究。

5)在水泵比转数和泵站结构基本相同的前提下，借助正在建设的一些排涝工程，有意安排建设一批中型斜式泵和贯流泵泵站，代替中间试验。取得经验后，在南水北调东线工程中采用。

参考文献：

[1] 中水淮河工程有限责任公司(原淮委规划设计院). 南水北调东线第一期工程总体设计方案初选泵型简介[R]. 2003. 9.

[2] 江苏省水力勘测设计研究院. 南水北调工程中大型泵站泵型选择的若干问题[R]. 2003. 9.

[3] 魏昌林，等. 中国南水北调[M]. 北京：中国农业出版社，2000.

[4] 刘竹溪，等. 中国泵站工程[M]. 北京：水利电力出版社，1993.

[5] 栾鸿儒，等. 水泵及水泵站[M]. 北京：中国水利电力出版社，1992.

[6] 窦以松，等译. 泵站设计与抽水装置试验(苏). 北京：水利电力出版社，1990.

[7] 严登丰. 泵站过流设施与截流闭锁装置试验[M]. 北京：中国水利电力出版社，2000.

[8] 丘传忻. 泵站工程[M]. 武汉：武汉大学出版社，2001.

[9] 丘传忻，等译. 泵站工程技术手册(日). 北京：中国农业出版社，1998.

[10] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京：宇航出版社，1995.

[11] 郑小英. 排灌机械与南水北调[J]. 排灌机械，1983(3).

[12] 吴炳洪. 轴流泵站改造和建设的几个概念[J]. 排灌机械，1985(6).

[13] 吴炳洪. 混流泵和轴流泵的叶片调节与调节机构[J]. 排灌机械，1991(2).

[14] 杨继松. 大型泵站及水泵的发展探讨[J]. 排灌机械，1995(2).

[15] 林 静，等. 轴流泵的性能分析及其运行调节[J]. 排灌机械，2001(5).

[16] 阮复兴，许跃华. 大型低扬程轴流泵的述评[J]. 排灌机械，2002(2).

[17] 刘 超，等. 大型轴流泵站主泵改型研究与应用[J]. 排灌机械，2002(3).

[18] 厉明祥. 南水北调大型泵结构设计研究[J]. 排灌机械，2003(3).

[19] A. Phocaides. *Technical Handbook on Pressurized Irrigation Techniques*. Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome: 2000.

[20] M.kay, N.Hatcho. Small - scale Pumped Irrigation: Energy and Cost. Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome: 1992.

(下转第12页)

量），需要进行可行性研究与论证，由业主投资，工程量大，周期长，属工程建设范畴，各项操作要严格遵守工程建设的相关法规。

8 结论

南水北调东线工程要实现准市场化运作，大型梯级泵站计划经济体制下的技术管理模式必须改变。首先要理顺管理体制，使之适应准市场化的要求；其次是完善泵站运行管理和日常维护，制定并严格执行各项规章制度和考核指标，实现泵站的优化调度和经济运行；第三是泵站管养逐步分离，实现工程养护市场化，设备检修内部市场化，处理好几个方面的关系，才能充分发挥工程效益，实现工程的良性循环和发展。

参考文献：

[1] 仇宝云，袁寿其，冯旭松，等. 南水北调东线工程梯级泵站的几个问题[J]. 灌溉排水学报，2003，(2)：69-73.

[2] 水利电力部. 泵站技术规范(技术管理分册)[S]. 北京：水利电力出版社，1987.

[3] 仇宝云，汤正军，黄海田，等. 大型水泵机组大修与大修周期分析[J]. 水泵技术，1998(3)：40~42.

[4] 刘 超，等. 大型轴流泵站主泵改型研究与应用[J]. 排灌机械，2002(3).

[5] 厉明祥. 南水北调大型泵结构设计研究[J]. 排灌机械，2003(3).

Study of Technique Management of Step Pumping Stations in South to North Water Transfer Project

QIU Bao-yun[1,2], *LIN Hai-jiag*[1], *FENG Xiao-li*[1], *HUAG Ji-yan*[1], *YUAN Souqi*[2], *CHEN Jian-kang*[1], *HUANG Hai-tian*[3]

(1. Water Conservancy College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Fluid Machinery Research Center, Jiangsu University, Zhengjiang 212013, China; 3. The Office of Water Resources of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: This paper analyzed present situation of technique management of the project for water diversion from Yangtze to North Jiangsu. On the basis of demands of sub-marketization, management system; operation management; daily management; maintenance and overhaul of large step pumping stations in South to North Water Transfer Project were studied. The results of study could improve management rationality and water transfer reliability, reduce the cost of water and promote benign circulation and development of the project.

Key word: Eastern Route of South to North Water Transfer Project; Step pumping stations; Technique management

（上接第7页）

Study on Selection of Water Pump-unit on the East Route of South-North Water Diversion Project

LAN Cai-you[1], *YI Xiu-tang*[1], *DUAN Gui-fang*[1], *WANG li*[2]

(1. Chinese Academy of Agriculture Mechanization Sciences, Beijing 100000, China; 2. Jilin Academy of Agriculture Mechanization Sciences, Changchun, Jilin 130021, China)

Abstract: Selection of water pump-unit on the east route of South-North Water Diversion Project is one of problems that were focused by many specialists and experts. Making a rational choice will have a great impact on designing、construction、operation and benefit of the project. This paper discussed and analyzed main pump、main motor、transmission and regulating mechanism that were related to the project. In the paper, the relationship between these parts and impact on each other were pointed out. Conclusion and advice will be signality and valuable for decision-maker and designer of this project or other similar projects.

Keywords: South-north water diversion project; Water Pump-unit; Selection; Discussion