

# 两机一管扬水系统中的水力干扰与能耗优化研究

吴占喜

宁夏红寺堡扬水管理处 宁夏 银川 750000

**摘要：**本文聚焦于两机一管扬水系统，深入探讨其中存在的水力干扰问题及其对能耗的影响。通过对系统运行原理、水力干扰产生机制的分析，结合实际运行数据，揭示水力干扰与能耗之间的内在联系。同时，提出一系列针对性的能耗优化策略，旨在降低系统能耗，提高运行效率，为两机一管扬水系统的优化设计与运行管理提供理论支持和实践指导。通过合理调整机组运行参数、优化管道布局等方式，可有效减少水力干扰，实现能耗的显著降低。

**关键词：**两机一管扬水系统；水力干扰；能耗优化；运行参数

## 1 引言

扬水系统作为水利工程中重要的组成部分，承担着将水从低处提升至高处以满足灌溉、供水、发电等需求的关键任务。两机一管扬水系统作为一种常见的配置形式，具有设备相对简单、运行灵活等优点，在农业灌溉、城市供水等领域得到广泛应用。然而，在实际运行过程中，两机一管扬水系统普遍存在着水力干扰问题，这不仅影响了系统的稳定运行，还导致能耗增加，降低了系统的整体运行效率。水力干扰是指在多机组并联运行的扬水系统中，由于机组之间的相互作用，导致水流状态发生改变，进而影响机组的性能和能耗的现象。在两机一管扬水系统中，当两台机组同时运行时，它们之间的水流相互影响，可能会引发压力波动、流量分配不均等问题，这些问题进一步导致机组效率下降，能耗上升。因此，深入研究两机一管扬水系统中的水力干扰问题，并提出有效的能耗优化策略，具有重要的现实意义。

## 2 两机一管扬水系统概述

### 2.1 系统组成与工作原理

两机一管扬水系统主要由两台水泵机组、一条输水管道以及相关的控制设备组成。其工作原理是通过两台水泵机组同时工作，将水从水源处吸入，经过加压后通过输水管道输送到目的地。在实际运行中，两台机组可以根据用水需求进行独立运行或并联运行。当用水量较小时，可仅启动一台机组；当用水量较大时，则两台机组同时运行，以满足供水需求。

### 2.2 系统运行特点

两机一管扬水系统具有以下运行特点：一是运行灵活性高，可根据实际用水需求灵活调整机组运行数量和运行参数；二是设备相对简单，建设和维护成本较低；三是由于采用两台机组并联运行，在一定程度上提高了系统的可靠性和供水保障能力。然而，正是由于并联运

行的特点，使得系统容易产生水力干扰问题，影响系统的运行效率和能耗。

## 3 两机一管扬水系统中的水力干扰分析

### 3.1 水力干扰的产生机制

在两机一管扬水系统中，当两台机组并联运行时，它们共同作用于同一条输水管道。由于每台机组的性能参数（如流量-扬程特性曲线、效率曲线等）存在差异，以及运行过程中的动态变化，会导致水流在管道内产生复杂的相互作用，从而引发水力干扰。具体来说，当一台机组的流量或扬程发生变化时，会引起管道内的压力波动。这种压力波动会迅速传递到另一台机组，改变其进口和出口的压力条件，进而影响该机组的流量和扬程。例如，当一台机组突然增加流量时，管道内的压力会下降，导致另一台机组的进口压力降低，根据水泵的性能曲线，其流量也会相应减少。同时，出口压力的变化也会影响机组的扬程，使机组的运行工况发生改变。这种机组之间的相互影响和作用不断循环和放大，形成水力干扰现象。

### 3.2 水力干扰的表现形式

#### 3.2.1 压力波动

压力波动是水力干扰的常见表现形式之一。在两机一管扬水系统中，由于机组之间的相互作用，管道内的压力会随着时间发生周期性或非周期性的变化。压力波动的大小和频率与机组的性能、运行参数以及管道系统的特性等因素有关。压力波动不仅会影响机组的正常运行，还可能对管道系统造成损害，如引起管道振动、疲劳破坏等，缩短管道的使用寿命。

#### 3.2.2 流量分配不均

当两台机组并联运行时，理想情况下，它们应按照各自的性能曲线分配流量。然而，由于水力干扰的存在，实际流量分配往往不均匀。流量分配不均会导致部

分机组过载运行，而部分机组则处于轻载或空载状态。过载运行的机组效率会下降，能耗增加，同时还会加速设备的磨损和老化；而轻载或空载的机组则无法充分发挥其性能，造成能源的浪费。

3.2.3 机组效率下降

水力干扰会导致机组的运行工况偏离设计工况，从而使机组的效率下降。例如，当机组进口压力发生变化时，会影响其叶轮的进口流速和角度，导致叶轮内的水流状态改变，降低水力效率<sup>[2]</sup>。此外，压力波动还会引起机组的振动和噪声，进一步影响机组的机械效率和容积效率。机组效率的下降意味着为了输送相同的水量，需要消耗更多的能量，从而增加了系统的能耗。

3.3 水力干扰对能耗的影响

水力干扰对两机一管扬水系统的能耗有着显著影响。一方面，由于机组效率下降，为了输送相同的水量，需要消耗更多的能量。例如，当机组偏离高效运行区时，其能耗可能会增加数倍甚至数十倍。另一方面，流量分配不均会导致部分机组在低效率区运行，增加了

不必要的能量损耗。此外，压力波动还会引起管道系统的能量损失增加，如管道摩擦损失、局部损失等。

从提供的机组瞬时单耗比对表（表1）数据可以进一步分析水力干扰对能耗的影响。以1#机组为例，单管运行时瞬时单耗为4.29，并管运行时瞬时单耗为3.68。从数据上看，并管运行时瞬时单耗有所降低，但这并不意味着水力干扰没有影响。实际上，在并管运行过程中，1#机组与另一台机组之间存在水力相互作用，这种相互作用可能导致机组的运行工况发生变化。如果运行参数调整不当，水力干扰可能会使机组偏离高效运行区，导致能耗增加。而在此次运行中，可能由于运行频率等参数的合理调整，使得1#机组在并管运行时能够较好地适应水力干扰，瞬时单耗有所降低。但其他机组的情况则有所不同，如4#机组单管运行时瞬时单耗为3.55，并管运行时瞬时单耗为4.15，并管运行时瞬时单耗明显增加，这很可能是由于水力干扰导致4#机组运行工况恶化，效率下降，从而使能耗上升。

表1 机组瞬时单耗比对表

机组名称	运行状态	运行频率	瞬时功率	瞬时流量	瞬时单耗
1#机组	单管运行	47	1180	1.21	4.29
	并管运行	49	1594	1.904	3.68
	单管运行				
2#机组	单管运行		1465	1.87	3.45
	并管运行		1422	1.78	3.52
3#机组	单管运行		1546	1.974	3.45
	并管运行		1499	1.82	3.62
4#机组	单管运行	50	1692	2.1	3.55
	并管运行	47	1245	1.32	4.15
5#机组	单管运行		1573	1.988	3.48
	并管运行		1504	1.731	3.82
6#机组	单管运行		1648	2.13	3.40
	并管运行		1590	1.829	3.83

4 能耗优化策略研究

4.1 优化机组运行参数

4.1.1 合理调整运行频率

水泵的运行频率直接影响其流量、扬程和功率等参数。通过合理调整机组的运行频率，可以使机组在不同的工况下都能保持在高效运行区。根据水泵的相似定律，水泵的流量与转速成正比，扬程与转速的平方成正比，功率与转速的三次方成正比。因此，通过调整运行频率改变转速，可以有效地调节水泵的性能参数，满足不同的用水需求。从机组瞬时单耗比对表可以看出，不

同机组在不同运行频率下的瞬时单耗存在差异。通过实验和分析，找到每台机组在不同工况下的最佳运行频率，可以有效降低能耗。例如，对于1#机组，在并管运行时，当运行频率为49时，瞬时单耗为3.68，相对较低。可以通过进一步的实验和优化，确定在该工况下1#机组的最优运行频率范围，使机组始终在高效区运行。

4.1.2 优化机组启停策略

合理的机组启停策略可以避免不必要的能耗浪费。在两机一管扬水系统中，应根据用水需求的变化，科学安排机组的启停顺序和时间。例如，当用水量较小时，

优先启动效率较高的机组；当用水量增加时，再适时启动另一台机组。同时，避免频繁启停机组，因为频繁启停不仅会增加机组的磨损，还会导致能耗增加<sup>[3]</sup>。可以采用智能控制技术来实现机组启停策略的优化。通过实时监测用水量的变化，当用水量低于某一阈值时，自动停止一台机组的运行；当用水量超过某一阈值时，自动启动另一台机组。同时，根据机组的运行状态和能耗情况，选择合适的机组进行启停操作，以实现能耗的最小化。

## 4.2 改善管道系统设计

### 4.2.1 优化管道布局

合理的管道布局可以减少水流阻力，降低能量损失。在两机一管扬水系统中，应尽量避免管道出现急转弯、突然扩大或缩小等局部阻力较大的情况。同时，合理确定管道的直径和长度，根据机组的性能参数和用水需求，选择合适的管道规格，使管道内的水流保持在经济流速范围内。经济流速是指使管道系统的总费用（包括建设费用和运行费用）最小的流速。一般来说，对于不同材质和用途的管道，其经济流速范围有所不同。在设计管道布局时，应根据实际情况选择合适的经济流速，以降低管道的摩擦损失和局部损失，减少能耗。

### 4.2.2 安装缓冲装置

为了减少压力波动对机组和管道系统的影响，可以在管道中安装缓冲装置，如缓冲罐、空气室等。缓冲装置可以吸收和释放压力波动产生的能量，稳定管道内的压力，从而降低水力干扰对系统的影响，提高机组的运行稳定性，减少能耗。缓冲罐是一种常见的缓冲装置，它通过储存和释放水来平衡管道内的压力<sup>[4]</sup>。当管道内压力升高时，缓冲罐内的水被压缩，储存能量；当管道内压力降低时，缓冲罐内的水膨胀，释放能量，从而起到稳定压力的作用。空气室则是利用空气的可压缩性来缓冲压力波动，其工作原理与缓冲罐类似。

## 4.3 采用智能控制系统

### 4.3.1 实时监测与数据分析

利用先进的传感器技术，实时监测两机一管扬水系统的运行参数，如流量、扬程、压力、功率等。通过对这些数据的采集和分析，及时了解系统的运行状态和水力干扰情况。例如，通过分析压力波动数据，可以判断水力干扰的强度和频率，为采取相应的优化措施提供依据。可以采用数据采集与监控系统（SCADA）来实现对系统运行参数的实时监测和数据分析。SCADA系统可以实时采集各种传感器传来的数据，并将其存储在数据库中。通过对数据库中的数据进行分析和处理，可以生成

各种报表和图表，直观地展示系统的运行状态和能耗情况。同时，SCADA系统还可以设置报警阈值，当系统运行参数超出正常范围时，及时发出警报，提醒操作人员采取相应的措施。

### 4.3.2 自动控制与调节

基于实时监测和数据分析的结果，采用智能控制算法对机组运行参数进行自动控制和调节。例如，当检测到压力波动较大时，智能控制系统可以自动调整机组的运行频率或阀门开度，以稳定管道内的压力，减少水力干扰。同时，智能控制系统还可以根据用水需求的变化，自动优化机组的启停策略和运行参数，实现系统的能耗优化。常用的智能控制算法包括模糊控制、神经网络控制、遗传算法等。这些算法可以根据系统的实际情况和优化目标，自动调整控制参数，实现对系统的最优控制。例如，模糊控制算法可以根据压力波动的大小和频率等模糊变量，通过模糊推理规则自动调整机组的运行频率，使系统快速稳定在最佳运行状态。

## 结语

本文通过对两机一管扬水系统中水力干扰问题的深入研究，揭示了水力干扰的产生机制、表现形式及其对能耗的影响机制。通过分析机组瞬时单耗比对表数据，结合理论分析和模拟实验，全面阐述了水力干扰与能耗之间的内在联系。同时，提出了一系列针对性强、切实可行的能耗优化策略，包括优化机组运行参数、改善管道系统设计和采用智能控制技术等。未来，随着物联网、大数据、人工智能等新兴技术的不断发展，如何将这些技术应用到两机一管扬水系统中，实现系统的智能化、自动化运行管理，也是未来研究的一个重要方向。通过引入这些新技术，可以进一步提高系统的运行效率、降低能耗、减少人工干预，为水利工程的发展带来新的机遇和挑战。

## 参考文献

- [1] 李晓刚. 扬水泵站变频变压供水自动调配系统[J]. 水利技术监督, 2021, (09): 49-52.
- [2] 朱小明, 刘秀娟. 宁夏红寺堡扬水灌区实施节水改造工程建设与成效[J]. 人民黄河, 2024, 46(S2): 96-97+99.
- [3] 赵亚萍, 樊新建, 侯慧敏, 等. 扬水灌溉泵站群系统区间水量平衡调度模型探讨——以景电二期工程为例[J]. 长江技术经济, 2024, 8(06): 92-97.
- [4] 郭栋, 林东, 刘俊琦. 扬水站水位变化测算和智能调控水泵应用[J]. 内蒙古水利, 2024, (S2): 84-85.