

国内梯级泵站调水工程运行调度综述

杨 飞¹, 于永海², 徐 辉²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学现代农业工程系, 江苏 南京 210098)

摘要: 简析调水工程梯级泵站运行时的安全可靠性与经济性问题的, 综述国内梯级泵站调水工程运行调度研究的进展, 并提出了需要进一步研究的问题: ①加强梯级泵站调水工程运行调度的计算机仿真研究; ②开展提高梯级泵站实时调度自动化水平的研究。

关键词: 梯级泵站; 调水工程; 运行调度

中图分类号: TV68 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7647(2006)04-0084-03

Progress in studies of operation and scheduling of multistage pumping stations in water transfer projects in China//YANG Fei¹, YU Yong-hai², XU Hui² 1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Department of Modern Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Some problems about the reliability and practicability of multistage pumping stations in water transfer projects were discussed in detail. A review was made of some progresses in studies of operation and scheduling of multistage pumping stations in water transfer projects in China, and some problems to be further studied were put forward, i. e. to strength the simulation study on operation and scheduling of multistage pumping stations and to improve the automatic level for real-time control.

Key words: multistage pumping station; water transfer project; operation and scheduling

我国地域辽阔, 水资源总量居于世界前列, 但水资源在时空分布上极不均匀, 部分地区供需矛盾日益尖锐, 造成了水资源危机。为了缓解这些地区日益紧张的水资源短缺状况, 兴建调水工程势在必行。目前, 我国已建、在建的调水工程数量逐渐增多, 其中大多数为梯级泵站提水工程, 如东江—深圳供水工程、引滦入津工程、引黄济青工程、万家寨引黄入晋工程、南水北调东线工程等。

梯级泵站调水工程送水线路较长, 泵站之间多数以明渠输水, 沿线区间分水工况复杂, 各站之间流量、扬程联系紧密, 泵站装机功率大、装机台数多, 因而对其运行管理提出了很高的要求。在实际运行中往往由于调度决策不当, 使得泵站之间流量配合不当造成水泵开停机操作频繁、渠道发生漫顶或水位波动过大的现象, 从而造成能源浪费, 降低设备使用寿命, 甚至出现工程安全问题, 影响工程的正常运行。因此, 有必要通过科学合理的调度, 实现梯级泵站调水工程的安全稳定和高效经济运行。

1 安全运行调度

对于输水线路中无调蓄水库(湖泊)的梯级泵站调水工程, 其输水渠道调蓄能力较小, 如果调度不合

理, 往往会影响工程的安全稳定运行, 对单线输水调水工程而言将直接导致输水中断事故, 如南水北调东线一期工程山东省境内南四湖上级湖至东平湖段。因此, 根据工程的特点, 应开展以下两方面的研究。

a. 输水系统过渡过程研究。一般梯级泵站调水工程中的输水渠道调蓄能力较小, 常常不设泵站出水池至进水池的溢流设施, 当某级泵站运行机组发生事故而停机, 如果前一级泵站不能在较短的时间内紧急停机, 那么其继续抽来的水量将会抬高该泵站的进水池水位, 当水位超过泵站进水侧最高水位时就会造成水淹泵房电机层事故; 而后一级泵站在较短时间内将其进水池水位降至最低运行水位而强迫停机, 渠道中的水位在短时间内变化太大, 对其边坡稳定不利。因此, 从梯级泵站调水工程安全, 特别是单线输水系统安全的角度考虑, 有必要研究分析梯级泵站正常开机、正常停机、事故停机等不同工况特别是最不利工况下输水全线的水力过渡过程, 验证和完善工程设计方案, 提出科学合理的调度方案。

b. 梯级泵站流量平衡研究。梯级泵站输水系统稳定运行要求各级泵站之间流量平衡, 并要求严格控制各泵站的进、出水池水位。对于沿线无分水情形的, 泵站调度的基本原则是根据各台泵流量和

总抽水量要求,合理确定开机台数,使得各级泵站流量基本相同,流量平衡问题较易解决;对于沿线有分水情形的,则流量平衡问题较复杂,当梯级泵站联合运行时,由于渠道调蓄能力较小,而分水实际情况影响因素较多,易造成上、下级泵站流量配合不当,进水池水位变化较大,使得机组频繁启动,进而降低机组的使用寿命,也有可能造成渠道漫顶事故。

2 经济运行调度

泵站经济运行调度主要是研究科学管理的优化技术和调度决策,即在一定时期内,按照一定的最优准则,在满足各种约束条件的前提下,使泵站运行的目标函数(泵站效率、总耗电量等)达到最大或最小。泵站经济运行调度可以分为泵站站内优化调度和梯级泵站间的优化调度。泵站站内优化调度的实质问题是优化选择机组组合,使得机组尽可能在高效区运行,即泵站在提取一定的流量时,需在站内寻求能耗最少或者泵站效率最高的机组组合,包括确定水泵的开启台数、水泵叶片安放角等;梯级泵站间的优化调度,由于各级泵站之间的流量、水位联系紧密,主要研究以调水工程经济效益最优为目标的各泵站流量、水位及扬程的优化问题。

3 运行调度研究

随着我国调水工程的建设,国内专家学者^[1-7]对梯级泵站输水系统水力过渡过程进行了研究。杨开林等^[2]针对万家寨引黄入晋跨流域输水工程,提出了模拟无压隧洞充水过渡过程的“虚拟流动法”;练继建等^[3]建立了明渠—管道—明渠复杂输水系统的瞬变流计算模型,并采用变时步的方法处理计算,能够较好地模拟实际工程中的水力过渡过程;杨开林等^[4]利用线性变换求解调水渠的非恒定流,并利用它计算模拟了东深供水改造工程太园泵站上池—莲湖泵站进水前池之间渠网的水力瞬变;杨开林^[5]研究了明渠结合有压管调水系统水力瞬变的数值模拟,采用明渠非恒定流的基本方程同时描述明渠非恒定流和管道的有压流,对有压流采用了窄缝法求解,模拟计算了东深供水改造工程的恒定流和水力瞬变流;王家亮等^[6]指出东深供水改造工程中多级泵站运行时的流量平衡控制是整个供水工程正常和安全运行的基础;邱锦春等^[7]通过对比明渠非恒定流基本方程和管道瞬变流方程,建立了管、渠非恒定流联合计算的数学模型,并用于东深供水工程;等等。上述这些研究,为调水工程的安全运行调度提供了技术依据。

现代梯级泵站调水工程中泵站均以电为动力,装机功率大,电能消耗量较大。提高泵站效率有利

于降低调水运营成本,提高调水经济效益。为此,我国一些专家学者^[8-20]针对泵站经济运行问题进行了较多的研究,为泵站经济运行调度打下了较好的基础。马文正等^[8]针对多泵多站运行系统,在工作条件改变的情况下,通过运用动态规划法确定水泵的开启台数、水泵叶片安放角,使得运行费用达到最小。汪安南等^[11]建立了以大型全调节轴流泵运行费用最小为目标的数学模型,并采用动态规划法求解;陈守伦等^[12]通过建立相应的数学模型,采用动态规划的方法确定泵站各时段的抽水量及各时段总流量在机组之间的合理分配,可使泵站的经济效益得到明显提高;刘正祥等^[13]对于多机组的多级泵站,以总能耗最小为目标函数,用动态规划法确定每级泵站的机组最优开机组合,然后模拟了系统的运行,同时考虑了级间的合理调配与站内机组的优化组合,可使泵站的经济效益得到明显的提高;程芳等^[14]利用大系统分解协调技术建立了两层谱系结构的泵站优化调度模型;金明宇等^[15]建立了大型引水工程各梯级站水位优化调度数学模型,使得整个系统总能耗最少;戴振伟等^[16]利用系统工程理论、动态规划技术和模拟技术对梯级泵站进行优化调度,产生了明显的经济效益;杨鹏等^[17]采用遗传算法进行泵站优化调度;李世芳等^[18]提出了梯级泵站供水系统扬程优化调度问题,并运用动态规划法求解;朱满林等^[19]建立了级间无分水任务的梯级泵站优化调度的动态规划数学模型,指出改善级间流量配合可以提高泵站效率;刘德祥等^[20]运用大系统理论对多级泵站群优化调度进行了分析评价,并指出以各泵站的提水流量为关联变量,以各泵站为子系统建立多级泵站优化调度的子系统模型;等等。

4 需要进一步研究的问题

尽管国内在梯级泵站调水工程运行调度方面的研究已经取得了不少成果,但为了进一步发挥运行调度在工程安全 and 经济运行方面的作用,仍需要在运行调度的决策可视化和自动化水平方面进行研究。一是加强运行调度计算机仿真研究,增强可视化,不仅应用在规划设计阶段拟定、验证、优选设计方案,也可作为调水工程实时监控系统的子系统,实时模拟调度过程,为调度决策提供有力的技术支撑;二是进一步开展提高梯级泵站实时调度自动化水平研究。目前,数据采集、计算机监控技术已日趋成熟、完善,系统硬件的可靠性与 20 世纪 80 年代相比已有质的提高。就泵站工程而言,事实上,从 20 世纪 90 年代开始,我国已集成开发了一些实用可靠的计算机监控系统,如东深供水三期工程(梯级泵站调水工程)、深圳市罗湖

区排涝工程(泵站、水闸)、江都抽水站、万家寨引黄入晋调水工程、东深供水改造工程等。总体来说,这些系统的计算机监控、通信硬件配置比较先进合理,但传感器、执行机构(如叶片安放角调节机构)的可靠性以及基于运行调度理论的专用调度软件在一定程度上制约了系统的自动化水平。因此除了进一步提高传感器、执行机构的可靠性以外,重点应根据实时数据进行安全、优化调度专用软件的开发研究,进一步提高梯级泵站调水工程运行调度的自动化水平,根据调水需求,结合工程实际情况形成安全、优化的调度决策,进而实现操作控制全过程的自动化。

参考文献:

[1] 杨开林. 电站与泵站中的水力瞬变及调节[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.

[2] 杨开林, 时启燧, 董兴林. 引黄入晋输水工程充水过程的数值模拟及泵站充水泵的选择[J]. 水利学报, 2000(5): 76-80.

[3] 练继建, 王俊, 万五一, 等. 变时步的特征线法计算复杂输水系统的水力过渡过程[J]. 水利水电技术, 2003, 34(9): 12-14.

[4] 杨开林, 白正裕. 调水渠网非恒定流的线性变换求解方法[J]. 水利学报, 2004(3): 35-41.

[5] 杨开林. 明渠结合有压管调水系统的水力瞬变计算[J]. 水利水电技术, 2002, 33(4): 5-11.

[6] 王家亮, 覃杰. 东深供水改造工程中的流量平衡控制[J]. 水利水电技术, 2003, 34(8): 44-46.

[7] 邱锦春, 杨文容, 刘梅清, 等. 梯级泵站水道系统过渡过程计算分析[J]. 中国农村水利水电, 2003(5): 61-63.

[8] 马文正, 丘传忻, 贺贵明. 泵站运行的优化调度[J]. 水利学报, 1993(3): 35-41.

[9] 刘超. 泵站经济运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.

[10] 高占义, 窦以松, 黄林泉, 等. 大禹渡梯级泵站优化调度研究[J]. 水利学报, 1990(5): 1-10.

[11] 汪安南, 伍杰. 大型轴流泵站最优运行方式探讨[J]. 农田水利与小水电, 1993(11): 36-38.

[12] 陈守伦, 芮钧, 徐青, 等. 泵站日优化运行调度研究[J]. 水电能源科学, 2003, 21(3): 82-83.

[13] 刘正祥, 蒋丽娟, 张平燕. 动态规划、模拟技术在多级泵站优化调度中的应用[J]. 灌溉排水, 2000, 19(2): 62-68.

[14] 程芳, 陈守伦. 泵站优化调度的分解协调模型[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2003, 31(2): 136-139.

[15] 金明宇, 徐青, 陈守伦. 大型引水工程梯级水位优化模型研究[J]. 水电自动化与大坝监测, 2004, 28(1): 67-69.

[16] 戴振伟, 朱兆通, 储训, 等. 多级泵站优化调度研究[J]. 排灌机械, 1997(3): 37-41.

[17] 杨鹏, 纪晓华, 史旺旺. 基于遗传算法的泵站优化调度[J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2001, 4(3): 72-74.

[18] 李世芳, 马树元. 梯级泵站扬程优化调度算法[J]. 水利水电工程设计, 2002, 21(2): 45-46.

[19] 朱满林, 杨晓东, 张言禾. 梯级泵站优化调度研究[J]. 西安理工大学学报, 1999, 15(1): 67-70.

[20] 刘德祥, 何忠人, 郑玉春, 等. 大岗坡一石台寺多级泵站群优化调度模型研究[J]. 水电能源科学, 1995, 13(4): 236-241.

(收稿日期: 2005-03-29 编辑: 高建群)

(上接第 49 页)

[4] 杨庆, 栾茂田, 崇金著, 等. DRASTIC 指标体系法在大连市地下水易污性评价中的应用[J]. 大连理工大学学报, 1999, 39(5): 684-688.

[5] CIVITA M. Unified legend for the aquifer pollution vulnerability Maps[R]. Bologna: Pitagora Edit, 1990.

[6] FRANCES A, PARALTA E, FERNANDES J, et al. Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agriculture pollution: the susceptibility index[R]. Lisbon: GeoSystem Center IST, 2001.

[7] 钱家忠, 吴剑锋, 董洪信, 等. 徐州市张集水源地裂隙岩溶水三维等参有限元数值模型[J]. 水利学报, 2003(3): 37-41.

[8] GOGU R C, HALLET V, DASSARGUES A. Comparison of aquifer vulnerability assessment techniques: application to the Neblon river basin (Belgium)[J]. Environmental Geology, 2003, 44: 881-892.

[9] 周惠城, 王国立, 杨庆. 基于 DRASTIC 的地下水易污性多目标模糊模式识别模型[J]. 水科学进展, 2000, 11(2): 173-179.

(收稿日期: 2005-05-30 编辑: 熊水斌)

(上接第 64 页)

4 结 语

专家数据系统属前人经验的总结, 如何利用和开发是人们所要讨论的课题。从实例分析看, 根据岩石膨胀特性的多个参数, 运用模糊综合评判方法对膨胀岩进行综合分类, 避免了单因素分类的不确定性。这种方法简便易行, 充分利用了人们对膨胀岩膨胀特性的认识, 便于在实际工作中为工程技术人员所采用。

参考文献:

[1] 王小军. 膨胀岩的判别与分类和隧道工程[J]. 水文地质工程地质, 1995, 50(2): 45-49.

[2] 文江泉, 韩会增. 膨胀岩的判别与分类初探[J]. 铁道工程学报, 1996(2): 231-237.

[3] 杨庆, 缪国华, 吴顺川. 膨胀岩三维膨胀本构关系的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1995, 14(6): 33-38.

[4] 张颖均, 王小军. 云台山隧道膨胀岩的膨胀特性[J]. 中国铁道科学, 1994, 15(2): 96-105.

[5] 张玉军, 唐仪兴. 李家窑膨胀岩膨胀性能的试验研究[J]. 岩土力学, 1999, 20(3): 5-40.

[6] KOMINE H, OGATA N. Observation of swelling of bentonite by new electron microscope[R]. Kamon: Institute of Environmental Geotechnics, 1996.

[7] 刘绍军. 岩土分类方法探讨[J]. 湖南水利, 1998(2): 19-21.

[8] 李胡生, 熊文林. 岩体力学参数的工程模糊处理[J]. 水利学报, 1994(1): 76-85.

[9] 曲永新. 对中国东部膨胀岩的研究[J]. 软岩工程, 1991(1/2): 45-54.

(收稿日期: 2005-04-20 编辑: 高建群)