

文章编号:1671-6833(2004)04-0090-04

计及水力系统详细模型的多机系统暂态稳定计算

刘宪林, 李艳军

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:对水力系统模型的简化,是制约电力系统暂态过程仿真质量提高的主要原因之一.建立了用于电力系统暂态稳定分析的复杂水力系统不同形式的数学模型,包括引水系统刚性水击模型和弹性水击模型以及水轮机线性化模型和非线性模型.通过对具有复杂水力系统的多机系统在大扰动下的过渡过程进行计算,分析了引水系统和水轮机不同模型对暂态稳定计算结果的影响.结果表明:水力系统的不同模型对多机系统暂态稳定计算的初始阶段影响不大;刚性水击模型与弹性水击模型下的变化曲线较接近;非线性水轮机模型与线性水轮机模型下的变化曲线在暂态过程中后期差别较大;简化模型过于简单,计算结果误差较大.

关键词:水力系统;模型;多机系统;暂态稳定

中图分类号: TM 712;TV 734

文献标识码: A

0 引言

我国水电开发正处于蓬勃发展时期,一批水力系统结构复杂的大型水电站陆续开工建设或投入运行.引水式水电站通常具有较长的压力引水管道或尾水管道,有时还设置上游或下游调压井.当压力引水管道或尾水管道长度很大时,弹性水击对机组稳定性的影响也较大,此时要用弹性水击理论来建立引水系统的数学模型.研究表明,水力系统的不同模型对多机系统暂态稳定计算的初始阶段影响不大;刚性水击模型与弹性水击模型下的变化曲线较接近;非线性水轮机模型与线性水轮机模型下的变化曲线在暂态过程中后期差别较大;简化模型过于简单,计算结果误差较大.此外,由于水轮机具有明显的非线性,即水轮机线性化模型中的传递系数随着运行工况而变化,因此,在电力系统暂态稳定计算中采用线性化模型将产生较大误差.

长期以来,由于专业分工的影响,在电力系统暂态稳定计算中,水力系统一般采用简单引水管道刚性水击一线性化水轮机假设下的简化模型,无法用于复杂水力系统.这种对水力系统模型简化所造成的仿真计算误差对于某些问题的研究尚可接受,但对于诸如水电系统中长期动态稳定、水轮发电机组再同步、调压井系统大波动稳定等与

水电耦合和自动调节作用密切相关的问题的研究,可能导致不合理的结论.因此,建立简明实用的复杂水力系统数学模型,对电力系统的稳定分析具有重要的意义^[1~3].

作者以具有复杂水力系统的多机系统为对象,对比研究了水力系统不同模型对电力系统暂态稳定分析的影响.

1 水力系统数学模型

1.1 引水系统数学模型

图 1 所示为上下游均具有圆筒式调压井的典型复杂引水系统.描述管道水击的精确模型为波动方程,需采用特征线法求解^[4~9].为简化计算,作者建立几种线性化模型近似描述引水系统水击过程.

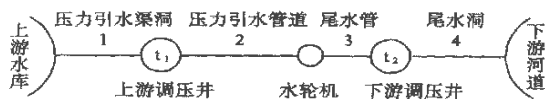


图 1 具有上下游调压井的引水系统

Fig. 1 Conduit system with upper and lower surge tanks

将一台机组的引水系统简化为简单引水管道,忽略水击弹性,可得引水系统刚性水击模型如图 2 所示,其中 T_w 为引水系统水流惯性时间常数; s, q 为水轮机流量增量; h 为水轮机水头增量.如无特别说明,本文物理量均采用标么值.

收稿日期:2004-08-06;修订日期:2004-09-11

作者简介:刘宪林(1955-),男,河南省洛阳市人,博士,教授,主要从事电力系统分析与控制方面的教学和研究工作.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

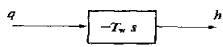


图 2 引水系统刚性水击模型

Fig. 2 Rigid water hammer model of conduit system

管道较长时,弹性水击理论能更精确描述管道动态过程.按照文献 [7] 中的方法可以建立引水系统弹性水击模型如图 3 所示.其中 R 、 L 、 C 分别为与管道水力摩阻、水流惯性和弹性水击有关的参数;下标 1、2、3、4 分别表示压力引水渠洞、压力引水管道、尾水管和尾水洞;下标和表示上游和下游调压井.

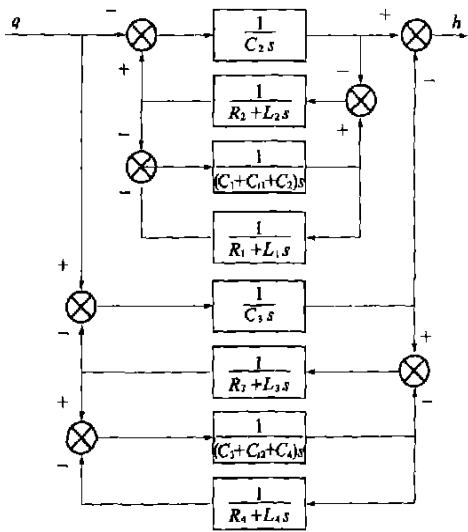


图 3 引水系统弹性水击模型

Fig. 3 Elastic water hammer model of conduit system

1.2 水轮机数学模型

水轮机模型包括基于全特性曲线的非线性模型、基于模型综合特性曲线的线性化模型和基于内特性解析的非线性模型等^[7,8].作者在文献 [9] 的基础上,提出一种非线性解析形式的水轮机模型如图 4 所示,其中, Q 为水轮机流量; M 为水轮机输出机械力矩; y 为水轮机导叶开度 Y 的增量; Ω 为水轮机机械转速; H 为水轮机工作水头; G 为理想导叶开度; A_1 为比例系数; Q_{NL} 为水轮机空载流量.

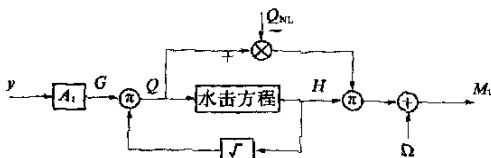


图 4 水轮机非线性模型

Fig. 4 Nonlinear model of hydropower turbine

将水轮机在运行工况点线性化,可得水轮机线性化模型框图如图 5 所示.图中 y 表示水轮机导叶开度的增量,其余类推. e_{qy} 、 $e_{q\omega}$ 、 e_{qh} 、 $e_{m\omega}$ 、 e_{mh} 分别为水轮机流量和力矩对导叶开度、转速和水头的传递系数,其数值与水轮机的结构和运行工况有关,可利用水轮机模型综合特性曲线计算.

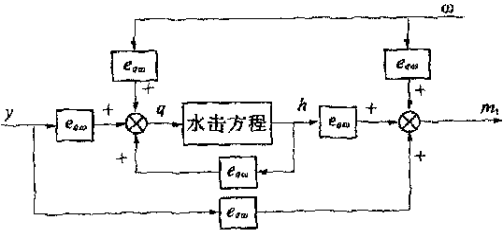


图 5 水轮机线性化模型

Fig. 5 Linearized model of hydropower turbine

1.3 水力系统数学模型

水力系统数学模型主要包括水轮机模型和引水系统模型两部分.结合水轮机和引水系统的各种模型,可得到不同情况下的水力系统模型.如果假定水轮机理想无损,在额定工况点运行,并且忽略水轮机转速的影响,结合上述刚性水击模型,就可得到常规分析中经常使用的简化模型,如图 6 所示.

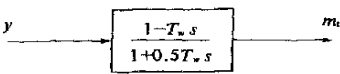


图 6 简化模型

Fig. 6 Simplified model

2 电力系统数学模型

暂态稳定计算时,发电机采用考虑 E_q^n 、 E_d^n 和 E_d' 电势变化的 5 阶实用模型;调速系统采用通用的调速器模型;励磁系统选用自并励励磁系统模型.直流系统考虑准稳态换流站模型,准稳态直流线路模型和理想调节器.负荷采用恒定阻抗和计及机电暂态的感应电动机模型的综合.

3 多机系统暂态稳定算例

图 7 所示为一 3 机系统结构示意图,具体数据见 PSASP 用户手册.以此 3 机系统为算例,发电机 G_1 分别采用上述水力系统不同形式的数学模型,利用电力系统分析综合程序(PSASP)提供的用户自定义模型接口功能,进行暂态稳定计算,分析引水系统和水轮机不同模型对暂态稳定计算的影响.计算时选择发电机 S_1 作为参考机组,故障方式为在母线 B_4-500 上发生 A 相短路接地,0.1

秒故障清除。

图 8 为采用简化模型、线性水轮机情况下刚性水击与弹性水击模型时发电机 G_1 的转子摇摆曲线。可以看出,刚性水击模型和弹性水击模型下的转子摇摆曲线差别较小,但简化模型下的仿真曲线误差较大。

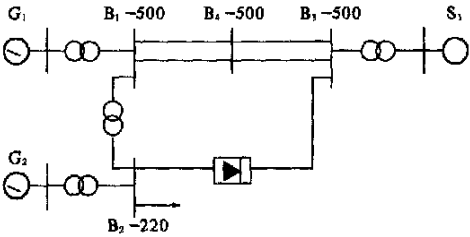


图 7 多机系统结构示意图

Fig.7 Diagrammatic sketch of multi-unit system

图 9 为采用线性水轮机模型与非线性水轮机模型(弹性水击)时发电机 G_1 的转子摇摆曲线。由图可见,在暂态过程的初始阶段,线性化水轮机模型和非线性水轮机模型下的转子摇摆曲线基本重合,在暂态过程中后期两条曲线差别较大。

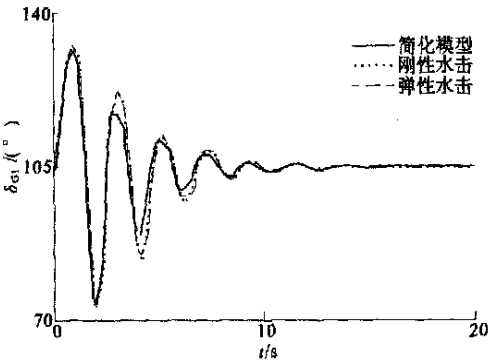


图 8 不同水击模型时发电机 G_1 转子摇摆曲线 线性化水轮机

Fig.8 G_1 rotor swing curves of different water hammer models(linearized hydroturbine)

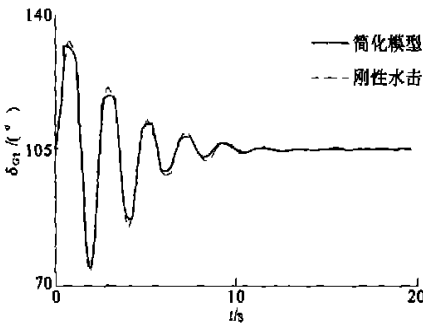


图 9 不同水轮机模型时发电机 G_1 转子摇摆曲线 弹性水击

Fig.9 G_1 rotor swing curves of different hydroturbine models(elastic water hammer)

4 结论

作者建立了上下游均具有调压井的典型复杂水力系统不同形式的数学模型,通过对多机系统暂态稳定进行计算,对比研究了引水系统和水轮机不同模型对暂态稳定分析的影响。计算表明,水力系统的不同模型对多机系统暂态稳定计算的初始阶段影响不大;刚性水击模型与弹性水击模型下的变化曲线较接近;非线性水轮机模型与线性水轮机模型下的变化曲线在暂态过程中后期差别较大;简化模型过于简单,计算结果误差较大。

附录 模型参数

水轮机线性化模型: $e_{q\gamma}=0.814, e_{q\omega}=0.45, e_{qh}=0.67, e_{m\gamma}=0.681, e_{m\omega}=-1.06, e_{mh}=1.602$ 。
水轮机非线性模型: $A_t=1.036, Q_{NL}=0.068$ 。
引水系统刚性水击模型: $T_w=4.55s$ 。
引水系统弹性水击模型: $R=0, L_1=0.798s, C_1=0.0125s, L_2=2.392s, C_2=0.0376s, L_3=0.453s, C_3=0.0204s, L_4=0.952s, C_4=0.3403s, C_{t1}=258.69s, C_{t2}=120.35s$ 。
引水系统简化模型: $T_w=4.55s$ 。

参考文献:

[1] 卫志农,陈剑光,潘学萍,等.水机电系统相互作用研究[J].电力系统自动化,2000,24(24):26~29.
[2] 陈舟,陈寿孙,张中华,等.水力系统模型对电力系统暂态稳定分析的影响[J].清华大学学报,1996,36(7):13~18.
[3] 王明东,刘宪林.基于模糊控制理论的水轮发电机组调速器侧PSS研究[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(2):96~98.
[4] SMITH J R. Assessment of Hydraulic Models for Power System Studies[J]. IEEE PROC -C, 1983, 130(1):1~7.
[5] SOUZA O. H. Study of Hydraulic Transients in Hydropower Plants through Simulation of Nonlinear Model of Penstock and Hydraulic Turbine Model[J]. IEEE Trans on PWRs, 1999, 14(4):1269~1272.
[6] 高慧敏,刘宪林.基于详细水机电模型的水电系统动态过程仿真[J].系统仿真学报,2003,15(4):469~471.
[7] 刘宪林.基于同步机和水系统详细模型的电力系统小扰动稳定研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2002.
[8] 刘宪林,高慧敏.水轮机传递系数计算方法的比较研究[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(4):1~

5. line and Turbine Control Models for System Dynamic Studies[J] IEEE Trans on PWRS, 1992, 7(1) :167~179

[9] Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies .Hydraulic Tur-

Transient Stability Computation of Multi-unit System
Considering Detailed Models of Hydraulic System

LIU Xian-lin, LI Yan-jun

(College of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract : The simplification in hydraulic system models is one of the main factors restricting the improvement of transient simulation of power systems. Different models of complex hydraulic system are given in this paper for power system transient stability analysis, including the rigid water hammer model, elastic water hammer model of conduit system and the linearized or nonlinear model of hydroturbine. Dynamic process computation of multi-unit system with complex conduit system is carried out with a disturbance. The effect of different conduit system and hydroturbine models in transient stability is compared and analyzed.

Key words : hydraulic system; model; multi-unit system; transient stability

“2001 年度河南省杰出青年基金获得者学术论坛”报告会召开

由我校科研处承办的“2001 年度河南省杰出青年基金获得者学术论坛”第二次报告会于 9 月 22 日在我校南校区逸夫楼召开。在这次报告会上,我校药学院的张振中教授、河南省人民医院的高传玉主任医师以及河南中医学院的封银曼教授等 3 名杰出青年基金获得者先后做了工作报告。参加会议的有省科技厅组织的专家组全体成员、省科技厅基础研究与成果处领导、我校科研处领导等。我校在校研究生及其它同行科技人员共计 100 多人听取了本次报告会。

本次报告会是 2001 年度河南省杰出青年基金获得者学术论坛的第二次报告会,也是 2001 年度河南省杰出青年基金获得者结题评估验收工作的组成部分。结题评估验收工作是做好青年基金工作的重要环节,对于检验青年基金获得者工作成绩具有重要意义。青年基金获得者学术论坛,既是对 2001 年度青年基金获得者三年来所取得成绩的检阅,也是加强和完善青年基金管理的重要举措。专家组在听取报告后,对我校的 5 名 2001 年度河南省杰出青年基金获得者进行现场评估。