

有压瞬变流系统整体可控性研究

于永海 索丽生

(河海大学水利水电工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 对有压瞬变流系统提出整体可控性概念,给出了起始子系统的定义.依据水力元件与管道的时间常数给出系统整体可控性的判别方法.对一个有压瞬变流系统,除起始子系统以外,如果存在时间常数为无穷大的水力元件或管道,则它是整体不可控的.并对整体不可控系统提出可控化的方法.

关键词 有压瞬变流;整体可控性;时间常数

中图分类号 :TV134.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2001)06-0027-03

有压瞬变流系统广泛存在于水利水电工程、给排水工程、长距离输油和输气工程、液压传动等领域.由于正常操作或其它事故,致使系统中的水力元件发生切换或阀门发生关闭、开启,这时系统中的流体将从一种恒定流动状态变化到另一种恒定流动状态.在流体瞬变过程中,如何确定调节元件的操作规律,使得流体实现平稳过渡,是一个值得深入研究的课题.文献[1]阐述了阀门程控(Valve Stroking)的概念,并基于该概念提出了一种综合方法(Synthesis Procedure),称之为阀门程控方法.应用该方法可研究有压瞬变流系统在限时或限压约束条件下的设计和控制问题,使得系统在调节的终了时刻处于新的恒定流动状态.Propson^[1]在应用阀门程控方法中发现有一些系统不能满足上述要求,在调节的终了时刻,系统中的部分管道仍处于瞬变过程中.Propson把这种情况称为被动阀门程控(Passive Valve Stroking),而把系统满足调节要求的情况称为主动阀门程控(Active Valve Stroking).文献[2]把有压瞬变流系统在限时或限压约束条件下的控制和设计问题称为有压瞬变流限时控制或限压控制反问题,其中,还要满足系统在调节终了时刻处于新的恒定流动状态要求的反问题无解的情形就是上述被动阀门程控情形.

有些有压瞬变流系统(如含有活塞泵的液压系统)要求调节元件操作终了时刻,系统达到新的恒定状态而不允许系统内残留瞬变,否则,调节品质太差,将导致系统无法正常工作.对于这些系统,在求解有压瞬变流限时或限压控制反问题时,必须首先判定反问题是否有解.如果判定系统是整体不可控的,即其限时或限压控制反问题无解,可否以及怎样进行改造使得系统整体可控,即限时或限压控制反问题有解?对这些问题的研究就是对文献[2]提出的有压瞬变流系统整体可控性进行研究.

1 有压瞬变流系统整体可控性的判定

1.1 时间常数

有压瞬变流研究的是系统的瞬态过程,系统的水力元件和管道的动态特性对有压瞬变流的影响甚大,而时间常数是表征其动态特性的一个重要参数.表1列出了常见水力元件和管道的时间常数.

1.2 整体可控性的判定

定义正常管道为表1中第1栏所表示的考虑流体压缩性的管道.

定义起始子系统为一正常管道及特定水力元件组成的流体系统,该正常管道的一端为时间常数为无穷大的水力元件(如水库或盲管端),另一端为具有可控性的管道节点,即该节点处无时间常数为无穷大的水力元件和管道.

对复杂程度不一的有压瞬变流系统,如果按系统中管道连接方式的不同可以分为简单管系统和复杂管

系统.仅含一根正常管道的系统为简单管系统,其它为复杂管系统.简单管系统由一个起始子系统和其可控节点处的可控元件组成,复杂管系统由起始子系统与其它管道和水力元件组成.

对起始子系统,如果限时控制反问题或限压控制反问题有解,那么该系统就是整体可控的.事实上,据文献[1],用阀门程控方法是可以求解起始子系统限时控制反问题或限压控制反问题的,因此起始子系统是整体可控的.

诸如水库-管道-阀门组成的简单管系统除可控元件阀门外为一个起始子系统,整体可控,因此简单管系统是整体可控的.

表 1 常见的水力元件和管道的时间常数

Table 1 Time constants of common hydraulic elements and pipe segments

名 称	时间常数/s	说 明
管道(考虑流体压缩性)	$2L/a$	L ——管长, μm ; a ——水击波速, $\mu\text{m/s}$.
管中流体视为集中质量的管道	$\frac{Lv}{g\Delta H}$	L ——管长, μm ; v ——流速, $\mu\text{m/s}$; ΔH ——液位差, μm ; g ——重力加速度, $\mu\text{m/s}^2$.
无限长管道	∞	
水位不变的水库	∞	
盲管端	∞	
简单调压室	$2\pi\sqrt{\frac{LF}{gf}}$	L ——隧洞长度, m ; f ——隧洞截面积, m^2 ; F ——调压室截面积, m^2 ; g ——重力加速度, m/s^2 .
水泵机组	$2\pi\frac{I_g n_r}{60 T_r}$	I_g ——转动惯量, $\text{kg}\cdot\text{m}^2$; n_r ——额定转速, r/min ; T_r ——额定转矩, $\text{N}\cdot\text{m}$.
气室或气垫调压室	$2\pi\sqrt{\frac{LV_g}{gAH}}$	L ——管长, m ; A ——管道截面积, m^2 ; V_g ——室中气体体积, m^3 ; H ——室中液位, m ; g ——重力加速度, $\mu\text{m/s}^2$.

对于复杂管系统,首先确定系统内的起始子系统,起始子系统是整体可控的.如果除起始子系统以外系统的其他部分中有时间常数为无穷大的管道或水力元件,则系统是整体不可控的.分两种情形阐述理由如下.

a. 除起始子系统以外系统内含有无限长管道情形:调节元件的调节时间总是有限的(无限长管道的时间常数远远大于有限的调节时间),在这有限的调节时间终了时刻,无限长管道内仍将处于瞬变过程中.如果要求调节终了时刻无限长管道内不残留瞬变,则要求调节时间无限长,而这实际上是不允许的,因此此时的系统是整体不可控的.

b. 除起始子系统以外系统内含有时间常数为无穷大的水力元件情形:为了满足调节时间结束系统即恒定要求,在求得起始子系统中可控节点的流体要素(流量和测管水位)后,需用沿空间方向的特征线法逐管道由一端的流体要素去推求另一端的流体要素.在推求过程中,某一管道的一端流体要素已知,另一端布设时间常数为无穷大的水力元件(如水库或盲管端),如果仍用沿空间方向的特征线法由已知流体要素的一端推求另一端的流体要素,则推求得到的流体要素不能满足时间常数为无穷大的水力元件特性,得不到满足“调节结束系统即恒定”要求的解答.此时的系统也是整体不可控的.

复杂管系统中如果除起始子系统外不含有时间常数为无穷大的管道或水力元件,则在求得起始子系统中可控节点的流体要素(流量和测管水位)后,可以用沿空间方向的特征线法逐个管道由一端的流体要素推求得到另一端的流体要素,能够得到满足“调节结束系统即恒定”要求的解答.此时的系统是整体可控的.

根据以上分析可以得到比较简明的系统整体可控性的判定方法:如果一个有压瞬变流系统中不含有无限长管道、仅含有一个像水库、盲管端这样的水力元件,系统是整体可控的;如果含有无限长管道或含有不止一个像水库、盲管端这样的水力元件,则系统将是整体不可控的.

2 整体不可控系统的可控化方法

整体不可控系统的可控化应着眼于除起始子系统以外的时间常数为无穷大的水力元件和管道.通过添加水力元件、改变水力元件的时间常数,可以使原来整体不可控的系统变为整体可控.

添加水力元件的方法:如在无限长管道中每隔一定长度加一个可调节阀门,如图 1 所示.添加的阀门可串接在管道内,也可采用三通接头通向大气.

改变系统水力元件的时间常数:如将盲管端改为可调节阀门;如在水库前增加一个可调节阀门,可以理

解为将时间常数为无穷大的水库改变为时间常数与系统调节时间量级相当的可调节阀门,此时可调节阀门的下游压力不是通常情形下的大气压力而是水位保持不变的水库形成的水压力.如图 2 所示.

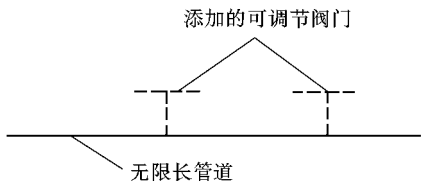


图 1 添加水力元件

Fig.1 Added hydraulic elements

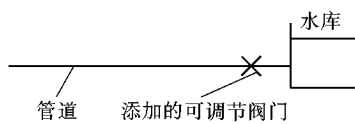


图 2 改变水力元件的时间常数

Fig.2 Change of time constants of hydraulic elements

3 应用实例

如图 3 所示的复杂管系统含有 2 个水库、2 个阀门与 4 根管道。
系统中有两个水库.根据起始子系统的定义,水库 1、管 1 以及管 1、阀门 1 与管 2 的分岔节点组成 1# 起始子系统,水库 2、管 3 以及管 3、管 2 与管 4 的分岔节点组成 2# 起始子系统.如果从 1# 起始子系统出发,系统内除了该起始子系统以外,存在时间常数为无穷大的水库 2,系统是整体不可控的;若从 2# 起始子系统出发,系统内除了该起始子系统以外,还存在时间常数为无穷大的水库 1,系统也是整体不可控的.

采用图 2 所示的方法可使该系统可控化.此时在水库 2 处(或水库 1 处)添加的可调节阀门与水库 2(或水库 1)一起作为一个水力元件来替代时间常数为无穷大的水力元件水库 2(或水库 1).对于改造后的系统,在要求调节终了时刻系统即达到新的恒定流动状态的条件下,有压瞬变流限时或限压控制反问题有解,即可得到满足要求的调节控制规律.

对于一个整体不可控系统,起始子系统一般不止一个.对应不同的起始子系统,系统可控化方法是不同的.当可控化的方法不同时,得到的将是不同的整体可控系统,因而其反问题的解答也将是不同的.对一个给定的整体可控系统,起始子系统是唯一的,其反问题的解答是唯一的.

4 结 论

a. 有压瞬变流整体可控性的判定方法是:对一个有压瞬变流系统,除起始子系统以外,如果存在时间常数为无穷大的水力元件或管道,则它是整体不可控的.

b. 对于整体不可控系统,通过添加新的水力元件、改变原有水力元件的时间常数等方法,能够改造成为整体可控系统.

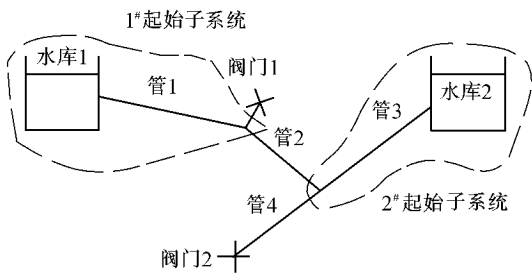


图 3 有压瞬变流系统实例

Fig.3 An example of pressurized transient fluid systems

参考文献:

[1] Wylie E B, Streeter V L, Suo Lisheng. Fluid transients in system[M]. New Jersey: Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, 1993. 215 ~ 245.
[2] 于永海,索丽生.有压瞬变流反问题研究综述[J].水利水电科技进展, 2000(5): 17 ~ 22.

Integral Controllability of Pressurized Transient Fluid Systems

YU Yong-hai, SUO Li-sheng

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: The conception of integral controllability of pressurized transient fluid systems is presented. The definition of an initial sub-system is given, and a method for the determination of integral controllability of systems based on the time constants of hydraulic elements and pipe segments is developed. A controllable method for non-integral controllable systems is also proposed.

Key words: pressurized transient flow; integral controllability; time constants