

键合图方法在气动系统中的应用

(东北电力学院动力工程系) 李 岩 周云龙
(哈尔滨工业大学) 王祖温

[摘要] 采用双通道伪键合图法,在假设工作介质满足理想气体状态方程的情况下,寻找气动系统 C 场、R 场及气动 I 元件的描述方法,针对气罐充气过程和气缸出口节流调速回路进行仿真和实验。

关键词 功率键合图 伪键合图 气动系统 动态仿真 C 场 R 场 I 元

中图分类号 TP 393. 9

1 引言

键合图方法在流体传控技术中应用已久,尤其在液压传控方面已有较成型的应用^[1]。相比之下,气体的可压缩性和热力学性质影响了键合图在气动系统中的应用,不能采用液压系统所采用的方法。气体流入、流出控制体所带入、带出的不仅是气体压力能,同时还有气体的热能,单通道键合图对于某一环节在某一时刻只能描述一种能量,因此这里采用双通道键合图,两条通道分别描述气体压力能和热能^[2];气体密度的变化又影响了气体体积流量的应用,因此应用伪键合图,采用气体质量流量和能量流量分别作为两条通道的流变量^[3]。

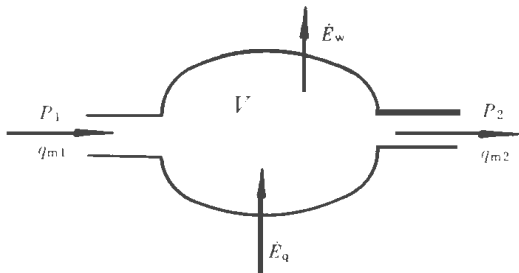


图 1 控制体

2 基本元素

2.1 C 场

图 1 为控制体。可用其描述系统中的容性腔。气体以流速 q_{m1} 进入控制体,带入能量为 E_1 ,以流速 q_{m2} 流出控制体,带出能量 E_2 。控制体的体积为 V 。控制体与外界的热交换量为 E_q ,对外做功为 E_w 。可用图 2 和 C 场和 0 结点表示。这里符合以下方程:

$$\dot{m} = q_{m1} - q_{m2} \quad (1)$$

$$E = E_1 - E_2 + E_q - E_w \quad (2)$$

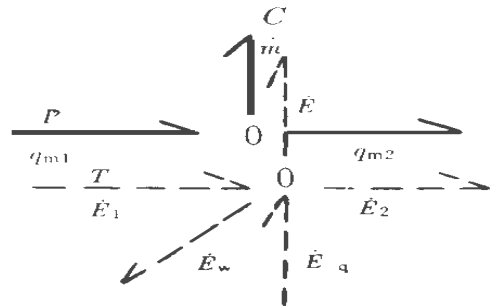


图 2 C 场

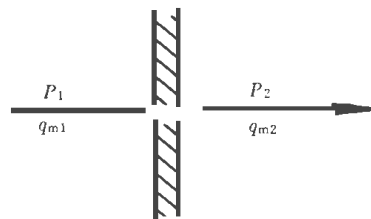


图 3 孔板节流示意图

控制体内气体在某一时刻满足气体状态方程(3),气体的总能量可视为其内能(4)。于是建立了两通道的势和流变量间的关系,按照 C 场的规

则可得 C_a 、 C_h 的描述表达式(5)(6)。

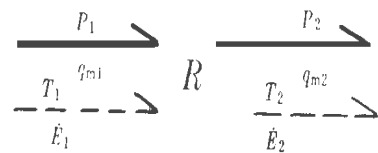


图 4 R 场

$$pV = mRT \quad (3)$$

$$E = U = m \cdot u = m \cdot C_v \cdot t \quad (4)$$

$$C_a = \frac{V}{R \cdot T} \quad (5)$$

$$C_h = C_v \cdot m \quad (6)$$

2.2 R 场

图 3 为孔板节流示意图, 视为阻性元件, 气动元件和系统中的部分节流可按此处理, 在键合图中用图 4 所示的 R 场表示。这里符合以下方程:

$$q_{m1} = q_{m2} = \begin{cases} \frac{S}{\sqrt{RT_1}} \sqrt{2(p_1 - p_2)p_2} & (0.528 \leq \frac{p_2}{p_1} \leq 1) \\ \frac{S}{\sqrt{RT_1}} \frac{1}{\sqrt{2}} p_1 & (0.528 < \frac{p_2}{p_1}) \end{cases} \quad (7)$$

$$E_1 = E_2 \quad (8)$$

$$T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{\frac{(k-1)}{k}} \quad (9)$$

若以气阻表示, 可如式(10)~(11)。

$$q_{m1} = q_{m2} = \frac{1}{R_a} \Delta p = (p_1 - p_2) \quad (10)$$

$$R_a = \begin{cases} \frac{\sqrt{(p_1 - p_2)RT_1}}{S \cdot \sqrt{2} \cdot p_2} & 0.528 \leq \frac{p_2}{p_1} < 1 \\ \frac{\sqrt{2RT_1}}{S \cdot p_1 \cdot (p_1 - p_2)} & 0.528 < \frac{p_2}{p_1} \\ \infty & p_2 = p_1 \end{cases} \quad (11)$$

2.3 I 元

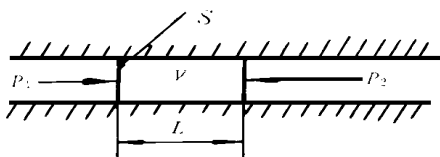


图 5 气分管路

热力系统中没有感性元件, 因此, 气动系统中的感性元件即为气流惯性所形成的气感。

但研究气动系统管路对系统的影响时, 有时需要考虑气流速度变化的影响, 这时的键合图描述则用 I 元。图 5 所示为一段通流面积为 S 的气分管路, 以其中长为 L 的气体为研究对象, 设其两端压力分别为 p₁、p₂, 气流平均线速度为 v, 气体质量流量为 q_m。则其满足式(12)。

$$S(p_1 - p_2) = \rho \cdot S \cdot L \cdot \frac{dv}{dt} \quad (12)$$

其中: $\frac{dv}{dt} = \frac{1}{dt} d(\frac{q_m}{\rho \cdot S}) = (-\frac{q_m}{\rho^2} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dq_m}{dt}) / S$ (13)

通过推导可得式(14):

$$p_1 - p_2 = I \frac{dq_m}{dt} + p'_{12} \quad (14)$$

其中: $I = \frac{L}{S}$ (15)

$$p'_{12} = -\frac{L}{\rho \cdot S} \cdot \frac{dq_m^2}{V} = -\frac{q_m^2}{\rho \cdot S^2} \quad (16)$$

定义式(17), 可得式(18)关于 I 元件的流变量和势变量的关系。用键合图描述即为图 6 所示。

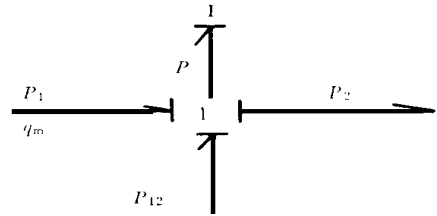


图 6 键合图

$$p = I \frac{dq_m}{dt} \quad (17)$$

$$q_m = \frac{1}{I} \int (p_1 - p_2 + p'_{12}) dt \quad (18)$$

3 仿真与实验

3.1 气罐充气过程

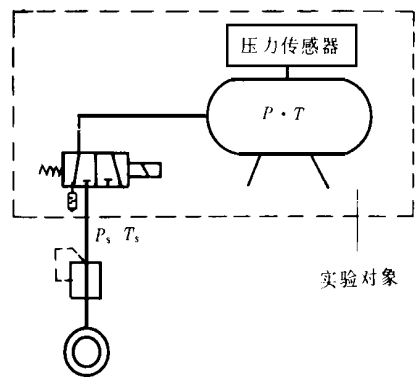


图 7 实验系统

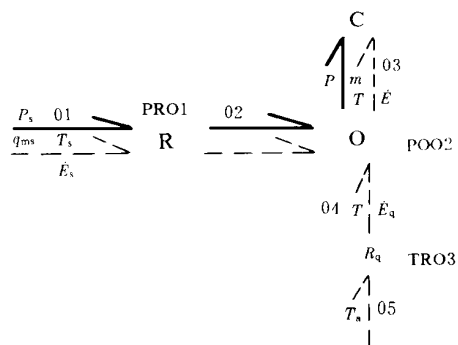


图 8 键合图

气罐充气实验系统图如图 7, 相对应的键图如

图 8。

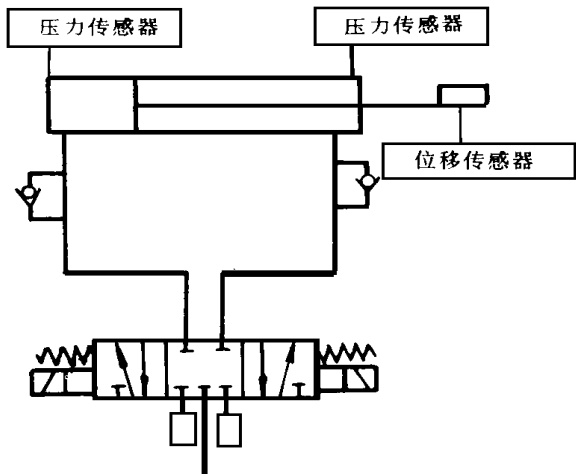


图 9 实验原理图

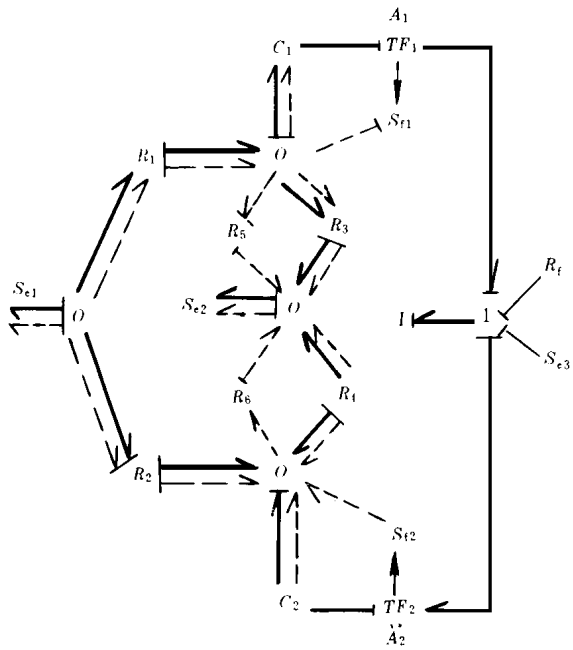


图 10 键合图

其中, R 场描述换向阀作用效果, R_a 按式(11)计算, 有效阀口面积为 17 mm^2 , R_q 为气罐与环境热交换热阻, E_q 满足式(19), C 场描述气罐容腔效应, C_a, C_h 按式(5)(6)计算, 气罐容积为 0.005 m^3 , T_a 为环境温度, 视为恒定, p_s 为实际供气压力。对该系统过程进行仿真与实验, 得气罐内压力变化曲线如图 11 所示。实验中压力测量点如图 7 所示。

$$E_q = \frac{1}{R_h} (T - T_a) \quad (19)$$

3.2 气缸出口节流调速回路

选择一气缸出口节流回路作实验对象, 其意义在: (1)气动部分伪键合图与机械部分真键合图的连接; (2)气缸两腔容积是时变的, 故 C_a, C_h, R_h 是时变的。实验原理图及键合图如图 9、图 10。

图 10 中 R_1, R_2 为换向阀的作用, 有效通流面积为 10.5 mm^2 , R_3, R_4 为节流阀的作用, 有效通流面积为 6.5 mm^2 , R_5, R_6 为气缸换热热阻, R_f 为气缸运动阻力作用, C_1, C_2 分别为气缸进气腔和出气腔的容腔效应, 气缸内径为 100 mm^2 , I 为活塞运动惯性作用, S_{f1}, S_{f2} 活塞运动分别对两腔单位时间所作的功, S_{e1} 表示恒压恒温气源, S_{e2} 表示大气压力及温度。图 12, 图 13, 图 14 分别为对进气腔(无杆腔)、出气腔(有杆腔)及活塞位移的仿真与实验曲线。压力测

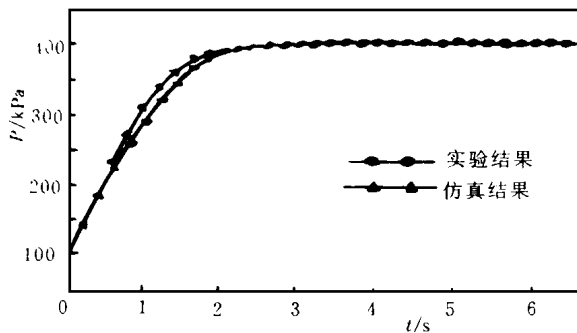


图 11 实验 1 中压力随时间变化曲线

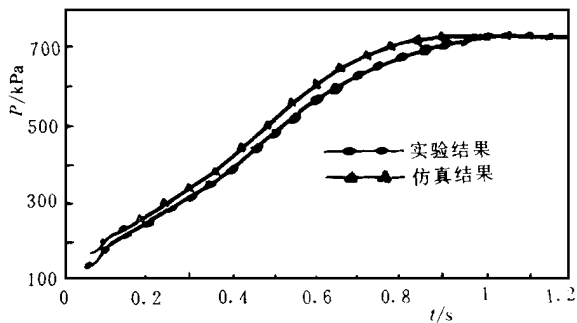


图 12 进气腔压力随时间变化曲线量点和位移传感器如图 10 所示位置设置。

4 结论

本文的键合图描述方法适合于气动系统, 尤其是管路影响小的系统。对于管路影响大的系统, 可将管路作为容腔、节流口及惯性元件的组合来处理。

本文的 R_a 是在孔板节流状态下所求得, 对于其它类型的节流, 可按文中所示思路求得。

本文仿真中所采用的 C_a 是在 C_v 为定常值的假设下所求得, 温度变化不大情况下可以采用这种

假设。对于温度变化很大的情况, C_v 是温度 T 的函数, 但 C_a 仍按式(5)计算。

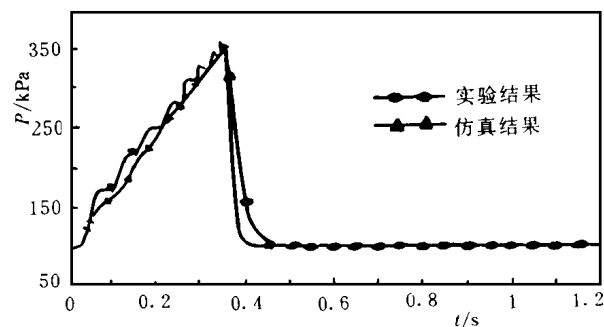


图 13 出气腔压力随时间变化曲线

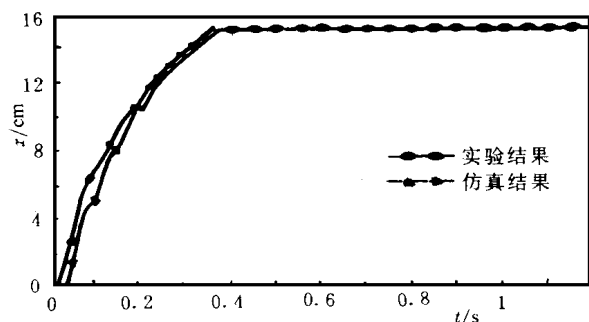


图 14 活塞位移随时间变化曲线

文中实验 2 中气动伪键合图与机械真键合图的连接是借助符号 O 、 C 和 TF 实现的, 即气体进入(流出)容腔, 形成一定的压力, 该压力作用在活塞上, 转变成力, 从而气压能转变为机械能, 形成了机械环节的势源, 活塞运动做功对容腔内气体能量的影响反作用到容腔内气体上, 满足对容腔效应的描述。作者认为该方式既满足物理意义, 又结构简单, 是气动伪键合图与机械真键合图连接的有效方法, 当然也可采用其它方法, 如定义一个连接块。

参考文献

- 1 卡诺普 $D C$, 罗森堡 $R C$. 系统动力学—应用键合图方法, 胡大邓延光译. 机械工业出版社, 1985.
- 2 Ikeo Shigeru, Zhang Huping, Takahashi Koji, et al. Simulation of pneumatic system using B GSP. Sophia University, Japan.
- 3 Dean Karnopp. State variables and pseudo bond graphs for compressible thermofluid systems. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 1979, 101: 201 ~ 204.

阀门填料密封技术获新突破

北京中和达新技术产业有限责任公司在研究了阀门阀杆密封运动机理的基础上, 吸收国外先进技术, 研制了一种新型膨胀聚四氟乙烯密封填料, 其规格有编织盘根填料、圆柱可塑性填料和复合编织盘根填料三种, 这三种填料可以单独使用, 也可以配合使用。对于要求介质清洁程度较高的食品、饮料、酿酒、制药、生物化工等生产装置的阀门, 可使用前两种填料, 一般场合下可使用第三种填料。这种填料是在聚四氟乙烯中加入了石墨、二硫化铜和硅油等材料, 综合性能更好, 工作压力可达 $35 \sim 40 \text{ MPa}$, 温度 $\leq 250^\circ\text{C}$ 下使用, 特别是当阀杆高速旋转摩擦产生热量而温度上升时, 该填料能自动释放出硅油进行自润滑。空间压缩比高达 $25\% \sim 30\%$, 这三种阀门阀杆密封填料均是采用高密度的双向细密纤维结构, 使阀杆与密封填料的三维动态位移形成线性补偿关系, 堵塞介质沿阀杆轴向泄漏的通道, 从而达到安全可靠的最佳密封效果的目的。

目前, 该产品已在国内石化、化工、炼油、食品、制药、机械、电力等行业的千余家企业中得到了广泛的应用。川化集团公司硫酸厂在浓硫酸成品管道上的所有阀门填料处都使用了该填料, 解决了原来的石棉填料不耐浓酸浸泡、易老化和磨损阀杆、使用寿命短的难题, 从开始使用至今两年多的时间, 一直未发生过泄漏, 其使用寿命是厚石棉填料的 $5 \sim 7$ 倍。此外, 在泸天化集团公司、大连氯酸钾厂、广东新会制药厂、深圳龙岗亚美磁带厂等生产厂家的不同生产装置的阀门上使用, 其效果也十分显著, 因此, 在国内企业提高阀门运行的可靠性、消除生产现场的泡冒滴漏、保护环境、节约能源和实现清洁生产方面, 该填料具有极大的推广应用价值。

(川化集团公司 汪家铭)

变工况下汽轮机反动度的统一表达式 = **A Unified Expression of Steam Turbine Reaction Degree under Off-design Operating Conditions**[刊, 中] / Li Weite(North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 47 ~ 50

This paper discusses the unified expression of steam turbine reaction degree under off-design operating conditions and a variety of factors exercising an influence on such a degree. Also addressed is the problem of total increment character of the reaction degree variation, etc., giving a relatively comprehensive and concise explanation to the contents of the reaction degree. **Key words:** steam turbine, off-design operating condition, degree of reaction

热电联产热电按质分摊数学模型的建立及修正方法 = **The Establishment of a Mathematical Model for Cogeneration Heat and Electricity Apportionment according to Quality and a Correction Method**[刊, 中] / Jing Youyin(North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 51 ~ 52

On the basis of a “new conception of cogeneration heat and electricity apportionment” and proceeding from a calorimetric method a mathematical model for heat and electricity apportionment is set up, thus significantly improving the derivation process of actual enthalpy drop method and finding out the relationship between the calorimetric method and actual enthalpy drop method. This leads to a more lucid concept of the actual enthalpy drop method and its more clarified physical meaning. To overcome defects of the calorimetric method and actual enthalpy drop method introduced is a concept of the apportionment according to quality of thermification power generation cold source loss. **Key words:** cogeneration, steam extraction power generation, apportionment of heat and electricity according to quality, thermification power generation cold source loss

多媒体技术在汽轮机调速培训系统中的应用 = **The Application of Multi-media Technology in Steam Turbine Speed Governing Training system**[刊, 中] / Zhao Hong, Sun Zhaoqiang, Weng Yiwu (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 53 ~ 55

Multi-media technology is employed in a steam turbine speed governing training system. A brief description is given of the development and realization of a multi-media teaching software for the steam turbine speed governing training system. **Key words:** computer, multi-media, teaching and training

键合图方法在气动系统中的应用 = **The Use of Bonded Diagram Method in an Aerodynamic System**[刊, 中] / Li Yan, Zhou Yunlong, et al(North China Electrical Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 56 ~ 59

Under the assumption that working medium can meet ideal gas state equation and by the use of a dual-channel pseudo bonded diagram method sought out was the description method for an aerodynamic system C field, R field and aerodynamic. I element. With respect to the gas charging process of a gas tank and the speed governing circuit of a cylinder outlet throttling a simulation and experiment was conducted. **Key words:** power output bonded diagram, pseudo bonded diagram, aerodynamic system, dynamic simulation, C field, R field, I element

燃气—蒸汽联合循环无旁通烟囱的分析 = **An Analysis of the Condition under Which No Bypass Stack is Provided for the Gas-Steam Combined Cycle Power Plant**[刊, 中] / Yao Tingsheng, Zhuang Jianneng, Wu Laigui (Shenzhen Dapeng Power Plant) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 60 ~ 62

The features of a gas-steam combined cycle power plant without a bypass stack are analyzed. It is pointed out that during the start-up of such a plant there will be a thermal shock to a heat recovery boiler. The need for the installation of a bypass stack should be determined based on the actual operation conditions of the power plant. What is proposed in the paper may serve as a reference guide to designers of combined cycle plant schemes and operating personnel of such plants. **Key words:** combined cycle, bypass stack, analysis