

# The Analysis of Economic Velocity of Pipe in Nuclear Power Plant

Zhenpeng Li, Hongbo Yang, Tianming Jiang

China Nuclear Power Engineering Company, Shenzhen Guangdong  
Email: [lizhenpeng@cgnpc.com.cn](mailto:lizhenpeng@cgnpc.com.cn), [hongbo\\_yang@cgnpc.com.cn](mailto:hongbo_yang@cgnpc.com.cn)

Received: Jan. 7<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jan. 21<sup>st</sup>, 2015; published: Jan. 26<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

To make nuclear power plant more economical, the article studies the economic velocity at home and abroad, and the study finds that the pipe economic velocity is mainly based on energy price and steel price, and the recommended economic velocity is tending to decline overseas. Through the factor analysis with the help of GENERAUX equation, the results show that the pipe economic velocity will decrease along with the increase of pipe diameter; the pipe economic velocity will drop about 4.5% with unit cost of energy increased by 1\$; And the pipe economic velocity will rise about 1.1% with unit cost of material increased by 1\$.

## Keywords

Economic Velocity, GENERAUX Equation, Pipe Size, Steel Price

---

## 浅析核电厂管道经济流速

李振鹏, 杨洪波, 江添明

中广核工程有限公司, 广东 深圳

Email: [lizhenpeng@cgnpc.com.cn](mailto:lizhenpeng@cgnpc.com.cn), [hongbo\\_yang@cgnpc.com.cn](mailto:hongbo_yang@cgnpc.com.cn)

收稿日期: 2015年1月7日; 录用日期: 2015年1月21日; 发布日期: 2015年1月26日

---

## 摘 要

为进一步提高核电厂管道系统的经济性, 对国、内外管道经济流速进行研究分析, 管道经济流速主要取

决于能源价格和钢材价格；同时，国外管道推荐经济流速已呈现出向低流速发展的趋势。本文利用国外推荐的GENERAUX方程对影响管道经济流速相关因素进行了分析。结果表明：随着管道直径的增加，管道经济流速呈现出降低趋势；当单位能耗每增加1美元时，管道经济流速降低约4.5%；单位材料费用每增加1美元，管道经济流速约上升1.1%。

### 关键词

经济流速，GENERAUX方程，管道规格，钢材价格

## 1. 引言

目前，对于核电厂管道流速，国、内外许多国家或企业都制定了相应的管道推荐流速标准[1]，标准通常给出了不同介质管道流速的推荐范围，如：离心泵入口管道推荐流速 2~3 m/s。

此外，国内外各工程领域，也针对管道经济流速及其影响因素进行了研究分析[2]-[7]，然而，对于各标准推荐流速，大多来源于各自的经验数据，尚未综合考虑管道经济流速的影响因素，还需完善科学的管道经济流速计算方法。

对于新建核电厂，经济性指标尤为重要，需要综合考虑固定成本和运行成本。对于核电厂，由于参数较低，流量相对较高，同时配有庞大的管路系统及相应动力设备。

对于管道系统，固定成本和运行成本主要体现在以下两个方面：

- 1) 管道的材料费用，取决于管道的规格；
- 2) 动力设备的运行费用，取决于管道的流速。

根据管道规格计算公式(1)，如下：

$$D_i = 18.81 \times (Q/w)^{0.5} \tag{1}$$

式中： $D_i$ ——内径，mm； $Q$ ——介质容积流量， $m^3/h$ ； $w$ ——介质流速，m/s。

由此可知，当选取较大管道规格时，管道材料费用较高，但管道流速相应较低，能耗降低，运行费用降低；而当管道规格较小时，管道材料费用较低，但流速较高，能耗较高，运行费用也较高。因此，要提高电厂经济性指标，需综合考虑两方面的影响，找出最佳点，如图 1。

国外研究表明[8] [9]，在过去的 40 年中，管道的最佳经济流速已呈现出降低的趋势，这种变化来源于材料价格、能源价格、人力成本、税收等因素的变化，该文献还提出了基于 GENERAUX 方程的最佳经济流速计算方法，目前该方法已应用于国外一些商业流体管网计算软件，如：FLUIDFLOW。然而，

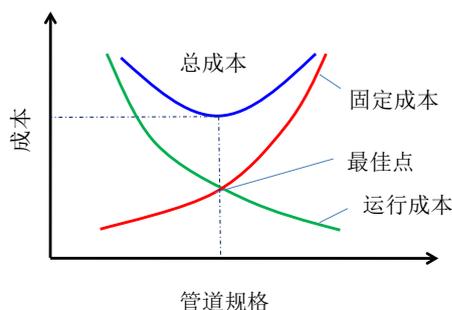


Figure 1. Tendency of total cost of plant with pipe size variation  
图 1. 电厂总成本随管道规格变化趋势

国内标准《火力发电厂汽水管道设计技术规定》自 1996 年发布以来,对于推荐流速一直未进行任何调整;然而,部分研究领域也开始探索研究管道最佳经济流速,如严煦世等人提出了经济管径的估算方法[10],用于计算城市供水管网计算。

此外,据中央关于制定“十二五”规划的建议中指出[11],要深化资源性产品价格和要素市场改革,理顺煤、电等资源类产品价格关系,文献表明“十一五”期间上网电价全国年平均增长率为 3.7%,销售电价年平均增长率为 2.8%,预计“十二五”期间,鉴于能源电力技术在短时期不会取得根本性突破,受资源稀缺、土地价格上涨、新能源比重提高等因素影响,电力生产、输配和供应成本未来呈上升趋势。

综上所述,进一步提高核电厂经济指标,节约成本,本文以 GENERAUX 方程为工具,评价和分析了管道材料费用、单位能耗、管道规格等因素对管道经济流速的影响分析。

## 2. GENERAUX 方程介绍

图 2 为 GENERAUX 方程,Marshall & Swift 等人[2]研究近十年能源与材料各项因素的变化趋势,给出了碳钢和不锈钢材料 1998 与 2008 年基于 GENERAUX 方程各参数的统计数据,见表 1。

## 3. 影响因素及应用分析

### 3.1. 影响因素

#### 3.1.1. 能源与物价的总体影响

假定一根 DN100 的碳钢管道,流动介质为水,密度为 1000 kg/m<sup>3</sup>,利用 GENERAUX 方程,结合表 1 参数计算可见图 3。从图 3 中可以看出,不同材质的管道推荐经济流速存在一定的差别,并且随着能源与物价的调整,碳钢和不锈钢材质管道经济流速均出现了下降的趋势。

#### 3.1.2. 管道规格的影响

假定管道流体介质为水,密度为 1000 kg/m<sup>3</sup>,针对不同管道规格,利用 GENERAUX 方程,计算结果如图 4 所示。

以某电厂闭式冷却水系统为例,选取闭式冷却水泵出口管道规格。泵额定流量为 2000 m<sup>3</sup>/h,管道规格为 DN500,管道材料为碳钢材料,介质为除盐水,密度约为 1000 kg/m<sup>3</sup>。利用汽水管道推荐的介质流

**GENERAUX EQUATION**

$$V = \frac{4}{\pi D^2} \left\{ \frac{D^{4.84+n} n X E (1+F) [Z + (a+b)(1-\Phi)]}{(1+0.794 L e' D) (0.000189 Y K \rho^{0.84} \mu^{0.16}) [(1+M)(1-\Phi) + ZM / (a'+b')] } \right\}^{\frac{1}{2.84}}$$

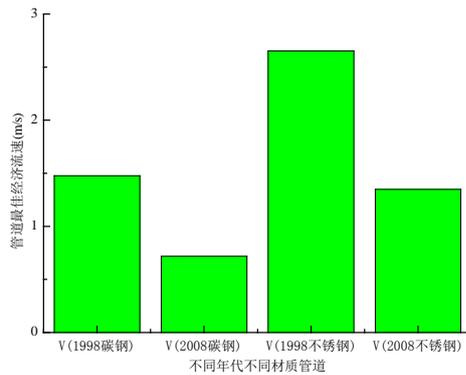
<p><b>Nomenclature</b></p> <p><b>a</b> Fractional annual depreciation on pipeline, dimensionless</p> <p><b>b</b> Fractional annual maintenance on pipeline, dimensionless</p> <p><b>a'</b> Fractional annual depreciation on pumping installation, dimensionless</p> <p><b>b'</b> Fractional annual maintenance on installation, dimensionless</p> <p><b>C</b> Installed cost of pipeline, including fittings, \$/ft</p> <p><b>D</b> Inside pipe diameter, ft</p> <p><b>E</b> Combined fractional efficiency of pump and motor, dimensionless</p> <p><b>F</b> Factor for installation and fitting, dimensionless</p> <p><b>K</b> Energy cost delivered to the motor, \$/kWh</p>	<p><b>Le'</b> Factor for friction in fitting, equivalent length in pipe diameter per length of pipe, 1/ft</p> <p><b>M</b> <math display="block">M = \frac{(a'+b') \cdot (E \cdot P)}{(17.9 \cdot K \cdot Y)}</math> Factor to express cost of piping installation, in terms of yearly cost of power delivered to the fluid, dimensionless</p> <p><b>n</b> Exponent in pipe-cost equation (<math>C = X D^n</math>), dimensionless</p> <p><b>P</b> Installation cost of pump and motor, \$/hp</p>	<p><b>Q</b> Fluid flow, ft<sup>3</sup>/s</p> <p><b>S</b> Cross sectional area, ft<sup>2</sup></p> <p><b>V</b> Velocity, ft/s</p> <p><b>X</b> Cost of 1 ft of 1-ft-dia. pipe, \$</p> <p><b>Y</b> Days of operation per year (at 24 h/d)</p> <p><b>Z</b> Fractional rate of return of incremental investment, dimensionless</p> <p><b>Φ</b> Factor for taxes and other expenses, dimensionless</p> <p><b>ρ</b> Flow density, lb/ft<sup>3</sup></p> <p><b>μ</b> Fluid viscosity, cP</p>
---	---	--

Figure 2. GENERAUX equation

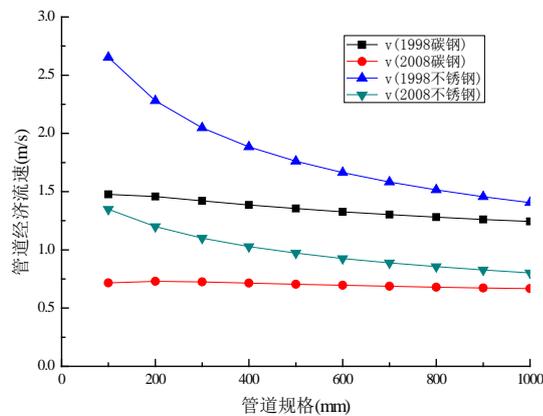
图 2. GENERAUX 方程

**Table 1. GENERAUX equation parameters**  
**表 1. GENERAUX 方程参数值**

项目	碳钢(1998年)	不锈钢(1998年)	碳钢(2008年)	碳钢(2008年)
$n$	1.35	0.7793	1.472	0.924
$x$	29.52	130	6.607	30.7
$Le'$	2.74	2.74	2.74	2.74
$M$	0.1434912	0.1434912	0.081995	0.081995
$E$	0.5	0.5	0.5	0.5
$P$	150	150	150	150
$K$	0.04	0.04	0.07	0.07
$Y$	292	292	292	292
$\Phi$	0.55	0.55	0.55	0.55
$Z$	0.1	0.1	0.1	0.1
$F$	6.7	7.5	6.5	7.4
$a + b$	0.2	0.2	0.2	0.2
$a' + b'$	0.4	0.4	0.4	0.4



**Figure 3. Best economic velocity of pipe for different materials at different times**  
**图 3. 不同时期不同管道材料对应的最佳经济流速**



**Figure 4. Best economic velocity of pipe for different size with different materials at different times**  
**图 4. 不同时期不同管道规格对应的最佳经济流速**

速计算公式(1)计算可得,当前选取的管道流速为 2.83 m/s。相对于图 4 给出的 GENERAUX 方程推荐的最佳经济流速约为 0.7 m/s,还有较大优化空间。

### 3.1.3. 单位能耗值的影响

利用 GENERAUX 方程,计算单位能耗值 K 对经济流速的影响,见图 5。

从图 5 可以看出,随着能耗的增加,管道经济流速呈现出逐渐降低的趋势,能耗每增长 1 美元,管道经济流速约下降 4.5%左右。

### 3.1.4. 单位材料费用的影响

利用 GENERAUX 方程,计算单位材料费用对管道经济流速的影响,见图 6。从图 6 可以看出,材料费用每增加 1 美元,管道经济流速约增加 1.1%。

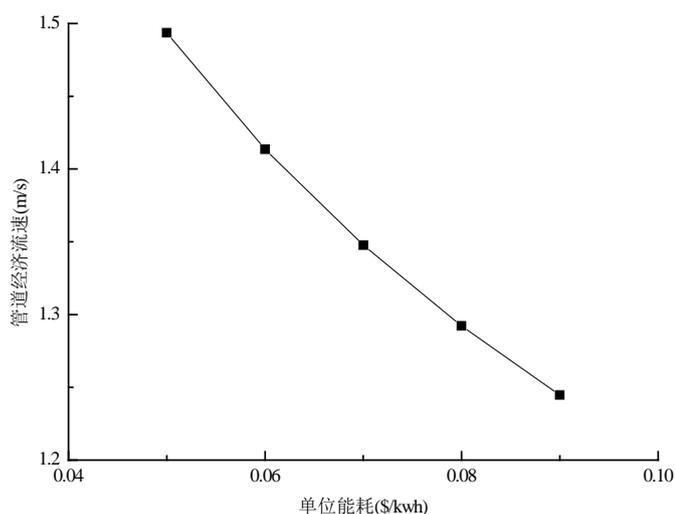


Figure 5. Economic velocity of pipe impacted by unit energy consumption

图 5. 单位能耗对管道经济流速的影响

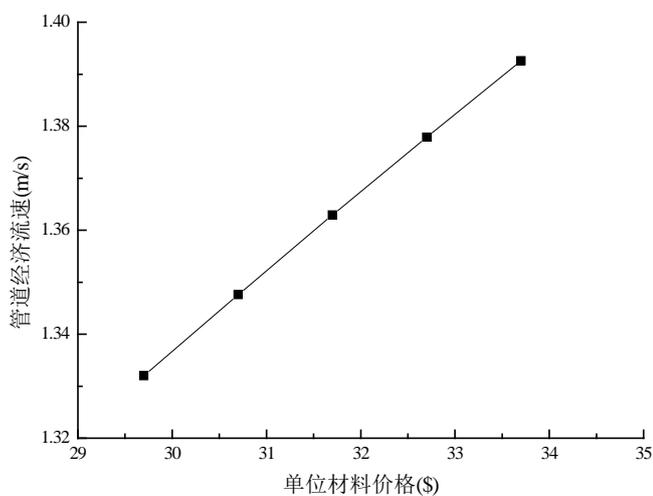


Figure 6. Economic velocity of pipe impacted by unit material cost

图 6. 单位材料费用对经济流速的影响

**Table 2. Domestic price variation tendency of different steels in recent years**  
**表 2. 近年国内部分钢材价格变化趋势**

钢材种类	单位	2005 年	2007 年	2009 年	2011 年
WB36	元/吨	70,768	69,000	36,754	37,545
20 + Cr	元/吨	14,245	28,992	26,068	27,451
A334P22	元/吨	37,642	58,753	51,817	56,100

### 3.2. 应用分析

近年来[12], 全球的钢铁行业都面临产能过剩、效益低下和可持续发展的挑战。从钢材的消费流向来看, 固定资产投资对钢铁消费的拉动作用非常大, 在钢材消费比例上, 基础设施约占 50%, 制造业占 30%~40%。因而钢材价格受国内宏观经济发展与调控紧密相关。

表 2 给出了国内某地区 2007 年~2011 年期间, 几种核电厂常用钢材价格的市场统计数据。

从表 2 可以看出, 近年来国内钢材的价格有较大波动, 依据敏感性分析结果, 价格对管道选型设计有很大影响。因而对核电厂热力系统管道进行设计选型时, 应充分考虑当前国内钢材的价格因素, 进行合理的技经比选分析, 从而优化设计。

## 4. 结论与建议

通过对于 GENERAUX 方程中相关因素进行案例分析, 并结合国内钢材价格统计分析, 有如下结论:

- 1) 随着能源和材料价格的变化, 管道经济流速已呈现出逐渐降低的趋势。
- 2) 当单位能耗每增长 1 美元时, 管道最佳经济流速约下降 4.5% 左右; 而当材料费用每增加 1 美元时, 管道经济流速约增加 1.1%;
- 3) 在应用《火力发电厂汽水管道设计技术规定》推荐的管道流速范围进行核电厂管道设计选型时, 应根据材料以及能源价格的变化趋势进行必要的经济比选;

综上所述, GENERAUX 方程综合考虑了多方面因素的影响, 并且已应用于 FLUIDFLOW 等商业计算软件。因此, 在国内核电工程设计领域可以进行借鉴, 并结合国内材料市场和能源行情, 合理确定 GENERAUX 方程各项参数, 进而应用于核电厂管道选型设计, 进一步提升核电厂的经济性。

## 参考文献 (References)

- [1] 电力工业部东北电力设计院 (1996) 火力发电厂汽水管道设计技术规定. 中华人民共和国电力工业部, 北京.
- [2] 杨成伟 (2011) 工艺管道经济流速的研究. *化工设计*, **4**, 7-12.
- [3] 杨磊, 陶泓 (2009) 供水系统中经济流速与管径优化节能工程试验研究. *给水排水*, 334-336.
- [4] 郭文娟, 杨力, 张荣辉 (2011) 关于给水管道的优化设计的几点思考. *给水排水*, **5**, 95-97.
- [5] 姜发启 (2010) 经济直径及经济流速在主蒸汽母管系统中的应用. *青海电力*, **3**, 16-18.
- [6] 陈华 (2010) 矿井排水设备的经济流速. *煤炭工程*, **4**, 7-8.
- [7] 周永庆 (2009) 浅谈给水管道的经济流量的快速确定方法. *市政与路桥*, **2**, 17.
- [8] Durand, A.A., et al. (1999) Updating the rules for pipe sizing. *Chemical Engineering*, 153-156.
- [9] Durand, A.A., et al. (2010) Updating the rules for pipe sizing. *Chemical Engineering*, 48-50.
- [10] 金晓云, 俞国平 (2004) 关于给水管道的技术经济计算模型中参数的讨论. *城市给排水*, **4**, 21-22.
- [11] 卢玉 (2011) “十二五”电价展望及建议. *中国电力企业管理*, **3**, 35-37.
- [12] 李丽华, 王欣 (2014) 我国钢材价格影响因素研究. *价格理论与实践*, **1**, 89-91.

汉斯出版社为全球科研工作者搭建开放的网络学术中文交流平台。自2011年创办以来，汉斯一直保持着稳健快速发展。随着国内外知名高校学者的陆续加入，汉斯电子期刊已被450多所大中华地区高校图书馆的电子资源采用，并被中国知网全文收录，被学术界广为认同。

汉斯出版社是国内开源（Open Access）电子期刊模式的先行者，其创办的所有期刊全部开放阅读，即读者可以通过互联网免费获取期刊内容，在非商业性使用的前提下，读者不支付任何费用就可引用、复制、传播期刊的部分或全部内容。

