

[文章编号] 1002-8528(2008)04-0082-04

建筑给水管生命周期能耗分析方法及应用

熊家晴, 杨 飞, 王晓昌

(西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710055)

[摘 要] 建筑给水管材的选用对于建筑节能具有十分重要的现实意义。传统的建筑给水系统设计中管材的选用主要考虑其使用性能和一次性成本, 忽视了不同的管材在整个生命周期过程中的能耗差异。本文首先运用生命周期评价方法有效地比较分析了建筑给水管材在其生命周期各个阶段的能耗, 为建筑给水节能设计提供了一种全面有效的方法。而后从工程实际出发选择了 2 种常见的建筑给水管材并进行了生命周期能耗分析比较, 得出在实现同等供水功能的前提下, 镀锌钢管比硬聚氯乙烯给水管材生命周期能耗大。

[关键词] 生命周期评价; 能耗; 镀锌钢管; 硬聚氯乙烯管

[中图分类号] TU991.36 **[文献标识码]** A

Analysis Method and Application of Life Cycle Energy Consumption for Building's Water Supply Pipe

XIONG Jia-qing, YANG Fei, WANG Xiao-chang (Key Laboratory of Northwest Water Resource, Environment and Ecology of Ministry of Education, School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

[Abstract] The selection of building's water supply pipe is of great practical significance to building energy conservation. For the traditional design of supply water system, it was usually focused on functional performance, nonrecurring cost of pipes, and the energy consumption difference of different pipes during the whole life cycle process was ignored. The method of life cycle assessment can effectively analyze and compare the energy consumptions of building's water supply pipes at each stage during life cycle process, and therefore, a fully and effective method of energy conservation for building supply water system can be provided. In this paper, the life cycle energy consumption analysis and comparison of two kinds of building pipes were conducted. The results indicated that the life cycle energy consumption of galvanized steel pipe was larger than that of PVC-U pipe under the same condition of water supply capacity.

[Keywords] life cycle assessment, energy consumption, galvanized steel pipe, PVC-U pipe

1 引 言

随着城市建设的迅速发展, 各类满足现代化生产生活要求的建筑中使用了大量的给水管材。长期以来, 设计人员在建筑给水管材的选择过程中主要考虑管材的使用性能和一次性成本, 缺乏对所选管材整个生命周期的分析。实际上, 在选择给水管道时不仅要考虑经济可行性、长期使用下原材料供给的可持续性、管材对服务对象的生命健康影响以及对环境的影响, 还要考虑建筑节能要求^[1]。生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 是一种崭新的、

具有巨大潜力的环境影响评价理论工具, 提供了产品在整个生命周期的能源、资源消耗和环境排放物的广泛信息, 并可提出环境负荷改善的措施与建议, 是实现可持续发展的重要工具^[2-5]。本文以有代表性的镀锌钢管和硬聚氯乙烯管为例利用生命周期评价方法分析比较了在建筑给水系统中采用这 2 种管材的能耗情况。

2 目标和范围

2.1 比较的前提

为了保证不同给水管材的生命周期能耗具有可比性, 以建筑物给水系统为研究对象时, 要求在实现同等供水功能的前提下, 统计出建筑物给水系统中使用不同管材的总量, 并分别对所选管材生命周期各阶段所产生的能耗进行统计分析, 从而确定各管

[收稿日期] 2007-10-08 [修回日期] 2007-11-07
[基金项目] 国家自然科学基金重大国际合作项目 (50621140001)
[作者简介] 熊家晴 (1969-), 男, 博士, 副教授
[联系方式] xiongjqren@163.com; xiongjiqing@xauat.edu.cn

材在节能方面贡献的大小。

一种产品的生命周期评价将涉及到其每个部件的所有生命阶段,包括采集原材料和能源、把原材料加工成可使用的部件、中间产品的制造、将材料运输到每一个加工工序、所研究产品的制造、销售、使用和最终废弃物的处置(如回收、更新改造、二次利用等)等过程。包括材料消耗清单分析和能耗清单分析,根据生命周期评价的思想,在材料能耗计算时,应计算其生产原料的能耗。如果采用非能源物质作为原料,则原料的生产能耗应计入材料生产能耗;如果采用石油、天然气、煤等能源物质作为生产原料,则这些原料所含的能量与生产过程能耗均应计算到该材料的生产能耗中^[6]。

2.2 功能单位

在LCA分析中,功能单位是对产品系统输出功能的量度。功能单位的基本作用是在进行LCA时提供一个统一计量输入和输出的基准。功能单位必须有明确的计量单位并且是可测量的,以保证LCA分析结果的可比性。功能单位是在与之相关的因数或参数相同或相近的前提下规定的,本项研究确定建筑给水管材能耗功能单位为 tce/t 或 kgce/t。

2.3 生命周期的界定

管道生命周期在建筑里的概念应该包括生产、运输、建筑安装、运行和拆除等过程。其中生产工艺中涉及到许多材料消耗,这里为了简化问题,主要考虑一些对分析结果影响较大的因素。

一般建筑的使用寿命为 30~40 年、50~80 年或 150 年,有的建筑在使用过程中可能需要某种程度的改造和更新,本文建筑给水管道的生命周期按 50 年进行考虑。

2.4 待定方案

以某校家属院新建的 1 栋 8 层教职工住宅楼为例,层高 2.8 m,该楼 2 单元,每个单元 2 户,户型均为三室两厅两卫;主卫生间内设有浴盆(带淋浴器)、台式洗脸盆、坐便,次卫生间内设有淋浴器、洗脸盆、坐便和洗衣机,厨房内设有双格洗涤盆;每户南北阳台各设有 1 台空调,热水由家庭锅炉供给。该建筑给水系统设计过程中,在保证相同的输水能力下,本文拟选用硬聚氯乙烯管和镀锌钢管分别进行设计计算,用生命周期评价方法分析 2 种管材在整个生命周期内的能耗。

3 清单数据分析

3.1 材料消耗对比分析

经初步估算确定该建筑采用水泵—水箱联合给水方式,系统设 2 根引入管,分别通入 2 个单元。1 根引入管接 4 根给水立管,负责供给该单元 2 户用户的卫生间及厨房。

根据建筑的使用要求,确定各个管段的当量数,即可得到管段的设计秒流量。当管段的设计秒流量确定后,根据流量公式,通过流量和流速间的优化,确定各设计管段管径。2 种常用给水管材的用量对比见表 1。

表 1 硬聚氯乙烯管和镀锌钢管的规格及用量对比

材料	管径 /mm	管长 /m	单位近似 质量/(kg/m)	质量/kg	质量总 计/kg
硬聚氯乙烯管	20	182.4	0.17	31.008	85.712
	25	67.2	0.27	18.144	
	32	89.6	0.35	31.36	
	40	10	0.52	5.2	
镀锌钢管	20	164.8	1.63	268.624	824.496
	25	62.4	2.42	151.008	
	32	89.6	3.13	280.448	
	40	32.4	3.84	124.416	

3.2 材料生产及施工建设阶段能耗分析

1) 管材生产能耗对比

聚氯乙烯管的原材料单位生产能耗计算

生产聚氯乙烯的原料是氯乙烯,目前氯乙烯的主要生产工艺有直接氯化法、平衡氧氯化法和电石乙炔法。其中平衡氧氯化法是国际上最常用的方法,其能耗较少,每生产 1 t 氯乙烯消耗乙烯 0.492 t、氯 0.599 t、工序能耗为 0.09 tce/t^[7],乙烯和氯的单位生产能耗值分别为 1.935 tce/t、0.788 tce/t。生产聚氯乙烯的氯乙烯聚合法常用的是悬浮法,悬浮法生产聚氯乙烯的氯乙烯物料单耗为 1.01 t、工序能耗为 0.246 tce/t^[6],轻质碳酸钙的含量约为 5%(即生产 1 t 硬聚氯乙烯管(PVC-U 塑料管)需要轻质碳酸钙约 0.05 t、聚氯乙烯 0.95 t),对于 PVC-U 塑料给水管,轻质碳酸钙的能耗值约为 0.3 tce/t^[6]。具体见表 2 所示。通过 PVC-U 塑料原材料生产过程的物料和能量平衡关系可计算出其原材料能耗为 $(1 - 0.05) \times 1.01 \times (0.952 + 0.472 + 0.09) + (1 - 0.05) \times 0.246 + 0.05 \times 0.30 = 1.702$ tce/t。成型加工能耗为 0.32 tce/t^[6],则 PVC-U 管综合能耗为 2.022 tce/t。

表 2 聚氯乙烯单位生产能耗清单数据^[6]

材料名称	单位生产能耗 /(tce/t)	硬聚氯乙烯	
		原材料数量/t	原材料能耗/tce
乙烯	1.935	0.492	0.952
氯	0.788	0.599	0.472
轻质碳酸钙	0.3	0.05	0.015
合计	—	1.141	1.439

镀锌钢管的原材料单位生产能耗计算

镀锌钢管的主要原料是钢,而炼钢的原料主要是铁水、废钢、造渣剂等。炼铁过程实质上是将铁从其自然形态——矿石等含铁化合物中还原出来的过程。炼铁方法主要有高炉法、直接还原法、熔融还原法等,其原理是矿石在特定的条件下(还原物质 CO、H₂、C 和适宜温度等)通过物化反应获取还原后的生铁。生铁除了少部分用于铸造外,绝大部分作为炼钢原料。以高炉法为例,生产 1 t 铁需要混合矿 1.812 t、焦炭 0.5 t、煤粉 0.075 t^[8],烧结工序能耗 0.06 tce/t,炼铁工序能耗 0.41 tce/t^[9]。主要材料消耗及其单位生产能耗清单数据参见表 3。

表 3 镀锌钢管单位生产能耗清单数据^[8,10]

材料名称	单位生产能耗 /(tce/t)	镀锌钢管	
		原材料数量/t	原材料能耗/tce
混合矿	0.018	1.812	0.032 6
焦炭	1.117	0.5	0.559
煤粉	0.725	0.075	0.054 4
合计	—	2.387	0.646

钢管是由炼钢系统生产的钢锭或连铸坯作进一步的塑性加工而制成的。转炉炼钢的工序能耗为 0.024 tce/t,可计算出钢材的原生材料能耗为 0.646 + 0.06 + 0.41 + 0.024 = 1.14 tce/t。成型加工工序能耗为 0.278 tce/t^[10],则镀锌钢管综合能耗为 1.14 + 0.278 = 1.418 tce/t。

生产总能耗比较

根据管材的用量,可以推算出主要生产材料用量,由这些材料的综合能耗可以分别计算出所使用管材的总原材料消耗、总原材料能耗及综合能耗,见表 4。

表 4 镀锌钢管与聚氯乙烯管总生产能耗对比

管材	用量 /kg	单位材料 消耗/t	总原材料 消耗/t	单位原材料 能耗/(tce/t)	总原材料 能耗/kgce	单位综合 能耗/(tce/t)	总综合能耗 /kgce
PVC-U 管	85.712	1.141	0.098	1.702	145.88	2.022	173.31
镀锌钢管	824.496	2.387	1.968	1.14	939.93	1.418	1 169.14

2) 材料安装运输能耗

计算运输能耗时,矿石运输按国内生产计算,金属材料 and 原料的运量按 30 %由汽车运输、70 %由火车运输计算,金属矿石铁路运输的平均距离为 574 km,金属成品铁路货运的平均运距为 1 083 km,煤炭铁路运输的平均距离为 574 km,两者公路货运的平均运距均按 61 km 计算^[11]。铁路货运的能耗为 7.3 gce/(t·km),载货汽车运输的汽油消耗为 0.071 L/(t·km)^[12],汽油的热值为 34 823 kJ/L,则汽车货运的综合能耗为 84.4 gce/(t·km),由此计算出金属矿石原料综合运输能耗约为 5 kgce/t,金属成品运输能耗约为 7 kgce/t,详见表 5。能源生产和运输能耗均按煤炭计算,有关文献中镀锌钢管的综合运输能耗为 0.025 tce/t,硬聚氯乙烯管的运输能耗约为钢材的 25 %,即 0.006 3 tce/t^[12]。考虑到给水管道的安装耗能较小,分析过程中忽略这部分能耗。

3.3 运行阶段能耗对比

1) 直接能耗

表 5 金属矿石及金属成品单位运输能耗相关数据

	铁路 /km	公路 /km	铁路货 运能耗 /(gce/(t·km))	汽车货 运能耗 /(gce/(t·km))	单位运 输能耗 /(kgce/t)
金属矿石	574	61	7.3	84.4	4.5
金属成品	1 083	61	7.3	84.4	7.1

建筑物内给水系统管道常年运行的直接能耗是通过动力系统即提升水泵能耗来体现的。考虑到该建筑为 Ⅱ类住宅,用水定额可取范围为 130 ~ 300 L/(人·d)、K_h 范围为 2.3 ~ 2.8,取 q₀ = 215 L/(人·d)、K_h = 2.55。则最高日用水量 Q_d = 32 × 3.5 q₀ = 24.1 m³/d(每户按 3.5 人计),最高日最大时用水量 Q_h = Q_d/T × 2.55 = 24.1/24 × 2.55 = 2.56 m³/h。

因为城市管网可供水头不能满足内部用水点水压要求,所以需要一定的加压设备。系统采用水泵—水箱联合给水方式,采用不同进水管时,计算系统水泵所需扬程分别为 30.4 m 和 31.2 m,聚氯乙烯管运行阶段能耗肯定要小一些,但两者相差不大。由

于设计中选择同型号的水泵,这部分能耗差异要精确计算出来存在一定困难,本文认为2种系统的动

力消耗基本相等。根据水箱、水泵扬程要求选出水泵,见表6。

表6 IS型单级单吸悬臂式离心泵的参数

型号	流量 $Q/(m^3/h)$	扬程/m	转速 $n/(r/min)$	轴功率/kW	电动机功率/kW	效率/%	重量/kg
IS65-40-315	12.5	32	1 450	2.94	4	37	119

水泵流量按平均小时用水量考虑,经计算得水泵每天的运行时间为 $24.1/12.5 = 1.93$ h,则每天电耗 $W = PT = 4 \times 1.93 = 7.72$ kWh。本文给水管道的生命周期按50年计算,则整个生命周期的过程中给水管道的直接动力消耗为140 890 kWh,即56 919.6 kgce (1 kWh = 0.404 kgce = 11 080 kJ)。

2) 间接能耗

管道在使用过程中避免不了会出现一些事故,需要维修和维护,由于这部分能耗值较小,在整个生命周期评价中的影响较小,这里忽略。

3.4 总能耗分析

通过上面计算结果,建筑给水管管道生命周期能耗主要来源于运行阶段能耗,其也是建筑给水系统节能关注的重点。就单位原材料生产及运输能耗而言,1 t 硬聚氯乙烯的能耗为1.708 tce,1 t 镀锌钢管的能耗为1.165 tce,后者小于前者;硬聚氯乙烯管的用量为85.712 kg,镀锌钢管的用量为824.496 kg,后者用量远远大于前者。计算总能耗,可得镀锌钢管能耗大于硬聚氯乙烯管能耗,见表7。

表7 管材生命周期总能耗分析

项目		硬聚氯乙烯/kgce	镀锌钢管/kgce
材料生产及施工建设总能耗	原材料生产总能耗	173.31	1 169.14
	交通运输总能耗	0.54	20.612
	合计	173.85	1 189.75
运行阶段	直接能耗	56 919.6	56 919.6
	间接能耗	—	—
	合计	56 919.6	56 919.6
合计		57 093.45	58 109.35

4 结 论

1) 建筑给水系统生命周期能耗主要来源于直接运行能耗,因此建筑节能的重点仍然是系统的优化设计,系统设计方案优先考虑不提升或少提升;

2) 管道生命周期总能耗中运行能耗占据主导地位,故管道生命周期总能耗差别并不大;

3) 尽管管道材料生产及运输建设阶段能耗相对

于运行能耗而言很小,但大量的管材使用,大量建筑物的涌现,从宏观角度考虑,管道能耗的绝对值还是很大的;

4) 硬聚氯乙烯管生产及施工建设总能耗远远小于镀锌钢管,约为后者的1/7,从节能角度应推广使用硬聚氯乙烯管。

[参考文献]

- [1] 刘慧,孙勇,王春丽,等. 给水排水管材实用手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] Nalanie Mithraratne, Brenda Vale. Life cycle analysis model for New Zealand houses[J]. Building and Environment, 2004, 39(4): 483 ~ 492.
- [3] ISO. International Organization of Standardization 14040 — environmental management — life cycle assessment — principles and framework [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 1999.
- [4] ISO. International Organization of Standardization 14041 — environmental management — life cycle assessment — goal and scope definition and life cycle inventory analysis [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 1999.
- [5] ISO. International Organization of Standardization 14042 — environmental management — life cycle assessment — life cycle impact assessment [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2000.
- [6] 李兆坚. 常用塑料材料生命周期能耗计算分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2006, 14(1): 40 ~ 47.
- [7] 蓝凤样,柯竹天,苏明耀,等. 聚氯乙烯生产与加工应用手册[M]. 北京:化学工业出版社,1996.
- [8] 那树人. 炼铁计算[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [9] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [10] 李兆坚. 可再生材料生命周期能耗算法研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2006, 14(1): 51 ~ 57.
- [11] 国家统计局. 中国统计年鉴(2004) [M]. 北京:中国统计出版社,2004.
- [12] 国家统计局工业交通统计司,国家发展和改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2000 ~ 2002 [M]. 北京:中国统计出版社,2004.