

暖通空调制冷系统环境性能评价方法研究

中南大学 喻李葵[☆]
湖南大学 张国强

摘要 通过对 HVAC&R 系统环境性能评价方法的回顾,提出了一种新的评价方法。该方法基于专家问卷调查和层次分析法,确定各种环境影响因素的权重系数,根据各类污染物的排放总量和权重系数,计算各类污染物的当量值,将 HVAC&R 系统对环境的各类影响转化为一个统一的指标——黑点,从而直观、准确地表达 HVAC&R 系统对环境影响的大小。利用新方法对某办公楼空调系统的环境性能进行了模拟计算,结果表明该方法简单直观、切实可行。

关键词 HVAC&R 系统 环境性能 评价 全寿命周期 可持续发展

New assessment method for environmental performance of HVAC & R systems

By Yu Likui[★] and Zhang Guoqiang

Abstract Reviews the literatures on the assessment methods for the environmental performance of HVAC & R systems, and puts forward a new method, in which based on expert questionnaire survey and analytic hierarchy process method, defines the weights of various environment influencing factors, calculates equivalence of various pollutants based on the emission quantity and the weights calculated of various pollutants, and unifies all the influencing factors to a new unit—black point, which expresses the environmental performance of HVAC & R systems directly and precisely. Applies the method to calculating the environmental performance of the HVAC & R system in an office building. The results show that the new method is simple and effective.

Keywords HVAC & R system, environmental performance, assessment, full-life cycle, sustainable development

★ Central South University, Changsha, China

①

HVAC&R 系统与温室效应、酸雨和臭氧层破坏三大环境问题密切相关,因此,选用环境性能良好的 HVAC&R 系统对全球可持续发展具有重大意义。其中,首要工作就是对 HVAC&R 系统的环境性能进行评价,即采用数量化或等级化的手段对 HVAC&R 系统环境性能进行定量的描述,这样才能正确选择 HVAC&R 系统。

1 HVAC&R 系统现有的评价方法

HVAC&R 系统的环境性能是指 HVAC&R 系统在其全寿命周期内对周围环境(空气、水、土壤

和生物等各方面)产生的各种影响。根据全寿命周期评价理论^[1],HVAC&R 系统环境性能应包括其在制造、运输、安装、运行、维护以及拆除等全过程中对环境产生的所有影响。

常见的 HVAC&R 系统对环境的影响有:温

①☆ 喻李葵,男,1968 年 7 月生,工学博士,副教授
410083 长沙市岳麓山中南大学能源科学与工程学院
(0731) 8879863
E-mail: lkyu@mail.csu.edu.cn
收稿日期:2006-04-17
修回日期:2006-12-07

室效应、酸雨、臭氧层破坏、固体废弃物、废水、烟雾、悬浮颗粒物、噪声、热污染、军团病菌等。由于这些影响对环境危害的机理和后果大不相同,因此很难将它们集成一个统一的指标进行评价。在实际工作中,不同类型的 HVAC&R 系统在其全寿命周期中对环境影响的种类和强度一般都会不同,因此,正确地对 HVAC&R 系统环境性能进行评价是一个非常棘手的问题。

现阶段一般采用单要素评价方法评价 HVAC&R 系统的环境性能,即根据 HVAC&R 系统的某项环境影响进行评价^[2-3]。由于可以较好地模拟出单项环境影响的量值,因此单要素评价法由评价过程引起的误差较小。但这种评价法只考虑了单项环境影响的作用,忽略了 HVAC&R 系统的其他环境影响,因此评价结果存在先天不足问题,即评价模型不准确。

为克服单要素评价法评价模型不准确的缺点,一些研究者尝试采用综合评价方法对 HVAC&R 系统的环境性能进行评价^[4]。但这些方法的评价过程比较烦琐,且评价结果受人为因素的影响很大,客观性不强,故很难得到认可和推广。不过,由于综合评价法全面考虑了 HVAC&R 系统的各项环境影响,因此是 HVAC&R 系统环境性能评价的必然发展方向。

2 新的评价方法

根据对 HVAC&R 系统环境性能及现有评价方法的分析,借鉴国外一些环境性能评价方法,如 Eco-indicator^[5]等,笔者提出了一种 HVAC&R 系统环境性能评价新方法。该方法首先定义一个环境影响公共基本单位,按照一定方法对 HVAC&R 系统的各种环境影响进行分类,计算出各类环境影响对公共基本单位的当量值,根据当量值对 HVAC&R 系统全寿命周期内的各类环境影响进行量化,最后,将各类环境影响的量化值进行累加,即可得到代表整个 HVAC&R 系统的环境性能

值。采用这种评价方法,不仅可以对 HVAC&R 系统的环境性能进行纵向的比较,而且还可以在在不同的 HVAC&R 系统之间进行横向评价。

新评价方法的主要思想如下:

1) 对于 HVAC&R 系统,制造、运输、安装以及施工阶段对环境的影响相对比较小,因此,在不影响评价结果的前提下,评价方法只考虑了 HVAC&R 系统的运行(包括维护)和拆除两个阶段;基于同样的原因,本方法忽略了一些影响较小的环境因素,只考虑了温室效应、酸雨、臭氧层破坏、固体废弃物和废水五类主要环境影响。

2) 借鉴国外研究经验^[6-8],对国内 120 位相关专家进行问卷调查,共收回问卷 76 份,其中有效问卷 71 份,得到对各种环境影响危害性的口头评价(见表 1),然后,利用层次分析法^[9]对调查结果进行处理,得到各类环境影响的权重系数(见表 2)。

表 1 问卷调查结果

环境影响种类	很大	大	一般	小	很小	总分	平均分
温室效应	7	38	19	7	0	445	6.268
酸雨	27	38	6	0	0	539	7.592
臭氧层破坏	6	21	37	6	1	405	5.704
废水	60	8	2	1	0	609	8.577
固体废弃物	44	20	6	0	1	567	7.986

表 2 各类环境影响权重系数

	温室效应	酸雨	臭氧层破坏	固体废弃物	废水
权重系数	0.110 433	0.213 487	0.072 858	0.231 520	0.371 702

3) 权重系数确定以后,各类环境影响在被研究区域内总环境危害中所占比例即已确定。因此,如果可以确定一定时期内被研究区域内各类环境影响的排放总量,就可以根据权重系数计算出该研究区域内各类环境影响危害的当量值。表 3 为 1999 年我国各类环境影响的排放总量^[10-12],其中,温室效应和臭氧层破坏等全球效应采用当量排放总量,即全球人均排放值乘以我国人口总数,其他环境影响取我国的实际排放量。表 4 即为根据这些数据计算得到的各类环境影响当量值。

表 3 1999 年我国各类环境影响的排放(或效用)总量

	温室气体(CO ₂ 当量)/(10 ⁴ t)	酸雨气体(SO ₂ 当量)/t	ODS(CFC11 当量)/t	固体废弃物/(10 ⁴ t)	废水/(10 ⁴ t)
工业		15 660 000		88 840	2 026 282
生活		3 811 833		13 470.4	2 302 341
合计	509 814	19 471 833	53 214.4	102 310.4	4 328 623

根据各类环境影响当量值,可计算出我国现阶段生产 1 kWh 电力的平均环境影响中各种影响所占比例,其中固体废弃物 21%,废水 9%,温室气体

19%,酸雨气体 51%。

4) 为更好地表达量化结果,定义了一个环境影响公共基本单位——黑点。由于在 HVAC&R

表 4 各类环境影响当量值

	10 ⁴ t CO ₂ 当量	10 t SO ₂ 当量	1 t CFC11 当量	10 ³ t 固体废弃物	10 ⁴ t 废水
10 ⁴ t CO ₂ 当量	1	1.975 7	0.158 2	0.957 2	2.522 6
10 t SO ₂ 当量	0.506 1	1	0.080 1	0.484 4	1.276 7
1 t CFC11 当量	6.321 1	12.484 4	1	6.050 6	15.946 3
10 ³ t 固体废弃物	1.044 7	2.064 4	0.165 3	1	2.635 5
10 ⁴ t 废水	0.396 4	0.783 3	0.062 7	0.379 4	1

系统对周围环境的影响中,能源消耗带来的环境影响所占的比例最大,又由于在这些消耗的能源中,以电力形式消耗的能源最多,因此黑点采用与电力直接关联的定义:一个黑点即代表被研究区域内现阶段生产 1 kWh 电力(包括火电、水电和核电)过程中平均对周围环境造成的影响,这样就可以更加形象地表示建筑系统的环境性能。表 5 为根据我国 1999 年电力生产统计数据^[12]计算得到的黑点值。

表 5 HVAC&R 系统环境性能评价
基本单位——黑点值的定义

	环境影响种类			
	CO ₂ /kg	SO ₂ /g	固体废弃物/kg	废水/kg
排放量	0.836 5	4.988 4	0.161 2	1.372 8

5) 根据黑点的定义和各类环境影响的当量值,可以计算出 1 000 黑点对应于各类环境影响的当量值。具体计算结果为:1 000 黑点环境影响分别等于 5 589.37 kg CO₂ 排放造成的环境影响,11.04 kg SO₂ 排放造成的环境影响,88.42 g CFC11 排放造成的环境影响,535.01 kg 固体废弃物排放造成的环境影响,14.10 t 废水排放造成的环境影响。

6) 计算出 HVAC&R 系统全寿命周期内的各类环境影响总量,然后根据当量值将各类环境影响转变为采用黑点表示的具体值,最后,将各类环境影响的黑点值累加,即可以对被研究 HVAC&R 系统的环境性能直接进行评价。

3 能源消耗的全寿命周期环境影响

在 HVAC&R 系统对周围环境的影响中,与能源消耗有关的环境影响最大,但在传统的能源消耗环境影响计算中,往往只考虑了能源在使用过程中对周围环境的影响,而忽略了能源生产过程中对环境的影响,例如,在很多的文献中,经常认为电是一种清洁能源,但如果从全寿命周期的角度进行分析,则可能得出完全相反的结论。

表 6 为采用全寿命周期方法计算得到的我国

五种能源消耗对周围环境的平均影响。

表 6 我国五种能源消耗对环境的平均影响

能源种类	项目	CO ₂ 排放量/kg	SO ₂ 排放量/g	固体废弃物/kg	废水/kg
煤/t	生产过程直接	24.70	217.28	155.66	619.34
	生产过程间接	34.38	204.66	8.9	72.17
	使用	2 407.81	24 632.61	422.81	0
	合计	2 466.89	25 054.55	587.37	691.51
燃料油/t	生产过程直接	64.56	851.65	17.64	1 657.07
	生产过程间接	304.85	1 033.12	37.4	1 114.67
	使用	2 148.50	10 496.85	2.1	0
	合计	2 517.91	12 381.62	57.14	2 771.74
天然气/t	生产过程直接	138.17	117.31	6.63	683.74
	生产过程间接	131.13	720.06	24.37	359.89
	使用	1 645.41	15.04	0	0
	合计	1 914.67	852.41	31	1 043.63
电力/t	生产过程直接	6 555.17	38 932.71	782.26	8 506.75
	生产过程间接	251.23	1 655.98	529.31	2 663.61
	使用	0	0	0	0
	合计	6 806.40	40 588.59	1 311.57	11 170.36
热力/t	生产过程直接	2 842.92	13 051.71	325.56	14 609.69
	生产过程间接	125.2	757.81	181.29	1 195.65
	使用	0	0	0	0
	合计	2 968.12	13 809.52	506.85	15 805.34

注:1) 相关数据取自《中国能源统计年鉴(1997—1999)》;我国燃煤的含硫量取 1.1%,原油的含硫量取 0.12%,天然气的含硫量取 10 mg/m³。

2) 各类能源折合标准煤,单位为 t。

根据全寿命周期评价的理论,在 HVAC&R 系统环境性能的评价中,能源消费的环境影响应该按全寿命周期计算。

4 应用实例

为验证本文提出的 HVAC&R 系统环境性能量化方法,以某办公大楼空调系统运行时的环境性能为对象进行计算和评价。该大楼建筑面积为 20 000 m²,全年空调。冬季以燃油锅炉(2 台,耗油量 180 L/h)供热,夏季采用以 R11 为制冷剂的离心式冷水机组供冷,过渡季节利用全新风进行通风。制冷机和锅炉的累计运行时间均为 900 h/a,风机累计运行时间为 12 月/a×25 d/月×9 h/d=2 700 h/a。空调设备详见表 7。

空调系统的能耗采用当量满负荷运行时间法

计算,计算结果见表 8。

表 7 大楼空调设备明细表

	台数	额定功率/ kW	备注
离心式制冷机(冷水机组)	2	300	
冷水一次泵	2	5.5	
冷水二次泵	2	11	台数控制
冷却水泵	2	11	
冷却塔	2	5.5	
变风量送风机	2	55	VAV 系统
定风量送风机	2	22	CAV 系统
变风量回风机	2	15	
定风量回风机	2	5.5	
排风风机	1	22	
风机盘管机组	240	0.065	
锅炉给水泵	2	3.7	
锅炉供油泵	1	0.4	
锅炉燃油器	2	6	

表 8 空调系统的年运行能耗

	夏季	冬季	过渡季节	合计
耗电量/(kWh)	561 626.5	203 785.5	177 948	943 360
耗油量/t	0	223.074	0	223.074

根据能源消耗的全寿命周期环境影响系数和黑点当量值,可以计算出这栋大楼的空调系统每年对周围环境的影响总量。计算结果见表 9。

表 9 大楼空调系统每年对周围环境的影响总量

	夏季	冬季	过渡季	全年合计	占全部比例/%
温室效应					
1 t CO ₂	469.80	973.13	148.86	1 591.79	9.11
10 ³ 黑点	84.05	174.10	26.63	284.78	
酸雨					
1 kg SO ₂	2 801.59	4 963.63	887.67	8 652.89	25.08
10 ³ 黑点	253.77	449.6	80.40	783.77	
臭氧层破坏					
1 g CFC11	140 000	0	0	140 000	50.67
10 ³ 黑点	1 583.35	0	0	1 583.35	
固体废弃物					
1 t	90.53	51.06	28.68	170.27	10.19
10 ³ 黑点	169.21	95.44	53.61	318.26	
废水					
1 t	771.02	1 163.37	244.30	2 178.69	4.95
10 ³ 黑点	54.68	82.51	17.33	154.52	
合计/10 ³ 黑点	2 145.06	801.65	177.97	3 124.68	100
占全年比例/%	68.65	25.66	5.69	100	

注:离心式制冷机的制冷剂为 CFC11,单台充注量大约为 700 kg,年泄漏率按 10% 计算。

从表 9 可以看出,这栋大楼空调系统对臭氧层的危害最大,占其整个环境影响的一半,因此,如果要提高该大楼空调系统的环境性能,首要的选择是采用臭氧层破坏指数为 0 或较低的物质作制冷剂的冷水机组。另外,减少制冷剂的泄漏也是改善这栋大楼空调系统环境性能的较好方法。例如,将年泄漏率由现在的 10% 减少到 1%,则改进后空调系统对环境的影响只有原来的 45.61%。

5 结论

传统的 HVAC&R 系统环境性能评价一般采

用单因素评价方法,虽然使用简单,但存在较大的不完备性;现有的综合评价方法过程烦琐,且人为因素较大,也不适合实际工程使用。本文提出的新评价方法通过对 HVAC&R 系统全寿命周期内环境影响进行计算,然后将全部环境影响直接量化为统一的计量单位。根据本文提出的评价方法对某办公楼空调系统的环境性能进行了模拟评价,结果表明该方法切实可行,且具有较好的实用性。

参考文献

- [1] International Standards Organization. International standard 14040 environmental management life cycle assessment principles and framework [S], 1997
- [2] 李夏莉,李树林,刘咸定. 溴化锂吸收式制冷装置对环境影响因素的分析[J]. 制冷学报,1999(2):54-57
- [3] 王长庆,龙惟定,丁文婷. 直燃型溴化锂吸收式机组与风冷热泵机组的一次能耗比较[J]. 流体机械,2001,29(7):35-39
- [4] 谷波,孙涛,陆震,等. 基于多元评价函数的蓄冷式空调系统优化分析[J]. 制冷学报,2001(1):12-16
- [5] Goedkoop M, Spriensma R. The eco-indicator 99: a damage oriented method for life cycle impact assessment [M]. 2nd ed. Netherlands: PRé Consultants, 2000, 88-139
- [6] Steen B, Ryding S O. The EPS environment-accounting method [M]. Gothenburg: IVL, 1992: 67-95
- [7] United States Environmental Protection Agency, Science Advisory Board. Reducing risk: setting priorities and strategies for environmental protection (SAB-EC-90-021) [R]. Washington D C: EPA, 1990: 13-14
- [8] Norberg B V. International comparisons of environmental hazards: development and evaluation of a method for linking environmental data with the strategic debate management priorities for risk management [M]. Oxford: Harvard University, 1992: 316-319
- [9] Saaty T L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation [M]. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1980
- [10] Carbon Dioxide Information Analysis Center. A compendium of data on global change [R]. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 2003: 112-114
- [11] Ozone Secretariat of UNEP. Production and consumption of Ozone depleting substances under the Montreal Protocol (1986-2000) [R]. Kenya: UNEP, 2002:107-112
- [12] 中华人民共和国国家统计局. 中国 2002 年统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社,2003