

文章编号:1673-9469(2010)02-0054-06

邯郸东武仕水库表层水体多环芳烃的环境意义

张景森¹,张静²,张景广³,巩佳琨⁴,杜文堂¹

(1.河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038;2.河北工程大学 图书馆,河北 邯郸 056038;
3.邯钢集团邯宝钢铁有限公司,河北 邯郸 056003;4.河海大学 土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:采用气相色谱法对邯郸市东武仕水库水样进行了16种EPA优控多环芳烃(PAHs)的定量分析,共检测出7种PAHs单体,总质量浓度为7.28 μg/L。PAHs组成以4环和6环的高分子量PAHs为主,占总含量的79.6%,远大于低分子量组分。其中苯并(a)蒽占总量的51.8%、苯并(g,h,i)芘占15.8%,其它依次是菲、茚并(1,2,3-cd)芘、苯并(b)荧蒹、芴和荧蒹。水库水体PAHs主要源于煤炭的不完全燃烧排污,其次是矿井排水。结果表明,PAHs总浓度和各单体浓度均较高,存在明显的多环芳烃污染,可能会对当地环境产生潜在的生态风险,应当引起人们和有关部门的高度重视。

关键词:多环芳烃;环境污染;生态风险;水体;东武仕水库;邯郸

中图分类号:X131.2

文献标识码:A

Environmental implication of PAHs in surface water of Dongwushi reservoir in Handan

ZHANG Jing-sen¹, ZHANG Jing², ZHANG Jing-guang³, GONG Jia-kun⁴, DU Wen-tang¹

(1. College of Natural Resource, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Library, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 3. Hanbao Steel Co. Ltd., Handan Steel Group, Hebei Handan 056003, China; 4. School of Civil Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

Abstract: The prior 16 kind of PAHs in pollutants controlled by the US EPA have been analyzed with gas chromatography (GC) in the water sample from Dongwushi Reservoir in Handan, and 7 kind of PAHs are detected with a total mass concentration of 7.28 μg/L. The high molecular weight PAHs with 4 and 6 benzene rings predominate in PAHs components with 79.6 percent, much more than the low molecular weight components. Among them, benz(a)anthracene accounts for 51.8 percent, benzo(g,h,i)perylene does 15.8 percent, and others else from more to less are phenanthrene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, benzo(b)fluoranthene, fluorene and fluoranthene, respectively. Such distribution suggests that PAHs in the Reservoir water derive mainly from pollution of incomplete combustion of coal, and lesser from the drainage of coal mine. The high concentration of total PAHs and members indicates that an evident PAHs pollution has occurred in the water body, and in all probability brings potential ecological risk to the environment, to which the people and local government ought to pay much more attention.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); environmental pollution; ecological risk; water body; Dongwushi reservoir; Handan city

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons,简称PAHs)是指分子中含有两个或两个以上苯环的碳氢化合物,广泛存在于大气、水体、土壤和生物

体等环境中,有相当一部分具有致癌、致畸、致突变性质,且难降解、易积累。在环境中由于其低水溶性和高亲脂性,较容易分配到生物体内并通过

收稿日期:2009-11-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40872056);河北省教育厅科学研究计划项目(Z2008202)

特约专稿

作者简介:张景森(1966-),男,山东泗水人,博士,副教授,从事岩石学与矿床学、环境地质学等领域研究与教学工作。

食物链进入生态系统, 从而对生态系统安全和人类健康构成很大的危害^[1-2]。许多学者对大气、河流和海岸水体及其沉积物、地下水、土壤以及工业园区等各种环境中 PAHs 浓度和存在状态进行了监测^[3-21], 并对环境中 PAHs 降解机理和降解技术进行了研究^[22]。

东武仕水库地处邯郸市西南约 30km, 是滏阳河干流上游重要的以城市防洪、农业灌溉、向邯郸市供水及发电、养殖综合利用的大型水利工程。近年来, 对滏阳河及东武仕水库水质污染状况的监测和研究工作受到重视^[23-27], 主要以水质污染状况的评价为主, 然而现有的 BOD、COD 等综合污染指标并不能正常反映地表水有毒有害有机污染物(如多环芳烃)的污染风险^[4]。在邯郸地区, 对多环芳烃污染的研究仅见对邯郸钢铁集团厂区土壤有机污染的研究^[18], 而对水体中 PAHs 污染研究尚未见相关报道。为了解矿区煤炭资源开发及工业发展对该区地表水环境的影响, 本文对东武仕水库表层水采样检测多环芳烃含量, 初步分析其来源和生态环境风险, 为有效管理水资源、保证生态环境质量、保障人群健康提供科学依据。

1 自然环境概况

东武仕水库地处峰峰矿区和磁县之间, 隶属磁县管辖。水库控制地表流域面积约 340km², 地下水集水面积约 2 400km², 总库容 1.52 亿 m³^[23]。水库上游流域内地势总体西高东低, 分布有南北向展布的鼓山、莲花山、贾壁山等背斜构造山以及和村向斜-断陷型盆地, 出露有寒武-奥陶纪碳酸盐岩地层和第四纪松散沉积物(图 1), 第四系下伏地层主要是石炭-二叠纪含煤岩系。地下水流域为著名的邯邢岩溶水文地质南单元, 主要接受西部和中部灰岩山区大气降水和地表水的补给, 由南、西、北三面向该区中部和东部径流, 以大型水源地集中开采和矿井疏排形式排泄, 向东径流部分受灰岩埋深加大和断层阻水影响在黑龙洞一带以泉群排泄, 成为水库水的重要来源^[28]。区内峰峰镇、临水镇和彭城镇以及上游的和村镇是重要的人口聚集区, 同时也是集煤碳、建材、陶瓷、电力、化工、造纸为一体的老工业区, 对滏阳河和水库的水环境影响极大。

2 多环芳烃检测结果

水样采取时间为 2009 年 3 月 15 日, 采样地点

位于水库南侧岸边(图 1)。采样时在水面以下 0.5m 处取水, 按照国家环境保护总局《地表水和污水监测技术规范》^[29]要求洗涤容器和保存水样。

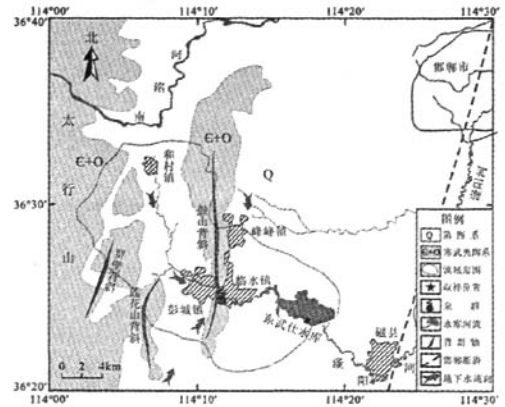


图 1 东武仕水库地理位置简图

Fig. 1 Geographic map of Dongwushi reservoir

检测分析工作在河北工程大学分析测试中心实验室利用气相色谱法完成。使用 Agilent 6890N - FID 气相色谱仪和 HP - 5 色谱柱, 初温 60℃, 以 4℃/min 的速率升至 290℃, 并保持 10min, 进样口温度 280℃, 检测器温度 320℃, 进样量 1μL, 不分流。

水样定量检测了美国环保署(EPA)优控的 16 种多环芳烃单体, 有 7 种被检出, 分别是芴、菲、荧蒹、苯并(a)蒹、苯并(b)荧蒹、茚并(1,2,3-cd)芘和苯并(g,h,i)芘, 其总质量浓度为 7.28μg/L。其中浓度最高的单体为苯并(a)蒹, 占总量的 51.8%; 其次为苯并(g,h,i)芘, 占 15.8%。其它单体相对较少, 由多到少依次是菲、茚并(1,2,3-cd)芘、苯并(b)荧蒹、芴和荧蒹。检测结果见表 1。

3 分析与讨论

3.1 PAHs 来源分析

地表水中多环芳烃污染主要来源于石油化工等工业排放污水和化石燃料的不完全燃烧, 不同苯环数组分的分布特征和 PAHs 异构体分子比值可以反映其来源。一般认为, 2~3 环的低分子量 PAHs 主要来源于石油化工类污染, 石油泄漏和石油类产品、煤等化石燃料和木柴的低至中等温度条件下的燃烧; 4~6 环的高分子量 PAHs, 主要由化石燃料高温不完全燃烧产生^[3,14,30-33]。通常可用低分子量与高分子量 PAHs 的比率(LMW/HMW,

表1 东武仕水库水样中多环芳烃分析结果

Tab.1 Analysis of PAHs in water sample from Dongwushi reservoir

中文名称	缩写	分子式	分子量	苯环数	质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	百分比/%
萘	Nap	C_{10}H_8	128	2	nd	-
蒽烯	Acy	C_{12}H_8	152	3	nd	-
蒽	Ace	$\text{C}_{12}\text{H}_{10}$	154	3	nd	-
芴	Flu	$\text{C}_{13}\text{H}_{10}$	166	3	0.38	5.2
菲	Phe	$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$	178	3	0.64	8.8
蒽	Ant	$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$	178	3	nd	-
荧蒽	Fla	$\text{C}_{16}\text{H}_{10}$	202	4	0.24	3.2
苊	Pyr	$\text{C}_{16}\text{H}_{10}$	202	4	nd	-
苯并(a)蒽*	BaA	$\text{C}_{18}\text{H}_{12}$	228	4	3.77	51.8
屈(1,2-苯并菲)*	Chr	$\text{C}_{18}\text{H}_{12}$	228	4	nd	-
苯并(b)荧蒽*	BbF	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	252	5	0.47	6.5
苯并(k)荧蒽*	BkF	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	252	5	nd	-
苯并(a)苊*	BaP	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	252	5	nd	-
二苯并(a,h)蒽*	DBA	$\text{C}_{22}\text{H}_{14}$	278	5	nd	-
茚并(1,2,3-cd)苊*	InP	$\text{C}_{22}\text{H}_{12}$	276	6	0.63	8.7
苯并(g,h,i)苊*	BghiP	$\text{C}_{22}\text{H}_{12}$	276	6	1.15	15.8
总质量浓度	ΣPAHs	-	-	-	7.28	100.0

注: nd—未检出; *—有致毒性

分子量大于 202 者属 HMW)作为判断 PAHs 来源的指标,LMW/HMW 值 > 1 指示 PAHs 主要来源于石油污染;LMW/HMW 值 < 1 指示 PAHs 主要来源于燃烧^[34-36]。常用的比值法如 Fla/Pyr、Phe/Ant、InP/(InP + BghiP) 等,多用于沉积物来源判别^[37-38],而此水样中未检测到常用比值的分母成分,比值法不可用。水样不同环数 PAHs 组分的分布特点(表 1,图 2)表明:多环芳烃含量为 4 环 > 6 环 > 3 环 > 5 环,4 环及 4 环以上 PAHs 占总 PAHs 的 86%,仅 4、6 环成分就占 80%,4 环者占总组分的 55%,6 环者占总组分的 25%,3 环和 5 环分别占 14%和 6%。水样 LMW/HMW 值仅 0.21 表明其明显的燃烧来源。这一特征与国内其它地区多以 23 环 PAHs 如萘、芴、菲为主的由石油化工等工业污染的水体^[4,7-8,19,21]明显不同,说明 PAHs 污染物应该主要由该地区煤炭等在中、高温下的不完全燃烧产生。苯并(a)蒽和苯并(g,h,i)苊主要来自于煤燃烧,少量可能与机动车尾气排放有关。

煤矿区矿井排水和煤矸石淋滤也可以向地表水体输送 PAHs。一些煤矿区地表水和河水 LMW/HMW 值一般小于 1,而矿井水则大于 1^[39];苯并(a)蒽和苯并(g,h,i)苊等在矿井排水和煤矸石淋滤水中浓度低、所占比例小^[40]。这表明矿井排水和煤矸石淋滤对水库水体中 PAHs 来源虽可有一定贡献,但不大可能是主要来源。

峰峰矿区作为工业发达、人口密集的老工业区,每天产生大量的工业废水、生活污水流入河道,成为水库水质最主要的污染源^[23]。据环境监测报道,1990 年以来入水库为 V 类水,坝区为 IV 类水;近年来加大了控制力度,再加上水库本身的自净作用,出水库水可达到 III 类地表水标准。因此,工业和生活污染也是水体 PAHs 污染的最主要原因。

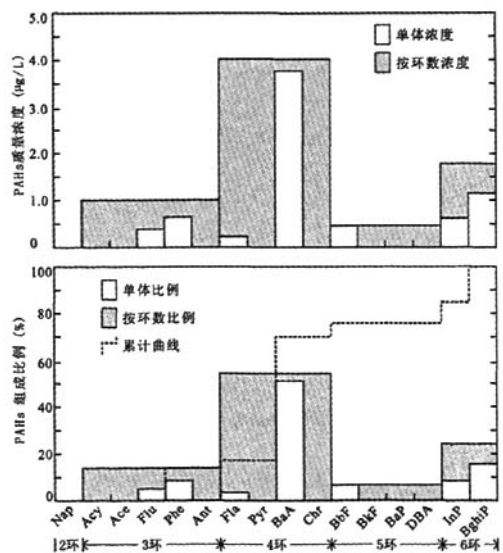


图2 水样多环芳烃组成分布图

Fig. 2 PAHs composition distribution

3.2 环境风险

水体中 PAHs 浓度 $> 10\mu\text{g/L}$ 时则表明水体受到严重的 PAHs 污染,而在 $10\mu\text{g/L}$ 以内则表明水体受到工业源、船运、大气沉降和城市径流 PAHs 的影响^[31]。水库水中 PAHs 总质量浓度达 $7.28\mu\text{g/L}$,比世界一些低污染水域(如波罗的海、爱琴海、多瑙河口、塞纳河、密西西比河、纽约港、墨西哥湾及欧洲一些偏远地区高山湖泊)和我国的西江、珠江河口、九龙江河口和西厦门海水等水体中 PAHs 浓度高几十至几百倍以上,而处于国内一些主要受污染河流 PAHs 浓度范围^[19,21,41-46],如大亚湾 $4.23 \sim 29.33\mu\text{g/L}$ 、杭州河 $0.99 \sim 9.66\mu\text{g/L}$ 、闽江口 $9.90 \sim 474.00\mu\text{g/L}$ ^[46] 和大辽河水系 $1.13 \sim 251.96\mu\text{g/L}$ ^[21] 等。这些水域遭受严重污染的主要原因就是工业废水和城市生活污水的排放以及城市径流。水库水体 PAHs 浓度已接近对生物有机体有危害的浓度 $10\mu\text{g/L}$,会对生物造成一定的危害^[47-48]。

多环芳烃(尤其是四到六环的稠环型芳烃)最突出的特性是具有强致癌性、致畸性及致突变性。地表水环境质量标准对 PAHs 单体含量要求各国有所不同。我国仅对强致癌物苯并(a)芘规定限值为 2.8ng/L ^[49]。美国 EPA 地表水水质标准(EPA822-Z-99-001)对苯并(a)蒽、蒽(1,2-苯并菲)、苯并(b)荧蒹、苯并(k)荧蒹、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-cd)芘 7 种单体推荐标准均为 4.4ng/L 。其中浓度最小的苯并(b)荧蒹也超过 EPA 标准的 100 倍,表明多环芳烃污染已经相当严重。这种 PAHs 污染在地面水中浓度较低、较难氧化,对常规污染监测指标 BOD_5 、COD 的贡献非常小,因而用 BOD 、COD 等常规指标衡量地面水有机污染状况常常掩盖了地面水 PAHs 等“三致”物质有毒有害有机物的污染风险^[4]。

对地表水体 PAHs 监测研究表明,其 PAHs 浓度随时间、季节、降水等变化常有较大的浮动,通常夏季高而春季低,丰水期面源输入较大^[4,16]。夏季雨量增加,人为活动产生的 PAHs 通过地面径流和大气沉降不断向水体输入,使水和悬浮物中的 PAHs 浓度增高。本研究中水样采取时间为春季,此前长时间以来降水稀少,PAHs 浓度可能是较低值。水库的静水环境也有利于多环芳烃向水底沉淀。也就是说,实际污染程度可能比样品检测结果更严重。

综合来看,水库水中多环芳烃浓度已经很高,

对环境很可能存在较大的潜在生态风险,应引起人们和有关部门的足够重视。

4 结论与建议

1) 在东武仕水库水体中 16 种优控 PAHs 检测出 7 种,总质量浓度为 $7.28\mu\text{g/L}$,相对较高,水域存在明显的多环芳烃污染。

2) 水库水中 PAHs 以 4~6 环高分子量成分为主,主要由煤炭等不完全燃烧形成,区域内工业和生活污水的直接排入是其主要来源,矿井排水贡献较小。

3) 多环芳烃污染的环境风险较高,可能存在着对生物的潜在危害,建议对相关地区广泛开展多环芳分布特征、来源、变化规律、降解、生态影响等问题的深入研究。

参考文献:

- [1] YUAN S Y, WEI S H, CHANG B V. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by a mixed culture [J]. *Chemosphere*, 2000(41): 1463-1468.
- [2] RAVELET C, GROSSET C, MONTUELLE B, *et al.* Liquid chromatography study of pyrene degradation by two micro-mycetes in a freshwater sediment [J]. *Chemosphere*, 2001(44): 1541-1546.
- [3] MAGI E, BIANCO R, IANNI C, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 119 (1): 91-98.
- [4] 朱利中, 陈宝梁, 沈红心, 等. 杭州市地面水中多环芳烃污染现状及风险 [J]. *中国环境科学*, 2003, 23 (5): 485-489.
- [5] 李军, 张干, 祁士华. 广州市大气中多环芳烃分布特征、季节变化及其影响因素 [J]. *环境科学*, 2004, 25 (3): 7-13.
- [6] 田蕴, 郑天凌, 王新红. 厦门西港表层沉积物中多环芳烃(PAHs)的含量、分布及来源 [J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35 (1): 15-20.
- [7] 田蕴, 郑天凌, 王新红. 厦门西港表层海水中多环芳烃(PAHs)的含量、组成及来源 [J]. *环境科学学报*, 2004, 24 (1): 50-55.
- [8] 杨清书, 欧素英, 谢萍, 等. 珠江虎门潮汐水道水体中多环芳烃的分布及季节变化 [J]. *海洋学报*, 2004, 26 (6): 37-48.
- [9] 金晓辉, 胡建英, 万祎, 等. 多环芳烃在饮用水处理中的行为研究 [J]. *中国给水排水*, 2005, 21 (7): 14-16.

- [10] 刘国卿, 张干, 李军, 等. 多环芳烃在珠江口的百年沉积记录[J]. 环境科学, 2005, 26(3): 141-145.
- [11] 罗孝俊, 陈社军, 麦碧娟, 等. 珠江及南海北部海域表层沉积物中多环芳烃分布及来源[J]. 环境科学, 2005, 26(4): 129-134.
- [12] 罗孝俊, 陈社军, 麦碧娟, 等. 珠江三角洲地区水体表层沉积物中多环芳烃的来源、迁移及生态风险评价[J]. 生态毒理学报, 2006, 1(1): 17-24.
- [13] 陈卓敏, 高效江, 宋祖光, 等. 杭州湾潮滩表层沉积物中多环芳烃的分布及来源[J]. 中国环境科学, 2006, 26(2): 233-237.
- [14] 张迪瀚, 马永亮. 北京市大气颗粒物中多环芳烃(PAHs)污染特征[J]. 环境科学, 2006, 27(7): 1269-1275.
- [15] 黄云碧, 周家斌, 王铁冠. 北京地区大气颗粒物中不同功能区多环芳烃的分布特征[J]. 燃料化学学报, 2007, 35(4): 222-227.
- [16] 沈琼, 王开颜, 张巍, 等. 北京市通州区地表水中多环芳烃的分布与季节变化[J]. 环境化学, 2007, 26(4): 523-527.
- [17] 孙娜, 陆晨刚, 高翔, 等. 青藏高原东部土壤中多环芳烃的污染特征及来源解析[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 664-668.
- [18] SUN Y Z, JIAO W W, FAN J S. Organic pollution of Handan Iron and Steel Co. Ltd. in Handan city, China [J]. World Journal of Engineering, 2007, 4(2): 68-78.
- [19] 邓红梅, 陈永亨. 西江水体中多环芳烃的分布特征[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2009, 8(2): 66-71.
- [20] 赵健, 周怀东, 陆瑾, 等. 河北王快水库沉积物多环芳烃的分布、来源及生态风险评价[J]. 湖泊科学, 2009, 21(5): 647-653.
- [21] 郭伟, 何孟常, 杨志峰, 等. 大辽河水系表层水中多环芳烃的污染特征[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1534-1538.
- [22] 杨兰芳, 王向琴, 李军, 等. 红壤和潮土降解苯并(a)蒽的初步研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2008, 26(3): 282-286.
- [23] 郭凤霞. 东武仕水库水质状况及污染原因[J]. 河北水利科技, 1997, 18(3): 17-18.
- [24] 庞彦军, 刘开第, 姚立根. 滏阳河水水质综合评价[J]. 运筹与管理, 2001, 10(1): 82-88.
- [25] 朱长军, 周继红. 灰色聚类方法在滏阳河水环境质量评价中的应用[J]. 河北建筑科技学院学报(自然科学版), 2003, 20(4): 11-14.
- [26] 白峰青, 蒋勤明, 丁玉芮, 等. 复合人工湿地处理邯郸市多元污水的中试研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(2): 29-31.
- [27] 王慧勇, 刘世虹. 邯郸市主城区滏阳河水水质状况分析及防治对策[J]. 河北建筑科技学院学报(社会科学版), 2005, 22(3): 36-37.
- [28] 王夕明, 张景森, 张静, 等. 磁西煤系下岩溶热水水文地球化学特征及成因[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2009, 26(3): 97-101.
- [29] HJ/T91-2002, 地表水和污水监测技术规范[S].
- [30] TOLOSA I, BAYONA J M, ALBAIGES J. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and sulfur/oxygen derivatives in northwestern Mediterranean sediments: Spatial and temporal variability, fluxes, and budgets [J]. Environmental Science and Technology, 1996, 30: 2495-503.
- [31] TOLOSA I, MORA S D, SHEIKHOLESLAMI M R, et al. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian sea sediments [J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48: 4-60.
- [32] YUAN D X, YANG D L, WADE T, et al. Status of persistent organic pollutants in the sediment from several estuaries in China [J]. Environmental Pollution, 2001, 114: 101-111.
- [33] 于国光, 王铁冠, 吴大鹏, 等. 北京市大气气溶胶中多环芳烃的研究[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(1): 72-78.
- [34] SICRE M A, MARTY J C, SALIOT A. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in the different sized aerosols over the Mediterranean Sea: occurrence and origin [J]. Atmospheric Environment, 1987, 181: 265-278.
- [35] WISE S A, BENNER B A, BYRD G D. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in a coal tar standard reference material [J]. Analytical Chemistry, 1988, 60: 887-894.
- [36] 袁东星, 杨东宁, 陈猛, 等. 厦门西港及闽江口表层沉积物中多环芳烃和有机氯污染物的含量及分布[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 107-112.
- [37] LARSEN R K, Baker J E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: A comparison of three methods [J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37: 1873-1881.
- [38] YUNKER M B, MACDONALD R W, VINGARZAN R, et al. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition [J]. Organic Geochemistry, 2002, 33: 489-515.
- [39] 杨策, 钟宁宁, 陈党义, 等. 煤矿区地表水悬浮颗粒物中PAHs的分布特征[J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 488-492.
- [40] 张建立, 潘懋, 钟佐荣, 等. 山东淄博煤矿区环境中多环芳烃的初步研究[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(2): 7-9.
- [41] FERNANDES M B, SICRE M A, BOIREAU A, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) distributions in the Seine River and its estuary [J]. Marine Pollution Bulletin, 1997,

- 34 (11): 857 - 867.
- [42] GUSTAFSON K E, DICKHUT R M. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Southern Chesapeake Bay surface water: Evaluation of three methods for determining freely dissolved water concentrations [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1997, 16: 452 - 461.
- [43] MASKAOUI K, ZHOU J L, HONG H S, *et al.* Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River estuary and western Xiamen sea, China [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 118: 109 - 122.
- [44] COUNTWAY R E, DICKHUT R M, CANUEL E A. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) distributions and associations with organic matter in surface waters of the York River, VA Estuary [J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34: 209 - 224.
- [45] EL NEMR A, ABD - ALLAH A M. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in microlayer and subsurface waters along Alexandria coast, Egypt [J]. *Chemosphere*, 2003, 52(10): 1711 - 1716.
- [46] 罗孝俊, 陈社军, 余梅, 等. 多环芳烃在珠江口表层水体中的分布与分配[J]. *环境科学*, 2008, 29 (9): 2385 - 2391.
- [47] LAW R J, DAWES V J, WOODHEAD R J, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seawater around England and Wales [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, 34: 306 - 322.
- [48] BARRON M G, PODRABSKY T, OGLE S, *et al.* Are aromatic hydrocarbons the primary determinant of petroleum toxicity to aquatic organisms [J]. *Aquatic Toxicology*, 1999, 46: 253 - 268.
- [49] GB 3838 - 2002, 地表水环境质量标准[S].

(责任编辑 马立)

(上接第45页)梁的截面及配筋,按公式(4)计算柱子配筋时,结构将偏于不安全。

2)在进行边主梁的正常使用状态验算时,边主梁在竖向荷载和水平荷载作用下产生的扭矩应该分开计算,取不同的扭矩折减系数,建议对水平荷载产生的扭矩最好不折减。

3)进行承载力极限状态计算时,在满足正常使用极限状态的前提下,水平荷载和竖向荷载作用引起的边主梁扭矩都可以折减,并且最好进行最大程度的折减,但折减应分开进行:竖向荷载作用引起的扭矩折减部分应该转移到楼面次梁的跨中弯矩上,而水平荷载作用引起的扭矩折减部分必须转移至与其正交的过柱梁上。

4)虽然本结构体系一般适用于建造8~12层的小高层,但由于是大跨度空间结构体系,抗侧力构件几乎只有普通结构的一半,建议取 $\eta_c = 1.2$ 。从构件设计和最后实验数据来看,这个取值是合

理的。


参考文献:

- [1] GB 50011 - 2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [2] GB 50010 - 2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [3] KOUTCHKALINE, BELARBI A. Torsion of high - strength reinforced concrete beams and minimum reinforcement requirement[J]. *ACI Structural Journal*, 2001, 98(4): 462 - 469.
- [4] 郑道宏. 高效预应力砼结构经济效益与大开间住宅建筑体系选择[J]. *四川建筑科学研究*, 1999, 25(2): 3 - 6.
- [5] 丁智潮. 大跨度预应力次梁楼盖结构体系的弯扭受力试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
- [6] 李俊兰. 地震作用下板柱结构等代框架法计算模型的研究[J]. *建筑结构学报*, 1999, 20(1): 39 - 45.
- [7] 李家亮. 无粘结预应力混凝土平板结构住宅设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2000.

(责任编辑 刘存英)

作者: [张景森](#), [张静](#), [张景广](#), [巩佳琨](#), [杜文堂](#), [ZHANG Jing-sen](#), [ZHANG Jing](#), [ZHANG Jing-guang](#), [GONG Jia-kun](#), [DU Wen-tang](#)

作者单位: [张景森, 杜文堂, ZHANG Jing-sen, DU Wen-tang \(河北工程大学, 资源学院, 河北, 邯郸, 056038\)](#), [张静, ZHANG Jing \(河北工程大学, 图书馆, 河北, 邯郸, 056038\)](#), [张景广, ZHANG Jing-guang \(邯钢集团邯宝钢铁有限公司, 河北, 邯郸, 056003\)](#), [巩佳琨, GONG Jia-kun \(河海大学, 土木工程学院, 江苏, 南京, 210098\)](#)

刊名: [河北工程大学学报 \(自然科学版\)](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)

年, 卷(期): 2010, 27 (2)

被引用次数: 2次

参考文献(49条)

1. [YUAN S Y;WEI S H;CHANG B V](#) [Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by a mixed culture](#) [外文期刊] 2000(41)
2. [RAVELET C;GROSSET C;MONTUELLE B](#) [Liquid chromatography study of pyrene degradation by two micromycetes in a freshwater sediment](#) 2001(44)
3. [MAGI E;BIANCO R;IANNI C](#) [Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea](#)[外文期刊] 2002(01)
4. [朱利中;陈宝梁;沈红心](#) [杭州市地面水中多环芳烃污染现状及风险](#)[期刊论文]-[中国环境科学](#) 2003(05)
5. [李军;张干;祁士华](#) [广州市大气中多环芳烃分布特征、季节变化及其影响因素](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2004(03)
6. [田蕴;郑天凌;王新红](#) [厦门西港表层沉积物中多环芳烃\(PAHs\)的含量、分布及来源](#)[期刊论文]-[海洋与湖沼](#) 2004(01)
7. [田蕴;郑天凌;王新红](#) [厦门西港表层海水中多环芳烃\(PAHs\)的含量、组成及来源](#)[期刊论文]-[环境科学学报](#) 2004(01)
8. [杨清书;欧素英;谢萍](#) [珠江虎门潮汐水道水体中多环芳烃的分布及季节变化](#)[期刊论文]-[海洋学报](#) 2004(06)
9. [金晓辉;胡建英;万祎韦](#) [多环芳烃在饮用水处理中的行为研究](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2005(07)
10. [刘国卿;张干;李军](#) [多环芳烃在珠江口的百年沉积记录](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2005(03)
11. [罗孝俊;陈社军;麦碧娴](#) [珠江及南海北部海域表层沉积物中多环芳烃分布及来源](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2005(04)
12. [罗孝俊;陈社军;麦碧娴](#) [珠江三角洲地区水体表层沉积物中多环芳烃的来源、迁移及生态风险评价](#)[期刊论文]-[生态毒理学报](#) 2006(01)
13. [陈卓敏;高效江;宋祖光](#) [杭州湾潮滩表层沉积物中多环芳烃的分布及来源](#)[期刊论文]-[中国环境科学](#) 2006(02)
14. [张迪瀚;马永亮](#) [北京市大气颗粒物中多环芳烃\(PAHs\)污染特征](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2006(07)
15. [黄云碧;周家斌;王铁冠](#) [北京地区大气颗粒物中不同功能区多环芳烃的分布特征](#)[期刊论文]-[燃料化学学报](#) 2007(04)
16. [沈琼;王开颜;张巍](#) [北京市通州区地表水中多环芳烃的分布与季节变化](#)[期刊论文]-[环境化学](#) 2007(04)
17. [孙娜;陆晨刚;高翔](#) [青藏高原东部土壤中多环芳烃的污染特征及来源解析](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2007(03)
18. [SUN Y Z;JIAO W W;FAN J S](#) [Organic pollution of Handan Iron and Steel Co.Ltd.in Handan city,China](#) 2007(02)
19. [邓红梅;陈永亨](#) [西江水体中多环芳烃的分布特](#)[期刊论文]-[广州大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(02)
20. [赵健;周怀东;陆瑾](#) [河北王快水库沉积物多环芳烃的分布、来源及生态风险评价](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2009(05)

21. 郭伟;何孟常;杨志峰 [大辽河水系表层水中多环芳烃的污染特征](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2007(07)
22. 杨兰芳;王向琴;李军 [红壤和潮土降解苯并\(a\)蒽的初步研究](#)[期刊论文]-[湖北民族学院学报\(自然科学版\)](#) 2008(03)
23. 郭凤震 [东武仕水库水质状况及污染原因](#) 1997(03)
24. 庞彦军;刘开第;姚立根 [滏阳河水质综合评价](#)[期刊论文]-[运筹与管理](#) 2001(01)
25. 朱长军;周继红 [灰色聚类方法在滏阳河水环境质量评价中的应用](#)[期刊论文]-[河北建筑科技学院学报\(自然科学版\)](#) 2003(04)
26. 白峰青;蒋勤明;丁玉芮 [复合人工湿地处理邯郸市多元污水的中试研究](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(02)
27. 王慧勇;刘世虹 [邯郸市主城区滏阳河水质状况分析及防治对策](#)[期刊论文]-[河北建筑科技学院学报\(社会科学版\)](#) 2005(03)
28. 王夕明;张景森;张静 [磁西煤系下岩溶热水水文地球化学特征及成因](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(03)
29. [HJ/T91-2002, 地表水和污水监测技术规范](#)
30. TOLOSA I;BAYONA J M;ALBAIGES J [Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and sulfur/oxygen derivatives in northwestern Mediterranean sediments:Spatial and temporal variability, fluxes, and budgets](#)[外文期刊] 1996(8)
31. TOLOSA I;MORA S D;SHEIKHOLESLAMI M R [Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian sea sediments](#)[外文期刊] 2004(1/2)
32. YUAN D X;YANG D L;WADE T [Status of persistent organic pollutants in the sediment from several estuaries in China](#)[外文期刊] 2001(1)
33. 于国光;王铁冠;吴大鹏 [北京市大气气溶胶中多环芳烃的研究](#)[期刊论文]-[中国矿业大学学报](#) 2008(01)
34. SICRE M A;MARTY J C;SALIOT A [Aliphatic and aromatic hydrocarbons in the different sized aerosols over the Mediterranean Sea:occurrence and origin](#) 1987
35. WISE S A;BENNER B A;BYRD G D [Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in a coal tar standard reference material](#) 1988
36. 袁东星;杨东宁;陈猛 [厦门西港及闽江口表层沉积物中多环芳烃和有机氯污染物的含量及分布](#)[期刊论文]-[环境科学学报](#) 2001(01)
37. LARSEN R K;Baker J E [Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere:A comparison of three methods](#)[外文期刊] 2003(9)
38. YUNKER M B;MACDONALD R W;VINGARZAN R [PAHs in the Fraser River basin:a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition](#)[外文期刊] 2002
39. 杨策;钟宁宁;陈党义 [煤矿区地表水悬浮颗粒物中PAHs的分布特征](#)[期刊论文]-[中国环境科学](#) 2007(04)
40. 张建立;潘懋;钟佐荣 [山东淄博煤矿区环境中多环芳烃的初步研究](#)[期刊论文]-[煤田地质与勘探](#) 2002(02)
41. FERNANDES M B;SICRE M A;BOIREAU A [Polyaromatic hydrocarbon \(PAH\) distributions in the Seine River and its estuary](#)[外文期刊] 1997(11)
42. GUSTAFSON K E;DICKHUT R M [Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Southern Chesapeake Bay surface water:Evaluation of three methods for determining freely dissolved water concentrations](#)

[外文期刊] 1997

43. [MASKAOUI K;ZHOU J L;HONG H S Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River estuary and western Xiamen sea,China](#)[外文期刊] 2002(1)
44. [COUNTWAY R E;DICKHUT R M;CANUEL E A Polycyclic aromatic hydrocarbon \(PAH\) distributions and associations with organic matter in surface waters of the York River,VA Estuary](#)[外文期刊] 2003
45. [EL NEMR A;ABD-ALLAH A M Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons \(PAHs\) in microlayer and subsurface waters along Alexandria coast,Egypt](#)[外文期刊] 2003(10)
46. [罗孝俊;陈社军;余梅 多环芳烃在珠江口表层水体中的分布与分配](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2008(09)
47. [LAW R J;DAWES V J;WOODHEAD R J Polycyclic aromatic hydrocarbons \(PAHs\) in seawater around England and Wales](#)[外文期刊] 1997
48. [BARRON M G;PODRABSKY T;OGLE S Are aromatic hydrocarbons the primary determinant of petroleum toxicity to aquatic organisms](#) 1999
49. [GB 3838-2002,地表水环境质量标准](#)

本文读者也读过(10条)

1. [张安兵.高井祥.时翠梅.刘新侠.赵玉玲.ZHANG An-bing.GAO Jing-xiang.SHI Cui-mei.LIU Xin-xia.ZHAO Yu-ling AGO-BP神经网络预测建模及工程应用研究](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#)2007, 24(3)
2. [邓红梅.陈永亨.DENG Hong-mei.CHEN Yong-heng 西江水体中多环芳烃的分布特征](#)[期刊论文]-[广州大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 8(2)
3. [郑曦.韩宝平.蒋欢.刘抗.ZHENG Xi.HAN Bao-ping.JIANG Huan.LIU Kang 微山湖养殖湖区水体中多环芳烃的分布及来源](#)[期刊论文]-[四川环境](#)2010, 29(6)
4. [韩彬.蒋风华.李培昌.张新庆.宋转玲.王小如 南黄海中部海水、间隙水和沉积物中多环芳烃的分布及源分析](#)[期刊论文]-[海洋科学进展](#)2009, 27(2)
5. [刘立民.马丽涛.庞彦军.李法朝.LIU Li-min.MA Li-tao.PANG Yan-jun.LI Fa-chao 基于多保留策略的复合型遗传算法及其收敛性分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2010, 27(1)
6. [赵利容.孙省利.高锦锋 流沙湾多环芳烃\(PAHs\)污染特征和来源分析](#)[期刊论文]-[环境保护科学](#)2011, 37(1)
7. [周天健.邵超.赵同谦.武俐.王晴晴.ZHOU Tian-jian.TAI Chao.ZHAO Tong-qian.WU Li.WANG Qing-qing 丹江口库区高坪河水体中多环芳烃污染健康风险评估研究](#)[期刊论文]-[河南理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 28(6)
8. [余洪.常纛.叶晓云.季宇飞.高师匀.曲明昕.YU Hong.CHANG Ying.YE Xiao-yun.JI Yu-fei.GAO Shi-yun.QU Ming-xin 贵州百花湖水体中多环芳烃的环境演化](#)[期刊论文]-[贵州科学](#)2010, 28(3)
9. [陈宇云.朱利中.CHEN Yu-yun.ZHU Li-zhong 钱塘江地表水多环芳烃的时空分布特征研究](#)[期刊论文]-[广东农业科学](#)2011, 38(3)
10. [陈卫锋.倪进治.杨红玉.魏然.洪惠玲.杨玉盛.CHEN Wei-feng.NI Jin-zhi.YANG Hong-yu.WEI Ran.HONG Hui-ling.YANG Yu-sheng 福州内河沉积物中多环芳烃的分布、来源及其风险评估](#)[期刊论文]-[中国环境科学](#) 2010, 30(12)

引证文献(2条)

1. [崔俊华.王培宁.李凯.张建辉.李圭白 基于在线混凝-超滤组合工艺的微污染地表水处理](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(1)
2. [张景森.张静.张景广.巩佳珉.杜文堂 人为因素对滏阳河邯郸段河流水化学的影响](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2010(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjyxb201002015.aspx