

贵阳市水文地质条件及环境效应研究

王中美, 廖义玲, 李明琴, 张竹如

(贵州大学 资源与环境工程学院, 贵阳 550003)

摘要:为了查明水文地质条件以及产生的各种环境效应,通过野外调查贵阳市环境地质背景,分析了研究区的水文地质条件,对各含水岩组的富水性进行评价,同时根据研究区地层植被发育情况、地下水环境监测数据、具体工程实例和近 3 a 的地下水水质检测等资料,运用空间信息统计方法,探讨了水文地质条件下产生的城市生态环境效应、环境水文地质效应、环境工程地质效应、地下水环境污染效应。取得的主要结果有:①贵阳市地表水、地下水丰富,地下水以岩溶水为主,其次为基岩裂隙水;②贵阳市形成宽 1~7 km,长逾 70 km 的环城林带,为贵阳市提供了良好的生态环境条件;③由于大量开采地下水资源,在和尚坡、三桥地段形成降落漏斗群,破坏水文地质结构,产生环境水文地质效应;④在工程建设中抽排地下水产生地面开裂、地表塌陷等环境工程地质效应;⑤由于工业废水和人类生活污水的排放,使地下水环境在不同程度上受到了污染,产生水环境污染效应。该研究结论可为贵阳市城市环境的保护和可持续发展提供依据。

关键词:水文地质条件;环境效应;贵阳市

中图分类号:X523;U456

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0226-04

Study on Hydrogeological Condition and Environmental Effects in Guiyang City

WANG Zhong-mei, LIAO Yi-ling, LI Ming-qin, ZHANG Zhu-ru

(College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: Hydrogeological conditions are complex. In order to identify the hydrogeological conditions and a variety of environmental effects, we present the study on hydrogeological condition and environmental effects in Guiyang City, based on field survey and the environmental geology background. According to the investigation, we evaluated the quantity of water in the water-rich rock groups. Other investigations on ground vegetation growth conditions, groundwater monitoring data, specific examples of projects and groundwater quality testing in recent 3 years in this city were carried out. Then, using statistical methods of spatial information, we analyzed environmental effects as results of the hydrogeological conditions, including urban eco-environmental effects, environmental hydrogeological effects, environmental engineering geological effects and environmental pollution of groundwater. The main conclusions were drawn as following: surface water and groundwater were rich in Guiyang City. Karst water was the main groundwater type. There was a forest belt around Guiyang City. It was 1~7 km wide and more than 70 km long. It provided good eco-environmental conditions for Guiyang City. Because a lot of exploitation of groundwater resources, hydro-geological structure was destructed, and cone of depression groups had formed at Sanqiao and Heshangpo in Guiyang City. Environmental engineering geological effects were caused by pumping groundwater in construction, such as ground cracking, surface subsidence. The groundwater environment has been polluted by industrial wastewater and human sewage discharge. The effects of groundwater environmental pollution were caused. Those results can provide basic information for environmental protection and sustainable development of Guiyang City.

Key words: hydrogeological condition; environmental effect; Guiyang City

收稿日期:2011-08-10

修回日期:2011-09-04

资助项目:贵州省自然科学基金项目(黔科合J字[2009]2029号);贵州大学 211 重点学科建设项目

作者简介:王中美(1975—),女,贵州遵义人,副教授,博士生,从事岩溶水环境研究。E-mail:re.zmwang@gzu.edu.cn

贵阳市是贵州省的省会城市,处于喀斯特地区。随着贵阳市社会经济的发展,以及它本身复杂的水文地质条件,对城市环境的保护成了人们关注的重要问题之一。例如在贵阳市的西边,由于地下水的开采而出现的降落漏斗群产生的城市环境水文地质问题;在主城区修建建筑物产生的基坑涌水、地表开裂、地面塌陷等城市环境工程地质问题;以及由于城市化、工业化的发展,产生的工业废水和生活污水污染城市地下水环境等问题,都是应该特别关注的问题。然而,由于贵阳市复杂的水文地质条件,使得贵阳市这座高原山城,森林环绕,林木苍翠,形成了宽 1~7 km,长逾 70 km 的环城林带,为贵阳市提供了绿色生态屏障,也为贵阳人提供了良好的居住环境。因此,应该对环城林带进行保护,为林城贵阳创建生态文明城市提供保障。基于以上原因,本文将讨论贵阳市水文地质条件及环境效应,从而认知并进一步保护这一珍贵的森林之城。

1 研究区环境地质背景

贵阳市处于云贵高原向东倾斜的过渡地带,为一典型的岩溶盆地地貌。其盆地四周 1 125~1 438 m 标高组成的山峰为云贵高原“山盆期”夷平面,也是区内次级河流的分水岭。中心城区盆地最低处为喷水池,海拔 1 000 m,与四周山峰最大高差 338 m。地理位置为北纬 26°11′00″—26°54′30″,东经 106°27′20″—107°03′00″。气候温和,雨量充沛,年均气温 15℃,相对湿度 70%左右,年平均降水量 1 174 mm,降水多集中在 4—10 月,属典型的亚热带季风湿润气候区。区内出露地层较齐全,除白垩系外,从奥陶系到第四系均有分布,地层分布以三叠系最广,其次为二叠系。主要有碳酸盐岩和碎屑岩,出露岩石类型以浅海台地碳酸盐岩(白云岩和石灰岩)为主,晚三叠世晚期以后均为陆相碎屑地层,且碳酸盐岩与碎屑岩在垂向分布上具多层性,平面展布呈条带状相间。地下水含水岩系主要为石灰岩和白云岩以及碎屑岩。区内褶皱构造明显,以南北向及北北东向为主,断层裂隙十分发育,特别是贵阳市区及北部一带,断层裂隙纵横交错,地下岩溶裂隙及管道密集,成为地下水富水地带之一^[1]。同时研究区内植被比较丰富,多分布在盆地四周的碎屑岩地层区及碳酸盐与碎屑岩地层互层区。

2 结果与分析

2.1 水文地质条件

贵阳市中心城区及其四周,碳酸盐岩广泛出露,断层褶皱强烈,裂隙十分发育,地下水丰富。通过工

程钻孔揭露的水文地质资料表明,受贵阳向斜盆地储水构造的影响,区内浅层地下水埋深较浅,通常不大于 10 m。碳酸盐岩地层含水丰富,岩溶泉出露较多,加之与碎屑岩隔水层相间分布,地下水常在隔水层露头处出露形成接触泉。通过调查可知,在长坡岭森林公园、小河药用植物园、黔灵公园的七星潭、中天花园的月亮湖等都可见到湿地。研究区大量泉水的出露和湿地都表明贵阳盆地地下水丰富,埋藏浅,有利于植物的生长。

根据地表分水岭,可以把研究区分成两个完整的储水构造单元。盆地东、北、西三面为阻水带所包围,构成一个完整的储水构造。浅层地下水的补给方向,在盆地北部为自北而南,南部则自南而北。三桥—阿哈寨一带,断裂及大型节理发育,黔灵山、花溪压性断层及非岩溶层构成东部地下水汇集带的阻水边界,亦形成一个完好的储水构造,西部广大地区的地下水均汇集于此。在两个储水构造单元内地表水、地下水较发育,主要通过大气降水补给。大气降水降到地表一部分经过地表径流补给各级支流,最后汇入南明河,另一部分通过包气带的渗入补给地下含水层,最后以泉水、地下河、湿地的方式排泄。区内发育的地表水、地下水分述如下。

(1)地表水。贵阳市位于长江水系和珠江水系的分水岭地带。桐木岭以北属长江水系,以南属珠江水系。区内地表水系发育,主要河流有南明河、市西河、小车河、雅河、贵城河。南明河是区内最大的河流,发源于马林西北的摆古附近,由城西南角流入城区,近东西向横贯全城蜿蜒向北东流出。在本市境内长 97 km,落差 366 m。平均比降 3‰,平均流量 13.8 m³/s。

南明河中上游段河谷开阔,支流有小车河、市西河、雅河及贵城河。在流经城区前,水质均良好。如今河流上游已建成 6 座水库,其中阿哈水库、花溪水库、松柏水库为区内主要供水源。贵阳市的地表水资源,基本来源于降水形成的径流量。年径流深 545~570 mm,计算年均天然产水量为 13.54 亿 m³^[2]。

(2)地下水。贵阳市由于碳酸盐岩与碎屑岩相间展布,地下水丰富,浅层地下水水位较高,因此城区内有多处泉出露及湿地。区内地下水类型主要为岩溶水,其次为基岩裂隙水,孔隙水少见。根据岩性及含水性的差异划分为 4 个含水岩组。由调查数据可知,含水层的富水性评价结果见表 1,综合考虑三项指标,以枯季地下水径流模数为主。地下水类型富水性评价指标见表 2。区内地下水主要为由盆地四周向盆地中心径流,北部大片山林汇水及沿岩溶漏斗、溶

沟、裂隙、断层渗入地下形成较为丰富的地下水。

贵阳市的地下水以岩溶水为主,占 90% 以上(C 级储量)。贵州省地质工程勘察院对城区约 200 km² 范围内的地下水进行初勘,提供可开采地下水资源为 159 830.6 m³/d(岩溶水占 94%)。若按全市 335 个

地下水天然露头点计算,地下水平均年径流量为 3.5 亿 m³,占水资源总量的 26%^[2]。2005 年 4 月贵州大学对贵阳市及周边约 2 400 km² 范围内的地下水资源普查表明,地下水天然资源量为 6.92 亿 m³/a (189.7 万 m³/d)^[3]。

表 1 含水层的富水性评价

含水岩组包括的地层岩性	一般值/(L·s ⁻¹)		最大值/(L·s ⁻¹)		枯季地下径流模数/ (L·s ⁻¹ ·km ⁻²)	钻孔单位涌水 量/(L·s ⁻¹ ·m ⁻¹)	富水 等级
	调查	枯测	调查	枯测			
T ₁ d、T ₁ a 石灰岩偶夹白云岩页岩	5~10	0.2~2	26.2	12.0	6.56	0.25~0.82	丰富
P ₂ q、P ₂ m 石灰岩含燧石白云质团块	8~20	5~10	1571.0	1285.0	4.96~7.24	0.4~1.19	中等—丰富
T ₃ e+s、J ₁₋₂ 石英砂岩砂岩泥岩页岩	0.1~4	0.1~0.5	8.7	2.2	1.14~1.46	0.04	中等
VP ₃ c+1 页岩砂岩夹燧石灰岩煤层	0.5~4	0.3~3	94.3	3.7	2.45~4.62	0.11~0.49	中等—丰富

表 2 地下水富水性评价指标

评价指标	泉水、地下河流量/ (L·s ⁻¹)			枯季地下径流模数/ (L·s ⁻¹ ·km ⁻²)			钻孔单位涌水量/ (L·s ⁻¹ ·m ⁻¹)		
	富	中	贫	富	中	贫	富	中	贫
富水性等级	<0.2	>30	10~30	<10	>6	3~6	<3	>0.5	0.2~0.5
岩溶水		>1	0.1~1	<0.1	>3	1~3	<3		
裂隙水									
孔隙水									

单井涌水量>100 t/d(富),100~100t/d(中),<100 t/d(贫)

2.2 环境效应

2.2.1 生态环境效应 由于研究区内的降雨量大(年平均降水量 1 174 mm),降水多集中在 4—10 月,与植物生长几乎同期,且浅层地下水埋藏较浅等气候、水文地质条件等因素,为植物的生长提供有利条件。另外区内地层岩性也是使得贵阳市及周边植被生长茂密的原因之一^[4],地层岩性与植被覆盖情况见表 3。贵阳市中心城区(云岩区、南明区)被四周的环城林带包围,其西北角为有名的黔灵公园,北部为植物园及其外围林带,东北部大片分布的是顺海林场,东部有森林公园,南部有药用植物园,西南角为南郊公园,西侧七里冲有天然林带;以上环城林带总面积大于贵阳市中心城区。林带以针叶林、阔叶林为主,

主要有梓、樟、栎、檀、松、杉、柚、白杨、油桐、灌丛等,林幽鸟鸣。因此,贵阳市被称为“国家森林城市”,2007 年连续第 3 次获得“中国避暑之都”称号,并在“全球避暑旅游名城 2007 口碑金榜”评选中,从全世界 100 多个城市中“脱颖而出”排名第 9,超过夏威夷、温哥华、悉尼等名城^[5]。根据 2004 年数据统计显示,贵阳市森林覆盖率已达 34.77%;城市绿地率达 39.26%,城市绿化覆盖率达 40.47%^[6]。市区四周群山环抱、林木苍翠,宽 1~7 km,长逾 70 km 的环城林带,为贵阳市提供了绿色生态屏障。同时环城林带的植物可以产生美化环境、调节气温、改善城市小气候、净化空气、消减城市中的噪音等生态环境效应,为林城贵阳创建生态文明城市提供保障。

表 3 贵阳市各地层岩性与植被覆盖率

地层代号	岩性	含水率/%	植被覆盖率/%	植被类型及构成
J ₁₋₂ (侏罗系)	泥页岩夹红色砂岩	18.38~23.4	65	以针叶林为主的松树、杉树
T ₃ e+s(三叠系二桥组+三桥组)	石英砂岩夹页岩	19.1~24.6	90	以针叶林、阔叶林为主
T ₁ d(三叠系大冶组)	薄层灰岩	20.1~36.5	15~25	以灌木丛为主
P ₃ l(二叠系龙潭组)	砂页岩夹硅质岩	19.7~35.5	40~50	以针叶林、乔木为主
P ₂ m(二叠系茅口组)	厚层块状灰岩、白云质灰岩	14.5~27.6	20~30	以灌木丛为主

2.2.2 环境水文地质效应 研究区由于褶皱断层发育,岩石破碎,碳酸盐岩大面积出露,使得地下埋藏着丰富的地下水资源。随着贵阳城市经济的发展,供水的需求越来越大,地表水资源已经不能满足需求,于是,大量开采地下水来满足发展的需要。在开采地下水的过程中,由于缺乏统一规划,各单位为了方便都就近打井取水,造成地下水开采井相对集中,开采量

大,形成降落漏斗群,破坏水文地质结构,产生环境水文地质效应。如西边的和尚坡、三桥地段。根据贵州省地质环境监测院的地下水环境监测 2007 年度报告可知,和尚坡地段年内有正常使用的生产井 6 眼,多为单位自备井,均为每日不定时抽水井。累计年开采量约为 80.3 万 m³/a,枯、丰水期降落漏斗的面积分别为 2.30,1.76 km²,漏斗中心水位位于 3048 号井。三桥地段年内正常使用的生产开采井 6 眼,3062 号

并为较大单位用水,为连续和每日定时抽水,其余生产井均为不定时抽水井。累计年开采量约为 34.07 万 m^3/a ,枯、丰水期降落漏斗面积分别为 2.26,2.06 km^2 ,漏斗中心水位位于 3062—3072 号生产井之间。

2.2.3 环境工程地质效应 区内由于地下水埋深带较浅,在工程建设中抽排地下水将可能产生地面开裂、地表塌陷等,同时在基坑开挖时将可能产生基坑涌水、垮塌等不良环境工程地质效应。

例如喷水池北边的某大楼,在修建过程中,由于该场地岩溶地下水发育,使得人工挖孔桩施工比较困难,不得不边抽水边施工,就在抽水过程中出现了北边路面的开裂、地表塌陷,张开的裂缝宽度大约 2 m。当时造成了交通中断,幸运的是没有造成人员伤亡事故。另外贵阳市延安中路某大厦在基坑开挖时产生基坑涌水、垮塌等不良工程地质问题。

2.2.4 地下水环境污染效应 贵阳市由于褶皱断层发育,节理裂隙纵横交错,地下岩溶裂隙及管道密集,

为地下水的储存和运移提供了良好的空间,同时也为污染物的迁移提供了良好的通路。由于工业废水和人类生活污水的排放,使贵阳市地下水环境在不同程度上受到了污染和破坏,产生水环境污染效应。

根据近 3 a 的水质检测数据可知,贵阳市地下水受到了不同程度的污染,其中硫酸盐(SO_4^{2-})、铁离子(Fe^{3+})、锰离子(Mn^{2+})、氟化物(F^-)、氨氮(NH_4^+)、亚硝酸盐(NO_2^-)、硝酸盐(NO_3^-)、氯化物(Cl^-)等浓度超标。由污染离子浓度估值等值线图(图 1)可知,硫酸盐(SO_4^{2-})、铁离子(Fe^{3+})、锰离子(Mn^{2+})、氟化物(F^-)等离子高浓度异常区分布在贵阳市西北的耙耙坳、马王庙、三桥一带,主要由工业污染和人类生活污水污染引起;由污染离子浓度估值等值线图(图 2)可知氨氮(NH_4^+)、亚硝酸盐(NO_2^-)、硝酸盐(NO_3^-)、氯化物(Cl^-)等离子高浓度异常区分布在贵阳市西北的大山洞、市区、西面的马王庙一带,主要由农业污染和人类生活污水污染引起。

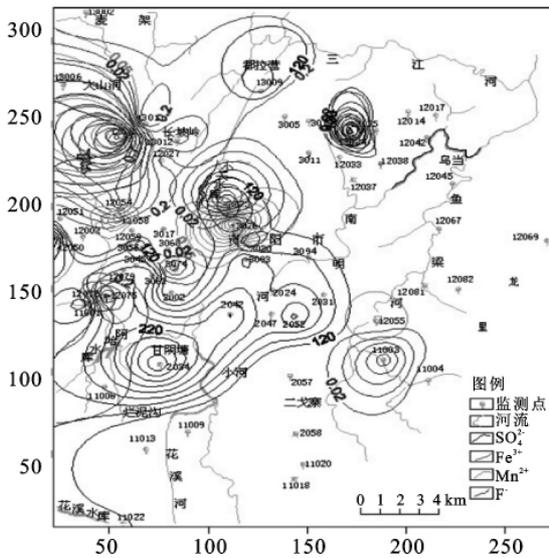


图 1 SO_4^{2-} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , F^- 浓度估值等值线

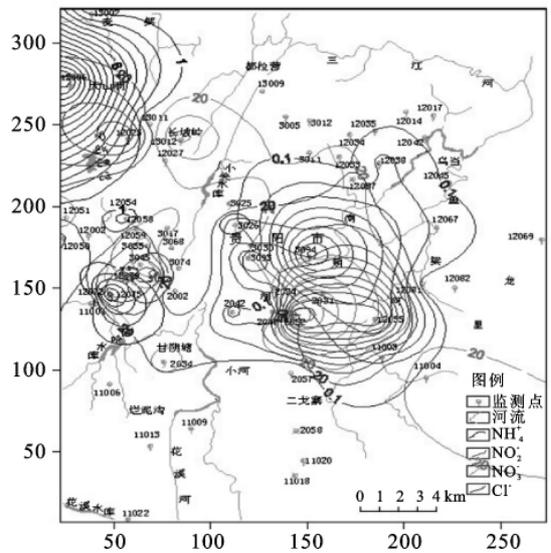


图 2 NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , Cl^- 浓度估值等值线

3 结论与建议

(1)贵阳市水文地质条件复杂,地表水、地下水丰富,主要河流有南明河、市西河、小车河、雅河、贵城河。主要湖泊及水库有小关水库、黔灵湖、阿哈水库。地下水以岩溶水为主,其次为基岩裂隙水,地下含水岩组为二叠系栖霞、茅口、龙潭组,三叠系大冶、安顺、二桥、三桥组以及侏罗系地层。

(2)贵阳市生态环境条件较好,形成宽 1~7 km,长逾 70 km 的环城林带,为贵阳市提供了绿色生态屏障,为林城贵阳创建生态文明城市提供保障。

(3)贵阳市由于大量开采地下水资源,在和尚坡、三桥地段形成降落漏斗群,破坏水文地质结构,产生

环境水文地质效应。

(4)贵阳市在工程建设中抽排地下水产生地面开裂、地表塌陷等,同时在基坑开挖时产生基坑涌水、垮塌等环境工程地质效应。

(5)贵阳市由于工业废水和人类生活污水的排放,使地下水环境在不同程度上受到了污染和破坏,产生水环境污染效应。

总之,贵阳市岩溶地质环境和岩溶水系统由于本身的脆弱性和易变性,一旦遭受破坏难以短期恢复。因此在城市化建设过程中,要对各种环境因素进行保护,防止人为因素的破坏,是一项长期的、重要的任务。

(下转第 233 页)

(床)湿地对总磷及溶解性磷的去除情况,可以看出,左湿地对磷的去除率两个季节分别较右湿地平均高 6%。

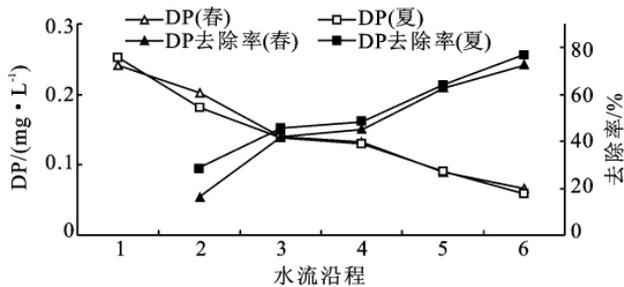


图 5 春夏溶解性磷沿程变化趋势及去除率变化曲线

3 结论

经过 14 a 的运行,活水公园人工湿地系统春夏季节对受污染河水氮、磷仍具有较好的处理效果,春夏两季对主要污染物总氮、氨氮、总磷及溶解性磷的去除率春季分别为 45.5%, 65.7%, 77%, 72.6%, 夏季去除率分别为 56.9%, 87.1%, 76.9%, 73.7%;

活水公园人工湿地系统对氮的去除效果存在季节性差异,夏季明显优于春季,而对磷的去除效果春夏两季差异性不明显;

人工湿地塘(床)不同植物组合与配置及植物的生长状况对人工湿地处理效果会产生一定的影响,表现在并联的人工湿地塘床区左湿地系统各主要污染物净化效果好于右湿地系统,对氮、磷的去除率平均高 4% 和 6%。

致谢:四川大学唐亚教授对论文撰写给予了大力帮助,在此表示感谢!

参考文献:

[1] Dong Zeqin, Sun Tieheng. A potential new process for

improving nitrogen removal in constructed wetlands: Promoting coexistence of partial-nitrification and ANAM-MOX[J]. Ecological Engineering, 2007, 31(2): 69-78.

- [2] Babatunde A O, Zhao Y Q, O' Neill M, et al. Constructed wetlands for environmental pollution control: A review of developments, research and practice in Ireland [J]. Environment International, 2008, 34(1): 116-126.
- [3] Tuszyńska A, Obarska-Pempkowiak H. Dependence between quality and removal effectiveness of organic matter in hybrid constructed wetlands [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(14): 6010-6016.
- [4] 程天行, 陈季华, 郑向勇, 等. 人工湿地去污机理的研究进展[J]. 现代农业科技, 2008(21): 290-292.
- [5] 梁小琴. 成都活水公园获“环境设计奖”[N]. 人民日报, 1999-07-05(1).
- [6] 黄时达. 成都市活水公园人工湿地系统 10 年运行回顾 [J]. 四川环境, 2008, 27(3): 66-70.
- [7] 王庆安, 钱骏, 任勇, 等. 人工湿地系统处理技术在成都市活水公园中的应用[J]. 科学中国人, 2000(6): 27-29.
- [8] 国家环保局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [9] 李超, 李卉. 人工湿地脱氮机理研究[J]. 能源与环境, 2010(4): 7-8.
- [10] 阳小成. 成都活水公园人工湿地对锦江河水年度净化效果的研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(5): 591-596.
- [11] Maehlum T, Stalnacke P. Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: effects of temperature, seasons, loading, rates, and input concentrations [J]. Water Science and Technology, 1999, 40(3): 273-281.
- [12] 吴振斌, 陈辉蓉, 成水平, 等. 人工湿地系统磷的去除研究[J]. 水生生物学报, 2001, 25(1): 28-35.

(上接第 229 页)

参考文献:

[1] 李兴中, 徐际鑫, 李双岱. 贵阳地区岩溶水文地质特征 [J]. 中国岩溶, 1985(2): 66-75.

[2] 曹卫锋. 贵阳市 2000-2030 年地下水资源及环境地质问题预测分析[J]. 贵州地质, 1998, 15(4): 368-376.

- [3] 贵州大学. 贵阳市地下水资源普查报告[R]. 2005.
- [4] 廖义玲, 刘祥洋, 贺璐, 等. 岩溶脆弱环境下贵阳盆地土壤和植被的保护[J]. 地球与环境, 2008, 36(3): 202-206.
- [5] 刘建忠等. 贵阳市城市水土保持的制约因素与应对策略 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 467-469.
- [6] 石登红, 陈训. “林城”贵阳主要绿化植物调查及其生态效益研究[J]. 贵阳学院学报, 2009, 4(3): 18-20.