

地下空间社会与环境效益的定量评价模型

王 洋¹, 彭芳乐^{1,2}

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学 岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 围绕城市地下空间开发的功能, 通过“有无对比法”和“地上地下对比法”, 探讨城市地下空间开发的社会和环境效益, 提出一种量化效益评价模型。结果表明: 城市地下空间开发对城市发展促进作用明显; 节约土地效益占总效益的比例最大, 其次为节约时间效益; 节约土地、减少空气污染、减少噪声污染等效益为地下空间开发的溢出效益, 这些效益可以通过税收等手段进行内部化, 并可作为城市公共地下空间建设的融资手段和决策依据。

关键词: 地下空间; 社会效益; 环境效益; 量化模型

中图分类号: TU441

文献标志码: A

A Quantitative Evaluation Model of Social and Environmental Benefit for Urban Underground Space

WANG Yang¹, PENG Fangle^{1,2}

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Social and environmental benefits are discussed in terms of underground space services and a quantitative evaluation model for the benefit of urban underground space development is proposed through “with and without comparison method” and “aboveground and underground comparison method”. The research results show that the role of urban underground space development in promoting the development of the city is significant, and the land conservation benefits account for the largest proportion of total benefit, followed by saving time benefits. In addition, the spillover effect of underground space development, such as the conservation of land efficiency, air pollution reduction, noise pollution-reduction and other benefits, can be internalized through tax, which can act as financing means and decision-making basis for the public underground space

development.

Key words: underground space; social benefit; environmental benefit; quantitative model

城市地下空间的开发利用对发展国民经济, 推动社会进步, 增强城市整体防护等众多方面发挥了巨大的作用, 其对现代化城市所产生的综合效益亦日益明显, 如何正确地评价这一综合效益也随之成为具有现实意义的课题^[1]。笔者在参与国内一些城市地下空间规划相关课题研究过程中, 亦深刻认识到相关政府部门对城市地下空间开发效益问题的关注。因此, 地下空间开发效益的量化评价具有重要的现实意义。自上世纪八九十年代, 国内部分学者已经就城市地下空间开发效益(价值)问题展开了研究。彭芳乐^[1]于 20 世纪 90 年代伊始, 利用模糊数学理论, 提出了地下空间开发综合效益模型, 并认为综合效益包括: 战备效益、社会效益、经济效益、环境效益和国土效益等, 该研究属于国内早期地下空间开发效益的研究。姜韡等^[2]提出了城市地下空间开发社会、环境效益货币化计算模型。龙汉等^[3]针对地下步行交通提出了其社会和环境效益货币化计算模型。杨新华^[4]针对地铁交通建设的社会和环境效益提出了量化计算模型, 并进行了实证研究。罗周全等^[5-6]认为地下空间开发效益宜分为直接经济效益、环境效益、社会效益、防灾效益四个方面。

本文将城市地下空间的经济效益分为直接经济效益(内部效益)和间接经济效益(外部效益)。间接经济效益主要包括: 社会效益、环境效益和防灾效益, 见图 1。本文围绕城市地下空间功能分类, 通过“有无对比法”和“地上地下对比法”, 探讨城市地下空间的社会效益、环境效益量化指标体系(见表 1)及

收稿日期: 2013-01-23

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAJ01B01); 教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT1029)

第一作者: 王 洋(1985—), 男, 博士生, 主要研究方向为城市地下空间规划。E-mail: marsion@163.com

通讯作者: 彭芳乐(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为岩土力学、地下空间与工程等。
E-mail: pengfangle@tongji.edu.cn

表 1 城市地下空间开发社会和环境效益组成

Tab.1 Social and environmental benefit elements of underground space

效益分类	效益指标	指标符号	基本含义
社会效益	节约土地效益	B_{s1}	地下空间开发量折算地面土地面积的土地价值
	节约时间效益	B_{s2}	地下机动车道和地下人行过街通道通行时间的节约
	节约能源效益	B_{s3}	地下机动车道使得车辆行驶距离减小、行驶速度提高,从而减少汽车能源消耗
	增加绿地效益	B_{s4}	假定节省出来的一定比例土地用于绿化,从而改善城市环境质量
	提高交通安全性效益	B_{s5}	“人车分流”提高交通安全性,减少交通事故率
	节省直埋管道初始建设/历次重埋/修复成本效益	B_{s6}	地下管线集中于地下综合管廊所减少的初建、重复开挖和填埋的成本
环境效益	减少空气污染效益	B_{e1}	地下机动车道及地下停车可以对机动车尾气回收处理,减少空气污染
	减少噪音污染效益	B_{e2}	机动车辆地下化减少噪音污染,提高生活品质和环境质量
	减少人体健康损失效益	B_{e3}	空气质量的提高可以减少居民患病的概率,减少居民医疗费用支出和因病误工时间

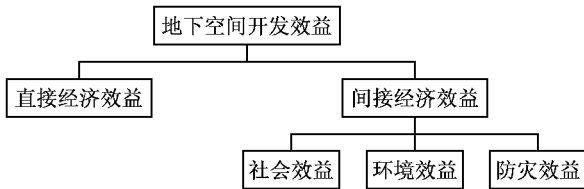


图 1 城市地下空间开发效益图

Fig.1 Benefit of developing urban underground space

计算模型,旨在寻求一种简单实用的城市地下空间开发效益量化计算模型。

1 城市地下空间社会效益量化分析

1.1 节约土地效益 B_{s1}

地下空间的开发均具有相应的功能性,假定这些功能不设在地下,则需要占用地面一定面积的土地,节约出来的土地可以通过市场价格进行衡量^[2],表现为节约土地效益.考虑地价的增长,节约土地效益

$$B_{s1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{s1} A_{s1} (1 + a_{s1})^i}{(1 + r)^n} \quad (1)$$

式中: P_{s1} 为地价,元· m^{-2} ; A_{s1} 为折算面积, m^2 ,可以通过地下空间需求预测量进行折算; a_{s1} 为土地价格增长率,%; r 为贴现率,%,可取同期一年银行利率水平; n 为计算年数; i 为计算年份序数.

1.2 节约时间效益 B_{s2}

节约时间效益主要表现为地下交通的效益,即“人车分流”所带来的时间效益,具体可以分为:①地下机动车道通行时间的节约;②地下人行过街设施通行时间的节约.地下机动车道节约的时间具体表现为正常客运量和转移客运量中生产人员所节约出来的全部可用于生产的时间所创造的价值.地下人

行过街设施主要表现为免除等红绿灯所节省的时间^[2-3].

地下机动车道提高了城市交通效率,节约了居民出行时间,假定节约出来的时间有一半可用于生产,即增加城市 GDP 总量,从而机动车道所带来的节约时间效益

$$B_{s2-1} = 4\ 380 \frac{m_{s2-1} \sum_{i=1}^n b T_{s2-1} (Q_{s2-1-1} + Q_{s2-1-2}) (1 + a_{s2})^i}{(1 + r)^n} \quad (2)$$

式中: b 为人均小时 GDP,元·(人·h)⁻¹; m_{s2-1} 为地下机动车道数量; T_{s2-1} 为有地下机动车道所节约的平均运行时间,h; Q_{s2-1-1} , Q_{s2-1-2} 分别为每小时正常客运量、转移客运量,人·h⁻¹; a_{s2} 为人均 GDP 增长率,%.

地下人行过街设施的时间节约主要表现为等红绿灯时间的节省,同样,假定节约出来的一半时间可用于生产,路口平均每小时客流量不变,红绿灯的间隔时间不变^[2-3],考虑人均小时 GDP 的增长率,地下人行过街设施所带来的节约时间效益

$$B_{s2-2} = 4\ 380 \frac{m_{s2-2} \sum_{i=1}^n b T_{s2-2} Q_{s2-2} (1 + a_{s2})^i}{(1 + r)^n} \quad (3)$$

式中: m_{s2-2} 为地下人行过街设施数量; T_{s2-2} 为有地下人行过街设施每小时节省的等红灯的时间,h,假定红绿灯时间相等,则每小时节约等红灯时间为 0.5 h,假定节约的时间有一半可用于生产,则 T_{s2-2} 可按 0.25 h 计; Q_{s2-2} 为平均每小时路口人行量,人·h⁻¹.

1.3 节约能源效益 B_{s3}

地下机动车道使得车辆行驶距离减小、行驶速度提高,从而减少汽车能源消耗,减少消耗的该部分能源可以用油价(假定油价不变)进行货币化^[2].正

常情况下城区小汽车、公交车及货运卡车百公里耗油量可按表 2 取值,小汽车和公交车燃烧汽油,货运卡车燃烧柴油。

表 2 小汽车、公交车和货运卡车平均百公里油耗量

Tab.2 Average oil consumption per hundred kilometers of city car, bus and truck L · (百公里 · 辆)⁻¹

机动车类型	油耗量
小汽车	10
公交车	20
货运卡车	30

地下空间所带来的节约能源效益

$$B_{s3} = n(B_{s3-1} + B_{s3-2}) = \frac{n}{100} [\beta L_{s3} (\alpha_1 P_{s3-1} Q_{s3-1} + \alpha_2 P_{s3-2} Q_{s3-2} + \alpha_3 P_{s3-3} Q_{s3-3}) + \Delta L_{s3} (\alpha_1 P_{s3-1} Q_{s3-1} + \alpha_2 P_{s3-2} Q_{s3-2} + \alpha_3 P_{s3-3} Q_{s3-3})] \quad (4)$$

式中: B_{s3-1} 为路况等改善所节约的能源货币表现,元·年⁻¹; B_{s3-2} 为行驶距离减少所节约能源的货币表现,元·年⁻¹; L_{s3} 为地下机动车道的总长度,km; ΔL_{s3} 为建设地下机动车道后所减少的距离,km; β 为修建地下机动车道后所减少的油耗系数; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别为小汽车、公交车、货运卡车平均百公里油耗量,L·(百公里·辆)⁻¹,可参照表 2 取值; P_{s3-1}, P_{s3-2} 为小汽车和公交车燃烧汽油的价格,元·L⁻¹; P_{s3-3} 为柴油的价格,元·L⁻¹; $Q_{s3-1}, Q_{s3-2}, Q_{s3-3}$ 分别为小汽车、公交车、货运卡车的年平均行驶数量,辆·年⁻¹。

1.4 增加绿地效益 B_{s4}

地下空间开发节省出来的一定比例的城市用地可作为城市绿化用地,增加绿地效益可以根据温室效应损失法来计算^[7],城市绿地的其他效应可以在温室效应损失的基础上乘以一个系数进行估算,表达式如下:

$$B_{s4} = \gamma P_{s4} q \quad (5)$$

式中: γ 为系数,可取 5.0~8.0; P_{s4} 为碳释放的影子价格,元·t⁻¹,按照国际惯例,取为 20 美元·t⁻¹,按照当前汇率计算,约 130 元·t⁻¹; q 为碳释放量,t。

1.5 提高交通安全性效益 B_{s5}

地下机动车道及人行过街设施的开发,可以减少人车混行,实现人车分流,从而很大程度上提高交通安全性^[2],安全性效益表现为交通事故损失的减少,表达式如下:

$$B_{s5} = \delta \sum_{i=1}^n F_i Q_{s5i} \quad (6)$$

式中: δ 为有地下车道时降低的事故率,%; F 为交通事故平均损失费,元·(辆·年)⁻¹; Q_{s5i} 为年交通量,

辆·年⁻¹。

1.6 节省直埋管道初始建设/历次重埋/修复成本效益 B_{s6}

地下综合管廊(共同沟)所表现出来的社会效益主要包括三部分:节省直埋管道初始建设、历次重埋、修复成本效益。按照“有无对比法”,假定没有建造综合管廊,则基础设施管线一般沿道路浅埋,从而造成管线重复开挖、填埋现象严重,修复成本提高,影响城市交通、环境等,则该效益可以表示为

$$B_{s6} = nCN_{s6}L_{s6} \quad (7)$$

式中: C 为每次单位长度开挖道路的成本,元·(次·km)⁻¹; N_{s6} 为每年开挖道路的次数,次; L_{s6} 为每次开挖的长度,km。

2 城市地下空间环境效益定量化分析

2.1 减少空气污染效益 B_{e1}

地下机动车道和地下停车空间内部机动车排放的尾气可以集中回收处理,从而减少对城市空气的污染,表现为减少空气污染效益^[2]。为方便计算,需将车辆进行简单分类,对于汽油车由于产生的 PM 很少,故可以不考虑,而对于柴油车需要考虑 PM。同时为了方便应用,假定小汽车(包括私家车和出租车)的限值均取第一类车数值,其他车辆限值统一取第二类车 2 级和 3 级的平均值,即 CO:4.70 g·(km·辆)⁻¹;NO_x:0.20 g·(km·辆)⁻¹;HC:0.27 g·(km·辆)⁻¹;PM:0.09 g·(km·辆)⁻¹。假定污染物的治理费用不变,可以得出减少空气污染效益

$$B_{e1} = \lambda n \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^2 l_{kj} L_{e1,kj} N_{e1,kj} E_{kj} \quad (8)$$

式中: λ 为地下机动车道及地下停车承担城市道路、停车及交通的比例,%; l 为污染物排放量,g·(km·辆)⁻¹,可参照表 3 取值; L_{e1} 为车均年均运行距离,km; N_{e1} 为年均汽车当量,辆·年⁻¹; E 为治理费用,元·t⁻¹,可参照表 4 取值; j 为车辆类别, k 为污染物类别。

2.2 减少噪音污染效益 B_{e2}

噪音的危害影响缺乏固定的标准,在评价时可采用调查方法,通过询问被调查者的支付意愿(willingness to pay)进行估算^[3],则减少噪音污染效益

$$B_{e2} = 12\eta_1 S \sigma \quad (9)$$

式中: η 为愿意支付人数比例,%; S 为影响范围内人数,人; σ 为被调查者平均支付意愿,元·(月·人)⁻¹。

表 3 欧洲汽车尾气排放标准Ⅲ限值^[8]Tab. 3 Limit value of Europe Code Ⅲ for vehicle exhaust emission $g \cdot (km \cdot 辆)^{-1}$

车辆类别	污染物排放限值			
	CO	NO _x	HC	PM
第一类车	2.30	0.15	0.20	0.05
1 级	2.30	0.15	0.20	0.05
第二类车	4.17	0.18	0.25	0.07
2 级	4.17	0.18	0.25	0.07
3 级	5.22	0.21	0.29	0.10

表 4 污染物治理费用^[8]Tab. 4 Disposal cost of pollutant 元 · t⁻¹

污染物	治理费用
CO	416
NO _x	13 634
HC	6 723
PM	5 200

2.3 减少人体健康损失效益 B_{e3}

地下机动车道的建造可以集中对通道内汽车尾气进行收集处理,并可以极大地降低汽车噪音污染,从而减少城市居民患病的概率.对于人体健康的环境价值评价,常常采用的方法是人力资本法或收入损失法.机动车尾气及噪声所造成的对人体健康的危害主要表现为两个方面:经济的损失和因病造成的误工和医疗费用.前者可以用环境质量对劳动者的工作年限影响与劳动者预期收入的乘积表示,后者则可按由于污染造成的生病劳动人数与平均医疗费用来计算,则减少人体健康损失效益

$$B_{e3} = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Q_{e3,i} d}{(1+r)^n} [\omega(1+a_{e3-1})^i + c(1+a_{e3-2})^i] \right\} \quad (10)$$

式中: Q_{e3} 为污染引起的发病人数,人·年⁻¹; d 为平均每人误工天数,天·人⁻¹; ω 为日均工资,元·天⁻¹; c 为日均医疗费用,元·天⁻¹; a_{e3-1} 为人工工资年增长率,%; a_{e3-2} 为医疗费用增长率,%.

3 案例应用分析

2013—2050年,常州市地下空间开发预测需求量为2 467.5~3 012.2万m²^[9],姑且取上下限的中间值2 739.9万m²作为计算年限内总开发量,若以地下开发三层进行计算,则节约土地面积应取为913.3万m²,不考虑土地价格波动,则由式(1)可得 $B_{s1} = 9 133 000$ 万元 = 913.3 亿元.

根据《常州市交通年度发展报告(2010)》中重要道路路段高峰小时机动车双向流量统计,预测 2050

年常州市地下机动车道共计 22 条(龙城大道、龙江路、黄河路—通江路东侧、汉江路—通江路东侧、长江路—河海路南侧、丽华北路—飞龙路以南等),参照 2009 年统计数据,若每标准车平均载客 2 人, Q_{s2-1-1} 近似取 600 人·h⁻¹, Q_{s2-1-2} 取 Q_{s2-1-1} 的 20%, 即 120 人·h⁻¹, 节约平均运行时间取 10 min, 即 0.17 h, b 取 11 元·(人·h)⁻¹, a_{s2} 取 6%, r 取 3%^[10], 则由式(2)可得 $B_{s2-1} = 605 462$ 万元 ≈ 60.5 亿元. 预测 2050 年共建造地下人行过街设施 50 处(怀德路—延陵路、怀德路—勤业路、南北大街—延陵路、晋陵路—延陵路等)^[11]. Q_{s2-2} 近似取 500 人·h⁻¹, 其他变量取值同前, 则可得 $B_{s2-2} = 1 403 242.5$ 万元 ≈ 140.3 亿元. 从而, $B_{s2} = 200.8$ 亿元.

若按 2009 年水平考虑, 由《常州市交通年度发展报告(2010)》可得小汽车、公交车、货运卡车比例约为 115.4 : 1 : 10, 汽油价格和柴油价格近似取 7.5 元·L⁻¹, β 取 10%, 参照 2009 年数据, 地下机动车道总长度 L_{s3} 和机动车总量按照 2026 年水平进行计算, 预测 2026 年修建地下机动车道 10 条^[11], 预测机动车保有量约为 140 万辆^[12], 平均长度按照 2.0 km 计算, 则 L_{s3} 取 20 km, 由于机动车道和地面道路路线一般重合, 故 ΔL_{s3} 姑且取零, Q_{s3-1} , Q_{s3-2} , Q_{s3-3} 分别取 127.8 万辆·年⁻¹, 1.1 万辆·年⁻¹, 11.1 万辆·年⁻¹, 则由式(4)得 $B_{s3} = 9 308.1$ 万元.

根据光合作用原理, 每公顷绿地每年净吸收 CO₂ 16 t, 放出 O₂ 12 t^[7], 前面已经得出地下空间开发节省土地面积为 2 739.9 万 m², 假定该面积的 20% 用于绿化, 则地下空间开发所增加的绿地面积为 548 万 m², 年吸收碳排放量为 8 767.7 t, 则由式(5)可得 $B_{s4} = 4 331.2$ 万元.

参照《常州市交通年度发展报告(2010)》, 预测 2026 年交通事故平均损失费用为 418 元·(辆·年)⁻¹, 交通量约为 1 448 339 辆·年⁻¹, 由于缺乏有地下机动车道时降低事故率的相关数据, 此处近似取 20% 的事故降低率, 故由式(6)可得 $B_{s5} = 13 944$ 万元 ≈ 1.4 亿元.

由于常州市目前尚无综合管廊的相关规划, 姑且认为综合管廊相关效益 B_{s6} 为零.

参照《常州市交通年度发展报告(2010)》, 小汽车(一类)及其他车辆(二类)日均出行距离取 10 km, 则年均出行距离 3 650 km, 预测 2026 年车辆总量约为 1 448 339 辆, 其中一类车约 509 250 辆, 二类车约 939 089 辆. 鉴于地下机动车道及停车一般处于交通流量较大的路段, 同时参照地下机动车道及地

下停车的规划及预测,近似取地下机动车道及地下停车承担城市道路、停车及交通的比例为10%,由式(8)可得 $B_{e1}=12\,449$ 万元 ≈ 1.2 亿元。

假定愿意支付人数比例为10%,影响范围内的人数取市区人口的20%,被调查者的平均支付意愿近似取 5 元 \cdot (月 \cdot 人) $^{-1}$,则由式(9)可得 $B_{e2}=11\,400$ 万元 ≈ 1.1 亿元。

英国每年汽车排放物污染致死率约为0.04%^[13],致病率为致死率若干倍,姑且取为3倍,假定常州市汽车排放物污染致死、致伤率和英国相同,则 Q_{e3} 取总人口数的0.16%。平均每人误工天数取 10 天 \cdot 人 $^{-1}$,2012年日均工资约 82 元 \cdot 天 $^{-1}$ (3 万元 \cdot 年 $^{-1}$)^[10]。汽车尾气排放引起的疾病主要为:哮喘、心脏病、高血压、贫血、中枢神经系统疾病、白血病、肺癌等^[8],参照当前的医疗水平及医疗条件,近似取日均医疗费用 300 元 \cdot 天 $^{-1}$,人均工资增长率近似取8%^[14],医疗费用增长率近似取通货膨胀率2%^[10],贴现率近似取3%^[10],则由式(10)可得 $B_{e3}=47\,740$ 万元 ≈ 4.8 亿元。

通过常州市相关数据的应用,可以得出常州市城市地下空间开发的社会和环境效益总值为 $11\,240\,877.3$ 万元(至2050年),约 $1\,124.1$ 亿元,年平均效益约为 43.8 亿元,约占常州市2012年GDP的0.8%,由此可见城市地下空间开发对城市发展的促进作用明显。其中,地下空间节约土地效益占总效益比例最大,为81%,其次为节约时间效益,所占比例为18%,各项效益所占比例见表5。

表5 常州市地下空间开发社会和环境效益要素构成比例
Tab.5 Proportion of social and environmental benefits for urban underground space development for Changzhou City

效益要素	要素值/万元	比例/%
节约土地效益	9 133 000.0	81.25
节约时间效益	2 008 704.5	17.87
节约能源效益	9 308.1	0.08
增加绿地效益	4 331.2	0.04
提高交通安全性效益	13 944.0	0.12
减少空气污染效益	12 449.0	0.11
减少噪音污染效益	11 400.0	0.10
减少人体健康损失效益	47 740.0	0.43
合计	11 240 877.3	100.00

4 结语

城市地下空间开发效益是地下空间研究中一个重要的方面。本文采用了“有无对比法”和“地上地下

对比法”,从城市地下空间功能分类出发,提出了地下空间开发的社会效益、环境效益货币化模型。以常州市作为案例对该模型进行了应用和验证,证明该模型较为简单实用,操作性较好。本文所提出的思路可作为城市公共地下空间开发效益量化评价的一种有效的参考方法。

参考文献:

- [1] 彭芳乐. 城市地下空间预测、决策与效益评价研究[D]. 上海: 同济大学, 1990.
PENG Fangle. Research on forecast, decision-making and benefit-evaluation of urban underground space[D]. Shanghai: Tongji University, 1990.
- [2] 姜韡, 陈志龙. 城市地下交通建设项目社会效益和环境效益货币化方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(1): 2434.
JIANG Wei, CHEN Zhilong. Research on monetization method of social and environmental benefit of urban underground transit project [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(1): 2434.
- [3] 龙汉, 陈志龙, 姜韡. 地下步行通道的社会效益和环境效益计算方法[J]. 地下空间, 2004, 24(2): 256.
LONG Han, CHEN Zhilong, JIANG Wei. Calculation method for social and environmental benefits of underground pedestrian course[J]. Underground Space, 2004, 24(2): 256.
- [4] 杨新华. 城市轨道交通项目直接经济效益评估与实证研究[J]. 交通科技与经济, 2006, 33(1): 100.
YANG Xinhua. Direct economic benefit evaluation and empirical study of urban rail transit project[J]. Transportation Science and Technology, 2006, 33(1): 100.
- [5] 罗周全, 刘望平, 刘晓明, 等. 城市地下空间开发效益分析[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(1): 5.
LUO Zhouquan, LIU Wangping, LIU Xiaoming, et. al. Analysis of benefit of urban underground space development [J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2007, 3(1): 5.
- [6] 王洋. 城市地下空间开发防灾效益量化评价研究[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(1): 1562.
WANG Yang. Research on quantitative assessment of hazard-prevention benefit of urban underground space development [J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2012, 8(1): 1562.
- [7] 王庆日. 城市绿地的价值及其评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
WANG Qingri. Study on value and evaluation of urban green land[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [8] Wikipedia. Motor vehicle emissions[EB/OL]. [2012-04-20]. http://en.wikipedia.org/wiki/Motor_vehicle_emissions.
- [9] 同济大学地下空间研究中心. 常州市地下空间开发专题研究报告之专题二[R]. 常州: 常州市规划局, 2010.
Underground Space Research Center of Tongji University. Theme No. 2 of Changzhou's special report for underground space development [R]. Changzhou: Changzhou Planning Bureau, 2012.

- [10] 常州市统计局. 常州统计年鉴(2011)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
Changzhou Statistical Bureau. Changzhou statistical yearbook (2011)[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- [11] 常州市规划局. 常州市城市地下空间总体规划[R]. 常州: 常州市规划局, 2010.
Changzhou Bureau of Planning. Urban underground space master plan of Changzhou [R]. Changzhou: Changzhou Planning Bureau, 2010.
- [12] 常州市规划局. 常州市交通年度发展报告(2010)[R]. 常州: 常州市规划局, 2010.
Changzhou Planning Bureau. Changzhou annual transport development report (2010) [R]. Changzhou: Changzhou Planning Bureau, 2010.
- [13] Wikipedia. Demography of the United Kingdom [EB/OL] [2012-05-11]. http://en.wikipedia.org/wiki/Demography_of_the_United_Kingdom.
- [14] 李珊珊. 工资增长率之影响因素的经济学分析[J]. 辽宁大学学报: 哲学社会科学版, 2011, 39(5): 94.
LI Shanshan. Economic analysis of influencing factors of salary increase[J]. Liaoning University Journal: Philosophy and Social Science Edition, 2011, 39(5): 94.

(上接第 610 页)

拟序列中变化时刻, 实现分区间分析形变趋势和调幅拟合. 将其应用在实测站坐标序列中, 发现该算法能够很好地探测出各站的速度和振幅的变化时刻, 从而更好地发现站坐标序列的细部变化特性. 以 BJSJ 为例, 该站在 2006 年形变趋势由下沉转变为上升, 且 2005. 2507 年之后周年振幅缩减 64%. 若不考虑速度和振幅变化则掩盖了序列的形变特性, 因此无法真实地反映站点的形变趋势. 另外, 准确探测速度和振幅变化建模拟合 GNSS 站坐标序列, 可以最大可能地减小残差中的模型误差, 从而为分析基准站坐标序列噪声和提取区域共模误差提供了较准确的数据.

参考文献:

- [1] Williams S D P. Offset in Global Positioning System time series [J]. Journal of Geophysical Research; doi: 10. 1029/2002JB002156.
- [2] Julien G, Williams S D P, Matt K, et al. Detecting offsets in GPS time series: first results from the detection of offsets in GPS Experiment [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2013, 118: 2397.
- [3] Davis J L, Wernicke B P, Bisnath S, et al. Subcontinental-scale crustal velocity changes along the Pacific-North America plate boundary [J]. Nature, 2006(441): 1131.
- [4] Nikolaidis R. Observation of geodetic and seismic deformation with the global positioning system [D]. [S.l.]: University of California, 2002.
- [5] 田云锋. GPS 位置时间序列中的中长期误差研究[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2011.
Study on intermediate and long term errors in GPS position time series [D]. Beijing: Institute of Geology of China Earthquake Administration, 2011.
- [6] Hackl M, Malservisi R, Hugentobler U, et al. Estimation of velocity uncertainties from GPS time series: Examples from the analysis of the South African TrigNet network [J]. Journal of Geophysical Research; doi: 10. 1029/2010JB008142.
- [7] Dong D, Fang P, Bock Y, et al. Anatomy of apparent seasonal variations from GPS derived site position time series [J]. Journal of Geophysical Research; doi: 10. 1029/2001JB000573.
- [8] 蒋志浩, 张鹏, 秘金钟, 等. 基于非线性运动分析的 CGCS2000 下我国 CORS 站运动特征[J]. 地球物理学报, 2012, 55(3): 841.
JIANG Zhihao, ZHANG Peng, BI Jinzhong, et al. Characteristics of the non-linear movement of CORS network in China based on the CGCS2000 frame [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(3): 841.
- [9] 王敏, 沈正康, 董大南. 非构造形变对 GPS 连续站位置时间序列的影响和修正[J]. 地球物理学报, 2005, 48(5): 1045.
WANG Min, SHEN Zhengkang, DONG Danan. Effects of non-tectonic crustal deformation on continuous GPS position time series and correction to them [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(5): 1045.
- [10] Ostini L. Analysis and quality assessment of GNSS-driven parameter time series [D]. Bern: Astronomisches Institution of Bern University, 2012.