

基于 ArcGIS地面沉降三维可视化显示与分析 ——以陕西省关中地区为例

李天文¹, 陈靖¹, 胡斌², 李丙乾², 曹建平², 李超¹

(1. 西北大学城市与资源学系, 陕西 西安 710127; 2. 陕西省地震局, 陕西 西安 710068)

摘要: 为了预防和治理地面沉降, 在对地面沉降机理进行分析的基础上, 以 ArcGIS为研究平台, 不仅对地面沉降进行了平面显示, 而且对其进行了三维可视化模拟, 为沉降监测提供了一种更好的分析方法。以陕西关中地区为例, 结合三维模拟结果, 研究地面沉降的变化情况, 找出了沉降点的区域沉降量及特征点沉降量的变化, 进而分析沉降变化的原因, 给出防治地面沉降的一些措施。

关键词: 地面沉降; ArcGIS; 关中地区; 三维显示; 沉降分析

中图分类号: P208

文献标识码: A

地面沉降是在自然和人为因素作用下, 由于地壳表层土体压缩而导致区域性地面标高降低的一种环境地质现象, 是地质环境系统破坏所导致的恶果(郑铣鑫, 1992)。自1921年上海出现地面沉降以来, 至今中国已有96个城市和地区发生不同程度的地面沉降, 较严重的地区有上海、天津、台北、西安、宁波、苏州等。

采用 ArcGIS对地面沉降进行模拟与三维显示, 能够得出更加直观的三维图形。本文首先从整体上分析关中地区的沉降变化, 然后将研究范畴缩小到各局部地区进行分析, 研究其成因, 并总结出防治的方法和措施。

1 数据概述

本文所采用的沉降数据是陕西省42个GPS网站点2001年、2003年、2005年所监测的数据。经初步分析有6个点的位置离研究区域太远, 对本次研

究的实际意义不大, 故将其舍去, 剩余的36个观测点的位置如图1所示。可以看出这些监测点绝大部分沿宝鸡、西安、临潼一线呈东西向分布在人类活动密集区域, 其余区域的点则呈不规则散落分布。

2 数据整理与研究方法

2.1 研究方法

由于研究区域较大, 而地面沉降的变化通常只有厘米级或毫米级, 如果将3期的观测数据分别进行三维显示, 再对它们进行叠加, 这样做难以反映地面的变化。因此使用差值对地面沉降进行表现, 这样即会收到良好的效果。差值法的原理是, 将毗邻的两期数据高差进行相减, 得出差值, 对差值进行分析, 比较年度之间地表是下降还是上升, 同一区域或高程点的沉降量大小则随之可以求出。

2.2 数据整理

将原始数据导入 Excel后, 对高程值求差得到

收稿日期 (Received date): 2007-12-01; 改回日期 (Accepted): 2008-05-03。

基金项目 (Foundation item): 国家软件学计划项目 (2004DS3D026), 陕西省教育厅自然科学专项科研计划项目 (07JK389)。[Supported by the National Software Research Project No. 2004DS3D026; Supported by the Special Natural Science Research Project of Shaanxi Education Bureau No. 07JK389.]

作者简介 (Biography): 李天文 (1957-) 男, 陕西户县人, 西北大学城市与资源学系教授, 主要从事 GIS、GPS 方面的研究工作。[Li Tianwen (1957-), male, comes from Hu County of Shaanxi, Professor of Northwest University, specialized in GIS and GPS.] E-mail: TianwenLi@126.com

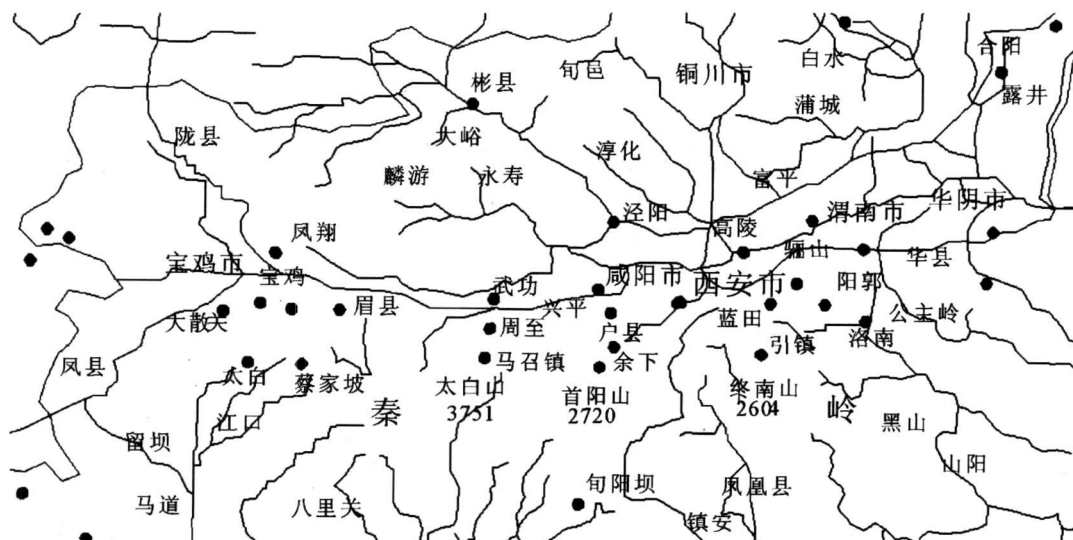


图 1 GPS观测点的分布(红点所示)

Fig 1 The decentralization of the GPS points (the red points)

差值表 D12(2003年对于 2001年的沉降变化), D23(2005年对于 2003年的沉降变化), D13(2005年对于 2001年的沉降变化)。再将 Excel 中的数据导入 Access, 然后对数据的字段和类型等进行编辑(表 1)。

3 地面沉降模拟

3.1 研究区沉降的二维描述

在 ArcMap 中加载 Access 数据库表, 生成 Events 文件, 本文使用 GCS_Xian_1980 坐标系统, 并将单位定为度分秒, 然后创建 TIN。由于研究区域较大, 相对来说点数就比较稀疏, 这样构建的 TIN 很不合理, 因此采用内插方法, 插值的结果将生成一个连续表面, 可得到每个点的值。ArcGIS 提供三种内插方法: 反距离权重差值、样条函数差值和克里格差值。这里选用反距离权重差值, 反距离权重法中的每一个估值都是其周围取样点的加权平均值。利用观测点与被估点的距离的倒数来计算权重。可以将反距离加幂(如线性、平方和立方)以模拟不同的几何形状(如线、面积和体积), 从而对离散的高程点进行差值处理得到连续的表面, 并最终生成 DEM 和等高线。

3.2 研究区沉降的三维模拟

ArcGIS 中的 ArcScene 模块能够高效的管理三

维 GIS 数据, 进行三维分析、创建三维要素以及建立具有三维场景属性的图层。在三维场景中显示要素的先决条件是要素必须本身具有高程信息或被以某种方式赋予高程值。地面沉降检测数据为三维数据, 它具有经纬度坐标和高程。

4 地面沉降分析

4.1 东西向断面分析

研究区 GPS 数据样点集中分布于宝鸡、西安和临潼附近, 其中宝鸡周边 7 个样点, 西安和临潼周边各 8 个样点, 基本覆盖了关中地区的主要人口密集区。图 2 反映出地面高程的年度变化, 其中: 2003 年相对于 2001 年呈下沉趋势, 但有少数点抬升; 2005 年相对于 2003 年呈上升趋势, 但有少数点下降; 综合这几年的情况来看, 地面总体发生下沉, 只有东部有少许点上升。

从西向东, 总趋势为中西部沉降量较大, 东部沉降量较小。

4.2 平面分析与统计

图 3~5 是在 ArcMap 中使用 IDW (反距离权重差值) 得出的具有连续变化曲面的地表沉降专题图和高程统计图。

从图 3 可以看出, 2003 年较 2001 年地面总体呈下降趋势, 中部沉降量大, 东西两侧较小, 36 个点

表 1 高程差值表
Table 1 The height difference

点名	北纬	东经	2001年高程 (m)	2003年高程 (m)	2005年高程 (m)	D12(m)	D23(m)	D13(m)
S013	35.332 120 38	110 311 160 69	382 245 6	382 247 7	382 249 3	0 002 1	0 001 6	0 003 7
D036	35.161 146 00	110 103 643 10	756 169 6	756 159 8	756 165 3	- 0 009 8	0 005 5	- 0 004 3
S012	34.551 196 30	110 072 032 08	364 626 8	364. 619 9	364 622 3	- 0 006 9	0 002 4	- 0 004 5
S011	34.344 217 66	110 044 800 31	310 088 1	310. 084 3	310 085 2	- 0 003 8	0 000 9	- 0 002 9
D075	34.204 697 27	109 580 548 26	1527. 099 7	1527. 101 0	1527. 106 0	0 001 3	0 005 0	0 006 3
D069	34.483 561 92	109 570 326 53	319 115 0	319. 103 7	319. 11	- 0 011 3	0 006 3	- 0 005 0
D064	35.351 582 23	109 492 667 78	1133. 190 2	1133. 189 0	1133 184 0	- 0 001 2	- 0 005 0	- 0 006 2
D058	38.170 755 77	109 491 852 84	1071. 627 0	1071. 631 0	1071 634 0	0 004 0	0 003 0	0 007 0
D070	34.273 734 75	109 422 206 54	612 349 9	612. 341 9	612 347 5	- 0 008 0	0 005 6	- 0 002 4
D068	34.591 966 44	109 373 196 18	462 516 2	462 500 9	462 510 8	- 0 015 3	0 009 9	- 0 005 4
S010	34.350 741 58	109 313 563 80	314 701 5	314. 7	314 703 6	- 0 001 5	0 003 6	0 002 1
D061	36.391 007 74	109 255 324 81	1076. 524 0	1076. 516 0	1076 523 0	- 0 008 0	0 007 0	- 0 001 0
S008	34.270 631 37	109 212 277 44	479 969 9	479. 961 5	479 968 4	- 0 008 4	0 006 9	- 0 001 5
S007	34.073 052 48	109 170 376 46	672 923 7	672. 911 9	672 914 6	- 0 011 8	0 002 7	- 0 009 1
S009	34.470 250 98	109 103 381 52	452 858 3	452 846 3	452 852 7	- 0 012 0	0 006 4	- 0 005 6
D066	34.582 692 10	108 595 589 76	688 437 8	688. 420 2	688 429 1	- 0 017 6	0 008 9	- 0 008 7
S006	34.232 317 66	108 591 642 56	335 104 4	335. 087 8	335 094 5	- 0 016 6	0 006 7	- 0 009 9
X1A	34.104 164 86	108 590 824 28	506 164 7	506. 154 5	506 155 4	- 0 010 2	0 000 9	- 0 009 3
D071	34.330 894 93	108 545 058 02	378 910 4	378. 898 4	378 904 0	- 0 012 0	0 005 6	- 0 006 4
D079	34.030 174 84	108 542 966 89	490 244 6	490. 228 0	490 231 3	- 0 016 6	0 003 3	- 0 013 3
S005	33.505 562 25	108 462 986 86	2642. 330 0	2642. 322 0	2642 324 0	- 0 008 0	0 002 0	- 0 006 0
S004	34.242 226 95	108 362 847 45	465 300 0	465. 280 8	465 289 6	- 0 019 2	0 008 8	- 0 010 4
D072	34.294 701 20	108 135 977 01	582 378 4	582. 364 5	582 371 6	- 0 013 9	0 007 1	- 0 006 8
D077	34.180 779 79	108 113 958 53	452 168 8	452. 154 3	452 163 4	- 0 014 5	0 009 1	- 0 005 4
D080	34.063 775 84	108 092 406 23	450 109 8	450. 100 1	450 104 3	- 0 009 7	0 004 2	- 0 005 5
JB08	35.033 006 97	108 051 022 61	884 039 3	884. 030 9	884 034 0	- 0 008 4	0 003 1	- 0 005 3
S003	34.252 369 93	107 533 000 01	571 339 4	571. 324 6	571 325 3	- 0 014 8	0 000 7	- 0 014 1
D081	34.040 989 73	107 382 130 38	1080. 347 1	1080. 333 0	1080 335 0	- 0 014 1	0 002 0	- 0 012 1
D073	34.255 755 44	107 344 882 05	638 729 4	638. 702 8	638 702 8	- 0 026 6	0	- 0 026 6
S002	34.465 497 30	107 285 115 10	1341. 631 5	1341. 628 0	1341 630 0	- 0 003 5	0 002 0	- 0 001 5
YANC	37.464 265 89	107 261 376 78	1300. 544 3	1300. 533 0	1300 542 0	- 0 011 3	0 009 0	- 0 002 3
D074	34.281 964 54	107 224 294 08	734 226 7	734. 212 8	734 209 2	- 0 013 9	- 0 003 6	- 0 017 5
D082	34.051 809 38	107 174 000 11	1682 836 4	1682 825 0	1682 831 0	- 0 011 4	0 006 0	- 0 005 4
G038	34.253 696 04	107 083 854 84	593 058 5	593. 045 5	593 046 7	- 0 013 0	0 001 2	- 0 011 8
H004	33.370 131 33	106 552 774 27	993 122 0	993. 099 5	993 105 5	- 0 022 5	0 006 0	- 0 016 5
G032	34.533 914 58	106 491 566 30	894 318 9	894. 315 2	894 314 1	- 0 003 7	- 0 001 1	- 0 004 8
G110	34.564 524 20	106 404 185 21	1050. 081 4	1050. 070 0	1050 074 0	- 0 011 4	0 004 0	- 0 007 4
S001	34.434 778 58	106 334 340 51	2038. 405 6	2038. 398 0	2038 402 0	- 0 007 6	0 004 0	- 0 003 6
H001	33.545 341 49	106 303 196 69	1094. 400 8	1094. 388 0	1094 388 0	- 0 012 8	0	- 0 012 8
LUZH	28.522 072 87	105 244 896 81	295 165 6	295. 154 5	295 159 9	- 0 011 1	0 005 4	- 0 005 7
XNN	36.360 238 13	101 462 772 25	2360. 859 1	2360. 847 0	2360 851 0	- 0 012 1	0 004 0	- 0 008 1
DXN	40.590 144 34	100 120 198 93	1014 919 6	1014. 908 0	1014 912 0	- 0 011 6	0 004 0	- 0 007 6
DLHA	37.224 986 92	97 223 991 49	2952 762 5	2952 750 0	2952 756 0	- 0 012 5	0 006 0	- 0 006 5



图 2 关中地区沉降变化图

Fig. 2 The sedimentation changemnt of the Guanzhong Area

中有 34 个点下降, 2 个点上升, 其中沉降量最大的点在宝鸡附近, 超过 -25 mm; 宝鸡到西安地区沉降量在 $-15 \sim -20$ mm; 临潼地区下沉量较小, 少数点抬升, 地表高程变化量为 $+2 \sim -10$ mm。

从图 4 可以看出, 2005 年相对于 2003 年大部分地区呈上升趋势, 但宝鸡地区依然存在下沉点, 沉降量最大为 -5 mm。西安到临潼地区地面略有抬升, 上升幅度为 $5 \sim 10$ mm。36 个样点中只有 3 个点发生沉降。

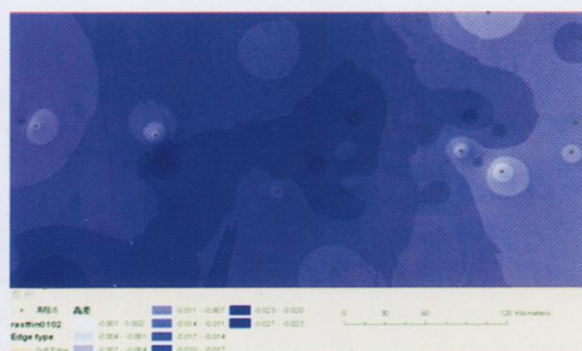


图 3 2003 年较 2001 年的沉降变化

Fig. 3 The sedimentation changemnt between 2001 and 2003

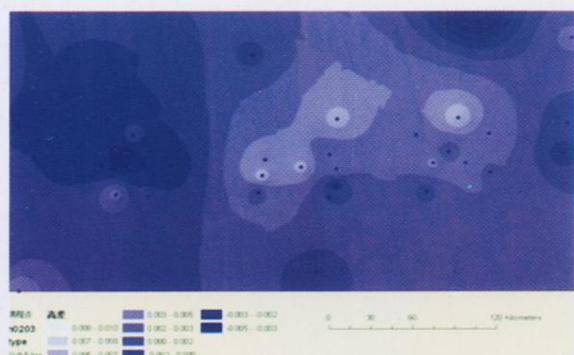


图 4 2005 年较 2003 年的沉降变化

Fig. 4 The sedimentation changemnt between 2003 and 2005

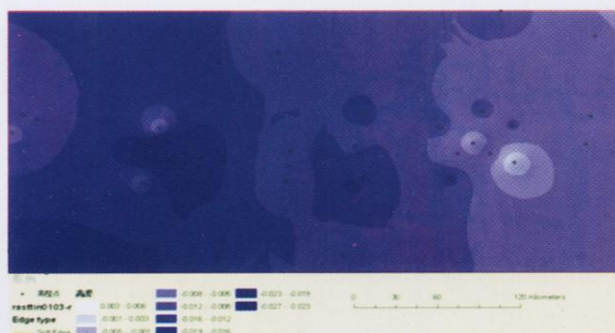
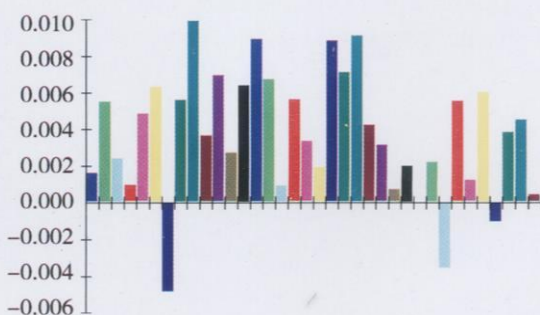
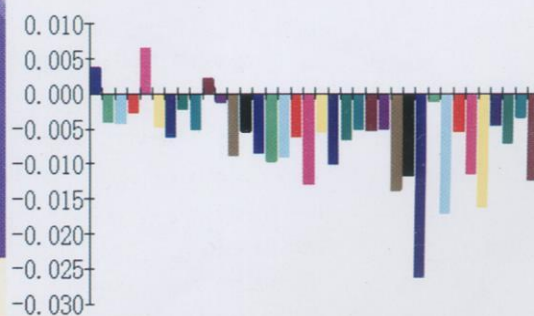


图 5 2005 年较 2001 年的沉降变化

Fig. 5 The sedimentation changemnt between 2001 and 2005



从图 5 可以看出, 2005 年相对 2001 年, 36 个样点中 3 个点上升, 其余 33 点发生沉降。

总的来说, 2001~2005 年中绝大多数区域以下降为主。宝鸡大部分区域沉降都在 $-15\text{ mm} \sim -20\text{ mm}$, 且沉降量最大的地方超过 -25 mm ; 西安地区沉降量在 $-10\text{ mm} \sim -15\text{ mm}$; 临潼地区的沉降量最小, 有的地方还有小幅度上升。

4.3 特征点沉降分析

分析这几年的沉降观测数据可以得出: 宝鸡至西安地区在这几年中是下沉的, 沉降量最大的区域在宝鸡县附近, 坐标为 $107.339\ 821^{\circ}\text{E}$, $34.257\ 041^{\circ}\text{N}$; 临潼地区虽然总体趋势下沉, 但是却存在明显的上升点: 其一在蓝田县的公主岭附近, 坐标为 $109.583\ 023^{\circ}\text{E}$, $34.211\ 659^{\circ}\text{N}$, 其二为骊山附近, 坐标是 $109.310\ 727^{\circ}\text{E}$, $34.347\ 807^{\circ}\text{N}$ 。

5 地面沉降的原因及防治

人类活动多集中在平坦的盆地或地形坡度平缓地带, 这些地带由于自然沉降过程而形成松散第四纪地层沉积, 并且在自然演化中仍发生松散地层的压实与固结过程。陕西关中地区位处秦岭北麓, 人口稠密, 农业用水量大, 地壳运动活跃, 这必然使一些地带产生地面沉降, 而大中城市的地面沉降, 多与

过量开采地下水有关, 随着改革开放的发展, 城市周边地区的乡镇企业兴起, 不仅其本身大量开采利用地下水, 而且向地表河道不断排放污水, 导致地表水质普遍下降, 使整个区域成为水质型缺水地区, 加剧了广大农村地区居民用水紧张, 促使地下水开采量的急剧增加, 产生了区域性水位降落漏斗。应当说人类活动特别是开采地下水是地面沉降产生的诱因, 且其发展的趋势是将多个城市的沉降带相衔接而形成区域性的地面沉降。西安是关中地区的典型沉降区, 自 1959 年发现以来其沉降现象一直引人关注。到 1988 年最大累计沉降量已达 1.34 m , 由于市区内各个区域沉降发展不均衡, 已经出现了 11 条明显的地裂缝, 总长度达 $76\ 68\text{ km}$, 这些裂缝还在以每年垂直方向移动 $5\sim 30\text{ mm}$, 水平方向移动 $3\sim 4\text{ mm}$ 的速度发展。

而近几年来, 由于气候原因, 关中地区降水增多使地下水得以补给。据中国水利部有关统计资料显示 (表 2) 由于降水的原因, 关中平原地区这几年浅层地下水上升区面积为 $7\ 727\text{ km}^2$, 平均上升 0.82 m ; 下降区面积为 $1\ 324\text{ km}^2$, 平均下降 1.15 m ; 相对稳定区面积为 $11\ 683\text{ km}^2$, 平均上升 0.28 m ; 合计整个地区, 浅层地下水位抬升了 0.39 m , 蓄水变量为 $+1\ 281\times 10^8\text{ m}^3$ 。因此, 这在一定程度上缓解了地面沉降的速度与幅度, 但其总体情况仍令人担忧。

表 2 2003 年陕西地区潜层地下水动态统计表
Table 2 The dynamic statistics of phreatic water in Shaanxi Province in 2003

地区名称	上升区		下降区		相对稳定区		合计			1980 年末	当年末	1980 年起
	面积 (km^2)	平均变幅 (m)	面积 (km^2)	平均变幅 (m)	面积 (km^2)	平均变幅 (m)	面积 (km^2)	平均变幅 (m)	蓄水变量 ($\times 10^8\text{ m}^3$)	平均埋深 (m)	平均埋深 (m)	累计蓄变量 ($\times 10^8\text{ m}^3$)
关中盆地	7 727	0.82	1 324	-1.15	11 683	0.28	20 734	0.39	1 281	2 530	2 695	-13 680
陕北风沙滩区	758	0.97	2 526	-0.80	9 348	0.20	12 632	0.05	0.435	4.86	5.04	-1 820
鄂尔多斯沿黄地带	2 150	0.46	0	/	0	/	2 150	0.46	0.396	3.12	5.74	2 248

和其他地质灾害一样, 需要从有关成因及发生过程类型上着手进行分析。根据关中地区的特点, 应该合理规划发展布局, 注意地质-生态环境效应, 并对城市地下水资源的开采进行节制, 加强人工回灌措施, 同时建立完善的监测网络, 进行地质灾害的危险度和危害性的评估, 从而为合理开发及防治灾害提供依据。

6 结论

地面沉降的表现形式多样, 其良好的显示对于沉降分析起着至关重要的作用。本文基于 ArcGIS 针对某一时段关中地区地面沉降数据, 进行了三维显示与分析研究, 得出以下几方面结论:

1. 关中地区 2001~2005 年的地表变化为先沉降, 后抬升; 整个地区可分为西、中、东三大区域, 各

点的沉降量有明显差异, 总体趋势是西部沉降量最大, 东部沉降量最小, 并有上升表现, 全区从西向东逐渐变化。

2. 大量开采地下水, 导致产生区域性水位降落漏斗, 这是关中地区发生大面积沉降的主要原因。

3. 第三年当中关中地区大范围的地面抬升主要是因为当年北方地区出现持续大量降水, 不仅减少了农业对地下水的开采, 而且较为明显的补充了地下水的水位, 使关中地区地表有所上升。

参考文献 (References)

- [1] Cui Duxin, Wang Qingliang, Wang Jianhua, et al. Monitoring three dimension crustal deformation in south suburb of Xi'an city by GPS [J]. *Crustal Deformation and Earthquake*, 2003, 23(2): 47~51 [崔笃信, 王庆良, 王建华, 等. 用 GPS 监测西安市南郊地壳形变 [J]. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(2): 47~51]
- [2] Wu Ling, Li Tianwen. Analysis of subsidence survey data and demo of three-dimensional model based on GIS [J]. *Journal of earth science and environment*, 2004, 26(2): 67~70 [吴琳, 李天文. 基于 GIS 的沉降监测数据分析及其三维模拟 [J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 67~70]
- [3] Wu Ling, Li Tianwen, Peng Qi, et al. Research and exploration on surface subsidence surveying using GPS and ArcView [J]. *Bulletin of surveying and mapping*, 2004(12): 27~30 [吴琳, 李天文, 彭金才, 等. 基于 GPS 利用 ArcView 进行地面沉降监测的研究及探索 [J]. 测绘通报, 2004 第 12 期: 27~30]

- [4] Zhu Yiqing, Wang Qingliang, Tian Qinyan, et al. Comprehensive analysis and study of crustal deformation in Guangzhou area [J]. *Journal of geodesy and geodynamics*, 2006, 26(4): 56~62 [祝意青, 王庆良, 田勤俭, 等. 关中地区地壳形变综合分析与研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(4): 56~62]
- [5] Lu Yaon. Monitoring and prevention of Geological Hazards [M]. Beijing Higher Education Press, 2000 [卢耀如. 地质灾害的监测与防治 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.]
- [6] Zhang Benping. Analysis and research in Xi'an of land subsidence and groundwater based on GIS [D]. Xi'an Chang'an University, 2003. [张本平. 基于 GIS 的西安市地面沉降与地下水分析与研究 [D]. 西安: 长安大学, 2003.]
- [7] Zhu Jungao, Lu Xiaoping. Review of study on ground subsidence [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2001, 12(4): 74~79 [朱俊高, 陆晓平. 大面积地面沉降研究现状 [J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 12(4): 74~79]
- [8] Xu Zhanhua, Chen Xiaoling, Li Yoksheung. 3D terrain visualization based on ArcGIS and ERDAS Imagine [J]. *Journal of Geomatics*, 2005, 30(1): 3~4 [徐占华, 陈晓玲, 李毓湘. 基于 ArcGIS 与 ERDAS MAGINE 的三维地形可视化 [J]. 测绘信息与工程, 2005, 30(1): 3~4]
- [9] Li Tianwen, Ling Weifeng, Li Junfeng, et al. Research on recent crustal horizontal movement of northeastern margin of Qinghai-Tibet block based on GPS [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(3): 260~266 [李天文, 梁伟锋, 李军锋, 等. 基于 GPS 的青藏块体东北缘现今地壳水平运动研究 [J]. 山地学报, 2005, 23(3): 260~266]

The Three Dimension Display and Analysis of Land Subsidence in Guanzhong Area Based on ArcGIS

LITianwen¹, CHEN Jing¹, HU Bin², LIBingqian², CAO Jianping², LIChao¹

(1. Department of Urban and Resources Science, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China)

Abstract In order to give measures to prevent and control land subsidence, based on ArcGIS, this paper analysing on the texture of land subsidence not only shows the land subsidence on the ichnography, but also show the performance that displayed by three dimensions. Because of this, the effect provides exact basis and precondition for land subsidence analysis. This paper studies land subsidence with an example of Guanzhong Area, displays the situation in three dimensions and analyze the characteristics and change on the whole area level, sub-area level and independent sampling points. Finally, according to the land subsidence quantity, some reasons related to it are worked out and a series of measures about land subsidence control are given.

Key words Land subsidence; ArcGIS; Guanzhong area; Three-dimensions; subsidence analysis