

过程中尽管粘土粒级的相对含量增加,大多数元素的 Me/Fe 比值下降。

通常在河口混合时,随着盐度的增加和离子强度的变化, Na^+ , K^+ , Mg^{++} 等常量元素对颗粒表面吸附位置的竞争以及海水无机,有机络合离子的增加,使一部分颗粒态的痕量金属释放到水体;此外由于电解质浓度的增加,引起 $Fe-Mn$ 氧化物的絮凝沉降,又使一部分溶解态的重金属转入固相,因此在河口混合时,重金属在各个组分之内的分配会发生改变。但是在黄河口,在淡-咸水混合时,重金属的各组分的分配基本不变,这表明在泥沙含量较高的黄河口,混合过程引起的解吸和 $Fe-Mn$ 氧化物絮凝对颗粒态重金属的影响是不显著的,因此 Me/Fe 比值的下降可能主要反映了痕量金属在悬浮体不同粒级部分间的分配差别和碎屑矿物,特别是暗色矿物沉降时对它的载带。

与早期所做的黄河口沉积物中痕量金属的赋存形式相比,颗粒态重金属的分配大致相似,主要的差别是有机态部分所占的比例稍低。这可能与汛期黄河水中泥沙含量急剧增加对悬浮体有机物的稀释有关,此外由于透明度低,使光合作用受抑制,也使有机物含量低。

四、结 论

黄河悬浮体中重金属基本是呈与矿物相结合的形式存在,与其它河流相比,可交换态和有机态, $Fe-Mn$ 氧化物态是相对次要的,随着远离河口粘粒含量增加 Me/Fe 比值有降低的现象,表明在淡、咸

水混合过程中发生的主要过程是颗粒沉降对痕量金属的载带,而痕量金属在颗粒表面的解吸或在颗粒与水间的重新分配可能是次要的。

参 考 文 献

- [1] 叶青超,地理学报,37(4),349(1982).
- [2] 陆俭益,海洋工程,3(2),51(1985).
- [3] 庞家珍,司书亨,河流泥沙国际学术讨论会论文集,417-427页,光华出版社,北京,1980年.
- [4] 秦蕴珊,李凡, Proc. Int. Symp. Sedimentation on the continental shelf with special reference to the East China Sea, pp. 1, 83-92 China Ocean Press, Beijing, 1983.
- [5] 黄薇文等,环境科学,6(4),29(1985).
- [6] 李静等,山东海洋学院学报,12(5),105(1985).
- [7] 黄薇文等,山东海洋学院学报,15(1),137(1985).
- [8] 南京大学地质系岩矿教研室,粉晶X射线物相分析,240页,地质出版社,1980年.
- [9] Gibbs, R. J., *Geological Society of American Bulletin*, 88, 829-843(1977).
- [10] Tessier, A. et al., *J. Earth Sci.*, 17,90(1980).
- [11] 杨作升等,山东海洋学院学报,15(2),121(1985).
- [12] 刘宝珊等,沉积岩石学 497页,地质出版社,1980年.
- [13] Preslay, B. J. et al., *Water, Air and Soil Pollution*, 13(4), 481(1980).
- [14] 林植青等,海洋与湖沼,13(6),523(1982).
- [15] Aston, S. R. et al., *Marine Pollution Bulletin* 12(9), 308(1981).
- [16] 中国科学院南京土壤研究所,中国土壤,729页,地质出版社,1978年.
- [17] 刘东生等,黄土的物质成分与结构,132页,科学出版社,1966年.

西安市地面沉降调查与预测

沈 景 文

(陕西省环境保护科学研究所)

城市地面沉降预测,是国家下达的2000年环境预测内容之一。本文是笔者承担的2000年陕西省地下水环境预测中的一部分。

一、地面沉降的发生与发展

西安自1959年开始,发现了有微弱的地面沉降,1971年以后沉降速率逐渐加快。1978年开始

沉降速率达到50—60mm/a,特别是以东北郊胡家庙为中心的沉降速率竟高达80mm/a。尔后,西安市的地面沉降持续按此速率,并有增无减,继续发展。

至1978年10月整个城市地面下沉,以东北郊、东南郊和南郊为最烈,依次可以圈出三个沉降中心。又按1977年3月至1978年10月一年半时间内的

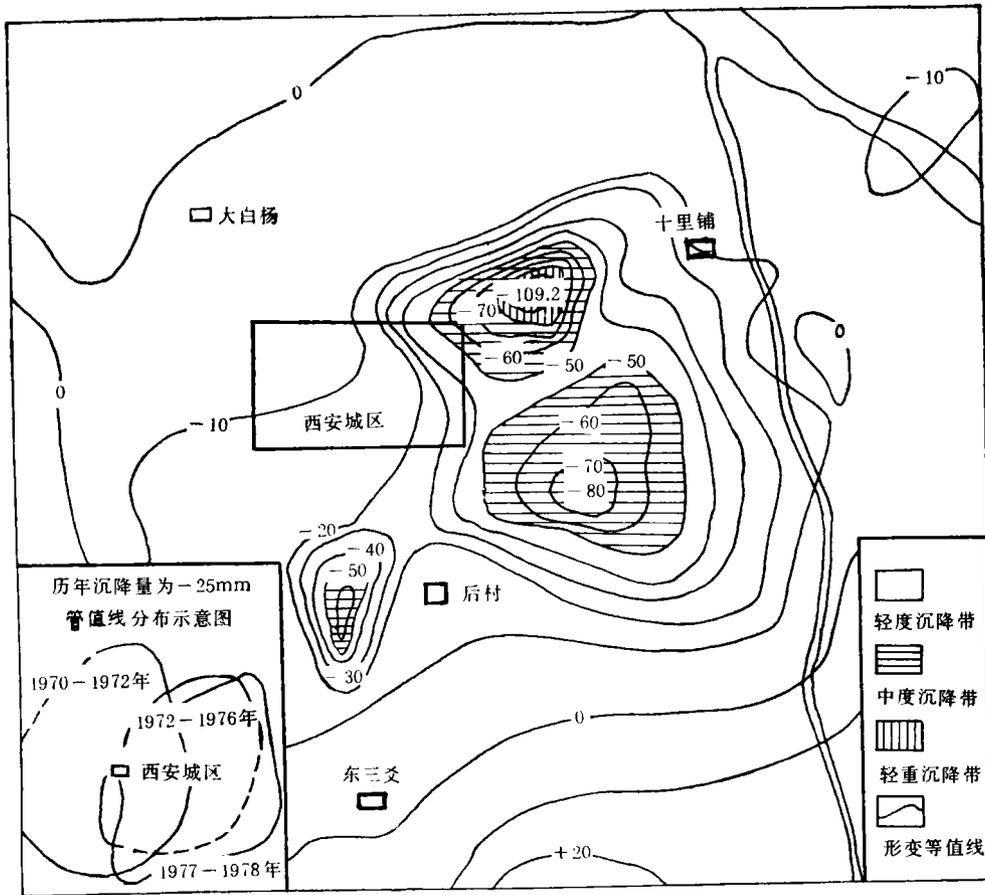


图 1 西安市地面沉降形变图

沉降量大小,还可相对划出三个不同程度的沉降带:

(1) 轻度沉降带: 累计沉降量小于 50mm, 包括西安市的城市区和郊区, 面积共约 88km²;

(2) 中度沉降带: 累计沉降量为 50—80mm, 呈斑状分布, 沉降中心在东南郊沙坡和南郊小寨一带, 面积分别为 12km² 和 1.5km²;

(3) 严重沉降带: 沉降量大于 80mm, 呈斑点状, 最大沉降中心在东北郊胡家庙一带, 累计沉降量达 109.2mm, 面积约 1km².

二、地面沉降的规律和特点

西安地面沉降在幅度上存在着差异, 沉降区和沉降中心具有延续性的特点. 从图 1 可以看出, 1972 至 1976 年, 1977 至 1978 年两个阶段沉降量为负 25mm 等值线, 分布范围基本上一致. 沉降区内胡家庙、沙坡、小寨三个沉降中心, 多年来一直是沉降量较大的区域.

各阶段地面沉降分布范围的平面几何形态, 均呈椭圆形的漏斗状, 沉降中心呈分散分布的封闭漏斗状, 长轴漏斗方向无一定规则. 例如胡家庙漏斗长轴近 NE 向, 沙坡漏斗长轴近 EW 向, 小寨漏斗长轴近 SN 向(见图 1). 这些特征, 可以说明地面沉降的形成与地质构造断裂活动无直接成生联系.

从年沉降量中我们也可看出月沉降量的差异性. 如 1971 年以来, 胡家庙和沙坡两个沉降中心, 月平均沉降量约 2.2—2.8mm, 但 1976 年 4 月至 11 月沉降量达 4.1—4.6mm (见表 1), 这主要是这两次水准测量时间之间正是地下水开采的高峰期, 而 11 月份距高峰开采期结束约 1 至 2 个月. 由于地下水位的变化时间要有一个缓慢的地下迳流过程, 所以一年内一般是在 11 月为沉降量最大的月份.

三、地面沉降的地质环境与原因分析

导致西安地面沉降的形成条件是多方面的, 有

表 1 西安三个点的地面沉降情况

年 月		1970.9—1971.6	1971.6—1972.9	1972.9—1973.4	1973.4—1976.4	1976.4—1976.11	1976.11—1977.10
月 沉 降 量 (mm)	胡家庙			2.1	2.4	4.1	2.4
	小寨	1.0	2.4	1.5	1.7	1.3	1.0
	沙坡	1.0	2.2	2.0	2.8	4.6	2.6

表 2 西安地区六层可压缩性土层

编号	埋深 (m)	厚度 (m)	岩 性	孔隙比	压缩系数 (cm ² /kg)
I	20 以上	10—20	黄土	0.8—1.0	0.02—0.046
II	40—100	20—60	淤泥质亚粘土、黄土状亚粘土	0.7—0.9	0.01—0.032
III	140—160	10—20	淤泥、淤泥质亚粘土	0.7—0.8	0.01—0.013
IV	170—220	10—40	淤泥、淤泥质亚粘土	0.6—0.7	0.01—0.030
V	230—250	10—20	淤泥、淤泥质亚粘土	0.5—0.6	0.01—0.018
VI	270—300	20—30	淤泥、淤泥质亚粘土	0.3—0.7	0.01—0.022

内在的地质环境和外在的人为因素两个方面。地质环境是发生沉降的前提，而强烈开采地下水则是人为因素的直接原因，内在条件需要有外部因素促发。

1. 从压缩性土层埋藏分布上分析，西安地下埋藏有六层可压缩性土层(表 2)，其中尤以第 II、IV 层厚度大，压缩系数亦大。另外，还有 7—8 层的中细砂、粉细砂含水层，亦为可压缩土层。当大量开采地下水时，一些粉细砂颗粒被水携走，使砂层压密，这也是形成地面沉降的内在地质条件。同时压缩层与地下水开采段的相关关系极为重要，因为开采段的深度主要是在 60—220m 之间，目前形成的地下水位下降漏斗也就是本开采段深度内承压含水层的漏斗段。鉴于此，有压缩效应的压缩土层，以埋藏在 220 米以上者，尤以第 II、IV 层的压缩效应最为明显。

2. 从表层黄土湿陷性分析，据鉴定，西安地面的马兰黄土层(见表 2)，属于 I—II 级湿陷性黄土，其压缩系数也较大。造成黄土湿陷主要原因是易溶矿物被水溶解，但这需要较长时间的过程，偶而秋雨连绵，就有可能在长期积水处形成。然而西安近几年来常干旱少雨，郊区的农业灌溉增大了对潜水的开采量，使潜水位一直处于下降的趋势。所以黄土的湿陷性对整个城市的地面沉降，可以认为是无普遍作用。

3. 从承压水的开采、下降漏斗的形成与发展分析，1971 年后，西安城郊各工厂自备深井总采水量达 $23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。发生地面沉降的区域内有自备深井 400 余眼，集中开采承压水，井深多为 200—220

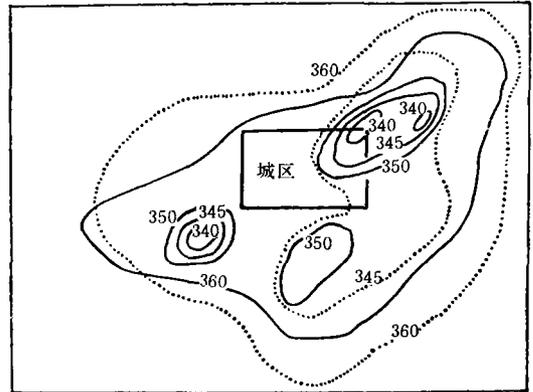


图 2 西安市承压水开采漏斗图(高峰期)
——1975 年等水位线 1979 年等水位线

m, 个别为 250—280m。连续数年开采，在 1975 年已形成了区域下降漏斗(图 2)。1975 年 8 月海拔 360m 等水位线为漏斗边界的面积为 76 km^2 ，其中 350m 为边界的漏斗呈三个斑点状，总面积 14 km^2 ，水位埋深 40—65m。至 1979 年 8 月 360m 漏斗边界面积达 90 km^2 ，较 1975 年 8 月扩大 16 km^2 ，其中 345m 为边界漏斗已连成片状，面积 30 km^2 ，水位埋深 45—80m，较 1975 年 8 月普遍下降 10—15m。而在 50 年代，据勘探钻孔原始承压水位为 15—30m。与此相比，至 1979 年承压水位已下降 25—60m 不等。

从承压水开采、下降漏斗形成与发展分析，又可以得出如下的结论：

1. 承压水开采量与地面沉降的增长趋势相一

致。在沉降区内 1971 年前开采承压水的数量并不大,而 1971 年后,随着井数的增加,开采量成倍增长。地面沉降亦是以 1971 年为转折,两者逐年增长的趋势并无二致,承压水区域开采下降漏斗和地面沉降的分布范围也基本吻合。

2. 地面沉降中心,即中度和严重沉降带与区域承压水开采下降漏斗中心也几乎完全重合。如 1977—1978 年胡家庙一带的沉降严重地段,面积为 6km²,其形状和沉降中心基本上与胡家庙承压水开采漏斗相一致。又如小寨中度沉降带,面积为 3.5 km²,其形状和沉降中心与小寨—李家村承压水开采下降漏斗也相一致。

从以上分析中得出的结论是,承压水过量开采是形成西安地面沉降最根本的直接原因。

承压水过量开采,引起水位下降,进而导致地面沉降。其物理机制是水都具有浮力,地下水也能承担抗压作用。假如把含水层中地下水汲空,会引起土颗粒骨架间的压缩,于是土层就压实,表现了城市地面下沉。由于承压水水头不断大幅度的降低,与其水力联系的相邻隔水层,水头也随之下降,使作用于土颗粒骨架上的应力增加,也会产生土的压密。

四、未来地面沉降预测

当确知西安地面沉降的主要原因是人工强烈开采承压水所致,决非地壳运动的自然力而产生时,于是就可以采取趋势外推法,进行中、长期的定量预测。据推导,其计算公式如下:

$$S_t = S_0 + \Delta S_0 \frac{1 - K^t}{1 - K} + a(\Delta H_t - \Delta H_{t-1} \cdot q)$$

式中, S₀ 是预测前的已知地面沉降量; S_t 是预测多少年的地面沉降量预测值; K 是等于 $\frac{\Delta S_0}{\Delta S - 1}$, 定为常数。此常数根据历年实际地面沉降资料反求获得,或者根据经验确定; a(ΔH_t - ΔH_{t-1} · q) 是水位特殊变化对地面沉降的干扰项,为了按已知趋势预测,故计算时可不计入。

现据实测资料,1971 年以前,每年平均沉降量为 3—5mm; 1970—1972 年最大沉降量为 37mm; 1972—1976 年最大沉降量为 72mm; 1977—1978 年胡家庙最大沉降量为 109.2mm; 小寨和沙坡为 50—80mm,计算时均取 80mm 值。

现对胡家庙、小寨和沙坡三个下降漏斗区,至 1990 年和 2000 年的最大沉降值进行预测。

1. 胡家庙下降漏斗中心,地面最大沉降值预测:

(1) 预测 1979 至 1990 年

$$S_0 = 109.2\text{mm}, t = 12a, \Delta S - 1 = 72 - 37 = 35\text{mm}, \Delta S_0 = 109.2 - 72 = 37.2\text{mm},$$

$$K = \frac{\Delta S_0}{\Delta S - 1} = \frac{37.2}{35} = 1.06$$

$$S_{12} = 109.2 + 37.2 \times \frac{1 - (1.06)^{12}}{1 - 1.06} = 736.8\text{mm}$$

(2) 预测 1979 至 2000 年,按上述公式计算:

$$S_{22} = 1723.4\text{mm}.$$

2. 小寨和沙坡两个漏斗下降中心,地面最大沉降值预测

(1) 预测 1979 至 1990 年

$$S_{12} = 80 + 8 \times \frac{1 - (1.06)^{12}}{1 - 1.06} = 80 + 133 = 215\text{mm}$$

(2) 预测 1979 至 2000 年

$$S_{22} = 427.1\text{mm}$$

预测结果: 胡家庙下降漏斗中心至 1990 年地面最大沉降量为 736.8mm; 至 2000 年为 1723.4 mm。小寨和沙坡两个下降漏斗中心至 1990 年,地面最大沉降量为 215mm; 至 2000 年为 427.1mm。

应当指出,由于现有资料局限于 1979 年以前,并未陈述到 1979 年以后沉降速率有继续增大的情况,因此该预测值只有偏小,不存在偏大。再则由于最大下降中心继续下沉,则下沉的波动面积也必将继续扩大,影响危害就更为严重。

五、地面沉降的危害与对策

1. 地面沉降的危害

(1) 可使城市地面积水成涝: 城市地面下沉会改变城市的微地貌,使城市处在低洼的中心,增加了排水工程的负担和困难。由于近几年东北郊下沉最强烈,稍一下雨,就积水成涝,势必增大市政工程的投资。

(2) 高层建筑物底层与地面脱空: 由于深层土的压密,地面下沉,深井套管相对上升,使得高层建筑底层与地面脱空,地基悬空,影响了建筑物的安全和近地面的出入不便。

(3) 在地面沉降区,由于其土层的厚薄或尖灭,物理机制性质不一。当造成不均一的沉降,便可导致各种次生灾害如地裂缝的产生。现在西安城市区为何地裂缝如此发育和密集,也有可能是与不均一的地面沉降有关。

(4) 地面沉降和地裂缝的危害给西安城市又增加了特殊的环保问题。它可以使建筑物产生裂缝,通路变形,地下管道断裂,还可干扰城市建设总体规划,造成严重的经济损失。

2. 控制地面沉降的对策

目前国内外对城市地面沉降,采取的措施是设立水准观测井,控制地下水使用。通过观测井测定地下水位,找出地下水抽取量与地面沉降的变化规律,从而制定出每天抽取量的最大值。规定在地下水位下降到警戒线以下时,不准采用。二是采用人工渗水或回灌的办法,就是利用地表洼地积水(必须是疏松透水的岩土),让其自然渗透,补给

地下水。亦有人工压水回灌的办法,就是用空气压缩机通过深水井将水源大量长期压灌至地下,补给地下含水层。这不但可以控制地面下沉,还可以起到对地面已经下沉的某些补偿作用。

致谢: 本文预测数据由陕西省地矿局水文地质观测总站沈小珍副总工程师提供,特表谢意。

大同四台沟煤矿地表塌陷的预测

艾亚民 赵金岭

(山西煤管局环保研究所)

王华东

(北京师范大学环科所)

何万龙

(山西矿业学院地质系)

煤炭是我国工业的主要能源,占能源构成的72%。1985年全国煤炭产量8亿多吨,预计到本世纪末煤炭产量将达到12亿吨以上。煤炭开发中的环境问题是多方面的,但地表塌陷是具有明显行业特点的主要环境问题之一。我国关于这方面的预测研究起步较晚,某些评价方法尚在探索阶段。1984—1985年我们在进行大同四台沟煤矿环境影响评价时,对此进行了专题研究,现将结果报告如下。

一、四台沟煤矿的概况

四台沟煤矿位于山西省大同市西郊云岗沟内,设计年产500万吨煤炭。井田面积85.6km²,矿井服务年限82年,预计1990年投产。

该矿采用斜井、立井混合方式开拓,采煤方法为走向或倾斜长壁冒落法。工作面参数是:综合机械化工作面长150米,年进度900米;普机工作面长150米,年进度600米。顶板管理除采用较高阻力的液压支架或金属支柱密集支撑外,还考虑采取钻孔加压注水软化顶板或浅孔爆破强制放顶措施。

矿区地貌系黄土高原丘陵区,海拔1200—1300米左右。井田地质构造简单,走向东北,倾向南东,为单斜构造,倾角一般为3—5°,在向斜构造两翼局部地区可增加到10—15°。本区森林覆盖率11%,生态比较脆弱。

二、地表塌陷预测

(一) 预测方法和有关参数的确定

大同煤田侏罗系各煤层的顶板大多为砂岩、砂

砾岩,属典型的难冒型坚硬顶板。对这种特殊条件下的地表移动规律还研究得不够,尚无开采的地表移动准确参数。本研究根据对大同已生产多年矿井地表塌陷有关资料分析,结合四台沟煤矿地质开采条件与覆岩的特性,选用概率积分法进行预测,主要预测参数按类比法确定如下:

1. 下沉系数(q)和水平移动系数(b),长壁冒落法:初采 $q = 0.55$,复采 $q = 0.6$ 古窑及刀柱法开采(2#-2煤层): $q = 0.3$ 水平移动系数: $b = 0.25$ 。

2. 基岩移动角(走向 δ 、下山 β 、上山 r),初采: $\delta = r = 85^\circ$,复采: $\delta = r = 80^\circ$ $\beta = \delta - \alpha$ α 为煤层倾角

3. 移动边界角 (δ_0 、 r_0 、 β_0)

$$\delta_0 = \delta - 20^\circ, r_0 = r - 20^\circ \beta_0 = \beta - 20^\circ$$

4. 地表裂缝角 (δ' 、 r' 、 β')

$$\delta' = \delta + 10^\circ, r' = r + 10^\circ \beta' = \beta + 10^\circ$$

5. 表土层移动角: $\varphi = 45^\circ$ 。

6. 概率积分法专用参数

主要影响角正切 ($\text{tg}\beta$): 初采 $\text{tg}\beta = 1.5$ 复采 $\text{tg}\beta = 1.8$ 。

捌点偏距 $S = 0.2$ H H 为采深

主要影响传播角(最大下沉角)

$$\theta = 90^\circ - 0.8\alpha$$

(二) 预测内容及主要结论

根据该矿地质采矿条件及所选定的移动参数和预测方法,分别对该井田的北部、中部和南部地区,进行了下列预测计算: