

渭南黄土台塬晚新生代 环境与城市建设

徐 馨 尤坤元

(南京大学)

邢肇祺 吕遂庆

(陕西省地质局第二水文地质队)

提 要: 根据对W7、W8两钻孔中的孢粉、微体古生物化石和矿物成分分析, 结合野外考察及古地磁地层年代资料与标准剖面对比, 作者提出本区第四纪地层划分的初步意见并阐述了晚新生代环境。根据W7、W8两孔相当层位的深度变化, 推断张性正断层的存在, 进而讨论了与城市建设有关的地下水资源和黄土塌陷问题。

主题词: 孢粉 微体化石 黄土平台 黄土台塬 构造断裂 灾害环境

渭南是关中地区东部的新兴工业城市。近年来在城市建设中遇到一些环境地质问题需待解决。作者对渭南城南的零河—沈河之间的黄土台塬及塬前平台至渭河谷地(图1)的地貌与第四系作了考察和研究, 并在黄土塬、台上分别钻取W7和W8两孔的岩心, 作了孢粉和微体古生物化石分析、地层结构与岩性对比, 以分析测试资料为依据, 本文讨论与城市建设有关的塬前黄土平台稳定性和地下水资源等第四纪沉积环境等问题。

一、孢粉与微体古生物化石分析

W8孔和W7孔的孢粉及微体古生物化石分析的成果可以作为本区第四系划分的根据。简要描述于下:

(一) W8孔

W8孔位于渭南城南韩马村, 处黄土平台, 孔口标高413.38m, 孔深302.35m(未见底), 以孔深133.25m为界地层分上下两部: 上部由黄土层间夹古土壤层组成, 下部以砂、砂—粘土层组成。全孔共分54层, 计11层古土壤层、11层砂层和1层淤泥层外, 还有12层黄土及19层砂—粘土层。它们分属12种不同沉积结构, 组成不同沉积韵律。据孢粉组合特征, 全剖面可分7个主要孢粉带和若干亚带; 按微体古生物化石, 只能划为2个组合带。

孢粉分析结果 W8孔孢粉组合见图2。133m以下花粉较多, 出现2个干凉和2个温暖期。干凉期出现在孔深301—294m及201—174m。草本花粉百分含量高达50—100%, 且

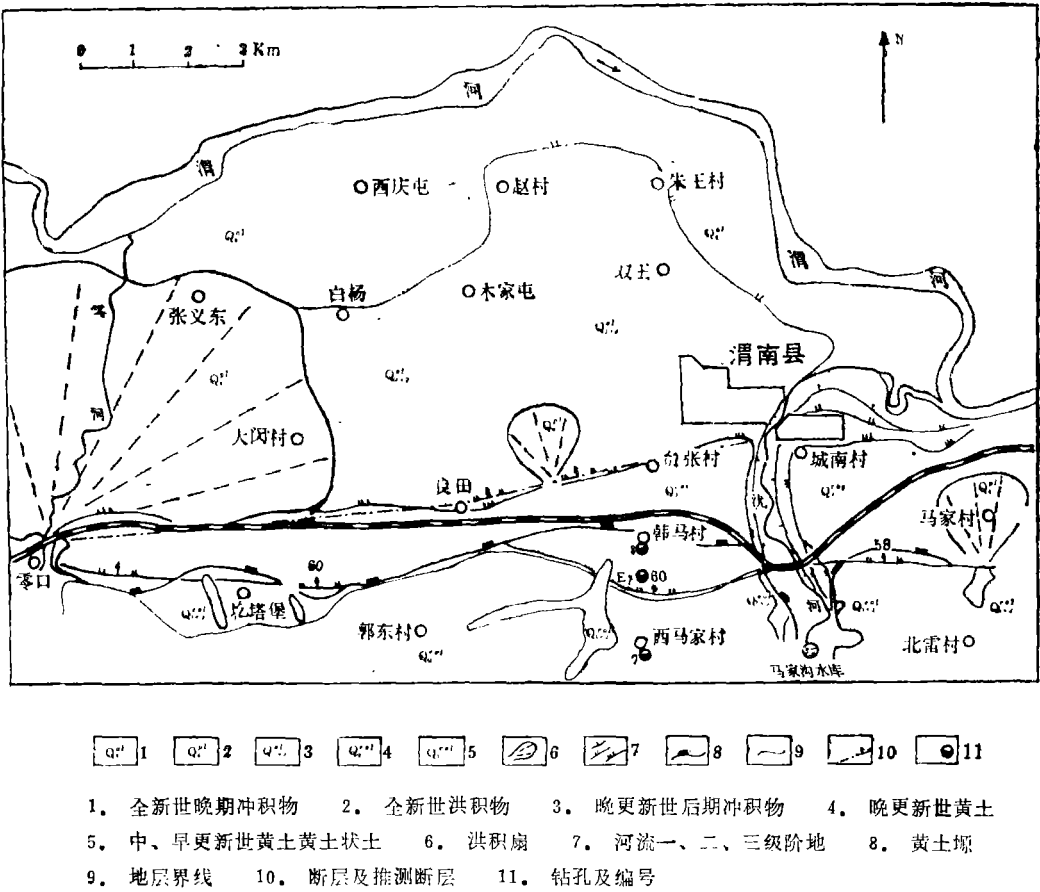
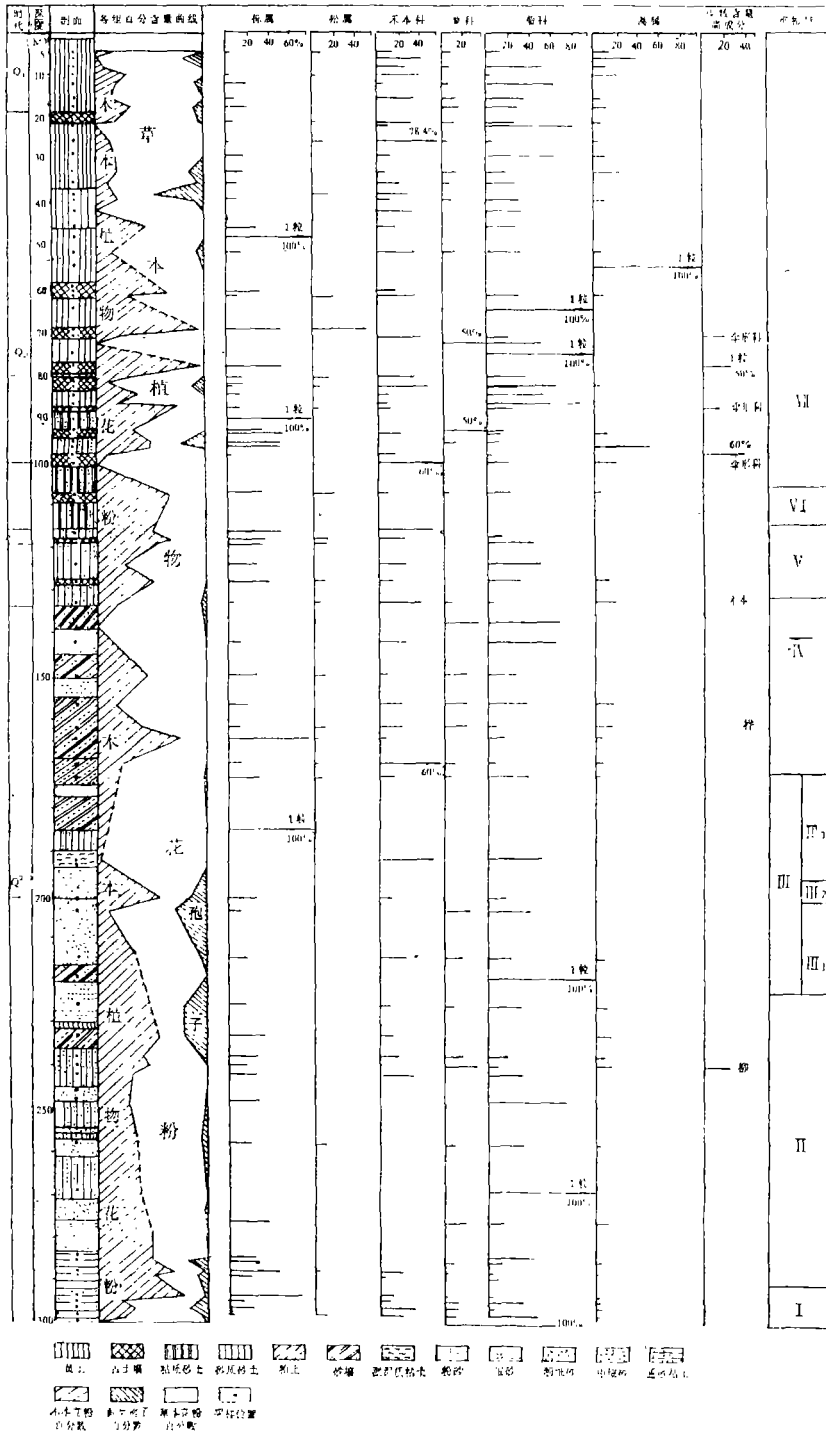


图 1 渭南附近地区地质略图
The geological sketch in the Weinan area

以菊、藜、禾本科含量最高，其次为蒿以及少量荻草、石竹、百合等；木本仅见个别雪松、柏科花粉。反映为疏树草原，气候干凉。这类草原而今分布在半干旱地区，年均温在9℃以下，年雨量约在500mm以下，比现今渭南气温低5℃，降雨量约少200mm〔3〕。这段地层中也有少数层位出现木本植物花粉（木本占55.5%）略高于草本植物的，反映气候较温湿。

温暖期是以木本花粉为主或含量增高为特征。在孔深294—201m，173.4—133.2m，都出现过松—禾本科—菊科花粉占优势，木本花粉占总量的10—78.7%，草本花粉平均为44%的孢粉带。但木本较复杂、草本较单一。都以松（2.8—67.1%）、禾本科（2.4—60%）、菊科（2.8—71.5%）百分比比较高；少数层位铁杉、柳、藜含量增高，此外还有少量云杉、冷杉、雪松、落叶松、栎、胡桃、桦、榆、鹅耳枥、栗及个别枫杨、黄杞，偶见罗汉松、银杏以及早生蒿、百合、石竹等，湿生有香蒲、睡莲等等。这两个层段孢粉成分较复杂、含量亦较高，既有少量古老的孑遗种，又有些暖湿成分；既有高山亚高山针叶树，又有喜干旱的温带落叶阔叶树和杂草，组成以松为主的森林草原植被，反映地面起伏较大，气候比较温和湿



润, 比现今渭南温暖湿润。

上述 4 个孢粉带, 代表 2 个气候变化旋回: 即干凉→温暖→干凉→温暖。一般规律是木本花粉为主时, 砂层相应增多, 可能反映流水作用加强, 沉积颗粒变粗; 在砂质粘土中草本花粉常占优势, 反映气候干凉, 流水作用减弱, 沉积颗粒因而变细。

根据 4 个带中所含少量银杏、雪松、罗汉松、铁杉、枫杨等特殊成分与华北、东北早更新世孢粉谱对比, 可定为早更新世, 但与本区兰田张家坡〔7〕和渭河谷地早更新世孢粉组合〔4〕对比, 所含古老成分和亚热带分子偏少, 因此 133m 以下至 361m 层段时代也相应偏晚, 应属早更新世中晚期 (Q_1^{2-3})。

孔深 133m 以上, 孢粉含量十分贫乏, 大多数样品中孢粉数都在 10 粒以下, 且以旱生草本花粉占优势, 有的竟高达 100%, 常组成以少量松 (可能外来的) 与菊科或松与禾本科为特征的孢粉带。

松—菊优势带出现在 128—119m 和 98—80m。此带还含少量禾本科、藜科、栎、柳、木樨科等, 组成疏林草原, 反映气候干凉或干温。其中个别层次含木本花粉较多, 组成森林草原。森林草原与疏林草原交替, 表征温湿与干冷气候相间。

孔深 118—98m 和 80—39m, 则以松—禾本科或松—禾本科—菊科为主, 并含较多的藜科蒿、栎、栗、漆、桦等组成森林草原或草原。黄土常与草原相联; 森林草原 (有时为森林) 常与古土壤层同时出现, 反映干凉 (黄土) 与干温 (古土壤) 交替出现。

孔深 39m 以上全为草本植物花粉, 主要有禾本科、菊科、藜科与蒿等。它们共占总数的 60—70%; 木本花粉很少, 不足 30%, 仅有少数柏科、胡桃、柳、栎、枫杨等, 反映为草原和疏林草原, 气候略转湿润。

介形类化石鉴定 W8 孔介形虫化石可分 2 个组合带:

土星介—小玻璃介—湖花介 (*Ilyocypris*—*Candoniella*—*Limnocythere*) 带, 其中常见种有: *I. aspera* (粗糙土星介)、*I. biplicata* (双褶土星介), *I. bradyi* (布氏土星介), *I. Kaifengensis* (开封土星介), *C. albicans* (纯净小玻璃介), *C. mirabilis* (奇异小玻璃介) 等。另有 *Cypria* (丽星介), *Leuconocythere* (白花介), *Condonia neglecta* (疏忽玻璃介), *Turkmenella* (小土库曼介), *Cyclocypris novensis* (涅瓦球星介) 等。

该组合反映为淡水或淡水—微咸水生态环境。微咸水属种出现在孔深 153—163m、201.9—202m 和 236.5—237m, 表示在 119m 以下至 237m 间曾出现过 3 次微咸水环境, 反映气候变干, 水体不深。又因常与轮藻共存, 表明属浅湖及湖滨带的河湖、三角洲相交互相积而成; 层中含有一定量的完整双瓣壳体, 表明当时水动力微弱, 沉积速度中等的静水环境。时代为早更新世 (Q_1)。

孔深 119m 以上, 各层介形虫化石很少, 仅在 92.75m 发现极少小土库曼介和小玻璃介, 反映为淡水环境, 时代为中更新世至全新世 (Q_2-Q_4)。

(二) W₇ 孔¹⁾

该孔位于 W8 孔以南黄土台塬上的西马家村, 孔口标高 548.8m, 孔深 447.37m。该孔

1) 地矿部水文地质所、陕西省第二水文大队孢粉组: 陕西渭南 W7 孔孢粉介形虫轮藻分析报告, 1985 年。

共92层,其中有22层黄土、19层古土壤层、2层黑垆土、6层砂层和43层砂质粘土、粘质砂土、粘土等。黄土和古土壤层位于该孔上部,总厚126.2m;砂、砂粘土等位于该孔下部,总厚321.17m,未见底。

孢粉分析结果 孢粉分12带及若干亚带分属三个主要层段,界线分别在330m和97m。

330m以下孢粉组合特点是:1. 木本花粉向上渐少,草本相应增多。2. 有铁杉、雪松、罗汉松、苏铁、山核桃、紫树等较多的孑遗种和杉科、油杉、枫香、冬青、杨梅、山矾、云香科及木樨榄(*Olea*)、桫欏、蕨等多种热带、亚热带成分,最高可达总数的33.3%。3. 有较多的高山亚高山云杉、冷杉、铁杉、落叶松等针叶成分。4. 还有一些温带落叶阔叶树,水生、旱生草本植物。组成以阔叶为主,针叶与阔叶交替出现的森林植被。当时气候温暖,地面起伏很大,有较古老性质的森林。年均温约在15—17°C以上,降水量达1000mm以上。与渭南现在温度(13°C)和降水量相比,气温高2—4°C,降水量多400mm〔3〕。

330—97m 层段孢粉特点是:草本与针叶树花粉交替出现,互为优势。草本为主时,以蒿—藜—毛茛科—禾本科占优势,反映气候干冷,主要发现在320—312m、280—264m和202—178m 3个层段。孢粉贫乏,种类单调,木本花粉很少,环境比较恶劣。木本花粉为主时,以松—云杉(或冷杉)占优势,草本和阔叶树很少,反映为针叶林或针叶林草原,气候较湿冷,年均温比现今低5—8°C,降水约少200mm左右。主要发现在312—280m和264—202m两个层段。也有以落叶阔叶树占优势的层段,如178—97m间,曾出现过温带落叶阔叶树与蒿、禾本科等组成的阔叶林或阔叶林草原,反映气候较温干。

97m以上各层孢粉含量贫乏,并均以草本占优势(高达80%以上),主要有蒿—藜—禾本科—菊为主组成的干旱草原或疏树草原,气候温干。

上述3个主要孢粉层段,代表W7孔植被、气候3个主要演变阶段。在330m以下为喜暖而较强的原始性植被,定为上新世(图3),可与渭河下游孢粉植物群的I—II带对比〔4〕。330—97m间的孢粉带可与渭河下游孢粉II—III带对比,属早更新世。97m以上草本为主的层段属中、晚更新世。

微古化石及轮藻分析 W7孔微古化石和轮藻分析可分2个组合,330m以下为正星介—美星介—土星介(*Cyprideis*—*Cyprinorus*—*Ilyocypris*)组合,其中有咸水—半咸水的近岸正星介(*C. littoralis*) (孔深355.95—351.95m);淡水—微咸水环境的蜂巢美星介、精致美星介(*C. bella*新种)及*Cyprinorus* sp.(273.65—278m深处)。代表新第三纪的轮藻化石,出现在180.25—371.25m,时代为新第三纪—早更新世中晚期。

330m以上为小玻璃介—土星介—玻璃介(*Condoniella*—*Ilyocypris*—*Candona*)组合,主要化石有*C. albicans*, *C. szuzini*, *Candona Youheensis*, *Lineocypris longa*, *I. brady*, *I. kaifengensis*, *Limnocythere subsanctipatricii*等以及丽花介、白花介、线星介和真星介等。这一组合反映为淡水—微咸水环境,与上述组合环境不同,时代为早更新世。

但介形虫化石只上延到孔深132.15m而消失,不能说明其上层段时代。

上述二孔微古化石时代分界,是与林和茂等渭河盆地新生代介形类化石组合、地层对比作出的〔5、6〕。

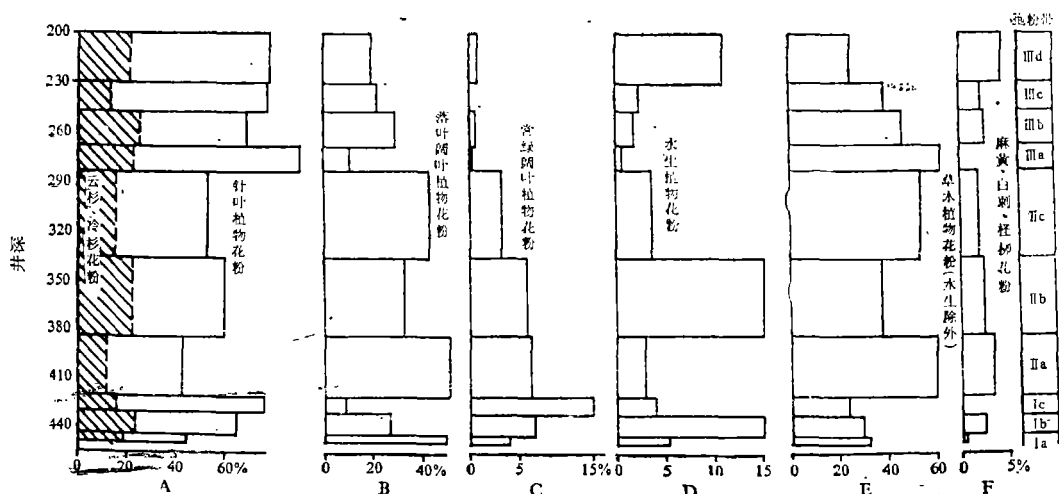


图 3 渭南W7孔孢粉含量均值图 (据童国榜等, 1986年)

The average quantity map of sporopollen content of the W7 hole

另据W7孔重矿物分析材料¹⁾表明, 孔深447—430m、310—260m和200—170m三个极不稳定矿物组合, 正与孢粉反映的冷或干冷气候相一致; 而在260—200m和170—110m间的两个稳定矿物组合, 恰与孢粉反映的温和气候同步, 故重矿物变化和孢粉恢复的生态环境是吻合的。

二、地层划分

根据上述W7、W8两孔资料, 结合本区的地质地貌背景, 可作如下地层划分。

(一) 地质地貌概况

渭南地处渭河断陷带的固市凹陷南缘。新生代以来, 沉积总厚度已达3000—5000m, 而第四系厚度在阶地区已逾1000m, 显示断陷活动十分剧烈。据晚更新世后期以来的地层厚度推算, 沉降速率平均约为2.6mm/a; 全新世沉降速率约为0.67—1.52 mm/a, 最大可达3.6mm/a²⁾。据1972年以前精密水准测量成果, 平均沉降速率为3mm/a。这些都说明渭河谷地长期以来一直处于沉降中, 至今仍未止息。

渭河断陷带与秦岭隆升区之间, 存在一系列近东西向断裂带, 断层北倾、倾角大于60°的正断层, 主要分布于黄土塬前附近^[1]。断裂两侧第四纪地层在西安一带相差300m, 黄

1) 张宗枯等: 渭河地区第四纪下限的研究, 第四纪下限学术讨论会论文, 1986年。

2) 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组: 鄂尔多斯周缘活动断裂系, 1987年。

土台塬高出三级阶地100—300m；二、三级阶地相差仅15—20m，使西安附近渭河谷地自周边向谷底呈多级阶梯逐级降低的地貌组合，在平面上和构造单元较为吻合。

在渭南地区，断裂带两侧第四纪地层高差达127m，黄土台塬与渭河谷地河漫滩总高差在200m以上。自南向北也呈多级带状展布的阶梯地貌组合，但各级地貌面之间的相对高差，除黄土台塬与塬前平台比较明显之外，大多都成倾伏下降过渡关系，而阶梯地貌上第四纪沉积物均呈披覆接触关系，并各自构成不同高度的阶梯地貌的表层，成为划分不同地貌单元的重要标志。渭南一带低级阶地上部与河漫滩的组成物质，均由较新的河床相沙及沙砾与河漫滩相砂质粘土及粘土等所组成。沉积时代从阶地向河漫滩逐级变新。同期地层厚度与埋藏深度亦有自南向北增加的趋势。产生多级阶梯地貌过渡和地层厚度及埋深的变化趋势，是与本区渭河谷地向北掀斜沉降运动和长期断裂构造活动有关〔1〕。

（二）地层划分

由于上述地质地貌背景，本区新生代地层比较复杂，变化较大。

根据对W7、W8孔中的孢粉、微体古生物化石和矿物成分分析（已如上述），结合野外考察及古地磁地层年代资料，与标准剖面对比，作者提出本区黄土台塬和平台地层划分的初步意见（自上而下）：

1. 黄土台塬及高级阶地表层，广布着厚度小于5m的第1层黑垆土及其上覆的黄土状粉质土，为全新世沉积层（Q₄）。

2. W8孔第1层黑垆土之下至第1层古土壤层之间夹有2层黄土、1层黑垆土（或粘化层），风化很浅，胶结较松散，呈灰黄色，与其下伏黄土及古土壤层岩性均有差异，与华北地区的马兰黄土相似，应属晚更新世（Q₃）。

3. 从第1层古土壤层开始，向下至第8层古土壤层以下的黄土为止，总厚度达70—90m。其中第1、5、8层古土壤较厚（W7孔），其它各层较薄；黄土层有自下向上加厚趋势。它们与下伏黄土及古土壤层不同者，在于黄土中粘粒百分含量没有下伏层高；而且在W8孔第8层古土壤层以下的黄土层中出现间断结构面，并在接触处保存有灰绿色泥质角砾，以示曾遭侵蚀和再沉积作用。两孔相当层对比，发现W8孔在间断面以上缺失了黄土及古土壤各7层，使岩心剖面缩短了大约35—40m。地层缺失标志着沉积间断。这个间断面可作早一中更新世之间的界面，即间断面以上属中更新世地层（Q₂）；界面以下则属早更新世（Q₁）。据刘东生等研究洛川剖面时，将中更新世离石黄土分为上下两段，界线划在第5层古土壤层顶界〔2〕。洛川剖面第5层古土壤层以上各层黄土、古土壤，从层序到厚度变化与本区剖面极为相似，完全可以对比，作者认为可作本区中更新世地层两分的依据。

4. 从第8层古土壤层以下的一层黄土底部开始至W7孔孔深330m，有2套岩性不同的沉积层，总厚度超过200m。上部由3层（W8孔）—10层（W7孔）黄土及其间夹2—9层古土壤层所组成，全厚17—35m，可与午城黄土上段对比；下部由35层砂、粘质砂土、砂质粘土、粘土等所组成，全厚约200m左右，以河流相为主，夹以湖相或河湖相层。上下部地层之间呈假整合接触关系。本段地层古生物化石（孢粉和微古）研究表明，本段地层与上下层地层中所含孢粉与微古化石相差明显，本段应属早更新世地层（Q₁）。

5. 在W7孔330m处向下深约110m厚(未见底)的砂—粘土层中所含的孢粉与介形类化石,均与上述各层不同。从孢粉组合所恢复的植被则具某些第三纪特征;介形类所反映的沉积环境为咸水—半咸水生境,也具有第三纪特性。此层段应属上新世(N_2)。

三、与城市建设有关的环境地质问题

W8孔与W7孔的孢粉、介形类化石和沉积层的界线都非常接近(图4)。但是各沉积层的深度在两孔中又有很大差异。两孔相应孢粉带对比, W8孔地层总厚度略小于W7孔。两孔相当层位的标高相差127m(W7孔为425m, W8孔在298m), 此值较两孔孔口高差(135.4m)略小。W8孔第8层古土壤层下伏黄土与W7孔相应层位对比, 推算应是同第15层古土壤上覆黄土层呈不整合接触, 即中间缺失了第9—15古土壤层及间夹的6层黄土层。如果这些层次得以保存, 则W8孔岩心剖面大约延长30m以上, 即W8孔黄土与古土壤层的总厚度可达163m, 超过W7孔相同层位总厚度(129m)34m。W8孔缺失黄土及古土壤共计13层, 乃因位于古渭河河曲带内, 可能为直接受古渭河河曲带摆动侵蚀之结果。

由于构造断裂影响深度较大, 无疑对深层地下水资源带来不利条件。首先使地下各段含水层相互隔绝, 特别对3—4km²受水面积的黄土平台地段, 因含水层上覆厚层黄土(130+m), 饱气带厚度过大, 这不仅阻碍大气降水的渗入, 而且也妨碍地表径流补给地下水。尤其近年区内大气降水减少(年雨量500mm左右), 但城市发展使采水量逐年增加, 这就造成区内地下水位普遍持续下降。据W8孔实测, 静止水位自1985年4月至1986年9月共下降了19m, 下降率为36.68mm/d, 黄土平台东北部某机井, 自1985年4月以来, 静止水位年下降12m, 下降率为32.88mm/d; 平台东南缘供水井, 自1979年7月至1986年年底, 静止水位共下降近66m, 下降率为23.48mm/d。

由于地下水位迅速下降、水质恶化成 HCO_3-SO_4-Na 型水, 此类型水其它地段少见, 表明本区地下水循环条件不佳。

两孔相当层位对比发现不同时代的地层在同一标高相遇, 同时代层位在相距不足2km的两孔中高差竟达120m左右, 而且各层结构基本水平, 地表起伏和实测剖面又有明显差距(图5)。据此可以认为其间存在断裂构造。这一断裂可能是华山山前断裂的组成部分¹⁾, 深度超过两孔孔底可能穿透基岩, 错距在百米以上。这类深部断裂不可能由滑坡等外力作用形成。据第1层古土壤层连续分布来看, 错断的时间应在第1层古土壤层形成之前的中更新世末期。目前该断裂已趋稳定, 即使在1556年渭南城东树园附近大地震造成巨型滑坡²⁾时, 也未引起断裂复活。据此认为按正常自然环境演变趋势分析, 对渭南城市建设不会有灾害性的影响。当然人类不合理利用或自然界突然事件的发生, 也难免再度活动或产生局部黄土崩塌与滑坡。此与中更新世末断裂构造活动改变了原有水文地质条件有关。

其次是因近年降水量减少和近期掠夺式开采地下水, 造成以W8孔为中心的地下水开采漏斗, 使区内平均静止水位深埋在100m以下, 引起部分机井吊泵, 如果再不采取有力的节

1) 国家地震局: 鄂尔多斯周缘活动断裂系, 1987年。

2) 陕西第一水文地质队: 渭华黄土塬农田供水水文地质勘察报告, 1972年。

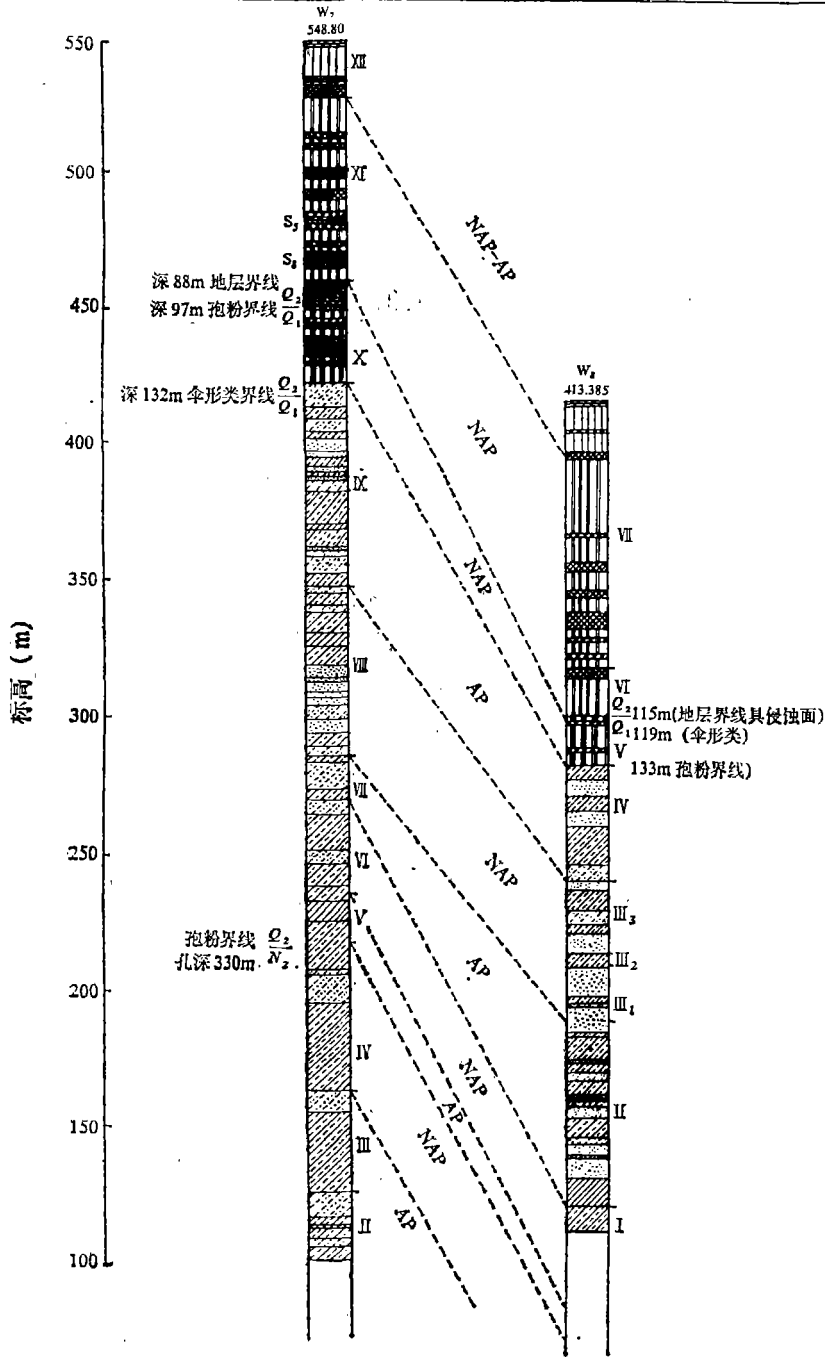


图 4 孢粉、微体化石等时代界线图

The time-limited map of the spore-pollen and the microfossils

制措施，水质水量则进一步趋于恶化，势必难以提供工农业和饮水之需求。所以必须提倡开源节流，尽早引用附近的沱河水库水和低阶地地下水，以满足城市发展急需的用水。特别要提

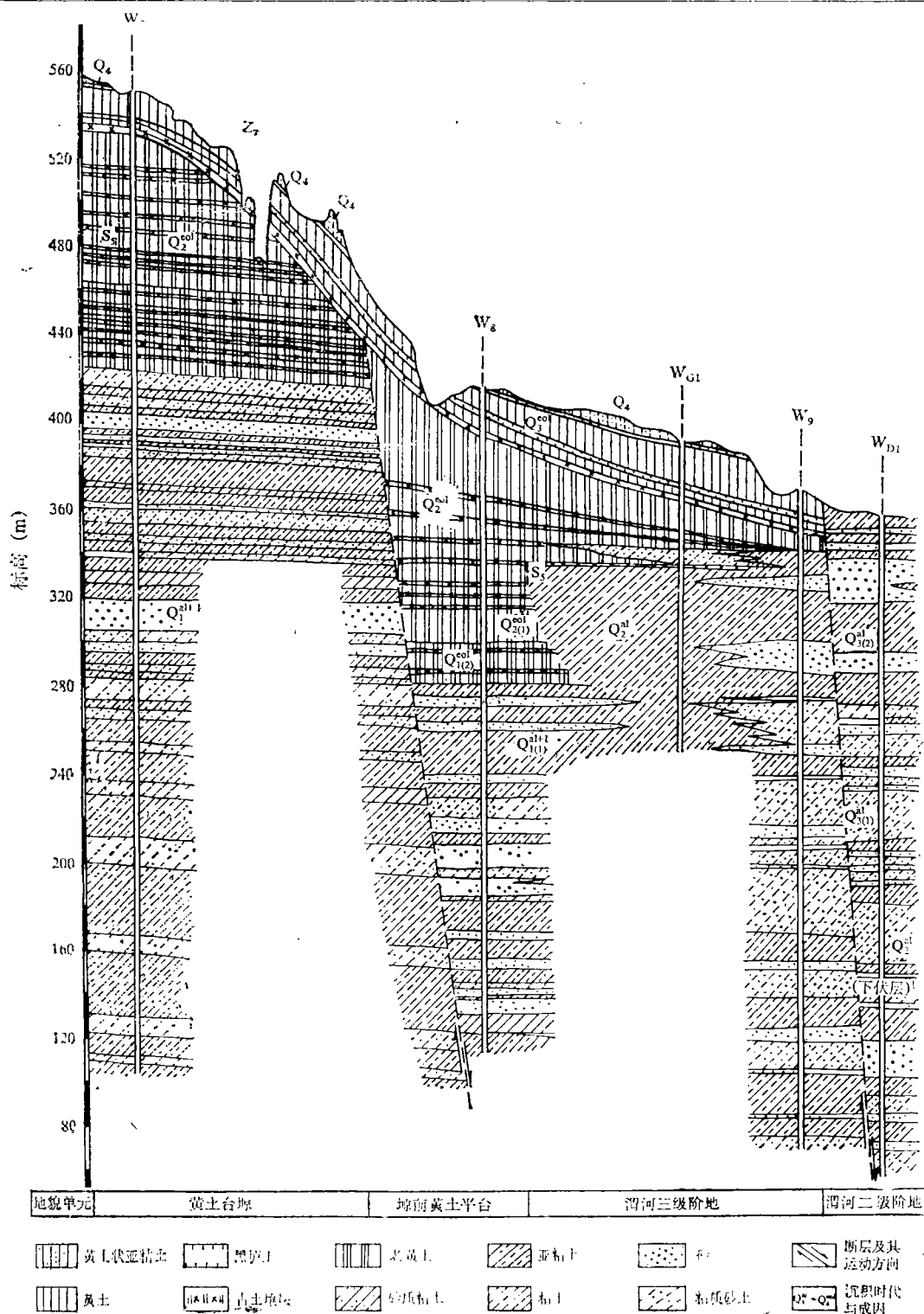


图 5 渭南晚新生代地层断裂图

The map of stratigraphic rift during the late cenozoic group in Weinan area

请有关方面注意,黄土平台,上为黄土盖层,下为砂、砂质粘土和粘土层,下部地层孔隙度大、又松散,一旦抽干层间水,有可能引起地层失控,发生地面沉陷,带来不可估量的损失。作者建议,今后不能继续抽采平台区的地下水,以避免人为“巨型滑坡”发生的可能性。

参 考 文 献

- (1) 李永善等:西安地裂缝,地震出版社,1986年。
- (2) 刘东生等:黄土与环境,科学出版社,1985年。
- (3) 中国植被编委会编著:中国植被,科学出版社,1980年。
- (4) 李文漪:渭河流域上新世—第四纪时期孢粉组合及古地理,渭河下游河流地貌,科学出版社,1983年。
- (5) 李友桂:陕西兰田渭南新生界介形类化石,陕西兰田新生界现场会议论文集,科学出版社,1966年。
- (6) 黄宝仁:桑干河中下游流域更新世介形类初步研究,科学通报,1980年,第6期。
- (7) 中国科学院植物研究所、地质科学院地质研究所新生代孢粉组:陕西兰田地区新生代古植物学的研究,陕西兰田新生界现场会议论文集,科学出版社,1966年。

RESEARCH OF QUATERNARY DEPOSITIONAL ENVIRONMENT ON THE LOESS-PLATEAU OF THE WEINAN OF SHANXI PROVINCE AND IN REFERENCE TO ITS URBAN CONSTRUCTIONAL SIGNIFICANCE

Xu Xin, You Kunyuan

(Nanjing University)

Xing Zhaoqi, Lu Suiqing

(Second Hydrogeological Team of Shanxi Province)

Subject terms: spore-pollen, microfossil, loess platform, loess-plateau, fault, disastrous environment

Abstract

Both the W8 and W7 drilling cores in the Weinan area, with 52 to 92 layers in all, can be divided into two parts: the upper one is stratum alternating several fossil soil layers; the lower stratum is a set of layers consisting

alternately of sand, gravel, clay and silty clay of the river or lake facies. With stratigraphic correlation and comprehensive comparison between the W8 and W7 drilling cores, they have quite similar characters in the stratigraphy and palaeontology, such as the features of strata, spore-pollen and microfossils. But the difference between the altitudes above sea of the well-matched layers in both the W8 and W7 holes can be well over 100m. Consequently, the layers of different ages have been contacted at the same altitude in the holes while the same layers have been fractured. The fracture extends from the stratum of the later age of the Middle Pleistocene down through the stratum of the Neogene system at the bottoms of the holes perhaps into the bedrock. According to those mentioned above, the authors identify that the characteristics of the fracture belong to tensile normal fault, rather than the result of exogenic force.

The underground water-bearing beds in the loess-plateau area and its surrounding areas have been cut off from each other by the structural fault. Therefore, with the decreasing of the rainfall and the rapid increasing of the extraction of the groundwater, the problems of the environmental geology, including the widespread and big descending of the groundwater level, the worsening of the water quality and the occurring of the man-made funnels of the groundwater, have been presented in the loess-plateau area. If the groundwater is extracted continuously and indiscriminately, ground sinking may occur in a large number in the loess-plateau area. The tremendous losses caused by the sinking will be difficult to estimate. For this reason, the authors suggest that the effective measures to exploit and to rationally use new sources of water and to stop extracting the groundwater at the loess-plateau should be taken immediately in order to protect the groundwater resource in this area.