

国家重点基础研究发展规划 (973) 项目

黄河流域地下水可再生能力变化规律 (G1999043606) 课题

黄河悬河段地下水系统 分析与模拟

曹剑峰 冶雪艳 王福刚
杜新强 曹东君 姜纪沂

著



黄河水利出版社

国家科技基础条件平台建设专项(2006-2012)

黄河下游地区地下水环境地质调查与评价(2006-2012)

黄河悬河段地下水系统 分析与模拟

张洪波 张吉强 孙福新

张洪波 张吉强 孙福新



黄河水利出版社

国家重点基础研究发展规划(973)项目

黄河流域地下水可再生能源变化规律(G1999043606)课题

黄河悬河段地下水系统 分析与模拟

曹剑峰 冶雪艳 王福刚 著
杜新强 曹东君 姜纪沂

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书介绍了黄河悬河段环境地质及水文地质特征,在对黄河下游悬河段地下水系统划分及地下水系统的结构特征、输入输出特征研究的基础上,建立了黄河下游悬河段水文地质概念模型及地下水流模拟模型。利用三维数值模拟技术,揭示了地下水运动的动力学机制,计算了地下水可开采资源量并评价了地下水的开采潜力。利用数值模拟技术,对黄河下游断流和傍河水源地开采进行了仿真模拟和预报,为黄河下游悬河段地下水资源可持续开发利用提供了科学依据。

本书可作为水文水资源、地下水科学与工程等专业的工程技术人员及高等院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黄河悬河段地下水系统分析与模拟/曹剑峰等著.
郑州:黄河水利出版社,2006.12
ISBN 7-80734-173-4

I.黄… II.曹… III.黄河-下游河段-地下水-系统分析 IV.P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 165246 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:4.625

字数:115 千字

印数:1—2 000

版次:2006 年 12 月第 1 版

印次:2006 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-173-4/P·63

定价:12.00 元

前 言

黄河是我国西北、华北地区最大的供水水源,其河川径流量仅占全国的2%,但它却担负着占全国国土面积9%和总人口2%的供水任务以及向区外远距离调水的任务。因此,黄河水资源的可持续利用是沿黄地区社会经济发展的关键。由于黄河流域大部分属于干旱半干旱地区,水资源贫乏,特别是近年来随着社会和国民经济的迅速发展,对黄河水资源的需求不断增大,水资源供需矛盾日趋突出,下游河段频繁断流是黄河水资源供需失衡的集中体现。同时,部分地区由于过量开采地下水,导致地下水采补失调,形成区域性的地下水位降落漏斗、地面沉降、水质恶化等一系列环境水文地质问题,加剧了本地区的水资源危机(朱晓原,1999)。

黄河是世界上泥沙含量最高的大河,河道泥沙淤积使黄河下游成了“地上悬河”,形成了独特的水循环系统。黄河从河南桃花峪进入下游至山东垦利县到入海口成为“地上悬河”,主河道长767.7km(叶青超,1990)。沿黄堆积了巨厚的松散沉积物,形成了黄河冲积平原,构成了巨大的地下水库,地下水资源丰富。黄河水与地下水联系密切,黄河水位高出两岸平原区地下水位3~8m,成为地下水的重要补给来源。近年来,黄河频繁断流,对地下水资源形成、演化以及开发利用造成了严重问题。

国家科技部适时地开展重点基础研究发展规划项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”的研究,旨在揭示黄河流域水资源演化规律,探索水资源可再生性的维持机理。作者在系统地调查和总结了黄河悬河段环境地质背景、水文地质特征、水资源开发利用现状及主要环境地质问题的基础上(对黄河下游悬河段地下水系统的分布范围、含水介质结构特征、边界条件及其与相邻环境的关系进行了分析研究),建立了黄河悬河段水文地质概念

模型及地下水流模拟模型,利用三维数值模拟技术,揭示了悬河段地下水循环的动力学机制,计算了整个黄河下游悬河段地下水系统的资源量,并结合模型研究黄河断流对地下水的影响以及傍河水源地开采的有关问题,为黄河下游悬河段地下水资源可持续开发利用提供了科学依据。

本书是作者在参加国家重点基础研究发展规划(973)项目第六课题《黄河流域地下水可再生变化规律》(G1999043606)研究中的成果,是课题组集体智慧的结晶。在课题研究及专著撰写过程中,得到林学钰院士、廖资生教授、王金生教授、邵景力教授、崔亚莉教授等的指导和帮助,姜纪沂博士、平建华博士等为本书出版付出辛劳,在此表示感谢!

本书在编写过程中引用了一些前人研究成果,由于多种原因,未能一一列出这些成果的出处,在此向相关作者表示感谢!

作 者

2005 年 3 月

目 录

前 言

第一章 地下水赋存的环境	(1)
第一节 地下水赋存的自然地理环境	(1)
第二节 地下水赋存的地质环境	(7)
第二章 含水系统及循环系统	(14)
第一节 含水岩组分布及其富水性	(14)
第二节 地下水循环特征	(17)
第三节 地下水动态特征	(21)
第四节 地下水化学特征	(24)
第三章 地下水仿真模拟及地下水资源计算	(28)
第一节 水文地质概念模型	(28)
第二节 数学模型及求解	(45)
第三节 数学模型的识别和验证	(58)
第四节 地下水补给量计算	(69)
第五节 地下水可开采资源量计算	(75)
第六节 地下水现状开采量	(80)
第七节 地下水剩余资源量计算	(82)
第八节 地下水开采潜力评价	(84)
第四章 黄河下游断流的地下水仿真模拟和预报	(88)
第一节 黄河断流的研究意义	(88)
第二节 黄河断流对地下水影响的仿真模拟和预报	(90)
第五章 黄河下游傍河水源地开采的仿真模拟和预报	(99)
第一节 傍河取水的研究意义	(99)

第二节	现状条件下傍河取水的仿真模拟和预报	(100)
第三节	黄河断流与恢复流量条件下傍河开采的仿真 模拟和预报	(108)
第六章	黄河下游悬河段地下水可持续开发利用	(115)
第一节	地下水资源可持续开发利用对策	(115)
第二节	对研究区地下水资源工作的建议	(120)
第七章	环境地质问题与地下水环境脆弱性评价	(122)
第一节	环境地质问题	(122)
第二节	地下水环境脆弱性评价	(130)
结 语		(135)
参考文献		(138)

第一章 地下水赋存的环境

第一节 地下水赋存的自然地理环境

一、社会经济概况

研究区地处黄河下游,西起京广铁路大桥,东至黄河入海口,以现代黄河为轴,向两侧扩展数公里至数十公里。地理位置:北纬 $31^{\circ}23'$ ~ $38^{\circ}24'$,东经 $110^{\circ}21'$ ~ $122^{\circ}42'$ 。黄河北岸研究区包括原阳、封丘、长垣等县和濮阳县、范县的金堤河以南部分以及山东徒骇河以南部分;黄河南岸研究区覆盖郑州市区一部分,中牟、开封、兰考等县,东明梁山段黄河大堤以北部分,以及长清—济南段和小清河以北的黄河三角洲平原(见图 1-1-1)。

研究区内交通发达,陇海铁路、津浦铁路、胶济铁路等铁路干线以及四通八达的公路构成了本区的陆路交通网络,空中航线可直达北京、上海、天津等全国各大城市,交通运输极为方便。

二、自然地理概况

(一)气象水文

黄河下游属于中纬度地带,在北纬 30° ~ 40° 之间,属温暖带季风气候区,具有明显的大陆性季风气候特征,四季分明,春季干旱多风沙,夏季炎热雨集中,秋高气爽日照长,冬季寒冷雨雪少。多年平均气温 $13.1 \sim 14.5^{\circ}\text{C}$,1 月份气温最低,平均 $-1 \sim -4^{\circ}\text{C}$,极端最低气温达 -20°C (1969 年),土壤冻结深度在 $0.37 \sim 0.50\text{m}$ 之间。7 ~ 8 月气温最高,平均 $25 \sim 27^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 43°C (1966 年

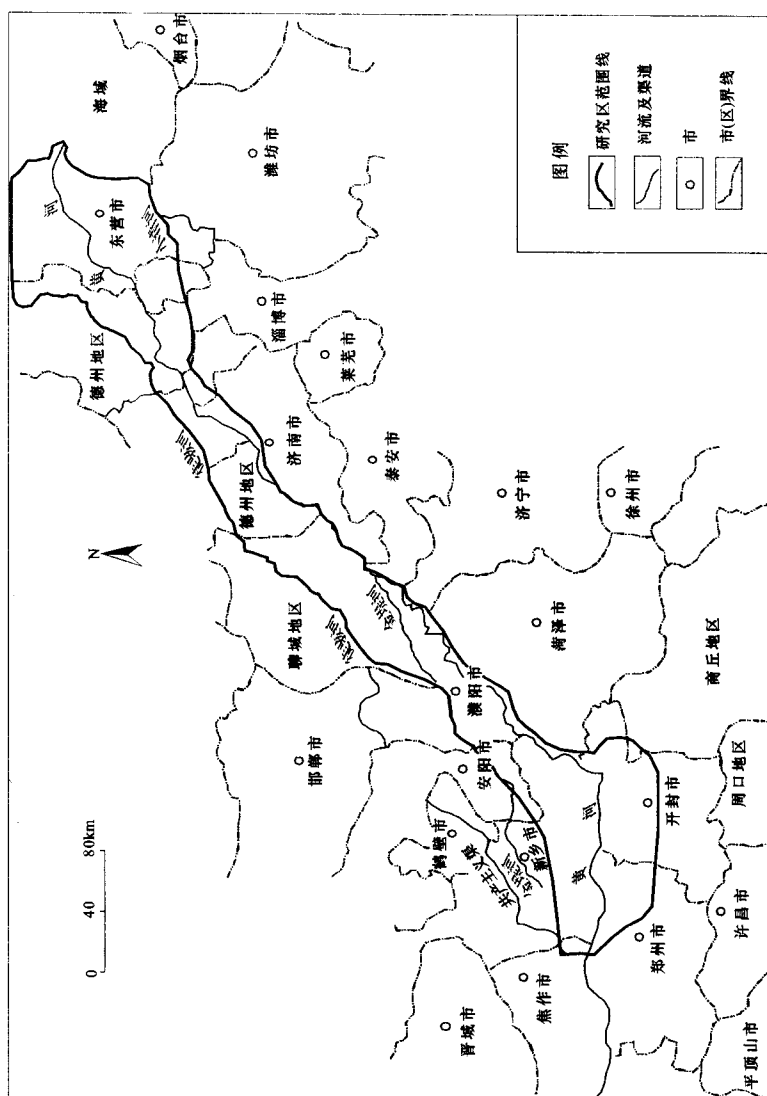


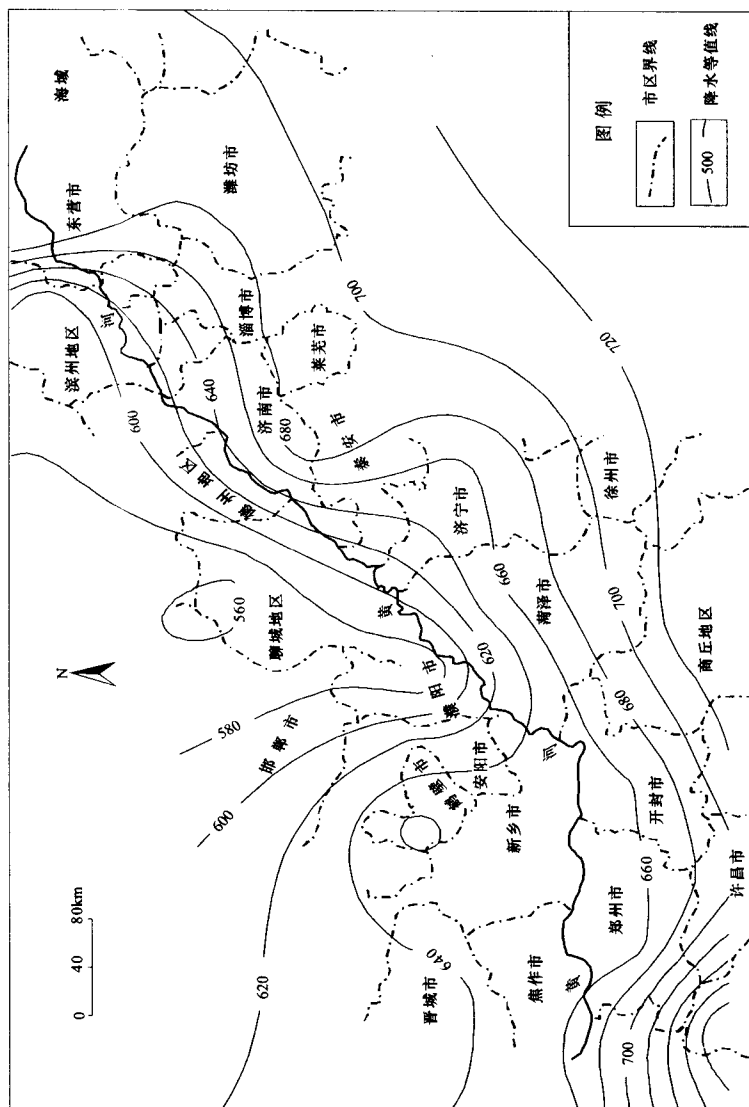
图 1-1-1 研究区位置图

6月20日)(赵云章,2002)。

黄河流域下游地区降水适中,据下游沿黄14个气象站资料,多年平均降水量为558.5(范县站)~678.0mm(郑州尖岗站),降水年内分配不均,其中67%降水集中在7~9月份,所以常出现春旱秋涝。降水量年际变化大,常为丰、枯水年交替,并多次出现连续干旱年。如封丘站最大年降水量1059.4mm(1964年),最小年降水量250.4mm(1966年),丰、枯水年降水量之比达4.2:1;濮阳市1975~1982年连续8年降水量在339.8~542.8mm之间,低于多年平均降水量(571.0mm)。

从黄河下游地区多年平均降水量等值线(见图1-1-2)可以看出,黄河下游沿黄有一条带状降水量低值区,其中低于600mm的地区主要在黄河以北。黄河下游多年平均水面蒸发量1200~1400mm,陆面蒸发量500~600mm,主要集中在4~6月份,占全年蒸发量的40%左右,干旱指数(水面蒸发量与降水量的比值)和降水量分布相近,沿黄有一条带状大于2.0的高值区。多年平均绝对湿度 $12 \times 10^2 \sim 13.5 \times 10^2 \text{ Pa}$ 。多年平均相对湿度65%~75%,均呈现自东南向西北降低的趋势。

黄河下游河流除黄河外,还有许多中小河流构成黄河、淮河、鲁北诸河和鲁东诸河四大水系。黄河水系主要有黄河、伊洛河、沁河、蟒河、文岩渠、金堤河、大汶河、玉符河等;黄河以南属于淮河水系,有赵王河、泗河、红卫河、沂河、沐河等;鲁北主要河流有徒骇河;济南—淄博一带有孝妇河、淄河、小清河、巴漏河等;鲁东主要河流有大沽河、黄水河、五龙河等。此外,还有卫河、京杭运河等人工河,以及东平湖和南四湖。上述河流多属季节性河流,水文特征表现在径流量年际变化大,年内分配极不平衡,6~9月最大,10月~翌年5月最小,出现较短的夏汛期和较长的枯水期,甚至断流。



(二)地形地貌

黄河在太行山和豫西山地东麓建造了巨大的冲积平原,向东延伸受阻于山东丘陵,而分别向渤海和黄海两个海域倾斜展布,并分别在滨海建立了河口三角洲和海积平原,境内平原岗、坡、洼地微地貌类型极为丰富。就其地貌发育历史来说,它们是历史时期黄河下游河道南北游荡,泥沙往复沉积建造的(叶青超,1990)。

1. 黄河冲积扇

黄河冲积扇是黄河下游冲积平原重要组成的地貌类型之一,其分布地理位置在黄河冲积平原西部。中更新世晚期,古黄河逾越三门峡将三门湖与华北湖连通,自西向东流出峡口后,进入下沉的华北凹陷盆地,最初流经郑州以西开阔的谷地,至郑州京广铁路线以东的比降变小,径流扩散至平原区。在河流径流通过很大的落差流入宽展的河段以后,随着地势变缓,河床断面宽浅,流速减小,迫使上游大量碎屑物质发生沉积,在山前地区形成深厚的冲积扇体,自此整个黄河全线贯通,河水漫溢形成多期冲积扇。各期冲积扇范围不一致,最大范围为孟津宁嘴北沿太行山麓与山前冲积扇交错,西南沿嵩山山麓与淮河上游相接,东临南四湖,东西长约355km,南北宽410km,总面积72 144km²,黄河下游平原南部分均处于该冲积扇扇体上,地势西高东低,黄河河道贯穿扇体的中部,至兰考转向北东,受两岸大堤束缚的河床,由于泥沙不断地沉积抬高,形成举世闻名的“地上河”,成为地表水和地下水的天然分水岭。

2. 黄河三角洲冲积平原

黄河三角洲冲积平原是黄河下游的又一重要地貌类型。利津以下黄河河口地带呈扇形展开,前缘海岸线长378km。地形平坦,高差不大,地面西南高,东北低,向渤海倾斜,海拔10m以下,一般5~8m,靠近海边1m左右,自西南向东北其坡降为1/8 000,局部地区坡降为1/3 000。本区由于受黄河及渤海的影响,有较多的微地

貌变化,地面高低起伏,呈长块状及圆形的高地和洼地。高地呈自然堤的形式,是黄河多次改道及泛滥形成的,黄河入海处水势迅速减缓,河床很快淤高,改道频繁,改道后残留为高地,在高地之间形成面积达数十平方公里的洼地,如利津的王家大洼地,该区古河道和洼地呈扇骨状向海岸辐射。

3.“地上河”

黄河自西南向东北横贯研究区中部,河道高出大堤外侧洪泛平原地面 3~10m,形成本区又一典型地貌——“地上河”河床地貌(见图 1-1-3)。

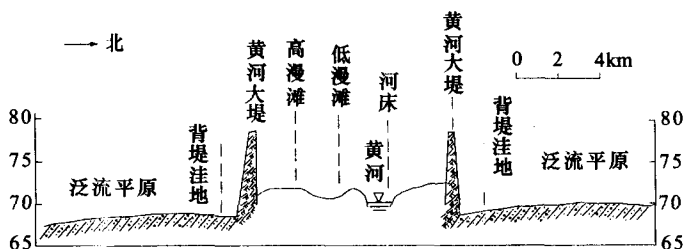


图 1-1-3 黄河典型地貌剖面示意图

(叶青超等,1990)

1) 黄河漫滩

(1)现代黄河低漫滩。分布于现代黄河河床两侧,宽 0.3~6.0km,一般高出河水位 1.0~3.0m,漫滩微向河床倾斜。主要岩性为亚砂土、粉砂及粘土或薄层亚粘土,有的漫滩表层为粘性土,干时泥裂现象发育。

(2)现代黄河高漫滩。沿黄河大堤内侧分布,宽 0.5~7.0km,高出低漫滩 1~4m。地势平坦,高出堤外两侧平原 4~10m。主要岩性为亚砂土、粉土质亚砂土、亚粘土及粉砂等。

2) 黄河泛流平原

黄河冲积平原区的新构造运动特征是一直处于缓慢下降,黄

河不断堆积,又由于历史上黄河的改道泛滥,在大堤两侧外形成广大泛滥平原区,地势平坦,黄河以悬河形式流经中部。

3)背堤洼地

分布在大堤背河两侧,呈带状沿大堤分布,宽1~4km,表现微凹的负地形,其中部分洼地成为积水洼地和湿地。

4)黄河故道

黄河故道遗存于地表,在地貌形态上反映出明显的河槽洼地形态,河槽宽窄不等,地下水埋藏浅,河槽内常年潮湿,局部地区存在大面积积水。

5)决口扇

决口扇是黄河下游特有的地貌类型。受到人工堤防约束,黄河河床淤积抬高,高于背河地带地面时,在遇到特大洪水堤防又比较薄弱的情况下,产生决口扇(见图1-1-4)。

第二节 地下水赋存的地质环境

一、区域地层

本区由于新生代以来地壳一直处于缓慢的沉降运动中,因而堆积了巨厚的第四纪沉积物,为孔隙地下水的赋存提供了物质条件,因此第四纪地质是本区重要的研究对象。地层从老到新分述如下(叶青超,1990)。

(一)上第三系(N)

据钻孔地质资料,研究区第三系隐伏于第四系之下,为一套红色岩系,自上而下按岩性组合不同划分:下部为棕红色、浅黄色泥质胶结至半胶结的粉砂岩、砂岩夹泥岩、细砂层及粘土砾石层;中部以棕红、灰白色中细砂岩、泥岩互层为主,夹砾岩、粉砂岩;上部以红棕色泥岩、粉砂质泥岩为主,夹粉砂、粉细砂层、中细砂、中砂。

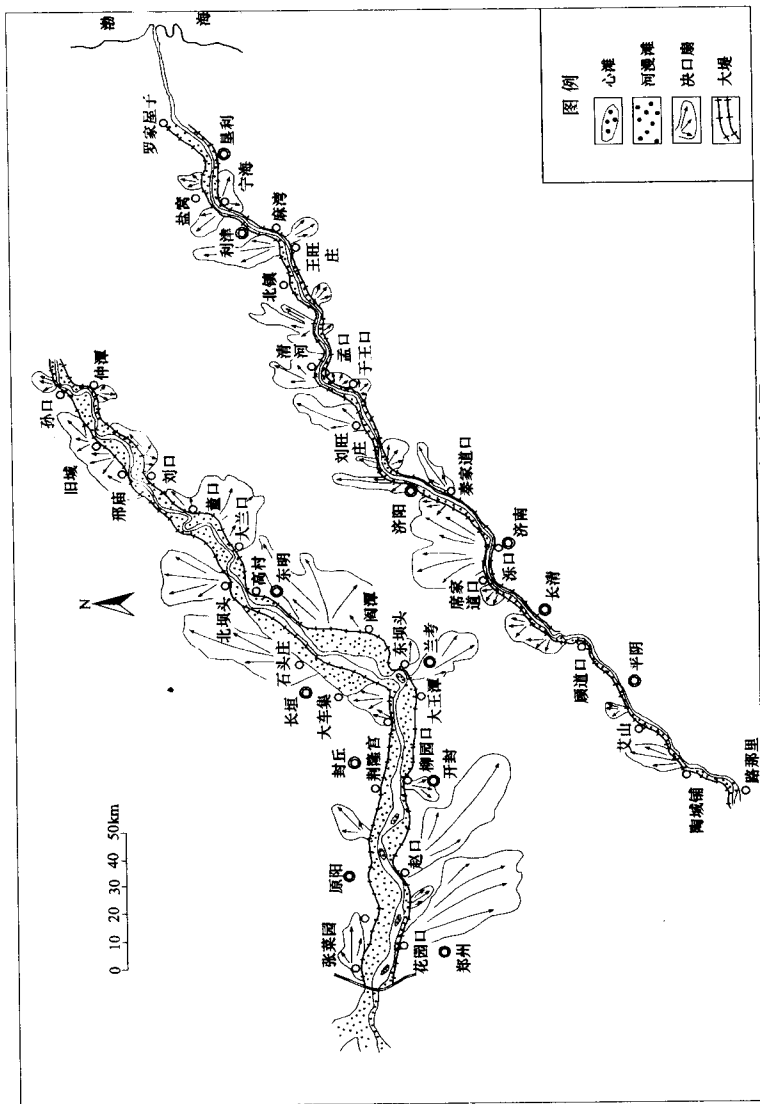


图 1-1-4 黄河下游决口扇分布图
(叶青超等, 1990)

(二)下更新统(Q_1)

早更新世初期,沉积了泥质中粗砂、中细砂、粉细砂含砾石和粘土、砂粘土等早更新世地层,形成以冲积—洪积为主和河流相冲积的古地理特征。由于早更新世时,本区表现为大面积的缓慢下沉,所以在凹陷区沉积层厚度大,隆起区内沉积层厚度薄。下更新统地层未出露于地表,据钻孔资料,其顶板埋深 200 ~ 260m,底板深度 270 ~ 400m,总厚度 50 ~ 150m。

1. 下更新统冲湖积层(Q_1^{al+l})

岩性为亚粘土、亚砂土及粘土,夹有粉砂及中细砂,砂层单层厚 4 ~ 8m。下更新统的底板埋深及砂层厚度的分布规律与基底构造的起伏有密切联系,与物质来源的方向相一致,底板埋深线及砂层厚度等值线皆呈 NE—SW 方向分布。

2. 下更新统冰水堆积层(Q_1^{gl})

以粘土、亚粘土为主,亚砂土较少,并有 1 ~ 2 层细砂、中细砂层。粘土多含铁锰质结核及钙质结核,砂层含泥质。

(三)中更新统(Q_2)

中更新世时期华北平原继承性下沉,但沉降幅度明显减小。平原南部堆积了一套以洪积物为主的中更新世地层,黄河冲积扇开始发育,其证据就是粉土质粘砂土的出现。黄河冲积扇两侧继续发育以河湖相沉积为主的沉积地层。中更新统厚度为 100 ~ 120m,顶板埋深在 100 ~ 140m 之间,底板埋深在 200 ~ 260m 之间。在开封西北部,底板埋深 260m,以此深埋区为中心向西北、向南、向东南埋深逐渐变浅至 200m,砂层厚度最厚达 40m。自此区向东、向南逐渐变薄而达 20m,东南部最薄仅 10m。岩性变化反映出黄河冲积层的特点是自西向东颗粒逐渐变细,中细砂逐渐变为粉细砂。

1. 冲积层(Q_2^{al})

岩性为亚砂土、亚粘土互层,上部亚砂土较多,向下逐渐变为