

华北平原

中低温地热资源及其利用的环境影响

(以河间地区为例)

王 钧 周家平 著

地震出版社

华北平原中低温地热资源 及其利用的环境影响

(以河间县为例)

王 钧 周家平 著

地 震 出 版 社

1 9 9 2

(京)新登字095号

内 容 提 要

本书概述了华北平原地热资源分布特征,阐明了河间地区地热资源在华北平原中具有的代表性。深入剖析了河间地区地热资源的地温分布、地下热储层的特性、热水的化学成分、同位素年龄及其动态变化;进而对地区的地热资源做了估算,给出了资源的量级。在对地热利用区的潜水、土壤的盐类成分进行分析的基础上,阐述了热水排放对环境的影响;提出了充分合理地开发地热资源,防止生态环境恶化的措施。

本书可供从事地质工作、地热规划、开发利用、地热管理以及新能源开发等方面的科技和管理人员参考。

华北平原中低温地热资源 及其利用的环境影响

(以河间地区为例)

王 钧 周家平 著

责任编辑:马 兰

责任校对:徐雁生

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 4.75印张 121千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷

印数 001—700

ISBN 7-5028-0554-0/P·368

(943) 定价: 4.00 元

前 言

本项研究是国家“七五”攻关课题——“河间综合能源试点县”课题的一部分。河间位于华北平原的中部，境内地热资源十分丰富，其形成、分布特征及开发利用中所出现的问题，在华北平原有很大的代表性。因此，研究河间地区的地热资源的特征及其开发利用中出现的问题，对华北平原的地热资源开发利用具有十分重要的意义。

前人对华北平原的地热资源曾进行了大量的研究，但研究的范围大，对河间地区的地热特征和资源评价不可能给以具体、详细的讨论，但它们却为进一步认识和深入研究地区的特征奠定了良好的基础。为查清河间地区地热资源的特征，并对其进行评价；在河间地区已有工作的基础上，我们又开展了深入的地热地质调查，进行了钻孔测温工作，并采集钻孔岩芯、土壤及地下热水样品进行室内分析，对开采井进行动态观测，搜集研究区及其周围地区的大量钻孔资料进行综合分析。通过上述工作以期对河间地区地热资源的地质构造条件、地温分布及热储特性等做进一步的了解，并对地热资源进行评价，为充分合理地开发利用地区的地下热水资源提供科学依据。因此，作者在本书中首先根据已进行的研究工作，把华北平原区地热资源的共同特征给以概括；而后进一步详细地讨论河间地区地热资源的特征及其开发利用中出现的问题。通过上述讨论使读者对华北平原中、低温地热资源的分布概况、特征及河间地区在华北平原中的位置及其代表性有一清晰的认识，以便于进一步理解本书结合河间地区的具体情况对地热资源的特征所进行的分析，以及所提出的充分合理地开发利用地热资源、防止环境污染和生态恶化的措施和建议。它可以作为今后有关地区在开发利用地热资源进行规划的参考和依据。

本书由王钧主笔，周家平参与了部分地热资源的编写工作。参加本项工作的还有中国科学院地质研究所的陈墨香、邓孝、汪缉安、汪集阳、沈显杰、熊亮萍、杨淑贞、张文仁、沈继英、刘捷等同志；河间县新能源办公室的孙正开、牛焕明、杜占芬也参加了本项研究的野外管理及联系等工作。国家地震局地质研究所的张汝惠同志也参加了野外测温工作。

值得提出的是，本项研究得到了华北石油局勘探处、石油研究院及华北石油局第三分公司地质队、河北省地震局、沧州地震局及河间县地震办公室等有关单位和同志们的大力帮助和支持。此外，中国科学院石家庄农业现代化研究所的同志们也为本项研究的野外调查、取样及监测工作创造了良好的条件，并给予了全力的支持和帮助。

本书初稿完成后经沈照理、黄尚瑶、贾化周研究员，张振国、郑克桢、初宾及黄诚信等高级工程师的审查，他们提出了许多宝贵意见。

在本书出版之际，仅向上述有关单位和同志们致以衷心的感谢。

在研究中由于工作条件和其他因素的限制和影响，有些工作虽已开始但未能深入展开，因而影响了对某些问题的更进一步的认识，加之作者水平限制，本书难免存在谬误之处，敬请读者批评指正。

目 录

前 言	(Ⅲ)
第一章 概论	(1)
一、华北平原的区域地质背景	(1)
二、华北平原地热资源的分布概况及其特征	(2)
1. 华北平原地热资源的分布概况	(2)
2. 华北平原地下热水的水文地球化学特征	(4)
第二章 河间地区地热资源的地质特征	(5)
一、区域地质构造背景	(5)
二、区域地温分布规律	(5)
1. 地温分布规律	(10)
2. 地温、地温梯度随深度的变化	(12)
3. 控制区域地温分布的主要因素	(13)
三、区域大地热流	(16)
1. 岩石热导率	(17)
2. 热流计算段的选择	(20)
3. 热流的计算	(20)
第三章 河间地区地下热储的分布、特征及其水文地球化学研究	(21)
一、地下热储的分布及特征	(21)
1. 上第三系明化镇组	(22)
2. 上第三系馆陶组	(22)
3. 古生界及中、上元古界碳酸盐岩(潜山热储)	(23)
二、地下热水的水文地球化学研究	(25)
1. 地下热水的水文地球化学特征	(25)
2. 地下热水的氢氧同位素及其年龄	(34)
3. 地下热水的SiO ₂ 含量及热储温度	(40)
第四章 河间地区地下热水的动态变化	(41)
一、马 ₁₆ 井开采期间的动态变化	(41)
1. 马 ₁₆ 井的概况	(41)
2. 马 ₁₆ 井开采期间的流量、温度、压力的变化	(41)
二、地震观测井马 ₁₇ 井的动态变化特征	(42)
1. 马 ₁₇ 井的概况	(42)
2. 马 ₁₇ 井的流量、水位、温度变化特征	(42)
3. 马 ₁₆ 井开采期间对马 ₁₇ 井动态影响的分析	(43)
三、长期观测井文 ₃₆ 井的水位变化规律	(44)
第五章 河间地区地热资源的计算及评价	(46)

一、地热异常区的圈定及其热田特征.....	(46)
1. 地热异常区的圈定	(46)
2. 地热异常区内地热田的特征.....	(46)
二、地热资源的计算模型.....	(47)
1. 上第三系层状孔隙热储模型.....	(47)
2. 古生界, 中、上元古界裂隙洞缝热储模型	(49)
三、可及背景地热资源的计算.....	(50)
1. 上第三系可及地热资源的计算	(50)
2. 潜山区可及背景地热资源的计算	(50)
四、上第三系可采资源的计算.....	(52)
第六章 河间地区地热利用中的环境影响	(56)
一、开发利用地下热水资源的现状.....	(56)
二、地热开发利用区潜水的埋深及径流条件的分析.....	(57)
三、地热利用中的环境污染问题.....	(58)
1. 地热利用场地及邻区的土壤盐分特征.....	(58)
2. 地下热水中微量元素的环境影响	(64)
四、地热利用区改善环境状况的建议.....	(65)
1. 注意地下热水用后的管理及排放问题	(65)
2. 必须采取措施降低热水中的盐分含量及有害组分.....	(65)
3. 开展回灌试验的研究	(66)
第七章 结论和建议	(67)
一、结论	(67)
二、建议	(67)
参考文献	(70)

第一章 概 论

华北平原是中国东部一个大型的中新生代沉积盆地，故又称为华北盆地。自60年代开始勘探发现石油、天然气以来，在华北平原开展了大规模的油气勘探工作，打成了数以千计的钻孔，发现了华北油田、大港油田、胜利油田及中原油田等大型油气田；它们都已成为我国东部重要的能源生产基地。在进行油气勘探的过程中，华北平原中许多地区都被钻孔揭露地下埋藏有丰富的地下热水，其埋藏深度在地下700—3500m不等，温度多在35—100℃，甚至更高；从而引起了人们的极大关注。70年代初，地质工作者就开始对华北平原的地热资源的分布和特征进行了研究；其中谢家声在1978年根据冀中地区的石油勘探资料，对冀中地区的热资源进行了研究；王钧、黄尚瑶等在分析了包括鄂尔多斯盆地在内的大华北盆地的大量钻孔资料的基础上，于1983年发表了“华北盆地的地温分布及热资源”的论文；1988年陈墨香等在对华北平原北部进行全面地温测量和研究的基础上，出版了《华北地热》专著；除以上工作外，在华北地区尚有许多有关地热资源的研究和论著，在此不再一一赘述。与此同时，平原区的人民，从一些石油勘探钻井中引取自流地下热水进行工业加工、水产养殖及温室种植；油田区则另打新井提取地下热水供暖、洗浴及热供水。到80年代末，华北平原地热资源的开发利用已走上了一条稳步发展的道路。同时也出现了许多有待解决的问题，如资源评价、动态变化以及利用地下热水所产生的环境影响问题等。

自80年代以来，对华北平原进行的地热资源研究结果表明，华北平原的中、低温地热资源十分丰富，初步估算其可采热水资源为 $1.69 \times 10^{11} \text{m}^3$ ，所含热能相当于燃烧9亿t标准煤所释放的能量。但由于地质构造等诸多因素的影响，华北平原地热资源的分布和埋藏条件在不同地区则有着较大的差异；然而，若从地热资源的性质和特征等方面来分析，它却存在着许多共同点，而且在开发利用中所出现的许多问题也多是类似的。因此进一步认识这些共性，研究解决利用中出现的问题，对推动华北平原的地热资源的开发有着重要的意义。为此，我们首先根据已有的研究成果对华北平原地热资源的共同特征给以简略的概括，进而较为详细地剖析河间地区地热资源的分布特征、地下热水的化学组成、动态变化、资源估算及其开发利用中出现的问题。鉴于上述问题在华北平原地区具有很大的普遍性，因而对这些问题进行具体而又深入的讨论，这对华北地区的地热资源的开发利用将起一种示范和推动作用。

一、华北平原的区域地质背景

华北平原在构造上属华北断块的一部分，是在太古界及元古界变质岩系基础上接受了巨厚的中、上元古界青白口系、蓟县系及长城系和古生界寒武系以及下奥陶统的厚层碳酸盐岩沉积，从而形成的以中、上元界及古生界为基底的稳定地块；在古生代中奥陶统后期加里东运动使整个地区上升成为陆地，在经受了长期剥蚀之后，在石炭-二叠纪时期的海西运动又使华北地区重新下沉，接受了一整套海陆交互相的含煤系地层的沉积建造。中生界的印支运

动在华北地区表现为上升隆起,故三叠纪地层沉积较薄,侏罗纪则堆积了大量的火山喷发岩及陆相碎屑岩和含煤建造,白垩纪则仅在局部地区沉积。燕山运动使华北断块重新活动,平原区大幅度下沉,接受了第三纪时期的巨厚的砂泥岩沉积;在其底部沿基底断裂有第三纪玄武岩溢流和喷出。在第三系地层的中下部砂泥岩中含有大量的有机质,为生成石油、天然气提供了物质基础。

由古生界及中、上元古界组成的华北平原基底,经历了多次构造运动,形成了一系列不对称的地堑、地垒式构造;在古生代这里是一稳定的陆块,其构造活动仅为稳定的升降运动;但在中生代地壳强烈下降,断裂构造发育,形成一系列的断陷盆地;在其中第三系地层沉积厚度最大可达万米以上而且分布广泛;沿基底断裂岩浆侵入、溢出、喷发;构造活动强烈,地震经常发生;这些都证明,华北平原的构造具有明显的陆台活化的典型特征。

由碳酸盐组成的古生界及中、上元古界基底的隆起部位,由于受多次构造断裂运动的影响,在其中产生了大量的节理和裂隙,地下水径流的溶蚀作用使其形成了许多溶洞和溶隙。成为地下热水径流的通道和储存场所,构成了华北平原中主要的地下热储层,它主要分布于平原中基底隆起的顶部,靠近边界断裂的地带。北京、天津、雄县、河间及中捷农场目前正在利用的地下热水,多引自这一热储层的热水。

上第三系明化镇组及馆陶组砂岩孔隙热储在全区均有分布,是平原区又一重要热储层;它埋藏较浅、温度较低,在任丘、天津等油田和厂矿区该热储的地下热水多用于洗浴、锅炉用水及热供水,局部用于供暖。下第三系地层中含有高矿化物的地下热水,目前尚难以利用,本书未予讨论。

由上可知,华北平原由古生界及中、上元古界构成的基底碳酸盐岩洞缝热储和上第三系砂岩孔隙热储,埋藏有丰富的中低温地热资源,其温度可在40—100℃;它所含的热能可为地区工农业的生产提供一种新的补充能源,这将对缓解地区的能源状况起到一定作用。

二、华北平原地热资源的分布概况及其特征

在近20年中,许多地质工作者,在大量油气勘探资料的基础上对华北平原的地热资源形成、分布等进行了深入的研究;发表了许多论著,这对认识区域地热资源的性质具有重要的意义。现根据已有文献资料把华北平原的地热资源的分布概况及性质概括如下几点。

1. 华北平原地热资源的分布概况

在对华北平原的地热地质特征进行了大量调查、研究之后,认为区内埋藏有十分丰富的中、低温地下热水资源。它主要分布在中、新生界上第三系明化镇组、馆陶组砂岩地层及古生界、中、上元古界寒武-奥陶系及长城系、青白口系、蓟县系的灰岩及白云岩地层中。

(1) 中新生界上第三系明化镇组、馆陶组砂岩。该热储层除平原边缘,在全区均有分布,埋深多在500—1000m,砂岩热储层的厚度一般在300—1000m之间,但其温度稍低,多在35—50℃,水质较好。这一热储层在天津、任丘、河间、沧州等地区得到了广泛的利用。

(2) 古生界、中、上元古界灰岩、白云岩热储层。它是根据区内大量钻孔的测温数据及大地热流研究,圈出的华北平原内(亦称华北盆地)地温梯度大于4℃/100m(部分为3.5℃/100m)的地热异常区。它大多分布在平原内部基底断裂的隆起部分(亦称古潜山)。这些地热异常区(或称地热田)共有49个(图1)。它们通常都具有如下的共同特征:①它

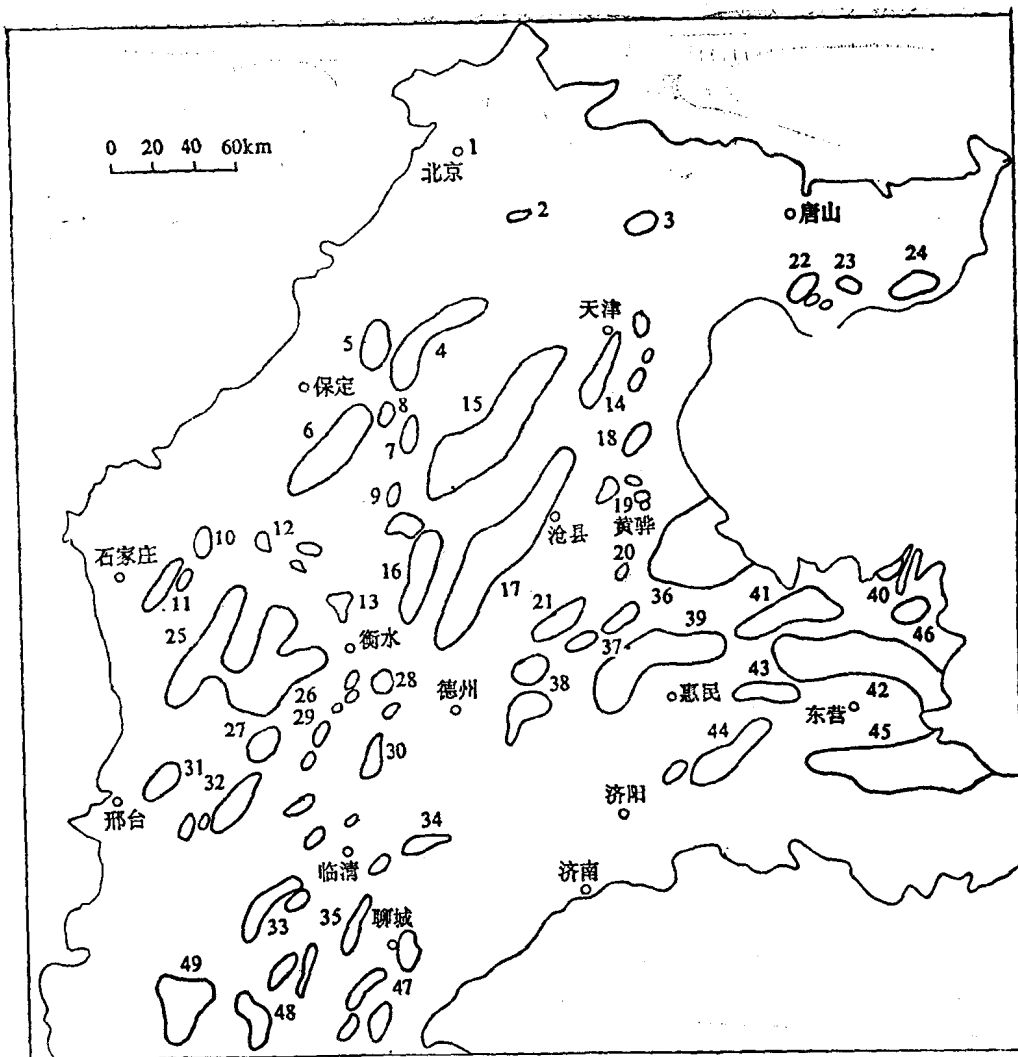


图1 华北平原北部潜山热田分布图（引自《华北地热》）

1. 北京; 2. 风河营; 3. 王草庄; 4. 牛驼镇; 5. 容城; 6. 高阳;
7. 任丘; 8. 雁翎; 9. 河间-留路; 10. 无极; 11. 藁城; 12. 深泽-深
- 县; 13. 孙虎; 14. 天津; 15. 大城; 16. 献县; 17. 兴济-孙镇; 18. 港西;
19. 黄骅; 20. 盐山; 21. 黑龙村; 22. 老王庄; 23. 柏各庄; 24. 马头营;
25. 宁晋; 26. 新河; 27. 南宫西; 28. 广川; 29. 枣强-明化镇; 30. 故城-
- 武城; 31. 任县; 32. 广宗; 33. 馆陶; 34. 高唐; 35. 唐邑; 36. 埝口;
37. 乐陵; 38. 宁津; 39. 无棣; 40. 埕东; 41. 义和庄; 42. 陈家庄-青
- 坨子; 43. 滨县; 44. 青城; 45. 草桥-广饶; 46. 孤岛; 47. 聊东-阳谷;
48. 南乐; 49. 楚旺

们大都分布在平原中基底隆起并靠近边界断裂的部位; ②该热储所含地下热水的化学成分及其矿化度都具一定的均一性; ③热储中的地温梯度均较盖层为小, 且变化幅度不大。结合热储层的结构和构造特征可以认为: 这些地热异常区的形成大多都与热水对流作用有关。因而认为, 在区域普遍存在的传导热基础上, 热水对流所产生的附加热可能是形成地热异常区的主要原因。按照大于 $4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (局部可为 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) 划出的地热异常区, 在整个平原中

都有分布, 由于研究程度及区域地质构造条件的差异, 异常区的分布是不均匀的, 这种分布特点反映了平原基底的构造情况。如天津的王兰庄、雄县的牛驼镇、河间的南马庄、黄骅的中捷农场以及山东的聊东(聊城)和孤岛等潜山隆起, 它们都具有洞缝、裂隙储水的共同特征, 均位于断裂隆起区; 且都具有较低的梯度和较为均一的化学成分; 其盖层的地温梯度多大于 $4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 热储的温度较高, 并多在 $60-120^{\circ}\text{C}$ 之间, 是华北平原开发利用的主要热储层(如北京、雄县、坝县、黄骅及河间、辛集等地区)。

2. 华北平原地下热水的水文地球化学特征

华北平原地下热水的化学成分是十分复杂的。由于地下热水的形成分布及埋藏条件的差异, 其化学组分在不同的热储中是有差别的。按中新生界上第三系明化镇组、馆陶组孔隙热储和古生界及中、上元古界灰岩、白云岩洞缝裂隙热储的地下热水的水化学成分特征简述如下。

(1) 上第三系明化镇组、馆陶组砂岩孔隙热储在平原中矿化度普遍较低, 一般在 $0.5-2.5\text{g/L}$, 并多为 $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Ca(Mg)}$ 型; 但含 F' 较高, 大多超过 $1-1.5\text{mg/L}$ 的允许标准, 最高可达 $6-7\text{mg/L}$, 一般都在 $2-4\text{mg/L}$ 。如天津、沧州、任丘、河间及辛集等地区。

(2) 古生界及中、上元古界灰岩、白云岩洞缝热储, 在平原边缘山前地区埋深较浅, 多在 $500-1000\text{m}$, 热水矿化度较低, 一般在 $1-3\text{g/L}$, 其化学成分为 $\text{Cl-(SO}_4\text{)-Na-Ca(Mg)}$ 或 $\text{Cl-HCO}_3\text{(SO}_4\text{)-Na-Ca(Mg)}$ 水型, 其中 F' 含量一般在 $2-3\text{mg/L}$, 最高可达 6mg/L , 均超过饮用水 1mg/L 及灌溉水 3mg/L 的允许标准。在盆地中部埋深一般在 $1000-2000\text{m}$ 以下, 所含热水的矿化度多在 $3-9\text{g/L}$, 相应热水的含 F' 量亦多在 $5-10\text{mg/L}$, 较平原边缘均有增高。

(3) 华北平原的地下热水通过 ^{14}C 年龄的测定其形成时间多在 $1-2.5$ 万年, 包括平原边缘的潜山地下热水大都在此范围之内。通过近数年来的动态监测表明: 一些常年开采的地下热水井的压力(水头)、水位及流量都有随着时间逐渐降低和减小的趋势; 证明平原地区的地下热水是多年前形成的古大气降水渗入水, 现代的补给来源是微弱的。

(4) 华北平原中的地下热水含盐量较高, 其含 F 量超过了饮用和灌溉水的标准, 并含有 As 及 CN (氰化物)及其他对人类有害的元素; 因此这种地下热水不经处理是不能直接饮用的, 在做其他方面的直接利用时(如供热、养殖、温室种植等)也必须注意其对环境的影响。

鉴于河间地区位于华北平原中部, 在地热资源的分布、埋藏及其形成特征(包括水地球化学)等方面, 具有很大的代表性, 且自1985年以来, 这里就开发利用了 M_{16} 井的地下热水, 至今已有5年多的历史。因此, 详细调查、研究和剖析河间地热资源的特征及其开发利用中出现的问题, 将对进一步开发利用华北平原的地热资源是具有极为重要的意义。为此, 本书下面几章将着重分析、讨论河间地区的地热资源特征及其开发利用中的环境影响问题。

第二章 河间地区地热资源的地质特征

河间地区位于河北省中部,保定和沧州之间,在北纬 $38^{\circ}10' - 40'$,东经 $116^{\circ}00' - 40'$,调查范围包括河间全县及其邻近地区,详细研究的地区在河间县的中部。北起卧佛堂以北,南至西九吉,西自郭庄、果子洼,东至米各庄,面积约 480km^2 。构造上处于地区性的南马庄断裂带及其两侧隆起和凹陷区,是华北油田勘探开发区的一部分。为勘探开发石油、天然气,在区内钻了许多 $1000 - 3000\text{m}$ 甚至更深的钻孔,它们揭露出研究区埋藏有丰富的 $70 - 100^{\circ}\text{C}$ 甚至温度更高的地下热水资源,为开发利用地热资源提供了先决条件。

一、区域地质构造背景

研究区位于华北盆地的北部,在冀中拗陷的次一级构造——饶阳凹陷的中部,它包括了南马庄断裂带以沧县隆起中大城凸起的西部文安斜坡地区。区内为由古生界二叠、石炭、奥陶及寒武系灰岩、泥灰岩、砂页岩和中、上元古界蓟县系雾迷山组白云岩、灰质白云岩等地层组成的古老基底。它经历了多次构造运动,形成许多不对称的地堑地垒式构造,区内主要构造是由南马庄断裂带为主体,由古生界和中、上元古界古老基岩所组成的地下隆起和凹陷带;其上为 $1000 - 3000\text{m}$ 厚的第三系和第四系砂岩、泥岩地层所覆盖,其中新生界第三系明化镇组和馆陶组的平均厚度分别为 1000 和 300m ;下第三系东营组、沙河街组厚度在 $200 - 2000\text{m}$ 左右。本区钻孔穿过的古生代及中、上元古代地层有:二叠-石炭系为 $200 - 900\text{m}$,奥陶系为 $28 - 1000\text{m}$,寒武系为 $83 - 700\text{m}$,中、上元古代(包括景儿峪、龙山组,及蓟县系雾迷山组)为 $10 - 651\text{m}$,古生界二叠-石炭系、奥陶系主要分布于南马庄断裂带以东,并构成了南马庄潜山带的顶部,它向东一直延展到大城凸起并成为它的主要组成部分。中、上元古界蓟县系雾迷山组构成了区内马₁₆-西₃₃、薛庄、八里庄及任₅₈等潜山的主体,它们埋藏均较深,一般都在 2100m 以下。

区内基底构造多,以北东及近南北方向为主,南马庄断裂带是控制研究区地热特征的主要构造;在区内南北延伸近 40km ,断裂东侧基底埋藏较浅,多在 $1000 - 2000\text{m}$ 并向东缓慢抬升;在北部紧邻南马庄断裂带东侧有南马庄潜山带,其南为西₃₃-马₁₆隆起潜山区;断裂西侧基底埋藏较深,多在 $2000 - 3000\text{m}$ 以上,这里分布有八里庄潜山区、薛庄潜山区及任₅₈潜山区等。区内基底被北东、北西及近南北向断裂的切割,使其成为凸起和陷型断块构造格架(图2)。

二、区域地温分布规律

研究区的地温数据主要是通过野外钻孔实际测量得来的,由于钻孔封堵或油气开采而不能实测的钻孔,则利用华北石油局试油时所测的静温数据。实测地温是在静井数月甚至数年的钻井中进行的,仪器是采用中国科学地质研究所地热室自己组装的热敏电阻测温仪,其精

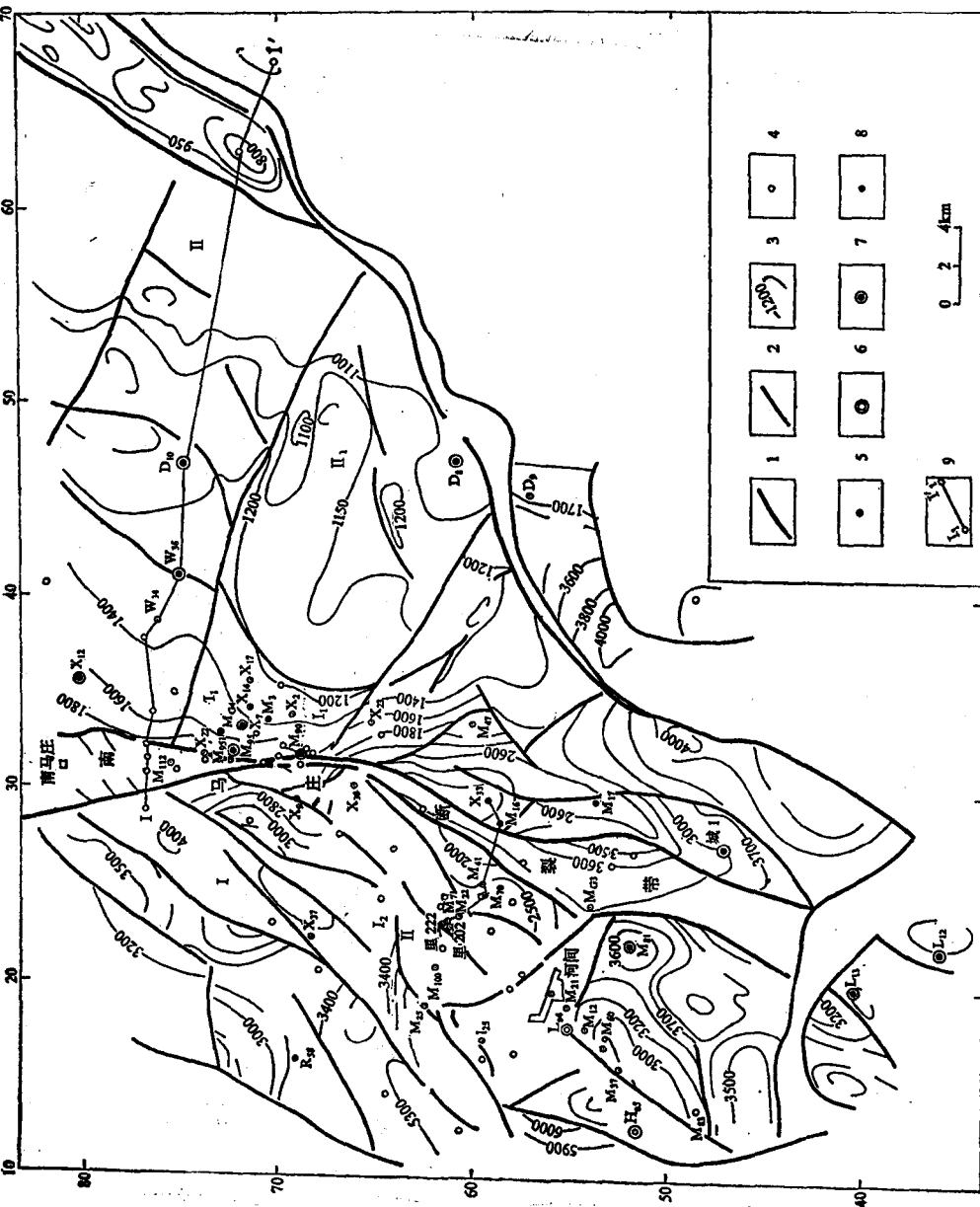


图2 河间地区基底构造格架图
(据华北油田资料编制)

1.主要断裂; 2.次级断裂; 3.中、新生代盖层等厚线(m); 4.石油钻井; 5.石油测温钻孔; 6.系统测温钻孔; 7.热液孔; 8.热水孔; 9.地质剖面线构造分区: I.冀中拗陷; I₁.饶阳凹陷; I₂.文安斜坡; II.沧县隆起; II₁.大城凸起

表 1 河间地区钻孔系统测温数据表

序号	孔号	孔深 (m)	最大测温深度及温度 m (°C)	静温 (°C)	实测地温 (括弧推测) °C					盘层不同层段的地温梯度 (°C/100m) 及底深度 (m)							基岩面深 (m)	基岩岩性 (°C/m)	
					500m	1000m	2000m	3000m	平均	Q	N _m		Ng	Ed	Es	Ek			M _z
											上	下							
1	大 ₁ o	1860	1660(64)	64	28.25	(43.8)	79.3	112.8	3.31	2.74 237	2.78 914		(3.31) 1129					(50.21) 1129	(2.6) C-P ₀
2	城 ₁	3133	3075(103.8) 795(40.7)		31.1	(45.8)	73.75	101.9	3.38	3.0 326	3.4 945	(2.76) 1437	(2.76) 1585.5			(2.76) 3085		104 3085	(2.0) Pt ₁₊₂
3	大 ₂	1424	1300(86)	86	34.5	(51.45)	(75.5)	101.5	3.8	4.1 296.5	4.18 584.5	3.08 765	(3.85) 1075.5					54.35 1075.5	(2.6) C-P ₀
4	文 ₂ o	2355	2241(78.3)	78.3	29.0	45.25	76.71	(108.0)	3.14	3.19 296	3.3 752		3.14 1128.5			3.13 1379.5		56.75 1379.5	(2.7) C-P ₀
5	留 ₁₂	2796	2115(105.55)		32.13	51.83	99.78	(130.09)	4.28	3.9 202	3.8 868	4.20 1425	4.75 1667	5.65 2072				104.3 2072	(2.78) ∈Pt ₁₊₂
6	留 ₁₃	2166	2010(96.62)		33.15	51.78	95.78	(116.78)	4.078	3.89 217	3.73 900	3.84 1439	4.4 1900	5.34 1988				96.18 1988	(2.0) Pt ₁₊₂
7	马 ₂ o	2467	2020(97.5)	97.5	30.09	55.9	96.6	(129.0)	3.91	3.43 269	3.79 750	4.01 1080	3.73 1351	4.23 1720	4.15 1838			89.77 1838	(3.3(∈) O∈Pt ₁₊₂
8	大 ₃	2748	2200(75.5)		28.2	44.8	71.0	(95.3)	2.812				3.28 1115			2.56 1908		70.22 1908	(2.43) C-P ₀
9	大 ₄	3026	2703(91.9)		29.18	46.36	(78.22)	(98.02)	3.3				3.43 1165	2.5 1888				76 1888	(1.98) P ₀ C ₀
10	大 ₅	2476	600(49.69) 700(50.39)		40.04	(58.8)	(78.85)	(98.39)	5.57	5.09 150	5.6 710							51.6 710	(2.0) O∈Pt ₁₊₂
11	马 ₃	3360	1604(66.23)		30.03	46.4	(79.4)	(111.0)	3.23	3.73 268	3.22 929	3.27 1348	3.29 1658			3.16		119 3250	(2.0) O ₀ ∈P ₂
12	西 ₁₂	1697	700(40.5)	40.5	31.5	(50.7)	(84.77)	(111.77)	3.84		3.84 846							77.3 1651	(2.6) O
13	马 ₄ o	2402.4	1175(70.65)	70.65	37.8	62.1	(83.55)	(109.0)	4.8		4.75 870	4.70 1000.5	5.04 1175					83 1175	(2.6) O ₀ ∈
14	马 ₅ o	2136	1100(51.5)															90.7 1619	(2.0) Pt ₁₊₂
15	留 _水	460	460(29.8)																
16	河 ₅	695	695(38.95)						3.8	3.81 510	3.3								

注: 表中2.3.4.12.13为1988测, 其余为1982—1985年中国科学院地质研究所地温室测量。

表 2 河间地区石油钻孔测温一览表

序号	孔号	孔深 (m)	测温深度		温度 °C		中新世代各层段底界深度 (m)							基岩古生界及元古界底深度 (m)				
			孔深 (m)	(m)	静温	流温	Q	N _m		Ng	Ed	Es	Ek	Mz	P	C / O	E	Pt ₁₊₂
								上	下									
1	马 ₁₀	2701	2202 2700	99 118		225		1209	1550	1621	2303							2703 ↓
2	马 ₀	2445	140 2700	18.8 96		241	633	998	1276		1577							2445 ↓
3	马 ₄₀	3300	654	35.3					1944	2677	3300 ↓							
4	马 ₁₇	2694	2150	(90)		248	697	1247	1590		2567							2694 ↓
5	宁 ₄₇	3200	3144	113	113	370	1138	1687	1992	2813	3200 ↓							
6	宁 ₂₃	3818	2675	95	92			1580	1942	2224	3818 ↓							
7	马 ₀	2378	2272	90	92.5	301	888.5	1510	1805	2326		2382						2378 ↓
8	马 ₂₁	2988	1950	78	78	239	930	1480	1805	2548	2988 ↓							
9	马 ₁₀₀	3650	1850 3417	74 128		386	1008	1670	1948	2756	3650 ↓							
10	马 ₄₁	2604	2595	103	107	299	802.5	1439	1582		2387	2462						2584 ↓ 2604(Z)
11	马 ₇₀	2637	2623		111	262	550	1403	1602	1642	2490	2509						P ₂ 2611 2637 ↓
12	宁 ₅₄	5429	2550	96		326	1103	1798		3229	5500.8 ↓							
13	马 ₈₈	2525	2217	83	100	270	848	1529	1877	2247		2308						P ₂ 2525 ↓
14	西 ₂	1350	1350	78		254	631.5	950	1263		1315						1350 ↓	
15	大 ₀	3000	2629	94.35		318	722	1080	1324		1400		1681	2489	2659	3000 ↓		
16	西 ₁₄	1309	1298	68		312	768	1102	1234		1290						1309 ↓	
17	马 ₅₁	3115	2359 2448		97 98	255	961	1504	1819	2446								3115 ↓

续表

序号	孔号	孔深 (m)	测温深度 (m)	温度 °C		中新界各层段底界深度 (m)										基座古生界及元古界底界深度 (m)					备注
				静温	流温	Q	Nm		Ng	Ed	Es	Ek	Mz	P	C	O	∈	P _{t1+2}			
							上	下													
18	马古 ₃	3238	3101	114.4		309	916	1360	1674		3137								3238 ↓		
19	文 ₃₄	1543	1150		54	238		900	1187		1354			1543 ↓							
20	西 ₁₇	1500	1158	47		240		1089	1229		1260			1500 ↓							
21	西 ₆	1634	1496		81.7	253		948	1225		1577					1634 ↓					
22	西 ₂₃	1701	1606		78.8	362	67.5	1108	1419		1647					1701 ↓					
23	西 ₇	2001	1441		78.3	277		1041	1291		1461					1661	2001 ↓				
24	马 ₁₁₂	2146	1785		97	293		1083	1349	1615	2019							P ₂ 2146 ↓			
25	马 ₅₅₁	2000	1886		89	285		1177	1381	1337	2000 ↓										
26	马 ₂₅	3785	3300	127		326		1600	2070	3230	3785 ↓										
27	马 ₃₇	2401	2395	92		372		1561	1890	2271		2385						2401 ↓			
28	西 ₃₃	2250	2250		(100)	357		1195	1504		2197							2250 ↓			
29	任 ₂₈	3616	3450	138		276		1523	1915	2835	3494							3616 ↓			
30	西 ₃₇	3600	3150		113	387		1533	1849	2802	3600 ↓										
31	西 ₉	3720	3472		116	415		1296	1642	2221	3720 ↓										
32	马 ₂₂	3050	2831	111		308	951	1446	1808	2345	3008							3050 ↓			
33	宁 ₄	4719	3950 4000 4611	145	152 159	364		1777	2195	3180	4331					4423		P ₂ 4524 4719 ↓			

注：表中↓为未穿透。

度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；实测钻孔16个，其中本次测井5口，余为1982—1985年由我所地热室实测（表1）。利用华北油田试油测温钻井33口，其精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。由于试油测温多在井下靠近测温井段，其稳定时间较长，可以认为其温度代表了该深度的地温，较为可靠。其中部分是在试油放喷时将仪器放置于测井段获得的流温数据，它一般较静温偏高，但与附近地区的相同深度的钻孔测温数据对比之后可以参考利用（表2）。对上述数据，按照测温的性质和精度分别进行整理、分析，求得其不同深度和层段的温度和地温梯度；实测值是直接采用其不同深度段的实测温度并计算其地温梯度；对只有一个静温数据的钻孔，则按河间地区的多年平均气温计算其全井的地温梯度和不同深度段的温度，并以所获得地温数据作为研究区域地温分布及进行讨论的基础。

1. 地温分布规律

通过对地温数据的分析和整理，编制了研究区的1000m，2000m深地温分布图和盖层的地温梯度图（图3、4、5）。

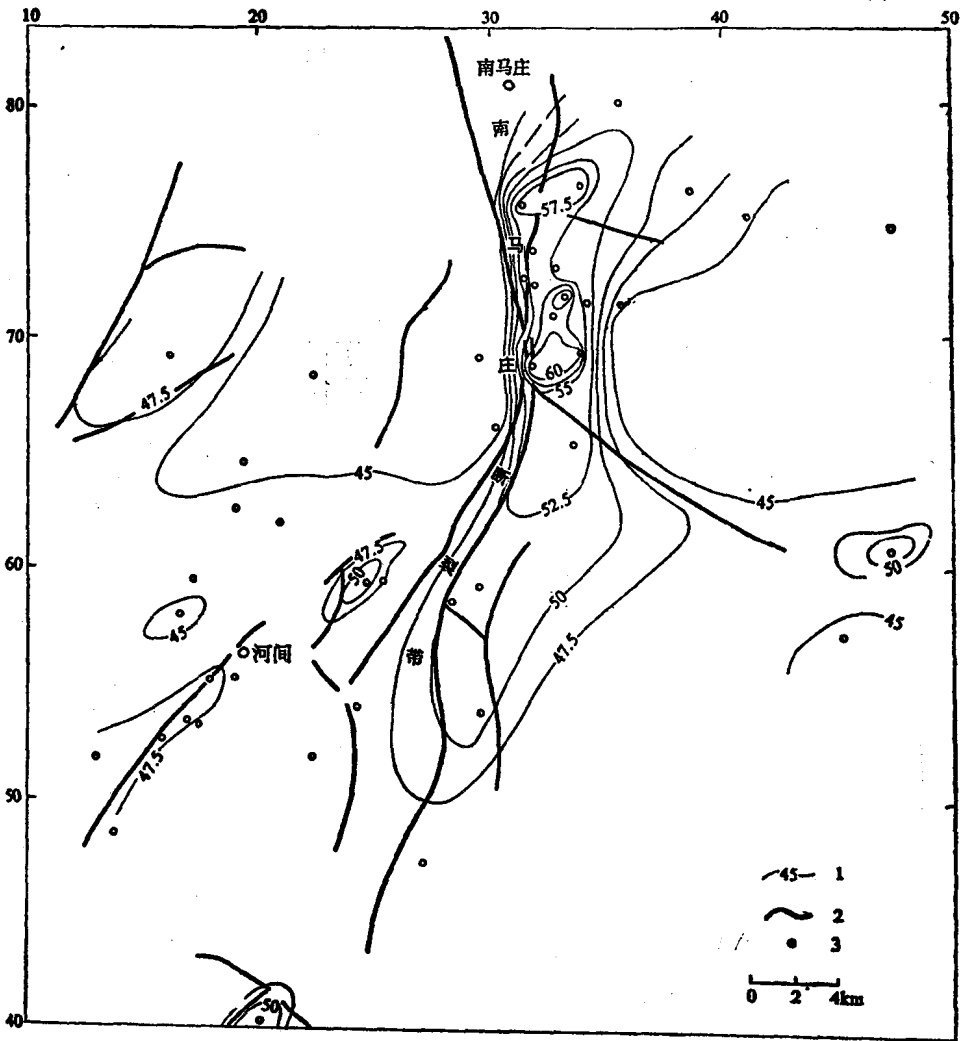


图8 河间地区1000m深地温分布图

1. 地温等值线 ($^{\circ}\text{C}$)；2. 断层；3. 钻孔

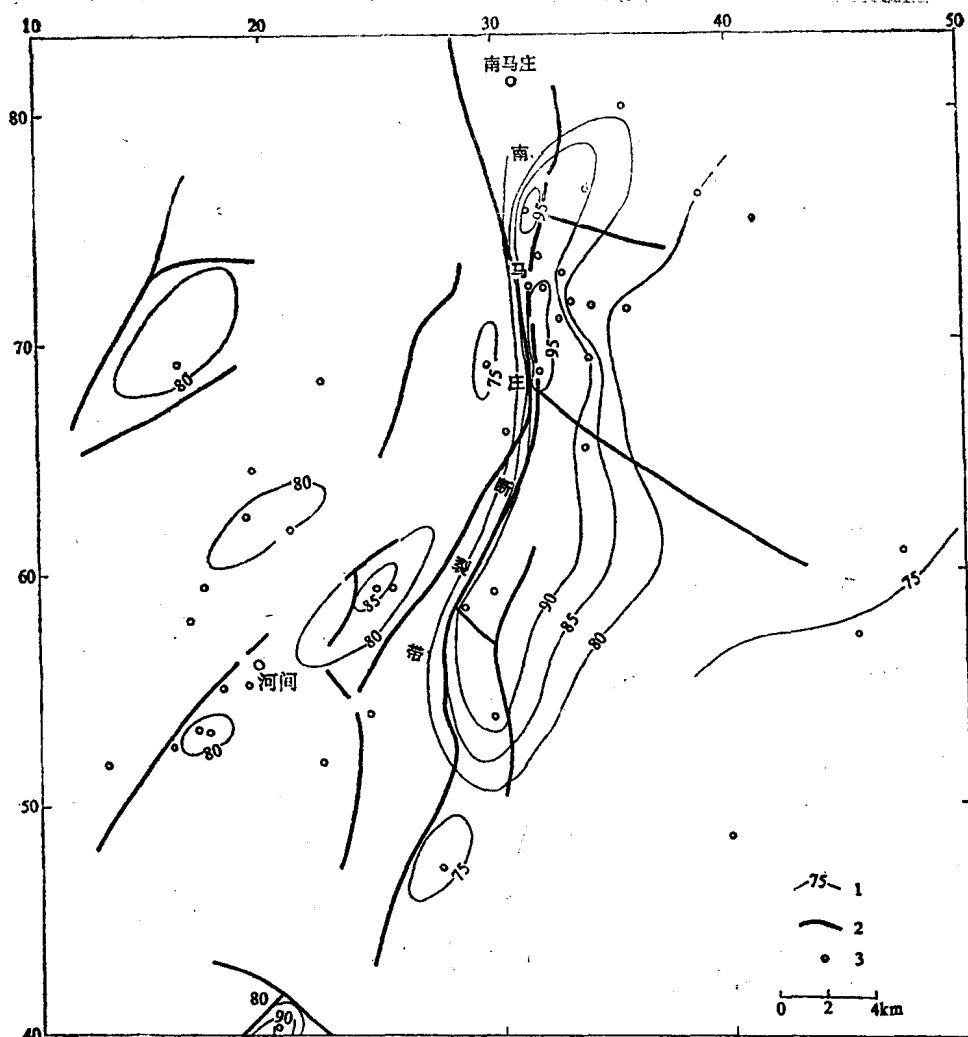


图4 河间地区2000m深地温分布图

1. 等温线 (°C); 2. 断层; 3. 钻孔

地温分布图表明, 在研究区的中部有一近南北方向的界线, 此线以东和以西地温分布状况明显不同, 此线就是南马庄断裂带。此带以东的北石槽到东方村一带地温较高, 地温梯度亦较大; 其1000m, 2000m深地温分别为50—60°C、85—95°C, 地温梯度3.8—5.0°C/100m。随着与此带距离的增加, 向东地温及地温梯度亦有降低, 至大城凸起则又有抬升。此带以西的广大地区除个别地区的地温及地温梯度稍有升高外, 其1000m, 2000m深地温及地温梯度均较东部为低, 它们分别为45—50°C、75—85°C及3.25—3.8°C/100m。

北石槽和留古寺一带为研究区地温及地温梯度最高分布区。这里断裂发育, 古生界奥陶系灰岩及中、上元古界蓟县系雾迷山组白云岩埋藏在1300—1700m之间, 为卧佛堂-留古寺潜山带 (亦称南马庄潜山带)。由此古生界二叠-石炭系及奥陶系地层则成平缓的平台向东延伸并逐渐抬升, 至大城附近遇断裂升起形成凸起。地温也相应地增高。时村—西九吉之间为较高地温和地温梯度带之南延部分, 此处地温及地温梯度较北部为低, 但在区内仍属异常带, 其1000、2000m深地温及地温梯度分别为50—52°C、85—92°C及3.8—4.0°C/100m。这里雾迷山组白云岩地层埋藏在2000—2500m, 是凹陷中的低凸起部位。正在开发利用地下热