

核工程地震安全性评价 方法的研究

——以南口工程场地为例

时振梁 张裕明 环文林 主编
方仲景 章淮鲁 董瑞树



地震出版社



ISBN 7-5028-1254-7 / P · 803

(1682) 定价: 30.00 元

国家地震局地球物理研究所

论著号: 96A0006

核工程地震安全性评价 方法的研究

——以南口工程场地为例

时振梁 张裕明 环文林 主编
方仲景 章淮鲁 董瑞树

地震出版社

1995

内 容 提 要

本书是在“南口 10MW 高温气冷实验堆厂址的地震安全性评价报告”的基础上编撰而成的,全书共分为三篇,十八章,全面、详细地论述了核动力工程选址中有关地震、地质调查、设计基准地震动参数确定和能动断层鉴定等一整套核工程厂址地震安全性评价的工作思路、内容、方法和结果。本书可供从事核电厂选址、工程建设、地震和地震构造调查以及设计基准地震动参数确定等场址地震安全性评价的科学技术人员、管理人员和有关院校师生参考。

核工程地震安全性评价方法的研究

——以南口工程场地为例

时振梁 张裕明 环文林 主编
方仲景 章淮鲁 董瑞树

责任编辑:何寿欢

责任校对:徐雁生

*

地 震 出 版 社 出版发行

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 16.25 印张 416 千字

1995 年 12 月第一版 1995 年 12 月第一次印刷

印数: 001—400

ISBN 7-5028-1254-7/P·803

(1682) 定价: 30.00 元

前 言

地震工作是核工程厂址安全性评价和抗震设计的最基础性工作之一,为了确保核工程设施的安全,地震工作内容和要求必须严格按照国家制定的有关“法规”、“规范”和“导则”执行。本项研究遵照有关安全法规的要求,采用目前国内外最新科学技术手段和方法,吸收中国地震区划图最新科技成果和其它核工程、国家重大工程地震工作中取得的有益经验,以南口 10MW 高温气冷实验堆厂址的地震安全性评价工作为例,介绍在地震和地质条件复杂地区进行断层活动性鉴定和设计基准地震动参数确定的工作内容和方法。本书的目的,是着重介绍核工程选址工作中地震安全性评价工作的方法和内容,以供同行们交流和共同研讨,不拘泥于具体结果的评述。

本书的第一篇是地质基础资料调查和能动断层鉴定的方法和内容,第二篇为地震基础资料调查的方法和内容。鉴于南口工程场地所处的地震和地质环境非常复杂,查明该区影响厂址地震安全性评价的地震和地质环境十分必要,为此,我们将地震工作的重点放在厂址 30km 范围内的断层活动性和历史地震的调查上,特别是对厂址区 5km 范围内的断层活动性调查,采用了地质雷达、浅层地震测深等多种物、化探手段,对逐条断层进行鉴别,对有新活动迹象的南口山前断层和南口-孙河断裂进行了探槽开挖和样品的地质年龄测定,野外工作中,还邀请了北京大学、清华大学和国家地震局有关研究所的八位专家对能动断层进行现场验收和审定。1484 年居庸关地震是对厂址地震安全性评价影响最大的历史地震,然而,由于对资料掌握不够,历来对其震中位置和震级有很多疑问,不是很确定的。为了搞清 1484 年地震对工程场地的影响,我们查阅、考证了数百篇有关历史文献,对历史记载现象反复进行现场调查、考证,并请有关历史、文物、考古专家进行野外咨询,确定了 1484 年地震的震中位置和各地区破坏烈度。近 30 年来本区地震台网记录了数千次微震,这些地震的震源位置的精度是不很清楚的,难以和当地的构造相联系,为鉴别仪器观测的地震和断层关系,在这次工程地震工作中研制了考虑当地地壳细结构的精确定位方法,对 1970 年以来测定的大量微震重新进行了精确定位。

本书的第三篇为确定设计基准地震动参数的工作内容和方法。距厂址仅数公里的潜在震源对工程厂址的影响,是这一工程地震安全性评价工作中的又一难题。而目前近距离地震加速度记录十分缺乏,一般的加速度衰减关系式中对近场衰减的合理性考虑不够。为此,本项工作中,深入研究了近场衰减震级饱和问题,拟合了适合于本地区的地震加速度衰减关系式。

确定厂址的设计基准地震、极限安全地震 SL-2 是核工程设施抗震设计中的最重要内容之一,在确定 SL-2 时本书采用了综合概率法、构造法和最大历史地震法等三种方法。在综合概率法中,为充分考虑地震震源和地震活动性参数的不确定性对计算结果的影响,采用了多方案分别计算而后综合评定的方法,以求得到既保证安全又充分合理的结果。在构造法的分析中,由于板内地壳经历了长时期的构造变动,我国东部地区许多规模巨大的先存断层大多是多期构造运动的产物,以先存断层的全长作为衡量未来发展的震级,显然

是不合理的。为此，本项工作中仔细研究了厂址附近及近期区域断层各段的活动时代和其可能的断层活动标志，进行活动断层分段，以此作为构造法确定 SL-2 的依据。

我国已建成或拟建的核电厂都选择在基岩上，而本工程则建在土层上，因此在进行结构抗震设计参数的确定时，不仅要分析厂址区周围的地震地质情况和地震活动性，而且还要充分考虑局部场地条件对地震动的影响进行场地土地震反应计算，并根据计算结果确定设计地震动参数，为厂址区结构抗震设计提供依据。在结构抗震设计中，直接动力反应分析选取合理的地震动输入已成为重要建筑物和特殊结构抗震设计的主要分析方法。考虑到实际强震加速度时程非平稳性，为使合成的地震动时程更加接近观测资料，在本研究中我们采用三角级数方法，并考虑地震动时程的非平稳性，合成人造地震波。

核工程厂址的地震安全性评价工作，包含着围绕厂址的区域、近区域和厂址，包括地质、地震和工程多学科相结合的系统研究工程，各项工作应先后有序、相互衔接。本书着重于方法探讨，由各专题负责人分别撰写，与工程报告形式有所不同，各章节都有独立的性质，为使全书保持完整性，本书以篇、章、节形式编辑。第一篇为地震地质及断层活动性研究，由张裕明负责统编；第二篇地震活动性研究和第三篇设计基准地震运动研究，由环文林负责统编；最后由时振梁审查定稿。各章节撰写者姓名分别列于该章节之下。

为保证高质量地完成此项任务，由国家地震局地球物理研究所和地质研究所共同组织了 17 个专业组 55 名科技人员先后进行了将近一年的工作。在整个工作中，得到清华大学核能技术设计研究院王大中院长、徐元辉副院长、吴宗鑫副院长、汪泰钧教授和薛大智教授的大力支持和帮助。在工作的不同阶段还得到丁国瑜、胡聿贤、韩慕康、田胜清、李洪训、常向东、张国民、马宗晋、邓起东、马瑾、王克鲁、赵国光、刘光勋、聂宗生、朱传镇、侯作中、金严、郇家全等专家及王国治、李裕澈、卢寿德等同志的指导和帮助，在此表示衷心感谢。本书图件清绘由宋志敏、杨晓莲、董匀、赵芹、张兰凤完成，宋昭仪参加了对全书技术性整理编辑。

目 录

第一篇 地震地质及断裂活动性

第一部分 区域地震地质	(4)
第一章 地质构造的基本特征	(4)
第一节 地质构造分区	(4)
第二节 不同构造区沉积建造和岩浆岩建造发育情况	(4)
第三节 构造演化特点	(8)
第四节 断裂发育情况	(9)
第二章 新构造运动特征	(12)
第一节 晚新生代地质地貌概述	(12)
第二节 新构造分区及其活动性	(15)
第三节 主要活动断裂与断陷盆地	(18)
第三章 地球物理场与深部构造	(24)
第一节 重力场的基本特征	(24)
第二节 磁场的基本特征	(28)
第三节 地壳和上地幔结构特征	(31)
第四章 地震构造分析	(35)
第一节 地震区、带划分	(35)
第二节 第四纪活动断裂时空分布	(38)
第三节 现代地壳运动	(42)
第四节 强震 ($M \geq 6$ 级) 构造标志分析	(46)
第二部分 近场区主要断裂活动性和场区能动断层鉴定	(49)
第五章 深浅部地质构造环境与地震活动性	(49)
第一节 地质地貌及构造活动概况	(49)
第二节 断裂构造及第四纪断陷盆地	(55)
第三节 深部构造环境	(58)
第四节 地震活动性	(61)
第六章 主要断裂活动性	(66)
第一节 南口山前断裂 (铁矿峪—马刨泉区间)	(66)
第二节 居庸关断裂	(78)
第三节 南口—孙河隐伏断裂 (南口—东三旗段)	(83)
第四节 地震活动性与断层分段	(100)
第五节 卫星遥感图象解译	(104)

第七章 能动断层鉴定	(108)
第一节 概述	(108)
第二节 能动断层鉴定	(111)
第三节 鉴定结果	(118)
参考文献	(120)

第二篇 地震活动性

第一部分 区域地震活动性	(121)
第八章 地震活动的基本特征	(121)
第一节 地震资料分析	(121)
第二节 地震震中分布特征	(129)
第三节 地震活动空间分布特征	(131)
第四节 地震活动时间分布特征	(133)
第九章 现代构造应力场与震源机制	(139)
第一节 华北地区构造应力场背景	(139)
第二节 区域构造应力场	(140)
第二部分 近场区地震活动性	(144)
第十章 历史地震资料及考证	(144)
第一节 历史地震研究现状	(144)
第二节 1484 年和 294 年地震的调查研究	(145)
第十一章 微震分布	(163)
第一节 微震定位	(163)
第二节 微震分布	(164)
第十二章 震源机制与构造应力场	(166)
第一节 资料和方法	(166)
第二节 现代构造应力场分布特征	(166)
第三节 地震断层面方位和应力场方向的统计分析	(169)

第三篇 设计基准地面运动研究

第十三章 衰减关系的确定	(171)
第一节 烈度衰减关系式的统计分析	(171)
第二节 地震动参数衰减关系	(174)
第十四章 地震构造法	(183)
第一节 地震构造区的划分	(183)
第二节 发震构造的确定	(188)
第三节 发震断层最大潜在地震的确定	(189)
第四节 与发震构造无关的最大弥散地震的确定	(194)
第五节 构造法设计基准地震动 SL-2 的确定	(197)

第十五章 最大历史地震法	(199)
第一节 历史地震对厂址最大影响烈度	(199)
第二节 最大历史地震法 SL-2 的确定	(206)
第十六章 综合概率法	(208)
第一节 综合概率分析方法概述	(208)
第二节 地震统计区和潜在震源区的划分	(209)
第三节 地震活动性参数	(212)
第四节 构造法设计基准地震动	(222)
第十七章 人造地震波的合成	(227)
第一节 人造地震波的合成方法	(227)
第二节 人造地震波参数的确定	(228)
第三节 反应谱控制点的确定方法	(229)
第四节 人造地震波合成结果	(232)
第十八章 局部场地条件的影响及场地相关谱	(235)
第一节 计算模型	(235)
第二节 计算实例	(238)
第三节 计算结果与实际观测资料的对比	(241)
第四节 场地相关谱确定的方法举例	(247)
参考文献	(251)

第一篇 地震地质及断裂活动性^①

一、研究内容

(1) 区域地震地质研究——系统收集厂址半径约 300km 范围内 (东经 $112^{\circ}30'$ — $119^{\circ}30'$, 北纬 $37^{\circ}40'$ — $42^{\circ}30'$, 以下称工作区) 的地质构造、深部构造、新构造、地形变、第四纪地质、地震构造等资料, 编制相应的基础图件 (比例尺 1:100 万); 并进行综合的地震构造研究。

(2) 近场区主要断裂活动性研究——厂址半径 30km 范围内 (东经 $115^{\circ}48'$ — $116^{\circ}30'$, 北纬 $40^{\circ}00'$ — $40^{\circ}33'$, 以下简称近场区) 三条主要断裂的活动性研究, 包括: 南口—孙河隐伏断裂 (北西向)、南口山前断裂 (北东向) 和居庸关断裂 (北东向) (图 1)。

(3) 厂址半径 5km 范围内 (以下称场区) 能动断层的鉴定——对该范围内 1/5 万地质图标出的地表断裂进行能动断层鉴定, 鉴定的断裂计有九条, 它们是: 庆陵—太平庄断层 (F_{10})、虎峪西沟断层 (F_6)、虎峪弧形断层 (F_7)、和规模较小的断层 F_{c1} 、 F_{c2} 、 F_{c3} 、 F_{c4} 以及南口山前断裂 (F_1) 和南口—孙河隐伏断裂 (F_{11}) 通过场区的段落 (图 2)。

二、技术途径

由于核工程有其自身的特点和更高的安全要求, 我们对工作区的区域地震构造研究、近场区的主要断裂活动性研究和场区的能动断层鉴定, 都是遵循核安全法规 HAF0101—“核电厂厂址选择中的地震问题”和核安全导则 (HAF0100, 1989 年修改版) 以及 1992 年国家核安全局发送的《能动断层专题研讨会会议纪要》的通知中对区域地震地质和地表断裂的调查要求进行的, 即以实地的地震地质调查与浅层勘测结果为依据, 结合收集现有的区域地震地质、地球物理资料, 综合分析并评估工作区的区域地震地质活动性及近场区的断裂活动和地震活动可能给工程带来的危险程度。对于场区地表断裂是否为能动断层, 则是直接进行详细的地表地质调查和活动年代测定, 而对于场区的浅埋隐伏断层是否为能动断层则是结合化探、物探、钻探、槽探和测年等手段予以客观论证。具体地说, 鉴定和研究近场区和场区断裂活动性的工作内容主要包括以下几项, 野外和室内工作量统计如表 1 所示。

(1) 断裂活动的地质地貌表现及特征的野外考察 (包括天然露头的定点观测和剖面实测, 探槽开挖与剖面记录);

(2) 采用气汞、气氦、浅层地震反射、地质雷达、浅层钻探和槽探确定浅埋活动断层的位置、规模和活动性;

^① 执笔: 张裕明、方仲景。

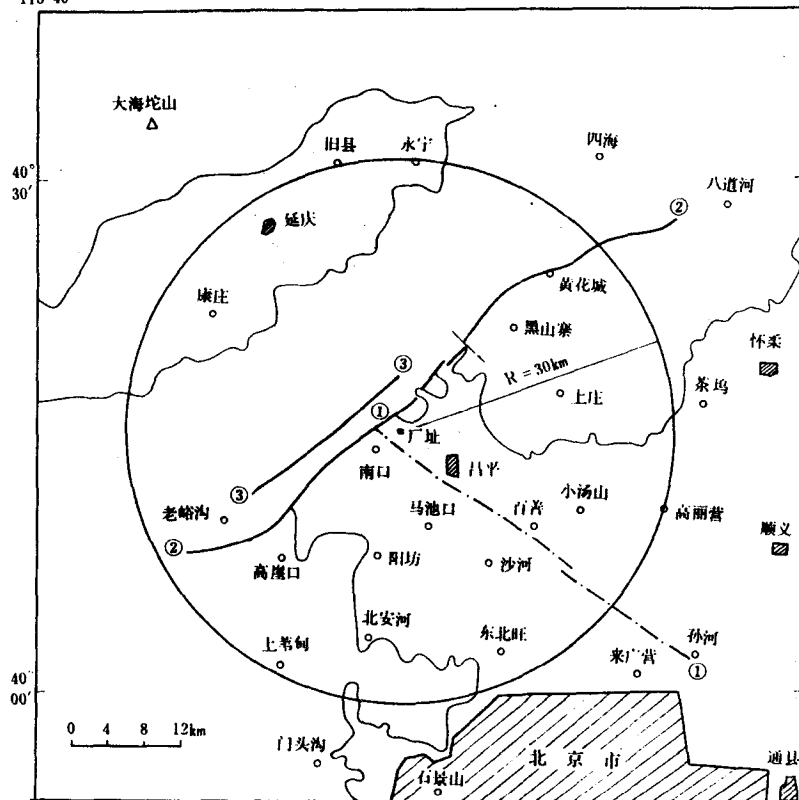


图1 近场区三条主要断裂位置分布图

①南口-孙河隐伏断裂; ②南口山前断裂; ③居庸关断裂

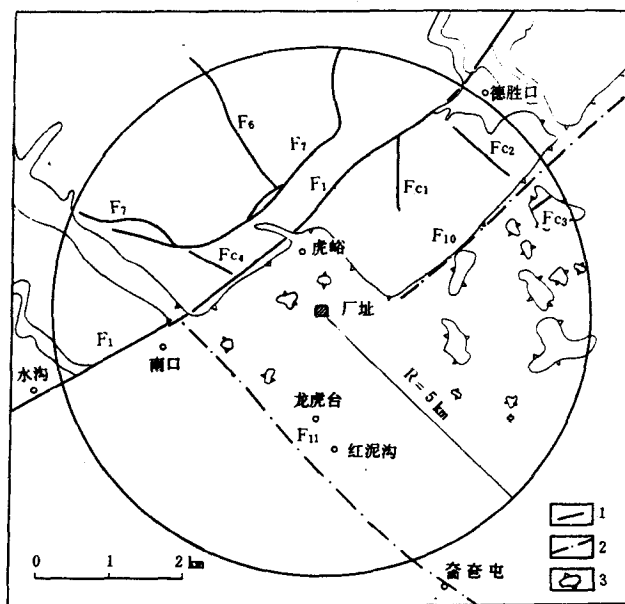


图2 场区能动断层鉴定分布位置图

1. 实测断层; 2. 推测隐伏断裂; 3. 山区与平原边界

(3) 在断裂的上覆第四纪地层和断裂内部物质中采取适合的测龄样品, 研究断层多次活动现象和最新活动年代;

(4) 收集地震活动资料, 研究其与断裂活动和断裂分段的可能联系;

(5) 依据断裂的几何形态、新活动的地质地貌表现、活动习性、测年结果、地震活动以及与其它不同方向断裂的交切关系, 研究断裂差异活动的分段性;

(6) 样品的测年, 分别做了热释光 (T_L)、电子自旋共振 (ESR)、碳 14 (^{14}C) 和孢粉鉴定, 见表 1①。

表 1 区域地震地质研究与断裂活动性鉴定工作量统计

项 目	单 位	数 量
地质地貌观测点	个	87
地质地貌考察路线	km	145
化探测线	条 (m)	氦 9 (8294) 气汞 8 (11600)
浅层地震测线	条 (m)	3 (264)
地质雷达测线	条 (m)	6 (1600)
浅层钻探	个	14
地质探槽	个	10
采集测年样品	个	TL 29 ESR 21 ^{14}C 6 孢粉 25
有结果的测年样品	个	TL 23 ESR 17 ^{14}C 2 孢粉 7
编制 (1/100 万) 区域地质构造图	幅	1
编制 (1/100 万) 新构造图	幅	1
编制 (1/100 万) 地壳厚度图	幅	1
编制 (1/100 万) 区域布格重力异常图	幅	1
编制 (1/100 万) Δg_i 剩余重力异常图	幅	1
编制 (1/100 万) 航磁异常 ΔT_a 平面图	幅	1
编制 (1/200 万) 航磁上延 20km 异常图	幅	1
编制 (1/100 万) 区域地震构造图	幅	1
编制 (1/20 万) 近场区地震构造图	幅	1
撰写文字报告	万字	约 8.6
报告插图	张	79
精选断层地质地貌及探测彩色照片	张	58

在此需要说明的是, 本报告涉及较多的地层单位是第四系, 采用何种第四纪年代划分方案直接关系到表述断层新活动性的地质时限。本报告根据本区的第四纪地质研究情况, 采用下列年代划分方案: 全新世 (Q_4), 0—1.2 万年; 晚更新世 (Q_3), 1.2—10 万年; 中更新世 (Q_2), 10—73 万年; 早更新世 (Q_1), 73—320 万年。

① 在整个工作中, 得到清华大学核能技术设计研究院的大力支持和帮助。报告中采用的年代数据系由国家地震局地质研究所的热释光实验室 (计凤桔、李建平)、电子自旋共振实验室 (陈以健)、 ^{14}C 实验室 (彭贵、焦文强、李桂英) 和孢粉实验室 (严富华、麦学舜) 测定的。所有图件由董兆匀、赵芹和张兰凤清绘, 在此致以衷心的感谢。

第一部分 区域地震地质

第一章 地质构造基本特征^①

第一节 地质构造分区

工作区在区域大地构造上极大部分隶属中朝地台(I_1), 仅北缘部分属于内蒙-兴安地槽褶皱系(II_2), 它们是我国东部两个大地构造性质迥然不同的一级构造单元, 其间以近东西向的康保-围场断裂为界(图 1-1)。

在中朝地台的有关部分, 按其不同部位盖层发育的时代和特征、经历构造运动的时代和性质、构造变形特点及岩浆活动等差异, 可分成内蒙地轴(II_1)、燕山台褶带(II_2)、华北断坳(II_3)和山西断隆(II_4) 4 个二级构造单元, 以及 20 个三级构造单元(图 1-1)。

内蒙-兴安地槽褶皱系在工作区内的部分, 为西拉木伦河加里东褶皱带(II_5)(图 1-1)。

厂址位于燕山台褶带(II_2)的军都山复式岩浆褶皱带(III_{10})的东北缘, 东邻华北断坳的冀中台陷(III_{13})。

第二节 不同构造区沉积建造和岩浆岩建造发育情况

中朝地台和内蒙-兴安地槽褶皱系的大地构造性质和演化历史不同, 故具有不同的沉积建造和岩浆岩建造。

一、中朝地台

1. 建造总的发育概况

中朝地台是我国最古老的陆台之一, 具典型的双层结构。组成基底的结晶岩系, 其原岩形成大致开始于 35 亿年前, 结束于 18.5—17 亿年前后。在太古宙和早元古代这一漫长的地质历史时期, 经历了迁西、阜平、五台和吕梁—中岳四次主要构造运动的叠加和改造, 相应形成了四套变质岩系。其岩性及原岩建造等概括于表 1-1。

^① 执笔: 徐杰, 参加者: 牛安芳。

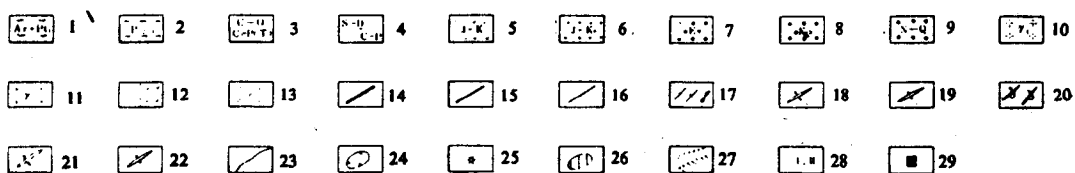
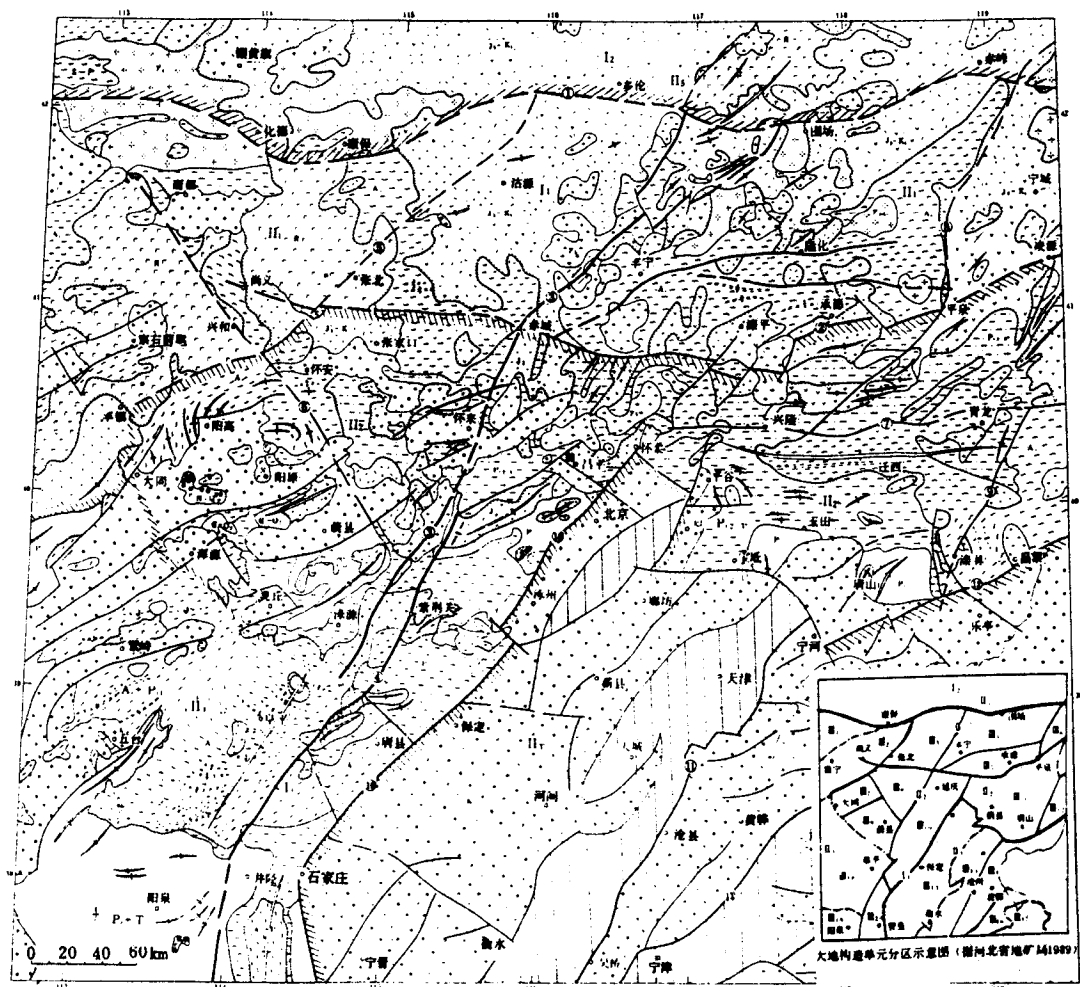


图 1-1 区域地质构造图

(据河北省地质矿产局 1989、山西省地质矿产局 1989、辽宁省地质矿产局 1989、内蒙古自治区地质研究队 1981、华北石油管理局 1982、大港石油管理局 1988 等资料)

1. 上太古界一下元古界结晶基底; 2. 中—上元古界; 3. 古生界(包括三叠系); 4. 古生代褶皱岩系; 5. 中生代火山岩和火山碎屑岩; 6. 中生代碎屑岩; 7. 早第三纪砂泥岩; 8. 新生代砂泥岩; 9. 晚第三纪—第四纪砂泥岩; 10. 华力西期酸—中性侵入岩; 11. 燕山期酸—中性侵入岩; 12. 酸性(左)和中性(右)喷出岩; 13. 喜山期基性喷出岩; 14. 地壳断裂; 15. 壳内大断裂; 16. 壳内规模较大断裂; 17. ① 正断层 ② 逆断层 ③ 平移断层; 18. 背斜; 19. 向斜; 20. 倒转褶皱; 21. 基底褶皱; 22. 燕山期褶皱; 23. 不整合; 24. 新生代盆地边界; 25. 新生代火山口; 26. 华北断块内次级隐伏台拱; 27. 一、二级构造单元分界线; 28. 一、二级单元及其编号; 29. 厂址

表 1-1 中朝准地台（工作区部分）基底形成期
沉积建造和岩浆岩建造发育情况简表*

地质时代	主要地层	地层岩性	原岩建造	岩浆活动	构造运动
中一晚 元古代	青白口群 蓟县群 长城群	碳酸盐岩 和碎屑岩		基性岩墙群	
早元古代	津沱群或 朱杖子群	前者：板岩、千枚 岩、石英岩、结晶灰 岩；后者：变质砂 岩、千枚岩、片岩	前者：砂泥 岩、白云岩等； 后者：碎屑岩、 粘土岩、含铁硅 质岩	晚期中酸性 岩浆侵入	吕梁—中岳运动 (18.5—17 亿年)
	双山子群 或五台群	前者：变粒岩、片 岩；后者：斜长角闪 岩、片岩	前者：火山 岩、粘土质砂 岩；后者：中基 性火山岩、粘土 岩	中酸性、中 基性岩浆喷出	五台运动(23 亿年)
晚太古代	单塔子群 或阜平群	灰色片麻岩	中酸性火山 岩、火山碎屑 岩、碎屑岩	中酸性岩浆 喷发，晚期侵 入	阜平运动(25 亿年)
早太古代	迁西群	麻粒岩及 灰色片麻岩	基性火山岩、 英云闪长岩、硅 铁质建造	基性岩浆喷 发	迁西运动?(30 亿年)

* 据徐正聪等 1983、河北省地质矿产局 1989 和山西省地质矿产局 1989 等资料。

中—上元古界由长城系、蓟县系和青白口系组成，以碳酸盐岩和碎屑岩为主，属燕山—太行坳拉槽（古裂谷系）沉积。

古生界（包括三叠系）大范围面状分布，为典型的地台盖层沉积。寒武系—中奥陶统以海相碎屑岩和碳酸盐岩为主；上奥陶统至下石炭统广泛缺失；中石炭统一三叠系以陆相碎屑岩为主，下部是海陆交互相沉积。

侏罗—白垩系为断陷盆地沉积，是一套陆相火山—沉积岩建造。燕山期花岗岩类相当发育。

新生界亦为断陷盆地沉积，是一套陆相砂泥质地层。第三纪玄武岩相当发育，第四纪玄武岩亦有分布。

2. 不同构造单元建造发育情况

(1) 内蒙地轴 (Ⅱ₁)：位于中朝地台北缘，南以尚义—平泉断裂与燕山台褶带相邻 (图 1-1)，是一个自基底形成后长期相对隆起的近东西向轴状构造单元。单元内基底岩系广泛出露，其构造线亦为近东西向。中侏罗世时，其内部开始剧烈活动，形成一系列的中生代断陷盆地，发育火山—碎屑岩建造。第三纪玄武岩亦有成片分布。其次级构造单元的发育特征是：

内蒙台拱 (Ⅲ₁)：仅极小一部分位于工作区，基底直接出露，有些地方覆以新生代盆地沉积或第三纪玄武岩。

张北台拱 (Ⅲ₂)：基底上分布大片第三纪玄武岩。此外，华力西晚期花岗岩体发育。

沽源断陷束 (Ⅲ₃)：是基底上的中生代断陷区，晚侏罗—早白垩世的火山岩和火山碎

屑岩成片分布。燕山期花岗岩较发育。

围场拱断束 (Ⅲ₄): 基底沿三条北北东至北东向断裂出露, 其间为中生代断陷盆地, 堆积了上侏罗统和下白垩统火山岩和火山碎屑岩。燕山期花岗岩较发育。

承德拱断束 (Ⅲ₅): 基底岩系成片出露于北部, 南缘分布中—上元古界, 单元内存在一些中侏罗世—早白垩世的断陷盆地, 堆积有火山岩和火山碎屑岩。

建平台拱 (Ⅲ₆): 工作区内部分为中侏罗世—早白垩世的断陷盆地, 发育火山岩和火山碎屑岩。

(2) 燕山台褶带 (Ⅱ₂): 位于内蒙地轴南侧, 南以北北东向太行山山前断裂带的北段、北西向二十里长山、夏垫、宝坻和蓟运河等断裂及北东东向宁河—昌黎断裂与华北断坳相邻; 西界大致位于大同、浑源、灵丘一线。它以怀柔北边的北北东向断裂为界分东西两部分, 东部构造线主要为近东西向, 西部呈北东向。此单元内基底出露局限, 中—上元古界和古生界覆盖了大部分地区。侏罗—白垩纪发育一些断陷盆地和山间盆地, 充填以碎屑岩、基—酸性火山岩和火山碎屑岩。由于燕山运动多次强烈改造, 构造变形剧烈, 盖层普遍褶皱, 故称台褶带。晚第三纪以来, 它的西部发育一些北东向的断陷盆地。其次级构造单元的发育特征是:

天镇台拱 (Ⅲ₇): 位于台褶带西端, 基底出露较广, 中—上元古界仅见于南缘。晚第三纪和第四纪发育有北东向天镇—阳高和阳原断陷盆地, 同时伴有基性火山喷发。

宣龙复式向斜 (Ⅲ₈): 基底沿边界断裂出露, 内部为中—上元古界及侏罗系。在构造形式上, 它整体为一复式向斜 (河北省地质矿产局, 1989), 轴向北东东。其中断裂较为发育。

灵蔚复式向斜 (Ⅲ₉): 中—上元古界和古生界几乎覆盖整个单元, 中生代发育断陷盆地沉积, 燕山运动形成北东走向的复式向斜。晚第三纪和第四纪形成北东向的蔚县断陷盆地。

军都山复式岩浆褶皱带 (Ⅲ₁₀): 出露地层以中—上元古界和侏罗系为主, 古生界次之, 基底零星。燕山运动使之形成一系列轴向北东的褶皱。燕山期中酸性侵入体沿此带东西两侧边界断裂呈串珠状分布。

马兰峪复式背斜 (Ⅲ₁₁): 整体为一近东西向的宽缓复式背斜, 基底岩系出露于核部, 两翼依次为中—上元古界和古生界, 北翼被一些侏罗纪小型断陷盆地复杂化, 南翼较为简单。

山海关台拱 (Ⅲ₁₂): 基底大片出露, 燕山期侵入岩和火山岩较发育。

(3) 华北断坳 (Ⅱ₃): 位于工作区的东南部, 基底岩系上广泛分布中—上元古界和古生界。侏罗—白垩纪发育了一些断陷盆地, 堆积有碎屑岩、火山岩和火山碎屑岩。早第三纪地壳强烈拉张活动, 产生了数十个断陷盆地, 它们多相对集中成带分布, 一条断陷带相应构成一个台陷 (坳陷), 如冀中台陷 (Ⅲ₁₃)、黄骅台陷 (Ⅲ₁₇) 等, 台陷之间以台拱 (隆起) 相隔, 如沧县台拱 (Ⅲ₁₄)、埕宁台拱 (Ⅲ₁₆) 等。断陷盆地中堆积 4000—6000m 厚的下第三系, 其中普遍夹多层玄武岩。晚第三纪以来断坳整体下沉, 上第三系和第四系一般厚 1200—2000m。值得指出的是, 第四纪于断坳的北缘新发育了如沙河等几个断陷盆地, 总体北西西向斜列分布。

由于各台陷的发育基本与整个断坳的演化过程一致, 其沉积建造和岩浆岩建造与之大

体相似，只是台拱上缺失下第三系，直接为上第三系和第四系掩盖，故不一一赘述。

(4) 山西断隆 (II₄): 工作区西南部属此单元。它总体上是地台内一个相对稳定的部分，基底岩系主要在断隆的中部断续成片出露，东南部中—上元古界和古生界（包括三叠系）大面积分布，但厚度不大，西北部古生界分布广泛。侏罗—白垩纪以整体块断隆升为特征，内部很少有沉积。地层产状平缓，褶皱变形甚弱。晚第三纪以来，在其中部发育了一系列北北东—北东向的断陷盆地，与燕山台褶带西部的同期盆地一起组成山西断陷带。其次级单元的特征是：

五台台拱 (III₁₈): 基底岩系大片出露，中—上元古界和古生界分布于边缘，侏罗—白垩纪几无沉积。晚第三纪起，此单元西部发育忻定断陷盆地。

沁水台陷 (III₁₉): 基底岩系局部有出露，中—上元古界仅出露在其边缘，其余为古生界所覆盖，中间分布三叠系。地层产状平缓。

赞皇拱褶束 (III₂₀): 基底岩系出露于中部，周围为中—上元古界和古生界所环绕，总体为一背斜。

二、内蒙—兴安地槽褶皱系

工作区内部分属褶皱系的西拉木伦河加里东褶皱带。带内志留—泥盆系局部出露，为硬砂岩、绿岩及火山碎屑岩等，属一套浅变质的海相火山—沉积建造，是地槽型沉积。加里东运动使之褶皱回返，同时伴有花岗岩浆侵入。华力西期亦有花岗岩浆侵入。侏罗—白垩纪强烈断陷，碎屑岩、火山岩和火山碎屑岩等广泛分布。

第三节 构造演化特点

从区域地质发展历史看，中朝地台和西拉木伦河加里东褶皱带（篇幅所限，不涉及整个地槽褶皱系）在中生代之前，具有截然不同的演化过程，前者经历了地台基底形成 (A_1-P_{11}) 和地台盖层发育 (P_{12+3}, P_2-T) 二个主要阶段；而后者在晚古生代之前处于地槽发育阶段。但自加里东构造运动使地槽褶皱回返并增置到地台北缘之后，二者一起进入中、新生代裂陷伸展的改造阶段。

据前人研究结果，迁西群的原岩性质（表 1-1）及其沿迁西、密云和怀安一线近东西向断续带状分布，反映了地幔物质活动和古火山岛弧的构造环境，迁西运动使之成为最古老的陆核。晚太古代在古老的陆核南北两侧发生大规模拗陷，堆积了阜平群和相当的单塔子群，末期的阜平运动使其变质并混合岩化。早元古代早期，在已褶皱隆起的陆核或小陆块的边缘或内部出现一些拗陷带，堆积了五台群和双山子群，五台运动使它们褶皱封闭。此后，断裂活动增强，裂谷发育，接受了溥沱群或朱杖子群的沉积。早元古代末期的吕梁—中岳运动最终使基底岩系固结、拼合成统一的地台基底。

此后，中朝地台进入稳定的盖层发育阶段。中—晚元古代，于内蒙地轴之南发育了燕山—太行拗拉槽（马杏垣等，1985），总体北东向展布，尚义—平泉断裂为其北界，西端可达尚义、阳原一带，向东延伸到辽西朝阳、锦州等地，往南经华北平原直插入太行山区，平面上呈三叉裂谷形态。它于长城纪开始裂陷，到青白口纪逐渐萎缩衰亡，沉积了一套巨厚的以白云岩和碎屑岩为主的海相地层，华北断拗和燕山台褶带是其主要沉降区。寒武纪