太原盆地控盆构造研究

关成尧[a,b*]，袁四化[a,b]，姜纪沂[b,c]，白相东[a,b]，刘广虎[a,b]，刘晓燕[a,b]，张艳[c]

应急管理大学 a. 地球科学与工程学院；b. 河北省地震动力学重点实验室；c. 环境与灾害治理学院，河北 三河 065201

* 通信作者，E-mail：gcywww@126.com

2024-04-30 收稿；2024-09-23 修回；2024-09-24 接受

基金项目：中央高校基本科研业务费团队项目(ZY20180104)；国家自然科学基金项目(42372269)

中图分类号：P548　　文章编号：2096-8523(2026)01-0025-13　　doi：10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240208

摘　要：为了以地质力学方法确定太原盆地及邻区的控盆构造，认清太原盆地的构造属性，应用推测性构造线分析法，根据第四纪沉积条带展布、线性地貌、盆地边界地貌及已确定断层的体系化延长，组合成断层系统，认为研究区存在经向构造体系、纬向构造体系、华夏系、NW 向构造体系。通过局部构造分析，认为存在太岳山北段“多”字型构造体系、南北向帚状构造体系、NW 向斜扭构造体系、SN 向“入”字型扭动构造体系 4 个局部扭动构造体系和 NW 向直扭构造体系、EW 向直扭构造体系 2 个全局性扭动构造体系。应用现代地貌阶区分析法，将研究区的地貌高程分为若干个区域，形成若干个地貌台阶，显示盆地形成和围区山地地貌区的形成具有联动性和机制统一性，认为山西地堑系的伸展是阶段性的含围区造山带的全面伸展垮塌。据此推断出 6 种成盆或者对成盆活动有贡献的区域活动模式。在伸展行为方面，太原盆地及围区存在系舟山、太岳山、云中山的 NNW-SSE 向新近纪伸展垮塌事件，太原盆地属于复杂断块控制的断陷盆地，各类局部或全局的运动模式共同影响了盆地形态及次级构造单元的分布，但不同子区域的成盆影响因素不同，是多构造体系和多成盆模式参与的复杂多变的多因成盆模式。

关键词：太原盆地；构造体系；成盆模式；推测性构造线；地貌阶区

太原盆地是山西地堑系中部一个较大的盆地，一些学者[1-6]认为山西地堑系是独立的裂陷体系，有的学者[7-10]将其归为汾渭地堑系的一部分。对于山西地堑系的盆地属性，一般认为属于大陆裂谷[11]，在区域盆山关系方面，其东部是渤海湾盆地和太行山存在的 NWW-SEE 向伸展区域[12]，其西部是吕梁山和鄂尔多斯右旋体系。

由于太原盆地没有得到石油系统从业人员的深入关注，无法以大量地震测线研究盆地内的精细结构，目前研究人员在邻区的关注点主要在鄂尔多斯盆地[13]和沁水盆地[14]，因此，大多数学者只能以地壳表浅出露信息或者以盆地与外围的联系方面研究太原盆地。在盆地外围区域构造成因机制方面，一般认为山西裂陷盆地群的形成，是在山西台地产生的 NNE 向右旋剪切作用下，形成了 NW-SE 向拉张应力，而恰巧又是继承中生代应力场松弛后反向发展的结果，构成了一个强有力的独立拉张应力场[15]。对于山西地堑系，张文佑等[16-17]和 SHI 等[18]认为存在右行和 NW-SE 拉张[11]。张岳桥等[19]认为华北地区新构造的形成主要受控于印欧碰撞远场效应与太平洋俯冲地幔上涌之间的相互作用。对于太行山的中新生代“构造控制因素”，有学者[20-21]认为在方向上执行左行扭动的中华夏和新华夏是燕山期主要活动模式，喜山期则是右行走滑[21]。对于吕梁山中新生代“构造控制因素”，该期构造作用导致今鄂尔多斯盆地和晋西地区晚侏罗世的整体抬升改造和东隆

著录信息：关成尧，袁四化，姜纪沂，等. 太原盆地控盆构造研究 [J]. 地质科技通报，2026，45(1)：25-37.
GUAN Chengyao, YUAN Sihua, JIANG Jiyi, et al. Control-basin structure around the Taiyuan Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2026, 45(1): 25-37.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjtb.cug.edu.cn

西坳格局雏形的出现[22]，新生代环鄂尔多斯稳定地块周边普遍发生伸展裂陷，相继发育一系列具大陆裂谷性质的地堑、半地堑断陷盆地[23]。

山西地堑系发生在中生代造山带的基础上，秦岭北缘断裂的左行走滑发挥了明显的作用[9]，也可能导致了系列地块的逆时针旋转模式[24]，这些地块的逆时针旋转也可以导致秦岭北缘断裂左行诱发出山西地堑系的近 W-E 向的拉张[9]。太原盆地是汾渭地堑系“S”型旋转拉分的一部分[10]，或是右旋的 NNE 向的拉分[25]，也会是右旋剪切带尾端张性区地壳局部性伸展的一种表现[25]，究竟是 NW-SE 拉张还是 NNE 向的拉分具体还需要依据盆地的结构来确定。

在地质力学方面，《山西省区域地质志》[26] 对其划分了经向、纬向、新华夏、华夏 4 个方向的构造体系以及祁-吕-贺“山”字型构造体系的东翼经过此地，王治顺等[27] 也对各个体系的存在性有所论及，NW 向体系也显示通过本区[28]，但这些体系的划分是针对整个山西系来讲的，整体上断层系统较为稀疏，文献资料很不翔实，不能够反映其和盆地以及盆地内二三级构造单元之间的关系，也就无法体现这些体系如何控制盆地单元方面的信息。

为了更好地研究太原盆地和围区相邻盆地及相邻造山带之间的关联性，确定影响太原盆地成盆的主要要素，本研究尝试用地质力学思想，结合断层系统推断及区域沉陷地貌（含差异隆升地貌）关系研究太原盆地形成的构造背景和形成模式，以及研究区域构造如何控制盆地区地貌的发育规律。

1　主要构造体系

1.1　研究方法

“构造线”是地质力学中的重要方法[29-30]，在地质力学中，也经常关注一些“隐晦的”断层之间的关系，李四光对南岭[29, 31] 的研究就是对“隐晦的”构造线的存在性及“断断续续”关系的一种宏观把握。本研究首先根据地表“构造线”信息的不充分性或者已有地质资料表述的不充分性的存在[32]，对于“断断续续”的地表断层信息，根据已有断层进行体系化延长，应用“推测性构造线”方法[32]，确定区域优势构造线的方向系统。其次是组合断层成系统，一些有规律的断层往往不是孤立地存在的，这种破除孤立性的联系首先就涉及到地质力学中的构造型式。本研究断层系统分析方面应用地质力学方法，推断断层所属的构造型式[29]，或者推断属于何种具有优势方向的断层体系（在地质力学中，构造线的方向也具有重要意义）。

1.2　构造体系构成

对于山西地堑系，李四光[33-34] 认为存在中华夏系和新华夏系，并认为属于“多字型”构造体系，该体系也在整体吕梁山-太行山右行旋转体系下更容易形成。根据“推测性构造线”方法和前人资料及研究成果，研究区的断层系统及褶皱系统如图 1 所示，图 1 中的断层系统及褶皱系统主要有 4 个优势方向，参考地质力学方法，4 个优势方向可以分为 4 个构造体系，分别以不同颜色表示。

1.2.1　经向构造体系

本区 SN 向构造（经向构造体系）如图 1 的红色断裂系和红色褶皱系所示，经向构造体系中的红色褶皱主要发生在太原盆地以南和以北的造山带中，经向构造体系和太行山、吕梁山的造山活动都是配套的。对于山西的经向构造体系，李四光[44] 主要认为“山西陆台的东部边缘（太行山的东麓）”所显示的挤压现象，一部分属于南北构造带的范畴”，王治顺等[27] 认为存在一个“太行山-吕梁山经向构造体系”，因此其存在性较容易解释，并且，这个体系在山西的分布也具有全局性。

1.2.2　NE 向构造体系（华夏系）

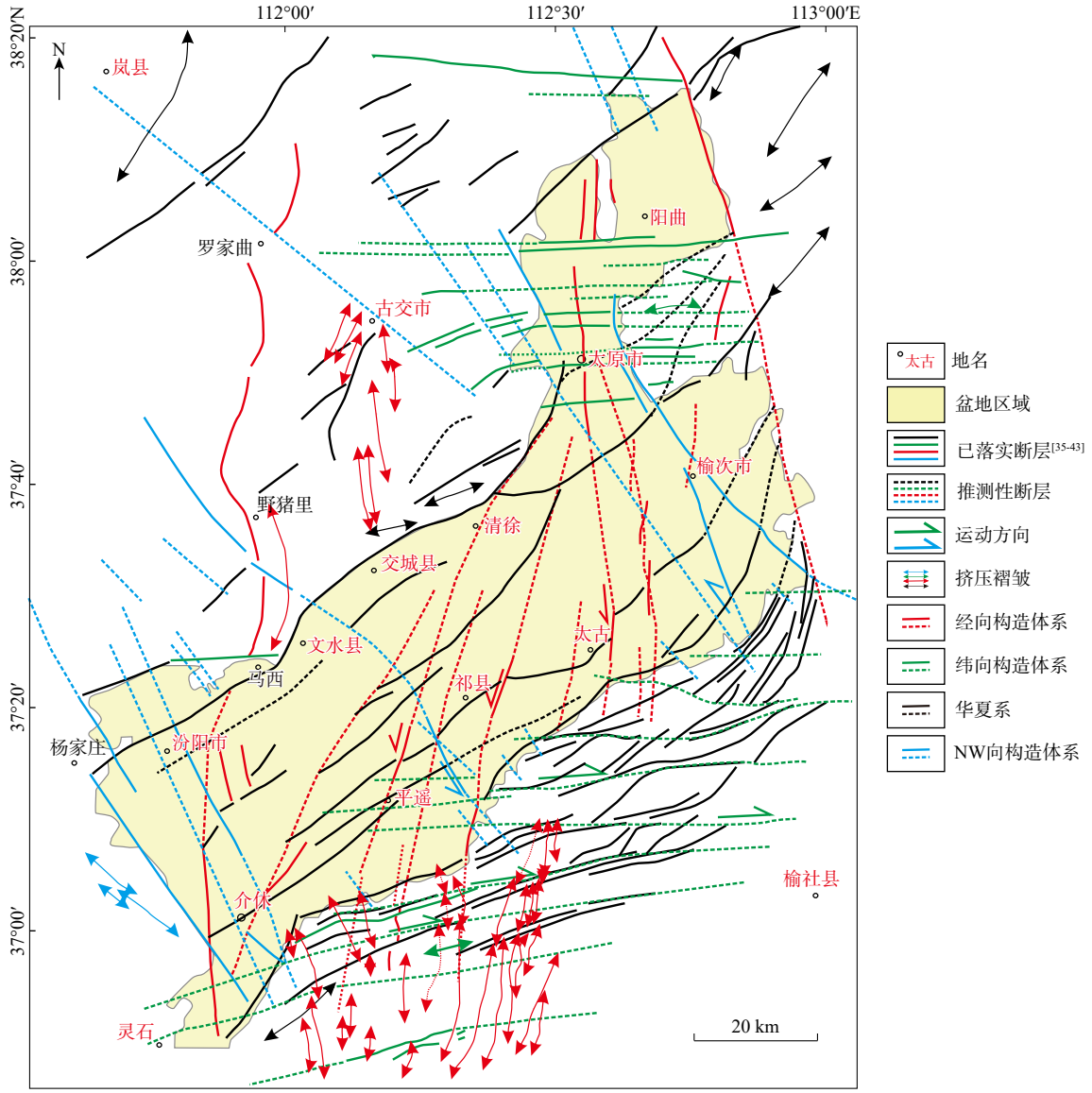
NE 向断层在本区研究最多，这些断层相互关联并形成构造体系，这个体系在盆地内和东南部的太岳山北段都有明显的构造线显示，这套华夏系王治顺等[27] 也有所提及，其主要是对 NE 向槽盆内进行讨论，而本研究的这个华夏系既在槽盆内，也在槽盆以外造山带区广泛分布。

1.2.3　近 EW 向（纬向）构造体系

近 EW 向（纬向）构造体系在太原盆地北部的存在性较为确切，在太岳山北段的存在性主要是根据 NE 向断层的“断续关系”所反映的其中可能存在的分割性以及盆地边缘地貌的特性推断而来，该体系在王治顺等[27] 和易锦俊[21] 文中有所体现。整体上，太原盆地邻区的近 EW 向构造体系，隐晦并断续地存在，似乎被 NW 向构造体系所切断，并且 NW 向构造体系在后期对太原盆地的形成有所影响，可能形成晚于 EW 向体系，在太岳山，部分 EW 向构造体系和 NE 向构造体系是切割还是限制仍需研究。事实上，在太原北部和西部山地存在大量的近 EW 向历史久远的基性岩墙[45]，这可以认为是非常早的近 EW 向（纬向）构造体系的体现形式之一。

1.2.4　NW 向构造体系

NW 向构造体系在我国东部广泛存在[28]，本区的 NW 向构造体系，李祖武[28] 虽然没有针对性的讨



虚线断层为本研究根据线性地貌、断层趋势、盆地边界地貌推测，部分断层推测借鉴地裂缝数据[37, 39]，褶皱数据依据文献 [40-41]

图 1　太原盆地及围区的断层系统及构造体系图

Fig. 1　Fault system and tectonic system map of the Taiyuan Basin and surrounding areas

论，但根据航磁和卫星图片解释的图件[28]显示了太原市南北的 NW 向构造体系的存在。NW 向构造体系出现较早，在张继[45]图中岩体中存在大量岩脉就是一个很好的佐证，这一特点在邻区大同盆地也同样显著[46-47]，忻宁盆地两侧也普遍存在 NW 向构造[48-50]，因此这个体系在山西地区也或许普遍存在。

2　主要构造带运动模式讨论

前述 4 类构造体系是从整体性角度提出并讨论的，结合区域盆地和区域造山带的特色，本区域还有 4 个主要的局部扭动构造体系（或局部剪切带），也有全局性构造，但属于能够具体化运动模式的范畴，并表现出了具有代表性的几何构型，这些几何构型可以用地质力学中的构造型式来概括，抽象性具体化的构造型式对于理解成盆、成山具有重要意义。

2.1　四大主要局部扭动构造体系（局部剪切带）

本区域还有 4 个主要的局部扭动构造体系（局部剪切带），属于局部构造，这些局部构造体系及其型式如图 2a ~ d 图所示。

2.1.1　SN 向帚状构造体系

帚状构造体系分为扭张、扭压 2 种，根据图 2a 中的参考断层的被错动关系，推测本区 SN 向帚状构造体系属于“扭张”构造的亚类，至少在成盆的某个阶段起到了扭张作用，并且在整个盆地发展历史中不排除出现“倒车”甚至导致阶段性扭压的可能性。本区 SN 向帚状构造体系是外围区经向构造体系的一部分，是局部性的构造。

2.1.2　SN 向“入”字型扭动构造体系

太原盆地存在 SN 向“入”字型扭动构造体系，“入”字型构造体系由李四光[51]提出，一般“入”字型构造体系和边界断层构成共生关系，具有成生上的联系，活动的主支断层影响带内的分支断层。本研究中主支断层(图 2b 中的红色断层)在东北部，控制了盆地的部分边界，分支断层(图 2b 中的黑色断层)影响了一部分盆内构造的形成与发展，具体影响在成盆构造(4.2 节)中讨论。

2.1.3　NW 向斜扭构造体系（构造带）

太原盆地东北部可能存在 1 个 NW 向的斜扭构造体系，其影响的大致边界如图 2c 所示，其实质类似于没有边界断层控制的剪切带，目前能确定的是存在一些斜列的断层，这些斜列的断层在盆地内部和盆地以外都存在，这种剪切行为可能影响了盆地的局部单元以及盆外山地的相对沉降区，具体在成盆构造(4.2 节)中讨论。

2.1.4　太岳山北段“多”字型构造体系

太岳山北段 NE 向断层十分清楚，可证实太岳山存在大量的“S”型的 NEE 向断层体系，推测太岳山北段存在 1 个“多”字型构造体系(如图 2d 所示)。太原盆地北部的 EW 向构造体系，隐晦并断续的存在，而太岳山上的 EW 向体系更加隐晦地存在着，与大量“S”型的 NEE 向断层体系形成组合，呈现类似“S-C”(仿照显微构造学中的“S-C 面理”的几何学形态)的组合形式，整体组合呈现“多”字型构造体系。用“多”字型构造体系来解释，并不是意味着这 2 套断层是同时产生的，而是由于它们产生后可能在某一阶段发挥了类似于“多”字型构造体系的作用。此外，太岳山部分 EW 向构造体系和 NE 向构造体系是切割还是限制仍需研究。

这套“多”字型构造体系可能存在 2 类运动模式，一类是沿 EW 向断层的剪切扭动行为，体现了存在“右行”的阶段性信息，而王治顺等[27]认为存在“左行”信息，在本区究竟是“左行”还是“右行”还需要更加深入的研究，不排除这 2 种运动模式在不同地质历史时期都存在过的可能性。另一类活动则是由于来自于 SN 方向的挤压导致的相关逆冲及褶皱行为，图中的近 EW 向褶皱可以作为这个活动模式存在的证据。

需要注意的是，对比盆地区，由图 1，2 可见，太原盆地内的断层比较平直，而太岳山上呈现类似“S-

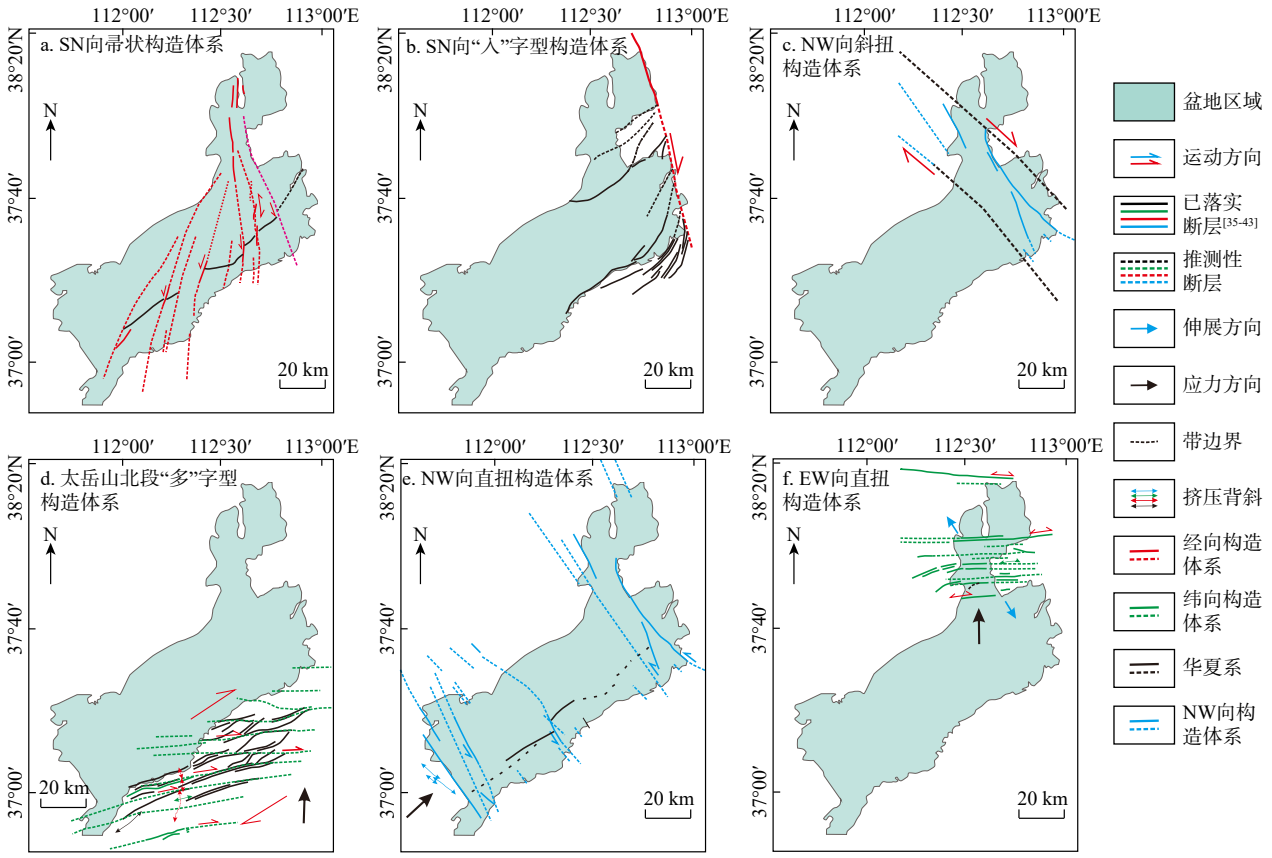


图 2　4 类局部扭动构造体系 (a ~ d) 及 2 类全局性扭动构造体系 (e ~ f) 运动模式图

Fig. 2　Movement patterns of four types of local torsion structural systems (a-d) and two types of global torsion structural systems (e-f)

C”这样的组合形式，比较弯曲，但由于前人[21, 41-43]对太原盆地内的断层也有一定的推测性和延长性(这是盆地地震解释资料精度无法避免的缺陷)，因此，并不能排除其形态也为“S”型且和太岳山是相同构造体系的同一种发展模式的可能性。

2.2 全局性扭动构造体系

除了前述四大主要的局部剪切带以外，还有 2 套全局性(对太原盆地来讲)扭动构造体系，这些全局性构造体系的运动模式如图 2e, f 所示。

2.2.1 NW 向直扭构造体系

NW 向构造体系体系在 1.2 节已经论及，但前文的讨论并没有涉及扭动和旋向的概念，这里体现了其“扭动”属性，具体化为“直线扭动”的构造体系，其运动模式如图 2e 所示。NW 向构造体系中，很可能以“左行”为主，这个“左行”活动的获得可以依据盆地次级构造单元的边界[43]之间的错动关系而获得一些猜测。NW 向直扭构造体系很可能是一个全局的构造体系，并且这个运动模式和图 2c 的局部右行剪切方向相反，笔者推测可能是各自有其形成阶段和活动环境。这套体系也存在直扭和 NE-SW 向的挤压 2 种运动模式，图中的 NW 向褶皱可以作为这个挤压活动模式存在的证据。

2.2.2 EW 向直扭（纬向）构造体系

EW 向构造体系同上，其运动模式如图 2f 所示。这套体系也存在直扭和 N-S 向的挤压 2 种运动模式，图中的 EW 向褶皱可以作为这个挤压活动模式存在的证据。这里强化“直扭”的概念是为了将运动的推测更加具体化。这个体系的“左行”还是“右行”较难确定，笔者推测历史上“左行”和“右行”都发生过。

3 区域地貌模式讨论

3.1 主要研究方法

一般千米级及千米以下的地貌往往受控于外动力地质作用，而 5 km 以上及 10 km 级别的地貌台阶一般体现的是构造因素导致的地貌区带[32]。因此本研究应用“现代地貌阶区分析法”[32]，地貌台阶的划分依据是识别 5 km 以上的地貌台阶，并且每个台阶内的地貌高程相对平均。一般“现代地貌阶区分析法”划分出的边界断层的重要度得到提高，但本研究的地貌区划分是初步的，其边界断层(系)并未获得落实。

3.2 主要盆内隆起凹陷

太原盆地内凸凹关系数据参考孟令超等[39]的定名，并补充北部的信息，如图 3 所示。盆地区主要分为交城凹陷、祁县凸起、西部断阶、东部断阶、太原凸起、阳曲凹陷这 6 个二级构造单元，界限如图 3 中红色粗虚线所示。祁县凸起分为南北 2 个三级构造单元，分别是平遥–侯城断阶和太古断凸。交城凹陷又分为清徐断凹、南白次鼻状凸起、香乐次凸起、西河堡断阶、西北断阶 6 个三级构造单元。阳曲凹陷呈现东西分异，“两凹夹一凸”，分别是大盂次凹、棋子山地垒、西部次凹 3 个三级构造单元。

太原凸起对成盆前的 EW 向构造有明显的继承性，呈现南北差异。参考许振鹏等[41]和汪新伟等[42]的单元描述，呈现“三凹夹两凸”的格局，可自北而南分为新城次凸、三给地堑、中部次凸、新庄地垒、晋祠次凸 5 个单元，在这里面地垒是相对高的单元，而次凸则是相对低的单元。

太原凸起南部的基底构造沉降量[38]反映出 NE 向构造的半地堑拆离伸展对盆地的影响，这个趋势传递到太原凸起，产生成盆期的主要沉陷带(图 3 中太原凸起的紫色界限所示的单元)呈现出南北低、中间高的整体格局。南半部和北半部呈现断阶的形态，而中间部分则整体呈现“构造梁”。在这个方向呈现“两凹夹一隆”的结构，并且这“一隆”和盆外西部的 2 个地垒一致并相连。作为盆地研究，主要以 NE 向紫色界限为主，分别定名为北部次凸、中部地垒、南部次凸 3 个单元(这 3 个单元不再补充入图 3 中)。

综合太原凸起的 2 个单元划分方案可见，太原凸起是切割严重的 2 期堑垒构造的复合，是“复杂断块”，和交城凹陷相比属于相对隆起区，并且实际的断块复杂度还必然受到 SN 向帚状构造体系的切割。

3.3 主要盆外区域地貌阶区

根据盆地沉积区和现代山地地貌的高、中、低的大致空间范围，将盆地以外的山地分为高地貌山区、中地貌山区和低地貌山区 3 类地貌，以体现彼此之间的区别，形成的具体地貌区如图 3 所示。具体划分实践中，低地貌山区的台阶海拔在 1 000 ~ 1400 m 之间，中地貌山区海拔在 1 400 ~ 1 800 m 之间，高地貌山区海拔在 1 800 m 以上，沁水低平盆地区海拔则在 600 ~ 800 m 之间。需要注意的是，山区地貌并不是以事实断层为依据来展开划分。研究区含外围山地内的小型(窄条的)地堑和隆起区域[41](图 3)，这些地堑地垒的加入能够更好地体现各个体系和地貌之间的关系。

4 区域控盆模式

4.1 地貌区带变形分析

将山地分区和和盆地内部单元划分结合在一起

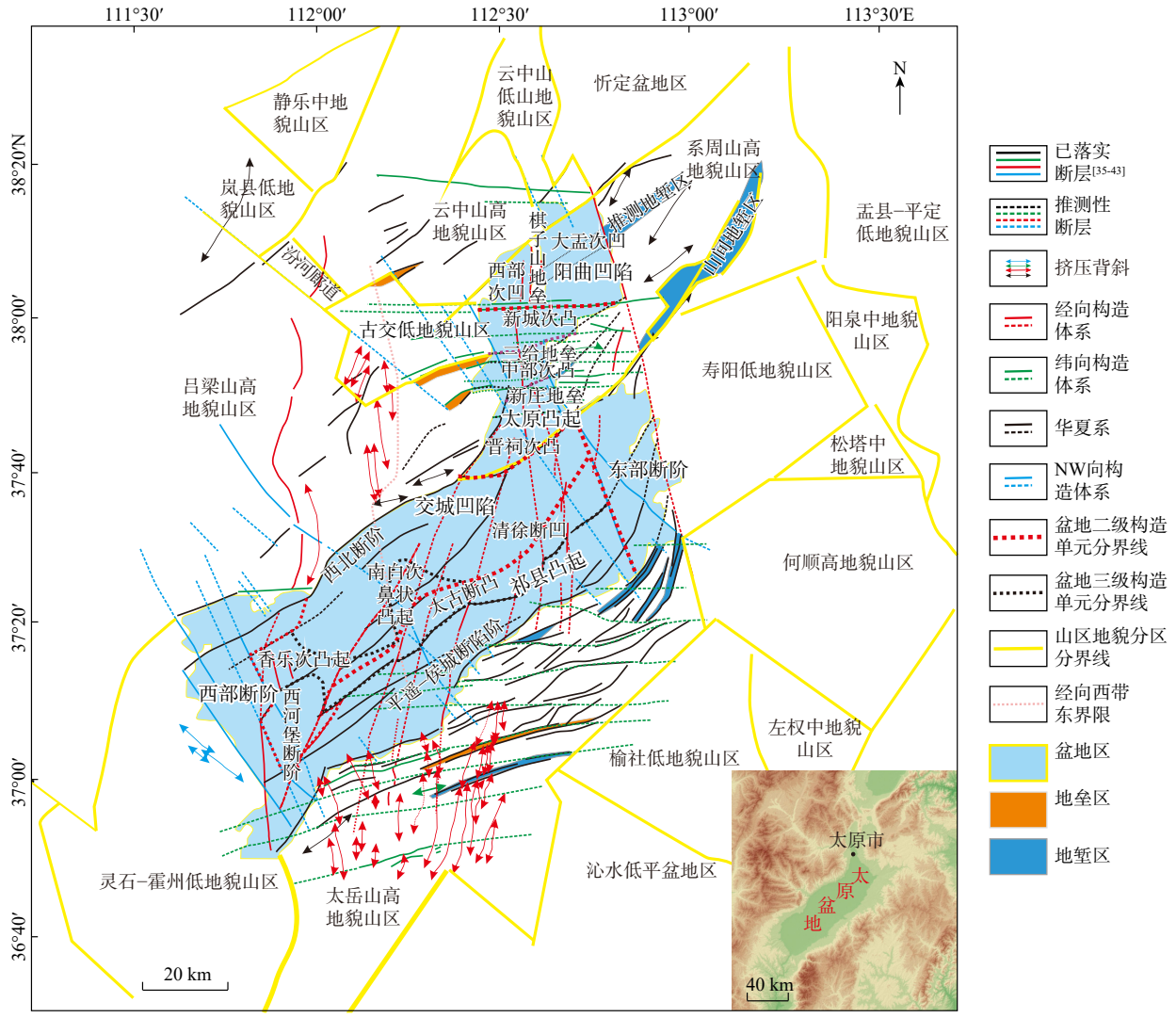


图 3　太原盆地内隆坳关系、围区地貌分区及控制要素构成图（盆内凸凹关系依据文献 [39]，外围地堑地垒据文献 [41] 修改）

Fig. 3　Structure diagram of uplift and depression relationships and controlling factors in the Taiyuan Basin

更加能够说明问题，外围构造地貌的整体格局更容易和各个断裂体系之间产生联系，现象更加明显，主要联系分述如下：

（1）地貌联系最明显的是北部地貌台阶群，从岚县低地貌山区、汾河廊道、古交低地貌山区、太原凸起南部、盆地东部断阶以西的沉降带这一线来看，应该是形成了统一的沉降带，可命名为“岚县–古交沉降带”（其范围可参考后文图 4b 中的蓝色区域），“岚县–古交沉降带”和图 2 中的“NW 向斜扭构造体系”的右行剪切行为联系紧密，这个沉降带将云中山高地貌山区和吕梁山高地貌山区分隔开来。从古交低地貌山区的不规则形态来看，古交低地貌山区的形成和太原凸起的成盆也明显受到了纬向构造体系的影响，古交低地貌山区东南的 2 个地垒和盆地内的地垒也有明显的统一性和连接性，纬向构造系的南北地堑地垒的伸展行为对太原凸起的影响非常大。

（2）寿阳低地貌山区形态与主盆地区具有相同的伸展趋势，并且西南部的灵石–霍州低地貌山区也在这个伸展趋势之中，说明 NE 向体系的 NW-SE 向伸展行为真实存在，并影响到了寿阳低地貌山区和灵石–霍州低地貌山区，这 3 个沉降带形成统一的沉降带，具体后文再行讨论（图 4a）。

（3）太岳山的整体地势是西南高，向东北渐次降低，结合盆地内作为沉陷主体的清徐断凹也是东北部单元沉降最大的特点，根据基底断层的格局则是靠近太原凸起的部位沉降更加剧烈（并且沉降以北部更为明显），这 2 点“东北沉降剧烈”的一致性趋势可能是有联系的，这个“东北沉降剧烈”的一致性趋势可能与 SN 向帚状构造体系（图 2a）和 NW 向斜扭构造体系（图 2c）的作用有关，并且这 2 种趋势的影响对于太岳山东部也存在地势趋势方面的影响。

（4）太原凸起南缘的断层向东延伸，可能和系舟

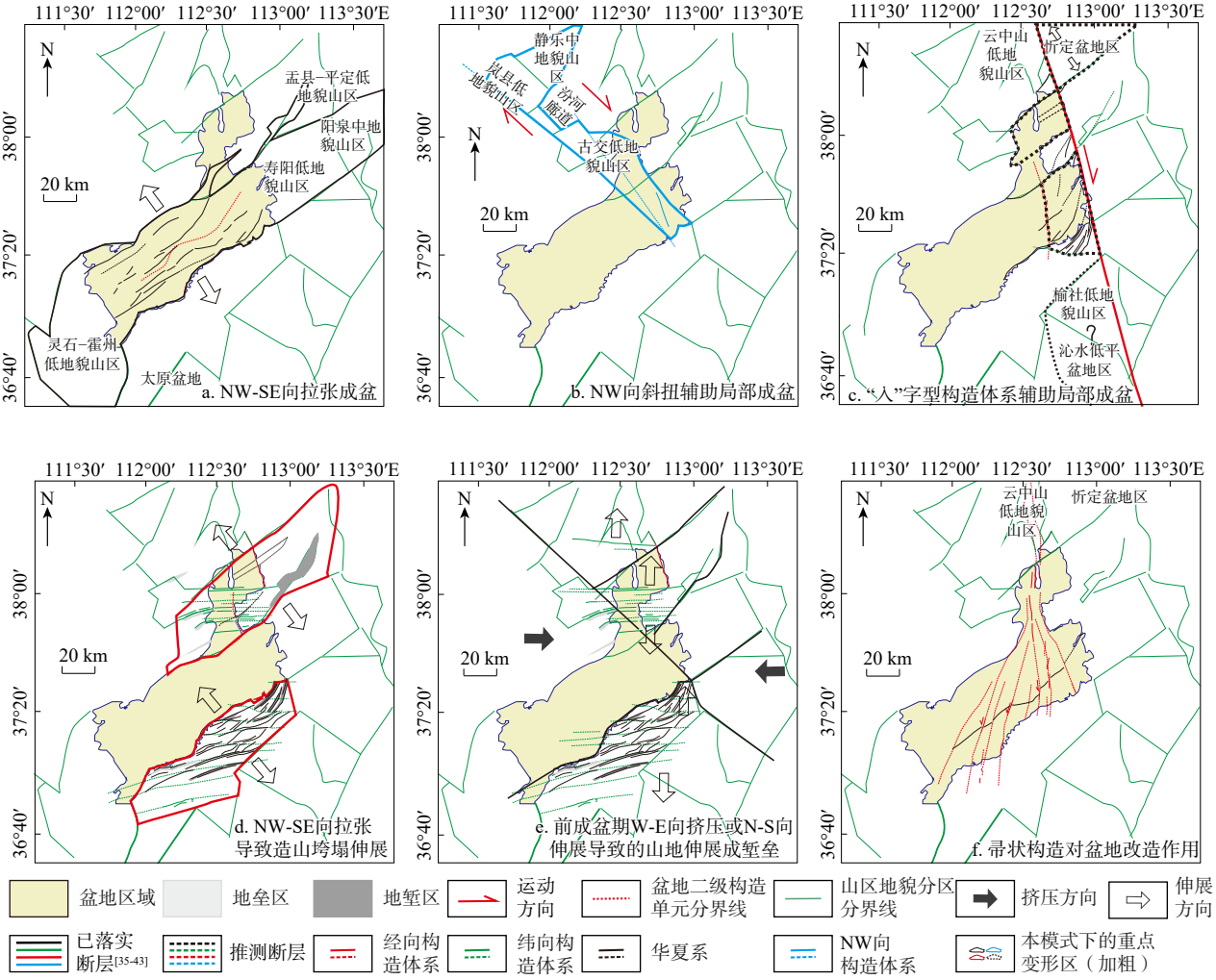


图 4　主要成盆模式

Fig. 4　Main series of basin-forming patterns

山高地貌山区中存在的 1 个山间地堑区连在一起，系舟山高低貌山区中存在的 1 个山间地堑区可能是 NW-SE 向伸展行为附带的产物，这似乎也说明了 SN 向“入”字型构造体系(图 2b)在盆地东缘的影响不是主要的。

(5)SN 向“入”字型构造体系(图 2b)在盆地东缘也产生影响，或许参与了成盆，其更加明显的影响则是形成太岳山东部缘的 3 个大致平行的“窄条地堑系”，如图 3 所示，而盆地内部的东部断阶单元内部也是以“入”字型构造体系各个分支断层之间形成断阶来实现，呈现地貌西北低、东南高的趋势。

(6)系舟山是一个较为复杂和有特色的构造地质体，系舟山地貌区主要呈现 3 个高地貌块，中间被 2 个 NE 向地堑所分隔。系舟山发育 NE 向褶皱，这个褶皱发育趋势和图 3 中吕梁山高地貌山区东缘、清徐断凹北部山区的 NE 向褶皱可以理解为统一的联系，那么这个统一的 NE 向造山带可能都属于“古系舟山”的来自于 SE-NW 方向造山的结果。

(7)阳曲凹陷的 EW 向结构和前述构造体系相对照显得非常突兀，推测阳曲凹陷西部次凹和棋子山地垒主要受控于 SN 向构造的 SN 向帚状构造体系(图 2a)，而东部的大盂次凹更多地受控于 NW 向构造体系，同时，系舟山的 NE 向构造及可能存在的推测性地堑有可能会延伸到大盂次凹内，从这个角度来讲，大盂次凹应具备明显的断块切割特质。

(8)左权中地貌山区、榆社低地貌山区、沁水低平盆地区这 3 个地貌区以及图 3 以外的长治盆地则都属于又一个独立的沉降区，同理，东北部的“盂县–平定低地貌山区”(图 3)则属于另一个独立的沉降区，这 2 个相对沉降区均不属于山西地堑系的近邻范畴，北部的“忻定盆地区”属于山西地堑系的范畴，但属于山西地堑系内的另一个沉降单元，也超出了本研究讨论的范畴。

(9)南白次鼻状凸起是如何形成的？参考交城

凹陷西南部的沉陷中心北侧的经向构造带有关的推断，南白次鼻状凸起的西南缘大致和西部经向构造带的东边界(图 3 中的粉色虚线显示的界限)基本一致，因此南白次鼻状凸起很可能是西部的经向构造带没有波及的地带，因此清徐断凹存在 2 个沉降中心，分别在南白次鼻状凸起的西南侧和东北侧，如果 2 个沉降中心和 2 个相对活动带相关联，那么就涉及到影响盆地不同单元的区域构造的活动性。

(10)西部断阶的形态是由于受到 NW 向、NE 向 2 个方向断层控制的断阶，这也导致了盆地西南部的西北缘多出来一块沉陷区(相对于交城–清徐一带的控盆断层而言)，可称为“马西–杨家庄沉陷区”(图 1)，“马西–杨家庄沉陷区”是正常盆地主要控边断层以外的较大面积的局部沉降区，必有其特定的形成原因。

(11)SN 向穿过盆内“西河堡断阶”部位很可能存在一个 SN 向的构造带，大约与整个盆地西部的“灵石–霍州低地貌山区” 东缘到“西河堡断阶”再到马西–野猪里–罗家曲一带(图 1)，最后可能进入到静乐盆地中，这个区域存在 1 个狐偃山断裂带，这个包括狐偃山断裂带在内的经向构造带在“吕梁山高地貌山区”没有形成明显的大规模的地貌台阶，但其在区域构造中的作用尚需引起重视。

4.2　成盆模式概括

在前文局部性构造分析的基础上，由于总的成盆模式的思考需要具有“统”性，需要将 4.1 节零碎的信息“统”成成盆模式方面的理解，尝试将影响本区的主要成盆模式总结如下。

4.2.1　NW-SE 向拉张成盆模式

NW-SE 向拉张成盆模式如图 4a 所示，这套模式是太原盆地成盆的主体模式，主要依据是导致的伸展沉陷范围大，基本覆盖太原盆地的绝大部分(太原凸起以南的盆区)，只不过太原盆地区是剧烈的伸展，而其他山地区是相对沉陷，或者说沉陷趋势抵消了一部分造陆带的隆升特质或者抵消了一部分造陆隆升能量，这一点既可能是整个山西地堑系的右旋成盆导致，也不排除深部软流圈主动伸展的可能性。该模式导致盆地西南部紧邻的灵石–霍州低地貌山区(相对沉降区)的形成(图 4a)，也导致了盆地西南部的西北缘多出“马西–杨家庄沉陷区”，这 2 个沉陷区的西北边界具有一致性，因此“马西–杨家庄沉陷区”是宏观的外围更大区域的沉降地貌的一个断阶区(图 3)，相对于最大沉降部位的清徐断凹，自西南的灵石–霍州低地貌山区向东北的清徐断凹形成 4 级断阶，清徐断凹向东北部的构造是从寿阳低地貌山区向西南的三级断阶。

4.2.2　NW 向斜扭辅助局部成盆模式

NW 向斜扭辅助局部成盆模式如图 4b 所示，该模式是 NW 向斜扭构造体系右行扭动导致的成盆模式，这个模式导致了岚县–静乐低地貌山区的形成，岚县–静乐 2 个低地貌山区更像是在这套力学模式下的右行走滑“拉分带”，而从静乐盆地的地质数据来看，其主要受控于 NNE 向和 NW 向的断层系统[52]，和 NW-SE 向拉分模式也是可以相配的。

4.2.3　“入”字型构造体系辅助局部成盆模式

“入”字型构造体系辅助局部成盆模式如图 4c 所示，就是前述近 SN 向“入”字型构造体系辅助局部成盆模式，这套成盆模式的影响带大约比 2.1 节(图 2b)所述及的范围更大，推断其可能影响了北部忻定盆地的西边缘，也影响了忻定盆地西侧的云中山低地貌山区的相对沉降，对于阳曲凹陷，这个模式也有能力参与，再向南也不排除影响了沁水–长治盆地一带的可能性，但具体尚待更细资料的支撑。

4.2.4　NW-SE 向拉张导致造山垮塌伸展模式

NW-SE 向拉张导致造山带垮塌伸展模式如图 4d 所示，盆地东北侧的系舟山和南侧的太岳山均有较大可能发生过造山带的垮塌或者伸展形成地堑的行为，目前尚无法确定这个垮塌或者伸展成堑行为是否和太原盆地的主成盆期时间一致，但并不排除是主成盆期的“区域成盆大势”导致了太岳山、系舟山造山带的垮塌和伸展成地堑的可能性，如果未来证实这个“同时性”是存在的，那么其大地构造意义也非常明显。

4.2.5　EW 向挤压或 SN 伸展导致的山地伸展成堑垒模式

EW 向挤压或 SN 向伸展导致的山地伸展成堑垒模式如图 4e 所示，该模式可能是前太原盆地成盆期的模式，具体有 2 种活动模式，既可以是主动的 SN 伸展导致的山地内纬向构造发生伸展成堑垒(纬向带主动伸展模式(模式 A))，也可以是前成盆期 EW 向挤压而次生的 SN 向伸展导致的山地内纬向构造带发生伸展成堑垒(东西挤压诱发纬向带被动伸展模式(模式 B))，在系舟山和太岳山大致都发生过这样的伸展行为，形成太原邻区典型的地堑地垒构造，之所以说是“前成盆期”是认为高概率这个行为发生可能早于太原盆地的主成盆期，但并不排除在主成盆期仍在活动的可能。模式 A 和模式 B 究竟哪个在特定时段发挥作用还需要进一步的研究与

证实。

4.2.6 帚状构造体系的改造模式

帚状构造体系的改造模式如图 4f 所示，从地质证据的角度更可能主要表现为“左行”的活动行为，这个“左行”是和一般所认为的山西地堑系的整体右行行为及现今右行大势是不一致的，说明其具备一定的特殊性，这种有悖于区域一般性的现象可能意味着区域活动的复杂性。

4.3 构造体系对成盆的作用模式

从图 4 所表达的模式来看，图 1 的 4 类体系和图 2 的 6 个区域运动模式对于成盆都有一定贡献和影响，具体的影响为：

（1）盆地伸展以 NE 向构造体系的伸展行为为主，既提供了成盆早期最重要的 NE 向构造线这个物质基础，也是最大范围影响成盆运动的模式，这个模式也是前人[10, 39, 42, 43]对山西地堑系伸展地堑行为的基本认识，但主要影响了太原凸起以南的盆地区。

（2）NW 向斜扭构造体系辅助局部成盆（图 4b）和“入”字型构造体系辅助局部成盆（图 4c），这 2 个模式推断都是发挥过相应的局部性贡献，并不是成盆的核心动因，但可以在盆地内部某具体二级或三级构造带中发挥重要作用，并明显控制了“岚县–古交沉降带”，也控制了太原凸起中太原市城区的沉降。

（3）图 2 中太岳山北段“多”字型构造体系和 NW 向直扭构造体系、EW 向直扭构造体系，这 3 个体系对成盆的贡献较小，更多地是在成盆前的“先天条件”，推测在中生代发挥重要作用，在新生代的造山带垮塌中也发挥了作用，为后来盆地伸展中控盆边界形态和控次级构造带的边界提供物质支撑（主要是边界形态和块状切割），但并不意味着这 3 个构造体系不参与成盆活动，也不意味着这 3 个体系在成盆期不活动，只是目前还无法找到一定发生作用的证据而已，如 NW 向构造体系对于盆地局部边界的影响就很大。太原盆地东南边界锯齿状边界地貌是由于这些构造体系的切割所导致的，同时，东南盆地边界的锯齿状也是盆地断块化的表现形式之一，也是断块化的重要证据。

（4）帚状构造对盆地有一些改造作用，最典型的就是导致了图 3 中太古断凹南缘边界错动，也有可能参与了成盆的沉降行为，也参与了太原盆地东南缘的断块化行为。

（5）由于前述构造体系和成盆模式的作用，以及导致太原凸起等单元以及盆地东南缘的断块化的要素，推断太原盆地属于复杂断块控制的断陷盆地，断块化尤其在太原凸起、阳曲凹陷以及盆外的太岳山地区最为严重，也由于多套体系的干扰和加入，导致其成因更加复杂化。

（6）由于太原盆地主体以 NW-SE 向伸展为主，前述各个构造体系的影响，以及成盆主力模式之间的关系显示沿着盆地内部 NE 向断层的走滑并不显著，甚至其他体系的活动还会阻碍 NE 向断层的走滑，如 NW 向体系及盆地东南缘表现的断块切割必然会阻碍 NE 向断层的走滑行为，因此区域右旋的整体行为并不容易形成盆地内部的 NNE 向的拉分[25]模式。

从前述讨论可见，太原盆地呈现多模式参与的复杂多变的成盆行为，各个构造体系或者局部剪切带均可能发挥了作用，虽然新生代的山西地堑系成盆活动整体来讲是较为短暂的，但在此期间却可能是存在着诸多模式之间的转换，山西地堑系的旋转也并不单一地表现为右行“S”型的旋转拉张，而存在左行历史阶段的可能性，秦岭北缘断裂左行诱发出山西地堑系的 WE 向的拉张[9]却相对有利于在太原盆地内形成左行要素的出现。结合外围地貌区的整体构造地貌规律，剧烈的盆地伸展可能是与围区的造山伸展垮塌相伴产生的，区域沉降行为既包括相对快速的盆地沉降，也包括相对缓慢的围区造山带的伸展垮塌。也由于多体系的参与和多成盆模式的复合叠加，大部分构造体系都是跨越太原盆地并影响周围造山带的，这就导致太原盆地形成和围区山地地貌区的形成具有联动性和机制统一性。具体的主要盆地拉张方向以山西–陕西的整体右旋导致的太原盆地为 NW-SE 向拉张模式为主，NNE 向的拉分[25]在盆地内没表现出明显的效应。

4.4 方法论

4.4.1 推测性构造线分析法

本研究和文献 [32] 的“推测性构造线分析法”主要适用于“欠研究”地区，对于盆地区来讲，主要是针对那些无地震测线或者地震测线稀疏的地区。另外，也适用于“欠发展”的盆地，也就是盆地边界在盆地发展的早期保留着“锯齿状”边界，这类盆地仍保留了盆山边界的“细碎化”的特征，而这类“欠发展”的盆地往往是一些小型盆地，因此大多也都是第四纪盆地，相对于第四纪盆地，太原盆地属于“欠发展”的盆地中相对较老的盆地。另外，从本研究和文献 [32] 的分析相较于一般对盆地构造及其动力学的理解，更加复杂多样的构造体系的加入，主要是使得体系的走滑“假设”及其带来的相关效应得到更多的考虑，

而走滑断层(带)经常对更次一级的结构以及矿产资源分布差异性有明显的控制作用[53]。

4.4.2 （现代）地貌阶区分析法

本研究和文献 [32] 的(现代)地貌阶区分析法，既可以适用于文献 [32] 的 10 km 尺度的区域，也适用于本研究的数 100 km 尺度，尺度跨度较大，主要适用于地貌形成明显台阶的地区，也就是构造活动性相对较为剧烈，内生构造作用明显快于外动力地质作用的地区，并且是整体上断块作用明显的脆性岩石圈活动地区，若岩石圈活动更多地表现为塑性，则较难形成“台阶区”，从这个角度看，本区(含太行山和吕梁山区)可能是一个岩石圈表现为脆性断块差异升降的地区。

5 结 论

(1)研究区存在经向构造体系、纬向构造体系、华夏系、NW 向构造体系，且存在 4 个局部扭动构造体系和 2 个全局性扭动构造体系。

(2)推断出了 6 种成盆或者对成盆活动有贡献的区域活动模式，体现了盆地形成和围区山地地貌区的形成具有联动性和机制统一性，山西地堑系的伸展是阶段性的含围区造山带的伸展垮塌的全地域伸展垮塌，这种全地域的伸展垮塌在地貌上有超越盆地范畴的更大区域的宏观地貌表现。

(3)盆地拉张方向上表现为山西–陕西的整体右旋导致的 NW-SE 向拉张模式为主，NNE 向的拉分在盆地内没表现出明显的效应。

(4)太原盆地属于复杂断块控制的断陷盆地，盆地伸展以 NE 向构造体系的 NW-SE 向伸展行为为主，NE 向构造体系既提供了成盆早期最重要的 NE 向构造线作为物质基础，也是最大范围影响成盆运动的模式，但成盆模式上并不是单一的 NE 向或者 NNE 向构造制约的 NW-SE 向伸展，而是各类成盆主控模式复杂的综合性模式，是多模式参与的复杂多变的多因成盆模式。

所有作者声明不存在利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献：

[1] XU X W, MA X Y, DENG Q D. Neotectonic activity along the Shanxi rift system, China[J]. Tectonophysics, 1993, 219(4): 305-325.

[2] LI Y L, YANG J C, XIA Z K, et al. Tectonic geomorphology in the Shanxi graben system, northern China[J]. Geomorphology, 1998, 23(1): 77-89.

[3] SHI W, CEN M, CHEN L, et al. Evolution of the late Cenozoic tectonic stress regime in the Shanxi rift, central North China Plate inferred from new fault kinematic analysis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114: 54-72.

[4] CLINKSCALES C, KAPP P, THOMSON S, et al. Regional exhumation and tectonic history of the Shanxi rift and Taihangshan, North China[J]. Tectonics, 2021, 40(3): e2020TC006416.

[5] CLINKSCALES C, KAPP P, WANG H Q. Exhumation history of the North-Central Shanxi rift, North China, revealed by low-temperature thermochronology[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2020, 536: 116146.

[6] SU P, HE H L, TAN X B, et al. Initiation and evolution of the Shanxi rift system in North China: Evidence from low-temperature thermochronology in a plate reconstruction framework[J]. Tectonics, 2021, 40(3): 1-26.

[7] 刘光勋. 汾渭地堑边缘挤压构造带及其地质意义 [C]//匿名. 构造地质论丛. 出版者不详: 出版地不详, 1985(4): 61-70.
LIU G X. Extruded tectonic belt along the edge of Fen-Wei graben and its geological significance[C]//Anon. Collection of structural geology and tectonic. [S. l]: [S. n], 1985(4): 61-70. (in Chinese)

[8] CHEN G D. On the geotectonic nature of the Fen-Wei rift system[J]. Tectonophysics, 1987, 143(1/2/3): 217-223.

[9] 孙继敏, 许立亮. 汾渭地堑的河流阶地对第四纪时期印度–欧亚板块碰撞带的构造响应 [J]. 第四纪研究, 2007, 27(1): 20-26.
SUN J M, XU L L. River terraces in the Fen Wei graben, Central China, and the relation with the tectonic history of the India-Asia collision system during the Quaternary[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(1): 20-26. (in Chinese with English abstract)

[10] 李述靖, 吕古贤. 试论汾渭“S”型旋转拉分构造体系及其影响 [J]. 现代地质, 2021, 35(5): 1260-1266.
LI S J, LYU G X. "S" -type rotation and pull-apart tectonics of the Fen-Wei graben[J]. Geoscience, 2021, 35(5): 1260-1266. (in Chinese with English abstract)

[11] 张刚. 先存断裂对大陆裂谷形成演化的影响: 以山西地堑系为例 [D]. 江苏 徐州: 中国矿业大学, 2023.
ZHANG G. Effect of pre-existing faults on the formation and evolution of continental rift valleys: A case study of Shanxi graben system[D]. Xuzhou Jiangsu: China University of Mining and Technology, 2023.(in Chinese with English abstract)

[12] 徐杰, 高战武, 孙建宝, 等. 区域伸展体制下盆–山构造耦合关系的探讨: 以渤海湾盆地和太行山为例 [J]. 地质学报, 2001, 75(2): 165-174.
XU J, GAO Z W, SUN J B, et al. A preliminary study of the coupling relationship between basin and mountain in extensional environments: A case study of the Bohai Bay Basin and Taihang Mountain[J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(2): 165-174. (in Chinese with English abstract)

[13] 杨俊, 徐清海, 母彩霞, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘侏罗系延安组油页岩发育特征及其古环境恢复 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(3): 182-196.
YANG J, XU Q H, MU C X, et al. Characteristics of oil shale de-

velopment and paleoenvironment restoration of Jurassic Yan'an Formation in southwestern Ordos Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(3): 182-196. (in Chinese with English abstract)

[14] 柏立广, 王维, 刘子玉, 等. 渭河地堑南北源汇特征及其对沉积体系与储层特征的影响 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(2): 270-284.
BAI L G, WANG W, LIU Z Y, et al. Source-sink characteristics of the Weihe graben and their controlling effects on sedimentary system and reservoir characteristics[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(2): 270-284. (in Chinese with English abstract)

[15] 杨耀华. 山西中部系舟山一带新生代构造特征 [J]. 华北国土资源, 2010(2): 22-24.
YANG Y H. Cenozoic structural characteristics of Zhoushan area in Central Shanxi Province[J]. Huabei Land and Resources, 2010(2): 22-24. (in Chinese)

[16] 张文佑, 钟嘉猷, 叶洪, 等. 初论断裂的形成和发展及其与地震的关系 [J]. 地质学报, 1975, 49(1): 17-27.
ZHANG W Y, ZHONG J Y, YE H, et al. Preliminary note on the origin and development of rock-fracture and its bearing on earthquakes[J]. Acta Geological Sinica, 1975, 49(1): 17-27. (in Chinese with English abstract)

[17] 张文佑, 钟嘉猷. 中国断裂构造体系的发展 [J]. 地质科学, 1977, 12(3): 197-209.
ZHANG W Y, ZHONG J Y. On the developments of fracture-systems in China[J]. Chinese Journal of Geology, 1977, 12(3): 197-209. (in Chinese with English abstract)

[18] SHI W, DONG S W, HU J M. Neotectonics around the Ordos Block, North China: A review and new insights[J]. Earth-Science Reviews, 2020, 200: 102969.

[19] 张岳桥, 施炜, 董树文. 华北新构造: 印欧碰撞远场效应与太平洋俯冲地幔上涌之间的相互作用 [J]. 地质学报, 2019, 93(5): 971-1001.
ZHANG Y Q, SHI W, DONG S W. Neotectonics of North China: Interplay between far-field effect of India-Eurasia collision and Pacific subduction related deep-seated mantle upwelling[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(5): 971-1001. (in Chinese with English abstract)

[20] 李四光. 旋卷构造及其他有关中国西北部大地构造体系复合问题 [J]. 地质学报, 1954, 28(4): 339-410.
LI S G. Vortex structure and other problems relating to the compounding of geotectonic systems of northwestern China[J]. Acta Geological Sinica, 1954, 28(4): 339-410. (in Chinese with English abstract)

[21] 易锦俊. 山西地堑系活动断裂与地震、地裂缝灾害研究 [D]. 西安: 长安大学, 2008.
YI J J. The study on active faults , earthquakes and ground fissures in the Shanxi rift system[D]. Xi'an: Changan University, 2008.(in Chinese with English abstract)

[22] 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应 [J]. 地质学报, 2006, 80(5): 617-638.
LIU C Y, ZHAO H G, GUI X J, et al. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 617-638. (in Chinese with English abstract)

[23] 赵俊峰, 盛双占, 王栋, 等. 临汾-运城盆地上古生界演化、改造及油气资源潜力分析 [J]. 地质论评, 2019, 65(1): 168-180.
ZHAO J F, SHENG S Z, WANG D, et al. Analysis on evolution, modification and hydrocarbon resources potential of the Upper Paleozoic in the Linfen-Yuncheng Basin[J]. Geological Review, 2019, 65(1): 168-180. (in Chinese with English abstract)

[24] 魏荣珠, 庄其天, 闫纪元, 等. 山西晋中盆地晚新生代地层划分、沉积环境及其先秦以来气候和湖泊演化 [J]. 中国地质, 2022, 49(3): 912-928.
WEI R Z, ZHUANG Q T, YAN J Y, et al. Late Cenozoic stratigraphic division and sedimentary environment of Jinzhong Basin in Shanxi Province, with the climate and lake evolution since the pre-Qin period (2500 years ago)[J]. Geology in China, 2022, 49(3): 912-928. (in Chinese with English abstract)

[25] 徐锡伟, 邓起东. 晋北张性区盆岭构造及其形成的力学机制 [J]. 中国地震, 1988, 4(2): 19-27.
XU X W, DENG Q D. The basin-range structure in the tensile area at the northern part of Shanxi Province and its mechanism of formation[J]. Earthquake Research in China, 1988, 4(2): 19-27. (in Chinese with English abstract)

[26] 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1-654.
Shanxi Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Shanxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1-654. (in Chinese)

[27] 王治顺, 朱大岗, 熊成云, 等. 构造体系各论: 中国典型构造体系分论 [M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1-377.
WANG Z S, ZHU D G, XIONG C Y, et al. Separate treatises on tectonic systems: Regional analysis of typical structural systerms in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1-377. (in Chinese)

[28] 李祖武. 中国东部北西向构造 [M]. 北京: 地震出版社, 1992: 1-192.
LI Z W. NW trending structures in eastern China[M]. Beijing: Seismological Press, 1992: 1-192. (in Chinese)

[29] LI S G. Some characteristic structural types in eastern Asia and their bearing upon the problem of continental movements[J]. Geological Magazine, 1929, 66(10): 457-473.

[30] 李四光. 关于地质构造的三重基本概念 [M]//李四光. 地质力学方法. 北京: 科学出版社, 1979: 229-236.
LI S G. Three basic concepts on geological structure[M]//LI S G. Methods of Geomechanics. Beijing: Science Press, 1979: 229-236. (in Chinese)

[31] 李四光. 南岭何在 [J]. 地质论评, 1943, 7(6): 253-266.
LI S G. Where Nanling is[J]. Geological Review, 1943, 7(6): 253-266. (in Chinese)

[32] 关成尧, 姜纪沂, 袁四化, 等. 密云水库及邻区地貌成因、控盆要素及其区域构造意义 [J]. 城市地质, 2025, 20(1): 47-59.
GUAN C Y, JIANG J Y, YUAN S H, et al. Geomorphic origin, control basin factors and regional tectonic significance of Miyun Reservoir and adjacent areas[J]. Urban Geology, 2025, 20(1): 47-

59.（in Chinese with English abstract）

[33] 李四光. 旋卷构造及其他有关中国西北部大地构造体系复合问题 [J]. 地质学报, 1954, 28(4): 339-410.
LI S G. Vortex structure and other problems relating to the compounding of geotectonic systems of northwestern China[J]. Acta Geological Sinica, 1954, 28(4): 339-410.（in Chinese with English abstract）

[34] 李四光. 地质力学概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1973.
LI S G. Introduction to geomechanics[M]. Beijing: Science Press, 1973.（in Chinese）

[35] 韩冬梅, 徐恒力, 梁杏. 北方岩溶大泉地下水系统的圈划: 以太原盆地东西山地区为例 [J]. 地球科学, 2006, 31(6): 885-890.
HAN D M, XU H L, LIANG X. Demarcation of groundwater system of big karst spring: A case study of eastern and western mountain areas, Taiyuan Basin[J]. Earth Science, 2006, 31(6): 885-890.（in Chinese with English abstract）

[36] 张井飞, 谢富仁, 荆振杰, 等. 太原盆地地震潜势分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31(5): 47-51.
ZHANG J F, XIE F R, JING Z J, et al. Analysis of seismic potential in Taiyuan Basin[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011, 31(5): 47-51.（in Chinese with English abstract）

[37] 臧明东. 太原盆地地裂缝危险性区划研究 [D]. 西安: 长安大学, 2015.
ZANG M D. The study on the earth fissure risk zoning in Taiyuan Basin[D]. Xi'an: Changan University, 2015(in Chinese with English abstract）

[38] 王凯. 浅谈太原盆地重力位场特征 [J]. 华北自然资源, 2019(6): 65-67.
WANG K. On the characteristics of gravity potential field in Taiyuan Basin[J]. Huabei Natural Resources, 2019(6): 65-67.（in Chinese）

[39] 孟令超, 彭建兵, 卢全中, 等. 山西太原盆地地裂缝群发机制与深部构造关系 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(1): 76-85.
MENG L C, PENG J B, LU Q Z, et al. Relationship between mechanism of ground fissure group and deep tectonic structures in Taiyuan Basin, Shanxi Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(1): 76-85.（in Chinese with English abstract）

[40] 郭晓强. 山西中南部太岳山隆起区中新生代构造演化特征 [D]. 太原: 太原理工大学, 2020.
GUO X Q. The characteristics of tectonic evolution during Mesozoic and Cenozoic Era in Taiyueshan Uplift area, central and southern Shanxi Province[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2020(in Chinese with English abstract）

[41] 许振鹏, 韩晓飞. 基于形变测量对太原盆地趋势变化研究 [J]. 轻工科技, 2021, 37(5): 100-101.
XU Z P, HAN X F. Study on trend change of Taiyuan Basin based on deformation measurement[J]. Light Industry Science and Technology, 2021, 37(5): 100-101.（in Chinese）

[42] 汪新伟, 王婷灏, 李海泉, 等. 太原盆地岩溶地热系统的形成演化及其地热资源潜力 [J]. 中国地质, 2022, 49(3): 716-731.
WANG X W, WANG T H, LI H Q, et al. Evolution of karst geothermal system and its geothermal resource potential in Taiyuan Basin[J]. Geology in China, 2022, 49(3): 716-731.（in Chinese with English abstract）

[43] 庄其天. 山西地堑系太原盆地晚新生代沉积环境和盆地演化 [D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2022.
ZHUANG Q T. Late Cenozoic evolution of Taiyuan Basin in Shanxi graben system[D]. Beijing: Institute of Geology, China Earthquake Administration, 2022(in Chinese with English abstract）

[44] 李四光. 东西复杂构造带和南北构造带 [J]. 地质力学丛刊, 1959(1): 5-14.
LI S G. Complex East-West tectonic belt and North-South tectonic belt[J]. Geomechanics Series, 1959(1): 5-14.（in Chinese）

[45] 张继. 山西恒山−河北宣化−内蒙古兴和地区的“基性岩墙”是赞岐岩吗?[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
ZHANG J. Are those mafic dikes in Hengshan of Shanxi-Xuanhua of Hebei-Xinghe of Inner Mongolia sanukitoids?[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.(in Chinese with English abstract）

[46] 刘爱荣, 徐永婧, 刘成林, 等. 大同盆地地质特征及构造演化研究 [J]. 现代地质, 2021, 35(5): 1296-1310.
LIU A R, XU Y J, LIU C L, et al. Geological characteristics and tectonic evolution of Datong Basin[J]. Geoscience, 2021, 35(5): 1296-1310.（in Chinese with English abstract）

[47] 周文龙. 大同盆地东北部地热区电性结构探测研究 [D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2021.
ZHOU W L. Electrical structure of geothermal area in Northeast of Datong Basin[D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2021.(in Chinese with English abstract）

[48] 真允庆. 五台幔枝构造的演化与金、银多金属矿床 [J]. 桂林工学院学报, 2003, 23(2): 139-148.
ZHEN Y Q. Evolution of mantle-branch structures and gold-silver-polymetal deposits in Wutai region[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2003, 23(2): 139-148.（in Chinese with English abstract）

[49] 孙占亮, 续世朝, 李建荣, 等. 山西五台地区系舟山逆冲推覆构造地质特征 [J]. 地质调查与研究, 2004, 27(1): 28-34.
SUN Z L, XU S C, LI J R, et al. Geological and structural features of Jizhoushan thrust nappe in Wutaishan area, Shanxi Province[J]. Geological Survey and Research, 2004, 27(1): 28-34.（in Chinese with English abstract）

[50] 汪德, 杜晋锋, 赵祯祥, 等. 五台山东部吕梁期逆冲推覆构造 [J]. 地质调查与研究, 2005, 28(1): 9-15.
WANG D, DU J F, ZHAO Z X, et al. Late Palaeoproterozoic thrust nappe structure in eastern Wutaishan Mountain[J]. Geological Survey and Research, 2005, 28(1): 9-15.（in Chinese with English abstract）

[51] 李四光. 东亚一些构造型式及其对大陆运动的意义 [J]. 中国地质学会志, 1928, 7(1): 81-128.
LI S G. Some tectonic patterns in East Asia and their significance for continental movement[J]. Journal of the Geological Society of China, 1928, 7(1): 81-128.（in Chinese ）

[52] 张芸艳. 太行山中北段系舟山地区中生代构造变形特征 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.

ZHANG Y Y. Mesozoic structural characteristics of the Jizhou range in the north of Taihang mountains[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.(in Chinese with English abstract)

[53] 王清华, 蔡振忠, 平宏伟, 等. 塔里木盆地富满油田 $F_1$17 走滑断裂带奥陶系原油地化特征、充注差异及其控制因素 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(5): 13-28.

WANG Q H, CAI Z Z, PING H W, et al. Geochemical characteristics, charging differences, and controlling factors of the Ordovician crude oil in the $F_1$17 strike-slip fault zone of the Fuman Oilfield, Tarim Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(5): 13-28. (in Chinese with English abstract)

Summary for “太原盆地控盆构造研究”

Control-basin structure around the Taiyuan Basin

GUAN Chengyao[a, b*], YUAN Sihua[a, b], JIANG Jiyi[b, c], BAI Xiangdong[a, b], LIU Guanghu[a, b], LIU Xiaoyan[a, b], ZHANG Yan[c]

a. Department of Earth Sciences and Engineering; b. Hebei Key Laboratory of Earthquake Dynamics; c. Department of Environment and Disaster Management, University of Emergency Management, Sanhe Hebei 065201, China

* Corresponding author, E-mail: gcywww@126.com

Abstract: [**Objective**] To determine the basin control structure of the Taiyuan Basin and its surrounding areas using geomechanical methods, and to characterize the structural properties of the Taiyuan Basin. [**Method**] A conjectural tectonic line analysis was applied to integrate the fault system with the distribution of Quaternary sedimentary bands, linear geomorphology, basin boundary geomorphology, and the systematic extension of identified faults. [**Results**] The study identifies meridional, latitudinal, Cathaysian, and NW tectonic systems in the region. Based on local-structure analysis, four local torsion structural systems are identified in the northern part of Taiyueshan: ξ-shaped, North-South brush-shaped, NW oblique torsion, and SN "λ"-shaped torsion structural system. Two global torsional systems are also recognized: NW vertical torsion and EW vertical torsion. By dividing the study area's enclosed geomorphic elevation into regions and applying modern geomorphic step analysis, the results indicate that basin formation and the development of enclosed mountain geomorphology share a coupled movement and a unified mechanism. [**Conclusion**] The extension of Shanxi graben system represents a phased, comprehensive extension and collapse of the enclosed orogenic belt. Six regional activity patterns were inferred to contribute to basin formation. Regarding extensional behavior, there were Neogene extensional collapse events with a NNW-SSE orientation in Xizhoushan, Taiyueshan, and Yunzhongshan within and around the Taiyuan Basin. The Taiyuan Basin is a complex fault-block-controlled basin in which multiple local and global movement modes interact to shape basin morphology and the distribution of secondary tectonic units; however, the controlling factors of basin formation vary across sub-regions. This yields a complex, multi-factorial basin-formation model involving multiple tectonic systems and formation mechanisms.

Key words: Taiyuan Basin; tectonic system; basin formation model; conjectural tectonic line; geomorphic steps

Received: 2024-04-30; Revised: 2024-09-23; Accepted: 2024-09-24

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240208