DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.1987.06.007

城市区域地壳稳定性评价原则

李 兴 唐 （中国科学院地质研究所）

提 要

区域地壳稳定性是一项重要的建设环境因素，它涉及到建筑物安全。它的研究内容包括地震烈度、活动断层、岩土抗震性能等。在本文中，讨论城市区地壳稳定性评价原则和稳定性分级。

一、区域地壳稳定性分级和评价

区域地壳稳定性是指岩石圈内，正在进行的地质、地球物理作用对地壳表层工程建筑安全的影响程度，简言之，即地壳近代活动和地质灾害对人类和工程安全的危害程度。

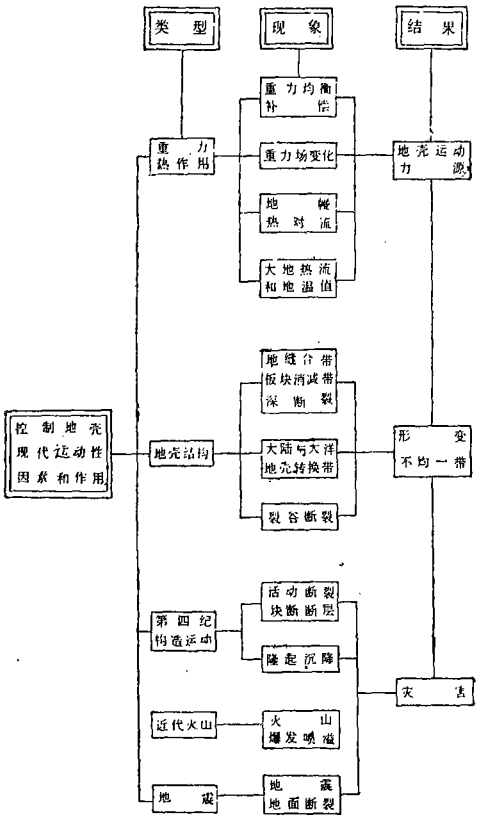

图 1 控制地壳稳定性的因素

（一）地壳稳定性评价准则和指标

地壳稳定性决定于各项地质、地球物理因素，它们所表现的现象及其意义(图1)。从图可看出，区域地壳稳定性评价，需采用大地构造学、构造地质学、工程地质学和地球物理学、工程地震学的理论和方法，即综合评价方法，方能得到较良好的效果。

据著者研究，判定区域地壳稳定性的指标包含以下各项：(1) 地壳结构与深断裂；(2) 活动断裂与第四纪期间地壳沉降速率；(3)地壳现代应力场与迭加断裂作用；(4) 重力场特征（重力力异常梯度）；(5) 重力均衡条件（地壳静压力强度偏差值）；(6) 大地热流值；(7) 地震震级、基本烈度和地壳应变能量；(8) 现代地壳运动或由它引起的地面形变。上述各项指标的定义以及它们与地质灾害的相关性见表1。它们的研究手段和方法见图2。

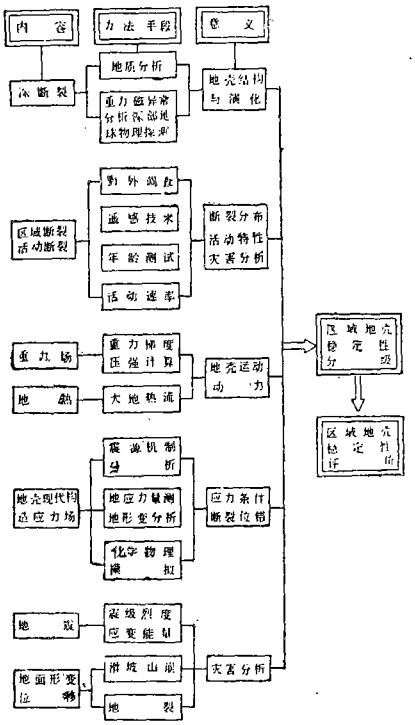

图 2 区域地壳稳定性研究内容和方法

（二）地壳稳定性分级和评价

与工程稳定密切相关的地质灾害是地震、断层活

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　地质、地球物理指标定义及其与地质灾害相关性

特征 / 指标	定义	与地震、地面形变的相关性
地壳结构与深断裂	地壳各物理层的厚度、分布及深断裂切割深度、密度、地壳断块形状和大小	深断裂切割深度、密度、地壳完整性控制地震活动性
活动断裂和地壳第四纪升降速率Sv (mm/a)	第四纪活动的深断裂和大型断裂，第四纪期间地壳相对上升速率	活动断裂带、地壳急剧上升带是地震、滑坡、山崩、地裂发生地、沉降区是地震区
迭加断裂角 $\alpha(°)$	地壳现代最大主应力与断裂走向之间夹角，在应力、断裂规模、强度相同条件下，断裂位错决定于该角值	迭加断裂角25°—50°的断裂易于产生走滑型迭加断裂形成地震、地裂
大地热流值 q (mw/m^2)	地球内部热量在地表最直接的显示，热流值等于地温梯度与岩石导热率的乘积	热流值高的地区反映地壳深部热上逸，地壳活动性大，地震活跃
重力异常梯度 Bs(mgal/km)	在单位距离内布格异常值变化、它反映地壳结构特征	梯度值大的重力梯级带与深断裂相符合常形成地震带
地壳压强偏差值 $\triangle Ps$(bar或Pa)	在地壳同一深度上，相邻两点之间地壳静压力强度差值	偏差值大表明重力不均衡，它与深断裂、地震带相符合
地壳应变能量 $\sqrt{E}$ (J))	一个地区历史地震能量(E)总合的平方根	地壳应变能量大的地区表明地震活动性高
最大震级 M	根据地质、地球物理条件预报的近100年内的浅源地震震级	在地震烈度、震级高的地区发生滑坡、山崩、地面裂缝和塌陷
基本烈度 I	据地质、地球物理条件预报的近100年内的工程区地震基本烈度	

表 2　地壳稳定性等级和特征

稳定性等级 / 特征	地震烈度(I)及地面运动加速度(α) (g*)	震级 M	建筑物破坏 山(岩)体变形	工程抗震要求	建筑适宜性
稳定区 (I类)	$I \leqslant \text{Ⅳ}$ $\alpha \leqslant 0.063$	$\leqslant 5\frac{1}{4}$	建筑物轻微损伤 $I<6$度时无损伤	各类工程均不做抗震设计	适宜
基本稳定区 (Ⅱ类)	$I = \text{Ⅶ}$ $\alpha = 0.125$	$5\frac{1}{2}-5\frac{3}{4}$	建筑物轻微损坏局部地段崩坍，滑坡	铁路、公路、水运、井巷不进行抗震设计其它工程需设防	
次稳定区 (Ⅲ类)	$I = \text{Ⅶ}, \text{Ⅸ}$ $\alpha = 0.250, 0.500$	6—7	大量建筑物破坏、倾倒、山体崩塌、滑坡、地裂	各类工程均需抗震设计	不完全适宜，需加强抗震措施
不稳定区 (Ⅳ类)	$I \geqslant \text{Ⅹ}$ $I \geqslant 1.00$	$\geqslant 7\frac{1}{4}$	建筑物严重破坏，倾倒、大量山崩、滑坡、地裂	专门抗震设计	不适宜

* g，重力加速度，Gal。

动性（位错）以及与地壳近代运动有关的地面形变（地裂缝和滑坡）。因为地壳稳定性评价是为工程规划、可行性论证服务的，所以，它的分级以工程需要为主。著者根据“新中国地震烈度表”(谢毓寿，1957)，归纳出各种烈度下，工程建筑破坏及地面形变特征，并参考各类工程抗震规范以及地震地面加速度，将地

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

壳稳定性分为四类：(1) 稳定区；(2) 基本稳定区；(3) 次稳定区；(4) 不稳定区。它们的特征和指标见表2。地震震级是按震源深度10—45公里经验关系估算的（据国家地震局，1981）。著者在研究评价我国大型能源工程和搜集国内外资料基础上，提出区域地壳稳定性分级和评价指标（表3）。

区域地壳稳定性评价最终成果是地壳稳定性分区（级）图，以及评价综合报告。这种图件表现出研究地区地壳稳定程度的差异，是半定量性质的，它是分析图，预报图。其中地震烈度可以按中国地震烈度区划图（国家地震局，1981）确定或据邻近大型工程烈度鉴定资料，亦可据本区地质条件和历史地震分析予以指标。地壳稳定分区图的比例尺，在大面积评价时可采用1:500,000—1,000,000，中等面积可采用大中比例尺，即大于1:500,000。

二，城市地壳稳定性评价内容及工作原则

（一）城镇区地壳稳定性研究面积和范围

城市地壳稳定性研究范围不能完全按重大工程的方法进行。对于单个城市区评价，其面积选择和确定原则是，选择能够影响城市地壳稳定的深断裂、活动断裂，地震带包括在内的区域作为研究界限。例如，北京市区（包括郊区县市），研究范围应该是，北以张家口—昌黎断裂为界，南至保定，西起张家口，东止渤海边。包括了渤张深断裂，太行山前活动深断裂，冀中裂谷区，面积达250×200km²。长江下游地区城镇密集，如评价南京、镇江市等地壳稳定性应包括郯庐深断裂中、南段，茅山深断裂，长江深断裂（图3没标出）及南黄海地震区，其面积约为160×260km²，参见图3。

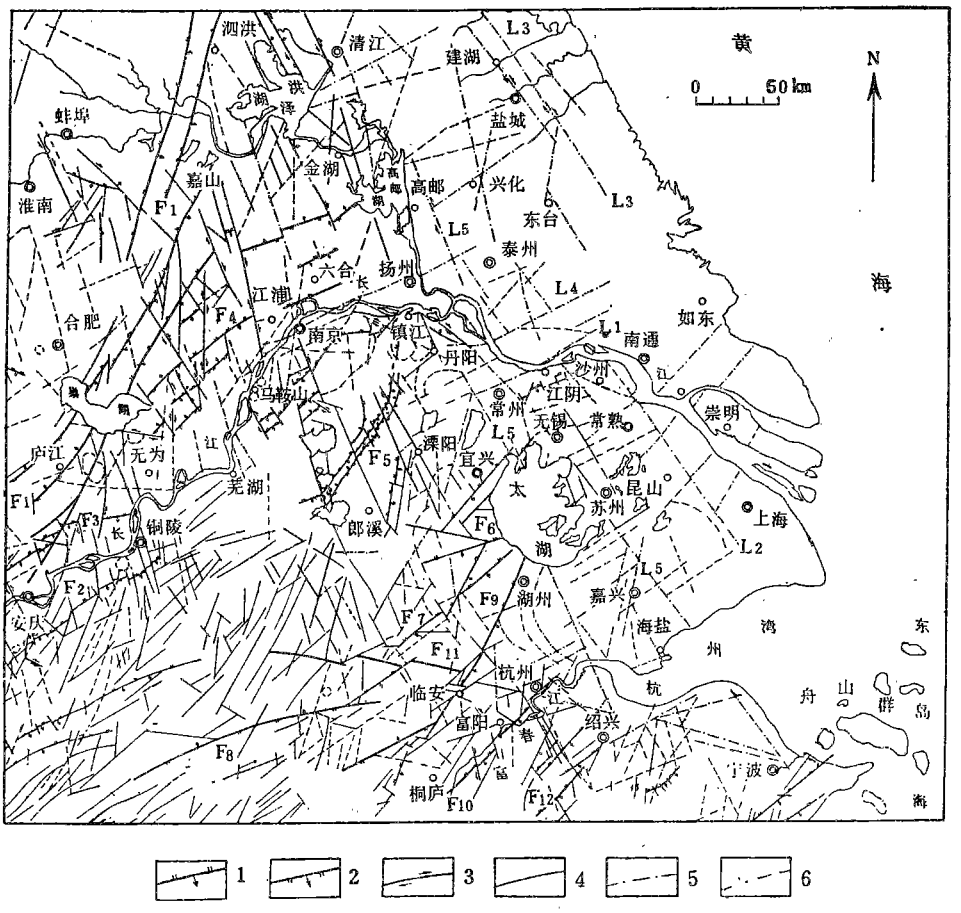

图 3 宁沪杭地区卫星影象断裂解析图

1—逆断层，推覆构造；2—正断层；3—平移断层；4—性质未定断层；5—隐伏断层；6—线性构造。
F_1郯庐断裂；F_5茅山断裂；F_4江浦断裂；F_{12}江绍断裂；F_{11}临安断裂；

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　地壳稳定性分级

指标 / 稳定性等级	地壳结构与深断裂	活动断裂和地壳第四纪升降速率 Sv(mm/a)	迭加断裂角 α	大地热流值* qr (mw/m²)
稳定区（Ⅰ类）	元古界和更老的大陆壳或部分古生代大洋壳区，缺乏深断裂或仅有基底断裂，地壳较完整块状结构	缺乏第四纪（200×10^4a）断裂或存在早更新世（$200—100\times10^4$a）活动过断裂，第四纪期间地壳相对上升或相对沉降速率 $Sv<0.1$(—)	$\alpha_1=0°—10°$ $\alpha_2=71°—90°$	≤54
基本稳定区（Ⅱ类）	大陆壳边界或大洋壳内部、深断裂断续分布，深断裂切割地块成菱形、四边形，地壳较破碎镶嵌结构	存在中更新世（$100—10\times10^4$a）或晚更新世早、中期（$10\times10^4—5\times10^4$a）活动断裂，断裂长度不大，第四纪期间地壳相对沉降 $Sv=0.1—0.4$(—)	$\alpha_1=11°—24°$ $\alpha_2=51°—70°$	58—75
次稳定区（Ⅲ类）	大陆壳与大洋壳分界带，新生代大洋壳、地缝合带，近代板块稍减带，新生代大陆裂谷和复活的古裂谷带，深断裂成带出现，长度大于百公里，地块呈菱形、条形，地壳破碎块裂结构	发育晚更新世晚期（5×10^4a）和全新世（1×10^4a）以来活动断裂，延伸长度大于百公里，存在近代活动断裂，引起过 $M\geq6$ 地震并伴生地面地震断层或地裂，第四纪期间地壳相对沉降幅度较大 $Sv>0.4$(—)	$\alpha_{1,2}=25°—50°$	>75
不稳定区（Ⅳ类）				

* 在缺乏q资料时可用地温梯度Gg(℃/100m)代替，稳定区：$Gg\leq2.0$；基本稳定区：$2.0<Gg\leq3.5$；次稳定和不稳定区：$Gg>3.5$

因此，可以提出，城市地壳稳定性研究的范围可以地质构造单元，或深断裂，地震带为界，不必达到距城市以外100—200公里。若城镇区地质构造简单，地震活动微弱或无震区，研究距城市数十公里即可满足工程要求。

（二）城市稳定性评价的专门工作

1．岩土类型、活动断裂、地面形变灾害（山崩、滑坡、塌陷等）的研究

在一个城区范围内，大多属同一等级的地壳稳定性区，故可在查明上述条件的基础上进行次一级的稳定性分区（表4）。

2．地震烈度小区划

这一工作可应用工程地质方法、并可应用地震研究、地球物理方法。工程地质方法是根据水文地质、工程地质条件进行地震烈度小区划，它们具体方法可参见有关文献。

3．隐伏构造的遥感研究

为了判断隐伏构造常采用坑槽探、钻探或物探方法。但更可靠的、经济的手段是首先利用陆地卫星遥感方法，经提供遥感信息，表明有隐伏构造存在后，再进行上述的勘探工程。

遥感手段分析隐伏构造的方法是利用陆地卫星磁带输入计算机，进行数字计算处理，形成图象，加强线性信息，提高判识效果。所成图象类型有：（1）假彩色合成；（2）卷积边缘增强；（3）比例变换等较为有效。经处理的图象，产生下述特征：（1）线性带色泽差异；（2）线性明显；（3）图象上条纹差异显出线性带。上述图象特征表明很可能有隐伏构造，可以是基岩断层，破碎带；亦可以是基岩内陡坎，这就指明了进一步研究和勘探的方向。需要指出，遥感手段只提供有隐伏构造的信息，并不能肯定其存在，它们必须经过勘探证实后才能确认。

三、城市地壳稳定性评价应注意的问题

（一）活动断层问题

为进行城市工程布局、规划，需查明建设区是否

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

和指标综合表

布格异常梯度值B_s (mGal/km)	地壳压强偏差值 ΔP_x(bar)	地壳应变能量 $\sqrt{E}$(J)	地震 最大震级 M	地震 基本烈度 I	与地壳运动有关的地面形变	工程建设条件
布格异常等值线间距大，梯度小，缺乏梯度带 $E_s<0.6$	缺乏偏差带 $\Delta P_x<60$	$\sqrt{E}\leqslant 2.51\times10^6$	$M\leqslant 5\frac{1}{4}$	$I\leqslant$ Ⅵ	缺乏	适宜各类工程
布格异常等值线呈局部或较大区域的低值梯度带 $B_s=0.6$—1.0	存在低值局部地段偏差带 $50\leqslant\Delta P_x<300$	$3.35\times10^6<\sqrt{E}<1.28\times10^7$	$5\frac{1}{2}<M<6.0$	$I=$ Ⅶ		
布格异常等值线呈区域性中、高值梯度带，长200km以上 $B_s>1.0$ (多数达1.2—2.0)	存在区域性高值偏差带 $\Delta P_x\geqslant300$	$1.28\times10^7\leqslant\sqrt{E}\leqslant4.47\times10^7$	$6.0\leqslant M\leqslant7.0$	$I=$ Ⅷ，Ⅸ	较小规模的地裂，滑坡和山崩	中等适宜，须加强抗震和工程措施
		$\sqrt{E}\geqslant6.86\times10^7$	$M\geqslant7\frac{1}{4}$	$I\geqslant$ Ⅹ	山区及升降差异带大规模滑坡、山崩或成群(带)分布	不适宜重大工程，需专门抗震和工程措施

表 4　城市区稳定性小区分类及特征

特征 / 分类	岩土特征	断层和活动断层	地质灾害(山崩、滑坡，地裂，塌陷)
良好的	Ⅰ类土：岩石，包括各类新鲜和风化的岩石	断层不发育，规模小间距大，不存在活动断层	缺乏
中等的	Ⅱ类土 松散的土层，砂砾层，粗中砂层	存在断层、胶结良好缺乏活动断层或仅存在第四纪早期断层	存在少数小规模的地质灾害，有少量弱震($M_s\leqslant4$)
较差的	Ⅲ类土 饱水的砂，粉砂，淤泥，人工填土	断层发育，胶结较差，存在中更新世以后断层	存在一定数量的地质灾害，有弱震($M_s\leqslant4$)

内，它可能再活动，并危害工程安全的断裂。它的判断标准有三：(1) 年龄下限50000年或在此以后活动过；(2) 第四系内活动断层与深断裂、新生代裂谷或地堑有成因联系；(3) 深断裂，大型断层或第四存在有影响工程稳定的活动断层。

1．工程活动断裂

现今科学水平还没达到能准确地预报断层新活动时间、形变量。因此，判断它们的标准是以断层活动年龄为根据，国内外对活动断裂年龄下限分歧甚大。最老的年龄可达第四纪早期(200×10^4年)，最新可到全新世(1×10^4年)。据我国断裂第四纪活动、历史地震周期($M_S\geqslant6$)与工程运用年限相比以及断层年龄测定技术。本文著者提出，工程活动断裂概念。它的涵义是距今50,000年活动过的断层，在工程运用期

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

，内它可能再活动，并危害工程安全的断裂。它的判断标准有三：（1）年龄下限50000年或在此以后活动过；（2）第四系内活动断层与深断裂、新生代裂谷或地堑有成因联系；（3）深断裂，大型断层或第四系断层延续长度必须大于30公里。重要的建筑物必须避开活动断裂一定距离，否则危害工程安全。

（2）在工程地质勘察中存在的一些错误

在已往的工程勘察中，错误地判断活动断层的情况屡见不鲜。因此，引起工程迁移或施延工期。产生这类判断错误的原因可归纳为四种：(1) 因第四系地层岩相、年龄(时代)对比问题而误定断层；(2) 将同沉积期断层（同生断层或生长断层）或滑坡、崩塌等外力形成的变形面错误地判定为断层；（3）基岩陡坎（崖）、沟壁基岩与第四系沉积面定为断层或将不同时代第四系沉积接触面亦确定为断层；（4）据地貌分析，遥感影象某些特征，又没经地质工作详细验证，就做出存在第四纪断层的结论。国外部分工程亦存在这种问题和争论。因此，需要慎重判定活动断层。

（二）深断裂问题

近些年来，有的部门仅根据航磁或重力异常测量成果即提出某城市存在深断裂，并将这些深断裂与历史地震（Ms＜5地震）和震害相联系。著者认为，不考虑地质特征，历史地震情况和工程地质条件，仅根据地球物理资料推测深断裂存在及与地壳稳定性的关系是不恰当的。对此问题应持慎重态度。既使用深部地球物理探测手段（人工地震测深，大地电流测深等），确定出深断裂存在，亦需结合其它各项地质、地球物理和地震特征等进行综合评价。

四、结　语

城镇区地壳稳定性是重要的地质环境因素，因此，需要有组织，有计划的展开这方面工作。著者认为，围绕着地壳稳定性评价应展开下述几项具体工作：

1．在地质，工程地质、地震基本烈度资料基础上，进行地震烈度小区划；

2．查明城镇及邻区的深断裂，大型断裂和城镇重要部位的大，中型断层；并分析和研究它们的第四纪活动性，是否属于工程活动断裂；

3．调查区内各项与稳定性有关的岩土特性及地质灾害。

在上述工作基础上，编制系列相应的图件，最后综合成地壳稳定分压图。

参考文献

〔1〕 中国地质学会工程地质专业委员会，1983，全国首届工程地质学术会议论文选集，1—40，科学出版社。

〔2〕 刘国昌，1965，中国区域工程地质学，中国工业出版社。

〔3〕 谷德振，1979，岩体工程地质力学基础，科学出版社。

〔4〕 李兴唐，黄鼎成等，1985，区域地壳稳定性研究方法和原理，岩体工程地质力学研究，59—77，地质出版社。

〔5〕 许兵，李兴唐等，1984，苏南核电站区域地壳稳定性研究，水文地质工程地质第六期。

（上接第47页）

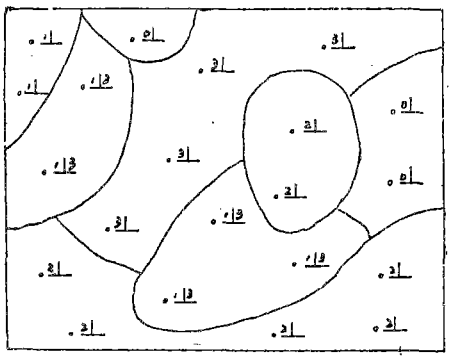

图 6　应用材料图

1—代表有砂层分布；2—代表有砂＋圆砾＋卵石三层分布；3—代表有圆砾或卵石层分布；4—代表无砾砂石层分布

便。此时方法如与第一种方法配合使用，则效果更佳，既反映了地层垂直序列组合关系及定量数值，又说明了其平面分布。

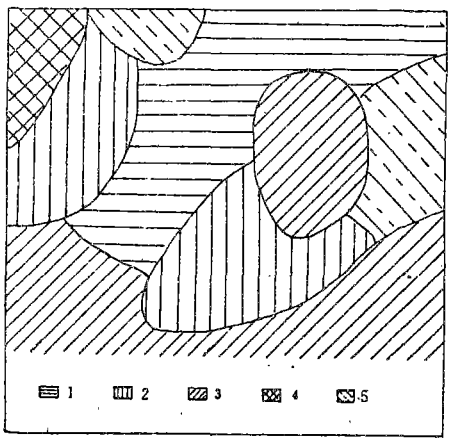

图 7　最终成果图

1—圆砾或卵石分布区；2—砂层＋圆砾或卵石分布区；3—砂＋圆砾＋卵石三层分布区；4—砂层分布区；5—无砂砾石层分布区

参考文献（略）

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net