

城市建设与规划的地质层面思考

潘永刚

(北京大学环境学院, 北京 100871)

摘 要: 从地质角度探讨了城市工程建设与城市规划当中应当注意的基本问题, 并从城市的水文地质条件、区域地壳稳定性、地形地貌条件、城市岩土工程地质特性等方面进行了展开论述, 最后得出了城市工程地质评价的基本原则。

关键词: 城市规划; 工程环境; 工程评价; 水文地质; 工程地质

中图分类号: P541; P642 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2003) 03-0125-05

Reflection of Urban Construction and Planning on Geosciences Level

PAN Yong-gang

(College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Through probing into the basic problems in the urban construction and planning, which is further discussed on aspects of hydrological conditions, local stability, landform and geomorphology condition, urban geotechnical properties. At last, drew conclusions of the basic principles on evaluation of urban engineering geology.

Key words: urban planning; engineering environment; construction evaluation; hydrological conditions; engineering geology

城市是由于生产力的发展、商品的交换, 科技文化的进步和人口高度集中的综合结果而逐步形成的。

尽管城市从出现到现在已经 7 000 多年了, 然而全球范围的大规模城市化基本上是 20 世纪的社会现象。近几十年来, 社会经济迅速发展, 各国工业以惊人的速度增长, 城市规模越来越大, 城市功能也愈加复杂。目前工业城市占地面积约为地球土地总面积的 0. 3%, 但其中人口却集聚了世界人口的 40%。到 2000 年据不完全统计超过了 50%, 这意味着 2000 年城市居民超过了 30 亿。我国的城市个数从 1952 年的 157 个增加到 1996 年的 716 个, 同时由于农业人口城市的转移, 非农业人口在逐年剧增, 例如北京城区人口比 1949 年增加了 18 倍, 兰州增加了 4. 8 倍, 石家庄增加了 6. 1 倍, 合肥增加了 9 倍。这样的人口集中, 相应的所需能量流、物质流、信息流异常强大, 这样对环境的承受力的要求也大为增加, 形成了近代城市新的环境特点。

城市不仅仅是抽象的名词, 而是一个由复杂物质组成的三维实体。这个实体可视为众多的单体建筑、单项工程构成的集合体, 例如码头、机场、车站、地铁、道桥、工厂和住宅, 有时甚至包括矿山、水库、名胜古迹等。城市的产生、运动和发展, 都是与地球组成物质及其运动密切相关的, 也就是说城市与其地质环境条件是不断进行着相互作用的。这一个过程中城市施加给地质环境的作用总和, 可称之为城市工程地质

作用。城市地质作用的结果必将产生特有的城市环境工程地质问题。

从工程地质角度看, 工程高度密集和人口高度密集是城市和工业建筑地区的两个主要特点。尤其我国, 人口众多而土地资源相对较少, 其密集程度就更高。例如北京, 城区人口密度达 2. 7 万人/km², 而城区某些街道高达 5. 5 万人/km², 城市与工业区的工程, 主要是房屋建筑和市政工程, 地上高低错落, 地下管网密布。为解决土地不足, 只能向空间发展, 一方面大量兴建高层和超高层建筑, 目前四五十层已不罕见, 正计划建 80 层甚至 100 层以上的建筑; 另一方面向地下发展, 地下交通线、地下商场、地下停车场、地下贮库等大量涌现。

工程高度密集和人口高度密集带来的工程地质问题, 首先是由于加载和开挖引起的问题, 如高层建筑的沉降和倾斜, 深基坑的坑壁与坑底的位移与失稳, 切坡引起的边坡滑动, 地下开挖引起的地面塌陷等等。其次城市和工业区需要大量的工业用水和生活用水, 由于管理不善, 过量汲取地下水而造成一些城市和地区的水资源枯竭和严重污染, 并导致地面沉降、地裂缝、岩溶塌陷等地质灾害。工程建设也可能引起地下水位上升或土中含水量增减。导致黄土的软化和湿陷, 膨胀土的胀缩, 进而危及工程安全。在多年冻土区, 工程建设和人类活动可以提高地温, 使建筑物发生融陷。工业废

¹ 收稿日期: 2003-04-25
基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 40271013)。
作者简介: 潘永刚(1977-), 男, 理学硕士, 研究方向为工程环境与土地利用。

水、生活污水、工业、建筑和生活垃圾如处置不当也会引起环境工程地质问题。

我国是一个多地震国家,强震城市达 100 余个。在工程与人口高度密集的城市,强震区的场地与地基的地震效应、断裂、液化、震陷等对工程的影响,也一直是学术界和工程界关注的工程地质问题。我国又是一个文明古国,有些城市已经有数百年、千年的历史,历史遗留下来的古墓、杂填土地基也是需要关注的问题。

1 城市水文地质条件

与城市地质环境的其他条件相比,水资源的处理及其天然作用会影响到更多的人,城市的供水条件及水资源保护问题是城市选址的一个重要因素,也是城市发展的一个重要因素。地下水常常是城市用水的重要来源,特别是在远离江湖或地面水量、水质不能满足要求的地区。在开发地下水资源和安排城市建设项目时,必须要了解地下水的存在形式、流向、含水层厚度、矿化度、硬度、水温、地下埋深以及动态变化等水文地质特征。如地下水过量开采将会出现地下水位下降,甚至造成水位枯竭和引起地面下沉。(如上海市 1921 ~

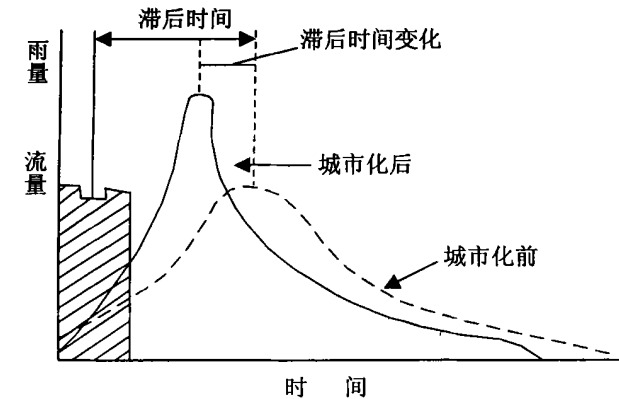


图 1 城市化前后雨量和流量的变化

因此,区别不同地区,采用不同的洪水设计标准,将有利于充分利用土地,有利于城市的合理布局 and 节省建设投资。

在进行城市规划、布局时,还要从地下水径流条件结合其他自然条件(地形地貌、河流、风向等),一并考虑工农业项目的布局,防止地下水受到工业排放物的污染,影响到工业、民用用水水质,对污染源应严加管制。

如图 2,某地原有的有害工业布置在居民区的地表水及地下水下游一侧,城市水厂的水质受工业排放物的污染较少,但是在新建用水量较大的工业后,由于地下水的流向,使得城市水厂的水质受到有害工业的严重污染。另外,当地下水位过高时,将不利于工程的地基,在必要时可采取降低地下水位的措施。

2 区域地壳稳定性评价

地壳稳定性是在地球内动力地质作用下,现代岩石圈块状表层的活动程度或稳定程度。它是区域地壳现代活动程度

1965 年城市地面逐渐下沉,最严重的地区下沉了 2.37 m,市区及其邻近地区形成一碟形洼地。)

供水条件和水资源保护问题主要包括地下水源地的选择、评价,地下水的调节利用,水资源的合理开发、管理和保护。地下水人工回灌是水资源管理与保护的重要方法,尤其是在干旱、半干旱地区。如美国地下水过量开采区,强调用地下水库容来调节供水,地下贮水的费用比地表贮水要节省一半。在以色列,地下水人工补给量约占整个供水量的 10%。

在城市供水工程建设时,必须充分考虑地区的水文地质条件,预测评价城市建设和开采地下水对水文地质环境的影响,由此选择开发水资源的技术方案。

城市化过程中对天然河道进行改造和治理,使天然河道被截弯取直,疏浚整治,设置道路边沟、雨水管网、排洪沟,增加了河道汇流的水力学效应;雨水迅速变为径流,集流时间加快,径流过程历时缩短,城市雨洪径流增加,流量曲线急升急降,峰值出现时间提前。据研究,城市化地区洪峰流量约为城市化前的 3 倍,涨峰历时缩短 1/3,暴雨径流的洪峰流量预期可达未开发流域的 2 ~ 4 倍。这取决于河道整治情况和城市的不透水面积率及排水设施状况等。

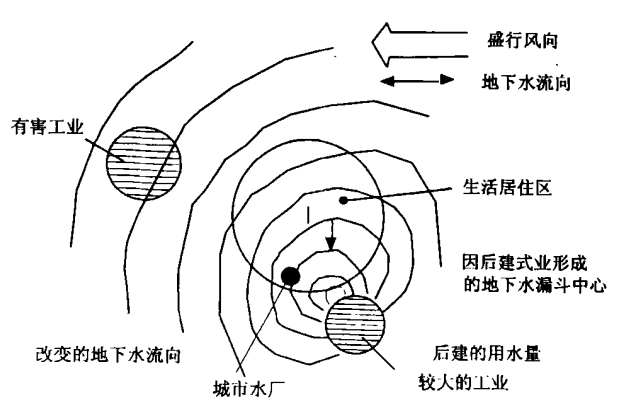


图 2 城市用地分布于地下水流向关系

的综合反映。

区域地壳稳定性是城市生态环境存在与稳定的基本因素,是城市建设的基础。人类建设城市总是选择那些地壳相对稳定。地质基础坚实的地带。城市用地选择恰当与否关系到未来或现在城市的生存和发展,关系到城市的功能组织和城市规划布局,同时对城市的建设和城市的管理都有一定的影响。

在影响区域稳定性的几大因素中,构造作用-新构造活动-地震作用形成一个主体,构造作用是新构造活动与地震的内在本源,新构造活动是对构造作用的承继及其表现显示,而地震作用则是地质构造剧烈活动的暂态表现。

区域深部地壳结构的均一性和完整性是评价区域地壳稳定性的基础。深部地壳结构的研究,主要通过地质分析、重磁分析、人工地震探测,确定场址内是否存在深断裂及其切割深度,形成时代和空间展布,以了解地壳结构的演化和完整性。

区域性稳定性评价应与地震工程地质相结合,其主要内

容包括: 相对稳定地块的选择。断裂活动地震工程地质效应评价和强震区重大工程场址条件类比。

活动断裂的研究是区域稳定性评价的一个重要方面, 要通过野外调查、遥感技术、年龄测定、活动方式和速率分析, 确定活动断裂的活动型和强度, 在选址时应尽量避开活断层。

区域重力场和热力场的变化特征也是区域稳定性评价的重要标志之一, 在重力场不均衡的地区往往是地壳活动带和存在活动的深断裂带, 易产生地震或其他地质灾害; 在热力场的高热流值地段往往是新生代活动裂谷带, 热流值比两侧山区高 1.2 ~ 2.7 倍, 是近代地壳活动带, 稳定性差。

区域地壳稳定性, 不仅取决于地壳结构, 而且取决于现代构造应力场特征和应力等级。在影响区域地壳稳定性的天然地质因素中, 地应力在某种意义上反映区域现代应力的紧张和松弛程度, 可直接反映地壳稳定性。研究表明:

A: 在地壳稳定性较差的地段, 地应力值较高, 一般在 15 MPa 以上; 地壳稳定性良好地段, 地应力力值较低, 一般为 5 MPa 以下, 甚至更低。

B: 一个地区的构造活动强度, 还取决于地应力差值, 地应力差值越大, 越易造成地壳变形与活动。

在对重大工程和新城场址进行区域稳定性评价时, 我国目前有下列几种理论: 中科院地质所的地质控制论, 原地矿部环境所的“安全岛”理论, 南京大学的优势面分析理论等。

3 地形地貌条件

城市是人类活动作用最强烈的地区, 人与地貌各要素的关系尤为密切。不同的地形地貌条件, 不仅影响建筑物的安全、经济和正常使用, 而且对城市形态和城市职能发挥着相当大的作用。

地形地貌条件对城市规划于建设的影响具体体现在 下方面:

(1) 城市的选址与分布格局

a: 河流交汇处。第四纪冲积、洪积地层, 一至多层砾石层作为承压层, 地下水埋深浅地面开阔如天津、武汉、广州、上海。

b: 河谷阶地。地面比较平坦。靠山面水, 地势稍高免遭洪泛, 地基承载力较高。如兰州、福州、吉林、太原、长沙等。

c: 平年高原或盆地底部。地面平坦, 地表覆盖层较厚, 地下水较丰富, 建设投资省。如沈阳、哈尔滨、西安、贵阳、台北等。

d: 海滨、岛屿。海滨地表起伏小, 场地开阔, 利于城市布局, 基岩直接暴露或埋藏很浅, 地基承载力高。如纽约、东京、伦敦、巴黎、香港、新加坡。

(2) 地面坡度对城市规划和建设有着多方面的影响, 是表征地表形态的另一重要因素。以倾斜角(φ)或斜率($\%$)来度量。地形坡度的大小不但影响城市布局, 道路管网的布设, 房屋建筑, 纵坡的确定及土石方工程量, 而且对城市防灾也十分重要。例如: 在平地上常要求地形坡度不小于 0.3%, 以利于地面水的排除、汇集, 减少排水管道站的设置, 地形过陡将出现水土冲刷等问题。地面起伏度、地面切割度等因素是影响城市建设的指标。崎岖的山地不宜城市建筑。

城市各项设施对用地的坡度要求列于表 1 中:

表 1 城市各项用地适宜坡度参考表

项目	坡度/ $\%$	项目	坡度/ $\%$
工业 ¹	0.5 ~ 2	铁路站场	0 ~ 0.25
居住建筑	0.3 ~ 10	对外主要公路	0.4 ~ 3
城市主要道路	0.3 ~ 6	机场用地	0.5 ~ 1
次要道路	0.3 ~ 8	绿地	可大可小

¹ 工业如果以垂直运输组织生产, 或车间可台阶式布置时, 坡度可大。

4 城市岩土体工程地质特性

城市各项工程建设都是由岩土地基来承载的, 岩土类型各异, 决定其性质的差异, 岩土工程地质特征是影响地基承载力、制约工程地质问题的基础, 它将影响选择基础类型、基础埋深、地基稳定以及施工方法。当地基土同时满足变形和强度两个条件时, 单位面积所能承受的最大载荷, 成为地基土承载力。因此城市用地的选择和建设项目的安排的都应针对具体的地基土承载力, 这直接关系到城市建筑能否和自然环境密切结合, 工程造价是否经济合理等重大问题。

工程上建筑物的建造必须使地基基础设计满足两个基本条件:

(1) 要求作用于地基的荷载不超过的地基的承载能力, 保证地基在防止整体破坏方面有足够的安全贮备。

(2) 控制基础沉降使之不超过地基变形允许值, 保证建筑物不因地基变形而损坏或者影响其正常使用。对于不同类型的地基, 决定其变形、强度等工程性质的因素是不一样的。现代城市建筑, 建筑物高度越来越大, 对地基的要求也不断提高。不同高度的建筑物所要求的地基承载力不同(见下表), 地基承载压力至少需超过 0.5 ~ 2.0 kg/cm²。

表 2 各种地面组成物质的承载力

组成物质	承载力/(t · m ⁻²)	组成物质	承载力/(t · m ⁻²)
碎石(中密)	40 ~ 70	细砂(很湿, 中密)	13 ~ 16
角砾(中密)	30 ~ 50	大孔土	15 ~ 25
黏土(固态)	25 ~ 50	沿海地区淤泥	4 ~ 10
粗砂、中砂(中密)	24 ~ 34	泥炭	1 ~ 5
细砂(稍湿, 中密)	16 ~ 22		

影响地基土承载力大小的因素一般有以下几种:

(1) 土的成因与堆积年代 通常冲洪积土的承载力比坡洪积土的大, 风积土的承载力最小, 同类土堆积年代越久承载力越大。

(2) 土的物理力学性质。这是影响土的承载力的最直接的因素。例如, 无黏性土粒径越大, 孔隙比越小(即密度大), 则土的承载力越大; 黏性土含水量越大, 孔隙比越大(即密度小), 塑性指数小则土的承载力小。

(3) 地下水, 当地下水上升, 地基土受地下水的浮托作用, 天然含水量增高, 则土的承载力降低。尤其对湿陷性黄土, 遇水湿陷; 膨胀土遇水膨胀, 失水收缩, 对承载力有很大影响。

(4) 建筑物的性质和基础尺寸。通常建筑物体型简单, 整体刚度大, 对不均匀沉降适应性好, 则承载力可取高值; 基础宽度大, 埋置深度深, 土的承载力相应高。

工程上一般从物理性质、水理性质、力学性质等方面来

描述土体和分析土体的变形强度等特征,进而由地基承载力和地基沉降变形进行地基基础和上部结构的设计。在土质地基中常见的工程问题是:承载力不足引起地基上的破坏,导致建筑物的破坏,地基沉降过大或产生不均匀沉降,影响建筑物的正常使用;地下水位过高影响施工,降低地下水位时引起土的力学性质改变,威胁周围建筑物安全;基坑开挖引起边坡失稳以及流砂等;地下水有害粒子成分侵蚀建筑物基础,影响建筑物的耐久性,地基土地化学成分常使建筑物的水泥构件、金属、木质结构等遭受不同程度的侵蚀,也会影响建筑物的耐久性等。

表 3 建筑物所要求的地基承压力

建筑层数	1	2	3~4	> 4
最小地基承压 力 ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	0.5~0.7	0.7~1.2	1.2~1.5	> 2.0

基岩是较理想的建筑物的地基。对于场地规模不大的工业、民用建筑来说,往往侧重于岩石块体性质的研究就能满足要求,这些性质包括岩石的物理性质、抗压强度、水稳性、风化程度等。但对于岩质边坡、开挖工程、特别是丘陵、山区城市的建设工程来说,必须考虑结构面的影响,根据岩体结构特征,利用岩体力学理论进行强度、稳定性等分析,在此基

础上进行开挖工程、边坡工程、地下工程等的设计。

5 城市地质工程的评价

由于地质环境研究程度和城市建设的要求不同,一般将城市的工程地质工作分为三个阶段:

(1) 城市总体规划阶段,主要了解城市规划地区的地质构造、地形、区域水文地质、动力地质作用等特征,对城市各类建筑区的规划布局和土地的合理利用作出评价;

(2) 城市详细规划阶段,为重点规划地区的建设提供进一步的地质评价资料,特别是对地基条件、地质环境对于各拟建工程的适宜性及其在建筑物作用下可能发生的变化作出评价;

(3) 城市设计阶段,为城市中的某个小区域或专门工程项目进行详细地质调查。

城市工程地质环境属性是由工程场地的基本属性演化而来的。每一个工程场地即是作有建筑物依托的环境存在着。根据土地的工程利用及制图表现需要,工程场地将反映出自身的质量特征,数量特征,空间特征,综合特征。这些特征以不同的组合或综合方式,或以单一形式,用以表达工程场地对于工程开发建设的特性,稳定性和适宜性,此三性构成了工程场地作为‘环境’时的工程场地‘行为’的基本属性。

表 4 城市建设适应性分类

工程地质 条件要素	适宜的	适宜的,但有限制	不适宜的
地形	坡度为 0.5%~10% (< 30) 的平原,相对高差小于 10 m,水平方向切割微弱(洼地、凹地、侵蚀沟槽间距在于 2~5 km)	坡度小于 0.5% 或 10%~20% (至 11°) 的平原,而在山地坡度可达 30% (16~17°),相对高差 10~25 m,水平方向切割中等或较强(0.5~2 km)	强烈切割的平原,坡度大于 20% (11°),而在山地大于 30% (> 16~17°),相对高差大于 25 m,水平方向切割强烈(< 0.5 km)
地质构造	岩土均一,适宜作一般标准型基础的天然地基,建筑物的稳定性和正常运行条件能得到保证	岩土成份和性质欠佳,利用时有一定的局限性并要慎重对待,才能保证建筑物的稳定性和正常运行条件,可以采用特殊类型的基础,人工改善岩土性质和其他的工程措施	岩土软弱,欲保证其上建筑物的稳定性,应采用特殊类型的基础,人工改善岩土性质和其他的工程措施,并遵守一定的施工条件
地下水	地下水埋深大于建筑物基础砌筑深度,不需要防水措施	需采用专门措施(降低水位,疏干,隔水,防侵蚀等措施)来保证建筑物的正常施工,稳定和运营条件	要采用复杂的专门措施来消除地下水对建筑物的稳定,运营和施工的影响
地质作用和现象	不需要采用专门措施消除地质作用和现象的不良影响	要求采用专门措施消除地质作用和现象对地区、建筑物和人类活动及生活的不良影响	要求采用复杂的防护措施
区域性淹没	不会被保证率为 1% (百年一遇) 的洪水所淹没	不会被保证率为 1%~4% (25 年一遇) 的洪水所淹没	可被保证率大于 4% (25 年一遇) 的洪水所淹没

(据 B·H 洛姆塔泽,1977)

城市工程地质环境是在空间尺度上较工程场地大得多的环境,尽管前者在环境区划与土地利用布局协调上,其复杂性远高于单一的工程场地单元,同时前者在宏观微观处理上应兼而有之,但是作为特性、稳定性、适宜性的三项基本属性所代表的环境“行为”,前者与后者则是相通和同样实用的。

(1) 特性。城市工程地质环境是环境属性中体现工程意义的基本方面,指当场地用于工程开发建设时,在一般意义上所必须关心、并能初步判断工程场地质量优劣的那些基本性质参数。如:岩土体低层组成和解构,地貌类型和场地坡度,地下水位及水化学环境,岩土体的力学指标和参数,不良地质现象的分布等等。特性,首先‘特’在它有别于那种过于宏观的工程地质调查的一般性质,要求能覆盖工程开发时的

场地特点,场地基本性状的表现能既突出又明显,使此场地在各主要方面区别于彼场地。其次,它既应有工程开发所需的一般意义上场地信息要素的搜集,又需要适当反映工程地质环境的主题特征。

(2) 适宜性。适宜性侧重于表现场地工程适用性特征,其中地层结构及主要持力层空间分布与地基基础形式相适宜,地基条件与基础施工形式相适宜,地基承载力与上部结构形式及结构物荷重相适宜等等。

一般来说,通过城市地质环境各要素的分析,将建筑适宜性分为三类:适宜的、适宜但是有限制和不适宜的。见表 4:

(3) 稳定性。稳定性是工程场地属性的重要方面,常常具有环境质量上的一票否决权,在工程场址选择中通常是至

关重要的. 这是因为以岩土体为实体和主体的工程地质环境受动力地质作用等地质灾害的影响或潜在危害时, 有时会从根本上动摇岩土体作为建筑物地基基础的土地工程能力的基本功能. 稳定性和地质灾害的关系密切, 因而也就成为土地利用控制的重要依据之一. 城市工程地质环境属性中的稳定性分析和应获结果, 本质上接近于城市地质灾害的判别分析过程和所获得的结论. 只是后者应更直接的结合土地利用信息进行, 旨在获取灾害造成的损失风险信息。

工程地质环境稳定性(Stability of Engineering Geological Environment, 简称 SEGE) 作为工程地质环境质量的综合评价指标, 其表达式为 $SEGE = f(S_c, S_g, S_m)$, 式中 SEGE——建设地区工程地质环境稳定性; S_c ——区域地壳稳定性; S_g ——建设地区地壳稳定性; S_m ——工程场址岩土体稳定^[1]。

参考文献:

[1] 李树德. 环境工程地质分区及工程地质环境综合评价[M]. 北京: 海洋出版社, 1996.
[2] 戴塔根, 刘悟辉, 马国秋. 环境地质学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2000.
[3] 张咸恭, 王思敬, 张倬元, 等. 中国工程地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
[4] 张永波. 水工环研究的现状与趋势[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
[5] 刘起霞, 李清波, 邹剑峰. 环境工程地质[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.

(上接第 124 页)

(部分已胶结), 有的地方相变为一套深红色含铁锰膜的并夹多层钙结核的红黏土. 厚度大致与砾石厚度相当. 晚中新世晚期至中新世末, 盆地进一步拗陷, 堆积了保德组中上部的一套棕红色夹多层钙结核黏土、粉砂质黏土. 黄河干流两岸及一级支沟两岸均可见出露. 地貌为大面积的具有基岩基座的由含砾石和层状钙结核的红黏土组成的塬状和梁状地形. 上新世早期, 在保德组沉积基础上, 继续沉积了静乐组, 静乐组沉积厚度差异很大, 从数米到数十米不等. 进入早更新世,

参考文献:

[1] 孙东怀, 刘东生, 陈明扬, 等. 中国黄土高原红黏土序列的磁性地层与气候变化[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(3): 265– 270.
[2] 丁仲礼, 孙继敏, 朱日祥, 等. 黄土高原红黏土成因及上新世北方干旱化问题[J]. 第四纪研究, 1997(2): 147– 157.
[3] 张云翔, 等. 中国北部新第三纪红层划分的岩石学标志及其意义[J]. 地层学杂志, 1997, 21(1): 63– 67.
[4] 张云翔, 等. 陕西府谷老高川新第三纪“红层”的划分与时代[J]. 地层学杂志, 1995, 19(3): 214– 219.
[5] 张云翔, 等. 陕西北部三趾马红黏土的形成环境[J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 51– 54.
[6] 张云翔, 等. 黄河中游新第三纪晚期红黏土的成因类型[J]. 地层学杂志, 1998, 22(1): 10– 15.
[7] 曹军骥, 等. 晚新生代红黏土的粒度分布及其指示的季东风演[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(3): 99– 106.
[8] 岳乐平. 中国黄土与红色黏土记录的地磁记性界限及地质意义[J]. 地球物理学报, 1995, 38(3): 310– 320.
[9] 丁仲礼, 等. 黄土高原红黏土成因及上新世北方干旱化问题[J]. 第四纪研究, 1997(2): 147– 157.
[10] 张云翔, 薛祥煦. 甘肃武都龙家沟三趾马动物群的埋藏特征及该区红层的成因[J]. 科学通报, 1995, 40(19): 1782– 1784.
[11] 薛祥煦, 张云翔, 岳乐平. 陕西府谷老高川三趾马动物群的发现及时代分期[J]. 科学通报, 1995, 40(5): 447– 449.
[12] 罗静兰, 张云翔. 黄河中游三趾马红黏土的岩石学研究及古气候意义——以陕西府谷老高川三趾马红黏土剖面为例[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 214– 220.
[13] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 188– 292.
[14] 山西省地质矿产局. 山西地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.

综上, 在城市环境工程地质的评价中要注意社会性、经济性和生态环境等三个方面。

(1) 社会性目标——工程的稳定性与安全性. 工程的稳定性和安全性是工程成功的基本要求, 要在工程寿命期内保证工程的绝对安全, 这是对社会公众负责的基准. 自然, 影响工程稳定性的因素是多方面的, 这里强调的是地基以及地质环境条件。

(2) 经济目标——工程效益. 较好的工程效益是工程建设的功能目标, 它应包括经济和使用价值等方面的内容。

(3) 生态学目标——生态环境的影响与协调. 工程完成后应成为自然环境的组成部分, 不能破坏原有的生态环境, 甚至改善原生态环境, 促使环境向和谐的方向发展。

事实上, 上述三个方面的目标是相互关联、相互制约的, 应针对具体工程及环境具体分析。