

# 北京西山八大处文化景区工程建设场地 稳定性及适宜性评价

李军辉，王晨清，王珊珊

(北京市地质研究所，北京 100120)

**摘 要：**在对工作区环境地质条件、不良地质作用等勘查工作的基础上，对工作区的地基稳定性、场地稳定性进行了评价，利用GIS软件的栅格图层叠加和DPS系统聚类功能，对建设用地适宜性进行了评价，划分出场地工程建设较适宜区、适宜性差区和不适宜区。

**关键词：**工程建设；稳定性；适宜性；评价

中图分类号：P642

文献标识码：A

文章编号：1007-1903(2015)Z1-0175-07

## 0 引言

北京西山八大处文化景区位于石景山区东北部，该景区自隋唐至明清以来，一直是北京最重要的佛教场所[1]。为挖掘景区的传统文化资源，提高中国佛教文化的国际影响力，当地政府提出了规划建设西山八大处文化景区的总体设想。本文通过对景区开展区域性环境地质、工程地质、水文地质和地质灾害调查，重点对4个平台区开展勘查工作（见图1），对景区内场地稳定性、工程建设适宜性进行评价，为景区内各项用地的合理选择、总体部署及专项规划提供了基础资料和决策依据。



图1 西山八大处景区用地范围示意图

## 1 八大处文化景区地质环境概括

### 1.1 地形地貌特征

八大处文化景区地处北京西山的褶皱山地，位于西山风景区南麓和永定河冲积扇上，为低山丘陵地貌；工作区地势西北高、东南低，海拔最高为463.7m，最低为88m；依据表1<sup>[2]</sup>结合该地区的地形图，我们通过ARCGIS 软件的空间分析功能得到工作区的坡度图，如图区的坡度图，如图2，从图中可以看出缓坡在工作区内分布范围较广，主要分布在工作区的东部、灵光寺的东侧地区和东侧山脊上；陡坡主要分布在工作区的西南部、南部的山区，和山间沟谷内，景区原有建筑如香界寺、龙泉庵、三山庵和灵光寺等均修建于陡坡地貌区。

表1 坡度与微地貌对照表

坡度	0 ~ 8°	8 ~ 25°	25 ~ 60°	≥ 60°
微地貌	平台	缓坡	陡坡	陡崖

(《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》实施细则，国土资源部)

### 1.2 区域地质概况

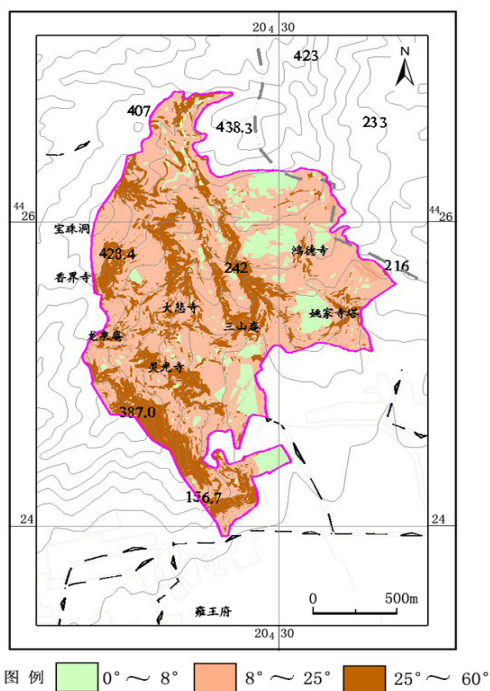


图2 八大处文化景区坡度分区图

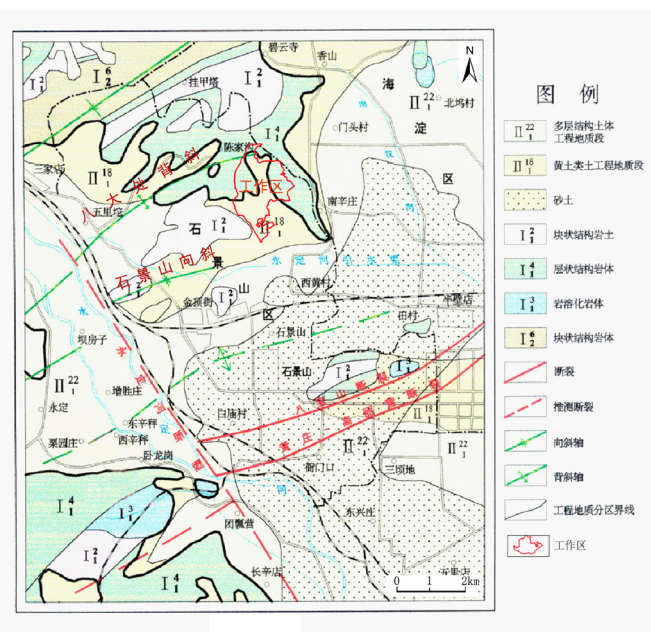


图3 工作区及周边区域工程地质及构造图

表2 地下水腐蚀性评价表

取水位置	深度(m)	地下水层位	对建筑材料的腐蚀性评价			综合评价腐蚀等级
			混凝土	钢筋混凝土中的钢筋(长期浸水)	钢筋混凝土中的钢筋(干湿交替)	
五处水井	1.0	地下水	微腐蚀	微腐蚀	微腐蚀	微腐蚀

区内古生界、中生界、新生界地层均有出露。古生界地层走向以东西向为主，局部向东北方向偏移，地层为二叠系下统阴山沟组 ( $P_1y$ ) 和上统红庙岭组 ( $P_2h$ )。中生界地层走向北东向，地层依次为三叠系的中下统双泉组 ( $T_{1+2}sh$ ) 和上统杏石口组 ( $T_3x$ ) 及侏罗系下统的南大岭组一段 ( $J_1n^1$ )。新生界分布于山前平原和山区沟谷地带，出露地层为第四系马兰组 ( $Q_3^{pl}$ )。在大地构造上，工作区位于中朝准地台燕山台褶带西山迭拗褶中的门头沟迭陷褶；区内断裂构造不发育，褶皱构造主要有印支期八大处背斜和石景山向斜（见图3）。

1.3 水文地质概况

工作区位于永定河的北侧，区内分布有多处泉水，地下水的赋存类型为碎屑岩裂隙孔隙水，赋存于

侏罗系、三叠系和二叠系地层中。通过对工作区水样的测试，水对钢筋和混凝土均具有微腐蚀性（见表2）

1.4 工程地质概况

1.4.1 工作区工程地质岩土特征概述

通过图3可知，仅工作区东南侧局部山前地带地基土为黄土类土工程地质段 ( $\Pi^{18}$ )，其它地段都为层状结构岩体 ( $I^4$ )，工作区岩性在顶部以碎石土和粉质粘土为主，厚度一般不超过10m，顶部以下以二叠系、三叠系砂岩、粗砂岩为主。

1.4.2 重点区域工程地质特征及工程场地类别评价

工作区东部的4个平台是文化景区规划用地的重点区域，为获取4个平台的工程地质条件，分别对4个平台进行了物探、钻探、槽探等勘查手段，并对水质及岩土体分别进行了室内实验分析（见表3、4），从而

表3 土工试验成果表

孔号	编号	岩土名称	取样深度	含水率	密度	干密度	比重	孔隙比	饱和度	液限	塑限	塑性指数	液性指数	自重压力	压缩系数 $a$ (MPa <sup>-1</sup> )		压缩模量 $E_s$ (MPa)		粘聚力	内摩擦角
			$h$	$w$	$\rho$	$\rho_d$	$G_s$	$e_0$	$S_r$	$w_L$	$w_P$	$I_p$	$IL$	$P_0$	100	200	100	200	$c$	$\phi$
			m	%	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )			%	%	%	%	%	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	度	
ZK1	1	重粉质粘土	1.00 ~ 1.15	23.6	1.94	1.57	2.73	0.739	87.0	33.4	19.2	14.2	0.31	25.0	0.54	0.47	3.18	3.66		
	2	重粉质粘土	2.00 ~ 2.15	23.9	1.93	1.56	2.73	0.753	87.0	33.3	19.1	14.2	0.34	25.0	0.52	0.43	3.33	4.03		
	3	重粉质粘土	3.00 ~ 3.15	25.5	1.88	1.50	2.73	0.822	85.0	34.5	19.2	15.3	0.41	50.0	0.69	0.59	2.57	3.00		
ZK2	1	粉质粘土	2.00 ~ 2.15	21.5	1.85	1.52	2.72	0.786	74.0	29.1	17.0	12.1	0.37	25.0	0.52	0.41	3.39	4.30	28.3	12.3
	2	粉质粘土	3.00 ~ 3.15	24.9	1.91	1.53	2.71	0.772	87.0	28.3	18.0	10.3	0.67	50.0	0.40	0.31	4.32	5.57	17.3	14.9
	3	粉质粘土	4.00 ~ 4.15	21.4	1.98	1.63	2.71	0.662	88.0	26.9	16.6	10.3	0.47	75.0	0.28	0.20	5.71	8.00	18.3	15.1
	4	粘土	5.00 ~ 5.15	24.4	1.90	1.53	2.74	0.794	84.0	36.0	18.3	17.7	0.34	75.0	0.22	0.18	7.93	9.69		

表4 岩体物理力学性质统计表

岩性	天然密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均抗压强度 (MPa)	平均抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	泊松比
Zk1 砂岩	2.62	49.44	5.40	12.49	0.28
Zk3 砂岩	2.58	70.61	—		0.23

比较详细的掌握了4个平台的工程地质条件；最后依据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）中对建筑场地类别划分的规定<sup>[3]</sup>，对场地的类别和地基稳定性分别进行了评价。

一平台位于工作区东北部的卢师山上，岩土体自上而下依次为厚约0.5m的人工填土层、6.2m的第四系重粉质粘土、碎石土、粉质粘土层，下伏二叠系红庙岭组全风化-中风化砂岩未揭露。通过对平台物探结果进行解译（见图4），探明测线覆盖范围内地表松散堆积物的厚度最薄处4m，最厚处8m，基岩面起伏大。

二平台位于一平台的西南侧，岩土体自上而下依

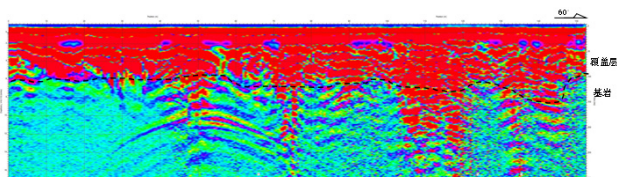


图4 一平台地质雷达解译图像

次为厚约1.3m的人工填土层、3.2m的第四系粉质粘土层，下伏二叠系红庙岭组全风化-强风化砂岩未揭露。通过对平台物探结果进行解译，探测覆盖范围内地表松散堆积物的厚度最薄处3.5m，最厚处10m，基岩面起伏大。

三平台位于证果寺的东侧，岩土体自上而下依次为厚约0.8m的人工填土碎石土层、1.4m的第四系坡积物碎石土层，下伏二叠系红庙岭组石英质砂岩未揭露。平台北侧和东侧为人工堆积的渣土边坡，坡体堆积物结构松散；通过对平台物探结果进行解译，探明测线覆盖范围内地表松散堆积物的厚度最薄处4m，最厚处10m，基岩面起伏大。

四平台位于姚家寺塔的东南侧，该平台受场地限制仅布设了3.5m深的槽探，揭露全为人工填土层，未揭露基岩。通过对物探结果进行解译，探明测线覆盖范围内地表层松散堆积物的厚度最薄处5.5m，最厚处8m，基岩面起伏大。

通过对4个平台的雷达测线成果的解译，探明测线覆盖范围内地表上覆土层厚度变化大，基岩面起伏大，因此判定地基类型均属山区不均匀地基。

通过以上分析，工作区基岩上部以第四系碎石土



和粉质粘土为主，属于中硬土，场地类别属Ⅱ类，工程性质较稳定；下部基岩以二叠系、三叠系砂岩、粗砂岩为主，根据本次岩体试验数据结果表4，依照相关规范判定<sup>[4]</sup>，工作区基岩为较硬岩；因岩土の坚硬程度直接与地基の承载力和变形性质有关<sup>[4]</sup>，因此综合分析判断工作区内地基总体较稳定，仅局部人工垃圾回填区地基稳定性差。

### 1.5 不良地质作用

工作区内自然条件较好，坡度较缓，植被茂密，山地均为丘陵，海拔最高处也不足500m，沟谷相对高差小，流域面积也小，沟谷宽阔，大部分呈“U”字型，沟道内松散堆积物少，发生泥石流的可能性很小，山区地质灾害不甚发育，历史上也没有地质灾害の记载；在实地调查走访过程中，发现影响工作区工程地质条件の不良地质作用和地质灾害类型主要为不稳定斜坡。不稳定斜坡岩土性质为土质边坡，多为人类工程活动造成の大角度裸露边坡和以往修建的老挡墙边坡，在雨季受降雨影响，使得墙后填土含水量过大，土の抗剪强度降低，墙后土压力急剧增加，使得裸露边坡和墙体稳定安全系数大大降低，从而导致边坡失稳垮塌，对距边坡较近の建筑基础及墙体の稳定性造成严重影响。见表5。

表5 现状不稳定边坡基本情况统计表

编号	所在位置	引发因素	稳定性	备注
B1	一平台东侧 50m	人类活动 降雨	稳定性 较差	建议浆砌石护 坡处理
B2	二平台东侧 100m	人类活动 降雨	稳定性 差	建议浆砌石护 坡处理
B3	三平台北 侧渣土平 台	人类活动 降雨	稳定性 较差	正在治理
B4	三平台东 侧深边坡 渣土堆	人类活动 降雨	稳定性 较差	建议浆砌石护 坡或坡面绿化 处理
B5	四平台姚 家寺塔塔 东侧	人类活动 降雨	稳定性 较差	建议浆砌石护 坡处理
B6	八处证果 寺东南入 口路边	人类活动 降雨	稳定性 较差	已治理
B7	七处宝珠 洞茶社东 南侧	人类活动 降雨	稳定性 较差	正在治理
B8	三处茶社 东侧	人类活动 降雨	稳定性 差	正在治理

B9	四处施工 处	人类活动 降雨	稳定性 差	正在进行工程 施工
B10	五处龙泉 庵西南侧	人类活动 降雨	稳定性 较好	建议对沟道进 行清理
B11	陈家沟环 山路上第 一处垮塌	人类活动 降雨	稳定性 较差	未治理，加强 巡查
B12	陈家沟环 山路上第 二处垮塌	人类活动 降雨	稳定性 较差	未治理，加强 巡查

## 2 场地稳定性评价

### 2.1 区域地壳稳定性评价

#### (1) 评价方法及标准

区域地壳稳定性调查评价主要包括岩土体稳定性评价、地面稳定性评价和构造稳定性评价3个方面<sup>[5]</sup>，对于不同评价对象，在不同的地区所采用的评价因子和评价标准可能会有一定的差异。地壳稳定性评价实际为地壳稳定性综合评价，需根据各种影响区域地壳稳定性的因素及其相互关系综合判定，主要是根据构造稳定性影响因素，同时考虑岩土体特征和工作区域内存在的主要内外动力地质灾害、工程病害，以及未来地质环境发展演化过程中可能会出现的各种地质灾害，进行有针对性的综合评价。

#### (2) 地壳稳定性评价

北京地区地震活动规律从属于华北地区的地震活动特征及发展趋势。地震活动在时间上存在着明显的活动期和相对平静的交替周期，大致划分4个地震活动期和3个相对平静期，目前处于第四次活动期向相对平静期过渡中。综合考虑工作区区域工程地质条件、地质构造等情况，根据《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）附录A及北京地震地质会战资料<sup>[6]</sup>，本建设场区抗震设防烈度为8度，最大震级小于6.5级，强震周期大于100年，小于1000年，地壳年升降速率在2mm左右，地震最大加速度值为 $0.1g \leq a_{max} < 0.25g$ 。根据表6判定，工作区为次不稳定区。

### 2.2 场地稳定性评价

表6 区域地壳稳定性分级评价指标

分级因素	稳定	基本稳定	次不稳定	不稳定
地震震级	$M > 4.5$	$4.5 \leq M < 5.5$	$5.5 \leq M < 6.5$	$M \geq 6.5$
基本烈度	$I < 6$ 度	$6 \text{ 度} \leq I < 7 \text{ 度}$	$7 \text{ 度} \leq I < 8 \text{ 度}$	$I \geq 8 \text{ 度}$
地震最大加速度	$a_{\max} < 0.05g$	$0.05g \leq a_{\max} < 0.1g$	$0.1g \leq a_{\max} < 0.25g$	$a_{\max} \geq 0.25g$
断裂活动速率 (mm/a)	$< 0.01$	$0.01 \sim 0.1$	$0.1 \sim 1$	$> 1$
强震周期 (a)	$< 10000$	$1000 \sim 10000$	$100 \sim 1000$	$< 100$
地壳升降速率 (mm/a)	$< 0.1$	$0.1 \sim 0.5$	$0.5 \sim 2$	$> 2$
水平应力与垂直应力比值		$< 1$	$1 \sim 2$	$2 \sim 3$

## (1) 评价原则

场地稳定性评价目的是选择与不同工程建筑相适应的区段和场地，以满足该建筑类型所要求的地基，确保工程建筑在要求期限内的地基安全<sup>[7]</sup>，为城市建设服务。依照相关规范在总体规划勘察阶段对场地稳定性类别可根据动力地质作用的破坏影响程度和环境工程地质条件复杂程度，分为稳定、稳定性差、稳定性较差和不稳定4类<sup>[8]</sup>（表7）。

表7 场地稳定性分类标准

场地稳定性类别	动力地质作用的影响程度
稳定	①无动力地质作用的破坏影响 ②环境工程地质条件简单
稳定性较差	①动力地质作用影响较弱 ②环境工程地质条件较简单，易于整治
稳定性差	①动力地质作用强烈 ②环境工程地质条件较复杂，较难整治
不稳定	①动力地质作用强烈 ②环境工程地质条件严重恶化，不易整治

## (2) 评价方法

场地的稳定性评价主要针对各地质环境主题中原生及衍生的地质灾害导致的影响进行评价，稳定性评价应采集各主题特征中影响场地稳定性的典型属性参数、重要的界限值，包括不同干扰叠加后的潜在影响，对稳定性作出现状分析和趋势预测<sup>[9]</sup>。结合工作区的工程地质条件，场地稳定性影响因素集中体现在不良地质作用和地质灾害方面，因此选定其评价因素为地壳稳定性和不稳定斜坡这两个方面决定着场地稳定性程度和级别。

通过以上分析建立本次场地稳定性评价指标标准

（见表8）。

表8 场地稳定性评价指标标准

评价指标	分级			
	不稳定	稳定性差	稳定性较差	稳定
区域地壳稳定性	不稳定	次不稳定	基本稳定	稳定
不稳定斜坡	不稳定	稳定性差	稳定性较差	稳定

## (3) 场地稳定性评价

确定工作区内影响场地稳定性的各评价因素，经综合分析研究，最终判定本次工作区场地稳定性为稳定性差。

## 3 场地工程建设适宜性评价

## 3.1 影响要素分析

根据《城市规划工程地质勘察规范》GJJ 57-94附录D场地工程建设适宜性分类规定（见表9），并结合工作区实际情况，把场地稳定性、地形地貌、地基稳定性和场地排水条件确定为影响适宜性的主要控制性因素。

工作区场地稳定性前面已经进行了分析评价，本地区地形地貌根据前面章节坡度图分析，依据《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》中关于微地貌的规定，按照陡崖、陡坡、缓坡及平台进行分区；工作区地基稳定性按照本次调查和勘察的相关结果，结合《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）4.1相关建筑抗震地段和场地分类的要求进行划分；工作区经实地现场调查分析，除老景区局部地段因地

势低洼或排水设施堵塞等原因易形成内涝外，其余地段由于受低山丘陵地貌影响，地形起伏较大，排水条件均较良好。

表9 场地工程建设适宜性分类

场地工程建设适宜性分类	工程地质条件
适宜	1) 场地稳定; 2) 土质均匀, 地基稳定; 3) 地下水对工程建设无影响; 4) 地形平坦, 排水条件良好
较适宜	1) 场地稳定性较差; 2) 土质不很均匀、密实, 地基较稳定; 3) 地下水对工程建设影响小; 4) 地形起伏较大, 排水条件尚可。
适宜性差	1) 场地稳定性差; 2) 土质较弱或不均匀, 地基不稳定; 3) 地下水对工程建设有较大影响; 4) 地形起伏大, 易形成内涝。
不适宜	1) 场地不稳定; 2) 土质极差, 地基严重失稳; 3) 工程建筑抗震不利和危险的场地; 洪水或地下水对工程建设有严重威胁; 4) 地下埋藏有待开采的矿藏资源或不稳定的地下采空区。

### 3.2 工作区场地工程建设适宜性评价

根据场地工程建设适宜性分类标准，综合考虑场地稳定性、地形地貌、地基稳定性、场地排水条件4个影响要素，进行工程建设适宜性评价。根据前述章节的评价结果对各单要素建立工程建设适宜性分区指标体系及标准（见表10）。

表10 场地工程建设适宜性分区指标体系及标准

适宜性分区评价指标		适宜	较适宜	适宜性差	不适宜
评价指标	场地稳定性	稳定	稳定性较差	稳定性差	不稳定
	地形地貌	平台	缓坡	陡坡	陡崖
	地基稳定性	稳定	较稳定	不稳定	严重失稳
	地下水腐蚀性	微	弱	中	强
	地形排水条件	地形平坦排水条件良好	起伏较大排水条件尚可	地形起伏大易形成内涝	受洪水威胁

依据上述几个因素的划分标准，建立了场地工程建设适宜性评价因素编码表（见表11），以1:1000地形图为底图，对工作区进行网格剖分，单元格大小为6m，网格数为497\*314，把场地稳定性、地形地貌、地基稳定性和场地排水条件分区按表9所示编码进行量

化赋值，形成相应的单因素指标代码分区图。

表11 场地适宜性评价因素编码表

评价因素	分级界线	编码
场地稳定性	稳定	1
	稳定性较差	2
	稳定性差	3
	不稳定	4
地形地貌	平台	10
	缓坡	20
	陡坡	30
地基稳定性	陡崖	40
	稳定	100
	较稳定	200
	不稳定	300
场地排水条件	严重失稳	400
	地形平坦排水条件良好	1000
	起伏较大排水条件尚可	2000
	地形起伏大易形成内涝	3000
	受洪水威胁	4000

单个单元格赋值完成后，利用GIS软件中的栅格图层叠加功能，把单因素指标编码赋值分区图进行叠加，对叠加出来数字编码进行拆分，利用DPS数据处理软件做出其系统聚类图谱。按照场地工程建设适宜性划分原则，参考聚类图谱和拆分值的大小划分为适宜区、较适宜区、适宜性差区和不适宜区，把分区回带给栅格图，从而形成工作区场地工程建设适宜性分区图（见图5）。详细评价结果见表12。

表12 场地工程建设适宜性评价结果表

分区	代号	面积(亩)	所占比率(%)	分布范围及特征
较适宜区	I	649.3	15.9	主要分布在工作区中南部老景区内和东北部局部平台处，地形较平坦，地基工程性质较稳定，处于抗震有利地段
适宜性差区	II	2072.2	50.8	在工作区广泛分布，地形以缓坡为主，地基不均匀分布，地基稳定性稍差，处于抗震较有利地段
不适宜区	III	1354.4	33.2	主要分布在工作区陡坡和沟谷内，地基稳定性差，且沟谷内和沟口易受洪水等灾害威胁，处于抗震不利或危险地段

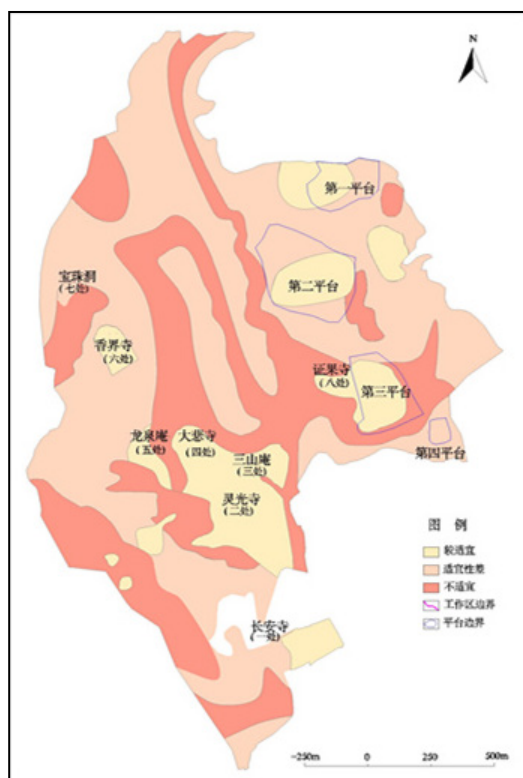


图5 八大处文化景区场地工程建设适宜性分区图

## 4 结论

根据场地工程建设适宜性评价原则，经综合分析对工作区场地工程建设适宜性进行了分区评价，并划分出了较适宜区、适宜性差区及不适宜区。由图5可

见，整个工作区适宜性差区所占面积最大，占工作区50.8%；不适宜区次之，占工作区33.2%；较适宜区所占面积最小，占工作区15.9%。重点工作区的4个平台，除四号平台受地形和场地岩土性质影响都在适宜性差区外，其它3个平台大部分区域都在较适宜区和适宜性差区，仅二、三号平台东侧局部区域受地形和人工垃圾回填影响在不适宜区。

## 参考文献

- [1] 北京市地质研究所.北京西山八大处文化景区地质评价, 2012.
- [2] 国土资源部.《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》实施细则, 2006.
- [3] GB50011—2001.建筑抗震设计规范.
- [4] GB 50021—2001(2009年版).岩土工程勘察规范.
- [5] 唐辉明 李德威等.龙山门断裂带活动特征与工程区域地壳稳定性评价理论.工程地质学报, 2009.
- [6] 北京地震地质会战第二专题组.《北京地区活动构造体系图(1:10万)》及说明书, 1979.
- [7] 崔尚森 彭建兵等.神经网络在工程场地稳定性评价中的应用.地球科学与环境学报, 1998.
- [8] GJJ57—94.城市规划工程地质勘察规范.
- [9] 肖海龙.北京亦庄规划新城前期区域工程地质评价分析.中国地质大学(北京), 2008.

## Construction Site Stability and Suitability Evaluation of Badachu Cultural Scenic Spot in the Western Hills of Beijing

LI Junhui, WANG Chenqing, WANG Shanshan

(Beijing Institute of Geology, Beijing 100120)

**Abstract:** Based on the exploration of the environmental geological condition and bad geological function, the foundation stability and the field stability of the work areas were evaluated. The construction land suitability was evaluated by the raster overlay of GIS software and the clustering function of DPS system, and the work areas were divided into suitable area, suitable poorly area and unsuitable area.

**Keywords:** engineering construction; stability; Suitability; evaluation