

庞庄煤矿老采区场地稳定性评价 及环境影响分析

袁素凤¹, 王文生^{1,2}, 曹佰迪³, 曹伟忠⁴

(1. 陕西交通规划设计研究院, 陕西 西安 710065; 2. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710068;
3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 4. 信息产业部电子综合勘察研究院, 陕西 西安 710054)

摘要:基于构造地质、地层岩性、地震、水文地质、岩土工程地质条件分析,以及庞庄煤矿老采区煤层开采资料分析,应用残余变形概率积分法,预测计算了庞庄煤矿工业广场的地表残余变形,评价了其场地稳定性,并分析了庞庄煤矿开采对环境地质的影响。庞庄煤矿开采对地质环境的影响特别重大,其影响主要表现为包括原始地形地貌、地表水、工程地质和水文地质条件的破坏。庞庄煤矿工业广场的最大残余变形量拐点连线(计算边界)处最大残余倾斜值 $i_m = 3.02 \sim 3.28 \text{ mm/m} > 3.0 \text{ mm/m}$,残余倾斜(i_m)可能对拟建工程局部构成危害。笔者将拟建工程区的地质灾害危险性划分为3个区。I区和II区分别为危险性小区和危险性中等区,为适宜和基本适宜场地;III区危险性大,场地适宜性差,需地基工程治理。评价工作为徐矿集团华美 $2 \times 300 \text{ MW}$ (CFB)机组工程机组建设工程提供了场地安全保障,同时,为合理利用宝贵的庞庄煤矿工业广场土地资源,提高土地综合利用率,提供了坚实依据。

关键词:场地稳定性评价;环境影响分析;煤矿老采区;地表残余变形;最大残余倾斜值

中图分类号:P618.11

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2016)02-0213-07

Site Stability Evaluation and Environmental Impact Analysis on the Working Face of Old Coal Mine in Pangzhuang

YUAN Sufeng¹, WANG Wensheng^{1,2}, CAO Baidi³, CAO Weizhong⁴

(1. Shaanxi Provincial Transport Planning Design and Research Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Xi'an center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. Electronic Comprehensive Investigation Surveying Institute of Ministry of Information Industry, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Based on structural geology, stratum and lithology, seismic, hydrogeology and geotechnical engineering geology, the coal seammining data about the working face of old coal mine in Pangzhuang has been analyzed in this paper. The residual deformation of ground surface about the industry square in this coal mine has been predicted and calculated through using the probability integral method of residual deformation, its site stability has been evaluated. And then, the environment impacts from the coal mining in Pangzhuang have been analyzed. The coal

收稿日期: 2015-05-23; 修回日期: 2015-12-26

基金项目: 华美 2×300 (CFB)机组工程建设场地煤层采空区工程地质勘察与稳定性评价, 徐州西部矿区资源综合利用项目(2010-01)

作者简介: 袁素凤(1968-), 女, 辽宁北镇人, 高级工程师, 1991年毕业于西安地质学院水文地质工程地质专业, 主要从事公路工程勘察、地质灾害防治评价等工作。E-mail: 843202132@qq.com

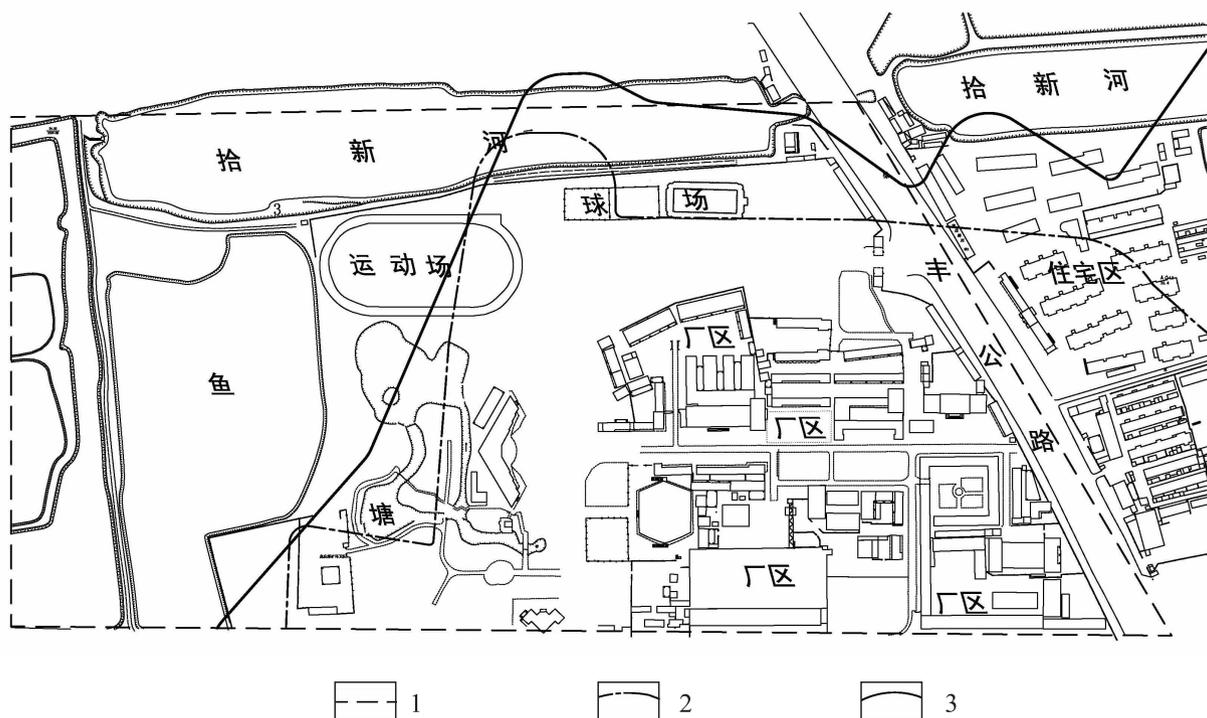
mining in Pangzhuang has greatly impacted the local geological environment, including the destruction on original topography, surface water, engineering geological and hydrogeological conditions. In Pangzhuang coal industry square, the maximum residual incline value (im) about the inflection points (that are used for calculating the deformation boundary) of maximum residual deformation is 3.02~3.28 mm/m, which is larger than 3.0 mm/m, suggesting that the residual incline (im) may pose a hazard locally to the proposed construction project. In this paper, the risks of geological hazard in the proposed project area can be divided into three zones. The No. I and No. II zones have low and medium dangerous respectively, which are appropriate and basic suitable sites. But, the No. III zone has big risk, which has bad site suitability and needs to treat its foundation through engineering methods. This evaluation work provides the site safety assurance to the construction projects of Huamei 2×300MW (CFB) unit for Xuzhou mining group, meanwhile, it improves the land comprehensive utilization in Pangzhuang coal mine, providing a solid support for the rational utilization of precious land resources.

Keywords: site stability evaluation; environmental impact analysis; working face of old coal mine; residual deformation of ground surface; maximum residual incline value

徐州庞庄煤矿由于资源枯竭,即将停采。徐州矿务集团计划利用庞庄煤矿工业广场的宝贵土地资源,建设华美2×300MW(CFB)机组发电厂。拟建厂区位于预留保护煤柱上。保护煤柱边缘的残余沉

降可能威胁到拟建电厂的安全。

所以,需要评价老采区建筑场地稳定性,研究其对环境的影响。庞庄煤矿工业广场、勘查边界见图1。



1. 勘查边界; 2. 2号煤采空边界; 3. 9号煤采空边界

图1 庞庄煤矿工业广场、勘查边界、煤层采空边界示意图

Fig. 1 Pangzhuang coal industry square, exploration, coal goaf border

1 地质背景

1.1 构造

庞庄井田位于九里山向斜中段,总体上为一不对称的复式向斜构造;即由2个背斜、3个向斜组成,大、中型断裂亦较为发育,已揭露的大、中型断层有13条: F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_{46} 、 F_{47} 、 F_{48} 、 F_{51} 、 F_{52} 、 F_{53} 、 F_{54} 、 F_{55} 。受褶曲构造的影响,地层产状沿走向和倾向上均有变化,倾角一般为 $8^\circ\sim 10^\circ$;东南翼较陡,西北翼相对较缓,浅部或煤层露头倾角可达 60° 以上,局部近乎直立。

1.2 地层岩性

井田地层隶属于华北地层区,鲁西分区,徐宿地层小区。地层沉积缺失奥陶系上统、志留系、泥盆系及石炭系下统。除震旦系与寒武系、奥陶系与石炭系呈假整合接触关系,第四系与其他各时代的地层之间呈不整合接触关系外,其他各地层皆呈整合接触关系。

场地地层自上而下为:第四系(Q)、二叠系(P)、石炭系(C)、奥陶系(O)。其中,受煤层采空影响的地层:第四系(Q)、二叠系上统上石盒子组(P_2^1s)、二叠系下统下石盒子组(P_1^2x)、二叠系下统山西组(P_1^1s)。地层综合特征(地层单位、名称、厚度、标志层等)见图2。二叠系下统下石盒子组(P_1^2x)含1、2号主采煤层、二叠系下统山西组(P_1^1s)层含7、9号主采煤层。

1.3 地震

评价区属华北地震区,东距郯庐断裂带约120km,该断裂带为活动性孕震断裂。根据历史记载和近代地震记录资料,徐州地区未发生过5级以上地震,其震害主要来源于邻区地震的影响。该区抗震设防烈度为Ⅶ度,设计基本地震加速度值为0.10g,属第一组,特征周期为0.35s。

1.4 水文地质

庞庄矿区位于黄河冲积平原的东部边缘,与上升区的构造侵蚀低山丘陵区毗邻,煤系地层上有较厚的第四系冲积层覆盖。二叠系煤系地层在区域侵蚀基准面以下,属陆相沉积,为裂隙充水矿床,水文地质条件简单。下部的石炭系煤系地层为海陆交互沉积,伴有13层薄层岩溶化灰岩,水文地质条件复杂。整个矿区内含水层具有单面充水的特征。

地下水赋存受构造影响明显。二叠系砂岩含水层以静储量为主,既有局部垂直渗透、也有越流及侧向缓慢补给。太原组13层灰岩中,以四灰岩溶裂隙最为发育,富水性强,在浅部接受奥灰岩溶裂隙水的越流补给。

矿区地下水补、迳、排条件分析:本区地下水既有山区天然补给的特点,又具备平原区地下水迳流较弱的特征,矿井排水为地下水的主要排泄方式。

2 岩土工程地质特征

根据评价区地层岩性组合特征及其物理力学性质,可将区内岩土体划分为:第四系松散层;二叠系和石炭系含煤层状碎屑岩类;奥陶系层状碳酸盐岩类3个工程地质岩组。影响地基稳定和采空区沉降的岩组为第四系松散岩类和二叠系含煤层岩类。

二叠系和石炭系含煤层状碎屑岩类工程地质岩组包括:二叠系(上石盒子组、下石盒子组、山西组)砂泥岩和煤层,石炭系上统太原组砂泥岩夹薄层灰岩和煤层及中统本溪组页岩夹灰岩。奥陶系层状碳酸盐岩类工程地质岩组主要为工程地质性能良好的中厚层白云岩、白云质灰岩等坚硬岩类。

2.1 第四系松散岩类

第四系松散岩类地层厚70~80m,按其岩性特征及水理、物理力学性质,可进一步划分为3个工程地质层。①全新统中上部冲洪积粉土、粉砂:灰黄色,中下部饱和、松散,振动易液化,厚8~10m,工程地质性质较差。②全新统下部冲积、冲湖积含淤泥质粉质黏土:暗灰色,很湿,软~可塑,厚3~6m,工程地质性质一般。③更新统冲积、冲洪积含钙铁锰质结核粉质黏土、黏土夹砂层:棕黄色为主,可塑~硬塑,厚60~70m,工程地质性质良好。

2.2 二叠系含煤层岩类

1号煤直接顶板以深灰色页岩或灰色砂页岩为主,厚为0.22~16.94m,平均为4.1m。抗压强度1.6~8.5MPa,平均为5.0MPa,单向抗拉强度0.86~1.23MPa,平均为1.04MPa。1号煤老顶为灰白色中~细粒石英砂岩,平均厚约7m。以石英、长石为主,泥质胶结,局部为硅质胶结,致密,坚硬,具水平或微波状层理。裂隙发育,含水。1号煤顶板类型为Ⅲ类。1号煤直接底板以深灰色页岩为主,局部相变为砂质页岩,平均厚约为2.2m。

2号煤直接顶板以深灰色页岩为主(占统计点数的61%),其次为灰色砂页岩(占统计点数的21%),局部为中-细粒砂岩或砂页岩互层,个别地段为炭质页岩。该煤层直接顶板厚度为0.05~11.97m,平均2m。深灰色页岩的抗压强度2.0~8.7MPa,平均5.3MPa,单向抗拉强度0.83~1.47MPa,平均1.14MPa。2号煤顶板在全矿范围内厚度、岩性变化较大,其大致规律是:从矿井东北方向浅部的0.05m逐渐增厚到西南深部的11.97m,且组成岩性的颗粒随厚度的增加也相应的由细变粗。即碳质页岩→页岩→砂质页岩(或互层)→砂岩。2号煤顶板类型评定为Ⅱ类。2号煤底板以深灰色页岩为主(占统计点数的84%),其厚度大多数不足1m(68%如此),其下普遍分布有一层较为稳定、厚约0.2~0.6m的薄煤标志层。该底板页岩呈致密状,稍含砂,当局部含砂增多时,即相变为砂质页岩,厚度也随之增大,局部可达13.5m。

7号煤直接顶板多为灰色砂质页岩(占统计点数的43%),厚为0.34~20.37m,平均为3.64m。含砂较均匀,微显层理,致密,坚硬。抗压强度13.5~22.9MPa,平均为18.2MPa,单向抗拉强度1.14~1.65MPa,平均为1.37MPa。7号煤老顶多为灰白色中粒砂岩,厚为0.6~30.67m,平均为5.3m,以石英、长石为主,泥质胶结,局部含页岩块,偶见有风化现象。在掘进和回采期间,遇断层、裂隙发育处或低洼地段,有短时的滴水、淋水现象。有少数点揭露其老顶为灰色砂质页岩而未见砂岩。7号煤顶板较平整,裂隙发育较差,采掘过程中比较好管理,将其顶板类型评定为Ⅱ类。7号煤直接底板以深灰色页岩或灰色砂页岩为主,致密,坚硬,层理发育。少数点为碳质页岩,个别点为砂页岩互层或细粒砂岩,厚为0.09~46.61m,平均为4.41m。

9号煤直接顶板岩性多样,厚度差异大。主要为灰白色-灰黄色细-中粒砂岩,厚为1.2~32.34m,平均为14.5m(厚度大者即包括老顶砂岩)。抗压强度30.7~90.4MPa,平均为61.6MPa,单向抗拉强度3.12~4.0MPa,平均为3.5MPa。9号煤顶板虽然局部地段有炭质页岩的影响,但大部分地段为砂岩和砂质页岩,将9号煤顶板类型评定为Ⅱ类。9号煤直接底板以灰色砂页岩及灰色页岩为主,厚为0.54~25.35m,平均为5.0m。结构致密,性脆,含砂不均,常呈条带状。当直接底板厚度较小时,往往

发育有10号煤。

3 采煤方式与采空区形成年代

庞庄井在1983年以前,主采下石盒子组1号煤及2号煤。1983年以后,开始回采山西组7号煤和9号煤。形成1、2号煤与7、9号煤搭配开采的局面,现在主采山西组7、9号煤。采煤方法以走向长壁为主,有少数工作面因煤层走向变化而形成倾斜长壁或倾斜分层开采,局部地段各种因素都较复杂者,则采用残柱式开采方法。落煤方法及支护方式由早期的炮采、木支架或金属摩擦支柱到普采、高档普采,1974年又发展到使用综合机械化采煤。顶板管理均采用自然冒落法。

煤层开采充分,采空区分布面积大,评估区四周皆有分布,并具多层重复采动特征,除局部地段为1、2、7、9号煤中的单层或双层采空类型外,其他地区主要为其四层或三层采空类型。

1、2号煤采空区形成时间较早,总体上有东北部形成早(多在1970年以前)、东南部和西北部稍晚(主要形成于1970~1982年)、西南部晚的分布特征。7、9号煤采空区的形成时间稍晚,主要在1986~1994年。勘察区内的7、9号煤采空区,在北部形成于1982~1990年,在西部形成于1986~1992年,东部在1985年。在勘察范围的西部边缘,9号煤采空时间最晚,为2002年。

4 地表残余变形预测计算

4.1 为地表残余变形计算原理与方法

评价区的开采深度与厚度比值大于30,这种条件下的地表移动变形在空间和时间上都具有明显的连续性和一定的分布规律,符合概率积分法的假定。因此,采用以概率积分法为基础的残余沉降系数法进行地表变形量预测计算(邹友峰等,2003;郭广礼等,2002;张鸿贞等,2005)。

4.2 参数取值和计算成果

依据庞庄煤矿502观测站实测资料,取水平移动系数 $b=0.385$,主要影响角正切 $tg\beta=1.70$ 。其余计算参数见表1。

最大残余沉降量与变形量,采用单层分算,最后累计的方法计算,计算结果见表2。利用查表法或

内插法,可以求得 $x=S$ (拐点)、 $x=0$ (7、9 号煤层采空边界)、 $x=S-0.4r$ (曲率和水平变形最大处)两处的残余变形值(表 3)。

表 1 残余变形概率积分法参数表

Tab. 1 Residual deformation parameters of probability integral method

参数名称	1、2 号煤层	7 号煤层	9 号煤层
煤层采厚 M (m)	3.6	3.3	3.3
煤层倾角 α (°)	6.0	3.0	3.0
平均埋深 H (m)	215	340	360
采空区影响半径 r (m)	126	200	212
沉降系数 q	0.96	0.85	0.90
残余沉降系数 q'	0.04	0.15	0.10
角量参数 δ_0 (°)	75	75	45
拐点偏移距 S (m)	—	35	—

表 2 最大残余变形量计算表

Tab. 2 The residual deformation calculation table

剖面编号	采空煤层	W_m' (mm)	i_m' (mm/m)(10^{-3} /m)	K_m' (mm)	U_m' (mm)	ϵ_m' (mm/m)
2-2'剖面	1、2 号煤层	143.8	1.14	0.014	55.4	0.668
	7 号煤层	494.3	2.47	0.019	190.3	1.446
	9 号煤层	329.5	1.55	0.011	126.9	0.910
	合计	967.6	5.17	0.044	372.5	3.02

表 3 拐点、边界残余变形量计算表

Tab. 3 The turning point and boundary residual deformation calculation table

计算点位置 x (m)	W' (mm)	i' (mm/m)(10^{-3} /m)	K' (mm)	U' (mm)	ϵ' (mm/m)
$x=S$	483.8	5.17	0	372.5	0
$x=0$	409.2	4.37	0.019	315.1	1.32
$x=S-0.4r$	313.3	2.47	0.044	241.2	3.02

根据表 4 分区标准,将评价区采空地面塌陷地质灾害危险性划分为 3 个区,即危险性大区(Ⅲ区)、危险性中等区(Ⅱ区)和危险性小区(Ⅰ区)。危险性大区(Ⅲ区)该区曾发生采空地面塌陷,残余沉降变形或“活化”变形灾害的危险性大,场地适宜性差。危险性中等区(Ⅱ区)为煤层采空区的拉伸影响带。受采空区残余沉降或“活化”变形的影响,该区的倾斜变形或拉伸变形,可能发生引发建筑物的局部破坏,为基本适宜。危险性小区(Ⅰ区)无采空区且不受采动影响,工程建设遭受采空地面沉降危害的可能性小,为建筑适宜场地。

5 场地稳定性评价

《三下采煤规程》(2000)第 27 条规定,砖混结构

表 4 煤层采空地面沉降危险性分区标准表

Tab. 4 Danger division standard of coal goaf ground subsidence

危险性分级	危险性大	危险性中等	危险性小
采空 7、9 号煤残余变形分区	采空沉降区	拉伸变形及裂缝影响带	不受采空影响
煤层终采时间	<20a	>20a	无采空区
采空层数	单层或多层	保护煤柱边缘	保护煤柱内部
现场建筑物变形破坏情况	近几年建筑物出现变形开裂现象	无建筑物开裂现象或原变形无发展扩大趋势	

建筑物极轻微和轻微损坏等级的允许值为: $i \leq 3.0$ mm/m, $K \leq 0.2 \times 10^{-3}$ /m, $\epsilon \leq 3.0$ mm/m。华美 2×300MW(CFB)发电机组拟建工程场地西界位于曲率和水平变形最大处。由表 4 可知,此处残余倾斜值为 $i' = 2.47$ mm/m,残余变形值 $\epsilon' = 3.02$ mm/m。两者比允许标准值略大,不符合要求。发电机组设施为一级重要工程,为保证其安全,建议对预留保护煤柱边缘,采取工程处治措施,以消除场地沉降电厂工程设施的危害。

6 煤矿开采对环境的影响

庞庄煤矿工业广场周边煤层采空区为多煤层的复式采空区(采空层数 4 层),具有开采强度大(累计开采厚度约 10 m)、采空面积广、采空形成时间长、采空埋藏深的特点。因此,煤层开采对地质环境的影响特别重大,其影响主要表现为包括原始地形地貌、地表水、工程地质和水文地质条件的破坏。(马

金荣等, 2006; KARMIS M, 1984; AVASTHI J M 1982; CHOI D S, 1981)

6.1 对地形、地表水的影响

由于几十年的煤炭开采活动, 庞庄井田地表形成大面积塌陷并积水成塘, 塌陷区水深可达 5m~6m。庞庄煤矿工业广场周边几乎皆为塌陷积水洼地环绕, 原始地表水文环境破坏殆尽。塌陷区积水常年水位 +34.3m; 雨季最高水位 +36.25m(1982年7月22日)。积水塌陷区被人工开挖后, 形成大面积分布的鱼塘和纵横交错的排水沟渠。拾新河由铜山县, 于1977年12月, 在矿区中部自西北向东南人工开挖而成, 常年积水, 水深5~6m, 河床不连续且与塌陷区积水连成一片。

6.2 对工程地质和水文地质条件的影响

庞庄煤矿工业广场周边的多煤层、高强度、复式开采, 在采空区形成多层冒落带、裂隙带和弯曲带, 煤层顶板覆岩强度遭受大幅度破坏, 原始地层产状被改变, 工程地质条件变差。采矿形成的导水裂隙带为地下水的赋存和迳流提供了新的空间和通道。采矿过程中的人工抽排地下水活动加剧了地下水的水力交替运动, 使地下水的化学成份和迳流方向、迳流强度不断地得到改变。总体看, 评价区因受煤矿开采、疏干、塌陷等影响, 原始工程地质和水文地质条件已遭破坏, 工程水文和地质条件较差(曾庆铭, 2014)。

6.3 庞庄井工业广场周边地表沉降

徐矿集团 2×300MW 机组建设拟用地块位于庞庄井工业广场保护煤柱区, 地形平坦, 周边外围分布有 1993 年以前形成、地表移动变形活跃期已经完成的 1、2、7、9 号煤采空区。庞庄矿工业广场西侧围墙外为采空沉降成因的水塘, 水深在 5m 以上(水位距地表 3m)。据此推算, 4 层煤(1、2、7、9 号煤)采空引起的累计沉降量达到 8m 以上。广场北侧围墙外的拾新河, 水深在 8~13m 之间(水位距地表 3m)。据庞庄矿老职工介绍, 扣除人工开挖因素, 拾新河的累计沉降量也在 5~8m 之间。

据庞庄矿老职工回忆, 位于勘察区外围西北角位置的(1、2、7、9 号煤采空区), 累计沉降量达到 7m, 以致路面形成一个大陡坡。后来由于修筑徐丰公路而被填平。虽然工业广场院内的塌陷区已被人工填平, 地表种植草坪或建有体育跑道、篮球场、地

面建筑物, 但养鱼池、游泳池的存在, 仍保留了地面沉降的历史。

7 结语

(1)通过对徐州庞庄煤矿老采区的构造地质、地层岩性、地震、水文地质、岩土工程地质条件分析, 应用残余变形概率积分法, 计算了预测计算了庞庄煤矿工业广场的地表残余变形, 据次评价了场地稳定性。庞庄煤矿工业广场的最大残余变形量拐点连线(计算边界)处最大残余倾斜值 $i_m = 3.02 \sim 3.28 \text{ mm/m} > 3.0 \text{ mm/m}$, 残余倾斜(i_m)可能对拟建工程局部构成危害。笔者将拟建工程区的地质灾害危险性划分为 3 个区。I 区和 II 区为分别为危险性小区和危险性中等区, 为适宜和基本适宜场地; III 区危险性大, 场地适宜性差, 需地基工程治理。

(2)庞庄煤矿工业广场周边煤层采空区为多煤层的复式采空区具有开采强度大, 采空面积广, 采空形成时间长, 采空埋藏深的特点, 对地质环境的影响特别重大。原始地表水文环境破坏殆尽, 原始地层产状被改变, 工程地质条件变差, 水文地质条件已遭破坏(孙萍萍, 2013)。

(3)评价工作为徐矿集团华美 2×300MW (CFB)机组工程机组建设工程提供了场地安全保证, 同时, 为合理利用宝贵的庞庄煤矿工业广场土地资源, 提高土地综合利用率, 提供了坚实依据。

参考文献(References):

- 曾庆铭, 薛强, 徐继伟. 都江堰市龙池镇黄央沟泥石流特征与防治工程效果分析[J]. 西北地质, 2014, 47(3): 192-199.
- ZENG Qingming, XUE Qiang, XU Jiwei. Analysis on the Debris Flow Characteristics and Effectiveness of Prevention Projects in Huangyang Gully in Longchi Town of Dujiangyan City [J]. Northwestern Geology, 2014, 47(3):192-199.
- 孙萍萍, 张茂省, 朱立峰. 东南亚重大地质灾害管理国际会议综述与启示[J]. 西北地质, 2013, 46(1):178-182.
- SUN Pingping, ZHANG Maosheng, ZHU Lifeng. Review of "Workshop on Landslide in Southeast Asia: Management of a Prominent Geohazard" and Its Enlightenment

- [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46(1):178-182.
- 王衍汇,倪万魁,李征征,等. 工程开挖引起的黄土边坡变形破坏机理分析[J]. *西北地质*, 2015, 48(4):210-217.
- WANG Yanhui, NI Wankui, LI Zhengzheng, et al. Study on the Deformation and Failure Mechanism of Loess Slope Caused by Engineering Excavation [J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(4):210-217.
- 唐亚明,张茂省,李政国,等. 国内外地质灾害风险管理对比及评述[J]. *西北地质*, 2015, 48(2):238-246.
- TANG Yaming, ZHANG Maosheng, LI Zhengguo, et al. Review and Comparison on Inland and Overseas Geohazards Risk Management [J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(2):238-246.
- 国家煤炭工业局制定. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京:煤炭工业出版社, 2000.
- The state coal industry bureau. Buildings, water bodies and railways and main shaft and this coal pillar and press coal mining regulations [S]. Beijing: Coal Industry Publishing House, 2000.
- 邹友峰,邓喀中,马伟民. 矿山开采沉陷工程[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2003.
- ZOU Youfeng, DENG Kazhong, MA Weimin. Mining subsidence engineering [M]. Xuzhou: China University of Mining Press, 2003.
- 郭广礼,邓喀中. 深部老采空区残余沉降预计方法及其应[J]. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 2002, 21(5):25-29.
- GUO Guangli, DENG Kazhong. Deep residual subsidence is expected to methods and old goaf should [J]. *Journal of Liaoning Engineering Technology University (Natural Science Edition)*, 2002, 21(5):25-29.
- 张鸿贞,邓喀中. 老采空区残余移动变形分区研究[J]. *矿山压力与顶板管理*, 2005, (2):37-46.
- ZHANG Hongzhen, DENG Kazhong. Residual deformation of old goaf partition study [J]. *Journal of Mine Pressure and Roof Anagement*, 2005, (2): 37-46.
- 马金荣,刘辉. 煤矿废弃采空区建筑场地稳定性研究[J]. *建筑科学*, 2006, 22(4):55-61.
- MA Jinrong, LIU Hui. Stability of abandoned goaf of coal mine construction site study [J]. *Building Science*, 2006, 22(4):55-61.
- KARMIS M, GOODMAN G, HASENFUS G.. Subsidence Prediction Techniques for Longwall and Room and Pillar Panels in Appalachia, the Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. 1984:541-553.
- AVASTHI J M, HARLOFF G J. Subsidence Associated with Single and Multi-cavities for Underground Coal Casification, J. *Energy Resoures Technol.*, *Trans. Am. Soc. Mech. Engrs* 104, 1982:99-104.
- CHOI D S, DAHI H D. Measurment and Prediction of Mine Subsidence over Room and Pillar in Three-Dimension, *Proceedings Workshop on Subsidence due to Underground Mining*, S. S. Peng, ed., West Viginia University, Morgantown, WV, 1981:34-47.