

地裂缝活动对两侧土体性质的影响

宋彦辉, 李忠生

(长安大学 地质工程与测绘学院, 西安 710054)

摘要:为研究地裂缝活动对两侧土体性质的影响,总结了已有的研究成果,指出这一研究中尚存在的问题。通过不同深度裂缝带土体的物理力学性质试验和电镜扫描试验,阐述了裂缝带两侧土体性质的变化规律及与土体微结构的关系。结果表明,地表下不同深度地裂缝的表现形式不同,相应裂缝带土体的微观结构及性质也呈现不同的变化。近地表处,地裂缝呈现张性特征;一定深度之下,裂缝面及附近土体微观结构趋于致密,稍远离地裂缝,这种变化迅速衰减,物理力学指标做相应变化,如孔隙比趋小,密度趋大等,但总体变化并不显著,对工程影响较小。

关键词:地裂缝;土的性质;微观结构;变化规律

中图分类号: **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2012)S1-0200-05

Influence of Earth Fissure Activity to Physical and Mechanical Properties of Soils

SONG Yan-hui, LI Zhong-sheng

(School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, P. R. China)

Abstract: In order to research the influence of the earth fissure's activity to properties of soil near the earth fissure zone, the existed research conclusions is summarized and some open questions is pointed out. Through soil's physical and mechanical property tests and scanning electron microscope tests, the variation law of soil's physical and mechanical properties near the earth fissure and its relationship with soil's micro-textures characteristics are explained. The results show that earth fissure's section attribute is variable in different depth and correspondingly the properties and micro-textures of soil near the earth fissure are also changed. Near the surface, the earth fissure is extension fracture; below a certain depth, the micro-textures of earth fissure surface and surrounding soil become more compact, but this influence circle is very limited. Consequently, the physical and mechanical properties of soil also have some changes compared with undisturbed samples, for example, the porosity ratio becomes smaller but the density bigger, and so on. But from macroscopic view, the change of soils' properties due to earth fissure activity is not very significant which will hardly make influence to engineering project.

Key words: earth fissure; properties of soils; micro-textures; variation law

地裂缝带能否进行工程建设以及避让距离的关键问题之一就是地裂缝带岩土的物理力学特性。因此对其进行研究对城市规划、建筑防治措施及节约土地资源具有重要意义。然而,从目前国内外的研究文献资料来看,针对地裂缝的研究内容大多仍只停留在地裂缝的成因机理、发育规律及致灾效应等方面^[1-5],而对地裂缝两盘扰动带土的工程特性及影响宽度的研究仍较少见。国内开展这方面研究工作的有陈志新、彭建兵、王兰生、孙叶等^[6-9],近年李新生、胡志平、卢全中等^[10-14]学者也对地裂缝带土的工程特性进行了初步的试验分析。但由于这些研究缺乏系统性和细致性,致使针对不同地裂缝的研究出现显著不同的结果,而且规律性不甚明显。本文拟首先根据已有的这些研究成果对地裂缝带土的工程特性做一概括总结和分析,在此基础上,根据不同深度地裂缝两侧土体的物理力学性质试验,并结合土体微观结构特征,对这一问题进行更进一步的探讨。

1 关于地裂缝带土性质的研究综述

对于地裂缝扰动带土的工程特性,目前仅有个别学者进行过相关的粗略研究。且得出的结论并不完全一致。

彭建兵、张骏等^[7]以西安地裂缝为依托,根据所获得的600个土工试验和现场渗水试验数据,分析了地裂缝带场地的工程地质性质。表明:1)地裂缝带土的含水量、容重、液限、塑限、塑性指数等指标与无地裂缝带场地土的正常指标相比均明显偏低,其平均值偏低分别为28.55%、13.69%、14.09%、12.88%、16.24%。2)地裂缝带内土的湿陷系数、孔隙比、压缩系数、内聚力、内摩擦角及渗透系数等指标则比无地裂缝场地土的正常指标普遍增高。差异率分别为28.71%、32.52%、2.79%、84.10%、65.11%、3216.24%。

上述研究没有区分地裂缝的上、下盘,也未说明裂缝带的取样范围和深度。因此具有一定的局限性。同时,研究结

论中也有一些令人费解和难以解释,如裂缝带内土的内聚力和内摩擦角增大现象。

陈志新等^[6]通过研究大同市地裂缝,得出裂缝带两侧土体物理力学性质具有如下的变化规律:1)裂缝带内土的含水量、液限、塑限、塑性指数、内聚力与非地裂缝场地同类土指标值相比偏小,而孔隙比、湿陷系数、压缩系数等较非地裂缝场地同类土的指标值偏大;2)其变化由主地裂缝向两边其异常幅值变小。

胡志平等研究了西安 f_7 地裂缝铁炉庙段两侧土体工程特性的变化规律^[11],结果表明地裂缝两侧土体性质基本以地裂缝为中心呈对称变化,越靠近地裂缝,土样的天然密度、含水量、液塑限越大,而孔隙比、内聚力和内摩擦角越小。但该项研究中地裂缝带土样的采取深度与两侧土样采样深度不完全一致,因此其得出的上部马兰黄土中地裂缝附近土的物理力学性质变化规律应受到质疑。

李新生等^[10]以 f_6 、 f_9 、 f_{11} 等地裂缝为例研究了西安地裂缝影响带内土的物理力学性质变化规律。结果表明地裂缝的活动对上、下盘岩土体的物理力学性质有明显影响,其中地表下 6.0 m、平面宽度 10.0 m 范围内影响最为显著,表现为地裂缝上盘地层的含水率、压缩系数增高,抗剪强度指标明显降低,相应的地基承载力也有所降低等。而下盘各项物理力学指标的变化则不甚明显。

很显然,上述各位学者的研究中存在着互相矛盾或出现相反变化规律的情况。为了详细讨论已有研究之间存在的差异并寻找潜在的原因,将上述不同研究者得到的结论综合于表 1。

表 1 前人对地裂缝带土性质研究结论的差异

岩土参数变化	研究者			
	彭建兵 ^[7]	陈志新 ^[6]	胡志平 ^[11]	李新生 ^[10]
含水量	变小	变小	变大	变大
天然密度	变小	/	变大	不变或稍低
孔隙比	变大	变大	变小	不变或稍大
塑限	变小	变小	变大	/
液限	变小	变小	变大	/
塑性指数	变小	变小	/	/
湿陷系数	变大	变大	/	/
压缩系数	变大	变大	/	变大
内聚力	变大	变小	变小	变小
内摩擦角	变大	/	变小	变小

根据表 1 可知,不同研究者对塑性指数、压缩系数和湿陷系数三项指标的研究结论相同,除此外,对其他指标的研究结论均存在差异。其中彭建兵等试验结果中内摩擦角和内聚力的变化规律及胡志平等的研究结论值得进一步分析探讨。

2 地裂缝带土的微观结构及新的试验成果

为了深入研究地裂缝带土的物理力学性质变化规律,利用大型槽探对西安某地裂缝开展了详细研究。研究内容主要包括裂缝带土的微观结构特征电镜扫描试验、土的室内物理力学指标试验等。

2.1 地裂缝带土的微观结构

土的微观结构特征主要指土颗粒的空间排列方式,主要包括土的骨架颗粒形状、排列方式、孔隙特征及胶结物等^[15-17]。其现存结构状态反映了它整个历史形成过程中的综合产物,既包含了沉积过程,也包含了后期地质环境改变的影响。土的微观结构特征不同能够直接反映其宏观物理力学性质的差异。理论上,由于地裂缝活动(与活动方式有关)可能会导致裂缝面及其附近黄土微结构特征的改变,进而提供更多的信息对土的物理力学性能变化进行分析。

地裂缝带黄土微观结构试验样品共采取了 4 组,其中 2 组位于裂缝面,1 组位于裂缝面附近上盘,1 组为远离裂缝带的未受扰动黄土。4 组样品的采集深度相同,均为地表下 12.0 m,属第四系中更新统离石黄土。

试验仪器采用美国 FEI 厂家生产的 Quanta 600FEG 型 40 万倍场发射扫描电镜(Field emission Scanning Electron Microscope)进行室内微结构电镜试验,以分析黄土微观结构特征的变化。

试验结果表明,未受扰动的中更新统离石黄土骨架颗粒较粗,以次棱角状为主,轮廓较清晰,团块仅在局部分布,骨架颗粒以镶嵌排列为主,颗粒接触以棱与面或面与面接触为主,构成的镶嵌孔隙呈缝隙状,较少见架空结构,土体较密实。细粒胶结物含量相对较少,可见有少量鳞片状黏粒物质零星分布。显微结构以镶嵌微孔结构为主(图 1)。

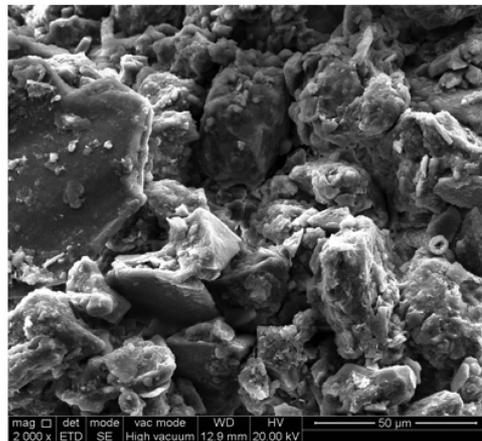


图 1 原状离石黄土的微观结构特征

裂缝面黄土的微观结构特征发生了质的变化,主要表现为土颗粒及矿物晶体发生了定向排列现象,面状、板状矿物晶面与裂缝面平行排布,接触类型为面-面接触,结构紧密,局部发育极少缝隙状微小孔隙,细粒物质含量增多(图 2)。

地裂缝面附近黄土样品取自距裂缝 20 cm 处,该样品的微结构特征介于原状黄土与裂缝面黄土之间。黄土骨架颗粒较粗,轮廓较清晰,以面状镶嵌接触为主,具有定向排列现象。土体孔隙以缝式为主,间有孔隙式。密实度介于裂缝面黄土与原状黄土之间。细粒物质含量较少,结构类型以胶结、镶嵌和一定程度的定向排列为特征(图 3)。

上述黄土的微观结构特征表明,裂缝带及靠近裂缝带的土体由于地裂缝活动影响,其微观结构变得趋于致密,而远离主裂缝面,则微观结构特征迅速衰减至未受扰动的原状黄

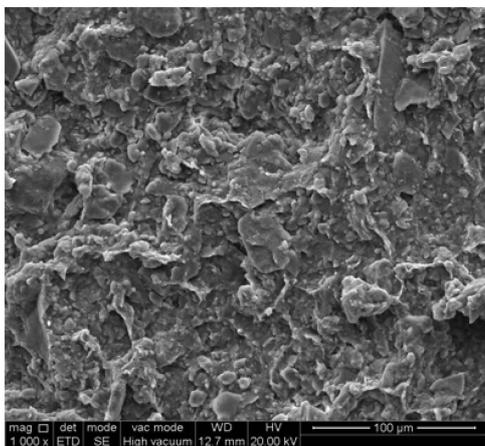


图 2 裂缝面黄土的微观结构

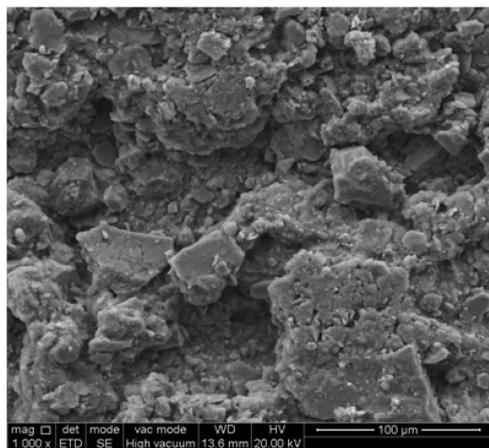


图 3 裂缝面附近黄土微观结构

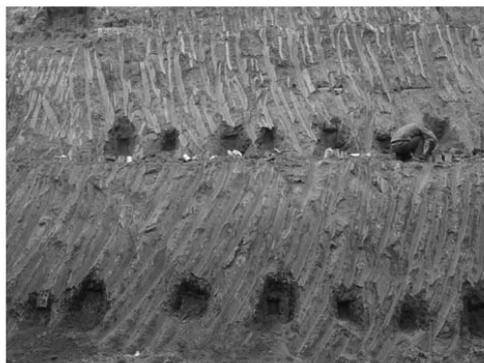


图 4 探槽壁上采取土样

试验结果表明,总体上裂缝带两侧黄土的物理力学性质变化不大,但仍存在一定的变化趋势。对于位于地表下 6.0~9.0 m 的上更新统古土壤,裂缝带附近(上盘和下盘)土的含水率高于裂缝带以远的土体(图 5),其中裂缝带上含水率最高;土的天然密度在裂缝带上盘 0~4 m 范围内明显较低,并且总体上下盘土体的天然密度高于上盘(图 6)。孔隙比的变化规律与天然密度相反,即在上盘 0~4 m 范围内该值明显偏大,并且总体上下盘土体的孔隙比稍低于上盘(图 7)。除此外,裂缝带下盘土的塑限、液限及塑性指数均稍高于上盘(图 8),而土的压缩性则没有明显的变化规律(图 9)。

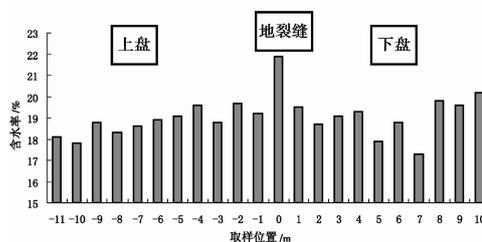


图 5 含水率变化规律

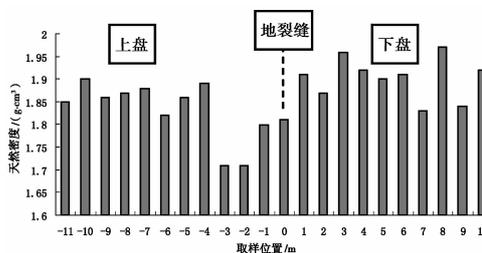


图 6 天然密度变化规律

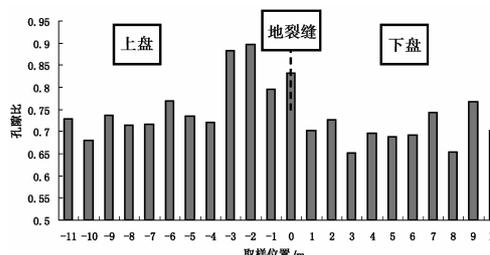


图 7 孔隙比变化规律

土特征。

值得说明的是,本次研究的取样深度为 12.0 m,在该深度,地裂缝表现为单一、闭合型特征,缝面平直,有擦痕。这与地表浅处表现的张性特征完全不同。这也说明,不同深度处,裂缝带两侧土的物理力学性质变化规律应不同。

上述特征反映裂缝带附近黄土的密实度增大,孔隙比减小。理论上,抗剪强度指标也应相应增大,但由于裂缝面本身就是一破裂面,因此裂缝带附近土的内聚力和内摩擦角仍应表现为减小。这与胡志平等的试验结论相一致。另外,由于地裂缝活动,使得裂缝面附近土颗粒的粒度成分发生改变,从而影响土的塑限、液限及塑性指数等。

2.2 地裂缝带土的物理力学性质

由于不同深度处,地裂缝的表现特征不同,因此,地裂缝带土的物理力学性质在不同的深度上也表现出与之相应的变化规律。研究区内地表下 9.0 m 以内,地裂缝主要表现为张性破坏特征,而在此深度之下由于侧向压力的增大,则表现为剪切挤压特征。

本次试验取样深度为 6.0~9.0 m、12.0 m,地层主要包括上更新统古土壤及中更新统离石黄土。各层土取样时均以地裂缝为中心向两侧按 1.0 m 水平间隔在探槽壁上人工采取(图 4),土样采取等级为 I 级,保证了试验样品的可靠性。

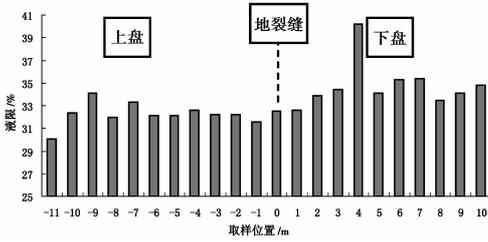


图 8 液限变化规律

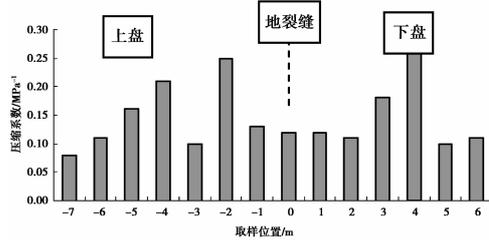


图 12 压缩系数变化规律

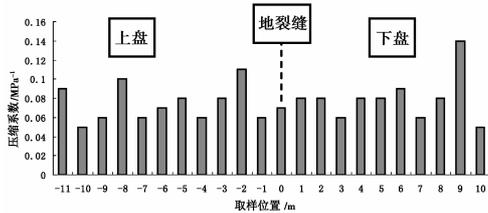


图 9 压缩系数变化规律

上述地裂缝带附近土体的物理力学性质变化趋势与其表现形式具有一致性:由于在此深度上,地裂缝仍表现为张性特征,因此附近土体空隙性有所增加,天然密度相应降低,而地表水份易于沿裂缝下渗使土的含水率增高(旱季时或不受外部水源影响时,有可能因空隙增大而含水率降低)。

但是,如前所述,地表下 12.0 m 处离石黄土中发育的地裂缝表现为剪切挤压特征,裂缝面平直、紧闭,为单一裂缝。试验结果表明,该处裂缝上盘 0~5 m 范围内含水率明显偏高(图 10);对于天然密度,裂缝带土体比两侧略高,但总体变化不大;与之对应,孔隙比在裂缝带则有所减小,远离裂缝带(2.0 m 以外),这种变化迅速消失(图 11);液限、塑限和塑性指数则在上盘 0~5 m 范围内有增大趋势;而压缩性在裂缝带偏低,稍远离裂缝带的两侧有增大现象(图 12)。

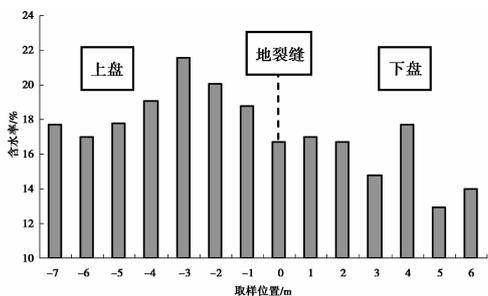


图 10 含水率变化规律

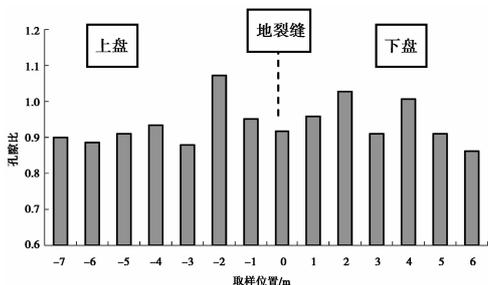


图 11 孔隙比变化规律

上述试验结果表明,地表下不同深度处,由于地裂缝的表现形式不同,裂缝带附近土体的物理力学性质变化也截然不同,并且自地表向下,随深度的增加,地裂缝对土体性质影响的幅度和范围都在明显下降。

3 结论

由于受地裂缝活动的影响,地裂缝带附近土体的物理力学性质出现了一定程度的改变,但总体上各指标的变化幅度不大。

地表下不同深度地裂缝的表现形式不同,通常近地表处表现为张性,而在一定深度下则表现为剪切-挤压,故地裂缝带土体的物理力学性质在不同深度具有不同的变化规律和趋势:近地表处地裂缝附近,尤其是上盘通常孔隙性增大,密度减小,而含水量则可能随外部条件表现为增大或减小;一定深度以下,裂缝带土体的变化与其表现形式和微观结构特征相适应,变化规律与近地表处相反,但影响范围和变化幅度显著变小。

综上所述,地裂缝带土体物理力学性质的改变与其表现形式紧密相关,但变化幅度不大,加之土体本身物理力学性质的不均匀性,使得地裂缝带土体的性质变化不甚明显,对工程影响不显著。

参考文献:

- [1] WANG G Y, YOU G, SHI B, et al. Earth fissures triggered by groundwater withdrawal and coupled by geological structures in Jiangsu Province [J]. China. Environ Geol, 2009 (57): 1047-1054.
- [2] MUNIRAM BUDHU. Mechanics of Earth Fissures Using the Mohr-Coulomb Failure Criterion [J]. Environmental & Engineering Geoscience, 2008, 14(4): 281-295.
- [3] KONTOGIANNI V, PYTHAROULI S, Stiros, S. Ground subsidence, Quaternary faults and vulnerability of utilities and transportation networks in Thessaly [J]. Greece Environ Geol, 2007(52): 1085-1095.
- [4] AYALEW L, YAMAGISHI H, REIK G. Ground cracks in Ethiopian Rift Valley: facts and uncertainties [J]. Engineering Geology, 2004(75): 309-324.
- [5] ZHANG Y, XUE Y Q, WU J C, et al. Land subsidence and earth fissures due to groundwater withdrawal in the Southern Yangtse Delta [J]. China Environ Geol, 2008, 55: 751-762.
- [6] 陈志新, 刘玉海, 倪万魁, 等. 大同地裂缝场地破坏程度分带及建筑物安全距离的确定 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994 (5): 339-344.

CHEN Z X, LIU Y H, NI W K. Zonation of Damage Strength and Determination of Safe Distance of Buildings at Geofacture

- Site in Datong City[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1994(5):339-344.
- [7] 彭建兵, 张骏, 苏生瑞, 等. 渭河盆地活动断裂与地质灾害[M]. 西安:西北大学出版社, 145-153.
- [8] 王兰生, 李天斌, 赵其华. 浅生时效构造与人类工程[M]. 北京:地质出版社, 1994:86-155.
- [9] 孙叶, 谭成轩, 李开善, 等. 区域地壳稳定性评价[M]. 北京:地质出版社, 1998:330-333.
- [10] 李新生, 王万平, 王静, 等. 西安地裂缝两盘地层岩土物理力学性质研究[J]. 水文地质工程地质, 2008(2): 58-61.
LI X S, WANG W P, WANG J, et, al. Research on physical and mechanical properties of strata on both sides of Xi'an ground fractures[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008(2): 58-61.
- [11] 胡志平, 赵振荣, 朱启东, 等. 西安某地裂缝两侧黄土物理力学试验[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(1):85-88.
HU Z P, ZHAO Z R, ZHU Q D, et, al. (2009) Experimental Study on Physical Mechanic Property of Loess Near Ground Fissure in Xi'an[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2009, 31(1):85-88.
- [12] 卢全中, 彭建兵, 范文, 等. 大尺寸裂隙性黄土的直剪试验[J]. 公路, 2006(5): 184-187.
LU Q Z, PENG J B, FAN W, et, al. Direct Shear Tests of Large-size Fissured Loess[J]. Highway, 2006(5): 184-187.
- [13] 卢全中, 葛修润, 彭建兵, 等. 三轴压缩条件下裂隙性黄土的破坏特征[J]. 岩土力学, 2009, 30(12):3689-3694.
LU Q Z, GE X R, PENG J B, et, al. Failure characteristics of fissured loess under triaxial compression condition[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(12): 3689-3694.
- [14] 黄强兵, 彭建兵, 闫金凯, 等. 地裂缝活动对土体应力与变形影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(12): 903-908.
HUANG Q B, PENG J B, YAN J K, et, al. Model test study of influence of ground fissure movement on stress and deformation of soil mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(4): 903-908.
- [15] 藤志宏, 惠超英. 扫描电子显微镜在黄土微结构研究上的初步应用[J]. 第四纪研究, 1991(3): 282-290.
TENG Z H, HUI C Y. Application of Scanning Electron Microscope to the Study on Micro textures of Loess[J]. Quaternary Sciences, 1991(3): 282-290.
- [16] 周翠英, 牟春梅. 软土破裂面的微观结构特征与强度的关系[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(10): 1136-1141.
ZHOU C Y, MU C M. Relationship between micro-structural characters of fracture surface and strength of soft clay[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(10): 1136-1141.
- [17] 宋章, 程谦恭, 张伟, 等. 原状黄土显微结构特征与湿陷性状分析[J]. 工程地质学报, 2007, 15(5): 646-653.
SONG Z, CHENG Q G, ZHANG W, et al. Analysis of Micro-structure Feature and Collapsibility of Undisturbed Loess[J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(5): 646-653.

(编辑 张小强)

(上接第199页)

表9 大学城区域 SO₂ 大气环境容量估算结果

功能区名称	面积 S _i /km ²	A×10 ⁻⁴ /(km ² ·a ⁻¹)	区域背景值 C ₀ /(mg·m ⁻³)	标准限值 C _{ki} (mg·m ⁻³)	SO ₂ 大气环境容量 ×10 ⁴ /(t·a ⁻¹)
重庆市大学城	21.560 9	2.8	0.013 7	0.06	6 019.7

6 结 论

根据估算结果可见,大学城建成后区域 SO₂ 排放总量为 122.7t/a, 小于区域环境容量, 说明重庆市大学城区域布局及人口规模等现有规划较合理, 区域大气环境质量可满足规定的二类功能区要求。

参考文献:

- [1] 吴静, 伍硕. 我国大学城信息资源共建共享模式研究[J]. 中国矿业大学学报: 社会科学版, 2006, (1): 94-98.
- [2] 中华人民共和国国家环境保护标准 HJ2.2-2008[S].

(编辑 张小强)