

陈雄,周锦萱. 瓦斯损失量补偿模型推算准确度的试验研究[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(2): 49-52.

文章编号: 1008-4495(2017)02-0049-04

瓦斯损失量补偿模型推算准确度的试验研究

陈雄¹, 周锦萱^{2,3}

(1. 重庆工程职业技术学院, 重庆 402260; 2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037;
3. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037)

摘要: 针对直接解吸法测定煤层瓦斯含量过程中难以精准推算瓦斯损失量的难题, 采用气体吸附测定仪与解吸仪相结合的方法, 试验测定了煤样暴露过程中的瓦斯损失量, 对比分析了地勘补偿模型和孙重旭补偿模型的推算精度。研究发现: 对于同一煤样, 瓦斯损失量与煤样暴露时间及块度有关, 煤样块度越大, 瓦斯损失量越小, 当块度大到一定程度后, 瓦斯损失量增加幅度不再明显; 与实测的煤层瓦斯损失量相比, 孙重旭补偿模型对瓦斯损失量的补偿效果要优于地勘补偿模型, 煤样暴露时间越短, 瓦斯损失量的推算精度越高。当煤样块度小于等于 20 mm 时, 其暴露时间应小于 20 min; 当煤样块度大于 20 mm 时, 其暴露时间应小于 30 min。

关键词: 瓦斯损失量; 补偿模型; 煤样块度; 暴露时间; 准确度

中图分类号: TD712

文献标志码: B

网络出版时间: 2017-04-11 10:12

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20170411.1012.034.html>

Experimental Study on Calculation Accuracy of Compensation Model of Gas Loss Content

CHEN Xiong¹, ZHOU Jinxuan^{2,3}

(1. Chongqing Vocational Institute of Engineering, Chongqing 402260, China;

2. State Key Laboratory of Gas Disaster Monitoring and Emergency Technology, Chongqing 400037, China;

3. China Coal Technology and Engineering Group Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: To counter the the difficult and accurate calculation of gas loss content in the determination of coal-seam gas content with the direct desorption method, the gas loss content in the exposure process of coal samples was determined actually by the combination method of the gas adsorption tester and the gas desorption tester, and the comparative analysis was carried out on the calculation accuracy with both the geological compensation model and Sun Zhongxu compensation model. It was found in the study that the gas loss content was related to the exposure time and particle size for the same coal sample, the bigger the particle size of it, the less the gas loss content, and when its particle size was big to a certain degree, the gas loss content did not increased obviously. The comparison with the actually measured gas loss content of the coal samples showed that the compensation effect of gas loss content with Sun Zhongxu method was better than that with the geological method, the shorter the exposure time of the coal sample, the higher the calculation accuracy of the gas loss content. When the particle size of the coal sample was less than or equal to 20 mm, its exposure time should be less than 20 min; and when its particle size was bigger than 20 mm, its exposure time should be less than 30 min.

Keywords: gas loss content; compensation model; particle size of coal; exposure time; accuracy

煤层瓦斯含量是指单位质量的煤中所含有的瓦

斯气体体积量, 其是煤与瓦斯突出危险性评价、瓦斯防治措施设计及措施效果评价、矿井瓦斯涌出量预测及煤层气储量计算的重要参数^[1-3]。目前, 我国主要通过采集煤样后让其解吸直接测定煤层瓦斯含量, 其测定结果由瓦斯损失量、解吸瓦斯含量及残存瓦斯含量 3 部分组成。在取样时煤样中有瓦斯逸

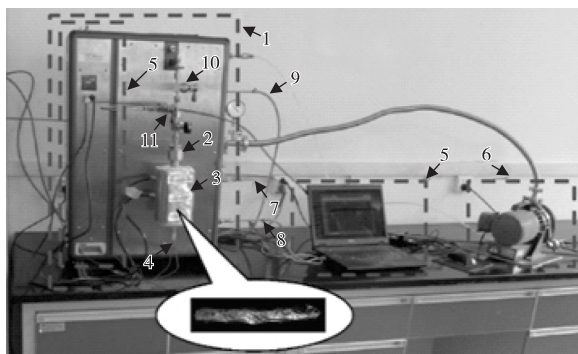
收稿日期: 2016-12-13; 2017-02-17 修订

作者简介: 陈雄 (1963—), 男, 四川渠县人, 高级工程师, 副教授, 主要从事煤矿安全技术、爆破安全技术、职业危害防治技术等方面的教学和研究工作。E-mail: 554592304@qq.com。

散掉,煤层瓦斯含量测定的关键是尽量消除或减少采样过程的瓦斯损失量,因此煤样的暴露时间越短越好^[4-5]。常用的地勘期间解吸法认为,煤样暴露一段时间内的瓦斯解吸量与解吸时间 t 的平方根呈线性关系,利用该模型关系可推算煤样暴露时间内的瓦斯损失量^[6],即 $\sqrt{t}$ 法;唐本东^[7]考察了不同补偿模型的适用情况;蔡发现等^[8]针对不同硬度的煤,通过试验分析了 $\sqrt{t}$ 法的模型补偿效果,并指出其暴露时间范围;王斌^[9]试验研究了不同取样方法及暴露时间对煤层瓦斯含量测定的影响,认为不同瓦斯损失量推算模型对暴露时间的要求不同;陈建伟等^[10]分析了 $\sqrt{t}$ 法暴露时间和解吸时间长短对瓦斯损失量推算结果的影响;张向阳等^[11]对比分析了3种瓦斯损失量补偿模型推算的准确度,得出暴露时间2 min内, $\sqrt{t}$ 法是计算煤层瓦斯损失量的最优方法;李迎春等^[12]分析了图解法和最小二乘法对 $\sqrt{t}$ 法补偿模型推算瓦斯损失量准确度的影响。综上所述,对于瓦斯损失量的研究,多从煤样暴露后补偿模型对瓦斯解吸规律拟合效果方面讨论补偿结果准确与否。笔者试验测定了煤样暴露过程中的瓦斯损失量,对比分析了地勘补偿模型($\sqrt{t}$ 法)及孙重旭补偿模型(t^i 法)在不同煤样暴露时间的推算效果,为进一步提高煤层瓦斯含量井下直接测定精度提供参考。

1 试验装置

试验采用 PCTPro-evo 高压气体吸附测量仪装置及井下解吸测定仪,可以模拟研究煤样在不同瓦斯压力及不同温度场作用下的气体吸附解吸情况。该试验装置主要由气体供应系统、气路控制系统、恒温系统、数据采集系统、干式真空泵、样品池及解吸仪等组成,如图1所示^[13]。



1—PCTPro-evo 测量仪;2—试验样品池;3—加热套;4—热电偶;
5—数据采集及控制系统;6—干式真空泵;7—甲烷气体气路;
8—氮气气体气路;9—氦气气体气路;10、11—手动阀。

图1 PCTPro-evo 高压气体吸附测量试验系统

气体供应系统由高压甲烷气体罐、氦气气体罐、氮气气体罐及减压阀组成;气路控制系统主要由气动控制阀、电磁阀及密闭管路组成;数据采集系统由压力传感器、温度传感器、采集卡及计算机组成,所有数据都由计算机及其控制程序自动采集记录。

2 试样制备及试验步骤

2.1 试样制备

由于我国煤层赋存条件复杂,软硬不均,煤体破坏类型分布广泛,因此钻取得到的煤样块度大小不一。对于较硬煤体,钻取煤样具有较大的块度,而对于松软煤体,情况则相反。在煤矿井下利用 $\Phi 60$ mm 岩心管钻取煤样,按照煤样块度大小可以分为5种主要类型:完整棒状,不完整棒状,块状,块粉混合状和粉状,即I、II、III、IV、V类煤样,如图2所示。

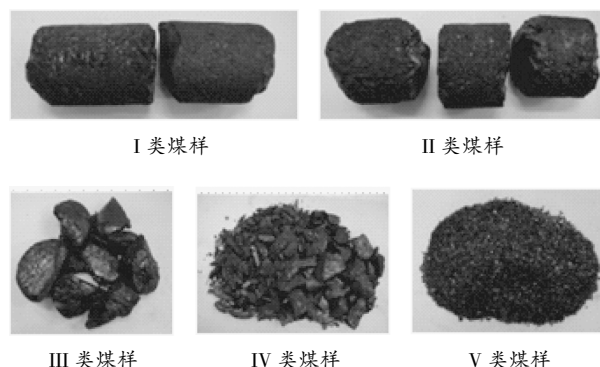


图2 试验煤样分类

试验煤样取自河南演马庄煤矿二₁煤层,经筛选制成块度为1~5,5~20,20~50,50~100,>100 mm的煤样,分别对应上述5类煤样。在试验过程中,由于块度在50 mm以上的煤样抽真空及吸附试验用时较长,因此先在取样地点测定煤层的原始瓦斯压力(1 MPa),然后在井下钻取煤样并密封,到达地面后再补充压力至原始瓦斯压力并达到平衡。

2.2 试验步骤

煤体的块度不同,其表现出的瓦斯解吸规律及瓦斯损失量大小也不同。为了分析瓦斯损失量推算模型的准确度,有必要在实验室模拟现场的取样环境,准确测定煤样暴露过程中瓦斯损失量的大小,并对其补偿模型推算的精度进行分析比较。因此,首先进行常规的吸附试验,然后进行收集暴露过程中煤样逸散瓦斯气体的解吸试验。

试验采用的试验气体、自由空间校核及气动阀门驱动气体分别为纯度99.99%的甲烷、氦气及氮气,具体试验步骤如下:

1) 根据试验要求制备煤样,按照 MT/T 1087—

2008标准要求测定煤样的工业性质^[14]。

2)将块度为1~5,5~20,20~50 mm的煤样分别装入样品池,然后设定环境条件并抽真空12 h,校核样品池中自由空间的体积,设定温度为煤矿井下煤层温度,进行等温吸附使瓦斯压力达到1 MPa并保持平衡。

3)将煤样暴露2 min,利用井下解吸仪测定暴露过程中瓦斯损失量,并记录下环境温度。

4)测定煤样暴露后120 min内的瓦斯解吸量。对于块度在50 mm以上的煤样,经长时间解吸并抽真空4 h,测定样品罐中自由空间体积。

3 试验结果及分析

3.1 瓦斯解吸规律试验结果

按照测试要求^[15],对煤样的工业分析及吸附常数 a, b 值进行测定,结果见表1。

表1 煤样工业分析结果、密度及吸附常数

煤样工业分析结果			真密度/ (g/mL)	视密度/ (g/mL)	孔隙率/ %	吸附常数	
水分 $M_{ad}/\%$	灰分 $A_{ad}/\%$	挥发分 $V_{daf}/\%$				$a/(m^3/t)$	b/MPa^{-1}
2.01	22.52	8.74	1.65	1.57	4.85	39.685 0	1.667 1

试验过程中,瓦斯在煤中解吸扩散过程为等温环境,通过范德华气体状态方程计算出试验罐中自由空间的游离瓦斯量;在煤样暴露时间内的瓦斯解吸量减去游离瓦斯量即为瓦斯损失量;瓦斯解吸量减去暴露2 min时间内收集的瓦斯气体量,即得到暴露2 min后的瓦斯解吸曲线,如图3所示。

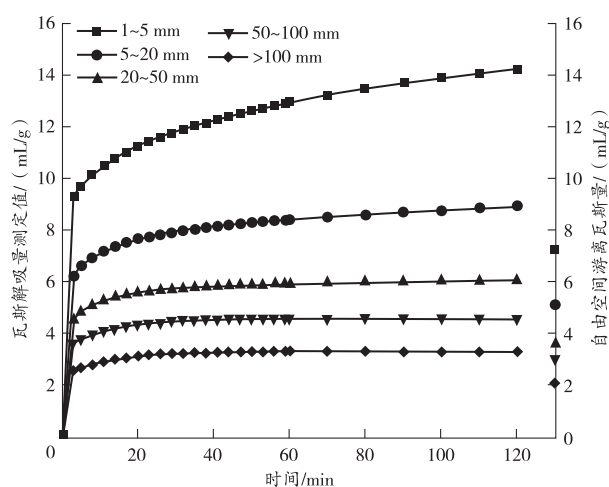


图3 瓦斯损失量及瓦斯解吸曲线

由图3可见,对于同一煤样,由实验室瓦斯解吸试验发现,瓦斯损失量与煤样块度大小有关。当煤样中瓦斯含量及暴露时间相同时,煤样块度越大,瓦斯损失量就越小;当煤样块度大于一定程度后,煤样块度对瓦斯损失量的影响不再明显。

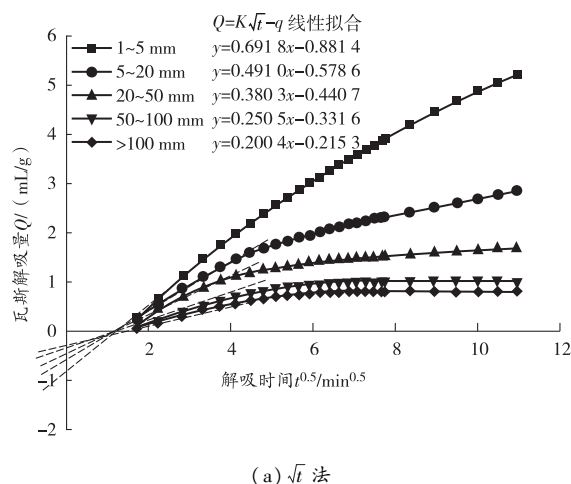
3.2 瓦斯损失量补偿模型的对比分析

利用最小二乘法,选用孙重旭补偿模型式(1)和地勘补偿模型式(2),取不同暴露时间的瓦斯解吸数据对煤样的瓦斯损失量进行推算,其推算过程见图4。

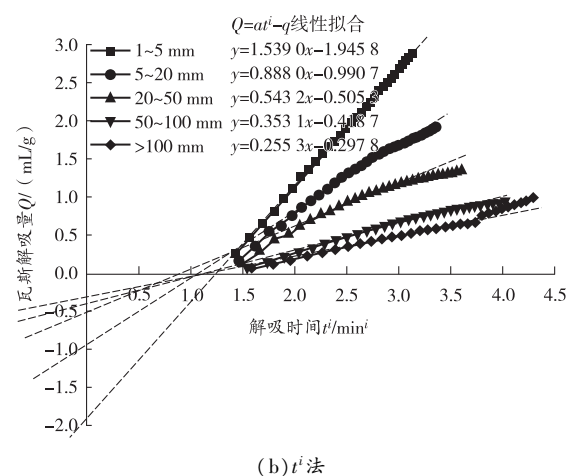
$$Q_t = at^i - Q_0 \quad (1)$$

$$Q_t = b\sqrt{t} - Q_0 \quad (2)$$

式中: Q_t 为测定时间 t 时的瓦斯解吸量,mL/g; Q_0 为煤样暴露时间内损失的瓦斯解吸量,mL/g; a, b 为待定常数; t 为解吸时间,包括暴露时间 t_1 和解吸时间 t_2 ,min; i 为解吸特征参数($0 < i < 1$)。



(a) $\sqrt{t}$ 法



(b) t^i 法

图4 瓦斯损失量补偿推算过程

将推算的瓦斯损失量与实验室实测的瓦斯损失量进行对比分析,如图5所示。

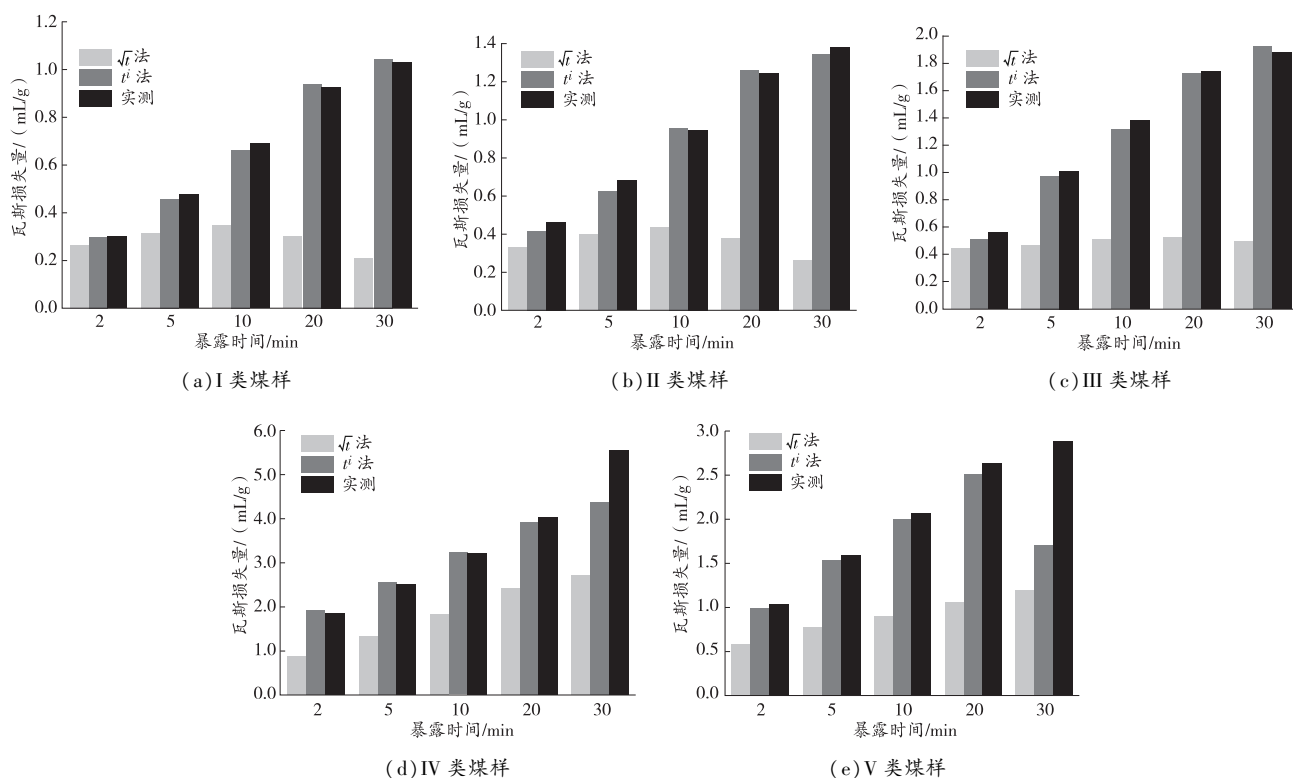


图5 瓦斯损失量补偿模型对比

由图5可以看出,随着暴露时间的延长,煤的瓦斯损失量不断增加。与实测相比, t^i 法对瓦斯损失量的补偿效果要优于 $\sqrt{t}$ 法。对于块度较小的IV类、V类煤样,当其暴露时间为30 min时,相对于暴露时间20 min的煤样, t^i 法补偿模型准确度急剧降低,因此对于这两类煤样的取样暴露时间应小于20 min。对于I类、II类、III类煤样,当其暴露时间在30 min内时, t^i 法较为稳定,具有较好的应用效果,模型满足于暴露30 min的瓦斯损失量测算要求。因此,I类、II类、III类煤样的取样暴露时间不得大于30 min,即当煤样块度小于等于20 mm时,取样暴露时间应小于20 min;当煤样块度大于20 mm时,取样暴露时间应小于30 min。

4 结论

1)通过模拟井下取样过程中煤样暴露现象,利用煤样暴露过程中瓦斯损失量测定方法,采用PCTPro-evo高压气体吸附测量仪装置与井下解吸仪联合的方法,成功测定了瓦斯损失量。对于同一煤样,瓦斯损失量与煤样暴露时间及块度有关。煤样块度越大,瓦斯损失量越小;当煤样块度大于一定程度后,瓦斯损失量增加幅度不再明显。

2)按照取样块度大小将煤样分为5类,对比分析了 $\sqrt{t}$ 法和 t^i 法补偿模型推算瓦斯损失量的精确度

随着暴露时间的变化情况。与实测相比, t^i 法对瓦斯损失量的补偿效果要优于 $\sqrt{t}$ 法,暴露时间越短,瓦斯损失量推算精度越高。当煤样块度小于等于20 mm时,取样暴露时间应小于20 min;当煤样块度大于20 mm时,取样暴露时间应小于30 min。

参考文献:

- [1] 张子敏. 瓦斯地质学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2009.
- [2] 邹银辉,吕贵春,张庆华. 瓦斯含量法预测突出危险性的试验研究[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(4): 4-6.
- [3] 康建宁. 煤层瓦斯含量直接测定技术在中岭煤矿瓦斯抽采效果评价中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(4): 31-33.
- [4] 张淑同. 井下瓦斯含量直接法测定关键技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31(2): 328-332.
- [5] 王震宇,王佑安. 煤层瓦斯含量测定方法评述[C]// 2012年全国煤矿安全学术年会论文集, 2012.
- [6] 董全,葛震. 地勘解吸法 $t^{1/2}$ 规律推算煤样瓦斯损失量效果分析[J]. 能源技术与管理, 2016(3): 116-118.
- [7] 唐本东. 直接法测定煤层瓦斯含量时其逸散瓦斯量补偿浅谈[J]. 煤矿安全, 1995(11): 25-28.
- [8] 缙发现,贾翠芝,杨昌光. 用直接法测定煤层瓦斯含量来推算损失量的方法[J]. 煤矿安全, 1997(7): 9-11.

(下转第73页)



图6 华盛矿多个安全出口最优路径求取界面

4 不足与展望

1) 最优路径的运行界面效果并不是特别理想,如能结合计算机动画设计,将最优路径动态显示在通风网络图上效果会更好。

2) 通风网络图上每一条巷道的权值对应的是考虑了各种影响因素的当量长度,但当矿井发生灾变事故后,大部分巷道都会受到烟流、水害、冒顶等影响,实际情况是巷道的当量长度必然发生变化,所以之前确定好的最优路径肯定会有一定的偏差。若建立了数字矿山,利用矿井的GIS和井下监测系统,动态地掌握矿井巷道的各种参数,就可以从本质上解决这个问题。

3) 当最优路径不再适宜逃生时,如何把次优路径及时准确地通知到井下各地点的每个受困人员就成为比较棘手的问题。井下应实现救援系统与受困人员的实时通话,从而实现动态指导逃生路径。

参考文献:

- [1] 温丽敏,陈宝智.重大事故人员应急疏散模型研究[J].中国安全科学学报,1999,9(6):73-77.
- [2] 赵作鹏,宗元元.面向矿井突水避险的双向搜索多最优路径算法[J].中国矿业大学学报,2015,44(3):590-596.
- [3] 黄书力,胡大梁,蒋玉明.经过指定的中间节点集的最短路径算法[J].计算机工程与应用,2015,51(11):41-46.
- [4] 陈宁,孔维臻.矿井火灾避灾与救灾最优路径研究[J].工业安全与环保,2010,36(11):40-42.
- [5] 孙殿阁,蒋仲安.改进的Dijkstra算法在矿井应急救援最佳避灾路线求取中的应用[J].矿业安全与环保,2005,32(5):38-40.
- [6] 成韶辉,张雪英,李凤莲,等.K则最优路径在矿井水害避灾中的应用研究[J].金属矿山,2014(1):137-140.
- [7] 高松,陆锋,段滢滢.一种基于双向搜索的K则最优路径算法[J].武汉大学学报(信息科学版),2008(4):418-421.
- [8] 孙研博.最优路径选择在煤矿避灾路线中的应用研究[D].徐州:中国矿业大学,2014.

(责任编辑:熊云威)

(上接第52页)

- [9] 王斌.井下钻孔解吸法测定瓦斯含量影响因素实验研究[D].徐州:中国矿业大学,2015.
- [10] 陈建伟,张瑞林,柴磊.井下解吸法实测煤层原始瓦斯含量过程中采样损失量计算方法浅析[J].煤矿安全,2010(1):84-86.
- [11] 张向阳,郭孟志,宋传杨,等.解吸法测定煤层瓦斯含量过程中瓦斯损失量3种推算方法对比分析[J].煤矿安全,2012(8):177-179.

- [12] 李迎春,杨胜强.瓦斯损失量计算方法的比较分析[J].煤矿安全,2012(9):166-168.
- [13] 张宪尚.煤屑瓦斯解吸动力学特征参数与瓦斯含量的关系模型研究[D].北京:煤炭科学研究总院,2013.
- [14] 煤的工业分析:MT/T 1087—2008[S].
- [15] 煤的高压等温吸附试验方法:GB/T 19560—2008[S].

(责任编辑:李 琴)