

# 论工业建设项目的环境风险及其评价

郭永龙<sup>1</sup>, 刘红涛<sup>2</sup>, 蔡志杰<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 武汉市环境保护科学研究院, 湖北武汉 430015)

**摘要:** 主要讨论和揭示了工业建设项目所产生环境风险的内涵与特征, 阐述了环境风险如何表征以及它的评价标准——可接受水平的确定, 最后在此基础上, 指出了开展工业建设项目环境风险评价的方法与步骤。

**关键词:** 工业项目; 环境风险; 风险表征量; 可接受风险水平; 风险评价。

中图分类号: X141 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)02-0235-06

**作者简介:** 郭永龙(1963—), 男, 高级工程师, 1984年7月毕业于武汉地质学院, 现为中国地质大学(武汉)在职博士研究生, 主要从事环境影响评价, 污水、废气治理以及固体废物综合利用等方面的生产与研究。E-mail: Hshcai@cug.edu.cn

在现代工业高速发展的同时, 伴随工业项目的建设 and 生产, 污染环境的突发事件也时有发生。因此, 对于工业建设项目所引起的突发性事故造成的环境风险或环境危害的评价问题也就引起了人们的关注。这类风险评价通常称为事故风险评价。它主要评价与项目联系在一起的突发性灾害事故, 包括易燃易爆和有毒物质、放射性物质失控状态下的泄漏, 大型技术系统的事故, 发生这种灾害性事故的概率虽然很小, 但影响的程度往往却是巨大的<sup>[1,2]</sup>。因此, 对工业建设项目进行环境风险评价具有重要的现实意义。

然而, 要正确地开展环境风险评价<sup>[3~5]</sup>, 首先要解决的问题就是揭示环境风险及环境风险评价的内涵, 并确定其自身的方法体系。

## 1 环境风险的内涵

“风险”一词, 从字面上理解, 即可能发生的危险, 或者说是悖于常规、超越规范的行为。它往往是与“损害”、“灾害”、“损失”及其发生的“可能性”、发生的“概率”联系在一起的。在安全科学上, 把“风险”往往看成是在损害与损失发生的过程中, 在一定时

限内与可能受影响的人或人群相关的一定的危险级别。在经济学上, “风险”是指“具有确定性事故和灾害将造成的概率损失”。环境风险则是指在一定区域或环境单元内, 由人为活动和自然等原因引起的“意外”事故对人类、社会与生态等造成的影响以及所造成的损失等。环境风险具有以下内涵及特征: (1) 风险源。即导致风险发生的客体以及相关的因果条件。可以是人为的, 工程的, 也可以是自然的。可以是物质的, 也可以是能量的。它的产生是随机的, 潜在的, 具有相应概率, 具有不确定性, 具有物质上或能量上的强度(或剂量), 它可以通过数学、物理、化学方法来确定。(2) 风险行为。风险源一旦发生, 它所排放的有毒、有害物, 释放的能量流等将立即进入环境, 并由此可能导致一系列的人群中毒、火灾、爆炸等严重污染环境与破坏生态的行为, 称此为风险行为。(3) 风险对象。即评价终点或受害对象(受体), 可以是人类的, 也可以是实物的、生态的。对单个受害体所产生的风险, 可以称为个体风险, 对一组个体的风险可以称群体和总体风险。(4) 风险场。即风险产生的区域及范围。它包括风险源与风险对象, 是风险源物质上和能量上运动的场, 具有相应的时空条件。(5) 风险链。当风险源在风险场中一旦发生, 它即将对周围的风险对象产生影响, 有时, 影响的不仅仅是某一个风险对象。随着时间的推移, 与某一风险对象相关联的其他对象都有可能受到影响, 并可能沿

这些受影响的对象继续传递,或者,因这一风险影响,而在某一对象上由于物理、化学反应又产生了新的风险影响,或者随生产流程的进展而进展。风险呈“链”式传递。传递方式可能是生物的,也可能是物理的、化学的。譬如,污染物在食物链中的动态转移。首先,污染物进入空气(或者水体),经过沉淀、吸附等作用进入土壤,进而再由植物摄取,最后通过人食入植物进入人体。污染物的毒性最初不直接涉及到人体,但最终它通过食物链影响到了人体。这种风险随生物链传递,其传递方式是生态的。譬如,还有,煤电和核电燃料链所形成的风险链。对于煤电系统,从全燃料链的角度考虑,它涉及煤炭开采、洗选、运输、发电、灰渣处置,以及电厂最终退役的整个过程;对于核电系统,其燃料链与煤电燃料链有许多不同,它除铀矿开采、加工冶炼、发电之外,还有铀-235的富集、燃料元件制造及燃料后处理、放射性废物处理处置,以及核设施的退役等。燃料链通过排放污染物到环境中而对环境和人类健康造成影响。这种风险随生产流程的进展而进展,其传递方式是物理的、化学的。(6) 风险度。即风险源作用于风险对象物质上或能量上的贡献大小,也可定义为损害程度或损害量。这种度的大小若超过其可接受水平,则风险发生。它可以通过风险标准(不同级别的接收水平)来判断,对于不同的风险对象,其标准体系不同。这种度的大小取决于风险源的强度与风险场的时空条件。(7) 风险损失。即风险产生的经济损失。可以用货币来度量。

## 2 环境风险的评价标准

环境风险评价标准是为评价系统的风险性而制定的准则,是识别系统的安全水平、安全管理有效性和对环境所造成的危险程度及制定相应应急措施的依据。

风险评价标准包含二方面的内容:其一,风险事故的发生概率,如海堤或河堤,其设计堤坝中采用的百年一遇或千年一遇标准即为此内容。采用此标准即意味着其设计风险水平应达到每百年一次或每千年一次的防洪标准。其二,风险事故的危害程度,主要反映风险事故所致的损失率,包括财产损失率和人员的死亡、重伤、轻伤率等。

### 2.1 风险评价标准表征量

(1) 单要素环境风险表征量。风险的类型不同,

其危害形式也不同,衡量危害后果的度量有多种表征法,如人员伤亡、财产损失、生态破坏等。为了进行风险评价,需要有能够定量描述危害后果的指标,而且这种指标能够统一衡量各种不同性质的危害后果,并对不同类别的行业进行比较及制定同一行业标准。这里采用“风险”作为环境风险评价指标及其标准的表征量。

一项具体的人类活动实施后,对环境中某一种或一类对象的风险究竟有多大呢?从安全科学关于风险的定义出发,假设在某段时间  $\Delta t$  内,涉及到  $N$  个个体(譬如人),由一个或一组风险源(或风险物)形成的风险(危险)级别,可以针对任意给定的损害类型(中毒、火灾、爆炸等),用以下期望值来度量<sup>[6]</sup>:

$$E(S) = \int Sdf(S). \quad (1)$$

式中: $S$  表示损害程度或损害量; $f(S)$  为  $S$  的分布函数(累计概率函数)。

由特定损害类型的期望值  $E(S)$ , 个体风险则可用下式来度量:

$$R = E(S)/(N \cdot \Delta t). \quad (2)$$

上述个体风险的定义与个体数相关,并且认为个体风险是预期的损失,这些损失可以以单位时间的个体平均受害(中毒、受伤、死亡)损失金额等来表示。如果对损害类型加以限制,使每一风险事件包含一种损失,并且其损害与损失量  $S_k$  相同,则总损害量是  $S_k$  与导致这些损害事件总数  $N$  的乘积。由(1)式可得如下结果:

$$\int Sdf(S) = \sum_n S_{ki} P_{si}. \quad (3)$$

式中: $P_{si}$  为表示在一组被观察的个体(如人群)中,一定时间内发生  $n$  次事件的概率。

因此,对于个体风险,上式变为:

$$R = S_k \frac{\sum_n n P_{si}}{N \cdot \Delta t} = S_k H_s. \quad (4)$$

式中: $H_s$  为表示单位时间内发生损失或损害事件的平均概率。如果在给定的单位时间内,某类个体平均发生损失或损害的事件次数只可能有一次,或者说发生的概率很低,使得几种损失或损害事件连续发生的可能性可忽略不计,则在给定的单位时间内,每个个体遭受损失或损害的平均频率等于每个个体发生事件的概率  $P_s$ 。

对于个体风险则有:

$$R = S_k P_s. \quad (5)$$

这里应该指出,式(2)所表达的风险是所研究的一组个体的平均值,因此,当引述个体风险的平均值时,一定要指出是针对哪类个体(人群的、建筑物的、生态的等等)而言的。

基于以上个体风险,可得一群体的总体风险为:

$$R_{\text{总体}} = E(S) / \Delta t. \quad (6)$$

式中: $R_{\text{总体}}$ 为单位时间内所讨论群体的危险期望程度。

为此,则个体风险 $R$ 总体与 $N$ 个个体组成的总体风险 $R_{\text{总体}}$ 有如下关系:

$$R_{\text{总体}} = R_{\text{个体}} \cdot N. \quad (7)$$

通常,在实际中由于人群的受害、建筑物的受损,以及生态的破坏等损失或损害类型是不一样的,因此,对于不同性质的损害是不可能用同一单位来度量的。

为此,基于经济学上关于风险的定义,又可以吧环境风险的度量具体定义如下:

①人群风险.如某地区的人均寿命为 $T_1$ ,受损害前后人均创产值分别为 $M_0, M_1$ (元/人·年). $P_1$ 为损害发生概率, $E_1$ 为人群易损度, $n$ 为受害人, $j$ 为受损人的平均年龄, $r$ 为第 $t$ 年的贴现率,则风险 $R_1$ 可以用下式来度量:

$$R_1 = \sum_{i=0}^n \sum_{t=j}^{T_1} P_1 \cdot E_1 \cdot (M_0 - M_1) \cdot (1+r)^{-t}. \quad (8)$$

②建筑风险.对建筑而言,其风险损失可用直接损失 $D$ 和恢复期内的效益损失 $I$ 进行度量:

$$R_2 = P_2 \cdot E_2 \cdot D + \sum_t^{T_2} P_2 \cdot E_2 \cdot I \cdot (1+r)^{-t}. \quad (9)$$

式中: $P_2$ 为事件概率, $E_2$ 为建筑物易损度, $T_2$ 为恢复期。

③生态风险.由于生态系统本身的效益和价值难以估计,加上生态环境的破坏后果难以预料,因此,使得生态风险难以预估,但仍可从效益损失 $S$ 及恢复期 $T_3$ 内的费用 $C$ 进行粗略估计。

$$R_3 = \sum_t^{T_3} (S+C) \cdot P_3 \cdot (1+r)^{-t}. \quad (10)$$

式中: $P_3$ 为风险或事件概率。

由此,如果只考虑人群、建筑及生态等3个单元,则对于一定区域内的环境总体风险则有:

$$R_{\text{总体}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (11)$$

$$\text{或者 } R_{\text{总体}} = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (12)$$

式中: $n$ 为被研究或观察的环境个体数。

(2)环境风险场表征量.对于某一确定的风险源来说,只要一旦发生,它即将形成对周围环境一定区域的各种影响,对所有受影响的区域及范围,可以定义为环境风险场.在这个场内,所有环境个体都能感受到风险源对它的影响,对于风险源产生的风险物、能量流等会形成因位置而变的效应条件 $WB(r)$ ,而受害体所受的风险也会因所处位置的环境条件(如气候、气象、水文等)的不同而程度不等.风险场内物质和能量的流动、迁移、转化等,可建立相应的数学物理模型并通过风险场特定的时空条件来计算.对于位于风险场内 $r$ 处的个体风险基于前面的讨论又可以定义如下:

$$R(r) = S_k H_s [WB(r)] = S_k H_s(r). \quad (13)$$

这里假定所讨论的个体受时间效应条件 $WB(r)$ 制约。

如果这里涉及的受害个体是人,则应是处于风险场内的全部人群的平均水平.预期的暴露时间也应考虑其中.那么,根据人群密度 $B(r)$ ,可以推导出人群密度风险,对所考察的风险场积分,在某一特定环境场内某一确定风险源的人群风险如下:

$$\sum R(r) = R(r)B(r). \quad (14)$$

可以概括地说:“风险”的概念及其面向的概率理论表达式,可以用于各种不同的场合及类型,但要求有具体的初始、边界等时空条件。

$$R_s = \int r_B(r) df = S_k \int H_s(r) B(r) df. \quad (15)$$

## 2.2 风险可接受水平

风险评价标准是为管理决策服务的,风险管理政策包括与效应相关的政策和与危害相关的政策.各种环境保护和卫生标准及相应的政策属于与效应相关的政策.而与源相关的政策又是根据与效应相关的政策制定的.因此,对于包含危害防治的决策以及在危害后果分析的基础上所进行的费用—效益分析,只有在可能增加的危害小于所减小的危害时,这一实践才是正确的.所以风险评价标准应该是防止出现超过最大可接受的风险,把风险降低到可以达到的尽可能低的合理的一种水平。

因此,风险评价标准的制定必须是科学、实用的,即在技术上是可行的,在应用中有较强的可操作性.标准的制定,首先要反映公众的价值观,灾害承受能力.不同的地域、人群,由于受价值取向、文化素质、心理状态、道德观念、宗教习俗等诸因素影响,承灾力差异很大.如人们对煤电站已习以为常,认为其

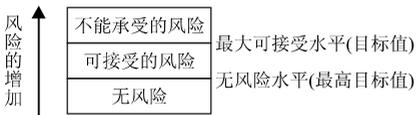


图 1 环境风险与目标管理的关系

Fig. 1 Relationship of environmental risk and goal management

存在是可以接受的,没有风险或者说风险不大,但大量科学的数据已证明,燃煤电站的危害比核电站要高 2 个数量级以上,在这里还没有考虑燃煤电站排放的  $SO_2$  产生的酸雨引起的危害、 $NO_x$  引起的光化学烟雾以及排放  $CO_2$  可能导致的温室效应的影响,而对核电站,尽管其属清洁能源,但公众却难于接受。其次,风险评价标准必须考虑社会的经济承受能力。标准过严,社会经济能力无法承担,就会阻碍经济发展。因此必须进行费用—效益分析,寻找平衡点,优化标准,从而制定风险评价标准——最大可接受水平。

可接受风险水平是根据历史的统计数据计算出来的,作为未来风险判定的准则,它需要假定计算风险的条件不仅适用于当前,而且还要适用于未来,如对社会风险的计算则设定全部人口承受风险的机会是均等的。

有时,为了更高的管理目标要求或从安全着想,相对最大可接受水平,还可引入无风险水平,将无风险水平作为环境管理的最高目标值,将最大可接受水平作为衡量和评价产生风险的目标值或最大限值<sup>[7]</sup>。如图 1。

在风险场内,一般地说,风险源发生后,风险表征量从源中心向外的变化是呈“对数”或“指数”型递

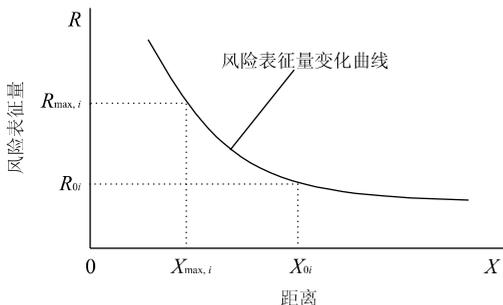


图 2 风险表征量变化与距离关系

Fig. 2 Relationship of risk characterization and distance  $R_{0i}$  表示  $i$  种受害对象的无风险水平(最高目标值);  $R_{max, i}$  表示  $i$  种受害对象的最大可接收水平(目标值);  $X_{0i}$  表示无风险水平所对应的离源的距离;  $X_{max, i}$  表示最大可接收水平所对应的离源的距离

减趋势,用图 2 表示。

从图 2 风险表征量与距离的关系,按照风险可接受水平的定义可以将之划分为 3 个区<sup>[8]</sup>,即:

- 安全区  $\in (X_{0i}, \infty)$ ,
- 相对安全区  $\in (X_{max, i}, X_{0i})$ ,
- 风险区  $\in (0, X_{max, i})$ 。

由于安全区相对无风险,相对安全区为可接收的风险,且风险表征量变化平缓,划分两个大区(级)即可。风险区由于变化剧烈,可结合其受害对象及风险的特征再划分出若干个子区(级)或亚区(级),以便于更合理地进行风险管理和决策。

### 3 环境风险的评价方法

关于事故风险评价,根据评价工作的性质和目的,可将之归为 3 类<sup>[9]</sup>:第一类为概率风险评价(PRA, probability risk assessment),它是在事故发生前,预测某设施(或项目)可能发生什么事故及其可能造成危害的风险。第二类为实时后果评价,其主要研究对象是在事故发生期间给出实时有毒物质的迁移轨迹及实时浓度分布,以便作出正确的防护措施决策,减少事故的危害。第三类为事故的后果评价,主要研究事故停止后对环境的影响。本文所讨论是第一类的评价。根据其评价的目的和要求,其评价内容主要包括风险识别、风险分析、风险预测、风险评价、风险管理和防范措施及应急计划等。从整个项目设施的安全评价开始,筛选危险因素,确定发生概率虽小但会对环境造成严重灾害的最大可信事故,进行风险后果计算,然后进行风险评价、风险管理,最后提出应急计划,直到最终进行项目风险决策<sup>[10]</sup>。

其评价步骤与评价方法<sup>[9~11]</sup>如图 3 及表 1 所示。

对于一个项目或一个工厂,其不同的子系统  $j$ ,将对应不同的事故风险,为此,可分别求得各自的最

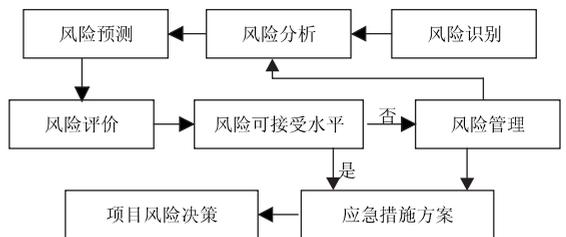


图 3 环境风险评价的程序

Fig. 3 Framework on steps of environmental risk assessment

表1 风险评价的方法

Table1 Methods of environmental risk assessment

评价内容	对象	方法	目标
风险识别	原料、辅料、中间和最终产品、工厂评价系统	检查表法、评分法、概率评价法、综合评价法	确定危险因素和风险类型
风险分析	已识别的危险性因素风险类型	定性:类比法、加权法、概率评价法、综合评价法	确定最大可信事故及概率
风险预测与评价	最大可信事故	数学物理计算公式、计算模式	确定危害程度、危害范围
风险可接受水平判别	最大可信事故风险评价标准体系	外推法、等级评价法	确定风险值和可接受水平
风险管理	无风险水平、可接受风险水平、不可接受风险水平	系统分析、判别法、费用—效益分析	不允许有风险发生、风险可以接受、确定减少风险措施
应急措施方案	事故现场、周围影响区	类比法、模拟	事故损失减至最小

大可信事故风险  $R_j$ 。风险评价时则从  $R_j$  中选出危害最大的作为本项目的最大可信灾害事故,并以此作为风险可接受水平的判据。即:

$$R_{\max} = f(R_j). \quad (16)$$

评价一个项目的风险是否可以接受,可采用最大可信灾害事故风险值  $R_{\max}$  与同行业可接受风险水平  $R_L$  进行比较,如果  $R_{\max} \leq R_L$ ,则认为本项目的建设,风险水平是可以接受的。反之,如果  $R_{\max} > R_L$ ,则对该项目需要采取降低风险的安全措施,或者在项目可能形成的风险场内将可信灾害事故风险  $R$  分区,从而将风险范围降至最小,程度降至最低,以达到可接受水平,否则项目的建设是不可接受的。

#### 4 对环境风险评价的展望

工业项目的环境风险污染源是在一定条件下,非正常发生的,具有很大的随机性及不规则性,因此,由事故引起的环境风险及其面向的评价方法体系无疑是庞大而复杂的。笔者相信,随着社会、经济的高速发展,随着人们环境风险意识的逐步提高,环境风险评价将显得日益迫切和需要,环境风险评价的理论与方法体系也会日臻完善。

#### 参考文献:

- [1] 吴永锋,石林. 三峡工程库区公路复建工程主要地质病害及防治对策[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 402—406.  
WU Y F, SHI L. Major geological hazards and preservation of road rebuilding engineering in the Three Gorges Engineering reservoir area [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(4): 402—406.
- [2] 蔡述明,杜耘,黄进良,等. 长江中游洪涝灾害的成因与监测决策支持系统的建立[J]. 地球科学——中国地质大

学学报, 2001, 26(6): 643—647.

CAI S M, DU Y, HUANG J L, et al. Causes of flooding and water logging in middle reaches of the Yangtze River and construction of decision-making support system for monitoring and evaluation of flooding and water logging hazards [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(6): 643—647.

- [3] 刘世凯,徐凯燕,刘浩,等. 长江中下游港口建设地质环境评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 437—440.

LIU S K, XU K Y, LIU H, et al. Evaluation on geological environment of harbor construction in middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(4): 437—440.

- [4] 戴福初,李军,张晓晖. 城市建设用地与地质环境协调性评价的GIS方法及其应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(2): 209—214.

DAI F C, LI J, ZHANG X H. GIS methodology and its application to evaluation of coordination between urban land use and geo-environmental potential [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(2): 209—214.

- [5] 李显忠. 西安市城市地质环境与土地工程能力评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(6): 638—641.

LI X Z. Evaluation of urban geological environment and land utilization capability in Xian city [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(6): 638—641.

- [6] 王云,王勇. 环境灾害的危险评价探讨[J]. 中国环境科学, 1991, 11(3): 207—211.

WANG Y, WANG Y. Discussion of evaluating the hazard of environmental disaster [J]. Environment Science of China, 1991, 11(3): 207—211.

[7] 赵振华. 浅谈风险评价和风险管理[J]. 环境科学, 1992, 13(1): 85—87.  
ZHAO Z H. Discussion in brief of hazard evaluation and management [J]. Environment Science, 1992, 13(1): 85—87.

[8] 郭永龙. 浅论建设项目环境风险评价[A]. 见: 中国青年环境论坛首届学术年会执行委员会编. 中国青年环境论坛首届学术年会论文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 71—76.  
GUO Y L. Discussion in brief of hazard evaluation on construction item [A]. In: paper volume of the first yearly science of China youth environment forum [C]. Beijing: Environment Science Press of China, 1993. 71—76.

[9] 胡二邦, 彭理通, 陆雍林, 等. 环境风险评价实用技术和

方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.  
HU E B, PENG L T, LU Y L, et al. Practical technology and methods of environment hazard evaluation [M]. Beijing: Environment Science Press of China, 2000.

[10] 潘自强. 危害评价和管理[J]. 中国环境科学, 1991, 11(4): 279—283.  
PAN Z Q. Hazard evaluation and management [J]. Environment Science of China, 1991, 11(4): 279—283.

[11] 程胜高, 吴登定. 宜黄高速公路噪声污染规律研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(5): 547—550.  
CHENG S G, WU D D. Principles of noise pollution in Yichang-Huangshi highway [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(5): 547—550.

## Discussion of Environmental Risk and Assessment of Industrial Construction Projects

GUO Yong-long<sup>1</sup>, LIU Hong-tao<sup>2</sup>, CAI Zhi-jie<sup>2</sup>

(1. *Engineering Faculty China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 2. *Wuhan Institute of Environmental Protection Sciences Research, Wuhan 430015, China*)

**Abstract:** This paper discusses the concepts and characterization of environmental risk for industrial projects to occur. It also expoundes and determines the environmental risk and its assessment standard—receivable level. Finally, it presentes steps and method of environmental risk assessment for industrial constructions.

**Key words:** industrial project; environmental risk; risk characterization; receivable risk level; risk assessment.

\*\*\*\*\*

## 《地球科学——中国地质大学学报》

2002 年 5 月 第 27 卷 第 3 期 要目预告

应用对象关系型数据库存储 GIS 数据 .....	罗忠文等
县(市)级土地利用数据库系统的构建和实现 .....	杨 军等
MAPGIS OLE DB 提供者的设计与实现 .....	周顺平等
Java Applet 在 ASP 组件 WebGIS 系统中的应用 .....	谢 忠等
运用 GIS 技术研制石化管线管理系统 .....	曾 文等
基于 MAPGIS 的掌上电子平板的设计与实现 .....	樊文有等
基于 TrouS 小波的影像融合 .....	刘修国等