

Y

1094862

分类号 X820.4

密级 公开

UDC

编号

# 学 位 论 文

## THESIS FOR DEGREE

### 辽宁省排山楼金矿环境 风险评价研究

作者 苏 红

申请学位级别 硕 士

专业名称 环境工程

辽宁工程技术大学

LIAONING TECHNICAL UNIVERSITY

## 摘要

本文研究了辽宁省排山楼金矿的环境风险评价问题。从物质危险性和工程项目潜在危险性两方面对该金矿进行了风险识别,运用层次分析法从中筛选出含氰废水污染地下水为最大可信事故;然后采用数据频率分析与事件树分析相结合的方法对其进行了定量分析;再根据氰化物污染地下水的幕景假设建立了数学模型。由 Matlab 求解的计算结果可知,一年一遇降雨淋溶水中氰化物超过地下水Ⅲ类质量标准,防渗工作主要应针对一年一遇的降雨。最后根据氰化物排放对水生生物和人体健康两方面影响的风险评价,得到氰化物污染地下水属于可接受风险。鉴于氰化物是剧毒物质,且在评价中存在很多不确定因素,因此减少尾矿中氰化物的含量、做好露天采坑防渗工作以及闭库后立即覆土绿化是非常必要的。

**关键词:** 环境风险评价; 层次分析法; 氰化物; 最大可信事故

## **Abstract**

The environmental risk assessment for Paishanlou gold mine in Liaoning was studied in this paper. The risk recognition to the gold mine had been carried out from the material risk and the engineering project risk. The cyanide polluting groundwater had been selected as the maximum credible accident by Analytic Hierarchy Process. Then by the method combined the data frequency analysis with the event tree analysis, the maximum credible accident had been analyzed quantitatively. Subsequently the mathematical model had been established according to the curtain scenery supposition of the cyanide pollution ground water. The results computed by Matlab indicated that the concentration of cyanide caused rainfall surpass III kind of quality standards of the ground water. The measures against infiltrate deal mainly with the rainfall taked place once a year. Finally according to the risk assessment about the influence of cyanide discharged on aquatic lives and human health, it was reached that the cyanide contaminating groundwater belong to acceptable risk. As cyanide is highly toxic substances and there are many uncertain factors in the evaluation, therefore it is very necessary to strengthen risk management.

**Key words:** environmental risk assessment; analytical hierarchy process; cyanide; the maximum credible accident

## 1 绪论

### 1.1 环境风险评价研究的目的和意义

从 20 世纪 30 年代到 70 年代,在某些国家中相继出现了不少严重的污染事件,引起人群急性中毒死亡,如表 1-1 所示<sup>[1]</sup>。

这几起震惊世界的重大环境污染事件中,影响最大、后果最严重的当属 80 年代发生的印度帕尔市农药厂毒气泄漏与前苏联切尔诺贝利核电站事故。它们的共同特点是突发性、瞬时性、不确定性及后果严重性,因此人们逐渐认识并关心重大突发性事故造成的环境危害的评价问题。

表 1-1 世界几次严重的污染事件

时间	事件名称	发生条件	主要污染物	受害情况
1930 年 12 月	比利时马斯河谷事件	山谷、无风、有逆温层、烟雾。厂区有:铁厂、锌厂、玻璃厂、金属加工厂	二氧化硫、氟化物、飘尘	60 人及不少家畜死亡,患者胸痛、咳嗽、呼吸困难、眼睛受刺激
1948 年 10 月	美多诺拉事件	盆地、浓雾、气温逆转、建有大型炼铁厂、硫酸厂、炼锌厂	二氧化硫、硫酸雾、飘尘	死亡 20 人,6000 人住院,受害者多系肺病和心脏病患者
1950 年 11 月	墨西哥帕莎利卡事件	逆温层笼罩着低空,石油精练厂脱硫装置破损	硫化氢	死亡 22 人,320 人住院,硫化氢中毒症
1952 年 12 月	伦敦烟雾事件	浓雾、高压逆温层、无风	烟尘(主要是家庭取暖烟气)	死亡 4000 人,死者以慢性支气管炎、肺炎和心脏病者居多
1964 年 9 月	日本富士山事件	平原、无风、液氯气化时管接头破裂,氯气大量喷出	氯气	中毒者 533 人,住院 47 人,患者咳嗽、流泪、胸痛、呕吐及后期头痛
1984 年 12 月	印度帕尔市毒液泄漏事件	一农药厂 45t 毒液泄漏,转化为毒气	甲基异氰酸盐(农药原料)在空气中浓度超标 1000 倍	几天内死亡 2500 余人,20 万人受影响,17000 人残疾,大批牲畜死亡,整个地区食物、水体均受污染
1986 年 4 月	前苏联切尔诺贝利核电站事件	原因及条件待查	大量放射性物质泄漏,放射性尘埃广为扩散	当时死亡 2 人,约 2 个月死亡 19 人,299 人住院,其中 35 人受辐射最严重。

我国是世界上遭遇环境污染较严重的国家之一,特别是随着工业化进入重化工阶段,环境面临的压力不断加大,新的环境保护问题层出不穷,突发性环境事件发生的概率继续增大。2005年11月13日,中石油吉林石化公司双苯厂发生爆炸事故,引发重大水环境污染事件,给松花江沿岸特别是大中城市人民群众生活和经济发展带来严重影响<sup>[2]</sup>。毫无疑问,松花江重大环境污染事件再次给我国的环境安全问题敲响了警钟。

工业文明带来的有害污染物的存在是一个客观事实,“零承受”与“零存在”是不可能的,所以仅仅风险源的存在并不意味着有什么问题,实际中的主要问题是由未被有效控制的风险源带来的。因此在经济开发项目之前或是过程中对其进行环境风险评价,然后在行动方案效益与其实际或潜在的风险及降低风险的代价之间谋求平衡,以实现经济效益与环境保护的双赢。

## 1.2 环境风险评价的研究与进展

### 1.2.1 国外研究和应用进展

环境风险评价兴起于20世纪70年代,主要是在发达的工业国家,特别是美国的研究尤为突出<sup>[3]</sup>。迄今为止,环境风险评价的发展大体可以分为以下三个阶段:

(1) 20世纪30年代到60年代,风险评价处于萌芽阶段。主要采用毒物鉴定方法进行健康影响分析,以定性研究为主。直到60年代,毒理学家才开发了一些定量的方法进行低浓度暴露条件下的健康风险评价<sup>[4]</sup>。

(2) 20世纪70年代到80年代,风险评价研究处于高峰期,评价体系基本形成。最早的环境风险评价的代表作是美国核管会1975年完成的《核电厂概率风险评价实施指南》,亦即著名的WASH-1400报告。该报告系统地建立了概率风险评价方法。健康风险评价早在30年代就有了初级评估形式,但以80年代美国国家科学院和美国环保局的成果最为丰富。其中具有里程碑意义的文件是1983年美国国家科学院出版的红皮书《联邦政府的风险评价:管理程序》,提出风险评价“四步法”,即危害鉴别、剂量—效应关系评价、暴露评价和风险表征<sup>[4]</sup>。随后,美国国家环保局根据红皮书制定并颁布了一系列技术性文件、准则和指南。

(3) 20世纪90年代以后,随着相关基础学科的发展,风险评价技术

也不断完善,美国对 80 年代出台的一系列评价技术指南进行了修订和补充,同时又出台了一些新的指南和手册。例如,1992 年版的《暴露评价指南》取代了 1986 年的版本;1998 年新出台了《神经毒物风险评价指南》;同年,在 1992 年生态风险评价框架的基础上,正式出台了《生态风险评价指南》。其他国家,如加拿大、英国、澳大利亚等国也在 90 年代中期提出并开展了生态风险评价的研究工作<sup>[6]</sup>。

近年来,许多发达国家将环境风险评价纳入环境管理的范畴,环境风险评价已经成为建设项目、区域开发和政策制定的环境影响评价中的重要组成部分。目前应用最广泛的是事故风险评价,有关国际组织制定了相应的评价指南和规程。比如:

(1) 1985 年,世界银行环境和科学部颁布了关于“控制影响厂内外人员和环境重大危害事故”导则和指南;

(2) 1987 年欧盟立法规定,对有可能发生化学事故危险的工厂必须进行环境风险评价;

(3) 1988 年联合国环境规划署(LTNEP)制定了阿佩尔计划(APELL),以应付那些令人难以防范而又有可能对人类造成严重危害的环境污染事故。

(4) 1997 年美国风险评价及风险管理委员会经近 3 年的时间编制完成《环境健康风险管理框架》及《立法决策中的风险评价与风险管理》。

目前,环境风险评价的重点集中在与经济开发项目相关的各种危害上,包括有毒有害化学物质、放射性物质、易燃易爆物质、危及生命财产的机械设备故障、大型构筑物故障(如水坝)和生态危害(如富营养化)等方面。

(1) 1980 年,英国完成了泰晤士河口坎威岛石油化工区的风险评价;

(2) 从 80 年代起,荷兰对石油化工密集区瑞金孟德地区进行了长期的风险评价研究。

(3) 欧盟 16 国于 1994 年成立欧盟污染场地公共论坛,并于 1996 年完成污染场地风险评价协商行动指南,加强欧盟国家污染场地调查和治理的理论指导和技术交流。

### 1.2.2 国内研究和应用进展

我国的风险评价研究起步于 20 世纪 90 年代,主要以介绍和应用国外的

研究成果为主,虽然目前还没有一套完全适合我国的有关风险评价程序和方法的技术性文件,但 90 年代以后,在我国新建或拟建的具有重大环境污染事故隐患的建设项目(如化学工业、石油工业、核电工业、医药工业等)的环境影响报告中普遍开展了环境风险评价<sup>[6-8]</sup>。1990 年开始在核工业系统开展环境健康风险评价的研究;1995 年,王勇等结合中国石化总公司的安全评价,开展了石油化工企业环境风险评价的应用和实例研究。我国近年利用风险概念和分析方法对环境健康风险的应用研究也取得较大进展;1997 年国家攻关计划开展了燃煤大气污染对健康危害的研究;曾光明等开展了水环境健康风险评价模型及其应用研究等。在一些部门的法规和管理制度中也已明确提出风险评价的内容,如国家环保局于 1990 年下发的 57 号文件,要求对重大环境污染事故隐患进行环境风险评价;1993 年国家环保局颁布的《中华人民共和国环境保护行业标准《环境影响评价技术导则(总则)》(HJ/T 2.1-93);1997 年国家环境保护局、农业部、化工部联合发布的《关于进一步加强农药生产单位废水排放监督管理的通知》;2001 年国家经贸委发布的《职业安全健康管理体系指导意见》和《职业安全健康管理体系审核规范》;2004 年发布的新化学物质危害评估导则。2006 年出版的《环境项目安全监测与风险防范控制及国家突发环境事件应急预案实务全书》。

近几年来,我国的环境风险评价研究主要表现在以下几个方面:

(1) 利用模糊综合评判方法进行项目风险评价已成为国内外风险管理领域的主要研究热点之一,且取得了相当的进展;

(2) 自 1996 年提出《中国 21 世纪议程》优先项目计划,危险废物风险管理和处理、处置技术研究被列为国家科技发展的重点之一,随之污染场地的健康风险评价也逐渐被重视,学者们正在研究构建适合我国实际的污染场地健康风险评价体系;

(3) 随着城镇化进程的加快,环境工作者加强了对城镇化进程中环境风险的一些问题的研究。

### 1.3 本文的研究思路与内容

#### 1.3.1 研究思路与框架

矿产资源的开发、加工和使用过程不可避免地要破坏和改变自然环境,

产生各种各样的污染物质，造成大气、水体和土壤的污染，并给生态环境和人体健康带来直接或间接的、近期或远期的、急性或慢性的不利影响。以往多是对非金属矿山即煤矿的环境影响评价以及地质灾害评价，或是对矿井内劳动作业的安全评价，对环境风险评价的研究较少，本文以阜新市排山楼金矿为例，对金矿潜在危险性进行风险评价。

本文的研究框架如图 1-1。

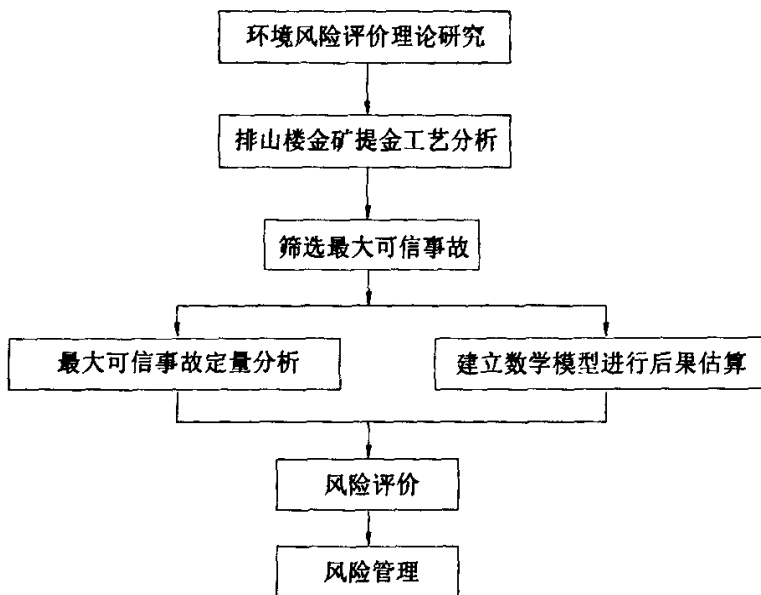


图 1-1 本文的研究框架

### 1.3.2 研究内容

- (1) 环境风险评价理论；
- (2) 排山楼金矿提金工艺过程及其环境问题；
- (3) 排山楼金矿潜在危险源的识别并应用层次分析法筛选出最大可信事故；
- (4) 运用数据频率分析与事件树分析相结合的方法对最大可信事故进行定量分析，再根据事故源项建立数学模型进行后果预测；
- (5) 针对上述给出的风险值进行风险评价，提出相应的管理措施。



## 2 环境风险评价的基本概念、评价内容和程序

### 2.1 基本概念

#### (1) 风险

对于风险的定义有多种,有人认为风险是生命与财产损失或损伤的可能性;有人认为风险是不确定危害的度量;也有人认为风险是用事故可能性与损失或损伤的幅度来表达的经济损失与人员伤害的度量。比较通用与严格的定义如下:风险  $R$  是事故发生概率  $P$  与事故造成的环境(或健康)后果  $C$  的乘积<sup>[9]</sup>,即:

$$R[\text{危害/单位时间}] = P[\text{事故/单位时间}] \times C[\text{危害/事故}]$$

#### (2) 环境风险

环境风险是指由人类活动引起的,或由人类活动与自然界的运动过程共同造成的,通过环境介质传播的,能对人类社会及其生存、发展的基础——环境产生破坏、损失乃至毁灭性作用等不利后果的事件的发生概率。

环境风险有两个主要特点:不确定性和危害性。不确定性是指人们对事件发生的地点、强度等事先难以准确预料;危害性是针对事件的后果而言的,具有风险的事件对其承受者会造成危险,并且一旦事件发生,就会对事件的承受者造成损失或危害<sup>[10]</sup>。

环境风险广泛存在于人们的生产和其他活动中,而且表现方式纷繁复杂。根据产生原因的差异,可以将环境风险分为化学风险、物理风险以及自然灾害引发的风险。

化学风险是指对人类、动物和植物能产生毒害或其他不利作用的化学物品的排放、泄漏,或者是易燃易爆材料的泄漏而引发的风险。

物理风险是指机械设备或机械机构的故障所引发的风险。

自然灾害引发的风险是指地震、火山、洪水、台风等自然灾害带来的化学性和物理性的风险,显然,自然灾害引发的风险具有综合的特点。

另外,我们也可根据危害事件的承受对象的差异,将风险分为三类,即人群风险、设施风险以及生态风险。人群风险是指因危害性事件而致人病、伤、死、残等损失的概率;设施风险是指危害性事件对人类社会的经济活动的依托——设施,如水库大坝、房屋等造成破坏的概率;生态风险是指危害

性事件对生态系统中的某些要素或生态系统本身造成破坏的可能性,对生态系统的破坏作用可以是使某种群落数量减少,乃至灭绝,导致生态系统的结构、功能发生变异。

### (3) 环境风险评价

环境风险评价,广义上讲是指对某建设项目的兴建、运转或是区域开发行为所引发的或面临的灾害(包括自然灾害)对人体健康、社会经济发展、生态系统等造成的风险,可能带来的损失进行评估,并以此进行管理和决策的过程。狭义上讲是指对有毒化学物质危害人体健康的可能程度进行概率估计,并提出减少环境风险的方案和决策<sup>[11]</sup>。

## 2.2 研究重点

与经济开发项目相关的危害有:

- (1) 对人、动物与植物有毒的化学物质;
- (2) 易燃易爆物质;
- (3) 危及生命财产的机械设备故障;
- (4) 构造物(例如水坝)故障;
- (5) 生态危害(例如富营养化、土壤腐蚀)。

图 2-1 说明了上述风险类型的主要污染途径<sup>[9]</sup>。

贮量→释放→浓度→照射→剂量→效应: 健康与安全、生态系统、物理危害

#### (a) 有毒化学物质危害

贮量→着火→压力、热量、有毒产物→照射→效应: 健康与安全、生态系统、物理危害

#### (b) 易燃易爆物的危害

活动→事故(初始事件)→事件(可能的事件链)→效应: 健康与安全、生态系统、物理危害

#### (c) 物理条件危害

图 2-1 不同有害物质的危害序列

## 2.3 评价的内容和程序

到目前为止,环境风险评价还没有一个统一的程序和方法,根据评价对象和目的不同,使用的方法也不尽一致。参考文献[12]认为一个完整的风险

评价程序由下述四个阶段组成（见图 2-2）：①风险识别；②事故频率和后果估算；③风险计算；④风险减缓。

图 2-3 为美国科学院国家研究委员会(U.S.National Research Council of the National Academy of Science)1983 年提出，后被美国环保局(USEPA)1986 年采用的风险评价步骤，包括风险研究、风险评价和风险管理三个部分。这是更广义的风险评价内容。实际开展风险评价工作时，主要引用现有的研究结论，研究性的工作很少。

图 2-4 则是亚洲开发银行推荐的环境风险评价程序。

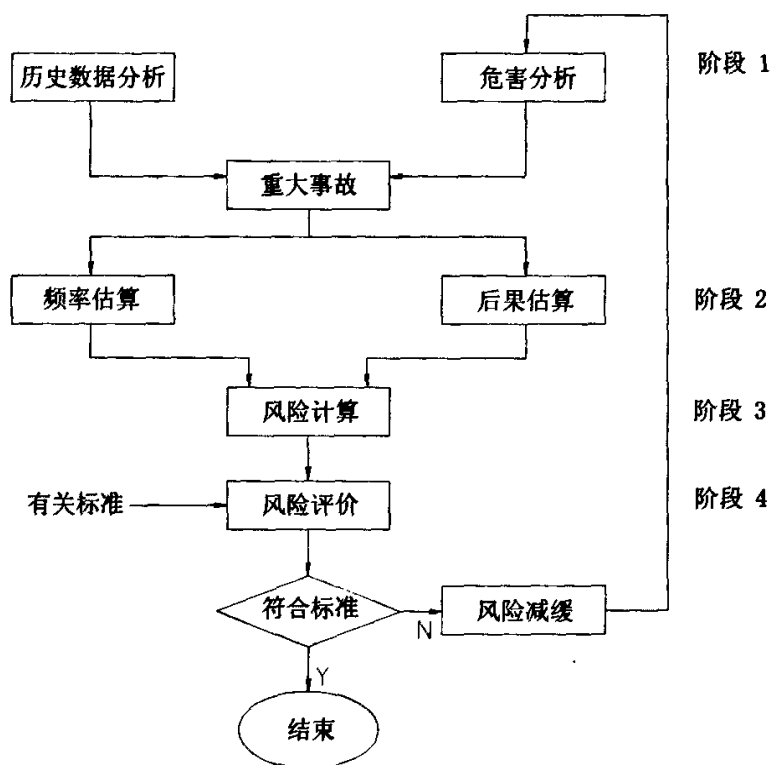


图 2-2 风险定量分析通用程序

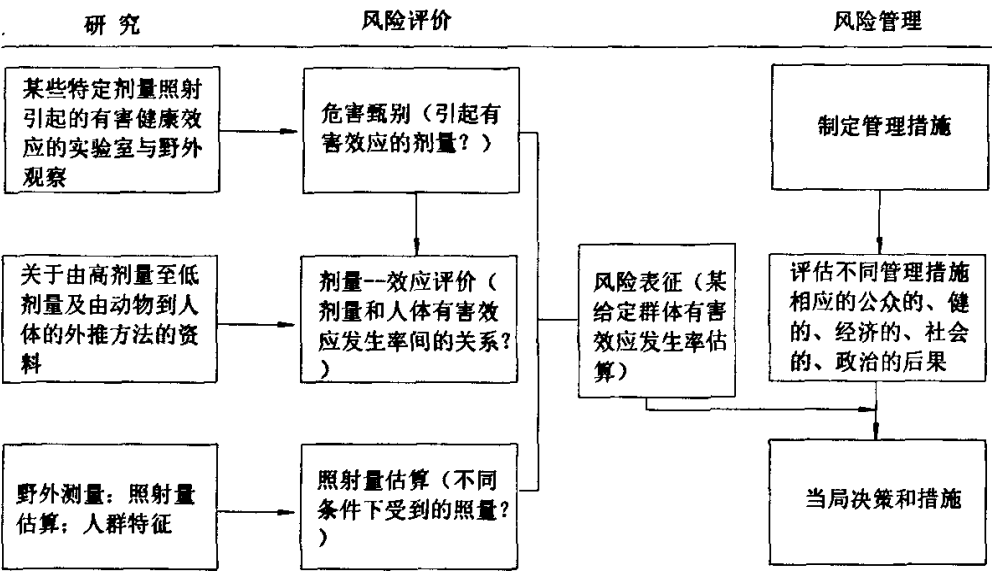


图 2-3 美国环保局采用的环境风险评价框图

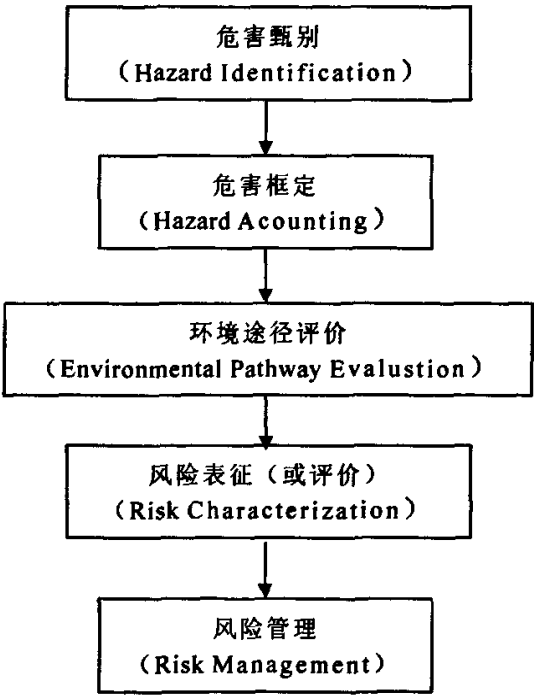


图 2-4 亚洲开发银行建议的环境风险评价程序框图

综上所述,我们可以这样认为,单纯的环境风险评价(不包含风险管理)大体上可以分成下述三个阶段或包含三个组成部分;广义的环境风险评价(包含风险管理,或称环境风险评价与管理)则除了下述三个阶段外还需增加第四个阶段(风险管理),其内容则包含四个组成部分<sup>[10-13]</sup>:

(1) 第一阶段为源项分析,它包括了图 2-4 中的危害甄别和危害框定或图 2-2 中的危害分析与事故频率估算。它的主要任务是通过系统存在的潜在危险识别及其事故概率计算,筛选出最大可信事故。此阶段是环境风险评价的首要任务和基础工作。

(2) 第二阶段为环境后果分析,此阶段相应于图 2-4 中的环境途径评价或图 2-3 中的照射量估算和剂量——效应评价或图 2-2 中的后果估算。它的主要任务是估算有毒有害物质在环境中的迁移、扩散、浓度分布及人员受到的照射与剂量。

(3) 第三阶段为风险表征或风险评价,它相应于图 2-3 和图 2-4 中的风险表征及图 2-2 中的风险计算与风险评价阶段,此阶段的主要任务是给出风险的计算结果及评价范围内某给定群体的致死率或有害效应的发生率。

(4) 第四阶段为环境风险管理,此阶段的主要任务是根据风险分析、评价的后果,结合风险事件承受者的承受能力,确定风险是否可以被接受,并根据实际情况,采取减低风险的措施和行动。

## 2.4 环境风险评价与环境影响评价的主要区别

环境风险评价是环境影响评价的重要组成部分,但与一般意义上的环境影响评价不同,表 2-1 列举了环境风险评价与环境影响评价的主要区别<sup>[9]</sup>。

环境影响评价的研究重点是正常过程,采用确定性方法,评价时段较长,采用的多是常规和长期措施。环境风险评价则是推测不确定性事件发生概率及其发生后可能造成后果的严重程度和波及范围,其重点是以事故情况、评价方法以及概率论和随机方法为主,评价的时段较短,其对策措施是以应急计划为主。由此可见,环境风险评价区别于环境影响评价的重要特征在于其强调不确定性因素的作用,并在评价结果中体现风险程度。

表 2-1 环境风险评价与环境影响评价的主要不同点

次序	项目	事故风险评价	正常工况环境影响评价
1	分析重点	突发事件	正常运行工况
2	持续时间	很短	很长
3	应计算的物理效应	火、爆炸, 向空气和地面水释放污染物	向空气、地面(地下)水释放污染物、噪声、热污染等
4	释放类型	瞬时或短时连续释放	长时间连续释放
5	应考虑的影响类型	突发的激烈的效应及事故后期的长远效应	连续的、累积的效应
6	主要危害受体	人和建筑、生态	人和生态
7	危害性质	急性受毒; 灾难性的	慢性受毒
8	大气扩散模式	烟团模式、分段烟羽模式	连续烟羽模式
9	照射时间	很短	很长
10	源项确定	较大的不确定性	不确定性很小
11	评价方法	概率方法	确定论方法
12	防范措施与应急计划	需要	不需要

## 2.5 常见行业与领域的环境风险评价

### (1) 化工、石化行业事故风险评价

化工、石化事业的发展创造了巨大的财富, 提高了人们的生活质量, 与此同时, 环境风险亦不断增加。石油化工的原料及产品大多数为易燃、易爆和有毒物质, 生产过程多处于高温、高压或低温、负压等苛刻条件下, 潜在危险性很大。一旦发生化学突发泄漏事故, 往往与爆炸、火灾相互引发, 且发展迅猛, 致使有毒化学品大量外泄; 或多点诱发, 从点源发展到面源, 逸散到大气中<sup>[14]</sup>。化工、石化工业一旦出现事故, 则具有突发性强、危害性大、有毒化学品类型多、行为复杂等特点。

基于化工、石化工业本身的特点, 其环境风险评价, 应包含安全评价和环境风险评价两部分内容, 选取发生概率小、突发性强、可能产生重大影响或潜在危害的系统作为研究对象。它所涉及的原料、中间产物、产品、辅料等化学品具有易燃、易爆和有毒、有害两大主要特征。这些物品通过生产、贮运、运输、使用乃至废弃等各种途径进入环境, 在转移过程或积累过程对生态环境和人体健康具有潜在危险性, 是环境风险评价的重要内容。

世界各国广泛接受的对化工装置和工艺过程的火灾、爆炸危险评价及相应安全措施的方法以美国道化学(DOW)七版评价方法为主, 亦可采用杜

邦公司、美国保险协会、日本劳动省方式、冈山县方式和英国 ICI 蒙德标准等许多改进型方法。

## (2) 生态风险评价

美国 EPA 总结了 20 多个用于生态风险评价的方法, 推荐了生态风险评价结构框架。生态风险评价由四个部分构成: 即受体评价、危害评价、暴露评价和风险表征<sup>[4]</sup>。这四个部分既相互关联, 又相互独立。

受体分析主要提供可能受到危害的生物个体、种群、群落或生态系统的有关信息, 包括在评价时选择危害的指标、危害的对象、受体特征、生物或生态系统中受体生命过程等。一般说来, 在生态系统中, 可能遭受危害的生物受体种类很多, 不同种类的受体对有毒有害化学物质的反映也不一样, 不可能对生态系统中每一种生物受体都进行分析和评价, 关键是要选择一种或几种能反映人们所关心的整个生态系统或其中大多数生物受危害的程度和可能性大小的生物。当然, 目标生物或受体的选择主要取决于人们所关心的问题的性质和目的, 也取决于主要化学物质种类及其毒作用情况。

危害评价主要提供不同有毒化学物质对不同生物受体的毒理作用方面的信息, 如受试生物对某种有毒物质的半致死浓度值 ( $LC_{50}$  或  $LD_{50}$ )、剂量——效应关系。作为给定的有毒物质浓度是否会造成对指示生物或生态因子的危害, 或危害大小的判别依据。

暴露评价主要提供有毒化学物质在生态环境中的时空分布规律, 即环境中有毒物质的形态、浓度分布、浓度变化过程, 受体与化学物质接触方式、有毒物质对受体的作用方式、有毒物质进入受体的途径、以及受体接触有毒物质暴露量的估算。这是判别受体是否遭受危害的依据, 也是风险评价的依据。一般说来, 暴露评价所提供的信息量的大小、准确和可靠性程度直接决定了风险评价的可靠性程度。

风险表征则是在上面三个部分的基础上, 进行综合分析, 采用适宜的数学方法来表征有无风险或风险的大小。总的来说, 风险表征的方式主要有两类: 一类是定性风险表征, 一类是定量风险表征。定性风险表征要回答的问题是 有无不可接受的风险, 以及风险属于什么性质。定量的风险表征, 不但要说明有无不可接受的风险及风险的性质, 而且要从定量角度给出风险值的

大小。

定性的风险表征一般不需要复杂的数学模型,只给出一个截然不同的结论,给人一种安全与否的概念,若有风险,是属于什么性质的风险,便于管理和决策者作出是否需要进一步研究的决定<sup>[15-16]</sup>。主要方法有专家判断法、风险分级法、敏感环境距离法、比较评价法。

定量的风险表征一般要给出不利影响的概率,它是受体暴露于有害环境,造成不利后果的可能性的度量,常常用不利事件出现的后果的数学期望值来估算,在实际评价时,由于研究的对象不同,问题的性质不同,定量的内容和量化的程度不同,表征方法也有很大的区别,常用的有商值法、连续法、外推误差法、错误树法、层次分析法和系统不确定性分析等。最普遍、最广泛应用的风险表征方法为商值法<sup>[17]</sup>。

### (3) 核电厂事故后果评价

国际上把核事件分成 8 个等级,0 级表示无核安全意义的事件,1 级为异常,2 级为事件,3 级为严重事件,4 级为主要在设施内的事故,5 级为有场外危险的事故,6 级为严重事故,7 级为特大事故<sup>[18]</sup>。为了把核事故造成的危害降到最低,必须采取应急措施,我国与国际原子能机构将核电厂应急状况分成四级,即应急待命、厂房应急、场区应急与场外应急。

一般将事故进程分为早期、中期和后期三个阶段。事故早期一般指事故释放的最初几个小时,此阶段主要考虑烟羽的吸入和浸没外照射途径;事故中期指从事故释放后的最初几个小时起,至几天或几周,此阶段除考虑吸入和浸没外照射途径外,地面沉积放射性的外照射及农产品的直接沉积污染有可能成为主要危害;事故后期是从事故中期结束起,可以延伸几周至几年,除考虑上述照射途径外,还需考虑核素通过根部吸收从土壤转移至食品的途径。

从事故应急后果评价讲可分为实时(Real-time)剂量评价和事故后后果(Over-event 或 Past Accident)评价两类,实时剂量评价顾名思义是指事故发生的同时对事故后果进行估算与评价,此中主要考虑放射性烟羽的浸没外照射,事故后后果评价是指事故释放停止后的一段相当长的时间内可能造成的后果进行估算与评价。



最好的范例是美国核管会（NRC）于 1975 年完成的对核电站所进行的极其系统的安全研究，其研究成果就是著名的巨著 WASH-1400 报告。其中系统地发展和建立了所谓的概率风险评价方法（PRA）。实时后果评价的主要研究对象是在事故发生期间给出实时的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。主要象征之一是国际原子能机构（IAEA）于 1988 年 10 月与美国利物莫国立实验所在该所联合召开的第一届实时剂量评价国际研讨会。我国于 1989~1992 年开发了我国第一套（秦山）核电厂事故应急实时剂量评价系统。目前，国内正以国家核事故应急办公室牵头开展“核事故应急专家支持系统”的研究工作，引入欧盟于 90 年代开发的“RODOS”系统（Real-time On line Decision Support System, 实时在线决策支持系统）并适用于中国的秦山、大亚湾核电厂（九五国际攻关项目）。事故后后果评价主要研究事故停止后对环境的影响，其主要象征是 1988~1994 年由 IAEA 及欧盟共同发起主持的有 20 多个国家参加的大型长期国际协调研究项目“核素在陆地、水体、城市诸环境中迁移模式有效性研究”（简称“VAMP”），主要研究前苏联切尔诺贝利核电站事故停止后对中、西欧的影响后果。

#### （4）危险品贮运风险评价

在货物运输中，凡具有燃烧、爆炸、腐蚀、毒害、放射性等性质，在运输、装卸、保管过程中能引起人身伤亡和财产损失而需要特别防护的货物，均属危险货物。危险货物运输是一个国际性的共同问题。1929 年，国际海上人命安全会议认识到有必要对海上运输危险货物进行国际管理。1953 年，联合国经济社会理事会成立了“危险货物运输专家委员会”，1965 年该委员会提交了第一份工作报告。报告提出了危险货物运输的最低要求以及危险品的分类、编目、标志、包装和运输单证等内容。该报告后来成为联合国推荐的建议书——《危险货物运输》（橙皮书）。以后，联合国经社理事会专家委员会经过历届会增补，至 1988 年形成第五次修订本《危险货物运输》——联合国经社理事会认定的专家委员会建议书。目前国际上各种运输方式运输危险货物基本上都采用了这个建议书。很多国家（包括我国）的国内运输，也原则上予以采用。我国 1987 年 7 月 1 日起实施 GB6944—86《危险货

物分类和品名编号》，1990年7月1日开始实施GB12268—90《危险货物品名表》。2006年1月出版最新《危险货物品名表》速查手册，危险货物的分类均以此为依据。

危险货物的危害特性中最常见的主要有火灾、爆炸、中毒，稍有不慎，极易导致严重灾害，造成人员伤亡和财产损失，同时可能导致环境损害，我国对危险货物的分类较为详尽，根据运输的几个风险环节也制定出了相应的防范措施。

## 2.6 目前我国环境风险评价需改进之处

(1) 就环境风险评价研究的领域而言，研究的范围过于集中，换言之我国的环境风险评价始终是沿着其他国家的研究路线，目前有很多突发性环境事故已经呈现出来而这方面的风险评价研究较少，如有毒化学物质突然泄漏于水体等，其他引起环境污染的问题如环境噪声以及固体废物的处理与处置等都还没有纳入环境风险评价研究领域。因此环境工作者应根据我国的具体情况，拓宽环境风险评价的研究领域。

(2) 进一步探讨风险评价中的不确定性问题。环境风险评价的基本特征之一就是不确定性，客观世界的复杂性和人们认识世界的局限性、相关的信息和资料的积累有限性、计算和决策所采用的方法和模型不能完全真实地反映客观实际等因素都是不确定性的来源。因此必须加强基础数据和资料的积累，深入研究定性、定量的环境风险评价方法。

(3) 环境风险评价的最终目的是为风险决策管理提供科学依据，但目前对这一环节缺乏系统的研究。由于环境风险决策不仅取决于风险评价的结果，还受到社会经济条件、伦理道德、公众意识、甚至种族和各种利益集团的影响，因此，环境风险评价在风险决策过程中如何发挥作用、发挥多大作用等问题需要加强研究。

(4) 环境风险评价是一门综合性很强的学科，在我国单凭一个系统或一个单位的力量是很难完成的。因此必须将分散在卫生、化学、环境保护等系统分别进行的研究组织起来，相互配合、有系统地进行，形成一支跨部门、跨学科的研究队伍，充分利用现有科研条件，逐步形成我国风险评价研究网络。

## 2.7 本章小结

本章研究的是环境风险评价理论，主要内容如下：

（1）通过对风险、环境风险及环境风险评价概念的研究得出环境风险评价的研究重点及与环境影响评价的主要区别；

（2）通过文献分析，总结出环境风险评价的一般步骤；

（3）分析我国常见行业及领域的环境事故风险。

通过以上分析总结出我国环境风险评价需改进之处：

（1）拓宽环境风险评价的研究领域，随着环境风险评价的技术理论不断完善，将环境风险评价应用到各个行业和领域，追求经济与环境协调发展；

（2）加强基础数据和资料的积累，深入研究定性、定量的环境风险评价方法；

（3）加强研究环境风险评价在风险决策过程中如何发挥作用、发挥多大作用等问题；

（4）必须将分散在卫生、化学、环境保护等系统分别进行的研究组织起来，相互配合、有系统地进行，形成一支跨部门、跨学科的研究队伍，充分利用现有科研条件，逐步形成我国风险评价研究网络。

### 3 矿区环境概述

#### 3.1 地理位置与交通概况

##### (1) 地理位置

排山楼金矿位于阜新市东南 15.6km, 阜新县新民乡上排山楼村排山楼东沟东侧, 新民、大板、国华三乡的交接处, 其地理坐标为东经  $121^{\circ} 46'$ , 北纬  $41^{\circ} 52' 5''$ 。

##### (2) 交通概况

矿区西北 13km 处有新义县国铁直通沈阳、锦州, 西北 10km 处有东梁矿至阜新市内的矿山铁路。矿山东 4.5km 可通过国华、大板两乡的省级公路和黑山、北镇及内蒙相通, 向西与新民乡有乡级公路相通, 交通尚属方便。

#### 3.2 地形地貌及生态(植被)情况

##### (1) 地形

按海拔高程分, 该矿区属低山丘陵区, 地形坡度在  $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$  之间。主要表现为沟壑崎岖陡峻、沟谷狭窄, 多见冲沟切割的复杂地形。平均标高为 200~300m, 山岭标高为 300~500m, 附近青龙山海拔标高 736.7m。

##### (2) 地貌

矿区位于医巫闾山西部支脉中, 呈现的地貌特点为山地丘陵型, 纵观全区: 该矿区处于分水岭地带, 区内无地表水体存在, 只有几条冲沟在山下延展。矿山采场西侧地形相对较缓, 各沟谷的雨水汇集于上排山楼——五道桥子季节河谷中, 该河谷是矿区地表水及地下水排泄的主要通道。

##### (3) 生态环境

植被主要有森林、灌草丛和人工耕作群落。

①该区森林主要为人工油杉林, 主要分布在排山楼东沟的阴坡地上, 树龄在 10 年左右, 树胸径约 10cm; 树下为草本植物, 草的覆盖率为 70~80%。

②森林边缘为灌丛与草丛间生, 疏密不一, 高度在 1.0m 左右, 灌木主要有山杏、胡桃、黄柳、花木兰、锦鸡儿、沙棘等, 其覆盖度为 60%。

③人工耕作群落主要分布在村落附近的沟谷地带, 主要种类有玉米、高粱、谷子、大豆等粮油作物, 并有少量蔬菜。

排山楼东沟南侧山坡上土壤分为两个土属,其中坡脚部分(大部分为已开始耕作的荒山地)为耕型酸性岩棕壤性土,面积约  $1.0\text{km}^2$  土壤厚度约 50cm (含表层土厚度 18cm),山坡上部(大部分为人工油杉林)为基性岩棕壤性土,面积约  $1.1\text{km}^2$ ,土层厚度约 44cm。

### 3.3 地质概况

矿区位于新华夏系第三巨型隆起带的东侧,构造体系以新华夏系为主体,也受到东西向构造的影响,因此本区的山峰多显示北东和北北东向。矿区及外围出现的地层(从老到新)有:

前震旦系、震旦系、义县组、沙海组、阜新组、孙家湾组、第四系。

排山楼金矿床赋存于前震旦系的建平群小塔子沟组的变质岩系中,其形成机制为中生代的花岗岩和石英岩的变生岩浆捕获了地壳深处的太古界变质岩系中的金元素,形成含金热液,其热液沿着受东西向控制的韧性剪切壳断裂带向上运移使前震旦系变质岩系糜棱岩表面形成金的富集。所以该金矿为韧性剪切带变生热液型。

目前,排山楼——马家荒金矿带已圈定有 24 条矿体,金矿石储备表内矿 646.8 万 t,金属量为 25.88t,又有近东西的岔路沟—敖田营子(长 4~10km),近北东的排山楼—马家店(长 5km),尤其这两个矿带的交汇处金丰度值偏高,因此该矿床为国内超大型金矿床。

补给本区地下水的来源为大气降水,直接补给第四纪松散堆积层,据阜新气象站观测资料表明,最大降雨量为 1959 年 824.7mm,平均为 510mm,多集中在 7~8 月份。大气降水除部分渗透外,大部分以暂时性沟谷流水存在,流速大、多急湍、含砂量大。

区内第一个含水层为地表的第四纪空隙潜水,径流条件好,渗透系数为 110m/d,水力坡度为 0.5~1.0%,总体流向与地表水一致。

“排浅—蒸发”为本区地下水的主要消耗途径,据阜新市气象观测资料表明,年蒸发量为 1738mm,同时也有以泉水外排的形式。

### 3.4 常规气象状况

本区属温带大陆性季风区,四季分明,雨热同期,光照充足,适于农作物生长,但降水分布不均,冬季严寒少雪,夏季炎热多雨,常有干旱、冰雹、

暴雨、霜冻等不利天气出现。

### (1) 气温

年平均气温为  $7.2^{\circ}$ ，月平均最高为 7 月份( $24.2^{\circ}$ )，最低为 1 月份( $-11.6^{\circ}$ )，气象记载最高气温为  $40.6^{\circ}$  (1972 年 6 月 10 日)，最低为  $-28.4^{\circ}$  (1966 年 1 月 11 日)。

### (2) 风向与风速

本区静风频率较高，年平均风速为  $1.9\text{m/s}$ ，月平均以 4 月最大，最大风速为  $21.2\text{m/s}$ 。本地区主要风向见表 3-1。

表 3-1 阜新地区高频风向分布

时段	主要风向及其频率 (%)
全年	SSW19.08, C17.26, NNW9.82
冬季	C14.48, SSW13.90, WNW12.58, NNW10.82
夏季	SSW22.74, C19.22, NNW9.11

### (3) 降水与蒸发

年平均降水量为  $510\text{mm}$ ，年内分配不均，观测资料表明，极端最大年降水量为 1959 年的  $824.7\text{mm}$ ，极端最小年降水量为 1980 年的  $310.7\text{mm}$ ，年内分配不均，约 53.7%集中在 7~8 月份。

年平均蒸发量为  $1738.9\text{mm}$ ，其中 4~5 月份为  $540.9\text{mm}$ ，7~8 月份为  $398.4\text{mm}$ 。

### (4) 干旱指数

由于本地区蒸发量远大于降水量，因此本地区易于干旱，本区干旱指数为 19.6，但 4 月为 7.00，5 月为 5.21；该区山丘地多，水土流失严重，全区处于半干旱，半湿润的过渡带。

### (5) 无霜期

年平均无霜期 151d，最多为 1976 年的 157d，最少为 1977 年的 128d。出霜期最早见于 9 月 8 日 (1952 年)，终霜期最晚见于 5 月 3 日 (1952 年)。

### (6) 日照

年平均日照数为  $2868\text{h}$ ，生育期 (4~9 月) 平均日照数为  $1558\text{h}$ ，五月份日照时数最长为  $288\text{h}$ 。

3.5 居民及人口分布

排山楼金矿涉及到新民、大板、国华三个乡，三个乡计有 134 个自然屯，共有居民 11032 户计 41937 人，分布情况见表 3-2。

表 3-2 居民及人口具体分布情况

乡民	自然屯个数	户数	人口数	农业人口 %
新民	47	4593	17750	95
大板	40	3396	12724	98
国华	47	3043	11463	99

该金矿尾矿干堆场下游约 100m 处为新民乡上排山楼村排山楼东沟居民居住区，该区居民均居住于沟北侧的山坡上，排山楼东沟有居民 21 户，人口约 80 人。

3.6 环境质量现状

排山楼金矿处于乡村环境，新民、大板、国华三个乡主要从事农业、林业生产，工业主要为运输业、商业，基本上无工业废水、废气、废渣排放。

为了解矿山附近环境质量，环境评价工作在矿山工业区和选矿厂旁的新民乡排山楼村及尾矿库周围的国华乡二道岭村、废石场下的国华乡前进村均布了大气及地下水现状监测点，并在排山楼村设有噪声现状监测点。

环境质量现状监测结果表明：

(1) 大气各点总悬浮微粒的一次浓度及二氧化硫监测值低于 GB3095—1996《环境空气质量标准》中二级标准限值；在总共 5 个监测点的几天监测结果中仅有一个点位的一个总悬浮微粒日均量浓度超过上述标准的限值。

(2) 在 10 个浅层地下水监测中，铜、铅、锌、砷、镉、汞、六价铬等重金属及氰化物均未检出，以二类水域标准限值衡量，PH 值、总硬度、硫酸盐、氯化物和化学耗氧量指标均达标，有 6 个点位的细菌总数超标，总大肠杆菌群全部超标，硝酸盐氮仅有一个点位超过标准限值。

(3) 在五个噪声监测点的监测结果中，等效连续声级最大值为 42dBA，低于 GB 3096—93《城市区域环境噪声标准》中工业集中区昼夜间 65dBA 的标准限值。

(4) 矿区附近区域目前无地面水，故未进行监测。

总之，矿山附近的环境现状质量尚好，只是浅层地下水细菌学指标超标

严重。

### 3.7 本章小结

本章简要叙述了排山楼金矿地理与生态环境，介绍了矿区附近的环境污染现状。

矿区所在地四季温差较大，多风少雨，属大陆性半干旱季风气候区，交通尚属方便，工业主要为运输业、商业，基本上无工业废水、废气、废渣排放。



## 4 提金工艺流程及其环境问题

### 4.1 排山楼金矿工程设计概况

#### (1) 采矿

根据排山楼金矿矿体的赋存条件和尽可能的回收国家资源的原则,确定矿区上部采用露天法开采,经济合理剥采比为 17t/t。深部的露天开采结束后转入坑内开采。坑内开采的规模为 300~500t/d,坑内采用斜井开拓,房柱法和全面法回采。

矿山开采的采矿工艺为:由上而下逐层开采。采用 KQG—150 型高压潜孔钻打岩石炮孔, KQG—100 型高压潜孔钻打矿石炮孔。采用 4m<sup>3</sup> 电铲剥岩, 2m<sup>3</sup> 电液铲采矿。

采用公路开拓, 20t 汽车运输矿石和岩石。

矿山生产剥采比为 8.95 t/t。矿石开采损失率 5%,前期矿石贫化率为 2.4%,采出矿石品位 3.73g/t,后期贫化率 6%,采出矿石品位 2.73g/t,年采剥总量为 394 万 t。

#### (2) 选矿

排山楼金矿矿石属少硫化物糜棱岩型金矿石。矿石中金与黄铁矿的关系较密切。长春黄金研究所等单位对排山楼金矿矿石做了较系统的可选性试验,并指出该矿石尚属易浸的金矿石。

根据工艺试验结果及全面的技术经济比较,设计采用的工艺为全泥氰化——炭浆法提金流程<sup>[19]</sup>,金的回收率为 87.23%,年产黄金 1057kg。原设计生产能力为 1200t/d,经改造目前已达到 1800t/d。

在本阶段的设计中,选矿工艺的选择及设计,重点考虑了以下几个过程:

①碎磨工艺:碎磨工艺做了常规与半自磨两方案比较,确定了三段一闭路破碎流程。

②选别工艺:设计中对全泥氰化与浮选——浮选精矿氰化两个方案做了全面的技术经济评价比较,选定了全泥氰化——炭浆提金工艺流程。

③设备仪表:考虑到排山楼炭浆厂是国内最大炭浆厂,在设备选择中优先考虑了设备大型化,并适当考虑引进少量关键设备及检测仪器和仪表。

④保护环境:为了配合在尾矿库实现“零排放”,在选矿厂内设置了一

段厂内回水设施。

### (3) 尾矿库

尾矿库位于排山楼东沟选矿厂南侧沟谷中, 占地面积  $100000\text{m}^2$  (东西长  $400\text{m}$ , 南北宽  $250\text{m}$ ), 汇水面积  $1.1\text{km}^2$ , 库容  $350\text{万 m}^3$ , 原设计堆积标高  $370\text{m}$ , 堆积厚度  $35\text{m}$ 。目前尾矿库堆积标高  $380\text{m}$ , 尾矿堆积总量  $430\text{万 t}$ , 已超过设计使用标高, 即将闭库, 急需新建尾矿库, 以保证矿山生产的要求。

### (4) 露天采坑

露天采场占地面积约  $16.5\text{hm}^2$ , 现已闭坑, 封闭圈标高  $380.00\text{m}$ , 长  $500\text{m}$ , 宽  $200\text{m}$ 。露天坑底标高  $300.00\text{m}$ , 长  $360\text{m}$ , 宽  $40\text{m}$ , 封闭圈以下容积  $395\text{万 m}^3$ 。

露天坑边坡岩性主要为黑云母斜长初糜棱岩、角闪斜长初糜棱岩夹斜长角闪岩扁豆体和白云质糜棱岩。矿床近矿围岩为糜棱岩, 围岩总体走向近东西展布, 倾向北, 倾角  $40\sim 45^\circ$ 。坑底北侧  $T_1$  矿体顶板有  $F_1$  断层通过, 该断层呈东西向展布, 长度大于  $1000\text{m}$ , 宽  $1\sim 10\text{m}$ , 断层倾角  $30\sim 65^\circ$ , 断裂性质为先压后张的复合型断裂。沿断裂带岩石挤压破碎具有明显的挤压构造透镜体断层泥分布, 挤压片理发育, 断裂带发育晚期断层角砾, 角砾大小不一, 分布杂乱, 局部地段被玄武岩脉充填, 显示该断裂受到张剪性复合改造。露天坑中间白云岩顶板有北东向破碎带长  $200\text{m}$ , 宽  $0.3\text{m}$ , 倾角  $40^\circ$ 。

岩石物理机械参数如下:

抗压强度: 白云质糜棱岩  $115.28\text{MPa}$ ;

黑云母斜长初糜棱岩  $109.16\text{MPa}$ ;

松散系数:  $1.50$ ;

矿岩比重:  $2.76\text{t/m}^3$ 。

## 4.2 工程分析

### 4.2.1 选矿工艺

设计采用的工艺流程为: 三段一闭路破碎——两段两闭路磨矿——全泥氰化——炭浆提金——尾矿压滤, 最终产品为合质金 (见图 4-1)。

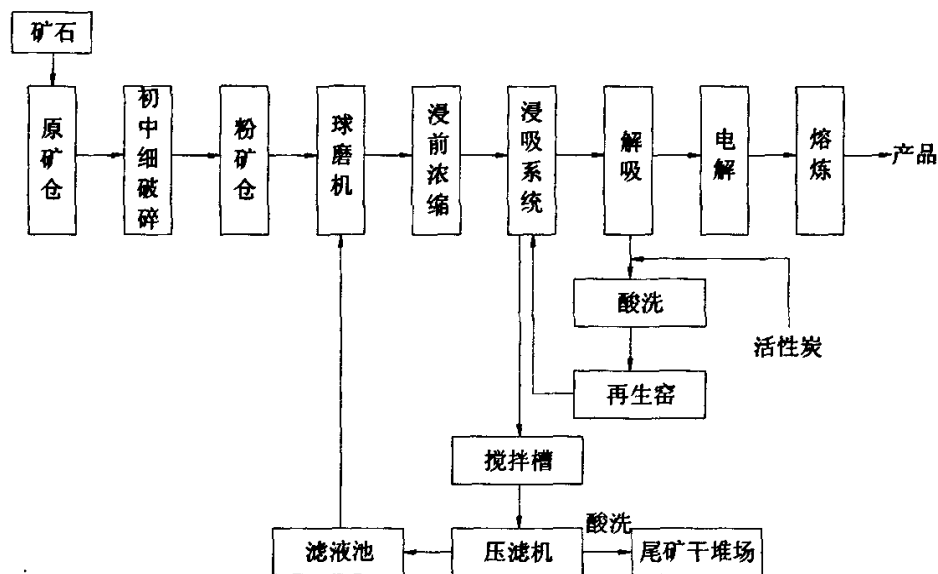


图 4-1 排山楼金矿工艺流程图

(1) 破碎工段：破碎作业的主要任务是为磨矿作业准备经济合理的给矿粒度。为了降低选厂功耗，力求“多碎少磨”，尽量减小碎矿的最终产品粒度。

(2) 磨矿分级：破碎工段的合格产品，经皮带传送给矿机。运输皮带传送到磨矿分级作业，进行选别前的深加工。磨矿是实现有用矿物解离与提供合适入选粒度的重要手段，是选矿厂的关键工序。

(3) 浸前浓缩：磨矿最终产品经旋流器溢流自流给入除屑筛，除屑后的矿浆自流给入脱气桶，再自流进入高效浓缩机，浓缩机溢流自流入回水池，浓缩机底流由渣浆泵送至下一作业——进出吸附。浓缩的主要目的是满足浸出吸附对矿浆的浓度要求。其次高效浓缩机对于浸出、吸附作业起到缓冲作用，以平衡、稳定生产。

(4) 氰化浸出炭吸附：氰化炭浆工艺是以氰化物的水溶液作溶剂，将含金矿石中金浸出到溶液中，然后采用活性炭从含金溶液中把金提取出来。该工艺先进成熟可靠，回收率高，对矿石的适应性强，能实现就地产金，减少经营费用，能给企业带来较好的经济效益。

#### 4.2.2 尾矿工程

##### (1) 尾矿排放方式

目前国内尾矿排放方式有传统的湿式排放和新兴的干式排放两种。湿式排放为达到国家规定的排放标准,对尾矿浆中的含氰污水处理成本高。湿式排放要求在尾矿库内有足够的澄清距离,形成一个水域以便尾砂自然沉积,库容利用系数低,水域对地下开采也是一个威胁。干式排放达到尾矿浆中的含氰污水不外排,全部返回选厂循环利用,提高了回水率,充分利用水资源,有效的保护了环境。干式排放尾矿堆存密度大(压滤后的滤饼密度大),而且不需要沉积水域,可充分利用尾矿库库容<sup>[20-22]</sup>。对排山楼金矿来说干式排放有以下优点:

①提高了 40%左右的回水率(与湿式排放相比),节约了宝贵的水资源,减少了选厂的新水用量,节省了供水能源。特别是排山楼金矿地处干旱地区,枯水季节供水困难。

②取消了污水处理工艺,可大幅度节省污水处理设备投资和处理费用。

③回收废水中的氰和黄金等,增加企业效益。

④尾矿库内无水域,提高尾砂堆存密度,增加了尾矿库的利用率和安全性。

⑤充分利用了矿山已有的压滤设备。

##### (2) 尾矿压滤干排工艺

尾矿干堆工程项目名称为辽宁省排山楼金矿 1800t/d 尾矿干堆工程。原设计是将尾矿浆压滤脱水,形成尾矿饼存放于干堆场。

尾矿干堆工程主要设施有压滤间、干堆场、胶带机,压滤间设在选矿主厂房西侧。内设 XAZ1060/2000 型厢式压滤机 4 台,单机压滤面积 1023m<sup>2</sup>。由选矿厂排出的含氰尾矿浆(尾矿重量浓度为 40%,水中氰化物浓度为 100mg/L)进入搅拌槽后,由渣浆泵送到压滤车间的厢式压滤机,经压滤机充分挤压、脱水后,形成尾矿饼,再以反洗水泵压入漂白粉水溶液进行滤洗,把滤饼中的残留的含氰溶液置换出来,反洗漂白粉滤液返回到漂白粉水溶液槽,含氰的压滤滤液进入回水槽,然后返回选矿厂重新利用。经反吹后的尾矿饼从厢式自动压滤机排出,由胶带机输送到尾矿干堆场存放(见图 4-2)。

堆放方式是分层堆放，分层厚度为 1m。

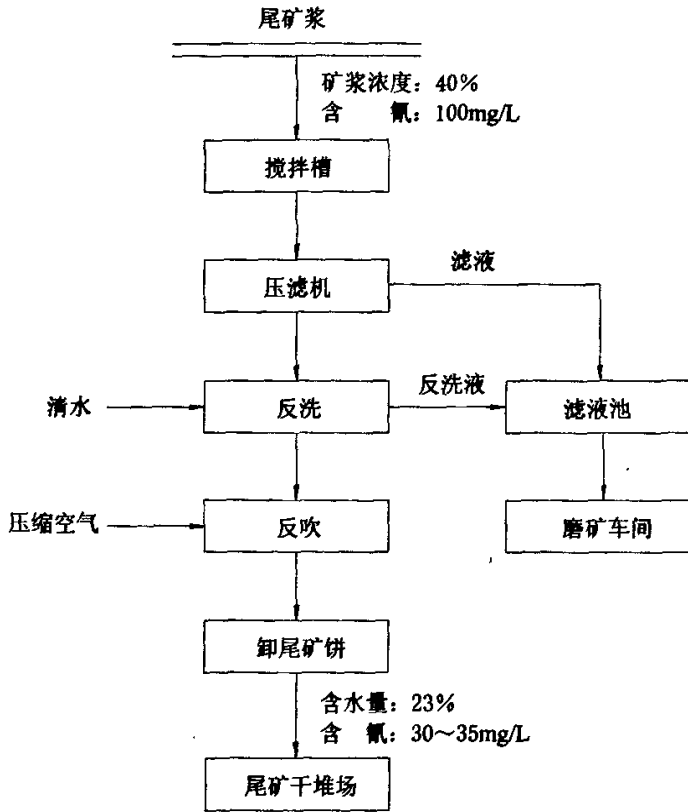


图 4-2 尾矿压滤工艺流程

4.2.3 利用露天采坑作尾矿干堆场工程

原尾矿库堆积标高 380m，尾矿堆积总量 430 万 t，已超过设计使用标高，即将闭库，急需新建尾矿库，以保证矿山生产的要求。采用露天采坑作为新的尾矿库不但解决了矿山生产尾矿堆存问题，而且减少了耕地及林地的占用，不增加对环境新的破坏和污染。露天采坑四周为坚实的围岩，不需投入大量资金修建尾矿坝和排水设施。

露天采场占地面积约 16.5hm<sup>2</sup>，现已闭坑，按每年排尾矿 59.4 万 t(1800t/d 规模)，可服务 10 年。在尾矿库周边共设截洪沟 5 条，使降雨汇水不流入尾矿库内，经排洪后汇水面积为 115000m<sup>2</sup>。

J<sub>1</sub> 截洪沟：在尾矿库北侧和西侧，汇水面积 54450m<sup>2</sup>，按洪峰流量 0.91m<sup>3</sup>/s，设计采用梯形排水断面，底宽 0.5m，边坡 1: 1，沟深 1m，由

标高 410~281m, 沟底坡最缓处不小于 1%, 沟长 690m。

J<sub>2</sub> 截洪沟: 在尾矿库南侧, 汇水面积 32650m<sup>2</sup>, 按设计洪峰流量 0.61m<sup>3</sup>/s, 设计采用梯形排水断面, 底宽 0.5m, 边坡 1: 1, 沟深 1m, 由标高 450~400m, 沟长 450m。

J<sub>3</sub> 截洪沟: 在尾矿库南侧, 汇水面积 14400m<sup>2</sup>, 按设计洪峰流量 0.34m<sup>3</sup>/s, 设计采用梯形排水断面, 底宽 0.5m, 边坡 1: 1, 沟深 0.6m, 由标高 450~381m, 沟长 135m。

J<sub>4</sub> 截洪沟: 在尾矿库南侧, 汇水面积 29900m<sup>2</sup>, 按设计洪峰流量 0.58m<sup>3</sup>/s, 设计采用梯形排水断面, 底宽 0.5m, 边坡 1: 1, 沟深 1m, 由标高 395~380m, 沟长 280m。

J<sub>5</sub> 截洪沟: 在尾矿库南侧, J<sub>1</sub> 和 J<sub>3</sub> 截洪沟的水也汇入此沟, 汇水面积 131100m<sup>2</sup>, 按设计洪峰流量 1.74m<sup>3</sup>/s, 设计采用梯形排水断面, 底宽 0.8m, 边坡 1: 1, 沟深 1m, 由标高 381~380m, 沟长 150m。

J<sub>1</sub>、J<sub>2</sub>、J<sub>3</sub>、J<sub>4</sub> 四条截洪沟排水坡度不得低于 1%, J<sub>5</sub> 不得低于 0.6%, 五条截洪沟总长 1705m。

J<sub>1</sub>、J<sub>3</sub> 截洪沟汇入 J<sub>5</sub> 截洪沟处设一转角井。J<sub>2</sub> 截洪沟出口与路交叉处设一条 DN900 的涵管, 涵管长 20m。

4.2.4 主要原材料消耗

主要原材料消耗见表 4-1。

表 4-1 主要原材料消耗

序号	项目	单位消耗量	年消耗量
1	矿石	2 万 t/次	4 万 t
2	氰化钠	400g/t 矿	8t
3	耗水量	0.25m <sup>3</sup> /t 矿	1 万 m <sup>3</sup>
4	碱 (NaOH)	1.60kg/t 矿	32t
5	塑料薄膜	6m <sup>3</sup> /t 矿	24 万 m <sup>2</sup>
6	活性炭	0.07kg/t 矿	2.8t

4.3 矿区建设对周围地区的环境影响

4.3.1 对水体环境的影响

本项目的最大工业污染源是选厂, 主要污染物是氰化物。尾矿浆压滤出

的水溶液及反洗水均不外排，送往磨矿车间作为补充水使用，尾矿饼中所含的水量属于吸着水、附着水，未有自由水，在自然条件下尾矿饼中水及氰化物不致渗出，经降雨淋滤后才有可能有水渗出，并含一定量的氰化物。

#### 4.3.2 对大气环境的影响

##### (1) 有组织排放源

有组织排放的主要大气污染物是锅炉烟尘和生产性粉尘。生产性粉尘排放源主要有粗碎、中碎、筛分等除尘系统；烟尘经过配套的除尘器除尘后，再经过 35m 高的烟囱排入高空，排放口含尘浓度符合国家锅炉大气污染物排放标准。

由于污染物排放量小，而环境容量大，并且采、选粉尘均得到有效防治，有组织排放的污染物不会给环境造成影响。

##### (2) 无组织排放源

本项目无组织排放源为尾矿库干坡段。

由于金矿尾矿砂粒度细，尾矿库干坡段尾矿砂易于保持含水量，尾矿库正常运行时尾矿砂基本不会对大气环境造成影响；尾矿库闭库后及尾矿库溃坝后尾矿砂存在进入大气环境的可能性，但氰化物只存在于液相中，尾矿砂极少携带氰化物进入大气环境。

#### 4.3.3 对生态环境的影响

工程建设可造成小范围裸露地面并造成部分表土及绿地的损失，当工程结束后应采取相应治理措施，减少裸地范围，进行复垦。

#### 4.4 本章小结

本章通过对排山楼金矿提金工艺及相关工程项目的研究，依据金属矿山环境问题的特征，总结出该金矿存在的环境问题：

- (1) 固相废弃物：废石、尾矿干堆；
- (2) 液相废弃物：含氰废水，重金属废水；
- (3) 气相废弃物：尾矿干堆风化产生的扬尘、生产粉尘。

5 源项分析

源项分析是通过系统存在的潜在危险识别及其事故概率计算,筛选出最大可信事故。它分两个阶段,首先是危险的识别,然后进行风险事故源项分析。前一阶段以定性分析为主,后一阶段以定量分析为主。

5.1 风险识别

风险识别是风险评价的基础,它是通过定性分析及经验判断,识别评价系统的危险源、危险类型和可能的危险程度及确定其主要危险源。

(1) 物质危险性

由工艺过程可以看出,主要污染物为氰化物。

大多数无机氰化物属剧毒,高毒物质,极少量的氰化物就会使人、畜在很短的时间内中毒死亡,含氰化物浓度很低的水( $<0.05\text{mg/L}$ )也会使鱼等水生生物中毒死亡,还会造成农作物减产<sup>[23]</sup>,少量氰化物经消化道长期进入人体,会引起慢性毒害,动物试验所得的阈下浓度为 $0.005\text{mg/kg}$ ,流行病学调查得知,有的居民由于长期饮用受氰化物污染(含 $\text{CN}^-0.14\text{mg/L}$ )的地下水,出现机理代谢降低,脸色苍白浮肿、精神不振、头痛、头晕、心悸、反应迟钝等症状。

(2) 可能出现的事故类型

排山楼金矿从选矿到废渣的排放这一整套工序中潜在的危害事故见表5-1。

表 5-1 潜在的危害事故

项目	检查内容
固相废弃物	①大量废石发生滑坡
	②尾矿坝溃坝
液相废弃物	③含氰废水污染地下水
	④重金属废水污染
气相废弃物	⑤尾矿长期风化产生扬尘

5.2 事故源项分析

事故源项分析是对通过风险识别的主要危险源作进一步分析、筛选,以确定最大可信灾害事故,并对最大可信灾害事故确定其事故源项,为事故对环境造成的影响计算提供依据,本文采用层次分析法对潜在危害事故进行筛



选。

### 5.2.1 层次分析法

#### 5.2.1.1 层次分析法概述

层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP) 是由美国运筹学家萨蒂于 20 世纪 70 年代提出的, 它是一种新的定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法<sup>[24-26]</sup>。这种分析方法的特点是将分析人员的经验判断给以量化, 对于目标 (因素) 结构复杂且缺乏必要数据的环境系统问题更为实用, 是处理定性定量相结合问题较简便易行且行之有效的一种系统分析方法。

#### 5.2.1.2 层次分析法的分析步骤

##### (1) 建立层次分析模型

用 AHP 法分析时, 首先要把问题层次化、条理化, 以构造出一个层次模型。层次模型一般分为: ①最高层 (目标层): 表示解决问题的目的, 要达到的目标。一般只有一个目标, 如有多个分目标时, 可以在下一层设立一个分目标层; ②中间层 (准则层): 表示采取某种方案的措施和实现预定目标时所涉及的中间环节, 一般可分为准则层或约束层、策略层; ③最低层 (方案层): 表示可选用的各种方案、措施。

最简单的层次结构分为三层见图 5-1。

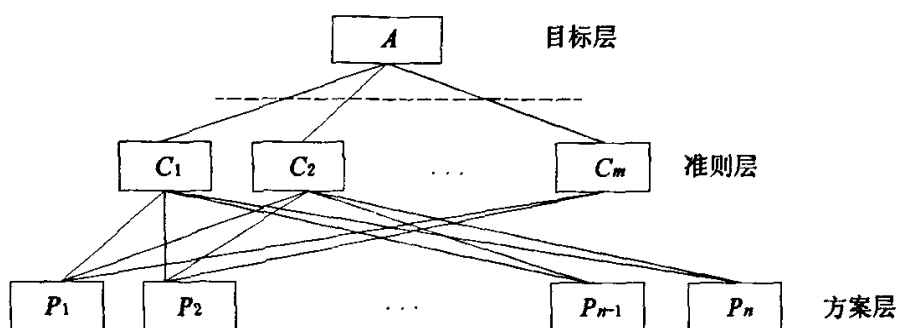


图 5-1 层次图

##### (2) 构造比较判断矩阵

建立分析层次后, 可逐层逐项两两比较, 通常利用评分的方法比较它们的优劣。比较时, 可先从最低层 (方案层) 开始。如图 5-1 中,  $P_i (i=1\sim n)$

方案在准则  $C_i$  ( $i=1\sim m$ ) 下两两比较, 可得到判断矩阵为

$C_i$	$P_1$	$P_2$	$\cdots$	$P_n$
$P_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	$\cdots$	$b_{1n}$
$P_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	$\cdots$	$b_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$P_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	$\cdots$	$b_{nn}$

判断矩阵  $b_{ij}$  的系数可通过表 5-2 确定。

表 5-2  $b_{ij}$  的取值方式

相对优劣程度 ( $b_{ij}$ ) 的取值	含义
1	两个目标相比, 具有同样的优劣性
3	两个目标相比, 前者稍优于后者
5	两个目标相比, 前者优于后者
7	两个目标相比, 前者甚优于后者
9	两个目标相比, 前者极优于后者
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值
倒数	若元素 $i$ 与元素 $j$ 的优劣性之比为 $b_{ij}$ , 那么元素 $j$ 与元素 $i$ 优劣性之比为 $b_{ji}=1/b_{ij}$

$b_{ij}$  的值要依据资料、专家意见和分析人员的经验, 经反复研究后确定。

应指出, 由于人们对客观事物的认识存在一定的片面性, 所获得的判断矩阵一般不具有-致性。只有判断矩阵具有完全一致性或满意一致性时才能用于层次分析法。因此, 必须对判断矩阵作一致性检验。

(3) 层次单排序

这一步要解决两个问题: ①根据判断矩阵, 对于上一层次某元素而言, 计算本层次与之有联系元素重要性的权值, 它是本层次所以元素对上一层次重要性排序的基础; ②对判断矩阵作一致性检验。

如在准则  $C_i$  下,  $n$  个元素  $P_1, P_2, \cdots, P_n$  排序的权重计算, 可以通过求解判断矩阵  $B$  的最大特征根  $\lambda_{\max}$ , 并满足关系式  $BW=\lambda_{\max}W$ , 其中,  $\lambda_{\max}$  为  $B$  的最大特征根,  $W$  为对应于  $\lambda_{\max}$  的特征向量。分量  $W_i$  ( $i=1, 2, \cdots, n$ ) 为对应于元素  $P_1, P_2, \cdots, P_n$  在准则  $C_i$  下单排序的权值。为检验判断矩阵的一致性, 需计算一致性指标为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

当  $CI=0$ ，即  $\lambda_{\max}=n$  时，判断矩阵具有完全一致性。反之，亦然。

$RI$  为判断矩阵的平均随机一致性指标，对于 1~9 阶的矩阵， $RI$  的值见表 5-3。

表 5-3 判断矩阵的平均随机一致性指标  $RI$

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$RI$	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

判断矩阵的一致性指标  $CI$  与同阶平均随机一致性指标  $RI$  之比，称为随机一致性比例，为

$$CR = CI / RI$$

当  $CR \leq 0.10$  时，判断矩阵具有满意一致性。分析过程中，如果所获得的判断矩阵既不具有完全一致性也不具有满意一致性时，分析人员需要重新构造判断矩阵，直到所构造的判断矩阵具有完全一致性或满意一致性为止。

(4) 层次总排序

利用层次单排序的计算结果，综合出对于更上一层次的优劣排序，就是层次总排序。以图 5-1 为例，若已分别得到  $P_1, P_2, \dots, P_n$  对于  $C_1, C_2, \dots, C_m$  的顺序和  $C_1, C_2, \dots, C_m$  对于  $A$  的顺序，则  $P_1, P_2, \dots, P_n$  对于  $A$  的顺序可用表 5-4 说明。

表 5-4 层次总排序

层次 $P$	$C_1$ $a_1$	$C_2$ $a_2$	$\dots$ $\dots$	$C_m$ $a_m$	总排序权值
$P_1$	$W_{11}$	$W_{12}$	$\dots$	$W_{1m}$	$\sum_{j=1}^m a_j W_{1j}$
$P_2$	$W_{21}$	$W_{22}$	$\dots$	$W_{2m}$	$\sum_{j=1}^m a_j W_{2j}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$P_n$	$W_{n1}$	$W_{n2}$	$\dots$	$W_{nm}$	$\sum_{j=1}^m a_j W_{nj}$

表 5-4 中, 层次  $C$  对于层次  $A$  已完成单排序, 其单排序权值分别为  $a_1, a_2, \dots, a_n$ ; 层次  $P$  对于层次  $C$  各元素  $C_1, C_2, \dots, C_m$  单排序的权值分别为  $W_{11}, W_{21}, \dots, W_{n1}; W_{12}, W_{22}, \dots, W_{n2}; W_{1m}, W_{2m}, \dots, W_{nm}$ 。总排序的权值由表 5-4 右列公式求出。

(5) 一致性检验

完成了层次总排序后, 需要检验整个递阶层次模型的判断一致性。检验方法是计算层次总排序随机一致性比例  $CR$ ,  $CR = CI / RI$ , 其值小于或等于 0.10 时, 则认为层次总排序具有满意一致性。否则, 需要对判断矩阵作适当的调整, 直至满意为止。其中  $CI = \sum_{i=1}^n a_i CI_i$ ,  $RI = \sum_{i=1}^n a_i RI_i$ ,  $CI_i, RI_i$  分别为与  $a_i$  对应的  $P$  层次中判断矩阵的一致性指标和随机一致性指标。

5.2.2 最大可信事故筛选

(1) 建立层次模型 (图 5-2)

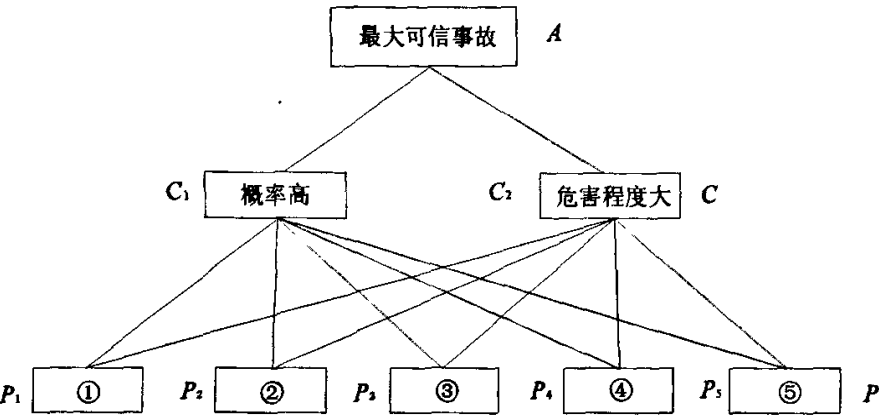


图 5-2 层次模型

(2) 构造判断矩阵

建立了分析层次以后, 可逐层逐项进行两两比较, 利用评分法比较其优劣。比较时, 可以先从最高层开始, 图 5-2 中,  $C_1、C_2$  准则以上一层次的最大可信事故这一目标进行两两评比, 构造了如下的判断矩阵:

$A$	$C_1$	$C_2$
$C_1$	1	1/3
$C_2$	3	1

可以得出  $\lambda_{\max}=2$ ,  $W=(0.25, 0.75)^T$ ,  $CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}=0$ , 所以, 上述判断矩阵具有完全一致性。

根据三个候选方案的特点, 经过分析, 可确定各判断矩阵。

对于准则  $C_1$  (概率高), 判断矩阵为

$C_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$P_1$	1	1/3	1/5	1/5	1/6
$P_2$	3	1	1/3	1/3	1/4
$P_3$	5	3	1	1	1/2
$P_4$	5	3	1	1	1/2
$P_5$	6	4	2	2	1

当中间层或是最低层元素很多时, 采用 Matlab 不仅计算准确而且省时省力。下面是应用 Matlab 计算判断矩阵的特征值:

```
>> A=[1 1/3 1/5 1/5 1/6;3 1 1/3 1/3 1/4;5 3 1 1 1/2;5 3 1 1 1/2;6 4 2 2 1]
```

```
A =
```

```

1.0000    0.3333    0.2000    0.2000    0.1667
3.0000    1.0000    0.3333    0.3333    0.2500
5.0000    3.0000    1.0000    1.0000    0.5000
5.0000    3.0000    1.0000    1.0000    0.5000
6.0000    4.0000    2.0000    2.0000    1.0000
```

```
>> E=eig(A)
```

```
E =
```

```

5.0818
0.0011 + 0.6449i
0.0011 - 0.6449i
-0.0841
0.0000
```

可以得出

$\lambda_{\max}=5.0818$ ,  $W=(0.0467, 0.0963, 0.2329, 0.2329, 0.3912)^T$ ,  
 $CI=0.0205$ ,  $RI=1.12$ ,  $CR=0.018<0.10$ 。

所以，上述判断矩阵具有满意一致性。

对于准则  $C_2$ （危害程度大），判断矩阵为

$C_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$P_1$	1	2	1/2	3	4
$P_2$	1/2	1	1/4	2	3
$P_3$	2	4	1	5	6
$P_4$	1/3	1/2	1/5	1	2
$P_5$	1/4	1/3	1/6	1/2	1

可以得出：

$\lambda_{\max}=5.0633$ ， $W=(0.2497, 0.1449, 0.4593, 0.0889, 0.0572)^T$ ，  
 $CI=0.0158$ ， $RI=1.12$ ， $CR=0.014<0.10$ 。

所以，上述判断矩阵具有满意一致性。

(3) 层次总排序

层次总排序结果见表 5-5。

表 5-5 层次总排序结果

$P$	$C_1$	$C_2$	层次总排序
	0.25	0.75	
$P_1$	0.0467	0.2497	0.1989
$P_2$	0.0963	0.1449	0.1328
$P_3$	0.2329	0.4593	0.4027
$P_4$	0.2329	0.0889	0.1249
$P_5$	0.3912	0.0572	0.1407

(4) 一致性检验

$CI=\sum_{i=1}^n a_i CI_i=0.25\times 0.0205+0.75\times 0.0158=0.0170$

$RI=\sum_{i=1}^n a_i RI_i=0.25\times 1.12+0.75\times 1.12=1.12$

$CR=CI/RI=0.0170/1.12=0.015<0.10$ 。

所以，上述判断矩阵具有满意一致性。

因  $P_3=0.4027$ ，其权值最大，所以含氰废水污染地下水为该项目的最大可信事故。

### 5.2.3 最大可信事故定量分析

环境风险评价中的重要任务之一是确定最大可信事故发生的频率,系统的可靠性分析与事故序列分析,都会定性与定量地得到各类系统的故障频率,为计算系统的风险提供数据<sup>[27]</sup>。本文研究的氰化物污染与降雨有关因此采用数据频率分析法量化水文风险,采用事故树分析法计算氰化物污染地下水的概率。

#### 5.2.3.1 数据频率分析

本文采用重现期方法来量化水文风险,该方法无需涉及任何水文负荷的概率分布<sup>[28]</sup>。

假定  $T$  为特征时间周期,也称出现时间间隔或重现期,其定义为:所考虑的负荷  $X$  等于或超过某一特定值  $x_T$  的事件出现一次的平均年限。 $x_T$  称为  $T$  年事件。

例如,根据定义,50 年洪水是指平均 50 年出现一次的洪水,这并不意味着这种洪水只能在 50 年之后才发生:它可能在次年就发生,也许在 50 年内发生若干次,或者在 100 年内根本就不发生。当然,超现  $x_T$  的概率取决于正在考虑的时间间隔,但是基本的结果是年超现风险等于  $1/T$ 。

$$P(X \geq x_T) = p_F = 1/T \cdots \cdots \cdots (5-1)$$

例如,在某一特定年出现 50 年洪水的概率为  $1/50$ 。

上述式 (5-1) 所表达的结果基于以下两个主要的假定 (Ang and Tang 1975):

- (1) 随机变量  $X$  的出现是相互独立的;
- (2) 水文事件是不随时间变化的。

假设  $A$  为超现事件,即

$$A = X \geq x_T \cdots \cdots \cdots (5-2)$$

且

$$\bar{A} = X < x_T \cdots \cdots \cdots (5-3)$$

为非超现事件。 $A$  和  $\bar{A}$  相互排斥但又互为补充,两种概率之和为 1。根据前面所述的两个假定,事件  $A$  和事件  $\bar{A}$  的出现是一对伯努利序列 (Bernoulli sequence)。这意味着,在未来  $n$  年内事件  $A$  出现  $k$  次的概率遵循二项式分

布定率  $B(n, k, p_F)$ , 即

$$\begin{aligned} P(A \text{ 在 } n \text{ 年中发生 } k \text{ 次}) &= \binom{n}{k} p_F^k (1-p_F)^{n-k} \\ &= \frac{n}{k(n-k)} p_F^k (1-p_F)^{n-k} \\ &= B(n, k, p_F) \dots\dots\dots (5-4) \end{aligned}$$

为了证明式 (5-1) 的结论, 在这里将考虑连续出现的两个超现事件之间的时间  $V$  (单位: 年),  $V$  为一随机变量, 且均值等于重现期  $T$ 。

假设超现年之前的  $(k-1)$  年为非超现年, 那么, 根据式 (5-2) 和式 (5-3) 有

$$P(V=k) = P(\underbrace{\overline{AA} \dots \overline{AA}}_{k-1}) = (1-p_F)^{k-1} \cdot p_F \dots\dots\dots (5-5)$$

这一离散分布定律被称为几何定律。利用式 (5-5),  $V$  的平均值为 (Papoulis 1965)

$$E(V) = \sum_{k=1}^{\infty} P(V=k)k = \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} (1-p_F)^{k-1} \cdot k \right\} p_F = \frac{1}{p_F} \dots\dots\dots (5-6)$$

根据定义,  $T=E(V)$ , 所以式 (5-6) 和式 (5-1) 的结果相同。

为了计算风险和可靠度, 需要了解系统在  $n$  年时期的运行情况。这个时期应当等于水工建筑物的使用期限。

系统在  $n$  年内的可靠度, 等于在该期限内不发生  $T$  年事件的概率, 即

$$R_{e,n} = P(X < x_T)_n \dots\dots\dots (5-7)$$

这也就意味着每年不得有超过  $x_T$  的情况发生。由于概率的独立性, 有

$$\begin{aligned} R_{e,n} &= P(X < x_T)_n = (P(X < x_T))^n \\ &= (1 - P(X \geq x_T))^n \dots\dots\dots (5-8) \end{aligned}$$

$n$  年内的风险  $p_{F,n}$  等于  $(1-R_{e,n})$ 。由式 (5-8) 和 (5-1) 得到

$$\begin{aligned} p_{F,n} &= 1 - R_{e,n} \\ &= 1 - (1 - P(X \geq x_T))^n \\ &= 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \dots\dots\dots (5-9) \end{aligned}$$



更准确地说， $p_{F,n}$ 是年内的超现风险，即 $x_T$ 至少发生一次的风险。

若该尾矿库的服务年限为十年，则各频率降水中产生氰化物污染的风险见表 5-6。

表 5-6 不同频率降雨在未来十年期间的超现风险 （%）

$n$	2	30	100
1	50	3.3	1
2	75	6.6	2
3	87.5	9.7	3
4	93.8	12.7	4
5	96.9	15.6	5
6	98.4	18.4	5.9
7	99.2	21.1	6.8
8	99.6	23.8	7.7
9	99.8	26.3	8.6
10	99.9	28.8	9.6

5.2.3.2 事件树分析

事件树分析（Event Tree Analysis）法是一种逻辑的演绎法，它在给定一个初因事件的情况下，分析此初因事件可能导致的各种事件序列的结果，从而定性与定量地评价了系统的特性，并帮助分析人员获得正确的决策，它常用于安全系统的事故分析和系统的可靠性分析，由于事件序列是以图形表示，并且呈扇状，故得名事件树<sup>[9][29][30]</sup>。

事件树的初因事件可能来自系统内的失效或者外部事件，在初因事件发生后相继引发的事件（安全系统的逐一投入）仅仅由系统的设计功能所决定，它们投入的次序是一定的，比如由二个系统组成的事件树图 5-3，它可能的事件序列数目为 $2^n=4$ ，这样的事件树又称完全事件树。

事件树分析的步骤如下：

- （1）确定或寻找可能导致系统严重后果的初因事件，并进行分类，对于那些可能导致相同事件树的初因事件可划分为一类；
- （2）建造事件树；
- （3）进行事件树的简化；
- （4）进行事件序列的定量化

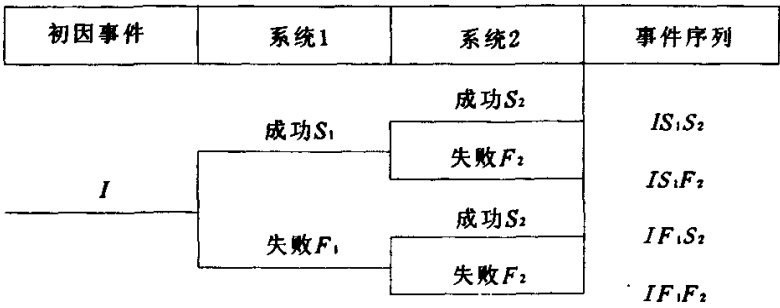


图 5-3 事件树分叉示意图

经分析，可得事件树如图 5-4。

(S) ——只要截洪沟排水正常、坑底断裂带不渗漏含氰废水不会污染地下水；

(P) ——当其中一个出现问题就会对地下水有影响；

(F) ——当两者都出现问题含氰废水就会对地下水造成严重威胁。

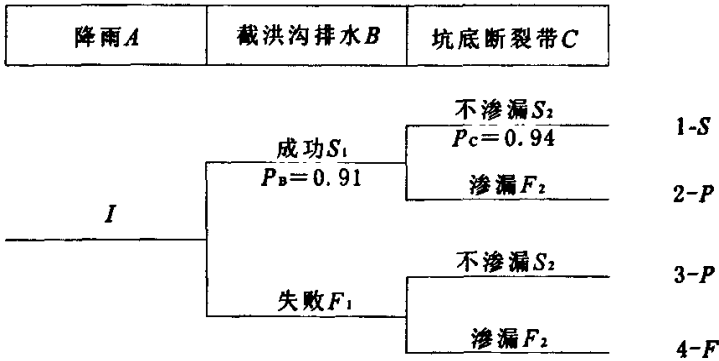


图 5-4 氰化物污染地下水事件

它们的发生概率是：

$P(S) = P(A) P(B) P(C) \dots\dots\dots(5-10)$

$P(P) = P(A) P(B) P(\bar{C}) + P(A) P(\bar{B}) P(C) \dots\dots\dots(5-11)$

$P(F) = P(A) P(\bar{B}) P(\bar{C}) \dots\dots\dots(5-12)$

计算结果见表 5-7。

表 5-7 事故概率

降雨频率	$P(S)$	$P(P)$	$P(F)$
一年一遇	0.8554	0.1392	0.0054
二年一遇	0.8545	0.1391	0.0054
三十年一遇	0.2464	0.0401	0.0016
百年一遇	0.0821	0.0134	0.0005

由表 5-7 可知, 一年一遇和二年一遇的降雨淋溶水中氰化物污染地下水的概率为 0.0054; 三十年一遇和百年一遇的降雨淋溶水中氰化物污染地下水的概率分别为 0.0016、0.0005。可见降雨频率越小, 氰化物污染的概率越小。

#### 5.2.4 最大可信事故源项

由以上分析可知, 排山楼金矿最大可信灾害事故为含氰废水污染地下水。排山楼金矿设计采用尾矿干堆的尾砂处理工艺, 正常情况下杜绝了含氰废水对地表水体和地下水系统的污染, 但当雨季来临时, 大气降雨对干堆的冲刷、淋溶和渗透作用所形成的污水, 有可能对地下水系统产生污染, 作出如下事故幕景假设:

(1) 尾砂经降雨淋溶后, 部分  $CN^-$  溶解在雨水中, 经过渗透作用进入包气带;

(2) 经过了包气带的淋溶水中  $CN^-$  浓度高于排放标准, 就会污染地下水;

(3) 水污染的后果: 人直接饮用含  $CN^-$  的水, 或是食用饮用过含  $CN^-$  的水而致死的家禽, 根据氰化物摄入量不同, 将会出现不同程度的中毒情况。

按照上述假设, 建立水质风险模型, 然后采取措施减缓风险。

#### 5.3 本章小结

本章的研究重点是风险评价中的源项分析, 研究内容如下:

(1) 根据排山楼金矿工艺流程及工程项目分析枚举出该金矿潜在危险源, 应用层次分析法筛选出氰化物污染地下水为最大可信事故;

(2) 在定性分析的基础上采用数据频率分析及事故树分析相结合的方法定量计算出最大危害事故概率;

(3) 考虑到尾矿干堆的尾砂处理工艺, 作出氰化物溶解在降雨中污染地下水的幕景假设。

6 氰化物污染预测与风险管理

危害性是环境风险的特点之一，对后果进行预测是环境风险评价的第二个重要任务。在上述幕景假设中氰化物主要是通过降雨淋溶进入包气带的，因此有必要对矿区内降雨量、氰化物自净系数进行计算，来确定氰化物进入包气带的初始浓度。

6.1 露天采坑降水量及氰化物源强的确定

6.1.1 降雨量的计算

评价区所处水文分区的基本水文资料如下：

- 多年 24 小时暴雨均值为  $\overline{H}_{24}=75\text{mm}$ ;
- 强度衰减指数  $n=0.6$ ;
- 流域汇流历时  $\tau=0.55\text{h}$ ;
- 多年平均最大三日暴雨均值为 90mm。
- 露天采坑内汇水面积  $0.38\text{ km}^2$ ，经截洪沟排洪后的汇水面积  $0.115\text{ km}^2$ 。
- 洪水总量计算公式如下<sup>[31-32]</sup>：

$$W_p=1000h_p\cdot F\cdots\cdots\cdots(6-1)$$

$$h_p=H_{icp}-\mu_p\cdot t_c\cdots\cdots\cdots(6-2)$$

$$H_{icp}=S_p\cdot t_c^{1-n}\cdots\cdots\cdots(6-3)$$

$$t_c=\left[\frac{(1-n)S_p}{\mu_p}\right]^{\frac{1}{n}}\cdots\cdots\cdots(6-4)$$

根据上述资料，计算出评价区在降雨频率分别为一年一遇（ $P=100\%$ ），二年一遇，三十年一遇和百年一遇的情况下洪水总量，计算参数及结果见表 6-1。

表 6-1 洪水总量计算结果

降雨 频率	汇水 面积 $F/\text{km}^2$	设计 雨力 $S_p/\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	损失 系数 $\mu_p/\text{mm}$	产流 历时 $t_c/\text{h}$	产流历时 内径流深 $h_p/\text{mm}$	洪水 总量 $W_p/\text{m}^3$
$P=100\%$	0.115	9.07	1.50	4.36	9.81	1129
$P=50\%$	0.115	17.07	4.80	1.80	12.95	1490
$P=3.33\%$	0.115	52.20	10.00	3.41	51.16	5884
$P=1\%$	0.38	67.40	14.00	2.98	62.59	23784

6.1.2 氰化物源强的确定

尾矿饼中所含的水属于吸着水和附着水，没有自由水。在自然条件下，尾矿饼中的水及氰化物不致渗出，但是经降雨淋溶后可能有水渗出，并含一定量的氰化物。当雨季来临时，大气降雨对尾矿的冲刷、淋溶和渗透作用所形成的淋溶水可能会对地下水系统产生污染，因此有必要对地下水的污染途径进行分析<sup>[33-34]</sup>。

排山楼金矿尾矿饼每天排放量为 1800 t，含水 23%，pH 值为 8.5~9.0，氰化物浓度为 30~35mg/L，尾矿饼携带水量为 537.66m<sup>3</sup>/d，氰化物浓度按最大值 35 mg/L 计算，每天排入尾矿库的氰化物为 18.82kg。

6.1.3 氰化物自净系数的确定

6.1.3.1 氰化物在水体中自净系数的确定

氰化物虽为剧毒物质，但却是一种不稳定的非持久性污染物质，影响氰化物自净的因素很多，其中水体的温度、状态、pH 值等都是影响它自净能力的主要因素。

由于氰化物在自然水体中的动态自净能力与实验室静态自净能力存在一定的差异。鉴于氰化物是剧毒物质不便于在自然水体中进行实验观测，因此本文采用类比分析法对氰化物自净能力进行类比分析。

1985 年，杨寨峪选厂事故排放时，含氰废水直接排入枣香河水体，氰化物在枣香河中的沿程浓度变化见表 6-2。

表 6-2 枣香河中氰化物的浓度变化及自净效应

温度范围 (℃)	起始 浓度	终止 浓度	时间 (h)	距离 (km)	自净系数 K (h <sup>-1</sup> )	自净率 (%)
20-25	0.589	0.136	5.2	4.6	0.282	76.9
23-27	0.893	0.131	5.2	4.6	0.369	85.33

由上表数据可以看出，温度对氰化物的自净影响很明显。

冶金部建筑研究院在进行张家口金矿环境评价时，对氰化物在乱泉河中的降解规律做了动态追踪试验，结果见表 6-3。

表 6-3 乱泉河中氰化物动态追踪试验结果      单位: mg/L

采样断面距 尾矿坝距离 (m)	20	40	173	775	800	1577	2092	2120	2813	6313	备注
CN <sup>-</sup> 浓度	0.511	0.224	0.165	0.040	0.033	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	温度 12℃

试验结果表明：在乱泉河流经 2km 时，氰化物已 100% 自净。

1983 年 11 月 17 日酒钢公司事故排放时，氰化物浓度高达 1.696mg/L，其在排污渠中的沿程浓度变化见表 6-4。

表 6-4 酒钢公司排污渠中氰化物的沿程浓度变化

项 目	1	2	3	4
水 温 ( ℃ )	16	11	0	0
累 积 时 间 ( h )	0	0.07	3.65	5.37
累 积 距 离 ( km )	0	0.255	14.855	27.855
氰 化 物 浓 度 ( mg/L )	1.695	0.948	0.395	0.251

由表 6-4 可以看出，氰化物在严寒季节，水温在 0℃ 情况下，仍可自净，且根据自净方程  $C_t = C_0 \cdot e^{-Kt}$  计算，自净系数在 0.24/h 左右。

此外，北京西郊 1973 年 1 月 15 日在新开渠进行了氰化物的自净试验，自净系数在 0.700/h 左右。

1983 年 8 月冶金部建筑研究院对酒钢公司排污渠水体中的氰化物浓度进行了实测和实验室静态放置实验，测定结果见表 6-5。

表 6-5 氰化物的动态与静态自净效应比较

试验条件	氰化物 (mg/L)		时间 (h)	K (h <sup>-1</sup> )	自净率 (%)	备注
	起点	终点				
1983 年 8 月 4 日 排污渠实测	0.036	0.008	3.58	0.4201	77.8	
1983 年 8 月 6 日 实验室静态实验	0.060	0.040	8	0.0507	30	取用排污渠 废水

通过上述类比分析可知，氰化物在自然水体环境中具有较强的自净能力，且符合负指数方程  $C_t = C_0 \cdot e^{-Kt}$ ，与实验室静态自净能力相差悬殊，因此取自然环境中氰化物自净系数预测氰化物对地表水环境的影响是实际可靠的。

从上述试验数据还可以看出，各地区氰化物的自净系数也存在着一一定的

差异,即便是在相同温度的情况下,自净系数也不相同,这主要是各地区水体的水质不同以及河道或排污渠等对其亦有一定的吸附作用所致。排山楼金矿外排废水中氰化物的浓度较低,又只是雨季的临时排放,我们取雨季的偏安全数据,降解系数的取值(动态)按枣香河 23~27℃的数据(0.369/h)并考虑温度的修正,即  $K_T = K_{20} \times 1.047^{T-20}$  计算出 18~23℃时的动态降解系数  $K = 0.267/\text{h}$ ,作为评价水体中氰化物的降解参数。

#### 6.1.3.2 氰化物在尾砂中自净系数的确定

尾砂由胶带机倒运,有充分的时间与充足的接触暴露面使其在空气中接受蒸发降解。从偏安全的原则出发,尾砂吸附水中的氰化物自净系数按其在水体中的降解系数的 80% 考虑,即  $K = 0.21/\text{h}$ 。

#### 6.1.4 降雨淋溶水中氰化物含量计算

根据上述所选取的尾砂中氰化物自净系数计算,发生降雨前一天(计算时间取平均值 12h)所堆积的尾砂中氰化物浓度为 2.816mg/L;前两天(计算时间取 36h)所堆积的尾砂中氰化物浓度为 0.018mg/L;前三天(计算时间取 60h)所堆积的尾砂中氰化物浓度为  $1.2 \times 10^{-4}$ mg/L,由此可见降雨淋溶水中所含的氰化物主要来源于前两天所堆积的尾砂吸附水中。

尾砂的平均粒径较细( $d_p = 0.041\text{mm}$ ,  $< 0.1\text{mm}$  的粒径占 93.5%)根据《尾矿设计手册》推荐的经验参数,渗透系数  $k$  为 0.1~0.25m/d,本次评价干尾砂的渗透系数取 0.2m/d,考虑到偏安全的原则,雨水对尾砂的渗透深度取 0.5m,即在这段距离内考虑雨水对尾砂的淋溶作用。

根据设计所采用的干堆场堆置工艺,尾矿饼从干堆场的上游开始分层堆放,当达到设计的堆置高度后,再沿着沟的下游方向平行推进,每次堆置的宽度为 2.5m,分层高度为 1m。渗透段内尾砂的体积为  $360 \times 2.5 \times 0.5 \times 2 = 900\text{m}^3$ ,尾砂量为 1890t,吸附水的重量为 434.7t。氰化物的质量为:  $G = 2.816 \times 217.4 + 0.018 \times 217.3 = 616.11\text{g}$ ,再与各降雨频率的洪水发生淋溶稀释作用后,淋溶水中氰化物的浓度如表 6-6 所示。

表 6-6 不同降雨频率淋溶水中的氰化物浓度 单位: mg/L

降雨频率	$P=100\%$	$P=50\%$	$P=3.33\%$	$P=1\%$
氰化物浓度	0.546	0.413	0.105	0.026

评价所采用的排放标准及质量标准的具体限值见表 6-7。

表 6-7 标准限值汇总

类别	项目	污染物	限值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	执行标准及级别
排放标准	废水	$\text{CN}^-$	0.2	DB21-60-89, 一级“新扩改”
	固体废物	$\text{CN}^-$	0.5	DB21-777 一级
			1.5	-94 二级
质量标准	地面水	$\text{CN}^-$	0.05	GB 3838-2002, II类
	地下水	$\text{CN}^-$	0.05	GB/T 14848-93, III类

从表 6-6 的计算结果可以看出,降雨频率为  $P=100\%$  和  $P=50\%$  的降雨产生的淋溶水中  $\text{CN}^-$  的浓度均超过排放标准,  $P=3.33\%$  的降雨淋溶水中  $\text{CN}^-$  的浓度达到排放标准但超过地面水 II 类质量标准,  $P=1\%$  的降雨淋溶水中  $\text{CN}^-$  的浓度则达到了 II 类水质量标准。

6.2 地下水污染预测

(1) 地质条件

$F_1$  断层在露天采坑底部通过,呈近东西向展布,长约 1km,宽 1m~10m,断面倾向  $350^\circ\sim10^\circ$ ,倾角  $30^\circ\sim65^\circ$ ,断层性质为一剪切性断层,破碎带内岩石挤压破碎,具有明显的挤压构造和断层泥分布,根据地质报告提供的资料,  $F_1$  脆性断层是一条既不含水也不导水的阻水断层。

评价区内分布的主要岩性为糜棱岩化黑云母斜长片麻岩和角闪岩,沟谷内风化强烈,单井涌水量  $<20\text{t/d}$ ,地下水一般埋深 3m 左右,渗透系数  $k=0.28\text{m/d}$ ,地下水流速为  $0.2\text{m/d}$ ,迟滞因子  $R=1.06$ ,弥散系数  $D=0.6\text{m}^2/\text{d}$ ,  $D_L=0.013\text{m}^2/\text{d}$ ,  $D_T=0.135\text{m}^2/\text{d}$ 。地下水动态与大气降雨有关,但变化不明显,岩层渗透性能差。

(2) 污染途径分析

根据选矿的工艺流程,本次评价的主要污染因子为氰化物。

设计采用尾矿干堆的尾砂处理工艺,正常情况下杜绝了污染物对地表水



体和地下水系统的污染，但当雨季来临时，大气降雨对于堆的冲刷、淋溶和渗透作用所形成的污水，有可能对地下水系统产生污染。

根据地质勘探报告，区内地下水主要为赋存于风化裂隙带中的潜水，因此可能的污染途径就是含氰化物的降雨淋溶水通过包气带（风化带）进入地下水系统中，然后通过渗流进入干堆场外的地下水系统，从而造成对下游居民区地下水的破坏。

(3) 降雨入渗量的计算

干堆场没有地表水体，地下水系统所能接受到的唯一补给就是大气降雨。入渗系数根据矿区的具体地质条件，选用 0.18，各频率下降雨入渗量计算结果列于表 6-8。

表 6-8 降雨入渗量计算结果表

降雨频率	汇水面积 (km <sup>2</sup> )	降雨入渗量 (m <sup>3</sup> )
P=100%	0.115	467
P=50%	0.115	986
P=3.33%	0.115	2789
P=1%	0.38	12133

(4) 污染物在包气带中的运移

氰化物在包气带运移过程中，不但要受到多孔介质对其产生的吸附解析和水解络合作用，还有其自身产生的衰变降解作用，因此运移过程十分复杂，取流向为 z 轴，评价采用如下数学模型<sup>[35-38]</sup>：

$$R \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - u_z \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \dots\dots\dots(6-5)$$

初始条件  $C(z, 0) = 0 \quad z \geq 0$

边界条件  $\begin{cases} C(0, t) = C_0 \\ C(\infty, t) = 0 \end{cases} \quad t \geq 0$

- 式中：R——迟滞因子；  
C<sub>0</sub>——初始时刻污水中氰化物的浓度；  
t——预测时间；  
D——包气带中污染物的弥散系数；

$u_z$ ——渗流实际流速;

$z$ ——渗透带厚度。

应用 matlab 求解式 (6-5), 程序如下:

```
function pdex1
    m = 0;
    x = linspace(0,10,40);
    t = linspace(0,2,5);
    sol = pdepe(m,@pdexlpde,@pdexlic,@pdexlbc,x,t);
    % Extract the first solution component as u.
    u = sol(:, :, 1);
    % A surface plot is often a good way to study a solution.
    u
    surf(x,t,u)
    title('Numerical solution computed with 40 mesh points.')
    xlabel('Distance x')
    ylabel('Time t')
    % A solution profile can also be illuminating.
    figure
    plot(x,u(end,:))
    title('Solution at t = 2')
    xlabel('Distance x')
    ylabel('u(x,2)')
    %
    function [c,f,s] = pdexlpde(x,t,u,DuDx)
    c = 1.06;
    f = 0.6*DuDx;
    s = -0.28*DuDx;
    %
    function u0 = pdexlic(x)
```

```

u0 = 0;
%
function [p1,q1,pr,qr] = pdex1bc(xl,ul,xr,ur,t)
p1 = ul-0.546;
q1 = 0;
pr =ur;
qr = 0;

```

计算结果如下:

Columns 1 through 6

0.5460	0	0	0	0	0
0.5460	0.4228	0.3022	0.1986	0.1198	0.0664
0.5460	0.4665	0.3834	0.3024	0.2285	0.1652
0.5460	0.4859	0.4216	0.3562	0.2927	0.2336
0.5460	0.4973	0.4446	0.3899	0.3349	0.2817

Columns 7 through 12

0	0	0	0	0	0
0.0338	0.0159	0.0069	0.0028	0.0010	0.0004
0.1142	0.0754	0.0476	0.0287	0.0166	0.0091
0.1810	0.1361	0.0992	0.0701	0.0480	0.0319
0.2318	0.1865	0.1467	0.1127	0.0846	0.0620

Columns 13 through 18

0	0	0	0	0	0
0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0048	0.0024	0.0012	0.0005	0.0002	0.0001
0.0205	0.0128	0.0077	0.0045	0.0026	0.0014
0.0444	0.0310	0.0211	0.0141	0.0092	0.0058

Columns 19 through 24

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0008	0.0004	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
0.0036	0.0022	0.0013	0.0007	0.0004	0.0002

Columns 25 through 30

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 31 through 36

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 37 through 40

0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0

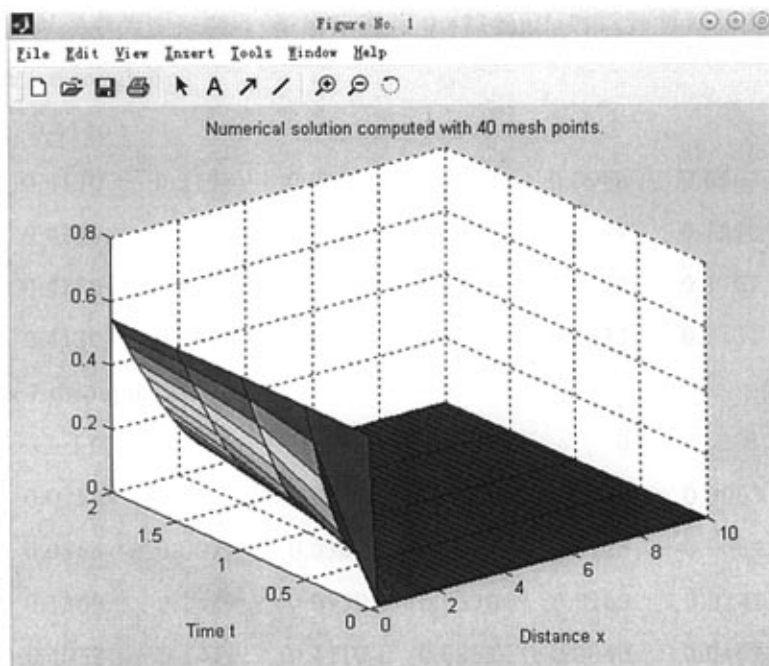


图 6-1 初始浓度为 0.546mg/L 时氰化物浓度随时间、距离变化图

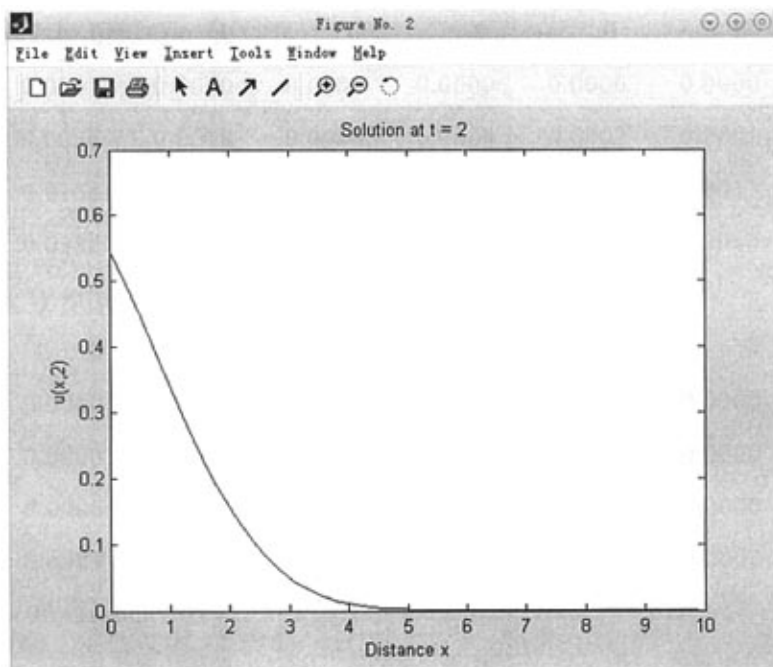


图 6-2 初始浓度为 0.546mg/L 时氰化物浓度随距离变化图

当降雨频率为  $P=50\%$ ，初始浓度为  $0.413 \text{ mg/L}$  时，计算结果如下：

Columns 1 through 6

0.4130	0	0	0	0	0
0.4130	0.3198	0.2286	0.1502	0.0906	0.0502
0.4130	0.3529	0.2900	0.2288	0.1729	0.1250
0.4130	0.3675	0.3189	0.2694	0.2214	0.1767
0.4130	0.3761	0.3363	0.2949	0.2533	0.2131

Columns 7 through 12

0	0	0	0	0	0
0.0256	0.0120	0.0052	0.0021	0.0008	0.0003
0.0864	0.0571	0.0360	0.0217	0.0125	0.0069
0.1369	0.1029	0.0750	0.0530	0.0363	0.0241
0.1753	0.1411	0.1110	0.0853	0.0640	0.0469

Columns 13 through 18

0	0	0	0	0	0
0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0036	0.0018	0.0009	0.0004	0.0002	0.0001
0.0155	0.0097	0.0058	0.0034	0.0019	0.0011
0.0336	0.0234	0.0160	0.0106	0.0069	0.0044

Columns 19 through 24

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0006	0.0003	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
0.0027	0.0016	0.0010	0.0006	0.0003	0.0002

Columns 25 through 30

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 31 through 36

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 37 through 40

0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0

当降雨频率为  $P=3.33\%$ ，初始浓度为  $0.105 \text{ mg/L}$  时，计算结果如下：

Columns 1 through 6

0.1050	0	0	0	0	0
0.1050	0.0813	0.0581	0.0382	0.0230	0.0128
0.1050	0.0897	0.0737	0.0582	0.0440	0.0318
0.1050	0.0934	0.0811	0.0685	0.0563	0.0449
0.1050	0.0956	0.0855	0.0750	0.0644	0.0542

Columns 7 through 12

0	0	0	0	0	0
0.0065	0.0031	0.0013	0.0005	0.0002	0.0001
0.0220	0.0145	0.0092	0.0055	0.0032	0.0018
0.0348	0.0262	0.0191	0.0135	0.0092	0.0061
0.0446	0.0359	0.0282	0.0217	0.0163	0.0119

Columns 13 through 18

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0009	0.0005	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
0.0039	0.0025	0.0015	0.0009	0.0005	0.0003
0.0085	0.0060	0.0041	0.0027	0.0018	0.0011

Columns 19 through 24

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0007	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000

Columns 25 through 30

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 31 through 36

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 37 through 40

0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0



当降雨频率为  $P=1\%$ ，初始浓度为  $0.105\text{ mg/L}$  时，计算结果如下：

Columns 1 through 6

0.0250	0	0	0	0	0
0.0250	0.0194	0.0138	0.0091	0.0055	0.0030
0.0250	0.0214	0.0176	0.0138	0.0105	0.0076
0.0250	0.0222	0.0193	0.0163	0.0134	0.0107
0.0250	0.0228	0.0204	0.0178	0.0153	0.0129

Columns 7 through 12

0	0	0	0	0	0
0.0016	0.0007	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
0.0052	0.0035	0.0022	0.0013	0.0008	0.0004
0.0083	0.0062	0.0045	0.0032	0.0022	0.0015
0.0106	0.0085	0.0067	0.0052	0.0039	0.0028

Columns 13 through 18

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
0.0009	0.0006	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001
0.0020	0.0014	0.0010	0.0006	0.0004	0.0003

Columns 19 through 24

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 25 through 30

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 31 through 36

0	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Columns 37 through 40

0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0
0.0000	0.0000	0.0000	0

由计算结果可知, 进入包气带后随着向下距离的增大, 氰化物浓度不断减小, 当降雨频率为  $P=100\%$  时, 降雨入渗到 3m 处氰化物浓度为 0.0620mg/L; 当降雨频率为  $P=50\%$  时, 降雨入渗到 3m 处氰化物浓度为 0.0469mg/L; 当降雨频率为  $P=3.33\%$  时, 降雨入渗到 3m 处氰化物浓度为 0.0119mg/L 当降雨频率为  $P=1\%$  时, 降雨入渗到 3m 处氰化物浓度为 0.0028mg/L。

#### (5) 进入含水层中的污染物的迁移转化规律

当污染物进入含水层, 污染物浓度在横向  $x$  方向和纵向  $y$  方向都存在显著的差异时, 采用二维模型:

$$R \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = D_L \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_T \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - u_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} - u_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} - KC \dots\dots\dots(6-6)$$

该问题的解为:

$$C(x, y, t) = \frac{M}{4\pi \cdot h \cdot D_L \cdot D_T \cdot R} \cdot \left[ \operatorname{erf}\left(\frac{x - V \cdot t / R}{\sqrt{D_L \cdot t / R}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x - a_x - V \cdot t / R}{\sqrt{D_L \cdot t / R}}\right) \right] \cdot \left[ \operatorname{erf}\left(\frac{y + a_y / 2}{\sqrt{D_T \cdot t / R}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{y - a_y / 2}{\sqrt{D_T \cdot t / R}}\right) \right] \cdot e^{-Kt} \dots\dots\dots(6-7)$$

式中： $D_L$ 、 $D_T$ ——分别为  $x$ 、 $y$  坐标方向的弥散系数；

$a_x$ 、 $a_y$ ——分别为污染源的长度和宽度；

$K$ ——污染物的衰减速率常数；

$h$ ——含水层厚度；

其余符号同前。

(6) 结果与分析

采用上述数学模型和计算参数，分别预测了氰化物在不同的初始条件和外部条件下，在包气带和地下水系统中的迁移弥散过程，计算结果列入表 6-9。

表 6-9 地下水污染预测结果表

降雨频率	初始浓度 (mg/L)	达到饮用水标 准的深度(m)	进入地下水系统时氰 化物的浓度(mg/L)	地下水渗入量 (m <sup>3</sup> )
$P=100\%$	0.546	3.15	0.0620	467
$P=50\%$	0.413	2.94	0.0469	986
$P=3.33\%$	0.105	1.56	0.012	2789
$P=1\%$	0.025	0.00	0.003	12133

地下水埋深 3m，由上述计算结果可知，降雨频率为  $P=100\%$  的降雨产生的淋溶水进入地下水时， $CN^-$  的浓度超过地下水Ⅲ类质量标准，降雨频率为  $P=50\%$ 、 $P=3.33\%$  和  $P=1\%$  的降雨产生的淋溶水进入地下水系时， $CN^-$  的浓度均达到地下水Ⅲ类质量标准。

6.3 风险评价与管理

6.3.1 风险评价

(1) 评价氰化物排放对水生生物的风险性

用  $EEC_w$  表示污染物在水相中的模型预测暴露浓度，在事故排放情况下， $EEC_w$  是随时间变化的浓度值，从水质模拟结果（表 6-9）可看出：污染物经过包气带浓度有所减少，经过 3m 后进入潜层地下水，含氰化物浓度很低的水（ $<0.05\text{mg/L}$ ）也会使水生生物中毒死亡，因此氰化物的事故排放会对地下水中的水生生物构成危害，甚至使之死亡。

(2) 对人体健康的风险性

由于缺乏关于氰化物的急性剂量——健康效应关系数据，这里采用安全

因子法评价事故污染的急性致死风险<sup>[39-40]</sup>。

氰化物的急性毒性：大鼠经口  $LD_{50}=6.4\text{mg/kg}$ 。取不确定因子  $UF=10$ ，则对人而言， $LD_{50}=0.64\text{mg/kg}$ 。按成年人体重  $70\text{kg}$ ，日摄入量  $2\text{L/人计}$ ，氰化物个人摄入量为  $0.062\text{ mg/L} \times 2\text{ L}/70\text{ kg}=0.0018\text{ mg/kg}<LD_{50}$ ，所以氰化物的事故排放对饮用该水的个人急性致死风险是很小的。进入地下水后，氰化物会随着地下水的流动稀释、扩散，浓度会持续降低，到达居民饮水口处氰化物浓度已经很小。

综上所述，排山楼金矿最大可信事故即尾砂中的氰化物随降雨淋溶水污染地下水的风险属于可接受风险。

### 6.3.2 风险管理

尽管氰化物污染地下水属于可接受风险，但是在评价过程中存在着很多不确定性因素，再加上氰化物是剧毒物质，因此减少尾矿饼中氰化物的含量、加强露天采坑坑底的防渗措施以及在尾矿干堆场达到使用年限后立即覆土绿化是非常必要的。

(1) 为减少尾矿饼中的氰化物含量，在尾矿处理过程中增加新水冲洗过程。因为排山楼金矿采用尾矿压滤干排工艺，含氰废水不外排，全部返回选厂循环使用，因此采用新水冲洗不仅降低了氰化物浓度，而且反洗水可送至磨矿车间作补充水。

(2) 露天采坑具体防渗措施如下：

由于断层及局部破碎带的充填物密实度较差，对其清理后，夯实再铺盖  $1\text{m}$  厚粘土，上敷  $600\text{g/m}^2$  的防渗土工膜，彻底隔绝井下采场与露天矿坑的渗水通道。并在库区内全部铺设  $600\text{g/m}^2$  的防渗土工膜，土工膜下铺  $0.3\text{m}$  厚粘土夯实，防止含氰废水渗入井下和污染地下水。为了加速尾砂的固结，在库底设每条长  $40\text{m}$  的横向排水盲沟 6 条，由一条长  $300\text{m}$  的纵向排水盲沟贯穿连通后进入渗井，再用水泵输送到选矿厂的高位水池回用。排渗盲沟为梯形断面，底宽  $8\text{m}$ ，顶宽  $4\text{m}$ ，高  $2\text{m}$ ，采用粒径  $10\sim 80\text{mm}$  的碎石堆筑，外包  $500\text{g/m}^2$  的土工无纺布构成（见图 6-1）。

(3) 用完的尾矿干堆场要立即覆土绿化，防止长期风化产生扬尘。一般覆土厚度要在  $400\sim 600\text{mm}$  以上，然后种植枝叶稠密、根茎发达、繁殖容

易的植物。

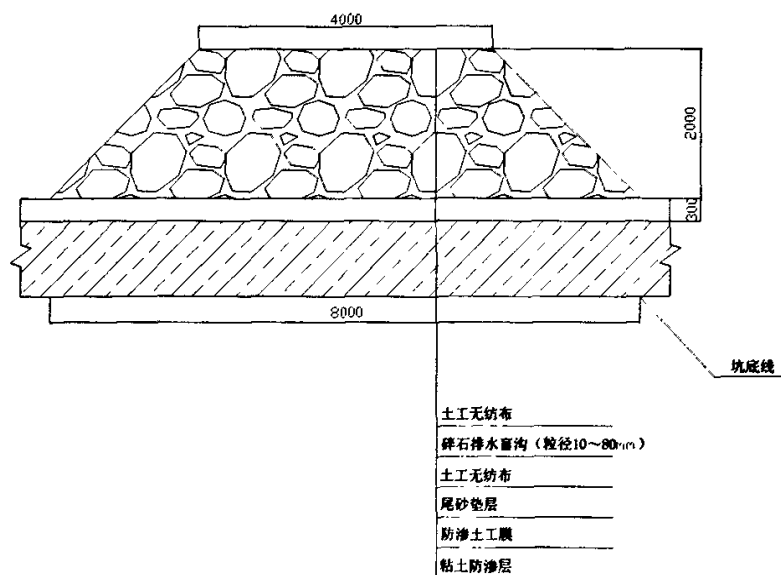


图 6-1 排水盲沟横断面

#### 6.4 本章小结

本章研究的重点为氰化物污染后果预测：

- (1) 应用水文学公式计算评价区降雨情况；
- (2) 根据其他地区发生的氰化物污染事件，推算氰化物自净系数；
- (3) 计算不同降雨频率淋溶水中的氰化物浓度；
- (4) 根据污染源状况，采用一、二维对流弥散方程预测氰化物对地下水的污染情况；
- (5) 根据上述得出的结果进行风险评价得出氰化物污染地下水为可接受风险，但是氰化物毕竟是剧毒物质，且评价过程中存在很多不确定性因素，因此减少尾矿饼中氰化物的含量、加强露天采坑坑底的防渗措施以及在尾矿干堆场达到使用年限后立即覆土绿化是非常必要的。

## 7 结论与展望

风险和机遇是同存的, 人类社会的经济发展与环境风险是联系在一起的, 对于人类社会的经济发展所带来的或面临的不确定性, 特别是一些重大的不确定性影响进行分析、预测和评价, 有助于决策者作出更为科学的决策。本文以阜新市排山楼金矿为例, 研究了环境风险评价问题, 取得的主要成果有:

(1) 根据排山楼金矿提金工艺流程及其工程项目, 从物质危险性和工程项目潜在危险性两方面对该金矿进行风险识别, 然后采用层次分析法从中筛选出最大可信事故。通过建造层次模型图, 构造判断矩阵, 建立层次总排序, 得出的结论是  $P_3=0.4027$ , 其权值最大, 即含氰废水污染地下水为最大可信事故。

(2) 采用数据频率分析与事件树分析相结合的方法对最大可信事故进行定量分析。由于本文研究的含氰废水, 在非雨季对环境并无影响, 只考虑雨季淋溶水渗漏对地下水的影响, 因此首先要确定水文风险, 即估算水文超现的概率, 再采用事件树进行概率计算。由计算结果可知一年一遇与二年一遇的降雨淋溶水中氰化物污染比三十年一遇和百年一遇的概率大。

(3) 对氰化物污染做出幕景假设, 应用水文学中的降雨量计算及污染物在地下水中的迁移转化规律进行后果预测, 再运用 Matlab 对其求解, 由计算结果可知, 在进入地下水系统时, 只有一年一遇的降雨淋溶水中氰化物浓度为  $0.062 \text{ mg/L}$  超过地下水 III 类质量标准。可见降雨量越大, 淋溶水中氰化物浓度越小, 因此防渗工作主要是针对一年一遇的降雨。

(4) 根据氰化物排放对水生生物和人体健康两方面的风险评价, 得出排山楼金矿氰化物污染地下水属于可接受风险。但是氰化物毕竟是剧毒物质, 且在评价过程中存在很多不确定性因素, 因此减少尾矿饼中氰化物的含量、加强露天采坑坑底的防渗措施以及在尾矿干堆场达到使用年限后立即覆土绿化是非常必要的。

由于时间和数据的原因, 尚待研究的问题有:

(1) 频率估算需要大量该行业的事故发生概率及污染物途径监测, 该问题还需要有关部门做好事故数据累积工作。

(2) 环境风险评价中的风险计算及可接受风险值, 在很多领域并未给出明确规定, 该问题有待解决。

(3) 对于排山楼金矿的最大可信事故——氰化物污染地下水, 最彻底的解决办法是采用非氰化法浸出金。到目前为止, 人们已经探索了多种非氰化法提金方法。相对于氰化物而言, 廉价易得、无毒、具有优越的浸出金性能的非氰化浸出剂急待实现工业应用。

## 攻读学位期间发表的论文和参加的科研活动

### 1. 参加科研活动

参加导师的科研项目“辽宁省传统矿区废弃土地生态恢复利用战略规划研究”工作。

### 2. 撰写学术论文

(1) 苏红, 刘志斌. 利用废弃露天采场干排尾矿工程的环境风险评价. 辽宁工程技术大学学报, 2006 (Suppl. II): 312-314.

(2) 苏红, 刘志斌, 尹航. 热电行业节能增效措施与环境保护对策. 露天采矿技术.



## 致 谢

本文是在导师刘志斌教授悉心指导下完成的。从课程设置、论文选题、研究技术思路、主要研究内容到最后定稿,导师都倾注了大量的精力与心血,给予了耐心、细致的指点。他渊博的学识、严谨的治学态度以及和蔼可亲的谆谆教诲,指引着我在学术研究的路途上踏实前行。刘老师言传身教,为我的学习和工作创造了极好的环境与条件,使论文工作得以有条不紊的进行,他勤奋的敬业精神和求学作风也深深地影响了我,使我终生受益。在此谨向我的导师致以最衷心的感谢。

在我撰写论文的过程中,还得到了资源与环境工程学院环境专业各教研室老师的及时支持和帮助,在此谨致以诚挚的感谢。

在论文资料收集的过程中,感谢排山楼金矿的吴殿玉和周志远两位领导给予了我大力的帮助。

两年半的研究生生活即将结束,在硕士论文完成之际,我向所有支持、关心和帮助过我的老师、同学、朋友、家人表示诚挚的谢意!

感谢各位专家和教授在百忙之中评阅我的论文。

## 参考文献

- [1] 韦冠俊, 蒋仲安, 金龙哲. 矿山环境工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.
- [2] 傅桃生. 环境应急与典型案例[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006. 3
- [3] 林玉锁. 国外环境风险评价的现状与趋势[J]. 环境科学动态, 1993. 1
- [4] NRC. Science and Judgment in Risk Assessment [M]. National Academy Press, Washington, D. C. , 1994.
- [5] Power M, McCarty LS. Trends in the development of ecological risk assessment and nagement frame works[J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2002, 8(1): 7-18
- [6] 林玉锁. 对我国开展环境风险评价的一些看法[J]. 环境导报, 1993, 1:14-15
- [7] 毛小苓, 赵智杰, 张辉. APELL 简介及在环境影响评价中的应用[J]. 环境科学, 1998, 19(增刊):1-5
- [8] 钟政林, 曾光明, 杨春平. 环境风险评价研究进展[J]. 环境科学进展, 1996, 4(6): 17-21
- [9] 胡二邦. 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.
- [10] 张从. 环境评价教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 9
- [11] 张征等. 环境评价学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 7
- [12] S.Contini, A.Servida. Risk Analysis in Environmental Impact Studies, "Environmental Impact Assesment" (G Colomha ed. ), 79~103, ECSE, EEC, EAEC, 1992.
- [13] 陆雍森. 环境评价(第二版)[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999. 9
- [14] 彭理通. 石油化工工业环境风险评价探讨[J]. 能源与环境, 1996, 13(2): 15-19
- [15] USEPA. Review of ecological risk assessment methods[J]. EPA. 1988 , 230-10-88041
- [16] Satena. Hazard assessment of chemicals [M]. New York: Academic Press Inc. , 1981.
- [17] 沈英娃等. 生态风险评价方法简述[J]. 中国环境科学, 1991, 11(6): 464-468
- [18] USNRC, PRA-Procedures Guide. A Guide to the Probabilistic Risk Assessments for Nuclear Power Plant. WASH-1400 (NUREG-75/014), 1975.
- [19] 辽宁省排山楼金矿环境评价委托书. 辽宁省黄金管理局. 1997.

- [20] 《黄金生产工业指南》编委会. 黄金生产工业指南[M]. 北京:地质出版社, 2000. 1
- [21] 梁国海, 洪小鹏. 尾矿压滤干堆工艺在排山楼金矿的成功应用与改造实践[J]. 黄金, 2003, (12): 12-15.
- [22] 李奇瑞. 美国黄金矿山的建设模式为排山楼金矿之所用[J]. 黄金, 15, (2): 32-34.
- [23] 严智勇. 氰化物污染及其生态效应[J]. 环境监测管理与技术, 1997, 9(6): 17-19.
- [24] 赵全升, 李悦, 谢新民, 魏永富, 杨天行. 环境系统分析原理[M]. 北京:地质出版社, 2005.
- [25] 王莲芬等. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版, 1990. 5
- [26] 王学军, 郭亚军, 兰天. 构造一致性判断矩阵的序关系分析法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2006, 27 (1): 115-118
- [27] 杨晓松. 环境风险评价的不确定性及其度量[J]. 国外金属矿选矿, 1996, 10: 53-56
- [28] 彭静等译. 水污染的工程风险分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005. 1
- [29] 刘铁民, 张兴凯, 刘功智. 安全评价方法应用指南[M], 北京:化学工业出版社, 2005.
- [30] 沈斐敏. 安全系统工程理论与应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [31] 马学尼, 黄延林. 水文学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [32] 魏永霞, 王丽学等. 工程水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005.
- [33] 武强, 刘伏昌, 李铎. 矿山环境研究理论与实践[J]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [34] 王广成, 闫旭骞. 矿区生态系统健康评价理论及其实证研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2006. 3
- [35] 曾光明等. 突发性水环境风险评价模型事故泄漏行为的模拟分析[J]. 中国环境科学, 1998, 18(5): 403-406
- [36] 朱学愚, 钱孝星. 地下水水文学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. 8
- [37] 汪家权, 钱家忠. 水环境系统模拟[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2005. 9
- [38] David R. Maidment 主编, 张建云, 李纪生等译. 水文学手册[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [39] 郭文成等. 环境风险评价与环境风险管理[J]. 云南环境科学(增刊), 2001, 20, 12: 98-100
- [40] 孙斌等. 事故风险评价与风险管理模式研究[J]. 中国矿业, 2003, 12 (1): 71-73

# 辽宁省排山楼金矿环境风险评价研究

作者：[苏红](#)  
学位授予单位：[辽宁工程技术大学](#)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y1094862.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1094862.aspx)

杭州顾佳休闲用品有限公司、杭州百佳遮阳蓬有限公司是两家并一家，强强联手，全力打造业内最具有发展生命力的企业。公司主要承接大型户外广告活动业务,专业生产休闲系列

用品遮阳产品的厂家。

公司座落于美丽的西子湖畔，富饶的长三角中心南翼城市杭州。公司总部设立于杭州文一西路仓前工业区龙泉路 6 号,占地面积 5000 平方米，交通十分便利，靠近于文明千年的

杨乃武与小白菜文化园，距双千年古镇老余杭仅三公里，离杭徽高速进出口两分钟车程，杭宁高速进出口十分钟车程。

全国营销大师、高级心理工程师，公司总经理顾克东先生带领的团队，始终以制度创新、营销创新、管理创新、技术创新为特色，坚持以人为本，以客户为中心的服务理念，

贯穿用顾佳精神凝聚人心，用顾佳传统带好团队为主旨经营自主品牌公司。

公司于 2007 年 2 月 22 日创建的那天起，就把服务创造价值，品牌实现跨越象宪法一样写进企业的章程，成为神圣的不可侵犯的企业理念，把追求企业利润与社会责任有机结合，

把关心顾客利益与企业长远发展紧密相连，把创新企业文化建设与培养员工健康成才协调发展。

在百佳，您不仅看到的是一个团结、和谐、大气、开放的企业，而且还让您感受到优秀企业文化的温暖。快乐创业，快乐工作的百佳员工，在市场经济大潮中将会创造越来越

多的社会价值。**休闲用品，广告伞，遮阳蓬，气模，编藤家具，**

公司主导产品：休闲系列用品、编藤系列桌椅、休闲沙发、折叠桌椅、遮阳蓬、折叠帐篷、广告太阳伞、庭院伞、气模拱门等户外休闲用品及防雨系列产品。

Hangzhou Gujia Leisure Goods Co.,Ltd locates in the beautiful West Lake and in the south of the Yangtze Delta [www.nthljch.com](http://www.nthljch.com)

economically developed center---Hangzhou, being headquartered in No 6,Longquan road,Cangqian Industrial Park,Wenyi(W.) road, Hangzhou city.Our plant is [www.bsb001.com](http://www.bsb001.com)

closed to the Culture parks of YangNaiwu and Xiao Baicai,merely three miles away from Old Yuhang,the ancient town in Zhejiang province.Traffic is very

convenient,only two minutes'drive from the Huihang expressway,ten minutes' drive from Ninghang expressway.

General Manager,Mr GuKedong,the marketing master as well as senior psychological consultation teacher in China,

leads the team,always make a feature of four innovations:institutional,marketing, managerial and technological,

stick to the concept 'Customer first,achieve customer requirement',manage self-owned brand penetrating the idea 'Condense the will of customers with Gujia's

spirit,manage the team with Gujia's tradition'.

From the creation date of Feb 22nd 2007, "Service creat value, brand attain progress by leaps and bounds"----the proverb has been engraved to the

constitution of Gujia, and it has become a sacred and inviolable company philosophy. Combining pursuing of profits and social responsibility, connecting

[www.filter1.cn](http://www.filter1.cn)

caring benefits of customers and long-term development of the enterprise., accordingly coordinated developing the culture construction and employees' healthy

[www.gujia618.com](http://www.gujia618.com)

growth. Gujia shows not only its unity, harmonization, generosity and openness, but its excellent corporate culture. Pioneering and working in Gujia, we are

creating more and more wealth for society.

Main Products: Rattan chairs&table series/Sofa/Foldable Textile  
Chairs&table/Awnings/Foldable Canopy/Advertising umbrella/Garden umbrella/Inflatables and

other water proof items.

海安县宏利机床有限公司位于江苏省南通市海安县李堡名镇,是专业生产**剪板机**、折弯机、卷板机.价格优惠,厂家直销.1990年建立以来,本公司各项管理严格,生产设备齐全,制造

工艺先进,产品质量稳定,售后服务周到,经济效益显著.公司本着"诚信合作、共建双赢"的合作理念,以实行 "高效率、高效益"为目的管理方式,以信誉求生存,以质量求发展.不断创

新开发新产品,满足用户的需求.

海安县宏利机床有限公司,生产各种规格机械如: Q11 机械剪板机, QC12Y 液压摆式剪板机、QC11Y 液压闸式剪板机, WC67Y 液压板料折弯机、WHO6 系列手动折边机、W11 机械卷板机 **篮式过滤器 过滤设备**

、W11S 上辊万能卷板机、QC12K 数控闸式剪板机、WC67K 数控折弯机等机床.能满足全国各地客户的需求. 全国机械工业生产剪、折、卷机床重点企业之一.主要生产剪板机、折弯机

、卷板机等产品.专为航空、轻工、船舶、冶金、化工、建筑、汽车、电子、电力、装潢等行业提供所需的专用机械和成套设备,产品销往全国各地和东南亚地区,并远销欧美等地区.

公司采用现代化的管理方法,立足于产品质量的管理,以优质的产品,完善的售前、售中、售后服务赢得了广大客户的好评.公司拥有雄厚的技术力量和先进的加工设备,通过

ISO9000 认证,拥有出口许可证,生产检测设备齐全,产品采用国家标准生产.多年来,一直致力于锻压机床的研究及 创新,对产品的销售和服务更是不遗余力,先后在北京、天津、沈阳

、山东、浙江、广州、上海、杭州、成都、长沙、西安、兰州、徐州、常州、苏州及江苏地区建立了较为完善的集售前、售中、售后服务于一体的分公司,竭尽所能满足国内外客