

## Abstract:

The construction of the railway brings the fast development of the economics and the pressure to the ecological environment. In order to reduce or avoid the occurrence of ecological disasters due to railway construction, it is necessary to study technology for the comprehensive evaluation of the impact of railways on ecological environment.

Based on the relevant information of home and abroad, according to the characteristics of the railway, the paper analyses the relation between the ecological environment and the railway in its building process, searches for the reasons of the negative impact which railways may do to the ecological environment, and applies the thoughtful thread of the pressure-state-response framework model for reference, sets up the indicator set of the railway ecological assessment.

FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) is presented to evaluate the impact of railway on ecological environment to establish the hierarchy model of the comprehensive railway ecological evaluation system, and to present the evaluation indexes for every class. By constructing the judging matrix and calculating every index's weight, the functions have been built for the degree of subordination of the bottom indexes, and the evaluation thresholds. Having the indexes none-dimensionally, educe the degree of subordination of every index, and get the results of the comprehensive evaluation.

The comprehensive degree of the impact of Yong-Tai-Wen Railway on ecological environment is evaluated, and every evaluation index is analyzed.

**Key words:** railway ecological environment evaluation, fuzzy analytic hierarchy process, evaluation index, the pressure-state-response framework model

---

# 第 1 章 绪论

## 1.1 问题的提出

近年来,随着我国国民经济的快速发展,我国铁路建设事业得到蓬勃发展。铁路建设的高速发展,路网水平的不断提高,可以有效地解决自然资源、劳动力、生产设施等生产要素相互分离的矛盾,有利于沟通城乡,加快老少边穷地区脱贫致富,促进社会经济与旅游事业的发展。事实证明,铁路运输以其快捷方便的优势和强大的生命力,对一个国家或一个地区的经济发展、社会进步和人民生活质量的提高等方面发挥着举足轻重的作用<sup>[1-2]</sup>。

铁路的快速发展,带动了地区经济的快速发展,又给生态环境带来较大的压力。由于铁路的修建,路网的形成不仅会改变该地区的生态环境,同时还会改变原有的景观结构,改变物流、能流及信息流的传输方式和通道。铁路的建设,对自然人文景观、生态环境的破坏比较严重。随着道路设计标准的逐步提高,路基填挖高度加大,势必造成大量的高填深挖路段,为了减少费用,这些路段很少以高架桥和隧道的方式通过而以填挖土方为主。由此,高边坡使山体严重被切割且处于不稳定状态,高填深挖后频频诱发地质灾害,防护加固、地基处理工程的增加而引起工程费用的不断增加。另外在施工中乱挖、乱弃土石方,大量的废弃方堵塞河道,给排水系统设计不合理、施工破坏原有植被与水系等造成的水土流失,直接的后果是对自然环境极大的破坏甚至破坏生态平衡,给子孙后代留下无穷的隐患。同时铁路在平原微丘区以高填方穿越农田、水网、村镇,造成自然景观的人为分割,使铁路在整个环境中显得十分生硬、呆板,形同异物,与周围景观不协调,造成行车的不适与安全隐患<sup>[3-4]</sup>。

目前,对于生态环境评价的研究内容,大多数侧重于铁路环境影响评价方面。一般是从生态环境的角度出发,选取噪声、振动、电磁、大气、水等几个具有代表性的评价指标,来评价铁路建设对其产生的影响和破坏。通过评价可以从整体上评价铁路的建设对生态环境的影响,并且在此基础上指导铁路合理选线,以及制定合理的环境保护措施和防治对策,达到保护自然环境和社会环境的目的。

由于铁路的建设和营运,不可避免对所经过地区的生态环境产生影响或带来变化,因此如何通过指标体系的构建方法,建立铁路生态评价指标体系,并对建设前期、建设期和营运期的人类活动、生态环境及环保政策和措施的

评价, 来保证在铁路建设和营运过程中, 充分维护自然生态系统和社会系统的协调统一, 尽量减少对自然生态环境的破坏和扰动, 力争实现区域经济、生态环境和社会系统的健康可持续发展, 是急需解决的问题。

## 1.2 生态环境影响综合评价研究进展

我国的环境评价始于 70 年代的城市环境污染现状调查和评价, 80 年代转向工程建设项目的影晌评价<sup>[5]</sup>。对于生态环境影响的综合评价, 由于它是一个多层次、多目标、多任务的系统工程, 要遵循生态学、生态经济学、系统工程学的原理:增加了工作的困难。2003 年赵勇等人选取土壤、水土流失状况、工程占地量、对农作物影响、对林地的影响、对动物的影响、对景观生态影响以及对生物影响等 8 个生态指标, 采用综合评价指数法进行高速公路的生态环境影响综合评价<sup>[6]</sup>。2001 年陈利顶等人在建立生态环境综合评价指标体系的基础上, 利用模糊聚类方法对三峡库区不同县市区进行聚类分析, 对三峡库区生态环境综合评价<sup>[7]</sup>。1998 年高平利等人通过绿洲草场的铁路建设项目, 提出一种用矩阵半定量表示西北铁路建设项目对生态环境影响的预测方法, 以确定作用因子的相对重要性和生态因子受影响的等级, 运用模糊综合评价方法, 对西北铁路建设项目生态环境影响的预测及评价方法探讨<sup>[8]</sup>。虽有一些学者在生态环境影响综合评价方面作过一些工作, 但由于生态环境的时间和空间差异十分明显而缺少统一的定量的标准, 故其综合评价仍处于初始阶段。

系统评价是由评价对象、评价主体、评价目的、评价时期等要素组成的一个综合性问题<sup>[9]</sup>。生态环境影响综合评价涉及到生态学、经济学、系统工程等方面的原理, 内容十分广泛。确定评价指标体系后, 确定建设项目对现有的自然、社会、经济等各因素的影响水平。近代人类的许多大型基础设施建设项目已超过可持续环境承载力的阈值, 引发了全球或区域性的环境问题。运用综合评价的方法确定大型基础设施建设项目对某区域生态环境的影响程度, 给予一个定量的标准, 从而为提出减少影响或改善生态环境的策略和措施提供可靠依据。同时, 由于系统评价与决策是密切相关的, 所以生态环境影响的综合评价可以为有关决策部门提供定量的资料, 为制定各种政策提供科学的依据和指导。

## 1.3 本文研究的内容及方法

本文结合甬台温铁路新建项目工程, 对铁路生态环境影响综合评价进行

深入研究，具体研究以下几个方面：

1. 详细分析铁路建设项目在其建设和运营期的各个阶段可能对生态环境造成的负面影响，以及产生的原因。

2. 研究铁路建设项目生态环境影响综合评价指标体系制定的原则，通过对铁路生态环境影响评价基础理论的研究<sup>[9]</sup>，借鉴压力—状态—响应框架模型<sup>[10]</sup>的构建思路构建生态环境影响评价的指标体系。

3. 研究应用模糊层次分析法对铁路建设项目进行生态环境影响综合评价，计算出评价指标的组合权重，建立最底层评价指标的隶属函数和隶属阀，计算评价综合值。

4. 研究甬台温铁路新建项目工程在施工直至运营阶段对生态环境造成负面的影响，对甬台温铁路新建项目工程进行生态环境影响综合评价。分析综合影响程度和各项评价指标的得分，探讨减小综合影响度的措施和方法。

本文研究内容的技术框架如图 1-1：

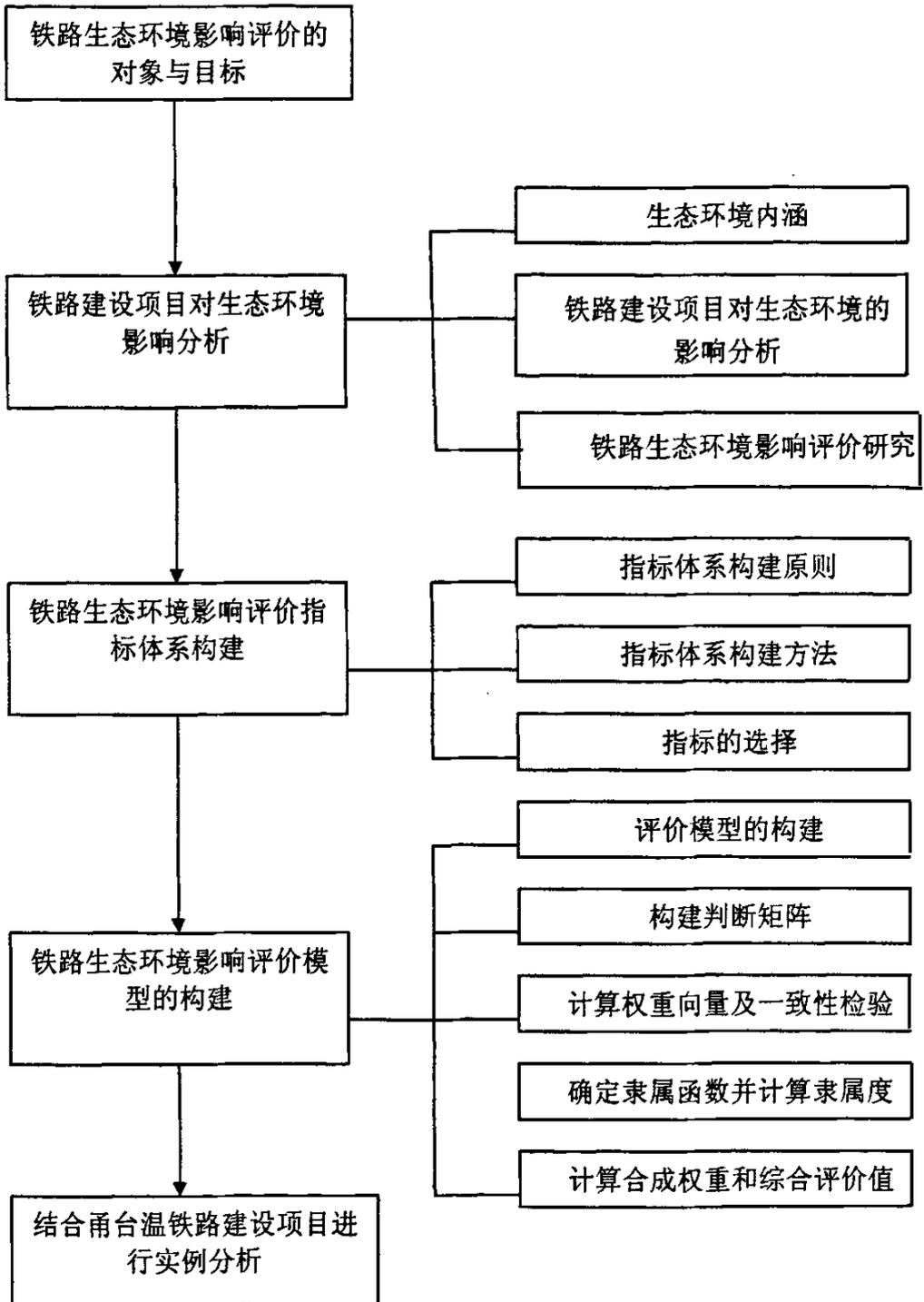


图 1-1 技术路线图

## 第 2 章 铁路建设项目生态环境影响评价研究

### 2.1 生态环境的内涵

生态环境是指由生物群落及非生物自然因素组成的各种生态系统所构成的整体,主要或完全由自然因素形成,并间接地、潜在地、长远地对人类的生存和发展产生影响。生态环境的破坏,最终会导致人类生活环境的恶化<sup>[14-16]</sup>。因此,要保护和改善生活环境,就必须保护和改善生态环境。我国环境保护法把保护和改善生态环境作为其主要任务之一,正是基于生态环境与生活环境的这一密切关系。生态环境与自然环境是两个在含义上十分相近的概念,有时人们将其混用,但严格说来,生态环境并不等同于自然环境。自然环境的外延比较广,各种天然因素的总体都可以说是自然环境,但只有具有一定生态关系构成的系统整体才能称为生态环境。仅有非生物因素组成的整体,虽然可以称为自然环境,但并不能叫做生态环境。从这个意义上说,生态环境仅是自然环境的一种,二者具有包含关系。

生态系统是指一定空间范围内,生物群落与所处环境所形成的相互作用的统一体,是生态学的基本功能单位<sup>[15]</sup>。生态系统可由研究的需要来确定,它可以被划分若干个子系统也可以和周围的其他系统组成一个更大的系统来研究,一滴有生命存在的水是一个生态系统,整个地球也是一个巨大的生态系统。在任何一个生态系统中,生物与其环境总是不断进行能量,物质与信息的交流,但在一定时期内,生产者,消费者和还原者保持动态平衡,这种平衡叫做生态平衡。之所以保持这种平衡是因为内部具有自动调节的能力,当系统某部分异常时,可能被不同部分调节抵消。生态系统组分越多样,能量流动和物质循环途径越复杂,其调节越强,反之亦然。一个生态系统的调节能力再强也有个限度。超过了这个限度,调节就不起作用。生态平衡就遭到了破坏。从生态学角度看,平衡是某个主体与其环境的综合协调。涉及生命的每个层次。凡是可按自然演替规律正常发展的生态系统都可以认为是平衡的,并非只有群落演替到顶级才是生态系统的平衡状态。生态平衡并非就是保持自然界的老样子,而是动态的平衡<sup>[17-19]</sup>。由于受生态系统基本特征即生命成分的存在,生态系统始终处于动态变化之中既基本成分在不断变化。即使群落发育到顶级阶段演替继续进行。因此生态平衡先是动态的,其表达应该反映不同层次,不同发育期的区别。自然界平衡对人类不是总有利的。

如自然界的顶级群落是很稳定的生态系统，但是它的净生产量却是很低，人类不能从中获取净产量。但是农业生态系统很不稳定，却能为人类提供大量的农畜产品，它的平衡靠人类的外部投入来维持<sup>[20-21]</sup>。

## 2. 2 铁路生态环境系统评价基础理论

生态学的基本理论是道路生态系统研究的基础，也是铁路生态系统评价以及评价指标选择的理论依据，就生态学的发展而言，主要包括生态位理论、限制因子理论、生物群落演替理论、机构化理论、生态适宜性理论、生物多样性理论、缀块-廊道-基底理论和生态系统耗散结构理论、可持续发展理论、系统动力学理论和生态系健康学理论等。

### 1. 生态位理论

生态位主要指自然生态学中一个种群在时间、空间上的位置及其与其他种群之间的功能关系。根据生态位理论，生态系统中两个存在竞争关系的物种，如果占据了相同的生态位，则其中一个必然会灭亡；如果各自占据不同的生态位，则两个物种就能够避开直接的竞争，使得系统具有较大的稳定性。生态位理论用于指导在进行生态恢复时，避免相同生态位物种的引入，尽可能使物种的生态位错开，使各种种群在群落中具有各自的生态位，避免种群之间的直接竞争，保证群落的稳定性。

### 2. 限制因子理论

生物的生存和繁殖依赖于各种生态因子的综合作用，其中限制生物生存和繁殖的关键性因子就是限制因子。最小因子定律是指生物的生长要受到供给量最小因素的制约。耐性定律是指生物的存在与繁殖，要依赖于某种综合环境因子的存在，其中某一项因子的量(或质)不足或过多，超过了生物的耐受范围，生物便不能生存，甚至灭绝，耐性下限或耐性上限的因子都成为限制因子。限制因子、最小因子定律、耐性定律，是研究生物与环境复杂关系的钥匙，那是因为找到了限制因子，就意味着找到了影响生物生存和发展的关键性因子。

### 3. 生物群落演替理论

在自然条件下，如果群落一旦遭到干扰和破坏，就有被称为先锋植物的种类进入遭到破坏的地方并定居和繁殖，先锋植物改善了被破坏地的生态环境，使得更适宜物种生存并取代其他物种，如此渐进直到群落达到一种稳定的状态，这一系列变化就是演替。

### 4. 结构化理论

结构是生态系统内各要素相互联系、作用的方式，是系统的基础。结构维持了系统的稳定性，在外界干扰作用下，继续保持系统的有序性和恒定性。

#### 5. 生态适宜性理论

生物由于经过长期与环境的协同进化，对生态环境产生了生态上的依赖性，在生态环境发生变化时，生物便不能很好地生长。生态适宜性理论指导我们在对生态系统恢复研究时，尽量使破坏的系统恢复到原来的状态。

#### 6. 生物多样性

生物多样性是“生命有机体及其赖以生存的生态综合体的多样化 (variety) 和变异性 (variability)”。生物多样性是指生命形式的多样化，各种生命形式之间及其与环境之间的多种相互作用，以及各种生物群落、生态系统及其生境与生态过程的复杂性。一般来说，生物多样性从遗传多样性、物种多样性、生态系统与景观多样性三个层次上去描述。

#### 7. 缀块-廊道-基底理论

缀块(patch)、廊道(corridor)、基底(matrix)是景观的结构单元。缀块泛指与周围环境在外貌或性质上不同，但具有一定内部均质性的空间单元。廊道是指景观中与相邻两边环境不同的线性或带状结构。基底是指景观中分布最广、连续性最大的背景结构。

#### 8. 生态系统耗散结构理论

耗散结构理论是“一个远离平衡态的复杂系统，各元素间的作用具有非线性的特点，正是这种非线性的相关机制，导致了大量离子的协同作用，突变而产生有序结构”。耗散结构理论阐明了客观世界有序和无序总是同时出现，无序和有序之间存在着联系和转化。生态系统具备耗散结构的三个必须条件是：系统的开放性；系统处于远离平衡态的非线性区域；系统各要素之间存在着非线性相关机制。

#### 9. 可持续发展理论

可持续发展是指“既满足当代的需要，又不危及后代满足需求能力的发展”。可持续发展一词来源于西方发达国家，在英语中由两个单词组成：Sustainable Development。Sustainable 即可持续，来源于生态学。Development 即发展，在应用上该词更多地体现经济学特征。将上述两个词合在一起形成“可持续发展”这一新词。可持续发展这一新词的诞生，为生态和发展这两个从传统意义上不太相关的内容找到了一个共同点。因此，可持续发展一词本身就含有生态与发展和谐共存的内涵。

## 10. 系统动力学理论

系统动力学(system dynamics)是美国麻省理工学院 J. w. 福雷斯特提出来的研究系统动态行为的一种计算机仿真技术。系统动力学是一门分析研究信息反馈系统的学科。它作为系统科学的一个重要分支,也是一门认识和解决系统问题的综合性学科和沟通自然科学与社会科学领域的横向学科。系统动力学是结构方法、功能方法与历史方法的统一。根据系统动力学理论建立的模型,对客观系统进行结构-功能模拟,最适用于分析研究信息反馈系统的结构、功能与行为之间的动态关系。

## 11. 生态系统健康学理论

国际生态健康学会将生态系统健康学定义为研究生态系统管理的预防性、诊断和预兆的特征,以及生态系统健康与人类健康之间关系的一门系统学科。生态系统健康研究内容包括:生态系统健康的评价方法;生态系统健康与人类健康的管理;环境变化与人类健康的关系,各尺度生态系统健康管理的方法。主要研究生态系统内部以及自然生态系统、社会经济系统和人类系统间的健康作用机制、健康标准及其方法学,追求生态系统的良性循环、合理结构及其优化管理。生态系统健康评价需要分析人类对生态系统的压力、变化后生态系统的结构与功能、生态系统服务的改变与社会的反应之间的联系。

健康的生态系统是稳定的和可持续发展的,在时间和空间上,能够维持它的组织结构和系统的内部调节。要使生态系统健康的概念具有现实意义,只有通过对环境进行有效可靠的、可操作的、可广泛推广的,并能为决策者提供指导信息的健康评价来得以实现。

## 2.3 铁路建设项目对生态环境的影响分析

铁路建设项目的直接生态影响来自于建设期施工、保养和过往车辆,不仅与项目所在地的交通状况、道路状况、所建项目的运输量、被运输物品的特性有关,也与运输工具的性能、道路两侧的生态环境及有害物品运输的风险率有关。铁路建设对生态系统的影响主要有:

### 2.3.1 建设期的主要影响<sup>[22-25]</sup>

●破坏植被。在铁路建设前期对现场的清理过程中,以及在建设过程中铁路两侧取弃土场、施工便道处均会造成植被的破坏。铁路建设还会对地形

地貌产生一定的影响。铁路的修建，由于植被的破坏，改变原有的土壤结构，使得表层土壤以及抵抗流失强的表层土壤遭到破坏，影响了地形和地貌，在一些填挖方路段，为水土流失的发生提供了可能。

●影响生物的生境。铁路的建设，需要占用大量的土地资源，破坏原有的植被和生境，造成生物资源的减少，影响到该区域内的其他生物资源的存在。在取土场、堆料坪和采石场等地方，因为施工需要，这些区域内的植物资源也将遭到破坏，生活在该区域内的生物死亡或者迁移，影响了该区域的生物资源。河流的改道，原有的生境将全部被破坏而消失，一些有用的物质将被毁灭，影响了河流中的水生生物资源。当铁路纵穿生境时，将原有的自然生态系统一分为二，影响了生态系统的稳定性和健康，尽管生境的减少量会很小，但两部分碎片的总量会比最初的整体总量要少。对生物来说，封闭的铁路不利于相邻组元间物种特别是动物的越过，起着一种屏障的作用，妨碍了物种和基因的交流。此时，道路将生态区域碎化为更弱的次级单位，进而会使整个生态区域易受侵蚀，同时会容易退化。铁路与通道相交或者阻碍通道时，将会导致使用这个通道的动物失去原有的生活条件，迁移到别处生存下来或者死亡。有些通道虽然没有与道路相交，但也会因为施工机械的运作和施工人员的活动，使得使用这个通道的动物暂时或者永久失去这个通道，破坏了该区域的生态资源。

●影响土地资源：除铁路本身占用土地外，铁路建设工程施工期间，为修建铁路而建筑的大型临时设施、临时房屋和取弃土场等也占用很多土地；施工过程中机械碾压、施工人员践踏等又会带来青苗损失。若不采取积极措施，会使这些土地长期被废弃。铁路工程修建过程中，由于开挖路堑，取土填筑路堤、开凿隧道等，对山坡及表土搅动较大，使周围植被遭到破坏，若恢复不及时，在大雨条件下，极易引起侵蚀，产生局部水土流失。铁路工程施工中，存在大量的弃土弃渣。若对此处置不当，暴雨作用下产生的泥石流会危害农田，淤积河沟，破坏水利设施，并影响周围自然环境。

●影响景观。铁路建设对景观格局产生重要的影响：首先是铁路建设对地表植被的大量破坏，产生生境碎片，使景观格局发生变化；其次是在景观中出现新的景观要素，出现新的景观斑块；最后是铁路本身的特点，在景观组分之间增加了一道屏障，给景观产生较强的分裂效果。此外，还有大型挖方填方路段的边坡由于土地的硬化，破坏了山体的植被和自然曲线，也会对景观产生影响。

●影响水资源。通常情况下，道路建设不至于直接影响水资源情况，但是对于铁路来说，因为其线形要求高，同时对纵坡也有一定的限制，所以铁路或多或少要影响到水资源。在河流或者湿地地区，由于铁路的修建，有时需要对原有的水道进行修改，造成在多条水道汇集的地方产生很大的流量，增加了水的流速，改变区域的条件，出现洪水或者水土流失加剧，以及渠道的改变和下流淤泥的增加。同时，铁路的排水和挖掘会使得周围区域的水位降低，相反填堆等会使得地下水位升高。地下水的改变会产生一系列潜在的影响，如植被恶化、侵蚀增加、供农业及饮用的水资源减少、，以及鱼类和野生物的生境改变。在铁路建设过程中，由于施工管理等问题，将铁路施工中的弃土、弃渣等固体废弃物直接丢至水体；桥梁施工过程中，施工材料落入水中；以及在运输施工材料的过程中，施工材料的泄漏入水中；施工过程中，施工机械的油类进入水中；以及施工人员的生活废弃物直接丢至水中，都会影响地表水质量的下降，甚至有时还会影响地下水质量的下降。

●施工噪声的影响。在开山放炮或机械化施工路段，由推土机、挖掘机、装载机 etc 施工机械会产生的噪声污染。推土机噪声级 78~96 dB，搅拌机噪声级 75~88 dB，重型载重汽车加速时噪声级可达 88~93 dB。

●影响大气环境。在干燥的季节施工，土石方施工现场，二次扬尘是污染大气的主要因素。机械化施工路段燃油施工机械排放的尾气，会增加该路段的大气污染负荷。

### 2.3.2 运营期的主要影响[26-27]

铁路运营间一切环境污染均源于机车车辆与站点，它们沿铁路形成一定范围的带状污染。

●大气污染:铁路运输对大气污染的两个最主要的来源是蒸汽机车的锅炉燃煤与内燃机车的燃油。它们排放的主要污染物有 TSP(粉尘)、CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等。它们在铁路两侧形成的污染及范围主要受列车行车密度，气象(风速、风向及大气稳定度类型)和地形条件等多因素而变化，并在一定范围内明显影响环境空气质量。

●水污染:铁路对水体的污染主要来源是各站段的生产、生活污水，以及沿线的内燃机车留下的油污和旅客列车生活用水，尤其在雨水的冲刷下流入线路两边的河沟和农田，造成沿线附近水体的污染。

●噪声振动污染:列车运行所产噪声主要是由于车轮与钢轨相互作用引起的轮轨噪声,以及机车动力设备产生的噪声和鸣笛声,来源于汽笛、广播、车辆减速器、蒸汽机车洗炉放汽、水阻实验台、空压机站及各种车间噪声等。

●电磁环境污染:在运行电力机车的电气化铁路线上,电磁对环境的影响已经成为不容忽视的公害。电磁污染主要来源于变电所产生的电磁干扰,接触网系统产生的干扰,电力机务段产生的电磁干扰以及一般性故障产生的电磁干扰。

## 2.4 铁路生态环境影响评价研究

生态环境的保护与项目建设是一对对立的矛盾。铁路生态系统的研究主要是以“铁路与生态系统”这对矛盾为研究对象展开的,以生态可持续发展观点来调节与控制其对立统一关系的发生与发展。进行铁路生态环境影响评价必须确定研究对象、研究范围和具体内容。

### 2.4.1 评价对象—铁路生态环境系统

铁路生态环境影响评价对象是铁路生态环境系统。通过对铁路生态环境影响评价对象的研究,可以为研究铁路建设和运营对生态系统的影响提供依据,构建铁路生态环境影响评价指标体系并进行评价,从而指导铁路的规划、设计、施工、营运及养护。由于铁路生态环境系统是一个典型的人工生态系统,该系统的稳定性主要受到人为因素的影响,因此研究铁路生态环境系统不能再简单的从生态系统的角度去考虑,而是要从人类活动和生态系统的相互作用角度出发,研究铁路生态环境系统因道路建设和营运而发生改变的因索,如植被、动物的廊道、景观等方面,这些因素便是我们研究的对象。研究铁路生态环境系统评价对象的目的就是使得铁路生态环境系统与周围的生态系统能够很好地融合,让铁路生态环境系统能够很好地融入周围的生态系统之中。

### 2.4.2 评价范围—铁路生态系统边界

铁路生态环境影响评价范围是一般认为是铁路生态系统的边界。铁路生态系统的边界一般是模糊的,因研究对象的不同,其研究的系统边界也就不同。在分析道路的小气候效应时,根据线路下垫面性质的不同,在线路的周围会逐渐形成一个温度、热量、湿度、风及土壤条件均与周围有所差别的小

气候区域。经过一段时间的演变，线路周围景观元素有可能产生局地分异，出现新的生物群落和边缘物种，而呈现出一定的过渡性，这就是用来确定边界的一个特征。道路生态系统边界的合理确定是铁路生态环境影响评价合理的关键。如果道路生态系统边界确定过大，将会使得研究对象变得更加复杂，给研究带来了很大的困难；如果确定过小，就将使得研究结果与实际有较大偏差。当然，对于研究对象的不同，边界就会随着研究内容和方法的不同而不同。在这里，道路生态系统的边界是其他各类研究对象边界的集合，这个集合的边界与各种影响的分析有关系，是其他这些研究对象边界的函数，也就是说，该边界包含了其他如道路小气候系统的边界等等，而且边界又不是这些研究对象边界的简单叠加，是这些边界的有机组合。

### 2.4.3 铁路生态环境影响评价研究内容

为了保证在铁路规划、设计、施工、运行、管理等环节，充分维护自然生态系统和社会系统的协调统一，尽量减少对自然生态环境的破坏和扰动，力争实现区域经济、生态环境和社会系统健康可持续发展，铁路生态评价研究内容应从以下几个方面去把握：首先，采用系统观点去分析铁路建设对生态环境的影响。由于目前铁路生态环境影响评价内容、方法和标准尚处于探索阶段，还没有真正建立起铁路生态环境影响评价理论和方法，一般只是从生态环境的几个零散方面进行评价，具有片面性，没有形成统一的系统理论和方法。其次，铁路生态环境影响评价是一种动态的评价过程，这就需要评价内容能够随着时间的变化而变化，能够反映出不同阶段的评价特征。铁路建设期的生态系统评价内容和营运期的生态系统评价内容应不仅能够反映出建设期和营运期的特点，而且能够反映各自的影响。最后，铁路生态环境影响评价内容应不仅仅局限于对铁路生态环境的影响评价方面，还应扩展到能够指导铁路建设和营运阶段的管理，以及一些相关政策和措施等的制定，在铁路规划、设计、建设和营运等环节实现自然系统和社会系统的协调统一，实现生态系统、社会系统的健康可持续发展。由于铁路的建设、营运，导致植被大面积损失、水土流失加剧、生物多样性减少、大气质量下降等环境问题，致使生态系统的健康受到越来越大的损害，由此危及到人类自身的健康。铁路建设等人类活动与生态系统健康的关系如下图：

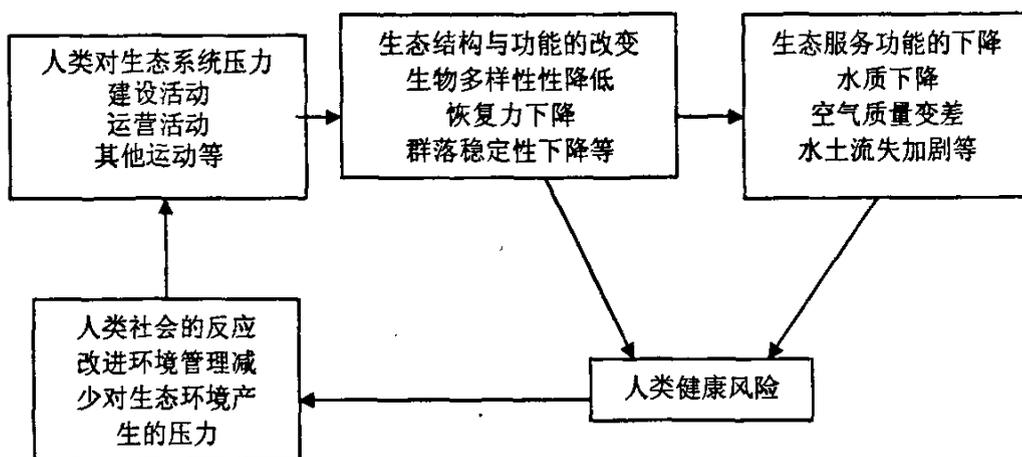


图 2-1 人类活动（铁路建设、营运）与生态系统健康之间的关系

由上图可知，铁路建设活动、营运活动及其他活动等对生态系统产生一定的压力，使生态系统健康受到一定的影响，导致生态系统结构与功能发生一定的改变，其中包括生物多样性降低、恢复力下降、生态系统稳定性下降等，进而使生态系统服务功能下降，包括了水质的下降、空气质量变差、及水土流失加剧等，这些均会使人类健康受到威胁，人类不得已又会关注生态系统健康，通过改进环境管理等措施减少对生态环境产生的压力，寻求生态系统的健康乃至人类的健康。由此可以看出，生态系统健康与人类活动和社会密切相关。

铁路生态环境影响评价内容应包含以下几方面（见图 2-3）：人类活动；自然生态环境；社会生态环境；政策、措施等。其中人类活动包括铁路的规划、设计、建设、营运和管理等活动。自然生态环境包含了土地资源、水资源、植被、大气、声环境和动植物等环境因素。社会生态环境包括土地利用、格局变化、对人体健康等的影响方面，其中铁路占用耕地、城镇化效应等均是需要考虑的因素。政策、措施等主要是指铁路建设和营运过程中的生态恢复及补偿、环境保护政策以及营运管理措施等。

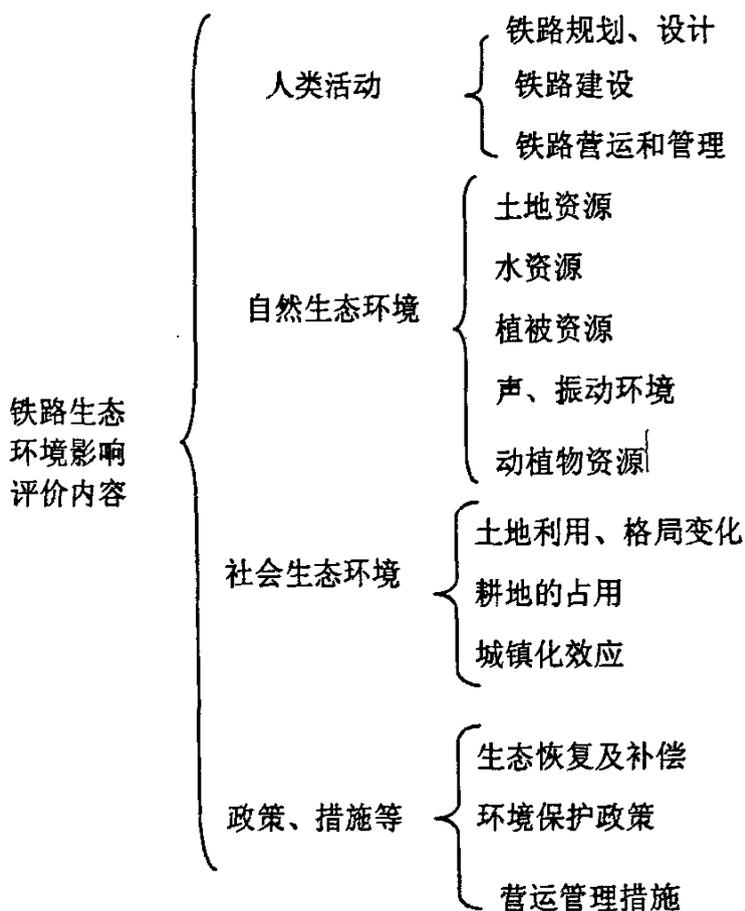


图 2-2 铁路生态环境影响评价内容

从以上的分析可知，铁路生态环境影响评价内容不同于道路环境影响评价中的生态环境评价内容。在道路环境影响评价中，生态影响评价只是道路环境影响评价的一个小部分，主要考虑的是野生植物与动物及栖息地的影响，水土流失的影响，以及水环境的影响等。文中的生态系统评价研究内容不仅包括了自然生态环境评价和社会生态环境评价，还包括了人类活动以及生态系统和环境的政策、措施的制定等活动。尽管在铁路生态评价研究内容中也采用了道路环境影响评价中的自然资源的评价、生态环境的评价、噪声以及景观评价等道路环境影响评价中的部分评价内容，但此处对这些内容的研究不是单独逐个去研究，而是从系统角度出发，综合考虑人类活动、自然生态环境、社会生态环境和政策、措施等的评价内容，注重研究内容的整体性和综合性。

## 第 3 章 铁路生态环境影响评价指标体系的构建

### 3.1 指标体系的研究

#### 3.1.1 指标与指标体系的含义

指标 (indicator), 原意是揭示、说明、宣布或者使公众了解的意思。指标是一种重要的信息工具, 它能够帮助我们了解事物发展变化的过程, 用这种方法也能够帮助我们了解周围的世界和传递关于复杂系统的信息。它不同于一般的统计数据, 指标则是在原始统计数据基础上通过分析和整理得到的、能反映事物本质特征的一类信息, 是统计理论与实践操作的结合点。

指标一般具有以下的基本特征: 具有明确的含义; 一般能够进行定量化; 容易解释和说明; 具有综合概括反映事物关键因素的能力; 在时间上具有动态性, 对事物的变化具有敏感性; 指标是一定复杂事物或现象的替代物, 力求逼真但却不能等同。

对于指标体系的含义, 不同的研究者持有不同的观点。余丹林<sup>[32]</sup>指出“指标体系一词, 从字面上理解, 它有‘指示’、‘表征’的含义”。张明顺等<sup>[33]</sup>则认为指标体系是“描述和评价某种事物可量度参数的集合”。腾藤<sup>[34]</sup>认为指标体系是“由反映复杂事物各个侧面的多个指标结成的有机整体”。

事实上, 在研究复杂事物时, 通常单个指标较难于反映事物的主要特征, 这就需要具有联系的一个指标体系, 来全面、系统地反映复杂事物。这个指标体系, 它不是很多指标的任意堆积或者简单叠加, 而是从“体系”的角度上, 各个指标通过围绕一个共同的主题或者核心建立起来的, 这些指标之间既要有一定的内在联系, 同时还要尽可能去除指标信息上的相关部分和重叠部分。

在国内的相关文献中, 指标与指标体系的用法也不统一, 有的则不加区别加以采用, 有的则分开使用。有时为了简单起见, 使用“某某指标”来指出是某一类问题的研究, 如我们常常说的“生态指标”就是属于这一类, 尽管可能因为研究方法的不同, 可能是一个综合性的指标, 也有可能是多个指标构成的指标体系。而当我们说“某某指标体系”时, 可能因为这类问题的研究大多采用指标体系的方法, 但也有采用一个综合性指标反映复杂事物的可能, 如“可持续发展指标体系”就是属于这一类情况。

在许多国外的相关文献中，对于指标和指标体系并没有在用词上加以区分。对于单个指标，采用 indicator。对于多个指标，无论是两三个组合在一起的同类指标，还是中文所理解的指标体系，大都采用 indicators，很少有专门与“体系”相对应的词。此外，英文中的 indicator set（指标集）或者 a set of indicators（一套指标）通常与中文中的指标体系具有类似的含义。

### 3.1.2 指标体系的分类

依据不同的分类标准，指标可以分为不同的类别，如按是否与经济有关可以分为经济指标和非经济指标；根据指标的量化不同又可以分为数量指标（又称为总量指标）和质量指标（即由两个数量指标相比较得到的平均数值或者相对数值）；依据指标所反应的方面可以分为肯定指标、否定指标和中性指标；根据指标是否具有客观性又可以将指标分为客观指标和主观指标；还可以根据指标的用途分为描述性指标和评价性指标，描述性指标是具体反映某种现象的状况，但每个描述性指标往往都有不同的计量单位，因此不能简单地相加以综合反映某一层次或者某一方面的情况；而评价性指标的目的在于对事物的各个方面、各个层次的指标进行综合、汇总，最终形成一个总指数，来反映事物各个方面的总的变化趋势和变化动态。实际上，评价指标大多数来自描述性指标，也有一些是派生指标。为实现评价指标的汇总目的，对每个指标一般需要无量纲化处理，最后才加以汇总。此外还有其他的分类方法，在此不一一列举。

指标体系一般具有以下三个方面的特征：指标之间具有可比性，即指标是根据统一的原则和标准进行选取的；指标表达形式简单化，对指标进行简化处理，同时保持最大信息量；指标之间具有联系性，需要进行指标产生机理的研究，将指标统一在一个综合框架中。指标体系的分类方法也有很多种，这是由于各个国家、地区以及研究机构或个人对于事物的认识角度、价值观和出发点不同，从而得出了各种各样的指标体系，一般为以下的几种类型：单一指标类型；综合核算体系类型；菜单式多指标类型；菜单式少指标类型；“压力—状态—响应”指标类型。在相关的文献中，有的是为了研究需要，又将指标体系分为描述性指标体系和评价性指标体系。

### 3.2 铁路生态环境影响评价难点

因为“环保铁路”概念尚处于讨论阶段，缺乏成熟的思想体系和理论支撑，又因其评价系统的复杂性、理论探索性以及技术局限性等特点，加大了铁路生态环境影响评价体系研究的难度，具体表现如下<sup>[29-30]</sup>：

1、探索性强。没有现成的模式可循，对那些国外、国内本来就还在不断探索的方法，不可能照搬套用。为了切合工作的实际，在借鉴的同时，还必须开发新方法，新技术，提出新观点，找到解决问题的恰当途径。

2、系统复杂。影响评价研究涉及到地理、地质、气象、水文、水生生态、陆生生态、社会、经济、文化、景观、工程技术、工程管理，跨越自然、社会、经济几大系统，形成自然—经济—社会复合生态系统。对其研究和评价涉及众多学科。

3、信息不全，定性的信息多、定量的信息少。缺少明确确定的信息，许多现象、事件、规律难以定量统计。给动态分析、数学模拟、定量评价造成巨大困难。

4、不确定因素多。许多因素没有明确的边界或确定的性质、变量往往又缺乏统一量度的函数关系或量纲；社会环境心理、美学、行为、价值等既没有可度量的物理单位，又很难估值和预测。

5、缺乏标准。铁路生态环境影响评价体系的研究本身尚处于探索阶段，没有统一规范和标准可循，一些指标虽可借鉴其他相关标准，但某些特有的指标需要进一步界定，给整个评价研究增加了很大的难度和工作量。

### 3.3 铁路生态环境影响评价指标体系的构建

铁路生态系统评价是一个涉及多学科、研究内容需要有综合性、系统性的复杂问题，因而铁路生态评价指标体系也是一个综合系统的复杂体系，其中每一类、每一个指标本身具有不同的性质和特点，从不同的侧面和方向来说明问题，这些指标之间又具有相互联系，从而这些指标可以多方面综合反映评价的内容。

#### 3.3.1 铁路生态系统评价指标体系的构建原则

为了使所建立的评价指标体系能够综合反映铁路生态系统评价的各个方面，我们在进行评价指标的建立过程中就需要遵循一定的基本原则，对于这

方面的研究,本文结合可持续发展指标体系建立的基本原则,进行分析归纳得出铁路生态评价指标体系建立的基本原则<sup>[35]</sup>。

#### 1. 系统性、整体性原则

铁路道路生态系统,要求指标体系必须能够全面系统反映铁路生态评价的主要目标。指标的选择力求具有典型性、完备性、广泛的涵盖性和高度的概括性。指标体系的各个指标之间不是众多指标的简单相加,而是有机联系而组成一个层次分明的系统整体,但同一层次指标之间应保持各自的独立性,避免指标之间的重复交叉、相互包含及大同小异现象。

#### 2. 代表性、简洁性原则

应选取代表性较强的典型指标,尽可能以最少的指标包含最多的信息,避免指标之间的信息重复利用、相互包含以及大同小异现象,去除那些意义相近、重复关联性过强或者具有导出关系的指标,力求使选择的指标简洁易用。由于铁路生态评价所涉及领域非常广泛,在进行研究分析的过程中,为了全面去评价生态的各个方面,往往会导致指标数量的增加,指标体系规模的急剧膨胀。大量信息重叠引入,不仅使得主题不够鲜明,也给信息收集和实际操作带来一定的困难。为此,在指标的选择过程中,要尽量兼顾二者,并取得一定的平衡。

#### 3. 可比性、可量性原则

要求指标必须适用于不同的研究区域,各项指标的涵义、统计口径和适用范围对于不同的区域必须一致,具有可比性;所有选择的指标都能够根据其度量方法进行度量,同时也便于比较相关的研究项目。

#### 4. 可靠性、可操作性原则

指标是研究理论与实践操作结合点。构建铁路生态评价指标体系既要以研究理论为基础,同时又必须考虑实践操作的可行性和现实数据资料支持的可行性。尤其是在目前,关于铁路生态系统评价尚处于研究阶段,在相关资料所掌握的信息还比较缺乏的情况下,可操作性是制约指标体系研究的最大因素。统计数据是评价研究的基础,统计资料来源的可靠性是生态评价研究必须注重的环节之一。

### 3.3.2 铁路生态评价指标体系的构建方法

#### 1. 指标体系的研究方法

对铁路进行生态评价,首先需要构建铁路生态评价指标体系,然后选择合适的评价方法进行评价。指标体系的构建是评价的一个重要部分,相应地铁路生态系统评价指标体系的构建则是铁路生态系统评价的一个重要内容。铁路生态系统评价指标体系构建方法、建立的原则和依据是相互联系的。其中建立的原则需要构建方法来保证,依据需要方法来实现。有效地选择正确的构建方法,将增强指标体系建立的科学性。指标体系的构建方法有很多种,应用较多的有以下几种方法。

#### (1) 调查研究法<sup>[36]</sup>

这种方法的具体做法是,通过调查研究在广泛收集有关指标的基础上,利用比较归纳法进行归类,并根据评价目标设计出评价指标体系,再以问卷的形式把所设计的评价指标体系,寄给有关专家填写的一种搜集信息的研究方法。

#### (2) 目标分解法<sup>[37]</sup>

这种方法是通过研究主体的目标或任务具体分析来建构评价指标体系。对研究对象进行分解,一般是从总目标出发,按照研究内容的构成进行逐次分解,直到分解出来的指标达到可测的要求。

#### (3) 多元统计法<sup>[38]</sup>

这种方法是通过因子分析和聚类分析等方法,从初步拟定的较多指标中找出关键性指标。具体地说,它一般先进行定性分析,初拟出有关研究对象所要评价的各种要素,然后进行第二阶段的定量分析,也就是对第一阶段所提出的分析结果进行进一步的深化和扩展。在这一阶段中,一般是对第一阶段初拟的指标体系进行聚类分析和主成分分析。聚类分析的目的在于找出初拟指标体系中各指标之间的有机联系,把相似的指标聚以成类。主成分分析的目的在于找出初拟指标体系中那些起决定作用的综合性较大的指标。通过聚类分析和主成分分析,我们就可根据初拟指标体系中各项指标间关系的密切程度(相关系数)与概括能力(贡献率)大小,筛选出具有决定意义的指标体系。接着再进行因子分析,指出新指标体系中各指标的主次位置。多元统计是解决多因子问题的一种有效方法。其主要的优点是,具有逻辑和统计意义,科学性强;能综合简化要素,解决要素的归属、要素间的联系和隶属位次等问题;能建立定性定量相结合的评价指标体系;能处理大量的数据和信息。在指标的度量和评价过程中,上述三种方法所建立的指标均直接来源于表征社会、经济和环境的状态,因此这些指标之间往往缺乏必要的联系,

指标取舍具有较强的主观性和随意性,有些指标甚至未加必要的处理就直接采用,有些指标的表达方式复杂而且不可比。

#### (4) 压力—状态—响应框架模型

压力—状态—响应框架(Pressure-state-response,简称PSR)模型是20世纪70年代,加拿大政府首先使用建立经济预算与环境问题的指标体系,其所具有指标体系建立全面、内在关系明晰的特点得到了一致认可。1990年经济合作与发展组织(Organization for Economic Cooperation and Development, ECD)启动了一个专门开展环境指标的研究计划,将这一方法应用于环境指标研究并获得了广泛的支持。其后,世界银行、美国环境保护局、新泽西环境保护处瑞典环境部等组织和机构都以PSR框架为基础,根据自己的研究对象的特点提出了适用的评价指标体系。PSR框架模型在社会、经济、环境、农业、水利等领域,在影响评价和决策过程中得到了广泛应用[39-40]。

压力—状态—响应框架模型是一种从指标产生的机理方面着手构建评价指标体系的方法。该框架模型使用了原因—效应—响应这一逻辑思维来构造指标,主要目的是回答发生了什么、为什么会发生以及我们该如何做的问题,实质上是一个用于分析和评价环境与人类活动关系的概念框架。压力指标是用来测量因人类活动所引起的环境影响;状态指标则用来测量由人类活动造成压力导致环境状况的变化和结果;响应指标是反映人类人为改善环境状态而采取的社会行为。

压力—状态—响应框架模型从人类与环境系统的相互作用与影响出发,对环境指标进行组织分类,具有较强的系统性。其指标类型包括:①压力指标:表征人类活动对生态环境施加的压力;②状态指标:表征生态环境现状及其变化趋势;③响应指标:表征社会对生态环境变化做出的响应,如对策、措施等。

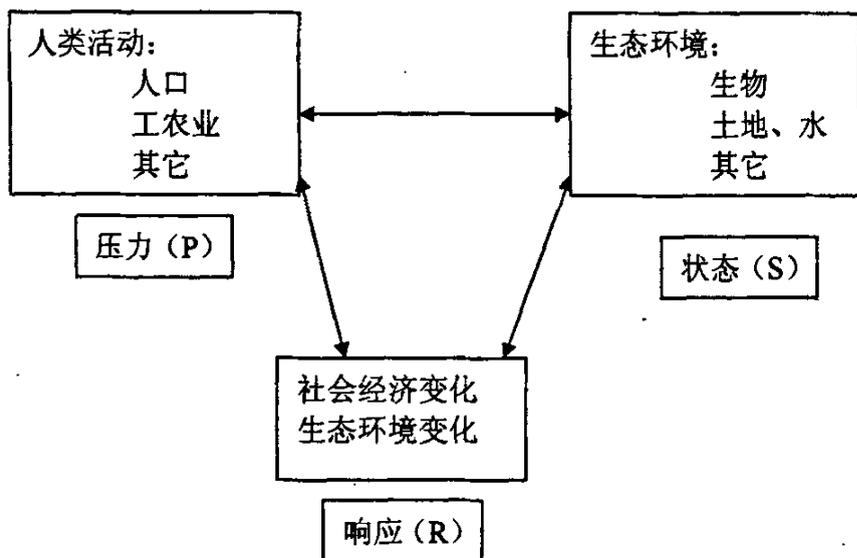


图 3-1 “压力——状态——响应”模型 (PSR 模型)

上图是一种压力-状态-响应框架模型的图示模型图，从上图可知，首先是政策和活动等一系列的措施影响了人类的活动，促使人类活动的出现；人类活动的产生便又改变了生态环境，使生态环境状态发生了改变；状态改变的同时，这些信息将会及时地反馈给社会，促使社会针对这些自然状态的改变做出新的响应；这些新的响应又将会产生新的人类活动，新的人类活动又将改变自然的状态，如此反复的进行下去，每一次响应、压力、状态的改变均不同于以前的响应、压力、状态，都是上一次循环的结果。

图 3-2 是压力-状态-响应框架模型的第二种图示方法，人类由于进行运输、能源开发、工业和农业等活动，将不可避免会给生态环境和自然资源造成一定的破坏和影响，同时这些信息将会传递到管理部门等机构；环境和自然资源在人类活动压力的作用下，将使其本身的水、大气、土地和生物资源等状态均会发生改变，这些改变一方面以信息的方式传递到管理部门等机构，另一方面也会将其信息传递给产生压力的人类活动；管理部门等机构根据人类活动传递来的信息和环境和自然资源传递来的信息做出反应，一方面将其响应施加于人类活动方面，另外一方面也会将其响应作用于环境和自然资源。

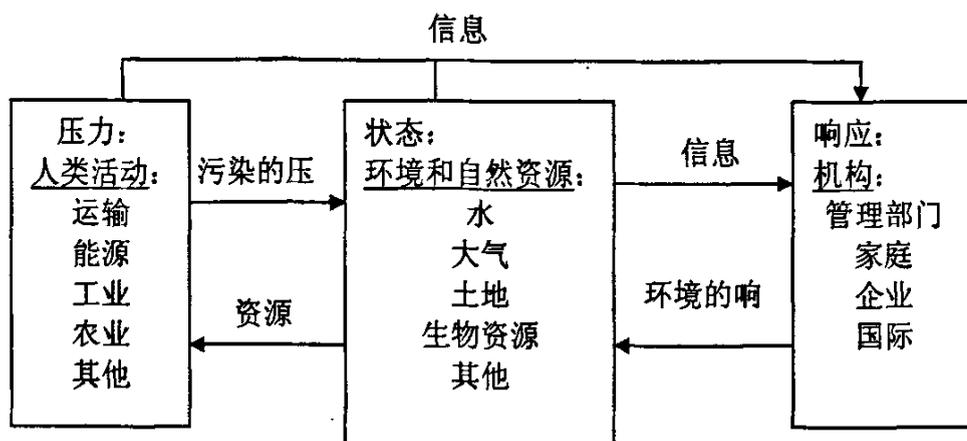


图 3-2 压力-状态-响应框架模型

以上两个框架模型中的环境压力指的是人类活动施加于环境和自然资源的压力。“压力”既包涵了直接的压力（如资源的利用和废弃污染物的排放等），又包涵了潜在的或者非直接的压力，这些压力充当环境问题驱动力（如活动本身和环境重要性的趋向等）。压力指标与生产和消费模式紧密结合在一起，通常反映了在给定时期的排放和资源利用强度，以及相关的趋势和变化。

环境状况包涵了环境质量和相关的影响以及自然资源的质量和数量。状态内容既包涵了生态系统和自然环境状况，也包涵了生活质量和人类健康方面，同样也反映了环境政策的极限目标。环境状况指标用来给出涉及环境和随时间发展的状态总的描述，这些指标如：环境介质中污染物的浓度，负载的临界值，受一定程度污染的人口，以及环境质量的退化，自然资源和野生生物种的状况等。事实上，环境状态指标的度量是非常困难的，通常采用环境压力的度量来代替环境状态的度量。通过环境、经济和部门政策以及意识和行为的改变，显示了社会对环境问题的响应程度，通常指的是单个的或者集体的行为和反映，目的是减轻、适应以及阻止人类引起环境的负面效应，制止已造成的环境损害，保护自然和自然资源。社会响应的指标如环境费用支出、相关的环境税收和津贴、废弃物循环率等。事实上，指标均是和消除措施和控制措施有关，这也显示了预防和综合措施和行为很难得到。

## 2. 铁路生态评价指标体系的构建方法

应用压力-状态-响应框架模型的构建方法思路，结合铁路生态系统的评价内容，建立铁路生态评价指标体系的框架模型（具体模型形式如图 3-3

所示), 从下图的框架模型可以看出, 铁路生态评价指标体系的框架模型与压力-状态-响应框架模型相似, 是从压力、状态和响应三个方面去研究道路生态系统。对于铁路生态环境这一生态系统而言, 人类活动、铁路建设、铁路运输等活动构成了系统的压力; 社会环境、生态环境、自然环境等构成了生态系统的状态; 生态补偿、环境检测、制定标准等构成了生态系统的响应。对于铁路生态系统而言, 铁路建设、铁路运输等人类活动给系统施加一定的压力, 造成道路生态系统一定的影响和破坏; 系统因为受到了来自于外界的人类活动的压力使得自身的状态发生改变, 造成植被覆盖率下降、水土流失加剧、生态退化等变化, 这些变化是压力产生的结果; 相关的管理部门就需要对状态的改变负责, 根据状态的变化做出生态补偿、环境检测、制定标准等措施, 与此同时, 这一响应将会调整铁路生态系统的压力, 进而调整系统的状态趋于健康稳定。

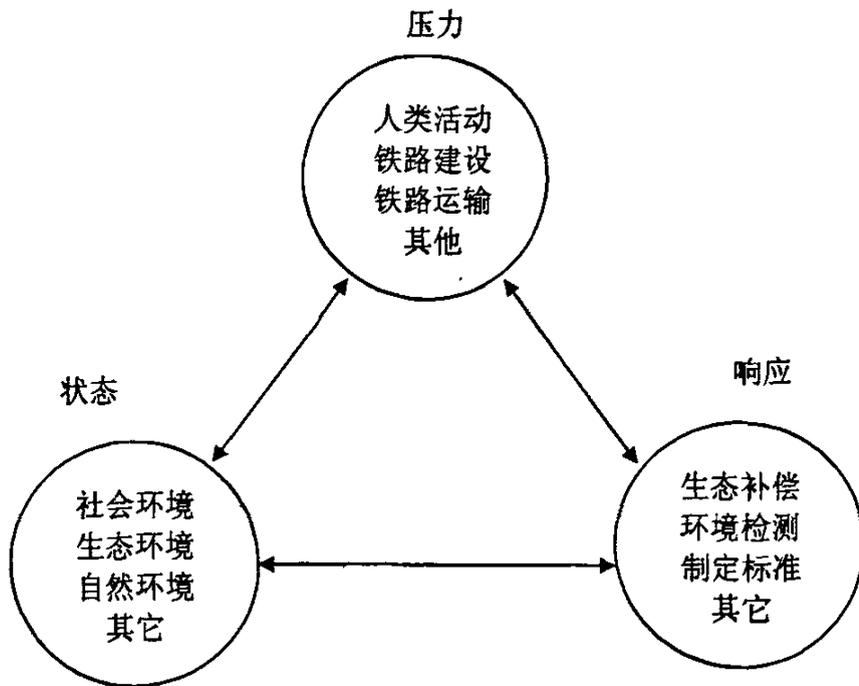


图 3-3 铁路生态系统评价指标体系框架模型

### 3.4 铁路生态系统评价指标的选择

考虑到本文的研究目的,本文拟在上述工作的基础上,采用理论分析法、频度统计法与专家咨询法,同时结合铁路建设项目的特点因素,来筛选指标,

#### 3.4.1 建设期评价指标的选择

运用铁路生态系统压力—状态—响应框架模型,对建设期的铁路生态系统进行分析可得:建设期道路生态系统压力主要来源于施工活动,其中包括土地资源的占用、施工人员的活动、污水和垃圾,施工材料运输和施工,道路取土坑、弃土堆和道路的临时用地,以及道路的边坡设计、排水设计和居民拆迁等;状态改变主要表现在施工以及施工人员带来系统因素的变化,这些变化包括大气质量下降,水质下降,水土流失加剧,生物量减少,廊道效应,生物多样性和生态系统稳定性降低,声环境污染等;响应是针对铁路建设过程中可能出现的状态变化,提出减小压力的措施,其中包括建筑材料、机具的选择控制,施工过程的合理设计,生态恢复,林地补偿,边坡绿化,创建栖息地,以及景观恢复等措施。基于以上分析,初步确定出建设期生态系统评价指标体系见表 3-1。

压力类型指标	状态类型指标	响应类型指标
	植被覆盖率	
	空气污染指数	
施工机械的选择	水污染指数	
取土场、弃土堆选择	噪声影响指数	
边坡设计	振动影响指数	废弃方利用率
排水设计	固体废弃物影响程度	生态补偿率
施工人员活动强度	生物量	景观恢复
土地占用量	水土流失强度	水土流失治理率
拆迁影响	生物多样性	土地资源管理状况
	生态系统稳定性	
	廊道效应	
	景观影响指数	

表 3-1 建设期铁路生态系统评价指标体系表

在进行压力类型指标的选择过程中,首先运用主成分因子分析法对表中指标进行研究分析,并与有关铁路工程方面的专家探讨,选取了土地占用

量、拆迁影响这几个压力类型指标其它几项指标相对来说对铁路生态系统造成的压力一般比较小。

在进行状态类型指标的选择过程中，首先分析了道路生态系统在建设期一些状态因素的改变，运用主成分因子分析法选定了一些状态类型的指标，并与有关生态系统方面的专家探讨，考虑到建设期施工活动给生态系统产生的影响主要是植被破坏、水土流失强度、生物多样性的损失、景观多样性降低，而生态系统稳定性、廊道效应等几个指标相对来说等相对来说影响小一些，最终选取了如下的几个状态类型指标：植被覆盖率、水土流失强度、景观影响指数、生物量、空气污染指数、水污染指数、噪声影响指数、振动影响指数、固体废弃物影响程度几个指标。

在进行响应类型指标的选择过程中，首先对建设期生态恢复进行了研究，结合压力类型的指标选择，考虑到响应对压力的负反馈作用，运用主成分因子分析法初步选择一些指标，并与铁路生态工程方面的专家进行了探讨，选取如下几个响应类型指标：废弃方利用率、水土流失治理率。

### 3.4.2 营运期评价指标的选择

运用铁路生态系统压力-状态-响应框架模型，对营运期道路生态系统进行分析可得：道路生态系统压力主要来源于道路本身（包括路面结构和路基高度等）、车流量及车流量中各类车型的构成比例、平均运行速度以及危险品运输等；系统状态的改变主要体现在压力因素对生态系统中状态因素的改变方面，这些状态因素变化包括大气质量下降，水质下降，廊道效应，生物多样性和景观多样性指数，声环境污染等；响应是针对铁路营运过程中可能出现的状态变化，提出减小压力的措施，其中包括人工廊道，声屏障，污水处理，排放限制，引入物种，以及危险品运输管理和其他管理方面的措施等。基于以上分析，初步确定出营运期铁路生态系统评价指标体系见表 3-2。

压力类型指标	状态类型指标	响应类型指标
道路景观	空气污染指数	
车站区人员活动强度	水污染指数	
交通量	噪声影响程度	人工廊道
车型比例	振动影响程度	声屏障
平均运行车速	电磁干扰程度	排放限制
危险品运输风险	固体废弃物影响程度	引入物种
城市布局变化	廊道效应	危险品运输管理
工程与城市规划的 相容性	生物多样性	环保资金投入
	生态系统稳定性	其他管理
	景观多样性指数	

表 3-2 营运期铁路生态系统评价指标体系表

在进行压力类型指标的选择过程中，首先运用主成分因子分析法对铁路营运过程研究分析，并与有关铁路工程方面的专家探讨，选取了如下的压力类型指标：交通量、工程与城市规划相容性。在进行状态类型指标的选择过程中，首先分析了道路生态系统在营运期一些状态因素的改变，运用主成分因子分析法初步选定了一些状态类型的指标，并与有关生态系统方面的专家探讨，最终选取了如下状态类型指标：空气污染指数、水污染指数、噪声影响程度、振动影响指数、电磁干扰程度、固体废弃物影响程度这几项指标。在进行响应类型指标的选择过程中，首先对营运期道路生态系统状态改变进行了研究，结合压力类型的指标选择，考虑到响应对压力的负反馈作用，运用主成分因子分析法初步选择一些指标，并与铁路生态工程方面的专家进行了探讨，选取了如下响应类型指标：环保资金的投入。

### 3.4.3 铁路生态环境影响评价评价指标体系

铁路生态系统评价指标体系如表 3-3 所示。

指标 选取 截面	指标类型		
	压力类型指标	状态类型指标	响应类型指标
建设 期	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲土地占用量</li> <li>▲拆迁影响</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲植被覆盖率</li> <li>▲水土流失强度</li> <li>▲景观影响指数</li> <li>▲生物量</li> <li>▲空气污染指数</li> <li>▲水污染指数</li> <li>▲噪声影响指数</li> <li>▲振动影响指数</li> <li>▲固体废物影响程 度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲废弃方利用率</li> <li>▲水土流失治理率</li> </ul>
运营 期	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲交通量</li> <li>▲工程与城市规划 相容性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲空气污染指数</li> <li>▲水污染指数</li> <li>▲噪声影响程度</li> <li>▲振动影响指数</li> <li>▲电磁干扰程度</li> <li>▲固体废物影响程 度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲环保资金的投入</li> </ul>

表 3-3 铁路生态系统评价指标体系表

## 第 4 章 铁路生态环境影响评价模型

铁路生态系统评价是根据建立的评价指标体系对道路生态系统状态所进行的评价, 由于建设期和营运期对生态系统的评价指标体系不同, 一般将铁路生态系统评价分为建设期生态系统评价和营运期生态系统评价。由于在前一章已对建设期和营运期的评价指标体系进行了研究, 因此对铁路生态系统评价来说, 铁路生态系统评价模型的选择便成为铁路生态系统评价的关键。

### 4.1 生态环境评价方法

评价指标体系的复杂性决定了其评价方法必须用复杂大系统的理论和综合集成的方法去进行, 即通过分解协调原则, 在定性分析下结合定量分析, 将自然科学与社会科学、软科学与硬技术、现代方法与传统方法结合起来, 常见的用于生态环境影响综合评价的方法有以下几类。

#### 1. 综合评价指数法

综合评价指数法具有灵活、全面的特点, 现已广泛运用于涉及面较广并较复杂的评价中, 同样可拓展到应用于生态环境影响综合评价。该评价方法的基本步骤为: (1). 分析建设项目的性质、规模及其对生态环境影响的特点, 研究评价的生态因子的性质及变化规律。(2). 建立评价指标集, 并确定权重。(3). 确定指标评分值。(4). 确定评价标准。(5). 计算综合评分值。综合评价指数法一般用于生态因子单因子质量评价, 生态环境多因子综合质量评价和生态系统功能评价。应用这种方法的关键是确定指标集和指标权重。指标集应较全面地反应建设项目对生态环境的影响。在指标集和指标权重的确定过程中, 一般采用的有简单易行的特尔菲法, 但是这种方法受人为因素影响太大<sup>[42]</sup>。

#### 2. 灰色关联度分析法

灰色关联分析法是研究在许多客观事物之间、因素之间, 相互关系比较复杂, 人们在认识、分析、决策时, 得不到全面、足够的信息, 不容易形成明确的概念。因为这些都是灰色因素、灰色关联性在起作用, 所以对灰色系统进行分析和研究时, 要解决如何从随机性的时间序列中, 找到关联性和关联性的度量值, 以便进行因素分析, 为系统决策提供依据。此方法确定权值, 首先要选取决定研究地区生态环境变化的主导因子, 再确定其它指标同主层因子决定的指标之间的关联度排序, 然后以此关联度为基础, 决定权重的分析<sup>[43]</sup>。

### 3. 聚类分析法

聚类分析是研究“物以类聚”，解决事物分类问题的一种数学方法<sup>[44]</sup>。分类是人们认识事物和世界的一种基本方法，在过去的较早年代，人们主要靠经验、逻辑或专业知识进行分类，但是随着生产和科学技术的发展，分类越来越细，要求越来越高，以至有时凭经验和专业知识是不能确切分类，后来借助计算机、多元统计分析、模糊数学和图论等方法，从中逐步分离出了聚类分析这个分支。聚类分析是指在不用样品所属类别信息的情况下，依据样品集数据的内在结构，在样品间相似性度量的基础上，对样品进行分析的方法。聚类分析虽然已有三十年的历史，但是理论尚不完善，方法还比较粗糙。尽管如此，它在自然科学和社会科学的许多领域的应用已经取得很大的成功。

### 4. 层次分析法

层次分析法是美国著名的运筹学家 T-L-Saaty 在 20 世纪 70 年代中期创立的一种多目标决策方法，其本质是指将决策问题的有关元素分解成目标、准则、方案等层次，在此基础上进行定性和定量分析的一种决策方法。该方法具有实用性、系统性、简洁性等优点，是处理某些难以完全用定量方法分析复杂问题的有力手段。层次分析法的基本思想是先按问题要求建立一个描述系统功能或特征的内部独立的递阶层次结构，通过两两比较因素(或目标、准则、方案)的相对重要性，构造上层某要素对下层相关元素的权重判断矩阵，以给出相关元素对某要素的相对重要序列。AHP 的核心问题是排序问题，包括递阶层次结构原理、标度原理和排序原理。

### 5. 模糊评价法

1965 年著名的美国工程控制和系统论专家、加利福尼亚大学教授 L-A-Zadeh 发表了著名的论文“模糊集合”，给出了模糊性现象的定量描述和分析运算的方法，标志着模糊数学这门新学科的诞生。模糊评判法是对受多个因素影响的事物作出全面的有效的一种综合评价方法<sup>[45]</sup>。它突破了精确数学的逻辑和语言，强调了影响事物因素中的模糊性，较为深刻的刻划了事物的客观属性。应用模糊评判法首先要确定评价参数，不同参数在评价中所起的作用也不相同，需要分别确定各参数的权重因子大小。随后要根据不同参数的特点给出拟合隶属函数，结合评价标准，经模糊变换给出隶属度值，完成模糊综合评价。

### 6. 人工神经网络评价法

由于人工神经网络有类似人的大脑思维过程,可以模拟人脑解决某些模糊性和不确定性问题的能力。因此,利用人工神经网络对已知环境样本进行学习,获得先验知识,学会对新样本的识别和评价。李柞泳等开展了人工神经网络在环境科学中的应用。它将人工神经网络 B-P 模型应用于环境质量评价<sup>[46]</sup>。B-P 网络模型应用于环境质量评价,不需要对各评价指标权值大小做出人为规定,在学习过程中会自适应调整,评价结果具有客观性。另外,B-P 网络可以根据不同需要选取随意多个评价参数建立环境质量评价模型,此方法具有很强的适应性。

由于地质环境的复杂性、评价对象的层次性、评价标准的模糊性、定性指标难以量化等问题的存在:加之隧道涌水对生态问题的影响因素中既包括定量和定性因素,又包括确定和不确定因素;这些问题使得难以用经典的数学模型加以统一量度,本文结合层次分析法和模糊数学理论,阐述了岩溶隧道涌水对生态环境影响的层次模糊综合评价方法。该方法以层次分析法为基础,而建立在模糊集基础上的模糊综合评判法不仅考虑评价对象的层次性,使评价标准、影响因素的模糊性得以体现,而且将定性定量因素结合起来,可扩大信息量,提高评价精度,在评价中还可以充分发挥人的经验,使评价结果符合客观实际情况,较好地解决了这些问题。因此,本次评价采用层次模糊综合评价法进行评价。

## 4.2 铁路生态环境影响综合评价的模糊层次分析法的算法

铁路建设工程生态环境影响评价涉及面广,牵涉因子多,但均具有下述特点:

1. 多指标性。评价铁路生态环境影响不能简单地用一、二个或少量几个指标来描述,因为影响生态环境的因素很多,且既有定量的又有定性的。
2. 多层次性。所有指标均可以按照某种属性,划分为几个大的方面。
3. 模糊性。指被评价对象的优劣之间不存在明确的界限,而是中间过渡。根据上述特点,将多目标决策技术中的模糊评价法与层次分析法两种方法结合起来,形成一种模糊层次分析法,运用到铁路生态环境影响综合评价中,是非常适合的。

铁路生态环境影响综合评价的模糊层次综合评价分五步进行:

1. 根据对评价系统的初步分析,将评价系统按其组成层次构筑成一个层次结构模型。
2. 两两比较结构要素,建立判断矩阵群。

3. 判断每个矩阵的一致性, 若不满足一致性条件, 则要修改判断矩阵, 直至满足为止。计算其权重向量, 进而求出合成权重向量,

4. 建立最底层指标的隶属函数, 计算隶属度, 解决了指标间的可综合性问题。

5. 计算评价综合值, 对评价系统进行综合评价。

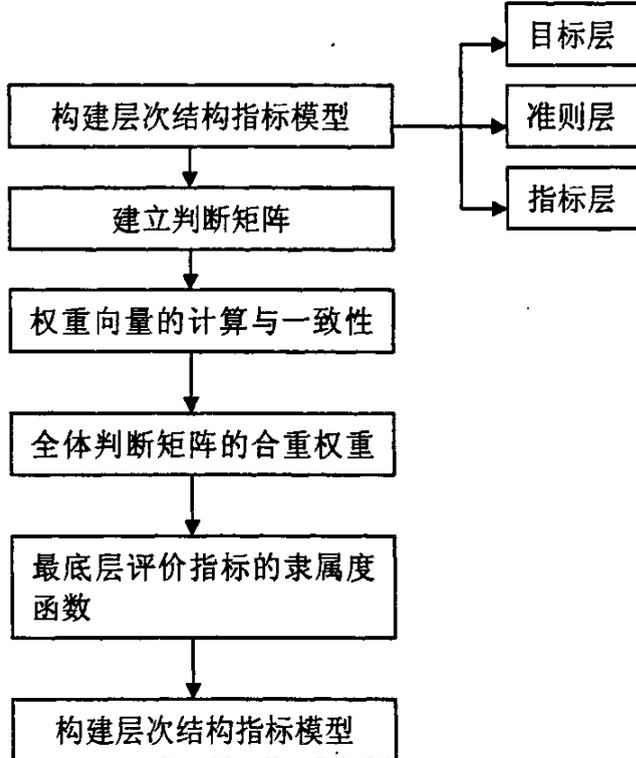


图 4-1 模糊层次综合评价基本路线

#### 4.2.1 构建层次结构指标模型

根据对评价系统的初步分析, 将评价系统按其组成层次构筑成一树状层次结构, 在层次分析中, 一般可分为 3 个层次: 目标层、准则层、指标层。

目标层: 这是最高的层次, 表示评价所要达到的目的。

准则层: 这层是对目标层的具体扩展和描述。

指标层: 指标层由直接或间接可以度量的因素组成, 是对准则层的细化。

根据所分析的铁路生态环境影响综合评价指标体系，这个层次结构模型的目标层是铁路生态环境影响评价。准则层可分为建设期和运营期。准则层下是指标层。

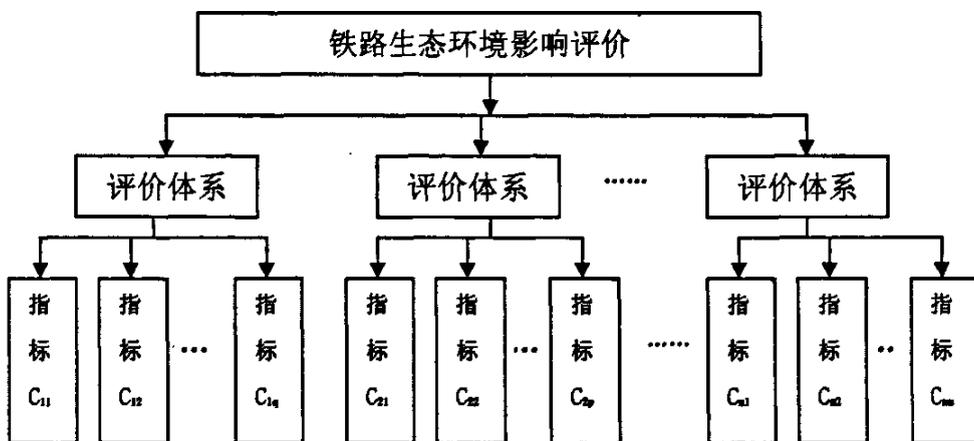


图 4-2 铁路生态环境影响综合评价层次

#### 4.2.2 构造两两比较判断矩阵

判断矩阵是表示针对上一层某要素而言，本层与它有关联的各要素之间的相对优越程度。例如下层要素  $C_1, C_2, \dots, C_n$  与上层准则  $A_n$  关联，建立这几个要素在准则  $A_n$  下判断矩阵。

$$C = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} \end{vmatrix}$$

其中记  $c_{ij}$  表示为，对于准则  $A_m$  而言， $i$  要素与  $j$  要素比较而得到的相对重要程度或优越性。 $c_{ij}$  的取值是根据资料、统计数据、征求专家意见以及系统分析而确定的。层次分析法采用 1-9 标度法，使两要素的比较得以定量描述。如下表所示：

表 4-1 指标两两重要性等级及其赋值

序号	$C_{ij}$ 赋值	重要性等级
1	1	两个指标相比, 具有同样重要性
2	3	两个指标相比, 前者比后者稍重要
3	5	两个指标相比, 前者比后者明显重要
4	7	两个指标相比, 前者比后者强烈重要
5	9	两个指标相比, 前者比后者极端重要
6	2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值
7	倒数	若元素 $i$ 与元素 $j$ 的重要性之比为 $c_{ij}$ , 那么元素 $j$ 与元素 $i$ 的重要性之比为 $c_{ji}=1/c_{ij}$

#### 4.2.3 权重向量的计算

##### 1. 权重向量的计算

为了从判断矩阵群中提炼出有用的信息, 达到对事物的规律性认识, 为决策提供科学的依据, 就需要计算每个判断的权重向量, 进而求出全体判断矩阵的合成权重向量。单个判断矩阵权重向量先计算特征向量  $W$ , 然后归一化处理, 使其满足  $\sum W_i=1$ , 即求出了  $C_n$  关于  $A_m$  的相对重要性。可按如下方法计算:

(1). 计算判断矩阵  $C$  每行各元素的几何平均, 有

$$w_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad i=1, 2, \dots, n \quad \text{一式①}$$

(2). 规范化, 得到权重向量

$$W_i = \frac{w_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}}{\sum_{k=1}^n \left( \prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{1/n}} \quad i=1, 2, \dots, n \quad \text{一式②}$$

## (3). 计算最大特征值

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(CW)_i}{nW_i} \quad \text{式③}$$

## 2. 判断矩阵的一致性检验

在计算单准则下排序权向量时，还必须进行一致性检验。因为排序向量的计算方法是一种近似算法。当判断矩阵偏离一致性过大时，这种近似估计的可靠程度也就值得怀疑了。因此需要对判断矩阵的一致性检验，其步骤如下：

## (1) 计算一致性指标 CI：

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

$\lambda_{\max}$  由式③可以求出。

## (2) 查找相应的平均随机一致性指标 RI：对 1~9 阶矩阵，RI 值见表 4-2。

表 4-2 平均随机一致性指标 RI 值表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.26	1.36	1.41	1.45

## (3) 计算一致性比例 CR：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当  $CR < 0.1$  时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的。当  $CR \geq 0.1$  时，应对判断矩阵做适当修正。对于一阶、二阶矩阵总是一致的，此时  $CR=0$ 。

#### 4.2.4 计算各层指标对目标层的合成权重

合成权重向量,是指最下层各元素对上层的权重向量,他的每一个分量表示相应指标在目标中所占的份额或比重。计算组合权重,必须先知道某上一级的组合权重,某一级指标的组合权重是该指标的权重和上一级指标的组合权重的乘积值。

#### 4.2.5 各项评价指标的隶属函数及隶属度的计算

最底层指标是指处于生态环境影响评价层次模型的最底层,是没有下一层指标的指标。多指标系统的每一个评价方法,都面临着指标之间不可公度的问题,这一问题包含两个子问题:一是按何种规则将每个指标无量纲化,二是以何种方式区分各指标的相对重要性。从技术方法的角度看,建立最底层指标的隶属函数,计算率属度,解决了指标间的可综合性问题。对于无法确定隶属度函数的指标可以通过问卷调查结合概率计算的方法确定其隶属度

##### 1. 确定隶属度函数

模糊数学是要用精确的数学方法去表现和处理现实世界中客观存在的模糊现象,要达到此目的,隶属函数的确定居于首要地位。但是如何建立隶属函数,至今没有统一的方法可循,主要根据实际经验来进行对应法则的探讨。早些年国内有张南纶提出的模糊统计法,屈荫生提出的三分法,马谋超、曹志强提出了多维量表法,国外有示范法、统计法、蕴含解析法等。无论什么方法,总之是要建立一个从论域到 $[0, 1]$ 上的映射,用来反映某对象具有某些模糊性质或属于某个模糊概念的程度,这种函数关系建立是否正确,要看是否符合客观规律,这就是确定隶属函数的原则。而要将客观规律反映到函数式中来,必须经过人们主观意识的综合、整理,加工,改造。从这个意义上说,隶属函数的建立带有人们的主观因素,但这决不是可以单凭主观任意臆造的,而必须以客观实际为基础。所以说隶属函数是在客观规律的基础上经过人们的综合分析、加工改造而成的,是客观事物本质属性经人脑加工后的表现。

铁路生态环境影响评价指标量多且指标内容专业性强,统计难度过大,所以采用模糊分布的方法来确定隶属函数。这种方法与概率统计类似,根据实际情况,选定某些带参数的函数表示某种类型的模糊概念的隶属函数,然后通过经验指定或实验数据计算出隶属函数中有关参数,最后确定评价指标

的隶属函数。常见的适合模糊概念的分布类型有降半梯形、升半梯形两种分布和梯形分布。如图 4-3 所示。

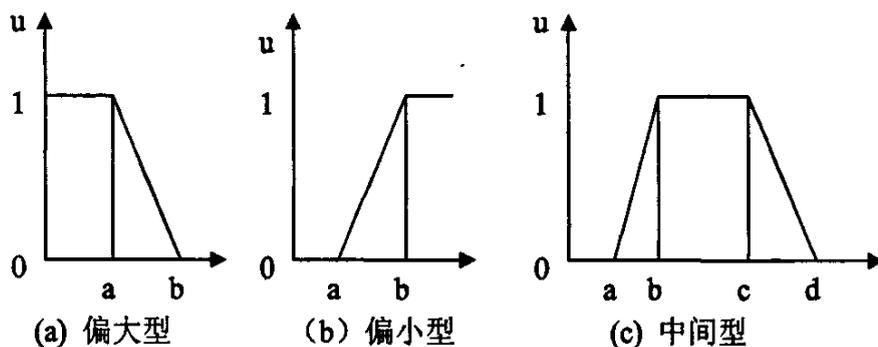


图 4-3 适合模糊概念的分布类型

$$(a) \text{ 偏小型: } A(x) = \begin{cases} 1 & x < a \\ (b-x)/(b-a) & a < x < b \\ 0 & x > b \end{cases}$$

$$(b) \text{ 偏小型: } A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a < x < b \\ 1 & x > b \end{cases}$$

$$(c) \text{ 中间型: } A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a < x < b \\ 1 & b < x < c \\ (d-x)/(d-c) & c < x < d \\ 0 & x > d \end{cases}$$

## 2. 隶属度计算

由上可知，隶属函数的分布可分为升半梯形分布、降半梯形分布和梯形分布。将评价指标的实际值代入隶属函数，即可计算出各指标的隶属度。可隶属度的计算可参照下表进行。

实际值	隶属范围	隶属函数布置	隶属度
x	[a, b]	降半梯形	$(b-x)/(b-a)$
x	[a, b]	升半梯形	$(x-a)/(b-a)$
x	[a, b]		$(x-a)/(b-a)$
x	[c, d]	梯形	$(d-x)/(d-c)$

表 4-3 指标的隶属度计算

#### 4.2.6 计算评价系统的综合评价价值

根据各指标的组合权重  $w$ ，及其隶属度，计算评价系统的综合评价价值。常用的计算综合评价价值的方法有以下几种。

##### 1 乘积法

该方法适合于各评价指标相互依赖，某一项指标的低水平可导致评价方案的总体水平显著下降。

##### 2 理想点法

基本思想是希望所有的指标与相应的最优值尽量接近。最优值是规定的理想值或现有方案和系统同类指标的最佳者。综合评价价值反映了方案对于理想目标的隶属度。

##### 3 线性加权和法

本法的基本思想是根据各评价目标在评价系统中所处的地位或所起的作用不同，计算方案各指标单项评价价值的线性权和。计算公式为：

$$T = \sum W_i u_i(X_i)$$

综合分析线性加权和法具有的特点：(1). 适用于各指标之间相互独立，指标对综合水平的贡献是无影响。(2). 因各评价指标之间可以线性的补偿，即一些指标分数的下降可以由另一些指标评价分数的上升来补偿，所以指标权重在综合评价中所起到的作用比其它方法合成中更明显。(3). 对计算数据无特别要求，且计算简单方便。

铁路生态环境影响评价各指标间具有相对独立性,同时从简便方面来看,运用线性加权和法进行综合评价计算。根据综合评价值和表 4-4 的生态影响等级划分,根据收集查阅的资料,以及参开其它文献相关内容,咨询相关的专家和教师,最后结合本文的实际情况而加以确定的。可以判断铁路建设项目对生态环境影响的程度。并且分析各项指标的得分值,找出得分高的原因,提出减少影响的意见和建议。

评价值	<0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0
综合影响程度	基本无影响	轻度影响	中度影响	强烈影响	极端影响
影响等级	I	II	III	IV	V

表 4-4 铁路生态环境影响评价等级划分

## 第 5 章 实例应用

### ——结合甬台温铁路新建项目工程进行分析

#### 5.1 建设项目概述

##### 5.1.1 建设项目背景[47-50]

甬台温铁路是国家铁路网规划“八纵八横”沿海通道和“四纵四横”快速客运网中的重要组成部分，对完善沿线交通环境、促进地区经济发展、优化路网结构、促进路网能力均衡、加强国防建设和促进祖国和平统一等具有十分积极的作用。

甬台温铁路位于浙江省东部沿海地区，贯穿浙江省经济较发达的甬台温三市。线路北起宁波，经宁波市所辖的奉化、宁海和台州市所辖的三门、临海、台州市区、温岭以及温州市所辖的乐清市等，南至金温铁路的温州西站，线路全长 268.4km。

##### 5.1.2 沿线地区生态环境概况

###### 1. 自然环境概况

###### (1) 地理位置

甬台温铁路位于浙江省东部沿海地区，贯穿浙江省经济较发达的甬台温三市。线路北起宁波，经宁波市所辖的奉化、宁海和台州市所辖的三门、临海、台州市区、温岭以及温州市所辖的乐清市等，南至金温铁路的温州西站，线路全长 268.4km。

###### (2) 地形地貌

甬台温铁路位于浙江省东部沿海地带，地势西高东低，地形主要表现为低山丘陵、堆积平原，山脉与盆地呈北东、北北东向排列。

低山丘陵海拔一般在 100~600m 之间，少数山峰在 800m 以上，自然山坡坡度 15~50°。受基岩岩性特征和抗风化能力的影响，火山岩出露区为陡峻的低山地貌，而岩性相对较软弱的白垩系陆相沉积岩地区则为垅岗状丘陵。

堆积平原大多分布在山前、河流两岸及河口和海湾滩涂地带，尤其以宁波、台州、温州地区分布最广，地势平坦开阔，地面高程主要在 2~5m 之间，河网密布，村庄城镇密集。

### (3) 气候特征

沿线属亚热带季风气候区，气候温暖湿润，雨量充沛，四季分明。冬季晴朗寒冷，春季春雨连绵，初夏常伴梅雨天气，盛夏多台风天气及沿海高潮位。

多年平均气温为  $16.1^{\circ}\text{C}\sim 16.5^{\circ}\text{C}$ ，极端最高气温  $41.7^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温  $-11.1^{\circ}\text{C}$ 。多年平均降雨量为 1100~2300mm，平均相对湿度约 81%。平均无霜期为 240 天左右。最大风速  $34.3\text{m/s}\sim 36.8\text{m/s}$ 。

### (4) 地表水系

沿线地区地表水资源丰富，主要河流有甬江、椒江、瓯江以及支流姚江、奉化江、永宁江、松阳溪和楠溪江等。根据沿线地区环境监测结果，宁波市境内的甬江、姚江、奉化江除姚江城区段为Ⅳ类水体外，其余河流（段）均能满足Ⅲ类水体功能要求；椒江总体水质为Ⅱ类水体，但其支流永宁江为Ⅵ类水体、是台州市污染最严重的河流。

## 2. 社会经济环境概况

### (1) 社会经济

甬台温铁路直接影响区域为甬台温三市，据 2002 年统计，甬台温三市年末总人口为 1835.77 万人，完成国内生产总值 3419.62 亿元。其中第一产业完成 251.95 亿元，第二产业完成 1922.03 亿元，第三产业完成 1245.63 亿元。2002 年甬台温地区及浙江省国民经济主要指标见表 5-1。

主要指标	单位	浙江省	宁波市	台州市	温州市	甬台温计	甬台温占 浙江省比例
总人口	万人	4535.98	546.19	550.46	739.12	1835.77	40.5%
非农业人口	万人	1097.22	162.43	93.81	138.26	394.50	36.0%
GDP	亿元	7796.00	1500.34	858.31	1060.97	3419.62	43.9%
第一产业	亿元	694.00	105.71	90.20	56.04	251.95	36.3%
第二产业	亿元	3982.00	828.88	492.03	601.12	1922.03	48.3%
第三产业	亿元	3120.00	565.75	276.07	403.81	1245.63	39.9%
人均 GDP	元	16838	27541	15620	14357	18628	110.6%

表 5-1 甬台温地区及浙江省 2002 年国民经济主要指标表

### (2) 工农业生产

本线地处中亚热带东部，自然条件优越，有利于农业综合开发与多种经营。吸引范围内农业以种植业、渔业为主，但由于人均耕地少，粮食生产不能自给，需要从其它地方调入。沿线地区充分发挥了海洋优势，水产养捕并重，渔业生产成为农业中的支柱产业，其产品大部分销往海内外市场。据统计，2002 年甬台温三市共完成农业总产值 421.44 亿元。

沿线地区依靠独特的区位优势和国家赋予的各种优惠政策，大力调整工业结构，工业生产得到较快发展，初步形成了电力、机电、仪器仪表、化工建材、塑料、制革、食品饮料、纺织、服装、轻工机械、船舶修造、水产加工等门类较齐全的轻型加工工业体系。沿线三个城市中，温州和台州工业企业数量多，但规模小、且分散，基本上沿甬台温交通走廊分散布局；而宁波市工业企业以规模以上企业为主。

### (3) 资源分布现状

项目吸引区内土地资源以山地、丘陵为主，平原次之。土地总面积  $32.03 \times 10^4 \text{km}^2$ ，耕地面积  $0.7092 \times 10^4 \text{km}^2$ ，人均占有耕地 0.59 亩，温州地区有“八山半水半分地”，形象描绘土地资源特征。

沿线范围内矿产资源缺乏，仅温州的明矾石矿、黄铁矿等非金属矿具有开发价值，但分布较少。

### (4) 交通运输

目前甬台温地区交通较为发达，铁、公、水、空各种交通工具齐全，宁波和温州市分别有萧甬铁路和金温铁路引入，公路已基本成网，高等级公路发展迅速；沿线各市均有海港和机场。截止 2002 年，宁波、台州、温州三市公路总里程达 14871 公里。此外还有规划建设的甬（宁波）金（金华）高速公路、台（州）缙（云）高速公路。

甬台温沿线三市，除台州以外，目前都有铁路引入。宁波市现有萧甬铁路在杭州与浙赣、沪杭、宣杭铁路连接，温州市现有金温铁路在金华与浙赣铁路连接。

沿线已经形成了以宁波港、台州港、温州港为主体的港口群。

沿线范围内民用机场有宁波栎社、温州永强和台州路桥三个机场，2002 年共完成空港旅客发送量 175 万人。

## 5.2 铁路生态环境影响评价

### 5.2.1 建立评价指标层次结构模型

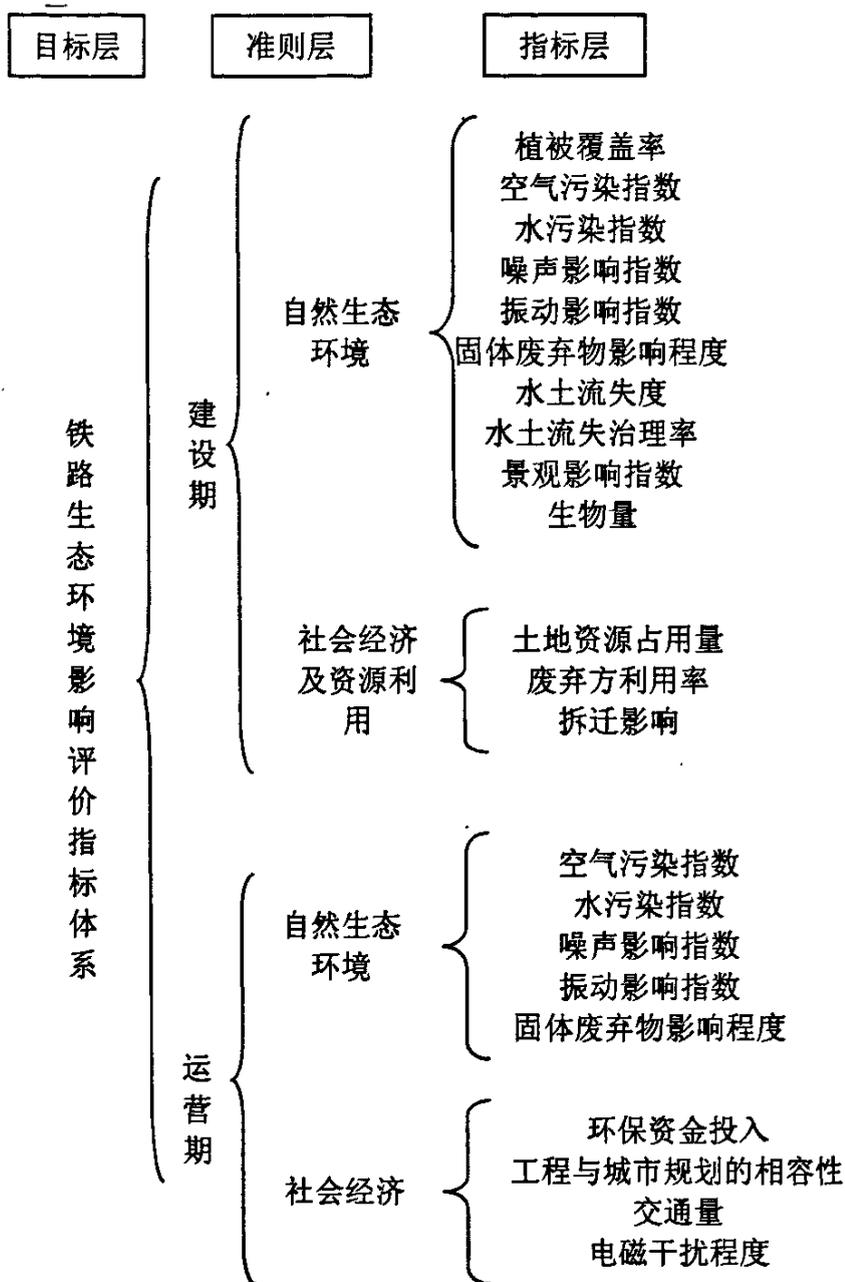


图 5-1 评价指标层次结构模型

## 5.2.2 建立判断矩阵、权重计算以及一致性检验

具体方法已在前章进行叙述，甬台温新建铁路工程生态环境影响评价指标共有以下 8 个判断矩阵，见表 5-2 至 5-8。

	建设期	运营期	权重	一致性检验
建设期	1	3	0.750	0.0<0.1 满足
运营期	1/3	1	0.250	一致性检验

表 5-2 铁路生态环境影响评价准则层指标权重判断矩阵

	生态环境	社会经济及资源利用	权重	一致性检验
生态环境	1	3	0.750	0.0<0.1 满足 一致性检验
社会经济及资源利用	1/3	1	0.250	

表 5-3 建设期铁路生态环境影响评价准则层指标权重判断矩阵

	生态环境	社会经济	权重	一致性检验
生态环境	1	1	0.5	0.0<0.1 满足 一致性检验
社会经济	1	1	0.5	

表 5-4 运营期铁路生态环境影响评价准则层指标权重判断矩阵

	拆迁影响	土地占用量	废弃方利用率	权重	一致性检验
拆迁影响	1	1/3	2	0.111	0.0<0.1 满足 一致性 检验
土地占用量	3	1	6	0.667	
废弃方利用率	1/2	1/6	1	0.222	

表 5-5 建设期社会经济及资源利用指标权重判断矩阵

噪声影响指数	空气污染指数	植被覆盖率	振动影响指数	水污染指数	固体废物影响度	水土流失强度	水土流失治理率	生物量	景观影响指数	权重	一致性检验
1	3	1/4	2	2	1	1/4	1/3	1/4	1/2	0.055	
1/3	1	1/12	2/3	2/3	1/3	1/6	1/9	1/12	1/6	0.020	
4	12	1	8	8	4	1	4/3	1	2	0.189	
1/2	3/2	1/8	1	1	1/4	1/4	1/6	1/8	1/4	0.029	0.085 < 0.1
1/2	3/2	1/8	1	1	1/4	1/4	1/6	1/8	1/4	0.029	满足一致性检验
1	3	1/4	4	4	1	1/2	1/3	1/4	1	0.055	
4	6	1	4	4	2	1	4/3	1/2	2	0.188	
3	9	3/4	6	6	3	3/4	1	3/4	3/2	0.146	
4	12	1	8	8	4	2	4/3	1	2	0.188	
2	6	1/2	4	4	1	1/2	2/3	1/2	1	0.101	

表 5-6 建设期生态环境指标权重判断矩阵

	水污 染指 数	空气 污染 指数	噪声影 响程度	固体废 弃物影 响程度	振动影 响程度	权重	一致性检 验
水污染 指数	1	3	1/5	1/2	1/4	0.081	
空气污染 指数	1/3	1	1/15	1/6	1/12	0.027	0.04<0.1 满足一致 性检验。
噪声影响 程度	5	15	1	5/2	5/4	0.405	
固体废弃 物影响 程度	2	6	2/5	1	3/2	0.163	
振动影响 程度	4	12	4/5	2	1	0.324	

表 5-7 运营期自然生态环境指标权重判断矩阵

	交通量	环保资 金投入	工程与城市 规划相容性	电磁干 扰程度	权重	一致性检 验
交通量	1	1/3	3	1/4	0.120	
环保资 金投入	3	1	9	3/4	0.360	0.03<0.1 满足一致 性检验。
工程与 城市规 划相容 性	1/3	1/9	1	1/12	0.040	
电磁干 扰程度	4	4/3	12	1	0.480	

表 5-8 运营社会经济指标权重判断矩阵

### 5.2.3 隶属度的计算

表 5-9 到表 5-16 的评价指标数据是甬台温铁路建设项目在勘测设计和施工期间的。

#### 1. 建设期生态环境影响评价指标

甬台温铁路建设期对自然生态环境的影响主要是植被覆盖率、空气污染指数、噪声影响指数、水土流失度、水土流失治理率、景观影响指数、生物量；对社会经济及资源利用的影响有土地资源占用量、废弃方利用率、拆迁影响。其中建设期空气污染的主要因子是粉尘。其他的生态环境影响可忽略不计。

##### (1) 自然生态环境影响评价指标

水土流失的隶属度阈值主要是根据甬台温铁路的实际情况和其它相关项目资料来确定。左限值为水土流失危险较小时的情况，右限值是水土流失危险较大时的情况。甬台温铁路沿线有居民区，建设期施工噪声可参照《工业企业噪声卫生标准》中规定：工业企业的生产车间和作业场所的工作地点的噪声标准为 85dB (A)。现有工业企业经过努力暂时达不到标准时，可适当放宽，但不得超过 90dB (A)。同时城市环境噪声标准(GB3096-93)规定：适合于居住、商业、工业混杂区的昼间噪声标准是 60dB (A)。所以确定施工噪声污染的隶属阈(60, 90)。大气污染因子选择粉尘，根据施工环境质量标准和国家空气环境质量标准(GB3095-1996)隶属函数的隶属阈左限值是国家二级排放标准，右限值是施工环境质量标准。景观影响指数采用景观分析指数 CEI 进行分析，隶属度左限取 0，右限为理想景观指数 CEI<sub>0</sub>，取值 4。该建设项目对生物量的影响主要是考虑对植被造成的破坏，因为线路位于沿海地带，虽然工程永久性征地以及施工期路基填筑、桥涵修筑等工程行为将对沿线水系产生一定干扰，会将造成藻类、浮游生物、底栖动物的一定量损失，影响鱼类、两栖动物、爬行动物的活动范围，但由于铁路工程是以带状通过，设有足够数量的桥隧道，占地面积和影响范围有限，所以其影响可得到控制。左限值是对生物系统影响较小时的情况，右限值为对生物系统影响较大时的情况。

指标	实测值	隶属阀	隶属函数分布	隶属度
植被覆盖率 (%)	80	(30, 100)	降半梯形分布	0.285
空气污染指数 (mg/m <sup>3</sup> )	1.2	(1, 2)	升半梯形分布	0.200
噪声影响指数 (dB)	81	(60, 90)	升半梯形分布	0.700
水土流失度 (万 t /km <sup>2</sup> ·a)	5.8	(0.25, 15)	升半梯形分布	0.376
水土流失治理率 (%)	80	(30, 90)	降半梯形分布	0.167
景观影响指数、 生物量 (%)	2.3	(0, 4)	降半梯形分布	0.425
	3.2	(0, 10)	降半梯形分布	0.320

表 5-9 建设期自然生态环境影响评价指标隶属度

## (2) 社会经济及资源利用影响评价指标

土地占用量和拆迁量直接影响到居民的生活质量,所以采用调查的方式来确定指标的阈值,从而分析对沿线居民生活质量的影响程度。废弃方利用率左限值为利用和处理较小时的情况,右限值是较大时的情况。

指标	实测值 (%)	隶属阀 (%)	隶属函数分布	隶属度
土地占用量	11.4	(0, 100)	升半梯形分布	0.114
废弃方利用率	76.9	(0, 100)	降半梯形分布	0.231
拆迁影响	11.4	(0, 100)	升半梯形分布	0.114

表 5-10 建设期社会经济集资源利用影响评价指标隶属度

## 2. 运营期生态环境影响评价指标

甬台温铁路运营期对自然生态环境的影响主要是水污染指数、噪声影响指数、振动影响指数;对社会经济的影响有环保资金投入、工程与城市规划的相容性、交通量、电磁干扰程度。其他的生态环境影响可忽略不计。

### (1) 自然生态环境影响评价指标

根据 GB12525—90《铁路边界噪声限值及其测量方法》规定:铁路边界噪声昼夜间限值是 70dB(A),根据 GB3096-93《城市区域环境噪声标准》和国环发[2003]94 号文件规定,噪声污染的左限取 60dB,所以甬台温铁路在运营时噪声污染的隶属阀是(60, 90)。运营期水环境污染因子选择 BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Cr</sub>、SS、pH、石油类废水排放需符合国家污水综合排放标准(GB8978-1996)、地面水环境质量标准(3838-88)等相应标准。隶属函数的隶

属阀按照标准(GB8978-1996 一级)确定。固体废弃物影响评价因子选择固体废弃物的无害化率。受铁路振动影响区域预测年度铁路沿线,执行 GB10070—88 中铁路干线两侧标准。

指标	实测值	隶属阀	隶属函数分布	隶属度
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	16.4	(0, 20)	升半梯形分布	0.820
COD <sub>cr</sub> (mg/l)	35.9	(0, 100)	升半梯形分布	0.359
SS (mg/l)	13.5	(0, 70)	升半梯形分布	0.193
pH	6.6	(6, 9)	升半梯形分布	0.200
石油类 (mg/l)	3.4	(0, 5)	升半梯形分布	0.680

表 5-11 运营期水污染影响评价指标隶属度

根据各项水污染因子计算出水污染指数影响评价指标隶属度为 0.450。

指标	实测值	隶属阀	隶属函数分布	隶属度
噪声影响指数 (dB)	67.4	(60, 90)	升半梯形分布	0.247
振动影响指数 (dB)	76	(60, 80)	升半梯形分布	0.800

表 5-12 运营期其它各项指标影响评价指标隶属度

## (2) 社会经济影响评价指标

甬台温铁路位于浙江省东部沿海地区,贯穿浙江省经济较发达的甬台温三市,所以线路与城市规划的相容性就比较重要。相容性分析采用专家调查结合统计分析的方法,相容性左限取 0,右限取 1。环保资金的投入选取资金的投入比例进行分析。项目建成后对居民的交通带来了很大的便利,提高了人们的生活质量,交通量指标的影响评价采用调查表的方式获取沿线群众的意见,进行统计分析。电磁干扰程度采用国际无线电咨询委员会(CCIR)推荐的图像损伤制五级评分标准,确定阈值为(1, 5)。

指标	实测值	隶属阀	隶属函数分布	隶属度
工程与城市规划的相容性	0.6	(0, 1)	降半梯形分布	0.400
环保资金投入 (%)	3.7	(1.5, 5)	降半梯形分布	0.372
交通影响 (%)	83.8	(0, 100)	降半梯形分布	0.172
电磁干扰程度	4	(1, 5)	降半梯形分布	0.250

表 5-13 运营期社会经济影响评价指标隶属度

#### 5.2.4 铁路生态环境影响评价结果

对甬台温铁路新建项目道进行生态环境影响综合评价, 求出该工程对生态环境影响综合评价值。计算方法与过程见第四章。计算数据和结果见表 5-13。

指标		组合权重	隶属度	指标值	
建设 期 生态 环境 影响 评价 指标	自然	植被覆盖率	$0.750 \times 0.750 \times 0.189$	0.285	0.030
	生态	空气污染指数	$0.750 \times 0.750 \times 0.020$	0.200	0.002
	环境	噪声影响指数	$0.750 \times 0.750 \times 0.055$	0.700	0.021
	影响	水土流失度	$0.750 \times 0.750 \times 0.188$	0.376	0.040
	评价	水土流失治理 率	$0.750 \times 0.750 \times 0.146$	0.167	0.013
	建设	景观影响指数	$0.750 \times 0.750 \times 0.101$	0.425	0.024
	期	生物量	$0.750 \times 0.750 \times 0.188$	0.320	0.034
	生态	社会经济及资 源利用	$0.750 \times 0.250 \times 0.667$	0.114	0.014
	环境	废弃方利用率	$0.750 \times 0.250 \times 0.222$	0.231	0.010
	影响	拆迁影响	$0.750 \times 0.250 \times 0.111$	0.114	0.002
运营 期 生态 环境 影响 评价 指标	自然	水污染指数	$0.250 \times 0.500 \times 0.081$	0.450	0.005
	生态	噪声影响指数	$0.250 \times 0.500 \times 0.405$	0.247	0.012
	环境	振动影响指数	$0.250 \times 0.500 \times 0.324$	0.800	0.040
	影响	工程与城市规 划	$0.250 \times 0.500 \times 0.040$	0.400	0.002
	评价	相容性			
	指标	环保资金投入	$0.250 \times 0.500 \times 0.360$	0.372	0.016
运营 期 生态 环境 影响 评价 指标	社会	交通影响	$0.250 \times 0.500 \times 0.120$	0.172	0.003
	经济	电磁干扰程度	$0.250 \times 0.500 \times 0.480$	0.250	0.015
	影响	综合评价			
综合影响程度			0.317		

表 5-14 甬台温铁路新建项目环境影响综合评价

甬台温铁路新建项目生态环境影响综合综合评价值是  $0.317 \in (0.2, 0.4)$  之间, 说明该隧道对周围生态环境有轻度影响、影响等级 II。分析表 5-13, 可以得到以下结论:

1. 建设期影响得分是 0.224, 占总得分的 70.66%, 低于期望得分比例 75.00%(即权重, 下同)。在建设期的 10 项评价指标中, 隶属度高于 0.2 的指标有植被覆盖率、噪声影响指数、水土流失度、景观影响指数、生物量、废弃方利用率。

2. 运营期的影响得分是 0.093, 占总得分的 29.34%, 高于期望得分比例 25%。在运营期的各项指标中, 隶属度高于 0.2 的指标是水污染指数、噪声影响指数、振动影响指数、工程与城市规划相容性、环保资金投入、电磁干扰程度。

由以上的分析, 表明甬台温铁路新建项目在建设期对生态环境的影响比较大, 运营期的影响相对较小。在建设期指标影响得分 0.224 中, 植被覆盖率得分为 0.030, 占建设期影响得分的 13.39%, 小于期望值 18.90%。空气污染指数得分为 0.002, 占建设期影响得分的 8.9%, 小于期望值 20%。噪声污染程度得分为 0.021, 占建设期影响得分的 9.38%, 大于期望值 5.5%。水土流失强度得分为 0.040, 占建设期影响得分的 17.86%, 小于期望值 18.8%。水土流失治理率得分为 0.013, 占非生物系统影响得分的 5.8%。小于期望值 14.6%。景观影响指数得分为 0.024, 占建设期影响得分的 10.71%, 大于期望值 10.1%。生物量得分为 0.034, 占建设期影响得分的 15.18%, 小于期望值 18.8%。土地占用量得分为 0.024, 占建设期影响得分的 6.25%, 小于期望值 66.7%。废弃方利用率得分为 0.010, 占建设期影响得分的 4.46%, 小于期望值 22.2%。拆迁影响得分为 0.002, 占建设期影响得分的 0.89%, 大于期望值 11.1%。数据结果甬台温铁路新建项目在建设期水土流失比较严重。而拆迁影响比其他影响较轻, 这与所采取的良好征地的拆迁和移民政策有关, 与甬台温铁路新建项目实际情况是相符合的。

为了减小甬台温铁路新建项目对生态环境的综合影响度, 仍然要做一系列的大量研究和改进工作:

### 1. 水土保持措施

路基工程防护包括坡面防护, 支挡加固防护、冲刷防护和截排水措施。坡面防护根据土质情况, 分别采用浆砌片石护坡等工程防护措施以及喷播植草、土工网垫植草、喷混植生等边坡植物防护措施。

合理土石方调配, 尽可能减少弃方或借方, 对工程产生的弃土(碴)场, 采用块石挡碴墙挡护, 有条件时应平整复耕还田, 对不具备复耕还田条件的隧道弃碴场, 在表面覆盖熟土后采用植草、植树防护。

### 2. 其它措施

(1) 施工单位应提高环保意识, 文明施工, 弃土、弃碴按设计要求指定地点堆放, 做到不随意弃土、弃碴; 严格控制施工临时用地, 做到临时用地和永久用地相结合, 工程材料、机械定置堆放, 运输车辆按指定路线行使,

以减少对地表植被的破坏；严格控制施工临时用地，做到临时用地和永久用地相结合，工程材料、机械定置堆放，运输车辆按指定路线行使，以减少对地表植被的破坏；加强驻地和施工现场的环境管理，合理安排施工计划和作业时间，从村庄穿过或从其从其边沿通过时，应尽可能避免夜间施工扰民。

(2) 车辆冲洗宜集中定点进行，制梁场、隧道、桥梁工场沙石料清洗废水宜沉淀处理后循环使用；建议在长大隧道施工端设置沉淀池，对隧道施工污水进行处理；施工独立的工地、生活区粪便污水应设置化粪池处理后排放。

(3) 施工扬尘较大的工点和道路，可采取洒水降尘措施；施工机械、车辆应勤清洗；土石方应精心组织装卸，尽量减少落尘。

(4) 施工建筑垃圾和生活垃圾应集中妥善处理。建筑垃圾可就近用作筑路填料；普通生活垃圾宜集中堆置，定期清运，交地方环卫部门处理，量少时亦可就近选址填埋，但应征得当地环卫部门、村委会同意。

(5) 加强对管理和施工人员的景观保护教育，提高其保护景观意识，建议铁路沿线第一重山范围内禁止工程取土、取料，铁路取土、取料场应尽量设置在铁路视野范围以外。

(6) 建议建设单位与地方政府协调，由地方政府解决绿化用地，建设单位解决绿化苗木费和种植费，共同促进“绿色通道”的实施，以达到改善铁路景观目的。

---

---

## 结论

在对甬台温铁路建设项目调研的基础上,本文重点研究的是铁路建设项目在各个阶段内与生态环境的关系,综合评价指标的确定,生态环境影响综合评价方法,并以甬台温铁路为例进行了生态环境影响综合评价。

主要得到以下研究主要成果:

1. 从铁路新建项目的建设期到运营期整个全生命周期探讨铁路与生态环境的关系,分析铁路建设产生生态环境问题的原因,为对其进行生态环境影响综合评价提供了依据。

2. 建立了较全面合理的铁路生态环境影响评价的指标体系,评价指标的选取具有科学性和可行性。

3. 将层次分析法和模糊评判法相结合应用于铁路生态环境影响综合评价中。由于评价指标中既包含定量成分又包含定性成分,涉及的因素多且具有明显的层次性,适合采用 AHP 法进行定量因素正确的描述。而模糊评判法是用精确的数学语言描述定性或不确定因素的方法。事实证明了采用模糊层次分析法对铁路建设项目进行生态环境影响综合评价是合理的。

4. 运用隶属函数对评价指标进行无量纲化处理,解决了由于评价指标之间不具备可比性而不能直接进行综合评价的问题。无量纲化所选用的转化公式遵循了科学、简易原则。

5. 对甬台温铁路新建项目进行生态环境影响综合评价,得出该项目在建设期和运营期间对生态环境影响综合值是 0.317,为轻度影响。建设期影响得分是 0.224,占总得分的 70.66%,运营期影响得分是 0.093,占总得分的 29.34%。由此得出,甬台温铁路建设项目建设期对生态环境的影响相对于运营期要严重许多。

对于铁路建设与生态环境的关系的全面考察是一件难度较大而且复杂

---

的工作。由于时间与笔者的能力有限，本文仍有一些问题需要作进一步深入的研究和改进：

1. 铁路生态环境影响评价指标的选择。本文虽然从系统的角度出发，选择出压力类型指标、状态类型指标和响应类型指标，也因自身的局限性，使得指标不是很全面。为了使评价能够很好地指导铁路规划、设计、建设和营运，就需要从系统的角度出发，对铁路生态系统压力、系统状态和系统响应进行合理的分析，进而选择出更为合理的压力类型指标、状态类型指标和响应类型指标。

2. 评价指标的隶属函数和隶属阀的选取没有统一的标准，本文中的采用模糊分布的方法确定隶属函数，隶属阀主要是根据国家、部门、行业的标准来确定的。因此，有必要制定完备、合理、统一的隶属函数和隶属阀。

3. 铁路生态环境影响评价指标复杂，手工计算量比较繁琐，需要作进一步研究，开发一种简洁清晰、界面友好的综合评价系统。为设计人员了解关于铁路的环保知识，进行绿色设计和环保施工提供帮助。

---

---

## 致谢

本研究从选题、设计到论文写作直至最后定稿，都是在导师牟瑞芳教授的精心指导下完成的。导师的学术洞察力和对学术刻苦钻研的学术作风，给我留下了深刻印象。三年来，导师对我学习、工作上严格要求与谆谆教诲，对我生活上无微不至的关怀，令我终生难忘，在此向导师谨致以衷心的感谢。

本论文的研究完成过程中，李玲硕士、刘向远硕士、杨飞皇硕士、魏霄霞硕士等给予了许多热情指导和帮助，对本论文的构思提出了很好的意见和建议，非常感谢他们对我的大力帮助。

研究生期间，我还得到了学院其他诸位老师和学友的关心和支持，在此表示感谢！同时感谢铁道第四勘测设计院和铁道第三勘测设计院提供的基础资料。

此外，我要特别感谢我的家人和朋友在我攻读硕士学位期间对我的热心支持和无私帮助，这是我能顺利完成学业的保障。

由于个人收集的资料有限，实地调研不多，才疏学浅故文中的不妥之处很多，敬请师友同学不吝指正。最后，对参加论文评阅、答辩的专家们和对本论文提出宝贵意见的所有老师和同学们表示真诚的谢意。

---

---

## 参考文献

- [1] 全国铁路会议. 《中长期铁路网规划》. 新华社, 2004
- [2] 铁道部. 《铁路“十一五”规划》. 新华社, 2006
- [3] 金士宣、徐文述. 中国铁路发展史[M]. 中国铁道出版社, 1986
- [4] 张培育. 高速铁路的发展现状. 铁道技术监督 [J], 1998. 4 p33~p35
- [5] 韩传峰, 吴进林. 大型基础设施项目生态环境影响评价, 资源调查与环境[J], 2004, 25(1) p8~p12
- [6] 赵勇, 孙中党, 吴明作. 高速公路建设项目对生态环境影响综合评价研究. 安全与环境工程[J], 2003, Vol.10 No. 3
- [7] 陈利顶, 李俊然. 傅伯杰. 三峡库区生态环境综合评价与聚类分析. 农村生态环境[J], 2001, 17 (3) p35~p38
- [8] 高平利, 赖文宏, 赵学静. 西北铁路建设项目对生态环境影响的预测及评价方法探讨. 环境科学[J], 1998 (8)
- [9] 毕晓丽, 洪伟. 生态环境综合评价方法的研究进展. 农业系统科学与综合研究[J], 2001, Vol.17 No. 2
- [10] 李博编著. 生态学[M]. 高等教育出版社, 2000
- [11] DUMANSKI J. Application of the pressure-state-response framework for the land quality indicators(LQI)programme[EB/OL].  
<http://www.fao.org/docrep/W4745E/w4745e08.htm>, 2003, 5.
- [14] 蔡小明编著. 生态系统生态学[M]. 科学出版社, 2000
- [15] 王寿兵 吴峰 刘晶茹 编著. 产业生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006, 1
- [16] 陈英旭. 环境学. 中国环境科学出版社. 2001: p45~p46
- [17] Anderson JE. A conceptual framework for evaluating and quantifying naturalness. *conserv. Biol.* 1991(5): p347~p352
- [18] Bartell, Gardner RH, O'Neill RV. Ecological Risk Estimation. *Lewis. Ann Arbor, Michigan.* 1992:255 p347~p352
- [19] Allen TFH, Hoekstra TW. *Towards a Unified Ecology.* Columbia University Press. New York:384
- [20] <http://www.eedu.org.cn/Article/es/envir/ei/200501/3718.html>
-

- [21] 毛文永. 开发建设项目生态环境影响评价原则—生态环境功能保护论. 环境科学[J]. 1996, 17(2) p78~p81
- [22] 张杰, 陈峰. 铁路建设的环境问题与对策研究. 交通环保[J]. 2000, 21(5) p39~p41
- [23] 朱妍妍. 铁路建设期环境问题与防治. 山西科技[J]. 2006(6) p20~p21
- [24] 郑州铁路局郑州工程建设指挥部, 李景尧. 铁路建设项目施工期的环境影响与防治. 铁道劳动安全卫生与环保 1997, 24(4) p229~p231
- [25] 赵雪娟, 彭宏勤. 铁路建设期环境问题的研究交通环保. 2005, 26(2) p40~42
- [26] 韦文立, 修建高速铁路的环境保护问题. 铁道运营技术[J]. 2002, 8(1): p47~p48
- [27] 陈曦, 陈峰. 铁路建设项目运营期的环境影响及防治. 山西建筑, 2004, 30(2) p131~p132
- [28] 毛文永. 生态环境影响评价概论[M]. 中国环境科学出版社, 1998
- [29] 蒋忠信, 杨朝清. 南昆铁路建设对山区环境的影响、保护与营造. 山地学报[J], 2002, 20(4): p450~p455
- [30] 李京荣, 王家骥, 娄安如, 苏德毕力格, 何萍. 浅析铁路建设对生态环境的影响. 环境科学研究. 2002, 15(5) p58~p61
- [31] Chenbo, baozhiyi. Ecological Planning: Development, Modes, Lodestar and Goal. Journal of Chinese Landscape Architecture. 2003 (1), p48~p51
- [32] 余丹林. 区域可持续发展指标体系的构建思路. 地理科学进展[J], 1998, 2
- [33] 张明顺等. 层次分析法在环境指标体系研究中的应用. 环境科学研究[J], 1995, 5
- [34] 腾藤等. 中国可持续发展研究[M]. 经济管理出版社, 2000
- [35] 张维群. 指标体系构建与优良性评价的方法研究. 统计与信息论坛[J]. 2006, 21(6) p36~p38
- [36] 马乃喜等. 生态环境保护理论与实践[M]. 陕西人民出版社, 2001
- [37] 史捍民. 区域开发活动环境影响评价技术指南[M]. 化学工业出版社, 1999
-

- [38] 周海林. 可持续发展指标及其确定方法的探讨[M]. 中国环境科学, 1999
- [39] <http://www.OECD.org/env/soe>. OECD Framework for Environmental Indicators. Using the pressure-state-response model to develop indicators of sustainability.
- [40] Cockburn sound Management Council. The State of Cockburn Sound: A pressure-state-response report. 2001, July
- [41] 马陆玉书. 环境影响评价. 高等教育出版社, 2001
- [42] 高荣松. 环境影响评价原理和方法[M], 四川科学技术出版社.
- [43] 刘年丰, 罗巍等. 生态环境质量综合评价多级灰关联识别模型应用研究, 环境科学与技术[J], 1999, 18(3):24-270
- [44] 陈雍森. 环境评价(第二版), 上海: 同济大学出版社.
- [45] Yao Tao, Yang Xinmiao, Fuzzy Comprehensive Assessment, Fuzzy Clustering Analysis and its Application for Urban Traffic Environment Quality Evaluation. Transportation Research. 1998, 3 (1) p51~p57
- [46] 汤丽妮, 张礼清等. 人工神经网络在生态环境质量评价中的应用, 四川环境[J], 2003, 22 (3) p69~p72
- [47] 章家恩等. 道路的生态学影响及其生态建设[J]. 生态学杂志, 1995, 6
- [48] 邱小燕, 欧国立. 铁路次生环境影响及评价研究[J]. 学术视角, 2006, 2
- [49] 田杰芳, 俞艳. 道路工程施工对环境的影响及环保措施[J]. 河北理工学院学报 2003, 11
- [50] 李京荣等. 浅析铁路建设对生态环境的影响[J]. 环境科学研究, 2002, 5
- [51] 宋志华等. 一种相对隶属度新概念下的模糊数排序方法[J]. 空军工程大学学报, 2006, 12
- [52] 刘华文, 姚炳学. 区间数多指标决策的相对隶属度法[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 7
- [53] 铁道第四勘察设计院. 《新建铁路甬台温线环境影响评价大纲》. 2004, 4
- [54] 铁道第四勘察设计院. 《新建铁路甬台温线环境影响评价报告书》. 2004, 6
- [55] 铁道第四勘察设计院. 《新建铁路甬台温线可行性研究报告书》. 2004, 3
- [56] 铁道第四勘察设计院. 《新建铁路甬台温线水土保持报告书》. 2004, 6
-

- 
- [57] 国家环保局, 国家技术监督局. GB3095-1996 环境空气质量标准, 1996, 10, 1
- [58] 国家环保局. HJ/T192-2006 生态环境状况评价技术规范(试行). 2006, 5, 1
- [59] 国家环保局. HJ/T192-2006 生态环境状况评价技术规范(试行). 2006, 5, 1
- [60] 国家环保局. HJ/T192-2006 生态环境状况评价技术规范(试行). 2006, 5, 1
- [61] 国家环保局, 国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002地表水环境质量标准. 2002, 6, 1
- [62] 铁道部建设司标准科情所. TB10502-93 铁路工程建设项目环境影响评价技术标准. 1994
- [63] 国家环保局. GB12525-90 铁路边界噪声限值及测量方法. 1991, 3, 1
- [64] 国家环保局. GB12523-90 建筑施工厂界限值. 1991, 3, 1
- [65] 国家环保局. GB3096-93 城市区域环境噪声标准. 1994, 3, 1
- [66] 国家环保局. GB10070-88 城市区域环境振动标准. 1989, 7, 1
-

## 攻读硕士学位期间发表的论文与实习情况

- 李波涛, 牟瑞芳. 循环经济: 解决城市固体废弃物问题的新理念 [J], 环境科学与管理, 2006(1), 44~46
  - 曾于 2006 年 2 月至 5 月中旬在铁道部第四勘察设计院实习; 于 2006 年 7 月至 8 月中旬在铁道部第三勘察设计院实习。
-