

文章编号:1000-033X(2017)12-0127-06

# 隧道工程环境问题分类及环境负效应分析

李国锋<sup>1</sup>,秦鲜卓<sup>2</sup>,杨磊<sup>2</sup>,叶飞<sup>2</sup>

(1. 云南富龙高速公路建设指挥部,云南 文山 663400;2. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

**摘要:**对隧道工程中出现的环境问题进行梳理及总结,并按组成要素进行科学分类,剖析各类环境问题如何诱发形成环境负效应的原因以及两者的因果关系,最后针对性地提出环境负效应的预防和控制方法。结果表明:隧道工程诱发的环境负效应大体上可分为生态环境效应和社会环境效应,环境效应进一步分为直接环境效应和次生环境效应。这些环境负效应会互相叠加,最终形成一种复合效应;对环境负效应的预防与控制应从溯源控制和总量管理两方面同时进行,并贯穿于隧道工程的设计、施工及运营阶段。

**关键词:**隧道工程;环境负效应;生态环境效应;社会环境效应

中图分类号:U452.2 文献标志码:B

## Classification of Environmental Issues and Analysis of Negative Environmental Effects of Tunnel Engineering

LI Guo-feng<sup>1</sup>, QIN Xian-zhuo<sup>2</sup>, YANG Lei<sup>2</sup>, YE Fei<sup>2</sup>

(1. Yunnan Fulong Expressway Construction Headquarters, Wenshan 663400, Yunnan, China;

2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Environmental issues appearing in tunnel projects were summarized and classified in terms of components. It was analyzed how various environmental issues induce the formation of negative environmental effects, and related methods for prevention and control were proposed. The research shows that the negative environmental effects induced by tunnel projects can be roughly divided into ecological environment effects and social environment effects, and the environmental effects are further divided into direct environmental effects and secondary environmental effects. These negative environmental effects will be superimposed on each other, eventually forming a compound effect. The prevention and control of the negative environmental effects should be carried out simultaneously from the aspects of traceability control and total quantity management, and should be run through in the design, construction and operation phases of tunnel projects.

**Key words:** tunnel engineering; negative environmental effect; ecological environment effect; social environment effect

## 0 引言

公路隧道作为整个交通建设的重要构造物,承担着重要的通行功能,大多数隧道在建设过程中会对环境造成一定的破坏。随着环保理念逐步落实,隧道工程的环境效应越来越受到人们的关注<sup>[1]</sup>,不

少学者结合工程实践对隧道中可能出现的环境问题进行了分析,并从不同角度给出了应对措施<sup>[2-5]</sup>。

然而,在应对公路隧道环境效应方面仍存在很多问题。例如不够重视对技术方案的预评价,不能准确地对技术方案产生的环境效应进行分析,对施工过程中产生的环境影响不能提出合理的对策,施

收稿日期:2017-06-04

基金项目:国家自然科学基金项目(51478044,51678062)

作者简介:李国锋(1971-),男,云南玉溪人,高级工程师,主要从事高速公路建设、养护管理研究。

工管理方案和组织方案中的环保对策过于敷衍等。这些问题的根源在于对隧道工程中诱发的环境问题和环境效应没有很好的认识。具体来说,主要存在以下 2 个方面的问题。

(1)重视程度不够。隧道工程具有很好的隐蔽性,隧道从业人员对施工产生的环境问题的认识和重视程度不够。

(2)认识不到位。有关矿山、水利、城镇建设、公路等工程产生的环境问题的分类研究颇多,都给出了比较具体且明确的分类方法<sup>[6-10]</sup>。但是,对于隧道工程环境问题分类的研究却寥寥无几,更没有形成一种公认的分类标准。再加上环境效应是多种因素(有的因素比较隐蔽)综合作用的结果,从而造成相关人员对环境效应诱因的认识不够到位。

## 1 隧道工程环境问题分类

根据不同的划分依据,会得到不同的隧道工程环境问题分类方案。鉴于隧道工程本身的特点,统计其中出现的众多环境问题,可将其分为自然环境问题和社会环境问题 2 个方面,再分别进行针对性划分,如图 1 所示。

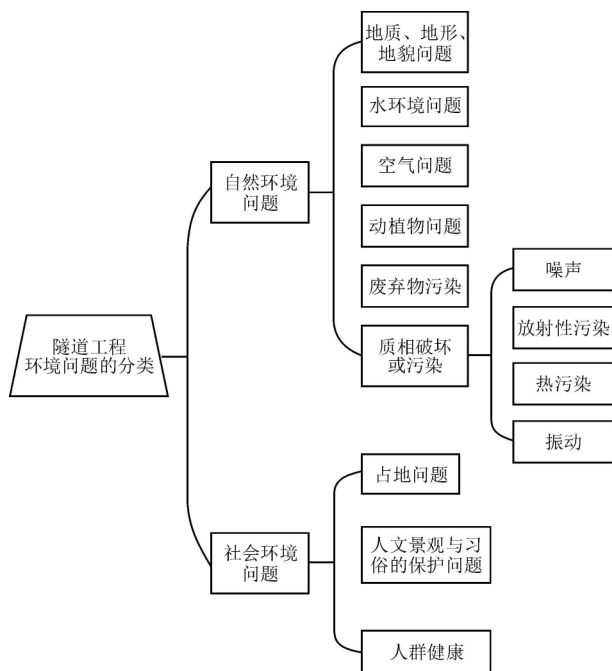


图 1 隧道工程环境问题的分类

### 1.1 自然环境问题

#### 1.1.1 地质、地形、地貌问题

隧道址区的原有地表或地层会因隧道工程的建设(特别是隧道洞口的施工)被破坏,进而使原有地层

内部的土体或岩体暴露在外面。原有地层会在外界空气与气候变化的作用下发生变质,失去原有特性。另外,地表或地下水也会因隧道开挖和隧道实施排水工程重新分配或流走,造成岩体原有的地质特性因含水量的变动而变化<sup>[11-12]</sup>。

总之,原有地形会因隧道工程的建设产生巨大变化,包括直接变化与间接形成的次生变化。其中,直接变化包括洞口施工的开挖拉槽等,次生变化包括原有地表发生沉降,严重的会出现塌陷等。由隧道工程建设所诱发的问题,最终都会直接或间接地改变和破坏原有地形、地貌以及原有地质(图 2)。



图 2 隧道工程造成地形、地貌破坏

#### 1.1.2 水环境问题

隧道工程建设常常会导致原有地层中水环境的变化,主要有 2 方面的问题:一是水资源问题,二是地下水平衡问题。由于隧道周边围岩的分布比较复杂,以及前期地质勘察工作的随机性和不准确性,隧道在实际施工过程中有些采用以排为主,以堵、截、防为辅的措施对围岩中的地下水进行处理。这种处治措施很大程度上造成了地下水的浪费和污染。与此同时,地层中地下水大量流失会造成原有渗流场重新分布,进而导致围岩初始应力状态发生变化,最终打破原有地下水平衡状态(图 3)。



图 3 隧道施工造成的超排地下水

#### 1.1.3 空气问题

隧道工程的空气问题主要指施工中产生的扬

尘、废气、尾气或有毒、有害气体等。其中,扬尘主要有渣土扬尘和爆破扬尘。渣土扬尘是指渣车在运输过程中产生的扬尘;爆破扬尘是指隧道开挖过程中爆破产生的扬尘。废气主要指隧道施工过程中洞内外产生的废气。尾气主要指施工器械、出渣车与混凝土罐车等在洞内外产生的尾气。

#### 1.1.4 动植物问题

隧道工程的建设会对隧址区周边的草地、农田、森林等植被造成一定的破坏,直接造成隧址区周边植被数量的减少;还会对动物栖息地和食物链造成破坏,进而导致生物多样性变化。

#### 1.1.5 废弃物污染

隧道工程产生的废弃物污染主要包括固体废弃物污染和液体废弃物污染两大类。其中固体废弃物污染主要指隧道运渣车堆砌的弃渣、生活活动区和工作区产生的生活垃圾以及浪费的工程材料产生的污染等;液体废弃物污染大多指施工和生活产生的污水肆意排放,对周围环境造成的污染。

#### 1.1.6 质相破坏或污染

质相破坏或污染从污染源上异于其他,主要指某一种物理性污染对周边环境造成的破坏或影响。比如,施工中爆破引起的震动污染、隧道通风用的通风机产生的噪音污染、施工产生的热污染以及地层中散发出的放射性污染等。

### 1.2 社会环境问题

#### 1.2.1 占地问题

在隧道建设的过程中,往往会修建一些临时道路、临时场地及附属设施等,这自然会面临一个很现实的难题,那就是征地、占地问题。为了降低占地问题的社会影响,不仅应该及时向受影响的居民提供合理的补偿,还要保障居民日后的生产和生活。

#### 1.2.2 人群健康问题

目前,中国隧道施工的机械化程度比较低,仍需要大量的人力。然而,隧道施工空间比较狭小且封闭,工作人员在施工过程中必然会受到洞内污染物及其他不利条件的影响,这都直接或间接地影响施工人员的身体健康,可能诱发包括呼吸道疾病、皮肤病、肺病及地方病等。

#### 1.2.3 人文景观与习俗的保护问题

修建隧道不仅会对周边自然环境、景观造成不可恢复的破坏,而且还对当地的文物、古迹或者是居民习俗造成一定程度的影响,改变其原有的特性。

其中,文物古迹是一定历史时期遗留下来的财富,具有深远的历史价值、艺术价值和科学价值,对探究先前的社会制度、古代的社会风情、科学发展水平等具有重要的意义。因此,修建隧道绝不能以牺牲当地文化遗产和自然景观为代价,应当切实可行地保护当地的文物古迹。

## 2 隧道工程环境问题诱发的负效应

### 2.1 环境问题与环境负效应

环境负效应是指由环境变化而产生的不良环境效果。环境的变化表现为各个环境要素的变化,环境问题所诱发的环境负效应可划分为生态环境效应和社会环境效应。其中,生态环境效应的直接表现包括对当地土地资源、水资源的破坏以及对周边生物多样性的破坏,间接表现包括产生了次生气候变化和次生地质灾害;社会环境效应包括人文景观破坏效应以及工程建设与社会稳定发展的矛盾效应<sup>[13]</sup>。

#### 2.1.1 土地资源破坏效应

土地资源破坏效应指的是占用、改造、物理机械破坏或由于土地性状改变导致土地废弃和损毁等,从而使土地资源减少,如图4所示。土地资源破坏效应主要表现为两大类:占用土地资源使其减少和当地土地资源损毁。所以,进行隧道设计、规划、现场施工以及工程管理时,应从这2个方面考虑和预防。

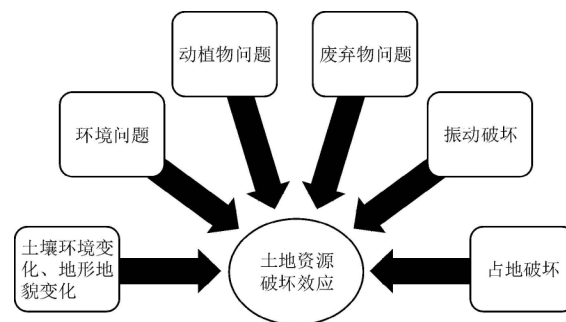


图4 土地资源破坏效应

(1)土地资源的占用。不合理的占地和废弃物堆砌是造成土地减少的主要环境问题。占地主要包括工地的临时道路、堆放的弃渣场、工作人员的生活区、洞口施工区以及部分地表占地等。工程设计人员应在设计阶段做好规划,保证每项占地都是合理的;施工时,有效执行设计中关于各项占地的规划,并对其进行合理管理。

(2)土地资源的损毁。土地资源损毁指机械手段和化学污染对土地造成的损毁,应从其诱发的主要环境问题考虑预防措施。

### 2.1.2 水资源损毁效应

水资源损毁效应大致有 2 种表现形式:地下水由于长时间的流失造成的水量减少和浪费;废弃物、工程材料等渗透造成的地表水、地下水的水质污染。

洞口开挖地引起的地形地貌变化、液(固)相废弃物渗水污染、工程材料渗透污染、隧道施工中出现的疏排水与突水等环境问题,一般都会引起隧址区附近的水资源损毁效应。这些环境问题不仅会出现在洞门修建、进出洞时边仰坡防排水及施工防护等工程建设中,还会出现在临时工程的修建和对工程垃圾的处理中。总之,应在可行性研究阶段考虑对水资源损毁效应的预防。如洞内施工出现突水或疏排水量比较大的情况时,可从节约水资源的角度对其进行循环再利用。

### 2.1.3 生物多样性破坏效应

生物多样性破坏效应的一般表现形式为:隧道工程活动以资源量和生物物种的减少为代价,对周围环境的改造超出自然本身的承受和恢复能力,改变甚至严重破坏生物原有的生存环境,如图 5 所示。因此隧道生态保护的质量和效果取决于隧道工程的设计质量与实施情况,故应在前期设计和规划阶段综合研究生物多样性环境问题的影响要素,使对生物多样性的破坏达到最小。

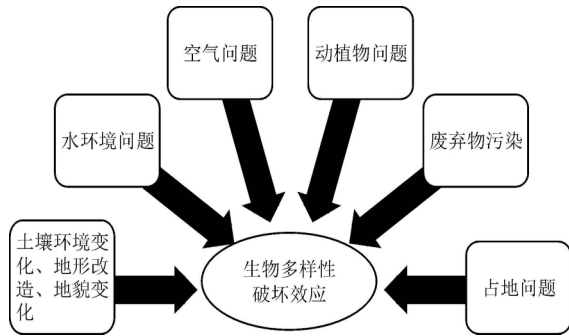


图 5 生物多样性破坏效应

### 2.1.4 次生气候变化效应

次生气候变化效应指隧道工程尤其是大型重点隧道工程建设引起某种环境问题持续加剧(如水环境)或环境问题的叠加效应,最终导致相关气候问题的出现。譬如,隧道穿越瓦斯地段时,倘若不小心使甲烷泄露到洞外,地面的长波辐射会被泄露出去的甲烷所吸收,从而造成周边地面层的气温升高,严重

时可能会加剧该区域的温室效应。所以,对严重影响气候变化的因素应在具体工程实施过程中予以着重评估。绝大多数隧道从业者往往对气候问题的研究较少,因此对于重点的隧道建设工程,应组织专家(尤其要有气候方面的专家)合理探讨施工阶段应采取的各项措施,并保证其有效性和合理性,然后再进行工程施工。

### 2.1.5 次生工程、地质灾害效应

假如对隧道建设造成的环境问题或已存在的环境效应治理不到位,可能会引起危害较大的次生工程和地质灾害,譬如边坡失稳,严重时有泥石流、滑坡、地表下沉塌陷、地裂缝、部分区域沙漠化、水土流失等。隧道洞口施工会导致洞口边仰坡处的土壤、植被破坏,从而诱导边仰坡再次出现滑坡、泥石流以及水土流失等地质灾害。由此看来,水资源损毁效应以及土地资源破坏效应和次生工程、地质灾害效应的关联性比较大,这些次生效应的出现与隧道建设过程中的每项环节都有关系<sup>[14]</sup>。

次生工程、地质灾害效应根据发生的缓急程度可分为次生突变灾害和次生缓变灾害。其中,次生突变灾害一般出现在施工阶段,例如隧道穿越软弱围岩时,若对围岩扰动过大,可能导致掌子面塌方,严重时可诱发地表冒顶现象;进洞前在对边仰坡防护的过程中,可能造成边仰坡失稳等。次生缓变灾害出现在施工阶段或运营阶段,其与隧道本身的建设以及外部的条件有关。

### 2.1.6 人文景观破坏效应

隧道工程的建设会改变原有环境导致自然景观或人文景观(如当地寺庙、纪念物等)破坏,而且隧道结构物以及装饰、附属设施等人工物也可能对当地人文景观造成一定程度的影响,甚至破坏,从而引发人文景观破坏效应,见图 6。

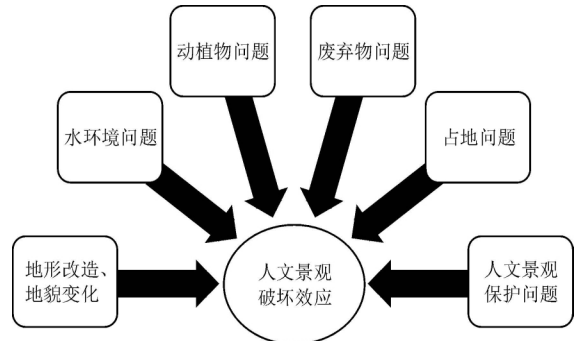


图 6 人文景观破坏效应

### 2.1.7 工程建设与社会稳定发展的矛盾效应

在隧道的建设过程中,不合理施工往往会造成周边土壤环境变化、空气和土壤污染、水环境以及质相破坏或污染的问题,还会带来占地以及损害人员健康、人文景观与习俗等问题(图7),这些环境问题会同当地居民的经济或文化习俗产生一定的矛盾。所以,隧道建设动工前应充分了解当地居民的风俗习惯,尽最大可能予以尊重和保护,对造成的经济损失进行合理补偿,最大程度减少与周边居民的矛盾冲突。

综合以上分析结果,隧道工程环境问题及其环境效应的因果关系总结见表1。根据表1中各效应

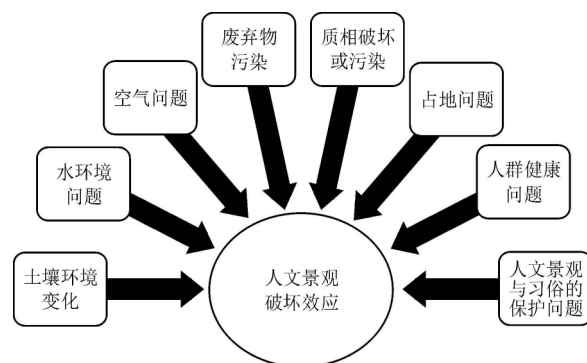


图7 工程建设与社会稳定发展的矛盾效应

发生的时空顺序,进一步将环境效应分为直接环境效应与次生环境效应,如图8所示。

表1 隧道工程环境问题与其环境效应因果关系

环境问题		生态环境效应									社会环境效应				
		土地资源破坏效应			水资源损毁效应			生物多样性破坏效应	次生气候变化效应	次生工程、地质灾害效应		人文景观破坏效应	工程建设与社会发展稳定的矛盾效应		
		占用土地资源	土地资源物理破坏	土地资源化学污染	地下水系统破坏	地表水污染	地下水污染			次生突变灾害	次生缓变灾害		经济矛盾效应	文化习俗矛盾效应	
自然环境问题	地质问题	工程地质变化	○								○	○			
		土壤环境变化			○			○	○			○		○	
	地形改造与地貌变化		○	○		○		○	○	○	○	○	○	○	
	水环境问题	水资源的流失或浪费				○					○	○			
		水资源的污染			○		○	○	○		○	○	○	○	
		地下水平衡破坏		○		○		○	○	○	○	○	○	○	
	空气问题	洞内废气、有害气体							○	○				○	
		洞外废气、有害气体							○	○				○	
	周边动植物				○			○	○			○	○	○	
	质相破坏或污染	噪声													○
		放射性							○						○
		振动		○							○	○			○
热污染								○	○					○	
废弃物污染	工程材料废弃物、弃渣、生活垃圾等	○		○		○	○	○		○	○	○	○		
社会环境问题	占地问题	洞口工作区、地表占地	○					○					○	○	○
		生活区占地	○					○					○	○	○
		弃渣场及临时道路占地	○					○				○	○	○	○
	人群健康问题													○	○
	人文景观与习俗的保护问题													○	○

### 2.2 隧道工程环境效应的复合效应

修建隧道的过程中必然会造成隧址区周边环境变化,倘若对这些环境变化不加以重视,不停地开展工程建设,环境变化会进一步累积诱发各种环境问题,进而造成相应的工程地质灾害。隧道建设过程中,前期出现的环境问题会与后期新产生的环

境问题相互叠加,各个环境负效应会形成一种复合效应,出现“1+1>2”的恶性状态。这种复合效应会不断恶化和叠加,加剧环境效应的危害程度并导致地质灾害出现的频率升高。例如,隧道洞内外排放废气诱发的空气问题与临时占地诱发的社会环境问题相互叠加,不仅危害施工人员和周边居民的健康,

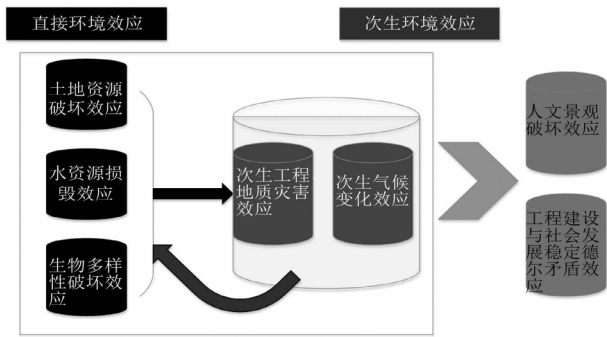


图8 直接环境效应与次生环境效应

还会引起经济纠纷,产生不好的社会舆论,严重时可能迫使工程停工,贻误工期。

### 3 隧道工程环境负效应的预防及控制

隧道诱发的多种环境问题会产生一定的负效应,要采用有针对性的科学管理手段对环境负效应提前做好预防与控制。具体可分为总量管理和溯源控制。其中,总量管理是方针,溯源控制是手段和根本。

溯源控制,就是从问题的源头入手,综合分析诱发环境负效应的每个因素,对其进行科学化控制。以隧道施工单位为例,要想从根本上减少施工造成的环境负效应,就必须仔细查找产生环境效应的源头,从各个环节入手,提出相应的预防措施。一旦施工或运营中出现负环境效应,则应该根据本文所分析的因果关系寻根溯源,从源头化解对人类或工程运营不利的环境效应。

总量管理,就是使各种环境问题叠加后形成的负效应的总量不超出工程环境允许的阈值。一类环境效应一般由多种环境问题诱发而成,例如:废弃物污染、土壤环境变化、占地破坏、地形地貌变化、水资源问题、震动破坏等环境问题都会造成土地资源损毁效应。因此,要有定量的管理目标:只需要满足负效应总量不超出某一限值的要求,不用研究具体环境效应的诱发源。某些特定管理部门(主管隧道环境)应有一种全局意识,在宏观上进行管理和调控,对环境管理进行科学化。

### 4 结语

(1)根据隧道施工阶段和运营阶段存在的问题,

借助环境工程基础理论对隧道工程中出现的环境问题进行了科学的分类,并对各类问题的工程诱因进行分析。

(2)总结了隧道工程中的各类环境问题以及诱发的各种环境负效应,将环境负效应分为生态环境效应与社会环境效应;同时梳理了各类环境问题与其负效应的因果关系,以寻根溯源治理环境负效应。

(3)提出隧道环境负效应的预防与控制手段,即溯源控制和总量管理2种思路。针对隧道环境负效应问题,应分析原因和结果,再根据因果关系采取针对性措施,将控制与管理贯穿于隧道设计、施工的各个阶段,同时兼顾结果。

#### 参考文献:

[1] 黄伦海,蒋树屏,张军.公路隧道洞口环保型设计施工现状及展望[J].地下空间与工程学报,2005,1(3):455-459.

[2] 袁庸璋.乌鞘岭隧道建设过程中的环境问题及其对策分析[D].成都:西南交通大学,2007.

[3] 蒋树屏,李建军.公路隧道前置式洞口工法与工程实践[J].现代隧道技术,2005,42(2):49-52,59.

[4] 胡平,陈超.贯彻环保理念努力实现隧道进洞施工“零开挖”[J].隧道建设,2007,27(4):23-25.

[5] 刘飞.基于环境保护的隧道洞门选型研究[D].重庆:重庆交通大学,2010.

[6] 蔡伟,周德培.论隧道洞口段的绿化设计[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(2):92-96.

[7] 蒋树屏,刘元雪.傍山隧道的一种新型结构研究[J].现代隧道技术,2004(S):19-23.

[8] 蒋树屏,刘元雪,黄伦海,等.环保型傍山隧道结构研究[J].中国公路学报,2006,19(1):80-83,103.

[9] 黄永军.高速公路隧道施工阶段环保问题的实践与研究[J].西部探矿工程,2007(8):152-158.

[11] 武强.我国矿山环境地质问题类型划分研究[J].水文地质工程地质,2007,34(5):107-111.

[12] 郭思海,赵广军,陈延国.浅谈水利工程对环境的影响[J].价值工程,2010,29(21):37-38.

[13] 李莹莹.城镇绿色空间时空演变及其生态环境效应研究——以上海为例[D].上海:复旦大学,2012.

[14] 刘永珍.公路建设项目施工期环境影响研究[D].南京:南京林业大学,2003.

[责任编辑:王玉玲]

(第34卷卷终)