

# 基于过程控制的绿色公路评价方法和标准研究

屠书荣<sup>1</sup>, 秦绍清<sup>2</sup>, 王晓辉<sup>2</sup>, 易列斯<sup>1</sup>

(1. 重庆交通大学, 重庆市 400074; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司)

**摘要:**为便于管理者及时掌握公路在规划设计、建设施工和运营养护阶段所具有的绿色水平,以便有针对性地开展项目管理与绿色目标控制,促进公路项目可持续发展目标的实现,在深入分析比较了国内外绿色建筑与绿色公路评价标准及方法的基础上,结合中国公路建设阶段式管理的特点,按照可持续发展要求,研究提出了符合全寿命周期理念的绿色公路评价指标体系和评价方法,内容涵盖绿色公路评价研究现状、绿色公路评价的目标要求、评价指标体系构建原则和评价指标分值确定及绿色公路等级划分等方面,对中国高速公路的可持续发展与绿色目标实现具有重要的指导作用和现实意义。

**关键词:**绿色公路;评价指标体系;绿色公路分级标准;过程控制

截至2019年底,中国高速公路通车里程已突破14万km。身为交通大国,中国在交通基础设施建设领域突飞猛进,总体水平已处于世界领先地位。但从发展趋势看,中国交通基础设施建设正面临新技术、结构安全和绿色发展的挑战。如何更好地适应绿色发展要求,已成为交通行业重点关注的问题。但是,发展绿色交通、建设绿色公路,首先必须清楚什么是绿色公路?达到什么标准才能称其为绿色公路?为此,研究绿色公路评价方法和制定评价标准,是交通行业当前亟待解决的一个重要问题。

## 1 现有绿色公路评价方法及其存在的问题

所谓绿色公路,是指在公路全寿命周期内,能够有效节约资源、合理保护环境、减少可控污染并能最快速度地恢复生态平衡,能为人们提供安全畅通、高效便捷、舒适美观出行服务并与自然和谐共生的公路。

美国于2009年提出了绿色公路评级系统(简称Greenroads,2009),其对公路项目的绿色等级评价包括11项强制性要求,以及满分为108分的5大类共37个评分项和不超过10分、不超过2项的自定义项;公路项目在满足全部强制性要求的前提下,根据评分值的高低确定绿色等级:64分以上为常绿,54~63分为金牌,43~53分为银牌,32~42分为合格。随后,美

国联邦公路局于2010年又提出了基础设施可持续性评价系统(INVEST)。与Greenroads(2009)不同的是,INVEST系统是从路网规划、项目设计施工、项目运营养护三个环节进行评价,并在路网规划环节设置了16个评分项、设计施工环节设置了29个评分项、运营养护环节设置了15个评分项,各个环节可以单独使用、分别评价。

中国的绿色评价始于绿色建筑评价。有关部门从建筑节能和减少污染出发,于2003年提出了“绿色奥运建筑评估体系”;2007年颁布了《绿色建筑标识管理办法》和《绿色建筑评价技术细则》;2014年住建部制定了GB/T 50378-2014《绿色建筑评价标准》,该标准由节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源利用、室内环境质量、施工管理、运营管理7类指标构成,每类指标均包括控制项和评分项(统一设置加分项),控制性指标的评价结果只有满足或不满足,评分项和加分项指标的评价结果为具体分值,7类指标的总分为100分;该标准将绿色建筑分为一星、二星、三星3个等级,绿色建筑须满足全部控制项要求,且每类指标的评分项得分不得小于40分;当总分达到50、60或80分时,相应地确定其为一星级、二星级或三星级绿色建筑。

2013年中国交通运输部公路科学研究所制定了《绿色低碳公路建设评价指标体系》,作为评估节能减排专项资金申请的依据,该评价体系考虑了节能、减排、节

水、节地、节材等因素,并从节能评估、绿色低碳水平、管理行为、项目前期、工程实施、其他 6 个方面,对公路项目的绿色低碳水平进行评价。但很明显,该评价指标体系还不是一个真正意义上的绿色公路评价标准。

在绿色公路评价方面,云南省曾于 2013 年出台了地方标准 DB 53/T 449—2013《绿色公路评价标准》,其评价指标体系由控制项、自选项和加分项构成,控制项为必须达到的要求,共计 11 个指标,分值为 30 分;自选项有 5 大类 26 个指标,分值为 90 分,根据项目不同可以自行选择,对每个自选项赋予一定的分值(1~5 分);该评价标准允许特定项目设置加分项,但加分项总分为 10 分。在满足所有控制项要求后,根据自选项和加分项得分的高低确定公路绿色等级(分为金牌、银牌、铜牌和合格 4 个等级)。云南省出台的 DB 53/T 449—2013《绿色公路评价标准》是中国第一个关于绿色公路评价的地方标准,它全面参考了美国绿色公路评级系统(Greenroads, 2009),但其评价指标的层次结构不够清晰,难以实现对公路项目绿色水平的过程管理与控制。目前,有关部门正在加紧研制交通基础设施绿色评价标准(含绿色公路),从征求意见稿看,其评价思路和指标体系仍然较为杂乱,可操作性和指导性不强。

## 2 基于过程控制的绿色公路评价指标体系

### 2.1 评价系统特点与构建要求

绿色公路需要满足的条件和要求是多方面的,绿色公路评价属于多变量指标的综合性评价,是一个典型的多目标决策问题。由于公路在全寿命周期的不同阶段要实现的目标不同,绿色公路评价宜分阶段进行;分阶段和分层次构建评价指标体系,不同层次的指标对应于不同的目标要求,各层次目标集合在一起构成总目标——绿色公路。绿色公路评价指标选取与系统构建须遵循系统性、科学性、可操作性和目标导向性原则,评价指标应体现公路与自然和谐共生的要求,突出绿色公路的全寿命和全要素特征。

从过程控制与管理的角度看,绿色公路由绿色设计、绿色施工和绿色养护 3 个部分构成。为便于管理者及时掌握公路项目在规划设计、建设施工、运营养护 3 个阶段所具有的绿色水平,可按照 3 个阶段的对应关系建立绿色公路评价的 3 个一级指标,即绿色设计、绿色施工、绿色养护,并分别构建其相应的二级评价指标。具体评价时,既可以分阶段进行评价,也可以将 3

个阶段合并起来进行总体评价。

借鉴国内外绿色建筑和绿色公路评价系统的合理成分,基于可持续发展原则和要求,将绿色公路各阶段的评价指标分为控制性指标、评分项指标和加分项指标 3 种类型。具体含义和要求如下:

(1) 控制性指标是绿色公路必须达到的基本要求,评价结果只有满足或不满足。只有在满足全部控制性指标要求的前提下,才能根据评分项和加分项指标得分的多少确定绿色公路等级;控制性指标不满足的项目不得申请绿色公路等级评定。

(2) 评分项指标是绿色公路等级评定的主要依据,可根据各项指标对公路建设可持续性影响的大小,赋予指标一定的分值(指标权重或分值分配可用层次分析法确定),各阶段评分项总分为 100 分。

(3) 加分项指标是为鼓励公路项目采用创新技术或措施而设置的自选指标;当项目大大超过了现行技术标准的要求,或拥有本标准尚未包含但能够促进公路可持续发展的成果(如获得国家或省部级奖项,或在环境保护、节能减排、管理服务等方面取得重大突破),此时申请评价方可以提出加分要求,经绿色公路评价机构和评审专家审查认可后,可以获得相应的加分值。各个阶段的加分项指标不得超过两项,总加分值不得超过 15 分。

### 2.2 评价指标体系构建

#### 2.2.1 “绿色设计”评价指标

将可持续发展理念融入到公路设计中,开展全寿命周期技术经济论证和环境影响评价,在满足公路使用功能的前提下,充分考虑公路项目在建设施工、运营养护阶段可能对环境、资源造成的影响而采取科学的设计措施,促进公路向更节能、更环保、更安全和更舒适的方向发展,这是绿色设计的内涵和基本要求。在绿色设计阶段,所有控制性指标应符合 JTG B01、JTG B03、JTG B04 和 JTG D20 等标准、规范的规定和要求;“绿色设计”阶段的评分项指标共 14 项,总分为 100 分(表 1);加分项指标不得超过 2 项、总加分值  $J_1$  不超过 15 分。

#### 2.2.2 “绿色施工”评价指标

在保证公路施工质量和安全的前提下,通过新材料、新工艺、新技术和新设备的应用与管理创新,最大程度地保护生态环境、提高资源利用率、降低能源消耗和减少污染物排放,这是绿色施工的内涵和基本要求。在该阶段,所有控制性指标应符合 JTG F40、JTG TF50、JTG F60 的规定,并按照 GB/T 50430 的要求

进行施工质量控制。“绿色施工”阶段的评分项指标共14项,总分为100分(表2);加分项指标不超过2项,总分值 $J_j$ 不超过15分。

表1 “绿色设计”阶段评价指标

一级指标	指标属性	指标名称	最高分值
绿色设计	控制项	环境影响评价	满足且达标
		地质灾害评价	满足且达标
		公路安全性评价	满足且达标
		水土保持方案	满足且达标
		土地预审专题	满足且达标
	评分项	土地资源占用	8
		土石方平衡与利用	8
		功能性路面使用	8
		桥梁耐久性设计	8
		隧道节能与通风设计	8
		交通安全设施设计	7
		声、尘、水、气、光环保设计	7
		路域景观美学设计	7
		全寿命周期成本设计	7
		公路绿化设计	7
		生态连接与栖境保护设计	7
服务区布设与功能提升	6		
智慧公路技术应用	6		
BIM技术应用情况	6		

表2 “绿色施工”评价指标

一级指标	指标属性	指标名称	最高分值
绿色施工	控制项	施工现场环境保护	满足
		环境污染预防	满足
		敏感水体保护	满足
		施工废弃物管理	满足
		安全生产制度	满足
	评分项	废旧材料与环保材料利用	8
		隧道施工弃渣处理	8
		施工节能减排措施	8
		拌和站建设及维护	8
		施工用地控制与表土保护	8
		施工节水、节电措施及成效	7
		生态修复与环境保护	7
		施工能耗监测与管理	7
		施工管理标准化程度	7
		施工质量管控措施	7
		施工安全监管措施	7
承包商质量保证	6		
智慧工地建设与噪声、扬尘控制	6		
施工中采用“四新”情况	6		

### 2.2.3 “绿色养护”评价指标

运用科学管理手段和先进检测、维修技术,在保证公路养护质量和运输安全的前提下,显著降低资源占用和能源消耗,减少环境污染、提高作业效率,实现公路长期高水平服役,这是“绿色养护”的内涵和基本要求。在该阶段,所有控制性指标应符合JTG H10、JTG H11、JTG H12和JTG H30的规定,并对危化品、突发事件等制定应对预案和管理制度。绿色养护阶段的评分项指标共12项,总分为100分(表3);加分项指标不超过2项,总分值 $J_y$ 不超过15分。

表3 “绿色养护”评价指标

一级指标	指标属性	指标名称	最高分值
绿色养护	控制项	运营养护机构及人员配置	满足
		养护管理信息化建设	满足
		桥隧安全监测系统建设	满足
		危化品与突发事件应对预案	满足
		宣传教育与日常通行管理制度	满足
	评分项	智能交通系统建设及应用	9
		可再生材料重复利用	9
		路面及沿线设施维护	9
		服务区污物处理与利用	9
		隧道照明通风智能控制	8
		建筑垃圾无害化处理	8
		可再生能源利用	8
绿色服务区建设与管理	8		
人性化服务及水平	8		
声、光、气、尘等污染防治	8		
节能照明光源使用	8		
加气站和充电桩设置	8		

### 2.3 指标权重确定

为合理确定绿色设计、绿色施工、绿色养护3个一级指标对公路绿色等级确定的影响大小,可用层次分析法计算确定指标权重(分别用 $Q_x$ 、 $Q_j$ 、 $Q_y$ 表示其分值),主要方法步骤如下:

#### (1) 构造层次分析结构

建立绿色公路评价指标层次分析结构:目标层为绿色公路,一级指标(准则层)为绿色设计、绿色施工、绿色养护。

#### (2) 构造判断矩阵

对于 $n$ 个元素来说,根据1~9标度表,通过两两比较重要性获得判断矩阵 $C=(C_{ij})_{n \times n}$ ,其中 $C_{ij}$ 为

因素  $i$  和因素  $j$  相对于目标的重要值。

### (3) 层次单排序

① 计算判断矩阵每一行元素的乘积  $M$ ：

$$M = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

② 计算  $M$  的  $n$  次方根：

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (2)$$

③ 对向量  $\bar{W}$  进行归一化：

$$\bar{W} = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \quad (3)$$

④ 计算判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$ ：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW} \quad (4)$$

(4) 进行一致性检验,其一致性指标按式(5)计算(平均随机一致性指标  $RI$  值可参照相关资料选取)

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

(5) 计算一致性比率  $CR$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

当  $CR < 0.1$  时,可认为层次单排序结构有满意的一致性。通过问卷调查,可获得专家组对绿色公路 3 个一级指标权重的判断,并据此构造判断矩阵。其权重计算结果与检测结果如表 4 所示。

表 4 绿色公路评价一级指标权重计算结果及  $CR$  检测

一级指标	绿色设计	绿色施工	绿色养护	权重
绿色设计	1	3/2	3/2	0.428 6
绿色施工	2/3	1	1	0.285 7
绿色养护	2/3	1	1	0.285 7
检测结果	$\lambda_{\max}, CI = 0, CR = 0$			

由表 4 可知:判断矩阵通过了一致性检验,各指标权重向量  $W$  计算结果为:  $W = [0.428 6, 0.285 7, 0.285 7]^T$ 。在具体应用时,为简化计算和提高效率,一般可将上述层次分析法计算得到的绿色设计、绿色施工、绿色养护 3 个一级指标权重取整为  $[0.4, 0.3, 0.3]$ (符合一般性认识和直观判断)。

## 3 绿色公路等级评定标准与方法

### 3.1 评价指标分值确定

评价指标确定后,还需要研制评价指标的分值计

算办法。由于控制性指标属强制性要求和引导性标准,评价时只考察其是否满足,不确定具体分值;加分项指标看重的是项目的技术创新性和社会认可度,其加分指标(加分理由)和分值由申请评估方自行提出,经评估机构和专家审核认定后即可获得加分;评分项指标主要考察项目绿色发展目标的完成情况,需要根据项目实际情况逐一核定指标得分值。限于篇幅,在此仅给出各阶段控制性指标的评价标准(表 5),评分项指标的评分标准及办法予以省略。

### 3.2 绿色等级评价得分值计算

绿色公路评价既可分阶段进行绿色设计、绿色施工、绿色养护评价,也可以合并起来进行整体性评价。在满足各阶段全部控制性指标要求的前提下,根据项目评分项和加分项指标得分的多少,计算确定公路项目的绿色等级评价得分,具体为:

项目绿色等级评价得分 =  $\sum$  阶段权重  $\times$  (阶段评分项指标得分 + 阶段加分项指标得分)。根据前述一级指标权重计算结果,绿色设计、绿色施工、绿色养护 3 个一级指标的权重分别为 0.4、0.3、0.3,则:

项目绿色等级评价得分 =  $0.4 \times (Q_s + J_s) + 0.3 \times (Q_j + J_j) + 0.3 \times (Q_y + J_y)$

### 3.3 绿色公路等级划分标准

为了评定不同公路的绿色等级,在满足全部控制性指标要求的前提下,根据项目评分项和加分项指标的得分情况,将各阶段绿色评价得分进行加权求和,计算出公路项目的绿色等级评价得分。参照美国绿色公路评级系统(The Greenroads Rating System, 2009)和云南省绿色公路评价标准(DB 53/T 449-2013)的成熟做法,结合中国高速公路建设发展实际,将绿色公路划分为合格、三星级、四星级、五星级共 4 个等级,并提出绿色公路等级划分标准(参考值)如表 6 所示。

## 4 结论

该文提出的绿色公路评价标准一般以单条公路为评价对象,既可以分阶段进行(分别评价设计、施工、养护阶段的绿色水平),也可以在公路建成后进行整体性绿色等级评定。一般设计阶段的绿色评价在项目施工图设计完成后进行,如评价发现设计与绿色公路发展目标存在较大差距时,可及时进行设计修改和完善,以提高公路建设项目的绿色设计水准;施工阶段的绿色评价一般在项目交工验收后进行;公路项目的整体性绿色评价则须在项目通过工程质量验收并投入使用两

表5 绿色公路评价控制性指标的评价标准

指标	控制性指标	评价标准与要求
绿色设计	环境影响评价	满足 JTG B03《公路建设项目环境影响评价规范》要求,出具通过主管部门审批的《环境影响报告书》
	地质灾害评价	对公路建设项目进行地质灾害影响评价,出具通过主管部门审批的《项目地质灾害危险性评估报告》
	公路安全性评价	对公路项目进行安全性评价,并提交安全性评价报告,评价过程应符合 JTG/T B05 的规定
	水土保持方案	出具通过主管部门审批的《项目水土保持方案》
	土地预审专题	公路建设用地符合《公路工程项目建设用地指标》要求,出具主管部门审批的《土地使用证明》
绿色施工	施工现场环境保护	制定有施工现场环境保护方案,施工期间的环境噪音符合 GB 12523 规定,并对产生较大噪音的施工机械采取降噪措施。施工材料堆放和加工场地选址合理,施工现场及驻地产生的垃圾进行无害化处理,可回收材料的回收率达 60% 以上
	环境污染预防	制定有环境污染防治方案并采取有效的预防措施,确保施工材料、建筑垃圾、油污、废水等未对农田、植被及地表水体造成污染
	敏感水体保护	制定有水源和敏感水体保护方案,在敏感水体区域施工时,对全部施工废水和生活污水都经过了处理并达到 GB 8978 的排放标准要求
	施工废弃物管理	制定有施工废弃物管理办法,经业主批准后对全部施工废弃物或拆除物进行无公害处理
	安全生产制度	制定有安全生产管理制度,对公路桥梁、隧道、挡土墙、高边坡等开展施工安全风险评估,出具相应的安全评估报告
绿色养护	运营养护机构及人员配置	成立专门的运营养护和监管机构,配备了专业人员并制定有运营养护方案和考核评估办法
	养护管理信息化建设	能借助信息化手段和网络管理平台,实现对公路运营养护管理相关信息的动态收集、实时发布、实时监控和统计分析
	桥隧安全监测系统建设	建立桥梁、隧道等大型结构安全管理监测系统,并对桥隧性能及运营情况进行实时跟踪监测
	危化品与突发事件应对预案	制定公路突发事件应急预案,具备特重大交通事故、极端天气、易燃易爆等特殊物品运输安全事故处理能力和条件
	宣传教育与日常通行管理制度	定期开展绿色公路宣传教育活动,通过宣传教育和日常运行管理制度建设,使公众了解绿色公路的理念和技术,增强公众的绿色环保意识

表6 绿色公路等级划分标准(参考值)

合格	三星级	四星级	五星级
满足所有控制性要求,评价得分 60~69	满足所有控制性要求,评价得分 70~79	满足所有控制性要求,评价得分 80~89	满足所有控制性要求,评价得分 90 分及以上

年后进行。申请评估方应按规定提交完整的评估材料,并由交通运输主管部门委托评估机构进行评定,根据评估结论对相应公路项目授予“X 星级绿色公路”称号。

#### 参考文献:

- [1] 曾伟,赵建雄,王朝辉,等.绿色公路评估现状与发展[J].筑路机械与施工机械化,2016(11).
- [2] Federal Highway Administration( FHWA). Sustainable Highways Self-Evaluation Tool[M]. FHWA, U. S. De-

partment of Transportation, Washington, D. C., 2011.

- [3] GB/T 50378-2014 绿色建筑评价标准[S].
- [4] 王随原,徐剑,黄颂昌.绿色公路建设与评价[M].北京:人民交通出版社,2017.
- [5] DB 53/T 449-2013 绿色公路评价标准[S].
- [6] 王晋,吉光,马军.绿色低碳公路评价指标体系与评价方法研究[J].公路,2014(7).
- [7] 张生瑞,邵春福,严海.公路交通可持续发展评价指标及评价方法研究[J].中国公路学报,2005(2).