

文章编号:1671-2579(2013)06-0357-05

沥青路面生命周期分析类型的合理选择

杨博^{1,2}, 张争奇², 张慧鲜¹

(1. 河南省交通规划勘察设计院有限责任公司, 河南 郑州 450052; 2. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室)

摘要: 沥青路面建设会对环境产生负面影响, 针对目前缺乏沥青路面环境影响量化分析方法的局限, 该文结合国内外研究现状, 分析并推荐采用生命周期分析方法进行沥青路面环境影响量化分析。从节能减排的角度, 根据分析规模、分析结果的准确性等评价指标, 对比分析了基于流程的生命周期分析、输入-输出生命周期分析以及综合性生命周期分析 3 种不同类型的生命周期分析方法的优缺点, 推荐采用基于流程的生命周期分析方法进行沥青路面节能减排量化分析。研究成果有助于为中国沥青路面节能减排量化分析研究提供方法基础。

关键词: 沥青路面; 环境影响; 生命周期分析; 选择

大规模的沥青路面建设随之带来了不可忽视的环境问题, 在沥青路面建设过程中, 不仅要消耗大量的资源和能源, 而且普遍使用的热拌生产工艺会排放出大量的 CO_2 等温室气体。国外调查资料显示, 美国每年大约需要投入 3.5 亿 t 的原材料用于全国公路的建设与养护, 而修建一条 1 km 长的标准双车道沥青路面, 则需要消耗大约 7.0×10^6 MJ 的能源; 据中国的调查统计, 2004 年中国公路交通行业的 CO_2 排放量约为 2.9 亿 t, 预计到 2015 年和 2030 年将分别达到 5.22 亿 t 和 11.08 亿 t。沥青路面建设产生的能耗高、温室气体排放量大等环境问题已引起国内外的广泛重视。

针对目前全球性能源紧张以及气候变暖的趋势, 考虑沥青路面建设对节能减排的贡献, 中国在沥青路面建设领域逐步开始推广具有低碳环保特征的温拌技术和废旧材料循环再利用技术。但是目前中国对沥青路面节能减排技术的实施效果还停留在定性分析阶段, 难以提供定量的数据支持, 无法科学合理地分析评价不同沥青路面技术的节能减排效果, 也无法有效地分析确定能耗与排放程度最为严重的环节, 从而难以优选能耗与排放最小的沥青路面技术, 也难以从节能减排角度对现有沥青路面生产和施工技术的合理优化提供指导。

为此, 该文根据现有沥青路面环境影响量化分析方法, 从节能减排的角度, 介绍生命周期分析方法的特点, 并结合沥青路面实际, 从分析规模、分析结果准确性等角度, 对比分析 3 种生命周期分析类型的优缺点,

推荐适用于沥青路面节能减排量化分析研究的生命周期分析类型。

1 生命周期分析的特点

沥青路面建设过程中能源消耗与气体排放问题, 其实质是沥青路面建设过程对环境的影响问题。目前, 国内外进行环境影响量化评价的方法主要是生命周期分析 LCA(Life Cycle Assessment)。生命周期分析, 通常又称之为生命周期评价或生态平衡分析, 是综合考虑资源、能源消耗与环境影响的一种量化分析评价方法。根据国际标准化组织 ISO 14040 标准的定义, 生命周期分析是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及潜在环境影响的汇编和评价。

根据 ISO 14040 标准定义的技术框架, LCA 分析评价过程一般分为目的与范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释 4 个部分(图 1), 上述 4 个部分之间相互联系、不断反复。其中:

(1) 目的和范围的确定是 LCA 评价的第一步, 是随后清单分析、影响评价和结果解释的出发点和立足点, 因此, 必须明确 LCA 研究的目的与范围, 并使之适合于应用的意图。

(2) 清单分析 LCI 包括数据的收集和计算程序, 目的是对产品系统的有关输入和输出进行量化。可以根据 LCA 的目的和范围需要, 依据量化的数据做出解释, 也可以将其作为 LCA 影响评价输入的组成部

收稿日期:2013-05-15

作者简介:杨博, 男, 博士。E-mail: yangbochd@yeah.net

分。

(3) 影响评价是 LCA 研究中理解和评价产品潜在在环境影响的大小和重要性的阶段。

(4) 结果解释是 LCA 评价中根据规定的目的和范围要求对清单分析和(或)影响评价的解雇进行归纳以形成结论和建议的阶段。

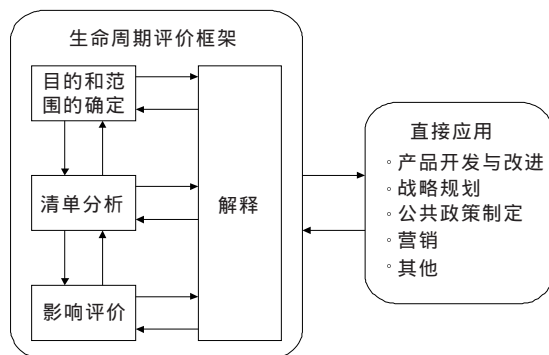


图 1 LCA 评价过程

根据生命周期分析的主要步骤,生命周期分析与其他环境影响评价方法相比,具有系统性、全面性、透明性、科学性、开放性和灵活性的特点。

(1) 系统性:生命周期分析考虑了产品的整个生命周期,即从原材料的获取、能源和材料生产、产品的制造和使用,直至产品生命末期的处理以及最终处置。因此,通过这种系统性的观点,可以识别并可能避免整个生命周期各阶段或各环节的潜在环境影响。

(2) 全面性:生命周期分析考虑了自然环境、人类健康和资源的所有属性或影响因素,并将上述所有属性和因素进行全视角的考虑。

(3) 透明性:生命周期分析要求采用公开的数据,要求分析过程透明,要求在报告中详细说明数据来源和分析结果,保证了公众的知情权和分析结果的客观、公正。

(4) 科学性:生命周期分析要求以自然科学为基础,如果无法实现,则要求采用其他的方法或者参考国际惯例,如果上述要求均无法满足,则要求以价值选择为基础,从而可以保证分析评估结果的准确、科学。

(5) 开放性:生命周期分析方法是完全开放的,不存在知识产权保护问题。ISO 14040 标准中详细说明了生命周期分析方法的原则、组成以及分析过程;同时允许在上述标准框架下对生命周期分析方法进行补充和完善。

(6) 灵活性:生命周期分析的时间跨度和研究深度可以存在很大的不同,其时间跨度和研究深度可以

根据目的和范围定义的变化做出相应的调整,以满足不同阶段、不同要求的生命周期分析。

根据生命周期分析方法的特点,结合沥青路面建设和使用的实际以及节能减排量化分析的需要,该分析认为:生命周期分析系统性、全面性的特点可以充分考虑沥青路面生命周期各个阶段各种材料、能源消耗产生的环境影响;生命周期分析透明性、科学性的特点可以保证沥青路面节能减排量化分析方法和分析结果的可靠性、公正性;生命周期分析开放性、灵活性的特点可以充分考虑沥青路面建设和使用的特殊性,能够满足沥青路面节能减排量化分析的需要,有利于沥青路面节能减排量化分析的推广应用。

自从 1969 年美国可口可乐公司率先将生命周期分析用于饮料包装材料的环境影响以来,生命周期分析已广泛应用于国际社会的各个层次和领域。尤其是 20 世纪 90 年代以后,在国际环境毒理学和化学学会以及欧洲生命周期评价开发促进协会的大力推动下,生命周期分析 LCA 得到了快速的发展。国际标准化组织 ISO 已发布并正在制定 LCA 系列标准,世界上主要的工业国家和一些发展中国家均成立了本国或地区性的 LCA 学会,指导和推进材料及其制品产业的环境协调发展。

综上所述,生命周期分析 LCA 考虑了项目整个生命周期阶段,同时在量化环境影响方面具有很强的优势,尤其是近年来在世界和地区性研究组织的推动下正逐渐发展完善。为此,生命周期分析方法有利于从生命周期的视角,研究沥青路面建设过程中的能耗和气体排放,可以作为沥青路面节能减排量化研究的有效分析方法。

2 生命周期分析类型的对比分析

ISO 14040 标准虽然给出了生命周期分析的通用框架,但是并没有给出开展生命周期分析的具体方法和步骤。国内外研究人员在 ISO 规范的基础上,研究并提出了开展生命周期分析的具体方法,目前常用的生命周期分析方法主要有:基于流程的生命周期分析法(Process LCA)、输入—输出生命周期分析法(I—O LCA)以及综合性生命周期分析方法(Hybrid LCA)。

2.1 基于流程的生命周期分析法(Process LCA)

基于流程的生命周期分析方法以产品系统的生命周期流程为基础,根据生命周期分析目的和范围的定义,将生命周期流程进一步细化为若干次一级流程,并

具体地研究次一级流程中,每一个阶段的能耗和排放量,最后将各个阶段的能耗和排放量相加,就可以得到产品系统生命周期能耗和排放的总量。

以沥青路面建设为例,沥青路面建设可以粗略分为沥青混合料生产、运输以及沥青混合料施工等若干环节(图 2)。其中,沥青混合料生产又可以进一步细分为矿料生产、沥青生产和沥青混合料拌和环节,每一

个环节均存在能耗与排放。根据生命周期分析方法,计算每一个环境的能耗与排放量,求和就能得到沥青混合料生产阶段的能耗和排放量。沥青混合料施工阶段的分析与此相同。得到沥青混合料生产、运输和沥青混合料施工阶段的能耗和排放量后,再次求和就能得到沥青路面建设生命周期能耗与排放量。

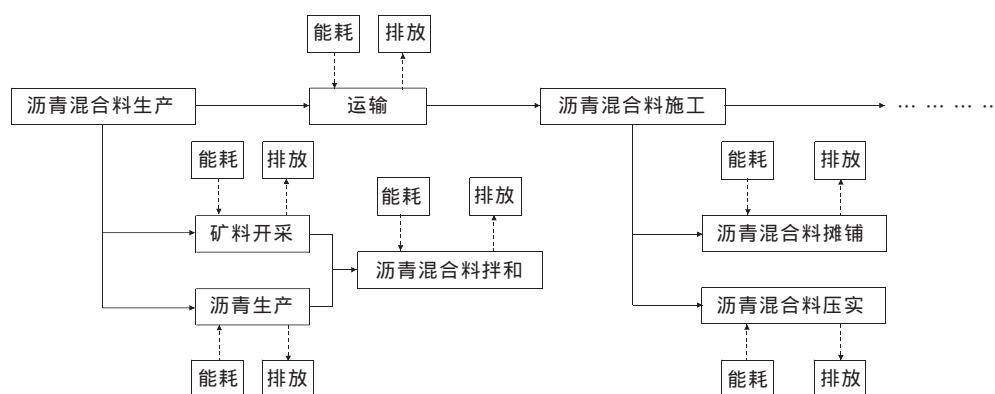


图 2 基于流程的 LCA 方法示意图

由图 2 可以发现,基于流程的生命周期分析具有重视细节、直观简单的特点:

(1) 基于流程的生命周期分析方法尤为注重产品的生命周期细节,由于构成产品生命周期流程的每一个环节都需要进一步细化,因此其分析结果更为准确。

(2) 基于流程的生命周期分析方法比较直观、简单,不需要太过于复杂的理论基础,仅需要对生产工艺流程进行合理准确的划分即可。

但是,在实际应用中,如果分析处理不当,基于流程的生命周期分析方法的上述优点就会变为该方法的致命缺陷:

(1) 分析规模难以控制。以图 2 所示的沥青路面建设流程示意图为例,在沥青混合料生产阶段,如果需要进一步细化,则沥青生产阶段又可以进一步细分为石油提炼、石油开采等次一级流程,而其中的每一个次一级流程又可以进一步细分。因此,对流程和细节的注重,有可能将一个简单的分析问题变得异常复杂。

(2) 收集、分析数据量大。在流程逐步细化的过程中,由于每一个流程都需要收集和分析大量的数据,这就会导致数据收集和分析的工作量突然增加,极大地影响了生命周期分析的效率。

(3) 数据完整性要求高。基于流程的生命周期分析按照工艺流程逐步分析,每一阶段都要求具有足够的数据支持,如果其中某一阶段缺失了部分数据,必须

找到相关的类似数据进行替代分析,这势必影响到分析结果的准确性。

(4) 边界条件误差难以排除。针对分析规模难以控制、收集和分析数据工作量大的问题,基于流程的生命周期分析需要人为设置分析的边界条件以排除一些不必要的次一级流程,从而简化分析问题,并减小分析的工作量。但是这种简化的处理方法难免带来一些分析误差,影响分析结果的准确性。

根据上述分析,基于流程的生命周期分析通常适用于工艺流程简单、相关数据完整、系统边界易于确定的情况。

2.2 输入—输出生命周期分析法(I—O LCA)

输入—输出生命周期分析以 Wassily Leontief 在 1936 年提出的经济投入—产出模型为基础,在经济投入—产出分析模型中增加了环境影响输入和输出分析,其主要分析步骤与经济投入—产出模型一致。因此,可以认为输入—输出生命周期分析方法其实质是经济投入—产出分析方法与生命周期理念在环境影响量化分析过程中的一种有机结合。

传统的经济投入—产出分析模型作为一种经典的分析方法,在经济预测、经济控制以及政策模拟分析等方面应用广泛,该模型将经济划分为若干部门分类结构,通过编制投入—产出表并建立相应的数学模型,反映经济系统各个部门(产业间)相互依存的平衡关系。

典型的经济投入—产出分析模型如表 1 所示,表中的行、列、中间量以及总量之间均存在一定的平衡关系。
列平衡关系:中间投入+增加值=总投入。

行平衡关系:中间产出+最终产出=总产出。
总量平衡关系:总投入=总产出。
中间量平衡关系:中间投入合计=中间产出合计。

表 1 经济投入—产出分析表

产出部门 i	投入部门 j					中间产出	最终产出	总产出
	1	2	3	...	n	O	F	X
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	...	X_{1n}	O_1	F_1	X_1
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	...	X_{2n}	O_2	F_2	X_2
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	...	X_{3n}	O_3	F_3	X_3
...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}	...	X_{nn}	O_n	F_n	X_n
中间投入 I	I_1	I_2	I_3	...	I_n			
增加值 V	V_1	V_2	V_3	...	V_n		GDP	
总投入 X	X_1	X_2	X_3	...	X_n			

根据经济投入—产出分析表收集统计相关数据并依据上述平衡关系,就可以计算得到计划产出一定量的产品所需要的原材料、燃料以及劳动力等投入要素的数量。事实上,经济生产活动中的投入要素通常还包括了一定数量的环境资源,而其产出中除了产品以外,还包括一些污染废物。因此,经济生产与自然环境有着密切的关系,在经济投入产出分析模型中增加环境影响因素,当已知最终产品的计划数量和最终需求领域的废物产生量,代入上述模型就可以定量地分析生产单位产品所需要的环境因素投入以及由此产生的废物总量。这种在经济投入—产出模型中考虑环境因素的分析方法,即输入—输出生命周期分析方法。

与基于流程的生命周期分析方法相比,输入—输出生命周期分析方法可以根据各个经济部门间投入和产出因素的流动计算生命周期各个环节的能耗和排放,而且不需要人为地设置系统边界,因此可以消除基于流程的生命周期分析方法的边界条件误差。但是,这种将经济划分为若干部门分类结构的分析方法也存在一定的缺陷。以沥青路面建设生命周期分析中沥青生产阶段的输入—输出生命周期分析为例:

(1) 在沥青路面建设过程中,为了保证原材料的质量稳定性,通常沥青都固定采用一家企业生产的产品。由于沥青是石油工业的产品之一,沥青生产的输入—输出生命周期分析数据以整个石油工业的数据为基础,但是不同沥青生产企业的技术和设备水平存在差异,沥青生产过程中的能源消耗和气体排放水平也

不尽相同,因此采用整个行业的评价水平进行分析不可避免地会出现高估或低估实际水平的情况。

(2) 沥青是石油工业的产品之一,除此以外还有汽油、柴油等燃料油以及蜡等其他产品。由于众多产品均属于同一个经济部门,因此在进行输入—输出生命周期分析时需要合理地分配不同产品的环境影响比例。在输入—输出模型中,通常采用单位成本区别沥青与其他石油加工产品,这种方法假定在给定的经济部门中,产品的单位成本与环境影响有非常好的正相关性。但是,由于这种假设与实际情况差异较大,在分析评价过程中不可避免地会产生误差。

3 由于输入—输出生命周期分析方法的上述缺陷,一般较少单独采用该方法进行生命周期分析。但是,输入—输出生命周期分析方法消除了基于流程的生命周期分析方法的缺陷,因此,输入—输出生命周期分析方法通常用于补充并完善基于流程的生命周期分析方法。

2.3 综合性生命周期分析方法(Hybrid LCA)

根据前文分析,基于流程的生命周期分析方法和输入—输出生命周期分析方法均有各自的优缺点,如表 2 所示。Hendrickson 等人研究认为,基于流程的生命周期分析方法和输入—输出生命周期分析方法具有互补的特点,两种方法相结合能够得到更加准确有效的分析结果。综合性生命周期分析方法就是以充分发挥上述两种生命周期分析方法的优势,并避免其缺陷为原则,将上述两种生命周期分析方法有机结合而形成的一种全新的生命周期分析方法。

表 2 Process LCA 和 I-O LCA 方法的优缺点

	基于流程的生命周期分析	输入—输出生命周期分析
优点	详尽的具体流程分析 可用于产品的环境影响比较 可用于工艺流程改善分析	经济视角的综合分析 可用于敏感性分析 采用公开数据,结果具有可再现性
缺点	系统边界设置过于主观 分析耗费的时间和成本较大 难以用于新的工艺流程	采用行业平均数据难以反映特殊性 难以分析具体的工艺流程 分析数据具有一定的不确定性

是否采用综合性生命周期分析方法主要依赖于分析项目的自身约束条件以及相关数据的有效性(可获得性),通常情况下,综合性生命周期分析中主要以基于流程的生命分析为主,而采用输入—输出生命周期分析作为补充,以获得完善的分析结果。其中,基于流程的生命周期分析主要用于分析绝大多数直接和影响比较显著的流程,而输入—输出生命周期分析主要用于分析间接和一些相关的延伸流程。因此,采用综合性生命周期分析方法就能够充分发挥基于流程的生命周期分析方法详细、专一的特点和输入—输出生命周期分析方法广泛、综合的特点,同时能够消除单独使用

上述两种方法的种种缺陷。但是,相比较于基于流程的生命周期分析方法,综合性生命周期分析方法出现的时间不长,该方法在沥青路面生命周期分析中的应用还不是很多。

以沥青路面建设过程的能耗和排放问题的综合性生命周期分析为例,可以采用输入—输出生命周期分析方法分析沥青混合料生产阶段中沥青混合料原材料生产流程的能耗和气体排放,而采用基于流程的生命周期分析方法分析混合料拌和、运输、摊铺以及压实等阶段的能耗和气体排放(图 3)。

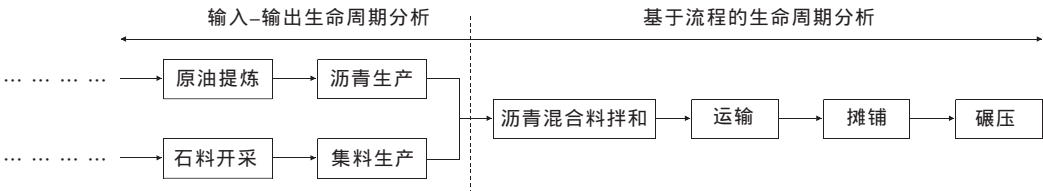


图 3 沥青路面建设过程综合性生命周期分析示例

综上所述,目前用于生命周期分析的 3 种方法各有优缺点,在沥青路面生命周期分析研究中,需要结合沥青路面的特点,采用合理的分析方法。Nicholas 在路面生命周期分析方法的综述研究中,总结了 1996—2010 年有关沥青路面生命周期分析的文献,其中 15 篇文献中有 11 篇采用了基于流程的生命周期分析方法,有 2 篇采用了输入—输出生命周期分析方法,有 2 篇采用了综合性生命周期分析方法,可以说基于流程的生命周期分析方法在沥青路面生命周期分析中有着最为广泛的应用。而且,基于流程的生命周期分析方法得到了国际毒理学和化学学会(SETAC)等国际和地区性组织的大力支持,联合国、欧盟以及其他国际和地区性组织所建立的生命周期分析数据库也大多以基于流程的生命周期分析方法为基础。此外,虽然沥青路面建设过程包含的内容较多,但是相对而言沥青路

面建设流程可以认为是一个前后衔接的线性过程,整个过程相对比较简单,相关数据有国际和地区性组织数据库的支持。因此,该文推荐采用基于流程的生命周期分析方法开展沥青路面节能减排量化分析。

3 结论

(1) 生命周期分析具有系统性、全面性、透明性、科学性、开放性和灵活性的特点,是目前常用的工业产品环境影响量化分析方法,可以用于沥青路面环境影响的量化分析。

(2) 基于流程的生命周期分析通常适用于工艺流程简单、相关数据完整、系统边界易于确定的情况;输入—输出生命周期分析通常用于补充并完善基于流程的生命周期分析;综合性生命周期分析综合了以上两

种生命周期分析的优点,但是还需进一步完善,应用并不多。

(3) 目前沥青路面生命周期分析中采用基于流程的生命周期分析最为常见,具有国际和地区性组织数据库的支持,且适合于沥青路面的线性建设过程,因此该文推荐采用基于流程的生命周期分析用于沥青路面节能减排量化分析。

参考文献:

- [1] Santero Nicholas Joseph. Pavements and the Environment: A Life—Cycle Assessment Approach[D]. Berkeley: University of California, Berkeley, 2009.
- [2] Lee Jincheol, Edil Tuncer B., Benson Craig H., et al. USE of BEST in Highways for Green Highway Construction Rating in Wisconsin [A]. Weinstein N. Green Streets and Highways 2010: An Interactive Conference on the State of the Art and How to Achieve Sustainable Outcomes[C]. ASCE, 2010: 39—39.
- [3] 尚春静, 张智慧, 李小冬. 高速公路生命周期能耗和大气排放研究[J]. 公路交通科技, 2010(8).
- [4] ISO 14040, Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Frameworks[S]. Geneva: International Standard Organization, 2006.
- [5] GB/T 24040—2008 环境管理—生命周期评价—原则与框架[S].
- [6] GB/T 24044—2008 环境管理—生命周期评价—要求与指南[S].
- [7] Lenzen Manfred. Errors in Conventional and Input—Output—Based Life—Cycle Inventories[J]. Journal of Industrial Ecology, 2000, 4(4): 127—148.
- [8] Hendrickson C. T., Lave L. B., Matthews H. S. Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input—output Approach[M]. Washington, D. C.: Resources for the Future, 2006.
- [9] Treloar GJ, Love Ped, Faniran Oo, et al. A Hybrid Life Cycle Assessment Method for Construction[J]. Construction Management & Economics, 2000, 18(1): 5—9.
- [10] Santero Nicholas J., Masanet Eric, Horvath Arpad. Life—Cycle Assessment of Pavements. Part I: Critical review[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2011, 55(9—10): 801—809.

云南:昆明绕城公路西北段正式通车 明年四环将实现闭合

2013年11月8日,昆明绕城公路西北段正式通车,主线长55.27 km,成为昆明四环的重要一段。南绕城段明年建成后四环将实现闭合。

昆明绕城高速公路西北段于2010年7月开工建设,主线经桃花村—沙朗—大波村—八宝山,采用双向六车道高速公路标准,设计速度100 km/h,有7处互通式立交。该路段的建成,对昆明西北过境交通流的分离,缓解昆明主城区交通压力具有积极的作用。该路段为经营性收费公路,收费期限为30年,基本费率标准为普通路段:客车0.50元/(车·km)、货车0.09元/(t·km),500 m及以上桥梁隧道路段:客车1.10元/(车·km)、货车0.187元/(t·km)。一辆家用轿车走完全程34元,一辆8至19座客车走完全程61元。

据了解,该路段是国家高速公路网(“7918”网)中南北纵向线重庆—昆明高速公路中昆明—磨憨联络线的重要组成部分,是国家西部开发省际通道兰州至磨憨公路的重要路段,是云南省“9210”干线公路骨架网(9条放射线、2条环线、10条联络线)的环线之一,也是昆明绕城高速公路网“两环四射”的外环之一,对推进昆明北部地区的开发和实施“一湖四环”、“一湖四片”的战略目标,促进昆明成为现代化的国际性城市,增强中心城市的综合实力具有十分重要的意义。

摘自:《中国公路网》2013.11.10