

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2014.09.016

公路工程安全生产危险源管理方法研究

马海涛¹, 姜云², 王云海¹

(1. 中国安全生产科学研究院, 北京 100012; 2. 四川省交通厅工程质量监督局, 四川 成都 610041)

摘要: 为了系统辨识公路施工危险源, 针对公路施工危险源的定义和分类方法, 以物的不安全状态和人的不安全行为, 区分为固有危险源和施工工序危险源。划分施工工序为7个分析单元, 编制了公路建设工程危险源普查的基本清单1774项。基于作业条件危险性评价法(LECD法)提出了施工安全控制要点和公路施工重大危险源辨识目录。从政府、业主、监理和施工单位等不同层面提出了危险源控制技术对策, 提出了公路建设工程危险源管控信息化管理框架建议, 对防止和减少公路工程安全事故的发生, 保证公路工程安全施工具有指导意义。

关键词: 交通工程; 危险性评价法; 危险源管理; 安全生产; 重大危险源

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2014)09-0095-06

Management Method of Hazards for Work Safety in Highway Construction

MA Hai-tao¹, JIANG Yun², WANG Yun-hai¹

(1. China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100012, China; 2. Bureau of Engineering Quality Supervision, Sichuan Provincial Transport Department, Chengdu Sichuan 610041, China)

Abstract: In order to systemically identify the hazard source in highway construction, according to the definition and classification of highway construction hazards, based on unsafe state of object and unsafe behavior of people, the hazards are divided into inherent hazards and construction process hazards. The construction process is divided into 7 analytical units, and the basic list of highway construction hazards, including 1774 items, is compiled. Based on work condition risk assessment method (LECD Method), the key points of construction safety control and road construction major hazard identification directory are put forward. From the levels of government, owner, supervision and construction company, and a information management system framework for highway construction project hazard control are put forward to prevent and reduce highway engineering safety accidents and ensure the safety of highway engineering construction.

Key words: traffic engineering; risk evaluation method; hazard source management; work safety; major hazard source

0 引言

我国在公路建设上取得了举世瞩目的成绩, 2012年末全国公路总里程已经达到423.75万公里^[1]。“十二五”期间, 我国交通基础设施仍将保持较快的发展速度, 预计公路总里程将达到450万公里^[2](图1), 将超越美国, 跃居世界第一。

与此同时, 随着山区、高原、冻土、沙漠、跨海等地区公路工程的兴建, 超长隧道、大跨桥梁、高陡边坡等公路设施的施工难度和建设风险也在不断增大。2003年5月11日, 贵州三穗县三凯高速公路施工驻地, 突然发生山体滑坡, 造成35人被埋。2005年12月22日, 四川都汶高速公路董家山隧道发生瓦斯爆炸, 造成44人死亡11人受伤。2007年8

收稿日期: 2013-06-26

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAK09B06)

作者简介: 马海涛(1979-), 男, 河北武安人, 博士。(math@chinasafety.ac.cn)

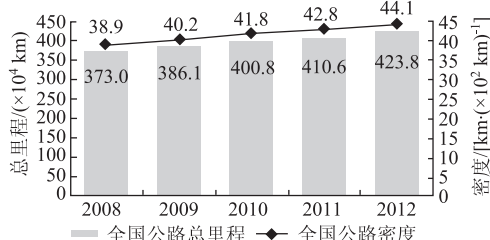


图1 2008—2012年全国公路总里程及公路密度

Fig. 1 Total mileage and density of highway in China from 2008 to 2012

月13日,湖南湘西凤凰县凤大公路堤溪段大桥突然垮塌,造成64人遇难。这些令人触目惊心的事故频频发生,使公路建设工程施工安全问题越来越受到政府和社会的密切关注。

科学研究表明,导致生产事故的根源是危险源,为了有效预防和控制公路施工事故的发生,需要对公路工程安全生产危险源进行系统性分析和梳理,是保证公路施工安全的一项重要工作。

1 公路施工危险源研究进展

危险源研究最初是从工业安全生产中提出来的,一些欧洲国家较早地提出了重大事故危险源控制的问题。OHSAS18001:2007中对危险源定义为:可能造成人员受伤或疾病等伤害的根源、状态或行为,或他们的组合。我国《职业健康安全管理体系规范》GB/T28001—2001和《重大危险源辨识》GB18218—2000也分别对危险源和重大危险源规范了定义。重大危险源分级是对重大危险源进行科学监控和管理的基础^[3]。我国陆续颁布实施的《安全生产法》、《国务院关于加强安全生产工作的决定》等都对重大危险源申报、登记、分级提出了明确的要求。国家交通运输部针对交通工程施工的特点和危险源的分布,将公路工程危险源定义为在公路施工过程中可能造成人员伤亡、财产损失的施工作业活动、危险物质、不良自然环境条件等。

公路施工重大危险源,主要指公路施工中风险等级较高的危险源,是对公路建设工程安全生产进行分级、分类科学监管的基础。在建设工程中,最早在2003年11月颁布的《建设工程安全管理条例》中关于危险性较大的分部分项工程,与重大危险源具有相类似的内涵。2004年12月原国家建设部发布的《危险性较大工程安全专项施工方案编制及专家论证审查办法》进一步明确了危险性较大的工程及

其划分标准,但该办法在2009年5月被住建部《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》取代,并规定仅适用于房屋建筑和市政基础设施工程,而不适用于公路建设工程。2007年3月交通部颁布的《公路水运工程安全生产监督管理办法》第二十三条规定了危险性较大的工程10个大类,但没有给出亚类和划分标准。2010年4月交通部发布的《关于在初步设计阶段实行公路桥梁和隧道工程安全风险评估制度的通知》,对桥梁施工的5个亚类和隧道施工的4个亚类划分给出了划分标准,但该文件重点侧重工程设计角度,尚未从安全管理角度建立公路施工的重大危险源体系。近几年,云南、河南、浙江等省交通建设管理部门也发布了危险性较大的分部分项工程或重大危险源的定性或定量管理办法,对公路建设行业重大危险源体系的形成起到了推动作用。四川省交通管理部门自2008年开始委托国内安全研究机构着手公路施工危险源的研究,先后在3条高速公路,总长206 km建设区段,开展了为期4 a的危险源辨识与重大危险源管理应用研究,通过对各施工现场1774项不同危险源的辨识与分析,建立了以重大危险源管控为核心的管理模式。研究成果将在下文予以介绍。

2 公路施工危险源分类和结构体系

主流的危险源分类方法包括根源危险源和状态危险源、第一类危险源和第二类危险源、固有型危险源和触发型危险源、固有危险源和变动危险源、物质性危险源和非物质性危险源等。此外,《企业职工伤亡事故分类》GB6441—1986将危险源及危险造成的事故分为20类,《生产过程危险和有害因素分类代码》GB/T13861—1992将生产过程中的危险因素与有害因素危险源分为六大类、37个小类。公路施工项目危险源有其自身特点。项目施工风险受自然环境和工程地质条件等施工环境制约^[4],例如:修建山区公路比平原公路危险性高、跨海大桥比旱桥危险性高等,具有固有(物质性)危险源的明显特点;同时项目中涉及的工艺工序等施工组织和管理对施工安全性有重要影响,例如相同外部环境下钻爆施工比盾构施工危险性高、人工挖孔桩比机械钻孔桩施工危险性高,具有状态(非物质性)危险源的特点。因此,公路工程危险源,可按照工程固有危险源、施工工艺危险源两大类进行划分。

工程固有危险源包括自然环境危险源、工程地质条件危险源和施工作业环境危险源。常见的自然

环境危险源包括气象灾害、地质灾害和地震灾害，其中气象灾害包括：大风、暴雨、雷电、高温和低温等危险源，其危险性等级可依据气象部门相关标准划定；工程地质条件危险源包括山体滑坡和坍塌、山洪和泥石流、隧道突水、气体突出和采空区塌陷、岩爆、冒顶等，其危险性等级可依据地质灾害部门相关标准划定；施工作业环境危险源的常见种类为：噪声、粉尘与气溶胶、火灾和爆炸、电伤害、特种设备等，其危险性等级可依据劳动保护相关标准划定。

施工工艺危险源主要与施工工法和工序相关。如果将施工项目整体看作一个工作系统,则系统可以进一步划分为:施工准备、路基工程、路面工程、桥梁工程、隧道工程、交通设施和其他工程 7 个子系统。再按照各子系统不同的施工工艺和各工艺中不同的施工工序,编制了 7 个单项工程的危险源辨识结构图,构建了公路施工工艺危险源辨识基本框架。由于 7 个图幅占用版面较大、此处仅以隧道施工为例,如图 2 所示。

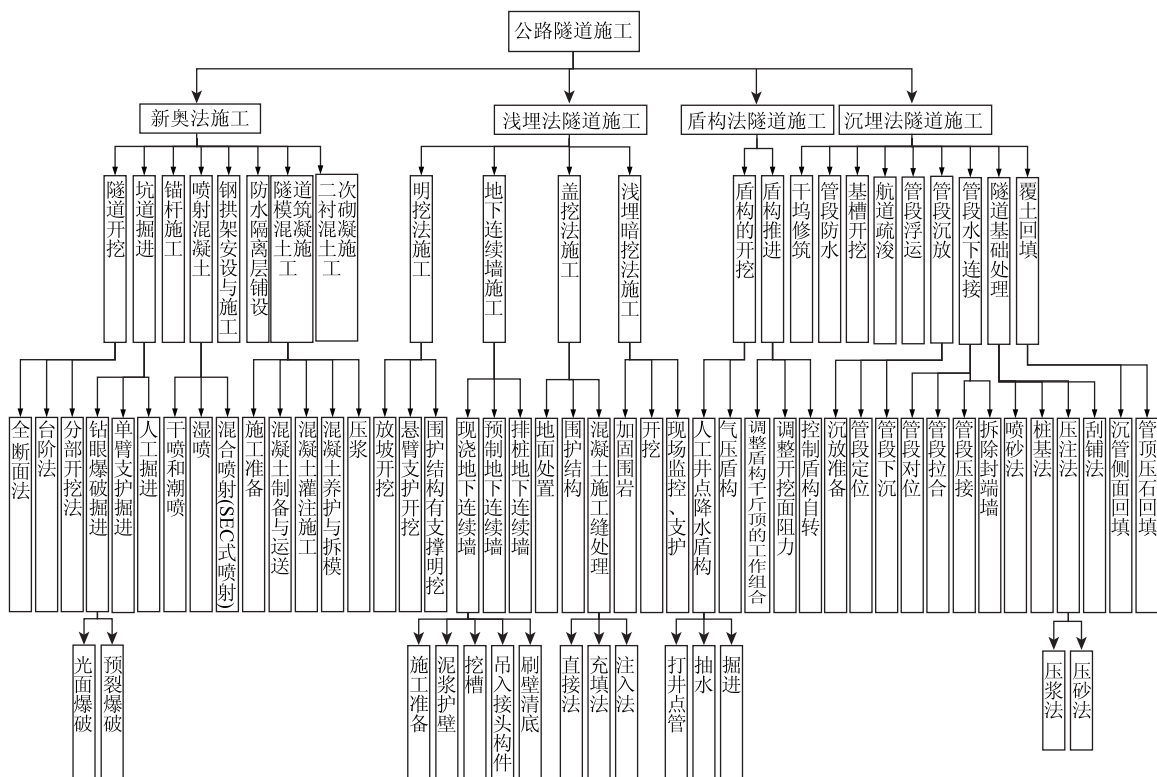


图2 公路隧道施工工艺危险源辨识结构图

Fig. 2 Hazards identification structure of highway tunnel construction

3 公路施工工艺危险源辨识

3.1 施工工艺危险源普查清单

根据施工工艺危险源分类单元,按照划分的危险源辨识结构图、编制了危险源普查基本清单 1 774 项,对公路工程各施工工序中可能存在的危险源进行分类辨识。本文仅列举普查清单中施工准备和路基工程子系统的 12 个作业活动危险源辨识项为例,如表 1 所示。

3.2 作业条件危险性评价

公路施工工艺危险源的等级采用作业条件危险性评价法进行划分。对于一个具有潜在危险性的作

业条件, K. J. Graham 和 G. F. Kinnly 提出, 影响危险性的主要因素有 3 个, 分别是 L (事故发生的可能性)、 E (人员暴露于危险环境的频繁程度)、 C (一旦发生事故可能造成的后果)。给三种因素的不同等级分别确定不同的分值, 再以三个分值的乘积 D 来评价作业条件危险性的大小, 即:

$$D = L \times E \times C_{\circ} \quad (1)$$

这种评价方法的特点是简便,可操作性强,有利于对存在的大量危险源情况进行快速分析^[5]。本文结合某高速公路施工的实际情况,按照职责分工,组织了包括项目部、监理、班组及工人在内的全员共计40余人,依托公路施工工艺危险源普查清单,

表1 公路建设施工工艺危险源普查基本清单示例

Tab.1 Basic list sample of investigated hazards in highway construction

分部工程/分项工程/ 工序/作业活动			危险源	可能导致的 事故类别
施工 准备	材料	准备	易燃易爆品仓库无安全防护措施和警示标志	火灾/火药爆炸
			易燃易爆品仓库内使用违规电源、灯具	火灾/火药爆炸
	临时建筑	驻地	临时建筑使用不合格材料	坍塌
			施工驻地有滑坡、泥石流、崩塌等潜在威胁	坍塌
	施工便道		施工便道与现有道路接线和弯道处、陡坡、岔道位置无警示标志和警示灯	车辆伤害
路基 土石 方工程	土方工程	人工挖运	开挖土方的工人之间安全距离不够	物体打击
			不按自上而下的顺序开挖,挖神仙土,撬神仙石	坍塌
			外电架空线路附近开沟槽时无防止电杆倾倒措施	触电伤害
			土方开挖非热管道与埋地电缆之间的距离小于0.5 m	触电伤害
			坡面上松动的土、石块未及时清除	物体打击
			在危石下方作业、休息和存放机具	物体打击
			开挖作业与装运工作面未错开,上下双重作业	物体打击

运用作业条件危险性评价法 (LECD), 在充分考虑危害事件的危害后果和可能性的基础上, 对各项不安全状态进行打分赋值, 开展辨识活动, 共收回有效评价清单 40 份。将参与危险性评价的业主、监理、施工技术员和工人, 分为: 管理人、检验人、技术人和操作人, 四种评价主体类型。对每份评估清单按评价主体类型进行 LEC 值的平均统计。采用层次分析法^[6] (Analytic Hierarey Proeess, AHP) 赋予各类型评价主体打分分值权重, 以提高危险源危害等级评估的准确性。

列出各类型评价主体的判断矩阵 A :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 & 4 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 1 \\ 1/2 & 3 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

经一致性检验, 最大特征值 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^4 \frac{(AW)_i}{nW_i} =$

4.020 6。则计算一致性比例 $C \cdot R = \frac{C \cdot I}{R \cdot I} = \frac{0.0069}{0.89} = 0.0077 < 0.10$, 检验合格。因此, 确定四种类型评价主体的权重 W_i , 管理人: 检验人: 技术人: 操作人 = 0.1:0.5:0.3:0.1。得出各类型的权重值后, 利用下式计算综合 L 、 E 、 C 值:

$$\begin{cases} L = - \sum_{i=1}^4 \bar{L}_i \times W_i \\ E = - \sum_{i=1}^4 \bar{E}_i \times W_i \\ C = - \sum_{i=1}^4 \bar{C}_i \times W_i \end{cases} \quad (3)$$

根据式 (1) 计算综合风险值 D , 再根据 LECD 法判定准则^[7] (见表 2), 划定各项危险源的风险等级, 见表 3。

表2 LECD 法判定准则与危险源风险等级

Tab.2 Determination criterion by LECD Method and risk grade of hazards

分数值	危险程度	风险等级
>320	极其危险, 不能继续工作	I
160~320	高度危险, 需要立即整改	II
70~160	显著危险, 需要整改	III
20~70	可能危险, 需要注意	IV
<20	稍有危险, 或许可被接受	V

4 公路施工危险源管理

4.1 重大危险源清单及其划分标准

将表 3 所示例的 1 774 项危险源中 8 项 I 级风险危险源和 44 项 II 级风险危险源的分部工程、分项工程和施工工序, 进行汇总分类, 再与工程固有危险源、危险性较大的工程相对比, 参照相关行业标准, 编制了公路施工重大危险源清单, 共 7 大类, 34 亚类, 见表 4。

4.2 公路施工危险源管控方法

安全监管的实践证明, 对于重大危险源进行定期检测、评估、监控, 并制订应急预案是实现关口前移、重心下移的有效手段^[8]。实施公路施工危险源管控, 可以分别从政府部门、建设单位、监理单位和施工单位四个层面着手进行。

政府层面, 明确各级重大危险源管控级别。参

表 3 施工工艺危险源清单作业条件危险性评价表
Tab. 3 Evaluation table of work condition risk in list of hazards in highway construction

分部工程/分项工程/ 工序/作业活动				LECD 风险等级评价				风险等级
				L	E	C	D	
施工准备	材料	易燃易爆品仓库无安全防护措施和警示标志		1	3	40	120	Ⅲ
				1	3	15	45	Ⅳ
	临时建筑	临时建筑使用不合格材料		3	6	7	126	Ⅲ
		施工驻地有滑坡、泥石流、崩塌等潜在威胁		1	6	100	600	Ⅰ
	施工便道	施工便道与现有道路接线和弯道处、陡坡、岔道位置无警示标志和警示灯		3	6	7	126	Ⅲ
		开挖土方的工人之间安全距离不够		3	2	15	90	Ⅲ
	路基土石方工程	不按自上而下的顺序开挖,挖“神仙土”,撬“神仙石”		3	2	40	240	Ⅱ
		外电架空线路附近开沟槽时无防止电杆倾倒措施		3	2	7	42	Ⅳ
		土方开挖非热管道与埋地电缆之间距离小于 0.5 m		3	2	7	42	Ⅳ
		坡面上松动的土、石块未及时清除		3	2	3	18	Ⅴ
		在危石下方作业、休息和存放机具		3	2	7	42	Ⅳ
		开挖作业与装运工作面未错开,上下双重作业		3	2	3	18	Ⅴ

照国家安监总局 2005 年《关于规范重大危险源监督与管理工作的通知》,公路施工重大危险源可分为四级,并以此建立施工单位危险源自查与重大危险源分级上报制度,如表 5 所示。在此基础上,可以进一步建立重大危险源监督与检查制度、重大危险源销号制度。

建设单位层面,应掌握工程中可能引发较大事故的重点工序,以危险源管控提高工程安全生产管理水平。包括重大危险源监控专项经费制度、危险源监督检查制度、危险源目标管理制度、施工现场危险源公示制度。

监理单位层面,将施工安全监督与危险源管控

表 4 公路施工重大危险源清单
Tab. 4 List of major hazards in highway construction

分 类		划定标准
类别	亚类	
不良作业环境	强风天气	风力 $\geq$ 六级
	雷电天气	雷电危险度等级 $\geq$ 三级
	暴雨天气	12 h 累计降雨量 $\geq$ 50 mm
	浓雾天气	能见度 $\leq$ 200 m
	室外施工气温	$\geq 40^{\circ}$,或 $\leq -10^{\circ}$
施工布置	施工驻地、拌合场、预制场选址	地质灾害危险性评估结论等级属危险性大
	弃渣场	垂直高度 $\geq$ 30 m
	油库、炸药库、易燃易爆品材料库	全部
	变电站或发电机	≥ 10 kV 或临电总量 ≥ 50 kW
	特种设备	锅炉、压力容器、起重机械、场内车辆
路基工程	边通车、边施工	全部
	高边坡处理	垂直高度 $\geq$ 30 m
	滑坡体开挖与治理	全部
	悬浇、悬拼施工、转体、顶推施工	全部
	斜拉桥、悬索桥塔、索施工	全部
桥梁工程	跨公路、铁路、油气管线	全部
	拱桥拱圈施工	圬工跨径 ≥ 15 m、钢筋混凝土跨径 ≥ 30 m
	人工挖孔桩施工	深度 ≥ 15 m
	柱、墩、塔施工	垂直高度 ≥ 15 m
	基坑开挖施工	深度 ≥ 5 m
隧道工程	围堰施工	高度 ≥ 5 m
	起重设备安装工程	重量 ≥ 300 kN (非常规起重单件 ≥ 100 kN)
	竖井/斜井/反坡	竖井 ≥ 15 m,斜井 ≥ 100 m,反坡 ≥ 200 m
	水体下隧道,易突水隧道区段	全部
	采空区易坍塌隧道区段	全部
支撑工程	破碎围岩初期支护区段	GB50218—94 的Ⅳ类、Ⅴ类围岩
	岩爆和气体突出倾向隧道	初始应力场评估为高应力
	浅埋、偏压段隧道	覆跨比 ≤ 2 或 $35^{\circ} \leq$ 地表倾斜 $\leq 55^{\circ}$
	瓦斯隧道	所有穿越煤层地质条件的隧道
	隧道内有毒炮烟	爆破后通风不足 15 min
其他工程	混凝土模板支撑工程	高度 ≥ 8 m 或跨度 ≥ 18 m 或总荷载 ≥ 15 kN/m ² 或集中线荷载 ≥ 20 kN/m
	满堂脚手架、落地式钢管脚手架	单点集中荷载 ≥ 700 kg,或高度 ≥ 50 m
其他工程	爆破施工	C 级以上
	水下工程	水下焊接、水下混凝土浇注、水下爆破

表 5 公路施工危险源分级上报与管控制度

Tab. 5 Report and control system of highway construction hazards classification

风险等级	危险源等级	上报层级	管控对象
I	一级重大危险源	国家交通管理部门	重点工程
II	二级重大危险源	省级交通主管部门	重点分部 (表 4)
III	三级重大危险源	建设单位	重点工序
IV	四级重大危险源	监理单位	重点作业
V	危险源	施工单位	所有作业

相结合,重点控制工程中可能引发一般事故的重点作业安全。建立重大危险源的监理台账、危险源辨识与上报督促机制。

施工单位是公路工程施工和危险源控制的主体责任,应在工程各阶段对危险源进行辨识、自查、评估和上报,对二级以上重大危险源编制专项施工设计和应急预案,并有针对性地开展重大危险源控制措施教育和培训,对作业人员进行重大危险源安全技术交底。

4.3 公路建设工程危险源管控信息化管理框架

危险源管理是一个系统的动态过程。每一个危险源不是一成不变的,随着施工进度的展开,危险源的存在及分布、危险等级都会随之变化。每一项公路建设工程都有一定周期性,危险源管控对象也应随着施工进度的变化而不断发生变化。因此,建立公路建设工程危险源管控信息化的动态管理,开发信息化汇总处理平台,实现计算机自动评价体系,可以给管理人、检验人、技术人和操作人四类工程建设主体提供更好的辅助支持。公路工程危险源动态管理系统,就是在本研究提出的 1 774 项危险源排查清单及其风险等级标准的基础上,将普查清单数据话,将评估过程自动化,将管理流程程序化,以使得其在实际工程中发挥更好的作用。在进入危险工序前及时预报、评估风险等级、提醒注意事项,在工序完成时适时销号,并伴随工程实践的探索不断丰富完善危险源排查基础数据库。以省级公路建设危险源管控平台为例,提出系统设计框架如下:

系统按照三级管理、四类用户、五种对象、多个节点的管理模式进行设计。省交通质检部门为一级管理,承担全省交通建设项目重大危险源的检查、管理、分析、考核、决策;各建设项目指挥部作为二级部门,主要承担本线路内的危险源管理信息的监控、考核、上报、整改;各标段工程项目部、监

理部为三级管理,完成危险源的排查、信息上报、重点监督和对策落实。系统主要功能包括:企业信息库、危险源数据库、危险源辨识分级、危险源登记与上报、数据查询与动态分析。

系统的开发研制,采用模块化的设计方法和面向对象的编程技术。根据模型研究,整个系统按用户对象和使用功能不同分为:政府版、建设单位版、施工监理版,每个版本根据其使用者的需求而包含不同的功能。首先由上级管理层向下级管理层派发帐号,由施工单位在系统人机交互界面条件下,按照建设周期状态,在人员进场、施工准备、分项工程、验收等关键节点,提前开展危险源辨识,提供重点作业工序的施工参数,由系统自动给出风险等级并记入网络数据库。建设单位则可以通过系统,对全线各项目的施工进展及危险性较大的工艺进行掌握和提醒。政府单位则通过对上报的信息进行分析,确定重点监管环节,并实现安全检查、挂牌督办、统计报表、销号验收、隐患查询等危险源监管的程序化、信息化办公。

5 结论

本研究在危险源分类和辨识方法研究的基础上,通过对公路施工过程中不同分项、不同工序中可能存在的危险源分析,建立了公路建设工程危险源管控方法。在四川公路施工项目现场 4 a 的技术应用和实践中,各建设单位在危险源排查、上报与登记的基础上,尝试了以重大危险源过程控制为目标,以项目安全预评估、过程评估、专项评估、后评估为关键节点的各类施工安全评价;通过与当地气象部门合作,实施了气象环境危险源灾害天气预警;对地质灾害危险源开展施工驻地安全性评估;对工程地质条件危险源开展地质超前预报;对施工工艺危险源开展专项安全监理;建立了重大危险源动态监测监控系统等,为各项公路工程的安全建设提供了有力保障。

参考文献:

References:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2012 年公路水路交通运输行业发展统计公报 [R]. 北京: 中华人民共和国交通运输部, 2013.
- P. R. C. Ministry of Transport. Statistical Bulletin in Highway, Waterway Transport Development in 2012 [R]. Beijing: Ministry of Transport of P. R. C., 2013.

(下转第 107 页)