

文章编号: 0451-0712(2006)01-0074-06

中图分类号: TU411.91

文献标识码: A

堆积层滑坡野外模拟试验方案设计

周 中¹, 傅鹤林¹, 刘宝琛¹, 谭捍华², 罗 强², 龙万学²

(1. 中南大学土木建筑学院 长沙市 410075; 2. 贵州省交通规划勘察设计研究院 贵阳市 550001)

摘 要: 为了对降雨入渗诱发堆积层滑坡的失稳机理有较深的了解, 以及研究边坡性状随时间变化的一些重要特性, 选取上瑞高速公路贵州段 K85+650~K85+690 典型堆积层边坡进行人工降雨模拟试验和原位综合监测。该试验采用了全站仪、测斜仪、含水量计、土压力盒、蒸发皿、降雨计及自制野外人工降雨装置等一系列仪器。通过对边坡土体中的水分、孔隙水压力、应力状态、土体的变形以及地表位移的监测, 分析降雨在堆积层边坡的入渗规律, 探求边坡中岩土与水相互作用的机理。详细介绍了该试验方案设计及监测仪器的安装。

关键词: 堆积层滑坡; 模拟试验; 方案设计; 降雨入渗

堆积层滑坡是指发生在第四系及近代松散堆积层的一类滑坡, 其分布广、滑方量大且危害较为严重。堆积层边坡覆盖层的物质成份以土夹碎石或碎块石、碎石或碎块石夹土等土石混合物为主, 物质结构杂乱无章, 分选性差, 粒间结合力差, 透水性强^[1]。由于该类边坡坡体物质成份特殊、物理力学性质变化比较大及降雨入渗作用规律复杂等因素, 决定了该类滑坡具有不同于其他类型滑坡的特殊形成条件、变形位移特征及破坏滑移规律。对于土质滑坡和岩质滑坡机理, 国内外已做过许多研究, 并取得了成套的研究成果^[2,3]。对于土夹石滑坡, 由于它具有物质组成的复杂性、结构分布的不规则性以及试样的难以采集性等内在的独特性质, 给研究带来了极大困难, 取得的研究成果很有限^[1], 因此, 很有必要就堆积层滑坡进行专门的研究分析。

大量统计表明, 堆积层滑坡发生的主要诱发因素是降雨^[4~6]。贵州省三穗县三凯高速公路平溪特大桥 3 号墩上方的大滑坡就是在 2003 年 4 月及 5 月初连续的强降雨诱发下发生的, 造成使 35 人丧生的重大滑坡灾害。为了揭示降雨诱发下堆积层滑坡的形成演化规律, 选取上瑞高速公路贵州段晴隆隧道出口 K85+650~K85+690 段典型堆积层边坡, 进行人工降雨模拟试验和原位综合监测。试验过程中, 配合原位综合监测, 通过对边坡土体中的水分、孔隙水压力、应力状态、土体的变形以及地表位移的监

测, 分析降雨在土夹石边坡的入渗规律, 探求边坡中岩土与水相互作用的机理, 探明公路工程与边坡的相互作用关系, 确定滑坡发生的位移和加速度的临界值, 以及推断滑坡的形成机制、产生机理和预计边坡今后的稳定性发展趋势。

1 试验场地

1.1 场地选择

为了建立一个理想的测试研究场地, 在选择一个边坡做检测时要考虑许多因素。首先, 试验场地要与原型在地质地貌上有很好的相似性; 其次, 场地里面不能有人为破坏; 再次, 场地土质条件应在西南地区具有典型意义。正在建设的上海~瑞丽高速公路是一条联系我国东西部的大动脉, 对发展西南经济、改善交通、巩固边防、维护民族团结非常重要。在对上瑞高速公路贵州段镇宁~胜境关公路综合考察的基础上, 选定晴隆隧道口 K85+650~K85+690 典型堆积层地段作为试验场地, 如图 1 所示。选定 20 m×20 m 的试验区, 清除区域内的植被及其他杂物, 然后按 1:2.5 的坡比刷坡。为了防止大气降雨及试验区内的水渗透到周围土体后影响试验的精确性, 在试验区的上方用脚手架搭建了一个 30 m×30 m 的遮雨棚。

1.2 土体性质

为了弄清试验边坡土层的工程地质特性, 在仪

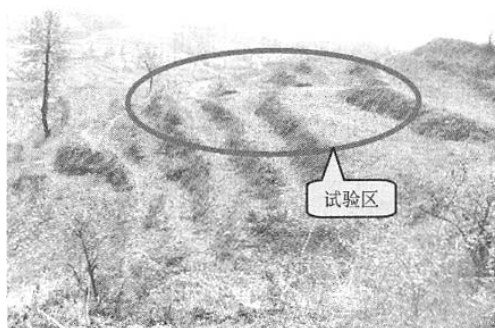


图1 试验区原貌

器埋设之前必须进行专门的钻孔勘察。为了确定土体性质必须进行相关的室内土工试验,主要包括容重、击实试验、比重、液塑限、颗粒筛分和渗透系数等内容。

2 量测手段和仪表的选择

2.1 体表位移观测

2.1.1 体表位移监测网的组成

变形监测的要点在于测定各监测点空间位置的变化规律(变化矢量及速率)^[7],故整个观测系统中包括4种类型的网点。

(1)水平基准点——设置在移动区外,是整个位移区变形观测的平面位置基准。

(2)高程基准点——设置在移动区外,是整个位移区变形观测的高程基准。

(3)观测站——设置在移动区外,其位置应不随时间而变化。

(4)变形监测点——设置在移动区内及滑体周围的非移动区,用以反映边坡的位移情况。

2.1.2 观测站的构成

观测站是用来架设仪器对监测点进行观测的永久性站点。实施监测时,需要以下仪器及附件。

(1)全站仪。

电子全站仪(Electronic Total Station),又称全站仪(General Total Station),由光电测距仪、电子经纬仪和数据处理系统组成。全站仪具有自动化程度高、测量速度快、观测精度高、性能稳定等优点,适用于加速变形至剧变破坏阶段的水平位移、垂直位移监测。该方法在长江三峡库区10多个监测体上得到普遍应用,监测工程成果可以直接指导防治工程施工。本试验中选用TC(R)405电子全站仪,测角精

度为5",测距精度为2 mm+2 ppm(IR单棱镜),测程为3 000 m。全站仪必须送国家计量局认定的光电测距仪检测中心进行严格检定,以便对仪器的精度及性能有确切的了解,以保证仪器正常工作。为保证全站仪能长时间观测,有条件时可配置固定电压的稳压电源一台。

(2)计算机。

(3)气象观测仪器。

(4)EFC—S校频仪。

(5)观测墩、坐凳及工作平台。

2.2 测斜观测

测斜装置由测斜管、测斜仪、数字式测读仪3部分组成,其中测斜管埋设固定于滑坡体内。量测时将测斜管仪伸入测斜管,并由引出的导线将滑坡体滑移量值瞬时反映在测读仪上。本试验中测斜仪采用Sinco便携式数显钻孔测斜仪,总精度为 ± 7.5 mm/30 m。侧斜管埋设后的保护一直是困扰着监测单位的难题之一,这关系到埋设测点的成活率。

2.3 应力量测(包括水平应力和竖向应力)

应力量测采用BY—1型钢弦式土压力传感器,其直径为180 mm,厚度为22 mm,量程为0~100 kPa。

2.4 土体含水量

土体含水量采用MP406型含水量计来量测,其规格为长215 mm、直径40 mm,通常有3个针头,可以压入或埋在土体中。

2.5 孔隙水压力

土体的孔隙水压力采用4500型振弦式孔隙水压力仪量测,其规格为长133.35 mm、直径25.40 mm,可埋在土体中或放置于测水管中。

2.6 降雨强度、地表径流及蒸发量的监测

为了记录降雨强度,在试验区内安装一个SJ1虹吸式雨量计。为了记录地表径流,试验区下方设置自制的集流槽并与集流桶相连。此外,在试验区外还安装一个蒸发皿记录日蒸发量。

主要监测仪器汇总于表1。

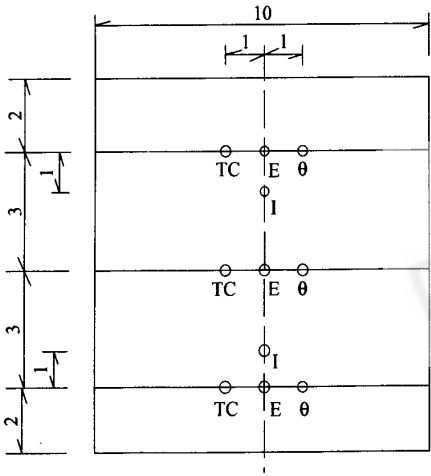
3 仪器的布置及埋设

试验区为10 m×10 m的坡体。本试验不考虑植被护坡的影响,在仪器埋设之前,区域内的杂草全部被铲除。计划埋设12个含水量计、12个吸力计(孔隙水压力仪)、6个土压力盒及2个测斜仪。土压力盒、含水量计和孔隙水压力计埋设之前必须进行严格的

表 1 监测仪器总览

序号	监测项目	仪器类型	数量	监测范围
1	孔隙水压力	4500 型孔隙水压力仪	12	0~1 500 kPa
2	含水量	MP406 型含水量计	12	0%~50%
3	土中应力	BY-1 型钢弦式土压力盒	6	0~100 kPa
4	降雨	自制人工降雨模拟	1	(10 m×10 m)/个
5	降雨强度	SJ1 虹吸式雨量计	1	0.05~4 mm/min
6	地表径流	集流槽和集流桶	1	N/A
7	水平位移	测斜管	2	±12
8	蒸发量	蒸发皿	1	N/A
9	全站仪	TC(R)405 型	1	5"/(2 mm+2 ppm)
10	计算机	便携式或 PC 机	1	

标定。仪器埋设之前需进行详细的工程地质勘察。工程地质勘察主要包括钻孔(11 个)、非扰动土取样(11 个)及钻孔降水头渗透试验(4 次)。11 个钻孔中有 3 个钻孔用来埋设含水量计,3 个钻孔埋设孔隙水压力仪,2 个钻孔埋设测斜仪,3 个钻孔埋设土压力盒。各仪器的埋设位置如图 2 所示,埋设仪器后的试验区如图 3 所示。



注:TC 为孔隙水压力探头;I 为测斜管;E 为土压力盒;θ 为含水量探头。
单位:m

图 2 观测断面仪器布置

3.1 含水量计

在边坡不同位置总共埋设 12 个含水量计,在图 2 所示上中下 3 个断面的 θ 钻孔内,各埋设 4 个含水量计,其埋设深度分别为 0.2 m、0.6 m、1.4 m 及 3 m,如图 4 所示。含水量计埋设时,先用钻机钻一个

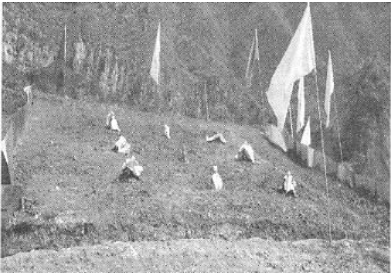
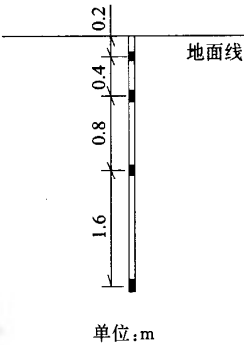


图 3 埋设仪器后的试验区

直径为 89 mm、深度为 3 m 的钻孔。钻孔完成后马上将第 1 个含水量计压于孔底(3 m 处),然后回填并压实钻孔至 1.4 m 深处,回填压实的土取自现场相同的土层。随后将第 2 个含水量计压于钻孔 1.4 m 深处。其他 2 个含水量计的埋设与第 2 个含水量计的埋设相同,分别埋设在钻孔 0.6 m 及 0.2 m 深处。为了防止雨水直接从钻孔入渗,在钻孔 2.2 m、1.0 m、0.4 m 及 0.1 m 深处增加了一层 200 mm 厚的粘土水泥浆。粘土水泥浆的重量配合比是:粘土:水泥:水=1:1:6。



单位:m
图 4 仪器埋深示意

3.2 孔隙水压力仪

在边坡不同位置总共埋设 12 个孔隙水压力仪,在图 2 所示上中下 3 个断面的 TC 钻孔内各埋设 4 个孔隙水压力仪,埋设深度分别为 0.2 m、0.6 m、1.4 m 及 3 m。孔隙水压力仪埋设开始时,要对其初始值进行量测。埋设时,先用钻机在坡顶钻一个直径为 114 mm 的钻孔,钻孔深度为 4 m。由于同一钻孔埋设了 4 个孔隙水压力仪,因而孔隙水压力仪之间必须有良好的滞水层。钻孔结束后用清水将孔底残渣清洗干净。钻孔清洗后,将灌浆管放入孔底,然后灌一定体积的粘土水泥浆至一定深度,粘土水泥浆的重量配合比是:粘土:水泥:水=1:1:6。待粘土水泥浆稳定约 5 h 后,将粘土球放入孔底至钻孔一定深度,然后

加水使粘土球膨胀一段时间(约3 h)。粘土球膨胀稳定后将孔隙水压力仪放入钻孔设计深度,然后向孔底放过滤砂至钻孔一定深度。接着再将粘土球放入钻孔至一定深度,然后加水使粘土球膨胀一段时间(约3 h)。至此,单个孔隙水压力仪的埋设基本完成。其余3个孔隙水压力仪的埋设方法同单个孔隙水压力仪埋设方法基本相同,只不过在最后一个孔隙水压力仪埋设结束后,在粘土球层与地面之间需加灌一层粘土水泥浆。

3.3 测斜仪

在人工边坡不同位置总共埋设2个测斜管,埋设于图2所示的I点。

测斜仪埋设时,先用钻机钻一个直径为114 mm的钻孔,钻孔钻入基岩约1 m。钻孔结束后,用清水将孔底残渣清洗干净。钻孔清洗后,将绑有灌浆管的测斜仪套管放入孔底中,且测斜仪套管的十字内槽应与边坡的开挖面平行,十字内槽的方向是通过罗盘确定的。另外,测斜仪套管内应注满清水以保持测斜仪套管的稳定。然后,通过灌浆泵向钻孔中灌粘土水泥浆,其重量配合比是:粘土:水泥:水=1:1:6。灌浆结束后,利用钻机将护壁套管拔出。

由于边坡的水平位移是通过便携式的手动测斜仪双轴探头量测的,测斜仪套管埋设结束数天后,应进行初始值量测。而通过双轴探头,还可以发现测斜管埋设后十字内槽方向与边坡开挖面方向不一致而引起的侧扭问题。

3.4 土压力盒

为了监测2个正交方向的水平土压力,试验区共布置3对振弦式土压力盒。有关文献表明:近坡脚处的土压力可能比较高。因此,如图2所示,埋设于试验区3个断面的E点,埋设深度均为1.2 m。在每一对土压力盒中,一个用来测纵坡向水平土压力,另一个测垂直土压力。

土压力盒埋设时,首先,用钻机钻一个直径为200 mm的钻孔,钻孔深度为1.2 m。钻孔结束后,用清水将孔底残渣清洗干净,然后将土压力盒放入孔底1.2 m处。放置时注意土压力盒的方向,当土压力盒在孔底的方向确定后,即刻回填200 mm厚的细砂。最后回填并压实钻孔至坡面处。回填压实的土取自现场相同的土层。压力盒的埋设应注意如下问题。

(1)埋设时,要求压力盒感压面朝向被测压力方向,且误差应小于 10° ,埋设位置也不允许有较大的

偏差。对结构表面压力测量的压力盒,感压面要与结构表面齐平,若做不到齐平,则宜凸不宜凹,并且压力盒与结构面要求刚性接触,紧密固定,以确保实测应力更加符合实际。

(2)压力盒埋设后回填时,填埋被测介质时要压实,以减小因周围介质与更远处原状介质的性质差异产生的二次匹配误差。

仪器埋设后需要近2周的平衡期,在此期间,坡面用地膜覆盖,以保持试验区含水量和基质吸力的相对稳定。

4 人工降雨模拟及监测

4.1 自制人工降雨模拟装置

仿照某研究所研制的SR型野外人工降雨模拟装置,自制了一个专门的人工降雨模拟装置。本装置包括水泵、水表、控制阀、水压表、喷头、主管、支管、两通管、三通管及四通管等,主管和支管由长为1 m或2 m的短管经两通管、三通管或四通管组装而成。通过调节控制阀可以产生多级降雨强度,本试验中设计的降雨强度为12.5 m/h。试验区的斜上方应修建一个5 m×4 m×2 m的蓄水池,作为降雨试验的水源。人工降雨模拟装置的示意图及效果图分别如图5和图6所示。

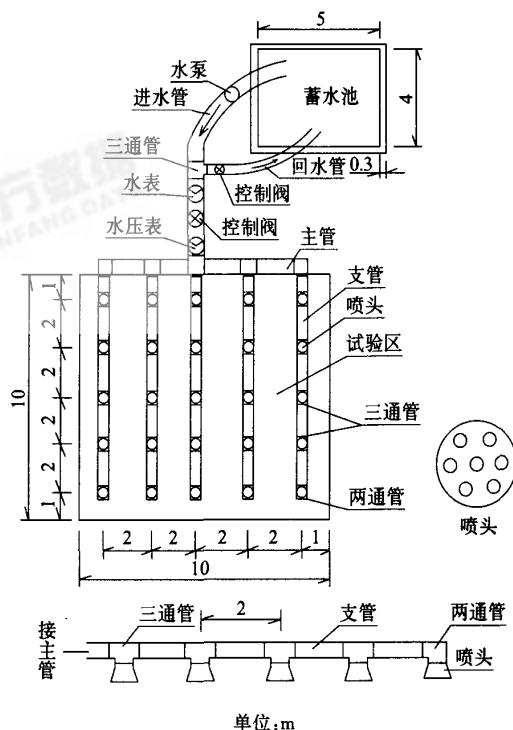


图5 人工降雨装置示意图



图 6 人工降雨模拟装置效果

4.2 人工模拟降雨的实施

本试验采用的降雨强度为 200 mm/d , 即试验区内的总降雨量为 20 t/d . 计划每降雨 2 h 停 1 h , 在停雨期间进行各项数据的监测, 每小时的降雨强度为 12.5 mm/h . 降雨期间由简易降雨观测装置记录实际的降雨强度, 记录开始出现地表径流的时间及每小时的地表径流量。

5 监测周期及频率

待埋设仪器与周围土体稳定平衡后(大约需要1周的时间), 测定各仪器的初始读数, 之后实施人工降雨一直到边坡滑塌为止, 每小时的降雨强度为 12.5 mm/h , 每降雨 2 h 停 1 h , 在停雨期间进行各项数据的监测。每 3 h 记录一次各测点的孔隙水压力、坡面裂隙、深部位移、地下水位、实际的降雨强度及地表径流量。若观测到边坡将要失稳, 应适当加大观测密度。

6 野外人工降雨模拟试验的实施顺序

野外人工降雨模拟试验的实施顺序如图 7 所示。

7 总结

本文方案是为研究我国广泛分布的土石混体堆积层滑坡的机制而设计的, 并已开始实施。现将堆积层滑坡野外模拟试验方案设计和仪器埋设过程中的有关经验总结如下:

(1) 仪器安装完成后, 至少要经过 2 周的平衡期, 在此期间必须注意仪器的防护, 防止人为破坏和自然力(如雷电、暴雨)破坏;

(2) 仪器安装之前应在实验室进行标定, 安装后应进行初始值的测定;

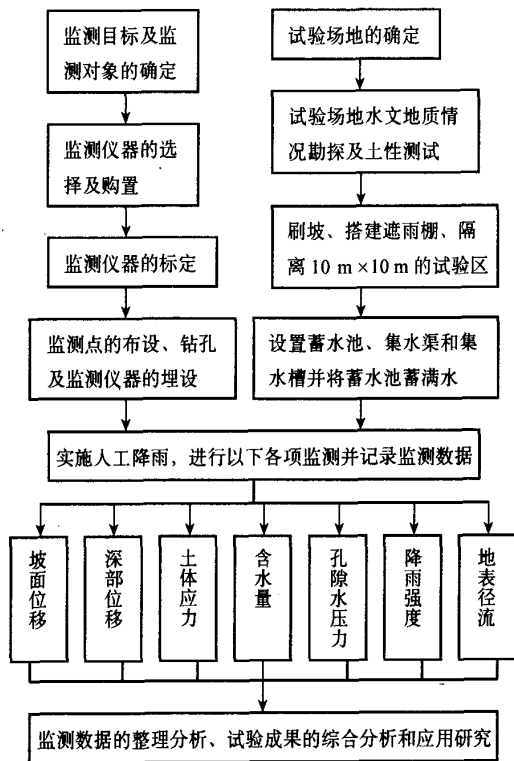


图 7 野外模拟试验的实施顺序

(3) 为了防止雨水入渗, 含水量计及吸力计埋设时应设有粘土水泥浆隔离层, 土压力盒的埋设要注意方向性和压实性;

(4) 监测过程中测读数据时应尽量做到同时性, 应使各个监测项目同时进行, 各测点每次监测的时间间隔不应过大, 这就要求现场的监测人员充分配合、技术熟练。

参考文献:

- [1] 油新华. 土石混合体的随机结构模型及其应用研究[D]. 北京: 北方交通大学, 2001.
- [2] 龚壁卫, 等. 膨胀土渠坡降雨入渗现场试验研究[J]. 长江科学院院报, 2002, (9).
- [3] 宋克强, 等. 黄土滑坡的模型试验研究[J]. 水土保持学报, 1991, (2).
- [4] 李爱国, 等. 香港某边坡自动监测系统的设计和安装[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, (5).
- [5] 詹良通, 等. 降雨入渗条件下非饱和膨胀土边坡原位监测[J]. 岩土力学, 2003, (4).
- [6] Ng C W W, Zhan L T, Bao C G, Fredlund D G, Gong B W. Performance of an unsaturated expansive soil slope subjected to artificial rainfall infiltration [Z].

[7] 刘兴权,等.露天矿边坡稳定性监测系统的方案设计[J].矿山测量,1997,(2).

[8] 陈文亮,唐克丽.SR型野外人工模拟降雨装置[J].水土保持研究,2000,(12).

Scheme Design of Field Simulation Test of Accumulation Landslide

ZHOU Zhong¹, FU He-lin¹, LIU Bao-chen¹, TAN Han-hua², LUO Qiang², LONG Wan-xue²

(1. Civil Architectural Engineering College, Central South University, Changsha 410075, China; 2. Guizhou Provincial

Institute of Planning, Prospecting and Designing of Communications Infrastructures, Guiyang 550001, China)

Abstract: In order to improve our understanding of the fundamental mechanism of accumulation landslide induced by rainfall infiltration and to clarify some important slope characteristics varying with time lapse, the artificial rainfall simulation tests and the field synthetic monitored method are carried out in a typical accumulation slope in the section K85+650~690 of Shanghai-Ruili Expressway of China. The experiment adopts a number of instruments, including electronic total station, inclinometers, soil moisture probes, earth pressure cells, evaporating dish, rain gauge, and self-manufacture field artificial rainfall simulator, etc. Through the monitoring of the soil moisture, the pore water pressure, the stress states, the soil deformation and the surface displacement, the rainfall infiltration law on accumulation landslide is analyzed, and the mechanism of the interaction between earth and groundwater investigated. The project design and installation of the instrumentation system are presented in detail.

Key words: accumulation landslide; simulation test; scheme design; rainfall infiltration

投 稿 须 知

《公路》月刊于1956年创刊,由中华人民共和国交通部主管,是中国公路行业出版最早的中央级技术类科学技术期刊,是公路运输类中文核心期刊,是交通部和全国优秀科技期刊。

1. 本刊刊登的内容以实用科学、实用技术为主,兼顾理论研究、科学实验与标准规范,还包括方针、政策、管理等内容,对技术水平领先、有创造性、适用推广价值较高的文章优先刊登。

2. 投寄本刊的稿件,可以是原稿,也可以是打印稿或E-mail文稿(作者必须与原稿核对无误),具体格式请参照本刊近期出版的《公路》杂志。稿件请作、译者自留备份,本刊概不退稿。若文章被采用,本刊即行寄刊和稿酬,不再另发“用稿通知”。

3. 文稿应有“摘要”和“关键词”。“摘要”为全文的浓缩,以提供文章内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地记述文章重要内容。“关键词”为“摘要”的浓缩,可选3~8个。

4. 文章中科技术语和名词,请用规定的通用词语。文章内容应符合国家标准和各种行业标准要求,应使用法定计量单位。公式、图表应清晰准确,符合国家标准要求。各级标题应明确、清晰。

5. 文章中摘编、引用他人作品,请遵守《著作权法》规定在参考文献中写出。

6. 文章著作权,除《著作权法》另有规定外,属于作者。署名作者的人数和顺序由作者自定。

7. 文章题目、摘要及关键词、作者的姓名和工作单位名称,要求作者翻译成英文。

8. 来稿请注明作者的真实姓名、作者本人的详细信息、工作单位和详细地址、电话。作者本人的详细信息,包括:学历、简历、身份证号码。请作、译者注意:来稿作者信息不详者,稿件一律不采用。

9. 所有来稿文责自负。

10. 投稿方式:

您可直接将稿件寄给本刊,地址见本刊“目次”页;您还可通过E-mail:paper@chn-highway.com投稿。通过E-mail投稿的作者请注意留下详细联系地址及电话,否则本刊不接受投稿。