1951—1996 年中国铁路泥石流灾害的时空特征

徐雨晴[1], 何吉成[2]

(1. 中国气象局 国家气候中心, 北京 100081; 2. 交通运输部 规划研究院环境 资源所, 北京 100028)

摘　要: [目的] 分析中国铁路泥石流灾害的分布特征及其变化规律,以期为中国铁路防灾减灾提供依据。[方法] 基于 1951—1996 年来的中国铁路泥石流灾害资料,对中国铁路泥石流灾害频次、时空分布特征及其变化进行分析。[结果] 1951—1996 年,全国铁路年均发生 17.5 次泥石流灾害,其中重大泥石流灾害 3.8次。1964,1979,1981 年是铁路泥石流灾害较为严重的年份。铁路泥石流灾害主要发生在 6—8 月,其中 8 月发生次数最多,占总数的 40.2%,6—8 月这 3 个月的灾害次数占总数的 90%以上。从铁路泥石流灾害的地域分布来看,主要分布在西南、西北和华北地区,发生泥石流灾害最多的线路是陇海线,其次是东川线、成昆线和宝成线。[结论] 泥石流灾害是各种内外因素综合作用的结果。除了暴雨、不良地形及地质条件客观原因之外,一些人为因素也往往是诱因。

关键词: 中国铁路; 泥石流; 时空特征; 自然灾害

文献标识码: A　　**文章编号**: 1000-288X(2016)01-0337-06　　**中图分类号**: P642.23, X43

文献参数: 徐雨晴, 何吉成. 1951—1996 年中国铁路泥石流灾害的时空特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 337-342. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.060

Spatial and Temporal Characteristics of Debris Flow of China Railways in 1951—1996

XU Yuqing[1], HE Jicheng[2]

(1. *National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing* 100081, *China*; 2. *Division of Environment and Resources Research, Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing* 100028, *China*)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the temporal and spatial distributions of debris flow of China railways in order to provide basis for debris disaster prevention of China railway. [Methods] Based on the debris flow disaster data of China railway during 1951—1996, the frequency, spatio-temporal distribution and their dynamic characteristics were analyzed. [Results] During the period of 1951—1996, there were 17.5 times debris flow disaster events each year in China railway, and among them, 3.8 times were serious debris flow disaster events. The most serious debris flow disaster events occurred in the year of 1964, 1979 and 1981. The debris flow disasters mainly took place from June to August(account for 90%), and August was the peak season(account for 40.2%). As to the regional distribution of debris flow disasters of China railway, the disasters mainly occurred in Southwest, Northwest and North China. The most disaster events occurred in Longhai line, and followed by the Dongchuan, Chengkun and Baocheng lines. [Conclusion] Debris flow disaster is the result of various internal and external factors. Except for factors such as heavy rain, bad terrain and geological conditions, human activities are the main causes for debris flow disaster.

Keywords: **China railways; debris flow; spatial and temporal characteristics; natural disasters**

泥石流是山坡松散物质在水力和重力条件下发生的地貌动力过程,中国是一个多山的国家,山地面积占国土面积的 2/3 以上,是泥石流多发地区。铁路是中国国民经济的大动脉和大众化交通工具,在国家

收稿日期: 2014-08-21　　**修回日期**: 2014-10-14

资助项目: 中国气象局"气候变化专项"(CCSF2011-14)

第一作者: 徐雨晴(1977—),女(汉族),湖北省浠水县人,博士,高级工程师,主要从事气候变化及其影响以及生态系统过程研究。E-mail: xuyq@cma.gov.cn。

通讯作者: 何吉成(1976—),男(汉族),湖北省十堰市郧西县人,博士,副研究员,主要从事交通运输行业环境、能源、自然灾害、温室气体和大气污染物排放等方面的研究。E-mail: jichenghe@hotmail.com。

综合交通运输体系中处于骨干地位,作为重要的交通基础设施,中国铁路每年承担了大量的生产、生活物资运输任务,也是世界上运输任务最为繁忙的铁路。作为山区一种常见的自然灾害,泥石流对中国山区铁路危害十分严重,严重影响和威胁铁路的正常运营和行车安全。中国铁路泥石流灾害以成都铁路局最为严重,集中在成昆线[1-3]和宝成线[4]。国内在铁路泥石流的形成原因[2,4-6]、发育规律[7]、预报[8]和区划[3,9]等方面做了大量的研究,但对多年来中国铁路泥石流的影响程度、频次和时空分布规律等方面研究较少,本研究在分析中国铁路泥石流灾害的线路分布、月际和年际分布特征及其变化规律的基础上,提出铁路运输行业应对措施,以期为保障中国铁路正常运营和增强铁路运输行业的防灾减灾能力提供依据。

1 数据来源与说明

本研究基于铁路泥石流灾害书籍资料来获取研究数据,重点关注有工点位置记录的铁路泥石流灾害事件。需要说明的是,本文铁路泥石流灾害资料属于各铁路局工务段铁路维护、抢修统计的行业记载资料,1996年以前的记载资料较为完整和详细,但1996年以后的资料就较为缺少和零乱。作者也查阅了1996年以后的逐年铁道年鉴,但年鉴中对当年的铁路泥石流灾害情况介绍得简单笼统,没有线路、时间、位置、里程桩号等具体信息,无法用于分析。因此,在资料涵盖的时段上,本研究主要集中在1951—1996年,信息主要来自《中国铁路自然灾害及其防治》[10]《中国气象灾害大典:综合卷》[11]《交通气象灾害》[12]等资料。

2 1951—1996年中国铁路泥石流灾害的时空特征

2.1 铁路泥石流灾害的致灾形式与实例

泥石流是介于流水与滑坡之间的一种地质作用,具有爆发突然、来势凶猛、能量强大、破坏性强等特点[13]。泥石流是中国山区铁路的常见灾害,其中暴雨是引发泥石流的主要外动力,对铁路行业造成威胁的泥石流分为3种:泥流型、水石型和泥石型。山区铁路多沿河谷布线,线路两侧分布着植被覆盖低、松散物质丰富的坡面或沟槽,暴雨引发的泥石流携带巨大的冲击力,直接冲毁铁路轨排,剪断桥梁墩台,推走或砸毁支梁,淤堵桥涵,淤灌隧道,淤埋线路、行车设施和车站等,甚至淤埋列车和造成列车颠覆和脱轨。如1981年7月9日成昆线利子依达沟特大泥石流,泥石流将沟口铁路大桥冲毁,使经过此地的442次旅客列车颠覆,人员死亡达360多人,中断行车16 d,成为铁路运输史上罕见的泥石流灾难[6]。

2.2 铁路泥石流灾害的时空特征分析

2.2.1 *铁路泥石流灾害的年际变化* 从铁路泥石流灾害的年际分布来看,在1951—1996年期间,全国铁路共发生了泥石流灾害事件771次,年均发生17.5次。20世纪50年代共发生90次,占9.1%;60年代共发生134次,占17.4%;70年代发生了171次,占22.2%;80年代共发生347次,占45.0%;90年代共发生29次,占3.8%(图1)。这表明在泥石流灾害发生频次上,20世纪80年代最多,其次是70年代,90年代最少。从逐年事件次数变化上看,共出现了5个峰值年份,分别为1959,1964,1979,1981,1985年。从单年发生次数上看,铁路泥石流灾害年发生次数在20次以上的年份共有13个,其中20世纪50年代有1个,为1959年的24次;60年代有1个,是1964年的29次;70年代有3个,分别是1974,1978和1979年;80年代最多,共有8个。铁路泥石流灾害年发生次数在50次以上的年份有2个,分别是1979年和1981年,其中1981年多达127次(图1)。

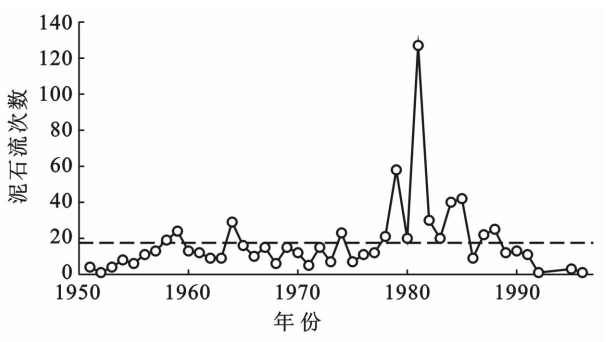


图1 铁路泥石流事件发生次数的年际分布

铁路重大泥石流灾害事件是指造成铁路建筑损坏,或中断行车12 h以上,或人员伤亡5人以上,或经济损失200万元以上的泥石流事件,它表明泥石流事件对铁路运输造成了较为严重的影响。从铁路重大泥石流灾害事件的年际分布来看(图2),在1951—1996年期间,全国铁路共发生重大泥石流灾害事件169次,年均3.8次。20世纪50年代出现了8次,占4.7%;60年代出现了29次,占17.2%;70年代出现了48次,占28.4%;80年代出现了68次,占40.2%;90年代出现了16次,占9.5%。这表明在泥石流灾害的危害程度上,20世纪80年代最为严重,其次是70年代,50年代最轻。从重大泥石流次数逐年变化上看,共有5个峰值年份,分别为1960,1964,1979,

1981,1991 年,这表明这 5 个年份铁路泥石流灾害造成的危害是所在年份前后一段时期内最为严重的。从单年重大泥石流次数上看,发生 5 次以上重大泥石流的年份共有 12 个,其中 20 世纪 60 年代有 2 个,分别是 1960,1964;70 年代有 4 个,分别是 1974,1977,1978,1979 年;80 年代有 4 个,分别是 1981,1983,1984,1985 年;90 年代有 2 个,分别是 1990 和 1991 年。年发生重大泥石流次数超过 10 次的年份有 2 个,分别是 1979,1981 年,分别达到 15 和 34 次(图 2)。

从重大泥石流灾害事件占泥石流灾害总数的比例来看,在 1951—1996 年期间,全国铁路泥石流灾害事件中重大泥石流灾害的平均比例为 22%。20 世纪 50 年代的比例较低,仅为 9%,60 年代为 22%,70 年代上升至 28%,80 年代又降至为 20%,90 年代到达最高,为 55%。从逐年的比例变化情况来看,1952,1960,1971,1977,1978,1991,1995 年这 7 个年份,重大泥石流灾害事件的比例较高,均超过了 40%。

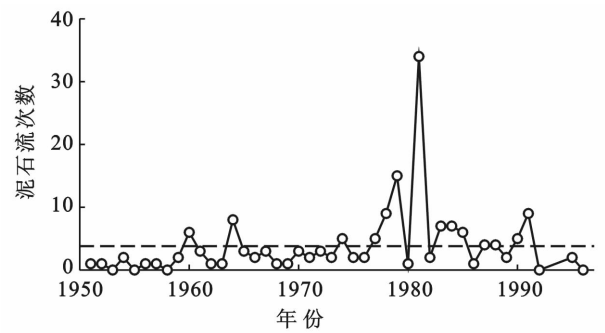


图 2　铁路重大泥石流事件发生次数的年际分布

2.2.2　*铁路泥石流灾害的月际变化*　从 1951—1996 年期间铁路泥石流灾害的发生月份来看(图 3),灾害主要发生在 6—8 月,即发生时间集中在夏季,1—3 月和 12 月不会发生泥石流灾害。从次数上看,8 月份发生次数最多,占总数的 40.2%,其次是 7 月份,占总数的 32.4%,然后是 6 月,占总数的 17.6%,5 和 9 月基本相当。整个夏季 3 个月的灾害次数达到 624 次,占总数的 90%以上,春季和秋季发生的泥石流次数各占总数的 5%左右,这是因为中国铁路泥石流灾害主要是暴雨引发的,在中国,暴雨又主要集中在夏季。从重大泥石流灾害的月份分布来看(图 3),它一般在 5—10 月发生,其中 8 月份最多,占总数的 40.1%,其次是 7 月份,占 30.9%,夏季发生的次数占总数的 89.5%,这表明 6,7,8 月这 3 个月是铁路泥石流灾害致灾程度最为严重的时段,因此这 3 个月也是铁路工务部门防御泥石流灾害的重点时段。

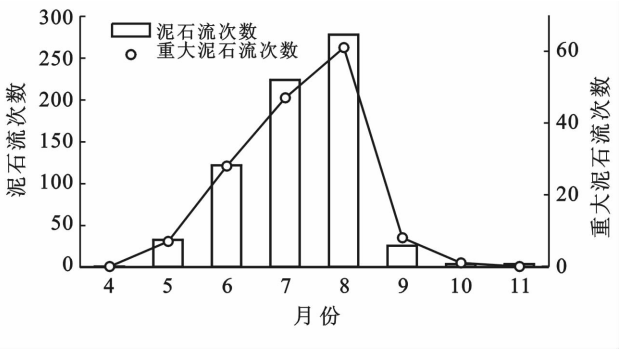


图 3　铁路泥石流事件发生次数的月际分布

从各月份重大泥石流灾害事件占泥石流灾害总数的比例来看,除 9 月份稍高(占 31%)外,5,6,7,8,10 月比例均相差不大,基本处于 21%～25%之间。这也表明,虽然重大泥石流灾害事件数量在不同月份差别较大,但重大泥石流灾害事件比例在月份之间差别并不明显。

2.2.3　*铁路泥石流灾害的线路分布特征*　全国共有 31 条铁路线路遭受过泥石流灾害,平均每条线路遭受泥石流灾害 25 次。发生灾害最多的线路是陇海线(连云港—兰州),共发生了 206 次,其中重大泥石流灾害 36 次,发生地点主要是地处西北地区的宝鸡—兰州段;其次是西南地区云南境内的东川线,发生了 121 次,其中重大泥石流灾害 26 次;而后是西南地区的成昆线出现了 118 次,其中重大泥石流灾害 33 次,其他发生泥石流灾害次数较多的有宝成线、青藏线、铁山线、凤上线、兰新线和襄渝线等(图 4)。陇海线、东川线和成昆线的泥石流灾害数量占据全国铁路泥石流灾害总数量的近 60%,其中重大泥石流灾害数量占全国总数量的比例达到 58%。这 3 条线路发生泥石流的路段当前所归属的铁路局为西安局、兰州局、昆明局和成都局,因此,上述 4 个铁路局是全国防御泥石流灾害的重点路局。

从铁路泥石流灾害的地域分布来看,主要分布在西南、西北和华北地区,全国出现 10 次以上泥石流灾害的线路共有 12 条,这 12 条线路的泥石流灾害占全国总量的 95%,重大泥石流灾害占全国总数量的 90%。这 12 条线路有 5 条处于西南地区,在灾害数量上要占全国总数的 47%,重大泥石流灾害占全国总数量的 45%;西北地区有 4 条,在灾害数量上要占全国总数的 39%,重大泥石流灾害占全国总数量的 33%;其他 3 条处于华北地区,在灾害数量上只占全国总数的 9%,重大泥石流灾害只占全国总数量的 12%。

从这 12 条线路中重大泥石流灾害事件占泥石流灾害总数的比例来看，铁山线最高，达到 42%，其次是兰新线(33%)和成昆线(28%)，蒙宝线和京通线未发生过重大泥石流灾害，因此其比例最低。值得注意的是，陇海线和宝成线虽然泥石流灾害次数较多，但重大泥石流灾害比例并不高，分别只有 18%和 9%。

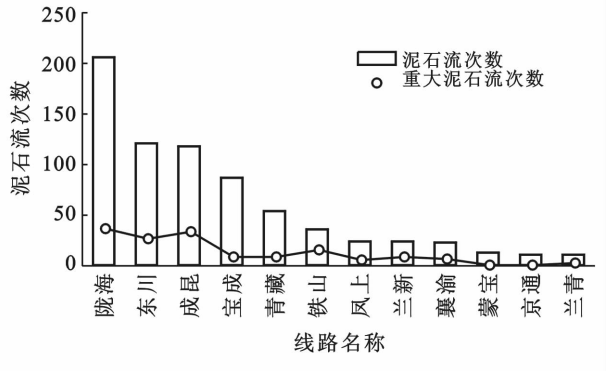


图 4 铁路泥石流事件的线路分布

3 讨 论

该研究中，中国铁路泥石流灾害主要分布在西南、西北和华北地区，陇海线、东川线、成昆线和宝成线泥石流灾害最多，尤以 1964，1979，1981 年的雨季(6—8 月)最为严重。据分析，雨季地表强降水可能是诱发铁路滑坡崩塌灾害的关键因素。陇海线、东川线、成昆线和宝成线路沿线降雨丰沛(如陇海线年平均降水量为 587.8～886.1 mm，宝成线为 613～1 137 mm)，雨季降雨量大，持续时间长(如 1981 年宝成铁路沿线各站“8·21”暴雨总雨量基本上都在 300 mm 以上，其中阳关站多达 671.2 mm；降雨持续时间 7～12 d，多数站在 10 d 以上[14])，暴雨次数多(如 1981 年宝成铁路沿线发生了川西盆地的“8·21”暴雨和陕南的“7·21”暴雨)，强度大(如 1981 年最大降水量在宝成铁路沿途经过的广元站达 1 587.2 mm，略阳地区达 1 353.3 mm，沿途各站降水量几乎都在 1 000 mm 以上[14])，这与频发和危害严重的泥石流灾害在时空上相对应。降雨是形成泥石流的充要条件，突发性大暴雨，更容易引发山体滑脱，形成滚滚而下的泥石流[15]。雨季强降雨与铁路泥石流之间的关系已有大量报道[14,16]，包括前期降雨的类型[17]和无前期降雨的类型的泥石流。

铁路泥石流灾害虽然与降水有关，尤其是受暴雨影响较大，中国年降水量由东南沿海向西北内陆递减，但容易发生泥石流的线路并非处于降雨量较大的东南部地区，反而处于降水量在 400～1 000 mm 左右的西部地区，这表明短期强降水或持续降水以及地形条件是决定铁路泥石流的关键因素。

地形条件是滑坡泥石流主要致灾因素之一，陇海线、东川线、成昆线和宝成线沿线地形复杂、地势险峻、山坡陡峭。在地形上，处于中国第Ⅱ级阶梯上，如宝成铁路沿线几乎全部为山区，由宝鸡出发先后跨越秦岭、巴山和剑门山，地势险要。陇海铁路是贯穿中国东西的主干线路，其中孟源至莲花寺区段沿华山山脉北坡而行。华山山脉属中山区，山坡陡峻，河谷深邃，坡陡流急，沿线泥石流现象发育，且雨季常形成洪峰危害傍河而行的铁路。处在第Ⅲ级阶梯——东部平原的铁路线路(如京广线、京沪线、京哈线)基本上很少有泥石流灾害发生。

不良的地层岩性及地质构造也能诱发地质灾害，总体上讲，中国西南山区是地质灾害极重和重度灾害分布区，滑坡、崩塌、泥石流等灾害多发频发。因此处于该区域的铁路也是全国铁路地质灾害最为严重的线路，代表性线路有：陇海线西段、宝成线、成昆线、襄渝线、西康线、川黔线、贵昆线等。从地质条件上讲，受灾数量最多的陇海铁路是贯穿中国东西的主干线路，其中华山地区铁路沿线泥石流工点流域内出露的地层，主要是太古界太华群的古老变质岩和燕山期花岗岩。前者主要为黑云母角闪片麻岩及片岩，后者为粗花岗岩，它们的表面均有不同程度的风化[18]。华山大断裂是渭河地堑南缘的边界断裂，该断层长期活动，山体被剧烈切割，岩层破碎。华山大断裂几乎与铁路线相平行，使得该段铁路线的泥石流现象较为活跃。宝成线沿线出露地层有志留系、二叠系、三叠系，分别由钙泥质粉砂岩夹灰岩、各种页岩含煤层及多种灰岩，以及黏土质页岩、泥岩和薄层灰岩、介壳灰岩、碎屑灰岩组成[19]。东川线、宝成线及成昆线多分布在地质灾害重度甚至极重度区，该区内铁路泥石流灾害频发。

中国铁路泥石流近年来灾害频发，除了灾害性暴雨、持续性降水及不良地质条件等客观因素外，人为因素也不容忽略：① 过去铁路修建技术水平较低。受当时隧道建设技术限制，山区铁路还无法实现长隧道穿越，通常采取短隧道群方案，在线路设计上，多采用依山傍河或避山近水的策略，从而为铁路泥石流灾害留下隐患；② 铁路沿线的厂矿企业在山坡或沟谷中大量弃土弃渣，从而为泥石流爆发提供了丰富的松散固体物质；③ 铁路沿线的农业生产活动(如陡坡垦殖、毁林开荒等)使坡面失稳，引发水土流失，为泥石流提供大量的侵蚀型补给物质。

为减弱泥石流灾害对中国山区铁路的影响，铁路部门需积极应对，在勘察设计、养护运营、灾害监测等

环节采取对策来提高线路的防御能力。① 在线路设计上,在满足经济技术需求的前提下,尽量采取长隧道方案,避免盘山展线和短隧道群,这样可大大减少泥石流对线路的威胁;② 在线路走向选择上,对泥石流严重的沟谷或坡面,采取绕避对策;③ 采取“排拦”类工程措施,如排导槽、拦挡坝和明洞渡槽等;④ 采用“稳坡”“护坡”类的工程措施,如天沟、截水沟、渗沟等坡面排水工程,混凝土、浆砌片石、浆砌片石骨架等坡面封护措施;⑤ 采用植被防护措施,保护和恢复泥石流区域的植被,改善地表汇流条件,减少水土流失,从而抑制泥石流活动;⑥ 加强泥石流灾害的防灾管理,铁路工务部门在汛期要加强对重点地段的巡道和监测,强化巡查和看守制度,严格落实汛期安全行车措施。

由于泥石流的危害性极大,国内外都十分重视泥石流的防治工作。近年来虽然泥石流频发,但有些泥石流并未致灾,这除了与所采取的工程和生物防治措施有关之外,与近年来所采取的一些行之有效的非工程措施——泥石流监测预警是分不开的,包括建立泥石流滑坡灾害雷达监测系统,实现了对泥石流滑坡灾害多发区的监测预警[20];在泥石流流通区设置传感器,可检测到一定规模以上的灾害泥石流信息;通过无线通道或有线电缆通道,将泥石流的模拟幅频信号传送到下游接收调度站进行处理判别,使得在泥石流到来之前,向泥石流通道上的居民点、机关、桥渡、线路等对象发出报警信号,从而使人们采取紧急避难措施,达到防止或减少生命与财产损失的目的,另外,在一些频繁而又严重的病害工点,可以起到对列车安全运行、万无一失的保证作用[21]。近年来泥石流预警技术发展较为迅速,在泥石流减灾实践中取得了较为显著的效益。目前中国对泥石流的成功预警已有相关报道,发生于 2010 年 8 月 13 日四川绵竹市清平乡文家沟的泥石流就是成功预警的典型案例。

在铁路方面,防御体系的建立为铁路防灾减灾工作提供了有利的手段。泥位预警是泥石流灾害预警的方法之一,铁路沿线泥石流泥位监测预警系统已进行大量的现场试验和观测,具有很好的应用前景[22]。泥石流次声监测预警系统使泥石流预警预报技术上了一个新的台阶。山区铁路沿线泥石流次声监测预警系统能准确定位泥石流发生位置和确定大致发生规模,根据监测的泥石流次声信息及时向铁路有关部门发出预警信号,确保列车运营安全。泥石流次声监测系统不断强化管理,采用新技术、新设备,有效提高了泥石流防灾水平,确保了铁路运输的安全,减少了泥石流灾害造成的损失[23]。成昆铁路的灾害防御体系在多年的实践中证明是行之有效的,从 1984 年以来成功地阻止了近百起灾害行车事故的发生[24]。中国一些铁路如成昆铁路、宝成铁路近 15 a 来已建成监测预警系统,致使虽然发生了一些泥石流,但并未形成灾害,有效地保障了铁路的安全运营。

值得注意的是,1996 年以后中国关于铁路泥石流的资料较为缺少和零乱,逐年铁道年鉴中对当年的铁路泥石流灾害情况介绍得简单、笼统,没有线路、时间、位置、里程桩号等具体信息,因此本研究无法像 1997 年以前一样作分布规律分析。通过文献、网站等渠道全面搜集了近十几年的资料发现,近 18 a 来,中国有关泥石流灾害的报道很多,如 2002 年 6 月 17 日暴雨引发洪灾及泥石流,四川省 3 000 万应急款急调灾区;2008 年中国西南、西北、东北和中南 23 个省区发生多起大型泥石流事件;2009 年四川康定发生“7·23”特大泥石流灾害灾害;2010 年中国多省区发生洪涝泥石流灾害,其中 2010 年 8 月 7 日,舟曲县因局地突发强降雨诱发特大山洪泥石流。然而,“中国铁路事故列表”[25]及相关文献显示,近 18 a 来有关铁路泥石流灾害的报道非常少见,其中有限的报道包括 2014 年 7 月 14 日川黔铁路中有 580 m 的线路遭受泥石流侵害,川黔铁路贵州境内泥石流导致 14 趟列车停运。鉴于目前缺乏 1996 年至今系统的数据记载,对多年来中国铁路泥石流的影响程度、频次和时空分布规律等方面的研究鲜见报道,以及对近十几年的铁路泥石流灾害的典型案例分析也很少见,因而本研究利用 1951—1996 年连续的数据记录在分析中国铁路泥石流灾害时空分布的基础上,提出铁路运输行业应对措施,能为保障中国铁路正常运营和增强铁路运输行业的防灾减灾能力提供一定的依据,为今后更全面、系统的研究提供科学参考。

4　结 论

(1) 泥石流灾害是中国山区铁路的常见灾害。夏季暴雨是引发泥石流的主要外动力,泥石流危害的主要形式有冲毁路基、毁坏桥梁、淤堵桥涵、淤埋线路车站等。

(2) 1951—1996 年,全国铁路年均发生17.5次泥石流灾害,其中重大泥石流灾害 3.8 次。其中,20 世纪 80 年代最为严重,其次是 70 年代,50 年代最轻。1964,1979,1981 年是铁路泥石流灾害较为严重的年份。1952,1960,1971,1977,1978,1991,1995 年这 7 个年份,重大泥石流灾害事件的比例较高。

(3) 铁路泥石流灾害主要发生在 6—8 月,即集中在夏季。其中,8 月份发生次数最多,占总数的

40.2%，夏季的灾害次数占总数的90%以上，因此夏季是铁路工务部门防御泥石流灾害的重点时段。

(4) 从铁路泥石流灾害的地域分布来看，主要分布在西南、西北和华北地区，发生泥石流灾害最多的线路是陇海线，其次是东川线、成昆线和宝成线。易发生泥石流灾害的线路重点分布在西安局、兰州局、昆明局和成都局。

[参 考 文 献]

[1] 白永峰，魏鸿. 成昆铁路暴雨泥石流灾害预测模型的研究[J]. 中国地质灾害与防治学报，1998，9(4)：74-80.

[2] 谢修齐，谢衔光. 成昆铁路蒲坝小龙滩泥石流分析[J]. 中国地质灾害与防治学报，1998，8(3)：62-67.

[3] 谢修齐，魏鸿，石胜国，等. 成昆铁路山坡泥石流活动危险度区划[J]. 中国铁道科学，1999，20(2)：42-52.

[4] 孟河清. 宝成铁路泥石流浅析[J]. 山地研究，1986，4(2)：136-144.

[5] 蔡祥兴. 宝鸡—略阳铁路沿线泥石流成因初析[J]. 水土保持通报，1985，5(1)：86-89.

[6] 谢洪，钟敦伦. 四川境内成昆铁路泥石流致灾原因[J]. 山地研究，1990，8(2)：101-106.

[7] 白志勇. 成昆铁路普雄地区泥石流发育规律[J]. 地质灾害与环境保护，1991，2(2)：7-11.

[8] 谭炳炎，段爱英. 山区铁路沿线暴雨泥石流预报的研究[J]. 自然灾害学报，1995，4(2)：43-52.

[9] 周华国，魏庆朝，曾学贵. 我国铁路自然灾害的综合区划及减灾对策的探讨[J]. 自然灾害学报，1996，5(1)：8-13.

[10] 中国灾害防御协会铁道分会，中国铁道学会水工水文专业委员会. 中国铁路自然灾害及其防治[M]. 北京：中国铁道出版社，2007.

[11] 丁一汇. 中国气象灾害大典—综合卷[M]. 北京：气象出版社，2008.

[12] 刘聪，卞光辉，黎健. 交通气象灾害[M]. 北京：气象出版社，2009.

[13] 陈颙，史培军. 自然灾害[M]. 北京：北京师范大学出版社，2008.

[14] 孟河清. 1981年宝成铁路泥石流灾害与降雨条件的分析[J]. 水文，1986(6)：20-23.

[15] 谢在永. 暴雨的次生灾害：泥石流[J]. 陕西气象，1992(3)：45-59.

[16] 陈正军. 南昆铁路泥石流的形成及防治措施[J]. 铁道运营技术，2009，15(4)：26-30.

[17] 崔鹏，杨坤，陈杰. 前期降雨对泥石流形成的贡献：以蒋家沟泥石流形成为例[J]. 中国水土保持科学，2003，1(1)：11-15.

[18] 孟河清. 陇海铁路华山地区的泥石流[J]. 水土保持通报，1986，6(2)：60-63.

[19] 苏学清. 宝成铁路朝天至观音坝段崩塌、落石灾害发育规律的分析研究[J]. 地质灾害与防治，1991，2(1)：78-89.

[20] 陈栋，郁淑华，汪玉江. 泥石流滑坡灾害雷达监测应用系统[J]. 四川气象，2006(1)：34-36.

[21] 铁道科学研究院铁道建筑研究所. 国内外泥石流预报警报系统研制概述：兼论铁路泥石流防灾警戒避难体制[J]. 水土保持通报，1989，9(3)：57-63.

[22] 李朝安，胡卸文，王良玮. 山区铁路沿线泥石流泥位自动监测预警系统[J]. 自然灾害学报，2011，20(5)：74-81.

[23] 李朝安，胡卸文，王良玮. 山区铁路沿线泥石流次声监测预警方法[J]. 声学技术，2012，31(4)：351-356.

[24] 汤家法，姚令侃，华明. 山区铁路灾害防御体系研究：以成昆铁路(北段)为例[J]. 自然灾害学报，2001，10(2)：103-106.

[25] 中华人民共和国铁路事故列表[N/OL]. 维基百科，自由的百科全书. 2014[2014-07-03]. http://zh.wikipedia.org/wiki/.

《水土保持通报》2013—2015年被引频次前10名论文

序号	论文题名	作者姓名	发表时间
1	江苏省土地生态安全评价研究	冯文斌，李升峰	2013-04-15
2	紫色土丘陵坡地植被恢复过程中土壤微生物生物量碳、微生物熵的变化	杨宁，邹冬生，杨满元，等	2014-10-15
3	土地利用变化对艾比湖流域生态系统服务价值的影响	白泽龙，包安明，常存，等	2013-02-15
4	不同坡长与雨强条件下坡度对细沟侵蚀的影响	陈俊杰，孙莉英，刘俊体，等	2013-04-15
5	不同改良剂对滨海盐渍土水盐特性的影响	王晓洋，陈效民，李孝良，等	2013-02-15
6	基于低影响开发的天津市绿色雨水基础设施应用研究	李爽，邢国平，刘洪海，等	2013-04-15
7	近50 a嘉陵江流域径流变化特征及影响因素	范利杰，穆兴民，赵广举	2013-02-15
8	大小兴安岭林区不同林型土壤养分综合评价	王芳，黄玫，孙希华，等	2013-02-15
9	晋西山杨和油松生物量分配格局及异速生长模型研究	王宁，王百田，王瑞君，等	2013-04-15
10	青岛市1990—2011年土地利用/覆被变化研究	邢容容，刘乐军，马安青	2013-06-15

注：表中数据来自中国知网《中国科技期刊全文数据库》。