

# 青藏铁路沿线自然灾害地理组合特征分析

刘峰贵<sup>1,2,3</sup>, 张海峰<sup>2</sup>, 陈 琼<sup>2,4</sup>,  
张 镔<sup>3</sup>, 周 强<sup>2</sup>, 李春花<sup>2</sup>, 曹生奎<sup>2</sup>

(1 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2 青海师范大学生命与地理科学学院地理科学系, 青海 西宁 810008; 3 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

**摘要:** 根据青藏铁路沿线 26 个行政单元自然灾害的历史记录, 对沿线的洪水、山洪、地震、雪灾、风灾以及滑坡、泥石流和崩塌等自然灾害进行量化分析, 通过自然灾害灾种、频次的统计和聚类分析将青藏铁路沿线划分为 6 个自然灾害组合分区, 其中, 拉萨河谷路段主要以洪水、滑坡灾害为主; 羌塘高原路段主要以雪灾、风灾为主, 青南高原路段以雪灾、地震灾害为主; 柴达木盆地路段以风灾、地震等灾害为主; 青海湖盆地路段以洪水、雪灾为主; 湟水谷地路段以洪水、山洪、滑坡灾害为主。拉萨河谷路段和湟水谷地路段的自然灾害类型组合具有相似性。

**关 键 词:** 青藏铁路; 自然灾害; 地理组合

**中图分类号:**      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2010)03-0384-07

青藏铁路是中国 21 世纪以来最重要的铁路建设工程, 也打通了内地联系西藏的重要通道<sup>[1~4]</sup>。青藏铁路从青海省西宁市出发, 途经黄河、长江等 7 个重要水系, 贯穿柴达木、青海湖等高原内陆盆地, 南北翻越藏北高原以及昆仑山、唐古拉山、念青唐古拉山等高山和极高山, 最终到达西藏自治区首府拉萨, 全程 1 956 km<sup>[1]</sup>。青藏铁路沿线自然地理环境复杂多样, 气候差异明显, 地质构造活动频繁, 各区段影响铁路运营安全的自然灾害类型具有显著的差异性。青藏铁路是目前中国铁路线中对自然灾害极度敏感的交通干线。铁路建设时期, 人们重点关注青藏铁路如何建设, 铁路如何通过冻土区, 铁路建成后, 关注点开始转向青藏铁路如何安全运营, 复杂的地理环境将对青藏铁路产生何种影响。因此, 研究青藏铁路沿线自然灾害对铁路的影响具有重要的现实意义。

交通干线自然灾害的风险已经成为 21 世纪必须关注的重大风险之一<sup>[5]</sup>。改革开放以来, 虽然中国的交通干线建设和管理水平有了极大提高, 但是交通干线管理的重点仍放在建设和维护方面, 还没有提升到主动管理和预防管理层面, 致使中国交通干线的建设和运营在风险管理方面还与发达国家存在一定的差距, 尤其是对多灾种、复杂路段的

风险管理经验明显不足, 当面对突发的重大自然灾害事件时, 交通干线的脆弱性暴露突出, 成为制约救灾和抢险的瓶颈。20 世纪 90 年代美国率先从交通系统运行与管理的角度对地震灾害与全美抗地震公路系统资源的网络进行了分配与优化研究<sup>[6,7]</sup>, 其后在洛杉矶地震救援中发挥了巨大作用。同时代, 中国部分学者也积极开展了对铁路和交通干线自然灾害的研究<sup>[1,8~17]</sup>, 尤其是近年来对青藏铁路沿线生态与环境安全研究<sup>[1]</sup>, 取得了重要进展。但对于世界人口第一、面积第三、山地面积占国土 2/3 的国家来讲, 对交通干线自然灾害的调查及风险研究远落后于其他国家和地区。本文试图通过对青藏铁路沿线自然灾害的调查和分析, 初步揭示沿线不同行政单元、自然区域以及不同路段的主要自然灾害类型及其组合特征, 为青藏铁路交通干线的自然灾害风险评估提供基本依据。

## 1 青藏铁路沿线自然地理环境

### 1.1 地貌

青藏铁路路程长、跨地域广, 沿线地貌类型复杂多样。沿途经过湟水、通天河、那曲、拉萨河以及青海湖、柴达木、扎加藏布等内外河流域, 穿越青海湖、柴达木盆地中心地带, 翻越青海南部、西藏北部

收稿日期: 2009-12-28 修订日期: 2010-02-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40761003 90202012)和国家科技支撑计划重点项目(2008BAK50B05)资助。

作者简介: 刘峰贵(1966-), 男, 青海门源人, 教授, 主要从事青藏高原区域地理研究。E-mail: liufenggu@igsn.ac.cn

高原面以及昆仑山、唐古拉山、念青唐古拉山等高山、极高山组成的高原核心腹地(图 1)。

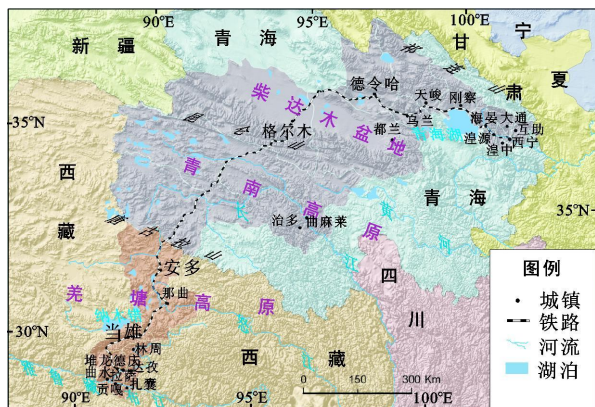


图 1 青藏铁路位置及沿线地形示意图

Fig 1 The location of the Qinghai-Tibet Railway and the sketch map of topography of adjacent area

青藏铁路全程海拔最低点 2 220 m(西宁),海拔最高点 5 072 m(唐古拉山口), 4 000 m 以上的路段 965 km, 占全程的 49.34%, 高山峡谷区 4 段, 约占全程的 20.22%, 荒漠戈壁区 3 段, 约占全程的 25.05%, 连续多年冻土区 547 km, 约占全程的 27.97%, 昆仑山口至念青唐古拉山段海拔在 4 500 m 以上。

## 1.2 气候与植被

根据区域位置、植被、气候可将青藏铁路沿线环境分为东、中、西 3 段。东段: 西宁至格尔木南山口段; 中段: 南山口至羊八岭段; 西段: 羊八岭至拉萨段。

东段可分为 2 段: ① 西宁至关角山路段。该路段属于祁连山南麓山地, 主要受东亚季风气候的影响, 年降水量 300~400 mm, 气温日较差 14℃ 以下, 沿线主要以干草原、草甸草原和森林、高山草甸为主, 属温带大陆性半干旱气候。② 关角山至南山口路段, 地处柴达木盆地, 沿线降水稀少, 年降水量在 100 mm 以下, 部分路段年降水量只有 15 mm 左右, 沿线气候干旱, 植被稀少, 以砂砾戈壁、沙漠、盐土、盐沼等景观为主, 属温带大陆性干旱气候。

中段可分为 3 段: ① 南山口至昆仑山口路段, 属高山河流深切峡谷, 沿线地势陡峻, 地形崎岖, 降水稀少, 冰川融水发育, 气温垂直变化明显, 山体裸露, 植被稀疏, 属于大陆性干旱和半干旱气候。② 昆仑山口至唐古拉山口路段, 属高原面, 气候寒冷潮湿, 年降水量 250~350 mm, 年平均气温 1℃ 左

右, 温度变化剧烈, 植被低矮、稀疏, 主要有高寒草甸和高寒草原, 属亚寒带半干旱气候。③ 唐古拉山口至羊八岭路段, 年均降水量 50~400 mm, 变幅较大, 气候寒冷, 年平均气温低于 0℃, 主要植被为高寒草原、高寒荒漠草原和高寒荒漠, 属亚寒带半干旱气候。

西段主要受西南季风气候系统的影响, 年降水量 400~500 mm, 降水少于西藏东南部地区<sup>[18 19]</sup>, 但夜雨率高达 80% 左右, 年均温 7~8℃, 植被以干暖、温性灌丛为主, 属温带半干旱气候。

## 1.3 地质

青藏高原地质环境复杂, 构造运动和地震活动强烈, 是现今地球表层构造性活动最强的地理单元<sup>[20]</sup>。青藏铁路穿越了 10 条区域性地震构造带, 格拉段, 共发现全新世以来活动断层 114 条, 其中强烈活动断层 4 条, 较强烈活动断层 35 条<sup>[19]</sup>, 同时湟源、关角山、昆仑山、羊八井以及堆龙曲等高山峡谷路段, 两侧地势陡峭, 沟谷密布, 岩石破碎, 有些路段土质松散, 河床坡度较大, 仅羊八井路段发现古滑坡和现代滑坡体 14 处, 泥石流沟 7 条<sup>[21]</sup>, 具备诱发滑坡和泥石流发育的条件<sup>[22]</sup>, 因此, 地震、不均匀冻胀、构造裂缝以及滑坡和泥石流等灾害对铁路、桥梁、隧道的威胁十分显著。

## 2 数据来源与分析方法

### 2.1 区域选择与数据来源

区域选择。目前自然灾害的统计数据主要以县级行政单元为主, 铁路沿线的自然灾害与所穿越的行政单元的自然灾害具有一定的相似性<sup>[23 24]</sup>。在尚缺乏直接针对交通干线自然灾害统计数据的情况下, 提取铁路沿线各行政单元的历史自然灾害记录, 对其加以分析研究。本文以青藏铁路两侧 50 km 作为缓冲区 (buffer), 选择对铁路沿线具有自然灾害统计意义的行政单元 26 个 (其中 2 个地级市、2 个县级市, 21 个县、1 个乡) (见图 1)。

数据来源。《中国气候灾害大典》(青海卷) (西藏卷)、《青海自然灾害》《中国地震目录》<sup>[25~28]</sup>, 统计时段选择 1951~2000 年共 50 a, 其中, 对那曲、安多、唐古拉山乡 3 个行政单元的自然灾害记录信息依据邻近行政单元灾害记录进行了修订和补充, 并按联合国教科文组织对地质灾害的定义, 将滑坡、泥石流、崩塌灾害统计为一类<sup>[29]</sup>, 最后得到地震、洪水、雪灾、风灾、滑坡、泥石流等自

自然灾害记录 911 条。青藏铁路位置矢量数据分别从《西藏自治区地图》、《青海省地图》<sup>[31]</sup>提取。

## 2.2 统计和分析方法

(1) 自然灾害频次统计。用  $C_{jm}$  表达在第  $i$  年, 第  $j$  个统计单元发生自然灾害  $m$  的次数, 沿线各统计单元发生自然灾害  $m$  的频次  $F_m$  可表达为<sup>[32]</sup>:

$$F_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k C_{ijm} \quad (1)$$

式(1)中,  $i$  代表年份 ( $i=1, 2, 3, \dots, n; n=50$ );  $j$  代表统计单元 ( $j=1, 2, 3, \dots, k; k=26$ ),  $m$  代表自然灾害种类 ( $m=1, 2, 3, \dots, 5$ )。

(2) 聚类分析。聚类分析 (Cluster Analysis) 是根据多个样本间的相似程度对其进行客观分类的方法。本文运用 Matlab 2008 数据处理软件, 经过多种聚类方法试验, 最后选择聚类结果最为接近的非系统聚类中的 K-均值聚类方法, 即先定义  $k$  个聚类中心, 然后比较各自然单元自然灾害组合的相似程度, 将每个自然灾害单元被分配到与它最近的质心所代表的类, 在此基础上对自然灾害组合规律相似的统计单元按地域相近和地貌单元统一原则进行分区。

(3) 自然灾害频率 ( $P_m$ )、强度 ( $Q_m$ ) 计算和等级划分。① 用各区段统计单元每 10 a 发生自然灾害的年数表示自然灾害的发生率<sup>[32]</sup>。 $A_m$  表示第  $i$  年灾害  $m$  是否发生, 只要在统计区段的统计单元有灾害  $m$  发生, 则计为 1 次, 否则为 0 那么自然灾害  $m$  发生的频率  $P_m$  的表达式为:

$$P_m = \frac{10}{n} \sum_{i=1}^n A_m \quad (2)$$

式(2)中,  $n$  为统计时段长度;  $i$  为年份 ( $i=1, 2, 3, \dots, n; n=50$ );  $m$  为自然灾害种类 ( $m=1, 2, 3, \dots, 5$ )。② 各区段用每次自然灾害发生所影响的统计单元个数来表示该自然灾害的强度。 $C_{jm}$  表达在第  $i$  年, 第  $j$  个统计单元发生自然灾害的次数, 则沿线各统计单元发生的每一种自然灾害的强度  $Q_m$  的表达式为:

$$Q_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k C_{ijm} \quad (3)$$

式(3)中,  $i$  为年份 ( $i=1, 2, 3, \dots, n; n=50$ );  $j$  为统计单元 (县、市、乡) ( $j=1, 2, 3, \dots, k; k=26$ ),  $m$  为自然灾害种类 ( $m=1, 2, 3, \dots, 5$ )。③ 等级划分。依据青藏铁路沿线各统计单元自然灾害的频率和强

度, 将自然灾害频率和影响强度划分为 3 个等级 (表 1)。④ 根据 ③ 所提供的等级标准, 依据自然灾害频率和强度矩阵, 确定青藏铁路沿线各区段自然灾害的危险性大小 (表 2), 辨识出不同区段的主导自然灾害类型。

表 1 青藏铁路沿线自然灾害频率、强度划分标准

Table 1 Grade criteria for the frequency or intensity of natural hazards along the Qinghai-Tibet Railway

| 自然 | 等级 | 频率/强度       | $P_m/Q_m$       | 危险性 |
|----|----|-------------|-----------------|-----|
| 灾害 | 1  | 每年或 3a 以下一遇 | $P_m > 3$       | 高   |
|    | 2  | 每 3~5a 一遇   | $2 \sim 2.9$    | 中   |
|    | 3  | 每 5a 及以上一遇  | $P_m < 2$       | 低   |
| 强度 | 1  | ≥3 个行政单元    | $Q_m > 0.50$    | 高   |
|    | 2  | 2 个行政单元     | $0.3 \sim 0.49$ | 中   |
|    | 3  | 0~1 个行政单元   | $Q_m < 0.29$    | 低   |

表 2 青藏铁路沿线自然灾害危险性程度划分标准

Table 2 Grade criteria for the hazards' hazardous along the Qinghai-Tibet Railway

| 频率 | 强度 |   |   |
|----|----|---|---|
|    | 高  | 中 | 低 |
| 高  | 高  | 高 | 中 |
| 中  | 高  | 中 | 低 |
| 低  | 中  | 低 | 低 |

## 3 自然灾害的组合特点及分区

### 3.1 青藏铁路沿线自然灾害的组合特点

依据 2.2 中的频次统计方法, 得到青藏铁路沿线自然灾害的空间分布状况 (图 2)。湟水谷地和拉萨河谷地洪水和山洪灾害频次较高, 几乎每年均有洪水或山洪暴发, 但地震灾害发生频次很低; 地震灾害主要集中在天峻-当雄路段, 唐古拉山口附近和柴达木盆地德令哈地区, 地震发生频次相对较高, 平均每年 1/2 次以上; 雪灾也主要发生在刚察-当雄路段, 以青南高原发生频次为最高, 平均每年 2/3 次以上; 风灾主要集中在柴达木盆地和藏北羌塘高原 (青南高原风灾记录和器测风速记录有较大差异, 可能与当地人口稀疏, 灾害记录不完善有关), 大风多集中在冬春季节, 平均每年 1/3 次以上; 滑坡 (含泥石流、崩塌) 主要发生在湟水谷地、关角山、拉萨河谷地区, 其主要诱因是地形因素, 尤其是拉萨河谷地区的滑坡灾害对铁路的威胁巨大。从全线来看, 湟水谷地和拉萨河谷自然灾害的组合具有一定的相似性, 而柴达木盆地的乌兰、

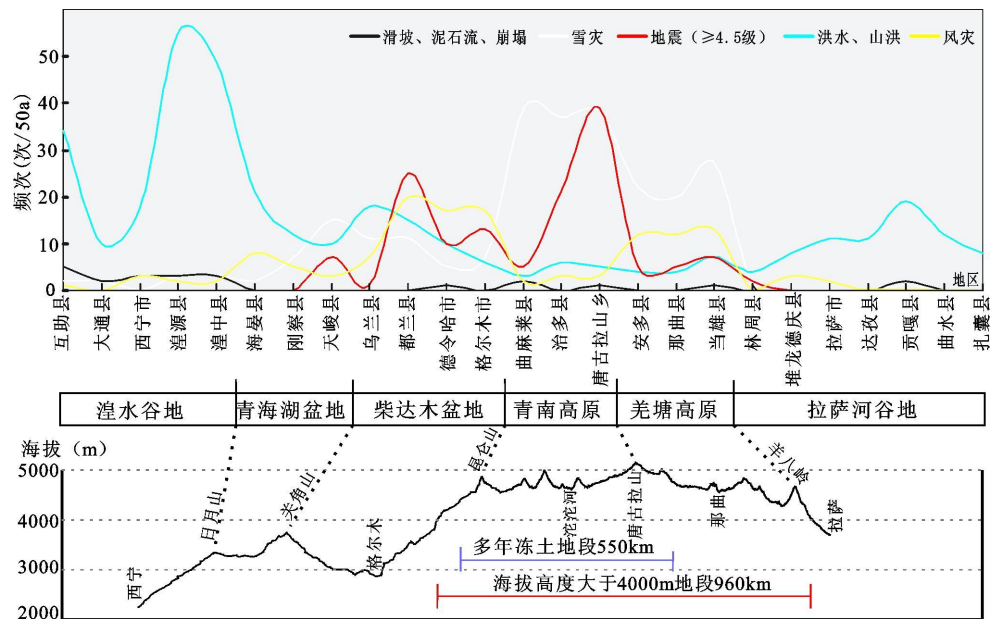


图 2 青藏铁路沿线自然灾害频次分布

Fig 2 Natural hazards' frequency of the administrative units along the Qinghai-Tibet Railway

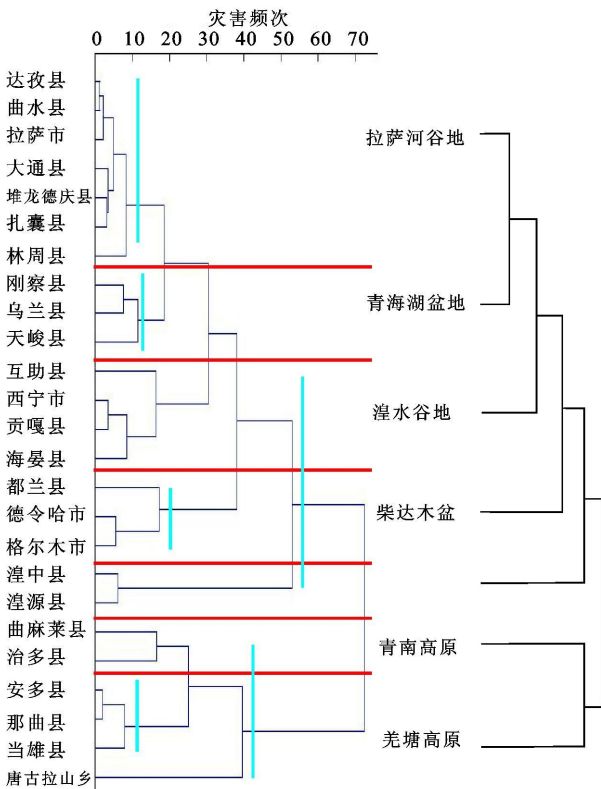
都兰、德令哈等地区, 虽然年降水量较少, 但洪水灾害相对突出, 说明该地区年内降水集中、变率较大。

从铁路沿线的总频次来看, 唐古拉山口自然灾害的总频次最高, 50 a间总频次达 86次, 其次为都兰、湟源、当雄等地区, 总频次在 50次以上, 几乎每年都有自然灾害发生, 都兰和当雄地区自然灾害的组合类型较为复杂。

3 2 青藏铁路沿自然灾害的组合分区

(1)青藏铁路沿线自然灾害组合分区分析。

应用 3 2中的聚类分析方法, 为了避免各变量间可能存在的信号干扰, 分两次对自然灾害组合规律进行聚类。先从最远距离进行划分, 指定  $k=2$  单一行政单元不作为一个分区, 将铁路沿线划为 2类, 即藏北、青南高原划为一类, 海拔低于 4 000 m 以下的单元被划为一类; 然后对以上结果再次进行更近距离的聚类, 结果前者被分为青南、羌塘 2小类, 相似系数达 0.94 后者被分为 4小类, 除个别单元外, 大多数分别对应于拉萨河谷地、青海湖盆地、湟水谷地、柴达木盆地等 4个相应区域(图 3), 且相似系数达 0.7以上, 符合信度检验。按照地域邻近和地貌单元统一性原则, 对个别行政单元改变其自然区域归属, 得到青藏铁路沿线自然灾害的 6个组合分区, 即湟水谷地、青海湖盆地、柴达木盆地、青南高原、羌塘高原以及拉萨河谷区段(图 3)。



注: 红线横线为自然单元界线; 蓝色纵线为聚类距离

图 3 青藏铁路沿线自然灾害组合分区

聚类树及聚类简图

Fig 3 The dendrogram and process diagram of the cluster to natural hazards along the Qinghai-Tibet Railway

(2)青藏铁路沿线主导自然灾害的辨识。根

据 2 2中的青藏铁路沿线频率/强度分类以及危险

性划分标准,对青藏铁路沿线各分区的主导自然灾害类型进行辨识(表3)。拉萨河谷路段洪水、山洪灾害具有高危险性;羌塘高原路段雪灾和风灾具有高致险性,地震具有中等危险性;青南高原路段雪灾、地震具有高危险性;柴达木盆地路段风灾、地震、洪水、雪灾具有高致险性,只有滑坡灾害的危险性较低;青海湖盆地路段洪水、雪灾具有较高危险性;湟水谷地路段洪水、山洪、滑坡灾害具有极高危险性,洪水灾害的危险性远高于拉萨河谷地区。

3 3 青藏铁路沿线自然灾害的地域组合特征

3 3 1 湟水谷地洪水、滑坡灾害路段

湟水谷地属祁连山地,地形崎岖、地表破碎,黄土堆积,河流切沟发育,由于受东亚季风末端的影响,降水具有明显的季节性,7~9月降水集中,夏季易引发洪涝、滑坡等灾害。青藏铁路湟水谷地段主要经过西宁盆地、湟源峡谷,与湟水河并行,沿线黄土发育,土质松软,植被稀疏,人为活动剧烈,尤其是湟源峡谷至日月山段,地势陡峻,是洪水、山

表 3 青藏铁路沿线自然灾害危险性等级分布矩阵

Table 3 The hazardous level distributing matrix of natural hazards along the Qinghai-Tibet Railway

|       |    | 滑坡、泥石流 |   | 雪灾   |   | 地震(≥4.5级) |   | 洪水、山洪 |   | 风灾   |   |
|-------|----|--------|---|------|---|-----------|---|-------|---|------|---|
| 拉萨河谷  | 频率 | 0.80   |   | 0.60 |   | 1.20      |   | 4.00  |   | 0    |   |
|       | 强度 | 0.14   | 低 | 0.08 | 低 | 0.04      | 低 | 1.46  | 高 | 0    | 低 |
| 羌塘高原  | 频率 | 0.20   |   | 3.20 |   | 2.40      |   | 1.20  |   | 2.60 |   |
|       | 强度 | 0.02   | 低 | 0.58 | 高 | 0.38      | 中 | 0.14  | 低 | 0.74 | 高 |
| 青南高原  | 频率 | 0.20   |   | 3.60 |   | 4.80      |   | 1.60  |   | 0.40 |   |
|       | 强度 | 0.06   | 低 | 1.54 | 高 | 1.30      | 高 | 0.18  | 低 | 0.10 | 低 |
| 柴达木盆地 | 频率 | 0.20   |   | 2.80 |   | 4.80      |   | 3.80  |   | 5.00 |   |
|       | 强度 | 0.02   | 低 | 0.68 | 高 | 0.98      | 高 | 0.94  | 高 | 0.96 | 高 |
| 青海湖盆地 | 频率 | 0      |   | 3.40 |   | 4.20      |   | 4.60  |   | 1.60 |   |
|       | 强度 | 0      | 低 | 0.44 | 高 | 0.14      | 中 | 0.78  | 高 | 0.26 | 低 |
| 湟水谷地  | 频率 | 3.00   |   | 1.00 |   | 0         |   | 9.60  |   | 1.00 |   |
|       | 强度 | 0.32   | 高 | 0.18 | 低 | 0         | 低 | 3.32  | 高 | 0.10 | 低 |

洪、滑坡易发路段。

3 3 2 青海湖盆地洪水、雪灾灾害路段

青海湖盆地属祁连山地断陷盆地,该地区海拔3 000 m以上,盆地内地势相对平坦,主要以高寒草甸草原为主,盆地内季节分明,夏季降水变率较大,加之周边山地融雪补给河流向盆地汇聚,易引发洪水,冬季多雪、多风、寒冷,海晏至天峻路段是青藏高原积雪深度年际变化最显著的地区之一<sup>[33]</sup>。青海湖北岸、西岸沙源物质丰富,气候多变,平时平均风速25 m/s以上,沙化严重,是青海省沙尘暴高发地区之一<sup>[34]</sup>。天峻县南部的青海南山构造断裂发育,是地震灾害频发的地区。

3 3 3 柴达木盆地风沙、地震灾害路段

柴达木盆地是青藏高原陷落盆地,海拔2 000~3 000 m,断裂构造有一定发育。盆地内全年降水稀少,降水集中且变率较大,全年风力强劲,≥17 m/s以上风速平均日数达40 d/a,盆地内荒漠、戈壁、盐土广布,植被稀疏,盆地边缘洪积平原发育,易发山洪。青藏铁路关角山至乌兰段山体陡峻,地质环境复杂,是滑坡、泥石流多发地段,乌兰至饮马岭路段山前洪积扇,易受洪水灾害威胁,饮马岭至格

尔木路段在盆地核心腹地,沿线荒漠、戈壁和盐土发育,部分路段有活动沙地,都兰县境内地震活动频繁。整个区段主要以风沙、地震和洪水灾害高发。

3 3 4 青南高原雪灾、地震灾害路段

青南高原是指昆仑山以南,唐古拉山以北的地区,全区平均海拔在4 500 m以上,高原内部地形起伏和缓,线状山地沿东西向分布,相对高差不大。区内全年平均气温较低,夏季多雷暴、冰雹天气,冬季多降雪、多风,风力强劲,绝大多数路段≥17 m/s大风日数在120 d/a以上,铁路沿线植被稀疏,生态脆弱,冻土发育,有零星沙地分布,大多数路段均采用以桥带路工程。昆仑山、唐古拉山等地区活动断层发育,多地震,因此,本路段多雪灾和地震灾害,同时冻土、风沙灾害的威胁十分突出。

3 3 5 羌塘高原雪灾、风灾路段

羌塘高原是指唐古拉山以南,念青唐古拉山以北的区域,本区海拔高度在4 500~5 000 m之间,高原面完整,河流切割微弱,山原湖盆发育。该区域海拔高,气温较低,冬春多大风,全年≥17 m/s大风日数在50~100 d,降雪量在140~200 mm以上,最大积雪深度在30~40 mm。青藏铁路沿线热



融湖塘、冰积台地、低丘、垅状山梁以及河、盆低地相间分布,由北向南植被盖度逐渐增大,发育沼泽草甸和高寒草甸草原,易发生雪灾、风灾。

### 3 3 6 拉萨河谷洪水、山洪灾害路段

拉萨河谷地属念青唐古拉南麓山地,拉萨河由北向南切穿山体注入雅鲁藏布江,属于藏南山间河谷地区,主要以河谷、宽谷盆地地貌为主,大多数地区海拔高度在 3 500~ 45 00 m 之间,最暖月平均温度 10~ 16℃,年降水量在 200~ 500 mm,冬季相对温暖。青藏铁路从羊八岭以南进入河流宽谷或峡谷,尤其是堆龙曲峡谷路段,两侧山势陡峻,相对高差约 500~ 1 000 m,河流切沟、冲沟发育,洪水、滑坡极易发生,极大威胁着铁路今后的安全运营<sup>[35]</sup>。



图 4 青藏铁路沿线自然灾害地域组合分区

Fig 4 Regional combination types along the Qinghai-Tibet Railway

## 4 结论和讨论

(1)对青藏铁路沿线 50 km 缓冲区内, 26 个统计单元近 50 a 自然灾害统计分析发现, 青藏铁路沿线行政单元的自然灾害记录能反映铁路沿线自然灾害的基本状况, 并且自然灾害的组合分区和自然地理单元有着较强的一致性。

(2)通过对青藏铁路沿线 5 种自然灾害的区域组合进行聚类分析表明, 青藏铁路沿线可分为拉萨河谷、羌塘高原、青南高原、柴达木盆地、青海湖盆地、湟水盆地 6 个组合区域, 聚类相似系数达到 0.70 以上, 能够有效反映青藏铁路沿线自然灾害的组合分异规律。

(3)依据青藏铁路沿线自然灾害的频率和强度, 辨识出拉萨河谷路段以洪水、山洪灾害为主; 羌塘高原路段以雪灾、风灾为主; 青南高原路段以雪灾、地震灾害为主; 柴达木盆地路段以风灾、洪水等

灾害为主; 青海湖盆地路段以洪水、雪灾为主; 湟水谷地路段则和拉萨河谷地有很大的相似性, 主要以洪水和滑坡灾害为主。

(4)本文在自然灾害统计过程中, 发现青藏高原历史灾害记录很不完善, 通过多渠道获取自然灾害数据非常重要。从青藏铁路沿线各行政单元自然灾害的记录来看, 1970 年代以前自然灾害记录数据较为粗略, 缺失率较高, 同时距离省会城市越近, 自然灾害的记录较全面, 边缘地区的自然灾害记录完整性较差。另外, 针对铁路自然灾害的数据收集, 除了收集相关行政单元以外, 还要充分考虑自然灾害发生的自然环境与铁路线所经过的区域环境的一致性, 本文在提取灾害记录过程中, 尽可能甄别采集与铁路沿线自然环境相一致的灾害数据, 但仍然存在一些资料的记录难以区别, 对分析结果有一定影响。因此, 目前在交通干线沿线自然灾害的研究还不够深入的情况下, 交通干线行政单元历史灾害的数据资料还有待于进一步挖掘和区别, 这是今后研究中值得重视的问题。

致谢: 本论文得到北京师范大学方修琦教授的指导, 李蓓蓓博士为本文提供了帮助, 在此表示感谢!

## 参考文献:

- [1] 郑 度, 张锺铨. 青藏铁路沿线生态与环境安全 [M]. 浙江科技出版社, 2009 9: 19~ 88
- [2] 程国栋. 青藏铁路工程与多年冻土相互作用及环境效应 [J]. 中国科学院院刊, 2002 17(1): 21~ 25.
- [3] 刘铁良. 青藏铁路灾害演变趋势的初步展望 [J]. 路基工程, 1991 36(3): 58~ 59.
- [4] 王治华. 青藏公路和铁路沿线的滑坡研究 [J]. 现代地质, 2003 17(4): 355~ 362
- [5] 刘燕华, 葛全胜, 方修琦, 等. 全球环境变化与中国国家安全 [J]. 地球科学进展, 2006 21(4): 346~ 350
- [6] Augusti G, Borri A, Cimpoli M. Optimal allocation resources in the reduction of the seismic risk of highway networks [J]. Engineering Structures, 1994 16(7): 184~ 497.
- [7] Steven Deban. Innovative Traffic Management Following the 1994 Northridge Earthquake [R]. Prepared for Organization of Chinese American, 1995
- [8] 崔 鹏, 杨 坤, 朱颖彦, 等. 西部山区交通线路的泥石流灾害及减灾对策 [J]. 山地学报, 2004 22(3): 326~ 331.
- [9] 何易平, 李 泳, 崔 鹏. 流团模型在泥石流危险度分区中的应用 [J]. 山地学报, 2003 21(6): 726~ 730
- [10] 黄明华, 郑新业. 苏皖两省铁路自然灾害规律的探讨 [J]. 铁道师院学报 (自然科学版), 1994 11(4): 31~ 43
- [11] 周华国, 魏庆朝, 张庆珩, 等. 中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, 1996 5(1): 8~ 13

- [12] 吴为禄. 既有铁路地质灾害信息系统研究 [J]. 北京测绘, 1996 (4): 28~ 31.
- [13] 邢俊义, 张于心, 高 巍, 等. 铁路灾害中承灾体的易损性因素对风险度的修正 [J]. 北方交通大学学报, 1999 23(3): 77~ 81.
- [14] 张 清, 黄朝迎. 中国交通运输气候灾害的初步研究 [J]. 灾害学, 1998 15(3): 43~ 46.
- [15] 徐叔鹰. 中国铁路自然灾害的成因与类型 [J]. 铁道师学报, 1997 14(4): 33~ 39.
- [16] 余 廉, 戴行信, 洪元义. 中国交通灾害 [M]. 湖南人民出版社, 1998 58~ 69.
- [17] 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, 2000 66~ 85.
- [18] 张 杰, 李栋梁, 王 文. 夏季风期间青藏高原地形对降水的影响 [J]. 地理科学, 2008 28(2): 235~ 270.
- [19] 钟 诚, 何宗宜, 刘淑珍. 西藏生态环境稳定性评价研究 [J]. 地理科学, 2005, 25(5): 573~ 578.
- [20] Taponnier P, Xu Z Q, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibetan Plateau [J]. Science, 2001, 294: 1671~ 1677.
- [21] 闫满存, 王光谦. 基于 GIS 的澜沧江下游区滑坡灾害危险性分析 [J]. 地理科学, 2007 27(3): 365~ 370.
- [22] 吴汉珍, 胡道功, 吴中海, 等. 青藏高原中段活动断层及诱发地质灾害 [M]. 地质出版社, 2005 1 113~ 118.
- [23] 魏一鸣. 自然灾害复杂性研究 [J]. 地理科学, 1998 18(1): 25~ 31.
- [24] 戴雪荣, 师育新, 俞立中, 等. 上海城市地貌环境的致灾性 [J]. 地理科学, 2005, 25(5): 636~ 640.
- [25] 中国气象灾害大典编委会. 中国气象灾害大典 (青海卷) [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 4, 22~ 234.
- [26] 中国气象灾害大典编委会. 中国气象灾害大典 (西藏卷) [M]. 北京: 气象出版社, 2008 1, 26~ 164.
- [27] 《青海自然灾害》编纂委员会. 青海自然灾害 [M]. 青海人民出版社, 2003 3 58~ 478.
- [28] 中国西部环境与生态科学数据中心. 中国强震目录 [EB/OL]. <http://westdcwestgis.ac.cn>
- [29] 李谢辉, 王 磊, 谭灵芝, 等. 渭河下游河流沿线区域洪水灾害风险评价 [J]. 地理科学, 2009 29(5): 733~ 739.
- [30] 王瑞平. 西藏自治区地图 (1: 2 090 000) [M]. 北京: 中国地图出版社, 2008.
- [31] 王瑞平. 青海省地图 (1: 2 480 000) [M]. 北京: 中国地图出版社, 2009.
- [32] 葛全胜, 邹 铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008 9 274~ 275.
- [33] 柯长青, 李培基. 用 EOF 方法研究青藏高原积雪深度分布与变化 [J]. 冰川冻土, 1998, 20(1): 64~ 66.
- [34] 刘青春, 秦宁生, 张 吉. 青海省春季沙尘暴特征及其异常气候背景分析 [J]. 干旱气象, 2005 23(2): 19~ 23.
- [35] 沈渭寿, 张 慧, 邹长新. 青藏铁路生态影响预测与评价 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005 1 1~ 10.

## The Characteristics of Natural Hazard Regional Combination Law along the Qinghai- Tibet Railway

LIU Feng-gu<sup>1, 2, 3</sup>, ZHANG Haifeng<sup>2</sup> CHEN Qiong<sup>4, 2</sup>,  
ZHANG Yili<sup>3</sup>, ZHOU Qiang<sup>2</sup>, LI Chun-hua<sup>2</sup> CAO Sheng-ku<sup>1</sup>

(1. School of Geography, Beijing, Normal University, Beijing 100875; 2. School of Life and Geographic Science, Qinghai Normal University, Xining, Qinghai, 810008; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101; 4. Center of Geographic Sciences, Peking University, Beijing, 100871)

**Abstract** The Qinghai- Tibet railway is one of the most sensitive railways to natural hazards in China. Using the historical records of natural hazards in 26 administrative units along this railway, the hazards were quantitatively analyzed. According to the cluster analysis of natural hazards' frequencies, the railway can be divided into 6 sections, each corresponding to a natural hazard regional combination type. The Lhasa Valley section is dominated by floods and landslides. The Southern Tibet Plateau section is dominated by snow hazards and earthquakes. The Qaidam Basin is dominated by wind hazards and earthquakes. The Qinghai Lake Basin section is dominated by floods and snow hazards. The Huangshui Valley section is dominated by floods and landslides, which is very similar to the Lhasa Valley section.

**Key words** Qinghai- Tibet Railway; natural hazard; regional combination