

王道远 崔光耀 袁金秀 杨彦岭 著

罕遇地震后 交通生命线快速重建 保障技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

罕遇地震后 交通生命线快速重建 保障技术

王道远 崔光耀 袁金秀 杨彦岭 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书依托汶川地震灾区交通生命线抢通、保通及恢复重建工程,对罕遇地震后高烈度艰险山区交通生命线快速重建保障技术进行了系统阐述。重点分析了路基、桥梁及隧道等交通构筑物的震害特征、震害分类、分级及处置技术,并对抢通、保通及恢复重建阶段震害快速分级及保障技术进行了技术总结。另外,本书还详细介绍了汶川地震后交通生命线快速重建过程中应用到的各种新型处置技术,案例翔实、内容丰富,对从事工程结构防灾减灾领域的科研人员、工程设计及施工人员都有很好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

罕遇地震后交通生命线快速重建保障技术 / 王道远
等著. — 北京:中国水利水电出版社, 2017.5
ISBN 978-7-5170-5447-4

I. ①罕… II. ①王… III. ①地震灾害—交通运输系
统一重建—研究—中国 IV. ①U

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第100669号

书 名	罕遇地震后交通生命线快速重建保障技术 HANYU DIZHEN HOU JIAOTONG SHENGMING XIAN KUAISU CHONGJIAN BAOZHANG JISHU
作 者	王道远 崔光耀 袁金秀 杨彦岭 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9印张 213千字
版 次	2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷
定 价	39.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

我国西部山区大部分位于高烈度艰险山区，交通运输通道稀少、脆弱，遭遇罕遇地震后如何快速抢通、稳定保通、高效恢复重建是一个难点。本书以川西大地震为契机，依托灾区交通生命线抢通、保通及恢复重建工程，对罕遇地震后交通生命线快速重建保障技术进行系统研究及技术总结，以期为我国高烈度艰险山区交通生命线的震后快速重建提供技术支撑。

本书由王道远、崔光耀、袁金秀和杨彦岭著。全书共分六章，第1章：概述；第2章：汶川地震后主要国省干线地质概况及灾害特征；第3章：抢通阶段综合技术的应用；第4章：保通阶段的综合技术；第5章：恢复重建阶段综合技术；第6章：交通生命线快速重建保障技术总结。

本书在总结分析现有抗震减灾技术的前提下，针对目前存在的不足和问题，通过对一系列关键技术的研究，进一步提升了我国在高烈度艰险山区路网规划、路线选择、抗震减灾措施、应急救援、次生灾害预测预报及其防治等方面的综合能力。同时，本书研究成果将为《公路工程抗震规范》（JTG B02—2013）的修订提供技术支撑，并可供相关行业借鉴与参考。

感谢四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院、四川省交通运输厅交通勘察设计研究院、中交第一公路勘察设计院有限公司、中交第二公路勘察设计院有限公司、中铁西南科学研究院有限公司及西南交通大学等单位提供的现场震害调查、检测及抢险施工资料。

由于作者水平有限，书中疏漏和不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

2017年1月

目 录

前言	
第 1 章 概述	1
1.1 巨大灾害造成灾区交通基础设施损毁极其严重	1
1.2 抢通、保通和灾后恢复重建任务异常艰巨	1
1.3 研究必要性	2
第 2 章 汶川地震后主要国省干线地质概况及灾害特征	4
2.1 震后公路沿线地质概况	4
2.2 “5·12”汶川地震后公路沿线主要灾损情况	21
2.3 沿线公路灾害特征及其类型划分	23
第 3 章 抢通阶段综合技术的运用	42
3.1 路线受损情况调查技术	42
3.2 路基路面抢通技术	43
3.3 桥梁抢通技术	46
3.4 隧道抢通技术	51
第 4 章 保通阶段的综合技术	55
4.1 路基防护加固技术	55
4.2 桥梁应急修复、加固技术	61
4.3 隧道应急保通加固技术	63
第 5 章 恢复重建阶段综合技术	68
5.1 灾区公路全面检测技术	68
5.2 综合选线技术	69
5.3 路基、路面修复加固技术	77
5.4 桥梁复位与加固技术	88
5.5 隧道恢复重建综合技术	96
第 6 章 交通生命线快速重建保障技术总结	113
6.1 抢险救灾应急机制、管理机制	113
6.2 抢通、保通阶段关键技术应用	113
6.3 恢复重建阶段关键技术应用	122
参考文献	135

第 1 章 概 述

2008 年 5 月 12 日，四川汶川发生里氏 8.0 级特大地震，这是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震，灾区千百万人民群众急需生死大救援，交通运输应急保障救援工作面临新中国成立以来最大的考验。

1.1 巨大灾害造成灾区交通基础设施损毁极其严重

汶川特大地震及其引发的滑坡、崩塌等次生灾害，使四川灾区交通基础设施损毁十分严重，损失十分巨大。四川省 19 个市州、150 个县的高速公路、国省干线公路、农村公路以及码头、客运站点和养护设施不同程度受损。灾害造成 21 条高速公路、15 条国省干线公路、2795 条农村公路的路基路面、桥梁隧道等结构物不同程度受损，受损里程 2.2 万 km（其中高速公路近 200km、国省干线公路逾 3500km、农村公路逾 1.8 万 km），受损桥梁 2900 多座、15.2 万延米，隧道 33 座、3.5 万延米。许多交通设施毁于一旦，一些路段全面损毁，造成毁灭性、根本性破坏。通往汶川、茂县、北川、青川、平武等重灾县以及极重灾区 254 个乡镇、2114 个行政村的公路交通一度完全中断。据不完全统计，四川省交通基础设施损失达 616 亿元。

灾区道路多处被滑坡、崩塌体毁坏、掩埋，路基挡防结构损坏、次生地质灾害（滑坡、崩塌、泥石流、落石）不断发生。桥梁损坏包括整体倒塌、被巨石砸断、梁体位移、挡块破坏、支座移位或滑落、桥台开裂、桥头路基沉陷等。隧道损坏包括：洞口区域山体滑坡崩塌掩埋洞口、洞门开裂、结构破损；衬砌开裂掉块甚至坍塌、施工缝开裂错台、衬砌开裂后渗漏水；排水系统遭到堵塞和破坏、积水严重，路面仰拱隆起、错台等。

国道 213 线都江堰到映秀段，35 座大小桥梁损坏率达 95%。映秀至汶川 56km、映秀到彻底关之间，18km 路就有 12km 被掩埋在乱石堆下，有 52 座大中桥梁（28 座跨越岷江）不同程度受损，其中 7 座桥梁垮塌（3 座跨越岷江）、1 座被掩埋、25 座严重受损已成危桥。特别严重的是，映秀至彻底关 18.5km 路段，集中了几十处大型岩崩、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生地质灾害和上百处路基边坡高危点，总塌方量超过 8000 万 m^3 。

1.2 抢通、保通和灾后恢复重建任务异常艰巨

面临如此大的道路损毁，道路抢通、保通及恢复重建遇到前所未有的技术难题和挑



战。通往灾区的主要通道基本上都是山区公路，设计等级低、抗灾能力弱且灾区道路主要穿行于深山峡谷，许多地段一侧是陡峭岩壁，另一侧是万丈深渊，一旦损毁，抢修队伍根本无法及时进入施工现场，大型机械难以施展。

山体大面积垮塌，使每一个断道处都堆积了少则几千立方米、多则数万立方米的地震垮塌物。据国土资源部航拍初步测算，都江堰至汶川沿线垮塌体达 3.2 亿 m^3 ，仅清理山体塌方，就相当于新修一条长 300km 的高速公路。

(1) 抢通中的主要难题。一是映秀岷江上游 2km 处（老虎嘴）近 70 万 m^3 的山体滑坡，形成壅堵湖淹没公路近 2km，淹没深度逾 10m。壅堵体致使水流改变方向，顶冲下游公路，造成近 500m 公路全毁。二是跨越岷江的彻底关大桥垮塌三孔共 90m，桥墩和桥台完全毁损。汛期无法在岷江围堰修筑桥墩，短期内不能恢复该桥。三是抢通工程量十分巨大。沿线滑坡体、崩塌体点多、线长、量大，滑坡体密度每公里达 19 处，多数滑坡体高度在 700m 以上。

(2) 保通中的主要难题。“5·12”汶川地震以后，崩塌、滑坡、泥石流等次生灾害一次次袭击灾区道路，使千疮百孔的公路雪上加霜。

(3) 恢复重建中的主要难题。灾区受损道路较多，原有道路破坏严重，抢通、保通时间受限；地震灾区余震不断，易引发新的次生灾害，抢通、保通道路存在较大安全隐患；公路中因地震引起的结构物损坏的快速评估暂无相关规范；灾区道路的恢复与重建中桥梁的复位与加固技术、隧道的恢复技术、地质灾害的评价预防、支挡结构的加固处理等措施无可借鉴的工程实例及统一的技术标准；灾区道路重建的抗震技术与如何提高防灾能力需在实践中检验；汶川地震以后，灾区的地质环境需要很长的恢复时间，不良地质条件对于重建公路路线选择以及运营中维护、防护影响较大。

1.3 研究必要性

我国地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广，是一个震灾严重的国家。1900—2007 年间，我国大陆地区已经发生 7.0~7.9 级地震 70 次，8.0 级及以上地震 6 次，这些地震造成的灾害涉及 28 个省（自治区、直辖市），死亡 59 万人，伤残 76 万人，受灾达数亿人次。地震及其次生灾害的严重性构成中国的基本国情之一。

科学技术的运用与突破为灾区道路抢通、保通和恢复重建工作取得显著成效提供了有力支撑。在整个抗震抢险工作中，交通战线创下了 5 个奇迹：①3 个月快速清除巨大塌方量；②老虎嘴山体大规模爆破；③快速架设彻底关 60m 跨度钢桥；④短时间完成大规模桥梁顶推复位；⑤抢通和恢复重建高速路。对这些“奇迹”有必要加以总结并提炼，为今后公路工程建设中的类似情况提供借鉴并且具有一定的指导意义。

科学技术在“5·12”汶川地震公路抢通、保通及恢复重建工作中发挥了巨大的作用，在总结分析现有抗震减灾技术的前提下，针对存在的不足和问题，通过对一系列关键技术研究后，必将全面提升我国在高烈度地震山区公路路网规划、路线选择、抗震减灾措施、应急救援、次生灾害预测预报及其防治等方面的综合能力，预期综合效益明显。虽然位于受灾区的公路大多为低等级公路，但“5·12”汶川地震暴露出来我



国目前公路工程的抗震设防标准，特别是生命线工程的抗震设防标准，山区复杂地质区道路选线，如何保证生命线通道的抗灾能力、行驶安全及应急避险等问题有待进一步的研究和提高。“5·12”汶川地震虽是无情的，但地震留下丰富的案例库，有待更深入地研究。

第2章 汶川地震后主要国省干线 地质概况及灾害特征

2.1 震后公路沿线地质概况

“5·12”汶川地震发生于青藏高原东部边缘向四川盆地的过渡地带——龙门山构造带，区域内地势整体由西北向东南倾斜，是我国乃至全球山脉中地形陡度最大区带之一，在100km的范围内，高差逾5000m，形成高山峡谷地貌，也是长江上游多条河流分布区，地形地貌复杂多变，褶皱和断裂构造极为发育。受青藏高原与四川盆地强烈的挤压，迄今仍处于活动状态，多次发生强烈地震。

龙门山构造带包括茂县—汶川一带的后山断裂、青川—北川—映秀再向西南延伸的主中央断裂、汉旺东—都江堰东的前山断裂以及山前隐伏断裂。3条断裂带走向均近似北东方向，以中央断裂带为界，西北出露岩层老且复杂，东南出露岩层新。“5·12”汶川地震震中位于龙门山中央断裂带附近的映秀镇，地震主发断裂为中央断裂带，破裂长度约275km，前山断裂南段发生局部破裂，破裂长度长约80km，中央断裂和前山断裂的破裂方式都是逆冲兼右旋走滑为主，沿北东方向破裂。

在西部地质构造强烈活动区，由于河谷深切、地势陡峻，地震灾害点集中分布在河谷两岸，与河流的空间分布一致。灾害主要集中分布在800~3000m的范围，该地区为四川省主要河流的发源地，支流众多，切割强烈，河流向下切割深度达500~1000m，河谷狭窄，谷坡陡峻，使得山体坡度和临空面增大，利于滑坡的形成，河流切割所形成的坡体坡度的变化和转折使得这一海拔高度对于地震的响应尤为明显。省内主要国省干道基本沿河流展布，受到灾害的影响最大。研究区地震烈度分布如图2-1所示，灾害主要集中在地震烈度7度及其以上地区，国道213线都江堰—川主寺段、国道317线都江堰—马尔康段、省道303线映秀—卧龙段、省道302线绵阳—茂县段地震烈度达7度及以上，沿岷江及其支流展布，地震期间损毁严重。

2.1.1 国道213线映秀至汶川段区域地质概况

1. 气象、水文

线路经过区属川西高原气候区和川东盆地亚热带气候区，多年平均气温13.5~13.9℃，1月平均气温最低2.3℃，7月平均气温最高25.4℃。实测最大风速为17m/s，多年平均风速3.1m/s。

年平均降雨量在映秀以南为1001.9~1264.7mm，最大年降雨量2434.8mm，是有名的川西暴雨区，夏季暴雨频繁、强度大、历时短，每年最大洪水多出现在6—9月；映秀附近日最大降水量为269.8mm。映秀以北绵鹿、威州一带，年降水量526.3mm，日最大

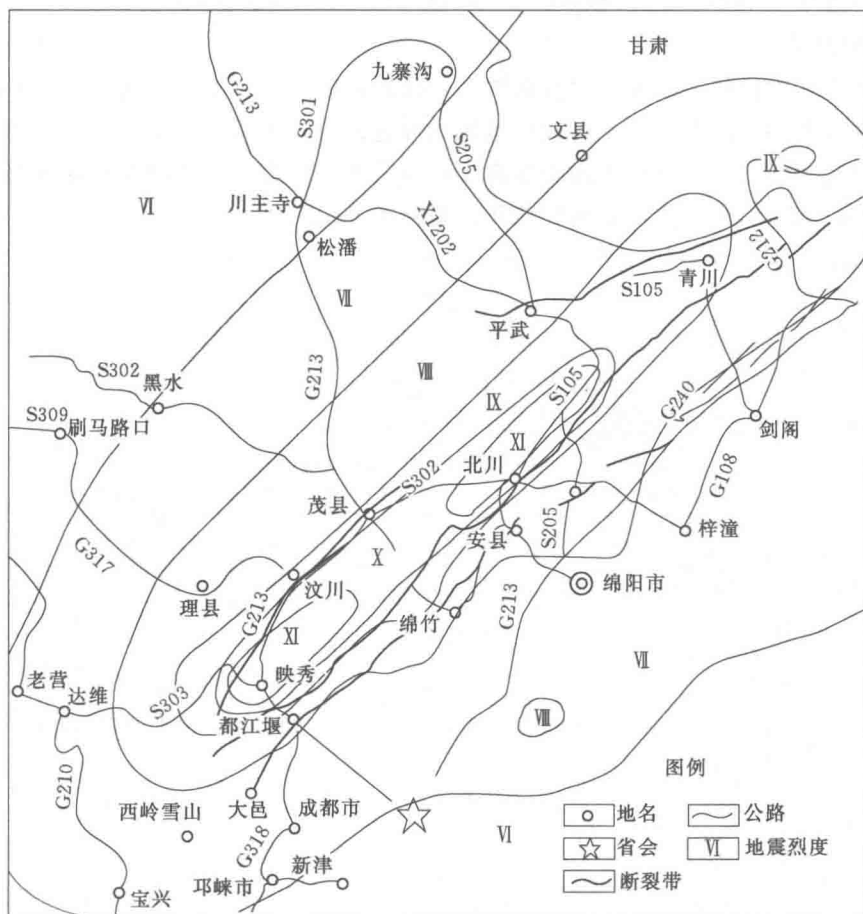


图 2-1 路网分布与地震烈度关系

降水量 79.9mm。

2. 地形地貌

映秀—汶川公路位于四川盆地西北侧，公路地理坐标为：东经 $103^{\circ}29'33''\sim 103^{\circ}34'17''$ ，北纬 $31^{\circ}03'50''\sim 31^{\circ}28'11''$ ，路线基本为南北走向。地形受龙门山中段九顶山及其支脉控制，总的地势呈西北高、东南低趋势。汶川—映秀段属典型的中山峡谷地貌，高山连绵，山体海拔一般在 $1000\sim 3000\text{m}$ ，河谷深切，谷坡陡峻，相对高差 1000m 左右，坡度一般为 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。

基岩以岩浆岩和变质岩为主。岷江河谷的开阔地带发育四级阶地，洪积扇、崩积岩堆到处可见。该段第四纪冰川活动频繁，冰碛物发育。起点至草坡段为 V 形河谷，草坡至止点汶川为 U 形河谷。

3. 地层岩性

沿线主要出露：晋宁—澄江期岩浆岩、元古界黄水河群下部岩组 ($\text{Pt}_{\text{m}}^{\text{I}}$) 变质岩；古生界志留系茂县群 (S_{mx}^2) 灰岩；泥盆系月里寨群 (Dy_1^2) 灰岩、千枚岩及第四系松散层 [包括人工堆积层 (Q_4^{ml})、坡洪积层 ($\text{Q}_4^{\text{dl+pl}}$)、冲洪积层 ($\text{Q}_4^{\text{al+pl}}$)、崩坡积层 ($\text{Q}_4^{\text{c+dl}}$)、崩



塌堆积层 (Q_4^{col})、滑坡堆积层 (Q_4^{del}) 以及残坡积层 (Q_4^{pl+dl})。

4. 地质构造

路线区构造主体位于松潘—甘孜褶皱系一级构造单元。两条北东向压扭性大断裂（茂汶断裂和映秀断裂）纵贯全区，构成区域基本构造格架。路线绝大部分布设在茂汶断裂与映秀断裂之间的断块上。断块上除局部有支断裂分布外，没有区域性大断裂分布，主要构造线为北东、北东东向，次为北西、北西西向（图 2-2）。

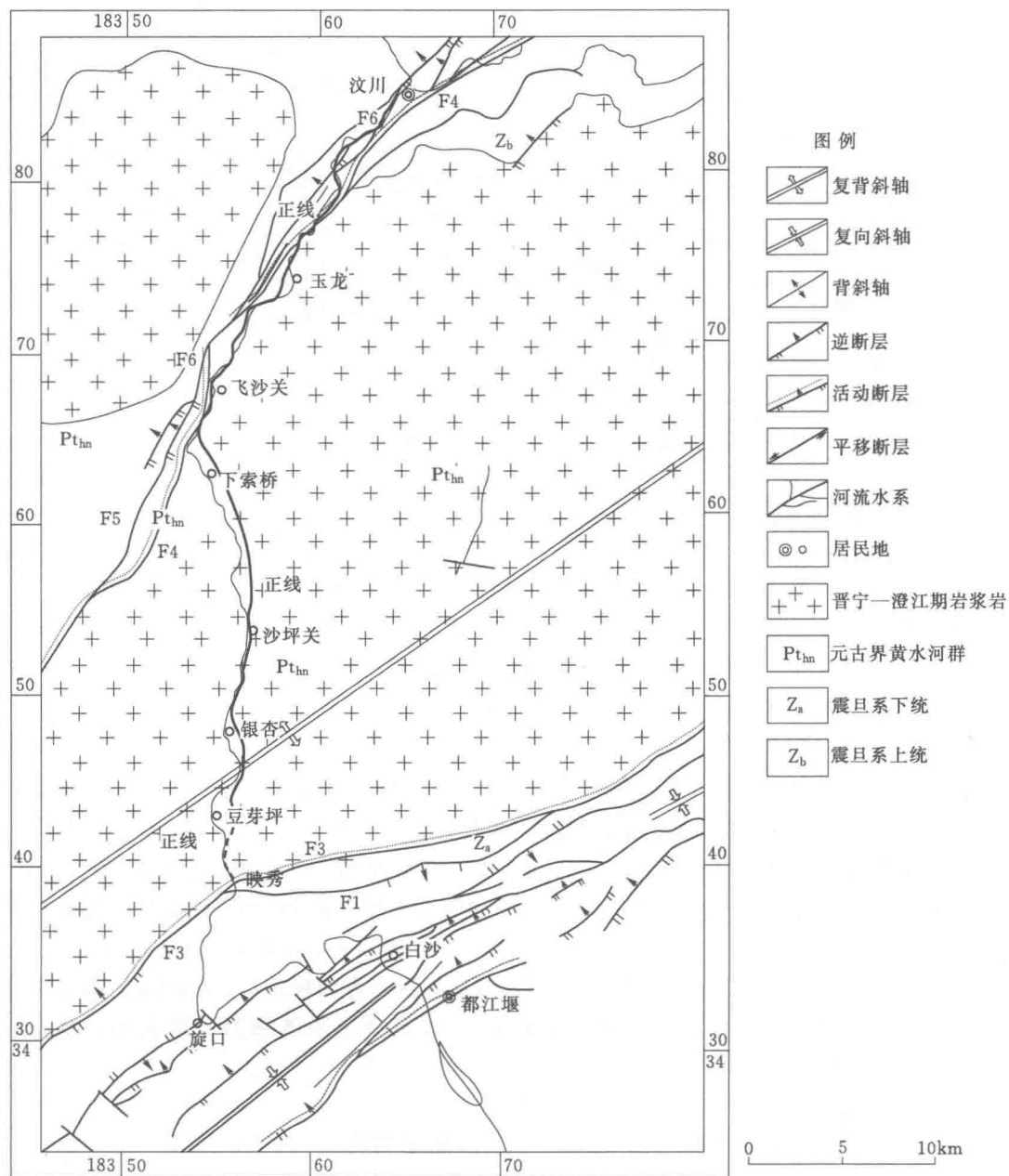


图 2-2 映汶公路沿线地质构造略图



褶皱构造主要为彭灌复背斜。断裂构造主要为映秀断裂(F3)和茂汶断裂(F4),两条断裂一直处于活动状态,线路从绵虬至路线终点与茂汶断裂及其分支断层平行或斜交,对线路工程影响大。

5. 新构造运动与地震

区内地质构造复杂,新构造运动较活跃。最大一次地震发生于2008年5月12日8.0级汶川地震紧邻线路区,其地震烈度达9度以上,局部更高。路线区地震动峰值加速度 $0.2g$,地震动反应谱特征周期为 $0.35\sim 0.40s$,抗震设防烈度8度。

6. 水文地质

线路经过区属岷江水系,路线多分布于岷江两岸,流域面积 $23037km^2$,岷江为沿线最大的河流,其枝状水系极发达,使其沿线地表水及地下水循环极强烈。地下水类型为3类,即松散堆积层孔隙水、岩浆岩裂隙水及千枚岩、石英岩夹结晶灰岩风化裂隙水。除登基沟沟水对混凝土具有碳酸盐弱腐蚀性外,其余支沟地表水与岷江水对混凝土无侵蚀性。

7. 人类工程活动

汶川县地广人稀,人类工程活动强度总体上较为微弱,局部相对集中。沿线人类工程活动主要表现为以下几个方面:①城市和道路建设;②泥石流堆积扇附近的农耕和房屋建设;③矿产开发;④水利水电开发。

2.1.2 国道213线川主寺至汶川段区域地质概况

1. 气象水文

线路经过区属川西高原气候区和川东盆地亚热带气候区,境内小气候效应、垂直分带气候显著。多年平均气温 $5.7\sim 13.9^{\circ}C$ 。实测最大风速为 $17m/s$,多年平均风速为 $3.1m/s$ 。雨季为4—10月,年降水量为 $484.1\sim 838.2mm$,日最大降水量为 $75.2\sim 79.9mm$ 。随海拔的增加降雨量逐渐增大。

2. 地形地貌

G213线川主寺—汶川段公路位于四川盆地西北侧,路线基本为南北走向,沿岷江河谷展布。区内地势大部分属邛崃山系岷山山脉地形,受龙门山中段九顶山及其支脉控制,总的地势呈西北高、东南低趋势,谷坡险峻陡峭,河谷狭窄,河流深切。

汶川段内山体海拔高度一般在 $1000\sim 3000m$,河谷深切,谷坡陡峻,相对高差 $1000m$ 左右,坡度一般为 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。河谷的开阔地带发育四级阶地,洪积扇、崩积岩堆到处可见。该段第四纪冰川活动频繁,冰碛物发育。起点汶川境内为U形河谷。

茂县段河谷多呈V形。两岸主要为侵蚀中山地貌,海拔 $900\sim 3200m$,相对高程 $500\sim 1000m$,斜坡坡度 $36^{\circ}\sim 45^{\circ}$,主要分布在凤仪—南新以及光明乡一带。叠溪、石大关—红岩、黑水河一带为高山地貌。

松潘县位于川西北丘状高山高原区。主要为岷山邛崃山高山区北部,县境内总体地形是西北高、东南低,其地貌特征主要为西北高原和东南高山峡谷两大部分。G213线松潘段主要沿岷江展布,处于高山峡谷地貌区。

3. 地层岩性

川主寺—汶川段沿线出露地层较多,包括以下几个。



(1) 汶川县境内路段主要出露：元古界黄水河群下部岩组 (Pthn¹) 变质岩；泥盆系月里寨群 (Dyl²) 灰岩、千枚岩。

(2) 茂县段境内主要出露：寒武系砂砾岩、千枚岩；古生界志留系茂县群 (Smx) 千枚岩；泥盆系危关群 (Dwg²)、月里寨 (Dyl²) 群灰岩、千枚岩；石炭系一二叠系 (C+P) 灰岩、千枚岩；三叠系西康群 (Txk) 砂岩、灰岩。

(3) 松潘县境内主要出露地层有三叠系西康群 (Txk) 砂岩、灰岩。

(4) 第四系松散层：包括人工堆积层 (Q₄^{ml})、坡洪积层 (Q₄^{dl+pl})、冲洪积层 (Q₄^{al+pl})、崩坡积层 (Q₄^{c+dl})、崩塌堆积层 (Q₄^{col})、滑坡堆积层 (Q₄^{del}) 以及残坡积层 (Q₄^{el+dl})，沿线均有分布。

4. 地质构造

汶川段构造主体位于松潘—甘孜褶皱系一级构造单元。两条北东向压扭性大断裂（茂汶断裂和映秀断裂）纵贯全区，构成区域基本构造格架。路线绝大部分布设在茂汶断裂与映秀断裂之间的断块上。主要构造线为北东、北东东向，次为北西、北西西向。褶皱构造主要为彭灌复背斜。断裂构造主要为映秀断裂 (F₃) 和茂汶断裂 (F₄)，两条断裂一直处于活动状态，线路从绵虬至路线终点与茂汶断裂及其分支断层平行或斜交，对线路工程影响大。

茂县段内地质构造主要为较场山字形构造带、石大关弧形构造带和龙门山华夏系构造带，主要断层有茂汶断层、九顶山断层，主要褶皱有九顶山向斜和赤不苏倒转向斜等。这些构造造成区内岩性破碎、产状倒转等地质特点。

松潘段所处大地构造是四川东西两大地块重力梯度及莫霍面突变带，该带内重力失衡，地质构造复杂，各类地质应力易于集中。新构造运动活动强烈，地震频繁，而诱发地质灾害。县域主要褶皱构造有雪宝顶倒转背斜、黄龙复背斜、磨子坪倒转复向斜、花海子复背斜、香腊台复背斜等褶皱。主要断裂有虎牙大断层、岷江断裂、雪山断裂、红星崖断裂、小河断裂、四沟断裂、垮石崖—香腊台断裂、牟泥沟—热摩柯断裂。其中，虎牙大断层、岷江断裂是两条活动性断裂（图 2-3）。

5. 新构造运动与地震

汶川段地质构造复杂，新构造运动较活跃。最大一次地震为发生于 2008 年 5 月 12 日的 8.0 级汶川地震，紧邻线路区地震烈度达 9 度以上，局部更高。路线区地震动峰值加速度为 0.2g，地震动反应谱特征周期为 0.35~0.40s，抗震设防烈度为 8 度。

茂县段新构造运动较强烈，区内以大面积抬升为主。因而在岷江和黑水河等两侧，第四纪阶地较为发育。物理地质现象较发育。在中高山峡谷地区滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害较普遍。茂汶断裂、龙门山断裂，近代仍在继续活动，而且活动也较频繁，1933 年 8 月发生的叠溪地震、2008 年 5 月 12 日汶川县 8.0 级地震，茂县境内震感强烈。茂县地震加速度值为 0.15g，其大部分地区抗震设防烈度为 7 度，叠溪以北的地区抗震设防烈度为 8 度。

松潘段新构造运动，具不平衡相对抬升与沉陷的地块差异运动特征，活动强烈。县境内地震活动强烈、频繁，危害大。自公元 638 年以来，共发生 4.7 级以上地震 66 次。松潘县县城地震烈度为 7 度，县城以外地震烈度为 5 度。

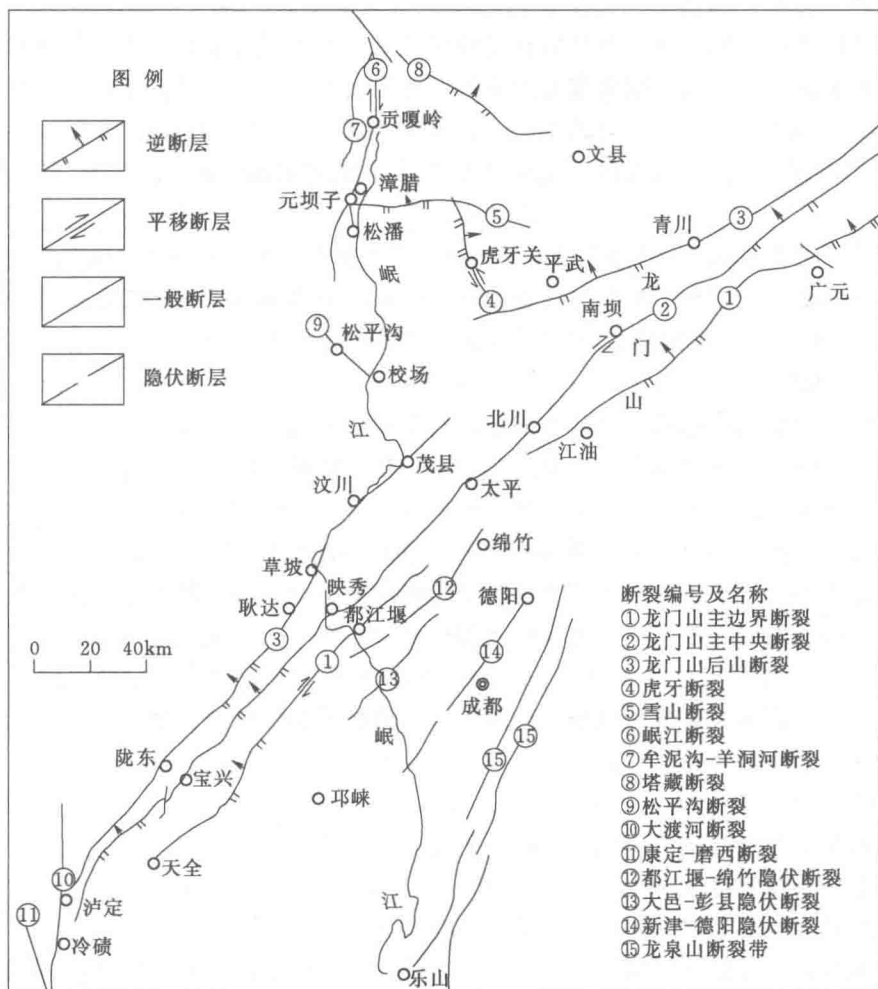


图 2-3 国道 213 线汶川至川主寺段构造纲要图

6. 水文地质

线路经过区属岷江水系，路线多布于岷江两岸，岷江为沿线最大的河流，其枝状水系极发达，使其沿线地表水及地下水循环极强烈。地下水类型为 3 类，即松散堆积层孔隙水、岩浆岩裂隙水及千枚岩、石英岩夹结晶灰岩风化裂隙水。地表水、地下水对钢结构有弱腐蚀性，对混凝土、钢筋混凝土均无腐蚀性。

7. 人类工程活动

汶川、茂县、松潘沿线地广人稀，人类工程活动强度总体上较为微弱，局部相对集中。沿线人类工程活动主要表现为以下几个方面：①城市 and 道路建设；②泥石流堆积扇附近的农耕和房屋建设；③矿产开发；④水利水电开发。

2.1.3 国道 317 线汶川至马尔康段区域地质概况

国道 317 线汶川至马尔康段公路位于四川省西北部阿坝州境内，途经汶川县、理县、马尔康 3 个行政区域。路线主要沿杂古脑河流域及梭磨河展布。



1. 气象水文

工程区属川西高原气候,受西伯利亚西风气流、印度洋暖流和太平洋东南季风3个环流的影响,形成季风气候。因海拔高差悬殊,地形复杂,气候差异显著,具有山地立体型气候特征。5—6月、9—10月为雨季,7—8月形成伏旱。全年平均气温 11.4°C ,冬季平均气温 -3°C 左右,7月、8月两月平均气温 15°C ,极端最高气温 35.6°C ,极端最低气温 -7.4°C 。

路线涉及河流主要为岷江水系的杂谷脑河以及大渡河水系的梭磨河,杂谷脑流域多年平均流量为 $64.4\text{m}^3/\text{s}$,多年平均年径流深为 844.8mm 。历年最大洪峰流量最大值为 $489\text{m}^3/\text{s}$ (1989年6月16日),历年最大洪峰流量的最小值为 $171\text{m}^3/\text{s}$ (1965年7月15日)。

2. 地形地貌

路线区位于青藏高原向四川盆地的过渡地带,地势西北高、南东低。区内山岭海拔一般为 $3500\sim 4000\text{m}$,相对高差为 $1000\sim 2000\text{m}$,谷高坡陡,属侵蚀深切河谷及剥蚀侵蚀中高山区。沿河历史上多处崩塌堰塞成湖,湖积成宽谷。沿河两岸分布I~V级阶地堆积地貌。高程为 $3500\sim 5000\text{m}$ 高山地带近代冰蚀作用相对强烈,现今雪峰尚存,杂谷脑河及其支流为冰蚀谷。区内南北向的邛崃山脉是两大水系的分水岭,其西为大渡河水系,东为岷江水系。杂谷脑河为岷江右岸的一级支流,发源于鹧鸪山南麓,从西北向南流,河道平均坡降 18.4% ,谷底宽度一般为 $40\sim 120\text{m}$ 。物理地质现象发育。沿梭磨河路段穿越高山峡谷区,河谷地带I、II级阶地分布,呈台地、缓坡及斜坡地形,局部路段岩土质边坡陡峻,多为陡崖。

3. 地层岩性

公路沿线主要出露基岩及岩性为以下几种。

(1) 志留系茂县群(Smx^2 、 Smx^3 、 Smx^4 、 Smx^5 、 Smx^6):灰色绢云千枚岩、黑色炭质千枚岩与薄层结晶灰岩和砂岩。

(2) 泥盆系危关群(Dwg):黑灰色炭质千枚岩、灰色薄~中层石英岩、结晶灰岩。

(3) 三叠系杂谷脑组上段(T_2z^2):中厚层变质砂岩夹板岩及少量千枚岩组成,总厚度为 $390\sim 849\text{m}$,与下伏菠茨沟组(T_1b)地层整合接触。断续分布于线路沿线。

(4) 三叠系上统侏倭组(T_3zh):厚~中厚层变质砂岩与板岩(千枚岩)韵律互层,总厚 $682\sim 1519\text{m}$,与下伏的杂谷脑组整合相交。断续分布于线路沿线。

(5) 三叠系新都桥组(T_3x):板岩(千枚岩)夹变质砂岩,通常分布于向斜核部,厚度约为 784m 。断续分布于线路沿线。

(6) 第四系松散堆积物零星分布于河谷、支沟及两岸谷坡中下部,主要由冲积(Q_4^{al})、洪积(Q_4^{pl})、崩坡积($\text{Q}_4^{\text{col+dl}}$)及人工填土(Q_4^{ml})组成。

4. 地质构造

路线经过区位于松潘—甘孜褶皱系的巴颜喀拉冒地槽褶皱带内、南接后龙门山冒地槽褶皱带,北邻扬子准地台的摩天岭台隆,东靠龙门山台缘褶皱带。区内地层总体走向 $\text{N}10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{W}$,倾向南西或北东。

区域内构造形迹以紧密线状弧形褶皱为主,路线区大中型断裂构造发育较少,主要构造形迹为褶皱。区内主要包括马尔康北西向构造形迹群(I)、族郎帚状构造形迹群(II)



及薛城 S 形构造形迹群 (Ⅲ)。区内规模较大的断层有 4 条,其走向均顺褶皱构造线方向呈北西—南东向展布,属压扭性逆断层。小型断层区内常见。

(1) 马尔康北西向构造形迹群 (I): 位于米亚罗断层以西,由一系列呈北西—南东向展布的线状褶皱构成,褶皱群内部伴有数条呈北西—南东向展布的压扭性断裂。

1) 褶皱。本构造形迹群内有 9 条规模较大的一级线状褶曲,其间尚夹有 31 条规模较小,部分呈右行雁行排列的次级褶皱,具直线顺扭特点。

2) 断裂。区内规模较大的断层有 4 条,其走向均顺褶皱构造线方向呈北西—南东向展布,属压扭性逆断层。小型断层区内常见,现将区内最主要的米亚罗断层描述如下。

米亚罗压扭性断层: 分布于鹧鸪山垭口—大郎坝—米亚罗—夹壁一线,北端消失于马塘沟,南端延入“茂汶幅”境内,全长大于 56km。十八拐沟以北,北段断层走向呈 325° 方向展布,断层倾向北东,倾角 $40^\circ\sim 45^\circ$ 。在鹧鸪山一带,沿断层带有较多的酸性侵入岩脉顺断层线分布。南段米亚罗—夹壁一带,断层走向向东偏转,呈 310° 方向展布,断面扭成向南西倾斜,倾角 $48^\circ\sim 52^\circ$ 。断层两侧平行于主断层面的次级断裂发育,两盘地层有三叠系杂谷脑组、侏倭组及新都桥组砂板岩,岩石甚为破碎,破碎带宽逾 $40\sim 100\text{m}$,由碎裂岩、角砾岩、糜棱岩组成。局部可见断层擦痕。上盘上升、下盘下降,拖拉褶皱发育,属压扭性逆断层。南段夹壁沟一带,断层斜切地层构造线,使两盘地层发生反扭错位,水平断距达 3km。

(2) 族郎帚状构造形迹群 (II)。理县米亚罗沟、夹壁公社及族郎、赤玛梁一带,由一系列向西凸出,向北东收敛,向南西撒开的线状褶皱组成。呈左行雁行排列,区内长约 30km,并伴有少数微呈弧形分布的压扭性断裂构造,5 个较大规模的褶皱分别为: ①理县獐鹿场倒转复背斜; ②小夹壁倒转向斜; ③泸杆桥背斜; ④加拉沟向斜; ⑤古尔沟向斜。

(3) 薛城 S 形构造形迹群 (III)。薛城 S 形构造形迹群的尾部,分布于理县梭罗沟一带。中段弧形转弯部分由一系列弧形线状褶皱和压扭性弧形断层组成。S 形构造的尾部由数个呈南北凸出的弧形线状褶皱组成,其西段弧形弯曲度较大,呈 40° 方向展布,东段弧形弯曲度较小,呈 285° 方向展布。

5. 新构造活动及地震

阶地发育特征表明,研究区的新构造运动表现为大面积整体性、间歇性抬升为主。路线区及处于以水平运动为主的现代构造应力场中,三向应力状态属潜在走滑型。

地震活动主要受东面的松潘—较场地震带、龙门山地震带以及西面的鲜水河地震带影响。历史及现今地震活动较弱,不具备强震的地震地质背景。

路线经过区地震基本烈度由汶川至马尔康逐渐减弱,汶川、理县地区地震基本烈度为 8 度,马尔康地区地震基本烈度为 7 度,地震动峰值加速度为 $0.15g$,地震动反应谱特征周期为 0.40s。

6. 水文地质

工区地下水按赋存介质的不同分为两种类型,即基岩裂隙水和第四系松散对基层中的孔隙水。

区内地下水及河流水属低矿化度弱碱性淡水,对混凝土均不具腐蚀性,对钢结构具弱



腐蚀性。

7. 人类工程活动

研究区内人类工程活动主要包括公路修建过程中边坡的开挖填筑及水库的蓄水、降水。

2.1.4 省道 303 线映秀至卧龙段区域地质概况

1. 气象水文

省道 303 线映秀—卧龙段经过区属盆地边缘气候区，气候温暖湿润，四季分明，其中 6—8 月降水集中，占全年降水量的 66%~76%，日最大降水量可达 269.8mm，年降雨量为 827.6~1264.7mm。

2. 地形地貌

该段公路位于四川盆地与青藏高原东南缘的过渡地带，主要为中高山、高山峡谷地貌，地势总体上有西北高东南低之势。区内地貌主要特征受复杂的断层、褶皱及构造裂隙等控制，节理地质现象非常发育，主要为鳍状高山、齿状高山、尖峭状高山及部分河间谷地。以耿达乡四姑娘山、卧龙镇巴朗山为最高，海拔为 5040m，最低点位于映秀镇的渔子溪河口，海拔为 950m，地形切割较深，地势较高，沟谷狭窄，斜坡陡峻。

3. 地层岩性

沿线主要出露晋宁—澄江期岩浆岩、古生界志留系茂县群 (Smx) 板岩夹千枚岩、泥盆系危关群 (Dwg) 灰岩、石炭系—二叠系 (C+P) 灰岩、三叠系西康群 (Txk) 灰岩及第四系松散堆积层。

4. 地质构造

路线经过区位于龙门山华夏系构造体系之中南段的九顶山华夏系构造带内，又属于甘孜—松潘地槽褶皱带与扬子地台之间隙褶皱亚系，构造复杂。主要发育有彭灌复背斜、卧龙倒转向斜、龙潭沟倒转背斜、映秀断裂、茂汶断裂等 (图 2-4)。

5. 新构造活动及地震

区内新构造运动表现为区域性地壳急剧上升并伴随断裂活动，有两条主要大断裂，即青川—茂汶断裂带、北川—映秀断裂带。其中，北川—映秀断裂是此次“5·12”汶川地震主要发震断层，近期活动性较强，为活断层。青川—茂汶断裂也一直处于活动状态。

2008 年 5 月 12 日 8.0 级汶川地震紧邻路线区，其地震烈度达 9 度以上。路线区地震动峰值加速度为 0.15~0.2g，抗震设防烈度为 8 度，设计地震分组为第一组。

6. 水文地质

渔子溪为沿线最大的河流，其枝状水系极发达，使其沿线地表水及地下水循环强烈。沿线地下水受地形、岩性、岩相、构造和地质等因素的控制，地下水类型有 3 类，即松散堆积层孔隙水、岩浆岩裂隙水及千枚岩、石英岩夹结晶灰岩风化裂隙水。对混凝土无腐蚀性。

7. 人类活动对地质环境的影响

区内人类工程活动以农耕、场镇建设、修建公路、修建电站等活动为主，目前破坏地质环境的人类工程活动较强烈。