

四川省 2021—2022 年度重点出版规划项目

“8·8” 九寨沟地震灾区 地质灾害生态化防治研究

马志刚 裴向军 胡卸文 游勇 范宣梅 董秀军 胥良 张群 著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

“8·8”九寨沟地震灾区地质灾害生态化防治研究 /
马志刚等著. —成都: 西南交通大学出版社, 2021.11
ISBN 978-7-5643-8341-1

I. ①8… II. ①马… III. ①九寨沟—地震灾害—灾
区—地质灾害—生态防治—研究 IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 220067 号

“8·8” Jiuzhaigou Dizhen Zaiqu Dizhi Zaihai Shengtaihua Fangzhi Yanjiu

“8·8” 九寨沟地震灾区地质灾害生态化防治研究

马志刚 裴向军 胡卸文 游勇 范宣梅 董秀军 胥良 张群 著

责任编辑	杨 勇
封面设计	GT工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川玖艺呈现印刷有限公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	19.5
字 数	429 千
版 次	2021 年 11 月第 1 版
印 次	2021 年 11 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-8341-1
定 价	168.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

PREFACE

前言

2017年8月8日21时19分46秒，四川省阿坝州九寨沟县发生里氏7.0级大地震，震中位于九寨沟县漳扎镇世界自然遗产九寨沟风景名胜区内(N33.20°，E103.82°)，震源深度20 km，最大烈度为IX度，VI度区及以上总面积为18 295 km²，造成四川省、甘肃省共8个县受灾，25人死亡，525人受伤，6人失联，176 492人受灾，73 671间房屋不同程度受损，景区内发生大面积的崩塌滑坡滚石灾害，29处公路阻塞、断道，火花海钙化堤垮塌、诺日朗瀑布堆积体局部垮塌、多处崩滑体进入熊猫海，次生地质灾害严重影响了九寨沟风景名胜区游客安全和可持续发展。

秉承习近平总书记“三个坚持，两个转变”防灾减灾救灾理念，围绕“保生命、保景观、保未来”的工作目标，研究团队立足九寨沟景区地质灾害防治与生态环境保护实际需求，系统开展了现场调查、模拟试验、室内分析等工作，深入研究了地质灾害的孕灾环境、发育分布规律、隐患识别技术、监测预警方法、动态演化规律与长期效应及生态化修复防治技术等内容，构建了集“调查、监测、防治”于一体的地质灾害生态化防治理论和技术方法体系，并成功应用于九寨沟景区40处地质灾害隐患点监测预警，则查洼沟、五花海、扎如

寺、诺日朗停车场、荷叶寨及老虎嘴等多处地质灾害生态化治理工程，全面指导了自然资源管理部门调查评价、专业监测预警及治理工程，有效保障了九寨沟灾后恢复重建和可持续发展，社会效益、生态效益和经济效益良好。

具体包括以下几个方面的研究成果：

(1) 揭示了同震地质灾害空间发育分布规律和关键控制因素，建立了九寨沟高位隐蔽性地质灾害解译标志。

(2) 建立了基于点面与群专双结合的地质灾害精细化气象预警技术系统，提出了一种基于动力侵蚀的斜坡-泥石流预警模型，形成了监测预警与避险响应组合式数字化动态预案。

(3) 揭示了九寨沟震后地质灾害时空演化规律，建立了震后地质灾害链物质运移时空演化规律与长期效应预测模型。

(4) 自主研发了新型高分子聚合物和改性糯米灰浆两种生态化修复材料，构建了基于生态环境恢复治理的砂土斜坡生态恢复与修复技术，实现了砂土斜坡的生态化修复。

(5) 提出了泥石流停淤场平面布局规划设计方法、兼顾拦挡和景观生态美化功能的停淤挡墙、生态型坝下修复加固技术、生态-岩土工程优化配置技术等系列泥石流生态化防治工程技术方法。

(6) 提出了基于生态环境保护的斜坡地质灾害防治工程设计理念，创新

性建立了针对高位危岩崩塌不同冲击能量的桩板拦石墙与缓冲层最佳组合结构、材质和厚度，形成了针对震裂山体及滑坡体注浆加固，桩板拦石墙外侧表部植物种植遮挡覆盖。

本书共 8 章，第 1 章介绍了九寨沟地震灾区地质灾害孕灾背景，第 2 章和第 3 章介绍了同震地质灾害空间发育分布规律与隐患早期识别技术方法，第 4 章介绍了景区地质灾害的监测预警技术方法，第 5 章阐述了震后地质灾害的动态演化规律与长期效应，第 6 章介绍了新型环境生态化修复材料与技术，第 7 章介绍了九寨沟地震灾区斜坡生态化防治技术，第 8 章介绍了九寨沟地震灾区泥石流生态化防治技术。

本书第 1 章由张群、李永建、仁青周、刘子仪等撰写，第 2 章由李为乐、董秀军、陆会燕、卢佳燕等撰写，第 3 章由董秀军、郭晨、唐荣成等撰写，第 4 章由马志刚、张群、陈红旗、胡凯衡、谢洪波、李俊峰、张少杰、文广超、王小东、唐得胜等撰写，第 5 章由范宣梅、郭晓军、李大鑫、王立娟、赵娟、陈建君、杨帆、王绚、夏冰、赵程、熊坤勇、谢睿等撰写，第 6 章由裴向军、袁进科、周立宏撰写，第 7 章由胡卸文、罗鹏、石胜伟、裴向军、张远明、何文秀、刘德兵、周立宏、梅雪峰、吴建利、杨栋、周云涛、杨浩、贾宏宏、傅籍锋、周红等撰写，第 8 章由游勇、柳金峰、王道杰、赵万玉、孙昊、石胜伟、黄海、杨东旭、张继、李江等撰写。最后由马志刚、胥良和

张群统稿。

本项成果的顺利完成得到了四川省自然资源厅、中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所、成都理工大学、西南交通大学、九寨沟风景名胜管理局、四川省国土空间生态修复与地质灾害防治研究院的大力支持，在此一并深表谢意！在项目过程中也得到了其他相关部门和单位的大力支持与帮助，在此，向他们表示衷心的感谢。

限于作者的知识面和学术水平，书中难免出现疏漏之处，敬请读者朋友批评指正。

著 者

2021年8月

目 录

1 地质灾害孕灾背景	001
1.1 地形地貌	001
1.2 气象水文	003
1.3 地层岩性与工程地质岩组	004
1.4 地质构造	007
1.5 新构造运动及地震	010
2 同震地质灾害特征与发育分布规律	011
2.1 研究区影像数据资料收集	011
2.2 同震地质灾害编目	012
2.3 同震地质灾害主要特征	018
2.4 同震地质灾害发育分布特征	019
2.5 同震地质灾害易发性评价	031
3 震后隐蔽性地质灾害早期识别	040
3.1 地质灾害早期识别“三查”体系	040
3.2 基于光学遥感和 InSAR 技术的地质灾害隐患普查	045
3.3 基于机载 LiDAR 技术的地质灾害详查	065
3.4 地质灾害人工地面核查	081
4 地质灾害监测预警技术与示范	094
4.1 地质灾害监测预警需求	094
4.2 地质灾害精细化监测技术研究	094
4.3 地质灾害点面结合预警模型研究	107
4.4 监测预警系统研发与示范应用	125

5 震后地质灾害动态演化规律与长期效应	144
5.1 震后地质灾害时空演化规律研究	144
5.2 震后地质灾害长期效应研究	166
6 新型环境生态化修复材料与技术	170
6.1 环境生态化修复理念和模式	170
6.2 高分子聚合物生态化修复材料研究	171
6.3 改性糯米灰浆生态化修复材料研究	196
7 斜坡地质灾害生态化防治技术与应用	203
7.1 斜坡地质灾害生态化防治理念和类型	203
7.2 危岩（崩塌）与滑坡原位生态化主动加固技术	212
7.3 高位崩塌被动拦挡工程生态化处理技术	231
7.4 斜坡地质灾害生态化防治技术应用示范案例	257
8 泥石流生态化防治技术与应用	265
8.1 泥石流生态化防治的原则与目的	265
8.2 泥石流防治工程关键参数确定方法	267
8.3 泥石流生态化防治工程技术方法	279
8.4 泥石流生态化防治技术试验示范	288
参考文献	304

1 地质灾害孕灾背景

1.1 地形地貌

九寨沟景区地处青藏高原与四川盆地的大地貌单元过渡的深切高山峡谷地带，地势上南高北低，流域面积 651.61 km²，其中森林面积 277.9 km²，占流域总面积的 42%。沟内村寨及耕地面积 6.14 km²，约占全流域面积的 1%。主沟发育于流域最南端的尕尔纳分水岭北坡，水流自南向北流，支沟大都呈东西向汇入主沟。区内流域面积最大的为则查洼沟，流域面积 219.7 km²，其次是日则沟，流域面积为 166.0 km²，海拔 4 000 m 以上山峰 68 座，主要分布在沃斯喀雄至于孜公盖一线以南，流域最高点在最南端分水岭上的尕尔纳，海拔为 4 764 m，最低点在流域最北端沟口的羊峒，海拔为 1 996 m，最大高差达 2 768 m，全流域平均高差 1 600 m 以上。各主要支沟的沟口高程都在海拔 2 000 m 以上，支沟的最高山峰都在 4 000 m 以上，除荷叶沟的最大高差小于 2 000 m 外，其余都在 2 000 m 以上。流域内扎如沟、荷叶沟、黑果沟、丹祖沟、日则沟和则查洼沟等 6 条主要沟谷，谷地狭窄，其宽度都小于 200 m，最大深宽比可达 20 : 1，平均为 4.5 : 1。这些特征表明，九寨沟流域地貌发育正处强烈侵蚀切割阶段，高山峡谷发育。九寨沟沟域及主要沟谷特征如表 1-1。

表 1-1 九寨沟沟域及主要沟谷特征表

参 数	沟口海拔 /m	流域内最高海拔/m	最大相对高差/m	沟长/m	流域平均宽度/m	流域面积 /km ²	沟床平均比降/‰	
沟 名	主沟	1 996	4 764	2 768	43 875	14 826	650.58	38.7
	扎如沟	2 026	4 528	2 502	22 500	4 678	105.5	59.6
	荷叶沟	2 161	4 110	1 949	9 245	2 658	24.57	144.8
	黑果沟	2 180	4 354	2 174	7 605	2 861	21.76	225.2
	丹祖沟	2 410	4 500	2 090	16 230	4 552	73.88	86.7
	日则沟	2 410	4 668	2 258	28 500	5 814	166.00	54.5
	则查洼沟	2 340	4 764	2 424	31 960	6 874	219.69	47.7

区域地形陡峻，坡体前缘临空条件发育，表面松散物质沿与完整基岩接触面下滑的下滑分力较大，坡体稳定性较差，因此易在斜坡部位形成滑坡。在地形切割形成陡崖的地段，由于岩体卸荷常形成崩塌、危岩。坡体松散物质易沿坡面下滑的同时，在坡面洪流作用下也易发生面蚀，一定条件下易形成坡面泥石流及碎屑流，在沟谷底部附近大量积聚，为泥石流的形成提供了大量的固体物源。区内沟谷纵坡大，曲折多弯，多裂点及跌水，纵向上沟谷纵坡变化较大，通常形成区和流通区主沟纵坡比降较大，达 200% 以上，而堆积区地形相对平缓，通常堆积区地形纵坡比降小于 100%，这些地形因素导致泥石流在支沟沟口附近堆积成扇状，这些地形相对平缓的老泥石流堆积扇通常又是民居分布相对集中的区域，一旦再次发生泥石流灾害，其危害性是巨大的。

九寨沟地貌以高寒山地与峡谷为主，属白水河流域山地区，区内平均海拔 3 000 m 以上，相对高度差达 2 000 m，呈南高北低的地貌景观。区内地貌按成因类别可划分为 3 个单元小区，即藏马龙里冰蚀山地小区、则查洼岩溶流水侵蚀山地小区和荷叶流水侵蚀堆积山地小区（图 1-1）。进一步划分为高山、高中山和中山三种地貌形态类型：高山与高中山的界线为海拔 3 800 m，是九寨沟地区的森林上限；高中山与中山的界线为海拔 2 800 m，是针叶林带的下限。

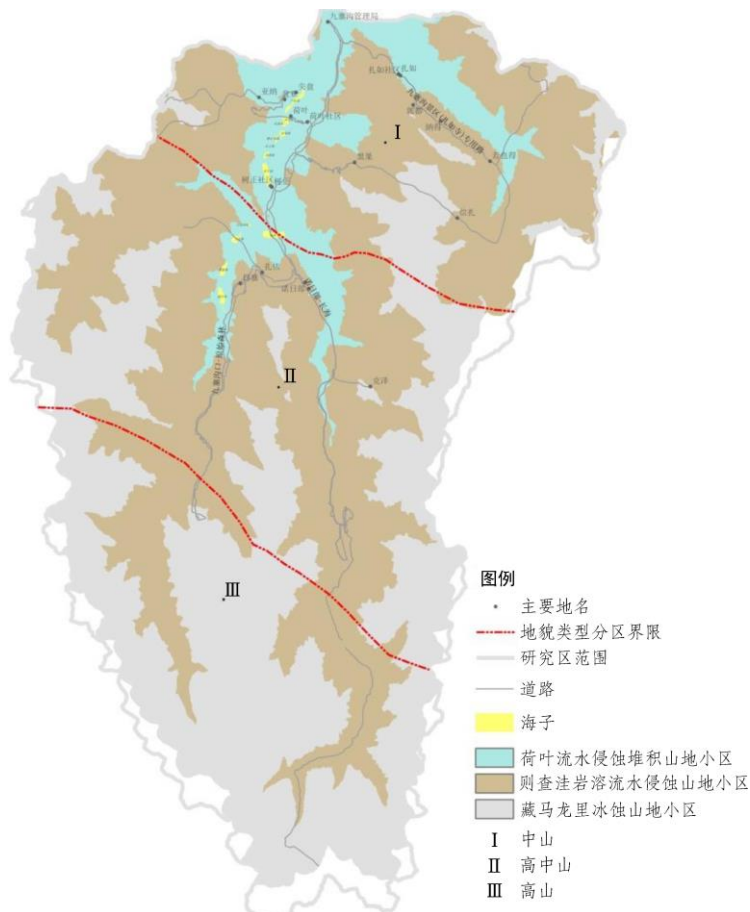


图 1-1 九寨沟景区地貌类型图

1.2 气象水文

九寨沟地处我国北亚热带半湿润区，东南受龙门山阻挡，使来自太平洋的暖湿气流多在龙门山东坡停留，故处于龙门山西坡的九寨沟区域降雨偏少，年平均降水量仅为 761.8 mm；北部有高大的秦岭山脉作屏障，大大削弱了冬季从蒙古高原来的冷高压寒流对本区域的影响，使该地区在气候上表现出气候温和、降水适中、冷凉干燥的季风气候特征。在九寨沟景区中心海拔 2 389 m 的诺日朗附近，年平均气温 7.3 °C，各月平均气温中最高月 7 月的月均温为 16.8 °C，最低月 1 月为 -3.7 °C；最高日温为 32.6 °C，最低日温为 -17.0 °C。积雪期从每年 10 月至次年 4 月，最大积雪深度达 150 mm 以上，全年无霜期 100 d 左右。太阳总辐射量为每年 483 J/cm²，年日照时数为 1 800 h 左右，日平均气温 ≥10 °C 的累积温度为 3 000 ~ 3 500 °C，年平均绝对湿度为 800 ~ 1 000 Pa，相对湿度为 60% ~ 70%。年内降水集中在 5—9 月，常以暴雨的形式出现，实测 24 h 最大暴雨量 50 mm，降水的年变化率比较小，一般为 10% ~ 15%，降水量随海拔的增高而增加，而气温则随海拔的增加而显著降低（表 1-2、1-3）。多年平均水面蒸发量约 1 300 mm，实测最大年水面蒸发量为 1 500 mm 左右，蒸发量大于降水量。

表 1-2 九寨沟各月平均气温统计表

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月均温/°C	-3.7	-1.0	3.9	8.7	11.8	14.3	16.8	16.4	12.4	7.8	2.3	-2.7

表 1-3 九寨沟流域不同高程气候变化

地 点	沟口	扎如	荷叶	树正	诺日朗	日则	长海
海 拔/m	1 996	2 026	2 161	2 270	2 400	2 650	3 100
年平均气温/°C	9.4	9.3	7.8	7.2	7.3	4.8	3.6
1 月极端最低气温/°C	-16.0	-16.4	-19.2	-20.4	-20.2	-24.9	-27.2
7 月极端最高气温/°C	32.6	32.4	31.3	30.3	30.7	27.9	26.8
年平均降水量/mm	696.6	706.7	771.3	800.6	761.8	906.5	957.5

九寨沟为嘉陵江支流白水河的主要支流，属三级沟谷，于羊碉处汇入白水河，其流域面积 655.49 km²，由扎如沟、树正沟、荷叶沟、黑果沟、丹祖沟、悬泉沟、藏马龙里沟、日则沟和则查洼沟等主要沟谷组成。其中最大的一条为东支的则查洼沟，长约 32 km，流域面积 221.10 km²。其次是西支的日则沟，沟长约 28.55 km，流域面积 245.88 km²。诺日朗瀑布至羊碉的主沟段为树正沟，长约 13.4 km。则查洼沟、日则沟和树正沟在平面上呈“Y”字形展布，形成一个完整的树枝状水系，九寨沟的“层湖叠瀑”、钙华景观主要分布在则查洼沟、日则沟和树正沟中，如图 1-2。

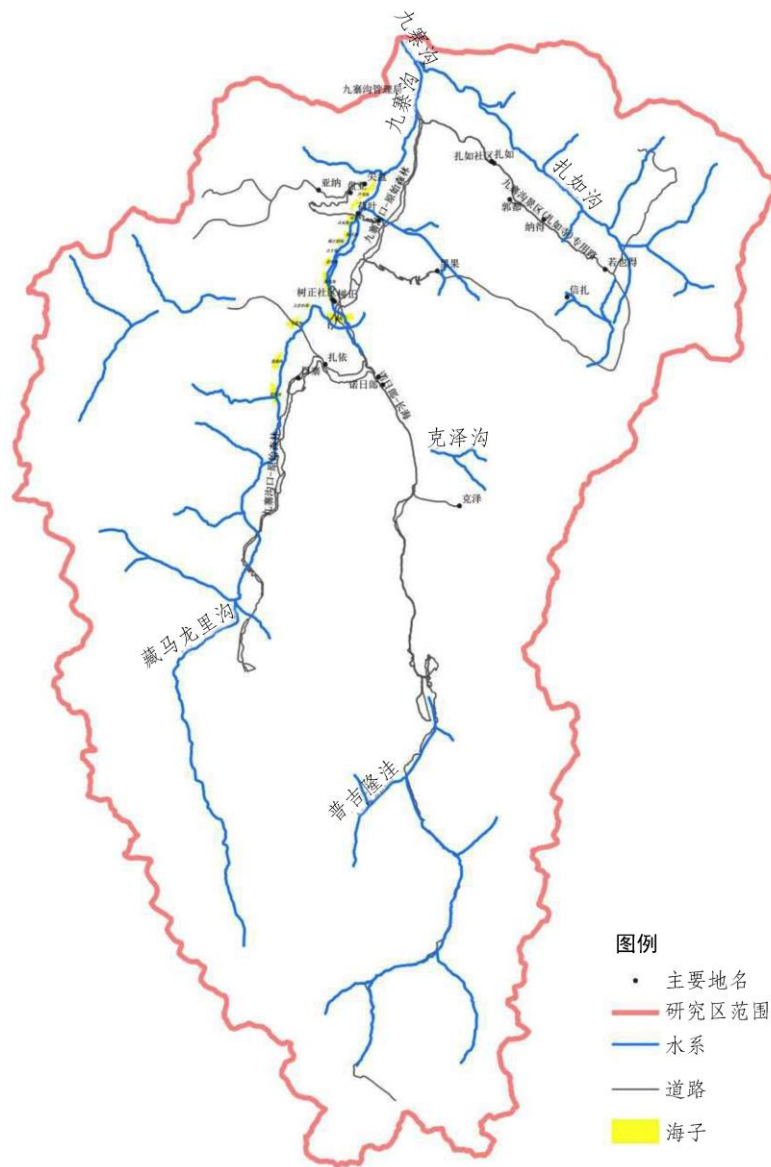


图 1-2 九寨沟水系分布图

1.3 地层岩性与工程地质岩组

九寨沟位于四川盆地向青藏高原过渡地带，其西南为康藏歹字形构造体系，向东为华夏和新华夏构造体系组成的龙门山褶皱带。沟内出露地层为一套由中泥盆系（ D_2 ）到中三叠系（ T_2 ）的海相碳酸盐岩层，岩性主要为质纯层厚的灰岩、白云岩、生物碎屑灰岩等，总厚度为 4 000 m 左右，见表 1-4。

表 1-4 景区出露地层岩性特征表

界	系	统	组	地层代号	地层特征简述
中生界	三叠系	中统	祁让沟组	T _{2q}	灰色中厚层状灰质白云岩，间夹泥质灰岩及生物碎屑灰岩
			扎尕山群	T _{2zg}	上部砂、灰岩互层；下部为砂、板岩之间，偶夹灰岩透镜体
		下统	红星岩组	T _{1h}	灰色泥质白云岩间夹少量灰岩，中部常夹有角砾状灰岩
			波茨沟组	T _{1b}	灰岩、板岩不成比例的组合，岩层均为薄层状
			罗让沟组	T _{1l}	泥质灰岩、间夹钙质页岩、顶部为浅紫红色含铁砂质灰岩
古生界	二叠系	上统	长兴组	P _{2c}	浅灰色中厚层状石灰岩
			龙潭组	P _{2l}	深灰—黑色页岩、含炭质页岩夹硅质灰岩、砂质灰岩
		下统	茅口组	P _{1m}	灰色—浅灰色中厚层状致密灰岩为主，顶部为燧石灰岩夹燧石薄层
			栖霞组	P _{1q}	深灰—灰黑色薄—中层状沥青质灰岩，夹少量页岩及生物碎屑灰岩
	石炭系	上统	尔海群	C _{3gh}	浅灰色薄—厚层状致密灰岩夹白云岩和含铁黏土岩
			岷河群	C _{2mn}	浅灰色致密灰岩，鲕状灰岩、结晶灰岩
下统		略阳组	C _{1l}	上部浅色灰岩段：浅灰色薄—中厚层状纯灰岩、生物灰岩、白云质灰岩、白云岩互层；下部深色灰岩夹页岩段：深灰色薄—中厚层间块状碎屑灰岩、生物灰岩等及大量深灰色黏土页岩	
	益哇组	C _{1y}	上段为深灰色中厚层—块状致密灰岩，顶部夹砂质灰岩及砂质页岩；下段为深灰色薄—中厚层状间块状致密灰岩、底部含黑色燧石条带及团块		

地层岩性是地质灾害发育的物质基础条件，不同的岩石性质及其组合关系，直接制约地质灾害发育类型与规模，对斜坡的变形破坏起着重要的作用。九寨沟景区在人口主要集中的河（沟）谷沟口、坡脚及半山斜坡地带，第四系松散堆积物十分丰富，特别容易产生滑坡、崩塌和不稳定斜坡等地质灾害，滑坡等发生在沟谷内又易形成泥石流松散固体物源，又为泥石流的形成提供了物质基础。地层岩性是九寨沟地质灾害发育的重要条件。根据区域地质资料及本次野外调查，区内出露的地层主要有寒武系—三叠系地层以及第四系（Q）（见图 1-3 九寨沟景区地层岩性分布图）。

根据各类岩体的物理力学性质及其完整性、坚硬程度、岩性等进行对比，将出露地层划分为松散岩类岩组、碳酸盐类岩组、碎屑岩岩类岩组、变质岩类岩组等 4 个工程地质岩组，结合岩土体物理力学性质、岩体结构、胶结程度等特征，将岩体划分为 9 个工程地质分类。

（1）松散岩类工程地质岩组（I）。主要分布于九寨沟及各支沟沿岸一带及其两侧斜坡地带，为出露最为广泛的一个岩组。成因类型多样，有全新世冲洪积、残坡积、崩积、崩坡积、泥石流堆积、风积黄土等。一般为砂卵石、碎块石或碎块石混粉黏粒组成，因其结构较松散，物理力学强度低，遇水易软化，在不利的地形条件或人工扰动下易形成滑坡、不稳定斜坡，其规模一般较小，多为泥石流的重要物源。

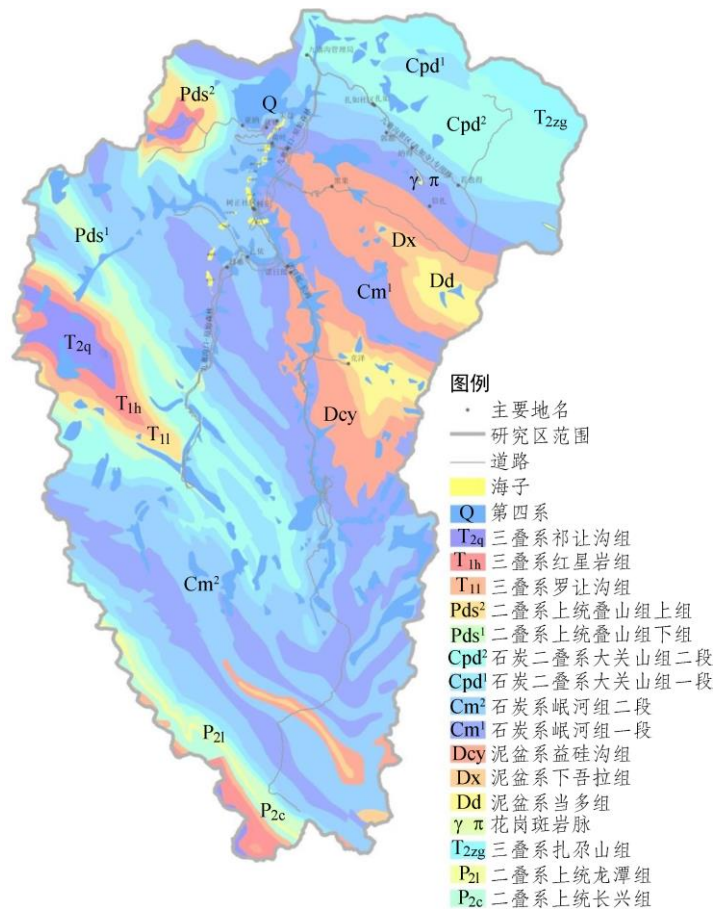


图 1-3 九寨沟地层岩性分布图

(2) 碎屑岩岩类工程地质岩组 (II)。该类工程地质岩组在流域内零星分布, 岩性以砂岩、石英岩、角砾岩为主。

(3) 变质岩岩类工程地质岩组 (III)。该岩类以板岩、片岩、变质砂岩等为主。板岩、片岩较软, 抗风化能力弱, 易于崩解软化。变质砂岩致密坚硬, 抗压强度高, 受构造改造影响节理裂隙发育, 当存在倾向临空面的不利组合条件时易产生崩塌。

(4) 碳酸盐岩岩类工程地质岩组 (IV)。可分为以下 4 个亚类:

(a) 坚硬碳酸盐岩与坚硬—较坚硬变质岩互层工程地质岩组 (IV1)。该岩类广泛分布于沟域内, 岩性以灰岩、白云岩、白云质灰岩、泥灰岩夹泥岩、板岩、变质板岩等为主, 灰岩质脆、坚硬致密, 抗压强度高, 受构造改造, 垂直层面节理裂隙较发育。泥岩等抗风化能力弱, 易于崩解软化。当存在倾向临空面的不利组合条件时易产生崩塌, 该地层分布区由于含有软弱夹层, 在顺向坡时容易发生滑坡。

(b) 坚硬碳酸盐岩夹坚硬—较坚硬变质岩或碎屑岩工程地质岩组 (IV2)。该岩类岩性为灰岩、白云岩、白云质灰岩、泥灰岩夹泥岩、板岩、变质板岩等为主, 灰岩质脆、坚硬致密, 抗压强度高, 受构造改造, 垂直层面节理裂隙较发育。泥岩等抗风化能力弱, 易于崩解软化。当存在倾向临空面的不利组合条件时易产生崩塌, 该地层分

布区由于含有软弱夹层，在顺向坡时容易发生滑坡。

(c) 坚硬夹较坚硬碳酸盐岩工程地质岩组 (IV3)。该岩类以石炭系、泥盆系地层为主，岩性为灰岩、白云岩、白云质灰岩、泥灰岩等为主，灰岩质脆、坚硬致密，抗压强度高，受构造改造，垂直层面节理裂隙较发育。当存在倾向临空面的不利组合条件时易产生崩塌。

(d) 坚硬碳酸盐工程地质岩组 (IV4)。该岩类以石炭系、泥盆系地层为主，岩性为灰岩、白云岩、白云质灰岩、泥灰岩等为主，灰岩质脆、坚硬致密，抗压强度高，受构造改造，垂直层面节理裂隙较发育。当存在倾向临空面的不利组合条件时易产生崩塌。

九寨沟工程地质岩组图如图 1-4。

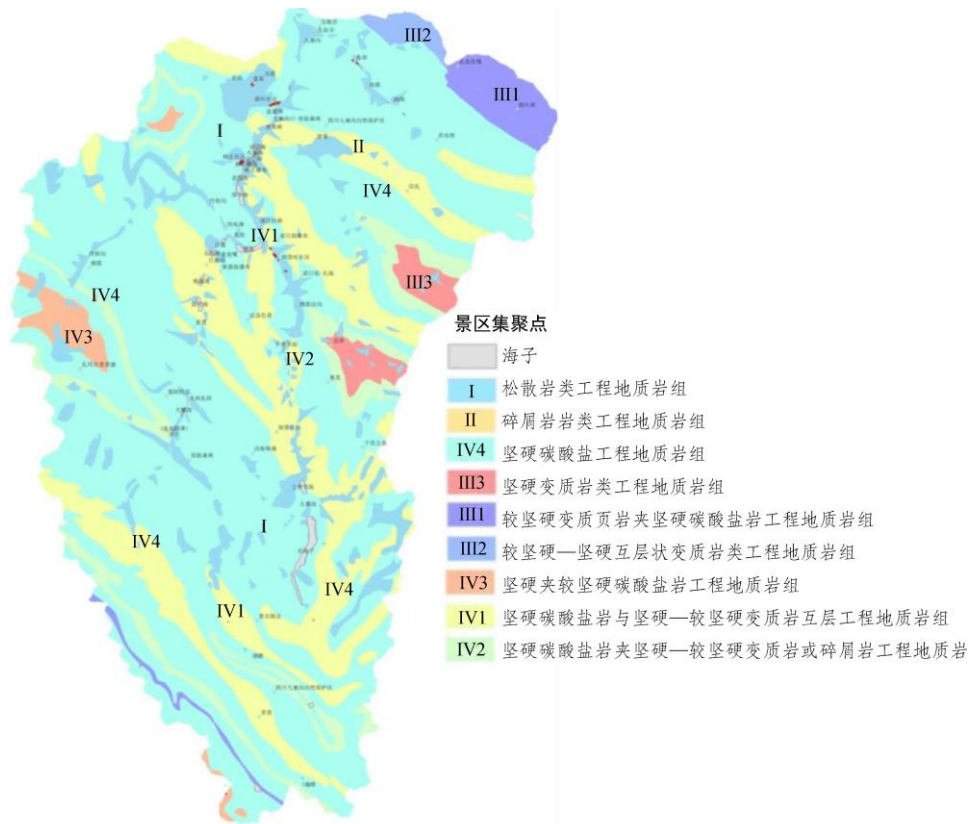


图 1-4 九寨沟工程地质岩组图

1.4 地质构造

1. 区域地质构造背景

九寨沟景区处于青藏高原东缘地形陡变带向四川盆地过渡地带，位于岷江、塔藏和虎牙等全新世断裂带附近（图 1-5 为研究区所处大地构造位置图）。根据研究区的地质演化、沉积建造、变形特征、变质作用及地貌形态的差异，将九寨沟、黄龙地区划分为南坪褶皱推覆构造岩片、塔藏构造带、九寨沟褶皱推覆构造岩片、岷江断裂带、

雪宝顶褶皱推覆岩片、雪山断裂带等 6 个构造单元，构成“三带三片”的区域构造格局。风光秀丽的九寨沟和黄龙风景区横跨九寨沟岩片、雪山断裂带和雪宝顶岩片等 3 个构造单元，九寨沟即位于九寨沟岩片上，其物质组成为古生界及三叠系碳酸盐岩建造，厚约 4 000 m，其构造线呈北西—南东向。由于地处摩天岭地块的边缘，受不同方向、不同应力的作用，产生叠加变形，显示出叠加褶皱的特征。并发育北东向、北西向、南北向及东西向的四组断裂构造。景区所处的大地构造背景不仅控制景区地层的展布特征和构造的发育形式，而且这种构造格局决定了九寨沟地质系统的相对独立性和稳定性，对于其景观的形成和发展具有重要的意义。

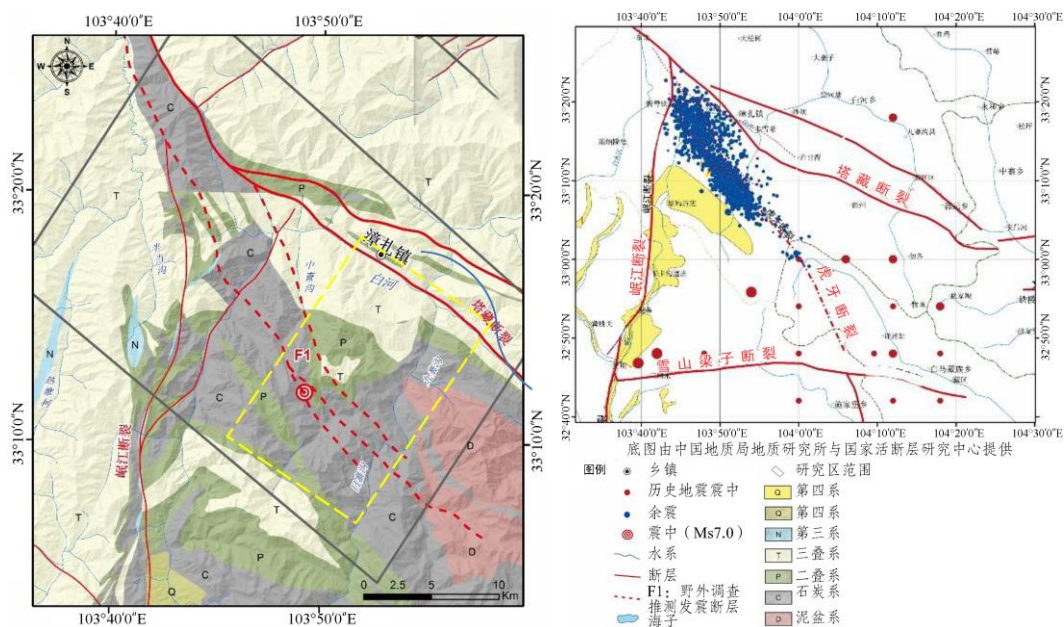


图 1-5 研究区所处大地构造位置图（引自戴岚欣，范宣梅等，2017）

九寨沟景区内主要地质构造包括：① 虎牙断裂。虎牙断裂是岷山断块的东部边界断裂，呈北北西—南北向延伸，断面西倾，显示为上冲兼左旋走滑，全长约 80 km。② 塔藏断裂。塔藏断裂位于东昆仑断裂东段，总体呈 NW 走向，西起若尔盖盆地北缘，以 NWW 向延伸至下黄寨村，向东转为 NW 向，经东北、塔藏、九寨沟，至马家磨转为 NWW 向至沙尕里以东，总体近反“S”形，全长约 140 km。

2. 断层

九寨沟地区构造作用复杂，断裂发育，以脆性剪切形变为主导，表现为逆断层、正断层和平移断层，主要有四组断层，即北西向逆断层及平移断层、南北向逆断层和北东向正断层，从断层的切割关系来看，北西向断层形成时间相对较早，北东向及东西向断层较晚。对现代地貌具有重要影响的主要是晚新生代以来强烈活动的北西向和北东向断层，不均匀的抬升和部分构造线弯曲，造成南高北低的阶梯状地形，控制了区内地表水、地下水总的流向。九寨沟断裂、则查洼断裂是区内对地貌发育起明显控制作用的两

条近南北向主干断裂，这两条断裂的右行张扭特征明显，富水性强，区内主要的湖泊（海子）、溪流等大体上都沿这两条断裂分布。北西向的长海—悬泉沟断层、鹰爪洞断层、丹祖沟—五花海断层、五花海—镜海断层和扎如沟断层等大都呈断崖地貌，为右行扭压性，垂直构造线方向透水性较差，但九寨沟地区主要含水层为脆性的碳酸盐岩，在构造应力作用下断层影响带岩层破碎，裂隙发育，并有一定优势方向。特别是断层上盘的影响带，在应力反弹作用下裂隙由压性变为张性，地下水的渗入与溶蚀作用使裂隙进一步扩大，促进了地下水的循环交替，因此地下水沿断裂带可以表现出集中排泄。一些规模较小的东西向断层、北东向断层、北西向断层，其影响带的，岩层破碎、裂隙发育，对裂隙—岩溶水的运移和富集都起到了很好的作用，如楼板沟断层和五彩池西侧断层等。当断裂切割了褶皱，两种构造有机地集合起来，形成褶皱—断裂复式蓄水构造，更有利于裂隙岩溶水的运移和富集，九寨沟的主要泉群、地下水溢出带都与褶皱加断裂复式构造有密切的关系。

九寨沟景区地质构造如图 1-6。

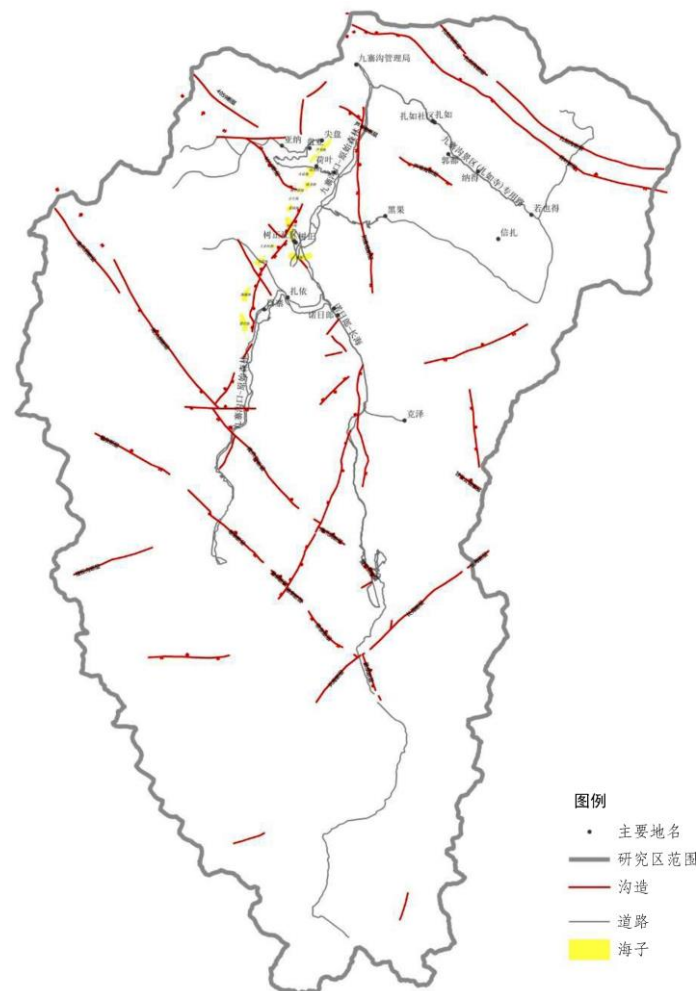


图 1-6 九寨沟景区地质构造纲要略图

1.5 新构造运动及地震

九寨沟景区从第四纪以来的新构造运动就十分强烈，同时由于新构造运动存在间歇性的抬升期，故而景区内部形成三、四级夷平面，如树正沟、则查洼沟等沟谷皆出现了多级的跌水和瀑布。同时，九寨沟景区由于近期新构造运动强烈抬升，使得沟谷的下蚀作用十分强烈，进而形成了纵比降较大的“V”形沟谷。九寨沟及邻近区域由于受地质构造条件的影响，在历史上曾发生了多次的强烈地震，是为地震活动频繁区域(高路, 2011)。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015)显示，景区内部的地震动反应谱特征周期为 0.45 s，地震动峰值加速度为 0.20g。研究区地震基本烈度为 7、8、9 度。

九寨沟 Ms 7.0 地震的震中位于岷江断裂、塔藏断裂和虎牙断裂的交汇区。岷江断裂带位于该震中的西侧，总体走向为南北向，断面倾向西，显示为上冲兼左旋走滑作用，表明岷江断裂不是此次地震的发震断裂；但其对此次地震的余震、地表变形和地震滑坡分布的西界具有一定的限制作用。塔藏断裂位于该震中的北侧，总体走向为北西西向，断面倾向北东，倾角为 50°~60°，显示为上冲兼左旋走滑作用，表明塔藏断裂不是此次地震的发震断裂，但其对此次地震的余震、地表变形和地震滑坡分布的北界具有一定的限制作用。因此，认为此次地震的发震断裂只能是虎牙断裂。九寨沟景区地震烈度如图 1-7。

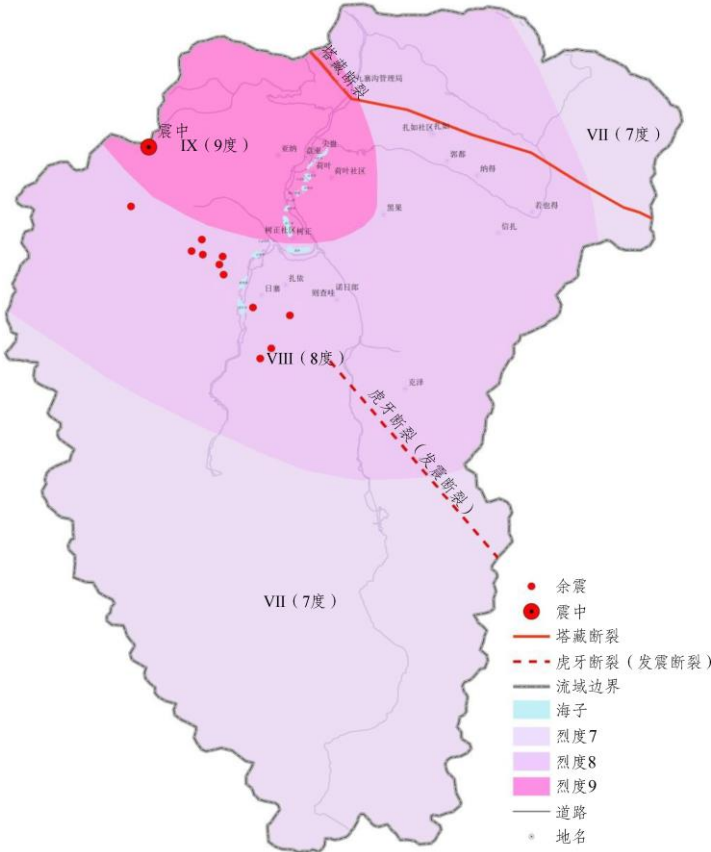


图 1-7 九寨沟景区地震烈度图