

Field Investigation of Earthquake Under Abnormal Conditions-A Case Study of Shiqu Earthquake with M5.6 in Sichuan Province

Sen Qiao^{1*}, Zongchao Li¹, Aiwen Liu¹, Xueliang Chen¹,
Li Changlong¹, Li Tiefei¹, Zhang Bo^{1,2}

¹Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

²Hebei University of Architecture, Zhangjiakou, Hebei, 075000, China

*Corresponding author. Email: qiaosen@cea-igp.ac.cn

ABSTRACT

In this paper, taking the earthquake of Ms5.6 occurred in Shiqu County, Ganzi Prefecture, Sichuan Province at 20:23 on April 1, 2020 as an example, the main measures to carry out earthquake site investigation and emergency response under abnormal conditions (epidemic situation of new coronavirus) are analyzed, and the seismicity, seismotectonic background, focal mechanism, earthquake disaster distribution characteristics and earthquake intensity distribution of Shiqu earthquake are emphatically analyzed. Based on the analysis of the main measures of earthquake site investigation and emergency response under abnormal conditions, suggestions on improving earthquake emergency response plan and revising relevant standards are put forward.

Keywords: Abnormal, Corona Virus Disease 2019, Shiqu earthquake, Field investigation, Earthquake emergency

非常态下的地震现场考察与研究 ——以四川石渠 5.6 级地震为例

乔森^{1*}, 李宗超¹, 刘爱文¹, 陈学良¹, 李昌珑¹, 李铁飞¹, 张波^{1,2}

¹中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

²河北建筑工程学院 土木工程学院, 河北 张家口 075000

*通讯作者. 电子邮箱: qiaosen@cea-igp.ac.cn

摘要

本文以 2020 年 4 月 1 日 20 时 23 分四川省甘孜州石渠县发生 5.6 级地震为例, 分析了在非常态下 (新冠病毒疫情) 开展地震现场考察与应急响应的主要措施, 并着重分析了石渠地震的地震活动情况、地震构造背景、震

源机制解、地震灾害分布特征及地震烈度分布情况。通过分析在非正常态下（新冠病毒疫情）地震现场考察与应急响应的主要措施，提出完善地震应急响应预案及修订相关标准的建议。

关键词：非常态，新冠肺炎，石渠地震，地震现场考察，地震应急响应

1. 引言

2003 年在国内爆发了非典疫情（SARS），对中国的经济社会发展造成了一定的冲击影响。2020 年 1 月新冠肺炎突然爆发（图 1），武汉紧急封城，全国大部分地区的民众被迫居家隔离，疫情导致商贸餐饮、文化娱乐、度假旅游等服务业几乎瞬间停业，引发交通中断、大量企业停工，其产生的有形的经济损失和无形的社会影响难以估量。而且，在此次抗击疫情期间，国内发生多次 4.0 级-5.5 级地震。2 月 3 日 0 时 5 分在四川成都市青白江区（北纬 30.74 度，东经 104.46 度）发生 5.1 级地震，震源深度 21km，成都市区震感特别强烈；2 月 18 日 17 时 07 分在山东济南长清区（北纬 36.47 度，东经 116.64 度）发生了 4.1 级地震，震源深度 10km，震感较为强烈；这两次地震都造成了一定的社会恐慌。2 月 6 日，四川省应急管理厅印发了《疫情期间重特大地震应对准备重点工作方案》^[1]，进行了较为详细的工作部署，产生了明显的积极作用。有幸的是疫情发生到目前为止，在国内没有发生可能造成人员伤亡的特大、重大破坏性地震。如果在疫情重灾区再发生重特大破坏性地震，急需全社会给予大量人力和物力上的紧急救援，很多地方的交通被限制，新冠肺炎还具有很高的传染性，面对如此复杂而严峻的形势，我们的各级政府、地震部门、应急管理部门及其他相关部门应该怎样及时有效的应对，才能做到在保证疫情不会进一步的扩散和加重的前提下，使受灾人员得到救助，以最大限度地降低非常态事件及地震灾害造成的伤害和财产损失。本文以四川石渠 5.6 级地震为例，分析了在新冠病毒疫情下，开展地震现场考察与应急响应的主要措施，研究了石渠地震的地震活动性、发震构造背景、震源机制解及地震烈度分布情况，并提出了完善地震应急响应预案及修订相关标准的建议。

2. 石渠地震基本概况

根据中国地震台网测定，2020 年 4 月 1 日 20 时 23 分，在四川省甘孜州石渠县（北纬 33.04 度，东经 98.92 度）发生 5.6 级破坏性地震（图 2），震源深度 10km。截至 2020 年 4 月 4 日 24 时 00 分共记录到 1.0 级及以上余震 159 次。其中 5.0~5.9 级地震 0 次，4.0~4.9 级地震 1 次，3.0~3.9 级地震 4 次，2.0~2.9 级地震 61 次，1.0~1.9 级地震 93 次。此次地震的最高烈度为 VII 度（7 度）。地震影响范围主要涉及到四川省甘孜藏族自治州石渠县、德格县、甘孜县；青海省果洛藏族自治州达日县；共计 4 个县、11 个乡镇。此次地震是发生在四川甘孜藏族自治州的一次中强破坏性地震，本次地震虽然没有造成人员伤亡，但给当地人民造成一定的经济财产损失，对当地经济社会发展造成了一定的影响。

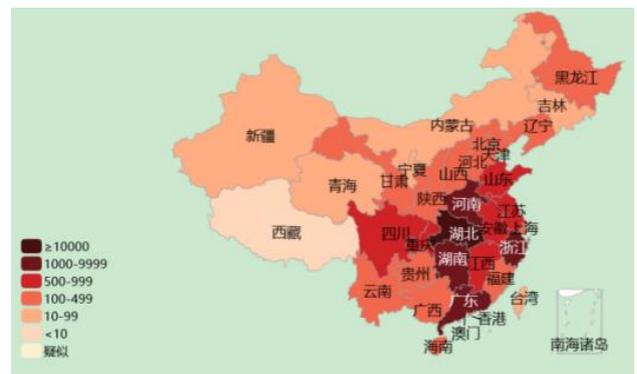


图 1 全国累计感染新冠肺炎分布图

(<https://m.look.360.cn/subject/400?sign=360dh>)

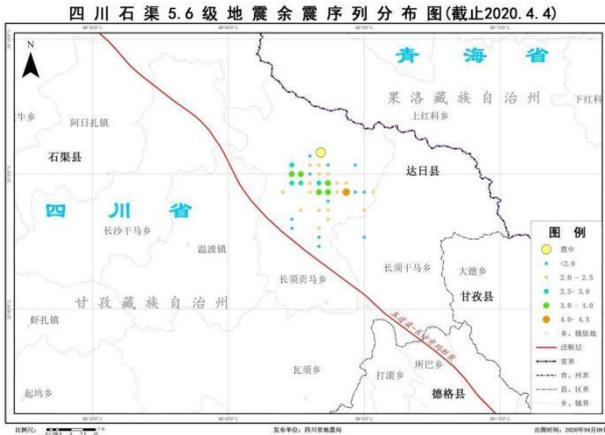


图 2 石渠地震震中分布图

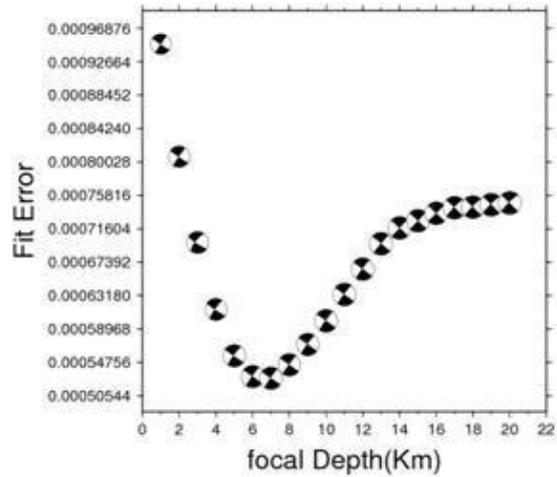


图3 震源机制解图（据四川省地震预报中心）

在此阶段，正处在新冠病毒疫情高传染性发生的情况下，全国各省、市、县、乡镇、村（社区）都处于静止隔离状态，避免人的接触传播。而地震发生却需要全社会的紧急救援，需要相应的人员赴灾区救助伤员。两个事件本身是相互影响的,如果处置不当,就会造成地震灾害和疫情灾害的叠加。在新冠疫情的严峻形势下，四川省地震局组织开展了有条不紊、科学合理的地震现场考察、震害调查、应急处置及科学考察工作。

3. 地震活动与地震构造

3.1 石渠 5.6 级地震的地震活动及震源机制

石渠地震的余震分布如图 2 所示，沿着北西条带展布。选取四川、青海区域地震台网震中距 300 千米以内台站的宽频带波形记录，采用 CAP 方法反演获得了石渠 5.6 级地震震源机制解（图 3）。结果显示，错动类型为走滑型，最佳拟合深度为 7 千米。节面参数为，节面 I：走向 125°，倾角 90°，滑动角-4°；节面 II：走向 215°，倾角 86°，滑动角-180°。

3.2 石渠地震的发震构造背景

此次地震的震中位于巴颜喀拉块体南边界断裂附近（图 4），块体北边界为东昆仑断裂带，南边界为鲜水河断裂带，而东边界则是由龙门山断裂带及其北西侧的若干次级断裂带组成的活动构造与断裂系统。巴颜喀拉块体的运动方向约为北东 61°，东部由于受到稳定的华南块体的阻挡，在这两个块体的边界带龙门山断裂带及其附近，以挤压逆冲为主兼具右旋走滑性质的构造变形为响应，在龙门山以西的宽度约 200 多千米的地带产生 3.5~6mm/a 的水平缩短和 2~6mm/a 的剪切变形。

晚新生代以来，伴随着青藏高原持续抬升和高原物质向东扩散的影响，高原东部地区表现出地壳抬升、变形与缩短和块体的旋转与侧向挤出等复杂的变形过程，奠定了该地区的现今构造格局。而区内 6 级以上地震特别是 7 级以上大震也从集于这些地球物理场畸变带上。区内主要发育北西、北西西和近南北向的断裂构造，特别是在甘孜—玉树断裂、乌兰乌拉湖—玉树断裂、达日断裂和巴青—一类乌齐断裂上的近代地震具有强度大、频度高的特点，历史上均发生过 7 级以上强震或存在史前古地震的地质纪录。

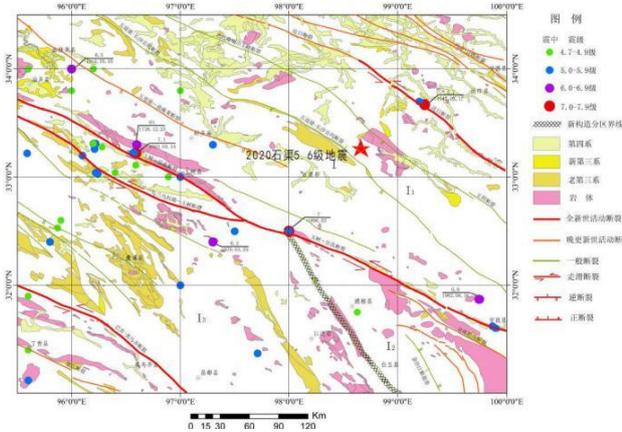


图4 地震构造分布图

此次地震附近发育有达日断裂、五道梁-长沙贡马断裂、五道梁-曲马断裂、玉树-甘孜断裂与乌兰乌拉湖-玉树断裂。

(1)达日断裂。该断裂线性影像清晰，断裂切割 I 级河流阶地和山前冲洪积扇，发育有长约 60 km 的地表破裂带。断裂水平平均滑动速率为 14.2 mm/a，历史上曾发生过 1947 年 7.7 级大地震、1949 年 6.0 级、1961 年 5.2 级等中强地震。

(2)五道梁—长沙贡玛断裂。该断裂南东起炉霍县侏倭乡附近，向北西经长沙贡玛、石渠县宜牛乡北，逐渐并入东昆仑断裂，长逾 550 km。该断裂在震区一带线性特征清晰，沿线控制着第三纪盆地沉积，断错水系、山脊等形成断层槽谷等地貌地形。现场初步调查表明，卫星影像的线性特征确实为断层活动行迹，从断层断错的水系和地层分析，断裂为左旋走滑断层，该断层可能具备全新世活动性。

(3)五道梁—曲麻莱断裂。该断裂为晚更新世活动断裂，尤其北西段曲麻莱一带的晚第四纪活动形迹明显，称多以南段则表现不甚明显。该断裂具有分段活动性、规模较大，其北西段晚第四纪新活动形迹明显，曾发生过 1915 年 6.5 级地震；南东段的活动形迹虽然表现不甚明显，但曾发生过 1977 年 5.3 级、1986 年 4.7 级、2003 年 4.8 级等多次中等强度地震。

(4)甘孜—玉树断裂与乌兰乌拉湖—玉树断裂。甘孜—玉树断裂全长约 500 km，全新世以来的平均水平滑动速率在 7~12 mm/a 左右。其当江段晚第四纪活动活动形迹明显，规模大，长度超过 350 km，历史上发生过多次 5 以上的中强地震。其玉树段和乌兰乌拉湖-玉树断裂南东段交汇于巴塘盆地南东，地震地质活动形迹明显，历史上发生多次中、强地震，其中 2010 年 7.1 级地震产生了近 65km 长的地表破裂带；其邓柯段地震地质活动形迹明显，历史上发生 1896 年 7.5 级地震，在挡托、正科乡下拉村一带仍断续保留着 1896 年地震的地表破裂带。

3.3 关于发震构造的确定

在震区附近发育五道梁—长沙贡玛断裂，从断层的卫星影像和初步的现场地质调查发现，该断裂在震区附近表现为左旋走滑特征，且线性地貌清晰，断层晚第四纪断错地貌发育，初步认为该断裂为以左旋走滑特征为主的全新世活动断裂。该断裂在震区附近结构较为复杂，初步的分析认为该断裂在震中区一带表现为左旋右阶结构，这一结构形成挤压环境，更有利于应力集中和积累。

本次地震的震源机制解（图 3）显示，本次地震为走滑型地震，矩心深度 7 km 左右。节面走向分别为：节面 I：走向 125°，倾角 90°，滑动角-4°；节面 II：走向 215°，倾角 86°，滑动角-180°；显示该次地震为以走滑为主要特征，与该区域的地震构造背景相一致。余震序列分布（图 2）呈北西向分布，长约 9 km，宽约 2km，反映了发震构造为断层总体北西走向，倾角高陡，这与震源机制解相一致。从震源机制解、断层活动性、结构与构造、余震分布等特征的综合分析，认为该次地震的发震构造为五道梁—长沙贡玛断裂。

4. 震害调查及烈度分布特征

依据《地震现场工作：调查规范》（GB/T 18208.3-2011）^[2]、《中国地震烈度表》（GB/T 17742-2008）^[3]，四川省地震局现场工作队对甘孜藏族自治

治州 3 个县共 11 个乡镇 34 个调查点展开了实地调查,参考震区构造背景、震源机制解、余震序列分布等科技支撑成果,结合强震动观测记录、青海省相邻地区的破坏情况,确定此次地震的地震烈度分布图(图 5)^[4]。最高烈度为Ⅶ度(7 度),等震线长轴呈北西走向,其长轴 80 千米,短轴 54 千米,主要涉及到四川省甘孜藏族自治州石渠县、德格县、甘孜县;青海省果洛藏族自治州达日县,共计 4 个县。

Ⅶ度(7 度)区面积为 360 平方千米,主要涉及四川省甘孜藏族自治州石渠县的长须贡马乡、长须干马乡 2 个乡。Ⅵ度(6 度)区面积为 3140 平方千米,主要涉及四川省甘孜藏族自治州石渠县长须贡马乡、长须干马乡、温波镇、长沙干马乡、瓦须乡、阿日扎镇 6 个乡镇,德格县的打滚乡、所巴乡、阿须镇 3 个乡镇,甘孜县的大德乡 1 个乡;青海省果洛藏族自治州达日县的上红科乡 1 个乡,共计 11 个乡镇。

在本次地震中基本无震害,只出现个别的墙体细微裂缝。调查发现,受地理环境、二次搬运成本高和建筑施工工艺不规范等客观因素制约,震区民房的普遍修建质量不高,特别是房屋的基础,处理工艺相对简单,加之场地条件有限,多为Ⅲ类场地,个别区域甚至是Ⅳ类场地,这是本次地震民用房屋震害较重的主要原因。

根据政府有关部门资料及现场调查结果,不同烈度区内不同房屋结构类型破坏情况如下:Ⅵ度(6 度)(图 6):土(石)木房屋为主要房屋结构类型,少数破坏,多数基本完好;砖混房屋个别轻微破坏,多数基本完好;轻钢结构房屋个别轻微破坏,大多数基本完好;Ⅶ度(7 度)(图 7):土(石)木房屋为主要房屋结构类型,多数为老旧房屋,抗震性能较差,少数毁坏,多数轻微破坏;砖混结构房屋占极少数,多为公房,少数中等破坏,多数基本完好;框架结构房屋占少数,均为轻钢结构房屋,修建年代较新,多为转移安置和异地搬迁等惠民工程修建房屋,抗震性能较好,少数轻微破坏,多数基本完好。

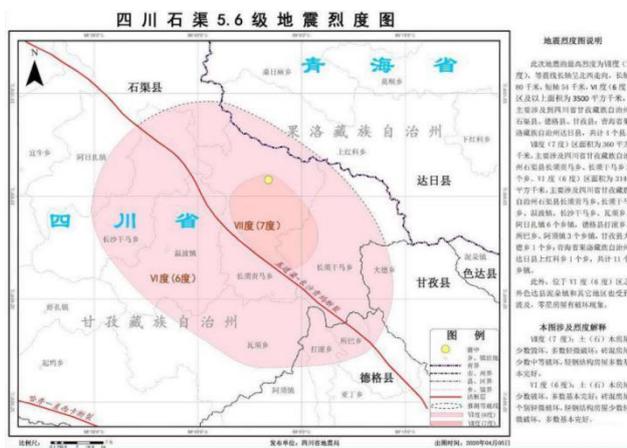
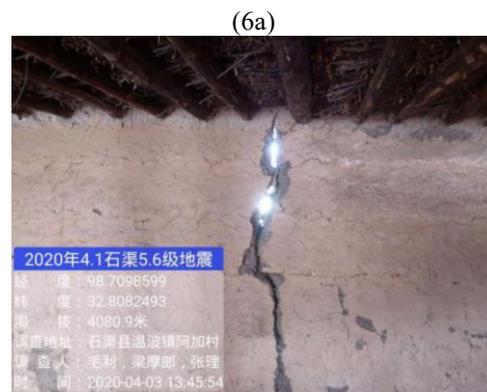


图 5 四川石渠 5.6 级地震烈度图

在地震灾区的房屋建筑结构的主要类型有,框架结构、专混结构、轻钢结构、以及土(石)木结构。本次地震中,轻钢结构民房的总体破坏情况较轻,填充墙体与柱、梁、基础等连接处普遍出现轻微裂缝,新型复合墙体的外墙涂层局部脱落较为普遍。土(石)木结构民房的破坏相对较重,少数房屋墙体歪闪、局部垮塌,柱顶梁连接处错位,大多数房屋的墙体出现不同程度的裂缝。框架、砖混和轻钢结构的公用房屋





(6c)

图 6 (a)温波镇阿加村土木结构房屋墙体严重开裂;
(b)温波镇阿沙村石木结构房屋沿窗角严重开裂;
(c)长沙干马乡土木结构房屋墙体贯通性裂缝 (VI 度震害照片)

本次地震中生命线和行业系统的工程结构遭受破坏程度较轻。地震造成个别道路边坡垮塌和路基沉降,滚石掉落阻断公路。另外部分乡镇的水井房、垃圾池、水源地保护配套基础等设施也受到不同程度震损。



(7c)

图 7 (a)长须贡马乡尔马底村石木结构房屋墙体局部垮落;
(b)长须干马乡龙真贡马村石木结构房屋墙体局部垮塌;
(c)长须干马乡热乌村轻钢结构房屋基本完好 (VII 度震害照片)

5. 非常态下地震现场考察与应急响应的主要措施

(1) 应急管理部的要求。要切实把思想和行动统一到习近平总书记重要讲话和中央政治局常委会会议精神上来,深刻认识疫情防控的严峻形势,把人民生命安全和身体健康放在第一位,切实做到思想上高度重视、组织上坚强有力、措施上精准管用,为坚决打赢疫情防控阻击战提供有力支持^[5]。

(2) 中国地震局的要求。在疫情处置中,中国地震局要求要统筹做好疫情防控工作与地震灾害应急各项准备,完善疫情防控期间全国大地震应急处置与重点地区地震活动性分析研判制度,扎实做好湖北地区震情研判工作,立足“抗大震、救大灾”,落实地震应急响应预案及流程^[5]。

(3) 四川省地震局的要求。四川省地震局组织制定了《疫情防控期间地震应急工作方案》^[6],明确规定了现场工作防控规范和工作纪律要求,并组织开展具有针对性的培训,同时指定专人负责地震现场疫情防控工作,确保疫情防控措施落实。震后应急救援刻不容缓,但是在新冠疫情的大背景下,除了震后救援,防疫措施也是非常重要的。在应急队员出发前,四川



(7a)



(7b)

省地震局制定了很多具体的措施,要求在严格防疫的同时做好震后救援工作。在做好常态地震应急工作的基础上,做好应急救援专家队伍的防疫准备工作;做好在地震灾区的防疫工作(包含灾民的防疫工作);做好当地救援人员的防疫工作;做任何地震应急救援措施的决定时都要制定相匹配的防疫措施;做好当地灾民在疫情下对发生地震的恐慌心理的疏导工作;做好医院、灾民安置区等关键部分的防疫工作。

(4) 四川省应急管理厅的要求。四川省应急管理厅印发了《疫情期间重特大地震应对准备重点工作方案》^[1]。要密切关注四川肺炎疫情发展态势,定时更新掌握疫情分布范围,特别是在龙门山、鲜水河、安宁河—则木河等地震应急处置预案中,要精确了解疫情分布的县(市、区),掌握每例确诊和疑似病患所在的乡镇(街道)这一信息。一旦省内发生破坏性地震,及时共享疫情涉及范围等信息,指导各部门各单位提高防范意识。当疫区与灾区重叠时,对避险安置、人员转移等容易导致疫情传播的行动,提出灾区防疫应对建议或方案,提请相关市(州)、县(区)、及乡镇做好准备,避免由于避险安置不当导致疫情扩散。

《方案》中特别强调要保证应急救援队伍的健康状况,对消防救援、森林消防、矿山救护和 49 支省级应急救援队伍所在单位印发正式通知,要求每日检查上报全体人员健康情况,强化防疫防护物资储备,坚决杜绝带病工作、带病外出、带病应急等情况。将全省应急、消防系统和救援队伍的确诊、疑似和隔离人员信息每日定时通报,及时指导各单位科学安排轮替人员,合理组建现场应急队伍,确保参与前后方指挥人员健康,杜绝任何感染风险。确保发生重特大地震后随时按照既定预案启动应急响应,组织救援人员有序高效开展救援工作。

(5) 现场工作人员的疫情防控与健康保障。A、切实做好疫情防控的物资准备:应急响应启动时,第一时间为工作队伍配备了口罩、防护服及护目镜,及一次性手套和消毒用品。B、调整优化出行线路:在前往震区途中和现场工作期间,调整优化线路,采取

有力的防范措施,尽可能避开疫情风险区,严防死守防疫底线,把接触、感染的风险降到最低。C、对现场工作人员做出严格的疫情防控要求:要求对外业人员在调查过程中必须全程佩戴口罩,及时洗手、做好衣物消毒,非特殊情况不得在外用餐,尽量食用随身配带的食品;对在后方集中办公点的人员设置了体温测量门禁,要求工作人员间隔 1 米以上办公,全程佩戴口罩,每天开展 2 次集中消毒,同时指定专人跟踪全体队员每日体温变化。D、克服高原反应困难:由于石渠县平均海拔超过 4000 米,调查点多数分布在 4200 米至 4600 米的地区,多数队员不同程度出现了高原反应症状,当地县政府、县人民医院给予大力支持,送来抗高原反应药物与吸氧设备,并提供医疗保障。

6. 结论与建议

通过对石渠地震的地震活动性、震源机制解、发震构造、地震烈度分布特征、地震破坏情况的分析,特别是对在非正常态情况下(新冠病毒疫情)地震现场考察及地震应急响应的不同层面采取的主要措施分析,可以得到如下结论:

(1) 对地震发震构造认识。从断层活动性、结构与构造、震源机制解、余震分布等特征综合分析,认为该次地震的发震结构为五道梁—长沙贡马断裂。

(2) 对地震破坏情况的认识。现场调查及分析表明,在此次地震中,土(石)木结构民房破坏相对较重,轻钢结构民房的破坏较轻,框架、砖混和轻钢结构公用房基本无震害。情况表明,采用相应的抗震措施,在一定程度上减轻了震害,有效降低了地震灾害风险。

(3) 对非常态下采取的主要措施。要加强对疫情的研判,各级组织要制定相应的应急预案,做好应急防控物资准备,调整优化出行线路,对现场工作人员及后方集中办公的人员及灾区人员做出严格的疫情防控要求,采取有效措施克服高原反应。

(4) 对非常态下地震应急响应处置效果的认识。由于采取了有效的防御措施,各级政府的大力支持,确保了现场工作人员、后方工作人员及灾区人员的安全,

在确保安全的情况下顺利完成了地震现场考察及地震应急响应任务。

对下一步工作的建议：

(1) 对发震构造深入研究的建议。由于发震构造初步研究是五道梁 — 长沙贡马断裂，而且是左旋走滑断裂。而以前的研究认为这是逆冲断裂，需要进一步研究。

(2) 对加强基层防震减灾工作的建议。加强对民房抗震设防能力的提升，加强对民用住房的抗震设防的指导；加强对防震减灾科普知识的宣传、教育。

(3) 对在非常态下地震应急响应预案、相关标准修订的建议。如果在疫情发生地区再次发生特大、重大破坏性地震，已有各级政府、组织的地震应急响应预案及相关标准需要进一步修订、完善，不断满足和适应处置疫情灾害及地震灾害的需要，避免造成不同种类灾害损失的叠加，尽可能减轻综合灾害叠加造成的损失，尽最大努力降低和防控综合灾害风险。

致谢

本研究受国家科技支撑计划项目(2017YEC1500405),国家自然科学基金项目(DQJB19A0131, DQJB19A0133)的资助,在此表示感谢。在开展研究工作中,得到了四川省地震局地震现场工作组专家的支持和帮助,在此深表感谢。

参考文献

- [1] 四川省应急管理厅印发的《疫情期间重特大地震应对准备重点工作方案》
- [2] 《地震现场工作：调查规范》(GB/T 18208.3-2011)
- [3] 《中国地震烈度表》(GB/T 17742-2008)
- [4] 2020年4月1日四川石渠5.6级地震灾害损失评估报告

[5] 中国地震局政府网 (<https://www.cea.gov.cn/>)

[6] 四川省地震局印发《疫情防控期间地震应急工作方案》