

汶川地震地质灾害发育特点及动因机制分析

乔彦肖¹ 马中社² 吕凤军¹

(1.河北省遥感中心,河北石家庄 050021;2.河北省地质调查院,河北石家庄 050081)

摘要:汶川地震地质灾害具有发生范围大、密度大、明显的成群成带性、灾害类型以崩塌滑坡为主、且崩塌远多于滑坡以及次生地质灾害将长期存在的特点。这些特点主要是由于地震波自(地壳)内而外的、纵波和横波的连环传播导致山体先是结构性损伤,继而使表层岩土体失稳而造成的。岩性、地形地貌以及岩层倾向的差异也在一定程度上影响着灾害类型的发育和空间分布。汶川地震次生地质灾害防治将是一个任务艰巨、过程漫长、前所未有、充满科技挑战的一项系统工程。

关键词:汶川地震;地质灾害;特点;动因机制;地震波

中图分类号:P315.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)03-0736-06

1 引言

汶川地震震区原本就是中国地质灾害高发区,在这样的地区发生 8 级强震,其引发的地质灾害的严重程度超乎人们的想象。用体无完肤、面目全非形容被震破碎的山体毫不为过。现在,抗震救灾工作已进入到灾后重建阶段。灾后重建遇到的首要问题,是安全的建设场地的选择。而安全场地的选择,就是一个地质灾害能不能治理和有效预防的问题。前段时间,汶川县城是原地重建还是异地重建的争论,其实质就是对地质灾害防治的认识问题^①。因此,地质灾害防治是关系到灾后重建工作怎样进行、能否顺利进行和重建后的家园能否经得起余震不断的考验以及若干年内地质灾害频发的考验的问题。到过灾区或了解灾区地质灾害发育现状的专业技术人员清楚,灾区如此严重的地质灾害,其动因机制、发育规模、山体的破碎程度、灾害的危害影响以及其潜在的危险性与其他外力引发的地质灾害完全不同。因此,如果按照常规地质灾害防治的工作思路进行这次地震地质灾害的防治,有可能使我们的灾害重建工作陷入被动局面。本文基于对这次地震地质灾害发育特点的分析、动因机制的分析,从宏观上提出地质灾

害防治工作的一些思路,抛砖引玉,以便做好地震地质灾害防治和灾后重建工作。

2 汶川地震地质灾害的特点

2.1 地震地质灾害与次生地质灾害

汶川地震引发了多种地质灾害,这些灾害类型有:崩塌、滑坡、地裂缝、地面塌陷等。这些灾害又可能衍生成其他灾害,如崩塌滑坡产生的巨量松散岩土可能导致泥石流灾害;地裂缝可发展衍生成崩塌滑坡;崩塌体堵塞江河形成的堰塞湖,有可能对上下游造成灾害;失稳的破碎山体和崩滑堆积体存在再次崩滑的危险等等。他们不是地震发生时直接产生的地质灾害,因此可将他们称之为次生地质灾害。这种次生地质灾害将在相当长的时间内存在,危害威胁到灾后重建工作。

2.2 汶川地震地质灾害的特点

汶川地震地质灾害在动因机制上与其他外力作用完全不同,这种不同导致地质灾害的类型、外在表现形式及其衍生性方面又有许多特点,这些特点主要有:

①地质灾害发生的范围大。据国家汶川地震专家委员会对汶川地震及次生灾害的调查,有 51 个县

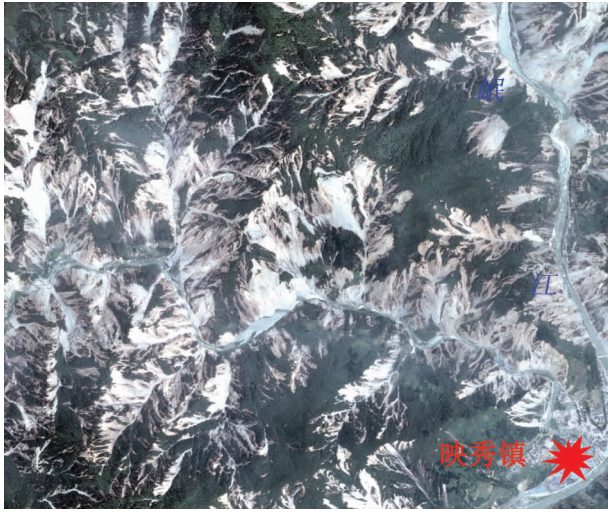


图 1 震中区映秀崩滑发育卫星遥感图
(图中浅色图斑为崩塌、滑坡)

Fig.1 Remote sensing image showing rockfall and landslides at the earthquake center area (light-colored spotted shade means collapse and landslide)

(市)受灾,面积达 13 万多平方千米^[2]。这 51 个县市 13 万余平方千米范围内,都不同程度地存在地质灾害。这种超大范围内同一时间发生类型相同的地质灾害,是其他外力所不能及的。

②地质灾害的密度大。单位面积内的地质灾害的数量之大也是这次地震地质灾害的一大特点。在 51 个县(市)13 万平方千米区域上,发现地质灾害 12000 多处^[2],密度达 9.2 处/100 km²。这一数据远远超出了灾前地质灾害统计结果。在四川省 35 个受灾县(市)9 万余平方千米区域上,震后卫星遥感解译

发现地质灾害近 7000 处,其密度达 21 处/100 km²。达震前这一数据的 6.6 倍^[3]。在震中区汶川县卫星遥感可解译区内,共解译出地质灾害近 2000 处,平均 70 处/100 km²,更是高达震前这一数据的 21.8 倍^[3]。震中区映秀 24 km² 范围内,没有受到地质灾害影响的面积仅为 20%。遥感图像直观反映的是,崩塌滑坡上下左右连成一片,很难分清单体地质灾害的发育范围。

③成带成群性明显。在 51 个受灾县市中,无论是重灾区,还是一般灾区,地质灾害的空间分布是不均匀的,而是表现为成带和成群性。沿深切河谷、大江大河,地质灾害呈带状分布。如在岷江沿岸地带,这种带状特点在卫星遥感图像上表现得十分直观。另一种现象就是在远离河谷地带的山地区,地质灾害的分布也是不均匀的,而是表现为成群性。卫星遥感图像也反映出这样的特点。

④地质灾害类型以崩滑为主,崩塌多于滑坡。这次地震引发的地质灾害类型以崩塌和滑坡为主,其中崩塌又远多于滑坡。在笔者解译的汶川县境内,滑坡 164 处,崩塌 1732 处,泥石流 8 处。崩塌占地灾总数的 91%,而震前这一数据仅为 5.4%^[3]。在四川省 35 个受灾县(市)9 万余平方千米区域上,崩塌占比更高达 93%。

⑤衍生性(次生性)灾害长期存在。由地震地质灾害衍生的次生地质灾害将长期存在又是这次汶川地震地质灾害的一大特点。由于崩滑产生的巨量松散岩土体堆积在谷坡山脚,一方面,这些堆积体为泥石流的发生提供了充足的物源,泥石流灾害在震区



图 2 汶川岷江两岸带崩滑成带状密集发育(图中浅色图斑均为崩滑)

Fig.2 Remote sensing image showing highly concentrated landslides along the Minjiang River



图3 岷江右岸密集发育的崩塌

Fig.3 Rockfalls concentrated on the right band of the Minjiang River

将长期存在;另一方面,一些崩滑体堵塞江河形成堰塞湖,这些堰塞湖在汛期既威胁上游村镇安全、又威胁到下游居民安全。即便没有完全堵塞的河道,也影响汛期行洪,同样对上下游构成威胁。再者,强烈的地震使山体结构受到严重破坏,其稳定性大大降低,易在降雨或是很小的余震中再次发生崩滑,造成新的灾害。同时,崩滑堆积体本身就是非稳定地质体,也极易再次发生崩滑。

3 汶川地震地质灾害动因机制分析

3.1 汶川地震的大地构造背景及其成因分析

汶川地震发生在青藏高原的东南边缘、川西龙门山的中心,位于汶川—茂汶大断裂带上。由于印度板块向亚洲板块俯冲,造成青藏高原快速隆升。高原物质向东缓慢流动,在高原东缘沿龙门山构造带向东挤压,遇到四川盆地之下刚性地块的顽强阻挡,造成构造应力能量的长期积累,最终在龙门山北川—映秀地区突然释放,发生地震。这次地震发震构造是龙门山构造带中央断裂带,在挤压应力作用下,由南西向北东逆冲运动,因此属于逆冲、右旋、挤压型断层地震。汶川地震发生在地壳脆—韧性转换带,属浅

源地震,因此破坏性巨大^[9]。

3.2 地震地质灾害的动因机制

大家知道,崩塌滑坡同是在重力作用下岩土体失稳而发生位移的地质现象。二者之间的差别在于其运动方式的不同。滑坡是滑坡体顺着岩层面在其内部结构大致不变的情况下的运动;而崩塌则是岩(土)体的坠落、滚落,是其内部结构基本混乱的向下运动。一般外力引发的崩滑,大多以单体居多,影响深度有限,崩滑体以下原岩结构一般不受破坏,且滑坡多于崩塌。这些特点,是一般外力作用的局部区域性所决定的。而汶川地震引发的崩滑,导致崩滑的地震波来自于地壳内,这种自内而外的伤筋动骨性的破坏远大于一般外力对山体表层的破坏严重得多。从地震波的传播来看,传播最快的是纵波(p波),这种波使地面发生上下振动,山体先是被这种上下振动而松散破裂。紧接而至的横波(s波)使已经松散破裂的山体前后左右摇动。而且,当这种波(s波)从深部震源垂直向上传播到地表时,由于入射和反射的波列叠加到一起,因此近地表处波的振幅将加倍,能量则变为4倍^[9]。在这种情况下,山体发生大规模垮塌和崩滑就成为不可避免的事情了。也正是由于这种先上下振动,再前后左右的摇动的破坏过程,使山体发生的崩塌远多于滑坡。也是由于地震波是在相对均质的地壳内传播,这就使其传播范围相对于其他外力作用的范围要大得多。且由于这种传播是由内而外,这种先损其筋骨、再伤其外表式的伤害,远比由外而内表层伤式的伤害严重得多。这就是汶川地震地质灾害密度非常之大的缘故。因此,汶川地震地质灾害的发育特点,大部分都可以用由内而外传播的强大地震波进行解释。

3.3 地震地质灾害发育的其他影响因素

汶川地震地质灾害所表现出的不同于其他外力引发的地质灾害的许多特点,都是缘于地震波这个内动力地质作用。除此之外,一些地表因素,如岩性、构造、地形地貌、岩层倾向等因素也对地震地质灾害的发育产生影响。

①岩性条件:以汶川和北川这两个重灾县为例。这两个县地震地质灾害都非常严重,但由于汶川岷江和北川湔江沿岸岩性发育不同,致使灾害类型有明显差异。而灾害类型的差异,又导致灾害后果也不同。北川县岩石风化严重,风化层较厚。而汶川岩石风化较轻,山体表面仅覆盖很薄的风化层。地震中,



图 4 发育于北川的风化层滑坡群(图中粉红色图斑均为滑坡)
 Fig.4 Weathered material landslides in Beichuan County(pink spots in the image mean landslides)



图 5 河谷两侧岩性不同地灾发育程度大不相同
 Fig.5 Remarkable difference in distribution of geohazards between different lithologic areas

风化层厚的北川岷江灾害类型以滑坡居多,且由于风化层面与坡面方向一致,所以导致滑坡规模较大,由此堵塞江河,形成许多堰塞湖。而汶川多以岩体崩塌为主。由于基岩岩层面大多不与坡面倾向一致,所以不易形成滑坡,多以崩塌形式出现。且崩塌体的规模比松散的与坡面一致的风化层发生的崩滑要小得多。虽然也造成江河堵塞,但像北川那样大规模的堰塞湖没有出现。

②地形地貌条件:山体坡度及切割破碎程度对地质灾害密度及类型密切相关。震区山体总体特征表现为陡峻、河谷深切、地形破碎,高山峡谷特征非常鲜明。特别是在沿江地带,流水侧蚀使两岸山体更加陡峭。加之,铁路公路沿江河修建,工程切坡造成长距离新的陡坡带,破坏了岩体稳定性。这样的地形条件有利于崩塌发生。经对汶川近 2000 处地质灾害统计,占地质灾害总数 91%的崩塌的 90%发生在大于 45°以上的山体,而滑坡的 90%则发生在 20°~40°的山体。对四川 35 个受灾县的不完全统计,也得出相似的结论。

③岩层倾向:岩层倾向对地质灾害发育也有影响。一般来说,岩层倾向与坡面倾向一致时,且向河



图 6 四川苍溪水平岩层区地灾稀少

Fig.6 Only a few rockfall and landslides in horizontal seam area

表 1 水平与倾斜岩层区地灾发育数量对比

Table 1 Relative quantities of geological geohazards between areas with horizontal strata and those with inclined strata

水平岩层区地灾数量(处)		倾斜岩层区地灾数量(处)	
剑阁县	2	平武县	394
苍溪县	21	青川县	546
		文县	206

谷倾斜时,最易发生大规模滑坡或崩塌。前面提到的汶川与北川,汶川的崩塌多于滑坡,而北川滑坡多于崩塌,且滑坡规模大的比较多。除了受岩性条件影响外,岩层的倾向也是原因之一。相同情况下,水平岩层区崩滑灾害相对轻得多。在四川、甘肃、陕西三省受灾县市中,四川的苍溪和剑阁县一带发育大面积水平岩层,其地质灾害比距震中还远的平武、青川和甘肃省文县轻得多(表 1)。

4 地震地质灾害防治

抗震救灾工作已进入到灾后重建阶段,灾后重建遇到的第一个问题是安全场地的选择。汶川县城是异地重建还是原地重建之争,其实质就是地质灾

害防治。即在目前地质灾害发育现状和存在大量隐患的情况下,地质灾害及其隐患能不能得到有效治理和防御。因此,地质灾害防治是灾后重建能否顺利进行的关键问题。那么,究竟我们应该怎样开展汶川地震地质灾害防治工作呢?从前述地震地质灾害的几大特点以及汶川地震的成因机制分析可看出,要回答这个问题并非易事。笔者将通过多年热心地质灾害防治工作的经历,并针对当前地质灾害防治工作的一些做法,从宏观上提出地质灾害防治的基本思路。

①地震次生地质灾害防治任务艰巨、过程漫长。这次汶川地震震区是中国山地地质灾害的高发区,这次强烈的地震使山体严重失稳,引发区域性岩石崩塌和滑坡。山体无完肤、面目全非来形容震中区的山体破坏程度毫不为过。崩塌和滑坡产生的巨量松散岩土体堆积在坡脚谷底,又为以后形成泥石流提供了充足的物源。原来植被发育良好的山坡,现在大面积裸露,短期内很难覆盖植被。由于地震波是从地壳内传出,它们对山体伤筋动骨性的破坏远比其他外力对山体表层的破坏严重得多,山体的不稳定性较之震前大大加剧了。而且,今后数年至十几年是余震频发期。如果考虑到这些因素,就知道要完成地质灾害防治和生态环境的恢复(重建)是一个多么艰巨的任务,这将是一个远比三年重建长的多得一个漫长过程。因此,震后次生地质灾害防治和生态环境的恢复(重建)要做好打持久战的心理准备。同时,灾后重建也应充分考虑到地质灾害和生态环境恢复(重建)这个过程的漫长性。

②地质灾害和生态环境恢复(重建)应科学规划。地质灾害防治和生态环境恢复(重建)要作为一项系统工程来对待。地震次生地质灾害不同于其他外力作用下的地质灾害。它的动因机制、空间分布规律、大范围的群发性以及伤筋动骨的内损性等决定了这样的震区地质灾害防治和生态环境恢复(重建)是一项困难、复杂的巨大工程。要顺利完成这样巨大复杂的工程,必须将其作为一项系统工程进行论证、设计和施工。应在理清头绪的基础上,从最基础的调查研究做起,认真研究地质灾害发育的区域性地质环境背景条件,对其危害性做出正确评估,对地质灾害防治和生态环境恢复(重建)的可行性作出论证。进而做出区域性而非个体性的详尽完备科学的地质灾害防治和生态环境恢复(重建)总体规划

(设计)。这样的总体规划(设计),应包括分区域(地带)、分灾害类型、分轻重缓急的实施地质灾害防治和生态环境恢复(重建)工程以及实施这项工程的技术措施等内容。形成一个揽总局、抓重点、分阶段、重区域效果的有技术保障措施的规划(设计)。

③建立汶川地震次生地质灾害防治研究机构。面对这样超乎寻常的地质灾害,过去那种小范围、点状灾害防治的一套技术措施是否还有效是值得考虑的问题。它可能需要新的地质灾害防治理论作指导,需要先进的地质灾害防治技术作保障。很可能正是这些,对我们的地质灾害防治工作构成严峻的挑战。因此,建议建立一个包括地质及地质工程、生态及生态工程在内的专家组成的汶川地震次生地质灾害研究机构。这个机构一是对汶川地震次生地质灾害进行全面系统研究,以理论创新、技术创新指导震后次生地质灾害防治和生态环境恢复(重建)这个巨大工程^[6]。二是组织领导汶川地震次生地质灾害防治工作的总体部署和具体实施。

参考文献(References):

- [1] 汶川县城重建之争悬而未决 专家态度激怒村民. 新闻网. 2008-07-12.
Without conclusion about the debate of the Wenchuan town reconstruction, to enrage the village people by some specialist view, <http://news.qq.com>, 2008-07-12.
- [2] 汶川地震划定 51 个灾区县 受灾总面积 13 万多平方公里 人民网-社会频道 2008-09-04.
To delimit 51 disaster counties and disaster area covering 130 thousands km². <http://people.com>. 2008-09-04.
- [3] 成思, 易家强. 四川省汶川县地质灾害的成因及防治对策[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(4):1-6.
Cheng Si, Yi Jiaqiang. Geological hazards and their preventions in Wenchuan county, Sichuan Province [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2007, 18(4):1-6.
- [4] 汶川地震成因解析. 中国地调局网. 2008-05-28.
The genesis analysis of the Wenchuan earthquake. www.cgs.gov.cn. 2008-05-28.
- [5] 地震波, 百度百科网. 2008-10-10.
Seismic waves. <http://baike.baidu.com/view/66121.htm> - 51k. 2008-10-10.
- [6] 治理地质灾害是长期的事情 用新观念新方法把灾害和影响降到最小. 新华网. 2008-05-22.
Geological disaster control is a long-lasting task, to decrease disaster using new view and technique. www.xinhuanet.com. 2008-05-22.

Characteristics and dynamic cause mechanism of the Wenchuan Earthquake geological hazards

QIAO Yan-xiao¹, MA Zhong-she², LV Feng-jun¹

(1. Remote Sensing Centre of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, Hebei, China;

2. Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang 050081, Hebei, China)

Abstract: Geological hazards of the Wenchuan Great Earthquake are characterized by a wide affecting range and a high density. The main types of the geological hazards are collapse and landslide, the collapse occurs far more frequently than the landslide, and the secondary geological hazards are likely to be existent for a long period in future. These characteristics are caused mainly by the spread of the seismic waves from the inside of the earth's crust to the surface as well as the spread of the P wave after S wave, which results in the harm to the mountain's inside structure, followed by the loss of the stability of the surface rock. The differences between lithology, landform and rock inclination exert to a certain extent influence on the geological type and the spatial distribution. In the post-earthquake reconstruction, the arduousness of the task and the protracted nature of the geological hazard control should be taken fully into account.

Keywords: Wenchuan Earthquake; geological hazards; characteristics; mechanism of dynamic cause; seismic wave

About the author: QIAO Yan-xiao, male, born in 1954, senior engineer, mainly engages in the application research on remote sensing hydrogeology, engineering and environmental geology; E-mail: qiaoyanxiao@yahoo.com.cn.