



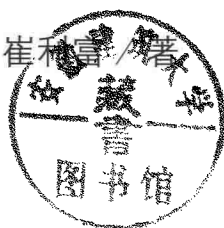
少数民族地区 建筑震害典型研究

孙建刚 郭 迅 崔利富 / 著

民族出版社

少数民族地区 建筑震害典型研究

孙建刚 郭 迅 崔和喜 著



民族出版社

图书在版编目(CIP)数据

少数民族地区建筑震害典型研究/孙建刚,郭迅,
崔利富著. —北京:民族出版社,2015. 11

ISBN 978 - 7 - 105 - 14128 - 9

I. ①少… II. ①孙… ②郭… ③崔… III. ①少数
民族—民族建筑—建筑结构—抗震设计—研究—中国
IV. ①TU352. 104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 283880 号

策划编辑:虞 农

责任编辑:赵 莹

封面设计:金 烨

出版发行:民族出版社

地 址:北京市和平里北街 14 号

邮 编:100013

网 址:<http://www.mzpub.com>

印 刷:北京彩云龙印刷有限公司

经 销:各地新华书店经销

版 次:2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月北京第 1 次印刷

开 本:880 毫米×1230 毫米 1/32 字数:260 千字

印 张:8.625

定 价:24.00 元

ISBN 978 - 7 - 105 - 14128 - 9/T · 48(汉 15)

该书如有印装质量问题,请与本社发行部联系退换

汉文编辑一室电话:010 - 64271909

发行部电话:010 - 64224782

前 言

2008年5月12日发生于四川省汶川县的8.0级特大地震,死亡69 227人,失踪17 923人。2013年4月20日发生于四川的7.0级芦山地震死亡196人,失踪21人。这次地震的共同点是都发生于少数民族聚居区,经济和基本建设相对落后、自然地理环境复杂,易于多发地震灾害。

从保障少数民族聚集地人民生命财产安全,构建安全保障体系,提高少数民族地区建筑结构的抗震性能的角度出发,课题组在上述两次地震发生后第一时间即开展了震害调查、研究少数民族地区建筑震害机理,并形成了本书。

本书的目的是通过民族地区建筑震害图片的表现形式,深入剖析少数民族地区建筑震害机理,同时通过典型地区藏族民居的抗震性能数值分析,探索改进少数民族地区建筑抗震性能保护的方法,力求在较短时间内最大限度减少少数民族地区建筑结构的地震损失,为工程设计者提供抗震设计的理论支撑,推动工程设计人员掌握工程结构震害的分析方法。

本书主要以防灾科技学院郭迅教授提供的汶川地震震害资料和课题组震害调查的芦山地震震害图片集为素材,在中央高校自主基金项目“边疆少数民族农村民居地震灾害影响与抗震结构研究”(DC12010109)的支持下,依据工程结构抗震基本理论,以及作者多年的教学和科研实践经验编著而成。本书共分为四章,分别为地

震基本理论、常规建筑震害分析及实例图解、少数民族地区农村民居地震震害和木堆藏寨 194 号杨家宅抗震性能数值仿真分析。全书由孙建刚教授统稿。

本书参考了一些国内专家学者相关著作和网络上的一些震害图片，在此一一表示感谢！

由于作者水平有限，本书难免有不足之处，还望读者批评指正。

作 者
2014 年 8 月

目 录

1 地震基本理论	(1)
1.1 地球内部构造	(1)
1.2 地震的基本概念	(3)
1.3 地震成因及分类	(6)
1.3.1 地震成因	(6)
1.3.2 地震的分类	(7)
1.4 地震带	(17)
1.4.1 全球主要地震带	(17)
1.4.2 我国的地震和地震带	(20)
1.5 地震波、地震动、震级和烈度	(22)
1.5.1 地震波	(22)
1.5.2 地震动	(25)
1.5.3 地震震级	(26)
1.5.4 烈 度	(29)
1.6 地震引起的灾害	(36)
1.6.1 直接灾害	(36)
1.6.2 次生灾害	(38)
2 常规建筑震害分析及实例图解	(41)
2.1 结构体系不明确的结构房屋震害	(41)

2·少数民族地区建筑震害典型研究·

2.1.1	震害图解	(41)
2.1.2	震害分析	(43)
2.2	建筑结构不规则的房屋震害	(43)
2.2.1	震害图解	(43)
2.2.2	震害分析	(44)
2.3	抗震不利地段与危险地段的房屋震害	(45)
2.3.1	震害图解	(45)
2.3.2	震害分析	(46)
2.4	钢筋混凝土房屋震害	(47)
2.4.1	钢筋混凝土结构房屋主体结构震害	(47)
2.4.2	钢筋混凝土结构房屋围护墙和隔墙震害	(53)
2.4.3	钢筋混凝土结构房屋楼梯震害	(57)
2.4.4	钢筋混凝土结构房屋防震缝震害	(58)
2.5	多层砌体房屋和底部框架—抗震墙房屋震害	(60)
2.5.1	多层砌体房屋震害	(60)
2.5.2	多层砌体房屋承重砖柱震害	(73)
2.5.3	多层砌体房屋室外散水震害	(74)
2.5.4	多层砌体房屋女儿墙震害	(75)
2.5.5	多层砌体房屋出屋面小塔楼震害	(76)
2.5.6	带有底部框架的村镇房屋震害	(77)
2.5.7	底部框架—抗震墙房屋上部结构震害	(79)
2.5.8	底部框架—抗震墙房屋下部结构震害	(81)
2.6	土、木、石结构房屋震害	(83)
3	少数民族地区农村民居地震震害	(89)
3.1	汶川地震与农村民居地震震害	(89)
3.1.1	汶川地震概况	(89)
3.1.2	汶川地震成因	(91)

3.1.3 农村民居建筑结构地震震害	(94)
4 木堆藏寨 194 号杨家宅抗震性能数值仿真分析	(153)
4.1 木堆藏寨 194 号杨家宅建筑测绘	(153)
4.2 藏寨的材性试验研究	(159)
4.2.1 黄泥砂浆物理力学性能试验	(159)
4.2.2 石材物理力学性能试验	(172)
4.2.3 石砌体力学性能试验	(181)
4.2.4 小 结	(196)
4.3 墙体数值仿真分析	(197)
4.3.1 有限元模型建立	(197)
4.3.2 加载机制	(206)
4.3.3 数值仿真分析	(207)
4.3.4 小 结	(217)
4.4 木堆藏寨 194 号杨家宅抗震性能有限元分析	(217)
4.4.1 木堆寨 194 号杨家宅有限元模型建立	(217)
4.4.2 结构动力学特性	(220)
4.4.3 地震反应分析及结果	(222)
4.4.4 小 结	(266)
参考文献	(268)

1 地震基本理论

1.1 地球内部构造

地球是一个略呈梨形的椭球体，平均半径约 6400km。地球从地表至核心由性质不同的三个圈层组成（图 1-1）。

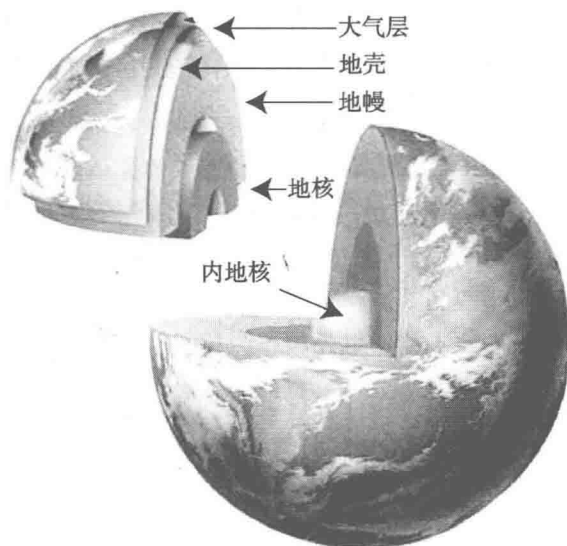


图 1-1 地球的构造

第一层为地壳，地球最表面的一层，很薄，厚度各处不一，一般厚度为 5 ~ 40km，平均厚度约为 30km。主要由各种不均匀的岩石组成，大陆表面几公里之内为多种沉积岩、岩浆岩、变质岩以及疏松沉积物。在海洋中，海底沉积物之下即为玄武岩，性质较单一。一般认为，大陆地壳可分为花岗质层和玄武质层，而海洋地壳仅有玄武质层，缺失花岗质层。地壳变化厚度很大，在海洋下，一般仅为几公里；而在大陆下，平均厚度为 30 ~ 40km；在大山脉之下，厚度更大，如我国青藏高原，地壳最厚可达 70km。绝大部分地震都发生在地壳内。

第二层为地幔，中间一层，很厚，平均厚度约为 2900km，地壳与地幔的交界面称为莫霍面。一般认为，地幔主要由具有粘弹性质质的质地比较坚硬的橄榄岩组成，但其上部的几百公里内，情况仍然复杂。从莫霍面以下 40 ~ 70km 内是一层岩石层，它与地壳共同组成所谓岩石圈层或岩石壳。岩石层以下存在着一个厚约几百公里的软流层。软流层内波速明显低于上下的岩层，这可能是该层因高温、高压而具有粘弹或流变性质之故。岩石层与软流层合称为上地幔。上地幔之下为下地幔，颇为均匀。地幔内部的物质在热状态和不均衡压力作用下缓慢运动，可能是造成地壳运动的根源。

第三层为地核，地球最里面的一层，半径约为 3500km，是地球的核心部分。可分为外核（厚 2100km）和内核（厚 1400km），其主要构成物质是镍和铁。根据推测，外核可能处于液态，地震波观测发现，地震横波不能通过外核；内核可能处于固态。

地球岩层的比重是从外向内显著增加的。地壳岩石的密度最小，约为 $2.7 \sim 3.0 \text{g/cm}^3$ ；地幔外层为 3.3g/cm^3 ，内层为 5.7g/cm^3 ；外核为 9.7g/cm^3 ，内核为 12.3g/cm^3 。整个地球的平均密度约为 5.5g/cm^3 。

地球内部的温度也随深度而增加。地下 20km 处温度约为 600°C ，100km 处约为 $1000^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ ，700km 处约为 2000°C ，地

核内部可高达 $4000^{\circ}\text{C} \sim 5000^{\circ}\text{C}$ 。地球内部的高温来自地球内部放射性物质不断释放的热量。这些放射性物质的分布，在海洋与大路底部并不相同，因此有着一种学说认为由此而来的温度差导致了地幔内物质的蠕动而产生对流。

地球内部的压力也随深度而增加。一般认为，地幔外部的压力约为 $90\text{kN}/\text{cm}^2$ ，地核外部约为 $14000\text{kN}/\text{cm}^2$ ，核中约达 $37000\text{kN}/\text{cm}^2$ 。在这样高的温度和压力下，岩石的性能当然与常温常压下的大不相同。

由地球的构造可以看到，地壳如同浮在水面上的筏板。当地球的转速不均匀或底下的地幔次流体产生运动时，都将对地壳的板块产生力的作用。当这种力集聚到一定程度后，将使地壳的薄弱岩层产生褶皱和弯曲，最终产生断裂破碎（图 1-2）。

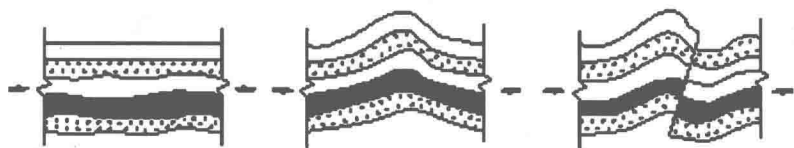


图 1-2 岩层的断裂

1.2 地震的基本概念

地震是指因地球内部缓慢积累的能量突然释放而引起的地球表层的振动。在不同的温度、压力与应力作用下，岩石虽然一般可以看做是一种具有蠕变性质的粘弹性体，但其力学性能完全不同。在常温、常压与动力作用下，它表现为固体，刚度很大。在过大的应力作用下，当变形超过容许值时，它可以产生突然的脆性破裂。当温度和压力增高而应力速度降低时，岩石刚度与强度均降低，而应变增大。但是当温度、压力增加到很高而应力又变为长期持续作用

时,岩石的蠕变性能即起主要作用,其应力—应变关系由应力与应变速度关系所代替。当软流层中的岩石物质具有流体特性时,它不会破裂,所以不会在那里发生地震;而在地壳中的岩石,则具有固体特性,当应变超过容许值时即突然破裂而形成地震。

地震是一种自然现象,地球上每天都在发生地震,一年约有500万次。其中约5万次人们可以感觉到;能造成破坏的约有1000次;7级以上的大地震平均一年有十几次。目前记录到的世界上最大地震是9级,发生于2011年3月11日的日本地震。表1-1列出了20世纪以来主要地震和由它引起的人员死亡情况。除了人员伤亡之外,地震所带来的损失还有房屋破坏、交通生产中断,水、火、疾病等次生灾害和社会与政治影响。

表1-1 20世纪以来部分强震与死亡人数

年月日	地点	震级	死亡人数	年月日	地点	震级	死亡人数
1905.04.04	克什米尔	8.6	1.9万	1946.12.20	日本 南海道冲	8.4	千余
1906.04.18	美国旧 金山	8.3	7万余	1948.06.28	日本福井	7.3	千余
1920.12.16	中国海原	8.6	20余万	1952.07.21	美国加州	7.7	10
1923.09.01	日本关东	8.3	10万死, 4万不明	1960.02.29	摩洛哥	5.6	1.2万
1927.03.07	如本丹后	7.9	0.3万	1960.05.22	智利	8.9	海啸 使日本死 120人
1933.03.02	日本三陆冲	8.9	0.3万	1964.03.28	美国 阿拉斯加	7.9	130
1935.05.30	巴基斯坦	7.5	3万	1964.06.16	日本新泻	7.4	26
1939.01.25	智利	8.3	3万	1970.05.31	秘鲁	7.7	4万
1939.12.26	土耳其	7.9	2.3万	1971.02.09	美国加州	6.6	65

续表

年月日	地点	震级	死亡人数	年月日	地点	震级	死亡人数
1972. 04. 10	伊朗	7. 0	1. 7 万	2001. 01. 26	印度	7. 7	1. 9 万余
1972. 12. 23	马拉瓜	6. 5	1 万	2003. 12. 26	伊朗 巴姆古城	6. 8	3 万余
1975. 02. 04	中国海城	7. 3	1. 3 万	2004. 12. 27	印度洋 地震	9. 1	30 余万
1976. 07. 28	中国唐山	7. 6	24 万	2005. 10. 09	巴基斯坦 巴控克 什米尔	7. 6	8. 6 万
1978. 09. 16	伊朗	7. 7	2. 5 万	2006. 05. 27	印度 尼西亚	6. 4	0. 5 万余
1988. 09. 19	墨西哥	8. 1	0. 95 万	2007. 08. 15	秘鲁	8. 0	500 多
1988. 12. 7	苏联 亚美尼亚	6. 9	2. 5 万	2008. 05. 12	中国汶川	8. 0	8. 7 万余
1999. 08. 17	土耳其	7. 4	1. 4 万	2010. 01. 12	海地	7. 0	31. 6 万
1999. 09. 21	中国台湾	7. 6	0. 21 万	2010. 02. 27	智利	8. 8	279
2001. 01. 26	印度	7. 7	2 万	2010. 4. 14	中国玉树	7. 1	2698
2001. 11. 14	中国昆仑 山口西	8. 1	无人区	2011. 03. 11	日本	9. 0	1. 9 万余

地震构造示意如图 1-3 所示。

震源：地壳岩层发生断裂破坏、错动，产生剧烈振动的地方，称为震源。

震中：震源正上方的地面位置，称为震中。

极震区：在震中附近，振动最剧烈、破坏最严重的地区，称为极震区。

震中距：地面某点至震中的距离，称为震中距。

震源深度：震中到震源的距离或震源到地面的垂直距离，称为震源深度。

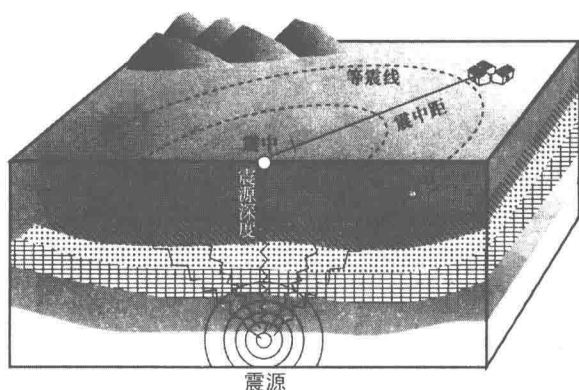


图 1-3 地震构造示意图

1.3 地震成因及分类

1.3.1 地震成因

地球的生命不仅是其上形形色色的物种，而且地球本身也是“活动”的。地球自身的物质构成不断运动、发展和变化。自从其诞生之日起，地球就不断地在变化，其中构造运动是地球演化的主要方式，沧海桑田就是地球构造运动的结果。我国的青藏高原地区在 2 亿年前还是汪洋大海，但是后来逐渐隆升，现在已经成为世界屋脊。

地球的构造运动除了造成地表改观、物质运移外，还往往伴随

着地震活动。地球上大多数地震都是地球构造运动的结果。但是，其他原因导致地球的地壳和上地幔一定位置局部应力失衡时，也可能引发地震。所以，虽然构造运动是地震的主要原因，但是导致地震的原因却有很多种。总之，地震是地球动力作用的产物。

内动力——构造地震、火山地震

外动力——塌陷地震（地下溶洞、矿坑、矿井的崩塌）

人类工程活动——诱发地震（水库，城市、油田的抽水、注水，人工爆破、爆炸等）

1.3.2 地震的分类

(1) 按成因分类

地震根据成因可分为构造地震、火山地震、陷落地震等五类（表 1-2）。

表 1-2 地震主要成因类型表

地震类型	成因和特点
构造地震	由地质构造所致。占地震总数 90% 以上，以浅源地震、大陆地震对人类危害最大
火山地震	火山活动所致。主要分布于环太平洋、地中海、大西洋中脊和东非等地区，约占地震总数的 7%，震级一般较小
陷落地震	由洞穴的崩塌所引起，影响范围有限
水库诱发地震	常在大型水库蓄水后诱发地震
爆破地震	核爆、化学爆炸等

1) 构造地震

构造地震亦称断层地震（图 1-4），它是由岩石圈地质构造的运动所引起。岩石圈在地质构造运动中发生形变，当变形超出了岩石的承受能力，岩层就会发生突然断裂和猛烈错动，引起地震。构造地震多发生在特定的地质构造或其邻近地区，活动断层是构造地震发生最多的地方。活动断层是指全新世（距今 11500 年）以来仍然在活动的断层，活动断层的端点、转折点和不同断层的交汇处是构造地震发生最多的地方。

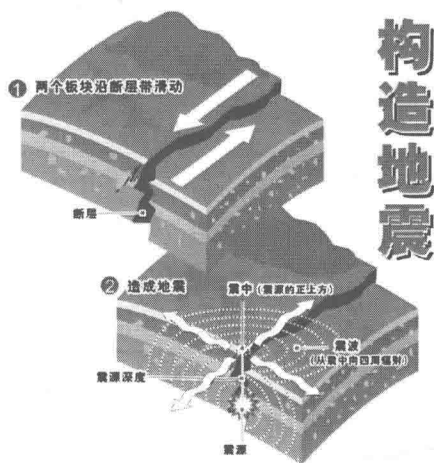


图 1-4 构造地震示意图①

世界上 90% 以上的破坏性地震都是构造地震。构造地震活动频繁，余震延续时间较长，影响范围最广，破坏性最大。

构造地震的成因主要有板块构造运动假说和断层假说。

板块构造运动假说。地壳由六大板块组成。这些板块在地幔对流等因素产生的巨大能量作用下产生运动，使板块之间相互挤压和

① 图采自新华社发，林汉志编制。

错动，致使其边缘附近的岩石层脆性破裂而引发地震。

地球的岩石圈不是完整连续的，而是像由一些不规则的拼图板拼接而成，这些相对独立的“拼图板”叫做“岩石圈板块”，简称“板块”。图 1-5 是全球的主要板块划分：欧亚、太平洋、美洲、非洲、印度洋与南极洲六大板块。板块之间的边界是大洋海岭、深海沟、断层和巨山等。板块交界处地震、火山等频繁发生。



图 1-5 地球板块构造与板块运动方向示意图

板块之间的相对运动速度平均约为每年几厘米，板块漂移和相遇碰撞迸发出无与伦比的能量。在板块的边界有时发生巨大的变化，如 1969 年 2 月，葡萄牙、西班牙、摩洛哥一带发生一起破坏性地震，造成断裂带一侧岩石上升 1m 多。2008 年 5 月 12 日的汶川地震，造成地表最大水平滑移 10m 左右，最大垂直上升 6~7m。

板块边界可分为以下几类（表 1-3）。

表 1-3 板块边界类型比较

板块边界类型	地震活动强弱	典型地区
汇聚型	强	喜马拉雅山脉
错动型	中	美国圣安德烈斯断层
分裂型	弱	东非大裂谷