

中国地震区划图应用和工程抗震

时振梁¹, 李裕激², 张晓东³

(1, 3. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 中国地震局科技委, 北京 100036)

[摘要] 介绍了中国地震活动概况, 中国地震区划图使用的内涵和抗震设防准则, 提出了大型水工建筑、跨海大桥、长输油气管线、核电厂、石化厂等可能导致产生严重次生灾害场地进行地震安全性评价; 以地震实例简要讨论了地震崩塌、滑坡、砂土液化、地震断层等地震地质灾害及抗震对策。

[关键词] 地震区划; 工程抗震; 地震地质灾害

[中图分类号] P315.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)08-0020-06

引言

中国是遭受地震灾害较严重的国家, 我国政府历来十分重视工程建筑的抗震设防, 中国地震区划图的颁布施行, 为广大工业和民用建筑提供了抗震设防依据。为便于使用, 笔者简要介绍了区划图所代表的抗震设防准则及其基本内容和含义, 对于超高超长结构、大型水坝、核电厂、大型石化企业等重大工程, 由于投资高, 社会影响大, 若遭遇地震可能引起严重次生灾害等, 对抗震设防有更高的要求, 要进行专门的现场调查和对工程场地的地震安全性评价, 给出符合工程抗震设防水准和工程场地特征的地震动强度、频谱和时程等设计地震动参数, 以便进行工程抗震验算。对于处在土体或岩体不稳定地段的工程建设, 还应采取相应措施, 防止地震后可能引起的类似砂土液化、崩塌、滑坡、地震断层等地震地质灾害的破坏。本文旨在介绍中国地震区划图使用规定基础上, 着重讨论重大工程抗震设防要求和不利工程场地的抗震设防对策。

1 中国地震活动概况

中国地处欧亚板块东南角, 东有太平洋板块向西推挤, 南部受到印度洋板块向北运动挤压, 三大

板块相互夹持运动, 形成我国大陆板内独特的广泛分布而强烈的地震活动图像。在20世纪期间, 全球大陆上发生4次8.5级特大地震, 其中有二次发生在中国大陆。一次是1920年海原大地震, 死亡人数20余万, 使六盘山陇西广大地区山体大片黄土滑坡, 海原等4个城市全毁; 另一次是1950年察隅、墨脱大地震, 发生在人迹稀少的西藏山区, 地震使雅鲁藏布江大峡谷二侧山体崩塌, 形成世界第一的大瀑布群。在我国历史上, 有5个省府城市(西安、兰州、银川、海口、台北)遭受过Ⅷ度或Ⅷ度以上地震的袭击。史载1556年关中大地震, “军民被害, 共奏报有名者八十三万有奇, 不知名者, 复不可数计。”“西安墙壁有直立者十之一二, 死者十之三。”1739年银川、平罗地震, 银川“府城及满城尽毁, 阖城庙宇、衙署、房屋倒塌无存……, 郡城内压死者大约15300余口。”

我国中小地震几乎遍布全国, 强震和大震则呈现出带状分布和区域性分布特点(图1)。

总的来说, 1900年后有仪器记录以来的地震资料较为完整, 明显多于20世纪前上千年的历史记载数据。从近百年的地震记录看到, 我国西部地震活动的频度和强度明显高于东部地区。可以说, 近百年的地震活动状况更具代表性。

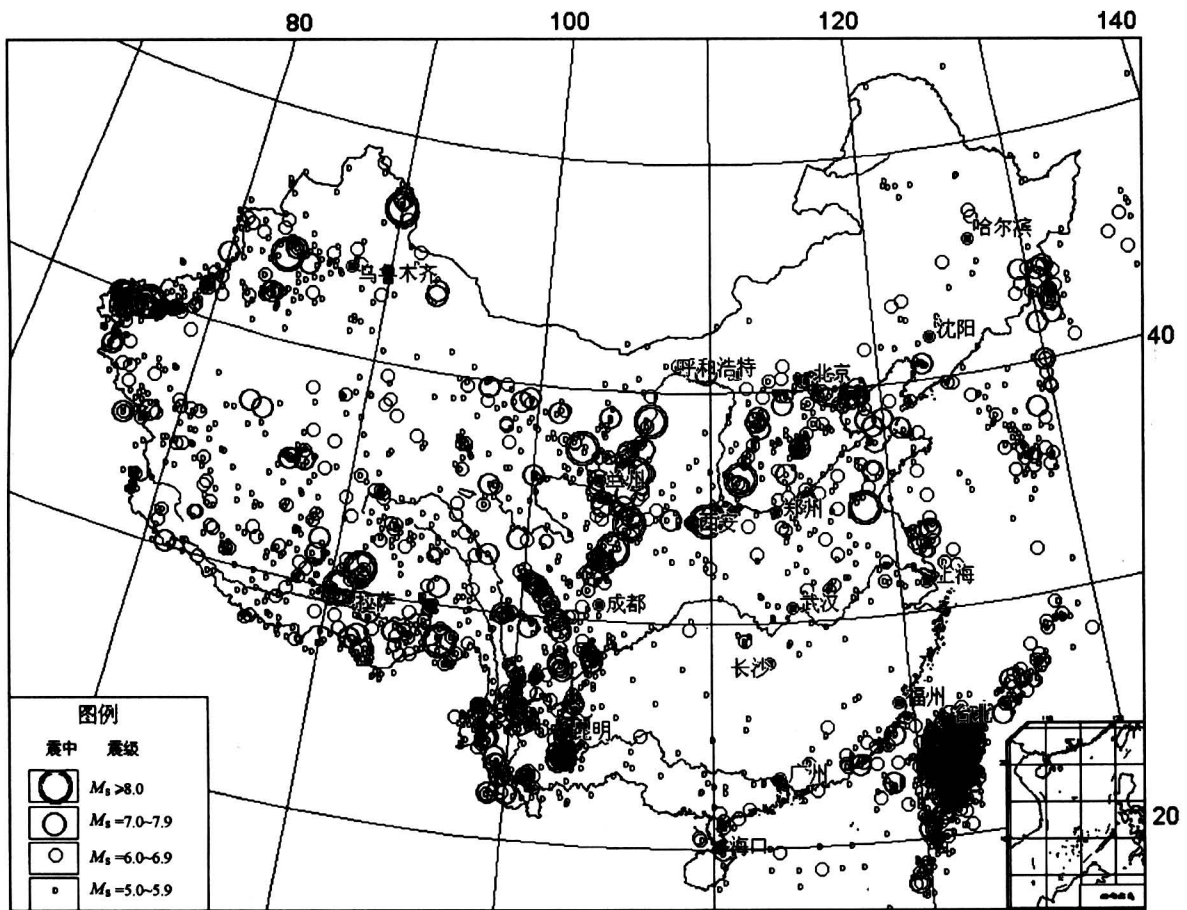


图 1 中国地震震中分布图 (公元前 780 年—1999 年震级 $M_s \geq 5$)

Fig.1 Earthquake epicentral map of China (780 B. C. —A. D. 1999, $M_s \geq 5$)

表 1 为我国各地区地震频度和强度的统计结果, 表明各地区地震活动水平。华北的强震活动多分布在渤海、北京、怀来、至包头以西, 近东西向分布; 山西灵丘、临汾、西安、天水, 沿汾、渭断陷盆地分布; 另有河北平原内部的断裂带和山东临沂到辽宁海城的地震带。青藏地区则以喜马拉雅山东西二端和南北二侧, 祁连山北缘到六盘山东侧的昌马、古浪、海原和中卫、中宁一带大震较为集中; 新疆的强震活动多集中分布在天山南北麓、帕米尔和阿尔泰地区; 川滇强震分布以滇西的丽江、大理、腾冲、龙陵等地居多, 滇东自通海、宜良往北经东川入川西的西昌、冕宁。分二支, 一支经叠溪、松潘、武都与天水会合; 另一支往西经康定、炉霍到甘孜。华南的大震分布在沿海近海, 相应的漳州、汕头等沿海的断陷盆地中, 多有 6 级左右强震。

表 1 中国地震分区统计

Table 1 Seismic regions and statistical data of earthquakes in China

	不同强度地震的频度			
	$M_s > 8.0$	7.0~7.9	6.0~6.9	5.0~5.9
新疆	3	16	82	342
青藏及东北缘	8	28	152	564
川滇	1	39	120	457
华北	4	19	83	291
华南	0	5	25	82
东北	0	8	21	44
台湾	1	43	336	1557

2 中国地震区划图应用

自建国以来, 我国政府一直重视地震设防工

作。第一个五年国家经济建设计划以来，规定所有重要工程必须按当地的地震基本烈度设防。地震区划图就是按未来可能遭受地震强度差别将全国划分为不同的区域。地震区划图经国家有关部门批准，作为全国量大面广的中小工程房屋建筑的抗震设防依据，建设部门即可按图上标示的数值进行抗震设计。

2.1 地震区划图设防水准

1992年我国正式发布了《中国地震烈度区划图(1990)》^[1] (图2)，最近又编制了新的《中国地震动参数区划图(2000)》^[2]，并由国家批准发布，供全国建设部门使用。这两张区划图的比例尺均为1:4000000，代表了资料和研究精度。图中所表示的地震烈度或地震动参数(地震加速度和特征周期)的概率水准为50年超越概率10%，50年为房屋建筑的使用期，即在未来50年内可能遭

遇或超过图上所标示的烈度值或地震动值的概率为10%。图中所表示的土质条件相当于II类场地土，II类土即为我国绝大多数居民点所在的土质条件。具体场地土类别划分，是按岩土性质、土层厚度和地下水埋深确定。如果是II类场地土，建筑工程抗震设计时，只需按规范给出的设计反应谱进行设计。如果工程场地土为I类或III类、IV类土质条件，工程抗震的设计参数，需按规范作相应调整。图中标示的烈度值，VI度相当于有效峰值加速度0.05g，VII度为0.1~0.15g，VIII度为0.2~0.3g，IX度为0.4g。最新编制并被批准实施的地震动参数区划图，则直接给出从0.05~0.4g，6个档次的加速度区划和地震特征周期分区，工程设计时，可按工程场地所在位置直接从图上取值。

2.2 地震区划和抗震能力

工程建筑按照地震区划图中标示的地震烈度或

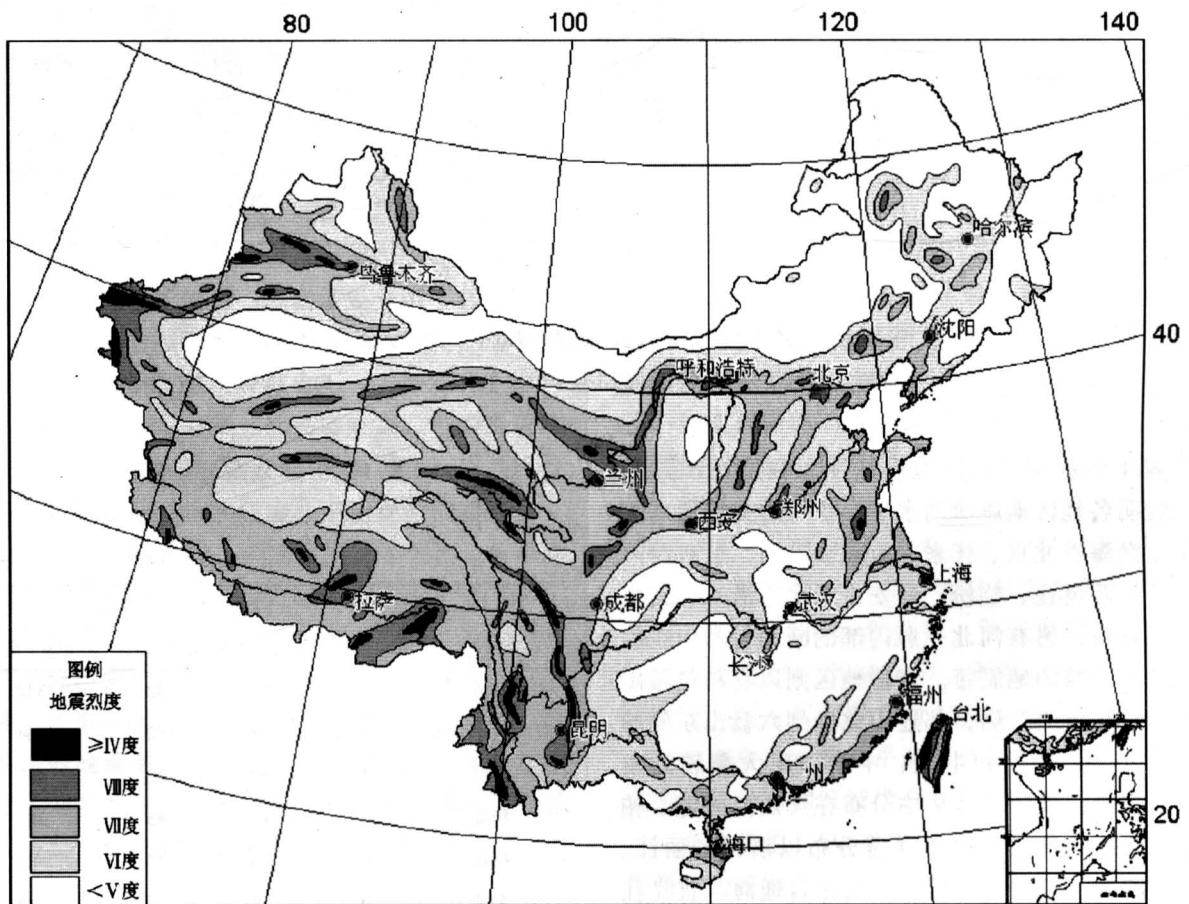


图2 中国地震烈度区划图(1990)

Fig.2 Seismic zonation map of China (1990)

地震动参数进行抗震设防，可以达到减轻建筑物的地震破坏、避免人员伤亡、减少经济损失的目的。要求建筑物抗震能力达到当该工程场地遭受本地区设防烈度（即区划图上所示烈度）时，工程建筑物可能损坏，但经一般修理或不需修理仍可继续使用；当遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏；当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损坏或不需修理仍可使用。假定设防烈度为Ⅰ，这里所指的罕遇地震为Ⅰ+1度，多遇地震为Ⅰ-1.5度^[3]。

2.3 地震小区划

在地形、地貌、地质和地下水条件较复杂的建设地区或经济开发区，需要在地震区划图基础上进行地震小区划工作，以达到科学规划设计、合理利用土地的目的。

地震小区划有多种形式，可根据当地地震地质环境确定，在地震小区划图上标示出地震作用下可能发生的滑坡、崩塌、陷落的部位，以及活动断层可能产生地表错裂的地段；在土层覆盖区要探查可能的古河道、暗埋的池塘、湖滨、沟谷、人工填土等不均匀土层分布的范围，在地下水较浅的软弱土、粉、细砂分布地区，要进行土层的液化程度判别，在地震小区划图上标示出地震作用下可能产生液化、流滑的程度、深度以及分布范围。

3 重大工程的抗震设防

某些重要的生命线工程或容易引起严重次生灾害的工程，一旦遭遇地震破坏，可能造成重大的社会影响和经济损失以及人员伤亡。由于这类工程量少而十分重要，对社会安全和经济发展都有重要影响，对于这类工程的抗震设防，若建立在针对全国量大面广的中小工程的区划图所提供的有限参数是不够的，对于这类工程，需要进行专门的地震安全性评价工作。根据该工程规定的抗震设防水准和工程场地特征，提供适合工程场地的设计地震动参数。

3.1 大跨度跨海跨江大桥电视塔超高层建筑等

由于这类建筑物工程结构的自振周期比较长，对地震长周期成分反应比较强烈，在工程抗震设计中，对地震波长周期部分有更高的要求，甚至需要考虑地震动速度和位移的影响。加之这些工程的场地条件特殊性，其抗震设防设计需要通过工程场地

的详细调查和地震安全性评价后方可进行。

海洋石油平台是建筑在有深厚淤泥的海底平台的桩基上，通常深达60~70 m，而我国东部近海多有强震活动，在平台的抗震设计时需要适合当地地震构造环境的，不同桩基深度的地震反应谱和地震动时程以进行抗震验算。

长距离输油、输气工程，青藏铁路、南水北调工程等，这些长线工程多在我国西部地区，难免要经过多个高震区，路经各种复杂的地形、地貌、地质单元。一旦发生大震，将伴随地震断层和大规模山崩、滑坡等灾害。为了减轻地震对长线工程的灾害，有必要对长线工程起控制作用的厂、站、台和控制中心，根据场址具体条件，除按区划图提供的地震动参数设防外，还要对沿线进行专门的地震地质调查，查明沿线可能的地震地质灾害，采取必要的抗震措施。

3.2 大型水坝工程

大坝的建设，应在确保地震安全的前提下进行抗震设防。根据水电部门规范规定，我国一级水工建筑的抗震设防水准为100年超越概率2%，仅次于核电厂的概率水准要求。大坝遭受地震破坏的不乏其例，河北唐山陡河大坝为22 m高土石坝。1976年7月28日唐山大地震时大坝遭受严重破坏，大坝左右扭曲，上下起伏，坝上产生大量裂缝、沉陷、位移、滑坡，防浪墙倒塌，排水沟变形，上下游坝脚喷水冒砂等灾害。陡河坝库容超过 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地震时蓄水仅 $3500 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，地震后幸未溃坝。广东河源新丰江水库蓄水后频繁发生中小地震，危及大坝安全，为此，工程部门及时进行了大坝的抗震加固。1962年3月19日，在新丰江大坝附近发生6.1级地震，震中烈度为Ⅷ度，大坝位于震中区，经受住了地震考验，只是在接近大坝顶部产生一条80 m长的水平向裂缝，这是我国水库诱发地震的实例。

为减轻地震破坏，防止次生灾害，大型水坝的建设应按大坝抗震设防准则，开展详细地震地质调查，对坝址进行地震安全性评价，给出符合坝址抗震设防水准和坝区特征的地震动强度、频谱以及时程等设计地震动参数，用动力学方法进行抗震验算。同时，还需进行水库诱发地震地质背景调查，对水库诱发地震作出评价，如有可能发生破坏性的水库诱发地震，应在水库蓄水前进行地震前期监测。

3.3 核电厂和某些石油化工厂

核能发电是我国解决能源短缺的战略措施之一,由于核电是含有高度放射性物质的设施,在核电工程建设过程中,从厂址选择、设计、施工到运行都要求有严格的抗震设防措施。为保证核电厂各种构筑物结构和设施的抗震性能,1994年我国核安全局和地震局联合制定了核电厂地震问题的安全导则^[4],在核电厂厂址地震安全性评价中,对厂址区域、近区域和厂址区的地震地质调查范围、内容、比例尺、精度都有严格的要求,用于核电厂极限安全地震的设计水准远比其他重大工程要高。导则规定,必需采用构造法和概率法评价厂址的地震动。采用构造法要查明厂址周围地区可能的发震构造及其最大潜在地震,评价弥散地震的影响。用于概率法的设防水准是年超越概率 10^{-4} ,以此评价厂址的设计基准地震,给出厂址极限安全地震(SL-2)和运行安全地震(SL-1)及相关的反应谱和时程曲线。

在石油化工厂,生产、储存多种可燃、易爆和有毒的各种化工产品,地震不仅破坏建筑物、设备,对化工设备破坏带来的次生灾害也十分严重的,所以要对可能遭到严重次生灾害的建筑和设施提高抗震设防标准,防止次生灾害的产生和扩大。

4 地震地质灾害和抗震对策

地震对地面土体或岩体的破坏属永久变形,地震地质灾害与当地的地质、地貌、水文等条件密切相关,对于地震地质灾害的抗震,仅靠增强地面上部建筑物的抗震性能是达不到预定效果的,通常需要采取防治和避开的办法处理。

4.1 砂土液化与淤泥软化

我国东部平原地区,由于地下水位浅,饱水的粉细砂层发育,在地震作用下,很易产生砂土液化现象,在滨海和湖泊沿岸的软土淤泥层,地震后也容易产生软土变形、沉陷、流滑等,这些变形,容易使地基失效,丧失承载能力,导致上部建筑物破坏。

1966年3月8日河北隆尧6.8级地震和同年3月22日河北宁晋7.2级地震,沿滏阳河及其支流两岸广大地区,引起大量地裂缝和喷水冒砂,有的积水成池,造成大规模滑塌,河床被挤变窄,沿河桥梁严重破坏,泥沙淹没良田,水井变形淤塞。3月22日地震,贾家口一带喷水高出地面5~6m,

形成砂丘,地面裂缝带纵长达60km,地面冒砂水分布范围达数万 km^2 。严重地裂、喷水冒砂地区恰是古宁晋泊分布区域。1976年7月28日河北唐山7.8级地震后,位于天津海河口的海洋石油勘探基地,海河两岸普遍地裂,地面下沉,并有大量喷水冒砂,岸坡普遍向海边滑移40~50cm,围堤和基坑发生滑移,几分钟后海水倒灌^[5]。

在地下水位浅,由粉细砂,淤泥等软弱土层组成的平原、滨海建设开发地区,要特别查明区内的古河道、古湖泊、古塘渠等的分布范围和埋深,进行全面的砂土液化勘探和判别,标示出在可能遭遇的地震作用下,液化分布的范围、深度和强度,便于工程建设单位据此采取相应的设防措施。

4.2 崩塌和滑坡

我国西部多山区,一些构造断层节理发育、岩石破碎,风化强烈的山体不稳定的边坡地带,以及垂直节理发育的黄土高原区,在地震作用下,容易产生山体崩塌和滑坡。

1917年7月31日云南大关发生6.8级地震,大关河两岸山岳崩颓,石块堵河,河水倒流十余里,当时行军中的士兵、马帮、过客死亡1800余人。1933年四川叠溪7.5级地震,震中区大规模山体滑塌,建筑在山坡台上的叠溪古城全部滑塌江中,被掩埋。大量滑坡、崩塌的岩块将岷江堵塞,形成三个大堰塞湖,主震后45天,积水冲出堤堰,造成巨大水灾,由于此次地震,造成近万余人死亡,地震形成的堰塞湖至今犹存^[6]。1920年12月16日宁夏海原8.5级地震,六盘山区海原、固原等四座县城夷为平地,村落均被山体崩滑所掩埋,极震区山川变相,地面成高陵,或陷深谷,山崩崖摧,壅塞河道,四处地裂黑水横流。在这广大地域内地震形成的不稳定滑坡体,严重危及到这个地区的工程建筑。

地震引起的山体崩塌、滑坡,大多发生在岩层节理发育、岩石风化破碎,地形边坡 $>30^\circ$ 的山区,黄土高原的地震滑坡、崩塌,常发生在黄土塬的边部和黄土梁的两侧,地形坡度约 $10^\circ\sim 30^\circ$,在凌空面突出、滑床发育的古滑坡地段,即使地形边坡 $<10^\circ$,在地震作用下,也能使古滑坡再次复活滑动。在沙质黄土、垂直节理发育地区,即使低震级的地震,也能形成崩塌。笔者之一在1956年调查山西平定5.6级地震时,遭遇到5级余震,当时人在山坡上站立不稳,附近崖坡纷纷塌落,尘土飞扬。在

对工程场地的调查中,要特别注意古滑坡体和岩、土体不稳定的边坡。新建工程应尽可能避开危险地段,已建工程应采取清理高处不稳定的破碎岩石,建筑在古滑坡体下方的工程要采取抗滑治理措施。

4.3 地震断层

大地震常伴生地震断层。不论山区或平原,凡有活动断层存在,构造运动活跃的地方,由于活动断层的再次活动产生大地震。伴生有地表断层的地震,震级通常达 $M_s > 7$,也有少数不到7级的地震断层。西部山区活动断层常出露地表,东部地区多为隐伏状态,上有土层覆盖不易察觉。若遇地震断层,所过之处,不论多么坚固的建筑或设施,都难幸免被摧毁。

1976年7月28日河北唐山7.8级大地震,形成的地震断层自丰南安机寨,经唐山市郊礼尚庄进入市区,过吉祥路、十中、止于29中,走向 $N 20^\circ E$,地面可见长10 km,宽50~300 m,断层东侧向南最大错距1.5 m,东侧地面下降0.2~0.8 m^[5],断层附近房屋全部倒毁,唐山市供水、供电、通讯、交通等生命线工程全部毁坏,唐山电厂、钢铁厂、铁路车站、通讯楼房倒塌、铁轨扭曲成蛇形,车厢翻倒。1933年1月3日四川炉霍7.6级地震,形成的地震断层长达80 km,裂缝带宽5~100 m,最大水平错距3.6 m,垂直错距2 m,

地震断层穿过并错移基岩山脊、河谷、道路,所经之处,土地翻起或成撕裂状,断层带附近藏房和人字木架房全部倒平,抗震性能好的“蚌壳”全木结构房屋被抛离1~2 m。

我国大陆地壳经受多期地质构造运动,大小断层几乎随处可见,绝大多数都是早期固结了的断层。通常认为晚更新世(距今10~12万年)以来的活动断层继续活动容易引发地震。在有古地震遗迹,历史大地震震中区或现代仪器记录到的微震密集带,或有活动断层的地区布置重要建筑设施时,要进行详细地质勘探,查明活断层位置、走向,避免将建筑设施跨越在活动断层上或断层附近。

参考文献

- [1] 国家地震局. 中国地震烈度区划图(比例尺1:4000000)及说明书[M]. 北京:地震出版社,1992
- [2] 中华人民共和国国家标准. 中国地震动参数区划图 GB 18306-2001[M]. 北京:中国标准出版社,2001
- [3] 中华人民共和国国家标准. 建筑抗震设计规范 GBJ 11-89[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1989
- [4] 国家核安全局,国家地震局. 安全导则 核电厂厂址选择中的地震问题 HAF0101(1)[M]. 北京:1994
- [5] 王景明. 华北地震灾害与对策[M]. 北京:地震出版社,1993
- [6] 唐荣昌,刘盛利,蒋能强. 1933年叠溪地震[M]. 成都:四川科学技术出版社,1983

Earthquake Resistant Engineering and Application of Seismic Zonation Map of China

Shi Zhenliang¹, Li Yuche², Zhang Xiaodong³

(1,3. Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China;

2. S & T Commission, China Seismological Bureau, Beijing 100036, China)

[Abstract] China is a country with high seismicity. It is very important for industry and structure to fortify against earthquake. In the paper the outline of seismicity in China, the criteria for fortification against earthquake and contents of seismic zonation map of China are described. The contents of seismic safety evaluation for major construction project, such as large dams, large bridges, long distance pipe lines for transporting oil and natural gas, nuclear plants, petrochemical enterprises and so on, are presented. Some geological disasters caused by destructive earthquake, such as earthquake-caused collapse and landslide, liquefaction of saturated soil and earthquake fault and so on, are also presented. Preventive countermeasure for these disasters is discussed.

[Key words] seismic zonation; earthquake resistant engineering; earthquake-caused geological disaster