



甘肃省农村民房地基基础及其安全问题

袁中夏^{1,2,3}, 王兰民^{1,2}

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州基地, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国地震局工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:对甘肃省农村非工程结构民房地基进行了分类, 对各类型地基基础的特性和存在的安全性问题进行了讨论, 提出了提高民房抗震能力的改进措施。认为需要通过技术培训、宣传和民房建设管理等途径来提高农村地区民房建设水平。

关键词: 甘肃; 农村民房; 地基基础; 安全; 灾害

中图分类号: P315.9; TU44 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)01-0085-07

Grounds and Foundations of Rural Buildings in Gansu Province and Their Safety Problems

YUAN Zhong-xia^{1,2,3}, WANG Lan-min^{1,2}

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China; 2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of Engineering Mechanics, CEA, Harbin 150080, China)

Abstract: The main types of grounds for non-engineering rural buildings in Gansu Province are summarized. The characteristics and safety problems are discussed for each type of ground, some countermeasures for improving the rural building safety, strengthening the ability of seismic resistance are presented. It is considered that promoting rural construction level through education of skilled farmer worker, relevant knowledge promulgating and public codes and incentives on rural building construction management is an urgent need.

Key words: Gansu; Rural building; Ground and foundation; Safety; Hazard

0 引言

对我国大多数农村地区来说, 民房都是农民最重要的财产。由于建造过程中的不当, 农村民房存在的安全问题比较多见, 从地震安全角度来说存在的问题更多。由于农村民房建造条件和工艺在不同地区差别较大, 相应的安全问题也非常复杂。本文基于对甘肃省农村民房的调查, 仅讨论甘肃省农村非工程结构民房(民间工匠修建, 无严格技术要求)地基基础及其安全问题。

甘肃省农村民房地基基础病害比较普遍。就地

震安全而言, 农村民房选址、地基处理和基础也是造成农村民房地震脆弱性的突出原因之一。在调查中发现, 甘肃省许多农村地区对于民房地基基础还相当忽视并缺乏足够的科学认识, 地基处理简单。

1 甘肃省农村民房地基分类

甘肃省面积 39 万多平方公里, 分布呈哑铃状, 纵向长近 1 400 km, 横向最窄处不到 100 km。境内气候多样, 亚热带湿润气候、温带半湿润气候、干旱

收稿日期: 2005-07-03

基金项目: 甘肃省科技攻关项目(2GS035-A45-081); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20050028

作者简介: 袁中夏(1974—), 男(汉族), 甘肃临洮人, 副研究员, 主要从事岩土工程工程和 RS/GIS 应用研究。

气候、半干旱气候和高寒气候均有所分布。甘肃省是一个多山区的省份,地形复杂,地貌多样:陇东为典型的黄土高原地貌;中部为干旱黄土丘陵地貌;南部为亚热带山地;河西走廊主要为沙漠戈壁以及高寒山区;甘南地区为高寒山地。此外,冲积、洪积、坡积和残积地貌在甘肃境内也比较发育。气候、地形地貌的多样性决定了农村地基的多样性。

根据调查的结果,甘肃省境内农村地基大体上可以分为以下几类:

(1) 黄土地基。主要分布在陇东的平凉和庆阳大部以及陇中的兰州、定西、临夏、白银和天水等地区。在陇东的黄土塬地区,黄土以风积黄土为主,自重湿陷性黄土分布较广,而且黄土层厚度大^①,一般在50 m,最厚董志塬达200 m^[1];在陇中黄土丘陵地区,次生黄土的分布广泛,湿陷性也比较严重,由于沟壑发育,侵蚀和冲洪积作用显著,地基条件也相对比较复杂。

(2) 阴寒地区地基。这类地基主要分布甘南藏族自治州。该地区寒冷阴湿,多数地区存在季节性冻胀的问题。因此虽然从土层上讲该地区农村民房大多建在以三叠纪砂岩为母岩的冲洪积土层上^[2],但是考虑到冻胀的问题,仍然需要把该类地基单独作为一类来对待。

(3) 河西戈壁砂砾土地基。这类地基主要存在于河西走廊地区。地貌以沙地、沙漠和戈壁为主。土层主要以第四纪砂砾和砂土层为主。

(4) 冲洪积地基。在全省各地都有存在,而且占农村房地基的比例较高。因为冲洪积土层相对平坦肥沃,适宜耕种,所以座落在此类地基上的村庄较多。

(5) 山地坡积残积地基。这类地基在甘肃山区较为多见,特别是在土地比较紧张的山区。在陇南地区,土层主要以岩石风化层及部分坡积和残积土层为主,其母岩主要为变质岩(砂岩、灰岩、页岩、千枚岩以及碎屑岩^[2])和第三纪红层,表层土的有机质含量较高。气候的作用也使得风化强烈,同时也造成独特的地基条件。

(6) 基岩和卵石层地基。从抗震的角度讲,这类地基抗震性能较好,一般不需要任何处理就可以在其上修建民房。而实际中农村民房建在这类地基上的很少。这主要是因为该类地层一般无法耕种或者地势陡峭,极少有人居住。鉴于以上两点,本文对这类地基不做讨论。

2 甘肃省农村房地基基础特性及存在的问题

2.1 黄土地基

黄土地基主要分布在陇东和陇中地区。两个地区的黄土在地貌、厚度、颗粒成分以及环境气候上都存在差别,相应地基条件也有所不同。陇东地区的黄土以原生黄土为主,新近沉积很少,总的来说砂粒含量比陇中地区要高,而粘土含量较低。

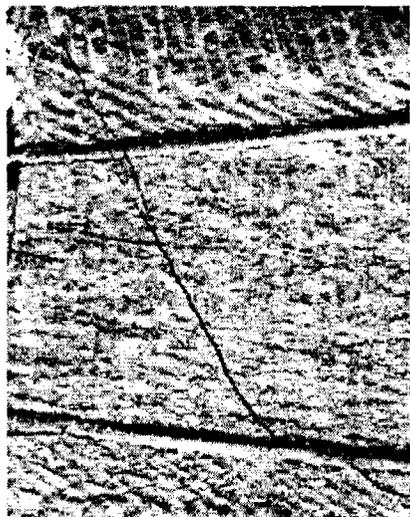
因为黄土静力强度较好,黄土层厚,所以黄土窑洞至今仍然占相当大的比例。窑洞的地基条件应该是场地排水条件、向阳性以及土质三方面的考虑。因为许多地区大量分布着具有湿陷性的晚更新世马兰黄土,场地的排水条件一定要好,否则雨水和生活用水的大量长时间聚集和渗透会引起黄土湿陷,从而破坏窑体。从这个意义上讲崖窑要比坑窑好些。向阳性一方面是生活的需要,另一方面阳坡的土体含水量低,相应地土体强度也比阴坡高。从土质上来讲,含粘土含量过高(>20%)的黄土其蠕变较为严重,含砂量过高(>25%)土体的粘结性不好,窑洞容易坍塌。

对于拱窑和房屋建筑而言,陇东地区的黄土仍然是不良地基。在附加应力及雨水渗透等作用下,厚层黄土一旦发生形变其绝对量很大,引起的民房事故也比较严重。所以在六盘山以东的陇东地区,农村民房(拱窑和房屋)建设中多采用开挖深1 m,宽1 m的槽,然后设石基础或者填土分层夯实的办法来处理地基。但是在调查中发现,陇东地区民房地基基础病害的安全隐患仍然比较多。其一,对垫石基础如果选用的圆度较高的石块太多或者对于石块之间的接触没有施加足够外力压实,垫石基础在砌墙以后发生变形,从而使基础裂缝,墙体裂缝或者闪开。其二,采用填土分层夯实时如果采用素土,则夯实的强度要适当加强。调查表明,采用目前使用的民用小型打夯机的夯实强度不够好,容易出现地基沉降问题;而重量在50 kg以上的四人或者六人抬传统石夯或者拖拉机的夯实效果较好,地基一般不会出现严重的地基变形问题,其抗震效果也较佳。事实上采用“三七”灰土作为填土来处理黄土地基的效果最好,而且增加的成本也不高(视地区的不同大约从一百元至四五百元)。“三七”灰土没有湿

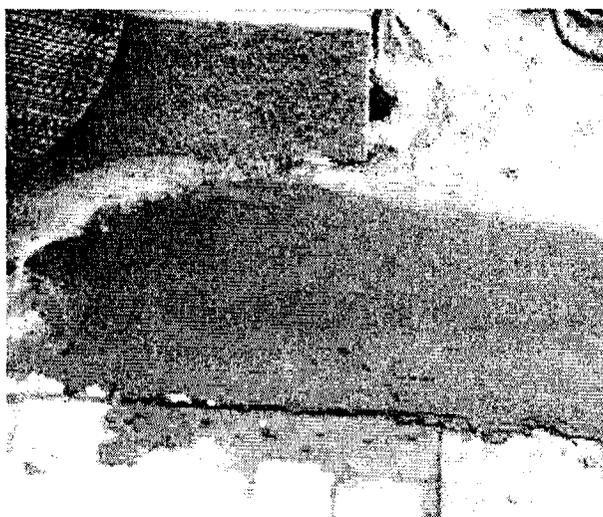
① 刘祖典. 黄土力学与工程(内部资料). 西安理工大学, 1996. 16-17, 77.

陷性而且地基处理相对省功。经过小型民用打夯机处理以后一般就不会有明显的附加应力沉降。其三,陇东许多地区在对地基经过处理以后,许多情况下对排水有所忽视。图1所示的石拱窑位于华池县柔远镇张川村,修建于1992年,主墙体采用50 cm × 30 cm × 20 cm 的红砂岩砌筑,墙外涂水泥,顶部夯土20 cm 然后铺砖铺瓦,其后墙靠山坡。这样该民房的重量比一般的土木结构民房要重许多,产生的附加应力也较大。但是房主在铺设屋前的院子

时,采用土来填砖缝,没有用水泥,而且施工时也没有对砖缝土进行细致的压密捣实。由于长时间的渗水,地基变形沉降,已经引起北边墙体上的石块破裂。一般来说,黄土地基周围四、五米范围内的排水仍然是需要考虑的问题,可以采用压实黄土斜坡、砖或者水泥铺地以及设置集水管/通道的办法。这些方法对工程造价提高不多,但是对于防止工程病害提高民房地基基础的安全性十分必要。



(a) 拱窑石块由于地基沉降而破裂



(b) 房主在地基沉降以后用水泥抹地来防止渗水

图1 排水处理不当引起石拱窑墙体破裂

Fig. 1 Stone wall rupture due to seepage caused ground settlement.

陇中黄土一般都覆盖在甘肃群之上。甘肃群主要是一套含有石膏的紫红色粘土、砂质粘土、砂岩和砂砾岩^[1]。陇中黄土地区的地貌以丘陵和沟壑为主,冲洪积作用显著,因而新近沉积的次生黄土分布比较多。而新近沉积的次生黄土大都具有强烈的湿陷性,工程性质比较差。陇中地区黄土厚度在不同地区有较大的差异,一般在丘陵和侵蚀较弱的高原和冲积扇上黄土的厚度比较大,可以达数十米到百米;而在沟壑和河谷低级阶地上黄土厚度比较薄,大概从数十厘米到数米。

陇中地区处理黄土地基的办法大多为挖深50~100 cm,宽50 cm 的槽,夯实后垫石,用水泥砂浆或者灰砂浆勾缝。在黄土比较干燥、年代较老(Q_3 以前)或含砂量比较高的地区,地基处理相对要简单一些,开挖深度一般在50 cm 左右即可,然后垫上片石适当处理。

同样,在气候比较干旱的地区缺乏必要的排水措施会引起地基破坏。在湿润地区地基含水量高,在附加压力下沉降量大,需要足够的夯实同时预留

一定的孔隙排水时间,否则地基在砌墙以后可能发生不均匀沉降,造成墙体开裂。采用高能量夯实时,在地下水较浅和地基含水量较高的情况下,陇中黄土地基也可能会发生液化或者变成“橡皮土”。所以在这种情况下应该慎重采用高能量夯实,即便采用也应该保持一定的间歇时间让孔隙水压力消散。

在甘肃省黄土地基分布地区地震的威胁也比较严重,尤其是南北地震带和祁连山东段地区,破坏性地震经常发生。在调查中发现,场地选择和地基处理较好的民房震害明显较轻,因此黄土地基的地震安全也是需要予以重视的。黄土地基的地震灾害有震陷、液化、裂缝、失效和滑坡,以后三者比较多见。一般含水量低于缩限时黄土地基不会发生震陷^[3],而黄土的缩限一般都低于10%,所以当含水量低于10%时可以认为不会发生震陷。黄土也具有液化势。美国的一些学者根据我国对液化土类的划分标准,提出了一个“修正的中国标准”(Modified Chinese Criteria)来判定某种类型的土是否有液化可能^[4]。根据这个标准满足以下三个条件的土具有

液化的可能性:(1)粘粒的含量低于15%;(2)液限低于35%;(3)现场的含水量等于或大于液限的90%。研究发现,具有液化势的黄土在地质年代上为 Q_3 或者更新,其含水量大于黄土的塑限^[3]。

无论从农村经济水平还是从农村民房的使用期限而言,农村民房地基基础的地震安全仅仅需要考虑中强地震条件下的地震动水平。如上文所述,地基含水量低于10%和黄土年代早于 Q_2 可以不考虑其震陷性。而在多数情况下,地震多发区提高黄土地基的处理标准即可达到提高民房地基抗震能力的目的。对于老黄土和含水量比较低、地下水不发育的地基可采用简单的夯实处理;如果是第四纪以来新近沉积,且地下水位较深(10 m以下),土层含水量低(10%以下)的黄土地基可以采用“三七”灰土回填夯实;对于地下水发育以及新近沉积次生黄土,应该设置垫石基础。石块最好用片石,且用碎石块镶垫,提高基础强度。施工良好的垫石基础不仅可以对建在高变形性黄土层上的民房提供足够的承载力,同时它具有较好的抗震陷和液化能力。

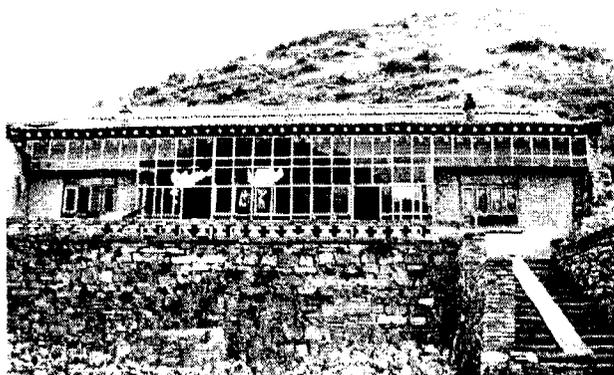
地震时丘陵和山区有时会发生滑坡,预防应该以避让为主,防治为辅。根据对历史黄土地震滑坡的研究^[5],88.5%和93.5%的黄土地震滑坡分别分布在距离活断层20 km和40 km以内的地区。在河谷地区,黄土地震滑坡大多发生在侵蚀活动强烈的上游;中游发生的几率大大降低,而下游地区因为沉积作用明显,历史地震滑坡很少发生。因此黄土

地震滑坡避让的原则应该是:(1)远离活断层;(2)避开沟谷;(3)避开侵蚀活动强烈的河谷上游地区。地震滑坡防治的办法和一般滑坡防治的办法一样,可行的具体措施如下:(1)修建排水系统,防止渗水弱化土层形成破裂面;(2)发展植被,加固黄土斜坡;(3)采取一定的削坡措施;(4)因坡修建的民房后斜坡进行一定的密实处理或者修建护坡石墙。

2.2 阴寒地区地基

甘南地区位于青藏高原的边缘,年均气温为1.7℃左右,是甘肃省内除了祁连山区以外最冷的地区。降雨量在400~800 mm之间,属省内比较湿润的地区。无霜期只有140天,季节性融化和冻胀比较普遍。

由于存在冻胀融化,开挖基础不易防止地基变形所带来的问题,而且如开挖深度不在冻胀下限以下反而容易因地基变形破坏基础。在实际中该地区农村民房一般都采用垫土或者垫石基础,砖基础因为其强度有限一般不采用。图2为甘南地区的藏族风格民房。该类民房采用垫石基础,中间用素土夯实,垫高大约2 m左右,形成高台。基础砌筑方式采用较厚的块石和较薄片石交错,缝隙之间用小石块镶嵌。因为石块的温差变形很小,而且石块之间主要是支垫,所以不会有冻胀融化发生,对阴寒地区来说垫石基础的效果较好,只要施工得当一般不会发生安全隐患。



(a) 藏族民房全貌



(b) 藏族民房垫石基础

图2 阴湿地基上的藏族民房

Fig. 2 A Tibetan house on frigid-humid ground.

垫土基础也是阴寒地区地基上采用较多的一种基础形式,成本低,施工简便,常见的是在原地基上垫土夯实。垫土层厚度在气候比较冷的玛曲和碌曲县多为40~70 cm,高者可以达到1 m以上;而在气候相对温暖的地区厚度降低到20 cm左右。资金充

裕和劳力较好的农民相对倾向于提高垫土层厚度。垫土的含水量较地基土低,经过一定的密实处理后其强度有所提高;垫土地基较周围地面高,受下部土体中水分变化的影响较小,可以防止冻胀融化对民房造成的破坏。

活动层的季节性变化致使地基的变形经常无法避免。所以该地区的农村民房建设需要严格选址和精心施工。从选址来说,主要有以下几方面需要注意:

(1) 避免在土层含水量较高的场地如河床附近和低洼处建造民房。较高的含水量使活动层的深度和冻胀融化时的变形量增加。

(2) 尽量选择土层均匀和土层较薄的场地。如果土层厚度不均匀,地基冻胀融化变化不均匀会使民房地基破坏,墙体开裂。土层较薄的地方无论发生冻胀还是融化,会因为土层较薄而变形量较小,不致造成地基破坏。

(3) 从藏族民房的建设情况来看,阴寒地区民房建设场地选择应该首选向阳的缓斜坡(坡度一般低于 30°),其次为平坦的场地。向阳斜坡一方面降雨积累少,另一方面常年温度较高,土层含水量低。

(4) 在其它条件相同的情况下选择周围植被覆盖较好的场地。根据研究^[1],植被可以保持土中水分,降低地表温度差,因而减小融化深度。

基础施工中需要注意的问题主要是:

(1) 垫石基础中大块石之间宜用碎石和砂砾土垫支和填充,不应用粘粒含量较高、易吸水变形的粘性土。

(2) 垫土基础施工中的素土和灰土的含水量不能太高,在施工中应该进行夯实处理。特别要注意基础附近的排水处理,并对周围存在的洞穴进行处理。

以上有利于地基安全的措施都是同时有利于抗震的,但还应该注意以下方面:

(1) 无论垫石还是垫土基础,其高度都不宜太高。

(2) 在可能的情况下,应该让基础尽量宽大些,以便使地震作用下容易破坏的基础边缘对民房整体稳定性的影响较小。

(3) 选择建房的向阳斜坡的坡度不可太高。

2.3 河西戈壁砂砾土地基

这类地基在河西走廊地区多见。其承载力高,一般不经处理就可以建造民房;而且河西地区降雨量很少,地势相对平坦,所以在河西农村民房建设对地基和基础一般都比较随便。但是从地震角度讲还是存在一些问题的:

(1) 出露基础施工粗糙。常见在河西地区民房建设中采用的基础是堆放的一排石头(图3),往往没有任何粘结措施,加上出露地表,在地震作用下石

块很容易发生错动,造成民房破坏和坍塌。所以在地震活动比较频繁的地区,尽管地基条件比较好,还是应该采用较浅的开挖基础(50 cm 即可)。石基础在施工中应该压实并且用碎石支垫或者用水泥勾缝以提高其抗剪强度。

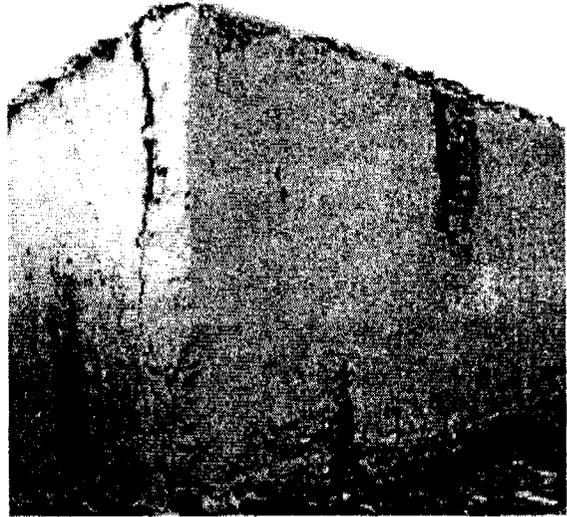


图3 石砌基础错动导致土墙木檩条棚墙体严重破坏(2003年民乐-山丹地震)

Fig. 3 Adobe wall crack of a wood-purlin shack due to stone foundation displacement (Minle - Shandan Earthquake, 2003).

(2) 墙体厚重的民房采用强度不高的砖基础。在河西的许多地区采用含砂高的土造砖,砖的强度就不太高。在墙体厚重时,如果采用这样的砖修建砖基础,存在很大安全隐患。

(3) 土层中生活用水渗入。河西地区多属松散沉积,在干燥状态下地基承载力和抗剪强度都比较高。但当大量水渗入时也可能引起沉降和抗剪强度降低的问题。因此要注意不能让生活用水渗入到地基附近。

2.4 冲洪积地基

多数冲洪积地区因为农业条件比较优越,居住历史悠久,所以在民房建筑上也往往有优良的建筑传统。在这些传统建筑方法中,对一般冲洪积地基容易发生的安全问题都有所考虑。所以在很多情况下只要严格采用传统的民房建造方法,民房的地基和基础安全问题都不是特别严重。

在冲洪积地基上采用最多的是开挖石基础。最近10年以来高台基础有逐渐增多的趋势,但即便是高台基础,其下部一般都做一定的开挖。相对而言,传统的开挖石基础比较好,特别是在雨水较多,地下水较浅的地方,较深的石基础可以防止过大的地基

变形。

该类地基上建房的选址应该考虑以下一些方面:

(1) 粗粒土场地土优于细粒土场地;粒径级配良好者优于粒径级配差者。粗粒土的压缩模量一般较高,同样的附加应力作用下变形较小。粒径级配良好者土孔隙度相对小,孔隙稳定性好,土骨架结构相对稳定。这些对于提高民房地基安全是有利的。

(2) 高级阶地优于低级阶地。高级阶地的沉积时间较早,密实度较好,地下水位较深。

(3) 地下水深者优于地下水浅者。无论是民房地基静压力变形还是地震作用下的变形和液化,浅的地下水位都是不利条件。当土层达到饱和时,就是在静力作用下也可能发生地基失效;在地基土层非水平的情况下,含水量接近或者达到液限时地基土层很容易发生流动滑坡。通常地下水5 m以下是比较好的。地下水在1 m以内时,务必采用埋深达到相对坚硬土层的石基础,同时必要时还应该做一些防水处理。在有条件的情况下也可以采用碎石桩等基础形式。

(4) 尽量避免在沟谷边沿和底部建造民房。在2003年甘肃民乐—山丹地震中震害严重的姚寨子村,低处水沟两旁民房破坏十分严重,多数倒塌,而附近不远处水沟上部平台上建造的民房倒塌的很少,只是中等破坏。

(5) 在下部土层复杂的情况下,要尽量选择土层相对均匀的场地。在平整和回填的场地上建造民房时,要用堆压和夯实的办法对场地做处理,否则容易发生不均匀沉降。简单的办法就是让民房基础的长轴方向沿沉积层厚度变化小的方向(如顺河流方向),而不要相反。

在地基基础施工方面为提高安全性需要注意的问题如:

(1) 基础要有一定的埋深。在表层土松软和地下水浅的地方,基础埋深要大些。

(2) 在老房子拆掉后的地基上修建更大的房子,地基有所扩大,一定要采取措施防止地基病害。一般来说老地基已经有附加应力历史,相对稳定,因此一定要对新地基做更大强度的处理,否则很容易发生不均匀变形。

(3) 基础不宜高出地面太多。过高的基础抬高了民房重心,增加了地震剪切力的力矩,对抗震是不利的。而且垫高太多的基础,施工难度和要求也相对要高。

(4) 在浅处存在淤泥层时,一般需要避开或者将其挖出。淤泥层容易变形,而且在渗水较多的情况下含水量会有很大的变化,因此而发生较大变形。

2.5 山地坡积残积地基

山地坡积残积情况比较复杂,地基安全性差异很大。陇南地区特别是白龙江沿岸的宕昌、武都和文县许多地方山多地少,土层较薄。民房的一般都修建在开挖平整的斜坡下,其土层主要是坡积残积层或者第三系红层。该地区降雨量大,地下水较浅。在地基处理上一般都是平整斜坡,然后“砸石墙”(石基础)。开挖基础在该类地基上不多见。该类地基应注意以下问题:

(1) 泥石流的防避。地质构造上的活动构造带等岩石破碎的地段容易发生泥石流,地形上的沟谷是潜在的泥石流的流动途径;另外容易使雨水积聚的地方也容易诱发泥石流。在民房建造时应尽量避免以上场地。

(2) 滑坡的防避。滑坡的发生与地质构造、斜坡形态和特征、降雨和地下水、河流侵蚀以及人类活动都存在联系。因为该类地基的土层一般比较薄,当下伏岩层层面是顺坡时,容易发生滑坡。在断层经过的斜坡也因为侵蚀强烈和破裂面发育而发生滑坡。降雨集中和地下水浅的、河流侵蚀和人类活动改造如削坡、垦殖等强烈的斜坡也是易滑坡地区。

(3) 选择基岩在土层薄的场地上,下部基岩的形态对地基安全性有重要的影响。一方面如上所述,下部基岩对滑坡有影响;另一方面下部基岩对地基的地震安全性也很重要:下部基岩倾斜时一般较大的倾斜度可以降低土层上地震地面运动放大系数,甚至在斜度不大时,地面PGA还是小于基岩水平^[6]。

(4) 场地渗水预防。陇南山区地下水丰富,许多民房修建在山坡底部,场地渗水问题应该考虑。对策一是基于对地下水通道的认识,避开渗水严重的场地;二是进行防渗水处理。陇南地区常用的办法是用石灰和红泥拌浆,涂抹渗水地段或者石基础。

3 总结

甘肃省境内地形地貌复杂多样,因此农村民房地基条件的差异也很大。虽然在许多地方传统的民房建造方法对于保证民房地基安全有很好的效果,但是随着经济发展,农村民房建造方法也发生了很大的变化,其中一些做法并不利于提高民房地基基础安全。特别是农村地区普遍缺乏对地基基础抗震

的认识。因此有必要开展工匠培训和技术资料宣传,同时采取一定的政策诱导和管理措施,促进农村地区民房建设水平,这对于提高农村地区抗震能力,减轻地震和其它地质灾害都是十分有意义的。

[参考文献]

- [1] 竺可桢,黄秉维,郭敬辉,等. 中国自然地理(地貌)[M]. 科学出版社. 1980;164-165,62-71.
- [2] 中华人民共和国地图集[M]. 北京:地图出版社,1980.
- [3] 王当民,石玉成,刘旭,等. 黄土动力学[M]. 北京:地震出版社,2003.
- [4] Seed R B, Cetin K O, Moss R E S. Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic site response evaluation[A]. in: 4th international conference on recent advances in geotechnical engineering and soil dynamics[C]. San Diego, 2001.
- [5] Z X Yuan, L M Wang, Y Q Wang. Spatial analysis on environment factors causing loess seismic landslides[A]. in: 3rd International Conference on Continent Earthquakes[C]. Beijing, 2004.
- [6] 王钟琦,谢君斐,石兆吉. 地震工程地质导论[M]. 北京:地震出版社. 1983. 185-188.