

阿拉善左旗 5.8 级地震部分建筑震损情况总结

徐 珂

[摘要] 2015 年内蒙古阿拉善左旗发生里氏 5.8 级地震，通过对灾后结构震害调研，发现阿拉善经济开发区部分房屋震害具有“地震烈度轻、非承重结构破坏重”的特点，建筑填充墙体裂缝明显。根据现场裂缝观察，结构构件无明显因本次地震产生的震害裂缝，对结构安全性能未造成明显下降。建筑墙体面层裂缝主要由于施工工艺未达标造成，说明施工质量是保证建筑安全的重要环节。

[关键词] 阿拉善左旗地震；仪器地震烈度；地震拟反应谱；裂缝表现；

0 引言

2015 年 4 月 15 日 15 时 39 分在内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善左旗(北纬 39.8 度，东经 106.3 度)发生 M5.8 级地震，震源深度 10 千米，本次地震特点：

- 1) 震中位于沙漠地区，人员稀少，距离最近的城市乌海约 45 公里，没用造成人员伤亡。
- 2) 国家强振动台网加速度记录可知，本次地震水平最大加速度峰值为 170gal，竖向最大加速度峰值为 88gal（图 1），仪器地震烈度最高为 6.5 度，此数值是根据《仪器地震烈度计算暂行规程》得出。乌海站在本次地震中水平最大加速度峰值为 42.7gal，竖向最大加速度峰值为 12.1gal，仪器地震烈度为 4.2 度。

序号	台站名称	台站	台站	震中距 (km)	PGA (gal)			仪器 地震烈度
		经度 (° E)	纬度 (° N)		EW	NS	UD	
1	巴彦木仁	106.7	39.9	38.9	67.1	-105.5	87.5	6.2
2	包头	110.0	40.6	328.8	-1.1	1.2	-0.5	1.0
3	磴口	107.0	40.3	82.4	58.2	-57.3	-57.3	5.3
4	吉兰泰	105.8	39.8	46.6	170.3	89.7	-34.5	6.5
5	临河	107.6	40.9	162.0	-7.5	-6.2	5.1	3.0
6	乌海	106.8	39.4	60.2	-26.8	-42.7	12.1	4.2
7	巴彦浩特	105.7	38.8	117.5	5.3	-6.4	7	2.8
8	五原	108.3	41.1	220.1	3.8	5.9	7.1	2.6
9	白彦花	109.2	40.6	265.3	2.2	3.1	4	2.3
10	达旗电厂	110.0	40.4	320.9	3.3	-1	3	2.1

图 1 部分国家强振动台加速度记录结果

- 3) 本次地震持续时间约 50s，主要能量释放在起震后 10s 内，35s 左右有另一个小的能量释放(图 2)。
- 4) 依据国家强振动台记录数据推导出乌海站地震拟反应谱(图 3)，在周期小于 0.5s 的短周期段，其拟加速度反应谱值相当 8 度设防地震（中震）水平，在中长周期段则低于 8 度多遇地震（小震）水平，高频分量显著，在地震中的衰减很快，据此分析砌体类等短周期结构受地震作用影响明显。

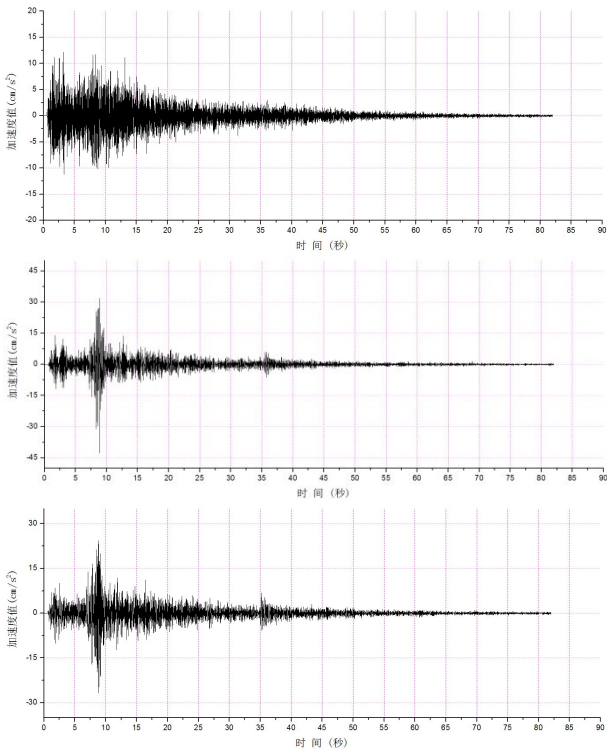


图 2 阿拉善左旗地震乌海台波形图（上 UD 中 NS 下 EW）

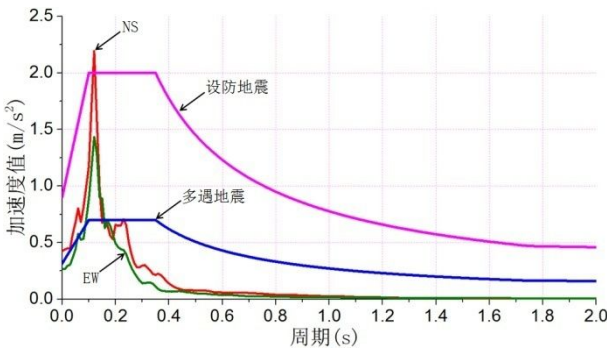


图 3 乌海台站数据推导的地震拟反应谱（田立强编制）

1 地理位置及地震作用

阿拉善左旗位于内蒙古西南部地区，南邻宁夏。按照 2002 版抗震规范^[1]，阿拉善左旗抗震设防烈度

为 7 度 ($0.15g$)，设计地震分组为第二组。在 2008 年抗震规范修订版中，两县抗震设防烈度仍为 7 度 ($0.15g$)，但设计地震分组修订为第三组，地震作用计算值在反应谱下降段是上升的。阿拉善经济开发区位于乌海市西南部，北邻乌达区，距离震中约 45 公里，地震影响与乌海市接近，按照抗震规范要求，乌海市抗震设防烈度均为 8 度 ($0.2g$)，设计地震分组为第一组。

根据中国地震局 2015 年 4 月发布的阿拉善左旗 5.8 级地震烈度图 (图 4) 可知，在本次地震震中最高烈度为 7.0 度区，阿拉善经济开发区位于 6 度区以外，实际烈度影响属于小震设防范畴，参考国家地震局公布乌海市实际烈度影响不大于 5.2 度，可以认为阿拉善经济开发区的实际地震烈度影响应在 5.0 度左右 (图中五星处)，且 8 度设防时小震烈度约为 6.45 度，该地区的建筑只要遵照抗震规范要求设计施工，结构安全属于正常工作范围，应不会出现结构破坏现象。

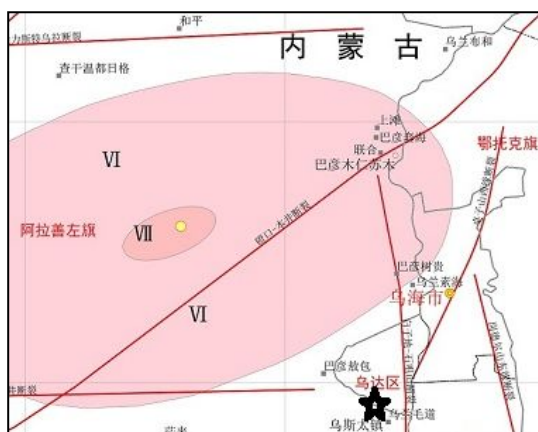


图 4 中国地震局公布的阿拉善左旗地震烈度图 (局部)

2 震害调查原因及调查范围

地震发生后，当地政府安排有关人员对房屋进行震后安全鉴定并出具鉴定意见，房屋破坏等级依据 GB/T 24335-2009《建(构)筑物地震破坏等级划分》进行评级，在本次调查的建筑中，评定级别基本为 II 级和 III 级，其中 III 级为中等破坏，以钢筋混凝土框架结构为例中等破坏指：多数框架梁、柱有轻微裂缝，部分有明显裂缝，个别梁、柱端混凝土剥落。按此结论这些项目的混凝土构件已经出现明显结构损伤，与前述实际烈度影响预期不相符，因此需对结构震害进行现场调查。

本次调查范围具有一定特殊性，涉及四家设计单位 (北京两家、内蒙古一家、甘肃一家) 的项目约 30 栋结构单体。因阿拉善经济开发区建设特点，

这些项目建设期集中在 2006 年至 2011 年之间，建筑功能包括：幼儿园、中小学教室、学校食堂、学生宿舍、教学楼、实验训练楼、学校体育馆、学校图书馆、区中心医院、小区卫生院，按照《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2008) 要求，这些建筑均属于重点设防 (乙) 类建筑，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施，但 these 项目图纸设计均在该标准实施之前完成，施工期间未进行相应设计变更，总体是依据 2004 版采用抗震性能较好类型 (框架结构) 按丙类标准进行抗震设防分类进行设计。结构类型包括：砌体结构、混凝土框架结构、混凝土框架-剪力墙结构，大跨度屋面根据使用特点采用预应力混凝土梁或钢桁架。

3 裂缝表现及分析

3.1 结构裂缝

混凝土构件上典型裂缝主要有以下几种类型：

1、混凝土保护层不足产生裂缝。该类裂缝具有明显的间距规律，缝间距在 100 或 200mm，与箍筋配置间距相同如图 5，现场剔凿后可见箍筋，保护层厚度严重不足时，混凝土表面有钢筋锈蚀产生的铁锈色痕迹，缝宽与保护层厚度有关联。由于该类裂缝位于钢筋外侧，在地震作用下缝宽变化不明显，且在建筑抹灰层下，并不容易发现，其走向与抹灰层裂缝并不一致。

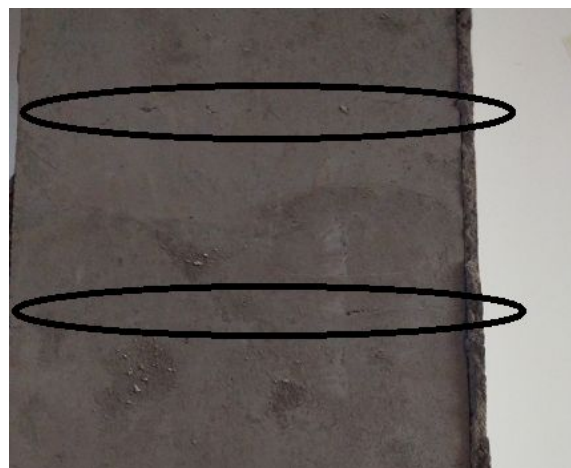


图 5 混凝土柱上箍筋外裂缝

2、混凝土养护不足导致的干缩裂缝。阿拉善地区年平均降雨量在 200mm，水蒸发量在 3000mm，日照充足辐射强烈空气干燥，导致混凝土浇筑后收缩产生裂缝，该类裂缝主要出现在梁构件上，柱构件可以采用缠绕塑料薄膜养护。在某四层教学楼中，该类裂缝呈现下层少上层多，顶层梁均出现的特点，这与下层受到上层遮挡，顶层直接日晒有关联。该

类裂缝一般垂直于梁跨方向，在梁底和梁侧下半部分分布多，梁上因楼板作用很少出现，砌体结构中，开间梁这类裂缝多出现在梁端梁侧和跨中梁底，与梁剪力和弯矩最大值处有重合，说明裂缝对正常使用有不利影响。该类裂缝在梁体中有一定深度，在地震作用下缝宽加大，并在余震中有发展趋势。现场通过仪器检测，如图 6 所示梁上裂缝宽度在 0.30~0.40mm 之间。



图 6 混凝土梁上竖向裂缝

3、外露构件裂缝，包括女儿墙、悬挑板、挡土墙、露天体育看台出现的裂缝。该类裂缝是由于温度变化引起，结构设计或施工时未满足构造要求造成的，例如某中学露天体育场看台，从结构布置情况是按照框架结构设置伸缩缝的要求设计，但部分看台板因该地区年气温变化剧烈多处出现温度裂缝。图 7 为砌体教学楼屋面女儿墙裂缝，在本次地震后，已出现墙体外闪迹象。



图 7 砌体女儿墙根部裂缝

虽然部分混凝土结构梁、柱存在裂缝现象，但经现场观察及对部分结构构件裂缝进行检测测量，

从裂缝形式、缝内表象分析，笔者认为混凝土框架结构构件没有出现因本次地震作用直接产生的裂缝，未发现典型地震造成的裂缝形式，如斜裂缝、X 型裂缝，因此可以推测，结构抗震性能仍保持正常弹性状态，抗震性能未受影响，不会出现因本次地震作用导致结构安全性能出现明显恶化情况。对于这些裂缝既可以归结为日常使用过程中受自然条件影响出现的裂缝，也可以归结为施工过程中质量控制不到位造成的施工裂缝，对于结构安全有不利影响。

砌体结构的震害裂缝也不明显，该类建筑普遍采用内保温形式，从建筑外观上未发现明显地震引起裂缝，建筑内墙上的裂缝经现场凿开后发现多为建筑面层裂缝，结构墙体未发现实质裂缝，个别裂缝系温度伸缩造成以及局部地基变化引起。

3.2 建筑面层裂缝

建筑面层典型裂缝主要有以下几种类型：

1、框架梁、柱上撕裂状裂缝。这类裂缝是结构构件外采用水泥砂浆抹面装修面层，在做这层面层前，应先将混凝土表面清理冲洗干净，涂刷结合层后再进行面层施工，这样面层与结构构件粘合在一起，但从现场凿开情况分析，施工时未清洗结合部位，造成面层与结构体之间在地震前已经分离，建筑抹灰面层在梁、柱外为形成“包裹壳”，在地震中主体变形或扭转时，“包裹壳”变形能力不足产生裂缝，见图 8 和图 9。这类裂缝在外观上很容易联想到结构构件发生破坏，实际凿开后，结构构件并未出现相关裂缝，或与面层裂缝走向不一致，说明这类裂缝仅为面层表现，并不能说明主体结构出现震害。



图 8 框架梁外面层裂缝

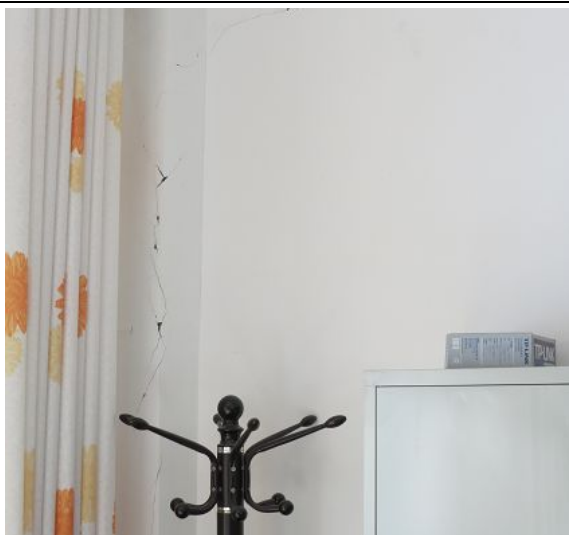


图9 框架柱外面层裂缝

2、填充墙体与结构梁、柱间直线裂缝。这类裂缝发生在墙体顶部或两侧如图 10，一般超过墙体长度或高度一半，主要是施工时未严格按填充墙构造要求施工造成，如墙顶在满足沉降后填斜砖砌筑，墙与柱间放置防裂网格布等措施，还用部分表现明显的墙体，现场凿开后未发现墙体拉结筋。通过多个使用人了解，这类裂缝有部分是在地震前就已出现，地震后裂缝变宽。



图10 填充墙与框架构件之间裂缝

3、墙体斜裂缝。此类裂缝较多且与砌体地震斜裂缝表现类似，层高较高的墙体容易出现，以某实验训练楼为例，多数填充墙表面出现斜裂缝，且墙体双侧同一位置出现，很容易认为是贯穿墙体的裂缝，但该裂缝并不是沿砌块缝形式开展，表现为斜向平滑延伸如图 11，经现场凿开后发现，本次调研的建筑具有相同的特点，即墙体面层抹灰层过厚，灰厚普遍在 3 厘米以上，实测最大值 6 厘米，这类裂缝均为面层裂缝，深度贯穿抹灰层，砌块及砂浆缝并未发现明显的剪切裂缝，说明填充墙未发生地

震破坏。通过现场观察，这类抹灰层砂浆强度低，含有泥土，可知在地震变形中，面层抗剪能力不足导致裂缝出现或扩大，在很多洞口四角也出现，包括安装栏杆处都会引起该类裂缝开展如图 12，说明施工时对于墙体及面层处理缺少防裂措施。与使用人交流，该类裂缝也存在震前就已出现的问题。



图11 填充墙层面层裂缝



图12 墙体缺口处引起斜裂缝

4、施工质量缺陷形成裂缝。以某宿舍楼为例，主体为框架结构，楼内填充墙体出现各种裂缝，特别是门窗过梁上下出现很多水平裂缝，经与施工人员交流，为赶在开学前完工，该楼填充墙体是在 12 月至 2 月份施工，正值当地气温最寒冷季节，砂浆砌筑后未做好保温发生冰冻，砂浆强度低抗剪能力弱，在本次地震中裂缝明显，经现场凿开发现，部分砂浆呈流沙状（图 13），因此出现这类裂缝实属必然。该类震害也提醒设计单位在安全验收时，应增加现场随机检测砂浆强度环节。



图 13 面层砂浆凿开后呈流沙状

5、结构设计缺陷造成裂缝。该类裂缝与前述墙体裂缝混合，并无明显表现，主要是层高较高的墙体如体育馆、图书馆等建筑，房屋层高经常大于 4 米，设计图纸中只在设计说明中按构造要求注明构造柱及圈梁设置方法，并无具体施工图纸，这就造成设计预想与施工现场差异。因此在建筑层高较高时，设计单位应给出构造柱具体布置图和圈梁层高要求。以图 14 为例，该墙体长度超过 4 米，并未发现有构造柱，砌块间砂浆不饱满。



图 14 外保温层脱落

4 安全鉴定情况

部分业主根据实际情况邀请专业检测单位进行房屋安全鉴定。

4.1 典型框架类结构情况

1、未见由于地基基础不均匀沉降引起的上部承重结构体系和维护结构体系出现裂缝及倾斜现象，地基基础稳定，安全性等级评定为 Au 级。

2、随机抽取梁类、柱类构件进行检测，混凝土

强度等级均不满足原设计要求。如设计强度等级为 C30，现场检测混凝土碳化平均深度大于 6.0mm，混凝土龄期超过 1000 天，实际经龄期修正后混凝土抗压强度推定值普遍在 20~30MPa，最小值低于 20MPa，并且各楼抽检合格率离散性大，多数建筑结构安全性评级为 C_u 级。

3、围护系统：部分框梁抹灰层出现空鼓，填充墙出现裂缝，安全性评级为 C_u 级。

4、依据《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB50292) 8.1.2 条，鉴定单元的安全性等级“应根据低级基础和上部承重结构的评定结果按其较低等级确定”，房屋综合评级为 C_{su} 级。

5、安全建议是结构应进行安全性加固处理，对框架梁、柱有明显裂缝的部位应采取封闭处理措施。

4.2 典型砌体类结构情况

1、抽检的 17 道梁混凝土强度均不满足设计 (C20) 的要求，抽检的 19 个构造柱中有 15 个构造柱的混凝土抗压强度不满足设计 (C20) 的要求。部分梁出现裂缝，宽度均大于 0.30mm。

2、一层~三层墙体砌筑砂浆强度推定值不符合设计 (M10) 的要求。

3、墙段局部尺寸不符合规范的要求，如外墙尽头至窗洞边距离不应小于 1.2m，实测尺寸为 0.9 米。

4、一至二层局部墙段抗震能力指数小于 1.0，即一至二层局部墙段抗震能力不足。经计算分析，一层横向抗震能力综合指数小于 1.0。

5、安全建议是对承载力不满足的墙段，应立即采取结构加固措施；对抗震能力综合指数小于 1 的楼层，应采取抗震加固措施。

震损总结

1、本次震害调查区域在阿拉善左旗 5.8 级地震中实际烈度影响为 5 度左右，调查项目均按照 2001 版抗震规范丙类建筑标准设计。本次地震作用影响小，未发现结构构件有明显地震震害表现，结构抗震性能与地震前相比，未出现明显下降迹象。

2、调查项目按照 2010 版抗震规范应属于重点设防类（乙类）建筑进行抗震设计，本次地震中结构主体表现良好，并不能说明按丙类建筑标准设计即可满足抗震设计标准，因为这些建筑实际地震作用低，未达到抗震设防级别，且施工质量存在一定问题，可能在高烈度地震作用下发生破坏。

3、砌体施工工艺和质量控制方法是本次震害裂缝大量出现的主要原因。说明加强施工质量、提高施工人员素质仍然是保障抗震安全的重要环节。

4、设计单位不能仅满足规范要求，在设计图纸中应增加抗震构造细节，做到主体安全有设计，建筑墙体也要有结构构造图纸来量化抗震性能。墙体发生破坏同样会导致人员伤亡，因此要重视抗震细节设计。

后记：本次调研受相关单位及使用方邀请，到现场对震害进行调研，写本文属于个人非正式工作总结，因其特殊性不作为其它用途使用。

中国地震局工程力学研究所“国家强震动台网中心”为本研究提供数据支持。