



开放数据中心委员会
Open Data Center Committee

数据中心抗震白皮书

[编号 ODCC-2020-06001]

开放数据中心委员会
Open Data Center Committee



目录

前 言.....	1
1. 我国地震灾害形势及特点.....	1
1.1. 我国地震活动背景.....	1
1.2. 我国地震灾害概况.....	3
1.3. 我国地震灾害形势.....	4
2. 通信系统地震灾害.....	6
2.1. 2001 年——2011 年通信系统直接灾害损失.....	7
2.2. 2012 年-2019 年通信系统震害情况.....	8
2.3. 汶川地震通信系统典型震害.....	9
2.4. 通信系统灾害现象.....	11
3. 我国防震减灾政策与管理.....	16
4. 数据中心分布与地震带分布.....	21
4.1. 数据中心地区分布与发展.....	21
4.2. 我国地震带分布.....	23
4.3. 数据中心抗震工作启示.....	26
5. 国内外数据中心抗震要求及做法.....	28
5.1. 数据中心建筑抗震.....	28
5.1.1. 日本数据中心建筑抗震要求.....	29
5.1.2. 我国数据中心建筑抗震要求.....	30
5.1.3. 我国数据中心建筑特点和结构方案.....	32
5.2. 数据中心设备设施抗震.....	41
5.2.1. 美国通信设备设施抗震要求.....	42
5.2.2. 日本信息通信设备设施抗震要求.....	45
5.2.3. 我国数据中心设备设施抗震要求.....	47
5.2.4. 我国数据中心设备抗震性能检测.....	48
5.2.5. 常见的数据中心设备不合格现象.....	50
5.3. 数据中心设备设施抗震安装.....	57

5.3.1.	数据中心设备设施安装抗震设计.....	57
5.3.2.	数据中心设备安装中的问题.....	61
6.	ODCC 产品抗震等级评估.....	65
6.1.	机柜.....	66
6.2.	服务器和交换机.....	67
7.	建议和展望.....	67

前 言

近年来，随着云计算、大数据、人工智能、物联网等技术的快速发展和大规模应用，数据量呈现出指数级增长态势。数据中心作为数据存储、处理和计算的载体，承载着用户的核心数据和业务，成为这个时代不可或缺的基础设施，其建设及扩容的步伐大大加快。在数据中心建设过程中，信息系统的安全、稳定运行，提高业务连续性是数据中心主要考虑因素，而事故、自然灾害等威胁到数据中心运行安全的突发事态随时可能会发生，如何在最短时间内重建业务、恢复功能是数据中心设计的重要考虑因素。地震灾害不可预测，破坏性强，严重影响数据中心运行安全，因此做好数据中心的抗震工作势在必行。

我国位于世界两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带交汇处，是世界上地震灾害最严重的国家之一，长期以来，地震多、强度大、分布广、灾害重是我国的基本国情。地震灾害发生时，有可能是数据中心设备设施的工程破坏，也有可能进一步造成商业中断、社会功能瘫痪或者信息丢失等更严重的非工程损失。

“十四五”时期是我国由全面建成小康社会迈向基本实现社会主义现代化的关键时期，也是加快生态文明建设和经济高质量发展的攻坚期。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中特别指出，把安全发展贯穿国家发展各领域和全过程，防范和化解影响我国现代化进程的各种风险，把保护人民生命安全摆在首位，全面提高公共安全保障能力，提升地震灾害防御工程标准，提高防灾、减灾、抗灾、救

灾能力，统筹发展与安全，建设更高水平的平安中国。

增强风险意识，做好数据中心抗震防灾工作，确保新基建工作稳步推进。面对地震的不可抗力，人类仍然没有手段阻止其发生，但人类可更有作为，通过防震减灾技术应用减小和降低灾害影响。习近平总书记明确做出判断，“同自然灾害抗争，防灾减灾、抗灾救灾是人类永恒课题”，要坚持“以防为主、防抗救相结合”方针，反映出党中央牢固的底线思维和忧患意识。当地震来临的时候，作为日益深入人民生活的数据中心不应出现任何安全问题。

ODCC 始终关注数据中心抗震技术的发展，中国信息通信研究院联合中国移动通信集团设计院有限公司、中国地震局工程力学研究所等相关单位共同编写了此白皮书，对我国地震灾害形势、信息通信的震害特征、国家防震减灾政策、国内外数据中心抗震要求，以及数据中心抗震工作等方面进行了详细的梳理，希望能够进一步推动数据中心抗震工作的发展，提高数据中心抗震安全性和可靠性。

主编单位： 中国信息通信研究院
中国移动通信集团设计院有限公司
中国地震局工程力学研究所

主 编： 汲书强 李 震 王 涛 孙国良

参 编： 张学斌 韩 镒 陈 旭 刘春国 尚庆学 王美玲

审 核： 郭 亮

数据中心抗震白皮书

1. 我国地震灾害形势及特点

1.1. 我国地震活动背景

我国位于世界两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带交汇处，是世界上地震灾害最严重的国家之一。二十世纪以来，我国占全球陆地面积 7% 的国土上发生了全球 1/3 的内陆破坏性地震，如图 1 所示。我国大陆 28 个省市自治区发生过 6 级以上地震，17 个省市自治区发生过 7 级以上地震，11 个省市自治区发生过 8 级以上地震，如 2 所示。我国大陆地区平均每年发生 20 次左右 5 级以上地震，4 次左右 6 级以上地震，每 3 年发生 2 次左右 7 级以上地震。全国 58% 的国土，54% 的县城、60% 的地级市、27 个省会城市、近 55% 人口处于 7 度及以上地震高危险区。



图 1 中国地震活动构造图

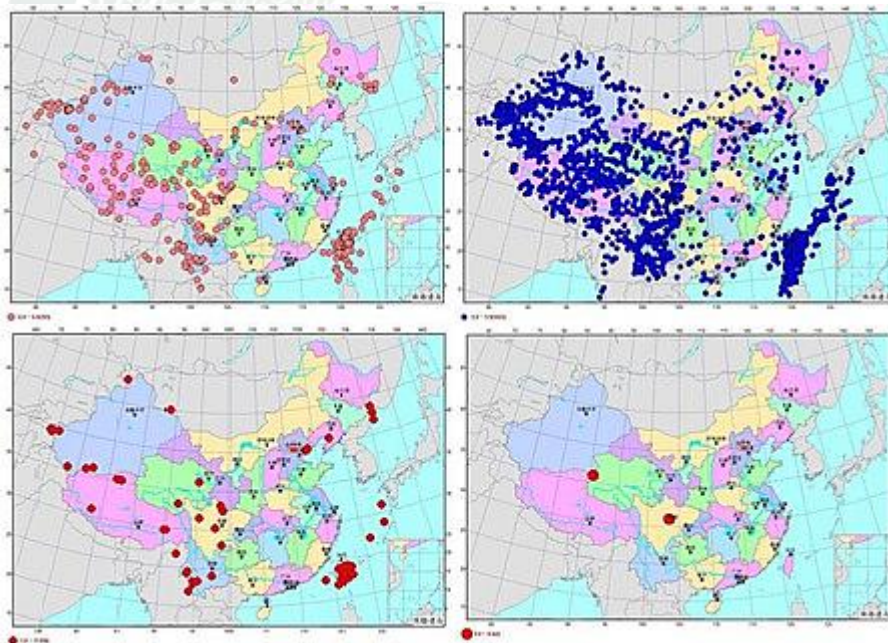


图 2 二十世纪以来我国地震发生情况

21 世纪以来，我国大陆及周边地区进入了相对地震活跃期，地震频度明显增多，分布范围和强度明显增大，近十多年是地震灾害造成人员伤亡和社会影响最严重的时期。近两年来，华中、华东等传统少震弱震地区相继发生显著有感地震，华北地区陆续发生一系列中小地震，预示东部地区开始进入地震活跃时段，在人口稠密的大城市或特大城市发生强烈地震的危险性不断增大，地震风险形势严峻复杂，如图 3 所示。

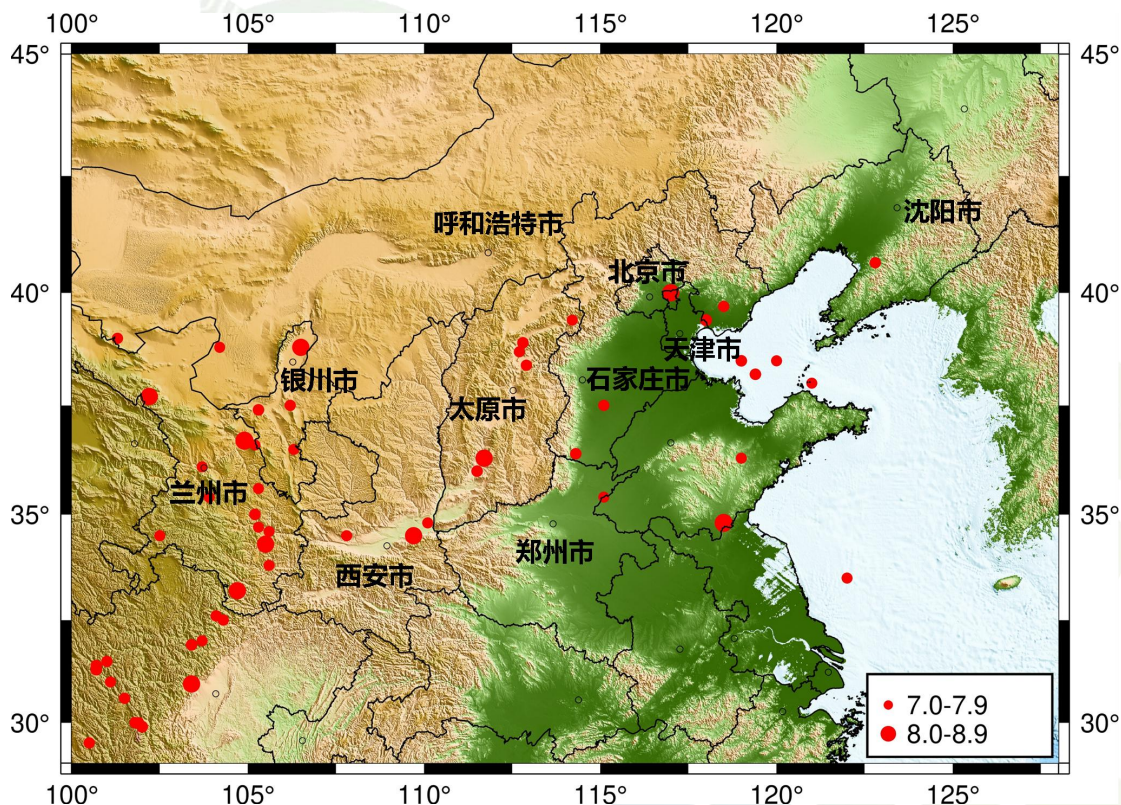


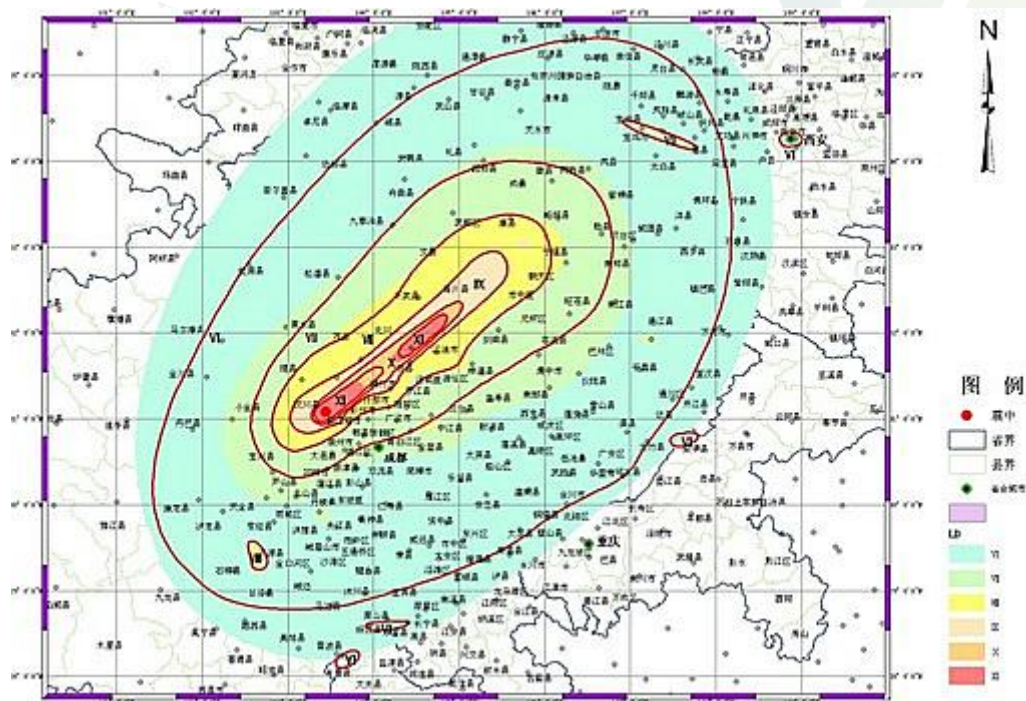
图 3 华北地区城市群与历史大地震分布图

1.2. 我国地震灾害概况

我国既面临大地震袭击的构造背景，又面临震情演化和新生地震的现实威胁。历史上，在我国东部人口稠密和经济发达的地区曾经连续遭受 7 级以上大地震的袭击。如 1654~1718 年，人口稠密的大华北地区相继遭受了 8 次 7 级以上地震的袭击，其中包括 1654 年天水 8 级地震、1668 年山东郯城 8.5 级地震和 1679 年三河——平谷 8 级地震，平均复发间隔只有 8 年，其中人口稠密的京津唐地区就相继遭受 2 次 7 级以上地震的袭击。

长期以来，地震多、强度大、分布广、灾害重是我国的基本国情。1949 年以来，我国地震死亡人数占全部自然灾害死亡人数的 52%，

为众灾之首。20 世纪全球两次死亡人数 20 万人以上的大地震都发生在中国，1920 年宁夏海原 8.5 级大地震死亡 23 万多人，1976 年唐山 7.8 级大地震死亡 24 万多人。进入 21 世纪以来，我国已发生两次 8.0 级以上地震，特别是 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震（烈度分布图见图 4），造成了举世震惊的人员伤亡和前所未有的经济损失。2008-2018 年的 10 年，汶川、玉树特大地震以及芦山、鲁甸、九寨沟等一系列灾害性地震，共计造成人员死亡和失踪 9.18 万人，受伤 42.5 万人，直接经济损失 1.07 万亿元。这是自 1976 年唐山地震以来地震灾害造成的人员伤亡和社会影响最严重的十年，人民生命财产安全和经济社会发展遭到严重威胁。



1.3. 我国地震灾害形势

地震给国家经济和社会稳定带来了强大冲击和深远影响，灾区几十年的建设成果瞬间毁于一旦，上千万的灾民需要安置，几十万平方千米的灾区需要重建。造成如此巨大损失的原因，首先是我国城市、乡村的工程建设抗震能力总体较差，在县级行政区划单位中 VII 度以上设防的仅占 38%，其余的均为 VI 度设防或者不设防。进入 21 世纪以来，我国大陆及周边地区进入了相对的地震活跃期，地震的数量明显增多，分布范围明显增大，我国的防震减灾形势不容乐观。



图 5 2000-2014 年中国大陆地区地震灾害人员受灾年际变化图²



² 来源于中国地震局地质研究所赵阿兴论文《论颁布 GB 18306—2015 的作用和意义》

图 6 2000-2014 年中国大陆地区地震灾害财产损失年际变化图³

目前，我国东部地区近 20 年来未发生 6 级以上地震，超出上世纪以来 6 级地震最长历史平静期，我国西部地区仍处于强烈地震活跃时段。不仅如此，我国大陆国土面积 58% 以上、将近 55% 的人口处于 7 度以上地震高风险区，这样的震灾风险，远高于美国、欧洲等国家和地区。利用各国建筑物易损性开展的人员死亡风险评估表明，印度、印度尼西亚、巴基斯坦、孟加拉国、中国是地震灾害人员死亡风险最高的 5 个国家之一，这样的震灾死亡风险，与我国当前经济社会发展水平和今后建设社会主义现代化强国的目标，不协调、不适应。人员受灾和财产损失年际变化如图 5 和图 6。

总之，无论世界还是中国，都呈现人口向城市集中的趋势。尽管目前工业化国家的城市化程度高于发展中国家，但发展中国家城市化增长速度大于工业化国家。中国经济增长最快，也是城市化速度最快的国家之一。现在或今后发生地震，可能造成的灾害将比以前严重得多。

2. 通信系统地震灾害

一般来讲，经济越发展，社会越进步，财富越集中，人口越密集，地震灾害风险将更加凸显，对经济社会和人民生活的冲击与影响就越广泛。地震灾害，只要涉及电力、油、气等能源设施，供水和排水设施，公路和铁路等交通设施，以及通信设施等支撑城市中枢机能和居

³ 来源于中国地震局地质研究所赵阿兴论文《论颁布 GB 18306—2015 的作用和意义》

民日常生活的生命线工程，损失就格外严重。信息和数据是二十一世纪国家和社会的重要物理属性，其地震安全直接影响到国家安全，解决其载体的地震脆弱性问题是重中之重。

地震灾害往往给数据中心带来断电、机房倒塌、机柜倾倒、设备损毁、线缆扯断、数据丢失等诸多问题，其中机房倒塌、设备损毁等有形的工程损失可以修复和弥补，而核心的数据和业务丢失造成的损失则是无法衡量和计算的，地震对于数据中心的影响甚至是灾难性的。

对于数据中心，不能因为地震发生的概率低，就忽视这种风险的存在。在当前数字经济时代，数据中心作为承载各行各业的关键基础设施，应该不断加强抗震工作，减少地震灾害的隐患。

数据中心在我国的震害积累数据和案例较少，本文统计了近二十年来的信息通信地震灾害损失和震害情况，展示了汶川典型震害和常见的通信灾害现象，希望为行业提供参考并引起业内对数据中心地震安全的重视。

2.1. 2001 年——2011 年通信系统直接灾害损失

序号	时间	地点	震级	直接经济损失（万元）
1	2001 年 4 月 10 日	云南施甸	5.9	270
2	2001 年 10 月 27 日	云南永胜	6	280
3	2003 年 7 月 21 日	云南大姚	6.2	760
4	2003 年 8 月 16 日	内蒙古巴林左旗-阿鲁科沁旗	5.9	429
5	2003 年 10 月 25 日	甘肃民乐-山丹	6.1	385

6	2004年8月10日	云南鲁甸	5.6	445
7	2007年6月3日	云南省宁洱	6.4	1480
8	2008年5月12日	四川省汶川	8	697900
9	2010年4月14日	青海省玉树	7.1	36000
10	2011年3月10日	云南省盈江	5.8	3200

表 1 2001-2011 年部分地震造成的通信系统直接经济损失⁴

我国通信行业抗震设防最高为 9 度设防，基本可防御 6.5 级左右的地震。从表 1 可以看出，地震造成的直接经济损失的大小基本上随着地震震级的增加而迅速增大，其影响因素除了震级、震源深度等外，主要还和地震发生的地区，其人口密度和经济发展程度有非常大的相关性。

2.2. 2012 年-2019 年通信系统震害情况

序号	日期	地点	震级 M	震源深度 km	通信系统震害情况
1	2012年9月7日	云南省彝良县	5.7	14	本次地震重创当地通信网络，固话用户、宽带用户、无线用户通信受到严重影响。多处通信传输线路被损毁，107个基站因灾退出服务，1282公里光缆中断。
2	2013年4月20日	四川省芦山县	7.0	13	雅安市芦山县、宝兴县、天全县 16 个乡镇通信中断，受灾基站数 724 个
3	2013年8月31日	云南省迪庆与四川省甘孜交界	5.9	10	甘孜州得荣县 99 个通信基站中的 49 个基站通信中断。
4	2014年8月3日	云南省鲁甸县	6.5	12	鲁甸县 41 个基站退出服务，占该县基站总数的 11.2%，震后话务量较平时有一定增加。鲁甸县城城区 (VI 度区) 中国电信机房轻微破坏，极灾区 (XI 度区) 的村镇基站机房设施、通信设备和光纤电缆严重损坏。

⁴ 摘自刘爱文等论文《近 10 年通信系统地震灾害直接经济损失统计分析》

5	2015年10月30日	云南 昌宁	5.1	10	1个行政村通信受到影响。
6	2017年8月8日	四川 阿坝 九寨沟	7.0	20	259个通信基站退服。
7	2017年11月18日	西藏 林芝 米林县	6.9	10	西藏电信公司林芝市到昌都市光缆中断，造成林芝市波密县、察隅县宽带全阻，墨脱县语音、宽带全阻。林芝市波密县向墨脱方向周边基站退服1个；西藏联通公司基站退服4个。
8	2018年12月16日	四川省 宜宾市 兴文县	5.7	12	兴文县25个通信基站退服。
9	2019年6月17日	四川省 宜宾 长宁县	6.0	16	三大通信运营商中断基站385个，（其中：联通93个；电信212个；移动80个）。中国铁塔290站址存在不同程度受损，其中机房及设备严重受损201站，塔基严重受损38处。
10	2020年1月19日	新疆 喀什地区 伽师县	6.4	16	17个基站退服。

表 2 2012 年-2020 年通信系统部分震害情况统计表⁵

当地震发生时，通信系统往往遭到一定的破坏。表 2 统计表明，震级越大，其破坏程度越大，通信功能影响程度就越大，后续的抢险救灾开展难度就会加大，后期对于恢复正常的生产与生活的影响更是非常大。例如，2019 年 6 月 17 日发生在四川省宜宾市长宁县的 6.0 级地震发生后，通信行业累计抢通恢复基站 533 个，累计抢通光缆 157.8 皮长公里，累计出动抢险人员 1574 人次，抢险车辆 532 辆，应急卫星基站车 33 车次，卫星电话 117 台次，发电油机 1576 台次。

2.3. 汶川地震通信系统典型震害

2008 年 5.12 汶川特大地震是新中国成立以来，破坏性最强、波

⁵ 基础数据摘自公开报道，ODCC 整理

及范围最广、救灾难度最大的一次地震灾害，四川、甘肃、陕西省部分地区通信基础设施大面积受损，灾区通信几乎全部中断。四川全省近 35% 的移动通信基站受损，受灾严重地区与外部的通信全面阻断，直接经济损失共计 67.94 亿元（具体数据见表 3）。

受损项	四川	甘肃	陕西	合计
移动通信基站受损（个）	10010	1078	3456	14544
固定无线接入基站受损（个）	11729	3318	518	15565
通信线路受损（皮长公里）	26550	6965	2396	35911
通信倒断杆数量（根）	153249	35089	6983	195321
通信局所受损（个）	3092	462	426	3981
直接经济损失（亿元）	60.23	3.85	3.86	67.94

表 3 汶川地震通信基础设施受损情况⁶

本次地震极震区为烈度 11 度，如汶川映秀镇、北川县等地，整个通讯系统被彻底毁坏；9 度区，如都江堰市、青川县等地，移动通信系统受到了不同程度的损坏，有的基站受到了毁坏；成都某运营商通讯辖属区地震烈度大多在 6、7、8 度区，700 多个通讯设备站点出现故障，造成成都市该运营商通讯系统大面积瘫痪。在汶川地震后的数天内，移动通讯系统在地震的重灾区和一般灾区出现了大面积、长时间瘫痪现象，严重阻碍了信息的传递（图 7），无法确定受灾最严重地区的地理位置、受灾程度和人员伤亡等情况，极大地制约了救援应急工作的开展。

⁶ 引用工信部统计数据



图 7 地震灾害告诉我们——信息就是生命

2.4. 通信系统灾害现象

全程全网是信息通信网络的根本特点，任何一个节点发生问题，

整个信息通信网络极易受到影响。本节介绍一下地震发生后，通信建筑，通信设备等基本设施造成破坏的常见震害现象。

1、通信建筑震害现象

1) 通信机房的破坏

通信机房多为钢筋混凝土结构，由于抗震设防标准较高，地震时主体结构一般不会受到严重损坏，震害多为非结构构件损坏。典型震害主要有砌体填充墙破坏、楼梯间破坏（下图 8 所示）。



图 8 楼梯破坏情况

2) 通信基站的破坏

通信基站的安全主要依赖所在的建筑物，如果建筑物抗震能力差，

地震时发生破坏，基站设施的损坏也无法避免，尤其是砌体结构的房屋，地震时容易发生破坏。典型破坏有：位于框架结构建筑里的基站，框架结构梁柱节点破坏（图 9），局部坍塌（图 9）；位于砌体结构建筑里的基站，墙体破坏（图 9），局部坍塌（图 9），甚至整体倒塌；通信铁塔倒塔（图 9）等。



图 9 通信基站破坏情况

3) 办公楼、营业厅的破坏

办公楼、营业厅的抗震设防要求同普通的民用建筑，地震时容易发生破坏。典型破坏有：装修破坏（图 10）、砌体填充墙破坏（图 10）、整楼倒塌（图 10）。



图 10 办公楼、营业厅破坏情况

2、机房设备的破坏

通信设备在地震中破坏形式多样。光传输、交换和基站等主要电信设备底部膨胀螺栓脱出，连接失效，产生较大移位（见图 11）；背靠背安装的设备移位较大，连接电缆受到较大影响（见图 11）；模块跌落，连接缆线拉断（见图 11）；蓄电池组移位（见图 12），电池架变形，蓄电池甩出，电源线拉断（见图 12）等。空调设备倾倒，前面板脱落（见图 13）；办公设备跌落，办公柜倾倒（见图 13）。



图 11 设备破坏情况



图 12 蓄电池破坏情况



图 13 空调设备、办公设备破坏情况

3. 我国防震减灾政策与管理

防震减灾工作是最重要的民生工程，事关人民群众生命和财产安全，事关国民经济发展和社会稳定。防震减灾与经济社会协调发展是满足人民对美好生活向往的必然要求。习近平总书记关于防灾减灾救灾重要论述是引领防震减灾事业发展的根本遵循。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央始终坚持以人民为中心的发展理念，在总结历史经验基础上，着眼中国特色防灾减灾救灾工作新实践，强调要坚持以防为主、防抗救相结合，坚持常态减灾和非常态救灾相统一，努力实现从注重灾后救助向注重灾前预防转变，从应对单一灾种向综合

减灾转变，从减少灾害损失向减轻灾害风险转变，全面提升全社会抵御自然灾害的综合防范能力，为人民生命财产安全提供坚实保障。这是新时期我国防灾减灾救灾理论和实践的升华，是做好新时代防震减灾工作的行动指南。

以习近平总书记关于防灾减灾救灾重要论述为指导，我国防震减灾工作更加注重灾前预防，更加注重综合减灾，更加注重灾害风险管理，更加注重发挥市场机制和社会力量作用，防震减灾事业发展方向更加坚定，发展思路更加开阔，防震减灾理念更加清晰。

《中华人民共和国防震减灾法》是一部防御和减轻地震灾害，保护人民生命和财产安全，促进经济社会可持续发展的重要法律。对我国防震减灾领域中各个方面的社会关系作了全面的法律规定，是调整防震减灾领域各种社会关系的基本法律规范。其中第三条提出了“我国防震减灾工作，实行预防为主、防御与救助相结合的方针。”第四章第三十五条《地震灾害预防》部分明确规定“新建、扩建、改建建设工程，应当达到抗震设防要求。”第三十六条规定“有关建设工程的强制性标准，应当与抗震设防要求相衔接。”

国家强制性标准 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》由国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会于 2015 年 5 月 15 日批准发布，于 2016 年 6 月 1 日实施。该标准包括两张主图《中国地震动峰值加速度区划图》《中国地震动反应谱特征周期区划图》(见图 14)，四张辅图《中国及邻近地区地震构造图》、《中国地震综合

等震线图》、《中国及邻近地区破坏性地震震中分布图》、《中国及邻近地区中小地震震中分布图》。两张主图对应地震概率水准为 50 年超越概率 10%（相当于 474 年一遇地震），对应的场地类别为 II 类场地。GB 18306 给出了中国地震动参数区划图技术要素、使用规定、使用范围、地震动参数确定方法等，是确定抗震设防要求的核心技术要素。

GB 18306《中国地震动参数区划图》是《防震减灾法》中规定的一般建设工程抗震设防要求。地震区划图是以地震烈度和地震动参数为指标，将国土范围划分为不同地震危险程度或抗震设防等级的地图。GB 18306-2015 为新时期全面提高我国的抗震设防能力提供法律保障和科学依据，与我国经济和社会状况相适应。新一代《中国地震动参数区划图》颁布的目标是使一般建设工程在地震中合理地达到 3 个目标：一是坚持以人为本，避免发生重大人员伤亡，将抗倒塌作为编图的基本准则；二是避免建设工程失去应有的功能，例如医院、数据中心、通信大楼等；三是减少建设工程的工程性和非工程性修复的费用。

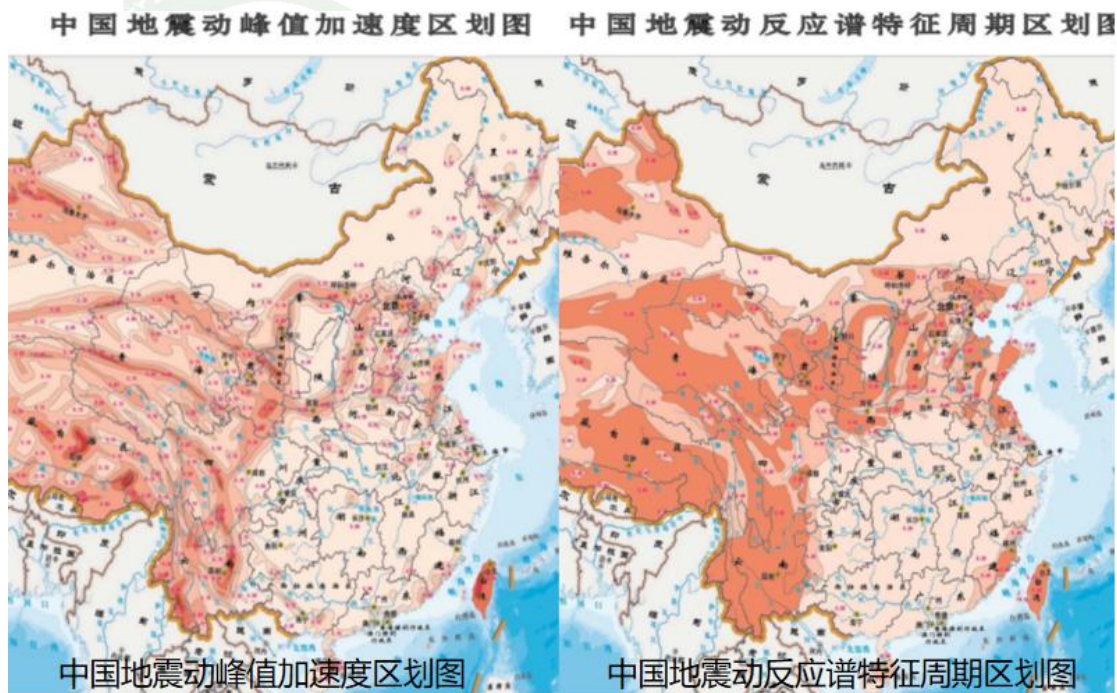


图 14 《中国地震动峰值加速度区划图》《中国地震动反应谱特征周期区划图》

相较于之前的区划图（如第三代区划图见图 15），新一代区划图取消了不设防地区，地震动参数明确到了乡镇，适当提高了我国整体抗震设防要求，7 度以上的地区面积从 49% 上升到 58%；8 度以上的面积从 12% 增加到 18%；全国县级以上城市 12.5% 设防水平变化较大。

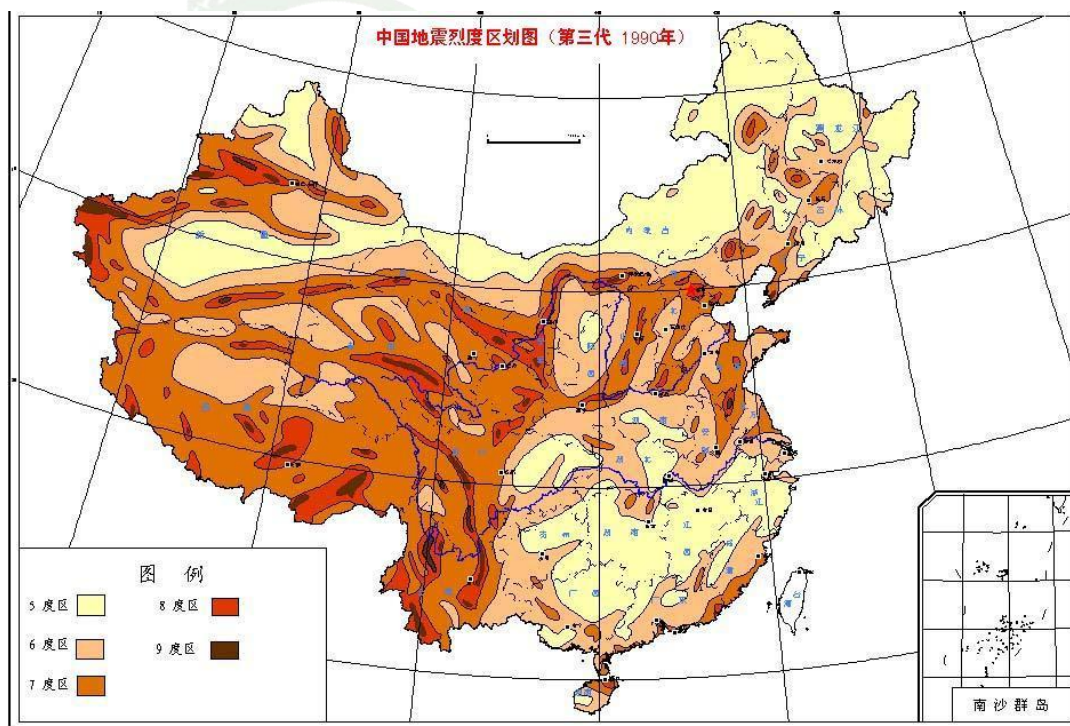


图 15 1990 年中国地震烈度区划图

备注：黄色区域为不设防地区

GB 18306—2015 是涉及每一位公民、每一个家庭的安全、社会公共利益和社会稳定的强制性国家标准，是关于建设工程地震安全和抗震设防的最低要求，必须得到有效的实施。GB 18306—2015 是依据《中华人民共和国标准化法》制定的，是《中华人民共和国防震减灾法》第三十五条和第三十六条的延伸，必须严格执行，对标准的违反将意味着对国家法律的违反，必须承担相应的法律责任。

GB 18306—2015 也是《中华人民共和国建筑法》所要求的建筑工程安全标准中关于建筑抗震设防方面应达到的最低要求。在城乡规划建设、工程抗震设防和制定各类标准和规划工作中，其地震动参数的确定和用不能低于本标准的要求，造成人员和严重经济损失的将承

担刑事和民事责任。

《国家防震减灾规划（2006—2020年）》中发展战略部分明确要求，加大对通信等重大基础设施的抗震设防和抗震加固力度，以实现到2020年我国各地区基本具备综合抗御6.0级（相当于8烈度）地震的能力，达到中等发达国家水平。

GB50011-2010《建筑抗震设计规范》13.1.2“非结构构件应根据所属建筑的抗震设防类别和非结构地震破坏的后果及其对整个建筑结构影响的范围，采取不同的抗震措施，达到相应的性能化设计目标”。数据中心设备属于建筑附属机电设备，即为建筑非结构构件，抗震性能应满足规范要求，与抗震设防要求相衔接。

4. 数据中心分布与地震带分布

4.1. 数据中心地区分布与发展

在云计算、大数据、物联网、人工智能、工业互联网等产业发展和带动下，我国数据中心市场近几年处于快速发展期，进入大规模规划建设阶段。一般来说，数据中心建设地点的选择受市场驱动为主，与该地区经济发展，信息化程度和客户需求水平等紧密联系。政府、企业、网络运营商、互联网、金融等行业都大力发展建设数据中心。运营商如中国电信、中国联通和中国移动是数据中心建设的主力军，第三方IDC企业、大型互联网企业也积极参与建设。

- 1、每个省份基本都有运营商建设的数据中心，运营商的数据中

心遍布全国；

2、建设数据中心的数量与当地经济发展情况密切相关。我国数据中心主要集中在北京、上海、广州、深圳等人口密集、经济发达的城市，超过 3000 个机柜的大型数据中心，近 1/3 都集中在北上广深地区，每个城市的数据中心超过 50 个。这些地区依托人才、产业、资金、企业总部等资源的集聚力，区域经济发展的辐射力，以及信息技术应用水平和客户需求程度，驱动并引导着数据中心建设者的选择。另外像浙江、福建、江苏经济比较好的省份，数据中心建设分布也较多；

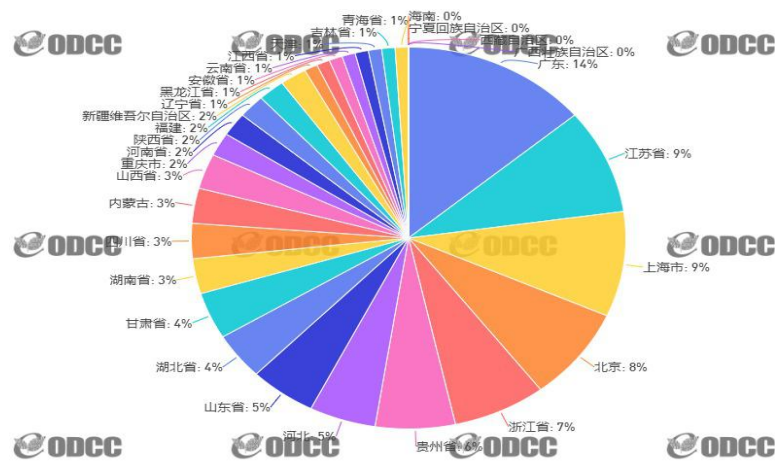
3、我国新建大型、超大型数据中心逐步向中西部地区和一线城市周边区域转移，北京市、上海市、深圳市、广州市等一线城市数据中心规模增速有所放缓。一线城市周边区域逐步承接数据中心外溢需求，包括乌兰察布、张家口、廊坊、昆山、东莞等均新建大量的数据中心。

4、受益于地质条件、电力资源和环境等因素，贵州省、宁夏回族自治区等数据中心规模不断扩大。在内蒙古、甘肃、云南等经济欠发达地区，近期也新建了几个超级数据中心。

据不完全统计，除澳门外，我国其它 33 个省、自治区、直辖市均建有大型或超大型数据中心。据《全国数据中心发展指引（2019）》，截至 2018 年底，我国数据中心机架 228 万个（折合标准机架），年

增长速率超过 30%。我国数据中心仍处于高速的建设发展时期，各政府部门对战略性新兴产业的大力扶持，以及对云计算、物联网、宽带和下一代网络的发展的高度重视，对于建设数据中心带来极大利好因素。目前分析来看，尤其在二三线城市还有很大的发展空间，可以确定未来大型数据中心的数量会越来越多，在经济不够发达地方会建设越来越多的数据中心，全国数据中心数量分布上将会遍布全国各个省份。2018 年大型数据中心在用机架全国分布图见图 16。

全国在用机架各省分布（2018年）



数据来源:《全国数据中心发展指引(2019)》

图 16 2018 年全国在用机架全国各省分布情况

4.2. 我国地震带分布

20 世纪以来，中国共发生 6 级以上地震近 800 次。1949 年以来，100 多次破坏性地震袭击了 22 个省（自治区、直辖市）。中国四大地震带区域（图 17）分别是：青藏高原地震带、华北地震带、东南

沿海地震带和南北地震带。



图 17 中国地震灾害分布⁷

(1) 青藏高原地震带

青藏高原地震带涉及到青海、西藏、新疆、甘肃、宁夏、四川、云南全部或部分地区。青藏高原地震带是中国最大的一个地震带，也是地震活动最强烈、大地震频繁发生的地区。据统计，这里 8 级以上地震发生过 9 次；7—7.9 级地震发生过 78 次。均居全国之首。

(2) 华北地震带

华北地震带，包括北京、河北、河南、山东、内蒙古、山西、陕西、宁夏、江苏、安徽等省的全部或部分地区，地震强度和频度仅次

⁷ 地震的震中集中分布的地区，且呈有规律的带状，叫做地震带；地震带分布选自网络公开材料，ODCC 整理

于“青藏高原地震带”，位居全国第二。据统计，该地区有据可查的8级地震曾发生过5次，7—7.9级地震曾发生过18次，该地震带位于中国人口稠密、大城市集中、政治和经济、文化、交通都很发达的地区，地震灾害的威胁极为严重。

（3）东南沿海地震带

东南沿海地震带地理上主要包括福建、广东及江西、广西邻近的一小部分。1994年以来，东南沿海地震带的强震活动十分活跃。福建省历史地震活动在时间分布上显示不均匀性，即存在着平静活跃的强弱起伏交替的韵律现象。目前福建地震活动仍处在活动期内。泉州市位于福建省东南部的沿海地区，历史上曾遭受过8.0级地震的强烈影响，是中国东南沿海城市中遭受较大潜在地震威胁的城市之一。

（4）南北地震带

南北地震带是指从宁夏，经甘肃东部、四川西部、直至云南，纵贯中国大陆、大致南北方向的地震密集带，是我国容易地震的地带，集中了中国有历史记录以来一半的8级以上大地震。2008年5月12日四川汶川8.0级的大地震就发生在这一地震带上。

我国的台湾省刚好地处环太平洋地震带，是我国地震频率最高的省份。西藏自治区、青海省、新疆维吾尔自治区、甘肃省、宁夏回族

自治区、四川省和云南省等地都有较高的地震风险，广东省、福建省、安徽省、江苏省、山东省、河北省、河南省、山西省、陕西省、北京市、天津市、辽宁省、吉林省和黑龙江省都有地震带的分布，广西壮族自治区、贵州省西部和内蒙古自治区也多次发生 5 级以上地震，“上海市、浙江省、江西省、湖南省和湖北省”这五个省市是我国地震风险相对较低的省份。

4.3. 数据中心抗震工作启示

地震就像刮风、下雨、闪电、山崩、火山爆发一样，是地球上经常发生的一种自然现象，可以说是地球与生俱来的特性，数据中心也无法避免，必须让数据中心学会如何与地震“相处”，一定要正视数据中心面临的地震潜在威胁。表 4 是目前数据中心分布的主要城市的抗震设防烈度。

作为新型基础设施，数据中心势必随着新技术的应用和成熟将遍布全国各省份，服务于各省的经济建设和人民生活。在建设数据中心选址时，要绝对避开地震活跃的地区不是能够完全做到的，所以数据中心在建设时在防震减灾方面需要多做工作，加大科研投入，做到防患于未然。

序号	数据中心所在城市	抗震设防烈度	备注
1	北京	8	各城市各区 设防烈度不
2	上海	7	

3	广州	7	同时，选取大部地区抗震设防烈度，仅供参考。
4	深圳	7	
5	杭州	6	
6	厦门	7	
7	南京	7	
8	乌兰察布	7	
9	张家口	7	
10	廊坊	8	
11	昆山	7	
12	东莞	6	
13	贵阳	6	
14	银川	8	
15	呼和浩特	8	
16	兰州	8	
16	昆明	8	

表 4 数据中心分布地区的抗震设防烈度一览表⁸

从地震带分布和数据中心的发展布局来看，数据中心无法避免地震带来的灾害，震害离数据中心其实不远。在科学技术如此发达的现代社会，我们不应该依然只有对于地震的无能为力，不应该把地震灾害直接转换成数据中心的灾难而毫无作为。我们应该思考如何才能采取更多更有效的措施来防止或者说减小地震灾难的发生，应该发挥工

⁸ 数据来源于国家标准 GB50011-2010 附录 A

工匠精神，从管理和技术两个方面踏实做好数据中心抗震安全工作，减少灾难给数据中心造成的无法估计的损失。

5. 国内外数据中心抗震要求及做法

5.1. 数据中心建筑抗震

设计建造一个数据中心，首先需要考虑好场地，规模，功能分区和业务量等方面，列出作为保障数据中心正常运行的种种必要条件，基于以上要素，进行满足各要素条件的建筑物的方案设计称为建筑设计。设计时，根据柱和梁的粗细、可承载其自重、地板厚度以及注意地板振动等建筑物的安全因素，考虑由柱、梁、壁等组成的框架能抗住各种外力的系统即建筑的结构体和构造物等因素的组装行为称为“结构设计”，也就是说，适当地“选择”配置柱、梁等结构部件，然后确定其尺寸和强度，“验证”是否符合安全要求和确保性能要求，经过反复“选择”和“验证”，最后形成合理适当的结构物、构造物设计模型。

为贯彻国家有关建筑工程、防震减灾的法律法规并实行以预防为主方针，使建筑经抗震设防后，减轻建筑的地震破坏，避免人员伤亡，减少经济损失，必须对建筑进行抗震设计。在结构设计中，为确保建筑物相对于地震外力作用时的安全和确保性能而反复进行的“选择”和“验证”等一系列行为，称为抗震设计。

数据中心建筑物有自重、荷载的垂直向下的力作用，同时还能抗得住地震的振动作用，而柱和梁体系是承载上述作用的主体结构。为

为了避免建筑物在地震下的脆性破坏，比如汶川地震中的整体垮塌现象，除了主体结构必须准备足够的承载力之外，还需要进行很多的构造设计以保证结构的整体性和在地震作用下的延性，从而可以吸收缓冲更多地地震能量。对于建筑物，地震荷载设计比其它荷载设计要大得多、重要得多，所以进行抗震设计时，就需要考虑能抗得住比其它荷载更大的荷载因素，这就是所谓的抗震构造设计的原理。

各国根据本国国情均制定了建筑抗震设计规范作为建筑抗震设计的依据，主要国家的建筑抗震规范一览表见表 5。

规范项目	中国标准	美国标准		欧洲标准	日本规范
简称	GB50011	ASCE7	IBC	Eurocode 8	BSL
名称	建筑抗震设计规范	Minimum Design Loads for Buildings and other Structures	International Building Code	Performance Based Seismic Design	日本建筑基准法
出版机构	住房和城乡建设部	美国土木工程师学会	国际规范委员会	欧洲标准委员会	日本政府
设防目标	小震（重现期 50 年）不坏，中震（重现期 475 年）可修，大震（重现期 1642-2475 年）不倒	以重现期 2475 年作为“最大考虑地震”；以“最大考虑地震”的 2/3 作为“设计地震”来实现其抗震目标；规范的重点着眼于“大震设计”		限制破坏和不倒塌的要求；限制破坏：多遇地震不损坏能继续使用；不倒塌：结构应设计和建造成能抵御重现期 475 年的地震作用，无局部和整体倒塌	两水准设防目标，中等强度地震重现期 475 年，结构不破坏；强烈地震重现期 2475 年，结构不倒塌，人员不伤亡

表 5 主要国家抗震规范一览表

5.1.1. 日本数据中心建筑抗震要求

日本位于环太平洋地震带，板块运动活跃，是世界上发生地震最多的国家之一。日本在抗震方面经验丰富，技术先进，日本抗震设计

要求“中震不坏，大震不倒”。日本较高的设防标准对建筑结构提出了较高的要求。日本的建筑法对抗震有很严格的规定，比如日本的高层建筑必须能够抵御里氏 7 级以上的强烈地震；只有一级建筑师以上的人才能有资格编制抗震报告书，而且，报告书中的相关计算必须要使用日本国土交通省认可的专用程序等等。一个建筑工程为获得开工许可，除了设计、施工图纸等文件外，还必须提交建筑抗震报告书。这一报告书中要根据地震的不同强度，计算不同的建筑结构在地震中的受力大小，进而确定建筑的梁柱位置、承重以及施工中钢筋、混凝土的规格和配比。普通的一个 8、9 层公寓楼，其抗震报告书往往达两三百页。建筑抗震报告书必须经过相关部门或人员的检查，确认无误后才能开工。在日本，每一个建筑公司都有自己的地震研究所。数据中心在建筑设计的时候也是十分严格和规范，因此大部分数据中心在地震中都安然无恙。

5.1.2. 我国数据中心建筑抗震要求

《建筑抗震设计规范》GB50011 第 1.0.2 条强制性条款规定：“抗震设防烈度为 6 度及以上地区的建筑，必须进行抗震设计。”我国建筑基本的抗震设防目标是“小震不坏、中震可修、大震不倒”。使用功能或其他方面有专门要求的建筑，当采用抗震性能化设计时，具有更具体或更高的抗震设防目标。采用二阶段设计实现上述三个水准的设防目标：第一阶段设计是承载力验算；第二阶段设计是弹塑性变形验算。

5.1.2.1 数据中心建筑分类及结构安全等级

按使用功能，数据中心建筑分为三类：

1. 专门安装 IT 设备的生产性建筑，主要指数据中心机房；
2. 为生产性建筑配套的辅助生产性建筑，主要指保障数据中心机房不间断安全使用功能的变配电用房、柴油发电机房、冷冻站、消防设施用房等建筑；
3. 为数据中心提供支撑服务的支撑服务性建筑，主要是指用于数据中心生产指挥、维护人员服务的办公、会议、培训、仓储用房。

由于“为数据中心提供支撑服务的支撑服务性建筑”同民用建筑没什么不同，一般数据中心建筑通常指前两类。

5.1.2.2 数据中心建筑的结构安全等级应符合下列规定：

1. A 级数据中心建筑的结构安全等级为一级；
2. B 级、C 级数据中心建筑的结构安全等级为二级。

5.1.2.2 抗震设防分类

1. 新建 A 级数据中心的抗震设防类别不应低于乙类，B 级和 C 级数据中心的抗震设防类别不应低于丙类。

2. 改建的数据中心应根据荷载要求, 按照《建筑抗震鉴定标准》GB50023 的规定进行抗震鉴定。当抗震设防类别为丙类的建筑改建为 A 级数据中心时, 在使用荷载满足要求的条件下, 建筑可不做加固处理。

3. 数据中心的生产辅助用房应与生产用房的抗震设防类别相同。

4. 当数据中心各区段的重要性有显著不同时, 可按区段划分抗震设防类别。下部区段的类别不应低于上部区段。

5.1.2.3 抗震设计

5.1.2.3.1 数据中心建筑的抗震设防烈度和抗震设计, 应按国家现行的有关标准、规范执行。

5.1.2.3.2 在地震区, 数据中心建筑应避开抗震不利地段; 当条件不允许避开不利地段时, 应采取有效措施; 对危险地段, 严禁建造特殊设防类(甲类)、重点设防类(乙类) 数据中心建筑, 不应建造标准设防类(丙类) 数据中心建筑。

5.1.2.3.3 计算地震作用, 活荷载的组合值系数取 0.8 ; 当按实际情况计算楼面活荷载时, 活荷载的组合值系数取 1.0。

5.1.3. 我国数据中心建筑特点和结构方案

5.1.3.1 数据中心建筑特点

5.1.3.1.1 平面、立面布置

数据中心建筑一般都遵循简单、规整的平面布局和立面造型。单层平面面积较大，一般为 4000~5000 平方米，国内已建成的数据中心机房单层面积有高达 10000 平米左右的。

数据中心建筑结构构件布置需要考虑建筑平面、立面布置要求。剪力墙、支撑等抗侧力构件的平面布置应尽量沿功能房间的分隔墙设置，尽量不能影响各功能房间里的设备（机架、空调设备、电源设备等）布置，使机房平面布置最合理，尽量使装机数量最大化。近年来，随着对数据中心建筑消防要求的变化和微模块产品的推广，数据中心建筑平面不需要房间分割，因此在机房平面内部应尽量少布置剪力墙、支撑等抗侧力构件，以免影响设备布置。另外，剪力墙、支撑等抗侧力构件的布置应考虑尽量减少对建筑立面的影响。

5.1.3.1.2 柱网尺寸

数据中心建筑柱网尺寸需综合考虑机架、空调末端、机电配套设备布置及建筑功能要求，合理选择。数据中心建筑柱网尺寸一般较大，传统数据中心建筑柱网尺寸一般采用 7.2m、8.4m 等标准模数方案，近年来为提升装机数量，逐步采用更大、更灵活的柱网尺寸的方案。

数据中心机房柱网布置影响建筑平面布置，影响机房实际使用面积和可布置的总机架数，最终影响数据中心的经济效益。采用较大柱网尺寸的优点是可以满足建筑平面灵活布置的要求，并且可以提高一

些机架布置数量。但增大柱网尺寸也会带来一些问题，首先是对结构方案和土建投资的影响；其次，柱网尺寸变大，梁高变大，导致层高变大，对消防和空调均有不利影响。因此实际工程需要结合项目具体情况综合分析确定合理的轴网尺寸。

5.1.3.1.3 层高要求

由于工艺需求的原因，与民用建筑相比，数据中心建筑的层高要求较高，常见的数据中心建筑标准层层高有 4.8 米、5.1 米、5.4 米等，某互联网公司建设的数据中心的标准层层高高达 6.5 米。采用较高的层高会带来土建投资的增加，为控制土建投资，在满足工艺需求的前提下，一般会控制数据中心建筑的层高。

5.1.3.1.4 楼面等效均布活荷载

与民用建筑相比，数据中心建筑的楼面等效均布活荷载大是数据中心建筑的又一显著特点。数据中心建筑的楼面等效均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数见表 6。

序号	房间名称	标准值 (kN/m ²)			组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值 系数 ψ_q
		板	次梁	主梁			
1	电力室(有不间断电源的开间)，阀控式蓄电池室(蓄电池组四层双列摆放)	16.0	13.0	12.0	0.9	0.9	0.8
2	电力室(无不间断电源的开间)，阀控式蓄电池室(蓄电池组 四层 单列摆	13.0	11.0	10.0			

	放), 蓄电池室(一般蓄电池单层双列摆放), 地球站机房						
3	总配线架室(每直列 100 线以上), 数字微波设备机房, 互联网数据中心(IDC)、业务运营支撑系统和数据数据中心设备机房	10.0	8.0	7.0			
4	高低压配电室, 总配线架室(每直列 800 线以下)	8.0	6.0	6.0			
5	固定数据中心设备机房, 数字传输设备机房, 移动数据中心设备机房	6.0	6.0	6.0			
6	网管中心、计费中心等业务监控室, 操作维护中心	6.0	6.0	6.0			
7	钢瓶间	10.0					
8	室外机平台	3.5					

表 6 数据中心建筑的楼面等效均布活荷载

注:

- ① 表列荷载不包括隔墙、吊顶、吊挂荷载。
- ② 由于不间断电源设备和蓄电池较重, 设计时也可按照该设备的重量、底面尺寸、排列方式等对设备作用处的楼面进行结构处理。
- ③ 设计墙、柱、基础时, 楼面活荷载值可采用本表中主梁的荷载值。
- ④ 序号3、5中, 未考虑分散供电时蓄电池进入机房增加的荷重。

数据业务技术更新换代速度快, 作为数据业务的载体, 数据中心设备或功能在建筑结构的设计使用年限内可能面临多次调整。另外, 数据中心建筑各功能房间的荷载差异较大。考虑到数据中心建筑全生命周期的适用性, 仅按照当前建筑方案中功能的要求确定活荷载数值, 可能不是最经济合理的选择, 应着眼于长期发展和全生命周期使用的

灵活性、通用性，通常除了电力电池室、钢瓶间等荷载特别大的功能房间外，其他区域统一按数据中心机房活荷载取值。

5.1.3.1.5 结构自振周期折减系数

结构自振周期折减系数直接影响地震作用计算及构件配筋，应综合考虑建筑平面布置及填充墙数量确定。对于数据中心建筑而言，首先其建筑平面布置一般采用大平面布局，相对于民用建筑内隔墙较少，且填充墙材料一般选用轻质的加气混凝土砌块，填充墙刚度较小，对数据中心建筑主体结构周期影响相对较小。如民用建筑框架结构自振周期折减系数可取 0.6-0.7，数据中心建筑框架结构自振周期折减系数可根据项目情况适当取大值，实际工程项目通常取 0.8 左右。

5.1.3.2 数据中心建筑结构方案

5.1.3.2.1 结构选型

由于数据中心建筑楼面活荷载大、抗震设防类别高的双重影响，对结构体系抗震性能的要求也比常规建筑高，在结构选型时，通常的概念已不能完全适用于数据中心建筑。例如：框架结构在设防烈度 8 度时的最大使用高度为 40 米，但抗震设防类别乙类的数据中心建筑需按 9 度考虑，40 米已超出最大使用高度，一般只能控制在 24 米以下；根据工程实践经验，高烈度区数据中心建筑在 24 米以下时，采用框架结构就可能已很不经济了，需要采用框剪结构、屈曲约束支撑框架结构等更合理的结构方案。

数据中心建筑结构选型从结构专业的角度应按以下原则进行：

1. 结构设计应进行多方案比较，选用受力性能好且经济合理的结构体系及合理的平、立面布置方案。设计时应加强构造措施，提高结构的整体性。

2. 多、高层数据中心结构体系的选择应符合下列要求：

1) 应在满足工艺要求的前提下，根据数据中心建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定结构体系。

2) 应注重概念设计，重视结构的选型和平、立面布置的规则性，选用抗震和抗风性能好且经济合理的结构体系，加强构造措施。在抗震设计中，应保证结构的整体抗震性能，合理的刚度和承载力分布，采取多道防线，使整个结构具有必要的承载能力、良好的变形能力和耗能能力。多层数据中心宜选用框架结构，必要时可选用框架剪力墙结构、屈曲约束支撑框架结构等结构体系。

3) 在高层数据中心建筑和抗震设防类别为甲、乙类的多层数据中心中不应采用单跨的框架结构。

4) 最大适用高度和其适用的最大高宽比应符合现行有关规范、规程的规定。

数据中心建筑结构选型从项目建设运营的角度主要需要考虑建

设成本和建设周期两个方面。

数据中心建筑分为多层建筑和高层建筑，由于数据中心建筑的特点，多层建筑居多，高层建筑一般不超过 10 层。

5.1.3.2.2 混凝土结构方案

混凝土结构方案是最为传统的结构方案，也是经济性较好的结构方案，实际工程应用最多。数据中心混凝土结构方案一般为 2-10 层，典型的结构方案有框架结构、框剪结构、框架支撑结构（常见的是框架+屈曲约束支撑结构）等，详见下表 7。

层数	6 度	7 度	8 度
7-10 层	框剪/框架+屈曲约束支撑	框剪/框架+屈曲约束支撑	框架+屈曲约束支撑
6 层	框架结构	框剪/框架+屈曲约束支撑	框架+屈曲约束支撑
5 层	框架结构	框架结构	框架+屈曲约束支撑
4 层	框架结构	框架结构	框架/框架+屈曲约束支撑
2 层	框架结构	框架结构	框架结构

表 7 数据中心混凝土结构方案

5.1.3.2.3 钢结构方案

钢结构方案也是传统的结构方案，抗震性能好，同时具有装配式的优点，但由于造价比混凝土结构高，在数据中心建筑中应用较少。钢结构方案主要有单层轻钢结构方案、钢框架结构方案和钢框架支撑结构方案（常见的是钢框架+屈曲约束支撑结构）等。近年来随着仓储式数据中心的应用，单层门式刚架轻型房屋钢结构方案逐步得到一定的应用。

5.1.3.2.4 减震设计方案

随着建筑工程减震技术的不断发展和国家对防震减灾的重视，减震技术在实际工程中应用越来越多，特别是在地震高烈度区的推广力度越来越大，实践证明，减震技术能有效减轻主体结构的破坏，提升建筑结构的抗震性能。住建部颁布了《住房和城乡建设部关于房屋建筑工程推广应用减隔震技术的若干意见（暂行）》（建质【2014】25号）。部分地方政府陆续出台相关政策性文件，推广应用减隔震技术。数据中心建筑是重要的数据基础设施，数据中心属于乙类建筑，考虑到其重要性，有必要在数据中心设计中推广采用减隔震技术，提升数据中心机房的抗震性能。

目前，国内数据中心建筑主要采用减震设计方案，主要采用框架+屈曲约束支撑的结构方案，能够较好的满足数据中心建筑的减震设计要求。由于数据中心建筑与外部联系的管线较多，隔震层在地震作用下的变形较大，而对管线的影响和管线安装方案的研究较少，影响了隔震方案的推广应用，实际上隔震方案从综合减灾效果上最佳，特别是在高烈度区，是合理可行的设计方案。

5.1.3.2.5 装配式混凝土结构方案

装配式混凝土结构方案符合国家大力支持发展装配式建筑和新型建筑工业化的政策要求，具有大规模推广应用的前景。但装配式混凝土结构方案的在数据中心建筑中应用较少，影响其推广应用的不利

因素主要有：

1. 装配式混凝土结构方案的工程造价比传统建筑工程造价高。
2. 数据中心建筑一般采用框架结构、框剪结构、框架-支撑结构，配套的相关图集尚不完善，部分技术问题尚存争议，对施工缺乏指导。
3. 数据中心建筑楼面荷载大，框架梁、框架柱配筋多，框架梁柱节点区域、框架梁底部钢筋连接问题目前没有好的解决方案。目前框架类结构采用装配式的案例较少。
4. 主体混凝土结构施工周期与传统现浇基本持平，没有工期优势。
5. 数据中心建筑楼板开洞多，对预留孔洞位置精度要求较高，另外影响楼板的预制率。

5.1.3.2.6 利旧建筑改造数据中心

由于城市规划调整、国内经济形势和产业布局结构变化、环保政策引导、企业自身市场变化或转型等原因，城市工业用地内的仓储、厂房等，逐渐搬离市区，使得原有的工业用地和建好的厂房闲置。随着城市版图的不断扩大，曾经感觉偏远的老厂房，老厂区的地理位置如今往往已经成为市中心的一部分，地理位置优势老厂房改造的第一个重要优势。

另外，还可以充分利用原有的电力水力资源。因此，旧厂房改造成为一线城市数据中心建设新模式。

利旧建筑改造数据中心需要重点解决的是结构加固改造的问题，根据项目情况有可能需要进行抗震加固。对于抗震加固，除传统的抗震加固方案外，通过增加采用阻尼器、屈曲约束支撑等消能器，可有效提升既有建筑的抗震性能，减少加固改造工作量，比较适合于利旧建筑改造数据中心的抗震加固。

5.2. 数据中心设备设施抗震

我国一直以来对建筑抗震提出了“三个水准”的设防目标，即通常所说的“小震不坏，中震可修，大震不倒”，其基本出发点是保证人民生命财产安全。对于数据中心建筑而言，这个设防目标远远不够，它不能保证内部数据中心设备设施的财产安全，更不能保证地震发生时数据中心设备功能的正常发挥。通常，我们建设一个数据中心的目标是让它能够持续不间断提供服务，而不是仅仅为了数据中心建筑的安全。地震来临时，其破坏力首先表现就是对建筑物进行左右、前后的振动和晃动，一旦数据中心的通信建筑倒塌，数据中心内部所有的设备都要损坏，数据也会丢失，所以，数据中心建设时，一般在抗震设防地区设计院会根据当地的抗震设防烈度依据国家标准和规定进行有效的设计。

我们在对北京、天津、杭州、内蒙古等地的数据中心进行调研时，也充分验证了这一点。现在各大数据中心建设时，都充分考虑了建筑

的抗震性能，而对于数据中心内装的设备和设施的抗震性能考虑较少，所以即使当数据中心建筑严格按照国家标准和要求进行了抗震设计时，地震时，也不能保证数据中心内部的设备设施安全运行（图 18）。



图 18 2011 年 3 月日本地震东京 IBM 数据中心受损严重
(备注：图片来自网络公开资料)

2008 年汶川地震发生时，据当时不完全统计，处于震区的农村信用合作社受灾网点已达 2769 个，其中建筑完全倒塌 131 个，无法正常营业的网点 778 个。这其中 647 个网点的设备功能已经损坏。

数据中心建筑进行抗震设计的目标是满足规范的要求，但数据中心在地震之后继续能够保持运行是数据中心抗震设计的目标，数据中心设备设施抗震能力是整个数据中心的关键，是地震前后继续发挥数据中心功能的核心，所以我们必须关注设备设施的自身抗震性能及安装抗震能力。

5.2.1. 美国通信设备设施抗震要求

美国 38 个州均有中度地震危险性，60% 的美国人口居住在地震风险为中度到高度的地区。美国根据地址条件分为 5 个地震风险区，分

别为 Zone0–Zone4 由低到高排序，Zone0–Zone4 对应的里氏震级和麦氏烈度如表 8 所示，地震危险区域图如图 19 所示（数据引用 GR-63）。

地震风险区	震级	烈度	地面加速度 (%g)	楼板加速度 (%g)
4	7.0–8.3	IX–XII	>48	60–100
3	6.3–7.0	VIII–IX	16–48	40–60
2	5.7–6.3	VII–VIII	8–16	30–40
1	4.3–5.7	V–VII	4–8	20–30
0	<4.3	V	<4	<20

表 8 美国地震风险区震级和烈度对应关系⁹¹⁰

由美国国家标准学会（ANSI）和美国通信工业协会（TIA）颁布，美国通信工业学会（TIA）TR-42.2 委员分会制定的《ANSI/TIA-942 数据中心通信基础设施标准》（Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers）规定，数据中心的建筑物和地点应该满足所有的现行的可适用美国地方的、州和联邦的可到达的指导方针和 IBC 标准的要求，数据中心使用的相关设备必须适应美国地震带（图 19）的要求，满足 Telcordia specification GR-63-CORE 规定的抗震要求。

美国国际建筑业咨询服务协会 BICSI 协会起草编制的 ANSI/BICSI 002《数据中心设计和实施的最佳实践》规定，应尽量避免在地震活跃区内建设数据中心，如果无法避免，则应该达到当地管理机构的抗震设防要求。在地震设防区，数据中心内的设备，包括机柜和机架等，应达到抗震设防要求。

⁹ 数据引用 GR-63

¹⁰ 备注：对应每个地震风险区，50 年超越概率 2%

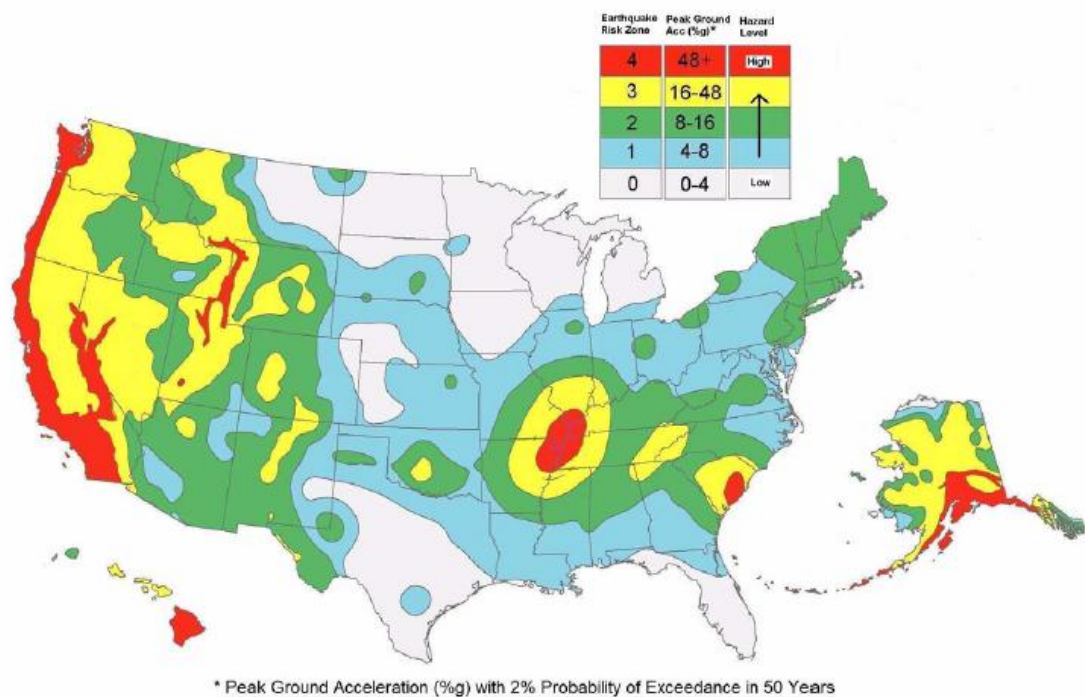
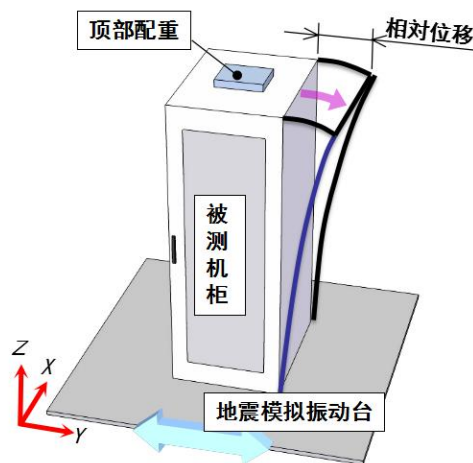
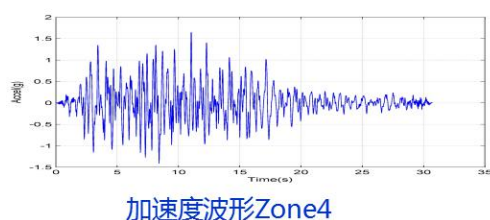


图 19 美国地震风险区划图¹¹

通信设备抗震能力采用地震台试验法确定，试验方法和判定规则如图 20。

¹¹ 摘自 GR63

试验方法				
试验标准	NEBS GR-63-CORE			
输入条件	共振频率探查			
	地震试验			
振动方向	X / Y / Z			
其他	顶部配重23 k g			
地震危险区域	Zone0	Zone1 Zone2	Zone3	Zone4
最大入加速度 [g]	无需试验	0.76	1.13	1.65



判定规则

- 抗震试验过程中，被测机柜顶部的相对位移不超过75mm。
- 共振频率要求大于2.0Hz，推荐大于6.0Hz。
- 对结构没有产生不可修复的永久损伤，包括焊点开裂，并且没有产生上的机械损伤，例如门震开、模块甩出、脱落、脱落等。

图 20 GR-63-CORE 标准规定的测试方法

5.2.2. 日本信息通信设备设施抗震要求

日本的灾害对策基本法、灾害救助法、通信事业法、建筑基准法等均对抗震提出明确要求，日本运营商均制定了自己的防灾计划。其中日本电报电话公司（NTT）对于室内设备和设施包括数据中心设备均提出明确抗震要求。

NTT 规定了不同烈度下通信系统的要求，如表 9 所示。

烈度	描述	通信系统基本要求
5 弱	强震	运行上完全不发生障碍
5 强		
6 弱	烈震	即使发生通话质量下降，也不让通信中断；通过路径绕行，提高冗余度；通过配备备用机、紧急通信设备，确保通信网络本身的可靠性。
6 强		
7	激震	即使发生意外事态，也能防止通信网大面积瘫痪。

表 9 不同地震烈度下通信系统基本要求

NTT 规定的通信设施的抗震性能要求，见表 10。

通信设施	抗震性能需求
建筑物铁塔	<ul style="list-style-type: none"> 震度等级 5 无损伤 震度等级 6 轻微损伤 震度等级 7 避免崩坏、倒塌
网络系统设备	<ul style="list-style-type: none"> 震度等级 5 无损伤 震度等级 6 轻微损伤 在功能上无影响
接入系统设施	<p>【隧道】</p> <ul style="list-style-type: none"> 震度等级 6 无损伤 震度等级 7 部分损伤 对电缆防护机能无影响 <p>【电缆】</p> <ul style="list-style-type: none"> 电信窖井内电缆余长

表 10 不同通信设施抗震性能要求

其中通信设备的抗震性能检测方法参考 NTT 文件《Earthquake Resistance Standards for Communications Equipment》，采用试验法鉴定，如图 21 所示。

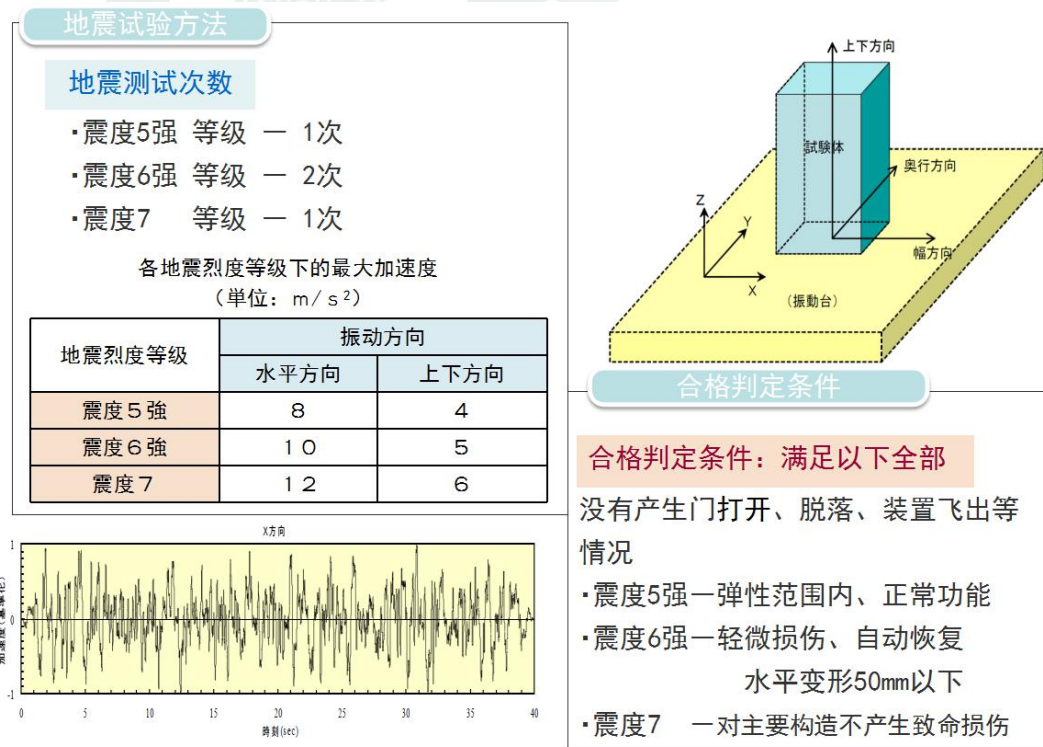


图 21 NTT 规定的抗震试验方法

5.2.3. 我国数据中心设备设施抗震要求

GB50011-2010《建筑物抗震设计规范》第 3.7.1 条强制性条款规定：“非结构构件，包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备，自身及其与结构主体的连接，应进行抗震设计。”

原邮电部早在 1987 年就建立了抗震研究所（中国信息通信研究院抗震业务部门的前身），专门对通信设备抗震性能进行了专业的研究和试验。经过这么多年的发展，制定了完整的通信设备抗震标准体系（表 11）。

序号	标准号	标准名称
1	YD5083-2005	电信设备抗地震性能检测规范
2	YD 5084.1-2014	交换设备抗地震性能检测规范第一部分：程控数字电话交换机
3	YD 5084.2-2014	交换设备抗地震性能检测规范第二部分：IP 网络交换设备
4	YD 5084.3-2014	交换设备抗地震性能检测规范第三部分：移动通信核心网设备
5	YD 5091.1-2015	传输设备抗地震性能检测规范 第一部分：光传输设备
6	YD 5091.2-2014	传输设备抗地震性能检测规范 第二部分：卫星地球站传输设备
7	YD 5096-2016	通信用电源设备抗地震性能检测规范
8	YD5100.1-2014	移动通信基站设备抗地震性能检测规范 第一部分：基站设备
9	YD5100.2-2014	移动通信基站设备抗地震性能检测规范 第二部分：基站控制器设备
10	YD 5190-2010	移动通信网直放站设备抗地震性能检测规范
11	YD5195-2014	数字微波通信设备抗地震性能检测规范

12	YD5196.1-2014	服务器和网关设备抗地震性能检测规范 第一部分：服务器设备
13	YD5196.2-2014	服务器和网关设备抗地震性能检测规范 第二部分：网关设备
14	YD 5197.1-2014	接入设备抗地震性能检测规范 第二部分：有限接入网局端设备
15	YD 5197.2-2014	接入设备抗地震性能检测规范 第一部分：VSAT 卫星地球站设备

表 11 通信设备抗震标准体系一览表

强制性标准均做出基本规定要求，在我国抗震设防烈度 7 度以上（含 7 度）地区公用电信网和公众互联网使用的主要信息通信设备必须经抗震检测并合格。目前数据中心设备和全国建设工程抗震设防烈度等级保持一致，最高 9 烈度设防。

目前信息通信设备抗震性能检测主要采用试验法，具体试验方法如图 22 所示。

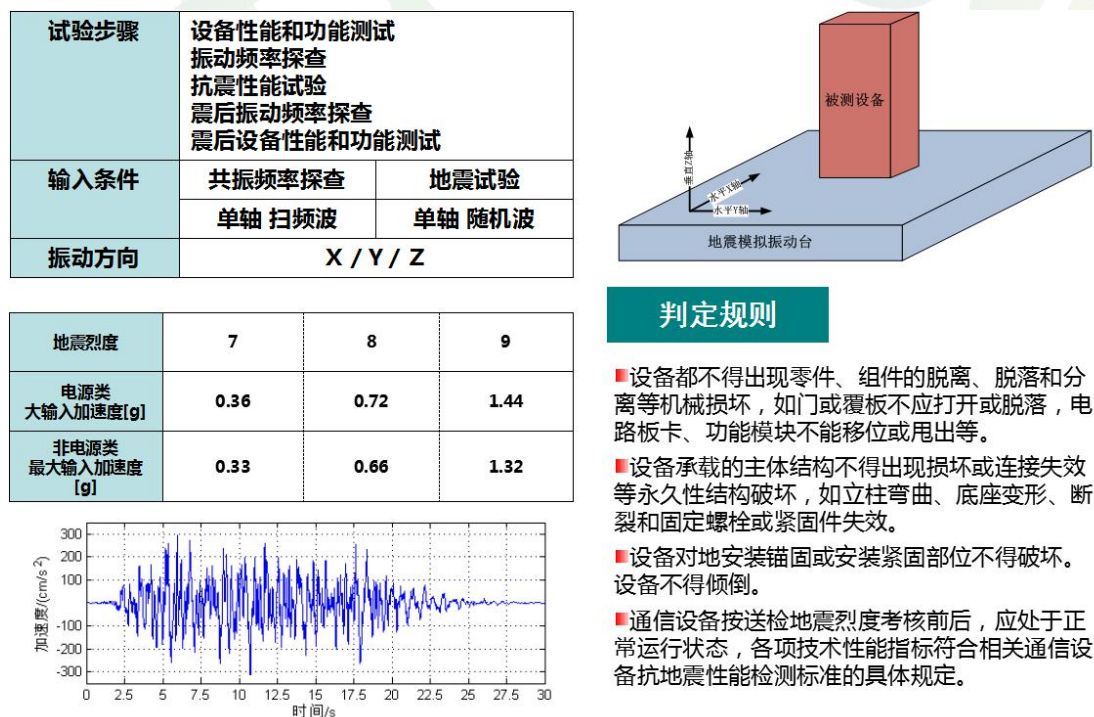


图 22 YD5083 规定的抗震试验方法

5.2.4. 我国数据中心设备抗震性能检测

数据中心设备设施的抗震性能检测工作目的是验证通信设备在模拟地震作用下的是否能够正常运行功能，证明设备在经受地震过程中和经受地震作用后，实现其本身原有的预期功能的能力。在我国抗震设防烈度为 7~9 度地区的数据中心设备设施的抗地震性能检测，目前主要的手段是在模拟地震振动台上进行检测。

对于质量较大，或者尺寸较大的设备设施，受条件限制，设备的抗震能力可以采取有限元分析的手段进行评估(示例见图 23、图 24)。

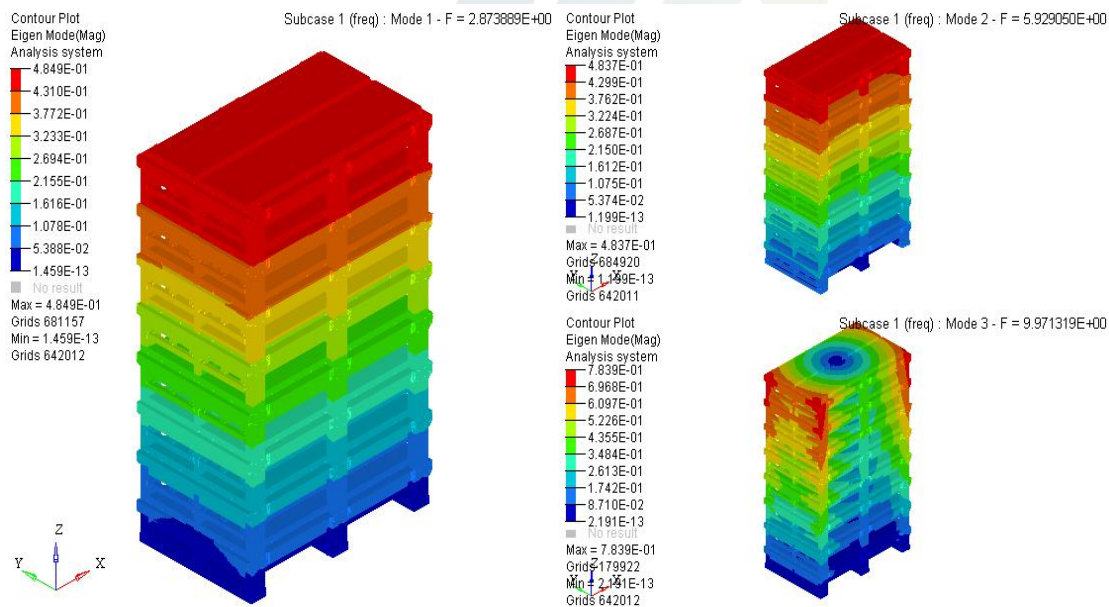


图 23 高 3 米重 10 吨的 8 层蓄电池架抗震性能分析

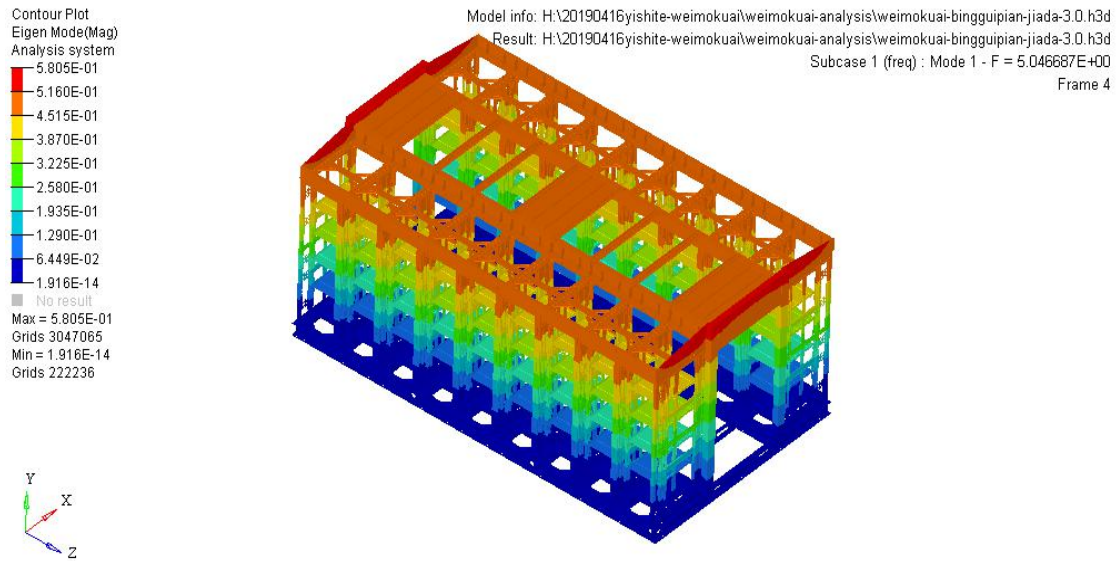


图 24 13 吨数据中心微模块设备抗震性能分析

5.2.5. 常见的数据中心设备不合格现象



图 25 数据中心设备设施组成

简单来说，数据中心设备设施包括计算机设备、服务器设备、网络设备、存储设备等核心设备，还包括供电系统、制冷系统、机柜系统、消防系统、监控系统等提供运行环境的关键设施，如图 41。对于生产企业而言，有的把产品抗震性能作为高质量产品的基本要求，是其产品质量安全的标志；有的设备抗震性能不达标，有的企业实验室送检样品和实际工程供货样品不一致。目前来看，数据中心设备产品抗震性能参差不齐，有待进一步加强规范化管理。

2012 以来，中国信息通信研究院陆续对一些数据中心设备进行了抗震性能检测，常见的不合格现象归纳如下。

(1) 机柜

机柜是数据中心机房中的一个重要组成部分，其作用就是安装固定服务器和 IT 等设备，同时还需要对服务器等 IT 设备提供基本的安全保护，是承载单元，数量最多。2016 年到 2019 年，共检测 95 款机柜的抗震性能，60 款不合格，不合格率 63.2%。对 2018 年和 2019 年 36 款服务器机柜的抗震试验结果进行了统计分析，试验依据 YD5083-2005《电信设备抗地震性能检测规范》进行，其中满足标准要求 13 项，不满足标准 23 项，不合格率 64%；7 烈度不合格 1 项，8 烈度不合格 8 项，9 烈度不合格 14 项，其中有 9 个机柜地震后发生倾倒现象，主要不合格现象见图 26-27。机柜产品质量参差不齐，抗震性能状况堪忧，为将来数据中心的安全运行埋下安全隐患。

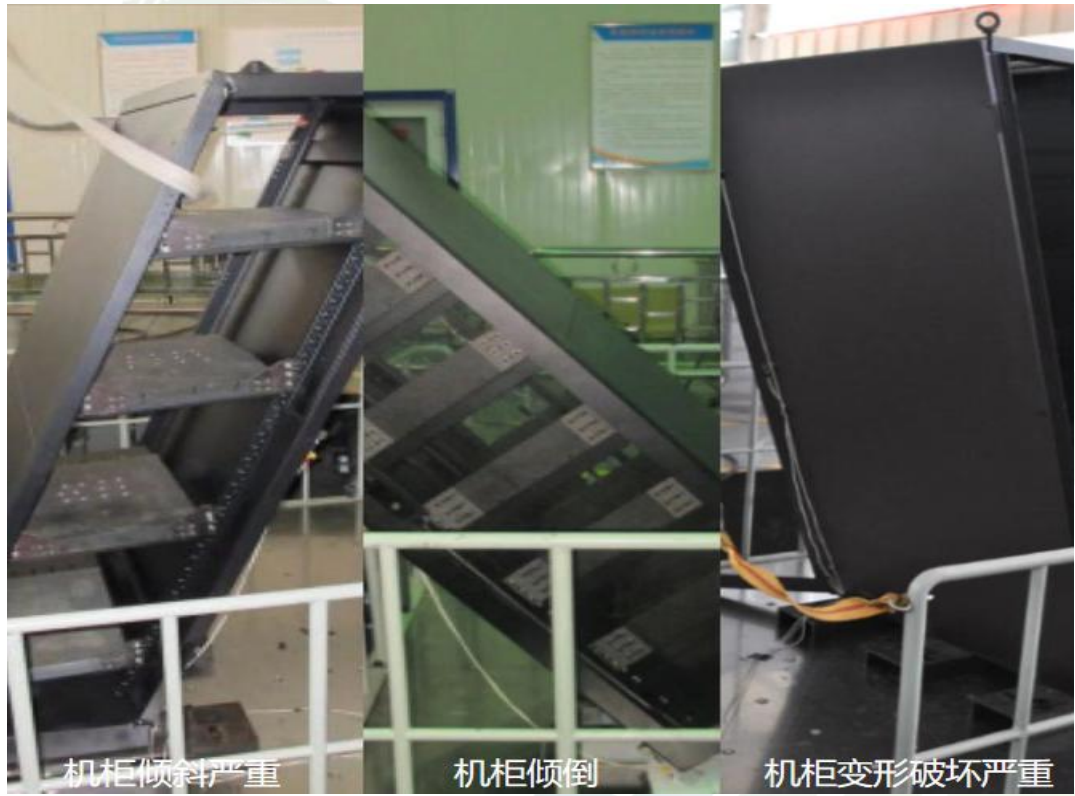


图 26 机柜倾倒现象

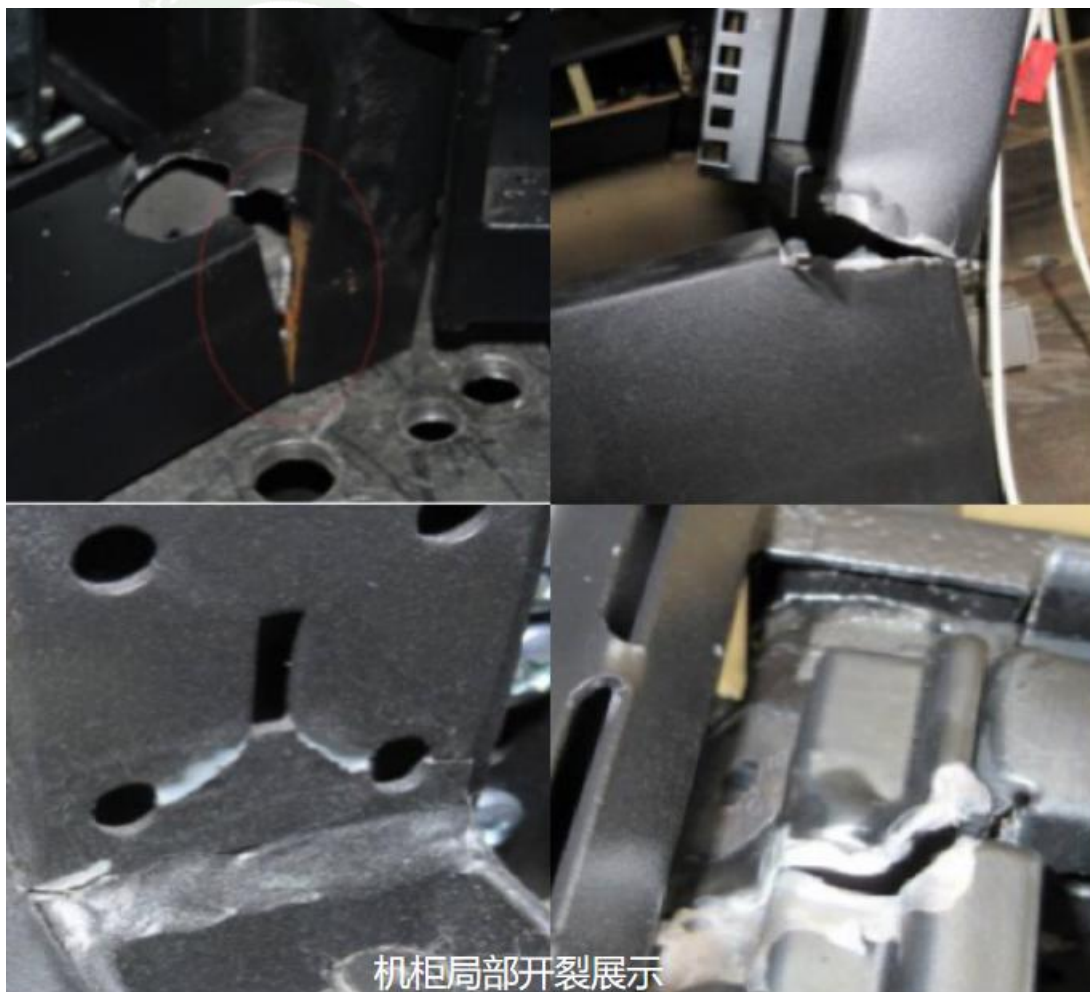


图 27 机柜局部开裂展示

(2) 电源等其它数据中心设备

为服务器等 IT 设备提供环境支持的电源系统，空调系统是保证数据中心正常安全运行的基本设施，必须保证其正常运行。一旦这些设施发生破坏，将对数据中心的运行产生巨大影响。在近几年对一些数据中心用的配套电源，蓄电池，空调等进行抗震性能检测时，存在如下问题：

① 设备整体绝缘性能下降

模拟地震过程中的拉扯造成导线、信号线的绝缘外层破坏，带电母排变形，造成空隙减小，减弱绝缘强度，震后对地漏电流增大，整体耐压测试不通过。

② 内部结构被破坏，设备短路、打火

风扇支架结构开裂（图 28），导致设备输入线与外壳接触，发生短路现象（图 28）；电路板连接线松动（图 28），功能失效。



图 28 内部结构备破坏情况

③ 连接件松动、变形、断裂，功能异常

具体见图 29。



图 29 连接条和零部件机械损坏

④ 紧固件脱落，功能异常

UPS 内部线圈紧固螺钉松动，线圈铜排与设备外壳接触，设备故障保护（图 30）；电源测试过程中，固定螺栓失效，正负极板搭接，模块短路保护（图 30）。



图 30 紧固件脱落，功能异常

⑤ 其它性能不合格现象

UPS 震后旁路与逆变相位追踪不同步（图 31），旁路与逆变切换状态不正常，明显超出标准范围，设备监控显示逆变与旁路不同步；空调设备焊点开裂，系统密封性测试不通过；模块化电源，单一模块震后退出工作；杂音电压较震前明显增大；单个模块背板短路，造成模块均流不合格；震后稳压精度超标。

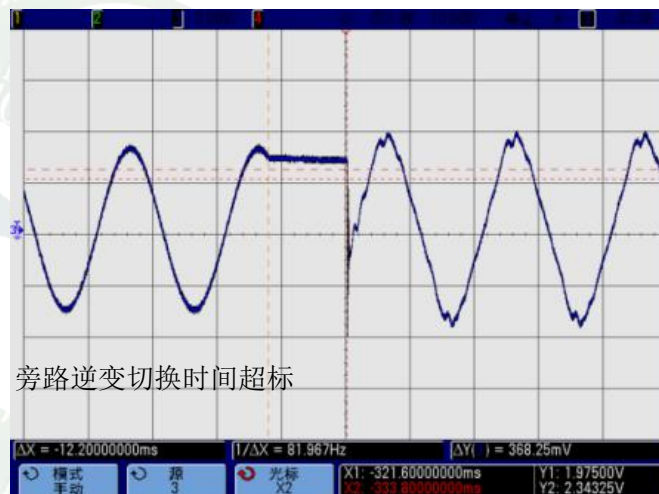


图 31 旁路与逆变切换状态不正常

5.3. 数据中心设备设施抗震安装

5.3.1. 数据中心设备设施安装抗震设计

数据中心设备设施安装抗震也是数据中心能够在地震灾害下保持功能正常必不可少的一环。安装在楼层上的设备破坏程度一般都比地面上的设备震害严重得多，设备的安装连接部位强度不足会引起的数据中心设备本身的破坏。我国抗震设防烈度 6 度及以上地区设备安装工程，必须进行抗震设计，主要以 GB/T51369《通信设备安装工程抗震设计标准》和 YD/T5060《通信设备安装抗震设计图集》为参考依据，在数据中心设备安装工程中细化设备设施安装抗震要求和安装抗震措施。

数据中心设备安装抗震设计的目标如表 12 所示。

烈度	设防目标
----	------

设防烈度	通信设备安装的联结架及相关的连接节点，设备集装架以及设备集装架与架内设备的相关连接点，线、缆走线架等吊挂结构的吊杆、吊点，允许出现轻微损伤，但焊接部分不得出现破坏；能保证人身安全；通信设备的功能完好
罕遇烈度	通信设备安装的联结架及相关的连接节点，设备集装架以及设备集装架与架内设备的相关连接点，线、缆走线架等吊挂结构的吊杆、吊点，允许出现局部变形和部分破坏，但不应产生列架倾倒、吊挂结构坠落等危及人身和生产安全的灾害；通信设备性能允许下降，但不得完全中断，且经修复后可完全恢复通信功能

表 12 通信设备抗震标准体系一览表

设备的安装抗震设计主要影响因素包括设备的地震作用、设备自身动力特性、设备的安装方式及螺栓规格。设备的地震作用以 GB50011 《建筑抗震设计规范》规定的地震影响系数为基础，考虑设备安装楼层放大系数，设备放大系数、支架放大系数等因素，综合计算出设备的地震载荷。楼内安装设备具体的地震放大路径如图 32 所示，地面安装设备具体的地震放大路径如图 33 所示。

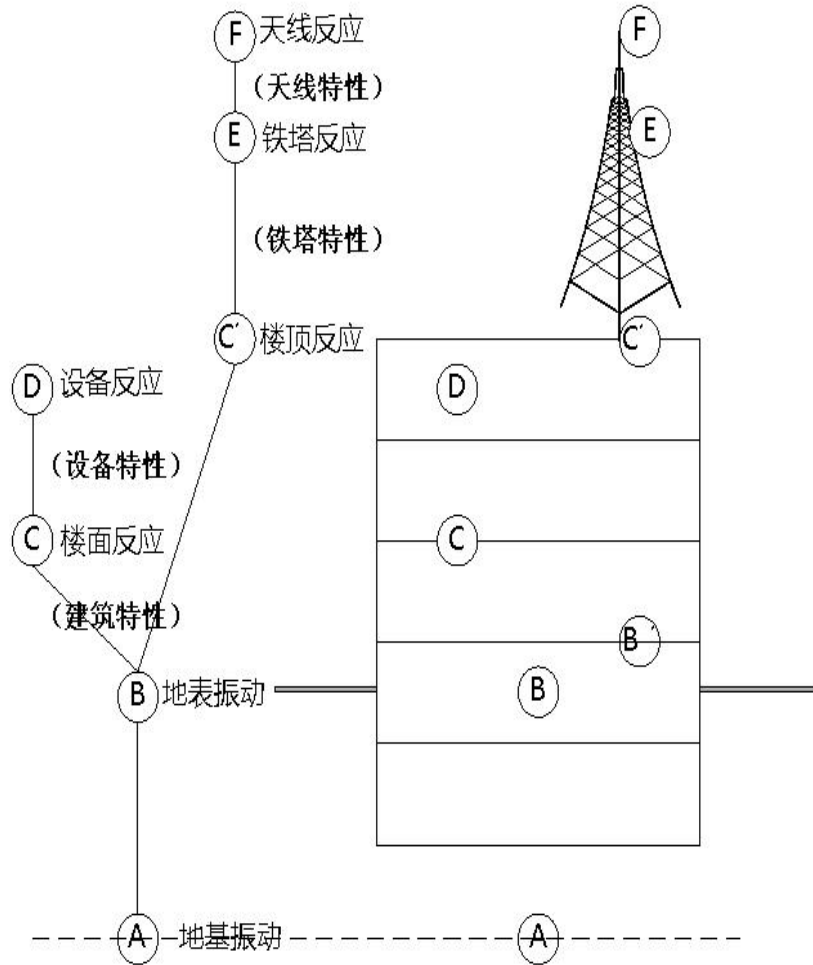


图 32 楼内安装设备地震传递路径

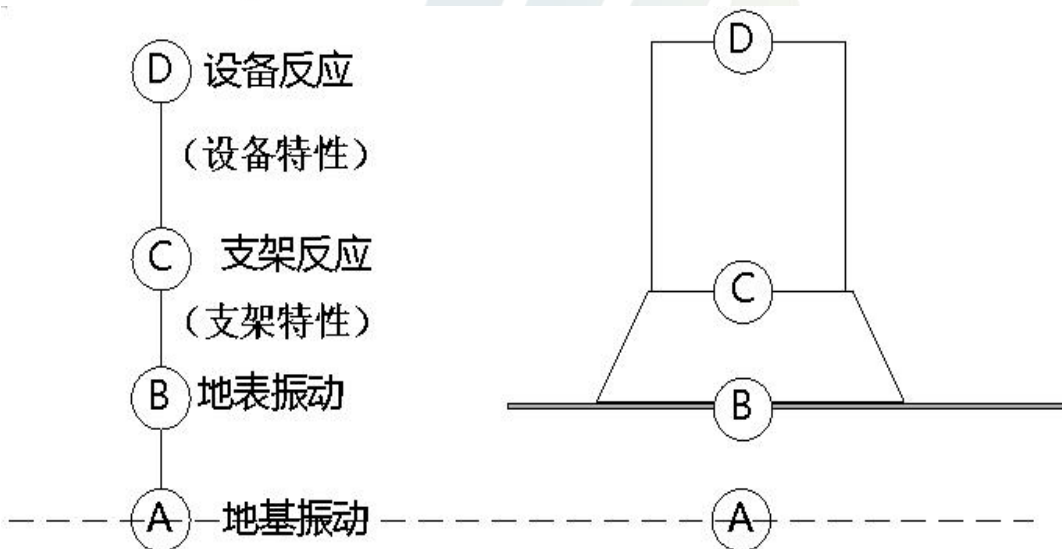
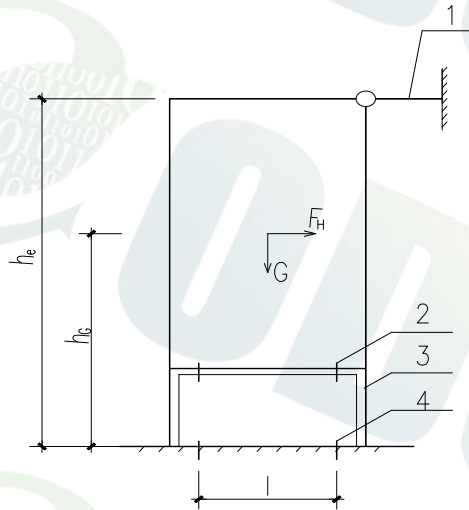


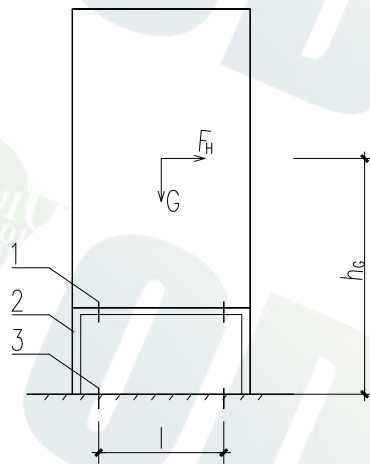
图 33 地面安装设备地震传递路径

安装螺栓抗震设计主要设备重心处地震力，以静力计算方式，考虑螺栓的数量及安装距离等参数，计算安装螺栓的拉力和剪力。有支撑构件的设备计算简图如图 34，自立式设备地脚锚栓计算简图见图 35。



1—支撑构件；2—连接螺栓；3—抗震底座；4—地脚锚栓

图 34 有支撑构件的设备计算简图



1—连接螺栓；2—抗震底座；3—地脚锚栓

图 35 自立式设备地脚锚栓计算简图

数据中心设备加固的基本原则是增强设备的稳定性和整体性。设备、铁架的各相关构件之间应通过连接件牢固连接成为一个整体，并应与建筑物地面、楼顶板、承重墙及房柱加固。

从实际情况来看，通信设备的抗震加固主要是在工程建设阶段安排实施，在通信设备安装时采取符合规范要求的抗震加固措施。目前常见的通信设备抗震加固措施主要有以下做法：

(1) 设备底部用地脚膨胀螺栓与地面(或楼板)锚固，以防地震时设备水平滑动，而引起破坏。

(2) 设备前后采用 L 型抗震防滑铁件固定；

(3) 同列设备之间用连接件在顶部（或侧壁）进行连接固定；

(4) 油机底盘用“二次灌浆”地脚膨胀螺栓固定在基础上，底盘与基础之间一般都装有减震器；

(5) 蓄电池组采用钢抗震电池架（电池柜）等抗震框架进行安装加固，并用地脚膨胀螺栓将抗震架（柜）与地面进行加固。蓄电池组输出端与电源母线采用软连接；

(6) 对于 2 米以上的架式设备，机架顶部采取加固措施，与联结架或顶部支撑构件连接。联结架的构件之间或顶部支撑构件应按有关规定的联结牢固，使整个机房顶部构成一个完整的支撑拉结网格式结构。

5.3.2. 数据中心设备安装中的问题

通过近些年的调研，发现数据中心设备安装中主要存在以下问题。

(1) 蓄电池组安装

数据中心蓄电池组安装方式存在抗震安全隐患(图 36)，列头控制箱用走线架对地安装（见图 36），整个安装结构质心较高，刚度较低，地震可能造成控制箱位移较大，容易将连接线缆拉断，造成整个蓄电池组不能正常供电。



图 36

(2) 信息通信设备安装

通信设备安装时应采取符合规范要求的抗震加固措施，信息通信设备安装时，基本要求就是在设备底部用地脚膨胀螺栓与地面(或楼

板)规范性锚固,以防地震时设备水平滑动,倾倒而引起破坏。调查中发现信息通信设备存在不按照要求安装,随意改变安装位置等安装不规范问题(图 36 和图 36)



图 37

(3) 走线架

走线架连接固定未考虑抗震设计,一端固定,一端不固定(图 38),走线架上线缆和设备随意安装(图 38),走线架与顶部和墙壁安装主要考虑安装方便,走线系统存在抗震安全问题。



图 38

(3) 制冷系统

IDC 的制冷系统，没有任何的抗震要求，设备本体及安装方式均未考虑抗震（图 39 和图 39），给 IDC 地震后正常工作带来较大安全隐患。

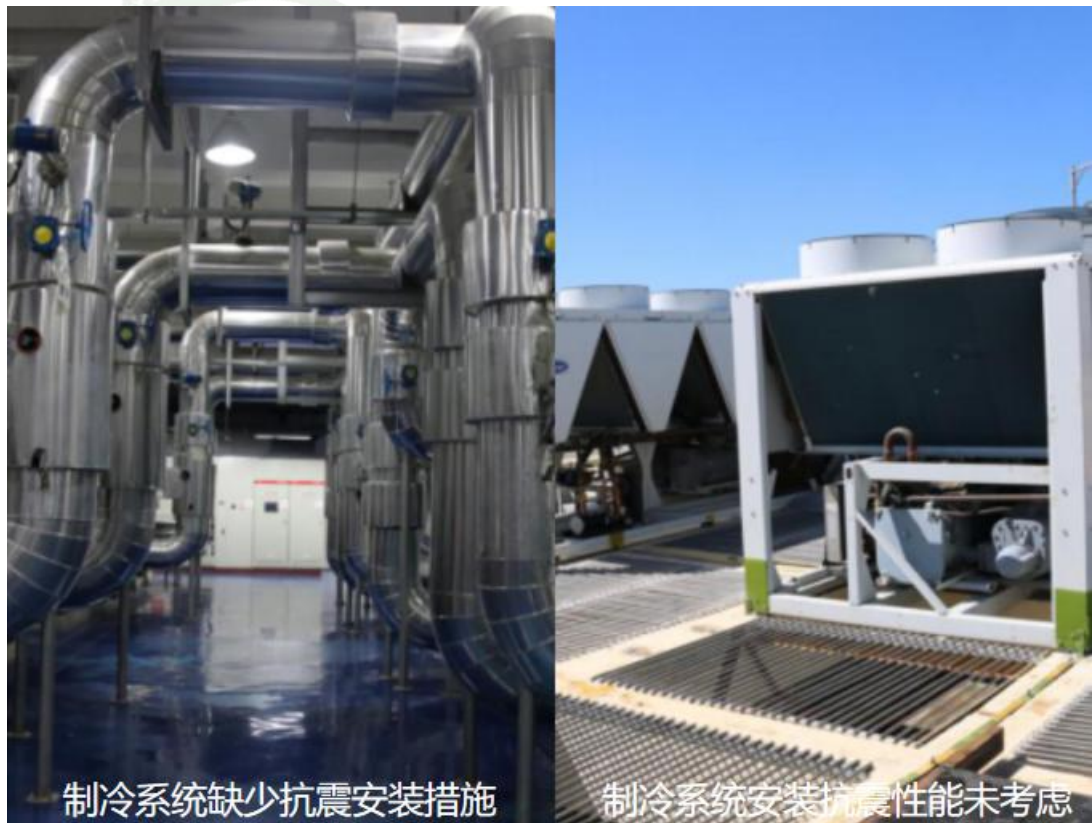


图 39

6. ODCC 产品抗震等级评估

ODCC 将依据 ODCC-2020-06002 《服务器机柜抗地震性能测试规范》、ODCC-2020-06003 《服务器抗地震性能测试规范》、ODCC-2020-06004 《数据中心交换机抗地震性能测试规范》对数据中心的机柜、服务器和交换机产品展开抗震性能评估。对于通过相应等级的数据中心产品授予规范符合性评估证书。



6.1. 机柜

依据地震考核过程中数据中心机柜配置重量和通过抗震考核烈度等级，将数据中心机柜抗地震性能分为 A+、A、B、C 共 4 级，仅 8 烈度以下（不含 8 烈度）合格的设备不进行评级，具体评级标准见下表 13：

表 13 服务器机柜抗地震性能等级评定表

通过烈度	配置重量	500kg	800kg	1000kg
	8烈度	抗地震性能等级	C	B
9烈度		B	A	A+



6.2. 服务器和交换机

依据地震考核过程中技术抗地震性能等级和结构抗地震性能等级，将服务器和交换机的抗地震性能分为 A、B、C 共 3 级，具体评级标准见下表：

表 14 服务器和交换机抗地震性能等级评定表

结构 抗震等级	技术性能 抗震等级	A	B	C
	抗地震性能 等级			
A	A	A	B	C
B	B	B	B	C
C	C	C	C	C

7. 建议和展望

当前，我国数据中心地震灾害防范能力总体还比较弱，这是我们前进道路上必须应对的风险挑战之一。地震不可避免，对于数据中心抗震工作，我们始终要坚信灾害可以预防。我们虽然阻止不了地震灾害的发生，但我们希望通过不断努力，让地震对于通信行业的灾难损失降至最低。

目前国内数据中心建设更多关注数据中心建筑的抗震设计，对于建筑内装的设备和设施的抗震考虑较少。如何提高数据中心内装设备

和设施的抗震性能，加强数据中心抗震要求，进而提高数据中心防震减灾能力，规范化、政策化管理设备和设施的抗震要求是数据中心建设面临的重大课题。

我国对于数据中心机房和设备的抗震性能管理还未形成统一的管理体系，技术科研发展滞后，通信设备抗震隔震工程技术有待系统化和规范化，设备安装抗震措施有待精细化，室外设施的安装质量和抗震措施还需要进一步优化改进。希望上述的内容能够引起全行业的重视，共同促进抗震工作的科学规划和发展，以使我国的数据中心抗震设防水平有一个系统的提高，减少地震时带来的损失。

对于数据中心抗震工作，特提出以下建议：

1、加强宣传，注重实效，提高数据中心领域的抗震减灾意识，贯彻新时期、新形势下，习近平总书记防灾、减灾、救灾的决策部署，转变观念，加强数据中心的抗震防灾减灾教育，倡导科学抗震理念；

2、在数据中心领域，各相关单位深入合作、协同创新，大力推进防震减灾事业高质量发展。围绕提高数据中心抗震性能工作，打通抗震安全“最后一公里”，坚持需求和问题导向，强化项目带动，开展数据中心抗震技术的设计验证、工程应用和推广等方面合作，切实提高数据中心的抗震性能。

3、不断努力开展各项科研活动，加强各种抗震安全技术的改进和优化工作，不断提高适应新时代数据中心防震减灾高质量发展要求

的能力。切实推进事业发展，强化能力建设，主动适应新时代新形势新要求，全面推进防震减灾事业现代化建设，为打造安全可靠、抗震性能优良的数据中心而努力。



WWW.ODCC.ORG.CN

本页为规范最后一页