



第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

IDCC

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE

[解码] DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT

可持续发展

第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

数据中心抗震关键问题研究

中国信息通信研究院

泰尔系统实验室



输入文字

1

地震灾害形式与数据中心破坏

2

国家防震减灾政策及技术发展

3

数据中心抗震现状及主要问题

□ 地震灾害情况

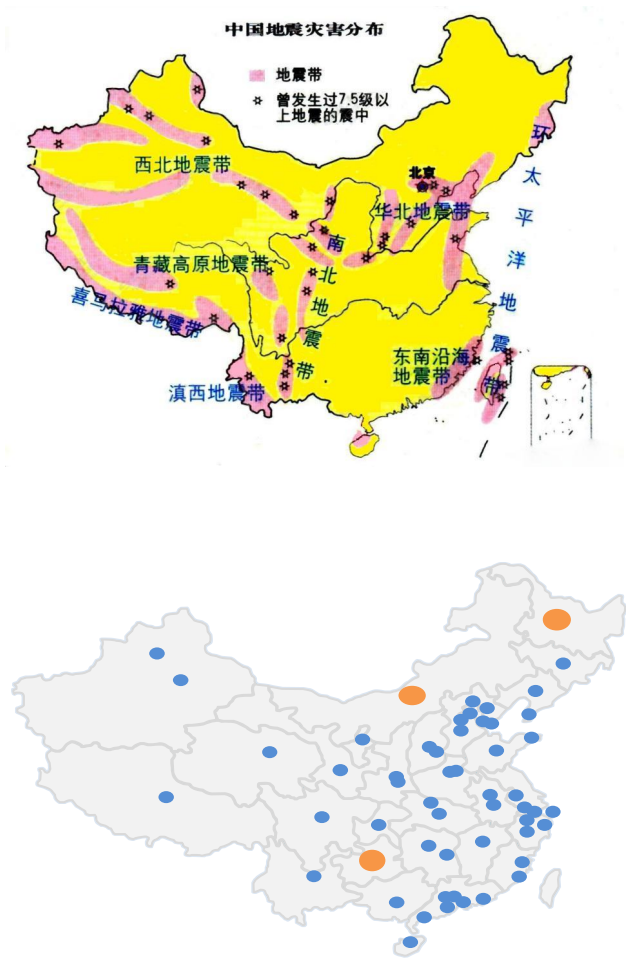
- ✓ 我国位于世界两大地震带—环太平洋地震带与欧亚地震带交汇处，是世界上**地震灾害最严重的国家之一**，二十世纪以来，我国占全球陆地面积7%的国土上发生了全球1/3的内陆破坏性地震。我国地震灾害威胁最严重国家，52%的县城、57%的地级市、67%的百万以上人口大中城市、25个省会城市位于7度及以上的地震高烈度区。
- ✓ 长期以来，**地震多、强度大、分布广、灾害重**是我国的基本国情。

□ 数据中心重要性

- ✓ 数据中心基础设施故障或破坏会造成数据丢失或网络中断，在经济和社会上造成的损失或影响大。
- ✓ 通信行业的数据中心属于**重要的生命线工程**，肩负着不间断的指挥抗震救灾、传递信息的要重任务，通信系统遭受破坏后，不仅通信部门本身遭受损失，而且会造成间接损失及严重的社会影响，往往其间接损失远大于通信部门本身的损失。

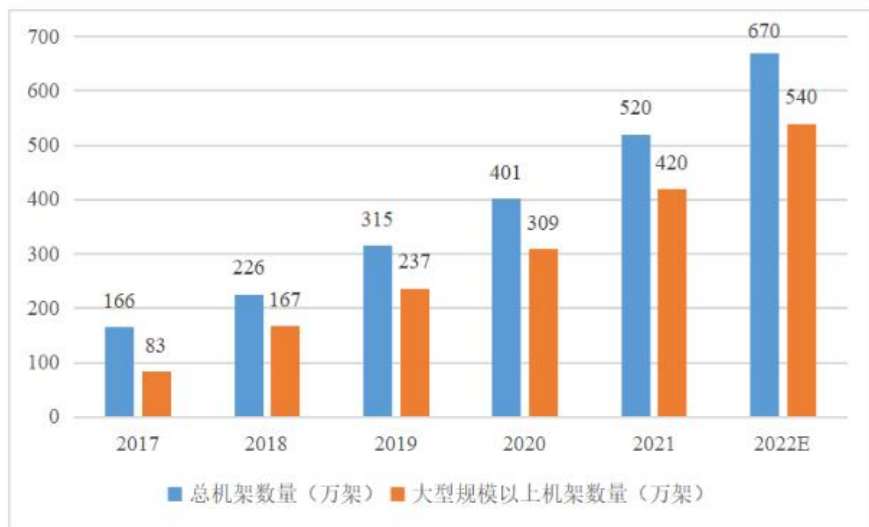
□ 数据中心防震减灾要求

- ✓ 《中华人民共和国防震减灾法》明确规定“**新建、扩建、改建建设工程，应当达到抗震设防要求。**”
- ✓ 《建设工程抗震管理条例》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。**



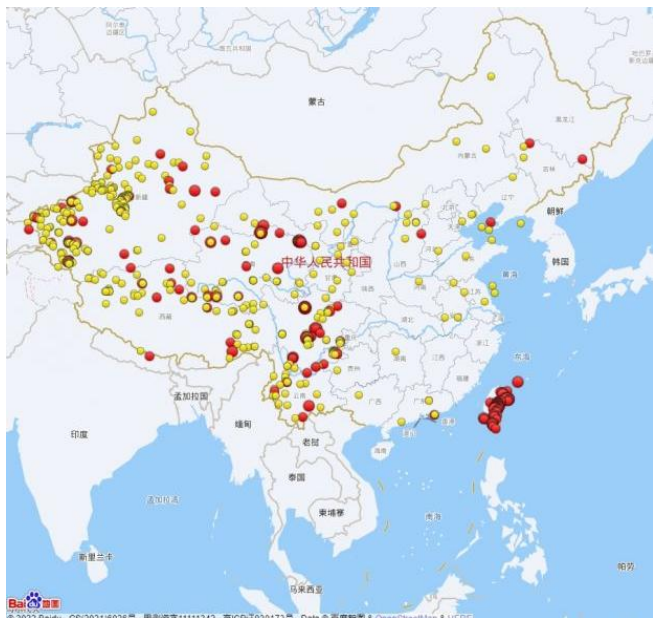
一、地震灾害形势及数据中心破坏

- **二十大报告**提出，推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、**网络强国、数字中国**。优化基础设施布局、结构、功能和系统集成，**构建现代化基础设施体系**。
- **新基建战略**：2020年3月4日，中共中央政治局常务委员会召开会议提出“加快**5G网络、数据中心**等**新型基础设施**建设进度”。
- **“东数西算”工程**：2022年2月，我国“东数西算”工程正式启动，建设**8个国家算力枢纽节点**，规划**10个国家数据中心集群**，引导数据中心集约化、规模化、绿色化发展。
- 工信部《**“十四五”信息通信行业发展规划**》中提出到**2025年**，**基本建成**高速泛在、集成互联、智能绿色、安全可靠的**新型数字基础设施**，**成为**建设制造强国、**网络强国、数字中国**的**坚强柱石**



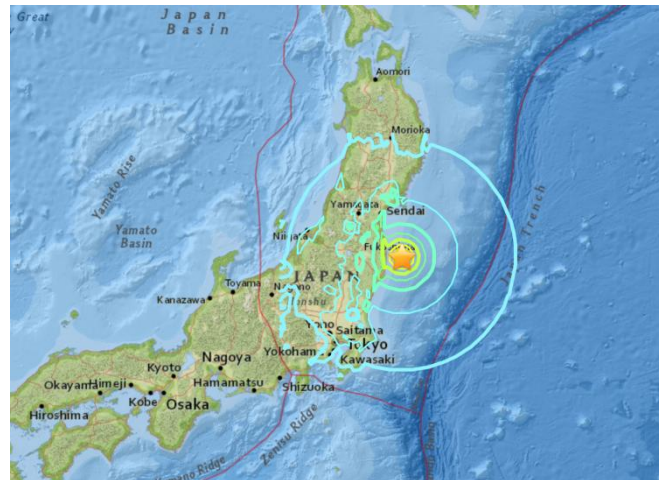
来源：工信部信息通信发展司

一、地震灾害形势及数据中心



- 2022年，6.0级到6.9级10次，7.0级以上0次，最大地震分别是1月8日在青海海北州门源县发生的6.9级地震和9月18日在台湾花莲县发生2022年度，大陆6级以上地震活跃，大陆5级以上地震活动空间集中。
- 2022年以来，大陆先后发生5次6级以上地震，频次高于历史平均水平(4次/年)。6级以上地震分布在四川(3次)及青海(2次)地区，两个地区6级以上地震频次均远超历史平均水平。大陆西部5级以上地震主要集中在四川地区、新疆西部以及青海北部，其中四川7次，新疆6次，青海9次。台湾5、6级地震活跃，7级以上地震平静持续的6.9级地震。
- 2022年全球6.0级及以上地震分布图 图源：中国地震台网
从全球地震活动来看，2022年，全球共发生6.0级及以上地震112次，其中6.0级到6.9级105次，7.0级到7.9级7次，8.0级以上0次，最大地震是9月11日在巴布亚新几内亚发生的7.6级地震。

IDCC INTERNET DATA CENTER CONFERENCE **[解码]** DECODING SUSTAINABLE DEVELOPMENT 可持续发展



日本有350个商业数据中心。这个数字不包括企业内部数据中心。数据中心集中在关东和关西地区，而东北地区没有主要的商业数据中心。日本72%的数据中心位于关东地区，其中34%位于东京。19%位于关西地区。剩下的9%分散在日本其他地区



- ✓ 每次地震，根据地震灾害损失和破坏现象，日本要求更新建筑基本法的；日本建筑地震要求远高于其他国家和地区；
- ✓ 进入NTT设备均需要进行抗震检测合格；
- ✓ 长期的地震演习；
- ✓ 按法律要求的现有建筑的不断评估和加固；
- ✓ 隔震技术大量应用——建筑隔震、楼板隔震、设备隔震；
- ✓ 燃料充足准备——5-7天的燃料准备。

一、地震灾害形势及数据中心

□ 信息通信建筑

- ✓ **乙类及以上建筑**：主体结构一般无明显破坏，主要为**非结构构件受损**，如**砌体填充墙破坏**、**楼梯破坏**等。
- ✓ **丙类及以下建筑**：基站机房和汇聚机房租用占比很高，依赖于它所在建筑的抗震能力，地震损失最大，如**机房垮塌**、**墙体倒塌**等。



砌体填充墙与梁底发生错动



砌体填充墙开裂破坏



楼梯梯板破坏



基站机房垮塌



基站机房墙体破坏倒塌

□ 信息通信设备

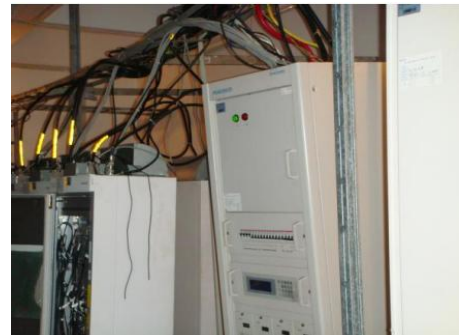
- ✓ **机房倒塌砸毁设备**，**设备整体倾倒**，**线缆拉坏设备**，**柜内设备模块甩出**，**设备移位**等。



基站机房倒塌砸毁设备



机房设备整体倾倒



线缆拉坏设备



柜内设备模块甩出



设备移位

输入文字

1

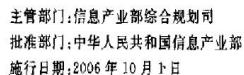
地震灾害形式与数据中心发展

2

国家防震减灾政策及标准要求

3

数据中心抗震现状及主要问题



二、国家防震减灾政策及技术发展

- 数据中心基础设施抗震设计包含建筑抗震设计、设备抗震设计、设备安装抗震设计三部分，系统可靠的抗震设计是保证信息通信设施抗震安全的基本要求。

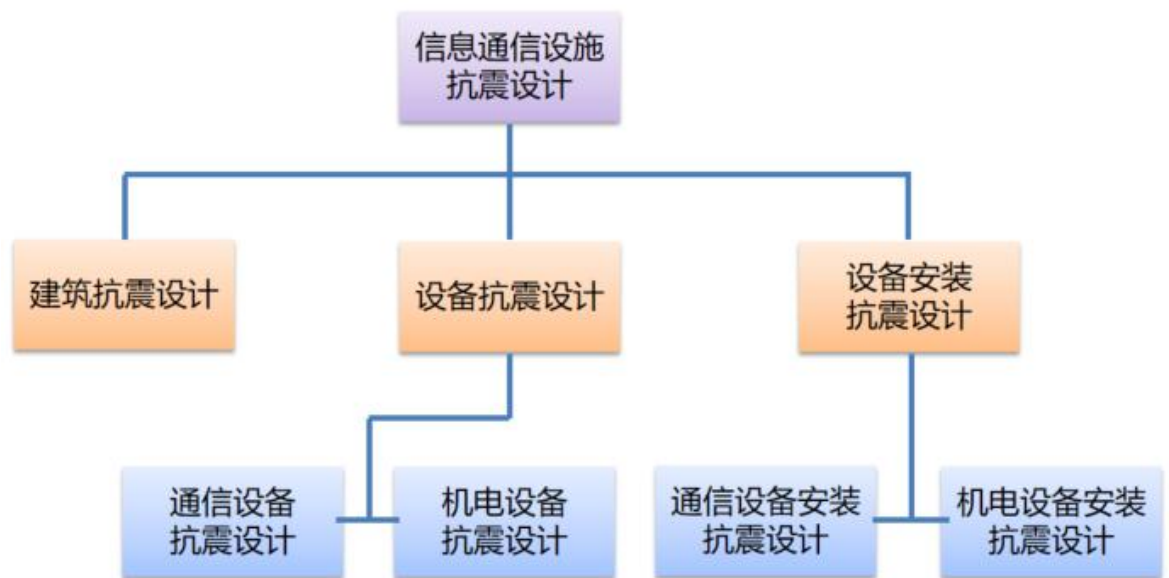
抗震设计/检测

建筑、安装两个维度进行抗震设计；

7烈度以上地区公用电信网络和公众互联网络用关键设备通过抗震检测；

本体抗震——检测规范

工程抗震——设计、施工、验收规范



□ 机电设备分类

- ✓ **电气设备**：柴油发电机、变压器、高压柜、低压柜、开关电源、UPS列头柜、电池柜（架）、配电柜等。
- ✓ **空调设备**：冷机、水泵、冷却塔、空调末端、精密空调、间接蒸发冷机组等。

□ 抗震设计主要规范

- ✓ 《建筑抗震设计规范》GB50011
- ✓ 《建筑机电工程抗震设计规范》GB50981

□ 抗震设计规范要求

- ✓ 抗震设计要求
 - GB50011第3.7.1条规定：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。
 - GB50981第1.0.4条规定：抗震设防度为6度及6度以上地区的**建筑机电工程**必须进行抗震设计。
- ✓ 地震作用计算
 - GB50011和GB50981规定的非结构构件水平地震作用标准值的计算方法相同，均可采用：**等效侧力法和楼面反应谱法**。

□ 机电设备抗震设计

- ✓ 可采用**通用有限元软件**进行**计算分析**；可采用**地震模拟振动台试验验证**。



柴油发电机



变压器



低压柜、高压柜



冷机



冷却塔



水泵、板换

□ 通信设备安装抗震设计主要规范

- ✓ 《建筑抗震设计规范》GB50011
- ✓ 《通信设备安装工程抗震设计标准》GB/T51369
- ✓ 《通信设备安装抗震设计图集》YD/T5060

□ 通信设备安装抗震设计规范要求

✓ 抗震设计要求

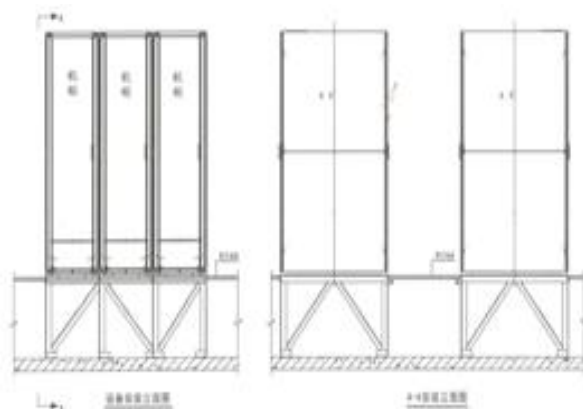
- GB50011第3.7.1条规定：非结构构件，包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备自身及其与**结构主体的连接**，应进行抗震设计。
- GB50011第13.3.1条规定：建筑附属机电设备指为现代建筑使用功能服务的附属机械、电气构件、部件和系统，主要包括电梯、照明和应急电源、**通信设备**、**管道系统**、**采暖和空气调节系统**，烟火监测和消防系统，公用天线等。
- GB/T51369第1.0.2条规定：抗震设防度6度及以上**通信设备安装工程**，必须进行抗震设计。

✓ 抗震计算

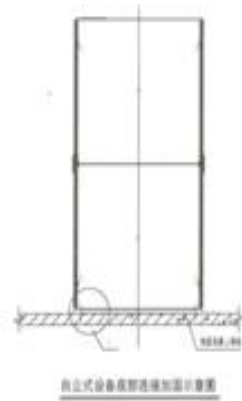
- 同通信设备本体。

✓ 抗震措施

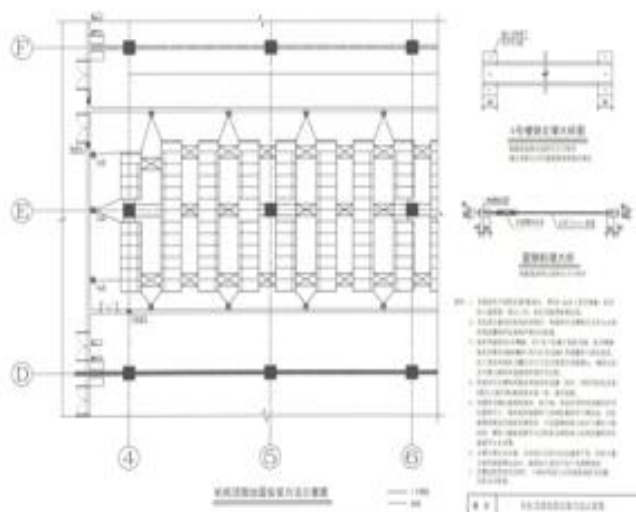
- GB50011第13.4节：建筑附属机电设备支架的基本抗震措施。
- GB/T51369第5-7章：通信设备安装抗震措施。



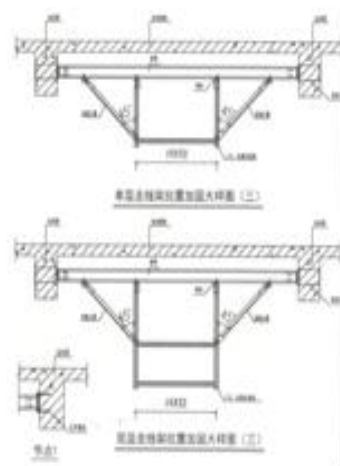
柜体设备抗震安装方案（带底座）



柜体设备抗震安装方案（不带底座）



柜体设备安装顶部抗震加固方案



走线架抗震方案

□ 通信设备抗震设计规范要求

✓ 地震作用计算

- GB50011第13.2.3条、第M.3.2条规定非结构构件水平地震作用标准值的计算方法：**等效侧力法和楼面反应谱法**。
- GB/T51369第4.2.1条规定：通信设备的水平地震作用标准值的计算方法。
- GB50011等效侧力法地震作用计算，采用地震影响系数最大值，**与建筑结构的固有频率没关系**。GB/T51369地震作用计算**既与建筑结构的固有频率有关，也与设备的固有频率有关**。

规范	水平地震影响系数最大值	功能系数	楼层放大系数	类别系数	状态系数	地震作用标准值
GB50011	$\alpha_{\max}$	1.4	2	1	2	$5.6 \alpha_{\max} G$
GB/T51369	水平地震影响系数 α	重要性系数	楼层放大系数	设备反应倍率		地震作用标准值
	$0.1 < T < T_g: \alpha_{\max}$					$10.8 \alpha_{\max} G$
	$T = 2T_g: 0.5359 \alpha_{\max}$					$5.79 \alpha_{\max} G$
	$T = 5T_g: 0.2349 \alpha_{\max}$					$2.54 \alpha_{\max} G$

✓ 本体抗震设计指标

- 国内：GB/T51369第3.3.2条规定了通信设备的固有频率不应小于2.8Hz。
- 国外：**美国GR-63标准**要求通信设备**位移小于75mm**，**固有频率应大于2Hz**，**建议大于6Hz**；**日本NTT标准**要求通信设备**位移小于50mm**。

13.2.3 采用等效侧力法时，水平地震作用标准值宜按下列公式计算：

$$F = \gamma \eta \xi_1 \xi_2 \alpha_{\max} G \quad (13.2.3)$$

式中： F ——沿最不利方向施加于非结构构件重心处的水平地震作用标准值；

γ ——非结构构件功能系数，由相关标准确定或按本规范附录M第M.2节执行；

η ——非结构构件类别系数，由相关标准确定或按本规范附录M第M.2节执行；

ξ_1 ——状态系数：对预制建筑构件、悬臂类构件、支承点低于质心的任何设备和柔性体系宜取2.0，其余情况可取1.0；

ξ_2 ——位置系数，建筑的顶点宜取2.0，底部宜取1.0，沿高度线性分布；对本规范第5章要求采用时程分析法补充计算的结构，应按其计算结果调整；

$\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值；可按本规范第5.1.4条关于多遇地震的规定采用；

G ——非结构构件的重力，应包括运行时有关的人员、容器和管道中的介质及储物柜中物品的重力。

M.3.2 采用楼面反应谱法时，非结构构件的水平地震作用标准值可按下列公式计算：

$$F = \gamma \eta \beta_n G \quad (M.3.2)$$

式中： β_n ——非结构构件的楼面反应谱值，取决于设防烈度、场地条件、非结构构件与结构体系之间的周期比、质量比和阻尼，以及非结构构件在结构的支承位置、数量和连接性质；

γ ——非结构构件功能系数，取决于建筑抗震设防类别和使用要求，一般分为1.4、1.0、0.6三档；

η ——非结构构件类别系数，取决于构件材料性能等因素，一般在0.6~1.2范围内取值。

4.2.1 安装在建筑物楼面上的通信设备，其抗震设计的水平地震作用计算应符合下列规定：

1 水平地震作用应按下列公式计算：

$$F_H = k_1 k_2 \left(1 + 2 \frac{h}{H} \right) \alpha G \quad (4.2.1-1)$$

式中： F_H ——水平地震作用标准值(N)；

k_1 ——设备重要度系数；

k_2 ——设备对楼面的反应系数；

h ——设备所在楼面的地上高度(m)；

H ——建筑物地上总高度(m)；

α ——相应于建筑物基本自振周期的水平地震影响系数

G ——设备等效总重力荷载，可取其重力荷载代表值的75%(N)。

3 设备对楼面的反应系数，根据设备的自振周期 T_n (s)、自振频率 f_n (Hz)按图4.2.1-1曲线确定。自振周期 T_n (s)、自振频率 f_n (Hz)在特殊点的反应系数按表4.2.1-2的规定确定。

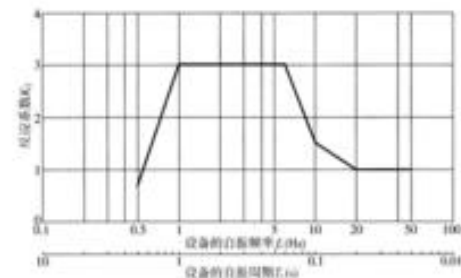


图 4.2.1-1 设备对楼面的反应系数

注：图中设备的阻尼比取0.03。

6 地震影响系数曲线按图4.2.1-2采用。

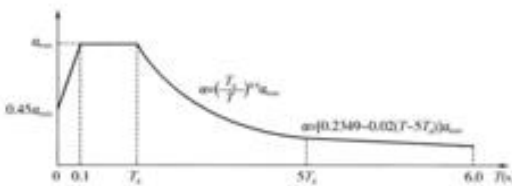
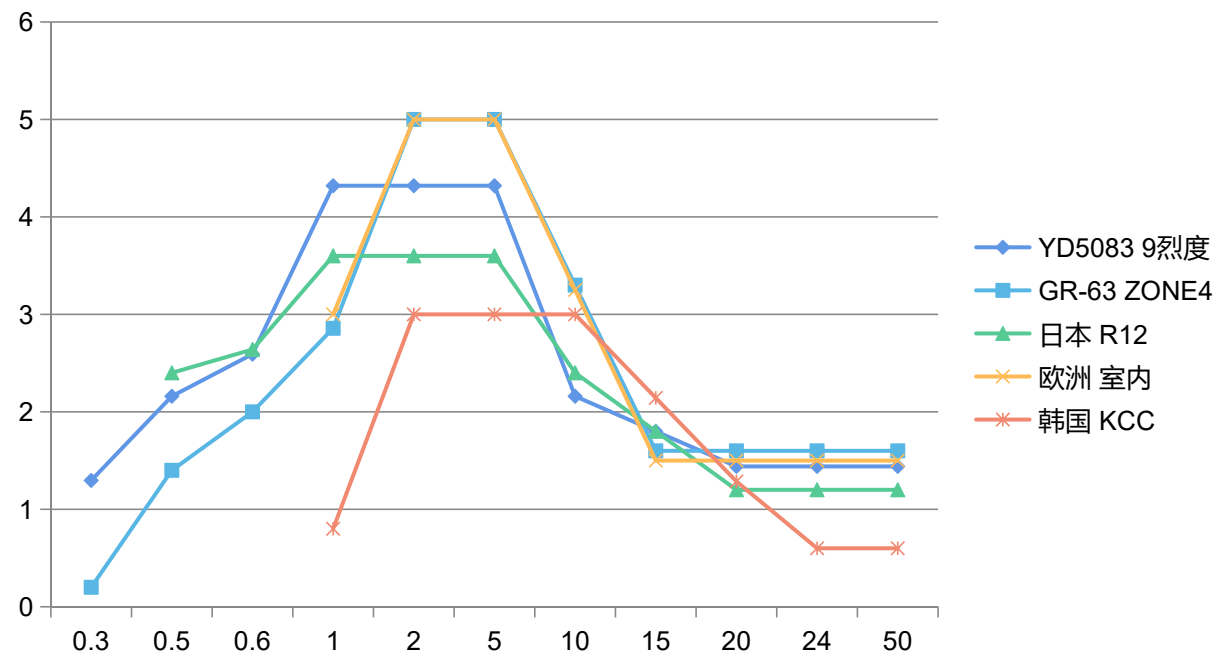


图 4.2.1-2 地震影响系数曲线

α ——地震影响系数； $\alpha_{\max}$ ——地震影响系数最大值； T ——建筑结构自振周期； T_g ——特征周期；注：图中结构的阻尼比取0.03。

IDCC INTERNET DATA CENTER CONFERENCE **[解码]** DECODING SUSTAINABLE DEVELOPMENT 可持续发展



结果评定

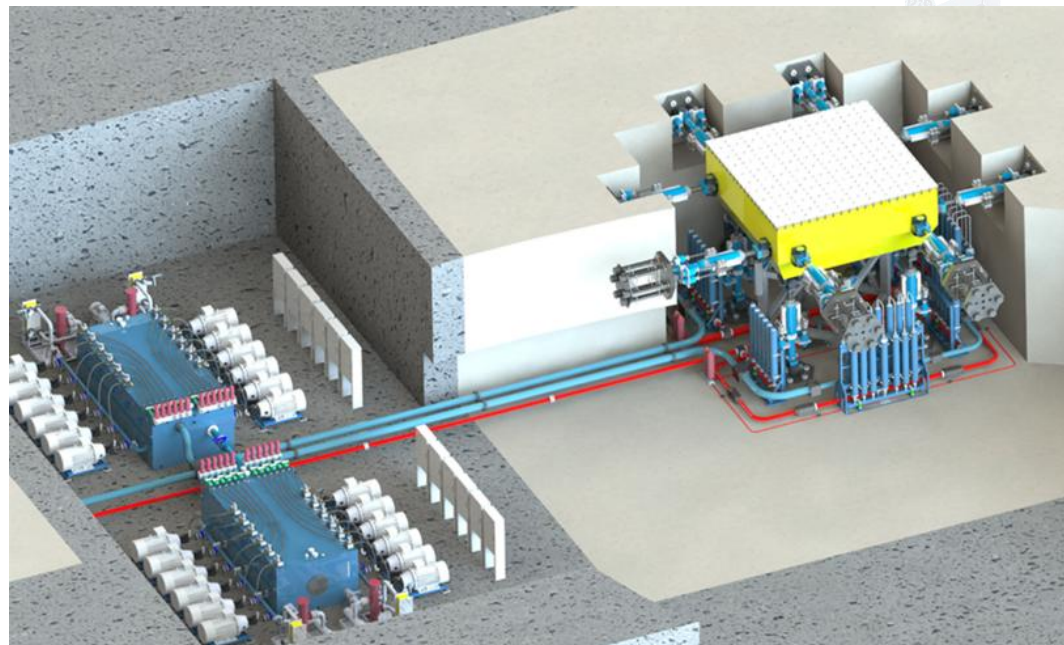
- 均要求在测试前后或测试中要求功能正常；
- 北美、韩国和日本对抗震过程中对于机柜类设备有位移要求。

二、国家防震减灾政策及技术发展—通信设备抗震

IDCC

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

- ✓ 内容——设备结构抗震性能，功能性能测试；
- ✓ 系统——地震台系统建成1套，在建1套 (5M*5M)
- ✓ 满足中国、日本、北美、欧洲、大洋洲电信设备抗震测试要求及完成标准覆盖；
- ✓ 通信设备测试系统——通信用交换、传输、电源、空调、基站、服务器、卫星天线、工业互联网
- 建筑用电源、空调、大屏幕测试系统——电力、通信、核电、建筑用电源
- 医疗设备测试系统——CT、核磁等
- 核电设备测试系统——DCS、核仪表；



二、国家防震减灾政策及技术发展—通信设备抗震



检测过程中设备倾倒，
蓄电池架变形。

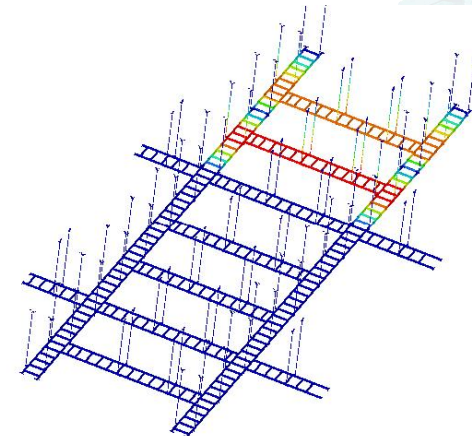
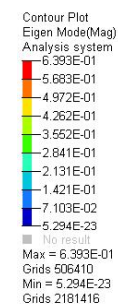
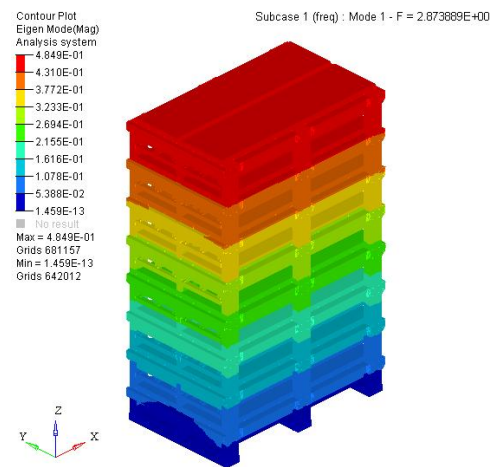
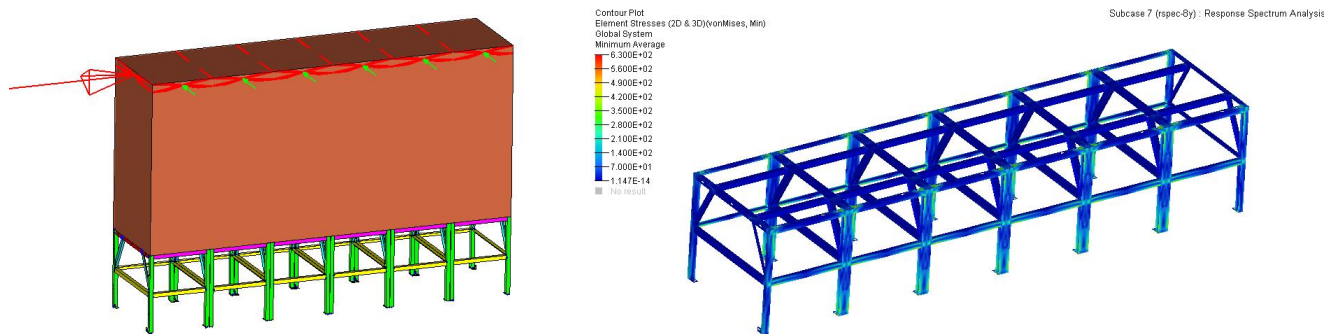


配电柜设备模块损坏，
结构变形。



电池架、对地安装处、
电池间连接条均发生了
严重变形。

二、国家防震减灾政策及技术发展—通信设备抗震



大量的通信设施抗震，呈现出较多问题：

- 1 数据中心微模块底座承载力重、属于高柔结构，底部容易出现断裂；
- 2 数据中心蓄电池系统大质量、底部螺栓断裂和脱离；
- 3 走线架地震下变形，造成光缆和电缆破坏。

输入文字

1

地震灾害形式与数据中心发展

2

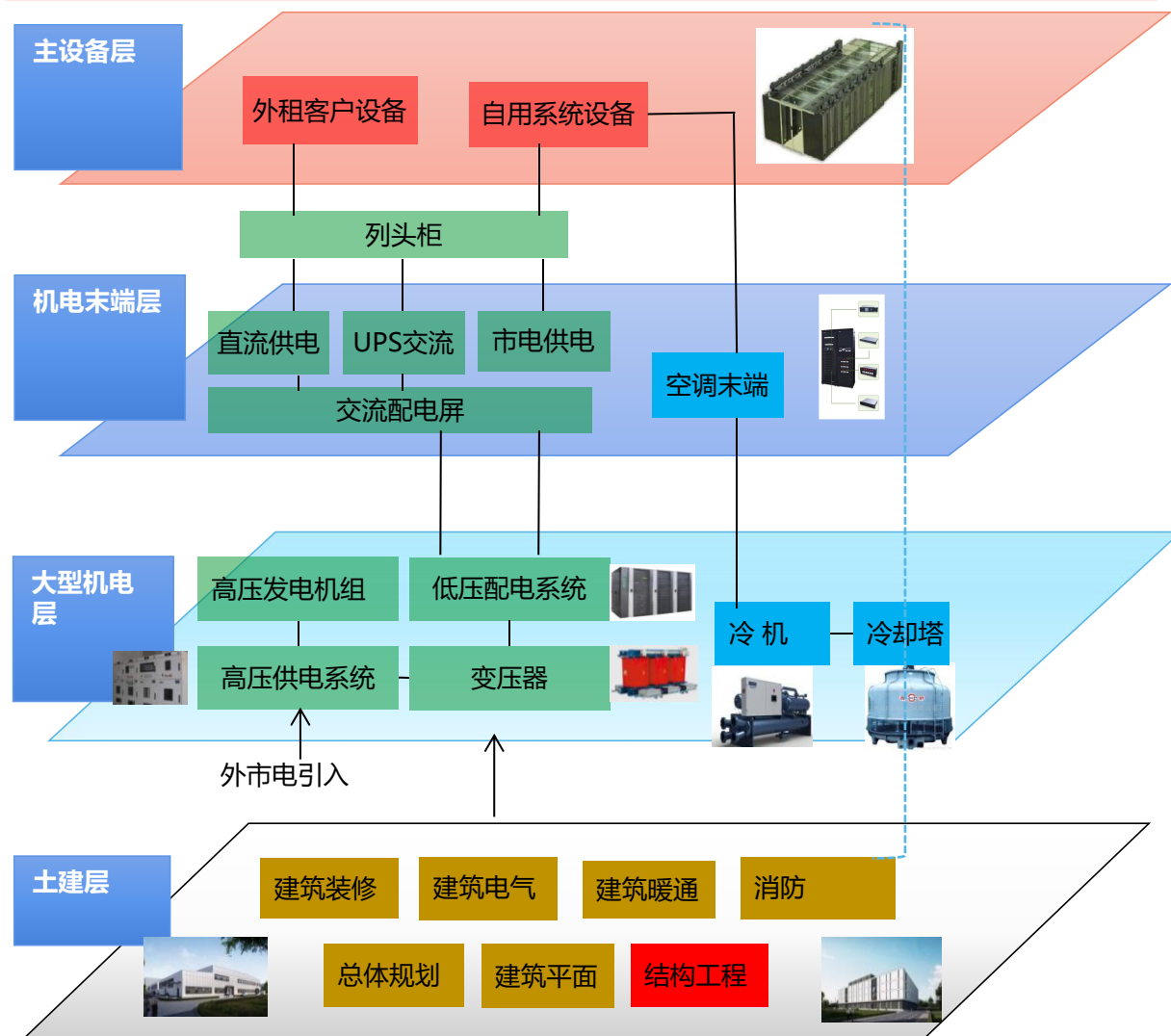
国家防震减灾政策及技术发展

3

数据中心抗震现状及主要对策

三、数据中心抗震现状及主要对策

- 数据中心作为重要信息基础设施，包括四个层次，**土建层、大型机电层、机电末端层和主设备层**，每个层次的设计都对数据中心最终的建成效果和运行效率有很大影响。



□ 中国标准

➢ 建筑结构类

《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223-2008)

《建筑结构抗震设计标准》(GB50011-2012)

➢ 设备类

GB 501369-2014 信息通信设备安装抗震设计标准

YD 5059 电信设备安装抗震设计规范

□ 美国标准

➢ 建筑结构类

IBC2021 International Building Code

ASCE7-14 ASCE(7-16)-Minimum Design loads and Associated Criteria for Buildings and other structures(2017)

➢ 数据中心等级

TIA-942-B-2017 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Center

GR-64-CORE NEBS™ Requirements: Physical Protection

□ 日本标准

➢ 建筑结构类

《日本建筑基本法》

➢ 设备类

日本建设设备安装抗震设计规范

三、数据中心抗震现状及主要对策

结构设计

安装抗震

设备

设防目标

按50年超越概率10%
(2/3MCE地震)
地震后建筑正常工作

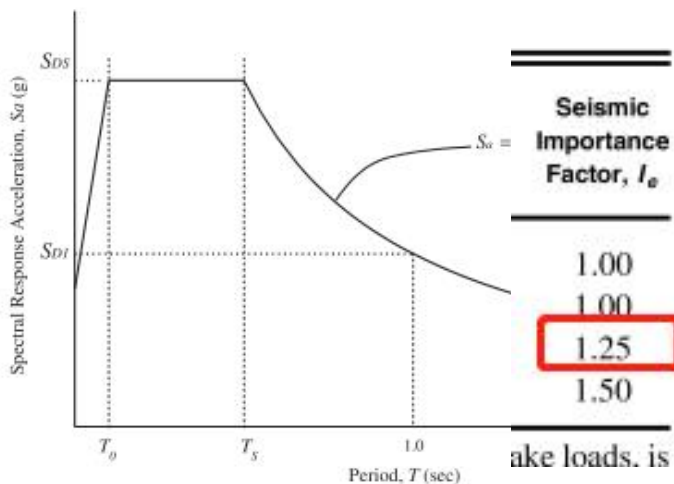


FIGURE 11.4-1 Design Response Spectrum

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad D_{pl} = D_p I_e$$

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \quad (13.3-)$$

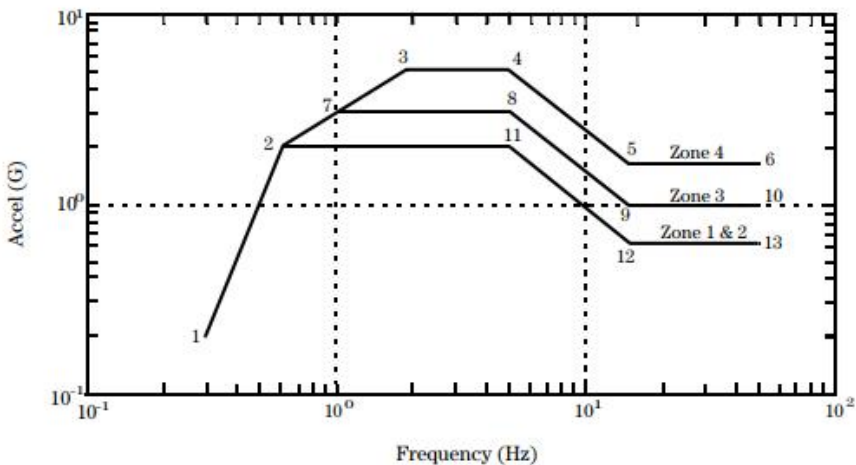
F_p is not required to be taken as greater than

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad (13.3-)$$

and F_p shall not be taken as less than

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_p W_p \quad (13.3-)$$

按50年超越概率2%考虑地震作用 (MCE地震)



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。

地震作用

评价体系

设备抗震

1.5

·震度7 一对主要构造不产生致命损伤

三、数据中心抗震现状及主要对策

建筑结构

安装

设备抗震

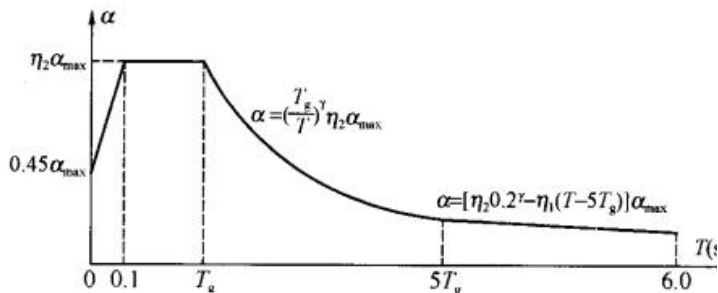
设防目标

GB50011

按50年超越概率10%
地震后建筑正常工作

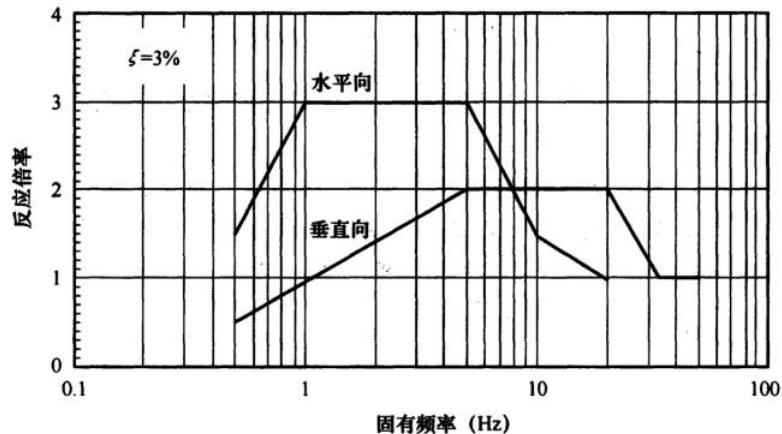
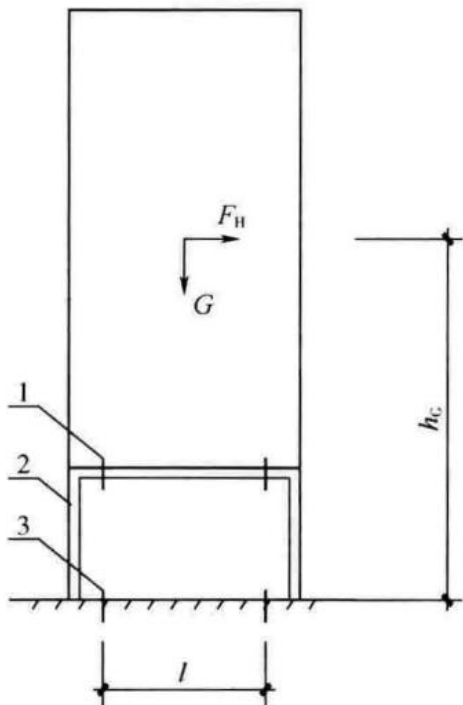
$$F_H = 1.5k_1 \left(1 + 2 \frac{h}{H}\right) \alpha_{\max} C$$

地震作用



评价体系

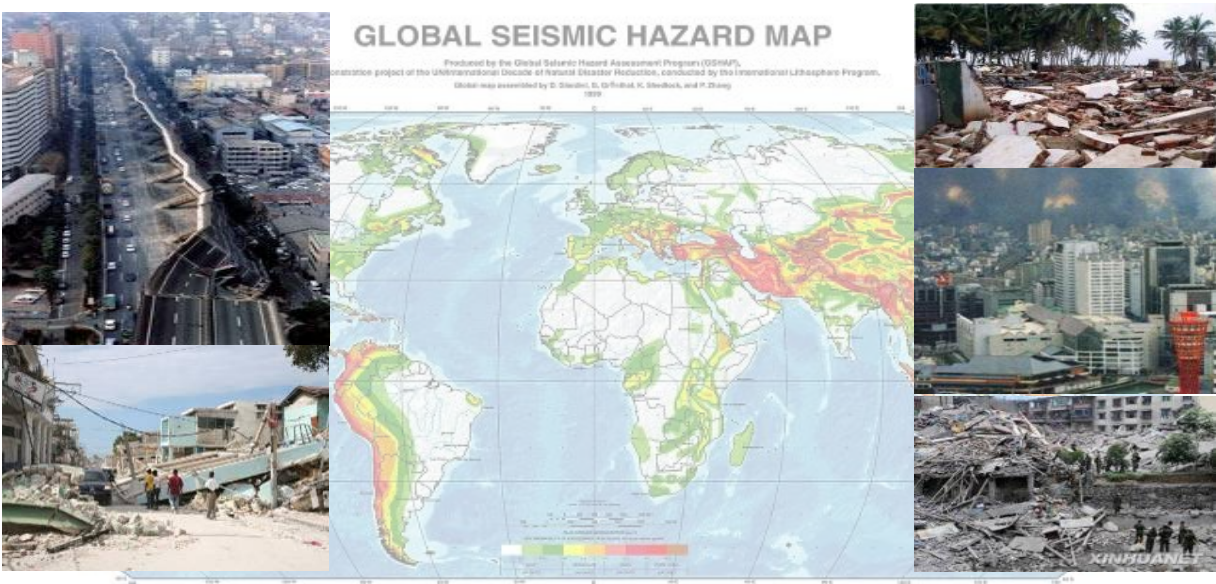
工程评价——变形+破坏



判定规则

- 设备都不得出现零件、组件的脱离、脱落和分离等机械损坏，如门或覆板不应打开或脱落，电路板卡、功能模块不能移位或甩出等。
- 设备承载的主体结构不得出现损坏或连接失效等永久性结构破坏，如立柱弯曲、底座变形、断裂和固定螺栓或紧固件失效。
- 设备对地安装锚固或安装紧固部位不得破坏。设备不得倾倒。
- 通信设备按送检地震烈度考核前后，应处于正常运行状态，各项技术性能指标符合相关通信设备抗地震性能检测标准的具体规定。

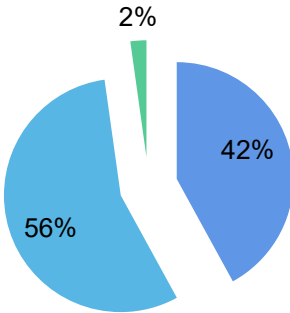
三、数据中心抗震现状及主要对策



	标准信息
设计类	GB50011-2016建设抗震设计规范 GB50174-2019数据中心设计规范 YD/T5054-2019通信建筑抗震设防分类标准 GBT 51369-2019通信设备安装工程抗震设计标准 GB 50981-2014 建筑机电工程抗震设计规范
图集类	YD/T5060-2019通信设备安装抗震设计图集
检测类	YD5083 《电信设备抗震性能检测》

数据中心投入

■ 建筑投入 ■ 设备投入 ■ 其他



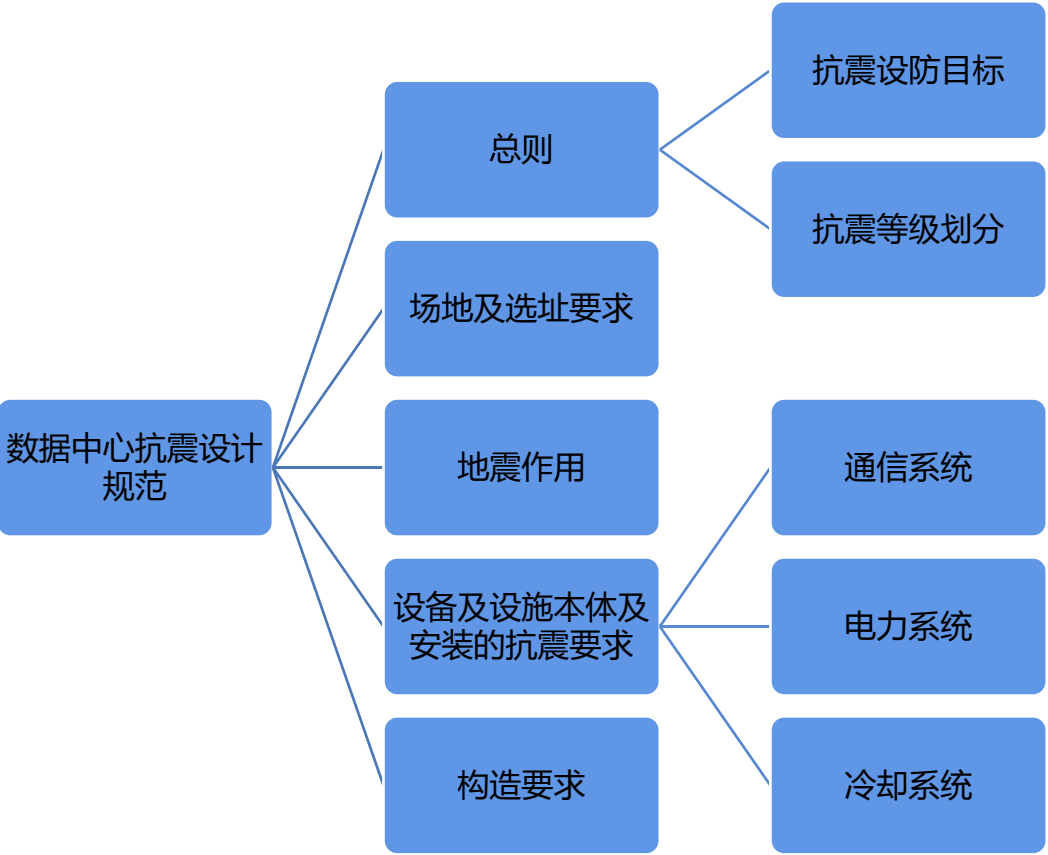
数据中心建筑结构——抗震设计——施工管理——保障抗震性能

数据中心信息通信系统——单体抗震检测——部分满足安装抗震设计

数据中心机电系统——安装有抗震设计（部分执行）——无抗震检测

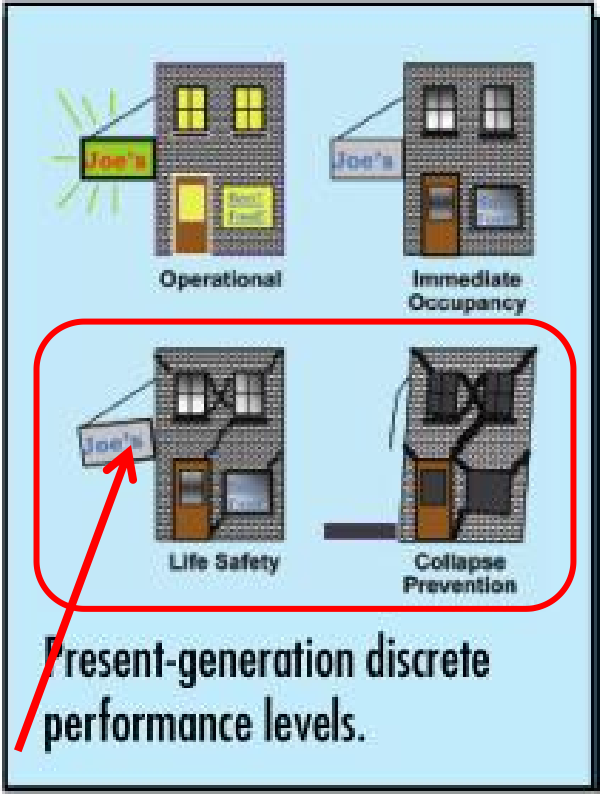
数据中心其他系统（消防、监控）——安装有抗震设计（部分执行）——无抗震检测

三、数据中心抗震现状及主要对策



结合国内数据中心调研，数据中心工程抗震存在以下问题：

- 一是缺乏完善的数据中心内装设备和设施抗震设计方法；
- 二是缺乏建成的数据中心工程的抗震评估技术；
- 三是缺乏提升数据中心内装设备和设施本体和安装工程抗震能力的关键技术；
- 四是不断完善大型数据中心内装设备设施抗震试验技术；
- 五是在地震高烈度区，缺乏提高抗震能力的减隔震技术。



数据中心建筑结构——抗震设计——
保证建筑结构不倒塌和人身安全

数据中心系统的抗震设防目标及目标
量化：

- 1 数据中心功能完全正常；
- 2 部分损坏，可立即使用；
- 3 大部分损坏，系统功能失效，但保障人身安全（基本实现）；
- 4 结构不发生倒塌（已经实现）。

	完全正常	立即使用	人身安全	不倒塌
常遇地震	a	o	o	o
设防地震	d	b	o	o
罕遇地震	f	e	c	o
基本目标：a+b+c				
增强目标：d+e；				
极限目标：f				

评估方法

工程

概率风险

经济

数据中心抗震等级评估

建筑结构、设备安装、设备抗震三个层次抗震评估；

《数据中心抗震等级评估方法》；

本体抗震——检测规范

工程抗震——设计、施工、验收规范

数据中心地抗震韧性评估

参考ASTM P-58 韧性评估；
《数据中心抗震韧性评估方法》；



数据中心地震最大损失评估

参考ASTM E2026A 地震最大损失评估方法；

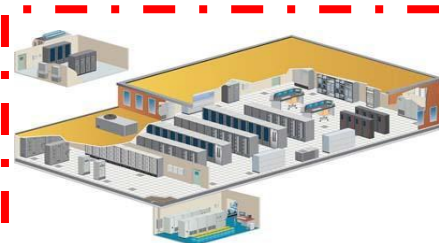
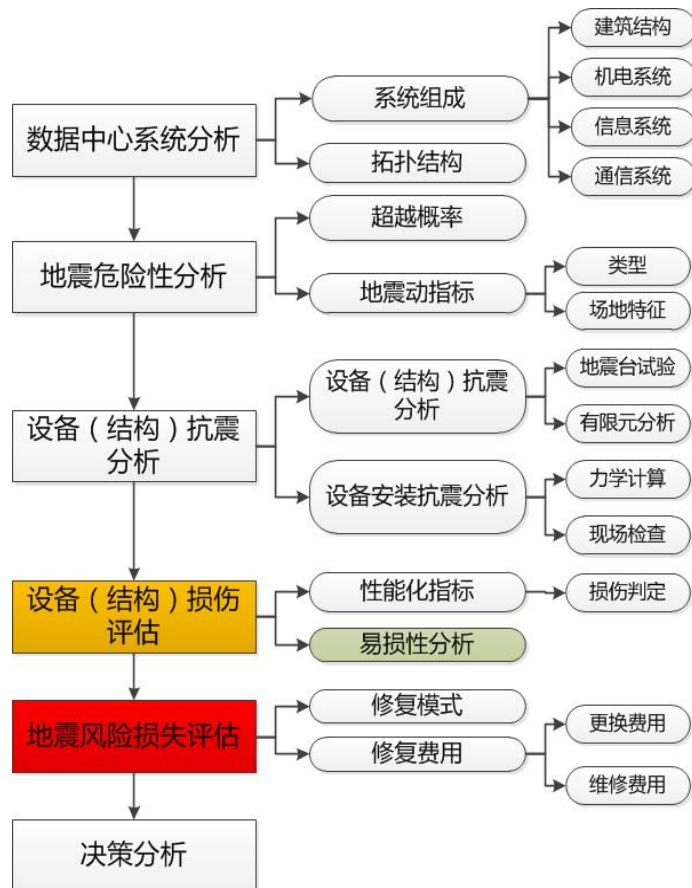
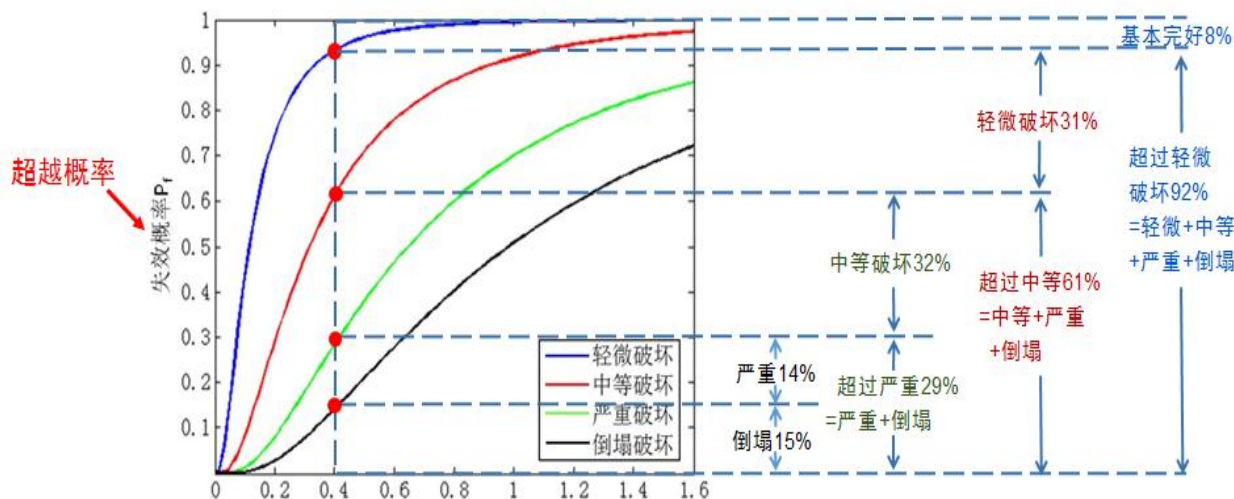
《数据中心抗震PML评估方法》；



三、数据中心抗震现状及主要问题

□ 在不同强度(从小到大)地震作用下, 结构达到或超过某种极限状态(Limit State, LS)的概率, 它描述了结构的所有极限状态(轻、中、重、毁)的概率分布, 通过易损性曲线或易损性矩阵表示。

□ 地震易损性曲线——累积概率分布函数曲线, 描述超越概率。



- 1 建筑、设备的种类和数量;
- 2 投资情况;
- 3 功能和作用

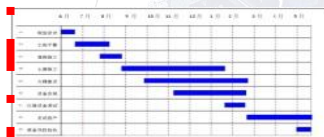
地震易损性数据库



人员伤亡



经济损失



恢复时间



第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

IDCC

INTERNET DATA CENTER CONFERENCE [解码] 可持续发展

DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT

第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

THANKS

主办单位：中国IDC产业年度大会组委会

承办单位：中国IDC圈

支持单位：中国通信工业协会数据中心委员会、云计算发展与政策论坛用户委员会、
宁夏东数西算产融研究院、中科新基建产融研究院

