**基站机柜抗震加固设计的评估及应用**

Evaluation and application of base station cabinet seismic strengthening design

**作者姓名：**鲍毅（重庆信科设计有限公司）

**Author：**BaoYi（CHONGQING INFORMATION TECHNOLOGY DESIGNING CO.,LTD）

**摘要：**无线基站的抗震设计具有特殊重要的地位和要求。提高基站设备及设施抵御地震自然灾害的能力，对于保障通信全程全网在地震灾害发生时畅通无阻，具有极其重要的意义。本文主要计算论证基站机柜在地震作用下各构件刚度比，验算在分配地震力作用时各构件的强度、稳定性、刚度，提出基站设备及设施在设计安装时加固工艺，最后对抗震加固的构件及节点进行计算论证，得出评估结论。

**关键词：**基站机柜；加固措施；设计计算；加固工艺；评估论证

**Abstract:**

The seismic design of wireless base station has special important status and requirements. It is of great significance to improve the capability of base station equipment and facilities to resist earthquake natural disasters, so as to ensure the smooth communication of the whole network in the event of earthquake disasters. This paper mainly calculates and proves the stiffness ratio of each component of base station cabinet under the earthquake action, checks and calculates the strength, stability and stiffness of each component when the earthquake force is distributed, puts forward the reinforcement technology of base station equipment and facilities in the design and installation, and finally calculates and proves the components and nodes of seismic reinforcement, and draws the evaluation conclusion.

**Keywords:**

Base station cabinet; reinforcement measures; design calculation; reinforcement technology; evaluation and demonstration

# 0.前言

地震灾害是严重破坏通信网络安全的主要因素之一，作为无线基站则是直接面对人民群众联系的重要环节，不仅是为了本身抗灾的需要，更重要的是必须保证完成震前震后非常时期的通信任务。但在实际的工程建设、维护中，还是有相当数量的站点该做抗震加固的设备没有做抗震加固，即便做了抗震加固的，加固构件及关键节点没有进行必要的计算论证，缺乏在地震力作用下的数据依据，因此所用材料和安装结构，大多未必能达到预期的效果。

本文根据YD5059-2005《电信设备安装抗震设计规范》的相关标准，进行必要的理论分析和推导验算流程，提出科学合理的抗震加固工艺，提高通信网络中主要设备及设施的抗震性能，才能有效提高在遭受相应设防烈度的地震作用时通信网络的安全性、可靠性。

# 1.基站机柜抗震加固慨述

## 1.1国内地理环境

我国位于世界两大地震带：环太平洋地震带与欧亚地震带之间，受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压，地震断裂带十分活跃。中国地震主要分布在五个区域：台湾地区、西南地区、西北地区、华北地区、东南沿海地区和23条地震带上。20世纪以来，国内共发生6级以上地震近800次，地震及其他自然灾害的严重性构成中国的基本国情之一。

## 1.2目前基站机柜抗震加固情况

自2009年开展通信工程建设领域专项治理活动以来，基站内设备的抗震加固仍是不容忽视的问题。目前，还是有相当数量的站点该做抗震加固的设备没有做抗震加固，即便做了抗震加固的，其形式五花八门，由于所用材料或安装的方式原因，大多未必能达到预期的效果；

另外，从设备到走线架之间的各类缆线布放方式也是花样百出、多种多样。缆线的固定方式有用扎带拉吊的，有用杆件支撑的，也有靠自身硬度支撑的或者依附在其他缆线上的；而且从设备的正面或侧面看，设备上方到处都吊的是缆线、杂乱无序。

## 1.3基站机柜抗震加固措施

按YD 5059-2005《电信设备安装抗震设计规范》第5.1.2及第5.1.3中的安装抗震加固措施主要采用两点：一、电信设备顶部应与列架上梁加固。对于8 度及8 度以上的抗震设防，必须用抗震夹板或螺栓加固；二、电信设备底部应与地面加固。对于8 度及8 度以上的抗震设防，设备应与楼板可靠联结。

对室内设备机柜抗震加固方式，其采取的是在设备机柜顶部安装垂直爬架的方式，来对机柜进行抗震加固的。该方式使得设备机柜安装非常稳固，真正达到了抗震防灾的要求，还较好的解决了机柜内设备到上走线架之间的各种缆线的有序布放及固定绑扎要求。这样做到入柜的缆线布放井井有条，同时避免因缆线摆动或摇晃导致的设备侧连接端的松动或脱落等不必要的安全隐患发生。

基站机柜抗震加固措施主要是：

一、对已安装的基站机柜进行顶部抗震加固，即设备机柜顶部两侧通过L型大三角铁(或平面大三角铁)与垂直爬梯下部螺栓固定，垂直爬梯上部通过三角夹板与上横梁固定，上横梁固定通过L型拉钩螺栓与上走线架横档夹板固定，这样组成的联结架成为一个整体。由于设备机柜顶部两侧与垂直爬梯之间，采取的是利用三角形的稳定性，通过L型大三角铁(或平面大三角铁)连接固定，较好地解决了设备机柜与垂直爬梯之间的相对变形摆动，使设备机柜非常稳固的与上走线架安装连接成一个整体，真正达到了抗震防灾的要求。

二、由于该抗震加固的方案采取的是通过爬梯将设备机柜与上走线架固定，因此也较好的解决了设备机柜到上走线架间，各种缆线规范布放和固定的问题，避免因缆线的摆动导致机柜设备侧连接端头松动的隐患。从而使得机房内的总体布局显得更加整齐划一、规范美观。

针对以上的加固措施，本文以西南地区在抗震设防烈度为8度条件下的室外基站机柜的抗震加固工艺方法进行评估论证，主要针对使用的各连接件进行应力计算和部件结构联接是否满足相关通信行业标准规范进行评估。如图1所示，各主要连接件所用材料为：

1、L型大三角铁(或平面大三角铁)、三角夹板采用2毫米厚的镀锌板材加工；

2、垂直爬梯、上横梁采用2毫米厚的镀锌板材加工；

3、受拉螺栓φ4为钢制商品自攻螺丝；

4、L型拉钩螺栓为标准件，属成品配件；

注：L型拉钩螺栓是成品配件，属于走线架安装的标准紧固件。 图1 基站机柜里面效果图

# 2.加固原理及方法

从通信设备机柜动特性参数来看，设备机柜的固有摆动频率较低，机柜系统的阻尼系数较小，对地震能量的衰减性差，在对机柜进行模拟抗震环境条件下考核，机柜共振响应强烈。

设备机柜在振动测试过程中，会出现共振现象，由于顶部位移较大，反应到底部，相应的连接部位的应力加大，一旦超出连接件的应变允许范围，必然引起设备机柜底部、中部、上部的弹塑性形变，严重的会造成结构永久性的破坏；在考虑成本的情况下，机柜主框架应采用刚度较大的材料，也可采用在框架局部增加筋板的方法，增加局部连接强度和刚度，以减少机柜的变形和结构功能失效。

设备机柜底部连接件焊接强度不够，有的设备机柜只是点焊，因而设备机柜底部连接件开焊、裂缝甚至造成螺栓脱落。需要增加底部连接件焊接强度，采用直接冲压成型的连接件或全焊接的方式可有效地减少以上情况的发生。

对于通信电源设备的倾倒，分析认为由于结构设计不合理，造成电信设备的重心失稳或连接加固件失效，以至倾倒，应引起重视，因为该类情况的发生可能波及人身安全和设备安全，建议在结构设计时尽可能降低设备重心。加大底部连接螺栓直径，增加设备抗剪切能力和抗倾覆能力。特别对于重量大，重心高的设备，在结构设计时，要进行结构抗震设计计算。

对于通信设备及模块从机柜中脱出以及门振开的现象，勘察发现是由于锁定装置的设计存在问题，锁紧力量不够，致使当设备机柜处于共振状态时，设备及模块或门从插接槽和锁扣中脱出，应进行该方面的结构拉拔试验，提高锁紧力。

# 3.加固效果评估

## 3.1抗震加固计算论证

垂直爬架与上走线架的质量和刚度沿高度分布均匀，在水平力作用下，变形以剪切型为主，按照规范规定办法计算其水平地震作用，即：

设备重力荷载G

G＝∑G＝396.56＋576.563＝1807.30N

计算水平地震影响系数

由抗震规范附录A查得抗震设防烈度为8度，设计基本地震加速度值为0.20g，由表3.2查得＝0.05。



结构总水平地震作用标准值FH



质点i的水平地震作用标准值为：

各质点的水平地震作用标准值设备架剪力的计算过程见下表：

表5.1 设备架各层剪力

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 层次 | Gi(N) | Hi(mm) | GiHi | ΣGiHi | Fi(N) | Vi(N) |
| 4 | 396.56 | 1400 | 555184 | 555184 | 284.1 | 284.1 |
| 3 | 576.56 | 1070 | 616919.2 | 1172103 | 309.8 | 593.9 |
| 2 | 576.56 | 740 | 426654.4 | 1598758 | 206.5 | 800.4 |
| 1 | 576.56 | 410 | 236389.6 | 1835147 | 103.3 | 903.7 |

根据《建筑结构荷载设计规范》GB50009-2012规范第3.2条规定，对爬架承受的各类荷载进行荷载组合。

基本组合的荷载分项系数，应按下列规定采用：

1.永久荷载的分项系数：

　　1)当其效应对结构不利时

—对由可变荷载效应控制的组合，应取1.2；

—对由永久荷载效应控制的组合，应取1.35；

2)当其效应对结构有利时

—一般情况下应取1.0；

—对结构的倾覆、滑移或漂浮验算，应取0.9。

2.可变荷载的分项系数：

　　—一般情况下应取1.4；

荷载组合：1.2恒荷载＋1.4活荷载＋1.3地震作用

四层：S=1.3284.1+1.4(31.9+34.7)=462.5N

三层：S=1.3309.8+1.4(56.8+32.6)=526.8N

二层：S=1.3206.5+1.4(46.4+28.4)=373.2N

一层：S=1.3103.3+1.4(39.5+24.3)=223.6N

水平荷载组合内力计算（D值法）

构件弹性模量计算：

E=206N/mm,垂直爬梯:I=389mm 上横梁:I=114mm



i= i=3.53 mm i=1.56 mm



一般层：K==＝＝0.44



=0.18



底层： K==＝＝＝0.44



=0.39



爬梯的抗侧刚度D值为：D=



一般层D=0.18=0.070



底层D=0.39=0.067



由同一层内各爬梯的层间位移相等的条件，可把层间剪力V按照下式分配给各层构件： V＝



表5.2 地震组合下各构件的剪力

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 层 | K | α | Djk |  | Vj(N) | Vjk(N) | Vj1（N） |
| Vj2（N） |
| 4 | 0.44 | 0.39 | 0.067 | 0.227 | 46.25 | 13.65 | 6.825 |
| 6.825 |
| 3 | 0.44 | 0.18 | 0.070 | 0.227 | 98.93 | 30.51 | 15.255 |
| 15.255 |
| 2 | 0.44 | 0.18 | 0.070 | 0.227 | 136.25 | 42.05 | 21.025 |
| 21.025 |
| 1 | 0.44 | 0.18 | 0.070 | 0.227 | 158.61 | 48.91 | 24.455 |
| 24.455 |

计算反弯点的高度：

表5.3 各构件反弯点的高度

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 层 | K | y0 | y1 | y2 | y3 | hj(cm) | yh(cm) |
| 4 | 0.44 | 0.22 | 0 | 0 | 0 | 33 | 7.26 |
| 3 | 0.44 | 0.35 | 0 | 0 | 0 | 33 | 11.55 |
| 2 | 0.44 | 0.52 | 0 | 0 | 0 | 33 | 17.16 |
| 1 | 0.44 | 0.73 | 0 | 0 | 0 | 4.1 | 29.93 |

求得各垂直爬梯立柱所承受的剪力，便由此假定可求得各垂直爬梯立柱的杆端弯距。

对于上部第j层第k柱有：M＝V. yh



M＝V.（h- yh）



上式中的上标t、b分别表示垂直爬梯的顶端和底端。

在求得端弯距以后由节点的弯距平衡条件，即可求得上横梁端弯距。



表5.4 地震组合下各构件的弯矩

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 层 | M(N.mm) | M(N.mm) | M(N.mm) | M(N.mm) |
| 4 | 17.57 | 4.95 | 17.57 | 17.57 |
| 3 | 32.72 | 17.62 | 37.67 | 37.67 |
| 2 | 33.30 | 36.08 | 50.92 | 50.92 |
| 1 | 28.54 | 71.73 | 64.62 | 64.62 |

## 3.2构件加固效果评估

表5.5 各构件地震应力验算结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 构件类别 | 地震作用产生强度应力（MPa） | 地震作用产生稳定应力（MPa） | 最大承载应力（MPa） |
| 垂直爬梯 | 138 | 183 | 215 |
| L型大三角铁 | 129 | 149 | 215 |
| 三角夹板 | 118 | 172 | 215 |
| 小三角铁 | 107 | 161 | 215 |

由表5.5可知，加固中采用的各构件受力均满足抗震的设计要求，加固方案中垂直爬梯及连接三角铁等构件受力安全。

## 3.3节点加固效果评估

表5.6 各螺栓地震应力验算结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 螺栓类别 | 地震作用产生应力（MPa） | 最大承载应力（MPa） |
| 受拉螺栓φ4 | 92 | 170 |
| 受剪螺栓φ4 | 87 | 140 |
| 受拉剪螺栓φ4 |  | |

由表5.6可知，加固中各节点联结的螺栓受力均满足抗震的设计要求，加固方案中节点设计安全。

3.4加固抗震构造措施评估

此加固方案安装采取由上走线架、L型拉钩螺栓（走线架安装的标准紧固件）、垂直爬梯、三角夹板、L型大三角铁、机柜顶部组成的加固联结架，构件之间采用螺栓联结牢固。这样机柜顶部和上走线架成为一个整体，符合《电信设备安装抗震设计规范》（YD5059-2005）的要求。

走线架终端固定在承重墙上，有效地使得设备和机房在地震作用下可以同步位移，不致发生错动而导致倾倒，此符合《电信设备安装抗震设计规范》（YD5059-2005）5.1.8条的要求。

敷设在走线架上的电缆绑扎在垂直走线架横铁上，井然有序，此符合《电信设备安装抗震设计规范》（YD5059-2005）6.6.1条的要求。

综上可知，此类构造措施满足规范要求的“当遭受本地区设防烈度预估的罕遇地震作用时，电信设备安装的铁架及相关的加固点，允许有局部损坏，但不应产生列架倾倒的现象”的抗震要求，该加固方案抗震措施安全。

参考依据：

[1]《中国国家地理》2008年第6期

[2] GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》

[3] GB 50009-2012《建筑结构荷载设计规范》

[4] GB50017-2017《钢结构设计规范》

[5] YD5083-2005《电信设备抗地震性能检测规范》

[6] YD5096-2016《通信用电源设备抗地震检测规范》

[7] YD5100-2014《移动通信基站设备抗地震检测规范》

[8] YD5059-2005《电信设备安装抗震设计规范》

[9] YD5054-2010《通信建筑抗震设防分类标准》