

互联网数据中心机房加固设计及应用

□ 胡桂彬 姚云龙 江彩云 苏鹤善

[摘要] 为了较为经济地解决建设互联网数据中心机房的现实需求，以南宁市某办公楼局部区域改造为互联网数据中心机房项目为例，对项目实施过程中遇到的规范更新、房屋用途变化等问题进行计算分析，同时提出可行的设计思路和便捷的改造加固方案，为今后类似工程提供参考。

[关键词] 互联网数据中心；既有建筑；改造加固

在“十四五”规划的背景下，政府、企业搭建网络服务器系统的需求越来越多，因此各省通信运营商积极建设互联网数据中心机房（Internet Data Center，简称IDC机房）。一般情况下，运营商是在自有土地上建设数据中心机房，而整个项目周期2年~5年，难以满足新形势下政府和企业对IDC机房的紧迫需求，并且随着城市化的发展，在市区内难以购买到合适的工业用地，不便于客户维护。此时租赁既有建筑改造为IDC机房成了一种选择，而改造项目受限因素多、施工难度大，往往比较被动，如按行业惯例对租赁的房屋进行整体、长期使用要求的改造加固，十分不经济，条件不符合现实要求。因此需研究对房屋进行特定局部区域、临时性的改造设计方法，以确保建筑的安全性，同时降低项目造价和改造难度。

1 工程概况

1.1 建设需求

2020年末，广西某运营商急需半年内在南宁建设完成一个面积约2000m² IDC机房以承接可预见的通信业务。根据《通信建筑工程设计规范》要求，IDC机房为生产性机房、重要的通信建筑、重点抗震设防类别、一级结构安全等级、空间通透，设备所在层楼面活荷载值为6KN/m²~16KN/m²，机房使用年限不小于20年。根据以上需求选择了商务区1栋办公楼的1楼部分区域进行核实改造^[1]。

1.2 建筑概况

该办公楼建设时间为2015年，由主楼和裙楼组成。主楼高度为65.65m，16层，框架—剪力墙结构；裙楼高度为12.85m，3层，框架结构。上部结构正下方

区域为平战结合人防地下室。结构的平、立面布置规则，传力途径简捷、明确，竖向构件连续贯通、对齐，改造区域主要柱网轴距为8.4m×8.4m。

主楼区域的基础形式为人工挖孔灌注墩（桩）基础，其他区域为独立基础。

抗震类别为标准设防，设防烈度为6°，地震分组一组，场地类别为Ⅱ，按6°采取抗震措施，人防地下室设防等级为常6级、核6级。基本风压为0.35KN/m²，地面粗糙度为C类。

一层原设计用途为营业厅、会议室，设计施工活荷载值为5.0KN/m²。

经现场勘察发现，房屋外观质量良好，承重构件无开裂、无加层改扩建的情况，墙体无开裂、抹灰层脱落、无结构构件钢筋锈蚀痕迹等现象，仅部分区域天花板有渗水痕迹。

建筑外轮廓情况及机房所在层如图1所示，IDC机房改造区域平面图如图2所示。

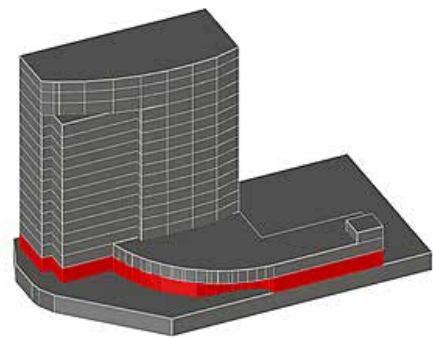


图1 机房所在层位置

2 工程特点及加固难点

本项目特点是对租赁的既有建筑物进行改造，尽管建筑的后续设计使用年限还剩约43年，但运营商要求按后续使用20年进行改造设计，且仅在租赁场地范围内进行，即在保证房屋正常使用下、在设计使用年限中某个时间段内、对局部区域进行升级加固的改造设计。

项目改造时依据《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）（2016版）将南宁市设防烈度由6°调整7°^[2]，《建筑结构可靠性设计统一标准》（GB 50068—2018）对建筑可靠性指标进行提高，两个参数都是对建筑物整体性的调整^[3]，而改造范围却只能局限在一楼，给改造设计带来一定挑战。

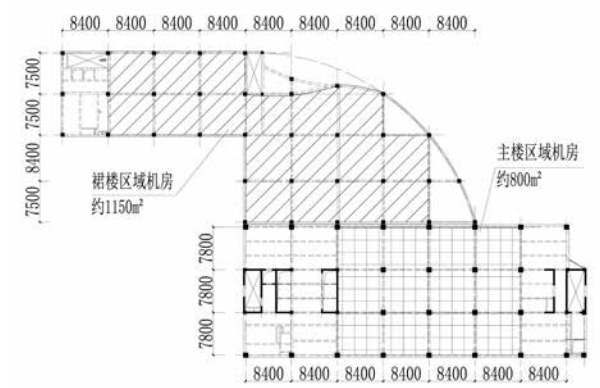


图2 IDC机房建设区域

同时，需确保改造加固过程中其他楼层能正常使用，施工过程中不能破坏主体结构构件，则改造方案只能采用直接增补的措施，而不能采用可能更合适的换、改、拆构件等措施。

3 结构计算分析

3.1 条件变化

由于规范更新和机房使用性质变化导致参数出现以下调整：

- （1）城市设防烈度由6°调整7°^[2]；
- （2）恒载分项系数由1.4调整为1.5，活荷载分项系数由1.2调整为1.3^[3]；
- （3）重要性系数调整为1.1；
- （4）设防类别调整为重要设防类；
- （5）楼板活荷载由5.0KN/m²提高到6.0KN/m²；
- （6）由民用建筑调整工业建筑（通信生产楼），活荷载组合系数为0.9，频遇值组合系数为0.9，准永久系数为0.8^[1]。

3.2 计算分析

采用盈建科软件进行计算复核分析，由于本建筑物竣工不足10年，原设计文件完整、有效，且无须怀疑结构有严重的性能退化，所以，计算中材料力学指标可采用原设计的标准值。

3.2.1 地基及基础

机房荷载增加区域比较均匀、分散，且荷载占比小，其他作用效应为整体、均匀的增加，可以认为上部结构传递到各基础的准永久值比例保持不变。所以，在房屋用途和规范调整后，建筑地基可能存在一定的沉降，地基变形对上部结构倾斜影响可以忽略不计。

经多次计算对比发现，地基基底的标准组合值平均提高10.3%，其中，一层机房区域活荷载值由5.0KN/m²提高到6.0KN/m²，增加值约2000KN，只占标准值的0.3%。因结构重要性调整，作用效应值提高10%，部分独立基础基地应力最大值超过1.2倍承载力特征值的5%。

建筑已竣工5年，考虑建筑长期压密影响地基承载力的提高，且建筑物基础未发现开裂、不均匀沉降等情况，决定对地基暂不做加固处理^[4]。

3.2.2 上部结构

建筑物在2001年以后建造，鉴定宜按现行《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）（2016版）进行抗震验算，后续使用年限宜采用50年，主楼相关整体指标对比如表1所示。

表1 整体指标对比			
	参数	原设计	鉴定核算
剪重比	X	1.01%>0.83%	2.02%>1.67%
	Y	1.12%>0.83%	2.24%>1.67%
基底剪力	X	3629.60	7259.10
	Y	4047.20	8094.50
最大层间位移角	X	1/3629	1/1815
	Y	1/3481	1/1740
最大位移比	X	1.05	1.05
	Y	1.18	1.19

结果显示，该楼的层间位移角均小于1/800、位移比均不大于1.2，剪重比、地震剪力均增大一倍，还是在设计允许范围内，整体性指标较好。但主楼的抗震等级由原来的三级变为一级，导致大部分构件不满足抗震构造措施要求，如框架柱和剪力墙的轴压比、框架柱与框架梁、抗震墙约束范围及配筋等，改造加固范围涉及上部楼层，现实无法提供施工条件，需采取其他设计措施

解决抗震构造措施的问题。

（1）措施一：既然租赁年限是20年，那么确保改造后20年内符合IDC机房的结构安全要求即可，20年以后整个建筑物重新按原设计目标功能使用。因此，可按B类建筑对主楼进行鉴定核算。计算参数中，特征周期值由0.35调整为0.30，主楼抗震等级调整为二级，考虑设计使用年限的活荷载调整系数为0.90^[5]。

重新计算分析，发现结构内力有所下降，但一楼上部楼层还存在大量构件的抗震构造措施不满足规范要求的问题，需进一步优化。

（2）措施二：既然允许加固施工范围也是提高结构安全性的范围，那么在措施一的基础上采取分区设计的措施，将一层和上部其他楼层划分为两个区段，仅对一层区段的抗震设防类别和重要性进行提高，上部其他楼层区段维持原状^[6]。即仅将一层区段抗震等级设为二级，重要性系数为1.10。实际上，上层结构的提前破坏会危及IDC机房层的安全，因此对机房层采取更高加强措施，将重要性系数提高为1.20，提高一层构件的承载力。该措施同时契合精细化、重点区域设计的设计理念。

重新计算分析，结果显示只有一层的框架柱轴压比不满足要求，加固范围控制在一层内，能满足业主和运营商的要求。

4 加固方案

混凝土结构加固设计所面临的不确定因素远比新建工程多而复杂，且受限制也多，改造加固措施应充分考虑对后续施工的影响^[7]。

4.1 主楼部分

一层框架柱轴压比不满规范要求，既可通过提高承载力的方式降低对抗震构造措施的要求，也可直接采取降低轴压比的措施^[8]。表2为对技术上可行的4种加固方案对比。

表2 框架柱加固方案对比				
	专业施工队伍	防火措施	防腐措施	加固前卸载
粘贴钢板	√	√	√	√
粘贴碳纤维	√	√	√	√
钢构套	×	√	√	×
钢筋混凝土套	×	×	×	×

如表2所示，粘贴钢板、粘贴碳纤维法均需加固前卸荷，因涉及上部楼层较多，无法实现。钢构套方案要求采取防火防腐措施，并需要定期维护，会影响日后IDC机房正常生产，而现浇钢筋混凝土套加固法施工要

求低、便捷，无防火、防腐措施要求，且不需进行加固前卸载，施工后几天即可拆模，迅速给其他施工作业腾出空间，十分符合IDC机房改造和使用要求。

现浇钢筋混凝土套加固措施如图3所示，对原框架柱四周进行凿毛，每边各增加100mm，混凝土等级同原设计等级，并在柱顶采用微膨胀混凝土替代，四周按构造要求配置纵筋和箍筋，结构加固后，既能直接降低柱子的轴压比，又能增加柱子的承载力，同时提高“强柱弱梁”的程度。

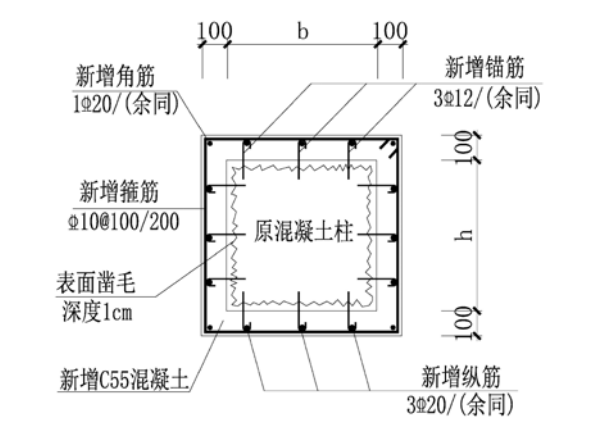


图3 现浇钢筋混凝土套

4.2 裙楼部分

因原营业厅大堂高度10m，远超机房净空的要求，需增加夹层，同时对其改造为维护监控室，改造范围如图4所示。表3为技术可行的3种改造方案对比。

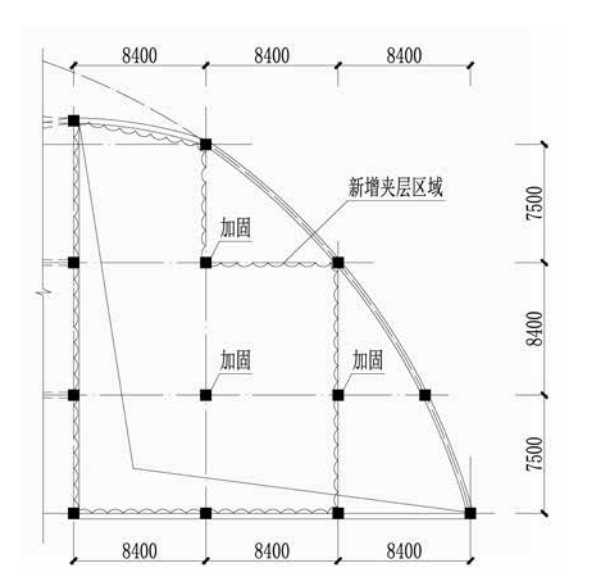


图4 增加夹层区域

表3 夹层改造方案对比

	施工周期	施工难度	维护检修	楼面漏水风险
现浇钢筋混凝土构件	长	一般	无	无
钢结构	短	简单	防锈防火	有
钢梁与压型板现浇混凝土	短	简单	防锈防火	无

如表3所示，采用钢梁与压型板现浇混凝土方案最合适。该加固方案施工便捷，不需支撑模板，短时间养护即可开展楼板上下方的其他改造工作，如图5所示。

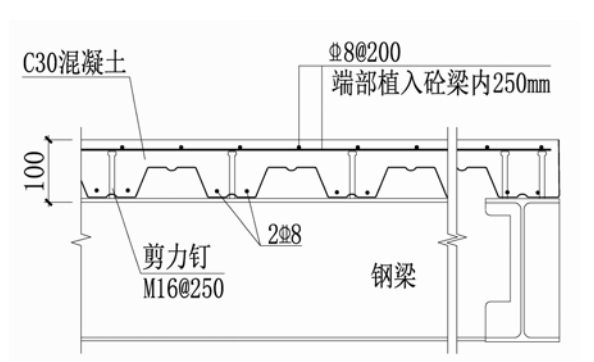


图5 钢梁与压型板现浇混凝土

具体做法为通过化学锚栓将钢梁与原框架柱连接，节点做法采用铰接^[7]，以减少钢梁对框架柱产生不平衡的节点弯矩。同时为提高节点处的抗震变形能力，对节点上下1.5m范围内采用钢构套措施加固，如图6所示。边跨钢筋植入原有混凝土梁内，增强其整体性。既解决机房空间过高和增加监控室的问题，又给裙楼增加水平抗侧力构件，提高了裙楼的抗震承载力。

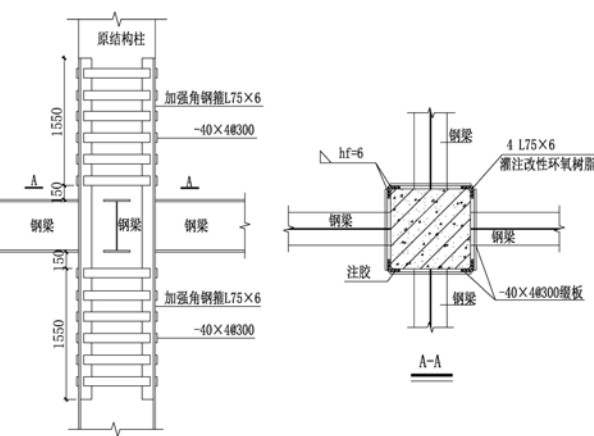


图6 钢构套

5 加固的重点控制

加固过程中，需对容易忽视的关键环节进行重点控制。

一是框架柱的加固。（1）原框架柱表面应充分凿毛，使新增混凝土套与其进行可靠连接；（2）应清理框架柱根部的浮浆、砂浆等，使混凝土套与结构楼板直接连接，顶部应使用微膨胀混凝土代替，以减少新增部分的受力应变滞后；（3）新增混凝土应确保振捣密实，以保证其设计强度。

二是夹层的加固。（1）钢梁节点钻孔施工前，应采用钢筋扫描仪进行钢筋定位，禁止钻孔过程中打断原受力纵筋或多次钻孔造成节点处混凝土蜂窝式破坏，造成隐蔽性的节点抗震承载力下降；（2）现场严格落实对钻孔定位、节点板的开孔尺寸等精度控制，以免个别锚栓、钢板孔集中受力而被逐个破坏。

6 加固后效果评价

本项目由于时间紧、限制条件多，经过多次讨论计算，不断优化改造方案，以较小的改造措施提高了建筑的整体可靠性和抗震性能，且确保IDC机房使用安全。

此外，施工过程中按运营商的要求进行驻场协助，及时对遇到的干扰和困难提出解决方案，并对施工单位提出的合理建议进行采纳并做设计变更，最后项目从立项到选址、设计、改造施工、配套安装等仅用时4个月，且全程符合绿色施工的标准。当整体项目完工时，获得运营商的高度赞扬。

7 总结

（1）对既有建筑物根据用途重新进行分区段改造设计、重点加固设计，可极大地减少改造加固的范围。

（2）改造加固措施除考虑自身的可行性、施工便利性外，充分考虑其对后续工作的影响，可加快整个项目总体进度。

（3）本项目以办公楼改造为IDC机房为例，解决规范更新、用途改变、施工范围受限带来改造加固设计问题，为同类项目提供经验借鉴。

[参考文献]

[1]中华人民共和国工业和信息化部.通信建筑工程设计规范:YD 5003—2014[S].北京:人民邮电出版社出版.2014.
[2]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.建筑抗震设计规范:GB 50011—2010[S].北京:中国建筑工业出版社.2016.

（下转第90页）