

沿海高层建筑抗震设计与耐久性设计的使用年限和性能要求

刘英达¹ 石建光²

(1 包头市建筑设计研究院有限责任公司 014010 2 厦门大学土木工程系 361005)

摘要:从沿海高层建筑的抗震与耐久性设计出发,探讨了抗震设计与耐久性设计的设计使用年限、性能要求。设计使用年限的增加意味着地震重现期要延长,对发震断裂带上的建筑地震设防烈度会增大,远离发震断裂带的建筑地震出现的次数增加。耐久性和抗震性危害留的余地不同,耐久性小,抗震性大。但如果耐久性下降会引起抗震性降低。所以保证耐久性是保证抗震性的前提,重视突发性抗震性损坏的同时,不应该忽略长期耐久性损坏的预防。耐久性不足,既增加了结构使用过程中的修理与加固费用,也会降低结构的抗震能力。抗震的性能要求主要体现在保证结构的足够强度、刚度、整体性和稳定性,而耐久性设计要对混凝土材料、结构构造、施工要求等提出要求。

关键词:高层建筑 抗震设防 耐久性设计 设计使用年限 性能要求

中图分类号: TU 352.1+1

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2009)10-0086-04

Service life and performance requirement in seismic design and durability design of coastal high-rise buildings

Liu Yingda¹ Shi Jianguang²

(1 Baotou building design institute limited liability company 014010 2 Department of Civil Engineering, Xiamen University 361005)

Abstract: Considering the seismic and durability design of coastal high-rise buildings, the service life and performance requirement in seismic design and durability design are discussed. The prolong of service life presumes the extending of earthquake return period, the augmentation of earthquake fortification intensity in fracturing segment and the increment of earthquake arisen apart from fracturing segment. The leaving space for durability and seismic danger is different, durability design is small and seismic design is large. But the degradation of durability will lower seismic quality. Ensuring the durability is the precondition of guaranteeing seismic quality. When the outburst earthquake detriment is recognized the durability degradation should be defended. The durability degradation not only increases the charge in maintenance and strengthening, but also reduces the seismic ability. The seismic performance requirement mainly is shown in guaranteeing the enough strength, stiffness, robustness and stability. The durability design mainly includes the requirements for concrete material, constructional measure and construction requirement.

Keywords: High-rise building Seismic design Durability design Service life Performance requirement

1 引言

对于处于地震设防区域的高层建筑或超高层建筑来说,其抗震设防是设计中的重点。按照建筑物的重要性、结构的体形和尺寸大小、所处场地条件、设计使用年限等,在抗震、高层、结构等相应的规范中都对抗震性能提出了强度、变形、构造等方面的要求和应采取的措施。近年来发生在城市附近的地震证实地震损失主要来自于人们没有遵循这些要求和应采取的措施,或是因经济上的原因,或是由于不够重视、不容易做到等引起。而未来需要研究考虑的问题有近断层的大速度脉冲、震中附近地震动加速度会远高于规范规定值等^[1]。提高地震设防区域高层建筑或超高层建筑的设计使用年限时应该吸取这

些工程经验,而不能一概靠提高设防烈度或抗震等级来满足要求。反而在较长的设计使用年限下,由于环境作用结构的安全性的降低应该成为关注的问题^[2],如果建筑处于离海很近的沿海地区,其耐久性更要满足要求。本文对延长设计使用年限时,沿海高层建筑的抗震与耐久性问题进行探讨,以期对越来越多的沿海高层建筑设计提供参考。

2 延长设计使用年限情况下的抗震设防与耐久性要求

2.1 不同使用年限下的抗震设防

为使不同使用年限建筑物的地震作用具有相同的概率保证,对不同设计使用年限下的地震作用可采用地震作用调整系数给予考虑^[3]。地震作用系数反映了建筑物所在地区及周围可能发生地震的震源机制、震级大小、建筑物所在地区与震源的距离远近以及建筑物所在地区的场地条件等多种因素。其数量关系如图 1 所示。

这种调整是基于将地震作为概率事件,假定设计使用期内

作者简介:刘英达,男,1962年12月出生,土木工程专业,高级工程师。

收稿日期:2008-12-29



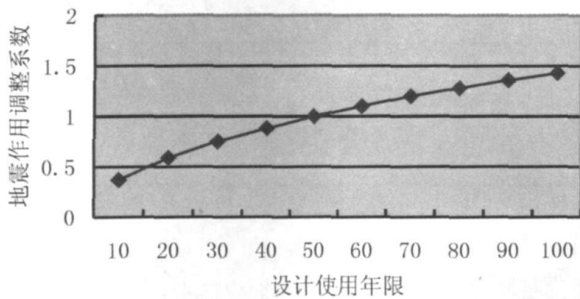


图1 设计使用年限与地震作用调整系数的关系

的概率分布后计算得出的。变化的趋势为设计使用年限越长,地震作用越大,其前提是为了保证超越概率相同。这对于处于发震断裂带上的建筑是与实际相符合的,因确实发现过更高的地震作用^[1]。而对于远离发震断裂带的建筑则可能为同样的地震随使用年限的增加,出现的次数增加,即概率增加,但并不引起地震作用增加。

抗震设防中小震的重现期为50年,中震的重现期为475年,大震的重现期为1600~2400年^[3]。抗震设防的目标是“小震不坏、中震可修、大震不倒”。对小震、中震下的建筑考虑了多次作用,而在大震下仅保证不倒就可以,与作用次数没有关系。设计使用年限的增加意味着地震重现期要延长,特别是大震的重现期要延长,相应的地震设防烈度会增大。

2.2 不同使用年限下的耐久性设计

环境作用下混凝土结构耐久性设计涉及设计使用年限、结构所处环境、混凝土的材料选择与组成、结构构造措施、施工质量控制以及使用年限内的定期维修与检测等^[5]。由于材料性能随时间的劣化,不同使用年限下的结构其耐久性要求不同^[6]。

而现行的抗震设计规范主要针对地震作用下结构承载力安全性与适用性的需要,较少考虑结构长期使用过程中由于环境作用引起结构材料性能劣化、腐蚀对结构抗震性能的不利影响。如果取耐久性设计时对应于适用性极限状态的寿命安全系数为2,而对应于承载力极限状态约为3。如设计使用年限为50年,则设计时按均值考虑的适用性失效或接近大修的年限为100年、安全性失效的年限150年^[5]。如果设计使用年限延长为100年,则适用性失效年限为200年,安全性失效的年限300年。如果耐久性不足,既增加了结构使用过程中的修理与加固费用,也会降低结构的抗震能力。

2.3 抗震设计和耐久性设计的差异性比较

结构的设计使用年限应是结构在技术性能上能够满足要求的使用期限,即技术使用期限,抗震和耐久性的设计使用年限是面对地震风险和环境作用的分别选择。但一个工程的使用寿命还往往还取决于其它因素,如因发展变化而不能满足新的功能要求,或因继续维修所需费用过大不如拆除重建,均可导致使用寿命的终结,这种情况在我国当前处于经济发展时期尤为突出,所以结构设计时对于结构使用年限的选择会涉及很多因素。但不论哪一个选择,随着建筑物生命的终结,使用也终结,所以设计使用年限对同一个建筑应该有一致性。

比较抗震设计与耐久性设计的使用年限可以看出,50年基准期对应抗震的可修为475年,而耐久性的大修为100

年。如果为安全失效则分别为1800年左右和300年。由于地震的突然性和耐久性的累积性,还不能将其仅从年限上等同。但可以发现对耐久性危害留的余地很少,而实际上耐久性的下降会引起抗震性的降低。所以抗震性和耐久性的统一应是长期性和突发性的统一,重视突发性损坏的同时,不应该忽略长期损坏的预防。

抗震的性能要求主要体现在保证结构的足够强度、刚度、整体性和稳定性。

耐久性的性能要求首先为保护层厚度、最小混凝土等级、最大水灰比等。沿海混凝土研究^[7,8]表明混凝土的使用年限对保护层比扩散系数更敏感,对表面氯化物的浓度比临界氯化物水平更敏感。为此在澳大利亚混凝土规范AS 3600、英国混凝土规范BS 8110和美国混凝土规范ACI 357-84中对三类海洋暴露环境下的混凝土都给出了要求(表1)。

表1 各国沿海混凝土耐久性要求

区域	ACI 357R-84		AS 3600-1988		BS 8110-85		
	最大 W/C	受压强度 MPa (保护层 mm)	受压强度 MPa (保护层 mm)	最小水 泥用量 W/C	最大 W/C	最小水 泥用量	最低混凝土等级(保护层 mm)
淹没区	0.45	35 (50)	40 (45)	330	0.55		
浪溅区	0.40	35 (50)	50 (50)	400	0.45	0.55	325
大气区	0.40	35 (37)	40 (45)	330	0.55		40 (50)

提高混凝土材料耐久性的根本途径是增加混凝土的密实性和抗裂性,阻挡和延缓水份、气体以及氯离子等各种有害物质进入混凝土内部。降低混凝土水胶比并掺入矿物掺和料是减少混凝土孔隙率、改善混凝土内粗骨料与水泥浆体之间的薄弱界面和水化产物结构的主要手段。国内外的众多研究都表明,单纯用硅酸盐水泥作为胶凝材料配制的混凝土,即使水灰比较低,其抗氯盐侵入的能力仍较差,只有加入较大掺量的粉煤灰、矿渣或一定量的硅灰以后,才能获得根本的改善,抗氯盐子扩散能力可提高1~2倍。抗侵入性是衡量混凝土耐久性的综合指标,与混凝土内水泥硬化浆体、骨料及其界面的密实性(孔隙率与孔结构特性)有关,也取决于侵入介质的种类。有害物质进入混凝土内部的传输途径可以是扩散、渗透或吸收等,所以抗侵入性可相应用扩散系数、渗透系数或吸收率等参数来表示。

可以看出抗震要求与耐久性要求有很大不同,对于特殊环境下的结构,耐久性设计是无法替代的。

3 沿海地区高层建筑的耐久性要求

3.1 不同环境下的耐久性要求

按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008环境类型划分为一般环境、氯化物环境和化学腐蚀环境。海洋腐蚀环境一般分为海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、海水全浸区和海泥区五个腐蚀区带。滨海环境一般分为海洋大气区和海洋侵蚀区两个腐蚀区。沿海建筑的不同部位分别处于大气环境、土中环境、滨海环境,其面临的主要腐蚀环境为滨海环境。

滨海地质要考虑海洋侵蚀的影响,《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)在考虑了气候类型、土层的渗透性及含水量等因素后对场地环境进行强腐蚀、中等腐蚀、弱腐蚀分类。滨海地质中水和土对混凝土结构和钢筋的腐蚀性评价要考虑腐蚀介质、水中和土中的Cl⁻含量等。

海洋大气区的腐蚀性与距离海岸的距离、海面的高度、风

速、风向、降雨周期、雨量、湿度、太阳照射、尘埃、季节和污染等因素有关。按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008规定,距平均水位15m高度以上的海上大气区或涨潮岸线以外100~300m内的陆上室外环境大气区为轻度盐雾区;距平均水位上方15m高度以内的海上大气区或离涨潮岸线100m以内、低于海平面上15m的陆上室外环境为重度盐雾区。

按滨海环境中海洋大气区和海洋侵蚀区的环境分区进行腐蚀性分级后,确定不同分区的耐久性要求。耐久性要求分为材料要求、构造规定、施工质量的附加要求和专门环境要求。

3.2 高层建筑不同部位耐久性的措施

沿海高层建筑的基础、地下室、上部结构等分别处于海洋大气区和海洋侵蚀区。按照不同区域的环境分级和腐蚀特点可以采用相应的耐久性的措施。这些措施包括:

提高材料性能,如:1)选择合适材料,如控制所用水泥C3A的含量,较好的粗细集料;2)控制水灰比、水泥用量与粗骨料;3)化学添加剂,如阻锈剂等;4)改进钢筋材质,如采用环氧涂层钢筋,不锈钢钢筋,镀锌钢筋;5)高性能混凝土,主要通过掺入粉煤灰、高炉矿渣、微硅粉中的一种或多种,使得混凝土材料有高弹性模量、低渗透、低缺陷、高密实等性能;6)表面涂层,改善施工操作方法,如采用织物模板,由玻璃鳞片和耐腐蚀热固性树脂构成的鳞片涂料,以粉末熔融成膜的粉末涂料,在海洋环境中常用的混凝土防腐涂层有环氧煤焦油、高性能环氧一至二道、聚氨酯弹性内衬、乙烯热塑内衬、聚酯或环氧树脂等。

设计与施工方面的措施包括:1)提高混凝土保护层厚度;2)构件外形改进,如尽量不具尖角和凸缘,水中迎击水流的状态应尽可能的采用流线形;3)提高施工质量。

对于基础、地下室等特殊部位的构件要结合具体构件情况采取有效的耐久性措施。如:

1) 钻孔灌注桩的耐久性措施,为增加钻孔灌注桩的防腐性能,可适当增大钢筋保护层的厚度,并在灌注桩上部采用掺合料混凝土提高混凝土的密实度。保留施工用钢护筒作为钻孔灌注桩桩顶以下一定范围的一道防腐屏障,并对钢护筒外表面采取适当的涂料防腐措施。

2) 承台耐久性措施,承台可以采用的措施包括适当的混凝土保护层厚度、高性能混凝土采用掺加矿渣微粉和粉煤灰为主的优质矿物掺和料、有效控制这部分混凝土表面在施工期产生的微裂缝,从而改善整体耐久性能等。

4 工程实例分析

4.1 工程概况

某大厦位于海岸东侧,于2003年10月8日落成并投入使用,面向向海口,距离海堤44m远。地上43层,地下3层,总高172.60m,深度-12.050m,室内外高差0.6m,钢筋混凝土框筒结构,裙房为钢筋混凝土框架,抗震烈度7度。桩径1200~2000mm,桩基安全等级一级,地下室六级人防。筒为一级抗震,框架为二级抗震,裙房框架为三级抗震。外墙采用180厚Mu10砖、M5砂浆。内墙采用轻质隔墙200厚。桩为人工挖孔桩,孔深30m,地下室开挖深度13m。保护层分别为:剪力墙15mm、板15mm、密肋板20mm、梁柱25mm。各位置混凝土等级见表2。

表2 各位置混凝土

位置	等级	位置	标高——等级
地下室墙	C35, S10	柱、筒	标高0.0~61.5: C50, 标高61.5~98.9: C45, 标高98.9以上: C40
垫层	C15	梁、板	标高0.0~61.5: C45, 标高61.5~98.9: C40, 标高98.9以上: C35

4.2 耐久性设计内容

1) 设计使用年限

将耐久性等级划分成三个级别,是设计人对结构物的业主或使用管理方的一种明确交待,与结构物的重要程度和耐久性质量并无直接联系。在混凝土结构设计的亚洲模式规范中,也将结构的耐久性分成三级。本工程的耐久性年限可按100年(一级的重要建筑物)或50年(二级的普通建筑物)考虑。

2) 耐久性等级: I级

3) 环境作用

《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008将环境类别的腐蚀性,区分不同的作用程度,分别纳入六个不同的腐蚀性等级:A可忽略、B轻度、C中度、D严重、E非常严重、F极端严重。根据工程地理位置,环境类型为近海大气中盐分作用的陆上室外环境100m内为E,地下室按照海水侵蚀环境考虑为D。按照化学成分Cl⁻分类,抽水前在C级(4968),抽水后在D级(7929)。

4) 耐久性设计

混凝土结构的耐久性设计,要求设计人员提出混凝土材料的耐久性指标以及对施工的特殊要求。对于这一工程中C、D、E的分级,分别从混凝土材料、结构构造、施工要求三个方面提出要求,D的一级和E则要求定期检测。如按照一级结构考虑,其荷载效应应乘以重要性系数1.1。

(a) 混凝土材料要求

按照混凝土结构耐久性设计^[6]要求最低强度等级、最大水灰比和水泥最小用量(kg/m³)分别为:

环境等级\耐久年限	一	二
C	C40, 0.50, 320	C35, 0.50, 320
D	C40, 0.40, 350	C40, 0.45, 350
E	C45, 0.36, 410	C40, 0.40, 350

在氯盐环境下混凝土采用大掺量矿物掺和料混凝土。应进行混凝土抗裂性能对比试验确定混凝土原材料和配合比。D、E环境下抗氯离子的扩散系数分别小于3和2(10⁻¹²m²/s)。

(b) 结构构造和裂缝限制

混凝土和钢筋的防腐蚀措施,保护层厚度:

环境等级	板墙构件	梁柱构件
C	40	45
D	45	55
E	55	60

表面裂缝宽度容许值在氯离子腐蚀环境为0.1mm。

(c) 施工要求

原材料选择时硅酸盐水泥的C₂S和C₃A含量以及比表面积不宜过大,耐久混凝土的配制途径与施工要求,与低水胶比的高强混凝土和高性能混凝土相似。

(下转第64页)



墙体长度尽可能大于8倍墙厚,小于8m。

剪力墙厚度转换层(结构7层25.60m)以下,凡落地的剪力墙加厚为500mm厚;由于大底盘为商业用途,不能有太多的混凝土墙,所以各栋塔楼上部的剪力墙有的不落地,形成框支剪力墙。同时,为使底部刚度中心与上部结构的刚心尽量接近(塔楼对底盘宜对称布置,塔楼的综合质心与底盘的结构质心的距离不宜大于底盘相应边长的20%,尽量减少塔楼与底盘的偏心),使整体结构刚度变化均匀、减少扭转。

(上接第88页)

5 总结

从沿海高层建筑的抗震与耐久性设计出发,探讨了抗震设计与耐久性设计的设计使用年限、性能要求。比较可知:

①设计使用年限的增加意味着地震重现期要延长,对发震断裂带上的建筑地震设防烈度会增大,远离发震断裂带的建筑地震出现的次数增加。

②耐久性和抗震性危害留的余地不同,耐久性小,抗震性大。但如果耐久性下降会引起抗震性降低。所以保证耐久性是保证抗震性的前提,重视突发性抗震性损坏的同时,不应该忽略长期耐久性损坏的预防。

③耐久性不足,既增加了结构使用过程中的修理与加固费用,也会降低结构的抗震能力。

④抗震的性能要求主要体现在保证结构的足够强度、刚度、整体性和稳定性,而耐久性设计要对混凝土材料、结构构造、施工要求等提出要求。

参考文献

[1] 胡聿贤,周锡元. 地震工程的跨世纪发展趋势[J]. 工

程抗震,1999(1): 3- 9.

6 结构超长的措施

天虹大厦的大底盘 108.0×95.0 m,多塔结构不能设置伸缩缝超长,对于地下室采取的措施在前面基础设计时已提到,对于裙房楼盖结构,在框架结构内各层楼面,沿塔楼四周设置后浇带,将各幢塔楼与裙房在主体结构施工期间,用后浇带分开,释放由差异沉降及温度、材料变化引起的附加应力,待主体结构封顶后浇筑成整体。在转换层通过温度应力分析,在适当部位适当配置预应力筋,以减小部分温度应力作用,防止裙房屋面产生结构裂缝渗水。

除了上面几条外,增加梁的腰筋配筋量,不小于0.1%配筋率;用ETABS计算裙房屋面层的温度应力,加强屋面保温层的保温能力,在屋面采用部分预应力,使混凝土预压应力有 $0.2 \sim 0.7$ MPa。

在柱子与墙交界处容易产生应力集中,增加1000长的 $\Phi 12 @ 200$ 水平拉结筋。

7 结语

1)对于复杂结构体系,必须认真做好概念设计工作,分析总结结构特点和结构难点,找到简洁可靠的结构处理方法,做出总体结构布置。

2)计算模型应当是总体概念设计的量化和证实,同时应能较好地反映结构的实际工作状态;对复杂结构,必须用不同的软件进行分析比较,以判断计算结果的正确性。

3)在保证整体计算的基础上,针对关键部位,应进行必要的局部分析,各构件保证必要的构造要求,以保证其安全性。

限于笔者水平,不当之处,恳请批评指正。

参考文献

[1] GB50010-2002 混凝土结构设计规范[S].

[2] GB50011-2001 建筑抗震设计规范[S].

[3] 混凝土结构构造手册(第三版)[M]. 中国有色工程设计研究总院主编,2003.

[4] JGJ3-2002 高层建筑混凝土结构技术规程[S].

程抗震,1999(1): 3- 9.

[2] 陈肇元,徐有邻,钱稼茹. 土建结构工程的安全性与耐久性[J]. 建筑技术,2002(04): 248- 253.

[3] 毋剑平,白雪霜,孙建华. 不同设计使用年限下地震作用的确定方法[J]. 工程抗震,2003(02): 36- 39.

[4] 陈肇元,杜拱辰. 结构设计规范的可靠度设计方法质疑[J]. 建筑结构,2002(04): 62- 70.

[5] 陈肇元. 混凝土结构的耐久性设计方法[J]. 建筑技术,2003(5): 328- 333.

[6] GB/T 50476-2008, 混凝土结构耐久性设计规范[S]. 中国建筑工业出版社,2008,11.

[7] Maher A Bader. Performance of concrete in a coastal environment[J]. Cement & Concrete Composites, 2003(25): 539 - 548.

[8] R · P · Khatri, V · Sirivatnanon. Characteristic service life for concrete exposed to marine environments[J]. Cement and Concrete Research, 2004(34): 745 - 752.