

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.02.011

超大口径全可动望远镜结构地震响应分析

刘岩¹, 钱宏亮², 范峰²

(1. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 哈尔滨工业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 410075)

摘要: 为掌握超大口径全可动射电望远镜结构抗震性能特性, 以待建的 110 m 全可动射电望远镜为研究平台, 以三水准原则为控制目标, 运用时程分析法对望远镜结构在小震和大震作用下的受力性能进行分析, 给出了结构在多遇地震作用下、多遇地震与静力组合工况下以及罕遇地震作用下的关键力学响应指标, 评估了结构在地震作用下的安全性能。

关键词: 射电望远镜; 时程分析; 多遇地震; 罕遇地震

中图分类号: TU393.304

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)02-0056-05

Analysis of Seismic Response to the Large Aperture All-movable Telescope Structure

LIU Yan¹, QIAN Hongliang², FAN Feng²

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710061, China;

2. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 410075, China)

Abstract: In order to understand the aseismic ability of large aperture all-movable radio telescope structures, the proposed 110 m fully-steerable radio telescope to was used as an example. Based on the three levels in earthquake fortification as control condition, the mechanical properties of the telescope structure was analyzed under situations of frequent and rare earthquakes by using time-history method. The mechanical responsive targets which are crucial to the structure under activities of frequent earthquakes, frequent earthquakes combined with static unitized load mode and rare earthquakes were calculated. The safety properties of the telescope structure were also evaluated under different kinds of earthquakes.

Keywords: radio telescope; time-history analysis; frequent earthquake; rare earthquake

发改委及新疆维吾尔自治区将在奇台建造一口直径为 110 m 的地面全可动射电望远镜, 如图 1 所示。建成投入使用后, 其口径将成为世界之最, 性能将超越美国 GBT(110 m × 100 m) 和德国的 Effelsberg(100 m) 达到国际领先水平。

该望远镜结构属于大型精密电子机械设备, 耗资巨大。为了提高它在地震破坏中的生存内力, 有必要对其地震响应进行分析, 获取结构的节点位移响应时间历程, 校核各构件强度, 寻找结构的危险部位和薄弱环节, 从而为其结构设计和抗震措施提供有价值的参考数据^[1-3]。

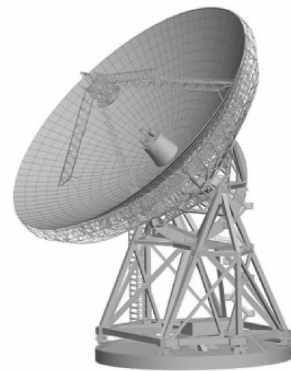


图 1 新疆 110 m 望远镜结构

收稿日期: 2015-12-10

修稿日期: 2016-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助(51378149); 长安大学 2015 中央高校基金(310828151067)

作者简介: 刘岩(1984—), 男, 陕西西安人, 讲师, 主要从事巨型射电望远镜结构技术、大跨空间结构选型等研究工作。

E-mail: actor_liu@126.com

1 望远镜结构地震作用分析方法

1.1 分析方法

望远镜结构地震分析采用时程分析法进行计算,根据《建筑抗震设计规范》^[4](GB50011-2010)第 5.1.2 款原则,选用两条实际强震记录地震动和一组人工模拟地震动进行时程分析。实测强震记录的地震影响系数曲线与安评地震影响系数曲线在统计意义上相符。计算参数中对于材料属性的选用,多遇地震中钢材料单元采用各向同性的线弹性材料,罕遇地震中钢材料单元的受力模型为双线性模型,

屈服后弹性模量为初始弹性模量的 2%;由于望远镜结构采用钢材,阻尼比采用 0.02;重力荷载代表值: $G_e = 1.0$ 恒荷载 + 0.5 雪荷载;采用时程分析法计算地震作用时,地震动采用三向输入,三向加速度峰值取为 $X:Y:Z = 1.0:0.85:0.65$ 。

1.2 地震动的选取

由于该望远镜选址在新疆奇台,110 m 望远镜结构抗震验算按照《建筑抗震设计规范》^[4](GB50011-2010)设防烈度为 7 度(0.10g)进行,最终选择地震动(实测地震记录已调幅)及反应谱如图 2~图 3 所示。

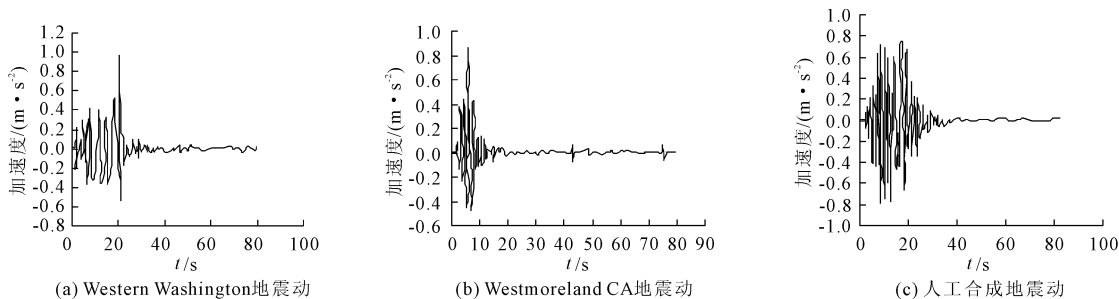


图 2 3 条地震动记录

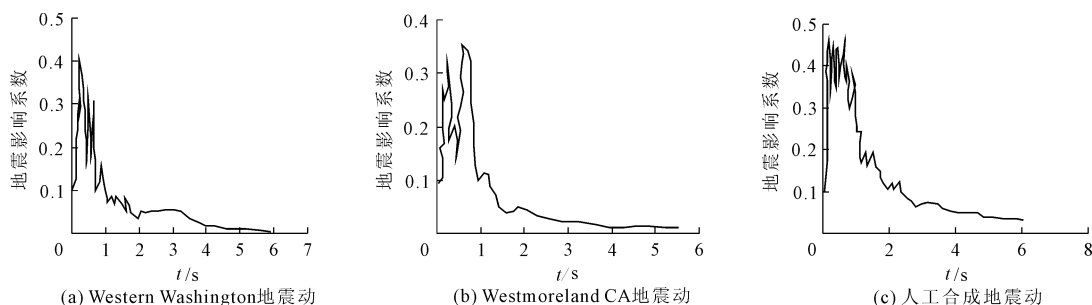


图 3 3 条地震动反应谱曲线

2 计算模型及分析工况

地震分析采用的计算模型分别为:5°、45°、90°俯仰角模型,3 条地震动为 Western Washington 地震动、Westmoreland CA 地震动、人工合成地震动,其加速度幅值均为 35 gal(多遇地震),220 gal(罕遇地震)。各俯仰角模型在多遇地震与静力组合下的荷载工况均为 12 种,具体组合项及系数见表 1 所示(表中地震效应为所有地震动效应的包络值)。

3 多遇地震作用分析

对望远镜模型进行了俯仰角为 5°、45°、90°共 3 个状态的多遇地震分析,并将分析结果与静力荷载工况进行组合,限于篇幅,本节仅对 5°模型分别详细

给出相应的杆件应力比和位移响应,如图 4~图 6 所示。其它状态仅给出各响应的统计值(见表 2)。从计算结果可以看出,三种俯仰角状态模型,多遇地震与静力组合工况下,结构杆件应力比均满足要求,较静力组合工况应力比变化较小^[12],多遇地震不起控制作用。

4 罕遇地震作用分析

罕遇地震进行俯仰角为 5°、45°、90°共 3 个状态模型的分析。限于篇幅,以下只选取安评地震动,详细给出俯仰角为 90°的结构在罕遇地震作用下的响应结果,如图 7~图 9 所示,其它状态仅给出各响应结果的统计值,如表 3 所示。

表 1 多遇地震作用参与的工况组合(分项系数×组合系数)

序号	组合	恒荷载系数	雪荷载系数	地震荷载系数	风荷载系数
1	恒+雪+地震 1+风 1	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
2	恒+雪+地震 1+风 2	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
3	恒+雪+地震 1+风 3	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
4	恒+雪+地震 2+风 1	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
5	恒+雪+地震 2+风 2	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
6	恒+雪+地震 2+风 3	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
7	恒+雪+地震 3+风 1	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
8	恒+雪+地震 3+风 2	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
9	恒+雪+地震 3+风 3	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
10	恒+雪+地震 4+风 1	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
11	恒+雪+地震 4+风 2	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2
12	恒+雪+地震 4+风 3	1.2×1.0	1.4×0.7	1.3×1.0	1.4×0.2

注:仅对于望远镜俯仰角为 5°时考虑雪荷载作用;风荷载根据不同的风向角分为三种具体的工况,风 1 代表:风向角 0°,风速 45 m/s;风 2 代表:风向角 90°,风速 45 m/s;风 3 代表:风向角 180°,风速 45 m/s^[5-11]。

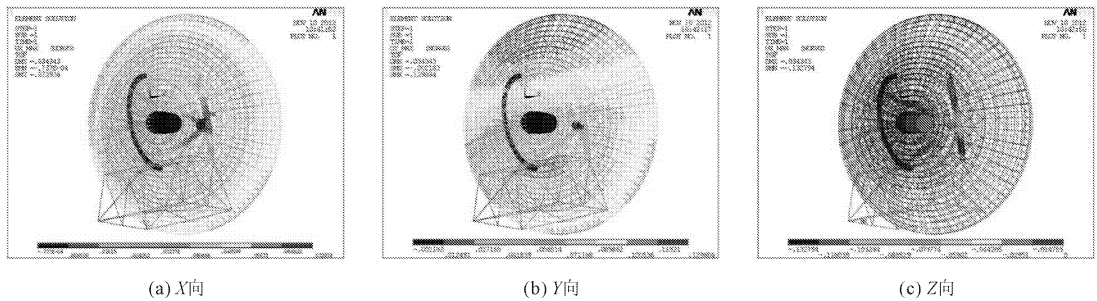


图 4 望远镜整体结构最大位移云图

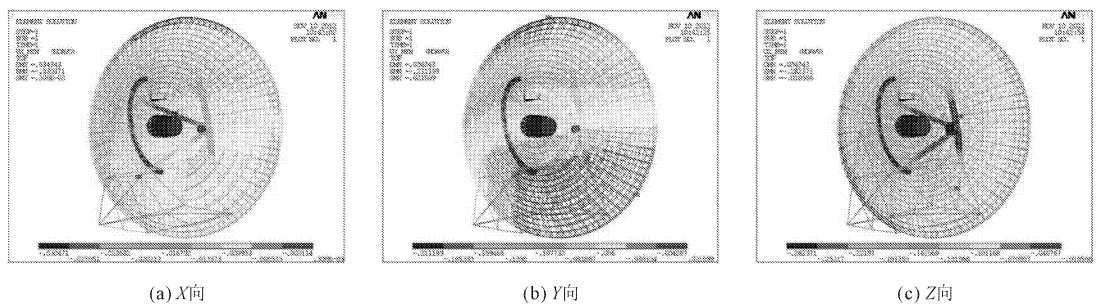


图 5 望远镜整体结构最小位移云图

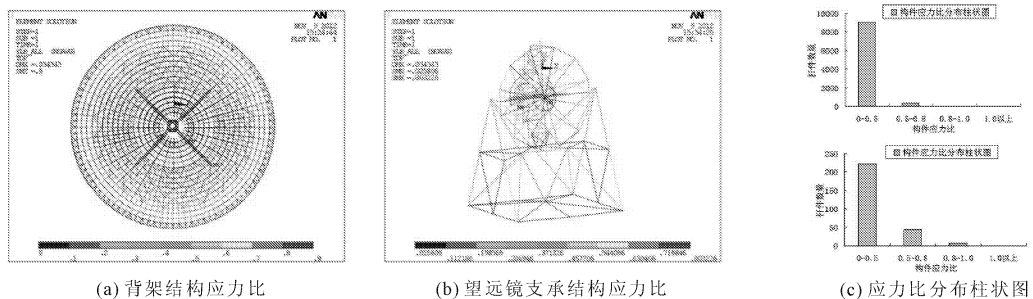


图 6 望远镜结构应力比

由上述图表可以看出,三条地震动中安评地震动对结构影响较大,当俯仰角为 90°时 X 向位移最大

为 0.213 m, Y 向位移最小值为 -0.216 m, Z 向位移最大值为 0.447 m;俯仰角为 45°时 X 向位移最小值为

-0.249 m, Y 向位移最小值为 -0.288 m, Z 向位移最小值为 -0.313 m; 俯仰角为 5° 时 X 向位移最小值为 -0.172 m, Y 向位移最小值为 -0.335 m, Z 向位移最小值为 -0.231 m。并且三个地震作用下 X 向、Y 向、

Z 向位移最大点的时程都收敛, 未有发散现象, 表明结构均未发生失稳倒塌, 满足要求, 罕遇地震作用下只有少量构件进入塑性, 结构基本弹性, 满足相关控制指标。

表 2 多遇地震参与组合响应统计值

模型俯仰角 / (°)	背架最大应力比	支承结构最大应力比	X_{max} /mm	X_{min} /mm	Y_{max} /mm	Y_{min} /mm	Z_{max} /mm	Z_{min} /mm
5	0.90	0.80	72.9	-30.5	130.0	-211.2	-132.8	-282.4
45	0.85	0.86	80.1	-40.6	81.4	-291.5	-169.5	-372.1
90	0.44	0.94	68.8	-30.0	101.3	-141.6	-166.6	-305.5

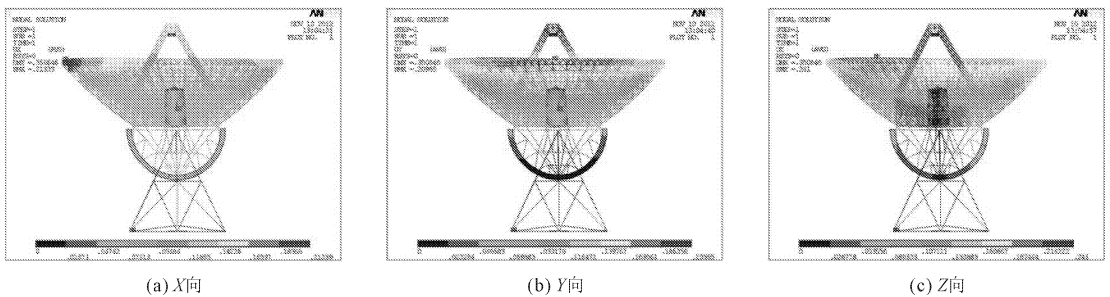


图 7 安评地震动罕遇地震作用下望远镜 90°模型最大位移

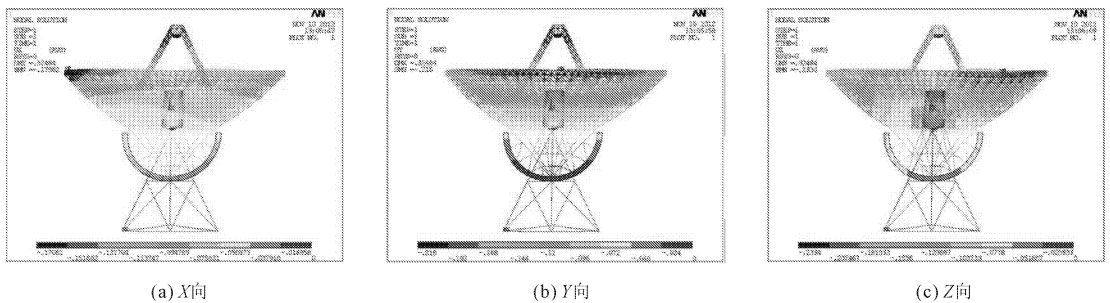


图 8 安评地震动罕遇地震作用下望远镜 90°模型最小位移

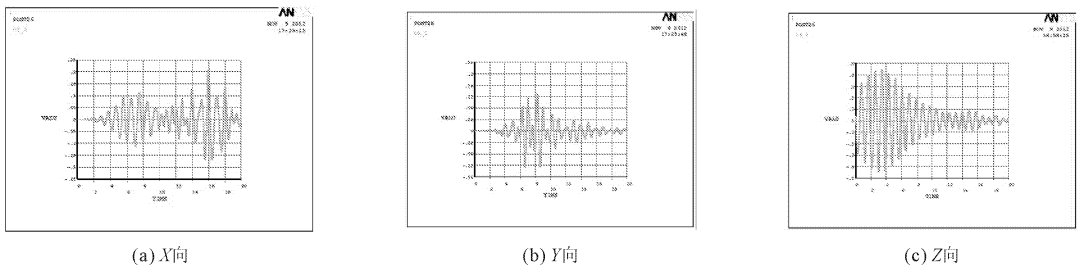


图 9 安评地震动罕遇地震作用下望远镜 90°模型最大位移点时程响应曲线

5 结 论

第一阶段根据《建筑抗震设计规范》^[4] (GB50011-2011), 以三水准原则为控制目标, 运用时程分析法对天线结构在小震和大震作用下的安全性能进行分析, 给出了结构按照抗震 7° 设防进行多遇地震作用、多遇地震与静力组合以及罕遇地震作用的关键力学响应指标, 评估了结构在地震作用下的安全性能。计

算分析后得出如下结论:

- (1) 三条地震动中, 安评地震动对结构影响最大, 并且多遇地震不起控制作用。
- (2) 在多遇地震作用下, 各俯仰角天线模型杆件应力比均满足要求, 较静力组合工况应力比变化较小, 满足相应的规范对结构安全性能要求。
- (3) 在罕遇地震作用下, 各俯仰角望远镜结构模型在三个方向的时程曲线均收敛, 未有发散现象, 表

明结构未发生倒塌,位移满足相关规范对其安全性的要求。

表 3 罕遇地震作用下节点三向位移最值

模型俯仰角/ $^{\circ}$	地震波型	X_{\max}/m	X_{\min}/m	Y_{\max}/m	Y_{\min}/m	Z_{\max}/m	Z_{\min}/m
90	Western Washington 波	0.077	-0.087	0.156	-0.164	0.447	-0.446
	Westmoreland CA 波	0.129	-0.128	0.261	-0.253	0.201	-0.210
	人工合成波	0.213	-0.171	0.210	-0.216	0.241	-0.233
45	Western Washington 波	0.066	-0.067	0.239	-0.253	0.263	-0.261
	Westmoreland CA 波	0.128	-0.105	0.277	-0.288	0.234	-0.223
	人工合成波	0.168	-0.249	0.258	-0.273	0.218	-0.313
5	Western Washington 波	0.050	-0.061	0.149	-0.135	0.166	-0.142
	Westmoreland CA 波	0.113	-0.133	0.244	-0.252	0.176	-0.190
	人工合成波	0.167	-0.172	0.327	-0.335	0.229	-0.231

参考文献:

- [1] 钱宏亮,李玉刚,范峰,等.FAST 反射面索网支承结构多点地震输入反应分析[J].建筑结构学报,2014,35(5):73-80.
- [2] 牛忠文,任翠锋,鞠金山,等.大口径高精度航管雷达天线结构设计与应用[J].雷达科学与技术,2015,13(1):103-108.
- [3] 张英运,雷敏,杨成春.大口径可展天线结构设计综述与展望[J].机电一体化,2013,19(12):13-15.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国质量监督检验检疫总局.建筑结构抗震设计规范:GB50011-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [5] 张萍.大口径射电望远镜结构的保型设计[J].电子机械工程,2014,30(6):43-46.
- [6] 郭逢宇.大型射电望远镜主动面系统控制软件的开发[D].上海:上海交通大学,2012:45-50.
- [7] 虞林峰,王锦清,赵融冰,等.TM65m 射电望远镜指向模型的建立[J].天文学报,2015,56(2):165-177.
- [8] 王娜.新疆奇台 110 米射电望远镜[J].中国科学:物理学力学天文学,2014,44(8):783-794.
- [9] 刘岩.大型射电望远镜背架结构优化[J].计算机工程与设计,2015,36(9):2596-2600.
- [10] 甘明,姜鹏,刘占省,等.BIM 技术在 500m 口径射电望远镜(FAST)项目中的应用[J].铁路技术创新,2015(3):94-98.
- [11] 朱丽春.500 米口径球面射电望远镜(FAST)主动反射面整网变形控制[J].科研信息化技术与应用,2012,3(4):67-75.
- [12] 刘岩.超大口径全可动射电望远镜结构选型及精度控制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013:20-21.
- [13] 姜鹏,朱万旭,刘飞,等.FAST 索网疲劳评估及高疲劳性能钢索研制[J].工程力学,2015,32(9):243-249.
- [14] 王冉,殷兴辉.太阳射电望远镜自动观测控制平台的设计与研究[J].电子设计工程,2015,23(1):152-155.
- [15] 王颖.南非投入 3 亿美元申办射电望远镜项目[J].中国电子商情:基础电子,2012(4):25-26.
- [16] 金超,尉飞,李金良,等.65m 射电望远镜面板精密成形原理与应用[J].电波科学学报,2015,30(1):1-7.