

我国核电厂设计中考虑的自然灾害综述与建议¹

李亮^{1,2)} 潘蓉²⁾ 骆鹏³⁾ 路雨²⁾

1) 北京工业大学, 北京 100124
2) 生态环境部核与辐射安全中心, 北京 100082
3) 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100088

摘要 我国是目前世界在建核电机组最多的国家, 总装机容量世界第三, 是名副其实的核大国, 核安全是国家安全的重要内容, 被提到了前所未有的高度。同时, 我国也是世界上自然灾害最严重的国家之一, 包括核电厂在内的重大工程建设高度重视自然灾害防御设计。日本 311 地震海啸引起福岛核事故后, 核电厂设计中增强了对超设计基准自然灾害的考虑。本文对核电厂防御自然灾害的必要性、核电厂设计中需考虑的自然灾害及国内外核电厂关于防御自然灾害存在的问题进行研究, 提出我国核电厂防御自然灾害的建议。

关键词: 核电厂 超设计基准自然灾害 灾害防御 设计

Review and Suggestions on Natural Disaster Prevention for Nuclear Power Plants in China

Li Liang^{1,2)}, Pan Rong²⁾, Luo Peng³⁾ and Lu Yu²⁾

1) Beijing University of Technology, Beijing 100124, China
2) Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100082, China
3) CCCC Highway Consultants Co., Ltd., Beijing 100088, China

Abstract At present, China is the country with the largest number of nuclear power plants(NPPs) under construction in the world, and its total installed capacity is the third in the world. Nuclear safety is an important part of national security and has been raised to an unprecedented height. Since the Fukushima nuclear accident caused by the 311 earthquake and tsunami in Japan, the ability of defense against natural disasters considered in the design of NPPs has received unprecedented attention. This paper focuses on the necessity of natural disaster prevention for NPPs, the natural disasters considered in the design of NPPs and the existing problems of natural disaster prevention at home and abroad, and then puts forward some suggestions on natural disaster prevention.

Key words: Nuclear power plant; Beyond design basis natural disaster; Disaster prevention; Design

引言

日本福岛核事故发生后, 核电厂防御自然灾害尤其是超设计基准自然灾害引起了各国高度重视。从目前实践和经验情况来看, 核电厂设计中需考虑的自然灾害主要包括两方面: 一方面是关于设计基准自然灾害, 需严格按照核安全相关法规标准进行防御自然灾害设计; 另一方面是关于超设计基准自然灾害, 需按照《核动力厂设计安全规定》(HAF 102—2016) (国家核安全局, 2016) 中规定的“核动力厂设计还必须提供适

1 基金项目 国家重大科技专项 (2018ZX06002008); 国家重点研发计划 (2017YFC1500804)

[收稿日期] 2020-09-02

[作者简介] 李亮, 男, 生于 1986 年。高级工程师。主要从事核电厂土建结构抗震安全工作。E-mail: liliang@chinansc.cn

[通信作者] 路雨, 男, 生于 1985 年。高级工程师。主要从事核电厂水文气象方面研究。E-mail: luyu@chinansc.cn

当的裕量，在超设计基准自然灾害事件发生时，保护用于防止早期放射性释放或大量放射性释放所需的物项”考虑超设计基准自然灾害。

1 关注核电厂防御自然灾害的必要性

核电厂全寿命周期包括选址、设计、建造、运行、退役等阶段，核电厂选址时具有严格的审查程序，按照《核电厂厂址选择安全规定》（HAF 101—1991）（国家核安全局，1991b）有关要求，必须调查和评价可能影响核电厂安全的厂址特征，且必须根据影响核电厂安全的外部自然事件和外部人为事件发生频度、严重性及其可能的组合，对推荐的核电厂厂址进行评价。利用基于外部事件危险性分析得到的频度和严重性信息确定核电厂设计基准的危险性水平，并说明其中的不确定性。

进行核电厂设计时，必须适当考虑内部危险和外部危险，内部危险主要包括火灾、爆炸、水淹、飞射物、结构坍塌和重物坠落、管道甩击等，且必须适当考虑厂址评价过程中识别的自然和人为外部事件（即源于厂外的事件）。外部人为事件主要指爆炸、飞机坠毁等，其设计主要参照《与核电厂设计有关的外部人为事件》（HAD 101/04—1989）（国家核安全局，1989），本文重点讨论外部自然事件（自然灾害）。本节提到的外部自然和人为事件均指设计基准范畴内的。

福岛核事故证明了核电厂贯彻纵深防御原则的重要性，需在核电厂设计和运行中进一步得到加强（柴国旱，2015）。福岛核事故发生后，核电厂防御超设计基准外部自然事件引起了广泛关注。国际原子能机构（IAEA）技术指导文件“*Consideration on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants*”（TECDOC—1791）（International Atomic Energy Agency, 2016）中要求考虑外部危险设计的影响，提出了可能由超出厂址危险评价的外部自然灾害引起的事件，为纵深防御各层次设备的设计和安全评估提供支持；关于针对外部灾害的设备设计，需对于防止早期放射性释放或大量放射性释放所需物项的考虑，对于缓解设计扩展工况（DEC）物项提出了超设计基准自然灾害防护要求。《核动力厂设计安全规定》（HAF 102—2016）（国家核安全局，2016）针对新建核电厂增加了前文所述相关要求。多个国家高度重视自然灾害对核设施的影响，如美国核管会（NRC）要求核燃料循环设施提供与地震、洪水和飓风等自然灾害应对措施相关的安全评价，以证明设施符合相应的许可基准，并确定是否需开展进一步监管行动。

2 核电厂设计中考虑的自然灾害

2.1 自然灾害种类

按照国际原子能机构（IAEA）发布的“*External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Installations*”相关要求，外部自然事件主要包括地震、外部洪水、极端风、极端温度、降水、积雪、结冰、干旱、雷击、外部火灾（自然现象）等。

（1）关于地震，核电厂选址过程中虽已充分考虑了厂址所处的地震构造环境，但核电厂在未来很有可能遭遇地震灾害的影响（贺秋梅等，2014；潘华等，2007）。地面运动危险水平分为运行安全地震动（SL-1）和极限安全地震动（SL-2）（潘华等，2006）。依据《核电厂厂址选择中的地震问题》（HAD 101/01—1994）（国家核安全局，1994）和《核电厂混凝土结构技术标准》（GB/T 51390—2019）（住房和城乡建设部，2019）有关要求，SL-1 指的是核电厂设计基准地震动的较低水准，通常为核电厂能正常运行的地震动，SL-2 指的是核电厂设计基准地震动的较高水准，通常为预估的核电厂所在地区可能遭遇的最大潜在地震动，对应的年超越概率水平为 10^{-4} 。

（2）《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD 101/09—1990）（国家核安全局，1990）中考虑的洪水类型主要包括海域洪水和陆域洪水，对于海域设计基准洪水位，选择用于求得核电厂设计基准的洪水，由 10% 超越概率天文高潮+可能最大风暴潮+海平面升高确定。对于陆域设计基准洪水位，①由降雨产生的可能最大洪水；②可能最大洪水引起的上游水库溃坝；③可能最大洪水引起的上游水库溃坝和可能最大降雨引起的区间洪水相遇；④可能最大积雪与频率 1% 的降雪降雨相遇；⑤频率 1% 积雪与降雪的可能最大降雨相遇；⑥由相当运行基准地震动引起的上游水库溃坝与区间 1/2 可能最大降雨引起的洪峰相遇；⑦由相当安全停堆地震震动引起的上游水库溃坝与区间频率 4% 的洪峰相遇；⑧频率 1% 的冰堵与相应季节的可能最大洪水相遇；⑨上游水坝因操作失误开启所有闸门与区间 1/2 可能最大降雨引起的洪峰相遇；⑩上游水坝因操作失误开启所有泄水底孔与区间 1/2 可能最大降雨引起的洪峰相遇。对于厂址设计基准洪水位的选取，选择

其最大值作为厂址设计基准洪水位。

(3) 《核电厂工程气象技术规范》(GB/T 50674—2013) (中华人民共和国住房和城乡建设部等, 2013) 中关于可能最大降水指的是现代气候条件下给定流域面积在一定历时内理论上可能发生的最大雨深。

(4) 《核电厂厂址选择的极端气象事件(不包括热带气旋)》(HAD 101/10—1991) (国家核安全局, 1991a) 中关于龙卷风级别规定包括: ①富士达 F 等级, 是根据龙卷风引起的破坏程度对龙卷风强度进行的分类。②改进型富士达分级, 采用常见的 28 类地面附着物作为参照, 相应地给出了龙卷风风速区间。

(5) 《核电厂厂址选择的极端气象事件(不包括热带气旋)》(HAD 101/10—1991) (国家核安全局, 1991a) 中关于设计基准龙卷风参数包括最大风速、最大旋转风速、平移速度、最大旋转风速半径、最大气压降。

(6) 《核电厂工程气象技术规范》(GB/T 50674—2013) (中华人民共和国住房和城乡建设部等, 2013) 中规定的百年一遇 3 s 极大风速(厂址 10 m 高度)指的是一般通过离地 10 m 高度 10 min 最大风速及 10 min 最大风速和极大风速的相关关系推算百年一遇极大风速。

(7) 《核电厂工程气象技术规范》(GB/T 50674—2013) (中华人民共和国住房和城乡建设部等, 2013) 中规定的百年一遇 10 min 最大风速(厂址 10 m 高度)指的是一般通过离地 10 m 高度 10 min 平均年最大风速系列, 采用概率论法推算重现期百年一遇最大风速。

2.2 灾害组合

关于核电厂设计中考虑的灾害组合, 《核动力厂设计安全规定》(HAF 102—2016) (国家核安全局, 2016) 第 5.1.10 条要求: 如果由工程判断、确定论安全分析和概率论安全分析的结果表明事件组合将可能导致预计运行事件或事故工况, 则必须主要根据其发生的可能性, 将这些事件组合纳入设计基准事故或设计扩展工况。某些事件可能是其他事件的后果, 如地震后的水淹, 这种继发效应应视为初始假设始发事件的一部分。

《核动力厂安全评价与验证》(HAD 102/17—2006) (国家核安全局, 2006a) 对“灾害组合”及“荷载组合”的要求为: 设计基准应计及可以合理假设同时发生的各种极端气象条件(包括极端风荷载、极端大气温度、极端降雨量和降雪量、极端冷却水温度和冰冻、极端量海植被)的组合; 安全级的构筑物 and 部件应该设计成能承受由运行状态和设计基准事故(包括内部和外部灾害)引起的所有相关荷载。

《核动力厂抗震设计与鉴定》(HAD 102/02—2019) (国家核安全局, 2019) 规定了地震作用与运行荷载的组合。

从实践的角度来看, 核电厂设计主要考虑内部灾害和外部灾害的组合, 其中, 外部灾害包括外部自然灾害和外部人为灾害, 外部人为灾害主要包括飞机坠毁、外部爆炸、外部火灾、电磁干扰等(国家核安全局, 1989), 总体上应考虑以下因素:

- (1) 选取可信外部灾害的设计基准;
- (2) 识别出外部灾害的可信组合或外部灾害与内部灾害、外部灾害与内部事件的可信组合;
- (3) 对单个外部灾害事件、外部灾害组合或外部灾害与内部事件组合, 规定核电厂防护设计的安全目标与验收准则;
- (4) 通过保守设计确保应对各类外部灾害及可信组合的防护具有充足裕量, 避免陡边效应。

外部灾害组合、外部灾害与内部灾害组合或外部灾害与内部事件组合方式如下:

- (1) 外部灾害与其继发灾害/事件的组合, 如地震与内部火灾、地震与丧失厂外电等;
- (2) 存在共因现象的外部灾害组合, 如洪水与降雨等;
- (3) 由概率分析识别出来的或基于工程判断为确保设计裕量而考虑的, 外部灾害与其他独立的外部灾害、内部灾害或内部事件的组合, 如地震与设计基准事故等。

2.3 灾害荷载工况

本文以安全壳构筑物设计应考虑的内外部灾害荷载为例进行说明, 设计过程中主要参照《压水堆核电厂预应力混凝土安全壳设计规范》(NB/T 20303—2014) (国家能源局, 2014), 其他核安全相关的混凝土结构设计也可参照该规范执行。内外部灾害荷载工况如表 1 所示(陈金凤等, 2013; 李亮等, 2017)。

混凝土安全壳荷载组合包括验算混凝土容许应力和承载力的效应组合, 安全壳进行承载力计算的荷载效应组合如表 2 所示。进行安全壳结构设计时, 首先进行内、外部灾害荷载工况分析, 然后按照表 2 进行荷载组合与构件配筋设计。

表 1 安全壳结构设计考虑的内外灾害荷载工况

Table 1 List of load cases considered structural design of containment

符号	荷载类型	符号	荷载类型
D	永久荷载	T_a	由包括 T_0 的设计基准事故引起的温度作用
L	活荷载	R_a	由包括 R_0 的设计基准事故引起的管道和设备反力
G	由启动卸压阀或其他高能装置而引起的荷载	R_l	由设计基准事故引起的局部荷载
F	由施加预应力而产生的荷载	H_a	由于内部溢流而作用于安全壳的荷载
T_0	在正常运行或停堆期间的温度作用	W	厂址基本风压
R_0	在正常运行或停堆期间管道和设备的反力	E_1	运行安全地震动产生的地震作用
P_v	由安全壳内部或外部压力变化引起的压力荷载	W_l	龙卷风荷载
P_t	安全壳进行整体性试验时的压力荷载	E_2	极限安全地震动产生的地震作用
T_t	安全壳进行整体性试验期间的温度作用	A_2	外部爆炸引起的冲击波荷载
P_a	由设计基准事故引起的压力荷载	A_3	外部飞射物引起的荷载
A_1	内部飞射物产生的撞击荷载		

表 2 混凝土结构安全壳设计考虑的荷载组合

Table 2 List of load cases considered in structural Design of Containment

工况	荷载组合	组合编号
施加预应力前	$1.4D+1.7L+1.7W$	(1)
正常运行+严重环境	$D+1.3L+F+G+T_0+1.5E_1+R_0+P_v$	(2)
	$D+1.3L+F+G+T_0+1.5W+R_0+P_v$	(3)
正常运行+极端环境	$D+L+F+G+T_0+E+R_0+P_v$	(4)
	$D+L+F+G+T_0+W+R_0+P_v$	(5)
异常运行	$D+L+F+G+1.5P_a+T_a+R_a$	(6)
	$D+L+F+G+P_a+T_a+1.25R_a$	(7)
	$D+L+F+1.25G+1.25P_a+T_a+R_a$	(8)
	$D+L+F+G+1.25P_a+T_a+1.25E_1+R_a$	(9)
异常运行+严重环境	$D+L+F+G+1.25P_a+T_a+1.25W+R_a$	(10)
	$D+L+F+G+T_0+E_1+H_a$	(11)
	$D+L+F+G+T_0+W+H_a$	(12)
异常运行+极端环境	$D+L+F+G+P_a+T_a+E_2+R_a+R_l$	(13)
异常运行+飞射物	$D+L+F+G+P_a+T_a+E_2+R_a+A_1$	(14)
正常运行+外部人为事件	$D+L+F+G+T_0+R_0+P_v+A_2$	(15)
	$D+L+F+G+T_0+R_0+P_v+A_3$	(16)

2.4 超设计基准自然灾害

核电厂设计中关于超设计基准自然灾害的考虑，是在日本福岛核事故发生后提出的要求，对于提高防御自然灾害安全性具有重要意义。《核动力厂设计安全规定》（HAF 102—2016）（国家核安全局，2016）增加了关于超设计基准自然灾害的要求。

对于超设计基准地震的考虑，《核动力厂抗震设计与鉴定》（HAD 102/02—2019）（国家核安全局，2019）进行了规定：应依据核动力厂相关要求进行抗震设计，以便为超设计基准地震提供一定裕度，以防止陡边效应。为了进一步了解核动力厂抗震裕度和抗震性能薄弱环节，对新建核动力厂进行抗震裕度评估或地震概率安全分析时，可采用现实模型进行结构易损性分析，并根据场址特征确定适当的抗震裕度。核动力厂

设计应能保证极端情况下用于防止核动力厂早期放射性释放或大量放射性释放所需的物项发挥作用。

关于洪水的考虑,国家核安全局于2012年6月发布的《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求(试行)》(国家核安全局,2012)对福岛后改进行动中核岛设施及厂房防洪能力改进提出技术要求,主要内容包括对核电厂防洪、排洪设施功能进行排查和评估,并采取适当的防护措施,使核电厂安全重要系统和部件在超设计基准洪水事件条件下最大限度地保持安全功能。

3 核电厂关于防御自然灾害存在的问题与做法

2017年8月,法国发现特立卡斯坦核电厂上游部分堤坝抗震性能不足,无法承受安全停堆地震(SSE)。如果堤坝决堤,其主要后果是水淹特立卡斯坦核电厂,可能导致核电厂内4台900 MWe机组反应堆和燃料厂房发生核燃料熔毁事故,并增加场内和场外应急管理难度。通过确定论和概率风险评估,运行中的4台机组需要停堆。为此,法国核安全监管机构要求营运单位停闭现场所有反应堆,并立即对堤坝进行加固。

1985年美国核管会(NRC)发布严重事故政策声明,要求美国所有商用核电厂需要对严重事故进行概率安全评估,同时要求对美国东海岸地震危险性认识进行更新,导致出现2个并行研究计划评估核电厂在超设计基准情况下的抗震裕度。作为严重事故政策的一部分,1988年美国核管会(NRC)发布一般性函件GL88-20,要求开展单个核电厂调查,以对内部始发事件进行检查,寻找严重事故下核电厂薄弱点。1991年,美国核管会(NRC)对一般性函件GL88-20进行第4次补充,要求将检查范围扩大,以对外部始发事件进行检查,包括单个核电厂外部事件调查(IPEEE)项目。在IPEEE检查中,要求采用SMA(抗震裕度评估)或SPSA(地震概率安全评估)对抗震能力进行评估,评估结束后,针对核电厂发现的薄弱环节进行了重点加固。

2018年9月16日,台风“山竹”在广东台山海宴镇登陆,登陆时中心附近最大风力14级(风速45 m/s),中心最低气压955 hPa,10级风圈半径影响广东台山、阳江、大亚湾和广西防城港核电厂。2014年7月19日,台风“威马逊”在广西防城港市光坡镇沿海第3次登陆,中心附近最大风力达15级(风速50 m/s),中心最低气压945 hPa,10级风圈半径影响海南昌江、广东阳江和广西防城港核电厂。2013年9月22日,台风“天兔”于广东汕尾登陆,中心附近最大风力14级(风速45 m/s),中心气压940 hPa,10级风圈半径影响大亚湾核电厂。这3场台风均为超强台风,影响范围基本涵盖了我国东南沿海的所有核电厂址。由于我国核电厂防御台风设计基准较高,3场台风均未超出设计基准,未对核电厂安全造成影响。

4 建议

我国是自然灾害高发国家,提高核电厂防御自然灾害能力对于保障核电厂安全具有重要意义。应按照国家安全相关法规、标准、导则做好核电厂防御自然灾害设计,提高核电厂固有安全水平。同时,应重视我国极端气象灾害及十年定期安全审查对提高核电厂防御自然灾害能力的重要意义。

(1) 重视极端气象灾害

近年来,我国极端气象灾害偶有发生,特别是2016年盐城龙卷风。目前,对极端气象的发生、发展认知仍存在一定不确定性。一方面需在极端自然灾害发生后及时进行复核,核实其是否超过核电厂设计基准值;另外一方面应严格落实《核动力厂设计安全规定》(HAF 102—2016)(国家核安全局,2016)关于超设计基准自然灾害的相关设计要求,以保证核电厂安全。

(2) 重视定期安全审查

福岛核事故发生后,国家核安全局与国家能源局、中国地震局对所有核电厂进行了地震和海啸等自然事件综合安全检查和裕量评估,并对发现的薄弱环节进行改进和提升,结果表明,我国核电厂安全性是有保障的。目前,我国所有新建核电厂均已满足《核动力厂设计安全规定》(HAF 102—2016)(国家核安全局,2016)有关要求。对于运行核电厂,按照《核动力厂定期安全审查》(HAD 103/11—2006)(国家核安全局,2006b)相关要求,需要每十年按照现行安全标准和实践对核电厂设计和运行进行评价比较,并确定合理可行的纠正行动和安全改进计划,以确保核电厂在整个使用寿命周期内具有较高的安全水平。

参考文献

柴国早,2015. 后福岛时代对我国核电安全理念及要求的重新审视与思考. 环境保护, 43(7): 21—24.

- Chai G. H., 2015. Reexamine the concept and requirement of nuclear safety in China. *Environmental Protection*, **43**(7): 21—24. (in Chinese)
- 陈金凤, 李忠诚, 董占发等, 2013. 百万千瓦级压水堆核电厂安全壳设计寿命 60 年结构分析评价. *工业建筑*, (S1): 156—160.
- Chen J. F., Li Z. C., Dong Z. F., et al., 2013. Structural analysis and evaluation on 60A-lifetime of the containment for the pressurized water reactor station with 1000MWE class. *Industrial Construction*, (S1): 156—160. (in Chinese)
- 国家核安全局, 1989. HAD 102/05—1989 与核电厂设计有关的外部人为事件.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部等, 2013. GB/T 50674—2013《核电厂工程气象技术规范》. 北京: 中国计划出版社.
- Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China, 2013. GB/T 50674—2013. Code of meteorology for nuclear power plant.
- 国家核安全局, 1991a. HAD 101/10—1991 核电厂厂址选择的极端气象事件 (不包括热带气旋).
- 国家核安全局, 1990. HAD 101/09—1990 滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定.
- 国家核安全局, 1991b. HAF 101—1991 核电厂厂址选择安全规定.
- 国家核安全局, 1994. HAD 101/01—1994 核电厂厂址选择中的地震问题.
- 国家核安全局, 2006a. HAD 102/17—2006 核动力厂安全评价与验证.
- 国家核安全局, 2006b. HAD 103/11—2006 核动力厂定期安全审查.
- 国家核安全局, 2012. 福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求 (试行).
- 国家核安全局, 2016. HAF 102—2016 核动力厂设计安全规定.
- 国家核安全局, 2019. HAD 102/02—2019 核动力厂抗震设计与鉴定.
- 国家能源局, 2014. NB/T 20303—2014 压水堆核电厂预应力混凝土安全壳设计规范. 北京.
- China National Nuclear Industry Corporation, 2014. NB/T 20303—2014 Design requirements for prestressed concrete containments of pressure water reactor nuclear power plants. Beijing: Xinhua Publishing House.
- 贺秋梅, 李小军, 张江伟等, 2014. 某高温气冷堆核电厂结构地震反应分析. *震灾防御技术*, **9** (3): 454—461.
- He Q. M., Li X. J., Zhang J. W., et al., 2014. Seismic response analysis of high temperature gas cooled reactor nuclear power plant. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **9**(3): 454—461. (in Chinese)
- 李亮, 潘蓉, 刘宇等, 2017. 新版 HAF 102—2016《核动力厂设计安全规定》对核电厂混凝土结构设计影响的初步探讨. *工业建筑*, **47** (9): 7—9, 23.
- Li L., Pan R., Liu Y., et al., 2017. Preliminary study of nuclear power plant design safety regulations (HAF 102—2016) for concrete structures in nuclear power plants. *Industrial Construction*, **47**(9): 7—9, 23. (in Chinese)
- 潘华, 吴健, 2006. 新版 IAEA 安全导则《核电厂地震危险性评价》的分析与评述. *震灾防御技术*, **1** (2): 121—128.
- Pan H., Wu J., 2006. Analysis and discussions on the new IAEA safety guide “evaluation of seismic hazards for nuclear power plants”. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **1**(2): 121—128. (in Chinese)
- 潘华, 李金臣, 张志中, 2007. 2006 年 12 月 26 日台湾恒春海外地震及其对核电厂的影响. *震灾防御技术*, **2** (1): 11—18.
- Pan H., Li J. C., Zhang Z. Z., 2007. Taiwan Hengchun offshore earthquake of December 26, 2006 and its effects on safety of NPPs. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **2**(1): 11—18. (in Chinese)
- 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2019. GB/T 51390—2019 核电厂混凝土结构技术标准. 北京: 中国计划出版社.
- Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China, 2019. GB/T 51390—2019 Technical standard for concrete structure of nuclear power plants. Beijing: China Planning Press.
- International Atomic Energy Agency, 2016. Considerations on the application of the IAEA safety requirements for the design of nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1791[R]. Vienna: International Atomic Energy Agency.