

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.019

核电厂消防水源设计探讨

王金龙, 刘环铭, 张龙洲

(深圳中广核工程设计有限公司, 深圳 518172)

摘要: 主要讨论了核电厂消防水源的技术要求和可能的形式。通过对已有文献对核电厂消防水源论述的整理分析, 并结合我国核电厂的实际情况分析了核电厂消防水源对水质、可靠性、消防补水、水泵接合器、消防稳压装置等方面的要求以及可能的消防水源形式, 结果表明相对于一般消防水源要求来说, 核电厂对消防水源的保证率、补水的保证率要求更高, 在核电厂设置水泵接合器和稳压罐是有意义的, 在核电厂消防水源设计中应考虑提升消防水源的相关要求。

关键词: 消防水源; 水质; 可靠性; 补水时间

中图分类号: TU892

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)01-0113-05

Discussion on Requirements and Forms of Fire Water Source in Nuclear Power Plant

WANG Jinlong, LIU Huanming, ZHANG Longzhou

(China Nuclear Power Design Company Limited, Shenzhen 518172)

Abstract: This paper mainly discussed the technical requirements and possible forms of fire water sources in nuclear power plants. Through the literature review of the nuclear power plant fire water, combined with the actual situation of China's nuclear power plant, this paper discussed and analyzed the fire water requirements on water quality, reliability, and fire pump adapter and make up devices and the possible forms of fire water source, the results show that compared with the general requirements of fire water, in nuclear power plant, the guarantee rate of fire water is more demanding, fire pump adapter and the surge tank is useful. In the design of nuclear power plant fire water source should be considered to enhance the fire water requirements.

Key words: fire water; water quality; reliability; fire pump adapter

由于核电在我国大规模发展只是近十年的事情, 核电厂水消防设计尤其是核岛设计主要使用国外规范, 但是国外的消防规范多是性能化设计结果的总结, 故规范具有很强烈的针对性, 如法国 RCC-I 系列规范, 不同版本针对不同的机型, 由于国外消防规范的这个特征, 我们在消防规范的中国化过程中就会遇到规范的普适性问题, 如何从基本原理出发分析得到消防设计的根本性原则, 对我国以后核电站消防的发展至关重要。水消防作为最常用的消防系统, 在核电厂消防设计

中有广泛的使用, 消防水源是水消防的重要部分, 本文结合核电站的特殊性从水质、水量、可靠性三个方面对核电消防水源进行系统地分析论述, 得出多个结论, 并由此分析得出核电厂可以采用的消防水源形式。

1 当前国内使用的若干规范对消防水源相关问题的规定

我国当前使用的核电站消防设计规范^[1-3]对消防水源的各个参数规定不一, 部分参数未明确。具体情况如表 1 所示。

表 1 基本列出了核电厂消防水源设计需要考虑的问题, 下文针对表 1 中的每个项目进行论述。

表1 规范对消防水源的要求

Tab. 1 The requirements to fire water supply of standards

项目	规范 HAD101/02	EJ 1082— 2005	GB/T 22158— 2008	RCC-I83 (中文版)	RCC-I97 (中文版)	ETC-F	NFPA 804/805
消防水池 冗余性	对于核安全物 项 100% 冗余	未规定	100% 冗余(全厂, 设计 流量规定有缺陷)	未规定	未规定	100% 冗余 (全厂)	100% 冗余 (全厂)
抗震水池个数	至少一个	未明确	两个	两个	两个	两个	需要抗震水源, 但是允许从其他 抗震系统获取用水
利用天然水源 时的保证率	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确
消防补水时间	8 h(核)	未明确	8 h(全厂)	未明确	未明确	8 h (全厂)	不要求
补水是否可以 减少水池容积	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确
稳压装置	未明确	未明确	设置两个消防水 箱或类似装置	设置两个消防水 箱或类似装置	设置两个消防水 箱或类似装置	设置稳压罐	设置稳压泵
水泵接合器	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确	未明确

2 消防水源的可靠性

2.1 提高消防系统可靠性的必要性

与普通民用消防设计的目的——保证生命财产安全相比, 区别之处主要在与防火措施必须保证核安全功能的完成。由于火灾可能导致核电厂中执行同一安全功能的系统、设备和部件同时失效, 进而引发核安全事故, 根据单一故障准则的要求, 同一故障及其继发故障不能使执行同一安全功能的安全物项同时失效, 故必须对发生在一列安全物项上的火灾予以有效控制, 防止火灾从一列蔓延到另外一列, 灭火是其中一个选项, 在火灾时消防系统的及时启动, 是防止事故的一个有效办法。

同时由于安全物项的重要性, 其损坏可能导致核电厂长期不可用, 造成巨大的经济损失, 再次, 由于安全物项着火且火灾无法控制, 将给社会留下一种核电厂设计可能不够安全的印象甚至引起恐慌, 故在核电厂核岛消防中应有意识的加强安全物项消防设施的可用性和安全性。

核电厂中汽轮机厂房和部分辅助性厂房, 以及核岛中不执行安全功能的区域虽然几乎不会由于该区域火灾造成核事故, 但也不是完全没有可能, 同时相对于火电厂和其他民用设施其由于火灾原因导致核电厂长期不可用带来的经济损失要大的多, 发生火灾而不能控制给公众留下的印象也要恶劣的多, 故其消防设计也应比普通民用设施严格。

综上所述, 核电厂消防系统应具有更高的可

靠性。

2.2 消防水源的冗余性

消防水源按可分为单水源系统、双水源系统。一般双水源系统用于性质特别重要或火灾危害性特别大的场所。

核电厂中的核岛属于性质特别重要的场所, 应设置双水源, 在《核电厂防火》HAD 102/11 第 5.6.7 中有明确的要求: 应设置两个独立可靠的水源, 如果只设置一个水源, 则必须是湖泊、池塘、河流等大水体, 并必须设置两个独立的取水口, 如果仅用水池, 这必须设置两个 100% 系统容量的消防水池^[3]。该条文虽然表述有只设置一个水源的情况, 但其所表述的水源形式为大水体, 即可用的水量远大于需求量, 另外需要设置两个独立的取水口, 可以看成双水源系统。

国外核电厂相关规范一般规定全厂消防系统设置双水源, 如国际核保险组织出版的导则 International Guidelines for the Fire Protection of Nuclear Power Plants Issued in 2006 的第 3.4.2 条规定: Two independent, reliable freshwater supplies should be provided^[4] 即规定全厂应该有两个独立的消防水源。NFPA804 Standard for Fire Protection for Advanced Light Water Reactor Electric Generating Plants 10 版第 9.2.2 条规定: Two 100-percent system capacity tanks shall be installed^[5] 即规定全厂应该设有两个 100% 系统容量的消防水池。根据 NFPA 805 Performance-Based Standard for Fire Protection for Light

Water Reactor Electric Generating Plants 2006 版本第 5.5.1 条条及 5.5.2 条条解释^[6], 可以看出, 美国普通轻水堆核电站的全厂消防也要求使用两个独立的消防水源。法文版 RCCI 92^[7] 和 RCCI 97^[2] 第 2.5.6.3 条规定: 至少设置两个消防水池, 每个水池均可满足 2 小时最大火灾用水量的要求。法国规范 ETC-F2010 EPR Technical Code for Fire Protection 第 E1222 条规定, 至少设置两个独立的水源^[8]。

由上述分析可以看出, 全厂宜(应)有两个独立的 100% 容量的消防水源。

2.3 消防水源的保证率

对于使用天然水源作为消防水源的情况, 保证率是可靠性的重要指标, 我国现行规范如《核电厂防火》HAD 102/11、《核电厂防火准则》EJ/T 1082—2005、《核电厂防火设计规范》GB/T 22158-2008 均未对该指标进行描述。美国核管会管理导则 Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants Regulatory Guide 1.7 中 2.4.11.1 规定: For non-safety-related water supplies, demonstrate the supply will be adequate during a 100-year drought^[9], 即对非安全相关的供水, 应在百年一遇的干旱中也能满足需求。电力工业部印发的《核电厂水气象规定(试行)》6.1.1 条文说明对该条文说明表示一定的认同^[10]。核电站消防系统不属于核电的安全物项, 在核电站设计中其水源保证率可参考上述规定定为 99%。但是核岛在出现 99% 低水位的条件下仍需要维持核岛消防安全, 故建议在极端低水位条件下的取水能力和取水总量应保证至少一次核岛火灾的用水需求。

2.4 消防水源的抗震问题

《核电厂防火》HAD 102/11 第 5.6.7 条规定: 应设置两个独立的可靠水源, 其中至少有一个能满足 5.1.2 条(2)的要求, 第 5.1.2 条规定, 必须进行分析以确定来自自然现象和人因时间的火灾危害(见核安全导则 HAD 101/04《核电厂厂址选择的外部人为时间》、HAD 102/05 和 HAD 102/02《核电厂抗震设计与鉴定》)^[3], 根据 HAD 102/02《核电厂抗震设计与鉴定》附录 1 给出了典型系统的抗震设计情况, 加拿大和法国核电站要求核岛内部的消防系统应设置成能抗 SSE 地震^[11], 《核电厂防火准则》EJ_ T 1082—2005 第 6.1 条规定, 用于保护安

全相关系统和设备的消防系统应按可以承受 SSE 地震引起的载荷进行设计^[12]。从核安全的角度看, 在地震期间和地震后消防系统及时修复之前, 爆发的火灾不应引起安全事故, 地震后不抗震的消防设施的修复需要时间, 持续时间较长的情况下火灾风险可能是无法接受的, 地震后通过临时水源调用来满足核岛消防需求也比较困难, 故核电站消防水源设计应能满足地震之后的消防需求。《核电厂防火设计规范》GB/T 22158—2008 第 4.5.3.4.1 规定: 如果使用水池, 应设置两个 100% 系统容量的水池, 抗 SL-2 地震^[13], 该规定相对于《核电厂防火》HAD 102/11 过于严格, 确保消防水源地震后可用只是为在地震期间或地震后一段时间内保证消防水供应, 从而有效控制火灾不至于损坏安全级系统、设备和部件, 只要一个抗震的消防水源和抗震的消防系统连接, 在地震时和地震后仍然能保证消防水的供应有效灭火即可, 当然将两个独立的消防水源均设置成能满足地震后的灭火需求的, 能有效提高地震条件下的消防供水能力, 对消防安全有好处的。对于采用大水体的情况, 应保证至少有一个取水口再发生 SSE 地震的条件下可以有效取水。

2.5 消防补水时间

火灾发生后, 保证下一次火灾发生前有足够的消防水对保证消防系统完成功能有重要意义, 故消防补水时间应作为消防水池的可靠性的一个指标, 《核电厂防火》HAD 102/11 第 5.6.7 条规定核电厂供水系统的总容量必须能在适当时间(8 h)再补满任意一个水池^[3], 但是 NFPA 804 第 9.2.2 条条文说明^[5] 和第 5.5.2 条条文说明^[6] 却规定: Due to the 100% redundancy feature of two tanks, refill times in excess of 8 hours are acceptable, 即认为采用双水源, 补水时间可以超过 8 h。我国《核电厂防火》HAD 102/11 的参照文件的最新版本 Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power plants No. NS-G-1.7 未提出明确的补水时间要求, 仅仅在 5.40 条规定: The plant water supply capacity should be sufficient to allow refilling of either tank within a sufficiently short period of time^[14]。法国规范 RCCI 的所有版本均未对该参数提出要求, 但是最新的 EPR Technical code for fire protection ETC-F 第 E1222 条提到: The inventory shall be restorable in 8 hours^[14]。核电厂使用双水

源,连续发生两次火灾的概率较小,即便是连续发生火灾仍有一个水源可用,8 h 补水对应对火灾的能力的提升有限,同时由于核电厂常规岛消防用水量,仅仅依靠电厂的正常运行时的制水能力利用每天供水能力超出用水需求的部分很难8 h 补满,只能加大水厂制水能力或扩大清水池容积或者采用生活生产用水份额来保证补水时间要求,如果不规定补水的时间限制,补水时间过长将导致厂区双水源消防系统名存实亡。建议在修编相关规范时,适当延长补水时间,如延长到24 h。

3 使用消防泵供应消防水的条件下设置高位水箱或稳压罐的必要性

在火灾初起时扑灭最为有效,轰然发生后火灾扑灭十分困难,故应加强对火灾初期灭火的重视。对于设置自动水消防系统的场所,保证扑灭初期火灾的最有效办法就是为自动水消防系统提供一个可靠的自动水源。一般从消防系统动作到泵的启动一般要几十秒,而很多需要设置开式灭火系统的火灾的成长速度一般与时间平方成正比,消防泵启动时间较长时如完全依靠消防泵,将增加灭火不成功地概率,因此在核电厂设置高位水箱、稳压罐作为自动消防水源是有一定必要性的。

4 设置水泵接合器的必要性

水泵接合器属于辅助性水源,可在消防泵组出故障,或消防水池存水用尽时,或者火灾蔓延超过设计基准时向各室内灭火系统提供消防水。当电厂采用双水源配置时,出现消防水用尽的概率非常小;核电厂消防泵的备用泵一般可以与工作泵同时工作,火灾蔓延导致增加的水量正常应该不会超过所有消防泵同时运行的需求;且核电厂的消防管网均为独立管网,电源的冗余度较高,泵的质量也能有效保证,参考《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229—2006 第7.4.1条规定不设置水泵接合器,理由如该规范7.4.1条文说明^[15],但是该论证有疏漏,双电源和消防泵备用并不能绝对保证消防泵绝对可用;只考虑了从室外消火栓取水向室内供水的情况,且假设室外消防管网与室内是连通的。而电厂往往具备通过消防车从消防水池吸水井、附近河流等位置取水向消防管网补充的条件,同时我国核电厂采用的消防车出口压力一般不低于

1 MPa,流量不小于40 L/s,能提供满足压力要求的消防用水,当出现多于1台消防泵不可用时,通过该方式比直接通过消防车远程敷设水带救援要便利有效的多,且增加投资也较少。

我国现行的《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974—2014 第5.4.1条的规定过于严格^[16],对于一般室内采用与室外独立的管网或有室外市政水源的城市建筑来说具有较强的意义,但是对于核电厂等无市政供水等独立于室内管网的室外管网,室内外均由一套系统供水的情况下,设置水泵接合器意义不大,除了火灾时室内外管网断开利用水泵接合器补水是有意义的外其他情况没有意义,而对于采用两路进水且平时管道充水带压的室内消防系统来说,管道损坏是容易发现并进行修理的,火灾时不应考虑两路进水管同时丧失。

无论采取什么措施都不能可能做到100%可靠,对于核岛这种特别重要的厂房将人工消防作为自动消防设施的补充是合适的。而且核安全物项的消防水量一般较小,在核电厂消防水主环网上应设置适当数量的水泵结合器,在极端条件下通过消防车利用消防水池的储水或其他消防水源满足消防需求来确保核安全物项的安全是合理可行的。

故建议核电厂在消防水池消防车取水口、可用的消防水源附近适当设置水泵接合器或类似接口。

5 消防补水

我国规范《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974—2014 第4.3.4条规定,采用两路消防补水且在火灾条件下连续补水能满足消防要求时可以减少消防水池的容积^[16]。但是核电厂供水保证率要求较高(不低于99%),如果将火灾延续时间内补充的水量作为有效的消防水来考虑,则补水的保证率也不应低于99%,且至少有两根补水管。我国给水设计规范,对一般给水设计的保证率要求仅仅为97%,这样利用给水系统作为消防水池的补水水源考虑减少补水容积是不安全的。如果有保证率不低于99%的补水水源,可以考虑减少消防水池的容积。另外对于核岛要求在任何时候均能有效保证消防水的供应且部分堆型要求地震后能使用,补水水源一般无法做到满足这两个条件,故核安全物项的消防用水容积不宜考虑减去消防补水水源。

6 结论

1) 水质标准不应低于《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)规定, 同时应根据报警阀、喷头等消防设备的情况确定悬浮物指标。

2) 核电厂消防需有不少于两个独立水源, 两个独立水源均能单独满足设计基准火灾在设计火灾延续时间内的用水需求, 其中至少一个水源能在地震期间或地震后一段时间内能满足核安全物项在设计基准火灾在设计火灾延续时间内的用水需求。利用天然水源作为消防水源时的保证率建议不低于99%, 在极端低水位下应能保证核岛消防用水需求。在使用双水源的基础上, 建议相关规范在修编时适当延长消防补水时间。

3) 非重力供水的情况下, 宜设置高位水箱或稳压罐来稳压并在消防水泵正常供水之前保证消防系统的正常运行。

4) 宜在消防水池消防车取水口附近或者其他水源附近设置水泵接合器。应为核岛消防供水的水泵接合器或相同功能的接口。

5) 如果有保证率高于99%的补水水源时, 可以适当减少消防水池容积, 除非有其他抗震水源可以用于给消防水池补水, 否则用于满足核安全物项消防用水的抗震消防水池的存水容积不应少于核安全物项的设计基准火灾的消防用水量。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 自动喷水灭火系统设计规范: GB 50084—2017 [S]. 北京: 中国计划工业出版社, 2017.
- [2] 北京核工业第二研究设计院. 压水堆核电站防火设计和建造规则(第4版): RCC-I 97 [S]. 北京: 北京核工业第二研究设计院, 1997: 47-50.
- [3] 国家核安全局. 核电厂防火: HAD 102/11—1996 [S]. 北京: 中国法制出版社, 1996.
- [4] American Nuclear Insurers. International guidelines for the fire protection of nuclear power plants [S]. West Hartford, U. S. A.: Nuclear Pools's Forum, 2016.
- [5] 美国国家防火协会. 先进轻水堆核电厂的防火标准: NFPA804—2001 [S]. 美国: 美国国家防火协会, 2001.
- [6] 美国国家防火协会. 为轻水反应堆发电厂防火性能为基础的标准: NFPA805—2001 [S]. 美国: 美国国家防火协会, 2001.
- [7] 北京核工业第二研究设计院. 压水堆核电站防火设计和建造规则(第3版): RCC-I 92 [S]. 北京: 北京核工业第二研究

设计院, 1992: 73.

- [8] EDF, German Utilities, NPI, et al. EPR technical code for fire protection: AFCEN ETC-F—2010 [S]. France: EDF, 2010: 58.
- [9] International Atomic Energy Agency. Standard format and content of safety analysis reports for nuclear power plants regulatory: Guide 1.7 Rev. 3 [S]. [S. n.: s. l.], 1978: 2-21.
- [10] 中华人民共和国电力工业部. 核电厂水文气象规定(试行) [S]. 北京: 中国电力出版社, 1996: 34.
- [11] 国家核安全局. 核电厂抗震设计与鉴定: HAD 102/02 [S]. 北京: 中国法制出版社, 1996: 909-915.
- [12] 中国核工业集团公司. 核电厂防火准则: EJ/T 1082—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 10.
- [13] 中国国家标准化管理委员会. 核电厂防火设计规范: GB/T 22158—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 17.
- [14] International Atomic Energy Agency. Protection against internal fires and explosions in the design of nuclear power plants: No. NS-G-1.7 [S]. [S. n.: s. l.], 2004: 28.
- [15] 中华人民共和国建设部. 火力发电厂与变电站设计防火规范: GB 50229—2006 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006: 122.
- [16] 中华人民共和国公安部. 消防给水及消火栓系统技术规范: GB 50974—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014: 38.

作者简介:



WANG J L

王金龙(通信作者)

1983-, 男, 湖北谷城人, 深圳中广核工程设计有限公司给排水工程师, 哈尔滨工业大学硕士, 主要从事给排水及消防系统设计工作(e-mail) wjl_hit@126.com。



LIU H M

刘环铭

1986-, 男, 吉林省吉林市人, 深圳中广核工程设计有限公司给排水工程师, 北京交通大学硕士, 主要从事给排水及消防系统设计工作(e-mail) liuhuanming722@126.com。



ZHANG L Z

张龙洲

1988-, 男, 甘肃榆中人, 深圳中广核工程设计有限公司给排水工程师, 山东大学硕士, 主要从事给排水方面的研究(e-mail) zhang1long6zhou3@163.com。

(责任编辑 郑文棠)