

LCC 分析的变电站防汛能力提升可行性评估

崔洪波¹, 王 晖¹, 李科文¹, 徐奋强²

(1.国网经济技术研究院有限公司, 北京市 102209; 2.江苏省南京工程学院, 江苏 南京 210098)

摘 要: 洪涝灾害频发地区的变电站有严峻的防汛需求,对其防汛方案可行性评估的研究具有重大意义。基于工程经济学理论,结合具体案例,采用全寿命周期成本(LCC)分析,根据变电站各时期防汛性能要求,量化变电站防汛工程的提升项目,并提出各阶段的成本计算公式,最后提出采用成本效益分析方法判断方案的可行性。结果表明:全寿命过程中,一次性防汛投资是提升变电站防汛能力的决定因素,其占全寿命周期总成本的合理占比应约为80%。

关键词: 变电站;防汛;成本效益;全寿命周期成本;可行性评估

中图分类号: TV87

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0154-05

0 引 言

随着气候变化全球洪涝灾害频发,以变电站为代表的电力设施在日益频发的汛情下屡遭破坏^[1-2],这不仅会带来巨大的经济损失,还会带来极大的不良社会影响。

根据我国多地报告的变电站受灾情况分析资料来看,造成变电站损坏瘫痪的主因在于站址位置设置不利以及防守力度低下,易遭洪水入侵,此外还有洪水侵入后排放能力不足导致长时间内涝而造成电力设施的损坏。目前,国内已有较多针对洪涝灾害中变电站防汛能力的提升研究。在“防”和“排”这两大方面的防灾研究中,主要有工程建设气候和地理环境分析选择^[3-5]、防洪标准和防洪力度的讨论与升级^[6-7]。刘自发等^[8]提出一种基于地理信息的自适应小生境微分进化算法来解决变电站及相关配电网的规划问题,通过改造后的微分算法能够有效寻找变电站的最优化选址及配电路径。王成山等^[9]提出了针对变电站选址的两阶段优化规划方法,此类研究都将目标集中于优化选址来规避和防御洪水侵害。鲁永红等^[10]致力于对变电站高程进行工程控制来实现对水文地质灾害的规避。吴龙生等^[11]以提供输变电工程的地基基础优化方法,来实现维持变电站的基础稳定。邹宇等^[12]在城市变电站防涝排水

方面给出建议,为变电站电缆沟等可能发生倒灌的管网通道建设上给出了可行方案。

从以上研究可以看出,现有的提升变电站防汛能力的研究主要致力于洪涝灾害下如何“防”和“排”的具体技术的研究,这些方法大部分在实际案例中被证明有效,但其成本、能效比缺少较为系统的评估方法。本文从工程经济学角度出发,运用全寿命周期成本(LCC)对变电站防汛差异化提升措施进行量化,通过建立全寿命周期成本分析模型来讨论差异化提升方案的过程和最终结论的方法,按照成本最小化和效能最大化的原则,实现更为科学的设计,以便在确保设计质量的前提下,实现工程项目寿命周期成本相对最小化的目标,同时实现工程项目建设的最大经济效益与最大社会效益。

1 全寿命周期模型构建

1.1 LCC 理论

全寿命周期成本(LCC)是指一种贯穿工程项目全寿命周期,包括工程项目的初期、建设期、使用期和翻新与拆除期等阶段,总造价最小化的方法。它既可以被看作工程项目投资决策的一种分析工具,或一种用来选择决策备选方案的数学方法,也可以被作为计算工程项目整个寿命期的所有成本(直接、间接、社会和环境成本等)、确定设计方案的一种技术方法。在部分洪涝灾害频发地区,防汛是贯穿变电站寿命周期的刚需。全寿命周期成本理论一方面可以明确变电站各阶段的防汛重点,另一方面能对其成本和效果进行评估,是一种合适的可行性评价方法。

收稿日期: 2022-04-06

基金项目: 国网经研院 2021 年科技项目(编号:452103-9003001-0011)

作者简介: 崔洪波(1975—),男,硕士,高级工程师,主要从事电力研究工作。

1.2 变电站防汛成本组成

变电站的防汛单元可以看作一个单独的全寿命过程,其计算公式见式(1):

$$L_{cc} = IC + OC + FC + DC \quad (1)$$

式中:IC(Investment Costs)为防汛时的一次性投资成本;OC(Operation Costs)为保证防汛结构、设备正常运行的成本;FC(Failure Costs)为洪涝灾害引起的中断供电损失成本;DC(Discard Costs)为防汛结构、设备的报废成本。各项成本在计算、分析时均根据有关规程规定并结合运行经验和习惯等进行。

1.3 成本效益分析

如仅考虑成本构成,只对计算得到的 L_{cc} 进行比较,仍不全面。防汛投资虽然不是以盈利为目的,但其初衷也是获得一定的效益,分析付出的成本和获得的效益之间的关系,以及他们之间的平衡,这样更能直接有效地对防汛投资效果进行评判。

费用效益分析法是常用的LCC评估方法,其计算模型见式(2):

$$CE = \frac{SE}{L_{cc}} \quad (2)$$

式中:CE指防汛投入成本获得的效率;SE指系统效益,表示在投入寿命周期成本后所取得的效果或者说明任务完成到什么程度的指标,通常为经济效益、价值、效果; L_{cc} 表示全寿命周期费用。可见,CE即为单位费用的效益输出值,该值越大越好。要达到这个目标,就需要在各个涉及因素之间,进行有效的权衡分析,获得费用与效益之间的最佳平衡,既保证了设备系统的任务要求和性能指标,又可使有限的人、财、物等资源得到充分利用。

2 一次性防汛投资成本(IC)

设计阶段和建设阶段是变电站提升改造最为关键的阶段,考虑到防汛需求,该阶段最主要的成本变化为一次性投资成本(IC)的增加,工程上在此阶段需要完成95%的方案进度和优化^[13]。IC的主要构成分为各类防汛结构的建设和设备的购置。其中防汛结构主要包括:排水管网、防洪墙和建筑防水工程;防护设备主要包括:照明设备、水位监控设备和常规防汛物资。

2.1 防汛结构

2.1.1 排水管网

站内防汛主要为防止内涝。变电站防汛排水管网的基本要求是通畅、及时地排出站内雨水。在设计

站内排水管网时,主要的内容为:

- (1)管道定线,确定排出方式;
- (2)划分并计算各设计管段的汇水面积;
- (3)确定各雨水排水区域的平均径流系数值;
- (4)确定设计重现期、地面集水时间;
- (5)求单位面积径流量;
- (6)列表进行防汛排水管网干管的设计流量和水力计算,以求得各管段的设计流量,及确定各管段的管径、坡度、流速、管底标高和管道埋深值等(计算时需先定管道起点的埋深或管底标高);
- (7)结合管道水力计算结果及接受水体的水位情况,合理设置雨水泵站;
- (8)绘制防汛排水管网平面图。

其中,较为重要的步骤为雨量分析,主要为确定暴雨强度公式中各参数值;确定管网设计流量,雨水设计流量是确定防汛排水管网断面尺寸的重要依据;确定径流系数,不过由于影响因素很多,要精确地求定其值是很困难的,目前在防汛排水管网设计中,径流系数通常采用按地面覆盖种类确定的经验数值。

2.1.2 防洪墙

一般情况下,变电站防洪可采取三类措施:围墙堵水、填土提升地面标高、电器设备基础高于最高洪水位。由于填土提高地形标高的方式涉及买土、运输、填方施工等环节,填土较高时导致建设成本较高,尤其是城市变电站买土困难,该方式通常不可行;而多数采用围墙堵水和电器设备高基础的方式,其中围墙堵水防洪技术更为普遍采用。

按照当地水文资料确定防洪墙的高度,一般墙顶高于最高洪水位0.5 m,依据洪水的发生频率和洪水位高度,选取实体砖砌墙、混凝土结构防洪墙等不同的堵水方式。

2.1.3 建筑防水工程

为保证变电站结构避免水的侵袭、防止内部空间受水的危害,需要实施防水工程。变电站防水工程在变电站工程中占有重要的地位。变电站防水工程涉及地下电缆层、墙地面、墙身、屋顶等多个部位,其功能就是要使变电站建筑物或构筑物在设计耐久年限内,防止雨水及生产、生活用水的渗漏和地下水的侵蚀,是保证变电站安全运行的一项必要措施。

2.2 防汛设备

2.2.1 照明设备

对场地照明安装位置较低且防水能力不足的站

场,应提升照明系统安装高度,提升防水等级,采用 LED 光源。同时,可考虑接入变电站智能辅助平台,实现远程开启功能,并与视频系统联动,为夜间巡视及抢修提供充足照明,也可通过提升照明支架高度,确保照明供电不受汛情影响。采用 LED 光源,功率较小,能够有效降低电源线及空开等元器件的使用压力,灯具选用为 IP65 以上的防水等级,确保照明系统在暴雨期间也能够正常使用。

2.2.2 水位监控设备

为保证场区内水位实现实时监测,在场区电缆沟或排水沟中设置水位监测装置。同时,为防止水位监测控制装置浸水失效,应提高水位监测控制箱的高度,确保运行时不会进水。

2.2.3 常规防汛物资

常规防汛物资包括救生衣等个人防护用品、水泵等排水物资、沙袋等挡水物资、皮艇等交通工具及移动照明工具等。

以上各部分的费用随着设备规格、种类等不同而有所不同。另外,对以上费用的考虑要包括安装和调试各设备期间所有的人工费、材料费以及机械费,要做到全面的估计。 IC 的计算公式如下:

$$IC = z + \sum_{i=1}^n f_i \quad (3)$$

式中: z 为咨询费用,这部分成本用于在具体的建设环境下,减少不必要的和确保必要的防汛投入; f_i 为各防汛结构建设费用和防汛设备的购置费用。

3 防汛能力维持成本(OC)

变电站运营期的防汛能力维持成本指变电站在运营期保证防汛结构和设备能正常运行所投入的成本,即 OC 。 OC 的主要构成为维护保养费,即对防汛结构、设备进行检修、保养,以及在不中断供电的情况下对设备的测试和维修。受灾期 OC 主要构成为防汛常用物资的消耗成本。

$$OC = \sum_{j=1}^m C_j + \sum_{k=1}^r D_k \quad (4)$$

式中: C_j 为每项防汛结构、设备的维护成本, D_k 为每项防汛物资的耗能和补充成本。

4 中断供电损失成本(FC)

中断供电损失成本(FC)是指灾情来临时,灾害引起的中断供电损失成本,供电中断使电力企业减少供电量和售电收入,对用户造成一定的经济损失。

因此,在电力系统规划和运行中,电力企业把变电站故障(事故)引起中断供电损失(FC)作为自己的成本是符合实际的,能较好地与供电可靠性联系起来,尽管相关用户停电损失还不用补偿。中断供电损失成本可按式(5)进行估算。

$$FC = \alpha WT + R \quad (5)$$

式中: α 为相关用户平均中断供电电量的价值; W 为中断供电功率; T 为故障中断供电时间; R 为修复成本。

5 报废成本(DC)

报废成本(DC)指产品寿命周期结束后,清理、销毁该产品所需支付的费用。对于防汛结构和设备,即排水管网、防洪墙和建筑防水工程来说,其寿命周期一般与变电站本身的设计寿命周期相同,因此不参与报废成本的计算。但是对于受灾淘汰下的电力设备,在折旧计算时必须加以考虑。本文给出折旧摊销公式^[14]如下:

$$DC = \sum_{p=1}^q E_p - \sum_{l=1}^s \varepsilon_l G_l \times \frac{1}{t} \quad (6)$$

式中: E_p 为变电站第 P 项设备/设施的拆除成本; G_l 为变电站第 l 项设备/设施的投资成本; ε_l 为残值率; t 为设备/设施的使用年限。

不同类型、用途的产品报废成本是不一样的,有些可以产生一定数量的残值收入,用以与有关的费用相抵,这种情况下就不会产生报废成本,如设备的正常报废;而有些不仅不能产生任何残值收入,还需要花费大量的资金用于其报废和清理。

6 算例及评价

按照全寿命周期折现计算模型,结合具体的案例将全面防汛提升前后的成本做出比对,用数据分析的结果来证明防汛差异化提升的科学性和必要性,实现以经济效益来证明项目的合理性的最终目的。

6.1 工程概况

某 110 kV 变电站地处县城郊区,受地理位置和水文气象条件影响,该站发生台风影响的暴雨洪涝灾害的可能性较大;受上游来水泄洪影响,该站有遭受洪水的可能;由于城市建设,该站周边道路高于站内地坪,当发生短时强降水或持续性降水时,该站遭受城市内涝影响的可能性大。

按照《变电站岩土工程勘测技术规程》(DL/T 5170—2015)之有关规定,本工程为中等复杂场地,

安全等级为二级,勘测等级为乙级。考核变电站建设的工程和水文条件,可以在设定站址上按照新标准直接进行工程建设予以提升防汛强度。

6.2 成本分析

6.2.1 L_{CC} 计算

在该案例中,一次性防汛成本(IC)投入的主要构成包括咨询费、防汛结构投入成本和防汛设备投入成本三大部分。

(1)咨询费:咨询专业人员,对原变电站的防汛结构、设备等短板提出改造提升方案。

(2)防汛结构投入成本:增加基础标高至新洪水峰值水位以上 0.5 m,设防根据《变电站总平面布置设计技术规程》(DL/T 5056—2007)中要求,采用 50 a 一遇洪水水位。对基础采用全填土方案,改原条形基础为桩基础,主变电力设备高位布置;改普通围墙为防洪围墙,增加防洪设防高度,洪水侵袭方向增加结构抗洪强度,防洪墙材料采用 C30 混凝土 HRB335 级钢筋;增加变电站内部排涝设施投入,在站内增建集水井,拟增加排水泵和排水管,还要酌情增加部分备用电力设备,对原有排水管进行疏通和维护。

(3)防汛设备投入成本:灯具选用 IP65 以上的防水等级,设置专用防汛专供电源,抬高照明设备基础,需要采用更粗线径的电源线,确保供电安全;增加水位监测、排水监测传感器,在防汛重点部位增设监视摄像头;按照站内常驻人数的 1.5 倍配置个人防护用品,购置沙袋、冲锋舟等物资。

依据防汛提升模块分析、各专项工程工程量清单和计价表、各项投资总额、全寿命周期计算模型,一次性投资成本(IC)见表 1。

根据一次性防汛投资成本计算公式计算:

表 1 一次性投资成本(IC)核算			
项目		改造前	改造后
咨询费		0	7.8
基础工程	人工	4.9	6.4
	材料	40	72.1
	机械	5.3	8.6
外围结构	人工	6.6	8.7
	材料	16.5	26.4
排水系统	人工	2.2	3.6
	材料	34.3	56.8
照明	系统	0	10
监控	系统	0	10
常规防汛	物资	0	5

注:表中单位为万元。

$$IC = z + \sum_{i=1}^n f_i = 215.4 \text{ (万元)}$$

在本案例中,防汛能力维持成本见表 2。

表 2 防汛能力维持成本(OC)核算

成本核算		维护 / 补充 / 运行成本 / 万元	
		改造前	改造后
防汛结构	基础工程	0.4	0.5
	外围结构	0.4	0.5
	排水系统	1.5	2
防汛设备	照明系统	0	4
	监控系统	0	2
	常规防汛物资	0	2

$$OC = \sum_{j=1}^m C_j + \sum_{k=1}^r D_k = 11.0 \text{ (万元)}$$

对于投入了一次性防汛成本和防汛能力维持成本的变电站,在 20 a 一遇的洪涝灾害来临时,其中断供电损失成本将大大降低,但仍不排除在防汛工作完备的情况下发生意外导致供电中断。在计算时,一般根据洪涝灾害的等级和 IC 与 OC 的投入程度,对受灾损失进行折减。表 3 为该站未投入 IC 和 OC 情况下需要付出的中断供电成本(FC)。

表 3 中断供电成本(FC)核算

分项损失	主站损失 / 万元		停电损失 / 万元	汛期投入 / 万元	
	电力设备	建筑工程		灾前补强	灾后大修
额度	236.3	8.5	51.6	6.5	12.2

注:停电时间设定为 17 天,其中排涝清污 7 天,设备维修和更换 10 天。

在未进行 IC 和 OC 投入时,灾害造成的中断供电成本为:

$$FC_{未} = \alpha WT + R = 315.1 \text{ (万元)}$$

在投入了 IC 和 OC 后,中断供电成本可乘以经验折减系数 $\beta, \beta \in (0, 1)$,该工程 IC 和 OC 的投入完全可以应对 20 a 一遇的洪涝灾害,因此 β 的取值取 0.1。因此该工程中的中断供电成本为:

$$FC = \beta_g FC_{未} = 31.5 \text{ (万元)}$$

最后是报废成本(DC),报废成本不包括变压器等站内的变电设备,仅考虑 IC 和 OC 中产生的需要进行报废的项目。对于防汛结构来说,其报废成本即拆除成本,在带入计算公式时,其残值率 ε 按照 0.1 考虑,在该工程中,报废成本具体见表 4。

表 4 报废成本(DC)核算

成本核算		拆除成本 / 万元	残值率 / %	使用年限 / a
防汛结构	基础工程	4.2	0.1	50
	外围结构	5.6	0.1	50
	排水系统	2.6	0.4	20
防汛设备	照明系统	0.5	0.4	5
	监控系统	0.1	0.6	5
	常规防汛物资	0.1	0.8	2

$$DC = \sum_{p=1}^q E_p - \sum_{l=1}^s \varepsilon_l G_l \times \frac{1}{t} = 7.6 \text{ (万元)}$$

因此,该变电站进行防汛改造后的全寿命周期成本为:

$$L_{cc} = IC + OC + FC + DC = 268.9 \text{ (万元)}$$

6.2.2 成本效益计算

从表 5 可以看出,变电站费用效益的计算实际上主要看防汛投入在变电站受灾时帮助其规避了多少损失。

表 5 变电站防汛单元全寿命周期成本汇总 单位:万元

	IC	OC	FC	DC	L_{cc}
改造前	109.8	2.3	315.1	3.3	430.5
改造后	215.4	11.0	31.5	11.0	268.9

因此,在该变电站的防汛改造中系统效益 SE 为:

$$SE = 430.5 - 268.9 = 161.6 \text{ (万元)}$$

成本效益 CE 为:

$$CE = \frac{SE}{L_{cc}} = 0.601$$

结果显示,改造后的成本效益达到了 0.601,从具体数值来看,防汛成本提高了 122 万元,减少了 283.6 万元的中断供电损失成本。成本效益的计算主要用于比选不同的方案,最终可以将 CE 值很低(即相比其他方案经济性差)的方案筛选掉,选出最佳方案。

7 结 论

本文构建了一种基于全寿命周期成本分析的变电站防汛差异化提升的可行性评估方法,综合考虑变电站在不同环境下的防汛形势,给出提升方法以降低洪涝灾害侵袭损失,并通过案例成本分析评价

验证可行性。主要采用的方法和获得的结果如下:

(1)防汛差异化提升成本主要包括一次性防汛投资成本、防汛能力维持成本、中断供电成本和报废成本。其中,一次性防汛投资成本为主要的构成部分,在整个变电站防汛全寿命周期成本中占比为 80%,而在一次性防汛成本投资中防汛结构投资成本为主要构成。

(2)变电站防汛提升效果主要受到一次性防汛投资成本的影响,功能完备的防汛结构会减小防汛压力,提高一次性防汛投资成本可以大幅度降低中断供电成本。

(3)在全寿命周期成本分析后,通过成本效益计算可以对不同的防汛提升方案进行比选,由于最终采用了唯一的对比指标,因此该评估方法的可操作性较强。

参考文献:

[1] 国家防汛抗旱总指挥部,中华人民共和国水利部.中国水旱灾害公报—2017[M].北京:中国水利水电出版社,2017.

[2] 国家统计局.中国统计年鉴—2020[M].北京:中国统计出版社,2020.

[3] Igor Leščičen, Marko Urošev, Dragan Dolinaj, et al. Regional Flood Frequency Analysis Based on L-Moment Approach (Case Study Tisza River Basin)[J].Water Resources, 2019, 46(6):853-860.

[4] 徐照明,徐兴亚,李安强,等.长江中下游河道冲淤演变的防洪效应[J].水科学进展,2020,31(3): 366-376.

[5] 夏军,石卫,张利平,等.气候变化对防洪安全影响研究面临的机遇与挑战[J].四川大学学报(自然科学版),2016,48(2): 7-13.

[6] 姚鹏.电力工程与水利水电工程的防洪标准关系探讨[J].电力勘测设计,2020(2):23-28.

[7] 甘富万,黄宇明,张华国,等.多个洪水共同作用下水利工程防洪标准与重现期[J].广西大学学报(自然科学版),2020,45(4):920-929.

[8] 刘自发,张伟.基于地理信息因子及自适应小生境微分进化算法的变电站规划[J].电力自动化设备,2012,32(10): 42-47.

[9] 王成山,魏海洋,肖峻,等.变电站选址定容两阶段优化规划方法[J].电力系统自动化,2005(4): 62-66.

[10] 鲁永红,孟宪俊,刘建.芦汉路 110 kV 变电站工程设计地面高程分析[J].科技信息,2012(19): 394.

[11] 吴龙生,江松柏,何礼秋,等.海南软土地区输变电工程地基基础方案优化研究[J].施工技术,2017,46(8): 24-27.

[12] 邹宇,李宾皓,胡鹏飞.城市变电站防洪涝设计及改造施工研究[J].建筑施工,2016,38(10): 1419-1422.

[13] 胡江碧,刘妍.桥梁全寿命周期成本分析在工程中的应用[J].北京:工业大学学报,2010,36(4):500-505.

[14] 胡建设.变电站运营期成本分析[J].科技与企业,2013(14):80-81.