

# 风电机组与民爆危险品建筑物间安全防护距离的研究与选定

王艳平<sup>1</sup> 崔岗<sup>2</sup> 王斯永<sup>3</sup>

(1.兵器工业安全技术研究所 北京 100053; 2.工业和信息化部安全生产司 北京 100804)

3.华能集团新能源公司 北京 100036)

**摘 要** 针对风电机组选址与民爆企业安全管理的突出矛盾,研究分析了风电机组和民爆危险品建筑物间安全距离设定的原则和方法,深入剖析了重大危险影响因素,并结合现行标准规范和国外相关规定及经验做法,估算了安全距离值,探讨了安全距离设定的可能性、合理性和适应性,提出了安全距离设定的建议和参照依据。

**关键词** 风电场 机组选址 民爆 安全距离

## Research and Selecting of the Safety Distance Between Wind Turbine and Explosive Dangerous Buildings

WANG Yanping<sup>1</sup> CUI Gang<sup>2</sup> WANG Siyong<sup>3</sup>

(1. Ordnance Industrial Safety Technology Research Institute Beijing 100053)

**Abstract** This article conducts researches on the principles and methods of safety distance selecting between wind turbine and the explosive and in-depth analysis of the risk factors, estimates safety distance based on the analysis of the current standards and foreign regulations, discusses the possibility of safe distance setting, rationality and adaptability and puts forward suggestions and references for the setting of safety distance.

**Key Words** wind farms planning wind turbine site civil explosion safety distance

## 0 引言

近年来,我国风电产业得到长足发展。据统计,截止2010年底,我国20多个省市开发建设的风电场已有230多个,安装的风电机组达11000余台,单机最大装机容量为3兆瓦。随着风电场大规模规划建设,风电机组的微观选址与现有民爆企业安全管理的矛盾逐渐显现,且日益突出。由于现行标准尚未对风电机组与民爆危险品建筑物(即生产、存储易燃易爆民爆产品的工房或库房)间安全防护距离做出相关且明确的规定,因此,科学合理地设定两者间的安全防护距离成为当前安全管理一个重要而迫切的内容。

### 1 安全防护距离选定的研究思路和把握的原则

#### 1.1 安全防护距离选定的研究思路与方法

安全防护距离选定的总体思路是以民爆危险品建筑物的最大存储药量(即计算药量为200t的存储库房)为研究对象,分析主要危险因素的最大风险值,依据国内外现有规范标准,通过比照、参照和理论估算等方法确定合理、可行的安全防护距离值。

安全防护距离的研究方法主要采用估值法、比照法和参照法。估值法即通过分析对比风电机组与民爆物品间的相互影响因素确定出主要危险源的最大危害程度,然后再推导和计算安全防护距离;比照法即根据现有规范和标准,利用比照对象的相应条件和依据来确定安全防护距离;参照法即借鉴国际上相关标准规范、通用做法及案例参照选取安全距离。

#### 1.2 安全防护距离选定应把握的原则

(1)从严就高原则。即针对民爆产品易燃易爆的特殊性和危害性,从高水准、高可靠性和高安全度方面来研究相互间安全距离的设定内容和相关因素。同时,结合我国安全生产管理实际,从严提出安全防护距离的选取值。

(2)科学合理原则。即在加强风电场和民爆企业规划、设计相衔接的基础上,系统分析风电场、民爆危险品建筑物安全防护距离设定的依据和相应工作基础,通过综合对比和参照国内外相关标准与规范来优选安全防护距离。

(3)简便易行原则。即在理论推导和科学选用

的前提下,突出安全距离参考值的适用性和可操作性,既要系统的研究方法为基础,又要满足现有标准规范和行业的相关要求。

## 2 影响安全防护距离选定的主要危险因素

### 2.1 风电场可引发的危险因素

研究显示,风电机组对民爆企业可能产生的影响因素有噪声、叶片损坏事故、电磁辐射、光影闪烁、倒塌、火灾以及叶轮超速引发的机组倒塌、起火燃烧等,现主要分析以下几方面。

(1)噪声影响。风电机组产生的噪声干扰通常有机械噪声和空气动力学噪声,而叶片直径大于 20 m 的风电机组则主要产生空气动力学噪声<sup>[1]</sup>。据实测资料,典型风机的声强水平值范围在 95 ~ 105 dB (A)。风机产生的噪声可引起操作人员身体灵敏性和协调性下降,增大生产安全事故发生的机率。

(2)叶片损坏影响。据国外事故资料,叶片事故发生概率颇高,且叶片整体抛出距离在 150 m 左右,碎片抛出范围远达 1 000 m。

(3)电磁辐射影响。风电场的配电装置、高压输电线路等设施能通过电容耦合产生工频电磁辐射,造成电磁干扰。据实测资料,500 kV 的高压线路在导线附近产生的电磁强度约 50 dB<sup>[2]</sup>。同时,通过电晕放电、电火花等产生的无线电干扰频率在 0.15 ~ 30 MHz<sup>[1]</sup> 范围内。对工业电雷管而言,在 0.535 ~ 1.6 MHz<sup>[3]</sup> 频段内,即有被引爆的可能。

(4)风机火灾影响。据国外统计资料,近十年来风机火灾事故发生 150 余起,大量燃烧物抛掷的距离可达 300 m 范围之外。

(5)风机叶轮超速引发的机组倒塌、起火燃烧影响。据国外资料显示,由风机叶轮超速燃烧形成的燃烧物(碎片)等可影响到 1 500 m 范围内的村庄及居民。

### 2.2 民爆物品可引发的危险因素

民爆物品对风电机组可能引发的危险因素有爆炸冲击波和热辐射的破坏,爆炸破片和飞散物的危害以及火灾等,具体分析如下:

(1)爆炸冲击波和热辐射的影响。研究显示,200 t 乳化炸药(相当于 150 t TNT 当量)在爆点有防护土堤时所产生的爆炸空气冲击波可波及到千米之外,如表 1 所示,风电机组距爆点近于 196 m 时,爆炸冲击波超压将达  $0.76 \times 10^5$  Pa,可对风电机组造成完全破坏。与此同时,由爆炸产生的热辐射对风电机组电气设备及线路有高温效应,有引发风机火灾事故的危险。

(2)爆炸破片和飞散物的影响。研究显示,工业

炸药、石油射孔弹及震源药柱等危险品爆炸产生的破片和飞散物向四周散射,将对邻近爆点百米范围内的建筑物和人员造成较大危害,有的抛射达千米。

表 1 150t TNT 当量爆炸冲击波对建筑物破坏和人员伤害的对照

距离库房 距离/m	空气冲击波 超压理论值 $\Delta P / \times 10^5$ Pa	对人伤害 程度	对建筑破坏等 级(砖混结构)
196	0.76	严重	完全破坏
229	0.55	中等	严重破坏
268	0.40	中等	次严重破坏
340	0.25	轻微	中等破坏
583	0.09	基本无伤害	轻度破坏
1 405	0.02	基本无伤害	次轻度破坏

(3)火灾的影响。近两年,我国已发生多起因收缴罚没的民爆物品引发火灾及爆炸的事故,其影响不仅可能引发风电机组火灾,而且也可引发爆炸。

### 2.3 主要危险因素确定

综上分析,风机火灾、叶轮超速引起的机组火灾等影响因素对民爆物品可确定为主要危险因素;由于工频电磁辐射在百米处的强度基本衰减到环境背景值,噪声、叶片损坏、光影闪烁及倒塌等影响因素只是增加了事故发生的几率和可能性,其危险度及影响范围较轻,可不予考虑。民爆物品爆炸引发的危险主要是爆炸冲击波和爆炸破片等,因此,爆炸可确定为主要危险因素。经对比和推断,爆炸空气冲击波的破坏效应要大于风机火灾、叶轮超速引起的机组火灾等影响。由此可见,爆炸空气冲击波是设定安全防护距离的重点考虑因素,其次是风机火灾等影响因素。

## 3 设定安全防护距离可参照的标准和规范

### 3.1 风电场设定安全距离应依据的标准和规范

当前,我国风电场的设计、建设中主要依据的标准规范如下:

(1)《风力发电场设计技术规范》(DLT 5383—2007),其对风电场总体布局要求应避开民居等限制用地的区域,提出了场区集电线路及其他防护功能设施之间的布置应满足其相关规程、规范的电磁兼容水平和安全防护的要求。

(2)《风力发电机组安全要求》(GB 18451.1—2001),其规定了特定环境条件下风电机组在设计、安装、维护和运行中的安全技术要求,并提出风电机组外部环境不应影响其寿命和正常工作的要求。

(3)《风电场噪声限值及测量方法》(DL/T 1084—2008)和《声环境质量标准》(GB 3096—2008)等,要求风电机组生产的噪声影响符合第三类标准,即环境噪声昼间小于 65 dB(A),夜间小于 55 dB(A)。

(4)其他相关标准,如《110~500 kV 架空送电线路施工及验收规范》(GB 5023—2005)、《电力设施保护条例》(1999)、《风力发电场运行规程》以及国外风电发达国家的设计标准和经验规定等也是选址设计时参考的依据。

### 3.2 民爆行业外部安全距离执行的标准和规范

目前,民爆行业设计、建设执行的标准主要是《民用爆破器材工程设计安全规范》(GB 50089—2007,简称“民爆规范”),其对危险品生产区和总仓库区的外部环境提出了8种不同条件下的安全距离取值。此外,还要符合《民用爆炸物品安全管理条例》《民用爆破器材企业安全管理规程》(WJ 9049—2005)、《爆破安全规程》(GB 6722—2003)等。

综上,现行的标准规范均未对风电机组与民爆危险品建筑物间安全防护距离做出明确规定。风电场安全距离的确定主要基于对周围居民及环境的影响,并以噪声作为安全防护距离设计的依据,但尚未形成明确、统一的规定与要求;而民爆行业虽在其外部安全距离方面要求较严格,有明确的距离值规定,但也未提及风电机组的安全距离。由分析可知,民爆行业的相关标准是当前设定风电机组与民爆危险品建筑物间安全防护距离的主要参照依据。

## 4 安全防护距离估算与讨论

### 4.1 估值法

(1)爆炸空气冲击波的影响距离。按当前民爆建筑物最高计算药量的存储库房取值,即 $W$ 按200 t工业炸药取值(即相当于TNT当量150),利用平地爆点有防护土堤的公式计算,如式(1)所示。

$$\Delta p = 0.23 \left( \frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right) + 7.73 \left( \frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right)^2 + 6.81 \left( \frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right)^3 \quad (1)$$

其适用范围:

$$3 \leq \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \leq 18$$

式中, $\Delta p$ 为爆炸空气冲击波的峰值超压, $\text{kg}/\text{cm}^2$ ;  $W$ 为炸药(TNT当量)的质量, $\text{kg}$ ;  $R$ 为距装药中心的距离, $\text{m}$ ;  $\frac{R}{\sqrt[3]{W}}$ 为比例距离, $\text{m}/\text{kg}^{1/3}$ 。

利用事故后果模拟的评价方法,模拟推导出距离爆心 $L=583\text{ m}$ 时,爆炸冲击波对风电机组是轻度破坏; $L=1\,405\text{ m}$ 时是次轻度破坏,具体破坏效应见表1。

(2)风机火灾时燃烧物的抛洒距离。估算风电机组火灾燃烧物(碎片)抛掷距离是按物理学计算平抛物体距离的方法。风电机组叶轮的转动速度按叶

尖设计的最大速度 $80\text{ m/s}$ 值取;风电机组轮毂高 $h=100\text{ m}$ ,叶轮直径 $D=120\text{ m}$ ,即 $H=160\text{ m}$ ,则抛掷距离最远可达(忽略空气阻力等影响因素的理想状态):

$$L = vt = 80 \times 5.71 \approx 457\text{ m}$$

由上推导计算可知,通常情况下爆炸冲击波的破坏范围大于风机火灾时燃烧物的抛洒影响范围,虽然有资料显示当叶轮超速同时发生机组火灾情况下其可影响的最远距离达 $1\,500\text{ m}$ ,但其偶然性较大,不确定性因素较多,因此,主要危险因素的估算距离应以爆炸冲击波的破坏范围取值。由于风电机组的轮毂支撑塔主要由钢筋混凝土制成,且与砖混结构相比,其抗冲击力较强,所以爆炸冲击波对风电机组的破坏效应按轻度破坏效应取值,即以 $L=587\text{ m}$ 作为主要危险因素影响安全距离的估算值。

### 4.2 比照法

根据风电场变配电站、集控中心以及相应人员配备等综合情况,经研究分析,可按“民爆规范”(第4.2.2、4.3.2条)将其比照成“人数小于等于50人的工厂企业”,对此,风电场与民爆危险品生产工房外部安全距离应不小于 $380\text{ m}$ ;与民爆危险品总库房外部安全距离应不小于 $720\text{ m}$ 。

此外,根据单台风电机组的经济价值及可承受损失程度,可将风电机组比照成“拥有最大存储药量的民爆危险品建筑物”,按“民爆规范”的规定和风电场噪声和光影闪烁的环境评价要求,风电机组距离危险品建筑物应不小于 $720\text{ m}$ 。

### 4.3 参照法

国外一些风电产业发达国家,根据IEC 61400一系列标准制定了风电场与周围居民的安全防护距离规定。如丹麦规定风电场与居民住房最小的距离设定为风电机组高度(即轮毂高度加叶轮半径)的4~6倍,同时要求风电机组运行时的噪声水平,不应超过当地现有夜间背景噪声水平,即 $5\text{ dB (A)}$ <sup>[2]</sup>。澳大利亚根据火灾影响范围提出了 $500\text{ m}$ 防护距离的要求;德国要求风电场设 $600\text{ m}$ 的安全防护区;奥地利要求 $800\text{ m}$ 的安全防护距离;英国则要求一英里( $1\,600\text{ m}$ )安全防护距离。虽然国际上尚未有直接可引用的风电机组与民爆危险品建筑物间安全距离的参照标准,但以上均可作为距离设定的重要参考。

## 5 结论

研究可知,估值法是在相对理想状态下按照轻度和次轻度的破坏等级估算单一危险因素的安全距离值,得出 $600\sim 1\,400\text{ m}$ 的参考值;比照法则在现行

(下转第44页)

析,以确定这些组织和员工是否需要培训及如何培训。

(3)提高培训的质量和效果。对于新技术、新工艺的讲解要抓住重点,不要面面俱到,要求培训组织者要精通专业知识,熟悉学员的工作情况,突出技能培训内容,防止过多的概念和推理内容,全方位地提高学员的实际技能。

### 3.3 对从事特种作业员工的培训建议

(1)构建安全培训的标准化体系。确定特种作业人员培训考核管理办法,制定安全培训质量评估细则,加快培训大纲、考核标准、考试题库建设,构建特种作业人员安全培训的标准化体系。

(2)建立安全培训效果监督、反馈机制,对培训的效果进行监控。培训的最终目的不是员工的培训合格证,通过在实践中监督员工的生产情况,可以了解员工的培训效果,以便为培训不合格的員工安排复训或采取其他措施,避免发生事故的可能。

(3)规范安全培训市场,加强培训市场的监督和宏观调控。建立对培训部门的监督体系,对各级各类安全培训机构在培训资质、培训条件等方面进行定期的检查审定,加强对培训教师的资格审查,对不合格的单位或人员要严厉查处,加强安全培训规范化建设。

(4)建立员工安全培训信息数据库,逐步实现安全培训信息化管理。数据库为每位特种作业人员设立一个培训档案,用于记录员工的学历、工作经历、培训情况、工作表现以及工作中是否发生过事故等所有与安全生产有关的信息。只要以特种作业人员为基础建立起安全信息数据库,就能为将来各类员工的数据库做良好的参照。

## 4 结论

(1)只有抓住新员工安全培训这个“关键期”,安

全生产基础才能得到稳固,新员工安全培训才能真正成为提高安全生产水平、减少事故损失的一种积极主动的安全投资活动。

(2)随着我国加入 WTO 及开始全面建设小康社会,新材料、新工艺、新技术的运用将更多、更广,可以预见,安全培训将保证员工熟悉新技术、新工艺,从而为安全施工起着越来越大的作用。

(3)企业特殊工种安全培训是建立安全生产长效机制的重要举措,充分做好企业特殊工种安全培训,对促进安全生产工作、建设良好的企业安全文化氛围、落实“以人为本”的科学发展观具有十分重要的意义。

### 参考文献

- [1]崔荣庆.浅谈目前企业员工培训存在的问题及对策[J].中国石油大学胜利学院学报,2008,22(2):65-66.
- [2]张元,王永刚,王新.我国企业安全培训中存在的问题及对策[C].中国职业安全健康协会 2006 年学术年会论文集,2006:437-439.
- [3]赖辉.安全培训机构建设现状分析[J].中国安全生产科学技术,2009,5(4):91-94.
- [4]黄玉治.安全培训体系建设回顾与展望[J].劳动保护,2004(11):13-15.
- [5]周刚林.我国安全培训机构分布现状分析[J].中国安全生产科学技术,2009,5(2):129-132.
- [6]张勇.主要发达国家职业安全培训与社会保障体系的构成对构建我国职业安全培训体系的启迪[J].中国安全科学学报,2002,12(2):55-59.
- [7]王信昌.新员工安全培训问题分析及对策[J].现代职业安全,2006(12):90-91.
- [8]王丽华.浅谈当前特种作业安全培训现状及建议[J].管理观察,2010(22):294-295.

作者简介 蒋畅和,高级工程师,博士研究生,主要从事职业危害监督监察、教育培训等研究与管理工作。

(收稿日期:2011-05-31)

(上接第 17 页)

规范基础上,通过比照得出 720 m 的安全距离值;参照法是结合相关国家的实际做法和经验,归纳安全距离值设定区间为 500~1 600 m。综上所述,在全面、系统分析危险源性质、破坏程度、事故概率和安全监管可行性及可操作性基础上,采用比照法所得安全距离值(720 m)比较合理,既能体现本文研究思路和考虑的原则,也能体现保障安全生产的同时兼顾我国风力资源开发利用和相关经济性要求。对此,建议在今后设计规划和安全生产管理中,风电机组与民爆危险品建筑物间安全距离以“民爆规范”中“人数小于等于 50 人的企业”的情况来确定。

### 参考文献

- [1]李丽珍.山地型风电场环境影响评价的技术要点[J].山西能源与节能,2009(5):43-45.
- [2]郭欣,张晓鹏.220 kV 输变电工程电磁辐射对环境的影响分析[J].电力学报,2009,24(3):259-260.
- [3]王泽溥,郑志良.爆炸及其防护[M].北京:兵器工业出版社,2008.

作者简介 王艳平,女,1980 年生,硕士研究生,注册安全工程师,注册安全评价师,2006 年毕业于北京理工大学,主要从事我国工业领域的安全生产管理和技术研究,国防工业的安全评价等工作,已发表 10 余篇学术论文。

(收稿日期:2011-06-14)