

烟囱的可靠性鉴定

姜迎秋

本文介绍了《钢铁工业建(构)筑物可靠性鉴定规程》(YBJ219-89)中烟囱可靠性鉴定条款制订的原则及其应用。

关键词: 烟囱 可靠性鉴定

RELIABILITY APPRAISEMENT OF CHIMNEY

Jiang Yingqiu

This paper summarizes the principal basis of the provisions concerning assessment of reliability of chimneys in writing Reliability Appraisal Specification of Existing Buildings and Structures of Iron and Steel Industry and the applications of the provisions to the reliability appraisal of existing chimneys.

烟囱是工业企业中应用最广泛的构筑物之一,考虑到烟囱结构的特性,《钢铁工业建(构)筑物可靠性鉴定规程》(YBJ219-89)(以下简称《规程》)第六章第一节对烟囱的可靠性鉴定与评级制定了专门的条款。

一、鉴定评级时的层次

烟囱的可靠性鉴定评级应分层次进行。烟囱可靠性鉴定评级的层次如表1所示。

表1 烟囱鉴定评级层次划分表

单元	项 目	子 项	备 注
烟囱	地基基础	见《规程》有关条文	
	筒 身	承载能力	
		裂缝	
		倾斜	
	内 衬	-	不分列子项
	附属设施	-	不分列子项

按照结构材料的不同,工业企业中的烟囱可分为砖烟囱、钢筋混凝土烟囱和钢烟囱三类。其中,钢筋混凝土烟囱按内衬布置方式的不同有单筒式、双筒式和多筒式;钢结构烟囱按结构形式的不同有拉线式、自立式和塔架式。烟囱的形式多种多样,其基本构成一般包括:基础、筒身和支承塔架、内衬和隔热层、囱帽、爬梯、避雷接地装置、航空标志及各种平台等。除此之外,作为一个完整的可

靠性鉴定单元,可将地基以及连接生产设备与烟囱的烟道一并列入烟囱检查鉴定的范围。为了简化鉴定程序,《规程》概括地将烟囱的可靠性鉴定分为地基基础、筒身、内衬和附属设施四个项目。这里,筒身包括了钢烟囱的支承塔架、拉线(缆绳);内衬包括隔热层;附属设施包括了除前面三项所含内容以外的所有内容,如囱帽、烟道、爬梯、避雷接地装置、航空标志及各种平台等。

烟囱设计,首先应满足强度(包括钢结构烟囱的稳定)要求;除此之外,对于基础还应使基础的倾斜值和沉降量限制在一定范围之内;对于钢筋混凝土和砖烟囱还应控制裂缝的开展宽度。烟囱设计时还必须考虑烟气对烟囱的影响,结构材料的受热温度要限制在一定的范围之内;要考虑烟气的侵蚀作用。地基基础的可靠性鉴定与评级,《规程》中已做出了专门的规定。在此基础上,烟囱的可靠性鉴定与评级,对于筒身,设置了承载能力、裂缝和倾斜三个子项;对于内衬和附属设施则直接进行使用功能的综合鉴定与评级,不再分设子项。关于限制基础倾斜的问题,通过限制筒身倾斜来实现;关于烟气的影响,除了目前可直接或间接地通过承载能力

和裂缝子项来反映的作用之外,其它则需要由鉴定人员根据《规程》制定的有关鉴定评级分级标准酌情处置。

二、检查要点

在总结以往工程经验的基础上,《规程》原则地规定了烟囱的检查要点,以方便鉴定人员根据具体的工程对象,合理地安排检查测试工作。

对烟囱检查比对一般的建筑物检查要困难得多。检查筒身一般是依靠望远镜等进行观察,靠近检查的范围是有限的;而内衬往往由于在检查烟囱时生产不能停或烟囱内部温度降不下来等原因,根本无法进行全面检查。正因为如此,在进行烟囱检查之前需要进行大量的调查工作。要了解原设计,了解(生产)使用历史,了解烟囱目前的工作状况。通常烟囱检查可分为初步调查、使用历史调查和检查测试三步进行。

1. 初步调查

初步调查属烟囱检查鉴定准备工作阶段,通过初步调查,要了解烟囱目前可能存在的主要问题,掌握已有的文献档案资料,制订下一步工作计划。

2. 使用历史调查

调查烟囱的使用历史,分析烟囱损坏的诱发原因,澄清是正常使用过程中的损坏,还是灾害造成的损坏,是合理评价烟囱现状可靠性所必需的。

使用历史调查一般包括:生产历史、清灰史、自然环境变化史和灾害史四部分。

(1)生产历史 通常生产是不断变化的,如生产挖潜、工艺改造、燃料变革及生产原材料来源的改变等,都有可能引起烟气温度、湿度、烟气性质、烟气排放量的变化,其变化幅度超过一定界限时,将对烟囱产生有害影响,表现为筒身温度升高、开裂;烟气在烟道(囱)内二次燃烧;内衬及隔热层蚀损严重;或者烟气冷凝、结酸、腐蚀内衬和筒壁等等。

(2)清灰史 烟囱积灰在一定程度上可反映出一些问题。积灰中的杂物多数为内衬及隔热材料的脱落物,积灰中大量出现杂物表明内衬已经损坏,烟气可能直接与筒壁接触。积灰潮湿一般与基础浸水有关。

(3)自然环境变化史 工厂区的自然环境随生产规模的扩大、生产工艺的变革在不断地变化。对烟囱影响较大的为地下水的变化,它对地下烟道的影响尤为严重。空气污染等对烟囱也产生一定的影响,在含有腐蚀介质的大气环境中,烟囱结构的耐久性明显降低,钢烟囱及烟囱上的金属件的锈(腐)蚀速度大大加快。烟囱周围的建筑物等对作用在烟囱上的风荷载将产生影响。

(4)灾害史 烟囱在使用过程中可能要遇到一些自然灾害或事故等,如地震、风灾、烟囱内部发生烟气爆炸,在烟囱附近进行爆破、打桩等产生冲击振动的作业等,均有可能对烟囱造成损坏。

3. 检查和测试

在进行初步调查和使用历史调查的基础上,可根据需要安排检查测试的项目和内容。

(1)烟囱上的作用

除按《规程》第四章有关条文进行一般的重力、风力、地震等作用检测之外,这里还需给予特别考虑的是烟气对烟囱的作用,包括烟气温度的作用和烟气侵蚀的作用两个方面。

(2)地基基础

地基基础的检测在《规程》第五章第二节中已经有了比较明确的规定,在此基础上,还需指出对于烟道入口在地下的烟囱基础,除进行通常的检查外,还应对基础温度、开裂、腐蚀和烧损进行检查。

(3)筒身

筒身检查一般包括开裂破损、蚀损、倾斜、温度分布和筒身材料等内容。

开裂破损指的是工作应力(温度应力、

风力等)引起的损坏。

蚀损指的是砌体和混凝土的腐蚀、风化、烧损及钢材和钢筋的腐蚀、锈蚀和烧损等。

倾斜应当是指筒身中心线在基础顶面处的切线与垂直线的夹角。但是,当烟囱筒身发生弯曲变形时,由于该夹角不易测得,所以,此时倾斜可以被认为是烟囱顶端的侧移与烟囱高度的比值。

(4) 内衬

内衬(包括隔热层)主要检查开裂、腐蚀、破损、烧损情况以及隔热效果。

(5) 附属设施

烟囱主要检查疏松破损情况;爬梯、避雷接地装置、航空标志及各种平台等主要检查构(部)件锈蚀、变形情况以及锚固、节点连接的可靠性。

三、地基基础的可靠性鉴定与评级问题

地基基础的可靠性鉴定与评级可参考《规程》第五章第二节有关条文来进行。但应注意,烟囱大都为高耸结构,对地基的不均匀变形很敏感,不大的沉降差将引起烟囱的严重倾斜。因此,地基的可靠性等级宜根据烟囱倾斜的观测资料来评定。一般地,烟囱倾斜变形已稳定或变形速度接近于零,其评定等级为a级;经过多年使用,倾斜无明显变化,其评定等级为b级;根据目前的倾斜变形发展速率进行预测,在目标使用期内,其倾斜变形达到烟囱筒身倾斜评级标准的哪一级,其地基的可靠性即评为哪一级。

四、筒身的可靠性鉴定与评级标准

1. 承载能力评级标准

烟囱筒身的承载能力评级标准,原则上与结构构件一致,见表2。表中的评级标准用 $R/\gamma_0 S$ 的比值给出。按照《烟囱设计规范》(GBJ51-83), $R/\gamma_0 S$ 也即是结构计算安全系数与规范规定安全系数的比值。

烟囱一般属高耸构筑物,结构失效带来

表2 烟囱筒身承载能力评定等级标准

烟囱分类	承载能力评定等级			
	$R/(\gamma_0 S)$			
	a	b	c	d
砖烟囱	≥ 1.00	≥ 0.95	≥ 0.90	< 0.90
钢筋混凝土烟囱	≥ 1.00	≥ 0.90	≥ 0.85	< 0.85
钢烟囱	≥ 1.00	≥ 0.95	≥ 0.90	< 0.90

注:表中R为结构或结构构件的抗力;S为结构或结构构件的作用效应; γ_0 为结构重要性系数,对安全等级为一级、二级、三级的结构构件,可分别取1.1、1.0、0.9。

的后果是非常严重的,在制订有关规范标准时均给予了慎重考虑,特别是对于钢筋混凝土烟囱,《烟囱设计规范》(GBJ51-83)将安全系数适当提高,以考虑烟囱结构的重要性。在此基础上,《规程》分别取钢结构重要构件的评级标准、混凝土结构一般构件的评级标准,作为相应烟囱筒身承载能力的评级标准;考虑砖烟囱多数为带裂缝工作,参照砌体结构构件的评级标准,从严制定了评级标准。

进行筒身的承载能力验算,除遵循本《规程》中有关条文的规定外,还必须考虑:筒身倾斜所产生的附加弯矩;有纵向裂缝的无筋砌体和虽配有环筋但裂缝已贯通筒壁的配筋砌体的截面惯性矩的减小;锈蚀、腐蚀造成的截面削弱。

2. 裂缝评级标准

在分析统计过去实测和调查资料基础上,考虑烟囱的现状及人们可接受的程度,确定钢筋混凝土和砖烟囱筒身裂缝宽度评定等级的标准如表3。

表3 烟囱筒身裂缝宽度评定等级标准

分类	内衬	裂缝宽度, mm			
		a	b	c	d
砖烟囱	无	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 5.0	> 5.0
	有	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 10.0	> 10.0
钢筋混凝土烟囱(单管)	无	≤ 0.3	≤ 1.0	≤ 5.0	> 5.0
	有	≤ 0.3	≤ 1.0	≤ 10.0	> 10.0

已有的调查资料表明:钢铁工业烟囱中的砖烟囱和钢筋混凝土烟囱筒身开裂是普遍存在的问题。裂缝开展宽度,对于砖烟囱多数在1.0~15mm,对于钢筋混凝土烟囱多数在0.3~10mm,超过了有关规范的规定。裂缝的存在将对结构的耐久性产生不利影响,

然而大量地去处理烟囱的筒身裂缝,就目前来讲还不具备条件;另一方面,在调查的烟囱中,有不少已经带裂缝工作了许多年,且没发现明显的问题,现在是否有必要进行处理尚需要进行研究。面对现状,与一般结构构件相比,《规程》对烟囱筒身裂缝评级标准适当地予以放宽。对于砖烟囱,按规范要求限制裂缝发生,按《规程》评级标准多数发生裂缝的烟囱被列入应采取处理措施的范围;对于钢筋混凝土烟囱按规范要求允许带一定宽度的裂缝工作,按《规程》评级标准多数发生裂缝的烟囱被列入可不采取措施的范围。

一般认为,筒身裂缝在一定宽度范围内,对烟囱结构的承载能力影响不大;但是,当砖烟囱筒身出现环向水平裂缝时,可能已发生强度问题,需要认真分析裂缝发生的原因,故《规程》补充规定,根据其严重程度评定为c级或d级。

作为评定等级的依据,应当是分布在烟囱筒身上,具有一定长度或范围,且排除了局部应力影响的裂缝。对于由于边角局部应力、收缩、施工缝以及烟气腐蚀等造成的小范围裂缝,一般不作为评定等级的依据,鉴定人员可根据裂缝对烟囱结构的危害程度,按第3.0.1条评定等级。

3. 倾斜评级标准

筒身的倾斜实质上也就是基础的转角,只是表达方式不同,倾斜值通常通过测量烟囱一定高度中心线的水平侧移来估计。但是当烟囱筒身发生弯曲变形时,此时倾斜值不易测得,实际工程检测时通常取烟囱顶端的侧移与烟囱高度的比值,作为筒身的倾斜值。《规程》依据以往高度在50~100m范围的独立烟囱倾斜的实测资料,考虑处理面不致于太大,确定烟囱筒身倾斜的评级标准如表4。

从使用功能来考虑,除非由于倾斜变形对烟囱结构造成威胁或损坏,筒身倾斜的程度一般不直接对烟囱的正常功能产生影

表4 烟囱筒身倾斜评定等级标准

高 度 m	倾斜评定等级			
	a	b	c	d
≤50	≤0.006	≤0.013	≤0.018	>0.018
50~100	≤0.005	≤0.011	≤0.015	>0.015
100~150	≤0.004	≤0.008	≤0.013	>0.013

响。由于在地基基础项目中对地基变形(不均匀变形)子项进行了鉴定,实质上也就解决了在今后的使用过程中筒身倾斜的稳定性问题。另一方面,由于在承载能力校核时已考虑了筒身倾斜后产生的附加弯矩的影响,也就解决了在今后的使用过程中烟囱的安全问题。有工程实例证明,在解决了筒身倾斜的稳定性和安全性之后,继续维持已倾斜的烟囱运行是可行的。正因为如此,《规程》将筒身倾斜的评级标准适当地放宽。按实测结果统计,筒身倾斜属d级的不足3%,属c级以下的不足10%。

4. 筒身的项目等级评定

烟囱筒身分为A、B、C、D四级。

项目评定等级是结构应否处理的主要依据。烟囱为特殊构筑物,比较筒身加固、修补和纠正倾斜这三项工作,其难度和工作量几乎相同;这三项工作对维护烟囱结构的使用功能几乎是同等的重要;均可称为烟囱结构处理工作。也就是说,筒身的承载能力、裂缝、倾斜三个子项在这里几乎同等重要。所以《规程》规定,烟囱筒身(包括钢烟囱的塔架)的项目评定等级,以承载能力、裂缝和倾斜三个子项评定等级中的最低级为该项目的评定等级。

五、内衬的可靠性鉴定和评级标准

内衬主要承受烟气冲刷、腐蚀、温度(或高温烘烤)等作用,基础内内衬还有可能受到地下水的侵蚀作用。烟气条件不同,内衬所受到的作用也不尽相同,此时内衬失效的表现形式也是不同的。由于内衬的功能作用可以归结为维持烟囱筒身的正常工作,所以,在综合考虑筒身的工作情况与内衬的损坏程
(下转第61页)

- b ——桩基宽度(圆形基础时为直径),cm;
 δ ——沉降系数,查该规范附录4;
 E_s ——地基土自重压力至自重压力加附加压力作用时的压缩模量,kPa;
 P_0 ——基础底面附加压力,kPa;
 ψ_s ——沉降计算经验系数,应根据类似工程条件下沉降观测及经验确定,在不具备条件时,可采用表27的数值,

表27 桩基沉降计算经验系数值

桩端入土深度,m	<20	30	40	50
沉降计算经验系数 ψ_s	1.10	0.90	0.60	0.50

注:表列数值可内插。

采用(44)式时两点补充条件:把桩基承台、桩与桩间土作为实体深基础,且不考虑沿桩身的压散角;压缩层厚度自桩端全断面算起,算到附加压力等于土的自重压力的20%处,附加压力计算中应考虑相邻基础的影响。

(上接第21页)

度的关系之后,规定了内衬评级标准如下:

- A级:内衬基本完整,工作状况良好,筒壁工作温度正常;
 B级:内衬有不同程度损坏,但不影响正常使用;
 C、D级:内衬损坏严重,对于可以修补者,可评定为C级,需要拆除重做者,可评定为D级。

六、附属设施的可靠性鉴定和评级标准

附属设施(包括囱帽、烟道、爬梯、避雷接地装置、航空标志及各种平台等)是一个很复杂的结构系统,为简化鉴定程序,《规程》规定直接按使用功能进行评级,其等级评定标准为:

- A级:安全可靠,工作性能良好;
 B级:轻微损坏,但不影响使用;

参考文献

- [29] 冯国栋等,铅直荷载下桩-承台共同作用的计算模式探讨,《第四届土力学及基础工程学术会议论文集》,中国建筑工业出版社,1986年10月
 [30] 刘金砺等,群桩承台土反力性状和有关设计问题,《第五届土力学及基础工程学术会议论文集》,中国建筑工业出版社,1990年2月
 [31] 刘金砺等,桩距和承台作用对群桩工作性状和承载力的影响,中国建筑科学研究院地基所,1981年12月
 [32] 钱世祥,亚粘土中群桩的承载能力及变形特性的模型试验,《第三届土力学及基础工程学术会议论文集》,中国建筑工业出版社,1981年10月
 [33] 交通部桩基工程规范编写组,港口工程技术规范——桩基工程(JTJ222-83)(试行)编制说明,1985年
 [34] 上海市标准《地基基础设计规范》(DBJ08-11-89),1989
 [35] 上海市标准《地基基础设计规范》(DBJ08-11-89)条文说明及背景材料汇编(上册),1990
 [36] 中华人民共和国国家标准《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89),中国建筑工业出版社,1989

- C级:损坏较严重,应修补加固;
 D级:不能继续使用。

七、烟囱单元的可靠性等级评定

烟囱单元的可靠性分一、二、三、四等4个级别。烟囱单元评定等级的主要目的是为管理部门进行科学管理提供依据。在构成烟囱单元的各个项目中,地基基础、筒身和内衬三个项目同等重要,任何一个项目失效都将导致整个烟囱单元丧失使用功能。所以《规程》规定以该三个项目评级中最低级为该单元的评定等级。由于烟囱的附属设施与烟囱功能基本上没有直接的关系,所以《规程》还规定了该项目不参加烟囱单元的等级评定,以简化鉴定程序,仅要求在鉴定报告中包括各项附属设施的检查结果及处理建议。

