国内压力钢管可靠度研究综述

张雪颖

(南京工程学院,江苏 南京　211167)

摘要:简介国内压力钢管可靠度研究现状及需要解决的问题.认为:静水压力及动水压力的统计特性尚需进一步探讨;在考虑静水压力分布时,应对水库的静水位作特殊处理,以符合工程实际;如何选取压力钢管计算中相应的功能函数,仍是一个不容忽视的问题;把工程结构作为一个系统来进行可靠度研究将有大量的工作要做.

关键词:结构可靠度;概率极限状态;压力钢管;综述

中图分类号:TU511.3+7;TV672+.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1006-7647(2005)S1-0169-03

1　荷载与抗力的随机性

由于水电站机组负荷快速改变时引起压力管道内流量迅速改变,从而引起水击弹性波动以及引水道与调压室中的水体质量波动.而机组负荷的迅速改变主要是由于输电线或母线短路、主变压器或机组事故、主要设备故障、建筑物事故、误操作等造成的事故甩负荷,或者是由于某电站发生事故甩负荷使得另一事故备用电站突然增荷,或同一水电站中某一水力单元的机组甩负荷而使得另一水力单元的备用机组突增负荷.这些事故属随机事件,因此水击的发生条件具有很大的随机性.另外,影响水击压力的因素还有:水力系统参数,如摩阻系数、水击波速等;边界条件,如库水位、甩负荷的机组台数及运行特性、导叶关闭时间及关闭规律等;初始条件,如甩负荷前运行的机组台数、导叶起始开度、静库水位等.这些影响因素在各次机组甩负荷事件都有一定的随机性,即它们的取值具有一定的不确定性.简言之,水击压力是以时间为参数的随机过程.而压力钢管的其他荷载静水压力、钢管自重、钢管内水重等也都具有一定的随机性.

钢管抗力受材料性能的不确定性、构件几何参数的不确定性、计算模式的不定性和构件抗力实际值与试验值之间关系的不定性等因素的影响,也具有一定的随机性.

2　可靠度研究的意义

结构设计方法经历了基于弹性理论的容许应力设计法以及按破损阶段法设计到极限状态设计法,与前两种方法相比,极限状态设计方法有了较大进步,这一方法明确地提出了结构极限状态的概念,并规定了结构设计的承载能力、变形、裂缝出现和开展3种极限状态,比较全面地考虑了结构的不同工作状态;并考虑了荷载、材料性能及工作条件等方面的随机因素的影响;在标准荷载和材料强度取值方面,采用了数理统计手段,比较符合客观实际.但是该计算方法仍然没有给出可靠度的定义和分析可靠度的方法.此外,对于保证率的确定、系数的取值等方面仍然有不少主观经验的成分.因此和前两种方法一样都属于定值设计法.

事实上,影响结构的各基本变量(如作用效应和结构抗力),因各种偶然因素的影响,都是随时间或空间而变的随机过程或随机函数.经过许多学者数十年来的研究和讨论,目前国际上比较统一的认识是用结构的失效概率(或与之相对应的可靠指标)来度量结构的可靠性,能够比较确切地反映问题的本质.这种设计方法就称为"概率设计法".

我国自1984年颁布GBJ 68—84《建筑结构可靠度设计统一标准》以来,又先后颁布了GB 50513—92《工程结构可靠度设计统一标准》,GB 50158—92《港口工程结构可靠度设计统一标准》,GB 50199—94《水利水工程结构可靠度设计统一标准》,GB 50216—94《铁路工程结构可靠度设计统一标准》,GB/T 50283—1999《公路工程可靠度设计统一标准》.这些统一标准采用了先进的以结构可靠度理

作者简介:张雪颖(1978—),女,江苏徐州人,讲师,硕士,从事水电站结构研究.

论为基础的概率极限状态设计法，以结构的失效概率度量结构构件的可靠性，这标志着我国在解决结构可靠度问题上已从开始由以经验为主的定性分析阶段进入了以统计数学为基础的定量分析阶段.这种方法的最本质的进步是将设计中的主要不定性因素将以定量化分析，从定值观念向非定值观念转变，从而实现优化设计.基于概率的可靠度理论设计法就是要使概率 $Z = R - S \geqslant 0$（式中：R 为结构抗力；S 为结构荷载效应）不小于规定的限值.

采用以结构可靠度理论为基础的概率极限状态设计法，已成为国内外工程结构领域现阶段一个共同的发展趋向，在水工结构设计标准中推行这种方法已势在必行.

3 可靠度研究现状

对于压力钢管的可靠度研究，同时考虑各种因素的影响（地震、风雪、沉降引起的荷载，对于坝内埋管、地下埋管的围岩变形模量、裂隙，等等）几乎是不可能的，也是没有必要的.本文只对静水压力及动水压力等主要荷载下的研究成果进行综述，并附以其他一些相关的简单介绍.

3.1 静水压力统计特性

文献[2]对我国 82 座大中型电站年最高库水位进行了统计分析，水头的分布满足对数正态分布、正态分布和极值Ⅰ型分布，但拟合度最好的是正态分布，并经统计计算，给出了设计基准期内最高水位 H_{max} 的均值与设计水位 H_d 的比值的统计特征值.可靠度分析时静水压力按正态分布考虑.

3.2 水击压力统计特性

文献[3]在分析调压室涌浪发生条件和各种影响因素的随机性的基础上，选择典型调压室水力系统，建立了涌浪分析的数学模型，并采用广泛适用的数值模拟方法 Monte-Carlo 法，计算分析了调压室最高涌浪的统计特征及概率分布；文献[4]从水击近似解析式出发，推导了由水库、管道及阀门组成的简单管的水击最大升压解析概率分布；文献[5]在文献[4]的基础上，考虑甩负荷前机组的带负荷程度、阀门关闭历时、库水位等更多随机影响因素，从简单管近似解析表达式出发，推导出年最大水击升压和最大总内水压力的概率分布的解析表达式.文献[6]从水电站压力管道结构可靠度的需要出发，提出采用平稳二项随机过程或极值统计法来研究内水压力（含水击）这类可变荷载，根据静、动两部分荷载的不同特性（年发生率、持续时间及概率分布等），通过压力钢管设计算例，阐明在结构分项系数设计中分别作为单独的可变荷载，采用不同的分项系数和设计标准值.文献[7]收集统计了 3 座水电站供电系统事故，认为事故概率可近似作为水击发生概率，得出水电站年水击发生率服从泊松分布的理论，提出用一年内出现水击的概率与最大可能水击相乘，从而近似地得出最大水击压力的分布.文献[8-10]则根据已收集到的日本和我国水电站压力钢管水击的 19 个实测资料[11-12]进行统计分析，求得钢管水击服从极值Ⅰ型分布.文献[13]给出了管内水重的统计特征，其分布类型为对数正态分布.

3.3 其他方面

文献[9]给出了钢管自重的统计特征，其分布类型为对数正态分布.文献[10]在文献[9,13-15]的统计分析基础上，求得了影响钢管抗力的主要因素的统计参数，并给出了明管抗力的统计特征.文献[8]在文献[10]的基础上考虑焊缝系数的变异性，并根据国内外资料[16-18]得出钢管抗力的统计参数及分布类型，对地下埋管围岩及钢管抗力作了分析，为地下埋管可靠度分析提供了重要数据.文献[19-24]也对钢管的抗力进行了研究.文献[25]对对数分布随机变量在设计基准期内的最大值分布进行了研究.文献[26]研究了静水压力的截尾分布，并分析了对静水压力的截尾原因以及截尾后的计算结果.文献[27]在文献[5]的基础上对静水压力、动水压力之间的相关性进行了分析.以上这些研究为压力钢管的可靠度分析奠定了基础.

在上述几种主要荷载以及钢管抗力的统计特性研究成果基础上，我们可以根据压力钢管的设计方法给出相应的功能函数，然后利用数学方法计算其可靠指标及可靠度.

4 展 望

近年来，虽然在压力钢管可靠度研究方面取得了较大的进展，但还远远不能满足其工程实际对可靠度研究成果的需要，主要表现在以下几个方面：

a. 虽然对静水压力及动水压力的统计特性有很多研究，但这些研究结果存在一定的差异：静水压力的统计特性比较统一，一致认为服从正态分布；动水压力的分布规律一些文献认为服从正态分布，也有一些文献上认为服从极值Ⅰ型分布。这就需要做更多的工作去探讨，寻求最符合实际的统计特性.

b. 在对压力钢管进行可靠度分析时，在考虑静水压力的分布时应该注意到，静水压力的取值不是从负无穷大到正无穷大，因为水库水位不会低于死水位，也不会高于最高洪水位.在这种情况下，就需要对水库的静水位进行特殊处理，也就是所谓的“截尾法”，这样的处理更为实际，按此计算的结构可靠

指标也更加科学.这方面的研究尚需进一步加强.

c.即使变量分布相同,所取功能函数不同,仍然会得到不同的结果,压力钢管的结构计算有不同的强度理论,如何选取功能函数仍是一个不容忽视的问题.

d.目前的可靠度计算,只是对一个点或一个截面进行计算.而工程结构往往是由一个构件或多个构件组成的,因此其可靠度计算问题,实际上是系统的可靠度问题.这方面的研究尚有更多的空白.

由上可知,概率极限状态设计法在压力钢管结构设计方面的推行相对于房屋建筑工程来说,难度要大得多,这除了压力钢管本身工作状况的复杂性外,主要是缺乏大量可靠的统计数据,而这是历史造成的.在水工结构设计标准中积极推行概率极限状态设计法,必将有力地推动对影响结构可靠性的各基本变量的统计数据进行搜集和积累工作,从而提高水工结构设计标准的科学水平.

参考文献:

[1] 张芹芬,索丽生.水电站水击与调压室涌浪随机分析研究进展[J].水利水电科技进展,1998(3):7-11.

[2] 吴世伟,张思俊,余强,等.坝上游库水位变化规律及统计量[J].华东水利学院学报,1984,12(4):66-74.

[3] 张芹芬,索丽生.调压室涌浪分析的随机模型[J].河海大学学报:自然科学版,1997,25(5):41-45.

[4] 郭文铸,索丽生.简单管水击随机分析[J].水力发电学报,1996(4):72-81.

[5] 张芹芬.简单管水击随机分析再探[J].水力发电学报,2000,69(2):56-63.

[6] 张芹芬,索丽生.水击随机分析在压力管道结构设计中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2000,28(2):17-21.

[7] 张博庭.压力钢管可靠度分析[D].北京:中国水利科学研究院,1998.

[8] 何英明,侯建国,安旭文,等.地下埋管可靠度校准分析[J].武汉水利电力大学学报,1999,32(5):64-68.

[9] 何英明,侯建国,张键,等.压力钢管可靠度分析基本变量的统计特性[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(5):5-10.

[10] 安旭文,候建国,何英明,等.水电站压力明管的可靠度校准分析[J].武汉大学学报:工学版,2003,36(6):31-35.

[11] 日本水门铁管协会.水闸钢管技术标准.第4次修订版[S].1993.

[12] 邓家庆.天生桥二级水电站压力钢管的设计[M]//水电站压力管道、岔管、蜗壳.杭州:浙江大学出版社,1994:71-79.

[13] 候建国,贺彩旭,石波,等.水工钢筋混凝土结构设计规范(SDJ20-78)可靠度校准分析[J].水力发电,1995(3):27-31.

[14] DL5017—93,压力钢管制造安装及验收规范[S].

[15] 黄振兴.水工钢筋混凝土结构可靠度分析和分项系数确定//水利水电工程结构可靠度设计统一标准专题文集[M].成都:四川科学技术出版社,1994:34-62.

[16] 日本水门铁管协会.考虑围岩分担内水压力的埋藏式压力钢管量测与评价实例[J].水门钢管,1988,156:1-39.

[17] 邵乃辰.以礼河电站高压管道应力分析[J].水利水电工程研究,1988(2):63-69.

[18] 汪成梁.地下埋藏式钢管水压试验研究[M]//水电站压力管道、岔管、蜗壳.杭州:浙江大学出版社,1994:395-402.

[19] 陶忠,韩林海,杨华.钢管混凝土构件设计计算及可靠度分析[J].工业建筑,2000,30(6):1-6.

[20] 李荣锋.水电站压力钢管用钢及其可靠性研究的展望[J].钢铁研究,1998(5):60-63.

[21] 张彦玲,戴运梁,李运生.钢管混凝土拱肋体系可靠度的研究[J].石家庄铁道学院学报,1998,11(2):67-71.

[22] 肖国涛,廖绍怀.基于Matlab的Monte-Carlo法对钢管混凝土构件的可靠度分析[J].建筑技术开发,2004,31(9):47-48.

[23] 韩林海.钢管混凝土[M].北京:科学出版社,2000.

[24] 李继华,林忠名.建筑结构概率极限状态设计.北京:中国建筑工业出版社,1990.

[25] 袁子厚,何英明,吴桂英,等.对数正态分布随机变量在设计基准期内的最大值分布[J].中国农村水利水电,2001(11):35-37.

[26] 张雪颖.压力钢管可靠度分析中静水压力截尾分布的影响[J].水电站设计,2003,19(1):34-35.

[27] 张雪颖,索丽生,胡爱宇,等.压力钢管荷载中静水压力与水击压力的相关性研究[J].水电站设计,2003,19(3):18-19.

(收稿日期:2004-00-00 编辑:马敏峰)

·简讯·

“第12届世界水资源大会”在印度召开

由国际水资源协会(IWRA)组织召开的“第12届世界水资源大会”于2005年11月22~25日在印度新德里举行.参加会议的有来自50多个国家的500余名水资源工作者和相关人员.本届水资源大会的主题为“水和可持续发展——寻求具有创新性的解决方案”.大会主要议题是:水资源综合管理;水资源基础设施发展;水治理;城市水管理;农村水管理;水安全和风险管理;经济与水利资金筹;水资源管理的能力建设;地下水和水文学.中国派出了政府代表团和专家代表团参加会议.(本刊编辑部供稿)