

给水系统可靠性

[苏] H.H. 阿布拉莫夫 著

董辅祥 刘灿生 译

中国建筑工业出版社

给水系统可靠性

[苏] H.H. 阿布拉莫夫 著

董辅祥 刘灿生 译

中国建筑工业出版社

[Н.Н.АБРАМОВ]

Надежность систем водоснабжения

М.Стройиздат 1984

* * *

给 水 系 统 可 靠 性

董辅祥 刘灿生 译

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新 华 书 店 经 销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 8³/₄ 字数: 196千字

1990年10月第一版 1990年10月第一次印刷

印数: 1—3,175册 定价: 5.95元

ISBN7—112—00803—4/TU·566

(5882)

序 言

1979年，苏联建筑工程出版社出版的由技术科学博士 H.H. 阿布拉莫夫 教授所著的《给水系统可靠性》一书，是苏联关于给水系统可靠性评价的第一本专著。

根据国定全苏标准 (ГОСТ 27.002—83)，“可靠性是指在一定范围内规定的运行指标值，满足对象给定功能的性质”。如果由于某种原因，系统的正常功能被破坏以致考察对象的服务质量下降超过允许的限度时，则引起“系统故障”。由于多数供水故障是由各种偶然原因引起的，因此给水系统可靠性的数值评价带有随机性，并且可由类似事件记载积累的统计资料的处理与分析取得。

在现代条件下保证国民经济各方面需求的增长以及提高为居民服务的质量同供水、供电、供气和供热等公共工程系统的完善与发展密切相关。这些系统功能作用的可靠性是提高居民点设备水平及保证工业企业不间断工作的条件之一。

鉴于对提高供水可靠性问题的更大的关注，本书再版是必要的。第二版与第一版基本上没有差别，在所提问题的意义以及为解决这些问题所建议的方法方面也同给水可靠性问题上的现代成就水平相适应。本书的主要目的在于：引起专家们对提高给水系统可靠性问题的关注；分析系统故障状态的计算条件与概率特性；提供计算方法的基本原理以使用之于设计。

参加本书编写的还有技术科学副博士 IO. A. 依里因 (第

四章第四节，第六章第六节），技术科学副博士B.И. 马洛夫（第三章第五节，第六章第一节），技术科学副博士Э.С.爱伦堡（第三章第三节，第五章第二、四节），与H.H.阿布拉莫夫合写第三章第二节），技术科学副博士E.H.依万诺夫（第三章第六节）。

译 者 的 话

可靠性问题，是随着科学技术的发展而产生的。从本世纪四十年代起，由于技术设备的复杂化和大规模系统的出现，促进了对可靠性问题的研究；反之，可靠性技术的不断发展又保证与推动了生产技术向更高阶段的发展。目前，可靠性作为一门新的学科与综合技术已逐渐深入到许多生产技术领域并且贯穿于系统的规划、设计、制造（或施工）、运行管理与维修的全过程。

在规划与设计领域，由于科学技术日趋整体化，原先以感性、经验、静态分析与手工式劳动为基础的传统设计法正在逐渐被现代设计法所取代。与传统设计法相反，现代设计法是以动态化、最优化和计算机化为特征的，并有着严格的程序与科学的内容，如动向预测、信息分析、系统分析、逻辑分析、相似分析、模拟分析、优化分析、有限元分析、动态分析、可靠性分析等等。可靠性，不仅是现代设计法的阶段与组成部分之一，也是考虑其他现代设计法问题的主要出发点。在许多生产技术部门，同性能、成本、社会效益一样，可靠性已成为一项十分重要的评价指标，是技术经济分析的基础，因此可靠性分析也是系统科学运行管理的重要内容与手段。

鉴于上述情况，近年来在各种学科领域开展可靠性问题的研究，已日益引起人们的关注。给水工程是社会生产的基础结构，许多给水工程系统都是大规模系统，显然其可靠性

目 录

第一章	给水系统可靠性的一般概念	1
第一节	基本概念与定义	1
第二节	给水系统工况的特点及其技术参数的确定	4
第二章	给水系统功能作用过程	8
第一节	给水系统功能特征及其基本状态	8
第二节	现行规范规定的用水工况及设计容量的确定方法	13
第三节	给水系统故障的种类	17
第四节	故障对给水系统功能作用质量指标的影响	20
第三章	居民区用水工况的随机过程分析	27
第一节	随机变量及其分布规律	27
第二节	随机变量的理论分布规律及依其处理试验数据的方法	35
第三节	最简单的随机过程	44
第四节	居民区给水系统组件间的水力联系	48
第五节	居住区用水量、用水工况有关资料的收集与统计处理方法	57
第六节	消防给水保证的概率特征	81
第四章	给水系统的基本组件与天然水源的可靠性指标	92
第一节	给水系统组件可靠性的基本指标	92
	表征无故障性的指标	95
	耐久性指标	99
	宜修性指标	100

	可靠性综合指标	101
第二节	取得天然水源可靠性特征值的方法	103
第三节	给水管线故障的登记方法与形式, 以及用以确定 其可靠性指标的原始资料的统计处理	114
第四节	给水泵站基本装备可靠性的概率指标	124
第五章	给水系统组件各种组合可靠性数值指标 的获取方法.....	136
第一节	给水系统组件最简单组合的可靠性指标	136
第二节	考虑给水系统恢复过程时组件的无故障 指标确定的特点	155
第三节	恢复性组件组成的无储备给水系统可靠性估计	163
第四节	恢复性组件构成的最简单的有储备系统的可靠 性指标的确定	166
第六章	优化储备原则的运用及被储备系统可靠 性的评价方法	176
第一节	给水系统优化储备的一般原则	176
第二节	作为储备对象的给水系统的结构特征	180
第三节	输水干线优化储备原则	183
第四节	给水区供水与配水系统可靠性的储备与评价	225
第五节	考虑可靠性要求时城市环状给水管网设计 与计算过程的一般分析	235
第六节	给水泵站的可靠性评价及其储备的方法	246
第七节	关于取水构筑物与净化站的储备与可靠性 的评价	260
附录		267

第一章 给水系统可靠性的一般概念

第一节 基本概念与定义

给水系统同其他技术服务系统一样，应与自己的作用相适应，即具有顺利完成所规定的功能的能力；具有一定强度以便使系统及其单个组件能在工作过程中承受给定负荷；要运行简单、经济，即有可能使其在建造和运行过程中以最低的消耗顺利完成所规定的功能。

所建系统完全满足上述要求，就能够顺利（且经济）地完成自身的功能。

但是，实际上仅有上述这些性质尚嫌不足。还必须获得一种信念，即系统在保持上述性质而不降低其功能作用质量的情况下不仅能够运行，而且实际工作情况一定会象所期望的那样。那么这种“信念”就是有基础的，这也是系统最主要的基本性质之一。

在苏联现行正式技术术语^①中，对可靠性概念作了如下的定义：“可靠性，是当规定的运行指标数值保持在与给定的工况，以及与给定的使用条件相对应的给定限度内时，对象满足给定功能的性质”这个定义中的对象既可理解为整个系统，又可理解为系统内的单个组件、构筑物、装置和部件。

可靠性是综合性质，它本身包括下列概念：无故障性、

① 《技术可靠性。术语与定义》。国定全苏标准（ГОСТ 27.003—83），莫斯科1984。

耐久性和维修性。

“无故障性”是能最完整地反映可靠概念本质的最重要的一个性质，它表示在某段时间或某工作容量内，对象连续保持工作能力的性质。对工作系统的可信程度及可靠性的数值评价，只能根据类似系统或组成该系统的组件的实际工作情况来确定。

各种随机事件有可能导致系统工作的破坏，并可能妨碍系统功能的正常完成。评估发生这些事件的可能性，及其发生和重现规律的唯一途径，是收集、研究和处理现有系统工作的统计资料。一般通过特定的工厂试验，确定系统中单个组件在工作中表现的性能。将实际观测或者进行相应试验得到的素材用数理统计方法加以处理，可以得到能导致单个组件和部件，甚至整个系统正常功能破坏的那些随机事件发生的概率。

能导致系统、组件可工作能力破坏的事件称之为故障。系统的无故障性及其可靠性的最主要的数值指标之一，是无故障工作概率，即对象在给定的工作时间范围内，不出现故障的概率。

可靠性及包含于这个概念中的各单项性质与其数值指标的一切评价，都具有概率特征。所以，我们根据类似组件工作的实际试验资料，可以确定它们无故障工作时间（工作周期）的概率，在规定时间间隔内故障概率的均值，以及其它与评价可靠性有关的数值指标。

所用统计材料（或者研究）的容量愈大，则处理这些材料所得的可靠度指标就愈精确（愈接近于真实）。

随机事件概率的数值指标常用小数或者百分数来表示。概率等于1，表示必然事件，即该事件必定发生。任何随机

事件，只有将其放在任一有限的时间间隔内，才能研究它们发生的概率。在某段时间内，对象的无故障工作的概率与其在同一段时间内的故障概率是对立事件，且它们之和等于1。

因为给水系统属于服务系统范畴，所以对其可靠性的要求，即用数值表示的可靠性的某些指标，应根据以用户的要求制定的标准来确定。

根据用水性质，对给水系统可靠性的要求，可根据节约的原则，以及保障住房应有的卫生状况及生活服务水平等方面的必要性来确定。在所有的情况下，系统的可靠性在于：当给水功能遭到破坏时（爆炸、火灾等），仍能保障人们的安全不受任何可能的影响。

任何技术系统所要求的可靠性，应预先在系统的设计计算、筹备（采用可靠的材料和设备）、建造（高质量建筑安装工作）以及运行（通过排除故障工作的良好组织、有计划的预防性维修以及管理人员的高超技能）过程中予以考虑。

应该看到，提高系统可靠性总要导致材料消耗的增加，所以对给水系统（如同其他大多数系统一样）可靠性的要求，应该有确切的论据。对于某些对象，保证给水的可靠性问题，可以通过技术经济分析来确定，例如论证确定某些工业部门的生产企业所要求的给水可靠性即属这种情况。在这种情况下，可能产生确定最佳可靠性问题。很明显，为提高系统可靠性而增加的投资，要由系统的可能故障的减少所导致的物质损失的减少来补偿。

通过技术经济（优化）计算，能够确定用于保证给水系统可靠性的最适宜的消耗量。上述确定可靠性水平的途径，仅适用于故障只引起单纯经济损失的情况。当不够可靠的系

统发生故障时，能够引起不良的社会道义后果（危及人们的生命和健康），那么可靠性的要求就不能单凭经济观点，而要靠安全技术部门、卫生部门，有时也要根据相应的法规来确定。

确定了所研究对象所需要的给水可靠性后，在设计它的给水系统时，可以用不同的方式予以保证。对每一对象，都可通过技术经济比较，并考虑当地条件，选择不同方案，解决其要求可靠性的保证问题。

第二节 给水系统工况的特点及其 技术参数的确定

保证给水系统的可靠性，是具有重大国民经济意义的课题，由于给水系统自身的一系列特点，确定和保证它的可靠性是相当困难的。

给水系统可分为两大基本类别——工业给水系统和市政给水系统，在满足其功能的特征、工况及计算参数的确定方法方面，都存在着明显的差别。

对于工业给水系统，通常以所服务的工业的工艺过程和工况为基础，其用水过程是通过测试确定的，同时也是可以控制的。在大多数情况下，从工艺设计及生产实践中可以相当精确地确定出每吨产品的用水量、单台设备在单位时间内的用水量以及总的用水量和用水工况。

对于市政给水系统，确定系统工作的上述参数相当复杂。设在居住区的给水系统属于为群众服务的系统，在每个时刻从系统所取水量都是各用户从系统中汲取水量之和。要对这种取水量进行任何有效的控制，实际上都是不现实的。

居民从城市管网中的总取水量是随机变量，这个随机变量是由许多完全不同的随机事件组合决定的。因此，为了充分发挥市政给水系统的功能作用，必须深入研究用水过程的统计学规律。

虽然存在着影响从系统中取水数量逐时变化的各种事件的随机性，但是也存在某些决定用水特征变化的共同因素。

城市用水总量将随时间产生下列变化：

1. 由于居民人数的逐渐增长，住宅卫生技术设备和城市公用设施的完善而引起的每人单位日用水量的增加，将导致城市用水量逐年增加。

2. 日用水量随着一年中的季节、气温、天气、居民的季节性流动而呈周期性变化，而且总体趋向于用户数目的增加单位用水量增大。此外，在一周内的某些特征日（假日与假日前夕）的居民用水的日用水量也在增加。

3. 一日内，时用水量也是波动的。引起波动的原因涉及到居民的生活情况、工业生产情况、城市工业化程度、各种类型交通工具的运行情况以及其他各种事件的随机组合，如天气的变化、广播电视播送的吸引人的节目的时间、文娱场所演精彩的节目以及重要的体育比赛等等都能改变人们的用水习惯。

显然，给水系统应始终满足城市给水系统扩建前最后一年的最高日最大时设计水量的要求。

对于不同卫生设备类型，每人单位日用水量以及年（逐日）和日（逐时）用水不均匀系数，都采用给水系统设计规范中所概括和介绍的实际用水资料的整理结果。但是，规范所提供的这些要求仅仅是用水量可能波动的近似和平均指标。给水系统扩建之前最后一年的设计流量，也是通过对居民人

数增长情况的预测及单位用水量标准(考虑卫生设备的增加)来确定。

因此,所有用来确定用水的基本设计参数的方法,都不能保证有较高的精确性。然而,根据规范要求和预测的城市发展而建立的给水系统,却应该尽最大可能满足用水的实际需要。

由于预测不够精确,在个别时间段内,居民的实际需水量和系统的供给能力之间可能发生严重脱节,即系统存在先天的故障。在这种情况下,用户要从给水系统取用的水量超过系统在正常功能作用下的供水量,就会引起系统压力下降且使供、用水状况更加恶化。发生类似的系统故障,不是由于系统的任何异常和事故,而仅仅是因为在这个时间段内,实际需水量超过了根据预测所确定的能力。要能适时地满足设计期限内对系统供水量增加的要求,只有采用提前建造和投产新的给水设施和给水装置的方法。

在给水系统设计期限内(系统扩建前)确定用水量的增长速度及用水情况的逐日、逐时的周期变化时,可能产生预测的误差(错误)。

根据现行规范,城市给水系统总体上应当保证供给用户最大设计日流量。因此,水源的选择和规模的确定是根据该流量进行的,所以不采用最大时用水量是因为尽管用户最大时用水量能超过从水源汲取和送入城市管网的最大日的平均时供水量,但满足逐时的用水要求可用给水系统的压力——调节容量来保证。根据各个国家长期实践得到的经验,城市给水系统应按设计时流量的进行设计,可不考虑超过最大时流量平均值的某些“瞬时用水要求”。

市政给水系统的可靠性,不仅取决于导致系统功能正常

(计划)过程破坏的随机事件的分布规律,而且对该过程的设计参数本身也需要一定的概率估计。

由上述所有情况可以确信,系统地考察居民区用水的实际情况,整理所得到的统计信息和确定系统高峰负荷时的可靠性(保证率)的数值指标,是完全必要的。

现代城市给水系统是众多子系统(构筑物)的复杂综合体。而子系统中又包括了大量的各式各样的组件:机械、装置、设备、附件、仪表、输水管等等。给水系统最基本的子系统(构筑物或构筑物的综合体)是取水构筑物、泵站、净水构筑物、水池、水塔、输水干管、管网(服务对象区域内的配水管网)等。当然,还应该把作为给水水源的天然水体,以及保证给水系统中的泵站和其它构筑物中的设备工作的能源系统,列入上述最基本的人工构筑物的清单中。

只有综合考虑各构筑物(从水源到用户)的整个设计上的功能,并考虑它们在协同工作中的作用,才能确定给水系统所要求的可靠性。当然也只有详细分析水源流量及水位变化的统计资料的基础上,才能选择水源,以保证所需设计水量的无故障性。

应该指出,通常给水系统中一个组件的故障并不能导致相应构筑物及整个系统的故障。甚至几个构筑物故障通常也不会引起整个系统故障,即不致断水,而只是导致给水设计水平的某种暂时下降。这种下降有时是允许的,有时会超过规范允许范围之外。

对给水系统可靠性的要求,应根据用户的利益来确定。系统的建造应做到任何随机事件都不致使其正常给水被破坏到不容许的程度。

第二章 给水系统功能作用过程

第一节 给水系统功能特征及其基本状态

根据前述技术系统可靠性的定义，给水系统的可靠性可以理解为，在给定的运行条件和工况的范围内，给水系统具有随时保持规定的运行指标，并满足给水功能的性质。给水系统的功能是保证用水对象（城市、工业企业）获得规定的水量、水质以及保持配水管网中要求的压力。只有实现对给水系统提出的所有这些要求，才能保证其功能作用质量维持在正常水平。

在运行过程中，系统的个别构筑物 and 组件的正常工作可能受到各种破坏，这就不可避免地使整个系统的正常功能受到一定的影响，即导致服务对象给水正常水平的下降。这种下降的允许限度应根据相应规范事先有所考虑。应该规定出中断给水的容许程度与时间限度，以及减少给水量的容许程度和减少给水的时间期限。此外，还应规定正常工作类似破坏的重现的极限频率。

无论任何因素使运行指标的降低超过允许的限度，都将发生系统故障。给水水源的故障、取水构筑物事故与停电（由于供电系统事故），都会严重影响系统的工作。类似事件可能导致整个系统的故障。

因此，任何实际的给水系统可处于下列基本（设计）状态：

a. 完全的可工作状态——系统具有向用户按给定的标准设计水平供水的功能；

b. 不完全的可工作状态——系统具有按一定水平供水的功能，这个水平低于标准设计数值，但不低于规范所确定的允许界限；

c. 非可工作状态（故障状态）——系统不具有向用户按标准设计水平或按允许的降低水平供水的功能。

对于每个正在运行或者已完成设计的给水系统，可定量地评价单独组件和构筑物的故障在总体上对系统功能作用质量，即对服务对象供水过程的影响。因为规范已规定了功能作用质量下降的允许限度。显然，为了确定系统从一种状态过渡到另一种状态的数值指标界线，必须首先明确地给出正常功能作用的设计水平（或者功能作用质量）的概念和特征数值。

给水系统功能作用的性质在很大程度上取决于用水过程的性质。在这一点上，工业给水系统和居民区给水系统有明显的差别。

如前所述，在工业给水系统中一般存在着确定的用水过程。这一可通过工艺计算确定的过程，可由维护人员校正和控制，并且可以在运行过程中准确实现。

这一确定的用水过程，就是给水系统的功能。只有在给水系统组件发生故障或损坏，或者在外部系统（水源或者能源系统）发生故障时，才导致功能破坏或者功能作用质量降低。

在市政给水系统中，用水过程是随机的和不可控制的。这些系统属于公共服务系统范畴，其工作的实际情况决定于各单独用户的用水需求（或申请）而汇集起来的随机事件