

重庆大学

硕士学位论文

建筑室内排水系统的优化研究

姓名：杨士杰

申请学位级别：硕士

专业：市政工程

指导教师：张勤

20070420

## 摘 要

伴随着我国全面建设小康社会事业的展开,高层建筑也大量出现,居民的生活水平、环保意识和对高质量、高品位生活环境的追求同步提高。但在室内排水方面,大多数建筑都还是在采用传统的室内排水做法。虽然传统的室内排水技术在我国应用已有几十年的历史,但是一些难题仍然没有解决,像噪音问题、废水溢出问题、滴水和渗漏问题等等,并且随着时代的发展,一些新的问题又凸现出来,如卫生器具摆放受限制等。独立、完整、自由、节能、健康是建筑室内排水系统的未来发展方向,因此传统的室内排水系统的改进和优化愈来愈显示出迫切性和重要性,加强室内排水系统的改进和优化研究是十分必要的。

现代建筑的类型日趋多样化,在满足规范要求的前提下,往往会有几种不同的排水系统类型或通气方式可供选择。这些排水系统优点与不足共存。因此,排水方式的选择是一个值得研究的问题。由于建筑排水方式受到技术、经济和社会环境效益等不确定性因素的影响,对它们的评价往往带有模糊性,因此应用模糊数学的方法对排水方式进行评判比较合理。本文利用多层次模糊综合评判理论来评价特定条件下某种排水方式的优劣。多层次模糊综合评判法是首先根据项目的实际特点,建立评价因素指标体系,对方案各指标由低层次向高层次的顺序,进行综合评价,得到一个既量化又较符合实际的评价结果。运用多层次模糊综合评判法可以充分考虑建筑室内排水系统的多种影响因素,从技术、经济和社会环境影响三方面来评价排水方式的优劣,通过对比得到最优的排水方式。

排水设计秒流量反映了室内生活排水管道的设计负荷,是确定各排水管段管径的依据。因此研究合理的排水设计秒流量计算方法具有重要的现实意义。本文在分析建筑室内生活排水系统排水特点和国内外建筑排水设计秒流量计算方法的基础上,结合国外常用的用于室内给水计算的两种概率方法,即亨特概率法和俄罗斯概率法,提出了基于概率论的建筑室内排水设计秒流量计算方法。

最后,本文对建筑室内排水常用管材进行了对比和优化选择。一,从技术和经济两方面,重点比较了最常用的铸铁排水管和硬聚氯乙烯(UPVC)排水管的优劣,并提出了合理的排水管材应用方案;二,应用价值系数法来进行排水管材的优化选择,即通过计算各种管材的功能评价系数和成本评价系数,然后求出两个系数之比,根据比值的大小(即性价比)来判断排水管材的价值,从而选出最优管材。

**关键词:** 建筑排水, 排水设计秒流量, 排水管材优化

## ABSTRACT

With China building a well-off society started, large numbers of high-rise buildings have appeared; the standard of living, environmental awareness and the high-quality, high-grade environment for the pursuit of life improve simultaneously. But in the indoor drainage, the majority of residential buildings are still using the traditional indoor drainage systems approach. While traditional indoor drainage technology has been used in China for several decades of history, some problems remain unresolved like noise, wastewater overflow, the water dripping and leakage, etc. And with development of the times, some new problems appeared such as health devices placed by the restrictions. Independence, integrity, free space, energy-saving, health is the future development direction of indoor drainage system. So it is very urgent and important to improve and optimize the traditional indoor drainage system and enhancing indoor drainage system improvement and optimization study is very necessary.

Modern building types are becoming more diverse. Meeting the requirements under the norms, there often have several available different types of drainage systems or ventilation options. These drainage systems have advantages and disadvantages of co-existence. Therefore, the choice of the drainage way is a question worth considering. As the drainage way of buildings is influenced by technological, economic and social environment uncertainty factors. As the evaluation often with vague, using fuzzy math method to judge the drainage way is more reasonable. This paper evaluates the quality of some drainage ways in specific conditions by using multi-level theory of fuzzy comprehensive evaluation. First, under the actual characteristics, establish evaluation factors index system, divide the involved various factors into several categories according to certain attributes; from low to high order, evaluate each category, gain an established, quantitative and actual results of the evaluation. Using multi-level fuzzy comprehensive evaluation method can fully consider the various factors of the indoor drainage system, evaluate the merits of the various drainage way from technology, economic and social environment influence, hence gain an optimal drainage way.

The design seconds of the indoor drainage system reflects the design load of the drainage pipe, is the basis to determine the pipe diameter. The study of reasonable design calculation method of drainage seconds flux has important practical significance. Based on the analysis of indoor life drainage characteristics of the drainage system and

the seconds flux of drainage design calculation methods at home and abroad, using the two probabilistic methods abroad for indoor water calculation, that Hunt and Russian probability, this paper explores the calculation method of seconds flux of drainage design based on the theory of probability.

At the end, this paper explores the comparison and optimization of choice used for indoor drainage pipes. First, from technical and economic aspects, compares the merits of the most commonly used pipes as cast iron pipes and hard polyvinyl chloride (UPVC); then, use value coefficient method to optimize the choice of drainage pipe: calculate the functional evaluation coefficient and cost evaluation coefficient of various pipes, and then calculate the ratio of two coefficients. According to the ratio (cost-effective), determine the value of the drainage pipes and choose the most suitable pipe.

**Key words:** Building drainage, The Seconds Flux of Drainage Design, Drainage pipe optimization

# 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得重庆大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：杨士杰 签字日期：2007年4月28日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解重庆大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆大学可以将学位论文的全部或部分内内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

保密（），在    年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密（）。

（请只在上述一个括号内打“√”）

学位论文作者签名：杨士杰

导师签名：张勤

签字日期：2007年4月28日

签字日期：2007年4月28日

# 1 绪论

## 1.1 问题的提出和意义

伴随着我国全面建设小康社会事业的展开,居民的生活水平、环保意识和对高质量、高品位生活环境的追求同步提高,高层建筑也大量出现,住宅楼由以往每单元一梯三户或四户甚至更多的住户共用走廊,逐步转变为居住更宽裕、舒适和私密性更强的一梯两户。但在室内排水方面,大多数住宅建筑都还是在采用传统的室内排水做法,即排水立管穿越下层楼板,排水横支管吊挂在下层住户顶板以下,并沿墙固定就近收集上层用户的各种卫生器具(盥洗池、热水器、浴盆、冲洗水箱、坐便器、洗衣机、地漏等)的排水。虽然传统的室内排水技术在我国应用已有几十年的历史,但是一些难题仍然没有解决,像噪音问题、废水溢出问题、滴水 and 渗漏问题等等,并且随着时代的发展,一些新的问题又凸现出来,如卫生器具摆放受限制等。这些问题轻则影响居民生活,重则会引起民事纠纷、疾病扩散,造成严重的后果。独立、完整、自由、节省、健康是建筑室内排水系统的未来发展方向,因此传统的室内排水系统的改进和优化愈来愈显示出迫切性和重要性,加强室内排水系统的改进和优化研究是十分必要的。

## 1.2 国内外现状综述

### 1.2.1 传统室内排水系统

随着人们生活水平的不断提高,人们对家居环境的卫生要求也越来越高,尤其是对厨房、卫生间的装修水准,有更明显的提高。但厨房、卫生间排水的现状却不能令人满意,有时还会给人们的正常生活带来不小的麻烦。

建筑室内排水系统由卫生器具和生产设备的受水器、排水管道、疏通设备和通气管道组成<sup>[1]</sup>。其中排水管道由器具排水管(含存水弯)、排水横支管、排水立管、埋地干管和排出管组成。建筑室内排水系统的基本要求是迅速顺畅地排除建筑内部的污废水,保证排水管道系统在气压波动下水封不被破坏。目前,国内的建筑室内排水系统普遍采用下排水方式,即卫生器具坐落在卫厨间的地面上,器具排水管穿过所在层的地面,与排水横支管在下一层楼面顶部汇合,最后流入排水立管。这种排水方式本身存在以下弊端:

#### ① 布置方式

由于楼板开设孔洞过多,尤其是卫生间地面,这样既破坏了楼板的整体性,又增加了防水施工的难度,并且在使用过程中易发生渗漏。这是因为排水管与楼板属于不同材质的,当温度变化时,由于他们的膨胀系数不同,经过一段时间使

用后,排水管与楼板交接处的防水层极易开裂,造成渗漏,导致污染下层天棚,使下层天棚轻则发霉变色,重则滴水不止,严重影响人们的正常生活,也增加了物业公司的工作量和管理难度。另外,悬挂在下层卫生间顶部的排水管经过长年使用也易发生渗漏,给下层住户造成不便,并易传播疾病<sup>[2]</sup>。

### ②存水弯

存水弯的作用是防止下水管道内的有害气体和异味进入室内。但由于它安装在排水管道中段,与排水管道的末端—器具排水口还有一段距离。器具排水口与存水弯的这段排水管道,使用一段时间后会受到污染,通过器具排水口不断向室内散发异味,成为厨房卫生间室内异味的主要来源。存水弯上的清扫孔经过反复拆装后,也易发生渗漏<sup>[2]</sup>。

### ③地漏

地漏是国内的室内排水系统应用极为广泛的建筑配件之一<sup>[2]</sup>。国内90%以上采用的是钟罩式地漏,它是一种水封式地漏。由于地面不经常积水,经过一定时间水封就会蒸发掉,并且由于地漏低于地面,一些灰尘和垃圾很容易进入。这样以来,水封式地漏会因为堵塞和水封的蒸发而失去排水和阻隔下水道的功能,臭气就会散发到建筑物内;在使用过程中杂质不可避免的沉降,使地漏的流量和自清能力下降,致使地漏堵塞而失去排水功能;地漏中的积水还会滋生一些害虫,会滋扰人类生活和传播虫媒疾病;地漏中积水的腐败发臭,向建筑物内散发臭气、病毒和细菌<sup>[3]</sup>。

### ④噪音

排水立管和横支管产生的噪音会破坏居民家庭生活需要的宁静和温馨氛围,其不良效应在居民学习、创作、思考、睡眠期间特别明显,并且上层用水对还对下层用户有噪音影响。伴随居民生活水平的提高,用户的各种卫生器具使用频率同步增长,排水量和频次相应增加,其不良效应日益突出。

### ⑤其它

排水横支管和排水立管均采用明管敷设,不仅占用了室内有效空间,而且很不雅观,严重影响室内合理布局和装修美化,需要额外包装而增加了装修费用。

## 1.2.2 同层排水技术

中国改革开放以后,由于商品房的出现,住宅私密性的强调和发达国家先进技术的引进以及以人为本理念的体现,同层排水技术被提出并得以实施,并重新引起建筑给水排水专业人员的极大关注<sup>[4]</sup>。同层排水技术是指卫生器具排水管不穿越楼板,而排水横支管在本层与排水立管连接的排水方式。同层排水技术的优点是管道维修不干扰下层住户,卫生间卫生器具布置灵活、安装方便、排水噪声小、管道不结露、节省通气立管、减少室内开洞、避免卫生死角等。同层排水技术是

目前欧洲广泛采用的一种排水方式，但在中国应用只有 7 年的时间，技术很不成熟。

同层排水技术目前主要有三种型式：以欧洲隐蔽式安装系统为主要特点的同层排水技术；以日本排水集水器为主要特点的同层排水技术；以我国无专用管件为主要特点的同层排水技术<sup>[4]</sup>。当前，以欧洲模式最具先进性和工程实用性。

### ①欧洲隐蔽式安装系统

欧洲模式隐蔽式安装系统的主要特点：排水管道和大便器冲洗水箱都隐蔽在墙体内，大便器采用悬挂冲落式大便器，卫生器具固定在隐蔽式支架上，管材采用HDPE管，重视防止噪声的传递等。隐蔽式安装系统是将卫浴系统整合在墙体内，在墙体内设置隐蔽式支架。隐蔽式水箱按冲洗水箱按钮位置的不同，又分前按式(按钮在水箱前面)和顶按式(按钮在水箱顶部)两种。排水和给水管道也设置在隐蔽式支架内，并与支架充分固定，卫生器具也直接与支架固定。安装时先安装固定支架，再安装隐蔽式支架，接着安装排水管道和给水管道，然后安装卫生器具和表面装饰材料，安装完毕，露明部分只有卫生器具本体和配水龙头，给人以整洁、干净的感觉。

采用隐蔽式安装系统同层排水技术后，经过工程实践，其主要优点有：

1)卫生间平面布置灵活。

2)管道和水箱隐蔽，简洁美观。

3)卫生间排水支管不穿越楼板，解决了排水横支管表面凝水滴水问题，也相应提高了室内净空高度，有利于防火，更便于管道一旦堵塞后的维护和疏通。

4)有效地降低了因排水而形成的水流噪声，创造了安静的住宅环境。

5)支架牢固，安装方法稳妥可靠，卫生器具使用稳固。

6)适用于住宅、公共建筑的卫生间、宾馆客房和体育建筑。

但由于隐蔽式安装系统同层排水技术冲洗水箱是隐藏在墙体内的，这会给水箱进水阀和出水阀的维修带来一定程度的不便。

隐蔽式安装系统应用于国内市场前景是乐观的，但也存在一些问题：

1)地漏的设置。隐蔽式安装系统一般不设地漏或少设地漏，当必须设置地漏时应采用既符合功能要求而高度较矮的新型地漏，而国内用户较为强调设置地漏。

2)国内用户要求浴盆有溢流口。

3)对于隐蔽式安装系统采用的悬挂安装的挂壁式坐式大便器，有的用户心存疑虑，要求采用后出口在地面固定的蹲式大便器。

4)管材方面中国倾向于应用UPVC排水管，这比PE排水管的噪声治理难度更高。

5)在国内，全装修房尚未普及，不同住户有各不相同的装修要求。

## ②国内的同层排水做法

由于国内应用同层排水的时间只有几年的时间，没有相关的规范和规程要求，做法不一。

### 1)排水管敷设在厨房、卫生间地面上

排水管敷设在地面上的做法较多采用于厨房排水。现代住宅内的厨房经过二次装修后，地面污水很少，一般不考虑设地漏，所以厨房内排水横支管多采用地面敷设的方式。地面敷设时，管道的走线不能跨过门或交通路线，一般宜靠墙布置，最好结合橱柜布置，一般在橱柜下150mm的空间，设在橱柜下不影响美观，当然一定条件下也可以在厨房侧墙内暗埋散设。

卫生间的排水横管采用地面敷设的做法：坐便器采用后出口式，洗脸盆、淋浴器、浴盆的排水横管布置在本层楼面，同时采用侧出口地漏，紧靠立管布置。

这种做法存在的缺点：

由于淋浴器、浴盆、蹲便器的出水口还需设存水弯，地面需要垫高，对使用有一定影响；这种形式卫生间的布置必须与建筑平面密切配合，有其局限性；卫生间难免会有明露管，影响美观，可以采用砖砌或采用活动盖板盒；侧出口地漏卫生条件不好。

### 2)排水管暗埋结构层或建筑垫层中

暗埋法是将排水横支管暗埋于建筑垫层中，将卫浴间地面抬高60-200mm，在抬高的地面填充层中铺设用水器具的连接管件(弯头等)及水平主管道，填充层以上做水泥砂浆找平层、防水层及地面面层。此法构造简单，实现同层排水的效果较好，造价经济，并不影响下层卫浴间的使用净层高。但由于地面抬高对人的进出带来不便，不符合室内无障碍设计的要求，还会造成卫生间污水外溢。

### 3)敷设在厨卫地面楼板下沉空间内

降板法就是将卫生间的楼板降低或局部降低 35-40cm<sup>[5]</sup>，在这个空间内敷设排水横管横管敷设完成后，用填充材料将下沉空间填充，再做卫生间地面。这是目前国内最常见的同层排水做法。

这种做法的优点：给排水管道布置在降板中，卫生间无明显管道，卫生洁具布置灵活，排水噪声对下层干扰较小，施工也较方便；卫生间可不做吊顶，整洁美观，与下排水方式相比，占用下层空间较少，提高了卫生间的净高；发生漏水或检修时，不影响下层住户使用。

其缺点：结构降板处理增加造价，同时用填充材料填平降低空间，增加荷载，不经济；下沉板内的积水不易排出，检修时必须破坏地面，取出填充材料比较困难，且工作量大<sup>[6]</sup>。

### 4)排水横管设在户外

户外法,就是将所有卫生器具均沿外墙布置,器具采用后排水方式,地漏采用侧墙式地漏,排水横支管均在地面以上接至室外排水立管,排水立管和总排水横管均明装在建筑外墙上。这种做法限于在无冰冻期的南方地区使用。

主要优点:卫生间内所有排水横支管均不外露,整洁美观;卫生间可不作吊顶,节约二次装修费用;管道安装在建筑外墙面上,避免了管道维修时影响下层。

主要缺点:卫生间排水横支管在地面以上接至室外排水立管,水力条件相对较差,尤其当排水立管距离坐便器较远,排水横支管较长时,往往使坐便器的虹吸力遭到破坏,坐便器冲洗不干净或用水量较大;排水管道穿过建筑外墙,对预留孔洞精度的要求较高,施工比较麻烦,容易产生位移和误差;施工误差可能造成排水地漏底部高出卫生间地坪,出现地面排水速度较慢,地面积水排不净等隐患;所有排水管道均安装在外墙面上,管道维修有一定困难;管道布置对建筑美观有一定影响,一般应布置在建筑凹里空间内;对卫生洁具要求均靠外墙布置,有一定的局限性<sup>[6]</sup>。

#### 5)排水横管设在专门设置的假墙内

即为欧洲模式隐蔽式安装系统。

#### 6)用强排提升洁具、污水处理提升器

优点:可以将任意房间变为盥洗室,无论地上、地下,还是远离下水道的位臵;节省施工费用和时间,降低施工难度,减少降板费用;管道安装方式简单,可避免看到外露的管线;分离机构轻松维修,避免彻底拆卸各种连接管道的麻烦。

缺点:由于采用强排提升的方式,含有泵等设备,需要考虑动力供应问题;目前应用不够广泛,施工与技术支持一般只能依赖对应的设备厂家;污水处理提升器需要占用一定的空间。

### 1.2.3 单立管排水系统

改革开放以后,城镇基础设施建设突飞猛进,高层建筑大量兴建,促使排水系统不断改进。传统的排水系统即由排水立管与通气立管组成的排水系统尽管得到长期实践的认可以,但因耗用管材量大和占用面积较大,使它的发展受到一定的限制<sup>[7]</sup>。因此从60年代起,就出现了取消通气立管的单立管排水系统。

单立管排水系统即一根立管具有排水与通气的双重功能,因此相对双立管系统它具有节省管材、减少占用面积、减轻荷载、维护方便、缩短工期、造价低等诸多优点。设有特殊配件的单立管排水系统由于扩容、分流等作用更有利于改善立管的水力工况,减少管内压力波动和避免水封破坏。因此国内外的专家学者都非常重视特殊单立管排水系统的研究,并取得了一定的成果和经验。

目前,采用较多的几种特殊单立管排水系统如下:

### ①苏维脱单立管排水系统

该系统是瑞士弗理茨·苏玛于 1959 年研制开发的,是采用一种使气水混合或分离的特殊配件替代一般管件的单立管排水系统。它由两部分组成:一个是设在立管与每层横支管间连接处的气水混流器,其作用是限制立管内的液体与气流的速度,并使从支管流来的污水有效地同立管中的空气混合;另一个是设在立管底部的气水分离器,它的作用是把气体从污水中分离出来,用一根跑气管引到排出管的下游,从而防止了立管底部产生过大的正压力,保证污水畅通地流出排出管<sup>[8]</sup>。

### ②旋流式单立管排水系统

旋流式单立管系统是法国建筑科学技术中心在进行了多次试验基础上提出的单立管系统。它是由各个楼层的排水横支管与排水立管上的旋流配件及装设于立管底部的“特殊排水弯头”(也叫旋流排水弯头)组成。该系统的水流呈水平旋转,沿立管管壁向下流动,在立管的内壁形成水膜流,在管道中心形成管心气流,并且通过伸顶透气管与外界空气相通,还通过立管底部的特殊排水弯头与排出管的气流连通,因而保证了系统中压力的稳定,具有良好的排水与通气能力,而且由于管内污水旋流运动的特点排水时管道噪音很小<sup>[9]</sup>。

### ③螺旋管单立管排水系统

螺旋管单立管排水系统由螺旋管与偏心进水三通组成,螺旋管内壁有三角形螺旋线,污水沿螺旋线旋转下落,在管中心形成一个通畅的空气柱,从而提高了排水能力。偏心进水三通与排水立管的连接不对中,能把排水横支管流来的污水从周围切线方向导入立管,起到削弱支管进水水舌的作用,避免水塞形成,起到稳定气压波动、降低噪音的作用。

尽管特殊单立管排水系统确实有很多的优点,而且我国也在特殊单立管排水系统方面做了许多工作,但由于在国内其特殊配件无统一标准,产品未能定型化、标准化、商品化,工程实践不多,还有我国对建筑排水系统通气管系要求并未十分强调,造成该项技术在现在实际上处于停滞状态<sup>[7]</sup>。

## 1.2.4 建筑室内排水系统的设计计算

随着高层建筑的大量兴建,人们对建筑排水的安全性和可靠性也给予了高度的关注。正确、合理的建筑排水管道计算是安全、可靠的建筑排水系统的重要保证。建筑排水管道的水力计算涉及到排水立管的最大排水能力、卫生器具排水的流量、排水管道设计秒流量、排水管道的管径、充满度等<sup>[10]</sup>。建筑排水管道水力计算急需解决的问题如下:

### ①卫生器具的排水流量

我国标准《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003)给出了卫生器具的排水流量、当量和器具排水管管的管径。但是,这些数据有待进一步完善。例如大便器,

欧洲标准《建筑物内部重力排水系统》针对不同出水量的大便器给出了不同的排水流量和当量,供设计人员按不同使用场合选用<sup>[11]</sup>,而我国规范仍采用已使用多年冲洗水量水箱的坐便器,设计中再沿用以前的数据与实际情况显然不相符合。

### ②排水横管的管径与充满度、坡度间的关系

建筑排水中含有固体污染物,为防止固体污染物在管内沉淀造成排水不畅或堵塞管道,必须保证自净流速。自净流速的大小与污废水的成分、管道坡度、设计充满度有关。我国标准《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003)规定了建筑物内生活排水管的最小坡度和最大设计充满度。限制最小坡度是防止固体污染物在排水横支管内的沉淀,限制最大设计充满度是保证排水横支管内水流为非满流状态,以便使污废水释放出的有毒有害气体能自由排出,调节排水管道内的压力,接纳以外的高峰流量。

随着节水型卫生器具的大量应用,卫生器具每次使用后排入排水管道的水量大大减少了。我国规范未制定设计充满度的下限值,如设计中仍按以往经验仅根据设计坡度来控制排水横支管的排水能力,设计充满度偏小时,固体污染物易在管内沉淀。国外已有实验资料证明了此现象的存在,并提出为保证排水横支管的排水能力,应保证或适当提高排水管道的设计充满度,以使水流输送固体污染物至排水立管。

### ③排水管道设计秒流量计算<sup>[10]</sup>

我国按建筑类型及排水特点有两个排水设计秒流量计算公式,这两种排水情况分别为:一,住宅、集体宿舍等建筑用水设备不集中、用水时间长、同时排水百分数随卫生器具数量增加而减少的排水情况;二,工业企业生活卫生间等建筑用水设备使用集中、排水时间集中、同时排水百分数高的排水情况。随着我国城市建设事业蓬勃发展,单体建筑物的建筑高度和建筑面积与改革开放前早已不可同日而语,并且在工程实际应用中出现了计算管径偏小的情况。因此,对于排水管道设计秒流量计算公式,应在必要的调研和论证的基础上进行修正与完善。

### ④排水立管的最大排水能力<sup>[10]</sup>

排水立管上接入各层排水横支管,横支管的水流呈断续的非均匀流;立管内水流呈竖直下落流动状态,水、空气和固体污染物三种介质在立管中呈复杂运动,水流能量转换和管内压力变化很激烈。要得到不同通气方式的立管排水能力,必须通过可靠的试验,并加以整理、归纳和总结。我国曾对排水立管进行过几次测试,部分成果已体现在我国的规范中。但是测试装置的标准、气密性、测试流量负荷的确定、管道负压产生的瞬间破坏水封有待进一步统一和完善。

## 1.2.5 小结

总之,我国的建筑室内排水技术无论是应用技术、设计水平还是工程经验的

总结已有很大的发展,但是也存在着许多问题和不足,主要表现在以下几个方面:

①由于排水系统类型和通气方式选择不当以及系统本身存在的局限性,造成建筑室内排水系统在排水安全性和稳定性上存在问题,影响居民使用的舒适度和安全性。

②我国现有规范中的建筑室内排水管道的计算方法在实际工程时存在一些问题,有待进一步解决和完善。

③现今,建筑排水管材品种较多,建设单位常常为降低成本而选用比较便宜的管材,由于忽略了其特性,从而影响了室内排水系统的安全性和可靠性。

所以,对建筑室内排水系统进行优化研究是非常有必要的。

### 1.3 课题的研究目的及意义

建筑室内排水系统作为建筑设备工程的重要组成部分,直接影响到人民的健康和建筑的安全可靠性、工程造价以及其社会效益。所以对建筑室内排水系统进行优化研究,既可以增强排水系统的安全性和可靠性,还可以达到节水节能的目的,并可对相关规范的制定提供参考。

### 1.4 课题研究的内容

①建筑室内排水方式的优化选择。从技术、经济和社会环境三方面出发,确定影响建筑室内排水选型的因素,结合数学模型来确定特定条件下最适合的排水方式。

②建筑室内排水管道计算的优化及改进。由于试验条件不够,本论文只对排水管道设计流量计算进行讨论研究。即从建筑室内排水系统的水流特点出发,结合国内外的建筑室内排水计算理论,探索基于概率论的排水设计秒流量计算方法。

③通过各种建筑室内排水管材的对比研究,寻求更合理的室内排水管材应用方案及优选方法。

### 1.5 课题研究的技术路线

①搜集相关资料、调研。

②从技术性、安全性、节能性和经济性等几个方面对建筑室内排水系统进行优化。

③从技术和安全角度出发,进行建筑室内排水方式的优化选择和建筑室内排水管道设计流量计算的优化及改进;通过各种建筑室内排水管材的对比研究,寻求合理的室内排水管材应用方案及优选方法。

④结合实际工程对研究内容进行论证,提出室内排水系统的节能与优化措施

和评价的方法。

## 1.6 可行性分析

该课题具有较坚实的理论依据，并结合现行规范中的疑难问题、实际工程运行情况进行研究探讨，所以是可行的。

## 2 建筑室内排水方式的优化选择

### 2.1 引言

建筑室内排水系统是将建筑内部人们在日常生活和工业生产中使用过的、受到污染的水以及降落到屋面的雨水和雪水收集起来,及时排到室外。污水排到室外进入市政污水管道,汇集后排到污水处理厂经处理达标后排放。

按系统接纳污水类型的不同,建筑室内排水系统可分为三类:

#### ①生活排水系统

生活排水系统排除居住建筑、公共建筑及工厂生活间的污废水。

#### ②工业废水排水系统

工业废水排水系统排除工业生产过程中产生的污废水。

#### ③屋面雨水排水系统

屋面雨水排水系统收集排除降落到工业厂房、大屋面建筑和高层建筑屋面上的雨水及融化的雪水。

为方便讨论研究,本章仅以生活排水系统为研究对象。

按通气方式不同,建筑室内生活排水系统可划分为不通气的排水系统、设有通气管系的排水系统和特殊单立管排水系统。设有通气管系的排水系统又可以分为以下几类:仅设伸顶通气管的排水系统、设专用通气立管的排水系统、设环形通气管的排水系统和设器具通气管的排水系统等<sup>[12]</sup>。

随着现代建筑的不断发展,其类型也日趋多样化,在满足规范要求的前提下,也往往会有几种不同的排水系统类型或通气方式可供选择。这些排水系统优点与不足共存。因此,排水方式的选择是一个值得研究的问题。由于建筑排水方式不仅受到经济因素的影响,而且还有很多不确定因素的影响,例如技术因素,社会环境效益等。由于这些不确定因素的影响,对它们的评价往往带有模糊性,因此,应用模糊数学的方法进行评判将会取得较好的实际效果。本文利用多层次模糊综合评判理论得出理论依据可靠并切实可行的优化方法。

### 2.2 模糊综合评判理论

模糊综合评判是在模糊的环境中,考虑多种因素的影响,关于某种目的对某种事物作出的综合决断或决策<sup>[13]</sup>。

多层次模糊综合评判法首先是根据项目的实际特点,建立评价因素指标体系,将所涉及到的诸因素按照某些属性划分为几类,由低层次向高层次的顺序,先对每一类进行初层次的综合评价,在此基础上再对每类所得的评价结果进行高层次

的综合评价,从而得到一个既量化又较符合实际的评价结果。同时在多层次评价过程中,需要应用专家打分或层次分析法来确定各因素指标的权重<sup>[14]</sup>。

具体步骤如下<sup>[15][16]</sup>:

①建立评价因素集,即选择评价指标的集合。

将基本因素集 $U$ 按照某些属性的类型划分成 $N$ 个子集,记作 $U_1, U_2, \dots, U_N$ ,应满足 $\bigcup_{i=1}^N U_i = U, U_i \cap U_j = \emptyset, i \neq j$ 。

每个子集又分为若干评价因素为 $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik}\}, i = 1, 2, \dots, N$ ,即 $U_i$ 中含有 $k_i$ 个因素, $\sum_{i=1}^N k_i = n$ ,从而可以建立一个完整的可反映出评价层次的评价因素指标体系。

②建立评判集

评判集 $V$ 即为多种决断构成的集合, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_m\}, i = 1, 2, \dots, m$ 。

③确定各评价指标的权重集

确定各评价指标的权重分配是最关键的问题,因为它最终决定评价结果的准确性。可以用专家打分法或层次分析法来确定权重。

专家打分法是请若干专家对各个指标按重要性进行打分,再进行分类汇总计算确定各指标权重分配。

层次分析法是系统分析中的一种实用而简洁的多准则决策方法,它将一个问题所涉及的诸多指标按类分层排列,构成一个递阶层次结构模型,并最终归纳为最低层相对于最高层的相对重要权值的确定。其确定权重的具体步骤为:

首先,建立递阶层次结构,用“1~9”的标度将人们对各因素的重要性比较判断定量化,并构造判断矩阵。然后,采用方根法计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 及相应的特征向量,将其归一化后,即为某一层有关因素相对于上一层相关因素的权重值。同时需要对判断矩阵进行一致性检验。

对应于评价指标因素集 $U$ 的每一部分 $U_i$ ,权重分配集为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ 。同时, $U_i$ 中的各因素的权重分配为 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}\}$ ,其中

$$0 \leq a_{ij} \leq 1, \sum_{j=1}^{k_i} a_{ij} = 1.$$

④确定单因素评判矩阵 $R_i$

对于每一个因素 $U_i$ ,都有一个评判集 $V_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\} (i=1, 2, \dots, N)$ 与之对应。由此,全部评价集的排列可构成 $U_i$ 的单因素评判矩阵 $R_i$ ,即:

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{i1} & \cdots & r_{im} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{iN1} & \cdots & r_{iNm} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

## ⑤第1级综合评判

综合评判:

$$B_i = A_i \circ R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}), i=1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

## ⑥第2级综合评判

将每一个 $U_i$ 作为一个元素,用第一级的综合评价结果,即 $B_i$ 作为它的单因素评判,又可以构成总的评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & \vdots & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{N1} & b_{N2} & \dots & b_{Nm} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

第2级综合评判矩阵即为:

$$B = A \circ R = (b_1, b_2, \dots, b_N) \quad (2.4)$$

为方便比较各方案的优劣,把 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_1, \dots, v_m\}$ 诸因素量化,量化以后评判集用 $C$ 来表示,那么该方案综合评价值:

$$W = B \cdot C^T \quad (2.5)$$

通过比较各方案的综合评价值,最大者即为最优方案。

## 2.3 多层次模糊综合评判数学模型的建立

### 2.3.1 评价指标的确定

在进行建筑排水系统类型的选择时,设计人员一般从技术、经济和社会环境影响三个方面来考虑。经过调查并征询几家设计院设计人员的意见和建议,并参照相关规范,我们对于这三个类别进行了进一步的划分。

#### ①技术指标

技术指标是保证排水安全可靠性的关键。建筑排水系统的技术指标具体可以划分为排水能力、通气性能、管内气压稳定性、排水可靠性和管线布置难易程度等五个部分。

#### ②经济指标

经济指标可以分为系统造价、运行费用(主要指污水提升)和后期管理及维护费用三部分。

#### ③社会环境指标

随着社会的发展和人们生活水平的提高,人们对自身的居住环境质量要求越来越高,保护环境的意识也日益增强,节能也已成为现代建筑的发展方向之一。由此,社会环境指标可以划分为居民满意度、对环境的影响和节能性三部分。

综上,建筑排水系统类型选择的多层次模糊评判指标体系见图2.1。

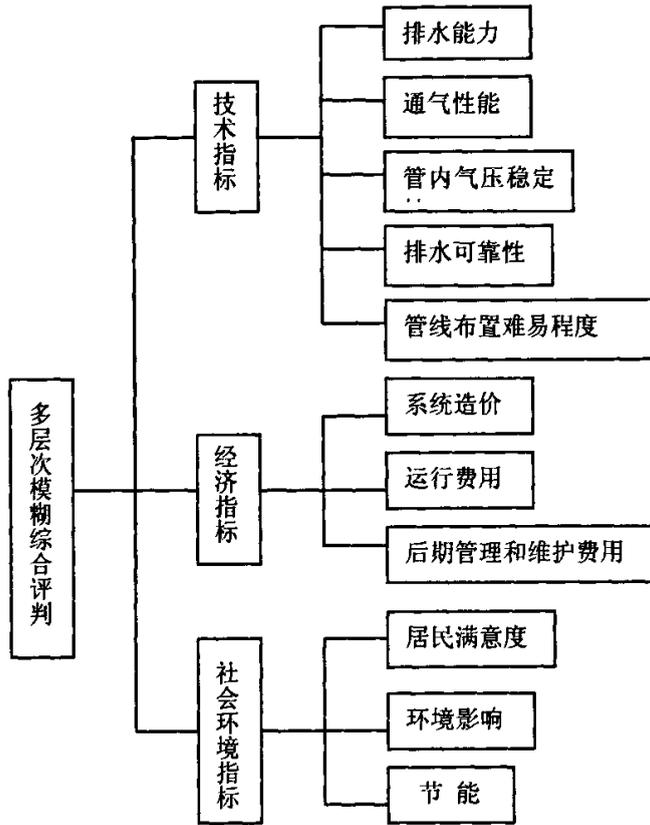


图 2.1 建筑排水系统多层次模糊综合评判指标体系

Fig2.1 Multiple levels fuzzy evaluation index system of building drainage system

### 2.3.2 评判集的确

在考虑一种建筑排水系统类型是否适合某种建筑或某一段标准层时，要对各指标进行评判。我们将评判结果分为四等： $v_1$ =优， $v_2$ =良， $v_3$ =中， $v_4$ =差，用  $C=(2, 1, 0, -1)$ 来量化。对于某一待设计的建筑或标准层，可以请若干专家对待选排水方式的各指标按  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$ 作出评判，以确定各级评判结果所占比例，即得出评判集：

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}, \text{其中 } v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 1 \quad (2.6)$$

### 2.3.3 各级指标权重分配的确

在这里，我们采用专家打分法来确定各级指标的权重分配。通过发函方式，笔者调查了几家大型设计院 20 位给排水专业领域专家对各级指标权重的打分情况。权重分级  $\lambda$ 按 0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50、0.55、0.60 等十二个等级考虑。

## ①一级指标权重分配

20位专家对一级指标(技术指标、经济指标和社会环境指标)打分的统计情况见表2.1。

表 2.1 一级指标权重分配专家打分统计表

Table 2.1 The expert scoring table of elementary indexes t weight distribution

序号	权重分级( $\lambda_i$ )	各权重分级打分人数 $N_i$		
		技术指标	经济指标	社会环境指标
1	0.05	0	0	0
2	0.10	0	0	2
3	0.15	0	0	7
4	0.20	0	0	2
5	0.25	0	3	6
6	0.30	0	10	3
7	0.35	3	7	0
8	0.40	2	0	0
9	0.45	4	0	0
10	0.50	2	0	0
11	0.55	6	0	0
12	0.60	3	0	0
$\sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20$		0.487	0.310	0.203

各指标的权重分配按  $a_j = \sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20, j=1,2,3$  来计算确定。经计算, 技术指标、经济指标和社会环境指标的权重分配为(0.487, 0.310, 0.203)。

## ②二级指标权重分配

## 1)技术指标:

建筑排水系统的技术指标分为排水能力、通气性能、管内气压稳定性、排水可靠性和管线布置难易程度等五个指标。专家对各指标权重分配打分情况见表2.2。

表 2.2 技术各指标权重分配专家打分统计表

Table 2.2 The expert scoring table of each technical index weight distribution

序号	权重分级( $\lambda_i$ )	各权重分级打分人数 $N_i$				
		排水能力	通气性能	管内气压稳定性	排水可靠性	管线布置 难易程度
1	0.05	0	0	0	0	5
2	0.10	0	6	11	6	9
3	0.15	0	0	3	0	3
4	0.20	3	11	0	3	0
5	0.25	6	0	3	0	3
6	0.30	6	3	0	5	0
7	0.35	5	0	3	3	0
8	0.40	0	0	0	3	0
9	0.45	0	0	0	0	0
10	0.50	0	0	0	0	0
11	0.55	0	0	0	0	0
12	0.60	0	0	0	0	0
$\sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20$		0.278	0.185	0.222	0.198	0.117

各指标的权重分配可按  $a_{ij} = \sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20, j=1,2,3,4,5$  来计算确定。经计算,排水能力、通气性能、管内气压稳定性、排水可靠性和管线布置难易程度的权重分配为(0.278, 0.185, 0.222, 0.198, 0.117)。

## 2)经济指标:

建筑室内排水系统的经济指标分为系统造价、运行费用(主要指污水提升)和后期管理及维护费用三个指标。专家对各指标权重打分情况见表 2.3。

表 2.3 经济各指标权重分配专家打分统计表

Table 2.3 The expert scoring table of each economic index weight distribution

序号	权重分级( $\lambda_i$ )	各权重分级打分人数 $N_i$		
		系统造价	运行费用	后期管理和维护费用
1	0.05	0	0	0
2	0.10	0	2	0
3	0.15	0	4	0
4	0.20	0	8	2
5	0.25	0	4	6
6	0.30	0	2	4
7	0.35	2	0	4
8	0.40	2	0	2
9	0.45	4	0	2
10	0.50	6	0	0
11	0.55	2	0	0
12	0.60	4	0	0
$\sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20$		0.490	0.200	0.310

各指标的权重分配可按  $a_{2j} = \sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20, j=1,2,3$  来计算确定。经计算, 系统造价、运行费用(主要指污水提升)和后期管理及维护费用的权重分配为(0.490, 0.200, 0.310)。

### 3) 社会环境指标:

建筑排水系统的社会环境指标分为居民满意度、对环境的影响和节能性三个指标。专家对各指标权重打分情况见表 2.4。

各指标的权重分配可按  $a_{3j} = \sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20, j=1,2,3$  来计算确定。经计算, 居民满意度、对环境的影响和节能性的权重分配为(0.350, 0.333, 0.317)。

表 2.4 社会经济各指标权重分配专家打分统计表

Table 2.4 The expert scoring table of each social and environmental index weight distribution

序号	权重分级( $\lambda_i$ )	各权重分级打分人数 $N_i$		
		居民满意度	环境影响	节能
1	0.05	0	0	0
2	0.10	0	0	1
3	0.15	0	0	2
4	0.20	3	2	3
5	0.25	4	0	0
6	0.30	2	9	5
7	0.35	0	3	0
8	0.40	6	4	4
9	0.45	2	2	5
10	0.50	3	0	0
11	0.55	0	0	0
12	0.60	0	0	0
$\sum_{i=1}^{12} N_i \lambda_i / 20$		0.350	0.333	0.317

### 2.3.4 构造单因素评判矩阵

请专家小组对待选的排水方式各指标按  $v_1$ =优,  $v_2$ =良,  $v_3$ =中,  $v_4$ =差进行评判, 其评判结果分别用各项所占的比例  $r$  ( $0 \leq r \leq 1$ ) 来表示, 每一个指标  $U_i$  都有一个对应的  $R_i$ 。

由此, 技术指标的单因素评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} r_{11}^{[1]} & r_{12}^{[1]} & r_{13}^{[1]} & r_{14}^{[1]} \\ r_{21}^{[1]} & r_{22}^{[1]} & r_{23}^{[1]} & r_{24}^{[1]} \\ r_{31}^{[1]} & r_{32}^{[1]} & r_{33}^{[1]} & r_{34}^{[1]} \\ r_{41}^{[1]} & r_{42}^{[1]} & r_{43}^{[1]} & r_{44}^{[1]} \\ r_{51}^{[1]} & r_{52}^{[1]} & r_{53}^{[1]} & r_{54}^{[1]} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

经济指标的单因素评价矩阵为:

$$R_2 = \begin{bmatrix} r_{11}^{[2]} & r_{12}^{[2]} & r_{13}^{[2]} & r_{14}^{[2]} \\ r_{21}^{[2]} & r_{22}^{[2]} & r_{23}^{[2]} & r_{24}^{[2]} \\ r_{31}^{[2]} & r_{32}^{[2]} & r_{33}^{[2]} & r_{34}^{[2]} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

社会经济指标的单因素评价矩阵为:

$$R_3 = \begin{bmatrix} r_{11}^{[3]} & r_{12}^{[3]} & r_{13}^{[3]} & r_{14}^{[3]} \\ r_{21}^{[3]} & r_{22}^{[3]} & r_{23}^{[3]} & r_{24}^{[3]} \\ r_{31}^{[3]} & r_{32}^{[3]} & r_{33}^{[3]} & r_{34}^{[3]} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

### 2.3.5 进行多层次模糊综合评判

根据 2.3.3 节各指标权重分配的分析, 各级指标的权重分配如下:

$$A = \{A_1, A_2, A_3\} = \{0.487, 0.310, 0.203\},$$

$$A_1 = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}\} = \{0.278, 0.185, 0.222, 0.198, 0.117\},$$

$$A_2 = \{a_{21}, a_{22}, a_{23}\} = \{0.490, 0.200, 0.310\},$$

$$A_3 = \{a_{31}, a_{32}, a_{33}\} = \{0.350, 0.333, 0.317\}.$$

技术指标、经济指标和社会环境指标的一级模糊综合评判:

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = \{B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}\}$$

$$B_2 = A_2 \circ R_2 = \{B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}\}$$

$$B_3 = A_3 \circ R_3 = \{B_{31}, B_{32}, B_{33}, B_{34}\}$$

取

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

则二级模糊综合评判:

$$B = A \cdot R = \{b_1, b_2, b_3, b_4\} \quad (2.11)$$

为比较各方案的优劣, 评判级别用  $C=(2, 1, 0, -1)$  来量化。

$$\text{综合评价价值: } W = B \cdot C^T \quad (2.12)$$

对每一种排水方式重复以上步骤, 得到综合评价价值, 最大者即为最佳排水方式。

## 2.4 结合实例进行多层次模糊综合评判

### 2.4.1 工程概况

某工程为一栋二类高层综合楼。其中: -1~4 层为车库、设备、商业、办公、会议等用房, 5~16 层为住宅楼。本工程室外采用生活污水与雨水分流制排水的管道系统。室内污水收集后集中排入位于建筑东部的生化池内, 并经处理后排入市政管网, 最高日室内污水量为  $85\text{m}^3/\text{d}$ 。

### 2.4.2 利用多层次模糊综合评判法来进行排水方式的优选

根据规范要求, 本工程室内排水(污水)可采用设有专用通气管系的排水系统、特殊配件单立管排水系统和螺旋管单立管排水系统三种类型, 均设伸顶通气管。现根据多层次模糊综合评判法来进行排水方式的优选。

①评价指标按 2.3.1 节确定;

②评判集确定:

根据 2.3.2 节，将评判结果分为四等： $v_1$ =优， $v_2$ =良， $v_3$ =中， $v_4$ =差，用  $C=(2, 1, 0, -1)$  来量化。请若干专家对待选排水方式的各指标按  $v_1, v_2, v_3, v_4$  作出评判，以确定各级评判结果所占比例，即得出评判集：

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}, \text{其中 } v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 1$$

③各级评判指标权重：

$$A = \{A_1, A_2, A_3\} = \{0.487, 0.310, 0.203\},$$

$$A_1 = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}\} = \{0.278, 0.185, 0.222, 0.198, 0.117\},$$

$$A_2 = \{a_{21}, a_{22}, a_{23}\} = \{0.490, 0.200, 0.310\},$$

$$A_3 = \{a_{31}, a_{32}, a_{33}\} = \{0.350, 0.333, 0.317\}.$$

④请给排水领域专家对待选排水方式各评判指标根据实际情况进行评价，汇总整理后得表 2.5、表 2.6、表 2.7，即得单因素评判矩阵。

表 2.5 设专用通气管排水系统各评判指标评价统计表

Table 2.5 The expert scoring table of each index of the special ventilation pipe drainage system

评判指标 \ 评判等级		优(2)	良(1)	中(-1)	差(-2)
技术	排水能力	0.50	0.30	0.10	0
	通气性能	0.60	0.20	0.20	0
	管内气压稳定性	0.40	0.40	0.20	0
	排水可靠性	0.50	0.30	0.10	0.10
	管线布置难易程度	0.10	0.10	0.30	0.50
经济	系统造价	0.10	0.20	0.20	0.50
	运行费用	0.20	0.30	0.25	0.25
	后期管理及维护费用	0.30	0.20	0.20	0.30
社会环境	居民满意度	0.50	0.20	0.20	0.10
	环境影响	0.20	0.30	0.30	0.20
	节能	0.40	0.30	0.20	0.10

表 2.6 特殊配件单立管排水系统各评判指标评价统计表

Table 2.6 The expert scoring table of each index of the special accessories drainage system

评判指标		评判等级	优(2)	良(1)	中(-1)	差(-2)
技术	排水能力		0.40	0.40	0.10	0.10
	通气性能		0.45	0.35	0.20	0
	管内气压稳定性		0.30	0.30	0.30	0.10
	排水可靠性		0.40	0.30	0.20	0.10
	管线布置难易程度		0.30	0.40	0.20	0.10
经济	系统造价		0.20	0.10	0.30	0.40
	运行费用		0.30	0.30	0.20	0.20
	后期管理及维护费用		0.20	0.35	0.25	0.20
社会环境	居民满意度		0.40	0.20	0.10	0.30
	环境影响		0.30	0.30	0.10	0.30
	节能		0.40	0.25	0.15	0.20

表 2.7 螺旋管单立管排水系统各评判指标评价统计表

Table 2.7 The expert scoring table of each index of the spiral pipe drainage system

评判指标		评判等级	优(2)	良(1)	中(-1)	差(-2)
技术	排水能力		0.40	0.30	0.30	0
	通气性能		0.40	0.20	0.30	0.10
	管内气压稳定性		0.40	0.20	0.30	0.10
	排水可靠性		0.50	0.30	0.20	0
	管线布置难易程度		0.40	0.40	0.20	0
经济	系统造价		0.50	0.20	0.20	0.10
	运行费用		0.30	0.30	0.10	0.20
	后期管理及维护费用		0.35	0.20	0.25	0.20
社会环境	居民满意度		0.40	0.25	0.05	0.30
	环境影响		0.45	0.30	0.10	0.15
	节能		0.30	0.25	0.25	0.20

⑤分别对三种排水系统进行多层次模糊综合评判, 得出三种排水系统对应的  $B$

值

$$B_{①}=(0.300, 0.278, 0.203, 0.200)$$

$$B_{②}=(0.278, 0.310, 0.300, 0.310)$$

$$B_{③}=(0.310, 0.278, 0.278, 0.203)$$

其综合评价价值  $W$  分别为:

$$W_{①}=0.678$$

$$W_{②}=0.556$$

$$W_{③}=0.695$$

$W_{③}$  最大, 所以螺旋管单立管排水系统是最适合本建筑的排水方式。

### 3 建筑室内排水设计流量计算的优化和改进

排水设计秒流量反映了室内生活排水管道的设计负荷，是确定各管段管径的依据。因此研究合理的排水设计秒流量计算方法具有重要的现实意义。

#### 3.1 建筑排水内部水流特点

因为按非满流设计的排水管道内，污水中含有固体杂物，所以建筑内部排水系统中是水、气、固三种介质的复杂运动，其中，固体物较少，可以简化为水-气两相流。建筑内部排水与室外排水相比，其主要特点<sup>[1]</sup>：

##### ①水量、气压变化幅度大

与室外排水相比，建筑内部排水管网接纳的排水量少，且不均匀，排水历时短，高峰流量时可能充满整个管道断面，而大部分时间管道内可能没有水。管内水面和气压不稳定，水气容易掺和。

##### ②流速变化剧烈

建筑外部排水管绝大多数为水平管网，有少量跌水，但深度不大。沿水流方向管内水流速度递增，但变化很小，水气不易掺和，管内气压稳定。建筑内部排水横支管与排水立管交替连接，当水流由横支管进入立管时，流速急骤增大，水气混合；当水流由排水立管进入排水横管时，流速急剧骤减小，水气分离。

##### ③事故危害大

室外排水不畅时，有毒有害气体或污废水溢出路面，影响环境卫生。因其发生在室外，对人体直接危害小。建筑内部排水不畅，污水外溢到室内地面，或管内气压波动，有毒有害气体进入房间，危害人体健康，影响室内环境卫生，其危害性很大。

为合理设计建筑内部的排水系统既要使排水安全畅通，又要做到管线短、管径小、造价低，需专门研究建筑内部排水管系的水气流动物理现象。

排水管道内的水流过程及特性如下：

##### ①排水横支管内水流运动

排水横支管是接纳各器具排水管的来水，在卫生器具中，一般以大便器的排水流量为最大，约 2L/s 左右。若大便器排入正三通排水管中，水流首先撞向对面的管壁，然后向三通两个方向喷流，水流极乱，与管中原有的空气混合形成剧烈波动的气水混合流，并产生水跃现象，如波顶达到管顶而产生一段长度的满流，就形成水塞流动，只要这个水塞流动持续一个短的时间，即会在水塞的上游管中产生负压，在水塞的下游管中产生正压。如果要使排水横支管内的气压保持并接

近大气压，则应在负压处补入空气，在正压处排泄空气，就必须设置通气管。

### ②排水立管内水流运动

排水立管内的水流状况是随管中充水率而变化的，在流量很小时，完全附着于立管内壁呈细流下流状态，管中气压无变化。随着流量的增加，从横支管流入立管的水流冲向对面管壁，形成附着于管壁而中空的环境流，环状水膜达到一定厚度并在下流过程中由于压缩管中空气，使气压增加而破坏，破坏后的隔膜流，一部分水流又形成环膜流，一部分水流分离成一股小水流在管中央落下一段距离。这种环膜流的形成，根据美国亨脱的试验<sup>[17]</sup>，在直径 75mm 的立管中，充水率在 1/4-1/3 中出现。流量再增加，隔膜形成频繁且变成不易破坏的水塞流，使排水管道中的压力发生强烈的波动。

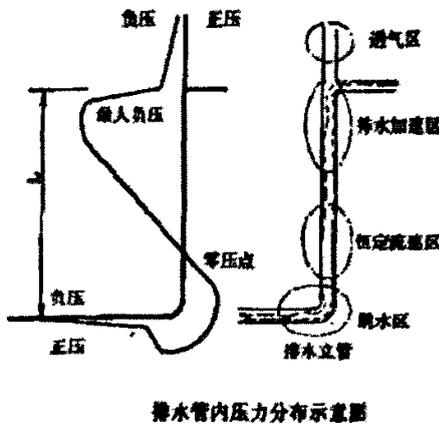


图 3.1 排水管内压力分布示意图

Fig3.1 The chart of drain pressure distribution

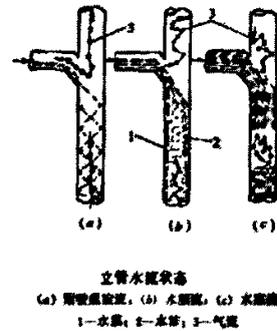


图 3.2 排水立管水流状态示意图

Fig 3.2 The chart of flow state in drainage erect pipe

排水立管中 3 种流动状态的形成与管径和排水量的大小有关，也就是与水流充满立管断面的大小有关。一般用水流断面面积  $\omega_1$  与管道面积  $\omega_j$  的比值  $\alpha$  来表示。经实验，在设有专用通气立管的排水系统中，当  $\alpha$  小于 1/4 时为附壁螺旋流； $\alpha$  介于 1/4—1/3 之间时为水膜流； $\alpha$  大于 1/3 时出现水塞流<sup>[18]</sup>。在同时考虑排水系统安全可靠和经济合理的情况下，排水立管内的水流状态应为水膜流。

### ③排出管（排水横管）内水流运动

若排水流量达到一定的程度时，在排水立管的底部，水流以终限流速的高速状态进入排出管，水流方向由垂直下流经弯头转入水平时由于水的离心作用，在弯头底部水流的水深急剧增加，形成满流的水跃现象。这种水跃现象发生于离立

管基部 10 倍立管管径处, 如果排水流量较小或者排出管的管径比立管大或排出管坡度很大时水跃现象就不容易发生。水流从水跃发生处向下流动, 受到摩擦阻力的影响, 流速逐渐减小, 由波状水流渐渐地变成稳定的明渠流。在立管的基部接出通气立管可以排除此处由于水跃产生的正压力<sup>[19]</sup>。

排水管中的压力变化, 直接影响水封, 有时造成水封中的水大量流失, 排水管路内设置通气管的主要目的是缓和排水管内压力的变化, 使大气中的空气加以流动, 保护水封不被破坏。因此, 在设计建筑室内排水系统时, 必须把排水和通气当作一体的设备加以对待。

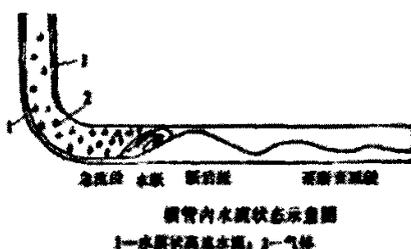


图 3.3 排水横管水流状态示意图

Fig 3.3 The chart of flow state in drainage horizontal pipe

## 3.2 建筑室内生活排水流量的计算

### 3.2.1 排水设计秒流量计算

建筑室内生活排水系统的计算主要是根据各种卫生器具的排水定额确定设计管段的设计流量, 再根据设计流量确定管径。

建筑内部排水流量与卫生器具的排水特点、同时排水的卫生器具数量有关, 具有历时短、瞬时流量大、两次排水时间间隔长的特点。建筑内部每昼夜、每小时的排水量都是不均匀的。与给水相同, 为保证最不利时刻的最大排水量能迅速、安全排放, 排水设计流量应为建筑内部的最大排水瞬时流量, 又称设计秒流量。

建筑内部排水设计秒流量有三种计算方法: 经验法、平方根法和概率法。我国目前采用平方根法, 根据生活建筑的排水特点有两个公式<sup>[12]</sup>:

①住宅、集体宿舍、旅馆、医院、疗养院、老人院、办公楼、商场、会展中心、中小学教学楼等建筑生活秒流量, 应按下式计算:

$$q_u = 0.12\alpha\sqrt{N_p} + q_{\max} \quad (3.1)$$

式中,  $q_u$  — 计算管段排水设计秒流量, L/s;

$N_p$  — 计算管段的卫生器具排水当量总数;

$q_{\max}$  — 计算管段上排水量最大的一个卫生器具的排水流量, L/s;

$\alpha$ —根据建筑物用途而定的系数，宜按表3.1确定。

表3.1 根据建筑物用途而定的 $\alpha$ 值

Table 3.1 The  $\alpha$  numerical value according to the building purpose

建筑物名称	住宅、宾馆、医院、幼儿园、疗养院、老人院的卫生间	集体宿舍、旅馆和其他公共建筑的公共盥洗室和厕所间
$\alpha$ 值	1.5	2.0-2.5

如果计算所得流量值大于该管段上按卫生器具排水流量累加值时，应按卫生器具排水流量累加值计。

②工业企业生活间、公共浴室、洗衣房、公共餐饮业的厨房、实验室、影剧院、体育场、候车室等建筑的卫生设备使用集中，排水时间集中，同时排水百分数高，其排水设计秒流量计算公式为

$$q_u = \sum q_p \times n_0 \times b \quad (3.2)$$

式中  $q_u$ —计算管段排水设计秒流量，L/s；

$q_p$ —同类型的一个卫生器具排水流量，L/s；

$n_0$ —同类卫生器具数；

$b$ —卫生器具同时排水百分数，冲洗水箱大便器按12%计算。其他卫生器具同给水。

### 3.2.2 小结

我国现行的排水设计秒流量计算方法反映的因素不够全面，公式适用的范围小，在理论上及实际应用中存在以下问题：

①式(3.1)和式(3.2)都没有考虑生活排水的随机性；

②式(3.1)对影响排水量的各种实际因素如卫生器具使用频率、卫生器具组合形式、单位器具负荷人数等，反映不够充分。

③计算管段上排水量最大的一个卫生器具的排水流量  $q_{max}$  是式(3.1)的修正项，它体现了公式的经验性，但当卫生器具较多， $N_p$  较大的情况下，计算结果比较大， $q_{max}$  也就失去了相应的修正作用。

④按式(3.1)计算设计的工程有时出现管径偏小、排水不畅的情况，反映了计算公式的不合理性。

⑤根据规范规定，卫生器具较少时，式(3.1)计算结果有时会大于该管段上卫生器具排水流量的总和，则应按卫生器具排水流量的累加值进行计算。这也反映了计算公式的不合理性。

### 3.3 国外室内排水设计秒流量计算方法

国外的室内排水设计秒流量计算方法一般有美国的器具排水单位法、欧洲的规范标准方法和日本的固定流量法三种<sup>[20]</sup>。

#### 3.3.1 美国器具排水单位法

器具排水单位法是美国最早采用的方法，以洗脸盆排水流量为标准，即在排水管径为 32mm 时，排水流量为 0.475L/s，以此作为一个器具排水负荷单位。某器具的最大排水流量除以 0.475 L/s 即为该器具的排水单位<sup>[21]</sup>。同时考虑该器具的同时使用形态，使用频率等因素定出器具排水负荷单位。因此各种器具排水负荷单位并不完全单纯是洗脸盆标准排水流量的倍数，而是用来表示排水系统在假定的最大使用频率条件下器具排水负荷的大小，这样使一个有几种不同种类卫生器具的排水系统能较方便的直接累加其器具排水负荷单位，以计算其排水流量<sup>[22]</sup>。表 3.2 为各种卫生器具的排水负荷单位。

表 3.2 各种卫生器具的排水负荷单位<sup>[23]</sup>

Table 3.2 The drainage load unit of each sanitation equipment

器 具	水封最 小口径	器具排 水负荷 单位数	器 具	水封 最小 口径	器具排水 负荷单位 数
大便器：有水箱	75	4	地漏	40	2
只有阀门	75	8	洗碗池	75	8
小便器：壁挂式(小型)	40	4	厨房用洗碗池(住宅 用)	40	2
站立式(大型)	50	4	洗碗机(住宅用)	40	2
站立式(虹吸式等)	75	8	地面排水	40	0.5
洗脸池	25	0.5	浴室器具一套(有水 箱的大便器，洗脸池， 浴缸及有围墙的淋浴)	75	6
洗手池	30	2	浴室器具一套(只有阀 门的大便器，洗脸池， 浴缸及有围墙的淋浴)	75	8
洗发池	30、40	2			
浴缸：住宅用	40、50	3			
西式	50	2			
有围墙的淋浴(住宅用)		3			
连排淋浴	30、40	3			

表 3.3 不同管径排水横支管和排水立管容许的最大排水负荷单位<sup>[24]</sup>

Table 3.3 The maximum load drainage units of different diameter's erect and horizontal embranchment pipe

管径(mm)	容许最大器具排水负荷单位		
	排水横支管	排水立管	
		三层以下、一根排水立管有三个 以下横支管间隔	四层以上建筑
32	1	2	2
40	3	4	8
50	6	10	24
65	12	20	42
75	20 <sup>1)</sup>	30 <sup>2)</sup>	60 <sup>2)</sup>
100	160	240	500
125	360	540	1100
150	620	960	1900
200	1400	2200	3600
250	2500	3800	5600
300	3900	6000	8400
375	7000	—	—

注：1)大便器数 $\leq 2$ 。

2)大便器数 $\leq 6$ 。

3)本表适用于设有专用通气立管的排水系统。

4)横支管间隔：连接排水立管的两根排水横支管之间的垂直距离在 2.5m 以上者为一个支管间隔，不满 2.5m 时横支管间隔数即为零。

表 3.4 排水横管的最大排水负荷单位<sup>[24][25]</sup>

Table 3.4 The maximum load drainage units of the horizontal pipe

管径 (mm)	排水横管的最大排水负荷单位数			
	倾斜度			
	1/192	1/96	1/48	1/24
50	-	-	21	26
65	-	-	24	31
75	-	20	27	36

续前表:

100	-	180	216	250
125	-	390	480	575
150	-	700	840	1000
200	1400	1600	1920	2300
250	2500	2900	3500	4200
300	3900	4600	5600	6700
375	7000	8300	10000	12000

### 3.3.2 欧洲规范标准方法

欧洲方法的计算公式采用欧洲标准《建筑物内部重力排水系统第二部分》中 6.3.1 式计算, 如下式<sup>[26]</sup>:

$$q_u = K\sqrt{DU} \quad (3.3)$$

式中  $q_u$  —排水设计秒流量, L/s;

$K$ —使用频率因数, 其中住宅为 0.5;

$DU$ —卫生器具的总排水当量(卫生器具的平均排水流量), 从表 3.5 中选取。

表 3.5 卫生器具排水当量<sup>[26]</sup>

Table 3.5 The drainage equivalent of each sanitation equipment

卫生器具	排水当量	器具排水管最小管径(mm)
洗手池、洗脸池	0.5	40
厨房洗碗池或 0-6kg 的家用洗衣机	1	50
6-12kg 家用洗衣机	1.5	70
小便器(自闭式冲洗阀)	0.5	50
大便器(冲落式水箱 6.0L)	2.5	100
浴盆(直接排水)	1	40

### 3.3.3 日本固定流量法

固定流量法是日本在 70 年代提出一种新的室内排水系统排水设计秒流量方法。固定流量法不仅考虑求出排水最大流量值, 而且还要考虑器具排水量和器具排水间隔的评价, 是一种引进了概率理论的排水设计秒流量计算方法<sup>[27]</sup>。

固定流量法在考虑卫生器具最大排水流量的同时, 又提出了三个参数, 即器

具排水流量  $q_d$ ，器具排水量  $W$  和器具平均排水间隔  $T_0$  [28]。

### ①卫生器具的排水量和排水流量

卫生器具排水过程中，流量从零到最大，再从最大减小为零。从器具开始排水到完全排出结束为止的过程，测定其最初 20% 排出到 80% 排水结束为止的时间中的平均排水流量，便有：

$$q_d = 0.6W / t \quad (3.4)$$

式中  $q_d$ —器具排水流量，L/s；

$W$ —器具一次排水量，L；

$t$ —20% 排出后到 80% 排水结束为止的时间，s。

各种卫生器具的排水量和排水流量见日本的空气调和-卫生工学会《给排水设备标准》。

### ②器具的平均排水间隔

卫生器具平均排水间隔  $T_0$  的意义是卫生器具一次排水开始到下一次排水开始间的平均时间。在确定卫生器具的平均占有时间  $T_f$  和在占有时间里的平均排水数  $n$  的情况下，按下式可求得卫生器具的平均排水间隔  $T_0$ ：

$$T_0 = T_f / n \quad (3.5)$$

### ③固定流量和设计秒流量

有  $n$  个同类型的卫生器具的排水系统，如果设 1 个器具的平均排水间隔为  $T_0$ s，则这个器具系统的排水频率  $\lambda$  如下式表示：

$$\lambda = n / T_0 \quad (\text{次/s}) \quad (3.6)$$

卫生器具排水占有时间  $T_f$  为排水量除以排水流量  $q_d$ ：

$$T_f = W / q_d \quad (3.7)$$

因此平均同时排水器具数  $\mu$  用下式表示：

$$\mu = \lambda T_f = nW / T_0 q_d \quad (3.8)$$

同时排水的卫生器具数为  $r$  的概率分布可用下式所示的泊松分布表示：

$$P_r(\mu) = \mu^r / r! * e^{-\mu} \quad (3.9)$$

如果确定了超负荷危险率  $\alpha_c$ ，就可以从平均同时排水器具数  $\mu$  求出设计用的最大同时排水器具数  $m$ 。排水设计秒流量  $Q_L$  即为：

$$Q_L = m q_d \quad (3.10)$$

把  $nW / T_0$  这个平均时间的排水流量表示为固定排水流量，并命名为固定流量  $Q_P$ ：

$$Q_P = nW / T_0 \quad (3.11)$$

$$\mu = Q_P / q_d \quad (3.12)$$

把 3.12 式所表达的  $\mu$  利用泊松分布原理进行最大同时排水器具数的计算，并

把固定流量  $Q_p$  作横坐标, 器具排水流量  $q_d$  作参数绘制出关系图<sup>[29]</sup>。从固定流量  $Q_p$  可直接得到负荷流量和管径。

总之, 排水设计秒流量的计算应属于概率问题, 以概率论为基础计算秒流量理论上更加科学和先进, 比经验法和平方根法更接近客观实际。概率法能更充分的考虑影响用水量的多种因素, 如: 单位器具负荷人数、不同类型器具不同组合、用水定额和用水习惯等, 能够更准确的反映客观实际用水情况, 计算结果更符合客观实际情况, 并且概率法对住宅及各类公共建筑具有良好的通用性。当前, 概率法在国外得到普遍承认, 并先后在美国、法国、日本以及俄罗斯等国家得到应用。

### 3.4 计算设计秒流量时常用的概率理论方法

目前, 国外应用的方法都以概率为理论基础, 概率计算是所有新的设计方法的基础。国外不仅早已建立了以概率理论为基础的秒流量计算式, 而且在近几十年来, 对用水工况进行了长期的大量的研究, 至今已获得足够的可以更完善地加工整理设计秒流量计算方法的资料, 这对我国设计秒流量计算方法的改进具有重要的参考价值。虽然许多国家均采用概率方法为基础, 但由于对数据的选取以及处理方式不同, 所产生的方法不同, 在国际上比较有代表性的秒流量计算方法有亨特概率法和俄罗斯概率法。

#### 3.4.1 亨特概率法

亨特概率法在美、法、日等国家广泛应用, 由亨特(Roy B.Hunter)于1924年提出, 其基本原理是将系统中卫生器具的使用视做一个随机变量, 用二项分布的数学模型来描述秒流量这一随机变量<sup>[30]</sup>。

假设某给水管段上连接有  $N$  个卫生器具, 各个器具的开启和关闭相互独立, 每个卫生器具的额定秒流量为  $q_0$ , 则通过该计算管段的最大给水秒流量为  $q_0N$ , 最小给水秒流量为零, 任意时刻通过该管段的给水秒流量为  $q(0 \leq q \leq q_0N)$ 。设计系统应降低管材耗量, 并保证不间断供水, 以满足用户的需要。因此, 可以只研究极限情况, 即最大日最大时的用水量。假设最大时每个卫生器具的使用概率为  $p$ , 则不被使用的概率为  $(1-p)$ , 那么卫生器具中有  $i$  个同时使用的概率为:

$$P\{X=i\} = C_N^i p^i (1-p)^{N-i}, i=0,1,2,3,\dots,N. \quad (3.13)$$

根据亨特的定义, 对于只有一种卫生器具构成的单一系统, 表示如下:

$$P_m = \sum_{i=0}^m C_N^i p^i (1-p)^{(N-i)} \geq 0.99 \quad (3.14)$$

其中： $P_m$ —至多有 $m$ 个器具同时的概率值，即给水保证率，为0.99；

$m$ —卫生器具同时使用个数设计值；

$p$ —用水高峰期单个卫生器具的使用概率；

$N$ —管段连接的卫生器具数。

根据3.14式在已知 $N$ 、 $p$ 的条件下，可求出满足 $P_m \geq 0.99$ 的 $m$ 值。卫生器具同时使用个数设计值的概念是与设计秒流量的概念相对应的，计算管段的设计秒流量为：

$$q_g = mq_0 \quad (3.15)$$

式中  $q_g$ —计算管段的设计秒流量，L/s；

$q_0$ —单个卫生器具的额定秒流量，L/s。

### 3.4.2 俄罗斯设计秒流量概率法

俄罗斯现行设计秒流量概率法计算公式是以苏联科学技术副博士绍宾斯基方法为基础建立起来的。从1966年到1975年间，绍宾斯基对各类建筑物的设计秒流量计算方法进行了有重大价值的研究，他对单个卫生器具、单幢建筑物以及整个小区给水系统的工况进行了深入分析，并对大量日用水量积分曲线进行分析研究，得到能够描述各种形式日用水量积分曲线的通用关系式，最终建立了不仅能描述用水高峰期，而且也能描述一昼夜内其它时间用水情况的数学模型<sup>[30]</sup>。

绍宾斯基方法的优点是具有通用性，即适用于不同类型的建筑物不同卫生器具的多种组合；考虑众多用水影响因素。该方法的缺点在于需要大量原始资料，增加手算难度；多种卫生器具共同工作及其随机过程一系列概率值的描述理论尚有不足。

该方法计算秒流量的要点<sup>[30]</sup>：

①确定用水单位的类型及用水单位数量 $U$ 。

②确定卫生器具总数 $N$ 及计算管段上的卫生器具数 $N_j$ 。

③确定卫生器具配水龙头(器具)的额定秒流量 $q_0$ ，俄罗斯概率法对各类用户和各种卫生器具的用水量进行了大量实测，并在此基础上对实测数据进行了数学加工得到 $q_0$ 值。

④确定用水高峰期卫生器具使用概率 $p$ 。

在一座建筑物或一组不考虑 $U/N$ 值变化的建筑中所有用水单位为同一类型时，其使用概率为：

$$p = \frac{q_{h,u} U}{3600 q_0 N} \quad (3.16)$$

式中  $q_{h,u}$ ——一个用水单位最大小时用水定额, L/h。

⑤确定管网计算管段上设计秒流量  $q_g$  :

$$q_g = 5q_0\alpha \quad (3.17)$$

式中  $q_0$ ——单个卫生器具的秒流量, L/s;

$\alpha$ ——与计算管段上所连接卫生器具总数  $N$  以及卫生器具使用概率  $p$  有关的系数。

综合分析后得出如下结论<sup>[30]</sup>:

①俄罗斯现行概率法既不完全符合二项分布, 又不完全符合泊松分布, 而是当卫生器具数量较少, 器具使用概率较大 ( $N \leq 200, p > 0.1$ ) 时, 用水情况用二项分布描述; 而当器具数量较多, 器具使用概率较大 ( $N > 200, p > 0.1$ ) 或卫生器具使用概率较小 ( $p \leq 0.1$ ), 器具数量为任意值时, 用水情况按泊松分布描述。这一思想符合概率理论。

②由俄罗斯现行概率计算式的配套图表可知, 系数  $\alpha$  的值是小数而不是整数, 可见俄罗斯概率法并非完全按照二项分布和泊松分布公式进行计算, 而是又考虑了其它多种实际因素的影响。这些公式和图表是俄罗斯近些年来通过给水系统的大量试验和理论研究归纳得出的, 不仅考虑用水设备的数量和技术特性, 而且还考虑这些用水设备的运行条件、用水工况和用户数目等。

③俄罗斯现行概率法考虑了众多影响用水情况的因素, 并且有良好的通用性, 适合各类建筑, 是目前较完善的设计秒流量计算公式。

④建立在概率理论基础上的俄罗斯现行计算式及其配套图表, 能够保证不需额外的计算, 用较少的时间确定耗水量的值, 从而确定管径和设备型号。

### 3.4.3 亨特概率法与俄罗斯概率法的比较分析

①相同点<sup>[31]</sup>:

1) 运用概率理论计算设计秒流量, 提出卫生器具使用概率和给水保证率概念, 二者对用水高峰期卫生器具使用概率的定义相同;

2) 既适用于室内又适用于城市小区给水管网设计秒流量的计算。

②不同点<sup>[31]</sup>:

亨特概率法与俄罗斯概率法虽然都以概率理论为基础建立公式, 但二者在计算方法及计算结果上都有明显的不同, 具体分析如下:

1) 单个卫生器具使用概率  $p$  的确定方法

俄罗斯概率法的用水器具使用概率计算式, 是通过大量实测数据得到的各种类型用户的小时用水定额(稳定的数学期望值)来计算  $p$  值, 直接反映了用水概率  $p$  (或设计秒流量  $q_g$ ) 与单位器具负荷人数  $N_0$  及单个卫生器具秒流量  $q_0$  之间的关系。而就目前所掌握的资料可知, 亨特概率法需要实际测试得到各类用户用水概率  $p$  的

数据,不能直接反映出用水定额、单位器具负荷人数及单个卫生器具秒流量复杂的变化对用水概率 $p$ (或设计秒流量 $q_g$ )的影响。

### 2) 给水保证率 $P_m$ 的设定值

亨特在建立公式时选取 $P_m=0.99$ ,使用至今;而俄罗斯却是由许多学者经过一系列深入研究分析,最后确定取 $P_m=0.997$ 。

### 3) 计算结果:

对于同一给水系统,亨特概率法与俄罗斯概率法计算结果不同。主要表现在两个方面:

计算结果,亨特概率法小于俄罗斯概率法;

亨特概率法用二项分布模型描述用水情况,计算出的卫生器具同时使用设计值 $m$ 是整数。在用水概率 $p$ 和卫生器具数量 $N$ 变化不大时,不能体现出设计秒流量 $q_g$ 的差别。而俄罗斯概率法并非完全按照二项分布和泊松分布公式进行计算,而是又考虑了其它多种实际因素的影响,计算出的卫生器具同时使用设计值 $m$ 是小数,能反映出设计秒流量 $q_g$ 的微小变化。

亨特概率法和俄罗斯概率法对我国设计秒流量计算方法的改进和完善都具有很好的参考意义,但鉴于缺少大量实测数据,本章仅采用亨特概率法来研究室内排水设计秒流量的计算。

## 3.5 结合亨特概率法计算室内排水设计秒流量

### 3.5.1 模型的建立

由于每个卫生器具的排水都是随机过程,卫生器具在使用中互不影响,若每个卫生器具类型相同且服务人数相同,则卫生器具在用水高峰期所观察时段正在排水的概率 $p$ 是相同的。假设有 $n$ 个相同的卫生器具,我们知道任何一个卫生器具在每次观察时只有排水和不排水两种情况,若把第 $i$ 个卫生器具在观察时的使用情况用随即变量 $Y_i$ 表示,卫生器具使用和不使用两种情况分别用1和0来表示,则有下面的表示式:

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{观察时排水;} \\ 0, & \text{观察时不排水。} \end{cases}$$

在观察时刻 $n$ 个卫生器具中同时排水的个数可以用 $\sum_{i=1}^n Y_i$ 来表示,也是一个随即变量,记为 $X$ 。根据概率理论, $n$ 个卫生器具具有 $i$ 个在同时排水的概率可以用下式表示:

$$P\{X=i\} = C_n^i p^i (1-p)^{n-i}, i=0,1,2,3,\dots,n. \quad (3.18)$$

可知,随即变量 $X$ 服从参数为 $n, p$ 的二项分布,即 $X \sim B(n, p)$ 。

对一个建筑物或者卫生器具较多的某个管段来说,在观察时刻卫生器具全部

在使用的可能性几乎为零。假设计算管段上最多有  $m$  个卫生器具排水的概率  $P_m$ ,  $P_m$  即为排水保证率, 已知  $P_m$  的情况下可根据下式求出  $m$  的值:

$$\sum_{i=0}^m C_n^i p^i (1-p)^{n-i} \geq P_m \quad (3.19)$$

式中  $P_m$ —至多有  $m$  个卫生器具同时排水的概率, 即排水保证率;

$n$ —设计管段上同类型卫生器具的个数;

$m$ —设计管段在用水高峰期观察时刻同时排水的最大可能个数;

$p$ —用水高峰期单个卫生器具的排水概率。

从而可得设计管段的设计秒流量  $q_p$  :

$$q_p = m q_0 \quad (3.20)$$

式中  $q_0$ —卫生器具的排水额定流量, 按表 3.6, 根据实际情况正确选用。

表 3.6 卫生器具排水流量、当量和排水管的管径<sup>[32]</sup>

Table 3.6 Drainage flux, equivalent and the diameter of pipes of each sanitation equipment

序号	卫生器具名称	排水流量(L/s)	当量	排水管管径(mm)
1	洗涤盆、污水盆(池)	0.33	1.00	50
2	餐厅、厨房洗菜盆(池)			
	单格洗涤盆(池)	0.67	2.00	50
	双格洗涤盆(池)	1.00	3.00	50
	盥洗槽(每个龙头)	0.33	1.00	50-75
3	洗手盆	0.10	0.30	32-50
4	洗脸盆	0.25	0.75	32-50
5	浴盆	1.00	3.00	50
6	淋浴器	0.15	0.45	50
7	大便器			
8	高水箱	1.50	4.50	100
	低水箱			
	冲落式	1.50	4.50	100
	虹吸式、喷射虹吸式	2.00	6.00	100
	自闭式冲洗阀	1.50	4.50	100
9	医用倒便器	1.50	4.50	100
10	小便器			
	自闭式冲洗阀	0.10	0.30	40-50
	感应式冲洗阀	0.10	0.30	40-50

序号	卫生器具名称	排水流量(L/s)	当量	排水管管径(mm)
11	大便槽			
	≤4 个蹲位	2.50	7.50	100
	≥4 个蹲位	3.00	9.00	150
12	小便槽(每米长)			
	自动冲洗水箱	0.17	0.50	—
13	化验盆(无塞)	0.20	0.60	40-50
14	净身器	0.10	0.30	40-50
15	饮水器	0.05	0.15	25-50
16	家用洗衣机	0.50	1.50	50

对于有多种卫生器具构成的混合系统,可分别求出每种卫生器具同时排水卫生器具数和设计秒流量,然后再求得管段总设计秒流量。

### 3.5.2 卫生器具排水概率 $p$ 和排水保证率 $P_m$ 的确定

在用亨特概率法建立的排水设计秒流量计算模型中,计算管段的同种卫生器具的个数  $n$  和卫生器具的排水额定流量  $q_0$  都可以确定,但要想求得  $m$  值,还需要确定单个卫生器具的排水概率  $p$  和排水保证率  $P_m$ 。

#### ① 卫生器具的排水概率 $p$ 的确定:

器具排水概率  $p$  是重要的设计参数,其值直接影响设计秒流量的大小。建筑的性质、居民生活习惯、气候、使用人数和集中用水时间的长短等因素都会影响  $p$  的取值。

综合考虑以上因素,可根据下式来确定  $p$ :

$$p = \frac{t \times s \times r}{T \times 3600} \quad (3.21)$$

式中,  $t$ —卫生器具单次排水时间, s;

$s$ —用水高峰时间段人均使用次数, 次/人;

$r$ —使用人数;

$T$ —用水高峰时间长度, h。

举例说明如下:一宾馆,设一日内最大排水量集中发生在18:00~23:00这5个小时内,每间卫生间供2人使用,其间平均每人用厕2次、盥洗3次、洗浴1次。按各卫生器具的容积、使用情况估计,虹吸式坐式大便器的放水时间取60s/次,洗脸盆的放水时间取80s/次,浴盆的放水时间取200s/次。那么,在这5个小时内,虹吸式坐式大便器的排水概率就是  $\frac{60 \times 2 \times 2}{5 \times 3600} = 0.013$ ,洗脸盆的排水概率为

$$\frac{80 \times 2 \times 3}{5 \times 3600} = 0.026, \text{ 浴盆的排水概率为 } \frac{200 \times 2 \times 1}{5 \times 3600} = 0.022。$$

### ② 排水保证率 $P_m$ 的确定:

根据 3.19 式, 排水保证率  $P_m$  决定卫生器具最大排水个数  $m$ ,  $P_m$  值的选定对排水设计秒流量有直接影响。在亨特概率法中的给水保证率取为 0.99, 即在实际应用过程中, 设计管段出现实际用水流量大于设计用水流量的可能性是 0.01。在建筑排水中, 若实际排水流量若大于设计排水流量(即有超过  $m$  个卫生器具在同时排水)时会造成建筑内部排水不畅, 污水外溢到室内地面, 或管内气压波动, 有毒有害气体进入房间, 危害人体健康, 影响室内环境卫生, 其危害性很大, 从影响程度来讲, 排水保证率的取值要高于给水保证率, 综合考虑两种概率法中的给水保证率(0.99 和 0.997),  $P_m$  在此取为 0.998。

### 3.5.3 小结

利用概率法计算室内排水设计秒流量的计算框图如下:

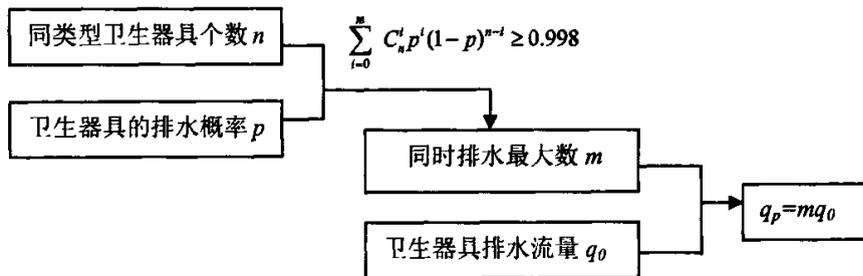


图 3.4 概率法计算室内排水设计秒流量的计算框图

Fig 3.4 The calculation diagram of indoor seconds drainage design flux by probability calculation

然后, 逐个求出计算管段各种类型卫生器具的同时排水器具最大数  $m_i$  和设计秒流量  $m_i q_{0i}$ , 则计算管段的总设计秒流量:

$$q_p = \sum_{i=1}^k m_i q_{0i} \quad (3.22)$$

式中  $q_p$ —计算管段的总设计秒流量, L/s;

$k$ —计算管段卫生器具的种类;

$m_i$ —各种类型卫生器具的同时排水器具最大数;

$q_{0i}$ —卫生器具的排水额定流量, 按表 3.6, 根据实际情况正确选用。

### 3.5.4 举例

工程概况：某 12 层宾馆，室内排水系统采用污废水分流制，每两根排水立管分别接受每层两个洗脸盆和浴盆的排水和两个虹吸式坐便器的排水，采用普通伸顶通气方式，管材为柔性接口排水铸铁管。下面分别采用国内平方根法和本文文提出的概率法(以下简称“概率法”)来进行排水立管的计算。

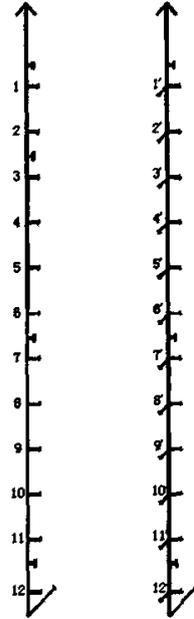


图 3.5 排水立管计算草图

Fig 3.5 Calculation plan of drainage standpipe

①国内平方根法：根据式(3.1)式来计算，其中  $\alpha$  取 2.5。

计算过程见表 3.7 和表 3.8：

表 3.7 污水(虹吸式坐便器)排水立管水力计算表

Table 3.7 Hydraulic calculation table of sewage (siphon stool apparatus) drainage standpipe

管段编号	坐便器数量 ( $N_p=6.0$ )	当量总数 $N_p$	设计秒流量 $q_u(L/s)$	管径 DN (mm)
1-2	2	12	3.04	100
2-3	4	24	3.47	
3-4	6	36	3.80	

续前表:

4-5	8	48	4.08	100
5-6	10	60	4.32	
6-7	12	72	4.55	125
7-8	14	84	4.75	
8-9	16	96	4.94	
9-10	18	108	5.12	
10-11	20	120	5.29	
11-12	22	132	5.45	
12-横管	24	144	5.60	

表 3.8 废水(洗脸盆和浴盆)排水立管水力计算表

Table 3.8 Hydraulic calculation table of wastewater drainage standpipe

管段编号	卫生器具数量		当量总数 $N_p$	设计秒流量 $q_u(L/s)$	管径 DN (mm)
	洗脸盆 ( $N_p=0.75$ )	浴盆 ( $N_p=3.0$ )			
1'-2'	2	2	7.5	1.82	75
2'-3'	4	4	15.0	2.16	
3'-4'	6	6	22.5	2.42	
4'-5'	8	8	30.0	2.64	100
5'-6'	10	10	37.5	2.84	
6'-7'	12	12	45.0	3.01	
7'-8'	14	14	52.5	3.17	
8'-9'	16	16	60.0	3.32	
9'-10'	18	18	67.5	3.46	
10'-11'	20	20	75.0	3.60	
11'-12'	22	22	82.5	3.73	
12'-横管	24	24	90.0	3.85	

②概率法: 根据图 3.4 所示计算, 其中  $P_m=0.998$ , 虹吸式大便器、洗脸盆和浴盆的排水概率参考 3.5.2 节, 分别为 0.013、0.026、0.022。

计算过程见表 3.9 和表 3.10:

表 3.9 污水(虹吸式坐便器)排水立管水力计算表

Table 3.9 Hydraulic calculation table of sewage drainage standpipe

管段编号	坐便器数量	最大同时排水个数	设计秒流量 $q_n(L/s)$	管径 DN (mm)
1-2	2	1	2.0	100
2-3	4	1	4.0	
3-4	6	2	4.0	
4-5	8	2	4.0	
5-6	10	2	4.0	
6-7	12	2	4.0	
7-8	14	2	4.0	
8-9	16	2	4.0	
9-10	18	2	4.0	
10-11	20	3	6.0	
11-12	22	3	6.0	
12-横管	24	3	6.0	

表 3.10 废水(洗脸盆和浴盆)排水立管水力计算表

Table 3.10 Hydraulic calculation table of wastewater drainage standpipe

管段编号	卫生器具数量				设计秒流量 $q_n(L/s)$	管径 DN (mm)
	洗脸盆	最大排水个数	浴盆	最大排水个数		
1'-2'	2	1	2	1	1.33	75
2'-3'	4	2	4	2	2.66	100
3'-4'	6	2	6	2	2.66	
4'-5'	8	2	8	2	2.66	
5'-6'	10	2	10	2	3.66	
6'-7'	12	3	12	3	3.99	
7'-8'	14	3	14	3	3.99	
8'-9'	16	3	16	3	3.99	
9'-10'	18	3	18	3	3.99	
10'-11'	20	3	20	3	3.99	
11'-12'	22	4	22	3	4.32	
12'-横管	24	4	24	3	4.32	

通过比较以上两种方法的计算,可以得出:

①概率法在卫生器具较少时,不会出现计算结果大于管段上卫生器具排水流量总和的情况,这是由  $m < n$  决定的。

②国内平方根法在卫生器具较多,  $N_p$  较大的情况下,  $q_{max}$  的修正作用也相应减弱; 概率法由于计算出的卫生器具最大排水个数是整数, 相邻管段常会出现相同的计算结果, 但在变化时变化幅度也较大, 这也符合二项分布的特性, 所取管径也是基本合理的。

## 4 建筑室内排水系统管材的优化选择

建筑室内排水管道管材的选择,应综合考虑建筑物的使用性质、建筑高度、抗震要求、防火要求及当地的管材供应条件,因地制宜选用。《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003)中 4.5.2 条规定:建筑物内排水管道应采用建筑排水塑料管及管件或柔性接口机制铸铁排水管及相应管件。建筑室内排水系统的性能和使用年限在很大程度上取决于自身排水管材的优劣。目前,市场上用于建筑室内排水的塑料管材和铸铁管材品种多样,如何合理的选择排水管材也是一个值得研究的问题。

### 4.1 排水管材的分类和特点

建筑室内排水管材主要使用过三种材质,即陶瓷管、铸铁管和塑料管。其中陶瓷管由于重量大、易损坏、安装工作量大等原因,除特殊需要外已逐渐被淘汰,规范也不再允许使用<sup>[33]</sup>。

#### 4.1.1 排水铸铁管

①灰口铸铁管:该管采用连续铸造、离心铸造和砂模铸造等方法生产,其中砂模铸造方式由于性能差已被淘汰,规范中也已作出限制。灰口铸铁管接口形式为承插式连接,承口部位形状分 A 型和 B 型两种。灰口铸铁管根据公称直径有 DN50、75、100、125、150、200 等 6 种规格<sup>[34]</sup>。

灰口铸铁管管件分为柔性接口和非柔性接口两种,均为承插式接口。在建筑排水中主要使用柔性接口铸铁管。按管承口部位的形状,柔性接口分为 A 型和 RK 型;按壁厚不同,柔性接口又可分为 TA 型和 TB 型<sup>[34]</sup>。

柔性接口铸铁排水管作为一种传统的排水管材,经过工艺的更新,品质已大大提高,其综合优势也越来越明显。另外,国标(GB/T12772-1999)规定的柔性接口铸铁管已与国际标准 ISO6594 兼容,铸铁管的应用越来越广泛。柔性铸铁排水管及管件规格齐全,在施工中安装及维修方便,不易损坏,同时还具有抗震、抗沉降、噪声小等优点。由于在噪声、防火、技术经济性等方面的优异特性,柔性接口铸铁排水管在应用于高层建筑时有更好的前景<sup>[35]</sup>。

柔性接口铸铁排水管是目前国际上流行实用的排水管材,也是我国与国际水平接轨的排水管材,特别适用于高层建筑。从 1998 年以来我国已向美国、英国、日本、东南亚等工业化国家大量出口这种管材。

②柔性卡箍式离心铸铁排水管:由无承口铸铁管及管件、不锈钢卡箍和橡胶密封圈等四部分组成,根据管内径有 DN50、75、100、150、200 等 5 种规格。

柔性卡箍式离心铸铁管与普通承插式铸铁管相比, 其具有如下特点: 耐用期限超过建筑物的预期使用寿命; 不燃烧, 不蔓延火花, 无毒, 抗腐蚀、不老化; 线性膨胀系数小, 不用考虑加伸缩装置; 柔性抗震, 抗压强度高, 重量轻, 安装和维修方便。表4.1为柔性卡箍式离心铸铁管的物理化学指标。

表4.1 柔性卡箍式离心铸铁管物理化学性能

Table4.1 Physical and chemical capability of flexible hoops iron pipe

物理化学性能	技术要求
抗拉强度(MPa)	150
抗弯强度(MPa)	600
线胀系数( $10^{-5}$ m/m.°C)	1.15
隔音能力(dB)	42.5
最高排水温度(°C)	60
有机溶解腐蚀	不溶解
材料防火	不燃

柔性卡箍式离心铸铁管采用不锈钢卡箍连接, 管与管或管与配件之间夹有一层橡胶, 属柔性接口, 故允许有一定的转向调节, 可以解决有一定弧度敷设的排水管线。但接口不能承受太大的轴向拉力和垂直于轴向的剪切力, 故在水平方向每根直管必须有一个是固定支架来克服这个缺点。在垂直方向, 剪切力很小, 主要承受垂直方向的承载力, 每根管道只需一个支架即可, 但立管底部转向处必须设一个加强型支架, 以消除可能的垂直方向的冲击力和水平方向的反冲击力。它还有一个传统排水管不具备的特点: 在更换任意一根管时, 不用拆除相邻管段, 只需松开被拆除管段两段卡箍, 直接更换相同尺寸的管段, 然后重新紧箍不锈钢卡箍即可<sup>[36]</sup>。

柔性卡箍式离心铸铁排水管是一种新型的建筑用排水管材, 60年代开始进入国际市场, 经过几十年的推广和应用, 这种管材已得到国际上的普遍认可。这种管材与传统的承插式铸铁排水管道相比有许多优点, 是一种更新换代产品, 但由于价格相对较贵, 并且我国也尚未对其制定出统一的产品标准, 生产厂家也多参照国外标准或者订货商的要求, 在设计和施工验收中存在不少困难, 所以在国内一直未能得到普及推广。

#### 4.1.2 排水塑料管

建筑室内排水塑料管品种比较单一, 以硬聚氯乙烯(UPVC)塑料管(以下简称“UPVC 排水管”)为主。根据《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003)4.5.8条:

高度超过 100m 的高层建筑内，排水管应采用柔性接口机制排水铸铁管及其管件。所以，排水塑料管主要应用于高度小于 100m 的多层及高层建筑中。

UPVC 排水管是上世纪 80 年代以来我国推广使用的一种排水管材，主要成分是无增塑型聚氯乙烯树脂，辅以轻质碳酸钙、太白粉增加剂。按公称外径，UPVC 排水管有 D40、50、75、90、110、125、160 等 7 种规格。UPVC 排水管件分为螺纹、承插和法兰三种连接形式。UPVC 排水管各项物理机械性能见表 4.2。

表4.2 UPVC排水塑料管物理机械性能指标<sup>[37]</sup>

Table 4.2 The physical mechanical index of UPVC drainage pipe

项 目	指 标	
	优等品	合格品
拉伸屈服强度(MPa)	≥43	≥40
断裂伸长率(%)	≥80	-
维卡软化温度(°C)	≥79	≥79
扁平试验	无破裂	无破裂
落锤冲击试验TIR 20°C 或0°C	TIR≤10% TIR≤5%	9/10通过 9/10通过
纵向回缩率(%)	≤5.0	≤9.0

UPVC排水管是国内使用最早、用量最大的塑料管材，它可根据使用要求不同，在加工过程中可添加不同添加剂，使其具有满足不同要求的物理和化学性能。与其它类型塑料管相比UPVC排水管具有以下特点：

①有较高的强度和硬度，在建筑管材中被视为刚性管。

②作为一种成熟产品，UPVC排水管在国内具备完善的标准及施工规范。

③符合要求的UPVC排水管，其各种理化指标均能满足实际需求，抗腐蚀、抗老化，使用寿命长，安装维修十分方便，外观美观，相对铸铁管成本低，经济实用。

UPVC排水管正被大力普及和推广使用，但如果老化淘汰的管道善后处理不当，会对环境造成巨大的危害。UPVC排水管含氯元素，焚烧过程中会产生有毒的、腐蚀性的物质，因此不能进行焚化处理，另外淘汰的管道无法重复利用。在现代西方发达国家，高级住宅已很少使用UPVC排水管，一般采用铸铁排水管<sup>[38]</sup>。

## 4.2 UPVC 排水管与铸铁排水管的对比

根据规范对建筑物排水管材的要求，在高度超过100m和环境温度可能出现0°C

以下、连续排水温度大于40°C或瞬时排水温度大于80°C的建筑中，排水管道应采用柔性接口机制排水铸铁管（以下简称“铸铁排水管”）。其余情况两种管材均可采用，但要充分综合考虑建筑物的使用性质、抗震要求、防火要求及当地的管材供应条件，因地制宜选用。下面从技术和经济两个角度来分析比较这两种管材。

#### 4.2.1 技术比较

##### ①材质

UPVC排水管和铸铁排水管密度分别为1.50g/cm<sup>3</sup>和7.2 g/cm<sup>3</sup>，后者约是前者的5倍。因此，UPVC排水管在施工中运输及操作强度比较小。

##### ②安装工效

UPVC排水管采用粘接接口，粘合容易，且易切割，下上安装次序自由；铸铁排水管的接口工序复杂，需打麻、调制接口材料、打头、养护等。可见，UPVC排水管安装工效明显要高于铸铁排水管。

##### ③外观及耐腐蚀性

UPVC排水管一般为白色，根据加入填料不同，可生产出多种不同颜色管材，色泽明快、光亮平滑，耐腐蚀，无需作防腐和其他装饰处理。铸铁排水管材质粗糙、易生锈，外壁需作防腐处理，大约每两年要外刷一次。

##### ④排水能力

UPVC排水管内壁比铸铁排水管光滑，水流阻力小，水力条件要好于铸铁排水管。根据排水立管水膜流理论，立管的通水能力可由下式计算：

$$Q = 0.0365 \left( \frac{1}{K_p} \right)^{1/6} \cdot a^{5/3} \cdot d_j^{8/3} \quad (4.1)$$

式中， $Q$ —立管排水流量，L/s；

$K_p$ —立管当量粗糙度(可从表4.3选取)，mm；

$d_j$ —立管内径，mm；

$a$ —立管中过水断面面积与管道断面面积之比，在有专用通气管排水系统中，水膜流时  $a = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ 。

表 4.3 各种排水管材的当量粗糙度  $K_p$ <sup>[39]</sup>

Table 4.3 The roughness equivalent of various drainage pipe

管材种类	当量粗糙度(mm)
UPVC排水管	0.002-0.015
新铸铁排水管	0.15-0.50
旧铸铁排水管	1.0-3.0

经计算,在管径相同的情况下,UPVC排水管的排水能力比铸铁排水管可提高约20%。表4.4为设有通气管系的生活排水立管(铸铁排水立管和塑料排水管)最大排水能力。

表4.4 设有通气管系的生活排水立管最大排水能力<sup>[32]</sup>

Table 4.4 The biggest drainage capacity of drainage erect pipe with ventilation pipe

立管管径(mm)	排水能力(L/s)			
	仅设伸顶通气立管		有专用通气立管或主通气立管	
	铸铁排水立管	塑料排水立管	铸铁排水立管	塑料排水立管
50	1.0	1.2	—	—
75	2.5	3.0	5.0	—
90	—	3.8	—	—
100	4.5	5.4	9.0	10.0
125	7.0	7.5	14.0	16.0
150	10.0	12.0	25.0	28.0

注:1)管径DN100的硬聚氯乙烯排水管公称外径为110mm,管径DN150的聚氯乙烯排水管公称外径为160mm。

2)塑料排水立管的排水能力应按铸铁排水立管选用,最大不得超过本表所列数值,当按表中塑料排水立管的排水能力选用时,排出管、排水横干管比与之连接的立管大一号管径。

#### ⑤ 隔音及抗震效果

根据噪声理论,噪声的强度与水流速度成正比。根据排水立管水膜流理论,立管的排水终限流速 $v_t$ 可由下式计算:

$$v_t = 0.466 \left( \frac{1}{K_p} \right)^{1/6} \cdot a^{2/3} \cdot d_j^{2/3} \quad (4.2)$$

式中, $v_t$ —立管的排水终限流速, m/s;

$K_p$ —立管当量粗糙度(可从表4.3选取), mm;

$d_j$ —立管内径, mm;

$a$ —立管中过水断面与管道断面之比,在有专用通气立管排水系统中,

水膜流时  $a = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ 。

根据上式可知,铸铁排水立管的终限流速要小于普通UPVC排水立管的终限流速,因此排水噪声也相对较小。

在背景噪声为40dB的环境下,对采用不同排水管材的建筑物内的排水噪声进行多次测定,各种管材的排水噪声强度见表4.5。铸铁排水管比普通UPVC排水管排水流速小,且比重大,采用柔性接口,抗震性能好,对通过管壁传递的噪音有良好的隔音作用。UPVC螺旋消音排水管与普通UPVC排水管相比,隔音特性有所改善,但其隔音效果仍不如柔性接口铸铁排水管<sup>[40]</sup>。

表4.5 各种管材排水噪声(背景噪声为40dB)

Table 4.5 The drainage noise of various pipe(background noise 40dB)

管材种类	柔性接口铸铁管	普通UPVC管	UPVC芯型发泡管	UPVC螺旋消音管
排水噪声强度(dB)	43-52	61-72	53-65	50-56

国际标准化组织推荐采用的各种房间内的容许环境(背景)噪声标准值见表4.6,对于不同时间按表4.7进行修正<sup>[41]</sup>。

表4.6 住宅和各类房间容许噪声标准<sup>[41]</sup>

Table 4.6 The noise standards of residential and various rooms

场所	容许声级
播音室、录音室、礼堂、电影院、会议室	30-40
教室、图书馆、实验室	38-42
医院病房、手术室	38
居住区 乡村住宅	34
郊区住宅	38
市区住宅	42
郊区公寓	38
市区公寓	42
办公室	46-50
旅馆	42
餐厅	50
商店	54
车间	66-85

表4.7 不同时间噪声标准的修正<sup>[41]</sup>

Table 4.7 The modification of the noise standards in different time

时间	修正值(dB)
白天	0
晚上	-5
深夜	-10~-15

当采用UPVC排水管作排水管材时,其噪声标准值规定(供参考)如下:在排水管通过标准设计流量、住宅室内背景(环境)噪声为42dB时,其噪声增量不得大于3dB,且不得大于原铸铁排水管通过设计流量时的噪声<sup>[41]</sup>。

#### 4.2.2 经济比较

经过对重庆市主城区几处正在施工的小区住宅楼室内排水工程的调研,得出UPVC排水管和铸铁排水管平均价格、安装费及工程用时比较表,即表4.8和表4.9。

表4.8 UPVC排水管和铸铁排水管价格比较表

Table 4.8 The price comparison table of UPVC pipe and cast iron pipe

项目	管径			
	DN50	DN75	DN100	DN150
UPVC排水管价格(元/m)	5.50	8.60	11.30	24.00
铸铁排水管价格(元/m)	9.60	13.50	17.00	31.00
差价	4.10	4.90	5.63	7.00
降低	43%	36%	34%	23%

表4.9 DN100UPVC排水管和铸铁排水管安装费用及用时比较表

Table 4.9 The installation cost and time comparison table of plastic pipe and cast iron pipe

项目 管材	工程 序号	实际安装 管长(m)	实际 用工日 (天)	平均安装 进度 (m/天)	人工费用	
					实际人工费用 (元)	平均人工费用 (元/m)
UPVC 排水管	1	3000	485	6.19	15650	5.22
	2	2300	410	5.61	12530	5.44
	3	2600	435	5.98	13890	6.04
	平均	-	-	5.93	-	5.56
铸铁 排水管	1	3600	873	4.12	32860	9.13
	2	3000	786	3.82	28730	9.58
	3	3500	853	4.10	30550	8.73
	平均	-	-	4.01	-	9.15
平均相差	-	-	-	1.92	-	3.59

从表4.8可以看出, DN50至DN150的UPVC排水管比铸铁排水管可节省材料费用30%左右。从表4.9可以得出, 安装同管径的UPVC排水管可比铸铁排水管安装进度快约47%, 节省费用约40%。

### 4.2.3 小结

UPVC排水管具有运输搬运方便、节省空间、美观多样、排水能力强、造价低和安装工效高等优点, 但存在着隔音及防震效果差、防火性能低、抗拉抗弯强度低等缺点。

柔性接口铸铁排水管具有抗拉抗弯强度比较高、噪音小、使用寿命长(一般在50年以上)等优点, 但造价比较高, 安装工效相对UPVC排水管也比较低。

建议应该从建筑物的使用功能上考虑选取合适的排水管材: 在超高层建筑、住宅和宾馆中应首先考虑采用柔性接口铸铁排水管, 在对噪声环境、防火和防震要求较高的建筑中应强制采用柔性接口铸铁排水管; 而在办公楼、学校、商场等对噪声要求不高的多层和百米以下高层建筑中应考虑采用UPVC排水管。

## 4.3 应用价值工程价值系数法选择排水管材

### 4.3.1 价值系数法简述

价值工程, 是指用最低的寿命周期总成本, 可靠地实现产品或服务的必要功能, 并且着眼于功能分析的有组织的活动<sup>[42]</sup>。

价值工程中的三个基本概念: 价值  $V$ 、功能  $F$  和寿命周期成本  $C$ , 三者关系如下<sup>[43]</sup>:

$$V = F / C \quad (4.3)$$

①价值是指对象所具有的功能与获得的该功能的全部费用之比, 可以用式 4.3 计算得到。

②功能是指对象能够满足某种需求的一种属性。具体来说, 功能就是效用。

③寿命周期成本, 就建筑产品而言, 是其在整个寿命周期过程中所发生的全部费用。建筑产品的寿命周期是指建筑从规划、勘察、设计、施工建设、使用、维修, 直到报废为止的整个时期。

功能分析是分析产品怎样使用更少的人力物力消耗, 满足用户需要的功能。通过功能分析, 可以正确的确定产品的必要功能, 去掉或消弱产品的多余功能, 改进产品设计, 降低成本。

功能评价是在功能分析的基础上, 应用一定的科学方法, 进一步求出实现某种功能的最低成本(或称目标成本), 并以此作为功能评价的基准<sup>[43]</sup>。

价值系数法就是在选择对象中, 通过计算功能评价性系数和成本评价系数, 然后求出两个系数之比, 比值即为价值系数, 根据价值系数的大小判断对象的价值高低。

在进行方案优化选择时，价值系数法按以下步骤进行：

- ①确定各方案的现实成本，即目前成本；
- ②计算各方案的功能评价系数；
- ③计算各方案的成本评价系数；
- ④计算各方案的价值系数，最大者对应方案即为最优方案。

$$\text{功能评价系数} = \frac{\text{某方案的功能评价价值}}{\text{全部方案功能评价价值之和}} \quad (4.4)$$

$$\text{成本评价系数} = \frac{\text{某方案的现实成本}}{\text{全部方案现实成本之和}} \quad (4.5)$$

$$\text{价值系数} = \frac{\text{功能评价系数}}{\text{成本评价系数}} \quad (4.6)$$

### 4.3.2 举例

下面应用价值系数法对一栋多层住宅建筑的排水管材进行优化选择：管径 DN100；排水管材分别为柔性接口铸铁排水管、UPVC 螺旋消音排水管，其价格分别为 17.00、11.30 元/m。

排水管网功能可从排水能力、安全可靠、噪声大小、施工条件、维护管理等几个方面来衡量，可根据各功能的重要程度确定重要性系数，在这里取为：0.35，0.30，0.15，0.1，0.1。

具体计算过程如下：

①由已知，柔性接口铸铁排水管、UPVC 螺旋消音排水管其价格分别为 17.00 元/m 和 11.30 元/m。

②两种排水管材的功能评价系数计算，见表 4.10。

表 4.10 两种排水管材的功能评价系数计算表

Table 4.10 The functional evaluation coefficient calculation table of three drainage pipes

评价因素		专家评价价值 A(满分 10)	
功能因素	重要系数(λ)	柔性接口铸铁管	UPVC 螺旋消音管
排水能力	0.30	7	8
安全可靠	0.30	9	8
噪声大小	0.20	9	7
施工条件	0.10	8	9
维护管理	0.10	8	9
管材评价价值 $\sum \lambda A$		8.20	8.00
功能评价系数		0.506	0.494

③两种管材的成本评价系数计算，见表 4.11。

表 4.11 两种排水管材的成本评价系数计算表

Table 4.11 The cost evaluation coefficient calculation table of three drainage pipes

管材名称	柔性接口铸铁管	UPVC 螺旋消音管
单价(元/m)	17	11.30
成本评价系数	0.601	0.399

④两种管材的价值系数计算，见表 4.12。

表 4.12 两种排水管材的价值系数计算表

Table 4.12 The value evaluation coefficient calculation table of three drainage pipes

管材名称	柔性接口铸铁管	UPVC 螺旋消音管
功能评价系数	0.506	0.494
成本评价系数	0.601	0.399
价值系数	0.842	1.238

可见 UPVC 螺旋消音排水管的价值系数要高于柔性接口铸铁排水管，故选用 UPVC 螺旋消音排水管作为这栋多层住宅建筑的排水管材。

## 5 结论及建议

本文从室内排水方式的优化选择、排水管道设计秒流量计算和对常用室内排水管材的对比分析及选择等几个方面对建筑室内排水系统进行了优化研究, 得出了以下结论:

①在对不同排水系统类型及通气方式进行选择时, 应用多层次模糊综合评判模型来分析比较合理。首先, 从技术、经济和社会环境三方面确定评价指标及其权重; 然后, 确定评判级别和评判集, 对某种排水方式的各指标按类别进行评判以确定单因素评判矩阵; 最后, 逐级进行综合评判, 所得综合评价值最大者即为最优排水方式。

②建筑室内生活排水系统的排水设计秒流量计算应采用概率法来计算。本文结合建筑室内生活排水的特点, 建立了基于概率论二项分布理论的数学模型。

计算方法如下:

在已知  $n$ 、 $p$  的情况下, 通过下式确定设计管段上同类型卫生器具的最大同时排水卫生器具个数  $m$ :

$$\sum_{i=0}^m C_n^i p^i (1-p)^{n-i} \geq P_m$$

式中  $n$ —设计管段上同类型卫生器具的个数;

$m$ —设计管段在用水高峰期观察时刻同时排水的最大可能个数;

$P_m$ —最多有  $m$  个卫生器具同时排水的概率, 即排水保证率, 取为 0.998;

$p$ —用水高峰期单个卫生器具的排水概率, 根据下式确定:

$$p = \frac{t \times s \times r}{T \times 3600}$$

式中,  $t$ —卫生器具单次排水时间,  $s$ ;

$s$ —用水高峰时间段人均使用次数, 次/人;

$r$ —使用人数;

$T$ —用水高峰时间长,  $h$ 。

然后, 逐个求出计算管段各种类型卫生器具的同时排水器具最大数  $m_i$  和设计秒流量  $m_i q_{0i}$ , 则计算管段的总设计秒流量  $q_p$ :

$$q_p = \sum_{i=1}^k m_i q_{0i}$$

式中  $k$ —计算管段卫生器具的种类。

③从技术和经济两方面, 对《建筑给水排水规范》(GB50015-2003)要求使用的塑料排水管 and 柔性接口机制铸铁排水管进行了比较分析, 建议应该从建筑物的使

用功能上考虑选取合适的排水管材：

1)在超高层建筑、住宅和宾馆应首先考虑采用柔性接口铸铁排水管，在对噪声环境、防火和防震要求比较高的建筑中应强制使用柔性接口铸铁排水管；

2)在办公楼、学校、商场等对噪声要求不高的多层及百米以下高层建筑中应考虑采用 UPVC 排水管。

④在进行排水管材的优化选择时，应用价值系数法来分析比较合理，即通过比较各种排水管材的价值系数大小(即性价比)合理选取最优的排水管材。

## 致 谢

本文的研究工作是在我的导师张勤教授的精心指导和悉心关怀下完成的，在我的学业和论文的研究工作中无不倾注着他辛勤的汗水和心血。张老师的严谨治学态度、渊博的知识、无私的奉献精神使我深受启迪。从尊敬的导师身上，我不仅学到了扎实、宽广的专业知识，也学到了做人的道理。在此我要向张老师致以最衷心的感谢和深深的敬意！

另外，感谢三年来在生活上和学习上给予我帮助的各位老师和同学！

感谢我的父母，正是他们在物质上和精神上给我无私的支持和帮助，才使我能够顺利完成研究生学业！

最后，衷心地感谢在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位专家、老师！

杨士杰

二〇〇七年四月 于重庆

## 参 考 文 献

- [1] 王增长. 建筑给水排水工程(第四版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- [2] 张俊岭. 一种新的建筑室内排水系统方案. 建筑技术开发, 1999, Vol.26 No.6
- [3] 俞文迪. 关于水封式地漏和磁性密封反斗式地漏的比较. 全国建筑给水排水委员会排水分会第二届第一次学术交流会论文集.宁波.2005.
- [4] 姜文源. 隐蔽式安装系统同层排水技术简介. 给水排水, 2004, Vol.30 No.9
- [5] 俞科, 蒋红波. 浅谈住宅卫生间同层排水设计. 给水排水, 2004, Vol.30 No.9
- [6] 曾缤. 住宅同层排水做法. 湖南大学学报(自然科学版), 2003, Vol.30 No.3
- [7] 姜文源. 特殊单立管排水系统综述. 全国建筑给水排水委员会排水分会第二届第一次学术交流会论文集.宁波.2005.
- [8] S.P.Chakrabarti, N.K.Verma and P.Khanna. Limiting capacities of drainage stack in tall buildings. *Building and Environment, Volume 13, Issue 1, 1978*
- [9] N. K.Verma, S.P.Chakrabarti and P. Khanna. Modified one-pipe system of drainage for tall buildings. *Building and Environment, Volume 11, Issue 3, 1976*
- [10] 冯旭东. 中、外关于排水立管排水能力的比较. 全国建筑给水排水委员会排水分会第二届第一次学术交流会论文集.宁波.2005.
- [11] John A. Swaffield and John A. McDougall. Modelling solid transport in building drainage systems. *Water Science and Technology, Volume 33, Issue 9, 1996*
- [12] 全国民用建筑工程设计技术措施-给水排水.北京: 中国计划出版社.2003
- [13] 李洪兴, 汪群等. 工程模糊数学方法及应用.天津: 天津科学技术出版社, 1991
- [14] 汪培庄,李洪兴. 模糊系统理论与模糊计算机. 北京: 科学出版社, 1996
- [15] 陈守煜. 模糊水文学与水资源系统模糊优化原理.大连: 大连理工大学出版社, 1990
- [16] 谢季坚, 刘承平等.模糊数学方法及其应用. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997
- [17] J.A.Swaffield and D.P.Campbell. Air pressure transient propagation in building drainage vent Systems, an application of unsteady flow analysis. *Building and Environment, Volume 27, Issue 3, 1992*
- [18] Sukesh Kumar Sharma, S.P.Chakrabarti and P.Khanna Analytical model for partially-vented drainage system in buildings. *Building and Environment, Volume 16, Issue 4, 1981*
- [19] S.P.Chakrabarti, N.K.Verma,and Suresh K.Sharma. Performance study of horizontal branch in building drainage system. *Building and Environment, Volume 16, Issue 1, 1981*
- [20] 钱维生. 高层建筑给水排水工程. 上海: 同济大学出版社, 1989
- [21] National Standard Plumbing Code. Wasington,DC,1984.

- [22] [日]空气调和-卫生工学会.图解现代住宅设施系列-排水.北京:科学出版社,2002
- [23] Fumitoshi Kiya, Saburo Murakawa. Design load for water supply in buildings. A.A Balkema/Rotterdam, Tokyo, 1989
- [24] R.Dodge Woodson. National plumbing code Handbook(the second edition).1997
- [25] 空气调和.卫生工学会.给排水-卫生設備計画設計の実務と知識,オーム社(1995)
- [26] 坂上恭助氏.DIN1986,敷地-建築内排水設備空気調和.衛生工学誌
- [27] 申芷娟.概率法在推求建筑内部排水设计秒流量的研究及应用.西安:西安建筑科技大学,2005
- [28] [日]空気調和.衛生工学会、HASS 206—1991 给排水卫生设备规准
- [29] [日]空気調和.衛生工学会、HASS 206—1982 给排水卫生设备规准
- [30] 赵金玲, 邹平华. 生活给水及热水供应设计秒流量计算方法的研究(一).给水排水, 2000,Vol.26 No.8
- [31] 赵金玲, 邹平华. 生活给水及热水供应设计秒流量计算方法的研究(二).给水排水, 2000,Vol.26 No.9
- [32] GB50015-2003.建筑给水排水设计规范.北京:中国计划出版社,2003
- [33] 高明远,岳秀萍.建筑给水排水工程学.北京:中国建筑工业出版社,2002
- [34] 赵培森, 田会杰. 简明给水排水、采暖工程安装手册.北京:中国环境科学出版社,2005
- [35] 黄汝宏, 陈一. 建筑给排水管材的选用.机械给排水,2002年第四期
- [36] 张丽娟, 周吉星. 柔性卡箍式离心排水铸铁管应用技术.中国建设信息.2004年第10X期
- [37] 许其昌. 给水排水塑料管道设计施工手册.北京:中国建筑工业出版社,2002
- [38] S.Boddy, Y.Rezgui, M.Wetherill and G.Cooper. Knowledge informed decision making in the building lifecycle: An application to the design of a water drainage system. *Automation in Construction, Volume 16, Issue 5, August 2007*
- [39] 朴芬淑, 吴昊. 建筑给排水.北京:机械工业出版社,2006
- [40] 范海燕. PVC-U 螺旋消音排水管与柔性接口排水铸铁管的对比.给水排水,2002, Vol.28 No.4
- [41] 刘玉清. 对建筑排水(PVC—U)硬聚氯乙烯管道进行噪声控制的探讨.塑料加工,2001, Vol.31 No.3
- [42] 张勤, 张建高. 水工程经济.北京:中国建筑工业出版社,2002
- [43] 刘晓君. 建筑技术经济学.北京:中国建筑工业出版社,1998

## 附 录

### 作者在攻读硕士学位期间发表的论文目录

- [1] 张勤, 杨士杰. 建筑室内给排水管道噪声的分析与控制. 上海: 噪声与振动控制. Vol.27 NO.1

作者: 杨士杰  
学位授予单位: 重庆大学

## 相似文献(6条)

1. 期刊论文 魏浩 建筑室内排水系统的优化研究 -城市建设与商业网点2009, "" (22)

本文在分析建筑室内生活排水系统排水特点和国内外建筑排水设计秒流量计算方法的基础上,结合国外常用的用于室内给水计算的概率方法,即亨特概率法,提出了基于概率论的建筑室内排水设计秒流量计算方法。

2. 期刊论文 张晓燕,马信国, Zhang Xiaoyan, Ma Xinguo 室内排水系统排水能力关键参数气值的探讨 -给水排水2008, 34(6)

建筑排水系统的最大通水能力,是确保系统中卫生器具水封不被破坏前提下所通过的最大流量。气压波动是造成室内排水系统水封破坏的元凶。保护水封最大损失值不超过25 mm的关键是减缓排水管道中气压波动,控制最大气压值不超过 $\pm 40$  mmH<sub>2</sub>O。根据国内外排水试验的有关资料,总结了影响气压波动的诸多因素,如排水流量、通气方式、排水管接入立管高度、入口型式、排出口状态等,提出改善气压波动的一些方法和设计措施。

3. 期刊论文 黄秉政,徐珉 住宅排水管道简捷计算初探 -给水排水2003, 29(12)

建筑排水系统时而发生地漏冒水、水封破坏、臭气外溢等现象,很重要的一点是与设计时对配管管径缺乏认真的水力计算有关。为简化计算手续,针对住宅排水系统的特点,编制了户管、立管和水平干管的管径选用表,并对浴盆配管管径和单立管下部的水平管管径的配置提出了建议。

4. 期刊论文 胡晶莉 建筑排水系统漏水原因及改进意见 -当代建设2003, "" (5)

近年来,随着房地产行业的蓬勃发展,大量的商品楼竣工并投入使用。它不但为城市现代化建设、国民经济的发展作出了巨大贡献,而且大大地改善了城乡居民的居住环境。但由于建筑行业本身的素质等各种原因,投入使用的楼宇相当部分存在着质量问题,其中住户反映比较普遍的是室内排水系统漏水问题。

5. 期刊论文 胡晶莉 建筑排水系统漏水原因及处理办法 -工程建设与档案2003, "" (4)

近年来,不少商品楼竣工投入使用后,住户反映室内排水系统漏水的问题较多,如在排水管道穿越上下层楼板处、排水管道接口处或管道本身出现沙眼、爆裂等漏水,并造成卫生间地面返水等。这些问题如不加以杜绝,不但直接影响居民的居住环境,带来诸多的生活不便,而且也必然要影响到建设部提出的在二十一世纪初普遍实现城乡文明住宅的目标。因此,分析排水系统漏水的原则,采取有效措施加以解决,就是我们必须严肃对待的问题。

6. 期刊论文 林自强 简述室内排水系统的渗漏、堵塞检验方法 -中国科技纵横2010, "" (6)

本文论述了在建筑排水管道施工中,运用通球和通水的方法检查管道的通畅性的可行性方案。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y1139611.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1139611.aspx)

授权使用: 上海海事大学(wf1shyxy), 授权号: 5eb58a69-784e-4a1d-b61d-9e0000c13f9b

下载时间: 2010年9月29日