

环境科学与工程

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING

王继明教授90寿辰庆贺文集

In Honor of Professor Wang Jiming's 90th Anniversary

主编 钱 易 郝吉明 陈吉宁

Editor-in-Chief Qian Yi Hao Jiming Chen Jining

中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

环境科学与工程

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING

王继明教授 90 寿辰庆贺文集

In Honor of Professor Wang Jiming's 90th Anniversary

主编 钱 易 郝吉明 陈吉宁

Editor-in-Chief Qian Yi Hao Jiming Chen Jining

中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

环境科学与工程 / 钱易等主编. —北京: 中国建筑工程工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07352-9

I . 环 ... II . 钱 ... III . 环境科学—文集
IV . X—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 035434 号

编辑出版统筹: 管运涛 何 苗

编辑工作人员: 吴 静 刘建国 张 旭
曾思育 段 雷

责任编辑: 姚荣华 田启铭 胡明安
石枫华 于 莉

责任设计: 肖广慧

责任校对: 汤小平

环境科学与工程

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING

王继明教授 90 寿辰庆贺文集

In Honor of Professor Wang Jiming's 90th Anniversary

主编 钱 易 郝吉明 陈吉宁

Editor-in-Chief Qian Yi Hao Jiming Chen Jining

*

中国建筑工程出版社 出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京铁成印刷厂印刷

*

开本: 889 × 1194 毫米 1/16 印张: 23 插页: 2 字数: 711 千字

2005 年 4 月第一版 2005 年 4 月第一次印刷

印数: 1—500 册 定价: 68.00 元

ISBN 7-112-07352-9

(13306)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>



王继明教授

祝王健明教授九十华诞

德高望重
桃李滿園

方惠堅

王繼明
教授九
壽辰慶
賀文集

前 言

为庆祝王继明教授的九十寿辰，我们，王继明教授的学生们，谨以这本论文集献给我们无比尊敬的老师，衷心地祝愿他健康长寿。

王继明教授是我国著名的给水排水与市政工程科学家和教育家。他1941年7月毕业于清华大学，毕业后留校任教。王继明教授在给水排水工程、市政工程的教学和科研岗位上辛勤耕耘几十载，硕果累累。解放前他负责《工程材料》、《测量》、《给水工程》、《排水工程》等课程辅导工作。1952年院系调整后，为适应国家大规模经济建设的需要，在学生人数和教学工作量大增的情况下，王先生负责新开《房屋卫生设备》及《水泵与泵站》、《给排水管道工程》、《水的冷却》和《卫生工程》、《建筑设备工程》等课程，克服了许多今天难以想象的困难，往往是晚上印好讲义，次日早上课堂发给学生人手一册，教材基本上都是重新编写的。王先生还长期担负了学生在暑假期间5~7周的生产实习、毕业设计工作以及研究生培养工作，为我系学生的实践教学和工程训练倾注了大量心血，培养人才无数。

王继明教授始终注重教学、科研和工程实践的有机结合，他主持的“大面积屋面雨水排水”课题历经数年研究，其成果列入国家《给水排水工程设计规范》。他负责完成了清华大学主楼、中国科技馆、北京水源三厂等一系列建设项目中的给水排水工程设计。多年来，王先生著书立说，编写教科书、教学参考书和工具书数十种。王先生以其严谨的治学态度、丰富的工程实践经验和深湛的学术成就，在我国给水排水和市政工程界享有很高声望。王继明教授在行政管理和社会工作方面付出了大量心血。1950年代末，王先生任清华大学土木系排水实验室主任，1978年起兼任清华大学环境保护办公室主任，为学校的环境保护工作做出了重要贡献。他先后担任国家建筑给水排水工程委员会顾问、建筑给排水标准技术委员会顾问、中国消防协会常务理事等多项协会和委员会的社会兼职工作。

王先生数十年来兢兢业业，为人师表，治学严谨，德高望重，堪称育人楷模，为熟悉他的同辈及后辈所同声称道。

在庆祝王继明教授九十寿辰之际，我们编辑出版这本论文集。本文集汇编了王继明教授的学生、同事及学友们近年来的研究成果和工作经验，针对我国给水排水和环境工程事业发展的迫切需求，从不同方面交流了各相关领域的研究成果。作为王继明教授的学生，我们感到，只有以实际行动为环境保护和可持续发展事业做出更大贡献，勇攀科技高峰，培养更多高水平人才，才能表达出我们对王先生的崇高敬意和不断向他学习的坚定决心。我们将像王继明教授一样，奋斗不息，奉献不止。

钱 易 郝吉明 陈吉宁
2005年4月于清华园

王继明教授简介

王继明 1916 年出生，教授。1941 年毕业于西南联合大学土木系市政及卫生工程组。后任云南抗疟委员会工程师、清华服务社工程师、水工实验室助理研究员；1946 年后任清华大学土木系教员、副教授及教授。先后兼任给水排水实验室主任、校环境保护办公室主任等职务；还曾兼任全国建筑给水排水工程协会顾问及名誉委员、中国建筑给水排水标准化委员会顾问及名誉委员、中国消防协会常务理事、北京消防协会常务理事、北京医院污水污物处理技术协会顾问、《卫生工程》杂志顾问及华北环境卫生情报网顾问等。

主要业绩：先后讲授工程制图、房屋卫生设备、给水及排水工程、给水管网、水泵及水泵站、给水排水管道工程、土木建筑工程概论及卫生工程等数门课程。在科研中进行了《大面积屋面雨水排除的研究》（与机械部一院和八院协作），解决了多年来厂房雨水为患的问题，成果列入国家《建筑给水排水工程设计规范》，获得教委科技进步三等奖及清华大学经济效益奖。著作有《房屋卫生设备》、《泵与泵站》、《给水管网》等八种；主编有《给水排水管道工程》、《土木建筑工程概论》等四部，其中《给水排水管道工程》获清华大学第二届优秀教材一等奖；主审并参加部分编写的有《建筑给水排水设计手册》、《卫生技术》等共计十五册；著述有《屋面雨水系统研究的回顾》、《改进的单立管排水系统》等 20 篇，其中《屋面雨水系统研究的回顾》获得《给水排水》杂志创刊 40 周年优秀论文一等奖。

王继明教授简历

1916 年 3 月 1 日出生 籍贯河北省滦县
1936 年 北平志成高中毕业
1936 年 七月考入北平清华大学土木系
1936~1937 北平清华大学一年级学生
1937~1938 “七·七”事变未能及时南迁暂留家中
1938~1941 西南联合大学土木系学生（2~4 年级）
1941 西南联合大学土木系毕业 工学学士
1941~1943 云南抗疟委员会工程师
1943~1945 土木系属清华服务社工程师
1945~1946 云南水工实验室（在工学院内）助理研究员
1946~1952 北平（北京）清华大学土木系教员
1952 院校调整，清华北大两校扩建，组建建校委员会，任水道工区主任
1952~1960 清华大学土木系副教授
1960~1986 清华大学土木系、建工系、土木与环境工程系教授
1986 离休

1986~2000 回聘

1984~1994 中国消防协会消防理事, 北京消防协会常务理事

1984~2004 北京医院污水污物处理技术协会 1~4 届顾问

1985 连云港市工程技术评定委员会顾问

1986~1998 天津《卫生工程》杂志顾问

1986~1995 华北环境卫生情报网顾问

1987~1994 全国建筑给水排水工程协会委员会 1~3 届名誉委员、顾问

1988 现代(北京)消防读物编辑委员会顾问

1991 全国排水系统研究会理事

1993~1996 航天部三院综合技术开发公司顾问

1995~1997 北京银山玻璃钢冷却塔公司顾问组主任

1996 全国环境卫生教材编委会副主任

2003 北京泰宁科贸公司高级顾问

2003.3 全国民用建筑工程设计技术措施给水排水编委

2003.10 全国民用建筑工程设计技术措施给水排水主审

受 奖 情 况

1984.12 北京市高教局、北京市工会辛勤工会 30 年表彰证书及奖牌

1990.1 全国建筑给水排水工程标准技术委员会, 卓越贡献奖状

1992.1 养殖蚯蚓处理生活垃圾的问题研究, 国家科委三等奖(第四完成人)

1992.8 中国建筑标准化协会建筑给水排水委员会被命名为全国工程建设标准与定额工作先进集体

1992.10 养殖蚯蚓处理生活垃圾的问题研究, 国家环保局三等奖(第四完成人)

1993.5 《给水排水管道工程》获清华大学第二届优秀教材一等奖(第一完成人)

1995.8 九三学社 30 年获组织建设贡献奖状

1996.6 大面积屋面雨水排除问题的研究, 国家教委科技三等奖(第一完成人)

1997.1 中国消防协会, 工作贡献奖牌

1997.12 北京消防协会理事会, 重要贡献荣誉奖状

2001.4 九三学社北京市委员会入社 35 年以上重大贡献荣誉证书

2004.10 屋面雨水系统研究的回顾, 《给水排水》杂志创刊 40 周年优秀论文一等奖

目 录

屋面雨水系统研究的回顾	王继明	1
论水质科学与工程兼论 21 世纪的水处理科技	许保玖	7
发展循环经济是全面实现小康社会的必由之路	钱易	12

一 给水处理

顺序氯化消毒工艺对饮用水水质指标的综合控制	张晓健	19
援坦桑尼亚查林兹供水工程设计	卜城 王继明 袁足华	26
无泡供氧用于饮用水生物处理工艺研究	张锡辉 孟庆宇 桑军强	33
常规给水处理过程亚硝氮迁移转化的研究	饶民华 杨宏伟 蒋展鹏	40
常规工艺中消毒副产物季节变化研究	陈超 张晓健 王秀丽等	45
沼蛤贝类在原水长途输送管道中附着行为研究	关芳 张锡辉 林素斌等	51
给水管网水相中余氯衰减研究进展	唐峰 鲁巍 张晓健	55
接触氧化反应器去除地下水中铁的研究	邱宪锋 张建 王晓东等	62
预臭氧 + 常规 + O_3 /BAC 组合工艺去除消毒副产物前体物的研究	朱玲侠 张晓健 陈超等	67
给水管网铁稳定性问题判断与分析	牛璋彬 王洋 张晓健	75
水源切换对给水管网水质影响的研究	王洋 牛璋彬 张晓健等	81
水的磁化对结冰发生的影响初探	张玉春 曲凯阳 江亿	86

二 废水处理

曝气型膜 - 生物反应器脱氮除碳的研究	汪舒怡 黄霞	91
多环芳烃的水溶解度与分子连接性指数之间的定量关系	孙庆峰 余刚 牛军峰	96
催化湿式氧化工艺中 Zr-Ce 复合催化剂的研制	王建兵 祝万鹏 杨少霞等	103
Ru/SiO_2 催化臭氧氧化降解邻苯二甲酸二甲酯	周云瑞 祝万鹏	107
CeO_2-TiO_2 催化剂湿式氧化降解乙酸的活性和稳定性研究	杨少霞 祝万鹏 白昱等	111
新型活性无烟煤过滤工艺研究	向修传 张锡辉	115
高温 UASB 反应器中温运行的试验研究	平凡 吴静 陆正禹	120
移动床反应器 (MBBR) 载体设计与研制	张雪辉 周律	125
Fenton 氧化 / 混凝协同处理焦化废水生物出水的研究	左晨燕 何苗 张彭义等	128
污水处理厂二级处理出水的电化学消毒研究	杨茂东 施汉昌	133

铵盐液膜离子选择性微电极的研究	周小红 施汉昌 蔡强	136
厌氧氨氧化颗粒污泥的获得及其特性研究	杨洋 左剑恶 全哲学等	139
高温 UASB 反应器中生物产氢颗粒污泥的培养及其特性分析	崔龙涛 左剑恶 张薇等	145

三 水体与土壤修复

污染河水潜流人工湿地处理系统的构建及其功能强化	张建 何苗 邵文生等	153
水平潜流湿地对地表水体中石油类污染物的净化能力研究	张海 张旭 张荣社等	157
水力停留时间对河流滞留塘系统水质净化效果的影响	朱铭捷 胡洪营 何苗等	162
地下水反硝化供碳材料释碳性能研究	王允 张大奕 周贵忠等	167
酸化森林土壤修复效果的初步研究	靳腾 段雷 杨永森等	171
石油污染土壤的表面活性剂强化生物修复效应研究	钟毅 李广贺 张旭等	180
电动修复技术中电极矩阵的构型优化	范向宇 王慧 罗启仕	185

四 环境生物技术

苯胺降解菌的分离筛选及其特性研究	许雯 席劲璞 胡洪营等	193
2,4-D 半抗原改造方法研究	刘举 余杨 施汉昌	199
一次性安培型免疫传感器检测生物素的研究	蔡强 何苗 施汉昌等	203
自分离白腐真菌 F2 产锰过氧化物酶的分离纯化及酶学特性	张晶 文湘华	207
转基因植物选择性标记基因生态安全评价和控制措施	唐黎 吴晓磊	211
PPR 给水管附生生物膜微生物种群分析	柳江华 管运涛 赵婉婉等	218
施氏假单胞菌 <i>P. stutzeri</i> T7 对低取代氯苯的共基质代谢研究	孙发 王慧 宋蕾等	224

五 大气污染与控制

燃煤电厂排放可吸入颗粒物的粒径分布特征	郝吉明 易红宏 段雷等	233
镁法脱硫产物亚硫酸镁热分解特性与机理推断	崔可 柴明 景启国等	240
再生氧化镁法烟气脱硫技术中亚硫酸根抑制氧化研究	柴明 崔可 童玫等	245

六 固体废物污染控制及资源化

中国固体废物管理法规建设研究	白庆中 邹亮	251
有机垃圾高固体厌氧消化处理技术及其在中国的应用前景	蒋建国 隋继超 赵振振	256

农业固体废物堆肥生产复混肥的工艺试验研究	杨渤京 王洪涛	263
高温木质纤维素分解菌筛选及应用研究进展	生骏 陆文静 王洪涛等	269
两株高温纤维素分解菌的性状研究	王志超 陆文静 王洪涛	275
真空蒸馏方法去除废锌锰电池中汞的研究	刘彤宙 李金惠	281
厌氧型生物反应器填埋场启动与控制实验研究	杨国栋 蒋建国 邓舟等	287
MBR 处理稳定垃圾填埋场渗滤液的试验研究	申欢 胡洪营	295
陶瓷膜对重金属废水中镉、铈、钴的去除研究	陈红盛 白庆中	299

七 环境系统分析

河流点源污水处理程度计算及灵敏度分析	程声通	307
基于 SMSA 混合优化算法的复杂水质模型参数识别研究	王建平 程声通 贾海峰	311
区域水环境安全预警系统中的预警方案设计	俞露 曾思育 陈吉宁等	317
北京市污水回用潜力的优化分析	梁金栋 张天柱	321
城市人口容量方法学及佛山市案例研究	郭茹 贾海峰 程声通	326
佛山水道截污工程方案的比选与环境效益分析	董男 贾海峰	331
Carrousel 氧化沟的数值模拟	范茏 施汉昌	334
污染场地环境风险评价的关键参数研究	陈华 刘志全 李广贺	341
水环境容量模型与 GIS 模型的集成研究	阎非 苏保林 贾海峰等	346
饮用水中 Cu 和 As 对人体的健康风险评价	王乐 范文宏	351

屋面雨水系统研究的回顾

王继明

提要: 根据目前屋面雨水排水系统的工程实践和科技发展情况,结合过去的试验研究,阐述了雨水系统的泄水量与管内的流态变化情况。并对现行规范中的雨水斗、雨水立管的排水能力提出了修正建议。

关键词: 雨水斗;斗前水位;重力流;有压非满流;重现期;溢流管

建国初期,全国各地建造了很多工业厂房和大型建筑,此类建筑屋顶面积大而曲折,屋面降水须由雨水管道排除。那时建筑的雨水系统有的是国内设计的,但大多数是国外援建的。在使用中,每逢雨季管道排水不畅,很多厂房发生屋面积水,甚至由天窗翻到厂房内;有的还存在从厂房地地下检查井向外冒水等水患问题,淹没地面,损坏机械设备与产品,造成停产整修,极大地影响了生产、生活及建筑物安全。根据调查资料统计,全国约有70%以上的工厂,不同程度地存在雨水水患问题,每年由水灾造成的经济损失巨大,亟待解决。此项严重问题,引起了有关部门的关注,1962年建工部拨款进行雨水管系统的试验研究。由室内给水排水规范管理组组织筹划,在清华大学给水排水实验室进行研究试验。参加的有清华大学给水排水教研室,一机部一院、八院,建工部工业设计院和规范组等单位。由于“文革”的影响,先后共进行了3次试验,较长期而有系统的有2次,短期验证性试验1次。在研究过程中,将试验部分成果,应用于前北京电机厂及北汽二辅件厂冒水管道的改造工程。在雨季中通过监测,雨水排泄通畅,达到设计要求,试验改造工程取得成功。此后边试验边将成果应用于工程上。研究工作于1986年完成,次年通过鉴定。研究成果、技术措施纳入(GBJ15-88)中。实践工程证明近20年来,厂房雨水管系统排水正常,以前发生的水患问题得到解决,为国家节约了大量财富。先说明一点:(GBJ15-88)及《建筑给水排水设计手册》中,雨水管设计均采用“重力流”设计法,而管内实际水流是有压非满流,因此 $Q_{\text{设}} < Q_{\text{实}}$,即能排除一定的超重限期的雨量,运行是较安全的。一般称为重力流。而此次规范修订时,提出用污水设计方法也称重力流,为避免混淆,将前者暂改为有压非满流,

后者称为重力流,文中均按此区分。下面结合建筑雨水管系统多年的实用情况和近年来雨水排水技术发展,将以前雨水管的研究,进行简要回顾,对今后的设计研究工作可能有所裨益。

1 建筑雨水排水系统的组成部分

图1绘出典型的多斗雨水管道系统,其图中2~6常称为架空部分,其余称为埋地部分。为了节省篇幅,本文现仅讨论架空部分。为了试验研究观测方便,系统最好采用有机玻璃材料。

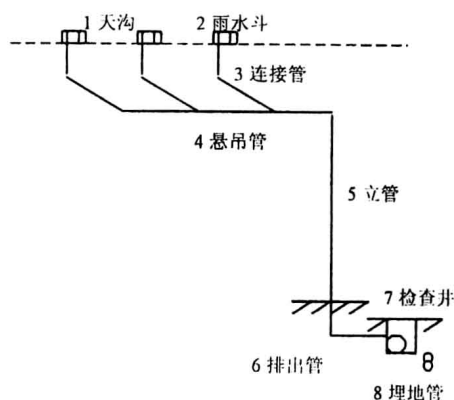


图1 多斗雨水管

2 试验研究概况

2.1 管道系统中的水流概况

由循环供水系统将模拟雨水量配送给天沟雨水斗,水量由小等量递增,直到管道系统满流为止。在不同配水量下,量取管道中各测点的水位、水压、流速及水中掺气量等数据,同时观察管内的水流状况。

在小流量时,天沟水深很浅,斗前水位较低,水流通过斗的拦污整流栅后,顺利地流入斗中,水流在斗内形成漏斗状水舌,斗内为大气压;水下流通过较短的连接管排入悬吊管内,在管中形成较薄流层,水流平稳,压力仍为大气压;水流为以管坡

流动的重力流；水继续下流入立管后，沿管壁下落形成附壁流，管内仍为大气压；水再下流入排出管后进入埋地管检查井中。

当流量增加，天沟雨水斗前水位增高，水流在斗内水舌的空心部分逐渐缩小，直到封闭，斗内出现负压，水流开始掺气，在悬吊管内可以看到水流中含有气泡，水流开始波动，流速加快，水流动一段后，气泡溢出水面，成为水气分层流；水流入立管后，附壁流层增厚，逐渐脱离管壁下落，流速增大，水流波动，随即通过排出管流入检查井中。

配水量再行增加，斗前水位继续升高水位波动加剧，水面出现旋涡，并伴有抽气声，斗内负压增大，掺气加大；水下流入悬吊管，水中夹带大量气泡，管内负压继续加大，流速加快，水流波动紊流，并时有水气冲击流；水流入立管后，出现水气段相间下落的柱塞流，流速继续增加，水流波动剧烈，管内上部为负压，下部为正压，交替处的过渡点为大气压，即所谓压力零点；水流通过排出管受阻碍，流速降低，产生水跃后流入检查井。

当流量再增加，斗前水位上升很快，流速增大，管内负压也加大，掺气减小，水流含有大量极小气泡，水流呈现乳白色的气泡流，立管和排出水流情况也类似。

如流量再增加，斗前水位迅速升高，斗内水流掺气很少或不掺气，悬吊管内达到满流，水流较平稳，呈现透明的水一相流。管末端负压值达到最大值，此时立管和排出管内亦为水一相流，立管上端下端压力均为最大值，零压力点亦处于立管上最高点。排出管内为正压并沿流向逐渐降低，到达检查井中为大气压力。

2.2 管道系统的分析计算

2.2.1 雨水斗

雨水斗是雨水系统的唯一进水口，雨水流入斗的方式：有周边式、平面式、侧面式及斗顶是否封闭等不同形式而分成各种斗型和不同规格。在研究中，我们采用了在国内能收集到的和自行设计的有十余种斗型，测试了各种斗前不同水位时的泄水量、掺气量和斗内产生的压力值等数据。试验表明，斗型不同，其水流状态、泄水量、掺气量及斗内压力情况等也各异，但构造形式类似的斗，则各项参数大体相近。在测试中，当斗前水位 H_1 较低

时，斗的泄水量 q_w 很小，水流在斗内形成漏斗形水舌，斗内为大气压，水流类似环形堰流，可以视为重力流，如图2的oa段。由于 q_w 较小，无使用价值；当 q_w 再增加后，水舌内气孔逐渐缩小而至封闭，斗内产生负压 H_2 ，水流开始吸气，形成掺气水流。此后随着 q_w 的增加， H_1 及 H_2 增大， $q_w \sim H_1$ 曲线由oa过渡到ab段， H_1 增加较缓， H_2 增加很快，见图3。由此可知， q_w 是在 H_1 和 H_2 共同作用下产生的。 q_w 再增大不多，则斗前水位迅速上升，由ab过渡到bc段， H_1 增加很快而 H_2 增加很少或不增加，水流基本不掺气，说明b点是能提供的最高 H_1 值。bc区段不能在设计中使用，b点为雨水斗泄水量的临界点。根据 H_1 和 H_2 的关系，可导出雨水斗的泄水量计算式(1)。

$$q_w = \mu F \sqrt{2g(H_1 + H_2)} \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中 q_w — 斗的泄水量，L/s；

μ — 流量系数；

F — 斗的出口面积， m^2 ；

H_1 — 斗前水位高，m；

H_2 — 斗内负压，m。

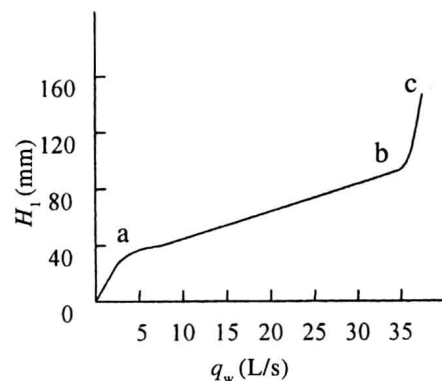


图2 $q_w \sim H_1$ 曲线

在试验中，当天沟高度为12.6m时， $d100$ 斗的水位高80~85 mm，65型斗或79型斗（现称87型） q_w 可达30 L/s。如天沟高度再增高时， q_w 还要增大，目前规范中规定 $d100$ 斗的 q_w 为12 L/s，这个流量值正处于掺气量最大区内，对发挥斗的排水能力不利，见图4。根据试验及有关资料，可将斗的泄水量 q_w 适当提高，例 $d100$ 斗 q_w 建议提高到15 L/s，则掺气量可减少20%，对管道运行是有利的，建议提高 q_w 值见表1。

雨水斗虽不是精密的排水设备，但它却是雨

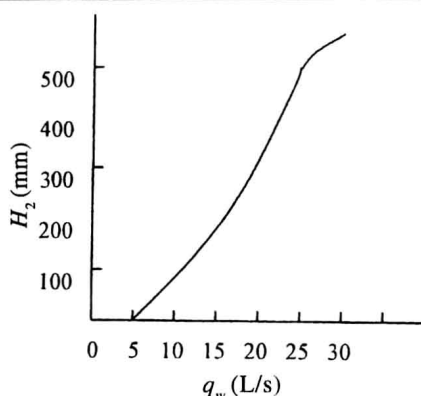
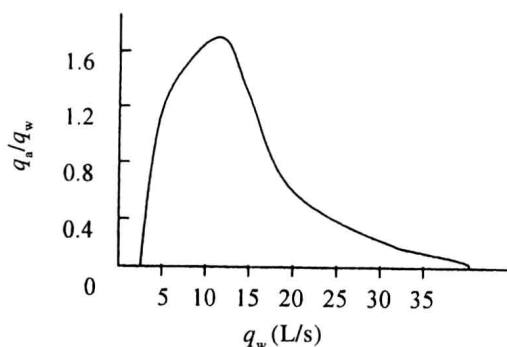
图3 $q_w \sim H_2$ 曲线图4 $q_w \sim H_1$ 曲线

表1 一个雨水斗的允许泄水量

雨水斗直径/mm	50	75	100	150	200
规范(手册)泄水量/L/s	(3)	(8)	12	26	(40)
建议泄水量/L/s	3~5	8~10	15~20	30~45	60~80

注：表中数值低层建筑可用下限，高层上限

水系统中的关键部件。其形式可以决定排水系统的流态。如65型、87型斗以及以前常用的北京型、华东型等(在试验中试过)，都是拦污与整流合为一体。构造较为简单的排水斗，一般都直接设在天沟或屋面较低处，属于有压非满流系统的雨水斗。参考目前英、美、日、俄和其他国家所用的斗型也基本上属于此类型的斗；虹吸流系统斗要应用双层沉降式雨水斗；重力流系统须用重力流式雨水斗，没有这样的斗，重力流就无法实现，终将成为有压非满流或满流系统。

目前设计应用的有压非满流系统，重现期 P 的水位应在图2 $q_w \sim H_1$ 曲线的ab区段内，系统排除设计重现期 P 的雨量时，即在非满流负压下运行；当超过设计重现期 P 时， q_w 增大， q_a 减小，管道系统可过渡到满流排水，可排除超过设计重现期 P 的雨量。现在 $d100$ 斗的设计泄水量用12 L/s，按建议

的泄水量为15 L/s，而试验中不掺气时可达30 L/s，即超过2倍以上，斗的排水潜力是很大的。若以北京市暴雨强度公式估算，先算出不同重现期 P 的雨量，然后与设计重现期 P 为1年，3年，5年的雨量相比较，可求出超过设计重现期 P 的雨量倍数见表2。

表2 北京市不同设计重现期 P 降雨量的相关倍数

设计 $P(a)$	降雨量 [L/(s·100km ²)]	$P(a)$							
		1	3	5	10	20	30	40	50
1	3.23	1	1.38	1.57	1.81	2.06	2.20	2.30	2.38
2	4.48		1	1.13	1.31	1.48	1.58	1.66	1.71
3	5.06			1	1.16	1.31	1.40	1.47	1.52

如超重现期 P 雨量按1.6倍计，则设计重现期 P 为1年时，可能排除 P 为5年的雨量；设计 P 为3年时，可能排除30年的雨量等。这仅说明现用的设计方法有较强的适应能力。我国应用这种系统20余年，运行正常，有力地说明现用的设计系统具有较大的排水潜力。

重力流是应用污水管的设计理论，立管是用充水率为1/3的膜流，管内为大气压力，破坏了管内产生的负压，以使各斗的泄水量较为均匀，这样斗前水位须维持恒定，来保证各斗能排泄设计流量，也就是说斗的最大排水量只能是设计流量。超过设计重现期的雨水必须由天沟或屋面上的溢流管排除。用溢流管排水只能保证天沟或屋面不泛水，并不能保持斗前水位或泄水量恒定。若以溢流管泄水来维持水面水位基本不变，也只能在小范围内，例如2~3m²面积的恒压水箱都需要在水面上设纵横交错的溢水槽，方能保持几毫米的水位变化。在实际工程中，天沟常装数个斗，长达几十米以上，从远斗溢流的超过设计重现期的雨水须经各斗旁流到最末斗附近的溢流口，一般降雨时间总会有几分钟，常大于超过设计重现期的雨水由远斗流到最末斗附近溢流口的流行时间，这样超过设计重现期的雨水将沿各斗流向叠加，流到最末斗处的超过设计重现期的雨量达到最大值，是所设斗数超过设计重现期的雨量的总和，同时水位也相应地升到最高值，超过设计重现期的雨水就不可避免地要进入各斗，最终必将破坏重力流态而转变为目前设计的有压非满流甚或为满流。有压非满流本可排泄一定的超过设计重现期的雨量，而重力流却把这部分水依

托天沟或屋面上的溢流管排除,这样就延长了超过设计重现期的雨水在屋面流行时间,实际上等于造成屋面上短期积水,对屋面很不利。

如前所述,用设计污水管的方法来设计雨水管违背了排水量越大越安全经济的原则。污水管内是大气压而消除了负压,但在雨水管内负压却是个积极因素,可加大水力坡降,增加排水量,应充分利用。重力流系统无排泄超过设计重现期的雨水的能力,它必须靠溢流管排除,溢流却成了经常排水的主要渠道,而且也不能保持斗前设计水位。若要保持重力流正常运行,必须研制一种斗前水位升高时,仍能排泄设计流量恒定的雨水斗,这种雨水斗是很难制成的,在没有这种斗问世之前,采用重力流方法设计,似乎尚无条件。

另外重力流雨水系统的设计、施工,使用材料及验收方法等,均是按无压流系统要求考虑的,一旦控制不住超过设计重现期的雨量而形成有压流,这不仅仅是破坏了重力流的流态,严重时可能发生管道漏水,破裂等事故,造成灾害,应该引起重视。

通过试验及工程实践来看,雨水斗设置之后,在屋面上要使用几十年之久,历经风霜,日晒雨淋及寒暑,环境极为严酷,因此性能较好的雨水斗应具备以下条件:

(1) 斗上应设有罩,罩中有拦污栅及整流板,以利截留杂物和平稳水流,保持排水通畅,增大斗的泄水量;(2) 罩的进水面积应为斗的出口面积的1.5~2倍为宜,太大则拦污效果差,易使管道堵塞,增加维护工作量,太小会增大阻力,影响斗的泄水量;(3) 罩顶不宜留有孔洞,可以消减水面旋涡,有利降低掺气量;(4) 斗的制造材料应选用耐腐蚀,抗老化性能强,并有较好的坚固性,可以延长雨水斗的使用年限;(5) 斗的构造应简单,便于加工制造;(6) 价格便宜。

2.2.2 连接管

连接管是连接雨水斗与悬吊管间的一段短管,可以设在悬吊管上方直接与雨水斗相连,也可以设在悬吊管侧面,通过一短段水平管与悬吊管连接。管径一般采用与雨水斗同径,但有时为了调节相近立管的泄水量,可将靠近立管雨水斗的连接管径适当减小,或增大一些排水面积,有利于调节雨水斗间泄水量和降低管系掺气量。

2.2.3 悬吊管

悬吊管排除连接管流来的雨水量,除较小流量是以管坡流动的重力流外,一般情况都是掺气的有压流,即在有压非满流状态下运行,流速较快,水流极不稳定,管内阻力损失很大,而雨水斗距悬吊管的高差又很小,在排水量较大时,极易产生负压,因此管内无论是非满流还是满流时,均在负压下流动,且沿流向随流量增加而负压逐渐增大,直到满流,悬吊管末端负压达到最大值。在试验研究中,观测到悬吊管中水流是不满流的有压流,水流极不稳定,无法应用理论计算。我们曾用Dukler两相流方法计算,结果误差较大;又用量纲分析法,结果虽较好,但计算参数多,计算方法复杂,且水气比值也不好确定,应用不便,最后采用较为简便的重力流计算方法,即现在设计中应用的算法——充满度为0.8的有压非满流方法。给水流掺气留通路,给超过设计重现期的雨量留有余地,并设有溢流管以策安全。这种系统通过20余年的工程实践,没有发生屋面积水翻水的水患问题,运行是安全可靠的。

在试验中量测到:除较小流量时,管中水流是重力流外,一般都是处于有压非满流状态,管中由负压形成的水力坡降比设计的管坡大很多,管坡对水流作用已很小,水流运动主要靠水力坡降,为此设想管坡可以减小甚或忽略不计,例如管坡可以降低50%但最小管坡不能低于0.005,以利排除小雨量或泄空之用,也不会降低设计的排水量。这样可以提高悬吊管末端的高度,对建筑空间的利用和管道设计安装等工作,均极有利。

2.2.4 立管

立管顶部连接悬吊管的终端,正处于各种不同流量下负压的最大点。立管排除悬吊管的掺气水流,流速较高,水流波动剧烈,难用理论式计算。曾用量纲分析方法,也是存在着影响参数多,计算复杂且水气比不好确定的问题。最后还是简化为用最大允许排水量法,来确定立管的管径,根据试验及参考有关资料,并留有一定余量,前面雨水斗的泄水量已建议提高了,也建议立管排水量要提高(见表3)。

过去规定立管管径不小于其连接悬吊管的最大管径,这不一定是必要的,立管排水能力比较

表3 立管允许的排水量

立管管径(mm)	75	100	150	200	300
规范(手册)排水量(L/s)	(10)	19	42	(75)	(170)
建议排水量(L/s)	10-12	20-25	45-60	80-100	180-230

注：表中高层建筑可用上限值。

大，一般计算出水 $d_{立} < d_{悬}$ 时，在不妨碍管道维修工作时(例如 $d100$)，可以应用计算的 $d_{立}$ ，不必再放大到与 $d_{悬}$ 同径。这样不但可以节约管材，少占空间，同时还可降低立管末端的出水压力。在高低跨同排入一立管时，其总流量不能超过立管的允许排水量，且低跨应接在立管的负压区，以免排水不畅甚至造成倒灌，使低跨屋面积水。立管在排水过程中，无论是非满流还是满流，管内都是处于负压排水情况，根据试验，压力分布线是线性的，每一种流量下，在立管顶部造成一个相应的最高负压，在末端为相应的最大正压，正负压的过渡点形成零压力点 P_0 （大气压）（见图5）。 P_0 点在设计中有实用意义，如高低跨雨水排入同一立管或排少量其他杂排水时，应接入立管的负压区，以免有倒灌危险。零压力的位置，根据试验测量，约在距立管末端以上 $1/3 \sim 1/2$ 的立管高度 H 处，即图5中的 H_0 点。

还要再说明一下，少量废水或阳台的雨水，尽可能地不排入雨水立管中，如接在立管的负压区，杂排水支管水封很快被抽空破坏，支管便成为立管上的通气管，将吸入大量空气，极大地影响立管的排水量；若接在正压区内，有发生反水倒灌的危险，因此最好各自单独排放，不要将其接在立管上，以免相互干扰，影响正常使用。

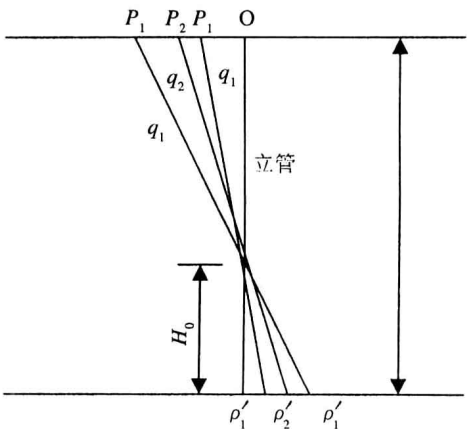


图5 立管压力曲线

2.2.5 排出管

排出管是排除立管下泄的水流，并将其引入地下检查井的一段横管。水由立管转向进入排出管，流速迅速降低，在下游不远处产生水跃，水流极不稳定，管内为正压并沿流向逐渐降低，管径有采用与立管同径的，但为了改善管内水流状况，常将排出管管径比立管管径放大一二号，这样可使出流速度降低，减小检查井内水流冲击，有利埋地管水流排泄。

3 结语

通过以上的讨论，可以看出有压非满流雨水管系统即现在设计应用的雨水系统，具有以下的特点：

- (1) 应用非满流设计，可给变化无常的雨量的排除留有一定的余地，管道在排除设计重现期 P 之内的雨量时为非满流状态，当超过设计重现期的雨量时可以满流，适用性较强；
- (2) 留有过气断面，减小掺气干扰，使排水较通畅，当超过设计重现期时，断面可以过水；
- (3) 应用有压非满流专用斗即拦污整流合一，直接放置于屋面的专用雨水斗，它构造简单，安装方便。国内有65型及87型等，国际上英、美、日、俄等使用的斗均属此类型；
- (4) 各类建筑都可应用；
- (5) 设计方法简便，使用安全；
- (6) 比重力流系统节省材料。

上面对以前屋面雨水系统研究工作的简略回顾以及数十年来工程实践的分析，可以认为：用有压非满流方法(目前应用的雨水管设计方法)设计的雨水排水系统是留有余地的，除正常排泄设计重现期内的雨量，还能在增大充满度甚至满流时排泄一定的超过设计重现期的雨量，根据天沟水位的高低，自动调节排水量，较少地动用溢流管排水。使用这种系统已经20多年，使用情况正常，消除以往大部分厂房雨水排泄不畅，上翻冒的水患问题，说明该系统的排水适应性能是较强的。另外还认为设计中还有潜力可用，也提出改进意见，供参考使用。这是笔者的意见，不当之处，请多指正。