

三种典型屋面雨水排水系统的排水效能分析

何婷婷¹，史志鹏^{1, 2}，陈建¹，王文芬¹，陈晨¹

(1. 江苏建筑职业技术学院，江苏徐州，221116; 2. 西北农林科技大学，陕西杨凌，712100)

摘要：屋面排水作为建筑排水的一个重要组成，其排水效能影响着整个建筑的性能，选取目前国内常见的三类屋面排水系统为研究对象，研究同等条件下其排水流量、管道压力和最大排水面积。结论如下：相比于其他两类系统，虹吸雨水排水系统由于布置灵活，立管数量少，管径小，不影响建筑美观，而且其排水流量大，流速高，本身还有自净功能，因此大型屋面和高层建筑推荐使用，此研究意在为今后的屋面排水系统选型提供依据。

关键词：屋面排水；重力型；虹吸型；雨控型；流量；压力

中图分类号：TU992 **文献标识码：**A

0 引言

随着现代建筑业的不断发展，“大面积，大体量”的建筑不断涌现在人们的视野里。屋面排水作为建筑排水的一个重要内容，其造价和排水效能对整个排水系统至关重要，以前我国的屋面排水主要以重力流和半有压流为主，近年来，虹吸式屋面排水系统越来越占据主导地位^[1-6]，除此以外，一些学者还在积极探索一些新型的排水系统，如雨控型屋面排水系统^[2]，这些排水系统排水原理和效能各不相同，究竟工程中选用何种排水系统，既能达到安全排水，又能降低工程造价和节省能耗，就成为大家越来越关注的问题^[3]。笔者选取目前工程中应用较多的三种屋面排水系统，从设计排水流量、排水面积、管道压力变化和造价等方面进行比较，意在为今后的屋面排水系统选择提供参考依据^[4-5]。

1 方法和材料

选取目前较典型的三种屋面排水系统：重力流屋面排水系统（以 87 型雨水斗为例）、虹吸式屋面排水系统和屋面雨水流量控制系统，研究主要采用构建模型模拟加实测数据验证的方法进行分析比较。

1.1 三种系统简介

重力流屋面雨水排水系统主要有重力无压流和半有压流，因纯粹的无压流排水是一种较新型的排水，目前国内应用较少，所以国内的重力流雨水排水系统一般均指半有压的雨水排水系统，其中以 87 型雨水斗应用最为普遍，这种系统构造简单，将雨水斗直接设在天沟或屋面较低处，在整个降雨过程中，水流在雨水斗内形成漏斗状水舌，借助悬吊管和立管内的大气压将水排到室外检查井，一般要求悬吊管要有不小于 0.005 的坡度，立管管径也较大；虹吸式雨水排水系统因雨水斗内有整流罩，可以消除水流的涡流状态从而使设计降雨强度下的雨水斗内不掺空气，整个悬吊管和立管中的水流呈现满流压力流状态，因此整个排水过程就是一个虹吸过程，悬吊管也不需要设置坡度，立管管径也可以适当设计较小；雨控型雨水排水系统的核心是雨控型雨水斗，借助斗口的堰口来控制进入雨水斗的流量，使得在整个降雨过程中，雨水斗前都有一定的水深，从而可以消减降雨产生的雨峰，而且屋面必须有溢流和防水设施来排除超过设计重现期的雨水以及防止水满流进室内，对于建筑物面的荷载也提出了更高的要求。

1.2 模型构建

将半有压屋面排水系统、虹吸排水系统等采用单斗设计，利用 CAD 建模后采用 FLUENT 软件进行排水过程的模拟，分析三种排水系统的压力、流量等的变化，再和实测资料进行对比分析。其中系统除了选用的雨水斗形式不同以外，排水管管径，长度，布置以及屋面结构和形式均相同。

2 结果与分析

2.1 设计暴雨强度和设计流量

规范推荐设计暴雨强度和雨水设计流量分别采用下列公式：

$$q = \frac{167A(1 + c \lg P)}{(t + b)^n} \quad (2.1)$$

$$Q = j_m q F \quad (2.2)$$

式中：P：设计重现期（a）；

t：降雨历时{min}；

Q：雨水设计流量（L/S）；

j_m ：流量径流系数；

q：设计暴雨强度[L/(s.hm²)]

A、b、c、n 均为当地降雨参数；

F：汇水面积（hm²）。

从上述两个公式来看，在相同条件下（地理位置，汇水面积，屋面形式，雨水管管径均相同），三种屋面排水系统的设计暴雨强度应该是相同的，但是研究发现，与其他两种系统相比，雨控型雨水排水系统的雨水斗具有调蓄雨水的作用，因此降雨历时 t 可以采用室外雨水管渠的设计降雨历时计算公式 $t = t_1 + mt_2$ ，其中 t_1 和前两种系统取一样，为 5min； t_2 根据屋面形式和面积大小确定，m 取 1 以上，一般雨控型屋面排水系统的降雨历时 t 取值是大于 5min 的，因此由公式 2.1 计算出来的雨控型屋面雨水排水系统的设计暴雨强度会比较小，当雨水设计流量一定时，雨控型屋面雨水排水系统可承担的汇水面积将比较大，排水时间将比较长，因此对于降低暴雨洪峰流量和调蓄洪水具有比较明显的作用。

2.2 排水系统排水流量比较

选取虹吸雨水斗和雨控雨水斗为研究对象，当系统都采用单斗形式，排水管管径均为 DN100，通过实测资料发现，排水斗斗前水深和系统排水流量存在如下关系：

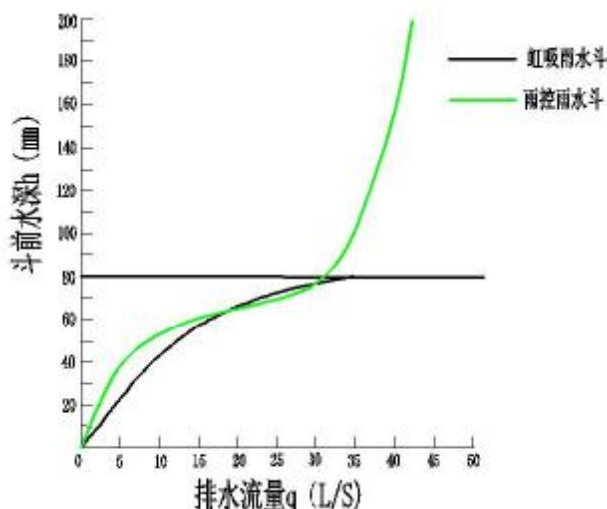


图 1 两种雨水斗斗前水深和排水流量关系

从图 1 可以看出，在降雨初期，随着斗前水深的增加，雨水都的排水流量均在增大，但是同一

时间，一个堰口的雨控型雨水斗的排水能力要低于虹吸式雨水斗，这是因为在泄流的初始阶段，雨控型雨水斗的掺气量较大，泄流量较小，雨水在管内呈附壁流或膜状流，当初始条件相同时，雨控型雨水斗的排水流量小，所以排水历时较长，相比于虹吸式屋面排水系统，雨控型排水系统对于屋面的承重要求较高，因其在排水过程中，屋面总是保持一定的水深，因此对于屋面防水要求也较高，并且要求屋面一定要有溢流设施，防止屋面雨水进入室内。

2.3 排水过程中管道压力的变化

屋面排水系统一般由雨水斗、连接管、雨水悬吊管和排水管组成，见下图 2

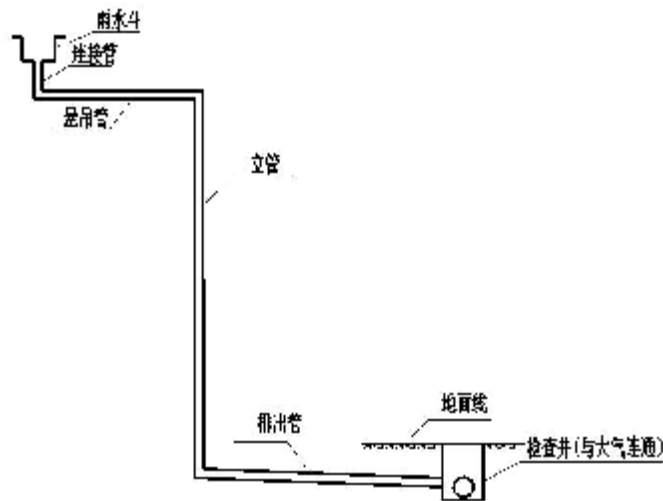


图 2 三种排水系统组成示意图

三种排水系统的组成基本相同，只是雨水斗形式分别为 87 雨水斗、虹吸雨水斗和雨控型雨水斗，雨水管管径均采用 DN100，系统均采用单斗单管的形式，当采用 87 雨水斗的半有压雨水排水系统时，雨水悬吊管采用不小于 0.005 的坡度，其余均和其他两类系统无异，当给定相同的边界条件，通过 ANSYS 系统模拟后发现，当流态稳定后，在连接管、悬吊管和立管中均出现了不同程度的负压，其中虹吸式雨水排水系统在悬吊管和立管连接处的负压达到最大，

整个管道内的压力变化见下图 3 和图 4。

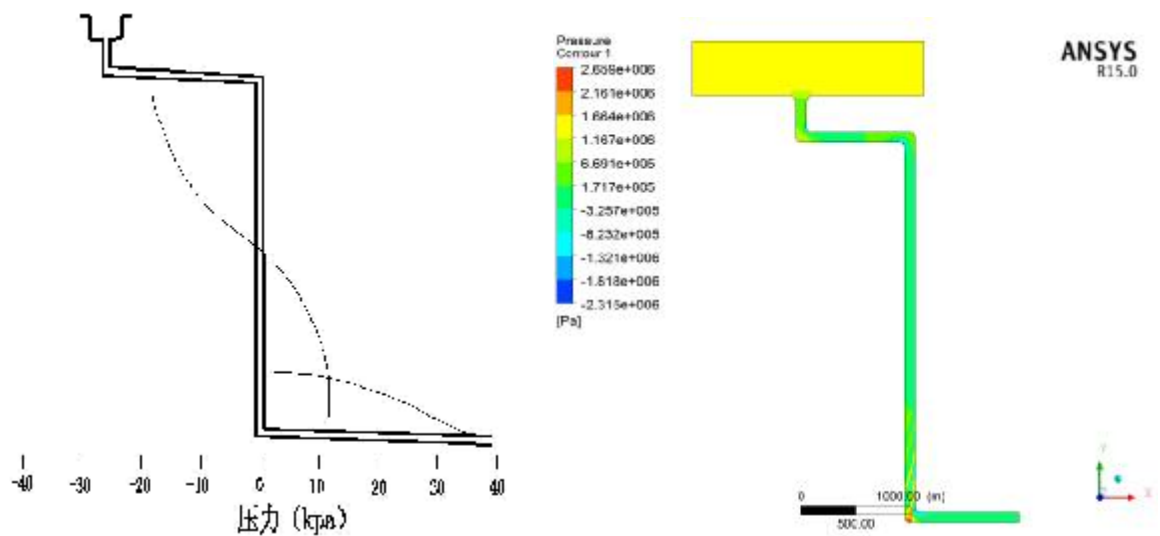


图 3 重力流雨水排水系统的管道压力变化

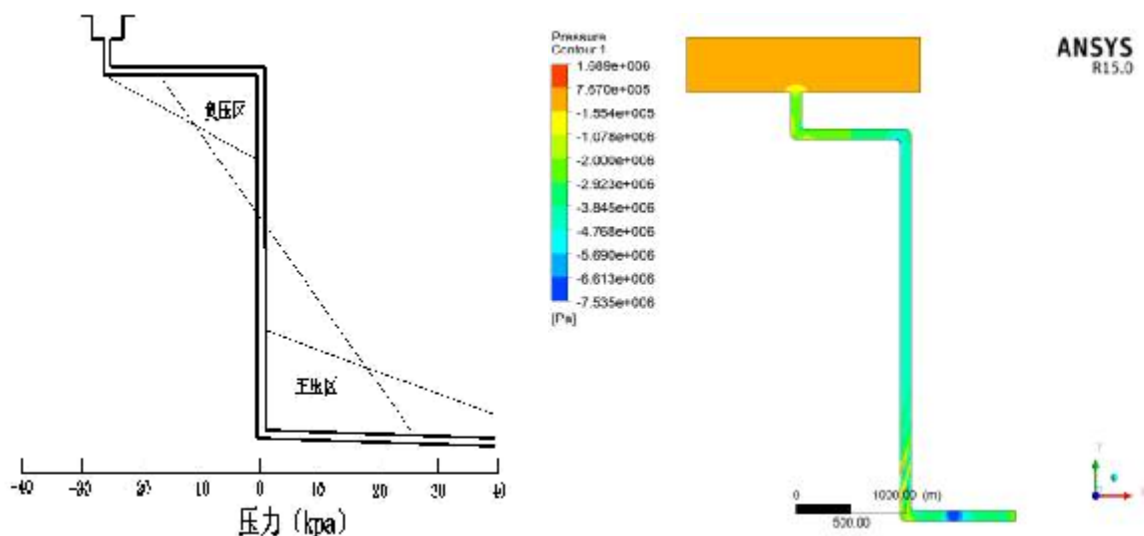


图 4 虹吸雨水排水系统的管道压力变化

从图 3 和图 4 可以看出，由于 ANSYS 模拟时采用简化的二维系统示意图，因此模拟的结果和实际结果存在一定的差异性，虹吸雨水系统的排出管段在模拟过程中局部呈现负压，从水力学的角度讲，这是由于水流经由立管后，流速很高，进入排出管时，水流局部震荡较大，因此产生负压，相比于重力流系统，虹吸雨水系统在立管管段产生的负压范围较大，并且最大负压值也比较大；但是总体来说，两种系统中压力在管道内的分布规律基本一致，最大负压出现在悬吊管和立管连接的地方，在整个立管内，压力逐渐由负压转变为正压，在立管底部，正压达到最大，而在排出管内，压力则不断减小，到排出管和检查井连接的地方，正压几乎为零。另外，利用 ANSYS 系统进行管道压力的模拟时，可以很清楚的看到在排水过程中管道内各个断面前壁和后壁的压力大小以及差异，能更加精确和量化的描述管道的压力分布。

其实管道的这种压力变化也可以通过理论计算得到，以虹吸式雨水排水系统模型为例，建立水力分析图，如图 5 所示，应用伯努利方程可以建立如下能量方程：

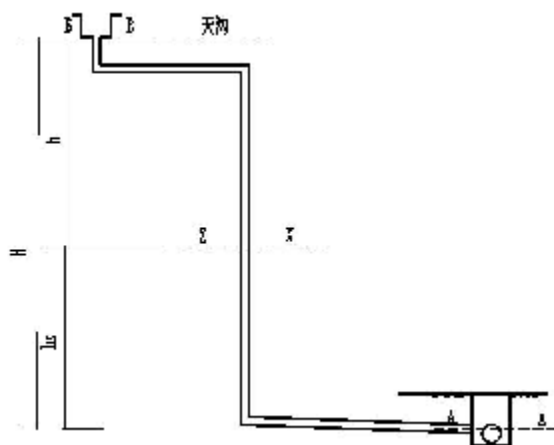


图 5 虹吸式屋面排水系统水力计算图

$$H + P_B + \frac{V_B^2}{2g} = h_x + P_x + \frac{V_x^2}{2g} + h_{j(BX)} + h_{y(BX)} \quad (2.3)$$

公式 2.3 是计算管道内任意断面压力水头的基本公式其中 $h_{j(BX)}$ 和 $h_{y(BX)}$ 分别为管道中 B-B 到 X-X

断面的总的沿程水头损失和局部水头损失，当 $P_B=0, V_B=0$ 时， P_x 即为管道内 X-X 断面的压力水头，

从图中 $h = H - h_x$ 可得

$$P_x = h - \frac{V_x^2}{2g} - h_{f(BX)} - h_{y(BX)} \tag{2.4}$$

公式 2.4 表示，管道中任意一点的压力水头等于雨水斗至该点的高差减去该点的流速水头和相应的总水头损失，当计算出来的 $P_x > 0$ ，表示该点为正压，当 $P_x < 0$ ，表示该点为负压，计算结果和我们实测的结果以及模拟的结果是对应的。一般虹吸式雨水斗都有较大的水头损失，加上管道比较细，流速比较高，而可利用的水头又不大，因此管道内常常呈负压，尤其在悬吊管内，可以用水头保持不变，但是水头损失不断增大，因此在悬吊管的末端，管道内呈现最大负压，进入立管后，可利用水头不断增大，而总水头损失的增加却并不大，管道内压力不断增大，逐渐出现正压，到立管末端，正压达到最大，在排出管中，由于和检查井相连，因此到排水管出口处，管道压力变为 0。

2.4 系统最大排水面积

三类排水系统的最大排水面积见下表 1

表 1 三类雨水斗的最大排水面积（单位 m²）

Tab1:The maximum drainage area of three rainwater heads(unit:m²)

87 型雨水斗	虹吸型雨水斗	雨控型雨水斗
800	1250	1356

注：表中系统管道均为 DN100，系统均为单斗形式，雨控型雨水斗为一个堰口。

从表 1 可以看出，雨控型雨水斗的排水面积最大，主要原因有两个：一，根据公式 2.1 和 2.2，雨控型雨水斗的排水时间 t 一般大于 5min，而其他两类系统的排水时间均选 5min，因此雨控型雨水斗的设计暴雨强度 q 较小，在同样的排水流量条件下，可承担的排水面积较大；二，相同条件下，雨控型雨水斗的排水流量较小，对于屋面雨水能够起到延长排水历时，削峰填谷的作用，因此可以允许屋面在较长时间内有一定的积水，因此可以承担较大面积的排水任务。

2.5 三类排水系统综合比较

从工程造价、系统安装的难易程度和对建筑物的影响等几方面综合比较三类屋面排水系统的排水效能，结果见下表 2：

表 2 三种排水系统排水性能综合比较

特点 \ 系统类别	87 型雨水斗	虹吸型雨水斗	雨控型雨水斗
水流形态	气水混合流	水汽	附壁膜流
设计重现期选择	2a	2~5a	2~5a
排水流量	大	大	小
排水面积	小	小	大
排水历时	短	短	长
管道有无压力	无压或半有压	有压	无压
对管径要求	粗	细	细
对悬吊管要求	不小于 0.005 坡度	水平	水平
屋面溢流	无单独一流设施，靠系统本身排除超设计重现期雨水	超设计重现期雨水主要靠溢流设施	需要专门设置溢流设施

管材用量	多	少	少
排水速度	一般	快	慢
屋面承重要求	一般	一般	高
可利用水头要求	无要求	有较大的水头	无要求
可否自清洁	不能	能	不能
建筑美观影响	影响建筑美观	不影响	不影响

从表 2 可以看出,重力型雨水排水系统,由于悬吊管需要设置坡度,占据空间,而且其管径粗,管材用量多,影响建筑美观,因此一般大型屋面和建筑美观要求高的建筑应避免使用;虹吸雨水排水系统由于布置灵活,立管数量少,管径小,不影响建筑美观,而且其排水流量大,流速高,本身还有自净功能,因此大型屋面和高层建筑推荐使用;雨控型雨水排水系统作为一种较新型的排水系统,对于城市屋面洪峰的削减具有不可替代的作用,而且其管径小,对城市排水管网的负担小,在节能减耗方面具有很大的潜力,但是因其对屋面的承重和溢流要求较高,因此在实际应用中可以在局部规模使用。

3 结论

不同的屋面排水系统其排水效能差异较大,总体来说,重力流屋面排水系统管径粗,流量大,能够在较短时间排除屋面雨水,但是因为其需要的管材多,而且悬吊管需要设置坡度,因此影响建筑美观;虹吸式雨水排水系统排水流量大,管径小,利用管道内产生的负压也能在很短时间将雨水排除,并且其悬吊管水平设置,管道用量少,还有自净功能,因此在大型屋面和高层建筑中推荐使用;雨控型雨水系统对于消减城市洪峰,节能减耗方面具有非常大的潜力,并且其应用在国外已经比较成熟,因此未来绿色建筑的发展可以考虑规模化应用。

参考文献

- [1]潘俊杰,何蓉.压力流虹吸式屋面雨水排水系统的设计与应用探讨[J].中国给水排水.27(14),2011:27~30
- [2]陆均华.屋面雨水流量控制系统初探[J].给水排水.36(10),2010:83~86
- [3]刘国强,李卫列,郝晓东.屋面虹吸式雨水排水系统的构造及技术优势[J].建筑技术.36(5),2005:360~361
- [4]付永坚.浅谈虹吸雨水系统在铁路车站排水中的应用[J].福建建材.2013(3);36~37
- [5]杨一夫,高海鹰,刘焱等.虹吸式屋面雨水排除系统[J].能源与环境.2010(1):18~20

作者简介: 何婷婷,女,1985年10月生,硕士研究生,2010年毕业于西北农林科技大学,讲师,现为江苏建筑职业技术学院老师,主要研究方向为节水技术,联系电话:18752183612,E-mail:htt821002@126.com
邮编:221116,通讯地址:江苏省徐州市泉山区学苑路26号江苏建筑职业技术学院