

「少年学者」

土拨鼠洞穴的气动特性及仿生通风系统研究

王胤媛*

Junyuan secondary School 新加坡

摘要: 我受《画说流体力学》启发, 设计了无需额外动力的通风系统。研究中设计三种模型, 两种基于伯努利原理的管道 A 和 B, 一种传统电力驱动风扇样本作对照。测试表明, 双侧弧面的 B 型管道优于单侧弧面的 A 型, 外界风速与换气道内气流速度呈线性关系, B 型斜率 0.58, 即室外 1 米/秒的风可引起 0.58 米/秒换气, 优于 A 型的 0.24。与传统风扇对照排烟实验显示, 无动力管道排烟略逊, 排清烟雾平均 35 秒, 传统风机 30 秒, 但无动力管道不受断电等影响, 随时可运作。目前研究取得初步效果, 设计了更完善气流运行系统, 模拟了土拨鼠洞穴效果。日常利用伯努利原理, 有风时可缓慢换气; 应急时能更好排烟, 提升生存能力。

关键词: 土拨鼠洞穴; 伯努利原理; 烟雾; 换气; 排风

1 引言

1.1 课题来源

我平时爱看科技类书籍,《画说流体力学》书中《通风专家土拨鼠》章节吸引了我。土拨鼠洞穴一般长十多米、深几米, 本应缺氧, 但土拨鼠却生活得好, 说明洞穴有通风性。通风要诀是洞穴有两个外部形状不同的洞口, 一个在土堆上, 另一个外无土堆。微风沿地表吹过, 气流绕土堆流动, 因附壁效应在有土堆洞口产生负压, 另一侧洞口保持大气压力, 洞穴两端形成压力差, 空气从压力高的洞口流入、从压力低的洞口流出。那么, 能否将此想法用于家用通风呢? (图 1)

1.2 研究背景

我用“土拨鼠”“洞穴”“通风”等关键词在知

网等网站组合搜索, 发现以伯努利原理为通风方式的研究少^[1], 缺乏前人研究, 只有部分描述土拨鼠洞穴的相关内容^{[2][3]}, 于是查找传统通风方式研究。

室内通风从实现机理分两种^[4]: 空调通风系统通过布置送风口、排风口来机械通风; 建筑门窗通过开启或缝隙渗透来自自然通风。土拨鼠洞穴是典型自然通风, 进一步查询自然通风方式, 有“热压自然通风”与“风压自然通风”。热压自然通风由空气密度不同引起, 因强度与建筑高度有关, 又称

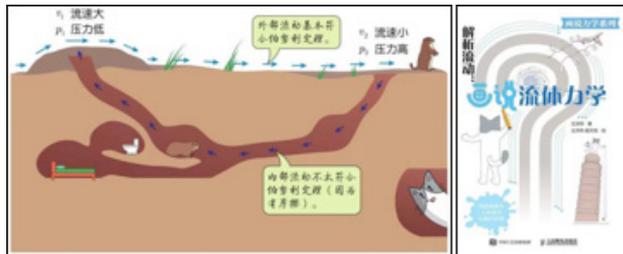


图 1 土拨鼠洞穴通风原理图

* 通讯作者: 王胤媛; 单位: Junyuan secondary School 新加坡

收稿日期: 2025-12-21 录用日期: 2026-02-09

DOI: <https://doi.org/10.58244/jie.263601>

“烟囱效应”，室内外温差越大、建筑物越高，效应越明显。风压自然通风由建筑物阻挡，迎风面动压降低、静压增高，其他三面墙产生局部涡流使静压降低，由压差产生；当室内仅一个可开启窗口或室内外压差相同时，空气停止流动。风压自然通风与土拨鼠洞穴类似，但需门窗同时打开，很多生活场合无法一直开门开窗，导致该通风方式失效。

1.3 研究目标

综合以上因素，我的研究基于解决弊端，实现不用电、不开门窗的自然通风效果，适应特殊通风场景。总体目标是利用土拨鼠洞穴通风原理设计通风装置，日常模拟土拨鼠洞穴进排气提供缓慢室内换气，应急时提供更好排烟效果和提升人的生存能力。本阶段目标是设计有效果的土拨鼠管道外形，初步测试日常与应急效果，为下一阶段仿真测试做准备。

2 研究方法

首先制作缩小版房屋模型，接着制作 A、B、C 三种模型，其中 A 为单侧弧面的模型，B 为双侧弧面的模型，C 为对照组的普通电动风机；之后测试室外不同风速时对土拨鼠管道的换气效率影响，以测试出最佳构型，同时测试与传统排风扇对比的排烟效率，确定排风并测试实用程度的排气效率；最

后在验证完成后，完善更多设计思路，为后续测试打基础。

2.1 实验仪器与材料

主要实验仪器与材料是管道风机、热敏式风速仪、2mm 亚克力板、5mm 瓦楞、有机玻璃粘合剂、排风扇。

2.2 研究步骤

2.2.1 制作房屋测试模型

房屋采用透明的亚克力板材制作，尺寸： $40 \times 20 \times 30\text{cm}$ 。（图 2）

2.2.2 制作无动力排风模型和对照模型

本课题依据土拨鼠洞穴通风的原理设计了两种形状的通风管结构，无动力通风管 A 模型（单边突起）和无动力通风管 B 模型（两侧突起）。C 为有动力排风模型，是在纸板上安装一个直流 12V 排风扇。模型均采用 5mm 规格的瓦楞板制作。（图 3）

2.2.3 实验测试方法

风机的放置位置为：模型前端距离 40 厘米，风机直接对准导流槽口。

测试方法：转动旋钮，调节管道风机转速，使风机输出不同的风速，利用风速仪测量不同排风模型下，风机出口风速、导流槽区前端风速、换气口风速。（图 4）



图 2 房屋设计与制作



图 3 三种模型与安装示意

2.2.4 实验误差与修正

多次测试后，发现换气口测量的位置、距离都会影响到读数结果。这类似吸尘器的原理，吸的时候，空气是四面八方流入的，所以测试点位稍远，测试结果会有很大差异。

因此，为了减小实验误差，本课题采用多次测量取平均值法。

3 研究结果与讨论

本研究主要是研究一种无动力的利用伯努利原理的通风管。制作房屋缩小模型并对三个测试样本进行测量，发现无动力排风 B 效果最好，结果如下：

3.1 A 模型与 B 模型的测试结果

将两者的测试数据并排比较，B 模型比 A 模型的换气效率高。（图 5）

观察两种模型的结构可知，B 模型比 A 模型多一个半圆型导流带结构，当相同速度的气流进入导流槽区时，气流在 B 模型圆孔处的流速更快，依据伯努利原理，此处的压强就更小，房间内的压强大，此时内外形成更大压强差，房间内的气流通过换气口流出的速度就增大。

3.2 有动力排风模型测试

由于排风扇为固定风速，因此无法将性能更好的 B 模型与有动力排风模型进行多风速比较。因此需要换一种方式进行对比。

假设一间空房间的真实尺寸为 $4 \times 3 \times 3$ m，其空气容量为 36 立方米，本课题设计制作的房屋模型尺寸为 $40 \times 30 \times 20$ cm，其空气容量为 0.024 立方米，真实房屋的空体容量约为实验房屋模型空体容

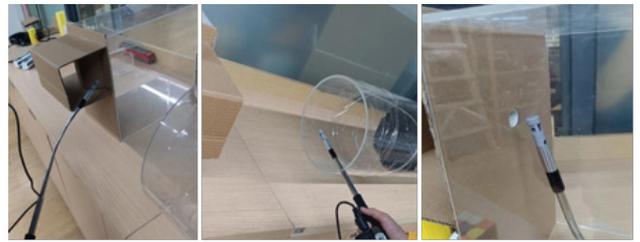


图 4 三个测试点位

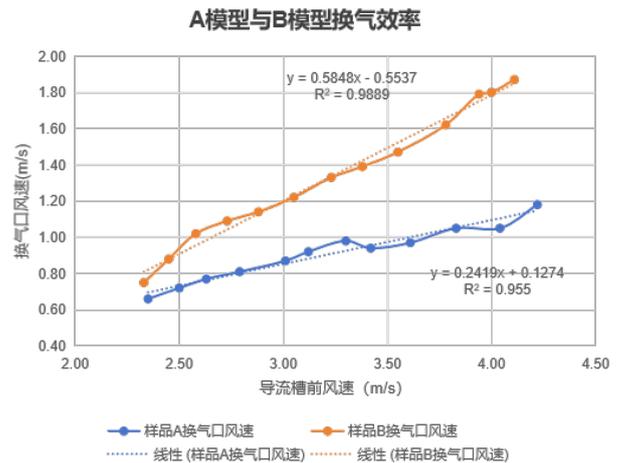


图 5 A 模型与 B 模型测试对比



图 6 有动力排风扇模型风速测试位置

量的 1500 倍。而本课题实验所用的直流 12V 排风扇，转速为 7200 r/min，功率为 2.5 W，一般家庭用的排气扇功率约为 80W，两者相比约为 30 倍。所以试验的风机是超过正常家用的，在房屋模型上安装有动力排风扇能够在一定程度模拟出真实场景，所测量的实验数据在一定程度上能够说明问题。

有动力排风扇模型测试位置如图 6；

表 1 为静风环境下，房间不同位置风速多次测

表 1 基础材料

测试位置	数据1 (m/s)	数据2 (m/s)	数据3 (m/s)	平均值 (m/s)
换气口风速	0.85	0.84	0.80	0.83
房屋中心风速	0.03	0.05	0.04	0.04
门内 1cm 风速	0.07	0.09	0.12	0.09

量得到的实验数据，由数据可以得出，排气扇换气口处的风速为 0.83m/s，而房间中心位置风速很小，几乎为零。门内 1cm 处的风速之所以比房屋中心的风速大，是因为该处受外部环境的干扰较大。

对比无动力通风管模型和有动力排风扇模型的数据可知，有动力风扇的平均值为 0.83，约等于样本 B 的起始速度，这意味着有动力风扇在该场景下效果并不好。

当室外环境无风时，有动力排风扇模型能够加速房间内空气的流动，而无动力通风管模型则对空气的流动不起作用。但是当屋外环境有风速时，无动力通风管模型对屋内空气的流动起到了明显的作用，随着外部风速的增大，无动力通风管模型换气口处的气流流动速度增加，其中 B 模型的换气效率更高。

3.3 进一步直观排气效果比较

为了验证排气效率，在房屋模型内放置一台水雾发生器，并激活 2 分钟，将模型内充满水汽。因为水汽比一般烟雾更重，所以更能测试出排风效果。（图 7）

测试方法：多次进行排风测试，记录在烟雾的增加和消散循环中，烟雾发生器肉眼可见的时间点，并将 B 模型与排风扇模型进行横向对比。（图 8）

由测试数据可知，发生器露出时间越短，说明水雾向外流动越快。对比图上的数据显示可以看



图 7 排烟测试

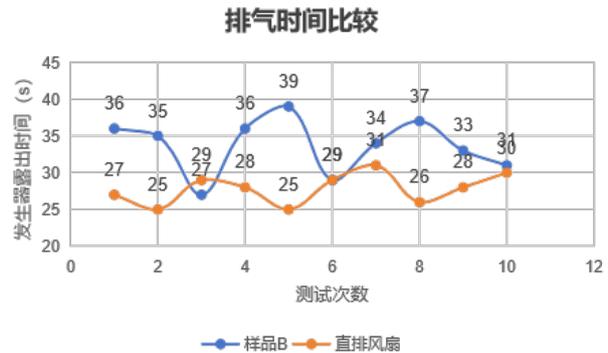


图 8 排气对比数据



图 9 管道安装方法

出，直排风扇的效果更好。

但考虑到如果发生火灾时，直排风扇的电源可能发生状况，因此在这种特殊情况下，只有 B 模型有可能进行抽风，而直排风扇只能作为空气从房间内涌出的管道。

3.4 综合分析

根据以上的实验结果，我进一步设计出了一个

安装构思, 将土拨鼠管道安装在房屋上方。(图 9)

日常: 再小的风速, 也能仿照土拨鼠洞穴, 形成室内循环。伯努利管道因为室外风而产生缓慢换气, 此时房间角落的平坦通气孔可以进气。

应急: 而当屋子内发生火灾时, 火灾形成了热压风, 往窗外涌出的浓烟经过管道, 形成管道附近的大风速, 从而加速管道的排烟效果。而此时人低俯在安全区域时, 通气口能保持更多的进气。不过该设想待下一步证实。

4 结论

4.1 总结

我设计了一种不需要额外动力的通风系统。日常时, 利用伯努利原理, 外面有风就能为房间缓慢换气。应急时, 在普通风机不能使用时体现用处大, 涌出窗口的浓烟流经土拨鼠管道, 可以加剧室内浓烟的排出, 而房间下方的进气道能提供更多新鲜空气, 增加人的生存能力。

(1) 对比伯努利管道 A 和 B 的换气效率, B 模型的换气效率更高, 斜率为 0.58, 即 1 米 / 秒的室外风, 为伯努利管道提供了 0.58 米 / 秒的换气速度, 并且随着外部环境风速的增大, 其换气口处的风速增大, 达到了不提供动力能够排风的效果。

(2) 有动力排风扇模型能够在一定程度上还原

真实家庭安装排风扇的场景, 所测试的数据说明排风扇能够对房间内的气流起到推动作用, 但在火灾时, 断电会让其和窗户一个功效。

(3) B 模型和排风扇模型的直观排气效果比较, 虽然排气扇模型效果更好, 但是当发生火灾时, 排风扇很大程度上会因无法提供动力而不能进行抽风。B 模型即使外部风速很小, 也可以进行抽风。

4.2 展望

虽然目前已经达到了初步效果, 但是并没有更全面的测试, 比如无动力通风管模型的造型、弧度、换气口大小等因素对实验结果的影响, 下一步可以针对这些影响因素进行实验探究。

参考文献

- [1]. 刘凯凯. 基于“仿生”的通风空调管道三通减阻方法研究[D].西安建筑科技大学,2019. DOI:10.2019.001412.
- [2]. 王登.土拨鼠:草原上的“建筑大师”[J].知识就是力量,2020(01):20-23.
- [3]. 孙忻,王丽.动物建筑师[J].百科知识,2002(04):26-27.
- [4]. 段双平,张国强,彭建国,周军莉.自然通风技术研究进展[J]暖通空调 HV&AC,2004(3):22-28

Pneumatic Characteristics of Marmot Burrows and Research on Biomimetic Ventilation Systems

Wang Yinyuan

Abstract: Inspired by Illustrated Fluid Dynamics, I designed a ventilation system that operates without additional power. The study involved designing three models: two ducts (A and B) based on Bernoulli's principle and one traditional electrically powered fan as a control. Test results showed that the B-type duct with double-arc surfaces outperformed the A-type duct with a single-arc surface. A linear relationship was observed between external wind speed and airflow velocity in the ventilation ducts, with the B-type duct achieving a slope of 0.58 (meaning 1 m/s of external wind induces 0.58 m/s of airflow), compared to 0.24 for the A-type duct. In smoke extraction experiments compared with the traditional fan, the no-power duct performed slightly less efficiently, taking an

average of 35 seconds to clear smoke versus 30 seconds for the traditional fan. However, the no-power duct remains operational at all times without being affected by power outages. The preliminary research has yielded promising results, leading to the design of a more refined airflow system that simulates the ventilation effects of marmot burrows. In daily applications, the system utilizes Bernoulli's principle to enable slow air exchange when wind is present. In emergencies, it can efficiently extract smoke, thereby enhancing survival capabilities.

Keywords: Marmot burrows; Bernoulli's principle; Smoke; Air exchange; Exhaust ventilation

导师点评

周扬，南京传媒学院 这篇论文从土拨鼠地洞的自然通风现象中汲取灵感，巧妙运用伯努利原理设计出无动力仿生通风系统，是一篇兼具科学性与实用性的优秀实践成果。

钱飞，个旧市第一中学 研究步骤和研究结果与讨论这两点写的很细致，完整地呈现了整个研究细节，是一项非常好的研究作品。

陈登民，山东省曲阜市杏坛中学 通过对土拨鼠洞穴通风原理的探究，提出了一种建筑通风的设计方案，实验过程完整，数据较全面，这种室内环境自然通风降温的方案和降低对能源依赖的科学理念，符合人与自然和谐共生的科学发展观。建议模型制作更精致美观，并附上三维图。

龙方和，贵阳市清华中学 展示了出色的仿生学应用与工程实践能力。从教学视角，课题完美诠释了“从科普阅读到科学探究”的转化过程，极具示范价值。此外，本文完整性高，覆盖了设计、测试、对比、应用的全流程，科学性强，实用性显著，创新性明确，展现了优秀的跨学科思维、模型构建与问题解决能力，并对实际应用场景有深刻思考。