

# 重庆市建筑孔桩有限空间事故的气象诱因初探

陈施吉 唐家萍 王远谋  
(重庆市气象服务中心, 重庆 401147)

**摘要:** 统计了2011—2017年重庆市建筑孔桩有限空间安全事故信息, 发现重庆地区的孔桩事故均发生在夏季, 主城区和渝西地区为事故高发区。选取潼南“6.22”事故为典型案例, 综合分析了气象监测数据、NCEP/NCAR再分析资料等, 总结造成孔桩事故的气象诱因如下: 夏季易产生降水, 雨水渗透入土壤中, 降低了土壤通气性, 还会携带有毒有害气体向低处汇集; 温湿条件适宜, 人体舒适度较高, 作业人员易放松警惕; 风速较小, 有毒有害气体容易积聚; 冷空气入侵, 地面气压增高, 有毒有害气体不易扩散。

**关键词:** 重庆, 孔桩, 有限空间, 安全事故, 气象诱因

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.02.014

## The Meteorological Causes of Digging Pile Accidents in Chongqing

Chen Shiji, Tang Jiaping, Wang Yuanmou  
(Chongqing Meteorological Service Center, Chongqing 401147)

**Abstract:** According to the statistics of safety accidents which occurred in confined space of construction piles in Chongqing from 2011 to 2017, accidents always occur in summer, while the main city and western region in Chongqing are high incidence areas. Taking the “6.22” accident in Tongnan as an example, synthesize the meteorological monitoring data and NCEP/NCAR reanalysis data, concluding the meteorological causes of digging pile accidents as follows: 1) The rainfall penetrates into the soil, reduces the soil ventilation, and carries toxic and harmful gases to the low place; 2) Human bodies feel comfortable in appropriate conditions of temperature and humidity, therefore operators are easy to relax their vigilance; 3) Small wind speed makes toxic and harmful gases easy to accumulate; 4) Cold air raises the surface pressure, toxic and harmful gases are hard to spread.

**Keywords:** Chongqing, construction pile, confined space, safety accident, meteorological cause

### 0 引言

有限空间是指与外界相对隔离、封闭或者部分封闭的空间。有限空间的出入口较为狭窄, 通风状况不良, 有毒有害、易燃易爆物质易于积聚且含氧量不足<sup>[1]</sup>, 从而容易发生中毒、窒息、爆炸等安全事故<sup>[2]</sup>。许多领域都存在有限空间危险作业, 建筑孔桩便是其中之一<sup>[3]</sup>。

近年来, 国内外学者通过对有限空间的深入研究, 发现有限空间的作业安全与气象条件存在一定程度的关联。高建明等对有限空间的概念、分类、风险控制等进行了系统阐述, 指出了风险分析和控制的关键点<sup>[4]</sup>。Meyer将有限空间分为物理危害和大气危害两大类, 其中大气危害包括有毒气体、易燃气体等<sup>[5]</sup>。周兴藩等发现我国大多数有限空间事故发生于建筑、市政设施管理等行业, 主要源于硫化氢、一氧化碳

等气体中毒, 以及甲烷、氮气等富集导致的缺氧窒息<sup>[6]</sup>。Pettit等列举了多个有限空间事故案例, 并指出这些事故的原因是有机物分解生成硫化氢<sup>[7]</sup>。马卫国指出北京市的有限空间事故主要发生在6—8月, 6月最多, 死亡原因主要是硫化氢中毒和缺氧窒息<sup>[8]</sup>。刘艳等的研究表明有限空间作业事故多发于夏季, 区域内事故起数与其常驻人口数据有关<sup>[9]</sup>。秦妍等认为夏季高温、高湿、多雨的气象条件将提高有限空间事故的发生概率<sup>[10-12]</sup>。

建筑孔桩属于有限空间, 其作业安全也受到气象条件的影响。建筑孔桩作业的常见安全事故之一是孔内有害气体导致人员中毒昏迷甚至死亡<sup>[13]</sup>。徐益敏发现吉林市一起孔桩中毒事故的直接原因是作业环境温度偏高, 孔内形成负压<sup>[14]</sup>。黄腾霄等分析了多起人工孔桩安全事故实例, 其中一起事故的原因正是受气温影响, 大量有毒有害气体突然冒升至孔口导致人员死亡<sup>[15]</sup>。对有限空间事故的调查结果表明, 气象条件对建筑孔桩有限空间的作业安全有一定影响。但是,

收稿日期: 2020年3月31日; 修回日期: 2020年12月10日  
第一作者: 陈施吉(1989—), Email: 793026229@qq.com

目前从气象角度出发分析影响机理的相关研究仍然较少。本文拟探究重庆市建筑孔桩作业事故的气象诱因,分析气象条件对作业安全的影响,为有限空间的安全生产提供保障。

## 1 资料来源

本文采用的气象观测数据和再分析资料分别来

源于重庆市气象局、美国国家环境预报中心和国家大气研究中心的NCEP/NCAR I,重庆市生产总值数据(GDP)取自重庆统计年鉴。表1给出了2011—2017年重庆市建筑孔桩有限空间安全事故信息(数据来源于重庆市应急管理局),在6起孔桩有限空间安全事故中,有5起事故是中毒或窒息引起,且致死率较高

表1 2011—2017年重庆市建筑有限空间安全事故信息

Table 1 Construction accidents of confined spaces in Chongqing from 2011 to 2017

序号	日期	时间	地区	地点	等级	种类	死亡/人	经济损失/万	调查报告
1	2011-08-09	约10:00	北部新区	孔桩	较大	窒息	4	/	无
2	2012-08-01	约07:00	荣昌	孔桩	较大	窒息	4	/	无
3	2014-06-12	/	巴南	孔桩	较大	/	3	/	无
4	2015-06-14	/	巴南	孔桩	较大	中毒	3	/	无
5	2016-06-22	约06:00	潼南	孔桩	较大	中毒窒息	3	约340	有
6	2017-06-02	约18:00	大渡口	孔桩	较大	中毒窒息	3	/	无

(死亡人数 $\geq 3$ 人),均为较大安全事故,其中2016年6月22日发生于潼南的安全事故提供了较完整的调查报告。

## 2 事故特征分析

### 2.1 时空特征

图1a显示,6起建筑孔桩有限空间作业安全事故的发生时间集中于6月或8月,即夏季是建筑施工有限空间作业安全事故高发季;图1b显示,2011—2017年的建筑孔桩有限空间作业安全事故有4起发生于主城区,2起发生于西部地区,其余地区无事故发生。结合图1c各区域年均GDP分析,主城区和渝西地区的GDP分别占比43%、17%,贡献度列居第一、二位,表明建筑

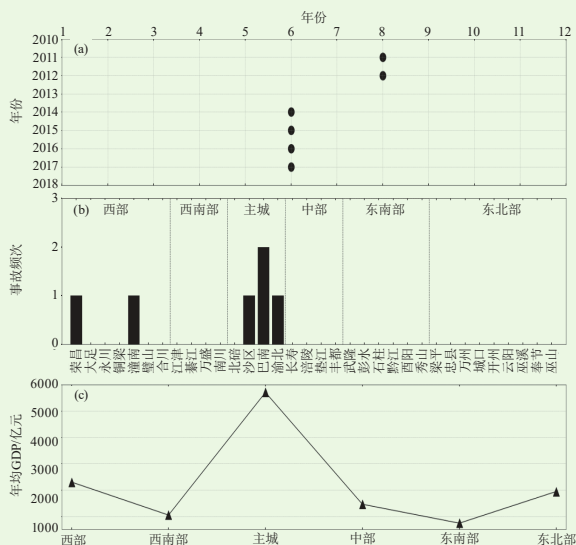


图1 重庆市建筑有限空间事故的时空分布特征

Fig.1 Feature distribution of construction accidents of confined spaces in Chongqing

孔桩有限空间的事故容易发生与经济发展较快有关。

### 2.2 天气特征

图2给出孔桩安全事故的气象特征。图2a表明6起事故发生前24小时内,大气相对湿度均高于50%,其中相对湿度为80%以上的事数量占比67%,同时风

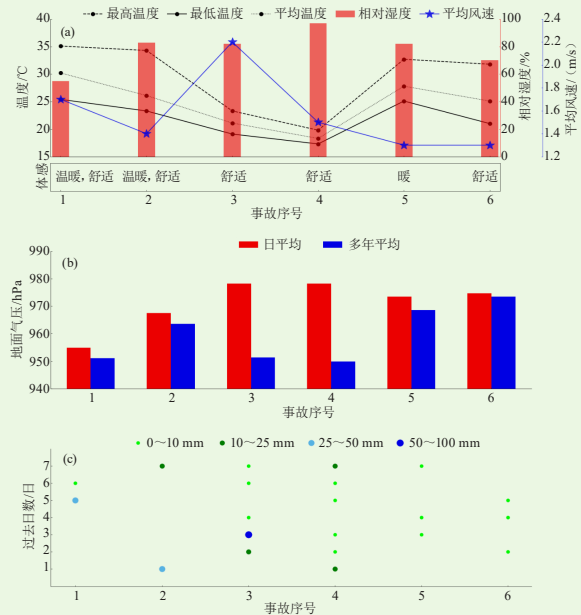


图2 重庆市建筑孔桩有限空间安全事故气象特征

(a) 事故发生前24小时内温度、相对湿度、风速及人体舒适度分布; (b) 事故发生前24 h内地面气压分布; (c) 事故发生前一周内(24~168 h)降水分布

Fig.2 Meteorological feature of construction accidents of confined spaces in Chongqing.

(a) air temperature,relative humidity, wind speed and human comfortable index of 24 hours before accidents happened; (b)atmospheric pressure of 24 hours before accidents happened; (c) precipitation of a week before accidents happened

速均小于3级。

$$CI = (1.8T + 32) - 0.55 \times (1 - 0.01Rh) \times (1.8T - 26) - 3.2\sqrt{V} \quad (1)$$

式(1)中,  $T$ 为温度(°C),  $Rh$ 为相对湿度(%),  $V$ 为风速(m/s)。

表2 人体舒适度指数9级分类等级

Table 2 The human comfortable index grades

舒适度指数	<20	20~40	41~50	51~60	61~70	71~75	76~80	81~85	>85
等级	-4级	-3级	-2级	-1级	0级	1级	2级	3级	4级
人体舒适	寒冷	冷	凉	凉爽, 舒适	舒适	温暖, 舒适	暖	热	炎热

于多年平均值, 这是由近地面冷空气入侵引起。图2c为事故发生前一周的降水统计, 可见事故发生前一周均有降水产生, 雨量以小雨到中雨为主。

综上, 重庆市建筑孔桩有限空间作业安全事故特征如下: 1) 夏季是作业安全事故高发期; 2) 主城区、渝西是孔桩安全事故主要发生地, 主城区尤甚, 这与该地区的高GDP显著正相关; 3) 孔桩安全事故发生时, 人体感觉舒适; 4) 孔桩作业事故发生当日, 地面气压高于多年均值; 5) 孔桩安全事故发生前一周有两天以上降雨过程。

### 3 典型案例分析

为深入分析建筑孔桩有限空间事故的气象诱因, 综合考虑资料完整度、事故发生地与气象监测站距离等因素, 选取2016年6月22日发生于潼南的“6.22”事故(以下简称“6.22”事故)进行深入分析。

2016年6月22日, 潼南航电枢纽工程移民专项设施迁改建工程C标段发生一起中毒窒息事故, 造成3人死亡、直接经济损失343.7万元。经技术组专家及调查组的调查取证, 分析认定此次事故的直接原因之一是近期连续降雨导致有毒有害气体随渗漏水向低处汇集。

图3给出“6.22”事故当日及前四日的气温、气压、降雨量分布特征。可见, 事故发生前(6月19

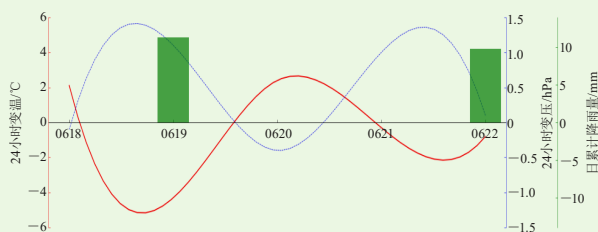


图3 潼南“6.22”事故气象要素特征 (红色曲线表示24 h变温, 蓝色曲线表示24 h变压, 绿色柱状表示日累计降雨量)

Fig.3 Meteorological feature of the “6.22” accident in Tongnan (24 h temperature change are marked by red line; 24 h pressure change are marked by blue line; daily rainfall are marked by green column)

根据式(1)<sup>[16]</sup>, 基于空气温度、相对湿度、风速等气象要素, 计算人体舒适度指数, 并根据表2的9级分类法<sup>[16]</sup>对舒适度进行分级, 发现6起安全事故有5起舒适度等级在0~1级的区间内, 人体感觉为舒适。

图2b表明6起事故发生前24小时的地面气压均高

日)、事故发生当日(6月22日)潼南出现了小雨量级的降水, 同时还伴有气压升高、气温降低现象, 表明两场降雨地面均伴有冷空气入侵。

图4为“6.22”事故地点的气象要素时间垂直剖面图。由图可见, 事故发生当日及前四日的大气运动垂直速度以绝对值偏小的负值为主, 表明事故地点上空空气的上升运动非常弱; 18日至事故当日(22日), 低层大气相对湿度始终大于80%, 并在19日、22日的降雨发生前进一步增加, 表明近地面的一直处于高湿状态。

综上所述, 冷空气入侵、降雨、弱上升气流以及高相对湿度是可能会诱发安全事故的因素。

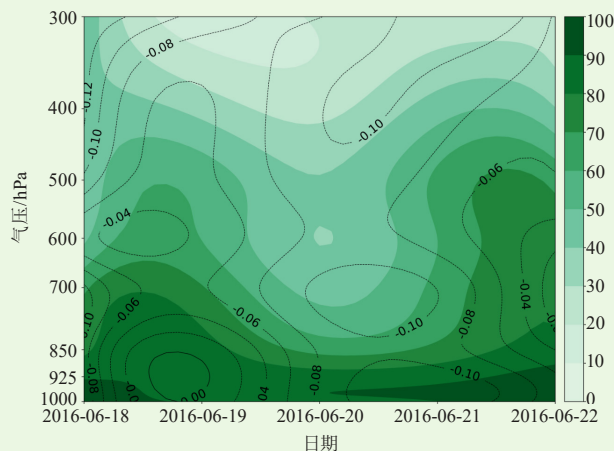


图4 潼南“6.22”事故地点气象要素时间垂直剖面图 (阴影表示相对湿度(%), 等值线表示大气运动垂直速度(m/s))  
Fig.4 Vertical profiles of the “6.22” accident in Tongnan (Relative humidity is shaded; vertical wind speed is marked by isoline)

### 4 气象诱因分析

通过统计分析重庆市建筑孔桩有限空间作业安全事故的时空特征与气象特征, 并选取潼南“6.22”事故案例, 分析大气环流形势, 结果表明降水、气压、温度、湿度、风速等气象因素对孔桩作业安全有影响。

气象因子可能的影响机理如下：1) 夏季高空槽与低压气旋、西南气流与低空风切变等天气系统活动频繁，易造成降水，雨水降落至地表，渗透进地下，渗透水会携带土壤中的有毒有害气体向低处汇集，同时还会降低土壤的通气性，减少作业空间含氧量，因此在降雨发生后进行的孔桩作业危险性更高；2) 温度、湿度、风速三因素决定了人体舒适度，如果夏季在孔桩内作业人员遇到适宜的温度或湿度条件，人体感觉较为舒适，就更容易放松警惕，从而增加事故发生概率；3) 当风速较小时（风力等级<3级），孔桩内空气流动性更差，有毒有害气体大量积聚于孔桩内，构成潜在的安全隐患；4) 冷空气入侵，地面气压增高，孔桩内的有毒有害气体不易向外扩散，容易诱发安全事故。

综上所述，在进行建筑孔桩有限空间作业前，应当进一步加强孔桩安全检查，并强调作业人员安全教育，提高作业人员的安全防范意识。入孔作业前，一定先要用通风设备对人工挖孔桩进行换气，并进行有害气体浓度检测。如果孔桩作业位置附近出现了降雨，随后数日作业人员应更加提高警惕。

## 5 结论

本文基于重庆市2011—2017年间的建筑孔桩有限空间安全事故信息、气象观测资料、NCEP/NCAR再分析资料等，归纳统计了重庆市建筑孔桩有限空间事故的时空特征与气象特征，结果表明夏季为事故高发时段，主城区和渝西地区为事故多发地区，这与地区生产总值（GDP）显著正相关。

选择2016年6月22日在潼南发生的孔桩安全事故为个例，综合分析了该事故发生期间及发生前的大气环流形势，分析了气象因素对建筑孔桩有限空间安全事故发生的可能影响机理，总结如下：

重庆市孔桩安全事故发生前一周均有2天以上降水产生，雨水渗透进入土壤，降低了土壤的通气性，有限空间含氧量降低，同时渗透水还会携带土壤中的有毒有害气体向地势低的地方汇集，这为低洼处的孔桩作业点留下了安全隐患。

重庆市孔桩建筑有限空间的安全事故发生时，湿度大但温度不高，人体感觉均比较舒适，作业人员会很容易放松警惕，进而加大作业安全事故发生概率；

大气环境风速较小时，孔桩内的有毒有害气体向外扩散难度增加，易于在孔内积聚，形成潜在的安全隐患。

遇冷空气入侵时，地面气压的增大将使得孔桩内的有毒有害气体难以向孔外扩散，进而加大安全事故发生概率。

因此，建筑孔桩有限空间作业前，应加强安全检查，及时对作业人员进行安全作业教育，增强作业人员的安全防护意识，并提前使用通风设备为孔内换上新鲜空气。如果作业前数日出现了降雨过程，随后数日应进一步提高警惕，加强天气变化情况监测。

## 参考文献

- [1] 北京市安全生产监督管理局. 北京市有限空间作业安全生产规范（试行）. 北京: 北京市安全生产监督管理局, 2009.
- [2] 许楠, 张礼敬, 陶刚. 受限空间作业危险性分析及安全防范措施. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(10): 160-165.
- [3] 黄郑华, 李建华, 边成, 周杰. 有限空间作业危险因素分析与安全措施. 中国公共安全(学术版), 2009(4): 61-65.
- [4] 高建明, 魏利军. 有限空间的危害辨识与风险控制研究. 工业安全与环保, 2005, (6): 53-54.
- [5] Meyer S. Fatal occupational injuries involving confined space, 199—2001. Occupational Health and Safety, 2003, 72(11): 8-64.
- [6] 周兴藩, 杨凤, 郭玲, 等. 2014—2015年全国有限空间作业中毒与窒息事故分析及预防建议. 环境与职业医学, 2018, 35(8): 735-740.
- [7] Pettit T A, Braddee R W et al. Worker deaths in confined spaces. Professional Safety, 1996, 41(11): 22-24.
- [8] 马卫国. 北京市有限空间事故分析及防治措施. 北京水务, 2010, (5): 16-19.
- [9] 刘艳, 杨春丽. 有限空间作业事故特征及其原因分析. 中国安全科学学报, 2017, 27(3): 141-146.
- [10] 秦妍. 2005—2009年北京市有限空间事故分析研究//中国职业安全健康协会. 中国职业安全健康协会2010年学术年会论文集. 北京: 中国职业安全健康协会, 2010: 6.
- [11] 秦妍, 刘艳, 陈娅, 等. 浅析有限空间作业事故应急救援对策. 职业卫生与应急救援, 2016, 34(1): 63-65, 67.
- [12] 王山, 傅贵, 秦妍, 等. 有限空间作业事故原因及预防方法研究. 工业安全与环保, 2012, 38(10): 57-59.
- [13] 庞玮. 人工挖孔桩成孔过程容易出现的事故及预防、处理措施. 建筑安全, 2009, 24(2): 37-38.
- [14] 徐益敏. 对发生在人工挖孔桩内中毒事故的反思. 地质勘探安全, 1999(4): 30-31.
- [15] 黄腾霄, 谷林涛, 林伟雄. 人工挖孔桩安全事故实例及预防. 安全, 2003, (5): 16-18.
- [16] 吉莉, 李家启, 苟思, 等. 重庆地区人体舒适度日数时空变化特征. 气象与环境学报, 2014, 30(1): 88-94.