

试论地下工程安全监测数据预处理技术的应用

刘大帅

山东鲁勘集团有限公司

摘要：随着城镇化进程的深入，大量人口进入城市，对人口的生活工作空间带来了巨大压力，越来越多的地下工程开展建设。对于地下工程来说，就是对地下空间资源进行建造的地下土木工程，涉及地下构筑物和地下房屋，除此之外还包含了更加重要的地下隧道、铁道等等。由于地下工程涉及的环节和内容较多，对技术要求较高，稍有不慎就会引发严重后果。因此，在开展地下工程建设的过程中，需要做好监测数据预处理工作，确保监测数据质量得到持续提升，对岩体参数范围、松动破坏区深度等基础信息全面掌握，开展精准计算，确保地下工程的安全顺利推进。

关键词：地下工程；预处理技术；安全监测数据

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.03.036

我国的一线城市对于地下工程的规模和数量逐渐加大，旨在缓解交通压力。在开展地下工程道路交通建设的过程中，地下工程的安全问题始终放在首要位置，想要确保地下工程安全难度也较大。比如，在建设杭州地铁时发生的路面塌陷事故，虽然事故现场未发现人员伤亡，但疏散了范围内的13幢楼房，疏散住户792户，造成的不良影响是巨大的。在建设地下工程时，安全监测占据非常重要的地位，需要确保每一个环节和部位做好全面管控，对潜在的安全隐患及时发现排除。

一、地下工程和数据预处理技术相关概述

（一）地下工程概述

地下工程（underground engineering）指的是对地下空间资源进行开发利用建造的土木工程，包含了地下通道、水下隧道、公路隧道、地下铁道和地下房屋等。随着我国城市化建设进程的推进，目前对于地下空间的利用率越来越高，在保护地面生态环境的同时，也使人们的生产生活和出行需求得到了有效改善。对于地下构筑物来说，其特征主要包含了以下几方面：第一，工期较长，施工相对较为困难；第二，有良好的防护性能和抗灾能力；第三，有良好的密闭性和热稳定性；第四，有较高的环境效益和社会效益。

（二）数据预处理技术

数据预处理（data preprocessing）指的是对数据进行提前处理。比如，在处理地球物理面积性观测数据时，会提前处理不规则分布的测网，通过计算机进行运算得到更多的剖面测量数据，如：多路编排、垂直叠加等。实际在开展数据预处理工作时，涉及的内容非常繁杂，比较显著的特征是不一致性和不完整性。有很多数据无法进行深入挖掘，实际起到的效果不大，为了提升数据挖掘质量，就会通过数据预处理技术，实现数据集

成、转换、规约等，使地下工程建设需要的时间尽可能缩短。

二、地下工程安全监测中应当注意的问题

为了使土地使用效率得到提升，在地下空间建设的工程就属于地下工程，在建设地下工程时涉及的技术和环节较多，不但技术要求高，相比较地上工程还存在更大的文献性。因此地下工程的影响因素众多，如：岩层间的地下水、裂隙、节理等，都会影响到地下工程的安全性，因此，需要做好全方面、全过程的安全监测工作。

（一）监测侧重点不同

针对不同类型的地下工程项目，要充分了解使用的目的和周边的环境情况，选择相对应的施工方式和载荷，确保安全监测方案符合地下工程建设要求。比如，在建设穿山隧道和地铁工程项目时，前者需要采取截弯取直的方式，这样可以使交通工具快速通过，使通行时间和效率大大提升，并有效降低盘山公路的行驶风险。在开展穿山隧道安全监测工作时，需要全面剖析山体岩层的走向，制作岩层受力图，确保原始围岩的支撑作业顺利开展。而在建设地铁站时，因为主要是城市闹市区开展建设工作，需要充分考虑到上方车流对地下隧道的支撑围岩的稳定性带来的不良影响。因此，在开展建设前，需要全方面测量分析周边环境可能带来的不良影响，杜绝对岩层间的应力平衡出现破坏的情况，分析隧道顶部载荷，确保制定的施工方案规划符合工程实际建设要求。

（二）确定安全监测期限

做好地下工程安全监测，可以为工程建设提供更加全面和翔实的数据，如应力分析、地质信息等，对可能出现的不稳定因素全面掌握，进一步优化工程设计规划，为后期的地下工程建造提供参考。在初期阶段开展安全监测工作时，需要定期进行安全性评价，只有通过监测安全之后，才能开展后续工程。

（三）选取监测仪器

目前的地下工程安全监测工作，在选择监测仪器时存在较多的误区，很多监测人员认为监测仪器精度越高，获得的效果越好。这种错误的观点，就导致在重点监测局部区域时，出现仪器精度与量程出现反比的关系。比如，在监测整体工程时，需要选择合适的监测仪器，选择的监测仪器精度越高，量程越小。因此，要根据工程的实际情况，选择最为合适的监测仪器。

（四）监测自动化

随着时代的发展社会的进步，当前在智能化、自动化、数字化时代背景下，在开展地下工程安全监测工作

时，一定要尽快实现自动化、智能化作业。相关企业要积极引进自动化设备和管理模式，根据被监测对象的重要性和频次确定实际监测情况，避免资源浪费。在应用自动化监测的过程中，需要结合人工监测分析的方式，确保分析报告的准确性和精确性。

三、地下工程安全监测内容

地下工程的安全监测工作，主要内容有工况预测和围岩条件，充分了解工程的支护结构。首先，要结合预测模型要求对监测项目进行确定，对监测测点和测断面科学布置，并对失控关系多加关注。对钻孔监测仪器进行预埋时，要充分考虑到预埋条件的部位，并在仪器、测孔、测点上留有余地，确保在出现新问题或特殊情况时，可以及时进行弥补和修改。

（一）主要监测内容

首先，前期监测。通过原位模型试洞、勘探平洞的方式进行前期监测，在开挖勘探平洞时，可测试声波、应力监测、位移等，剪力计算模型。再通过原位模型试洞进行声波测试和围岩松动、应力、位移的监测，为地下洞室的支护和稳定性研究提供参考。其次，施工期监测。在对地下工程进行施工安全监测的过程中，主要包含的内容有：环境、爆破影响、地下水、位移等信息，并及时反馈监测结果，为设计和施工提供更加全面和精准的数据指导。最后，运行期监测。监测施工现场的结构物、衬砌体、支护、围岩等，为地下工程技术积累提供更多的参考。

（二）需要的监测资料

首先，地质资料。地下工程安全监测需要的地质资源，主要包含了洞室稳定性评价、地下水分布、地震烈度、围岩分类、节理裂隙玫瑰图、平洞展示图、纵横剖面图等等信息。其次，试验资料。包含的内容主要有：模型试验研究报告、软弱结构面力学参数、围岩力学试验参数等。再次，建筑物设计资料。包含的资源主要有：渗流场有限元、地应力场等各种数值计算资料；支护结构、施工程序、地下洞室围岩稳定分析计算评价；纵横剖面等地下洞室布置图。最后，水文气象及其他资料。这些资料主要包含了气温、水位、降雨量等有关的资料。

（三）监测项目及仪器

首先，选择监测项目。在确定工程条件后选择监测项目，全面预测分析工程性状，主要监测目标应当选择能够影响安全的重要因素。并根据实际情况补充施工安全监控资料，确保选择项目的针对性特征得到体现。综合确定工程的经费承受能力、重要性和规则，并对监测项目进行确定，主要涵盖的内容有：支护方式、破坏机制、岩体变形、岩性及断裂构造等。其次，选择监测仪器。根据选择的监测项目选择相对应的仪器，确保满足地下工程的实际使用要求，综合考虑模型试验值大小值、计算值、岩性等信息，并选择布置简单，使用轻便的仪器。最后，布置监测断面。根据施工条件、地质条件等工程的实际需求，对代表性断面进行选择，采用随

机布置和系统布置两种方式，开展局部型布置、非对称型和对称型布置。在布置监控侧面时，需要对时空关系多加重视，打造闭环系统，对整个地下工程的关键部位进行有效控制。在选择断面时，可以概括为辅助断面和主断面两种，要注意施工工序、施工方法、结构物尺寸及形状、围岩形态、岩体结构特性等，多项检测主断面，充分发挥出监测仪器的作用，合理布置监测点，充分掌握围岩性态变化的分布规律，对变形和应力等物理量分布特征进行预测。

四、地下工程安全监测数据预处理

首先，基本原理。对于地下工程的安全监测信息来说，可以描述为空间变化信号和时间变化信号，监测数据分析研究的重要内容之一，就是对特征进行提取，对误差进行消除，确保监测信号的有效性。针对安全监测数据序列来说，可以看成数字信号序列，由不同频率成分组成，主要出现形式为低频，在出现异常或突变时出现形式为高频。作为目前信号处理领域应用最为广泛的一种分析手段，傅里叶变换是由傅里叶在19世纪发表的“热传导解析理论”提出的，但随着时代的发展社会的进步，该理论的缺陷越来越突出，傅里叶变换获取的信息缺乏时间分辨率，只有频率分辨率，无法对这些频率信号出现的时间进行确定。到20世纪，由Gabor提出并逐渐完善的短时傅里叶变换（STFT），对各个方面都起到了推进作用，但对于频域和时域表征信号局部信息的能力提升效果不大，从而产生了小波分析理论。该理论使单分辨率的缺陷得到有效改善，大大提升了频域和时域表征信号局部信息，可以根据信号具体形态对频率窗和时间窗进行动态调整。基于小波变换基础上的小波包变换，能够均匀划分信号频带，在处理小波包信息好价值更大。

其次，变换流程。对地下工程开展安全监测数据预处理工作时，选择的监测数据设备，要体现出的特点主要有：持续时间长、数据量大、类型多，能够对监测数据的处理质量得到提升。在小波分解信息中，分布于低频系数中的变化趋势信息，突变多表现为高频系数的模量极大值。小波分析可以对信息的频率变化进行准确识别，还可以对发生异常的位置进行定位，通过检测模量极大值点对异常信息出现的类型、时间和变幅进行诊断。对于数据降噪监测是非常重要的部分，因为噪声会影响到数据的应用分析研究，对参数估计有较大影响，从而对安全监控模型的拟合效果产生不良影响。因此，在开展安全监测资料应用时，需要判断和处理噪声，确保获取的数据可靠性得到保障。在小波分解降噪中，首先设定阈值，最后对系数重构进行处理后的道原信号，以此开展后续分析和判断工作。其中，阈值设置一般为：

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \log n} \quad (1)$$

在公示（1）中，高频系数个数为 n ，噪声系数标准偏差可以使用功能高频系数绝对标准排查作为 σ 的估值。采用软阈值函数进行处理，等于或大于阈值 λ 的系

数减少 λ ，可以集中高频系数的噪声成分舍去。

五、地下工程安全监测数据预处理应用

(一) 多点位移计监测分析

在一定测量范围内加大测点密度的多点位移计，可以测量出来多点间的相对位移变化，对地下工程的岩体结构组成信息进行准确分析。一般情况下，多点位移计的测点为4-5个，本文设定为4个展开分析研究。在对地下工程开挖的过程中，因为释放应力会使洞周产生变形的情况，绝对位移值设定为 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 。各测点绝对位移值满足关系值如公式(2)所示。表明随着地下工程深度的增加，位移逐渐减小，洞周

点位移最大。

$$u_4 > u_3 > u_2 > u_1 > \quad (2)$$

位于洞周表面的测定4号点，其余都是侧杆上的固定点。实际在进行监测的过程中，第4点与起跳固定点的相对位移值为 δ_{41} 、 δ_{42} 、 δ_{43} 。可以得出绝对位置和相对位移值的公式(3)：

$$\delta_{41} = u_4 - u_1; \delta_{42} = u_4 - u_2; \delta_{43} = u_4 - u_3 \quad (3)$$

根据公式(3)中的根据式，可以对侧杆上的测点绝对位移进行计算，通过两者之间的关系，分析洞周围变形和岩体结构。通过分析比较常见的几种监测关系，得出表1数据。

表1 常见相对位移关系

序号	相对位移关系	绝对位移关系	说明
1	$\delta_{41} \approx \delta_{42} > \delta_{43}$	$u_1 \approx u_2 \approx 0 < u_3 < u_4$	开挖后，洞周岩体松动范围不会超过2号点深度
2	$\delta_{41} \approx \delta_{42} > \delta_{43}$	$u_1 \approx u_2 \neq 0 < u_3 < u_4$	1和2号岩体较为完整；2号点到洞周范围的岩体性质较差
3	$\delta_{41} \approx \delta_{42} < \delta_{43}$	$u_3 < u_1 \approx 0 < u_2 < u_4$	2和3号点之间可能存在破碎带或节理间隙
4	$\delta_{41} < \delta_{42} < \delta_{43}$	$u_3 < u_2 < u_1 < u_4$	1和2号与2和3号点之间可能存在软弱层和破碎带，位移较大，表明3号点到洞周部分围岩性质较好
5	$\delta_{41} < \delta_{43} < \delta_{42}$	$u_2 < u_3 < u_1 < u_4$	1和2号与2和3号点之间可能存在软弱层和破碎带，2号点位移较小，表明可能处于一个与周围岩体联系较差的缝隙带中
6	$\delta_{41} \approx \delta_{43} \approx \delta_{42}$	$u_1 \approx u_2 \approx u_3 < u_4$	1和3号点之间岩体性质完整，3和4号点之间岩体性质较差，存在1、2和3号点同步变形的情况

从表1中的数据可以得出，在进行地下工程监测的过程中，涉及的环节和内容较多，情况比较复杂，需要结合工程的实际情况，除了比较各测点位移之外，还需要充分考虑到洞周围岩变形是否收敛，以此对洞室是否稳定进行稳定。通过分析位移变化情况，得到相关信息，如围岩松动圈深度、洞周岩性分布等。

(二) 锚杆应力计监测

在开展锚杆监测时，主要对洞周破坏区深度同锚杆长度的关系以及锚杆应力量值两大问题加强关注。对不同深度的锚杆应力计数值大小进行比较，以此判断围岩松动破坏区和洞周结构面分布情况。当锚杆应力抗拉强度较大的汇，需要及时增加支护，因为该区域会出现岩体扰动或围岩变形。如果洞周围岩松动破坏区深度与现有锚杆长度更大，就表明出现围岩深部变形的情况，锚杆支护已经无法满足实际需求，要对锚索支护进行适量增加，对松动破坏区的发展进行有效遏制。

六、结束语

总而言之，本文首先简单阐述了地下工程和数据预处理技术的相关概念，并对在开展安全监测中需要注意的问题及内容进行了不同角度的讲解，并对多点位移计监测分析、锚杆应力计监测的实践应用展开分析。通过分析明确了围岩形态和位移监测数据的关系理论，对岩体变形规律准确把握，获取了岩体参数范围和松动破坏区的深度信息。通过分析研究，相互验证唯一变形规律，使信息反馈施工效率及质量得到提升，为地下工程的安全、高效监测提供了更丰富的参考。

参考文献

[1]袁奇，张晓蕾，张兴凯，高进东. 地下工程火

灾综合定量风险评估方法[J/OL]. 安全与环境学报: 2022. 2159. 1009-6094.

[2]孟雪. 地下工程施工状态监测数据预处理及预测技术研究[D]. 陕西: 长安大学, 2020.

[3]汪伟, 邹璇, 詹雪. 论数据挖掘中的数据预处理技术[J]. 煤炭技术, 2013, 32(5): 152-153.

[4]郝泽嘉, 黄伟, 马洪亮. 频谱分析技术在南水北调中线干线工程安全监测仪器鉴定中的应用[C]//中国水利学会. 中国水利学会2019学术年会论文集第四分册. 中国水利水电出版社, 2019: 7.

[5]白振江, 王英花. 潜龙河渠道倒虹吸工程安全监测应用与成果分析[C]//中国水利学会. 2022中国水利学术大会论文集(第三分册). 黄河水利出版社, 2022: 6.

[6]甘文娟. 地下工程结构变形预测及安全评估模型研究[D]. 陕西: 长安大学, 2021.

[7]纪小敏, 刘炜伟, 聂青等. 基于Morlet小波分析的长江大通站径流年际变化周期研究[J]. 江苏水利, 2016, No. 230(06): 26-29+34.

[8]郑勤华, 刘放, 刘明. 高层建筑深层位移监测数据分析[J]. 江西煤炭科技, 2014, No. 143(03): 189-190.

[9]魏宗奎. 临海深基坑工程超年限加固技术的应用——厦门裕景中心基坑工程实例[J]. 福建建设科技, 2015, No. 143(04): 22-25.

[10]段富凯, 谭玉强. 深层位移监测在晴兴高速某滑坡勘察中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2014, 14(08): 321-323.