

# 隧道施工过程中基于人工智能的岩爆预测与预防技术

谢双全

四川公路桥梁建设集团有限公司大桥工程分公司

DOI:10.32629/etd.v7i2.18965

**[摘要]** 现有的岩爆预测方法存在依赖个人经验较多、泛化性较差等问题,在面对复杂的地质环境进行实时预测时,无法满足实际需求。人工智能方法在数据分析、特征挖掘及信息辨识等方面有着突出的优势,可为岩爆的预测与预防带来新的思路与解决方式。本文介绍岩爆的概念及其影响因素,并对人工智能应用于岩爆预测的可能性进行讨论,分别从人工智能的岩爆预测模型、人工智能的岩爆预测数据处理以及岩爆的预防三个方面展开深入论述,同时针对目前的人工智能技术在岩爆领域的运用情况进行简要评述并指出其发展趋势。以期今后更好地实现隧道施工中岩爆的预测与预防智能化发展,确保隧道施工的安全提供一定的借鉴。

**[关键词]** 隧道施工; 岩爆; 人工智能; 预测技术; 预防措施

**中图分类号:** U45 **文献标识码:** A

## Rockburst prediction and prevention technology based on artificial intelligence during tunnel construction

Shuangquan Xie

Sichuan highway and Bridge Construction Group Co., Ltd.

**[Abstract]** the existing rock burst prediction methods have many problems, such as relying on personal experience and poor generalization, which can not meet the actual needs in the face of complex geological environment for real-time prediction. Artificial intelligence method has outstanding advantages in data analysis, feature mining and information identification, which can bring new ideas and solutions to the prediction and prevention of rock burst. This paper introduces the concept of rockburst and its influencing factors, and discusses the possibility of the application of artificial intelligence in rockburst prediction. It discusses the rockburst prediction model of artificial intelligence, the rockburst prediction data processing of artificial intelligence and the prevention of rockburst. At the same time, it briefly reviews the application of artificial intelligence technology in the field of rockburst and points out its development trend. In order to better realize the intelligent development of rock burst prediction and prevention in tunnel construction in the future, and to provide some reference for ensuring the safety of tunnel construction.

**[Key words]** tunnel construction; Rockburst; Artificial intelligence; Forecasting technology; preventive measure

### 引言

岩爆是在高地应力作用下,岩体中积蓄的弹性应变能突然释放造成的围岩破碎弹射现象,具有突发性、影响范围广、危害性大的特点。不仅会造成机械设备损坏、工期拖延,甚至还会导致人身伤害事故的发生,严重影响了隧道施工的正常开展。随着人工智能技术的发展,在岩土工程领域中被广泛应用,机器学习、深度学习等方法可以对岩爆相关数据之间的联系进行分析,进而预测岩爆发生概率并对其进行预防。

#### 1 岩爆的基本特性及影响因素

##### 1.1 岩爆的本质与表现形式

岩爆是在高地应力作用下,由于岩体在地下工程开挖过程中的卸荷及变形导致岩体发生突发的动力破坏现象,本质是岩体中积蓄的弹性应变能在超过岩体承载极限之后迅速释放的过程。岩爆的形式多种多样,主要表现为围岩表面剥落、弹射、碎裂,并伴随着强烈的震动和声响,进而造成围岩垮塌、支护破坏等一系列次生事故。岩爆发生是突发性的,从能量积累到突然爆发破坏的时间通常比较短,在现场很难进行有效的预防,破坏的程度受岩体本身特性、应力条件以及人为施工活动的影响较大<sup>[1]</sup>。

##### 1.2 岩爆的核心影响因素

引起岩爆的原因很多,分为内因及外因两部分,内因包括岩体物理力学性质和地质构造条件,岩体的单轴抗压强度、抗拉强度、弹性模量、脆性程度等决定了岩体力学特性和能量积聚能力,断层、节理、裂隙等降低了岩体的整体性;改变应力状态,形成岩爆发生的条件。外在因素以施工扰动和应力环境变化为主,隧道开挖卸荷会打破原有的应力平衡,导致围岩应力重分布,形成高地应力集中区域;爆破施工、机械掘进等作业产生的扰动会加剧岩体损伤,加速应变能释放,诱发岩爆。

### 1.3 岩爆预测的核心需求

岩爆预测主要是对岩爆发生的可能性、等级以及影响区域进行超前预判,从而指导岩爆灾害防控工作开展,因此其预测结果能有效支撑施工安全控制的要求;岩爆预测应具有可及时更新能力,即岩爆预测方法应对隧道开挖后围岩受力情况变化有响应功能,并且预测结论准确可靠、信息更新及时。全过程的动态预报预警。准确性是指预测结果能准确地将不同等级的岩爆区分开来,以便采取不同的防治对策;实时性是指能对采集到的数据进行快速分析及给出预警信号,保证足够的反应时间来应对突发情况,克服了现有预测手段存在的滞后性缺点。以上为岩爆预测系统的各项主要性能指标。

## 2 人工智能在岩爆预测中的应用基础

### 2.1 人工智能技术的核心优势

人工智能方法在岩爆预测方面的优势主要体现在:AI方法能高效处理海量多源监测数据,并可从大量数据中挖掘出有用的信息;同时AI方法对数据的处理是客观的,不会受个人经验及偏好等因素的影响。利用历史数据进行机器学习后,AI方法可定量描述岩爆发生的条件及其与众多影响因素间复杂的非线性关系,建立精确的预测模型;其次,AI具有较强的自我学习功能,可结合最新监测资料对模型进行修正及更新,提高模型的通用性以适应不同地层环境的变化,在一定程度上满足隧道开挖过程的动态化特征,提升预测结果的准确性以及工程应用价值。这些特点决定了AI技术是岩爆预测领域极具前景的技术之一<sup>[2]</sup>。

### 2.2 岩爆预测的数据源类型

基于上述不同类型的岩爆资料可以建立AI岩爆预测模型,并对岩爆进行预测预报。其中,地质勘探资料包括围岩类别及工程地质构造、岩石力学性质等,提供基本的地质条件;现场监测资料包括微震监测资料、围岩应力量测资料以及收敛量测资料。包括反映围岩实际应力及变形情况的数据信息;其次还包括了诸如开挖速率、爆破方式以及支护方法等施工数据信息,施工扰动作为影响岩体稳定的重要因素也成为了该模型中一个重要的时间变量,以上两部分构成了整个预测模型中的输入信息,并最终形成岩体是否会发生岩爆的关键判据。以期增加预报的准确程度及实用价值。

### 2.3 人工智能算法的适配性分析

不同的AI算法适合于不同的岩爆预测情景,在具体应用过程中应根据预测目标及数据属性进行选用。对于样本数量不多但变量较少的岩爆危险性分级及概率预测等问题可以采用SVM、

RF和ELM等ML方法,这些方法的特点是网络规模较小,训练速度较快,可采用改进的算法提高预测准确性。卷积神经网络、长短时记忆网络等深度学习算法可以处理大规模多维数据如微震波形数据、时间序列监测数据,并能挖掘出深层次的信息,满足复杂地质环境的实时预报需求,更适合用于深埋隧道中的精确岩爆预测<sup>[3]</sup>。

## 3 基于人工智能的岩爆预测技术体系

### 3.1 数据预处理技术

数据预处理是对原始监测数据进行清洗、归一化、插值填补等操作以保证岩爆预测模型精度的前提条件,主要分为以下两步:第一步为数据清洗阶段,通过去除离群点及缺失值并采用线性拟合等方式消除测量误差来增强数据的一致性;第二步为特征选择阶段,利用灰色关联度法、PCA法等统计学方法提取对岩爆是否发生的敏感性强的指标作为输入向量可以降低模型复杂度并加快模型学习速度;而归一化处理则能够消除各数据集间由于量纲不一致导致的影响,使得各变量处于同一数量级范围。这关系到整个算法的收敛速率以及预测结果的稳定程度。

### 3.2 岩爆预测模型构建

AI岩爆预测模型的构建应以数据为基础,根据所选算法的特点以及预测的目标分阶段完成。在进行AI模型构建前,先明确所要实现的岩爆预测目的:若为实现对某一区域是否存在岩爆及其危险程度的识别,则选用ML算法并利用已有数据集作为训练样本形成从输入变量到岩爆等级之间的函数表达式;若为获取岩爆发生的时间及强度信息,可以应用深度学习时序模型,提取监测数据随时间的变化特征,在建立模型的过程中利用swarm优化算法、遗传算法等对模型进行参数调优,避免模型出现过拟合现象,增强模型的鲁棒性,并且能够对模型进行动态更新以适应施工期间的数据变化。

### 3.3 预测结果的可视化与预警

如何让预测结果有效传达是岩爆控制的关键一环。因此,利用三维可视化的手段对地质资料、监测成果以及预测结果进行融合,生成围岩应力状态图以及岩爆危险区带和等级分布图,以便现场管理人员直接观察判断;设置分级预警体系,按预测的风险等级设置预警阈值并以声光报警、系统弹窗等方式进行预警信息实时推送,每个预警等级均设有对应的应急处置流程,保证预警信息能够快速转化为实际防控行动,实现由预测至处置的闭环控制,提升岩爆防控的安全性及时效性。

## 4 基于人工智能的岩爆预防技术与应用

### 4.1 智能化施工参数优化

在岩爆预警方面,AI将会通过对施工参数进行智能调节,采用先进的预测模型对岩爆风险信息进行实时输出,在此基础上进一步实现施工参数的自动调整;在高风险区,AI还能优化掘进及爆破参数,以期减少施工扰动,降低围岩应变能的储存量。此外,系统还将优化支护时间和参数,在预测围岩变形的基础上,提前对围岩进行支护,提高岩体承载力,控制岩爆发生<sup>[4]</sup>。

### 4.2 自适应支护系统构建

自适应支护系统是基于人工智能预测结果对现场支护结构不断进行调整和完善的过程,具体而言就是由围岩稳定性监测信息、人工智能预测信息以及实际施工情况共同作用于人工智能自适应支护系统内,该系统会自动判断当前围岩的稳定状态及其发展趋势;然后根据人工智能预测信息和岩爆危险性分级评价的结果,系统可以自动选择最优的支护方式,在高岩爆危险等级区采用高强度支护,利用组合支护提高围岩的整体性来抵抗岩爆的发生;对于低岩爆危险等级区则进行合理化支护设计,避免过度支护造成的材料浪费。这种自适应支护系统能够摆脱传统支护结构的固定模式,实现支护效率与防控效果的平衡,为地下工程安全提供高效、灵活的保障。

#### 4.3 动态应急防控机制

采用智能预测预报方法对岩体进行评估,并结合相关影响条件提出岩体突发灾害预防及控制措施,实现对岩体突发灾害风险的及时预警、科学防范,为岩爆突发灾害处理提供有力保障。根据岩体工程地质构造特征及相关外部条件,对岩体突发灾害进行预测预报;并结合预测结果,提出相应的预防及控制方案:包括人员撤离路线设计、设备撤离路线设计、应急材料运输方案设计,岩爆发生前采取相应的防治措施;同时可根据监测到的结果和预警信息来自动判定应急响应的级别,并及时做出响应;采用AI的模型预测岩爆发生后所造成破坏的程度及危害程度。为应急救援人员提供科学依据进行救援及后期施工恢复工作,最大程度减小岩爆造成的危害,并确保人员及设备安全。

### 5 技术应用局限与未来发展方向

#### 5.1 当前技术应用局限性

然而,人工智能方法仍然存在一些限制:一方面,在某些特殊地区可能很难获得完整可靠的岩爆相关监测数据,这会使得所采用的人工智能模型在训练过程中可能会出现样本信息量不平衡的问题,进而造成预测效果不稳定的现象;另一方面,当前很多基于人工智能的方法在模型构建后缺乏一定的透明性和可解释性,无法直观地了解各个变量与岩爆的关系及权重。不利于现场工程师理解和信任;工程适配上,模型一般基于单个地层来训练,对不同区域、不同地质条件适用性差,并且与已有工程管理软件相容性低。

#### 5.2 技术优化路径

基于以上存在的缺陷,应从数据层面上对现有的数据收集进行补充,并采用物联网技术以提高数据收集的全面性和及时性,在此基础上利用数据融合来克服单一数据来源的问题,形成高质量的数据集。在算法方面,开发出具有可解释性的混合智能算法,一方面从领域知识出发提高模型的逻辑合理性,并进一步完善模型算法结构,增强其对复杂情况的适应性;另一方面加强

人工智能模型同隧道施工管控系统的工程融合,促进信息互联互通,提高技术的工程适用性<sup>[5]</sup>。

#### 5.3 未来发展趋势

未来,基于人工智能的岩爆预测与预防技术将向智能化、集成化、精准化方向发展。智能化:以大语言模型+多模态为技术基础构建数据管控、预判预警、施工决策、应急处置于一体的智能化综合管理系统;集成化:融合人工智能技术和勘察、装备、支护形成智能化施工链;精准化:结合数字化双胞胎技术建立隧道BIM模型,未来将实现对岩爆危险性进行可视化模拟以及准确的预报,并借助于边缘计算提高模型的响应速率以适应实时的防治工作;另外,也将是多学科交叉的趋势,即把岩石力学、地质工程及人工智能有机结合在一起,进一步加强岩爆发生规律及预测模型间的耦合作用,增强技术方法的科学性与准确性。

### 6 结束语

如何有效准确地对岩爆进行预测与防治是确保隧道开挖安全的关键所在,AI技术可成为解决上述关键问题的有效手段之一。综述了岩爆基本概念、AI应用条件、预测方法、防治方案以及研究趋势,提出了AI在岩爆预测准确性、防治效果等方面的重要意义。综上所述,目前AI技术在岩爆预警及防治中的应用尚处于探索和完善期,在数据、算法、工程等方面均存在一些问题。后续应进一步结合技术改进、多学科交叉以及工程实践,提高AI技术在岩爆预警及防治中应用的有效性、稳定性,并逐步将隧道岩爆防治由经验型转变成大数据型、智能化型模式。总之,相信今后随着人工智能的发展及其在岩土工程领域中的深入研究及应用,会大大提高隧道施工安全控制的智能化程度,在深埋隧道工程建设中发挥重要作用。

#### [参考文献]

- [1]杨官印,崔鹏艳.基于主成分分析法与决策树算法的岩爆预测方法与应用[J].有色金属(矿山部分),1-16.
- [2]刘涛,陈连韞,李康,等.玲珑矿区深部岩爆倾向性评价及风险预测[J].有色金属(矿山部分),1-16.
- [3]王志勇,郑晓黎.基于弹性应变能指标与脆性改进指标的某铜矿岩爆倾向性预测[J].中国矿山工程,2025,54(05):49-53.
- [4]殷雄,郭奇峰,方明华,等.基于综合赋权集对分析的岩爆烈度等级预测[J].地下空间与工程学报,2025,21(5):1784-1792.
- [5]尚云升,王文科.基于支持向量回归和卷积神经网络的磷矿岩爆倾向性评价[J].绿色科技,2025,27(18):229-235.

#### 作者简介:

谢双全(1995--),男,汉族,贵州盘县人,本科,中级职称,研究方向:隧道及道路桥梁施工技术。