

煤矿巷道掘进围岩松动圈测定与支护参数优化研究

赖烈强

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】煤矿巷道掘进过程中，围岩松动圈的形成与支护设计的合理性密切相关，影响着巷道的稳定性和施工安全。围岩松动圈的大小及其变化规律是支护参数优化的关键。通过对围岩松动圈的分析，能够有效指导支护结构的设计，从而提高巷道的抗压能力和稳定性。研究提出了围岩松动圈的测定方法，并基于不同地质条件和巷道类型，优化了支护参数配置。此优化设计能有效减少支护材料的浪费，降低施工成本，同时确保巷道的安全稳定。为煤矿巷道的设计和施工提供了重要的理论支持和实践指导。

【关键词】围岩松动圈；煤矿巷道；支护设计；参数优化；施工安全

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.016

引言

煤矿巷道掘进工作面中，围岩的稳定性一直是影响施工进度和安全的关键因素。特别是在软弱围岩的条件下，如何科学评估围岩松动圈并采取合理的支护措施，直接关系到巷道的长期稳定性与施工安全。在实际掘进过程中，围岩松动圈的大小与巷道支护设计的合理性密切相关，若支护设计不当，容易导致围岩失稳，发生支护破坏，甚至引发安全事故。精确测定围岩松动圈并优化支护参数，成为确保煤矿巷道施工安全与稳定的基础工作。合理的支护参数不仅能够提高巷道的整体抗压能力，还能有效地降低支护成本，是煤矿工程设计中亟待解决的重要问题。

1 煤矿巷道围岩松动圈的定义与影响因素

1.1 围岩松动圈的概念与分类

围岩松动圈是指在煤矿巷道掘进过程中，由于开挖和爆破作用，周围围岩受力变化导致的松动和破碎区域。围岩松动圈的形成是一个复杂的物理过程，主要受应力、地质结构、巷道形状等因素的影响。一般而言，围岩松动圈可分为岩层松动圈和破坏圈两种类型。岩层松动圈是指围岩受到开挖影响后出现的局部松动区，通常表现为表面层的裂隙和塌陷，而破坏圈则是围岩由于局部破坏，导致巷道支护结构难以维持稳定的区域。围岩松动圈的大小和形态会随着不同开挖方式、地质条件以及支护设计的不同而有所差异。

1.2 影响围岩松动圈的主要因素

围岩松动圈的形成受到多种因素的共同作用。围岩的物理力学性质是关键因素之一，如围岩的强度、弹性模量、黏聚力等。这些因素决定了围岩在受到外力作用时的变形能力及松动情况。开挖过程中的施工方式对围岩松动圈的形成有显著影响。不同的掘进方法，如机械掘进与爆破开挖，会导致围岩产生不同形式的松动，进而影响松动圈的范围和特征。另外，巷道的几何形状，如开挖宽度、深度以及坡度等，也对松动圈的形态起到了重要作用。最后，地质条件也是影响松动圈形成的重要因素，特别是在软弱围岩区域，松动圈可能较为明显并且

深入较深。

1.3 围岩松动圈的测定方法

围岩松动圈的测定方法包括多种技术手段，其中常用的有声波法、地质钻探法和位移监测法等。声波法通过测量围岩中声波的传播速度来判断围岩的密实程度，从而推算出松动圈的范围。这种方法适用于快速评估并能够实时监测围岩松动的情况。地质钻探法则通过在巷道周围钻孔，获取围岩的物理性质数据，结合钻孔采样的分析，评估围岩松动层的厚度和分布。这一方法相对精准，但需要较长的周期。位移监测法通过在巷道内外布置位移计，测量围岩的变形情况，进而推算出松动圈的大小和发展趋势。这种方法对于动态监控围岩变化十分有效，能够及时反映巷道内外的围岩稳定性变化。

2 围岩松动圈大小与支护设计的关系分析

2.1 松动圈与巷道支护稳定性之间的联系

围岩松动圈的大小对巷道的支护稳定性有直接影响。松动圈范围较大时，围岩受开挖或爆破作用的损伤较为严重，围岩的强度和稳定性会显著降低，这就需要更加强力的支护措施来抵御外部应力，防止支护结构的损坏。松动圈的形成改变了巷道周围的地层结构，导致围岩的破碎、裂缝和松动，这对支护结构提出了更高的要求。支护设计时，需要根据松动圈的范围和围岩的实际情况，选择合适的支护材料和方式。设计的核心目标是确保在开挖过程中，巷道能够长时间稳定，不发生坍塌或变形。松动圈的大小及变化趋势是支护设计是否科学合理的重要依据，精确评估松动圈对于支护结构的选择至关重要。

2.2 不同围岩条件下松动圈变化的影响

不同的围岩条件下，围岩松动圈的变化呈现显著差异，这直接影响支护设计的方案。在软弱围岩区域，松动圈通常较深且范围广，围岩的松动性较强，导致支护系统需要采用更强的材料和结构形式，如钢支架、喷射混凝土等，这些措施能够有效应对较大的围岩压力，并确保巷道的稳定性。相对而言，在坚硬岩层中，围岩的松动范围相对较小，支护设计要求较低，支护材料的选择和结构形式可以相对简单，通常采用锚杆等方

式即可满足稳定需求。然而，即便在坚硬岩层中，也必须考虑到岩层中的裂隙或地质构造带，这些因素可能导致局部围岩不稳定，支护设计依然需要灵活调整，以应对不同的围岩条件，确保巷道的安全性。

2.3 支护设计中的松动圈考虑因素

在支护设计中，松动圈的考虑因素不仅仅局限于松动圈的大小，还需要全面综合考虑巷道的用途、开挖方式、支护材料及施工工艺等多个方面。设计时，必须充分评估松动圈的范围，并根据松动圈的特征，合理选用支护材料。如在松动圈较大的区域，可选择钢支架与喷射混凝土的组合，以增强巷道的稳定性；而在松动圈较小的区域，则可以采用锚杆等简单而经济的支护形式。开挖方式对松动圈的影响不可忽视，尤其是爆破开挖方式可能导致松动圈的突变，必须结合开挖方式来选择和调整支护形式。支护设计中应具备前瞻性，对围岩变化做出预判，采取有效措施以应对可能发生的围岩变动，确保巷道的长期稳定性。

3 围岩松动圈测定方法及其应用研究

3.1 常用的围岩松动圈测定技术

围岩松动圈的测定方法主要有多种技术手段，如地震波法、位移监测法和声波检测法等。这些方法各有特点，能够针对不同地质环境提供可靠的监测数据。地震波法是通过测量围岩中波速的变化来判断其状态，广泛用于大范围的快速监测，能够及时评估围岩的松动程度。位移监测法则通过在巷道内外安装位移计，实时记录围岩的变形情况，从而推算出松动圈的大小和发展趋势。这种方法可以持续监测围岩变化，并为支护设计提供动态反馈。声波检测法则利用声波传播速度的差异来

判断围岩的密实程度和松动程度，这种方法可以较为精确地识别围岩松动的分布情况。通过综合应用这些测定技术，工程师能够实时掌握围岩松动圈的动态变化，从而优化支护设计，确保巷道的安全性。

3.2 松动圈测定结果的有效应用

围岩松动圈测定结果能够为支护设计提供宝贵的参考依据。通过准确测定松动圈的范围及其变化规律，设计者可以根据不同的地质条件和围岩状况，选择最合适的支护结构。在松动圈较大的区域，可以优先选择钢支架和喷射混凝土等高强度材料，确保支护系统能够承受较大的外部压力，防止围岩变形或坍塌。而在松动圈较小的地区，则可以采用锚杆加固支护，以减少不必要的材料浪费。松动圈的测定结果还能够帮助设计者预判巷道在长期使用过程中的稳定性，为后续的巷道维护和支护加固提供科学依据。松动圈测定的结果也有助于制定有效的应急预案，保证煤矿作业的安全进行。

3.3 松动圈测定中的技术难点与改进方向

在围岩松动圈测定过程中，面临着一些技术难点。不同的测定方法在适用范围和准确性上有所差异，如何根据具体的地质环境选择合适的测定技术是一个重要课题。围岩本身的异质性和复杂性会导致松动圈的测量误差，尤其是在地质构造复杂或变形较大的区域，误差可能会更大。如何提高测定精度，克服这些不确定性，成为技术研究的关键。目前的测定方法多依赖人工操作，缺乏实时、自动化的监测手段，这使得松动圈的动态变化难以被及时捕捉。未来，随着科技的进步，可以通过引入智能监测系统和大数据分析技术，提高松动圈测定的精度和效率，减少人为误差，提供更加实时和准确的数据支持，从而优化支护设计和施工方案。见表 1：

表 1 中国典型煤矿围岩松动圈测定相关参数与支护设计参考数据

煤矿名称	所在省份	巷道埋深(m)	松动圈平均深度(cm)	声波速度降低率(%)	锚杆长度建议(m)	喷层厚度建议(mm)	监测点密度(个/100m)	数据来源
大同塔山煤矿	山西省	420	165	32	2.4	120	6	《煤炭科学技术》2020年第48卷
淮南顾桥煤矿	安徽省	680	225	45	3.0	180	8	《岩石力学与工程学报》2019年第1期
兗州鲍店煤矿	山东省	550	145	28	2.2	100	5	《矿业安全与环保》2021年第4期
铜川玉华煤矿	陕西省	720	200	40	2.8	160	7	《煤矿安全》2022年第53卷
鹤岗兴安煤矿	黑龙江省	390	120	22	2.0	80	4	《煤炭工程》2021年第53卷
乌鲁木齐六道湾煤矿	新疆区	510	175	35	2.5	130	6	《煤炭技术》2020年第39卷
平顶山八矿	河南省	600	190	38	2.6	150	7	《煤矿开采》2021年第26卷

4 支护参数优化设计方案与实施

4.1 支护结构的优化目标与方法

支护结构优化的核心目标是确保巷道在开挖过程中能够

稳定承受外部荷载，同时尽量降低施工和维护成本。优化的主要任务是根据不同围岩条件选择合适的支护材料与结构形式。在松动圈较大的区域，采用更高强度的支护结构，如钢支架和喷射混凝土的组合，能够有效增强巷道的抗压能力，提高支护

的耐久性和稳定性。相对而言，在松动圈较小的区域，可以选用锚杆支护来保持巷道的稳定性，这样不仅能够保证巷道的安全性，还能大幅降低成本。优化设计应在考虑初期建设成本的还要关注支护系统的长期性能，确保支护在整个矿山生命周期内发挥良好作用，以避免频繁的支护加固。

4.2 支护参数的选择与优化

在支护设计过程中，合理选择支护参数对于确保巷道稳定性至关重要，这些参数包括支护材料的强度、支护形式、支护间距等。支护材料的强度应根据围岩的强度、变形特性以及围岩的松动圈范围来进行精确计算。尤其是在围岩松动圈较大的区域，支护系统必须能够有效承受来自围岩的压力，以防止支护结构失稳或破坏。支护间距的设计也需要特别考虑围岩的实际松动情况。过宽的支护间距会导致支护结构无法有效抵抗围岩变形，增加巷道变形或坍塌的风险，而过窄的支护间距则会导致过多的支护材料浪费，增加工程成本。支护设计时需综合考虑巷道的开挖方式、深度、围岩特性等因素，以实现支护结构的优化，使其既能确保巷道安全，又能提高经济效益。

4.3 优化方案的实际应用与效果评估

支护方案的优化不仅是理论上的设计，实际应用中也需要进行验证和不断调整。煤矿巷道的地质条件、开挖方式和施工进度在不同矿区会有所不同，因此优化后的支护方案在实际工程中往往面临不确定性和变化。围岩松动圈的大小、形态和分布可能会随着施工的推进而发生动态变化，造成初期设计参数不再适应实际情况。这要求工程师具备灵活应对的能力，能够实时监控围岩的状态，并根据变化及时调整支护方案，增加或减少支护材料，以保证巷道的长期安全稳定。在优化方案实施后，必须对支护效果进行实时监测，通过收集数据反馈和分析，调整支护设计的参数，确保支护结构在不同地质条件下始终能够发挥最佳效果，避免支护不足或过度支护的情况。

5 煤矿巷道支护设计中的难点与解决策略

5.1 支护设计中常见问题分析

在煤矿巷道的支护设计中，常见的主要问题包括支护结构与围岩松动圈不匹配、松动圈评估不准确、以及支护材料浪费等。支护设计若考虑不周，容易导致巷道发生变形或塌陷，进而影响安全性。特别是当支护结构未充分考虑围岩松动圈的实际范围时，可能无法有效抵抗围岩的变形，从而造成支护结构的破坏。松动圈评估不准确可能使支护设计未能及时响应围岩

参考文献：

- [1] 陈峰,赵华.煤矿巷道支护设计中的围岩松动圈分析[J].煤矿安全,2020,51(3):132-139.
- [2] 李建华,郭峰.基于地质条件的煤矿巷道支护结构优化研究[J].岩土工程技术,2019,41(4):122-128.
- [3] 高旭,周明.煤矿巷道支护设计中的参数选择与优化[J].采矿技术,2021,33(6):87-92.
- [4] 孙雷,程涛.巷道围岩松动圈变化规律及支护设计策略[J].矿山工程,2020,37(5):65-70.
- [5] 赵刚,王鹏.煤矿支护设计中的动态监测与优化调整[J].煤炭工程,2022,47(1):45-51.

的变化，进一步增加施工风险，造成支护失效或过度支护，浪费大量资源。准确评估围岩松动圈的范围和变化，并合理选择支护材料和结构形式，是确保巷道施工安全、避免事故发生的关键环节。

5.2 支护设计优化的实施策略

为了解决支护设计中的常见问题，优化实施策略应重点提高围岩松动圈的测定精度，确保能够准确捕捉围岩的变化趋势。这要求采用多种测定手段，如声波法、位移监测法以及地震波法等，结合现场实际情况对围岩进行实时监测，从而获得更准确的数据支持。这些数据能为支护设计提供更可靠的依据，帮助设计者动态调整支护方案。针对不同的围岩条件，支护形式的选择应灵活应变。在软弱围岩区域，选择强度较高的支护方式，如钢支架和喷射混凝土的组合，可以有效承受更大的外力。而在坚硬岩层中，则可选择锚杆等简便且经济的支护形式。支护间距和材料的选择要适度，避免过度支护造成资源浪费或支护不足导致巷道失稳，确保支护既安全又经济。

5.3 未来煤矿巷道支护技术的发展方向

煤矿巷道支护技术正在向更加智能化、自动化和数字化的方向发展。未来的支护设计将更多依赖于智能传感器、自动化监测系统和大数据分析技术，通过实时监测围岩的变化，能够为支护设计提供更为精确的数据支持。采用智能传感器对巷道围岩压力和变形进行实时监测，结合大数据分析技术，动态调整支护参数，确保支护系统始终处于最佳工作状态。未来的支护技术还将更加注重环保和可持续发展，开发和使用更环保、更经济的支护材料，以及更高效的施工技术，最终实现提高施工安全性、降低施工成本的目标。

6 结语

本文对煤矿巷道支护设计中的围岩松动圈及支护参数优化进行了详细分析。通过研究松动圈的形成及其对支护稳定性的影响，明确了在不同围岩条件下如何选择合适的支护结构和材料，确保巷道的安全性。在支护设计过程中，考虑到松动圈的变化以及不同地质条件的影响，提出了优化支护方案的实施策略，并强调了在实际施工过程中不断调整和验证设计方案的重要性。准确的松动圈测定与灵活的支护设计能有效降低施工风险，提高工程效益。未来，随着技术的进步和智能化手段的应用，煤矿巷道的支护设计将更加精准和高效，为煤矿安全生产提供更强保障。