

电力工程中采空区岩土勘察与稳定性评价研究

吴磊

中煤江苏勘测设计研究院有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i2.4657

[摘要] 本论文围绕电力工程中采空区岩土勘察与稳定性评价展开系统研究。深入阐述采空区电力工程建设背景及面临的挑战,全面剖析采空区岩土工程特性与勘察评价难点,详细介绍各类勘察方法、稳定性评价指标与模型。同时,提出针对性的应对措施,旨在为保障电力工程在采空区安全稳定建设提供科学、全面的理论与实践指导。

[关键词] 电力工程; 采空区; 岩土勘察; 稳定性评价; 工程安全

中图分类号: P756.6 文献标识码: A

Geotechnical investigation and stability evaluation of goaf in power engineering

Lei Wu

China Coal Jiangsu Survey, Design and Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the systematic research on geotechnical investigation and stability evaluation of goaf in power engineering. This paper expounds the background and challenges of power engineering construction in goafs, comprehensively analyzes the geotechnical engineering characteristics and difficulties of investigation and evaluation in goafs, and introduces various survey methods, stability evaluation indicators and models in detail. At the same time, targeted countermeasures are proposed, aiming to provide scientific and comprehensive theoretical and practical guidance for ensuring the safe and stable construction of power projects in goafs.

[Key words] power engineering; Gob; geotechnical investigation; stability evaluation; Engineering safety

引言

在我国经济高速发展进程中,工业化与城镇化持续推进,电力需求呈爆发式增长。为满足日益增长的用电需求,电力工程建设规模不断扩大,土地资源的高效利用成为关键。在部分地区,长期大规模的矿产开采活动遗留下大量采空区。将这些采空区及其周边区域应用于电力工程建设,成为缓解用地紧张、提高土地利用的重要途径。然而,采空区特殊的地质构造与复杂的岩土工程特性,给电力工程建设带来诸多难题。采空区可能引发的地面塌陷、地基不均匀沉降、岩土体变形等问题,不仅会严重破坏电力设施,还会威胁电力供应的稳定性与安全性,甚至可能导致重大安全事故。因此,深入开展电力工程中采空区岩土勘察与稳定性评价研究,全面、准确地掌握采空区岩土工程信息,科学评估其稳定性,是保障电力工程建设顺利推进和长期稳定运行的关键,也是电力工程领域亟待深入探索的重要课题。

1 采空区岩土工程特性及勘察评价难点

1.1 采空区岩土工程特性

采空区是地下矿产资源开采后形成的特殊地质区域,其形成过程打破了原岩应力的平衡状态。在地下矿产被采出后,上覆

岩层在自重应力及外部荷载的共同作用下,发生一系列复杂的变形和破坏现象。初期,岩层会产生弯曲、拉伸等变形;随着变形的加剧,岩层逐渐出现断裂、垮落,最终形成采空区。这一系列过程导致采空区岩土体结构遭到严重破坏,变得松散破碎,完整性大幅降低。采空区岩土体中发育着大量的裂隙和空洞,这些结构缺陷显著改变了岩土体的物理力学性质。其力学强度显著下降,孔隙率增大,渗透性增强。在承受外部荷载时,采空区岩土体容易产生较大变形,且变形特性极为复杂。

1.2 勘察评价难点

采空区的隐蔽性和复杂性使得岩土勘察与稳定性评价工作困难重重。从勘察角度来看,采空区地质条件隐蔽,地下空洞和裂隙分布无规律,传统勘察手段难以准确探测其空间位置、规模和形态。由于部分采空区形成年代久远,相关开采资料缺失严重,进一步加大了勘察工作的难度。例如,一些早期的小型矿产开采,可能没有详细的开采记录,导致勘察人员难以了解采空区的具体开采范围和深度。在稳定性评价方面,这是一项涉及多学科知识的复杂工作,需要综合考虑岩土体物理力学性质、采空区开采历史和现状、电力工程荷载等多种因素。建立准确、合理且具

有广泛适用性的评价模型和方法面临巨大挑战。采空区岩土体变形的不确定性和复杂性,使得稳定性评价结果的准确性和可靠性难以保证。不同的评价方法可能得出不同的结论,评价结果的不准确可能导致电力工程设计和施工方案出现偏差,给工程建设和运行带来严重的安全隐患。

2 采空区岩土勘察方法

2.1 地质调查法

地质调查是采空区岩土勘察的基础方法,其重要性不可替代。在实际工作中,首先要广泛收集研究区域内的各类地质资料,包括区域地质构造特征、地层岩性分布情况、矿产开采历史记录等详细信息。通过对这些资料的深入分析,初步了解研究区域的地质背景和采空区形成的基本条件。例如,通过研究区域地质构造资料,可以判断采空区是否处于断裂带附近,从而评估其稳定性可能受到的影响。在现场踏勘过程中,勘察人员需要仔细观察地表的地形地貌特征以及各种地质现象。地面塌陷坑的分布、裂缝的走向和发育程度等,都是判断采空区存在和分布范围的重要线索。同时,对当地居民进行深入走访调查也是获取采空区信息的重要途径。居民往往对当地的矿产开采情况有着更直观的了解,通过与他们的交流,可以获取关于采空区开采时间、开采方式、开采范围等第一手资料,这些信息对于后续勘察工作的开展具有重要的指导意义。

2.2 地球物理勘探法

地球物理勘探(物探)方法凭借其探测范围广、工作效率高的优势,在采空区勘察中得到广泛应用。常用的物探方法包括电阻率法、地震勘探法、探地雷达法等,每种方法都有其独特的工作原理和适用范围。电阻率法利用岩土体之间的电阻率差异开展工作。不同的岩土体,其电阻率不同,当存在采空区时,采空区与周围岩土体的电阻率差异会在测量数据中体现出来。通过测量地下不同位置的电阻率分布,结合已知地质资料和理论模型,可推断采空区的位置、规模以及充填情况。但该方法受地下含水层、金属矿体等因素影响较大,可能导致结果出现偏差。地震勘探法基于地震波在不同岩土体中传播速度和波形的变化特性。通过在地面激发地震波,接收其在地下传播后的反射和折射信号,经过专业的数据处理和分析,能够探测地下地质结构,确定采空区的边界和埋藏深度。对于深部采空区的探测,地震勘探法具有较好效果,但对场地条件和数据处理技术要求较高,且成本相对较高。

2.3 钻探法

钻探是获取采空区岩土体实物样本和准确地质信息的核心手段。在采空区及周边区域,依据勘察设计方案合理布置钻孔。通过钻探设备采集岩土体芯样,送往专业实验室进行详细试验分析。在实验室中,可全面测定岩土体的物理力学参数,如密度、含水率、抗压强度、弹性模量等,这些参数是评价岩土体工程性质的关键指标。钻探过程中,勘察人员要详细记录钻孔深度、岩性变化情况、地下水位等重要信息。通过对这些信息的分析整理,能够直观了解采空区的空间形态,包括高度、跨度以及顶板和底

板的岩性特征等,还能掌握岩土体的结构特征。但钻探法成本较高,且受钻孔数量和分布限制,无法全面覆盖整个采空区,难以完整反映采空区地质情况,需与物探方法相互补充。

2.4 原位测试法

原位测试法是在现场直接测试岩土体,获取其工程特性指标的重要方法,能避免岩土体样本在采集、运输和制备过程中受到扰动,更真实地反映岩土体自然状态下的实际工程性质。常用的原位测试方法有静力触探试验、标准贯入试验、载荷试验等。静力触探试验通过匀速将探头压入岩土体,测量探头阻力,以此评价岩土体力学性质和地基承载力,具有测试速度快、数据连续等优点,适用于软土、砂土等多种地层。标准贯入试验利用重锤将贯入器打入岩土体,根据贯入一定深度所需击数判断岩土体密实程度和强度,是工程实践中常用的岩土体力学性质评价指标之一,在地基勘察和基础设计中应用广泛。载荷试验通过在現場对岩土体表面施加分级荷载,观测其在荷载作用下的变形情况,从而确定岩土体的承载力和变形参数,能直接反映岩土体实际受力状态下的性能,是确定地基承载力最可靠的方法之一,但试验周期长、成本高。原位测试数据与室内试验数据相互补充,为采空区稳定性评价提供坚实的数据支持。

3 采空区稳定性评价指标与模型

3.1 稳定性评价指标

采空区稳定性评价指标体系是一个多维度、相互关联的复杂系统,主要包括岩土体物理力学指标、采空区几何特征指标和工程荷载指标三大类。

岩土体物理力学指标是评价采空区稳定性的基础。岩土体密度反映其质量特性,含水率影响物理状态和力学性能,抗剪强度决定抵抗剪切破坏能力,压缩模量体现受力时的变形特性。这些指标直接影响岩土体承载能力和变形特性,是判断采空区稳定性的关键参数。例如,岩土体抗剪强度低,在外部荷载作用下,采空区侧壁更容易发生滑动破坏。

采空区几何特征指标对其稳定性有重要影响。埋深决定上覆岩层厚度和自重压力,埋深越大,上覆岩层约束作用越强,但探测和处理难度也增加;跨度和高度反映空间规模,跨度和高度越大,顶板和侧壁承受应力越大,稳定性越差;顶板厚度是稳定性的重要保障,较厚顶板能提供更强支撑能力,降低坍塌风险。

工程荷载指标是评价采空区在电力工程作用下稳定性的重要依据。电力工程建筑物自重、设备运行荷载、风荷载、地震荷载等都会给采空区岩土体带来额外应力。进行稳定性评价时,需准确计算这些荷载,并考虑其与岩土体自身应力的叠加效应,以评估采空区在工程荷载作用下的稳定性状态。

3.2 稳定性评价模型

目前,采空区稳定性评价中广泛应用的模型主要有极限平衡法、数值分析法和概率分析法,各有其理论基础和适用范围。

极限平衡法基于静力平衡原理,通过建立采空区岩土体受力平衡方程,计算稳定性系数判断采空区是否稳定。该方法概念清晰、计算简便,在工程实践中应用历史悠久。但它通常需对岩

土体受力状态和破坏模式做较多假设,无法充分考虑复杂变形特性和实际工程中的多种影响因素,在处理复杂地质条件下的采空区稳定性评价时存在局限性。

数值分析法,如有限元法和离散元法,通过将采空区岩土体离散化为小单元或颗粒,建立数值模型,模拟不同工况下的应力、应变和变形情况。有限元法能精确计算应力场和位移场,直观反映采空区稳定性状态,适用于分析各种复杂地质条件下的岩土工程问题,但计算过程复杂、计算量大,对计算机性能要求高。离散元法更侧重模拟岩土体颗粒间相互作用和运动,能较好地处理大变形和破坏问题,在研究采空区顶板垮落、地面塌陷等动态过程方面具有独特优势。

4 采空区稳定性评价流程

采空区稳定性评价是一个系统、严谨的工作流程,主要包括资料收集、勘察设计、指标测试、模型建立与分析、结果评价与建议等环节。资料收集环节,需全面收集研究区域地质资料,如地质勘查报告、矿产开采图纸、地形地貌数据等,同时收集电力工程相关资料,包括工程设计方案、建筑物荷载信息等。这些资料是后续工作的基础,对评价结果准确性影响重大。勘察设计阶段,依据收集的资料和现场实际情况,制定详细勘察方案。合理布置地质调查路线、物探测线和钻孔位,确定原位测试项目和位置,确保全面、准确获取采空区地质信息。指标测试环节,对采集的岩土样本进行室内试验,测定物理力学参数,同时开展原位测试,获取现场工程特性指标。这些测试数据是稳定性评价的核心依据。模型建立与分析阶段,根据采空区地质条件和工程要求,选择合适的稳定性评价模型,如极限平衡法、数值分析法或概率分析法。将勘察测试数据输入模型,计算分析,模拟采空区在不同工况下的稳定性状态。

5 电力工程采空区稳定性问题应对措施

5.1 工程处理措施

针对采空区稳定性问题,需根据采空区具体情况,综合考虑地质条件、工程要求和经济成本,选择合适的工程处理措施。

对于规模较小、埋藏较浅的采空区,回填法是常用且有效的处理方法。选用砂石、灰土、矿渣等材料回填采空区,并分层压实,以提高地基承载力和稳定性。回填过程中,严格控制回填材料质量和压实度,确保达到设计要求。对于规模较大、埋藏较深的采空区,注浆加固法较为适用。通过向采空区及周边岩土体注入水泥浆、化学浆液等,填充空洞,加固岩土体,改善其物理力学性质。此外,还可采用支撑法,在采空区内部设置支柱、墩台等

支撑结构,提高采空区顶板稳定性。

5.2 监测预警措施

建立完善的采空区监测预警系统至关重要。利用GPS测量、全站仪测量、光纤监测等技术,对采空区地表变形、岩土体应力应变、地下水位等进行实时监测。通过数据分析软件处理和分

析监测数据,当数据超过预警阈值时,及时发出预警信号,以便采取应急措施,保障电力工程安全。同时,通过长期监测数据积累,总结采空区变形规律,为后续类似工程提供参考。

5.3 设计优化措施

在电力工程设计阶段,充分考虑采空区稳定性问题。根据稳定性评价结果,优化电力工程基础设计方案,如采用桩基础、筏板基础等形式,增强基础承载能力和抗变形能力。合理布置电力设施,避免在采空区不稳定区域建设重要设施。同时,在设计中考虑预留一定的安全储备,提高电力工程的整体安全性。

6 结论与展望

通过对电力工程中采空区岩土勘察与稳定性评价的研究,明确了采空区复杂的岩土工程特性和勘察评价难点,系统介绍了各类勘察方法、稳定性评价指标与模型,以及针对性的应对措施。这些研究成果为电力工程在采空区的安全稳定建设提供了科学依据和实践指导。展望未来,随着科技的不断进步,新的勘察技术和评价方法将不断涌现。例如,无人机航测、三维激光扫描等技术可能在采空区勘察中得到更广泛应用,提高勘察效率和准确性;人工智能、大数据等技术与稳定性评价模型的结合,将进一步提升评价结果的可靠性和准确性。

[参考文献]

- [1]刘信智.矿山采空区岩土工程勘察方法与工程处置方法分析[J].世界有色金属,2023,(07):175-177.
- [2]马瑛娥.矿山采空区岩土工程勘察方法与工程处置[J].世界有色金属,2021,(05):78-79.
- [3]江志军.试论采空区电力工程岩土勘测[J].低碳世界,2023,(01):39-40.
- [4]陈保家,马建明.浅谈采空区电力工程岩土勘测[J].低碳世界,2021,(33):61-62.
- [5]田欢欢.采空区电力线路工程岩土勘测探讨[J].低碳世界,2022,(23):50-51.

作者简介:

吴磊(1980—),男,汉族,江苏省徐州市人,大学本科,中级工程师,研究方向:岩土工程。