



中华人民共和国国家标准

GB/T 37807—2019

露天煤矿井采采空区勘查技术规范

Technical specification for underground goaf survey of open-pit coal mine

2019-08-30 发布

2020-03-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 2

5 井采采空区勘查工作内容 2

6 井采采空区调查与测绘 3

7 井采采空区地球物理勘探 4

8 井采采空区钻探及取样 5

9 井采采空区勘查成果 7

附录 A（资料性附录） 井采采空区极限安全厚度估算方法 8

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国煤炭工业协会提出并归口。

本标准起草单位：煤炭科学技术研究院有限公司、平庄煤业(集团)有限责任公司、中煤平朔集团有限公司、中煤西安设计工程有限责任公司、神华宝日希勒能源有限公司。

本标准主要起草人：张俊英、李伟、丁鑫品、徐晓惠、李煜炜、刘博文、李宪杰、邓增兵、刘光、王勇、孙浩、姚勇、张利忠、鞠兴军、李卫红、贺昌斌、陈再明、蔡光琪、王志鹏、曹芳智、周游、刘如成、刘玉凤、赵汝辉、韩进、谢启东、李雁飞、马明、艾畅、李正胜、王维、闫杰、左岩、罗霄、魏真、张忠超、李绍臣、王振伟、王俊、张鹏。

露天煤矿井采采空区勘查技术规范

1 范围

本标准规定了露天煤矿井采采空区勘查的术语和定义、一般要求、勘查工作内容与方法、调查与测绘、地球物理勘探、钻探及取样、勘查成果编制等内容。

本标准适用于影响露天煤矿开采的井采采空区勘查工作。影响露天煤矿开采的溶洞、陷落柱等地质异常体的勘查可参照本标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB/T 50123 土工试验方法标准

GB/T 50266 工程岩体试验方法标准

GB 50585 岩土工程勘察安全规范

GB 51044 煤矿采空区岩土工程勘察规范

MT/T 898 煤炭电法勘探规范

建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范(安监总煤装[2017]66号)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

露天煤矿井采采空区 underground goaf in open-pit coal mine

影响露天煤矿开采的已有井采采空区。包括煤层采用井工开采方式采出后,覆岩垮落至地表的最终沉陷区边界与井采采空区底板边界的连线所圈定的地区和范围,也包括房柱式开采后,覆岩没有塌落或虽有塌落但还有井采采空区的区域。

3.2

覆岩破坏“三带” three zone of overburden failure

矿层开采后,其覆岩在垂直方向上的破坏可分为垮落带、断裂带、弯曲带。

3.3

地球物理勘探 geophysical exploration

利用地球物理的原理,根据各种岩石之间的密度、磁性、电性、弹性、放射性等物理性质的差异,选用不同的物理方法和物探仪器,测量工程区的地球物理场的变化,以了解其水文地质和工程地质条件的勘探和测试方法。

3.4

岩心采取率 core recovery percent

采取的岩心长度之和与相应实际钻探进尺之比。

3.5

岩层移动影响边界 influence boundary of strata movement

由于开采地下矿产资源引起的井采采空区上覆岩体变形移动边界。

3.6

三维激光扫描 3D laser scanning

通过钻孔利用三维激光扫描设备对井采采空区进行扫描,测得井采采空区三维形态的技术。

3.7

极限安全厚度 ultimate safe thickness

保证上部露天采矿作业设备和人员安全所需的井采采空区最小上覆岩体厚度。

4 一般要求

4.1 存在影响露天煤矿开采的井采采空区时,应结合现场实际情况适时开展井采采空区勘查。

4.2 井采采空区勘查应充分收集区域及场地地质资料、矿产及其开采资料、邻近场地工程勘查资料等,且应对收集到的资料的完整性、可靠性进行分析和验证。

4.3 井采采空区勘查根据开采规划和开采实际分阶段进行,分为初步勘查和详细勘查两个阶段,对规模较小、工程地质条件简单或已有资料齐全的地区,可合并勘查阶段。

4.4 初步勘查是露天煤矿开采前开展的勘查,初步勘查应遵循“资料分析、调查测绘、地面物探和变形监测为主”的原则。

4.5 详细勘查是露天煤矿生产过程中井采采空区顶板达到极限安全厚度前开展的勘查,详细勘查应遵循“钻探、声呐、三维激光扫描等精细化探测为主,地面物探为辅”的原则。

4.6 现场生产过程中有下列情况时,需进行详细勘查:

- a) 井采采空区上覆岩体厚度达到极限安全厚度,井采采空区极限安全厚度估算方法参见附录 A;
- b) 钻探发现隐伏井采采空区,且对生产有影响;
- c) 存在应查明的其他异常情况。

4.7 井采采空区勘查勘探点布置、岩(土)试样采取、室内试验、原位测试等应满足 GB 50021 的要求。

5 井采采空区勘查工作内容

5.1 井采采空区初步勘查

5.1.1 初步勘查应包括下列内容:

- a) 初步查明井采采空区分布范围、埋藏深度、开采方法、开采边界、顶板管理方法、煤层采出程度等;
- b) 初步查明井采采空区积水分布及其补、径、排条件,初步评价积水对井采采空区稳定性的影响;
- c) 分析预测井采采空区上覆岩体的完整性、稳定性、危害性;
- d) 定性评价井采采空区对露天开采的影响。

5.1.2 初步勘查应符合下列规定:

- a) 工程物探方法应根据场地地形地质条件、井采采空区特征及其与周围介质的物性差异等因素综合确定,应选用不少于两种物探方法,且至少有一种物探方法覆盖全部工程场地;
- b) 物探工作应满足 MT/T 898 等有关规范的相关要求,解译深度应达到井采采空区底板以下 15 m~25 m;
- c) 钻探孔的布设应根据已有资料及物探成果综合确定,主要用于物探成果验证和井采采空区特征探查;对于资料缺乏、可靠性差的井采采空区场地,应加密布置;

- d) 验证孔发现井采采空区即停止钻进;否则,钻孔应钻进至煤层底板以下 5 m;
- e) 钻探施工、取样及地质描述应符合第 8 章的要求。

5.1.3 初步勘查阶段工作结束后应提出详细勘查阶段工作建议及井采采空区安全保障措施。

5.2 井采采空区详细勘查

5.2.1 在初步勘查的基础上,详细勘查应进一步查明下列内容:

- a) 查明井采采空区上覆岩层结构、岩性、完整性、岩体风化程度、节理裂隙发育程度及其他井采采空区评价与治理所需的岩土物理力学指标;
- b) 查明井采采空区上覆岩体垮落情况、覆岩破坏“三带”(以下简称“三带”)发育特征及地表塌陷、移动变形特征;
- c) 查明井采采空区自燃发火、积水、有毒有害气体等致灾因素;
- d) 查明井采采空区的分布范围、埋藏深度和空间尺寸;
- e) 评价各致灾因素的危险程度及其对露天开采的影响,初步确定井采采空区极限安全厚度,提出井采采空区灾害防治措施建议。

5.2.2 详细勘查应符合下列规定:

- a) 详细勘查范围是初步勘查阶段物探工作所圈定的井采采空区范围;
- b) 应根据初步勘查工作探明的井采采空区特征及其现场生产条件进行钻探,同时选择两种以上适用的物探方法,并对物探成果进行验证;
- c) 对于钻探发现井采采空区的钻孔,当空腔内无积水时,宜采用三维激光扫描等方法确定空腔体的三维空间尺寸,当空腔内有积水时,宜采用声呐探测等方法确定空腔体的三维空间尺寸,并建立空腔体三维模型;
- d) 详细勘查阶段成果应满足井采采空区安全评价与治理的需要。

6 井采采空区调查与测绘

6.1 一般规定

6.1.1 井采采空区调查与工程地质测绘,宜在初步勘查阶段进行;在详细勘查阶段,应针对重点区域开展补充性的工程地质调查与测绘,为井采采空区评价工作提供依据。

6.1.2 井采采空区调查与工程地质测绘范围,应包括井采采空区范围及岩层移动影响边界,后者宜按开采移动影响角计算。

6.1.3 测绘的比例尺应符合下列要求:

- a) 比例尺宜为 1:2 000~1:5 000;
- b) 井采采空区分布复杂时,比例尺应适当放大。

6.2 井采采空区调查与测绘内容

6.2.1 井采采空区调查应包括下列主要内容:

- a) 5.1.1 规定的内容;
- b) 5.2.1 规定的内容。

6.2.2 采空区测绘应包括下列主要内容:

- a) 测定岩层、节理、风化裂隙等结构面的产状,观察记录结构面及软弱夹层的形态特征、宽度、岩性、产状、厚度、胶结和充填物情况及其特征;
- b) 应选择代表性地段进行结构面统计,确定优势结构面;
- c) 明确岩体结构类型,分析地质构造对井采采空区围岩稳定性的影响;

- d) 调查工作区及其附近地质条件相似的自然或人工边坡的类型、岩性、岩体破碎情况、节理裂隙、有无危岩及潜在滑体、已滑边坡类型及其形成机制、稳定边坡与不稳定边坡所形成的台阶坡面角等,分析稳定坡角与边坡高度、岩性组合与水文地质条件的关系;
- e) 对滑坡地段应重点测绘与调查,应包括下列主要内容:
 - 1) 调查滑坡区地层岩性、地质构造、地表形态;
 - 2) 测定滑坡体边界、滑动面位置及其他滑坡要素;
 - 3) 分析地下采动与滑坡的相互关系,进行地表移动变形分区,明确井采扰动对滑坡的影响;
 - 4) 确定滑动的外因(堆载、切方、边坡地下水漏渗及与采空区的关系等),推断滑坡的发展趋势。

6.3 井采采空区调查与测绘工作方法

6.3.1 井采采空区调查与测绘应在对已有资料搜集、整理和分析的基础上进行,测绘方法宜采用测线测绘法、界线追踪法、露头标绘法等。

6.3.2 井采采空区调查与测绘工作需搜集的资料包括:

- a) 露天煤矿、周边矿井地质报告等;
- b) 露天煤矿及其周边矿井开采情况、地表移动变形观测资料等;
- c) 井采采空区勘查报告等资料。

6.3.3 调查测绘点的布置应符合下列要求:

- a) 调查测绘点的密度应根据井采采空区的采深采厚比、开采方式、地形地貌、地质条件、构造条件和成图比例尺等确定,并应具有代表性;
- b) 每个地质单元体均应设调查测绘点,调查测绘点宜布置在地质构造线、地层接触线、地下水露头、地表水体、地貌变化处及不良地质体等分布区。

6.4 成果编制

6.4.1 工程地质图应包括下述图表内容:

- a) 综合工程地质图。包括地层岩性、地质构造、不良地质现象等常规地质内容,且应标出井口、采空区(含巷道)位置、地表移动范围及分区、地表裂缝分布等采空区要素。
- b) 工程地质剖面图。除常规内容外,且应标注采空区位置,垮落带、断裂带、弯曲带及地表塌陷、裂隙位置及深度,开采移动角等角量参数。
- c) 其他有关的图表及资料。

6.4.2 采空区调查与测绘报告

采空区调查与测绘报告应包括 6.1、6.2、6.3 和 6.4 中规定的内容。

7 井采采空区地球物理勘探

7.1 一般规定

7.1.1 对于露天煤矿井采采空区资料缺乏或可靠性较差的场地,应进行物探。电法勘探和地震勘探是采空区、积水区等隐蔽灾害勘探及其相关地质工作的基本手段。凡进行各类采空区勘探用到的物探手段均应含有该类方法。

7.1.2 应在收集调查地形地貌、地质、采矿等资料的基础上,初步确定井采采空区的埋深、平面分布范围、垮落及充水状态、覆岩类型和特性、周围介质的物性差异等,因地制宜的综合选择有效物探的方法。

7.1.3 勘探范围应涵盖重点区域和可疑采空区域,且勘探边界向外扩展不少于 100 m。

7.1.4 大面积物探前,应在确定井采采空区上方划分小范围试验场地,对拟采用的物探方法进行试验,测试其适宜性,并出具测试报告。

7.1.5 物探成果解译应结合采矿和钻探资料进行,考虑其多解性,宜采用两种或两种以上的物探方法进行综合解译。

7.1.6 物探成果均应布置适量钻孔进行验证,验证钻孔数量应根据勘查阶段、搜集资料的完整性和可靠性综合确定。对于资料丰富、可靠的井采采空区,可有针对性地布置不少于3个验证钻孔。对于资料缺乏、可靠性差的井采采空区应增加验证钻孔数量,并在详细勘查阶段展开重点探查。

7.2 工作方法

7.2.1 井采采空区物探可根据勘探目的和要求选择相应的地面物探或井内(间)物探方法。地面物探主要包括电法勘探、二(三)维地震勘探、地质雷达等;井内(间)物探主要包括孔间CT成像、常规测井、孔内成像、孔内地质雷达、三维激光扫描、声呐探测等。

7.2.2 地面物探主要用于探查井采采空区的分布范围和深度,定性判定采空区的密实程度以及充水情况。井内(间)物探主要用于探查采空区的垮落裂隙带高度、采空区的密实程度和充水状态、采空区空腔率的估计、空腔体的分布范围和空间尺寸等。

7.2.3 物探应根据勘查要求编制工作大纲。检查点的数量、观测精度、测点测线平面布置、点距、线距和高程的测量精度等野外作业工作参数的选择应符合相关规范的要求。

7.3 成果解译与报告编写

7.3.1 物探资料解译应符合下列规定:

- a) 在分析各项物性参数的基础上,按从已知到未知、先易后难、点面结合的原则进行;
- b) 所需物性参数宜通过多种方法求得,必要时选择典型断面作正演计算;
- c) 说明探测对象的形态、产状、延伸等要素;
- d) 物探解译成果应相互补充、相互验证,解译结果不一致时应分析原因,并说明推断的前提条件;
- e) 充分利用钻孔资料对解译成果进行修正,必要时,布置钻孔进行验证。

7.3.2 在进行综合解译的基础上编制物探成果报告。物探成果报告内容应全面,重点突出,结论明确,附图、附表等资料齐全。

7.3.3 物探成果资料的编制应符合下列规定:

- a) 物探成果报告包括:项目概况、任务来源和要求、地形、地质、煤层及采空区分布、工作方法的选择与确定、工作参数、仪器设备、完成的工程量、采空区的地球物理特征、资料的解译推断、成果资料的验证情况或要求、结论和建议;
- b) 图件比例和图式图例应符合工程和物探方法的相关规定。附图应包括:工程布置图、成果平面图、剖面图、测试成果曲线图、解译成果图、空腔体三维模型等,其中解译成果图至少应包括:工程物探异常区域、采空区平面分布及剖面图(含“三带”分布、埋深等);附表应包括:工作量表、物性参数表、成果解译表、精度表等。

8 井采采空区钻探及取样

8.1 一般规定

8.1.1 井采采空区钻探应基于工程地质调查、测绘和物探成果,验证露天煤矿采空区、巷道及其“三带”特征、地表裂缝的分布和延展情况。

8.1.2 钻探方法的选择,应根据地层、采空区和地表裂缝的分布、取样、原位测试及场地现状确定。

8.1.3 钻探工作布设时应考虑其对工程自然环境、地下管线、地下工程的影响,钻探完工后应及时、妥

善回填或封孔。

8.1.4 岩土试样的采取方法应符合 GB/T 50123、GB/T 50266 和 GB 51044 的规定,同时应结合勘查目的、勘查阶段要求、地层条件、采空区“三带”特征。

8.1.5 采空区勘探过程的安全防护措施除了应符合 GB 50585 的规定外,且应重点防止采空区内有毒、有害气体和地表裂缝、隐伏空腔体等对人员和设备可能造成的潜在危害。

8.2 钻探

8.2.1 露天煤矿采空区钻探应分别满足各勘查阶段钻探基本要求。

8.2.2 钻探地质描述应满足一般工程地质描述要求,同时应重点描述采空区“三带”特征。

8.2.3 钻探过程应全孔取心,满足岩心采取率要求,同时做好岩心编录。

8.2.4 钻探施工要点与技术要求、采空区钻探现场描述要点与“三带”判定依据应符合《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》的规定。

8.2.5 在井采采空区上覆岩层厚度快要达到极限安全厚度时,应根据区域危险程度开展不间断的钻探和精细化探测工作。

8.2.6 岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的划分应按 GB 50021 执行。

8.2.7 钻进方法和钻进工艺应根据采空区埋深、覆岩岩性、可钻性和钻探技术要求等确定,同时应符合下列要求:

- a) 钻孔成孔口径应根据采空区埋深、覆岩岩性以及取样、测试、监测和钻进工艺要求确定;
- b) 当钻穿井采采空区顶板时应立即停钻,采用钻杆或动力触探试探,初步确定采空区顶、底板的深度;
- c) 应详细描述孔内温度、孔壁完整情况和空区内充水情况等。

8.2.8 采用钻孔式三维激光扫描或声呐等精细化探测方法探测未塌落的井采采空区前应满足以下条件:

- a) 钻孔孔口无烟、雾或有毒有害气体释放;
- b) 钻孔孔径不小于探测设备探头最大外径;
- c) 孔内温度满足探测设备测量温度要求;
- d) 钻孔周边 4 m 范围内地面平整,保证探测设备正常作业;
- e) 钻孔孔壁完好,软土或排弃物料层位应设护壁套管。

8.3 取样

8.3.1 岩心的保存应符合下列规定:

- a) 除用作试验的岩心外,剩余岩心应存放在岩心盒内,并按钻进回次先后顺序排列,注明深度和名称,且每一回次应用岩心牌隔开;
- b) 易冲蚀、风化、软化、崩解的岩心,应进行封存;
- c) 存放岩心的岩心盒应平稳安放,不得日晒、雨淋和融冻,搬运时应加盖并轻拿轻放;
- d) 岩心宜拍照或录像保存。

8.3.2 完整程度较差的岩样应以描述为主,并对破碎情况进行详细编录,其他岩样应进行常规物理力学性质试验。

8.3.3 岩石试样可利用钻探岩心制作或在井探、槽探、洞探或平硐中凿取,采取的岩石试样尺寸应满足岩体力学试验试件加工的要求。

9 井采采空区勘查成果

9.1 一般规定

9.1.1 井采采空区各勘查阶段成果应以勘查报告的方式提交。

9.1.2 报告应由文字说明和图件资料组成,并附必要的影像资料。图件应包括平面图、剖面图,必要时尚应附与勘查方法相关的专项图件。

9.1.3 井采采空区勘查成果平面图应以采掘工程平面图为背景,剖面图纵横比例尺应一致。

9.1.4 勘查报告文字、术语、代号、符号、数字和计量单位应符合国家有关标准的规定。

9.2 勘查报告编制

9.2.1 勘查报告的编制应在广泛调研收集和深入整理分析现有成果的基础上进行。

9.2.2 勘查报告所依据的工程地质测绘、地球物理勘探、工程地质钻探、精细化探测、测试及试验等原始资料,应进行充分的整理分析,确认无误后方可使用。

9.2.3 井采采空区勘查报告除应包含第4章~第8章相关内容外,还应包括以下主要内容:

- a) 绪论。包括背景、必要性、目的、任务、执行的技术标准和依据等。
- b) 勘查区域概况。包括位置与交通、自然地理情况、勘查区域井采采空区分布和状态、以往勘查工作及成果等。
- c) 勘查区域工程地质及水文地质条件。包括地层及构造、煤层及煤质、含水层及隔水层等。
- d) 井采采空区勘查。包括勘查手段及方法的确定、勘查工作及实务工作量、施工质量保证措施、勘查成果分析及论证等。
- e) 井采采空区危险性评估及预测。
- f) 井采采空区危害防治措施。
- g) 结论与建议。包括勘查成果综述、勘查成果可靠程度分析、存在的问题及今后工作建议等。

附 录 A (资料性附录)

井采采空区极限安全厚度估算方法

A.1 井采采空区极限安全厚度估算方法主要包括自行堵塞估算法、荷载传递交汇线法、厚跨比法、普式拱理论估算法、空场长宽比法和结构力学梁理论计算法等。

A.2 自行堵塞估算法适用于井采采空区稳定性的半定量分析,是井采采空区顶板稳定性估算的常用方法,估算公式见式(A.1):

$$H_0 = \frac{H}{K_s - 1} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

H_0 ——井采采空区极限安全厚度,单位为米(m);

H ——塌落前空腔体的高度,单位为米(m);

K_s ——松散系数,可通过实测得出,对岩石取 1.1~1.3,视塌落后的块度来定,对土取 1.05~1.1。

A.3 荷载传递交汇线法是在井采采空区地质剖面上从基础边缘,按应力扩散角向下作应力传递线,当井采采空区位于该线所确定的应力扩散范围之外时,可认为采空区不会危及基础的稳定。假定载荷由顶板中心按与竖直线成 β 扩散角向下传递,此传递线位于顶板与井采采空区侧帮的交点以外时,即认为采空区侧帮直接支承顶板上的外载荷与岩石自重,顶板是安全的。此时,采空区极限安全厚度为 H_0 。井采采空区极限安全厚度 H_0 的估算公式见式(A.2):

$$H_0 = 0.5 \times D / \tan \beta \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

H_0 ——井采采空区极限安全厚度,单位为米(m);

D ——空腔体的跨度,单位为米(m);

β ——荷载传递线与顶板中心竖直线之间的夹角,单位为度($^\circ$)。即上覆岩体的应力扩散角,其值比内摩擦角 φ 小,根据上覆岩体的完整程度可按线性差值近似取 $0.6\varphi \sim 0.9\varphi$ 。

A.4 厚跨比法是指当井采采空区顶板为完整顶板时,其顶板的极限安全厚度 H_0 与跨度 D 之比满足式(A.3):

$$H_0 = 0.5KD \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

H_0 ——井采采空区极限安全厚度,单位为米(m);

D ——空腔体的跨度,单位为米(m);

K ——安全系数,根据上覆岩体完整程度、形态、荷载大小和性质可取 1~3 之间的值。

A.5 普式拱理论估算法认为,巷道或采区开采后其顶板将形成抛物线形的三拱带。对于坚硬岩体,顶部承受垂直压力,侧帮不受压,形成自然拱;对于比较松软岩体,顶部及侧帮有受压现象,形成压力拱;而对松散性的岩层,井采采空区侧壁崩落后的滑动面与水平交角等于松散岩石的内摩擦角,形成破裂拱。因露天煤矿的岩石节理发育,压力拱高 H_y 的估算公式见式(A.4):

$$H_y = \frac{\frac{D}{2} + H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)}{f} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

H ——井采采空区的最大高度,单位为米(m);

φ ——井采采空区上覆岩体的内摩擦角,单位为度($^\circ$);

f ——井采采空区上覆岩体的普氏硬度系数,取 $f = \frac{R}{10}$, R 代表岩石的单轴抗压强度,单位为兆帕(MPa)。

普氏压力拱理论计算的基本前提是井采采空区上方的岩石能够形成自然拱,这就要求井采采空区上方有足够的厚度且有相当稳定的岩体,以承受岩体自重和其上的荷载。因此,计算出压力拱拱高之后,还要加上一定的稳定岩层厚度才为最终的安全顶板厚度。根据经验,计算中一般取稳定岩层厚度等于压力拱拱高,则顶板安全厚度为压力拱拱高的 2 倍[见式(A.5)]。

$$H_0 = 2H_y = \frac{D + 2H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)}{f} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

此法适用于较破碎岩体稳定分析计算(倒置漏斗型及复杂型采空区),但当岩石硬度系数 $f < 0.8$, 采空区上覆岩体厚度 $h < 2H_y$ 时,由于不能形成压力拱,不适用普氏拱理论计算。

A.6 空场长宽比法是基于井采采空区长度与跨度的比值简化空区顶板形态、建立工程力学模型,分析在各因素影响下维持井采采空区顶板稳定的最小安全厚度的方法。

当井采采空区长度与跨度之比 $B/D > 2$ 时,假定空区顶板至露天工作平盘间为一块嵌固梁板,受均衡连续载荷作用,其极限安全厚度 H_0 按式(A.6)计算:

$$H_0 = \frac{D}{8} \cdot \frac{\gamma \cdot D + \sqrt{(\gamma \cdot D)^2 + 16\sigma_x \cdot P}}{\sigma_x} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\sigma_x \leq \frac{\sigma_b}{n \cdot K_c} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

当井采采空区长度与跨度之比 $B/D \leq 2$ 时,假定井采采空区顶板为一个整体结构,其极限安全厚度 H_0 按式(A.8)计算:

$$H_0 = \frac{D}{K_d} \cdot \frac{3\gamma D + \sqrt{(3\gamma \cdot D)^2 + 6 \cdot K_d \cdot \sigma_x \cdot (P + P_b)}}{\sigma_x} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

$$K_d = \frac{3 \cdot D \cdot B \cdot (15 \cdot \gamma + P + P_b)}{225 \cdot \sigma_x} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

$$P_b = \frac{15\gamma(K_j + K_n)}{K_p} K_g = 27.70\gamma \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

B ——井采采空区的长度,单位为米(m);

γ ——上覆岩体加权平均容重,单位为千牛每立方米(kN/m³);

σ_x ——上覆岩体的许用拉应力,单位为千牛每平方米(kN/m²);

σ_b ——上覆岩石的抗拉强度,单位为千牛每平方米(kN/m²);

n ——安全系数,取 2~3,可按上覆岩体的完整程度取值;

K_c ——岩体结构削弱系数,取 7~10,可按上覆岩体的完整程度取值;

P_b ——由爆破而产生的动荷载,单位为千帕(kPa);

K_j ——爆堆沉降系数,取 0.1;

K_n ——爆破钻孔超钻系数,取 1.1;

K_p ——爆破后岩石松散系数,取 1.3;

K_g ——爆破冲击系数,取 2.0;

P ——设备满载并考虑冲击作用下的对地压力值,单位为千牛每平方米(kN/m²)。

P 按式(A.11)计算:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$P_i = k_{vi} \cdot p_i$$

式中：

k_{vi} ——设备的动载系数，设备的动荷载系数一般取 2.0~2.5，最坏情况下不超过 2.5；

p_i ——设备满载时的对地压力值，单位为千牛每平方米(kN/m²)。

A.7 结构力学梁理论计算法假定井采采空区顶板岩体是一个两端固定的平板梁结构，上部岩体自重及其附加荷载作为上覆岩层载荷，按梁板受弯考虑，以岩层的抗拉强度作为控制指标。根据材料力学与结构力学的公式，推导出井采采空区极限安全厚度 H_0 ，见式(A.12)：

$$H_0 = 0.25D \times \frac{\gamma \cdot D + \sqrt{(\gamma \cdot D)^2 + 8bP\sigma_x}}{\sigma_x b} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

$$\sigma_x \leq \frac{\sigma_{\text{拉}}}{nk_c} \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

$$P_i = k_{vi} \cdot p_i$$

式中：

γ ——上覆岩体加权平均容重，单位为千牛每立方米(kN/m³)；

b ——顶板单位计算宽度，取 1 m；

σ_x ——井采采空区上覆岩体的许用拉应力，单位为千牛每平方米(kN/m²)；

$\sigma_{\text{拉}}$ ——顶板岩石极限抗拉强度；

n ——安全系数，取 2~3；

k_c ——岩体结构削弱系数，取 7~10；

P ——设备满载并考虑冲击作用下的对地压力值，单位为千牛每平方米(kN/m²)；

k_{vi} ——设备的动载系数；

p_i ——设备满载时的对地压力值，单位为千牛每平方米(kN/m²)。