

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM —2026

切顶沿空留巷开式采空区柔性水泥毯快速 封闭技术规范

Technical specification of flexible cement blanket rapid closed roof cutting gob-side
entry retaining open goaf

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 1

5 方案设计 2

6 现场施工 3

7 验收 4

8 监测 5

9 维护 6

附录 A （资料性 ） 工程全周期现场监测数据记录 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：山东科技大学，山西银锋科技有限公司，中矿科创（山西）矿业科学研究院有限公司，山西方山金晖凯川煤业有限公司，中国矿业大学（北京）

本文件主要起草人：朱恒忠，王彦军，高成章，贾维，王波涛，武治盛，李亚运，王艳龙，王印，陈悟涛，毛利鑫，王宝，高玉兵

本文件为首次发布。

切顶沿空留巷开式采空区柔性水泥毯快速封闭技术规范

1 范围

本文件规定了柔性水泥毯用于煤矿切顶沿空留巷“开式采空区”快速封闭的术语和定义、材料要求、设计、施工、质量检验、监测与维护等各项技术要求，明确了施工流程、质量控制标准和安全管控要点。

本文件适用于低瓦斯、煤层自燃倾向性为Ⅱ类（自燃）和Ⅲ类（不易自燃）的无煤柱开采工作面沿空留巷“开式采空区”的快速封闭。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 47290 煤矿防灭火技术规范
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB 51180 煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范
- GB/T 35056 煤矿巷道锚杆支护技术规范
- AQ 1044 矿井密闭防灭火技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性水泥毯 flexible cement blanket

由纤维基质和水泥基复合材料构成，具有“先柔后刚”的物理力学特性。初始状态为柔性，表层淋水后，逐渐呈现刚性状态，可用于采空区快速密封。

3.2

切顶沿空留巷 roof cutting at gob-side entry retaining

在应用无煤柱开采工艺时，通过定向预裂技术对顶板进行切缝，利用矿山压力使采空区顶板沿切缝自动垮落，配合侧向挡矸支护形成巷帮，将工作面巷道保留下来供下一个工作面继续使用，这种方式称为切顶沿空留巷。

3.3

开式采空区 open mined-out area

在实施切顶沿空留巷时，采空区与巷道之间无隔离，呈开放状态的采空区。

3.4

吊挂杆 Suspension rock bolt

用于固定柔性水泥毯顶部的锚杆，与常规锚杆在材质性能和施工要求等方面一致，本文件中特指为吊挂水泥毯的锚杆。通过锚固剂固定于顶板，配合固定压板实现对水泥毯的悬吊与固定。

4 总则

为保障柔性水泥毯在切顶沿空留巷开式采空区快速封闭中的施工质量与封闭效果，制定本规范。

切顶留巷开式采空区快速封闭技术的方案设计、施工与验收，除应符合本文件的规定外，还应遵守国家、行业及地方现行有关煤矿安全、矿山压力控制及一通三防的技术标准和规范。

施工方案及现场作业规程的编制，应在现场地质条件勘查、切顶沿空留巷围岩状态研究、采动应力分布特征分析、矿井（采空区）自燃发火标志性气体现场监测数据分析的基础上进行。

施工条件评估和气体监测应按照《煤矿安全规程》和GB 51180等现行有关规定执行。

5 方案设计

5.1 基本要求

5.1.1 由柔性水泥毯和配套材料组成的封闭装置应确保封闭严密，满足《煤矿安全规程》、《煤矿防火灭火细则》、AQ 1044 的相关规定。

5.1.2 应具备良好的防水性能，防止地下水渗透或采空区水渗透对巷道及生产区域造成影响。

5.1.3 应具备足够的柔性，能够减弱矸石垮落过程中产生的动压冲击，允许切顶巷道矸石侧的矸石挤压而不产生严重的外鼓变形。

5.1.4 应具备良好的气密性，有效防止采空区有害气体泄漏，以及漏风、串风。

5.2 材料要求

5.2.1 柔性水泥毯

性能应满足以下要求：

- a) 淋水前柔性水泥毯便于凿眼，可折叠、悬挂；
- b) 淋水后 72 小时内强度应不低于 10 MPa，成型后 28 天强度应不低于 25 MPa；
- c) 阻燃性能应符合《煤矿安全规程》的相关规定。

5.2.2 配套材料

应满足以下要求：

- a) 吊挂杆用于柔性水泥毯顶部固定，具体参数参照 GB/T 35056 对锚杆性能要求的规定执行；
- b) 锚固剂宜采用树脂锚固剂；
- c) 宜采用固定压板固定柔性水泥毯，固定压板表面宜做防锈处理。

5.3 封闭要求

5.3.1 封闭位置

封闭位置应结合现场地质条件勘查结果，避开断层、顶板破碎、离层严重、采动应力集中、顶部与帮部持续淋水等区域，选择无构造破坏、顶底板较稳定、围岩完整性高、无明显裂隙发育等区域进行封闭作业，应具备足够的作业空间以便于施工。

5.3.2 封闭形式

应根据封闭区域服务期限、采动影响程度、围岩变形特征、漏风控制要求及维护条件等确定，分为基本封闭和加强封闭。

- a) 采动影响小、围岩稳定、服务期限短且具备定期检查维护的区段，采用单层水泥毯进行封闭；
- b) 采动影响大、围岩易变形、服务期限较长或对气密性要求较高的区段，在柔性水泥毯外侧采取喷射混凝土等加强措施。喷射混凝土施工应符合 GB 50086 的有关规定；
- c) 需承担采空区永久密闭功能时，应按照《煤矿安全规程》、GB 47290、AQ 1044 等有关永久密闭墙的规定另行进行专项设计。

5.3.3 顶部吊挂

水泥毯顶部采用“吊挂杆+固定压板”吊挂固定于巷道顶板，应符合下列规定：

- a) 吊挂杆布置间距宜根据现场地质条件确定，间距应为 0.6-1.5 m，宜符合 GB/T 35056 的相关规定；
- b) 吊挂点沿切顶侧连续布置，宜在同一水平线上；

- c) 应根据顶板地质条件预留一定的让压空间，宜为 200-600 mm。

5.3.4 底部掏槽

- a) 应满足下列要求：断面形状应采用矩形，便于水泥毯底部固定；
- b) 深度宜为 0.3-0.4 m，宽度宜为 0.2-0.4m；
- c) 掏槽后应清理槽体内的浮煤、浮渣、杂物；
- d) 水泥毯底部嵌入掏槽后，宜采用 C30 混凝土（水灰比宜为 0.5-0.6）回填，并留设宽度不小于 0.1 m 的排水沟。

5.3.5 毯边搭接

相邻毯体之间应可靠搭接，搭接位置、搭接宽度及连接方式应符合以下规定：

- a) 水泥毯与水泥毯之间的搭接宽度应不小于 0.2 m；
- b) 搭接部位应采用 14#或 16#铁丝双股绑扎；
- c) 搭接缝每 0.2-0.3 m 应设置一个绑扎点，每 1 m 应不少 4 个点；
- d) 搭接位置应避开锚杆吊挂点。

6 现场施工

6.1 一般要求

- 6.1.1 施工前应进行现场地质条件勘查，明确采空区侧断面尺寸、围岩条件、破碎带位置、裂隙发育情况。
- 6.1.2 应根据现场地质条件勘查结果，编制专项施工方案和安全技术措施，明确封闭类型、材料规格、施工进度计划及人员分工。
- 6.1.3 应按照矿井生产技术部门编制的设计方案和作业规程的相关规定执行。
- 6.1.4 应在取得相关部门与矿总工程师批准后施工。

6.2 施工流程

6.2.1 底部掏槽

槽体尺寸与槽底处理应符合下列规定应满足下列要求：

- a) 沿封闭线位置在巷道底板掏槽，掏槽深度宜为 0.3-0.4 m，宽度宜为 0.2-0.4m，具体可根据现场地质勘查条件调整；
- b) 掏槽作业完成后，应清理槽内浮煤与杂物，确保槽底平整。

6.2.2 支设脚手架

搭设和使用应满足下列要求：

- a) 在施工区域搭设脚手架，脚手架应稳固可靠；
- b) 脚手架的搭设高度应确保作业人员有足够的操作空间。

6.2.3 打注吊挂杆

钻孔、锚固及施工允许偏差应满足下列要求：

- a) 应按照设计方案标定的钻孔眼位打注吊挂杆，钻孔施工应按照 GB/T 35056 的相关规定执行；
- b) 打眼前应先敲帮问顶，仔细检查顶帮围岩情况，敲掉活矸、危岩，确认安全后方可开始工作；
- c) 吊挂杆应垂直于顶板施工，眼深误差不得超过 ± 50 mm，无原始支护妨碍时眼位误差不得超过 200 mm，眼向误差不得超过 $\pm 3^\circ$ ，排间距误差应控制在 ± 100 mm，锚固后外露长度 100 mm，误差 ± 50 mm。

6.2.4 吊挂水泥毯

应满足下列要求：

- a) 应根据吊挂杆位置，在水泥毯顶部预留 200 mm 处凿眼，每块长度 4 m 的水泥毯应凿眼 3 个，水泥毯长度每增加 1 m，顶部凿眼应增加 1 个；
- b) 水泥毯的凿眼应穿在吊挂杆上，相邻水泥毯搭接时搭接处凿眼应穿在同一吊挂杆上；
- c) 水泥毯展开后，在卷材两端应固定 U 型挂钩，通过手拉葫芦将水泥毯拉至设定位置，班组长应提前检查手拉葫芦的性能及支架稳定性；
- d) 水泥毯吊起后穿入吊挂杆，应采用固定压板(规格宜为 500×80×4 mm)固定，吊挂平整后宜采用 8#铁丝与金属网进行多点连接。

6.2.5 水化成型

应结合采空区侧矸石垮落情况及作业区安全状况进行，应满足下列要求：

- a) 淋水作业前应持续观察采空区侧矸石垮落情况，观察封闭区域支护和水泥毯吊挂状态。当采空区侧无连续性矸石垮落，作业区域无明显掉矸、异常响动，支护和水泥毯吊挂状态正常，经现场安全确认具备作业条件后，可进行第一次淋水；
- b) 应在第一次淋水的 24 小时后，第二次向水泥毯表面淋水，确保水泥毯充分硬化；
- c) 应利用巷道现有水管路，连接具有水雾扩散功能调节的喷水枪进行淋水作业；
- d) 淋水作业应遵循“自顶向底，顺工作面方向”原则，确保顶部吊挂处与边缘搭接处充分渗透，优先固化。

7 验收

7.1 施工过程验收

7.1.1 柔性水泥毯快速封闭采空区施工过程中及完成后，应进行现场验收。施工单位（部门）应负责组织专业技术人员对现场封闭效果进行初步验收。

7.1.2 项目完成后应由安委会、技术部门、生产部门组成的验收指导组进行终期验收。

7.1.3 应定期对施工现场进行检查，未按照设计方案要求执行的施工项目，应责令整改。

7.1.4 施工过程验收内容应包括钻孔与掏槽、柔性水泥毯吊挂与搭接、槽底回填密封、现场施工环境。具体验收标准见表 1。

表1 施工过程验收标准

验收内容	验收项目	验收标准	验收方法	打分
基础准备	掏槽形状	矩形，槽壁、槽底平整	现场观察	8
	掏槽深度与宽度	槽深0.3-0.4 m，槽宽0.2-0.4 m，槽内无浮煤及杂物	钢尺测量+观察	10
	吊挂杆孔位	距顶板边缘100-200 mm凿眼，垂直于顶板	钢尺测量	10
	吊挂杆	树脂锚固剂充分锚固不松动，配件齐全，吊挂杆锚固后外露长度100 mm	抽点测量	10
吊挂质量	固定压板	采用500×80×4 mm固定压板，螺栓固定牢靠	现场观察	10
	水泥毯平整度	吊挂后平整呈水平	现场观察	8
搭接密封	搭接宽度	搭接宽度不小于0.2 m	钢尺测量，0.5 m一测	10
	绑扎质量	采用14#或16#铁丝绑扎严密，每米绑扎点不少于4个	现场观察	8
底部密封	底板边缘处理	水泥毯拖地预留长度200 mm且嵌入槽内，混凝土回填处理与底板平整	钢尺测量	8

续表1 施工过程验收标准

	混凝土	水、砂、石、水泥混合比、水灰比符合规定要求	检查材料制备记录	8
	排水沟	宽度不小于0.1 m且沟内无杂物	钢尺测量，10 m一测	5
施工环境	施工现场清理	施工区域无浮煤、无杂物，钻具装备堆放整齐	现场观察	5
允许误差项目	吊挂杆间距与孔深	由现场地质条件确定锚杆类型后，允许误差间距±100 mm、孔深±50 mm	合格：85%及以上测量值在允许误差范围内且不影响工程安全。	
	钻孔眼位与眼向	无原始支护的妨碍时，允许眼位误差±200 mm，眼向误差±3°		
	锚固外露长度	允许误差±50 mm		
	水泥毯搭接与拖地	搭接长度允许误差+30~+50 mm，拖地长度允许误差±50 mm		
说明	验收结果分为“合格”与“不合格”，总体打分≥80分可评定为施工过程合格。			

7.2 封闭效果验收

施工过程中所有项目与环节均符合设计要求，可进行封闭效果验收。验收效果宜根据水泥毯完整性、封闭效果具体评估，见表2。

表2 封闭效果验收标准

验收内容	验收项目	验收标准	验收方法	打分
结构	水泥毯表面	水泥毯表面平整无褶皱无贯穿缝隙，局部裂隙宽度 <5 mm，无脱落与鼓起现象	现场观察+钢尺测量	10
	搭接处	水泥毯搭接紧密，出现张口或错位宽度小于10mm	钢尺测量	10
密封性与漏风点	底部回填	回填平整与底板结合紧密，固化后在采动应力下无大面积开裂，局部小型裂隙 <10 mm	钢尺测量	10
	漏风点	无明显气孔，无连续、大面积漏风点，局部漏风点漏风强度 <0.05 m ³ /（min·m ² ）	烟雾辅助压差法	15
	接地密封	水泥毯拖地部分混凝土完全覆盖固化，槽底无吹风感	压风感应法	10
气体浓度	氧气浓度	沿空留巷内氧气浓度不低于20%	气体检测仪	15
	主要有害气体浓度	CH ₄ $<1.0\%$ ；CO $<0.0024\%$ ；CO ₂ $<1.5\%$	气体检测仪	15
	其他有害气体浓度	SO ₂ $<0.0005\%$ ；H ₂ S $<0.00066\%$	气体检测仪	15
说明	验收结果分为“合格”与“不合格”，总体打分 ≥ 90 分可评定为封闭效果合格。			

8 监测

8.1 监测内容

监测应包括水泥毯变形量、吊挂杆受力、采空区漏风率、气体浓度等，具体见表3。

表3 工程全周期监测表

监测项目	监测内容	监测工具	监测指标与预警值	执行标准
水泥毯变形量	表面水平位移与纵向收缩量	水平仪、激光测距仪	累计变形量 <100 mm，允许变形量1.6-2 mm/d	GB 51180相关规定
吊挂杆受力	轴向应力	锚杆应力计	不低于设计值的90%，正常工作状态下控制在70-90%	GB/T 35056相关规定

续表3 工程全周期监测表

漏风率	密封墙内外压差、漏风量	压差计、气体示踪技术仪	密封区域单位面积漏风强度 $0.1-0.9 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$	《煤矿安全规程》AQ 1044的相关规定
气体浓度	CH_4 、 CO 、 H_2S 、 SO_2 浓度	便携式检测仪	$\text{CH}_4 < 1.0\%$ ； $\text{CO} < 0.0024\%$ $\text{H}_2\text{S} < 0.00066\%$ 、 $\text{SO}_2 < 0.0005\%$	《煤矿安全规程》

8.2 监测要求

8.2.1 监测频次宜为每三天一次。

8.2.2 采空区矸石垮落期间、水泥毯水化成型期间应加密监测，频次宜为每天一次。

8.2.3 应组织施工单位专人记录监测数据并编制监测分析报告，监测分析报告每周上报一次。

9 维护

9.1 一般要求

9.1.1 投入使用后，应建立定期维护制度。

9.1.2 维护作业应包括日常检查、破损修复等。

9.1.3 维护作业应在确保安全的前提下进行。

9.2 维护措施

9.2.1 吊挂杆

- a) 定期进行检查和维护，重点检查锚固、变形等情况，应符合下列要求：宜每周检查一次吊挂杆锚固端松动、变形、滑移情况；
- b) 杆孔周围顶板出现开裂、掉块等情况时，宜补打吊挂杆；
- c) 锈蚀严重的吊挂杆与固定压板应进行更换，更换前应加固水泥毯顶部。

9.2.2 水泥毯

- a) 定期检查水泥毯固化后的完整性及变形情况，对裂隙、脱落等缺陷根据其程度采取相应处理措施，应符合下列要求：水泥毯局部出现宽度小于 5 mm 的破损或不贯通裂隙，可不予处理，但应跟踪观察裂隙扩展情况；
- b) 水泥毯表面出现贯通性裂隙、大面积破损，应采用相同材质水泥毯片修补，搭接长度应不小于 100 mm，并淋水固化；
- c) 水泥毯出现局部脱落或孔洞，应先清理受损部位，再采用相同材质水泥毯进行修补，并对修补区域重新淋水固化。

9.2.3 毯边搭接

- a) 定期检查搭接部位的连接状态，应符合下列要求：搭接缝张口或错位，宽度大于 10 mm 时，应采用锚钉进行固定；
- b) 搭接处出现气体渗漏，应采取注浆密封处理。

9.2.4 底部掏槽

- a) 定期检查底部掏槽、回填体及排水沟的状态，应符合下列要求：底鼓导致掏槽、底部回填体发生开裂、变形时，应查明底鼓开裂或变形程度，根据底部条件采区重新掏槽、回填补强、注浆加固或其他治理措施；
- b) 排水沟内杂物应及时清理，防止槽内积水长期浸泡。

附 录 A
(资料性)
工程全周期现场监测数据记录

A.1 现场监测数据记录

A.1.1 水泥毯变形量现场监测数据记录, 见表A.1。

表 A.1 水泥毯变形量现场监测数据记录表

监测信息	固化日期		监测日期	
	位置		编号	
监测结果	监测内容	实测数值	指标与预警值	累计<100mm 允许1.6-2 mm/d
	表面水平位移		状态判定	正常□
	纵向收缩量			预警□
监测单位:			监测人员:	

A.1.2 吊挂杆应力现场监测数据记录, 见表A.2。

表 A.2 吊挂杆应力现场监测数据记录表

监测信息	编号		监测日期	
	位置		型号材质	
	设计预应力		指标与预警值	大于设计值的90%，正常工作状态下控制在70-90%
监测结果	监测内容	实测数值	状态判定	正常□ 预警□
	预应力			
	工作状态应力			
监测单位：监测人员：				

A. 1.3 漏风量现场监测数据记录, 见表A. 3。

表 A. 3 漏风量现场监测数据记录表

监测信息	监测位置			
	监测日期			
监测结果	监测内容	实测数值	指标与预警值	单位面积0.1-0.9 m³/ (min·m²)
	内外压差		状态判定	正常□
	单位面积漏风量			预警□
监测单位：		监测人员：		

A. 1.4 巷道气体浓度现场监测数据记录, 见表A. 4。

表 A. 4 巷道气体浓度现场监测数据记录表

监测信息	监测位置		监测时间	
	通风状态		气压/温度	
监测结果	监测内容	实测浓度	预警值	状态判定
	CH ₄		<1.0%	正常□ 预警□
	CO		<0.0024%	正常□ 预警□
	H ₂ S		<0.00066%	正常□ 预警□
	SO ₂		<0.0005%	正常□ 预警□
监测单位：		监测人员：		