

数据计算绝缘材料老化参量,预测其历经不同温度阶段的寿命损耗份额;电老化模型凭借局部放电量与老化时间的相关关系,搭建电树枝生长速率的模型,判定绝缘击穿前的剩余时间量;多因素耦合模型全面考量温度、电场、湿度等要素,依靠神经网络、模糊理论等途径创建非线性评估模型,更贴合实际运转情形,模型评估方式需借助大量实验数据达成校准,对机理理解深度的要求颇高,宜用于长久寿命预测<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 基于可靠性理论的统计评估方法

采用可靠性理论与统计探究,做同类型设备老化数据的统计分析,审视群体设备寿命的分布样式,威布尔分布模型凭借拟合设备失效的相关数据,厘定形状参数与尺度参数,阐述绝缘寿命概率分布情形;加速老化试验在实验室模拟类似高温、强电场的极端条件,加速绝缘老化速率,采用试验数据预测正常工况下设备绝缘的寿命;贝叶斯更新途径结合起设备运行数据以及先验寿命分布,实时刷新剩余寿命评估结论,提高预测的精准水平,批量设备的寿命管理可采用统计评估方法,可对电网规划与设备更新给出宏观决策相关依据。

### 5 提升绝缘寿命的保障措施

#### 5.1 运行环境精准调控

基于温度、湿度、污秽等环境成分对绝缘老化的加速态势,要实施细致化管控方案,就温度控制工作而言,选用智能冷却系统动态符合设备负荷与散热渴望,好比变压器依据顶层油温自动校准冷却风扇转速或油泵流量,保证绕组热点温度不逾绝缘材料准许界限;针对GIS、开关柜这类封闭设备,装设温度监测跟通风联动装备,杜绝局部温度急剧上升,湿度管控要结合设备类型实施有差异的设计,户外设备采用防凝露涂层,开展伞裙结构的优化工作,加大表面疏水功效;给户内设备配置智能型除湿机,实现腔体内相对湿度稳定控制在60%以下的状态,阻止绝缘材料因吸潮出现的品质劣化。

#### 5.2 全周期状态监测体系构建

构筑贯穿设备投运至退役这一全周期的状态监测网络,达成绝缘老化早期的警示,从在线监测这一维度,统筹多维度传感手段:给变压器装上油中溶解气体在线分析装置,实时盯梢糠醛、乙炔等特征组分浓度的变化情形;对GIS设备采用特高频局部放电传感器部署,擒获绝缘内部缺陷引起的放电信号;电缆线路采用分布式光纤测温系统进行安装,查看绝缘层温度分布与局部过热情形。就定期检测而言,需强化针对性试验项目,除常规开展的绝缘电阻、介损测定之

外,添加绝缘材料微观特性检测工作,像借助X射线衍射来分析XLPE电缆结晶度的改变,依靠扫描电镜观察油纸绝缘微观方面的裂纹,离线分析作为辅助性的补充手段,开展针对检修时更换绝缘部件的理化性能试验,像对绝缘纸聚合度予以测量、考察橡胶密封件硬度与弹性的变化情形,为老化机理的深入研究供给数据凭借<sup>[5]</sup>。

#### 5.3 技术升级与老化修复

结合设备老化程度及技术进步走势,实施具靶向性的升级改造方略,就轻度老化设备而言,可凭借局部整治延缓寿命减损,若以变压器来讲,更换老化绝缘油再开展真空注油工作,电缆接头再次包覆耐老化的半导电电阻水带;就出现局部放电的GIS设备而言,利用超声波找出缺陷位置,随后开展密封面修复与部件更换工作。技术升级把推广新型绝缘材料与结构作为要点,如借助纳米复合绝缘纸提升变压器的耐温水平,以交联聚乙烯与云母复合绝缘应用增强电缆抗电树枝水平,经结构优化,像增大绝缘厚度、优化电场分布,减少局部场强聚集,就老化状况严峻、修复成本过高的设备而言,按照设备寿命评估结论拟定退役安排,预防“超期服役”引发的潜在风险。

### 6 结论

高压变电设备绝缘老化体现出化学、物理及电气性能协同退变现象,受热能效应、电能效应、环境情形、机械功用等多要素耦合作用,其特性透露出丰富多样与错综交织性,精准测定绝缘剩余寿命需综合施行老化特性参数监测、机理模型推导与可靠性统计分析等办法,达成多范畴、动态化判断。未来研究可进一步结合分子模拟技术揭示绝缘老化的微观机理,利用物联网与大数据技术构建智能评估系统,提升寿命预测的精度与时效性。

#### 参考文献

- [1] 张泽银,刘昊,丁岩.变电设备高压电气绝缘试验参数优化算法[J].电气技术与经济,2024,(07):211-213.
- [2] 魏巍.变电设备高压电气试验危险性探讨[J].电气技术与经济,2024,(04):377-379.
- [3] 谷山强,超、特高压输变电设备雷击故障防御关键技术及装备.湖北省,国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司,2023-11-12.
- [4] 刘兵.简析在线监测技术在变电运行检修中的应用[J].农村电气化,2022,(07):93-94.DOI:10.13882/j.cnki.ncdqh.2022.07.027.
- [5] 商佳文,徐梁.基于DSP技术的高压输变电设备状态监测研究[J].电子设计工程,2022,30(08):143-146+151.DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2022.08.030.

# Design of “Wall-Pillar Synergy” Support and Roof Breaking Unloading Scheme for the Wuhu Mountain Mine Along the Airway Retaining

Bin Wang<sup>1,2</sup> Yonglu Qi<sup>3</sup> Yongqiang Liu<sup>1,2</sup> Shaoyi Jia<sup>5</sup> Jiangang Wang<sup>4</sup>

1. China Coal Mining Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100013, China
2. China Coal Technology (Xi'an) Mining Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China
3. Guoneng Wuhai Energy Wuhusan Mining Co., Ltd., Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China
4. Guoneng Wuhai Energy Huangbaizi Mining Co., Ltd., Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China
5. Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd., Beijing, 100013, China

## Abstract

Based on the fact that the deformation of the surrounding rock of the retained roadway was obvious and could not meet the reuse conditions, and there were safety hazards after the “roof cutting and unloading constant resistance and large deformation anchor cable support” technology (110 working method) was implemented in transport roadway of the 011206 working face in Wuhu Mountain Coal Mine, and after on-site testing, numerical simulation, and engineering analogy, the design of the “wall and column 协同 support and abrasive high-pressure water jet “cutting fracturing” roof breaking and unloading along the empty to retain the roadway scheme for the 011208 working face in Wuhu Mountain Coal Mine was proposed and implemented on-site. The scheme can provide reference for similar conditions along the empty space to retain the roadway.

## Keywords

Along the sky and leave the alley; Wall and pillar coordination; hydraulic fracturing; hydraulic crack; micro-shock monitoring

# 五虎山矿沿空留巷“墙柱协同”支护及断顶卸压方案设计

王滨<sup>1,2</sup> 祁永禄<sup>3</sup> 刘永强<sup>1,2</sup> 贾少毅<sup>5</sup> 王建刚<sup>4</sup>

1. 中煤科工开采研究院有限公司, 中国·北京 100013
2. 中煤科工(西安)开采工程技术有限公司, 中国·陕西 西安 710000
3. 国能乌海能源五虎山矿业有限责任公司, 中国·内蒙古 乌海 016000
4. 国能乌海能源黄白茨矿业有限责任公司, 中国·内蒙古 乌海 016000
5. 北京天玛智控科技股份有限公司有限公司, 中国·北京 100013

## 摘要

根据五虎山煤矿011206工作面在运输巷实施了“切顶卸压+恒阻大变形锚索支护”为主体的沿空留巷技术(110工法),留巷巷道围岩变形明显,无法满足复用条件,且存在极大的安全隐患的前提下,经过现场试验、数值模拟、工程类比法等技术分析提出五虎山煤矿011208工作面“墙柱协同”支护及磨料高压水射流“切割+压裂”断顶卸压沿空留巷方案设计,在现场进行实施。方案设计可为类似条件沿空留巷提供参考。

## 关键词

沿空留巷; 墙柱协同; 水力压裂; 水力裂缝; 微震监测

## 1 引言

五虎山煤矿位于内蒙古自治区贺兰山煤田北段乌达矿区的南部,东西最宽约 2.84km,南北长约 4.57km,行政区划隶属乌海市乌达区管辖。矿区周边已有两条铁路线相邻,乌海机场位于五虎山煤矿北东方向,交通十分方便。

五虎山煤矿先前已有沿空留巷经历,011206工作面在运输巷实施了“切顶卸压+恒阻大变形锚索支护”为主体的沿空留巷技术(110工法),留巷巷道围岩变形明显,无法满足复用条件,且存在极大的安全隐患。

## 2 矿井概况

五虎山煤矿为高瓦斯矿井,煤层具有爆炸性,属 II 类易自燃煤尘,无冲击地压危险。12#煤层位于石炭系上统太原组(C2t)中下部,上距 10 号煤层间距 10.83 ~ 56.15m,

【作者简介】王滨(1987-),男,中国山东东平人,硕士,高级工程师,从事煤层顶板岩层压裂的工程及科学研究。

平均为 24.07m。在井田东部出露地表，露头西部全区可采。该区域煤层顶板岩性多为页岩、砂质页岩和中粒砂岩，零星部位可见少量粘土岩及粉砂岩；底板岩性多为粘土页岩和砂质页岩，部分钻孔中可见粉砂质泥岩或泥岩。12# 煤层层位较稳定，大部可采，厚度规律性变化，结构复杂，煤类为焦煤，均为炼焦用煤，属较稳定厚煤层。

12# 煤强度主要集中在 7~20MPa，页岩强度主要集中在 25~41MPa，砂质页岩强度主要集中在 43~61MPa，中粒砂岩强度主要集中在 82~102MPa。

12# 煤层最大水平主应力最大值为 7.62MPa，垂直应力最大值为 7.29 MPa，地应力场最大水平主应力优势方向为 NNW 方向。

### 3 工作面概况

011208 工作面埋深 277~314m；按照“两进一回”的通风方式进行布置，其上方分别为 010906 和 011006 工作面采空区，东翼为间隔 16m 布置的 011210 工作面，011210 工作面上方同样存在 9#、10# 煤层采空区；因此 011208 工作面矿压显现尤为明显，为降低上覆采空区对工作面回采造成的应力叠加问题，拟在 011208 工作面回风巷进行沿空留巷。011208 工作面回风巷沿 12 上煤顶板掘进，走向长度 1034m，矩形巷道，设计巷高 4300mm，宽 5600mm。

#### 3.1 煤岩层赋存情况

见表 1。

表 1

煤层情况	煤(岩)层厚度(m)	12#煤层平均总厚 4.86 煤平均厚 4.02 矸平均厚 0.84	煤层结构(m)	复杂(详见附图)	煤层倾角(°)	5° -8°
	煤岩层物理性质特征：煤层黑色，半亮型煤为主、块状，煤层夹矸 5-7 层，夹矸为深灰色页岩。顶板岩层为深灰色页岩，含植物化石，层理裂隙发育。底板深灰色砂质页岩，厚层产状含砂质较高及少许云母片。 赋存情况：煤层走向近南北，倾向东，倾角 5 ~ 8°，结构复杂，煤厚由北至南逐渐变薄，属较稳定煤层。					
煤层顶底板情况	顶底板名称	岩石名称	厚度(m)	岩性特征		
	老顶	细粒砂岩	7.04	灰白色，石英成分为主，砂质胶结，含云母分选较差。		
	直接顶	12 上直接顶页岩	3.6	深灰色，泥质块状。		
	伪顶	-	-	-		
	直接底	砂质页岩	1.51	深灰色，厚层产状含砂质较高及少许云母片。		
	老底	细粒砂岩	0.91	灰白色，以石英为主含长石暗色矿物质及少许云母，分选良好。		

#### 3.2 影响回采的其他因素

① 瓦斯：12# 煤层瓦斯含量为 7.76m<sup>3</sup>/t，瓦斯压力 0.68Mpa。

② 煤层：12# 煤层挥发份指数为 27.04%，具有爆炸危险性。

③ 煤的自燃：自然发火期 88 天。

#### 3.3 原支护情况

顶板采用 3 排锚索+6 排螺纹钢锚杆+钢筋网联合支护，锚杆矩形布置、锚索施工 3 排五花布置。顶锚杆选用 L=2000mm Φ20mm 螺纹钢锚杆加设 200×200×8mm 铁托盘进行支护，锚杆支护排、间距 900×1000mm，边排锚杆距帮 350mm，与锚杆夹角 15°。锚索选用 L=7300mm Φ21.8mm 钢绞线加设 L=500mm 槽钢进行支护，锚索排间距 1300×2000mm、边排锚索距离帮 1300mm。

### 4 沿空留巷设计原则<sup>[1][2]</sup>

(1) 总体原则：超前磨料高压水射流“切割+压裂”断顶卸压+超前巷内锚索补强支护+“双层金属网+挡矸支架”挡矸支护+“异形墩柱”动压区加强支护+“钢筋砼墙体”巷旁支护+矿压实时监测。

(2) 留巷用途：011208 工作面运输巷留下来作为

011210 工作面回风巷；

(3) 工作面推进速度：3~5m/d；

(4) 巷道规格：留巷前巷道宽度 5.6m，留巷后巷道宽度 4.4m，可复用宽度 2.8m；

(5) 留巷基本方式：超前工作面进行强力锚索补强支护；工作面移架前，提前挂网，在工作面推进后，采用挡矸支架进行挡矸支护，靠近采空区侧浇筑宽 1.2m 的 C40 强度钢筋砼墙体；

(6) 挡矸支护方式：采用“双层金属网+挡矸支架”方式进行挡矸切顶；

(7) 切顶方式：超前工作面进行磨料高压水射流“切割+压裂”断顶卸压；

(8) 泵送设备及工艺：方案一：在混凝土地面搅拌站配制干混料，采用矿车装载混凝土干料运至混凝土泵站位置加水搅拌泵送；方案二：在混凝土地面搅拌站配置成品混凝土料，采用防爆水泥罐车装载运输至混凝土泵站位置后由混凝土泵泵送至预充填区中的模袋内，实现一次性带压接顶；

(9) 劳动作业方式：单日回采进度 3~5m，根据乌海能源规定，夜班不生产，因此早班（检修期间）进行沿空留巷巷旁支护与巷内支护施工；

(10) 通风方式：工作面采用“Y”型通风。