安全技术及工程

高瓦斯矿井零超限瓦斯防治体系的研究与实践

王 翰 锋
(煤炭科学技术研究院有限公司,北京 100013)

摘 要: 为了遏制瓦斯超限频发的现象,通过理论研究和工程实践,分析了王坡煤矿瓦斯超限的致灾因素和煤矿在瓦斯超限治理方面尚存在的问题;提出了适合高瓦斯矿井特点的“三区三阶段”采掘规划部署和“一超前三结合”的立体化瓦斯抽采体系;研制了矿井通风智能决策与控制系统;构建了瓦斯超限预警指标体系,开发了瓦斯超限治理综合预警管理平台;形成了“以抽采为核心,以通风为基础,以超限预警为手段,以风险预控管理为支撑”的“一核心三配套”瓦斯治理体系。该体系应用以后,矿井瓦斯超限治理取得明显成效,矿井瓦斯抽采量和抽采率显著提高,瓦斯超限次数大幅下降,2014、2015 年连续实现瓦斯零超限治理目标。

关键词: 高瓦斯矿井;瓦斯超限;瓦斯治理;超限预警;工作体系
中图分类号: TD712 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)05-0145-06

Study and practices on zero overlimit gas prevention system of high gassy mine

Wang Hanfeng
(*China Coal Research Institute*, *Beijing* 100013, *China*)

Abstract: In order to contain the phenomenon that gas overlimit frequently occurred, with the theoretical study and engineering practices, the paper analyzed the disaster-causing factors of the gas overlimit and the problems existed in the gas overlimit control of Wangpo Mine. The paper provided the "three blocks and three stages" mining and excavation planning and arrangement suitable to the features of the high gassy mine and the "one advance and three combination" three dimensional gas drainage system. A mine ventilation intelligent decision and control system were researched and developed. A early warning index system of the gas overlimit was established and a comprehensive early warning management platform of the gas overlimit control was developed. "With the gas drainage as a core, the ventilation as a base, the gas overlimit early warning as a means and the risk pre-control management as a support", the gas control system with "one core and three matches" was formed. After the system puting into use, obvious achievements were obtained in the mine gas overlimit control, the mine gas drainage volume and drainage rate were obviously improved, gas overlimit numbers were highly reduced and a zero gas overlimit control target was realized in the year of 2014 and 2015 continuously.

Key words: high gassy mine; gas overlimit; gas control; overlimit early warning; work system

0 引 言

瓦斯超限是引起瓦斯事故的主要原因,减少和杜绝瓦斯超限是有效遏制重特大瓦斯事故的根本途径[1-3]。然而,瓦斯超限的诱因复杂,不仅与煤层瓦斯赋存状况、地质构造、煤岩应力以及煤体结构等地质因素密切相关,还受井巷布置方式、通风方式、开采规模、采煤方法、作业工序、顶板管理方式等工程因素的影响[4-8]。目前,许多高瓦斯矿井在瓦斯超限治理方面尚存在诸多技术和管理缺

收稿日期: 2015-11-12;**责任编辑:** 王晓珍 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2016.05.028
基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05040);科研院所技术开发专项基金资助项目(2014EG122192);国家发改委“瓦斯治理示范矿井工程建设”资助项目(发改能源[2012]147 号)
作者简介: 王翰锋(1978—),男,辽宁彰武人,副研究员,博士。
引用格式: 王翰锋.高瓦斯矿井零超限瓦斯防治体系的研究与实践[J].煤炭科学技术,2016,44(5):145-150.
Wang Hanfeng.Study and practices on zero overlimit gas prevention system of high gassy mine[J].Coal Science and Technology,2016,44(5):145-150.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

陷[9-12]，主要体现在：煤层瓦斯赋存量大，瓦斯抽采率偏低；通风系统稳定性差，通风风量控制困难，达不到理想的调风状态；现采用的安全监测监控系统对可能导致瓦斯超限的隐蔽致灾因素参数监测不全面，未实现瓦斯超限的多因素综合预警；矿井在瓦斯超限管理方面制定了许多管理制度与措施，但没有形成一个完整的管理体系。为解决上述问题，煤矿企业必须贯彻执行《煤矿安全规程》、《强化煤矿瓦斯防治十条规定》等相关规程规定的要求，提高瓦斯超限治理的技术和装备水平，建立瓦斯零超限目标管理制度和通风瓦斯分析制度，构建完善的瓦斯超限治理工作体系，实现瓦斯超限源头控制和综合治理。山西天地王坡煤业有限公司（以下简称王坡煤矿）以“高瓦斯矿井零超限瓦斯治理示范矿井建设”为契机，从立体化瓦斯抽采、矿井通风系统优化改造、矿井通风实时监测、智能分析决策与地面远程调控技术研发与应用、瓦斯超限综合预警管理平台研发与应用、瓦斯超限治理风险预控管理体系建设等方面进行了不断的探索和实践，形成了一套有效的高瓦斯矿井零超限瓦斯治理工作体系，为瓦斯超限治理工作提供了整体思路和技术支持。

1　矿井瓦斯概况

王坡煤矿位于晋城矿区西北部，设计生产能力 300 万 t/a，主采山西组 3 号煤层和太原组 15 号煤层。其中，3 号煤层厚 4.10～6.70 m，平均 5.76 m；15 号煤层厚 2.33～4.79 m，平均 3.42 m。王坡井田瓦斯含量大，涌出量大，根据现场测试，井田内 3 号煤层的瓦斯原始含量为 8.87～12.80 m^3/t，残存瓦斯含量（不可解吸瓦斯量）为 3.3 m^3/t，瓦斯压力为 0.14～0.58 MPa，煤层透气性系数为 1.745～4.864 $m^2/(MPa^2 \cdot d)$，百米钻孔瓦斯流量衰减系数为 0.006 7～0.134 5 d^{-1}；矿井绝对瓦斯涌出量 46.53 m^3/min，相对瓦斯涌出量 14.97 m^3/t，被鉴定为高瓦斯矿井[13]。随着矿井生产能力的增大和向深部延伸，瓦斯超限现象日趋严重，采掘工作面瓦斯超限现象频发，严重制约着矿井的安全生产。

2　高瓦斯矿井零超限瓦斯防治体系建设

王坡煤矿在高瓦斯矿井零超限瓦斯治理示范矿井建设期间，形成了“以抽采为核心，以通风为基础，以超限预警为手段、以风险预控管理为支撑”的“一核心三配套”瓦斯治理工作体系。“一核心”即瓦斯治理以抽采为核心，“三配套”即通风控制、超限预警、风险预控管理相配套。

2.1　以瓦斯抽采为核心的瓦斯防治技术路线

2.1.1　“三区三阶段”矿井采掘规划部署

通过多年的研究和实践，王坡煤矿通过制定“三区三阶段”的采掘规划，为瓦斯抽采工作留足时空保证，做到瓦斯抽采有规划、有顺序、有目标。在进行采掘部署时，动态划分矿井的“三区”，即预生产区、生产区、采空区（图 1），合理制定“三阶段”的采掘部署，一是明确下一年的采掘部署，组织落实到位；二是合理规划三年内采掘部署，为实施区域瓦斯预抽创造良好条件；三是做好 5 年内采掘部署中长期规划，充分考虑瓦斯综合治理发展需求。

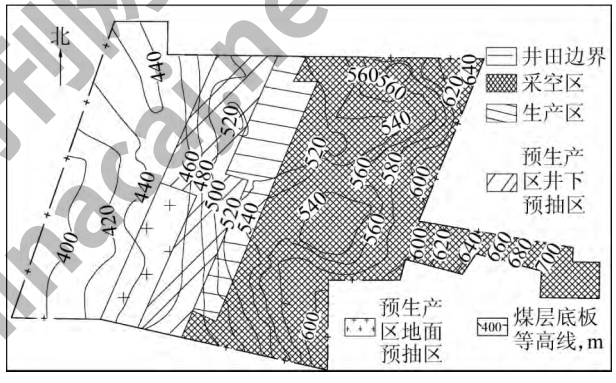


图 1　“三区三阶段”矿井采掘规划

Fig. 1　Mining and excavating plan of “three areas “and ”three stages”

2.1.2　“一超前三结合”立体化瓦斯抽采

“一超前三结合”即“区域性大面积超前抽、回采工作面采前采中结合密集抽、采空区尾部插管和高位钻孔结合抽、掘进工作面长短钻孔结合抽”的瓦斯抽采体系，具体如图 2 所示。在预生产区，对于 3～5 a 区域采用在区域预抽巷提前施工钻场，利用千米定向钻机在钻场内施工长钻孔，对未采、掘区域实施区域预抽，区域抽采后瓦斯含量降到 10 m^3/t 以下；在生产区，对于 3 a 内回采区域采用工作面顺层密集钻孔抽采。

1）区域性大面积超前抽。在预生产区，对于 5 a 以后开采区域采用地面井进行试验性抽采[14]，抽采时间 5～10 a；对于 3～5 a 区域采用在区域预抽巷提前施工钻场，利用千米定向钻机在钻场内施工长钻孔，对未采、掘区域实施区域预抽，大约每 400 m 布置 1 个钻场，每个钻场布置 10 个钻孔（图 3），每

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

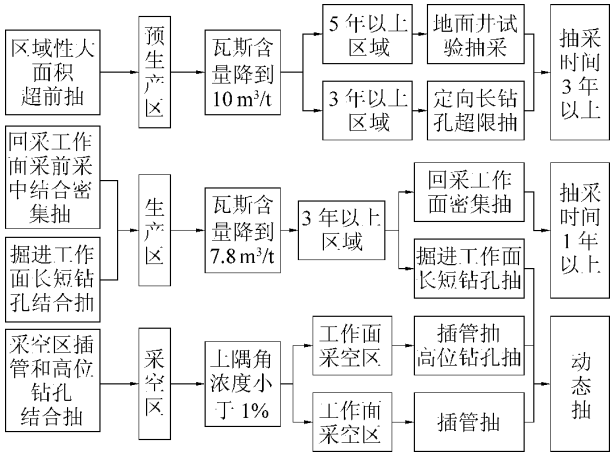


图 2　“一超前三结合”立体化瓦斯抽采体系

Fig. 2　System of “a leading and three-combination” spatial gas drainage

个钻场预计覆盖长度 350～500 m，**抽采时间** 3～5 a，**区域抽采后瓦斯含量降到** 10 m^3/t **以下。**

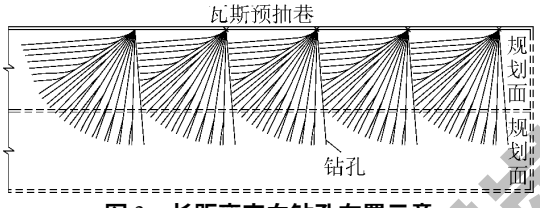


图 3　长距离定向钻孔布置示意

Fig. 3　Schematic diagram of long-distance directional borehole

2) 回采工作面采前采中结合密集抽。在生产区，对于 3 a **内回采区域采用工作面顺层密集钻孔抽采，在工作面运输巷、回风巷掘进过程中，从工作面终采线开始向工作面方向施工对向钻孔，钻孔成平行密集布置(** 图 4) 。**布置钻孔视现场条件而定，钻孔间距一般为** 2.5 m，**钻孔直径** 115 mm，**钻孔长度约** 100 m，**位置在距巷道底板** 1.5 m **处，保证抽采时间** 1 a **以上，抽采后煤层瓦斯含量降到** 7.8 m^3/t **以下。工作面开采前进行本煤层瓦斯预抽，开采时**

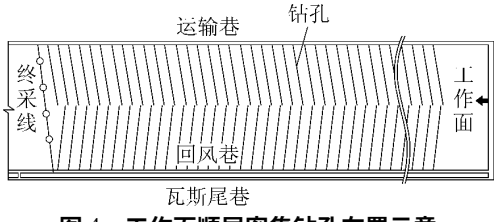


图 4　工作面顺层密集钻孔布置示意

Fig. 4　Schematic diagram of bedding intensive borehole in working face

边采边抽。

3) 采空区尾部插管和高位钻孔结合抽。采空区采用尾部插管和高位钻孔相结合的抽采方法。采用双 U **通风系统的工作面，在外** U **巷内每隔一定距离向回风巷施工** 1 **条联络巷，工作面未回采时在外** U **巷内插入抽采管，当工作面回采推进至过联络巷后，密闭联络巷，联接抽采管路，抽采采空区内的瓦斯，同时结合顶板高位钻孔抽采采空区瓦斯。王坡煤矿利用** PASAT-M **型便携式微震探测系统、双端堵水试验及钻孔窥视试验等多种监测手段和探测技术成果相互印证，准确把握采动裂隙发育状况，确定顶板高位钻孔抽采裂隙高度为** 15～57 m，**在回风巷内布置钻场，每个钻场布置** 2 **排钻孔，上排** 4 **个短钻孔、长** 100 m，**下排** 4 **个长钻孔、长** 120 m。**高位钻孔布置如图** 5 **所示。**

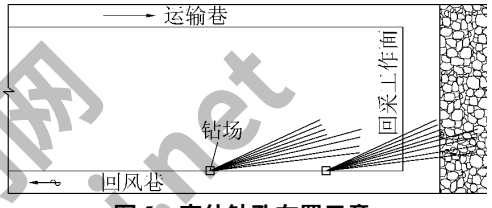


图 5　高位钻孔布置示意

Fig. 5　Schematic diagram of high position borehole

4) 掘进工作面长短钻孔结合抽。掘进工作面采取长孔超前抽、短孔紧跟掘进工作面的瓦斯抽采方法: 一是在巷道两帮间隔 50 m **施工** 1 **个瓦斯抽采钻场，迈步式布置，每个钻场一般布置** 7 **个钻孔，孔长** 120 m，**终孔距掘进巷道帮** 5 m，**上孔终孔于顶板，低孔终孔于底板，其余孔平均分布在煤层中，形成一个竖直钻孔墙，拦截巷道两侧瓦斯向掘进巷道涌出; 二是在掘进工作面瓦斯涌出异常时，在掘进工作面布置** 1 **组抽采短孔，每组** 5 **个，孔深** 80 m，**抽采巷道前方煤体瓦斯。**

2.2　以通风为基础的瓦斯治理保障路线

2.2.1　矿井通风系统全面优化改造

合理可靠的通风系统是矿井瓦斯零超限治理的基础。王坡煤矿生产部署过程中，始终坚持“以风定产，以风定面”的理念，示范工程建设期间，为强化通风系统的可靠性，煤矿对矿井通风系统进行了大幅度改造，实现了四进二回的分区通风方式，简化了矿井通风系统，消除了不合理用风现象; 为提高回采工作面通风效率，矿井深入开展了“U+U”二进二回、“U+I”二进一回、“U+L”一进二回通风系统对比研究，对回采工作面通风系统进行了适时优化，有效遏制了上隅角瓦斯超限现象的发生; 矿井进一步加强了局部通风管理，掘进通风均采用高效大功率对旋式局部通风机，机械压入式供风方式，全部采用

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

“三专”、“两闭锁”供电和双风机、双电源自动切换，风筒直径 1 000 mm，提高了局部通风系统的安全可靠性，杜绝了无计划停电、停风现象的发生。矿井通过构建“通风可靠”工作体系，使通风系统始终处在科学、合理的运行状态，确保了通风系统“风量充足、设施可靠、调控合理、系统稳定”[15]。

2.2.2　矿井通风实时监测、智能分析决策与地面远程调控

示范工程建设期间，王坡煤矿与科研单位合作研制了矿井通风智能决策与控制系统，以提高矿井风流参数的监测能力，并增加可靠的风流控制系统，保证矿井风流稳定性和风流合理分配的调控性[16]。矿井通风智能决策与控制系统可在地面实时监测显示井下巷道的风流状态、动态分析通风系统的安全性，当瓦斯体积分数达到 0.6%时，系统进行预警；当瓦斯体积分数达到 0.8%时，系统报警并智能分析决策调控方案，经总工程批准后，可在地面进行远程操作，井下控风设施实现了自动测风和地面远程调控，通风风量调节准确率达 90%以上。该系统的应用，大幅提高了矿井通风系统的管理水平，进一步增强了通风治理瓦斯的能力。

2.3　以预警为手段的瓦斯零超限治理路线

2.3.1　构建“四结合”瓦斯超限预警指标体系

示范工程建设过程中，在综合考虑瓦矿井的煤岩层、瓦斯赋存条件、采掘工艺、管理技术的基础上，通过对瓦斯超限发生、发展规律和预测预警方法的研究，采用系统追溯的方法，从采掘、通风瓦斯（抽采）、地测、监测监控和管理缺陷等 5 个方面凝练了瓦斯超限的 46 个主控因素，并构建了“动态与静态相结合、定性与定量相结合、预测与预警相结合、敏感与辅助相结合”的瓦斯超限预警指标体系（图 6），从单一、局部综合和综合预警 3 个层次，构建了 7 类指标，能够对瓦斯涌出危险性状况变化波动的趋势进行预测，对瓦斯超限进行提前预警。

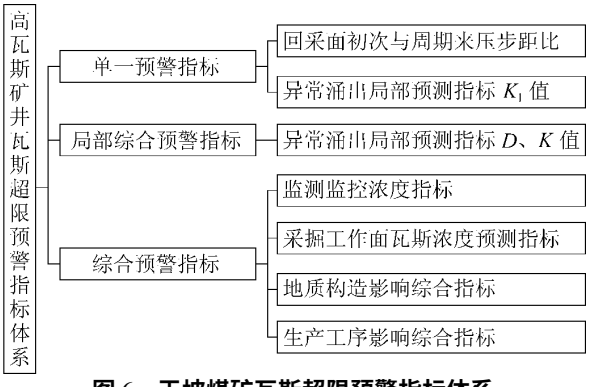


图 6　王坡煤矿瓦斯超限预警指标体系

Fig. 6　Early warning index system of gas overrun in Wangpo Coal Mine

2.3.2　瓦斯超限实时监测与可视化预警

王坡煤矿建立了瓦斯超限治理综合预警管理平台，整体架构如图 7 所示。矿井通过对地测、采掘、通风、瓦斯、监测监控等 5 类瓦斯超限预警指标信息进行综合数字化管理，把煤矿各职能部门的地质构造、煤层赋存、瓦斯赋存、采掘生产、日常预测指标、通风、抽采、监测监控、隐患和“违章指挥、违章操作、违反劳动纪律”（以下简称“三违”）等安全信息在瓦斯超限预警管理平台上进行综合分析预警，实现了信息数据库数据的动态更新，可视化显示埋深等值线、瓦斯涌出量等值线、瓦斯含量等值线以及采掘工程、预警位置等，基于瓦斯超限预警准则与预警方法，实时进行可视化瓦斯超限预警，并对瓦斯超限隐患进行闭环管理，及时消除瓦斯超限隐患。

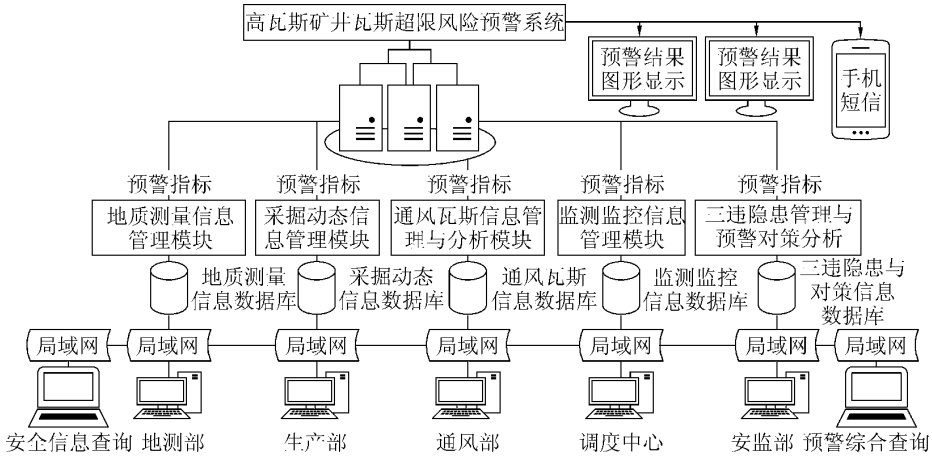


图 7　王坡煤矿瓦斯超限治理综合预警管理信息平台整体架构

Fig. 7　The whole framework of comprehensive early warning and management platform of gas control in Wangpo coal mine

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

2.4　以风险预控管理为支撑的瓦斯零超限管理路线

2.4.1　瓦斯超限风险的超前控制和动态管理

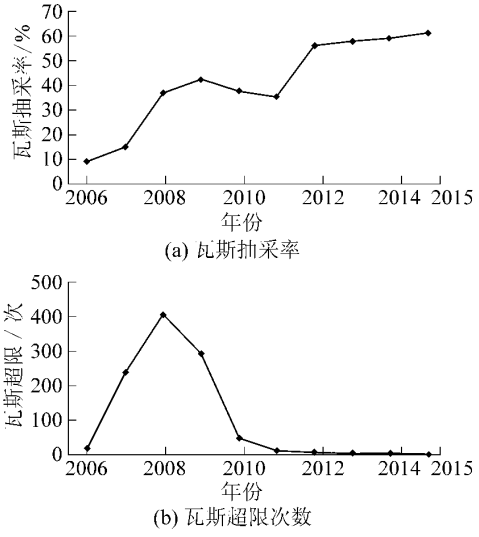
在“瓦斯零超限”的战略目标导向下，王坡煤矿以风险预控管理理论、精细化管理理论为基础，构建了“超前化、全员化、标准化、精细化、信息化”的瓦斯零超限治理风险预控管理体系。该体系进一步明确了瓦斯零超限治理管理组织机构形式、领导小组组成及相关成员的职责划分；形成了完善的矿井通风管理标准、矿井瓦斯抽采管理标准、通风瓦斯岗位操作人员管理标准、瓦斯治理综合考核标准等王坡煤矿企业管理标准；针对瓦斯治理的每个环节实施全过程控制，做到了安全、质量、技术标准明确、分工清晰，安全责任细化到各个岗位、每个操作工序，实现了瓦斯超限治理工作的超前控制和动态闭环管理，提高了示范工程的建设效率和水平。

2.4.2　安全隐患和“三违”的双闭环动态管理

根据瓦斯治理工作特点，以瓦斯隐患和“三违”防控工作为主线，制定了王坡煤矿安全隐患和“三违”认定标准体系，构建了“五级六步”隐患闭环管理体系和“六先七关”、“三违”闭环管理体系[16-17]。实施安全隐患、“三违”双闭环管理，推行以“定人员、定次数、定线路、定任务、定落实”为原则的走动式管理模式，确保了“三违”隐患管理全覆盖、无盲区、无空挡、无死角；突破了瓦斯超限治理过程中被动式管理模式的局限，实现了安全隐患及“三违”防控的超前化、全员化、标准化、精细化、信息化。

3　王坡煤矿零超限瓦斯治理实施效果

王坡煤矿实施零超限瓦斯治理工作体系以来，瓦斯管理水平和效率明显提升，瓦斯治理形势进一步巩固，矿井未发生过瓦斯事故。矿井瓦斯抽采量和抽采率显著提高，瓦斯抽采纯量由 2006 年的 152.77 万 m^3 提高到 1 420.87 万 m^3，预生产区和生产区煤层瓦斯含量分别降到了 10 m^3/t 和 7.8 m^3/t 以下，2015 年瓦斯抽采率提高到 61.05%（图 8a）；矿井瓦斯超限次数大幅下降（图 8b），2010 年至 2013 年期间共发生 60 次瓦斯超限，地点主要集中在采掘工作面和瓦斯抽采钻场，主要原因为掘进工作面冒顶片帮、回采工作面采空区垮落和施工抽采钻孔时异常涌出，2014、2015 年连续 2 年实现了瓦斯零超限治理目标。



(a) 瓦斯抽采率

(b) 瓦斯超限次数

图 8　王坡煤矿 2006—2015 年矿井瓦斯抽采率和瓦斯超限次数

Fig. 8　Gas drainage rate and number of gas overrun from 2006 year to 2015 year in Wangpo Coal Mine

4　结　论

1）“三区三阶段”采掘规划部署和“一超前三结合”立体化瓦斯抽采，有效解决了瓦斯抽采与煤炭开采在时间和空间上的接续问题，显著提高了矿井瓦斯抽采量和抽采率，大幅降低了预生产区和生产区的煤层瓦斯含量，从源头上预防了瓦斯超限的发生。

2）矿井通风系统的优化改造和通风智能决策与地面远程调控系统的研制和应用，强化了通风系统的可靠性，保证了矿井风流的稳定性和风流合理分配的调控性，进一步增强了通风治理瓦斯的能力。

3）安全隐患与“三违”风险预控的双闭环管理模式，强化了瓦斯超限治理的过程协调与控制，保证了瓦斯治理工程技术的顺利实施；瓦斯超限预警指标体系进一步明确了瓦斯超限的防控方向，超限预警综合管理信息平台实现了瓦斯超限的动态管理。

4）“一核心三配套”瓦斯治理工作体系在王坡煤矿取得了良好的应用效果，实现了瓦斯零超限的目标，践行了“瓦斯事故是可以预防和避免的”的理念，部分研究成果已在同煤白洞煤矿、双鸭山新安煤矿推广应用，取得了良好示范效果。

参考文献（References）：

[1]　周心权，陈国新. 煤矿重大瓦斯爆炸事故致因的概率分析及启示[J]. 煤炭学报，2008，33(1)：42-46.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

Zhou Xinquan,Chen Guoxin.The probability analysis of occurrence causes of extraordinarily serious gas explosion accidences and its revelation [J].Journal of China Coal Society,2008,33(1):42-46.

[2] 景国勋.2008-2013 年我国煤矿瓦斯事故规律分析 [J].安全与环境学报,2014,14(5):353-356.
Jing Guoxun.Law of coal-gas mining accidents in China from 2008 to 2013 [J].Journal of Safety and Environment,2014,14(5):353-356.

[3] 李润求,施式亮,念其锋,等.近 10 年我国煤矿瓦斯灾害事故规律研究 [J].中国安全科学学报,2011,21(9):143-151.
Li Runqiu,Shi Shiliang,Nian Qifeng,*et al*.Research on coal mine gas accident rules in China in recent decade [J].China Safety Science Journal,2011,21(9):143-151.

[4] 王 刚,程卫民,谢 军,等.瓦斯含量在突出过程中的作用分析 [J].煤炭学报,2011,36(3):429-434.
Wang Gang,Cheng Weimin,Xie Jun,*et al*.Analysis of the gas content in the coal and gas outburst [J].Journal of China Coal Society,2011,36(3):429-434.

[5] 程远平,张晓磊,王 亮.地应力对瓦斯压力及突出灾害的控制作用研究 [J].采矿与安全工程学报,2013,41(8):408-414.
Cheng Yuanping,Zhang Xiaolei,Wang Liang.Controlling effect of ground stress on gas pressure and outburst disaster [J].Journal of Mining & Safety Engineering,2013,41(8):408-414.

[6] 孟召平,刘珊珊,王保玉,等.晋城矿区煤体结构及其测井响应特征研究 [J].煤炭科学技术,2015,43(2),58-63.
Meng Zhaoping,Liu Shanshan,Wang Baoyu,*et al*.Study on feature of coal body structure and logging response in Jincheng Mining Area [J].Coal Science and Technology,2015,43(2),58-63.

[7] 郭德勇,郑茂杰,鞠传磊,等.采煤工作面瓦斯涌出量预测逐步回归方法 [J].北京科技大学学报,2013,31(9),1095-1099.
Guo Deyong,Zheng Maojie,Ju Chuanlei,*et al*.Stepwise regression method for predicting gas emission from coal faces [J].Journal of University of Science and Technology Beijing,2013,31(9),1095-1099.

[8] 孙 鑫,徐 杨,林柏泉,等.煤与瓦斯突出影响因素评价分析的模糊层次分析方法 [J].中国安全科学学报,2009,19(10):145-149.
Sun Xin,Xu Yang,Lin Baiquan,*et al*.Evaluation and analysis on influential factors of coal and gas outburst based on fuzzy analytic hierarchy process [J].China Safety Science Journal,2009,19(10):145-149.

[9] 高 原,张士岭.矿井瓦斯超限风险预测技术研究与应用 [J].煤矿安全,2015,46(6):122-125.
Gao Yuan,Zhang Shiling.Research and application of gas overrun risk prediction technology of coal mine [J].Safety in Coal Mines,2015,46(6):122-125.

[10] 郭魏虎,王 锋,高 飞.高瓦斯矿井瓦斯零超限管理实践 [J].煤矿安全,2014,45(9):133-136.
Guo Weihu,Wang Feng,Gao Fei.Management practice of zero gas overrun in high gas mine [J].Safety in Coal Mines,2014,45(9):133-136.

[11] 郭之宝.山西地区典型矿井瓦斯治理技术服务与工程实践 [J].矿业安全与环保,2012,39(2):62-67.
Guo Zhibao.Gas control technology services and engineering practice in Shanxi's typical mine [J].Mining Safety & Environmental Protection,2012,39(2):62-67.

[12] 杜春志,茅献彪,王美芬.我国煤层气抽采方法及在晋城矿区的应用 [J].河北理工大学学报:自然科学版,2008,30(3):16-19.
Du Chunzhi,Mao Xianbiao,Wang Meifen.The drainage methods of coal bed methane and its application in Jincheng mine fields [J].Journal of Hebei Polytechnic University:Natural Science Edition,2008,30(3):16-19.

[13] 张宏杰.王坡煤矿瓦斯预抽钻孔封孔工艺优化研究 [J].煤炭与化工,2015,38(5):80-82.
Zhang Hongjie.Study on Wangpo Mine gas pre-drainage drilling hole sealing technology optimization [J].Coal and Chemical Industry,2015,38(5):80-82.

[14] 王正喜,张培河,姜在炳,等.丛式井在王坡煤矿井煤层气开发中的适应性分析 [J].中国煤炭地质,2013,25(3):17-19,67.
Wang Zhengxi,Zhang Peihe,Jiang Zaibing,*et al*.Adaptability analysis of cluster wells for CBM exploitation in Wangpo Mining Field [J].Coal Geology of China,2013,25(3):17-19,67.

[15] 张 浪,范喜生,蔡昌宣,等.U 型通风上隅角瓦斯浓度超限治理理论与模拟 [J].煤炭科学技术,2013,41(8):129-132.
Zhang Lang,Fan Xisheng,Cai Changxuan,*et al*.Theory and simulation on over limit control of gas concentration in upper corner of U type ventilation in underground mine [J].Coal Science and Technology,2013,41(8):129-132.

[16] 张 浪,王翰锋,王大尉.矿井通风系统仿真图形化建模 [J].煤矿开采,2009,14(6):17-19.
Zhang Lang,Wang Hanfeng,Wang Dawei.Graphic simulation modeling of mine ventilation system [J].Coal Mining Technology,2009,14(6):17-19.

[17] 杨 勇,谷小敏,张书林.煤矿安全隐患实时闭环管理技术的研究 [J].煤矿开采,2015,20(6):115-118.
Yang Yong,Gu Xiaomin,Zhang Shulin.Study on real-time and closed-loop management technology of safety hidden danger in coal mine [J].Coalmining Technology,2015,20(6):115-118.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net