

Výzkum a využití indikačních plynů samovznícení uhlí v Číně

Ing. Xiyang Feng¹, prof. Ing. Alois Adamus, Ph.D.²

¹Institut bezpečnostních technologií a managementu,
Yunnan Land and Resources Vocational College, 2. Jingniu Road, Yunnan, Čína; 68775351@QQ.com

²Institut hornického inženýrství a bezpečnosti, VŠB-Technická univerzita Ostrava,
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba; alois.adamus@vsb.cz

Přijato: 17. 3. 2014, recenzováno: 6. a 24. 5. 2014

Abstrakt

Čína je v současné době globálně nejvýznamnějším těžářem uhlí s převahou hlubinného dobývání. Četné doly zde těží sloje náchylné k samovznícení, které jsou zdrojem rizika endogenních požárů. Počátky výzkumu a aplikace indikačních plynů samovznícení uhlí pochází v Číně z 60. let minulého století. Ke značnému rozvoji došlo v 90. letech, kdy byl dokončen státní výzkumný program „*Charakteristika adsorpce kyslíku uhlí a její aplikace v prevenci důlních požárů*“. Článek stručně popisuje přehled historického vývoje aplikace indikačních plynů samovznícení uhlí v Číně, dosažené výsledky výzkumu, technické vybavení, související čínskou legislativu a normalizaci.

Research and application of indicator gases of coal spontaneous combustion in China

China is currently the most important producer of coal globally with a predominance of underground mining. Numerous mines here benefits the seam prone to spontaneous combustion, which are a source of risk of endogenous fires. The beginnings of the research and application of indicator gases in coal spontaneous combustion in China comes from the sixties of the last century. The further significant development occurred in the 1990s, when the national research programme "*Characterization of the oxygen adsorption of coal and its application in the prevention of mine fires*" was completed. The article briefly describes an overview of the historical development of applications of spontaneous combustion of coal gas indicator in China, research results and technical equipment related to the Chinese legislation and standardisation.

Forschung und Nutzung von Indikationsgasen der Kohle selbstentzündung in China

Das China ist zurzeit der bedeutendste Kohleförderer mit überwiegender untertägiger Förderung weltweit. Zahlreiche Gruben fördern Flöze, die für Selbstentzündung anfällig sind und eine Risikoquelle von endogenen Bränden darstellen. Die Forschung und Anwendung von Indikationsgasen der Kohle selbstentzündung begann in China in 60iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Zu einer bedeutenden Entwicklung kam es in 90iger Jahren, wann das staatliche Forschungsprogramm „*Charakteristik der Adsorption des Sauerstoffes der Kohle und ihre Anwendung in der Prävention der Grubenbrände*“ zu Ende gebracht wurde. Der Artikel beschreibt kurz die Übersicht der historischen Entwicklung der Anwendung von Indikationsgasen der Kohle selbstentzündung in China, erreichte Forschungsergebnisse, technische Ausstattung, die damit zusammenhängende chinesische Gesetzgebung und Normalisierung.

Klíčová slova: uhlí, samovznícení, indikační plyny, vyšší uhlovodíky.

Keywords: coal, self-ignition, indicator gases, higher hydrocarbons.

1 Čínské uhelné hornictví

V roce 2012 vytěžila Čína 3,66 milionu tun uhlí, tj. cca polovinu celosvětové produkce v daném roce. Převážný podíl těžby činila těžba černého uhlí 90,8 %, včetně antracitu (16 %). Do roku 2010 bylo v Číně celkem 11 tis. činných dolů s menšinovým zastoupením výkonných dolů a převahou značného počtu malých těžářů. Státní těžební plán 2011-2015 usiluje o útlum malých dolů a podporu výkonných těžářů. Hlubinně bylo v roce 2012 v Číně vydobyto 90 % těžby, často v obtížných podmínkách plynujících dolů se slojemi náchylnými k samovznícení.

2 Historie indikačních plynů samovznícení uhlí

Poznatky k aplikaci indikačních plynů pro včasné zjišťování samovznícení uhlí pocházejí globálně z první poloviny 20. století. Byl to především britský autor Graham [1,2], jehož ukazatele jsou využívány v mnohých světových uhelných revírech dodnes, a následně T. Kitagawa [3], první autor zabývající se uvolňovanými plynými uhlovodíky při samovznícení uhlí. Na tento

poznatek navázal široký výzkum vyspělého hornictví v celosvětovém měřítku.

3 Indikační plyny samovznícení v čínském uhelném hornictví

V čínských uhelných dolech byl do konce 50. let minulého století sledován v souvislosti se samovznícením uhlí pouze CO. Doly, těžící v dané době uhlí s obsahem pyritu a potýkající se s výskytem endogenních požárů potvrdily, že dosavadní praxe zaměřená na monitoring CO byla nedostatečná. Z tohoto důvodu zahájila v 60. letech řada čínských dolů výzkum indikačních plynů samovznícení.

3.1 Aplikace CO a Grahamova ukazatele v Číně

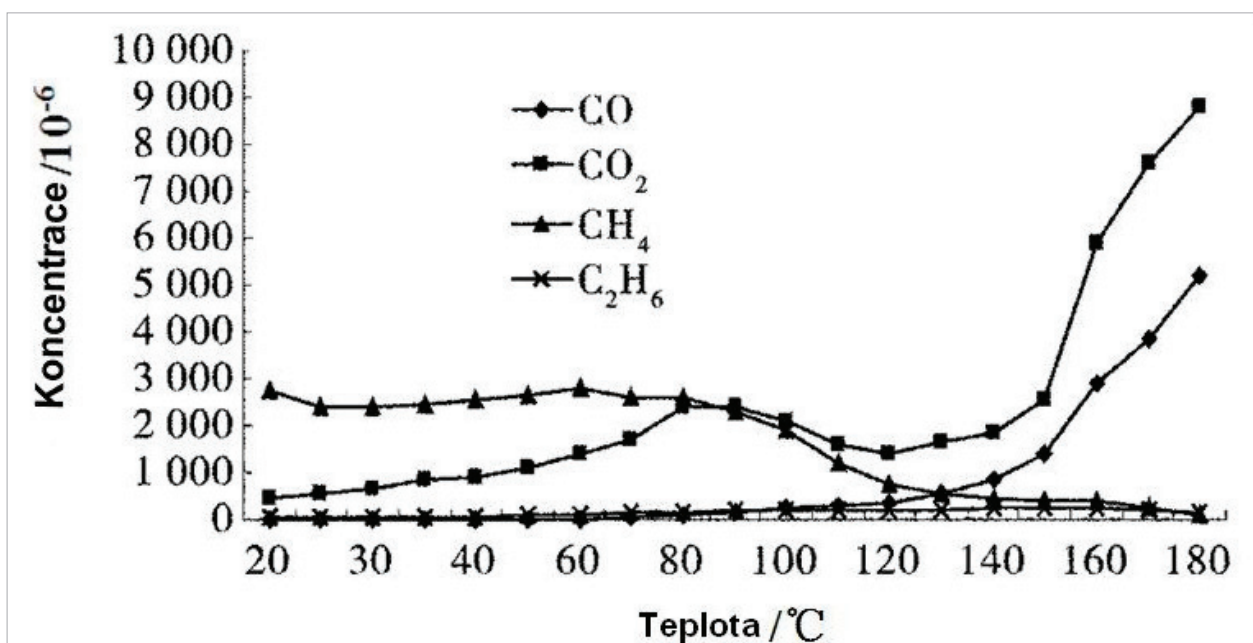
V roce 1966 byl založen na dole Yuanbaoshan v provincii Liaoning výzkumný tým, jehož cílem bylo zkoumat souvislosti vývoje teploty samovznícení a složení plynů v odebíraných plynových vzorcích se zaměřením převážně na výskyt CO a související faktory (litrový vývin, pokles kyslíku, nárůst CO₂) [4].

Experimenty potvrdily, že koncentrace CO se zvyšuje s teplotou v ohnisku samovznícení se souběžným poklesem kyslíku a nárůstem CO_2 . Byla stanovena prahová hodnota litrového vývinu CO samovznícení 5,9 l/min.

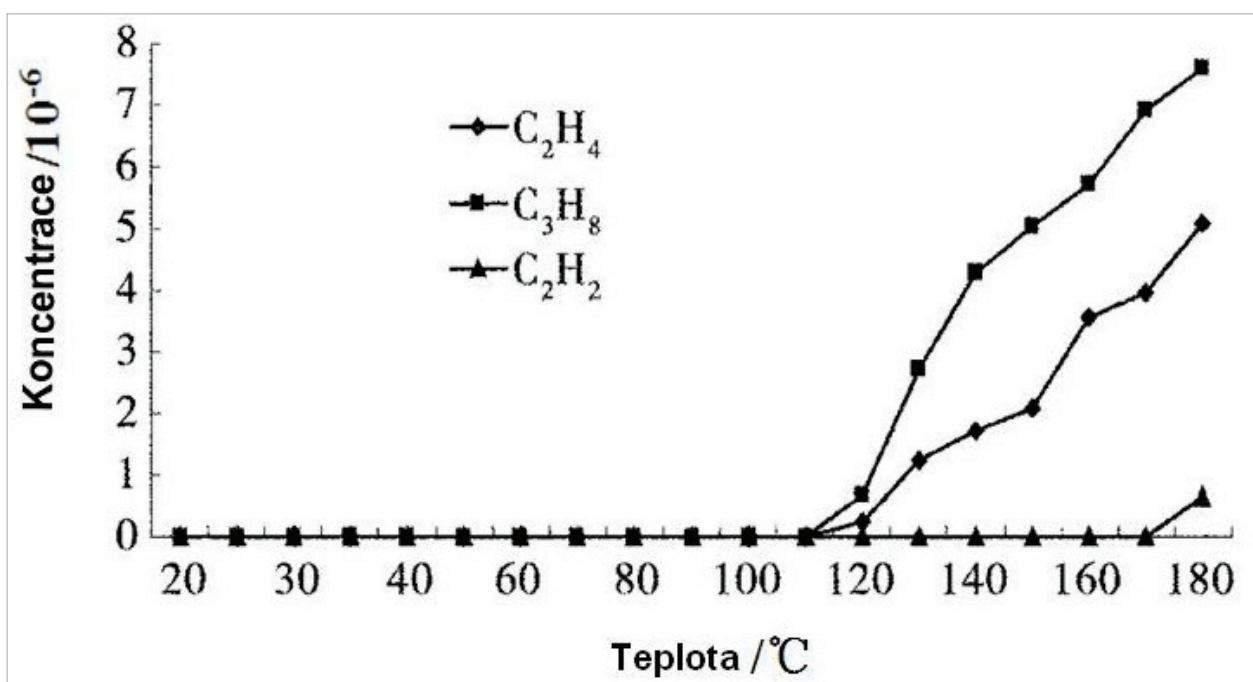
Výzkumný uhelný ústav Číny, nyní CCRI (*China Coal Research Institute*), založil v roce 1974 ve spolupráci s dolem Gusan výzkumný tým, který navázal na poznatky získané na dole Yuanbaoshan [5]. Výsledkem výzkumu byly ukazatele litrového vývinu CO a interpretace Grahamova ukazatele. Stanovené ukazatele byly ověřeny v 36 případech a byly hodnoceny jako vy-

hovující. Grahamovy ukazatele ověřovali dlouholetým výzkumem rovněž autoři Zhong Weiren a Li Fengze v letech osmdesátých na dole Fushungu Laohutai [6]. Poslední publikované výsledky ověřování Grahamových ukazatelů v Číně pocházejí z roku 2011 [7].

Daný výzkum stanovil hodnotu ukazatele $G (\text{CO}/\Delta\text{O}_2)$ 0-0,45 pro nízkoteplotní oxidaci, 0,46-4 pro vysokoteplotní oxidaci, 4,1-9,0 pro fázi začínajícího hoření a hodnotu $>9,0$ pro otevřený požár.



Graf 1: Uvolněné plyny CO, CO₂, CH₄, C₂H₆, energetické černé uhlí [16].



Graf 2: Uvolněné plyny C₂H₄, C₃H₈, C₂H₂, energetické černé uhlí [16].

3.2 Výzkum a aplikace plyných uhlovodíků

Plynné uhlovodíky byly v Číně poprvé využity jako indikační plyn samovznícení v roce 1983 na dole Chaili, a to ve více jak sto úspěšných případech. Podle autorů literatury [8] byl etylén detekován při teplotě uhlí 110-130 °C. Laboratorní experimenty potvrdily vztah mezi bezrozměrným ukazatelem C_2H_6/C_2H_4 a teplotou uhlí. Hodnota ukazatele klesala s nárůstem teploty uhlí, při hodnotě ukazatele 2-3 byla odhadována teplota 140-190 °C, při hodnotě ≤ 1 teploty >200 °C.

V roce 1988 zkoumal Hornický institut Liuzhi závislost plyných uhlovodíků C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} a jejich bezrozměrných ukazatelů C_4H_{10}/CH_4 , C_3H_8/C_2H_6 na nárůstu teploty. Jako vhodný indikátor včasné detekce samovznícení uhlí byl pro aktuální podmínky těžby nakonec vybrán indikátor C_3H_8/C_2H_6 [9]. Tato informace byla publikována rovněž autorem literatury [10] s následujícími hodnotami:

- 0,02-0,06 běžný stav,
- 0,1-0,12 stav rizikový,
- 0,15-0,18 stav samovznícení.

Za účelem dosažení standardů uplatnitelných celonárodně zapracovala Čína v letech 1981-1995 prostřednictvím „Národní nadace výzkumných programů přírodních věd“ výzkum samovznícení uhlí do „šestého“, „sedmého“ a „osmého pětiletého plánu rozvoje národního hospodářství“. Předmětný výzkum přinesl dále uvedené výstupy.

V roce 1990 ukončil výzkumný ústav CCRI Qiyang Min výzkumný projekt „Charakteristika adsorpce kyslíku uhlím“ výzkumu bylo realizováno 900 experimentů s více než 61 uhelnými vzorky odebranými z šesti reprezentativních dolů zahrnujících hnědé uhlí, černé uhlí a antracit [11]. Výzkum zahrnoval hodnocení oxidace uhelné hmoty (dynamiku samovznícení, klasifikaci náchylnosti) a charakteristiku indikačních plynů (plynové obrazy, vzorkování důlního ovzduší). Byly stanoveny teplotní intervaly prvního výskytu plynů pro základní druhy uhlí. Výskyt etylénu byl u hnědého uhlí pozorován od 110 °C do 120 °C, u antracitu od 120 °C do 140 °C. Interval prvního výskytu acetylénu byl pozorován u hnědého uhlí od 150 °C do 190 °C, u antracitu 250 °C do 300 °C. Nejintenzivnější vývin indikačních plynů vykazovaly vzorky hnědých uhlí. Jako základní indikační plyn byl určen CO, následně - jako plyn indikující probíhající proces samovznícení - C_2H_4 a jako indikační plyn počínajícího otevřeného požáru C_2H_2 (varovný plyn).

V roce 1992 bylo v rámci výzkumu [12] testováno 400 uhelných vzorků všech druhů uhlí podle prouhelnění, od hnědého uhlí až k antracitu. Byly hodnoceny charakteristiky uvolňovaných plynů různých litotypů uhlí. Byly vyhodnocovány vztahy uvolňovaných množství CO , C_2H_4 , C_3H_6 , bezrozměrné ukazatele C_2H_4/C_2H_6 , C_3H_8/C_2H_6 , celková množství plyných uhlovodíků alkanové řady (C_2H_6/C_2C_4), a to v závislosti na změnách teploty a typech uhlí, s následujícími závěry:

- hlavními indikátory nízkometamorfovaných uhlí byly bezrozměrné ukazatele alkanové a alkenové řady, sekundárním indikátorem byl CO a ukazatele založené na CO;
- CO a ukazatele založené na CO byly hlavními indikátory středně metamorfovaných uhlí, sekundárními indikátory byly bezrozměrné ukazatele založené na C_2H_4 a poměrech



Obr. 1: Plynový chromatograf GC-4008B určený pro uhelné doly. [22]

alkany/alkeny;

- indikátory vysoce metamorfovaných uhlí (antracit), včetně uhlí s vysokým obsahem síry, byly založeny pouze na CO a ukazatelích odvozených od CO.

Předmětný výzkum rovněž upozornil na nutnost zohlednění řady ovlivňujících faktorů a konkrétních podmínek lokality, např. fyzikální a chemické vlastnosti uhlí, oxidační schopnost, bod samovznícení, plynosnost a přírodní podmínky, jakož i podmínky důlního větrání.

Chromatografickými analýzami indikačních plynů odlišných mikropetrografických složek (virtrinit, durit, fusit) a třech odlišných druhů uhlí odebraných na třech dolech se zabýval výzkum [13]. Předmětný výzkum stanovil vztah uvedených skupin indikačních plynů k uvedeným faktorům, tj. teplotě uhlí, druhu uhlí a jeho petrografii. Autor literatury [13], He Ping pokračoval v roce 1995 výzkumem uhelných vzorků z dolu Chaili [14]. V rámci předmětného výzkumu byly analyzovány např. změny ve struktuře kyslíkových funkčních skupin v průběhu oxidace, byly zkoumány alifatické a aromatické uhlovodíky. Experimenty potvrdily, že vývin výše uvedené první skupiny indikačních plynů (CO , CO/O_2) souvisí se značnými degradacemi kyslíkových funkčních skupin, vývin plynů druhé a třetí skupiny souvisí s úbytkem alifatických uhlovodíků uhelné hmoty.

V roce 2008 shromáždil výzkumný tým vedený Xiao Yang uhelné vzorky z dolů Dongtan, Jiner a Nan Tun [15]. Oxidační testy v sedmi teplotních intervalech byly doplněny o termální gravimetrickou analýzu pro vyjádření hmotnostních změn uhelné hmoty v průběhu oxidace. Experimenty potvrdily charakteristický vztah indikačních plynů a teploty samovznícení. Kritická teplota samovznícovacího procesu ověřovaných uhlí se pohybovala v intervalu 60-100 °C s průměrnou hodnotou 85 °C. Do kritické teploty byly doporučeny jako indikační plyny oxidy uhlíku, nenasycené uhlovodíky C_2H_4 a C_3H_6 byly určeny jako charakteristické plyny od teplot 150 °C.

V posledních letech byla v Číně publikována řada článků k předmětným indikačním plynům. Z těchto byly vybrány podstatné části dvou publikací z roku 2011 a 2012 [16,17]. Autor literatury [16] publikoval laboratorní výsledky uvolňovaných plynů z méně prouhelněných typů černých uhlí. Bylo konstatováno,

že základním indikačním plynem je CO, který je možné zachytit již při teplotě uhlí 35 °C a jeho koncentrace vzrůstá s teplotou, viz graf č. 1. Pokud teplota stoupla na 130 °C bylo možné zachytit etylén, jehož koncentrace nadále stoupla s teplotou, a při teplotě 180 °C byl indikován acetylén, viz graf č. 2.

Článek [17] popisuje plyny uvolněné z černých uhlí a graficky vyjadřuje průběh bezrozměrného ukazatele C_2H_6/C_3H_8 . Autor článku zdůrazňuje, že koncentrace uvolňovaných plynů CO, CO₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₃H₈, C₂H₂ rostou s teplotou. Uhlé vzorky standardně uvolňovaly při oxidaci uvedené plyny v teplotním intervalu 30-200 °C s exponenciálním nárůstem. Plyny CO, CH₄, C₃H₈ byly zachycovány již od teploty 30 °C, C₂H₆ od teploty 50 °C, C₂H₄ od teploty 120 °C a C₂H₂ od teploty 190 °C. Bezrozměrný ukazatel C_2H_6/C_3H_8 byl doporučen pro teplotní interval 70-110 °C, kdy nabýval rostoucí hodnoty od 0,133 do 0,633, viz graf č. 3.

3.3 Aplikace koncentrátorů

V roce 2002 použil autor Zhang Guangwen při simulaci oxidace uhlí technologii sorpčního koncentrátoru k vzorkování uvolněných plynů za účelem určení vztahu obsahu CO a C₂H₄ jako spolehlivého ukazatele [18]. Závěr výzkumu konstatoval, že C₂H₄ je možné zachytit pomocí koncentrátoru již při teplotě 60 °C. Obdobně v roce 2003 detekoval výzkumný tým vedený autorem Bao Zhonghong plyny uvolňované z počínajícího samovznícení uhlí ponechávaného v závalových prostorách dolu Nantun [19]. Experiment potvrdil, že při použití technologie koncentrátoru bylo možné etylén zachytit při 60 °C a propylén při 90 °C. Plynový koncentrátor vyvinutý pro praktické použití byl úspěšně ověřen a byl v Číně registrován jako autorizovaný patent v roce 2001 pod číslem CN01238170.5. V oblasti aplikace koncentrátorů spolupracovali čínští specialisté s kolegy z Austrálie a publikovali společné výstupy v literatuře [20]. Čínská strana přispěla např. poznatkem, že etylén byl na

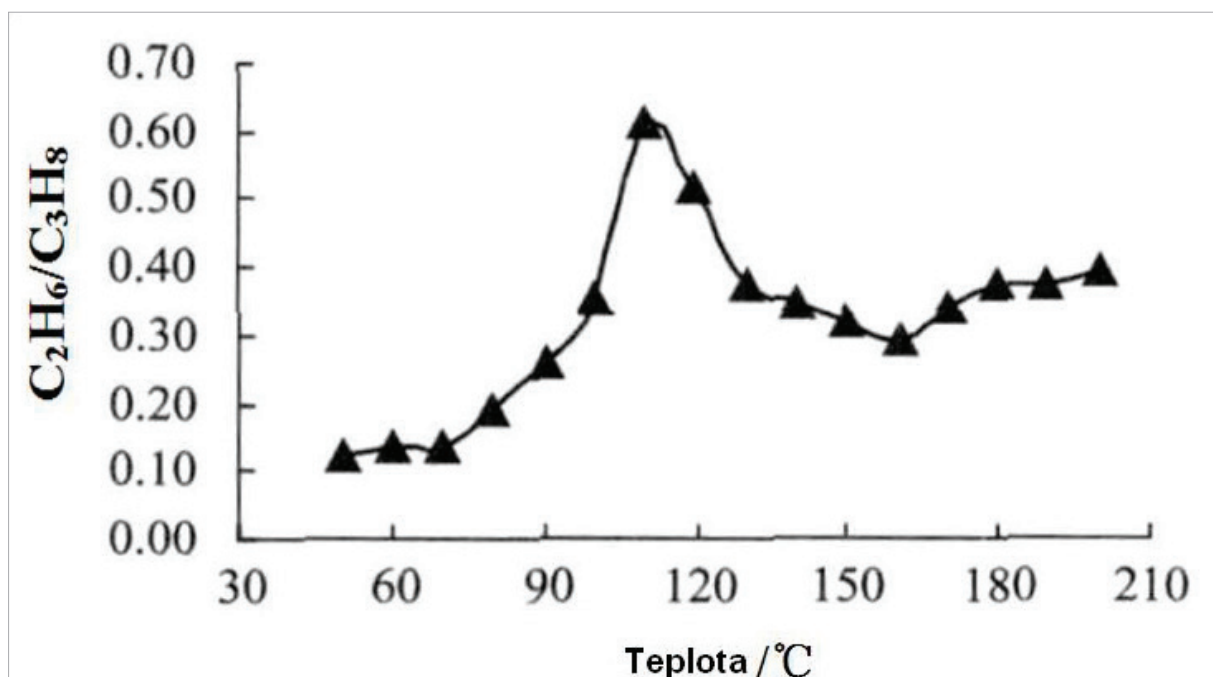
dolech Beizhao a Jinyuan zachycen pomocí koncentrátoru o 2 až 3 týdny dříve, již v době, kdy změny koncentrace CO nebyly zcela zjevné.

3.4 Technické vybavení a postupy

Prvopočátky detekce plynů v čínských uhelných dolech se v 50. letech minulého století odvíjely od používání detekčních trubic. Odběry vzorků na chemickou analýzu CO se datují od let šedesátých, následně byly vyvinuty přenosné detektory CO. Plynová chromatografie v hornictví Číny je v literatuře uváděná od let sedmdesátých. Souběžně se pracovalo na zdokonalení citlivosti plynové chromatografie a zavádění plynového monitoringu pomocí transportních hadic vedoucích z podzemí dolu na povrch

V posledních letech byly v Číně podmínky laboratorních postupů ověřování indikačních plynů samovznícení uhlí standardizovány. Související zařízení musí být vybaveno plynovým chromatografem a dalším vybavením pro zápis dat, programovatelným zařízením pro řízení teploty uhlí, systémem pro dávkování plynů, automatickým zařízením pro odběr vzorků plynů aj. Plynový chromatograf musí být vybaven teplotně vodivostním detektorem a plamenoionizačním detektorem. V současné době je všeobecně používán systém programem řízeného zařízení experimentálního sledování samovznícení uhelné hmoty vyvinutý výzkumným ústavem CCRI. Zařízení je schopno simulovat nárůst teploty procesu samovznícení do 300 °C. Systém je určen ke sledování dynamiky oxidace uhlí, specifické spotřeby kyslíku, množství uvolněného tepla, množství uvolněných plynů, [21].

V Číně je vyráběn chromatograf určený pro hornictví, typ GC-4008B, viz obrázek č. 1. Výrobce je Beijing East and West Analytical Instruments Co. (BEWA). Plynový chromatograf je určen pro uhelné doly a je v Číně široce využíván. Jako laboratorní zařízení je určen pro analýzu plynových složek důlního ovzduší, vyhodnocuje výbušnost plynů, analyzuje trasovací



Graf 3: Závislost bezrozměrného ukazatele C_2H_6/C_3H_8 na teplotě [17].

plyn SF₆. Chromatograf je vybaven výpočetním programem obsahujícím výbuchový trojúhelník [22].

Odběrové hadicové systémy propojující odběrová místa s analyzátory na povrchu nebo v dole (*bundle tube system*) jsou v Číně používány od 80. let minulého století [23].

Důlní hadicový monitorovací systém založený na chromatografu typu GC 8500 byl vyvinut v roce 1995 [22]. V současné době je v Číně rozšířen hadicový monitorovací systém JSG-9, vyvinutý výzkumným ústavem CCRI. Systém monitoruje max. 16 bodů na vzdálenost do 10 km v intervalech analýzy 2-20 min. Monitoruje závalové prostory, stařiny a důlní díla. Systém obsahuje počítač pro zálohování dat, speciální software hadicového monitorovacího systému, multiplynový analyzátor, sestavu nasávacích vývěv vybavených filtry s odlučovači vody [24].

3.5 Legislativa a technická normalizace

Čínský státní úřad bezpečnosti práce vydal v roce 2001 bezpečnostní předpis pro uhelné doly [25]. Novela předpisu upravuje od roku 2010 indikační plyny samovznícení. Článek 421 ukládá určení indikačních plynů před zahájením dobývání dané lokality a stanovení protizáparových opatření.

Čínský "úřad bezpečnosti práce" vydal v únoru roku 2006 jako nástroj včasného rozpoznání samovznícení technickou doporučující normu AQ/T 1019-2006 [26]. Norma obsahuje doporučení výběru indikačních plynů, jejich využití a způsob analýzy. Doporučuje sledovat jako indikátory samovznícení uhlí CO, C₂H₆, C₂H₄, poměry alkan/alken (C₂H₄/C₂H₆), poměry alkan/metan (C₂C₄/CH₄), poměry alkan/etan (C₃H₈/C₂H₆, C₄H₁₀/C₂H₆).

Vzorkování uhlí pro účely laboratorního ověřování indikačních plynů je upraveno čínskou doporučenou technickou normou GB/T 482 [27], jež ukládá odběr minimálně dvou uhelných vzorků z charakteristické oblasti sloje. Odběr plynových vzorků důlního ovzduší musí být v souladu s čínskou závaznou technickou normou MT 142 [28]. Norma ukládá plynovou analýzu ukončit do 12 hodin po odběru, umožňuje vzorky ovzduší odebrat do vaků, lahví nebo pomocí hadicových odběrných systémů.

Hadicové monitorovací systémy jsou v Číně upraveny technickou doporučující normou MT/T 757 [29]. Hadicový monitorovací systém se dělí na povrchový a důlní. Povrchový systém využívá svazku plynových hadic vyvedených na povrch, v důlním systému směřují odběrové hadice do nejbližší monitorovací komory v podzemí dolu a vyhodnocená data jsou následně přenášena na povrch centrálním monitoringem.

4 Závěr

Čína získala zkušenosti s aplikací indikačních plynů v uhelném hlubinném hornictví v průběhu posledních čtyřiceti let. Počátky byly zaměřeny pouze na základní plyny, následně byly zkoumány především plynné uhlovodíky. V posledních letech se pozornost zaměřila na stanovení standardů prevence samovznícení uhlí, na výběr indikačních plynů samovznícení vhodných pro příslušné doly s respektováním experimentálních analýz.

Od 90. let minulého století Čína dynamicky rozvíjela výzkum systémů prevence samovznícení zaměřených na stěžejní indikační plyny CO, C₂H₄, C₂H₂ a další pomocné plyny z řady alkanu a alkenů. K danému účelu byly v Číně vyvinuty, a jsou dnes

v hornické praxi využívány, standardizované technické prostředky v podobě laboratorních zařízení pro tepelnou oxidaci a plynovou chromatografii. V posledních létech stovky čínských dolů používají vzorkování důlního ovzduší na chromatografickou analýzu v souladu s požadavkem bezpečnostního předpisu a řadou technických norem.

Jedním ze současných doporučení v oboru bezpečnosti dolů v Číně je určit a ověřit vhodné plynové indikátory pro konkrétní podmínky daného uhelného ložiska. Tak lze docílit snížení rizika samovznícení a zvýšení bezpečnosti pracovníků a provozu uhelných dolů.

Poděkování

Článek byl napsán s podporou projektu Technologické agentury České republiky č. TA01020351.

Literatura

- [1] GRAHAM, J.I.: *The normal production of carbon* Mining Engineers, vol.60, 1920-21, pp. 222-234.
- [2] GRAHAM, J.I.: *The gaseous products resulting from* of Mining Engineers, vol. 79, p. 92.
- [3] KITAGAWA, T.: *Detection of underground spontaneous* Proceedings of the 10th International Conference of Directors of Safety in Mines Research, Pittsburgh, PA, 1959.
- [4] Prediction of coal spontaneous combustion. (Chinese text), Yuanbaoshan Mine of the Pingzhuang Bureau in Liaoning Province. Coal Mine Safety, June, 6/1966, pp. 6-10. ISSN 1003-496X.
- [5] Prediction of coal spontaneous combustion in Gushan Mine. (Chinese text), Gushan Coal Mine of the Pingzhuang Bureau and Coal Research Institute of Liaoning Province. Coal Mine Safety, 2/1977, pp. 31-39. ISSN 1003-496X.
- [6] ZHONG, W., LI, F.: *Graham coefficient (G) for the* Coal Mine Safety, 10/1987, pp. 21-26. ISSN 1003-496X.
- [7] XU, J.: *Research on indicator gases and index system* (Chinese text), Coal Science and Technology, 9/2011, pp. 34-36, pp. 124. ISSN 0253-2336.
- [8] LU, S., SONG, Y.: *Prediction of coal spontaneous* Mine Safety, 8/1995, pp. 5, pp. 13, ISSN 1003-496X.
- [9] HUANG, Z.: *The ratio of alkane to alkene of spontaneous* Safety, 4/1988, pp. 52. ISSN 1003-496X.
- [10] WANG, Y.: *Indicator gases for prediction of spontaneous* 6/2001, pp. 15, pp. 58. ISSN 1003-496X.
- [11] QI, Y., QIAN, G., LUO, H.: *The coal adsorption flow* 9/1993, pp. 1-9, pp. 22. ISSN 1003-496X.
- [12] LUO, H., QIAN, G.: *Research of indicator gases of* 86-89. ISSN 1003-496X.
- [13] HE, P. et al.: *Characteristics of gases formation in* Journal of China Coal Society, 6/1994, pp. 636-643.

ISSN 0253-9993.

- [14] HE, P. et al.: *Relationship between the indicator gases* (Chinese text), Coal Analysis and Utilization, 4/1996, pp. 12-16.
- [15] XIAO, Y. et al.: *Correspondence between the research* Nanjing University of Technology, 6/2008, pp. 47-51. ISSN 1671-7627.
- [16] KOU, S. et al.: *Analysis regularity and factors influence* pp. 6-10. ISSN 1003-496X.
- [17] ZHAO, B., WEI, W.: *Xingtai Colliery long wall face* Safety, 02/2011, pp. 93-96. ISSN 1003-496X.
- [18] ZHANG, G., WANG, X.: *Detect indicator gases of* and Environmental Protection, 5/2002, pp. 7-8. ISSN 1008-4495.
- [19] BAO, Z. et. al.: *Detection of concentrated indicator* Journal of Nanjing University of Technology, 2/2003, pp. 57-60. ISSN 1671-7627.
- [20] XIE, J. et al.: *Early detection of spontaneous combustion* Coal Geology, 1/2011, pp. 123-127. ISSN 0166-5162.
- [21] Mine Safety Technology Branch of China Coal Research Institute, [online]. Updated December 2013 [viewed. 20 January 2013]. Available from: www.ccriaq.com/CCITPageManager.aspx?typeid=117
- [22] East and West Analytical Instruments, INC., Beijing, [online]. Updated 2013 [viewed 30 May 2013]. Available from: <http://www.ewai-group.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=89&id=68>
- [23] Early prediction of mine fire bundle tube continuous monitoring system. (Chinese text). China Coal Research Institute. Coal Mine Safety, 6/1983, pp. 9-14, pp. 40. ISSN 1003-496X.
- [24] Research Safety Equipment Branch of China Coal Research Institute, [online]. Updated December 2013 [viewed 19 January 2013]. Available from: www.ccrise.cn/show.aspx?id=51&cid=49
- [25] Coal Mine Safety Regulations no. 29/2010, State Administration of Work Safety, 17-1-2011.
- [26] The method of the gas chromatography analysis and index optimization for mark gases of spontaneous combustion of coal stratum. The technical standard AQ/T1019-2006, State Administration of Work Safety, 27-02-2006.
- [27] Sampling of Coal Seams. The technical standard GB/T 482, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China. 29-07-2008.
- [28] Coal Mine Underground Gas Collect Method. The technical standard T 142, State Ministry of Coal Industry. 04-11-1986.
- [29] General technical conditions of the tube bundle monitoring system for coal mine spontaneous combustion. The technical standard MT/T 757, State Ministry of Coal Industry. 30-12-1997.