

The Research of Gas Hydrate and Multi-Energy in Muli Coalfield, Qinghai Province

Tong Wang¹, Qingwei Wang¹, Guolin Zhang², Tianji Liu³

¹China National Administration of Coal Geology, Beijing 100039

²China University of Mining (Beijing), Beijing 100083

³Qinghai Bureau of Coal Geology Xining, Qinghai, 810001

Email: wangtong517@126.com

Abstract: The solid-phase and gas-phase coexistence of multiple energy (coal, CBM and gas hydrates) in Muli Coalfield, Qinghai Province, which decides to the study on the link among the different forms of Organic combustible mineral. Based on coal geological exploration and related research results, From the Coal accumulating and coal controlling factor analyses, applying the modern theoretical prediction and evaluation of mineral resources, discuss Geological background of the multiple energy, in Muli coal field, Qinghai Province, and comment the Resource potential and the development problem of the multi-energy research in Muli coalfield, Qinghai Province,. The result has the great significance, and also, can guide the other multi energy mineral deposit which has the Similar characteristics to find and develop

Keywords: muli coal field; Gas hydrates; Multi-energy; Research

青海木里煤田天然气水合物与多能源研究

王 佟¹, 王庆伟¹, 张国林², 刘天绩³

¹中国煤炭地质总局, 北京, 中国, 100039

²中国矿业大学(北京), 北京, 中国, 100083

³青海煤炭地质局, 西宁, 中国 810001

Email: wangtong517@126.com

摘 要:木里煤田多能源共存(煤矿床、煤层气和天然气水合物)的固、气两相体特征, 决定了对不同形态的有机可燃矿产之间的联系研究的必要性。本文在系统总结分析木里煤田及其邻区地质研究成果和煤炭资源赋存规律的基础上, 以聚煤规律和构造控煤作用研究为切入点, 充分应用现代矿产资源预测评价的理论和多种技术手段, 对木里地区多能源矿产的成矿规律、赋存关系及控矿的“地质背景”进行了深入探讨, 进而评述了木里煤田多能源矿床资源潜力和多能源开发时应注意的问题, 具有极强的现实意义, 同时该研究可用于指导在其他煤盆地(煤田)寻找或开发具有类似特征的多能源矿产。

关键词: 木里煤田; 天然气水合物; 多能源; 研究

1 引言

木里煤田地处青藏高原东北部的中祁连含煤区, 向以区域辽阔、自然地理条件复杂著称, 属于高寒山区, 构造单元属于古亚洲动力学体系(秦祁昆造山系)的一部分, 其构造单元属中祁连褶皱隆拗带的西段, 具有特殊的区域地质背景和地质演化历史。木里煤田是由中国煤炭地质总局发现并经多年勘探使之成为了青海省的主要煤炭工业基地。进入新世纪以来, 特别

是2004年以来, 中国煤炭地质总局进一步加强了该煤田的煤矿生产勘探和煤层气研究与评价工作, 发现煤炭100多亿吨。在聚乎更矿区勘探施工时发现并证实与煤炭资源具有成因联系的天然气水合物存在这一事实的报道^[1-7], 其多能源矿床并存的“示范性”意义受到地质学家的关注和重视^[8,9]。

本文旨在从煤炭资源综合研究的角度出发, 在系统分析木里煤田及邻区地质背景的基础上, 以聚煤规律和构造控煤作用研究为切入点, 充分应用现代矿产

基金项目: 中国煤炭地质总局科技发展专项基金(2008-I-02)

资源预测评价的理论和多种技术手段,深入开展煤矿床、煤层气、煤型气源天然气水合物等多能源矿床形成机制和赋存规律研究,来对资源潜力开展综合评价,为制定多能源综合勘查开发规划提供科学依据。

2 木里煤田地质背景

2.1 地层与煤层发育情况

木里煤田的含煤地层为上三叠统上部的朶勒得寺组(T3g),下侏罗统上部的水组(J1r),中侏罗统下部的木里组(J2m)与上部的江仓组(J2j)。此外在上侏罗统享堂组局部也可见到薄煤线。其主要含煤层位具有应地而异的特点,在热水矿区及其外围为热水组和木里组,而至江仓矿区、孤山矿区则为木里组和江仓组。聚乎更矿区已发现热水组煤层线索,但主要煤层均产于木里组中。

2.2 煤田构造单元划分及构造特征

木里煤田的构造格局总体呈北西西向展布的拗褶带,受南北区域性断裂带的控制及其煤系基底构造的影响,煤田构造空间分布具有明显的差异性。区内断裂构造十分发育,常密集成带分布,以北西西、东西走向的逆冲断裂为主,构成煤田构造的主体格架。受其控制,木里煤田自南向北可划分为南带、中带、北带三个构造带。另外,区内NW、NE向斜向断裂也较为发育,构成矿区或井田的自然边界,据此可将研究区自西向东分为西段、中段、东段三个段(图1)。木里煤田总体上可划分为三个近EW向的含煤带,和三个近NS向的段(表1)。

表1 木里煤田构造单元划分

段 带 区	构造单元		
	西段 1	中段 2	东段 3
南带 (A)	哆嗦公马、聚乎更、雪霍立		外力哈达、热水
中带 (B)	孤山	江仓	海德儿
北带 (C)		冬库、日干山	默勒

总之,木里煤田总体的构造特点是在大通山和托莱山的山前地带构造复杂,中部相对简单。区内的逆冲断裂多呈NWW-SEE向成带展布,北部断裂带的断

层面向北倾,且越靠近托莱山,断裂越发育,而南部断裂带则恰好相反。反映了木里煤田总体受大通山和托莱山南北向对冲影响的构造特点。

2.3 构造演化

木里盆地总的演化规律是晚三叠世呈南深北浅的滨海平原,早侏罗世前期隆起遭受剥蚀,早侏罗世后期初步形成古大通河谷地,中侏罗世前期河谷退化形成泛滥平原,中侏罗世后期进一步夷平形成北浅南深的淡水湖泊。中侏罗世末随着燕山运动的兴起成煤作用基本中止,代之而起的是晚侏罗世—早白垩世半干旱—干旱气候下形成的一套近源红色碎屑岩,主要沿着大通山北侧断裂及托莱山南侧的山前地带分布,仅在孤山矿区—江仓矿区一线残留一个浅浅的湖盆地,形成一套红、绿、灰、黑相间的细碎屑岩。其中偶含不可采薄煤层或炭质泥岩(赤金桥组)。燕山期区内以强烈的隆起活动为主,南北两侧古老断块逐渐抬升,由于两断块之间深断裂存在,导致活动差异。两侧古老断块在抬升过程中,尤其是南侧的大通山在抬升的过程中对区内构造挤压相对较大,两侧古老断块在抬升过程中改变了原断裂的性质,即由张性断裂为主改变为压性为主,并在区内产生一系列的次级构造,形成今日构造形态之格局。

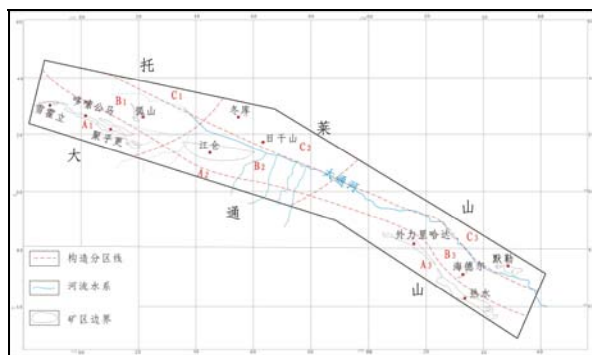


图1 木里煤田构造单元划分及矿区分布示意图

2.4 层序地层格架及展布

木里煤田主要发育的中下侏罗统,下侏罗统不整合于上三叠统之上,地层全区不连续可对比的仅有下侏罗统上部的杂色泥岩段,且下侏罗统地层厚度变化较大,中侏罗统在全区广泛发育分为木里组和江仓组。所以在进行层序格架建立的时候,下侏罗统尽划分为一个层序,中侏罗统划分为三个层序,中下侏罗统共

划分为四个层序识别出五个层序界面。由于侏罗纪延伸年限从 208.0 到 135.0 百万年前,持续 73.0 百万年,侏罗纪三分为上、中、下统,本文主要研究段为中统,所以每个层序约为 8 百万年左右,如果考虑到不整合面所代表的时段大致相当于 Vail 的三级层序。

2.5 聚煤规律

早中侏罗世经历了两次大的湖侵作用分别发生在早侏罗世早期和中侏罗世早期,而中侏罗世期间又发生了两次小型的湖侵作用。相应的每次湖侵作用都发生了较好的聚煤作用,主要的聚煤作用发生在早侏罗世的中期和中侏罗世的早中期。早侏罗世聚煤作用主要发生在研究区东部的默勒、海德尔、外力哈达和柴达尔地区。中侏罗世早期的成煤环境最好,从西部的雪霍立到东部的柴达尔地区都有煤层形成,煤层厚度较大稳定性好。中侏罗世中期较早期成煤环境稍差,煤层层数增多而厚度变薄。中侏罗世晚期成煤环境进一步变差,成煤结束。

3 多能源矿产矿产勘查评述

3.1 煤炭资源

从20 世纪60 年代起,木里地区开展的主要是煤炭资源勘查,经历了三次勘查阶段,尤其最近由中国煤炭地质总局主持完成的《青海木里煤田多能源研究》课题采用聚煤规律和构造演化分析,并结合重力物探成果,充分应用现代矿产资源预测评价的理论和多种技术手段,对青海木里煤田40个预测区进行预测,预测结果表明:青海省祁连含煤区木里煤田煤炭资源334-1、334-2、334-3合计预测资源量1058345万吨,面积601km²。其中0-600m资源量420202万吨,600-1000m资源量304561万吨,1000-1500m资源量222428万吨,1500-2000m资源量123381万吨。浅部及中深部资源量赋存比例较大。潜在资源开发利用优度评价,优(A)等资源量70597万吨,主要分布在聚乎更—哆嗦公马矿区的东西延伸部位。良(B)等资源量424117万吨,主要分布在一直矿区的外围和深部。差(C)等资源量563631万吨,主要分布在预测依据不太充分的区域。可见木里煤田在全省产煤区中所占的地位是相当重要的。

3.2 煤层气资源

3.2.1 煤层气赋存的地质条件分析

(1)木里煤田煤岩特征

聚乎更矿区研究煤层自下而上为下2和下1煤,据野外观察多为原生结构煤,仅在局部,如构造发育部位发育碎裂煤和糜棱煤。江仓矿区中侏罗世含煤地层中的江仓组和本里组为含煤地层,其厚度为568m。煤

层从上向下依次为1号-20号煤层,其中缺19号煤层。从收集钻孔煤心资料看,江仓矿区煤体结构从原生结构-糜棱煤均有分布,上部江仓组3号、6号和10号煤煤体结构较好,以碎裂煤为主,其他煤层以碎粒、糜棱煤为主;下部木里组12号、13号、15号和16号煤煤体结构较好,20号煤层一般。

(2)木里煤田煤变质程度

聚乎更矿区各井田煤层煤变质程度差异不大,煤层挥发分平均值在27.53%-35.03%之间,镜质组反射率介于0.87%-1.05%,煤阶以气肥煤为主,煤变质程度介于第III-V变质阶段;下2煤的变质程度高于下1煤。江仓矿区各煤层间煤变质程度差异较大,煤层挥发分平均值在22.89%-36.43%之间,镜质组反射率介于0.81%-1.24%,煤阶从低变质程度的弱粘煤到高变质程度的贫煤均有分布,煤变质程度介于第III-V变质阶段。从单一煤层看,煤变质程度也有较大差异,如13号煤层,挥发分介于18.32%-39.12%,平均值25.78%,镜质组反射率在0.814%-1.122%之间,煤阶从低变质的弱粘煤变化到高变质的瘦煤,煤变质作用在第III至第IV阶段,以第IV变质阶段为主。

3.2.2 煤层气含气性

聚乎更矿区下1煤含气量变化在0.05-5.52m³/t,下2煤含气量变化在0.05-11.14m³/t之间,比下1煤含气量略高。江仓矿区上部江仓组含气量数据较少,含气量值变化在0.01-1.32m³/t;下部木里组数据较多,含气量变化在0.03-2.82m³/t。从钻孔煤层气成分来看,木里煤田大多数钻孔煤层气成分以氮气为主,只有少量几个钻孔CH₄含量大于80%。比较分析,木里煤田聚乎更和江仓矿区煤层气含量普遍偏低,究其原因,一方面可能与煤田钻孔取样、送样、含气量测试等过程中煤层气跑、漏、逸散有关;另外,木里煤田后期构造运动使煤层抬升,埋深变浅,甚至出露于地表,这些都使煤储层压力降低,储层吸附能力降低,使得煤层甲烷解吸并通过断裂、地下水(部分在合适条件圈闭在构造裂隙或砂岩孔隙中)或煤层露头逸散到大气中。

3.2.3 煤储层物性特征

木里煤田煤体结构以原生结构和碎裂结构为主,光亮煤和亮煤割理发育,密度范围为3-30条/5cm,由于后期的构造运动影响,煤层外生裂隙普遍发育,有利于煤层渗透率的提高。煤层总体上以小孔和微孔为主,并有少量中孔,这有利于储层对甲烷的吸附作用。而默勒矿区以大-中孔为主,所以可以推测该区孔隙度大,渗透率也大。木里煤田煤变质程度处于长焰煤到焦煤阶段,部分煤层达到瘦煤和贫煤阶段,煤储层孔隙度普遍较高,介于2.7%-13.7%。本次研究共完成等温吸附实验11件,得出木里煤田煤储层的甲烷吸附-

解吸具有以下特征：（1）平衡水兰氏体积介于17.25-24.04m³/t，平均为20.94m³/t，干燥无灰基兰氏体积介于18.94-26.64m³/t，平均为23.10m³/t，这表明木里煤田具有较强的储气能力。（2）兰氏压力中等-较高，变化范围1.99-13.33Mpa，表明木里煤田煤层气产能较高。

3.2.4 资源量估算结果

本次采用体积法^[8]估算，估算结果表明，木里煤田煤层气地质资源总量为91.44亿m³，平均资源丰度为0.96亿m³/Km²；木里煤田煤层气可采资源量为47.75亿m³，平均可采系数为0.52（具体见表2）。

3.3 天然气水合物资源

3.3.1 天然气水合物赋存的地质条件分析

(1)冻土发育特征

木里地区冻土普遍发育，上层具有二元结构，由细颗粒土及砾石、岩石碎块组成，一般厚十多米，最大融化深度1.5~5.4m；下部为基岩，整个冻土层厚达50~76m。该区地下冰发育，融化初期，因地表干燥，太阳辐射强烈，故不稳定融化期历时较长。向阳坡与背阴坡融化差异大，细粒土上植被较厚而完整，一般形成沼泽化湿地，热融湖塘星罗棋布。草皮层下冬季常有5~7cm纯冰层，土层中含水量也较大，活动层厚度小，常在0.8~1.8m之间；粗粒土上植被较薄而凌乱，地表相对干燥，人为活动的破坏相对剧烈，土层中含水量小，活动层厚度大，常在2.5~3m以上。采用煤田测井方法对木里煤田冻土（岩）开展研究，多年冻土层厚度13.60~159m，平均厚度为79m。

表2 各矿区资源量汇总

地区	资源总量 (/亿 m ³)	资源丰度 (/亿 m ³ /Km ²)	可采资源量 (/亿 M ³)	可采系数
聚乎更矿区	15.13	0.68	7.31	0.48
江仓矿区	57.40	1.04	27.59	0.48
外力哈达矿区	6.42	0.80	4.73	0.74
热水矿区	6.65	1.46	3.15	0.47
海德尔矿区	1.16	1.97	0.98	0.84
默勒矿区	4.68	1.02	3.99	0.85
全煤田合计	91.44	0.96	47.75	0.52

(2)成矿条件分析

祁连山木里煤田的年平均气温在-5.10℃，煤田范围内多年冻土层广泛发育，冻土层呈岛状分布，平均厚度80m，相当一部分地区多年冻土层厚度大于100m。中国地质科学院矿产资源研究所^[10]根据木里地区逸出的冷泉气含有3.4%重烃（乙烷、丙烷等）的特点，分析形成这种组分水合物的年平均地表温度应低于-2.40℃、相应的冻土层厚度应大于108.1m。显然，木里煤田自然地理现状满足了上述天然气水合物形成的

临界条件，尤其是木里地区赋存丰富的煤炭资源，煤化作用进程中产生大量以甲烷为主的煤层气，为多年冻土带天然气水合物的形成提供了充分的物质来源。

3.3.2 赋存状况研究

对木里煤田聚乎更矿区煤炭勘查中发现明显涌气现象的部分钻孔测井数据进行了天然气水合物的定位和定厚解释。解释结果表明，各钻孔普遍发育两层天然气水和物疑似层位，但部分区域仍存在非以上两层的其它天然气水合物层位（可在煤层上、下部位或多煤层之间），测井解释厚度为0.70-2.50m，平均值为1.45m。青海煤炭地质一〇五勘探队施工的DK-1科学钻探试验孔获得的两个水合物样品，由中国地质科学院矿产资源研究所对其中甲烷的碳氢同位素进行了测试分析，确定木里煤田天然气水合物中的甲烷主要来自煤层气，将其称为“煤型气源”天然气水合物^[6,10]。

3.3.3 资源量估算结果

2009年，中国煤炭地质总局、中国矿业大学（北京）、青海煤炭地质局共同开展了中国煤炭地质总局科技发展专项基金-《青海木里地区多能源资源综合研究》项目，采用煤炭总量理论产气量法、天然气水合物体积法、天然气水合物稳定带体积法等三种方法^[12-13]，所估算出的天然气水合物潜在资源量较为接近，其释放的天然气总量可达2710.92~2991.36亿m³，是煤层气地质资源量（91.44亿m³）的30倍，显示了木里煤田冻土带天然气水合物的巨大资源潜力。

4 多能源勘查与开发思考

木里煤田多能源共存(煤矿床、煤层气和天然气水合物)的固、气两相特征决定了在开采时要有特别的注意事项和问题。

首先，要重视煤炭开发对该区域水环境的影响及引发的生态、环境问题，在进行多能源地质勘查时，首先要开展矿区水资源的调查评价。

其次，煤层气与天然气水合物这两种资源在开采方式上有相似性，若先开采煤炭资源，一旦开采深度超过100m时，就会对煤层气和天然气水合物赋存状况构成破坏，不仅破坏其资源，同时还会造成温室气体的大量排放。考虑木里煤田地质条件，可借鉴索尼亚哈气田的经验，对木里煤田进行天然气水合物的开发。在开采顺序中，建议首先将煤层气作为开采对象，通过降压开采天然气水合物，把煤炭的开采顺序放在最后。

再次、木里聚乎更矿区地处黄河的重要支流一大通河的源区，又是珍贵的湿地。因此，勘查中要注意对高山草甸的保护，尽可能少占用草场。对于竣工的钻孔必须做好封孔，避免煤层气及天然气水合物释放的温室气体对臭氧层的破坏。

最后,天然气水合物在开采过程中还会分解产生大量的水,释放岩层孔隙空间,使其赋存区地层发生固结性变差,引发地层塌陷等地质灾害。

5 结论和建议

木里煤田煤矿床、煤层气和天然气水合物三位一体的多能源矿床赋存于同一地层和构造单元,在时空上具有共存同一规律,其独特的地质背景是多能源矿床共存富集的控制因素和成矿基础。因此,加强木里地区多能源研究具有十分重要的意义。在开发时,应综合考虑,联合开发特别要注意开发顺序及环境问题,先开采煤层气及天然气水合物,再开采煤炭资源。随着煤田地质勘探精细工作的展开,当前乃至今后对类似青海木里地区的煤矿床勘探与开发时均应加强多能源综合勘探开发方面的探索。因此建议:1)加强多种能源资源的综合整体规划;2)完善管理体制,探索多种能源资源综合管理;3)加强多种能源资源的综合勘查与开采;4)不断提高多种能源资源的开发利用效率。

References (参考文献)

- [1] Wu Qingbo, Jiang Guanli, Pu Yisong, etc. Relationship between permafrost and gas hydrates on Qinghai-Tibet Plateau[J]. GEOLOGICAL BULLETIN OF CHINA, 2006, 25 (1-2): 29-33
吴青柏, 蒋观利, 蒲毅彬, 等. 青藏高原天然气水合物的形成与多年冻土的关系. 地质通报, 2006, 25 (1-2): 29-33
- [2] Chen Duofu, etc., Formation condition and distribution prediction of gas hydrate in Qinghai-Tibet Plateau permafrost[J]. CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS, 2005, 48 (1): 165-172
陈多福, 王茂春, 夏斌. 青藏高原冻土带天然气水合物的形成条件与分布预测[J]. 地球物理学报, 2005, 48 (1): 165-172
- [3] Zhu Youhai, etc. Formation conditions of gas hydrates in permafrost of the Qilian Mountains, Northwest China[J]. GEOLOGICAL BULLETIN OF CHINA, 2006, 25 (1-2): 58-63
祝有海, 刘亚玲, 张永勤. 祁连山多年冻土区天然气水合物的形成条件[J]. 地质通报, 2006, 25 (1-2): 58-63
- [4] Pan Yulu, etc. Application of Well Logging in Frozen Earth Researches in Muli Coalfield, Qinghai[J]. COAL GEOLOGY OF CHINA
- [5] Wu Zicheng, etc. Formation and Geochemical Exploration Model of Gas Hydrate in the Perennial Frozen Soil Area, Qinghai-Tibet Plateau[J]. GEOLOGICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY INFORMATION[J]. 2006, 25 (4): 9-14
吴自成, 吕新彪, 王造成. 青藏高原多年冻土区天然气水合物的形成及地球化学勘查[J]. 地质科技情报, 2006, 25 (4): 9-14
- [6] Wang Tong, etc. Characteristics and origins of the gas hydrates in the Muli coalfield of Qinghai[J]. COAL GEOLOGY & EXPLORATION
王佟, 刘天绩等. 青海木里煤田天然气水合物特征与成因[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(6): 26-31
- [7] Cao Daiyong, etc. Analysis of Formation Conditions of Natural Gas Hydrate in Muli Coalfield, Qinghai Province[J]. COAL GEOLOGY OF CHINA, 2009, 21(9): 4-6
曹代勇, 刘天绩等. 青海木里地区天然气水合物形成条件分析[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(9): 4-6
- [8] Deng Jun, etc. Distribution and Tectonic Background of Various Energy Resources in Ordos Basin[J]. EARTH SCIENCE-JOURNAL OF CHINA UNIVERSITY OF GEO-SCIENCES, 2006, 31 (3): 330-336
邓军, 王庆汉, 高帮飞, 等. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产分布及其构造背景[J]. 地球科学, 2006, 31 (3): 330-336.
- [9] Liu Chiyang, etc. The study on coexistence of multiple energy and mineralization/ reservoiring system in the basin[J]. Beijing Science Press, 2005, 1-16
刘池洋, 谭成仟, 孙卫等. 多种能源矿产共存成藏机理与富集分布规律研究[A]. 北京科学出版社, 2005, 1-16
- [10] WANG Tong. Gas hydrate resource potential and its exploration and development prospect of the muli coalfield in the northeast Tibetan Plateau[J]. ENERGY EXPLORATION & EXPLORATION, 2010, 28(3): 147-157
- [11] Ye Jianping, Qin Yong, etc. Coal-Bed Methane Resources and Sustainable Development in China[M]. The press of China University of Mining & Technology, 1998
叶建平, 秦勇, 林大扬. 中国煤层气资源[M]. 中国矿业大学出版社, 1998
- [12] Xu Shuishi, Wang Tong, etc. Resource Quantity Estimation of gas hydrate in Muli Coalfield, Qinghai Province[J]. COAL GEOLOGY OF CHINA, 2009, 21(9): 1-3
徐水师, 王佟等. 青海省木里煤田天然气水合物资源量估算[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(9): 1-3