

山西省 煤层气储层物性 特征及资源评价

■ 王学军 张庆辉 傅雪海 主编



煤炭工业出版社

山西省煤层气储层物性特征及 资 源 评 价

王学军 张庆辉 傅雪海 主编

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

山西省煤层气储层物性特征及资源评价 / 王学军, 张庆辉, 傅雪海主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2015
ISBN 978 - 7 - 5020 - 4910 - 2

I. ①山… II. ①王… ②张… ③傅… III. ①煤层—
地下气化煤气—储集层—特征—山西省 ②煤层—地下气化煤
气—储集层—资源评价—山西省 IV. ①P618.110.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 155071 号

山西省煤层气储层物性特征及资源评价

主 编	王学军 张庆辉 傅雪海
责任编辑	武鸿儒
责任校对	姜惠萍
封面设计	王 滨
出版发行	煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话	010 - 84657898 (总编室) 010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)
电子信箱	cciph612@126.com
网 址	www.cciph.com.cn
印 刷	中国电影出版社印刷厂
经 销	全国新华书店
开 本	880mm × 1230mm ¹ / ₁₆ 印张 19 ¹ / ₄ 字数 433 千字
版 次	2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷
社内编号	7756 定价 158.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010 - 84657880

内 容 提 要

本书全面系统地研究了山西省煤储层压力、含气量、渗透率、解吸率和采收率等物性特征，提出了煤层气含量校正系数，估算了山西省煤层气资源量，评价了山西省煤层气开发潜力，优选了煤层气开发有利目标区。

本书可供从事煤层气地质、煤炭地质及石油与天然气地质研究的人员参考。

前 言

山西省煤炭资源储量丰富、煤类齐全、煤层埋藏深度适中，是我国优质的炼焦煤和无烟煤基地。山西省煤层气资源占全国的三分之一，探明储量、地面煤层气产量占全国的80%以上。

本书是在“山西省煤层气资源潜力评价”（20070380104006，山西省矿产资源潜力评价）、“山西省煤层气储层物性特征及开发技术研究”（山西省2008年度矿业权价款地质找矿项目）及“煤层气解吸、渗流机理及排采效应”（2009CB219605，国家重点基础研究发展973计划）等项目研究成果的基础上撰写的，是以山西省煤层气资源为研究对象的综合性著作。全书在梳理山西省煤层气地质背景的基础上，研究了山西省煤储层压力、含气性、吸附/解吸性、渗透性等物性特征，提出了煤层气含量校正系数，估算了山西省煤层气资源量，评价了山西省煤层气资源开发潜力，优选了煤层气开发有利区。

王学军、张庆辉、傅雪海负责全书的编写工作，第一章由王海生、杨展、狄效斌执笔；第二章由傅雪海、屈晓荣、覃轩执笔；第三章由屈晓荣、刘正、周宝艳执笔；第四章由张庆辉、刘正、黄婷执笔；第五章由傅雪海、刘正、张星星执笔；第六章由王学军、张庆辉、傅雪海执笔；第七章由张正喜、屈晓荣、刘正执笔。全书大量图件编制工作由刘正、周宝艳、张星星和黄婷等完成。参加本书编写工作的人员还有申建、苏育飞、胡晓兵、陈永峰、李文婕、任瑞敏、高华等。

本书的编写得到了中国矿业大学秦勇教授、韦重韬教授、朱炎铭教授和中国地质大学（北京）唐书恒教授等同志的热情帮助，还得到了山西省煤炭地质局及所属各院的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

针对山西省煤储层研究文献众多，书中引用了大量公开发表的和少量未公开发表的文献和数据，有些在书中未能一一标出出处，在此深表歉意。另外，书中难免存在错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2015年1月

目次

第一章 煤层气地质背景	1
第一节 含煤地层与煤层	1
第二节 构造与岩浆活动	13
第三节 煤岩与煤质特征	25
第四节 水文地质特征	34
第二章 煤储层压力特征	50
第一节 试井储层压力	50
第二节 等效煤储层压力	53
第三节 深部储层压力预测	58
第三章 煤储层含气特征	60
第一节 实测含气量	60
第二节 含气量校正系数	65
第三节 吸附特征	87
第四节 深部煤层含气量预测	90
第五节 含气性分布规律及控制因素	100
第四章 煤层气解吸特征与理论采收率	120
第一节 解吸率	120
第二节 理论采收率	129
第五章 煤储层孔渗特征	137
第一节 煤储层三重孔裂隙结构特征	137
第二节 煤储层三级流动特征	152
第三节 渗透性的影响因素	172
第六章 煤层气资源评价	185
第一节 煤层气资源评价参数	185
第二节 煤层气资源量	187



第七章 分矿区煤层气资源特征及有利区评价 195

 第一节 各矿区煤层气资源特征 195

 第二节 煤层气开发有利区评价 292

参考文献 299

第一章 煤层气地质背景

第一节 含煤地层与煤层

基于第三次全国煤炭资源预测的划分方案,山西省煤田可划分为大同煤田、宁武煤田、河东煤田、霍西煤田、西山煤田、沁水煤田。山西省侏罗纪煤层主要发育在北部大同煤田、宁武煤田,石炭—二叠纪煤层各煤田均发育,也是本次研究的目标层系。本书主要研究石炭—二叠纪煤系。

一、地层分区

山西属华北地层区,分属于阴山、燕山、鄂尔多斯、山西、豫西地层分区。上述地层区划主要着眼于太古界、元古界、古生界及中生界、新生界的综合特点。为了详细、深入研究晚古生代含煤地层,在上述地层分区的基础上,依据地层发育状况、岩性岩相特征、含煤性、古生物特征、古构造特征等,对山西晚古生代地层进行了进一步划分,详见山西石炭—二叠纪地层分区图(图1-1)。

1. 大同—怀仁小区(I)

大同—怀仁小区指右玉—怀仁一线以北地区。主要特征:①本溪组铁铝岩不发育,灰岩仅局部可见;②太原组不含灰岩及海相动物化石,煤层厚度大,含煤系数高达22%~41%;③缺失上二叠统孙家沟组;④古生物群以植物为主。

2. 宁武—临汾小区(II)

宁武—临汾小区指右玉—怀仁一线以南至垣曲—夏县一线以北地区。主要特征:①本溪组灰岩发育较好,含丰富的动物化石;②太原组灰岩层数多,化石丰富,含煤系数为4.5%~35%,北部煤层发育较好;③山西组发育海相泥岩层;④上石盒子组除宁武煤田中部轩岗一带发育煤层外,本区其他地区均无煤层或煤线发育;⑤山阴—原平一线以东和太原以北地区缺失下石盒子组上部、上石盒子组及孙家沟组;⑥动、植物化石均较丰富。

3. 垣曲—夏县小区(III)

垣曲—夏县小区指垣曲—夏县一线以南地区。主要特征:①本溪组不发育或局部缺失,多数地区仅有下部的铁铝岩沉积;②太原组灰岩不发育,含煤系数低,多为3%~4%;③山西组煤层不发育,多为不可采煤层;④上石盒子组含煤;⑤生物化石较少。

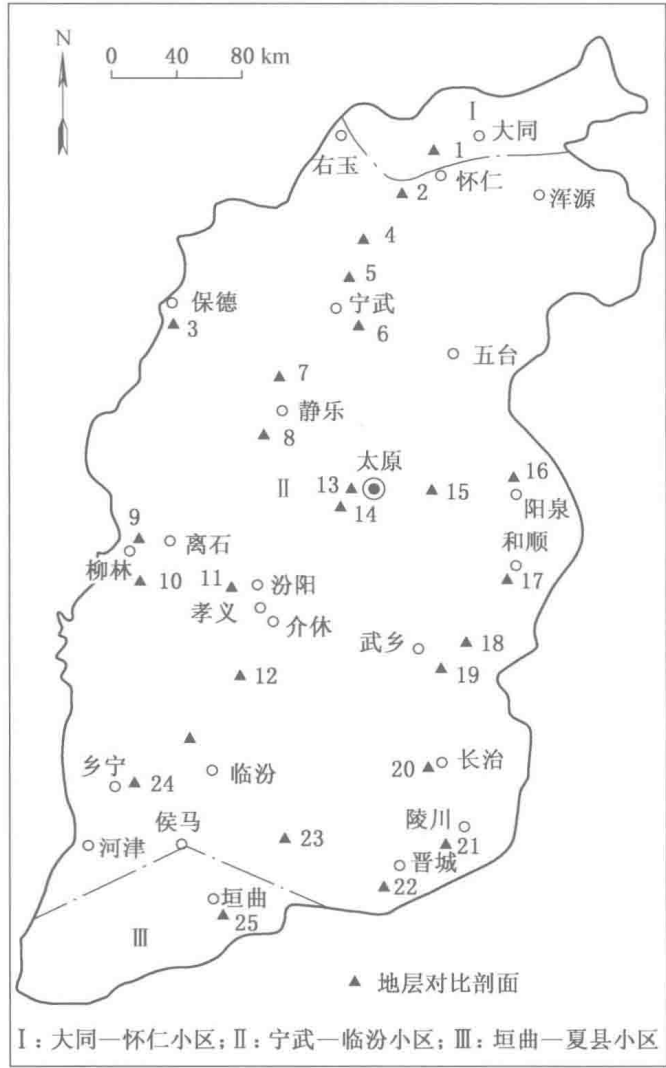


图 1-1 山西石炭—二叠纪地层分区图 (程保洲等, 1992 年)

二、含煤地层

山西晚古生代岩石地层单位自下而上分为本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和孙家沟组。含煤层段本溪组、太原组及山西组分述如下：

1. 本溪组

平行不整合于奥陶系中、下统或寒武系之上，并以奥陶系或寒武系侵蚀面为底，其顶界置于太原组晋祠砂岩或相当岩层之底。厚度为 0 ~ 60 m，总的变化趋势是北、中部厚，南部薄，最南部的垣曲—夏县小区仅发育底部的铁铝岩段，厚度为 0 ~ 10 m。

本溪组分为两段，下部称为铁铝岩段，上部称为畔沟段。铁铝岩段以鸡窝状黄铁矿或灰、灰白色铝质岩，铝质泥岩为主；畔沟段主要为黑、灰色泥岩，粉砂岩，细砂岩，夹薄煤层 1 ~ 6 层灰岩。太原—阳泉以北地区灰岩层数少，但厚度大，至北部大同一怀仁小区仅发育一层，厚度最大可达 5 m。太原、阳泉等地灰岩层数一般为 2 ~ 4 层，太原

东山局部可达6层,厚度变小,泥质含量增高。阳城—乡宁地区以南缺少灰岩沉积。煤层多不可采,在北部多为薄煤层,中部较厚,南部多为煤线。

2. 太原组

太原组系指本溪组之上至最高一层灰岩,在太原西山其顶界置于山西组底部的北岔沟砂岩或相当岩层之底。厚度为50~140 m,总的变化趋势是南厚北薄。在垣曲—夏县小区由于受中条古隆起的影响,缺失下部沉积,厚度仅为20~50 m。根据岩性、岩相及沉积旋回并结合古生物特征,太原组可以划分为3个岩性段(程保洲,1992年):

(1) 晋祠段:层型剖面在太原市晋祠镇附近,自晋祠砂岩底至下煤组之顶。岩性以细砂岩、粉砂岩及泥岩为主,夹主要可采煤层及1~4层灰岩。生物群以 *Triticites* 带分子富集为特征。灰岩层在晋西北保德一带较发育,最多可见4层,其中2层较稳定,多为厚层状,含少量燧石结核,厚1.4~1.7 m。北部大同一怀仁地区灰岩缺失,中部一般只见一层泥质含量较高的灰岩,厚约1 m。南部仅局部地区可见一层泥质灰岩或泥灰岩,厚0.4~1.3 m。主要煤层有4层,其中庙沟灰岩以下的1~2层煤层(下煤组)为主要可采煤层,全区稳定,一般厚10~20 m。

(2) 西山段:层型剖面在太原西山,自庙沟灰岩及相当层位底至东大窑灰岩之顶界。岩性以砂岩、砂质泥岩、泥岩为主,夹多层灰岩。灰岩层在南部地区比较发育,最北部大同一怀仁小区未见灰岩。向南至朔县、偏关、浑源及宁武一带,下部出现1~3层海相泥岩及泥灰岩沉积。宁武—轩岗一线以南地区,下部灰岩发育较好,上部也出现海相泥岩及泥灰岩。太原—阳泉一线以南地区灰岩发育齐全,有4~5层含泥灰岩及灰岩,下部灰岩多含燧石结核或燧石条带。晋东南地区灰岩最为发育,最多可见6层,亦含燧石结核或燧石条带。

(3) 山圪段:主要发育于晋东南地区,层型剖面位于晋城市南岭乡以东1 km处的小东沟附近。自陵川附城灰岩之顶至山圪灰岩(或小东沟灰岩)之顶,厚约15 m。本段岩性为泥岩、砂质泥岩、细砂岩夹灰岩,上部山圪灰岩变化较大,在长治以北的左权、武乡、襄垣一带相变为硅质岩;在长治、高平、陵川、晋城、阳城和沁水等地,时为硅质岩,时为泥灰岩。

3. 山西组

山西组系指太原西山北岔沟砂岩底至骆驼脖砂岩底。厚20~120 m,总的变化趋势是南厚北薄。岩性主要为砂岩、粉砂岩、砂质泥岩,夹海相泥岩及煤层。平鲁—朔县—五台以北地区岩性多为中粗粒石英砂岩、粉砂岩、夹泥岩及煤层,砂岩厚度大,层数多,一般厚3~30 m。向南至太原—阳泉一线,砂岩层数明显减少,厚度一般为1~10 m。南部地区砂岩层数很少,一般仅1~5层。本组中、下部出现含有 *Lingula* sp. 和 *Dictyoclostus* sp. 碎片的海相泥岩。主要煤层有3层,舌形贝页岩及相当层位之下的煤层为主要可采煤层,在北、中部最为发育,厚6~15 m,向南变薄,至晋东南一般小于1 m。上煤组在晋东南最发育,厚约3 m,层位稳定,俗称“香煤”。

三、煤层及主要标志层

本溪组、太原组、山西组依据岩煤层特征的可比性,即区域分布的广泛性,层位的稳定性以及岩煤层的特殊性,岩石地层、生物地层组合特征等,自上而下确定了13个主要标志层与煤组。以太原西山为标准剖面,标志层本溪组2个(铁铝岩层及畔沟灰岩),太原组9个(晋祠砂岩、吴家峪灰岩、下煤组、庙沟—毛儿沟灰岩、斜道灰岩、七里沟砂岩、中煤组、东大窑灰岩、山圪灰岩),山西组2个(北岔沟砂岩、上煤组)(表1-1)。该13个标志层具有等时对比意义,现分述如下:

1. 铁铝岩层

铁铝岩层(TL)包括G层铝土矿和山西式铁矿,由于受寒武奥陶系古侵蚀面影响,岩层厚度变化较大,自1 m至21 m不等,一般为4~19 m。底部黄铁矿主要分布于晋城、陵川、沁水、阳泉、孝义、西山、朔县、保德、离柳等地,临县—孟县以北地区较差。铝质岩主要分布于平陆、沁源、汾西、孝义、中阳、离石、孟县、阳泉及河曲、保德等地。总体分布趋势是山西中、北部及东部较厚,南部和西部较薄,多呈透镜状、团块状或似层状,本层分布广泛,层位稳定,大多数地区均发育。在山西大部分地区铁铝岩层的沉积视为等时的,自北而南平行不整合于寒武系中统、奥陶系下统、奥陶系中统石灰岩之上。

2. 畔沟灰岩

畔沟灰岩(L_b)指畔沟段中一层(或数层)层状或透镜状灰岩。命名地点在太原西山畔沟村。就全省而言,总体分布趋势是中部厚,南北薄。西北部保德为张家沟灰岩(王竹泉1922年命名于保德县张家沟村)。北部灰岩层数少,单层厚度大,大同口泉灰岩(李四光1927年命名于大同市口泉镇)厚1.1 m,中部太原、阳泉灰岩层数增多,一般2~4层,厚1~6 m,向南至灵石、三交等地为3层,上层灰岩早期名为三教灰岩(山西区调队1981年命名于灵石县三教),厚0.2~1.7 m,左权—武乡一带为2层,厚0.6~1.0 m。

3. 晋祠砂岩

晋祠砂岩(k_1)为巨厚层灰、灰白色中粗粒泥质石英杂砂岩或沉凝灰岩,位于太原组底部,是本溪组和太原组的分界砂岩,也是晚石炭世早、晚期的分界砂岩。就全省范围而言,晋祠砂岩实指本溪组最上部一层畔沟灰岩与吴家峪灰岩(大同煤田为海相泥岩)之间的不同砂体。因在山西中北部普遍含有火山物质或夹薄层凝灰岩,凝灰质砂岩,故认为是同时沉积。岩性为灰、灰白、灰绿色石英砂岩,石英杂砂岩及含岩屑杂砂岩。层序上,晋祠砂岩位于畔沟灰岩与吴家峪灰岩之间,因此,畔沟灰岩和吴家峪灰岩发育地区,均可以其间厚砂岩作为晋祠砂岩层位,对于缺失吴家峪灰岩(或其相当的海相层)的大同一怀仁小区,可以北部普遍发育的8号、9号、10号煤组(五米层)或11号煤层作为间接标志层,以其和畔沟灰岩之间的巨厚层状中粒石英砂岩(鹅毛口砂岩)作为晋祠砂岩层位。此外,太原及以北地区晋祠砂岩普遍含火山物质或夹薄层凝灰岩、凝灰质砂岩,可作为同时性的极好标志。 K_1 砂岩在山西北部发育较好,层位稳定,厚度

表 1-1 山西石炭一二叠系主要标志层层序对比表

系	地层系统		大同煤田			宁武煤田		河东煤田			西山煤田	霍西煤田	沁水煤田					煤组		
	统	组	北部	中部	南部	北部	南部	北段	中段	南段			安泽、沁源	东山	阳泉	和顺	武乡、长治		陵川	
二 叠 系	P ₂	下石盒子组	P ₂ ^x	桃花泥岩 砂砾岩	桃花泥岩 粗砂岩	桃花泥岩 粗砂岩	桃花泥岩 粗砂岩	桃花泥岩 粗砂岩	桃花泥岩 粗砂岩	桃花泥岩 粗砂岩	桃花泥岩 粗砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	桃花泥岩 K ₉ 砂岩	
			P ₂ ^x	砂砾岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	
		下石盒子组	P ₂ ^x	砂砾岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩
			P ₂ ^x	砂砾岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩
			P ₂ ^x	砂砾岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	粗砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩	薄煤层 K ₈ 砂岩
	P ₁	山西组	山 ₁	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	薄煤层 砂岩	薄煤层 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	
			山 ₂	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	1号、2号 上冀家沟砂岩	1号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	
			山 ₃	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	舌形贝页岩 3号冀家沟砂岩	泥质岩 2号砂岩	泥质岩 3号、4号砂岩	泥质岩 3号、4号砂岩	泥质岩 3号、4号砂岩	泥质岩 3号、4号砂岩	泥质岩 3号、4号砂岩	泥质岩 3号、4号砂岩	
			山 ₄	山 ₄ 砂砾岩 (K ₁)	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	4号北盆沟砂岩 (K ₃)	3号 K ₇ 砂岩	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)
			山 ₅	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	泥质岩	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)
P ₁	太原组	山 ₁	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	山 ₁ 砂岩	薄煤层 砂岩	薄煤层 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩	1号 砂岩		
		山 ₂	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	山 ₂ 砂岩	2号、3号 中砂岩	1号 砂岩	2号、3号 中砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩	2号 砂岩		
		山 ₃	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	山 ₃ 砂岩	泥质岩	泥质岩 2号砂岩	泥质岩 4号砂岩	泥质岩 4号砂岩	泥质岩 4号砂岩	泥质岩 4号砂岩	泥质岩 4号砂岩	泥质岩 4号砂岩	泥质岩 4号砂岩	
		山 ₄	山 ₄ 砂砾岩 (K ₁)	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	山 ₄ 砂岩	4号北盆沟砂岩 (K ₃)	3号 K ₇ 砂岩	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	5号、6号 第三砂岩 (K ₇)	
		山 ₅	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	山 ₅ 砂岩	泥质岩	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	泥质岩 (K ₆)	

表 1-1-1 (續)

[illegible]

大,一般为5~10 m,最厚可达15 m,多为厚、巨厚层状含砾石英砂岩。

4. 吴家峪灰岩

吴家峪灰岩(L_0)是由1975年山西区调队命名于西山南岔沟吴家峪村,岩石多呈深灰—灰黑色、透镜状层理及脉状层理发育,层面上见有大量的生物觅食迹,位于太原组西山段下部下煤组之下。下煤组在全省普遍发育,标志明显,其下含 *Triticites* 或 *Montiparus* 带分子的灰岩层皆可视为吴家峪灰岩。该层灰岩在山西北、中部较发育,尤以西北部保德一带发育最好。自下而上为无名灰岩,是目前山西石炭系最低的含蜓灰岩,上层扒楼沟灰岩与太原西山吴家峪灰岩层位相当。层位稳定,一般厚1~2 m,最厚可达5 m。灰岩层数多为1~2层,最多可达4层,岩性为泥晶生物碎屑灰岩。至太原、阳泉一带,吴家峪灰岩多为生物屑泥晶灰岩,富含蜓、有孔虫及棘皮类骨屑。晋东南陵川附城发育1层名后寺灰岩(L_0)相当于吴家峪灰岩。南部该灰岩层多不连续,但厚度变化小,一般厚0~2 m,阳泉—长治以东,柳林—灵石—乡宁以西、以南地区及右玉—应县以北地区,吴家峪灰岩相变为含腕足类及双壳化石的海相泥岩。

5. 下煤组

下煤组(C_x)是位于庙沟—毛儿沟灰岩之下8号、9号煤的统称,8号、9号煤在全省稳定发育,有时合并为单一厚煤层,有时呈煤组出现,当呈煤组时二者间常有一带状砂体,宽度小于2~3 km,称屯兰砂岩。

大同煤田为5号煤层,一般厚度为4.51~13.30 m。宁武煤田为9号煤层,一般厚度为9.70~13.00 m。河东煤田北部为11号、12号、13号、14号煤层,一般厚度为9.2~14.0 m,13号煤层为主要可采煤层,一般厚度为7.65~11.49 m;中部为8号、9号、10号煤层,一般厚度为6.7~10.7 m;南部为9号、10号煤层,一般厚度为5.8 m。西山煤田为8号、9号煤层,总平均厚度为6.67 m。霍西煤田汾孝、灵石、霍州、南湾里、襄汾区为9号、10号、11号煤层,总平均厚度为7.04 m。沁水煤田东山、寿阳、阳泉、和顺为15号、15_下号煤层,总平均厚度为6.76 m;武乡、潞安、长治、高平、晋城、阳城、沁水为14号、15号煤层,总平均厚度为4.86 m;安泽、沁源为9号、10号、11号煤层,总平均厚度为4.60 m。该煤组煤层形成于海退期,全省普遍发育,除北部和南部,以及中部的局部地段出现零星的不可采点外,均为中厚至厚煤层,且稳定可采。煤层厚度变化的总趋势为由南向北增厚。

垂向上下煤组以庙沟—毛儿沟灰岩作为直接顶板,以吴家峪灰岩作为近距下伏层。研究表明,庙沟—毛儿沟海侵期是华北晚古生代最大的海侵(陈芬等,1993年),其南部可达华北地台的南缘,北部大同煤田、兴隆煤田都有其相应沉积,因此是下煤组极好的对比标志。本煤层(组)厚度大,结构简单有别于太原组下部其他煤层。太原以北本煤层(组)之下普遍发育有一层火山事件沉积(钟蓉等,1996)。综上所述,下煤组的聚积是一次全盆地范围沉积同时性的事件,因此,本煤组对比可靠。

6. 庙沟—毛儿沟灰岩

庙沟灰岩(L_1)是由Norin 1922年命名于太原西山古交区庙沟。夹沉凝灰岩的毛儿沟灰岩(L_2+L_3),在晋东南为一厚层灰岩,名松窑沟灰岩(K_2),向北至柳林、文水、

孟县分为 2~3 层,其间夹一层面位稳定的海相泥岩。厚度自南向北逐渐增大,太原西山厚 1.6~8.0 m。下部庙沟灰岩层 (L_1) 层位稳定,为下煤组 (8 号、9 号) 煤的直接顶板,而且是晚石炭世 (C_2^2) 与早二叠世 (P_1^1) 的分界。上部毛儿沟灰岩层 ($L_2 + L_3$) 间常夹一层厚 0~2 m 的沉凝灰岩层或泥岩、粉砂岩夹煤层将毛儿沟灰岩分为 L_2 、 L_3 两个分层,根据该灰岩的结构特征与 L_1 灰岩、下煤组的共生关系及其间所夹的沉凝灰岩,不同地区的毛儿沟灰岩层均可进行对比。

此外, L_1 灰岩中广泛存在以粗纺锤形至亚球形壳体 *Rugosofusulina* 富集为特征的蜓类动物群,与下部吴家峪灰岩 *Triticites* 带及其上毛儿沟灰岩 *Dunbarinella* (*Schwagerina* 属) 动物群区别明显,其下伏层为全区稳定发育的下煤组,对比可靠。庙沟—毛儿沟灰岩分布遍及全省,太原以南为灰岩,太原以北普遍为泥灰岩或海相泥岩,至口泉以北尖灭。泥岩中富含腕足类,毛儿沟灰岩中普遍含有 *Schwagerina nervicalis* 动物群,亦是本层重要的对比标志。

7. 斜道灰岩

斜道灰岩 (L_4) 是由 Norin 1922 年命名于西山玉门沟上游斜道村,位于西山段中部,介于毛儿沟灰岩和七里沟砂岩 (Qs) 之间,为 7 号煤的直接顶板。岩性以灰黑、深灰色薄—中厚层状含生屑泥晶灰岩为主,含有丰富的蜓、牙形刺、腕足类、珊瑚类及海百合茎化石,本层对比主要依据地层层序及所含生物化石。斜道灰岩在北部发育较差,厚度一般为 0~2.5 m,中部及南部发育较好,厚度多为 2.5~5 m,柳林、乡宁一带最厚可达 10 m。

8. 七里沟砂岩

七里沟砂岩 (Qs) 是 1959 年林枫、郭德发和中国科学院山西地层队同时命名于西山玉门沟地区,为灰白色巨厚层状石英杂砂岩,长石石英杂砂岩,位于斜道灰岩和东大窑灰岩之间的许多同层位砂体,标志明显。太原—阳泉以南地区,斜道灰岩和东大窑灰岩均发育,根据层序相似性,可将其间一层较厚的砂岩作为七里沟砂岩。太原—阳泉以北地区,多缺失东大窑灰岩 (L_5),或毛儿沟灰岩 (L_3)、斜道灰岩 (L_4) 全部缺失,此时可以 6 号和 7 号煤作为间接标志层来对比。

七里沟砂岩在北部地区比较发育,层位稳定,厚度大,一般 5~10 m,最厚可达 30 m。粒度以中—粗粒为主,南部区砂体发育较差,相变明显,厚度小,一般 0~5 m,多为细粒石英砂岩。

9. 中煤组

中煤组位于太原组西山段毛儿沟灰岩与东大窑灰岩之间。大同煤田为 2 号、3 号、4 号煤层,总平均厚度为 6.95 m。宁武煤田为 5 号、6 号、7 号、8 号煤层,总平均厚度为 3.70 m。河东煤田北部为 9 号、10 号煤层,总平均厚度为 6.52 m;中部为 6 号、7 号煤层,总平均厚度为 1.85 m;南部为 5 号、6 号、7 号、8 号煤层,总平均厚度为 1.9 m。西山煤田为 5 号、6 号、7 号煤层,总平均厚度为 2.30 m。霍西煤田汾孝、灵石、霍州、南湾里、襄汾为 5 号、6 号、7 号、8 号煤层,总平均厚度为 2.53 m。沁水煤田东山、寿阳、阳泉、和顺为 8 号、9 号、10 号、11 号、12 号、13 号煤层,一般厚度为 3.3~6.0 m;

武乡、潞安、长治、高平、晋城、阳城、沁水为5号、6号、7号、8号、9号、10号、11号、12号、13号煤层，一般厚度为0.9~4.8 m；沁源、安泽为5号、6号、7号、8号煤层，一般厚度为1.6~2.2 m。大同煤田、宁武煤田北部、河东煤田北部为主要成煤期，形成厚煤层，宁武煤田南部、河东煤田中部、西山煤田、霍西煤田北部、沁水煤田北部，海水进退影响明显，形成薄至中厚煤层，大同煤田煤层厚度最大（厚6.95 m），是该组煤沉积的聚煤中心，且分布较稳定。河东煤田、霍西煤田、沁水煤田南部，海水占驻时间较长，形成局部可采的薄至中厚煤层，且分布不稳定。煤层厚度变化的总趋势是北厚南薄，东南部最薄，煤层层数是由北向南、由西向东减少。

10. 东大窑灰岩

东大窑灰岩（ L_5 ）是1922年Norin命名于西山玉门沟上游东大窑煤矿，位于西山段上部，层序上处于七里沟砂岩和北岔沟砂岩之间，为太原组与山西组分界线，与北岔沟砂岩的间距在太原西山较小，向南渐增大。 L_5 灰岩在西山剖面为黑色砂质泥岩与含生物屑泥晶—微晶菱铁岩互层，水平虫孔发育。黑色粉砂质泥岩中产海百合茎及双壳类化石。在剖面附近的东大窑沟，黑色粉砂质泥岩相变为东大窑灰岩（ L_5 ），含丰富的蜓、牙形刺及腕足类化石。由于 L_5 灰岩上、下没有可靠的标志层，因此对比主要依据生物群面貌及其与国内外同期动物群比较。

按照传统的地层划分对比意见，东大窑灰岩与阳泉的南峪灰岩、霍西煤田的海相泥岩相对比，主要依据是生物群面貌组合特征。近年来，通过研究方法和手段的不断提高，如层序地层学、火山事件等研究，认为南峪灰岩、霍西煤田的海相泥岩从沉积规律的角度上应高于东大窑灰岩，本书采用了此种观点。

11. 山垢灰岩

山垢灰岩（ K_6 ）命名地点在陵川附城，位于太原组山垢段，为浅灰、深灰色中—中厚层状泥灰岩。这是太原组最高一层海相层，下距附城灰岩6~18 m。除阳城町店厚达5.6 m外，一般厚度为0~2.5 m。左权、武乡、襄垣一带相变为硅质岩，化石稀少。山垢灰岩是上煤组下部最高的海相层，距上煤组间距介于10~17 m，因此易于对比。中部及北部区，可将上煤组下10~17 m处层位作为附城灰岩的相当层位。该灰岩在和顺一带为南峪灰岩，再向北未见该灰岩沉积，分布范围很小。

12. 北岔沟砂岩

北岔沟砂岩（ K_3 ）是1922年Norin命名于太原西山北岔沟，为厚—巨厚层灰白色细—粗粒石英杂砂岩，局部为中粒长石石英砂岩、岩屑石英杂砂岩、中粒长石石英杂砂岩等。在太原西山、河东煤田、宁武煤田位于山西组底部、大同煤田中煤组（上二十米层）之上的砂岩，阳泉第三砂岩、霍西 K_7 砂岩、陵川附城山垢灰岩之上的砂岩均与太原西山北岔沟砂岩层位相当。层序上，北岔沟砂岩之上为全区普遍发育的上煤组，利用上煤组这一间接标志可以对北岔沟砂岩（ K_3 ）进行区域对比。该砂岩在北中部地区发育良好，层位稳定，厚度大，一般10~20 m，最大可达30 m，南部地区发育较差，相变明显，厚度小，一般0~5 m，最大可达10 m以上。

13. 上煤组

大同煤田为山₁、山₂、山₃、山₄号煤层,总平均厚度为3.07 m,其中山₄号煤层平均厚度2.44 m,为不稳定局部可采煤层,其他为极不稳定煤层,多不可采。宁武煤田为1号、2号、3号、4号煤层,总平均厚度为6.67 m,4号煤层为主要可采煤层,平均厚度为6.07 m。河东煤田北部为1号、2号、3号、4号、5号、6号、8号煤层,总平均厚度为4.77 m,8号煤层为主要可采煤层,平均厚度为3.69 m;中部为1号、2号、3号、4号、5号煤层,总平均厚度为5.61 m,3号、4号、5号煤层为主要可采煤层,总平均厚度为4.74 m;南部为1号、2号、3号煤层,总平均厚度为5.20 m,2号煤层为主要可采煤层,总平均厚度为4.28 m。西山煤田为01号、02号、03号、1号、2号、3号、4号煤层,总平均厚度为6.62 m,2号、3号煤层为主要可采煤层,总平均厚度为4.86 m。霍西煤田汾孝、灵石、霍州、南湾里、襄汾区为1号、2号、3号煤层,总平均厚度为3.59 m,2号、3号煤层为主要可采煤层,总平均厚度为2.59 m。沁水煤田东山、寿阳、阳泉、和顺为1号、2号、3号、4号、5号、6号煤层,一般厚度为2.4~4.8 m,3号煤层为主要可采煤层,一般厚度为0.88~2.27 m;武乡、潞安、长治、高平、晋城、阳城、沁水为1号、2号、3号、4号煤层,一般厚度为4.6~7.7 m,3号煤层为主要可采煤层,一般厚度为2.14~6.72 m;沁源、安泽为1号、2号、3号煤层,一般厚度为3.1~3.9 m,3号煤层为主要可采煤层,一般厚度为0.59~2.90 m。

四、煤层厚度展布情况

石炭系、二叠系煤层厚度在全省差异较大(图1-2、图1-3)。太原组煤层呈席状广泛分布在山西省各大煤田,煤层厚度大,稳定性好,全区可采。煤厚分布总体上北厚南薄。主采煤层(组)除屯留、寿阳等部分地区煤层厚度小于2 m外,其他地区均在2 m以上,属中厚—厚煤层。大宁、蒲县、吉县之间,安泽—长子一线,古县、洪洞、临汾、霍州之间,灵石—孝义—清徐—阳曲一线,左权—武乡一线,和顺—昔阳—阳泉—盂县一线,河东煤田柳林以北及宁武煤田、大同煤田大部分地区煤层厚度在5 m以上,为厚煤层。其中,河曲—保德、宁武煤田、大同煤田部分地区煤厚在10 m以上。太原组煤层总厚基本在2 m以上,煤层厚度大体上东西分带。北部厚煤带厚度多在10 m以上,包括大同煤田、宁武煤田及河东煤田兴县以北;中部及南部厚煤带煤层厚度多在5~10 m之间,中部厚煤带北起临县—古交—太原—盂县一线,南到石楼—灵石—沁县—武乡一线,南部厚煤带为大宁—洪洞—古县—安泽—长子—长治一带。

山西组煤层也是全区分布的煤层,只是厚度较下煤组明显减小。山西组主采煤层(组)在宁武煤田大部、保德附近、柳林附近、吉县—乡宁以西、襄垣—屯留—沁水—阳城以东煤层厚度为5 m以上,为厚煤层;在宁武煤田北部及南部部分地区、河东煤田大部、西山煤田东部及北部、沁水煤田榆次—太谷—榆社—武乡—安泽沁水一带煤层厚度为2~5 m,为中厚—厚煤层;在沁源、寿阳、昔阳附近煤厚不足0.5 m,为极薄煤层。其他地区煤层为0.5~2 m之间的薄—中厚煤层。山西组煤层总厚大于5 m的厚煤区主要在宁武煤田大部,河东煤田北部保德—兴县,临县—柳林一带,吉县—乡宁一带西部,西山煤田北部、中部及南部,沁水煤田东南部襄垣—安泽—沁水—阳城一线东南部区域;