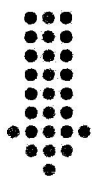


上 篇



软岩控制理论

1 我国软岩概况及软岩工程技术发展现状

1.1 中国的聚煤期

自从地球上出现植物,便有了成煤的物质条件。震旦纪的石煤是浅海菌藻类植物形成的,寒武纪、奥陶纪、志留纪的腐泥无烟煤也是由以浅海藻类为主的低等植物形成的。泥盆纪之后,陆地上生长了植物,并形成了丛林,加之当时受地表海陆分布、地壳隆起与沉降,以及沉积作用等因素的影响,形成了各个地质时代的腐殖煤。

中国各地质时代聚煤作用是不均衡的。几个较强的聚煤作用时期是:

早古生代:早寒武世

晚古生代:早石炭世

晚石炭世—早二叠世

晚二叠世

中生代:晚三叠世

早、中侏罗世

晚侏罗世—早白垩世

新生代:第三纪

上述8个聚煤期中,除早寒武世属于菌藻植物时代且形成腐泥无烟煤外,其他7个聚煤期均为腐殖煤的聚煤期。而后7个聚煤期中,以晚石炭世—早二叠世、晚二叠世、早侏罗世—中侏罗世、晚侏罗世—早白垩世4个聚煤期的聚煤作用最强,中国具有开采价值的主要煤层也均属这4个聚煤期。

1.2 中国的主要含煤地层

据1987年的不完全统计,不包括西藏自治区和台湾省,中国已开发的大小煤田约187个。含煤地层属晚古生代石炭二叠纪的占38%,

通称华北型煤田;属二叠、三叠纪的占 30%,通称华南型煤田;属中生代侏罗纪和白垩纪的占 28%,通称华北、东蒙煤田;属新生代第三纪的占 4%。

1.2.1 古生代石炭二叠纪煤系地层

1.2.1.1 华北型晚古生代石炭二叠纪煤系地层

华北型晚古生代石炭纪二叠纪含煤建造在华北广泛发育。白中石炭世形成广阔的聚煤期,经中石炭世、晚石炭世、早二叠世沉积,形成中石炭世本溪组、晚石炭世太原组、早二叠世山西组和下石盒子组 4 个含煤地层,其中除本溪组含煤性差外,其余三个含煤地层含煤性均好,尤以山西组和下石盒子组的含煤性最好,是中国煤矿主要开采煤层的层位。

华北型晚古生代石炭纪、二叠纪含煤地层广泛分布,北界为阴山、燕山及长白山东段;南界为秦岭、伏牛山、大别山及张八岭;西界为贺兰山、六盘山;东界则为黄海、渤海。遍及京、津、晋、冀、鲁、豫的全部,辽、吉、内蒙古的南部,甘、宁的东部,以及陕、苏、皖的北部(图 1-1)。

1.2.1.2 南方型晚古生代石炭纪、二叠纪含煤地层

晚古生代石炭、二叠纪含煤地层在中国南方也广泛发育。主要分布在秦岭巨型纬向构造带和淮阴山字形构造带以南,川滇经向构造带以东的华南诸省。具有工业价值的含煤地层有:晚石炭世测水组、早二叠世官山段和梁山段以及晚二叠世龙潭组或吴家坪组,其中晚二叠世龙潭组是中国南方最重要的含煤地层(图 1-2)。

1.2.2 中生代含煤地层

1.2.2.1 晚三叠世含煤地层

中国晚三叠世含煤地层分布于天山—阴山以南,而主要含煤地层又大部分分布于中国南方,即:昆仑—秦岭—大别山以南。重要的含煤地层有:湘赣的安源组、粤东北的良口群、闽浙一带的焦坪组、鄂西的沙镇溪组、四川盆地的溪家河组、云南的一平浪群、滇东和黔西的大巴冲组、西藏的土门格拉组。在昆仑—秦岭构造以北,晚三叠世重要含煤地层有:鄂尔多斯盆地的瓦窑堡组、新疆的塔里奇克组,以及吉林东部局

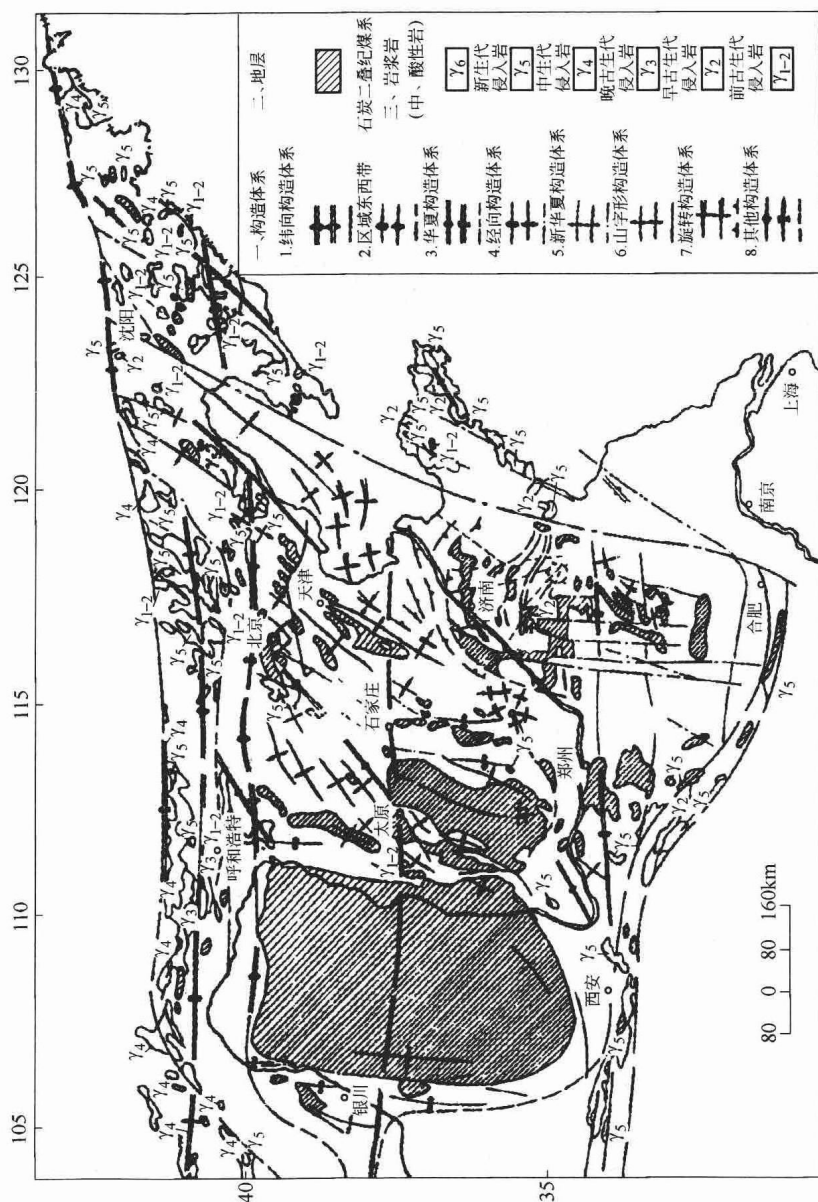


图 1-1 华北构造体系与石炭二叠纪煤系分布略图

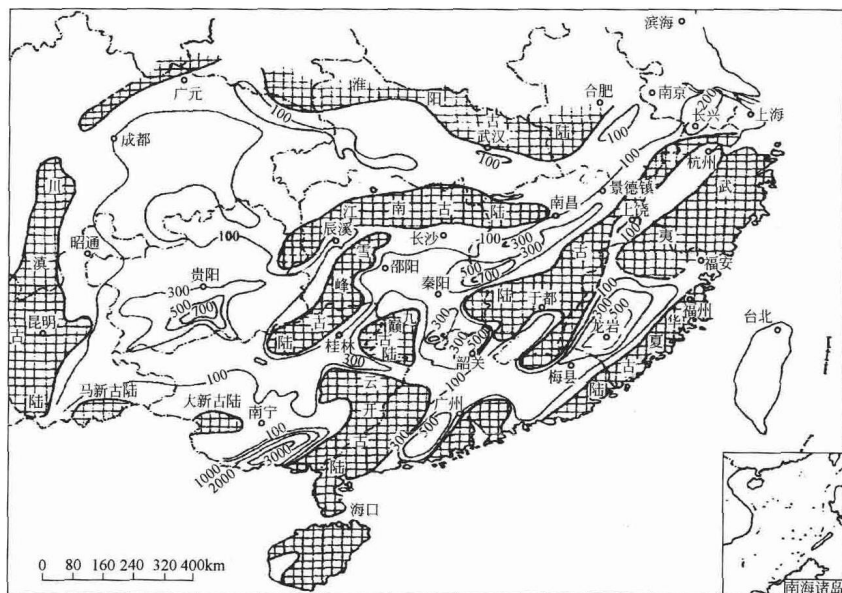


图 1-2 华北晚二叠世龙潭组等厚线图

部保存的北山组等。

1.2.2.2 早、中侏罗世含煤地层

中国早、中侏罗世的聚煤范围较晚三叠世广泛,几乎遍及全国多数省区。但聚煤作用最强的主要在中国的西北和华北地区,以新疆维吾尔自治区的储量最为丰富。主要含煤地层有:鄂尔多斯盆地的延安组、山西大同盆地的大同组、北京的窑坡组、辽宁北票的北票组、内蒙古石拐子的五当沟组、河南的义马组、山东的坊子组、青海的小煤沟组、新疆的水西沟群等。

1.2.2.3 晚侏罗世—早白垩世含煤地层

晚侏罗世—早白垩世是中国中生代的第三个重要聚煤期。含煤构造多数发育于孤立的断陷型内陆山间盆地或山间谷地之中,聚煤盆地面积较小,但含有厚或巨厚煤层。上侏罗统—下白垩统是中国东北和内蒙古东部地区最重要的含煤岩系,中国最厚的煤层大都属于本区(图 1-3)。主要含煤地层有:黑龙江的穆林组,辽宁的沙海组、阜新组,内蒙古的伊敏组、霍林河组,吉林的九台组等。

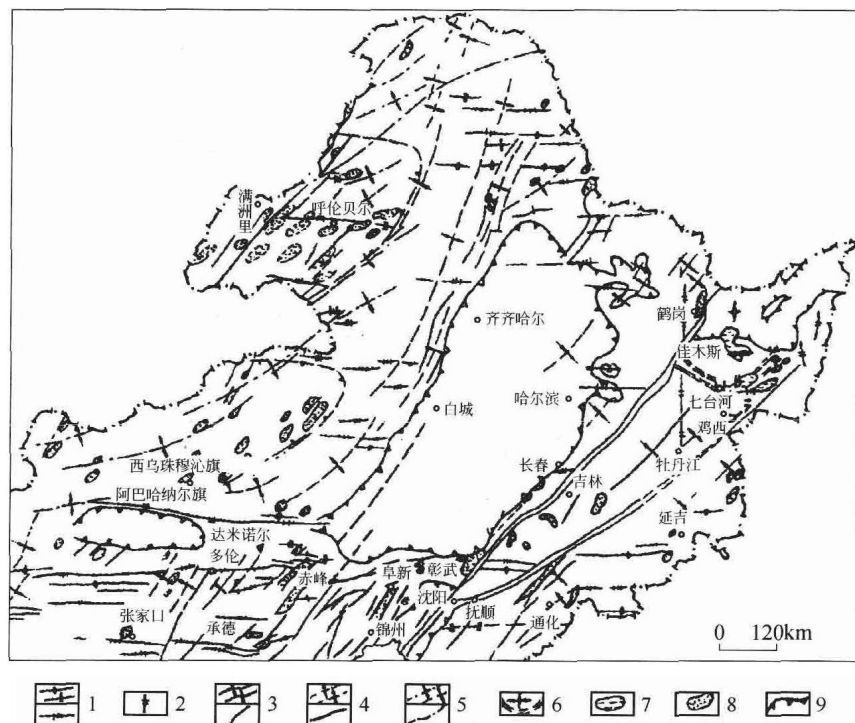


图 1-3 晚侏罗世—早白垩世聚煤盆地分布于构造体系关系图

1—巨型纬向及区域东西向构造带;2—经向构造带;3—华夏系;4—新华夏系;5—蒙古构造;
6—山字构造;7—海陆交替;8—陆相煤盆地;9—白垩纪

1.2.3 新生代含煤地层

白垩世第三纪是中国主要聚煤期之一,含煤沉积的分布很不均衡。根据聚煤期、盆地成因类型特点,可分南、北两个聚煤地区(图 1-4)。

北区,主要分布在大兴安岭—吕梁山以东地区,最南到河南省的栾川、卢氏,最北至黑龙江的孙吴、逊克,东部分布于三江平原的图们、珲春以及山东的黄县、平度。聚煤时代以早第三纪始新世、渐新世为主,主要含煤地层有:辽宁抚顺的老虎台组、栗子沟组、古城子组,吉林的舒兰组、梅河组,黑龙江的虎林组,山东的黄县组(沙河街组)。

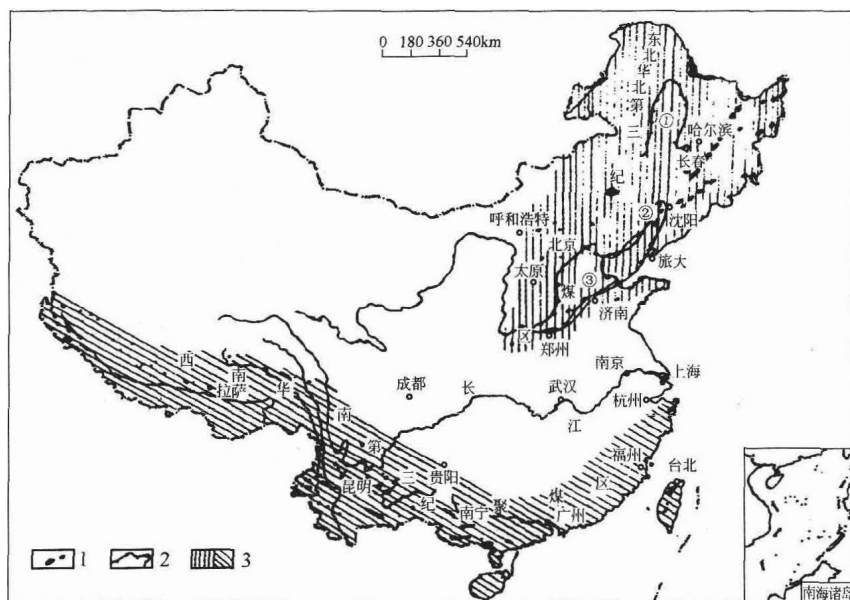


图 1-4 第三纪聚煤盆地分布图

1—煤盆地;2—大型断陷盆地;3—聚煤区

南区,主要分布在秦岭—淮河以南的广大地区,东至台湾省的西部地区、浙江的嵊州,南达海南省的长坡、长昌,西抵云南的开源、昭通以及西藏的巴喀和四川西部的白玉、昌台等地。聚煤时代为早第三纪渐新世、晚第三纪中新世和上新世,后者是南区的主要聚煤时代。主要含煤地层有:云南开远的小龙潭组、滇东昭通组,台湾省西部地区有晚第三纪中新世三峡群(南庄组)、瑞芳群(石底组)、野柳群(木山组)。

1.3 中国煤矿床的分布

中国煤矿床分布范围很广,储量丰富。经概略统计,截止到 1987 年底,探明的煤炭储量约有 8600 亿吨。它们的分布情况见表 1-1,我国 34 个省市,除上海市外,都有煤床。

表 1-1 中国煤矿床分布表

省市	煤田面积 /km ²	地 点	煤系地层	储量 /亿吨	赋存环境
北京市	1120	京西门头沟, 京东顺义、大兴	侏罗系门头沟 煤系、石炭二叠 系、杨家屯煤系	25	低山丘陵区,第四系 覆盖厚度 0 ~ 80m,大 部分煤系裸露地表
天津市	300	蓟县	石炭二叠系 太原组、山西组	19	燕山山前冲积区,第 四纪冲积层厚 0 ~ 400m
河北省	7000	开滦、峰峰、 邢台、邯郸、蔚 县、井陘、兴隆、 玉田等	以石炭二叠 系太原组、山西 组为主,个别为 侏罗系下花 园组	135	井陘、兴隆为中低山 煤田,其他都是山前 (燕山、太行山)冲积、 洪积斜坡,冲洪积覆盖 的隐伏煤田,第四系厚 度 0 ~ 800m
山西省	57000	大同、阳泉、 太原、西山、汾 西、潞安、轩岗、 晋城、霍州、平 朔、宁武、离石、 柳林等	主要为石炭 二叠系太原组、 山西组,仅大同 矿区有侏罗系 大同组	2664	大部分属中低山区, 第四系覆盖不厚,一般 0 ~ 50m,有的可达 250 ~ 300m
陕西省	45000	铜川、蒲城、 白水、澄城、合 阳、韩城、黄陵、 神府、彬县、长 武、子长等	东部的蒲城、 白水、澄城、合 阳、神府、彬县、 长武主要为侏 罗系,其他为石 炭二叠系	1600	大部分为黄土覆盖, 覆盖厚度 0 ~ 250m,仅 韩城为低山区
宁夏回族 自治区	11600	石嘴山、灵 武、宁东等	石炭二叠系 太原组、山西组 和下石盒子组, 侏罗系延安组	305	除石炭纪煤田位于 贺兰山腹地中低山区 外,其他位于贺兰山山 前黄河冲积区内,第四 系覆盖层厚度 0 ~ 240m

续表 1-1

省市	煤田面积 /km ²	地 点	煤系地层	储量 /亿吨	赋存环境
河南省	21000	平顶山、焦作、鹤壁、郑州、永城、宜阳、义马、新安等	石炭二叠系太原组、山西组,局部为侏罗系	711	大部分位于山前倾斜平原区内,第四系覆盖层厚一般 0~100m,焦作可达 300m,永城地区第四系和第三系覆盖层厚度 300~500m
山东省	48000	淄博、新汶、莱芜、枣庄、滕州、肥城、兖州、济宁、巨野、临沂、龙口等	石炭二叠系太原组、山西组,仅龙口煤田为老第三系黄县组,坊子为下侏罗系坊子组	175	第四系全覆盖的隐伏煤田,第四系厚度为 20~400m
安徽省	18000	淮北、淮南、宣城、广德等	石炭二叠系太原组、山西组及下石盒子组,上二叠统龙潭组	300	大部分为第四系覆盖下隐伏煤田,皖南宣城为低山丘陵,第四系厚 30~800m
江苏省	2500	徐州、沛县,苏南的南京、镇江、常州	石炭二叠系太原组、山西组,二叠系龙潭组	39	徐州和大屯煤田第四系覆盖层厚 12~240m,苏南各小煤田位于低山丘陵区,第四系厚 0~50m
浙江省	900	江山、长兴	上二叠统龙潭煤系,局部侏罗系马灶煤系	1	低山丘陵,第四系冲积层很薄
福建省	100	龙岩、永定	上二叠统龙潭煤系	5	山间丘陵盆地,第四系厚 0~30m
湖北省	20	黄石、松滋、宜都、蒲圻、襄阳、恩施、宜昌、荆门	上二叠统龙潭煤系,下侏罗统香溪煤系	2	低山丘陵小盆地,第四系不厚

续表 1-1

省市	煤田面积 /km ²	地 点	煤系地层	储量 /亿吨	赋存环境
江西省	8400	萍乡、杨桥、 丰城乐平、樟树	上二叠统龙潭煤系三叠系， 安源煤系	14	低山丘陵，第四系厚 0~30m
湖南省	5500 (实际面积为800)	邵阳、资兴、 嘉禾、耒阳、韶山、 煤炭坝、黔阳、怀化	上二叠统龙潭煤系，下二叠统辰溪组， 下石炭统测水煤系， 侏罗纪石门组	30	低山丘陵、山间盆地， 第四系覆盖不厚
广东省	170	梅县、韶关、 连阳	上二叠统龙潭煤系，三叠纪、侏罗纪	5	低山丘陵，山间小盆地， 第四系覆盖不厚
广西壮族自治区	170	来宾、罗城、 南宁、柳州	上二叠统合山煤系， 下石炭统寺门段	5	低山丘陵，第四系覆盖不厚
贵州省	70000 (煤系) 8600 (煤田)	六枝、盘县、 水城、织金、毕节、 纳雍	上二叠统龙潭煤系	490	高、中山区，第四系很薄
四川省	1300	广元、渡口、 筠连、松藻、永川	上二叠统龙潭煤系，三叠系家河组	120	中低山区，第四系很薄
重庆	700	天府、南桐、大巴山	上二叠统龙潭煤系，三叠系家河组	30	中低山区，第四系很薄
云南省	20000 (煤系) 400 (煤田)	昭通、个旧、 宣威、楚雄	新第三系昭通组， 上二叠统龙潭组	180	中低山区，第四系很薄
辽宁省	2300	抚顺、阜新、 南票、北票、本溪	下侏罗统北票组、 阜新组，石炭二叠系太原组， 老第三系渐新统	70	低山丘陵区，第四系覆盖 0~60m，沈阳地区可达 70~160m

续表 1-1

省市	煤田面积 /km ²	地 点	煤系地层	储量 /亿吨	赋存环境
吉林省	1700	辽源、梅河口、通化、舒兰、营城、琿春、蛟河	老第三系梅河组和舒兰组, 上侏罗统辽源组, 石炭二叠系太原组、山西组	20	低山丘陵区, 第四系覆盖 0 ~ 20m, 局部达 40m
黑龙江省	12000	鸡西、鹤岗、双鸭山、集贤、密山、七台河	上侏罗统城子河组, 老第三系	120	低山丘陵区, 第四系 0 ~ 30m
内蒙古自治区	70000 (煤系) 13000 (煤田)	包头、准格尔、乌达、元宝山、霍林河、扎赉诺尔、海拉尔、伊敏河、东胜、胜利	下侏罗统石拐子群, 中下侏罗统延安组, 上侏罗统霍林河组	7016	低山丘陵区, 第四系厚 0 ~ 60m
甘肃省	350	华亭、崇信、窑店靖远、正宁	中下侏罗统延安组, 中侏罗统窑街组	70	高中山区, 第四系厚 0 ~ 30m, 窑街地区厚 250m
青海省	10000 (煤系)	大通、天峻、江仓、柴达木盆地北缘	中侏罗统窑街组, 中下侏罗统延安组	40	第四系很薄
新疆维吾尔自治区	88000 (煤系)	准噶尔、塔里木、吐鲁番三大盆地边缘	下侏罗统八道湾组, 中侏罗统西山窑组	1726	(垂深 2000m, 中低山或戈壁滩下范围预测储量 16000 亿吨) 第四系厚 0 ~ 40m, 哈密煤田厚 250m
西藏自治区	(资料暂缺)	昌都、土门巴青、日喀则、门士	下石炭统马查拉组, 下白垩统多尼、拉萨及川巴煤系	1	高原、山区
海南省	20	儋州、长坡	第三系	2(褐煤) 3 (油页岩)	中低山和丘陵区, 第四系覆盖不厚
台湾省	2000 (煤系)	苗栗、基隆、台北、桃园、新竹	第三系	2	中低山丘陵区, 第四系覆盖不厚
香港特区	暂无				
澳门特区	暂无				

1.4 我国煤矿软岩的赋存特点

我国煤矿软岩分布与聚煤期分布特征和地质环境等密切相关,下面将介绍我国煤矿软岩的赋存特点。

1.4.1 地理分布范围广

我国煤矿煤系地层中具有软岩的矿井分布十分广泛,北起黑龙江、内蒙古,南到广东、广西,东起山东、浙江,西到新疆、青海,遍布全国各主要产煤省区,近半数的矿务局存在软岩矿井,有的矿务局甚至大部或全部矿井是软岩矿井。据不完全统计,有软岩的矿务局有:黑龙江省的鹤岗、鸡西,吉林省的辽源梅河矿区、通化、舒兰、珥春,辽宁省的抚顺、阜新、铁法、沈阳,内蒙古的扎赉诺尔、大雁、平庄,河北省的开滦、邢台、邯郸、峰峰,山东省的龙口,河南省的平顶山、郑州、焦作,江苏省的徐州、大屯,浙江省的长广,安徽省的淮南、淮北,江西省的萍乡,湖南省的涟邵,四川省的芙蓉、松藻,贵州省的盘江、水城、六枝,云南省的田坝、小龙潭、昭通,广东省的茂名,广西的那龙、右江,陕西省的铜川、韩城,甘肃省的靖远、华亭、阿干,新疆的乌鲁木齐,宁夏的石嘴山,青海省的大通,以及近期发展起来的几大露天矿如霍林河、伊敏河、元宝山等,还有相当数量的地方矿务局等等。随着我国第三纪新生代煤田的开采及老矿井采深的增加,软岩煤矿的数量和分布范围将会继续增加和扩大。

1.4.2 跨越地质年代长

我国煤矿软岩伴随着我国煤炭沉积的几个主要成煤时代。自古生代石炭二叠纪,中生代的三叠纪、侏罗纪、白垩纪到新生代的第三纪均有软岩赋存。由于生成地质年代不同,受我国区域构造影响不同;变质程度与成岩胶结作用不同,我国软岩各具特色,并具有明显的时代痕迹。

古生代软岩多分布在我国华北、华东地区。其特征是以海相沉积为主,岩石的组成多以泥岩、砂质泥岩、页岩为主。岩石结构多以块状、层状为主。一般岩石胶结程度较好,黏土矿物以高岭石、伊利石为主,蒙脱石一般较少,也有部分岩层含伊利石—蒙脱石混层,含量多在

5% ~ 15%, 相对膨胀性稍差。受区域地质构造影响和多次构造影响的叠加, 深部多散为高应力破碎软岩。

中生代软岩, 分布比较广泛, 大兴安岭以西、阴山以北均有分布。其特征是: 岩石以陆相沉积为主, 和古生代岩层相比成岩时间较短, 受构造破坏影响相对较小, 成岩胶结程度较差。黏土矿物以伊利石和伊/蒙混层矿物为主。部分矿区蒙脱石含量较高, 可达 25% ~ 35%, 遇水泥化, 有较强的膨胀性。岩石结构多为层状、块状、破碎状结构。

新生代第三纪软岩, 在我国分布极为广泛。吉林、内蒙古、辽宁、山东、广东、广西、云南、新疆均有第三纪软岩存在。岩石成岩时间短, 胶结程度差, 强度低。黏土矿物以蒙脱石为主。一般含量为 15% ~ 45%, 最高可达 70%, 岩石亲水性强, 膨胀性显著, 物理化学活性强, 风化耐久性差, 遇水易解体成软泥。

1.4.3 成因和结构复杂

按成岩情况, 我国软岩有沉积形成的厚层状、薄层状、间层状、夹层状软岩, 有火成岩低温蚀变及火山灰转化和断层泥状的软岩。其膨胀性、胶结性和物化活性各具特色。按岩石的结构状态有软弱型、松散型、破碎型及膨胀型软岩。

因我国软岩范围分布广、成因环境复杂、控制难, 给煤矿生产带来严重影响, 已成为专家学者和现场工程技术人员亟待解决的技术难题。

1.5 软岩工程技术发展现状

1.5.1 软岩工程技术的发展

软岩工程技术的研究属于岩石力学的范畴, 而岩石力学在 20 世纪 50 年代开始了岩石物理学的基础研究, 到 60 年代, 逐渐发展成一门具有独立体系的学科。作为岩石力学在 60 年代广泛用于工民建、采矿业而繁荣发展的标志, 1963 年国际岩石力学学会正式成立发展至今, 国际岩石力学学会已经成为具有 37 个国家、7000 多名会员的世界性学术组织。

我国软岩工程技术的发展起始于矿产资源开发工程。20 世纪 60

年代,煤矿软岩问题在部分矿区开始出现,70年代就更为广泛,引起了有关部门高度重视。原煤炭部从“六五”规划开始,继“七五”、“八五”规划均有计划地将软岩巷道支护及监测技术列入煤炭部科技发展规划,组织各方面力量进行科研攻关。同期出现软岩问题并开展研究的有金川镍矿为代表的冶金系统、以葛洲坝软弱类层研究为代表的水利系统等。参与科研的单位有中国科学院系统的地质研究所、武汉岩土力学研究所、水利部、煤科总院北京开采所及建井所、吉林长春煤研所、中国矿业大学、东北大学、山东科技大学、安徽理工大学、西安科技大学、辽宁工程技术大学、北京科技大学等,在软岩巷道围岩控制的基础理论、软岩的岩性分析及工程地质分析、软岩巷道围岩变形力学机制、软岩巷道围岩控制、软岩巷道支护设计与工艺及施工和监测方面进行了试验研究,取得多方面的科研成果;煤科总院上海分院、南京煤研所,在软岩巷道掘进、支护施工机具研制方面也做了卓有成效的工作。国内各大生产建设单位,如辽源梅河、下庄、淮南、龙口、舒兰、那龙、茂名等矿务局和葛洲坝、小浪底工程局等在软岩巷道和软岩隧道支护方面也进行了大量试验工作,积累了丰富的生产实践经验。进入到80年代,煤矿开采深度日益加大,如开滦矿务局深度达1200m,深井高应力软岩普遍出现,更推动了煤炭系统的软岩研究向纵深层次发展,产生并形成了以“联合支护理论”和“松动圈理论”为代表的多个学派。90年代,除了煤炭系统又有新的研究成果之外,我国三峡工程、小浪底工程、大规模城市现代化高层建筑、城市地下工程、道路交通的建设,使软岩滑坡问题、软岩隧洞及隧洞群稳定问题、软岩坑基问题的研究十分广泛和深入,并取得了长足进展。作为全国性软岩工程技术研究繁荣的标志是1995年“中国岩石力学与工程学会软岩工程专业委员会”的诞生和1996年“煤矿软岩工程技术研究推广中心”的成立,这一切都有力地推动我国软岩工程技术的研究,并取得了一系列的科研成果。

1.5.2 软岩工程支护技术的进展

在软岩边坡加固护坡方面,形成了锚索加固系列技术、锚杆加固系列技术、钢筋混凝土格栅状护坡技术、抗滑桩系列技术和地表排水、地下排水系列技术等。

在软岩基坑处理方面,形成了换土技术、复合地基技术、土桩和灰土桩技术、砂桩技术、高压注浆技术、强夯技术。

在城市软岩地下工程方面,形成了沉井技术、盾构技术、顶棚支护技术,以及沉管、箱涵顶进等技术。

在软岩巷道支护方面,形成了锚喷、锚网喷、锚喷网架、锚喷网架注系列技术、钢架支护系列技术、钢筋混凝土支护系列技术、料石碇支护系列技术、注浆加固系列技术和预应力锚索支护系列技术。

1.5.3 软岩工程支护理论学派百花齐放

新奥法理论、联合支护理论、围岩松动圈理论、高强度弧板支护理论、位移反分析理论,以及软岩工程地质力学理论等不同学术理论在我国软岩工程实践中普遍采用,形成了百花齐放、百家争鸣、兼容并蓄、取长补短、不断完善的空前繁荣局面。

2 软岩的概念及其分类

2.1 软岩的概念

2.1.1 概述

从 20 世纪 60 年代到 90 年代后期,关于软岩的概念在国内外一直争论不休,产生的软岩定义多达几十种。1981 年 9 月,国际岩石力学学会委托日本力学协会召开了国际软岩学术讨论会,软岩的概念问题被作为重要的议题进行讨论。1984 年 12 月,我国煤炭工业部矿山压力情报中心站、《煤炭学报》编辑部、中国学会岩石力学专业委员会联合发起煤矿矿山压力名词讨论会,这次会议集中了国内矿山岩石力学方面的专家、学者,在昆明会议上专门讨论了松软岩层的定义。但是,在近几年的文献中,关于软岩的概念仍然名目繁多、定义各异,各有其优缺点,总括起来,大体上可分为描述性定义、指标化定义和工程定义 3 类。

(1)描述性定义

1)原煤炭工业部矿山压力情报中心部副站长、软岩分站站长、长春煤炭研究所工程师陆家梁提出,松软岩层是指松散、软弱的岩层,它是相对于坚硬岩层而言的。松软岩层由于成岩的时间短、结构疏松、胶结程度差,故自身强度很低。

2)原煤炭工业部软岩分站副站长郑雨天、王明恕、何修仁教授等认为,软岩是软弱、破碎、松散、膨胀、流变、强风化蚀变及高应力的岩体之总称。

3)安徽理工大学朱效嘉教授提出,松软、破碎膨胀及风化等岩层称软岩层,简称软岩。

4)原东蒙煤炭公司的曾小泉高级工程师认为,松软岩层是松散破碎、软弱、强风化和膨胀性岩层的总称。