

软岩巷道支护 技术指南

薛顺勋
聂光国
姜光杰
刘银志
周显合 编

23

● 煤炭工业出版社

软岩巷道支护技术指南

薛顺勋 聂光国 姜光杰 刘银志 周显合 编

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

软岩巷道支护技术指南/薛顺勋等编. —北京: 煤炭工业出版社, 2002

ISBN 7-5020-1773-9

I. 软… II. 薛… III. 软弱岩石—巷道支护—指南 IV. TD353—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 008374 号

软岩巷道支护技术指南

薛顺勋 聂光国 姜光杰 刘银志 周显合 编

责任编辑: 孙金铎 田克运

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₁₆ 印张 10¹/₂

字数 239 千字 印数 1—3,500

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷

社内编号 4554 定价 25.00 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

前 言

软岩巷道支护，历来是巷道工程的难题。我国煤矿的支护专家、学者及众多的科技工作者从上世纪 80 年代起，为软岩巷道支护的研究、攻关和实践付出了大量心血，取得了一项又一项科研成果，为软岩巷道支护指明了方向。但到目前为止，仍然还不能说已根本解决了问题。

我国有软岩的矿井分布很广，加之矿井开采深度的增加，地应力加大，原来巷道支护不太困难的矿井，也面临支护难的问题。煤矿许多基层从事实际工作的人员，对软岩巷道支护往往认识不足，没有充分的思想准备，缺乏必要的技术手段和措施，造成被动局面；以致走了不少弯路，给煤矿生产安全带来巨大的危害，造成了不必要的人力、物力的浪费。为了总结前人的经验，普及软岩巷道支护的知识，为促进煤矿巷道支护改革和发展，为满足矿井的安全生产和经济发展的需要，我们编写了这本《软岩巷道支护技术指南》。

全书共分十章，介绍了软岩巷道的特征和成因、软岩分类及软岩巷道界限的判别、软岩巷道的维护原理。系统地介绍了软岩巷道的支护技术，软岩巷道支护的设计方法和软岩巷道监控量测技术。讲述了软岩巷道底鼓的治理和软岩巷道锚索支护方法。并着重介绍了新奥法与软岩支护、巷道围岩松动圈理论与软岩巷道支护方面的核心内容。

全书力求反映目前我国煤矿软岩巷道支护技术状况，以指导煤矿软岩巷道支护为宗旨，以煤矿各级领导、工程技术人员、施工管理人员为主要服务对象。本书可作为培训教材，也可作为大中专院校采矿类专业的教学参考书。

本书在编写过程中，参考了许多专家、学者、科技工作者的科研成果和论文的部分内容及部分矿区软岩支护方面的攻关成果，在此深表谢意。

由于编写准备工作不够充分，时间仓促，编者水平与知识所限，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2001 年 10 月

目 录

前 言

第一章 软岩巷道综述	1
第一节 软岩的概念	1
第二节 我国煤矿软岩分布	1
第三节 软岩巷道的特征	2
第四节 软岩巷道支护困难原因分析	3
第二章 软岩分类	6
第一节 普氏岩石分级法	6
第二节 煤矿锚喷支护围岩分类	7
第三节 我国支护专家对煤矿软岩的分类	9
第四节 煤巷围岩稳定性分类	11
一、分类方法	11
二、分类指标的确定	11
三、分类指标	12
第五节 我国部分矿区的软岩分类	14
一、舒兰矿区的软岩分类	14
二、元宝山矿区软岩工程分类	14
第六节 生产中软岩巷道界限的确定	15
一、开展软岩调查,搞清软岩分布	15
二、软岩巷道界限的判别	17
第三章 软岩巷道的支护原理	19
第一节 软岩巷道深部围岩力学形态变化	19
第二节 软岩巷道支护原理	20
第三节 软岩巷道支护的原则	21
一、鉴别软岩类型	21
二、软岩巷道支护的原则	22
三、关于支护—围岩共同作用的两点说明	23
第四节 软岩巷道锚喷网支护机理	24
一、单体锚杆的支护机理	24
二、锚杆的组合拱支护原理	26
三、喷层、钢筋网支护作用分析	28
四、吸水膨胀型及复合型软岩锚喷网支护原则	29
第四章 软岩巷道支护	30

第一节 概 述	30
第二节 锚 杆	31
一、锚杆及其种类	31
二、锚杆的结构	31
三、锚固剂	36
四、托 梁	38
五、托 板	40
第三节 喷射混凝土	41
一、喷射混凝土的分类	41
二、喷射混凝土的支护特点与作用原理	42
三、一般喷射混凝土的材料与配合比	43
四、混凝土喷射机	48
第四节 网	52
一、网的作用及种类	52
二、金属网	52
三、塑料网	53
第五节 可缩性金属支架	55
一、U 型钢拱形可缩性支架	55
二、U 型钢环形可缩性支架	58
三、梯形可缩性金属支架	58
四、金属支架的选择	61
第五章 软岩巷道支护设计方法	64
第一节 概 述	64
一、设计方法的种类	64
二、我国现场常用的设计方法	65
第二节 工程类比方法	65
一、类比的基本条件	66
二、应用要领	66
三、工程类比方法评析	67
第三节 软岩巷道锚喷网支护设计方法	68
一、软岩巷道锚喷网支护参数设计	68
二、软岩巷道支护设计示例	70
第四节 煤巷锚杆支护工程监控设计法	72
一、工程监控设计法简介	72
二、我国工程监控设计法基本体系	72
三、工程监控设计法中的初始设计	74
第六章 软岩巷道底鼓的治理	77
第一节 巷道底鼓机理	77
一、巷道底鼓的特征	77

二、巷道底鼓的机理	77
三、影响底鼓的主要因素	80
第二节 巷道底鼓的综合治理	82
一、底鼓巷道的分类	82
二、治理底鼓的方法	82
三、加固巷道帮、角控制底鼓	85
第七章 软岩巷道锚索支护	88
第一节 概 述	88
第二节 锚索的基本概念	88
一、锚索的作用原理	88
二、锚索结构	89
三、锚索材料	90
第三节 锚索支护设计	91
一、锚索支护设计原则	91
二、锚索主要参数的确定	91
第四节 锚索施工	93
一、树脂锚索的施工工艺	93
二、注浆锚索的施工工艺	95
第五节 软岩巷道锚索支护工程实例	96
一、高地应力区巷道锚索支护实例	96
二、锚索支护在大硐室的应用实例	97
三、软岩煤巷锚索支护实例	98
四、复合顶板煤巷锚索支护实例	101
第八章 软岩巷道支护的监控量测技术	103
第一节 概 述	103
第二节 巷道围岩表面位移观测	104
一、测点布置及安设	104
二、测量仪器及测量方法	104
三、量测数据的处理和应用	106
第三节 锚杆施工质量监督	108
一、锚杆施工质量监督的内容	108
二、锚杆的锚固力检测	108
三、锚杆载荷观测	113
第四节 巷道喷层量测	116
一、测 强	116
二、测 厚	118
三、喷层应力观测	118
第五节 巷道顶板离层监测	122
一、顶板离层指示仪	122

二、巷道顶板离层监测要求	126
第九章 新奥法与软岩支护	128
第一节 概 述	128
第二节 新奥法的基本原理	129
第三节 新奥法的设计	132
一、地质调查	132
二、设计方法和程序	132
三、施工前预设计的主要内容	133
四、信息反馈修正设计	133
第四节 新奥法的施工	134
一、新奥法的施工组织设计	135
二、新奥法的施工基本原则和要点	136
三、新奥法的量测	136
第五节 新奥法在煤矿软岩巷道支护的应用与发展	137
一、对新奥法的评析	137
二、我国煤矿新奥法研究、应用与发展	137
第十章 巷道围岩松动圈支护理论与软岩支护	139
第一节 概 述	139
第二节 围岩松动圈的概念与性质	139
一、围岩松动圈的概念	139
二、围岩松动圈影响因素分析	141
三、围岩松动圈的性质	141
四、围岩物理力学状态分析	143
第三节 松动圈的量测与围岩分类	144
一、围岩松动圈的量测	144
二、巷道支护围岩松动圈分类	148
第四节 巷道围岩松动圈支护理论	149
一、巷道支护载荷分析	149
二、巷道支护对象分析	151
三、剪胀变形的工程性质	154
四、松动圈巷道支护理论	155
第五节 松动圈理论在软岩巷道支护中应用实践	155
参考资料	157

第一章 软岩巷道综述

第一节 软岩的概念

什么是软岩？在全国自然科学名词审定委员公布的“煤炭科技名词”（1996年）的条目中，并未出现“软岩”这一名词。只在05.04 矿山压力与岩层控制中有05.176条“松软岩层”这一名词。

松软岩层是指粘结性差、强度低、易风化、有时遇水膨胀、自稳能力差的岩层。它是破碎、软弱、松散、膨胀、流变、强风化蚀变和高应力岩体的统称。

目前由于缺乏充分的科学标准数据，再加上各地区对工程特点认识上的差异，国内外对松软岩层概念上理解并不完全一致，名词术语也不尽统一。有的叫“软岩”，有的叫“不良岩层”，有的叫“复杂岩层”，也有的叫“破碎岩层”。尽管如此，但其基本特征都是指松、散、软、弱四个字，它是相对于致密、坚硬、支护容易岩体而言的。

1984年12月，我国煤炭系统在昆明召开的“煤矿矿山压力名词”讨论会上明确地将软岩定义统一为“强度低，孔隙率大，胶结程度差，受构造面切割及风化影响显著，或含有大量易膨胀粘土矿物的松、散、软、弱岩层。”1986年11月，在广东茂名召开的“软岩分类及支护形式学术”讨论会上，对软岩的定义在上述定义内容的基础上，又补充了“流变性及高应力”的内容。

我国目前在井巷掘进与支护领域的许多专家、学者和现场的科技工作者，都习惯地把“松软岩层”的概念简称为“软岩”。在许多书籍、杂志的论文中“软岩巷道”、“软岩支护”等名词至今还大量使用。为了适应广大科技工作者的需要，为叙述方便，本书亦将“松软岩层”简称为“软岩”，将“松软岩层巷道支护”简称为“软岩巷道支护”或“软岩支护”。

第二节 我国煤矿软岩分布

在我国煤炭资源的开发中，许多矿山都遇到软岩工程问题。据不完全统计，软岩矿山多达几十个，根据工程地质条件分析，软岩矿山可能多达一、二百个以上。数十个、上百个软岩煤矿，广泛分布在我国各省区。北起黑龙江和内蒙古的扎赉诺尔矿、鸡西穆棱矿、伊兰矿，南至广东石鼓和海南的长坡、长昌煤矿；东起吉林珲春、山东龙口，西至青海的大通煤矿。软岩不仅分布于中生代煤盆地，如上侏罗纪的元宝山、平庄、霍林河、扎赉诺尔；老第三纪的沈北、抚顺、舒兰、梅河、珲春、龙口、石鼓；新第三纪的云南小龙潭、昭通、海南岛的长坡、长昌等，而且上古代的煤盆地亦分布有许多软岩矿山，如四川的芙蓉，淮南潘集，山西汾西的柳溪、水峪，霍县的南下庄矿等。

我国煤矿软岩的类型也是多种多样的。泥质系列有：泥岩、页岩、粘土岩、粉砂质泥岩、砂质页岩等；火山岩蚀变系列有：沈北的蚀变玄武岩、鸡西穆棱矿的蚀变凝灰岩；泥质岩与碳酸盐岩的过渡系列有：龙口北皂的钙质泥岩、云南蒙自煤盆地的泥灰岩；泥质岩与碎屑岩过渡类型有：龙口的粘土胶结的粗砂岩和含砾粗砂岩等。泥质软岩胶结物的成分和胶结强度也是复杂多变的。有机质胶结系列有：油页岩、含油泥岩、黑色页岩、炭质页岩等；硅质胶结系列有：华北地区的石炭二叠纪的硅质泥岩、硬质粘土岩等；铁质胶结系列有淮南潘一、潘二矿的花斑泥岩，山东张家洼矿第三纪的“红板岩”及大量弱胶结的泥页岩。由于胶结成分、结晶程度和含量不同，泥质岩的强度也大小不一，低的只几兆帕，高的可达 80MPa。泥岩的耐久性和膨胀性也是千差万别的，从耐崩解稳定性来分，有极不稳定的（弱胶结），不稳定（中等胶结）和稳定的（强胶结）。从膨胀性的角度分，有非膨胀的、弱膨胀的、中等膨胀的、强膨胀的、剧烈膨胀的。

软岩矿井并非全部都是软岩，往往是软岩、硬岩都有，各层的岩石力学性能有高有低。有些受断层带的影响，有的受构造应力的影响，围岩性质相同或相近的巷道也会发生严重破坏。还有许多矿井，原来巷道掘进与支护并不困难，由于开采深度增加，地层压力逐渐的增大，巷道围岩也发生软化，致使巷道掘进与支护也变得十分困难。在巷道竣工不久，就严重破坏，需要经常翻修，耗费人力、物力和资金，严重影响矿井正常生产和企业的经济效益，同时也对矿井安全生产带来巨大的危害。

我国从 20 世纪 70 年代开始，软岩支护问题就引起各方面的关注。煤炭系统许多专家在沈北、梅河、舒兰、龙口、长广、淮南、潘集等矿区，开展了软岩巷道掘进与支护的大量研究，在软岩巷道的矿压显现、掘进方法、支护技术等方面，都取得了很好的成绩和经济效益。但到目前，仍然还不能说已根本解决了问题。

研究和认识软岩和软岩工程的复杂性的目的，在于寻找和利用它的规律性，以便有效地、经济地解决软岩巷道工程问题。

第三节 软岩巷道的特征

开掘在松散软弱岩层中的各种巷道，最明显的特征是地压显现都比较剧烈，巷道维护困难，主要表现在以下几个方面。

1. 围岩的自稳时间短、来压快

所谓自稳时间，就是在没有支护的情况下，围岩从暴露起到开始失稳而冒落的时间。软岩巷道的自稳时间仅为几十分钟到几个小时，巷道来压快，要立即支护或超前支护，方能保证巷道围岩不致冒落。

巷道围岩的自稳时间长短主要取决于围岩强度和地压大小，同时也和巷道的断面形状、掘进方法、巷道所处的位置等有关。

2. 围岩变形量大、速度快、持续时间长

软岩巷道的突出特点就是围岩变形速度快、变形量大、持续时间长。一般软岩巷道掘后的第 1~2d，变形速度少的 5~10mm/d，多的达 50~100mm/d；变形持续时间一般 25~60d，有的长达半年以上仍不能稳定。

软岩巷道的围岩变形量，在支护良好的状态下，其均匀变形量一般达到 60~100mm 以

上, 大的甚至 300~500mm; 如果支护不当, 围岩变形量很大, 300~1000mm 以上的变形量是司空见惯的。例如, 淮南谢桥一矿—780m 水平位于泥岩内的运输大巷, 在开巷后的 100d 内, 顶底及两帮的移近量分别达到 625mm 和 387mm, 一年后达到 1200mm 和 800mm, 支护翻修后所产生的附加变形量仍达到 300~400mm。上述特点是软岩巷道最突出的特征。

3. 围岩的四周来压、底鼓明显

在较坚硬岩层中, 围岩对支架的压力主要来自顶板, 中硬岩层围岩对支架的压力来自顶板和两帮, 但在松软岩层巷道中则四周来压、底鼓明显。松软岩层, 由于结构疏松、强度低, 很难支撑上覆岩层的重量, 围岩在自重地压 (γH) 的作用下, 以垂直变形为主, 垂直变形中又以底鼓为主。

底鼓明显是软岩巷道的重要特征, 如果巷道没有底鼓或底鼓不明显, 围岩就不是软岩。软岩巷道四面来压, 如果底板不支护, 将出现一个支护结构的薄弱带, 巷道破坏首先就是从不设防的底板开始, 又因底鼓导致两帮移近和失脚, 直到片帮冒顶, 巷道全部破坏。

4. 围岩遇水膨胀、变形加剧

软岩一般都含有亲水性很强的蒙脱石、伊利石等粘土矿物的岩石, 这些岩石遇水后软化, 体积急剧膨胀, 因而变形也更剧烈, 产生很大的膨胀压力。

5. 普通的刚性支护普遍破坏

软岩巷道变形量大、持续时间长, 普通刚性支护所承受的变形压力很大, 施工后很快就发生破坏, 必须再次或多次翻修后巷道才能使用。这是刚性支护不适应软岩巷道变形规律的必然结果。

第四节 软岩巷道支护困难原因分析

造成软岩巷道地压显现剧烈, 支护困难的原因是多方面的, 最主要的原因有以下几个方面。

1. 岩层成岩年代晚, 胶结程度差

我国软岩矿区主要分布在开采新生界第三纪褐煤和开采中生界上侏罗纪的褐煤矿区。如吉林的舒兰矿区、珲春矿区, 辽宁的沈北矿区, 内蒙的元宝山矿区、山东龙口矿区等。这些矿区煤层顶底板岩石都非常松软破碎, 易风化, 因此怕风、怕水、怕震。

2. 岩石强度低

煤矿软岩多为泥岩、炭质泥岩、砂质泥岩等, 单向抗压强度都比较低。单向抗压强度是多少才属于松软岩层, 目前仍有争论。根据大量工程实践, 多数人主张以 20MPa 为界。即普氏岩石坚固性系数 $f < 2$ 为松软岩层。关于凝聚力 C 一般指小于 0.3MPa, 内摩擦角 φ 一般指小于 50° 。由于岩石强度低, 表现在围岩松散、软弱, 在中等或稍高应力水平状态下就能产生较大的围岩变形, 支护困难。

3. 节理发育, 岩体破碎

有些矿区, 虽然岩石强度很高, 但由于节理比较发育, 岩体破碎, 支护也将十分困难。所以, 在岩块强度高的节理化地层中, 也可能表现出软岩特征。金川是我国有名的软岩矿区。金川矿区超基性岩带的二辉橄榄岩现场原位压缩实验结果, 岩体抗压强度、弹性模量

与室内小样岩块的实验指标相差 10 倍以上，见表 1—1。

表 1—1 金川超基性岩带二辉橄榄岩现场原位压缩实验结果

参 数 试 验	抗压强度 (MPa)	C (MPa)	φ	弹性模量 (10^4 MPa)	泊松比
室内单轴小样	95.1	1.2	38°	8.4	0.25
现场原位三轴	8.0	1.0	33°	0.75~0.82	0.28
现场刚性垫板				0.77~0.78	

4. 围岩应力水平高

岩石强度低是形成软岩的重要因素，但只是问题的一个方面。岩石强度的高低是一个相对的概念，它与地应力紧密相联。如果岩体强度低，但地应力绝对值也低，就表现不出软岩特征。我国黄土地层中的窑洞，可以在不支护的情况下长期保持稳定，黄土强度虽然低，窑洞支护却很容易；相反，在高强度的地层中，由于应力水平高，也会表现出软岩的特征来。围岩应力水平高，表现在三个方面：

(1) 巷道埋深大。

我国立井的平均深度在 20 世纪 50 年代低于 200m，90 年代平均已达 600m；生产矿井平均开采深度 1980 年为 228m，到了 1995 年达到 428m，一些老矿区开采深度多在 500~700m，开滦赵各庄矿生产水平已愈千米。随着开采深度的增加，一些原本稳定性较好的围岩也显现出软岩的特征。

例如，开滦赵各庄矿各水平回风和运输两条大巷，均布置在煤层底板的细砂岩之中，它们在 9 水平以前（埋深 800m），基本上无支护问题；当矿井延深到 10~11 水平（870~960m），支护开始破坏；到了 12~13 水平（1000~1130m），刚性支护普遍破坏。

(2) 构造应力大。

有些矿区开采深度虽然不深，地质构造应力却很大，表 1—2 是金川矿区地应力测量结果，在埋深 480m 的二矿特富矿和大理岩中测得最大主应力分别达到 32MPa、50MPa，龙首矿 240m 埋深的富矿体中，测得 34.4MPa 的最大主应力，若换算成自重应力场，相当于埋深 1200~2000m，所以在金川矿区，一些强度很高的岩层（超基性岩、混合岩、破碎结构花岗岩等）也变成了软岩。

(3) 集中应力作用。

工作面前方支承压力集中系数高达 3~6 倍，跨采巷道、煤柱下巷道、受邻进巷道掘进影响的巷道等，其巷道围岩均承受一定的集中压力，从而使围岩由稳定状态过渡到软岩状态。

5. 岩石吸水膨胀

遇水膨胀地层，多含有蒙脱石、伊利石、高岭石等粘土矿物成分，亲水后产生显著的体积膨胀，巷道开挖在这种软岩地层中，若治水措施不当极难支护。

吸水膨胀性岩层分布在我国煤炭沉积的几个主要成煤时代，古生代软岩层以海相沉积

为主，岩石的组成主要是泥岩、砂质泥岩和页岩，胶结程度较好，粘土矿物以高岭石、伊利石为主，蒙脱石较少，吸水膨胀性相对稍差；中生代软岩层以陆相沉积为主，和古生代岩层相比，成岩时间短，胶结程度较差，粘土矿物以伊利石和伊蒙混层矿物为主，有较强吸水的膨胀性；伴随着褐煤的开发，新生代第三纪膨胀性软岩越来越多，该年代地层成岩时间短，胶结程度差，表现为松、散、软、弱的结构特征，粘土矿物以蒙脱石为主，亲水性强、易风化，遇水易解体成软泥，膨胀性最为显著，如山东龙口、辽源梅河、大雁、广西那龙软岩矿区等。

软岩特征显现明显的，大多出现在岩石强度低而地应力又高的条件下，往往还伴有一定的吸水膨胀性。例如淮南矿务局潘集矿区泥岩，岩石强度低，埋深大，松动圈 $L_p=2.84\text{m}$ ，膨胀性大；谢桥矿软泥岩，松动圈 $L_p>3.0\text{m}$ ，极易吸水膨胀，它们的支护都极为困难。

表 1-2 金川矿区地应力测量结果

项 目 测 点	岩 性	埋 深 (m)	最大主应力 (MPa)	中间主应力 (MPa)	最小主应力 (MPa)	时 间
二矿区东部 18km 处	大理岩	44	4.2 N20°E	—	3.5	1978 年
十矿东主井 350 中段	大理岩	375	5.8 N3°E	—	10.8	1975 年
二矿西主井 1250 中段	花岗岩	480	24.5 E25°W	—	15.4	1980 年
二矿东副井 1300 中段	大理岩	460	50.0 N13°W 倾角 6°	33.4 N76°E 倾角 6°	28.2 S63°E 倾角 81°	1976 年
二矿 1250 中段沿脉巷道	特富矿	480	32.0 N32°E 倾角 6°	21.4 N43°E 倾角 67°	20.6 N60°W 倾角 22°	1978 年
龙首矿 1460 中 段	特富矿	240	34.4 N42°W 倾角 39°	21.1 N48°E 近水平	2.6 3. S4.1°E 倾角 51°	1977 年
龙首矿 1580 中 段	大理岩	120	16.8 N28°W 倾角 57°	21.1 N35°E 倾角 16°	5.8 S63°E 倾角 28°	1979 年

注：《金川矿区原岩应力测量及构造应力场研究》总结报告，金川有色金属公司科协等编写，1989 年 4 月。

第二章 软 岩 分 类

为了给巷道支护设计、施工与管理提供科学的依据，必须正确地对围岩的质量和稳定性作出正确的评价。软岩分类是围岩分类的一种特殊情况，由于软岩工程的特点和人们认识软岩的出发点不同，目前软岩还没有一个统一的概念。人们从不同的角度分析阐述软岩的成因，并定义和分类软岩。

国内外对软岩的分类方法很多，本章主要介绍国内各种流派的几种观点。

第一节 普氏岩石分级法

最早给岩石进行系统性分级的是俄国学者 M. M. 普罗托吉亚可诺夫于 1907 年提出来的，简称普氏分级法。该法用岩石坚固性系数 f 来分类围岩， f 值等于岩石的单向抗压强度除以 10， f 也称为普氏系数。中华人民共和国成立初期，我国引进了普氏岩石分级法，并进行了大量试验和推广应用。在 50~60 年代，我国各地下工程部门，包括各类矿山，基本上按坚固性进行岩石分级。这种岩石分级法还推广到其他一些国家，而且延续了相当长的时间。

坚固性系数就是岩石间相对的坚固性在数量上的表现，它最重要的性质在于不问是何种抗力，以及这种抗力是如何引起的，而给予岩石相互之间进行比较的可能性。经过了大量的整理和归纳，普氏利用不同的 f 值将各种岩石进行了工程分级，见表 2-1。

表 2-1 普氏岩石分级表

级别	坚固性程度	岩 石 性 质	坚固性系数 f
I	最坚固的岩石	最坚固、最致密的石英岩及玄武岩。其他最坚固的岩石	20
II	很坚固的岩石	很坚固的花岗岩类；石英斑岩，很坚固的花岗岩，硅质片岩；坚固程度较 I 级岩石稍差的石英岩；最坚固的砂岩及石灰岩	15
III	坚固的岩石	花岗岩（致密的）及花岗岩类岩石；很坚固的砂岩及石灰岩；石英质矿脉，坚固的砾岩；很坚固的铁矿石	10
III _a	坚固的岩石	坚固的石灰岩；不坚固的花岗岩；坚固的砂岩；坚固的大理岩；白云岩；黄铁矿	8
IV	相当坚固的岩石	一般的砂岩；铁矿石	6
IV _a	相当坚固的岩石	砂质页岩；泥质砂岩	5
V	坚固性中等的岩石	坚固的页岩；不坚固的砂岩及石灰岩；软的砾岩	4

续表

级别	坚固性程度	岩石性质	坚固性系数 f
V _a	坚固性中等的岩石	各种（不坚固的）页岩；致密的泥灰岩	3
VI	相当软的岩石	软的页岩；很软的石灰岩；白垩；岩盐；石膏；冻土；无烟煤；普通泥灰岩；破碎的砂岩；胶结的卵石及粗砂砾；多石块的土	2
VI _a	相当软的岩石	碎石土；破碎的页岩；结块的卵石及碎石；坚硬的烟煤；硬化的粘土	1.5
VII	软土	粘土（致密的）；软的烟煤；坚固的表土层，粘土质土壤	1.0
VII _a	软土	轻砂质粘土（黄土、细砾石）	0.8
VIII	壤土状土	腐植土；泥炭；轻亚粘土；湿砂	0.6
IX	松散土	砂；小的细砾石；填方土；已采下的煤	0.5
X	流动性土	流砂；沼泽土；含水黄土及其他含水土壤	0.3

- 注：1. 将每一种岩石划分到这种或那种等级时，不仅仅单独地按照其名称，而且必须按照岩石的物理状态，并根据它的坚固性与分级表中列出的诸岩石进行比较。风化的、破碎的、打碎成个体的、经断层挤压过的、接近于地表的岩石，一般说来，应当把它划分到比处于完整状态的同种岩石稍低的等级中。
2. 上述的岩石坚固性系数，可以认为是对所有各种不同方面岩石相对坚固性的表征，它在采矿中的意义在于：手工开采时的采掘性；浅眼以及深孔的凿眼性；应用炸药时的爆破性；在冒落时的稳定性；作用于支架上的压力等等。
3. 在分级表中指出的数值是对某一类岩石中所有岩石而言的（例如：页岩类，石英岩类，石灰岩类等等），而不是对此类个别岩石而言的；因而，在特定情况下确定 f 值时，必须十分慎重，并且这一 f 值在不同的情况下是不一样的。

从表 2-1 可以看出，普氏岩石分级法将岩石分为 X 级，其中的第 VI 和 VI_a 级定为相当软的岩石，我国许多矿山的科技工作者也认同 $f < 2 \sim 1.5$ 以下的岩石为松软岩层。

由于普氏岩石分级法来自实践，并且有抽象概括的程序可取，所提出的岩石坚固性系数 f 值简单明确，也容易获得，到目前仍有一定的使用价值。由于该法只考虑岩石的抗压强度，而常常发生 f 值大的围岩因地压的增加或构造应力的存在变得支护困难。因此，普氏分级法不能全面反映岩石的力学属性，更不能反映井巷围岩的属性与类型。

第二节 煤矿锚喷支护围岩分类

为了适应锚喷工作的需要，指导锚喷支护的设计与施工，原煤炭工业部颁布的《煤矿井巷工程锚喷支护设计试行规范》制定了煤矿锚杆支护围岩分类，见表 2-2。

该分类法将围岩分为五类，第五类为不稳定岩层，也就是我们所说的软岩。但规定的比较笼统，不能满足设计与施工要求。原淮南矿业学院朱效嘉教授提出应予补充，其补充的软岩分类，见表 2-3。

表 2-2 煤矿锚喷支护围岩分类

围岩分类		岩层描述	巷道开挖后围岩的稳定状态 (3~5m 跨度)	岩种举例
类别	名称			
I	稳定岩层	1. 完整坚硬岩层 $R_b > 60\text{MPa}$, 不易风化; 2. 层状岩胶结好, 无软弱夹层	围岩基本稳定, 长期不支护无碎块掉落现象	完整的玄武岩、石英质砂岩、奥陶纪石灰岩、茅口灰岩、大冶厚层灰岩
II	稳定性较好岩层	1. 完整比较坚硬岩层 $R_b = 40 \sim 60\text{MPa}$; 2. 层状岩层, 胶结较好; 3. 坚硬块状岩层, 裂隙面闭合, 无泥质充填物, $R_b > 60\text{MPa}$	围岩基本稳定, 较长时间不支护会出现小块掉落	胶结好的砂岩、砾岩、大冶薄层灰岩
III	中等稳定岩层	1. 完整的中硬岩层, $R_b = 20 \sim 40\text{MPa}$; 2. 层状岩层以坚硬层为主, 夹有少数软岩层; 3. 比较坚硬的块状岩层, $R_b = 40 \sim 60\text{MPa}$	能维持一个月以上稳定, 会产生局部岩块掉落	砂岩、砂质页岩、粉砂岩、灰岩、硬质凝灰岩
IV	稳定性较差岩层	1. 较软的完整岩层, $R_b < 20\text{MPa}$; 2. 中硬的层状岩层; 3. 中硬的块状岩层, $R_b = 20 \sim 40\text{MPa}$	围岩的稳定时间仅有几天	页岩、泥岩、胶结不好的砂岩、硬煤
V	不稳定岩层	1. 易风化潮解剥落的松软岩层; 2. 各类破碎岩层	围岩很容易产生冒顶片帮	炭质页岩、花斑泥岩、软质凝灰岩、煤破碎的各种岩石

注: 1. 岩层描述将岩层分为完整的、层状的、块状的、破碎的四种。

完整岩层: 层理和节理裂隙的间距大于 1.5m; 层状岩层: 间距小于 1.5m; 块岩层: 节理裂隙间距小于 1.5m, 大于 0.3m; 破碎岩层: 节理裂隙间距小于 0.3m。

2. 当地下水影响围岩的稳定性时, 应考虑适当降级。

3. R_b 为岩石的单轴饱和抗压强度。

表 2-3 软 岩 分 类

类别	名 称	莫氏硬度	裂隙性	饱水抗压强度 (MPa)	蒙脱石含量 (%)	塑性 (%)	浸水湿化时间	自由膨胀率 (%)	地压性质
I ₁	松碎岩层	>3	裂隙密集	30	0	—	几小时裂碎	<20	挤入性
I ₂	松碎岩层夹泥	>3	裂隙密集	20	近似 0	<40	几小时裂碎	<20	挤入性
I ₃	松碎岩层夹膨胀泥	>3	裂隙密集	10	>20	>40	几小时裂碎	<30	流变挤入
II	松软岩层	<2	无	<10	<10~15	<40	几小时泥化	<40	流变性
III	膨胀岩层	<2	无	<6	>10~15	>40	几小时崩解	>40	膨胀流变

第三节 我国支护专家对煤矿软岩的分类

煤炭部软岩巷道支护专家组晏玉书教授认为:应将软岩定义为地质软岩和工程软岩,地质软岩概念是具有软弱、松散、破碎、膨胀性岩体的总称;工程软岩概念是指在工程力的作用下,能够产生显著的塑性变形和流变的工程岩体。

软岩巷道支护专家组初步将软岩分为:低强度软岩、膨胀性软岩、高应力软岩、节理化软岩和复合型软岩,见表 2-4。

表 2-4 软岩巷道支护专家组建议的软岩综合分级

级 别	主 要 指 标			
	单轴饱和抗压强度 (MPa)	干燥饱和吸水率 (%)	完整系数 K_v	软化深度系数
较软岩	15~30	<20	0.55~0.38	1.0~1.3
软 岩	5~15	20~25	0.35~0.15	1.3~2.0
极软岩	<5	>50	<0.15	>2.0

中国矿业大学董方庭教授从工程的支护难度出发,定义松动圈大于 1.5m,常规刚性支护手段已不能有效维护,只有采用支护能力较强的可缩性支护技术与工艺才能适应的围岩是软岩。

董方庭教授及其科研组成员,经过大量的现场松动圈测试及其与巷道支护难易程度相互关系的调查之后,结合锚喷支护机理,依松动圈的大小将围岩分为小松动圈 (0~0.4m)、中松动圈 (0.4~1.5m) 和大松动圈 (>1.5m) 三大类六个小类 (表 2-5)。

表 2-5 巷道支护围岩松动圈分类表

围岩类别		分类名称	围岩松动圈 L_p (cm)	支护机理及方式	备 注
小松动圈	I	稳定围岩	0~40	喷混凝土支护	围岩整体性好,不易风化的可不支护
	II	较稳定围岩	40~100	锚杆悬吊理论,喷层局部支护	
中松动圈	III	一般围岩	100~150	锚杆悬吊理论,喷层局部支护	刚性支护有局部破坏
	IV	一般不稳定围岩 (软岩)	150~200	锚杆组合拱理论,喷层金属网局部支护	刚性支护大面积破坏,采用可缩性支护
大松动圈	V	不稳定围岩(较软围岩)	200~300	锚杆组合拱理论,喷层金属网局部支护	围岩变形有稳定期
	VI	极不稳定围岩(极软围岩)	>300	待 定	围岩变形一般在支护下无稳定期