

软岩巷道 锚注支护 理论与实践

李明远
王连国
易恭猷 著
陆维汉
吴建国

煤炭工业出版社

软岩巷道锚注支护理论与实践

李明远 王连国 易恭猷 陆维汉 吴建国 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

软岩巷道锚注支护理论与实践/李明远等著. —北京:
煤炭工业出版社, 2001. 9

ISBN 7-5020-2062-4

I. 软… I. 李… III. ①巷道支护—锚喷支护
②巷道支护—灌浆 IV. TD353

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 058612 号

软岩巷道锚注支护理论与实践

李明远 王连国 易恭猷 陆维汉 吴建国 著

责任编辑: 郑发科

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $5^{1/2}$

字数 180 千字 印数 1—800

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 4833 定价 18.00 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

内 容 提 要

本书对软岩的性质、分类以及软岩巷道破坏机理进行了系统的分析。在对软岩巷道锚注支护进行理论分析、实验室试验及现场测试的基础上,论述了软岩巷道锚注支护机理、锚注支护参数选择与施工工艺、新掘软岩巷道锚注支护技术、软岩巷道和硐室锚注修复加固技术、锚注支护监测、锚注支护的技术经济效果以及锚注支护应用中存在的问题及对策。

本书可供矿井生产、设计、施工、科研单位的有关人员和大专院校相关专业师生参考。

前 言

地下岩层在巷道开挖前处于平衡状态，巷道一旦开挖，围岩应力将失去平衡，为了维持岩石的平衡状态，应力将重新分布，在分布的过程中，如果岩石的强度不够，围岩失去稳定，巷道将受到破坏，因此，对围岩必须采取控制措施，即围岩控制。控制围岩的方法因岩石性质、断面大小、服务年限，特别是地应力对巷道的影 响不同而各异。我国常用的支护有木支护、各类金属支架支护、料石或混凝土砌碛支护、锚杆及锚喷支护等，国外常用的主要支护形式为锚杆支护、各类金属支架支护，这些支护我们统称为传统支护方式。

随着开采深度的增加，开采范围的扩大，不稳定及极不稳定围岩（以下简称软岩）与日俱增，这严重影响矿井机械化水平的提高和矿井的正常生产，国内外不少专家学者长期致力于软岩支护的研究，取得了丰硕成果。

国外，美国和澳大利亚主要采用高强超长锚杆、组合锚杆、锚杆桁架、锚索等支护体系来解决软岩支护问题，西欧自 80 年代开始改各类金属支架为锚杆、锚索支护体系，俄罗斯、波兰等东欧诸国迄今仍以各类金属支架为主来解决软岩支护问题。尽管俄罗斯等国家对解决软岩支护问题进行了广泛研究，对注浆加固围岩也进行了大量的实验室试验和井下工业性试验，但至今未能推广应用。

我国在软岩支护领域进行了广泛而卓有成效的工作。在 50、60 年代，我国煤矿平均开采深度在 300m 以下，对软岩巷道一般采用砌碛即可使巷道保持稳定。随着开采深度的增加，砌碛已不能使巷道保持稳定时，则采用各类不同金属支架，当即使采用 U_{29} 型钢全封闭可缩支架也不能使巷道保持稳定时，人们只能采取多

次修复的方式来维持生产。从70年代末人们便开始寻求新的途径来解决软岩支护问题。如可伸缩、可摆动圆形金属支架；料石条带碯；料石圆碯；可缩性料石圆碯；干荏料石圆碯；锚喷、金属支架与砌碯组成联合支护。这些支护体系仅能解决一般不稳定围岩支护问题。北皂矿在基本建设中曾用上述绝大部分支护体系，均不能使巷道保持稳定。而后，北皂煤矿采用锚喷及二次支护基本上解决了受构造应力影响不大的不稳定围岩的支护问题。再往深部开采，遇有构造应力时上述支护均不能使巷道保持稳定，而这些不稳定、极不稳定巷道越来越多。国家对这一问题极为重视，将软岩支护列入国家“七五”、“八五”重大科技攻关课题。在“七五”攻关课题中主要提出两大类型支护体系，一是可伸缩锚杆；二是高强度预应力大弧板，实践表明，这两类支护方式均未达到预期目标而未能推广应用。国家“八五”重大科技攻关课题“极不稳定巷道（Ⅴ类）合理支护技术”研究，提出两种技术方案，一是锚注技术，一是可伸缩锚杆和金属支架联合支护，并辅以高水速凝材料注浆。这两项技术虽然都能处理Ⅴ类巷道的支护问题，但实践证明，锚注技术在软岩支护领域得到了广泛应用，成为当前处理软岩支护问题首选技术。资料表明，迄今锚注技术在全国十几个省的几十个矿井得到推广应用。比较典型的有山东龙口矿务局梁家煤矿，在极不稳定煤巷中应用锚注技术，使回采工作面产量翻一番，当年变亏损为盈利，并将这一技术推广到北皂煤矿，取得同样良好的效果。兖矿集团鲍店煤矿用锚注技术修复严重破坏的水仓后，又用这一技术处理了受跨采动压影响的矿井主皮带运输巷。该巷全长5000余米，穿越几个采区。过去每当回采工作面跨越大巷时，巷道将严重变形和破坏，需采用砌碯、U₂₉型全封闭可缩性支架、顶部开巷卸压等措施，收效甚微。采用锚注技术修复和加固后，几年过去了，多次跨采，该巷一直保持基本稳定。锚注技术在祁南矿的应用也比较典型。淮北矿业集团公司祁南煤矿位于宿州市境内，设计年生产能力180万t，开采水平—550m，井田地层走向由南北转至东西，节理发育，构造复杂，围岩松软破

碎，矿井自1990年开工至1996年仅施工约11000m井巷工程，且80%受到破坏或严重破坏，几乎用遍了各类传统的软岩支护体系，均不能使巷道保持稳定。采用锚注技术不仅修复和加固了井下各类硐室、交岔点及运输巷、回风巷等，而且还用于新掘岩巷，收到良好效果，矿井比计划提前1年出煤，仅4年时间节约支护成本4436万元。最近该矿又将这一技术应用于不稳定极不稳定煤巷，效果良好。

我们积十余年的理论研究和现场实践，对锚注技术进行初步总结，供现场工程师技术人员、教学工作者参考，以使锚注技术能更好地在全国推广。

在对锚注支护研究工作中，课题组的韩立军副教授、林登格副教授等同志都为研究成果的取得做出了贡献，书中部分内容参考了他们的有关论文、研究报告（已在参考文献中注明）。淮北矿业集团公司尹正柱总工程师、李伟副总工程师对本书的出版给予了热情关怀和大力支持，在此深表谢意。

作 者

2001年5月

目 录

第一章 软岩的性质及分类	1
第一节 软岩的基本属性.....	1
第二节 软岩的工程分类.....	3
第二章 软岩巷道破坏机理与支护现状	10
第一节 巷道变形形态	10
第二节 巷道破坏机理	12
第三节 巷道支护原则	14
第四节 巷道支护国内外发展现状	15
第三章 锚注支护机理分析	19
第一节 内注浆锚杆	19
第二节 锚注支护机理分析	24
第三节 锚注支护和围岩共同作用的分析	29
第四章 软岩巷道支护方案的数值计算分析	41
第一节 数值模拟计算软件的选用	41
第二节 数值模拟计算模型的建立	42
第三节 数值模拟计算结果与分析	49
第五章 软岩巷道支护方案的相似材料模拟	
试验分析	60
第一节 概 述	60
第二节 试验方案与模型设计	60

第三节 试验过程与试验结果分析	66
第六章 软岩巷道锚注支护注浆参数选择与 施工工艺	84
第一节 浆液选择	84
第二节 注浆参数	87
第三节 施工工艺	88
第七章 新掘软岩巷道锚注支护技术	93
第一节 岩巷锚注支护技术	93
第二节 煤巷锚注支护技术	102
第八章 锚注支护技术用于软岩巷道、硐室的 维修与加固	112
第一节 锚网喷支护巷道	112
第二节 金属支架支护巷道	118
第三节 砌碇支护巷道	123
第四节 交岔点与硐室	126
第九章 软岩巷道锚注支护监测	136
第一节 岩体位移监测	136
第二节 围岩松动圈测试	148
第三节 锚杆受力监测	150
第十章 锚注支护技术经济效果分析	153
第一节 技术效果分析	153
第二节 经济效益分析	155
第十一章 锚注支护技术应用中存在的问题及对策	157
第一节 锚注支护适用条件	157

第二节 锚注支护设计、施工中存在的问题及 对策.....	158
第三节 锚注施工工艺与质量.....	161
参考文献.....	163

第一章 软岩的性质及分类

第一节 软岩的基本属性

软岩亦称松软岩层，不仅是指围岩岩体松软，而且指围岩不稳定或极不稳定。软岩只是我国煤炭系统的习惯用语，而我国冶金系统一般称不良围岩，国外一般称不稳定、极不稳定围岩，或困难岩层。为了统一对松软岩层的认识，在1984年12月“煤矿矿山压力名词讨论会”上将松软岩层定义为“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”。根据这一定义很难判别围岩的稳定性，更谈上用量化指标来判别。因此对这一定义有待进一步研究。

还有许多学者，根据自己的研究成果，对“软岩”的定义提出自己的看法。如，有人根据岩石单轴抗压强度 R_c 和垂直自重应力 γH 之比，岩体质量指标 RQD （取芯率）和岩石浸水碎裂及崩解程度来确定，当 $R_c/\gamma H < 1$ 为极不稳定软岩；有人提出依据岩石的抗压强度、软散程度、矿物成分、膨胀性、变形量等来判断围岩稳定程度；还有人依据松动圈的大小来确定软岩稳定程度；也有人提出饱和吸水率达90%以上者为软岩等。这些学者企图用定性或定量的方法定义软岩。由于边界条件复杂，定量指标很难确定，定性指标中，不能反映软岩的特殊属性，如：岩石松软程度、破碎的程度、岩块强度的高低、松动圈的大小、蒙脱石的含量、吸水率的高低等均不能完全说明围岩是否能保持稳定。我们认为，定义软岩的方法以模糊逻辑法为好，为此我们根据工程类比来定义软岩，即采用传统支护（锚喷、砌碛，各类金属支架）不能使巷

道保持稳定的围岩为软岩。它具有以下属性。

1. 一般属性

所谓一般属性，即“软岩”一般具备这些属性或部分属性。一般属性如下：

软弱：一般指普氏系数 $f < 3$ 的岩石，抗压强度 $1 \sim 5 \text{MPa}$ ；

松散破碎：胶结程度差，裂隙聚集、孔隙率 $> 30\%$ ；

遇水崩解、泥化：遇水几分钟或几小时内崩解泥化。

2. 特有属性

软岩必须具备其中部分或全部属性。

强膨胀：蒙脱石含量，特别是钠蒙脱石含量大于 15% ，自由膨胀率 $> 30\%$ ；

强流变：围岩点载荷强度 $R < 1 \text{MPa}$ ，软弱致密极易流变；

大位移：两帮水平位移 $> 100 \text{mm}$ ，底膨胀 $> 200 \text{mm}$ ；

大变形量：可能是膨胀，可能是位移，或两种因素的影响，水平变形量 $> 200 \text{mm}$ ，垂直变形量 $> 400 \text{mm}$ ；

高地应力：可以是上覆岩层压力、构造应力、弹塑性岩体弹塑性膨胀应力、含有膨胀性能粘土矿物饱和吸水膨胀应力、破碎岩体自重应力、破碎岩体残余应力等单一或综合作用。

所谓高地应力，即当地应力高于围岩岩体单轴抗压强度时称高地应力，数学表达式为：

$$\Psi = \frac{R_c}{\sigma_E} < 1$$

式中 Ψ ——岩块抗地应力系数；

R_c ——岩块单轴抗压强度， MPa ；

σ_E ——地应力， MPa 。

$\Psi < 1$ 为高地应力； $\Psi < 0.75$ 为超高地应力； $\Psi < 0.5$ 为极高地应力。

上述软岩的一般属性和特有属性是判别软岩的依据。仅具有软岩一般属性的围岩将不是“软岩”，因为巷道围岩仅具有一般属性，采用传统支护即可使巷道保持稳定，几乎所有矿井都存在这

样的实例，而围岩具有部分或全部特有属性则采用传统的支护不能使巷道保持稳定。

第二节 软岩的工程分类

煤矿围岩分类是一个庞大而复杂的系统工程，国内外不少学者为此做了大量工作。虽然各国都制定有本国围岩分类的国家标准或行业标准，但至今还没有国际公认的、符合实际的、广泛应用的标准。对软岩的工程分级更处于探索之中，尽管很多学者提出了不少分类方法和建议，国家煤炭行业主管部门也将这一课题的研究列入国家“七五”、“八五”重大科技攻关课题，至今也没提出一个为大家公认的合理的分类标准，但这些方法仍可供我们设计、施工参考。下面将简单介绍国内外围岩和软岩分类情况。

一、围岩分类

(一) 国内围岩分类

我国国家及部颁围岩分类标准综述如下：

1. “锚杆喷射混凝土支护设计施工及验收规范”提出的围岩分类

该分类法将围岩共分5类，一类最稳定，五类为极不稳定，主要依据工程地质特征，即岩体结构、构造影响程度、结构面发育情况和组合状态、岩石强度指标（单轴饱和抗压强度、点荷载强度）、岩体声波指标（岩体纵波速度，岩体完整性指标）、岩体强度应力比、毛洞稳定情况。

本分类虽然属于国家标准，但因其定性部分不好把握，难于确定，定量部分现场取样、测定均非常困难，故在煤炭系统很少使用。

2. 锚喷围岩分类

对锚喷巷道围岩分为稳定岩层、稳定性较好岩层、中等稳定岩层、稳定性较差岩层、不稳定岩层。其分类依据是，岩层状态

即成层、破碎情况、巷道开掘后围岩的稳定状态（3~5m 跨度）。本分类方法主要依据开挖后岩层离层与冒落的时间；本分类的主要问题是沒有考虑如果开挖后及时支护，則可能在相当一段时间，甚至长期保持稳定。如果有构造应力或膨胀应力影响，可能几天，甚至几十天巷道就可能出现变形，乃至破坏、冒落。因此这一分类方法很难确定围岩的稳定性。

3. 煤矿巷道（斜井）硐室围岩工程地质分类

本分类共分稳定、稳定性较好、中等稳定、稳定性较差、不稳定五类。其分类判别指标为岩体特征、岩体结构类型及强度、地下水活动影响、围岩稳定情况、坚固系数、软化系数、地压性质、围岩移动量、围岩压力等，此分类与上述分类相比较为全面，但要现场按此判别围岩分类仍十分困难。

4. 缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类

本分类采用模糊聚类分析方法來分类围岩是一种新的尝试，分类指标如下：

（1）三个围岩指标： σ_1 为顶板强度，取 2 倍巷道高内各岩层强度加权平均值； σ_2 为煤层强度； σ_3 为底板强度，取一倍巷道高内各岩层强度加权平均值，单位为 MPa。

（2）埋藏深度 H 单位为 m。

（3）岩体完整性指数 D ，以直接顶初次垮落步距（ L ）表示，单位为 m。

（4）直接顶厚度与采高比值 N 。

（5）护巷煤柱宽度 x ，是指回采巷道一侧实际煤柱宽度，单位为 m；当两侧为实体煤时取 $x=100\text{m}$ ，当无煤护巷时 $x=0$ 。

据上述 7 个指标，通过模糊聚类分析计算，我国回采巷道围岩稳定性分为非常稳定、稳定、中等稳定、不稳定及极不稳定 5 类。

这一分类方法存在的主要问题是它未考虑构造应力、膨胀应力对围岩稳定性的影响，如龙口梁家煤矿、北皂煤矿回风巷埋深浅，按上述方法计算远不够 5 类，但由于二层煤顶板含油泥岩遇

水强膨胀的影响，支护极其困难。

以上为煤炭部颁布的围岩分类标准。

我国其他部门如地质、铁路等都有自己的围岩分类方法（标准）。

（二）国外围岩分类

1. 美国的 RQD 分类

美国按岩石质量 (RQD) 分类，即 $RQD > 90$ 为优质岩； $75 < RQD < 90$ 为良好岩； $50 < RQD < 75$ 为好岩； $25 < RQD < 50$ 为差岩； $RQD < 25$ 为很差岩。有挤入土及膨胀土时也属很差。

岩石的质量指标主要与岩石的坚硬度和完整性有关，修正后的指标也仅考虑水、软弱结构面、初始应力的影响，而对构造应力、膨胀应力考虑不够，且一条巷道岩石质量指标变化很大，很难据此确定经济可靠的支护类型。

2. 挪威的巴顿分类

巴顿的分类考虑了岩石质量指标 RQD ，节理组数 J_n ，节理面粗糙度 J_r ，节理面蚀变程度 J_a ，裂隙水影响 I_w ，地应力的影响等 6 个因素来算出围岩岩体质重 Q ，根据数据的大小进行分类，共分 10 类。

上述指标在现场确定非常困难，在我国也仅用于研究围岩分类时参考。

3. 日本弹性波分类

根据测岩石的弹性波来确定围岩强度，根据岩质、岩层地质情况将围岩分为 7 类。

4. 前苏联的分类

按稳定性分类：根据岩层及其物理力学性质 (R_c —压力抗压强度， f —普氏系数； H —水压) 工程地质情况将围岩分为 4 类。

按坚固性系数（普氏系数）岩石分类，普氏岩石分级将岩石分为 10 级，按岩石试件单轴抗压强度 R (kg/cm^2) 计算 f ，即：

$$f = \frac{R}{100}$$

我国原煤炭部制定定额,利用普氏系数将岩石分为6级, $f=1.5$, $f=2\sim 3$, $f=4\sim 6$, $f=8\sim 10$, $f=12\sim 14$, $f=15\sim 20$;定额认为 $f\leq 3$ 属软岩。

5. 法国巷道围岩稳定性分类

法国根据巷道顶底板相对移近率(K),巷道底臃率(W)、两帮相对移近率 U 等几个参数及其相关比值来确定围岩分类及其支护效果。

6. 波兰巷道围岩稳定性分类

波兰是根据围岩稳定性系统数 S_g 分类

$$S_g = \frac{R_{ef}}{\gamma \cdot H \cdot K \cdot a \cdot b}$$

式中 R_{ef} ——围岩有效强度, t/m^2 ;

γ ——未采动岩层中的岩石平均容量, t/m^3 ;

H ——巷道埋深, m ;

K ——应力集中系数, $K=1.5\sim 3.0$;

a ——巷道围岩暴露系数,与巷道宽有关;

b ——岩石破坏系数, $b=1\sim 2$ 。

上述各国围岩分类由于受到多方面的限制,这些分类除主要为设计、制定规划、制定定额、科学研究外,对现场则仅供参考,特别是到目前为止未有任何一个国家,或行业对软岩进行分类,我国在“七五”、“八五”重大科技攻关中曾立项研究软岩的分类,但至今未见正式分类面世。随着“软岩”矿井,或软岩巷道大幅度增加,严重制约着矿山的发展,对“软岩”及其支护的研究愈来愈受到人们的关注,不少学者提出了自己的分类方法。

二、软岩的工程分类

为解决软岩支护问题,国家在“七五”重大科技攻关中将软岩支护列入研究课题,为配合国家攻关,由“煤炭科学技术”编辑部,长春煤研所、杭州煤研所、广东煤炭学会、茂名矿务局联合主办了软岩分类及支护形式选择学术讨论会,会上发表了不同

类型学术观点，简介如下：

(1) 中国科学院地质研究所曲永新等人提出以软岩单轴抗压强度和干燥饱和吸水率来评定泥质岩工程稳定性。按强度 1~5MPa 为特软、5~10MPa 为软质。按干燥饱和吸水率 50%~90% 为中等膨胀，90%~130% 为强膨胀，大于 130% 为剧烈膨胀的泥质岩。

(2) 中国矿业学院于双忠等人提出以岩石单轴抗压强度 R_c 和垂直自重应力 γH 之比、岩体质量指标 RQD (取芯率) 和岩石浸水碎裂及崩解程度为判别指标，认为 $R_c/\gamma H < 1$ 为极不稳定软岩， $R_c/\gamma H < 1-2$ 为不稳定软岩。

(3) 长春煤炭研究所陆家梁提出根据抗压强度、软散程度、胶结程度、矿物成份，膨胀性，变形量等指标将软岩分为 I、II、III、IV 类为极不稳定围岩。

(4) 淮南矿业学院朱效嘉依据围岩破碎膨胀情况、莫氏硬度、抗压强度、自由膨胀率、浸水湿化时间、蒙脱石含量，地压性质，将软岩分为三类 5 种。

(5) 煤炭科学院北京开采所王金华以岩层深度垂直应力 γH 与岩石单轴抗压强度 R_c 之比值 $C = \gamma H/R_c$ 为主要判别指标，水平变形量，底臃量和围岩自稳时间为辅助判别指标，将软岩分为 4 类。

(6) 中国矿业学院董方庭根据围岩松动圈将软岩分为 3 类。松动圈 1.5~2m 为软岩；松动圈 2~3m 为较软岩、松动圈 $> 3m$ 为极软岩。

(7) 舒兰矿务局陆志聪将岩石强度 $< 30\text{MPa}$ 的岩石定为软岩。

(8) 山东矿业学院易恭猷根据工程类比按支护稳定程度将软岩分为 3 类，即流变岩体，弹塑性膨胀碎胀岩体，松散碎胀岩体。

(9) 山东矿业学院冯豫提出以是否需要卧底、换棚或翻修次数为分类标准，将软岩分成 3 类：不膨胀或弱膨胀软岩；中等膨胀软岩，强烈膨胀软岩。