

煤矿井巷 锚喷支护

〔苏〕 王. B. 斯特列佐夫

Д. Б. 卡查凯维奇

Л. И. 波诺马林柯



3

煤炭工业出版社

70853
6
3

煤矿井巷锚喷支护

[苏]E.B.斯特列佐夫 Э.В.卡查凯维奇

Д.И.波诺马林柯

赵惇义 译

煤炭工业出版社

829244

内 容 提 要

本书从应用和技术经济效果的观点出发,对主要巷道的永久支护进行了分析。阐明了锚喷支护方法的实质和它的工作特性。列举了锚喷支护的计算方法。对锚喷支护的材料、专用水泥、材料及支护的质量检查等作了论述。分析了锚喷支护的现有机械化设备,并对新的机器和设备作了介绍。

本书可供矿山工程的技术人员和科研人员,以及院校的大学生作参考之用。

Е. В. СТРЕЛЬЦОВ, Э. В. КАЗАКЕВИЧ

Д. И. ПОНОМАРЕНКО

Крепление горных выработок

Угольных шахт набрызгбетоном

МОСКВА, «НЕДРА» 1978

*

煤矿井巷锚喷支护

赵悼义 译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

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 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 6 $\frac{5}{8}$

字数 145 千字 印数 1—2,800

1981年9月第1版 1981年9月第1次印刷

书号15035·2443 定价0.78元

译者的话

在我国，采用锚喷这一具有强大生命力的新型支护虽然只有十来年的历史，但其使用范围已很广泛，如矿山井巷工程，铁路及水工隧道，军事工程及大型仓库等；断面从数平方米到上百平方米；地质条件也多种多样，从坚硬的花岗岩到松软的页岩，煤层及泥砂堆积地层、含水砂层。锚喷支护的结构也极多。

我国在锚喷支护方面的施工经验非常丰富，施工技术名列世界前茅。但是，在生产中基本上还是依靠工程类比来确定锚喷支护的各种参数及支护结构。特别是设计人员，在设计锚喷支护时深感依据不足，因此在确定某一参数时，往往举棋不定，而用加大安全系数的办法来解决。这一矛盾之产生，主要是对锚喷支护的材料，对锚喷支护的力学特性，对支护——岩体相互作用的特性研究不够所致。

一句话，实践经验比较丰富，理论数据很感不足。在国家大力推广锚喷支护时，这一实践与理论，设计与生产之间的矛盾就显得更加突出了。

翻译《煤矿井巷锚喷支护》一书的目的，就是为我国解决上述矛盾做一点工作。书中搜集了苏联近期来锚喷支护这一科学领域中的研究成果与实践经验，所以对生产人员、设计及科研工作者不无好处。特别是对研究锚喷支护有兴趣者，不但可以从了解到研究成果，而且可以学到研究方法，为获得你所需要的参数作借鉴。

目 录

译者的话

序言

第一章 喷射混凝土支护	4
第一节 井巷工程永久支护的技术经济分析	4
第二节 喷射混凝土支护工作的特点	7
第三节 喷射混凝土支护的应用范围	12
第四节 锚喷支护说明书	27
第五节 锚喷支护的计算	33
第六节 锚喷支护在各种地下工程中的应用	49
第二章 锚喷支护材料	53
第一节 总要求	53
第二节 喷射混凝土用的专用胶结料	61
第三节 水化和初凝灰浆的结构力学特性之研究	69
第四节 苏联及国外的快凝水泥概况	74
第五节 喷射混凝土的级配选择及质量检验	87
第三章 混凝土喷射过程的主要参数	94
第一节 概述	94
第二节 回弹物的确定	96
第三节 喷射混凝土强度的确定	113
第四节 在含水巷道中采用锚喷支护	123
第五节 混凝土射流速度之研究	129
第四章 喷层以及它与岩体交接面的结构形成 过程	132
第一节 喷射混凝土的矿物——岩相特性	132
第二节 喷射混凝土与岩层交接区的结构形成特征	136
第五章 喷射混凝土施工和机械化设备	147

第一节	喷射混凝土支护施工工艺	147
第二节	施工布置图分析	155
第三节	锚喷支护的机械化设备	163
第四节	新型喷射机	176
第六章	喷射中的粉尘及除尘措施	184
第一节	粉尘产生的原因和尘源	184
第二节	与粉尘斗争之方法	188
第三节	巷道锚喷支护时对除尘的结论与建议	197
专用名词对照表		199
参考文献		203

序 言

矿山支护和顶板管理是采矿过程中最基本也是最困难的工作。

当今，煤矿中平巷及斜巷的支护要以金属支架，态体浇灌混凝土，以及装配式钢筋混凝土支护最为普遍，它们占支护总数的70%以上。

这几种支护施工复杂，成本又贵，而且支护工艺不连续，不便于实现机械化施工。因此，寻找和推广施工工艺更完善的新型支护，保证支护工序的连续性具有重大的意义。它将提高矿山建设工作的效率并缩短矿井的基本建设期限。

近几年来，生产矿中越来越广泛地采用了一种先进的支护方法——锚喷支护，它能保证施工工艺的连续作业。

在黑色金属和有色金属矿山企业中，逐年来，以喷射混凝土为基础的轻型支护，在各种矿山地质条件下支护了上万平方米井巷工程。例如在克里伐洛格铁矿区40%以上的主要巷道及准备巷道采用了喷射混凝土支护和锚喷支护。在多金属的矿山阿尔太，情况也相类似，那里，用喷射混凝土、锚杆和锚喷支护的巷到达10万米之多，每年达30~35公里。

开始，黑色金属矿及有色金属矿的良好地质条件促使了这种支护的应用，这种地质条件可使巷道在不支护的情况下保证长时期的稳定。此时，喷射混凝土被用来防止围岩风化，坍落及离层。

由于逐步研究了喷射混凝土支护的特性，更多地掌握了

施工工艺，创造了机械化设备及混凝土的配比，轻型支护的应用范围渐渐地扩大了。

目前，喷射混凝土支护与其它加固构件配合使用，已经使它在非常复杂的矿山地质条件下扎了根。这些支护在采动区和地震积极活动区获得了应用，证明承载性能良好。

现在，煤炭系统中还有一些人员认为锚喷支护只能用于岩体坚硬和稳定的良好地质条件之中，很显然，这种看法是十分错误的。

国内外的经验表明，锚喷支护应用于困难复杂的地质条件中可以获得良好的效果。例如在顿巴斯，吉直洛夫巴斯，库兹巴斯，远东及沃尔库德的矿井中，地质条件多种多样，围岩的普氏硬度系数从1到10，巷道的垂直深度有200米也有1000米，也已经采用了喷射混凝土支护和锚喷支护。

在库兹巴斯的白达叶夫北井和阿巴雪夫矿，顿巴斯中心区的捷尔仁斯基矿廓特拉吉叶夫新井，阿尔迴矿，沙哈林煤联合企业№1-2号井以及其它一些矿井中，锚喷支护的工作状态一直良好。

在国外，如英国、西德，用锚喷支护煤层运输巷、石门和大断面硐室。加拿大在2000米深的马克——乌茵达尔金属矿，用锚喷加金属网作巷道支护。众所周知，奥地利在破碎区掘进巷道时用喷射混凝土来作临时支护。

以上所举的采用锚喷支护的例子都具有良好的工作性能。在国内的黑色金属矿、有色金属矿和隧道工程中已有多多年应用锚喷支护之经验。在不同矿区的一些煤矿中，锚喷支护的工作状态也一直保持良好。研究的结果也证明在我国所有煤矿里可以合理地采用锚喷支护，可是，锚喷支护在煤炭系统中却没有得到广泛的应用。

在进行锚喷支护研究的单位有中央地下机械科学研究院，全苏矿山建筑施工组织及机械化科学研究院，全苏有色金属矿冶科学研究院，第聂伯尔矿山设计院，邳尔姆工业学院，顿涅茨煤炭学院及一些其它的单位。

发明了供喷射混凝土用的专用水泥，生产了各种机械化设备及各种促凝剂，并获得了工业性的应用。已经编制了锚喷支护的主要技术参数。对喷层与围岩的相互作用，混凝土的各种配方，与粉尘的斗争方法以及支护的计算方法也都作了研究。

本书收集了应用轻型支护的经验，阐述作者及其它一些单位学者在本专业范围的研究成果。

第一章 喷射混凝土支护

第一节 井巷工程永久支护的技术经济分析

决定矿山井巷工程支护形式的主要因素是：承载性能，结构的经济指标，在巷道中构筑时的劳动强度，工艺流程和气动阻抗性能。

当其它条件相等，有必要再比较同类型的支护结构时，其主要标准是它们的承载能力和经济指标。

根据主要因素来分析一下矿山主要工程中最常用的支护形式，可以得知在施工过程中机械程度的比重如下：整体浇灌混凝土占71%，拱形金属支护占47%，钢筋混凝土邱宾块（据库兹巴斯矿山建筑科学研究院的统计资料）占80%。喷射混凝土支护91%的工序可以机械化，采用锚喷支护时能占83%。根据全苏矿山建筑施工组织及机械化科学研究院制定的工艺，在目前，采用喷射机 ПБМ 施工时，其喷射混凝土的机械化程度已达75%。

现在让我们再分析一下断面等于10到 13 米²的主要井巷工程中，各类支护施工的实际劳动消耗（人班/米）：

浇灌25厘米厚的整体混凝土时为3.1；刚性金属支护（每米一架）为1.37；可缩性金属支架（每米一架）为1.47；厚度为10厘米的喷射混凝土支护，包括铺设金属网及安装钢筋混凝土锚杆每米5根——0.93；喷射混凝土支护达10厘米厚——0.6。

对于顿巴斯中心地区矿井，罗斯托夫煤矿联合企业矿井，克里夫巴斯矿井以及矿山阿尔太矿井，上述统计数字出入不大。

每米巷道支护的经济分析列于表 1（巷道断面为10米²）

表 1

消 费 (卢 布)	支 护 形 式			
	混凝土整体浇灌 (25 厘 米)	可 缩 性 金属支架 (1 架/米)	喷射混凝土 (10厘米)	锚杆加金 属 网 (5根/米)
总消费	123.7	140.2	59.6	43.7
其中：工资	19.2	10.3	7.3	9.0
材料	79.0	88.0	29.0	17.0
为支护而出矸石	20.4	14.4	10.3	2.7
能量	0.03		0.01	0.003
五年内的通风	5.1	16.9	13.3	12.2
巷道维修		15.6		2.7

在顿巴斯中心区的煤矿中，对于采用喷层 5 厘米的锚喷支护取代混凝土整体浇灌和拱型金属支架作了经济分析，结果表明：第一种情况每米节约直接费用100~110卢布，第二种情况每米节约直接费用120~150卢布。

在作经济评价矿井支护时必须重视基建投资，因为生产消耗所计算的时间很长，它在矿山建设的银行业务中就不显眼了。

在初始消费中，工资及材料的消费占主要比重。因为在各类支护中，这两项的消耗各为：浇灌 1 米巷道的混凝土（厚25厘米）需89卢布；每米一架可缩性金属支架——93卢布；喷射 1 米巷道的混凝土（厚10厘米）——36卢布。上述

巷道的断面均为10米²。

从这里可以看出，喷射混凝土支护的优越性就非常明显了。

巷道建筑中，支护所占体积的掘进量对于掘进和维修都增加了消费，所以，在选择支护形式时，不可以小看支护占用巷道体积这一因素（见表2）。

表 2

巷道净 断 面 (米 ²)	支 护 占 有 巷 道 断 面 的 面 积 (米 ²)							
	整体混凝土浇灌 (厚25厘米)		可缩性金属支护 (1架/米)		喷射混凝土支护 (厚10厘米)		锚杆加金属网	
	米 ²	%	米 ²	%	米 ²	%	米 ²	%
7	1.29	11.0	0.94	11.8	0.69	8.5	0.20	2.85
8	1.52	16.5	0.96	11.7	0.76	8.3	0.21	2.56
9	1.66	16.2	0.12	11.0	0.83	8.1	0.23	2.50
10	1.73	14.6	1.20	10.7	0.86	7.3	0.23	2.30
12	1.80	13.0	1.45	10.6	0.90	6.5	0.26	2.12
16	2.03	11.2	1.87	10.5	1.01	5.6	0.32	1.85
18	2.2	10.4	2.10	10.4	1.10	5.2	0.33	1.80
19	2.32	10.2	2.20	10.3	1.16	5.1	0.35	1.78

此外，在考虑支护占用巷道体积这一因素时，不要忘了超挖量，后者在很大程度上取决于支护类型。根据矿山测量计算，采用装配式钢筋混凝土支护和金属支护时超挖量最大，达到设计掘进断面的15~20%，采用喷射混凝土支护和锚喷支护时超挖量为最低（3~7%）。

因此，从每米巷道掘进岩石体积这一观点看，喷射混凝土支护是最有前途的支护。

井巷工程的一个主要用途是供风，供矿井通风之用。消耗在这方面的电量每年达1亿千瓦/小时，而且很大程度是由

于支护的气动阻抗性能所引起。

为了说明问题，对断面10米²，长800米的巷道，进行了供风60米²的计算，见表3。

表 3

支 护 形 式	气动阻抗系数 $\alpha 10^4$ ①	水柱压力 (厘 米)	电能消耗 (卢 布)
СП 型金属支护	13.2	42	2700
锚杆加金属网	10.5	33.9	2260
混凝土整体浇灌	4	14.3	820
喷射混凝土	10.3	36.8	2110

① 资料来自第聂伯尔彼得洛夫斯基矿业学院的实测数据。

从表3可以看出，采用喷射混凝土时的电能消耗仅高于混凝土整体浇灌，但是，广泛采用光面爆破和沿巷道周边移动喷嘴的机械化设备，气动阻抗性能可以得到改善。

对各种支护的主要因素进行上述分析后，可以得出结论：在我国的所有矿区采用又高度机械化又经济的喷射混凝土支护是合理的。

第二节 喷射混凝土支护工作的特点

喷射混凝土的实质在于通过压缩空气的帮助，将混合料喷向需要喷射的岩层表面，使它们很好胶结并凝固。

此时，不需要模板，并能在最短时间内保证它的凝固强度，而且在保证喷层厚度的条件下，其材料消耗又最少。

喷射混凝土可以分成同时进行的两个过程，在围岩表面由砂浆组成一个可塑层面，同时在其中嵌入骨料。

喷射混凝土的过程包括：开始在围岩表面喷上充水的水

泥微粒。接着，水泥浆充入裂隙及不平整的表面，并且组成喷层与岩面的加固带，只有当围岩面具备水泥浆薄层后，砂粒才开始镶入进去，随着喷层厚度的增加较大的填料也慢慢地充塞其间。

在输料管及喷射过程中，混凝土拌合料进行不断的搅拌，并由新来的混凝土拌合料捣实已附盖在岩面的喷层，促使喷层加实及促进水泥的水化作用。水泥浆充入裂隙和不平整的表面，并且不断地捣实混凝土喷层，所有工作都增加了围岩表层与喷层间的胶结力以及喷层与喷层间的胶结力，加强了密度，增大了不透水能力以及喷层的强度。

喷层的一个非常重要的特性是它与岩层的紧密胶结。从显微镜的研究表明：喷层与岩层的胶结非常致密，并没有与整体浇灌混凝土那样在两者间存在气孔。

从相交面的研究得知，岩层与喷层相交面的微观硬度超出了任何方法的交界面，这就证明了交界面的高致密度与强度。研究结果表明，喷层具有很高的粘附性能，使喷层与相交的岩层共同承受荷载。

虽然浇灌混凝土与喷射混凝土的级配比相同，但是由于浇注方法的各异，产生了物理力学的明显差别，喷射混凝土的试块强度要比整体浇灌混凝土的试块强度大1.5~2倍。

在相同的组成和相同级配的条件下，采用ГПНВ-5型伐尔夫仪测定喷层的抗压强度为300~350公斤/厘米²，整体浇灌混凝土的强度都不超过200公斤/厘米²（支护龄期为2年）。上述测量曾在顿巴斯中心区矿井，克里夫巴斯廓明吉纳金属矿及伏龙芝金属矿，以及铅矿建筑托拉斯葛罗伯强斯基矿务局及哲良诺夫斯基矿务局进行并作了记录。

混凝土喷层比混凝土整体浇灌的渗水性能小，喷层的空

隙度为4~6%，混凝土整体浇灌的空隙度为16~18%。

根据矿山地质条件和支护的不同用途，采用喷层的厚度在1~16厘米之间。

喷射混凝土可作临时支护，它也可以和锚杆、金属网、拱型支架一起组成混合支护。

这种先进的支护方法也存在一定的缺陷。

缺陷之一是喷射混凝土过程中回弹物造成的材料损耗。这个损失达20~25%，喷射拱部时达到30~35%（采用的水泥为普通水泥）。

回弹物引起支护成本的增加；搞脏巷道及巷道中的设备；由于需要去完成清理回弹物等非生产性的工作而降低了劳动生产率；使达到支护特性的工作复杂化了。

这个缺点也可以消除或至少很大程度地减小，其方法是采用具有高粘性能的快凝混凝土拌合料，合理地选择混凝土骨料的级配，对围岩表面作较好的准备，以及改善喷射设备，等等。

喷射混凝土的另一缺点是粉尘多。粉尘数量超过卫生标准的十几倍。为了消除这一缺点可以采取各种方法：水幕，水力旋流器，在输料管增加混凝土拌合料的湿度，应用水套管的特殊喷头，加强通风及个人防尘设施等。

喷射混凝土的另一个缺点是供水的人工操作。由于这一缺陷，喷层的强度，它的密度及不透水性经常低于设计要求。

解决供水工作的自动化，包括沿巷道周边移动喷头的机械在内，实际上喷射混凝土工作就全部实现机械化了。这样，既可以提高它的质量又可以扩大喷射混凝土的应用范围。

喷射混凝土支护的工作性能与目前地下建筑中使用的所

有支护形式有着原则上的区别。

喷射混凝土将松散的颗粒和岩块相互胶结起来，充填裂隙并深入内部，减少巷道周边的应力集中和个别岩体的移动，后者将导致更多的岩体之冒落。

当巷道掘进引起的应力集中超过岩体强度时，岩石进入非弹性状态，进一步的破坏就可使围岩产生非弹性变形区。由于岩体内部粘结力和内摩擦的作用，这一区域的岩体才不是立即移向巷道，而需要经过一段时间。

岩体丧失内部粘结力和内摩擦，起始于巷道周边，然后向其深部发展。

矿山压力的产生与非弹性区的形成有关，其特性由围岩应力的 大小，岩体的强度性能以及巷道掘进和支护的间隔时间所决定。喷射混凝土支护能保证它与相交的岩层的紧密胶结，引起岩体内和支护内应力的重新分配。在喷射混凝土支护和混凝土整体浇灌中应力的研究结果表明，应力在整体浇灌混凝土中并不大。根据金属矿山研究院东方分院 的资料，喷射混凝土中的应力要比混凝土整体浇灌中的应力大 3 ~ 6 倍。从这里可以看出，由于整体浇灌混凝土与围岩胶结不好，实际上没有参于应力的重分配，只是起着保护个别地段的冒顶之作用。

与此相反，喷射混凝土积极参于巷道周边应力的再分配，所以喷射混凝土中的应力要比整体浇灌混凝土中的应力大得多，几乎接近围岩内的应力值。

在其它条件（裂隙的数量，宽窄及方向，层理，具备各种松散物质与否，以及这些物质的性质）相同的情况下，围岩的稳定性也与井下的气候条件有关——与湿度及某些气体有关，后者有可能与岩面里的某些成份发生化学反应，并且破

坏岩体。根据经验，潮湿的气候条件对岩体的作用很大，在短时间内可以明显地降低岩体的强度和岩体的自稳力。例如，不蜡封的泥岩试样，只要3~5昼夜，实际上已失去它的强度，但是蜡封的试样，却经过18~20昼夜后，其强度只降低25~30%。

一块裸露的砂岩，开始置于潮湿的介质之中，然后放于干燥的介质中，经过2~3昼夜后就会开裂，而一块蜡封的试样，经受一个月后，仅仅降低强度18~23%，以后就不再下降。

根据全苏有色金属矿冶科学研究院的研究，一块带有粘土夹层的钾盐，蜡封后置于水中，三个月后未发现任何变化。但是未经蜡封的试块只要8~9小时就遭到破坏。

当支护和岩层胶结质量不好时，通风将对岩体起着破坏作用，在矿压和岩体自重的作用下会促使岩体分层剥离和破坏。

喷射混凝土支护能使岩体对井下气候起很好的隔离作用。整体浇灌混凝土，钢筋混凝土及一些其它支护可部分解决隔离问题，锚杆支护及网格拉杆的金属支护就一点也起不了隔离作用。

喷射混凝土支护对岩体的变形速度和变形量有很大的影响。当岩石很破碎时，为了加固和保证岩体与支护的很好胶结，采用各种结构的锚喷支护是非常有效的。它能保证岩层之间很好相接连，也能保证喷层与围岩以及其它块体的良好胶结。

在很多情况下，巷道掘进需要临时支护，这项工作使基建费用增加，施工工艺复杂化，而且总的来说是一项无产值工艺。