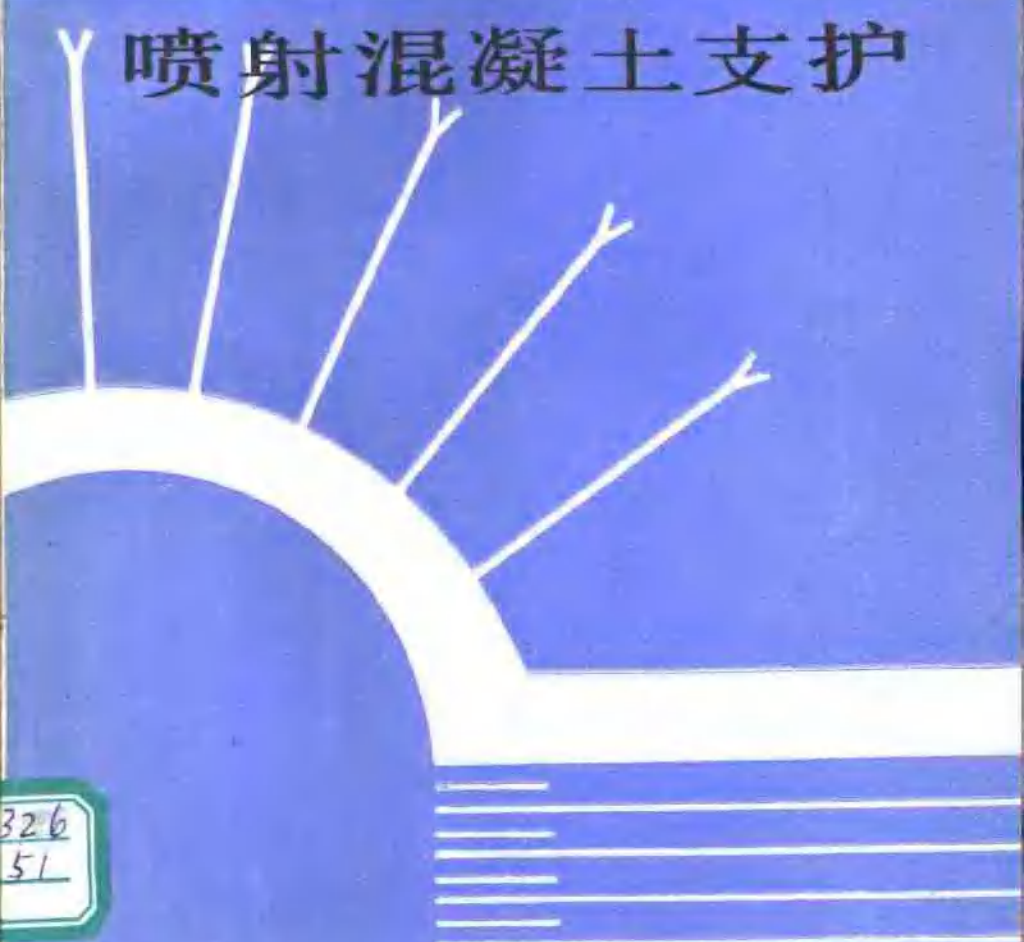


苏 联

喷射混凝土支护



326
51

煤炭科学研究院北京建井所平巷支护研究室

苏联喷射混凝土支护

李成君 译 黄守明 校

段振西 王耀林 阎莫明 技术审订

煤炭科学研究院北京建井所
平巷支护研究室

苏联喷射混凝土支护

〔苏联〕 И. Ю. 扎斯拉夫斯基

А. В. 贝科夫

В. Ф. 柯姆帕涅茨

НАБРЫЗГ-

БЕТОННАЯ

КРЕПЬ

莫斯科《Недра》出版社 1986年版

提 要

本书对苏联和其他国家喷射混凝土支护的使用经验和使用条件作了分析,阐明了对喷射混凝土成分、喷射混凝土支护和混合支护参数的计算方法、计算实例所提出的要求,探讨了喷射混凝土对岩层的加固机理,提出了关于加固效果、支护工艺和用支护机械化来减轻支架结构的建议,叙述了所用机械设备的结构。

在经济数学分析的基础上,提出了选择适合具体矿山技术条件的最佳工艺系统的建议。

本书适用于煤炭、采矿工业和其他地下工程的工程技术人员。

书内附有表30个、插图65幅、参考文献45条。

前 言

根据苏联1986~1990年以及2000年前经济和社会发展的主要方向，在采矿工业中，通过依靠技术进步、制定和应用新工艺和最经济的方案措施，来提高有益矿物的产量。新企业的建设和现有企业的改造都要开凿大量竖井、掘进大量平巷和硐室。

对新建企业和现有企业改造经验分析表明，从事支护的掘进工的劳动生产率落后于掘进工程速度的增长。这是因为与掘进循环其他工序不同，支护过程机械化水平较低。

采用喷射混凝土支护有助于提高劳动生产率，缩短建井工期和降低造价。喷射混凝土支护结构的通用性、支护过程的机械化程度高，决定了在苏联及其他国家能够得到广泛应用。例如，在克里沃罗格铁矿区采用喷射混凝土支护的巷道占70%以上。在阿尔泰矿山每年用喷射混凝土支护30~35公里的巷道。到目前为止，苏联有色冶金工业部和黑色冶金工业部共支护1000多公里的巷道。

远东、沃尔库塔、基泽尔、库兹涅茨和顿涅茨矿区的矿工积累了很好的喷射混凝土支护经验。尤其是，在顿巴斯，实际上在各种矿山地质条件下对喷射混凝土的结构进行了工业性试验，试验表明这种支护形式效率高，具有发展前景。

乌克兰煤炭工业部煤矿每年开拓650公里大巷和主要准备巷道。支护费用占巷道工程造价的30~60%，而支护的劳动量占巷道施工的劳动消耗达40~60%。

对顿涅茨、伏罗希洛夫格勒和罗斯托夫地区在建矿井和改建矿井矿山地质条件的分析证明，30%以上的巷道适合采用喷射混凝土支护。根据顿涅茨煤研所和全苏建井施工组织及机械化研究

院的资料，国内其他煤田，喷射混凝土支护的使用量也大致相同。

由于顿涅茨煤研所、全苏建井施工组织及机械化研究院、第聂伯矿井设计院、顿涅茨工学院、第聂伯罗波罗夫斯克矿院，以及许多矿井建设单位进行了研究工作，因而制定了喷射混凝土支护参数的计算方法及其使用条件；研制了专用高强度速凝水泥；制定了混凝土成分的选择方法；研制了高效率喷射机；确定了喷射混凝土支护工艺系统的最佳应用范围；出版了一些喷射混凝土支护使用规程。

主要煤研所、乌克兰各矿院，以及顿巴斯的矿井建设单位（高尔洛夫煤矿建设局，“阿尔乔姆建井局、无烟煤建井局，伏罗希洛夫建井局、斯维尔德洛夫建井局等）在喷射混凝土支护方面具有丰富经验的工作人员指出喷射混凝土支护效率高，在乌克兰煤炭工业部系统中广泛应用是合理的。

本书总结了喷射混凝土支护的经验，列举了顿巴斯对喷射混凝土支护的研究结果。

目 录

前 言

第一章 喷射混凝土支护	(1)
第一节 喷射混凝土支护结构	(1)
第二节 喷射混凝土支护巷道的经验	(7)
第二章 喷射混凝土混合料成分的设计	(19)
第一节 对喷射混凝土混合料成分的要求	(19)
第二节 喷射混凝土混合料成分的计算	(24)
第三节 影响喷射混凝土凝固速度和强度的因素	(27)
第三章 喷射混凝土支护参数的计算	(41)
第一节 喷射混凝土支护计算的分析	(41)
第二节 喷射混凝土支护承载能力的计算	(48)
第三节 锚喷支护参数的计算	(56)
第四节 工艺上有让压性的喷射混凝土支护参数的 计算	(70)
第五节 喷射混凝土的支护效果及其对支护参数的 影响	(72)
第六节 喷射混凝土支护的应用条件	(92)
第四章 巷道喷射混凝土支护工艺及其机具设备	(96)
第一节 混凝土喷射机械设备	(96)
第二节 喷射机参数的计算	(109)
第三节 喷射混凝土施工工艺系统	(117)
第四节 最佳支护系统的选择	(123)
第五节 用喷射混凝土法支护巷道时的光面爆破 工艺	(133)

第六节 光面爆破钻眼爆破工程参数的计算方法	…(135)
第五章 喷射混凝土修复井壁	……………(146)
第一节 井壁的修复方法	……………(146)
第二节 修复井壁的计算方法	……………(151)
第三节 井壁修复的工艺系统	……………(157)
参考文献	……………(169)

第一章 喷射混凝土支护

第一节 喷射混凝土支护结构

用压缩空气作动力在巷道表面喷射一层混凝土形成喷射混凝土支护结构。喷射混凝土的喷射速度很大，混凝土由喷嘴喷出的速度达 $60\sim 80\text{m/s}$ ，喷射后的混凝土强度指标和与围岩的粘结力都比普通浇灌混凝土大。

喷射混凝土的形成过程如下：首先在巷道表面上喷一薄层水泥砂浆，然后再喷含有粗骨料的混凝土，加厚喷层。

喷射混凝土支护可单独使用或与锚杆和金属网配合使用，它既可作为支护和修复竖井、长巷道、各种连接点、硐室及隧道工程，又可作为临时和永久支护。在联邦德国和英国甚至还用来支护煤矿受采动影响的采区平巷。

喷射混凝土在高速下能使砂浆进入岩石表面的孔隙和裂隙内，使围岩周边的破碎层得到恢复。因此，岩体位移的反作用力系包括附加结构（得到恢复的围岩壳体）。该“附加”支护体与喷射混凝土层结合为一体，构成了高承载能力的结构。此外，由于形成了较规整的巷道表面，提高了巷道稳定性。因为喷射混凝土与围岩的粘结力大，所以避免了喷射混凝土沿巷道周边滑动，从而大大降低了弯曲力矩，提高结构的承载能力。喷射混凝土支护与只在巷道呈点接触的支撑巷道顶板和两帮的金属支架不同，它能快速而可靠地支护整个巷道表面。K.埃麦里还指出了喷射混凝土喷层的一个良好性能。他对用不透气的喷射混凝土支护的巷道与在达到的深度上内压力等于大气压力的沉箱进行了类比。K.埃麦里认为，压力约等于 0.1MPa 这种压力，能够支撑厚 $3.5\sim$

4.0m的已破碎围岩层。

即使是较薄的喷层也可防止围岩受外因作用而破碎冒落，因此岩层能保持其本身性质长期不变。在一般情况下，巷道轮廓内部的围岩强度随时间的推移而减小到初始强度的60~70%。

喷射混凝土干料沿管道输送在高速作用下提高了水泥的分散度，增加了水化颗粒的数量。这有助于提高喷射混凝土的强度。此外，混合料在由喷嘴出来的射流作用下，通过冲击和射捣作用，提高了喷射混凝土的密度。

与浇灌混凝土相比，喷射混凝土的机械强度较高，可使支护厚度减小50%。这也降低了结构刚度，因此，由于较好地利用了岩层的弹性抗力而提高了喷射混凝土的支护能力，支护费用降低了30~50%，巷道掘进断面面积减少了10~35%。

支护过程的高度机械化可使掘进工一支护工的劳动生产率提高1~2倍。机械化喷射混凝土，可以喷成厚度不同的支护结构。

通过改变喷层厚度及其机械强度和使用加固构件（锚杆、钢筋网、金属拱）可使喷射混凝土适用于各种施工条件。同时由于喷层变形出现裂缝可进行安全预报。喷层与围岩的粘着力很高可阻止混凝土喷层破裂和碎石脱落，因而提高了巷道使用的安全性。喷射混凝土巷道的修复和加固也很简单，只需复喷即可，必要时还可打上锚杆再喷射混凝土。

喷射混凝土可紧跟掘进工作面而且可喷几次。因此可把初次喷射作为临时支护，它也是永久支护的组成部分。喷射混凝土能够迅速承载，能阻止岩石离层；可降低巷道风阻，并可防火；适于作为井底水窝、水仓、排水沟的不透水支护层，还可用来隔离含水层、防火或者通风密闭。喷射混凝土与金属拱配合使用效果很好，用以充填壁后空洞，起到充填密实的作用。用注浆法加固岩层时喷射薄层混凝土作为隔离层，以防浆液由背板或砌块之间的缝隙溢出。

喷射混凝土支护存在的问题是：喷射混凝土的回弹率一般为

10~25%，它视混合料的粒度成分、喷射混凝土工艺方式和添加剂的不同而有所不同。上述因素配合最佳时，回弹率不大于10%。使用矿渣硅酸盐混凝土时的回弹率不超过10%，一次喷射厚度可达20cm；

干喷粉尘大，达 $100\sim 200\text{mg}/\text{m}^3$ ，喷射时工作面操作人员要使用个体防护用具。但研究^[4]结果表明，能将粉尘量降低到 $15\sim 25\text{mg}/\text{m}^3$ ；喷射工艺不能保证巷道表面平滑和具有像浇灌混凝土那样规整的巷道几何形状。因此，风阻有所增大，并且巷道表面形状差些。

岩层表面不平整对巷道的稳定性和喷射混凝土的承载能力都有影响。所以喷射混凝土时首先要填满岩层上所有的凹处，填平补齐，这样材料消耗量就增大。掘进巷道时，采用光面爆破法，²就可大大减轻这个不利影响。

设计时对喷射混凝土的成分、混凝土拌制、各种添加剂和粗骨料粒级组成提出了更高的要求。

在地下建筑施工实践中，广泛应用了喷射混凝土的几种支护形式，既有素喷又有喷射混凝土与其他支护（锚杆、拱架、复喷等）相配合的各种混合支护形式。下面分别叙述。

防护性支护 防护性喷层厚由凸出处几毫米到凹进处5~7cm不等（图1a）。这种支护形式在围岩相当稳定的巷道中用作永久支护，用以防止岩石表面风化潮解，阻止局部冒落和岩体局部松动离层。此外，喷射混凝土还可充填由爆破工作或自然因素引起的孔隙和裂缝。同时，提高了围岩的稳定性，也稍微填补了其外形不平整之处，减小了通风阻力。

整体承载支护 增加喷层厚度可获得非常高的承载能力（图16）。这时应该考虑到，在混凝土与围岩表面完全接触和混凝土捣固很密实的条件下，喷射混凝土与浇灌混凝土相比，两者混凝土厚度相同时，前者承载能力比后者大1~1.5倍。在实践中喷层厚度一般为20~25cm。如果再铺设金属网或柔性材料，它的

承载能力还会提高。

喷射过程可分为两个阶段：紧跟掘进工作面，直接在工作面喷一层厚5~7cm的混凝土，起临时支护的作用。然后在岩层位移释放到一定程度后，喷射第二层混凝土，填满在第一喷层中形成的裂缝，最后形成支护结构。

条带拱形支护 这种支护形式的承载能力与喷层厚度的平方成比例增加（与承载层阻力矩的增长相适应）。因此，如果喷层沿巷道全长间隔地加厚，则与混凝土耗量相同的整体浇注相比可提高其承载能力。

条带拱形支护施工的实质是沿巷道全长间隔一定距离喷射混凝土拱，其厚和宽为10~30cm，而混凝土条带拱之间喷上2~3cm的混凝土。

通过改变混凝土条带拱的厚度、拱间距以及加钢筋可改变它的承载能力。这种支护结构多用于北哈萨克矿区。

混合支护 锚喷支护属于这种支护形式（图2a）。

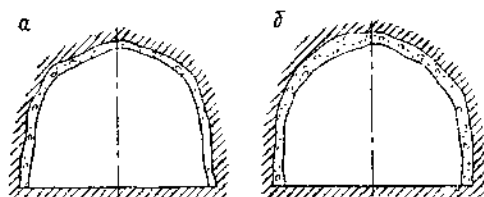


图 1 喷射混凝土支护结构

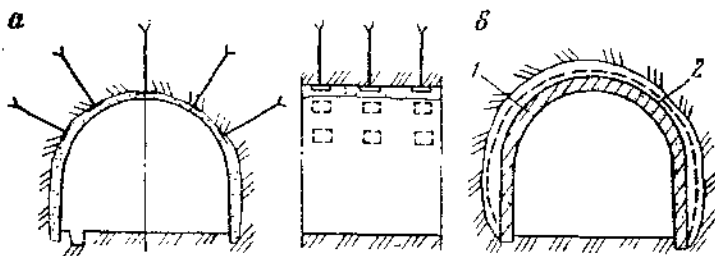


图 2 混合支护结构

1—承载层；2—泡沫塑料可塑层

锚喷支护参数随着锚杆安装深度和间距、喷层厚度、喷射混凝土和打锚杆的间隔时间的改变而大幅度变化。采用锚喷共同作用的支护形式可克服锚和喷单独使用时所固有的主要缺点。锚杆支护具有很高的承载能力和必要的可塑性，但不能防止围岩表面风化和裂开。而喷射混凝土也有不大的可塑性，但要在剧烈位移释放后，在距掘进工作面一定距离处进行喷射。这时，喷射混凝土可承受岩层残余位移不致破坏。同时，喷射混凝土充填了周边岩层裂缝，从而可隔绝围岩表面和锚杆杆体免受矿井空气的有害影响。

根据具体的矿山地质条件和矿山技术条件，采用锚喷支护时可采用不同的结构方案。锚杆多为金属锚杆或金属砂浆锚杆。这些锚杆可与金属网、金属条带配合使用，沿巷道周边布置，或者单独安设垫板。

在喷射薄层混凝土经过一定时间后，再安设锚杆。当围岩有大裂缝时，掘进后随即喷射第一层混凝土，提高岩层的稳定性，这一点是有意义的，而在锚杆安装以后再喷射第二层。采用这种方法可提高整个支护的承载能力，因为较合理地使用了金属网、金属条带等。这些金属网等布置在拉应力带附近，起到了配筋的作用。

与喷射混凝土配合使用的框形支架也属于混合支护。这种支护喷层薄，除了加固周边岩层外，还起背板作用，而且可防止金属和围岩表面受矿井空气的有害影响。

采用泡沫塑料和喷射混凝土双层支护（图 26）为支护过程全部机械化创造了条件。双层支护分两次顺序喷射，先喷泡沫塑料，后喷混凝土。这种支护的应用范围限制在机掘巷道中，因为在进行爆破工作时喷射混凝土在可塑性基底上承受很大的拉应力，并且会产生破裂。

与后注浆相结合的喷射混凝土支护 这种支护的工作原理是最大限度地利用巷道围岩作为主要承载体。如果巷道掘进后围岩

的应力超过其强度特性，则在巷道内形成非弹性变形带。岩层破碎带直接与巷道周边连接。非弹性变形带围岩与支护一起形成反作用力系。甚至是完全破碎的岩层，在支撑力不大的条件下只依靠沿滑动面的摩擦力就可形成承载壳体，这个壳体能够承受很大的径向载荷。根据极限平衡理论，应力的径向分量随着向岩体深部的延深而增大，从而削弱了非弹性变形带扩展和巷道周边位移的衰减特性。如果用水泥浆液加固巷道周围的破碎岩层，则形成了加固岩层的整体性，它能起到高承载能力支架的作用。

喷射混凝土与后加固相结合的支护方法如下：紧跟巷道掘进首先喷一层厚3~5cm的混凝土，起临时支护作用，阻止浆液溢到巷道岩石表面上和受到外界影响而风化。巷道掘进后过10~30天向周边岩体压注粘结浆液，加固喷射混凝土后的破碎岩层。浆液充填和粘结岩体以及喷层上的裂缝。

限制一让压支护（顿涅茨煤研所）采用这种结构可以避免喷射混凝土支护存在的一个缺点（刚性大）。限制一让压支护代替了有很多缺点的浇注钢筋混凝土支护^[34]。从工艺角度来看，采用钢筋混凝土浇注的不合理性首先表现在浇注混凝土时必须停止掘进，因为掘进和浇注两者平行作业，实践表明太复杂。这种情况对巷道掘进速度也有很大影响。其次，浇注混凝土时要做大量装拆模板这种非生产工序的工作（占40~70%）。

浇注钢筋混凝土支护在结构上的主要缺点是钢筋沿混凝土碗（沿承载壳体外缘）布置不合理。在这种支护结构中有的地方弯矩很大，钢筋完全在受压带内，即在这个地方有钢筋，提高支架承载能力不大，不会显著提高支护结构承载能力，最终导致钢材消耗量过大，而且造价高。

顿涅茨克煤炭科学研究所的限制一让压支护施工方法如下（图3）。与巷道掘进同时，架设金属支架，安设背板。然后在围岩剧烈位移之后于支架之间按计算厚度往背板表面喷射混凝土。在喷层达到所需强度后撤除金属支架，再进行复喷，填平补

齐周边喷层。

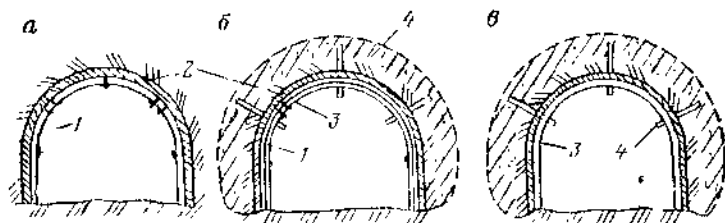


图 3 限制—让压支护

α —喷射混凝土前； β —喷射混凝土后； B —撤除金属支架和注浆后；1—金属支架；2—背板；3—喷射混凝土；4—注浆壳体

若需要再提高喷层承载能力，还可以往背板或喷层后灌注水泥砂浆。一般在壁后充填质量差的条件下采用这种方法。限制—让压支护可保证支架—围岩体系在喷射混凝土之前处于让压工作状态，同时可提高整个支护结构的工作能力。

第二节 喷射混凝土支护巷道的经验

喷射混凝土支护巷道的方法是喷浆法的发展。采用喷射混凝土法可用粒度为 $20\sim 25\text{mm}$ 的粗骨料使喷层厚度达到 $200\sim 250\text{mm}$ 。这种无模板支护方法早在1957年就在苏联获得了工业性应用。

1955年在苏联顿巴斯“冷谷”3号矿井和里沃斯克-沃伦矿区维利科莫斯托夫3号矿井开始试验用喷射混凝土支护巷道获得成功。但是，在金属矿山工业中的黑色冶金矿，以及水力工程建筑项目中喷射混凝土技术获得了进一步发展和推广。在煤炭工业中，远东、乌克兰和罗斯托夫煤炭联合公司的矿井采用了喷射混凝土。

这种支护形式在其他国家隧道施工、煤炭工业和其他采矿工业中使用也获得成功。在联邦德国和英国已开始把喷射混凝土用

于支护煤矿巷道，其中包括受采动影响的巷道^[43]。在煤炭工业及其他采矿工业中积累的在各种矿山技术条件下应用喷射混凝土修复和支护具有不同用途的巷道的有益经验是众所周知的。

例如，文献^[1, 80]中指出，在煤矿井筒开凿和改造中采用喷射混凝土法是保证减小井壁厚度、把井壁作为高承载结构即作为支护环的新的先进方案。

很多文献^[18, 20, 80, 41]中指出，喷射混凝土的特点是使易冒落岩层成为一整体，而且完全起到了防护和支撑的作用。

在国内实践中许多应用喷射混凝土作为初期支护和永久支护的良好实例是大家知道的。

全苏有色金属采矿冶金科学研究所从1960年开始在东哈萨克的有色冶金矿山，然后在其他矿区对喷射混凝土进行了研究、试验和应用。随着经验的积累，其应用范围不断扩大。例如，捷凯利斯克和佐洛图申斯克冶金矿山在普氏系数 f 为 4~8 的破坏严重的绿泥绢云母页岩中采用了锚喷支护。

在不稳定岩层中对喷射混凝土支护的试验观测表明，在佐洛图申斯克矿山的条件下，喷射混凝土支护可用于大多数运输巷道。采用这种支护减少了该矿山的支护材料消耗及其运输费以及出矸量，提高支护劳动生产率 1~2 倍。因而节省了每米巷道的直接掘进费用：在稳定围岩中约 50 卢布，在中等稳定围岩中约 34 卢布，在不稳定围岩中约 24 卢布；掘一个交叉点节省的直接费用随着围岩稳定性和交叉点形式而变化，一般为 660~1000 卢布。

1964年远东共生金属采矿公司滨海矿首先试验和使用了喷射混凝土支护。

目前，列宁诺戈尔斯克、济良诺夫斯克、杰兹卡兹甘、阿奇塞斯克、捷凯利斯克公司，卡兹卓罗托公司，铅矿矿井建设公司的矿山企业，以及土希诺金矿管理局已推广了喷射混凝土支护法。如检测表明，巷道不同地段的混凝土厚度由几毫米到 5~7cm（平均 2~3cm），未发现巷道有任何变形。巷道良好状态允许

采取 2~3cm 最佳喷层厚度。

用喷射混凝土代替木支架和混凝土碗,在所有情况下都获得了良好的经济效益,每米巷道的直接支护费用节省 40~65 卢布。在硐室中喷射混凝土的经济效果更好。劳动消耗降低 67~91%。

1964 年东部采矿科学研究院在绍利亚金属矿山对能否把锚喷支护用作竖井井壁的问题进行了研究^[4]。研究表明,喷射混凝土是一种比普通混凝土密度大的材料,甚至在井筒穿过含侵蚀性水岩层时也能很好使用。

乌拉尔铁、铜矿井在支护水平巷道、倾斜巷道和垂直巷道时广泛应用了喷射混凝土。在铜矿矿井用喷射砂浆支护了长巷道^[9]。这些铜矿只采用了与金属锚杆、金属砂浆锚杆和金属网配合的喷射混凝土竖井井壁。1965 年斯维尔德洛夫斯克矿井建筑公司为了进行生产性试验,采用喷射混凝土支护了深 144m 的维索科戈尔斯克矿山马格涅季托夫矿井的 15 号竖井。

该井筒穿过的岩层为不同状态的正长岩:上部(深 81m)是严重风化的正长岩;下部(深 144m)是裂隙发育的微风化正长岩。标高由 +129 到 +193m 的 64m 长的一段井筒喷层厚 7~10cm,没加锚杆和金属网,井壁状态令人满意。

克里沃罗格铁矿区各矿井在支护和修复巷道时广泛采用了喷射混凝土^[26,41]。例如,卡尔·里勃科涅赫特矿井井底车场采用了喷射混凝土支护,喷层厚 80~100mm,巷道净断面 25m²,围岩为裂隙发育的闪岩,坚固性系数 f 为 10。基洛夫矿阿尔乔姆 1 号矿井在坚固性系数 f 为 3~4 的软页岩中掘进双轨石门时采用了喷射混凝土(喷射厚度 100mm)与金属砂浆锚杆加金属网的混合支护形式,巷道状态良好。

全苏矿井建设组织与施工机械化科学研究院克里沃罗格分院与第聂伯矿井建筑公司一起在西顿巴斯 3 号矿井坚固性系数 ^{f} 为 4~5 的岩石中掘进 210m 水平运输石门时对喷厚 80~100mm 的喷射混凝土支护进行了试验,代替了厚 200~300mm 的整体浇

灌混凝土。一年后喷射混凝土支护状态仍令人满意，未发现喷层有明显的破裂和变形。

P. 卢森堡矿在格瓦尔杰伊斯克矿井、中央矿井以及其他矿井，在涌水量小的巷道地段喷射了用速凝水泥配制的混凝土^[55]。格瓦尔杰伊斯克矿井在支护555m水平的石门时对涌水量达8升/分的地段喷射了混凝土。涌水流经拱脚附近面积约6m²的巷道表面。除涌水点外，所有巷道涌水部分都是一次喷射。在这种情况下使用了凝固期为2~3分钟的专用速凝水泥。阿尔乔姆2号矿井也成功地使用喷射混凝土支护了625m水平双轨石门的含水段。

顿巴斯成功地采用了以喷射混凝土为基础的支护^[5,97]。例如，阿尔乔姆煤炭公司红色工会矿井锚喷支护了865m水平的主排水仓。最初金属砂浆锚杆起初期支护作用，喷射混凝土后它作为永久支护的组成部分。后来有一个水仓被水淹。排完水三个月后未发现喷层有任何破裂和离层。

值得注意的是捷尔任斯基矿井在掘进916m水平南石门互层的薄岩层中的支护。该石门用楔缝式锚杆作临时支护，掘进工作面开掘一个月后喷射混凝土。对巷道周边测点的观测表明，喷射混凝土后巷道周边位移趋于稳定。

1972年阿尔乔姆煤炭公司康德拉季耶夫卡矿31天掘进190m翻笼硐室重车线和空车线，创全苏硬岩硐室类巷道掘进记录^[9]。这些巷道采用的就是锚喷支护。掘进工劳动生产率为1.41m³/工，节约10.7万卢布，施工期比设计缩短3.2个月。掘进工作面打眼时同时打锚杆孔。沿巷道轴线每隔1m安装六根金属锚杆，并用戈尔罗夫斯克煤矿建井公司研制的AHP-1型装置灌入水泥砂浆。

喷射混凝土的混合料用BM-60 (CB-67) 型喷射机沿140m长的暗井，然后沿长700m的水平巷道用直径100mm的管道输送。

为使BM-60型喷射机上料机械化，在暗井附近开挖了一个