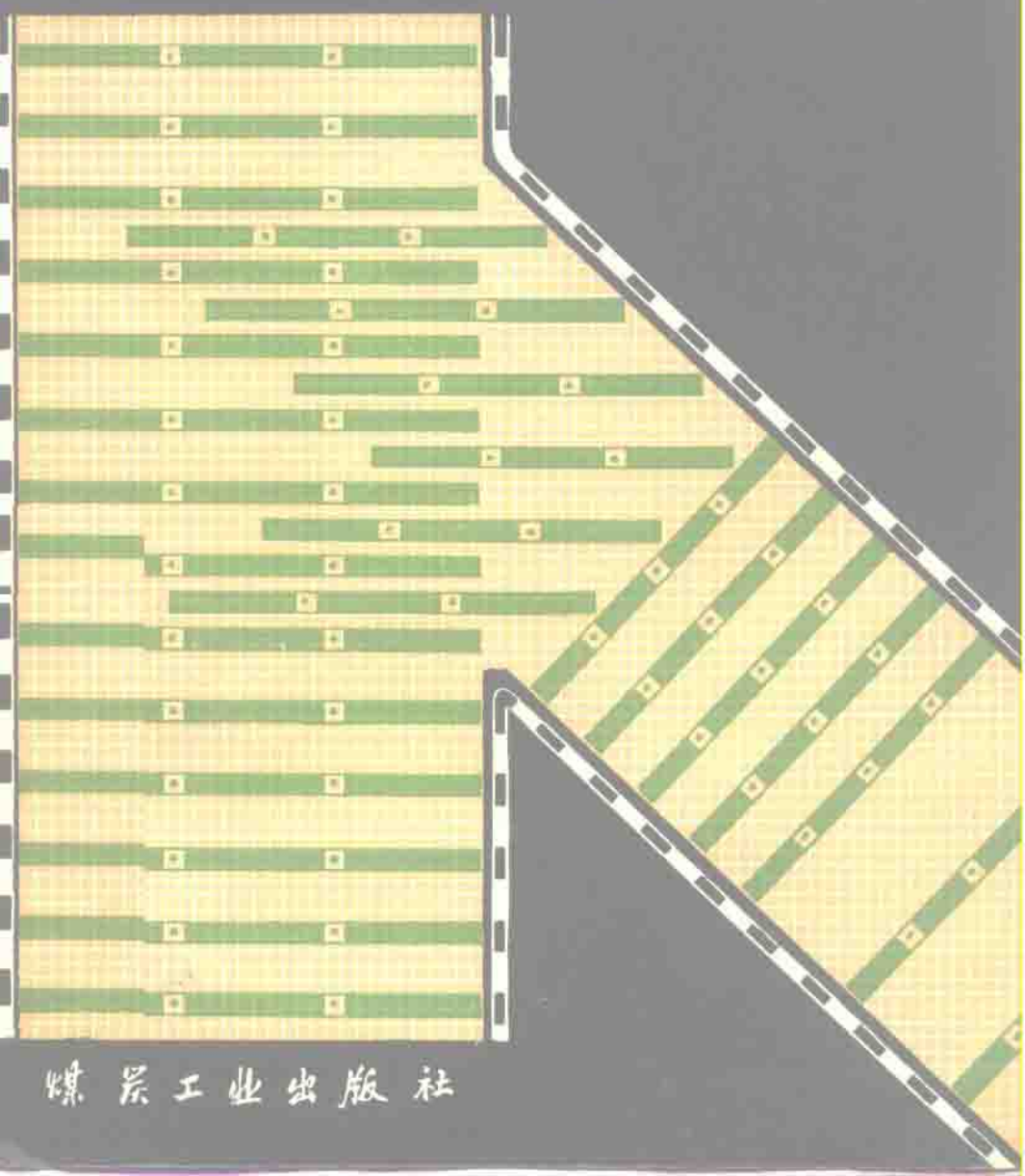


巷道交接处支架的计算与选择

高树棠 译 史天生 校



煤炭工业出版社

巷道交接处支架的 计算与选择



005571 水利部信息所

〔苏〕 A.Π.希罗科夫 B.Γ.皮斯利亚科夫

高树棠 译 史天生 校

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了缓倾斜、倾斜和急倾斜煤层所有典型矿山地质及矿山技术条件下各种交接处支架与围岩相互作用的基本规律；研究了在各种复杂矿山地质条件下巷道交接处的掘进和支护特点、交接处支架结构以及巷道交接处的分类；提出了计算交接区域合理参数及交接处支架荷载的新方法；论证并介绍了在地震、爆破荷载作用下，锚杆支架和其它交接处支架参数的计算方法；指出了各种交接处支架的改进途径。

本书可供生产建设、设计和科研等有关单位的工程技术人员阅读、参考。

责任编辑：张 文 山

А.П.Широков В.Г.Писляков
РАСЧЕТ И ВЫБОР КРЕПЬ
СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
Москва «Недра»

巷道交接处支架的
计算与选择

高树棠 译 史天生 校

*

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 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 9 $^{3/4}$

字数 255 千字 印数 1—4,120

1982年9月第1版 1982年9月第1次印刷

书号15035·2497 定价1.25元

译 者 的 话

《巷道交接处支架的计算与选择》一书，是苏联 A.Π. 希罗科夫等关于巷道交接处支护问题的专著。

作者主要基于苏联库兹巴斯巷道交接处的支护经验，根据库兹巴斯煤炭科学研究所 9 个相似材料立体模型试验和在 8 个矿井、13 个交接处的仪器实测数据，分析了各种矿山地质条件下交接处支架与围岩相互作用的基本规律；提出了计算交接处合理参数及支架荷载的新方法；介绍了巷道交接处的掘进和支护特点、支架结构及交接处的分类。此外，还介绍了在地震、爆破荷载作用下交接处支架参数的计算方法；指出了各种交接处支架的改进方向和途径。

本书内容比较丰富、全面，不仅介绍了开拓巷道和采准巷道交接处的支护计算，而且还介绍了回采工作面与采区平巷交接处的支护经验及计算方法；不仅考虑静荷载作用，而且还考虑采动影响和地震、爆破荷载的作用；既有巷道交接处的支护经验总结，又有理论分析和计算。书中不足之处是计算公式涉及的系数众多，虽制作了诸模图，但计算过程仍嫌烦琐；所提出的计算方法尚需通过实践来验证。

为了适应四个现代化的需要，我国的煤炭工业正在迅速发展，今后势必要掘进越来越多的各类巷道及交接处。因此，合理计算和选择巷道交接处的支架参数，对提高支护的可靠性、降低支护成本有着重大现实意义；另一方面，长期以来巷道交接处的支护理论是一个难度较大的课题，也是岩石力学支护范畴的一个薄弱环节，本书作者在这方面进行了有益的探索，做了大量的工作。因而，译出这本书对我国从事这方面工作的同志有一定的参考价值。

译 者

序 言

苏联在1976~1980年发展国民经济的基本方针中规定了大力发展煤炭工业的任务。如果说1975年的煤炭产量为7亿吨,那么1980年在劳动生产率增长22~24%的情况下,煤炭产量应达到7.9~8.1亿吨。井下回采劳动生产效率的提高和质量的改进以及各部门工作效率的提高,需寻求和运用更完善的巷道及其交接处的支架形式和支护方法,从这方面论证、计算和选择各种各样巷道交接处支架的合理参数问题具有决定性的意义,以保证不仅在一般矿山地质条件下而且在复杂的矿山地质条件下,特别是在地震荷载作用下,交接处支架能在规定的服务年限内可靠地进行支护。

在现代化煤矿矿井中,分布有大量的开拓巷道和采准巷道的分支线路以及相当多的采准巷道与回采工作面的交接处。例如,目前在库兹巴斯的各个矿井中,每年大约掘进1500公里采准巷道,即井下每采1000吨煤需支护长45.5米的巷道。在这种情况下,整个煤田所支护的交接处总数超过28000个,每年新掘进的交接处为15000多个。

当前实行集中化开采,出现了增大采准巷道断面的稳定趋势,这是由于采掘工作向更深的水平转移,使煤层瓦斯含量增大和机械化回采工作面承受更大的荷载所引起的。大家知道,交接处的支护及维护费用随着开采深度和采准巷道断面的增大而增长;采准巷道交接处往往需要经常修理,造成交接处的维护费用常常超过它的掘进费用。因此,解决采准巷道交接处在整个服务期中无需修理地进行支护问题是一个非常迫切的问题。

另一方面,回采工作面的推进速度大约增加了0.5倍,因而使巷道报废速度加快、交接处的服务年限缩短,这可简化交接处的支护工作,并可在各种矿山地质与矿山技术条件下采用比较简单

和经济有利的锚杆支架。

交接处的支护状况、特别是在回采工作影响带内的支护状况，由于围岩的变形和移动而恶化。在这种条件下，为保持围岩的稳定性和实现交接处不修理，最重要的措施是预先正确地选择支架形式及其基本参数。现有确定支架参数的方法，是以生产经验为基础，没有考虑各种影响因素，因而选出的参数值往往很不合理。

目前，有区别地选择交接处及交接处支架基本参数的办法，可以大大降低支护成本和几乎完全消除交接处的维护费用。只要指出下列事实就够了：当前准备工作的劳动量为井下工作总劳动量的18~19%，并大约为回采工作劳动量的50%；苏联的煤炭工业每年消耗60多万吨金属、大约550 万米³ 坑木、3万吨水泥；并且，为了使巷道及其交接处处于可靠的工作状态，占井下工人总数12%以上的人员从事巷道及其交接处的维护工作；全国煤矿中有5000公里巷道，占巷道总长度大约20%的巷道要重新支护，故使问题显得更为尖锐。为实现在困难条件下无需修理交接处支护，可采用有合理参数的组合支架和混合支架，其中包括在库兹巴斯和顿涅茨煤田获得广泛应用的锚杆支架。在库兹巴斯，支护交接处的锚杆支架，既单独使用，又与支撑式支架配合使用，这样可充分利用每一种支架的承载能力。在构筑开拓巷道的交接处时，锚杆支架可成功的作为临时支架使用，随后巷道用混凝土浇灌。

计算有科学根据的交接处支护说明书，意味着不仅要在现代采矿科学和实践成就的基础上选择支架荷载和支架的工作条件，而且还要选择交接处的几何参数，即交接区域的面积和取决于交接处的形式、服务年限、用途及其它因素的交接区域内的巷道地段长度。因此，在降低交接处的构筑劳动量和无需修理交接处支护的条件下，选择交接处的支架形式、有根据地确定支架参数、并在科学研究的基础上改进支护方法和设备，是需要及时解决的迫切任务。

根据多年的研究成果和改进交接处支架方面的最新成就，库兹巴斯煤炭科学研究所，提出了确定采准巷道和开拓巷道交接处以及回采工作面与平巷交接处用的锚杆支架和其它种支架合理参数的计算方法。这种方法和建议已列入规范，并正在库兹巴斯、东西伯利亚、远东及国内其它地区的许多矿井中应用。

实际运用书中所介绍的建议和方法，将有助于进一步提高地下采煤的效率。

目 录

译者的话

序言

第一章 巷道交接处支护概述	1
第一节 概论、专用名词	1
第二节 巷道交接处分类及其支架结构	5
第三节 采准巷道交接处支护经验分析	11
第四节 采准巷道与回采工作面交接处的支护经验分析	25
第二章 巷道交接处的支架结构	43
第五节 采准巷道及其交接处支架概述	43
第六节 采准巷道与回采工作面的交接处支架	62
第三章 巷道交接处围岩变动机理	89
第七节 采准巷道交接处岩石应力应变状态的基本规律	89
第八节 采准巷道交接区等效跨度和几何参数的确定	111
第九节 缓斜煤层回采工作面与平巷交接处的地压显现 研究结果	121
第十节 用垮落法开采急倾斜煤层时采准巷道与回采 工作面交接处的地压显现	142
第十一节 用充填法开采急倾斜煤层时采准巷道与回采 工作面交接处的地压显现特征	145
第四章 静荷载作用下巷道交接处支架基本参数的 确定	160
第十二节 巷道交接处支架计算方法的分析	160
第十三节 交接处支架荷载的确定	170
第十四节 锚杆支架与岩石相互作用特性	178
第十五节 巷道交接处组合支架的计算方法	194
第十六节 巷道交接处锚杆支架和组合支架的计算	206
第十七节 交接处支架的加强构件、托梁和背板的计算	222
第十八节 开拓巷道交接处支架主要参数的确定	230

第十九节	采准巷道交接处计算示例·····	240
第二十节	采准巷道与回采工作面交接处支架基本参数的 选择·····	250
第五章	动荷载作用下巷道交接处及其支架的计算·····	263
第二十一节	关于地震波和爆炸波的一些概念及其对交接 处支架的作用·····	263
第二十二节	地震爆破荷载作用下交接处支架的基本参数 计算·····	275
第六章	交接处采用不同形式支架的技术经济效果和 展望·····	286
第二十三节	锚杆和其它交接处支架的使用效果·····	286
第二十四节	交接处支架的使用前景和进一步改进方向·····	294
结论	·····	299
参考文献	·····	301

第 一 章

巷道交接处支护概述

第一节 概论、专用名词

在苏联支护着的采准巷道平均约为26000~27000公里，而每年的巷道掘进量为7000多公里，正在生产的回采工作面平均约为3200个。因此，大量的巷道网及回采工作面的掘进和支护，势必要掘进和支护较多的采准巷道及开拓巷道的交接处以及采准巷道与回采工作面的交接处。

已经查明，下列因素不仅对采准巷道本身，而且对其交接处的单位掘进量和支护量都有极大的影响，即煤层厚度、回采工作面长度、阶段斜高、每个阶段（盘区）中开切的工作面数目、开拓方式和采区（盘区）的开拓系统、各种采煤方法在采煤量中的比率，等等。分析表明，开采急倾斜厚煤层时，与其它开采条件相比较，采准巷道交接处的掘进量有相当大的增加，这是由于采用像分层陷落掩护支架采煤法、柔性假顶联合采煤法等占的比率较大，而这些采煤方法的特点是切割巷道的掘进量大。库兹巴斯煤矿生产联合企业关于每支护1公里采准巷道所拥有的交接处数目的资料即可作为例证（表1）。

在普罗科皮耶夫斯克煤矿生产联合企业的各矿井，主要开采急倾斜厚煤层；而库兹巴斯和南库兹巴斯煤矿生产联合企业多半开采缓倾斜煤层。按煤田平均每1公里采准巷道掘进7~8个交接处。从表1中可以看出，直角和锐角分岔点在交接处总掘进量中占得比重最大（70%以上）。

粗略的计算表明，在国内现有的矿井中，所支护的开拓巷道和采准巷道的交接处总数平均为15万多个，而新掘进的交接处每

表 1

生产联合企业	每支护1公里采准巷道的交接处数目				
	分 岔 点		交叉点	其 它	全部交接处
	锐 角	直 角			
库兹巴斯煤田	2.07	1.8	0.75	0.25	4.87
普罗科皮耶夫斯克煤田	1.11	10.31	1.26	0.12	13.8
南库兹巴斯煤田	3.3	3.9	0.54	0.20	7.84
各煤田的平均数	2.2	4.7	0.79	0.19	7.88

年约4万多个。采准巷道同回采工作面的交接处，其中包括回采工作面与平巷交接处的数目，是由同时生产的回采工作面数决定的，共计为6500多个，即：

倾角(度)	不大于12	12~18	19~24	25~35	36~40	45和45以上
同时生产的						
工作面数, %	45	15	8.5	6.5	5	20

按煤层开采厚度，所支护的采准巷道与回采工作面的交接处又是这样分布的：1.2米以下为49%，1.2~3.5米为43%，3.5米以上为8%。

所谓巷道交接处，是指两条和多条交叉巷道的相互影响区，亦即两支承压力区和顶板卸载区发生相互叠加的掘有空洞的岩体范围。如果说开拓巷道和采准巷道的交接处在空间是不动的，那么采准巷道与回采工作面的交接处则是移动的地段，在此地段范围内，进行采煤、运煤、构筑支架和其它施工作业的综合工作。

井底车场的巷道交接处属于开拓巷道，其服务年限等于整个矿井或矿井个别水平的寿命，并有断面大的特点。整个矿井的正常工作取决于井底车场巷道交接处的可靠工作，因此，必须特别重视车场交接处的设计。井底车场的巷道交接处支架必须极其可靠，应用耐火防腐材料设计，通常用整体混凝土构筑。开拓巷道是列入企业固定基金平衡表上的项目，照例是用矿井建设企业的基建投资掘进的。

回采工作面与平巷的交接处，是采煤工作整个流程中保证综合采煤工作队正常工作的最重要的枢纽，并且是顶板经受地压增高的地段。随着回采工作面的推进，在此地段内完成下列有关的生产工序：挖掘缺口（当有缺口时）、运送支架和其它材料、维护施工设备、安装和移动专用支架来支护交接处等。交接处的面积是由缺口面积、回采工作面前后方处于支承压力区并承受很大变形的平巷区段面积和回采工作面末段的面积组成。维护施工设备及在移动工作面的设备、机械时重新安设支架等工作，均在回采工作面的末段进行。

目前，为支护采准巷道及其交接处，开始广泛采用组合支架和混合支架。棚式支架、拱形支架、锚杆支架和锚杆与喷射混凝土支架等不同方式的组合，可以作为组合支架的例子。在复杂的矿山地质条件下，使用锚杆作为加固型支架，能大大改善交接处的技术-工作状况，阻止岩石离层，并有助于作用在支撑式支架上的荷载更均匀地分布。

通常把由两种和两种以上不同种类的材料（其中一种材料不占很大优势）构成的支架叫做混合支架；而由两种和两种以上不同支架形式和结构组成的支架叫做组合支架。

把所有各种各样的矿山地质参数、矿山技术参数和结构参数（因素），分作可控制的与不可控制的两类。

所谓可控制的参数（因素），是指能在一定范围内变化的具体结构参数、工艺参数或矿山技术参数，其中包括支架参数（支架密度、支架类型、锚杆长度、托梁及背板参数等）和交接处的某些几何参数（巷道断面）。不可控制的参数包括：表征围岩物理力学性质的参数、所处深度、顶板类型、煤层厚度和倾角等。因而，计算和选择巷道交接处支架的总任务，就在于查明可控制参数与不可控制参数之间的相互依赖关系，其结果，可控制参数应通过不可控制参数以明显或不明显的解析形式表示出来。

把要解决的问题顺序地划分为局部问题和单元问题的某一客观过程，应与每项研究工作相适应，以使问题的解达到显而易见

因而,采准巷道的掘进和支护,可看作是较大总系统(即采准工作)中的一个分系统;而回采工作面与平巷的交接处,则可看作是整個回采工作的一个组成部分。系统或其分系统的基本单元是输入、研究过程和输出(图1a)。系统的输入是聚集的情

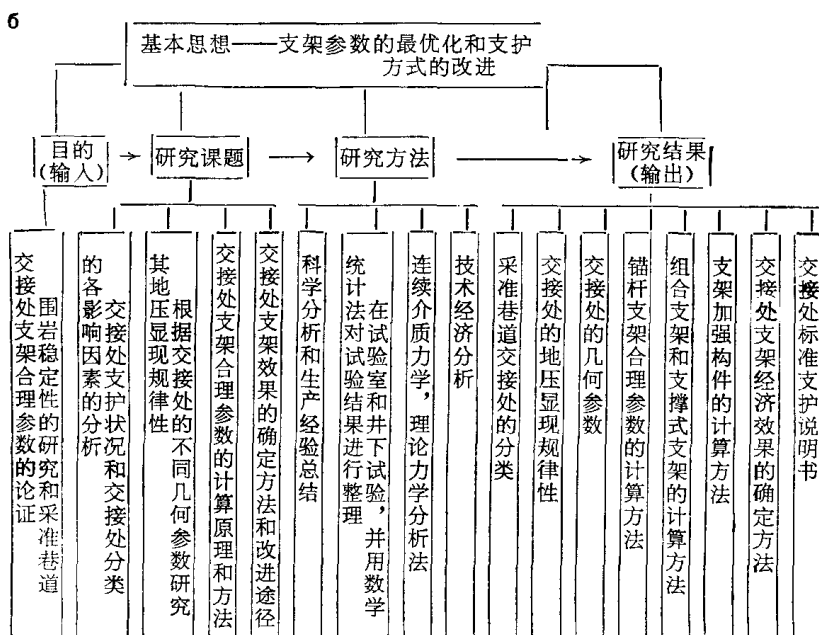
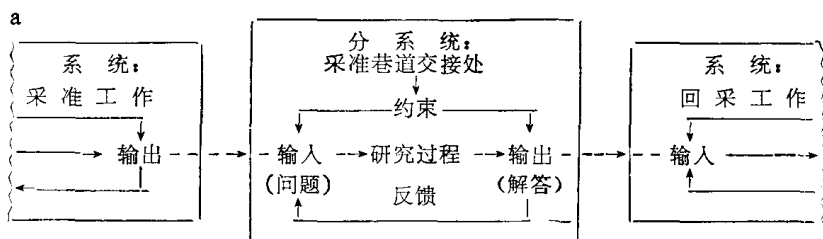


图 1 采准巷道交接处研究框图

报、该问题的成熟经验和需要解决问题的总和；系统的输出是问题解决过程的结果，此结果又输入另一系统，在我们的情况下是输入到回采工作中去。采准工作量和强度、完成采掘工作的及时性和节奏性以及整个巷道网的作用不遭受破坏，对及时准备采区、完成回采工作量并最终完成全矿的采煤计划具有决定性的作用。反馈可订正输入和输出之间程序的进行情况，而约束是由系统目标的局限性和强制联系（资源、材料、时间的限制等）所构成。研究过程本身可用简图形式表示（图16），即基本思想位于中心，隶属于基本思想的工作目的、任务、方法和结果又可分为更小的单元。

因此，根据系统分析可使复杂的矿山工程生产周期划分为局部的分问题，可查明过程的各独立工艺环节，能对整个工艺流程提出总的分析，并拟定出消除对矿井正常生产有不良影响的各种障碍的建议。

第二节 巷道交接处分类及其支架结构

已知有大量不同用途、不同支架形式和服务年限的巷道交接处。交接处断面、支架结构和材料的选择，取决于地质、矿山技术和经济诸因素，其中包括：岩石的物理力学性质（坚固性、裂隙性、层理性、蠕变性）；岩体破坏程度及含水量；所处深度；交接巷道的形状、尺寸、用途和服务年限及工作条件；材料供求情况；制造和构筑交接处支架的施工技术水平以及其它因素。

采准巷道的交接处，可分为直角和锐角交叉点，直角和锐角分岔点，角度对称分岔和曲线对称分岔点，“三角形碰岔”，钝角和直角连接点等（图2）。安装硐室与回风（运输机）平巷的交接处是直角连接的实例。双侧分岔点顶板暴露面积大，这将需要大量的支护费用并增加支护工作的困难，因此，最好使两条支巷彼此错开，建造两个单侧分岔点。在上、下山或石门与运输平巷的交接处，有时采用“三角形碰岔”，通常在三角形里面建造一个混凝

土墩柱。但在这种场合下，有时增大弯道半径，把复杂的交接处分散为两个单侧分岔点和一个对称分岔点是合理的。

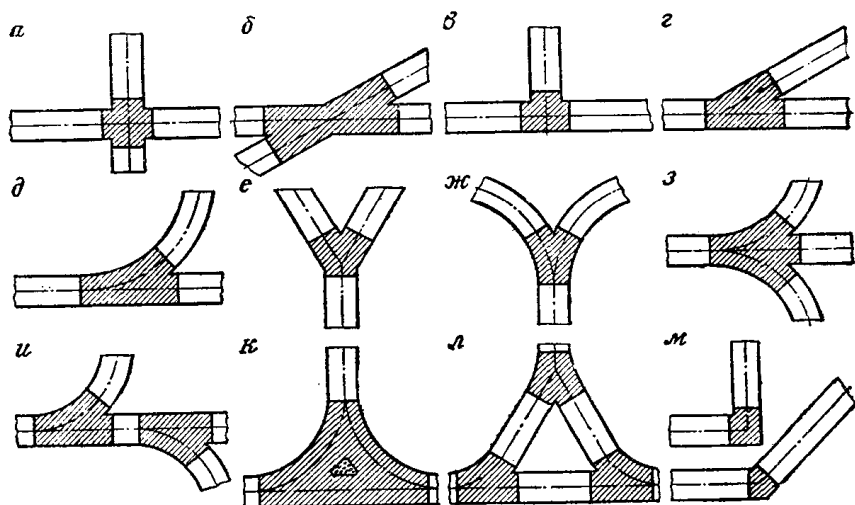


图 2 交接处的形式

а—直角交叉；б—斜交叉；в—直角分岔；г—锐角分岔；д—曲线分岔；
е—角度对称分岔；ж—曲线对称分岔；з—双侧分岔；и—错开的双侧分岔；
к、л—“三角形碰岔”；м—直角和锐角连接

巷道的连接特征应根据巷道用途和运输设备来选择。电机车运输时，巷道用弯道半径为 8 米、12 米、20 米和 20 米以上的曲线连接；运输机运输时则用直线连接。弯道半径越大或连接角越小，交接处区域的面积就越大。虽然，由此可以得出应该增大分岔角和减小弯道半径的初步结论，但是集中化采煤导致全矿井重物转载强度的增大，这就要求井下电机车高速度运行，因而需要大的弯道半径。这一要求是比较重要的，因此该项技术上的矛盾应通过研制一种在巷道连接角较小时使用可靠的交接处支架来解决。根据交接巷道的形状不同，交接处有平面、拱形和混合形顶盖的区别。平面顶盖与拱形顶盖相比，其优点是构筑简单，节省时间，挖掘的岩石量少，可使用各种各样的材料；其缺点是作用在支架上的荷载增大，因而顶盖梁变重，增加支护成本。

在其它条件相同的情况下，开采深度的增加常引起更强烈的地压显现。这种现象在库兹巴斯表现的比其它矿区还要严重。由于开采急倾斜厚煤层，需要更严格地控制支架参数。深度增加时，巷道周边位移在很长时间内还在发展，并且位移量也大大增加。回采工作的影响使上述现象更为严重。在这样的条件下，连接节点的可缩性应大于岩石的预测移动量，若不实现这一要求，通常支架就要遭到破坏。由此可见，预测交接处周边位移问题的迫切性。刚性支架本身结构比较简单，也比较经济，通常安设在岩石周边移动量不超过50毫米的稳定岩层中。

运输设备的外廓尺寸和通道宽度对交接处的几何尺寸有决定性影响。电机车运输时，分岔巷道的宽度应补充加宽到机车和矿车超出弯道的数值。水平巷道及其交接处之间的弯道加宽值，通常在弯道外侧取300毫米，弯道内侧取100毫米。这时轨道中心线的间距应比直线段轨道间距增加300毫米。

交接处断面如同所连接的巷道一样，也要按通风条件校核确定。为了减少通风的电能消耗，必须力求减少交接处的空气阻力，这可通过减少支架的空气阻力系数和尽可能避免巷道断面及巷道方向的急剧变化等措施来实现。

设计可缩性棚式支架巷道时，必须考虑垂直和侧向沉陷。为此，巷道设计尺寸应增加一支架的设计可缩量值。对木支架来说，垂直沉陷量可取100毫米，侧向沉陷量可取50毫米。采用锚杆支架，与棚式支架相比较，可降低挖掘和运输棚式支架附加断面岩石的费用，并有助于减少支架的空气阻力系数。

由于采准巷道的服务年限及用途很不相同，故其交接处支护方面的特点是支架材料、支架形状和形式的多种多样性。中等断面和大断面交接处，通常用承载能力大的金属拱形支架支护。为了防止拱顶位移和增加支架的稳定性，交接处最重要的地段应用混凝土浇灌或用锚杆加固拱顶。断面小和服务年限短的交接处，可用木棚子支护。在非常不安全的地段，应安设金属加强顶梁、抬棚或顶盖梁。

拱形巷道采用拱形支架在静力学方面是比较有利的。

它比平顶支架受的荷载小而承载能力较大。根据交接处的跨度不同，采用拱形可缩性金属支架时常是3节、4节、5节甚至是6节。交接处的拱形顶盖，通常在交接处宽度大于5米、岩层松软、深度大、受回采工作影响的区域内采用。支护单轨和双轨金属拱形支架运输巷道的交接处，可预先构筑带混凝土支座的抬棚，交接处最宽部分的不完全拱形支架便支撑在抬棚上。不用抬棚支护交接处是比较先进的方法，但这需要更严格地控制和选择支架的基本参数。

交接巷道合理断面形状的选择，应考虑两帮岩石的稳定性、巷道用途、服务年限和工作时的矿山技术条件。巷道断面应尽可能处于两帮岩石未开凿的岩层中。拱形断面在不稳定围岩和沿很厚的煤层掘进巷道时采用。圆形、椭圆形和与其相似的断面形状，有助于减少围岩中的应力集中，从而提高围岩的稳定性并缩小交接处周围非弹性变形区的范围。

按服务年限交接处可分成三类，即服务年限等于矿井或矿井一翼服务年限的全矿交接处，服务年限等于一个采区服务年限的采区交接处和临时交接处。例如掘进探矿和救援工程的交接处便是临时性的交接处。安装硐室与平巷的交接处也可作为临时性的，其服务期限仅仅稍长于机械化综合机组的安装期。支架所有构件的寿命在任何情况下都不能低于交接处的服务期限，否则会造成重新支护巷道的不适当的消耗。

根据围岩种类不同，可分作沿煤层掘进的交接处（例如，开采急倾斜厚煤层时切割巷道的交接处），沿岩层掘进的交接处和以开凿煤层两帮岩石方式掘进的交接处。煤和大多数岩石的物理力学性质相差很多，因此在每一具体情况下，都必须有区别地对待作用在支架上的荷载和巷道顶板的移动量，这样才能保证最终选出合理的支架参数。

目前有多种岩石分类法，它们是按照岩石的硬度、坚固性、可钻性、裸露顶板的稳定性等各种不同的分类特征制定的^[61]。但