

Quality Control on Tunnel Construction

Wei LIU^{1,2}, Wei-dong SONG¹

¹School of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

²School of Resource and Metallurgy Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China

Email: liuwei101277@126.com

Abstract: Through the analysis of quality control method on the tunnel construction, finding out the influence factors of tunnel construction quality, and giving classification to these factors. Then according to the system reliability theory, analyses of various factors, to calculate the path of the tunnel construction's failure, Optimized and improved the factors according to their importance, thus reducing the probability that lead to tunnel construction quality failure, so it have very good effect to maintain stable production.

Keywords: quality control; tunnel construction; reliability principle; FTA analyses

巷道施工的质量控制

刘炜^{1,2}, 宋卫东¹

¹北京科技大学土木与环境工程学院, 北京, 中国, 100083

²广西大学资源与冶金学院, 南宁, 中国, 530004

Email: liuwei101277@126.com

摘要: 通过分析巷道施工的质量控制方法。得出了影响巷道施工质量的主要因素, 并对这些因素进行分类。然后根据系统可靠性原理, 对各种因素进行了分析, 计算出导致巷道质量发生不达标的路径, 通过有针对性的对各因素进行了各方面的优化和改进, 从而使事故树发生的概率降低, 因此保证了巷道施工的质量, 在服务期限内保持稳定, 对生产起到很好的作用。

关键词: 质量控制; 巷道施工; 可靠性原理; 事故树分析

1 综述

质量控制是指为达到质量要求所采取的作业技术和活动^[1]。对于地下矿山巷道工程质量来说是要保证巷道在其服务年限内, 保持不失稳, 保证正常的采矿工作, 做到不浪费矿石, 不对工人和作业设备等造成危害。由于巷道工程项目施是一个极其复杂的综合过程, 又由于采矿位置经常改变、生产是一直流动、不同的巷道质量要求各不相同、施工方法也各不一样、加之建设周期长、同时受自然条件很大的影响, 所以, 相对一般工业产品的质量管理来讲, 控制巷道稳定的质量难度更大, 其质量具有如下几个主要特点。

(1) 对质量起影响的因素多。巷道工程质量受所采用的设计、选用的材料和机械、所处的地形地貌和地质条件、以及水文、施工工艺和操作方法、管理制度、投资成本、建设周期等等的直接影响。岩石介质受巷道开挖的扰动, 岩体中的应力就会重新分布, 以致岩体变形甚至破坏^[2~4]。

(2) 巷道工程项目的质量水平波动性比较大。由

上所述, 项目施工质量受较多的偶然性因素和系统性因素影响, 所以容易产生质量变异。为此, 在施工中要严防出现系统性因素的质量变异, 要把质量变异控制在偶然性因素范围内^[5]。

(3) 巷道施工的隐患多。在施工过程中, 由于工序交接和隐蔽工程多, 只有严格控制每个工序和中间产品质量, 才能保证其最终产品质量。

因此, 为了保证采矿作业的安全, 采矿巷道不同的岩体特性、工程部位的作用应有与其相适应的支护技术措施, 能有效控制了开挖巷道变形、冒落现象^[6]。由于现行的生产管理多是凭经验对巷道进行支护设计, 对支护的运行效果没有内在的系统性研究, 加之对巷道质量特点认识不全面, 很多因素都没有考虑。因而对于巷道必须从整体出发, 采取综合治理的手段, 才能保证巷道质量, 使生产过程得以正常进行。

2 巷道施工的影响因素

巷道工程地质条件复杂, 而且很多矿岩属稳定性较差的不良岩层。矿体内可能还有较大的断层的以及

夹层、夹石的存在，能形成大范围的矿岩接触带和断层影响带，造成巷道垮冒，如果采用一般的支护难以控制其变形破坏。

采场巷道的稳定性还受其它多种因素的影响和控制，涉及到采场的矿岩分布、巷道分布、应力分布、爆破动载、支护类型级别分布、作业时空分布，以及开采涉及的各种因素等，因此需要针对具体情况采取综合维护措施，而支护只是其重要手段之一。因此，通过这些因素的综合分析，才能保证好维护巷道稳定的工程质量。

为了综合分析这些因素，可以利用系统可靠性原理来解决，通过事故树分析方法来分析巷道失稳，得出影响巷道稳定的各路经（最小割集），从而针对这些路经，采取措施使其不成功，那么巷道就可以得以稳定，从而有效控制了巷道的质量。

3 事故树分析

事故树分析法是从结果到原因找出与本事故有关的各种因素之间的因果关系和逻辑关系的演绎推理方法。这种方法是把系统可能发生的事故放在最顶层，按系统构成要素之间的关系，分析与事故有关的原因直到基本原因为止。各种因果关系用不同的逻辑门连接起来，然后应用布尔逻辑运算法则进行化简、运算和再分析。通过定性分析，确定各种因素对顶上事故影响的大小，从而可以掌握和制定事故控制要点，通过定量分析，则能计算出顶上事件发生的概率，事故树分析可为系统工程质量目标提供依据^[7]。

3.1 巷道失稳的事故树

把巷道失稳作为顶上事件，逐级分析导致顶上事件发生的中间事件和基本事件。按照逻辑关系，用逻辑门符号连接上下层事件，以此逐级向下演绎成如图 1 所示的事故树

3.2 计算并找出最小割集

首先对事故树进行逻辑运算：

$$T = A_1 \times A_2 \times A_3 = (x_1 + x_2) \times (x_3 + x_4 + x_5 + x_6) \times (x_7 + x_8)$$

$$= x_1 x_3 x_7 + x_1 x_3 x_8 + x_1 x_4 x_7 + x_1 x_4 x_8 + x_1 x_5 x_7 + x_1 x_5 x_8 + x_1 x_6 x_7 + x_1 x_6 x_8 + x_2 x_3 x_7 + x_2 x_3 x_8 + x_2 x_4 x_7 + x_2 x_4 x_8 + x_2 x_5 x_7 + x_2 x_5 x_8 + x_2 x_6 x_7 + x_2 x_6 x_8$$

从上计算可以得出 16 个最小割集：

$$k_1 = \{x_1 x_3 x_7\}; \quad k_2 = \{x_1 x_3 x_8\}; \quad k_3 = \{x_1 x_4 x_7\};$$

$$k_4 = \{x_1 x_4 x_8\}; \quad k_5 = \{x_1 x_5 x_7\}; \quad k_6 = \{x_1 x_5 x_8\};$$

$$k_7 = \{x_1 x_6 x_7\}; \quad k_8 = \{x_1 x_6 x_8\}; \quad k_9 = \{x_2 x_3 x_7\};$$

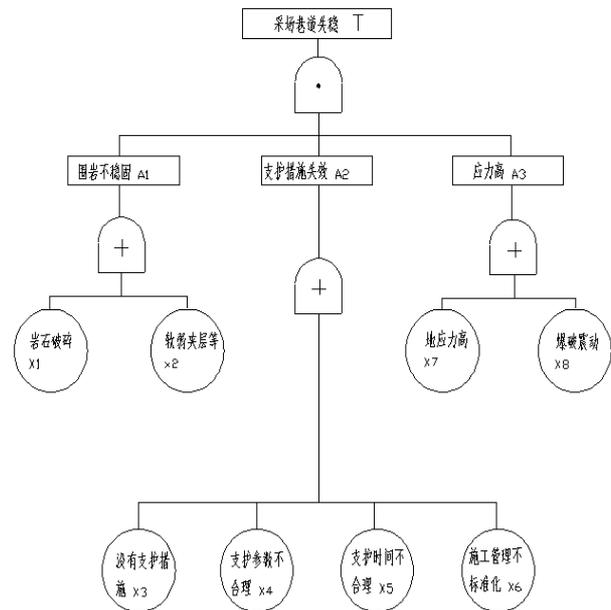


Figure 1. Fault Tree of tunnel instability

图1. 巷道失稳事故树

$$k_{10} = \{x_2 x_3 x_8\}; \quad k_{11} = \{x_2 x_4 x_7\}; \quad k_{12} = \{x_2 x_4 x_8\};$$

$$k_{13} = \{x_2 x_5 x_7\}; \quad k_{14} = \{x_2 x_5 x_8\}; \quad k_{15} = \{x_2 x_6 x_7\};$$

$$k_{16} = \{x_2 x_6 x_8\};$$

3.3 结构重要度分析

由公式： $I\Phi(i) = \sum 1/2^{(n-1)}$

经过计算得：

$$I\Phi(1) = I\Phi(2) = I\Phi(7) = I\Phi(8) = 8 \times 1/2^{(3-1)} = 2$$

$$I\Phi(3) = I\Phi(4) = I\Phi(5) = I\Phi(6) = 4 \times 1/2^{(3-1)} = 1$$

由上计算结果可知，发生巷道失稳的可能途径有 16 条，这些原因，有的或许还不为人熟悉，但同样潜伏着发生事故的危險，因此必须充分重视。事故树中可能导致失稳事件发生的基本事件有 8 个，其中事件 1, 2, 7, 8 的结构重要度比 3, 4, 5, 6 高，因此应该有针对性采取措施预防。

4 巷道失稳的控制措施

4.1 保证巷道支护的及时性

巷道开掘后及时实施支护，不仅能保证施工的安全，而且能够大幅度地提高支护的作用效果。尤其对锚喷支护巷道更为重要。不及时的支护将引起围岩的松动变形，降低围岩的自承强度，甚至发生垮冒破坏。为了提高车间采准巷道支护的及时性，对应采取如下

一些技术及管理措施。

(1) 巷道围岩稳定性预测,通过对各类岩种的自稳时间调查,按其自稳程度确定出围岩允许暴露的时间和及时的支护措施。在此基础上,制定出掘支施工方案,并提前做好开掘前的各项准备工作,一旦施工,即可实现掘支同步,还可应付岩体条件的突然变化,从而减少了因无准备带来的巷道垮冒。

(2) 采用速效及时的支护手段,在巷道掘进和支护中广泛采用缝管摩擦锚杆压双筋条带的支护形式,提高了巷道及时支护程度和围岩的稳定性。

(3) 改变巷道验收结算方法,由巷道掘进和支护单独验收结算,改为成巷统一验收结算,不支护成巷不予验收,当月掘进的巷道如当月未进行支护,算遗留支护降价结算。

4.2 支护结构参数的优化调整

(1) 适当提高锚喷网支护的比例,锚喷网是内加固最强的支护形式之一。由于网筋的作用,使锚杆与锚杆、喷层与锚杆形成相互制约的整体,使支护层的抗拉、抗剪和抗变能力大大增加,提高了支护的整体强度和刚度,完全适应采场巷道的围岩环境。断层及矿岩接触带中的巷道应改为锚喷网支护。另外联巷、下盘进路、联巷与各进路交叉口及存在时间较长的巷道也强调采用锚喷网支护。

(2) 改变支护参数

锚喷支护可以通过改变锚杆、网筋规格和布网参数,来调整支护强度。对节理发育的破碎岩体,可以适当缩小锚杆间距,个别破碎地段的巷道应在喷锚网的基础上,增加一些像 U 型钢拱架的外部支护,以提高支护效果。

4.3 加大采场结构参数

增大分段高度与进路间距,可以有效减小上分段回采对下分段的采动影响以及相邻进路的采动影响,有利于巷道的稳定维护。

(1) 开采造成的支承压力的,通过采空区未遭破坏的残留矿柱或未采动的矿体传递到下一水平,因而使矿柱或矿体下方形成高应力增高区,其应力集中程度随着远离回采水平的垂直距离增加而逐渐减少,当达到一定深度后矿柱造成的应力集中的影响则很小。

(2) 根据采场地压活动的规律,在进路的回采过程中,横向采动影响范围为 10~15 米,纵向影响范围为 13~14 米,沿进路方向距工作面 10~15 米为压力

升高区。因此,改变采场结构参数,增大分段高度和进路间距可以减少上分段回采对下分段进路支承压力的影响,有利于巷道的维护。

4.4 对支护进行规范化和标准化管理

支护设计和管理的规范化及支护施工的标准化是保证支护应用效果的重要措施之一,使支护管理更加科学化,更具有可操作性,可显著提高支护的技术水平和施工质量。支护的规范化、标准化管理规程的制定,对支护工作有较强的指导性。其工作主要从三个方面实施:一是设计要规范化,进行支护设计前,要求认真详实地研究和掌握巷道的围岩环境资料,按其稳定要求,合理确定巷道的支护形式和支护强度等级,正确绘制巷道支护设计断面图和支护等级划分图,并编写支护设计说明。二是施工单位严格按照支护设计,进行施工组织设计,并按设计要求组织施工,施工单位不准自行修改设计,如有问题会同设计部门协商解决。三是质量检验部门按着设计要求对施工的各个环节进行监控,并做好详细的施工记录,特别是隐蔽工程,如锚杆注浆及网筋施工,必须经验收合格后才允许喷射混凝土进行封闭。支护成巷由技术、质检、施工等单位共同组织验收,对其支护质量进行评分定级,并将参与巷道施工、检验的人员登记入档。

5 结束语

质量控制对维护复杂的条件下的巷道稳定性是一种非常有效的方法。利用质量控制原理以及系统可靠性分析方法,可以分析出每一个导致巷道失稳的因素,从而可以有针对性地加以解决,通过此方法应用实践,采取上述措施后,许多破碎围岩的巷道在有效期内都保持了相对稳定。这对相类似的工程有着一定的借鉴作用。

References (参考文献)

- [1] Shi guohong. Quality control Reliability Engineering [M]. Beijing: Chemical Industry Press,2005(5).
施国洪 质量控制与可靠性工程基础[M]. 北京:化学工业出版社, 2005(5).
- [2] Guo ran, Pan changliang, Yu runcang. Hard Rock deposits with rock-burst possibility Mining theory and Technology versity[M]. Beijing: Metallurgy Industry Press Press,2003.
郭然,潘长良,于润沧.有岩爆倾向硬岩矿床采矿理论与技术[M].北京:冶金工业出版社, 2003.
- [3] Wang wenxing. Rock Mechanics[M].Changsha: Central South University Press 2004.
王文星.岩体力学[M].长沙:中南大学出版社, 2004.
- [4] He manchao, Xie heping, Peng supping. Deep mining rock mechanics research[J],Journal of Rock mechanics and Engineer-

- ing,2005,24(16),P2803-2813 (Ch).
何满潮,谢和平,彭苏萍,等.深部开采岩体力学研究[J].岩石力学与工程学报, 2005, 24(16),P2803-2813.
- [5] Qiu baowen. Analysis of construction quality [J], *Journal of Heilongjiang keji*, 2009, 4(182), P155-156 (Ch).
邱宝文 浅析建筑工程项目施工质量管理[J],黑龙江科技, 2009 4 (182), P155-156.
- [6] Yang chengxiang,Luo zhouquan. Analyses and Control of Unstable Mode of Lane way with Rock-burst Possibility in Deep Mine [J], *Mining and Metallurgical Engineering*, 2007, 04(2), P1-4(Ch).
杨承祥, 罗周全, 有岩爆倾向深井矿山采矿巷道的失稳模式分析及其控制技术[J]矿冶工程,2007, 04 (2) ,P1-4.
- [7] Chen bao jiang xuweiya,wangxueguang OHSMS Certification and Safety Evaluation[m] China Standards Press.
陈宝江, 徐伟亚, 王学广.OHSMS 认证及安全评价[M].北京: 中国标准出版社, 2004.