

军都山隧道快速 施工超前地 质预报指南

中国科学院地质研究所

铁道部隧道工程局

中国铁道出版社

军都山隧道快速施工

超前地质预报指南

中国科学院地质研究所
铁道部隧道工程局

中国铁道出版社出版、发行
(北京市东单三条14号)

责任编辑 张苍松 封面设计 王毓平
中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092mm 1/32 印张3.875, 字数: 87千

1990 年4月 第1版 第1次印刷

印数: 1—4700册

ISBN7-113-00263-1/TU·196 定价: 2.10元

登记证号: (京) 063号

目 录

绪 论	(1)
第一章 总 则	(9)
第一节 目的和计划	(9)
第二节 工作内容	(9)
第三节 提交成果	(10)
第四节 要 求	(11)
第二章 资料收集	(12)
第一节 收集和熟悉已有的资料	(12)
第二节 地质素描	(13)
第三节 超前风钻孔测试	(18)
第三章 地质条件预报	(26)
第一节 预报的重点内容	(26)
第二节 断层、岩脉和破碎带超前预报	(26)
第三节 可能构成不稳定块体的大裂隙预报	(30)
第四节 地下水活动情况预报	(30)
第五节 地应力状况超前预报	(31)
第四章 工程地质灾害及防治对策预报	(33)
第一节 预报内容	(33)
第二节 预报方法	(33)
第五章 超前地质预报方法、效果检查及更改设计的程序	(39)
第一节 超前预报程序	(39)
第二节 预报效果检查	(40)

第三节 围岩类别变更.....	(40)
结 束 语.....	(40)
附 录.....	(42)
附录一 超前地质预报方法.....	(42)
附录二 地下水观测.....	(47)
附录三 铁路隧道围岩等级有关标准.....	(51)
附录四 隧道地质素描图的绘制.....	(53)
附录五 钻速测试.....	(56)
附录六 声波测试.....	(63)
附录七 军都山隧道地下地表断裂构造相关性预报 及其结果.....	(80)
附录八 由掌子面地质素描预报前方地质构造...	(86)
附录九 由超前平导地质素描预报正洞地质.....	(92)
附录十 围岩分类.....	(96)
附录十一 军都山隧道塌方实例.....	(98)
附录十二 碎屑流实例介绍.....	(101)
附录十三 对施工方法建议.....	(104)
附录十四 地质基础知识.....	(107)

绪 论

隧道工程是地质工程。

隧道的设计、施工、工期、造价无不受地质条件的制约。现在越来越多的隧道建设者们认识到,不了解地质、不关心地质将使隧道建设事倍功半。了解隧道穿过地段的地质条件是隧道建设的需要,也是隧道工程地质工作的目的。

隧道地质工作应贯穿于整个隧道的建设过程。隧道地质条件是逐步弄清的,所以它顺应隧道设计,也分成若干阶段。

施工前的地质工作,通过地面测绘、物探、少量的槽探和钻孔查清工程区的地质背景、大的地质构造和主要的水文地质条件。长隧道往往是工程的控制点,应尽量避免大断层,大滑坡、大溶洞、松软地层等不良工程地质体。

施工前地质工作对于隧道建设有十分重要的作用。如施工设备、施工方案的选择、人员配备、材料供应、工程成本、施工进度、辅助导坑的设置都和地质有关。但施工前的地质工作由于搜集资料的技术手段限制,加上地质体的复杂性,所取得的资料不能完全满足施工要求。由地表工作为主推断的隧道地质条件与隧道施工中实际遇到的地质条件相差很远,漏掉的一些不良地质体给施工带来许多预想不到的困难。不仅中国如此,外国亦是这样。如美国科罗拉多州罗伯特隧道地面测绘确定的断层和岩脉是隧道开挖中遇到的断层和岩脉的1~9%,即使是较大的断层和岩脉,测绘确定的也仅是开挖遇到的12~47%。在其他国家隧道建设中也经常

出现由于开挖遇到预料之外的恶劣地质条件而延误工期。地面地质迹象与地下深部地质条件相差甚远是客观存在，而且随着地区不同其相差程度不同，如下文所述。

从地面预报隧道地质条件的可信程度

(据 Wahlstrom 1973)

1. 完全可信的

- (1) 简单的大断层、断层带；
- (2) 没有发生过褶皱和断层作用的、厚度为常量的层状岩体；
- (3) 厚度为常量的层状火山碎屑岩和熔岩流；
- (4) 大型、单一的岩浆侵入体，特别是大型花岗岩体

2. 很可信的

- (1) 区域上的主断层；
- (2) 与主断层有关的节理；
- (3) 褶皱与断层作用后，已知几何形状且均厚的沉积岩、火山碎屑岩或熔岩流；
- (4) 具有已知区域分布结构的、很厚的、断层作用不很强的变质岩地层。

3. 比较可信的

- (1) 次生断层；
- (2) 与次生断层有关的节理系；
- (3) 几何形状不是完全知道的。褶皱和断层发育的层状岩体；
- (4) 层序不是很清楚的层状岩体；
- (5) 厚度变化较大的层状岩体；
- (6) 浅成岩浆侵入体，如岩墙、岩株、岩床；
- (7) 沿断层带发育的局部风化带；
- (8) 热溶作用形成的变质带；
- (9) 与主断层或次生断层无关的节理系；

- (10) 岩浆岩中的变质岩包体；
- (11) 变质岩中透镜状的岩浆侵入体。

4. 有疑问的

- (1) 地表没出露，只凭物探和地形资料确定的主断层或次生断层；
- (2) 几何形状不规则的和不知受什么构造控制的变质带；
- (3) 地层层序和产状不清楚的层状岩体；
- (4) 只凭风化物确定的地质构造。

5. 很可疑的

- (1) 只根据区域地质资料假设的地质构造；
- (2) 没有经过适当的野外地质调查，只凭地质学家的某个理论推断的构造。

经过多年实践，人们认识到由地表预报地下地质的精确程度受下列因素影响：一是地质体的成因类型。一般是沉积岩地区预报的准确度较高；小体积侵入岩，非层状喷出岩预报准确度最低；没有被后期作用破坏的褶皱、大的断层带预报较准；小断层及侵入接触带预报准确度低。二是地区的地质构造发展史。经历构造作用次数越多、作用越强烈，地质构造越复杂，预报的准确度越低。三是地表岩石风化和覆盖程度。岩石风化和地面覆盖严重，覆盖层厚，地质构造在地面看不清，预报不准。四是对预报地区地质规律掌握的程度和从事该项工作人员的经验丰富程度，这直接影响预报成效。

以上事实说明，在勘探阶段，用以地面测绘资料为主做出的地质预报来指导施工，其精度是不够的，也不可能够。所以我们认为，施工前地质工作的重点是查清大的地质构造和工程区的工程地质条件，而花巨额投资挖众多的探洞，钻数千米钻孔，企图弄清细微的地质条件是得不偿失的，也是不可能的。

在隧道施工中，不但要了解宏观的地质构造，还要了解

岩体的结构；不但要了解全隧道的地质条件，还要知道其出现的位置及稳定程度，以便确定每一段的围岩类别和开挖断面、支护设计参数、开挖方法、爆破进尺和装药量。以往隧道施工多采用导坑先行的施工方法，导坑断面小，进尺短，是否了解掌子面前方的地质条件对导坑施工的影响不大。一般来说，导坑过去了，地质条件基本清楚了。八十年代以来，我国铁道部门先后在衡广（衡阳—广州）复线和大秦（大同一秦皇岛）线、水电部门水电站的长隧道中采用液压台车，深孔爆破，大断面开挖，喷锚支护等技术。由于断面是一次挖到设计轮廓线，如果对前方的不良地质条件没有发现，没有改变原来的施工方法，可能导致严重的坍塌。不但严重影响施工进度，增加投资，而且严重威胁施工人员的生命安全。因此，在隧道施工中了解掌子面前短距离内的地质情况是十分重要的。

由于地质的复杂性和施工对地质体的敏感性，那些引不起注意的小断层也常使岩体失稳。地面地质构造与埋深数百米的隧道地质构造相差很大，有些地质构造很难从地面发现，给施工带来预想不到的困难。所以，人们就提出了施工地质预报课题。1972年8月在美国芝加哥召开的快速掘进与隧道工程会议至今已开过八次，隧道施工超前地质预报一直都受到重视。

随着隧道建设的发展，对地质预报的要求越来越全面和详细，从单纯的地质条件预报发展到地质体成灾程度预报，不同地质体处理措施预报等等。

准确预报施工前方地质条件是隧道建设的迫切要求。八十年代世界各国都将这类问题列为重点研究课题。日本列题研究开挖前方地质预报；澳大利亚研究隧道施工前方地层状况预报；西德研究掌子面附近地层动态的详细调查；法国则

把不降低掘进速度的勘探方法作为重点研究课题。但至今还没有取得可供推广的成果，没有见到系统资料。

我国建设成昆线期间曾提出过施工超前地质预报工作，由于当时选用的技术路线是研究超前探测技术（主要是物探），没有取得进展，继而将超前地质预报工作，改为抢险救灾。此后，亦有许多工程技术人员寻求隧道施工超前地质预报的技术，进行了一些零星研究，终未成功。在大秦线军都山隧道施工中，我们实现了这一理想。

军都山隧道的施工过程中，我们吸取前人的经验，采取以地质为基础，隧道地质素描为主要手段的方法，配合施工中的超前预报，取得了成功。这个方法具有如下特点：

一、有牢固的理论基础。我们是用地质方法解决地质问题，其理论基础当然无可置疑。军都山隧道是我们开展施工地质预报的第一个工程，所用的方法不高、不新、不尖，但它确实具有经济、简便、好用的优越性。

二、不占施工时间或占用施工时间很少。施工超前地质预报首先一个要求是“不占施工时间”。我们在军都山隧道施工中所用的方法做到了这一点，预报工作可以与钻爆破孔同时做，不占专门时间。占很多施工时间的预报方法，不论如何高明，都不会大受欢迎。

三、适用性强。隧道施工超前地质预报主要是搜集资料、整理资料和分析资料的过程，只有全面地掌握了隧道开挖过程中的地质条件（包括可见者和对隧道围岩稳定有影响但不可见者），才能作出正确的预报。搜集资料是在紧张施工中空气污浊、噪音振动大、阴暗潮湿的环境下进行的。这是施工地质预报都要遇到的共同问题。要全面开展施工地质预报，预报方法就必须有很广泛的适用性。

四、成本低。为了在隧道施工中全面开展地质预报，而

不只是在几个少数隧道作作示范或在某隧道已出现恶劣地质条件地段进行专题研究，所用方法耗资要少。隧道施工部门不大可能花很多的钱，用很多的人，安排专门的场地进行地质预报。若用骄贵的设备，就要求专门的技术人材去使用，势必使这项工作难以推广。

军都山属于燕山构造带燕山山脉西端中低山区。经历过多次强烈的构造运动和多次火山活动。在军都山隧道穿过的岩石中，特别坚硬而脆的火山岩占全隧道的70%。军都山地质构造复杂，断层密集，特别是隧道中部平均不到10m就有一条断层，其中有两段平均3~5m一条断层，这些断层宽度大部分不超过1m，有的只有30~50cm，就是这些细小的断层存在使岩体变得十分破碎。坍方事故的60~70%与这些小断层有关。隧道中部地面覆盖严重，覆盖率达80%以上。断层在地面反映不明显。施工前的地质工作由铁道部隧道局设计院进行，他们反复调查，工程开工后还在地面钻钻孔、挖探槽，他们确定的断层在隧道中相应位置的岩体都是很破碎的，地面工作确定的大断层是准确的，但这一地段小断层上百条，地面测绘时没有发现。

军都山隐伏式构造发育，断层时隐时现，产状变化大，中断现象普遍存在。所见断层中40%左右突然中断或尖灭。就连在平导见到的宽8m断层，预报正洞在+290出现，但正洞中只见到一条不足50cm宽的断层。又如二号斜井，平导和正洞之间仅有十几米岩体相隔，平导和正洞的地质条件很不一致，平导在200和300都出现了IV类围岩，施工人员很高兴，以为他们前方将有几十米好岩体，并要求提前给予预报。结果正洞没有见到IV类围岩。军都山最大的破碎带（碎屑流发生地）却是一个隐伏构造。地表清楚地见到火山岩与花岗岩呈混熔接触。而地下隐伏了近300m侵入黑云母

化闪长玢岩。玢岩和火山岩接触带非常破碎，施工到这里发生了碎屑流（施工中叫泥石流）。给施工造成没有预想到的困难。

军都山火山岩坚硬破碎，使岩体破碎的地质原因有：一、断层或接触带作用形成软弱的地质体；二、火山岩冷凝过程中，形成大量的隐蔽裂隙；三、贯穿性裂隙切割成上小下大的不稳定块体。破碎岩体构成的隧道洞体稳定性差，要预报这些不稳定岩体，只用单一的方法是不行的。我们以地质为基础，以隧道地质素描为主要手段收到很好的效果，但这是一项尝试性的工作。为了尽快见到成效，在前人研究工作的基础上，以前述的思想为指导，将所有可能应用的方法都拿来试用。在测试技术方面尽量采用已成熟的技术，力求“快”——上得快、测试快、出结果快，尽量不占施工时间；力求“简”——技术简单，便于推广；力求“准”——测试结果准确可靠；力求“稳”——仪器性能稳定，能在隧道施工的恶劣条件下使用。为此我们选用了能满足上述条件的仪器进行试验。有的是新设计的，如钻速仪；有的是在原基础上作了改进，如干孔声波测试，压水试验，钻孔潜望镜。希望把超前地质预报工作插入到一个施工工序中而不单独占用时间。为此，我们进行了广泛的研究、试验、共用了三类十种方法搜集和整理隧道地质资料，进行预报（参见附录一）

开展地质预报以来，施工速度明显加快。地质预报使施工有了主动权，如1986年3月预报出口段有270mⅣ～Ⅴ类围岩，施工作了主动安排，结果创造月成洞241m的好成绩。有了地质预报，塌方次数逐年减少，如以1985年塌方次数和影响施工天数为100%，1986年塌方次数为71.4%，影响施工天数为51%，1987年分别为38.1%和23.1%。

地质超前预报取得的成就，各级领导十分重视，特别是

铁道部、中国铁路工程总公司、隧道工程局、第二施工处的领导及技术人员的大力支持，他们到工地先过问地质，不断采用加强地质预报工作的措施，并于1987年1月明确规定地质预报纳入施工工序，明确提出施工检查中要检查地质预报，对准确预报给予精神和物质奖励。在他们的督促下，施工队伍紧密配合。要使施工地质预报取得实际效益——减少塌方，加快进度——没有施工的良好配合是不行的。在军都山隧道施工中，形成了一种人人关心地质，人人重视地质预报的好形势。

从1985年开始研究，最后以隧道地质素描为主，配合地面、地下地质构造相关性调查，超前风钻孔钻速测试，声波测试等五种方法一直跟随着隧道施工连续进行短距离超前地质预报。在军都山隧道这样复杂的地区，预报准确率达到71.5%。

隧道施工地质超前预报作为一个工序纳入生产实践中还刚刚开始，本指南是军都山隧道施工超前地质预报的总结，作为第一份系统文献，肯定有其局限性和不合适之处，敬望读者指正。

本文主要由孙广忠，吴志勇，蒋中庸，张志恒编写。本课题是在中国科学院地质研究所、铁道部隧道工程局设计院和第二工程处共同合作下完成的，华南基副总工程师自始至终参加了此项工作。

第一章 总 则

第一节 目的和计划

第1.1.1条 目的

隧道施工超前地质预报是在施工时搜集地质资料，预报掌子面前方短距离内的工程地质条件，以便为判断围岩类别，正确地选择开挖断面、支护设计参数和施工方法提供依据。

第1.1.2条 工作计划

超前地质预报是地质工作在施工阶段的继续，工作计划应包括工作内容、方法、使用设备，人员组织和提供成果的时间。

一、方法：超前地质预报方法应根据各工程不同情况而选定（参见附录一）；

二、工作组织：隧道的超前地质预报工作必须指派专人负责。每个作业单位应配备2～3名专职人员，在开展工作前应进行人员培训，学习“指南”和有关地质知识。超前地质预报是隧道施工的一个组成部分，因此应将其纳入施工工序；

第1.1.3条 适用范围

本指南仅适用于钻爆法施工的隧道。

第二节 工 作 内 容

第1.2.1条 收集和熟悉与工程有关的地质资料。

第1.2.2条 地质素描和超前钻孔测试。

第1.2.3条 根据搜集到的资料预测开挖面前方地质情况、围岩类别，能否产生塌方和突水，并对施工方法提出建议。

第1.2.4条 验证预报效果，分析成败原因。

第三节 提交成果

隧道贯通后应提交以下资料。

第1.3.1条 原始资料

地质素描现场记录、钻速测试、声波测试记录和曲线、岩石物理力学试验记录、岩性鉴定、水质分析，这些是反映隧道地质情况最原始和最详细的资料，应按顺序整理成册。

原始资料中还应提交每次预报的通知书及效果检查报告，以便进一步总结经验。

第1.3.2条 正式成果

一、全隧道地质素描和实际的地质纵断面图；

【说明】 地质素描图系根据现场记录整理绘制，是已施工隧道连续的、系统的、详尽的地质资料，是鉴定围岩类别和为隧道养护维修的重要依据。原则上要将所有工作结果都反映在此图上，如果图幅太大，作图不便，可将其它测试结果如钻速测试等另行作图，将其工作量以简单的符号表示在图上。

实际地质纵断面图，是根据施工阶段的地质素描图缩制的。内容应包括围岩类别、水文地质和工程地质概况、施工中发生的重大事故（塌方、涌水、碎屑流等）。全面地反映隧道工程情况，是隧道竣工图之一。

二、重大预报次数和预报效果统计表；

【说明】 对施工影响大的地质条件进行预报，应提出

预报根据和对施工的影响程度，开挖后应进行总结。

预报效果统计表是对每次预报成功或失败的评价，以此作为检查超前地质预报准确度的根据。

三、全隧道代表性岩石标本。

第四节 要 求

第1.4.1条 工作前应制定统一的作图格式、规定和图例。

第1.4.2条 隧道施工超前地质预报随施工连续进行，隧道贯通后结束。

第1.4.3条 隧道施工超前地质预报，强调的是连续、及时（收集资料、整理分析、预报）和准确。

第1.4.4条 凡变更围岩类别必须提供地质素描依据。

第1.4.5条 各级施工人员应支持超前地质预报工作，并为其工作提供方便。

第二章 资料收集

第一节 收集和熟悉已有的资料

第2.1.1条 熟悉设计阶段提供的地质资料，了解岩体、构造、围岩类别、地下水特征。

第2.1.2条 收集区域地质资料，了解工程所在地附近大地构造单元及其特征，断裂形成的先后顺序、相互切割关系和地应力情况。

【说明】地质工作继承性很强，后人总是在前人工作基础上进行工作。博览前人工作成果而后开展工作已成为地质工作的程序。

任何一个工程在地球上好似沧海一粟，如和大的构造相比它是很小的，仅在工程范围内弄清构造规律往往不可能。为了作好施工超前地质预报，必须掌握构造规律。经验证明，对构造规律的掌握程度直接影响预报的准确度。超前地质预报首先要熟悉设计阶段的地质资料，并尽可能地收集与工程有关的其它地质成果。在熟悉已有地质资料的基础上，应在地表进行实地踏勘，核对已有资料，了解隧道穿过地区的地形地貌特征，加深感性认识。从宏观上了解隧道所在区的地质构造单元及其特征和可能遇到的不良地质地段。

熟悉已有地质资料，是做好施工超前地质预报工作的第一步，必须给予足够重视。

第2.1.3条 补充地表地质工作

在熟悉和分析已有地质资料的基础上，对有疑问的地段

还应在地表进行一些适当的补充地质工作，例如地质测绘，物探和增设少数钻孔。

第二节 地质素描

地质素描包括超前平导和正洞两部分，前者仅为预报用，后者除供超前预报用外还是竣工的必备图件。所以两者的内容有所不同：平导可以只注意与预报有关的如断层、大的结构面、涌水情况等；正洞主要也是素描对岩体稳定性有影响的地质因素，只是在地质条件简单的地段，对岩体稳定性影响不大的如一般的裂隙也要给予素描，目的是若干年后查找资料不至误认为此段是被遗漏的。

为超前地质预报而作的地质素描强调连续的现场观测记录图文并举，对地质条件好的地段要更加注意，强调全面详细地收集现场资料。

第2.2.1条 地质素描内容，地质素描是对开挖面的地质情况的如实而准确的反映，其主要内容应包括：

一、岩性

岩石名称、颜色、结构、构造、矿物成分和风化程度，岩性变化时应取 $5 \times 5 \times 5\text{cm}^3$ 左右的岩石标本，编号保存。

【说明】 岩性是最基本的地质资料，是对岩体本身状态的描述。在地质素描图上应说明岩石的名称、颜色、结构、构造、矿物成分和风化程度。但从工程地质角度来说，岩性常常不是岩体工程质量的决定性因素，重要的是它所处的部位和受构造作用程度。如军都山隧道所见到的安山玢岩的边缘相隐闭裂隙发育，除少数较大的裂隙外，大量的不连续的裂隙将岩体切割成 $10 \sim 30\text{cm}$ ，厚度不超过 10cm 的岩块，还有许多肉眼看不见的隐闭裂隙经敲击即碎，取一块成形的