

文章编号: 1000-7598-(2006)增刊-0270-05

隧道施工地质超前预报工作方法

何发亮¹, 李苍松¹, 李术才², 李树忱², 林玉山³, 冉懋鸽⁴, 单治钢⁵

(1. 中铁西南科学研究院有限公司, 成都 610031; 2. 山东大学 岩土与结构工程研究中心, 济南 250061; 3. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 桂林 541004; 4. 二滩水电开发有限公司, 成都 610021; 5. 华东勘测设计研究院, 杭州 310014)

摘 要: 论述了隧道施工地质预报的内容、隧道设计与实际造成隧道地质灾害及造成地质勘察资料精度不高原因, 提出了通过资料收集、勘察成果整理分析、熟悉设计文件、资料与图纸和隧道施工地质预报阶段补充地质调查, 确定隧道施工地质预报重点段, 进行洞内地质调查和掌子面地质素描、物探方法的选择和现场实施掌子面探测、探测成果分析、报告提交及施工验证的隧道施工地质超前预报工作方法。

关 键 词: 地质调查; 物探方法; 地质素描

中图分类号: U 456

文献标识码: A

Method of geological prediction in tunnel engineering

HE Fa-liang¹, LI Cang-song¹, LI Shu-cai², LI Shu-chen², LIN Yu-sha³, RAN Mao-ge⁴, SHAN Zhi-gang⁵

(1. Southwest Institute of China Railway Engineering, Chengdu 610031, China;

2. Research Center of Geotechnical and Structural Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

3. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, 541004, China; 4. Ertan Hydropower Development Company, Chengdu 610021, China;

5. East China Investigation and Design Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The geological prediction in tunnel engineering, the geological disaster resulting in the design and the practice and the reason about the low precision of the geological prediction data are expounded. The emphatic part of the geological prediction are decided through analyzing the detection data and complementary detection during the geological construction prediction. And describing of the heading face, the choice of the exploring method, the result of exploration the report and construction validation of the geological prediction method are expounded too.

Key words: geological detection; geophysical prospecting; geology sketch

1 前 言

隧道施工地质超前预报是指在隧道施工阶段采用隧道洞内外地质调查、掌子面素描, 根据隧道开挖揭示的洞身围岩条件的变化趋势、洞内外构造相关分析结果, 或采用地球物理探测手段对隧道施工掌子面进行探测, 运用地质学、数学、物理学、逻辑学、概率学、计算机科学等各学科知识结合预报人员经验, 对隧道工程可能遇到的各种不良地质体及因此可能发生的各种地质灾害的性质、分布位置、规模的判断和预报, 根据判断和预报结果提出应采取的地质灾害预防和处理措施建议^[1]。

在隧道工程建设中, 隧道地质超前预报工作已

经得到了广泛地重视, 并作为施工重要组成部分已在许多隧道工程招标文件中有明确要求且在施工中实施, 但不容忽视的是片面强调并强行规定使用某一种物探设备进行施工地质超前预报、忽视隧道施工期地质工作的现象仍普遍存在, 对隧道施工地质超前预报工作方法仍然缺乏足够的认识, 这样对达到提高隧道施工地质预报的水平和准确性, 是很不利的。因此, 有必要介绍隧道地质超前预报工作的重要性及方法, 以利于该项工作的发展。

2 隧道施工地质预报的内容

预测预报的主要内容包括:

(1) 断层及其影响带和节理密集带的位置、规

收稿日期: 2006-09-06

基金项目: 国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金项目 (No. 50539080) 资助项目。

作者简介: 何发亮, 男, 1967 年生, 副研究员, 1984 年毕业于中山大学地质系, 主要从事工程地质方面的研究工作。

模及其性质；

(2) 软弱夹层（含煤层）的位置、规模及其性质；

(3) 岩溶发育位置、规模及其性质；

(4) 不同岩类间接触界面位置；

(5) 在采、废弃矿巷分布及其与隧道的关系；

(6) 工程地质灾害可能发生的位置和规模；

(7) 隧道围岩级别变化及其分界位置；

(8) 不同风化程度的分界位置；

(9) 不良地质体（带）的成灾可能性；

(10) 隧道涌水位置、水压及水量；

(11) 隧道围岩级别变化及其分布。

在此基础上提出隧道施工方法、地质灾害预防处理措施建议，要达到此目的，除了进行隧道施工掌子面探测，还需要全面了解隧道所处地质背景条件，开展施工地质工作。

3 隧道施工地质超前预报是当前国情的需要

(1) 设计与实际不符的情况屡有发生 隧道工程设计的基本依据是地质勘察资料，而隧道施工的依据主要是设计文件。大量的隧道工程建设实践表明，根据地质勘察资料做出的设计与实际不符的情况屡有发生，由此而来的隧道洞内塌方、涌水、涌泥、涌沙、岩爆、瓦斯爆炸等灾害时有发生，给隧道施工造成极大的危害^[3]。

(2) 用施工地质超前预报阶段地质的原因 在我国当前的隧道工程可行性研究和勘察设计阶段，尚不可能投入大量的经费加大钻探工作量和开展大量的地球物理勘探工作，隧道工程大多位于深山地区，地形地质条件极其复杂，更加大了钻探和开展地球物理勘探工作的难度，势必带来地质勘察资料精度的不高。

目前条件下很难投入大量的经费开展隧道施工阶段的地质超前预报工作，全隧道开展施工地质预报工作的条件尚不具备，近些年来以少量的预报经费开展全隧道施工地质超前预报工作的实践更证明了这点。

因此只有在收集预可研和可行性研究阶段的资料，整理分析和研究勘察阶段钻探、物探及试验等成果，熟悉设计文件、资料和图纸，开展地表补充地质调查的基础上，才能有效地确定隧道施工地质预报重点段，减小施工地质超前预报的盲目性，提高预报的针对性，把有限的预报经费用在刀刃上。

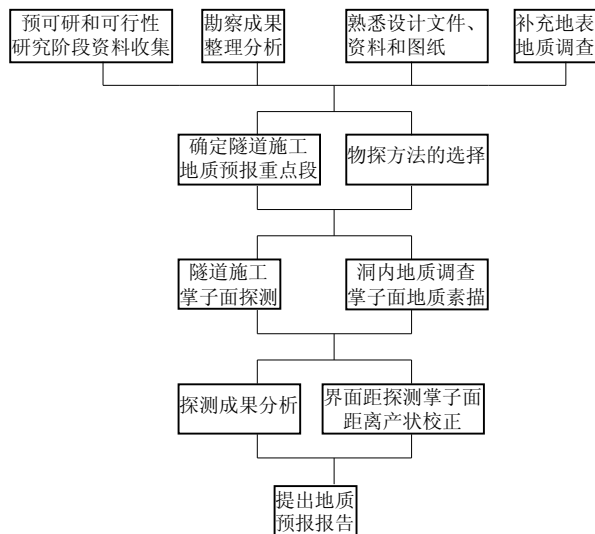


图1 隧道施工地质预报工作程序框图

Fig.1 Flowchart of geological prediction for tunnel construction

4 隧道施工地质超前预报工作方法

4.1 资料收集及勘察成果整理分析

隧道预报工作流程见图1。预可研和可行性研究阶段资料收集主要是对隧道所在地区区域地质、工程地质和水文地质资料，了解隧道通过地区地层、构造分布情况、工程地质特性和水文地质条件，对隧道施工可能遇到的各种地质条件及可能发生的地质灾害的预判断，为隧道工程地质勘察提供科学的依据。

勘察成果是隧道设计文件、图纸、资料提出的依据。整理分析和研究包括勘探（钻探、槽探、坑探、物探）、试验（岩石物理力学试验、钻孔水文地质试验、岩体原位测试等）成果，是确定隧道穿越地层层序、地层岩性、地层产状，构造分布、产状及其性质，隧道水文地质环境，不良地质体（带）分布及其性质，进行隧道涌水量计算，在设计阶段对隧道施工可能遇到的不良地质体（带）分布、性质及可能造成的隧道地质灾害提出宏观预测预报的需要。

隧道设计文件、资料和图纸是设计者根据隧道预可研和可行性研究报告、隧道初步勘察和详细勘察成果的整理分析研究成果提出的，是可行性研究和勘察成果整理分析研究成果的总结。熟悉设计文件、资料和图纸是宏观把握隧道所处地质、构造、水文地质背景，初步确定隧道施工地质超前预报重点区段的需要。

通过资料收集、勘察成果整理分析、熟悉设计

文件、资料和图纸,可以大致确定隧道施工期地质超前预报的重点区段和补充地质调查的重点内容和调查区域位置。

4.2 补充地质调查

如前所述,由于地质勘察精度、经费等诸多条件的限制,根据地质勘察资料做出的设计与实际不符的情况屡有发生。长大隧道、地质复杂的隧道、水下隧道可能存在大断层、岩溶、大量涌水、涌泥、岩爆、瓦斯突出等工程地质灾害的隧道,可能因开挖造成环境生态破坏的隧道,覆盖层太厚、植被良好不易进行地质调查和勘探的隧道,则更是如此。需要进行补充地质调查。

补充地质调查不仅是对勘测设计阶段的地质预估评价的补充,对隧道所处复杂地质条件的微观的把握,更是确定隧道施工期地质超前预报重点段减少隧道施工期地质预报盲目性、使预报具有较强针对性的重要保证。

隧道施工期地质预报的补充地质调查工作应在洞内地质调查、预报探测前完成,在预报实施过程中随时补充完善。

4.3 洞内地质调查和掌子面地质素描

洞内地质调查和掌子面地质素描是隧道施工过程中的地质工作,是隧道工程全过程地质工作的重要一环,其不仅是开展隧道施工地质超前预报的需要,也是对隧道设计地质资料的补充和完善,更为隧道运营阶段隧道病害整治提供完整的隧道地质资料。

隧道施工期洞内地质调查主要沿隧道边墙进行。通常情况下,洞内地质调查成果是对勘察设计地质资料的核实、补充和完善,应采用隧道洞身地质展示图、隧道地质纵剖面图和专门图件来反映。隧道洞身地质展示图、隧道地质纵剖面图是对隧道所遇地质情况的汇总,专门图件是对某个专门问题的汇总,如断层带地段工程地质及坍方分布图、坑道涌水位置示意图等。

根据隧洞内地质调查结果编制完整的隧道地质纵剖面图和隧道地质展示图(按里程位置附隧道施工掌子面地质素描图),要准确反映隧道揭示的实际地质情况,特别是隧道施工遇到的不良地质体带的出露位置和范围,隧道围岩级别、衬砌结构类型变更位置和长度,坍方、涌水、洞内泥石流、岩爆、大变形等地质灾害发生的规模、里程位置和施工处理措施等等。

掌子面地质素描的主要内容包括:(1)岩层、岩性描述(包括岩石风化破碎程度、岩体结构状态

等);(2)地层分界面产状及其位置;(3)岩层产状及其变化测定;(4)构造(断层等)位置、产状、宽度测定,断层性质描述;(5)节理裂隙统计,包括发育分布位置、产状、组数、节理面闭合张开状态、节理面形态、节理面充填情况;(6)掌子面涌滴水位置确定、涌滴水量测定或估算;(7)特殊地质现象描述(如施工揭穿矿巷位置、矿巷形状、矿巷充填物性质,岩溶洞穴位置、形状、充填物性质,坍方体、涌泥沙出现位置、方量等等)。

4.4 物探方法的选择和现场实施掌子面探测

各种地球物理探测方法均有成熟的理论基础,针对不同的地质体,有其各自的优势和劣势,只有选择合理适用的物探方法,才能有效地完成探测工作。

4.4.1 物探方法的选择

物探方法的选择应遵循有牢固的理论基础、不占或很少占用掌子面施工时间、适用性强、操作简便、能取长补短、能适应隧道工程施工的需要、对隧道施工所面临的地质问题具有针对性的原则。具体选择主要视预报的性质、作用和隧道工程的重要性、长度及将要面临的地质问题的复杂性来确定。指导性预报隧道施工期地质超前预报宜选择隧道洞外地质调查和 TSP-202 或 203 长距离探测的综合方法;实施性隧道施工期地质超前预报宜选择隧道洞内外地质调查、地质素描、超前水平钻探和 HSP、地震波反射、地质雷达探测的综合方法。长距离隧道施工期地质超前预报,可采用地质法、TSP-203 和 HSP 探测中的一种方法或几种方法的综合方法;中远距离隧道施工期地质超前预报,可采用地质法、HSP、地震波反射探测中的一种方法或几种方法的综合方法;对短距离隧道施工期地质超前预报,可采用地质法、HSP、地震波反射、地质雷达探测中的一种方法或几种方法的综合方法。

长大重点隧道和可能存在复杂施工地质问题的隧道,应采用隧道洞外地质调查和 TSP-203 长距离探测的综合方法进行指导性地质超前预报,采用地质法、HSP、地震波反射探测中的一种方法或几种方法的综合方法进行常规预报,重点地段采用超前水平钻探、声波 CT 进行定量精确预报。

必须指出的是,对隧道所处地质条件的掌握是各种隧道施工期地质预报方法成功的基础,各种界面性质的确定必须以地质分析为前提。因此,除了对可能遇到的施工地质问题比较简单的隧道施工期地质超前预报,可采用地质法外,还必须采用以地质法为基础的综合预报方法。

4.4.2 掌子面探测

各种物探设备对环境条件的要求各异。由于种种原因，隧道施工掌子面环境条件各不相同，但温度高、湿度大、管线多是共同的特点。在掌子面探测中应注意以下几方面的问题：

(1) 探测应在掌子面通风一段时间后进行，以降低掌子面附近温度；

(2) 洞内管线，特别是动力管线对探测信号的发射和接收均有一定程度的影响，因此，应避免信号传输线与洞内管线的交叉接触，降低因洞内管线影响造成的信号干扰；

(3) 洞内施工，特别是风钻施工、爆破等对探测影响极大，探测应避免在风钻施工、爆破的同时进行；

(4) 掌子面施工台架对探测有一定的影响，探测过程中应尽量将施工台架移至探测场地之后。

此外，为服务于施工掌子面围岩岩体分级，还应进行围岩岩体和岩石波速测试。若采用的探测方法是地震波法、电磁波法，应根据地震波、电磁波速度与声波速度的关系进行换算。

4.5 探测成果分析

(1) 界面距探测掌子面距离的确定

应该说，目前用于隧道地质超前预报的物探方法，均有各自专门的数据分析处理软件，甚至是固化软件，只要将探测介质声学参数输入，即可得到掌子面前方界面在掌子面前方的位置。但是，必须指出的是，除了声波 CT 层析成像、电磁波反射层析成像、跨孔声波透视探测外，波反射法（TSP—203、-204 采用指向性拾振换能器除外）利用声波、超声波、地震波及电磁波在地层中传播、反射，通过信号采集系统接收反射信号，通过反射信号走时计算隧道掌子面前方反射界面距隧道掌子面的距离来进行隧道施工期地质超前预报，信号采集系统采集的反射信号波在发射换能器、界面及接收换能器之间沿最短距离传播，该距离并不一定是隧道掌子面前方界面距探测面所在位置的水平距离，应根据界面产状进行预报距离修正。

(2) 界面性质的确定

根据波的反射系数与反射波相位和与接收首波相位的关系，岩溶充填物、断层破碎带、软夹层等质量密度较岩层、完整岩层、硬岩低，由岩溶充填物、断层破碎带、软夹层探测其前方结束界面，反射波相位与接收首波相位相反；反之，由岩层、完整岩层、硬岩探测前方岩溶充填物、断层破碎带、软夹层界面，反射波相位与接收首波相位相同。

至于探测掌子面前方界面的具体性质，尚应结合具体隧道勘察设计资料、补充地质调查结果、洞内地质调查结果进行综合分析确定。

4.6 预报报告的内容及报告的提交

4.6.1 预报报告的内容

预报报告包括预报简报和预报总报告。

预报简报应包括工程概况、地质预报采用的方法原理、探测掌子面地质调查结果、掌子面地质素描图、探测区和探测点布置图、结合隧道勘察设计资料、补充地质调查结果、洞内地质调查结果进行的探测分析结果（包括文字、探测典型波形图、波谱图和成果图等）、预报结论及下步施工措施建议（围岩加固、初期支护、超前支护、永久支护措施等，必要时给出掌子面前方岩体分级建议）等内容。

预报总报告应包括工程概况、地质预报采用的方法原理、隧道地质展示图（包括掌子面素描图）、隧道地质纵剖面图、典型预报（包括预报掌子面地质描述，探测区、点布置图，探测典型波形图，波谱图和成果图，预报结论及下步施工措施建议，验证结果）、预报与施工验证对比表、结论（包括预报准确率统计结果）等内容。

4.6.2 报告的提交

隧道地质超前预报具有很强的时效特性，预报简报应在实施洞内施工掌子面探测后次日提交给施工、设计等有关各方，以便于针对预报提出的问题制定相应的对策和措施，确保施工的安全和顺利；

总报告应在隧道贯通后、合同约定时间内提交。

4.7 验证

施工开挖验证是隧道地质超前预报的重要的一环，是改进探测布置、提高预报准确率的需要，也是完成预报工作的要求。

具体而言，应随开挖进行不良地质体带位置、性质、规模和地质灾害出现的位置、规模等的记录，并与预报结论进行对比（列表对比），从中分析成功和失败的原因，以利下一步工作的开展。

5 结 论

(1) 资料收集、勘察成果整理分析，熟悉设计文件、资料与图纸和隧道施工地质预报阶段补充地质调查是确定隧道施工地质预报重点段的需要，也是减小施工地质超前预报的盲目性、提高预报的针对性、确保有限经费的有效使用的需要。

(2) 隧道施工地质预报补充地质调查、洞内地质调查和施工掌子面地质素描等工作，除直接为施工地质预报提供依据外，还是积累经验提高隧道施

工地质超前预报准确率和水平的需要,是对可行性研究、勘察阶段地质工作的补充和完善,是建立隧道工程完整地质资料的需要,是隧道运营过程中隧道地质灾害治理设计、施工的重要依据。

(3) 选择合理的地球物理探测方法,开展以地质法为基础的、以地球物理方法为主要手段的隧道施工地质超前预报是大势所趋,也是提高预报准确率的需要。

(4) 预报简报的及时提交,是达到预报时效性的需要;总报告的提交,是总结和需要的需要。

(5) 验证是隧道地质超前预报的重要的一环,是改进探测布置、提高预报准确率的需要,也是完

成预报工作的要求。

参 考 文 献

- [1] 何发亮. 隧道施工期地质超前预报技术的发展[J]. 现代隧道技术, 2001, 38(3): 12—15.
- [2] 何发亮、陈成宗. 铁路隧道施工地质超前预测预报技术[J]. 铁道工程学报(增刊)—中国铁路工程地质世纪成就论文集, 2006 年.
- [3] 陈成宗, 何发亮. 隧道工程地质与声波探测技术[M]. 西南交通大学出版社, 2005.