



二郎山隧道

高地应力与围岩稳定问题

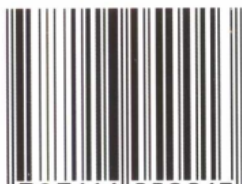
王兰生 李天斌 李永林 姜 云 徐林生 靳晓光 徐 进 著

地 质 出 版 社

二郎山隧道 高地应力与围岩稳定问题

High Geostress Field and Unstability Problem of
Surrounding Rock for Erlangshan Highway Tunnel

ISBN 7-116-05001-9

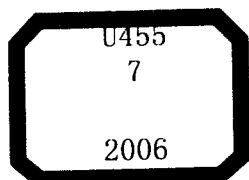


9 787116 050013 >

ISBN 7-116-05001-9
T·144 定价: 30.00 元

2006

本项研究部分得到四川省青年科技基金项目（03ZQ026-045）资助



二郎山隧道 高地应力与围岩稳定问题

王兰生 李天斌 李永林 姜 云 著
徐林生 靳晓光 徐 进

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书介绍了川藏公路二郎山越岭长隧道建设过程,开展高地应力与围岩稳定问题研究的研究思路与技术方法。该项研究以地质分析为基础,配合现场测试和岩石力学实验,建立了一套高地应力条件下围岩变形破裂预测预报评价分析管理系统(TMFS),对二郎山隧道信息化施工提出了指导性措施和优化设计建议,对类似的工程建设和理论研究具有指导和借鉴意义。

本书可供从事隧道与地下工程科研、设计和施工的工作人员及大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

二郎山隧道高地应力与围岩稳定问题 / 王兰生等著.
北京:地质出版社, 2006. 12
ISBN 7-116-05001-9

I. 二... II. 王... III. ①隧道工程—应力—研究
②隧道工程—围岩稳定性—研究 IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 112369 号

ERLANGSHAN SUIDAO GAODIYINGLI YU WEIYANWENDING WENTI

责任编辑:孙亚芸
责任校对:黄苏晔
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083
电 话:(010)82324508 (邮购部); (010)82324569 (编辑室)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zhs@gph.com.cn
传 真:(010)82310759
印 刷:北京长宁印刷有限公司
开 本:787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$
印 张:10
字 数:240 千字
印 数:1—800 册
版 次:2006 年 12 月北京第一版·第一次印刷
定 价:30.00 元

ISBN 7-116-05001-9/T · 144

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

序

二郎山公路隧道是“九五”期间的国家重点建设工程，是川藏公路西进青藏高原的咽喉。它的胜利建成对推动康藏地区西部大开发，加强其与内地的经济交往，促进民族团结和巩固边防都具有十分重要的意义。由于所在山区地质环境复杂，对深埋隧道高地应力场的探究、施工中岩爆的形成与防治、围岩变形与稳定性的监测及其信息化控制等诸多技术难点是完善和解决隧道设计施工中面临的关键问题。

由成都理工大学王兰生先生为负责人的项目组全体教授与二郎山隧道监理部众多技术专家通力合作，承担了有关川藏公路二郎山隧道高地应力的测试、监测及其围岩稳定性分析与工程整治的专题研究项目。老师们深入现场，长年累月奋战在施工第一线，感谢他们的辛勤努力，积累了极为丰富的第一手资料，在工程竣工之日项目研究成果通过了技术鉴定，在此基础上，完成了“深埋长隧道高地应力与围岩稳定问题”技术报告。我有机会对这份报告浏览一遍，深感该报告是将学科理论密切联系到工程实际的上乘佳作。报告中采用了工程跟踪调研、现场测试与监测，以及室内微观分析与数值模拟等多种途径的方法，对二郎山隧道的围岩类别、围岩变形破坏与失稳以及高地应力、岩爆等特殊工程问题，特别是结合施工进行的隧道岩爆预报与防治以及洞室围岩二次应力场的快速测试技术等方面进行了深入系统的研究。诸如：研究提出了改进型（W型）的门塞式应力恢复测试法，该方法在应力解除测试的基础上利用点荷载仪即能在现场迅速测得围岩的二次应力，为岩爆预测和围岩稳定性分析提供了一种新的测试技术；提出了基于岩体内氦气浓度大小的测氦技术探明岩体的嵌合及其紧密程度，据以判断岩体地应力水平的相对高低；研制了一种简易的量测围岩不同深度变形的围岩变形监测系统（TMS），该系统可以在掌子面附近快速安装，及时监测围岩变形而不干扰隧道施工；通过对岩爆的现场调研和岩爆岩石在卸荷状态下变形破裂的三轴全过程试验、电镜扫描与X射线粉晶衍射成分分析，在岩爆形成的力学机制、显现模式及岩爆烈度分级等方面提出了新的观点和见解，建立了岩爆烈度的RMS分级方案，进而研制了配合现场测试的岩爆超前预报系统，成功地对隧道围岩岩爆作出了预测和险情预报；同时，制定了一套针对不同岩爆烈度的系统防治措施，取得了良好的使用效果等等，不一而足。上述这些成果充分反映和体现了该书的创意和特色，这是非常难能可贵的。

相信该书的付梓问世，当使广大读者从阅读和学习中汲取营养、备受教益，这是可以预期的，实在可喜可贺。为此，我乐于写述了上面的一点文字，并喜见其成。

是为序。

孙钧^①

2003年初夏于同济园

① 孙钧：同济大学隧道与地下工程研究所教授，中国科学院院士，中国岩石力学与工程学会名誉理事长。

前 言

川藏公路二郎山隧道是“九五”期间的国家重点建设工程，它是川藏公路西进青藏高原的咽喉。该隧道修建对推动康藏地区的西部大开发，加强与内地的经济交往，促进民族团结和巩固国防都具有十分重要的意义。

二郎山隧道穿越二郎山北支——干海子山，分水岭海拔 2948m，隧道所处海拔 2200m，隧道主洞长 4176m，最大埋深 748m。该隧道为当时国内在建的长度最长、埋藏最深、地质条件较为复杂的山岭公路隧道。隧道穿越浅海相碳酸盐岩—碎屑岩建造的志留系、泥盆系单斜地层，含有多条断层，并且处于深埋高地应力条件下，其中高地应力与岩爆问题是该隧道最主要的工程地质问题之一。由于自然条件和地质条件复杂，曾有专家预言二郎山地区是“隧道禁区”。1995 年经过与勘察设计单位的共同努力，二郎山隧道建设选择 B 线方案通过。在随后进行的详细勘察和施工图设计中，设计人员对与高地应力有关的岩爆和大变形问题给予了高度重视，初步预测了隧道的岩爆和大变形地段，并设计了相应的处理措施。由于问题复杂，设计文件仍然指出施工过程中需要强化动态设计。交通部在工程设计文件的审批中，强调必须开展高地应力测试、监测及围岩稳定性分析与工程措施的专项研究，为工程的动态设计和信息化施工提供科学依据，以保证隧道安全、顺利贯通。为此，专门设立了“川藏公路二郎山隧道高地应力测试、监测及围岩稳定性分析与工程措施研究”课题，并委托成都理工大学牵头，组织科研、监理和施工单位开展联合攻关。

1997 年 10 月，四川省交通厅原高速公路管理局与成都理工大学（原成都理工学院）共同拟定了“川藏公路二郎山隧道高地应力测试、监测及围岩稳定性分析与工程措施研究”的专项研究课题。项目启动于 1997 年 12 月，课题组的全体研究人员深入施工现场、长年累月奋战在施工第一线，历时 4 年多，于 2002 年 12 月完成了最终研究报告。

本项研究的目的是：“通过对隧道围岩地应力的测试，对围岩稳定性作出量化评价，并对施工过程中将会遇到的岩爆、大变形、坍塌等地段拟采取的工程措施进行优化和调整。在隧道围岩地应力高度集中地带的围岩中埋设地应力监测装置，量测地应力随时间的变化和对初砌结构的影响，建立一套地应力监测和分析系统，并输入隧道多媒体数据库管理系统进行管理”。

本项研究是一项工程科研项目，课题启动之时，正值二郎山隧道施工进入关键时刻，分别在东、西两侧出现了较为严重的岩爆现象，因而科研一开始课题组即直接面对生产实践，必须及时解决隧道施工中出现的問題，超前预测、预报可能出现的岩爆和大变形，并

能对施工和设计及时提出指导性防护措施及优化设计和施工方法的建议。有鉴于此,课题组制定了下述研究原则:

(1) 采取现场施工跟踪研究方法,紧密结合工程实践,对隧道施工中围岩的变形破裂现象跟踪观察。在隧道贯通以前,始终有研究人员坚守在现场,掌握施工过程中出现的问题,及时做出分析判断,向生产施工部门报告。

(2) 采用一些新的现场测试手段和方法,迅速准确获得围岩应力应变和变形破坏的新信息。研究中还创新地提出了一些新的测试方法,如岩体结构测氦勘测、围岩变形跟踪监测预报系统(TMS)、围岩二次应力改进型(W型)门塞式应力恢复测试法等,取得了明显的实效。

(3) 对已开挖段围岩的变形破裂现象及时迅速作出地质分析。通过对已开挖洞段围岩变形破裂发育分布规律的认识以及监测、测试提供的信息,预测前进方向可能出现的围岩稳定性问题,从而指导施工单位事先采取有效的工程防治措施,防患于未然。

(4) 与隧道设计、施工、监理和主管部门紧密配合,及时互通情况,掌握工程进程中不断出现的新问题,根据实际情况调整工程进程的工作内容。

现场调研和监测工作在隧道贯通后延续至2000年12月,期间于1999年6月提交了中间报告,并经业主单位组织了评审。2001年8月完成结题报告初稿。

本项研究在隧道围岩变形破坏的预测预报方面,获得了以下新的认识和贡献。

(1) 采用现场跟踪调研、现场测试与监测、岩体力学试验、微观分析、数值模拟等多种途径和方法,对二郎山隧道的围岩类别、高地应力、岩爆、大变形等围岩稳定问题进行综合集成研究,为该工程的动态设计和信息化施工提供科学依据。结合该工程实践,建立了深埋长大隧道高地应力与围岩稳定性研究的技术方法体系。

(2) 通过现场和室内试验以及数值模拟,提出了改进型(W型)门塞式应力恢复测试法。该方法在现场应力解除测试的基础上,利用点荷载仪,能在现场迅速测得围岩的二次应力,为岩爆预测和围岩稳定性分析提供了新的测试技术。

(3) 提出基于岩体内氦气浓度大小的测氦技术探明岩体的嵌合和紧密程度,并判断岩体地应力的相对高低。

(4) 研制了量测围岩不同深度变形的围岩变形监测系统(TMS),该系统可以在掌子面附近快速安装,及时监测围岩变形,不干扰隧道施工。

(5) 用卸荷状态下的岩石三轴变形破裂全过程试验,模拟再现岩爆形成的力学机制,建立了岩爆力学机制模型。

(6) 综合岩爆的各种表征,并与岩石变形破坏发展阶段进行对照,确定出岩爆分级的量化判据(σ_{bmax}/R_b),提出了岩爆烈度分级的RMS方案。

(7) 建立了以现场跟踪地质调研和现场快速二次应力测试为主要依据的围岩岩爆和变形破坏的超前预报系统,实现了在隧道施工过程中,对岩爆发生的部位和级别做出快速预报。

本项研究由成都理工大学的王兰生（组长）、李天斌和川藏公路二郎山隧道工程监理部的李永林、姜云负责；参加研究的人员有成都理工大学的徐进（现在四川大学）、徐林生（现在重庆交通大学）、靳晓光（现在重庆大学）、沈军辉、王小群、王卫、赵其华、董孝壁、张志龙，川藏公路二郎山隧道工程监理部的牟力、戴枪林、黄涛、刘武、邓雄、刘四昌、张广洋。现场调研由王兰生、李天斌、李永林、姜云组织负责，现场测试和室内试验和计算由徐进、靳晓光、徐林生等负责。

本书系统总结了本研究的主要成果，它是项目组全体成员在二郎山隧道施工过程中多年辛勤调研、通力合作、相互学习交流的共同成果。全书由王兰生、李天斌编写提纲并负责统稿和修改。各章节分工情况是：总论由王兰生、徐林生、李天斌执笔；第二部分由王兰生、徐林生、徐进执笔；第三部分由王兰生、徐林生执笔；第四部分由靳晓光、王兰生执笔；第五部分由李天斌、李永林、姜云执笔。最后由王兰生、李天斌统稿和修定。本项研究成果获国土资源部 2003 年科学技术成果二等奖。由于该项科技成果的成功应用，二郎山隧道工程获 2004 年詹天佑土木工程大奖。

我国著名地下工程专家孙钧院士在审阅项目成果报告后，欣然为本书作序，这对课题组全体成员是很大的鼓励，并将激励大家进一步进取；研究过程中还得到王告函、徐宝贤两位教授的关心和指导。在此一并向他们致以诚挚的敬意！

作者
2006 年 5 月

目 录

序

前言

一、总论	(1)
1 绪论	(1)
1.1 二郎山公路隧道工程概况	(1)
1.2 本项目研究目的及需要解决的主要问题	(2)
1.3 国内外研究现状	(3)
1.4 研究思路与技术路线	(9)
2 隧道区工程地质环境条件	(12)
2.1 区域地质背景与区域稳定性	(12)
2.2 地形地貌	(15)
2.3 地层岩性	(16)
2.4 地质构造及其应力场演化特征	(16)
2.5 水文地质	(20)
3 施工地质围岩分类	(22)
3.1 隧道围岩分类研究现状	(22)
3.2 隧道围岩分类系统研究	(23)
二、山区深埋隧道地应力场的研究	(29)
4 初始地应力场的测试与研究	(29)
4.1 初始地应力水力压裂法测试成果及分析	(29)
4.2 初始地应力场的应力解除法现场测试及分析	(31)
4.3 初始地应力场的声发射 (Kaiser 效应) 测试及分析	(38)
4.4 初始地应力状况的 α 杯测试及分析	(43)
4.5 地应力场形成演化的数值模拟研究	(44)
4.6 应力场分布特征及形成条件	(49)
5 围岩二次应力场的测试与研究	(53)
5.1 围岩二次应力场的现场测试	(53)

5.2	围岩二次应力场的基本特征	(58)
5.3	围岩二次应力与主要影响因素的相关性	(64)
三、	围岩岩爆形成机制及防治对策	(66)
6	岩爆的烈度分级和形成机制	(66)
6.1	岩爆的定义和烈度分级问题	(66)
6.2	二郎山隧道岩爆实录与现场调研	(69)
6.3	岩爆形成机制的岩石力学试验研究	(72)
6.4	岩爆岩石的微观研究	(79)
6.5	岩爆形成机制模式	(82)
6.6	岩爆分类研究	(85)
7	隧道围岩岩爆预测预报与防治对策研究	(89)
7.1	二郎山隧道岩爆发育分布的基本规律	(89)
7.2	岩爆预测预报研究	(92)
7.3	岩爆防治措施研究与实施	(95)
四、	围岩变形及围岩稳定性	(100)
8	围岩变形监测	(100)
8.1	围岩监控量测	(100)
8.2	TMS 测试	(104)
8.3	围岩变形特征分析	(105)
9	围岩稳定性评价预测	(116)
9.1	围岩块体稳定性分析	(116)
9.2	围岩变形与围岩稳定性评价	(122)
9.3	位移监测信息与二次支护时间的确定	(126)
五、	围岩稳定性信息化控制	(128)
10	围岩稳定性信息化施工控制的综合集成系统 (TMFS)	(128)
10.1	概述	(128)
10.2	TMFS 综合集成系统的组成	(129)
10.3	TMFS 综合集成系统的实施	(130)
10.4	TMFS 综合集成系统的应用效果	(132)
11	TMFS 综合集成系统应用实录	(134)
11.1	实录 1——1997 年 12 月简报要点	(134)
11.2	实录 2——1998 年 1 月简报要点	(134)

11.3	实录3——1998年3月简报要点	(134)
11.4	实录4——1998年4月简报要点	(135)
11.5	实录5——1998年5月简报要点	(135)
11.6	实录6——1998年7月简报要点	(135)
11.7	实录7——1998年9月简报要点	(135)
11.8	实录8——1999年1月简报要点	(136)
主要成果与结论		(137)
主要参考文献		(141)

Contents

Preface

Foreword

Part 1 Introduction	(1)
1 Preview	(1)
1.1 General Information on Erlangshan Highway Tunnel	(1)
1.2 Research Purpose and Main Problems	(2)
1.3 Research Status of the Issue in the World	(3)
1.4 Approach and Scheme	(9)
2 Engineering Geology and Environment of the Area	(12)
2.1 Regional Geology	(12)
2.2 Topography and Land Form	(15)
2.3 Strata and Lithology	(16)
2.4 Tectonics and Stress Field	(16)
2.5 Hydrogeology	(20)
3 Surrounding Rock Classification in Construction Geology	(22)
3.1 Review of Tunnel Surrounding Rock Classification	(22)
3.2 Classification System of Tunnel Surrounding Rock in the research area	(23)

Part 2 Geostress Field of Deep-lying Tunnel in Mountain

Area	(29)
4 Original Geostress Field	(29)
4.1 Testing of Original Geostresses by Hydraulic Fracturing Method	(29)
4.2 In-situ Testing of Original Geostress by Stress-releasing Method	(31)
4.3 Testing of Original Geostress by Kaiser Effect Method	(38)
4.4 Testing of Original Geostress Status and Analysis by Radon (α -Ray)	(43)
4.5 Numerical Simulation of Evolution of Geostress Field	(44)
4.6 Distribution and Formation of Original Geostress Field	(49)

5	Secondary Geostress Field	(53)
5.1	In – situ Testing of Secondary Geostress Field of Surrounding Rocks	(53)
5.2	Characteristics of Secondary Geostress Field of Surrounding Rocks	(58)
5.3	Secondary Geostress of Surrounding Rocks and Major Influence Factors	(64)
Part 3	Mechanism and Control of Rock Burst	(66)
6	Intensity Classify and Mechanism of Rock Burst	(66)
6.1	Rockburst Definition and Intensity Classification	(66)
6.2	Investigation of Rock Burst in Erlangshan Tunnel	(69)
6.3	Rock Mechanics Experiments on Rock Burst Mechanism	(72)
6.4	Microcosmic Study on Rock Burst	(79)
6.5	Mechanics Model of Rock Burst Formation	(82)
6.6	Rock Burst Classification	(85)
7	Forecast and Control of Rock Burst	(89)
7.1	Development and Distribution of Rock Burst in Erlangshan Tunnel	(89)
7.2	Forecast and Prediction of Rock Burst	(92)
7.3	Rock Burst Control	(95)
Part 4	Deformation and Stability of Surrounding Rocks	(100)
8	Monitoring Deformation in Surrounding Rocks	(100)
8.1	Monitoring and Measuring of Deformation of Surrounding Rocks	(100)
8.2	Testing of TMS	(104)
8.3	Analysis of Deformation Nature of the Tunnel Surrounding Rocks	(105)
9	Assessment and Forecast of Surrounding Rock Stability	(116)
9.1	Analysis of Surrounding Rock Block Stability	(116)
9.2	Surrounding Rock Deformation and Its Stability	(122)
9.3	Determining Time of Second Support by deformation analysis	(126)
Part 5	Informationization-control of Surrounding Rock Stability	(128)
10	Synthesized Informationization System of Construction Control of Surrounding Rock Stability (TMFS)	(128)
10.1	Review	(128)
10.2	TMFS Component	(129)

10.3	TMFS System Application	(130)
10.4	TMFS Application Effect	(132)
11	Records of Application of TMFS System	(134)
11.1	Record No. 1	(134)
11.2	Record No. 2	(134)
11.3	Record No. 3	(134)
11.4	Record No. 4	(135)
11.5	Record No. 5	(135)
11.6	Record No. 6	(135)
11.7	Record No. 7	(135)
11.8	Record No. 8	(136)

Achievement and Conclusions	(137)
------------------------------------	--------------

References	(141)
-------------------	--------------

— 总 论

1 绪 论

1.1 二郎山公路隧道工程概况

二郎山是川藏公路西进青藏高原的第一座大山卡，地势险峻、气候恶劣，自然灾害非常严重。20 世纪 50 年代传遍全国的一首“二郎山，高万丈”的颂歌，歌唱了当年解放军战天斗地的大无畏精神。他们克服重重困难，在极短的时间里建成了翻越二郎山的川藏公路，成为内地与西藏相联结的生命线。这首歌激励着几代年轻人的奋发精神，乘车登上二郎山分水岭，向西眺望白雪皑皑的贡嘎山，无人不为当年解放军的奋战精神所震撼。50 多年过去了，这条翻越二郎山从东坡龙胆溪至西坡别托村的 34km 路段，坡陡、路窄、弯急，最宽处仅有 7m，最窄处不足 4m，并且有滑坡、崩塌、泥石流等各类地质灾害 34 处，还有难以彻底整治的干海子等大型滑坡多处。行车中常常遭受大风、暴雨、浓雾、积雪、溜冰、寒冻等自然灾害的常年侵袭和危害。自公路建成通车以来，年年都要开展大量的道路整治工程，并采取了单双日单向行车等措施，但因地势险恶，灾害频发，仍然经常发生断道和交通事故。尤其在冬季，能顺利通行的时间极为有限。过往司乘人员形象地称“翻越二郎山，如闯鬼门关；万幸不翻车，也得冻三天”。二郎山已成为千里川藏线上的一个“瓶颈”，严重地制约了康藏地区的对外开放、经济建设和国防建设。为此，“九五”期间国家决定对二郎山段的公路进行整治，经对各种方案比较论证，最终选定了越岭隧道方案。

二郎山越岭公路隧道是目前我国埋深最大和最长的公路隧道之一。该工程东坡起于四川省雅安地区天全县两路乡原川藏公路 K256 + 560 处，两跨龙胆溪沟后于 K259 + 036 处进洞（洞口海拔高程 2187.77m），穿越二郎山分水岭，隧道西进轴线方向为 $255^{\circ}8'41''$ ；西坡于四川省甘孜藏族自治州泸定县冷碛镇别托村和平沟左岸 K263 + 202 处出洞（洞口海拔高程为 2188.82m），至 K265 + 216 处再与原川藏公路相接。整个工程线路全长为 8656m（其中主隧道 4176m、别托隧道 94m、引道 4386m），隧道最大埋深达 760 余 m。工程按山岭重丘三级公路标准建设，设计行车速度 30km/h；主隧道横断面最大高度 7.0m，底宽 9.0m，单洞双车道；平面线型为直线，隧道纵断面为人字坡，采用平导压入式通风。平导横断面最大高度为 5m，底宽 6m。主洞与平导两洞轴线间距为 42.5m。隧道采用钻爆

法施工。

二郎山隧道工程是“九五”期间四川省公路建设惟一的国家级重点工程，总投资四亿多人民币，总工期为 36 个月，隧道主洞于 2000 年 12 月份建成通车。二郎山公路隧道建成后，不仅使原公路里程缩短了 25km，而且更重要的是能够避开冰雪险道常年通车，这将大大提高汽车通过能力，确保全天候行车安全，从而推动康藏地区与内地的经济交流，这对加快藏区的经济发展步伐和促进民族团结、巩固国防等都有非常重要的意义（图 1-1）。

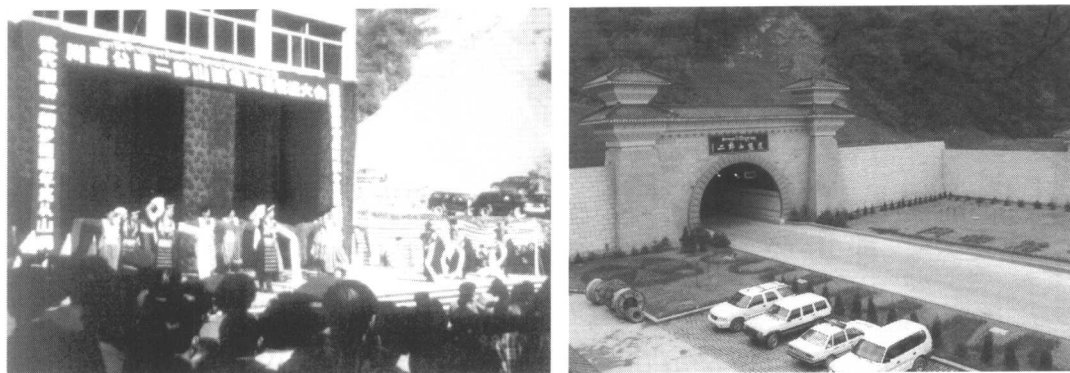


图 1-1 1998 年 12 月二郎山隧道贯通庆功会（左）及隧道东口通车后景观（右）

Fig. 1-1 Celebration of the Erlangshan tunnel accomplishment (left) in Dec., 1998 and sight of the east tunnel portal (right) after opening traffic

1.2 本项目研究目的及需要解决的主要问题

为保证隧道工程的安全施工，力争能按期优质建成隧道，交通部拟定了若干专题研究课题，“川藏公路二郎山隧道高地应力测试、监测及围岩稳定性分析与工程措施”为其中的重要地质课题。

地质勘察查明，二郎山隧道属深埋高地应力围岩隧道。国家地震局地壳应力研究所在勘察阶段采用钻孔水压致裂法测定其最大主压应力方向为 $N60^{\circ}W$ ，最大值可达 53.47MPa，并且在深孔钻进中发现高地应力环境中特有的岩饼现象。隧道穿越的围岩中有坚硬的石英砂岩、灰岩，也有强度偏低的砂质泥岩，并伴有断裂。因而，预测在施工过程中可能会遇到岩爆、大变形，以及坍塌等较严重的围岩变形与稳定问题，危及施工安全，影响工程进度。为保证工程施工安全，应努力从施工过程中获得新的信息，对岩爆、大变形等围岩变形与稳定问题作出及时预报，及时制定有效的防治对策，合理地调整和优化设计。为达到这一目的，设立了本项专题研究。围绕本项研究要达到的目的，拟解决如下主要问题。

(1) 隧道围岩高地应力的形成和地应力场发育分布规律；

(2) 岩爆、大变形发生的可能性、级别和超前预报；

(3) 如何将研究成果及时指导和应用于生产实践，防灾于未然，保证安全生产，优化设计与施工方案。

为制定合理、先进、实用的技术路线，吸取国内外已有的研究成果和经验是非常必要的。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 高地应力问题研究现状

近年来，随着世界经济的发展，交通隧道、水电站地下厂房、井巷坑道等地下工程因各行业的需要而迅速发展，其“长、大、深、群”的特点日趋明显，而由于它们所处的复杂地质环境等往往易于形成高地应力区，并经常引发岩爆、大变形等相关地质灾害。所以，高地应力及其对地下工程围岩稳定性的影响问题已引起世界岩石力学和工程地质学界的广泛重视。但是，由于岩体的复杂性和各种地质环境条件的影响，高地应力问题研究尚欠全面深入，高地应力的含义至今还无统一认识。例如，工程实践中往往将大于 20 ~ 30MPa 的硬质岩体内的初始应力称为高地应力。法国隧道协会、日本应用地质协会和前苏联顿巴斯矿区等则采用岩石单轴抗压强度 (R_b) 和最大主应力 σ_1 的比值 R_b/σ_1 (即岩石强度应力比) 来划分地应力级别 (表 1-1)。这样划分和评价的实质是反应岩体承受压应力的相对能力。我国的陶振宇 (1983) 对高地应力给出了一个定性的规定，即所谓高地应力是指其初始应力状态，特别是它们的水平初始应力分量，大大地超过其上覆岩层的岩体质量。这一定性规定强调了水平地应力的作用。天津大学薛玺成等 (1987) 建议用下式来划分地应力量级：

$$n = I_1/I_1^0 \tag{1-1}$$

式中： I_1 ——实测地应力的主应力之和；
 I_1^0 ——相应测点的自重应力主应力之和；
 n ——比值。

表 1-1 部分国家地应力分级方案
Tab. 1-1 The geostress grade scheme from some countries

地应力级别	高地应力	中等地应力	低地应力
岩石强度应力比 (R_b/σ_1)	<2	2~4	>4

薛玺成等人的地应力分级方案 (表 1-2) 在物理概念上与陶振宇的高地应力定性方案并无本质区别。姚宝魁、张承娟 (1985) 认为，陶振宇、薛玺成等人的分级、评价方法没有考虑到岩体的变形和稳定条件，因而在工程实践中难以应用。他们认为应从工程岩体的变形破坏特性出发，考虑地应力对不同岩体的影响程度，建议以下式作为判断高地应力的标准：

$$\sigma_1 \geq (0.15 \sim 0.20) R_b \tag{1-2}$$

实际上，式 (1-2) 继承了 Barton 等人 (1974) Q 系统分类指标的物理概念。中华人民共和国技术监督局、中华人民共和国建设部 1994 年联合发布的《岩土工程勘察规范》(GB50021—94) 附录二中也采用岩石强度应力比 (R_b/σ_1) 来划分高地应力级别，规定： $R_b/\sigma_1 = 4 \sim 7$ 为高地应力， $R_b/\sigma_1 < 4$ 为极高地应力。显然，这一规定中高地应力