

# 二郎山隧道建设中的经验与教训

郑道访

(四川省交通厅, 成都 610041)

**[摘要]** 二郎山位于四川省雅安地区天全县与甘孜藏族自治州泸定县交界处, 山势险峻, 气候恶劣, 地质复杂, 常年受暴雨、浓雾、积雪、冰冻、大风、严寒等灾害性气候和崩塌、飞石、泥石流等自然灾害的威胁, 同时道路标准低, 路况极差, 堵车严重, 翻车事故时有发生, 严重影响交通与行车安全。

文章论述了川藏线二郎山段病害治理的方案研究与路线方案比较, 阐述了采用修建隧道方案的理由和隧道位置的方案选择; 隧道施工的经过以及在施工过程中出现的问题; 深刻分析了隧道工程与连接线工程, 重点工程与一般工程的辩证关系, 总结了工程建设中的经验与教训。

**[关键词]** 二郎山; 隧道建设; 经验

一曲《歌唱二郎山》响彻大江南北, 长城内外, 使得四川省的二郎山名扬天下; 同时, 也道出了二郎山的险峻, 体现了“蜀道难, 难于上青天”的绝妙佳句。

二郎山区段是川藏公路的咽喉, 是成都进入藏区的第一道关隘。由于该路段所处的特殊复杂的地形、地质、地理环境和恶劣的气候条件, 自川藏公路建成通车 40 余年以来, 一直受着雨、雾、冰雪、崩塌、滑坡、泥石流等病害的困扰, 事故多发, 常有断道, 成为川藏公路最主要的病害路段之一, 严重制约了川藏少数民族地区的经济发展, 影响了部队的机动和后勤保障。

在本段工程治理研究阶段也曾提出过绕避方案和原路改建方案, 根据川藏公路多年整治的实际经验, 在二郎山及周围地区的地质、地形条件下, 不论是绕线还是原路改造, 新的开挖都将造成山体边坡的失稳, 可能引发更大的病害, 因而决定修建二郎山隧道以避开上述各种病害地段。二郎山隧道的建成, 将缩短公路里程 25 km, 确保了川藏公路山区段的交通畅通, 对推动康藏经济发展、促进民族团结、巩固国防等都具有特别重要的意义。藏区人

民闻知即将动工修建二郎山隧道, 无不欢欣鼓舞, 奔走相告, 他们把修建二郎山隧道后将会给他们带来的经济繁荣, 比喻为藏区人民的第二次解放。

## 1 工程概况

### 1.1 自然地理特征与工程地质

二郎山位于川西盆地边缘山区, 区域内山高谷深, 地形陡峻, 气候多变, 环境恶劣, 人文经济活动稀少。本区域由于在水平向和垂直向具有明显的气候分异性, 形成了常年的暴雨、浓雾、积雪、冰滑、寒冻、大风等六大灾害性天气, 在不同高度, 不同地段造成了不良环境工程地质现象。

二郎山隧道地处龙门山构造带、川滇构造带以及鲜水河构造带三大构造带交汇处, 形成“丫”字形构造格局, 本地区分布的主要地层为志留系、泥盆系浅海、滨海相碳酸盐岩—碎屑岩, 两侧缓坡及主要沟谷中尚有第四系松散堆积层分布。隧道位于地震危险区, 对隧址区影响最大的是康定—磨西的 7.5 级地震危险区, 设计中的地震基本烈度定为Ⅷ度。

由于受区域构造的影响, 二郎山隧道轴线穿越

断层有 11 条，以二郎山断裂为最，属逆冲推覆断层性质，断裂破碎带宽达数米至数十米，带内常见糜棱岩带，片理、劈理及石英团块发育。同时，隧址区地处二郎山断裂带高应力梯度边缘，又急速转向大相岭地块腹地应力平移带的过渡地带，形成构造应力场，根据水压致裂法实测的成果，最大水平主应力达 53.47 MPa。这种深埋高地应力，对于硬岩将会形成岩爆，对于软岩则出现大变形。

1.2 工程建设经过

1.2.1 隧址区路线方案选择 为加快二郎山隧道勘察设计工作的进程，四川省交通厅于 1995 年 4 月提前召开了川藏公路二郎山隧道方案审查会。会议认为，“鉴于二郎山隧道工程的重要性及其艰巨、复杂性，建议工程勘察设计单位在以往历次验收、审查会会议纪要的基础上，全面核查外业勘察成果资料，并对其进行综合分析、研究、评价，编制工程地质勘察总报告。据此，对 B、C 方案作出同等深度的初步设计报部审查”。

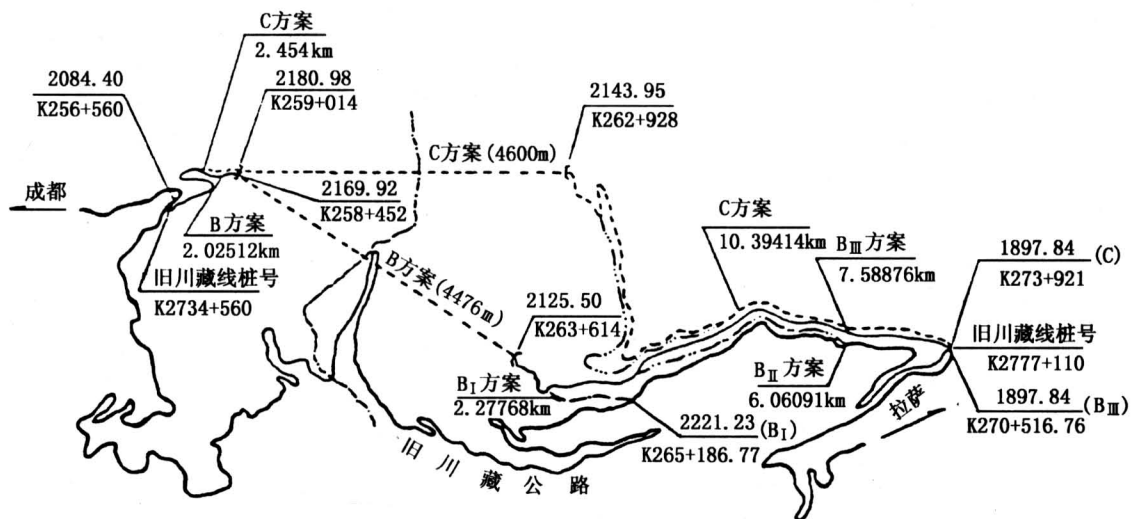


图 1 二郎山隧道 B、C 方案（包括连接线）平面示意图

Fig.1 Schematic plan view of B, C schemes of Erlangshan Tunnel (including linking roads)

初步设计编制完成后，作出了 B、C 方案同等深度的方案比较（见图 1 及表 1），并拟推荐 C 方案。四川省交通厅对初步设计文件组织预审时，着重指出：在二郎山的地形、地质条件下，新建连接线越长，可能产生的病害越多，老川藏公路经过 40 多年的使用和治理已基本稳定，还是以多利用老路为好。设计单位接受了预审会的意见，在初步设计文件推荐采用 B 方案和 B<sub>I</sub> 连接线，施工的实践证明，这一决策是完全正确的。

初步设计确定采用 B 方案之后，又对 B 方案的隧道设计进行了复查。复查认为 B 方案隧道东口地形、地质条件均不如 C 方案者，且洞口标高较低（2 170 m），易受龙胆溪泥石流的威胁，建议采用 C 方案的东口位置（设计标高 2 190 m，调查冰冻线为 2 200 m）；隧道西口段距二郎山断裂带

较近，断层、褶皱、节理裂隙十分发育，在 800 m 范围内发育有三个向斜和三个背斜，且地下水富集，涌水量大且多为高承压水（承压水头高达 100 ~ 200 m，预测本段涌水量将占全隧涌水量的 64%），西口段在和平沟古滑坡下通过，与洞身相距不足 20 m，平行导洞则更近（图 2），滑坡体的变迁将危及洞身的安全，故建议将西洞口向右侧移，避开和平沟滑坡，洞口标高可适当提高（原设计标高 2 143.78 m，提高至 2 181.40 m，调查冰冻线为 2 800 m），以缩短隧道不良地质地段的长度。施工图设计按此进行了优化，隧道设计长度 4 160 m 较原设计隧道长度减短 326 m，特别重要的是减少的隧道长度均在西口严重不良地质段内。

1.2.2 施工概况 经过大量地质勘察和多方案比较，交通部于 1995 年对初步设计进行了审查并给

予了批复，同意开工修建二郎山隧道工程。四川省交通厅于 1995 年和 1996 年先后公开进行了引道和

隧道工程的招投标，引道工程于 1995 年 11 月先期开工，隧道工程于 1996 年 7 月 1 日正式开工修建。

表 1 二郎山隧道 B、C 方案综合比较表

Table 1 Comparison of B, C schemes of Erlangshan Tunnel

项目名称		方案 B			方案 C		
隧道工程	隧道长度/m	4476			4600		
	高地应力	可能岩爆段/m	1143			1214	
		可能大变形段/m	1370			1796	
	主体工程造价/万元	26820			25656		
	隧道工程总造价/万元	42492			41964		
连接线工程	进口长度/km	2.025			2.454		
	出口长度/km	B <sub>I</sub>	B <sub>II</sub>	B <sub>III</sub>	C	C <sub>比</sub>	
		2.278	6.061	7.589	10.394	9.300	
	工程造价/万元	2205	3305	3443	5619	5416	
	总营运里程/km	21.135	21.113	18.566	22.048	20.954	
	利用老路/km	13.82	10.02	5.94	5.94	5.94	

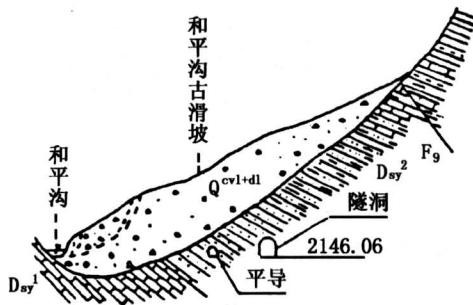


图 2 和平沟滑坡纵剖面图

Fig.2 Profile of Hepinggou landslide

1996 年隧道开工后，施工单位首先面对的是恶劣的自然环境和塌方断道，施工单位的干部和工人齐心协力，人背肩扛，在短时间内就做好了开工前的准备工作。面对二郎山隧道复杂的地质条件，各单位组织力量，积极进行科研攻关，采用新技术、新材料、新设备、新工艺，解决了施工遇到的困难。铁十六局引进了先进的德国 KR80412 管棚台车，应用大管棚施工技术顺利通过了 80 多米的松散堆积层偏压段。

1997 年 7 月 3 日和 8 月 15 日，二郎山地区突降暴雨，隧道东西口均暴发了泥石流，袭击了隧道工地，造成直接经济损失约 2000 万元，停工近三个月。面对困难，全体参建人员齐心协力，发扬当

年 18 军修建川藏公路时艰苦奋斗的精神，积极恢复生产，圆满完成了省政府下达的年度目标任务。

二郎山引道工程于 1998 年基本建成，1999 年初通过交工验收。西口引道由于滑坡灾害，目前正在抓紧加固处理。

二郎山隧道正洞于 1998 年 11 月 25 日提前 36 天准确贯通，平行导洞于 1999 年 3 月 14 日顺利贯通。截止 1999 年 5 月 15 日，隧道正洞衬砌累计完成 2 356 m，隧道已于 1999 年 12 月 7 日试通车。

## 2 施工中出现的問題

### 2.1 泥石流

二郎山隧道东口要横跨龙胆溪，西口要横跨和平沟。勘察资料指出，龙胆溪的上游有固体物质来源，可能有潜在的泥石流发生；和平沟则不论从地形条件，汇流区的固体物质供应以及水动力条件等，均具备发生稀性泥石流的必要条件，而且从调查访问都证实，该沟曾发生过山洪泥石流。

1997 年 7、8 月先后两次突降暴雨，使得龙胆溪与和平沟均发生了较大的泥石流。龙胆溪的泥石流冲毁了工地施工房屋、设施；冲毁了龙胆溪改沟铺砌工程；损坏了已建成的桥墩等。和平沟的泥石流则漫上风机房平台，冲毁了工程构筑物，冲走了施工机械和设备，损坏了施工用建筑材料，破坏了

施工便道等。

为确保今后营运安全，对龙胆溪与和平沟的泥石流进行了工程治理，通过进一步的地质调绘与勘探，拟定了导流堤、拦渣坝、沟床铺砌等工程措施，治理费用设计概算为 3 428 万元；二期工程估算尚需 849 万元。

### 2.2 暗河及岩溶群

隧道西口掘进至 K262 + 930 处，突现一条宽 32 m、深 12 m、横穿隧道的地下暗河，通过地质雷达的探测证实隧道西口段为纵横向分布的岩溶群，其横向分布代表性断面 K262 + 903 (图 3)。经有关单位充分论证分析研究后，最后采用洞中修涵法予以渡过。

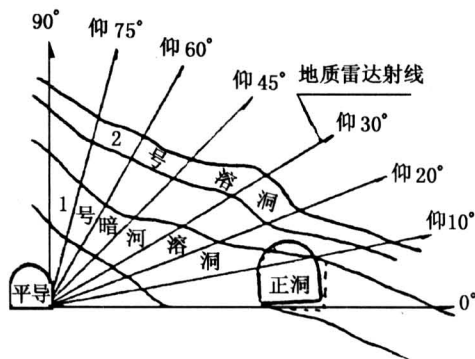


图 3 二郎山隧道西口岩溶分布横断面图

Fig.3 Distribution of Karst caves in the west portal area of Erlangshan Tunnel

### 2.3 西引道接线点的处理及隧道地应力

B 方案西引道有 B<sub>I</sub>、B<sub>II</sub>、B<sub>III</sub> 三个比较方案，

初步设计中原拟推荐 B<sub>III</sub> 方案，其重要原因是新建引道与老川藏公路接线段 400~500 m 范围内，横坡较陡，岩体破碎，老川藏公路本段范围每年都有下沉，新建引道很难保证该路段内的路基稳定与行车安全。初步设计选定了 B<sub>I</sub> 方案后，在设计中并没有充分重视这个工点，最初只是做了一般的路肩挡墙，施工开挖中发现基岩面很深而改为建桥跨过，由于对该处的工程地质情况不明，目前桥梁的拱圈及桥台均有不同程度的裂缝出现，正在研究处理中。

二郎山隧道最大埋深达 900 m，实测最大水平地应力达 53 MPa，对软岩将会出现洞室大变形，设计中针对不同的地应力值，分别采取了不同的治理措施；施工中实际上并未出现如此的大变形，也比较顺利地通过了。对硬岩产生的岩爆，则对施工影响很大；由于高地应力引起的岩爆段长达 900 多米，且岩爆发生频繁，岩爆最高达到三级，由于其发生时间的不确定性，破坏性又较大，给施工人员和设备造成极大的威胁。针对此问题，建设单位以高地应力研究为龙头，组织科技攻关组，对隧道的地应力、围岩变形等进行长期观测，以掌握岩爆发生的规律，并研究处理措施，用以指导隧道施工，从而使隧道顺利地通过了岩爆段。

### 2.4 西引道的滑坡

二郎山隧道西口原设计位于和平沟滑坡之下，优化设计后避开了该处滑坡。施工中又发现了榛子林滑坡、别托滑坡等病害工点 (图 4)，西引道路线优化后使得路线均走在滑坡体的上缘，对工程治理有所改善，目前正在进行勘探和研究治理方案。

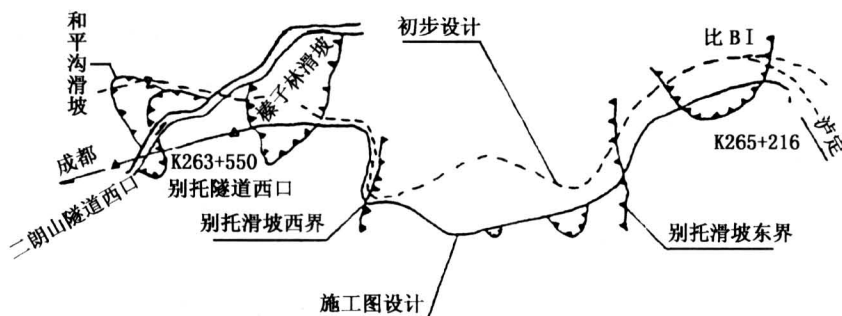


图 4 二郎山隧道西引道病害工点分布图

Fig.4 Distribution of diseases occurring in the west approach of Erlangshan Tunnel

### 3 经验与教训

#### 3.1 全面掌握工程地质的真实情况

二郎山隧道是四川省交通部门唯一的国家重点建设项目, 加以二郎山盛名在外, 隧道属特长隧道(开工时为我国最长的、双向行驶的公路隧道), 而且气候条件恶劣, 工程地质极为复杂, 理所当然地应对隧道进行更深入、广泛的地质勘探调查、测绘工作, 二郎山隧道的地质钻孔 30 个 5 321 m, (最深钻孔达 750 m 以上); 还做了各种方法的综合物探, 在钻孔内进行井中水文地质测流、水压致裂地应力测量等。因此, 隧道施工实践证明前期地勘工作基本上符合工程实际的(初步设计沿 B、C 方案两个隧道轴线各布深孔 5~2 030 m 和 6~2 135 m, 似乎并不可取, 应以控制区域地质构造、弄清隧址区的主要工程地质问题进行布孔, 否则必有一条隧道的钻孔要报废, 而且隧道方案稍有变化钻孔均不在隧道轴线上)。问题是对隧道两端引道重视不够, 措施不力, 二郎山隧道长 4 176 m, 两端引道长 4 420 m; 由于二郎山地区特殊的地形、地质条件, 加以植被茂盛, 气候恶劣, 欲完全弄清引道的工程地质情况确有困难, 勘探费用又少, 以致造成施工中所出现的恶果。

#### 3.2 重点工程与一般工程

二郎山区段道路工程的整治, 二郎山隧道无疑是重点工程, 无论是勘探、设计, 或是工程招标、施工管理, 均摆到了整治工程的首位。由于各方的重视, 又选择了精兵强将, 严格管理, 解决问题及时, 工程进展基本顺利, 按预定目标进行施工。而一般工程则有与此相反之感, 使得病害工程不断出现, 不但延误了工期, 且使工点治理费用大大增加, 个别严重者甚至可能有成为影响通车的“重点工程”。因此, 在工程建设中, 随着施工的进展及时发现问题, 及时研究解决, 是工程管理中一个十分重要的问题, 在这方面, 我们有着许多成功的经验, 也有着十分深刻的教训。

#### 3.3 对隐患工程的评价

这里所说的“隐患工程”是指根据目前掌握的资料并不能完全确定的、可能出现的一些工程, 比

如前面所说的泥石流、古滑坡复活, 高边坡出现的新滑坡, 高地应力等。这些问题出现的原因是多方面的, 有自然条件的原因, 也有施工的管理和设计者不断深化认识的原因。例如新生的滑坡工点多数都是施工过程中发生的, 设计者认识不足, 措施不力, 对施工方法没有明确要求; 施工者经验不足, 盲目施工; 监理者又不能及时发现问题, 采取预防措施, 因而导致形成病害工点, 其工程费用几乎成倍地增加。二郎山隧道引道工程的设计概算为 2 205 万元, 但目前正在研究治理的一些病害工点和工程造成的损失就超过 1 亿元, 这是一个亟应引以为戒的问题。设计者要树立把问题解决在发生之前、以预防为主的新观念(当然这和工程经验有关), 施工者与监理者要具备及时发现问题、提出解决问题方法的能力。此外, 还要防止另一种倾向, 就是既提倡以预防为主, 则设计中可以做得“十分牢靠”, 这样势必要增大投资, 如同已经发生的病害工点那样, 在病害发生之前未予充分重视, 病害发生之后几乎所有治理措施都可用上, 致使工程投资一再增加。尤其是现在提出了对工程质量的终身责任制, 更加剧了这种做法。笔者认为还是要按中央的指示办, 真正做到科教兴国, 敢于创新, 这才是我们工程建设发展的方向。科技工作者要深入实际, 切实掌握住问题的关键, 治理措施要有根有据, 在技术措施可靠的基础上, 还是要精打细算, 为国家节省每一个铜板。

### 4 结语

川藏公路二郎山区段治理工程采用隧道绕避方案是十分正确的, 对于二郎山隧道这样一个工程地质十分复杂、高海拔、高地应力、高承压水的隧道勘测, 设计与施工, 取得了十分宝贵的经验; 同时, 从全区段的治理来看, 也有着十分深刻的教训, 这些都是我们公路工程建设中十分宝贵的财富。事后反思, 如果最初能把引道工程认识清楚的话, 则隧址方案的比较也可能有更佳的方案了, 这也启示着我们, 工程建设中的方案研究是至关重要的, 而方案研究的基础一定要全面、深入、细致地反映出各个方案的真实情况。

## Experiences and Lessons From the Construction of Erlang Shan Tunnel

Zheng Daofang

(Communications Department of Sichuan Provincial Government, China)

[Abstract] Erlangshan Mountain lies at the contiguous area of Tianquan county, Ya'an Prefecture, Sichuan Province and Luding County, Ganzi Zang Autonomous State. The Erlangshan mountainous area with complicated geology and dangerously steep mountains is characterized by harsh weather such as storm, heavy fog, snow, ice, strong wind and various frequently occurring natural disasters, such as landslide, rock falling and debris flow, and therefore the highway in this area is low in standard and poor in condition, resulting in serious traffic jam and frequent accidents, which threaten the safety of traffic. This paper describes the scheme study of disease countermeasures on the Erlangshan section of Sichuan - Tibet Highway and the project comparison of line alternatives, and presents the reasons of building a tunnel in the area, the tunnel alignment and the problems occurred in the construction. The dialectical relationships between a tunnel and its linking works, between a key project and an ordinary project are profoundly analyzed and the related experiences and lessons are also summarized, which will enlighten both the organizers and the designers on the construction of a project.

[Key words] Erlangshan; tunnel construction; experiences

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

### 矿浆电解技术处理多金属复杂金矿石取得成功

云南省元阳难处理多金属复杂金矿资源综合利用研究工业试验为国家和云南省重点科研项目。受云南省计委的委托，北京矿冶研究总院自 1996 年 6 月起开展了元阳复杂金矿石的试验研究。工业试验工程于 1998 年 5 月动工建设，1999 年 9 月至 11 月进行设备验收、无负荷试车和投料开车前的准备，工业试验于 1999 年 11 月 25 日投料开车。金精矿的化学成分为： $w(\text{Pb}) = 8\% \sim 13\%$ ， $w(\text{Cu}) = 11\% \sim 13\%$ ， $w(\text{Au}) = 30 \sim 40 \text{ g/t}$ ， $w(\text{Ag}) = 300 \sim 400 \text{ g/t}$ ， $w(\text{Fe}) = 25\% \sim 30\%$ ； $w(\text{S}) \sim 30\%$ 。矿浆电解工业试验工艺条件为矿浆液固比 6~8:1，电解温度 30~35℃，槽电压 2.4~3.3 V，电流密度 150 A/m<sup>2</sup>。试验结果：铅浸出率 >95%，电耗 428kW·h/t 矿，盐酸耗量 35kg/t 矿，Pb、Cu 总回收率分别达到 95%、90%，而 Au、Ag 则均大于 99%，产出的铅精矿中  $w(\text{Pb}) = 67\% \sim 78\%$ ， $w(\text{Cu}) = 6\% \sim 9\%$ ， $w(\text{Ag}) = 1500 \text{ g/t}$ ， $w(\text{Au}) < 0.5 \text{ g/t}$ 。铜精矿的  $w(\text{Cu}) = 11\% \sim 12\%$ ， $w(\text{Pb}) < 1\%$ ， $w(\text{Au}) = 33 \text{ g/t} \sim 43 \text{ g/t}$ 。各项技术经济指标达到或超过合同要求。工艺设备运转正常，操作简便，稳定性好，流程进出料、酸、水基本平衡，各岗位人员能独立操作，工业试验达到了预期的目标，目前已转入工业生产。

1999 年 12 月 26 日，云南省计委组织专家组到现场考察了工业试验厂的运行情况，详细调查了工业试验结果，并听取了有关方面的情况汇报。专家们一致同意通过“云南省元阳难处理复杂金矿资源综合利用工业试验”的预验收。矿浆电解法处理元阳复杂金矿石新工艺属国内外首创，其流程短，技术先进，运行成本低，资源得以充分利用，企业获得了明显的经济效益。该新工艺的研究成功，为云南省乃至全国同类矿物处理提供了一个很好的工艺流程。

(江海)