



高速公路隧道建成早期衬砌裂损 预防与处治技术指南

重庆市交通委员会工程质量安全监督局 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

Gaosu Gonglu Suidao Jiancheng Zaoqi Chenqi

高速公路隧道建成早期衬砌

Liesun Yufang yu Chuzhi Jishu Zhinan

裂损预防与处治技术指南

重庆市交通委员会工程质量安全监督局 主编



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书总结了近年来编者在隧道衬砌裂损方面的研究成果和工程实践经验,主要介绍了隧道衬砌裂损预防及处治的意义及目的,隧道衬砌裂损设计和施工等方面的预防措施,裂缝处治的原则、评估方法和针对不同裂缝形态的处治技术等。

本书可供隧道工程设计、施工、建设管理和养护部门及相关技术人员使用,也可供相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路隧道建成早期衬砌裂损预防与处治技术指南/

重庆市交通委员会工程质量安全监督局主编. — 北京:

人民交通出版社股份有限公司, 2016. 10

ISBN 978-7-114-13299-5

I. ①高… II. ①重… III. ①高速公路—公路隧道—
隧道衬砌—裂损—预防—指南 ②高速公路—公路隧道—隧
道衬砌—裂损—修复—指南 IV. ①U455.91-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 208134 号

书 名: 高速公路隧道建成早期衬砌裂损预防与处治技术指南

著 作 者: 重庆市交通委员会工程质量安全监督局

责任编辑: 尤 伟

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 3.75

字 数: 75 千

版 次: 2016 年 11 月 第 1 版

印 次: 2016 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13299-5

定 价: 30.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

随着我国经济的快速发展,对交通的需求越来越大,铁路、公路、市政基础设施持续建设,隧道工程得到了快速发展。截至2015年底,我国公路隧道已建成14006处,合计长度达到12684km,并且每年以20%的速度增长。

由于设计、施工、管理和地质等多方面原因,导致隧道病害普遍存在。隧道中往往不止出现一种病害,而是多种病害同时发生。在隧道病害中,开裂和渗漏水是主要病害,其次为衬砌变形侵限和掉块,而仰拱翻浆冒泥、二次衬砌厚度不够及强度不足也占相当大的比例。大量隧道病害案例表明,几乎所有的病害形式都与隧道衬砌开裂有关。目前对混凝土裂缝的开展和工程结构裂缝的控制研究比较多,但由于隧道属于半隐蔽工程,影响因素较多,受力状态和模式难以准确把控,研究难度较大,导致这方面的研究成果偏少。

《高速公路隧道建成早期衬砌裂损预防与处治技术指南》(以下简称《指南》)的编制,是重庆市交通委员会工程质量安全监督局为了提高重庆市高速公路隧道施工质量、减少高速公路隧道建成早期出现大量衬砌裂损现象,同时科学经济地对其进行评估及处治,而下达的科学研究任务。《指南》为广大的隧道工程设计、施工、建设管理和养护部门及人员培训、教育起到了积极作用,提出了一套系统的衬砌裂损预防、评估及处治设计方法,包括主要衬砌裂损预防措施、其他衬砌裂损预防措施、裂缝处治的原则、评估和不同裂缝的处治方案等内容。

在《指南》的编著过程中,自始至终得到了重庆市交通委员会工程质量安全监督局和重庆高速公路集团有限公司领导的指导、支持和帮助,课题组对此表示衷心的感谢!

编者

2016.7

目 录

1 绪论	1
1.1 目的及意义	1
1.2 基本定位	3
2 主要衬砌裂损预防措施	4
2.1 衬砌背后空洞预防措施	4
2.2 隧道衬砌厚度不足预防措施	8
2.3 仰拱施工质量控制	9
2.4 地下水预防	11
2.5 衬砌不均匀沉降预防	18
2.6 抗裂混凝土衬砌	18
3 其他衬砌裂损预防措施	23
3.1 设计方面	23
3.2 喷射混凝土	23
3.3 钢支撑	25
3.4 锚杆	27
3.5 钢筋网	27
3.6 二次衬砌钢筋	28
3.7 二次衬砌混凝土浇筑	29
3.8 管理体系方面	30
4 裂缝处治	32
4.1 隧道衬砌裂缝的整治原则	32
4.2 衬砌裂缝整治措施方案选择	32
4.3 无渗漏水裂缝处治方案	33
4.4 渗漏水裂缝处治方案	42
参考文献	48

1 绪论

1.1 目的及意义

近年来我国不断扩大交通基础设施建设规模,高速公路和铁路建设迅猛发展,在西部山区为改善线形、降低纵坡,以保障行车的安全性、舒适性和快捷性,公路隧道的数量和路线总里程的比例越来越高。截至 2015 年底,我国公路隧道已建成 14006 处,合计长度达到 12684km,并且每年以 20% 的速度增长。目前,我国已成为世界上隧道工程最多、发展最快的国家,历年公路隧道长度见图 1.1-1。

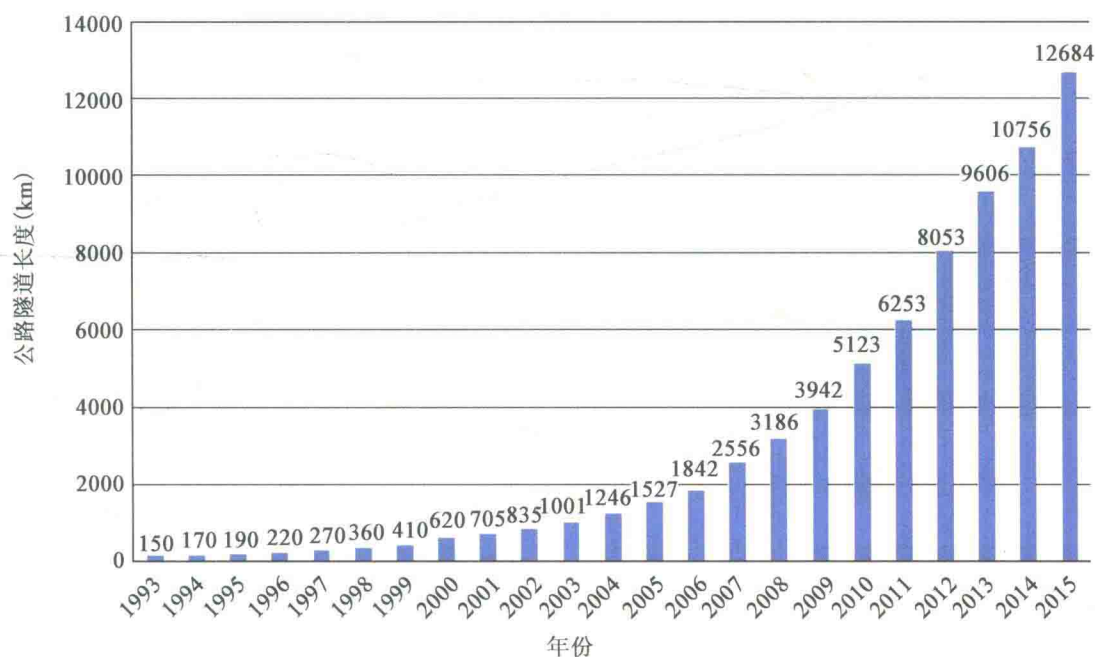


图 1.1-1 历年公路隧道长度统计表

重庆近期竣工验收的 7 个高速公路隧道项目——云万高速、石忠高速、武水高速、水界高速、绕城高速(南段、东段、北段),共计 50 余座隧道,合计单洞长度超过 180km,其中特长隧道 12 座。在以上项目竣工验收检查过程中,均发现了大量衬砌开裂现象,而这些项目在交工检测时技术状态较好,裂损病害较少。如果这些隧道裂损病害处治不及时,会对衬砌结构造成进一步损坏,甚至使隧道破坏加速,缩短公路隧道的维护周期和使用寿命,导致未达到隧道结构设计基准期而急需大修,既浪费了大量资金,又影响隧道的正常使用,并造成不良的社会影响。

由于公路隧道属于地下建筑结构,具有位置特殊性,其隐蔽环境造成了裂损病害发现困难,病害成因分析困难,病害处置困难。隧道病害和地面结构病害的特征明显不同,主要有以下几点:

(1)隧道裂损除衬砌内表面外,其他部位病害较难发现。

(2)隧道病害在多种内外因素的共同作用下,表现的形态特征复杂多样,要分析其原因非常困难,从而也加大了病害处治难度。

(3)隧道病害一旦发生,难于根治。

(4)隧道渗漏水病害产生,一方面阻挡光线,影响视线,使人看不清楚道路,另一方面路面湿滑,直接威胁人的生命安全。

(5)影响严重。例如对于衬砌垮塌,一般抢险处治需要1~2年时间,并且需中断交通,因此造成整条路段处于瘫痪状态,迫使车辆选择其他道路行驶。

因此,针对高速公路隧道交、竣工验收期间发现的隧道裂缝病害大量出现、技术状态快速劣化的情况,很有必要对衬砌裂损进行预防与处治,从而提高隧道运营服务水平,延长隧道运营寿命。隧道建成早期衬砌裂损病害如图1.1-2~图1.1-5所示。



图 1.1-2 二次衬砌开裂



图 1.1-3 二次衬砌渗漏水



图 1.1-4 仰拱底鼓



图 1.1-5 二次衬砌拱脚下沉

1.2 基本定位

隧道衬砌裂损缺陷的出现,绝大部分与隧道施工质量的优劣相关。根据调查分析,衬砌裂损的主要原因为:隧道衬砌背后空洞、隧道衬砌厚度不足、未设仰拱或仰拱质量差、地下水、衬砌抗裂性差、衬砌不均匀沉降。

为此,重庆市交通委员会工程质量安全监督局特通过出版《高速公路隧道建成早期衬砌裂损预防与处治技术指南》形式,将高速公路隧道建设中主要的质量管理环节及主要裂损病害处治措施明确出来,以期为相关隧道土建管理单位及人员、隧道建设单位及人员,以及养护单位及人员的培训、教育起到积极作用,从而提高重庆市高速公路隧道施工质量,以达到以防为主、有病可医的目的。

2 主要衬砌裂损预防措施

2.1 衬砌背后空洞预防措施

衬砌背后出现空洞的成因主要是:光面爆破控制差;拱架背后喷混凝土不密实;初期支护表面不平顺;防水板挂设张弛度不适;混凝土泵送压力不足。此类施工质量缺陷预防措施主要有以下几点。

2.1.1 加强光面爆破

(1)针对不同围岩、不同开挖断面、有无仰拱三种情况重新进行光面爆破设计,其控制参数见表 2.1-1,光面爆破效果如图 2.1-1 所示。

光面爆破控制参数表

表 2.1-1

序号	项 目	硬岩	中硬岩	软岩
1	平均线性超挖量 (cm)	10	15	10
2	最大线性超挖量 (cm)	20	20	15
3	两炮衔接台阶最大尺寸 (cm)	10	10	10
4	残眼率 (%)	≥90	≥75	≥55
5	局部欠挖量 (cm)	5	5	5
6	炮眼利用率 (%)	90	95	100



图 2.1-1 光面爆破效果

(2)光面爆破参数应通过试验确定。当无试验条件时,可参照表 2.1-2 选用。

光面爆破推荐参数表

表 2.1-2

岩石类别	周边眼间距 E (cm)	周边眼抵抗线 W (cm)	相对距离 E/W	装药集中度 q /(kg/m)
极硬岩	50 ~ 60	55 ~ 75	0.8 ~ 0.85	0.25 ~ 0.30
硬岩	40 ~ 50	50 ~ 60	0.8 ~ 0.85	0.15 ~ 0.25
软质岩	35 ~ 45	45 ~ 60	0.75 ~ 0.8	0.07 ~ 0.12

(3) 提高轮廓线放样精度,周边轮廓线的放样允许误差控制为 $\pm 2\text{cm}$ 。

(4) 掏槽眼采用高爆速、高猛度、高密度的炸药;周边眼采用低爆速、低猛度、低密度、传爆性能好、爆炸威力大的炸药。炮眼直径、眼距与岩石爆破效果关系如图 2.1-2 所示。

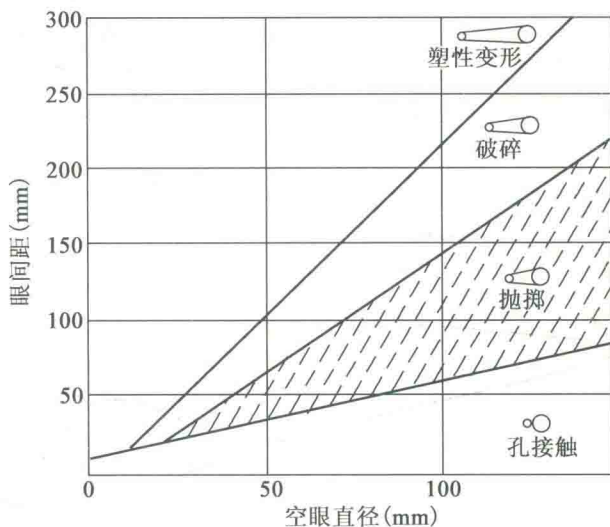


图 2.1-2 炮眼直径、眼距与岩石爆破效果关系图

(5) 采用不耦合装药结构,通过空气的缓冲作用减轻震动和保护岩体。

(6) 根据地质条件选择合理的爆破参数。在施工中,首先调整周边眼的药量,并对炮眼装药结构进行调整,具体做法是将周边眼炸药均匀地绑扎在导爆索上,使炸药能量更加均布于炮孔壁上,必要时增打导向孔以减轻爆破对围岩的扰动;其次是加强掏槽,增大内圈眼至周边眼的段间隔时间,跳 1~2 段分别使用毫秒雷管,以减轻爆破时围岩对周边孔的夹制作用及破坏,确保周边眼采用通段雷管同时起爆(采用导爆索连接),提高爆破效果。最后是加强孔口填塞质量,使用高质量炮泥堵塞。

(7) 提高钻孔精度及炮孔成孔质量。光爆效果好坏,超欠挖多少,均与周边钻孔成孔质量有密切关系。在钻凿周边眼时,要尽量控制好外插角。

(8) 加强对工人的培训,增强工人责任心。钻凿周边眼时,选择经验丰富的钻工作为领钻员,让其先钻凿一拱顶周边眼,插入钢钎,其他钻工据此作为引导,平行于钢钎进行钻凿,以控制好钻孔角度。现场钻孔施工如图 2.1-3 所示。

(9) 根据现场实际地质情况,动态调整爆破参数,尤其是孔网参数的确定和药量控制,更好地对超欠挖加以控制。

(10) 隧道开挖前,分部主管技术员根据现场围岩情况制订光面爆破参数,报监理审批

后交作业人员执行,在整个钻眼、装药过程中,技术员要全程监控,每一循环进尺不宜超过 3.5m。

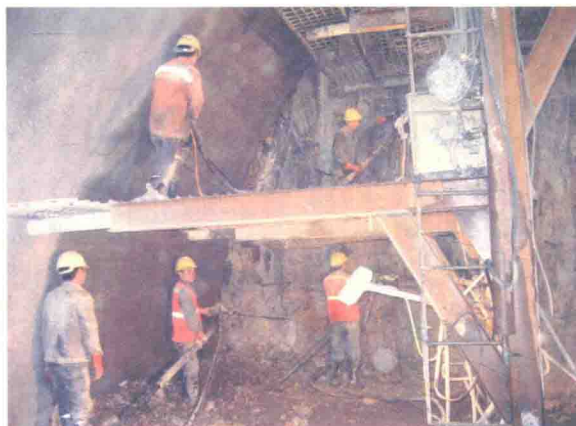


图 2.1-3 现场钻孔施工图

2.1.2 拱架背后喷混凝土不密实预防措施

(1) 在喷射混凝土时,严禁用块石、石棉瓦、防水布等回填。

(2) 二次衬砌施工前要先采用地质雷达等检测手段,检查初期支护背后是否存在空洞(图 2.1-4)或喷混凝土不密实(图 2.1-5)的情况,若发现有空洞等情况存在应安排注浆充实。



图 2.1-4 隧道初期支护背后空洞



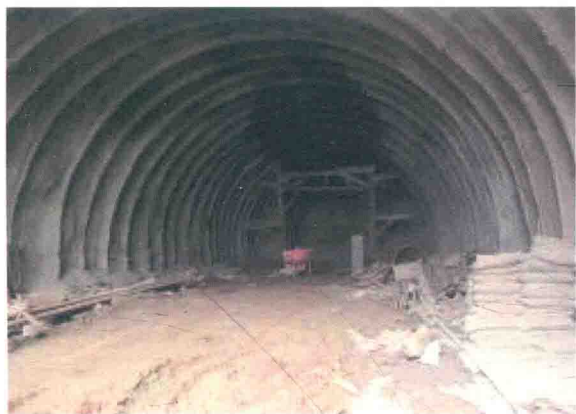
图 2.1-5 隧道初期支护回填不密实

(3) 组织相关管理及施工人员学习认识拱架背后存在空洞等的危害。

2.1.3 初期支护表面不平顺

(1) 加强施工人员教育,了解喷射混凝土表面平整度差对防水层的危害。初期支护表面不平整、钢支撑外漏如图 2.1-6 所示。

(2) 对开挖断面采用断面仪检查,发现欠挖应进行扩挖处理,而不能采用减薄喷层的方法,以达到确保二次衬砌厚度的目的。



a)



b)

图 2.1-6 初期支护表面不平整、钢支撑外漏

(3) 在受喷面设置喷射混凝土厚度标记, 以确保最小厚度满足设计要求。

(4) 钢架与围岩之间的间隙应用混凝土充填密实; 喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射, 并将钢架覆盖。

(5) 在防水层施工前, 必须将初期支护补喷至设计厚度, 喷层表面不应有尖锐突出物。复喷完成后, 应采用直尺进行平整度检查。防水层被不平整喷射混凝土顶破、压裂如图 2.1-7 所示。初期支护完成后表面平顺外观如图 2.1-8 所示。



图 2.1-7 防水层被不平整喷射混凝土顶破、压裂



a)



b)

图 2.1-8 初期支护完成后表面平顺外观

2.1.4 防水板挂设

(1) 防水板挂设前应先对初期支护喷射混凝土进行检测, 欠挖部位应先加以凿除, 对喷

射混凝土表面凹凸显著部位应分层喷射找平。外露的锚杆头及钢筋网头应齐根切除,并用水泥砂浆抹平,使混凝土表面平顺。隧道防水板施工如图 2.1-9 所示。

(2) 防水板挂设完成后用手托起防水板,看其是否能与初期支护表面密贴,且没有太多余量,一般防水板长度为初期支护表面长度的 1.2 ~ 1.5 倍。防水板挂设时焊接点数量和间距要满足设计要求,保证拱部防水板挂设稳固,防止防水板因挂设不稳在混凝土浇筑过程中掉落后压入两侧混凝土,造成拱部空洞。

2.1.5 混凝土浇筑

(1) 在浇筑拱部时适当调整混凝土的水灰比或采用适量的膨胀混凝土,减小混凝土干缩徐变。浇筑过程中振捣密实,尽量排除在混凝土浇筑时被挤压到拱部的空气。

(2) 在拱部混凝土浇筑时,将泵送管伸入模板外接近拱顶的部位,使拱部混凝土由上向下浇筑。混凝土泵送管可选在台车较高的一端入模。混凝土浇筑到拱部时设置观察孔,安排技术员或质检员值班观察浇筑情况,确保拱部混凝土填筑饱满。

(3) 拱部堵头板安装时注意接缝密贴,可采用双面胶等措施,保证混凝土浇筑后不漏浆,不跑浆。

(4) 混凝土浇筑时,安排专人现场值班。值班人员要恪尽职守。混凝土浇筑完成后要求施工人员不要急于拆下输送管,须待混凝土有一定自稳能力后再拆,在拆下同时,迅速关闭窗口,以免混凝土掉落。

(5) 做好二次衬砌台车附近的文明施工,防止支垫方木长期被水浸泡。现场管理人员要定期检查方木受压能力,防止混凝土浇筑后被压碎引起台车下沉。衬砌台车在使用过程中要定期检查、维护,防止台车屈服变形。隧道衬砌拱部脱落如图 2.1-10 所示。



图 2.1-9 隧道防水板施工图



图 2.1-10 隧道衬砌拱部脱空

2.2 隧道衬砌厚度不足预防措施

影响衬砌欠厚的主要原因为:毛洞开挖不够平整;防水板铺设质量不过关,铺设时未控制好松铺率(图 2.2-1);初期支护侵入二次衬砌空间(图 2.2-2)。



图 2.2-1 隧道防水层施工前断面检测



因初期支护侵线，
二次衬砌严重欠厚

图 2.2-2 隧道初期支护侵入二次衬砌界限

由于开挖及防水板施工要求已在 2.1 节进行了阐述,本节主要介绍初期支护侵入二次衬砌缺陷的预防措施,主要内容如下:

(1)重视工程测量检测工作,施工中要控制好欠挖,二次衬砌前做好初期支护断面检查,出现欠挖及时处理。

(2)遇到松软岩层,应加强支护,加强监控量测,根据监控量测成果指导二次衬砌施工,避免监控量测与二次衬砌施工的脱节。

(3)定做材质、刚度、强度合格的二次衬砌台车,做好二次衬砌台车的定位和固定工作,对台车就位后的中线位置进行检查并进行调校。

2.3 仰拱施工质量控制

(1)在边墙上准确测量出路面基线,根据基线高程与仰拱开挖面高程的高差,计算预开挖仰拱段横向每间隔 1m 处的钻孔深度,以此为依据指导钻爆工的施钻深度,以保证仰拱开挖深度符合设计要求。图 2.3-1 所示为围岩较差地段未施做仰拱。图 2.3-2 所示为仰拱回填片石不规范导致质量差。图 2.3-3 所示为仰拱测量放线。图 2.3-4 所示为路面控制基线。



图 2.3-1 围岩较差地段未施做仰拱



图 2.3-2 仰拱回填片石不规范导致质量差



图 2.3-3 仰拱测量放线



图 2.3-4 路面控制基线

(2) 仰拱开挖应注意控制钻孔深度, 根据仰拱底部围岩情况预留 15 ~ 30cm, 采用人工配合机械清底, 防止扰动底部围岩和超挖。V 级围岩仰拱单循环开挖长度按照验标要求不超过 3m。图 2.3-5 所示为仰拱深度不够。图 2.3-6 所示为施工质量较好的仰拱。



图 2.3-5 仰拱深度不够



图 2.3-6 施工质量较好的仰拱

(3) 仰拱钢筋采用钢筋弯弧机弯制。在加工前, 首先按照设计图纸确定钢筋下料长度及预弯半径; 加工时要考虑弯制的钢筋存在一定的回弹量, 以确保钢筋安装时的线形与现场放样线形一致; 在加工过程中, 现场技术人员要跟班作业, 检查弧长及半径是否与设计一致, 经检验合格后进行钢筋安装作业。图 2.3-7 所示为仰拱弯弧机。

(4) 仰拱钢筋安装应采用定位角钢固定内外两层钢筋的间距和排距。图 2.3-8 所示为仰拱钢筋定位角钢。

(5) 仰拱纵向钢筋通过端模上的预留孔伸出, 以使相邻两板仰拱钢筋连接成整体。

(6) 仰拱浇筑时, 应严格控制混凝土质量。仰拱钻孔取芯如图 2.3-9 所示。仰拱芯样如图 2.3-10 所示。

(7) 仰拱施工完毕后, 及时进行雷达或钻孔检测仰拱施工质量。



图 2.3-7 钢筋弯弧机



图 2.3-8 仰拱钢筋定位角钢



图 2.3-9 仰拱钻孔取芯图



图 2.3-10 仰拱芯样图

2.4 地下水预防

2.4.1 设计方面

(1) 隧道选址应充分考虑到地下水的影响, 尽量避开岩溶发育剧烈区和大面积的软弱破碎带。隧道走向应避开岩溶管道、地下暗河与地下岩溶潭。结合现有的地质水文资料尽可能探明沿线的地下水文情况, 做到对可能出现的复杂岩层有充分的准备和施工预案。图 2.4-1 所示为地下水过大导致衬砌开裂。图 2.4-2 所示为隧道设计方案比选。

(2) 对于富水岩层的隧道设计应当摒弃“以排为主”的设计思路, 建立“防、排、截、堵结合, 因地制宜, 综合治理”的设计思路。并且应该结合隧址区生态环境的承受能力和施工经济条件两方面因素控制隧道的涌水量, 保持地下水环境的相对平衡。

当受地形及路线的制约时, 在隧道施工过程中应遵循以下原则:

① 地下水渗流以静储量为主时, 采用以排为主的方式。当隧道涌水量以静储量为主, 初期涌水量很大时, 表现为突水, 随着时间的推移, 涌水量不断衰减, 最后仅为滴水或渗水,

这类涌水对隧道施工影响很大,对运营影响相对较小,由于隧道围岩与其他水体水力联系较弱,涌水仅为裂隙含水,防排水设计时多采取以排为主的形式。



图 2.4-1 地下水过大导致衬砌开裂

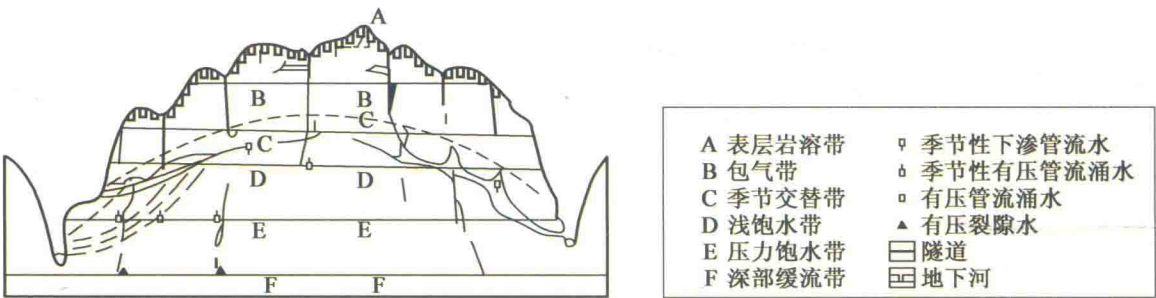


图 2.4-2 隧道设计方案比选

②地下水渗流以动储量为主时,采用以堵为主的方式。以动储量为主的含水围岩发生隧道涌水时,涌水量往往由小到大地变化,然后趋于动储量相当的稳定值,即隧道的涌水量等于补给量。这类隧道涌水包括岩溶水因充填裂隙的地下水水力梯度增加或冲刷加剧而逐渐贯通,并与其他水体(地表水与地下水)发生水力联系时的涌水,以及与地表水有水力联系的断层破碎带的涌水。防排水主要作用是切断水力联系通道,堵住地表水体补给,因此防排水设计采取以堵为主的方式。

③溶洞:如果隧道穿越的岩层中有大量溶洞的存在,在隧道施工中可能出现涌水、突泥等危害性的事故。当隧道穿越岩溶很发育的地区,隧道周围地下水很丰富,给隧道防排水带来了很大的困难。隧道通过岩溶发育的地区,特别是有大量溶洞存在的地区,需要采取“引”“堵”“越”“绕”等处理措施,此外处理后的隧道衬砌背后往往可能存在空洞等不密实现象。岩溶地区隧道防排水多采用“多道防线、层层设防”的办法,其主要工程措施有:围岩注浆堵水、溶洞回填堵水、加强排水和防水。对于岩溶地区的小量岩溶地下水,以及经过注浆、回填堵水后存在的岩溶地下水应当以疏排为主。

④截:对于隧道覆盖层地表水及坑洼等进行处理,在隧道外面山体迎水坡设置截水天沟,目的是截排地下水,减少地表水的渗入。

⑤对于涌水量大、水压力高的断层破碎带,山体内蓄水量大,且有充足地表水源供给,其表现为喷射状股流,并夹有泥质的涌水地段,一般情况下采用超前钻孔排水、长管棚注浆