

具茨山隧道塌方处治设计与施工技术

(康健¹, 张存超¹, 付大喜¹, 李彦军²)

(1. 河南省交通规划勘察设计院, 郑州市 450052; 2. 中铁隧道勘测设计院 洛阳市 471000)

摘要: 隧道围岩为散体结构的断层破碎带是隧道发生大规模塌方的主要原因, 采取切实可行的处治设计和施工技术能顺利安全通过塌方段并积累经验无疑倍受岩土工程界所关注。本文以具茨山隧道塌方实例论述其处治设计与施工技术, 可供隧道工程设计和施工参考。

关键词: 隧道塌方 处治设计方案 施工方法与工艺 技术措施

中图分类号: U455.43 文献标识码: A

Treatment Design and Construction Tecnology for Collapse of Jucishan Tunnel

(Kang Jian, Zhang Cun_chao, Fu Da_xi, Li Yan_jun)

(1. Henan Provincial Communications Planning Survey&Design Intute, Zhengzhou 450052; 2. China Rail Way Tunnel Survey&Design Institute, Luoyang 471009)

Abstract: The study show that fuault rupture zone is the most important reason of tunnel collapse, Taking Jucishan tunnel as an example, this paper introduces the treatment design and construction technology, The supervising data show that the surrounding relative dispalacement of collapse plot of the tunnel after being treated is stable. The tesults satisfy the standard of highway tunnel construction technigues.

Key words: Collapse of Tunnel Treatment Design Construction Technology
Technology Measurement

1、工程概况及工程地质条件

具茨山隧道是郑州至石人山高速公路全线控制性工程, 设计为分离式双洞, 左线长 1665 米, 右线长 1616 米, 建筑限界宽 11.5 米, 高 5.0 米。

隧道穿越具茨山老山坪段浅山地貌, 地面高程 180~370 米, 最大高差 190 米。地下水位埋深大, 洞体处于地下水位以上, 仅在雨季局部洞顶潮湿和少量滴水状态。围岩为白云质石灰岩和白云岩, 岩层倾角 15 度左右, 裂隙欠发育, 岩体较完整, 但局部白云质石灰岩小溶洞发育并充填粘性土。除此, 局部有散体结构未胶结且充填夹小石块的粘性土。依《公路隧道设计规范》(JTG D70-2004)围岩 BQ 和 [BQ] 指标, 判定较完整白云质石灰岩和白云岩围岩等级为 III 级, 溶洞发育段及断层段围岩等级为 IV 级和 V 级。

2、塌方情况及原因分析

2.1 塌方情况

2006 年 10 月 26 日 12 时, 施工至 YK37+671

时, 围岩突变破碎夹有粘性土并发生塌方, 将掌子面 7m (YK37+671~YK37+678) 范围内初期支护破坏, 施工单位立即对该段增补中空注浆锚杆和双层小导管加固前方塌方体。2006 年 11 月 4 日零时 40 分, 作业人员发现掌子面初期支护有开裂和掉块现象, 并立即撤离, 一分钟后再次发生塌方, 将第一次塌方体全部掩埋。两次塌方体主要为含少量石块的土质, 其总量超过 2600m³。第二次塌方后发现 YK37+685 处地面已经沉陷, 偏离隧道轴线 7m, 其位于开挖断面左侧, 沉陷面积达 200m², 开裂面积达 300m², 沉陷处地表高程与设计洞顶高程相差 89m。

2.2 塌方原因分析

施工至 YK37+671 时, 围岩突变得破碎并夹有黏性土, 应为明显进入断层破碎带的标志。YK37+685 处地面沉陷区可见 10 余米宽的断层破碎带, 其倾角近陡立, 与隧道轴线夹角 60 度左右。

鉴于断层破碎, 倾角近陡立, 该段地表低

注易汇水，则断层破坏带成为坡面水渗入的良好通道，有利于白云质石灰岩溶洞发育，并充填大量夹石块的黏性土，致使断层破碎带成为散体结构体。对此综合分析认为该隧道塌方主要在于潜在的散体结构的断层破碎带地质原因。

3、处治设计方案

3.1、注浆加固坍塌，增强掌子面稳定性

采用挖掘机将塌体表面压实，挂 $\phi 8$ 钢筋网，网格间距 $20\times 20\text{cm}$ ，喷 $20\text{cmC}25$ 混凝土及时封闭坍塌体，尤其是坍塌体与拱顶接触部位，防止坍塌体继续扩大。

注浆固结坍塌体，自下向上分层布设小导管，小导管长度 6m ，间距为 $1\times 1\text{m}$ ，梅花形布置，每 4m 一环，以提高坍塌体的自稳能力，防止在二次开挖过程中坍塌体坍塌诱发塌方规模扩大。

3.2、对掌子面后方15米范围内未塌方段进行加固，防止坍塌范围向后扩大，确保塌方处理过程施工安全

加强YK37+678~YK37+693段初期支护强度，钢拱架间距调整为 0.5m ，并增打中空注浆锚杆，间距 $1\text{m}\times 1\text{m}$ ，长度 4.5m ，增加喷混凝土至 25cm 厚，每侧增加4根锁脚锚杆，固定好拱脚。

3.3、超前管棚配合超前小导管改良前方土体，径向小导管注浆加固围岩

利用跟管钻施工 $\phi 108$ 管棚，在管棚的棚护作用下进行二次开挖。 $\phi 108$ 管棚伸入硬岩长度不得小于 5m ， $\phi 108$ 管棚环向间距 50cm 。拱顶两侧 120° 范围内均匀布设，通过超前管棚预注浆加固围岩。

开挖过程中采用双排超前 $\phi 50$ 花管固结注浆（倾角分别为 30° 和 5° ，防止从管棚间隙塌落沙土），超前花管长 5.0m ，环向间距 30cm ，纵向排距 2m 。

开挖通过后及时采用 $\phi 50$ 花管径向加固注浆，间距 $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$ ，管长 4m 。

注浆压力根据现场施工试验决定，终压持续时间不小于 20 分钟。

3.4、CRD工法开挖

考虑到坍塌高度较高，且坍塌体松散，自稳能力差，隧道断面跨度大，采用CRD工法开挖，将开挖断面变小，大洞小打，在开挖过程中临

时支撑于拱架可以尽早形成闭合环，开挖时首先进行掌子面右半侧开挖。

3.5、加强支护

初期支护参数进行如下调整，钢拱架I22a，拱架间距 0.5m （侵限段间距 0.3m ），中空注浆锚杆长度 4.5m ，每榀拱架 25 根， $\phi 8$ 钢筋网双层布设，网格间距 $15\text{cm}\times 15\text{cm}$ ， $\phi 22$ 连接钢筋环向间距 50cm ，喷 $\text{C}25$ 混凝土 30cm ，同时预留沉降量 20cm 。

3.6、在沉陷、开裂区上方增设截水沟，防止地表水进入；对原地面塌陷松散体进行回填、注浆加固处理

在沉陷、开裂区上方增设截水沟，防止地表水进入，确保施工、运营过程的安全。对塌陷的松散体进行注浆加固处理，减轻松散体对初期支护和后期二次衬砌的压力。对塌陷的松散体回填至略高于原地面后进行封闭。待自然沉降稳定后，再对沉陷、开裂区进行浆砌片石铺砌，并做好隔水层。

3.7、加强衬砌防水，及时施工二次衬砌

安全通过塌方段后，在二次衬砌与初期支护之间加密布置横、纵向排水管，工作缝设置橡胶止水带，防止运营期间渗漏水。及时施作二次衬砌，加大安全储备，二次衬砌采用 60cm 钢筋混凝土。

4、施工方法与工艺及技术措施

4.1、大管棚施工方法与工艺

通过跟管钻钻孔，超前大管棚注浆加固前方风化、破碎的岩石，从而形成复合稳定的固结体，使周围地层的力学性质得到改变，稳定性加强，同时，在管棚棚护下进行开挖，确保施工安全。

4.1.1、作业平台

根据大管棚角度，将通过钻杆向后延伸在确保钻机操作空间的前提下确定钻机的位置、方向，利用方木搭设作业平台。

4.1.2、测量放线

测量时应准确控制衬砌外轮廓线的空间位置，计算控制点坐标并设定在YK37+678和YK37+679已支护好的钢拱架或混凝土面上，根据测量结果再进行焊接吊环，确定孔位的具体位置，误差应控制在 1cm 以内。

4.1.3、钻机定位

为加快钻机施工速度，施工时配备2台钻

机平行作业，由两侧向中间方向施工，施工中钻机应准确定位，钻孔所需要的仰角在方木上进行调整。

4.1.4、导向管的安装

测量放线将各孔中心点位确定好后（YK37+678，YK37+679 两榀拱架上放点），根据放样点来对导向管进行定位，其安设 $\Phi 133 \times 4.5\text{mm}$ 长 1 米的空口钢管，间距 50cm，孔口导向管与钢拱架焊成一体，保证导向管稳固牢靠，并用经纬仪准确测量其角度及方向，确保其角度及方向与设计值一致。

4.1.5、施作套拱

在导向管下面安装 I16 拱架作为套拱拱架，将 I16 套拱拱架焊接在初期支护的 I16 拱架上，在焊接处增加锁脚锚杆，对 YK37+678~YK37+679 进行喷射混凝土施工，形成整体。

4.1.6、钻孔

空压机干式间隔成孔，在施工过程中，为了保证孔口的成孔质量，开孔时宜小给进力，高转速。

4.1.7、大管棚的安装

$\Phi 108$ 钢管采用跟管顶进的方法进行施工，其管长有 1 米和 2 米两种，在顶进过程中，奇数孔 1 米的先顶进一根，其后匀为 2 米的管节。偶数孔先顶进 2 米的管节，最后再次顶进 1 米的管节一根。确保每个断面的管的接头率不大于 50%，接头应错开。钢管节间均采用公母丝扣连接，便于顺利下管或遇阻拔管。

4.1.8、超细水泥注浆

(1) 灌浆材料：采用超细水泥，超细水泥粒径 $D_{\max} < 20 \mu\text{m}$ 、 $D_{50} < 6 \mu\text{m}$ ，比表面积 $S > 6000\text{cm}^2/\text{g}$ ，水泥结石抗压强度 28d 不低于 50MPa。

(2) 灌浆方法：第一段采用下栓塞孔内循环法灌浆，其余各段为孔口封闭孔内循环的方法灌浆。

(3) 孔口管安装：第一段灌浆结束后用浓浆 (0.4 : 1 或 0.5 : 1) 置换孔内稀浆，再下 81mm 无缝钢管并深入基岩内 2m，孔口外露 10cm 并留丝扣，以备以下各段压水灌浆时安装孔口封闭器，孔口管待凝 72h 后方进行以下各段钻灌施工。

(4) 灌浆水灰比：灌浆水灰比采用 3 : 1、2 : 1、1 : 1、0.8 : 1、0.6 : 1、0.5 : 1 六个

比级。开灌水灰比为 3 : 1，以后逐级变浆，当某一水灰比级浆液注入 400L 而吸浆量无明显减小或压力未升高时，则变浓一级浆液灌注。

(5) 灌浆压力：自上而下各段灌浆压力见表 1。灌浆严格按各段设计压力控制，对吸浆量较小孔段尽快升至设计压力；对吸浆量较大的孔段，采取分级升压的方式达到设计压力。

表 1 灌浆压力 (MPa)

段次	1	2	3	4	5	6	7 及以下
灌浆压力	1.2	1.8	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5

(6) 抬动观测：在灌浆过程中均安装千分表 (或百分表) 进行抬动观测。

(7) 灌浆结束标准：在设计压力下，灌浆段吸浆量连续 4 个读数 $Q \leq 0.3\text{L}/\text{min}$ 时则再延续 1h，但该段总灌浆时间不少于 2h 即可结束灌浆，如吸浆量长时间达不到上述标准，吸浆量 $Q > 0.4\text{L}/\text{min}$ 但纯灌浆时间已超过 4h 也可结束灌浆。

(8) 终孔验收：每个孔到设计孔深后，均进行孔深、孔斜验收。

(9) 封孔：终孔段灌浆结束后，用 0.5 : 1 浓浆置换孔内稀浆进行压力封孔，封孔压力与终孔段灌浆压力相同，封孔持续时间不少于 2h。

4.2、CRD 工法开挖施工方法、工艺

4.2.1、掘进开挖

采用 CRD 工法分 6 部开挖，上部采用人工手持风镐开挖，局部遇孤石时采用钻爆法，每循环进尺 0.5m，采用人力手推车将洞碴运输到没有设临时仰拱处，然后采用装载机配合运输至砌碴场。

4.2.2、施工工步骤及说明

(1) 更换拱架前必须对 YK37+682.5~YK37+678 段进行超前小导管注浆加固。

(2) 首先按照图中顺序从小到大更换偶数榀钢拱架，每拆除一节立即更换一节。

(3) 偶数榀施工完成后从小到大逐节更换奇数榀钢拱架，每拆除一节立即更换一节。

(4) 逐榀更换拱架与拱架间钢筋网、锚杆。

(5) 施工二次衬砌钢筋混凝土。

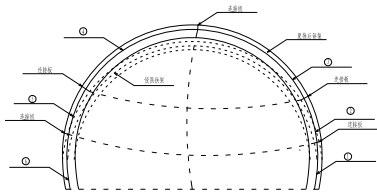


图 1 CRD 工法施工图

4.2.3、施工过程中加强监控量测，根据监控量测结果及时调整施工方法。

4.2.4、拆除临时支护时必须等到围岩稳定后方可进行。

4.3、侵限段处理

由于大管棚施工没有操作空间，YK37+678~YK37+682.5 段大管棚及初期支护拱部侵入隧道二衬厚度，二次衬砌前需要进行换拱处理。待 YK37+678~YK37+682.5 段仰拱及两端衬砌均已施工后，再进行 YK37+678~YK37+682.5 侵限段换拱施工。

4.3.1、首先利用直径 20cm 原木搭设支架，将初期支护荷载通过支架传递至地面，其受力作用点集中于拱架上；依次拆除第 14、12、……2

4.3.2、YK37+678~YK37+682.5 侵限段换拱施工自 YK37+682.5 向 YK37+678 方向进行；先依次进行 14、12、……2 换拱，再进行 15、13、11、……1 换拱。

4.3.3、利用手持风镐将原侵限拱架的初期支护按照拱架分节长度与拱架进行剥离，将拱架和管棚切割后开槽至设计开挖线，然后安装 I 22a 拱架，并及时喷砼。

4.3.4、I22a 拱架分段安装，从左到右逐节进行安装，每节拱架安装后，立即用圆木支撑，在二次衬砌前上一榀换拱没有结束前不得进行下一榀拱架的施工，依次类推，直至该段换拱结束。

4.3.5、换拱完成后，人工手持风镐将拱架间碴土从左到右按照拱架分节逐节进行安装清除，随后立即进行钢筋网安装，喷射混凝土。

4.3.6、待初期支护强度形成后，拆除原木，立即进行二次衬砌钢筋混凝土施工。

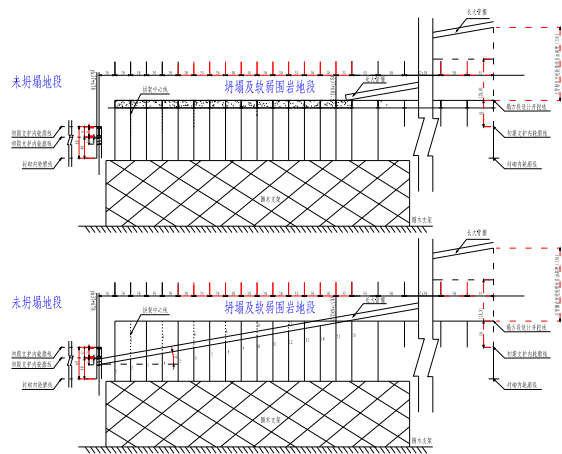


图 2 侵限段处理

4.4、洞顶防排水

4.4.1、在地表沉陷、开裂区域周围 5m 范围以外开挖截水沟。

4.4.2、浆砌片石砌筑截水沟。

4.4.3、从地表对塌陷的松散体进行注浆加固处理，减轻松散体对初期支护和后期二次衬砌的压力。

4.4.4、人工对沉陷开裂部位进行回填，回填高度略高于原地面，预留沉降值。

4.4.5、待沉降稳定后对沉陷、开裂区域进行 7.5#浆砌片石铺砌，防止雨水渗入坑穴。

4.4.6、做好填充体的隔水层。

5、结束语

具茨山隧道右洞发生大规模塌方，该塌方段洞顶覆盖层厚达 89 米，引发相对地表大范围沉陷和开裂，分析原因主要与倾角陡立的散体结构的断层破碎带有关。勘察设计与施工应认真查明断层破碎带工程性质及其对工程的不利影响，确保施工安全和工程质量。

隧道塌方处治方案不仅应满足变更的衬砌结构有足够受力强度，并应针对性的采取切实可行的施工方法、工艺和技术措施。按该塌方处治设计方案和施工方法、工艺和技术措施实施，已安全顺利通过塌方段，其变形量测结果符合规范要求。

参考文献：

1. JTG D70-2004，公路隧道设计规范[S]
2. 郑石高速公路具茨山隧道 YK37+671~YK37+678 段塌方处治方案[R]郑州：河南省交通规划勘察设计院，2006.
3. 岩土工程手册编著委员会，岩土工程手册

[M]。北京：中国建筑工业出版社，1994.