

## 岩土工程

# 公伯峡水电站导流隧道压扭性断裂带特征研究与隧道塌方防治

李 忠, 陈 伟

(石家庄铁道学院土木分院, 石家庄 050043)

[摘 要]就公伯峡水电站导流隧道中引起塌方的断层破碎带的地质特征、力学性质进行了研究, 从中发现了隧道中塌方的成因及识别标志, 并根据实际地质情况提出了行之有效的防治措施。

[关键词]塌方 识别标志 防治措施

[中图分类号]P551, P642. 21 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2002)04-0087-04

公伯峡水电站导流隧道位于青海省循化县境内黄河上游的一级阶地之上, 全长 721 m, 开挖断面为城门洞形, 断面尺寸  $14 \times 16 \text{ m} \sim 16 \times 20 \text{ m}$ 。已完工的导流隧道施工支洞分别在  $0+381 \text{ m}$  桩号, 及  $0+416 \text{ m}$  桩号与导流隧道的拱肩及底板部相接。在导流隧道施工过程中, 先后发生过两次塌方, 塌方位置见图 1, 分别距导流隧道侧壁 30 m 与 15 m。经初步现场勘察分析, 认定这两次塌方均是由一条发育在导流隧道北西侧的大型压扭性断裂带造成的。为此就这条断裂带本身的特征、对导流隧道施工可能造成的影响及行之有效的防治措施进行重点探讨。

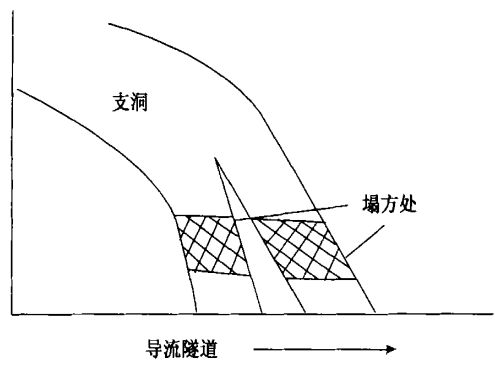


图 1 公伯峡水电站导流隧道平面示意图

## 1 隧道断裂破碎带特征

### 1.1 断裂破碎带的地质特征

#### 1.1.1 岩性特征

导流洞所经过地区的地层主要由古老的震旦系

变质岩组成, 岩性主要为: 混合岩、花岗片麻岩、黑云石英变粒岩、黑云长石变粒岩、透辉角闪变粒岩以及二云片岩等。岩石中发育有大量的长英质脉, 含有大量白云母, 其中黑云长石变粒岩中发育有密集的片麻理及拉长石英形成的香肠构造; 混合岩中常可见到黑云斜长角闪片麻岩的残留体, 局部可见揉皱构造。

这套变质岩系在经受了长期多次的变质作用后, 形成了两种不同岩石力学性质的岩性组合: 一种由经历了重熔热变质作用的混合岩、混合花岗岩组成, 岩石内部裂隙不发育, 结晶程度高, 单个岩块岩石力学性质较好, 其稳定性主要受发育在其中的节理、断裂构造控制, 易沿裂隙形成落石; 另一种以受到动力变质作用及轻微热变质作用的变粒岩、花岗片麻岩等组成, 岩石内部裂隙发育, 结晶程度差, 特别是在断裂破碎带附近由于地下水侵蚀等风化作用的影响, 岩石破碎强烈, 开挖暴露后力学强度衰减迅速, 易形成软弱破碎带, 造成塌方, 对施工影响极大。

#### 1.1.2 断裂破碎带特征

该断裂破碎带位于导流洞北西约  $15 \sim 30 \text{ m}$  的位置, 与导流洞呈小角度相交, 断面平直, 光滑, 宽约  $10 \text{ m}$ , 可见发育的水平擦痕, 破碎带倾角陡, 产状为  $317^\circ \sim 70^\circ$ , 走向  $NE47^\circ$ , 由 4 条产状相近的小型断裂破碎带组成 (4 条断裂破碎带的产状分别为:  $313^\circ \sim 70^\circ$ ,  $320^\circ \sim 65^\circ$ ,  $314^\circ \sim 60^\circ$ ,  $323^\circ \sim 68^\circ$ )。断裂破碎带内岩石破碎, 断层面附近有薄层的红色断层泥, 内部岩石片理化强烈, 可见由混合花岗岩构成

[收稿日期]2001-08-20; [修订日期]2002-01-08; [责任编辑]李石梦。

[第一作者简介]李 忠(1968 年 - ), 男, 讲师, 1996 年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 长期从事地质超前预报工作和地基稳定性研究工作。

的、呈细小眼球状的岩屑,其长轴产状平行于断裂破碎带。两侧岩石被强烈压碎,局部出现揉皱现象,充分显示了该断裂面先压后扭的力学特性。

### 1.1.3 伴生构造

断层破碎带两侧的伴生构造主要由次级逆断层和相配套的节理组成(图2)。次级逆断层与主断层破碎带走向垂直,倾向相反,呈 $60^\circ$ 夹角,产状为 $137^\circ 50'$ 。断面呈舒缓波状,破碎带内充填白色的长石石英脉,脉体中的较大结晶体多数被切割并产生了位错。

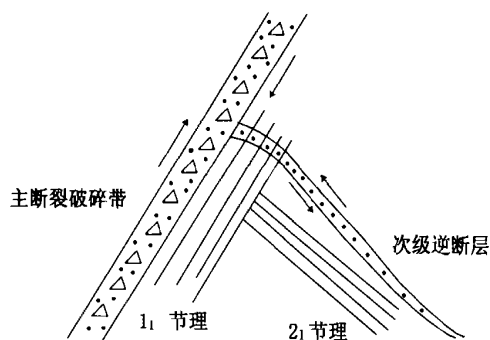


图2 开挖断面地质构造组合剖面示意图

伴生的节理主要有两类:一类是与主断层破碎带几乎同时形成的相配套的 $1_1$ 节理,它走向平行于主断层破碎带为 $NE47^\circ$ ,优选产状为 $317^\circ 70'$ ,该组节理数量多、密度大,间距 $0.1 \sim 0.15$  m不等,节理间常充填黄白色的软泥,个别地段沿该组节理有地下水渗出,摩擦角 $\phi$ 为 $18^\circ$ ,构造型与风化型并存;另一类为与次级逆断层同时形成的相配套的 $2_1$ 节理,它走向平行于次级逆断层,为 $NE47^\circ$ ,优选产状为 $137^\circ 40' \sim 35^\circ$ ,数量与密度较之前一组有所减少,间距为 $0.2 \sim 0.35$  m不等,节理间常充填黄白色的软泥。这两组节理常常交织在一起,切割围岩,形成规模不等的危石,导流洞中已发生的几次落石均由此因造成的。

## 1.2 断裂破碎带的力学分析

### 1.2.1 成因力学分析

由岩石变形破坏的规律可知,岩石的破坏常常有两种形式:一种是由断裂作用造成的柱形破坏;另一种是由剪应力作用造成的角锥形破坏(图3)。在地质构造形成主断层破碎带的过程中,其两侧的岩石受到一对剪切力 $\sigma_{10}$ 近于水平方向分量 $\sigma_{11}$ 的挤压,岩石发生垂直与主压应力方向的拉伸变形,形成了由一组共扼剪节理组成的角锥形破坏体,随着主断面的进一步位移,其中一组产状平行于主断面的节理在剪应力的作用下形成了 $1_1$ 节理;另外一组则

在局部形成了次一级的逆断层(图3)。同理,当次一级的逆断层与主断层破碎带共同运动时,在相似的古构造应力场的作用下,形成了与次一级的逆断层相配套的 $2_2$ 节理,同时先期形成的 $1_1$ 节理也得到了进一步的加强与活化。也就造成了现在隧道地质构造极其复杂的现状。

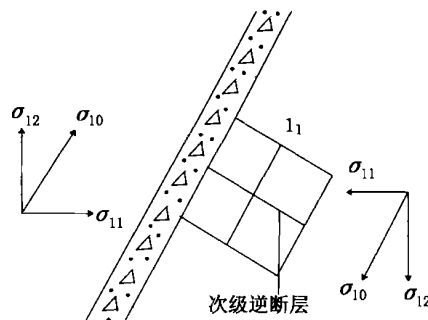


图3 主断裂破碎带受力示意图

### 1.2.2 岩体稳定性分析

对于导流隧道中具有相似的地质构造,但尚未发生塌方的围岩,评定其围岩稳定性对于正确施工十分重要。这里主要采取方便快捷的“摩擦锥稳定分析法”来进行的。出现在拱顶处的不稳定岩体常常呈倒三角状(图4),其中一边临空,一边在不稳定岩体的斜上方,只有一个滑动面,即与主断层破碎带相配套的 $1_1$ 节理面,优选产状为 $317^\circ 70'$ 。图5为滑动面(D-D)与其摩擦锥在吴氏网上的赤平投影,由图中可以看出:重力矢量的赤平投影O点不在摩擦锥的赤平投影范围内,表示下滑力 $S$ ( $S = W \sin \alpha$ ,  $\alpha$ 为滑动面倾角)大于滑动面上的抗滑力 $R_f$ ( $R_f = W \cos \alpha \times \tan \phi$ ),岩块产生滑动,为不稳定岩体。

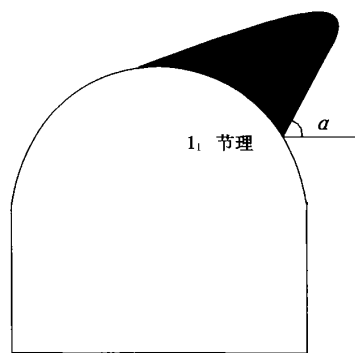


图4 导流隧道滑塌体示意图

## 1.3 导流隧道塌方判别标志

总结实地勘测的地质资料,可以发现导流隧道

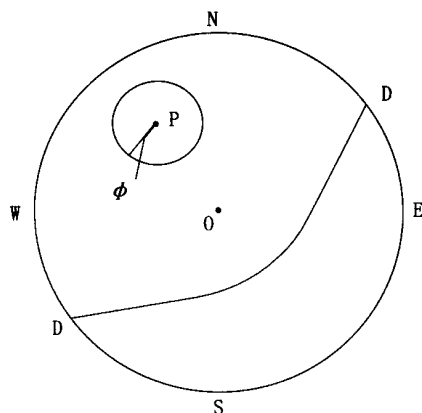


图5 滑动面与其摩擦锥的赤平投影图

塌方的标志主要有以下4个:

1) 滴水,如果在岩石所发育的节理中有地下水滴出,则表示该处的围岩已受到地下水的侵蚀,节理面的充填物受水的影响,岩石的力学性质已经发生变化,粘结力已大大下降,危岩极易发生滑动,形成塌方。

2) 红色的断层泥,在周围岩体的结构面中,如果有断层泥的出露,则表示该地段已进入了断层破碎带的影响范围之内,岩石的完整性与稳定性均已遭到破坏,须加强支护,防止塌方。

3) 红褐色的风化膜,如果岩石表面有红褐色的风化膜出现,则表示该段岩石已受到来自地表的大气降水的侵蚀,同时也说明该处的结构面有的已通达地表,岩石中的结构面已相当发育,且粘结力受水的影响已大大下降,当几组结构面切割岩石呈危岩时,易形成落石或形成塌方。

4) 极其破碎的岩石出露,如果岩石的破碎程度突然加剧,结构面,特别是优选产状为  $317^{\circ} 70^{\circ}$  或为  $137^{\circ} 40^{\circ} \sim 35^{\circ}$  的节理出现,则表示该段岩石处于主断层破碎带的影响带中,加之该施工地区地应力较高,当掘进开挖后,由于岩石破碎,自我支护稳定的能力极差,在边墙与拱顶易发生较大的变形,常常超出安全允许的范围,造成塌方。

## 2 防治措施

### 2.1 加强隧道施工地质工作,提高隧道施工的技术水平

当前隧道中的许多地质灾害的发生,许多都是由于施工过程中对于地质条件缺乏了解,对于隧道开挖过程的变化了的地质情况在施工组织设计上不能及时的补充修改,仍采用原来的施工程序和爆破参数,因而造成塌方。另外施工设计不当,施工人员

麻痹大意,片面追求开挖进尺,忽视施工安全等人为因素也是造成塌方等地质灾害的主要原因。因此加强隧道施工地质工作,提高对于施工地区的地质了解程度,使参与施工组织设计的人员、现场施工技术人员对于施工隧道的地质特性做到心中有数,将地质灾害发生的可能性降低到最小程度,提高隧道施工的技术水平。

### 2.2 利用 TSP - 202 等先进的探测手段,加强对于隧道中诸如断层等不良地质构造的监测

隧道施工地质工作中十分重要的一项工作就是加强对于隧道中诸如断层等不良地质构造的监测工作,因此利用 TSP - 202 等先进的探测手段,加强对隧道中施工影响较大的诸如断层破碎带、断层影响带、溶洞、暗河、岩溶陷落柱等不良地质构造的监测,是保证隧道施工安全,加快隧道施工进度,提高隧道施工技术水平的重要保证。对于本隧道来说就是要对地面地质调查中所发现的可能发生塌方的地段,根据地质勘测,出与隧道施工有关的给不良地质构造的产状等参数,利用 TSP - 202 超前地质预报探测系统进行准确的长距离的探测,为下一步的隧道施工及时准确地提供出隧道掌子面前方 100 ~ 200 m 地质构造信息,对于一些可能对隧道施工产生较大影响的不良地质构造要及时发出地质警报,及时排除可能发生的地质灾害,保证隧道施工的正常进行。

### 2.3 采取国际上先进的施工技术手段,对于隧道中可能出现的地质灾害进行及时准确地处理

突破原有的旧的隧道施工工艺,采用诸如“新奥法”等国际先进的施工方法进行施工。在本隧道如果遇到规模较大的断层破碎带时,可采用通行的“勤观测、断开挖、强支护”方法,具体来说就是:一锚、二网、三喷。

一锚:就是在岩石强破碎的地段,每循环开挖前,在距离掌子面 20 ~ 30 cm 处设超前锚杆,于拱线上 2 ~ 2.5 m 起布置超前锚杆,岩拱周间距 0.6 m,锚杆长 3 ~ 3.5 m。根据岩层产状,尽可能地将锚杆沿岩层倾向方向打入,外露 0.1 m 以便挂网。对于破坏严重地段,可先喷一层混凝土,再采用预应力锚杆效果更好。

二网:就是在开挖爆破后,先喷一层混凝土,挂一层简易网稳固围岩,稍候再挂一层网。其中第一层网是为了施工应急和操作方便,常采用 8 号铁丝预先编好,规格常为 1.0 × 1.2 m;第二层网则用  $\phi 6 \sim 8$  mm 的钢筋绑扎,网格介于 20 × 20 cm ~ 70 × 70 cm。

(下转第 93 页)

表 1 测试孔 1 及测试孔 2 的试验参数

|                                                                        |                                                                         |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 测试孔 1                                                                  | 地层情况:粉质粘土,暗黄褐色,可塑,静探 $P_s = 1.30\text{MPa}$ ,土工实验 $f_k = 210\text{KPa}$ |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 荷载等级 $P$ (KPa)                                                         | 0                                                                       | 56   | 103  | 158  | 205   | 258   | 308   | 362   |       |       |       |       |
| 沉降值 $S$ (mm)                                                           | 0                                                                       | 1.63 | 3.0  | 6.94 | 11.43 | 17.98 | 24.50 | 34.81 |       |       |       |       |
| 测孔参数:孔深 4.10 m,孔径 400 mm,承压板面积 0.1 $\text{m}^2$ ,压板直径 357 mm,水位 4.35 m |                                                                         |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 变形模量 $E_0$ (KPa): $E_0 = 4390\text{KPa}$                               |                                                                         |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 测试孔 2                                                                  | 地层情况:粉质粘土,暗黄褐色至灰褐色,可塑偏硬, $P_s = 1.70\text{MPa}$                         |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 荷载等级 $P$ (KPa)                                                         | 0                                                                       | 34   | 73   | 120  | 167   | 215   | 265   | 315   | 366   | 416   | 467   | 511   |
| 沉降值 $S$ (mm)                                                           | 0                                                                       | 0.68 | 1.85 | 3.04 | 4.23  | 5.90  | 8.64  | 12.18 | 17.93 | 23.85 | 29.98 | 36.88 |
| 测孔参数:孔深 5.8 m,孔径 400 mm,承压板面积 0.1 $\text{m}^2$ ,压板直径 357 mm,水位 4.40 m  |                                                                         |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 变形模量 $E_0$ (KPa): $E_0 = 5060\text{KPa}$                               |                                                                         |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |

2)在各种深层静载荷试验方法中,只有深层平板载荷试验可能实现对各类岩土更精确、更深层的测试。

3) SP—1 型深层平板载荷试验装置及其配套技术,解决了以往深层载荷试验中没有解决和难以解决的关键问题,它可为高层建筑岩土工程勘察提供测试精度高、测试结果可靠、测试孔深度更深的载荷试验数据。

[参考文献]

[1] 周海明. 高层建筑深层载荷试验初探[J]. 西部探矿工程,1997 (5).  
[2] 刘利华. 深层载荷试验应用中的几个问题[J]. 勘察科学技术, 1995(3).  
[3] 唐贤强. 地基工程原位测试技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 1993.  
[4] 铁道部第一勘测设计院[M]. 工程地质试验手册. 北京: 中国铁道出版社,1995.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE DEEP PLATE LOADING  
TEST AT HIGH-RISE BUILDINGS

YANG Guo - chun ,WU Yin - zhu ,YU Bo ,WANG Wen - chen  
( Changchun Institute of Jechnology , Changchun 130021)

**Abstract** :This paper introduces the technological situation of deep plate loading of high - rise buildings. A set of new device which can measure 100m depth has been made and its measurement precision can't be affected by the depth of the hole. In this paper the key technology and resolving methods have been supported and the measuring effects have also been offered.

**Key words** :deep plate loading test ,testing device ,technical problems

\*\*\*\*\*

(上接第 89 页)

三喷:就是在爆破后清除浮石,在围岩开始变形前及时喷护一层混凝土封闭岩面、补平凹坑。一般第一层混凝土喷射不超过 4 小时,厚度大于 2~5 cm;挂第一层网后再喷第二层混凝土,厚度大于 10~12 cm;挂第二层网后再喷第三层混凝土,厚度增

大为 15 cm。

[参考文献]

[1] 刘志刚,林松清,赵理中. 煤矿构造学[M]. 北京:世界图书出版社,1990.  
[2] 关宝树. 隧道力学概论[M]. 成都:西南交通大学出版社,1993.  
[3] 蒋爵光. 隧道工程地质[M]. 北京:中国铁道出版社,1991.  
[4] 李 斌. 公路工程地质[M]. 北京:人民交通出版社,1995.

CHARACTERS AND CURE OF FAULT ZONE IN GONGBOXIA HYDROPOWER TUNNEL

LI Zhong ,CHEN Wei  
( Shijiazhuang Railway Institute , Shijiazhuang 050043)

**Abstract** :Geological and dynamic characters of fault zone which causes collapse in Gongboxia Hydropower Station 's tunnel have been studied. Col-lapse - forming causes and identification marks have been found , and effective prevention and cure steps are supported based on real geological back-ground.

**Key words** :collapse ,symbols ,prevention and cure steps