

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20220640

# 水压致裂地应力测试法在秦岭隧洞中的应用

雷 龙

(陕西省引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710024)

**摘要:** 鉴于地应力场对隧洞围岩稳定性有重要作用, 基于引汉济渭秦岭输水隧洞二衬混凝土开裂区域典型断面地应力实测结果与地质构造条件, 运用三维水压致裂法分析了秦岭隧洞的围岩地应力。结果表明, 水平孔在 9.2~26.6 m 钻孔深度内, 钻孔横截面上最大主应力为 16.3~37.9 MPa, 截面最小主应力为 2.4~9.1 MPa; 铅直孔在 3.8~20.7 m 钻孔深度内, 最大水平主应力为 21.5~30.5 MPa, 方位平均为 N57°E, 最小水平主应力为 12.7~16.5 MPa; 三维应力计算的最大、最小水平主应力分别为 24.3、14.4 MPa, 空间最大主应力为 24.6 MPa, 呈近水平分布。可见隧洞岩体的测试位置围岩应力场主要为水平应力, 岩体应力分级为高地应力。

**关键词:** 输水隧洞; 地应力测试; 水压致裂法; 塑性变形

**中图分类号:** TV672+.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)02-0191-04

## 1 概况

地应力研究方法主要有直接测量法和间接推断法两种, 其中, 直接测量地应力的量值和方向的方法包括套钻应力解除法、钻孔水压致裂法等; 间接推断法包括岩心波速各向异性法、岩心微裂隙取向统计法、井孔管道偏振分析法、Kaiser 效应法(测岩石经受的最大应力)等<sup>[1]</sup>。实践证明, 直接测量法比间接推断法计算结果更准确。惠强等<sup>[2]</sup>研究深埋高地应力水工隧洞节理岩体开挖塑性区特性, 获得节理岩体施工期的开挖扰动对围岩塑性区的影响; 左双英等<sup>[3]</sup>分析了高地应力下水电站厂房分期开挖围岩稳定性, 总结了洞周的应力场、位移场和破坏区规律; 杨风威等<sup>[4]</sup>对兰州市水源地超长输水隧洞进行初始地应力反演研究, 对比了不同反演方法的应力值。引汉济渭工程秦岭隧洞主洞设计流量为 70.0 m<sup>3</sup>/s, 坡降为 1/2 530, 主洞断面内轮廓为 6.76 m×6.76 m 的马蹄形平底断面, 采用钻爆法开挖。针对桩号 K76+512~K76+290 区间局部二次衬砌开裂问题, 在隧洞典型断面 K76+460 部位(底板高程 512.1 m)附近布置的 3 个测孔开展了现场三维水压致裂法地应力测试及回归反演分析(测试位

置平面布置见图 1), 获得了隧洞岩体的应力分布及变化规律, 研究结果可供参考。

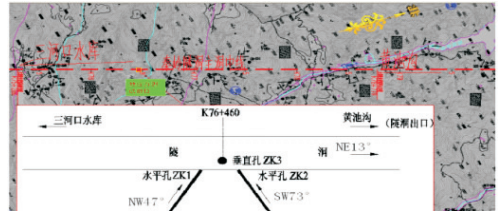


图 1 地应力测试位置平面图

Fig. 1 Plan of in-situ stress test location

## 2 水压致裂法地应力测试原理

水压致裂法地应力测试原理是先设定钻孔深度, 通过膨胀橡胶封隔器封闭钻孔, 在封闭空间内泵入液体进行施压, 读取压裂特征值来计算钻孔截面的初始应力。图 2 为测试装备示意图。

### 2.1 钻孔围岩应力状态

水压致裂法测试地应力时, 假定钻孔围岩为线性、均匀、各向同性的弹性体, 轴线平行主应力之一。当钻孔为铅直方向时, 其等同于含圆孔的无限大平板受力<sup>[5]</sup>, 应力状态见图 3。

受两向力作用, 孔周岩壁( $r=a$ ,  $a$  为钻孔半径)的应力状态为:

收稿日期: 2022-04-02, 修回日期: 2022-05-10

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0401805); 2013 年陕西省科技统筹创新工程计划项目(2013KTZB-03-01-01)

作者简介: 雷龙(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水工结构应力分析、数值仿真及工程建设管理, E-mail: 394840697@qq.com

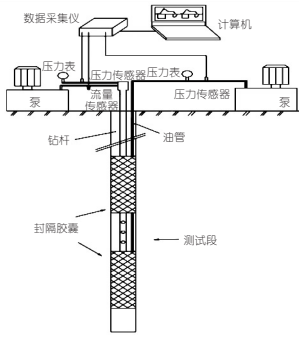


图 2 水压致裂测试装备示意图

Fig. 2 Schematic diagram of hydraulic fracturing test equipment

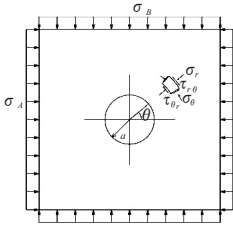


图 3 含圆孔无限大平面的应力状态

Fig. 3 Stress state of infinite plane with circular hole

$$\begin{cases} \sigma'_\theta = (\sigma_A + \sigma_B) - 2(\sigma_A - \sigma_B)\cos 2\theta \\ \sigma'_r = 0 \\ \sigma'_{r\theta} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $\sigma'_\theta$ 、 $\sigma'_r$ 、 $\sigma'_{r\theta}$  分别为径向应力、切向应力、剪切应力;  $\sigma_A$ 、 $\sigma_B$  分别为最大、最小主应力;  $r$  为径向距离;  $\theta$  为极径与轴 X 的夹角。

水压致裂测试时,施加液压  $P_w$  产生的附加应力为:

$$\begin{cases} \sigma''_\theta = -P_w a^2 / r^2 \\ \sigma''_r = P_w a^2 / r^2 \end{cases} \quad (2)$$

在孔壁  $\theta = 0$  或  $\theta = \pi$  处切向应力最小,表达式为:

$$\sigma_\theta = 3\sigma_B - \sigma_A - P_w \quad (3)$$

### 2.2 水致裂法地应力测试的基本公式

岩石破坏临界压力表达式为:

$$P_b - P_0 = 3\sigma_B - \sigma_A + \sigma_t - 2P_0 \quad (4)$$

测试钻孔为铅直向时,若以地应力代替有效应力,则:

$$P_b = 3\sigma_h - \sigma_H + \sigma_t - P_0 \quad (5)$$

关闭压力泵后,裂隙张开的瞬时关闭压力为垂直破裂面的压应力,可得最小、最大水平主应力分别为:

$$\begin{cases} \sigma_h = P_s \\ \sigma_H = 3\sigma_h - P_b - P_0 + \sigma_t \end{cases} \quad (6)$$

可近似得到孔壁岩石的抗拉强度为:

$$\sigma_t = P_b - P_r \quad (7)$$

式中,  $P_b$  为岩石破裂的临界压力;  $P_0$  为孔隙水压

力;  $\sigma_t$  为岩石抗拉强度;  $\sigma_H$ 、 $\sigma_h$  分别为铅直向最大、最小水平主应力;  $P_s$  为裂隙瞬时关闭压力;  $P_r$  为重张压力。

## 3 地应力测试结果与分析

### 3.1 ZK1 水平孔测试结果

水压致裂测试前的钻孔检查包括岩芯获得率 RQD、透水率、钻孔倾斜度等,选取适宜的压裂段,标定压力传感器,密封检验加压钻杆。标定曲线见图 4。

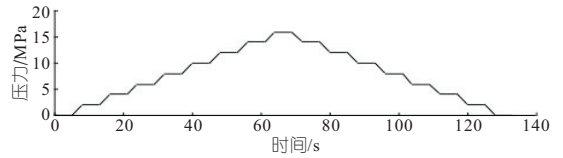


图 4 压力传感器标定曲线

Fig. 4 Calibration curve of pressure sensor

ZK1 孔为水平孔(图 1),钻孔方位角 N47°W,孔深 30.0 m。根据隧洞地质纵断面图和现场岩芯,该钻孔岩性主要为大理岩和片岩,岩芯较破碎,局部较完整。在岩石比较完整的钻孔深度进行测试,获得 4 段实测资料,其中 1 段进行了破裂缝方向测定。ZK1 水平孔地应力实测结果汇总见表 1,主应力随钻孔深度变化结果见图 5。

表 1 水平孔 ZK1 水压致裂地应力测试结果

Tab. 1 Test results of hydraulic fracturing in-situ stress of horizontal hole ZK1

编号	孔深 /m	$P_b$	$P_r$	$P_s$	$P_0$	$T$	$S_A$	$S_B$	$\sigma_v$	压裂缝(倾向/倾角)
1	12.4	8.40	2.30	0.0			2.3	19.1		
2	13.9	17.00	9.00	0.0			10.3	9.0	19.1	SW43°/40°
3	17.1*	0.16	0.01	0.0						
4	18.7*	0.15	0.02	0.0						
5	20.2*	0.18	0.02	0.0						
6	21.8	15.00	7.70	0.0			8.5	7.7	19.1	
7	23.3	12.70	3.70	0.0				3.7	19.1	

注:  $P_b$ 、 $P_r$ 、 $P_s$ 、 $P_0$ 、 $T$ 、 $S_A$ 、 $S_B$ 、 $\sigma_v$  单位均为 MPa; 含“\*”测点系临近开裂裂隙部位;  $S_A$ 、 $S_B$  分别为钻孔横截面最大、最小主应力;  $T$  为抗拉强度;  $\sigma_v$  为自重应力。

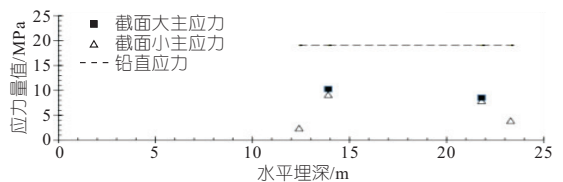


图 5 ZK1 钻孔横截面主应力随深度变化关系

Fig. 5 Variation of principal stress of ZK1 borehole cross section with depth

ZK1 整孔裂隙发育,完整性较差,累计获得 7 段测试资料,而其中 2 段同时获得截面最大、最小主应力,2 段仅获得截面最小主应力,其余 3 段仅

获得裂隙重张和关闭压力。ZK1 钻孔在 12.4~23.3 m 深度内,横截面最大、最小主应力分别为 8.5~10.3、2.3~9.0 MPa。所测位置自重应力为 19.1 MPa。各应力分量随孔深变化见图 5。

由表 1 可知,12.4、23.3 m 两个测点截面最小主应力(即测试曲线中的关闭压力,等同结构面临界闭合压力/方向应力)分别为 2.3、3.7 MPa,对应的结构面产状分别为 SW7°∠20°、SW5°∠73°。依据前期勘察资料,测试位置隧洞围岩地下水水位线高于拱顶约 450 m,即静水压力约 4.5 MPa,该值显著高于该孔两测点的结构面临界闭合压力,故有利于结构面张开并形成渗水通道。另外,在 17.1、18.7、20.2 m 等 3 处张开裂隙(产状分别为 NW73°∠67°、SE9°∠54°、SE12°∠58°)测得关闭压力远小于该部位静水压力,已形成贯通渗水通道。总体而言,在近 NEE 向节理裂隙处极易形成渗水通道。

由图 5 可知,整孔应力量值较低,受裂隙影响,这与孔内涌水及钻孔内存在空洞等地质现象一致。基于有限测试资料分析,钻孔横截面上应力量值主要表现为自重应力>截面最大主应力  $S_A$ >截面最小主应力  $S_B$ 。

### 3.2 ZK2 水平孔测试结果

ZK2 孔为水平孔(面对边墙左侧),钻孔方位角为 S73°W,孔深 30.0 m。该钻孔岩芯主要由大理岩、石英片岩、云母片岩组成。共分 12 点进行应力测试,对中间 2 段进行压裂缝测试,测试统计结果见表 2。

表 2 水平孔 ZK2 水压致裂地应力测试结果

Tab. 2 Test results of hydraulic fracturing in-situ stress of horizontal hole ZK2

编号	孔深 /m	$P_b$	$P_r$	$P_s$	$P_0$	$T$	$S_A$	$S_B$	$\sigma_v$	压裂缝(倾向/倾角)
1	9.2		21.9	15.0	0.0		23.3	15.1	19.1	
2	10.8		21.8	18.8	0.0		34.8	18.9	19.1	
3	12.4	21.7	20.8	19.5	0.0	0.9	37.9	19.6	19.1	
4	13.9	20.5	16.0	14.4	0.0	4.5	27.5	14.5	19.1	
5	15.5	16.3	14.0	10.0	0.0	2.3	16.3	10.2	19.1	
6	17.1	20.0	10.4	9.6	0.0	9.6	18.7	9.8	19.1	SW17°∠70°
7	18.7	16.7	11.5	10.0	0.0	5.2	18.9	10.2	19.1	
8	20.2	13.5	12.1	10.1	0.0	1.4	18.6	10.3	19.1	
9	21.8	14.7	11.1	10.9	0.0	3.6	22.0	11.1	19.1	
10	23.3	16.3	14.3	11.5	0.0	2.0	20.7	11.9	19.1	
11	24.9	15.1	13.2	11.2	0.0	1.9	20.9	11.4	19.1	SE17°∠80°
12	26.6	13.0	11.0	10.0	0.0	2.0	19.5	10.3	19.1	

注: $P_b$ 、 $P_r$ 、 $P_s$ 、 $P_0$ 、 $T$ 、 $S_A$ 、 $S_B$ 、 $\sigma_v$  单位均为 MPa。

钻孔 ZK2 在 9.2~26.6 m 深度内,横截面最大、最小主应力分别为 16.3~37.9、9.8~19.6 MPa。所测位置埋深约 720 m,定义岩石重度 26.5 kN/m<sup>3</sup>,自重应力 19.1 MPa。各应力分量随孔深变化见图 6。

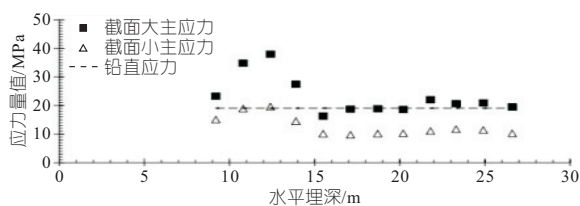


图 6 ZK2 钻孔横截面主应力随深度变化关系

Fig. 6 Variation of principal stress of ZK2 borehole cross section with depth

由图 6 可知,除了在测深 12 m 左右存在一定程度的应力集中,应力量值最高达 37.9 MPa。分析原因为该处受围岩弱化和开挖扰动影响,2~3 倍洞径范围内应力重分布,在该处出现应力最大值,随后应力值降低并回归原岩应力。剩余测点应力值基本平稳,应力值大小为截面最大主应力  $S_A$ >自重应力>截面最小主应力  $S_B$ 。

### 3.3 ZK3 铅直孔测试结果

铅直孔 ZK3 深度 30.0 m。该钻孔岩芯主要由微风化云母片岩、大理岩组成。在岩芯完整的不同深度进行了测试,获得 11 段实测资料,其中 2 段测定了破裂缝方向。测试结果见表 3。应力与孔深变化关系见图 7。

表 3 铅直孔 ZK3 地应力测试结果

Tab. 3 In-situ stress test results of ZK3 vertical hole

编号	孔深 /m	$P_b$	$P_r$	$P_s$	$P_0$	$T$	$S_A$	$S_B$	$\sigma_v$	$\sigma_H$	压裂缝(倾向/倾角)
1	3.8	21.6	18.4	13.3	0.0	3.2	21.5	13.3	19.2	1.1	
2	5.8	20.0	17.6	13.7	0.1	2.4	23.6	13.8	19.2	1.2	
3	7.8	18.3	17.2	14.4	0.1	1.1	26.1	14.5	19.3	1.4	
4	9.4	20.4	15.8	14.5	0.1	4.6	27.8	14.6	19.3	1.4	
5	11.0*		13.4	11.7	0.1		21.8	11.8	19.4	1.1	
6	12.5		14.2	12.6	0.1		23.7	12.7	19.4	1.2	
7	14.1		22.4	16.1	0.1		26.0	16.2	19.5	1.3	
8	15.6	22.5	19.8	16.3	0.2	2.7	29.3	16.5	19.5	1.5	N52°E
9	17.3*		14.3	10.4	0.2		17.1	10.6	19.5	0.9	
10	18.8	19.9	16.2	15.5	0.2	3.7	30.5	15.7	19.6	1.6	
11	20.7*		18.9	10.2	0.2		11.9	10.4	19.6	0.6	

注: $P_b$ 、 $P_r$ 、 $P_s$ 、 $P_0$ 、 $T$ 、 $S_A$ 、 $S_B$ 、 $\sigma_v$ 、 $\sigma_H$  单位均为 MPa。

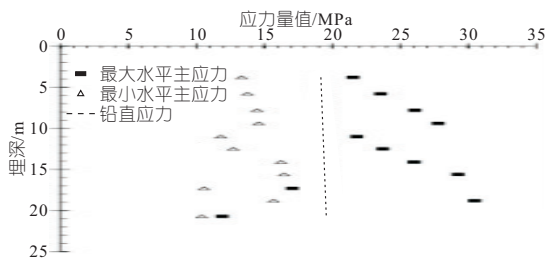


图 7 ZK3 钻孔横截面主应力随深度变化关系

Fig. 7 Variation of principal stress of ZK3 borehole cross section with depth

(1)应力量值。铅直孔 ZK3 钻孔在 3.8~20.7 m 深度内,除数值异常点外,最大、最小水平

主应力分别为 21.5~30.5、12.7~16.5 MPa,自重应力为 19.2~19.6 MPa。由图 7 可知,在测试范围内,除了个别测点受裂隙影响外,主应力量值主要表现为  $\sigma_H > \sigma_z > \sigma_h$  ( $\sigma_z$  为铅直应力),分布规律较稳定。

(2)侧压系数。侧压系数为 1.1~1.6,所测位置主要为水平应力。

(3)应力方位。应力方位为 N52°E~N62°E,测试破裂缝方向基本一致,平均为 N57°E。

### 3.4 三维地应力计算结果及分析

水压致裂法中的水平孔 ZK1、ZK2 及铅直孔 ZK3 为交汇钻孔,联立求解测试结果可得空间应力张量,计算结果见表 4。

表 4 三维水压致裂法地应力计算结果

Tab. 4 Calculation results of in-situ stress by three-dimensional hydraulic fracturing method

空间主应力						水平主应力					
第一主应力 $\sigma_1$		第二主应力 $\sigma_2$		第三主应力 $\sigma_3$				最大水平			
量值	倾角	量值	倾角	量值	倾角	$\sigma_H$	$\sigma_h$	主应力方			
/MPa	/°	/MPa	/°	/MPa	/°			位角/°			
26.4	12	252	17.7	52	358	12.5	36	154	24.3	14.4	70

注:XYZ 为大地坐标系,其中 X 轴为正北,Y 轴为正西,Z 轴为铅直向上;空间应力分量  $\sigma_X$ 、 $\sigma_Y$ 、 $\sigma_Z$ 、 $\tau_{XY}$ 、 $\tau_{YZ}$ 、 $\tau_{ZX}$  分别为 15.6、23.1、16.2、-3.2、2.4、1.8 MPa。

由表 4 可知,交汇钻孔位置的最大、最小水平主应力分别为 24.3、14.4 MPa,竖向应力为 16.2 MPa,认为岩体主要应力为水平向应力。应力方位为 70°,与 ZK3 计算结果类似。最大主应力为 24.6 MPa,倾角 12°,方位角 252°,再次表明岩体主要应力为水平向应力。

## 4 隧洞围岩应力等级评价

在测试范围内,水平孔 ZK1 的应力量值显著偏低,截面最大主应力量值范围为 8.5~10.3 MPa,截面最小主应力量值范围为 2.4~9.1 MPa;水平孔 ZK2 的截面最大主应力量值在开挖扰动区最高达 38 MPa,而深部(非扰动区)截面最大主应力基本稳定为 20 MPa 左右,前者与隧洞开挖后形成的应力集中有关;铅直孔 ZK3 最大水平主应力量值范围为 11.5~30.5 MPa,最小水平主应力量值范围为 10.4~16.5 MPa。同时,根据三维应力计算可知最大、最小水平主应力分别为 24.3、14.4 MPa。故认为受洞室施工开挖影响,ZK2 孔扰动区内的测点应力值异常偏高外,其余测点最大主应力值均为正常环境测值,其值分布在 20~40 MPa 内。

依据室内岩石力学试验,所测位置处大理岩饱和单轴抗压强度为 28.8~97.2 MPa;云母片岩的饱和单轴抗压强度为 9.3~67.5 MPa,结合铅直孔云母片岩(地应力量值最高的测点)的试验结果,取饱和单轴抗压强度为 50 MPa,铅直孔测点最大水平应力值 30.5 MPa,则  $R_b/\sigma_m = 1.6$  ( $R_b$  为岩石饱和单轴抗压强度; $\sigma_m$  为最大主应力),根据《水力发电工程地质勘察规范》(GB 50287-2016)<sup>[6]</sup>,结合最大主应力值分布区间、岩石饱和单轴抗压强度与最大主应力比值可知,测试位置岩体应力等级为高地应力。

## 5 结论

a. ZK1 孔在 12.4~23.3 m 测深范围内应力量值偏低,截面最大、最小主应力量值范围分别为 8.5~10.3、2.4~9.1 MPa;ZK2 孔在 9.2~26.6 m 钻孔深度内,横截面上最大、最小主应力分别为 16.3~37.9、9.8~19.6 MPa;ZK3 铅直孔在 3.8~20.7 m 钻孔深度内,最大、最小水平主应力分别为 21.5~30.5、12.7~16.5 MPa,最大水平主应力方位平均为 N57°E,所测位置的隧洞围岩主要应力为水平向应力。

b. 三维应力计算求得最大、最小水平主应力量值分别为 24.3、14.4 MPa,空间最大主应力为 24.6 MPa。秦岭输水隧洞桩号 K76+460 所测位置岩体应力分级为高地应力。

### 参考文献:

- [1] 江见鲸. 钢筋混凝土结构非线性有限元分析[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2002.
- [2] 惠强,张军,姜海波. 深埋高地应力水工隧洞节理岩体开挖塑性区特征及分布规律研究[J]. 现代隧道技术,2021,58(4):86-94.
- [3] 左双英,肖明. 高地应力区水电站地下厂房分期开挖围岩稳定分析[J]. 水电能源科学,2010,28(5):88-90,126.
- [4] 杨风威,房敬年,杨继华,等. 兰州水源地工程超长输水隧洞初始地应力反演研究[J]. 水电能源科学,2018,36(8):94-97,73.
- [5] 沈明荣,陈建峰. 岩体力学[M]. 上海:同济大学出版社,2008.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 水力发电工程地质勘察规范:GB 50287-2016[S]. 北京:中国计划出版社,2016.

c. 随延迟时间的增大,掺和料内部形成了水泥水化产生的水化物,使其形成了一定的链条状结构,此时对掺合料在进行击实试验或无侧限抗压强度试件的制作,则对已产生的有效连接产生了破坏,降低了水泥的效力。

#### 参考文献:

- [1] 王海林. 戈壁地区高速公路风积砂路堤稳定性分析[J]. 公路, 2020, 65(5): 61-65.  
 [2] 张保卫. 干湿循环过程中粉细砂改良土路基填料试验研究[J]. 铁道建筑, 2019, 59(2): 54-56.  
 [3] 闫登峰, 王兰. 水泥改良细砂类土延迟时间对强度和

干密度的影响[J]. 铁道建筑技术, 2012(1): 60-62.

- [4] LOPEZ-QUEROL S, ARIAS-TRUJILLO J, GM-ELIPE M, et al. Improvement of the bearing capacity of confined and unconfined cement-stabilized aeolian sand[J]. Construction and building materials, 2017, 153: 374-384.  
 [5] AIBAN S A. A study of sand stabilization in Eastern Saudi Arabia[J]. Engineering geology, 1994, 38(1-2): 65-79.  
 [6] 中华人民共和国铁道部. 铁路工程土工试验规程: TB 10102-2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.  
 [7] 付兵先. 高速列车作用下水泥改良粉土路基的动力特性研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2009.

## Influence of Delay Effect on Engineering Characteristics of Cement Improved Silty Fine Sand

CHEN Wei<sup>1</sup>, HUANG Zhi-jun<sup>1</sup>, ZHAO Er-sheng<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Railway Design Institute Co., Ltd., Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In view of the problem that the compaction coefficient of cement improved silty fine sand road in Gobi area is difficult to meet the standard after the completion of rolling inspection as an engineering material, after comprehensive analysis, it is found that the timeliness of cement improved silty fine sand is not considered in on-site construction and inspection. Through the design of compaction test and unconfined compression test of cement improved silty fine sand under different delay time, the influence of delay time on the compaction characteristics and strength characteristics of cement modified silty fine sand was analyzed. Considering the strength change of Subgrade in seasonally frozen area after freeze-thaw cycle, the freeze-thaw cycle test of cement modified silty fine sand under the influence of delay time was designed. The results show that with the increase of delay time, the maximum dry density of cement modified silty fine sand first increases and then decreases, and the optimal water content first increases, then tends to be flat and then increases; The saturated 7 d unconfined compressive strength and the strength after freeze-thaw cycle decreased gradually with the increase of delay time; The structure formed by cement hydration inside admixture has been destroyed after being rolled and formed, reducing the cement effectiveness.

**Key words:** silty fine sand; strength; delay time; freeze thaw cycle; experimental study

~~~~~  
 (上接第 194 页)

## Application of Hydraulic Fracturing In-situ Stress Test Method in Qinling Tunnel

LEI Long

(Hanjiang-to-Weihe River Valley Water Diversion Project Construction Co. Ltd., Shaanxi Province, Xi'an 710024, China)

**Abstract:** Geostress field plays an important role in the stability of tunnel surrounding rock. Based on the in-situ stress results and geological conditions in the cracked area of the secondary lining concrete of the Qinling water conveyance tunnel from Hanjiang-to-Weihe, three-dimensional hydraulic fracturing method was used to analyze the in-situ stress of the surrounding rock in Qinling tunnel. The results show that the maximum principal stress on the cross section of the horizontal hole is 16.3-37.9 MPa and the minimum principal stress on the cross section is 2.4-9.1 MPa in the horizontal drilling depth range of 9.2-26.6 m. In the vertical drilling depth range of 3.8-20.7 m, the maximum horizontal principal stress is mainly 21.5-30.5 MPa, the azimuth average is N57°E, and the minimum horizontal principal stress is mainly 12.7-16.5 MPa. The maximum and minimum and the spatial maximum principal stress are 24.3 MPa, 14.4 MPa and 24.6 MPa respectively, which are nearly horizontal distribution. The stress field of surrounding rock at the test site of tunnel rock mass is mainly horizontal stress and the rock mass stress is classified as "high in-situ stress".

**Key words:** water conveyance tunnel; geostress test; hydraulic fracturing method; plastic deformation