

用旋喷冒浆测控旋喷体液固含量及喷射直径

韦讲汉 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

摘要 对旋喷体进行定量分析是十分必要的。本文以实践经验,结合数学方法对旋喷冒浆进行定量分析,以确定旋喷体的液固含量、旋喷孔口冒浆量、旋喷喷射直径,取得了好的效果。

关键词 旋喷冒浆 液固含量 喷射直径 定量分析

中国图书资料分类法分类号 TU 473. 14

作者简介 韦江汉 男 42 岁 工程师 工程地质

1 引言

在旋喷注浆施工过程中,必然有一定量的混合浆从孔口溢出,形成冒浆。冒浆是旋喷浆液与被切割搅拌土体的混合浆。在粘性土层中,这种混合浆的成分和状态在桩孔内外基本是一致的,桩孔内的混合浆凝固后即形成旋喷体。因而结合旋喷水泥浆(液)和被搅拌土体(固),对冒浆物理参数进行测量,即可确定旋喷体内液固体含量、孔口冒浆量,同时亦可确定旋喷效果,即旋喷喷射直径的大小。

据国际、国内有关文献资料,目前旋喷冒浆仅能定性地检验旋喷效果,尚不能定量分析。本文综合多年旋喷施工的实践经验,归纳出对冒浆定量测量,并通过数学计算,确定旋喷体的液固含量及喷射直径的方法途径。

2 混合浆中液固含量及冒浆量的定量分析

基本设定:

- a. 混合浆由两部分组成,其一是孔口冒浆,其二是桩孔内混合浆;
- b. 旋喷混合浆是均质的;
- c. 一定旋喷段内,土层是均质的,旋喷体成圆柱状。

旋喷混合浆质量是水泥浆和被搅拌土体(即旋喷土体)质量之和;在旋喷土体处于饱和状态,即 $S_r = 100\%$ 时,其体积亦是二者体积之和:

$$W_{SL} = W_{FL} + W_{FG}, \quad (1)$$

$$V_{SL} = V_{FL} + V_{FG}, \quad (2)$$

式中 W_{SL} —— 混合浆的质量, t;
 W_{FL} —— 水泥浆质量, t;
 W_{FG} —— 被搅拌土体质量, t;
 V_{SL} —— 混合浆体积, m^3 ;
 V_{FL} —— 水泥浆体积, m^3 ;
 V_{FG} —— 被搅拌土体体积, m^3 ;
 S_r —— 土体饱和度。

由质量、体积、体积质量三者的关系式:

$$W_{SL} = V_{SL} d_{SL}, \quad (3)$$

$$W_{FL} = V_{FL} d_{FL}, \quad (4)$$

$$W_{FG} = V_{FG} d_{FG}, \quad (5)$$

式中 d_{SL} —— 混合浆体积质量, t/m^3 ;
 d_{FL} —— 水泥浆体积质量, t/m^3 ;
 d_{FG} —— 土体体积质量, t/m^3 ;

设液固比 P 为:

$$P = \frac{W_{FL}}{W_{FG}}, \quad (6)$$

结合上述 6 式,可得液、固二者质量及液固比计算

PACKING-AND-GROUTING TECHNIQUE FOR TAIYU LOESS TUNNEL OF XI'AN-LANZHOU HIGHWAY

Zhou ye Leng yuemei (No. 19 Engineering Bureau of the Ministry of Railway)

Abstract After the lining of loess tunnel, the backfill bensity is poorer, with more pores and more potential hidden danger. Taking the Taiyu loess tunnel as an example, the practical packing-and-grouting experience is introduced. The quality check indicated that the packed, reinforced and water-sealed effectivenesses are attained by the grouting.

Keywords loess; tunnel; packing-and-grouting; experience

式:

由 (6) 及 (1), (3) 式可得:

$$W_{FL} = \frac{P}{1+P} \cdot V_{SL} d_{SL}, \quad (7)$$

$$W_{FG} = \frac{P}{1+P} \cdot V_{SL} d_{FG}, \quad (8)$$

由 (1), (2) 及 (3), (4), (5), (6) 式可得:

$$P = \frac{d_{FG} - d_{SL}}{d_{SL} - d_{FL}} \cdot \frac{d_{FL}}{d_{FG}}, \quad (9)$$

由 (7), (8) 及 (9) 式, 可得出旋喷混合浆中液固含量最终确定式:

$$W_{FL} = \frac{d_{SL} - d_{FG}}{d_{FL} - d_{FG}} \cdot d_{FL} V_{SL}; \quad (10)$$

$$W_{FG} = \frac{d_{SL} - d_{FL}}{d_{FG} - d_{FL}} \cdot d_{FG} V_{SL}. \quad (11)$$

旋喷混合浆中水泥含量的确定, 设水灰比 K_{FL} 为:

$$K_{FL} = \frac{W_{FW}}{W_{FC}}, \quad (12)$$

式中 W_{FW} —— 水质量, t,

W_{FC} —— 水泥质量, t,

水与水泥二者质量之和为水泥浆质量:

$$W_{FW} + W_{FC} = W_{FL}, \quad (13)$$

结合 (12), (13) 及 (10) 3 式可得水泥含量最终确定式:

$$W_{FC} = \frac{1}{1+K_{FL}} \cdot \frac{d_{SL} - d_{FG}}{d_{FL} - d_{FG}} \cdot d_{FL} V_{SL}. \quad (14)$$

旋喷土体饱和度 S_r 按实际取值时, 则 (9), (10), (11), (14) 式中土体体积要经过换算。根据实际土体体积为天然土体积与孔隙体积之差, 且二者质量是相等的:

$$V_{FG}^1 = V_{FG} - n(1 - S_r) V_{FG}, \quad (15)$$

$$V_{FG}^1 d_{FG}^1 = V_{FG} d_{FG}, \quad (16)$$

式中 V_{FG}^1 —— 换算后土体体积, m^3 ;

n —— 土体孔隙度;

d_{FG}^1 —— 换算后土体体积质量, t/m^3 。

由 (15), (16) 二式可得:

$$d_{FG}^1 = \frac{d_{FG}}{1 - n(1 - S_r)}. \quad (17)$$

根据施工过程中的实际测量, 孔口冒浆量与浆液喷注流量、土体孔隙度 n 、饱和度 S_r 三者有关。在 $S_r = 100\%$ 时, 单位时间内冒浆量与浆液喷注流量相等:

$$Q_{SL2} = Q_{SL}, \quad (18)$$

式中 Q_{SL2} —— 孔口冒浆量, m^3/min ;

Q_{FL} —— 水泥浆喷注流量, m^3/min ;

在 $S_r \neq 100\%$ 时, 孔口冒浆量应减去土体孔隙体积:

$$Q_{SL2} = Q_{FL} - \pi R^2 H n (1 - S_r). \quad (19)$$

式中 R —— 旋喷喷射半径, m;

H —— 旋喷提升速度, m/min。

由 (10), (11) 二式可以看到: 旋喷施工过程中, 通过测量孔口冒浆体积质量, 即可确定旋喷混合浆中水泥浆及被搅拌土体含量。

根据 (10), (11) 二式, 亦可绘制出高压水旋喷及高压浆旋喷时液固含量曲线图 (图 1、图 2)。在此曲线上, 可找出液固等质量 (W_{FLG}) 等体积 (V_{FLG}) 旋喷效果的界限值。

根据 (18), (19) 二式, 结合旋喷段土层物理参数 n 及 S_r 、水泥浆喷注流量 Q_{FL} , 即可确定孔口冒浆量。

3 旋喷冒浆对喷射直径的定量测控

测量水泥浆的喷注流量与旋喷时的孔口冒浆体积质量, 即可确定喷射直径效果值:

$$\text{水泥浆喷注质量 } W_{FL} = Q_{FL} d_{FL}; \quad (20)$$

$$\text{被搅拌土体质量 } W_{FG} = \pi R^2 H d_{FG} \quad (21)$$

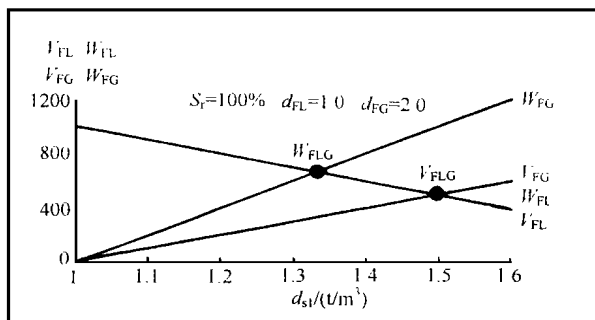


图 1 高压水旋喷冒浆液固含量曲线

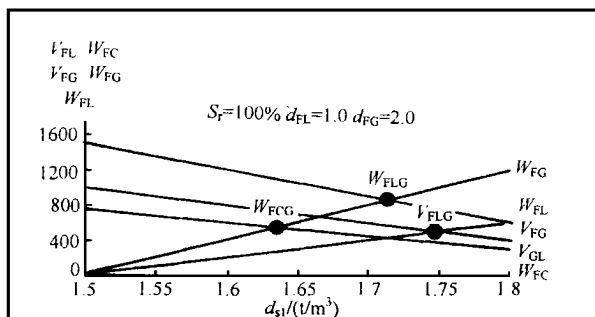


图 2 高压浆旋喷冒浆液固含量曲线

孔口冒浆质量 $W_{SL2}=Q_{SL2} \cdot d_{SL};$ (22)

桩孔内混合浆质量 $W_{SL1}=\pi R^2 H d_{SL}$ (23)

式中 W_{SL2} —— 孔口冒浆质量, t;

W_{SL1} —— 桩孔内混合浆质量, t。

水泥浆喷注质量与被搅拌土体质量之和应等于桩孔内混合浆质量与孔口冒浆质量之和:

$W_{FL}+W_{FG}=W_{SL1}+W_{SL2}$ (24)

即 $Q_{FL}d_{FL}+\pi R^2 H d_{FG}=\pi R^2 H d_{SL}+Q_{SL2}d_{SL}.$ (25)

由上式可知喷射半径为:

$R=\frac{Q_{SL2}d_{SL}-Q_{FL}d_{FL}}{\pi H(d_{FG}-d_{SL})}.$ (26)

在旋喷土体处于饱和状态, 即 $S_r=100\%$ 时, 结合(26) 及(18) 二式,

$R=\frac{Q_{FL}(d_{SL}-d_{FL})}{\pi H(d_{FG}-d_{SL})}.$ (27)

被喷射土体 S_r 按实际取值时, 结合(26) 及(19) 二式有:

$R=\frac{Q_{FL}(d_{SL}-d_{FL})-\pi R^2 H n(1-S_r)d_{SL}}{\pi H(d_{FG}-d_{SL})}.$ (28)

根据喷射半径计算式, 可绘出高压水旋喷及高压浆旋喷两种不同情况下喷射直径变化曲线图(图3、图4), 亦可绘出两种不同情况下的喷管升速与喷射直径变化曲线图(图5)。

4 工程实例

耀县水泥厂联合贮库旋喷桩加固工程试验, 试验区地层由 4 层组成: 第 1 层为素填土, 以亚粘土为主, 可塑, 饱和度 88.9%, 层厚 3.40 m; 第 2 层为黄土状土, 土质均匀, 可塑, 潮湿, 天然体积质量 1.87 t/m³, 干体积质量 1.54 t/m³, 含水率 22.8%, 饱和度 84.40%, 层厚 1.80 m; 第 3 层为黄土状土, 土质较均匀, 软塑—流塑, 潮湿—饱和, 天然体积质量 1.88 t/m³, 干体积质量 1.49 t/m³, 含水率 26.2%, 饱和度 87.60%, 层厚 1.20 m; 第 4 层为卵石。

试验于 1988 年 9 月 23 日开始, 采用兰州 500 型高喷泵和 SH30 改装旋喷机各一台。一组试验共 4 根旋喷桩, 试验一个月后开挖两根。

3 号试验桩参数: 压力 22 MPa, 水泥浆喷注流量 75 L/min, 提升速度 250 mm/min, 旋喷转速 23 r/min, 浆液配比 $K_{FL}=1.0$ 。

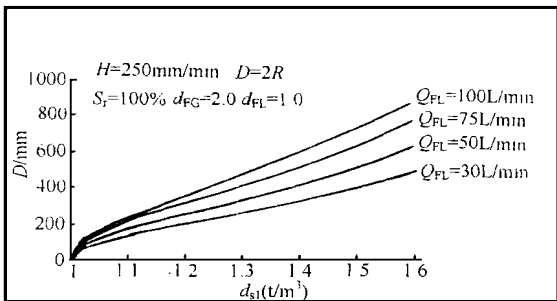


图 3 高压水旋喷喷射直径变化曲线

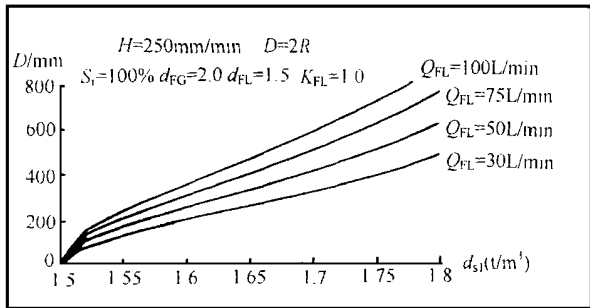


图 4 高压浆旋喷喷射直径变化曲线

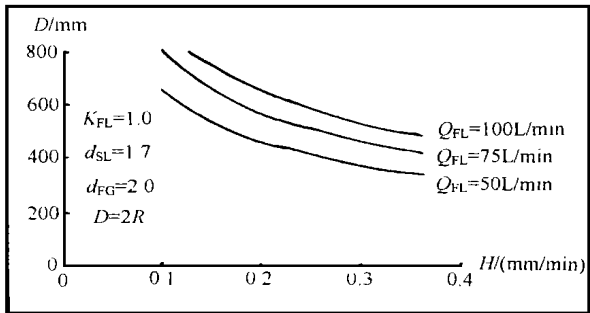


图 5 喷管升速与喷射直径变化曲线

4 号试验桩参数: 压力 18 MPa, 水泥浆喷注流量 75 L/min, 提升速度 250 mm/min, 旋喷转速 23 r/min, 浆液配比 $K_{FL}=1.0$ 。

两根试验桩开挖剖面及旋喷试验时冒浆体体积量测量值和不同深度旋喷喷射直径计算值, 以图表方式分别列于图 6、图 7 和表 1、表 2 中。

根据上述两根旋喷桩试验成果可以看出, 实际开挖桩剖面直径与喷射直径计算值, 在相同的深度是基本一致的。

5 结论

a. 旋喷施工过程中, 测量孔口冒浆的体积质量, 可确定旋喷桩体中的液固含量和旋喷喷射直径。

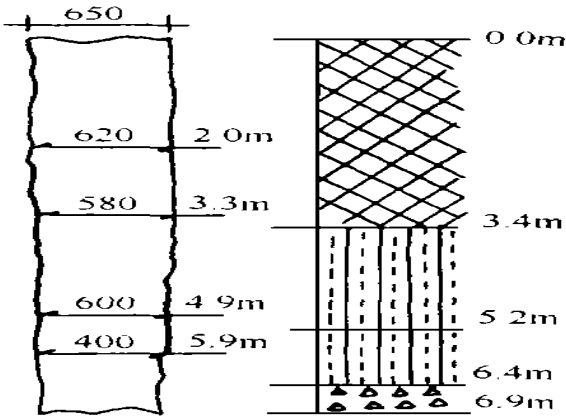


图 6 3 号桩开挖剖面

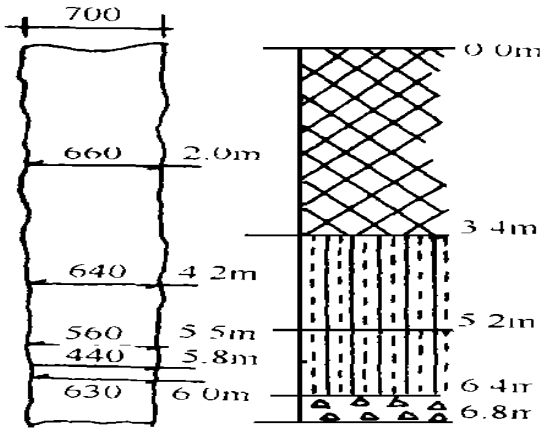


图 7 4 号桩开挖剖面

b. 旋喷施工中, 在浆液喷注流量一定的情况下, 根据被喷射土体的物理参数 n 、 S_r , 可确定孔口冒浆量。

(收稿日期 1999-03-16)

THE MONITORING OF FLUID-SOLID CONTENT IN ROTARY SHOTCRETE BODY AND SPRAYING DIAMETER BY GROUT EMITTING

Wei Jianghan (Xi'an Branch, CCRI)

Abstract It is necessary that the rotary shotcrete body is analyzed quantitatively through the grout emitting. Based on the practical experience and combined with the mathematical method, the quantitative analysis of grout emitting is conducted in order to ascertain the method and way by which the fluid-solid content in rotary shotcrete body, the grout amount emitted are determined, and the better effectiveness are obtained.

Keywords grout emitting; fluid-solid content; spraying diameter; quantitative analysis

表 1 3 号桩孔口冒浆体积质量及喷射直径计算值

旋喷深度 /m	冒浆体积质量 /t · m ⁻³	喷射直径 /mm	冒浆状态
0.55	1.73	660	
2.47	1.76	760	
3.57	1.70	670	含砂
4.60	1.70	670	含砂
5.05	2.01	/	含砂
6.00	1.60	370	

表 2 4 号桩孔口冒浆体积质量及喷射直径计算值

旋喷深度 /m	冒浆体积质量 /t · m ⁻³	喷射直径 /mm	冒浆状态
0.45	1.74	760	
1.10	1.73	660	
1.54	1.66	480	
1.95	1.67	500	
2.52	1.71	600	
3.40	1.68	520	
4.01	1.69	630	
4.45	1.65	510	
5.20	1.69	640	
5.80	1.61	390	