

# 防水结构物裂缝分析与处理

陈忠炎

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

**提要** 本文描述了某试验场中通道的钢筋混凝土箱体顶板底面和侧板, 钢筋混凝土和混凝土的U型引道侧墙表面出现数量不等的有规律的裂缝现象及其特征; 分析了裂缝产生的影响因素及其主要原因; 评估了裂缝对防水工程使用的影响程度; 提出了防治裂缝的基本技术措施及其检验使用效果。

**关键词** 裂缝 防水结构物

## Cracking Analysis and Treatment of Waterproof Structures

Chen Zhongyan

(Research Institute of Highway, Beijing)

**Abstract** A certain amount of regular cracks appeared on the top and side slabs of reinforced concrete box of the approach and on side walls of the U-type approach made of reinforced concrete and plain concrete at the suburban test ground are described in this paper; the properties of cracks are depicted as well; the influential factors and main causes of cracks produced are analysed; effects of cracks on the water-proof project are evaluated; the preventive and remedial technical measures of cracks and their performance testing are put forward.

**Key words** Crack Water-proof structure

### 1 引言

在公路交通工程综合试验场的大型工程中, 位于进场路的地下通道在养护期满, 拆除模板后, 在现浇钢筋混凝土箱体顶板底面和侧板, 钢筋混凝土和混凝土的U型引道侧墙表面发现了数量不等的, 有规律的裂缝。

这些裂缝的出现, 立刻引起业主、施工单位和技术人员的普遍关注, 要求查清裂缝产生的原因, 分析裂缝是否会降低防水结构物的抗渗性能, 影响结构物承载能力及其使用寿命等问题, 同时提出防治裂缝的具体技术措施。

针对上述问题, 有关科技人员深入现场反复观察拆模前后混凝土表面的裂缝发展和变化情况, 加强混凝土施工过程的质量控制和拆模后喷涂养护技术, 基本上减少和控制了混凝土裂缝的产生, 取得了较为满意的效果。

## 2 工程概况简介

本通道是公路交通工程综合试验场中的一个组成部分，是人和车辆进出试验场的重要路径，如图 1 所示。

通道从高速环道和组合路下穿过。防水设计标高为 18.24m(由原地下水水位标高 17.74m 加安全高度 0.5m)，结构物最大浸水深度为 3.323m(防水设计标高减去集水井处路面中心标高)；土质主要为轻亚粘土，承载力为  $110\text{kN/m}^2$ ；设计荷载标准为汽—超 20，挂—120；设计车速，高速环道为  $190\text{km/h}$ ，组合路为  $80\text{km/h}$ ；高速环道下钢筋混凝土箱体全长 27m，净高 4m，净宽 9m；组合路下钢筋混凝土箱体全长 11m，钢筋混凝土和混凝土整体式 U 型东、西引道各长 120m，其各部份尺寸如图 2 所示。

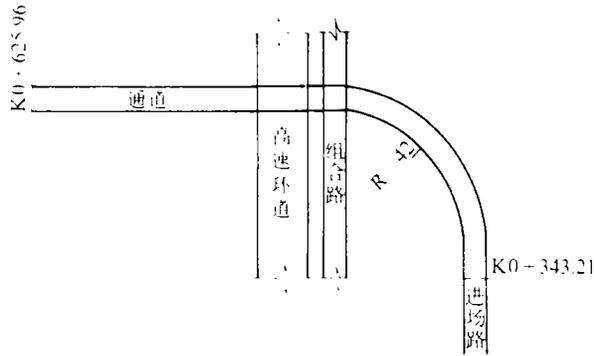


图 1 进场路通道平面

底板防水采用二布六油(二层玻璃布，涂六遍氯丁胶乳)；箱体两端引道每 20m 均设三道止水带，如图 3 所示。

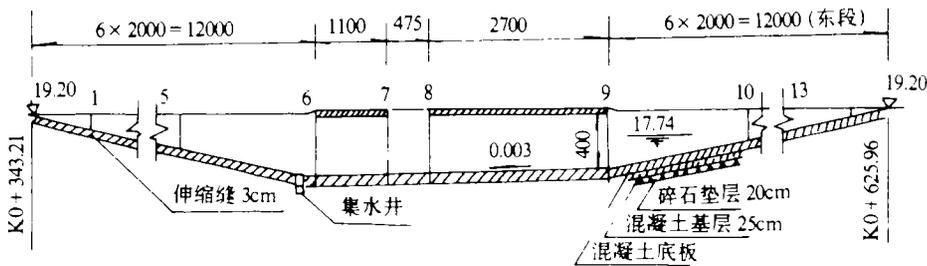


图 2 通道纵断面

箱体侧板、引道侧墙在防水位下设置三油两毡外防水层。

在高速环道和组合路下的通道两侧各 8m 范围内，设计防水位以下回填砂砾，设计防水位以上回填 5% 剂量的灰土，以防止桥路连接处不均匀沉降，影响行车舒适、安全。

对通道的路面伸缩缝和侧板或侧墙固定模板的拉杆孔，均按设计、施工技术规范的要求，严格进行特殊的防水处理。

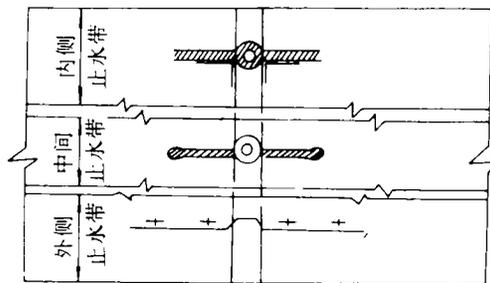


图 3 止水带

## 3 裂缝现象及其特征描述

### 3.1 钢筋混凝土箱体裂缝

高速环道下钢筋混凝土箱体于 1991 年 12 月 21 日浇筑混凝土，当时室外气温为零下

2C，并下着小雪，浇筑完混凝土后，采取保温措施为顶板覆盖塑料薄膜后再铺两层草袋，侧板用棉帐布加挂草袋。1992年3月7日拆模时，认为养护时间长，因此没有再采取任何养护措施。但经过1~2天后发现侧板有竖向裂缝，顶板底面沿行车方向，从板的边缘到板顶也有未贯通的裂缝。根据实际观测，裂缝10天以后逐渐趋向稳定。裂缝展开如图4所示。

组合路下钢筋混凝土箱体于1992年4月25日浇筑完混凝土，5月4日拆模，并立刻喷涂养护剂，经检查未发现任何裂缝。

### 3.2. 钢筋混凝土和混凝土U型引道侧墙(进出口段为混凝土侧墙)裂缝

通道东西U型引道为钢筋混凝土和混凝土结构。侧墙于1994年3月25日开始浇筑混凝土至5月21日混凝土全部浇筑完(每20m为一段，共计12段约240m)，按规定进行养护，但仍发现裂缝，其分布如图5(b)所示。

观察裂缝的出现和扩展，可以清楚地看出本结构物的裂缝具有以下明显的特征：

- ①钢筋混凝土箱体侧板裂缝基本上是里外面对称出现，但不贯通；
- ②裂缝通过固定模板的钢筋孔(孔径为 $\phi 30$ ，间距 $700 \times 700\text{mm}$ )的附近；
- ③侧板(墙)的裂缝自板(墙)的中间开始逐渐消失于板(墙)的底部和顶端，板的中间裂缝宽度最大，一般为 $0.1 \sim 0.4\text{mm}$ ；

④凿开裂缝处混凝土用灌红墨水检查，裂缝深度一般小于3cm；

⑤冬季浇筑混凝土结构物的裂缝多些，春夏季浇筑混凝土结构物的裂缝较少；

⑥拆模后立刻喷涂养护剂可以减少结构物表面裂缝的数量。特别是气候干燥和刮风季节，拆模后不及时养护，结构物表面裂缝将明显增加，因此必须及时养护，防止干缩裂缝。

## 4 裂缝的影响因素和主要原因分析

通道施工从时间上看大体分为两个阶段，1991年9~12月开挖基坑，地基处理，铺筑砂砾垫层和混凝土垫层及部份混凝土底板以及浇筑高速环道下的钢筋混凝土箱体混凝土；1992年3月8日起至5月底完成浇筑组合路下钢筋混凝土箱体，东引道侧墙，西引道底板混凝土及其侧墙的施工等。施工后(特别是低温下施工)的箱体、侧板、引道侧墙，在拆模后约1~10天，不断出现不同数量的有规律的竖向裂缝，这对半地下防水结构来说是一个值得重视的技术问题。

根据裂缝出现的时间、位置，裂缝长度、宽度和深度的变化情况及其特征，着重从施工、设计的不同角度作进一步的分析和研究，探讨裂缝产生的影响因素和主要原因。

### 4.1 施工条件分析

#### 4.1.1 混凝土组成材料和配合比设计

##### (1) 混凝土组成材料选择

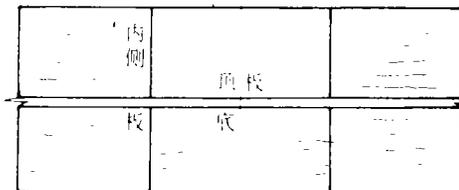


图4 顶板底、内侧板裂缝



(a) 通道北面墙内侧面裂缝



(b) 通道南面墙内侧面裂缝

图5

水泥：北京市通县水泥厂生产的 525<sup>#</sup> 普通硅酸盐水泥；

砂：北京市昌平区龙凤山中砂，细度模数为 3，含泥量 1.9%，针片状总含量 7.5%，压碎指标值 4.24%；

碎石：芦沟桥碎卵石，最大粒径 32mm，含泥量 0.75%；

水：经化验符合使用要求；

防冻剂：FJZ-Ⅰ，掺量 4%（水泥重量比）。

#### (2) 配合比设计

根据试验室提供试验资料为：水泥 340kg，砂 796kg，碎石 1099kg，水 190kg，水灰比取 0.56。因此设计配合比为：1：0.56：2.34：3.239，骨料中含砂率为 42%。经检查上述材料，配合比均符合有关设计、施工技术规范的要求。

#### 4.1.2 拌和、运输、浇筑条件

混凝土采用集中搅拌站拌和，滚筒式汽车运输，由泵送混凝土机浇筑混凝土，配备较好的振捣设备，并严格按照施工操作规程进行混凝土各工序施工和质量检验。

#### 4.1.3 施工温度计算与控制

由于部份工程在冬季施工，拆模后又发现结构物表面有较多裂缝，因此应着重分析与计算混凝土在各阶段的温度变化情况，以确定温度控制对混凝土裂缝的影响程度。

##### (1) 混凝土拌和温度计算

由工地试验室提供的资料如表 1 所示：

表 1

| 序号 | 材料名称     | 质量 (kg) | 比热 (千卡/℃·kg) | 水当量 (千卡·℃) | 温度 (℃) | 热量 (千卡) |
|----|----------|---------|--------------|------------|--------|---------|
| 1  | 水泥       | 340     | 0.2          | 68         | 0      | 0       |
| 2  | 砂子       | 796     | 0.2          | 159        | +1.20  | 190.8   |
| 3  | 卵石       | 1099    | 0.2          | 220        | -1.00  | -220.0  |
| 4  | 砂中含水 5%  | 40      | 1.0          | 40         | +1.20  | 48.0    |
| 5  | 卵石中含水 1% | 11      | 1.0          | 11         | -1.00  | -11.0   |
| 6  | 拌和水      | 190     | 1.0          | 190        | 57.75  | 10972.5 |

按公式： $T_m = \sum TWC / \sum WC$  计算出混凝土拌和温度为：

$$T_m = 10980.3 / 688 = 15.96 \text{ C} \quad (1)$$

实测混凝土出盘温度为 16.75 C。实测温度比计算温度高 0.8 C，符合施工技术要求。

##### (2) 混凝土运输与浇灌过程中的温度损失计算

采用回转滚筒式搅拌车运输，预计温度损失值按下式计算：

$$T = \beta (T_r - T_a) \quad (2)$$

式中： $\beta$ ——根据运输距离和保温条件取  $\beta = 0.15$ ；

$T_a$ ——施工时周围气温，取  $T_a = -2 \text{ C}$ ；

$T_r$ ——工地要求混凝土入模温度，实测为  $T_r = 14.5 \text{ C}$ ；

$T$ ——运输时预计的温度降低值即：

$$T = 0.15 \times (14.5 + 2) = 2.475 \text{ C}$$

因此，计算要求混凝土出盘温度为： $14.5 + 2.475 = 16.975 \text{ C}$ ，而实测出盘混凝土温度为

16.75℃, 两者基本相吻合。

### (3) 浇筑后温度变化过程的计算

①混凝土入模后加铺保温层时的混凝土温度可按下式计算:

$$T_v = T_m - 0.15 (T_m - T_a) t \quad (3)$$

式中:  $T_v$ ——刚铺好保温层时的混凝土温度℃;

$T_m$ ——混凝土的拌和温度  $T_m = 15.96$ ℃;

$T_a$ ——混凝土浇筑时周围气温  $T_a = -2$ ℃;

$t$ ——从拌和后到铺好保温层时的间隔时间, 按小时计实测约为 0.75h。

∴  $T_v = 15.96 - 0.15 \times (15.96 + 2) \times 0.75 = 13.94$ ℃, 接近实测温度值。

②混凝土浇筑后内部温度变化过程的计算:

假定钢筋混凝土内部的温度是均匀分布的, 则可按下式计算混凝土在硬化过程中温度的变化值即:

$$T = T_v + \frac{N}{C\rho} Q - \frac{1}{\tau} \sum_0^t (T - T_a) \Delta t \quad (4)$$

式中:  $T$ ——在任意时间  $t$  时, 混凝土的平均温度, 根据实测资料统计  $t = 30$ h, 混凝土的平均温度为 18.06℃;

$T_v$ ——混凝土的初始温度即刚铺好保温层时混凝土的温度  $T_v = 13.94$ ℃;

$T_a$ ——混凝土浇筑时周围的气温  $T_a = -2$ ℃;

$t$ ——混凝土硬化经历的时间, 取  $t = 30$ h;

$Q$ ——水泥的水化热, 根据经验  $Q = 50$  千卡/kg℃;

$N$ ——水泥用量, 取  $N = 340$ kg/m<sup>3</sup>;

$C$ ——混凝土的比热, 一般取  $C = 0.25$  千卡/kg℃;

$\rho$ ——混凝土的密度, 一般取  $\rho = 2400$ kg/m<sup>3</sup>;

$\tau$ ——时间常数, 按  $\tau = \frac{VC\rho}{\Sigma KA}$ , 式中:  $V$  按混凝土构件的体积 (m<sup>3</sup>) 计, 本通道一

边侧板体积约 86.346m<sup>3</sup>;  $K$  为导热系数取  $K = 3$ ;  $A$  为构件表面积取  $A = 287.82$ m<sup>2</sup>。

∴  $\tau = 60$ h, 将上述各数值代入式 (4) 中得:

$$\begin{aligned} T &= 13.94 + \frac{340}{600} \times 50 - \frac{1}{60} \times (18.06 + 2) \times 30 \\ &= 13.94 + 28.333 - 10.03 = 32.243 \text{℃} \end{aligned}$$

实测个别测点达此温度。

上述混凝土施工过程中温度计算与分析, 比较清楚地表明混凝土施工各阶段的温度变化基本上是在有关规定的允许值范围内, 排除了冬季施工对混凝土开裂的影响。

## 4.2 设计条件分析

根据设计经验, 防水结构物最小含筋率不低于 0.2%, 钢筋直径宜小, 通常取  $\phi 8$ , 间距也宜小于 15×15cm。而本通道箱体侧板水平含筋率仅为 0.16% (<0.2%), 钢筋直径为  $\phi 16$  (> $\phi 8$ ), 钢筋间距为 20×20cm (亦>15×15cm), 显然不利于提高钢筋混凝土结构物的抗裂性能。

综合分析施工、设计条件不难看出, 本通道混凝土表面裂缝, 主要是由于泵送混凝土水灰比较大, 冬季混凝土养生条件不完善, 下料点布置不合理, 振捣不均匀, 设计布筋有些不理想, 拆模后养护不及时等综合因素影响混凝土结构物表面裂缝形成、产生和发展。

## 5 裂缝对防水结构物的影响与评价

### 5.1 钢筋混凝土结构裂缝计算（以通道箱体顶板为例）。

裂缝宽度是根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023-85)的要求验算，其结果如下：

$$\delta_{\max} = C_1 C_2 C_3 \frac{\sigma_k}{E_k} \left( \frac{30+d}{0.28+10\mu} \right) \quad (5)$$

式中： $C_1$ ——考虑钢筋表面形状的系数，对于螺纹钢取  $C_1=1$ ；

$C_2$ ——荷载作用系数取  $C_2=1.208$ ；

$C_3$ ——与构件形状有关的系数，当为板式受弯构件时取  $C_3=1.15$ ；

$E_k=2.0 \times 10^5 \text{MPa} = 2 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ ；

$\sigma_k$ ——受拉钢筋在使用荷载作用下的应力  $\sigma_k=26.13 \times 10^2 \text{kgf/cm}^2$ ；

$d$ ——纵向受拉钢筋  $A_k$  的直径 18mm；

$\mu$ ——含筋率  $\mu = \frac{A_k}{bh_0} + (b_1 - b) h_1$ ，

对矩形截面：取  $b=b_1=100 \text{cm}$   $h_0=60-5 \times \frac{d}{2}=53.2 \text{cm}$

$$\therefore \mu = \frac{54.297}{100} \times 53.2 = 1.02\%$$

将以上各参数代入式 (5) 中得：

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= 1.0 \times 1.208 \times 1.15 \times \frac{2.613 \times 10^6}{2 \times 10^6} \times \left( \frac{30+18}{0.28+10 \times 0.0102} \right) \\ &= 0.2269 \text{mm} < [\delta_{\max} = 0.25 \text{mm}] \text{ (允许)} \end{aligned}$$

计算结果表明裂缝宽度在规范所规定的允许值范围内。

### 5.2 对防水结构物出现裂缝后的评价

在认真分析了通道的施工条件，设计图纸，边界条件，荷载状态和裂缝宽度计算后，特别是实地观测试验结果，清楚地反映出结构物在自重作用下出现的裂缝仅为表面的非贯穿性裂缝，对结构物的承载力无影响，只要加强防水结构物的外防水工程，可以避免结构物的钢筋锈蚀和渗漏问题。根据有关试验资料表明裂缝宽度 0.25mm（贯穿性的），开始漏水量为 10000ml/h，一年后为 10ml/h，这充分说明了钢筋混凝土结构的裂缝具有自愈和自封的现象。因此，本结构裂缝不影响通道的使用功能和使用寿命。仅内侧外表为了美观应作适当处理。

在经过一年半的使用检验，结构物各部位的裂缝均无变化，使用效果良好。

## 参考文献

- 1 王铁梦. 建筑物的裂缝控制. 上海科技出版社, 1987, 12.
- 2 涂逢祥(译). 欧美国家混凝土冷天施工. 中国建筑工业出版社, 1980, 10.
- 3 交通部公路规划设计院主编. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 (JTJ023-85). 人民交通出版社.