

# 强降雨下地铁过渡段洞口/车站出入口 降水量阈值研究

江 辉<sup>1</sup>,曾亚光<sup>1</sup>,徐田坤<sup>2</sup>,谷爱军<sup>1</sup>,芦 毅<sup>2</sup>,翁勇南<sup>2</sup>,邱 巍<sup>3</sup>

(1.北京交通大学 土木建筑工程学院,北京 100044;

2.北京市地铁运营有限公司,北京 100044;3.富奥通科技(北京)有限公司,北京 100080)

**摘要:**暴雨是我国大部分城市夏季常见的灾害性天气,由于排水不畅,造成地铁过渡段洞口、车站出入口积水倒灌,严重威胁地铁运营安全.以北京为例,引入设计暴雨强度公式,根据不同重现期下的降雨量和排水能力相匹配的原则,确定了“预警”、“报警”、“停运”的三级临界水位标准,建议了不同重现期下保障地铁安全的降雨量阈值及应对措施,可供地铁运营防灾参考.

**关键词:**地铁;强降雨;过渡段洞口;车站出入口;阈值

**中图分类号:**U213.9 **文献标志码:**A

## Precipitation threshold for subway openings/station entrances under heavy rainfall

JIANG Hui<sup>1</sup>, ZENG Yaguang<sup>1</sup>, XU Tiankun<sup>2</sup>, GU Aijun<sup>1</sup>,  
LU Yi<sup>2</sup>, WENG Yongnan<sup>2</sup>, QIU Wei<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Beijing Subway Co., Ltd, Beijing 100044, China; 3. Frontech (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100080, China)

**Abstract:** Heavy rainfall is severe in summer for most cities in China. Because of poor drainage, subway security is seriously threatened by back-flooding rain water through subway openings and station entrances. According to the principle that the requirements of precipitation should match the capacity of drainage, the design rainfall intensity formula of Beijing is introduced as example. Three levels of critical water standards of “warning”, “alarm” and “stop” are established. The precipitation thresholds and corresponding measures for metro safety are suggested by calculation under different return periods, which can be used for references in subway disaster prevention.

**Key words:** subway; heavy rainfall; subway opening; station entrance; precipitation threshold

### 1 问题的提出

暴雨是夏季最常见的灾害性天气.以北京为例,暴雨主要集中在6~8月,大暴雨和特大暴雨主要集中在7月上旬至8月中旬,3个月的降雨量占全年总量的65.7%<sup>[1]</sup>.北京地区暴雨强度大,最大日降

水量可达400 mm以上.暴雨后排水系统如排水不及时,常常会引起城市洪水和暴雨积水,给城市交通和人员安全带来严重威胁.

在地铁线路中,受强降雨影响最大的是地下线路的区间过渡段洞口及车站洞口,如图1和图2所示.由于这些线路的区间隧道和车站大都处于地面

标高以下,极易受到强降雨积水回灌的威胁<sup>[2]</sup>.此外,对于地面线的路基段,强降雨会导致路基不均匀沉降和边坡塌落<sup>[3]</sup>.



图1 暴雨灌淹地铁站

Fig.1 Subway station flooded by rainfall



图2 北京地铁陶然亭站出入口进水

Fig.2 Tao Ranting subway station flooded by rainfall

防止强降雨对轨道交通造成灾害,作为防灾减灾科学在铁路方面已有比较深入的研究.刘秀英等<sup>[4]</sup>探讨了强降雨对铁路线路的影响,分析了铁路水害产生的原因,提出建立铁路安全微机管理系统、合理调整现有雨量监测网点布局等防范措施.汤家法等<sup>[5-6]</sup>以成昆铁路为研究对象,提出了一种由警戒标准、防御标准和管理制度3部分组成的雨量警戒制度.马韞娟等<sup>[7]</sup>以水害发生的临界降水条件与工程应用需要相协调为基本要求,以24 h、1 h和10 min降雨量为指标,将高速铁路沿线水害分为三级警戒状态.尤凤春等<sup>[8]</sup>分析了2007—2010年汛期内北京市200多个气象站逐小时的降雨量数据,发现1~2 h最大累积降雨量与道路积水出现的可能性及影响成正比,且当1 h降雨量 $\geq 40$  mm时,道路出现积水,并对城市交通造成一定影响.

为保证地铁的运营安全,成都地铁公司拟定了《轨行区水淹应急预案》<sup>[9]</sup>,按积水深度将事故分为三级,并明确了不同级别下应采取的预案措施.我国《客运专线防灾安全监控系统总体技术方案(暂行)》<sup>[10]</sup>规定,对于存在水害的线路,采取1 h降雨

量及24 h+1 h降雨量指标监测报警,其中:1 h降雨量参考值为30~50 mm;24 h+1 h降雨量参考值为100~150 mm+20~30 mm.日本东海道新干线明确了强降雨时列车运行的相关规定,以24 h、1 h及24 h+1 h降雨量为判断指标,分别采取措施<sup>[11]</sup>.针对连续降雨可能造成的坍方和滑坡灾害,东日本新干线提出了新的累积降雨量指标,在保证列车运行安全的情况下,缩短强降雨限速时间<sup>[12]</sup>.

但国内外的相关研究主要集中于普速铁路和高速铁路,缺乏强降雨下保障地铁运营安全的降雨量预警、报警标准研究.本文作者以北京地铁为对象,以强降雨条件下的积水不影响地铁运营安全为判据,基于降雨强度需求及设施排水能力,分析不同降雨强度下,保障地下线过渡为地面线的洞口处(以下简称过渡段洞口)及地铁车站出入口处安全的临界降雨量,建议相应的雨量阈值及应对措施,供地铁运营防灾参考.

## 2 北京地区灾害性降雨强度分析

### 2.1 强降雨灾害分析

钟一丹等<sup>[13]</sup>通过分析北京地区的降雨灾害记录,发现城市地区出现局地暴雨的频率与强度均高于周边地区,在一定条件下容易快速形成历时短、强度大、范围小的局地突发性暴雨.尤凤春等<sup>[8]</sup>的统计也表明,北京暴雨多呈现局地性特征,暴雨历时短、来势凶猛,灾情出现快、发展快速,极易引发交通瘫痪.北京地区近10年发生的强降雨灾害的统计数据,如表1所示<sup>[14-15]</sup>.可以看出,1 h降雨量过大是造成交通灾害的主要原因.文献<sup>[16]</sup>的研究也表明,当1 h降雨量 $> 70$  mm时,城区极易产生局部内涝,对地铁的运营安全造成威胁.目前,北京地铁运营有限公司负责的运营线路达403 km,其中:地面线150 km;车辆段、场19个.运营车站共236座,车站出入口共有765个,其中:地势较低的出入口53个;露天出入口19个;过渡段洞口36个<sup>[17]</sup>.2014年7月,根据研究需要,课题组在北京地铁1号线西延段的53号洞口处安装了降雨量监测装置,对2014年7月8日以来的降雨量进行统计.可以发现,共记录到7场降雨,其中短历时强降雨有3场,降雨量分别为26.9 mm、22.1 mm和16.9 mm.短历时强降雨中,10 min降雨量的最大值为14.3 mm,最小值为10.1 mm;1 h降雨量最大值为22.9 mm,最小值为14.4 mm;24 h内降雨量的最大值为26.9 mm,最小值为16.9 mm,证明了北京地区的降雨以短历时强降雨为主要特征.

表1 近10年北京地区典型强降雨灾害统计

Tab.1 Heavy rainfall disasters of Beijing in the recent 10 years

| 日期         | 最大降雨量   | 导致灾害  |
|------------|---|---|
| 2004-07-10 | 西三环莲花桥1h降雨量超过90mm   | 莲花桥下积水1700mm;万寿路地铁站进水;西三环、西四环交通中断                   |
| 2006-07-31 | 首都机场天竺地区1h降雨量为105mm   | 机场高速路桥下积水80mm,机场高速断路3h                              |
| 2007-08-01 | 北三环安华桥1h降雨量为91mm  | 安华桥下最深积水达2m,北三环交通中断                                 |
| 2008-06-13 | 知春桥1h降雨量超过100mm   | 知春桥下积水1500mm,周边道路交通中断                               |
| 2011-06-23 | 石景山模式口1h降雨量为128.9mm;五棵松1h降雨量为93mm;永定路1h降雨量为87mm;丽泽桥、右安门1h降雨量为75mm                   | 城区29处道路出现积水,22处交通中断;地铁1号线、13号线和亦庄线出现险情;地铁4号线陶然亭站被淹没 |
| 2012-07-21 | 城区平均雨量231.0mm,24h降雨强度超百年一遇;房山、河北镇持续降雨量为460mm,1h降雨量为40~80mm,最大1h降雨量发生在平谷挂甲峪,为100.3mm | 城区95处道路因积水中断;地铁机场线东直门站至T3航站楼之间路段停运;地铁6号线金台路工地发生路面塌陷 |

2.2 设计暴雨强度计算

根据《室外排水设计规范》<sup>[18]</sup>、《城市轨道交通工程设计规范》<sup>[19]</sup>和《城市雨水系统规划设计暴雨径流计算标准》<sup>[20]</sup>的相关规定,北京地区暴雨强度可按表2计算。

表2 不同历时及重现期下设计暴雨强度

Tab.2 Design storm intensity under different durations and return periods in Beijing

| 降雨历时<br><i>t</i> /min | 重现期<br><i>P</i> /a | 设计暴雨强度 <i>q</i> /(L/(s·hm <sup>2</sup> ))           |
|-----------------------|--------------------|---|
| ≤120                  | ≤10                | $q = \frac{2001(1+0.811\lg P)}{(t+8)^{0.711}}$ (1)  |
| ≤120                  | >10                | $q = \frac{1380(1+1.047\lg P)}{(t+8)^{0.642}}$ (2)  |
| 120 < <i>t</i> ≤ 360  | ≤10                | $q = \frac{2313(1+1.091\lg P)}{(t+10)^{0.759}}$ (3) |
| 120 < <i>t</i> ≤ 360  | >10                | $q = \frac{1913(1+1.321\lg P)}{(t+10)^{0.744}}$ (4) |

北京地区不同重现期的设计暴雨强度和降雨量如图3和图4所示。可以看出,设计暴雨强度随重现期增大而增大,随历时延长而降低;设计降雨量随重现期增大而增大,随历时延长而增大。

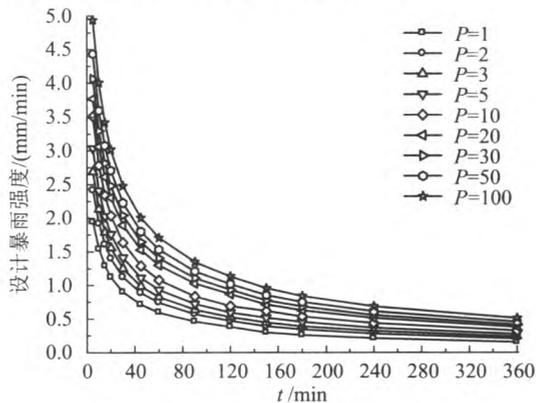


图3 设计暴雨强度

Fig.3 Design rainfall in intensity

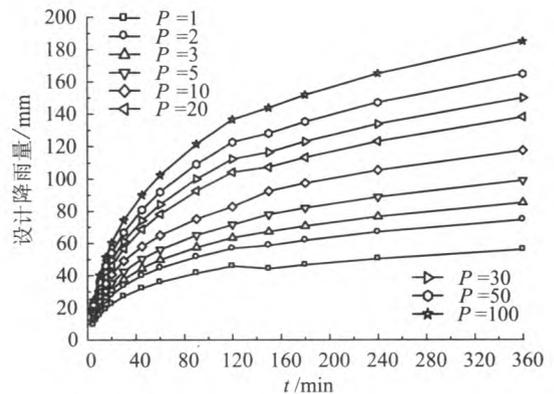


图4 设计降雨量

Fig.4 Design precipitation

3 地铁过渡段洞口降水量阈值及措施

积水淹没轨道后,车轮与轨道之间的摩擦系数降低,影响列车牵引与制动;轨行区积水还会导致信号障碍;车轮行驶在水中可能溅起水花导致接触轨断电,严重影响列车运营安全。因此,需严格控制线路中的积水深度。成都地铁公司颁布的《轨行区水淹应急预案》将积水漫过道床的事故分为三级:重大级(I)事故指轨行区积水淹过钢轨,行车中断;较大级(II)事故指轨行区积水导致信号障碍,积水面至走行轨底面,列车限速通过积水区;一般级(III)事故指防灾自动控制系统(BAS)出现高水位报警或列车司机发现轨行区积水,道床上刚出现积水,列车正常速度通过积水区。《地铁设计规范》<sup>[21]</sup>规定,无砟道床面低于钢轨底面不宜小于70mm。参考上述原则,针对北京地铁线路使用的60轨高度为176mm,在最低点处最大积水深度不应超过246mm,可确定三级水深标准:线路最低点处开始出现积水,达到“预警”条件,应加强警戒;线路最低点处积水至走行轨底面(水深为66mm),达到“报警”条件,列车限

速通过积水区;积水至走行轨顶面(水深为 246 mm),达到“停运”条件,此时应禁止列车通行。

### 3.1 排水能力分析

中心排水沟是北京地铁地下线采用的主要排水型式,以地铁昌平线为例,其排水沟断面尺寸为 840 mm×120 mm,如图 5 所示。

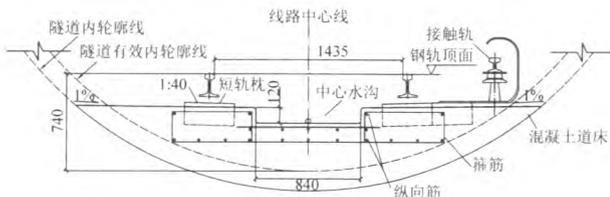


图 5 北京地铁昌平线圆形隧道短枕式整体道床图(单位:mm)

Fig. 5 Diagram of the whole track bed in Changping Line

根据《室外排水设计规范》(2014 年版)规定,排水沟雨水流速为

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

式中:  $R$  为水力半径,  $m$ ;  $I$  为水力坡降,取最小值为 3‰;  $n$  为粗糙系数,取为 0.013。

排水沟设计流量为

$$Q = A \cdot v \quad (6)$$

式中  $A$  为排水沟的横截面积,  $m^2$ 。

### 3.2 线路区间最低点处积水量

当降雨强度较大时,可能导致排水沟排水能力不足,雨水会暂时淤积在区间线路的最低点处,并不断沿线路向两个方向蔓延。如积水量很大,可能超过道床甚至淹没轨道顶面,影响行车安全。故区间线路最低点处的积水量应控制在一定范围内,如图 6 所示。

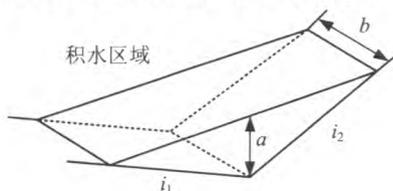


图 6 地铁区间线路最低点处积水示意图

Fig. 6 Diagram of water in the lowest point of the metro circuit

最低点处允许积水量  $V$  可表示为

$$V = \frac{1}{2} \left( \frac{a}{i_1} + \frac{a}{i_2} \right) ab = \frac{1}{2} a^2 b \left( \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) \quad (7)$$

式中:  $i_1$ 、 $i_2$  为积水最低点两侧坡度,‰;  $a$  为坡度最低点处轨道高度允许值,  $m$ ;  $b$  为轨道结构的界限宽度,  $m$ 。

### 3.3 临界降雨量计算

对于实际的过渡段洞口和车站,存在不同的地

表汇水面积。为区分不同汇水面积的影响,结合实际汇水面积,将其按汇水规模大小大致分为 3 类:汇水面积  $< 3\,000\,m^2$  的小汇水面积  $S_1$ ;  $3\,000\,m^2 <$  汇水面积  $< 6\,000\,m^2$  的中等汇水面积  $S_2$ ;  $6\,000\,m^2 <$  汇水面积  $< 9\,000\,m^2$  的大汇水面积  $S_3$ 。分别计算达到“预警”、“报警”和“停运”条件时的临界降雨量 and 对应重现期,所得小汇水面积、中等汇水面积和大汇水面积的不同降雨历时的临界降雨量和重现期如表 3~表 5 所示。

1) 汇水面积越大,达到临界降雨量的强降雨重现期越短,灾害发生的可能性越大。当汇水面积  $\leq 3\,000\,m^2$  时,线路上存在积水的可能性很小;当汇水面积  $> 3\,000\,m^2$  时,线路上可能存在积水,并影响列车的运营安全。

2) 由重现期的实际分布可知,短历时(10~20 min)强降雨重现期最短,是导致车站洞口出现积水的主要原因,此时强降雨灾害发生的可能性最大。

3) 在保证排水沟通畅和集水池排水能力足够的条件下,按设计暴雨强度公式得到的长历时(大于 120 min)强降雨重现期过长(超过 50 a),对车站洞口不会构成危害。

### 3.4 三级状态的阈值确定及应对措施

根据《地铁设计规范》(GB 50157—2013)第 14.3 条规定,隧道洞口的雨水泵站、排水沟及排水管渠的排水能力,应按当地 50 年一遇的降雨量计算并设计,故当降雨量重现期  $< 50\,a$  时,认为各项设施的排水能力满足要求;当重现期  $> 50\,a$  时,则超出了规范规定的范围,不予考虑。

由 2.1 节的分析可知,1 h 最大累积降雨量是导致降雨灾害的主要指标,因此将 1 h 降雨量作为“预警”、“报警”等条件的判定指标之一。根据《城市雨水系统规划设计暴雨径流计算标准》第 3.2.5 条可知,雨水管渠的地面集水时间一般为 5~15 min,可取 10 min,且由表 3~表 5 重现期的分布可知,10~20 min 的短历时强降雨灾害发生的可能性最大。因此将 10 min + 10 min 降雨量也作为判定指标。结合表 3~表 5,得出大中小不同汇水面积下过渡段洞口的阈值如下:

1) 小汇水面积洞口。根据表 3 的计算结果,不同降雨历时下达到“预警”、“报警”等条件的重现期均大于 100 a。因此,可以认为小汇水面积洞口发生强降雨灾害的可能性基本不存在,不需设置阈值。

表3 小汇水面积下不同降雨历时对应的三级临界降雨量和重现期

Tab.3 Critical precipitation and return period of three levels under different duration for  $S_1$ 

| 降雨历时<br>$t$ /min | 预警条件   |                       | 报警条件   |                       | 停运条件   |                       |
|------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|
|                  | 降雨量/mm | 重现期/a                 | 降雨量/mm | 重现期/a                 | 降雨量/mm | 重现期/a                 |
| 5                | 34.3   | 4026.1                | 35.9   | 6683.3                | 57.3   | $4.60 \times 10^6$    |
| 10               | 51.8   | 1937.6                | 53.4   | 2647.8                | 74.7   | $1.48 \times 10^5$    |
| 15               | 69.2   | 2971.7                | 70.9   | 3791.6                | 92.2   | $8.77 \times 10^4$    |
| 20               | 86.7   | 5811.1                | 88.4   | 7150.1                | 109.7  | $1.04 \times 10^5$    |
| 30               | 121.7  | $2.6 \times 10^4$     | 123.3  | $3.08 \times 10^4$    | 144.6  | $2.69 \times 10^5$    |
| 45               | 174.1  | $2.45 \times 10^5$    | 175.7  | $2.81 \times 10^5$    | 197.1  | $1.68 \times 10^6$    |
| 60               | 226.5  | $2.04 \times 10^6$    | 228.2  | $2.30 \times 10^6$    | 249.5  | $1.11 \times 10^7$    |
| 90               | 331.4  | $1.01 \times 10^8$    | 333.0  | $1.12 \times 10^8$    | 354.4  | $4.22 \times 10^8$    |
| 120              | 436.2  | $3.5 \times 10^9$     | 437.9  | $3.84 \times 10^9$    | 459.2  | $1.25 \times 10^{10}$ |
| 150              | 541.1  | $9.36 \times 10^{10}$ | 542.8  | $1.02 \times 10^{11}$ | 564.1  | $3.01 \times 10^{11}$ |
| 180              | 646.0  | $2.04 \times 10^{12}$ | 647.6  | $2.21 \times 10^{12}$ | 669.0  | $6.06 \times 10^{12}$ |
| 240              | 855.7  | $6.16 \times 10^{14}$ | 857.3  | $6.60 \times 10^{14}$ | 878.7  | $1.63 \times 10^{15}$ |
| 360              | 1275.1 | $1.57 \times 10^{19}$ | 1276.8 | $1.67 \times 10^{19}$ | 1298.1 | $3.63 \times 10^{19}$ |

表4 中等汇水面积下不同降雨历时对应的三级临界降雨量和重现期

Tab.4 Critical precipitation and return period of three levels under different duration for  $S_2$ 

| 降雨历时<br>$t$ /min | 预警条件   |                    | 报警条件   |                    | 停运条件   |                    |
|------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|
|                  | 降雨量/mm | 重现期/a              | 降雨量/mm | 重现期/a              | 降雨量/mm | 重现期/a              |
| 5                | 17.1   | 21.1               | 18.0   | 27.2               | 28.6   | 714.2              |
| 10               | 25.9   | 14.7               | 26.7   | 17.1               | 37.4   | 128.3              |
| 15               | 34.6   | 18.2               | 35.4   | 20.5               | 46.1   | 98.6               |
| 20               | 43.4   | 25.4               | 44.2   | 28.2               | 54.8   | 107.2              |
| 30               | 60.8   | 53.7               | 61.7   | 58.4               | 72.3   | 172.8              |
| 45               | 87.0   | 164.7              | 87.9   | 176.5              | 98.5   | 432.0              |
| 60               | 113.3  | 475.6              | 114.1  | 505.5              | 124.8  | 1111.2             |
| 90               | 165.7  | 3343.3             | 166.5  | 3519.9             | 177.2  | 6836.9             |
| 120              | 218.1  | $1.97 \times 10^4$ | 219.0  | $2.06 \times 10^4$ | 229.6  | $3.73 \times 10^4$ |
| 150              | 270.6  | $1.02 \times 10^5$ | 271.4  | $1.06 \times 10^5$ | 282.0  | $1.83 \times 10^5$ |
| 180              | 323.0  | $4.76 \times 10^5$ | 323.8  | $4.95 \times 10^5$ | 334.5  | $8.20 \times 10^5$ |
| 240              | 427.8  | $8.26 \times 10^6$ | 428.7  | $8.56 \times 10^6$ | 439.3  | $1.34 \times 10^7$ |
| 360              | 637.6  | $1.32 \times 10^9$ | 638.4  | $1.36 \times 10^9$ | 649.1  | $2.01 \times 10^9$ |

表5 大汇水面积下不同降雨历时对应的三级临界降雨量和重现期

Tab.5 Critical precipitation and return period of three levels under different duration for  $S_3$ 

| 降雨历时<br>$t$ /min | 预警条件   |                    | 报警条件   |                    | 停运条件   |                    |
|------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|
|                  | 降雨量/mm | 重现期/a              | 降雨量/mm | 重现期/a              | 降雨量/mm | 重现期/a              |
| 5                | 11.4   | 2.4                | 12.0   | 4.3                | 19.1   | 29.2               |
| 10               | 17.3   | 2.0                | 17.8   | 3.2                | 24.9   | 9.7                |
| 15               | 23.1   | 2.5                | 23.6   | 3.6                | 30.7   | 8.7                |
| 20               | 28.9   | 3.4                | 29.5   | 4.4                | 36.6   | 9.9                |
| 30               | 40.6   | 6.5                | 41.1   | 7.2                | 48.2   | 15.9               |
| 45               | 58.0   | 14.4               | 58.6   | 15.1               | 65.7   | 27.5               |
| 60               | 75.5   | 29.3               | 76.1   | 30.5               | 83.2   | 51.5               |
| 90               | 110.5  | 107.4              | 111.0  | 111.2              | 118.1  | 173.1              |
| 120              | 145.4  | 350.5              | 146.0  | 361.4              | 153.1  | 535.9              |
| 150              | 180.4  | 1 048.0            | 180.9  | 1 077.8            | 188.0  | 1 546.1            |
| 180              | 215.3  | 2 929.5            | 215.9  | 3 006.9            | 223.0  | 4 208.5            |
| 240              | 285.2  | $1.96 \times 10^4$ | 285.8  | $2.01 \times 10^4$ | 292.9  | $2.72 \times 10^4$ |
| 360              | 425.0  | $5.78 \times 10^5$ | 425.6  | $5.90 \times 10^5$ | 432.7  | $7.64 \times 10^5$ |

2)中等汇水面积洞口.根据表4的计算结果,其“预警”、“报警”和“停运”条件的降雨量阈值如表6所示.其中:“预警”条件为10 min降雨量达到26 mm;若20 min内累积降雨量达到40 mm,则由“预警”状态转为“报警”状态.

3)大汇水面积洞口.根据表5的计算结果,其“预警”、“报警”和“停运”条件的降雨量阈值如表6所示.其中:“预警”条件为10 min降雨量达到17 mm;若20 min内累积降雨量达到30 mm,则由“预警”状态转为“报警”状态.

达到“预警”阈值时,列车可正常通过,但因线路排水速率达到最大,应确保相关人员在岗,并加强水位监测;达到“报警”阈值时,列车应限速通过积水区,同时加强水位监测;达到“停运”阈值时,禁止列车通行积水区,相关区间断电停运,同时组织人员、设施进行抢险救灾.

表6 不同汇水面积过渡段洞口不同警戒级别的降雨量阈值

Tab.6 Rainfall threshold for subway openings under different catchment areas

| 类别     | 降雨历时/<br>min | 降雨量阈值/mm |       |      |
|--------|--------------|----------|-------|------|
|        |              | 预警       | 报警    | 停运   |
| 中等汇水面积 | 10+10        | 26+0     | 26+14 | —    |
|        | 60           | —        | —     | —    |
| 大汇水面积  | 10+10        | 17+0     | 17+13 | 25+0 |
|        | 60           | 75       | 77    | 83   |

#### 4 地下车站出入口降水量阈值及措施

对于地铁地下线的车站出入口,其降雨量阈值的确定原则与思路和线路过渡段洞口相同.不同的是,车站出入口处通常会设置一定高度的台阶,其标高一般大于室外标高.根据《地铁设计规范》(GB 50157—2013)第9.5.4条可知,地下车站出入口的地面标高应高出室外地面300~450 mm.本文作者偏于保守的假定车站出入口标高比室外地面高300 mm,同时按照规范认为车站内集水池满足50 a重现期的储水、排水需求.结合《地铁设计规范》(GB 50157—2013)中关于车站出入口按50年一遇的降雨量计算设计的规定,不考虑重现期大于50 a的降雨量值.定义三级水深标准:积水淹没车站出入口台阶,达到“预警”条件,注意警戒;线路最低点处开始出现积水,达到“报警”条件,相关人员到岗,并加强水位监测;积水淹没走行轨顶面,达到“停运”条件,列车禁止通行.根据同样的方法,按不同大小汇水面积计算得到的降雨量阈值如下.

小汇水面积车站,在不同降雨历时下达到“预

警”、“报警”等条件的重现期均大于100 a.中等汇水和大汇水面积车站的三级状态降雨量阈值如表7所示.

表7 不同汇水面积车站出入口不同警戒级别的降雨量阈值

Tab.7 Rainfall threshold for station entrances under different catchment areas

| 类别     | 降雨历时/<br>min | 降雨量阈值/mm |    |    |
|--------|--------------|----------|----|----|
|        |              | 预警       | 报警 | 停运 |
| 中等汇水面积 | 10           | 27       | —  | —  |
|        | 60           | —        | —  | —  |
| 大汇水面积  | 10           | 18       | 23 | 31 |
|        | 60           | 76       | 82 | —  |

#### 5 结论

1)短历时(<60 min)强降雨是导致北京地区地铁过渡段洞口、车站出入口出现雨水灌入的主要原因.降水历时为10~20 min时,强降雨的重现期最短,灾害发生的可能性最大;长历时(>120 min)强降雨的重现期通常大于100 a,对地铁过渡段洞口、车站出入口不会构成危害.

2)过渡段洞口/车站出入口的汇水面积越大,强降雨的重现期越短,灾害发生的可能性越大.在排水渠通畅的条件下,当汇水面积<3 000 m<sup>2</sup>时,线路上存在积水的可能性很小;当汇水面积>3 000 m<sup>2</sup>时,线路上可能存在积水并影响列车的运营安全.

3)根据灾害实际及计算结果,将1 h降雨量和10 min降雨量作为指标,并建议了适用于过渡段洞口和车站出入口的“预警”、“报警”和“停运”三级状态所对应的降雨量阈值及相应的处置措施.

#### 参考文献(References):

- [1] 王崑,许新宜,王成,等.北京市暴雨内涝的现状分析[C]//中国环境科学学会学术年会论文集,2013,8:6840-6846.  
WANG Wei, XU Xinyi, WANG Cheng, et al. Situation analysis of Beijing rainstorm waterlogging[C]//Proceedings of Chinese Society for Environmental Sciences Academic Conference, 2013,8: 6840-6846. (in Chinese)
- [2] 何理,钟茂华,邓云峰.城市轨道交通危险因素分析[J].中国安全生产科学技术,2005,1(3):25-29.  
HE Li, ZHONG Maohua, DENG Yunfeng. Analysis on risk factors of urban subway[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2005,1(3): 25-29. (in Chinese)
- [3] 沈坚锋.天气因素对地铁土建设施的影响风险评价[D].北京:北京交通大学,2012.  
SHEN Jianfeng. Risk assessment on the effect of weather

- factors on civil engineering facilities in subway[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)
- [4] 刘秀英,范永玲,张喜娃,等. 铁路水害临界雨量值的初步探讨[J]. 山西农业科学, 2007, 35(10): 56-57.  
LIU Xiuying, FAN Yongling, ZHANG Xiwa, et al. Primary discussion on the critical precipitation amount of water disaster to railway line[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2007, 35(10): 56-57. (in Chinese)
- [5] 汤家法,姚令侃,华明. 铁路汛期行车安全对策——雨量警戒制度研究[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 131-136.  
TANG Jiafa, YAO Lingkan, HUA Ming. Safety precaution for railway transport in rainy season: research on rainfall warning system [J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(3): 131-136. (in Chinese)
- [6] 汤家法,姚令侃,伍衡昭,等. 雨量警戒制度应用技术分析[J]. 灾害学, 2003, 18(2): 43-47.  
TANG Jiafa, YAO Lingkan, WU Hengzhao, et al. Analysis on application technique of the rainfall warning system [J]. Journal of Catastrophology, 2003, 18(2): 43-47. (in Chinese)
- [7] 马蕴娟,马淑红,刘志明,等. 高速铁路暴雨灾害防控技术研究[J]. 中国科技信息, 2011(6): 204-210.  
MA Yunjuan, MA Shuhong, LIU Zhiming, et al. Rainstorm disaster prevention technology research for high-speed railway[J]. China Science and Technology Information, 2011(6): 204-210. (in Chinese)
- [8] 尤凤春,扈海波,郭丽霞. 北京市暴雨积涝风险等级预警方法及应用[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 263-267.  
YOU Fengchun, HU Haibo, GUO Lixia. The early warning methods on risk degree of urban rainstorm flash flood and its application in Beijing[J]. Torrential Rain and Disasters, 2013, 32(3): 263-267. (in Chinese)
- [9] CDYY-ZHJD-022—2010, 执行区水淹应急预案(暂行)[S]. 2010.  
CDYY-ZHJD-022—2010, Emergency plan for rail area (Interim)[S]. 2010. (in Chinese)
- [10] TG/GW 113—2010, 客运专线防灾安全监控系统总体技术方案(暂行)[S]. 铁道部文件[2010]28号, 2010.  
TG/GW 113—2010, The overall technical program for disaster prevention and safety monitoring of passenger dedicated line (Interim)[S]. The Document for Ministry of Railway[2010], No 28, 2010. (in Chinese)
- [11] 日本新干线安全对策附属资料(1999)[EB/OL]. (2012-10-18) [2014-12-16]. <http://www.docin.com/p-501113079.html>.  
Safety measures data for Japan's shinkansen(1999)[EB/OL]. (2012-10-18) [2014-12-16]. <http://www.docin.com/p-501113079.html>. (in Chinese)
- [12] Hashizume S. Natural disaster countermeasures conducted by east Japan railway company[C]//International Railway Safety Council Conference, 2008: 341-357.
- [13] 钟一丹,贾仰文,李志威. 北京地区近53年最大1小时降雨强度的时空变化规律[J]. 水文, 2013, 33(1): 32-37.  
ZHONG Yidan, JIA Yangwen, LI Zhiwei. Spatial and temporal changes of maximum 1 h precipitation intensity in Beijing region in last 53 Years[J]. Journal of China Hydrology, 2013, 33(1): 32-37. (in Chinese)
- [14] 尤凤春,杨洁,马晓青,等. 北京“7.21”特大暴雨气象服务案例分析[C]//第30届中国气象学会年会, 2013: 1-6.  
YOU Fengchun, YANG Jie, MA Xiaqing, et al. Case analysis for weather service of Beijing “7.21” rainstorm [C]//The 30th Annual Conference of China Meteorological Society, 2013: 1-6. (in Chinese)
- [15] 刘汝成,王延娟. 北京市近年来雨水重现期及暴雨强度计算调整对雨水工程设计的影响分析[J]. 城市建设理论, 2014(11): 32-38.  
LIU Rucheng, WANG Yanjuan. Analysis for stormwater engineering design of rainfall return period and intensity calculation in recent years in Beijing[J]. Theory of Urban Construction, 2014(11): 32-38. (in Chinese)
- [16] 王毅. 北京城市洪涝灾害的主因和对策律议[C]//中国水利学会 2011 学术年会, 2011, 21(6): 27-28.  
WANG Yi. The main cause and recommendations for urban flood in Beijing [C]//China Flood & Drought Management, 2011, 21(6): 27-28. (in Chinese)
- [17] 车站地势低洼防雨水倒灌三地站成难点[EB/OL]. (2014-06-17) [2014-12-16]. [http://news.xinhuanet.com/local/2014-06/17/c\\_1111172736.htm](http://news.xinhuanet.com/local/2014-06/17/c_1111172736.htm).  
Three low-lying subway stations have difficulty with backflooding rainwater [EB/OL]. (2014-06-17) [2014-12-16]. [http://news.xinhuanet.com/local/2014-06/17/c\\_1111172736.htm](http://news.xinhuanet.com/local/2014-06/17/c_1111172736.htm). (in Chinese)
- [18] GB 50014—2006, 室外排水设计规范[S]. 2014.  
GB 50014—2006, Code for design of outdoor wastewater engineering[S]. 2014. (in Chinese)
- [19] DB 11/995—2013, 城市轨道交通工程设计规范[S]. 2013.  
DB 11/995—2013, Code for design of urban rail transit [S]. 2013. (in Chinese)
- [20] DB 11/T 969—2013, 城市雨水系统规划设计暴雨径流计算标准[S]. 2013.  
DB 11/T 969—2013, Standard of storm water runoff calculation for urban storm drainage system planning and design[S]. 2013. (in Chinese)
- [21] GB 50157—2013, 地铁设计规范[S]. 2013.  
GB 50157—2013, Code for design of metro[S]. 2013. (in Chinese)