

文章编号: 1002-0268 (2004) 06-0035-04

# 路面排水方式对路堤边坡防护的影响研究

李志刚, 唐小平, 陈云鹤

(解放军理工大学工程兵工程学院, 江苏 南京 210007)

**摘要:** 道路工程师在选用路堤边坡防护型式时, 考虑了路面排水方式的影响, 但具体有什么样的影响, 却缺乏理论依据和相关研究, 为此本文在研究不同路面排水方式下边坡汇流流速的基础上, 计算得到了不同情况下边坡水流的流速规律及有关数据, 并通过分析这些数据与坡面允许流速的关系, 得出如下结论: (1) 路面排水方式对圬工防护影响较小, 可以忽略; (2) 路面排水方式对综合防护有一定的影响, 建议路堤高 7.0m 以下 (包括 7.0m) 路面采用漫流排水, 路堤高 7.0m 以上路面采用集中排水; (3) 路面排水方式对植草防护影响较大, 路堤高 3.0m 以下 (包括 3.0m) 路面采用漫流排水, 路堤高 3.0m 以上路面采用集中排水。

**关键词:** 路堤; 边坡防护; 路面排水

中图分类号: U416.12

文献标识码: A

## Research Influence of Pavement Draining Manner on Embankment Slope Protection

LI Zhi-gang, TANG Xiao-ping, CHEN Yun-he

(Engineering Institute of Engineering Corps, PLA Univ. of Sci. & Tech., Jiangsu Nanjing 210007, China)

**Abstract** When highway engineers selected the type of side slope protection, they have to consider the influence of pavement draining manner. But what these influence are is lack of theory gist and correlative research. Based on analysis of the velocity of slope run-off in different draining manner, the law of pavement and of slope current velocities, and some data are obtained from calculations. By analyzing the relationship between these data and critical velocity of the flow over the slope, some conclusions are gained as follows: (1) pavement draining manner have little influence on protection type of concrete and stone, which can be neglected; (2) pavement draining manner have certain influence on integrated protection. It is advised that adopting draining off water in overflow manner below 7.0m and adopting draining off water in concentrating manner upon 7.0m; (3) pavement draining manner have big influence on plant protection. It is advised that adopting draining run-off water in overflow manner for embankment below 3.0m and adopting draining run-off water in concentrating manner for embankment above 3.0m.

**Key words:** Embank; Slope protection; Pavement drainage

## 0 前言

对路堤来说, 可采用两种方式排除路面表面水: 一种是让路面表面水以横向漫流形式向路堤坡面分散排放; 另一种方式是在路肩外侧边缘处设置拦水带, 将路面表面水汇集在拦水带同路肩铺面组成的浅三角形过水断面内, 然后通过隔一定间距设置的泄水口和

急流槽集中排放到路堤坡脚外。而这两种路面排水方式, 将对坡面产生不同的冲刷效果, 对边坡防护的要求也不一样, 因此十分有必要研究这两种排水方式对应的路堤高度和对防护措施采用的影响。

目前所建的高速公路路堤坡面均采用了防护措施, 但是不同的坡面防护形式对坡面水流的抗冲刷能力是不同的, 工程上常采用允许流速来表示坡面的抗

冲刷能力<sup>[1]</sup>。因此，为了分析路面排水方式对防护设计的影响，需先计算出不同排水方式下坡面水流的流速，从而判断不同防护类型所适应的排水方式和对应的路堤高度。

### 1 坡面流速计算

#### 1.1 路肩边缘处的流速 $v_1$

设高速公路中央分隔带边缘至土路肩边缘的距离为  $B$ ，路面横坡为  $i_1$ ，纵坡为  $i_2$ ，粗度系数为  $\mu_1$ 。

若以  $t_1$  表示自中央分隔带边缘至土路肩边缘所需的汇流历时，则雨水质点在合力的作用下，将沿路面的横坡及纵坡的合成坡度进行运动，因此有：

路面汇流的合成坡度

$$i_s = \sqrt{i_1^2 + i_2^2} \quad (1)$$

路面汇流长度

$$L_1 = B \times i_s / i_1 \quad (2)$$

汇流历时<sup>[2]</sup>

$$t_1 = 60 \times 1.445 \times \left[ \frac{\mu_1 L_1}{\sqrt{i_s}} \right]^{0.467} \quad (3)$$

则土路肩边缘处的流速

$$v_1 = 2 \times \frac{L_1}{t_1} = \frac{L_1^{0.533} i_s^{0.2335}}{43.35 (\mu_1)^{0.467}} \quad (4)$$

按照式 (4) 可以计算各种坡度、路面粗度系数、路面宽度等情况下在路肩边缘处的速度  $v_1$ 。

需要指出的是，降雨强度的大小只表明在同样的时间内的降雨量的多少，不代表雨滴降落速度的大小。因此，当降雨在路面开始形成径流后，即使降雨强度不同，但对后续的单个雨滴来说，其在路面表面的流动速度是一致的，也就是说，降雨强度对雨滴在路面上的流动速度基本没有影响，因此，在计算中可以不考虑降雨强度的影响。

#### 1.2 坡面上一点的流速 $v_2$

同样，可以假设坡面上的质点在周围其它质点与坡面的粘滞力、坡面支反力及重力的共同作用下，该质点所受的合力不变。该合力的方向与垂直于水平坡脚线的轴线方向夹角为  $\varphi$ 。为了求出坡面上一点（对应  $t_2$  时刻）的流速  $v_2$ ，可以近似认为路面汇流由路肩运动到边坡上时，方向改变但不改变其速度值。如图 1 所示。

设坡面的粗度系数为  $\mu_2$ ，坡角为  $\alpha$ ，边坡上  $D$  点至土路肩边缘的坡高为  $H$ 。由于汇流对坡面冲刷的有效作用方向为与边坡轴线垂直的方向（横坡），而且纵坡相对边坡坡度很小，故可忽略与边坡轴线平行的作

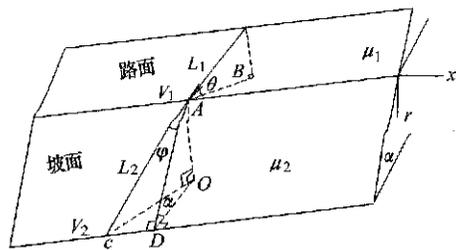


图 1 坡面流速计算简图

用(纵坡)，即合成坡度以边坡坡度代替。而路面纵坡和横坡相差不大，不能忽略纵坡对路面汇流的影响。

因此参照式 (4) 的推导，坡面汇流流速为

$$v_2 = \frac{H^{0.533} (\text{tg } \alpha)^{0.2335}}{43.35 (\mu_2)^{0.467} \sin^{0.533} \alpha} \quad (5)$$

#### 1.3 不同排水方式下坡面的坡脚流速

漫流排水方式下，坡脚处流速为路肩边缘流速  $v_1$  和坡面本身汇流流速  $v_2$  的合成。前已提及  $v_1$  与  $v_2$  有个夹角  $\varphi$ ，因此需先求出  $\varphi$  的大小。

由于路面的横坡很小，为了确定夹角  $\varphi$ ，可适当简化问题，即可忽略该路面横坡坡度，认为路面是水平面，这样由图 1 可知

$$|\overline{AD}| = \frac{H}{\sin \alpha} \quad |\overline{OD}| = H \text{ctg } \alpha \quad (6)$$

通过  $v_1$  以及  $v_2$  所作垂直地面的平面为平行平面，故该平面与路基底平面的交线  $OC$  应平行于  $v_1$  的方向，这样在三角形  $\triangle DEF$  中

$$|\overline{CD}| = |\overline{OD}| \text{ctg } \theta = H \text{ctg } \alpha \text{ctg } \theta \quad (7)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{|\overline{CD}|}{|\overline{AD}|} = \frac{H \text{ctg } \alpha \text{ctg } \theta}{H / \sin \alpha} = \cos \alpha \text{ctg } \theta \quad (8)$$

通过上面的分析，可以得出路面漫流排水对应的坡脚流速  $v'$  和集中排水对应的坡脚流速  $v''$  如下

$$\begin{cases} v' = v_1 \cos \varphi + v_2 = \frac{L_1^{0.533} i_s^{0.2335}}{43.35 (\mu_1)^{0.467} \cos \varphi} + \frac{H^{0.533} (\text{tg } \alpha)^{0.2335}}{43.35 (\mu_2)^{0.467} \sin^{0.533} \alpha} \\ v'' = v_2 = \frac{H^{0.533} (\text{tg } \alpha)^{0.2335}}{43.35 (\mu_2)^{0.467} \sin^{0.533} \alpha} \end{cases} \quad (9)$$

式中，变量含义如上所述。

### 2 路面排水方式对防护的影响分析

根据方程 (9)，可以计算出两种排水条件下，不同路堤高度和不同防护型式下的坡面流速，见表 1 所示（不同防护型式对应的坡面粗度系数如表 2 所示<sup>[2]</sup>）。

参考文献[1] 对衬砌拱这样的综合防护没有明

表 1 不同路堤高度、不同防护型式对应的边坡流速

$\mu_2$	路堤高度/m (路面粗糙系数 $\mu_1=0.013^{[2]}$ )													
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
0.02	0.746	0.854	0.949	1.036	1.117	1.192	1.263	1.331	1.395	1.456	1.516	1.573	1.628	1.682
	0.649	0.757	0.853	0.940	1.020	1.096	1.166	1.234	1.298	1.360	1.419	1.476	1.532	1.585
0.1	0.403	0.454	0.499	0.540	0.578	0.613	0.647	0.679	0.709	0.738	0.766	0.793	0.819	0.844
	0.306	0.357	0.402	0.443	0.481	0.517	0.550	0.582	0.612	0.641	0.669	0.696	0.722	0.748
0.2	0.318	0.355	0.388	0.417	0.445	0.470	0.495	0.518	0.540	0.561	0.581	0.600	0.619	0.637
	0.222	0.258	0.291	0.321	0.348	0.374	0.400	0.421	0.443	0.464	0.484	0.504	0.523	0.541

表 2 不同防护型式对应的坡面粗糙系数 ( $\mu_2$ )

粗糙系数	0.02	0.1	0.2
边坡防护型式	圪工防护	综合防护	植草

表 3<sup>[1]</sup> 不同防护型式坡面对应允许流速

防护类型	允许流速/m·s <sup>-1</sup>
植草	0.4~0.6
衬砌拱植草	0.8~1.0
浆砌片石	4~5
混凝土预制板	4~8

确指出坡面允许流速。由于综合防护是圪工防护和植被防护的综合，其允许流速应在这两种防护允许流速之间，故建议为表 3 中的值，此外参考文献 [1] 中圪工防护的允许流速偏高，应适当降低。

在参考文献 [3] 中，笔者提出了集中排水条件下植被防护与工程防护的分界高度为 4.5m<sup>[3]</sup>。为此，本文计算出路堤高 5.0~8.0m 的圪工防护，采用不同路面排水方式对应的坡面流速，列于表 4。从表中数据可以看出，对诸如浆砌片石和实心六角块等圪工全

防护型式，采用漫流排水时，路面汇流流速占整个边坡流速的比率很低，平均 6.44%。这说明路面汇流对高路堤边坡冲刷影响不大，而且随着路堤的不断增高，这种影响越来越小。

而对衬砌拱这类的综合防护，由于目前的高速公路在高 4.5m 以下的路堤也在采用，故表 5 也计算了临界高度下的综合防护坡面汇流流速。从表中数据可以看出，尽管漫流对流速有一定的影响，但所占比例也不大，并且在路堤高 7.5m 以下，坡面流速均小于 0.8m/s，达不到冲刷条件（如表 5 所示）。而当路堤高超过 7.0m 后，坡面流速大于 0.8m/s。

表 4 圪工防护漫流排水与集中排水流速比较

路堤高/m	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
漫流排水边坡流速/m·s <sup>-1</sup>	1.331	1.395	1.456	1.516	1.573	1.628	1.682
集中排水边坡流速/m·s <sup>-1</sup>	1.234	1.298	1.360	1.419	1.476	1.532	1.585
漫流排水路面汇流流速占整个流速的比率/%	7.29	6.95	6.59	6.40	6.17	5.90	5.77

表 5 综合防护漫流排水与集中排水流速比较

路堤高/m	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
漫流排水边坡流速/m·s <sup>-1</sup>	0.578	0.613	0.647	0.679	0.709	0.738	0.766	0.793	0.819	0.844
集中排水边坡流速/m·s <sup>-1</sup>	0.481	0.517	0.550	0.582	0.612	0.641	0.669	0.696	0.722	0.748
漫流排水路面汇流流速占整个流速的比率/%	16.78	15.66	14.99	14.29	13.68	13.14	12.66	12.23	11.84	11.37

表 6 植草防护漫流排水与集中排水流速比较

路堤高/m	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
漫流排水边坡流速/m·s <sup>-1</sup>	0.318	0.355	0.388	0.417	0.445	0.470	0.495
集中排水边坡流速/m·s <sup>-1</sup>	0.222	0.258	0.291	0.321	0.348	0.374	0.400
漫流排水路面汇流流速占整个流速的比率/%	30.19	27.32	25.00	23.02	21.80	20.43	19.19

从表 6 中数据可以看出，采用植草防护的坡面，坡面流速在所有防护型式中最小，并且路面排水方式对流速的影响较大，不能忽略。并且在路堤高大于 3.0m 时，采用漫流排水，坡面流速均大于 0.4m/s，超过了允许流速；而采用集中排水，坡面流速小于

0.4m/s。

### 3 结语

(1) 路面排水方式对圪工防护影响较小，可以忽略，即可以不考虑参考文献 [3] 提出的工程防护漫流排水与集中排水的路堤分界高度。

(2) 路面排水方式对综合防护有一定的影响，在植被防护临界高度以上路堤采用综合防护时，建议以 7.0m 作为综合防护漫流排水与集中排水的分界路堤高；路堤高 7.0m 以下（包括 7.0m）路面采用漫流排水，路堤高 7.0m 以上路面采用集中排水。

(3) 路面排水方式对植草防护影响较大, 在植被防护临界高度以下路堤采用植草防护时, 建议以3.0m作为植被防护漫流排水与集中排水的分界路堤高。路堤高3.0m以下(包括3.0m)路面采用漫流排水, 路堤高3.0m以上路面采用集中排水。

(4) 本文仅是对路面排水方式对防护的影响作了初步分析, 得出数据可以今后工程设计参考, 但仍需工程实践进一步检验其合理性。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路设计手册——路基 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.  
 [2] 中华人民共和国交通部. 公路排水设计规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.  
 [3] 李志刚, 吴伟, 陈云鹤. 高速公路路堤边坡冲刷防护临界高度初探 [J]. 公路交通科技, 2002, 20 (6).

(上接第30页)

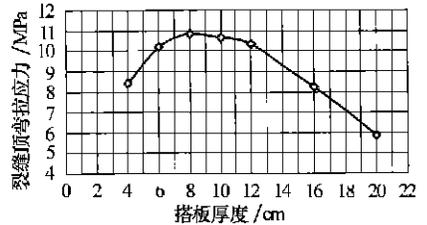
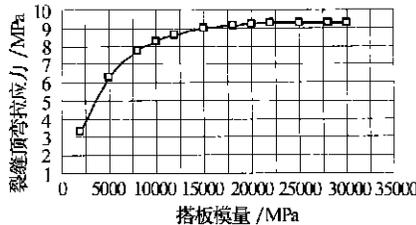
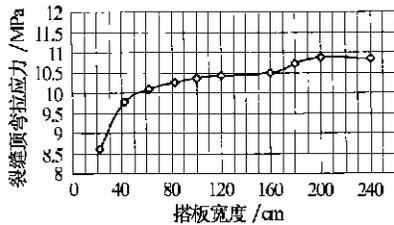


图6 搭板宽度对裂缝顶弯拉应力的影响 图7 搭板模量对裂缝顶弯拉应力的影响 图8 搭板厚度对裂缝顶弯拉应力的影响

图6和图7的变化趋势基本相同, 随着搭板宽度和模量的增加, 裂缝顶的拉应力随之增加。例如, 搭板宽度从42cm减到22cm, 裂缝顶弯拉应力减小了12%; 搭板模量从30000MPa减到20000MPa, 裂缝顶弯拉应力减小了0.6%, 从30000MPa减到10000MPa, 裂缝顶弯拉应力减小了10.8%。图8中搭板厚度的影响存在一个峰值, 呈抛物线形。综合2.3节的分析, 这里取抛物线前段分析, 当搭板厚度从6cm减薄到4cm时, 裂缝顶弯拉应力减小了17%。

3 结语

(1) 通过搭板罩面法与直接罩面法处理板底脱空和局部全厚换板的应力计算分析表明, 与后两者相比, 前者的各项应力指标均大幅下降, 说明搭板罩面

法是一种有效的板底脱空处理方法。

(2) 针对搭板罩面法的两个薄弱点, 即搭板与旧水泥混凝土之间的接头处和对应于裂缝顶的搭板底部, 分析得出了相应的改善措施, 进一步显示出搭板罩面法的优势所在。

搭板罩面法的处治效果还需要经过实际工程的检验, 这将是本文的后续工作。

参考文献:

[1] 关宏信, 郑健龙. 旧水泥混凝土路面一种新型罩面的应力分析 [J]. 长沙交通学院学报, 2002, 18 (1): 45-48.  
 [2] 关宏信, 杨海荣, 程海潜. 层间结合状况对搭板法处治旧水泥路面的影响 [J]. 长沙交通学院学报, 2002, 18 (3): 32-35.