

1006- 2106(1998) 03- 0041- 47

浅基形成机理及防治措施

阚 译* 王 群 林桂宾

(铁道部科学研究院水工水文室 北京 100081)

提 要 论文首次阐述了一般冲刷浅基和局部冲刷浅基形成的机理及防治原则。按照这些原则讨论了各种可能的防治措施及其优缺点和注意事项。论文还讨论了桥台、护岸和导流堤冲刷浅基的防护,以及抛石和石笼防护冲刷浅基的可行性和不可行性。

主题词 桥墩 冲刷 防洪

分类号 U442.3 文献标识码 A

前言

根据工务局秋检资料(1994),全路既有桥中,浅基桥 334座,共 1 209个墩。随着新的铁路建成投产,还可能出现新的浅基桥梁。这些桥都是威胁行车安全的隐祸。因此必须研究浅基形成的机理及防治措施,减少这些隐祸的危害。

根据一些铁路桥渡洪水实测资料,得知桥渡浅基可分为一般冲刷浅基和桥墩局部冲刷浅基。

本文探讨这两种浅基形成的力学作用——机理;并据此讨论防护原则及相应的防治措施。

1 桥渡冲刷浅基形成的机理及防治原则

桥渡浅基可分为一般冲刷浅基与局部冲刷浅基,它们形成的机理和出现的形式不同,因此防治措施也就不同。

1.1 一般冲刷浅基的机理及防治原则

如前所叙,桥渡一般冲刷包括压缩冲刷、洪水冲刷、溯源冲刷、清水下切等等,在比较稳定顺直的河流上,上叙这些冲刷和水深成比例增大,一般不至威胁桥渡基础,故通常在顺直稳定性河流上不存在一般冲刷浅基。

在弯曲型河流上,由于水流坐弯将形成弯道环流冲刷。这种冲刷往往坐在桥头危及桥台及桥台附近几个桥墩。这种冲刷在桥台和桥墩周围形成大面积的河床降低,且这时的桥墩周围局

* 本文收稿日期:1998-05-23 阚 译 男 62岁 高级工程师

部冲刷很小或没有。对于这种浅基就不能用各种防治桥墩周围局部冲刷坑的那些办法来防治。

在不稳定的河流上,不论压缩冲刷、洪水冲刷、清水冲刷或溯源冲刷,都有可能在桥址处形成集中冲刷——中泓(河中)集中冲刷和弯曲水流(股流坐湾)傍岸环流集中冲刷性质的一般冲刷,以及由这种冲刷所造成的浅基。

如是,桥渡一般冲刷——傍岸集中冲刷和中泓集中冲刷浅基的防治原则应为:

- (1)分散集中水流,耗散集中能量;
- (2)减小流线曲率,耗散环流强度;
- (3)提高河床抗冲刷能力;
- (4)延伸基础埋深达到安全标高。

1.2 墩周局部冲刷浅基的机理及防治原则

如前述,行近桥墩的水流(用正交水流为代表),受墩身的阻挡,水流的下半部在墩前产生下降水流。下降水流遇到墩前河床面,形成底部水流指向上游的横轴旋辊。旋辊的两端遇到上游来的绕墩而过的水,汇成底部流速指向桥墩外侧的螺旋水流并沿墩的两侧流向下流。墩前的横轴旋辊和两侧螺旋水流形成一个抱着桥墩迎水面的马蹄形涡系。这涡系是桥墩局部冲刷的主要动力。

冲刷坑的边坡与颗粒大小及其组成有关(细粒沙的边坡可能在 $2:1$ (平:竖)附近,粗粒如卵石可能在 $1:1$ 附近)。冲刷坑的平面大小就可以由深度的几何关系推算出。

如是,桥墩局部冲刷浅基的防治原则应为:

- (1)减小行近流速,耗能冲击能量;
- (2)减小下降水流,耗散旋辊能量;
- (3)提高墩周河床抗冲刷能力;
- (4)延伸基础埋深达到安全标高。

2 桥墩局部冲刷浅基的防治措施

如上述,局部冲刷浅基防治原则有四,现分别根据这四个原则提出可能的防治措施。

2.1 减小行近流速耗散冲击能量

消能桩的防冲作用及其局限性

早在五十年代国外就有研究用这种概念防治桥墩周围局部冲刷,其主要措施有在墩前迎接水流方向的河床上打桩以阻滞水流。桩径 $\phi 0.2 \sim 0.5 \text{ m}$ 甚至 1.0 m 。桩的排列形式有三颗桩在墩前布成尖角朝向上游的等腰三角形;有四颗桩五颗桩甚至多颗桩的。

国内外都曾为这种防护做过不少试验。表1是铁科院六十年代初为防护京广线黄河桥浅基所进行的有关消能桩的试验结果。这些结果告诉我们,水流正交的防护效果可减小冲刷深度 $1/3$ 左右。一旦行近水流斜交,那怕 $\angle = 15^\circ$,防护效果将不到 10% 。因此,国内用的很少。据了解,只有京广南沙河大桥1963年洪后改建时(约为1965年),曾在新建桥的几个桥墩前各布了表39中编号1的消能桩三个,作为实地试验用,而并非防护用;因新建桥基础已足够深。可惜修建以后并未对其实际效益进行观测。

总之消能桩的使用必须通过能模拟实桥桥墩局部冲刷实际现象的水工试验才能取得预期效果

表 1 消能桩防护冲刷试验成果表

No	消能桩平面布置	桥墩及消能桩系统的几何要素										水力要素		桥墩局冲刷深 (m)			
		B (m)	d (m)	A/B	e/d	α (度)	n	n'	L'	d'	α' (度)	V (m/s)	h (m)	无 消 能 桩	有 消 能 桩	消能 效果 (%)	水流 交角 (度)
1		3.6	1.0	2	2	60	3					1.28	16	7.55	5.01	33.8	0
												1.59	16	7.62	4.52	39.4	0
2		3.6	1.0	3	2	60	3					1.30	16	7.55	4.78	36	0
3		3.6	1.0	1.5	2	60	3					1.30	16	7.55	5.0	33.8	0
4		3.6	1.0	1.5	2	60	4					1.30	16	7.55	4.86	36	0
5		3.6	1.0	1.5	2	60	5					1.30	16	7.55	5.24	30	0
6		3.6	1.0	2	2	60	3	3	3.6	0.55	60	1.30	16	7.558	6.16	19.1	0
7		3.6	1.0	2	2	60	3	3	3.6	0.55	30	1.30	16	7.55	5.7	25	0
8		3.6	1.0	2	2	60	11					1.30	16		6.97 7.70 7.30	8 - 2.6 3.1	15 30 0

注: B 墩宽, d 桩径, e 桩间距, T 分水角, n 桩数, V 流速, h 水深.

2.2 减小下降水流耗散旋辊能量

早在六、七十年代国内外都曾有这方面的设想提出。提到最多的是消能盘。其建议是在桥墩周围河床面上做一与冲刷坑平面外形相似的刚性盘状结构,以托住旋辊不使冲刷河床面;这样也就没有冲刷坑了,起到了保护桥墩基础有足够的埋深。

如为扩大基础或沉井基础,当基础顶面或沉井顶面做到一般冲刷后床面或更低一点,当能起到消能盘的某些作用。

总之,如能将消能盘在做到一般冲刷后床面,其防治局部冲刷浅基的效果是明确可靠的,其平面尺寸可参照桥墩周围局部冲刷坑防护范围的有关公式估算,或通过试验确定。

2.3 加大墩周河床抗冲能力

当今国内外桥墩局部冲刷浅基防治,广泛地使用此概念。其具体做法是用圪工将局部冲刷坑范围内的河床盖住,使漩辊冲不动;故又称为桥墩局部冲刷(浅基)的平面防护。

这种防治措施的实施,主要在于确定墩周应防护的范围,可参照国内由不同途径建立的桥墩周围局部冲刷防护范围的计算公式估算。

桥墩局部冲刷浅基的平面防护是当前浅基防护中使用最多的一种措施,使用恰当可取得良好效益。但必须注意以下四个方面:

- (1)冲刷性质,确实有足够深的局部冲刷深度可防治,才能使用这种措施;
- (2)防护体顶面标高不得超过一般冲刷后床面;
- (3)材料和工艺是多种多样的;
- (4)情况复杂时,应通过试验布设。

2.4 延伸基础埋深达到安全标高

这一防治概念就是接深桥墩基础使不再成为浅基;又称为桥墩局部冲刷的立体防治,或立体防治,又称结构性防治。

这种防治效果肯定,可能引起的不良后果很少,或说没有。但这种防治一般说投资较大,有时施工难度也较大(跟运营桥墩太近)。因此这种防治以往用的较少。近年来由于其可靠性以及施工技术的提高,这种防治已开始普遍起来了。

3 桥渡一般冲刷的防治措施

如前所述,只有不稳定和次稳定河流上的一般冲刷——傍岸集中冲刷和中泓集中冲刷才能直接威胁桥梁基础,产生浅基。如前叙也有四条防治原则,现亦按此四原则讨论防治措施。

3.1 分散集中水流耗散集中能量

不论傍岸集中或是中泓集中,集中的股流流速大、冲刷能量大。若能给这股高速水流以适当的阻滞,增大局部阻力,减小股流流速;分散集中水流,分散冲刷河床的能量。

在京广线黄河铁桥防护试验中,曾在水槽的直线段内做过几组平行桥轴(线路)的桩排试验,观测其分散水流减小下游冲刷的效果。发现有一定的防治作用。但由于实际河流上中泓集中冲刷多是因主流多变的河流特性下产生的,因此很难确定桩排在断面上的位置;或是在桥下整孔全断面的上游都打上平行桥轴的桩排;这样做恐怕只有在不通航的小河上,或河滩泄洪桥的冲刷防护可以考虑使用。通航河流上不可能使用。

3.2 减小流线曲率耗散环流强度

这主要是针对弯曲水流(傍岸的居多)集中冲刷的防治概念。京广线郑州黄河铁桥京端冲刷(股流傍岸时)就是一例。

七十年代初模拟了京广黄河双线铁桥(1958年建)京端弯曲水流的特点进行了弯曲水流

(桥渡) 傍岸集中冲刷防护试验

试验中进行了上游、下游潜坝、上游丁坝和上游桩排、等多种形式的多种组合的防治桥下冲刷的试验。试验结果表明,除桩排外,其他防护形式,不是防护效果不佳(如潜坝、短丁坝),就是防护效果满意但防护体自身冲刷太大或对河势改变太大(如有一定长度的丁坝等)。唯有桩排防护,其效果明显且自身冲刷不大(参见“中等河流桥渡水害防治措施研究报告”图 103 和 104),对河势影响不大,最后将此方案推荐给委托单位并已付诸实践。

通过试验建议用桩排防护弯曲水流的傍岸集中冲刷。桩排防护弯曲水流环流集中冲刷的作用为“顺其性,挫其锋,分其势,调其向,稳其流”五大作用。防护的具体布设,应通过试验决定。

3.3 提高河床抗冲刷能力

根据这一概念进行防护的最主要形式就是河床铺砌,也称为整孔防护。整孔防护也是一种平面防护,其材料和工艺和桥墩局部冲刷平面防护基本相同,但范围更大。通常全桥铺砌,但在确有把握的情况下也可部分桥孔铺砌。这种防护多用于中小桥或河滩上的泄洪桥。在我国整孔防护成功的实例很多,存在的问题也不少。其中一个重要问题是防护体表面能承受的最大流速和防护体下游冲刷的防治。

根据 70 年代初期的调查资料,对 30 座桥梁 60 次洪水资料的整理分析,曾给出桥梁浅基常用防护类型容许最大流速。编写本文时,又参照其他文献进行了修订,如表 2 所列。

表 2 不同防护类型容许最大流速 (1997 年修订)

号	防 护 类 型	容许最大流速 (m /s)
1	混凝土护底 厚 0.3~ 0.4 m	≥ 6.0
2	浆砌片石 厚 0.3 m	4.0~ 5.0
	料石砌护底 厚 0.5 m	5.0~ 6.0
3	钢筋混凝土块排护基	3.5~ 4.5
4	料石铺护底	2.5~ 3.5
5	铅丝石笼护底、护基	2.5~ 3.5
6	干砌片石	1.0~ 2.0

70 年代铁科院曾对整孔防护进行过大量的试验研究,给出了整孔防护的上游长度、下游长度和下游垂裙深度的计算公式,因内容较多,这里不作介绍,可详见原报告。

3.4 延伸基础埋深达到安全标高

这种防治措施的原理和效果和 2.4 节所介绍的完全相同不再赘叙。

4 桥台、护岸和导流堤冲刷浅基的防护

4.1 桥台、护岸和导流堤冲刷浅基成形机理

作用于桥台、护岸和导流堤迎水面上有三种水流,即平行顺直水流、弯曲水流和顶冲水流。

通常顺直河段上桥台不突出河岸时,作用于桥台和护岸上的水流为平行顺直水流;当沿桥台或护岸基础前的水流流速大于河床泥沙起动流速时,桥台或护岸就会发生大面积河床下降的一般冲刷。当桥台或护岸突出河岸,除一般冲刷外还会发生类似丁坝头的局部冲刷。不论一般冲刷或局部冲刷超过允许标高,都会出现浅基,需要防治。

跨越弯曲河段的桥渡,尽管是微弯,如通让线嫩江大桥。凹岸侧桥头和河岸将受到环流掏刷桥台和护岸基础。一旦掏刷超过限值,基础失稳将出现水害。

处于弯顶附近的桥渡,如宝成线清姜河桥;又如湘黔线双江口桥。桥台或护岸将受水流顶冲。这时将像桥墩的局部冲刷那样,在台或护岸的迎水面产生下降水流和旋涡;其冲刷坑的范围既深且大,常为水害诱因。对这种冲刷的防治可参照桥墩局部冲刷防护进行。

4.2 桥台、护岸和导流堤浅基防治措施

通常顺直水流作用下桥台、护岸和导流堤浅基的冲刷小于河中的桥墩冲刷,水流的作用力也小得多,因此一旦发现失稳(或事先有所察觉),适当抛石、沉排、土工织物袋体、石笼等即可护住,事后加固、加深基础也都无大困难。土工织物袋填以砂、石或混凝土作为半永久或永久性防护措施是很有效的,有时也是较经济且方便的。

弯曲水流作用下桥台、护岸和导流堤浅基的冲刷就是弯道环流傍岸集中冲刷,其防治措施一如本节第(2)段所介绍,这里也就不再重复。可以多说一句的是,土工织物袋作为防护材料也是有效甚至经济方便的。

顶冲水流作用下桥台、护岸和导流堤浅基的冲刷,往往类似河道中矶头或丁坝头的冲刷。这种场合的防护往往要加深基础埋深等结构性措施才能有效。宝成北段和宝天段,1881年水害后很多桥头、护岸(包括路基护岸)都用7~9 m深沉井作为防护工程基础。在阳安线的一些桥头和导流堤和护岸也有用4~6 m深沉井为基础的。

4.3 桥台、护岸和导流堤浅基防治的特点

由于这些工程都依托陆地,其水害和防治的特点为:水害易早察觉,防治方法多样且施工较易,成败易于检查和补救方便。

5 抛石和石笼防治冲刷浅基的作用

5.1 抛石(含石笼)的一般情况

抛石防护涉河工程是水利、铁路、交通等部门经常使用的措施,特别是在洪水时抢险和洪后岁修、维修工作中;有时将石笼防护(结构性抛石)视为半永久性防护措施。

抛石的主要优点是取料容易,制作运输简单,施工方便和造价低。

抛石的主要缺点是:散抛片石自身稳定性差,水深流急时不易就位,效果无保证甚至无效。

果。抛置石笼,在水深流急的情况下不易保持结构形态,达不到预期效果;用于沙质河床,如无反滤层将因掏刷沉没失去效用;用于石质河床,将易为滚石砸断铅丝石块流失而失效

但在深水沉井下沉的施工过程,用抛石减小沉井底面下的施工冲刷使沉井尽早着底,有较好的效果。同样在围堰施工时,用抛石或石笼加固堰周河床减小围堰局部冲刷安全渡汛也有良好记录。其原因在于投置片石或石笼多在汛前中小水时期,即使有一定水深度,但流速不大或较小;这时多可以用船、筏将片石或石笼运至设计好之地点抛置。同时这种防护措施都是临时性渡汛措施,故其功能得以发挥。

目前水利部门应用新型透水性土工织物袋体(内填沙、土、石、水泥等),代替片石笼防护,具有就地取材,经济、方便、柔性下沉等优点。

5.2 抛石防护的作用

(1)洪水时在既有桥上抛石抢险,作用不大。

(2)石笼防护桥墩局部冲刷要岁岁维修,年年投钱,不能视为永久性防护工程;且一旦抛石,其他防护工程难以施工。

(3)洪水时对桥台、护岸和导流堤抢险是可行的,作为防护工程维修量亦不大,可以使用,但也只是半永久性的。

(4)抛石(或土工织物袋体)防护施工冲刷是可行的。

参考文献

- 1 阚译,余云杰. 郑州黄河新桥防护研究报告 [M]. 1996
- 2 康笃材,阚译,刘进运. 京广线郑州黄河大桥傍岸冲刷防护试验研究报告 [R]. 1997
- 3 Kan Yi, Kong Ducai. Scour of River Beds around Bridge Piers and Abutments by Stream Flow in Curved Reaches [R]. Proc. of the ISRS, 1981, China

MECHANISM OF INSUFFICIENT BRIDGE FOUNDATION AND ITS CONTROL METHODS

KAN Yi WANG Qun LIN Guibun

China Academy of Railway Sciences

Abstract The insufficient buried depth of bridge foundation is the first cause of bridge disasters due to flood. This paper analyses the mechanisms of scourings which creat the insufficient foundation, propese the control principles and analyses the advantages and shortages of the protected methods which contain the riprap.

Keywords bridge pier; scouring; flood control